

Bài báo khoa học

## Mô phỏng số trong không gian cabin xe ô tô hướng tới sự tiện nghi nhiệt

Nguyễn Lữ Phương<sup>1\*</sup>, Trần Ngọc Phong<sup>1</sup>, Lê Tấn Đạt<sup>2</sup>, Nguyễn Đăng Khoa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Bộ môn Quản lý Tài nguyên và Môi trường, Khoa Môi trường, Trường Đại học Tài nguyên & Môi trường TP.HCM; nlfuong@hcmunre.edu.vn

<sup>2</sup> Công ty TNHH Việt Nam Samho; tandatlee123@gmail.com

<sup>3</sup> Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University; ndkhoa@kyudai.jp

\*Tác giả liên hệ: nlfuong@hcmunre.edu.vn; Tel.: +84-938592234

Ban Biên tập nhận bài: 5/2/2022; Ngày phản biện xong: 28/3/2022; Ngày đăng bài: 25/4/2022

**Tóm tắt:** Ngày nay, phương tiện di chuyển cá nhân như xe hơi đã trở nên phổ biến trên toàn thế giới và Việt Nam. Hầu hết các tài xế có xu hướng đóng kín các cửa sổ để tránh sự xâm nhập của các chất ô nhiễm từ bên ngoài; do đó, hệ thống thông gió tuần hoàn khép kín thường được sử dụng trong khoang xe. Nghiên cứu này áp dụng phương pháp tính toán khí động học để mô phỏng sự phân bố của không khí và nhiệt độ trong khoang xe được tái cấu trúc từ xe ô tô 5 cửa (hatchback) tại các vận tốc gió 1, 2 và 3 m/s, và nhiệt độ được thiết lập ở các trường hợp 15 và 25°C. Kết quả mô phỏng cho thấy sự phân bố chủ yếu của không khí ở vùng phía trước khoang xe và hướng gió được điều chỉnh lên trần cabin. Kết quả phân bố nhiệt độ cho thấy vùng xung quanh ghế lái và ghế phụ cạnh người lái có nền nhiệt cao do ảnh hưởng nhiệt từ kính lái; trong khi đó, luồng không khí tương đối mát hơn được ghi nhận ở vị trí băng ghế hành khách phía sau. Kết quả cho thấy sự thay đổi chế độ điều hòa nhiệt độ trong xe ô tô có thể ảnh hưởng đến các vùng trong khoang xe cũng như sự thoải mái của người ngồi trong xe.

**Từ khóa:** Khoang xe; Tính toán khí động lực học chất lưu; Phân bố dòng khí; Tiện nghi nhiệt.

### 1. Mở đầu

Từ quan điểm toàn cầu, với nhu cầu di chuyển theo tính chất của công việc và cuộc sống, con người đã dành nhiều thời gian hơn cho việc ở bên trong khoang xe. Bên cạnh đó, sự gia tăng nhanh chóng của phương tiện giao thông cá nhân là nguyên nhân chính gây ra tình trạng ô nhiễm không khí tại các thành phố lớn ở Việt Nam, trong đó có cả Thành phố Hồ Chí Minh [1–2]. Vì sự ô nhiễm không khí ngày càng nghiêm trọng nên đa phần những người điều khiển xe ô tô, nếu không vì những lý do khách quan bắt buộc phải mở cửa sổ khi tham gia giao thông, đều có xu hướng đóng kín các cửa sổ và chủ yếu sử dụng hệ thống điều hòa của xe để đảm bảo việc thông khí và điều hòa. Do đó, việc kiểm soát chất lượng không khí bên trong khoang xe dần thu hút được sự quan tâm của các nhà khoa học, đặc biệt là trong lĩnh vực thiết kế ô tô. Việc tiến hành các thực nghiệm để xác định nhiệt độ, vận tốc và hướng gió trong xe hiện nay gặp rất nhiều khó khăn về thời gian thực hiện dài, thiết bị phức tạp và điếm lấy mẫu [3], bên cạnh đó là các vấn đề liên quan đến ý đức đối với các nghiên cứu có sự tham gia của con người. Hiện nay, với sự phát triển mạnh mẽ của máy tính, các phần mềm mô phỏng dần trở nên phổ biến, và kỹ thuật tính toán động lực học chất lưu (*Computational Fluid Dynamics–CFD*) đã được công nhận rộng rãi trên toàn thế giới về tính chính xác cao trong việc mô phỏng sự phân bố của không khí và nhiệt độ trong các

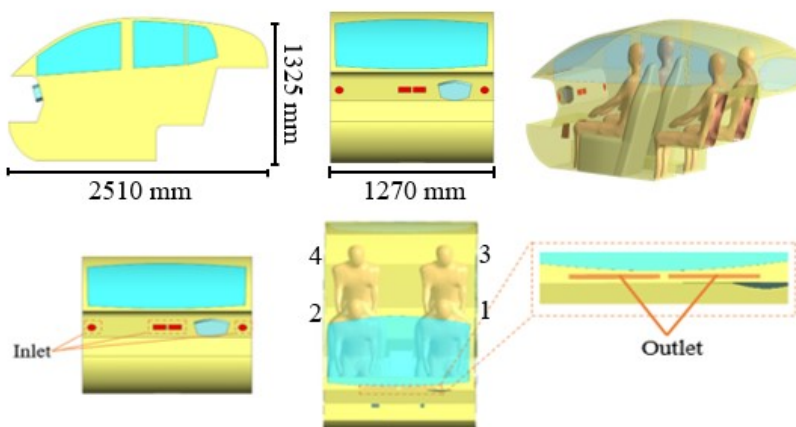
mô hình có cấu trúc phức tạp như ống thông gió [4], hệ hô hấp của người và động vật [5–7]. Abdul Nassar & Q.H. Nagpurwala. (2009) thực hiện nghiên cứu về phân bố nhiệt độ và tiện nghi nhiệt đối với hành khách bên trong xe [8]. Nghiên cứu này đánh giá môi trường nhiệt độ bên trong khoang xe dưới tác động của bức xạ nhiệt trong trường hợp xe có và không có hành khách. Họ chỉ ra rằng bức xạ mặt trời sẽ làm tăng nhiệt độ không khí bên trong khoang xe và sự chênh lệch về nhiệt độ của khoang phía trước và phía sau dẫn đến sự không thoải mái cho người ngồi khoang phía trước và sự dễ chịu hơn cho người ngồi ở khoang phía sau. [9] đã thực hiện mô phỏng ở môi trường bên trong xe, nghiên cứu này đánh giá một cách đơn giản môi trường nhiệt và khí động học bên trong cabin xe và so sánh với thực nghiệm. Kết luận rút ra rằng không khí tuần hoàn cục bộ được hình thành bởi ghế lái và ghế của hành khách bên cạnh lái xe, và sự đồng nhất giữa kết quả mô phỏng CFD và thực nghiệm cũng đã được tác giả khẳng định. Các nghiên cứu trên hoặc là chưa tích hợp mô hình manikin của hành khách trên xe hoặc việc xây dựng cơ thể người theo cấu trúc đơn giản, điều này có thể ảnh hưởng tới sự phân bố của dòng khí và nhiệt độ tại các vùng xung quanh hoặc trên bề mặt cơ thể người.

Dựa vào đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm phân tích sự phân bố của dòng khí và nhiệt độ của vùng khoang cabin xe với mô hình manikin thể hiện được các đặc điểm cấu trúc phức tạp của cơ thể người. Các đặc tính và sự phân bố của dòng khí trong xe được mô phỏng bằng cách áp dụng kỹ thuật tính toán động lực học chất lưu (CFD) tại các vận tốc gió 1, 2 và 3 m/s. Để đúng với mỗi quan tâm thực tế, việc mô phỏng và phân tích sự phân bố nhiệt độ trong khoang xe dưới tác động của bức xạ mặt trời cũng được tính đến trong nghiên cứu này bằng cách áp dụng mô hình Surface-to-Surface (S2S) tại các nhiệt độ ban đầu của hệ thống điều hòa gồm 15, 20 và 25°C.

## 2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

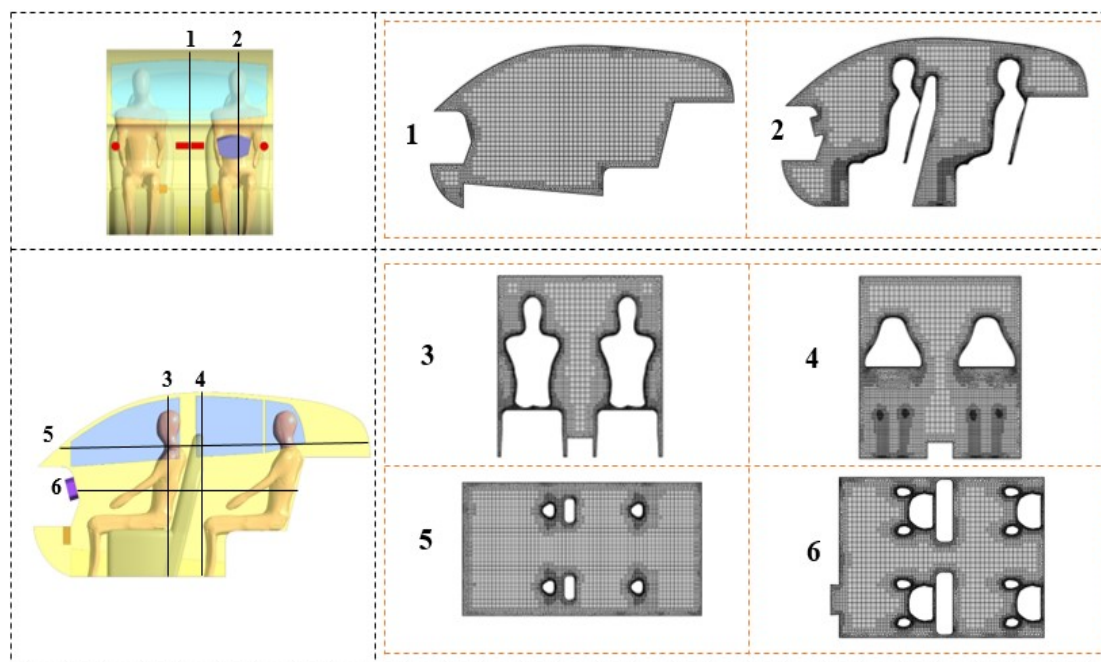
### 2.1. Tái cấu trúc mô hình số 3D của khoang xe và xây dựng lưới tính toán

Mô hình số 3D được thiết kế bằng phần mềm ANSYS SPACECLAIM 2020R1. Mô hình khoang xe có kích thước chiều dài 2510 mm, chiều ngang 1270 mm, chiều cao 1325 mm, bao gồm 2 ghế phía trước và dãy ghế phía sau, có 4 cửa thổi gió vào ở trên bề mặt bảng điều khiển và 2 cửa thoát gió ở bảng điều khiển hướng đến kính chắn gió. Mô hình thiết kế có 4 người ngồi bên trong bao gồm tài xế, người ngồi ở ghế phụ sát bên tài xế và hai người ngồi ở dãy ghế phía sau có vị trí ngồi sau tài xế và ngồi sau ghế phụ. Mô hình khoang xe và vị trí các cửa thông gió để cung cấp gió cho khoang xe (inlet) và cửa thông gió dùng cho gió thoát ra ngoài (outlet) được thể hiện trong Hình 1.



**Hình 1.** Mô hình khoang xe với tài xế và ba hành khách được sắp xếp: tài xế(1); người ngồi bên ghế phụ (2); người ngồi sau tài xế (3); người ngồi sau ghế phụ (4).

Ban đầu mô hình khoang xe xây dựng trên phần mềm ANSYS Spaceclaim (ANSYS Inc.) và sau đó được đưa vào phần mềm ANSYS Fluent Meshing Mode để tạo lưới poly-hexcore với tổng số lượng lưới là 4.141.046 ô lưới, trong đó lưới hexahedra (lưới cấu trúc) là 323.926 lưới và lưới polyhedra (Lưới phi cấu trúc) là 3.817.120 lưới. Loại lưới kết hợp này cho phép tận dụng tối đa tính chính xác của lưới cấu trúc trong vùng dòng khí rộng lớn và không phức tạp; trong khi đó, lưới phi cấu trúc được sử dụng tại các vùng sát thành mô hình để tạo dựng chính xác cấu trúc phức tạp của mô hình. Lưới kết hợp poly-hexcore đã được chứng minh có thể cung cấp kết quả mô phỏng chính xác và giảm thời gian tính toán [10]. Bên cạnh đó, để đảm bảo tính chính xác của mô phỏng tại các vị trí gần tường và bề mặt cơ thể người, 10 lớp prism đã được xây dựng với độ dày lớp đầu tiên là 0.1mm với tỉ số gia tăng cho các lớp tiếp theo là 1,2. Lưới sau khi được tạo sẽ được kiểm tra chất lượng lưới (orthogonal quality) ở phần mềm Ansys Fluent và đảm bảo đạt yêu cầu để tiến hành chạy mô phỏng. Cấu trúc lưới của mô hình được thể hiện trong Hình 2.



Hình 2. Cấu trúc lưới của mô hình.

## 2.2. Phương pháp mô phỏng

### 2.2.1. Mô phỏng dòng khí

Dòng không khí trong khoang xe được mô phỏng bằng cách tận dụng nguồn lực máy tính để giải bộ phương trình Reynolds Averaged Navier – Stokes như sau (Phương trình 1).

$$\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{U}_i \bar{U}_j) = -\frac{1}{\rho_g} \frac{\partial \bar{p}_g}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 \bar{U}_i}{\partial x_j^2} - \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u'_i u'_j}) \quad (1)$$

Trong đó  $\bar{U}_i, \bar{U}_j$  là vận tốc trung bình theo hướng x, y và z,  $p_g$  là áp suất,  $\rho_g$  là mật độ của lưu chất,  $\mu_g$  là độ nhớt và  $\tau_{ij} = \overline{u'_i u'_j}$  là ứng suất Reynolds. Để giải được phương trình 1, mô hình rối Reynolds thấp kiểu k- $\epsilon$  (Abe Kondoh Nagano) đã được sử dụng. Mô phỏng được thực hiện ở trạng thái ổn định (steady simulation) cho dòng khí không nén được. Các điều kiện biên được sử dụng cho mô phỏng dòng khí được tóm tắt trong Bảng 1.

**Bảng 1.** Thông số điều kiện biên chạy dòng khí.

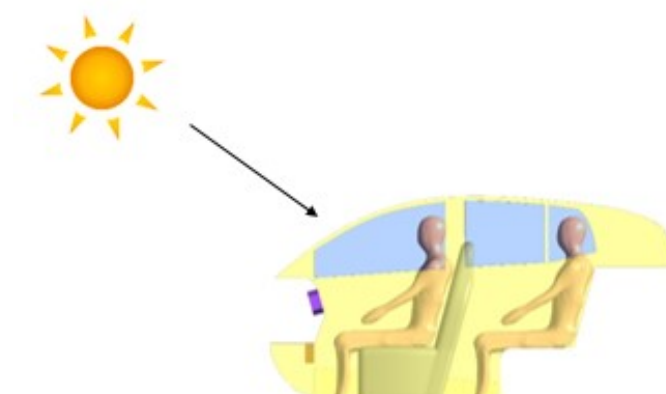
Mô hình rối	Renoylds thấp kiểu k- $\epsilon$ ( <i>Abe Kondoh Nagano</i> )
Điều kiện biên của tường	Không trượt (no slip)
Thuật toán	SIMPLE
Cơ chế đối lưu	Second Order Upwind
Cường độ rối	10%
Điều kiện dòng không khí vào	$v_1 = 1 \text{ m/s}$ ; $v_2 = 2 \text{ m/s}$ ; $v_3 = 3 \text{ m/s}$

### 2.2.2. Mô phỏng phân bố nhiệt độ

Sau khi có kết quả dòng khí, sự phân bố nhiệt độ trong khoang xe được mô phỏng dựa trên phương trình bảo toàn năng lượng. Đánh giá về nhiệt độ trong khoang xe được chia ra 2 trường hợp:

- Trường hợp A: Trường hợp này giả sử sự phân bố nhiệt độ trong xe chỉ bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ của hệ thống điều hòa.

- Trường hợp B: Trường hợp này về cơ bản là tương tự như trường hợp A, nhưng sự tiện nghi nhiệt trong xe được mô phỏng dưới tác động của bức xạ mặt trời bằng cách áp dụng mô hình Surface-to-Surface (S2S Model). Xe sẽ bị tác động bởi yếu tố điều kiện nhiệt độ bên ngoài là ánh nắng chiếu trực tiếp đối diện vào kính chắn gió của xe (Hình 3), thời gian được sử dụng để thiết lập cho việc tính toán là ngày 2 tháng 6 năm 2021 vào lúc 13 giờ và lượng bức xạ năng lượng mặt trời tại thời điểm này là  $321 \text{ W/m}^2$ .



**Hình 3.** Hướng chiếu của mặt trời vào xe.

Các thông số điều kiện biên cho việc chạy nhiệt độ được liệt kê trong (Bảng 2). Ngoài ra, thông số vật liệu (<https://www.saint-gobain-sekurit.com/global-excellence/our-production-processes/glossary>) được thể hiện (Bảng 3) và các đặc tính (khả năng hấp thụ – khả năng truyền tải) cho bề mặt kính [8] cũng được xác định. Các thông số này cần được thiết lập để tính toán lượng hấp thụ, bức xạ mặt trời truyền qua, phản xạ được thể hiện trong (Bảng 4).

**Bảng 2.** Thông số điều kiện biên chạy nhiệt độ.

	Trường hợp A	Trường hợp B
Điều kiện nhiệt độ dòng không khí	$v_1 = 1 \text{ m/s}$ ( $T = 15^\circ\text{C}$ ) $T_{\text{skin}} = 34^\circ\text{C}$	$v_1 = 1 \text{ m/s}$ ( $T^\circ = 15^\circ\text{C}, 25^\circ\text{C}$ ) $v_2 = 3 \text{ m/s}$ ( $T^\circ = 15^\circ\text{C}$ ) $T_{\text{skin}} = 34^\circ\text{C}$ Bức xạ mặt trời = $321 \text{ W/m}^2$

**Bảng 3.** Thông số vật liệu.

Bề mặt	Tỷ trọng (kg/m <sup>3</sup> )	Nhiệt dung riêng (J/kg·K)	Dẫn nhiệt (W/m·K)	Bề dày (m)
Kính chắn gió	2500	800	0,8	0.00536
Kính các cửa sổ	2500	800	0,8	0.004

**Bảng 4.** Tính chất quang học của bề mặt kính xe.

Bề mặt	Sự hấp thụ			Sự phản xạ		
	Cường độ bức xạ	Tia hồng ngoại	Khuếch tán	Cường độ bức xạ	Tia hồng ngoại	Khuếch tán
Kính chắn gió	0,14	0,65	0,1	0,76	0,25	0,5
Kính các cửa sổ	0,14	0,65	0,1	0,76	0,25	0,5

### 3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

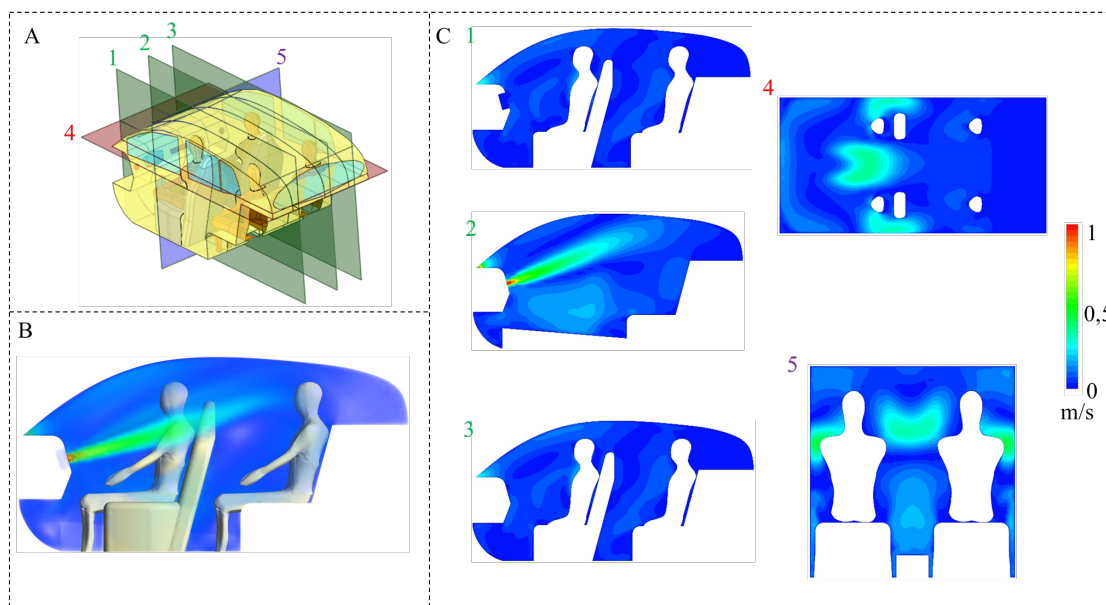
#### 3.1. Phân bố dòng không khí

Sự phân bố của dòng không khí trong khoang xe chưa được kiểm chứng tính chính xác một cách cụ thể do sự khó khăn trong việc tiến hành thực nghiệm. Tuy nhiên, các nghiên cứu tiêu chuẩn về ứng dụng của kỹ thuật CFD trong không gian kín đã được tiến hành nhằm đưa ra các hướng dẫn để đạt được các kết quả tin cậy trong việc mô phỏng phân bố dòng không khí và nhiệt độ [11–12]. Nhìn chung, các điều kiện biên về mô phỏng dòng không khí và nhiệt độ trong nghiên cứu này được thiết lập tuân theo các hướng dẫn tiêu chuẩn. Cụ thể, mô hình rối Reynolds thấp kiểu  $k-\epsilon$  (Abe Kondoh Nagano) đã được sử dụng, mô hình rối này đã được chứng minh là cho ra kết quả đáng tin cậy về sự phân bố của dòng khí và nhiệt độ. Lưới tính toán có độ chính xác cao và giá trị  $y^+ < 1$  tại các vùng thành mô hình và bề mặt người được đảm bảo. Kết quả về dòng không khí và nhiệt độ trong nghiên cứu này được thực hiện với điều kiện dòng khí trạng thái ổn định (steady simulation); do đó, các kết quả không phụ thuộc vào thời gian.

Hình 4 thể hiện phân bố của dòng khí trong khoang xe tại vận tốc đầu vào 1 m/s. Để mô tả rõ hơn sự phân bố của dòng không khí trong khoang xe, các mặt cắt dọc (mặt số 1, 2 và 3), mặt cắt đứng (mặt số 4) và mặt cắt ngang (mặt số 5) được sử dụng. Thang màu thể hiện độ lớn của gió được thổi từ quạt, với vận tốc cao được thể hiện bởi màu đỏ và vận tốc thấp được biểu thị bởi màu xanh dương. Nhìn chung, kết quả cho thấy vận tốc đạt cực đại ở vị trí ngay quạt thổi và giảm dần về phía sau của cabin (Hình 4b), dòng không khí sau khi lưu thông trong xe sẽ quay ngược trở lại ra phía trước và đi ra khỏi khoang xe tại vị trí thoát khí ngay phía dưới kính chắn gió. Bên cạnh đó, sự phân bố của dòng khí ở phần từ đầu gối trở xuống là tương đối ít, điều này có nghĩa là sự tuần hoàn của không khí ở vùng này hầu như ít diễn ra.

Như có thể thấy từ sự phân bố 2D của dòng không khí theo các mặt cắt, gió được thổi từ vị trí quạt ở giữa khoang xe dễ dàng lưu thông lên phía trên của trần xe và hướng thẳng ra sau do không bị cản trở bởi hành khách (Hình 4c, mặt cắt số 2). Trong khi đó, tại các vị trí quạt phía hai bên sát với thành xe, xu hướng thổi ra phía dãy ghế sau của khoang xe cũng được ghi nhận; tuy nhiên, lúc này dòng khí bị cản trở bởi phần vai của tài xế và hành khách cạnh tài xế (Hình 4c, mặt cắt số 4 và 5). Việc liên tục bị gió thổi trực tiếp vào vùng vai và cổ trong thời gian dài có thể khiến tài xế và người ngồi tại vị trí bên cạnh cảm thấy không thoải mái. Trong khi đó, tại vị trí phía trước mặt của tài xế và hành khách không ghi nhận luồng gió thổi trực tiếp (Hình 4C, mặt cắt số 1 và 3). Có thể thấy, sự phân bố không khí bị ảnh hưởng rất lớn bởi số lượng hành khách trong khoang xe và vị trí ngồi.





**Hình 4.** (A) Vị trí các mặt cắt bao gồm mặt cắt dọc (mặt 1, 2 và 3), mặt cắt đứng (mặt 4) và mặt cắt ngang (mặt 5). (B) Sự phân bố 3D của dòng không khí trong khoang xe. (C) Sự phân bố 2D của dòng khí theo các mặt cắt.

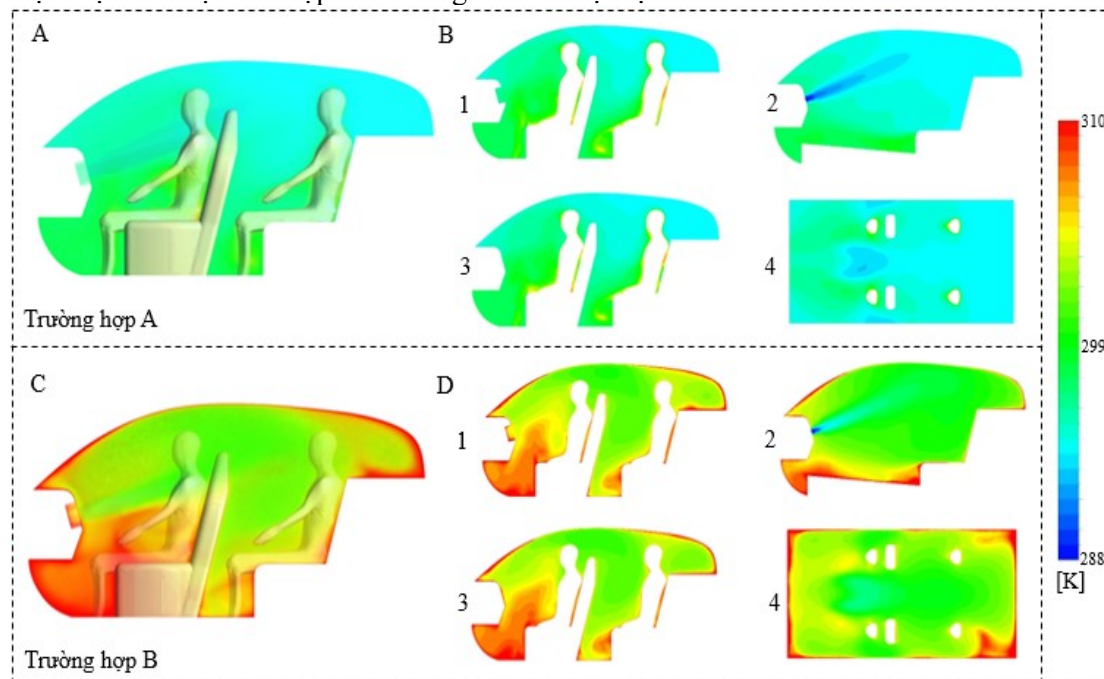
### 3.2. Phân bố nhiệt độ

#### 3.2.1. Sự tác động của bức xạ mặt trời tới tiện nghi nhiệt trong khoang xe

Hình 5 thể hiện rõ sự chênh lệch nhiệt độ ở môi trường bên trong khoang xe giữa trường hợp không có (trường hợp A) và có (trường hợp B) sự tác động của bức xạ mặt trời. Thang màu thể hiện nhiệt độ trong xe, với nhiệt độ cao được thể hiện bởi màu đỏ và nhiệt độ thấp được biểu thị bởi màu xanh dương. Cụ thể, nhiệt độ cao hơn được ghi nhận ở trường hợp B trong toàn bộ khoang xe (Hình 5A, C). Trong cả hai trường hợp, nhiệt độ của hàng ghế phía trước luôn cao hơn so với hàng ghế sau (Hình 5B và D, mặt cắt số 2), điều này là do luồng không khí từ 4 cửa thông gió liên tục cung cấp gió cho khoang phía sau khiến cho việc tuần hoàn có hiệu quả trong việc trộn lẫn không khí lạnh với không khí nóng để tạo ra một nhiệt độ đồng nhất hơn ở khoang phía sau. Thêm vào đó, nhiệt độ tại vùng từ ngực hành khách trở xuống cao hơn khi được so sánh với phần phía trên (Hình 5B và D, mặt cắt số 1 và 3), điều này là do sự tuần hoàn không khí kém ở vùng này như đã đề cập ở phần trước. Tuy vậy, sự khác biệt về phân bố nhiệt độ cục bộ trong khoang xe của trường hợp chịu sự tác động của bức xạ mặt trời (trường hợp B) là rõ ràng hơn rất nhiều so với trường hợp A.

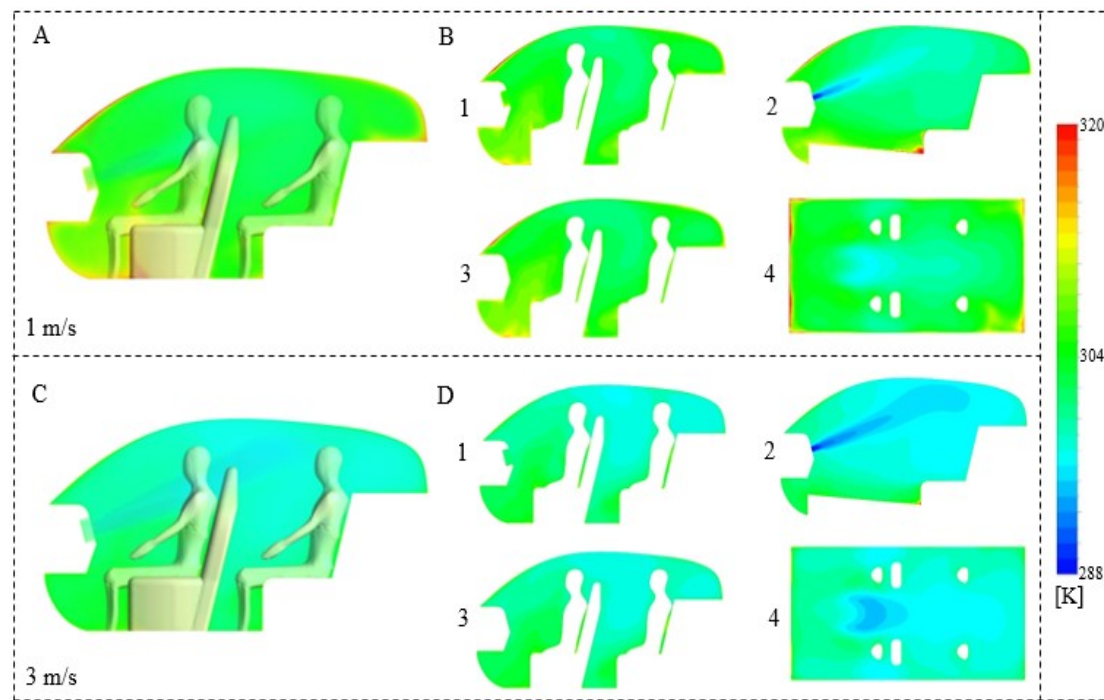
Cụ thể hơn, dưới tác động của bức xạ mặt trời, trường hợp B cho thấy sự phân bố nhiệt độ tại vùng phía trước cơ thể, vùng chân của tài xế cùng người ngồi bên ghế phụ, là khoảng 40°C, cao hơn khoảng 9°C khi so với nhiệt độ tại vùng phía trước mặt của tài xế và hành khách bên cạnh tài xế (khoảng 31°C). Khoang hành khách phía sau thể hiện nhiệt độ không khí thấp hơn khoang phía trước, nhiệt độ xung quanh ở phần thân trên và phần thân dưới của hành khách phía sau ở khoảng 29°C đến 37°C, chênh lệch khoảng 8°C (Hình 5D, mặt cắt số 1 và 3). Sự chênh lệch lớn này có thể được giải thích là vì mặt trời chiếu trực tiếp vào vùng kính chắn gió phía trước (như đã thể hiện ở Hình 3), lượng bức xạ lớn được hấp thụ trực tiếp bởi kính chắn gió thì một lượng nhiệt sẽ phản xạ trở lại môi trường bên ngoài, một phần nhiệt được giữ lại trên bề mặt kính và một phần nhiệt sẽ truyền qua bề mặt rồi đi vào bên trong khoang xe làm tăng nhiệt độ bề mặt kính chắn gió, vùng thân xe và nhiệt độ ở vùng phía trước khoang xe (Hình 5D, mặt cắt số 4). Nhiệt độ cao ghi nhận ở vùng chân tài xế là hệ quả của việc không khí ở khu vực này liên tục bị làm nóng bởi bức xạ mặt trời và

sự tuần hoàn không khí kém. Kết quả này cho thấy bức xạ mặt trời ảnh hưởng rất lớn tới sự phân bố nhiệt độ cục bộ trong khoang xe. Do đó, các kết quả và thảo luận tiếp theo được thực hiện với việc tích hợp ảnh hưởng của bức xạ mặt trời.



**Hình 5.** Phân bố nhiệt độ trong khoang xe tại vận tốc dòng không khí 1 m/s – nhiệt độ 15°C (A–B) không chịu tác động của bức xạ nhiệt (trường hợp A) và (C–D) chịu tác động của bức xạ nhiệt (trường hợp B).

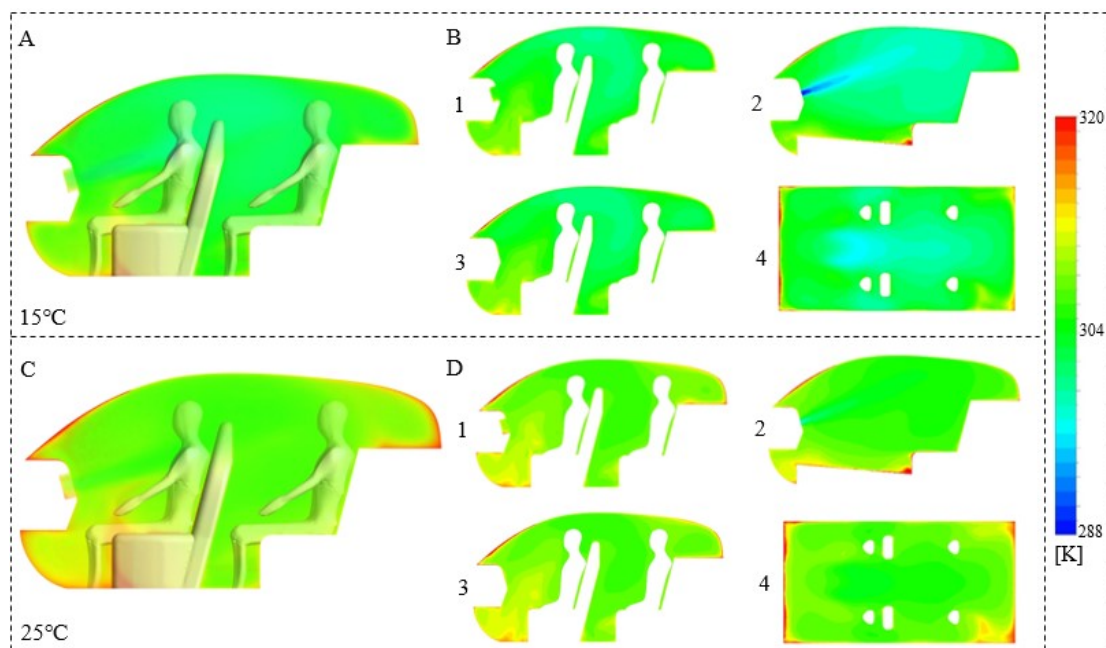
### 3.2.2. Tác động của tốc độ quạt thổi lên sự phân bố nhiệt độ



**Hình 6.** Phân bố nhiệt độ trong khoang xe dưới tác động của bức xạ nhiệt tại nhiệt độ 15°C tại các tốc độ gió thổi (A–B) 1 và (C–D) 3 m/s.

Hình 6 thể hiện sự phân bố nhiệt độ trong xe khi gia tăng tốc độ quạt thổi từ 1 m/s lên 3 m/s tại cùng nhiệt độ của dòng khí là 15°C. Khi tăng vận tốc dòng khí đầu vào lên 3 m/s. Nhiệt độ không khí phần trước mặt tài xế là khoảng 23°C (giảm khoảng 8°C so với trường hợp 1 m/s) trong khi nhiệt độ không khí xung quanh phần thân trở xuống là khoảng 31°C (giảm khoảng 9°C so với trường hợp 1 m/s). Trong khi đó, nhiệt độ xung quanh hành khách phía sau ở phần thân trên và phần thân dưới được duy trì ở khoảng 23°C đến 26°C, sự chênh lệch nhiệt độ không khí xung quanh của hành khách phía sau không quá lớn, chỉ khoảng 3°C nên sẽ tạo ra cảm giác thoải mái hơn cho hành khách ở khoang phía sau. Có thể thấy rằng khi tăng tốc độ gió của quạt, mặc dù sự chênh lệch nhiệt độ ở vị trí phần thân trên và phần thân dưới ở khoang phía trước vị trí của tài xế và người ngồi ghế phụ vẫn tương đối lớn nhưng vẫn tạo ra cảm giác dễ chịu cho người ngồi vị trí này. Trong khi đó, ở khoang ghế phía sau, sự chênh lệch nhiệt độ ở phần thân trên và thân dưới chỉ còn khoảng 3°C; do đó, hành khách tại vị trí này cảm thấy rất thoải mái vì nhiệt độ được duy trì trong khoảng 23–26°C. Do đó, việc điều chỉnh tốc độ gió phù hợp sẽ giúp cho hành khách trên xe có được sự thoải mái nhiệt tốt hơn.

### 3.2.3. Tác động của thay đổi nhiệt độ điều hòa lên sự phân bố nhiệt độ



**Hình 7.** Phân bố nhiệt độ trong khoang xe dưới tác động của bức xạ nhiệt tại vận tốc 1m/s tại các mức nhiệt độ của điều hòa (A–B) 15°C và (C–D) 25°C.

Hình 7 thể hiện sự phân bố nhiệt độ trong xe khi gia tăng nhiệt độ từ hệ thống điều hòa từ 15°C lên 25°C tại cùng vận tốc dòng khí là 1 m/s. Tại vận tốc 1 m/s – 25°C, nhiệt độ không khí phần trước mặt tài xế là khoảng 37°C (tăng khoảng 5°C so với nhiệt độ 15°C) trong khi nhiệt độ không khí xung quanh phần thân trở xuống là khoảng 41°C (tăng khoảng 4°C so với nhiệt độ 15°C). Trong khi đó, nhiệt độ xung quanh hành khách phía sau ở phần thân trên và phần thân dưới được duy trì ở khoảng 31°C đến 35°C, sự chênh lệch nhiệt độ không khí xung quanh của hành khách phía sau khoảng 4°C. Có thể thấy rằng khi tăng mức nhiệt độ của hệ thống điều hòa, mặc dù sự chênh lệch nhiệt độ ở vị trí phần thân trên và phần thân dưới ở khoang phía trước và khoang phía sau không quá lớn nhưng nhiệt độ trong khoang xe lại tương đối cao nên sẽ gây ra cảm giác khó chịu cho tất cả hành khách dù ở khoang phía trước hay khoang phía sau. Từ đó, thấy được rằng nhiệt độ đầu vào càng

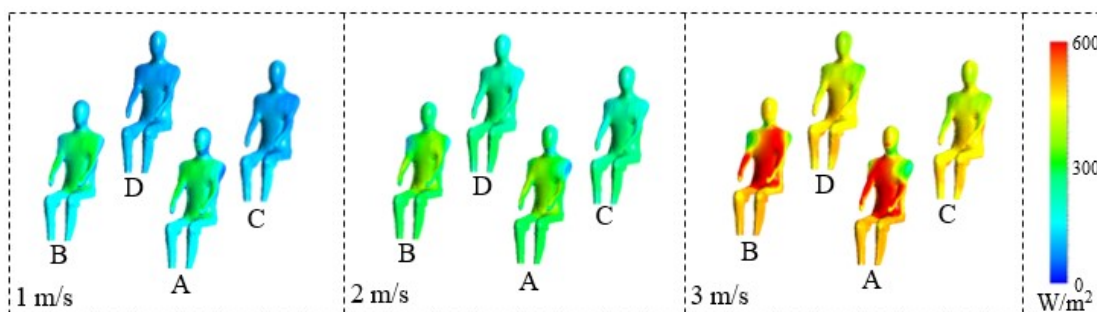


tăng thì lượng nhiệt trung bình phân bố trong khoang xe cũng sẽ tăng lên. Qua đó, có thể điều chỉnh nhiệt độ phù hợp để tạo ra sự tiện nghi nhiệt tốt nhất cho người ngồi trong xe.

### 3.3. Thông lượng nhiệt trong cabin xe

Hình 8 thể hiện sự phân bố thông lượng nhiệt của toàn cơ thể tại cùng nhiệt độ đầu vào ( $15^{\circ}\text{C}$ ) và các mức vận tốc 1, 2 và 3 m/s. Thông lượng nhiệt tương đối cao ở vùng ngực, bụng của tài xế cùng người ngồi bên ghế phụ do sự phân bố của không khí có nhiệt độ cao tại vùng này như đã thảo luận ở trên (Hình 6). Với hai người ngồi phía sau, sự phân bố thông lượng nhiệt khá đồng đều trên toàn bề mặt cơ thể vì theo kết quả Hình 6 sự chênh lệch nhiệt độ ở vùng đầu, ngực, bụng, chân không đáng kể.

Khi tăng vận tốc của quạt lên thì sự phân bố thông lượng nhiệt của cơ thể cũng tăng lên, theo kết quả thể hiện ở Hình 6 có thể lý giải điều này là vì ở cùng nhiệt độ khi tăng vận tốc dòng khí đầu vào nhiệt độ trong khoang xe sẽ giảm, qua đó sự chênh lệch giữa nhiệt độ không khí xung quanh với nhiệt độ bề mặt cơ thể ( $34^{\circ}\text{C}$ ) sẽ tăng lên dẫn sự tăng lên tỉ lệ thuận của thông lượng nhiệt trên cơ thể người. Điều này thể hiện rằng sự trao đổi nhiệt diễn ra chủ yếu tại vùng ngực và bụng khi mặt trời chiếu trực tiếp từ phía trước kính chắn gió tới.



**Hình 8.** Sự phân bố thông lượng nhiệt của cơ thể người trong khoang xe dưới tác động của bức xạ nhiệt ở vận tốc (A) 1, (B) 2 và (C) 3 m/s và nhiệt độ  $15^{\circ}\text{C}$  ( $\text{W/m}^2$ ) (A: tài xế; B: người ngồi bên ghế phụ; C: người ngồi sau tài xế; D: người ngồi sau ghế phụ).

## 4. Kết luận

Phương pháp tính toán động lực học dòng khí/lỏng (Computational Fluid Dynamics – CFD) có thể mô tả được sự phân bố định lượng cục bộ của dòng không khí và nhiệt độ trong khoang xe hơi, điều mà có thể rất khó đạt được đối với thực nghiệm. Kết quả mô phỏng không khí cho thấy sự phân bố không đều của không khí trong khoang xe giữa hàng ghế phía trước và sau, cũng như phần trên và dưới của khoang xe. Kết quả về nhiệt độ chỉ ra rằng bức xạ mặt trời có ảnh hưởng rất lớn đối với sự thoải mái nhiệt trong khoang xe, và việc thay đổi vận tốc của quạt thổi có thể cải thiện được sự thoải mái nhiệt của các hành khách trong xe. Từ kết quả thu được, nhiệt độ và vận tốc gió của hệ thống điều hòa cần được điều chỉnh lần lượt ở mức  $15^{\circ}\text{C}$  và 3 m/s để tạo ra nhiệt độ thoải mái (khoảng dưới  $30^{\circ}\text{C}$ ) cho khoang xe khi sử dụng xe trong khoảng thời gian có cường độ bức xạ mặt trời lớn (khoảng vào giữa trưa). Thông lượng nhiệt trên cơ thể hành khách đạt giá trị cao tại vùng ngực và bụng trở xuống, đặc biệt là vị trí của tài xế và ghế phụ bên cạnh tài xế.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu và chỉnh sửa bài báo: Nguyễn Lữ Phương; Xây dựng mô hình máy tính: Trần Ngọc Phong, Lê Tấn Đạt; Tính Toán: Trần Ngọc Phong, Nguyễn Đăng Khoa, Phân tích và trình bày: Trần Ngọc Phong, Nguyễn Đăng Khoa.

**Lời cam đoan:** Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

### Tài liệu tham khảo

1. Ho, Q.B.; Clappier, A.; Zarate, E.; van den Bergh, H. Air Quality Meso-Scale Modeling in Ho Chi Minh City Evaluation of Some Strategies' Efficiency To reduce pollution. *J. Sci. Dev. Technol.* **2006**, 5(1), 65–73.
2. Ho, B.Q. Modeling PM10 in Ho Chi Minh City, Vietnam and evaluation of its impact on human health. *Sustain. Environ. Res.* **2017**, 27(2), 95–102. doi: 10.1016/j.serj.2017.01.001.
3. Zhang, B.; Xue, T.; Hu, N. Analysis and improvement of the comfort performance of a car's indoor environment based on the predicted mean vote–predicted percentage of dissatisfied and air age. *Adv. Mech. Eng.* **2017**, 9(4), 1–10. doi: 10.1177/1687814017695693.
4. Phuong, N.L.; Ito, K. Experimental and numerical study of airflow pattern and particle dispersion in a vertical ventilation duct. *Build. Environ.* **2013**, 59, 466–481. doi:10.1016/j.buildenv.2012.09.014.
5. Phuong, N.L.; Ito, K. Convective flow and heat transfer in the human respiratory system : A computational fluid dynamics approach. 2013, pp. 2–5.
6. Phuong, N.L.; Ito, K. Investigation of flow pattern in upper human airway including oral and nasal inhalation by PIV and CFD. *Build. Environ.* **2015**, 94, 504–515. doi: 10.1016/j.buildenv.2015.10.002.
7. Phuong, N.L.; Van Quang, T.; Khoa, N.D.; Kim, J.W.; Ito, K. CFD analysis of the flow structure in a monkey upper airway validated by PIV experiments. *Respir. Physiol. Neurobiol.* **2020**, 271, 103304. doi: 10.1016/j.resp.2019.103304.
8. Adhikari, V.P.; Nassar, A.; Nagpurwala, Q.H. Numerical Studies on the Effect of Cooling Vent Setting and Solar Radiation on Air Flow and Temperature Distribution in a Passenger Car. *SAE Tech. Pap.* **2009**, 2009–Decem. doi: 10.4271/2009–28–0048.
9. Danca, P.; Bode, F.; Nastase, I.; Meslem, A. On the Possibility of CFD Modeling of the Indoor Environment in a Vehicle. *Energy Procedia* **2016**, 112, 656–663. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.1133.
10. Zore, K.; Sasanapuri, B.; Parkhi, G.; Varghese, A. Ansys Mosaic Poly–Hexcore Mesh For High–Lift Aircraft Configuration. Proceeding of 21<sup>st</sup> Annual CFD Symposium, 2019, pp. 1–11.
11. Ito, K. et al. CFD Benchmark Tests for Indoor Environmental Problems: Part 1 Isothermal/Non-Isothermal Flow in 2D and 3D Room Model. *Int. J. Archit. Eng. Technol.* **2015**, 2(1), 1–22. doi: 10.15377/2409–9821.2015.02.01.1.
12. Ito, K. et al. CFD Benchmark Tests for Indoor Environmental Problems: Part 3 Numerical Thermal Manikins. *Int. J. Archit. Eng. Technol.* **2015**, 2(1), 50–75. doi: 10.15377/2409–9821.2015.02.01.3.

## **Numerical simulation towards thermal comfort in car cabin**

**Nguyen Lu Phuong<sup>1\*</sup>, Tran Ngoc Phong<sup>1</sup>, Le Tan Dat<sup>2</sup>, Nguyen Dang Khoa<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of Environment, Hochiminh City – University of Natural resources and Environment; nlphuong@hcmunre.edu.vn

<sup>2</sup> Vietnam Samho CO.,LTD; tandatlee123@gmail.com

<sup>3</sup> Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University; ndkhoa@kyudai.jp

**Abstract:** Currently, personal transportation media, i.e., car, has become popular in the world and Vietnam. Most of car owners intendedly close windows to further prevent an infiltration of toxic substances from ambient environment; therefore, an air circulation system becomes dominant inevitably. Again this background, this study involving the computational fluid dynamics (CFD) technique to computationally predict the distribution of airflow patterns and temperature in the cabin at fan speed of 1, 2 and 3 m/s for set up temperature at 15, 20 and 25°C. The simulation results show the mostly distribution of supplied air around driver and front passenger of cabin, and the upward direction was also observed. The temperature results indicate the warm air appeared in the front seat as a consequence of solar radiation effects, while the cooler air was recorded in the back seat. These results imply the adjustment of air-conditioning function can affect the thermal comfort of passengers in the cabin.

**Keywords:** Cabin; Computational fluid dynamics; Airflow distribution; Thermal comfort.