

대형버스 흡기시스템 성능 개선에 관한 연구

류 명 석*

현대자동차 상용연구소

A Study on the Performance Improvement in the Intake System of a Large-sized Commercial Bus

Myungseok Lyu*

Commercial Vehicle R&D Center, Hyundai Motor Company, 772-1 Jangduk-dong, Whasung-si, Gyeonggi 445-706, Korea

(Received 3 May 2004 / Accepted 11 December 2004)

Abstract : The performance of reciprocating internal combustion engine is a strong function of the air intake system configuration. In order to improve engine power, it is essential to optimize the air induction system. In this study, a numerical investigation has been carried out for the three-dimensional flow and pressure characteristics in air intake system of a large-sized commercial bus. CFD simulations using STAR-CD were also performed to evaluate effects of intake duct geometry and structure variation inside air cleaner on the negative pressure distribution of overall intake system. Studies for improving the back pressure distribution have been proposed and quantitatively examined based on intensive case studies.

Key words : Intake system(흡기 시스템), Flow characteristics(유동특성), Structure variation(구조 변경), Air cleaner(공기 청정기), back pressure(부압)

1. 서론

차량의 흡기 시스템 설계는 성능 유지 및 상품성에 영향을 미치는 중요한 설계 요소이다. 흡기 시스템의 구성 요소를 살펴보면 흡기 덕트와 드레인 챔버, 공기 청정기 및 각 요소들을 연결하는 연결관 등으로 구성된다. 상용버스의 경우 일반적으로 엔진룸이 차량 후미에 위치하기 때문에 흡기 시스템 또한 차량 후미에 배치하며, 흡입구 또한 바디 후미 측면에 위치하므로 그릴을 통해 흡입구로 유입되는 공기는 주로 엔진의 흡입력에 의해 유입된다.^{1,2)}

흡기 덕트의 경우 유입되는 많은 양의 공기가 단면적의 급격한 변화를 피해 흡입저항으로 인한 압력강하를 최소화하는 구조로 설계해야 한다. 그리고 드레인 챔버는 빗물 유입시 엔진에 유입되지 않도록 배출하는 역할을 하므로 압력 강하를 최소화할 수 있는 형상과 더불어 빗물 운동량을 감소시켜 배수에 용이한 적정 챔버 체적과 배수홀의 위치 설계가 중요하다 하겠다.³⁾ 본 연구에서는 대형버스 흡기시스템 해석을 수행하여 흡기계의 유동특성 및 압력분포를 예측하였다. 이를 통하여 전체 압력손실에 대해 시스템을 구성하는 각 단품의 기여도를 고찰하였다. 또한 흡기 덕트 형상과 공기 청정기 내부 구조 변경을 통해 흡기부압을 개선하고자 한다.⁴⁾

*To whom correspondence should be addressed.
lyums@hyundai-motor.com

2. 수치해석

2.1 격자생성 및 해석조건

흡기 시스템의 유동해석을 위해 먼저 CATIA 를 이용하여 3차원 표면데이터를 생성한 후 사면체 요소(tetrahedron element)를 사용하여 Fig. 1과 같은 해석모델을 생성하였고 해석은 범용 열 유동해석 코드인 STAR-CD⁵⁾를 이용하였다. 흡기 덕트 및 각 부품 연결관의 미소한 곡률을 갖는 영역에도 격자를 나누어 실물 형상을 그대로 모사 하였다. 입구부에는 차량주행 조건인 30km/h(10.3m/sec) 속도를 갖는 공기가 유입되는 것으로 하였고 흡기 덕트로 유입되지 않는 공기는 하류로 유출되도록 하였다. 또한 흡기계 끝단에서는 차량이 30km/h 로 주행시 실험을 통해 측정된 19m³/min 공기를 흡입(suction)하는 조건을 적용하였다.

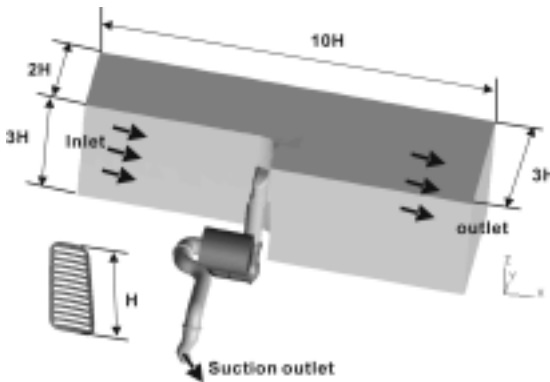


Fig. 1 Computational model

2.2 공기 청정기 내부구조

Fig. 2는 공기 청정기의 내부 구조를 도시하였다. 공기 청정기 내부의 상단과 하단에는 격막이 부착되어 있어 공기 청정기 입구를 통해 유입된 공기중의 먼지나 모래가 엔진으로 유입되는 것을 방지하는 기능을 한다. 또한 상단 격막에는 나선형 선회유동을 발생시키는 베인이 위치하며 선회 유동에 의해 분리되는 오염 입자들의 재유입을 차단하기 위하여 하우징 하단에 하단 격막이 부착되어 있는 구조로 되어 있다.

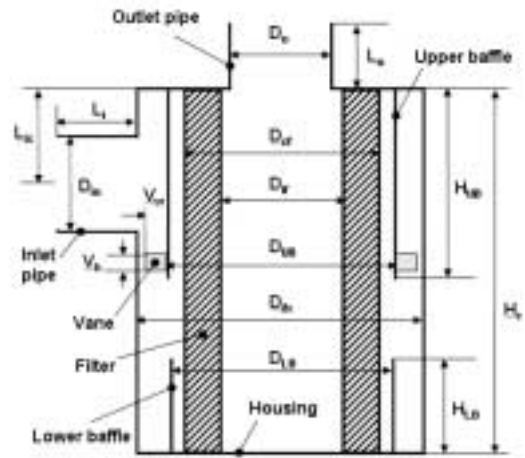


Fig. 2 Geometrical details of air cleaner

2.3 덕트 형상 및 공기 청정기 내부구조 변경

대형버스 흡기 시스템의 유동특성 및 흡기 부압 특성을 고찰하고자 흡기 덕트 형상과 공기 청정기 내부 구조의 변화에 따른 해석을 수행하였다. Fig. 3과 Fig. 4는 흡기 덕트 형상과 공기 청정기 내부구조 사양을 도시하였다. 공기 청정기 내부구조 변경안은 상단 격막을 하우징 상단부 전체에 튜브 형상과 같이 설치하는 안(C-type)과 공기 흡입구 부분에만

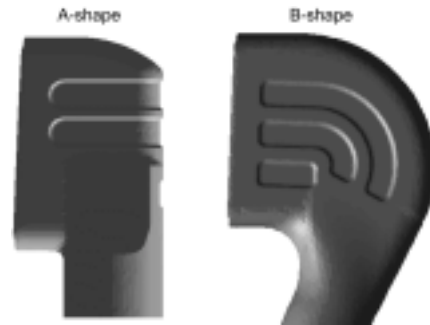


Fig. 3 Intake duct shape

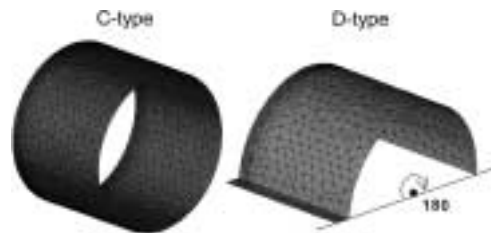


Fig. 4 Inner structure variation of air cleaner

부분적으로 설치하는 안(D-type)이다. 상단 및 하단 격막 그리고 배인 유무에 따른 해석을 수행하였다. Table 1은 각 해석모델 별 덕트 형상 및 공기 청정기 내부구조를 나타내었다.

Table 1 Model description

Model name	Intake duct	Inner structure variation of air cleaner		
		Upper guide	Vane	Lower guide
D1	A-shape	C-type	○	○
D2	A-shape	C-type	○	×
D3	A-shape	C-type	×	×
D4	A-shape	×	×	×
D5	B-shape	C-type	○	○
D6	B-shape </td <td>C-type</td> <td>○</td> <td>×</td>	C-type	○	×
D7	B-shape	D-type	×	×
D8	B-shape	D-type	○	○

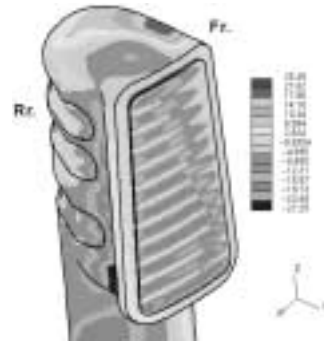
3. 해석결과 및 고찰

대형버스 흡기시스템을 구성하는 흡기 덕트 및 공기 청정기 내부 구조 변화에 따른 유동 및 압력분포 특성을 고찰 하였다. 흡기시스템 부압 개선을 위한 설계 기초 자료로 활용하고자 전체 압력손실에 대한 각 구성 요소의 기여도와 흡기덕트 형상 및 공기청정기 내부 구조 변화에 의한 흡기 시스템의 압력 손실을 평가하였다.

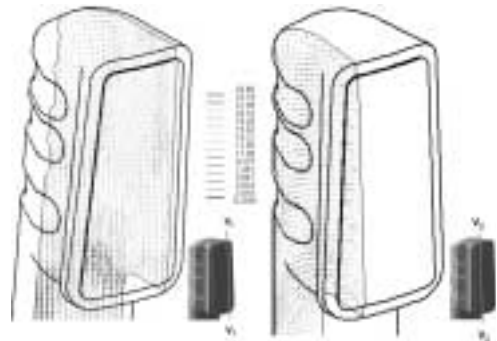
3.1 유동특성

3.1.1 흡기 덕트의 유동특성

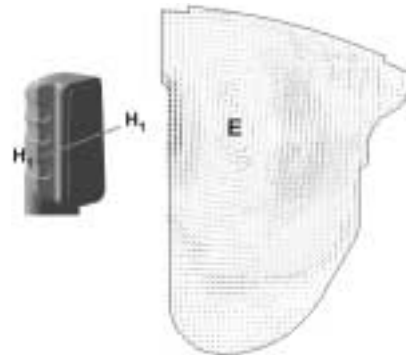
Fig. 5에는 A-shape 덕트를 Fig. 6과 Fig. 7에는 B-shape 덕트의 내부 단면 유속분포를 도시하였다. A-shape 흡기 덕트의 경우, 유입 영역의 y방향 유속 분포는 전반적으로 차량 후방에 가까운 하단영역에서 약27m/sec 유속이 형성되고 있으며 다른 영역에 비해 보다 균일한 유속분포를 보이고 있다. 덕트 내부 수직단면의 유동에서도 알 수 있듯이 차량 전방에 가까운 V_1 단면의 공기흐름은 덕트 상단부에 재순환 영역이 형성되면서 그릴을 통과한 공기가 덕트 내부로 수직 하강하는 흐름과 덕트 내부로 유입되지 못하고 재차 그릴쪽으로 향하는 흐름을 볼 수 있다. 차량 후방에 인접한 V_2 단면의 경우 V_1 단면과 동일하게 덕트 상단부에 재순환 유동이 형성되고



(a) y-directional velocity distribution at the inlet region



(b) Vertical section plot



(c) Horizontal section plot

Fig. 5 Velocity distribution of A-shape intake duct

있으나 유입되는 흐름이 V_1 단면에 비해 원활하게 형성되고 있다. 수평단면의 경우 E 지점을 중심으로 시계방향으로 회전하는 흐름이 형성되고 있으며 이 흐름으로 인하여 차량전방에 인접한 유입부에서는 유입구의 기능을 제대로 하지 못하고 있다. Fig. 6에 도시한 바와 같이 B-shape 흡기 덕트의 수평단면 유동은 차량 전방에 인접한 유입구에서 최대유속이

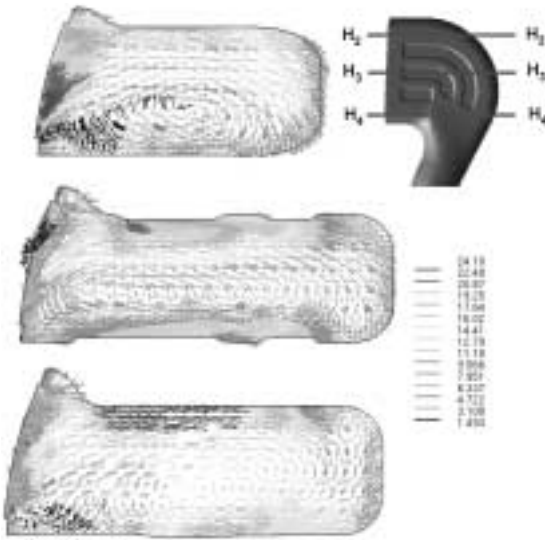


Fig. 6 Velocity profile of B-shape intake duct at the horizontal section(m/sec)

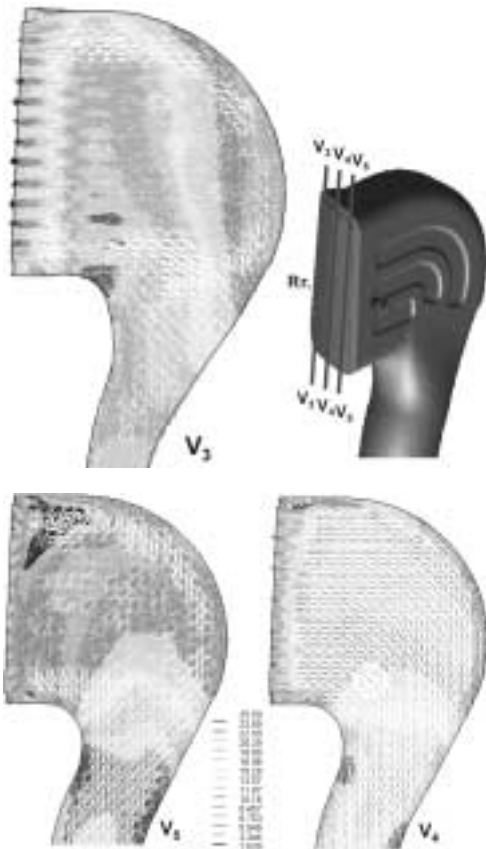
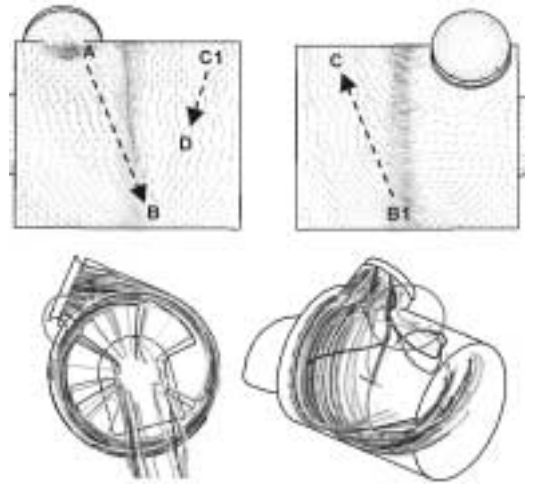


Fig. 7 Velocity profile of B-shape intake duct at the vertical section

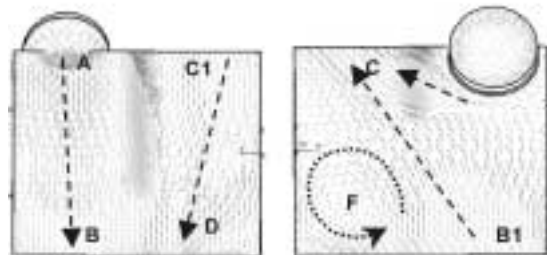
발생하며 Fig. 5(c)에 도시한 A-shape 덕트 유입구 반대편에서 형성되던 정체 흐름이 소멸되어 있음을 볼 수 있다. Fig. 7의 수직단면 유동은 차량 전방에 인접한 V_3 단면의 경우 덕트 상단부에서 재순환 유동이 형성되고 있으나 유입구 중앙과 후방에 인접한 단면인 V_3 과 V_4 단면에서는 A-shape 덕트에 비해 원활한 흐름을 나타내었다.

3.1.2 공기 청정기 내부의 유동특성

공기 청정기 내부의 유동은 Fig. 8에 도시한 바와 같이 A-B-B1-C-C1-D의 경로를 가지며 상단 격막이 C-type 구조를 갖는 경우(D1안) 입구부로 유입되는 대부분의 공기흐름은 상단 격막에 부착된 배인의 영향으로 하우징 내면을 따라 나선형 선회흐름을 형성하고 있고 배인을 통과한 공기는 하우징 내면과 하단 격막 사이를 회전하며 하우징 하단면까지 이동한 후 재차 하우징 상부쪽으로 이동하면서 엘리먼트로 유입되고 있다. 입구부에 원형으로 표시



(a) C-type inner structure with vane and lower guide



(b) D-type inner structure without vane

Fig. 8 Airflow path inside air cleaner

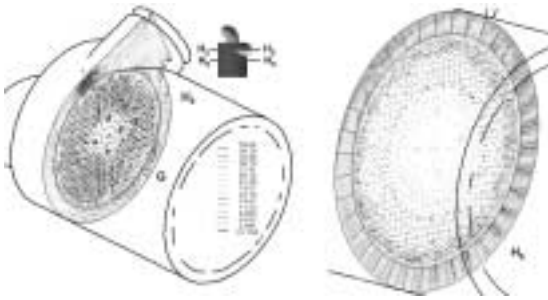


Fig. 9 Velocity distribution inside air cleaner(D1)

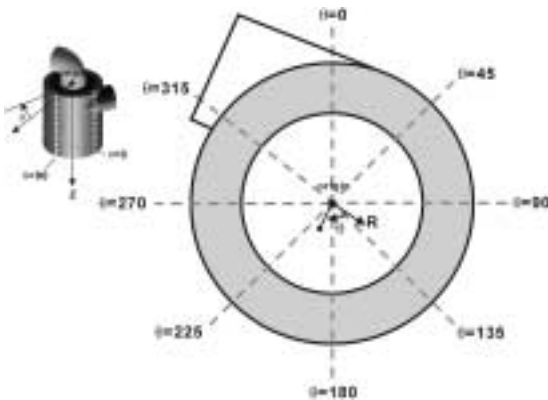


Fig. 10 Reference position

한 부분으로 유입되는 일부공기는 선회유동을 하지 못하고 바로 상단 격막 끝단까지 이동한 후 바로 유입되는 흐름도 나타났다. 베인이 없는 D-type의 상단 격막이 있는 경우 Fig. 8(b)에 도시한 바와 같이 A-B-B1구간의 흐름은 상단 격막에 베인이 없기 때문에 하우징 하부쪽으로 하강하는 선회유동성분이 감소하였고 상단 격막이 없는 B1-C 구간에서는 하부쪽으로 향하는 유동성분이 지배적이며 F지점을 중심으로 재순환 유동이 넓게 형성됨을 볼 수 있다.

Fig. 9는 공기 청정기 각 단면에서의 속도분포를 도시하였다. Fig. 8(a)에서도 나타난 바와 같이 H5 단면의 유동은 하우징 내면과 상단 격막 사이를 시계방향과 반시계 방향으로 회전하는 유동이 G 지점에서 만나 유속이 급감하였으며 H6 단면에서는 베인을 통과하면서 일부 영역에서 와류가 발생하고 있음을 볼 수 있다.

Fig. 10은 공기 청정기의 좌표계와 각 방향 유속 성분을 추출한 회전각을 도시하였다.

3.2 압력분포 특성

Table 2에 도시한 바와 같이 A-type 덕트에 C-type 상단 격막을 갖는 사양(D1~D3, D5)과 격막 및 베인이 없는 사양(D4), B-type 덕트에 C-type 상단 격막을 갖는 사양(D5, D6), B-type 덕트에 D-type 상단 격막을 갖는 사양(D7, D8) 등에 대한 압력분포를 고찰하였다. Fig. 11은 D1안에 대하여 흡기 시스템의 전체 압력 강하량 대비 각 단품이 차지하는 압력 강하량을 나타내었다. 흡기 시스템 전체 압력계산의 기준점은 P5이며 흡입덕트의 직선구간의 중간지점이다. 전체 시스템의 압력손실 중 약 60%가 공기 청정기에서 발생하였다. Table 2에는 각 사양에 대한 공기 청정기 단품의 압력손실과 전체 시스템의 압력손실을 도시하였다. 공기 청정기에 의한 압력손실은 약 1.2kPa에서부터 약 1.8kPa 정도로 예측되었으며 내부 구조 변경에 따라 최대 0.58kPa의 차이를 나타내었다.

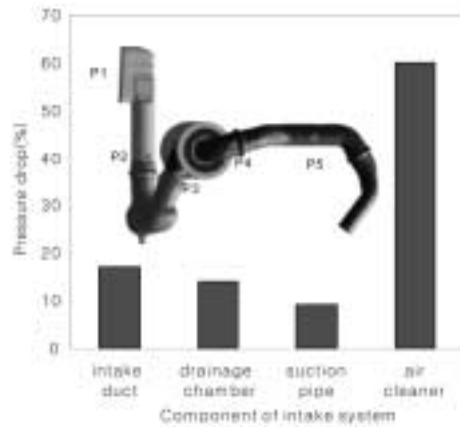


Fig. 11 Pressure drop of each component

Table 2 Pressure drop of air cleaner and intake system

Model name	$\Delta P_{A/C} (P_3 - P_4)$ [kPa]	$\Delta P_{sys}(P_5)$ [kPa]	
		Analysis	Experiment
D1	1.823	3.075	2.9
D2	1.788	3.034	-
D3	1.683	2.942	-
D4	1.243	2.464	-
D5	1.790	2.896	-
D6	1.761	2.858	2.7
D7	1.404	2.537	-
D8	1.535	2.707	-

4. 결론

- 1) 공기 청정기 내부의 흡입된 공기는 3차원 나선형 회전유동을 하며 내부 격막 및 베인이 공기흐름에 큰 영향을 미친다.
- 2) 흡기덕트의 유로 개선을 통해 흡기부압을 약 6% 정도 감소시킬 수 있었다.
- 3) 흡기 시스템을 구성하는 공기청정기와 흡기덕트의 압력 손실율은 각각 60% 와 17% 로 예측되어 시스템 압력 강하량의 대부분을 차지한다.
- 4) 공기 청정기 내부 격막 중 상단 격막은 압력손실에 가장 큰 영향을 미치며 하부 격막의 영향은 미비하였다.
- 5) 엘리먼트 파손의 염려가 없는 범위에서 내부 격막은 일부를 제거하는 것이 흡기부압 측면에서 유리하나, 내구성 측면에서 엘리먼트 이용율, 테스트 유지량 등을 종합적으로 평가해야 될 것이다.

References

- 1) M. S. Lyu, Y. G. Yu, K. H. Kim and J. S. Maeng, "Study of Pressure and Flow in the Air-Cleaner of Commercial Vehicle," Transactions of KSAE, Vol.5, No.3, pp.47-53, 1997.
- 2) M. A. Barris, "Total Filtration™: The Influence of Filter Selection on Engine Wear, Emissions, and Performance," SAE952557, 1995.
- 3) T. Jaroszczyk, S. L. Fallon, A. G. Liu and S. P. Heckel, "Development of a Method to Measure Engine Air Cleaner Fractional Efficiency," SAE 2000-01-0495, 2000.
- 4) T. J. Ptak, P. Richberg and T. Vasseur, "Discrimination Tests for Automotive Engine Air Filers," SAE 2001-01-0370, 2001.