

자동차 통풍 시트의 유량 평가

이현희¹, 김태경¹, 이광주^{2*}

¹한국기술교육대학교 대학원 기계공학과, ²한국기술교육대학교 기계공학부

Estimation of Air Flow Rate in Automotive Ventilated Seat

Hyun-Hee Lee¹, Tae-Kyung Kim¹, Kwangju Lee^{2*}

¹Department of Mechanical Engineering, Graduate School of KoreaTech

²School of Mechanical Engineering, KoreaTech

요약 소비자들의 요구 증가로 고급차종에만 적용하던 통풍 시트는 점차 중소형 차종으로 확대 적용되고 있는 추세이다. 팬에서 발생한 유량이 폼 패드, 필터 폼 및 시트 커버 등을 통과하는 과정에서 많은 손실이 발생하기 때문에, 착좌면에 도달하는 유량의 정확한 해석은 쉽지 않다. 또한 유로 형상이 복잡하여 이의 정확한 모델링 없이는 착좌면에 도달하는 정확한 유량의 해석이 힘들다. 본 연구에서는 팬에서 발생한 유동이 통기 매트와 폼 패드를 통과하였을 때의 유량을 해석하였으며, 해석결과와 실험결과를 비교하였다. 해석에서 유동분산판 내부의 돌기 형상을 보다 정확하게 모델링함으로써, 해석결과와 실험결과와의 경향을 정확하게 일치시킬 수 있었다. 유량이 통기성 재료인 패드 폼을 통과하는 과정에서 발생한 손실을 실험으로 측정하여 해석결과를 보정함으로써 해석결과와 실험결과를 정확하게 일치시킬 수 있었다. 다음으로 필터 폼과 시트 커버를 통과하여 착좌면에 도달하는 유량을 실험으로 측정하였다. 착좌면에서의 유량이 많지 않아서, 유량 콘을 사용하여 유량을 측정하였다. 팬에서 발생한 유량의 약 35.7%만이 최종적으로 착좌면에 도달하는 것을 확인할 수 있었다.

Abstract In ventilated seats for cars, air flow is generated by a fan and passed through a foam pad, foam filter, and seat cover. There is a significant loss of air flow in this process, and it is not easy to analyze the amount delivered to the driver. Another difficulty is the geometric complexity of the air flow passage inside the seats. In this paper, the air flow through a foam pad was analyzed. Proper modeling of the bumps in the ventilation mat was found to be important in the analysis. Air flow is lost when it passes through the porous pad foam, which was measured and used to correct the analysis results. The corrected analysis results were in a good agreement with the experimental results. The amount of air flow delivered to a driver was measured using an airflow cone. Only 35.7% of the air flow from the fan was delivered.

Keywords : Air Flow Distribution Plate, Flow Measurements, Pad Foam, Seat Cushion, Ventilated Seat, Ventilation Mat

1. 서론

1.1 연구배경

최근 자동차 산업의 발달은 다양한 소비자 요구로 인하여 주행성과 안전성뿐만 아니라 편의성과 안락성도 중요해 지고 있다.

특히 자동차 시트는 자동차에서 운전자와 탑승객에게 직접적인 영향을 주는 제품이기 때문에 자동차 시트의 성능과 기능이 중요해 지고 있다. 따라서 고급차종에만 적용하던 통풍 시트는 소비자들의 요구 증가로 점차 중 소형 차종으로 확대 적용되고 있는 추세이다.

본 논문은 산업통상자원부 (한국산업기술진흥원) 자동차 의장전장 고감성시스템 개발육성사업 및 한국기술교육대학교 지원으로 수행되었음

*Corresponding Author : Kwangju Lee(KoreaTech)

Tel: +82-41-560-1125 email: klee@koreatech.ac.kr

Received August 3, 2016

Revised September 1, 2016

Accepted December 8, 2016

Published December 31, 2016

1.2 연구동향

자동차 통풍 시트에 관한 최근의 연구동향은 다음과 같다. Kim 등은 탑승자의 주관적 안락감을 파악하기 위해 승객의 착좌 부위별 열 유량 측정방법 및 손실방지에 대한 연구를 진행하였다 [1]. 이들은 통기성 평가 결과와 시트 표면 온도가 같은 경향을 나타냄을 확인하였다. Jung 등은 탑승자에게 열적 안락감을 제공하기 위해 열 전소자 및 팬을 이용하여 다공성 가죽커버 시트와 메쉬 홀을 적용한 시트의 성능을 비교 분석하였다 [2]. Wolfe 등은 자동차 통풍 시트가 탑승자에 미치는 영향을 유동 해석과 실험을 통해 평가하였다 [3]. Cho 등은 전산유체 역학과 실험을 통해 통풍 시트 덕트 개선 및 평가 방법에 대한 연구를 수행하여 덕트의 구조 변경만으로 통풍 시트의 성능을 향상시키는 연구를 수행하였다 [4]. Karimi 등은 승객, 실내 환경 및 냉난방 시트 사이의 열적 상호작용을 모사하는 모델을 개발하였다 [5].

1.3 연구목적 및 방법

현재 시판되고 있는 자동차 통풍 시트는 팬 (Fan)을 사용하여 실내의 공기를 시트 표면으로 불어 넣어주는 방식이다 (Fig. 1). 팬에서 발생한 유량이 통기 매트 (Ventilation Mat)를 통과하여 두께 약 100mm의 패드 폼 (Pad Foam)에 뚫려있는 통기 구멍 (Ventilation Holes)을 통과한다. 통기 구멍의 개수는 시트에 따라서 달라지나, 대략 10~12개 전후이다. 통기 구멍을 통과한 바람은 두께가 약 10mm인 필터 폼 (Filter Foam)과 시트 커버 (Seat Cover)를 통과한 다음에 인체에 전달이 된다.

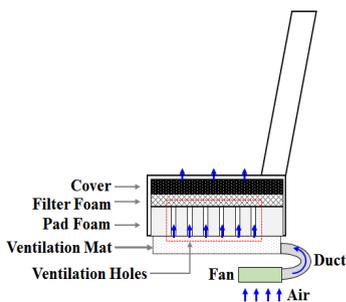


Fig. 1. Schematic diagram of ventilated seat cushion

팬에서 발생한 바람이 인체에 전달되는 과정에서 많은 손실이 발생하므로, 이를 정확하게 해석하기가 매우 힘들다. 본 연구에서는 통기 매트 내부 형상의 모델링을

개선하여 실험과 해석의 결과를 일치시키고, 패드 폼, 필터 폼 및 시트 커버를 통과하는 유량 손실을 실험을 통하여 측정하였다. 이를 통하여 팬에서 발생한 유량이 최종적으로 운전자에게 어떻게 전달되는지 예측할 수 있는 방법을 제시하려고 한다. 새로운 통풍 시트를 설계할 때 본 방법을 활용함으로써, 통풍 시트의 성능을 사전에 예측할 수 있게 된다. 또한 패드 폼을 통과한 유량이 다시 필터 폼과 시트 커버를 통과한 다음에 최종적으로 착좌면에 도달하게 되는데, 착좌면에 도달한 유량을 실험적으로 측정하였다. 팬에서 시작한 유량과 착좌면에 도달한 유량을 측정함으로써, 자동차 시트 전체에서의 유량 효율을 구할 수 있게 된다.

본 연구에서는 통풍 시트의 등받이를 제외하고 시트의 쿠션으로 연구의 범위를 제한하였다.

본 연구에서는 유동 해석을 위하여 상용 프로그램인 ANSYS/FLUENT (ver.14)를 사용하였으며 [6], 유량 측정을 위하여 KIMO Instruments 사의 다기능계측기 MP210, Pressure module MPR 500 및 직경이 14mm인 베인 프로브를 사용하였다 [7].

2. 통풍 시트 유량 평가

2.1 통풍 시트 구조

본 연구에서 사용한 통풍 시트는 실제 차량에서 사용하고 있는 모델로, 착좌면에 균일한 유량을 공급하기 위해 통기 구멍 (Ventilation Holes)이 좌우 대칭으로 각각 6개가 배치되어있는 형상이다 (Fig. 2). 이들 6개의 통기 구멍은, 차량 진행방향을 기준으로 가장 뒤부터 앞 쪽으로 VH1, VH2, ..., VH6의 순서로 명명되었다. 패드 폼의 아랫면에 통기 매트 (Ventilation Mat)가 위치하고 있으며, 통기 매트의 가장 뒤 쪽 (VH1 근처)에 팬이 위치하고 있다.

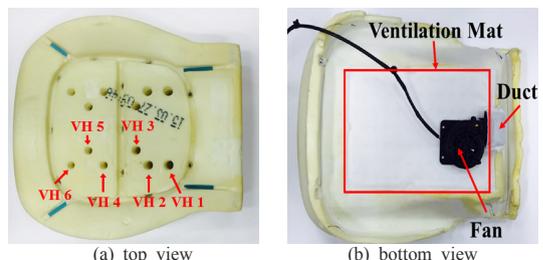


Fig. 2. Pad foam of ventilated seat cushion

2.2 패드 폼을 통과한 유량 평가

팬에서 나온 유량이, 통기 매트를 지나고 다시 패드 폼의 통기 구멍을 지났을 때의 유량을 실험과 해석을 통하여 각각 평가하였다.

2.2.1 패드 폼을 통과한 유량 평가 (실험적 방법)

패드 폼을 통과한 유량을 평가하는 실험에서는 KIMO Instruments 사의 다기능 계측기 MP210을 사용하였다 [7]. Pressure module MPR 500과 직경이 14mm 인 Vane probe를 각각 MP210에 연결하여 압력과 유속을 측정하였다. Pressure module과 Vane probe의 제원을 Table 1에 정리하였다.

Table 1. Specifications of pressure module and vane probe

	Pressure module	Vane probe
Measuring range	From 0 to ± 500 Pa	From 0 to 3m/s
Accuracy	$\pm 2\%$ of reading ± 0.8 Pa	$\pm 3\%$ of reading ± 0.1 m/s
Resolution	0.1 Pa	0.1 m/s

통풍 시트 팬의 바람 속도를 약, 중, 강 (Low, Medium, and High)로 조절 하여, 패드 폼을 통과한 통기 구멍의 출구에서 압력과 유속을 측정하였다. 압력과 유속 값은 1분 동안 측정된 평균값을 기록하였다. 그 결과를 Table 2에 정리하였다. 측정된 유속과 면적을 사용하여 유량을 계산하여 그 결과를 Table 3에 정리하였다.

Table 2. Velocity measurement results (m/s) at the outlets of ventilation holes

Ventilation Hole	Fan Speed		
	Low	Medium	High
VH1	0.95	1.05	1.15
VH2	0.95	1.10	1.21
VH3	1.26	1.39	1.63
VH4	1.08	1.33	1.68
VH5	1.54	1.98	2.34
VH6	1.26	1.54	1.86

Table 3. Airflow rate measurement results (CFM) at the outlets of ventilation holes

Ventilation Hole	Area (mm ²)	Fan Speed		
		Low	Medium	High
VH1	471.43	0.944	1.049	1.144
VH2	415.48	0.836	0.964	1.065
VH3	356.33	0.948	1.046	1.227
VH4	298.65	0.683	0.842	1.063
VH5	283.53	0.925	1.187	1.403
VH6	254.47	0.679	0.830	1.000
	Total	5.016	5.917	6.902

2.2.2 패드 폼을 통과한 유량 평가 (해석적 방법)

(1) 유동분산판 내부의 돌기: 평면형상 모델링

시트 쿠션의 패드 폼, 통기 매트 및 통기 매트 내부에 들어가 있는 유동분산판 등의 형상을 Fig. 3에 도시하였다.

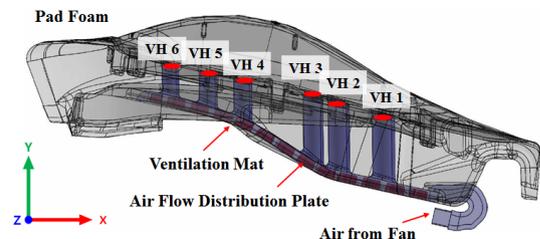


Fig. 3. Pad foam and air flow distribution plate which is installed inside ventilation mat

팬으로부터 덕트를 통하여 유입된 공기가, 덕트와 가장 가까운 첫 번째 통기 구멍 (VH1)으로 대부분 빠져 나가는 것을 방지하고 모든 통기 구멍에 균일하게 공기를 공급하는 것이 유동분산판의 용도이다.

유동분산판은 여러 개의 동일한 형상을 가지고 있는 돌기들 (Bumps)로 구성이 된 판이다. 각각의 돌기들의 형상은 사다리꼴과 유사하다. 돌기 윗 면은 곡률이 매우 작아서, Fig. 4(a)와 같이 평면으로 모델링을 하였다.

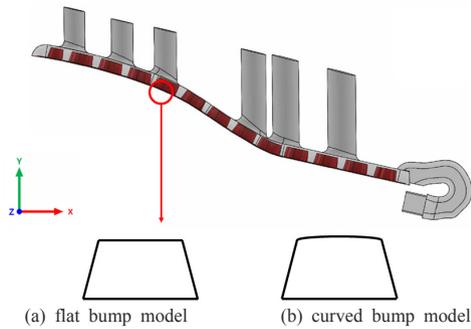


Fig. 4. Shapes of bumps of air flow distribution plate

유동분산판 내부의 돌기를 평면으로 모델링하여 패드 폼의 통기 구멍 출구에서의 유량을 해석하였다. 팬의 속도가 가장 빠를 때의 해석 결과를 Fig. 5에 도시하였다.

Fig. 5에 의하면, 팬과 가까이 위치한 통기 구멍 (VH1~VH3)에서는 해석으로 구한 유량이 실험으로 구한 유량보다 적게 나타났다. 반면에 팬에서 멀리 떨어진 통기 구멍 (VH4~VH6)에서는 해석으로 구한 유량이 실험에서 얻은 값보다 더 크게 나타났다.

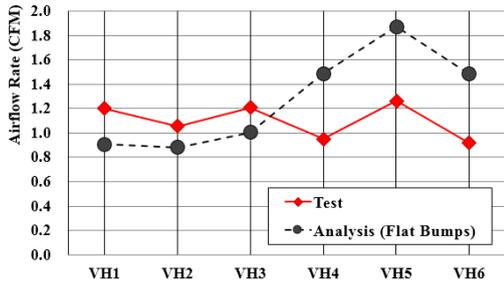


Fig. 5. Analysis results of airflow rate at the outlets of ventilation holes, which were found by the assumption that bumps of air flow distribution plate were flat

(2) 유동분산판 내부의 돌기: 곡면형상 모델링

해석의 정확성을 향상시키기 위해서 유동분산판 돌기의 윗 면의 형상을 Fig. 4(b)와 같이 곡면으로 모델링을 하고 해석을 수행하였다. 이 때 곡면의 곡률이 매우 작기 때문에 유동분산판 돌기 주위의 메쉬 크기를 3mm에서 1mm로 변경하였다. 또한 유동분산판의 돌기로부터 인플레이션을 주어 메쉬를 생성하였다. 팬의 속도가 가장 빠를 때의 해석 결과를 Fig. 6에 도시하였다.

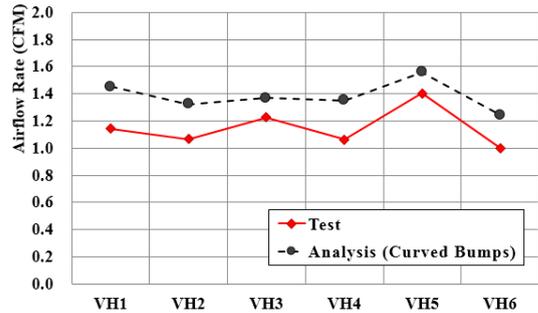


Fig. 6. Analysis results of airflow rate at the outlets of ventilation holes, which were found by the assumption that bumps of air flow distribution plate were curved

Fig. 6에 의하면, 실험과 해석의 전반적인 경향은 일치하지만 해석으로 구한 유량이 실험으로 얻은 유량보다 상대적으로 더 큰 값을 나타냄을 알 수 있다. 이는 실제 팬에서 공급된 유량이 통기성 패드 폼을 지나는 동안에 손실이 발생하기 때문이라고 짐작된다.

(3) 유량 손실율의 계산

패드 폼을 통과한 유량을 해석적으로 평가하기 위해서, 우선 팬에서 공급된 유량이 패드 폼을 통과할 때까지 발생한 손실을 계산하였다.

팬 출구에서 유속을 측정하여, 그 결과를 Table 4에 정리하였다. 이 표에서, 유량은 유속과 팬 출구의 면적을 사용하여 계산한 값이다.

Table 4. Velocity and air flow measurement results at the fan outlet whose area is 601.06 mm²

	Fan Speed		
	Low	Medium	High
Pressure (Pa)	56.80	92.04	125.00
Velocity (m/s)	9.00	10.17	13.03
Airflow (CFM)	11.46	12.95	16.59

패드 폼의 통기 구멍을 통과한 유량 (Table 3)과 팬에서 나오는 유량 (Table 4)을 이용하여, 각각의 팬 속도에서의 각각의 통기 구멍의 유량을 합하여 통기 구멍 전체의 유량을 구한 다음에, 이를 Table 4의 유량으로 나누어서 각각의 팬 속도에서의 패드 폼의 효율을 다음과 같이 구할 수 있었다.

$$\eta = \frac{Flow\ Rate_{Ventilation\ Hole}}{Flow\ Rate_{Fan}} \quad (1)$$

식 (1)을 이용하여, 팬의 여러 속도에서의 패드 폼의 효율을 구하여 Table 5에 정리하였다.

Table 5. Efficiency of pad foam at various fan speed

Ventilation Hole	Fan Speed		
	Low	Medium	High
Airflow Out	10.032	11.834	13.804
Airflow In	11.462	12.952	16.595
Efficiency	0.82	0.92	0.84

팬의 속도가 약, 중, 강인 각각의 경우에 대하여, 해석 결과를 위 식에서 구한 효율로 보정한 각 통기 구멍에서의 유량을 구하여 Table 6에서 정리하였다.

Table 6. Airflow analysis results (CFM) at the outlets of ventilation holes considering curved bumps of air flow distribution plate and efficiency of pad foam

Airflow rate (CFM)	Fan Speed		
	Low	Medium	High
VH1	0.95	1.06	1.21
VH2	0.85	0.96	1.10
VH3	0.90	0.98	1.14
VH4	0.73	0.96	1.13
VH5	0.88	1.08	1.30
VH6	0.71	0.87	1.03

팬의 속도가 약, 중, 강인 각각의 경우에 대하여, 패드 폼의 효율로 보정한 각 통기 구멍에서의 유량을 해석으로 구한 다음에 실험으로 측정한 결과와 비교하여 Fig. 7에서 정리하였다.

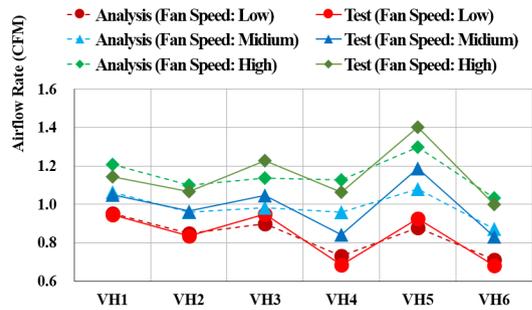


Fig. 7. Analysis results of airflow rate at the outlets of ventilation holes, which were found by the assumption that bumps of air flow distribution plate were curved and also by the correction using the efficiencies in Table 5

2.3 시트 커버를 통과한 유량 평가

패드 폼을 통과한 유량은, 다시 필터 폼과 최종적으로 시트 커버를 통과하게 된다. 시트 커버에는 많은 구멍이 균일한 밀도로 분포하기 때문에, 패드 폼에 있는 12개 (좌우 각각 6개씩)의 구멍을 통과한 유량이 시트 커버를 지나면서 착좌면 전체에 골고루 분포하게 된다. 착좌면 전체에 유량이 분포하기 때문에 단위 면적 당 유량의 값이 매우 작아지게 된다. 따라서 시트 커버에서는 국부적인 부위에서의 유량을 측정하기는 매우 힘들게 되므로, 시트 커버를 통과한 전체 유량을 측정하였다. 또한 시트 커버를 통과한 유량의 평가는, 팬 속도가 강일 때로 제한하였다.

패드 폼을 통과한 유량에서 더 이상 손실이 발생하지 않는다고 가정을 하였다. 즉, 패드 폼을 통과한 이후의 효율은 100%라고 가정하였다.

시트 커버를 통과한 유량 (Fig. 8에서 Q_1)을 간접적으로 측정하기 위해서, 다음 그림과 같이 피라미드 형상의 유량 콘 (Airflow Cone)을 부착하였다. 유량 콘과 시트 커버 사이에 유량 손실이 발생하지 않도록, 완전히 밀봉을 하였다. KIMO Instruments 사의 베인 프로브를 사용하여 유량 콘의 출구에서의 유량 (Fig. 8에서 Q_2)를 측정하여 $Q_2 = 4.32 (CFM)$ 을 얻었다.

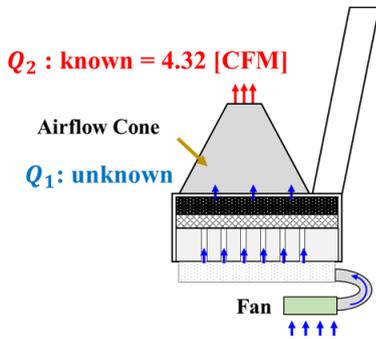


Fig. 8. Experimental setup to measure airflow rate out of seat cover

상용 프로그램인 ANSYS/FLUENT (ver.14)를 사용하여, 실험에서 사용된 유량 콘의 입구와 출구 사이의 압력 차이를 구하였다. 압력 차이는 $\Delta P = 19.41$ (Pa)를 얻었다 (Fig. 9).

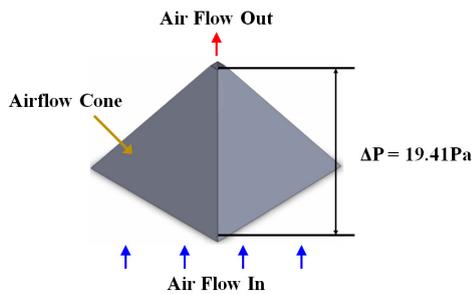


Fig. 9. Calculation of pressure difference between inlet and outlet of airflow cone (fan speed: high)

팬의 성능곡선을 실험으로 구하였다. 모두 6개의 위치에서 압력과 유량을 측정된 다음에, 회귀분석을 통하여 Fig. 10과 같은 성능곡선을 얻을 수 있었다. 성능곡선에서 유량이 4.32 (CFM)인 점으로부터 압력이 19.41 (Pa)만큼 감소한 곳에 해당하는 성능곡선의 유량 값인 5.93 (CFM)을 구할 수 있었다.

팬의 속도가 강일 때, 착좌면인 시트 커버에서 나오는 유량은 5.93 (CFM)으로 팬에서 최초로 나오는 유량인 16.59 (CFM)의 35.7%에 불과함을 확인할 수 있었다.

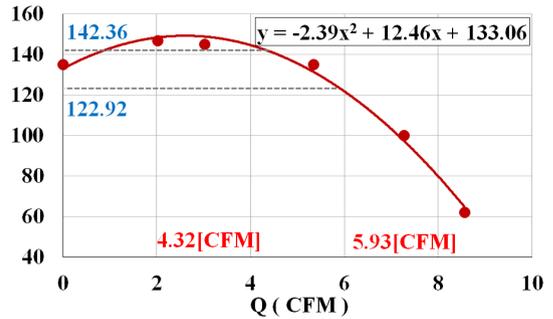


Fig. 10. Fan performance curve to find airflow rate out of seat cover (fan speed: high)

3. 결론

본 연구에서는 팬에서 발생한 공기가 폼을 지나는 과정을 해석하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 해석에서는, 유량을 적절히 분산시키는 유동분산판 내부의 돌기 형상의 정확한 모델링이 해석결과에 크게 영향을 미침을 확인하였다.
- 유량이 시트 내부의 패드 폼을 통과하는 과정에서 많은 손실이 발생하므로, 실험으로 측정된 효율을 이용한 보정을 통하여 해석결과와 실험결과를 잘 일치시킬 수 있었다.

유량 콘을 사용하여 착좌면에 도달한 유량을 측정하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 팬에서 발생한 유량이 운전자에게 도달하는 과정에서 약 64.3%의 손실이 발생하였다. 즉 팬에서 발생한 유량 중에서 운전자에게 도달하는 유량은 약 35.7%에 불과함을 확인하였다.

본 결과는 통풍 시트의 개발 과정에서, 실제 운전자에게 도달하는 유량의 정확한 계산에 활용될 수 있다.

References

- [1] Youngman Kim, Sukmin Choi and Seungjoon Lee, "Permeability Evaluation for Ventilation and Climate Control Seat," Korean Society of Automotive Engineers Conference, pp. 2030-2036, 2013.
- [2] Jung Hoon Jung, Sung Chul Kim, Jong Phil Won, Sang

Ho Noh and Yong Seok Cho, "An Experimental Study on the Performance of Climate Control Seats Using the Discharge Port of the Shape of Nozzle," Transactions of Korean Society of Automotive Engineers, vol. 17, no. 3, pp. 110-116, 2009.

- [3] Ned Wolfe, Xiaoxia Mu, Linjie Huang and Prasad Kadle, "Cooling with Augmented Heated and Cooled Seats," SAE 2007-01-1993, 2007.
- [4] Ho-Sun Cho and Jae-Ung 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.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17958/ksmt.16.5.201410.1833>
- [5] G. Karimi, E.C. Chan, J.R. Culham, I. Linjacki and L. Brennan, "Thermal Comfort Analysis of an Automobile Driver with Heated and Ventilated Seat," SAE 2002-01-0222, 2002.
- [6] <http://www.ansys.com/Products/Fluids/ANSYS-Fluent>
- [7] http://www.kimo.fr/produits/1395/mp_210.html

이 광 주(Kwangju Lee)

[종신회원]



- 1985년 2월 : 서울대학교 대학원 항공공학과 (공학석사)
- 1991년 11월 : Department of Aerospace and Ocean Eng., Virginia Polytechnic Institute and State University (공학박사)
- 1993년 1월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 기계공학부 교수

<관심분야>

구조역학, 복합재료, 신뢰성

이 현 희(Hyun-Hee Lee)

[준회원]



- 2015년 2월 : 한국기술교육대학교 기계공학부 (공학사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 대학원 공학석사 과정

<관심분야>

고분자 재료의 기계적 거동, 유동 해석 및 측정

김 태 경(Tae-Kyung Kim)

[준회원]



- 2014년 2월 : 한국기술교육대학교 기계공학부 (공학사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 대학원 공학석사 과정

<관심분야>

열-구조 연성 해석, 온도변화에 따른 재료의 물성