

자동차 시트 쿠션의 통풍 성능과 열적 안락성 해석

방우석¹⁾ · 이광주²⁾

한국기술교육대학교 대학원 기계공학과¹⁾ · 한국기술교육대학교 기계공학부²⁾

Analysis of Ventilation Performance and Thermal Comfort in Automotive Seat Cushions

Wooseok Bang¹⁾ · Kwangju Lee^{*2)}

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Graduate School of KoreaTech, Chungnam 31253, Korea

²⁾School of Mechanical Engineering, KoreaTech, Chungnam 31253, Korea

(Received 20 August 2025 / Revised 20 October 2025 / Accepted 27 October 2025)

Abstract : This study investigates the ventilation performance and the thermal comfort of automotive seat cushions. Two prototypes, which are identical in material and hole size but different in hole arrangement, were analyzed by using Altair SimLab and ESI VSS software. Airflow distribution was evaluated under two conditions: without a seated dummy, and with an HM50KR dummy, accounting for both cushion deformation and the direct blockage of airflow caused by the dummy. Temperature reduction at the contact surface between the dummy and the cushion cover was also examined as an indicator of thermal comfort. Although prototype 1 produced higher airflow when the dummy was seated, prototype 2 achieved greater temperature reduction at the contact surface. This result demonstrates that airflow through the seat cover does not directly correspond to thermal comfort. Therefore, ventilated seat performance should be studied based on cooling effects at the seat-occupant interface rather than considering airflow alone.

Key words : Ventilated seat(통풍 시트), Thermal comfort(열적 안락성), Cushion deformation(시트 쿠션 변형), Flow rate(유량), Temperature distribution(온도 분포)

1. 서론

차량용 시트에서 탑승자의 열적 안락성의 중요성이 점차 증가하고 있다. 이에 따라서, 자동차 시트에서 난방 및 통풍 기능의 적용이 점차 확대되고 있다. 자동차 시트에서 탑승자의 열적 안락성에 대한 주요 연구는 다음과 같다.

Velivelli 등¹⁾은 자동차 내 환경에서 열적 안락성을 향상시키기 위한 시트의 냉각/난방의 영향에 대하여 연구하였다. 이들은 체임버 내에서 온도 해석을 위한 전산 모델을 개발하였는데, 체임버에서 측정한 결과와 전산 모델을 사용하여 해석한 결과 사이의 오차가 1 °C 이내에 불과하여, 개발한 전산 모델의 정확성을 보여주었다. Fojtlín 등²⁾은 시트에서 1차원 열 모델을 개발하였으며,

이를 통하여 열선 시트와 통풍 시트의 접촉 부위에서 열 유속(Heat flux)을 예측할 수 있었다. Rosaria 등³⁾은 온도 변화에 대하여 인체의 가장 민감한 부위를 확인하였다. 이들은 인체의 하부보다 인체의 상부에서 온도의 영향이 감지가 더 잘되는 것을 확인하였다. Fojtlín 등⁴⁾은 승차자 주위에 온도 센서를 배치하여 승차자의 열적 안락성에 대한 맞춤형 HVAC(Heating, Ventilation, and Air Conditioning) 제어를 위한 정보를 얻을 수 있었다. Kwon 등⁵⁾은 유량만을 확인하고 평가하였던 기존 방식에서 벗어나 유량과 더불어 시트 표면에서의 온도 변화를 예측하고 실제 제품을 제작하여 평가함으로써 탑승자에게 전달되는 열적 안락성을 확인하였다. Hatoum 등⁶⁾은 승객의 열적 안락성을 보장하는 최적의 Back Cooling

*Corresponding author, E-mail: klee@koreatech.ac.kr

^{*}This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

System을 연구하였다. 이들은 내장형 Heat pipe system을 개발하여 승객의 편안함을 향상시키는 연구를 진행하였다.

시트의 열적 안락성과 유량 사이에는 밀접한 연관성이 있을 것으로 추측된다. Kook 등⁷⁾은 통풍 시트의 유량 성능을 향상시키기 위해 시스템의 설계 요소를 정의하여 요소의 영향도를 분석하였다. 이들은 블로워에서는 덕트 재질이 그리고 커버링에서는 펀칭 홀의 간격이 통풍 유량에 가장 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다. Oh 등⁸⁾은 자동차 시트 쿠션의 변형을 고려하여 통풍 시트의 유량을 평가하였다. 이들은 커버, 필터 폼과 폼의 물성을 평가하여 해석모델을 구성하였으며, 변형을 고려하지 않았을 경우에 비하여 변형을 고려할 경우 유량이 감소함을 해석적 방법으로 확인하였다. Lee 등⁹⁾은 통풍 시트에서 착좌자에게 최종적으로 도달하는 유량을 계산하였다. 이들은 유동분산관 내부의 돌기 형상의 정확한 모델링이 해석 결과에 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다. Cho 등¹⁰⁾은 전산유체역학과 실험을 통한 통풍시트 덕트의 유동 특성에 대해 평가하였다. 통풍 모델을 사용하여 전산유체해석을 수행하고 실험적 방법으로 시트 표면의 열 변화를 측정하였다. 덕트의 구조 변경과 내부 면적 변화를 통해 통풍 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

기존의 연구들은 주로 유량만 평가하였으나, 본 논문에서는 통풍 시트 쿠션 설계 과정에서 두 가지 시제품의 통풍 성능과 열적 안락성을 비교·분석하였다. 이를 위해, 동일한 소재와 형상, 그리고 동일한 크기와 개수의 통기 구멍을 갖고 있으나 구멍의 위치만 서로 다른 두 쿠션을 대상으로 선택하였다. 두 쿠션에 동일한 더미를 착좌시킨 상태에서, 통기 구멍을 통해 배출되는 유량과 더미와 시트 커버 접촉 부위의 온도 변화를 계산하였다. 본 연구에서는 통풍으로 인해 접촉 부위 온도가 더 크게 감소하는 쿠션을 열적 안락성이 우수한 것으로 정의하였다. 이러한 기준에 따라 두 가지 통기 구멍 배열 중 열적 안락성이 더 뛰어난 쿠션을 선정할 수 있었다.

2. 통풍 시트 소재의 물성 측정

2.1 통풍 시트의 구성

통풍 시트는 커버(Cover), 패딩(Padding), 폼(Foam), 에어매트(Airmat), 프레임(Frame), 그리고 팬(Fan) 등으로 구성된다(Fig. 1).

제일 아래에 위치한 팬으로부터 공급된 공기가 에어매트를 통과하고, 폼에 뚫려 있는 통기 구멍을 지나서, 통기성 소재인 패딩과 커버를 순차적으로 통과한 다음에 최종적으로 착좌자에게 전달되게 된다.

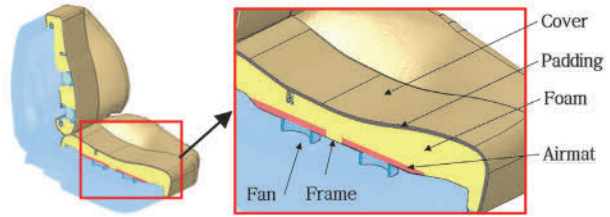


Fig. 1 Cross section of a ventilated seat cushion

2.2 공기 투과성 측정

커버의 소재는 가죽이며, 통풍을 위하여 커버에는 일정한 간격으로 구멍이 뚫려 있다. 이들 구멍의 지름은 0.8 mm이고 구멍의 간격은 3.8 mm이다. 패딩의 소재는 다공성 스폰지이다. 따라서 유동 해석을 위해서는, 커버와 패딩의 공기 투과성(Air permeability) 특성을 고려하여야 한다. 이들 두 소재에 대한 공기 투과성 시험을 수행하기 위하여 Textest instruments의 FX 3300 LabAir III 공기 투과성 시험 장비를 사용하였다. 공기 투과성 시험에서, 실제 공기가 투과되는 면은 원형 형상이며 그 면적은 38 cm²이다.

ASTM D737에서 제시하는 방법대로 공기 투과성 시험을 수행하였다.¹¹⁾ 커버와 패딩을 절취하여 만든 시편의 윗면과 아랫면에 125 Pa, 250 Pa, 375 Pa 및 500 Pa 크기의 압력차이를 부과하여 시편의 아랫면에서 투과되어 나오는 단위 시간 당 유량을 측정하였다(Table 1). 단위 시간 당 유량을 공기가 투과되는 단면적으로 나누어 유속을 구할 수 있었다(Table 1).

기공이 있는 매질을 통과할 때의 압력차이(Pressure difference)를 구하기 위하여 Superficial velocity method를 사용할 수 있으며, 이 때 압력구배(Pressure gradient)는 속도의 2차 방정식으로 표현된다.¹²⁾

$$\frac{\Delta P}{\Delta x} = BV_x + AV_x^2 \quad (1)$$

위 식에서 ΔP 는 압력차이, Δx 는 매질의 두께, 그리고 V_x 는 유속이다. 시험에서는 커버와 패딩이 매질로 사용

Table 1 Results from air permeability tests

Pressure difference (Pa)		125	250	375	500
Flow rate (CFM)	Cover	111	161	199	231
	Padding	744	1,070	1,320	*
Flow velocity (m/s)	Cover	13.79	20.00	24.72	28.69
	Padding	92.40	132.89	163.94	*

* out of range

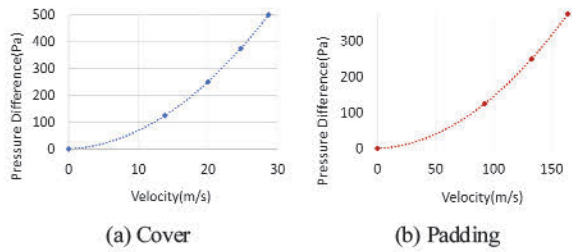


Fig. 2 Pressure difference-velocity curves from air permeability tests

되었으며, 이들의 두께는 각각 1 mm와 7 mm이다.

Table 1의 측정 결과에 회귀분석을 적용하여, 식 (1)에서 속도의 2차 항의 계수 A와 1차 항의 계수 B의 값을 얻을 수 있었다. 커버의 경우 $A = 0.5631 (Pa s^2/m^3)$ 및 $B = 1.2609 (Pa s/m^2)$ 이며, 패딩의 경우 $A = 0.0131 (Pa s^2/m^3)$ 및 $B = 0.1452 (Pa s/m^2)$ 의 결과를 얻었다. 회귀분석으로 구한 압력차이-속도 선도는 다음 그림과 같다(Fig. 2).

경험 기반 방정식인 Darcy-Forchheimer 방정식^{13,14)}에서는, 압력구배를 $C_D \mu V_x + C_F \rho V_x^2$ 로 표현한다. 이 식에서, C_D 와 C_F 는 각각 Darcy coefficient와 Forchheimer coefficient이며 μ 와 ρ 는 각각 점성계수와 밀도이다. Darcy-forchheimer 방정식과 식 (1)을 함께 정리하면 아래와 같다.

$$\frac{\Delta P}{\Delta x} = C_D \mu V_x + C_F \rho V_x^2 = B V_x + A V_x^2 \quad (2)$$

위 식으로부터 Darcy coefficient $C_D = B/\mu$ 와 Forchheimer coefficient $C_F = A/\rho$ 를 구할 수 있다. 그 결과 커버의 경우 $C_D = 6.133 \times 10^{+7} (1/m^2)$ 와 $C_F = 464.97 (m)$ 그리고 패딩의 경우 $C_D = 1.359 \times 10^{+6} (1/m^2)$ 와 $C_F = 1.77 (m)$ 를 얻을 수 있었다.

2.3 변형 관련 물성 측정

더미가 시트에 착좌한 상태에서는, 더미의 무게로 인하여 시트에 변형이 발생하게 된다. 시트에 변형이 발생하게 되면, 통풍 시트 내부에 위치한 유로의 형상이 변화하게 된다. 따라서 더미가 착좌한 상태에서 통풍 시트에서의 유량 해석을 하기 위해서는, 사전에 통풍 시트의 변형 해석이 선행되어야 한다.

변형 해석을 위해서는, 통풍 시트를 구성하는 커버, 폼, 패딩 및 에어매트 등의 물성을 확보하여야 한다. 커버는 이방성 재료로, 물성을 확보하는 과정에서 방향이 고려되어야 한다. 폼, 패딩 및 에어매트는 점탄성 재료로, 탄성 재료와 다른 방법으로 물성이 확보되어야 한다.

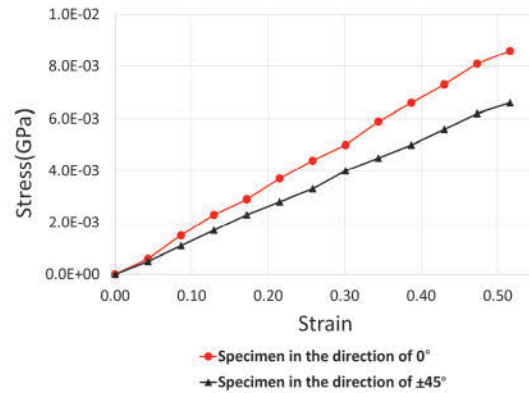


Fig. 3 Stress-strain curves of seat cover in two different directions from tension tests

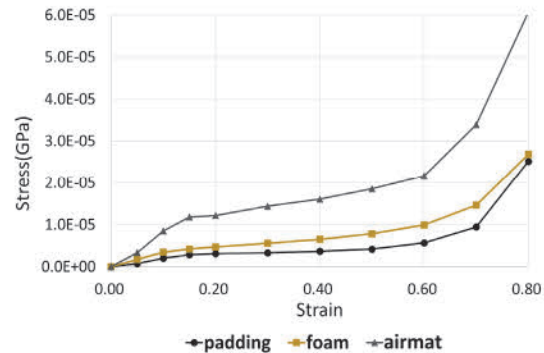


Fig. 4 Stress-strain curves of foam, padding, and airmat from compression tests

시험을 통하여 이들 소재의 응력-변형률 선도를 확보하였다. 두 방향으로 측정된 커버의 응력-변형률 선도를 Fig. 3에 그리고 패딩, 폼 및 에어매트의 응력-변형률 선도를 Fig. 4에 도시하였다.

3. 통풍 시트의 유량 해석 및 온도 해석

3.1 두 가지 배열의 통기 구멍

동일한 크기와 형상을 가진 폼에, 지름이 20 mm인 통기 구멍 12개씩을 뚫은 두 가지 시제품을 고려하려고 한다. 시제품 1에서는, 12개의 구멍을 3열과 4행의 직사각형 형태로 배치하였다. 시제품 1의 폼에 뚫려 있는 구멍의 위치를 Fig. 5(a)에서 표시하였다. 이와 같은 방법으로 12개의 구멍을 배치하면, 일부 구멍이 착좌자의 다리 사이에 위치하여 팬에서 발생한 바람이 모두 착좌자의 다리에 전달되지 않게 된다. 시제품 2에서는, 총 12개의 구멍을 V자 형태로 배치하였다. 시제품 2의 폼에 뚫려 있는 구멍의 위치를 Fig. 5(b)에서 표시하였다. 이 경우에는 모든 구멍이 착좌자의 다리 아래에 위치하게 된다.

3.2 팬의 공력 성능 선도

두 시제품 모두 동일한 패딩과 커버로 폼의 상단을 덮고, 동일한 에어매트와 팬을 폼의 하단에 설치하였다(Fig. 1). 두 시제품에는 동일한 팬을 동일한 위치에 각각 두 개씩 설치하였다. 사용된 팬은 Power logid에서 제조한 PLA062020B12H 모델이다. 팬의 제조회사로부터 제공받은 공력 성능 선도(P-Q curve)를 해석에서 사용하였다(Fig. 6).

3.3 더미가 착좌하지 않은 상태에서 유량 해석

더미가 착좌하지 않은 상태에서, 두 가지 시제품에서

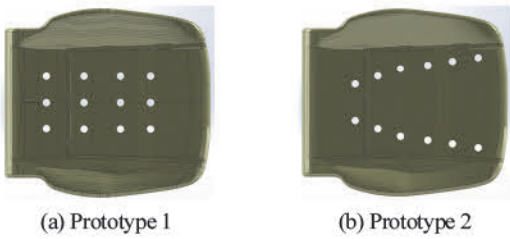


Fig. 5 Locations of ventilated holes in foams of seat cushions

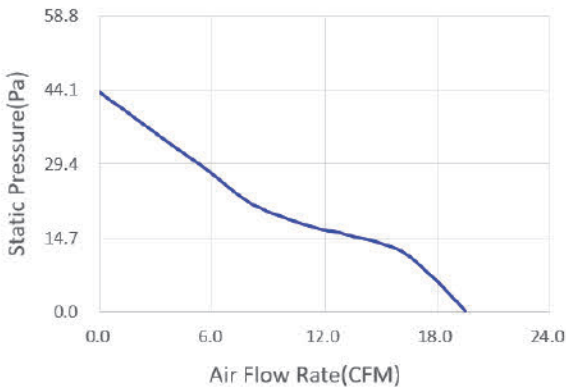


Fig. 6 Performance curve of fan, which is provided by manufacturer

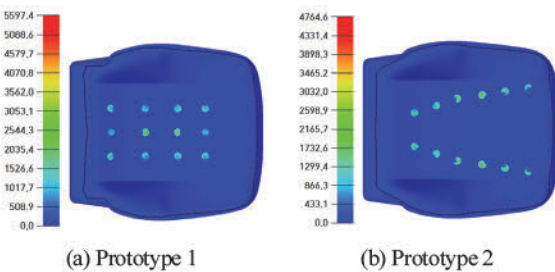


Fig. 7 Speed of airflow out of seat cover without dummy (mm/sec)

유동 해석을 수행하였다. 유동 해석에서는 Altair의 상용 소프트웨어인 SimLab을 사용하였다. 팬에서 발생한 바람이 에어매트, 폼에 뚫려 있는 구멍, 패딩 및 커버를 순차적으로 통과하여 커버 표면에서 토출되는 유속 분포를 아래 그림에서 도시하였다(Fig. 7).

더미가 착좌하지 않은 상태에서, 시제품 1과 시제품 2의 커버 표면에서 토출되는 유량은 각각 35.68 CMH과 33.27 CMH로 나타났다. 시제품 1에서 토출되는 유량이 약간 더 많은 것으로 나타났다.

3.4 더미가 착좌한 상태에서 유량 해석

더미가 시트 쿠션에 착좌한 상태에서 시트 커버에서 토출되는 유량을 해석하였다. 해석에서는 HM50KR 더미를 사용하였다.¹⁵⁾ 이 더미는 한국인 남성 평균 50%의 체형을 기반으로 만들어졌으며 체원은 그 아래 표에서 정리하였다.

더미가 시트 쿠션에 착좌하게 되면, 시트 쿠션에 변형이 발생하게 된다. 따라서 더미가 착좌한 상태의 유량 해석에서는, 유량 해석 이전에 시트 쿠션의 변형 해석이 선행되어야 한다. 변형 해석에서는 앞서 2.3절에서 측정된 시트 구성 재료의 물성과 함께 ESI Group의 상용 소프트

Table 2 Specifications of HM50KR dummy

Measures	Anits	Magnitudes
Weight	kg	71
Height	mm	1699
Sitting height		874
Thigh length		494
BiDeltoid shoulder width		492
Hip width		405
Waist minimum circumference		874
Abdomen circumference		874
Thigh maximum circumference		562

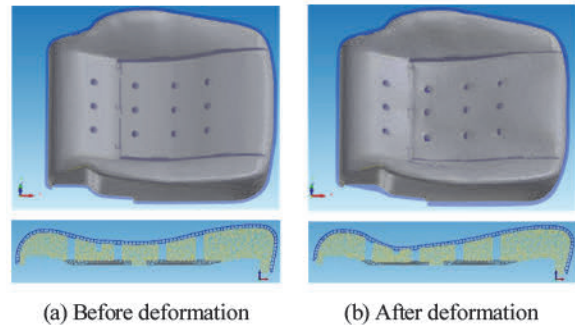


Fig. 8 Shapes of prototype 1 before and after deformation

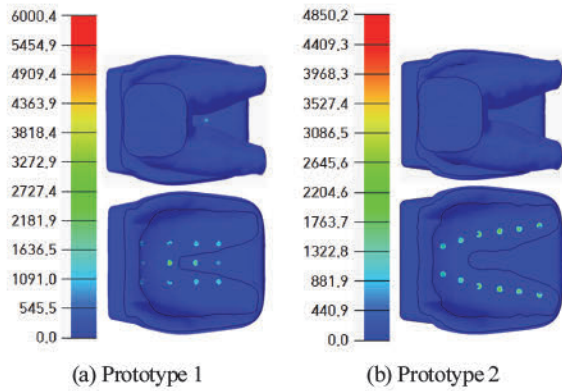


Fig. 9 Speed of airflow out of seat cover with dummy (mm/sec)

웨어인 VSS(Virtual Seat Solution)을 사용하였다.¹⁶⁾ HM50KR 더미가 시제품 1의 쿠션에 착좌하기 전후 상태에서 시트 쿠션의 변형 전후 상태의 형상을 Fig. 8에 나타내었다. 동일한 방법으로 시제품 2의 변형 형상도 구할 수 있었다.

HM50KR 더미가 착좌한 상태에서 변형된 시트 쿠션에 대하여 유동 해석을 수행하였다. 유동 해석에서는 Altair의 상용 소프트웨어인 SimLab을 이용하였다. 유동 해석에서는, 앞서 구하였던 Darcy coefficient와 Forchheimer coefficient와 함께 Fig. 6에 나타난 팬의 공력 성능 선도(P-Q curve)를 사용하였다.

더미가 착좌하여 시트 쿠션에서 변형이 발생한 상태에서 팬에서 발생한 바람이 에어매트, 폼에 뚫려 있는 구멍, 패딩 및 커버를 순차적으로 통과하여 커버 표면에서 토출되는 유속 분포를 아래 그림에서 도시하였다(Fig. 9).

더미가 착좌하였을 때, 시제품 1과 시제품 2의 커버 표면에서 토출되는 유량은 각각 8.30 CMH와 0.14 CMH로 나타났다. 더미가 착좌하지 않았을 때 시제품 1과 시제품 2에서 커버 표면에서 토출되는 유량은 각각 35.68 CMH와 33.27 CMH으로, 더미가 착좌하였을 때 토출되는 유량이 매우 적어짐을 확인하였다. 더미가 착좌한 상태에서 시제품 1과 시제품 2에서의 유량은 더미가 착좌하지 않은 상태에서 유량의 각각 23.3 %와 0.4 %에 불과하였다. 그 이유는 더미가 착좌한 상태에서는, 커버로 토출되는 유량을 더미가 막고 있기 때문이다.

더미가 착좌한 상태에서, 시제품 2에서 토출되는 유량이 시제품 1에서 토출되는 유량의 1.7 %에 불과하였다. 그 이유는 시제품 2에서는 폼에 뚫려 있는 모든 통기 구멍이 더미의 다리 아래에 위치하기 때문에, 커버를 통해서 토출되는 유량이 많을 수 없기 때문이다. 반면에 시제품 1에서는 폼에 뚫려 있는 일부 구멍을 더미가 막지 않기 때문에, 상대적으로 더 많은 유량이 커버를 통해서 토

Table 3 Material properties of human dummy HM50KR

Properties	Magnitudes	Units
Density	9×10^7	kg/mm ³
Thermal conductivity	0.3	W/(m°C)
Heat capacity	3,470	J/(kg°C)

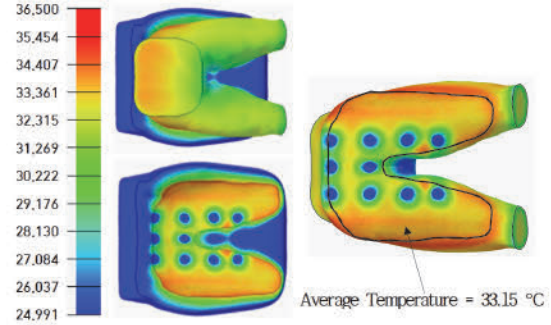


Fig. 10 Temperature distribution on the surface of dummy HM50KR in contact with seat prototype 1 (°C)

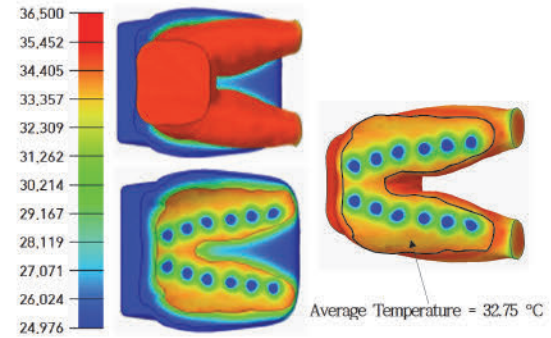


Fig. 11 Temperature distribution on the surface of dummy HM50KR in contact with seat prototype 2 (°C)

출될 수 있기 때문이다.

3.5 더미가 착좌한 상태에서 온도 해석

시트에서 통풍 기능을 사용하는 주된 이유는, 무더운 날씨에 통풍을 통하여 착좌자와 시트가 접촉하는 부위에서 온도를 떨어뜨리는 것이다. 본 연구에서는 착좌자가 시트와 접촉하는 부위에서 얼마나 온도가 떨어질 수 있는냐로 열적 안락성을 평가하였다.

이를 위하여, HM50KR 더미가 시트 쿠션 위에 앉아 있는 상황을 고려하였다. 시트 쿠션 아래에 위치한 두 개의 팬으로부터 25 °C의 공기가 유입이 되는 것으로 가정하였다. 시트 쿠션 위에 앉아 있는 더미의 경우, 더미 전체의 온도를 인간의 체온과 동일한 36.5 °C로 초기조건을 설정하였다. 또한 통풍을 통하여 인체 표면 근처에서의

온도는 하강하나 인체 내부에서의 온도에는 변화가 없을 것이기 때문에, 더미의 표면으로부터 내부로 10 mm 두께에 위치한 면에서 온도가 36.5 °C인 경계조건을 부여하였다. 따라서 더미의 표면으로부터 두께가 10 mm인 부위에서는 팬으로부터 공급되는 공기에 의해서 온도가 저하할 수 있는 것으로 설정하였다. 시트 쿠션과 접촉하는 더미 표면에서 온도 저하가 더 클수록 열적 안락성이 더 뛰어난 것으로 정의하였다.

HM50KR 더미의 열전도율, 열용량 및 밀도 등의 물성은 아래 표에서 보여준 것처럼 인체와 유사한 값을 사용하였다.¹⁷⁾

Altair의 상용 소프트웨어인 SimLab을 이용하여 정상상태(Steady state)에서 온도 분포를 해석하였다.

통풍 시트의 두 시제품에 더미가 착좌하였을 때, 시트 쿠션과 접촉하는 더미 표면에서의 온도 분포를 아래 그림에서 도시하였다.

커버와 접촉하는 HM50KR 더미 표면에서의 평균 온도는 시제품 1과 시제품 2의 경우, 각각 33.15 °C와 32.75 °C로 나타났다. 즉 시제품 1보다 시제품 2가 통풍을 통한 더미 표면에서의 냉각 성능이 0.4 °C 더 우수한 것을 확인하였다. 즉, 시제품 2의 열적 안락성(Thermal comfort)이 더 우수한 것으로 나타났다. 앞서 더미가 착좌한 경우에 시제품 1에서 커버를 통하여 토출되는 유량이 더 많은 것으로 나타났지만, 이 유량은 더미와 접촉하지 않고 공중으로 토출되므로 실제 시트 쿠션과 접촉하는 더미 표면에서의 온도 감소에 대한 기여도는 거의 없는 것으로 나타났다.

4. 결론

통풍 시트에서 커버 바깥으로 토출되는 유량과 커버와 접촉하는 더미 표면에서의 온도 분포를 해석하였다. 본 논문에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 통풍 시트에서 더미가 착좌하였을 때 시트 커버를 통과하여 토출되는 유량은, 더미가 착좌하지 않았을 때 시트 커버를 통과하여 토출되는 유량보다 매우 적음을 확인하였다. 현재 완성차 회사에서는 더미가 착좌하지 않았을 때 커버 표면에서 토출되는 유량으로 통풍 시트의 성능을 평가하고 있는데, 이러한 평가 방식은 적절하지 않음을 보여준다.
- 2) 통풍을 통하여 착좌자와 커버가 접촉하는 표면에서의 온도가 더 많이 감소할수록 착좌자의 열적 안락성이 더 높아진다고 할 수 있다. 그런데 착좌자의 열적 안락성은 커버에서 토출되는 유량과 비례하지 않는다. 즉, 커버에서 토출되는 유량이 더 많다고 열적 안락성이 더 높지 않을 수 있다.

- 3) 현재 완성차 회사에서 사용하고 있는 통풍 시트 성능 평가 기준은 개선될 필요성이 있다. 즉 현재 사용하고 있는 무착좌 기준의 유량 측정 대신에 착좌자와 시트 커버의 접촉면에서의 온도 감소 정도를 새로운 평가 기준으로 사용하는 것을 고려하여야 한다. 본 연구는 향후 완성차 회사의 통풍 시트 성능 평가 체계 개선에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 2024년도 한국기술교육대학교 교수 교육연구진흥과제 지원에 의하여 연구되었음.

References

- 1) A. Velivelli, D. Guerithault and S. Stöwe, "Optimum Seat Cooling Distribution for Targeted Human Thermal Comfort®," SAE 2017-01-0187, 2017.
- 2) M. Fojtlín, A. Psikuta, J. Fišer, J. Pokorný, R. Toma, S. Annaheim, M. Jícha and R. M. Rossi, "Thermal Model of an Unconditioned, Heated and Ventilated Seat to Predict Human Thermo-Physiological Response and Local Thermal Sensation," Building and Environment, Vol.169, Paper No.106571, 2020.
- 3) C. Rosaria, N. Alessandro and C. Chiara, "Comfort Seat Design: Thermal Sensitivity of Human Back And Buttock," International Journal of Industrial Ergonomics, Vol.78, Paper No.102961, 2018.
- 4) M. Fojtlín, J. Fišer, J. Pokorný, A. Povalač, T. Urbanec and M. Jícha, "An Innovative HVAC Control System: Implementation and Testing in a Vehicular Cabin," Journal of Thermal Biology, Vol.70, pp.64–68, 2017.
- 5) O. H. Kwon, B. Chang and C. Cheong, "A Study on the Performance Evaluation of Ventilation Seat for Improvement of Thermal Comfort in Vehicle," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.1240–1241, 2022.
- 6) O. Hatoum, N. Ghaddar, K. Ghali and N. Ismail, "Experimental and Numerical Study of Back-Cooling Car-Seat System using Embedded Heat Pipes to Improve Passenger'S Comfort," Energy Conversion and Management, Vol.144, pp.123–131, 2017.
- 7) S. Kook, H. P. Ha and J. H. Cho, "Experimental Study of Design Factors Effect on Air Flow of Ventilated Automotive Seat," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.426–433, 2018.
- 8) D. Oh, H.-H. Lee, S. Y. Park and K. Lee, "Estimation of Air Flow Rate in Ventilated Automotive Seat Considering Its Deformation,"

- Transactions of KSAE, Vol.25, No.6, pp.787–793, 2017.
- 9) H.-H. Lee, T.-K. Kim and K. Lee, “Estimation of Air Flow Rate in Automotive Ventilated Seat,” Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol.17, No.12, pp.34–40, 2016.
 - 10) H.-S. Cho and J.-U. Cho, “Flow Characteristic Improvement and Performance Evaluation of Ventilation Seat Duct Flux through Computational Fluid Dynamics and Experiment,” Korean Society of Mechanical Technology, Vol.16, No.5, pp.1833–1838, 2014.
 - 11) ASTM International, Standard Test Method for Air Permeability of Textile Fabrics, Annual Book of ASTM Standards D737-18, 2023.
 - 12) Y. Teng, Z. Li and C. Chen, “Pre-Darcy Flows in Low-Permeability Porous Media,” Hydrogeology Journal, Vol.32, No.8, pp.1957–1977, 2024.
 - 13) I. E. Idelchik, M. O. Steinberg and O. G. Martynenko, Handbook of Hydraulic Resistance, Vol.2, New York, Hemisphere Publishing Corporation, 1986.
 - 14) W. Kast, E. S. Gaddis, K. E. Wirth and J. Stichlmair, “L1 Pressure Drop in Single Phase Flow,” VDI Heat Atlas, Springer, pp.1053–1116, 2010.
 - 15) ESI Group, Virtual Seat Solution; Human Models, 2019.
 - 16) ESI Group, Virtual Seat Solution, <https://myesi.esi-group.com/downloads/software-downloads/virtual-seat-solution-2022.0>, 2024.
 - 17) J. P. Rugh and D. Bharathan, “Predicting Human Thermal Comfort In Automobiles,” SAE 2005-01-2056, 2005.