

〈논문〉 SAE NO. 2000-03-0045

열해현상 방지를 위한 버스 엔진룸 구조개선

Reengineering of Bus Engine Room Structure for Preventing Thermal Damages

맹 주 성*, 윤 준 용**, 손 한 규***
Joo-sung Maeng, Joon-yong Youn, Han-gyu Son

ABSTRACT

Four types of different flow inlet models were tested to improve the flow uniformity at the inlet of the radiator and to prevent thermal damages of auxiliary units from the hot air in the bus engine room. Measurements and numerical calculations were performed and their results were in a good agreement with each other. Simultaneously temperature measurements were carried out under the conditions of actual bus driving. As designing the new flow inlet at the partition board which separates the engine space and radiator space, flow circulation can be achieved and fresh air comes into the engine room from the bottom. It was proved that new inlet makes the one air temperature cooling down in the engine room, the other uniformity improvement.

주요기술용어 : Thermal damages(열해), Bus engine room(버스 엔진룸), Uniformity(균일도), Circulation(순환)

1. 서 론

버스의 엔진 용량을 증가시킬 때 반드시 고려하여야 할 사항은 엔진룸내 공기의 온도 상승으로 인한 주변 부품이 입는 손상, 라디에이터의 성능저하 그리고 경우에 따라서는 공조시스템의 설계등의 열해현상이다.

지금까지 승용차의 경우는 엔진룸내 주요 열원 규명,¹⁾ 라디에이터 통과유체의 균일도가 엔진 냉

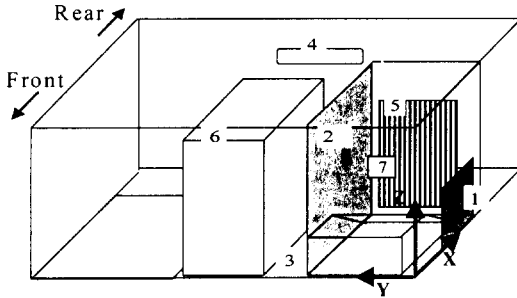
각성능에 미치는 영향^{2,3,4)}, 그릴의 형상 변화에 따른 엔진룸 냉각^{5,6)} 그리고 엔진룸 내부의 유동에 대한 수치해석⁷⁾ 등 많은 연구가 이루어져 왔으나 버스의 경우는 연구실적이 거의 없는 실정이다.

버스는 승용차와는 달리 차량 후위에 엔진룸이 위치하고 있으며 공기유입구가 측면에 있기 때문에 냉각공기의 유입·유출이 원활하지 못하다. 뿐만 아니라 라디에이터가 설치된 공간과 엔진이 설치된 공간이 하나의 칸막이로 막혀 있어서 두 공간사이에 유체의 흐름이 완전히 차단되어 있다. 따라서, 엔진 부위의 공간내 공기는 배기계,

* 한양대학교 기계공학과

** 회원, 한양대학교 기계공학과

*** 회원, 현대자동차 주식회사

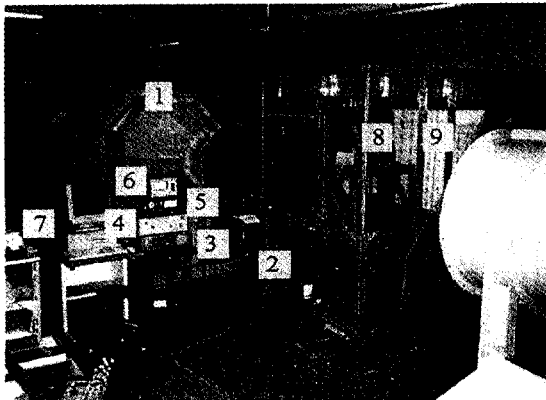


- | | |
|---------------|--------------------------|
| 1. Inlet1(Q1) | 2. Partition, inlet2(Q2) |
| 3. Bottom(Q3) | 4. Outlet(Q4) |
| 5. Radiator | 6. Engine |
| | 7. Cavity |

Fig. 1 Schematic diagram of engine room

엔진 등으로부터 전달되는 열 때문에 고온으로 상승할 수밖에 없다.

본 연구는 칸막이에 유입구를 만들어 첫째, 공기 순환을 통한 엔진룸 냉각과, 둘째 라디에이터 유입공기의 균일도 효과에 대하여 실험 및 수치적 방법으로 규명하였다. 뿐만 아니라 실차시험을 통하여 연구결과를 검증하였다.



- | | |
|-----------------------------|-----------------------|
| 1. Wind Tunnel | 2. 1D Traverse System |
| 3. Traverse Controller | 4. Scanning Box |
| 5. Micromanometer | 6. Anemomaster |
| 7. Computer & A/D converter | |
| 8. Radiator/Fan | 9. Engine |

Fig. 2 Measuring Equipments and Model

2. 연구내용

2.1 실험장치

실험에 사용된 모델은 도시형 버스 엔진룸 부분만을 실험 크기로 두께 1cm인 plexiglass를 사용하여 제작하였고 라디에이터와 팬은 실물로 장착하였다. 한편 본 연구는 정밀한 유동장 또는 온도장을 규명하는데 목적을 두고 있지 않기 때문에 엔진의 모양은 스티로폼으로 형상을 단순화하여 설치하였다.

Fig.1은 제작된 engine room의 개략도로써, Inlet 1(Q1)은 측면의 공기 유입구, Partition은 라디에이터와 엔진부의 공간을 차단하는 칸막이며 이곳에 유입구(Inlet 2)가 설치된다. Inlet 3(Q3)는 지면으로 열린 공간, Outlet(Q4)는 라디에이터 뒤편에 있는 팬을 통과한 유체가 엔진룸 밖으로 빠져나가기 위한 출구로 뒤편 벽면 중앙에 위치한다. Cavity는 라디에이터 앞의 직사각형 공간이다.

측정 및 데이터 처리과정은 본 연구실에서 사용하고 있는 on-line system을 도입하였다. 1차원 또는 3차원 자동이송장치를 사용하여 측정위치를 제어하고, 5공 피토판에서 얻어진 압력은 10채널 Scanning box와 micromanometer(FC-060, Furness사)를 통하여 A/D컨버터(PCL-812PG, Adventec사)가 내장된 PC에서 통계처리 된다.

Fig.2는 실험에 사용된 엔진룸 모델, 풍동 및 측정 장치들이다.

2.2 실험방법

버스가 실제로 달리는 효과를 구현하기 위하여 실험조건을 팬의 회전속도 2700 rpm으로 하고 풍동(S5802, KANOMAX사)의 유속을 버스설계속도인 80km/h로 고정하였다.

엔진룸의 유동측정은 5cm간격으로 총 882개

의 점에서 수행하였다. 5공 피토크관은 요우각, 피치각이 각각 $\pm 30^\circ$ 범위 내에서 유효한 정보를 제공하기 때문에 측정하고자하는 위치에서 미리 유동방향을 알아내는 것이 중요하다. 본 연구에서는 Hot-Wire Film을 사용하여 정성적으로 유동방향을 측정한 후 5공 피토크관의 측정각을 설정하였다. 이 방법의 상세내용은 참고문헌 8에 기재되어있어 본 논문에서는 생략하였다.

2.3 실험내용

2.3.1 균일도

버스가 운행중일 경우 라디에이터 뒤편에 있는 Fan의 회전으로 인하여 Inlet 1을 통하여 유체가 Cavity안으로 유입된다. 그러나 라디에이터와 일정한 각을 갖고 유입되기 때문에 일부만 라디에이터를 통과하고 나머지는 Cavity내부에서 복잡한 유동장을 형성하게 된다. 이 현상은 라디에이터를 통과하는 유체의 균일도에 관련된 문제로 엔진 냉각수의 냉각성능에 직접적으로 영향을 미친다. 균일도가 증가하면 통과유량이 많아지게 되어 냉각성능이 향상되므로 유입각과 유량의 관계를 실험하였다.

Fig.3은 라디에이터 정면에서 균속도로 유체가 유입되었을 때를 유입 기준각(0°)으로 하고 유

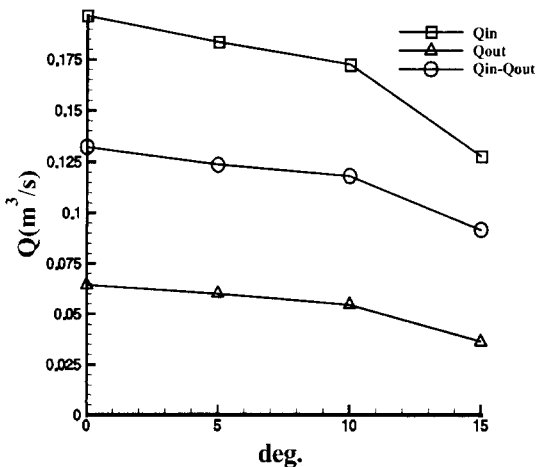


Fig. 3 Characteristics of Radiator

입각을 점진적으로($0^\circ \sim 15^\circ$) 변화 시켜가며 통과유량을 측정하여 표시한 것이다. 유입각이 10° 를 넘어서면서 통과유량이 급속히 감소하는 것을 알 수 있으며 이 실험은 균일도를 증가시키기 위한 다음과 같은 유입구 개선 모형을 설정하는데 기초 자료가 되었다. 제시되는 모형은 기존보다 균일도를 증가시킬 수 있는지를 관찰하기 위한 것으로 최적조건을 제시하기 위함이 아니라는 것을 언급해둔다. 개선을 위한 기본적인 원칙은, 첫째 유입구를 라디에이터로부터 먼 곳에 위치하도록 하고, 둘째 칸막이에 유입구를 두어 양쪽에서 유체가 유입되도록 하는 것이다.

2.3.2 실험모형

Fig.4는 유입구 형상에 따른 4가지 실험모형을 나타낸 것으로;

- a)모형 1: 기존의 유입구(Inlet 1)와 칸막이
- b)모형 2: 기존 유입구의 절반(Inlet $1 \times 1/2$)과 칸막이
- c)모형 3: 칸막이와 기존의 유입구(Inlet 1)을 완전 제거
- d)모형 4: 칸막이에 유입구(Inlet 2)설치와 기존 유입구(Inlet 1)의 위치 이동, 여기서 Inlet 2의 위치는 Inlet 1과 마주보는 곳이다.

모형 2는 유입구가 라디에이터로부터 먼곳에 있을 경우 균일도가 증가하는지를 관측하기 위한 것으로 정량적인 값을 구하기보다는 단순히 모형 4에 대한 가능성을 예측하기 위한 것이며 모형 3은 Cavity가 존재하지 않을 경우(유입구 최대)에 라디에이터 통과유량이 최대가 될 것인가를 확인

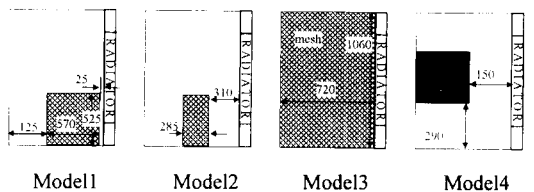


Fig. 4 Variations of Flow Inlet

하기 위한 것이다.

모형 4는 칸막이에 유입구를 설치함으로써 균일도를 증가시키고 엔진부 공간의 정체되어 있는 유체를 순환시키고자 하는 것으로 더워진 공기가 순화되어 라디에이터를 통과할 경우에는 오히려 냉각성능이 저하될 우려가 있다.

균일도를 계산하기 위하여 J.P. Chiou²⁾의 불균일도(z) 공식을 도입하였으며;

$$z = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |u_i - U| \right) / U, \quad U = \left(\sum_{i=1}^N u_i \right) / N$$

여기서, u_i 는 x방향성분으로 라디에이터 유입 속도이고 U는 평균 속도이다.

2.4 수치해석

연구하고자 하는 목적이 열유동장의 정밀해를 계산하여 세부적인 분석을 요하는 것이 아니기 때문에 본 연구에서는 가능한 간략하게 단순화하였고 상용 코드인 CFD-ACE를 사용하였다. 라디에이터는 다공성 물질로 간주하여 다음과 같은 압력강하 수식을 도입하였다.

$$\Delta p = \frac{K_l \rho u}{2\beta} + \frac{K_q \rho u^2}{2\beta^2}$$

여기서 β 는 면적계수로 유동면적과 전면적의

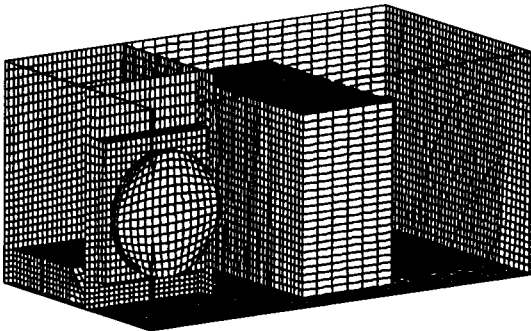


Fig. 5 Grid Configuration

비로 나타내며 K_l 과 K_q 는 압력강하 실험으로부터 계산되어지는 상수로서 $K_l=625$, $K_q=110$ 이 사용되었다.

팬의 경우는 사용된 코드의 계산방법에 따라 유입유체에 팬의 회전속도, 유동방향과 유량 그리고 날개의 곡률등을 고려하여 팬 출구에서 유체의 3차원 속도벡터를 환산하였다. 사용된 팬의 제원은 날개수 6, 지름 0.6m, 회전속도 2600rpm, 곡률반경 0.3m 그리고 날개각 30° 이다.

Fig.5는 엔진룸 전체의 유동장을 해석하기 위한 격자점으로 cell의 개수는 52374개이며 세부적인 계산 방법은 참고문헌 9에 제시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 균일도

Table 1은 위 4가지 모형에 대하여 유량을 관측한 것으로 모형 4가 다른 모형에 비하여 가장 많은 유량이 라디에이터를 통과함을 보여준다.

따라서 본 논문에서는 모형 1과 모형 4에 관한 결과를 제시하고자 한다. CFD계산에서도 실험값과 매우 유사한 결과를 보이고 있으며 모형 4/모형 1 \approx 1.35 (실험) 또는 모형 4/모형 1 \approx 1.28 (CFD)로 개선 모형이 대략 30%정도의 유량증가를 나타내고 있다. 이 유량은 라디에이터 전방 3cm(x=70cm)되는 곳에서 x축 방향 속도성분 U_x 와 면적 A를 곱하여 구한 것이다.

Table 1 Flow Quantities passing through the Radiator

	Volume Flow Rates(m ³ /s)			
	Model1	Model2	Model3	Model4
Exp.	1.925	1.913	2.233	2.601
CFD	1.942			2.510

Table 2 Non-uniformity (z)

	Non-uniformity(Z)			
	Model1	Model2	Model3	Model4
Exp.	0.489	0.492	0.225	0.250
CFD	0.331			0.182

J.P. Chiou의 불균일도 계산결과는 Table 2에 제시하였다. 실험값과 CFD값이 약간 차이를 보이고 있으나 모형 4/모형 1 \equiv 0.51 (실험)과 모형 4/모형 1 \equiv 0.55 (CFD)에서 알 수 있는 바와 같이 약 50%정도의 균일도가 향상되었음을 관측할 수 있다.

Fig.6은 $x=70\text{cm}$ 되는 곳에서 각 모형의 측정된 속도 선도를 나타낸 것으로 균일도의 변화를 명확하게 관측할 수가 있다. 특히 (b)와 (f)는 모형 1과 모형 4에 대하여 CFD계산 결과를 나타낸 것으로 실험 결과 (a), (e)와 각각 경향이 잘 일치하고 있다.

3.2 유동장

Fig.7은 엔진 바닥면에서 높이가 50cm되는 곳, 즉 $z=50\text{cm}$ 의 유동장을 X-Y평면에 나타낸 것으로 (over view)실험과 CFD값이 유사한 경향을 보인다.

모형 1의 경우 칸막이로 인하여 Cavity내에서 강한 회전 유동이 부분적으로 있음을 관측할 수 있는 반면에 모형 4의 경우 칸막이를 통하여 (Inlet 2) 유입되는 유체로 인하여 회전 유동장이 사라지고 유체 일부가 Inlet 1으로 유출되고 있을 뿐만 아니라 라디에이터로 향하는 유체의 유입각도 많이 개선되어 균일도가 향상되었음을 알 수 있다. 또한 엔진이 위치하는 공간의 속도 벡터 크기를 비교하여 보면 모형 4가 상대적으로 강한 유동임도 알 수 있다.

Fig.8은 엔진룸 전체에 유체의 순환을 관찰하기 위하여 $x=50\text{cm}$ 되는 곳의 유동장을 Y-Z평면에 표기한 것이다. (Front View) 모형 1의 경우 Inlet 1을 통하여 유입된 유체가 칸막이에 충돌한 후 거의 단면 전체에서 크게 회전하고 있음에 반하여 모형 4는 국소적으로 미약한 회전이 있다. 한편 엔진주위의 유동 형태를 보면 모형 1은 아래쪽 즉 Inlet 3로 유입되는 공기가 없는 반면에 모형 4는 Inlet 3를 통하여 강하게 유입된 후 Inlet 2로 향하는 것을 알 수 있다. 뿐만 아니라

엔진의 왼쪽 공간에서도 모형 1은 아주 미약한 유동으로 유체가 거의 정체되어 있고 모형 4는 원활한 유동으로 순환이 이루어지며 큰 속도로 엔진을 넘어와서 Inlet 2로 향한다는 것을 관측할 수 있다.

Fig.7과 Fig.8을 종합해 보면 첫째, Cavity내에서 모형 1은 수평, 수직 방향으로 회전하는 영역이 동시에 존재하는 복잡한 유동장을 형성하고 있으며 이러한 유동장은 라디에이터로 유입되는 유체의 균일도를 작게 하는 원인이 되어 결국 엔진 냉각성능을 저하시킨다. 반면 모형 4는 상대적으로 유동장이 간단화 되었고 구체적으로 Fig.6에서 보는 바와 같이 균일도가 향상됨을 알 수 있다. 둘째, 칸막이에 Inlet 2를 설치함으로써 Inlet 3을 통하여 많은 양의 냉각 공기가 외부로부터 유입되고 엔진 주변의 공기가 원활하게 순환되어 전체적으로 엔진룸내 공기온도가 낮아져서 열해현상을 방지할 수 있게된다.

만일 Inlet 3로 냉각 공기가 유입되지 않으면 더워진 공기가 순환하게 되어 이것은 라디에이터의 성능을 오히려 나쁘게 할 우려가 있을 뿐 아니라 엔진룸내 공기온도도 낮아지는 것을 기대하기 어렵다. Inlet 3로 유입되는 유량은 실험이나 CFD계산으로부터 쉽게 알아낼 수 있는 것으로 본 연구에서는 Inlet 2를 통과하는 유체의 80%를 차지하였다.

Cavity내 회전유동을 Fig.9에 나타내었고 Inlet 3 유동을 Fig.10에 나타내었다.

4. 실차시험

위에서 연구한 유동장 개선이 실제로 엔진룸 내부의 공기 온도에 미치는 영향을 검증하기 위하여 현대자동차 남양 연구소의 도움을 받아 모형 1과 모형 3에 대한 실차시험을 수행하였다. 여기서 모형 4를 택하지 않은 것은 모형 3과 같이 칸막이를 제거하는 것이 Inlet 3를 제작하는 것보다 손쉬운 일이며 모형 4와 모형 3이 유사한 유동 특성을 갖기 때문에 온도장의 변화에 정성

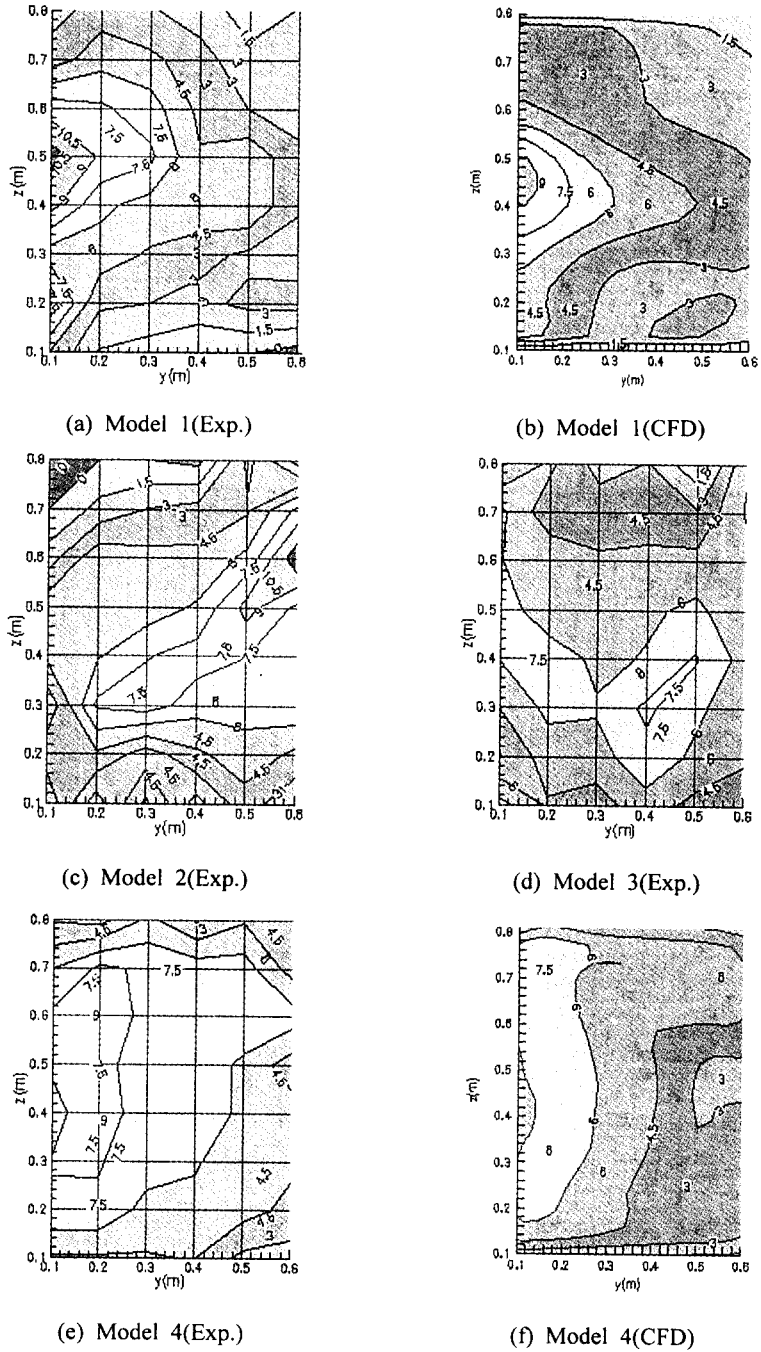


Fig. 6 Velocity Contours at $x=70\text{cm}$

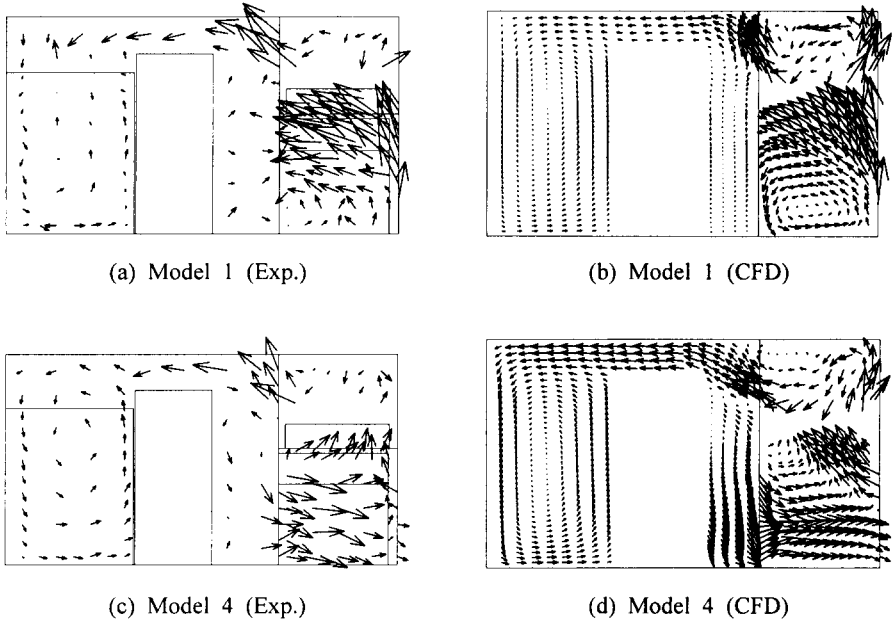


Fig. 7 Velocity Vectors at $z=50\text{cm}$ (over view)

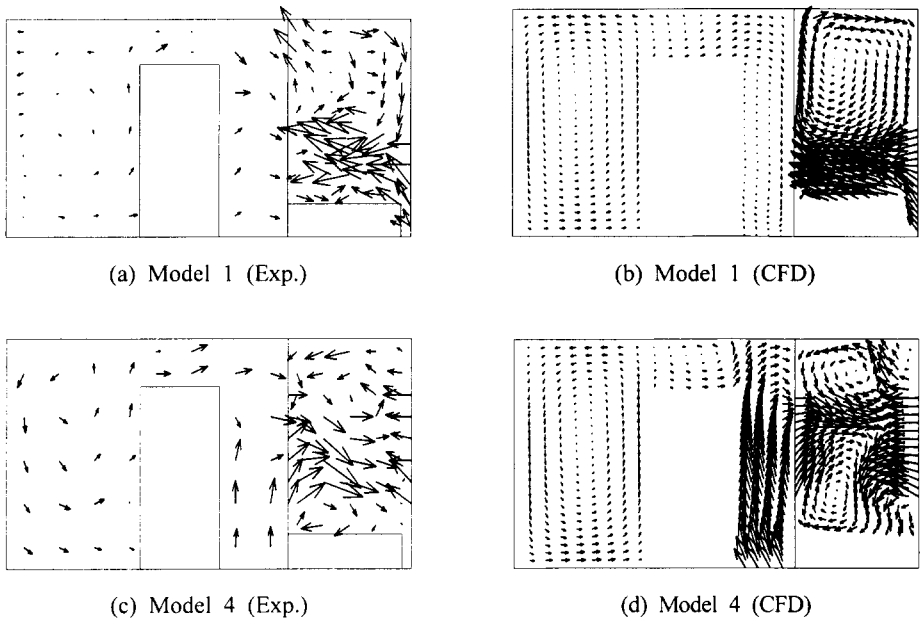
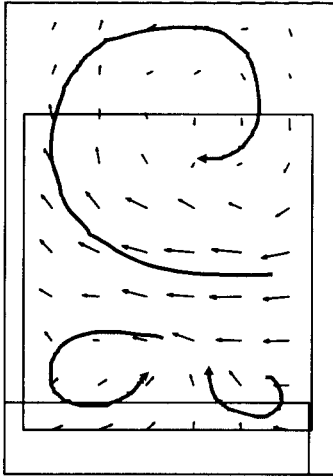
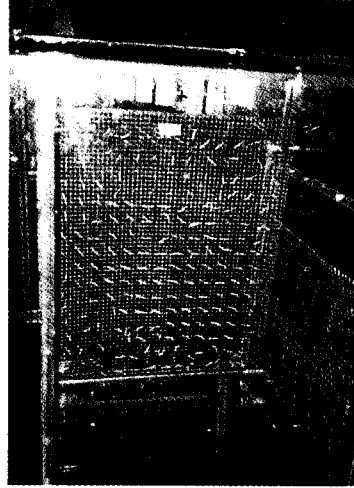


Fig. 8 Velocity Vectors at $x=50\text{cm}$ (front view)

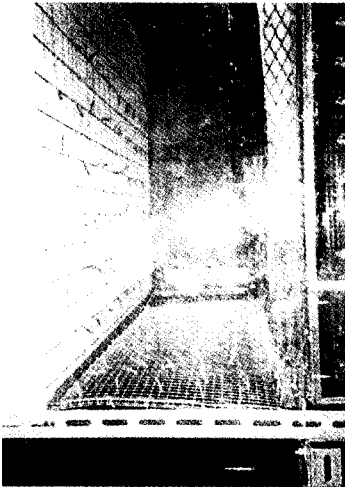


(a) Measurements

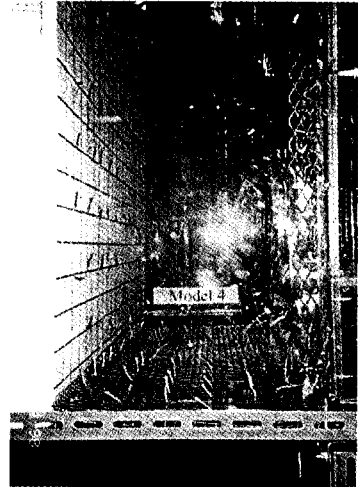


(b) Visualization

Fig. 9 Velocity Characteristics in Cavity (Model 1)



(a) Model 1



(b) Model 4

Fig. 10 Tuft Test at Inlet 3

적으로 큰 차이를 보이지 않을 것으로 판단하였다.

실험은 풍속 5m/s 이하이고, 노면이 건조한 상태에서 주행거리 2.3km를 80km/h의 속력으로 반복 수행하였다.

Fig.11은 엔진룸내 온도 측정을 하기위한 열전대 설치 위치를 주요부분만 택하여 나타낸 것으로 실제로는 훨씬 많은 위치에서 측정하였다.

Fig.12(a)는 모형 1의 엔진 주변의 정체되어 있는 공기온도를 나타내는 것으로 1600초 이후부터는 일정한 온도를 유지하고 엔진 윗부분(위치 1,2,3)의 온도가 60℃~70℃이고, 분사펌프가 있는 곳(위치 4)은 60℃정도이다. (b)는 라디에이터와 팬의 전후(위치 6, 위치 7)의 온도차에 따라서 엔진 냉각수의 온도 변화를 예측해 볼 수 있기 때문에 매우 중요한 의미를

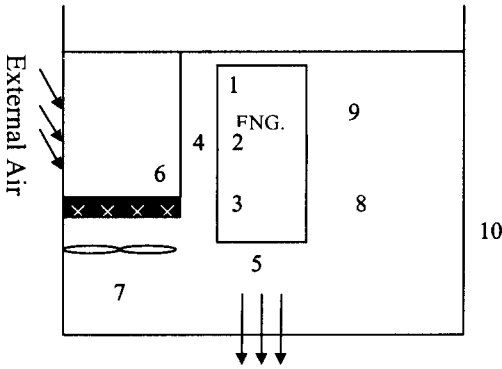
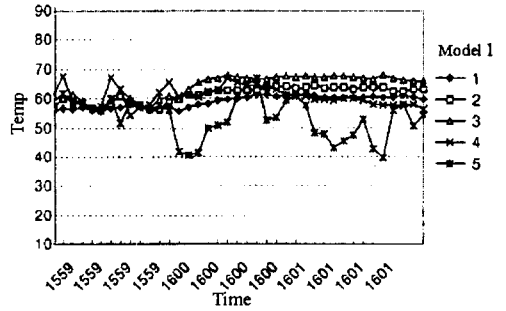


Fig. 11 Points of Measurement

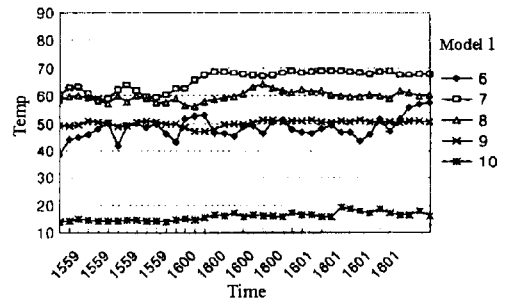
갖는다. 모형 1에서는 칸막이로 인하여 Inlet 1을 통하여 유입되는 유체가 라디에이터 앞 cavity에서 복잡한 회전 유동을 하기 때문에 위치에 따라 공기 온도 차이가 있다. (b)에 나타낸 것은 라디에이터 앞 모퉁이의 회전 유동장의 온도로 평균적으로 47°C이다. 이 값은 외부 유입 공기와의 큰 차이가 있어 라디에이터로부터 많은 열전달이 있음을 말해준다.

한편 Fig.12(c)와 (d)는 모형 3에 관한 것으로 모형 1과 같은 위치에서의 측정 값이다. (c)에서 보는 바와 같이 5개 위치에서 57°C 정도로 거의 같은 값을 갖는다. 이것은 원활한 공기 순환의 결과로 생각되어 진다. 뿐만 아니라 모형 1에 비하여 각 위치에서 온도가 낮아졌음을 알 수 있다. (d)에서 보면 위치 6의 온도가 평균 35°C 정도로 (b)의 47°C보다 약 12°C 정도 떨어졌음을 관측할 수 있는데 이것은 균일도의 향상 때문일 것으로 판단된다. 한편 모형 3의 경우 칸막이를 제거하였기 때문에 배기계, 엔진 등 열원으로 인해 더워진 공기가 순환되어 라디에이터로 유입되는 것이 우려 되었으나 위치 6의 온도에서 보는 바와 같이 기우였음이 증명되었다.

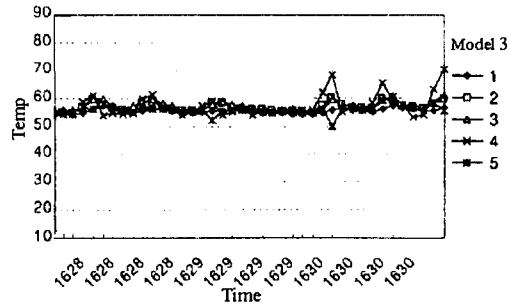
Fig.13은 모형 1, 모형 3에서 위치 7과 위치 6의 온도차를 표시한 것으로 모형 1은 평균 19°C, 모형 3은 평균 24°C의 차이를 보이고 있다. 따라서 모형 3이 균일도 향상에 따른 라디에이터 통과 유량의 증가로 인해 상대적으로 많은 열량의



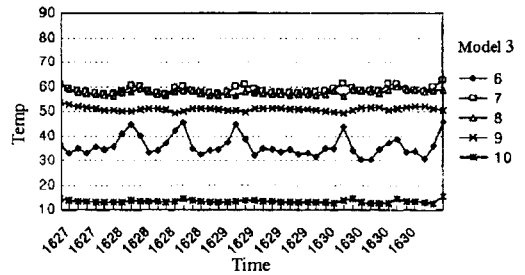
(a) Points 1-5



(b) Points 6-10



(c) Points 1-5



(d) Points 6-10

Fig. 12 Temperature variations of each points

Table 3 Mean temperatures at each points

Positions	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Model 1	61	63	67	61	53	49	68	61	51	17
Model 3	56	57	57	58	56	35	59	58	51	13
Difference	5	6	10	2	-3	14	9	3	0	3

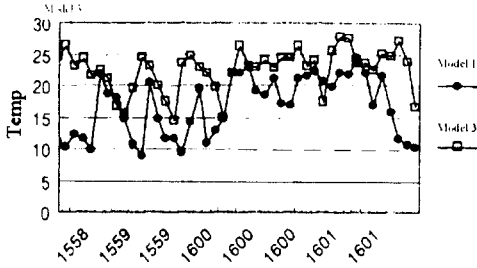


Fig. 13 Temperature Differences between position 7 and position 6

수수가 있다는 것을 알 수 있다. 각 위치에서 평균 온도를 Table 3에 수록하였다.

이와 같은 실험 결과는 엔진 용량을 증대시킬 때 내부 공기 순환을 통하여 열해 현상을 방지할 수 있다는 점과 라디에이터의 크기를 결정함에 있어 새로운 관점에서 접근해야 한다는 점을 제시하는 것이다.

5. 결론

위 4가지 모형에 대한 엔진룸내 유동장 관측과 실차의 온도 측정으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

엔진과 라디에이터를 분리하는 칸막이에 라디에이터로부터 가장 먼 곳에 공기 유입구를 제작하면 엔진룸내 공기가 순환될 뿐만 아니라 바닥으로부터 냉각 공기가 유입되어 첫째, 전체적으로 공기온도가 낮아져 열해현상이 방지되고 둘째, 균일도가 향상되어 라디에이터와 통과 유체 사이에 많은 열량 수수가 이루어지므로 엔진냉각 성능을 증대시킬 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) H. Shimonosono, Y. Shibata, K. Fujitani, "Optimization of the Flow Distribution in the Engine Compartment", SAE Paper 930883, 1993.
- 2) J. P. Chiou, "The Effect of the Flow Non-uniformity on the Sizing of the Engine Radiator", SAE Paper 800035, 1980.
- 3) M. S. Olson, "Aerodynamic Effects of Front End Design on Automobile Engine Cooling Systems", SAE Paper 960270, 1996.
- 4) M. E. Olson, "Aerodynamic Effects of Front End Design on Automobile Engine Cooling Systems", SAE Paper 760188, 1976.
- 5) J. Williams, "An Automotive Front End Design Approach for Improved Aerodynamics and Cooling", SAE Paper 850281, 1985.
- 6) A. Cogotti, H. Berneberg, "Engine Compartment Airflow Investigations Using a Laser-Doppler-Velocimeter", SAE Paper 910308, 1991.
- 7) K. Ono, R. Himeno, K. Fujitani, U. Yutaka, "Simultaneous Computation of the External Flow around a Car Body and the Internal Flow Through its Engine Compartment", SAE Paper 920342, 1992.
- 8) 맹주성, 윤준용, 안태범, 윤종은, 한덕진, "다익팬/스크롤 시스템의 로터 내부 유동 특성에 관한 실험적 연구", 대한기계학회 논문집 B권 제5호, pp. 646-652, 1999.
- 9) 윤준용, 맹주성, 강승규, 황용서, "버스 엔진룸 내 캐버티에서의 3차원 유동 해석", 한국자동차공학회 논문집, 제 7권, 제 6호, pp. 82-90, 1999.