

รหัสโครงการ SUT7-707-56-12-58



รายงานการวิจัย

**การวิเคราะห์และออกแบบระบบปรับอากาศของรถโดยสารขนาดใหญ่ด้วย
ระเบียบวิธีไฟไนต์โวลุ่ม
(Analysis and Design of Air Conditioning System for a Bus Using
Finite Volume Method)**



ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การวิเคราะห์และออกแบบระบบปรับอากาศของรถโดยสารขนาดใหญ่ด้วย ระเบียบวิธีไฟไนต์โวลุ่ม (Analysis and Design of Air Conditioning System for a Bus Using Finite Volume Method)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กীরติ สุกฤษณ์

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

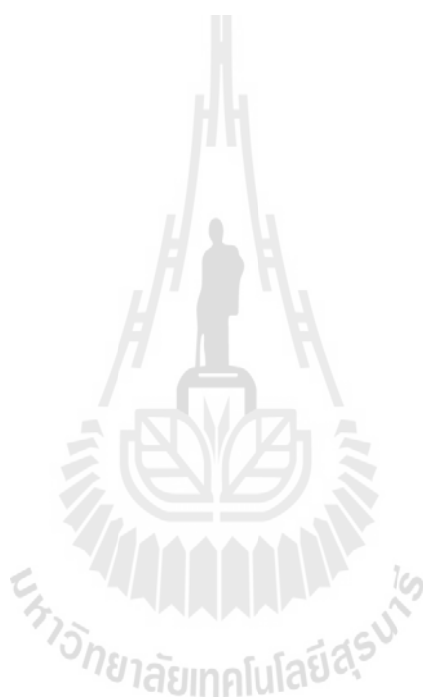
นางสาวปิยกานต์ หาญสมักร

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2556



บทคัดย่อภาษาไทย

รถโดยสารเป็นพาหนะที่ถูกใช้ในการขนส่งผู้โดยสารอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ประมาณว่ามีผู้ใช้บริการกว่า 35 ล้านคนในแต่ละปี มีการจดทะเบียนทั้งสิ้นกว่า 138,677 คันในประเทศไทย ปัจจุบันประเทศไทยมีอุตสาหกรรมต่อรถโดยสารเพื่อจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ ในกระบวนการต่อรถโดยสารปรับอากาศ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสบายของผู้โดยสารถือเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในขั้นตอนการออกแบบ อาทิ เบาะที่นั่งโดยสาร ระบบภาพและเสียง ระบบไฟส่องสว่าง ห้องน้ำ และส่วนที่สำคัญที่สุดคือระบบปรับอากาศสำหรับห้องโดยสารซึ่งจะช่วยให้ผู้โดยสารรู้สึกเย็นสบาย งานวิจัยนี้จำลองการไหลและการกระจายอุณหภูมิของอากาศภายในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ รุ่น Inter City Bus ที่ความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง อุณหภูมิที่ช่องจ่ายลมเย็นเข้าห้องโดยสาร 23.62 องศาเซลเซียส ความเร็วลมที่ช่องจ่ายลมเย็น 8.86 เมตร/วินาที โดยใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS Fluent 14.0 บนพื้นฐานการไหลแบบปั่นป่วนด้วยแบบจำลองความปั่นป่วน SST เพื่อให้เข้าใจพฤติกรรมการไหลของอากาศและการกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสาร ซึ่งนำไปสู่การออกแบบตำแหน่งและจำนวนที่เหมาะสมในการติดตั้งหัวจ่ายลมเย็นและช่องกลับอากาศสำหรับห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ ทั้งนี้เพื่อตอบสนองต่อความสบายของผู้โดยสารให้ดียิ่งขึ้น โดยผลการจำลองพบว่า ภายในห้องโดยสารมีอุณหภูมิและความเร็วที่พอเหมาะต่อความสบายของผู้โดยสารภายในรถตลอดทั้งคัน คือมีอุณหภูมิเท่ากับ 24 องศาเซลเซียส และมีความเร็วลมเท่ากับ 2.04 เมตร/วินาที แต่ลักษณะการเคลื่อนที่ของลมในฝั่งซ้ายด้านตรงข้ามคนขับบริเวณบันไดทางขึ้นรถโดยสาร มีการไหลเวียนในลักษณะที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากอากาศจะถูกจ่ายจากช่องจ่ายลมเย็น เคลื่อนที่ด้วยความเร็วผ่านห้องโดยสารและเข้าสู่ห้องว่างบริเวณบันไดซึ่งเป็นตำแหน่งในห้องน้ำ เกิดการม้วนตัวของอากาศและเคลื่อนที่ขึ้นสู่ห้องโดยสารอีกครั้ง พฤติกรรมนี้จะส่งผลให้อากาศชั้นบนที่ไม่พึงประสงค์จากบริเวณด้านล่างและเข้าไปในโซนที่ผู้โดยสารอยู่ จนเกิดความไม่สะดวกสบายด้านกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ได้ง่าย

Abstract

Presently, the bus is employed to transport a lot of passengers. It is estimates about 35 million for each year. There were registered buses about 138,677 in Thailand. Currently, there is an industrial of Air-Bus production for trading both in country and outside country. In the process of air bus production, the factors related to the comfortable of the passenger are the awareness of designing process such as passenger seats, visual and audio systems, light systems, toilet, and bus compartments where are the most important. This will help passengers to be cool and comfortable. This research predict the 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 23.62°C and 8.86 m/s. speed of air by using ANSYS Fluent software based on the air turbulence flow with SST turbulence model. The results of the study will help to predict the air ventilation of the seat positions designing and the suitable quantity of the air conditions installation and the refresh air for bus compartment of Air-Bus serve the passengers to have more comfortable. The result of simulation found that the average internal temperature are 24°C and velocity are 2.04 m/s, But from pathline of velocity in the area of left side opposite to the driver around the stairs has unsuitable by circulated behavior. Being on cool air flow from the air inlet to the bus compartment and flow pass to up stairs, circulated and turn to the passenger sitting area . This behavior of air pathline will effect to smelting from the rest room turn to the passenger that caused to uncomfortable of the passenger.

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| กิตติกรรมประกาศ | ก |
| บทคัดย่อภาษาไทย | ข |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | จ |
| สารบัญภาพ | ฉ |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย | 2 |
| บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย | |
| 2.1 ข้อมูลทั่วไปของปัญหาที่วิเคราะห์..... | 3 |
| 2.2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล | 4 |
| 2.3 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องและตัวอย่างการคำนวณ..... | 5 |
| 2.4 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล | 8 |
| บทที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล | |
| อภิปรายผล | 20 |
| บทที่ 4 บทสรุป | |
| สรุปผลการวิจัย | 24 |
| บรรณานุกรม | 25 |
| ประวัติผู้วิจัย | 26 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผนังของปริมาตรจำลอง | 8 |
| ตารางที่ 3.1 ผลการจำลองอุณหภูมิและความเร็วภายในห้องโดยสาร | 20 |



สารบัญภาพ

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 โมเดลรถโดยสารปรับอากาศรุ่น Intercity Bus | 3 |
| รูปที่ 2.2 การติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบแยกส่วน | 4 |
| รูปที่ 2.3 ตำแหน่งตรวจวัดความเร็วลมที่หัวจ่ายลมเย็น | 4 |
| รูปที่ 2.4 ตำแหน่งตรวจวัดความเร็วลมที่ช่องกลับอากาศ | 4 |
| รูปที่ 2.5 โครงสร้างของรถโดยสารปรับอากาศรุ่น Inter City Bus | 9 |
| รูปที่ 2.6 การสร้างขอบเขตผนังของปริมาตรอากาศจากโครงสร้างของรถ | 9 |
| รูปที่ 2.7 การจำลองปริมาตรเก้าอี้ และวางตำแหน่งท่อจ่ายลมเย็นภายในห้องโดยสาร | 10 |
| รูปที่ 2.8 การจำลองปริมาตรผู้โดยสารภายในห้องโดยสาร | 10 |
| รูปที่ 2.9 ปริมาตรอากาศภายในห้องโดยสาร (Internal Air = Fluid) | 11 |
| รูปที่ 2.10 ปริมาตรผู้โดยสารห้องโดยสาร (Human = Solid) | 11 |
| รูปที่ 2.11 การตั้งค่า Overall sizing, Air inlet sizing, Air Outlet sizing | 12 |
| รูปที่ 2.12 ลักษณะความละเอียดของ Mesh แบบ Tetrahedral เพื่อใช้ในการจำลอง | 13 |
| รูปที่ 2.13 การตั้งค่าปัญหา (Problem Setup) | 13 |
| รูปที่ 2.14 การตั้งค่าปัญหา (Problem Setup) | 14 |
| รูปที่ 2.15 การตั้งค่า Material (Glass) | 14 |
| รูปที่ 2.16 การตั้งค่า Material (Foam) | 15 |
| รูปที่ 2.17 การตั้งค่า Material (Human) | 15 |
| รูปที่ 2.18 การตั้งค่า Material (Wood และ Aluminum เลือกใช้ default ตามโปรแกรม) | 15 |
| รูปที่ 2.19 การตั้งค่า Cell Zone Condition | 16 |
| รูปที่ 2.20 การตั้งค่า Cell Zone Condition | 16 |
| รูปที่ 2.21 การตั้งค่าเงื่อนไขขอบ | 17 |
| รูปที่ 2.22 การตั้งค่าเงื่อนไขขอบทางออก | 17 |
| รูปที่ 2.23 การตั้งค่าเงื่อนไขขอบผนัง | 17 |
| รูปที่ 2.24 การตั้งค่า Solution Methods | 18 |
| รูปที่ 2.25 การตั้งค่า Solution Control | 18 |
| รูปที่ 2.26 การตั้งค่า Solution Initialization | 19 |
| รูปที่ 3.1 ผลการจำลองอุณหภูมิที่ระนาบที่ 1 (กรณีมีผู้โดยสาร, การไหลแบบปั่นป่วน) | |
| รูปที่ 3.2 ผลการจำลองอุณหภูมิที่ระนาบที่ 2 (กรณีมีผู้โดยสาร, การไหลแบบปั่นป่วน) | |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 3.1 ผลการจำลองอุณหภูมิที่ระนาบที่ 1 (กรณีมีผู้โดยสาร, การไหลแบบปั่นป่วน) | 21 |
| รูปที่ 3.2 ผลการจำลองอุณหภูมิที่ระนาบที่ 2 (กรณีมีผู้โดยสาร, การไหลแบบปั่นป่วน) | 21 |
| รูปที่ 3.3 ผลการจำลองอุณหภูมิที่ระนาบที่ 3 (กรณีมีผู้โดยสาร, การไหลแบบปั่นป่วน) | 21 |
| รูปที่ 3.4 ผลการจำลองความเร็วอากาศที่ระนาบที่ 1 (กรณีไม่มีผู้โดยสาร, การไหลแบบปั่นป่วน) | 22 |
| รูปที่ 3.5 ผลการจำลองความเร็วอากาศที่ระนาบที่ 2 (กรณีไม่มีผู้โดยสาร, การไหลแบบปั่นป่วน) | 22 |
| รูปที่ 3.6 ผลการจำลองความเร็วอากาศที่ระนาบที่ 3 (กรณีไม่มีผู้โดยสาร, การไหลแบบปั่นป่วน) | 22 |
| รูปที่ 3.7 ผลการจำลองการไหลเวียนของอากาศที่ระนาบที่ 1 “ส่วนหน้าห้องโดยสาร” (กรณีมีผู้โดยสาร) | 23 |
| รูปที่ 3.8 ผลการจำลองการไหลเวียนของอากาศที่ระนาบที่ 1 “ส่วนกลางห้องโดยสาร” (กรณีมีผู้โดยสาร, การไหลแบบปั่นป่วน) | 23 |
| รูปที่ 3.9 ผลการจำลองการไหลเวียนของอากาศที่ระนาบที่ 1 “ส่วนกลางท้ายโดยสาร” (กรณีมีผู้โดยสาร, การไหลแบบปั่นป่วน) | 23 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ในปัจจุบันที่การคมนาคมเจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วทั้งทางบก ทางน้ำ และทางอากาศ การคมนาคมและขนส่งโดยรถประจำทางหรือรถโดยสาร ถือเป็นหนึ่งในการขนส่งทางบกที่สำคัญอย่างยิ่ง นอกเหนือจากการขนส่งทางรถไฟ การขนส่งทางรถยนต์ส่วนบุคคลและรถยนต์รับจ้าง จากสถิติกรมการขนส่งทางบกพบว่า มีผู้ใช้บริการกว่า 35 ล้านคนในแต่ละปี ประเทศไทยมีอุตสาหกรรมต่อรถโดยสารเพื่อจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยบริษัท 3 กลุ่มผู้ประกอบการใหญ่ คือ บริษัทอู่เจ็ดชัย อุตสาหกรรมจำกัด จ.นครราชสีมา, บริษัทพานทองกลการจำกัด จ.ฉะเชิงเทรา และกลุ่มต่อตัวถังรถยนต์บ้านโป่ง จ.ราชบุรี ในสัดส่วนการผลิตแห่งละ 30% และผู้ประกอบการรายย่อยอื่นๆอีก 10% โดยประมาณ ในกระบวนการต่อรถโดยสารปรับอากาศ นอกจากปัจจัยด้านประสิทธิภาพหรือสมรรถนะเครื่องยนต์ที่ตอบสนองโดยตรงด้านการขับเคลื่อนแล้ว ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสบายของผู้โดยสารถือเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงในขั้นตอนการออกแบบ เช่น เบาะที่นั่งโดยสาร ระบบภาพและเสียง ระบบไฟส่องสว่างห้องน้ำ และส่วนที่สำคัญที่สุดคือระบบปรับอากาศสำหรับห้องโดยสารซึ่งจะช่วยให้ผู้โดยสารรู้สึกเย็นสบาย ระบบปรับอากาศมีปัจจัยหรือพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับความสบายของผู้โดยสารที่ต้องควบคุมให้พอเหมาะ เช่น ปรับอุณหภูมิกระจายอย่างสม่ำเสมอที่ 24.5 องศาเซลเซียส ขณะที่อากาศเคลื่อนไหวในอัตราประมาณ 0.083 – 0.133 เมตรต่อวินาที, ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงการนำเข้าอากาศใหม่ที่เพียงพอต่อการหายใจที่สดชื่น, ความสะอาดของอากาศ ปราศจากเชื้อโรคและกลิ่นไม่พึงประสงค์ เป็นต้น

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาและทำนายพฤติกรรมการระบายอากาศและการกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ ในรุ่นชั้นครึ่ง หรือ Intercity Bus ซึ่งเป็นรุ่นที่นิยมใช้ในการขนส่งผู้โดยสาร รองรับผู้โดยสารจำนวน 38 - 44 ที่นั่ง ที่ความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง อุณหภูมิและความเร็วลมจริงที่ช่องจ่ายลมเย็นเข้าห้องโดยสาร 23.62 องศาเซลเซียส และความเร็วลมเย็น 8.86 เมตร/วินาที ตามลำดับ โดยใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS Fluent บนพื้นฐานการไหลแบบปั่นป่วน ด้วยแบบจำลองความปั่นป่วน SST ผลที่ได้ช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมการไหลของอากาศและการกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสาร ซึ่งนำไปสู่การออกแบบตำแหน่งและจำนวนที่เหมาะสมในการติดตั้งหัวจ่ายลมเย็นและช่องกลับอากาศสำหรับห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ ทั้งนี้เพื่อตอบสนองต่อความสบายของผู้โดยสารให้ดียิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อจำลองพฤติกรรมการกระจายตัวของอากาศภายในห้องโดยสารของรถยนต์โดยสารปรับอากาศ อันจะนำไปสู่แนวทางในการปรับปรุงการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อการกระจายอากาศของรถ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. รถโดยสารปรับอากาศ ในรุ่นชั้นครึ่ง หรือ Intercity Bus
2. ใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป ANSYS Fluent ด้วยแบบจำลองความปั่นป่วน SST ในการคำนวณพฤติกรรมการไหลของอากาศบนพื้นฐานการไหลแบบปั่นป่วน

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ได้รู้รูปแบบพฤติกรรมการกระจายตัวของอากาศภายในห้องโดยสารของรถยนต์โดยสารปรับอากาศ และแนวทางในการปรับปรุงการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อการกระจายอากาศของรถ



บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

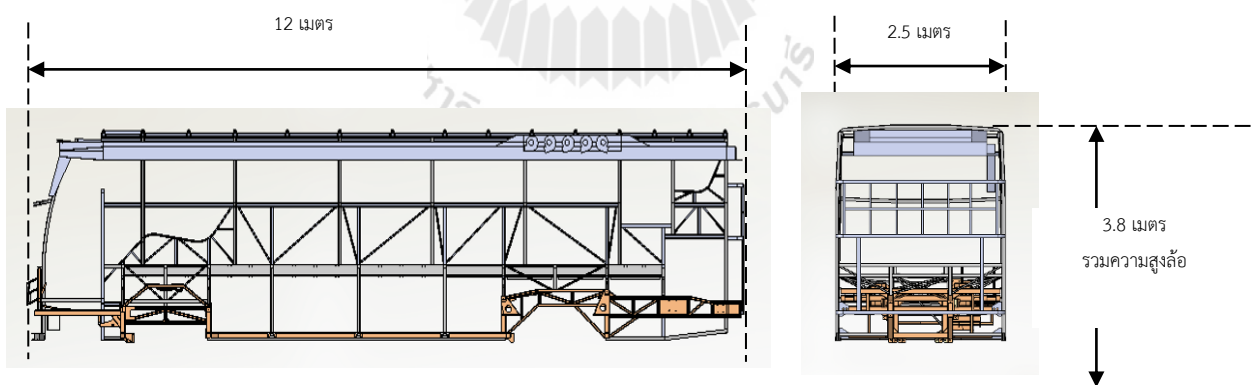
2.1 ข้อมูลทั่วไปของปัญหาที่วิเคราะห์

รถโดยสารปรับอากาศ รุ่นชั้นครึ่ง หรือ Intercity Bus สามารถรองรับผู้โดยสารจำนวน 30 - 44 ที่นั่ง มีความสูงตลอดคันรถ 3.8 เมตร โดยประมาณ ความยาวตลอดคันรถ 12 เมตร และความกว้างตลอดคันรถ 2.5 เมตร (รูปที่ 2.1) ปริมาตรภายในทั้งหมด 46.94 ลูกบาศก์เมตร แบ่งเป็นพื้นที่การทำความเย็น 44.68 ลูกบาศก์เมตร และพื้นที่เบาะที่นั่งโดยสาร,อื่นๆ 2.27 ลูกบาศก์เมตร มีการติดตั้งเครื่องทำความเย็น 2 ชนิด

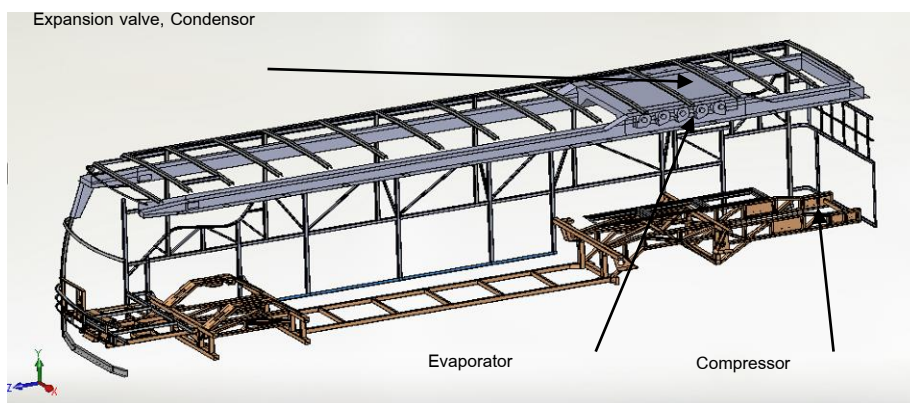
1) เครื่องทำความเย็นหลังคา (Roof Unit) ติดตั้งเครื่องทำความเย็นทั้งชุดบนพื้นที่หลังคาของรถโดยสารปรับอากาศ

2) เครื่องทำความเย็นแบบแยกส่วน (Split type) แยกติดตั้งคอมเพรสเซอร์ (Compressor) ไว้ที่ส่วนท้ายรถ ร่วมกับเครื่องย่นต์, ติดตั้งตัวควบแน่นหรือคอยล์ร้อน (Condensor) และอุปกรณ์ควบคุมความดัน (Expansion valve) ที่ส่วนข้างของตัวรถใกล้กับคอมเพรสเซอร์, และติดตั้งคอยล์เย็น (Evaporator) ไว้ในท่อลมภายในห้องโดยสาร (รูปที่ 2.2)

ปัจจุบันสถานประกอบการเลือกชนิดเครื่องทำความเย็นตามความเหมาะสม เพื่อให้สอดคล้องกับจำนวนที่นั่งโดยสารที่ผู้ซื้อต้องการตั้งแต่ 30 - 44 ที่นั่ง ซึ่งในงานวิจัยนี้ เลือกศึกษาการติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบแยกส่วน ติดตั้งเบาะที่นั่งโดยสารที่ภาระการทำความเย็นสูงสุดที่ 44 ที่นั่ง, หัวจ่ายลมเย็น 46 ช่อง ซึ่งรับลมเย็นจากคอยล์เย็น (Evaporator) จำนวน 2 ยูนิต เพื่อจ่ายลมเย็นให้ห้องโดยสารฝั่งซ้าย-ขวา ผ่านท่อลม



รูปที่ 2.1 โมเดลรถโดยสารปรับอากาศรุ่น Intercity Bus



รูปที่ 2.2 การติดตั้งเครื่องทำความเย็นแบบแยกส่วน (Split type)

2.2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

การดำเนินการ เริ่มจากการทำการตรวจวัดความเร็วและอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากหัวจ่ายลมเย็นขนาด 8.5 x 5 ตารางเซนติเมตร จำนวน 46 ช่อง ติดตั้งบริเวณเหนือเบาะที่นั่งโดยสาร การวัดอิงตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 41.2-1987 (ASHRAE, 1992) โดยแต่ละช่องหัวจ่ายลมเย็นได้ทำการตรวจวัดทั้งหมด 5 จุด (ดูรูปที่ 2.3) ผลการวัดมีค่าความเร็วลมเฉลี่ย 8.86 เมตร/วินาที มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 23.62 องศาเซลเซียส และตรวจวัดความเร็วลมเฉลี่ยที่ช่องกลับอากาศขนาด 140x37 ตารางเซนติเมตร จำนวน 1 ช่อง ติดตั้งระหว่างคอยล์เย็นฝั่งซ้ายขวา ทั้งหมด 12 จุด (ดูรูปที่ 2.4) ผลการวัดได้ค่าความเร็วลมเฉลี่ย 2.35 เมตร/วินาที มีอุณหภูมิเท่ากับ 28.025 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.3 ตำแหน่งตรวจวัดความเร็วลมที่หัวจ่ายลมเย็น



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

รูปที่ 2.4 ตำแหน่งตรวจวัดความเร็วลมที่ช่องกลับอากาศ

2.3 ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง / ตัวอย่างการคำนวณ

2.3.1 เลขเรย์โนลด์ (Renold Number, Re)

เลขเรย์โนลด์ เป็นดัชนีที่บ่งบอกสภาพปรากฏการณ์การไหลของของไหล ซึ่งเป็นสัดส่วนของ inertia/viscous สำหรับการไหลภายใน (internal flow) เลขเรย์โนลด์มีค่าขึ้นกับความเร็วการไหล ความหนืดของของไหล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกส์ของท่อ (hydraulic diameter) และค่าความหนาแน่นของของไหล ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ดังกล่าวได้เป็น

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

เมื่อ v เป็นความเร็วเฉลี่ยของของไหลภายในท่อ

D_H เป็นค่า Hydraulic Diameter

μ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล และ

ρ เป็นค่าความหนาแน่นของของไหล

เลขเรย์โนลด์ไม่มีหน่วยและมีความสำคัญอย่างมาก กล่าวคือเลขนี้ใช้เป็นตัวกำหนดรูปแบบการไหลของของไหลว่าเป็นแบบใด เช่น Re อยู่ในช่วง 0 -2000 สภาพการไหลเป็นแบบราบเรียบ, Re อยู่ในช่วง 2001 -4000 สภาพการไหลเป็นแบบทรานสิชัน หาก Re มากกว่า 4000 สภาพการไหลเป็นแบบปั่นป่วน

* ตัวอย่างการคำนวณเลขเรย์โนลด์ (Renold Number, Re) *

$$D_H = \frac{2 \times (\text{Bus_width}) \times (\text{Bus_height})}{(\text{Bus_width}) + (\text{Bus_height})} = \frac{2 \times 2.31 \times 1.749}{2.31 + 1.749} = 1.9907 \text{ m}$$

$$v = \frac{80 \text{ km/h}}{3600 \text{ sec/h}} = 22.222 \text{ m/s}$$

$$\rho_{\text{air@33celcius}} = 1.1531 \text{ kg / m}^3$$

$$\mu_{\text{air@33celcius}} = 1.994 \times 10^{-5} \text{ kg / ms}$$

$$Re_H = \frac{\rho D_H v}{\mu} = \frac{(1.1531 \text{ kg / m}^3) \times (1.9907 \text{ m}) \times (22.222 \text{ m / s})}{(1.994 \times 10^{-5} \text{ kg / ms})}$$

$$Re_H = 2,557,750$$

2.3.2 เลขพรีนดท์เทิล (Prandtl Number, Pr)

เลขพรีนดท์เทิล เป็นตัวบ่งชี้ความสามารถของของไหลในการส่งผ่านโมเมนตัมเทียบกับการส่งผ่านความร้อนในของไหล สูตรที่ใช้เขียนได้เป็น

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

ความหมายเชิงกายภาพของเลขพรีนดท์เทิลคือ ปริมาณที่บ่งบอกความหนาของชั้นขอบของโมเมนตัม (momentum boundary layer) เมื่อเทียบกับชั้นขอบของความร้อน (thermal boundary layer) ในการไหลของของไหล นั้นหมายความว่าหากของไหลที่มีค่าเลขพรีนดท์เทิลต่ำ(เช่นปรอท)ไหลไปบนพื้นผิวหนึ่งๆ ความร้อนจากพื้นผิวจะส่งผ่านเข้ามาในของไหลได้ลึกกว่าการส่งผ่านโมเมนตัม เพราะความร้อนสามารถส่งผ่านได้เร็วกว่าโมเมนตัมสำหรับกรณีนี้ หรืออีกนัยหนึ่งคือความหนาของชั้นขอบของความร้อนจะหนากว่าชั้นขอบของโมเมนตัมมาก

* ตัวอย่างการคำนวณเลขพรีนดท์เทิล (Prandtl Number, Pr) *

$$\begin{aligned} C_{p_{air@33\text{celcius}}} &= 1.005 \text{ kJ / kgK} \\ \mu_{air@33\text{celcius}} &= 1.994 \times 10^{-5} \text{ kg / ms} \\ k_{air@33\text{celcius}} &= 2.66 \times 10^{-5} \text{ kW / mK} \\ \text{Pr} &= \frac{C_p \mu}{k} = \frac{(1.005 \text{ kJ / kgK}) \times (1.994 \times 10^{-5} \text{ kg / ms})}{2.66 \times 10^{-5} \text{ kW / mK}} \\ \text{Pr} &= 0.7532 \end{aligned}$$

2.3.3 เลขนัสเซลท์ (Nusselt Number, Nu)

สมการความสัมพันธ์ระหว่าง Nu และ h

$$\text{Nu} = \frac{\text{Convective Heat Transfer}}{\text{Conductive Heat Transfer}} = \frac{hL}{k} \quad (3)$$

Gnielinski's correlation สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน

$$\text{Nu}_D = \frac{(f/8)(\text{Re}_D - 1000) \text{Pr}}{1 + (12.7\sqrt{f/8})(\text{Pr}^{2/3} - 1)} \quad (4)$$

เมื่อ f คือ Darcy friction factor ซึ่งสามารถหาได้จาก Moody Chart หรืออาจหาได้จาก

$$f = (0.79 \ln(\text{Re}_D) - 1.64)^{-2} \quad (5)$$

โดย Gnielinski's correlation มีเงื่อนไขใช้งานดังนี้ $0.5 \leq \text{Pr} \leq 2000$ และ $3000 \leq \text{Re}_D \leq 5 \times 10^6$

* ตัวอย่างการคำนวณเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number, Nu) *

$$f = (0.79 \ln(\text{Re}_D) - 1.64)^{-2} = (0.79 \ln(2,557,750) - 1.64)^{-2}$$

$$= 0.0095$$

$$Nu_D = \frac{(f/8)(\text{Re}_D - 1000) \text{Pr}}{1 + (12.7 \sqrt{f/8})(\text{Pr}^{2/3} - 1)}$$

$$Nu_D = \frac{(0.0095/8)(2,557,750 - 1000)(0.7532)}{1 + (12.7 \sqrt{0.0095/8})(0.7532^{2/3} - 1)}$$

$$Nu_D = 3,374$$

สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat Transfer Coefficient, h)

$$h = f(Nu, \text{Pr})$$

$$Nu_D = \frac{\text{Convection Heat Transfer}}{\text{Conduction Heat Transfer}} = \frac{hL}{k}$$

$$h = \frac{Nu_D k}{L}$$

(6)

L=Characteristic Length และ k=Thermal Conductivity of material

* ตัวอย่างการคำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ของกระจกหน้าของรถโดยสาร *

$$L_{\text{กระจกหน้ารถโดยสาร}} = 1.8710 \text{ m}$$

$$k_{\text{กระจกหน้ารถโดยสาร}} = 0.096 \text{ w / mK}$$

$$h = \frac{Nu_D k}{L}$$

$$h = \frac{(3,374.1397)(0.096 \text{ W / mK})}{1.8710 \text{ m}}$$

$$h = 166.0482 \text{ w / m}^2 \text{ K}$$

ทำซ้ำสมการข้างต้นตามตัวอย่าง โดยการเปลี่ยน $L_{H_of_material}$ และ $k_{of_material}$ จะได้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของวัสดุขอบเขตของรถโดยสาร ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผนังของปริมาตรจำลอง

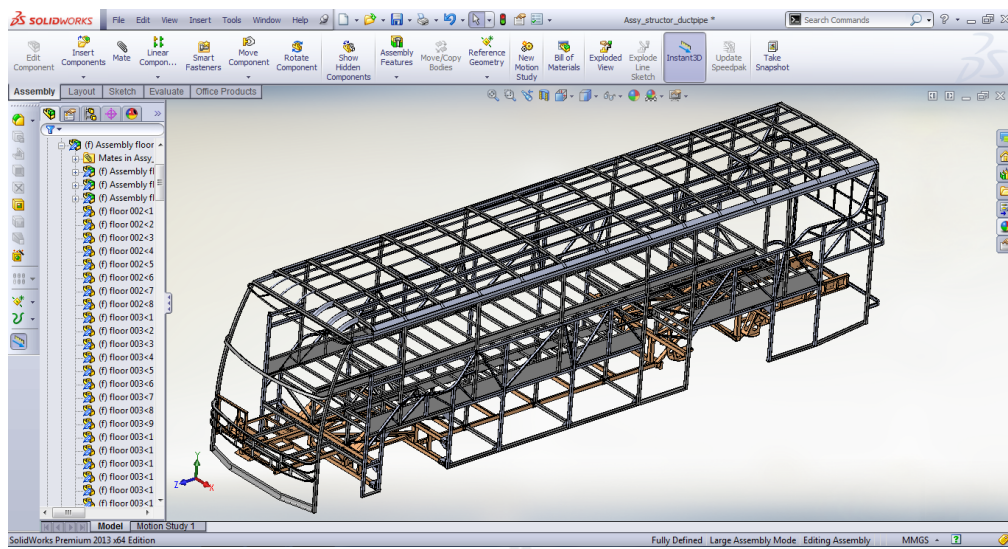
| Material | Thermal conductivity, k (w/mK) | Chanel diameter, D (m) | Heat transfer coefficient, H (w/m ² K) |
|-------------------|--|---------------------------|---|
| พื้นห้องโดยสาร | 0.03 | 11.7610 | 8.2104 |
| ผนังห้องด้านข้าง | 0.03 | 11.7610 | 8.2104 |
| ผนังห้องด้านหลัง | 0.03 | 0.8820 | 109.4813 |
| กระจกหน้า | 0.096 | 1.8710 | 165.1524 |
| กระจกข้าง | 0.096 | 11.7610 | 26.2733 |
| กระจกหลัง | 0.096 | 0.8670 | 356.4015 |
| หลังคา | 0.03 | 11.2290 | 8.5994 |
| เบาะที่นั่งโดยสาร | Noted : กำหนดให้ไม่มีการพาความร้อนผ่านเบาะที่นั่งโดยสารในสถานะ Steady State Heat Flux = 0 | | |

2.4 การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

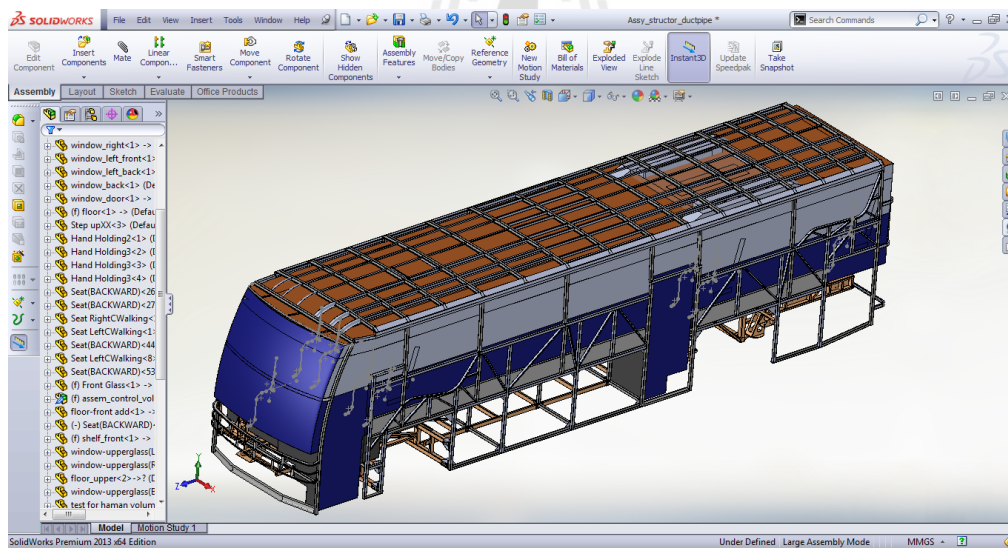
การทำนายพฤติกรรมการระบายอากาศและการกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ แบ่งการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ออกเป็นสองขั้นตอนดังนี้

2.4.1 ขั้นตอนการสร้างปริมาตรอากาศภายในห้องโดยสาร

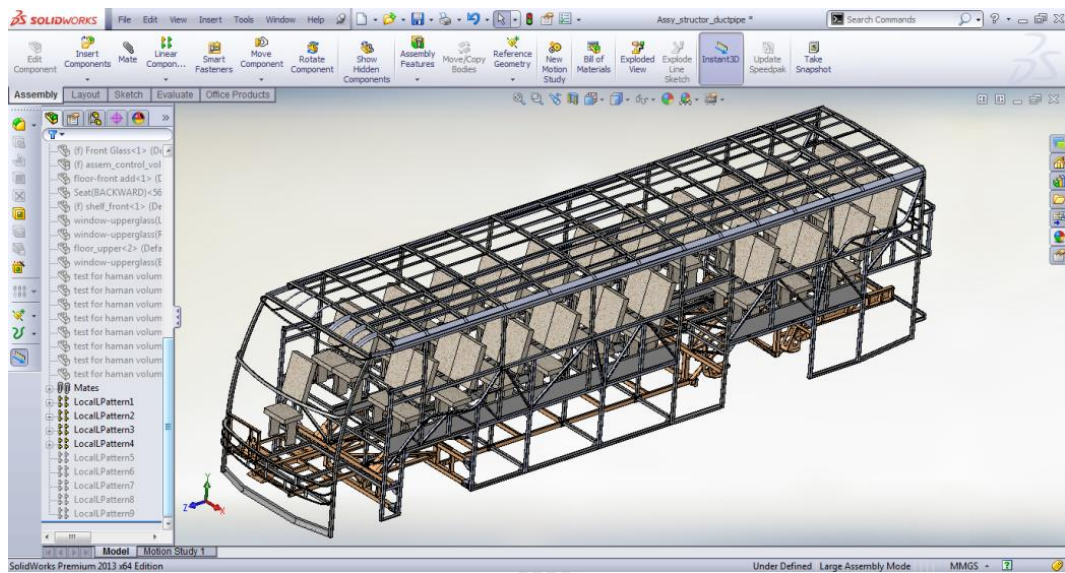
โดยใช้โปรแกรม Solid Work 2013 ซึ่งเขียนปริมาตรอากาศในอัตราส่วนจริงที่อ้างอิงจากโครงสร้างของรถโดยสารปรับอากาศ ดังแสดงตามขั้นตอนในรูปที่ 2.5 - 2.10



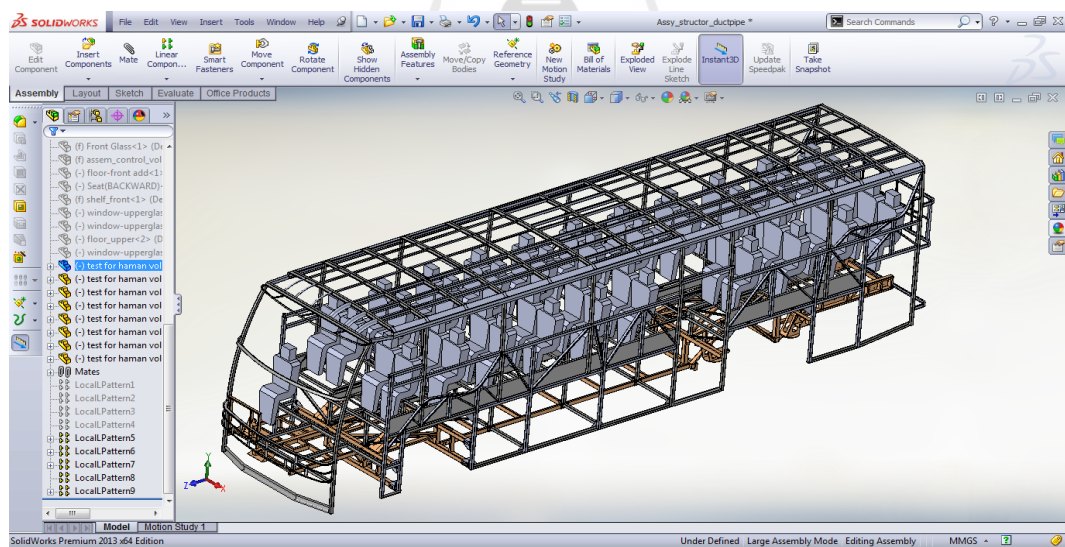
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของรถโดยสารปรับอากาศรุ่น Inter City Bus



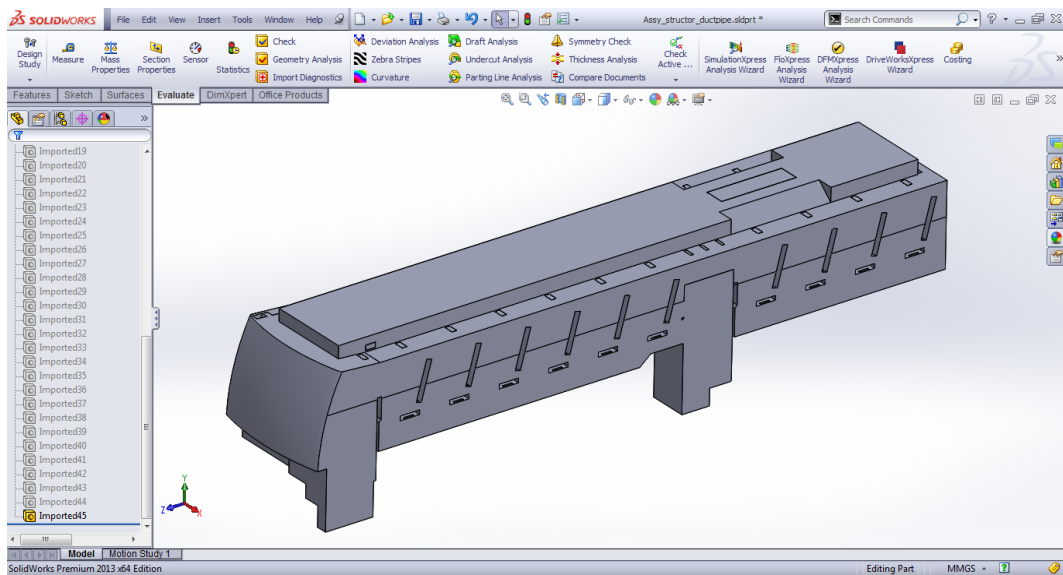
รูปที่ 2.6 การสร้างขอบเขตผนังของปริมาตรอากาศจากโครงสร้างของรถ



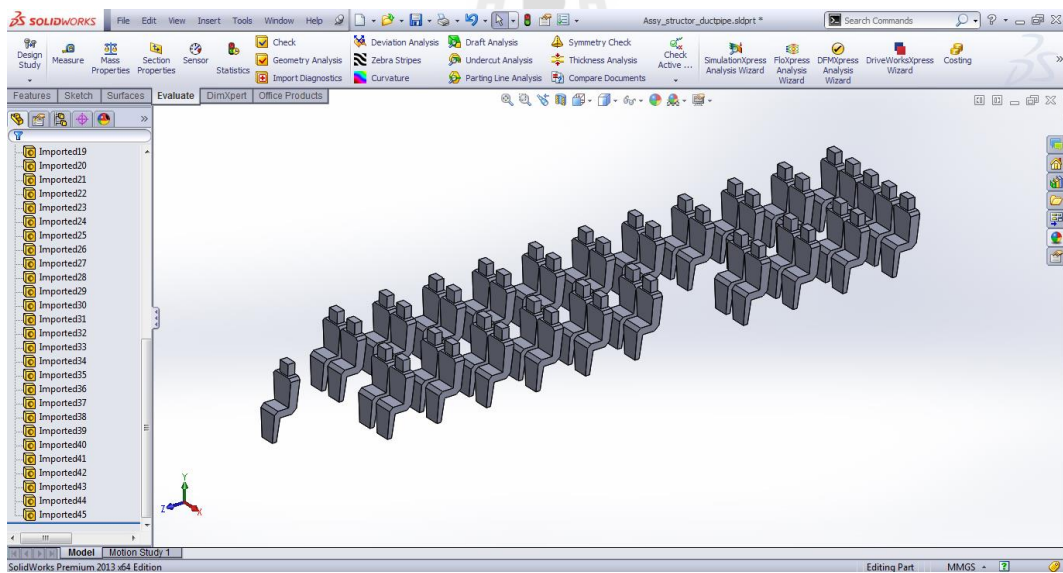
รูปที่ 2.7 การจำลองปริมาตรเก้าอี้ และวางตำแหน่งท่อจ่ายลมเย็นภายในห้องโดยสาร



รูปที่ 2.8 การจำลองปริมาตรผู้โดยสารภายในห้องโดยสาร



รูปที่ 2.9 ปริมาตรอากาศว่างภายในห้องโดยสาร (Internal Air = Fluid)

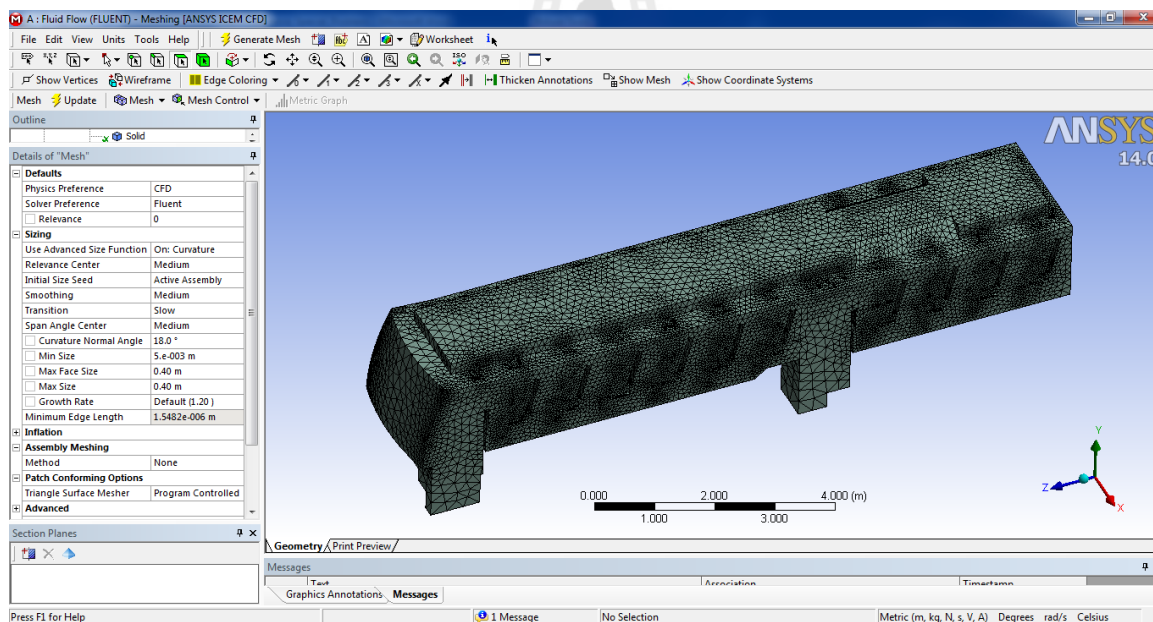


รูปที่ 2.10 ปริมาตรผู้โดยสารห้องโดยสาร (Human = Solid)

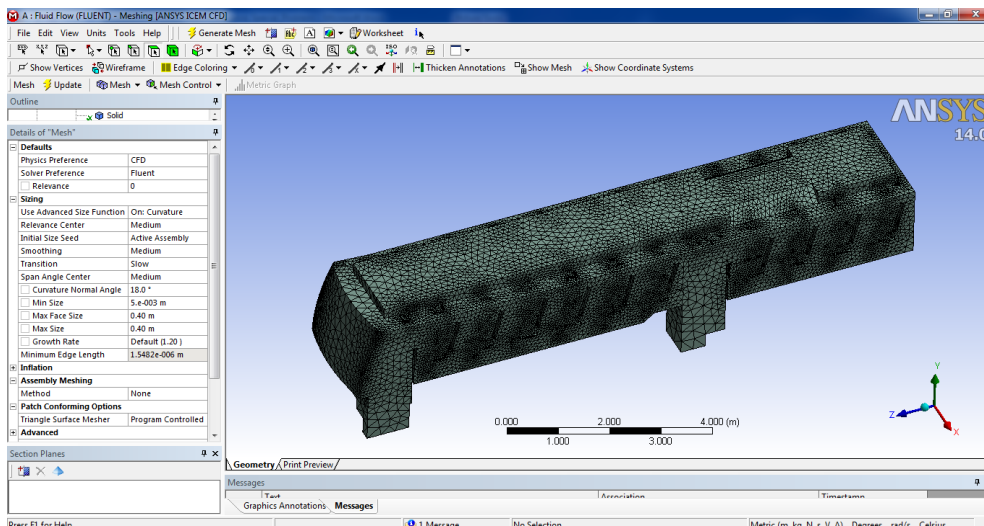
2.4.2 ขั้นตอนการจำลองพฤติกรรมการระบายอากาศและการกระจายอุณหภูมิในห้องโดยสาร

การจำลองใช้โปรแกรม ANSYS Workbench 14.0 - Fluent บนพื้นฐานระเบียบวิธีไฟไนต์โวลุ่ม เลือกใช้กริดแบบ Tetrahedral เนื่องจากความซับซ้อนของปริมาตร ความละเอียด 1,286,327 อีเลเมนต์ ซึ่งจะกำหนดให้ตำแหน่งหัวจ่ายลมเย็นและช่องกลับอากาศมีความละเอียดที่สูง เนื่องจากเป็นขอบเขตเริ่มต้นที่จะส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมกรไหลสูง (รูปที่ 2.11 – 2.12) โดยกำหนดเงื่อนไขของการจำลองในขณะรถโดยสารปรับอากาศวิ่งด้วยความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง หรือ 22.22 เมตร/วินาที (จากตัวอย่างการคำนวณ) อุณหภูมิภายนอกห้องโดยสาร 33 องศาเซลเซียส โดยกำหนดให้เงื่อนไขที่ทางเข้าแบบ Velocity inlet ที่หัวจ่ายลมเย็นเท่ากับ 8.86 เมตร/วินาที อุณหภูมิที่หัวจ่ายลมเย็นเท่ากับ 23.62 องศาเซลเซียส , เงื่อนไขที่ช่องกลับอากาศสำหรับลมออกเป็นแบบ Outflow ภาระการทำความเย็น เช่น การพาความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ห้องโดยสาร ผ่านทางหน้าต่าง ผงึงภายใน กระจกและหลังคา กำหนดเงื่อนไขเป็นแบบ Wall แบบไม่ลื่นไหล (No-slip condition) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนดังแสดงในตารางที่ 2.1 ความร้อนที่เกิดขึ้นจากผู้โดยสาร 1550.38 วัตต์/ลูกบาศก์เมตร (ภาระการทำความร้อน 100 วัตต์/ 1 คน ปริมาตรผู้โดยสารเฉลี่ย 0.0645 ลูกบาศก์เมตร) อุณหภูมิภายในเฉลี่ยของผู้โดยสาร 37 องศาเซลเซียส

ทั้งนี้ยกเว้นการพิจารณาภาระการทำความเย็นอันเกิดจากอุปกรณ์ส่องสว่าง



รูปที่ 2.11 การตั้งค่า Overall sizing, Air inlet sizing, Air Outlet sizing

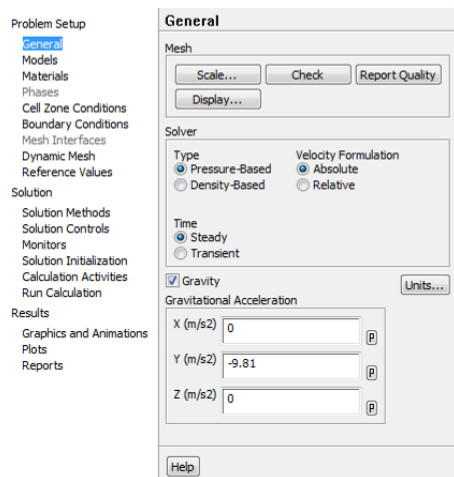


รูปที่ 2.12 ลักษณะความละเอียดของ Mesh แบบ Tetrahedral เพื่อใช้ในการจำลอง

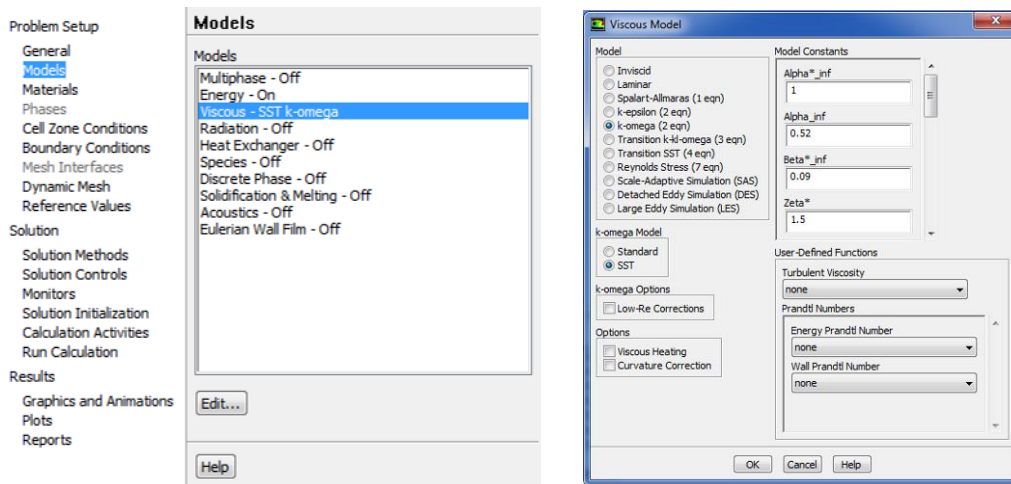
เมื่อเสร็จสิ้นการเตรียม Mesh ตามที่แสดงในรูปที่ 2.11 – 2.12 แล้ว จึงเข้าสู่ขั้นตอนการจำลองด้วยโปรแกรม Fluent ดังต่อไปนี้

การตั้งค่าปัญหา (Problem Setup) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 และ 2.14 มีการกำหนดค่าดังนี้

General → Solver → Type : Pressure based → Solver → Velocity Formulation : Absolute

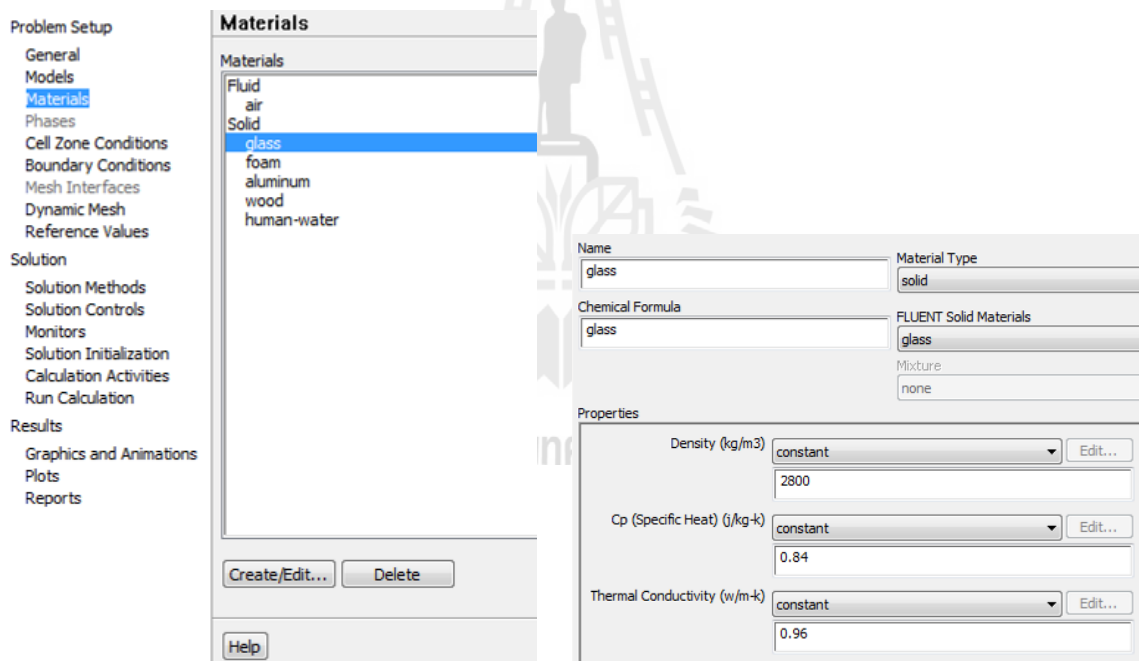


รูปที่ 2.13 การตั้งค่าปัญหา (Problem Setup)



รูปที่ 2.14 การตั้งค่าปัญหา (Problem Setup)

การตั้งค่าวัสดุชนิดต่างๆ ให้กับโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณแสดงในรูปที่ 2.15 ถึง 2.18



รูปที่ 2.15 การตั้งค่า Material (Glass)

| | | | |
|------------------------------|----------|------------------------|-------|
| Name | foam | Material Type | solid |
| Chemical Formula | foam | FLUENT Solid Materials | foam |
| | | Mixture | none |
| Properties | | | |
| Density (kg/m ³) | constant | | 30 |
| Cp (Specific Heat) (J/kg-K) | constant | | 1.3 |
| Thermal Conductivity (w/m-k) | constant | | 0.03 |

| | | | |
|------------------------------|-------------|------------------------|-------------|
| Name | human-water | Material Type | solid |
| Chemical Formula | human-water | FLUENT Solid Materials | human-water |
| | | Mixture | none |
| Properties | | | |
| Density (kg/m ³) | constant | | 1000 |
| Cp (Specific Heat) (J/kg-K) | constant | | 3470 |
| Thermal Conductivity (w/m-k) | constant | | 0.37 |

รูปที่ 2.16 การตั้งค่า Material (Foam)

รูปที่ 2.17 การตั้งค่า Material (Human)

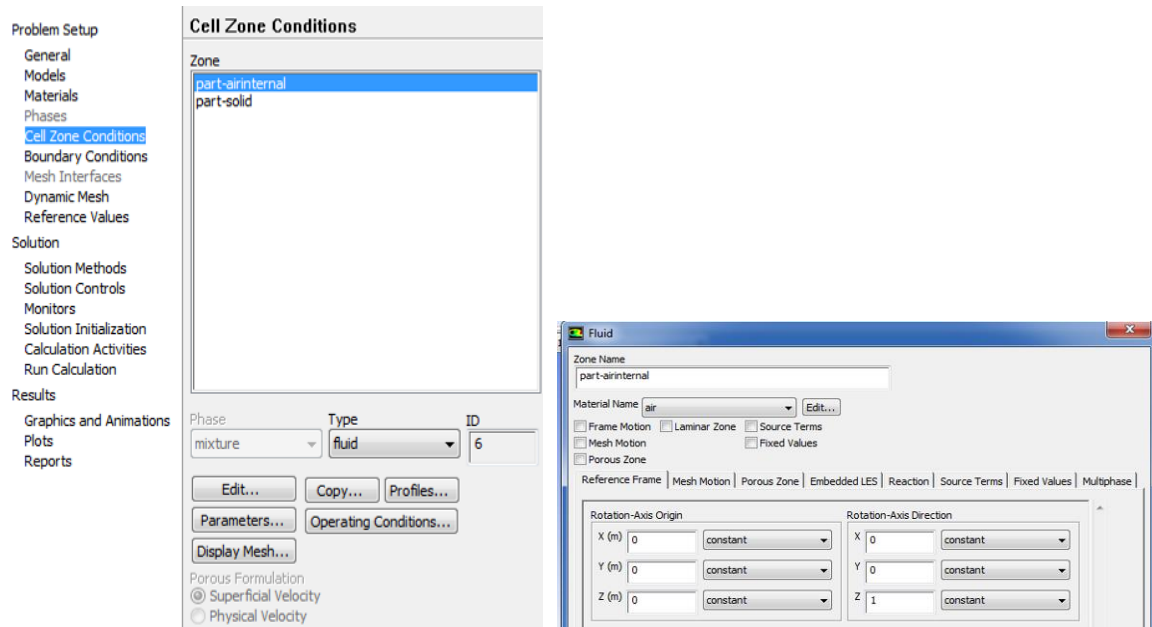
| | | | |
|------------------------------|----------|------------------------|-------|
| Name | wood | Material Type | solid |
| Chemical Formula | | FLUENT Solid Materials | wood |
| | | Mixture | none |
| Properties | | | |
| Density (kg/m ³) | constant | | 700 |
| Cp (Specific Heat) (J/kg-K) | constant | | 2310 |
| Thermal Conductivity (w/m-k) | constant | | 0.173 |

| | | | |
|------------------------------|----------|------------------------|---------------|
| Name | aluminum | Material Type | solid |
| Chemical Formula | al | FLUENT Solid Materials | aluminum (al) |
| | | Mixture | none |
| Properties | | | |
| Density (kg/m ³) | constant | | 2719 |
| Cp (Specific Heat) (J/kg-K) | constant | | 871 |
| Thermal Conductivity (w/m-k) | constant | | 202.4 |

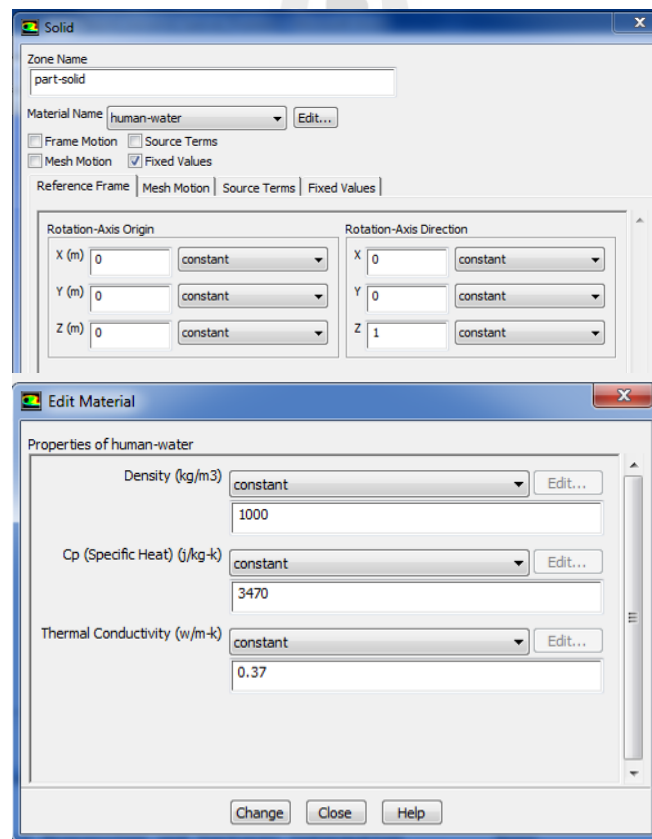
รูปที่ 2.18 การตั้งค่า Material (Wood และ Aluminum เลือกใช้ default ตามโปรแกรม)

รูปที่ 2.19 - 2.20 แสดงการตั้งค่า Cell Zone Condition โดยกำหนดปริมาตรอากาศภายในห้องโดยสาร:

- Fluid → Air : Default ()
- ปริมาตรผู้โดยสาร : Solid
- Density : 1000 kg/m³ (ตามอ้างอิง)
- Cp : 3470 J/kg-K (ตามอ้างอิง)
- Thermal Conductivity : 0.37 W/m-K (ตามอ้างอิง)
- Fixed value : Temperature = 37°C = 310.15 K



รูปที่ 2.19 การตั้งค่า Cell Zone Condition

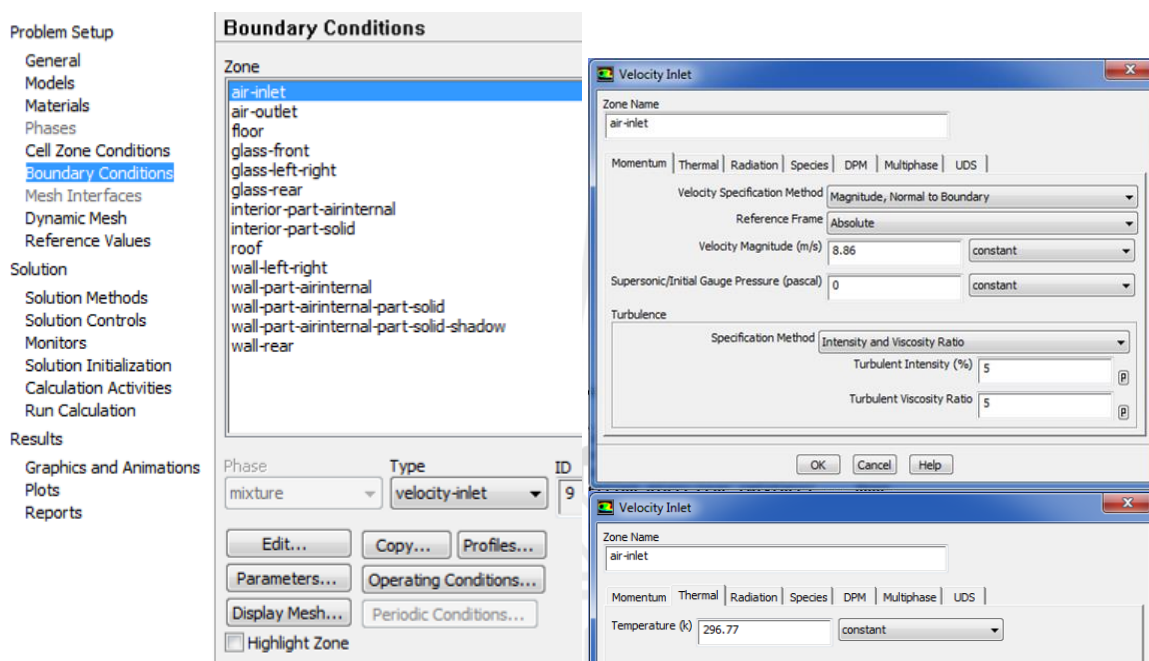


รูปที่ 2.20 การตั้งค่า Cell Zone Condition

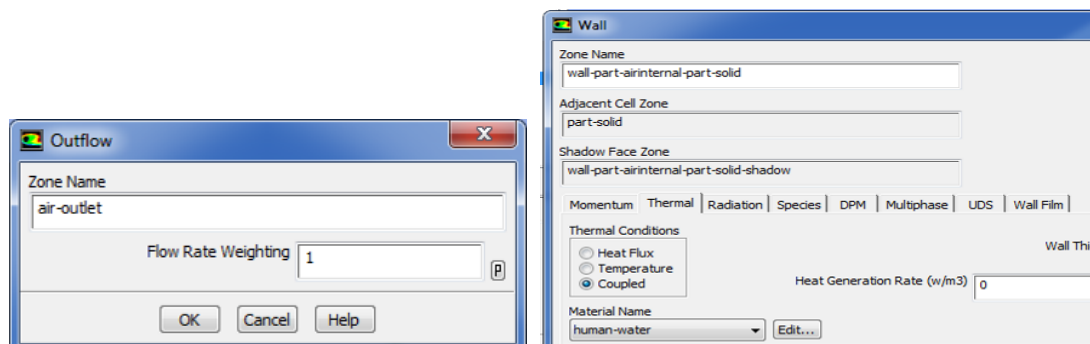
รูปที่ 2.21 - 2.23 แสดงการตั้งค่าเงื่อนไขขอบให้กับโดเมนเพื่อใช้ในการคำนวณ ดังนี้

- Air inlet : Velocity inlet, Momentum = 8.86 m/s และ Thermal = 296.77 K
- Air outlet : outflow (Factor = 1)
- wall-part-airinternal-part-solid และ
- wall-part-airinternal-part-solid shadow
- Thermal : Coupled

**หมายเหตุ ผังห้องโดยสาร ตั้งค่าเงื่อนไขขอบเป็น Wall Convention ซึ่งมีค่าการพาความร้อน อ้างอิงตามตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.21 การตั้งค่าเงื่อนไขขอบ

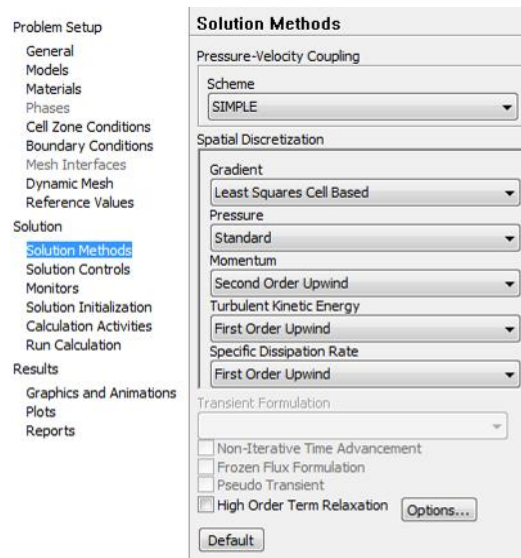


รูปที่ 2.22 การตั้งค่าเงื่อนไขขอบทางออก

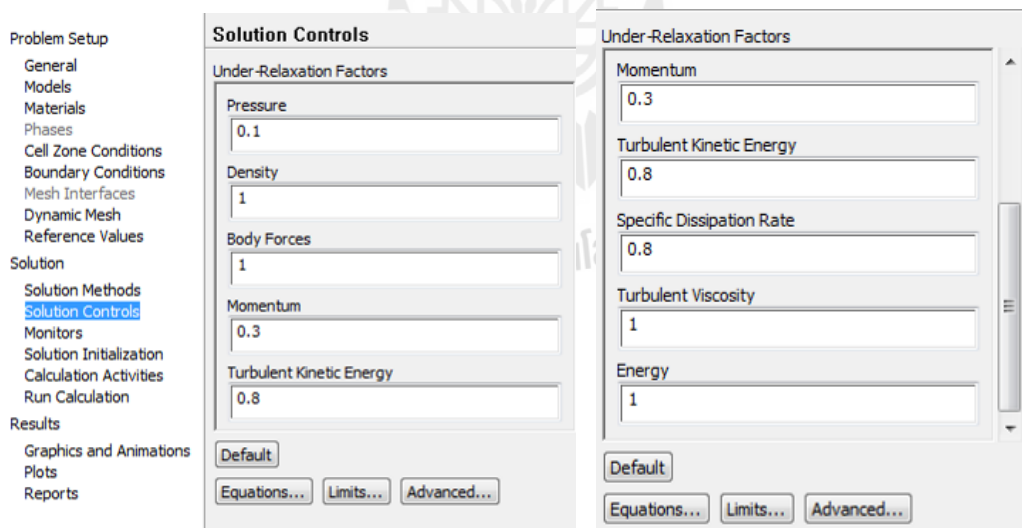
รูปที่ 2.23 การตั้งค่าเงื่อนไขขอบผนัง

การตั้งค่า Solution Methods แสดงในรูปที่ 2.24 การตั้งค่า Solution Control แสดงในรูปที่ 2.25 และการตั้งค่า Solution Initialization แสดงในรูปที่ 2.26

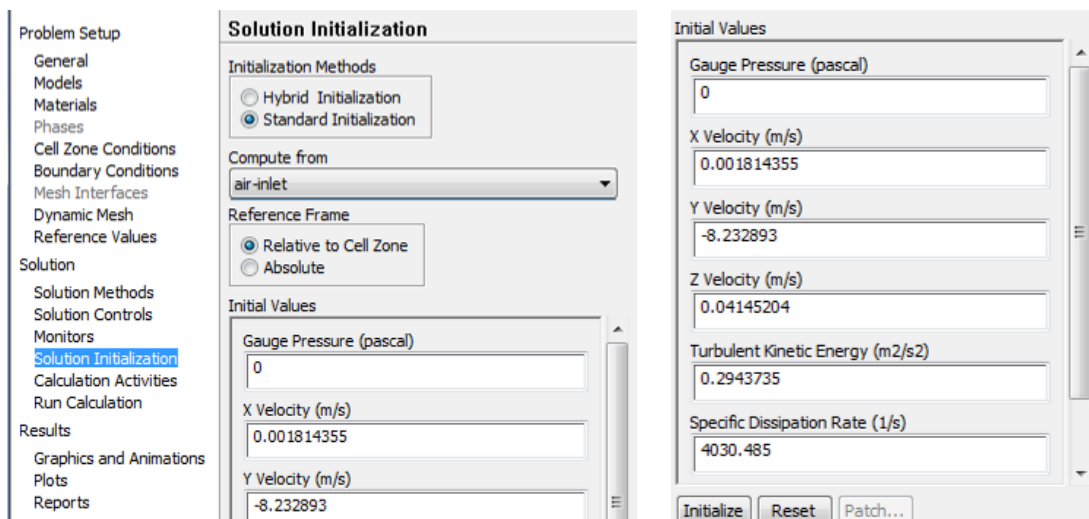
→ Computed from : Air inlet → Initialize



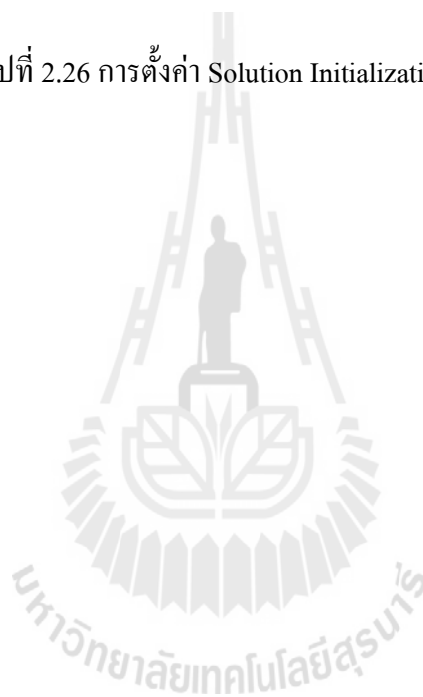
รูปที่ 2.24 การตั้งค่า Solution Methods



รูปที่ 2.25 การตั้งค่า Solution Control



รูปที่ 2.26 การตั้งค่า Solution Initialization



บทที่ 3

ผลการวิจัย

ผลการจำลองอุณหภูมิและความเร็วของอากาศภายในห้องโดยสาร ที่ระนาบ 3 ระนาบ ได้แก่ (1) ระนาบ 0.3 เมตร, (2) ระนาบ 1.153 เมตร และ (3) ระนาบ 2.006 เมตร ซึ่งเป็นระนาบที่เป็นตำแหน่งติดตั้งหัวจ่ายลมเย็นด้านติดประตูห้องโดยสาร (รูปที่ 3.1) , ระนาบกลางระหว่างทางเดินที่เป็นตำแหน่งติดตั้งช่องกลับอากาศ (รูปที่ 3.2) และระนาบที่เป็นตำแหน่งติดตั้งหัวจ่ายลมเย็นด้านตรงข้ามกับประตูห้องโดยสาร (รูปที่ 3.3) ตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถพิจารณาการกระจายอุณหภูมิในแต่ละระนาบสำคัญที่สนใจได้ เนื่องจากระนาบที่ 1 และระนาบที่ 3 เป็นตำแหน่งที่ผู้โดยสารอยู่ และระนาบที่ 2 เป็นระนาบที่มีความสำคัญต่อการระบายอากาศออกจากห้องโดยสาร ใน 3 กรณี คือ

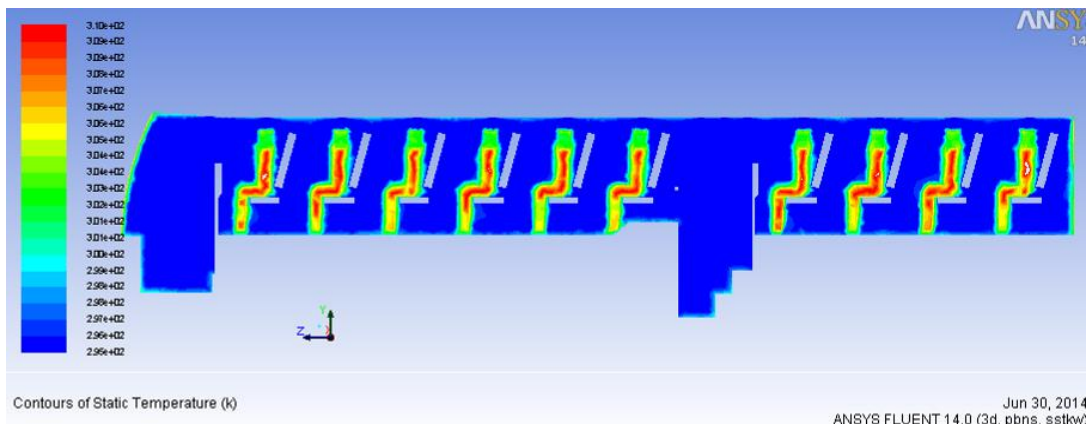
- 1) กรณีที่ไม่มีผู้โดยสาร บนห้องโดยสาร
- 2) กรณีมีผู้โดยสาร และมีการไหลแบบราบเรียบ และ
- 3) กรณีมีผู้โดยสาร และมีการไหลแบบปั่นป่วน

ผลการจำลองหาอุณหภูมิและความเร็วภายในห้องโดยสาร 3 กรณี ได้คำตอบดังแสดงในตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ผลการจำลองอุณหภูมิและความเร็วภายในห้องโดยสาร

| กรณี | ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในห้องโดยสาร (°C) ที่ระนาบ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ | ค่าเฉลี่ยความเร็วภายในห้องโดยสาร (m/s) ที่ระนาบ 1, 2, และ 3 ตามลำดับ |
|------|--|---|
| 1 | 23, 24, 23 | 0.99, 1.48, 0.99 |
| 2 | 24, 24, 24 | 2.02, 3.03, 2.02 |
| 3 | 24, 24, 24 | 2.04, 2.04, 2.04 |

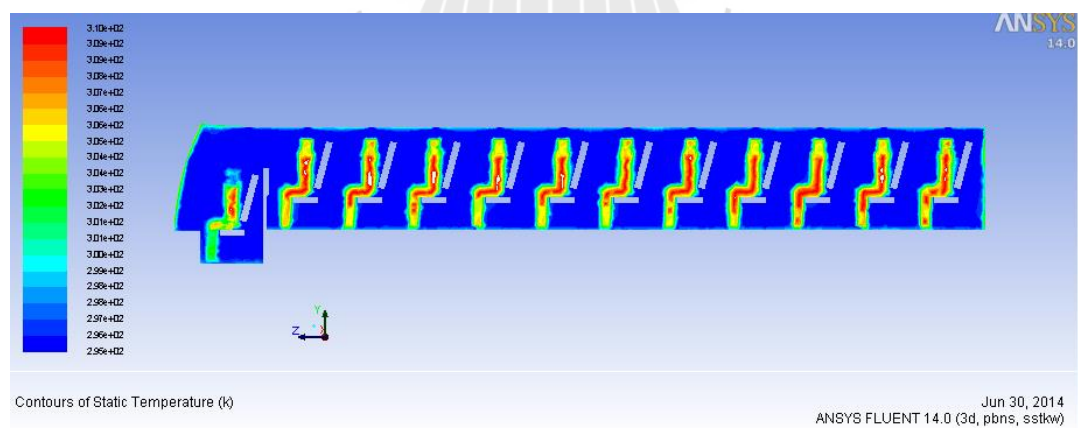
จากตารางที่ 3.1 พบว่าเมื่อไม่มีผู้โดยสารภายในห้องโดยสาร จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเท่ากับ 23.33 องศาเซลเซียส และมีความเร็วภายในโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.152 เมตร/วินาที ที่ระนาบ 1, และ 3 ซึ่งเป็นระนาบที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ผู้โดยสารนั่งอยู่ และกรณีที่ 2-3 เมื่อมีผู้โดยสารอาศัยอยู่บนรถโดยสาร ซึ่งพื้นที่การทำความเย็นภายในห้องโดยสาร นอกจากจะได้รับความร้อนจากภายนอกแล้ว ผู้โดยสารยังถือว่าเป็นหนึ่งในภาระการทำความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิภายในห้องโดยสารเพิ่มสูงขึ้น ดังจะเห็นได้ในตารางที่ 3.1 อุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อการไหลแบบราบเรียบ จะให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 24 องศาเซลเซียส และมีความเร็วภายในโดยเฉลี่ย เท่ากับ 2.69 เมตร/วินาที และอุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อการไหลแบบปั่นป่วน จะให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 24 องศาเซลเซียส และมีความเร็วภายในโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.04 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงกว่าการพิจารณาในกรณีที่ 1 ที่ไม่มีผู้โดยสารอยู่ภายใน



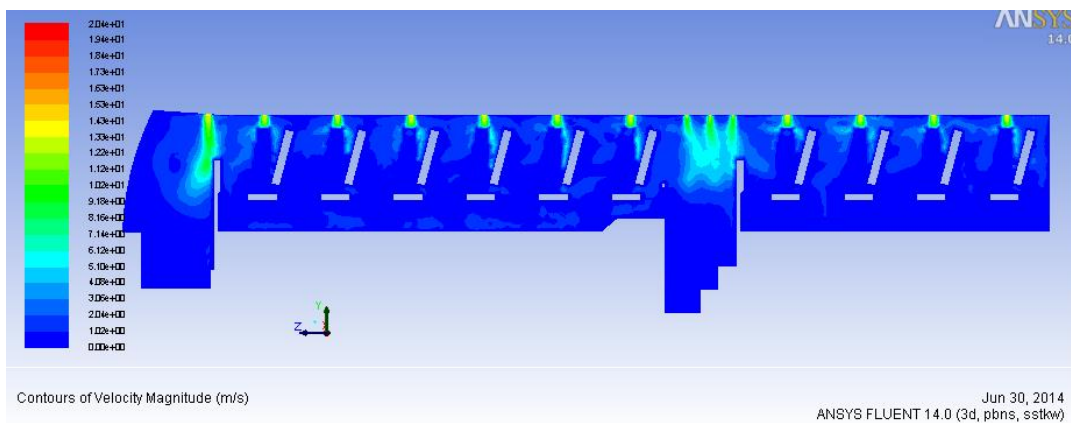
รูปที่ 3.1 ผลการจำลองอุณหภูมิที่ระนาบที่ 1 (กรณีมีผู้โดยสาร, การไหลแบบปั่นป่วน)



รูปที่ 3.2 ผลการจำลองอุณหภูมิที่ระนาบที่ 2 (กรณีมีผู้โดยสาร, การไหลแบบปั่นป่วน)



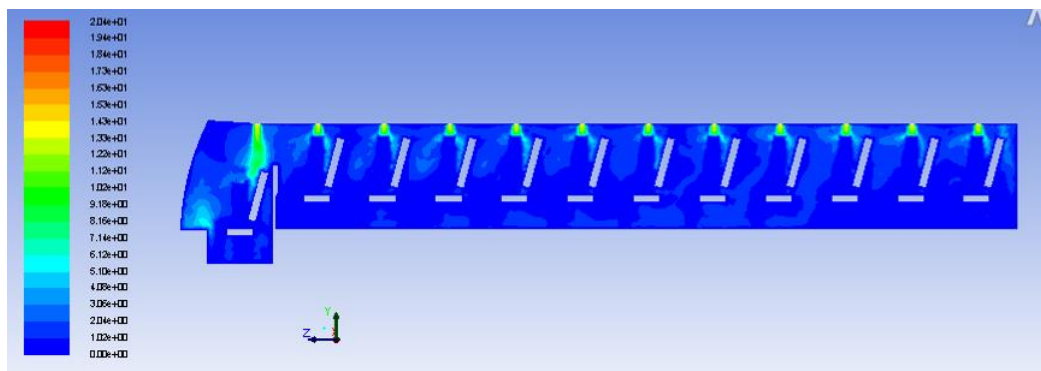
รูปที่ 3.3 ผลการจำลองอุณหภูมิที่ระนาบที่ 3 (กรณีมีผู้โดยสาร, การไหลแบบปั่นป่วน)



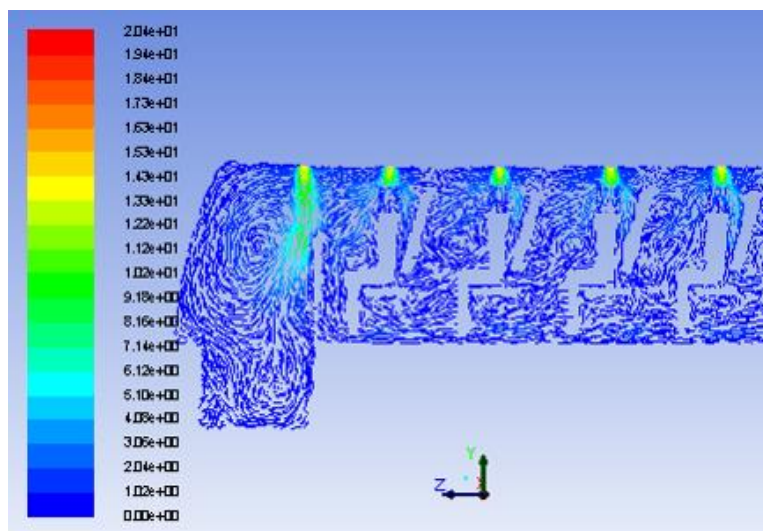
รูปที่ 3.4 ผลการจำลองความเร็วอากาศที่ระนาบที่ 1 (กรณีไม่มีผู้โดยสาร, การไหลแบบปั่นป่วน)



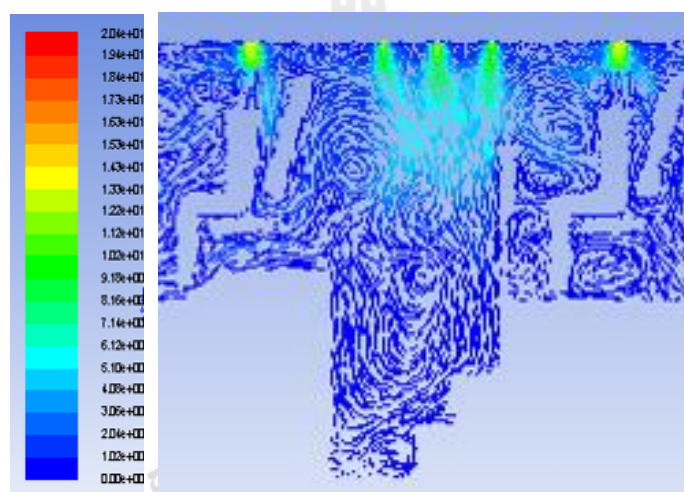
รูปที่ 3.5 ผลการจำลองความเร็วอากาศที่ระนาบที่ 2 (กรณีไม่มีผู้โดยสาร, การไหลแบบปั่นป่วน)



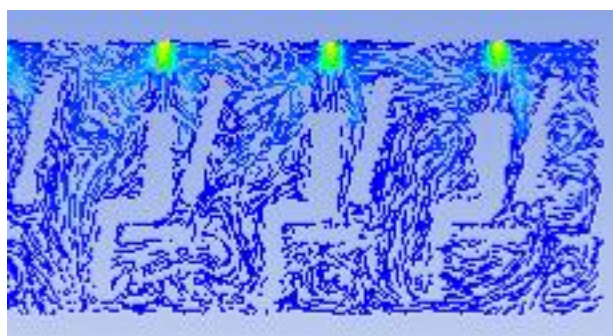
รูปที่ 3.6 ผลการจำลองความเร็วอากาศที่ระนาบที่ 3 (กรณีไม่มีผู้โดยสาร, การไหลแบบปั่นป่วน)



รูปที่ 3.7 ผลการจำลองการไหลเวียนของอากาศที่ระนาบที่ 1 “ส่วนหน้าห้องโดยสาร” (กรณีมีผู้โดยสาร)



รูปที่ 3.8 ผลการจำลองการไหลเวียนของอากาศที่ระนาบที่ 1 “ส่วนกลางห้องโดยสาร”
(กรณีมีผู้โดยสาร, การไหลแบบปั่นป่วน)



รูปที่ 3.9 ผลการจำลองการไหลเวียนของอากาศที่ระนาบที่ 1 “ส่วนกลางท้ายโดยสาร”
(กรณีมีผู้โดยสาร, การไหลแบบปั่นป่วน)

บทที่ 4

สรุปผล

จากผลการศึกษาและทำนายพฤติกรรมการระบายอากาศและการกระจายอุณหภูมิภายในห้องโดยสารของรถโดยสารปรับอากาศ ทั้ง 3 กรณี คือ

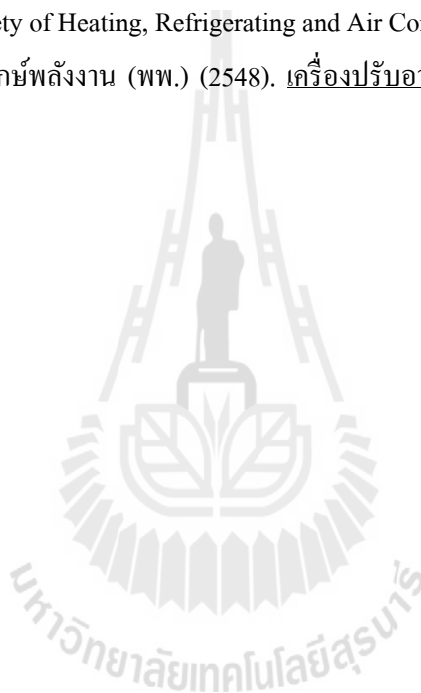
- 1) กรณีที่ไม่มีผู้โดยสาร บนห้องโดยสาร
- 2) กรณีมีผู้โดยสาร และมีการไหลแบบราบเรียบ
- 3) กรณีมีผู้โดยสาร และมีการไหลแบบปั่นป่วน

พบว่า เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านอุณหภูมิการ มีความเหมาะสมในการทำความเย็น เนื่องจากมี อุณหภูมิประมาณ 24 องศาเซลเซียส แต่เมื่อพิจารณาความเหมาะสมด้านความเร็ว ปรากฏผลว่าค่าความเร็วเฉลี่ยเกินมาตรฐาน ความสบาย เนื่องจากมีค่ามากถึง 2.04 เมตร/วินาที ซึ่งตามความสบายแล้วควรมีค่าอยู่ที่ช่วง 0.083 – 0.133 เมตรต่อวินาที แต่เมื่อพิจารณาการไหลเวียนอากาศภายในห้องโดยสารบริเวณส่วนหน้า ส่วนกลาง และ ส่วนท้ายของห้องโดยสาร พบว่าบริเวณส่วนกลางของห้องโดยสารไม่มีความเหมาะสมในการติดตั้งหัวจ่ายลมเย็น เนื่องจากทำให้เกิดการหมุนวนบริเวณบันไดทางขึ้นรถโดยสาร และทำให้เวียนอากาศที่ไม่พึงประสงค์จากบริเวณหน้าห้องสุขาที่บริเวณทางขึ้นได้



บรรณานุกรม

- Colella, F., Rein, G., Carvel, R., Reszka, P., and Torero, J.L. (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.
- ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2553. พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และไฟไนต์วอลูม
- David, C., Wilcox, DCW. (1994). Turbulence Modeling for CFD .Industries, Inc., La Canada, California.
- Versteeg, H. and Malalasekera, W. (1995). An Introduction to computational fluid dynamics : the finite volume method. ISBN: 0-470-23515-2.
- 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.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) (2548). เครื่องปรับอากาศในบ้าน. เอกสารเผยแพร่เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน.



ประวัตินักวิจัย

นายกีรติ สุกฤษณ์ เกิดเมื่อวันที่ 4 ตุลาคม พ.ศ. 2517 ปีชาล ภูมิลำเนาเป็นคนจังหวัดบุรีรัมย์ จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนประโคนชัยพิทยาคม จังหวัดบุรีรัมย์ ได้รับโควตาเพื่อศึกษาต่อระดับปริญญาตรี ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส) จังหวัดนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2536 (รุ่นที่ 1) สำเร็จการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล ในปี พ.ศ. 2540 หลังจากจบการศึกษาได้เข้าปฏิบัติงานเป็นผู้ช่วยสอนและวิจัย (รุ่นที่ 1) ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มทส. เป็นเวลา 2 ปี ในปี พ.ศ. 2542 ได้รับทุนผลิตและพัฒนาอาจารย์ (UDC) ของทบวงมหาวิทยาลัยเพื่อศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ในหลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2544 และได้รับการบรรจุเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มทส จากนั้นในปี พ.ศ. 2545 ได้รับทุน UDC ต่อเนื่องของทบวงมหาวิทยาลัยเพื่อศึกษาต่อระดับปริญญาเอกในหลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล มทส สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2550 ปัจจุบันเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มทส

สำหรับเรื่องความชำนาญและประสบการณ์ ผู้เขียนมีความชำนาญการทางด้านระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยเฉพาะด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โดยมีผลงานตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการอย่างต่อเนื่อง ทั้งในระดับประเทศและระดับนานาชาติ

