

การทำนายพฤติกรรมการระบายอากาศและการกระจายอุณหภูมิ
ภายในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ

Prediction of Air Flow Ventilation and Temperature Distribution
within a Bus Compartment

ปิยกันต์ หาญสมศรี¹, เอกลักษณ์ พรหมภักดี² และ กิรติ สุลักษณ์^{1*}

¹สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง นครราชสีมา 30000

²บริษัท อู่เขตชัยอุตสาหกรรม จำกัด

1069 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000, โทร. 044-240506

*ติดต่อ: Email keerati@sut.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 044-224235, เบอร์โทรสาร 044-224613

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จำลองการไหลและการกระจายอุณหภูมิของอากาศภายในห้องโดยสาร รถโดยสารปรับอากาศ รุ่น Inter City Bus ที่ความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง อุณหภูมิที่ช่องจ่ายลมเย็นเข้าห้องโดยสาร 22.28 องศาเซลเซียส ความเร็วลมที่ช่องจ่ายลมเย็น 13.67 เมตร/วินาที โดยใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS Fluent 14.0 บนพื้นฐานการไหลแบบปั่นป่วน k- ϵ รูปแบบ Realizable - standard wall function ผลจากการจำลองพบพฤติกรรมการกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสารที่มีค่าอยู่ในช่วง 24.14 - 24.86 องศาเซลเซียส ความเร็วการไหลของอากาศมีค่าเฉลี่ย 2.04 เมตร/วินาที และรูปแบบการไหลเวียนอากาศภายในห้องโดยสารบริเวณส่วนกลาง ตำแหน่งทางขึ้นห้องโดยสาร เกิดการหมุนวนของมวลอากาศภายในบริเวณบันได ซึ่งอาจนำอากาศที่ไม่พึงประสงค์จากบริเวณหน้าห้องโดยสาร ไหลวนเข้ามาในส่วนของผู้โดยสาร ดังนั้นในการออกแบบการติดตั้งหัวจ่ายลมเย็น เพื่อตอบสนองต่อความสบายของผู้โดยสาร ในรถปรับอากาศรุ่นนี้ ควรปรับปรุงอัตราการไหลให้มีค่าอยู่ในช่วงความสบายของผู้โดยสารคือ 0.083 - 0.133 เมตรต่อวินาที ขนาดและตำแหน่งของหัวจ่ายลมเย็นบริเวณส่วนกลาง ตำแหน่งทางขึ้นห้องโดยสาร เพื่อแก้ปัญหาการหมุนวนของมวลอากาศภายในบริเวณบันได

คำหลัก: รถโดยสารปรับอากาศ, การจำลองการไหล, ห้องโดยสาร, การกระจายอุณหภูมิ, การระบายอากาศ

Abstract

This research is the model of air ventilation and temperature distribution inside the bus compartment of the Inter City Bus series, at 80 km/hr. bus velocity, Air inlet temperature injected to internal bus compartment are 22.28 Celsius degree and 13.67 m/s. speed of air by using ANSYS Fluent 14.0 software based on the air turbulence flow k- ϵ Realizable model - standard wall function. The results of simulation found that the temperature distribution inside the bus compartment are around 24.14 - 24.86 Celsius degree, the air ventilation average speed is 2.04 m/s and the air ventilation path of flow inside the bus compartment at the center of bus area around steps way is circulate the air mass. This will bring an

CST-49

unwanted smelted air from front of internal toilet room to area of passengers seating. So for redesign steps need to improve speed of air injected to be 0.083 – 0.133 m/s that suitable for passengers, volume and position of air injected channel for adapt the air circulated at the center of bus area around steps way.

Keywords: Air-Bus, Air Ventilation Model, Bus Compartment, Temperature Distribution, Ventilation

1. บทนำ

ในปัจจุบันที่การคมนาคมเจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วทั้งทางบก ทางน้ำ และทางอากาศ การคมนาคมและขนส่งโดยรถประจำทางหรือรถโดยสารถือเป็นหนึ่งในการขนส่งทางบกที่สำคัญอย่างยิ่ง นอกเหนือจากการขนส่งทางรถไฟ การขนส่งทางรถยนต์ส่วนบุคคลและรถยนต์รับจ้าง จากสถิติกรมการขนส่งทางบกพบว่า มีผู้ใช้บริการกว่า 35 ล้านคนในแต่ละปี ประเทศไทยมีอุตสาหกรรมต่อรถโดยสารเพื่อจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยบริษัท 3 กลุ่มผู้ประกอบการใหญ่ คือ บริษัทผู้ผลิตฮัยอุตสาหกรรมจำกัด จ.นครราชสีมา, บริษัทพานทองกลการจำกัด จ.ฉะเชิงเทรา และกลุ่มต่อตัวถังรถยนต์บ้านโป่ง จ.ราชบุรี ในสัดส่วนการผลิตแต่ละ 30 % และผู้ประกอบการรายย่อยอื่นๆอีก 10% โดยประมาณ ในกระบวนการต่อรถโดยสารปรับอากาศ นอกจากปัจจัยด้านประสิทธิภาพหรือสมรรถนะเครื่องยนต์ที่ตอบสนองโดยตรงด้านการขับเคลื่อนแล้ว ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสบายของผู้โดยสารถือเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงในขั้นตอนการออกแบบ เช่น เบาะที่นั่งโดยสาร ระบบภาพและเสียง ระบบไฟส่องสว่าง ห้องน้ำ และส่วนที่สำคัญที่สุดคือ ระบบปรับอากาศสำหรับ ห้องโดยสาร ซึ่งจะช่วยให้ผู้โดยสารรู้สึกเย็นสบาย ระบบปรับอากาศมีปัจจัยหรือพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับความสบายของผู้โดยสารที่ต้องควบคุมให้พอเหมาะเช่น ปริมาณอุณหภูมิกระจายอย่างสม่ำเสมอที่ 24.5 องศาเซลเซียส ขณะที่อากาศเคลื่อนไหวในอัตราประมาณ 0.083 – 0.133 เมตรต่อวินาที, ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงการนำเข้าอากาศใหม่ที่เพียงพอกับการหายใจที่สดชื่น

, ความสะอาดของอากาศ ปราศจากเชื้อโรคและกลิ่นไม่พึงประสงค์ เป็นต้น

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาและทำนาย

พฤติกรรมการระบายอากาศและการกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ ในรุ่นชั้นครึ่งหรือ Intercity Bus ซึ่งเป็นรุ่นที่นิยมใช้ในการขนส่งผู้โดยสาร รองรับผู้โดยสารได้จำนวน 38 - 44 ที่นั่ง ที่ความเร็วของรถโดยเฉลี่ย 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ภายใต้สมมุติฐานสภาพอากาศแวดล้อมที่อุณหภูมิคงที่เท่ากับ 33 องศาเซลเซียส ความเร็วลมและอุณหภูมิภายใน ที่ตำแหน่งช่องจ่ายลมเย็นเข้าห้องโดยสารเท่ากับ 13.67 เมตร/วินาทีและ 22.28 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS Fluent บนพื้นฐานการไหลแบบปั่นป่วน ผลที่ได้ช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมการไหลของอากาศและการกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสาร ซึ่งนำไปสู่การออกแบบตำแหน่งและจำนวนที่เหมาะสมในการติดตั้งหัวจ่ายลมเย็นและช่องกลับอากาศ สำหรับ ห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ ทั้งนี้เพื่อตอบสนองต่อความสบายของผู้โดยสารให้ดียิ่งขึ้น

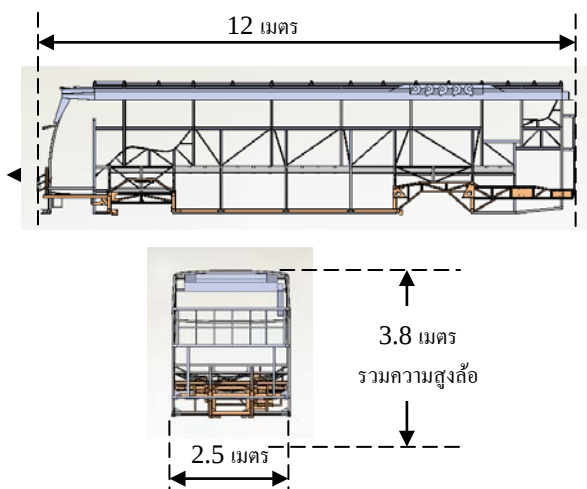
2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเขียนแบบรถยนต์โดยสาร

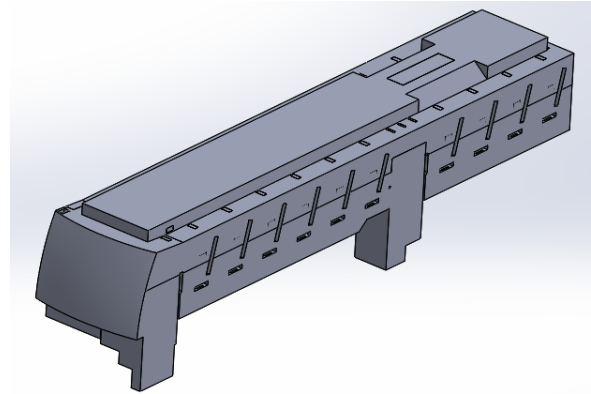
รถโดยสารปรับอากาศรุ่น ชั้นครึ่ง หรือ Intercity Bus เป็นรุ่นที่นิยมใช้ในการขนส่งผู้โดยสารสามารถรองรับผู้โดยสารจำนวน 38 - 44 ที่นั่ง มีความสูงตลอดคันรถ 3.8 เมตร ความยาวตลอดคันรถ 12 เมตร และความกว้างตลอดคันรถ 2.5 เมตร โดยประมาณ (รูปที่ 1) มีปริมาตรภายในคันรถทั้งหมด 46.94 ลูกบาศก์เมตร แบ่งเป็นพื้นที่การทำ

CST-49

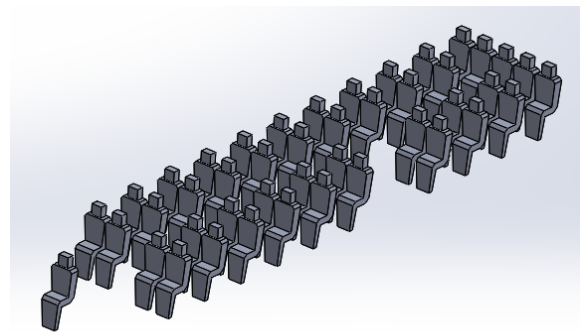
ความเย็น 44.68 ลูกบาศก์เมตร ปริมาตรเบาะที่นั่งโดยสารและอื่นๆอีก 2.27 ลูกบาศก์เมตร นิยมติดตั้งเครื่องทำความเย็น 2 ชนิดคือ (1) เครื่องทำความเย็นชนิดหลังคา (Roof Unit) โดยติดตั้งเครื่องทำความเย็นทั้งชุดบนพื้นที่หลังคาโดยสารถโดยสารปรับอากาศ และ (2) เครื่องทำความเย็นชนิดแยกส่วน (Split type) แยกติดตั้งคอมเพรสเซอร์ (Compressor) ไว้ที่ส่วนท้ายรถรวมกับเครื่องยนต์, ติดตั้งตัวควบแน่นหรือคอยล์ร้อน (Condensor) และอุปกรณ์ควบคุมความดัน (Expansion valve) ที่ส่วนข้างของตัวรถใกล้กับคอมเพรสเซอร์, และติดตั้งคอยล์เย็น (Evaporator) ไว้ในทอลมภายในห้องโดยสาร ปัจจุบันสถานประกอบการเลือกชนิดของเครื่องทำความเย็นตามความเหมาะสมเพื่อให้สอดคล้องกับจำนวนเบาะที่นั่งโดยสารตามความต้องการของผู้ซื้อ ตั้งแต่ 30 - 44 ที่นั่ง ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาการติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบแยกส่วนและติดตั้งเบาะที่นั่งโดยสารที่การทำความเย็นสูงสุดที่ 44 ที่นั่ง, หัวจ่ายลมเย็น 46 ช่อง ซึ่งรับลมเย็นจากคอยล์เย็น (Evaporator) จำนวน 2 ยูนิต เพื่อจ่ายลมเย็นให้ห้องโดยสารฝั่งซ้าย - ขวาผ่านทอลม เขียนแบบจำลองปริมาตรอากาศภายในห้องโดยสารและจำลองปริมาตรผู้โดยสาร 0.0064 ลูกบาศก์เมตร/คน จำนวนผู้โดยสาร 44 คน โดยใช้โปรแกรม Solid Works 2013 (ดูรูปที่ 2,3)



รูปที่ 1 โมเดลรถโดยสารปรับอากาศรุ่น Intercity Bus



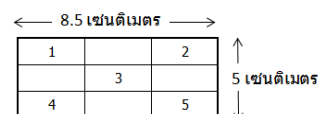
รูปที่ 2 แบบจำลองปริมาตรอากาศภายในห้องโดยสาร



รูปที่ 3 แบบจำลองจำลองปริมาตรผู้โดยสาร 44 คน

2.2 การวัดและเก็บข้อมูล

การดำเนินการเริ่มจากการทำการตรวจวัดความเร็วลมที่ออกจากหัวจ่ายลมเย็นขนาด 8.5x5 ตารางเซนติเมตร จำนวน 46 ช่อง ติดตั้งบริเวณเหนือเบาะที่นั่งโดยสาร และช่องกลับอากาศขนาด 140x37 ตารางเซนติเมตร จำนวน 1 ช่อง ติดตั้งระหว่างคอยล์เย็นฝั่งซ้ายขวา การวัดอิงตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 41.2-1987 (ASHRAE, 1992) โดยแต่ละช่องหัวจ่ายลมเย็นได้ทำการตรวจวัดทั้งหมด 5 จุด (ดูรูปที่ 4) ผลการวัดได้ค่าความเร็วลมเฉลี่ย 13.67 เมตร/วินาที และตรวจวัดความเร็วลมเฉลี่ยที่ช่องกลับอากาศทั้งหมด 12 จุด (ดูรูปที่ 5) ผลการวัดได้ค่าความเร็วลมเฉลี่ย 2.35 เมตร/วินาที



รูปที่ 4 ตำแหน่งตรวจวัดความเร็วลมที่หัวจ่ายลมเย็น

CST-49



1	2
3	4
5	6
7	8
9	10
11	12

รูปที่ 5 ตำแหน่งตรวจวัดความเร็วลมที่ช่องกลับอากาศ

2.3 ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสาร นอกจากปัจจัยภายในเช่น การทำความเย็นคือผู้โดยสาร ปริมาตรห้องโดยสาร ตำแหน่งหัวจ่ายลมเย็น ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่หัวจ่ายลมเย็นและอื่นๆแล้ว ยังได้รับอิทธิพลจากภายนอกเช่น อุณหภูมิของอากาศภายนอกแวดล้อมรถโดยสารซึ่งกำหนดเท่ากับ 33 องศาเซลเซียส ความเร็วของรถโดยสารในการขับซึ่งจะส่งผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในห้องโดยสารผ่านผนังที่ทำด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน เช่น กระฉก อลูมิเนียม ไม้ หรือเหล็กบางเป็นต้น ทั้งนี้ความเร็วของรถโดยสารที่ขับด้วยความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะถูกนำไปใช้แบ่งแยกรูปแบบการไหลของอากาศที่ไหลผ่านรถโดยสารในรูปของเลขเรโนลด์

2.2.1 เลขเรโนลด์ (Renold Number, Re)

$$Re_H = \frac{\rho D_H v}{\mu} \quad (1)$$

v = ความเร็วเฉลี่ยของของไหล

D_H = Hydraulic Diameter

μ = ความหนืดสัมบูรณ์

ρ = ความหนาแน่นของของเหลว

รูปแบบการไหลจากการคำนวณค่า เลขเรโนลด์ข้างต้น จะบอกถึงรูปแบบของการไหลอากาศ ซึ่งจะสามารถบ่งชี้ถึงการส่งผ่านโมเมนตัมในของไหลเมื่อเทียบกับการส่งผ่านความร้อนในของไหล โดยเขียนให้อยู่ในรูปของเลขแพรนด์เทิล (Prandtl Number, Pr)

2.2.2 เลขแพรนด์เทิล

สูตรที่ใช้ในทางวิศวกรรมของเลขแพรนด์เทิลสามารถเขียนได้ว่า

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\text{viscous diffusion rate}}{\text{thermal diffusion rate}} = \frac{C_p \mu}{k} \quad (2)$$

ซึ่งเลขแพรนด์เทิลคำนวณด้วยสมการ (2)

เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number, Nu) เพื่อเชื่อมโยงไปหาการคำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ดังนี้

2.2.3 เลขนัสเซลท์ (Nusselt Number, Nu)

Gnielinski's correlation สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน

$$Nu_D = \frac{(f/8)(Re_D - 1000) Pr}{1 + (12.7\sqrt{f/8})(Pr^{1/4} - 1)} \quad (3)$$

เมื่อ f คือ Darcy friction factor ซึ่งสามารถหาได้จาก Moody Chart หรืออาจหาได้จาก

$$f = (0.79 \ln(Re_D) - 1.64)^{-2} \quad (4)$$

โดย Gnielinski's correlation มีเงื่อนไขใช้งานดังนี้

$$0.5 \leq Pr \leq 2000$$

$$3000 \leq Re_D \leq 5 \times 10^6$$

และ

2.2.4 สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat Transfer Coefficient, h)

$$h = f(Nu, Pr) \quad (5)$$

สมการความสัมพันธ์ระหว่าง Nu และ h

$$Nu = \frac{\text{Convective Heat Transfer}}{\text{Conductive Heat Transfer}} = \frac{hL}{k} \quad (6)$$

ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในห้องโดยสารผ่านผนังที่ทำด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน เช่น กระฉก อลูมิเนียม ไม้ หรือเหล็กบาง จึงถูกคำนวณโดยสมการ (6) โดยขึ้นกับความหนาและค่า k ของวัสดุนั้นๆ

2.3 การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

การทำนายพฤติกรรมการระบายอากาศและการกระจายอุณหภูมิภายในห้อง โดยสารของรถ

CST-49

โดยสารปรับอากาศ ขณะที่รถโดยสารวิ่งด้วยความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง หรือ 22.22 เมตร/วินาที ตามความสัมพันธ์จากสมการที่ 1-6 ความเร็วของรถโดยสารจะมีความเกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ห้องโดยสาร ได้รับการกำหนดผ่านค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของสภาพอากาศแวดล้อม 33 องศาเซลเซียส การพาความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ห้องโดยสาร ผ่านทางหน้าต่าง ผนัง พื้น กระบอกและหลังคา กำหนดเงื่อนไขเป็นแบบผนัง ในสภาพการไม่สิ้นไหล ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนดังแสดงในตารางที่ 1

ความร้อนที่เกิดขึ้นจากผู้โดยสาร 1550.38 วัตต์ /ลูกบาศก์เมตร อุณหภูมิภายในเฉลี่ยของผู้โดยสาร 37 องศาเซลเซียส ปริมาตรผู้โดยสารเฉลี่ย 0.0064 ลูกบาศก์เมตร)

ทั้งนี้ยกเว้นการพิจารณาภาระการทำความเย็นอันเกิดจากอุปกรณ์ส่องสว่าง

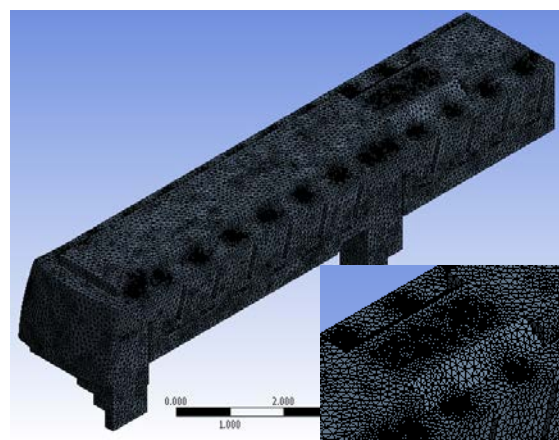
บนพื้นฐานระเบียบวิธี Finite Volume, ปริมาตรจำลองภายในห้องโดยสาร พื้นที่เบาะที่นั่งโดยสาร อุปกรณ์อื่นๆ และปริมาตรจำลองของผู้โดยสารจำนวน 44 คน ถูกเขียนโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย Solid Work 2013 ด้วยอัตราส่วนจริง โดยกำหนดให้เงื่อนไขความเร็วลมและอุณหภูมิที่หัวจ่ายลมเย็นเป็นแบบความเร็วเข้า (Velocity inlet) มีความเร็วลมเท่ากับ 13.67 เมตร/วินาที และอุณหภูมิ 22.28 องศาเซลเซียส, เงื่อนไขที่ช่องกลับอากาศเป็นแบบช่องลมออก (Outflow)

การจำลองพฤติกรรมการระบายอากาศและการกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ ใช้วิธีการทางพลศาสตร์ของไหล โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป FLUENT เวอร์ชัน 14 บนสมมติฐานการไหลแบบราบเรียบและอัดตัวไม่ได้

Material	Thermal Conductivity, k (w/m·K)	Chanel Diameter, D (m)	Heat Transfer Coefficient, h (w/m ² ·K)
พื้นห้องโดยสาร	0.03	11.76	8.21
ผนังห้องด้านข้าง	0.03	11.76	8.21
ผนังห้องด้านหลัง	0.03	0.88	109.48
กระบอกหน้า	0.096	1.87	165.15
กระบอกข้าง	0.096	11.76	26.27
กระบอกหลัง	0.096	0.87	356.40
หลังคา	0.03	11.23	8.60
เบาะที่นั่งโดยสาร	0.03	1.37	70.71

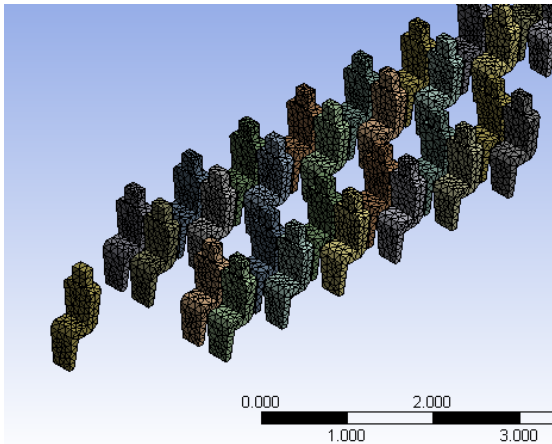
ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผนังของปริมาตรจำลอง

ในการทดสอบ เลือกใช้กริดแบบ Tetrahedral เนื่องจากข้อจำกัดด้านความซับซ้อนของปริมาตรความละเอียด 1,286,327 อิเลเมนต์ ดังรูปที่ 6-7 ซึ่งจะกำหนดให้ตำแหน่งหัวจ่ายลมเย็นและช่องกลับอากาศมีความละเอียดที่สูง เนื่องจากเป็นขอบเขตที่มีการไหลแบบที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการไหลเริ่มต้นทั้งหมดภายในปริมาตรห้องโดยสาร



รูปที่ 6 ลักษณะกริดของปริมาตรอากาศในห้องโดยสารที่ใช้

CST-49



รูปที่ 7 ลักษณะกริดของปริมาตรผู้โดยสารที่ใช้

3. ผลการจำลองและการวิเคราะห์ผล

ผลการจำลองอุณหภูมิและความเร็วของอากาศภายในห้องโดยสาร ที่ระนาบ 3 ระนาบ ได้แก่ (1) ระนาบ 0.3 เมตร (2)ระนาบ 1.153 เมตร และ (3)ระนาบ 2.006 เมตร อ้างอิงจากประตูห้องโดยสาร ซึ่งเป็นระนาบที่เป็นตำแหน่งติดตั้งหัวจ่ายลมเย็นด้านติดประตูห้องโดยสาร (รูปที่ 8) , ระนาบกลางระหว่างทางเดินที่เป็นตำแหน่งติดตั้งช่องกลับอากาศ (รูปที่ 9) และระนาบที่เป็นตำแหน่งติดตั้งหัวจ่ายลมเย็นด้านตรงข้ามกับประตูห้องโดยสาร (รูปที่ 10) ตามลำดับ ทั้งนี้ เพื่อให้สามารถพิจารณาการกระจายอุณหภูมิในแต่ละระนาบสำคัญที่สนใจได้ เนื่องจาก ระนาบที่ 1 และระนาบที่ 3 เป็นตำแหน่งที่ผู้โดยสารอยู่ และระนาบที่ 2 เป็นระนาบที่มีความสำคัญต่อการระบายอากาศออกจากห้องโดยสาร

ใน 3 กรณีที่พิจารณาการกระจายอุณหภูมิ คือ

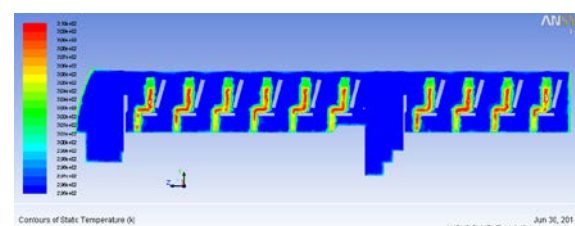
- (1) กรณีที่ไม่มีผู้โดยสาร บนห้องโดยสาร
- (2) กรณีมีผู้โดยสาร และมีการไหลแบบราบเรียบ
- (3) กรณีมีผู้โดยสาร และมีการไหลแบบปั่นป่วน แบบ k-ε รูปแบบ Realizable และมี Near wall treatment แบบ standard wall function

ผลการจำลองหาอุณหภูมิและความเร็วภายในห้องโดยสาร 3 กรณี ได้คำตอบดังนี้

กรณี ที่	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิใน ห้องโดยสาร (องศาเซลเซียส)ที่ ระนาบ 1, ระนาบ 2, ระนาบ 3 ตามลำดับ	ค่าเฉลี่ยความเร็ว ภายในห้องโดยสาร (เมตร/วินาที)ที่ระนาบ 1, ระนาบ 2, ระนาบ 3 ตามลำดับ
1	23.61, 24.08, 23.53	0.99, 1.48, 0.99
2	25.22, 24.01, 25.37	2.02, 3.03, 2.02
3	24.25, 24.14, 24.03	2.04, 2.04, 2.04

ตารางที่ 2 ผลการจำลองอุณหภูมิและความเร็วภายในห้องโดยสาร

ตารางที่ 2 พบว่าเมื่อไม่มีผู้โดยสารภายในห้องโดยสาร จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายใน เท่ากับ 23.73 องศาเซลเซียส และมีความเร็วภายในโดยเฉลี่ย เท่ากับ 1.152 เมตร/วินาที ที่ระนาบ 1, และ 3 ซึ่งเป็นระนาบที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ผู้โดยสารนั่งอยู่ และกรณีที่ 2-3 เมื่อมีผู้โดยสารอาศัยอยู่บนรถโดยสาร ซึ่งพื้นที่การทำความเย็นภายในห้องโดยสาร นอกจากจะได้รับความร้อนจากภายนอกแล้ว ผู้โดยสารยังถือว่าเป็นหนึ่งในภาระการทำความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิภายในห้องโดยสารเพิ่มสูงขึ้น ดังจะเห็นได้ในตารางที่ 2 อุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อการไหลแบบราบเรียบ จะให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 24.86 องศาเซลเซียส และมีความเร็วภายในโดยเฉลี่ย เท่ากับ 2.69 เมตร/วินาที และอุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อการไหลแบบปั่นป่วน จะให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 24.14 องศาเซลเซียส และมีความเร็วภายในโดยเฉลี่ย เท่ากับ 2.04 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงกว่าการพิจารณาในกรณีที่ 1 ที่ไม่มีผู้โดยสารอยู่ภายใน

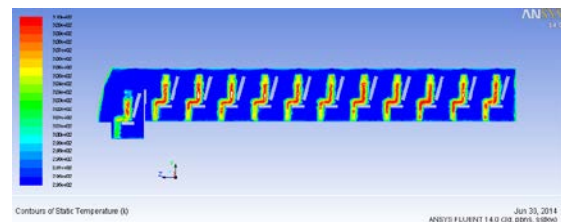


รูปที่ 8 การกระจายอุณหภูมิที่ระนาบที่ 1, กรณีมีผู้โดยสาร

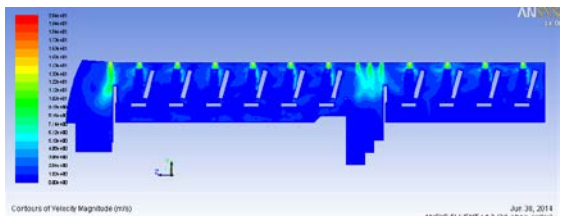
CST-49



รูปที่ 9 การกระจายอุณหภูมิตั้งที่ระนาบที่ 2 กรณีมีผู้โดยสาร



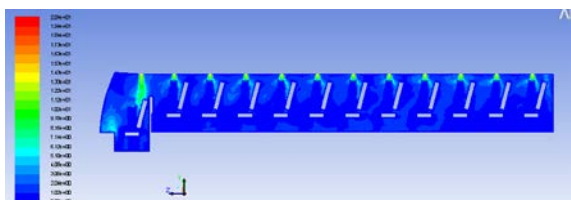
รูปที่ 10 การกระจายอุณหภูมิตั้งที่ระนาบที่ 3 กรณีมีผู้โดยสาร



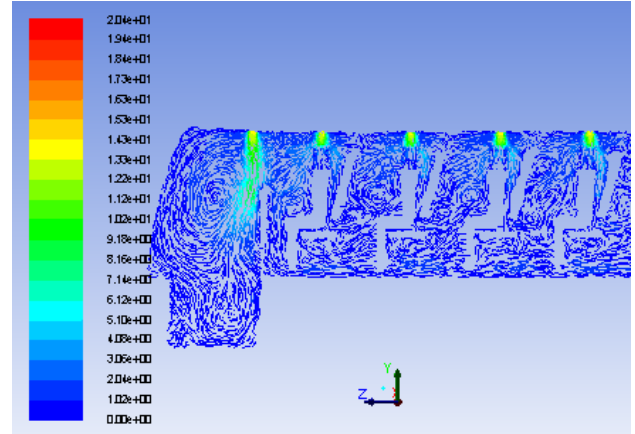
รูปที่ 11 พฤติกรรมความเร็วอากาศที่ระนาบที่ 1 กรณีมีผู้โดยสาร



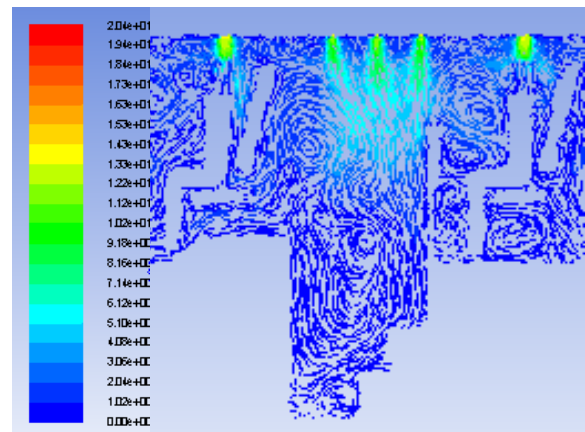
รูปที่ 12 พฤติกรรมความเร็วอากาศที่ระนาบที่ 2 กรณีมีผู้โดยสาร



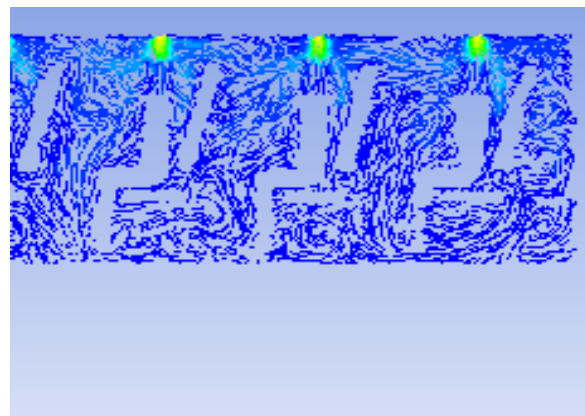
รูปที่ 13 พฤติกรรมความเร็วอากาศที่ระนาบที่ 3 กรณีมีผู้โดยสาร



รูปที่ 14 พฤติกรรมการไหลเวียนของอากาศที่ระนาบที่ 1 “ส่วนหน้า ของห้องโดยสาร” กรณีมีผู้โดยสาร



รูปที่ 15 พฤติกรรมการไหลเวียนของอากาศที่ระนาบที่ 1 “ส่วนกลาง ของห้องโดยสาร” กรณีมีผู้โดยสาร



รูปที่ 16 พฤติกรรมการไหลเวียนของอากาศที่ระนาบที่ 1 “ส่วนท้าย ของห้องโดยสาร” กรณีมีผู้โดยสาร

CST-49

4. สรุป

จากผลการศึกษาและทำนายพฤติกรรมการระบายอากาศและการกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ ทั้ง 3 กรณี คือ

- (1) กรณีที่ไม่มีผู้โดยสาร บนห้องโดยสาร
- (2) กรณีมีผู้โดยสาร และมีการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow)
- (3) กรณีมีผู้โดยสาร และมีการไหลแบบปั่นป่วน แบบ k-epsilon (2equation) รูปแบบ Realizable และมี Near wall treatment แบบ standard wall function

เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านอุณหภูมิทั้ง 3 กรณีศึกษา พบว่าในสภาวะใช้งานที่มีผู้โดยสาร 44 ที่นั่ง ตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ สามารถกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสารให้อยู่ในช่วงประมาณ 24.14 - 24.86 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงความสบายของผู้โดยสารคือ 24.5 องศาเซลเซียส แต่เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านความเร็วของอากาศ พบว่าค่าความเร็วเฉลี่ยสูงเกินมาตรฐาน เนื่องจากมีค่ามากถึง 2.04 เมตร/วินาที ซึ่งในช่วงความสบายของผู้โดยสารคือ 0.083 – 0.133 เมตรต่อวินาที

อีกทั้งเมื่อพิจารณาการไหลเวียนอากาศภายในห้องโดยสารบริเวณส่วนหน้า ส่วนกลาง และส่วนท้ายทั้ง 3 กรณี ยังพบอีกว่า บริเวณส่วนกลางของห้องโดยสาร ไม่มีความเหมาะสมในการติดตั้งหัวจ่ายลมเย็น เนื่องจากแรงลมที่ถูกจ่ายออกในตำแหน่งเหนือบันไดทางขึ้นส่วนกลางของห้องโดยสาร จะทำให้เกิดการหมุนวนของมวลอากาศภายในบริเวณบันไดทางขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปของรถโดยสารชั้นครึ่ง หรือสองชั้น จะเป็นพื้นที่ติดตั้งห้องสุขาภายใน และจะทำให้หน้าอากาศที่ไม่พึงประสงค์จากบริเวณหน้าห้องสุขา ไหลวนเข้ามาในส่วนของผู้โดยสาร อันจะเกิดความรู้สึกแสบและไม่สบายแก่ผู้โดยสารได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] F. Colella, G. Rein, R. Carvel, P. Reszka, J.L. Torero (2010). Analysis of the ventilation systems

in the Dartford tunnels using a multi-scale modelling approach, Tunnelling and Underground Space Technology 25, pp. 423–432.

- [2] ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2553). พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และไฟไนต์วอลุ่ม

- [3] David C. Wilcox, DCW Industries, Inc., La Canada, California (1994). Turbulence Modeling for CFD .

- [4] H. Versteeg, W. Malalasekera (1995). An Introduction to computational fluid dynamics : the finite volume method, ISBN: 0-470-23515-2 .

- [5] ASHRAE. (1992). Standard 41.2-1987 (RA 92), Standard Methods for Laboratory Airflow Measurement, Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineer, Inc.

- [6] เครื่องปรับอากาศในบ้าน, เอกสารเผยแพร่เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (2548). กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)