การจำลองการไหลของอากาศในห้องเย็นโดยใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

ภัทรฤทัย คำแสง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2558

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

ชื่อเรื่อง

การจำลองการไหลของอากาศในห้องเย็นโดยใช้

การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

โดย

ภัทรฤทัย คำแสง

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร)

วันที่ 17 เดือน 7 พ.ศ. 2558

กรรมการที่ปรึกษา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จาตุพงศ์ วาฤทธิ์)

วันที่ 22 เดือน 7 พ.ศ. 2558

กรรมการที่ปรึกษา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ)

วันที่ 22 เดือน 7 พ.ศ. 2558

ประธานอาจารย์ประจำหลักสูตร .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ)

วันที่ 22 เดือน 7 พ.ศ. 2558

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จาตุพงศ์ วาฤทธิ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 22 เดือน 7 พ.ศ. 2558

ชื่อเรื่อง การจำลองการไหลของอากาศในห้องเย็นโดยใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

ชื่อผู้เขียน นางสาวภัทรฤทัย คำแสง

ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร

บทคัดย่อ

การรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปผักและผลไม้แช่แข็ง ตำแหน่งการจัดวางผลิตภัณฑ์ในห้องเย็นส่งผลต่อการกระจายตัวของอากาศภายในห้องเย็นและอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ เทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลถูกนำมาใช้ในการจำลองการไหลด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำงานจริง ซึ่งผลการจำลองการไหลสามารถอธิบายถึงรูปแบบการไหลของอากาศภายในห้องเย็นที่เกี่ยวกับสภาวะเชิงความร้อน ทิศทางและความเร็ว งานวิจัยนี้จำลองการไหลในห้องเย็นขนาด 43.5 × 45.0 × 7.05 ลบ.ม. ซึ่งใช้โมเดลการไหลแบบปั่นป่วน k-ε เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของอากาศภายในห้องเย็นโดยตรวจสอบความถูกต้องของผลจำลองการไหลด้วยข้อมูลตรวจวัดความเร็วอากาศและอุณหภูมิ ซึ่งผลการสอบเทียบความเร็วอากาศมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 6.12 เปอร์เซ็นต์และค่าอุณหภูมิอากาศมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 5.26 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจำลองการไหลโดยปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 6 รูปแบบ จากผลจำลองการไหลพบว่ารูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่แบ่งผลิตภัณฑ์ให้เป็นกลุ่มย่อยและเพิ่มช่องว่างทางเดินหลักช่วยทำให้การกระจายตัวของอากาศดีขึ้น ซึ่งผลการศึกษานี้ใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการกระจายตัวของอากาศที่มีความเร็วอากาศไม่สม่ำเสมอและหารูปแบบการวางผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมในห้องเย็น นอกจากนั้นยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบห้องเย็นเพื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพที่ดีและสามารถลดการใช้พลังงานในการทำความเย็นต่อไป

Title	Airflow Simulation in Cold Storage Room Using Computational Fluid Dynamics
Author	Miss Phattararuethai Kamsaeng
Degree of	Master of Engineering in Food Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Chanawat Nitatwichit

ABSTRACT

Maintaining product quality is an important practice for vegetable processing and frozen fruit industry. The product arrangement in a cold storage room affects the distribution of cooled air and temperature of the product. In this study, computational fluid dynamics was used to simulate airflow to reduce time and cost of real works. Results of the flow simulation model revealed the flow pattern of cooled air including thermal conditions, direction and speed. This study applied k-ε turbulent model to simulate the airflow in a cold room with size of 43.5 × 45.0 × 7.05 cu.m which was used to analyze the distribution of cooled air within the cold storage room. The simulation results were validated by measurement of air velocity and temperature data. The model was also validated and the precision error of 6.12 percent was measured for air speed and 5.26 percent for air temperature. The model was further used to simulate air flow with six different patterns of product arrangements. Results showed that the pattern of product arrangement that divided products into small groups and increasing the space in the main corridor allowed increased air distribution and air temperature. Results of this study can be used as a guideline to solve the problem on the distribution of irregular air velocity and identifying an appropriate product arrangement in the cold storage room. Moreover, it can also be used as a guide in the design of cold storage room that could preserve the production quality and further reduce energy consumption during the cooling process.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง การจำลองการไหลของอากาศในห้องเย็นโดยใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความอนุเคราะห์ช่วยเหลือของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลักวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ ชี้แนะแนวทางการแก้ปัญหาสำหรับวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ ตลอดจนการดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จาตุพงศ์ วาฤทธิ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ สำหรับนำมาปรับใช้ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์ และถูกต้องมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี่ด้วย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย ฟองสมุทร ประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำแก้ไขงานวิทยานิพนธ์นี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ บริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด ที่อนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือต่าง ๆ ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย และอำนวยความสะดวกในการทำงานตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาเก็บข้อมูลจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม-พวอ. ระดับปริญญาโท ประจำปี 2556 ที่ได้สนับสนุนเงินทุนในการศึกษาวิจัย

ขอขอบคุณ คณาจารย์ ข้าราชการ เจ้าหน้าที่ของสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและวิศวกรรมอาหาร เพื่อน ๆ และน้อง ๆ นักศึกษาปริญญาตรีและปริญญาโท ที่คอยให้กำลังใจและคำแนะนำดี ๆ เสมอ และที่ให้ความช่วยเหลือเพื่อให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัว ที่ให้การเลี้ยงดูอบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจให้เสมอมา

ท้ายที่สุดนี้ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้คงมีประโยชน์แก่การนำองค์ความรู้แก่ผู้อ่านไม่มากก็น้อย หากมีสิ่งขาดตกบกพร่องหรือข้อผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขออภัยเป็นอย่างสูงและน้อมรับความบกพร่องและความผิดพลาดนั้นมา ณ ที่นี่ด้วย

ภัทรฤทัย คำแสง

กรกฎาคม 2558

สารบัญ

สารบัญตาราง

สารบัญภาพ

สารบัญภาพผนวก

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
ρ	ความหนาแน่นของของไหล	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
u	ความเร็วย่อยในแนวแกน x	เมตรต่อวินาที
v	ความเร็วย่อยในแนวแกน y	เมตรต่อวินาที
w	ความเร็วย่อยในแนวแกน z	เมตรต่อวินาที
t	เวลา	วินาที
$\vec{V}$	เวคเตอร์ความเร็วของการไหลที่ตำแหน่งต่าง ๆ	ไร้หน่วย
σ	ความเค้นตั้งฉาก	นิวตันต่อตารางเมตร
τ	ความเค้นเฉือน	นิวตันต่อตารางเมตร
f	แรง	นิวตัน
μ	ความหนืด	กิโลกรัมต่อเมตรวินาที
e	พลังงาน	จูล
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	วัตต์ต่อตารางเมตรเคลวิน
$\dot{q}$	ฟลักซ์ความร้อน	จูลต่อตารางเมตร
T	อุณหภูมิ	เคลวิน

บทที่ 1
บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ รวมถึงขอบเขตของงานวิจัยและภาพรวมของเนื้อหาวิทยานิพนธ์

ความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมแปรรูปผัก และผลไม้แช่แข็งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการนำเอาวัตถุดิบทางการเกษตรมาแปรรูปให้เกิดมูลค่า มีความต้องการของผู้บริโภคค่อนข้างสูง ซึ่งอาหารแช่แข็งในปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2553 มีอัตราการขยายตัว 2.8 เปอร์เซ็นต์ (สถาบันอาหาร, 2552) จากการเติบโตของอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งทำให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้น และปริมาณการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นตาม จึงมีการศึกษาถึงกระบวนการและลักษณะการใช้พลังงานในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารประเภทผัก และผลไม้แปรรูปแช่แข็ง มีช่วงดัชนีการใช้พลังงานที่ปริมาณการผลิต 500 ตัน มีปริมาณการใช้ไฟฟ้า 3,930 เมกะจูลต่อตัน (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548)

อุตสาหกรรมแปรรูปผัก และผลไม้แช่แข็งนั้นจำเป็นต้องมีการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ในห้องเย็น ซึ่งจะต้องมีการควบคุมและรักษาอุณหภูมิให้คงที่อยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้การจัดวางผลิตภัณฑ์ในห้องเย็นอย่างเหมาะสม ส่งผลให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์และการกระจายตัวของอากาศเย็นเป็นไปอย่างทั่วถึง (ปัณณธร, 2550) การจัดวางผลิตภัณฑ์ในห้องเย็นจะต้องไม่สูงเกินไปจนปิดทางไหลของอากาศที่ออกมาจากเครื่องทำความเย็น และอากาศเย็นจะต้องหมุนเวียนผ่านภาชนะได้ทุกด้าน การจัดวางผลิตภัณฑ์ในห้องเย็นที่ปิดกั้นทางไหลของอากาศเย็นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่บริเวณที่อากาศไหลเวียนไปไม่ถึง ผลิตภัณฑ์อาจมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนเสื่อมคุณภาพ นอกจากนี้การตรวจสอบและวัดอุณหภูมิในห้อง หากพบว่ามีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ออกจากเครื่องทำความเย็นและอุณหภูมิของอากาศภายในห้องต่างกันเกินกว่า 0.8 องศาเซลเซียส แสดงว่าการไหลเวียนของอากาศภายในห้องไม่ดี (ดนัย, 2553) และ สุกิจ (2553) กล่าวไว้ว่า การรักษาความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิห้องกับอุณหภูมิคอยล์เย็นให้เหมาะสมจะช่วยในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพยาวนานและจะช่วยประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างมาก เพราะการที่คอยล์เย็นทำงานที่อุณหภูมิต่ำลงอีกเพียง 1 องศาเซลเซียส จะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากถึง 3 - 4 เปอร์เซ็นต์

การจำลองการไหลในคอมพิวเตอร์ด้วยเทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics: CFD) เป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บนคอมพิวเตอร์ที่สามารถมองเห็นลักษณะการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศในสภาวะหนึ่งๆ และสามารถทำนายสภาวะเชิงความร้อน ความเร็ว หรือทิศทางของอากาศได้ และช่วยในการออกแบบทางอุตสาหกรรม ซึ่งการจำลองการไหลในรูปแบบต่างๆ อาจทำให้ผลลัพธ์ที่ออกมานั้นเปลี่ยนไปด้วย สามารถทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบได้ง่ายบนคอมพิวเตอร์สามารถทำได้ในระยะเวลาที่สั้น ทำให้กระบวนการออกแบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อเทียบกับกระบวนการแบบเดิมๆ ที่ต้องมีการทดลอง (ปราโมทย์ และ วรสิทธิ์, 2541) การใช้เทคนิค CFD เข้ามาช่วย ในอุตสาหกรรมอาหารจะทำให้เข้าใจรูปแบบของความร้อนและการถ่ายเทมวลในอาหารระหว่างกระบวนการทำความเย็น (Jing, Xiao-Hua *et al.*, 2006) มีการใช้งานทั่วไปของ CFD ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น การสร้างแบบจำลองห้องเย็น (Jing, Xiao-Hua *et al.*, 2006; Margaret, Pieter *et al.*, 2000; Serap and Selcuk, 2005; Mulugeta, Ann *et al.*, 2009; Enhai, Tingting *et al.*, 2014) การสร้างแบบจำลองห้องแช่แข็ง (Li, Wang *et al.*, 2015) และการสร้างแบบจำลองของรถส่งสินค้า (Moureh, Menia *et al.*, 2002)

ดังนั้นเพื่อตรวจสอบการไหลเวียนของอากาศภายในห้องเย็น จึงนำเอาวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลมาใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งช่วยทำให้ทราบพฤติกรรมของการไหลได้บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ถ้าหากผลลัพธ์ออกมาไม่เป็นที่น่าพอใจ ก็สามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบได้โดยง่ายและรวดเร็ว ในระยะเวลาที่สั้นกว่าการศึกษาทดลองในสภาพจริง ทำให้กระบวนการการออกแบบมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยสามารถลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลองจริง ซึ่งสามารถศึกษาพฤติกรรมของของไหลในทุกสภาวะและในทุกรูปแบบโดยใช้ค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่า และไม่มีความเสี่ยง (ก้อง, 2545) อีกทั้งในการทดลองจริงอาจเกิดอุปสรรคในการเก็บข้อมูล เนื่องจากภายในของห้องเย็นมีอุณหภูมิที่ต่ำมาก จึงไม่สามารถใช้เวลาเก็บข้อมูลในระยะเวลานานได้ และห้องเย็นในระบบอุตสาหกรรมมีขนาดที่ใหญ่ ทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้อย่างทั่วถึง

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่า หากใช้ CFD เพื่อจำลองการไหลจะสามารถเห็นลักษณะการไหลของอากาศ รวมถึงอุณหภูมิและความเร็วอากาศตามตำแหน่งต่างๆในห้องเย็น ผลลัพธ์ลักษณะการไหลภายในห้อง หากทำการเปลี่ยนรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ก็จะทำให้ลักษณะการไหลของอากาศเปลี่ยนไปด้วย อีกรูปแบบหนึ่งสามารถที่จะเลือกรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็นที่จะทำให้เกิดการกระจาย ตัวของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศภายในห้องเย็นที่ดีที่สุด ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ที่ต้องการวิเคราะห์การกระจายตัวของอากาศภายในห้องเย็นด้วยการจำลองการไหลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงจากการเก็บข้อมูล

ภาคสนาม หลังจากนั้นนำผลเฉลยที่ได้จากการคำนวณวิเคราะห์หารูปแบบของการกระจายตัวของอากาศภายในห้องเย็นที่เหมาะสม เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการออกแบบห้องเย็น การจัดวางผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็น และสามารถลดการใช้พลังงานในการทำความเย็นต่อไป

วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้ต้องการวิเคราะห์การกระจายตัวของอากาศภายในห้องเย็นจากแบบจำลองของคอมพิวเตอร์ โดยมีวัตถุประสงค์ในการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. เพื่อสร้างแบบจำลองการไหลของอากาศภายในห้องเย็นโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยเทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล
2. เพื่อศึกษาการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิและลมเย็นที่เหมาะสมเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาความไม่สม่ำเสมอของการไหลของลมเย็นในห้องเย็น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการดำเนินงานวิจัยในการวิเคราะห์การกระจายตัวของอากาศภายในห้องเย็นคาดว่าจะได้ประโยชน์ดังต่อไปนี้

1. ได้แบบจำลองการไหลของอากาศภายในห้องเย็นด้วยคอมพิวเตอร์
2. ได้รูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมและแนวทางในการแก้ปัญหาการกระจายตัวของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศภายในห้องเย็นของโรงงานอุตสาหกรรม

ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการจำลองการไหลของอากาศภายในห้องเย็น เพื่อนำมาวิเคราะห์การกระจายตัวของอากาศภายในห้องเย็น และหาแนวทางในการแก้ปัญหาความไม่สม่ำเสมอของการไหลของลมเย็นในห้องเย็น โดยมีขอบเขตของงานวิจัย ดังนี้

1. ใช้ห้องเย็นขนาด 43.5 × 45.0 × 7.05 เมตร (กว้าง × ยาว × สูง) ในการทดสอบและสร้างแบบจำลองในการคำนวณพลศาสตร์ของไหล

2. การศึกษาการไหลนี้เป็นแบบสภาวะคงตัว (Steady State Condition)

3. ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศภายในห้องเย็น มีสมมติฐานดังนี้

3.1 กำหนดให้ภายนอกของห้องเย็น ไม่มีการพาความร้อนจากผนัง

3.2 การไหลเวียนของอากาศภายในห้องเย็นผ่านระบบทำความเย็นที่เป็นระบบแบบหมุนเวียนอากาศบังคับ ไม่มีการนำอากาศจากภายนอกมาผสม และไม่พิจารณาการรั่วซึมของอากาศภายนอกห้องเย็นผ่านเข้ามาทางขอบประตู

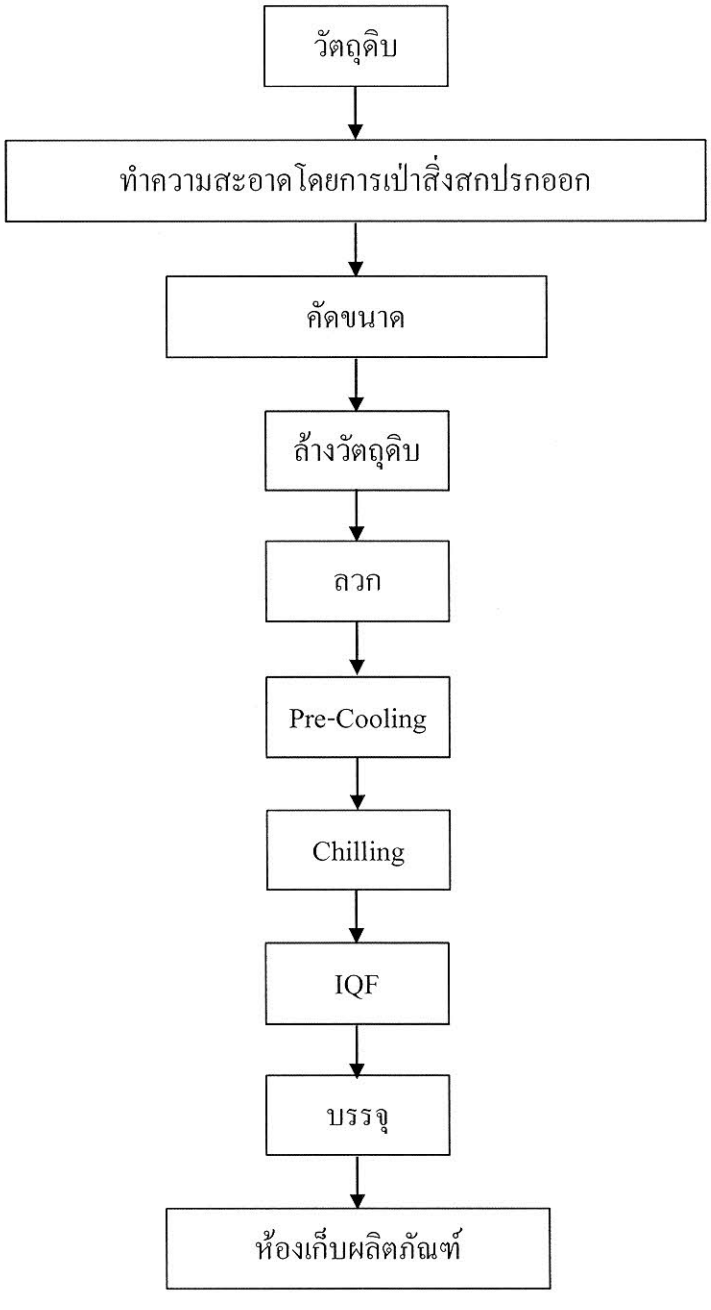
บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการผลิตอาหารแช่แข็ง ที่มีการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในห้องเก็บผลิตภัณฑ์ ปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการเก็บผลิตภัณฑ์ในห้องเย็น ศึกษาการจำลองการไหลและใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลในการแก้ไขปัญหา โดยระเบียบวิธีไฟไนต์วอร์ลุ่มสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

กระบวนการผลิตอาหารแช่แข็ง

กระบวนการผลิตอาหารแช่แข็งเริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบ ซึ่งจะผ่านขั้นตอนของการคัดคุณภาพของวัตถุดิบที่มีอายุการเก็บเกี่ยวและช่วงเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม เพื่อคงความสดใหม่ของวัตถุดิบจะทำความสะอาดและคัดแยกสิ่งเจือปนออก จากนั้นทำการคัดขนาดของวัตถุดิบโดยคัดเอาวัตถุดิบที่ไม่สมบูรณ์ออก แล้วส่งต่อไปในขั้นตอนของการล้างวัตถุดิบ ซึ่งจะทำการล้างเอาเศษสิ่งสกปรกที่ติดมากับวัตถุดิบออก ขั้นตอนต่อไปคือการลวก ทำการลวกวัตถุดิบด้วยการให้ความร้อนจากไอน้ำในเวลาไม่นานวัตถุดิบที่ผ่านการลวกจะมีอุณหภูมิที่สูง จึงต้องลดอุณหภูมิของวัตถุดิบลงด้วยน้ำเย็น เพื่อให้วัตถุดิบยังคงมีสีที่สดอยู่และลดอุณหภูมิลงก่อนนำไปให้ความเย็น จากนั้นวัตถุดิบที่ผ่านการ Pre-Cooling จะนำไปให้ความเย็น เพื่อลดอุณหภูมิของวัตถุดิบให้ต่ำลงก่อนจะทำการแช่แข็งผลิตภัณฑ์ การแช่แข็งแบบรวดเร็วจะให้ความเย็นกับวัตถุดิบโดยใช้ลมเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำ ใช้ความเร็วลมในระดับที่ทำให้เกิดสภาวะของไหลแข็ง เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็ว วัตถุดิบจะเคลื่อนไปตามสายพานอย่างช้าๆ ผ่านลมเย็น เมื่อวัตถุดิบผ่านการแช่แข็งเสร็จจะนำไปบรรจุใส่ถุง และบรรจุลงกล่อง เพื่อนำไปเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่ห้องเก็บผลิตภัณฑ์ ซึ่งกระบวนการผลิตอาหารแช่แข็งจะแสดงดังภาพ 1

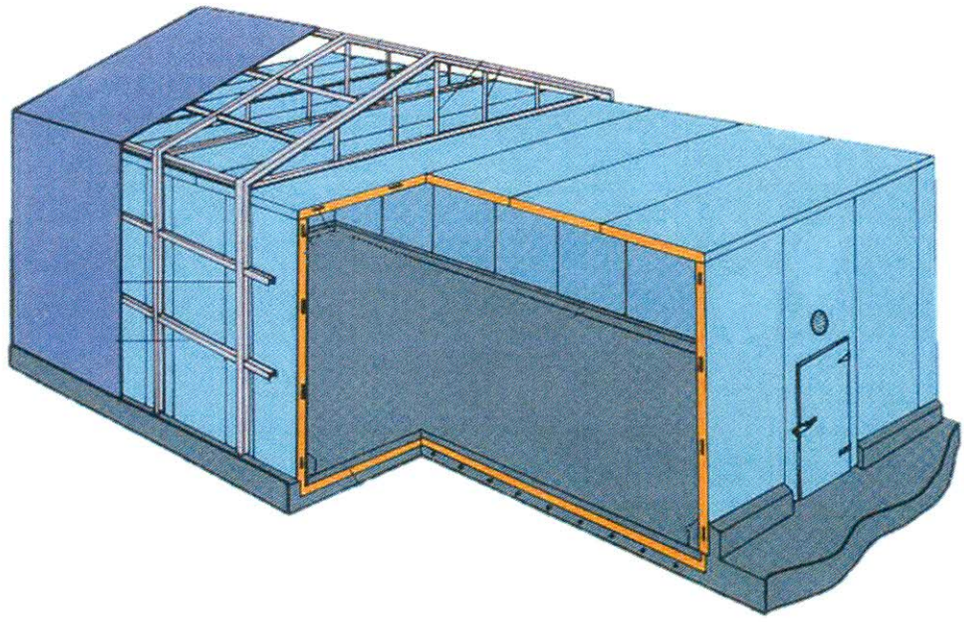
จะเห็นได้ว่าแต่ละกระบวนการในการผลิตอาหารแช่แข็ง จะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตั้งแต่กระบวนการแช่แข็งเป็นต้นมา เพราะอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ถ้าอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ต่ำลงจะเกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ได้ ดังนั้นห้องเย็นจึงเป็นส่วนสำคัญที่จะต้องมีการจัดการและควบคุมอุณหภูมิให้คงที่อยู่เสมอ



ภาพ 1 แผนผังกระบวนการผลิตอาหารแช่แข็ง

ห้องเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (Cold Storage Room)

ห้องเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นห้องที่ใช้สำหรับเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแช่แข็งอย่างรวดเร็วเพื่อเก็บรักษาความเย็นให้คงอยู่ได้นาน ซึ่งอุณหภูมิของห้องเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ จะต้องเป็นห้องที่สะอาด รักษาอุณหภูมิให้คงที่ และมีการกระจายอากาศที่ทั่วถึง ลักษณะของห้องเย็นดังภาพ 2



ภาพ 2 ห้องเก็บผลิตภัณฑ์
ที่มา: สุกิจ, 2553

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในห้องเย็น

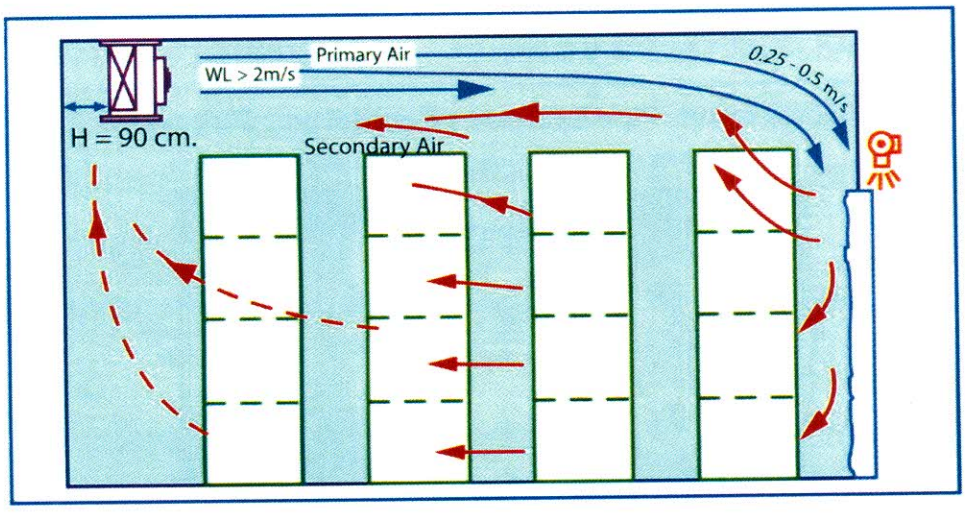
1. อุณหภูมิในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ การกำหนดเพียงอุณหภูมิในห้องเย็น อุณหภูมิตู้สำหรับบรรทุกผลิตภัณฑ์ หรืออุณหภูมิห้องสำหรับการแช่แข็งยังไม่เพียงพอ เนื่องจากอุณหภูมิของตัวผลิตภัณฑ์เองเท่านั้นที่เป็นตัวกำหนดอัตราการเสื่อมสภาพผลิตภัณฑ์ควรจะมีอุณหภูมิต่ำลงจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ก่อนนำมาเก็บรักษา เพราะปกติห้องเย็นที่ใช้เก็บรักษาผลิตภัณฑ์จะมีอุณหภูมิของอากาศที่ต่ำมาก นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการลด

อุณหภูมิลงถึงอุณหภูมิที่เก็บรักษาแล้วมักได้รับผลกระทบจากความร้อนที่ออกมาจากผลิตภัณฑ์ที่อยู่ติดกันและยังไม่ผ่านการลดอุณหภูมิอย่างเพียงพอ ดังนั้นการแช่แข็งที่ดีและการจัดการก่อนการเก็บรักษาจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเช่นกัน (สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2547) สำหรับอุณหภูมิของผลผลิตในการเก็บผักและผลไม้แช่แข็ง คือ -18 องศาเซลเซียส และควรจะรักษาอุณหภูมินี้ตลอดช่วงการเก็บ (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2551)

2. การจัดวางผลิตภัณฑ์และตำแหน่งการติดตั้งคอยล์เย็น

แม้ว่าการเลือกเครื่องทำความเย็นที่สามารถทำอุณหภูมิและควบคุมความชื้นได้ตามที่ออกแบบคำนวณแล้ว หากว่าการจัดวางผลิตภัณฑ์และตำแหน่งการติดตั้งคอยล์เย็นไม่เหมาะสม ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความเสียหายได้เช่นกัน ผลิตภัณฑ์ที่จัดวางควรสัมผัสกับอากาศเย็นอย่างทั่วถึง และไม่ควรจัดวางผลิตภัณฑ์แน่นเกินไป จนกระทั่งอากาศเย็นไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปได้ ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ส่วนนั้นเกิดความเสียหายได้ง่ายดังภาพ 3



ภาพ 3 การจัดวางผลิตภัณฑ์และการตำแหน่งการติดตั้งคอยล์เย็น
ที่มา: สุกิจ, 2553

ดังนั้นการจัดวางตำแหน่งของคอยล์เย็น จึงมีความสำคัญอย่างมากต่อผลของการทำความเย็นและผลิตภัณฑ์ภายในห้อง ซึ่งลักษณะของการจัดวางตำแหน่งของคอยล์เย็นสามารถแบ่งแยกได้ดังต่อไปนี้

(ก) ห้องเย็นที่มีความยาวของห้องที่ยาวมาก จำเป็นต้องใช้คอยล์เย็นสองตัวเพื่อส่งลม และควรติดตั้งให้คอยล์เย็นสองตัวหันหลังชนกัน โดยติดตั้ง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของห้อง ไม่ควรติดตั้งคอยล์เย็นให้หันหน้าเข้าหากัน เนื่องจากคอยล์เย็นจะดูดอากาศเย็นที่เป่าออกจากคอยล์เย็นฝั่งตรงข้าม ทำให้ห้องเย็นไม่ได้รับความเย็นหรือทำอุณหภูมิไม่ได้ตามต้องการ

(ข) ห้องเย็นที่มีข้อจำกัดความยาวของห้องที่สั้นจนเกินไป (มีความยาวห้องประมาณ 1/3 ของระยะส่งลมของคอยล์เย็น) จำเป็นต้องติดตั้งแผ่นบังคับลมให้วิ่งขึ้นและไหลไปตามเพดานเพื่อกระจายลมอย่างทั่วถึงทั้งห้อง

(ค) ทำการติดตั้งแผ่นบังคับลมไว้ที่มุมบนของปลายห้อง เพื่อลดความสูญเสียของลม และบังคับลมให้ไหลลงสู่ด้านล่างผ่านไปยังตัวผลิตภัณฑ์

3. การส่งลมและการกระจายลม

การส่งลมและการกระจายลมมีความสำคัญต่อการออกแบบห้องเย็นเป็นอย่างมาก ห้องเย็นที่มีลักษณะที่กว้างและยาว ควรเลือกคอยล์เย็นที่มีหน้าตัดกว้าง เพื่อรัศมีการกระจายลมจะสามารถแผ่กระจายไปทั่วทุกส่วน หรือบริเวณของห้องโดยไม่มีจุดอับ การส่งลมของคอยล์เย็นจะต้องสามารถส่งลมเย็นได้ไกลถึงท้ายห้อง เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดพื้นที่ที่เป็นจุดอับหรือไม่ได้รับความเย็นและค่าความเร็วอากาศที่เหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แช่แข็งควรอยู่ที่ 0.5 ถึง 2.5 เมตรต่อวินาที (George and Athanasios, 2002)

การจำลองการไหล

การจำลองการไหลเป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บนคอมพิวเตอร์ ที่สามารถมองเห็นลักษณะการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศในสภาวะหนึ่งๆ และสามารถทำนายสภาวะเชิงความร้อน ความเร็ว หรือทิศทางของอากาศได้ สามารถศึกษาพฤติกรรมต่างๆ ของของไหล และช่วยในการออกแบบทางอุตสาหกรรม เช่น การจำลองการไหลของอากาศภายในห้องเย็น การจำลองการไหลของอากาศภายในตู้ขนส่ง การจำลองการไหลของอากาศในตู้แช่ผลิตภัณฑ์ (Giovanni, 2002) เป็นต้น ซึ่งการจำลองการไหลในรูปแบบต่างๆ อาจจะทำให้ผลลัพธ์ที่ออกมานั้นเปลี่ยนไปด้วย สามารถทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบได้ง่ายบนคอมพิวเตอร์สามารถทำได้ในระยะเวลาที่สั้น ทำให้กระบวนการออกแบบมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเทียบกับกระบวนการแบบเดิมๆ ที่ต้องมีการทดลอง (ปราโมทย์, 2545) การวิเคราะห์การไหลโดยใช้คอมพิวเตอร์สามารถปรับแก้ค่าคุณสมบัติต่างๆ ได้สะดวกและรวดเร็ว เช่น รูปทรงของวัตถุ ชนิดของของไหล และ

สภาวะของของไหล เป็นต้น ทำให้การศึกษาพฤติกรรมการไหลทำได้สะดวกและรวดเร็ว ผลการคำนวณค่าตัวแปรต่างๆ ที่ได้จากการจำลองการไหล สามารถนำไปเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับใช้ปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้มีคุณสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ที่ดีขึ้นโดยใช้ค่าใช้จ่ายในการใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ถูกกว่าการทำการทดลองจริง (ก้อง, 2545) มีการใช้งานทั่วไปของ CFD ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่นการออกแบบห้องที่สะอาด และการขนส่งโดยใช้รถห้องเย็น (Moureh, Menia *et al.*, 2002)

การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics: CFD)

การทำความเข้าใจในปรากฏการณ์ของของไหล การถ่ายเทความร้อน รวมถึงปรากฏการณ์อื่นๆ จำเป็นต้องอาศัยการทดลองที่ใช้ระยะเวลานานและมีค่าใช้จ่ายสูง อาจจะต้องทำการทดลองซ้ำในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบจำลอง โดยแบบจำลองที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นอาจจะทำให้ได้ผลที่ดีหรือไม่ดี เพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้จึงได้มีการนำเอาการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลเข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาเป็นการทำนายปรากฏการทางความร้อน การถ่ายเทมวล และปรากฏการณ์อื่นๆ ซึ่งจะถูกอธิบายพฤติกรรมทางกายภาพในรูปแบบของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equation) สามารถหาคำตอบได้ด้วยการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) เช่น ระเบียบวิธีผลสืบเนื่อง (Finite Difference Method) ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) และระเบียบวิธีไฟไนต์วอร์ลุ่ม (Finite Volume Method) เป็นต้น โดยจะเปลี่ยนสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่ใช้อธิบายพฤติกรรมทางกายภาพ ให้เป็นสมการพีชคณิต (Algebraic Equation) อยู่ในรูปแบบของการบวก ลบ คูณ หาร ที่สามารถหาผลเฉลยได้ง่ายขึ้น การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลไม่ได้เข้ามาแทนที่ทฤษฎีหรือการทดลอง แต่เป็นการสร้างความเข้าใจและการยืนยันผลที่ได้จากทฤษฎีและการทดลอง สามารถนำเสนอค่าของตัวแปรต่างๆ ด้วยรูปภาพเสมือนจริง มีความสวยงาม ง่ายต่อการทำความเข้าใจลักษณะการไหล (เกียรติฟ้า และอัญชิสา, 2011) การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

(ก) ขั้นตอนก่อนการประมวลผล (Pre-Processing)

ในขั้นตอนนี้เป็นการพิจารณาปัญหาที่สนใจ การเลือกสมมติฐานที่เหมาะสม การสร้างแบบจำลองทางกายภาพและการสร้างกริด ในขั้นตอนการสร้างกริดจะต้องมีการตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด (Grid Independent Study) เป็นการหาความเป็นอิสระของกริดที่มีผลต่อ

ความถูกต้องของผลลัพธ์จากการคำนวณการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ซึ่งการตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดจะทำโดยการเพิ่มจำนวนกริดครั้งละ 1/3 ของจำนวนกริดเดิม แล้วตรวจสอบดูว่าที่จำนวนกริดขนาดไหนที่ไม่ทำให้คำตอบเปลี่ยนแปลง สามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกความหนาแน่นของกริดในแบบจำลองได้และสามารถเลือกใช้กริดจำนวนที่น้อยที่สุดที่ไม่ทำให้ผลคำตอบเปลี่ยนแปลง ทำให้ลดระยะเวลาและขั้นตอนในการคำนวณลงได้(Yao, Wang *et al*, 2006)

(ข) ขั้นตอนการประมวลผล (Processing or Solver Setting)

ขั้นตอนนี้จะเลือกใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขให้เหมาะสมกับปัญหา กำหนดคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ ในแบบจำลอง กำหนดเงื่อนไขในการทำงาน เงื่อนไขเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขต รายละเอียดของ Solver Control และทำการประมวลผล

(ค) ขั้นตอนหลังการประมวลผล (Post-Processing)

ขั้นตอนหลังการประมวลผลสามารถแยกเป็นการตรวจผลคำตอบ และการปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้ได้คำตอบที่มีความถูกต้องมากขึ้นโดยการตรวจผลคำตอบพิจารณาจากการแสดงผลของภาพการกระจายตัวของอากาศหรืออุณหภูมิ สามารถบอกถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นหรือแสดงค่าออกมาเป็นตัวเลขต่างๆ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน เป็นต้น เมื่อมีการตรวจผลคำตอบแล้วสามารถกลับไปแก้ไขปรับปรุงในส่วนที่คิดว่ายังไม่เหมาะสมได้ต่อไป เช่น ค่าความละเอียดของกริด หรือการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต ซึ่งอาจจะทำให้ผลคำตอบใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น

ระเบียบวิธีไฟไนต์วอร์ลุ่ม

การวิเคราะห์ปัญหาการไหลเพื่อหาความเร็ว ความดัน และอุณหภูมิ ฯลฯ สำหรับใช้ในการออกแบบงานทางวิศวกรรมหรือการศึกษางานทางวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีทางการคำนวณพลศาสตร์ของไหล ซึ่งได้เข้ามามีบทบาทและก่อให้เกิดประโยชน์เป็นอย่างมากในปัจจุบัน วิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหลผสมผสานกับความรู้ทางด้านระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยทำการคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ซึ่งเป็นสมการที่แสดงความสมดุลของการไหลนั้น ก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่สามารถแสดงได้ด้วยกราฟิกสี ทำให้นักวิเคราะห์สามารถเข้าใจในปรากฏการณ์ของการไหลได้เป็นอย่างดี เป็นผลให้สามารถปรับปรุง ดัดแปลงรูปแบบของการออกแบบจนได้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ก่อนนำไปสร้างจริงหรือทำการทดลองอีกต่อหนึ่งเพื่อย้ำความมั่นใจในการออกแบบนั้น

ระเบียบวิธีไฟไนต์วอร์ลุ่มเป็นวิธีการสำหรับการแสดงและการประเมินสมการเชิงอนุพันธ์บางส่วนในรูปแบบของสมการพีชคณิต สามารถคำนวณค่าที่ไม่ต่อเนื่องในรูปทรงเรขาคณิต ในวิธีการไฟไนต์วอร์ลุ่ม สมการเชิงอนุพันธ์บางส่วนที่มีค่าแตกต่างจะถูกแปลงเป็นอินทิกรัลพื้นผิวโดยใช้ทฤษฎีบทแตกต่าง เงื่อนไขเหล่านี้จะมีการประเมินว่า เป็นฟลักซ์ที่พื้นผิวเนื่องจากปริมาณการไหลเข้าที่กำหนดจะเหมือนกับปริมาณที่ออกที่ ข้อดีของวิธีไฟไนต์วอร์ลุ่ม คือเป็นวิธีการที่จะนำมาใช้ในการคำนวณพลศาสตร์ของไหลได้หลายรูปแบบ

ไฟไนต์วอร์ลุ่มและองค์ประกอบความรู้ที่จำเป็น

ศักยภาพของโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้คำนวณพลศาสตร์ของการไหล มักทำให้ผู้วิเคราะห์เข้าใจว่าสามารถใช้โปรแกรมเหล่านี้เพื่อหาผลลัพธ์ของการไหลสำหรับปัญหาใดๆ ได้โดยง่าย เนื่องจากโปรแกรมเหล่านี้ตั้งอยู่บนความรู้ทางคณิตศาสตร์และขั้นตอนการคำนวณที่ค่อนข้างลึกซึ้ง ผู้ที่สามารถใช้โปรแกรมเหล่านี้ได้ถูกต้องอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีความรู้ที่เพียงพอ องค์ประกอบของความรู้ที่ต้องการนี้อาจจำแนกออกเป็น 5 ประการ คือ

1. ความรู้ในระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางด้านการคำนวณพลศาสตร์ของการไหลตั้งอยู่บนการแก้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยระบบใดระบบหนึ่งที่กำหนดให้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องศึกษาว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นถูกสร้างขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาของการไหลที่ครอบคลุม (Governed) ด้วยระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยประเภทใด นอกจากนั้นความเข้าใจทางกายภาพในแต่ละพจน์ของระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนั้นก็มีความสำคัญมากเช่นกันในการบ่งบอกศักยภาพ (Capability) และขอบเขตจำกัด (Limitation) ของโปรแกรมเอง พจน์ต่าง ๆ ในระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนี้ยังบ่งบอกต่อไป การแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ต้องการความลึกซึ้งของระเบียบวิธีการคำนวณมากน้อยเพียงใดและเป็นผลต่อเนื่องต่อเวลาที่ใช้ในการคำนวณปัญหานั้นๆ อย่างไร ดังนั้นความเข้าใจในระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยจึงมีความสำคัญที่จำเป็นต้องทำความเข้าใจก่อนลงมือใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้น

2. ความเข้าใจในระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข เป็นความรู้พื้นฐานและองค์ประกอบหนึ่งที่จำเป็นสำหรับการคำนวณ ความรู้พื้นฐานในระเบียบวิธีเชิงตัวเลขนี้ประกอบด้วย ความรู้ของฟังก์ชันของการประมาณภายใน (Interpolation Functions) การดิฟเฟอเรนชิเอต และการอินติเกรตเชิงตัวเลข (Numerical Differentiations and Integrations) ความรู้พื้นฐานในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์สามัญ (Ordinary Differential Equations) รวมทั้งสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยและที่สำคัญที่สุดคือความรู้ในระเบียบวิธีต่าง ๆ ที่ใช้แก้ระบบสมการพีชคณิต (System of Algebraic Equations) ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปแบบเชิงเส้นที่ประกอบด้วย n สมการ

$$\underset{(n\times 1)}{[A]}\underset{(n\times 1)}{\{X\}} = \underset{(n\times 1)}{\{B\}} \qquad ...(2.1)$$

โดย $\{X\}$ เป็นเวกเตอร์ (Vector or Column Matrix) ที่ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่า x_1, $x_2, x_3, ..., x_n$; $\{B\}$เป็นเวกเตอร์ที่ประกอบด้วยตัวรู้ค่าจำนวน n ค่าและในกรณีนี้ $[A]$ เป็นเมตริกซ์ที่ประกอบด้วยสัมประสิทธิ์ซึ่งเป็นตัวเลขจำนวน $n \times n$ ค่า ในการแก้ปัญหาทางปฏิบัตินั้นเวลาที่ใช้ไปในการแก้ระบบสมการนี้จะมากกว่าเวลาที่ใช้ไปสำหรับการคำนวณในส่วนอื่น ๆ มากทีเดียว

3. ความรู้ในระเบียบวิธีไฟไนต์วอร์ลุ่ม การวิเคราะห์ปัญหาใด ๆ ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลัก 3 ประการ คือ ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยที่ครอบคลุมปัญหานั้น เงื่อนไขขอบเขต และลักษณะรูปร่างปัญหานั้น ระเบียบวิธีไฟไนต์วอร์ลุ่มเป็นระเบียบวิธีที่ตอบสนองทำให้องค์ประกอบหลักทั้งสามที่ต้องการนี้มีความสมบูรณ์ เริ่มจากการแทนลักษณะรูปร่างของปัญหาด้วยวอร์ลุ่มขนาดเล็กทำให้การสร้างโดเมนของการคำนวณมีความเที่ยงตรงมากกว่าการตีตารางสี่เหลี่ยมที่ใช้กับระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง

วิธีไฟไนต์วอร์ลุ่มเป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อหาผลเฉลยโดยประมาณ (Approximate Method) โดยการสมมุติลักษณะการกระจายของผลลัพธ์บนวอร์ลุ่มด้วยฟังก์ชันแบบง่าย ๆ ดังนั้นจึงหมายความว่า จำเป็นต้องใช้วอร์ลุ่มขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์สูงเพื่อที่จะได้มาซึ่งผลลัพธ์ที่มีความเที่ยงตรง

4. ความเข้าใจในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ความรู้ความเข้าใจในขั้นตอนการคำนวณซึ่งถูกประดิษฐ์ขึ้นเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สอดคล้องกันจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อผู้วิเคราะห์ปัญหา มีผู้ใช้จำนวนไม่น้อยที่พยายามใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เพื่อแก้ปัญหาการไหลที่มีความซับซ้อนที่ประกอบด้วยตัวไม่ทราบค่าจำนวนมาก การคำนวณอาจใช้เวลาต่อเนื่องนานหลายวัน ความเข้าใจในขั้นตอนของการคำนวณในโปรแกรมคอมพิวเตอร์เหล่านี้สามารถนำไปสู่แนวทางซึ่งช่วยลดเวลาในการคำนวณได้เป็นอย่างมากโดยก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่มีความเที่ยงตรงทัดเทียมกัน ความไม่เข้าใจในขั้นตอนการคำนวณที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์บางครั้งอาจนำไปสู่การไม่ได้มาซึ่งผลลัพธ์เลยหลังจากใช้เวลาในการคำนวณเป็นระยะเวลานานหรือหากได้ผลลัพธ์อาจได้ผลลัพธ์ที่ไม่เที่ยงตรงก็เป็นได้

5. ประสบการณ์ในการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ความสามารถในการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น อาจจะกล่าวได้ว่าขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการฝึกฝนที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ การใช้เวลาฝึกฝนที่หน้าจอนานมากเท่าใดก็จะก่อให้เกิดประสบการณ์มากขึ้นเท่านั้น

ประสบการณ์เหล่านี้จะไม่สามารถเกิดขึ้นจากการนั่งฟังในชั้นเรียนเท่านั้น แต่จะเกิดขึ้นจากการลองฝึกด้วยตัวเอง

นอกจากองค์ประกอบทั้ง 5 ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นนี้จะสามารถเข้าใจได้ว่าการแก้ปัญหาพลศาสตร์ของไหลด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น ไม่ใช่ต้องมีความรู้ในระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์เท่านั้น แต่จำเป็นต้องประกอบด้วยด้วยความรู้พื้นฐานรอบข้างอีกหลายประการ ซึ่งต้องสั่งสมมาอย่างน้อยในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยของพลศาสตร์ของไหล

สมการอนุรักษ์มวลหรือสมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation)

สมการนี้ได้มาจากการเขียนสมการสมดุลมวลของปริมาตรควบคุมตามกฎการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass) ซึ่งกล่าวไว้ว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงมวลภายในปริมาตรควบคุมจะเท่ากับผลต่างของการไหลของมวลที่ไหลเข้าและออกปริมาตรควบคุม ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \left[\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \right] = 0 \qquad ...(2.2)$$

โดยสมการนี้สามารถเขียนอยู่ในรูปเวกเตอร์ได้เป็น

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla.\left(\rho \vec{V}\right) = 0 \qquad ...(2.3)$$

เมื่อ $\vec{V} = u\hat{i} + v\hat{j} + w\hat{k}$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

u คือ ความเร็วย่อยในแนวแกน x (เมตรต่อวินาที)

v คือ ความเร็วย่อยในแนวแกน y (เมตรต่อวินาที)

w คือ ความเร็วย่อยในแนวแกน z (เมตรต่อวินาที)

t คือ เวลา (วินาที)

$\vec{V}$ คือ เวคเตอร์ความเร็วของการไหลที่ตำแหน่งต่าง ๆ

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum Equation)

สมการอนุรักษ์โมเมนตัมมีที่มาจากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน (Newton's Second Law) ซึ่งมีใจความว่า ผลรวมของแรงทั้งหมดที่กระทำต่อปริมาตรควบคุมจะต้องเท่ากับผลรวมของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมภายในปริมาตรควบคุม (อัตราการไหลเข้าออกสุทธิของโมเมนตัม) โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t}+\nabla.\left(\rho u\vec{V}\right)=-\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial \sigma_x}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z}+\rho f_x \qquad ...(2.4a)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t}+\nabla.\left(\rho v\vec{V}\right)=-\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x}+\frac{\partial \sigma_y}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z}+\rho f_y \qquad ...(2.4b)$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t}+\nabla.\left(\rho w\vec{V}\right)=-\frac{\partial p}{\partial z}+\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y}+\frac{\partial \sigma_z}{\partial z}+\rho f_z \qquad ...(2.4c)$$

เมื่อ σ คือ ความเค้นตั้งฉาก (นิวตันต่อตารางเมตร)

τ คือ ความเค้นเฉือน (นิวตันต่อตารางเมตร)

f คือ แรง (นิวตัน)

สมการเชิงอนุพันธ์ของการอนุรักษ์โมเมนตัมหรือเรียกอีกอย่างว่า สมการนาเวียร์สโตกส์ (Navier-Stokes Equations) ในรูปแบบอนุรักษ์ (Conservation Form) โดยตั้งสมมติฐานว่าของไหลเป็นของไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian Fluid) กล่าวคือสามารถนำกฎความเสียดทานของสโตกส์ (Stokes's Law) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเครียดภายในของไหลมาประยุกต์ใช้ได้ดังนี้

$$\sigma_x=-\frac{2}{3}\mu\nabla.\vec{V}+2\mu\frac{\partial u}{\partial x} \qquad ...(2.5a)$$

$$\sigma_y=-\frac{2}{3}\mu\nabla.\vec{V}+2\mu\frac{\partial v}{\partial y} \qquad ...(2.5b)$$

$$\sigma_z=-\frac{2}{3}\mu\nabla.\vec{V}+2\mu\frac{\partial w}{\partial z} \qquad ...(2.5c)$$

$$\tau_{xy}=\tau_{yx}=\mu\left[\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}\right] \qquad ...(2.5d)$$

$$\tau_{xz}=\tau_{zx}=\mu\left[\frac{\partial w}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial z}\right] \qquad ...(2.5e)$$

$$\tau_{yz}=\tau_{zy}=\mu\left[\frac{\partial w}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial z}\right] \qquad ...(2.5f)$$

เมื่อ μ คือ ความหนืด (กิโลกรัมต่อเมตรวินาที)

สมการอนุรักษ์พลังงาน (Energy Equation)

สมการนี้มีที่มาจากกฎการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy) ที่กล่าวว่า ผลรวมของพลังงานที่เข้าสู่ปริมาตรควบคุมกับพลังงานที่ถูกสร้างขึ้นจะเท่ากับผลรวมของพลังงานที่ถ่ายเทออกจากปริมาตรควบคุมกับพลังงานที่ถูกสะสมในปริมาตรควบคุม โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์ได้ดังนี้

$$\rho\frac{D}{Dt}\left(e+\frac{V^2}{2}\right)=\rho\dot{q}+\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{\partial T}{\partial z}\right)-\left(\frac{\partial(up)}{\partial x}+\frac{\partial(vp)}{\partial y}+\frac{\partial(wp)}{\partial z}\right)$$
$$+\frac{\partial(u\tau_{xx})}{\partial x}+\frac{\partial(u\tau_{yx})}{\partial y}+\frac{\partial(u\tau_{zx})}{\partial z}+\frac{\partial(v\tau_{xy})}{\partial x}+\frac{\partial(v\tau_{yy})}{\partial y}+\frac{\partial(v\tau_{zy})}{\partial z}$$
$$+\frac{\partial(w\tau_{xz})}{\partial x}+\frac{\partial(w\tau_{yz})}{\partial y}+\frac{\partial(w\tau_{zz})}{\partial z}+\rho\vec{f}.\overline{V} \qquad ...(2.6)$$

เมื่อ e คือ พลังงาน (จูล)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์ต่อตารางเมตรเคลวิน)

$\dot{q}$ คือ ฟลักซ์ความร้อน (จูลต่อตารางเมตร)

T คือ อุณหภูมิ (เคลวิน)

ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับโปรแกรม Autodesk® Simulation CFD

โปรแกรมที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์การไหลของของไหลและความร้อน มีความสามารถในจำลองการถ่ายโอนที่รวดเร็วและแม่นยำของการไหลแบบปั่นป่วนและของไหลแบบอัดตัวได้ พร้อมกับวิเคราะห์การนำและการถ่ายเทความร้อน

การศึกษาการออกแบบสามารถเชื่อมโยงระบบ CAD หรือเชื่อมต่อโดยตรง สามารถปรับปรุงโมเดลโดยใช้หลักการไฟไนต์วอร์ลุ่ม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์และสามารถลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจากโปรแกรมมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องซึ่งสามารถทำการคำนวณ การปรับแต่งขนาดอัตโนมัติ ศึกษาการออกแบบสิ่งแวดล้อมสำหรับการติดตั้งการสำรวจและการตัดสินใจในการใช้งานทั่วไป

ความสามารถในการวิเคราะห์ของโปรแกรม

(ก) ความสามารถในการจำลองการไหลของของไหล

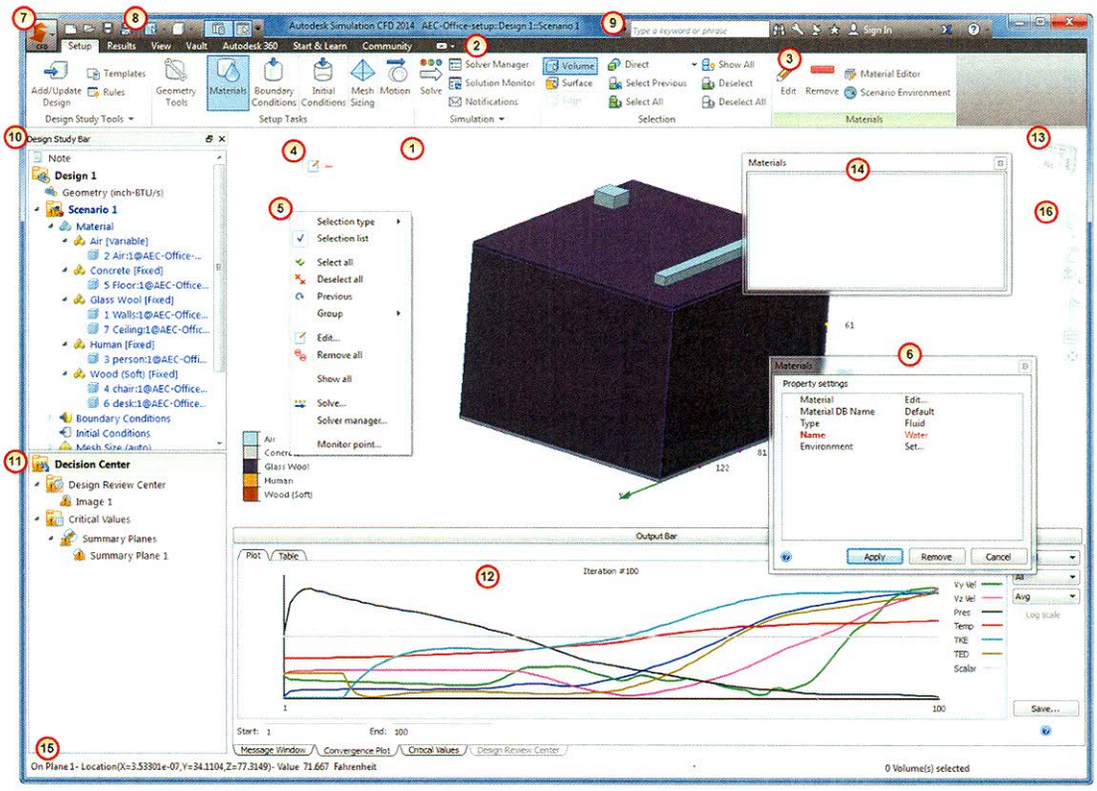
- การไหลแบบราบเรียบ
- การไหลแบบปั่นป่วน

- ของไหลแบบอัดตัวได้
- ของไหลแบบอัดตัวไม่ได้
- สภาวะคงที่

(ข) ความสามารถในการจำลองความร้อน

- การนำความร้อน
- การพาความร้อน
- การพาความร้อนแบบบังคับ
- การพาความร้อนแบบธรรมชาติ

ซึ่งภายในโปรแกรม Autodesk® Simulation CFD มีส่วนต่างๆ ที่สำคัญ เมื่อเปิดโปรแกรมหน้าจอมีส่วนการทำงานดังภาพ 4



ภาพ 4 หน้าต่างการทำงานของโปรแกรม Autodesk® Simulation CFD

1. Graphics Window หน้าต่างกราฟิก แสดงรูปทรงเรขาคณิต รูปแบบ และมีการควบคุมการโต้ตอบโดยตรงกับรูปแบบ และสามารถมองเห็นสิ่งที่ควบคุมภายในหน้าต่างกราฟิก

2. Ribbon เป็นตัวควบคุมสำหรับทุกขั้นตอนของการจำลอง

3. Context Panels รายการการติดตั้งที่เกี่ยวข้อง ปรากฏทางด้านขวาของตัวควบคุมขึ้นอยู่กับการปรับปรุงงานที่ใช้และง่ายต่อการควบคุม

4. Context Toolbars แถบเครื่องมือที่สะดวกในการเข้าถึงฟังก์ชั่นที่ใช้งานบ่อย

5. Right-Click Menus เมนูคลิกขวา มีการควบคุมที่ใช้งานกันทั่วไป สะดวกในการเข้าถึงคำสั่ง

6. Quick Edit Dialogs กล่องโต้ตอบแก้ไขด่วนเป็นเครื่องมือหลักสำหรับการระบุพารามิเตอร์ และค่าสำหรับรูปแบบอย่างรวดเร็ว โต้ตอบ แก้ไขที่ประกอบด้วยเขตข้อมูล สำหรับการตั้งค่างานที่เฉพาะเจาะจง ซึ่งเป็นส่วนของขั้นตอนที่สำคัญในการทำงานของ Autodesk® Simulation CFD

7. Application Menu การจัดการไฟล์ การตั้งค่า และการเข้าถึงที่บันทึกไว้

8. Quick Access Toolbar การเข้าถึงด่วนประกอบด้วยตัวควบคุม ที่เข้าถึงได้หลายอย่าง เช่น คำสั่ง ไฟล์ และการควบคุม มีลักษณะแถบเครื่องมือที่สามารถปรับแต่งได้ง่ายเพื่อให้เหมาะกับความชอบส่วนบุคคล

9. Info Center การเชื่อมต่อกับ Autodesk® สำหรับข้อมูลและข่าวสาร

10. Design Study Bar เป็นเครื่องมือที่ใช้ โต้ตอบสำหรับการกำหนด และการจัดการทุกด้านของกระบวนการ Autodesk® Simulation CFD

11. Decision Center สำหรับการเปรียบเทียบทางเลือกในการออกแบบใช้เพื่อระบุการออกแบบที่ตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ของการออกแบบ

12. Output Bar เป็นฟอร์มการสื่อสารหลักของ Autodesk® Simulation CFD ข้อความแสดงสถานะ และข้อผิดพลาดจะมีการเขียนข้อความหน้าต่างในระหว่างขั้นตอนที่สำคัญหลายกระบวนการจำลอง

13. View Cube เครื่องมือนำทาง Autodesk® View Cube ที่สะดวกสบายและวิธีการทำงานเพื่อนำทางรูปแบบและเพื่อปรับมุมมองได้อย่างรวด

14. Selection List สลับการแสดงผล การเลือกรายการ เลือกการดำเนินการ

15. Status Bar แถบสถานะแสดงค่าจากผลละเอียดบนพื้นผิวและผลบนระนาบ

16. Navigation Bar แถบเครื่องมือนำทางเครื่องมือต่างๆในการควบคุมการวางแนวทางรูปแบบและมุมมอง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดนัย (2553) ได้ศึกษาการลดอุณหภูมิผลผลิตและการจัดเรียงผลิตในห้องเย็นที่จะต้องมีการจัดเรียบไม่สูงเกินไปจนปิดกั้นทางไหลของอากาศด้านบนที่ออกจากเครื่องทำความเย็นและอากาศเย็นต้องหมุนเวียนผ่านภาชนะบรรจุได้ทุกด้าน การวางเรียงภาชนะไม่ถูกต้องจะปิดกั้นการไหลของอากาศ ซึ่งทำให้ผลผลิตที่อยู่ในบริเวณที่อากาศเย็นผ่านไปไม่ถึงจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้การตรวจสอบอุณหภูมิภายในห้องเย็น ควรตรวจวัดจากหลายจุดภายในห้องเย็น ถ้าพบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากเครื่องทำความเย็นและอุณหภูมิของอากาศในห้องต่างกันเกิน 0.8 องศาเซลเซียส แสดงว่าการหมุนเวียนของอากาศภายในห้องไม่ดีพอ

สุกิจ (2553) ศึกษาการรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ในห้องเย็น ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็น ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ในการเก็บรักษาในห้องเย็นได้แก่ เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์และค่าอุณหภูมิในการเก็บรักษา การจัดวางผลิตภัณฑ์ในห้องเย็น ตำแหน่งการติดตั้งคอยล์เย็น การส่งลม การกระจายลม และลักษณะการออกแบบคอยล์เย็น นอกจากนั้นการรักษาความแตกต่างของค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ จะช่วยในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพยาวนานแล้ว ยังช่วยให้คอยล์เย็นเกิดน้ำแข็งน้อยลง ซึ่งช่วยประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างมาก เพราะการที่คอยล์เย็นทำงานที่อุณหภูมิต่ำลงเพียง 1 องศาเซลเซียส จะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากถึง 3-4 เปอร์เซ็นต์

Enhai, Tingting *et al.* (2014) ทำการศึกษาลักษณะการไหลของอากาศและกระบวนการละลายน้ำแข็งในห้องเย็นขนาดใหญ่ระดับอุตสาหกรรม โดยสนามการไหลของอากาศใช้การคำนวณทางพลศาสตร์และใช้สมการการไหลแบบปั่นป่วนมาช่วยวิเคราะห์ ซึ่งความเร็วอากาศที่เหมาะสมอยู่ที่ 2.05 เมตรต่อวินาที วงจรการละลายน้ำแข็งได้ถูกปรับให้ดีขึ้นส่งผลให้การละลายน้ำแข็งดีขึ้นและมีผลประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านไฟฟ้าต่อเดือน 5,530 หยวน นอกจากนี้สามารถลดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศได้ 1.82 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของโปรแกรมอยู่ที่ 1.89 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการทำความเย็นและค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตลดลง 8.30 เปอร์เซ็นต์และ 10.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Jing, Xiao-Hua *et al.* (2006) ได้นำการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) มาใช้เกี่ยวกับการไหลของของไหลและแสดงให้เห็นว่าประโยชน์ของ CFD ช่วยให้อัตราการเย็นตัวและคุณภาพของอาหารที่การจัดเก็บในห้องเย็นสูงขึ้น ซึ่งเกี่ยวข้องกับการไหล การออกแบบการไหลโดยใช้วิธีการแบบดั้งเดิมโดยจะใช้เวลาและค่าใช้จ่ายค่อนข้างมาก โดยผลที่ได้ไม่น่าเชื่อถือและการทำซ้ำไม่ดีพอ จึงได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบสองมิติของห้องเย็นที่มีขนาดความ

กว้าง 4.5 เมตร ความยาว 3.3 เมตร และความสูงของห้อง 2.5 เมตรโดยทำการออกแบบมุมห้องให้มีส่วนโค้งเพื่อดูพฤติกรรมการไหล ผลการจำลองลักษณะสะท้อนให้เห็นการไหลของอากาศและการกระจายอุณหภูมิ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการไหลในห้องเย็นถูกนำมาวิเคราะห์ผลลัพธ์ของการคำนวณแสดงให้เห็นว่าการออกแบบมุมห้องของการไหล และการจัดวางของอาหารมีอิทธิพลต่อการไหลและอุณหภูมิภายในห้องเย็นอย่างมาก

Maria, Trond *et al.* (2011) ได้ศึกษาการกระจายการไหลของอากาศในอุโมงค์แช่แข็ง โดยทำการศึกษาการทำงานของพัดลมและผลกระทบการใช้พลังงานในระบบทำความเย็น เพื่อปรับปรุงการกระจายการไหลของอากาศภายในอุโมงค์ ทำการทดลองในอุโมงค์แช่แข็งที่มีขนาดความกว้าง 7.35 เมตร ยาว 5.9 เมตร สูง 6.7 เมตร โดยการใช้แบบจำลอง Computational fluid dynamic (CFD) ในการวิเคราะห์การไหลของอากาศ ผลที่แสดงออกมาพบว่าอุโมงค์แช่แข็งที่มีเพดานปกติ การไหลของอากาศภายในอุโมงค์นั้นกระจายตัว ทำให้อัตราการแช่แข็งไม่มีความสม่ำเสมอ จึงทำการปรับปรุงอุโมงค์แช่แข็งโดยการเพิ่มแผ่นบังคับการไหล ผลที่ได้คือการไหลของอากาศภายในอุโมงค์แช่แข็งมีลักษณะที่ไม่กระจายตัว เนื่องจากมีการบังคับให้อากาศไหลไปตามแผ่นบังคับการไหล ทำให้อัตราการแช่แข็งสม่ำเสมอและรวดเร็วมากขึ้น หลังจากศึกษาการกระจายการไหลของอากาศแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น ประสิทธิภาพของพัดลม และการใช้พลังงานในการแช่แข็ง พบว่าประสิทธิภาพการทำความเย็นเพิ่มขึ้น เนื่องจากการทำงานของพัดลมมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น จากอัตราการแช่แข็งที่รวดเร็วขึ้นมีผลทำให้การใช้พลังงานในการแช่แข็งลดลงอีกด้วย

Moureh, Menia *et al.* (2002) ศึกษาการกระจายตัวของอากาศในรถส่งสินค้า ทำการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพของการกระจายตัวอากาศภายในรถส่งสินค้า เพื่อลดความแตกต่างของอุณหภูมิภายในรถ โดยทำการทดลองการจำลองการไหลภายในรถส่งสินค้าที่มีชั้นผลิตภัณฑ์เต็มรถเพื่อดูการกระจายตัวของอากาศภายในรถส่งสินค้า พบว่า อากาศที่ออกจากคอยล์เย็นเกิดการปั่นป่วนบริเวณเพดานรถเป็นส่วนมาก ส่วนอากาศที่เกิดการปั่นป่วนน้อยส่วนมากพบในพื้นที่ภายในช่องว่างภายในชั้นผลิตภัณฑ์ จึงได้ทำการปรับปรุงการจัดวางชั้นผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้นโดยวางบนพาเลตไม้ให้อากาศสามารถกระจายตัวสู่ด้านล่างชั้นผลิตภัณฑ์ได้ดีมากขึ้น

Serap and Selcuk (2005) ศึกษาการกระจายตัวของอากาศในพื้นที่ทำความเย็นโดยใช้โปรแกรมในการสร้างการกระจายเชิงพื้นที่ของอากาศ แบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 3 ระดับชั้นตามความสูงห้อง และวิเคราะห์ออกมาเป็นค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดต่ำสุด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์ของรูปแบบการกระจายตัว ซึ่งนำมาใช้ในการประเมินการจัดเจ็บข้อมูลการกระจายตัวในห้องเย็น ผลของค่าความเร็วอากาศทั้ง 3 ระดับชั้นมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 161.69

เปอร์เซ็นต์ ระดับชั้นกลางมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดที่ 20.06 เปอร์เซ็นต์ ค่าอุณหภูมิทั้ง 3 ระดับมีเปอร์เซ็นต์ความคลาเคลื่อนที่ 11.42 เปอร์เซ็นต์ ระดับชั้นกลางมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดที่ 9.45 เปอร์เซ็นต์

Yao, Wang *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาความเป็นอิสระของกริดที่มีผลต่อความถูกต้องของผลลัพธ์จากการคำนวณการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ระเบียบวิเชิงตัวเลขโดยใช้แบบจำลองการถ่ายเทความร้อน 2 มิติ ณ สภาวะคงที่ ทำการคำนวณหาผลคำตอบของแบบจำลองที่มีความละเอียดของกริดต่างกัน โดยจะเพิ่มความละเอียดของกริด 1/3 ของจำนวนกริดเดิม เมื่อทำการคำนวณเสร็จจึงนำเอาผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับของเดิม ถ้าผลคำตอบที่ได้ออกมาเปลี่ยนแปลงน้อย สามารถบอกได้ว่า จำนวนกริดที่ใช้คำนวณนั้นมีความเป็นอิสระต่อผลลัพธ์จากการคำนวณ ซึ่งวิธีการนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกความหนาแน่นของกริดในแบบจำลองได้ และทำให้สามารถเลือกใช้จำนวนกริดจำนวนน้อยที่สุดที่ไม่ทำให้ผลคำตอบเปลี่ยนแปลง สามารถลดระยะเวลาและขั้นตอนในการคำนวณลงได้

สรุปกรอบแนวคิด

จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยได้เรียนรู้ถึงเทคนิคการเก็บข้อมูลและแนวทางในการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในห้องเย็น เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรมการจำลองการไหล โดยมีลำดับขั้นตอนการทำงานเริ่มจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นทางกายภาพของห้องเย็น ลักษณะการจัดวางผลิตภัณฑ์ในห้องเย็น รวมถึงศึกษาการใช้งานของโปรแกรมในการจำลองการไหล ศึกษาความเป็นอิสระของกริดโดยทำการเพิ่มจำนวนกริดเซลล์ครั้งละ 1/3 ของจำนวนกริดเดิม (Yao, Wang *et al.*, 2006) ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยนำผลคำตอบที่ได้จากแบบจำลองเทียบกับข้อมูลภาคสนาม ต่อจากนั้นทำการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ แล้วทำการวิเคราะห์ผลคำตอบที่ได้จากการจำลองการไหลในการจัดวางผลิตภัณฑ์รูปแบบต่างๆ โดยนำค่าอุณหภูมิที่ออกจากคอยล์เย็นเทียบกับค่าอุณหภูมิภายในห้องถ้าหากต่างกันไม่เกิน 0.8 องศาเซลเซียส ถือว่ามีการหมุนเวียนของอากาศภายในห้องดี และค่าความเร็วอากาศภายในห้องเย็นต้องอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 2.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นช่วงค่าความเร็วอากาศที่เหมาะสมของการเก็บผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่แข็ง

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

เนื้อหาบทนี้กล่าวถึงเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองที่ใช้ในงานวิจัย วิธีการดำเนินงานวิจัย สถานที่ในการดำเนินงาน แผนภาพของการดำเนินงาน และระยะเวลาที่ทำโครงการ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

ในการสอบเทียบผลที่ได้จากการจำลองการไหลด้วยคอมพิวเตอร์ จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิของอากาศ อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ และความเร็วลมของอากาศ เพื่อนำไปใช้ในการเป็นค่าตั้งต้นของสภาวะขอบเขตที่ต้องป้อนก่อนการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์และอีกส่วนหนึ่งต้องใช้สำหรับสอบเทียบกับผลเฉลยของการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจึงต้องใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้

1. เครื่องวัดความเร็วลม แบบ Hot-wire Anemometer ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 975
2. เครื่องวัดอุณหภูมิพื้นผิว แบบ Infrared Thermometer ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 561 จำนวน 1 เครื่อง
3. คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ จำนวน 2 เครื่อง มีหน่วยประมวลผลกลาง Intel Core i3-2100 CPU@3.10 GHz กับ Intel Core i7-4770 CPU@3.40 GHz ซึ่งทั้งคู่มีหน่วยความจำ (RAM) 16 GB
4. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป AutoCAD® สำหรับการสร้างแบบจำลองห้องเย็น
5. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Autodesk® Simulation CFD สำหรับการจำลองการไหลในห้องเย็น

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ทำการศึกษารายละเอียดห้องเย็น โดยเก็บข้อมูลภาคสนามต่างๆ เช่น ขนาดของห้องเย็น ขนาดของคอยล์เย็น และการจัดวางผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็น เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองของห้องเย็นด้วยคอมพิวเตอร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ห้องเย็นมีขนาด 43.5 × 45.0 × 7.05 เมตร (กว้าง × ยาว × สูง)

1.2 คอยล์เย็นมีทั้งหมด 8 ตัว ขนาดของคอยล์เย็น 0.8 × 2.0 × 1.0 เมตร (กว้าง × ยาว × สูง) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพัดลม 0.7 เมตร

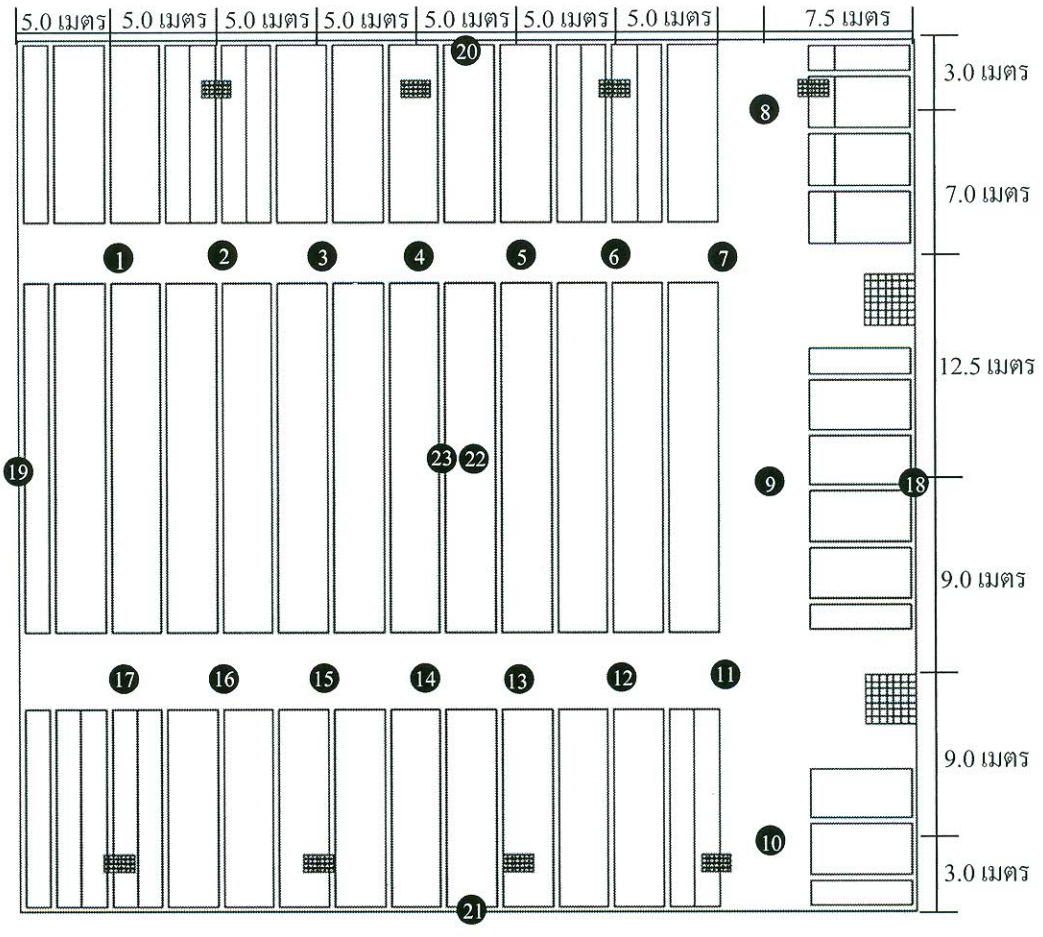
1.3 ผลิตภัณฑ์เป็นถั่วแระแช่แข็ง อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

1.4 พาเลตที่ใช้วางสินค้าภายในห้องเย็นมีขนาด 1.25 × 1.25 × 1.5 เมตร (กว้าง × ยาว × สูง) จำนวน 835 พาเลต มีรูปแบบการจัดวางเป็นแถว แต่ละพาเลตมีความสูงประมาณ 6 เมตร ซึ่งในแถวของพาเลตที่มีตำแหน่งตรงกับคอยล์เย็น พาเลตซ้อนกัน 4 ชั้นแล้วมีความสูง 4.5 เมตร

2. ทำการเก็บข้อมูลภาคสนามภายในห้องเย็นจริง เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากผลการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์

ในการทดลองทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 23 จุด โดยแบ่งเป็นการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และความเร็วอากาศ จำนวนอย่างละ 17 จุด และทำการวัดอุณหภูมิที่ผิวผนังด้านในของห้องเย็น จำนวน 6 จุด ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาพ 5 และตาราง 1

ทำการเก็บข้อมูลในตำแหน่งต่างๆ ที่ระดับความสูง 1.5 เมตร จากพื้นห้องเย็นโดยใช้เครื่องวัดความเร็วลมในการวัดค่าความเร็วอากาศและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ส่วนเครื่องวัดอุณหภูมิพื้นผิวใช้ทำการเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิพื้นผิวบริเวณผนังห้องเย็น

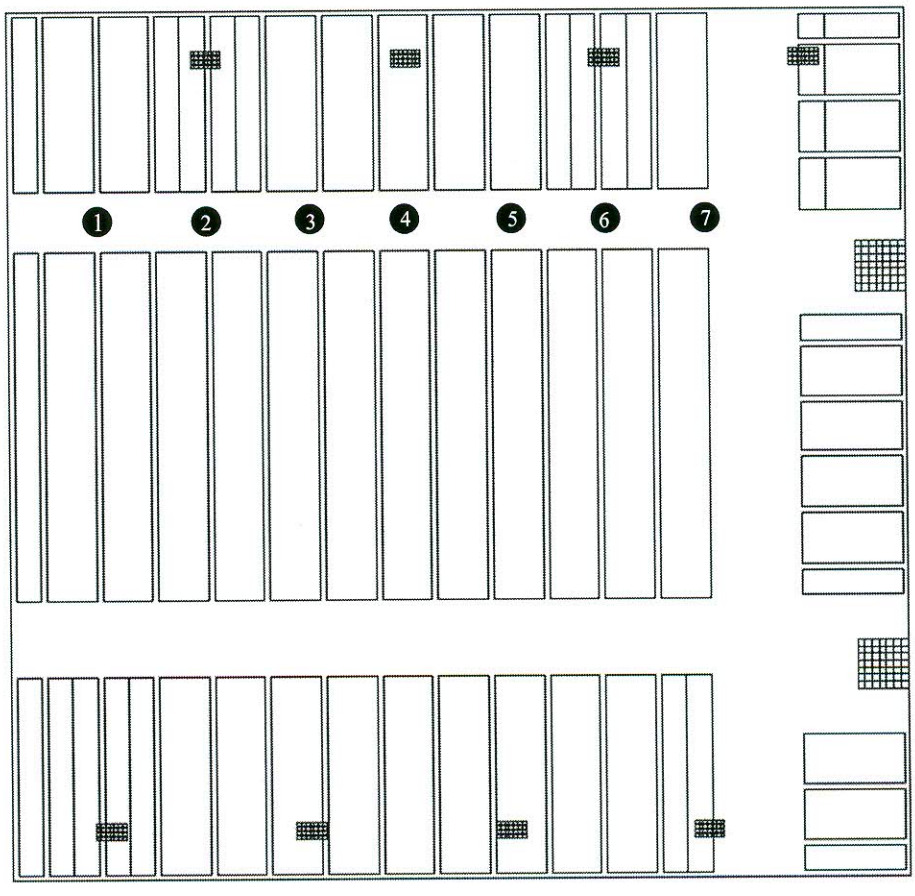


ภาพ 5 ภาพด้านบนของตำแหน่งจุดตรวจวัดข้อมูลภาคสนามในห้องเย็นเก็บผลิตภัณฑ์

ตาราง 1 ตำแหน่งที่ทำการเก็บข้อมูล

ตำแหน่ง	ข้อมูลที่ทำการตรวจวัด
1 ถึง 17	อุณหภูมิกระเปาะแห้งและความเร็วอากาศภายในห้องเย็น
18	อุณหภูมิผิวผนังด้านประตู
19	อุณหภูมิผิวผนังด้านหลังตรงข้ามประตู
20	อุณหภูมิผิวผนังด้านซ้าย
21	อุณหภูมิผิวผนังด้านขวา
22	อุณหภูมิผิวเพดาน
23	อุณหภูมิผิวพื้น

ตำแหน่งที่จะนำไปตรวจสอบความถูกต้องระหว่างผลการทดลอง และผลจากแบบจำลองคอมพิวเตอร์ คือ ตำแหน่งทั้งหมด 7 จุด ดังแสดงในภาพ 6



ภาพ 6 ตำแหน่งการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

3. นำข้อมูลของห้องเย็นที่ได้มาทำการสร้างแบบจำลองของห้องเย็นให้เสมือนจริง โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป AutoCAD®

ในการสร้างแบบจำลองห้องเย็นแบบสามมิติ จะสร้างตามขนาดจริงของห้องเย็นของบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด มีตำแหน่งของคอยล์เย็นเป็นตัวกระจายอากาศเย็นให้กับผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็นทั้งหมด และตำแหน่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์อยู่บนชั้นวาง ซึ่งรูปร่างของผลิตภัณฑ์มีรูปทรงที่ง่ายต่อการสร้างกริด เนื่องจากไม่มีส่วนเว้าหรือส่วนโค้ง ไม่เป็นปัญหาต่อการสร้างกริด

แบบจำลองห้องเย็นแบบสามมิติจะไม่มีอุปกรณ์อย่างอื่น เช่น หลอดไฟ เนื่องจากหลอดไฟอาจทำให้การตั้งเงื่อนไขขอบเขตของการคำนวณนั้นซับซ้อน มีผลต่อการคำนวณการแผ่รังสีความร้อนภายในห้องเย็นด้วย เพราะฉะนั้นจะไม่มีการสร้างอุปกรณ์อื่นๆในแบบจำลองสามมิติ

4. ทำการกำหนดการทดลองตั้งสมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณ และกำหนดเงื่อนไขขอบเขต เพื่อใช้ในการคำนวณในการจำลองการไหล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 การออกแบบการทดลอง

ทำการทดลองในสภาวะคงที่ (Steady State Condition) มีตัวแปรที่ควบคุม คือ อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากคอยล์เย็น และความเร็วอากาศที่ออกจากคอยล์เย็น จากนั้นทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจัดวางผลิตภัณฑ์เพื่อดูการกระจายตัวของอากาศ โดยจะใช้ค่าอุณหภูมิของอากาศที่แตกต่างกันไม่เกิน 0.8 องศาเซลเซียส (ดนัย, 2553) และ George and Athanasios (2002) ที่กล่าวว่า ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แช่แข็งควรมีค่าความเร็วอากาศอยู่ที่ 0.5 ถึง 2.5 เมตรต่อวินาที เป็นตัวบ่งบอกผลเฉลยว่า มีการกระจายตัวของอากาศที่เหมาะสม

4.2 สมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณ

การตั้งสมมติฐานในการคำนวณ เพื่อที่จะได้คำตอบที่ใกล้เคียงมากที่สุด ควรจะกำหนดเงื่อนไขขอบเขตต่างๆ ตามความเป็นจริง จึงต้องตั้งสมมติฐานขึ้นมาเพื่อทำให้การคำนวณเชิงตัวเลขทำได้ง่ายขึ้น โดยในแบบจำลองใช้สมมติฐานดังนี้

4.2.1 กำหนดการไหลของอากาศที่ปล่อยออกมาจากคอยล์เย็นเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulences Flow) และเป็นการไหลที่สามารถอัดตัวได้ (Compressible Flow)

4.2.2 ไม่มีการลื่นไถลที่ผิวผนัง (No Slip)

4.2.3 ในห้องเย็นไม่มีการรั่วซึมของอากาศภายนอกเข้ามาบริเวณประตู

4.2.4 แหล่งความร้อนพิจารณาเฉพาะความร้อนจากสินค้า โดยไม่พิจารณาความร้อนจากแหล่งอื่น

4.2.5 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านผนังพิจารณาเป็นแบบ 1 มิติ และมีทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิวผนัง

เมื่อทำการสร้างแบบจำลองทางกายภาพเสร็จแล้ว ทำการกำหนดค่าวัสดุต่างๆ และกำหนดสมมติฐานเงื่อนไขขอบเขต

4.3 การกำหนดสภาวะปริมาตร

ในแบบจำลองห้องเย็นจะพิจารณาเฉพาะปริมาตรอากาศภายในห้องเย็นเท่านั้น นอกจากพื้นผิวปริมาตรเท่านั้นที่สามารถกำหนดให้เป็นผนัง หรือ Inlet และ Outlet ได้ การกำหนดสภาวะปริมาตรของอากาศพิจารณาว่าอากาศเป็นของไหลที่สามารถอัดตัวได้ โดยกำหนดคุณสมบัติของอากาศดังนี้

4.3.1 ความหนาแน่นของอากาศจะเป็นไปตามกฎของก๊าซในอุดมคติ ซึ่งหาได้จากสมการ โดยกำหนดน้ำหนักโมเลกุลของอากาศเท่ากับ 29 กิโลกรัมต่อกิโลโมล

4.3.2 กำหนดให้ความหนืดของอากาศเป็นค่าคงที่เท่ากับ 1.846×10^{-5} กิโลกรัมต่อเมตร-วินาที ค่าความร้อนเฉพาะของอากาศเท่ากับ 1,007 จูลต่อกิโลกรัม-เคลวิล และค่าการนำความร้อนของอากาศเท่ากับ 0.0263 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิล

4.4 เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)

สำหรับแบบทดลองห้องเย็นที่สภาวะคงที่ได้กำหนดเงื่อนไขขอบเขตไว้ 3 แบบ คือ ทางเข้า (Inlet) ทางออก (Outlet) และผนัง (Wall) ซึ่งนำข้อมูลการตรวจวัดจากการทดลองที่ได้จากการวัดค่าจริงในห้องเย็นมากำหนดเงื่อนไขขอบเขต

4.4.1 ทางเข้า

ทางเข้าของแบบจำลองอยู่บริเวณด้านหน้าของคอยล์เย็น โดยรายละเอียดของค่าที่ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตทางเข้าแสดงในตาราง 2 ค่าอัตราการไหลอากาศของคอยล์เย็นได้จากคู่มือ อุณหภูมิของอากาศทางเข้าได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม และสมการการไหลปั่นป่วนกำหนดให้เป็นค่าคงที่ ซึ่ง Enhai, Tingting *et al.* (2014) ได้ใช้สมการการไหลปั่นป่วนนี้ในการจำลองการไหลภายในห้องเย็นขนาดใหญ่ที่มีเปอร์เซ็นความคลาดเคลื่อนของโปรแกรมอยู่ที่ 1.89 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 2 รายละเอียดเงื่อนไขขอบเขตของทางเข้า

รายละเอียด	ค่าที่กำหนดใน Simulation CFD
ระบบแกนที่ใช้อ้างอิง	X,Y,Z
ค่าอัตราการไหลอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	24,910
อุณหภูมิอากาศที่ออกจากช่องปล่อยอากาศ (องศาเซลเซียส)	-24.0
ชนิดของสมการการไหลแบบปั่นป่วน	Standard k-ε

4.4.2 ทางออก

ทางออกของแบบจำลองจะอยู่บริเวณด้านหลังของคอยล์เย็น โดยจะกำหนดให้เป็นความดันบรรยากาศ มีการเคลื่อนที่ของอากาศแบบอิสระ และกำหนดค่าความดันให้เป็นค่าคงที่ แสดงในตาราง 3

ตาราง 3 รายละเอียดเงื่อนไขขอบเขตของทางออก

รายละเอียด	ค่าที่กำหนดใน Simulation CFD
Sub Type	Fixed Pressure
Gauge Pressure	0
ชนิดของสมการการไหลแบบปั่นป่วน	Standard k-ε

4.4.3 ผนัง

ในแบบจำลองของห้องเย็นจะประกอบด้วยผนังทั้งหมด 4 ด้าน เพดาน และพื้น โดยผนังและเพดานจะกำหนดให้เป็นฉนวน โดยค่าที่ใช้กำหนดเงื่อนไขขอบเขตทั้งหมดจะได้จากการเก็บข้อมูล

ตาราง 4 รายละเอียดเงื่อนไขขอบเขตของผนัง

รายละเอียด	ค่าที่กำหนดใน Simulation CFD
อุณหภูมิของพื้นผิวผนัง (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่
ผนังด้านประตู	-27.1
ผนังด้านหลังตรงข้ามประตู	-25.2
ผนังด้านซ้าย	-26.2
ผนังด้านขวา	-23.3
เพดาน	-24.2
พื้น	-23.8
ความเร็วอากาศที่พื้นผิวผนังทั้งหมด (เมตรต่อวินาที)	0

5. จำลองการไหลด้วยการศึกษาความเป็นอิสระของกริด (Grid Independent Study)

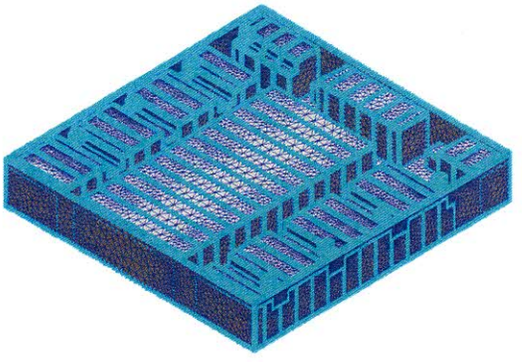
การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดจะทำโดยการเพิ่มจำนวนกริดครั้งละ 1/3 ของจำนวนกริดเดิม แล้วตรวจสอบดูว่าที่จำนวนกริดขนาดไหนที่ไม่ทำให้คำตอบเปลี่ยนแปลง สรุปได้ว่าจำนวนกริดเซลล์ไม่มีผลต่อคำตอบหรือมีความเป็นอิสระของกริดนั่นเอง (Yao, Wang *et al.*, 2006)

ตาราง 5 จำนวนกริดเซลล์ของแบบจำลองที่ใช้ในการตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด

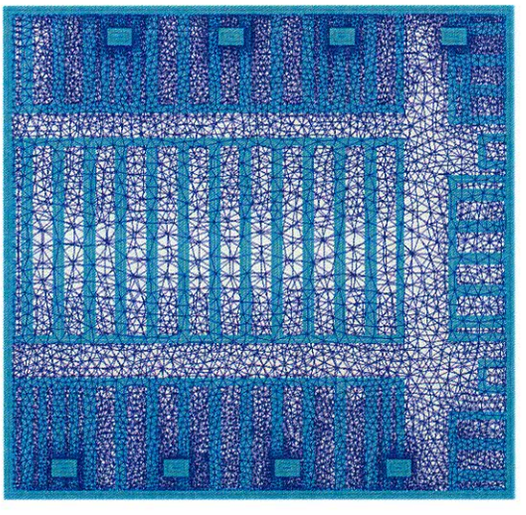
การคำนวณ	จำนวนกริดเซลล์
1	412,341
2	540,176
3	715,456
4	1,347,738
5	1,822,755
6	2,206,790

6. จำลองการไหลโดยเลือกใช้ขนาดและจำนวนกริดที่เหมาะสม

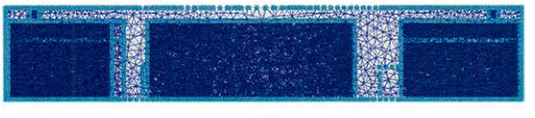
ทำการเลือกใช้ขนาดและจำนวนกริดที่เหมาะสม โดยสร้างกริดเซลล์เป็นแบบทรงสี่หน้า โดยใช้โปรแกรม Autodesk® Simulation CFD แสดงไว้ในภาพ 7



มุมมอง Isometric



มุมมองด้านบน



มุมมองด้านหน้า

มุมมองด้านข้าง

ภาพ 7 แบบจำลองห้องเย็นที่ถูกสร้างกริด

7. ศึกษาการกระจายอากาศด้วยการจำลองการไหลในรูปแบบเดิมที่เกิดบริเวณที่อากาศกระจายตัวได้ไม่ดี ทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์อีก 6 รูปแบบเพื่อหารูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่มีการกระจายตัวของอากาศที่เหมาะสม

8. วิเคราะห์ผลการจำลองการไหลในรูปแบบต่างๆ เพื่อหารูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมที่สุด

9. สรุปผลและจัดทำรายงาน

สถานที่ดำเนินการวิจัย

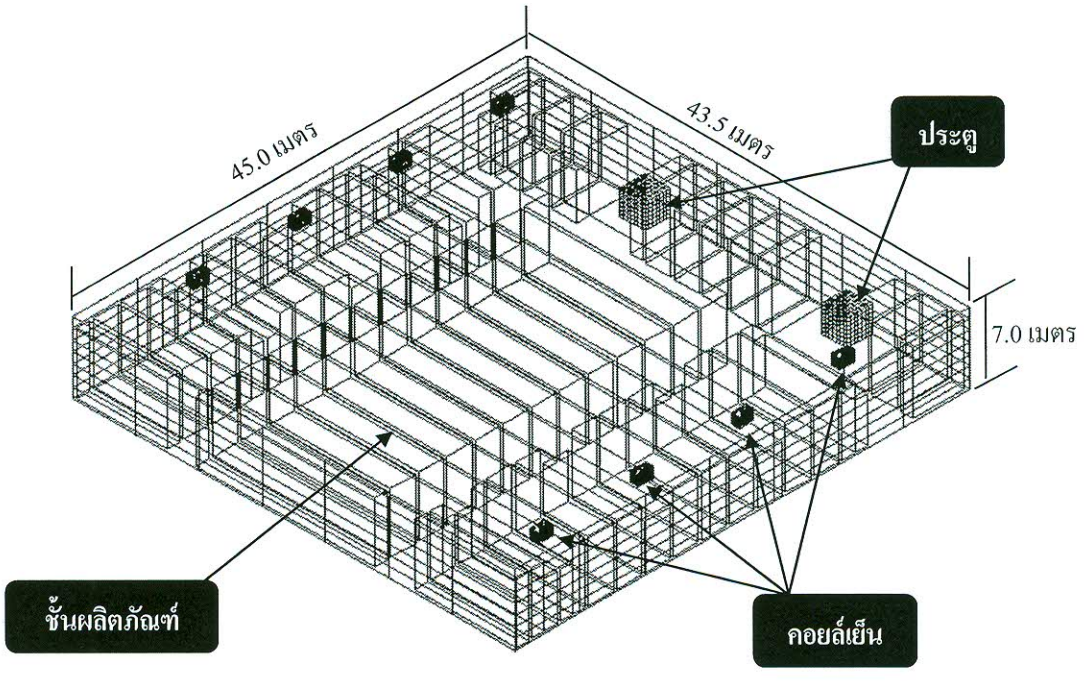
การเก็บข้อมูลห้องเย็นทำที่บริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด เลขที่106/5 หมู่ 8 ถนน เชียงใหม่-ลำปาง ตำบลสารภี อำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่ ส่วนการประมวลผล การจำลองการไหล การวิเคราะห์ข้อมูลและจัดทำรายงานดำเนินงานที่อาคารเรียนรวมสาขาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

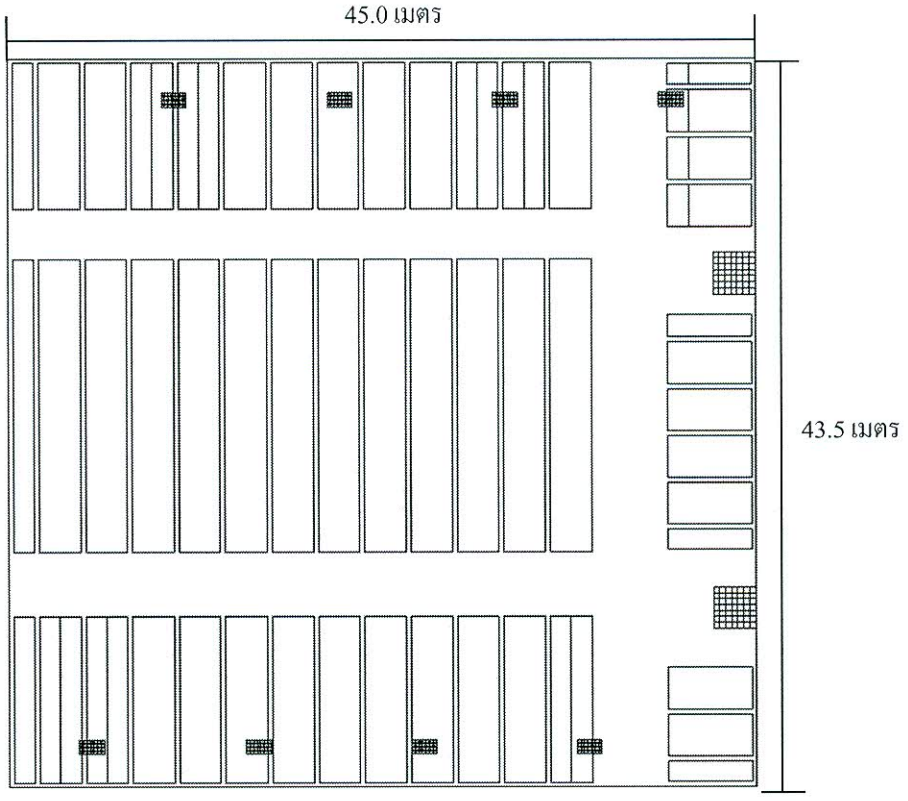
จากการศึกษารายละเอียดห้องเย็น ข้อมูลความเร็วอากาศ และอุณหภูมิอากาศภายในห้องเย็น เพื่อนำมาศึกษาความเป็นอิสระของกริด ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง นำเสนอผลการจำลองการไหลที่ได้จากห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิมของทางโรงงานและการจำลองการไหลที่มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ในแบบต่างๆ เพื่อให้ได้รูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีการกระจายตัวของอากาศที่เหมาะสม

การสร้างแบบจำลองของห้องเย็น

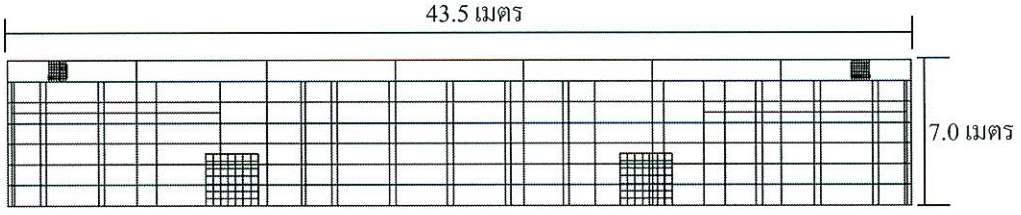
แบบจำลองทางกายภาพของห้องเย็นและรายละเอียดการจัดวางผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็น สร้างโดยใช้โปรแกรม AutoCAD® และใช้ขนาดจริงของห้องเย็น โดยมีคอยล์เย็นเป็นตัวส่งอากาศเย็น และช่องดูดอากาศกลับอยู่บริเวณด้านหลังของคอยล์เย็นแสดงดังภาพ 8 ถึงภาพ 11



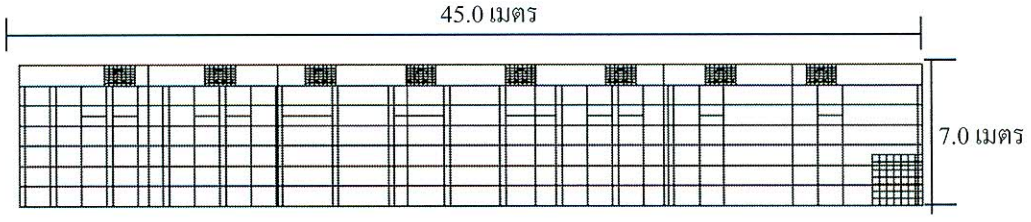
ภาพ 8 ภาพไอโซเมตริกของแบบจำลองห้องเย็นเก็บผลิตภัณฑ์



ภาพ 9 ภาพด้านบนของแบบจำลองห้องเย็นเก็บผลิตภัณฑ์



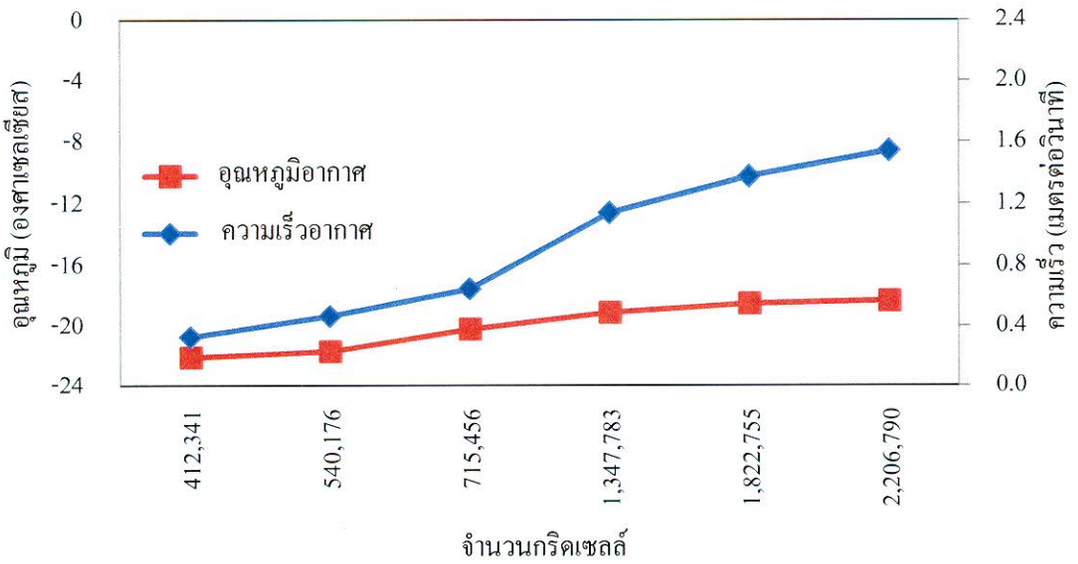
ภาพ 10 ภาพด้านหน้าของแบบจำลองห้องเย็นเก็บผลิตภัณฑ์



ภาพ 11 ภาพด้านข้างของแบบจำลองห้องเย็นเก็บผลิตภัณฑ์

การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด (Grid Independent Study)

ในการตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดเซลล์ ทำได้โดยการเพิ่มจำนวนกริดครั้งละ 1/3 ของจำนวนกริดเดิม (Yao, Wang *et al.*, 2006) ซึ่งผลการจำลองการไหลของจำนวนกริดที่แตกต่างกันแสดงค่าความเร็วอากาศและค่าอุณหภูมิในภาพ 12 โดยข้อมูลทั้งหมดทำการเก็บข้อมูลจากผลเฉลยของแบบจำลอง ณ ตำแหน่งเดียวกัน



ภาพ 12 ผลการตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด

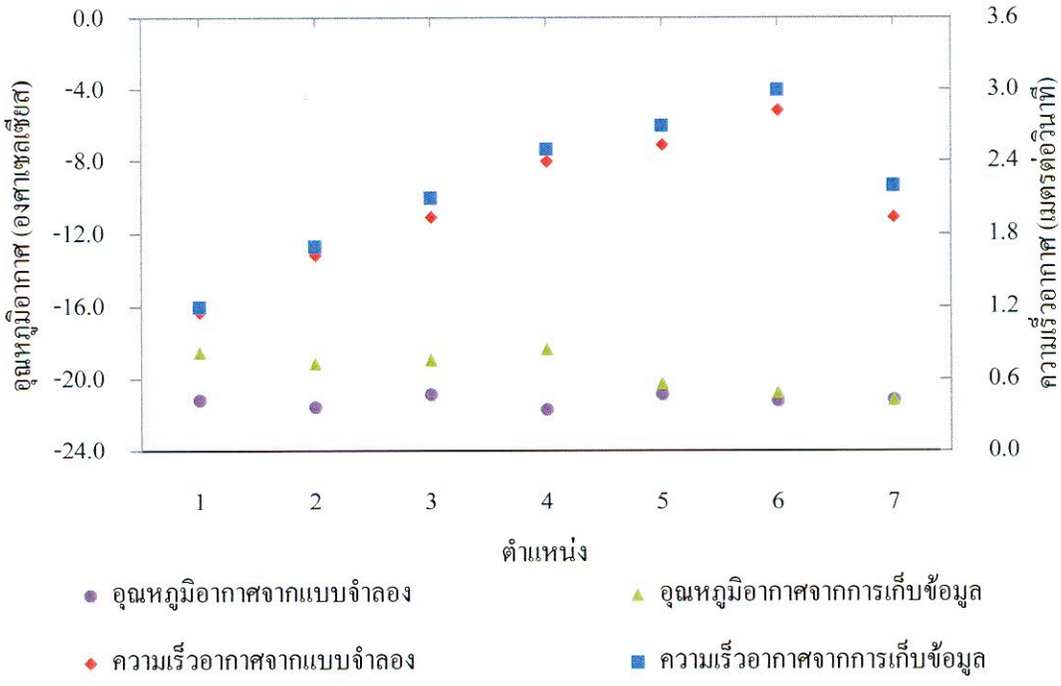
แสดงให้เห็นว่าที่จำนวนกริดเซลล์น้อย เส้นกราฟของค่าอุณหภูมิและค่าความเร็วอากาศมีแนวโน้มของกราฟที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ เมื่อทำการเพิ่มจำนวนกริดเซลล์มากขึ้นทำให้ค่าอุณหภูมิและค่าความเร็วอากาศมีการเปลี่ยนแปลงของผลเฉลยที่น้อยลง ซึ่งความแตกต่างของค่าอุณหภูมิอากาศที่จำนวนกริด 2,206,790 จะมีความแตกต่างของค่าอุณหภูมิอากาศที่จำนวนกริดเซลล์ 1,822,755 เพียง 0.2 องศาเซลเซียส และค่าความเร็วอากาศที่จำนวนกริดเซลล์ 2,206,790 จะมีความแตกต่างของค่าความเร็วอากาศที่จำนวนกริดเซลล์ 1,822,755 เพียง 0.1 เมตรต่อวินาที ถึงแม้ว่าตามทฤษฎีความละเอียดของกริดที่มากขึ้นจะทำให้ผลเฉลยของคำตอบใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด แต่เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องคอมพิวเตอร์และระยะเวลาในการประมวลผลที่ใช้จำนวนกริดที่เพิ่มมากขึ้นจะใช้เวลาในการประมวลผลเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้กริดเซลล์ที่ประมาณ 2,206,790 ซึ่งน่าจะเป็นจำนวนกริดที่ละเอียดมากพอและคุ้มค่ากับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลคำตอบในแต่ละครั้ง

การจำลองการไหลของห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิม

ในหัวข้อนี้รายงานผลการจำลองการไหลของห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิม โดยการนำผลเฉลยที่ได้มาตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง และนำเสนอผลการจำลองการไหลในรูปแบบสนามความเร็วอากาศ ค่าระดับความเร็วอากาศและค่าระดับอุณหภูมิ

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคอมพิวเตอร์ เพื่อตรวจสอบว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีการประมวลได้ตรงตามข้อมูลตรวจวัดหรือไม่ โดยทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิและความเร็วอากาศจากแบบจำลองกับผลการตรวจวัดข้อมูลภาคสนาม ซึ่งค่าอุณหภูมิและค่าความเร็วอากาศได้มาจากการตรวจวัดภาคสนามทั้งหมด 7 ตำแหน่งดังแสดงในภาพ 5 (บทที่ 3) พบว่าค่าอุณหภูมิและความเร็วอากาศจากแบบจำลอง มีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง แสดงผลไว้ในภาพ 13



ภาพ 13 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

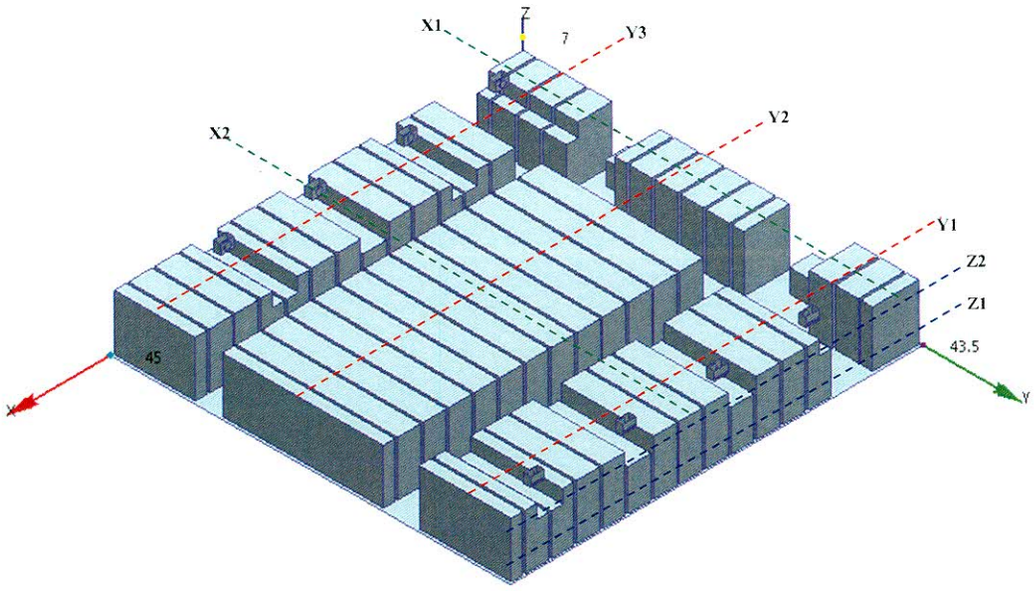
โดยความเร็วอากาศของแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าค่าความเร็วอากาศที่ได้จากการทดลอง ซึ่งมีค่าความเร็วอากาศมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 3.58 – 11.77 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ 6.12 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าอุณหภูมิอากาศใกล้เคียงกัน แต่ยังมีความแปรปรวนเกิดขึ้น ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของอุณหภูมิอากาศอยู่ระหว่าง 1.89 – 12.63 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ 5.26 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าต่ำกว่างานวิจัยของ Serap and Selcuk (2005) ที่มีผลเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของอุณหภูมิอยู่ในช่วง 9.45 ถึง 12.26 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย 11.42 เปอร์เซ็นต์และมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเร็วอากาศที่ 20.06 ถึง 136.76 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย 161.69 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของความเร็วอากาศจะมีแนวโน้มที่สูงกว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของอุณหภูมิ

สาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิอากาศที่ได้จากข้อมูลตรวจวัดสูงกว่าค่าอุณหภูมิอากาศที่ได้จากแบบจำลอง คาดว่าอาจเกิดเนื่องมาจากค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าห้องเก็บมีอุณหภูมิไม่คงที่ดังที่ได้กำหนดไว้ในแบบจำลอง และฟลั๊กซ์ความร้อนสะสมของผนังห้องเย็นที่ไม่ได้นำมากำหนดอยู่ในเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง เป็นต้น จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนกับผลเฉลยที่ได้จากการคำนวณ

ความคลาดเคลื่อนของความเร็วอากาศคาดว่าเกิดจากรูปทรงที่สร้างขึ้นในแบบจำลองนั้นไม่ซับซ้อนเท่ารูปทรงของชั้นวางผลิตภัณฑ์จริงที่มีช่องว่างอยู่ด้านล่างของแต่ละชั้นวางผลิตภัณฑ์ ทำให้การกระจายตัวและลักษณะการไหลของอากาศมีความเปลี่ยนแปลงและเกิดการคลาดเคลื่อนขึ้นได้

จากภาพ 13 สังเกตได้ว่าค่าความเร็วอากาศในตำแหน่งที่ 6 นั้นมีค่าความเร็วอากาศสูงกว่าบริเวณอื่นเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ตรงหน้าคอยล์เย็นและเป็นบริเวณที่ใกล้ทางเดิน อาจทำให้ความเร็วอากาศปั่นป่วนในบริเวณนั้นมากที่สุด และที่ตำแหน่งที่ 1 มีค่าความเร็วอากาศที่ต่ำที่สุด เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ด้านในสุดของห้องเย็น และไม่ใช่ตำแหน่งที่ตรงแนวจ่ายอากาศเย็นของคอยล์เย็น อากาศกระจายตัวไม่ถึงอาจเกิดจากการปะทะของกระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็นทำให้อากาศกระจายตัวไปยังทิศทางอื่น ค่าอุณหภูมิอากาศในตำแหน่งที่ 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ด้านในสุดของห้องเย็น และไม่อยู่ใกล้คอยล์เย็น อาจเกิดเป็นจุดอับที่ทำให้อุณหภูมิในบริเวณนั้นไม่กระจายตัว แต่ในตำแหน่งที่ 7 นั้นเป็นบริเวณที่เป็นช่องว่างทางเดิน อาจมีพื้นที่ว่างที่อากาศสามารถกระจายตัวได้ดีกว่า

เพื่อทำการวิเคราะห์ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในห้องเย็นในกรณีที่ทำการจำลองในสภาวะคงที่ โดยรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์นี้เป็นรูปแบบเดิมที่ทางโรงงานได้ทำการจัดวาง ทำการพิจารณาลักษณะสนามความเร็วอากาศ ความเร็วอากาศ และอุณหภูมิ ดังระนาบที่แสดงไว้ในภาพ 14



ภาพ 14 ระนาบที่ทำการพิจารณาของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิม

ขนาดของห้องเย็นในระนาบในแกน X = 45.0 เมตร ระนาบในแกน Y = 43.5 เมตร และระนาบในแกน Z = 7.0 เมตร

เมื่อ ระนาบ X1 และ X2 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน X ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ ที่ระยะ X = 3.0 และ 25.0 เมตร

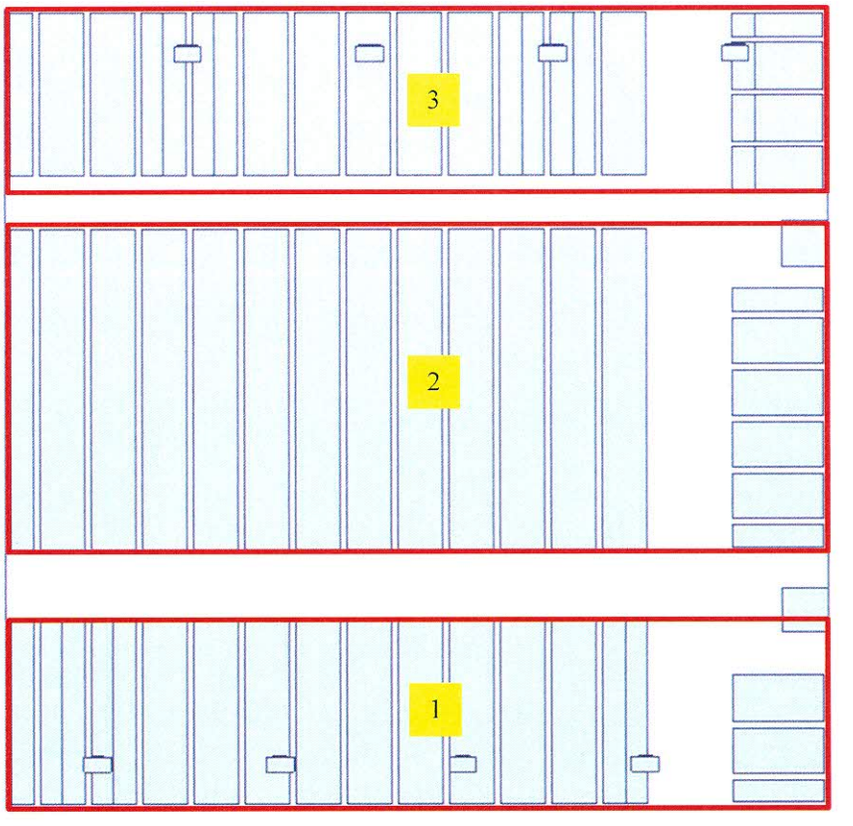
ระนาบ Y1 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 1 ที่ระยะ Y = 38.6 เมตร

ระนาบ Y2 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 2 ที่ระยะ Y = 20.95 เมตร

ระนาบ Y3 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 3 ที่ระยะ Y = 4.875 เมตร

ระนาบ Z1 และ Z2 คือ ระนาบที่ตั้งฉากกับแนวแกน Z ที่ตัดผ่านบริเวณกึ่งกลางผลิตภัณฑ์ในชั้นที่ 2 และ 4 ที่ระยะ Z = 2.25 และ 5.25 เมตร

ทำการพิจารณาค่าความเร็วและอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็นแบ่งออกเป็น 3 โซน ดังแสดงในภาพ 15 ซึ่งจะพิจารณาในพื้นที่ที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ ส่วนพื้นที่ว่างทางเดินจะไม่นำข้อมูลส่วนนั้นมาพิจารณา



ภาพ 15 โซนพื้นที่ที่ทำการพิจารณาของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิม

โซนที่ 1 และ 3 คือ โซนที่มีการวางผลิตภัณฑ์ไว้ใต้คอยล์เย็น และมีระดับความสูงชั้นผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน

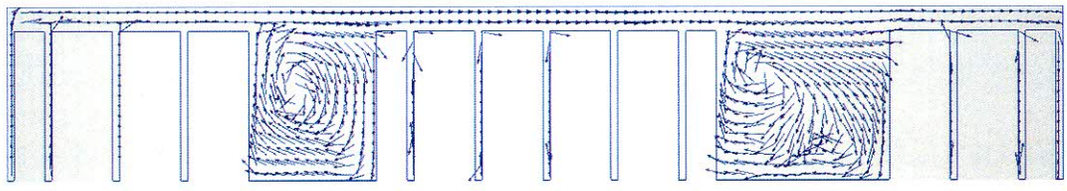
โซนที่ 2 คือ โซนที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์จำนวนมากที่สุด จัดวางอยู่กลางห้องเย็นและความสูงของชั้นวางผลิตภัณฑ์เท่ากันทั้งหมด

เมื่อพิจารณาการจำลองการไหลในรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์เดิม สนามความเร็วอากาศในภาพ 16 ระนาบ X1 พบว่าด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์มีทิศทางการไหลไปทางขวามือซึ่งเป็นทิศทางการไหลปฐมภูมิ เกิดการหมุนวนบริเวณช่องว่างทางเดินมีขนาดของลูกศรที่ยาวแสดงว่ามีความเร็วอากาศที่สูง บริเวณที่ไม่มีลูกศรคืออากาศกระจายตัวไม่ทั่วถึงแสดงว่ามีความเร็วอากาศที่ต่ำ พบว่าบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ไม่มีลูกศรสนามความเร็วกระจายตัวอยู่ ต่างกับระนาบ X2 ที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ตรงกับการไหลปฐมภูมิ สนามความเร็วอากาศมีทิศทางเคลื่อนที่ไปยังด้านขวาและมีขนาดความเร็วอากาศที่สูง แต่เมื่อปะทะกับชั้นผลิตภัณฑ์ทำให้สนามความเร็วอากาศมีขนาดลดลงและเกิดการหมุนวนของสนามความเร็วอากาศบริเวณช่องว่างทางเดิน สังเกตได้ว่าทั้งสองระนาบนี้มีแนวการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน โดยระนาบ X1 มีแนวการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ขวางการไหลปฐมภูมิอากาศจึงไม่สามารถกระจายตัวเข้าถึงช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ได้ ส่วนในระนาบ X2 มีแนวการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับการไหลปฐมภูมิ อากาศสามารถกระจายตัวเข้าถึงทุกด้านของผลิตภัณฑ์ได้

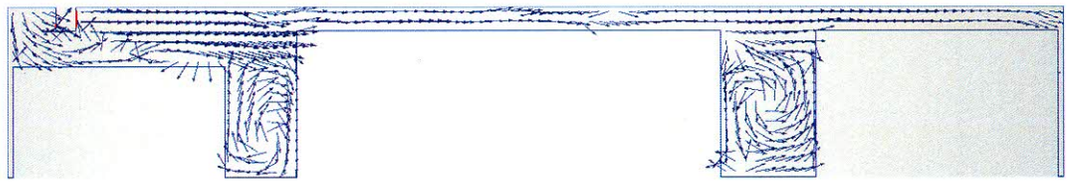
ระนาบ Y1 และ Y3 เป็นระนาบที่มีความคล้ายกัน เนื่องจากเป็นระนาบที่อยู่ในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่อยู่ด้านล่างคอยล์เย็นและเป็นระนาบที่ตัดขวางการไหลปฐมภูมิ ซึ่งในระนาบนี้จะมีการไหลทุติยภูมิเกิดขึ้น ในบริเวณด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์มีสนามความเร็วอากาศกระจายตัวอยู่มากและมีความเร็วสูง ส่วนบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์สนามความเร็วอากาศกระจายตัวได้น้อย คล้ายกับระนาบ Y2 ในบริเวณช่องว่างระหว่างผลิตภัณฑ์มีการเคลื่อนที่ของสนามความเร็วน้อย ส่วนในบริเวณด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์มีการไหลทุติยภูมิกระจายตัวออกด้านข้างและไหลวนอยู่ในบริเวณช่องว่างทางเดิน ซึ่งทั้ง 3 ระนาบมีแนวการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับทิศทางการไหลปฐมภูมิ แต่อากาศยังกระจายตัวอยู่ในบริเวณด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์เป็นส่วนมากและไหลวนอยู่ในบริเวณช่องว่างทางเดินเป็นส่วนใหญ่

สนามความเร็วในระนาบราบของห้องเย็นแสดงในภาพ 17 สนามความเร็วในระนาบ Z1 เป็นระนาบตัดผ่านชั้นผลิตภัณฑ์ระดับล่าง เกิดการหมุนวนของอากาศบริเวณช่องว่างทางเดินเป็นส่วนมาก เนื่องจากการไหลทุติยภูมิเกิดจากการไหลปฐมภูมิที่ปะทะกับชั้นผลิตภัณฑ์และไหลวนอยู่ในช่องว่างทางเดินที่มีความแคบ ส่วนช่องว่างทางเดินหลักที่อยู่ตรงกับคอยล์เย็นที่มีการไหลปฐมภูมินั้น สนามความเร็วอากาศไม่เกิดการหมุนวนแต่เมื่อปะทะกับชั้นผลิตภัณฑ์ที่จัดวางขวางกับการไหลปฐมภูมิจะเกิดการหมุนวนอากาศ สนามความเร็วอากาศมีขนาดลดลง ช่องว่างทางเดินที่อยู่ระหว่างการจัดวางผลิตภัณฑ์ในโซนที่ 1 และ 2 จะสังเกตว่ามีช่องว่างทางเดินที่กว้างกว่าช่องว่าทางเดินที่อยู่ระหว่างโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 และ 3 สนามความเร็วจะมีการหมุนวนปั่นป่วนน้อยกว่าช่องว่างทางเดินที่แคบแต่ยังเกิดกระแสอากาศวนอยู่ทำให้มีความเร็วต่ำบางบริเวณ

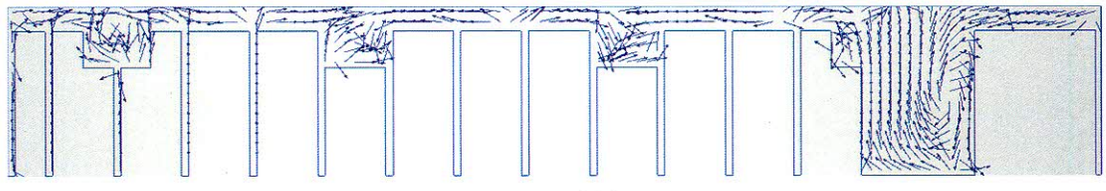
ซึ่งคล้ายกับระนาบ Z2 ที่มีการหมุนวนและเกิดกระแสอากาศวนในบริเวณช่องว่างทางเดินเป็นส่วนมาก สังเกตเห็นการไหลปฐมภูมิได้ชัดเจนว่ามีการไหลที่ปะทะกับชั้นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ด้านหน้าและไหลวนออกด้านข้างทำให้เกิดการหมุนวนของอากาศ ซึ่งมีขนาดสนามความเร็วอากาศที่ยาวกว่าในระนาบ Z1 เนื่องจากเป็นระนาบที่ตัดผ่านผลิตภัณฑ์ชั้นบนสุดและใกล้กับคอยล์เย็นจึงมีความเร็วที่สูงกว่า



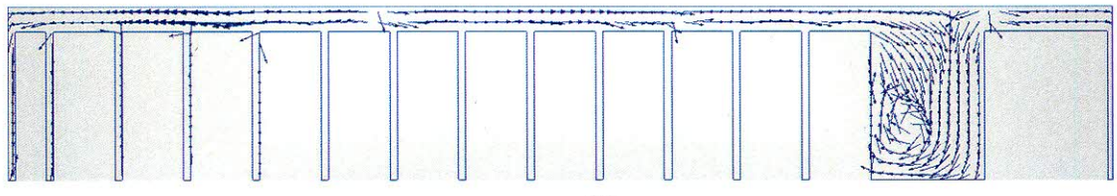
ระนาบ X1



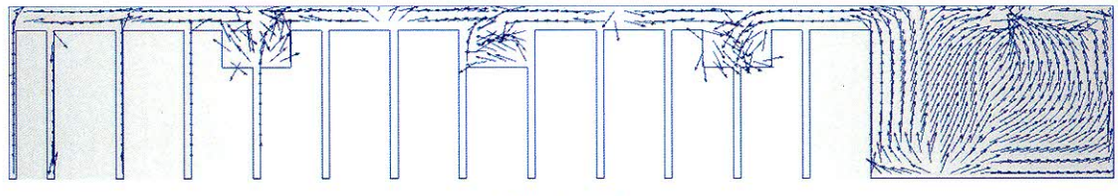
ระนาบ X2



ระนาบ Y1



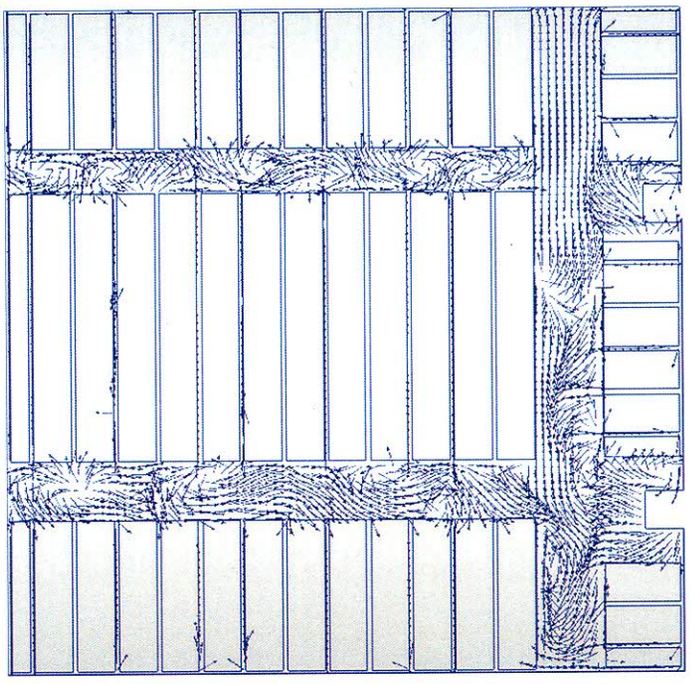
ระนาบ Y2



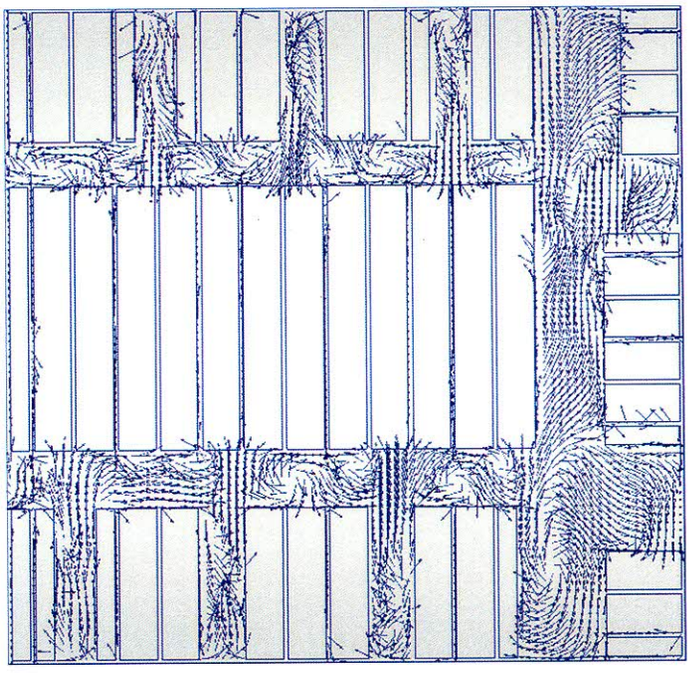
ระนาบ Y3

Reference Vector — 1 เมตรต่อวินาที

ภาพ 16 ผลเฉลยสนามความเร็วอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบเดิม



ระนาบ Z1



ระนาบ Z2

Reference Vector — 1 เมตรต่อวินาที

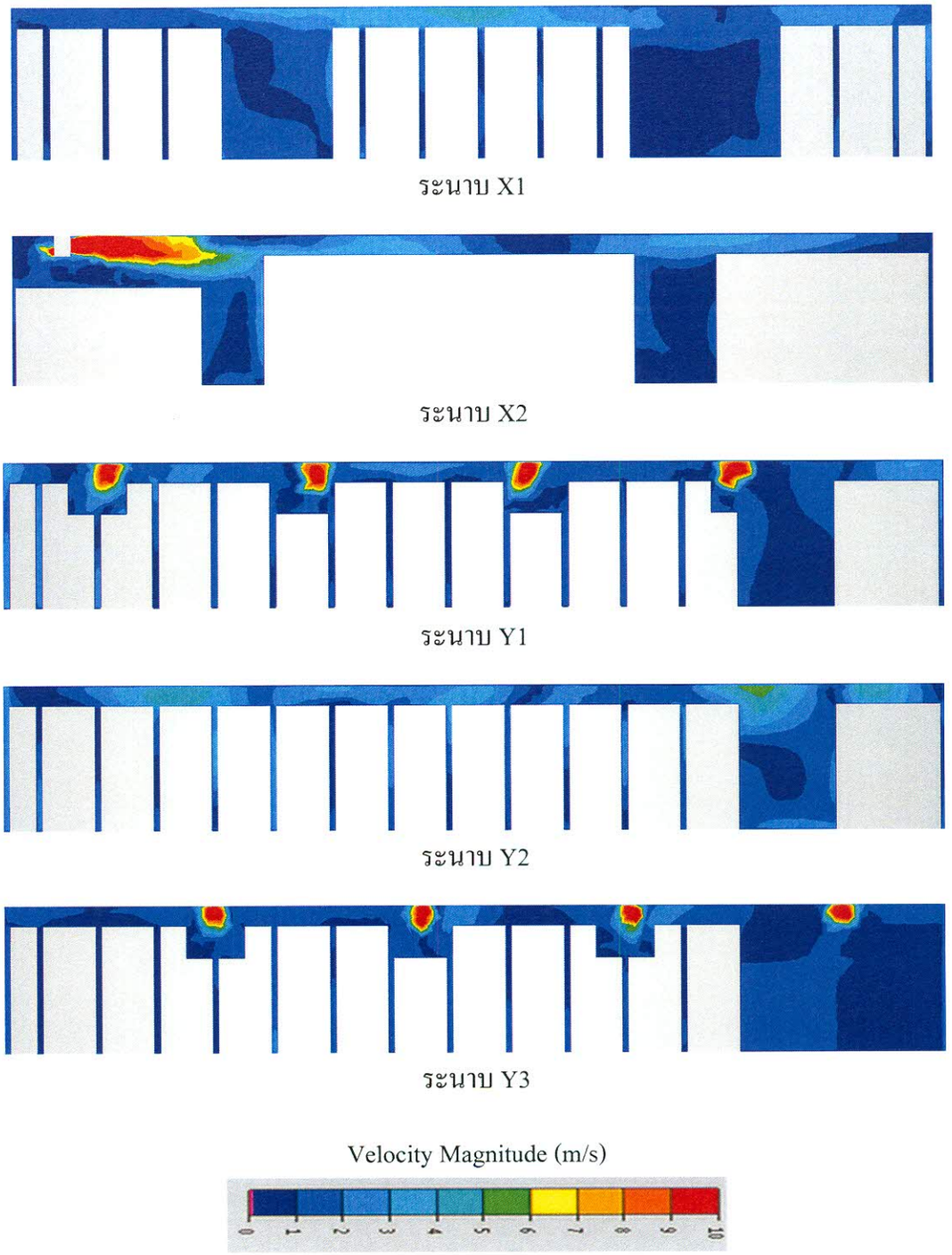
ภาพ 17 ผลเฉลยสนามความเร็วอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบเดิม

ค่าความเร็วอากาศตามระนาบดิ่งดังแสดงในภาพ 18 เห็นได้ชัดว่าบริเวณที่เป็นสีน้ำเงินแสดงว่ามีค่าความเร็วอากาศต่ำ เช่นเดียวกับกับสนามความเร็วอากาศ บริเวณใดเกิดการหมุนวนของอากาศจะมีค่าระดับความเร็วอากาศต่ำ ในระนาบ X1 จะสังเกตได้ว่าด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์มีความเร็วอากาศที่สูงกว่าบริเวณอื่นและช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์มีบริเวณสีน้ำเงินแสดงว่ามีค่าระดับความเร็วอากาศที่ต่ำ ทำให้ค่าความเร็วเฉลี่ยในระนาบ X1 อยู่ที่ 1.29 เมตรต่อวินาที ส่วนบริเวณช่องว่างทางเดินในระนาบ X1 และ X2 พบว่าเกิดกระแสอากาศวนเป็นบริเวณสีน้ำเงินแสดงว่าบริเวณนั้นมีค่าความเร็วอากาศที่ต่ำเช่นกัน ซึ่งในระนาบ X2 ที่ตัดผ่านกึ่งกลางคอยล์เย็นจะเห็นถึงค่าระดับความเร็วอากาศที่ออกจากคอยล์เย็นมีค่าความเร็วอากาศที่สูงแต่เมื่อปะทะกับชั้นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ด้านหน้าทำให้ค่าความเร็วอากาศลดลง ทำให้ค่าความเร็วเฉลี่ยในระนาบนี้อยู่ที่ 1.46 เมตรต่อวินาที ค่าความเร็วทั้งสองระนาบนี้อยู่ในช่วงของความเร็วที่ George and Athanasios (2002) ได้กล่าวไว้ว่า ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แช่แข็งควรมีค่าความเร็วอากาศอยู่ที่ 0.5 ถึง 2.5 เมตรต่อวินาที

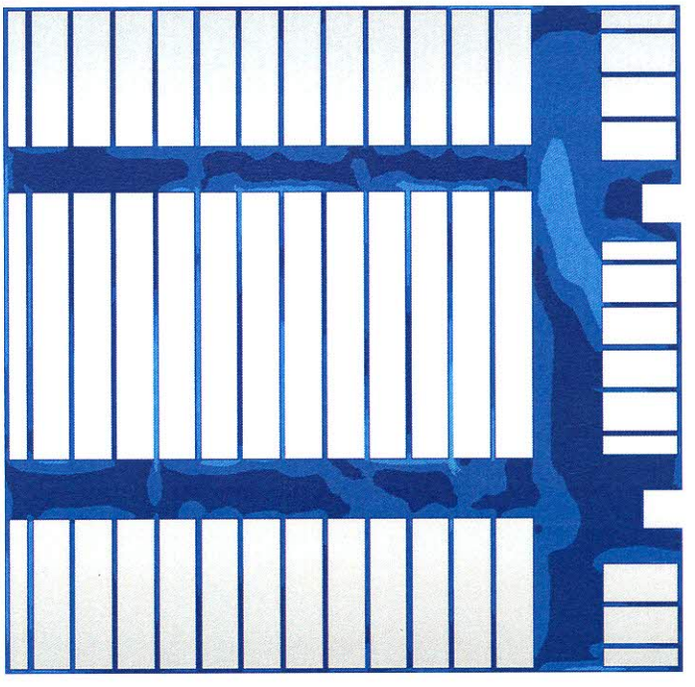
ระนาบ Y1 และ Y3 ค่าระดับความเร็วอากาศจะสูงบริเวณด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์ สังเกตได้จากบริเวณที่มีสีแดงเป็นแนวของอากาศที่ออกจากคอยล์เย็นกระจายตัวอยู่ด้านบนชั้นผลิตภัณฑ์ ส่วนช่องว่างทางเดินจะเห็นเป็นบริเวณสีน้ำเงินเช่นเดียวกับกับสนามความเร็วอากาศที่เกิดการหมุนวนในบริเวณนี้ทำให้มีค่าความเร็วอากาศต่ำ และส่วนบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ของทั้งสองระนาบนี้มีค่าความเร็วอากาศต่ำเป็นส่วนมากเช่นเดียวกับสนามความเร็วที่ไม่มีลูกศรกระจายตัวเข้าถึงภายในช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ ทำให้ค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยในระนาบ Y1 เท่ากับ 1.38 เมตรต่อวินาที ส่วนระนาบ Y3 มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยที่ 1.18 เมตรต่อวินาที ระนาบ Y2 เป็นระนาบที่อยู่ในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 ความเร็วอากาศยังมีค่าสูงบริเวณด้านบนชั้นผลิตภัณฑ์และบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ยังมีความเร็วอากาศต่ำ ทำให้ระนาบนี้มีความเร็วอากาศเฉลี่ย 0.94 เมตรต่อวินาที ทั้งสามระนาบถึงแม้ว่าจะมีการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับการไหลปฐมภูมิแต่ยังมีความเร็วอากาศกระจายตัวอยู่แค่ด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์เท่านั้น ส่วนบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ยังมีค่าความเร็วอากาศที่ต่ำอยู่

ค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบราบดังภาพ 19 ในระนาบ Z1 พบว่าช่องว่างทางเดินและบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์มีค่าความเร็วที่ต่ำ เช่นเดียวกับสนามความเร็วที่เกิดการหมุนวนและเกิดกระแสอากาศวนในบริเวณช่องว่างทางเดิน ทำให้ค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยในระนาบ Z1 เท่ากับ 0.92 เมตรต่อวินาที ส่วนระนาบ Z2 พบว่ามีแนวโน้มของค่าระดับความเร็วอากาศที่สูงกว่าระนาบ Z1 เนื่องจากเป็นระนาบที่อยู่ใกล้กับคอยล์เย็นและจะเห็นถึงลักษณะอากาศที่ไหลออกมาจากคอยล์เย็นซึ่งเป็นการไหลปฐมภูมิ เมื่อปะทะกับชั้นผลิตภัณฑ์ด้านหน้าก็จะมี

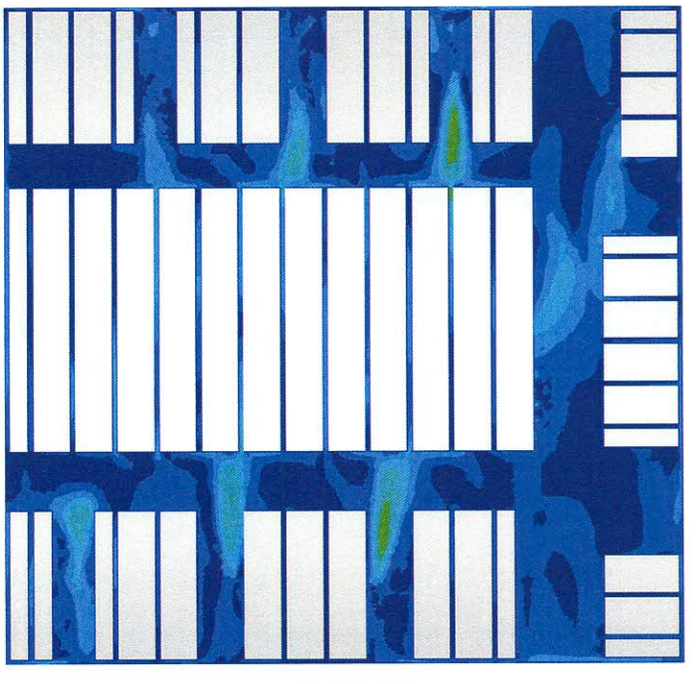
ความเร็วอากาศลดลง ซึ่งค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยในระนาบนี้คือ 1.36 เมตรต่อวินาที พบว่าค่าระดับความเร็วอากาศจะมีค่าสูงในผลิตภัณฑ์ชั้นบนมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่อยู่ชั้นล่าง



ภาพ 18 ผลเฉลยค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบเดิม



ระนาบ Z1



ระนาบ Z2

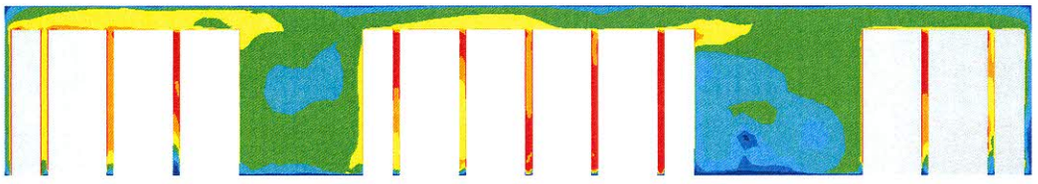
Velocity Magnitude (m/s)

ภาพ 19 ผลเฉลยค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบเดิม

ทำการพิจารณาค่าอุณหภูมิอากาศในระนาบดิ่งดังแสดงในภาพ 20 ในระนาบ X1 อุณหภูมิสูงที่เกิดขึ้นบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ อาจเนื่องจากแนวการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างจากโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ถูกจัดวางให้ขวางกับการไหลของอากาศที่ออกจากคอยล์เย็นทำให้เกิดบริเวณที่เป็นจุดอับที่อากาศกระจายตัวไม่ถึงทำให้ระนาบนี้มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ -18.39 องศาเซลเซียส ส่วนระนาบ X2 ที่มีแนวการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับการไหลปฐมภูมิจะสังเกตได้ว่าไม่มีบริเวณที่มีความร้อนสูงเกิดขึ้น ทำให้ระนาบนี้มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ -18.82 องศาเซลเซียส

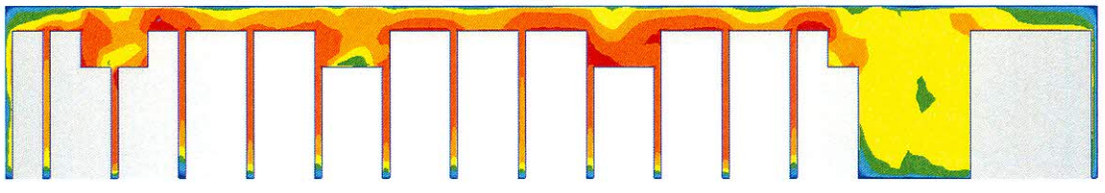
ระนาบ Y1 อุณหภูมิสูงบริเวณด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์ อาจเกิดจากความแตกต่างของความสูงชั้นผลิตภัณฑ์ทำให้อากาศที่ปล่อยออกมาจากคอยล์เย็นไม่สามารถกระจายตัวออกไปยังด้านข้างเนื่องจากอากาศถูกบังคับให้เคลื่อนที่ออกมาทางด้านหน้าเพียงอย่างเดียวโดยระนาบนี้มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ -19.29 องศาเซลเซียส ในระนาบ Y2 และ Y3 มีอุณหภูมิสูงเกิดขึ้นในช่องว่างระหว่างชั้นวางผลิตภัณฑ์เป็นส่วนมาก ทำให้มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ -18.35 และ -19.14 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิอากาศในแต่ละโซนการวางผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกัน ซึ่งดนัย (2553)ได้กล่าวว่าอุณหภูมิของอากาศภายในห้องถ้าพบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากเครื่องทำความเย็นและอุณหภูมิอากาศในห้องต่างกันเกินกว่า 0.8 องศาเซลเซียส แสดงว่าการหมุนเวียนของอากาศภายในห้องไม่ดีพอ

ภาพรวมในแต่ละโซนตามระนาบราบที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ดังแสดงในภาพ 21 พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีแนวการจัดวางไม่ตรงกับคอยล์เย็นจะเกิดอุณหภูมิสูงขึ้นในบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์เป็นส่วนมาก และบริเวณที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ตรงกับอากาศที่ออกจากคอยล์เย็นเกิดอุณหภูมิสูงในช่องว่างระหว่างผลิตภัณฑ์เป็นส่วนน้อย ซึ่งในระนาบ Z1 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ -20.35 องศาเซลเซียส และระนาบ Z2 มีค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย -20.28 องศาเซลเซียส

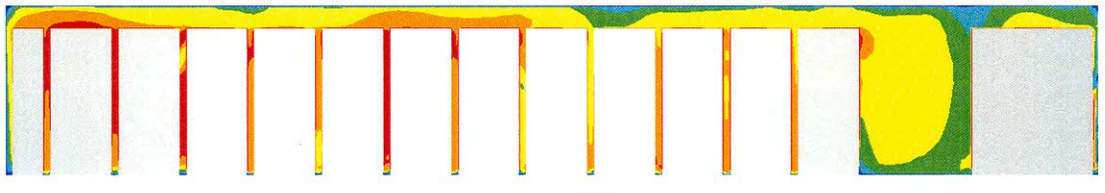


ระนาบ X1

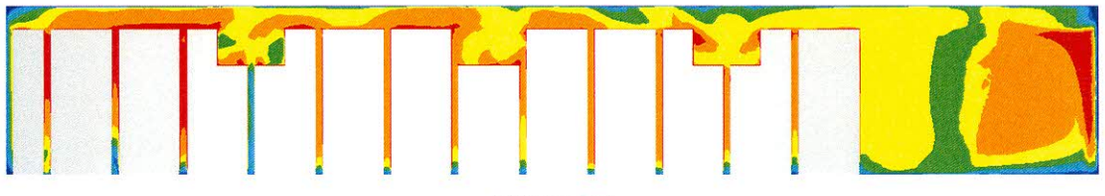
ระนาบ X2



ระนาบ Y1



ระนาบ Y2



ระนาบ Y3

Temperature (Celsius)

ภาพ 20 ผลเฉลยค่าระดับอุณหภูมิอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบเดิม

ระนาบ Z1

ระนาบ Z2

Temperature (Celsius)

ภาพ 21 ผลเฉลยค่าระดับอุณหภูมิอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบเดิม

สรุปได้ว่า ผลการจำลองการไหลในรูปแบบเดิมนี้ มีค่าเฉลี่ยความเร็วอากาศในระนาบ Y1 อยู่ที่ 1.74 เมตรต่อวินาที ระนาบ Y2 มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ย 1.86 เมตรต่อวินาที และระนาบ Y3 มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยที่ 1.44 เมตรต่อวินาที พบว่าในระนาบ Y2 นั้นมีค่าความเร็วอากาศสูงที่สุดและเป็นโซนที่มีปริมาณผลิตภัณฑ์มากที่สุดจากทั้ง 3 โซน โดยสอดคล้องกับ George and Athanasios (2002) ที่กล่าวว่า ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แช่แข็งควรมีค่าความเร็วอากาศอยู่ที่ 0.5 ถึง 2.5 เมตรต่อวินาที เชษฐพรรณ และอรรจน์ (2553) ได้กล่าวว่า ในบริเวณที่มีความเร็วอากาศสูงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงตาม ซึ่งความเร็วอากาศในแต่ละโซนมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ถ้าหากมีค่าความเร็วอากาศสูงจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงตาม ส่งผลต่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่จะใช้เวลาสั้นลง และพบว่าค่าอุณหภูมิภายในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 โซนนั้นไม่ผ่านเกณฑ์ค่าอุณหภูมิอากาศที่ต่างกัน 0.8 องศาเซลเซียส

จากผลการจำลองการไหลที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิมพบว่าแนวการจัดวางผลิตภัณฑ์และความกว้างของช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์มีผลต่อการกระจายตัวของอากาศ จะสังเกตได้ว่า เกิดอุณหภูมิสูงในบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะบริเวณชั้นผลิตภัณฑ์ที่มีแนวการจัดวางผลิตภัณฑ์ขวางกับอากาศที่ออกจากคอยล์เย็น ทำให้อากาศไม่สามารถกระจายตัวเข้าถึงช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ได้

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากผลการจำลองการไหลในการจัดวางผลิตภัณฑ์รูปแบบเดิม

จากการวิเคราะห์ผลของการจำลองการไหลในการจัดวางผลิตภัณฑ์รูปแบบเดิม ได้มองเห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นดังนี้

1. พบบริเวณที่อากาศมีอุณหภูมิสูงบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์เนื่องจากความกว้างของช่องว่างระหว่างผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิมกว้างเพียง 0.3 เมตร

2. การจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิมมีแนวการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ขวางแนวของอากาศที่ไหลออกมาจากคอยล์เย็น

3. โซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 ยังมีพื้นที่ว่างที่อยู่ตรงกับคอยล์เย็น ซึ่งบริเวณนั้นมีอากาศเย็นที่ปล่อยออกมาจากคอยล์เย็นและเป็นพื้นที่ว่างที่สามารถนำผลิตภัณฑ์มาวางได้

4. แนวของช่องว่างทางเดินไม่ตรงกับประตูทางเข้า-ออก ห้องเย็น ทำให้ความกว้างของช่องว่างทางเดินหลักของห้องเย็นมีความกว้างไม่เท่ากัน ส่งผลให้อากาศในช่องว่างทางเดินที่แคบกระจายตัวได้ไม่ดีและพบว่ามีพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง

5. ความยาวแถวผลิตภัณฑ์ในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 มีความยาวมากกว่าโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์อื่นๆ พบอุณหภูมิสูงบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ในโซนการจัดวางนี้

6. การจัดวางผลิตภัณฑ์ในโซนการจัดวางที่ 2 มีปริมาณผลิตภัณฑ์จัดวางจำนวนมากและถูกจัดวางให้เป็นกลุ่มใหญ่ อากาศกระจายตัวเข้าไปไม่ทั่วถึงยังช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ในบริเวณตรงกลางของโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์

7. ความแตกต่างของความสูงชั้นผลิตภัณฑ์ อากาศที่ออกจากคอยล์เย็นจะถูกชั้นผลิตภัณฑ์ที่สูงกว่าบดบังการกระจายตัวของอากาศที่จะเคลื่อนที่ไปด้านหน้า

แนวทางการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ

ปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นภายในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิมจึงได้มีแนวคิดที่นำปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น มาปรับเปลี่ยนการจัดวางในรูปแบบต่างๆดังนี้

รูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1 มีแนวความคิดในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการจัดวางผลิตภัณฑ์รูปแบบเดิมโดยนำปัญหาในข้อที่ 1 และข้อที่ 2 โดยทำการเพิ่มความกว้างของช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามข้อกำหนดของห้องเย็นที่ควรมีช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์กว้าง 0.5 เมตร และทำการปรับเปลี่ยนแนวการจัดวางผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับคอยล์เย็น ในการจัดวางผลิตภัณฑ์รูปแบบนี้ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ลดลงจากรูปแบบเดิม 0.87 เปอร์เซ็นต์

รูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 ได้นำปัญหาในข้อที่ 1, 3 และ4 โดยจัดวางผลิตภัณฑ์ให้เต็มพื้นที่ทำความเย็น และทำการปรับความกว้างของช่องว่างทางเดินหลักของห้องเย็นให้มีความกว้างเท่ากันทั้งสองด้านโดยปรับให้มีแนวทางเดินหลักตรงกับประตูเข้า – ออกห้องเย็นเช่นกัน ในการจัดวางผลิตภัณฑ์รูปแบบนี้ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นจากรูปแบบเดิม 1.79 เปอร์เซ็นต์

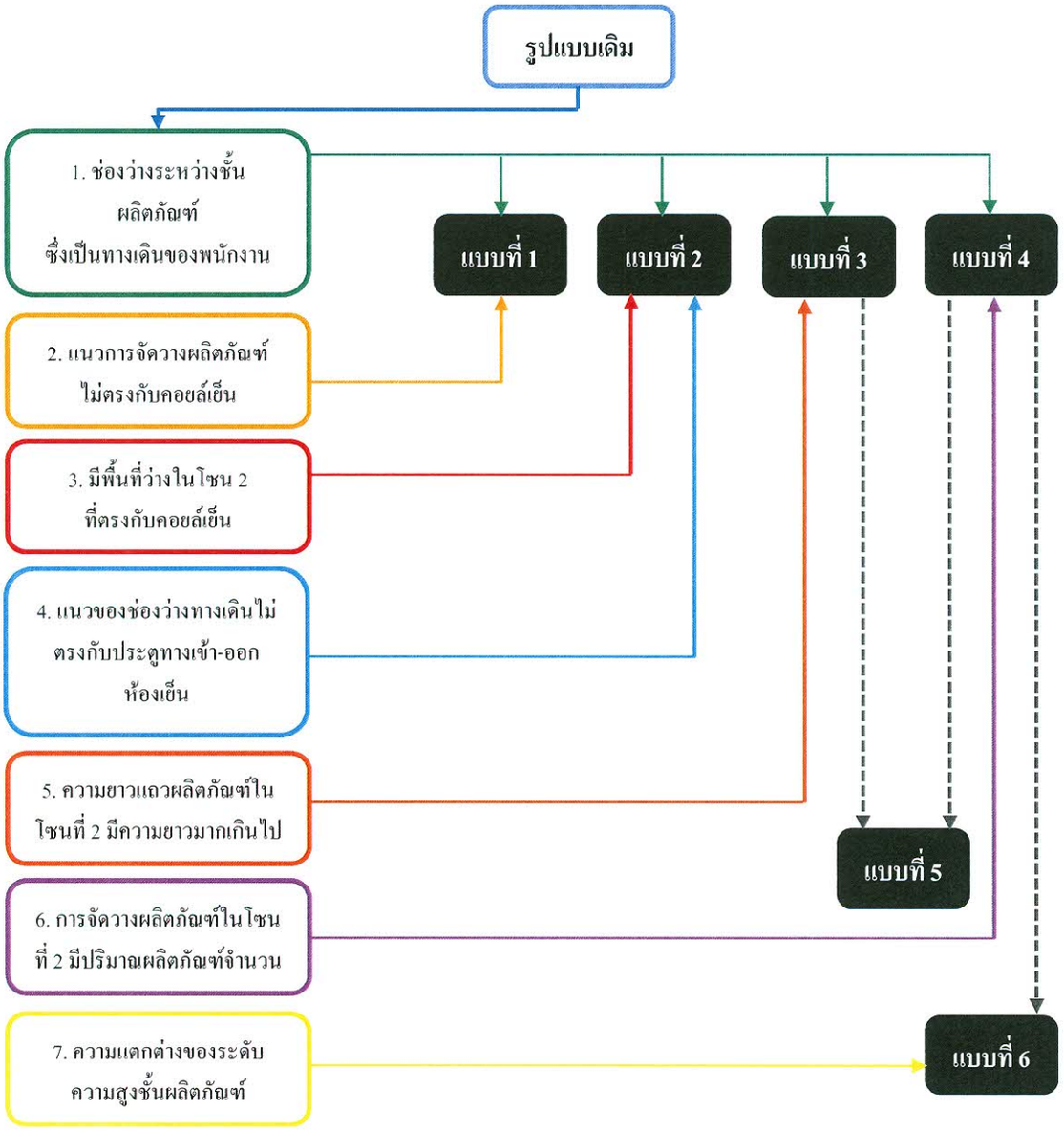
รูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 3 ได้นำปัญหาในข้อที่ 1 และข้อที่ 5 มาแก้ปัญหาเนื่องจากในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 มีความยาวแถวของชั้นผลิตภัณฑ์มากกว่าโซนการจัดวางอื่นๆ จึงปรับความยาวแถวของชั้นผลิตภัณฑ์ให้เหมือนกับโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์อื่นๆ ในการจัดวางผลิตภัณฑ์รูปแบบนี้ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ลดลงจากรูปแบบเดิม 0.04 เปอร์เซ็นต์

รูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 4 ได้นำปัญหาในข้อที่ 1 และข้อที่ 6 มาแก้ปัญหาในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 นั้นมีจำนวนผลิตภัณฑ์จัดวางอยู่เป็นจำนวนมาก จึงมีแนวคิดในการเพิ่มช่องว่างทางเดินในโซนการจัดวางที่ 2 และแบ่งผลิตภัณฑ์ในโซการจัดวางที่ 2 ออกเป็นกลุ่มๆ ในการจัดวางผลิตภัณฑ์รูปแบบนี้ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ลดลงจากรูปแบบเดิม 1.88 เปอร์เซ็นต์

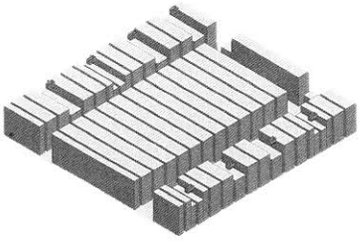
รูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 5 เกิดจากการเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นในรูปแบบที่ 3 และเห็นข้อดีที่เกิดขึ้นในรูปแบบที่ 4 จึงได้นำข้อดีจากรูปแบบที่ 4 เข้ามาช่วยแก้ปัญหาให้กับรูปแบบที่ 3 ในการจัดวางผลิตภัณฑ์รูปแบบนี้ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ลดลงจากรูปแบบเดิม 1.88 เปอร์เซ็นต์

รูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 6 ได้นำปัญหาในข้อที่ 1, ข้อที่ 7 และการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 4 มาปรับปรุงให้ดีขึ้นกว่าเดิม โดยทำการลดระดับชั้นผลิตภัณฑ์ด้านข้างในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 ในการจัดวางผลิตภัณฑ์รูปแบบนี้ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ลดลงจากรูปแบบเดิม 3.88 เปอร์เซ็นต์

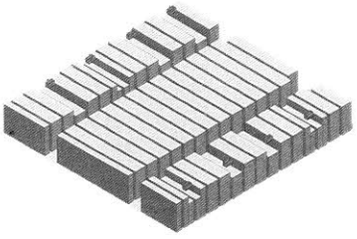
จากแนวคิดในการปรับเปลี่ยนการจัดวางในรูปแบบต่างๆ สามารถสรุปกรอบความคิดได้ดังภาพ 22 รูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบต่างๆดังแสดงในภาพ 23 และปริมาณผลิตภัณฑ์ในรูปแบบการจัดวางต่างๆ แสดงดังภาพ 24



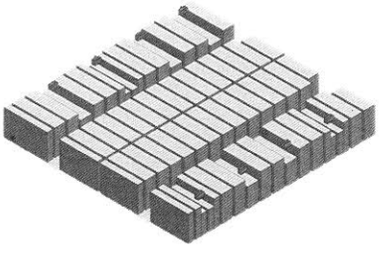
ภาพ 22 การแก้ปัญหาการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ



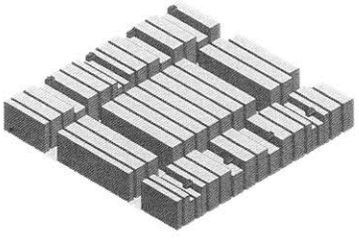
รูปแบบที่ 1



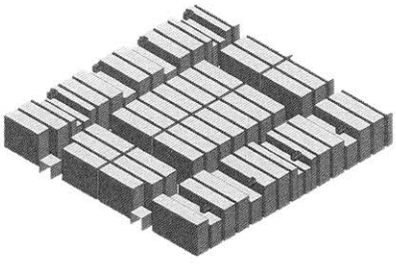
รูปแบบที่ 2



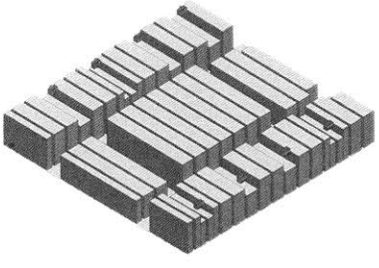
รูปแบบที่ 3



รูปแบบที่ 4

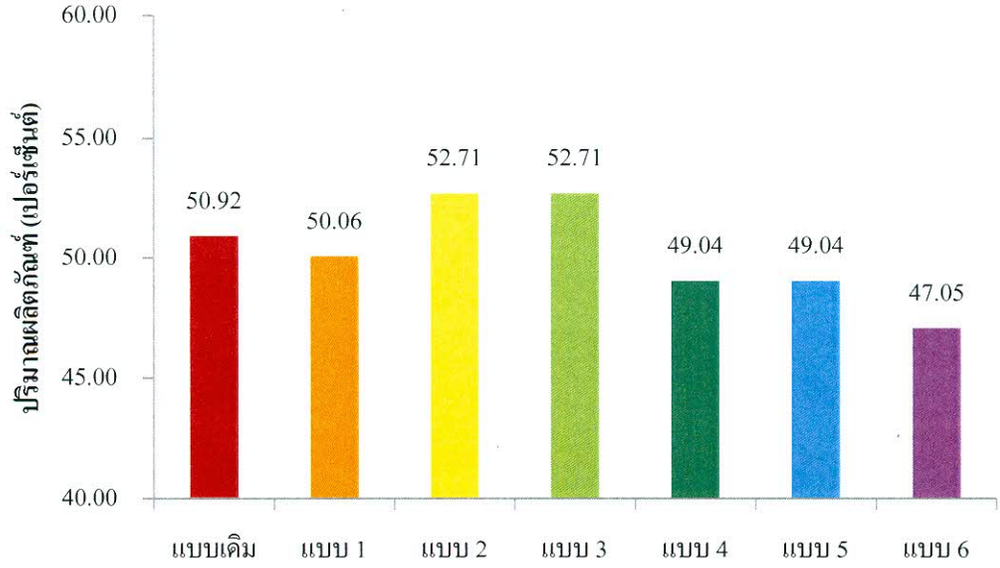


รูปแบบที่ 5



รูปแบบที่ 6

ภาพ 23 รูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบต่างๆ

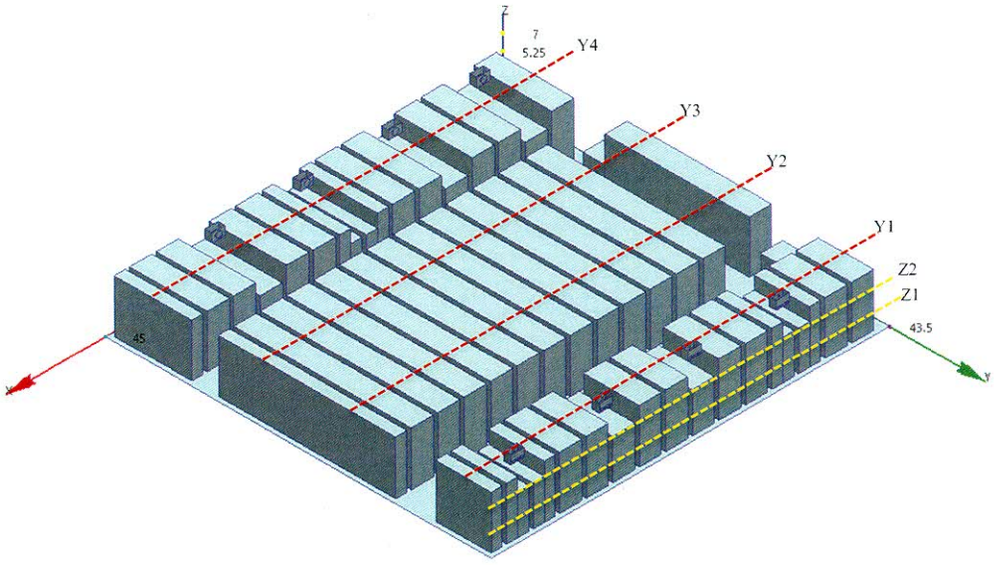


ภาพ 24 ปริมาณผลิตภัณฑ์ในรูปแบบการจัดวางต่างๆ

ปริมาณผลิตภัณฑ์ในรูปแบบการจัดวางต่างๆ คือจำนวนผลิตภัณฑ์ที่สามารถจัดวางได้ภายในห้องเย็น โดยคิดจากปริมาตรของกล่องบรรจุผลิตภัณฑ์คูณด้วยจำนวนกล่องของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายในห้องทั้งหมดแล้วนำมาเทียบกับปริมาตรของห้องเย็น

ผลจำลองการไหลที่มีการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 1

การปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบนี้เกิดจากในรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์เดิมนั้นมีความกว้างช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ที่แคบเกินไป ความร้อนสะสมในบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์จำนวนมาก จึงทำการปรับปรุงรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบเดิมให้มีการปรับปรุงความกว้างของช่องว่างทางเดินทั้งสองด้านให้เท่ากัน และทำการจัดวางผลิตภัณฑ์ให้เต็มพื้นที่ที่มีความเย็น ดังแสดงในภาพ 25



ภาพ 25 ระนาบที่ทำการพิจารณาของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 1

ขนาดของห้องเย็นในระนาบในแกน X = 45.0 เมตร ระนาบในแกน Y = 43.5 เมตร และระนาบในแกน Z = 7.0 เมตร

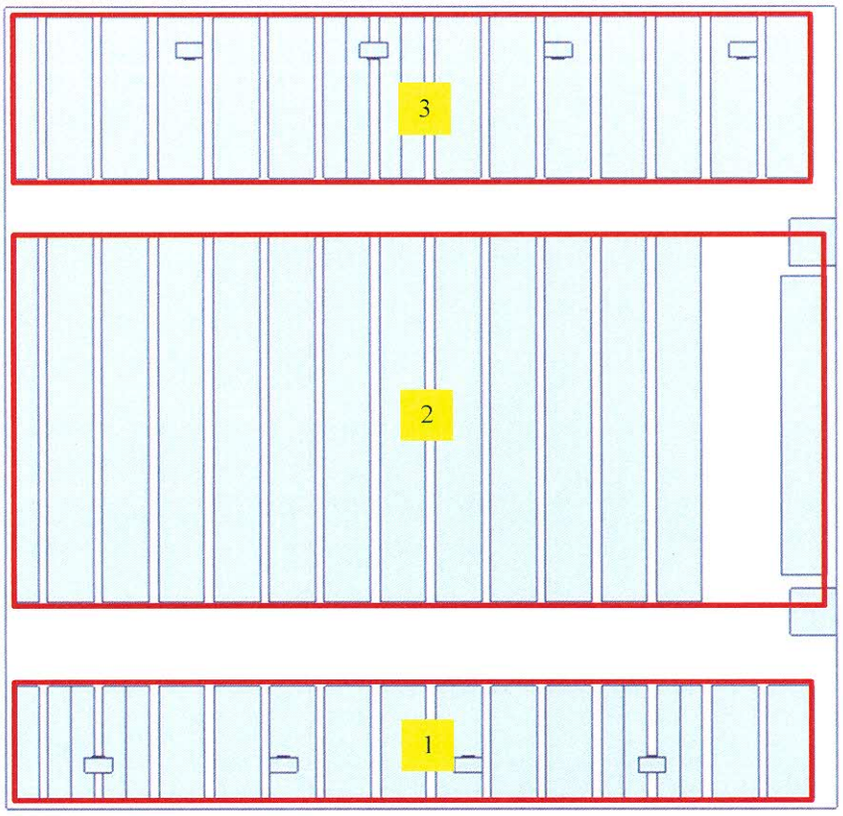
เมื่อ ระนาบ Y1 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 1 ที่ระยะ Y = 39.875 เมตร

ระนาบ Y2 และ Y3 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 2 ที่ระยะ Y = 27.25 และ 17.25 เมตร

ระนาบ Y4 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 3 ที่ระยะ Y = 4.875 เมตร

ระนาบ Z1 และ Z2 คือ ระนาบที่ตั้งฉากกับแนวแกน Z ที่ตัดผ่านบริเวณกึ่งกลางผลิตภัณฑ์ในชั้นที่ 2 และ 4 ที่ระยะ Z = 2.25 และ 5.25 เมตร

ทำการพิจารณาค่าความเร็วอากาศและอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็นแบ่งออกเป็น 3 โซนดังแสดงในภาพ 26 ซึ่งทำการพิจารณาพื้นที่ที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์โดยห่างออกมาจากผลิตภัณฑ์ทุกด้าน 0.5 เมตร ส่วนพื้นที่ว่างทางเดินจะไม่นำข้อมูลส่วนนั้นมาพิจารณา



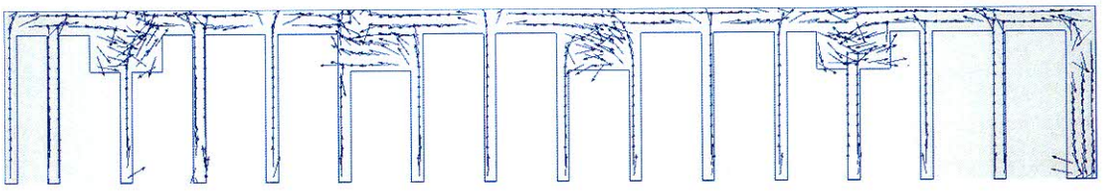
ภาพ 26 แสดงโซนพื้นที่ที่ทำการพิจารณาของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 1

โซนที่ 1 และ 3 คือ โซนที่มีการวางผลิตภัณฑ์ไว้ข้างล่างคอยล์เย็นเย็น และมีระดับการวางผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน

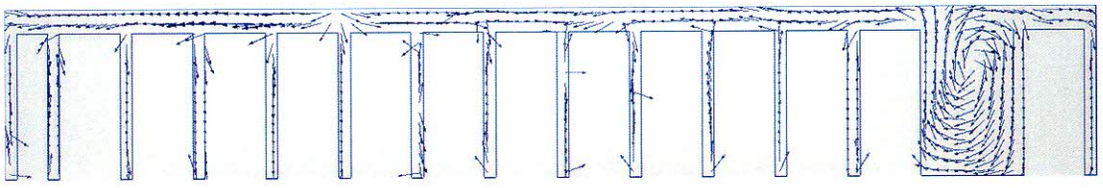
โซนที่ 2 คือ โซนที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์จำนวนมากที่สุด จัดวางอยู่กลางห้องเย็นและความสูงของชั้นวางผลิตภัณฑ์เท่ากันทั้งหมด

สนามความเร็วอากาศดังภาพ 27 ในระนาบ Y1 ลักษณะสนามความเร็วในระนาบนี้มีทิศทางการไหลที่ปั่นป่วนบริเวณที่อยู่ด้านล่างของคอยล์เย็น สนามความเร็วอากาศกระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์มากขึ้น ซึ่งคล้ายกับระนาบ Y4 ในบริเวณด้านล่างคอยล์เย็นที่มีพื้นที่ค่อนข้างแคบ อากาศอาจเกิดการหมุนวนเพื่อหาทางกระจายตัวไปยังด้านข้างของชั้นผลิตภัณฑ์ ระนาบ Y2 และระนาบ Y3 มีลักษณะของการจัดวางผลิตภัณฑ์เหมือนกันทั้งสองระนาบเนื่องจากเป็นระนาบที่ตัดผ่านโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 ลักษณะสนามความเร็วอากาศมีทิศทางกระจายตัวอยู่บริเวณด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์และกระจายออกไปยังด้านข้างเข้าสู่บริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ ส่วนบริเวณช่องว่างที่เห็นเป็นช่องว่างทางเดินหลักของห้องเย็นพบว่าทิศทางการไหลของอากาศมีลักษณะไหลวนเกิดเป็นกระแสอากาศวนทำให้สนามความเร็วอากาศมีขนาดลดลง

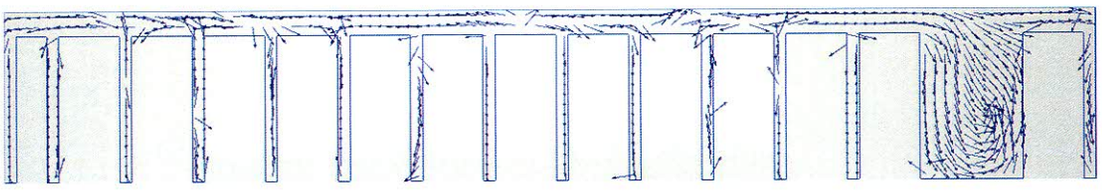
สนามความเร็วอากาศในระนาบตามความสูงของห้องเย็น แสดงในภาพ 28 ระนาบ Z1 พบว่าภาพรวมของสนามความเร็วอากาศทั่วห้อง ช่องว่างทางเดินหลักของห้องเย็นมีความกว้างไม่เท่ากันทำให้มีผลต่อสนามความเร็วอากาศที่เกิดการปั่นป่วนในบริเวณช่องว่างทางเดินที่แคบ โดยบริเวณช่องว่างทางเดินที่ติดกับโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 และ 3 นั้นมีช่องว่างทางเดินที่แคบกว่าช่องว่างทางเดินที่ติดกับโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1 และ 2 สังเกตได้ว่าสนามความเร็วอากาศในบริเวณที่แคบจะมีลักษณะที่ปั่นป่วนและเกิดกระแสอากาศวนมากกว่าบริเวณช่องว่างทางเดินที่กว้างซึ่งเกิดกระแสอากาศวนน้อยแสดงว่ามีค่าความเร็วอากาศที่สูง ช่องว่างทางเดินที่อยู่ตรงกับคอยล์เย็นจะมีลักษณะสนามความเร็วอากาศที่ตรงกับการไหลปฐมภูมิจะไม่เกิดกระแสอากาศวนและสามารถกระจายตัวเข้าถึงโดยรอบของชั้นผลิตภัณฑ์ ระนาบ Z2 จะเห็นลักษณะการไหลปฐมภูมิที่ออกจากคอยล์เย็นเคลื่อนที่ปะทะกับชั้นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ด้านหน้าคอยล์เย็น ในบริเวณช่องว่างทางเดินที่แคบนั้นจะเกิดการหมุนวนมากกว่าช่องว่างทางเดินที่กว้าง อากาศมีทิศทางการไหลมายังด้านหน้าเพียงอย่างเดียวเพราะถูกบังคับด้วยชั้นผลิตภัณฑ์ที่จัดวางสูง ทำให้อากาศไม่สามารถกระจายตัวออกไปด้านข้างได้อากาศจึงมีการปั่นป่วนอย่างมาก



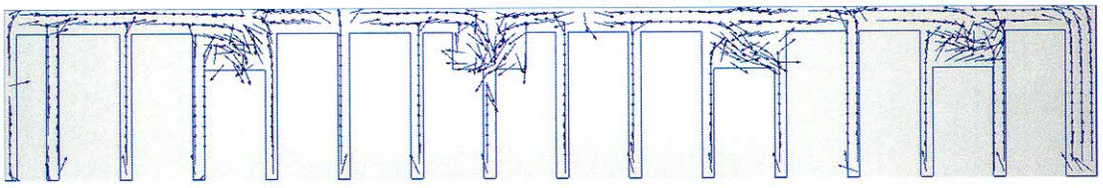
ระนาบ Y1



ระนาบ Y2



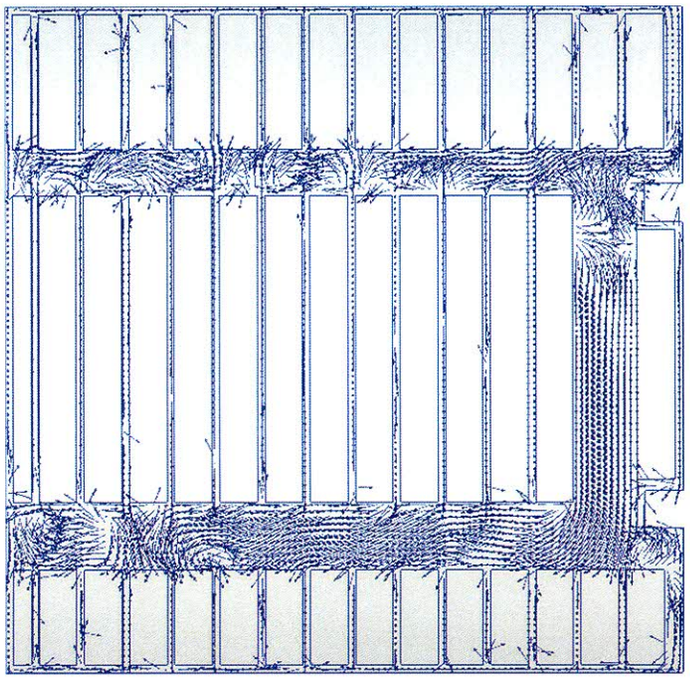
ระนาบ Y3



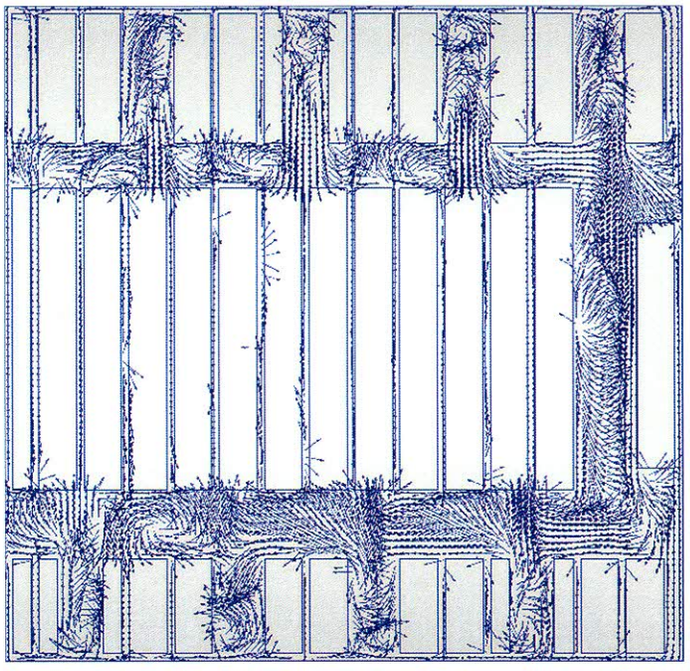
ระนาบ Y4

Reference Vector —1 เมตรต่อวินาที

ภาพ 27 ผลเฉลยสนามความเร็วอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์รูปแบบที่ 1



ระนาบ Z1



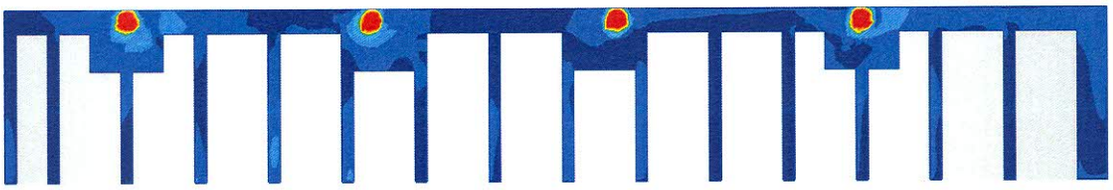
ระนาบ Z2

Reference Vector — 1 เมตรต่อวินาที

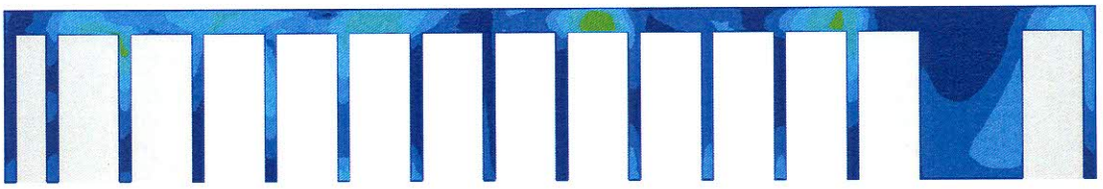
ภาพ 28 ผลเฉลยสนามความเร็วอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 1

พิจารณาความเร็วอากาศดังแสดงในภาพ 29 ในระนาบ Y1 และ Y4 เนื่องจากเป็นระนาบที่อยู่ด้านล่างคอยล์เย็น พบว่าด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์มีความเร็วอากาศที่สูงเนื่องจากตัดผ่านกระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็นจึงเห็นเป็นพื้นที่สีแดงที่แสดงค่าความเร็วอากาศสูง แต่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์นั้นมีความเร็วอากาศต่ำอยู่ ทำให้ค่าความเร็วเฉลี่ยในระนาบ Y1 เฉลี่ยอยู่ที่ 1.46 เมตรต่อวินาที และระนาบ Y4 มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ย 1.44 เมตรต่อวินาที ในระนาบ Y2 และ Y3 เป็นระนาบที่อยู่ในโซน 2 กระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็นจะปะทะกันในบริเวณโซนนี้ซึ่งมีผลต่อกระแสอากาศในระนาบทั้งสอง ด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์มีความเร็วอากาศไม่สูงมากนักและภายในช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์มีบางส่วนที่มีความเร็วอากาศสูงเช่นกัน ส่วนช่องว่างทางเดินที่เห็นเป็นพื้นที่ว่างในระนาบ Y2 และ Y3 นั้นมีบริเวณที่เป็นพื้นที่สีน้ำเงินเช่นเดียวกับกับสนามความเร็วอากาศที่เกิดการหมุนวนในช่องว่างนี้ทำให้มีค่าความเร็วต่ำ ซึ่งทำให้ค่าความเร็วเฉลี่ยในระนาบ Y2 มีค่า 1.25 เมตรต่อวินาที และระนาบ Y3 มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยที่ 1.36 เมตรต่อวินาที

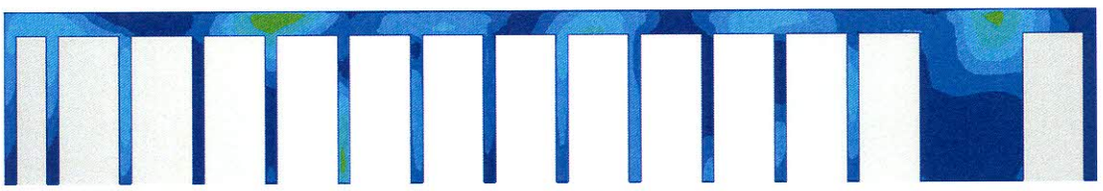
ส่วนระนาบราบดังแสดงในภาพ 30 ในระนาบ Z1 และ Z2 นั้นมีความเร็วอากาศเฉลี่ยอยู่ที่ 1.06 และ 1.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งระนาบ Z2 มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยที่สูงกว่าเนื่องจากเป็นระนาบที่ใกล้กับคอยล์เย็น และใกล้กับกระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็น ส่วนระนาบ Z1 ที่มีค่าความเร็วอากาศต่ำจะเห็นได้จากภาพมีพื้นที่สีน้ำเงินเป็นบริเวณกว้างในช่องว่างระหว่างชั้นวางผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกับกับสนามความเร็วอากาศในภาพที่ 26 บริเวณที่เกิดการหมุนวนเป็นกระแสอากาศวนจะมีค่าความเร็วอากาศที่ต่ำกว่าบริเวณที่ไม่เกิดกระแสอากาศวน



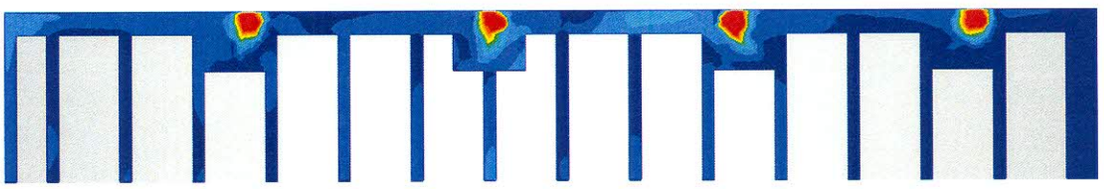
ระนาบ Y1



ระนาบ Y2



ระนาบ Y3

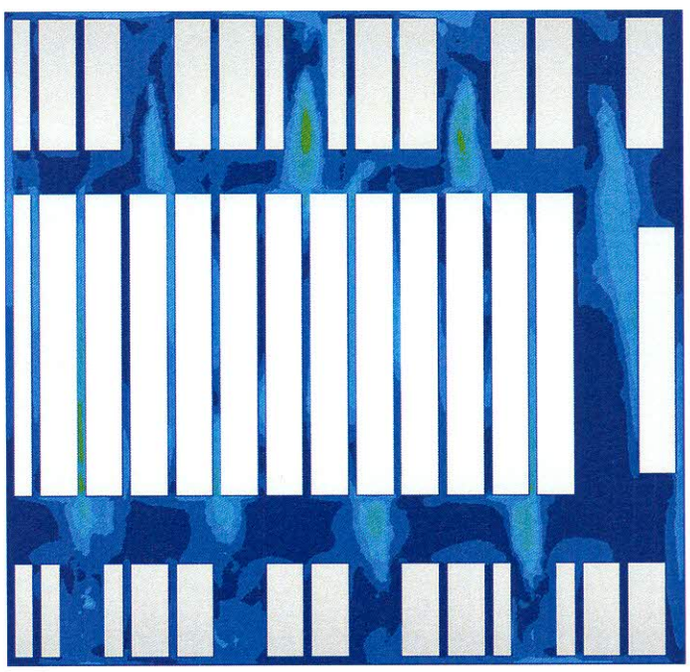


ระนาบ Y4

Velocity Magnitude (m/s)

ภาพ 29 ผลเฉลยค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 1

ระนาบ Z1



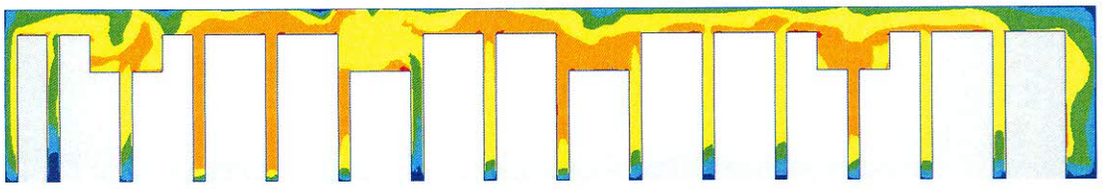
ระนาบ Z2

Velocity Magnitude (m/s)

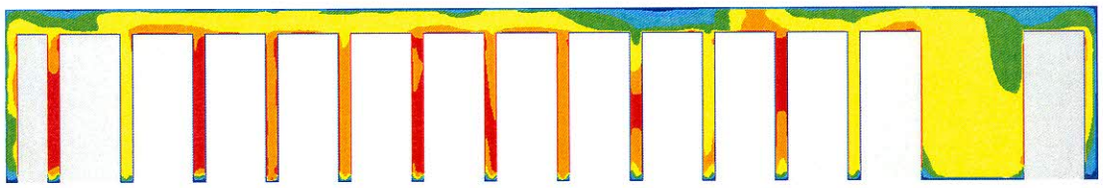
ภาพ 30 ผลเฉลยค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 1

ค่าอุณหภูมิในระนาบ Y1 ดังภาพ 31 พบว่าระนาบนี้ไม่มีบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงเกิดขึ้น อาจเนื่องจากเป็นโซนที่มีความยาวแถวของชั้นผลิตภัณฑ์ที่สั้นกว่าและมีปริมาณผลิตภัณฑ์น้อยกว่าโซนอื่นๆ เช่นกัน ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยในระนาบนี้ คือ -19.48 องศาเซลเซียส ส่วนระนาบ Y2 และ Y3 พบว่ามีอุณหภูมิสูงในบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์พบว่าเป็นสีแดง มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในสองระนาบนี้คือ -18.51 และ -19.05 องศาเซลเซียส อาจเกิดจากกระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็นเกิดการปะทะกันและกระจายตัวไปยังด้านข้างส่วนมาก ทำให้ไม่สามารถกระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ได้ ระนาบ Y4 มีอุณหภูมิสูงในช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์เป็นส่วนมากเช่นเดียวกับระนาบ Y2 และY3 แต่เนื่องจากระนาบ Y4 มีการจัดวางที่เต็มพื้นที่ทำความเย็นและมีปริมาณผลิตภัณฑ์มากกว่าโซนที่ 1 ทำให้ระนาบนี้มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ -19.37 องศาเซลเซียส

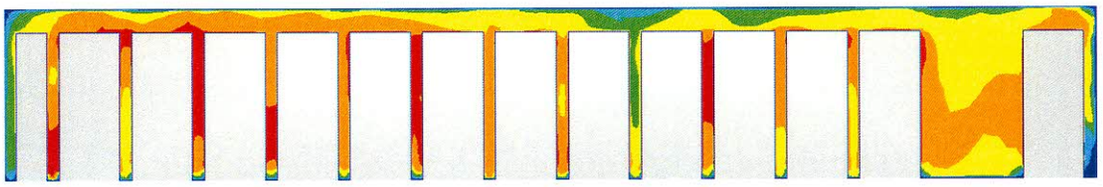
ภาพโดยรวมในระนาบราบ ดังแสดงในภาพ 32 ระนาบ Z1 พบว่า โซนที่มีค่าอุณหภูมิต่ำ สังเกตได้จากความยาวแถวของชั้นผลิตภัณฑ์ที่สั้นกว่าโซนการจัดวางอื่นๆทำให้มีปริมาณผลิตภัณฑ์ที่จัดวางในโซนนี้น้อย สนามความเร็วอากาศกระจายทั่วถึงและมีค่าระดับความเร็วอากาศที่สูง ส่งผลให้มีค่าอุณหภูมิในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์นี้ต่ำ ส่วนในโซนการจัดวางอื่นๆนั้นมีปริมาณผลิตภัณฑ์จัดวางจำนวนมากและความยาวแถวของชั้นผลิตภัณฑ์นั้นยาวกว่าโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1 จึงเกิดบริเวณที่มีสีแดงคือมีอุณหภูมิสูง ทำให้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในระนาบ Z1 มีค่า -19.11 องศาเซลเซียส ในระนาบ Z2 พบว่ามีบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงในบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ คล้ายกับระนาบ Z1 แต่บริเวณช่องว่างทางเดินที่ติดกับโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 และ 3 นั้นมีอุณหภูมิสูงในบางบริเวณ ซึ่งเป็นไปตามสนามความเร็วอากาศในภาพ 26 ที่มีสนามความเร็วปั่นป่วนและความเร็วอากาศต่ำจึงทำให้ระนาบนี้มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ -19.13 องศาเซลเซียส



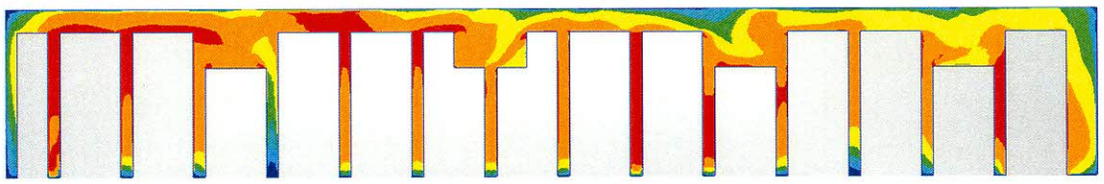
ระนาบ Y1



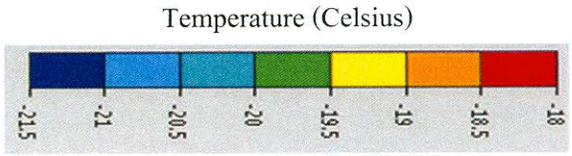
ระนาบ Y2



ระนาบ Y3



ระนาบ Y4



ภาพ 31 ผลเฉลยค่าระดับอุณหภูมิอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 1

ระนาบ Z1

ระนาบ Z2

Temperature (Celsius)

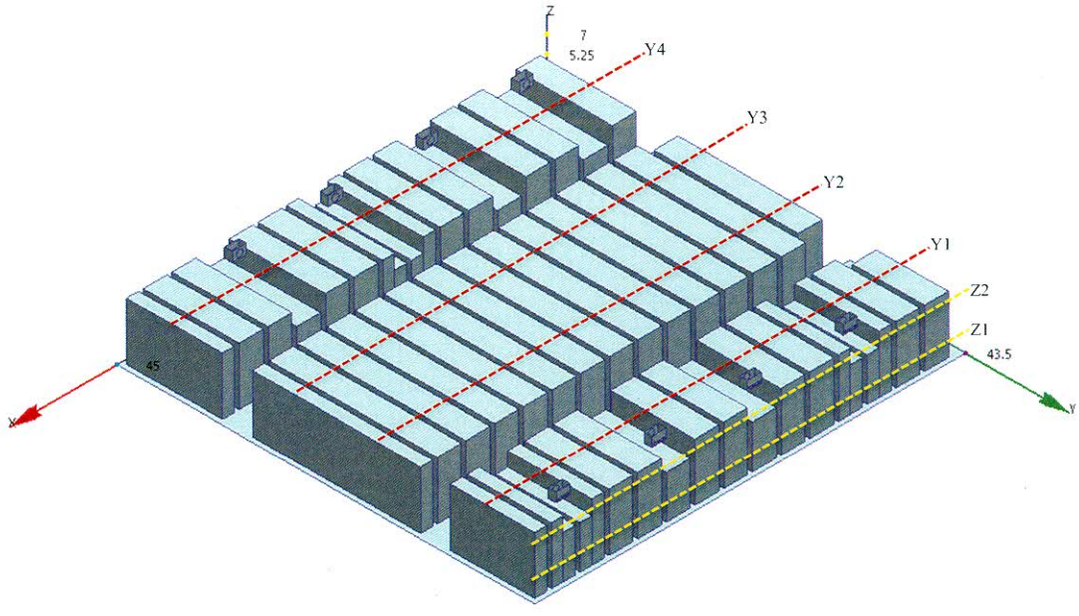
ภาพ 32 ผลเฉลยค่าระดับอุณหภูมิอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 1

สรุปได้ว่า ผลการจำลองการไหลในรูปแบบที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของความเร็วอากาศในระนาบ Y1 อยู่ที่ 1.46 เมตรต่อวินาที ระนาบ Y2 มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ย 1.25 เมตรต่อวินาที ระนาบ Y3 มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ย 1.36 เมตรต่อวินาที และระนาบ Y4 มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยที่ 1.44 เมตรต่อวินาที พบว่าในระนาบ Y1 นั้นมีค่าความเร็วอากาศสูงที่สุดและเป็นโซนที่มีปริมาณผลิตภัณฑ์น้อยที่สุดจากทั้ง 3 โซน ซึ่งทั้ง 4 ระนาบมีค่าความเร็วอากาศอยู่ในช่วงของค่าความเร็วอากาศที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการเก็บผลิตภัณฑ์แช่แข็ง ซึ่งค่าความเร็วอากาศมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ถ้าหากมีค่าความเร็วอากาศสูงจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงตามส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เย็นเร็วขึ้น และพบว่าค่าอุณหภูมิอากาศของทุกโซนที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านเกณฑ์ค่าอุณหภูมิอากาศแตกต่างกัน 0.8 องศาเซลเซียส

จากผลการจำลองการไหลที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 1 พบว่าการปรับเปลี่ยนแนวการจัดวางผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับกระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็นช่วยลดค่าอุณหภูมิสูงที่เกิดขึ้นในช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ และการเพิ่มความกว้างของช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ให้มีความกว้างมากขึ้นส่งผลให้อากาศสามารถกระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้นอีกด้วย แต่ยังมีพื้นที่ว่างที่อยู่ในโซนการจัดวางที่ 2 ที่ตรงกับคอยล์เย็นสามารถนำผลิตภัณฑ์มาจัดวางให้เต็มพื้นที่ได้ จึงมีแนวคิดที่จะนำไปปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 2 ต่อไป

การจำลองการไหลที่มีการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 2

การจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบนี้เป็นการปรับเปลี่ยนการจัดวางที่ต่อเนื่องมาจากรูปแบบแรก พบว่าจากรูปแบบที่ 1 มีพื้นที่ว่างในโซนที่ 2 จึงได้ทำการเพิ่มการจัดวางผลิตภัณฑ์ให้เต็มพื้นที่ว่าง และทำการปรับความกว้างของช่องว่างทางเดินให้เท่ากันและตรงกับประตูทางเข้า-ออกของห้องเย็นด้วยดังแสดงในภาพ 33



ภาพ 33 ระนาบที่ทำการพิจารณาของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 2

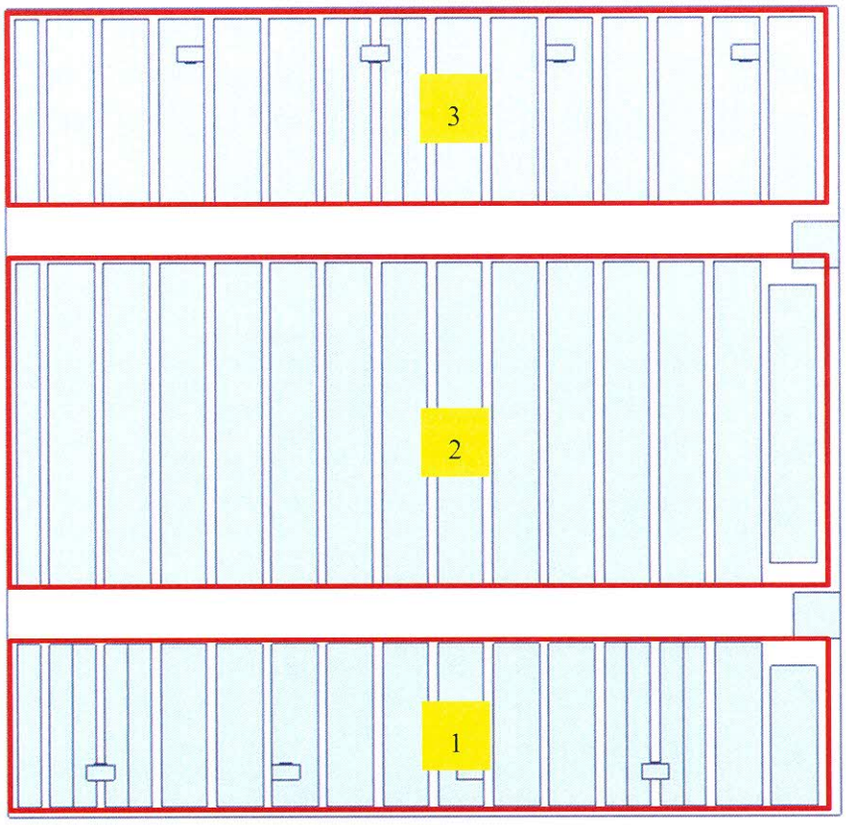
เมื่อ ระนาบ Y1 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 1 ที่ระยะ Y = 38.625 เมตร

ระนาบ Y2 และ Y3 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 2 ที่ระยะ Y = 26.75 และ 18.0 เมตร

ระนาบ Y4 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 3 ที่ระยะ Y = 5.5 เมตร

ระนาบ Z1 และ Z2 คือ ระนาบที่ตั้งฉากกับแนวแกน Z ที่ตัดผ่านบริเวณกึ่งกลางผลิตภัณฑ์ในชั้นที่ 2 และ 4 ที่ระยะ Z = 2.25 และ 5.25 เมตร

ทำการพิจารณาค่าความเร็วอากาศและอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็นแบ่งออกเป็น 3 โซนดังแสดงในภาพ 34 ซึ่งทำการพิจารณาพื้นที่ที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์โดยห่างออกมาจากผลิตภัณฑ์ทุกด้าน 0.5 เมตร ส่วนพื้นที่ว่างทางเดินจะไม่นำข้อมูลส่วนนั้นมาพิจารณา



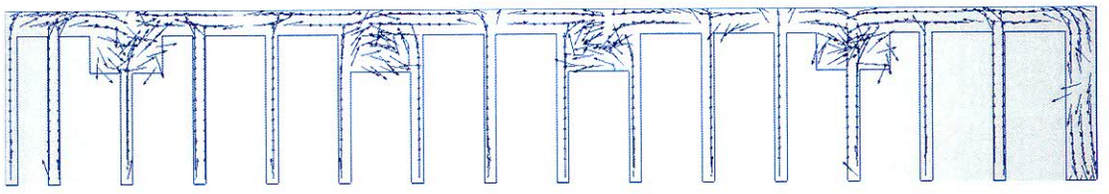
ภาพ 34 โซนพื้นที่ที่ทำการพิจารณาของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 2

โซนที่ 1 และ 3 คือ โซนที่มีการวางผลิตภัณฑ์ไว้ข้างล่างคอยล์เย็นเย็น และมีระดับการวางผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน

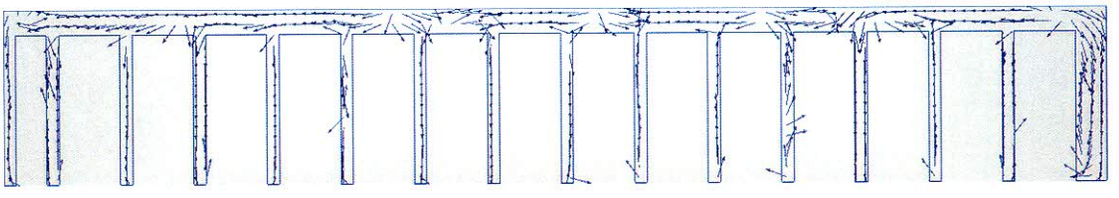
โซนที่ 2 คือ โซนที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์จำนวนมากที่สุด จัดวางอยู่กลางห้องเย็นและความสูงของชั้นวางผลิตภัณฑ์เท่ากันทั้งหมด

เมื่อพิจารณาการจำลองการไหลในการจัดวางผลิตภัณฑ์ในแบบที่ 2 แสดงสนามความเร็วอากาศในภาพ 35 ระนาบ Y1 ลักษณะสนามความเร็วในระนาบนี้มีทิศทางการไหลที่ปั่นป่วนบริเวณด้านบนชั้นผลิตภัณฑ์ สนามความเร็วอากาศกระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์มากขึ้น ซึ่งคล้ายกับระนาบ Y4 ในบริเวณด้านล่างคอยล์เย็นที่มีพื้นที่ค่อนข้างแคบ อากาศอาจเกิดการหมุนวนเพื่อหาทางกระจายตัวไปยังด้านข้างของชั้นผลิตภัณฑ์ ระนาบ Y2 และระนาบ Y3 มีลักษณะของการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่เต็มพื้นที่ทำความเย็นภายในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 เหมือนกันทั้งสองระนาบ เนื่องจากเป็นระนาบที่ตัดผ่านโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 ลักษณะสนามความเร็วอากาศมีทิศทางกระจายตัวอยู่บริเวณด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์และกระจายออกไปยังด้านข้างเข้าสู่บริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์

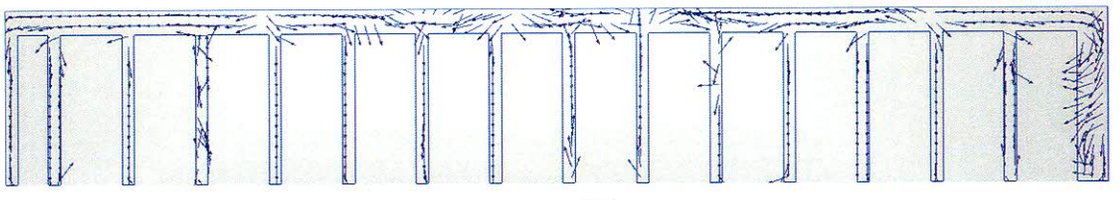
สนามความเร็วอากาศในระนาบตามความสูงของห้องเย็น แสดงในภาพ 36 ระนาบ Z1 พบว่าภาพรวมของสนามความเร็วอากาศทั่วห้อง บริเวณช่องว่างทางเดินหลักทั้งสองฝั่งนั้นถูกปรับเปลี่ยนให้มีความกว้างที่เท่ากัน โดยในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1 และ 3 นั้นมีจำนวนผลิตภัณฑ์จัดวางเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม อากาศมีการไหลปั่นป่วนบริเวณช่องว่างทางเดิน สนามความเร็วอากาศมีขนาดยาวมากขึ้นเกิดจากกระแสอากาศทุติยภูมิภายในช่องว่างทางเดิน ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์มีกระแสอากาศกระจายทั่วถึงมากขึ้น เช่นเดียวกับระนาบ Z2 จะสังเกตเห็นกระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็นเกิดการปั่นป่วนก่อนที่จะกระจายตัวออกมาปะทะกับชั้นผลิตภัณฑ์ทางด้านหน้าโดยตรง กระแสอากาศเมื่อปะทะกับชั้นผลิตภัณฑ์ได้เคลื่อนที่กระจายตัวออกทางด้านข้างทำให้เกิดการปั่นป่วนบริเวณช่องว่างทางเดินหลักเป็นอย่างมาก ขนาดของกระแสอากาศมีความเร็วมากขึ้นและสามารถกระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ได้ทั่วถึงมากขึ้น



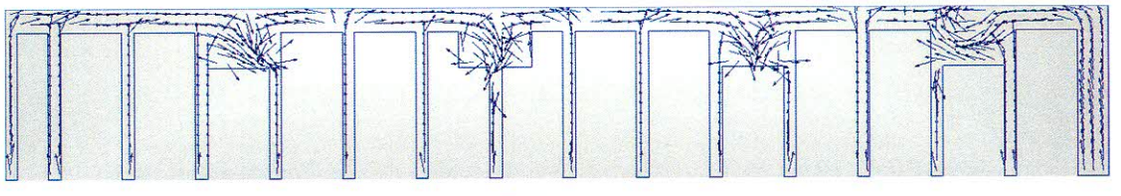
ระนาบ Y1



ระนาบ Y2



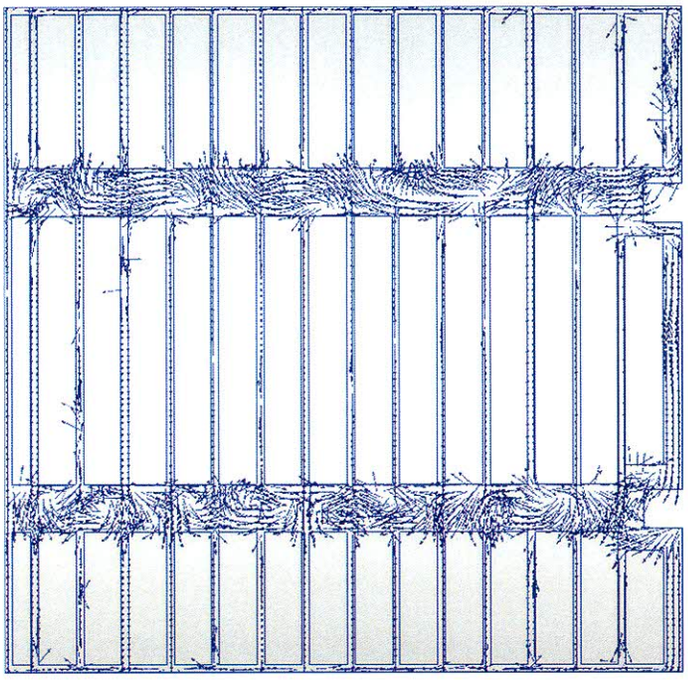
ระนาบ Y3



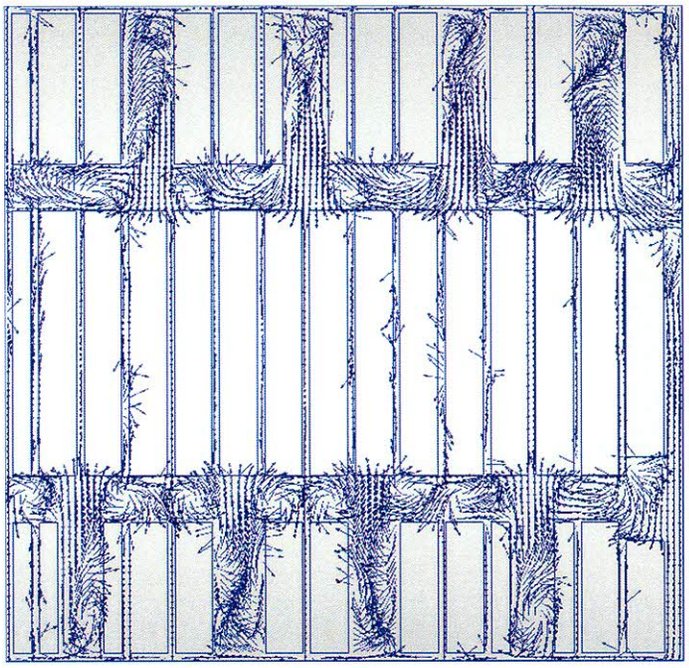
ระนาบ Y4

Reference Vector —1 เมตรต่อวินาที

ภาพ 35 ผลเฉลยสนามความเร็วอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 2



ระนาบ Z1



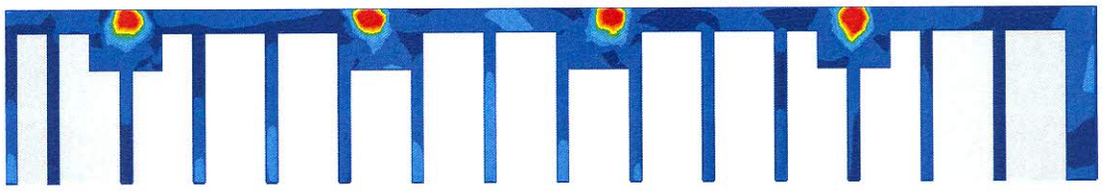
ระนาบ Z2

Reference Vector — 1 เมตรต่อวินาที

ภาพ 36 ผลเฉลยสนามความเร็วอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 2

ค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบดิ่งดังภาพ 37 ในระนาบ Y1 และ Y4 พบว่าพื้นที่สีแดงมีค่าความเร็วอากาศสูงคือความเร็วอากาศของกระแสอากาศที่ออกจากคอยล์เย็น ซึ่งเป็นการไหลทุติยภูมิ ส่งผลให้มีค่าความเร็วอากาศที่สูงบริเวณด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์และบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์มีค่าความเร็วสูงเป็นส่วนมาก ทั้งสองระนาบนี้มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยที่ 1.83 และ1.51 เมตรต่อวินาที ในระนาบ Y2 และ Y3 ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ยังมีบางบริเวณที่เป็นพื้นที่สีน้ำเงินแสดงว่ามีค่าความเร็วอากาศต่ำ และมีบางพื้นที่ที่มีค่าความเร็วอากาศสูงโดยเฉพาะบริเวณด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์ ซึ่งทั้งสองระนาบมีความสอดคล้องกับสนามความเร็วอากาศที่มีความเร็วอากาศเฉลี่ยในระนาบเท่ากับ 1.27 และ 1.35 เมตรต่อวินาที ทั้ง 3 โซนการจัดวางผลิตภัณฑ์พบว่ามีการจัดวางผลิตภัณฑ์เต็มพื้นที่ทำความเย็น แต่ยังมีความแตกต่างกันในส่วนของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ถูกจัดวางในแต่ละโซน โดยในโซนที่ 1 มีปริมาณผลิตภัณฑ์ที่น้อยกว่าทำให้อากาศสามารถกระจายตัวได้ดีส่งผลให้มีความเร็วสูง ส่วนโซนที่ 2 เป็นโซนที่มีปริมาณผลิตภัณฑ์มากที่สุดทำให้ความเร็วอากาศในโซนนี้มีค่าต่ำที่สุด

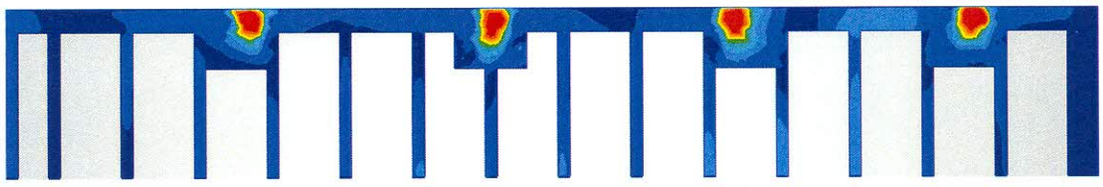
ส่วนในระนาบราบแสดงในภาพ 38 คือระนาบ Z1 พบว่ามีพื้นที่สีน้ำเงินบริเวณช่องว่างทางเดินหลักของห้องเย็นเป็นส่วนมาก ในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1 และ 3 ภายในช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์นั้นมีค่าความเร็วอากาศที่สูง มีบริเวณเพียงเล็กน้อยที่มีค่าความเร็วต่ำ ส่วนโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นที่สีน้ำเงินภายในช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์มากที่สุดคือโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 เนื่องจากเป็นโซนที่มีปริมาณผลิตภัณฑ์มากกว่าโซนอื่นและมีความยาวแถวของชั้นผลิตภัณฑ์ยาวกว่าแถวชั้นผลิตภัณฑ์ในโซนอื่นๆ จึงทำให้มีพื้นที่ในการกระจายตัวของอากาศน้อย ส่งผลให้มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยที่ 0.916 เมตรต่อวินาที ซึ่งต่างกับระนาบ Z2 มีความเร็วอากาศเฉลี่ยที่ 1.67 เมตรต่อวินาที เนื่องจากเป็นระนาบที่อยู่ใกล้กับคอยล์เย็นจึงมีกระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็นทำให้มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยในระนาบนี้สูงกว่าระนาบอื่นๆ



ระนาบ Y1

ระนาบ Y2

ระนาบ Y3

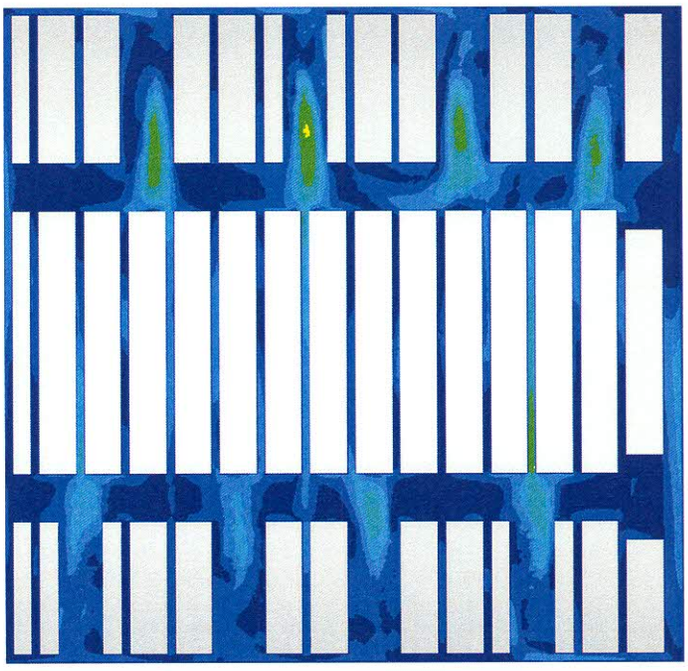


ระนาบ Y4

Velocity Magnitude (m/s)

ภาพ 37 ผลเฉลยค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 2

ระนาบ Z1



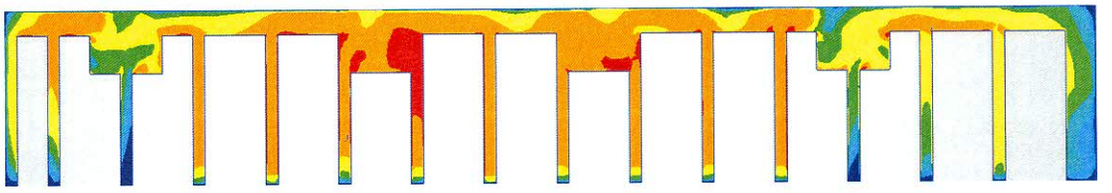
ระนาบ Z2

Velocity Magnitude (m/s)

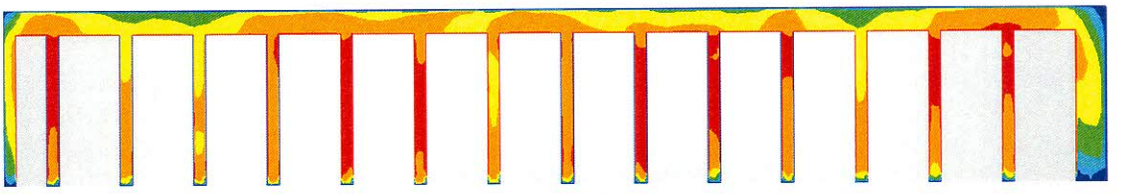
ภาพ 38 ผลเฉลยค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 2

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในภาพ 39 พบว่าในระนาบ Y1 และY4 มีอุณหภูมิสูงเกิดขึ้นในช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์เพียงเล็กน้อย เนื่องด้วยเป็นระนาบที่อยู่ภายในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณใกล้เคียงกันคือมีปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ถูกจัดวางในโซนนี้น้อยกว่าโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 อากาศสามารถกระจายตัวรอบผลิตภัณฑ์ ทำให้ในระนาบมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ -19.85 และ-19.72 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนระนาบ Y2 และ Y3 เนื่องจากเป็นโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณผลิตภัณฑ์มากกว่าโซนการจัดวางที่ 1 และ 3 อากาศที่ออกจากคอยล์เย็นเกิดการปะทะกับชั้นผลิตภัณฑ์และกระจายตัวออกทางด้านข้างเป็นส่วนมาก ค่าความเร็วอากาศลดลงมีผลให้อุณหภูมิในบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 นั้นมีค่าสูงขึ้นตาม ซึ่งค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในระนาบ Y2 อยู่ที่ -19.09 องศาเซลเซียส และในระนาบ Y3 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ -19.03 องศาเซลเซียส

ส่วนในระนาบราบดังภาพ 40 ในระนาบ Z1 จะพบว่าในทุกโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์นั้น ในโซนการจัดวางที่ 1 โดยช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์นั้นไม่มีบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง อาจเพราะเป็นโซนการจัดวางที่มีปริมาณผลิตภัณฑ์น้อยที่สุดและความยาวแถวของชั้นผลิตภัณฑ์สั้นกว่าโซนการจัดวางอื่นๆ ทำให้ระนาบนี้มีค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่ -19.21 องศาเซลเซียส ระนาบ Z2 เป็นระนาบที่ตัดผ่านที่ระดับความสูงของชั้นผลิตภัณฑ์ชั้นบนสุด พบว่าช่องว่างในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1 และ 3 คือช่องว่างของชั้นผลิตภัณฑ์ที่กระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็นเคลื่อนที่ออกมาผ่านช่องว่างนี้ โดยช่องว่างนี้ยังมีบริเวณสีแดงเล็กน้อยซึ่งเป็นบริเวณที่ยังมีอุณหภูมิที่สูง ส่วนบริเวณช่องว่างทางเดินไม่มีบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 นั้น ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์นั้นมีบริเวณพื้นที่สีแดงเป็นบริเวณกว้าง ซึ่งทำให้ระนาบนี้มีค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยที่ -19.07 องศาเซลเซียส

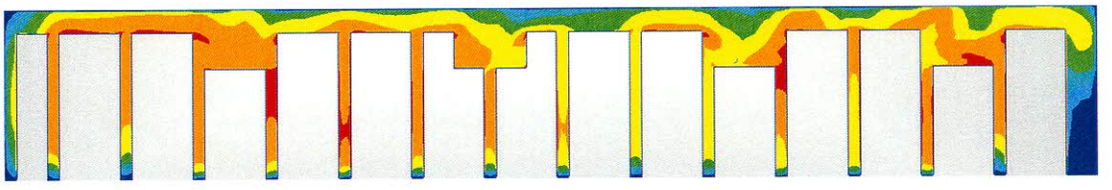


ระนาบ Y1

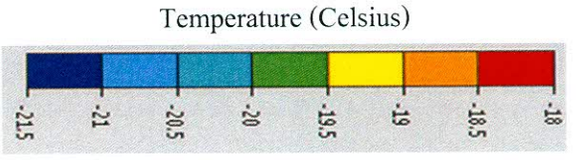


ระนาบ Y2

ระนาบ Y3



ระนาบ Y4



ภาพ 39 ผลเฉลยค่าระดับอุณหภูมิอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 2

ระนาบ Z1

ระนาบ Z2

Temperature (Celsius)

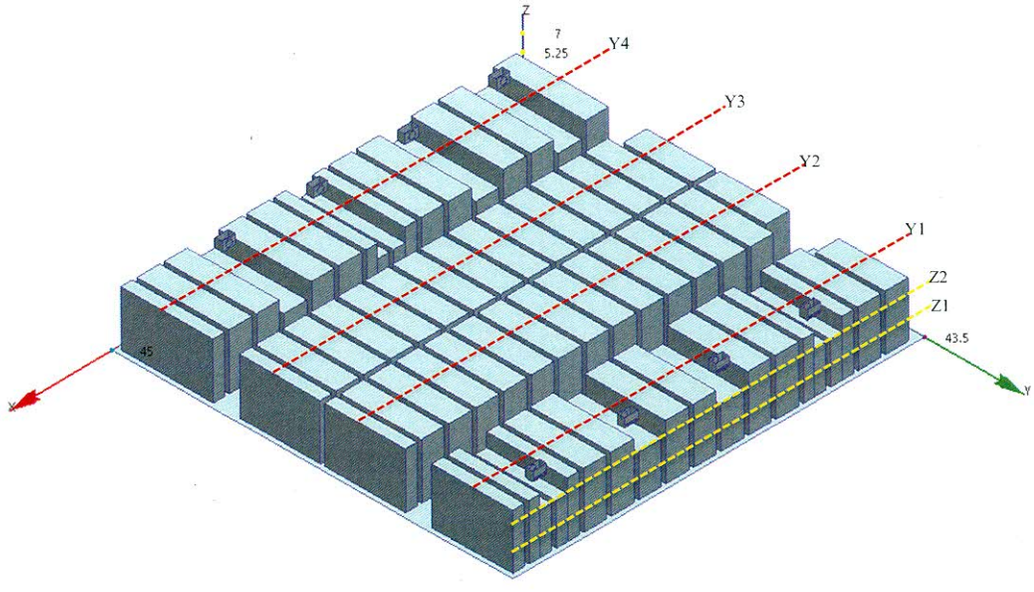
ภาพ 40 ผลเฉลยค่าระดับอุณหภูมิอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 2

สรุปได้ว่า ผลการจำลองการไหลในรูปแบบที่ 2 มีค่าเฉลี่ยความเร็วอากาศในโซนที่ 1 อยู่ที่ 1.83 เมตรต่อวินาที โซนที่ 2 มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ย 1.31 เมตรต่อวินาที และโซนที่ 3 มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยที่ 1.51 เมตรต่อวินาที พบว่าในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1 นั้นมีค่าความเร็วอากาศสูงที่สุดและเป็นโซนที่มีปริมาณผลิตภัณฑ์น้อยที่สุดจากทั้ง 3 โซน ซึ่งทั้ง 3 โซนที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์อยู่ที่ 1.55 เมตรต่อวินาที ซึ่งความเร็วอากาศในแต่ละโซนมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ถ้าหากมีค่าความเร็วอากาศสูงจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงตาม ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เร็วเย็นขึ้นและพบว่าค่าอุณหภูมิอากาศในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 โซนนั้นไม่ผ่านเกณฑ์ค่าอุณหภูมิอากาศแตกต่างกัน 0.8 องศาเซลเซียส

จากผลการจำลองการไหลที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 2 พบว่าการจัดวางผลิตภัณฑ์ให้เต็มพื้นที่ทำความเย็น ผลิตภัณฑ์ได้รับความเย็นจากอากาศที่ออกจากคอยล์เย็นโดยตรง แต่เนื่องด้วยการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณมากอาจทำให้เกิดอุณหภูมิสูงเกิดขึ้นบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ได้ การปรับความกว้างของช่องว่างทางเดินหลักของห้องเย็นให้มีความกว้างที่เหมาะสมและตรงกับประตูทางเข้า – ออกห้องเย็น มีผลต่อการทำงานของพนักงานที่สามารถปฏิบัติงานได้สะดวกรวดเร็วมากขึ้น เพื่อลดการเคลื่อนไหวของพนักงานที่มีผลต่ออุณหภูมิและความเร็วอากาศในห้องเย็น โซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 ยังพบว่ามีอุณหภูมิสูงเกิดขึ้นภายในช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ อาจเนื่องจากความยาวแถวของชั้นผลิตภัณฑ์ในโซนนี้ยาวมากกว่าแถวของชั้นผลิตภัณฑ์ในโซนอื่นๆ จึงสังเกตเห็นปัญหาในข้อนี้นำไปปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 3 ต่อไป

การจำลองการไหลที่มีการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 3

การออกแบบการจัดวางในรูปแบบนี้ได้ทำการวิเคราะห์ผลการจำลองจากรูปแบบที่ 2 เห็นว่าลักษณะความร้อนสะสมที่เกิดขึ้นส่วนมากอยู่ในบริเวณโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 ที่มีความร้อนสะสมอยู่ในช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์เป็นแนวยาว จึงมีแนวคิดการจัดวางในรูปแบบนี้คือทำการเพิ่มช่องว่างระหว่างแถวของผลิตภัณฑ์ที่มีความยาวมากเกินไปในโซนที่ 2 ดังแสดงในภาพ 41



ภาพ 41 ระนาบที่ทำการพิจารณาของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 3

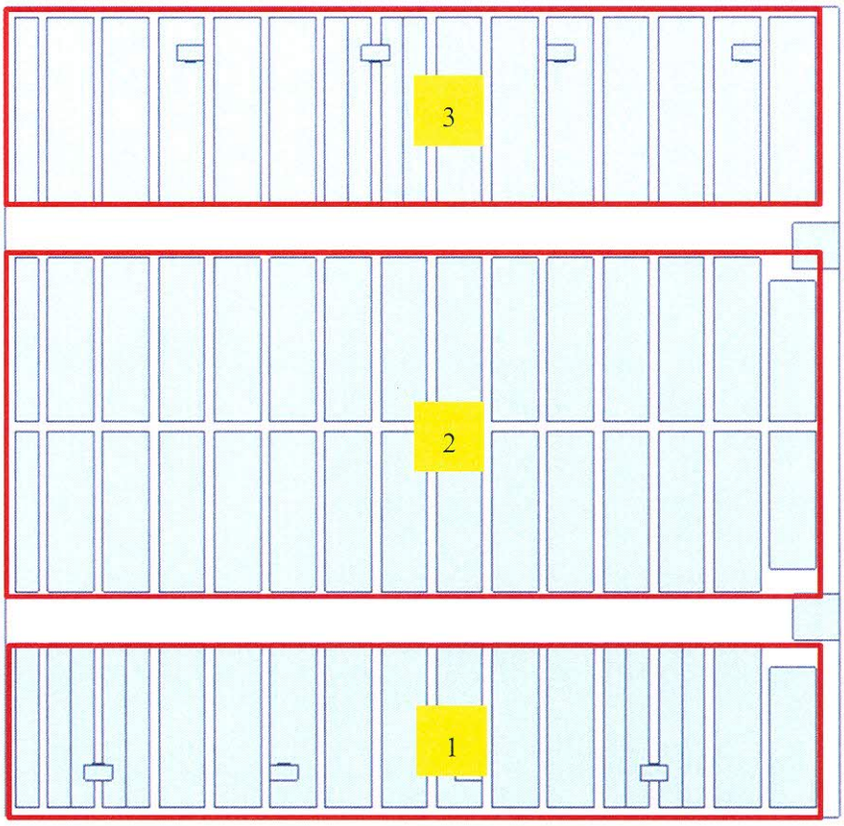
เมื่อ ระนาบ Y1 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 1 ที่ระยะ Y = 38.625 เมตร

ระนาบ Y2 และ Y3 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 2 ที่ระยะ Y = 22.625 และ 17.75 เมตร

ระนาบ Y4 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 3 ที่ระยะ Y = 5.5 เมตร

ระนาบ Z1 และ Z2 คือ ระนาบที่ตั้งฉากกับแนวแกน Z ที่ตัดผ่านบริเวณกึ่งกลางผลิตภัณฑ์ในชั้นที่ 2 และ 4 ที่ระยะ Z = 2.25 และ 5.25 เมตร

ทำการพิจารณาค่าความเร็วอากาศและอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็นแบ่งออกเป็น 3 โซนดังแสดงในภาพ 42 ซึ่งทำการพิจารณาพื้นที่ที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์โดยห่างออกมาจากผลิตภัณฑ์ทุกด้าน 0.5 เมตร ส่วนพื้นที่ว่างทางเดินจะไม่นำข้อมูลส่วนนั้นมาคิด



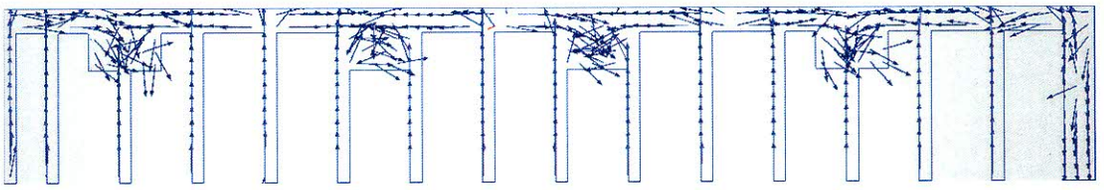
ภาพ 42 โซนพื้นที่ที่ทำการพิจารณาของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 3

โซนที่ 1 และ 3 คือ โซนที่มีการวางผลิตภัณฑ์ไว้ข้างล่างคอยล์เย็นเย็น และมีระดับการวางผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน

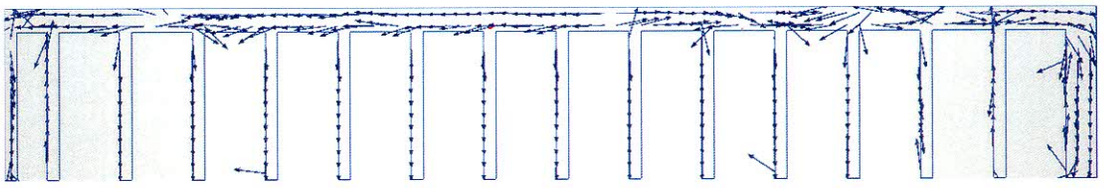
โซนที่ 2 คือ โซนที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์จำนวนมากที่สุด จัดวางอยู่กลางห้องเย็นและความสูงของชั้นวางผลิตภัณฑ์เท่ากันทั้งหมด

เมื่อพิจารณาการจำลองการไหลในการจัดวางผลิตภัณฑ์ในแบบที่ 3 แสดงสนามความเร็วอากาศในภาพ 43 ระนาบ Y1 ลักษณะสนามความเร็วในระนาบนี้มีทิศทางการไหลที่ปั่นป่วนบริเวณด้านบนชั้นผลิตภัณฑ์ สนามความเร็วอากาศกระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ไม่มาก ซึ่งคล้ายกับระนาบ Y4 ในบริเวณด้านล่างคอยล์เย็นที่มีพื้นที่ค่อนข้างแคบ อากาศอาจเกิดการหมุนวนเพื่อหาทางกระจายตัวไปยังด้านข้างของชั้นผลิตภัณฑ์ ระนาบ Y2 และระนาบ Y3 มีลักษณะของการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่เต็มพื้นที่ทำความเย็นภายในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 เหมือนกันทั้งสองระนาบ ลักษณะสนามความเร็วอากาศมีทิศทางกระจายตัวอยู่บริเวณด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์และกระจายออกไปยังด้านข้างเข้าสู่บริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์

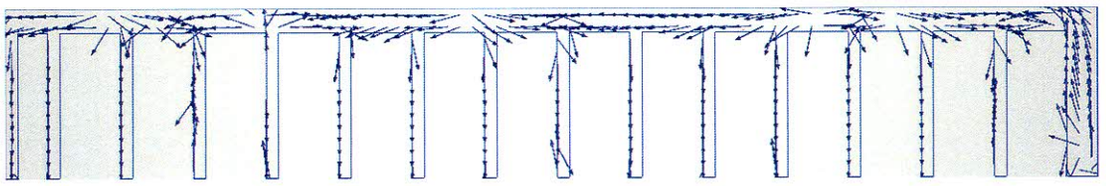
สนามความเร็วในระนาบราบดังภาพ 44 ระนาบ Z1 จะสังเกตได้จากบริเวณช่องว่างทางเดินหลักของห้องเย็น มีสนามความเร็วอากาศที่ไม่หนาแน่นและเกิดกระแสอากาศวนไม่กระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ในโซนการจัดวางที่ 2 เท่าที่ควร เช่นเดียวกับโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1 และ 3 สนามความเร็วอากาศหมุนวนกันอยู่ที่ช่องว่างทางเดินหลักของห้องเย็นแต่ยังมีขนาดสนามความเร็วอากาศที่น้อยอยู่และภายในช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ในโซนที่ 3 นั้นสนามความเร็วอากาศกระจายตัวเข้าไปได้น้อยเนื่องจากมีช่องว่างระหว่างชั้นเพิ่มมากขึ้นสนามความเร็วอากาศจึงกระจายตัวได้ไม่ดีพอ เช่นเดียวกับระนาบ Z2 ในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 บริเวณที่เป็นช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ไม่ค่อยมีสนามความเร็วอากาศมากนัก ต่างจากบริเวณช่องว่างทางเดินที่มีสนามความเร็วอากาศกระจายตัวอยู่เต็มพื้นที่ แต่กระแสอากาศหลักที่ออกจากห้องเย็นเกิดการหมุนวนปั่นป่วนอย่างมาก อาจทำให้มีผลต่อสนามความเร็วอากาศอาจมีการกระจายตัวที่เปลี่ยนแปลงไป



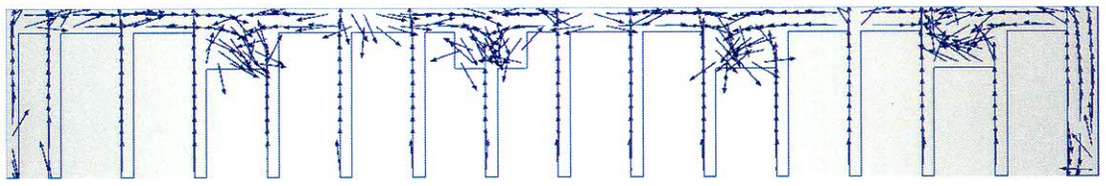
ระนาบ Y1



ระนาบ Y2



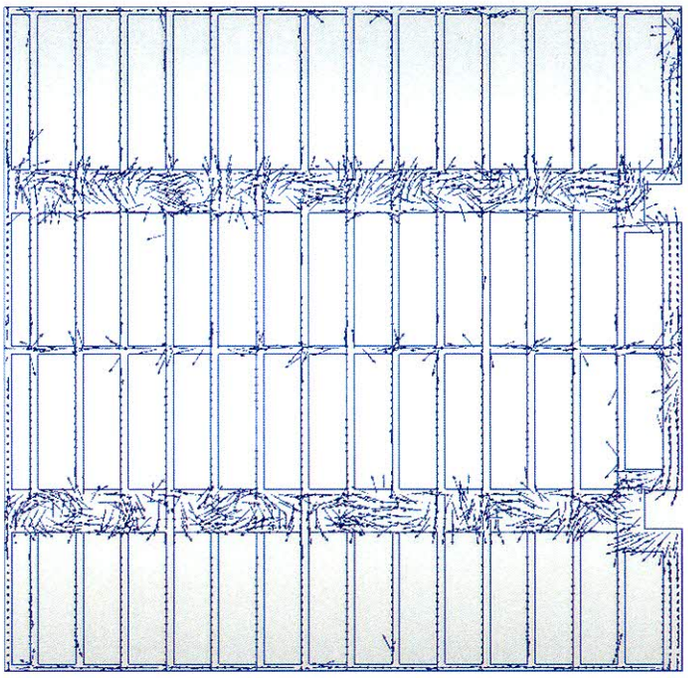
ระนาบ Y3



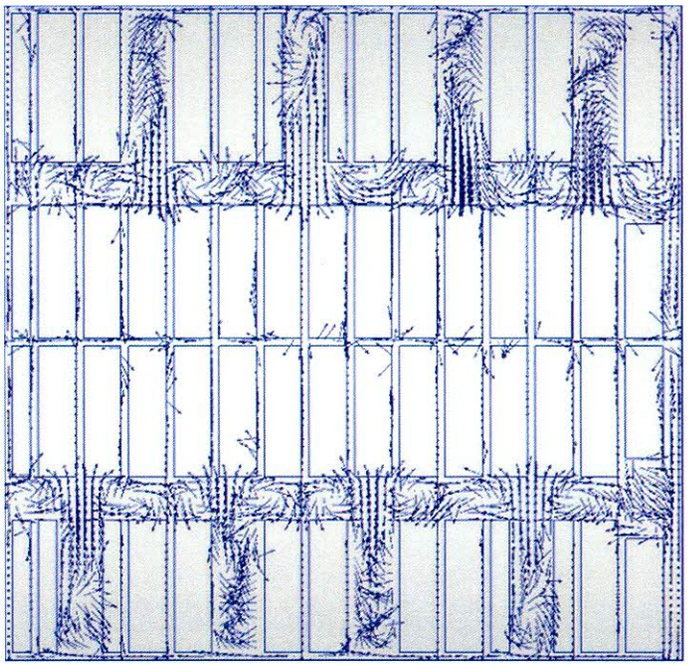
ระนาบ Y4

Reference Vector — 1 เมตรต่อวินาที

ภาพ 43 ผลเฉลยสนามความเร็วอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 3



ระนาบ Z1



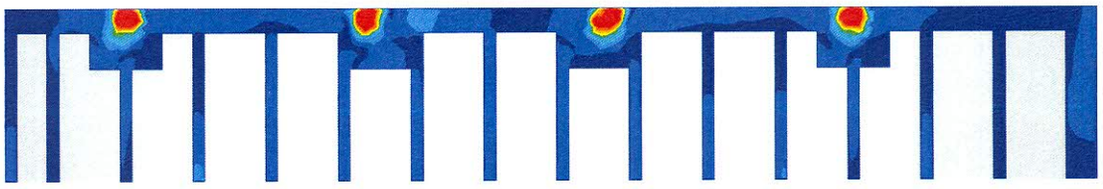
ระนาบ Z2

Reference Vector — 1 เมตรต่อวินาที

ภาพ 44 ผลเฉลยสนามความเร็วอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 3

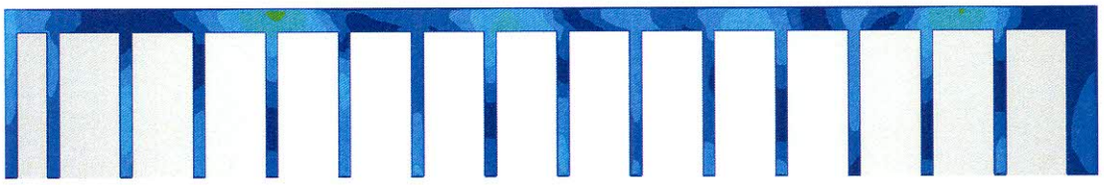
ค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบดิ่งดังภาพ 45 แต่ละระนาบที่ทำการพิจารณา พบว่า ระนาบ Y1 และ Y4 มีความเร็วอากาศที่สูงเฉลี่ย 1.28 และ 1.38 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ในระนาบทั้งสองนี้มีค่าความเร็วอากาศสูงบริเวณด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นบริเวณเดียวกันที่มีกระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็น พบว่าบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์นั้นมีค่าความเร็วที่สูงมากขึ้นและมีพื้นที่สีน้ำเงินเข้มที่เป็นบริเวณที่มีค่าความเร็วต่ำเพียงเล็กน้อย ส่วนในระนาบ Y2 และ Y3 อยู่ในโซนการวางผลิตภัณฑ์เดียวกัน มีพื้นที่สีน้ำเงินเข้มที่มีค่าความเร็วอากาศต่ำสลับกับพื้นที่สีฟ้าที่มีค่าความเร็วสูง บริเวณด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์ทั้งสองระนาบนี้มีค่าความเร็วอากาศที่สูง เนื่องจากยังมีการกระจายตัวของกระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็นกระจายตัวอยู่แต่ก็ยังมีการกระจายตัวเข้าสู่บริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ไม่มากนัก ทำให้ความเร็วอากาศเฉลี่ยทั้งสองระนาบนี้อยู่ที่ 1.15 และ 1.04 เมตรต่อวินาที

ค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบราบดังภาพ 46 ในระนาบ Z1 เป็นการตัดระนาบที่ระดับความสูงของชั้นผลิตภัณฑ์ด้านล่าง พบว่าอากาศระดับบริเวณด้านล่างของห้องเย็นนั้นมีค่าความเร็วอากาศที่ค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะบริเวณช่องว่างทางเดินหลักของห้องเย็นทั้งสองข้างมีพื้นที่สีน้ำเงินเข้มเป็นบริเวณกว้าง ส่วนบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ในโซนการจัดวางที่ 1และ 3 นั้น มีพื้นที่เป็นสีฟ้าแสดงว่ามีค่าความเร็วอากาศที่สูง ส่วนโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 นั้นพบว่าบริเวณที่เป็นช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์นั้นมากอาจทำให้อากาศไม่สามารถกระจายตัวได้อย่างทั่วถึง เนื่องจากการกระจายตัวของอากาศที่ดีนั้นควรมีพื้นที่ที่เหมาะสม จึงทำให้มีความเร็วอากาศเฉลี่ยในระนาบนี้ 0.95 เมตรต่อวินาที ระนาบ Z2 บริเวณช่องว่างทางเดินมีบริเวณที่เป็นพื้นที่สีน้ำเงินเข้มอยู่แสดงว่ามีค่าความเร็วอากาศต่ำ แต่บริเวณที่เป็นช่องว่างบนชั้นผลิตภัณฑ์ในโซนการจัดวางที่ 1 และ 3 พบว่ามีกระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เยเย็นกระจายตัวออกมาปะทะกับชั้นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ด้านหน้าและกระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นเป็นบางส่วน ทำให้ค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยในระนาบนี้สูงถึง 1.48 เมตรต่อวินาที

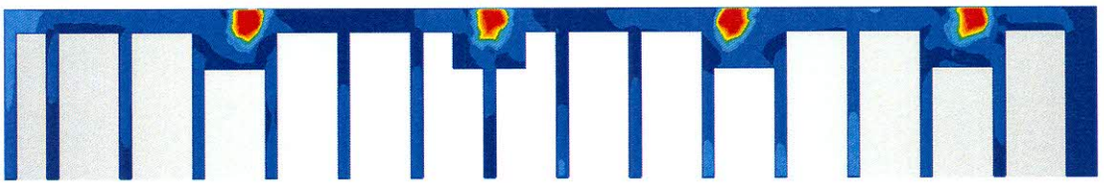


ระนาบ Y1

ระนาบ Y2

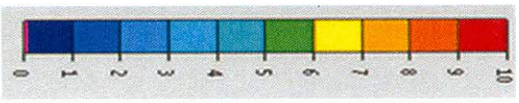


ระนาบ Y3

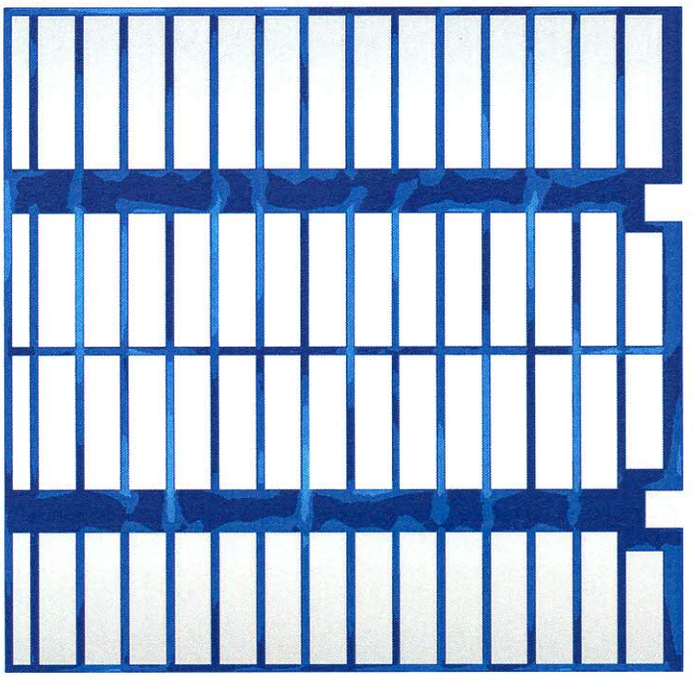


ระนาบ Y4

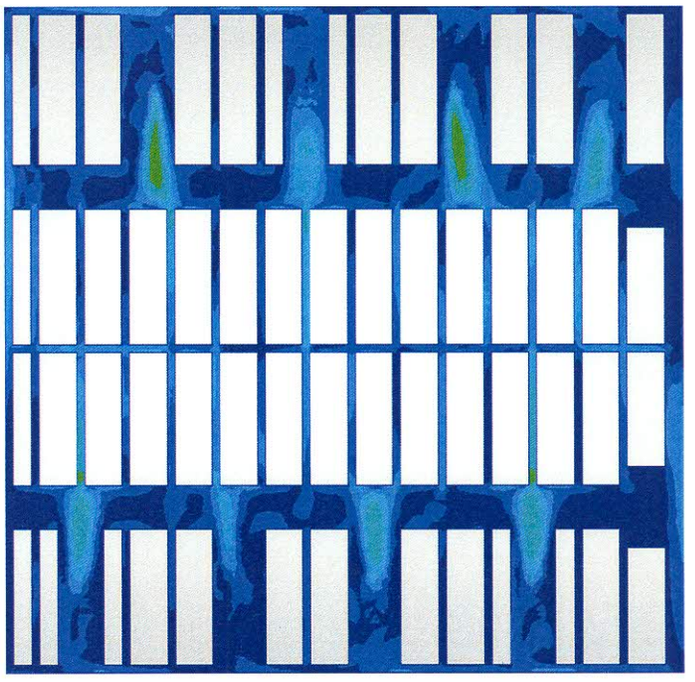
Velocity Magnitude (m/s)



ภาพ 45 ผลเฉลยค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 3

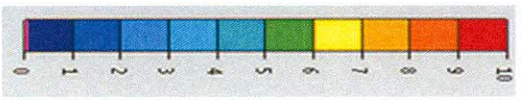


ระนาบ Z1



ระนาบ Z2

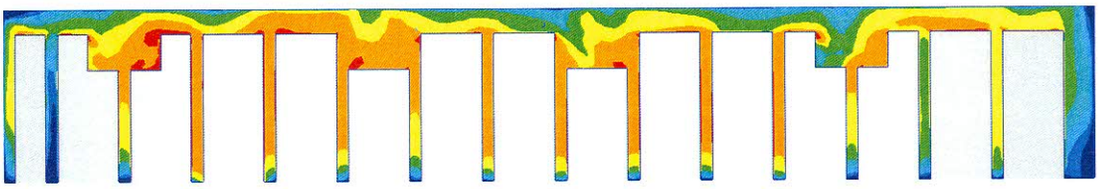
Velocity Magnitude (m/s)



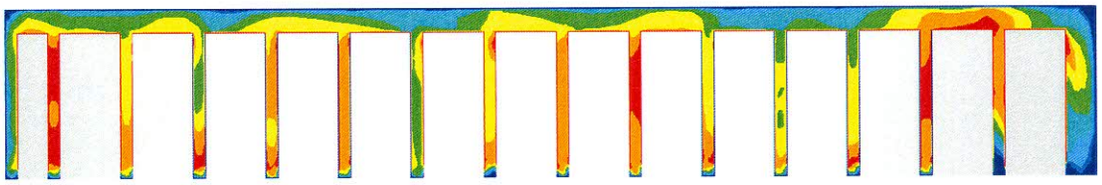
ภาพ 46 ผลเฉลยค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 3

พิจารณาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในแต่ละระนาบดิ่งดังภาพ 47 พบว่าในระนาบ Y1 ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์นั้นไม่มีบริเวณพื้นที่สีแดงที่มีอุณหภูมิสูง มีเพียงบริเวณด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์เล็กน้อยที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งในระนาบนี้มีอุณหภูมิเฉลี่ย -19.38 องศาเซลเซียส ส่วนในระนาบ Y2, Y3 และ Y4 นั้นมีบริเวณพื้นที่สีแดงเกิดขึ้นในบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์เป็นบริเวณกว้าง กระแสอากาศที่ออกจากคอยล์เย็นอาจเกิดการปะทะกันทำให้กระแสอากาศปั่นป่วนและหมุนวนเคลื่อนที่ไปในทิศทางอื่น สังเกตได้จากสนามความเร็วอากาศในภาพ 41 ที่สนามความเร็วมีการกระจายตัวที่ไม่ทั่วถึงในบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ ทำให้ทั้งสามระนาบมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ -19.04, -19.12 และ -19.23 องศาเซลเซียส

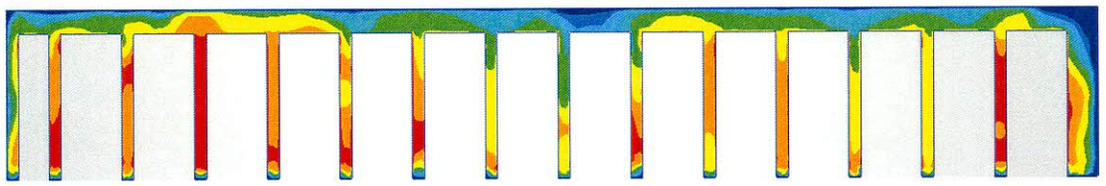
ค่าระดับอุณหภูมิในระนาบราบดังภาพ 48 ระนาบ Z1 พบว่าโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 มีอุณหภูมิสูงเป็นบริเวณกว้างกว่าโซนอื่น ส่วนมาเกิดในบริเวณที่เป็นช่องว่างที่ทำการแบ่งความยาวแถวผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นบริเวณกลางโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 โซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1 และ 3 นั้นมีพื้นที่สีแดงที่มีอุณหภูมิสูงเพียงเล็กน้อยอยู่ภายในช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ทำให้ระนาบนี้มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ -18.95 องศาเซลเซียส ซึ่งในระนาบ Z2 โซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 ยังมีพื้นที่สีแดงที่มีค่าอุณหภูมิสูงเกิดขึ้นอยู่ภายในช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์แต่เป็นบริเวณไม่กว้างเท่าระนาบ Z1 เนื่องจากเป็นระนาบที่ระดับความสูงมากขึ้นใกล้กับระนาบเดียวกับอากาศที่ออกจากคอยล์เย็น จึงทำให้กระแสอากาศที่ออกจากคอยล์เย็นกระจายตัวได้ทั่วถึงเร็วกว่าชั้นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระดับล่าง ส่วนโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1 และ 3 นั้นบริเวณที่เป็นช่องว่างบนชั้นผลิตภัณฑ์ที่มีกระแสอากาศหลักเคลื่อนที่ผ่านบริเวณนั้น ยังมีพื้นที่สีแดงที่มีค่าอุณหภูมิอากาศสูงอยู่ ทำให้ระนาบนี้มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ -19.09 องศาเซลเซียส



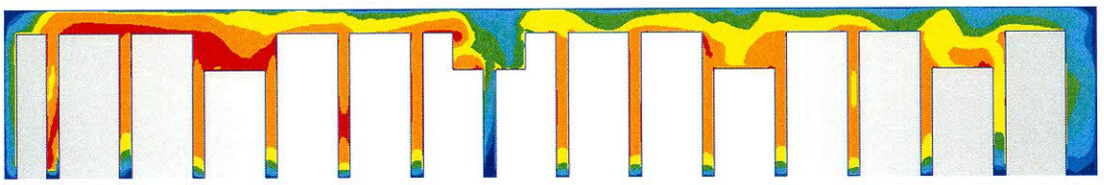
ระนาบ Y1



ระนาบ Y2



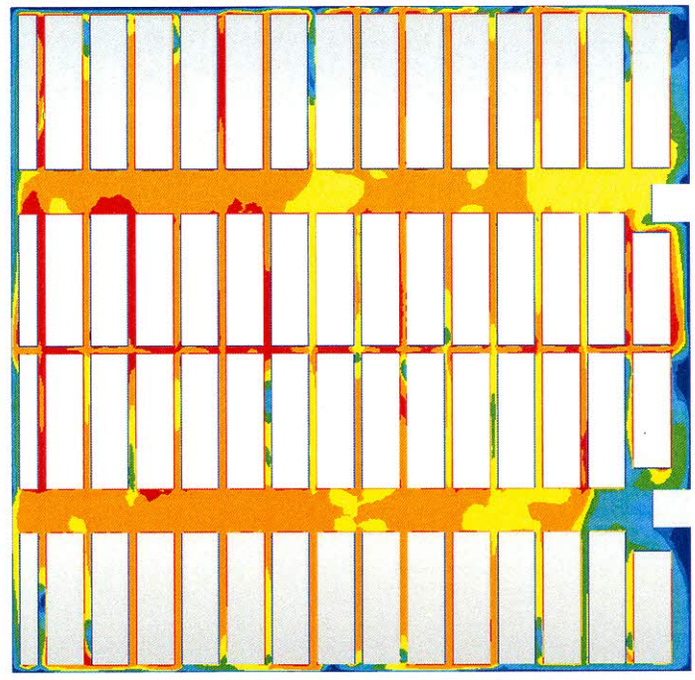
ระนาบ Y3



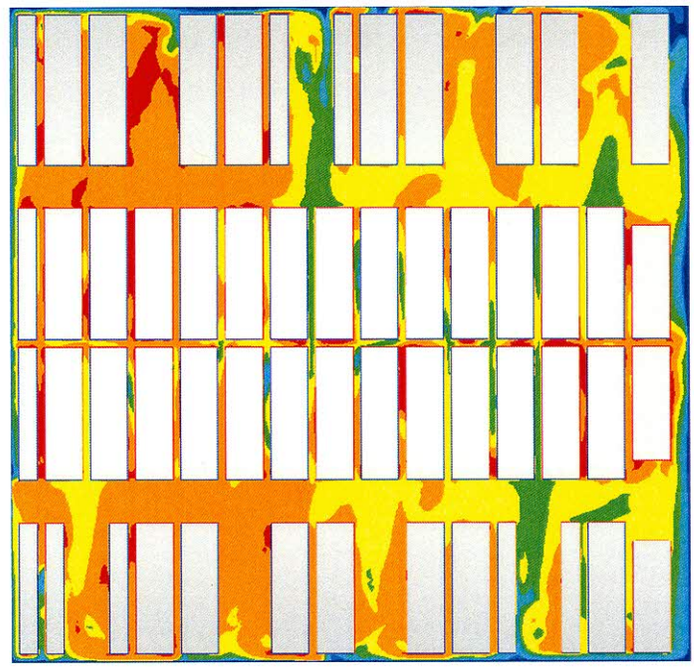
ระนาบ Y4

Temperature (Celsius)

ภาพ 47 ผลเฉลยค่าระดับอุณหภูมิอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 3



ระนาบ Z1



ระนาบ Z2

Temperature (Celsius)

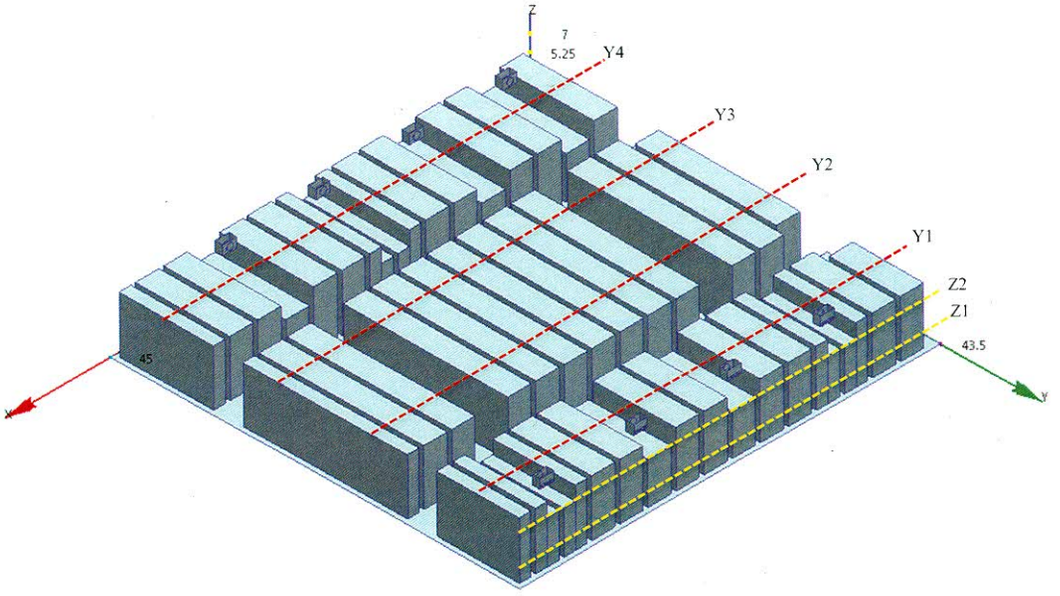
ภาพ 48 ผลเฉลยค่าระดับอุณหภูมิอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 3

สรุปได้ว่า ผลการจำลองการไหลในรูปแบบที่ 3 มีค่าเฉลี่ยความเร็วอากาศในโซนที่ 1 อยู่ที่ 1.28 เมตรต่อวินาที โซนที่ 2 มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ย 1.095 เมตรต่อวินาที และโซนที่ 3 มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยที่ 1.38 เมตรต่อวินาที พบว่าในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 3 นั้นมีค่าความเร็วอากาศสูงที่สุดจากทั้ง 3 โซน ซึ่งทั้ง 3 โซนที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์อยู่ที่ 1.25 เมตรต่อวินาที ซึ่งความเร็วอากาศในแต่ละโซนมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ถ้าหากมีค่าความเร็วอากาศสูงจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงตาม ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เย็นเร็วขึ้นและพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 โซนนั้นไม่ผ่านเกณฑ์ค่าอุณหภูมิอากาศต่างกัน 0.8 องศาเซลเซียส

จากผลการปรับเปลี่ยนการจัดวางในรูปแบบที่ 3 โดยการลดความยาวแถวผลิตภัณฑ์ในโซนที่ 2 ให้มีความยาวลดลงโดยการเพิ่มช่องว่างกึ่งกลางแถวของผลิตภัณฑ์ในโซนที่ 2 ไม่ได้ช่วยลดพื้นที่สีแดงที่มีค่าอุณหภูมิสูง อาจเนื่องจากในโซนการจัดวางที่ 2 นั้นมีพื้นที่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น กระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็นเกิดการปั่นป่วนและกระจายตัวได้ไม่ทั่วถึงภายในช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ในโซนการจัดวางที่ 2 และการเพิ่มช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงกับแนวกระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็น ทำให้อากาศกระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ที่ขวางกับแนวกระแสอากาศหลักได้ไม่ดีมากนัก

การจำลองการไหลที่มีการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 4

การจำลองการไหลการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบนี้ เนื่องจากมีผลิตภัณฑ์จัดวางอย่างหนาแน่นในโซนนี้ อาจเกิดความร้อนสะสมได้ในบริเวณช่องว่างทางเดินตรงส่วนกลางของโซนได้มีแนวคิดการปรับเปลี่ยนการจัดวาง โดยเพิ่มพื้นที่ช่องว่างทางเดินในส่วนกลางของโซนที่ 2 ดังแสดงในภาพ 49



ภาพ 49 ระนาบที่ทำการพิจารณาของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 4

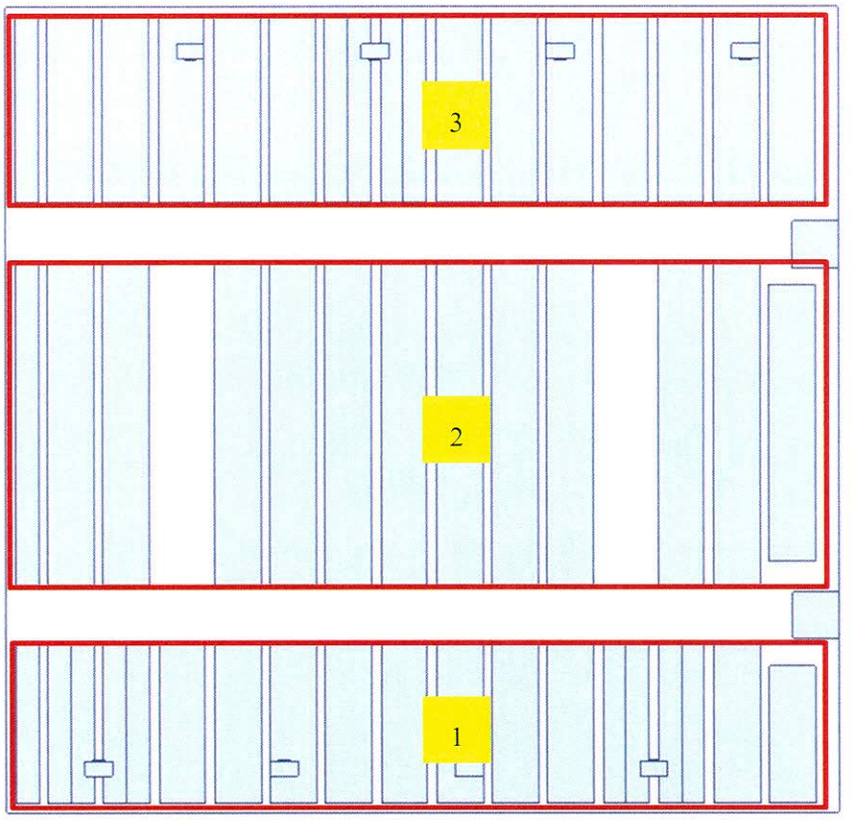
เมื่อระนาบ Y1 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 1 ที่ระยะ Y = 38.625 เมตร

ระนาบ Y2 และ Y3 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 2 ที่ระยะ Y = 26.75 และ 18.0 เมตร

ระนาบ Y4 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 3 ที่ระยะ Y = 5.5 เมตร

ระนาบ Z1 และ Z2 คือ ระนาบที่ตั้งฉากกับแนวแกน Z ที่ตัดผ่านบริเวณกึ่งกลางผลิตภัณฑ์ในชั้นที่ 2 และ 4 ที่ระยะ Z = 2.25 และ 5.25 เมตร

ทำการพิจารณาค่าความเร็วอากาศและอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็นแบ่งออกเป็น 3 โซนดังแสดงในภาพ 50 ซึ่งทำการพิจารณาพื้นที่ที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์โดยห่างออกมาจากผลิตภัณฑ์ทุกด้าน 0.5 เมตร ส่วนพื้นที่ว่างทางเดินจะไม่นำข้อมูลส่วนนั้นมาคิด



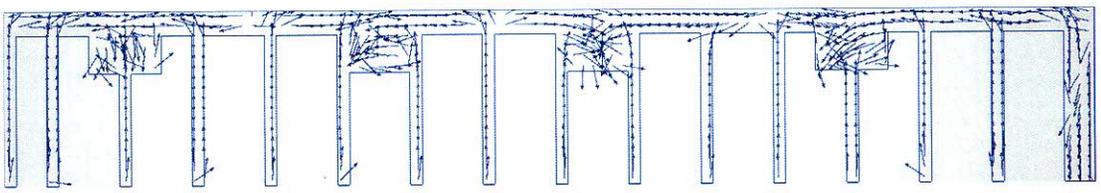
ภาพ 50 โซนพื้นที่ที่ทำการพิจารณาของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 4

โซนที่ 1 และ 3 คือ โซนที่มีการวางผลิตภัณฑ์ไว้ข้างล่างคอยล์เย็นเย็น และมีระดับการวางผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน

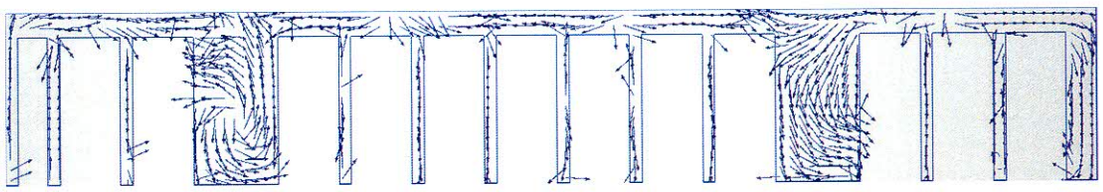
โซนที่ 2 คือ โซนที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์จำนวนมากที่สุด จัดวางอยู่กลางห้องเย็นและความสูงของชั้นวางผลิตภัณฑ์เท่ากันทั้งหมด

สนามความเร็วอากาศในระนาบดิ่งดังภาพ 51 พบว่าในระนาบ Y1 และ Y4 ลักษณะสนามความเร็วในระนาบนี้มีทิศทางการไหลที่ปั่นป่วนบริเวณด้านบนชั้นผลิตภัณฑ์ สนามความเร็วอากาศกระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ ในบริเวณด้านล่างคอยล์เย็นที่มีพื้นที่ค่อนข้างแคบ อากาศอาจเกิดการหมุนวนเพื่อหาทางกระจายตัวไปยังด้านข้างของชั้นผลิตภัณฑ์ ระนาบ Y2 และ Y3 เป็นระนาบที่อยู่ในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์เดียวกัน เป็นโซนที่มีการเพิ่มช่องว่างทางเดินและแบ่งผลิตภัณฑ์เป็นกลุ่มย่อย พบว่าสนามความเร็วอากาศมีการกระจายตัวอยู่ด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์และกระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ทุกช่อง สนามความเร็วอากาศในบริเวณช่องว่างทางเดินนั้นมีลักษณะทิศทางเคลื่อนที่ลงมายังช่องว่างเกิดการปั่นป่วนเล็กน้อย

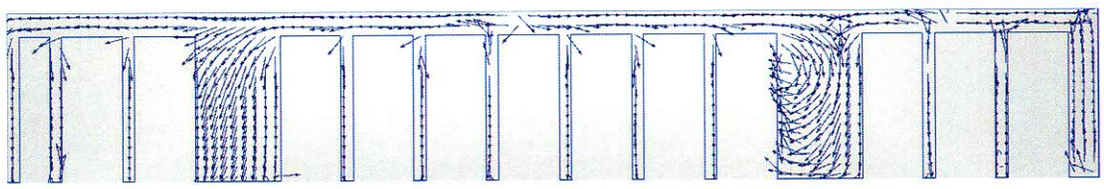
สนามความเร็วอากาศตามระนาบดิ่งดังภาพ 52 ในระนาบ Z1 สนามความเร็วอากาศเคลื่อนที่กระจายตัวเต็มพื้นที่ที่เป็นช่องว่างทางเดิน ช่องว่างทางเดินที่ขวางแนวกระแสอากาศหลักมักจะเกิดการปั่นป่วนของอากาศมากกว่าช่องว่างทางเดินที่อยู่แนวเดียวกับกระแสอากาศหลัก บริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 โซนที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ สนามความเร็วกระแสได้อย่างทั่วถึงมากขึ้น ส่วนระนาบ Z2 มีสนามความเร็วปั่นป่วนมากในบริเวณช่องว่างทางเดินหลักและมีขนาดความยาวของความเร็วอากาศแสดงว่ามีความเร็วสูง เนื่องจากมีพื้นที่ให้อากาศกระจายตัวได้มากทำให้อากาศเคลื่อนที่เข้าไปยังบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ได้ดีมากขึ้น



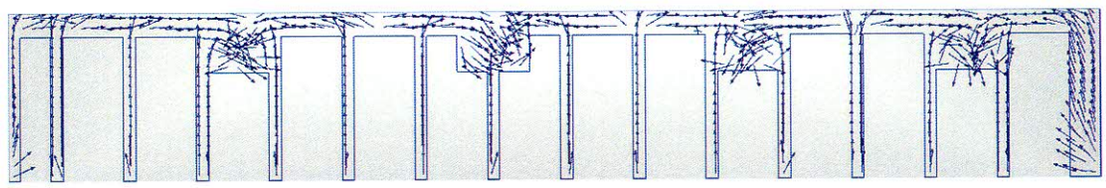
ระนาบ Y1



ระนาบ Y2



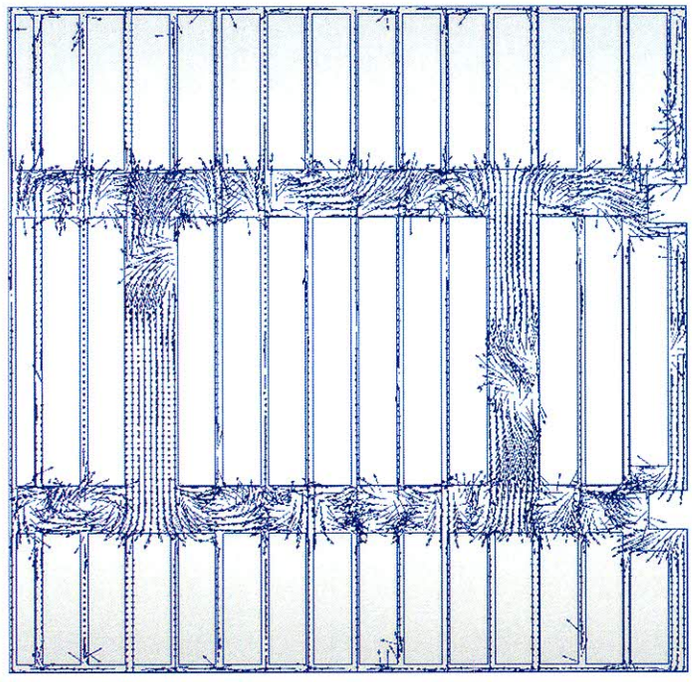
ระนาบ Y3



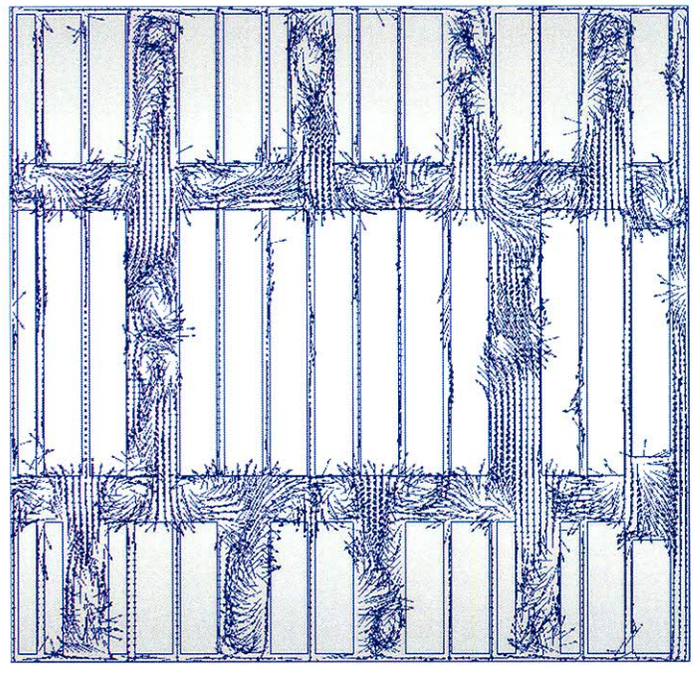
ระนาบ Y4

Reference Vector — 1 เมตรต่อวินาที

ภาพ 51 ผลเฉลยสนามความเร็วอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 4



ระนาบ Z1



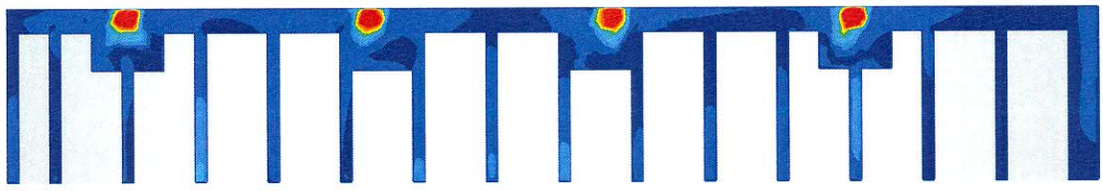
ระนาบ Z2

Reference Vector — 1 เมตรต่อวินาที

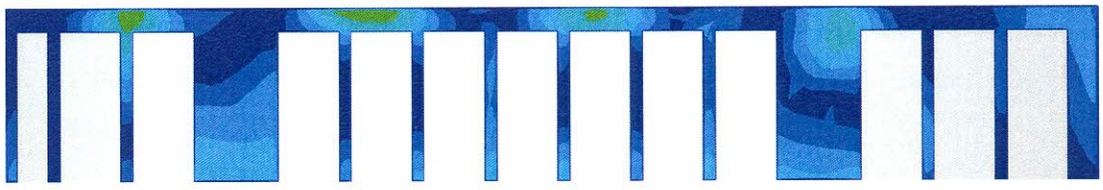
ภาพ 52 ผลเฉลยสนามความเร็วอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 4

ค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบดิ่งดังภาพ 53 พบว่าในระนาบ Y1 และ Y4 พบว่ามีค่าความเร็วอากาศสูงบริเวณด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นความเร็วของกระแสอากาศหลัก มีพื้นที่สีน้ำเงินเข้มที่มีค่าความเร็วอากาศต่ำอยู่บางบริเวณ ส่วนมากเป็นพื้นที่สีฟ้าที่มีความเร็วอากาศสูง ทำให้ทั้งสองระนาบมีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยอยู่ที่ 1.63 และ 1.74 เมตรต่อวินาที ส่วนระนาบ Y2 และ Y3 พบว่ามีช่องว่างภายในระนาบนั้นคือช่องว่างทางเดินที่ทำการปรับเปลี่ยนการจัดวางให้มีพื้นที่ว่างให้อากาศกระจายตัวเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ในโซนการจัดวางที่ 2 ได้มากขึ้น พบว่าช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์นั้นมีพื้นที่เป็นสีฟ้าส่วนมากแสดงว่ามีความเร็วในช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์มากขึ้น ทำให้ทั้งสองระนาบมีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ย 1.74 และ 1.66 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ

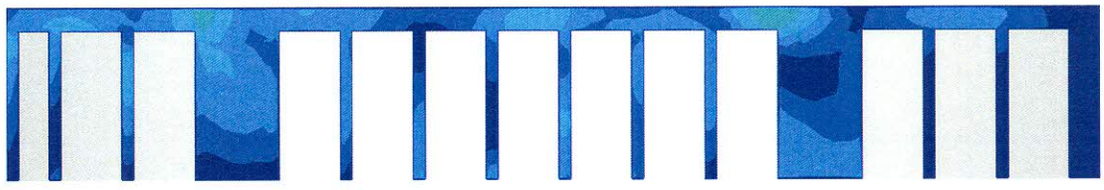
ค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบราบดังภาพ 54 ระนาบ Z1 เป็นระนาบที่ตัดผ่านผลิตภัณฑ์ชั้นล่างจะเห็นถึงค่าความเร็วอากาศในโซนการจัดวางที่ 1 และ 3 นั้นมีพื้นที่สีฟ้าในบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ ส่วนพื้นที่ที่เป็นสีน้ำเงินเข้มมีค่าความเร็วอากาศต่ำมักเกิดในบริเวณช่องว่างทางเดินที่ขวางกับกระแสอากาศซึ่งเกิดการไหลทุติยภูมิและเกิดการปั่นป่วนเช่นเดียวกับสนามความเร็วอากาศ ทำให้ระนาบนี้มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นอยู่ที่ 1.17 เมตรต่อวินาที ระนาบ Z2 ยังมีบริเวณช่องว่างที่กระแสอากาศหลักเคลื่อนที่ออกมามีพื้นที่สีน้ำเงินที่มีค่าความเร็วอากาศต่ำส่วนน้อย ส่วนบริเวณที่เป็นช่องว่างทางเดินหลักที่เป็นแนวเดียวกับกระแสอากาศหลักจะมีค่าความเร็วอากาศสูง เนื่องจากกระแสอากาศที่ออกจากคอยล์เย็นไม่ถูกชั้นผลิตภัณฑ์บดบัง ทำให้อากาศเคลื่อนที่ไปด้านหน้าและสามารถกระจายตัวได้ดีมากขึ้น ค่าความเร็วอากาศในระนาบนี้คือ 2.19 เมตรต่อวินาที



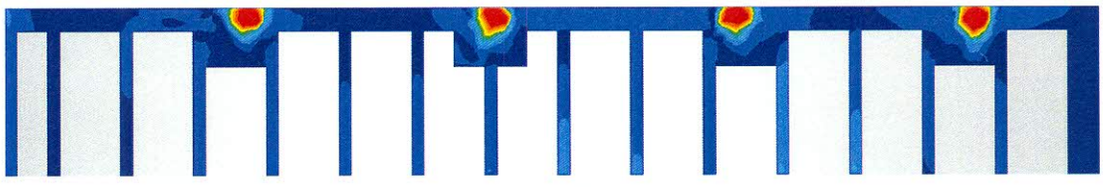
ระนาบ Y1



ระนาบ Y2



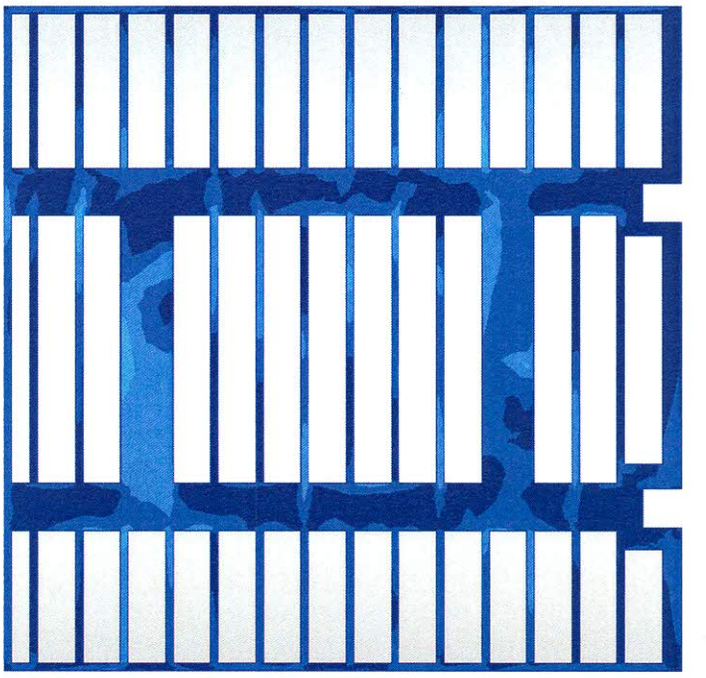
ระนาบ Y3



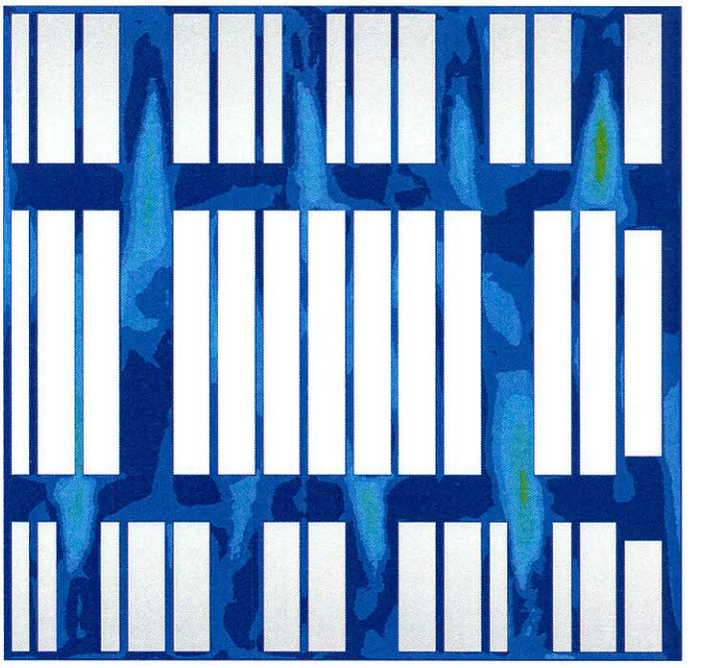
ระนาบ Y4

Velocity Magnitude (m/s)

ภาพ 53 ผลเฉลยค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 4

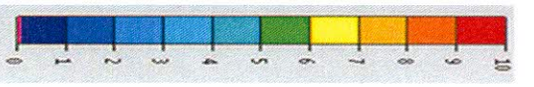


ระนาบ Z1



ระนาบ Z2

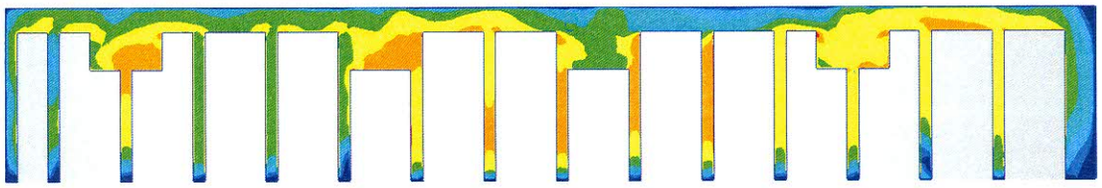
Velocity Magnitude (m/s)



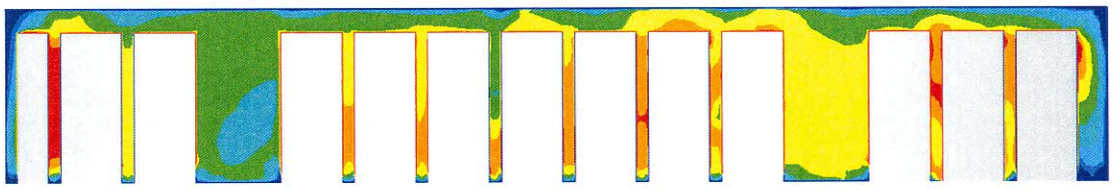
ภาพ 54 ผลเฉลยค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 4

ค่าอุณหภูมิอากาศในระนาบราบดังภาพ 55 ในระนาบ Y1 และ Y4 นั้นจะสังเกตว่าไม่มีบริเวณที่มีพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงบนระนาบ แม้แต่ในช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์และด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์ก็ไม่มีพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง จึงมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย คือ -20.16 และ -20.28 องศาเซลเซียส ระนาบ Y2 และ Y3 มีอุณหภูมิสูงเป็นบริเวณส่วนน้อย ซึ่งอยู่บริเวณทางด้านซ้ายของโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณผลิตภัณฑ์ในกลุ่มน้อยแต่อาจเกิดจากกระแสอากาศหลักเคลื่อนที่ไปไม่ถึงบริเวณช่องว่างนี้ และช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์นี้ไม่ตรงกับกระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็นด้วย ทำให้ระนาบนี้มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ -20.27 และ -19.94 องศาเซลเซียส

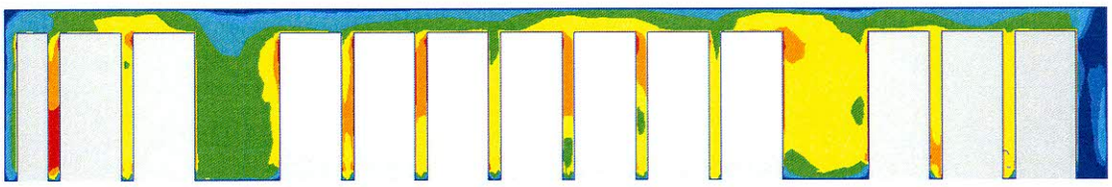
ค่าอุณหภูมิในระนาบราบดังภาพ 56 ในระนาบ Z1 พบว่ามีบริเวณสีแดงซึ่งมีอุณหภูมิสูงอยู่ในบริเวณโซนที่ 2 ทางด้านซ้ายมือเพียงช่องเดียวและเป็นแนวยาวตลอดช่อง ส่วนในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์อื่นๆไม่พบพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงเลย ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในระนาบนี้จึงมีค่า -20.2 องศาเซลเซียส ต่างกับระนาบ Z2 ที่มีระดับความสูงมากกว่าระนาบ Z1 อากาศมีแนวโน้มสูงกว่าเนื่องจากใกล้กับคอยล์เย็น การแสอากาศมีความเร็วสูงและกระจายตัวได้ทั่วถึงทำให้ค่าความเร็วต่ำลง บริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์มีพื้นที่สีแดงซึ่งมีอุณหภูมิสูงเหลืออยู่เพียงเล็กน้อย ทำให้ค่าอุณหภูมิในระนาบนี้คือ –19.97 องศาเซลเซียส



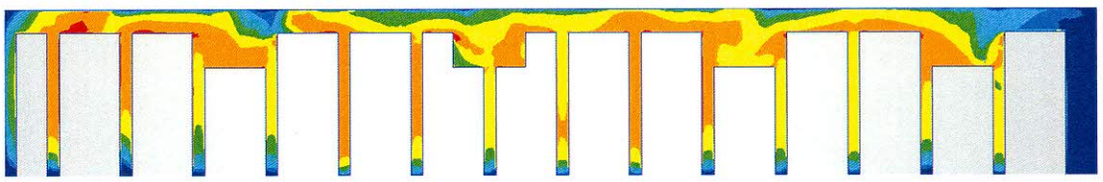
ระนาบ Y1



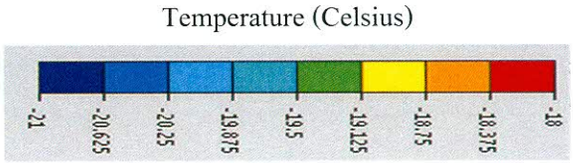
ระนาบ Y2



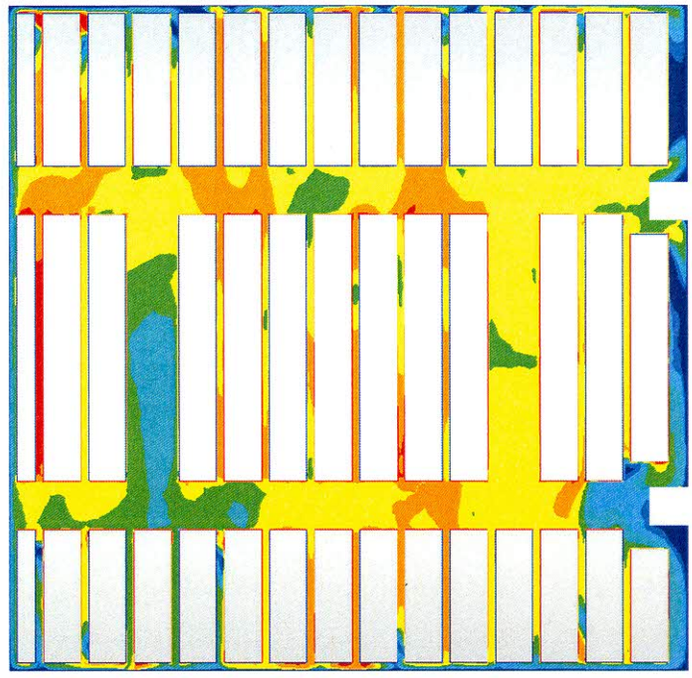
ระนาบ Y3



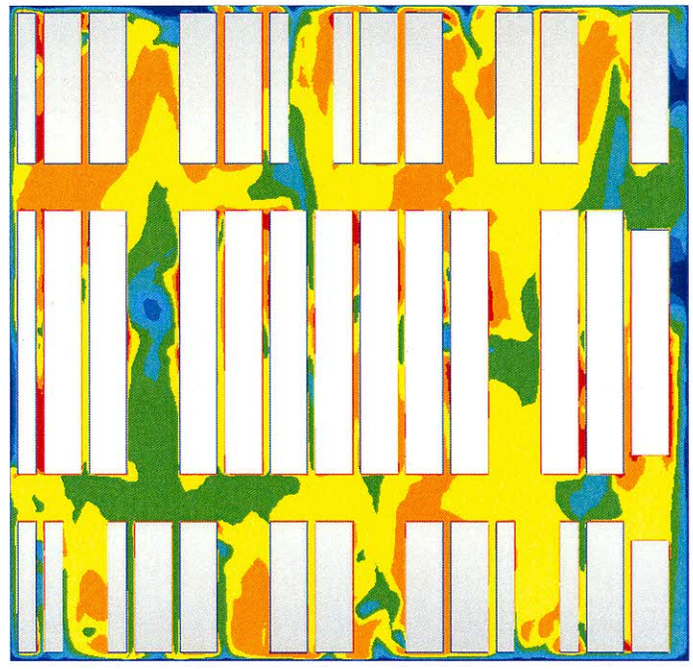
ระนาบ Y4



ภาพ 55 ผลเฉลยค่าระดับอุณหภูมิอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 4



ระนาบ Z1



ระนาบ Z2

Temperature (Celsius)

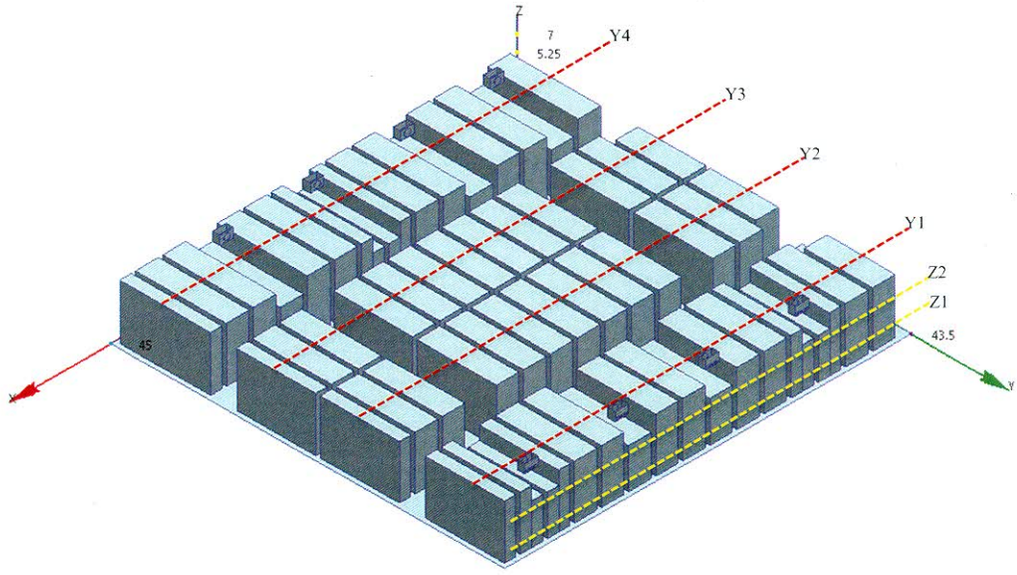
ภาพ 56 ผลเฉลยค่าระดับอุณหภูมิอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 4

สรุปได้ว่า ผลการจำลองการไหลในรูปแบบที่ 4 มีค่าเฉลี่ยความเร็วอากาศในโซนที่ 1 อยู่ที่ 1.28 เมตรต่อวินาที โซนที่ 2 มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ย 1.095 เมตรต่อวินาที และโซนที่ 3 มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยที่ 1.38 เมตรต่อวินาที พบว่าในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 3 นั้นมีค่าความเร็วอากาศสูงที่สุดจากทั้ง 3 โซน ซึ่งทั้ง 3 โซนที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์อยู่ที่ 1.25 เมตรต่อวินาที ซึ่งความเร็วอากาศในแต่ละโซนมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ถ้าหากมีค่าความเร็วอากาศสูงจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงตาม ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เย็นเร็วขึ้นและพบว่าค่าอุณหภูมิอากาศทั้ง 3 โซนที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านเกณฑ์ค่าอุณหภูมิอากาศแตกต่าง 0.8 องศาเซลเซียส

จากผลการจำลองการไหลที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 4 พบว่าการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์โดยทำการเพิ่มช่องว่างทางเดินในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 และทำการแบ่งผลิตภัณฑ์ในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 ให้เป็นกลุ่มย่อย ช่วยให้มีพื้นที่ให้อากาศกระจายตัวได้ดีและเคลื่อนที่เข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น ทำให้บริเวณช่องว่างทางเดินและช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิอากาศต่ำลง แต่การจัดวางในรูปแบบนี้อาจทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ลดลงจากรูปแบบเดิมส่วนหนึ่ง ก็ยังมีข้อดีในบริเวณช่องว่างทางเดินที่เพิ่มขึ้นมาตรงกับแนวกระแสอากาศหลักและอากาศที่ออกจากคอยล์เย็นไม่ปะทะกับชั้นผลิตภัณฑ์จนทำให้ความเร็วอากาศปั่นป่วน จากข้อดีดังกล่าวจึงได้นำข้อดีของช่องว่างทางเดินที่ตรงกับแนวกระแสอากาศหลักไปช่วยแก้ปัญหาในรูปแบบที่ 3 ให้ดีมากขึ้น จึงได้นำไปปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 5

การจำลองการไหลที่มีการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 5

การออกแบบการจัดวางในรูปแบบนี้มีแนวคิดที่นำการออกแบบในรูปแบบที่ 4 มาช่วยแก้ปัญหาการจัดวางในรูปแบบที่ 3 ซึ่งมีอุณหภูมิสูงในโซนการวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 ที่มีความร้อนสะสมในโซนนี้เป็นจำนวนมาก อาจเกิดจากในโซนที่ 2 นั้นมีความยาวแถวที่ยาวมากเกินไป ความร้อนสะสมที่อยู่ในบริเวณนั้นอาจกระจายตัวได้ไม่ดีมากนัก จึงมีแนวทางในการออกแบบโดยการนำรูปแบบการจัดวางที่ 3 มาเป็นหลักแล้วเพิ่มการปรับเปลี่ยนในโซนที่ 2 ที่มีการแบ่งความยาวของแถวผลิตภัณฑ์ให้สั้นลง ดังแสดงในภาพ 57



ภาพ 57 ระนาบที่ทำการพิจารณาของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 5

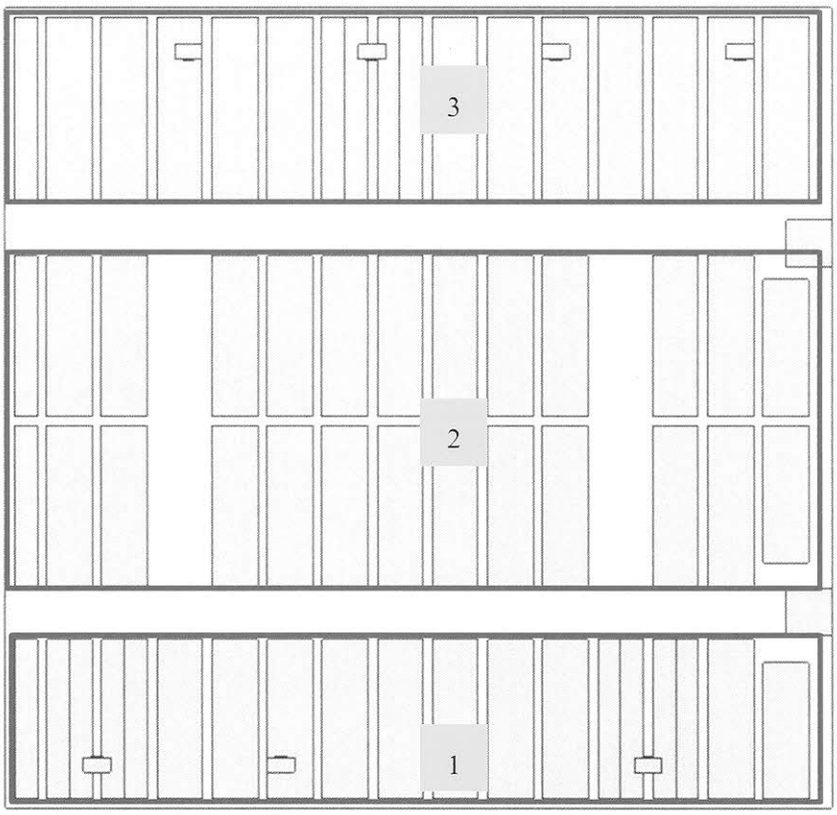
เมื่อ ระนาบ Y1 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 1 ที่ระยะ Y = 38.625 เมตร

ระนาบ Y2 และ Y3 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 2 ที่ระยะ Y = 22.625 และ 17.75 เมตร

ระนาบ Y4 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 3 ที่ระยะ Y = 5.5 เมตร

ระนาบ Z1 และ Z2 คือ ระนาบที่ตั้งฉากกับแนวแกน Z ที่ตัดผ่านบริเวณกึ่งกลางผลิตภัณฑ์ในชั้นที่ 2 และ 4 ที่ระยะ Z = 2.25 และ 5.25 เมตร

ทำการพิจารณาค่าความเร็วอากาศและอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็นแบ่งออกเป็น 3 โซนดังแสดงในภาพ 58 ซึ่งทำการพิจารณาพื้นที่ที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์โดยห่างออกมาจากผลิตภัณฑ์ทุกด้าน 0.5 เมตร ส่วนพื้นที่ว่างทางเดินจะไม่นำข้อมูลส่วนนั้นมาคิด



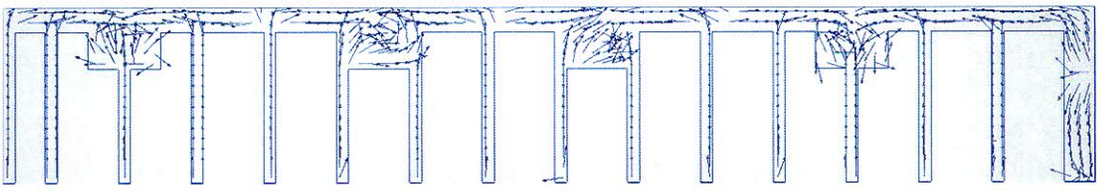
ภาพ 58 โซนพื้นที่ที่ทำการพิจารณาของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 5

โซนที่ 1 และ 3 คือ โซนที่มีการวางผลิตภัณฑ์ไว้ข้างล่างคอยล์เย็นเย็น และมีระดับการวางผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน

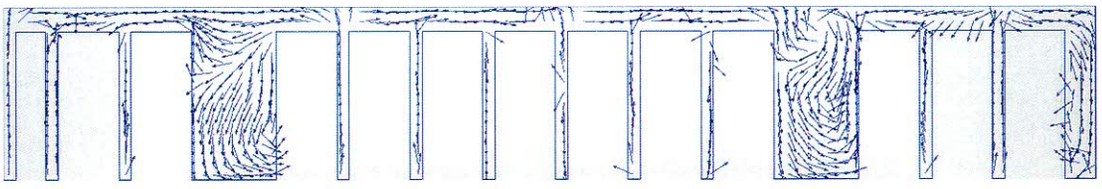
โซนที่ 2 คือ โซนที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์จำนวนมากที่สุด จัดวางอยู่กลางห้องเย็นและความสูงของชั้นวางผลิตภัณฑ์เท่ากันทั้งหมด

เมื่อพิจารณาการจำลองการไหลในการจัดวางผลิตภัณฑ์ในแบบที่ 5 แสดงสนามความเร็วอากาศในภาพ 59 ระนาบ Y1 และระนาบ Y4 ลักษณะสนามความเร็วในระนาบนี้มีทิศทางการไหลที่ปั่นป่วนบริเวณด้านด้านล่างคอยล์เย็นที่มีพื้นที่ค่อนข้างแคบ สนามความเร็วอากาศกระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ไม่มาก อากาศอาจเกิดการหมุนวนเพื่อหาทางกระจายตัวไปยังด้านข้างของชั้นผลิตภัณฑ์ ระนาบ Y2 และระนาบ Y3 มีลักษณะของการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่เต็มพื้นที่ทำความเย็นภายในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 เหมือนกันทั้งสองระนาบ ลักษณะสนามความเร็วอากาศมีทิศทางกระจายตัวอยู่บริเวณด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์และกระจายออกไปยังด้านข้างเข้าสู่บริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์

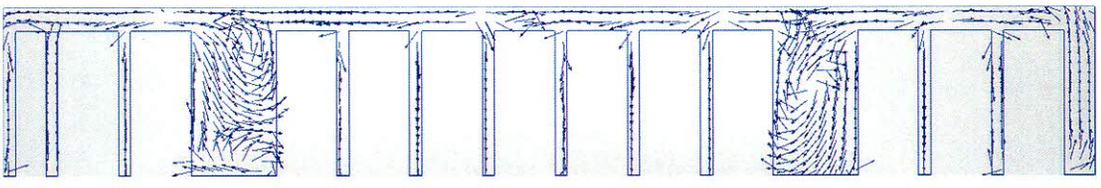
สนามความเร็วในระนาบราบดังภาพ 60 ระนาบ Z1 จะสังเกตได้จากบริเวณช่องว่างทางเดินหลักที่อยู่แนวเดียวกับกระแสอากาศหลักมีสนามความเร็วอากาศที่หนาแน่นและกระแสอากาศมีทิศทางการไหลที่ตรงไม่มีการปั่นป่วน ส่วนบริเวณช่องว่างทางเดินหลักที่ขวางแนวกระแสอากาศหลักเกิดการหมุนวนของอากาศไม่กระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ในโซนการจัดวางที่ 2 เท่าที่ควร เช่นเดียวกับโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1 และ 3 สนามความเร็วอากาศหมุนวนกันอยู่ที่ช่องว่างทางเดินหลักของห้องเย็น เช่นเดียวกับระนาบ Z2 ในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 บริเวณที่เป็นช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ไม่ค่อยมีสนามความเร็วอากาศมากนักต่างจากบริเวณช่องว่างทางเดินที่มีสนามความเร็วอากาศกระจายตัวอยู่เต็มพื้นที่ แต่กระแสอากาศหลักที่ออกจากห้องเย็นเกิดการหมุนวนปั่นป่วนอย่างมาก อาจทำให้มีผลต่อสนามความเร็วอากาศอาจมีการกระจายตัวที่เปลี่ยนแปลงไป



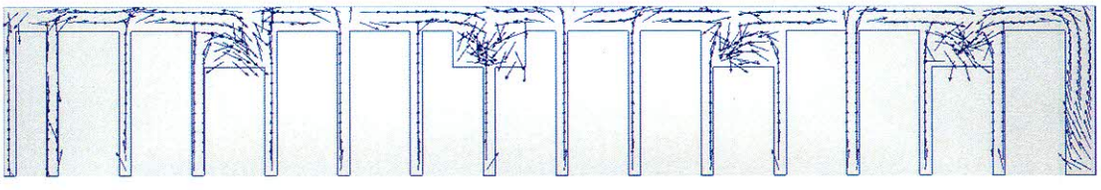
ระนาบ Y1



ระนาบ Y2



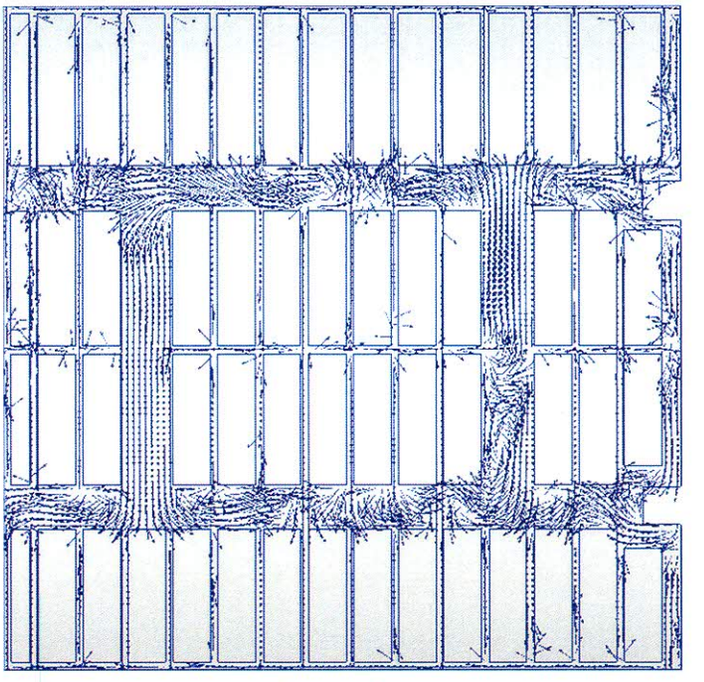
ระนาบ Y3



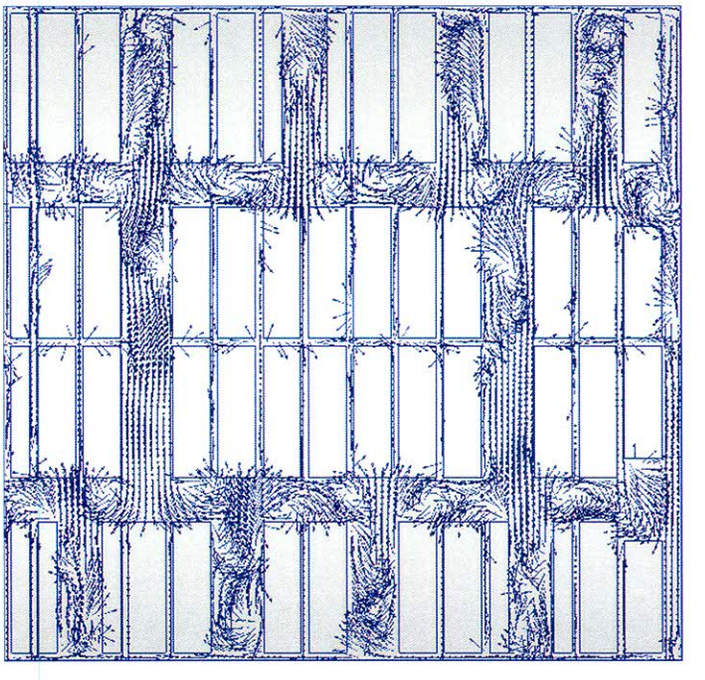
ระนาบ Y4

Reference Vector —1 เมตรต่อวินาที

ภาพ 59 ผลเฉลยสนามความเร็วอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 5



ระนาบ Z1



ระนาบ Z2

Reference Vector — 1 เมตรต่อวินาที

ภาพ 60 ผลเฉลยสนามความเร็วอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 5

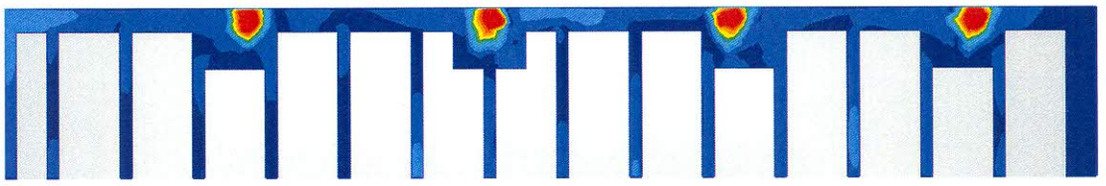
ค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบดิ่งดังภาพ 61 พบว่าในระนาบ Y1 และ Y4 พบว่ามีค่าความเร็วอากาศสูงบริเวณด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นความเร็วของกระแสอากาศหลัก มีพื้นที่สีน้ำเงินเข้มที่มีค่าความเร็วอากาศต่ำอยู่บางบริเวณ ส่วนมากเป็นพื้นที่สีฟ้าที่มีความเร็วอากาศสูง ทำให้ทั้งสองระนาบมีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยอยู่ที่ 1.93 และ 2.14 เมตรต่อวินาที ส่วนระนาบ Y2 และ Y3 พบว่ามีช่องว่างภายในระนาบนั้นคือช่องว่างทางเดินที่ทำการปรับเปลี่ยนการจัดวางให้มีพื้นที่ว่างให้อากาศกระจายตัวเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ในโซนการจัดวางที่ 2 ได้มากขึ้น พบว่าช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์นั้นมีพื้นที่เป็นสีฟ้าส่วนมากแสดงว่ามีความเร็วในช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์มากขึ้น ทำให้ทั้งสองระนาบมีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ย 1.51 และ 1.64 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ

ค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบราบดังภาพ 62 ระนาบ Z1 เป็นระนาบที่ตัดผ่านผลิตภัณฑ์ชั้นล่างจะเห็นถึงค่าความเร็วอากาศในโซนการจัดวางที่ 1 และ 3 นั้นมีพื้นที่สีฟ้าในบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ ส่วนพื้นที่ที่เป็นสีน้ำเงินเข้มมีค่าความเร็วอากาศต่ำมักเกิดในบริเวณช่องว่างทางเดินที่ขวางกับกระแสอากาศซึ่งเกิดการไหลทุติยภูมิและเกิดการปั่นป่วนเช่นเดียวกับสนามความเร็วอากาศ ทำให้ระนาบนี้มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นอยู่ที่ 0.96 เมตรต่อวินาที ระนาบ Z2 ยังมีบริเวณช่องว่างที่กระแสอากาศหลักเคลื่อนที่ออกมามีพื้นที่สีน้ำเงินที่มีค่าความเร็วอากาศต่ำส่วนน้อย ส่วนบริเวณที่เป็นช่องว่างทางเดินหลักที่เป็นแนวเดียวกับกระแสอากาศหลักจะมีค่าความเร็วอากาศสูง เนื่องจากกระแสอากาศที่ออกจากคอยล์เย็นไม่ถูกชั้นผลิตภัณฑ์บดบัง ทำให้อากาศเคลื่อนที่ไปด้านหน้าและสามารถกระจายตัวได้ดีมากขึ้น ค่าความเร็วอากาศในระนาบนี้คือ 1.49 เมตรต่อวินาที

ระนาบ Y1

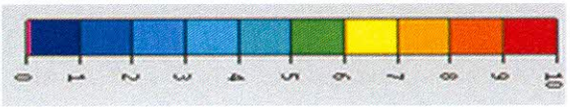
ระนาบ Y2

ระนาบ Y3



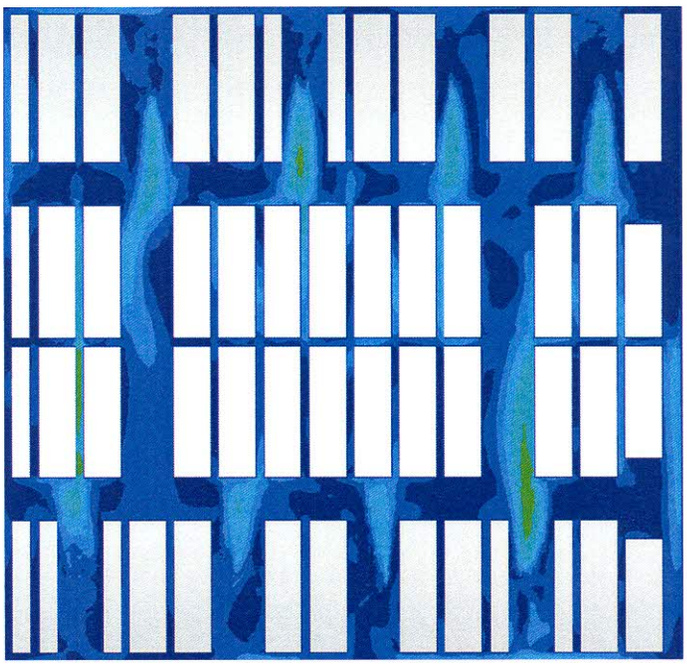
ระนาบ Y4

Velocity Magnitude (m/s)



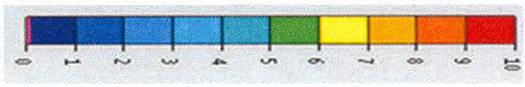
ภาพ 61 ผลเฉลยค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 5

ระนาบ Z1



ระนาบ Z2

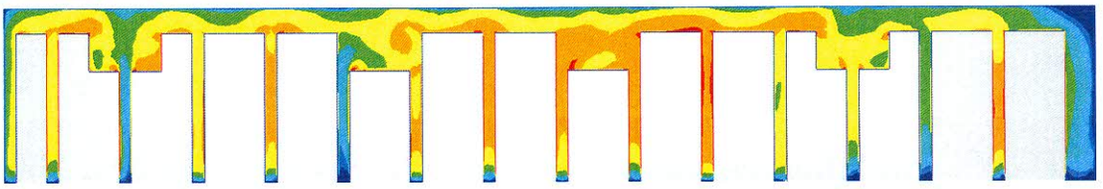
Velocity Magnitude (m/s)



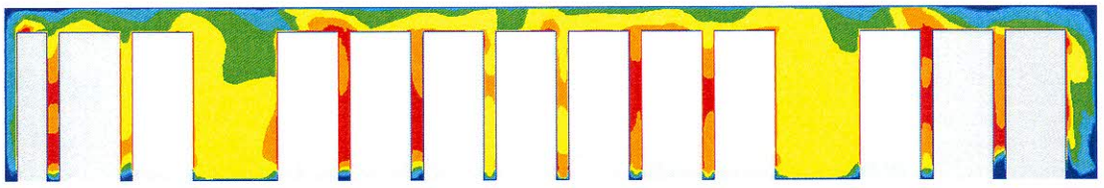
ภาพ 62 ผลเฉลยค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 5

ค่าระดับอุณหภูมิดังภาพ 63 ในระนาบ Y1 และ Y4 เป็นโซนที่อยู่ด้านล่างคอยล์เย็นและมีความยาวแถวผลิตภัณฑ์ไม่ยาวเหมือนโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 จึงทำให้อุณหภูมิในบริเวณโซนดังกล่าวมีค่าระดับอุณหภูมิอยู่ที่ -19.96 และ -19.87 องสาเซลเซียส ส่วนโซนการวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 ตามระนาบ Y2 และ Y3 พบว่ามีอุณหภูมิสูงเกิดขึ้นบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ทำให้ในระนาบดังกล่าวมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ -19.07 และ -19.09 องศาเซลเซียส จากค่าระดับอุณหภูมิอากาศพบว่าในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1 และ 3 บริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ไม่มีอุณหภูมิสูงสะสม ส่วนโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 เกิดอุณหภูมิสูงสะสมในบริเวณช่องว่างทางเดินเป็นส่วนใหญ่ อาจเกิดจากในบริเวณโซน 2 เป็นโซนที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์หนาแน่นกว่าโซนอื่นและมีความสูงของชั้นผลิตภัณฑ์สูงกว่าโซน 1 และโซน 3 อากาศที่ปล่อยออกจากคอยล์เย็นซึ่งจะเคลื่อนที่มายังโซน 2 อาจเกิดการชนกับชั้นผลิตภัณฑ์ทำให้ความเร็วอากาศลดลง และไม่สามารถกระจายตัวไปยังกลางโซน 2 ได้

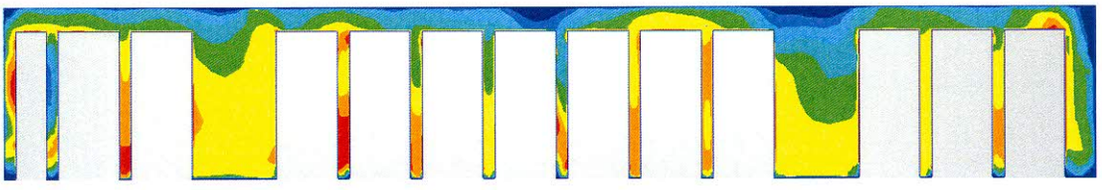
ค่าอุณหภูมิในระนาบราบดังภาพ 64 ในระนาบ Z1 พบว่ามีพื้นที่สีแดงซึ่งมีอุณหภูมิสูงอยู่ในบริเวณโซนที่ 2 ทั้งในบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับแนวกระแสอากาศหลักและช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ที่ขวางกับแนวกระแสหลักด้วยเช่นกัน ส่วนในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1 และ 3 ไม่พบพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในระนาบนี้จึงมีค่า -19.92 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับกับระนาบ Z2 อุณหภูมิอากาศในระนาบนี้มีแนวโน้มต่ำกว่าเนื่องจากอยู่ใกล้กับคอยล์เย็น แต่บริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 ยังมีพื้นที่สีแดงซึ่งมีอุณหภูมิสูงเพียงเล็กน้อย ทำให้ค่าอุณหภูมิในระนาบนี้คือ -20.15 องศาเซลเซียส



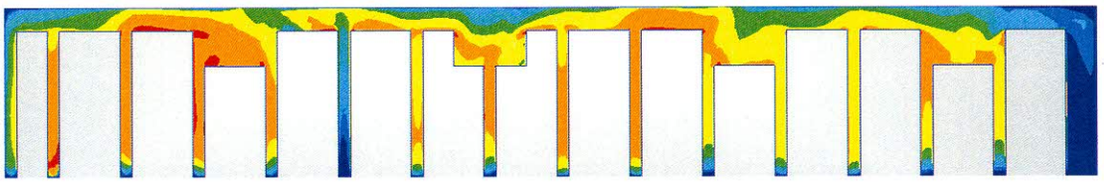
ระนาบ Y1



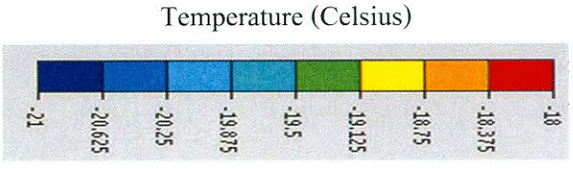
ระนาบ Y2



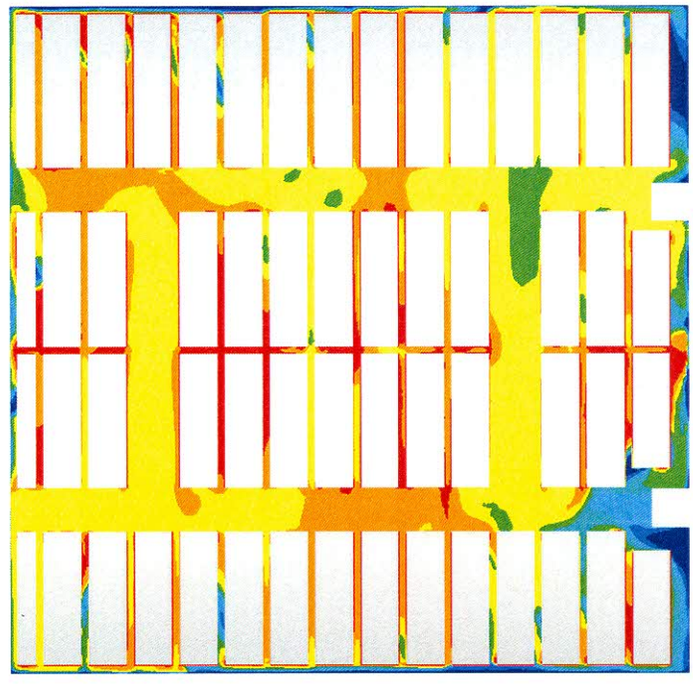
ระนาบ Y3



ระนาบ Y4



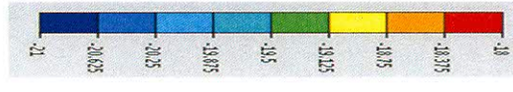
ภาพ 63 ผลเฉลยค่าระดับอุณหภูมิอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 5



ระนาบ Z1

ระนาบ Z2

Temperature (Celsius)



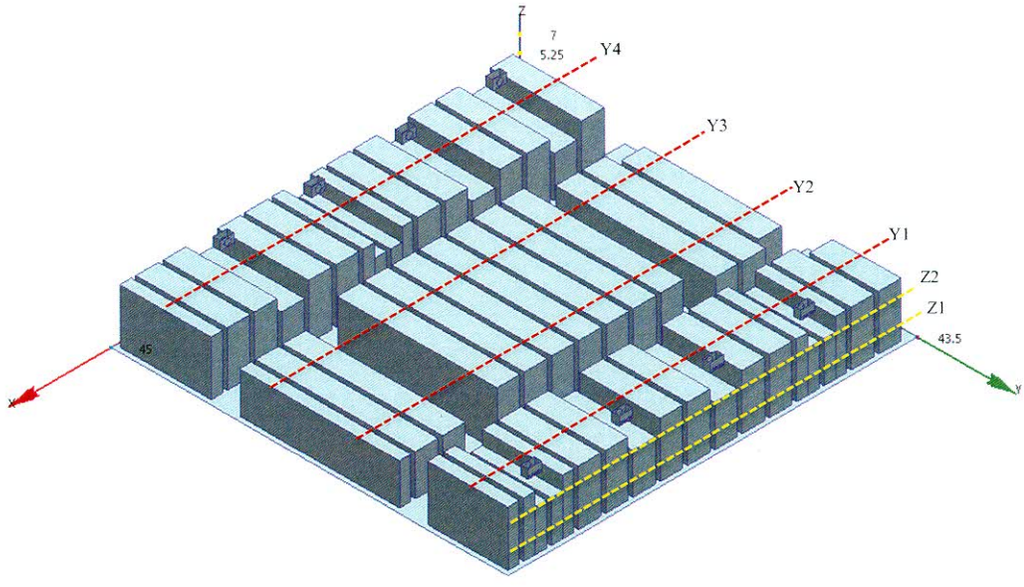
ภาพ 64 ผลเฉลยค่าระดับอุณหภูมิอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 5

สรุปได้ว่า ผลการจำลองการไหลในรูปแบบที่ 5 มีค่าเฉลี่ยความเร็วอากาศในโซนที่ 1 อยู่ที่ 1.93 เมตรต่อวินาที โซนที่ 2 มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ย 1.58 เมตรต่อวินาที และโซนที่ 3 มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยที่ 2.14 เมตรต่อวินาที พบว่าในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 3 นั้นมีค่าความเร็วอากาศสูงที่สุดจากทั้ง 3 โซน ซึ่งทั้ง 3 โซนที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์อยู่ที่ 1.88 เมตรต่อวินาที ซึ่งความเร็วอากาศในแต่ละโซนมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ถ้าหากมีค่าความเร็วอากาศสูงจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงตาม ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เย็นเร็วขึ้นและพบว่าในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 มีค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงที่สุด ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์อุณหภูมิที่แตกต่างกัน 0.8 องศาเซลเซียส

จากผลการจำลองการไหลที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 5 พบว่าการนำรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 4 เข้ามาช่วยแก้ปัญหาในรูปแบบที่ 3 ซึ่งเกิดพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 จึงได้มีการนำรูปแบบการจัดวางที่ 4 เข้ามาช่วยแก้ปัญหาโดยการเพิ่มช่องว่างทางเดินที่ตรงกับแนวกระแสอากาศหลักและแบ่งผลิตภัณฑ์ให้เป็นกลุ่มย่อย เพื่อให้อากาศที่ออกจากคอยล์เย็นสามารถกระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ที่ขวางกับกระแสอากาศหลัก พบว่าการเพิ่มช่องว่างทางเดินที่ตรงกับแนวกระแสอากาศหลักทำให้อากาศที่ออกจากคอยล์เย็นเคลื่อนที่มาด้านหน้าได้ดีขึ้นและสามารถกระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ที่ขวางกับกระแสอากาศหลักได้มากขึ้น แต่ในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 นั้นยังมีบางบริเวณที่ยังมีอุณหภูมิสูงอยู่ เนื่องจากพื้นที่อุณหภูมิสูงส่วนมากเกิดขึ้นในบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ที่ขวางกับกระแสอากาศหลัก จึงได้ปรับเปลี่ยนการจัดวางในรูปแบบถัดไปให้มีการเพิ่มช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับแนวกระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็นจะดีกว่า

การจำลองการไหลที่มีการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 6

การจำลองการไหลในรูปแบบนี้ได้นำการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 4 ที่มีการเพิ่มทางเดินหลักของห้องเย็นในบริเวณโซนการวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 เนื่องจากผลการจำลองการไหลมนรูปแบบที่ 4 นั้น ยังมีอุณหภูมิสูงเกิดขึ้นในบริเวณโซนที่ 2 จึงทำการปรับเปลี่ยนระดับความสูงในโซนที่ 2 ให้ลดลงเพื่อดูพฤติกรรมการไหลของรูปแบบการจัดวางนี้ดังภาพ 65



ภาพ 65 ระนาบที่ทำการพิจารณาของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 6

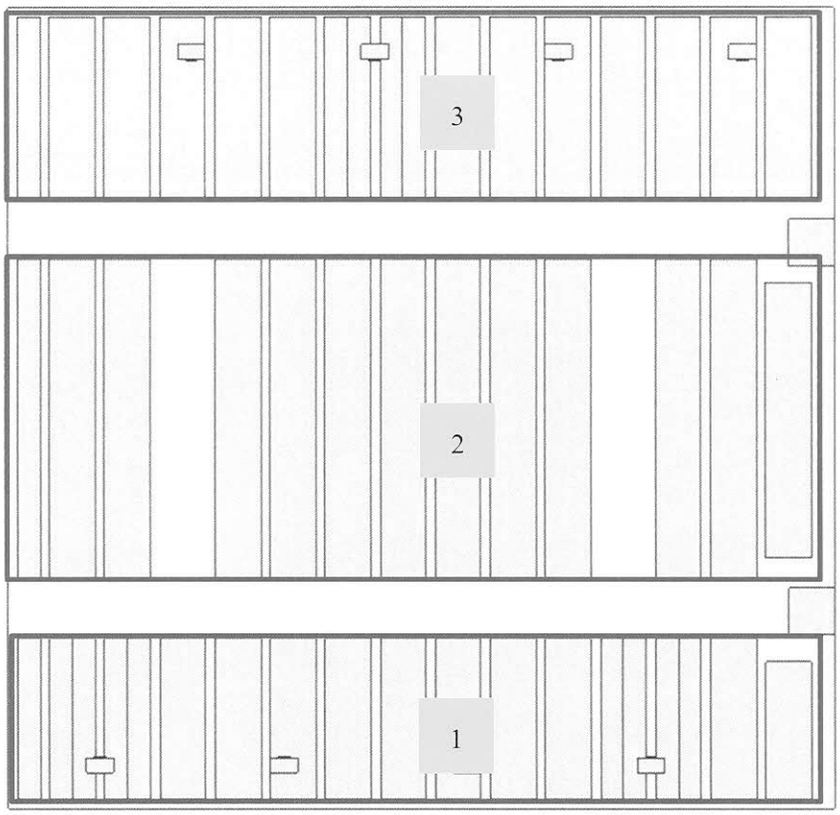
เมื่อระนาบ Y1 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 1 ที่ระยะ Y = 38.625 เมตร

ระนาบ Y2 และ Y3 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 2 ที่ระยะ Y = 26.75 และ 18.0 เมตร

ระนาบ Y4 คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์ในโซน 3 ที่ระยะ Y = 5.5 เมตร

ระนาบ Z1 และ Z2 คือ ระนาบที่ตั้งฉากกับแนวแกน Z ที่ตัดผ่านบริเวณกึ่งกลางผลิตภัณฑ์ในชั้นที่ 2 และ 4 ที่ระยะ Z = 2.25 และ 5.25 เมตร

ทำการพิจารณาค่าความเร็วอากาศและอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็นแบ่งออกเป็น 3 โซนดังแสดงในภาพ 66 ซึ่งทำการพิจารณาพื้นที่ที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์โดยห่างออกมาจากผลิตภัณฑ์ทุกด้าน 0.5 เมตร ส่วนพื้นที่ว่างทางเดินจะไม่นำข้อมูลส่วนนั้นมาคิด



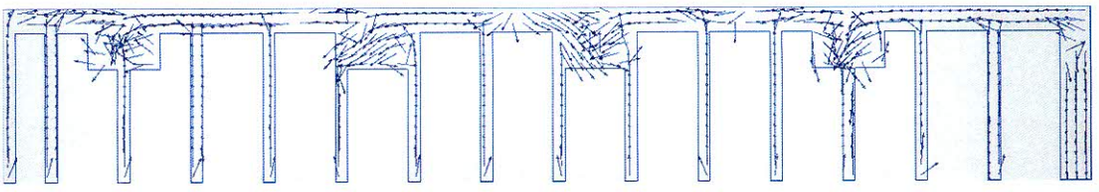
ภาพ 66 แสดงโซนพื้นที่ที่ทำการพิจารณาของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 6

โซนที่ 1 และ 3 คือ โซนที่มีการวางผลิตภัณฑ์ไว้ข้างล่างคอยล์เย็นเย็น และมีระดับการวางผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน

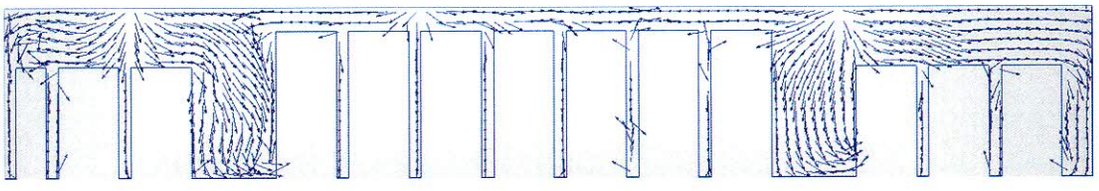
โซนที่ 2 คือ โซนที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์จำนวนมากที่สุด จัดวางอยู่กลางห้องเย็นและความสูงของชั้นวางผลิตภัณฑ์เท่ากันทั้งหมด

สนามความเร็วอากาศในระนาบดิ่งดังภาพ 67 พบว่าในระนาบ Y1 และ Y4 ลักษณะสนามความเร็วในระนาบนี้มีทิศทางการไหลที่ปั่นป่วนบริเวณด้านบนชั้นผลิตภัณฑ์ สนามความเร็วอากาศกระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ ในบริเวณด้านล่างคอยล์เย็นที่มีพื้นที่ค่อนข้างแคบ อากาศอาจเกิดการหมุนวนเพื่อหาทางกระจายตัวไปยังด้านข้างของชั้นผลิตภัณฑ์ ระนาบ Y2 และ Y3 เป็นระนาบที่อยู่ในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์เดียวกัน โซนที่มีการเพิ่มช่องว่างทางเดินและแบ่งผลิตภัณฑ์เป็นกลุ่มย่อย จะเห็นความแตกต่างของความสูงชั้นผลิตภัณฑ์ในโซนการจัดวางนี้ สนามความเร็วอากาศมีการกระจายตัวอยู่ด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์และกระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ทุกช่อง สนามความเร็วอากาศในบริเวณช่องว่างทางเดินนั้นมีลักษณะทิศทางเคลื่อนที่ลงมายังช่องว่างเกิดการปั่นป่วนเล็กน้อย

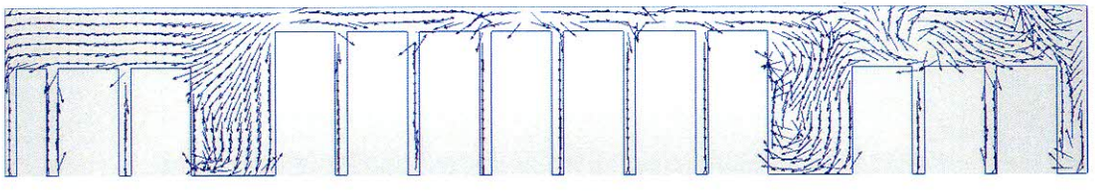
สนามความเร็วอากาศตามระนาบดิ่งดังภาพ 68 ในระนาบ Z1 สนามความเร็วอากาศเคลื่อนที่กระจายตัวเต็มพื้นที่ที่เป็นช่องว่างทางเดิน ช่องว่างทางเดินที่ขวางแนวกระแสอากาศหลักมักจะเกิดการปั่นป่วนของอากาศมากกว่าช่องว่างทางเดินที่อยู่แนวเดียวกับกระแสอากาศหลัก บริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 โซนที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ สนามความเร็วกระแสได้อย่างทั่วถึงมากขึ้น ส่วนระนาบ Z2 มีสนามความเร็วปั่นป่วนในบริเวณช่องว่างทางเดินหลักและมีขนาดความยาวของความเร็วอากาศแสดงว่ามีความเร็วสูง จะเห็นกระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็นเกิดการปะทะกันทำให้กระแสอากาศเกิดการปั่นป่วนเนื่องจากมีพื้นที่ให้อากาศกระจายตัวได้มากทำให้อากาศเคลื่อนที่เข้าไปยังบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ได้ดีมากขึ้น



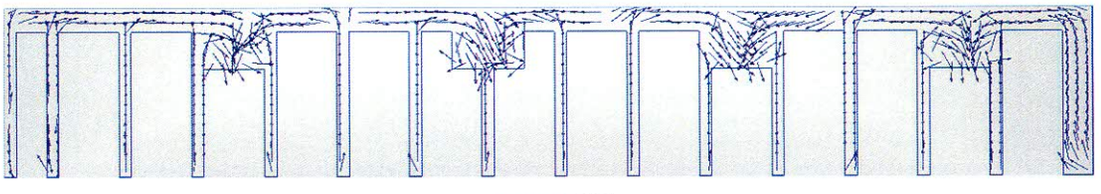
ระนาบ Y1



ระนาบ Y2



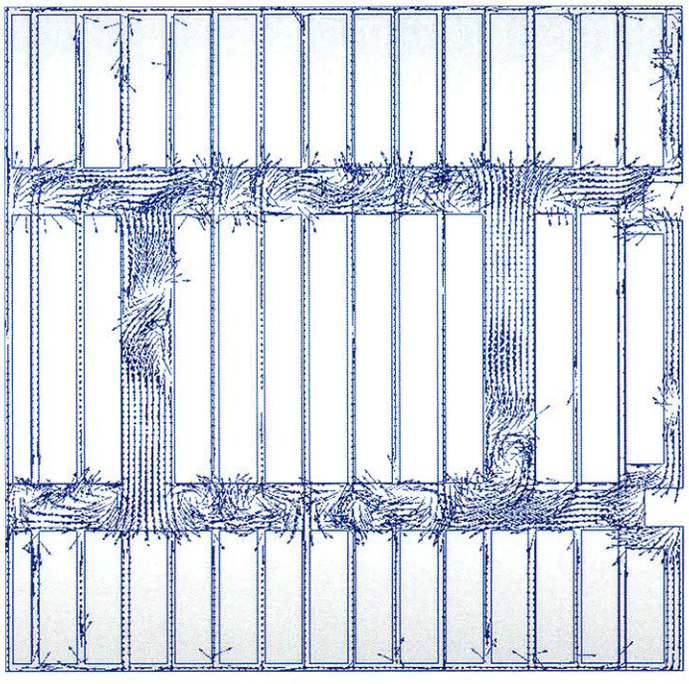
ระนาบ Y3



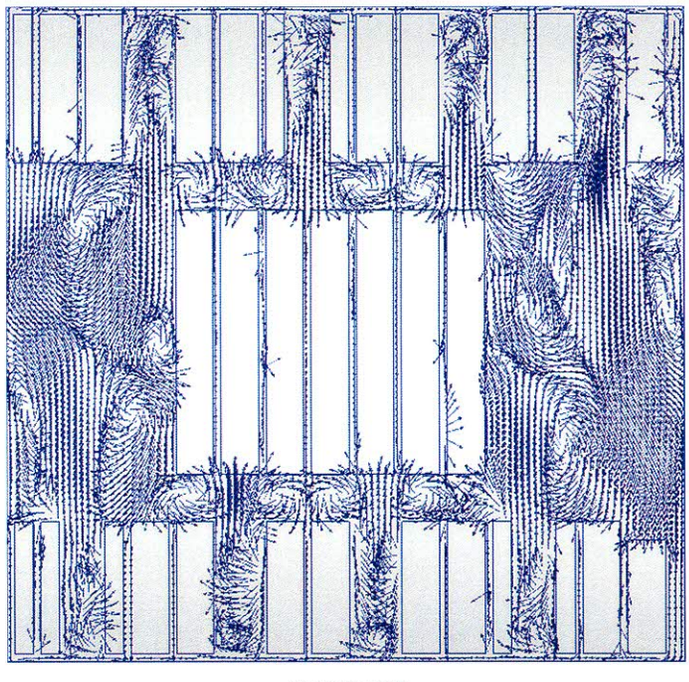
ระนาบ Y4

Reference Vector — 1 เมตรต่อวินาที

ภาพ 67 ผลเฉลยสนามความเร็วอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 6



ระนาบ Z1



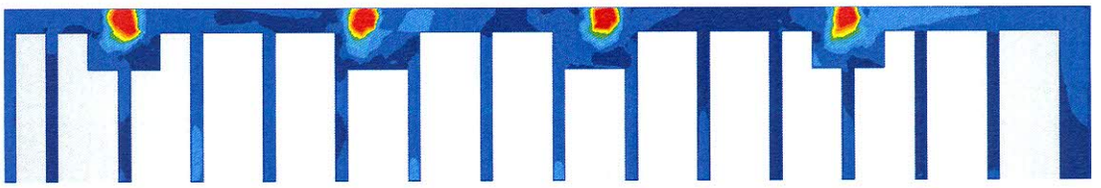
ระนาบ Z2

Reference Vector — 1 เมตรต่อวินาที

ภาพ 68 ผลเฉลยสนามความเร็วอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 6

ค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบดิ่งดังภาพ 69 พบว่าในระนาบ Y1 และ Y4 พบว่ามีค่าความเร็วอากาศสูงบริเวณด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นความเร็วของกระแสอากาศหลัก มีพื้นที่สีน้ำเงินเข้มที่มีค่าความเร็วอากาศต่ำอยู่บางบริเวณ ส่วนมากเป็นพื้นที่สีฟ้าที่มีความเร็วอากาศสูง ทำให้ทั้งสองระนาบมีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยอยู่ที่ 2.27 และ 2.08 เมตรต่อวินาที ส่วนระนาบ Y2 และ Y3 พบว่ามีช่องว่างภายในระนาบนั้นคือช่องว่างทางเดินที่ทำการปรับเปลี่ยนการจัดวางให้มีพื้นที่ว่างให้อากาศกระจายตัวเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ในโซนการจัดวางที่ 2 ได้มากขึ้น พบว่าช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์นั้นมีพื้นที่เป็นสีฟ้าส่วนมากแสดงว่ามีความเร็วในช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์มากขึ้น ทำให้ทั้งสองระนาบมีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ย 2.04 และ 2.22 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ

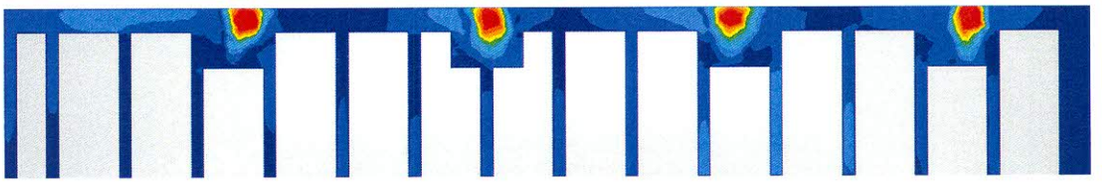
ค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบราบดังภาพ 70 ระนาบ Z1 เป็นระนาบที่ตัดผ่านผลิตภัณฑ์ชั้นล่างจะเห็นถึงค่าความเร็วอากาศในโซนการจัดวางที่ 1 และ 3 นั้นมีพื้นที่สีฟ้าในบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ ส่วนพื้นที่ที่เป็นสีน้ำเงินเข้มมีค่าความเร็วอากาศต่ำมักเกิดในบริเวณช่องว่างทางเดินที่ขวางกับกระแสอากาศซึ่งเกิดการไหลทุติยภูมิและเกิดการปั่นป่วนเช่นเดียวกับสนามความเร็วอากาศ ทำให้ระนาบนี้มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นอยู่ที่ 0.97 เมตรต่อวินาที ระนาบ Z2 ยังมีบริเวณช่องว่างที่กระแสอากาศหลักเคลื่อนที่ออกมามีพื้นที่สีน้ำเงินที่มีค่าความเร็วอากาศต่ำส่วนน้อย ส่วนบริเวณที่เป็นช่องว่างทางเดินหลักที่เป็นแนวเดียวกับกระแสอากาศหลักจะมีค่าความเร็วอากาศสูง เนื่องจากกระแสอากาศที่ออกจากคอยล์เย็นไม่ถูกชั้นผลิตภัณฑ์บดบัง ทำให้อากาศเคลื่อนที่ไปด้านหน้าและสามารถกระจายตัวได้ดีมากขึ้น ค่าความเร็วอากาศในระนาบนี้คือ 1.55 เมตรต่อวินาที



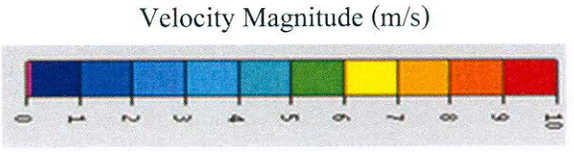
ระนาบ Y1

ระนาบ Y2

ระนาบ Y3

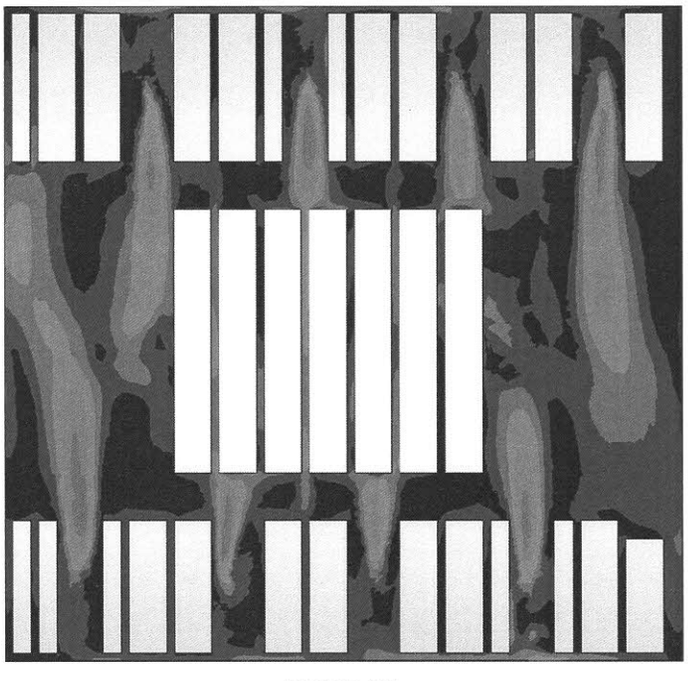


ระนาบ Y4



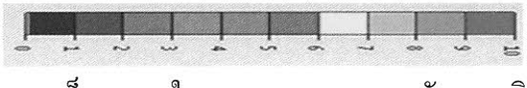
ภาพ 69 ผลเฉลยค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 6

ระนาบ Z1



ระนาบ Z2

Velocity Magnitude (m/s)

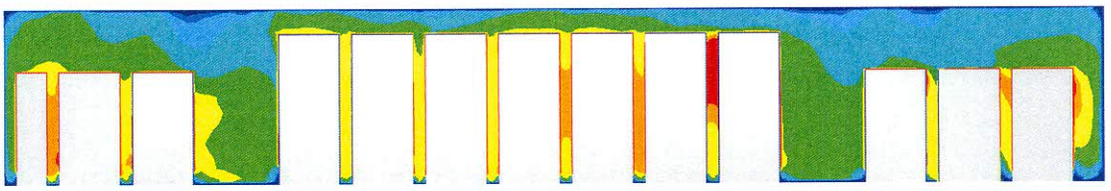


ภาพ 70 ผลเฉลยค่าระดับความเร็วอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 6

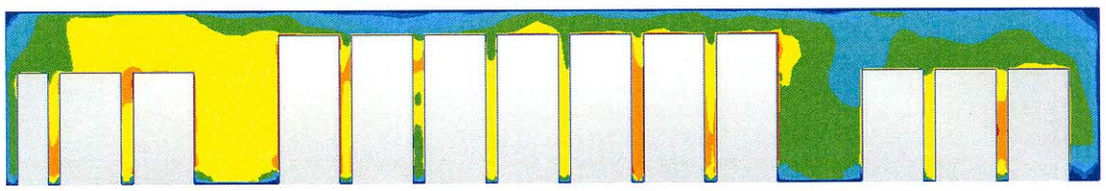
ค่าอุณหภูมิอากาศในระนาบราบดังภาพ 71 ในระนาบ Y1 และ Y4 นั้นจะสังเกตว่าไม่มีบริเวณที่มีพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงบนระนาบ แม้แต่ในช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์และด้านบนของชั้นผลิตภัณฑ์ก็ไม่มีพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง จึงมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย คือ -20.75 และ -20.63 องศาเซลเซียส ระนาบ Y2 และ Y3 มีอุณหภูมิสูงเป็นบริเวณส่วนน้อย ซึ่งอยู่บริเวณทางด้านซ้ายของโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณผลิตภัณฑ์ในกลุ่มน้อยแต่อาจเกิดจากกระแสอากาศหลักเคลื่อนที่ไปไม่ถึงบริเวณช่องว่างนี้ และช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์นี้ไม่ตรงกับกระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็นด้วย ทำให้ระนาบนี้มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ -20.57 และ -20.33 องศาเซลเซียส

ค่าอุณหภูมิในระนาบราบดังภาพ 72 ในระนาบ Z1 พบว่ามีบริเวณสีแดงซึ่งมีอุณหภูมิสูงอยู่ในบริเวณโซนที่ 2 ทางด้านซ้ายมือเพียงช่องเดียวและเป็นแนวยาวตลอดช่อง ส่วนในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์อื่นๆไม่พบพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงเลย ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในระนาบนี้จึงมีค่า -20.16 องศาเซลเซียส ต่างกับระนาบ Z2 ที่มีระดับความสูงมากกว่าระนาบ Z1 อากาศมีแนวโน้มสูงกว่าเนื่องจากใกล้กับคอยล์เย็น กระแสอากาศมีความเร็วสูงและกระจายตัวได้ทั่วถึงทำให้ค่าความเร็วต่ำลง บริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์มีพื้นที่สีแดงซึ่งมีอุณหภูมิสูงเหลืออยู่เพียงเล็กน้อย ทำให้ค่าอุณหภูมิในระนาบนี้คือ -20.36 องศาเซลเซียส

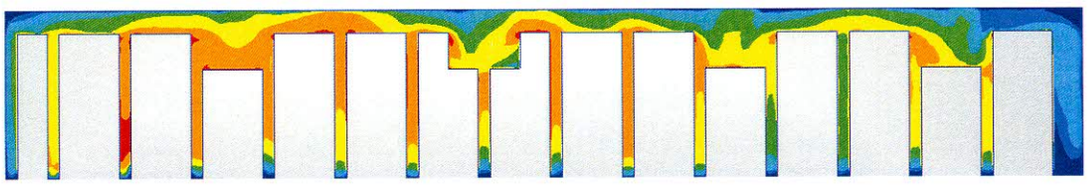
ระนาบ Y1



ระนาบ Y2



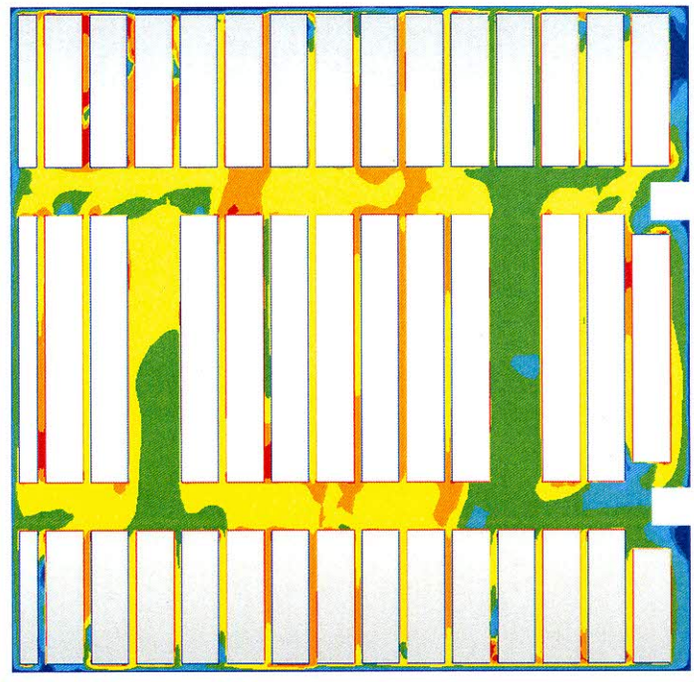
ระนาบ Y3



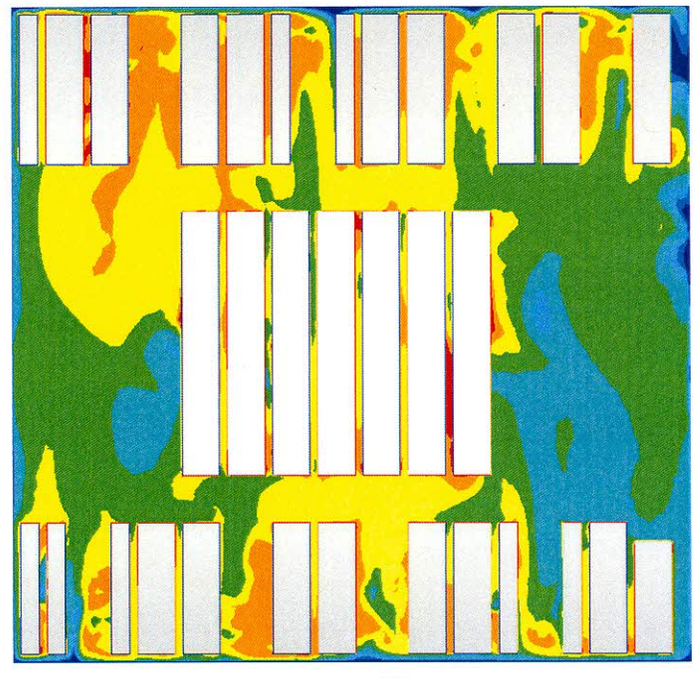
ระนาบ Y4

Temperature (Celsius)

ภาพ 71 ผลเฉลยค่าระดับอุณหภูมิอากาศในระนาบดิ่งของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 6

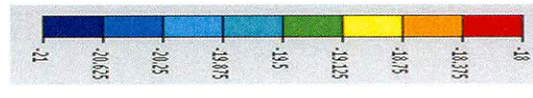


ระนาบ Z1



ระนาบ Z2

Temperature (Celsius)



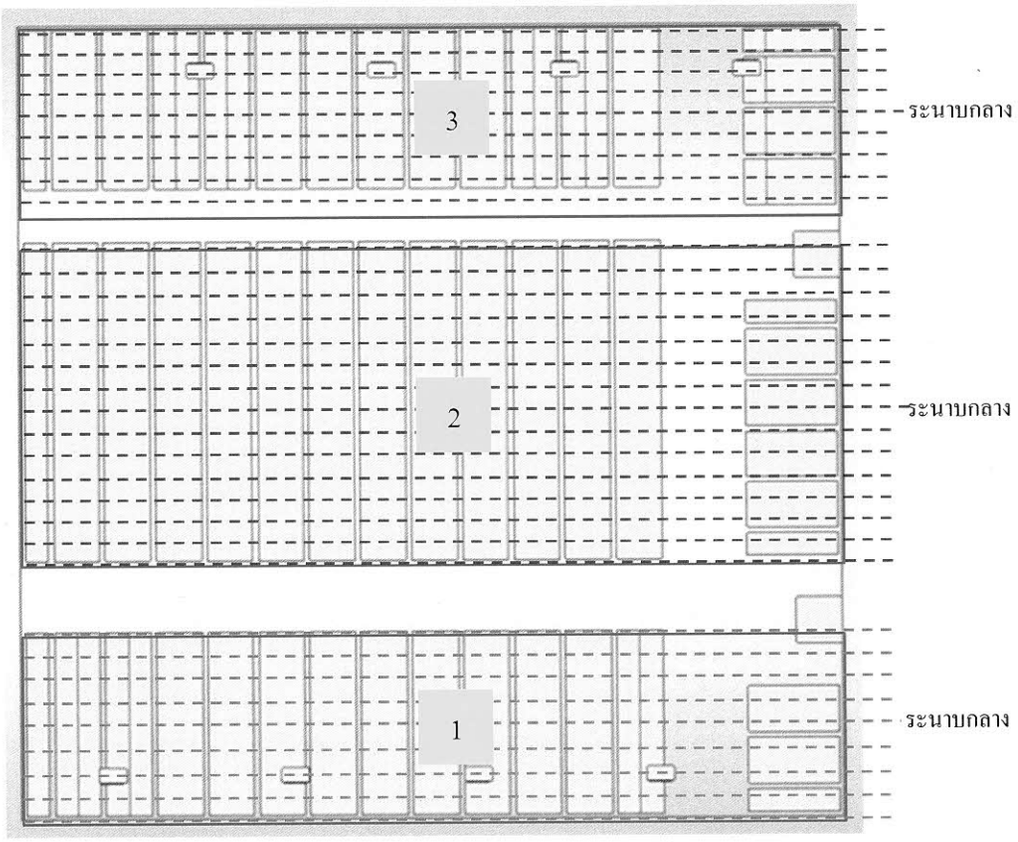
ภาพ 72 ผลเฉลยค่าระดับอุณหภูมิอากาศในระนาบราบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 6

สรุปได้ว่า ผลการจำลองการไหลในรูปแบบที่ 6 มีค่าเฉลี่ยความเร็วอากาศในโซนที่ 1 อยู่ที่ 2.27 เมตรต่อวินาที โซนที่ 2 มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ย 2.13 เมตรต่อวินาที และโซนที่ 3 มีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยที่ 2.08 เมตรต่อวินาที พบว่าในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1 นั้นมีค่าความเร็วอากาศสูงที่สุดและเป็นโซนที่มีปริมาณผลิตภัณฑ์น้อยที่สุดจากทั้ง 3 โซน ซึ่งทั้ง 3 โซนที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์อยู่ที่ 2.16 เมตรต่อวินาที ซึ่งความเร็วอากาศในแต่ละโซนมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ถ้าหากมีค่าความเร็วอากาศสูงจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงตาม ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เร็วเย็นขึ้น และพบว่าอุณหภูมิในโซนที่ 1 มีอุณหภูมิอากาศต่ำที่สุดสอดคล้องกับค่าความเร็วอากาศและค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่มักมีค่าสูงในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ

จากผลการจำลองการไหลที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 6 พบว่าการลดระดับความสูงของชั้นผลิตภัณฑ์ที่บดบังกระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็นมีผลทำให้อากาศที่ออกจากคอยล์เย็นจากที่เคยปะทะกับชั้นผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดความปั่นป่วนของอากาศ หลังจากที่ทำการลดระดับความสูงของชั้นผลิตภัณฑ์ลงอากาศสามารถกระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ได้ดีมากขึ้น

การเปรียบเทียบผลการจำลองการไหลที่มีการจัดวางในรูปแบบเดิม
และการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ทั้ง 6 แบบ

การเปรียบเทียบผลการจำลองการไหลในรูปแบบเดิมและการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ทั้ง 6 แบบ เพื่อให้เห็นความแตกต่างจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความเร็วและอุณหภูมิของทั้งโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ โดยข้อมูลทั้งโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์จะตัดระนาบเริ่มจากกึ่งกลางของโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 โซนและทำการเพิ่มระนาบทุกๆ 1 เมตรทั้งสองข้างจากระนาบกลางโซนดังภาพ 73 ซึ่งรูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์จะทำการวิเคราะห์ในรูปแบบนี้เดียวกันนี้กับการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบอื่นๆ ด้วย



ภาพ 73 ระนาบที่ทำการพิจารณาข้อมูลทั้งหมดในโซนที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์

จากการพิจารณาข้อมูลค่าความเร็วและอุณหภูมิอากาศที่เกิดขึ้นในแต่ละโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 3 โซนในรูปแบบเดิมดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 ค่าความเร็วและอุณหภูมิอากาศโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1

รูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์	ความเร็วอากาศ (เมตรต่อวินาที)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วอากาศ	อุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศ
รูปแบบเดิม	1.02	0.61	-18.98	0.66
รูปแบบที่ 1	1.67	0.39	-19.12	0.43
รูปแบบที่ 2	1.65	0.32	-19.03	0.61
รูปแบบที่ 3	1.81	0.41	-19.31	0.69
รูปแบบที่ 4	1.69	0.26	-19.90	0.41
รูปแบบที่ 5	1.69	0.43	-19.91	0.62
รูปแบบที่ 6	1.52	0.36	-20.18	0.79

ค่าความเร็วอากาศในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1 พบว่าค่าความเร็วอากาศในรูปแบบเดิมนั้นมีค่าต่ำที่สุด ส่วนในรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 3 มีค่าความเร็วอากาศสูงที่สุดเมื่อนำค่าความเร็วอากาศมาเปรียบเทียบกับเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วอากาศ พบว่า ค่าความเร็วอากาศในการจัดวางผลิตภัณฑ์รูปแบบเดิมนั้นมีการกระจายตัวของข้อมูลที่แปรปรวนเนื่องจากมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุด และค่าความเร็วอากาศในการจัดวางผลิตภัณฑ์รูปแบบที่ 4 มีการกระจายตัวของข้อมูลที่ดี ค่าอุณหภูมิอากาศในการจัดวางผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมีการกระจายตัวของข้อมูลไม่แปรปรวนและยอมรับได้ ซึ่งค่าอุณหภูมิในการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 6 มีอุณหภูมิต่ำที่สุดและค่าอุณหภูมิในการจัดวางผลิตภัณฑ์เดิมมีอุณหภูมิสูงที่สุดในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1

ตาราง 7 ค่าความเร็วและอุณหภูมิอากาศของโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2

รูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์	ความเร็วอากาศ (เมตรต่อวินาที)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วอากาศ	อุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศ
รูปแบบเดิม	1.35	0.59	-19.16	0.42
รูปแบบที่ 1	1.17	0.26	-19.07	0.54
รูปแบบที่ 2	1.38	0.34	-19.00	0.68
รูปแบบที่ 3	1.43	0.37	-19.40	0.58
รูปแบบที่ 4	1.68	0.27	-19.93	0.51
รูปแบบที่ 5	1.50	0.35	-19.90	0.89
รูปแบบที่ 6	1.51	0.38	-20.05	0.57

ค่าความเร็วอากาศในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 แสดงในตาราง 7 พบว่าค่าความเร็วอากาศในรูปแบบที่ 1นั้นมีค่าความเร็วอากาศต่ำที่สุด ส่วนรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 4 มีค่าความเร็วอากาศสูงที่สุดเมื่อนำค่าความเร็วอากาศมาเปรียบเทียบกับเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วอากาศ พบว่า ค่าความเร็วอากาศในการจัดวางผลิตภัณฑ์รูปแบบเดิมนั้นมีการกระจายตัวของข้อมูลที่แปรปรวนที่สุดและค่าความเร็วอากาศในการจัดวางผลิตภัณฑ์ทั้ง 6 รูปแบบ มีการกระจายตัวของข้อมูลที่ไม่แตกต่างกัน ค่าอุณหภูมิอากาศในการจัดวางผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมีการกระจายตัวของข้อมูลไม่แปรปรวนและยอมรับได้ ซึ่งค่าอุณหภูมิในการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 6 มีอุณหภูมิต่ำที่สุดและค่าอุณหภูมิในการจัดวางผลิตภัณฑ์เดิมมีอุณหภูมิสูงที่สุดในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2

ตาราง 8 ค่าความเร็วและอุณหภูมิอากาศของโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 3

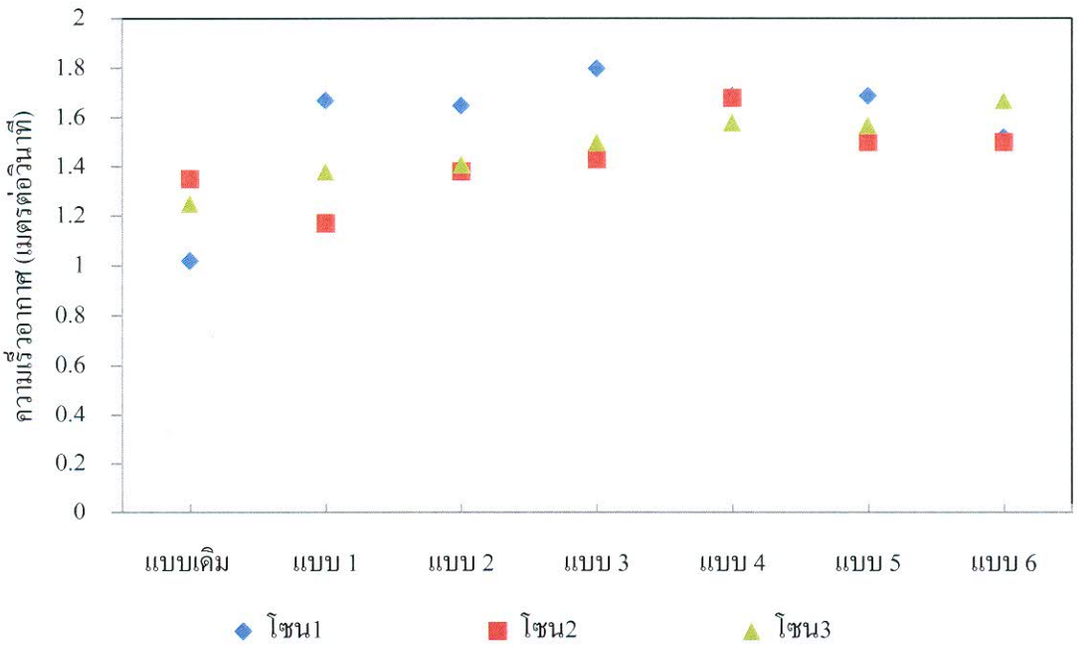
รูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์	ความเร็วอากาศ (เมตรต่อวินาที)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วอากาศ	อุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิอากาศ
รูปแบบเดิม	1.25	0.51	-19.03	0.54
รูปแบบที่ 1	1.38	0.29	-18.84	0.51
รูปแบบที่ 2	1.41	0.37	-19.21	0.52
รูปแบบที่ 3	1.51	0.38	-19.11	0.68
รูปแบบที่ 4	1.58	0.24	-20.02	0.38
รูปแบบที่ 5	1.57	0.32	-20.16	0.65
รูปแบบที่ 6	1.67	0.29	-20.13	0.77

ค่าความเร็วอากาศในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 3 แสดงในตาราง 8 พบว่าค่าความเร็วอากาศในรูปแบบเดิมมีค่าความเร็วอากาศต่ำที่สุด รูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 6 มีค่าความเร็วอากาศสูงที่สุดเมื่อนำค่าความเร็วอากาศมาเปรียบเทียบกับเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วอากาศ พบว่า ค่าความเร็วอากาศในการจัดวางผลิตภัณฑ์รูปแบบเดิมนั้นมีการกระจายตัวของข้อมูลที่แปรปรวนที่สุดและค่าความเร็วอากาศในการจัดวางผลิตภัณฑ์ทั้ง 6 รูปแบบ มีการกระจายตัวของข้อมูลที่ไม่แตกต่างกัน ค่าอุณหภูมิอากาศในการจัดวางผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมีการกระจายตัวของข้อมูลไม่แปรปรวนและยอมรับได้ ซึ่งค่าอุณหภูมิในการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 5 มีอุณหภูมิต่ำที่สุดและค่าอุณหภูมิในการจัดวางผลิตภัณฑ์รูปแบบที่ 1 มีอุณหภูมิสูงที่สุดในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 3 ซึ่งค่าความเร็วและอุณหภูมิอากาศในโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์แต่ละรูปแบบอาจมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากรูปแบบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในแต่ละโซน

ทำการพิจารณาค่าความเร็วอากาศ อุณหภูมิอากาศ และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายในห้องเย็น ซึ่งจะแสดงผลออกมาดังนี้

ค่าระดับความเร็วอากาศ

จากผลการจำลองการไหลในรูปแบบต่างๆ ค่าระดับความเร็วอากาศจะทำการพิจารณาเปรียบเทียบการจัดวางผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 โซนดังภาพ 74

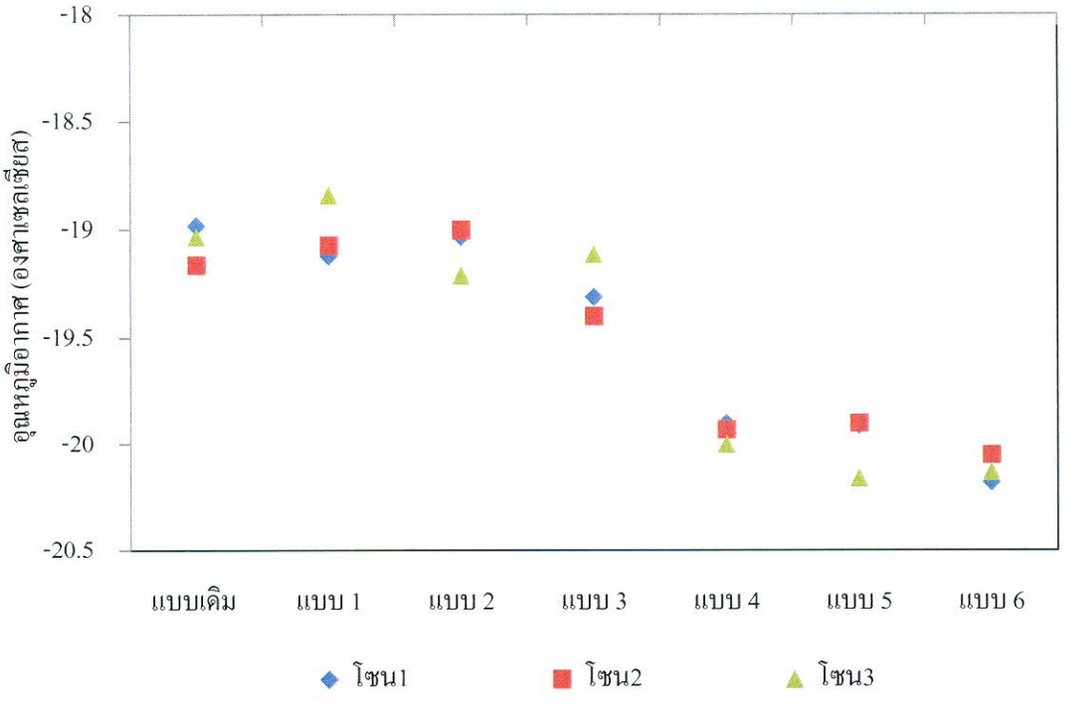


ภาพ 74 ค่าระดับความเร็วอากาศของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ

ผลการเปรียบเทียบค่าความเร็วอากาศในการจัดวางผลิตภัณฑ์แต่ละโซน ในรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบเดิมมีค่าเฉลี่ยความเร็วอากาศอยู่ที่ 1.21 เมตรต่อวินาที รูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1 ถึงรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 6 พบว่าค่าเฉลี่ยความเร็วอากาศของรูปแบบการจัดวางที่ 4 นั้นมีค่าเฉลี่ยความเร็วอากาศทั้งห้องสูงกว่ารูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์อื่นๆ ซึ่งมีค่าความเร็วอากาศอยู่ที่ 1.65 เมตรต่อวินาที และมีค่าเฉลี่ยความเร็วอากาศทั้ง 3 โซนแตกต่างกันเพียง 0.11 เมตรต่อวินาที พบว่าข้อมูลความเร็วอากาศในรูปแบบการจัดวางที่ 4 นั้นมีความใกล้เคียงกันทั้ง 3 โซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ นั่นแสดงว่าในรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 4 มีการกระจายตัวของค่าความเร็วอากาศที่เหมาะสมที่สุด

ค่าระดับอุณหภูมิอากาศ

จากผลการจำลองการไหลในรูปแบบต่างๆ ค่าอุณหภูมิอากาศจะทำการพิจารณาเปรียบเทียบการจัดวางผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 โซนดังภาพ 75

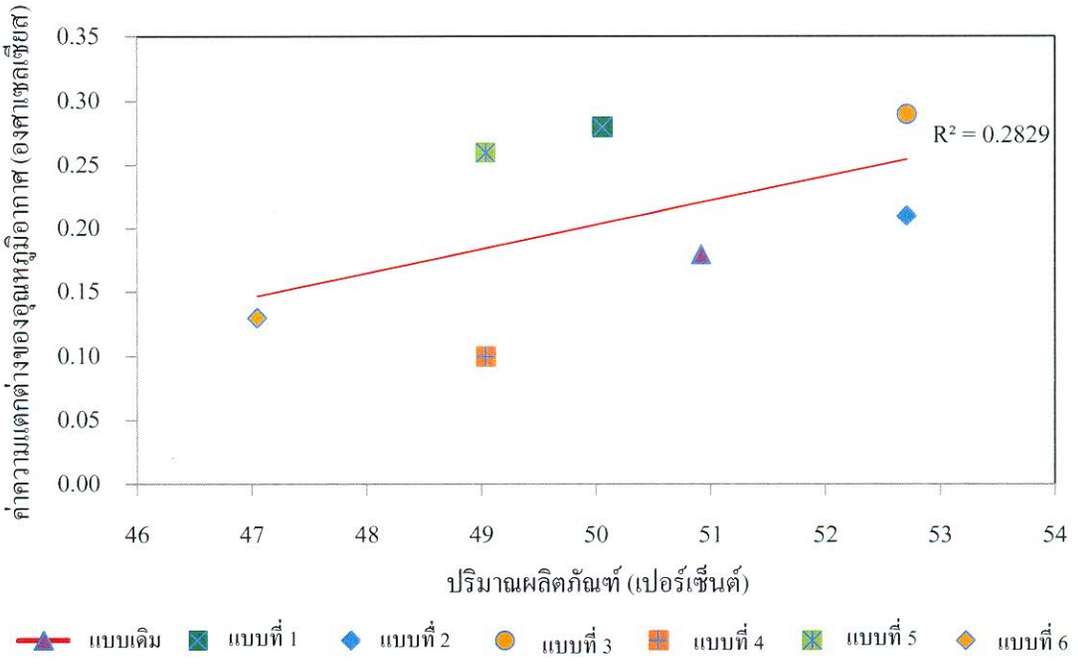


ภาพ 75 ค่าระดับอุณหภูมิอากาศของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ

ผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิอากาศในการจัดวางผลิตภัณฑ์แต่ละโซน ในรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบเดิมมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศอยู่ที่ -19.06 องศาเซลเซียส รูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1 ถึงรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 6 มีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศทั้งห้องที่ลดต่ำลง พบว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศของรูปแบบการจัดวางที่ 4 นั้นมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศอยู่ที่ -19.94 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศทั้ง 3 โซนแตกต่างกันเพียง 0.1 องศาเซลเซียส พบว่าข้อมูลค่าอุณหภูมิอากาศในรูปแบบการจัดวางที่ 4 นั้นมีความใกล้เคียงกันทั้ง 3 โซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ นั่นแสดงว่าในรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 4 มีการกระจายตัวของค่าอุณหภูมิอากาศที่เหมาะสมที่สุด

ปริมาณผลิตภัณฑ์และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ

จากผลการจำลองการไหลในรูปแบบต่างๆ ทำการเปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในห้องเย็นของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในแต่ละรูปแบบ ดังภาพ 76 ซึ่งค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิได้จากค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของการจัดวางผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 โซนภายในห้องเย็น



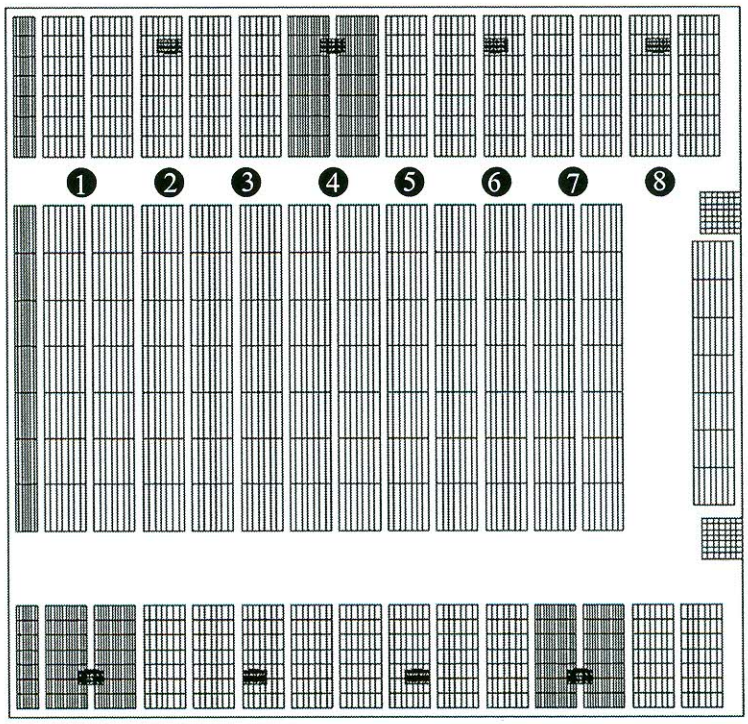
ภาพ 76 ปริมาณผลิตภัณฑ์และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในการจัดวางผลิตภัณฑ์รูปแบบต่างๆ

จากการเปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็นและค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในห้องเย็นของรูปการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ ซึ่งปริมาณผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็นมีผลต่ออุณหภูมิภายในห้องเย็นที่ว่าถ้าหากมีปริมาณผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็นมากจะมีค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น พบว่า ในรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 2 และ 3 มีปริมาณผลิตภัณฑ์มากขึ้นกว่ารูปแบบเดิมแต่มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศที่สูงกว่ารูปแบบเดิม ส่วนรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1 และ 5 มีปริมาณผลิตภัณฑ์ที่น้อยกว่ารูปแบบเดิมและมีค่าความแตกต่างของค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องสูงกว่ารูปแบบเดิม รูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 6 มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศที่ต่ำกว่ารูปแบบเดิมและมีปริมาณผลิตภัณฑ์น้อยกว่ารูปแบบเดิมถึง 3.88

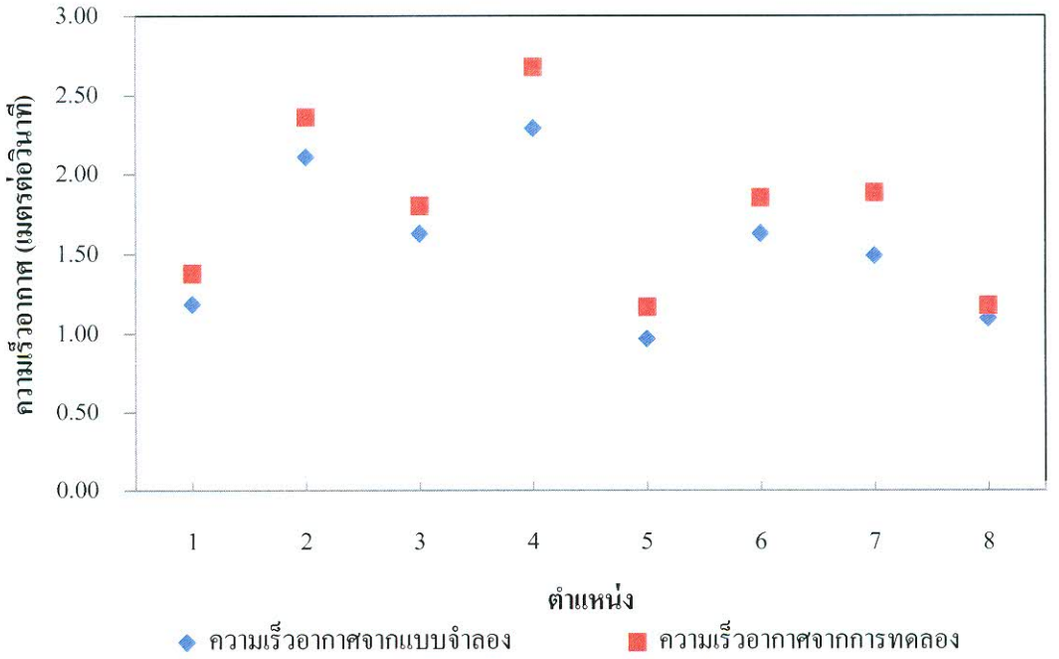
เปอร์เซ็นต์ ส่วนรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 4 มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำกว่ารูปแบบเดิม และมีปริมาณผลิตภัณฑ์น้อยกว่ารูปแบบเดิมเพียง 1.88 เปอร์เซ็นต์ จากแนวโน้มของกราฟจะเห็นว่า ปริมาณผลิตภัณฑ์มากขึ้นค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในห้องก็จะสูงตาม ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีผลต่อความสัมพันธ์ของตัวแปรถ้าหากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่ามากแสดงว่ามีความสัมพันธ์ของตัวแปรมากเช่นกัน

การเปรียบเทียบผลการจำลองการไหลที่ทำการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 1 และผลจากการทดลอง

การเปรียบเทียบผลการจำลองการไหลเพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องว่าการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในห้องเย็นนั้นมีผลทำให้ความเร็วอากาศและอุณหภูมิอากาศในห้องเย็นเปลี่ยนแปลง จึงได้ทำการทดลองโดยการนำการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่ 1 ซึ่งมีการจัดวางคล้ายกับโรงงานในปัจจุบันมากที่สุด ดังภาพ 77



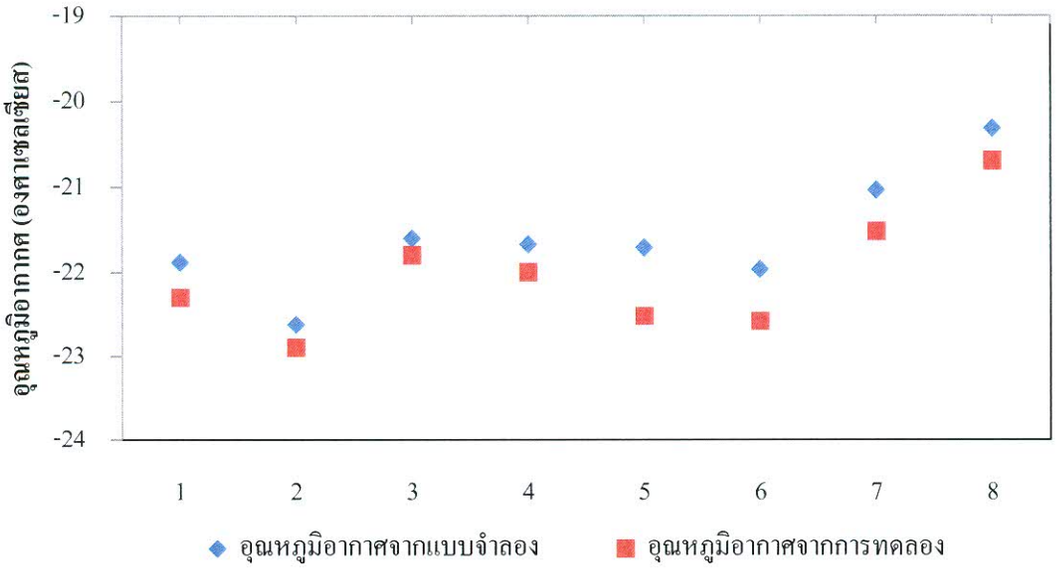
ภาพ 77 ตำแหน่งตรวจสอบความถูกต้องของการจำลองการไหลในการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์รูปแบบที่ 1



ภาพ 78 ค่าระดับความเร็วอากาศที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1และผลจากการทดลอง

จากภาพ 78 พบว่าความเร็วอากาศจากการทดลองในเส้นสีแดงซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าความเร็วอากาศจากแบบจำลอง ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเร็วอากาศอยู่ระหว่าง 7.27 ถึง 26.17 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 15.35 เปอร์เซ็นต์

ความคลาดเคลื่อนของค่าความเร็วอากาศ อาจเกิดจากลักษณะการไหลของอากาศของการทดลองและแบบจำลองมีความแตกต่างกัน เนื่องจากรูปร่างของแบบจำลองที่สร้างขึ้นมาไม่ซับซ้อนเท่าของจริงอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้



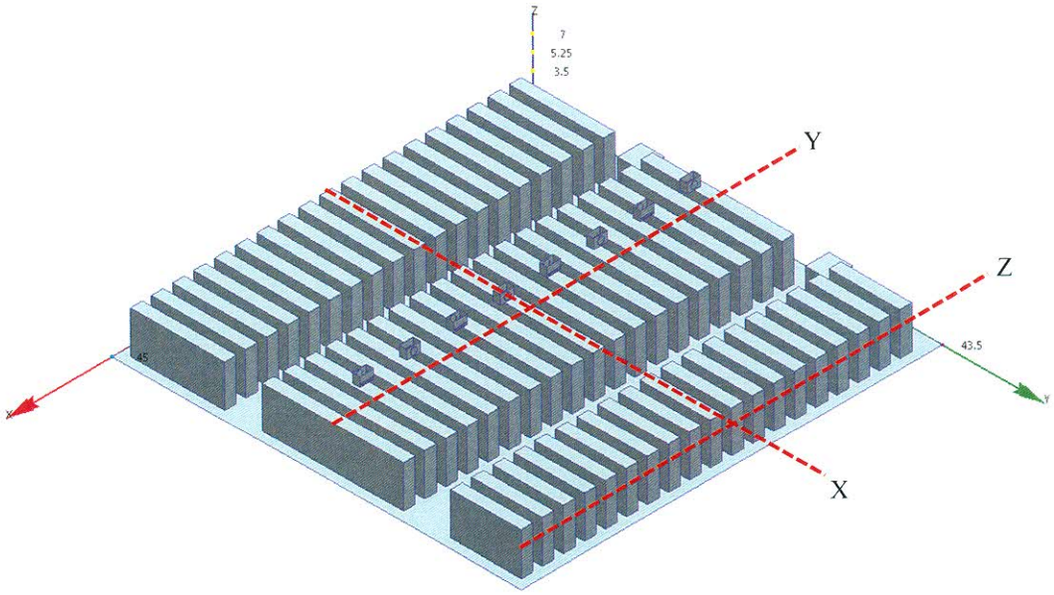
ภาพ 79 ค่าระดับอุณหภูมิอากาศที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ 1 และผลจากการทดลอง

จากภาพ 79 ค่าอุณหภูมิอากาศจากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศจากการทดลอง มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิอากาศอยู่ระหว่าง 0.93 ถึง 3.73 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 2.05 เปอร์เซ็นต์

สาเหตุที่อุณหภูมิอากาศของแบบจำลองสูงกว่าค่าอุณหภูมิจากการทดลอง คาดว่าเกิดจากการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ให้เหมือนกับรูปแบบการจัดวางที่ได้ออกแบบไว้ ในความเป็นจริงแล้วการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจัดวางผลิตภัณฑ์เป็นไปได้ลำบาก เนื่องจากรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ทำการออกแบบไว้กับการจัดวางผลิตภัณฑ์ในห้องเย็นจริงอาจมีความคลาดเคลื่อนกัน

การจำลองการไหลที่มีการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบกรณีศึกษา

จากความรู้ที่ได้จากการจำลองการไหลที่มีการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 6 รูปแบบ จึงมีแนวความคิดที่จะปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็นรูปแบบใหม่โดยคิดนอกกรอบ ทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งคอยล์เย็นและจัดวางผลิตภัณฑ์ให้เป็นแถวเดียว โดยให้เกิดช่องว่างด้านข้างของชั้นผลิตภัณฑ์ดังภาพ 80



ภาพ 80 ระนาบที่ทำการพิจารณาของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบกรณีศึกษา

เมื่อ ระนาบ X คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน X ตัดผ่านชั้นผลิตภัณฑ์บริเวณกลางห้องเย็นที่ระยะ X = 25.0 เมตร

ระนาบ Y คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวแกน Y ตัดผ่านชั้นผลิตภัณฑ์บริเวณกลางห้องเย็นที่ระยะ Y = 22.5 เมตร

ระนาบ Z คือ ระนาบที่ตั้งฉากกับแนวแกน Z ที่ตัดผ่านชั้นผลิตภัณฑ์ที่ระยะ Z = 3.5 เมตร

ผลการจำลองการไหลในการจัดวางผลิตภัณฑ์รูปแบบนี้เป็นการปรับเปลี่ยนการจัดวางที่แตกต่างจากรูปแบบอื่นโดยการนำองค์ความรู้ในการจัดวางผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็นมาใช้ในการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบนี้

1. ทำการเพิ่มช่องว่างระหว่างชั้นวางผลิตภัณฑ์ให้มีความกว้างมากขึ้นเพื่อให้อากาศสามารถกระจายตัวเข้าถึงชั้นผลิตภัณฑ์ได้ดีมากขึ้น

2. การปรับระดับความสูงของชั้นผลิตภัณฑ์ให้เท่ากัน เพื่อไม่ให้บังทิศทางการไหลของอากาศที่ออกจากคอยล์เย็น

3. การจัดวางผลิตภัณฑ์ให้เป็นแถวเดียว เพื่อให้อากาศเย็นกระจายตัวเข้าถึงผลิตภัณฑ์ได้ทุกด้าน

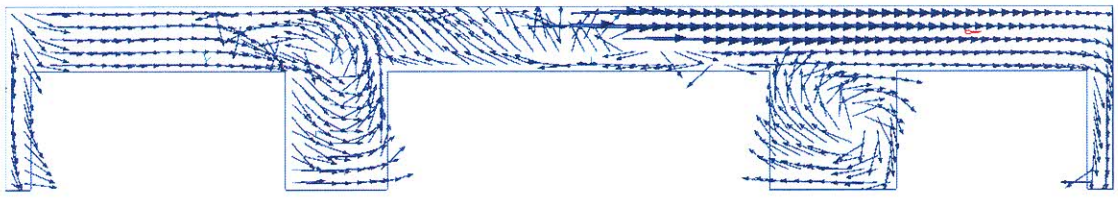
4. การปรับเปลี่ยนตำแหน่งคอยล์เย็น ปรับเปลี่ยนให้คอยล์เย็นอยู่กลางห้องเย็นและปล่อยกระแสอากาศออกสู่ผนังห้องเย็น เน้นแก้ปัญหากระแสอากาศที่ออกจากคอยล์เย็นปะทะกัน

แนวคิดเหล่านี้ได้นำมาช่วยในการออกแบบการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่ขึ้นมาโดยแสดงผลได้ดังนี้

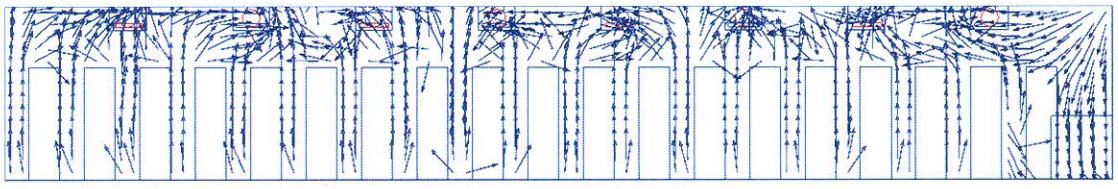
สนามความเร็วอากาศดังภาพ 81 ในระนาบ X จะเห็นกระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็นทิศทางเคลื่อนที่ปะทะกับผนังห้องเย็นและวนกลับกระจายเข้าสู่ชั้นผลิตภัณฑ์อย่างทั่วถึง ซึ่งขนาดของสนามความเร็วบริเวณด้านบนชั้นผลิตภัณฑ์มีขนาดยาวแสดงว่ามีความเร็วอากาศที่สูง ส่วนระนาบ Y สนามความเร็วปั่นป่วนบริเวณด้านบนชั้นผลิตภัณฑ์ และสนามความเร็วกระจายเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ เช่นเดียวกับระนาบ Z ที่มีสนามความเร็วอากาศกระจายเต็มพื้นที่ว่างภายในห้องเย็นทั้งหมด

ความเร็วอากาศดังภาพ 82 ในระนาบ X อากาศที่ออกจากคอยล์เย็นเป็นพื้นที่สีแดงนั่นแสดงว่ามีค่าความเร็วอากาศที่สูง เมื่อเคลื่อนที่ออกจาคอยล์เย็นและปะทะกับผนังห้องเย็นค่าความเร็วอากาศจะลดลงเล็กน้อย อากาศที่ออกจากคอยล์เย็นไม่ปะทะกับชั้นผลิตภัณฑ์โดยตรง ค่าความเร็วอากาศในระนาบ X อยู่ที่ 2.15 เมตรต่อวินาที ในระนาบ Y พบว่าบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์อากาศกระจายตัวเข้าถึงได้ดีมากขึ้น มีค่าความเร็วอากาศภายในระนาบ 1.84 เมตรต่อนาที เช่นเดียวกับระนาบ Z พบว่าความเร็วอากาศจะสูงบริเวณริมผนังห้องเป็นส่วนมากซึ่งมีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ย 2.30 เมตรต่อวินาที

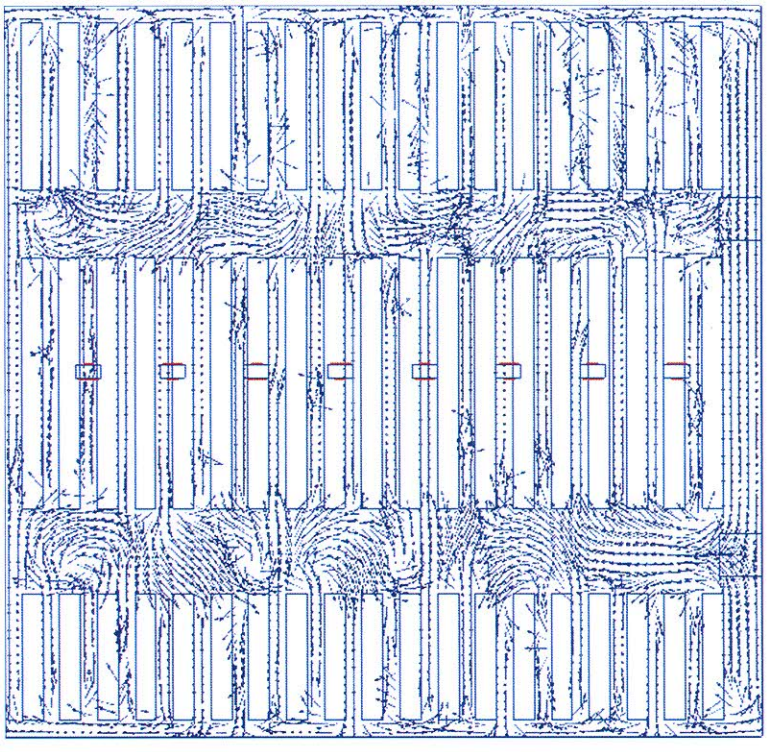
ค่าระดับอุณหภูมิดังภาพ 83 ในทุกระนาบพบว่าไม่มีพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงเกิดขึ้น บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำเป็นบริเวณผนังห้องเย็นเป็นส่วนมาก



X



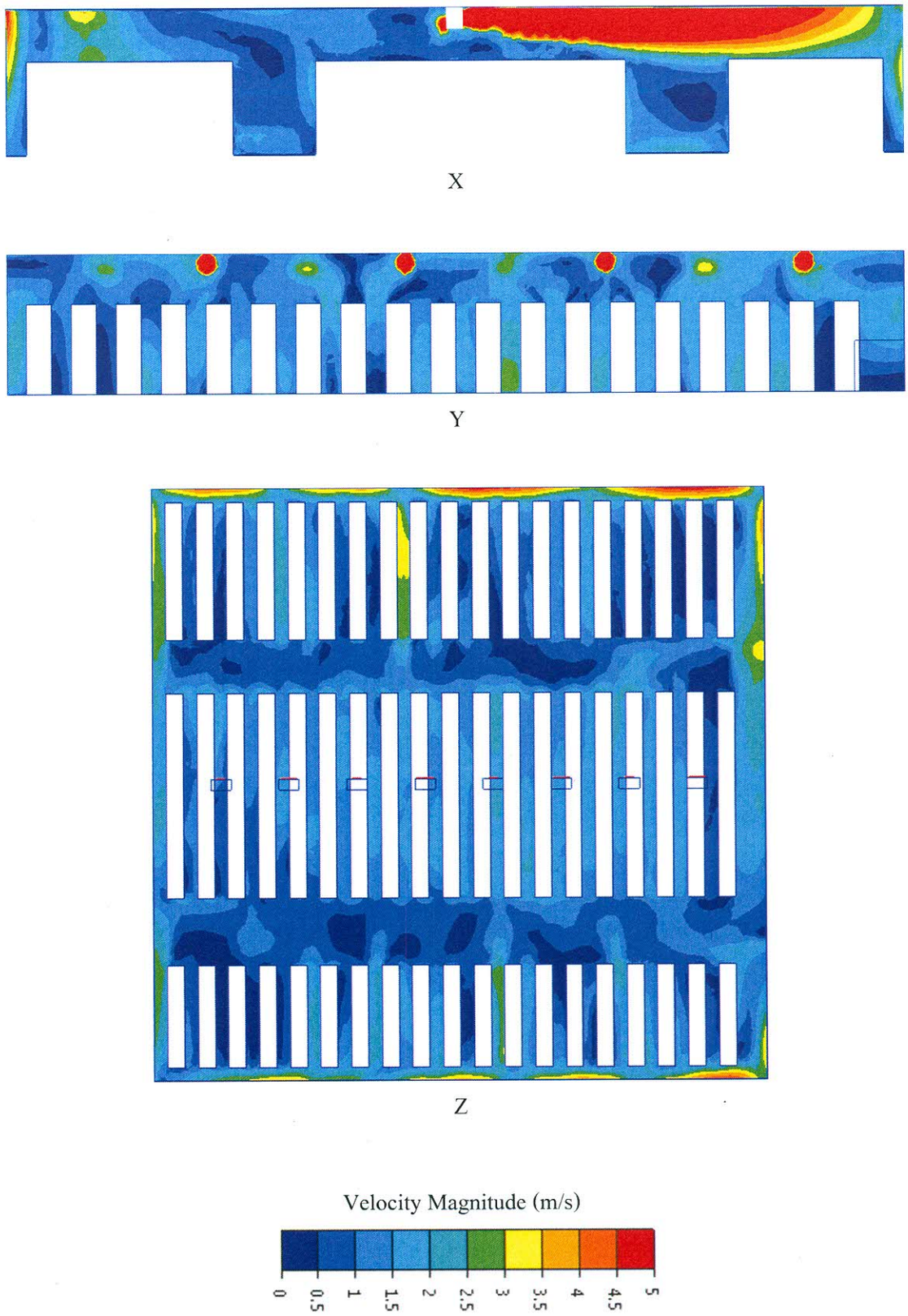
Y



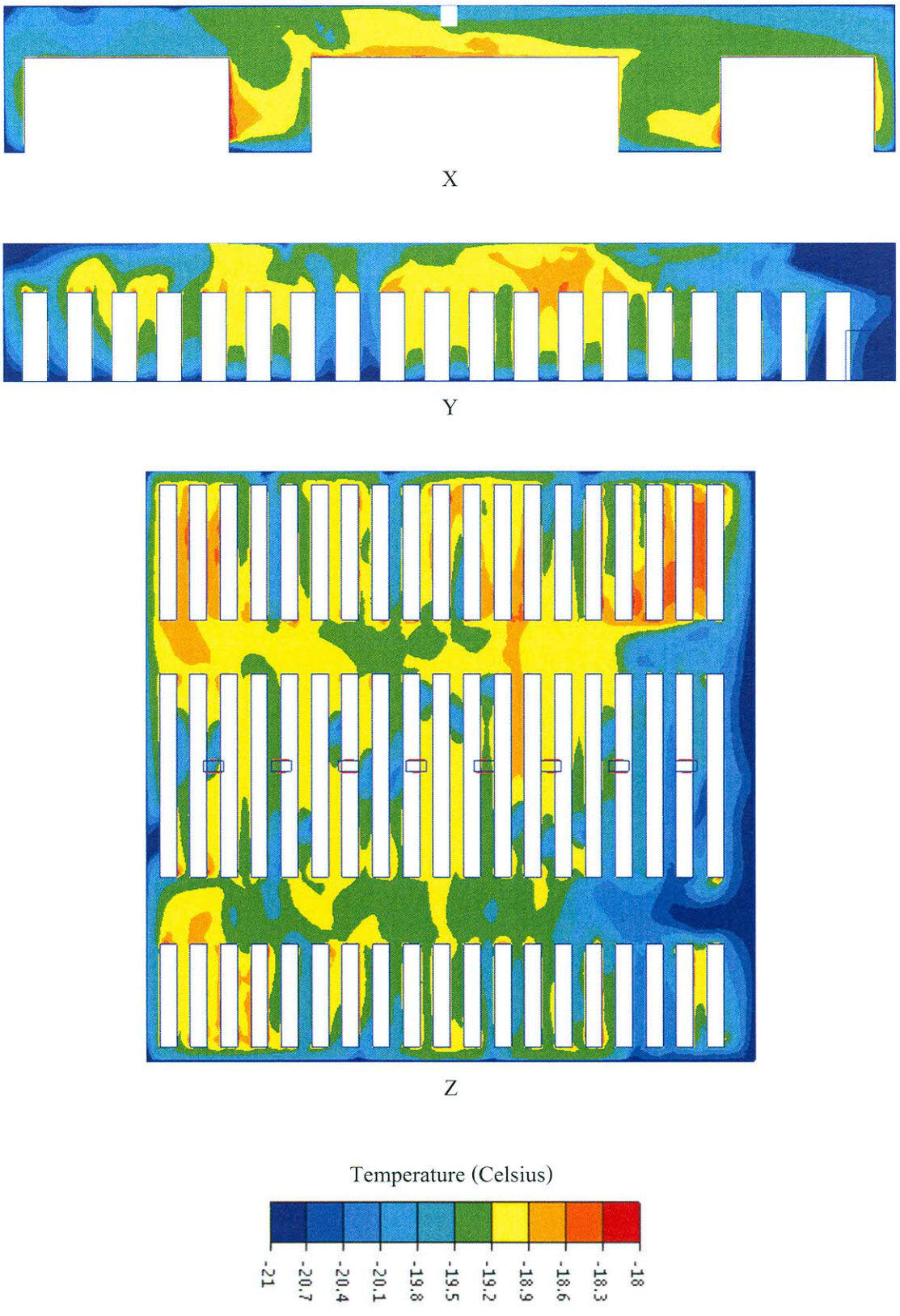
Z

Reference Vector — 1 เมตรต่อวินาที

ภาพ 81 ผลเฉลยสนามความเร็วอากาศภายในระนาบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบกรณีศึกษา



ภาพ 82 ผลเฉลยค่าระดับความเร็วอากาศภายในระนาบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบกรณีศึกษา



ภาพ 83 ผลเฉลยค่าระดับอุณหภูมิอากาศภายในระนาบของการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบกรณีศึกษา

จากผลการจำลองการไหลที่มีการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบกรณีศึกษานี้ ได้ทำการปรับเปลี่ยนช่องว่างทางเดิน แถวของชั้นผลิตภัณฑ์ ความสูงของชั้นผลิตภัณฑ์ รวมถึงปรับเปลี่ยนตำแหน่งของคอยล์เย็นภายในห้อง พบว่าผลการจำลองการไหลในค่าความเร็วอากาศมีค่าที่สูงขึ้น โดยมีค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยทั้ง 3 โซนการจัดวางผลิตภัณฑ์อยู่ที่ 1.78 เมตรต่อวินาที มีค่าสูงกว่าค่าความเร็วอากาศในการจัดวางผลิตภัณฑ์ทุกรูปแบบ และค่าอุณหภูมิอากาศที่มีค่าต่ำลงหรืออุณหภูมิภายในห้องเย็นขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยทั้ง 3 โซนการจัดวางผลิตภัณฑ์อยู่ที่ -21.3 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าอุณหภูมิอากาศที่ต่ำกว่าการจัดวางผลิตภัณฑ์ในทุกรูปแบบ

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาการจำลองการไหลของอากาศในห้องเย็นของ บริษัทลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการวิเคราะห์การกระจายตัวของอากาศในห้องเย็นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็นให้มีการกระจายความเร็วอากาศและอุณหภูมิอากาศเย็นได้อย่างทั่วถึง โดยนำเทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยแก้ปัญหา ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยการนำผลเฉลยที่ได้จากการจำลองการไหลมาเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดภาคสนามพบว่าการสอบเทียบสามารถเป็นที่ยอมรับได้ และจากการวิเคราะห์ผลการจำลองการไหลดังรูปแบบดั้งเดิมที่บริษัทลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด ได้จัดวางผลิตภัณฑ์ก่อนการปรับเปลี่ยนนั้น ผลเฉลยทำให้เห็นถึงปัญหาของการกระจายอากาศที่เกิดขึ้นจากการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิม ซึ่งพบว่า ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์มีความกว้างน้อยเกินไป แนวการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงกับแนวกระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็น ความสูงชั้นผลิตภัณฑ์ที่อาจบดบังกระแสอากาศที่ออกจากคอยล์เย็น และการจัดวางผลิตภัณฑ์ในพื้นที่ตรงกับกระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็น จึงนำปัญหาที่เกิดขึ้นจากการจำลองการไหลในรูปแบบเดิมมาปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 6 รูปแบบ พร้อมกับกรณีศึกษาอีก 1 กรณี ซึ่งสามารถสรุปผลเฉลยเป็นองค์ความรู้ได้ดังต่อไปนี้

1. การปรับเปลี่ยนแนวการจัดวางผลิตภัณฑ์ให้มีช่องว่างระหว่างชั้นวางผลิตภัณฑ์ให้ขนานไปกับกระแสอากาศหลักที่ออกจากคอยล์เย็นและการเพิ่มช่องว่างทางเดินหลัก ช่วยลดพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงที่เกิดขึ้นและช่วยให้อากาศกระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ที่ขวางกับแนวกระแสอากาศหลักได้ดีขึ้น

2. การเพิ่มความกว้างของช่องว่างระหว่างชั้นวางผลิตภัณฑ์ให้มีความกว้างมากขึ้นส่งผลให้อากาศสามารถกระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น ช่วยลดพื้นที่อุณหภูมิสูงที่เกิดขึ้นภายในช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์

3. การแบ่งผลิตภัณฑ์เป็นกลุ่มย่อยๆ และมีจำนวนผลิตภัณฑ์จัดวางไม่หนาแน่นสามารถช่วยลดพื้นที่อุณหภูมิสูงที่เกิดขึ้นภายในช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ได้และทำให้อากาศสามารถกระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ได้ทั่วถึงมากขึ้น

4. การปรับลดระดับความสูงของการจัดวางผลิตภัณฑ์มีผลดีต่อการกระจายตัวของอากาศ เพราะนอกจากอากาศจะไม่เกิดการปะทะกับชั้นผลิตภัณฑ์ทำให้อากาศเกิดการปั่นป่วนแล้ว ยังช่วยให้มีพื้นที่บริเวณด้านบนชั้นวางผลิตภัณฑ์นั้นกระจายตัวเข้าสู่ช่องว่างระหว่างชั้นได้ดีมากขึ้น

จากการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ทั้ง 6 รูปแบบ เมื่อพิจารณาตัดสินใจเลือกรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม ที่ส่งผลต่อการกระจายความเร็วอากาศและอุณหภูมิอากาศ พบว่าการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดสามารถแก้ปัญหาได้ดังนี้

1. สามารถลดพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงที่เกิดขึ้นในบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์ในโซนการจัดวางบริเวณกลางห้องซึ่งเป็นโซนการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่พบปัญหาการกระจายอากาศไม่ทั่วถึงอย่างมาก

2. การแบ่งการจัดวางผลิตภัณฑ์ให้เป็นกลุ่มย่อยๆ ช่วยให้อากาศสามารถกระจายตัวเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ได้อย่างทั่วถึงมากขึ้น โดยอุณหภูมิบริเวณช่องว่างระหว่างชั้นผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิต่ำลง

3. ช่องว่างทางเดินหลักที่กว้างและตรงกับแนวกระแสอากาศหลักช่วยให้กระแสอากาศที่ออกคอยล์เย็นสามารถกระจายตัวได้ดี ความเร็วอากาศมีค่าสูงขึ้นและค่าอุณหภูมิอากาศลดต่ำลงในบริเวณช่องว่างทางเดิน

ผลการจำลองการไหล ยังพบว่ามีค่าความเร็วอากาศที่อยู่ในข้อกำหนดการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ในห้องเย็นที่มีความเร็วอากาศอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 2.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งค่าความเร็วอากาศทั้งสามโซนมีค่าไม่แตกต่างกันมาก และค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่มีค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องเย็นไม่แตกต่างกันเกิน 0.8 องศาเซลเซียส จึงถือว่าอากาศในห้องเย็นมีการหมุนเวียนอากาศที่ดี

ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้งานวิจัยเกิดการพัฒนาต่อไปและเกิดประโยชน์แก่สถานประกอบการมากขึ้น ผู้วิจัยจึงมองเห็นแนวทางในการศึกษางานวิจัยเพิ่มเติมดังนี้

1. การหาแนวทางการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบอื่น อาจทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของคอยล์เย็น

2. การนำโปรแกรมการจำลองการไหลไปประยุกต์ใช้กับการจำลองการไหลในกระบวนการผลิตอื่นๆของทางโรงงาน หรือการจำลองการไหลในห้องแช่แข็ง

3. พัฒนาแบบจำลองโดยเปลี่ยนจากผนังที่เป็นพื้นผิวให้เป็นผนังที่เป็นปริมาตรของแข็ง ซึ่งจะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้ามาในห้องเย็น

4. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับอิทธิพลจากแหล่งความร้อนอื่นๆ เช่น คนทำงาน รถยกของ หลอดไฟ มอเตอร์ต่างๆ และความร้อนที่ออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีผลต่อค่าอุณหภูมิภายในห้องเย็น

บรรณานุกรม

ก้อง อุทโยภาศ. 2545. **การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการไหลผ่านสิ่งกีดขวาง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 106 น.

เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต และ อัญชิสา ยี่สุ่นแซม. 2554. การศึกษาการวางมุมเหมาะสมของหัวเตาเผาที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิในเตาเผาปูนขาวโดยวิธีไฟไนต์วอลลุ่ม. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น** 16(3): 225-239.

เชษฐพรรณ สินเจิมสิริ และ อรรจน์ เศรษฐบุตร. 2553. สมรรถนะของระบบผนังกระจกสองชั้นแบบใช้การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ. **วารสารวิจัยพลังงาน** 7(2): 27-42.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2553. คู่มือการลดอุณหภูมิและการขนส่งผลผลิต (ตอนที่ 1). **KEPPKOOL** 6(23): 25-27.

ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2545. **ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อการคำนวณพลศาสตร์ของไหล.** กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 636 น.

ปราโมทย์ เดชะอำไพ และ วรสิทธิ์ กาญจนกิจเกษม. 2541. การคำนวณการหมุนวนของอากาศด้วย Computational Fluid Dynamics. น. 1-6. <u>ใน</u> **การสัมมนา เรื่อง วิสัยทัศน์งานวิศวกรรมปรับอากาศในอนาคต**. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย.

ปัณณธร ภัทรสถาพรกุล. 2550. การแช่เยือกแข็งผักและผลไม้. **KEEPKOOL** 6(23): 19-22.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2548. <u>ใน</u> **รายงานฉบับสุดท้าย โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอาหาร**. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.

สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2547. **การเก็บรักษาอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.tistr-foodprocess.net/frozen/other_frozen/other_frozen1.htm (26 สิงหาคม 2555).

สถาบันอาหาร. 2552. แนวโน้มอุตสาหกรรมอาหารพร้อมปรุง-พร้อมทานในตลาดโลกกับอนาคตที่สดใส. **อุตสาหกรรมสาร** 52: 5-7.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2551. การผลิตและการจัดการดูแลอาหารแช่เยือกแข็ง ครั้งที่ 1. น. 1-3. <u>ใน</u> **การประชุมคณะกรรมการระหว่าประเทศเฉพาะกิจของโคเด็กซ์**. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุกิจ ลิติกรณ์. 2553. การรักษาอุณหภูมิของสินค้าในห้องเย็น. **KEEPKOOL** 9(32): 16-19.

Enhai Liu, Tingting Yu, Shengyong Liu, and Hongwei Liu. 2014. Flow Field Analysis and Defrosting Cycle Optimization in a Large-scale Industrial Cold-storage Facility. **Journal of Food and Nutrition Research** 2(9): 567–574.

George D. Saravacos and Athanasios E. Kostaropoulos. 2002. **Handbook of Food Processing Equipment.** NewYork: Kluwer/Plenum Publisher. 698 p.

Giovanni Cortella. 2002. CFD-aided retail cabinets design. **Computers and Electronics in Agriculture** (34): 43-66.

Jing Xie, Xiao-Hua Qu, Jun-Yu Shi and Da-Wen Sun. 2006. Effects of Design Parameters on Flow and Temperature Fields of a Cold Storage By CFD Simulation. **Journal of Food Engineering** (7): 355-363.

Li Shou, Wang Shucai, Cheng Fang and Xie Gaobing. 2015. Numerical Simulation og the Gas Flow Field in the Cold Storage and Freezing Process of the Procambarus Clarkii. **Advance Journal of Food Science and Technology** 7(11): 881-887.

Margaret L. Hoang, Pieter Verboven, Josse De Baerdemaeker and Bart Nicolaï. 2000. Analysis of the air flow in a cold store by means of computational fluid dynamics. **International Journal of Refrigeration** (23): 127-140.

Maria Justo Alonso, Trond Andresen, Frode Frydenlund and Kristina N. Widell. 2011. Improvement of Air Flow Distribution in a Freezing Tunnel using Airpak. **Procedia Food Science** (1): 1231-1238.

Moureh J, Menia N and Denis Flick. 2002. Numerical and Experimental study of airflow in a typical refrigerated truck configuration loaded with pallets. **Computers and Electronics in Agriculture** (34): 25-42.

Mulugeta A Delele, Ann Schenk, Engelbert Tijskens, Herman Ramon, Bart Nicolaï and Pieter Verboven. 2009. Optimization of the humidification of cold stores by pressurized water atomizers based on a multiscale CFD model. **Jounal of Food Engineering** (91): 228-239.

Serap Akdemir and Selcuk Arin. 2005. Effect of Air Velocity on Temperature in Experimental Cold Store. **Journal of Applied Sciences** 5(1): 70-74.

Yao Wei, Wang Jian and Liao Guangxuan. 2006. **Grid-Independent Issue in Numerical Heat Transfer**. [online]. Available http://arxiv.org/ftp/math-ph/papers/0609/0609066.pdf (12 July 2012).

บรรณานุกรม

ก้อง อุทโยภาศ. 2545. **การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการไหลผ่านสิ่งกีดขวาง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 106 น.

เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต และ อัญชิสา ยี่สุ่นแซม. 2554. การศึกษาการวางมุมเหมาะสมของหัวเตาเผาที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิในเตาเผาปูนขาวโดยวิธีไฟไนต์วอลลุ่ม. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น** 16(3): 225-239.

เชษฐพรรณ สินเจิมสิริ และ อรรจน์ เศรษฐบุตร. 2553. สมรรถนะของระบบผนังกระจกสองชั้นแบบใช้การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ. **วารสารวิจัยพลังงาน** 7(2): 27-42.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2553. คู่มือการลดอุณหภูมิและการขนส่งผลผลิต (ตอนที่ 1). **KEPPKOOL** 6(23): 25-27.

ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2545. **ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อการคำนวณพลศาสตร์ของไหล.** กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 636 น.

ปราโมทย์ เดชะอำไพ และ วรสิทธิ์ กาญจนกิจเกษม. 2541. การคำนวณการหมุนวนของอากาศด้วย Computational Fluid Dynamics. น. 1-6. ใน **การสัมมนา เรื่อง วิสัยทัศน์งานวิศวกรรมปรับอากาศในอนาคต**. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย.

ปัณณธร ภัทรสถาพรกุล. 2550. การแช่เยือกแข็งผักและผลไม้. **KEEPKOOL** 6(23): 19-22.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2548. ใน **รายงานฉบับสุดท้าย โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอาหาร**. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.

สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2547. **การเก็บรักษาอาหารทะเลแช่เยือกแข็ง**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.tistr-foodprocess.net/frozen/other_frozen/other_frozen1.htm (26 สิงหาคม 2555).

สถาบันอาหาร. 2552. แนวโน้มอุตสาหกรรมอาหารพร้อมปรุง-พร้อมทานในตลาดโลกกับอนาคตที่สดใส. **อุตสาหกรรมสาร** 52: 5-7.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2551. การผลิตและการจัดการดูแลอาหารแช่เยือกแข็ง ครั้งที่ 1. น. 1-3. ใน **การประชุมคณะกรรมการระหว่าประเทศเฉพาะกิจของโคเด็กซ์**. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุกิจ ลิติกรณ์. 2553. การรักษาอุณหภูมิของสินค้าในห้องเย็น. **KEEPKOOL** 9(32): 16-19.

Enhai Liu, Tingting Yu, Shengyong Liu, and Hongwei Liu. 2014. Flow Field Analysis and Defrosting Cycle Optimization in a Large-scale Industrial Cold-storage Facility. **Journal of Food and Nutrition Research** 2(9): 567–574.

George D. Saravacos and Athanasios E. Kostaropoulos. 2002. **Handbook of Food Processing Equipment.** NewYork: Kluwer/Plenum Publisher. 698 p.

Giovanni Cortella. 2002. CFD-aided retail cabinets design. **Computers and Electronics in Agriculture** (34): 43-66.

Jing Xie, Xiao-Hua Qu, Jun-Yu Shi and Da-Wen Sun. 2006. Effects of Design Parameters on Flow and Temperature Fields of a Cold Storage By CFD Simulation. **Journal of Food Engineering** (7): 355-363.

Li Shou, Wang Shucai, Cheng Fang and Xie Gaobing. 2015. Numerical Simulation og the Gas Flow Field in the Cold Storage and Freezing Process of the Procambarus Clarkii. **Advance Journal of Food Science and Technology** 7(11): 881-887.

Margaret L. Hoang, Pieter Verboven, Josse De Baerdemaeker and Bart Nicolaï. 2000. Analysis of the air flow in a cold store by means of computational fluid dynamics. **International Journal of Refrigeration** (23): 127-140.

Maria Justo Alonso, Trond Andresen, Frode Frydenlund and Kristina N. Widell. 2011. Improvement of Air Flow Distribution in a Freezing Tunnel using Airpak. **Procedia Food Science** (1): 1231-1238.

Moureh J, Menia N and Denis Flick. 2002. Numerical and Experimental study of airflow in a typical refrigerated truck configuration loaded with pallets. **Computers and Electronics in Agriculture** (34): 25-42.

Mulugeta A Delele, Ann Schenk, Engelbert Tijskens, Herman Ramon, Bart Nicolaï and Pieter Verboven. 2009. Optimization of the humidification of cold stores by pressurized water atomizers based on a multiscale CFD model. **Jounal of Food Engineering** (91): 228-239.

Serap Akdemir and Selcuk Arin. 2005. Effect of Air Velocity on Temperature in Experimental Cold Store. **Journal of Applied Sciences** 5(1): 70-74.

Yao Wei, Wang Jian and Liao Guangxuan. 2006. **Grid-Independent Issue in Numerical Heat Transfer**. [online]. Available http://arxiv.org/ftp/math-ph/papers/0609/0609066.pdf (12 July 2012).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางคุณสมบัติอากาศที่ใช้สำหรับการกำหนดสภาวะปริมาตร

ตาราง ก.1 คุณสมบัติของอากาศที่อิ่มตัว ณ ความดันบรรยากาศ 101.325 กิโลปาสคาล

t, °C	Vapor pressure, kPa	Humidity ratio, k_g/k_g	Specific volume, m^3/kg	Enthalpy kJ/kg
-40	0.01283	0.000079	0.6597	-40.041
-35	0.02233	0.000138	0.6740	-34.868
-30	0.03798	0.000234	0.6884	-29.600
-25	0.06324	0.000390	0.7028	-24.187
-20	0.10318	0.000637	0.7173	-18.546
-18	0.12482	0.000771	0.7231	-16.203
-16	0.15056	0.000930	0.7290	-13.793
-14	0.18107	0.001119	0.7349	-11.314
-12	0.21716	0.001342	0.7409	-8.745
-10	0.25971	0.001606	0.7469	-6.073
-8	0.30975	0.001916	0.7529	-3.265
-6	0.36846	0.002280	0.7591	-0.360
-4	0.43716	0.002707	0.7653	2.724
-2	0.51735	0.003206	0.7716	5.991
0	0.61072	0.003788	0.7781	9.470
1	0.6566	0.00407	0.7813	11.200
2	0.7055	0.00438	0.7845	12.978
3	0.7575	0.00471	0.7878	14.807
4	0.8130	0.00505	0.7911	16.692
5	0.8719	0.00542	0.7944	18.634
6	0.9347	0.00582	0.7978	20.639
7	1.0013	0.00624	0.8012	22.708
8	1.0722	0.00668	0.8046	24.848
9	1.1474	0.00716	0.8081	27.059
10	1.2272	0.00766	0.8116	29.348
11	1.3119	0.00820	0.8152	31.716
12	1.4017	0.00876	0.8188	34.172
13	1.4969	0.00937	0.8225	36.719
14	1.5977	0.01001	0.8262	39.362
15	1.7044	0.01069	0.8300	42.105
16	1.8173	0.01141	0.8338	44.955
17	1.9367	0.01218	0.8377	47.918
18	2.0630	0.01299	0.8417	50.998
19	2.1964	0.01384	0.8457	54.205
20	2.3373	0.01475	0.8498	57.544
21	2.4861	0.01572	0.8540	61.021
22	2.6431	0.01674	0.8583	64.646
23	2.8086	0.01781	0.8626	68.425
24	2.9832	0.01896	0.8671	72.366
25	3.1671	0.02016	0.8716	76.481
26	3.3609	0.02144	0.8763	80.777
27	3.5649	0.02279	0.8811	85.263
28	3.7797	0.02422	0.8860	89.952
29	4.0055	0.02572	0.8910	94.851
30	4.2431	0.02732	0.8961	99.977
31	4.4928	0.02900	0.9014	105.337
32	4.7552	0.03078	0.9068	110.946

ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรม Autodesk® Simulation CFD เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ใช้ในงานด้านการออกแบบและการจำลองด้านวิศวกรรม สามารถใช้แสดงผลของปรากฏการณ์ทางด้านของไหล ความร้อน ไฟฟ้า และทางกล

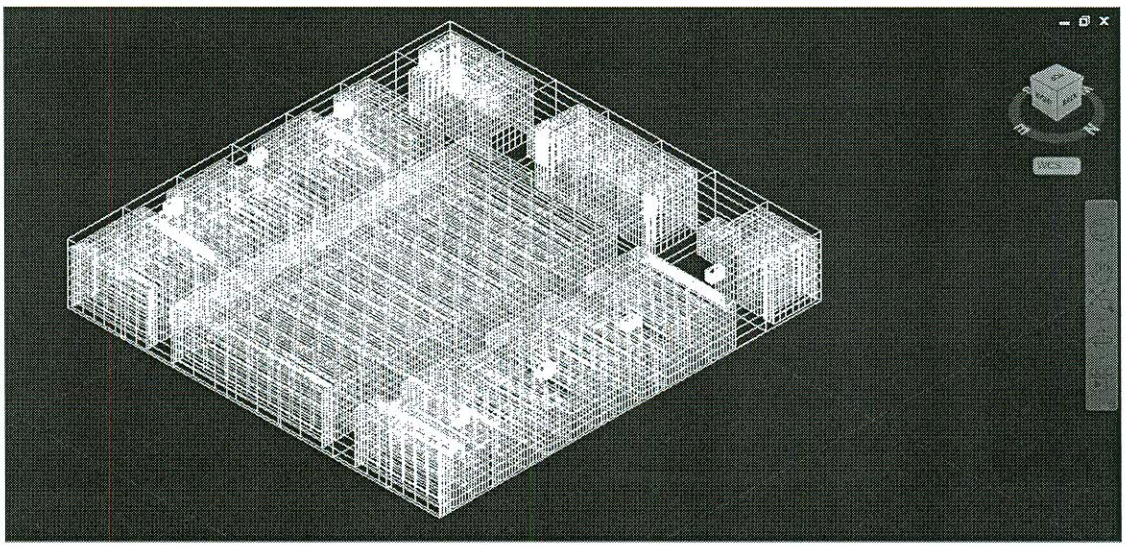
ในการสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหลในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนก่อนการประมวลผล ใช้โปรแกรม AutoCAD® สำหรับสร้างแบบจำลองทางกายภาพของห้องเย็น และ Autodesk® Inventor Fusion ใช้สำหรับการกำหนดรายละเอียดในการคำนวณของแบบจำลอง โดยรองรับไฟล์ข้อมูลจากโปรแกรมที่ใช้สำหรับเขียนแบบ

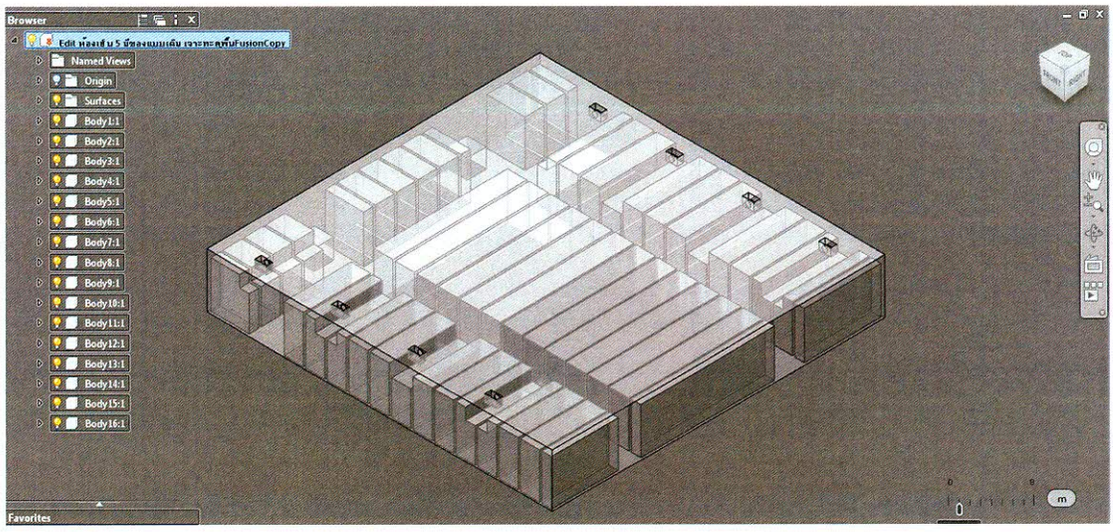
ขั้นตอนการประมวลผลและขั้นตอนหลังการประมวลผล ใช้โปรแกรม Autodesk® Simulation CFD ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต เลือกวิธีในการคำนวณ และทำการประมวลผลรวมถึงแสดงผลหลังการประมวลผล ซึ่งขั้นตอนต่างๆ จะแสดงตัวอย่างได้ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนก่อนการประมวลผล

การสร้างแบบจำลองทางกายภาพของห้องเย็น สร้างโดยโปรแกรม AutoCAD® ซึ่งสร้างตามขนาดจริงดังภาพต่อไปนี้



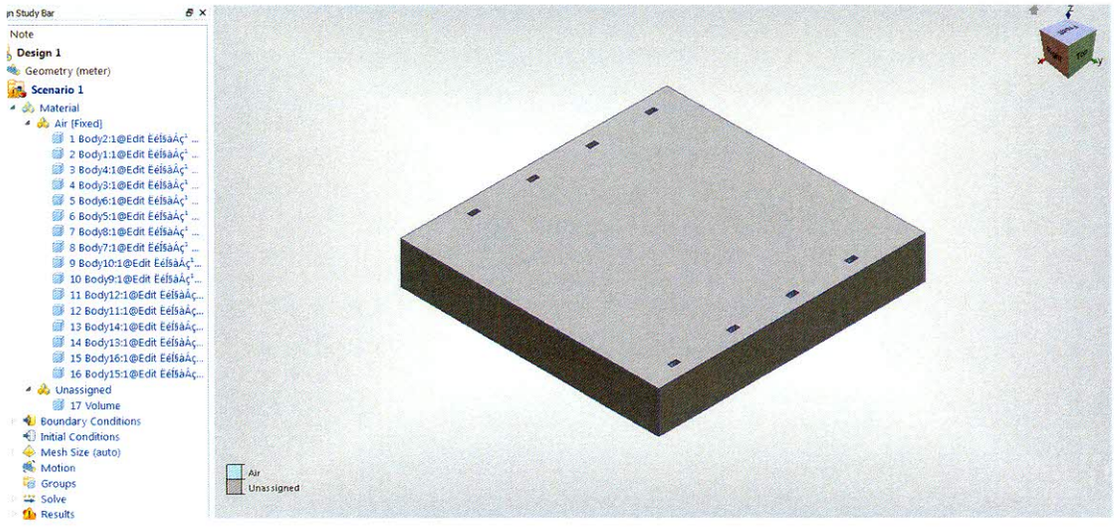
ภาพผนวก 1 แบบจำลองทางกายภาพของห้องเย็นที่สร้างโดยโปรแกรม AutoCAD®



ภาพผนวก 2 แบบจำลองทางกายภาพของห้องเย็นที่ส่งผ่านข้อมูลมายังโปรแกรม Autodesk® Inventor Fusion

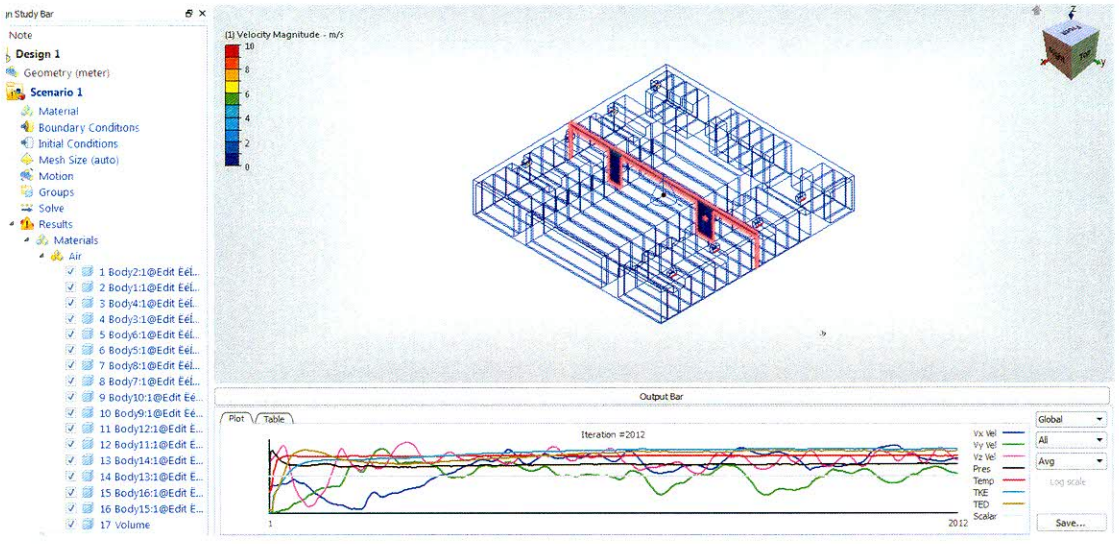
ขั้นตอนการประมวลผล

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต ทำการสร้างกริด และเลือกวิธีในการคำนวณ ซึ่งจะแสดงในภาพผนวก 3



ภาพผนวก 3 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง

ทำการกำหนดเงื่อนไขต่างๆ ในการคำนวณได้แก่ คุณสมบัติของปริมาตรควบคุม เงื่อนไขขอบเขต ค่าเริ่มต้น และวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขที่ใช้แก้ปัญหา



ภาพผนวก 4 ขั้นตอนการประมวลผล

ทำการประมวลผล ซึ่งระหว่างทำการคำนวณจะแสดงจำนวนรอบการคำนวณซ้ำ จำนวนรอบการคำนวณซ้ำถึงรอบที่กำหนดไว้ 5,000 รอบ

ขั้นตอนหลังการประมวลผล

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำเสนอผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Autodesk® Simulation CFD สามารถแสดงเป็นกราฟิกของตัวแปรที่ศึกษาอยู่ หรือเป็นกราฟ และเส้นทางเดินอนุภาค

ภาคผนวก ค

เอกสารเผยแพร่ผลงานวิจัย

สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม
สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

Call for Papers 2013

สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน

"Sustainable Industrial Innovation and Management"

ครั้งที่ 2 ประจำปี 2556

วันที่ 29 - 30 ตุลาคม 2556

เปิดรับสมัครบทความวิจัยสาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน จำนวน 9 สาขา ดังนี้

1. วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Industrial Management Engineering)
2. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงวิศวกรรม (Sustainable Engineering Product Development)
3. การบริหารและพัฒนาองค์กรในอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Industrial Organization Management and Development)
4. วิศวกรรมอุตสาหกรรม วิศวกรรมการผลิต วิศวกรรมวัสดุและโลหะการ (Industrial Engineering, Production Engineering, Metal and Material Engineering)
5. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (Sustainable Environment of Engineering)
6. วิศวกรรมพลังงาน (Sustainable Energy Engineering)
7. วิศวกรรมการจัดการกรีนโลจิสติกส์ (Sustainable Green Logistics Management Engineering)
8. การประกันคุณภาพเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Quality Assurance)
9. การพัฒนาความยั่งยืนเชิงอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง (Related topics in Sustainable Industrial Development)

กำหนดส่งบทความ

- ส่งไฟล์บทคัดย่อ (ฉบับร่าง) ภายในวันที่ 11 สิงหาคม 2556
- แจ้งผลการตอบรับบทคัดย่อและบทความ (ฉบับร่าง) ภายในวันที่ 20 สิงหาคม 2556
- ส่งไฟล์บทความต้นฉบับเรื่องเต็ม (Full Paper) ภายในวันที่ 10 กันยายน 2556
- แจ้งผลการประเมินผลบทความเรื่องเต็ม ภายในวันที่ 20 กันยายน 2556
- ส่งไฟล์บทความฉบับสมบูรณ์ที่ผ่านการแก้ไขแล้ว ภายในวันที่ 6 ตุลาคม 2556

ลงทะเบียนล่วงหน้า

- ชำระเงินภายในวันที่ 30 กันยายน 2556 1,500 บาท (รวม Vat แล้ว)
- ชำระเงินหลังจากวันที่ 30 กันยายน 2556 2,000 บาท (รวม Vat แล้ว)

สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
เว็บไซต์: www.iei.or.th
ติดต่อ: นายสามารถ สุขมั่น โทรศัพท์: 02-345-1265 โทรสาร: 02-345-1266-7 อีเมล์: samarts@off.fti.or.th

การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 2 ประจำปี 2556

การจำลองการไหลของอากาศในห้องเย็นโดยใช้เทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

Airflow Simulation in a Cold Storage Room Using Computational Fluid Dynamics Techniques

ภัทรฤทัย คำแสง[1*], ชนวัตน์ นิทัศน์วิจิตร[2], จาตุพงศ์ วาฤทธิ์[3], สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ[4]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290
porthai_may@hotmail.com

บทคัดย่อ

การรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปผักและผลไม้แช่แข็ง ตำแหน่งการจัดวางผลิตภัณฑ์ในห้องเย็นส่งผลต่อการกระจายตัวของอากาศภายในห้องเย็นและอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ เทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลถูกนำมาใช้ในการจำลองการไหลด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำงานจริง ซึ่งผลการจำลองการไหลสามารถอธิบายถึงรูปแบบการไหลของอากาศภายในห้องเย็นที่เกี่ยวกับสภาวะเชิงความร้อน ทิศทางและความเร็ว งานวิจัยนี้จำลองการไหลในห้องเย็นขนาด 43.5 x 54.7 x 7.05 ลบ.ม. ซึ่งใช้โมเดลการไหลแบบปั่นป่วน k-ε เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของอากาศภายในห้องเย็นโดยตรวจสอบความถูกต้องของผลจำลองการไหลด้วยข้อมูลตรวจวัดความเร็วอากาศ ซึ่งผลการสอบเทียบเป็นที่น่ายอมรับ นำไปสู่การจำลองการไหลของอากาศซึ่งเปรียบเทียบการจ่ายอากาศเย็นด้วยกล่องจ่ายอากาศกับตะแกรงจ่ายอากาศ จากนั้นจึงจำลองการไหลโดยปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบต่างๆ ในห้องเย็น จากผลจำลองการไหลพบว่าอุปกรณ์จ่ายอากาศและรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์มีผลต่อการกระจายตัวของอากาศภายในห้องเย็นอย่างมาก ซึ่งสามารถนำผลการศึกษานี้ใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการกระจายตัวของอากาศที่มีความเร็วอากาศไม่สม่ำเสมอและหารูปแบบการวางผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมในห้องเย็น นอกจากนั้นยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบห้องเย็นเพื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพที่ดีและสามารถลดการใช้พลังงานในการทำความเย็นต่อไป

คำสำคัญ(Key word): Flow Simulation; Cold Storage Room; Computational Fluid Dynamics

Abstract

Maintaining product quality is an important for frozen vegetable and fruits industries. A product arrangement and pattern in a cold storage affects the distribution of cool air and a product temperature. Computational Fluid Dynamics (CFD) is used to simulate the airflow inside the cold storage to reduce time and cost of experimental product arrangements. The results of flow simulation model can reveal the cold storage airflow pattern, thermal condition, air direction and velocity. This study simulates the airflow in a cold room with size of 43.5 x 54.7 x 7.05 CBM. using the k-ε turbulent model to analyze the distribution of cool air inside the cold storage. The simulation was validated by physical measurement of air velocity. To study the airflow pattern of the air distributors, the air supply air box and air

supply air grill were compared. The arrangements of product placements were then studied using simulation. The simulation results show that the simulation results agreed with measuring data. The air supply equipment and patterns of product placement affected significantly the distribution of cool air. The results of this study can be used as a guideline to solve the distribution of air velocity and to carry out an appropriate product arrangement in the cold storage. Moreover, it can also be used as a guide in the design of cold storage to preserve the better product quality during freezing and minimize the energy consumption.

1. บทนำ (Introduction)

อุตสาหกรรมแปรรูปผัก และผลไม้แช่แข็งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการนำเอาวัตถุดิบทางการเกษตรมาแปรรูปให้เกิดมูลค่า มีความต้องการของผู้บริโภคค่อนข้างสูง ซึ่งอาหารแช่แข็งในปี ค.ศ. 2005 ถึงปี ค.ศ. 2010 มีอัตราการขยายตัว 2.8% (สถาบันอาหาร, 2552) จากการเติบโตของอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งทำให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้น และปริมาณการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นตามจึงมีการศึกษาถึงกระบวนการและลักษณะการใช้พลังงานในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารประเภทผัก และผลไม้แปรรูปแช่แข็ง มีช่วงดัชนีการใช้พลังงานที่ปริมาณการผลิต 500 ตัน มีปริมาณการใช้ไฟฟ้า 3,930 เมกกะจูลต่อตัน (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548) อุตสาหกรรมแปรรูปผัก และผลไม้แช่แข็งนั้นจำเป็นต้องมีการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ในห้องเย็นซึ่งจะต้องมีการควบคุมและรักษาอุณหภูมิให้คงที่อยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้การจัดวางผลิตภัณฑ์ในห้องเย็นอย่างเหมาะสมส่งผลให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์และการกระจายตัวของอากาศเย็นเป็นไปอย่างทั่วถึง (ปัณณธร, 2550) การจัดวางผลิตภัณฑ์ในห้องเย็นจะต้องไม่สูงเกินไปจนปิดทางไหลของอากาศ และอากาศเย็นจะต้องหมุนเวียนผ่านภาชนะได้ทุกด้าน นอกจากนี้การตรวจสอบและวัดอุณหภูมิในห้อง หากพบว่ามีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ออกจากเครื่องทำความเย็นและอุณหภูมิของอากาศภายในห้องต่างกันเกินกว่า 0.8 องศาเซลเซียส แสดงว่าการไหลเวียนของอากาศภายในห้องไม่ดี (ดนัย, 2553) และสุกิจ (2553) กล่าวไว้ว่า การรักษาความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิห้องกับอุณหภูมิคอล์ยเย็นให้เหมาะสมจะช่วยในการเก็บรักษาสินค้าให้มีคุณภาพยาวนานและจะช่วยประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างมาก เพราะการที่คอล์ยเย็นทำงานที่อุณหภูมิต่ำลงอีกเพียง 1 องศาเซลเซียส จะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากถึง 3-4 เปอร์เซ็นต์

การจำลองการไหลในคอมพิวเตอร์ด้วยเทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics: CFD) เป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บนคอมพิวเตอร์ ที่สามารถมองเห็นลักษณะการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศในสภาวะหนึ่งๆ และสามารถทำนายสภาวะเชิงความร้อน ความเร็ว หรือทิศทางของอากาศได้ และช่วยในการออกแบบทางอุตสาหกรรมซึ่งการจำลองการไหลในรูปแบบต่างๆ อาจทำให้ผลลัพธ์ที่ออกมานั้นเปลี่ยนไปด้วย สามารถทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบได้ง่ายบนคอมพิวเตอร์สามารถทำได้ในระยะเวลาที่สั้น ทำให้กระบวนการออกแบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อเทียบกับกระบวนการแบบเดิมๆ ที่ต้องมีการทดลอง (ปราโมทย์ และวรสิทธิ์, 2541) CFD ในอุตสาหกรรมอาหารอาจช่วยให้เข้าใจรูปแบบของความร้อนและการถ่ายเทมวลในอาหารระหว่างกระบวนการทำความเย็น (Jing et al, 2006) มีการใช้งานทั่วไปของ CFD ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่นการสร้างแบบจำลองของการเป่าลมเย็นและการทำความเย็นสุญญากาศ (Hu, Yuan &Sun, 1998 ; Hu & Sun, 1999) การสร้างแบบจำลองการแช่เย็น (Davey and Pham, 1997) การสร้างแบบจำลองห้องเย็น (Tassou and Xiang, 1998; Van et al, 1989) การสร้างแบบจำลองห้องแช่แข็ง (Wang et al, 1995) และการสร้างแบบจำลองตู้แช่เย็น (Cotella et al, 1998; Foster and Quarini, 1998; Stribling et al, 1997; Xiang and Tassou, 1998)

ดังนั้นเพื่อตรวจสอบการไหลเวียนของอากาศภายในห้องเย็น จึงนำเอาวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลมาใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งช่วยทำให้ทราบพฤติกรรมของการไหลได้บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ถ้าหากผลลัพธ์ออกมาไม่เป็นที่น่าพอใจสามารถเปลี่ยนแปลงรูปแบบได้โดยง่ายและรวดเร็วในระยะเวลาที่สั้น ทำให้การออกแบบมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยลด

เวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลองจริง สามารถศึกษาพฤติกรรมของของไหลในทุกสภาวะและในทุกรูปแบบโดยใช้ค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่า และไม่มีความเสี่ยง (ก้อง, 2545) ในการทดลองจริงอาจเกิดอุปสรรคในการเก็บข้อมูล เนื่องจากภายในของห้องเย็นมีอุณหภูมิที่ต่ำมาก จึงไม่สามารถใช้เวลาเก็บข้อมูลในระยะเวลานานได้ และห้องเย็นในอุตสาหกรรมมีขนาดที่ใหญ่ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้อย่างทั่วถึงเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ได้ จะเห็นว่า หากใช้ CFD ในการจำลองการไหลจะสามารถเห็นลักษณะการไหลของอากาศ รวมถึงอุณหภูมิและความเร็วอากาศตามตำแหน่งต่างๆในห้องเย็น สามารถที่จะเลือกรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็นที่จะทำให้เกิดการกระจาย ตัวของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศภายในห้องเย็นที่เหมาะสมที่สุด ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ที่ต้องการวิเคราะห์การกระจายตัวของอากาศภายในห้องเย็นจากแบบจำลองของคอมพิวเตอร์โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงจากการทดสอบจริง หลังจากนั้นจะนำผลการคำนวณที่ได้หารูปแบบ

ของการกระจายตัวของอากาศภายในห้องเย็นที่เหมาะสม เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการออกแบบห้องเย็น การจัดวางคอล์ยเย็น การจัดวางผลิตภัณฑ์ภายในห้องเย็น และสามารถลดการใช้พลังงานในการทำความเย็นต่อไป

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

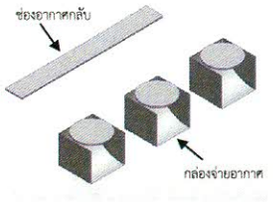
การจำลองการไหลของอากาศภายในห้องเย็นเพื่อศึกษาลักษณะการไหลของอากาศ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำการเก็บข้อมูลในห้องเย็นของโรงงานที่มีขนาด ขนาด 43.5 x 54.7 x 7.05 ลูกบาศก์เมตร ทำการจำลองการไหลใน 2 กรณี คือ การจำลองการไหลของอากาศภายในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบเดิม และการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบใหม่ มีการศึกษาดังนี้

2.1 ทำการศึกษาความเป็นอิสระของกริด (Grid Independent Study) เพื่อตรวจสอบว่าจำนวนกริดที่ใช้คำนวณมีความเป็นอิสระต่อผลลัพธ์จากการคำนวณ ก่อนจะนำไปใช้ในการทำนายการจำลองการไหลในแบบต่างๆ ซึ่งการตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดทำได้โดยการเพิ่มจำนวนกริดเซลล์ครั้งละ 1/3 ของจำนวนกริดเซลล์เดิม แล้วตรวจสอบว่าที่จำนวนกริดเซลล์ใดทำให้คำตอบของการจำลองการไหลใกล้เคียงกับข้อมูลที่ตรวจวัดจริงมากที่สุด และสามารถเลือกจำนวนกริดเซลล์ที่น้อยที่สุดที่ไม่ทำให้ผลคำตอบเปลี่ยนแปลง สามารถลดระยะเวลาในการคำนวณลงได้

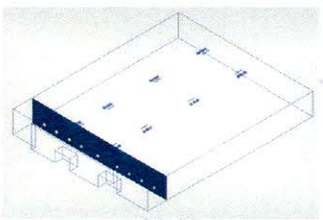
2.2 ทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยทำการเก็บข้อมูลทางกายภาพของห้องเย็น จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาสร้างแบบจำลองทางกายภาพของห้องเย็นในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ตั้งสมมติฐาน เงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในการจำลองการไหลจากการเก็บข้อมูลจริง และทำการประมวลผลการจำลองการไหลโดยใช้โปรแกรม Autodesk Simulation CFD®

2.3 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการไหลในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ โดยการตั้งสมมติฐานที่ใช้ในการจำลองการไหล กำหนดให้การไหลของอากาศเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent Model) และเป็นการไหลที่สามารถอัดตัวได้ (Compressible Fluid) กำหนดรายละเอียดและเงื่อนไขในการคำนวณที่สภาวะคงที่ (Steady State) ทางเข้าของแบบจำลองเป็นพัดลมซึ่งกำหนดอากาศที่ออกจากพัดลมเท่ากับ 20,090 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ปล่อยอากาศผ่านกล่องจ่ายอากาศขนาด 0.51 x 0.51 x 0.45 ลูกบาศก์เมตร ทางออกเป็นบริเวณช่องอากาศกลับกำหนดให้มีค่าความดันเกจเท่ากับ 0 ปาสคาล ดังแสดงในภาพที่ 1 และกำหนดให้บริเวณผิวผนัง พื้น ผิวของผลิตภัณฑ์ไม่มีการลื่นไถล (No Slip Condition) เนื่องจากข้อมูลตรวจวัดของอุณหภูมิอุณหภูมิที่ผนังห้องและผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกันมาก จึงกำหนดให้มีค่าเท่ากันที่ -20 องศาเซลเซียส จากนั้นกำหนดเงื่อนไขของการคำนวณ การลู่เข้าของคำตอบกำหนดให้จำนวนรอบของการคำนวณซ้ำไว้ที่ 10,000 รอบ และค่าความผิดพลาดที่เหลือของตัวแปรตามทุกตัวจะต้องมีค่าน้อยกว่า 0.005 หลังจากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของ

แบบจำลองตามตำแหน่งตรวจวัดที่มีตำแหน่งระนาบตามความยาวห้องที่ 7.35 เมตร ตรงกลับกล่องปล่อยอากาศ ระนาบความสูง 1.5 เมตร และระนาบตามความยาวห้องทั้งหมด 9 ตำแหน่งดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 1 กล่องจ่ายอากาศและช่องอากาศกลับ



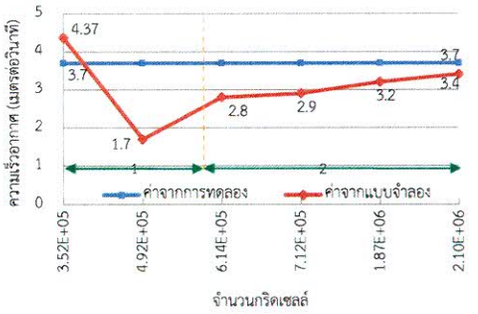
ภาพที่ 2 ตำแหน่งตรวจวัดข้อมูล

2.4 ปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของอากาศภายในห้องเย็น และหาแนวทางในการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ทำให้การกระจายตัวของอากาศทั่วถึงหรือการปรับเปลี่ยนตำแหน่งช่องกระจายอากาศให้กับทางโรงงานต่อไป

3. ผลการวิจัย (Results)

3.1 การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด (Grid Independent Study)

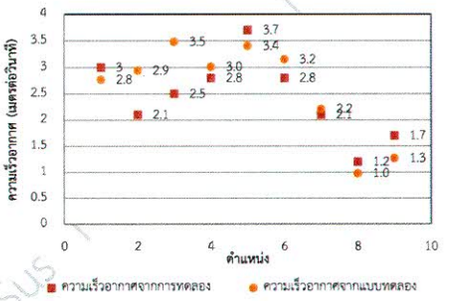
ในการตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด ซึ่งผลการคำนวณของจำนวนกริดที่ต่างกัน พิจารณาระดับความเร็วอากาศแสดงไว้ในภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่าช่วงแรก จำนวนกริดเซลล์ที่มีการเปลี่ยนแปลงทำให้ผลคำตอบของแบบจำลองเปลี่ยนแปลงตามค่อนข้างมาก แต่ในช่วงที่ 2 จำนวนกริดที่เพิ่มขึ้นทำให้ผลคำตอบของแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดมากที่สุด คือ จำนวนกริดเซลล์ 2,096,166 กริดเซลล์



ภาพที่ 3 ความเร็วอากาศภายในห้องเย็นที่จำนวนกริดเซลล์ต่างๆ

3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

เมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคอมพิวเตอร์โดยเปรียบเทียบความเร็วอากาศจากแบบจำลองกับผลการทดลองพบว่า ความเร็วอากาศจากแบบจำลองมีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าจากการทดลองแสดงผลไว้ในภาพที่ 4



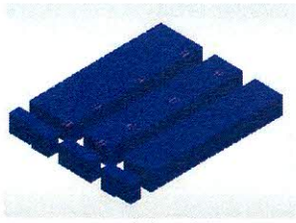
ภาพที่ 4 ความเร็วอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องเย็น

โดยค่าความเร็วอากาศของแบบจำลองมีแตกต่างจากการทดลอง ซึ่งค่าความเร็วอากาศจากการทดลองอยู่ระหว่าง 1.2 ถึง 3.7 เมตรต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.4 เมตรต่อวินาที และค่าความเร็วจากแบบจำลองอยู่ระหว่าง 1.0 ถึง 3.5 เมตรต่อวินาที ค่าความเร็วอากาศ 2.6 เมตรต่อวินาที ค่าความเร็วอากาศระหว่างแบบจำลองกับการทดลองมีความแตกต่างเฉลี่ยที่ 0.2 เมตรต่อวินาที

3.3 แบบจำลองการไหลในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิม

เพื่อทำการวิเคราะห์และดูปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นภายในห้องเย็นที่จำลองการไหลในสภาวะคงที่ แบบจำลองการไหลในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิม ดังภาพที่ 5 มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่หนาแน่น และมีการวางผลิตภัณฑ์ไม่ตรงกับบริเวณกล่องจ่ายอากาศ ทำให้อากาศกระจายไม่ทั่วห้องเย็น

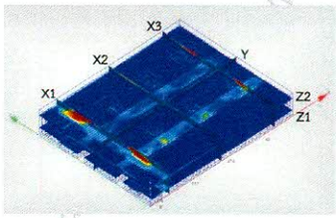
มุมมองด้านบน



มุมมองไอโซเมตริก

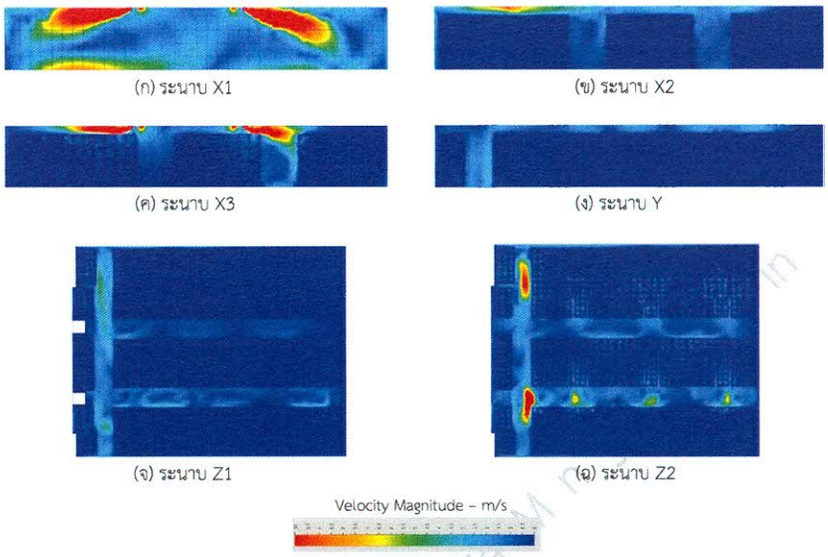
ภาพที่ 5 รูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบเดิม

ทำการพิจารณาการไหลลักษณะการไหลของอากาศจากแบบจำลองพบว่ามีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน โดยเฉพาะบริเวณผนังมีการหมุนวนของอากาศ สามารถแสดงลักษณะการไหลได้ในรูปแบบสนามความเร็วอากาศและค่าระดับความเร็วอากาศทั้งหมด 6 ระนาบ ซึ่งระนาบตามความยาวของห้อง แบ่งเป็น 3 ระนาบที่ระยะ 7.35(X1) 27.35(X2) และ47.85(X3) เมตร ระนาบตามความกว้างของห้องจำนวน 1 ระนาบที่ระยะ 21.75(Y) เมตร และระนาบตามความสูงจำนวน 2 ระนาบที่ระดับความสูง 1.5(Z1) และ5.5(Z2) เมตร ตามลำดับดังภาพที่ 6

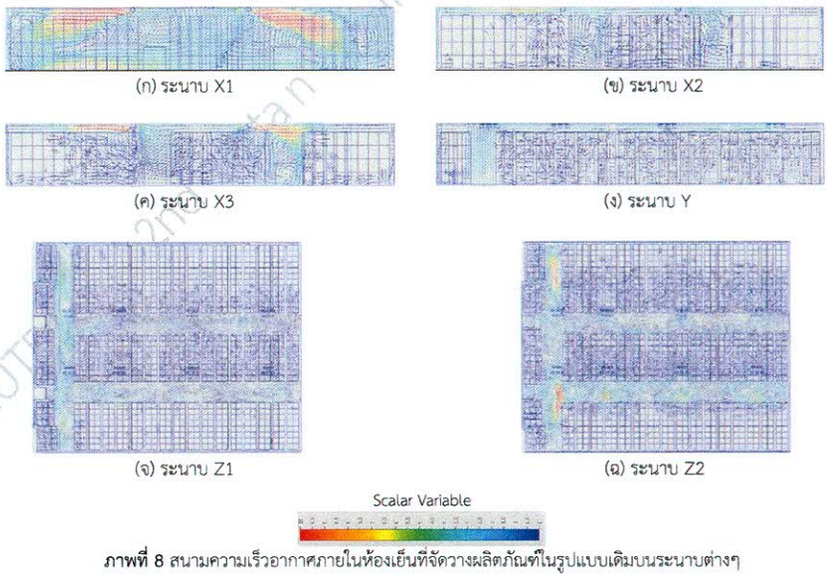


ภาพที่ 6 ระนาบที่พิจารณาผลของแบบจำลอง

การจำลองการไหลที่แสดงในภาพที่ 7 เป็นภาพค่าระดับความเร็วอากาศบนระนาบต่างๆภายในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิม ในแนวระนาบแกน X1 ที่ระดับความสูง 5.5 เมตร จะเห็นได้ว่าเป็นระนาบที่ตรงกับกล่องจ่ายอากาศและไม่มีผลิตภัณฑ์วาง ทำให้เป็นบริเวณที่มีค่าความเร็วอากาศสูงสุดที่ 7.3 เมตรต่อวินาที ระนาบ X2 เป็นระนาบกลางห้องตัดผ่านบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์วางมีการกระจายตัวของอากาศอยู่ที่บริเวณเพดาน ระนาบ X3 ระนายที่ตรงกับกล่องจ่ายอากาศและตัดผ่านบริเวณที่วางผลิตภัณฑ์สังเกตได้ว่าอากาศที่ปล่อยจากกล่องจ่ายอากาศนั้นมีค่าความเร็วอากาศที่ถูกผลิตภัณฑ์ในบริเวณนั้นจะมีค่าที่สูง ระนาบ Y เป็นระนาบที่ตัดผ่านกลางห้องซึ่งตัดผ่านบริเวณที่วางผลิตภัณฑ์เป็นส่วนใหญ่มีการกระจายตัวของอากาศที่ดี ระนาบ Z1 อยู่ในระนาบที่สูงจากพื้น 1.5 เมตร จะเห็นว่าบริเวณกล่องจ่ายอากาศที่ไม่มีผลิตภัณฑ์วางนั้นมีการกระจายอากาศที่ดี ส่วนในบริเวณที่มีผลิตภัณฑ์วางนั้นมีการกระจายตัวของที่ไม่สม่ำเสมอกันมีค่าความเร็วอากาศต่ำสุดที่ 0.37 เมตรต่อวินาที และระราบ Z2 เป็นระนาบที่ระดับความสูงจากพื้น 5.5 เมตร มีค่าความเร็วอากาศที่ค่อนข้างสูง จากผลของแบบจำลองพบว่ามีความแตกต่างของค่าความเร็วอากาศสูงสุดและค่าความเร็วอากาศต่ำสุดแสดงว่าอากาศภายในห้องเย็นมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอกัน



ภาพที่ 7 ค่าระดับความเร็วอากาศภายในห้องเย็นที่จัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิมบนระนาบต่างๆ

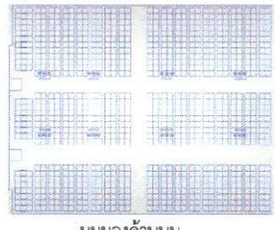


ภาพที่ 8 สนามความเร็วอากาศภายในห้องเย็นที่จัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิมบนระนาบต่างๆ

ผลของการจำลองการไหลที่แสดงในภาพที่ 8 เป็นสนามความเร็วอากาศบนระนาบต่างๆ ภายในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิม จะเห็นได้ว่าระนาบ X1 มีสนามความเร็วอากาศที่ค่อนข้างปั่นป่วนและมีการหมุนวนกลับที่ท้ายห้อง ส่วนระนาบ X2 และ X3 มีสนามความเร็วอากาศในบริเวณกลางห้อง ส่วนบริเวณท้ายห้องสนามความเร็วอากาศกระจายเข้าไปไม่ถึง ระนาบ Y มีการการจายของอากาศที่ค่อนข้างสม่ำเสมอกัน ระนาบ Z1 มีการกระจายตัวของอากาศไปทั่วห้องแต่บริเวณที่ไม่มีผลิตภัณฑ์วางจะมีค่าความเร็วอากาศค่อนข้างสูง ส่วนระนาบ Z2 มีการปั่นป่วนของค่าความเร็วอากาศสังเกตได้จากลักษณะสนามอากาศที่มีการไหลเวียนแบบปั่นป่วน

3.4 แบบจำลองการไหลในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่

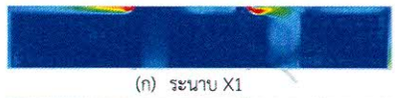
ทำการจำลองการไหลในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิม ซึ่งพบว่ามีการจัดวางผลิตภัณฑ์ค่อนข้างแน่น และรูปแบบการวางไม่มีการกระจายผลิตภัณฑ์ให้อยู่ใกล้กับบริเวณกล่องจ่ายอากาศ ทำให้เกิดความสูญเปล่าของการกระจายความเย็น จึงทำการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่ให้ตรงกับบริเวณกล่องจ่ายอากาศดังแสดงในภาพที่ 9



มุมมองด้านบน

มุมมองไอโซเมตริก

ภาพที่ 9 การจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่

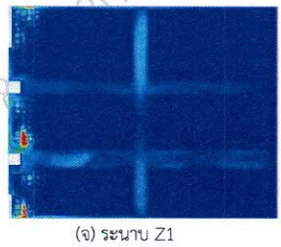


(ก) ระนาบ X1

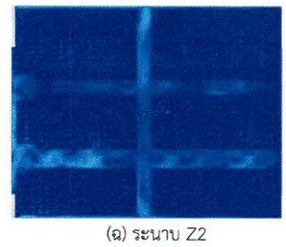
(ข) ระนาบ X2

(ค) ระนาบ X3

(ง) ระนาบ Y



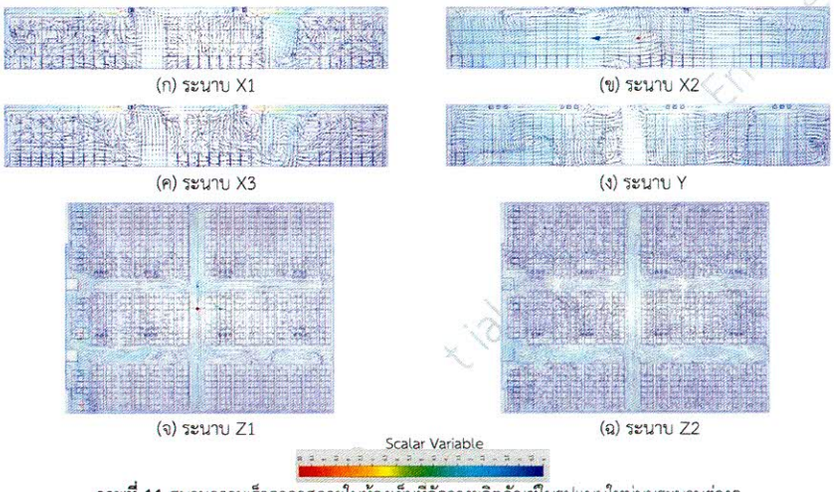
(จ) ระนาบ Z1



(ฉ) ระนาบ Z2

ภาพที่ 10 ค่าระดับความเร็วอากาศภายในห้องเย็นที่จัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่บนระนาบต่างๆ

ผลของการจำลองการไหลที่แสดงในภาพที่ 10 เป็นภาพค่าระดับความเร็วอากาศบนระนาบต่างๆ ภายในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่ ที่ระนาบ X1 และ X3 มีการตัดผ่านบริเวณที่มีการวางผลิตภัณฑ์ จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของอากาศที่ทั่วถึง แต่บริเวณท้ายห้องมีค่าความเร็วอากาศต่ำสุดที่ 0.6 เมตรต่อวินาที ระนาบ X2 ตัดผ่านบริเวณที่ไม่มีการวางผลิตภัณฑ์แต่จะเห็นลักษณะอากาศที่กระจายไปท้ายห้อง ระนาบ Y เป็นบริเวณที่ตัดผ่านบริเวณที่มีการวางผลิตภัณฑ์หนาแน่นแต่มีการกระจายตัวของอากาศที่สม่ำเสมอ ระนาบ Z1 บริเวณมุมห้องมีค่าระดับความเร็วอากาศที่จะมีค่าความเร็วอากาศที่ 6.3 เมตรต่อวินาที ส่วนในระนาบ Z2 มีค่าการกระจายตัวที่สม่ำเสมอมากขึ้นและกระจายไปถึงบริเวณท้ายห้อง



ภาพที่ 11 สนามความเร็วอากาศภายในห้องเย็นที่จัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่บนระนาบต่างๆ

ผลของการจำลองการไหลที่แสดงในภาพที่ 11 เป็นภาพสนามความเร็วอากาศบนระนาบต่างๆ ภายในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่ จะเห็นว่าระนาบ X1 และ X3 นั้นมีการกระจายตัวของอากาศที่สม่ำเสมอมากขึ้นและทั้งสองระนาบมีการกระจายตัวของอากาศที่ใกล้เคียงกัน ระนาบ X2 มีการกระจายตัวของสนามความเร็วอากาศที่สม่ำเสมอและจะสังเกตเห็นทิศทางของอากาศที่วนกลับบริเวณท้ายห้อง ระราบ Y เป็นบริเวณที่ไม่มีการวางผลิตภัณฑ์ ทำให้อากาศกระจายเข้าไปยังท้ายห้องมากขึ้น และจากระนาบตามความสูง Z1 และ Z2 มีการกระจายตัวของอากาศที่สม่ำเสมอใกล้เคียงกันทั้งสองระนาบ

4. อภิปรายผล (Discussion)

การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดจะทำโดยการเพิ่มกริดเซลล์ครั้งละ 1/3 ของจำนวนกริดเซลล์เดิม ส่งผลการคำนวณของจำนวนกริดที่แตกต่างกัน ทำให้ค่าคำตอบของแบบจำลองมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดจริงมากยิ่งขึ้นหรือจำนวนกริดเซลล์ไม่มีผลต่อค่าคำตอบของแบบจำลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการไหลของอากาศภายในห้องเย็น โดยการเปรียบเทียบค่าความเร็วอากาศจากแบบจำลองกับผลการตรวจวัดพบว่า ค่าความเร็วอากาศมีความแตกต่างกันในบางตำแหน่ง เนื่องจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นในโปรแกรมคอมพิวเตอร์อาจไม่ซับซ้อนเท่าของจริง และอุปสรรคในการเก็บข้อมูลในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำ

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการไหลของอากาศภายในห้องเย็นที่มีการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบเดิมนั้นมีการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ไม่สอดคล้องกับบริเวณช่องกระจายอากาศในระนาบ X1 ทำให้บริเวณนั้นมีค่าความเร็วอากาศที่สูง ส่วนในระนาบ X3 มีการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างแน่นทำให้บริเวณนั้นค่าความเร็วอากาศน้อย ส่วนบริเวณมุมห้องตามแนวแกน X3 จะเห็นได้ว่ากระจายตัวของอากาศไม่สม่ำเสมอ ตามระนาบความสูง Z1 มีการกระจายตัวของอากาศค่อนข้างน้อย การไหลของอากาศไปไม่ถึงบริเวณผนังห้อง ส่วนระนาบ Z2 เป็นระนาบที่มีการกระจายตัวของอากาศค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นบริเวณที่ใกล้เคียงกับช่องปล่อยอากาศ และการกระจายตัวไปตามผิวด้านบนของกล่องผลิตภัณฑ์

ห้องเย็นที่มีการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบใหม่ มีการปรับเปลี่ยนให้มีพื้นที่ในการกระจายตัวของอากาศเพิ่มมากขึ้น ทำให้บริเวณที่อากาศกระจายตัวไปไม่ถึงนั้นมีกระจายตัวของอากาศสม่ำเสมอมากขึ้น ทำการจัดวางผลิตภัณฑ์ในอยู่ในบริเวณกล่องจ่ายอากาศทำให้ไม่เสียพื้นที่ในการให้ความเย็นกับผลิตภัณฑ์ และการปรับเปลี่ยนการจัดวางแบบใหม่ยังสามารถเพิ่มพื้นที่ในการจัดวางผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น แต่ทั้งนี้การปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์แบบใหม่ยังมีบางจุดที่การจัดวางที่ทำให้การกระจายตัวของอากาศยังไม่ถั่วถึงดีพอ จึงต้องหาแนวทางในการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ในรูปแบบอื่นที่ทำให้การกระจายตัวของอากาศสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น

5. สรุปผล (Conclusion)

จากผลการจำลองการไหลของอากาศภายในห้องเย็น มีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้จำนวนกริดเซลล์ที่ 2,096,166 ในการทำนายผลคำตอบของแบบจำลองการไหล โดยค่าความเร็วอากาศภายในห้องเย็นมีความแตกต่างเฉลี่ยที่ 0.2 เมตรต่อวินาที ซึ่งสามารถนำไปจำลองการไหลที่มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ในแบบต่างๆ ทำให้ผลของการจำลองการไหลของอากาศก่อนการปรับเปลี่ยนผลิตภัณฑ์มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอในแต่ละระนาบเนื่องจากการจัดวางผลิตภัณฑ์ที่ไม่สอดคล้องกับช่องปล่อยอากาศ และผลการจำลองการไหลของอากาศหลังการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์มีการปรับเปลี่ยนการจัดวางผลิตภัณฑ์ให้อยู่ตรงบริเวณช่องปล่อยอากาศ ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความเย็นทั่วถึงเพราะอากาศไหลเวียนได้อย่างทั่วถึงมากขึ้น จากผลวิจัยดังกล่าวการปรับเปลี่ยนการจัดวางสามารถนำไปเป็นแนวทางในการปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ในแบบอื่นๆ และการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของช่องปล่อยอากาศของทางโรงงานให้เหมาะสมขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม-พวอ. ระดับปริญญาโท ประจำปี 2556 และบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด ทั้งนี้ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้รับทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและบริษัท ลานเกษตรอุตสาหกรรมจำกัด ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

7. เอกสารอ้างอิง (Refference)

[1] ก้อง อุทโยภาศ. 2545. **การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการไหลผ่านสิ่งกีดขวาง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 106 น.

[2] ดนัย บุณยเกียรติ. 2553. คู่มือการลดอุณหภูมิและการขนส่งผลผลิต (ตอนที่ 1). KEPP KOOL [ระบบออนไลน์] 23: 25-27. (กันยายน) แหล่งที่มา http://www.thairefrig.or.th/download/thairefrig_or_th/decrease%20temp.%20i%20(kk-23).pdf (14 พฤษภาคม 2555).

[3] ปราโมทย์ เดชะอำไพ และ วรสิทธิ์ กาญจนกิจเกษม. 2541. การคำนวณการหมุนวนของอากาศด้วย Computational Fluid Dynamics. น. 1-6. ใน **วิสัยทัศน์งานวิศวกรรมปรับอากาศในอนาคต**. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย.

[4] ปัณณธร ภัทรสถาพรกุล. 2550. การแช่เยือกแข็งผักและผลไม้. KEEP KOOL [ระบบออนไลน์] 23: 19-22. (กันยายน) แหล่งที่มา http://www.thairefrig.or.th/download/thairefrig_or_th/freezing%20fruits%20(kk-23).pdf (14 พฤษภาคม 2555).

[5] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2548. **รายงานฉบับสุดท้าย โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอาหาร**. กรุงเทพฯ:กระทรวงพลังงาน.

[6] สถาบันอาหาร. 2552. แนวโน้มอุตสาหกรรมอาหารพร้อมปรุง-พร้อมทานในตลาดโลกกับอนาคตที่สดใส. **อุตสาหกรรมสาร** 52: 5-7.

[7] สุกิจ ลิติกรณ์. 2553. การรักษาอุณหภูมิของสินค้าในห้องเย็น. KEEP KOOL [ระบบออนไลน์] 9, 32: 16-19. (มิถุนายน) แหล่งที่มา http://www.chillmatch.co.th/images/attach/keepkool-32.pdf (14 พฤษภาคม 2555).

[8] Cotella G., M. Manzan., and G. Comini. 1998. Computation of Air Velocity and Temperature Distributions in Open Display Cabinets. pp.617–625. In **Advanced in the Refrigeration Systems**. Paris: France.

[9] Davey L.M. and Q. T Pham. 1997. Predicting the Dynamic Product heat Load and Weight Loss During Beef Chilling Using a Multi-Region Finite Difference Approach. **International Journal of Refrigeration** 20(4): 470–482.

[10] Foster A.M. and G.L. Quarini. 1998. Using Advanced Modeling Techniques to Reduce the Cold Spillage from Retail Display Cabinets into Supermarket Stores. pp.217–225. In **Proceedings of IRC/IIR conference on refrigerated transport, storage and retail display**. Cambridge: UK.

[11] Hu H., X.L. Yuan and D.W. Sun. 1998. Three Dimensional Dynamics Simulation and Experiment Investigation About Temperature and Oxygen Density Variation Process of The Fruit C.A. Storage. **Learned Journal of Refrigeration** 1: 28–34.

[12] Hu Z. and D.W. Sun. 1999. The Temperature Distribution of Cooked Meat joints in an Air-Blast Chiller During Cooling Process: CFD Simulation and Experimental Verification. **Paper presented at the 20th international congress of refrigeration**. Sydney: Australia.

[13] Jing Xie, Xiao-Hua Qu, Jun-Yu Shi and Da-Wen Sun. 2006. Effects of Design Parameters on Flow and Temperature Fields of a Cold Storage By CFD Simulation. **Journal of Food Engineering** 77(1): 355-363.

[14] Stribling D., B. Eng, S.A. Tassou. and D. Marriott. 1997. Two-Dimensional CFD Model of a Refrigerated Display Case. **ASHRAE Transactions** 103(1): 88–94.

[15] Tassou S. A. and W. Xiang. 1998. Modelling the Environment Within a Wet Air-Cooled Vegetable Store. **Journal of Food Engineering** 38(2): 169–187.

[16] Van Gerwen, R.J. M. and O.H. Van. 1989. The Use of Fluid Dynamics Simulation Models in Cold Store Design. pp.233–239. In **Proceedings of IIF-IIR Commission B2**. Bristol: UK.

[17] Wang J.F., X.F. Hu., C.Y. Liu. and W.Q. Jiang. 1995. **Air Field Simulation of Freezing Store. Cold Storage Technology** 4: 4–17.

[18] Xiang W. and Tassou S. A. 1998. A Dynamic Model for Vertical Multideck Refrigerated Display Cabinets. pp. 637–644. In **Advance in refrigeration system, food technologies and cold chain.** Paris: France.

ภาคผนวก ง

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวภัทรฤทัย คำแสง	
เกิดเมื่อ	20 เมษายน พ.ศ. 2531	
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2548	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่
	พ.ศ. 2552	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่