

차량 도어 닫힘시 승객실 압력 변화에 관한 수치해석적 연구

이영림*, 황순호

*공주대학교 기계공학부

e-mail : ylee@kongju.ac.kr

A study on the numerical analysis of cabin pressure during closing a door

Young Lim Lee*, Soon ho Hwang

*Division of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National
University

요 약

차량 도어를 닫은 직후 차량 내부에서 발생된 소음 및 압력은 승객으로 하여금 불쾌감을 유발한다. 많은 연구가 소음에 관해서 주로 이루어져 왔고 압력 증가에 대해선 상대적으로 관심이 적었다. 따라서 본 연구에서는 동격자를 이용한 3차원 수치해석을 통하여 도어가 닫힐 때 차체 누설량과 도어 각 속도에 따른 차량 승객실 압력 변화를 고찰하였다.

1. 서론

현대 차량은 성능향상 뿐만 아니라 디자인과 승객의 쾌적성을 향상시키기 위해 발전하고 있다. 차량에서 나오는 소음과 진동 등은 승객에게 불쾌감 및 피로를 유발하며 이를 해결하기 위해선 쾌적성 향상이 무엇보다 필요하다. 쾌적성 향상과 관련된 여러 가지 요소 중에서 차량 도어의 닫힘 속도에 의해 증가하는 공기 유입은 내부 압력을 상승시키며 도어가 닫힐 때 차체와의 접촉에 의해 발생하는 소음은 중요한 관심사의 하나일 것이다.

실내의 압력 변화는 도어의 닫힘 속도뿐만 아니라 차체 누설량(body leakage)에도 영향을 받는다. 환기 성능을 고려하여 만든 실내 공기 배출 유로(extract system)뿐만 아니라 창문의 방화벽, 손잡이 등의 접합부를 통해 누설량이 결정된다. 차체 누설량은 차량의 환기 성능, 급속 난방(warm-up) 및 급속 냉각(cool-down) 성능과 연관되므로 승객의 쾌적성뿐만 아니라 히터나 에어컨 시스템에도 영향을 미친다.

본 논문에서는 정지 상태의 차량에서 문 및 창을 밀폐하고 외부 송풍기로 차실내에 공기를 공급하여 실내의 게이지 압력이 250Pa이 유지되도록 하기 위한 송풍량을 차체 누설량으로 정의했다.[1]

차량 닫힘에 관한 연구는 주로 진동이나 소음에 측면에서 이루어 졌다. Fish와 Franco-Jorge, Forbes와 Wales, Champagne와 Amman은 주로 도어가 닫힐 때 발생하는 소리의 크기(loudness)에 대한 연구를 수행하였으며 Sellerbeck과 Nettelbeck은 현저한 저주파수(predominant low frequency content)에 대한 연구를 수행했다.[2-4] 이밖에도 Chiou의 선루프 개방으로 인한 차체 누설량 증가가 차량의 냉·난방 성능에 미치는 영향에 대해 연구가 수행되었다.[5] 하지만 아직까지 차체 누설량 변화가 차량 도어 닫힘시 차량 실내압력에 미치는 영향에 대해선 연구가 이루어지지 않았다.

따라서, 본 연구에서는 차량 도어가 닫힐 때 차량 도어의 각속도 및 차체 누설량에 따른 실내 압력 변화를 확인하고자 한다.

2. 수치 해석

수치해석은 3차원, 압축성, 난류 유동 해석을 위해 FVM(final volume method) 방식을 사용하는 fluent[6]를 이용하였다. 난류 유동계산을 위하여 표준 $k-\epsilon$ 및 벽함수(wall function)를 사용하였다. 차량 도어의 닫힘을 묘사하기 위하여 Fluent의 동격자(dynamic mesh)를 채택하였고 UDS(user defined

subroutine)를 작성하여 도어를 회전시켰다.

3차원 수치해석을 이용하여 차체 누설량에 해당하는 공기 배출구의 크기를 정하였고 차량도어 각속도 및 차체 누설량에 따른 실내 압력 변화를 고려했다.

2.1. 차체 누설량에 따른 공기 배출구 크기

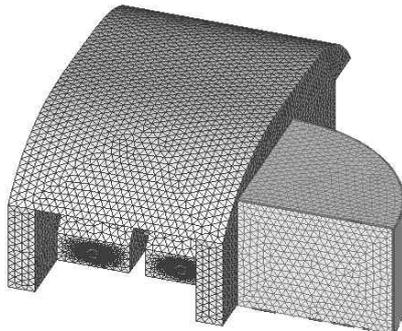
차체 누설량에 해당하는 공기 배출구의 크기를 정하기 위해서 도어가 닫힌 상태의 격자를 생성하였으며 도어 측면에 지름 0.15m의 공기 유입구를 만들어 차체 누설량에 맞는 속도를 주었다. 실제 차량에서 차체 누설량은 공기배출 유로 및 임의 틈새에 의해 결정되나 본 논문에서는 밀폐된 차실내에 공기를 공급하면서 실내의 게이지 압력이 250 Pa이 유지되도록 공기 배출구의 크기를 수치해석적으로 결정하였다. 표 1은 수치해석으로 얻어진 차체 누설량에 따른 공기 배출구의 크기를 보여 준다.

[표 1] 차체 누설량에 따른 공기 배출구 크기

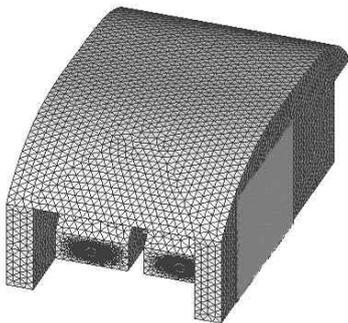
Body leakage(m ³ /s)	0.18	0.22	0.3
Hole diameter(mm)	56.0	61.9	71.3

2.2. 실내 압력 변화 확인을 위한 수치해석

그림 1은 도어가 닫힐 때 발생하는 유동을 해석하기 위한 격자 시스템을 보여 준다. 중형차의 승객실



(a) 변경 전 격자



(b) 변경 후 격자

[그림 1] 격자 시스템

을 단순화하였고 약 20만개의 격자를 사용하였으며 속도 구배가 큰 공기 배출구 주위에 격자를 세분화시켰다.

차량 도어는 차체와 직각을 이루며 회전을 위한 각속도를 지정하여 도어가 닫히도록 하였다. 차량 도어가 완전히 닫힐 시 동격자 영역(domain)의 체적이 0이 되어 수치해석이 불가능하게 되므로 도어 끝단의 틈새가 1mm 이하가 되면 도어를 정지 상태로 만들었으며 이때 남아있는 틈새는 벽(wall)으로 가정하여 틈새를 통한 공기의 배출을 발생시키지 않았다.

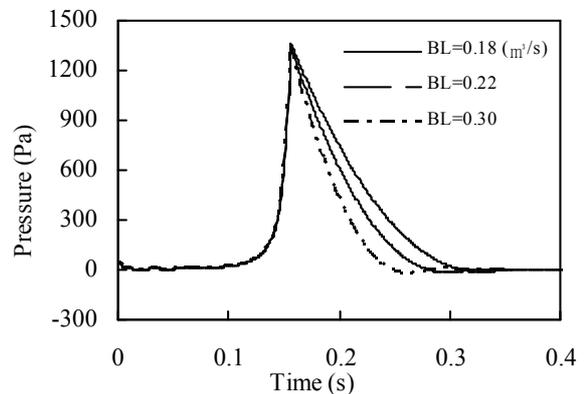
3. 결과 및 고찰

3.1. 차체 누설량 변화에 따른 내부압력 변화

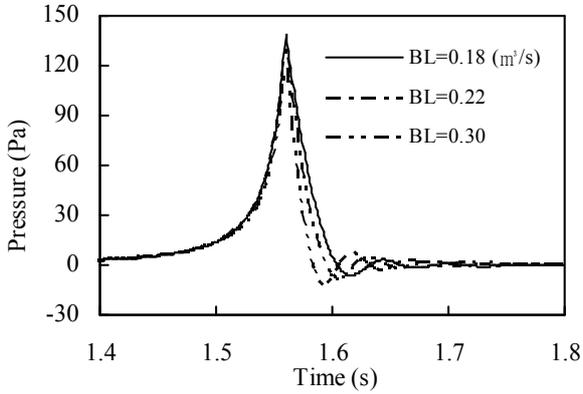
그림 2는 도어의 각속도가 10 rad/s일 때 실내 압력과 시간과의 그래프이다. 여기서 BL은 차체 누설량을 의미한다.

각속도 10 rad/s에서 최고 압력은 약 1370 Pa로써 각각의 BL에 따른 최고 압력 변화의 차이가 나지 않는다. 하지만 최고 압력 지점을 지난 후 대기압 수준으로 떨어지는데 걸리는 시간을 단축시키는 차이가 난다. 실제 BL이 0.18일 때와 0.30일 때 최고 압력에서 최저 압력으로 떨어지는데 걸리는 시간은 약 39 %의 차이가 나고 있다.

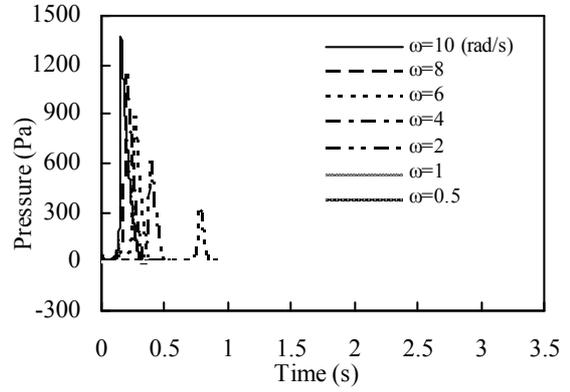
그림 3과 그림 4는 각각 각속도가 1 rad/s와 0.5 rad/s일 때 실내 압력과 시간과의 그래프이다. 각각의 상황에서 예측된 최고 압력은 약 139 Pa과 54 Pa이며 BL에 따른 최고 압력 변화의 차이가 나지 않는다. 1 rad/s와 0.5 rad/s에서 최고 압력에서 하강할 때 일시적으로 대기압 이하로 압력이 내려가 진공이 발생하였다가 다시 대기압으로 돌아오는 현



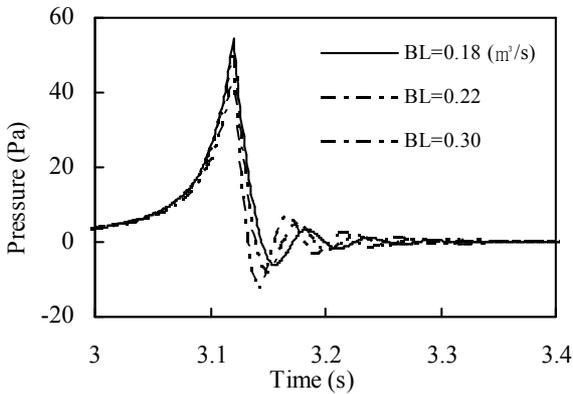
[그림 2] 10 rad/s의 각속도일 때 차체 누설량에 대한 압력 변화.



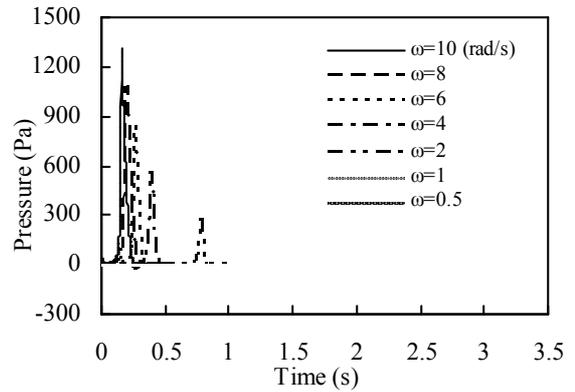
[그림 3] 1 rad/s의 각속도일 때 차체 누설량에 대한 압력 변화



[그림 5] 차체 누설량 0.18 m³/s일 때 도어 각속도에 따른 실내압 변화



[그림 4] 0.5 rad/s의 각속도일 때 차체 누설량에 대한 압력 변화.



[그림 6] 차체 누설량 0.30 m³/s일 때 도어 각속도에 따른 실내압 변화

상이 관측되었다. 이는 승객실 내의 공기가 과도하게 빠져 나가 진공이 형성되었다가 다시 외부로부터 공기가 실내로 유입되어 대기압 수준으로 돌아감을 의미한다. 이 현상은 0.5 rad/s 일 때 더욱 두드러진다.

4. 결론

본 연구에서는 도어 각속도 및 차체 누설량의 변화에 따라 차량 도어 닫힘시 승객실 압력 변화를 확인하기 위해 3차원 CFD 해석을 수행하였으며 유추한 결론은 다음과 같다.

3.2. 도어 각속도 변화에 따른 내부압력 변화

그림 5는 차체 누설량 0.18 m³/s일 때 실내압력과 시간과의 그래프이다. 도어의 닫힘 속도가 감소함에 따라 급격히 최고 압력도 줄어들어 각속도 10 rad/s 일 때 1370 Pa인 것에 비해 0.5 rad/s에서 54 Pa로써 약 96%가 감소한다. 각속도의 감소는 승객실 내로 유입되는 공기량이 감소하는 것이며 승객실내 압력변화는 도어 각속도에 크게 의존하는 것을 알 수 있다. 그림 6은 차체 누설량이 0.30 m³/s일 때 실내압력과 시간과의 그래프이다. 각속도의 감소함에 따른 최고 압력 및 최고 압력 발생 시기는 0.18m³/s일 때와 유사한 형태를 보인다.

하지만 차체 누설량에 따른 내부 압력 변화에서처럼 누설량에 따라 최고 압력이 최저 압력으로 떨어지는 시간을 단축시키는 차이점이 있다.

- 1) 도어 각속도가 낮을 경우 최고 압력에서 하강할 때 일시적으로 진공이 발생하였다가 대기압으로 돌아오는 현상이 발생한다.
- 2) 0.18m³/s일 때와 0.30m³/s의 차체 누설량에서 최고 압력에서 최저 압력으로 떨어지는데 걸리는 시간은 약 39 %의 차이가 발생하며 차체 누설량이 낮을수록 압력 하강 시간이 줄어든다.
- 3) 차체 누설량이 감소하거나 각속도가 증가하면 최고압력이 증가한다.
- 4) 차체 누설량을 급격히 증가시키는 방식으로 최고 압력을 감소시킬 수 있지만 도어의 각속도를 적절히 조절하여 최고 압력을 낮추는 것이 더 효율적이다.

참고문헌

- [1] SAE Handbook, "Motor Vehicle Heater Test Procedure", SAE J638, 1982.
- [2] Fish D. and Franco-Jorge M., "Towards generic design criteria for vehicle door shut exterior noise quality", Proceedings of the Internoise 97, 1997.
- [3] Forbes J., Wales R., "Test process for best-in-class door closing sound quality," Proceedings of the IBEC '95, Body Design and Engineering, pp. 145 - 1, 1995.
- [4] Champagne A. and Amman S, "Vehicle closure sound quality," SAE 951370, 1995.
- [5] J. P. Chiou, "Sunroofs and the Cooling Loads of Automobile Air Conditioners", SAE Trans., Vol. 96, Section 1, 1987.
- [6] Fluent, Version 6.1, Fluent, Inc., Lebanon, NH 2005.