

수치해석을 통한 자동차 전면유리 제상성능 제어인자 연구

윤영목, Md. Faisal Kader, 이금배*, 전용두*
공주대학교 기계공학과 대학원, *공주대학교 기계자동차공학부

Numerical Study on Control Factors of Defrosting Performance for Automobile Windshield Glass in Winter

Young-muk Youn, Md. Faisal Kader, Kum-Bae Lee[†], Yong-Du Jun
Graduate School Department of Mechanical Engineering, Kongju National University, Singwan-dong,
Gongju-si, Chungcheongnam-do, Korea

(Received December 18, 2007; revision received October 28, 2008)

ABSTRACT: Recently, much attention has been paid in the field of defrosting because clear windshield in vehicle without effecting the thermal comfort is realized essentially. Then in winter, defrosting performance is one of the important factors in vehicle design to make certain driver's view. In this study, the velocity profile, temperature distribution and frost melting pattern on the windshield screen have been predicted in three dimensional geometry of an automobile interior. Numerical analyses predict a detailed description of fluid flow and temperature patterns on the inside windshield screen, utilizing the flow through defroster nozzle. Numerical prediction established a good defrosting performance with the standard distance ratio and the defroster nozzle angle ranging from 30° to 40°, which satisfy the condition of National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) completely.

Key words: Automobile interior(자동차 실내), HVAC system(공조시스템), Defroster nozzle(제상노즐), Control factors(제어인자)

1. 서론

자동차 문화는 우리의 생활수준의 향상과 더불어 매우 밀접한 관계를 유지하고 있으며, 현대인들은 일상생활 중 자동차에서 보내는 시간이 점점 더 길어지고 있다. 이러한 생활속에서 운전자와 승객들은 편리함을 더해 주는 단순한 교통수단의 범위에서 벗어나 우리의 주거 문화와 함께 편안함을 느낄 수 있는 자동차 실내 환경을 개선하는 일이 더욱 필요하다고 생각하며, 이 필요성

은 점점 증대되고 있다.⁽¹⁻²⁾

최근에 생산되는 자동차들은 기본 운전성능보다는 운전자와 승객들이 안정감, 쾌적함 및 편리성 등을 고려한 설계가 이루어지고 있고, 승객들의 활동영역의 환경을 조절할 수 있는 자동차의 공기조화 시스템(HVAC)의 역할이 더욱 중요해지고 있다. 이러한 역할 중 겨울철 자동차 전면유리에 발생하는 서리(frost) 및 습기는 운전자의 시야를 가려 안전운행을 방해하고, 이를 제거하기 위한 HVAC 시스템 작동 시 열적 쾌적성을 떨어뜨려 쾌적한 운전을 방해한다. 이에 안전 및 열적 쾌적성을 위한 제상, 제습에 대한 연구가⁽³⁾ 계속되어 왔다. 이러한 제상/제습 성능을 향상시키기 위한 설계를 위해, 과거에는 수많은 모델의

[†] Corresponding author
Tel.: +82-41-521-9246; fax: +82-41-521-9547
E-mail address: kumbae@kongju.ac.kr

제작과 성능평가, 수정을 통하여 성능을 향상시켜왔으나 이러한 방법은 제작비용 및 시간적으로 큰 손실을 초래하였다. 따라서 최근에는 CFD를 통한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

Anderson et al.⁽⁴⁾은 1차원 CAE를 이용하여 HVAC 시스템에서 덕트, 열교환기, 문 등 각각의 구성품에 걸리는 통기저항을 해석하였고, 통기저항을 최소로 한 HVAC 시스템을 모델링하여 공기유동에 대하여 해석하였다. Currel⁽⁵⁾은 차 실내를 모델링하고 HVAC 시스템에서 토출되는 공기량, 토출방향, 온도 및 차 실내에서의 열전달을 상용 CFD 코드인 Star-CD로 해석하여 HVAC 시스템의 열 유동해석의 가능성을 검토하였다. 또한 Currle and Maue⁽⁶⁾는 HVAC 시스템에서 IP(instrument pannel) vent 토출구의 크기, 각 토출구에서 토출되는 공기량의 변화가 차 실내의 쾌적성에 미치는 영향을 Star-CD를 사용하여 해석하였고, Aroussi et al.⁽⁷⁾은 HVAC 시스템의 제상능력을 상용코드를 이용하여 해석하였고, 3차원 LDA(Laser Doppler Anemometer)를 이용, 측정된 속도와 열화상 카메라로 촬영한 온도분포와 비교하였다.

제상 및 제습 시스템 성능에 영향을 미치는 제어인자는 Defroster 토출공기 조건(온도, 습도, 유동)에 따라 여러 가지가 있다. 본 연구에서는 이 제어인자 중 Defroster nozzle(제상노즐)과 자동차 전면 유리의 각도 및 거리의 변화가 제상/제습 성능에 미치는 영향에 대해 조사하였고, 이들 결과들이 최적화된 제상/제습 노즐 설계에 도움을 주고자 한다. 위에 언급한 제어인자들의 영향 조사를 위해 상용코드인 SC/Tetra를 이용하여 수치해석을 하였으며, 그 결과들을 분석하였다.

2. 수치해석

2.1 제상/제습 성능 시험 규정

자동차 전면유리 제상, 제습 기능은 안전운전을 위해 꼭 필요한 기능이며 규제대상이다. Fig. 1은 자동차 전면유리(windshield)의 대한 가시영역을 나타내고 있다. 자동차 전면유리는 Vision Area A, B, C영역으로 나누어지며 미국 고속도로 안전 관리국(NHTSA)의 시험규정⁽⁸⁾을 보면 30분 이내로 Vision Area A는 전체면적의 80%

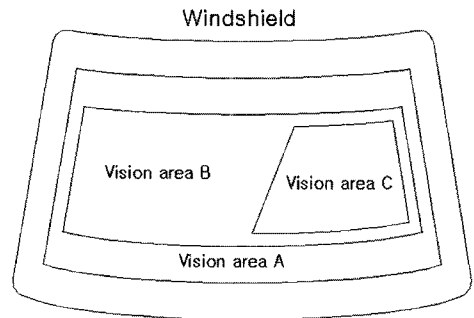


Fig. 1 Vision areas.

Table 1 Variation of control factors

Angle	5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40°
Distance	<ul style="list-style-type: none"> ◦ nozzle위치의 0.5배 위치 ◦ nozzle위치의 1.0배 위치 ◦ nozzle위치의 1.5배 위치

이상인, Vision Area C는 100% 제상이 되도록 규정되어 있다.

2.2 제어인자

제상 및 제습 시스템 성능에 영향을 미치는 제어인자(Defroster 토출공기 조건) 중 제상노즐과 자동차 전면유리의 각도 변화 및 거리의 변화가 제상/제습성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 Table 1과 같이 분사각도를 5°~40°까지 변화시키면서 해석을 하였고, 제상패턴, 기류분포 및 온도 변화를 관찰 하였다. 그리고 분사각의 변화 결과 중 제상성능이 우수한 분사각에 대해서 제상노즐의 거리비를 0.5~1.5로 변화를 주면서 이에 대한 해석도 같이 수행하였다.

2.2.1 노즐 분사각의 변화

제상노즐의 분사각 변화가 제상/제습에 미치는 영향을 알아보기 위해 Fig. 2와 같이 제상노즐의 분사각(θ)을 5°~40° 범위에서 5°씩 변화를 주면서 제상 해석결과를 관찰하였다.

2.2.2 노즐 거리의 변화

제상노즐의 거리변화가 제상/제습에 미치는 영향을 알아보기 위해 분사각의 변화 결과 중 제상성능이 우수한 분사각에 대해서, Fig. 3과 같이 노즐과 전면유리의 실제거리를 1.0이라 하고 노

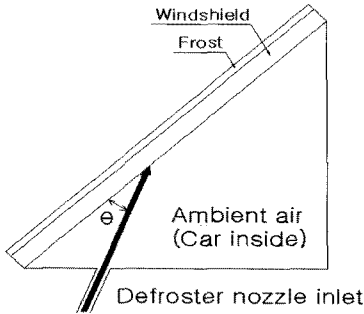


Fig. 2 Geometry of changing injection angle.

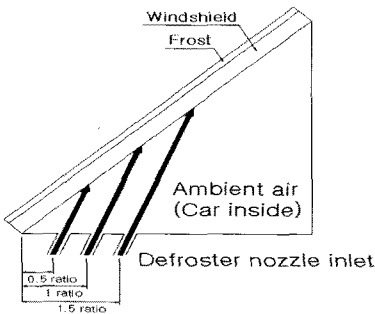


Fig. 3 Geometry of changing nozzle distance.

즐의 거리를 0.5배, 1배, 1.5에 해당하는 거리를 적용하여 제상 해석 결과를 관찰하였다.

2.3 해석모델 및 격자

수치모사를 하기 위해서 자동차 전면유리를 포함한 실제 형상을 CATIA를 사용하여 Fig. 4와 같이 3차원으로 모델링 하였는데, 유리면에서 인접한 이외의 부분은 해석에 미치는 영향이 극히 적음으로 계산시간 효율성을 위하여 제외하였다. 또한 전면유리 외부에 생성된 성에의 제상해석을 효율적으로 수행하기 위해 격자를 외부공기영역, 성에, 전면유리, 차량 실내영역 4부분으로 나누어 격자를 생성하였다. Fig. 5는 Fig. 4에 대한 격자계이며, 이는 약 35만여 개의 셀로 구성되어있다.

그리고 해석의 정밀도를 높이기 위해 제상노즐 전면유리, 성에부분의 격자를 좀 더 조밀하게 구성하였다.

2.4 수치해석 방법

본 연구에서는 열·유체 해석프로그램인 SC/

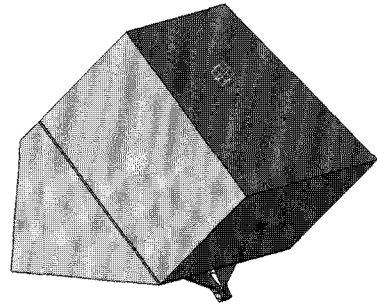


Fig. 4 3D geometry of analysis model.

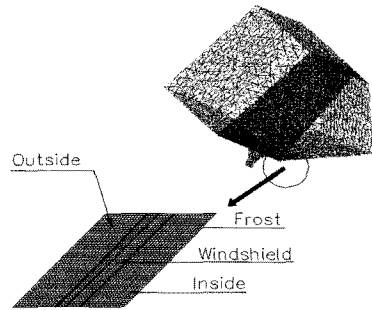


Fig. 5 Mesh with 350,000 cells for analysis model.

Tetra V6를 사용하여, 실제차량 전면유리에 생기는 성에에 대한 제상패턴, 자동차 실내기류 및 온도분포를 모사 하였다. 제상노즐로부터 분사되는 노즐의 입구 조건은 15 ℃, 7m/s이고 출구조건은 1 atm을 사용하였다. 또한 외기온도는 -15 ℃, 전면유리에 성에가 0.5mm의 두께로 균일하게 분포되어 있다고 간주하고, 자동차가 정지 상태에서 노즐을 작동시킨다고 하였다. 제상노즐에서 분사되는 공기는 대류에 의해 전면유리에 열을 전달하고, 전면유리에서는 전도 열전달만 고려하였다.

3. 결과 및 분석

본 연구에서는 제상노즐 토출 공기 조건 중 제상노즐의 분사각은 5°~40°, 거리는 0.5배~1.5배의 범위에서 제상/제습 성능에 미치는 영향에 대해 조사하였으며, 수치해석의 타당성을 입증하기 위해 Aroussi et al.⁽⁷⁾의 3차원 수치해석 결과와 비교해 보았다. Aroussi et al.의 3차원 수치해석과 실험을 통한 검증 값과 비교해본 결과 자동차

전면유리 부근에서의 기류분포 및 온도분포 등이 거의 일치하였다.

3.1 노즐 분사각 변화에 따른 Vision areas의 평균온도 변화

Fig. 6은 제상이 시작되고 9분 후 Vision area A, B, C의 평균온도 변화를 보여주고 있다. 노즐 분사각 증가에 따라 Vision area A의 평균온도는 미세하게 증가함을 알 수 있다. Vision areas B 및 C의 경우는 분사각이 증가함에 따라 평균온도가 약 1℃ 증가하였다.

Vision area B에서 노즐 분사각이 15°보다 큰 경우, Vision area C에서는 노즐 분사각이 25°보다 큰 경우 Vision area A의 평균 온도보다 높게 나타나는데, 이는 Vision area B와 C지역의 제상이 Vision area A보다 잘 된다는 것을 의미한다. 노즐 분사각이 5°~25°인 경우, 제상 노즐에서 분사된 기류가 전면 유리면과 충돌 후 유리면을 따라서 실내 천장까지 흘러 차량 뒤쪽으로 흘러가게 되므로 평균 온도는 가파르게 증가한다. 그러나 노즐 분사각이 30°를 넘어서면서 온도는 미세하게 증가하는 것으로 나타나며, 이는 노즐 분사각이 30°~40°에서는 기류가 전면 유리면의 충돌 지점에 크게 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.

이번 연구에서는 40°까지 수치해석을 하였는데, Fig. 6에서 30°를 넘어서면서부터 평균온도 증가율은 둔화되는 경향을 보이고는 있으나, 계속하여 증가하고 있다. 이러한 결과에 따라서 해석 범위 내에서 노즐 분사각을 고려하여 제상노즐을 설계할 경우 40° 근처에서 하는 것이 좋다는 것을 알 수 있다.

3.2 노즐 분사각 변화에 따른 제상성능

Fig. 7은 노즐 분사각 변화에 따른 제상량에 시간이 따라 나타나 있다. 성애의 전체량을 1로 보고 완전히 제상 되었을 때의 양을 0으로 볼 때, 제상이 시작되고 약 12분 후 자동차 전면유리의 성애가 완전히 제거되었음을 알 수 있다.

Fig. 7에서 노즐 분사각이 커질수록 제상 속도가 전체적으로 조금씩 빨라짐을 알 수 있다. 그러나 앞의 Vision areas 평균온도 변화 결과와

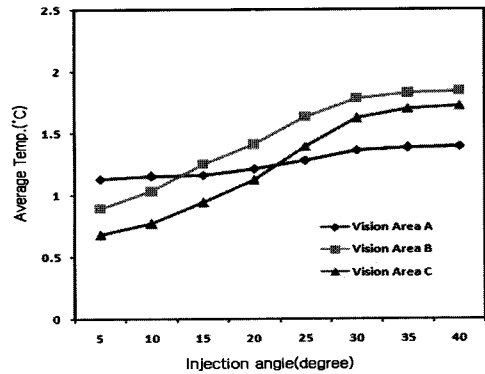


Fig. 6 Comparison of the average temperature on the vision areas with injection angle after 9 minutes of airflow.

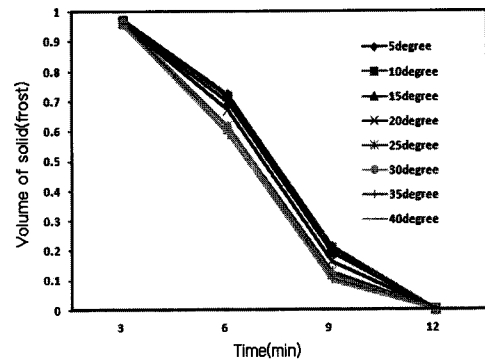


Fig. 7 Effect of injection angle on the volume of solid(frost).

마찬가지로 30°를 넘어서면서 미세한 차이를 보이며 제상 속도가 빨라지는데, 이 역시 30°~40°에서는 기류가 전면 유리면의 충돌 지점에 크게 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.

3.3 노즐거리 변화에 따른 제상성능

분사각의 변화 결과 중 제상성능이 우수한 분사각(40°)에 대해서 제상노즐의 거리비를 0.5, 1.5 배로 변화를 준 결과, 제상 속도에서 약간의 차이를 보였는데 이는 Fig. 8에 나타나 있다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 거리비를 0.5배와 1.5배로 하여 제상성능을 시험해본 결과, 전면유리에 온도전달이 잘 이루어 지지 않아서 기존의 거리에 비해 제상성능이 떨어짐을 알 수 있다. 또한, 거리비가 0.5배와 1.5배인 경우 제상 노즐에서 토출

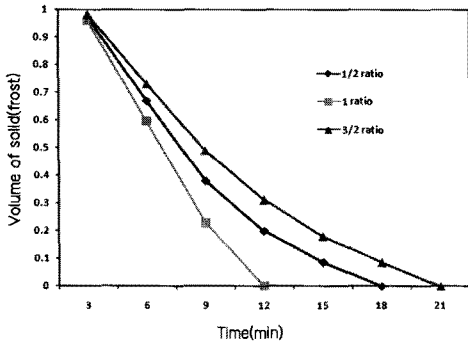


Fig. 8 Effect of distance ratio on volume of solid(frost) with 40° injection angle.

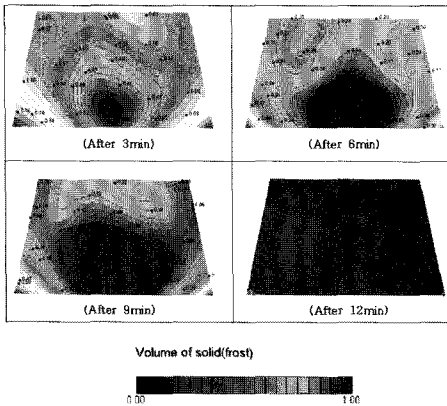


Fig. 9 Melting pattern of frost on windshield at 40°.

된 공기가 차량 실내의 온도를 빠르게 올려 열적 쾌적성을 저하시키는 요인으로 판단된다.

3.4 시간 경과에 따른 제상 패턴

Fig. 9는 앞의 노즐 분사각 및 노즐 거리의 변화 중 노즐 분사각이 40°인 경우, 노즐 거리와 원래의 거리인 경우 시간 경과에 따른 제상 패턴을 나타내고 있다. 초기의 성에량을 1로, 완전히 제상되었을 경우의 성에량을 0으로 가정하였다.

앞의 노즐 분사각 및 거리 변화의 결과와 마찬가지로 노즐에서 분사된 기류 및 온도의 영향에 따라 전면유리의 아래 부분부터 시간이 지남에 따라 V자 형태로 제상이 되고, 약 12분 경과 후 전면 유리 전 영역에서 완전 제상이 되는 것으로 나타났다.

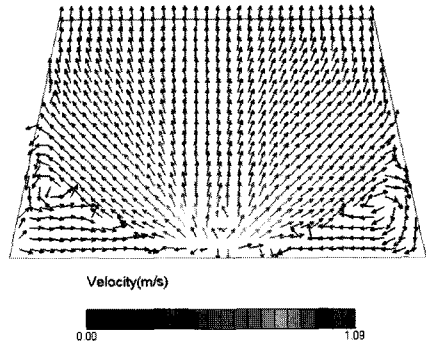


Fig. 10 Velocity distribution result of windshield.

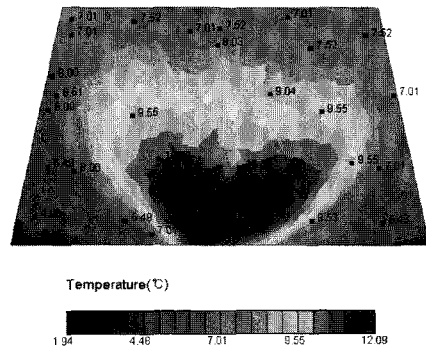


Fig. 11 Temperature distribution of windshield.

3.5 기류분포 및 온도분포

Fig. 10은 노즐 분사각이 40°일 때의 자동차 전면 유리면에서의 기류분포를, Fig. 11은 노즐 분사각이 40°일 때의 자동차 전면유리 내부면의 온도분포를 나타내고 있다.

Fig. 10에서 기류분포를 보면 제상노즐에서 토출된 공기는 전면유리에 충돌한 후, 전면유리를 따라 실내 천장까지 흘러감을 알 수 있다. Fig. 11의 온도분포를 보면 제상노즐에서 토출된 공기는 기류가 차량 전면유리에 충돌한 지점에서 온도가 높고, 노즐에서 거리가 멀어질수록 전면유리의 온도가 낮음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 겨울철 제상 시스템 성능에 영향을 미치는 제어인자(Defroster 토출공기 조건) 중 제상노즐과 자동차 전면유리의 각도 변화 및 거리의 변화가 제상성능에 미치는 영향을 비교하

기 위해 상용 해석프로그램을 사용하여, 실제차량 전면유리에 생기는 성에에 대한 제상패턴, 자동차 실내기류 및 온도분포를 모사 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 제상 노즐로부터 토출되는 공기의 분사각은 30°를 넘어서면서 전면 유리면의 평균 온도는 미세하게 증가하며, 이는 노즐 분사각이 30°~40°에서는 기류가 전면 유리면의 충돌 지점에 크게 영향을 받지 않는 것으로 사료되므로, 노즐 분사각을 고려하여 제상노즐을 설계할 경우 40° 근처에서 하는 것이 좋다는 것을 알 수 있다.

(2) 분사각의 변화 결과 중 제상성능이 우수한 분사각에 대해서 제상노즐의 거리비를 0.5배와 1.5배로 하여 제상성능을 시험해본 결과, 전면유리에 온도전달이 잘 이루어 지지 않아 기존의 거리에 비해 제상성능이 떨어짐을 알 수 있고, 토출된 공기가 차량 실내의 온도를 빠르게 올려 열적 쾌적감을 저하시키는 요인으로 판단된다.

제상을 위하여 제상노즐 작동 시 열적 쾌적성을 평가하기 위해 차후 습도에 대한 해석도 필요하다고 사료된다.

후 기

본 연구는 2006년도 지방대학혁신역량강화사업(NURI)인 『충남 자동차·부품산업 인력양성사업』 중 “산학공동연구” 과제 및 2단계 BK21 과제의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Park, C. H., 2000, The developmental trend

of automotive air conditioning system, Magazine of the SAREK, Vol. 29, No. 10, pp. 14-19.

2. Kim, H. G., 2000, The comprehension of automotive air conditioning system, Magazine of the SAREK, Vol. 29, No. 10, pp. 20-27.

3. Hoschele, J. D., Davis, L. I. Jr. and Dage, G. A., 2001, Condition for incipient windshield fogging and anti-fog strategy for automatic climate control, SAE 2001-01-0583.

4. Anderson, G., Padgaonkar, A., Ecer, A. and Didandeh, H., 1991, Computer-aided analysis of air flow in the design of air conditioning system, SAE, 910646.

5. Currel, J., 1996, Application of computational fluid dynamics for the optimization of air ducts, 29th International Symposium on Automotive Technology and Automation.

6. Currel, J. and Maue, J., 2000, Numerical study of the influence of air vent area and air mass flux on the thermal comfort of car occupants, SAE, 2000-01-0980.

7. Aroussi, A., Hassan, A., Clayton, B., Abdul Nour, B. S. and Rice, E., 2000, Improving vehicle windshield defrosting and demisting, SAE, 2000-01-1278.

8. Laboratory test procedure for FMVSS 103 windshield defrosting and defogging system, 1996, U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration.