

고속버스 자연환기구의 기류패턴 분석

유호천*, 노경환**

*울산대학교 건축학부(hcyoo@mail.ulsan.ac.kr),
**울산대학교 건축학부 대학원(n3423@naver.com)

Analysis of the Air-flow for Natural Ventilation of Express Bus

Yoo, Ho-Chun*, Noh, Kyoung-Hwan**

*School of Architecture, University of Ulsan(hcyoo@mail.ulsan.ac.kr),

**School of Architecture, Graduate School, University of Ulsan(n3423@nate.com)

Abstract

In express bus which has no window, the air quality inside the bus is very critical for the passengers who staying for an extended time. Air conditioning system using natural energy is expected to significantly improve the air quality while the bus runs the suburban area. But the express buses today usually attempt to ventilate using air conditioning system, rather than natural ventilation.

In this study, analysis of existing ventilation opening and the new ventilation system on roof, using computer simulation. As a result, two cases using existing ventilation device was found to be effective for partial ventilation only, while the air in front remains standstill. The new system proved to have promoted more dynamic ventilation in most of space.

Keywords : 공조시스템(Air Conditioning system), 고속버스(Express bus), 자연환기(Natural ventilation)

1. 서 론

자동차 문화는 우리의 생활수준의 향상과 더불어 우리생활과 매우 밀접한 관계를 유지하고 있으며, 현대인들은 일상생활에서 자동차에서 보내는 시간이 점점 더 길어지고 있다. 이러한 생활 속에서 운전자와 승객은 편리함을 더해 주는 단순한 교통수단의 범위에서 벗어나 우리의 주거문화와 함께 편안함을

느낄 수 있는 자동차 실내 환경을 조성하는 일이 필요하다고 느끼며, 이 필요성은 점점 증대되고 있다.¹⁾

현재 국내에서 도시간 이동수단중 가장 사용빈도가 높은 대중교통수단은 시외 및 고속 버스이다. 국토해양부의 조사결과에 따르면 2007년 버스의 여객수송 분담율은 전체의 47.1%로 가장 높았으며 비슷한 성격의 이동

1) 양원호, 자동차 실내 공기질 현황, 한국공기청정협회지 p.1-8,

수단인 철도(7.8%)나 항공(0.1)에 비하여 압도인 수준의 이용을 기록하고 있다. 지난 3년간의 시외 및 고속버스의 이용객 추세를 살펴봐도 연평균증가율이 2.9%로 더욱 많은 승객들이 이용한다는 것을 알 수 있었다.²⁾

특히 고속버스의 경우 모든 창문이 밀폐되어 있으며, 오랫동안 실내에서 단위면적당 많은 인원이 상주하므로 고속버스 실내의 공기질은 다른 실내 경우보다 크게 악화되고 있다고 할 수 있고 또한 재실자의 노출시간도 긴 편이다. 자연에너지를 도입한 고속버스의 공조시스템은 고속버스가 도심을 벗어나 시외로 달리기 시작하면 주변의 공기질도 개선되어 환기를 통하여 공기질을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 특히 혹서기나 혹한기를 제외한 우리나라 대부분의 계절에는 태양 에너지를 충분히 받아 실내 공간이 충분히 난방이 가능하나 과열의 우려도 있다. 그러나 현재 고속버스들은 환기에 대한 충분한 고려가 없어 운전자가 환기를 시도하지 않고 냉방을 하는 경우를 많이 볼 수 있다.

본 연구에서는 현재 운행되고 있는 고속버스의 기준 설치된 환기구에 대한 기류분석과 더불어 천장에 설치되어 있은 구조물을 이용하여 새로운 환기구를 적용시킨 기류분석을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 분석해 보았다.

2. 수치해석

환기구에 대한 기류 분석을 위하여 다음과 같은 조건을 설정 하였으며 내용은 다음과 같다.

2.1 해석모델 및 격자

고속버스의 자연환기에 대한 기류분석을 하기 위하여 고속버스 내부 형상을 GAMBIT을 사용하여 3차원으로 간략화 하

2) 국토해양부 보도자료 (2009.4.)

여 묘사하였다. 모델링에 사용한 모델은 [현대자동차 2009년형 UNIVERSE 디젤 노블우등]모델로 전장 12,000 전폭 2,495 전고 3,340의 크기이다.³⁾ 전고는 3,340이지만 환기가 시행되는 실내영역은 실측에 의하여 2,100으로 설정하였으며 내부의 좌석은 생략하였다.

2.2 지배방정식

차량 실내 자연환기에 사용된 모델은 3차원 형상이고, 비압축성 유동이며, 물성치는 일정하다는 가정 하에 지배방정식을 정리하면 다음과 같다.

질량방정식

$$\frac{\delta u_i}{\delta x_i} = 0 \quad (1)$$

운동량 방정식

$$\begin{aligned} \frac{\delta p u_i}{\delta t} + \frac{\delta u_j p u_i}{\delta x_j} = \\ - \frac{\delta p}{\delta x_i} + \frac{\delta}{\delta x_j} \mu \left(\frac{\delta u_i}{\delta x_j} + \frac{\delta u_j}{\delta x_i} \right) - \rho g_i \beta (T - T_0) \end{aligned}$$

여기서

$$\begin{aligned} \mu &= \mu_1 + \mu_t \\ \mu_1 &= \text{상수} \quad : \text{충류점성계수} \\ \mu_t &= C_t \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad : \text{난류점성계수} \end{aligned}$$

에너지방정식

3) 현대자동차 유니버스 제원표 (2009)

$$\frac{\delta \rho C_p T}{\delta t} + \frac{\delta \mu_j \rho C_p T}{\delta x_j} = \frac{\delta}{\delta x_j} k \frac{\delta T}{\delta x_j} + q$$

난류 유동을 해석하기 위하여 표준 $k-\epsilon$ 모델을 사용하였으며 지배 방정식은 다음과 같다.

난류에너지방정식

$$\frac{\delta \rho k}{\delta t} + \frac{\delta \mu_i \rho k}{\delta x_i} = \frac{\delta}{\delta x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_K} \frac{\delta k}{\delta x_i} \right) + G_s + G_t - \rho \epsilon$$

난류에너지 소산율방정식

$$\begin{aligned} \frac{\delta \rho \epsilon}{\delta t} + \frac{\delta \mu_i \rho \epsilon}{\delta x_i} &= \frac{\delta}{\delta x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\delta \epsilon}{\delta x_i} \right) \\ &+ C_1 \frac{\epsilon}{k} (G_s + G_t) (1 + C_3 R_f) - C_2 \frac{\rho \epsilon^2}{k} \end{aligned}$$

여기서

$$\begin{aligned} G_s &= \mu_t \left(\frac{\delta u_i}{\delta x_j} + \frac{\delta u_j}{\delta x_i} \right) \frac{\delta u_i}{\delta x_j}, \quad G_T = g_i \beta \frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{\delta T}{\delta x_i} \\ R_f &= - \frac{G_T}{G_s + G_T}, \quad \mu_t = C_t \rho \frac{k^2}{\epsilon} \\ \sigma_k &= 1, \quad \sigma_\epsilon = 1.3, \quad \sigma_t = 0.9 \\ C_1 &= 1.44, \quad C_2 = 1.92, \quad C_3 = 0.0, \quad C_t = 0.09 \end{aligned}$$

2.3 수치해석방법

본 연구에서는 열·유체 해석프로그램인 Fluent 6.0.12버전을 사용하였다. 먼저 외부 조건으로 자동차의 천정부분의 환기구로 유입되는 외기의 방향은 차량이동을 고려하여 30° 아래 방향으로 유입되는 것으로 설정 하였으며 각 케이스별로 고속도로의 일반적인 주행속도인 $100\text{km}/\text{h}$ 로 실행 해 보았다.

3. 기존 버스 환기기시스템의 성능분석

현재 사용되고 있는 고속버스의 자연환기구는 두 가지 패턴이 존재한다. 고속버스 천장 앞부분에 설치되어 있는 경우와 천장 뒷부분에 설치되어 있는 경우이다. 설치되어 있는 환기구는 가로세로 약 50cm 의 크기로 정방형이며 다음의 그림과 같다.



그림 1. 기존 환기구 전면부(좌) 후면부(우)

현재 사용되고 있는 자연환기구에 대한 기류패턴을 분석하기 위하여 Gambit으로 모델링을 한 결과는 다음과 같다.

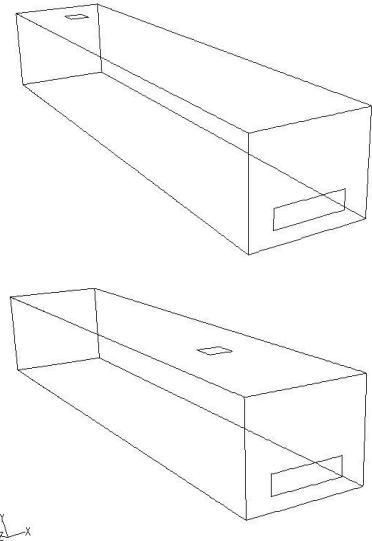


그림 2 기존 전면부 환기구 모델링(상)와 후면부 환기구 모델링(하)

상단 모델링의 전면부 자연환기구는 버스

의 정면에서 1500이 떨어진 거리를 두고 500×500크기의 환기구를 중앙에 배치 하였으며 하단 모델의 후면부 자연환기구는 버스의 후면에서 3000의 거리를 두고 500×500의 크기로 모델링 하였다. 배기구는 달리는 자동차의 압력형성관계에 있어 차량의 후면에 설치하는 것이 일반적이므로 후면에 1500×400크기의 배기구를 설치하였다.

(1) 기존 환기구에 대한 유속 분석

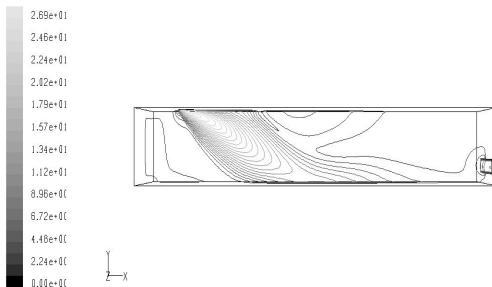


그림 3. 기존 전면 환기구에 대한 유속분포

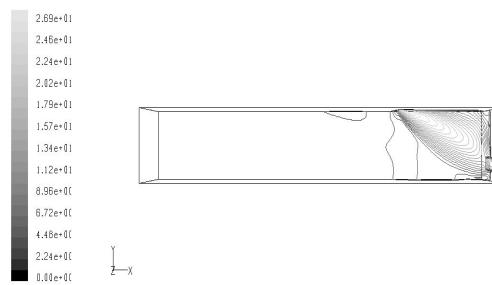


그림 4. 기존 후면 환기구에 대한 유속분포

기존 전면부와 후면부 설치된 환기구로 들어온 바람은 두 경우 모두 바람이 유입되는 방향으로 강력한 풍속을 보여주며 전면에 설치된 환기구(그림3)는 버스의 바닥에 이르러 점점 감속되어 후면으로 흘러가는 모습을 보여주며 환기구가 설치된 위치보다 앞쪽의 공간 및 배기구가 위치한 상부의 유속에는 영향을 미치지 하는 모습을 보여주었다. 후면의 환기구를 통해 들어온 공기 또한 들어오

는 각도에 의해 바로 배기구와 만나게 되는 모습을 보여주며 환기구의 앞공간에 대한 유속에는 영향을 미치지 않는 모습을 보여주었다.

(2) 기존 환기구에 대한 기류 패턴

기존 전면 환기구의 기류패턴은 그림 5.에서 보는것과 같이 환기구로 공기가 유입되어 승객이 위치한 하단부의 높이에서 배기구가 있는 버스위 뒤쪽으로 흘러가며 중간지점에서 다시 바람이 상승하여 타원의 형태로 순환함을 알 수 있다.

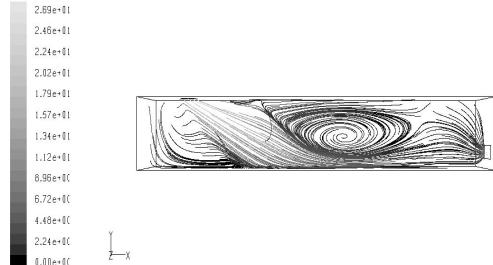


그림 5. 기존 전면 환기구에 대한 기류패턴

기존 후면 환기구는 후면에서 들어오는 공기가 바로 환기구에 닿아 빠져나가는 형태를 보여며 공기의 순환은 크게 보이지 않았으나 후면부의 부압으로 인하여 버스의 앞 공간으로부터 매우 약한 유속으로 전면에서부터 저속의 기류가 버스의 뒷 공간으로 이동 함을 보여주었다.

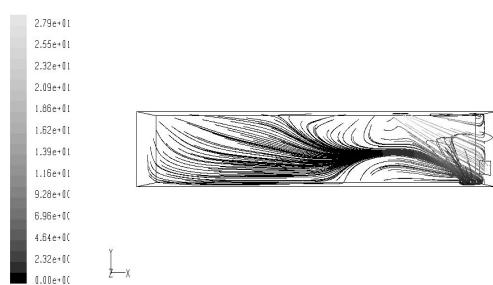


그림 6. 기존 후면 환기구에 대한 기류패턴

3. 버스 천장 구조물을 응용한 환기구 가정 및 성능분석

현재 사용되고 있는 고속버스의 천장부분에는 다양한 형태의 부속들이 부착되어 있다. 이들은 버스의 공기조화를 위한 기계장치이거나 버스의 운행 중 맞바람에 대한 공기저항을 최소화하려는 부속들이다. 이러한 부속들을 환기구로 변환하여 좀 더 적극적으로 환기구를 설치하여 차량 실내에 외부공기를 공급하기 위하여 국내 고속버스차량의 대표적인 천장 형태를 다음과 같이 선택하였다.

그림 7의 특징은 공조기 양옆에 길이 4m의 스포일러 장식물이 장착되어 있으며 후면에 기존 자연환기구 그리고 가장 뒤쪽에 후면스포일러가 설치되어 있다. Case1에서는 양측면의 스포일러 및 후면 스포일러, 그리고 공기조화부속의 도입구 부분에 자연환기구를 설정하는 것으로 한다.



그림 7. 응용대상 고속버스의 천장부

그림 7의 특징은 공조기 양옆에 길이 4m의 스포일러 장식물이 장착되어 있으며 후면에 기존 자연환기구 그리고 가장 뒤쪽에 후면스포일러가 설치되어 있다. 이번 실험에서의 설정은 양측면의 스포일러 및 후면 스포일러, 그리고 공기조화부속의 도입구 부분에 자연환기구를 설정하는 것으로 한다.

앞서 제시한 응용환기구를 Gubit으로 자연환기구를 모델링 한 결과는 다음과 같다.

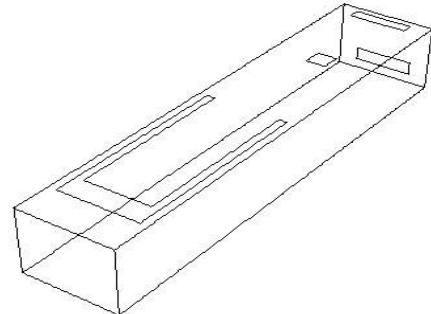


그림 8. 응용환기구에 대한 모델링

배기구는 앞서 실험했던 기존 환기구 성능 실험과 같은 위치에 1500×400의 크기로 설치하는 것으로 한다.

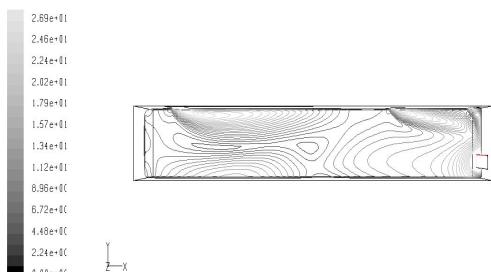


그림 9. 응용 환기구에 의한 유속 분포

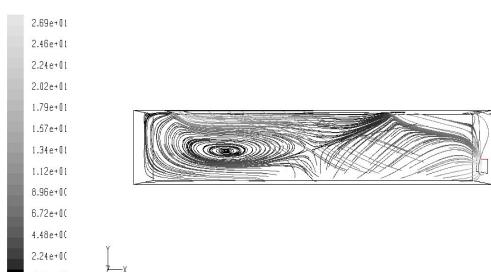


그림 10. 응용 환기구에 의한 기류 분포

4m가량의 긴 스포일러를 이용한 환기구에 의해 풍속이 기존 환기구의 결과처럼 직접적

으로 승객에게 향하지 않고 버스 실내의 천장면에 가까이 형성되고 있음을 알 수 있으며 버스 실내에 전체적으로 고른 분포를 보여주고 있다.

기류 분포또한 유속에서 보여진것과 같이 최초 유입된 공기가 천장면을 따라 버스의 뒷 공간으로 흘러가며 전면부에 타원형의 순환기류가 형성되며 기존의 환기구에 비해 버스 내부에 환기기류가 더 고르게 분포하게 됨을 알 수 있다.

5. 결 론

고속버스의 기존 환기구와 천장 구조물을 이용하여 응용 환기구에 대하여 환기성능을 컴퓨터 시뮬레이션으로 분석해본 결과는 다음과 같다.

- (1) 기존에 설치되어있는 버스 앞쪽의 환기구에 대한 유속분포는 공기가 유입되는 공간에 대해서만 풍속이 국지적으로 분포하며 환기 기류분포에 있어서도 환기구의 앞쪽 부분에 기류 형성이 매우 취약함을 알 수 있었다.
- (2) 버스의 천장구조물을 응용하여 가정한 환기구의 성능을 평가 해본 결과 좁고 긴 형태의 스포일러부분으로 유입되는 기류는 승객이 앉아있는 버스내부의 하단까지 직접적으로 강력한 유속을 끼치지 않으면서 버스내부의 전반적인 공간에 환기 기류를 형성 하는 것을 알 수 있었다.

위의 실험결과 버스의 자연환기구를 더욱 효율적으로 이용하기 위해서는 기존의 환기구에 천정구조물을 응용한 환기구가 추가 되었을 경우 더욱 향상이 가능한 모습을 보여주었으며 다양한 케이스연구를 통하여 최적화된 모델에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

- (3) 향후 연구진행은 자연환기구를 이용하여 환기성능을 향상시키고 에너지효율을 높

이는 방향을 모색하고 해결책을 찾고자 한다.

후 기

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-006-8888)

참 고 문 헌

1. 유호천 외, 차량용 공조시스템의 현황 및 고속버스의 실내공기환경 측정, 한국태양에너지학회 학술발표대회논문집, 2008.4.
2. 전희호 외, 자동차 실내 환경에 관한 수치적 연구, 설비공학논문집, 제19권 1호, 2007
3. 양원호, 자동차 실내공기질 현황, 한국공기청정협회지, 2008
4. 홍성호 외, 자동차 실내의 열환경 해석 및 열적쾌적성 평가, 설비저널 제35권 10호, 2006.10.
5. 이대웅 외, 자동차 공조 시스템의 발전 동향, 설비저널 제35권 10호, 2006.10.