

〈논 문〉 SAE NO. 96370036

## 차 개구형상이 엔진룸내 유동에 미치는 영향에 관한 수치연구

### The Numerical Study of the Effect of Car Front Opening Area on the Mean Flow in Engine Room

류 명 석,\* 이 은 준,\*\* 구 영 곤\*\*\*  
M. S. Lyu, E. J. Lee, Y. G. Ku

#### ABSTRACT

The knowledge of air flow in an engine room has become more and more important in recent car design. The fluid flow in the engine compartment was investigated by numerical analysis. Due to the complex geometry of the engine compartment, mesh generation is a time-consuming job. In this research, the "ICEM" code was used to generate meshes by the Cartesian mesh model. The Reynolds-averaged Navier Stokes equations, together with the porous flow model for radiator and condenser, were solved. Computation was performed for the steady, incompressible, and high speed viscous flow, adopting the standard K-ε turbulence model. The "STAR-CD" code was used as a solver. The effect of car front opening area on the flow in engine room was also investigated.

주요기술용어 : Engine Room(엔진룸), Mesh Generation(격자 생성), Cooling Perfomance(냉각 성능), Front Opening Area(개구 면적)

#### 1. 서 론

자동차가 출현한 이래 엔진 성능 향상을 위한 많은 연구가 수행되었으며, 이런 고성능화로 인해 열부하 증대를 초래함으로써 엔진룸내의 공기가 상승하고 있다. 그러므로 효율적인 냉각이 엔

진설계시 중요한 인자가 되었다. 냉각성능의 향상은 엔진자체 및 주변 부품의 내구성 향상 뿐 아니라 압축비 증대에 따른 노킹현상등의 제거를 위해서도 요구되고 있다.

엔진룸내 냉각성능에 영향을 주는 요소로서는 방열기, Fan & Shroud 형성, Airo-Aids 부품 및 개구형상등이 있는데, 여기서 방열기는 엔진 냉각 성능에 직접적인 영향을 주는 주요한 요인이다. 방열기는 엔진룸내 내부 유동뿐만 아니라 개구 형상으로 부터 유입되는 공기 유량에 따른

\* 정희원, 고등기술연구원, 자동차기술연구소

\*\* 고등기술연구원, 자동차기술연구소

\*\*\* 정희원, 고등기술연구원, 자동차기술연구소

영향이 지배적이다. 즉 방열기 성능을 향상 시키기 위해서는 유입되는 공기량을 최대한 크게하고 유량분포는 균일하게 하는 것이 이상적이다. 그러므로 이를 위하여 개구면적으로부터 유입되는 유량 및 방열기 전단면 유동 분포에 관한 정량적 연구가 필요하다.

또한 엔진룸내 국소적인 유동의 비효율성(정체점, 재순환영역)제거를 통해 냉각성능 향상을 기할수 있다. 이런 엔진룸내 전반적인 열유동현상을 파악하기 위해서는 3차원 해석시스템이 요구되나, 공간적인 엔진룸내 전반적인 열유동현상을 파악하기 위해서는 3차원 해석시스템이 요구되나, 공간적인 조밀성은 해석 능한 시스템을 만드는데 상당한 제약 조건을 가지고 있다. 그러나 최근 컴퓨터의 해석 가능한 시스템을 만드는데 상당한 제약 조건을 가지고 있다. 그러나 최근 컴퓨터의 대형화, 고속화 및 실험장치의 고정밀화에 따라 이들 해석이 가능하게 되어 국제적으로 많은 연구가 수행되고 있다<sup>1),2),3)</sup>.

본 연구에서는 향후 대우자동차 신차 개발시 냉각성능관점에서 열유동을 해석할 수 있는 3차원 수치해석시스템을 구축하는데 우선적으로 목적을 두고 있다. 이를 위해 실차 CATIA데이터로부터 전용 격자생성 코드인 ICEM에서 격자를 형성하여 STAR/CD를 사용하여 3차원 수치해석을 하였다<sup>4)</sup>.

기존 차모델 CIELO의 개구형상(Front Opening Area)이 유동에 미치는 영향을 고찰하여 앞의 해석시스템을 검증하였다. 또한 이 결과는 엔진룸내 냉각성능 향상을 위한 열유동 데이터 베이스로 활용되리라 기대된다.

## 2. 수치해석방법 및 모델

실차 CATIA 데이터를 격자생성 전용코드인 ICEM에서 정리한후 모델링을 하였으며, 엔진룸내 열유동해석을 위한 STAR C/D의 특징은 다음과 같다.

### ICEM(격자형성)

- Multi-Block 3D volume or surface
- Directly operates on CAD surface ge-

ometry

- Grid is not dictated by CAD surface geometry structure
- Automated analysys of Multi-block connectivity and topology
- Accuracy to support Navier Stokes Analysis
- Global grid quality checks, grid post processing
- Boundary conditions can be set in a 3D environmental

### STAR C/D(열유동 해석)

- FVM(Finite Volume Method) body fitted coordinated system non-staggered & unstructured mesh
- K-ε 난류 모델, 벽면에서 벽함수
- Simple algorithm
- Upwind Convective Scheme

엔진룸의 열유동해석을 하기 위해서는, 먼저 CAD요원이 CATIA에서 3차원 선도(Wire frame)와 표면데이터(Surface data)를 만들며, 이를 ICEM에서 보조면(Subfac)과 영역(Domain)을 만들어 격자형성을 한후, 이 격자모델을 받아 STAR C/D를 이용 열유동 해석을 한다. 본 연구에서는 CATIA 데이터는 대우자동차에서 제공 받았으며, 격자형성과 열유동해석은 본원에서 실시하였다. 격자형성에 속달되지 않은 영향도 있긴 했지만 대단히 복잡한 3차원 형상이었기 때문에 대부분의 시간을 격자형성에 소요하였다.

해석에 사용된 cell수는 290,083이며, 룸 내부는 콘덴서, 방열기, 흡배기 매니폴드, 엔진 및 트랜스 미션을 실제형상에 따라 격자를 나누었다. 실차형상에 따른 차외부 또한 차높이(a=1.3m), 차길이(b=2.5m), 차폭(c=1.9m)를 기준으로 할때 6.8a×5.1b×8.7c 정도로 하였다(Fig.1). 경계조건으로는 상하 전면부에서 유속경계조건을 u=U, v=w=0의 조건을 만족한다. 해석을 용이하기 위해서 라디에이터와 콘덴서를 다공질 매질(Porous Material)로 처리하였으며 다음과 같이 압력과 저항력 사이에 균형(Blance)을 이

루게 하였다.

$$-K_i u_i = \frac{\partial p}{\partial x_i}$$

여기서  $K_i = \alpha \sqrt{V} + \beta$ ;  $\alpha = 843.5$ ,  $\beta = 54.3$ ,  
 $|\sqrt{V}|$ : 방열기 통과직전 속도

수치계산은 IBM RS6000/590에서 100sec/iteration으로 약 500번 정도의 반복계산시간이 소요되었으며, 수렴조건은 6개의 지배 방정식인 연속식, 3개의 운동량(U, V, W)과 2개의 난류량(k,  $\epsilon$ ) 방정식에 대해 가장 큰 정규화된 잉여량(Normalized residual)이 0.1% 이하로 하고, 이완계수는 속도 및 난류량에 대해 0.3, 압력에 대해 0.2로 하였다.

### 3. 모델 해석결과

#### 3.1 전체적인 유동현상

유입유동(Incoming flow)은 차속도 50km/h를 기준으로 하면 자유흐름속도 14m/sec로 Bumper에서 유동이 상하단으로 나누어 진다(Fig.2). 상단은 Bumper에서 박리가 일어난 후 새로운 경계층을 형성하며, 이런 차주위에 관한 외부 유동은 많은 연구가 수행되었다<sup>5)~9)</sup>. 개구면적(Front opening area) 및 하단부분으로 흐름에 의해 엔진룸 내부 유동장이 형성된다. 유입

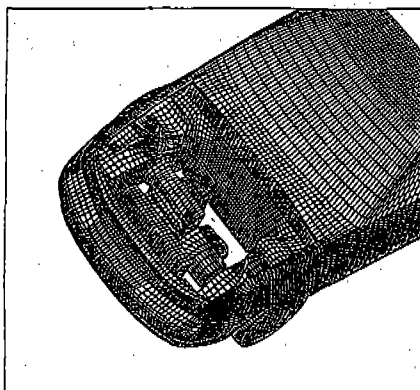


Fig.1 엔진룸 격자모델

부분의 형상은 주로 스타일 및 공기역학적 관점에서 주로 연구되어 왔는데, 최근 냉각성능면에서 엔진룸내 열유동 해석이 시도되고 있다.

차내부 유동 분포는 앞에서 언급한 바와 같이 개구면적에서 유입되는 것과 하단에서 들어오는 유동이 라디에이터를 통과하여 엔진의 상하단 및 측면으로 분리된다(Fig.3a, b). 고속에서는 대부분의 유동이 라디에이터를 통과후 하단으로 흐르면서 차체 밖으로 유출된다. 그러나 저속에서는 엔진의 상단 및 측면으로 일부 유동이 흐르면서 라디에이터 상단 및 엔진 후미에서 정체점이 생겨 열상승의 원인이 되고있다.

격자생성 시간등으로 인해 대부분의 국내연구는 2차원 해석을 하였다<sup>10)</sup>. 그러나 Fig.2, 4에서 보여주듯이 정성적으로 큰 차이가 날 뿐만 아니라, 2차원 계산을 3차원계산의 차폭중심에서 비교해보면 유입속도가 평균 35%정도 차이가 난다. 이는 같은 자유흐름 입구조건에 대한 3차원 유동에 의한 2차원 해석에 비해 엔진룸내 저항의 차이에 기인하므로 2차원 계산으로 해석이 불가능함을 확인할 수 있었다.

#### 3.2 개구형상에 따른 유동 및 열전달

본 연구에서 고려한 경우는 6가지 영역으로 나눌 수 있다(Fig.5).

##### (1) 기본 형상

- Case 1 : 수치해석

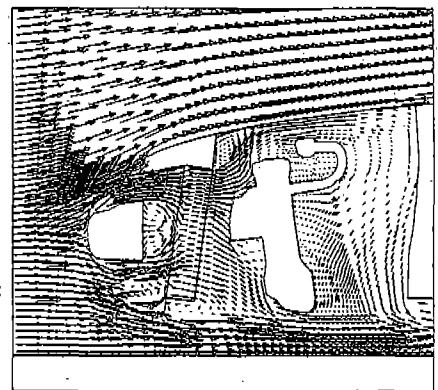
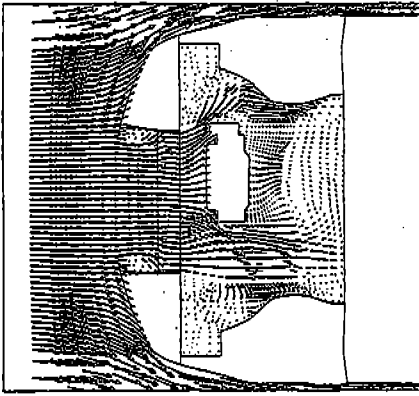
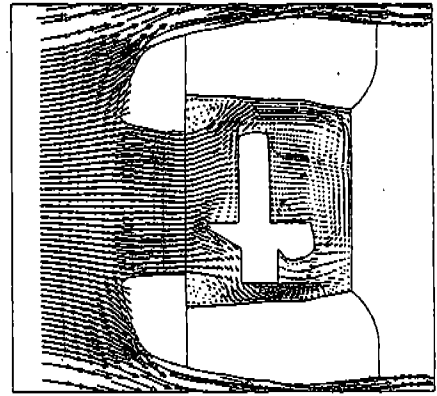


Fig.2 엔진룸내 유동



(a)



(b)

Fig.3 엔진주위의 유동

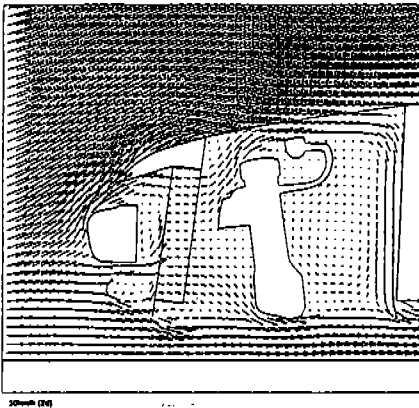


Fig.4 2차원 수치해석

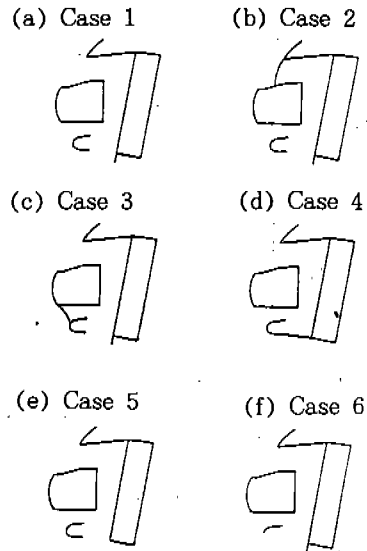


Fig.5 연구모델

- (2) 그릴부분 개구면적을 막을때
  - Case 2 : 수치해석
- (3) Bumper 하단부분 개구면적을 막을때
  - Case 3 : 수치해석
- (4) Air-dam 전면부 영역(Bump Skirt)을 막을때
  - Case 4 : 수치해석
- (5) Air-dam이 없는 경우
  - Case 5 : 수치해석
- (6) 아래 Bumper를 50% 절단한 경우
  - Case 6 : 수치해석

이에 대한 수치해석한 유동 현상은 Fig.6에 나타나 있다.

이들 6가지 경우에 대한 유량의 변화는 다음 표

1, 2와 같다.

표 1은 Case1을 기준으로 각기형상(Case)에 대한 총유량, 상하부 개구통과 유량을 비교해 놓았다. Case 2, 3의 경우 총유량의 큰 차이가 Case 1에 비해 같은 32%정도 줄어들고 있다. Case 5의 결과를 보면 12% 정도 에어댐 효과에 의해 유량이 증대한다. Case 4는 하부범퍼와 방열기 사이로 8.3% 유량이 통과하고 있음을 나타낸다. Case 6에서 보듯 본연구에서는 하부범퍼를 50% 정도 제거해 보았는데, 에어댐 효과를 줄이고

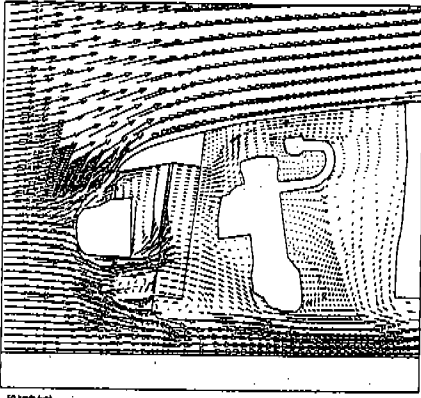


Fig.6-1 CASE 2

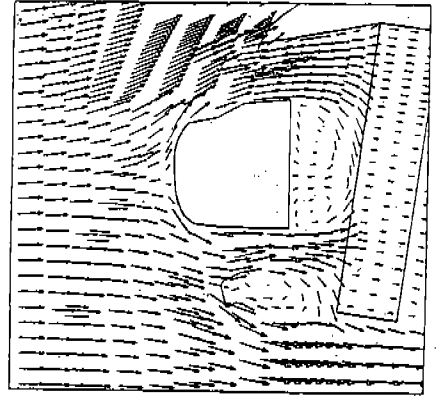


Fig.6-4 CASE 5

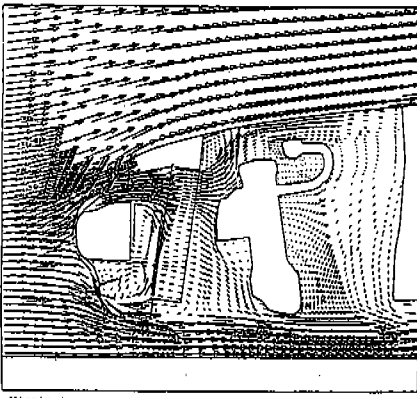


Fig.6-2 CASE 3

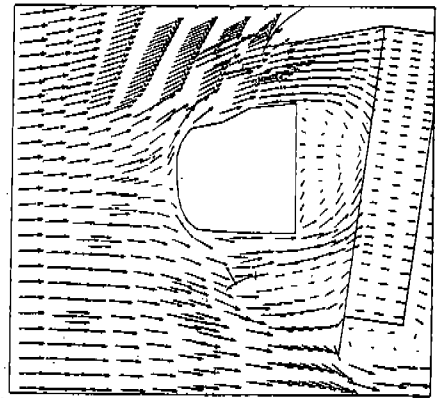


Fig.6-5 CASE 6

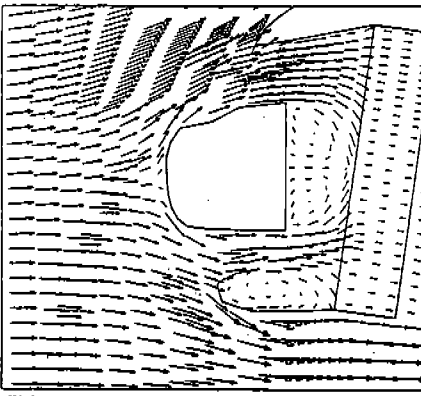


Fig.6-3 CASE 4

있으므로 이를 제거 할수록 유입유량을 증대시킬 수 있다(표 1). 표 2는 한 경우에 대한 상하부 및 에어뎀 통과 배분율을 알기위해서 작성하였다. Case 1에서 보듯이 상부의 그릴 부분으로 통과하는 유량이 전체의 45% 정도이며 하부 및 에어뎀 부근 통과유량은 55% 정도이다.

방열기 전단면 유동분포를 고찰하면 엔진룸내의 기하학적 형상의 복잡성에 의해 3차원 현상을 가지며 유동이 불균일하다. 또한 개구면적 형상 및 범퍼, 에어뎀등에 큰 영향을 받음을 알 수 있다. Fig.7은 전단면 주방향 유속분포를 보여주며, 각기 개구형상에 대한 유동편중 불균일도 정도는 앞에서 Case 1, Case 2, Case 3 순으로 나타난다.

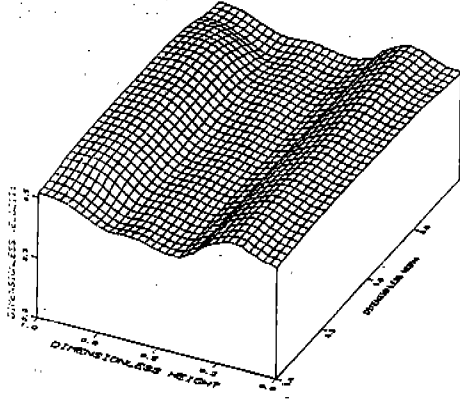


Fig.7-1 CASE 1 방열기 전단면 주방향 속도분포

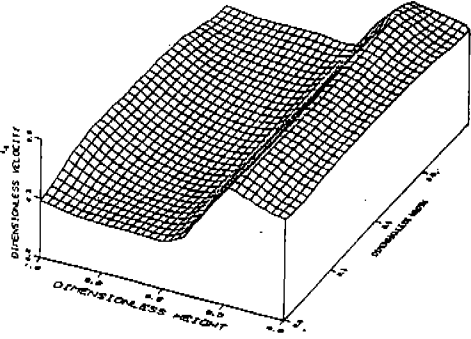


Fig.7-2 CASE 2 방열기 전단면 주방향 속도분포

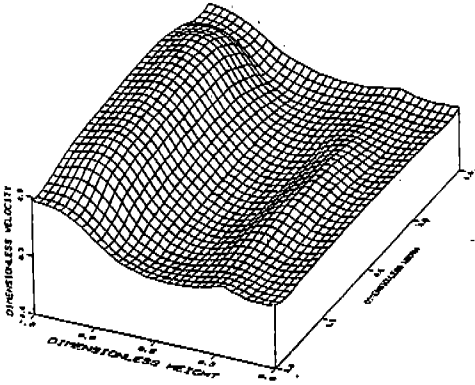


Fig.7-3 CASE 3 방열기 전단면 주방향 속도분포

표 2

	상부개구 통과유량	하부개구 통과유량	Air Dam 통과유량
CASE 1	44.6%	50.1%	5.3%
CASE 2	0%(막음)	83.9%	16.1%
CASE 3	80.7%	0%(막음)	19.3%
CASE 4	45.6%	54.4%	0%(막음)
CASE 5	53%	63.8%	-16.8%(빠져나감)
CASE 6	43.5%	44.6%	11.9%

표 1

(단위 :  $Q/Q_{org}$  (각모델 통과유량/기본모델 통과유량))

	총 유 량	상부개구 통과유량	하부개구 통과유량	Air Dam 통과유량
CASE 1	1	1	1	1
CASE 2	0.672 (32.8% ↓)	0 (막음)	1.118 (11.8% ↑)	2.217
CASE 3	0.679 (32.1% ↓)	1.223 (22.3% ↑)	0 (막음)	2.689
CASE 4	0.917 (8.3% ↓)	0.963 (3.7% ↓)	0.987 (1.3% ↓)	0(막음)
CASE 5	0.880 (12% ↓)	1.045 (4.5% ↑)	1.132 (13.2% ↑)	-3.05(빠져나감)
CASE 6	1.058 (5.8% ↑)	0.917 (8.3% ↓)	0.790 (21% ↓)	5.12

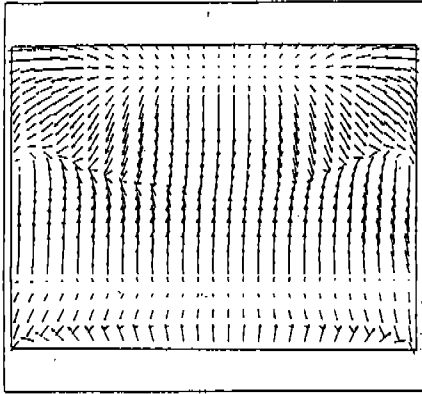


Fig.8-1 CASE 1 방열기 전단면의 이차유동

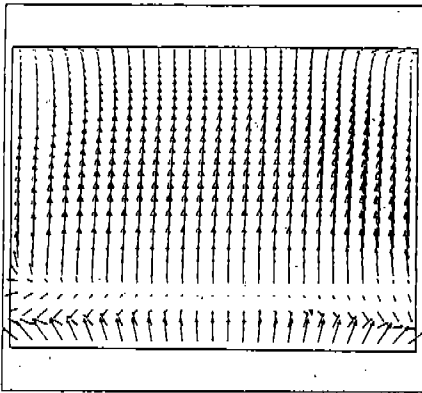


Fig.8-2 CASE 2 방열기 전단면의 이차유동

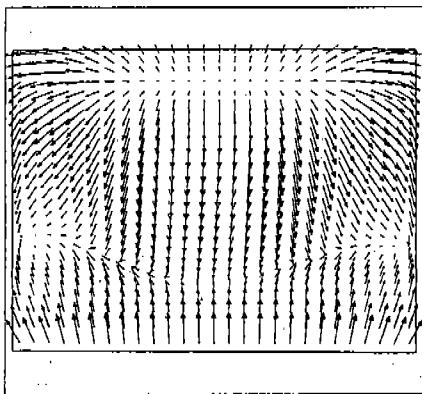


Fig.8-3 CASE 3 방열기 전단면의 이차유동

유동의 불균일도는 통계학의 분산과 표준편차의 개념에 기초를 두고 있으며, 공기유동분포의 균일한 정도를 나타내기위해서 도입되었다<sup>11)</sup>.

유동의 불균일 인자 z는

$$z = \left[ \frac{\sum_{i=1}^{MN} (\phi_{avg} - \phi_{i,j})^2}{MN} \right]^{1/2}$$

$$(\phi_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^{MN} \phi_{i,j}}{MN} = 1)$$

여기서  $\phi$ 는 각위치에서 주유동 방향의 속도를 전체단면의 주방향 평균속도로 나눈 값이다. 만약 이상적으로 균일한 유동이라면 z값은 0이다.

유동의 불균일도의 방열기 전단면에서 정의하면 다음과 같다.

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

본 연구에서는 상하부 개구면적이 냉각성능에 미치는 영향을 보기위해서 Case 2와 Case 3를 비교해 볼 필요가 있으며, 세가지 경우에 대한 방열기 전단면의 불균일도를 각기 경우에 따라 0.113, 0.297, 0.342의 값으로 계산된다. Case 1, Case 2, Case 3의 경우 Case 1이 균일도가 좋으며 Case 2, Case 3의 같은 유량에 대하여 방열기 전단면의 균일도는 Case 2가 좋다.

Fig.8은 방열기 전단면에서의 이차유동(Secondary Flow)을 나타낸 것으로 주방향 평균속도의 5~25% 정도이므로 3차원해석의 필요성을 보여준다. 차속 변화(20km/h~100km/h)에 따른 내부 유동장의 정성적인 변화는 없으나 저속시 엔진 상단 및 옆으로 돌아가는 유량이 커진다. 고부하후 정지(Idling)시 열적인 문제가 생길수 있음을 보여주며 이에대한 차후 상세연구가 요구된다.

#### 4. 결 론

해석 결과의 주목 할만한 사항을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 엔진룸내 유동의 3차원 해석의 필요성이 본 연구에서의 다음과 같은 사항에 나타나 있다.
  - a) 차폭 중심부에서 2차원 해석과 비교해 볼때 유입속도의 차이를 나타낸다.
  - b) 이차유동(Secondary flow)이 주방향 속도의 5~25% 정도로 무시할 수 없다.
- 2) 방열기 전단면의 유동분포는 개구형상에 크게 영향을 받으며, 엔진룸내 기하학적 복잡성에 의해 불균일하다. 즉, 본 연구에서 설정한 3가지 개구형상의 경우에 대해 방열기 전단면 유량 및 유동 불균일도를 얻은 결과 Case 1, Case 2, Case 3 순으로 나타나며 하부 개구영역이 상부에 비해 냉각성능에 더 큰 영향을 미친다는 것을 알수 있다.
- 3) 에어댐 효과는 기존 연구와 같이 유입 유량을 증대시키며, CIELO 모델의 경우 하부 범퍼의 크기가 에어댐 효과에 영향을 주고 있다.

## 후 기

본 연구는 고등기술연구원 과제명 “엔진룸내 3차원 열유동 연구(GF94-024)”의 일부이며, 엔진룸 CATIA 데이터를 제공해 주신 손동연박사(대우자동차 기술연구소) 및 관계자 제위께 사의를 표합니다.

## 참 고 문 헌

1. Nobushiro Katoh et al., “Numerical Simulation on the Three Dimensional Flow and Heat Transfer in the Engine Compartment”, Nobushiro Katoh et al., SAE 910306, 1991.
2. J. E. Williams, J. E. Hackett, et al.,

- “Water Flow Simulation of Automotive Underhood Airflow Phenomena”, J. E. Williams, J. E. Hackett, et al., SAE 910307, 1991.
3. 엔진룸내 3차원 열유동연구, 고등기술원 연구과제 완료 보고서(CF 94-014)
4. 류명석, 이은준, “엔진룸내 3차원 수치적연구”, 94 추계 자동차학술대회, pp. 229~234, 1994.
5. Ryutaro Himeno et al., “Numerical Analysis of the Airflow around Automobile Using Multi-block Structured Grids”, Ryutaro Himeno et al., SAE 800319, 1990.
6. Kuwamura, T., et al., “Computational Study of the Aerodynamic Behavior of a Three-Dimensional Car Configuration”, Kuwamura, T., et al. SAE 890598, 1989.
7. Ryuturo Gimeno, et al., “Simultaneous Computation of the External Flow around a Carbody & the Internal Flow through Its Engine Compartment”, SAE 920346, 1992.
8. Kuwahara, etal, “Computation of Three Dimensional Vechle Aerodynamics Using Fluent/BFC”, Proccedings of the Second International Conference on Supercomputing Applications, pp. 233~256, 1988.
9. Nishikawa, S., et al, “Numerical Simulation of Flow Around a Heavy-Duty Truck Body”, SAE 890599, 1989
10. 유정열외 2인, “엔진룸내 2차원 열유동연구”, pp. 99~104, vlo. 14, 한국 자동차 공학회지, 1992.
11. J. P. Chiou, “The effect of the flow nonuniformity on the sizing of the engine radiator”, SAE Paper 800219, 1980.