

도어 닫힘에 따른 차실내압 저감에 관한 연구

김남훈*·노병준**·김원태*·남궁정환*·이상진*

A Study on the Decrease of Pressure in Truck Cabin With Closing Door

N. H. Kim*, B. J. Rho**, W. T. Kim*, J. W. Namkung* and S. J. Lee*

Key Words : Vehicle's airtight integrity(차량기밀유지), Air ventilation(공기통풍구), Door closing velocity(도어 닫힘속도), Pressure rise rate(압력상승률)

Abstract

Vehicle's airtight integrity is a very important factor that greatly affects passenger's habitability. However, when a door is closed, the pressure in the passenger compartment increases due to the vehicle's airtight integrity. That pressurizes the eardrums of the passenger, and makes passenger unpleasant. Thus, in this study, the configurations of air ventilation have been investigated to reduce pressure in the passenger compartment. Truck cab is utilized to measure the pressure in the passenger compartment. Various kinds of air ventilations are considered to find out optimized pressure in truck cab when a door is closed.

1. 서론

자동차는 단순한 공간적 이동수단이나 화물의 운송에 대한 기본적인 역할에서 벗어나 확장된 생활공간으로서 그 개념이 변화되고 있다. 따라서, 운전자 및 탑승자는 주행 중에 보다 쾌적한 환경을 요구하고 있으며, 이는 자동차의 필수 조건이 되었다. 이러한 측면에서 소음과 먼지의 유입에 따른 자동차의 거주성(Habitability) 향상을 위하여 차량의 기밀 보전성이 요구되었다. 그러나, 이는 도어를 닫을 때 차량 실내 공기의 압력을 증가시켜 도어의 단순한 기능인 쉽게 닫히는데 있어 역효과를 발생시킨다. 즉, 도어를 닫을 때 차 실내의 압력 상승은 탑승자의 고막을 압박하여 귀울림 현상을 발생시킴으로서 불쾌감을 유발하는 원인이 된다.

이와 같이 도어가 닫힐 때 발생하는 차량 실내 공기의 압력상승을 억제하기 위한 목적으로 Air Ventilation 설치가 요구되어진다. Air Vent.의 영향을 차량 정차시 도어 차량 내부의 공기를 신속하게 배출하여 실내를 쾌적한 상태로 유지시키는 공조기능과 고속 주행시 차량내부와 외부의 압력차를 줄임으로서 도어 프레임의 변형을 최소화할수 있다. 또한, 차량 정차시 도어를 닫을 때 차량 내부 공기의 신속한 배출에 의해 도어 개폐력을 감소시킴으로써 하여 탑승자의 도어 개폐 Feeling을 향상시킨다.

그러므로 본 연구에서는 Truck Cab 내부에 설치된 Air Vent.의 영향을 차량 정차시 도어를 닫을 때 발생하는 차량 내부의 압력상승과 탑승자의 도어 개폐 Feeling과 관련한 특성들을 정량적으로 평가하여 분석하고, 상호 관련성을 규명함으로써 Air Vent.설계의 최적화 방안을 도출하고자 한다.

2. 실험장치 및 측정방법

2.1 실험장치

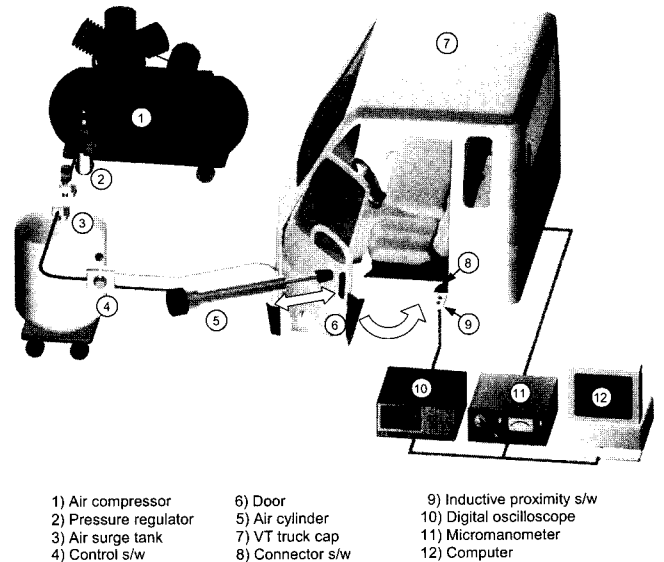


Fig. 1 Experimental Setup

Fig. 1은 본 연구를 위하여 구성된 실험장치의 개략도를 보이고 있다. 실험장치 개략도에서 보는 것처럼 실험장치는 크게 도어닫힘시스템(Door Closing System), 도어닫힘속도 측정부(Door Closing Velocity Measuring System), 측정데이터 처리부(Data Acquisition System) 및 실험을 위한 Truck Cab으로 구성되어 있다.

도어닫힘시스템은 왕복형 공기압축기, 압력조절기, 공기충전 탱크, 공압 작동스위치, 공압실린더로 이루어져 있다. 7.5 kW 유

* 전북대학교 대학원, fmir@shinbico.com

** 전북대학교 기계항공시스템공학부,
자동차 신기술연구센터

도전동기에 의하여 구동되는 왕복형 공기압축기(Max. 10bar)에 의해 압축된 공기는 압력을 조절하는 압력조절기를 거쳐 왕복형 공기 압축기에서 발생하는 압력 맥동을 감소시키고, 일정한 공기압력을 유지하기 위한 공기충전탱크에 저장된다. 공기충전탱크에 저장된 일정 압력의 공기가 공압 작동스위치에 의해 공압 실린더(SAMHAN SCA2-OO-63B-300 Pressure : 0.5~9.9kgf/cm²)로 공급되어 공압실린더가 작동하여 일정한 속도로 도어를 닫게 된다.

도어가 공압실린더에 의하여 닫혀질 때 도어의 닫힘속도를 측정하기 위한 도어닫힘속도 측정부는 고주파 발진형 근접스위치(원주형 DC 3선식, Autonics PR12-4DN)와 차체에 부착되어 있는 콘택트 스위치로 이루어져 있다. 차체로부터 5cm 떨어진 위치에서 두 개의 고주파 발진형 근접스위치를 10cm 간격으로 설치하였다. 도어가 지나치면서 얻어지는 신호를 디지털 오실로스코프(LeCroy 9314C)를 이용하여 디스플레이하고 이 신호를 컴퓨터로 받아들여 도어닫힘속도를 계산하였다. 또한, 도어가 완전히 닫히는 시점을 알기 위하여 도어가 완전히 닫힘에 따라 차체에 부착되어 있는 콘택트 스위치에 전원이 off 되는 시점을 디지털 오실로스코프로 디스플레이하고 컴퓨터에 입력 신호로 활용하였다. 도어가 닫힘에 따라 발생하는 차실내 압력을 측정하기 위하여 최대 100mmAq까지의 미세한 압력을 측정할 수 있는 마이크로마노미터(Furness Controls LTD, FC 001)를 사용하여 디지털오실로스코프에서 디스플레이하고, 이를 컴퓨터에 입력하여 도어가 닫힐 때 발생하는 최고 압력을 계산하였다.

2.1 측정방법

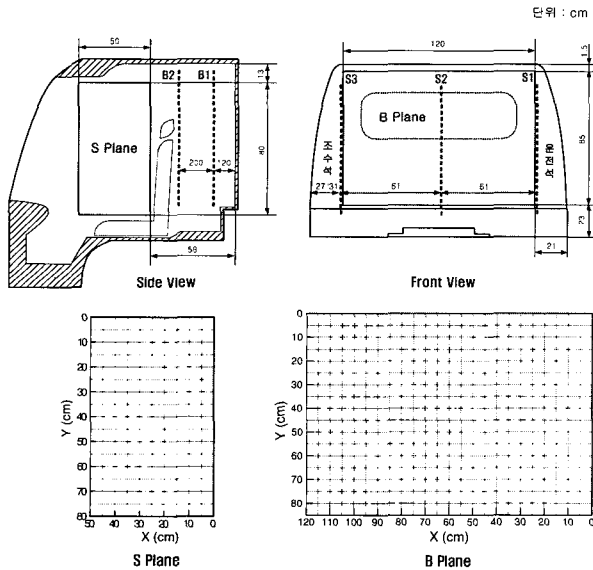


Fig. 2 Measuring region of pressure distribution in truck cab

도어가 닫힐 때 차실내 압력분포를 측정하기 위하여, Fig. 2와 같이 총 5개의 측정영역을 설정하였다. S평면은 운전석(S1), 중앙부(S2), 조수석(S3)의 3개 측정영역으로 설정하였고, B평면은 좌석 뒤쪽의 Back PNL 위치의 B1 평면과 B2 평면으로 2개의 측정영역으로 설정하였다. 각 측정영역은 차실내에 운전석과 조수석 시트가 모두 설치되어 있는 상태에서 측정이 이루어지므로 측정평면을 설정하기에 상당한 어려움이 따른다. 따라서, 본 연구에서 설정된 5개의 측정영역은 차실내의 기하학적 형상을 고려하여 선정된 측정영역들이며, 각각의 측정영역에서의 측정점들은 5cm 간격으로 측정이 이루어졌다.

Air Vent Hole의 단면적 변화 및 형상 변화 특성을 고찰하기 위

하여 기존의 도어에 설치되어 있는 Vent Hole을 모두 막고 Air Vent가 없는 경우 도어가 닫힘에 따라 나타나는 실내압 상승을 고찰하였다. 그리고, 기존에 도어에 설치되어 있는 Air Vent의 특성과 비교 분석하였다. 또한, 기존 도어의 Air Vent의 입구의 단면적을 출구의 단면적의 크기와 같게 변화를 주어 특성을 고찰하였다. Air Vent의 형상을 변화시키기 위하여 4개의 덕트형 Air Vent와 덕트형 Vent를 제거하고 덕트형 Vent와 입구와 출구의 단면적이 같은 일반적인 Vent Hole을 Back PNL 위치에 설치하여 덕트형과 특성을 비교하였다.

도어닫힘속도와 차실내 압력상승에 따른 변화 특성을 고찰하기 위하여 도어의 닫힘속도는 공압실린더의 양단의 압력차를 압력 조절기를 이용하여 조정함으로써 1.1~1.6m/s로 변화시켜 가며 각 측정영역의 중심위치에서 차실내 압력을 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Air Vent의 설계 인자 중의 하나인 도어 하중에 대한 특성을 고찰하기 위하여 Fig. 3에서 도어의 하중을 증가시켰을 때 차실내 압력을 Air Vent가 없는 경우와 도어에 설치되어 있는 입구를 출구 단면적과 동일한 크기로 변경한 경우에 대하여 비교하였다. 본 실험의 경우, 도어하중을 증가시키기 위하여 도어 포켓에 무게가 계량된 추를 설치하였다. 공압실린더에 일정한 공기압을 공급할 수 있도록 압력조절기로 조절하여 도어를 닫는 힘을 일정하게 유지한 상태에서 도어의 하중이 증가함에 따라 도어의 차실내의 압력을 측정하였다. 도어하중을 증가함에 따라 차 실내 압력은 증가하고있음을 알 수 있다. 이런 차실내 압력의 증가는 도어 하중이 증가함에 따라 도어의 관성력이 커져 도어닫힘속도가 증가하기 때문이다. 따라서, 도어하중의 증가는 도어의 관성력을 크게 함으로써 도어의 최저 닫힘속도를 감소시킬 수 있어 도어의 닫힘 성능을 향상시킬 것으로 판단된다.

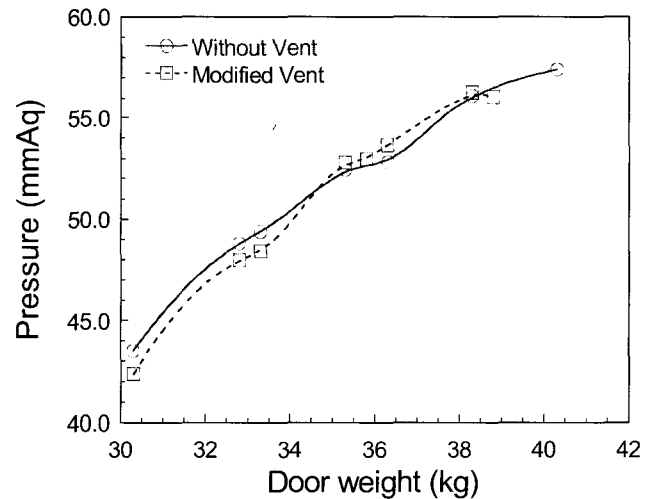


Fig. 3 Mean Pressure for Weight of Door

Air Vent의 단면적의 크기가 동일한 경우, Air Vent의 설치 위치 및 형상 변화에 따른 특성을 고찰하기 위해 본 연구에서는 Air Vent의 입구 단면과 출구 단면이 모두 50cm²로 동일한 3개의 다른 형태의 Air Vent를 고려하였다. 즉, 원래 도어에 설치되어 있는 Air Vent의 입구 단면적을 출구 단면의 크기와 같이 변경한 경우, 차 실내의 Back PNL 위치에 덕트형 Air Vent를 설치한 경우, 덕트형 Air Vent의 입구 위치와 출구 위치가 동일하고 덕트가 없는 경우를 비교 분석하였다. 덕트가 없는 Air Vent는

Back PNL의 차체와의 사이에 삽입되어 있는 흡음제가 입구와 출구 부분에 유동이 원활하게 하기 위한 가이드 역할을 하였다.

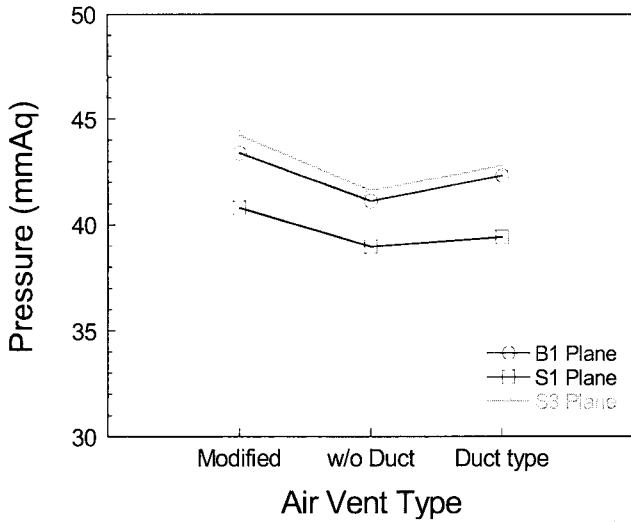


Fig. 4 Mean Pressure for configuration of air vent (air vent area : 50cm²)

Fig. 4에는 Air Vent 전체 단면적이 50cm²로 동일하고, Air Vent의 설치 위치와 형상 변화에 따라 각각의 측정평면에서 얻은 압력분포를 평균하여 도시하여 비교 분석하였다. B1평면에서, 원래 도어에 설치되어 있던 Air Vent의 경우와 비교하여 출구의 크기로 입구의 단면적을 변경하였을 때 보다 약 2.4%의 압력강하를 보였으나, 덕트형의 경우는 4.8%, 덕트가 없이 입구와 출구에 단순한 가이드만 설치한 경우는 7.5%로 현저한 압력강하를 나타내고 있음을 알 수 있다. 운전석의 S1평면도 유사한 경향을 보이고 있으며, 다른 측정평면보다는 현저하게 낮은 평균압력을 나타내고 있다. 가장 높은 평균압력을 갖는 S3평면(조수석 측정평면)은 원래 도어에 설치되어 있는 Air Vent 입구의 크기를 출구 단면적과 동일하게 변경한 경우, 1.1%의 압력강하를 보여 확연한 성능 향상을 보이지 않음을 알 수 있다. 그러나, Back PNL 위치에 덕트없이 입구와 출구에 단순하게 가이드를 설치한 경우는 9.2%의 압력강하를 나타내 뚜렷한 성능 향상을 보여주었고, 동일한 위치에 설치한 덕트형의 경우도 4.3%의 압력강하를 나타내었다. Back PNL에 덕트 없이 Air Vent의 입구와 출구의 유동 통로 가이드를 설치 한 경우, 현저한 압력강하를 나타내었다.

Fig. 5은 Air Vent의 입구를 막아 Air Vent가 작동하지 않는 상태에서 도어의 닫힘속도 변화에 따른 차실내 압력변화 과정을 원래 도어에 설치되어 있는 Air Vent와 함께 각각의 측정평면의 중심위치에서 측정된 데이터를 도시하여 비교하였다. 도어의 닫힘속도가 증가하면서 차실내의 압력은 선형적으로 증가하고 있다. Air Vent가 없는 경우와 원래 도어에 설치되어 있는 Air Vent에 있어 도어닫힘속도에 따른 압력변동이 거의 일치하는 특성을 보이고 있다. 이는 현재 도어에 설치되어 있는 Air Vent가 차실내 압력강하에 큰 효과를 주지 못한다는 명백한 증거를 보이고 있다. 그러나, 운전석에서 측정된 S1평면의 경우는 다른 측정평면과 비교하여 도어닫힘속도 변화에 따른 차실내 압력변동이 보다 낮게 나타나고 있다. 이는 앞서 고려한 것처럼 운전석의 도어를 닫음으로서 차실 외부의 대기와 접하는 시간이 길어 상대적으로 낮은 압력변동을 나타내는 것으로 판단된다.

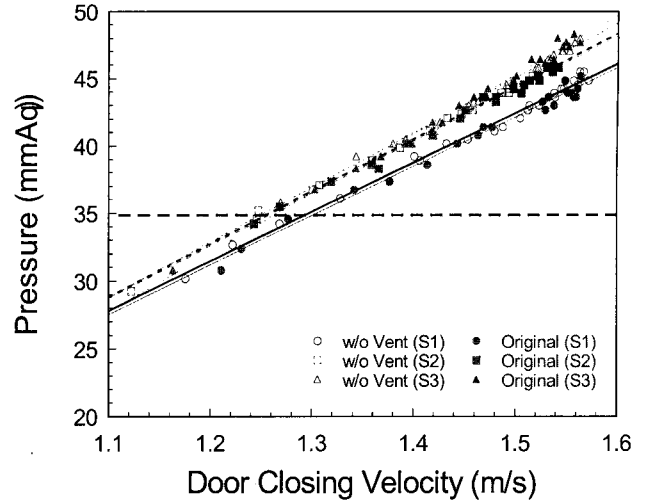


Fig. 5 Relations of pressure and door closing velocity with and without air vent at S planes

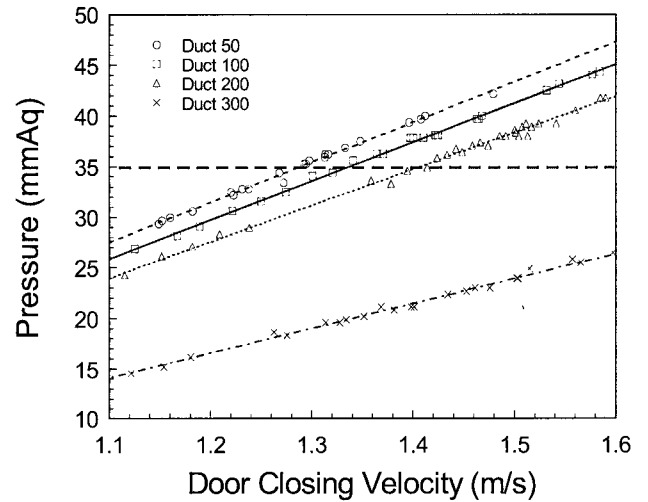


Fig. 6 Relations of pressure and door closing velocity for duct type air vent hole size at S3 plane

Fig. 6은 도어닫힘속도 증가에 따른 차실내 압력변화를 덕트형 Air Vent의 단면 크기를 고려하기 위하여 도시한 것이다. 운전석 도어가 닫힘에 따라 조수석(S3평면)의 압력변화는 도어의 속도가 증가함에 따라 선형적으로 증가하고 있으며, 단면적이 증가함에 따라 차실내 압력은 감소하고 있음을 알 수 있다. Duct 300의 경우 현저한 압력강하를 보이고 있으며, 닫힘속도 1.5m/s의 속도에 차실내의 압력이 제한 값인 35mmAq 이하의 압력을 보이고 있다.

앞선 연구결과들로부터 도어가 닫히면서 차 실내로 유입되는 공기의 원활한 배출이 이루어지지 않으면, 차실내의 정체되는 유입공기에 의해 압력이 상승하게 된다는 사실을 확인하였다. 따라서, 본 연구에서는 유입공기의 원활한 유동이 이루어져 도어 닫힘시 발생하는 귀울림 현상이 발생하지 않는 35mmAq 이하의 실내압을 나타낼 수 있도록 Air Vent의 단면적 크기를 고려하였다.

Fig. 7은 Air Vent의 형상 및 단면 크기에 따라 측정된 압력분포를 평균하여 정량적으로 비교하였다. B1평면의 경우, Duct 50, 100, 200, 300으로 단면적이 증가함에 따라 Air Vent가 없는 경우와 비교하여 각각 4.8%, 10.3%, 15.1%, 46.5%의 압력강하를 보였다. 덕트형 Air Vent의 단면적이 증가함에 따라 Duct 200까지

는 차 실내 평균압력은 선형적으로 감소하여 선형적인 압력강하를 나타내고 있음을 알 수 있다. 그러나, Duct 300은 급격한 압력강하 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. S3평면에서도 Back PNL에 설치된 덕트형 Air Vent의 단면적이 증가함에 따라 Duct 200까지는 Air Vent가 없는 경우와 비교하여 Duct 50에서 5.4%, Duct 100에서 9.9%, Duct 200에서 15.7%로 선형적으로 압력 감소를 보이다가 Duct 300에서는 48%로 급격한 압력강하를 나타내고 있다.

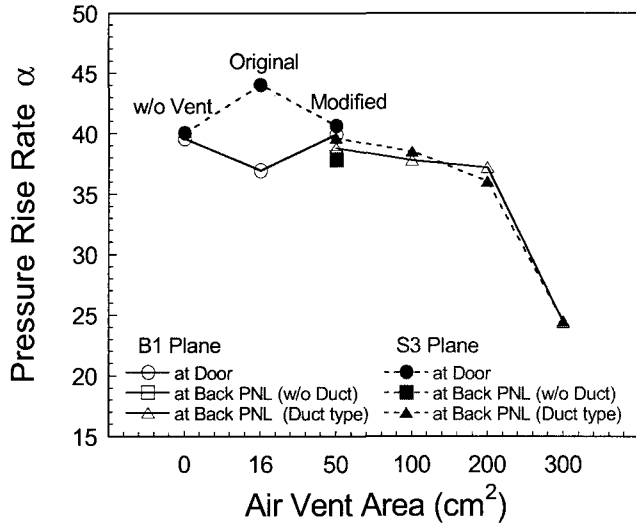


Fig. 7 Pressure rise rate for air vent configuration

그러나, Back PNL에 설치된 덕트를 제거하고 Air Vent의 입구와 출구에 가이드를 설치한 경우, 차 실내 압력은 덕트형 Air Vent 보다 단면적 증가에 따라 압력의 감소 폭이 점진적으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 특히, 단면적이 200cm²인 덕트가 없는 경우, Air Vent가 없는 경우와 비교하여 25.4%로 덕트가 있는 경우 보다 9.7%의 압력강하가 더 나타남을 알 수 있으며, 단면적이 300cm²인 경우, 덕트가 없는 경우와 있는 경우의 Air Vent가 없는 경우와 비교한 압력강하 차이가 3%로 차이가 감소함을 알 수 있다. 이들 결과는 본 연구에서 사용한 덕트형 Air Vent의 형상에 기인한 것으로 Duct 300의 경우 유량에 따른 덕트 입구와 출구의 압력차가 매우 작음을 그래프에서 알 수 있다. 이는 입구와 출구의 단차가 줄어들어서 유입된 공기의 유동손실 급격하게 감소하여 유입공기가 원활하게 출구를 통하여 배출되어지기 때문으로 생각된다. 따라서, 덕트형 Air Vent를 Back PNL에 설치할 경

우, 도어가 닫힐 때 발생하는 차 실내의 유입공기의 원활한 배출을 위하여 덕트 형상의 최적화가 요구된다는 것을 다시 한번 확인할 수 있다.

4. 결론

차량의 기밀 유지로 인하여 도어를 닫을 때 차 실내로 유입되는 공기에 의해 탑승자의 귀울림과 도어개폐 Feeling 악화를 개선하기 위하여 차 실내에 설치한 Air Vent의 특성을 향상시키기 위한 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

도어에 설치되어 있는 Air Vent의 입구 단면과 유동통로를 최적화하는 방안보다는 운전석과 조수석에 탑승자를 감안할 때 도어가 닫히면서 차 실내로 유입되는 공기의 원활한 배출로 차 실내의 압력상승을 억제하기 위하여 Back PNL에 Air Vent를 설치하는 것이 유리하며, Air Vent 단면적이 200cm² 이상일 경우 원활한 유입공기 배출로 인하여 차 실내 압력상승률은 낮게 나타나고 있다. 더욱이, 덕트형 Air Vent를 유동손실이 적고 유동경로를 최적화하여 사용할 경우, 더욱 우수한 성능이 기대된다.

참고문헌

- [1]. 배일근, "자동차 Door Closing Performance의 고찰", 기아기보, No. 11, pp. 86 ~ 94, 1989.
- [2]. Y. Nagayama and R. Fusihara, "A Consideration of Vehicles Door Shutting Performance", SAE810101, 1981.
- [3]. Jo. Tachiwara and Ryoji Fujiwara, "Door Operating Characteristics and Sound", 自動車技術會 論文集 No.4, pp. 44 ~ 50, 1972.
- [4]. Keisuke Kanie 외 4인, "Evaluation of Door", 自動車技術會 論文集 Vol.40, No.11, pp. 1422 ~ 1427, 1986.
- [5]. Yoshitaka Nagata, Hiroyuki Ono, Yasuhiro Kurono, Osamu Terai, Masaru Koike, Susumu Imagaki, "Some Considerations to Doors of Good Quality", 自動車技術 Col. 44, No. 4, pp. 29 ~ 35, 1990.
- [6]. 김현영, 김중재 외 4인, "사이드 도어 닫힘성능 개선을 위한 도어시일 형상 설계 시스템 개발", 현대자동차 산학연구 보고서, 강원대학교 공대부설 산업기술 연구소, 2000.
- [7]. 박세혁, "Door Feeling에 관한 고찰", 현대자동차 학술대회 논문집, pp. 80 ~ 87, 1998