

〈논 문〉 SAE NO. 96370080

HVAC 덕트내의 3차원 난류유동에 관한 수치해석적 연구

Numerical Analysis of Three Dimensional Turbulent Flow in a HVAC Duct

정 수 진,* 류 수 열,** 김 태 훈***
S. J. Jeong, S. Y. Ryu, T. H. Kim

ABSTRACT

In this study, three dimensional flow analysis in a HVAC duct was performed computationally using various turbulence models and compared numerical predictions such as outlet flow split, surface pressure distribution along the duct to experimental data.

It's well known that accuracy of computational predictions of flow heavily dependent on turbulent models and discretization method. Therefore, in this work, to assess the ability of turbulent models to predict characteristics of duct flow, three kinds of models, namely standard k-ε, RNG k-ε and modified k-ε, containing parameter for the effect of streamline curvature were employed and validated one another by comparing with experimental data.

In results, modified k-ε turbulence model allows a successful prediction of static pressure distribution particularly at around strong curvature but little improvement flow split.

In the future, adoption of CFD to design HVAC duct with modified k-ε model will bring benefits of producing more accurate prediction, and also give designers more detail information much more than now.

주요기술용어 : HVAC(Heating, Ventilation and Air-conditioning), Turbulent Model(난류모형), CFD(전산유체역학), 유선곡률(Streamline Curvature)

1. 서 론

최근의 자동차 설계에 있어서 쾌적성은 안정성과 더불어 높은 비중을 차지하고 있으며, 따라서 HVAC(Heating Ventilation and Air Conditioning)의 중요성은 날로 높아져 가고 있다. 또

* 정회원, 쌍용자동차 기술연구소

** 쌍용자동차 기술연구소

*** 정회원, 마산전문대학교

한 차체의 유선화 경향은 점차 차체표면에 유리의 사용을 증가시키고 있으며 이에 따라 증가되어 가는 태양열 하중(Solar Heat Load)으로 인하여 A/C(Air Conditioning)의 최적설계의 중요성은 점차 높아지고 있는 추세이다. 따라서 국내의 많은 자동차 회사에서 많은 연구가 행되어지고 있다^{1),2)}. 특히 난·냉방시 토출구에서 유출되는 유동으로 인한 탑승부내부의 유동특성은 실험과 수치해석을 통하여 많은 연구를 수행한 결과 표준 $k-\epsilon$ 난류모델을 사용한 계산결과가 타당성 있는 예측을 할 수 있음이 확인되었다^{1),2)}. 그러나 A/C 덕트의 설계는 관내를 흐르는 유동의 압력강하를 최대한 억제시켜야 하고 이음부에서 균일하게 배분된 공기가 실내에 유입되도록 하여야 하며 이를 위하여 큰 단면 변화와 급격한 곡률을 지닌 A/C 덕트내를 흐르는 복잡한 난류운동의 철저한 해석이 선행되어야 하는 A/C의 최적화 설계 중 가장 중요한 부분으로 아직 국내에서는 이부분의 수치적, 실험적 연구가 미비한 실정이다. 또한 이러한 A/C 덕트의 최적화는 역사적으로, 실험적인 방법과 시제품 제작을 통하여 이루어져 왔으나 CAE 기술의 발달로 인하여 CFD(Computational Fluid Dynamics) 해석을 통한 A/C 덕트의 최적화가 가능하게 되었다. 따라서 그 동안 문제가 되어 왔던 시제품 제작 및 반복적인 실험에 따른 비용 및 시간을 절약할 수 있게 되었다. 그리고 CFD의 뛰어난 가시화(Visualization) 능력으로 인하여 덕트내를 흐르는 유동의 박리 및 재순환 영역뿐만 아니라 각 출구로 유출되는 공기의 유출량 등을 설계자들을 손쉽게 파악할 수 있게 되었다.

현재 국내 자동차 회사들도 이러한 CFD 기법의 장점으로 인하여 앞다투어 CFD 해석을 실설계에 응용하고 있으며 많은 연구를 수행 중이나 대부분 상용 프로그램을 외국으로 부터 구입하여 사용하고 있으며 사용하는 난류 모델들도 이들 프로그램들이 지원하는 표준 $k-\epsilon$ 난류모델과 RNG $k-\epsilon$ 모델을 주로 사용하고 있다.

그러나 A/C 덕트내의 유동은 복잡한 기하학적 특성으로 인하여 복잡한 3차원 난류이며 이의 정확한 계산을 위해서는 정확한 난류모델의

선택 및 오류확산 등을 방지할 수 있는 고정도의 대류항 차분법등의 개발이 중요하다.

현재 CFD 해석^{1),2),8)}에 가장 널리 사용중인 표준 $k-\epsilon$ 모델은 모델자체가 단순하며 예측성능이 우수하나 난류운동 에너지의 과대평가에 따른 박리영역 및 재부착 위치 예측에는 많은 오차를 포함하고 있으며 곡률 및 회전에 따른 난류구조 변화를 충분히 반영하고 있지 못하므로 이러한 단점을 극복하고자 많은 수정된 $k-\epsilon$ 모델이 제안되어져 왔다^{3),4),5)}.

따라서 본 논문에서는 A/C 덕트 내의 CFD 해석의 적용 타당성 및 이의 정확도를 검증하기 위하여 표준 $k-\epsilon$ 난류모델 및 RNG $k-\epsilon$ 모델을 유선곡률에 의한 난류구조의 변화를 예측하기 위하여 수정된 $k-\epsilon$ 모델과 함께 사용하여 계산한 결과를 각각 실험치⁷⁾와 비교하여 각 모델의 예측정확도를 확인하였으며, 이와 함께 덕트내부의 유동특성을 연구하였다.

2. 해석대상

모델의 대칭성을 고려하여 Fig.1과 같은 A/C 덕트의 오른쪽 1/2 모델을 해석대상으로 선정하였다. 덕트는 2개의 출구를 가지고 있으며 냉각된 공기는 덕트 아래평면에 있는 입구를 통하여 유입되어 2개의 분지관(Branch)를 통하여 분리되어 흐른다.

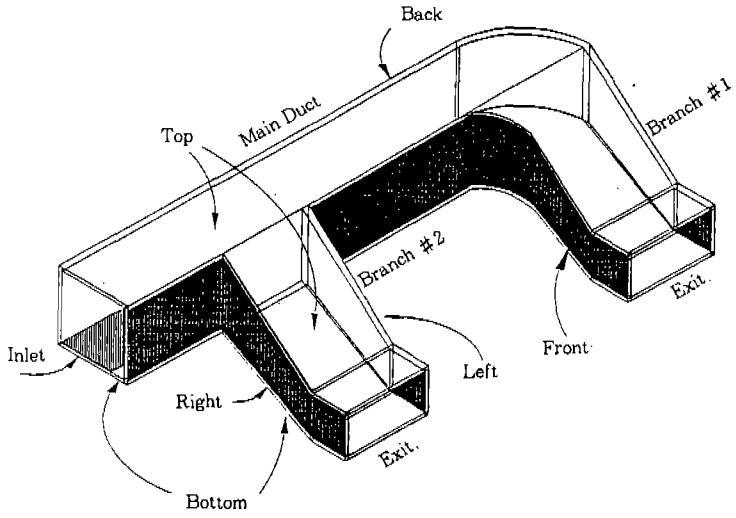
해석 모델은 유한체적법으로 계산하기 위하여 Fig.2에서 나타낸 것과 같은 계산격자를 사용하였으며, 계산에 사용된 총 계산 셀(cell)은 179,713개이다.

3. 지배 방정식 및 난류모델

3.1 지배 방정식

본 논문에서는 A/C 덕트를 흐르는 유동을 3차원 정상상태 비압축성 점성유동으로 간주하였으며, 수치해석에 사용된 지배방정식을 텐서 형태로 표현하면 다음과 같다.

연속 방정식;



Mainduct+Branch #1=Block 1
Branch #2 =Block 2

Fig.1 Geometry of A/C Distribution Duct

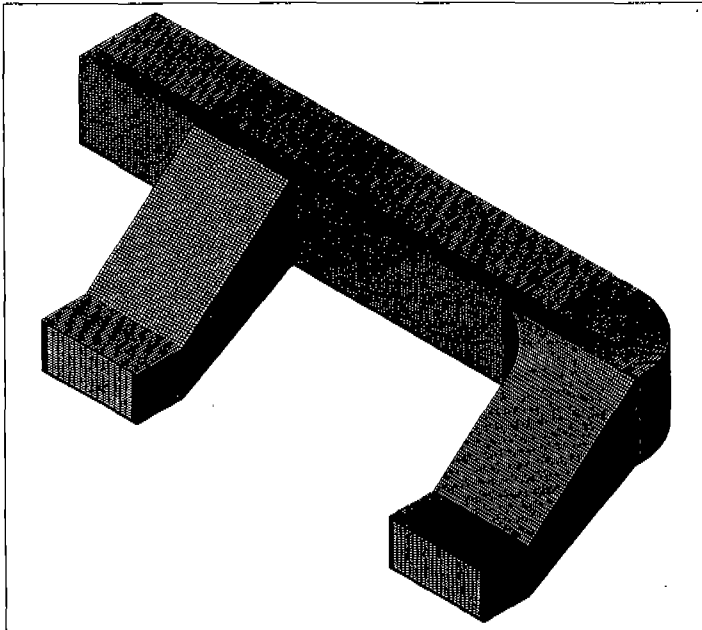


Fig.2 Computational Surface Grid of the Air Duct

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

$$u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \nu_T S^2 - \epsilon + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\nu_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) \quad (7)$$

운동량 방정식;

$$u_j \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} = C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \nu_T S^2 - C_{\epsilon 2} \frac{\epsilon^2}{k} - R + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\nu_T}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (u_i u_j) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\nu_{eff} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

여기서,

여기서,

$$S = \sqrt{2s_{ij}s_{ij}}, \quad s_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right),$$

$\nu_{eff} = \nu_T + \nu_{mob}$, $\nu_T = C_\mu \nu \frac{k^2}{\epsilon}$, $C_\mu = 0.09$, u_i , p 는 각각 평균속도 및 압력이며 ρ 는 유체 밀도이다.

$$R = \frac{C_\mu \rho^3 (1 - \eta/\eta_0) \epsilon^2}{1 + \beta \eta^3} \frac{\epsilon^2}{k}, \quad \eta = \frac{Sk}{\epsilon}$$

$$C_{\mu^*} = 0.0845, \quad \sigma_k = 0.719, \quad \sigma_\epsilon = 0.719, \quad C_{\epsilon 1} = 1.42, \quad C_{\epsilon 2} = 1.68, \quad \beta = 0.012, \quad \eta_0 = 4.38$$

3.2 난류 모델

3.2.1 표준 k-ε 모델

고 레이놀즈수형 표준 k-ε 모델은 아래와 같이 표현된다.

식 (6)에서 나타낸 것과 같이 RNG k-ε 모델은 $\frac{k}{\sqrt{\epsilon}}$ 의 비에 따라서 유효점성계수가 결정되어

$$u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu_{mob} + \frac{\nu_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \frac{\nu_T \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \epsilon}{P_k} \quad (3)$$

지며 따라서 저레이놀즈 영역에서 완전 발달된 영역으로의 유연한 이동이 가능하다. 소산을 방정식 (8)에 포함되어 있는 R은 유동의 급격한 변형(rapid strain)을 표현하기 위한 항이다.

3.2.3 수정된 k-ε 모델

$$u_j \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\nu_T}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} P_k - C_{\epsilon 2} \frac{\epsilon^2}{k} \quad (4)$$

A/C 덕트는 많은 곡률을 가지고 있으므로 곡률이 난류구조에 미치는 영향을 난류모델에 반영시켜야 하나 표준 k-ε 모델은 이러한 곡률이나 선회에 따른 이차적인 변형률 효과를 반영하지 못하다고 알려져 있다. 따라서 이러한 이차적인 변형률 효과를 고려하기 위해서 Launder⁴⁾ 등은 식 (4)의 모델상수 $C_{\epsilon 2}$ 을 난류 Richardson수 R_{it} ⁴⁾의 선형함수로 수정한 모델을 제안한 바 있다. 그러나 유선곡률 좌표계에 의존하는⁶⁾ Richardson 수는 3차원으로의 수정이 어렵기 때문에 명⁶⁾은 곡률효과 및 이차적인 변형률이 평균변형률과 평균와도의 상대적 크기에 의해 결정되어진다는 가정 하에 다음과 같은 형태의 변수를 제안하였다.

여기서, ν_{mob} 은 동점성계수이며 ν_T 는 난류 점성계수(Turbulent viscosity)이다.

$$C_{\epsilon 1} = 1.44, \quad C_{\epsilon 2} = 1.92, \quad \sigma_k = 1.0, \quad \sigma_\epsilon = 1.3 \quad (5)$$

3.2.2 RNG k-ε 모델

유효점성계수 ν_{eff} 는 RNG k-ε 모델⁵⁾의 경우 아래와 같이 표현된다.

$$\nu_{eff} = \nu_{mol} \left[1 + \sqrt{\frac{C_\mu}{\nu_{mol}}} \frac{k}{\sqrt{\epsilon}} \right]^2 \quad (6)$$

$$M_{it} = \frac{k^2}{\epsilon^2} (\Omega_{ij}^2 - S_{ij}^2) \quad (9)$$

정상상태 비압축성 유동의 경우 RNG k-ε 모델은 다음과 같다.

여기서,

$$\Omega_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

아직까지 이 변수의 적용은 단순한 2차원 유동의 예측등에만 이루어져 있을 뿐 A/C 덕트와 같이 복잡한 형상을 지니는 3차원 난류유동에는 타당성이 검증되어 있지 않았다. 따라서 본 논문에서는 이를 3차원으로 확장하여 계산하여 그 타당성을 타 모델과 비교하여 검증하려 한다.

이 변수 M_{ii} 는 3차원 직교좌표계에서는 아래와 같이 표현된다.

$$M_{ii} = -\left(\frac{k}{\epsilon}\right)^2 \left(\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2 \right) + 2 \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} + 2 \frac{\partial v}{\partial z} \frac{\partial w}{\partial y} + 2 \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial z} \quad (10)$$

따라서 본 논문에서는 식 (7)의 모델상수 $C_{\epsilon 2}$ 를 아래 식과 같이 수정하여 A/C 덕트내의 난류구조가 받는 유선곡률에 의한 2차적인 변형을 효과를 고려하였다.

$$C_{\epsilon 2} = C_{\epsilon 2}(1 - C_c M_{ii}) \quad (11)$$

여기서 C_c 는 Launder⁴⁾등이 가장 최적값으로 제한한 0.2를 사용하였다.

4. 수치해석

본 논문에서는 A/C 덕트내의 3차원 유동해석을 위하여 상용 열·유체 프로그램인 STAR-CD⁹⁾를 사용하였으며 난류모델을 수정하기 위하여 난류방정식의 생성향을 사용자 서브루틴을 Fortran으로 작성하여 STAR-CD와 컴파일하여 사용하였다.

경계조건은 덕트 입구에서는 Han⁷⁾ 등이 같은 모델에 대하여 실험적으로 구한 0.043m³/s의 유입 유량을 주었으며, 2개의 출구에서의 경계조건은 대기압으로 처리하였다.

모든 벽조건은 점착조건(No-slip)을 적용하였고, 벽면에서의 난류계산은 벽면함수(wall func-

tion)을 사용하였다.

대류항의 차분화는 상류차분법을 이용하였으며, 압력과 속도의 연결은 여러 가지 문제에서 안정성이 입증된 SIMPLE 알고리즘을 사용하였다. 최종적으로 얻어진 이산화된 선형 방정식 중 속도 및 스칼라방정식은 SIP(Strongly Implicit Procedure)로 압력방정식은 CGM(Conjugate Gradient Method)에 의해 풀리게 된다.

수렴판정 조건은 입구에서 운동량으로 정규화한 각 셀에서의 운동량의 유수의 합과 연속방정식에서의 유수의 합이 모두 10⁻³ 보다 작아질 때로 정하였다.

5. 결과 및 고찰

A/C 덕트내의 3차원 유동해석을 표준 k- ϵ RNG k- ϵ , 수정 k- ϵ 난류모델을 사용하여 수치해석 하여 그 결과를 Han⁷⁾의 실험값과 비교하여 각 모델에 대한 수치적 정확도를 판별하였으며, 수치해석 결과를 토대로 덕트내의 유동특성을 해석하였다.

5.1 표면 압력 분포

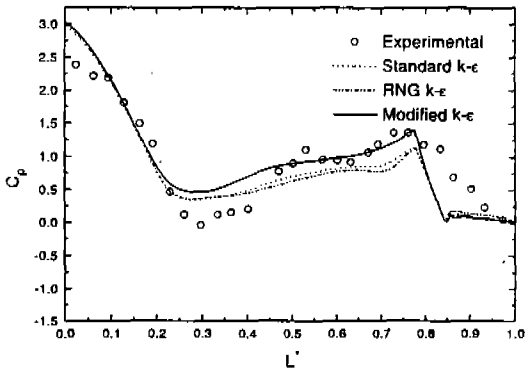
Fig.3(a)에 블록 1의 후면의 중심선에서의 압력분포를 나타내었다. 여기서

$$c_p = \frac{p - p_{\text{atm}}}{\rho v_{\text{in}}^2}, \quad L^* = \frac{\sum_{i=2}^I |r_i - r_{i-1}|}{\sum_{i=2}^N |r_i - r_{i-1}|} \quad \text{이며,}$$

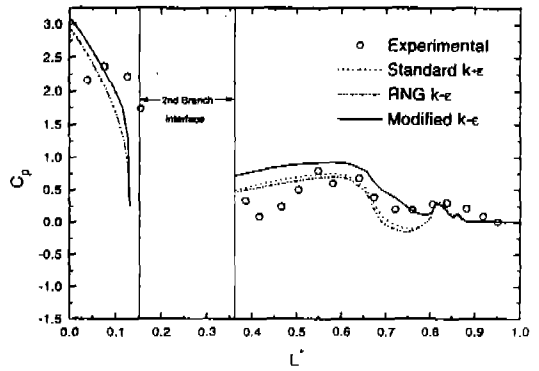
p_{atm} 은 대기압, r_i 는 위치벡터, N 은 총 데이터 수이다.

압력분포의 특징은 입구에서 유출된 유동이 상면에서 정체됨에 따라 높은 정체압이 존재하며, 제2분지관이 존재하는 위치에서 압력이 급강하하며 이후에 주관(main duct)을 따라 유동이 진행하며 점차 압력이 회복되고 있음을 알 수 있다. 90° 곡류 부근인 $L^* = 0.62$ 에 도달해서는 원심력으로 인하여 유동의 감속으로 인하여 압력이 급상승하고 있음을 볼 수 있다.

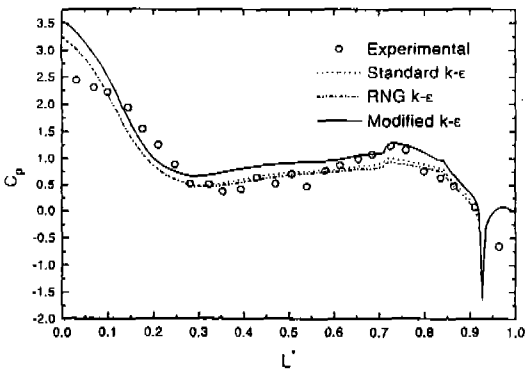
각 난류모델 별 계산결과를 보면 표준 k- ϵ 모델과 RNG k- ϵ 모델은 큰 차이를 보이지 않고 있으나 수정 k- ϵ 모델은 곡류부근에서 타모델에



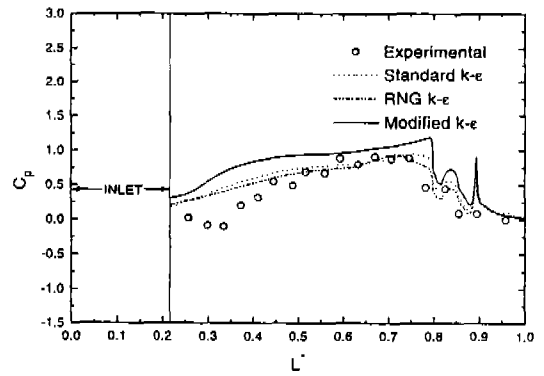
(a) Back Surface



(b) Front Surface



(c) Top Surface



(d) Bottom Surface

Fig.3 Comparison of Predicted Pressure variation of Block 1 with Experiment(6)

비해 정량적으로 개선된 계산결과를 나타내고 있다. Fig.3(b)에는 블록 1 앞면에서의 압력분포를 낸 것이다.

블록 1의 앞면에서의 압력분포의 전반적인 특징은 후면부의 압력분포와는 대조적으로 90° 곡률이 시작되는 부근에서 유속의 가속으로 인한 급격한 압력강하가 존재하고 있다는 것이다. 따라서 이러한 전, 후 벽면간의 압력차의 발생은 강한 2차 유동(secondary flow)을 유발하므로 출구에서의 속도분포에 많은 영향을 미친다.

Fig.3(c)는 블록 1 상면부에서의 압력분포를 나타낸 것으로서 입구에서 유입된 유동이 상면부에 부딪히며 정체되어 높은 압력이 형성된 후 점차 감소되는 경향을 보이며 제2분지관에서 급격

한 단면변화와 유동방향의 변화로 인하여 압력강하가 일어난다. 이때 수정된 $k-\epsilon$ 모델은 이 영역에서 여타의 모델보다 압력값을 과대평가하고 있으나 90° 곡률부근에서는 타모델보다 정량적으로 우수한 결과를 내어주고 있다.

블록 1 아래면에서의 압력분포를 Fig.3(d)에 나타내었다. 입구에서 수직으로 분출된 유동이 상면부에 부딪히며 주관(Main duct) 하류로 내려가며 재순환 영역의 형성으로 인하여 이 부분의 압력이 상면보다 떨어지고 있음을 볼 수 있으며 전반적인 계산결과는 실험값과 근접한 결과를 보여주고 있다.

Fig.4(a)는 제2분지관의 왼쪽 표면의 압력분포로써 수치결과는 전반적으로 압력값을 실험치

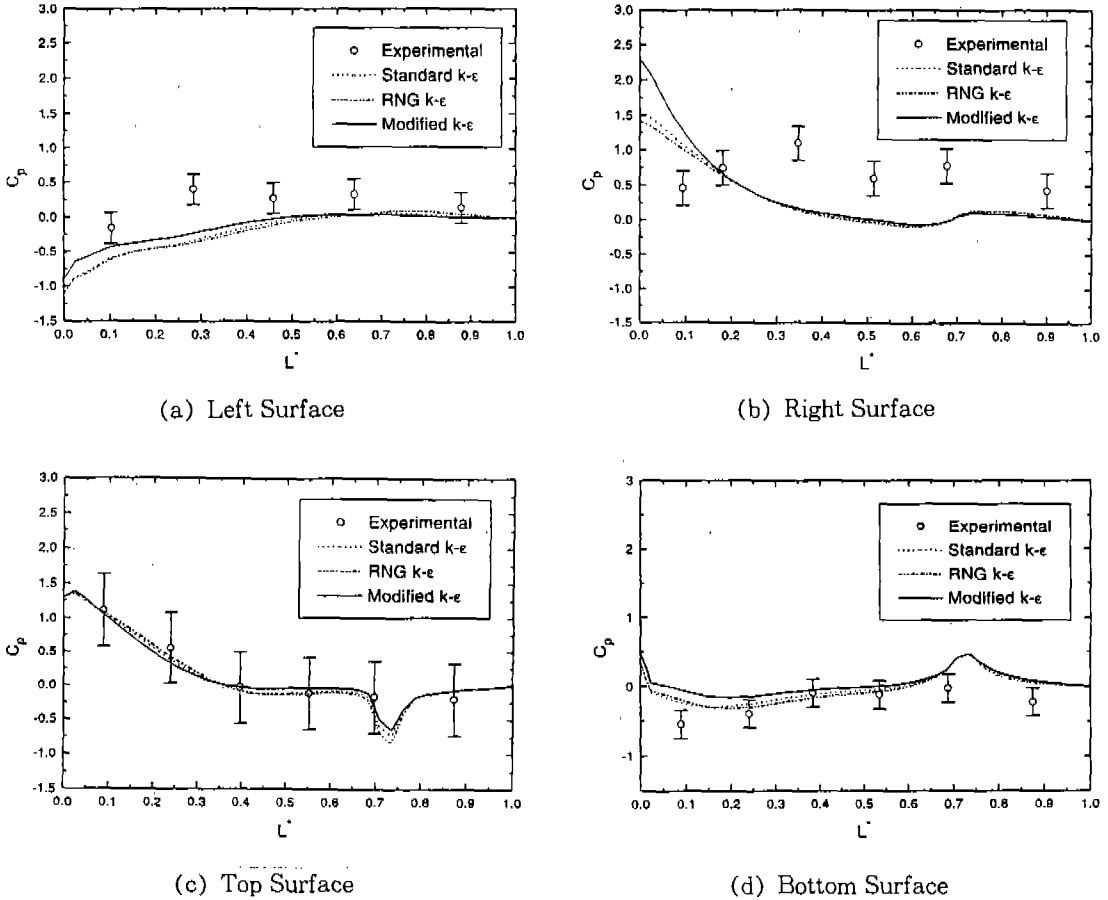


Fig.4 Comparison of Predicted Pressure variation of Block 2 with Experimental(6)

보다 과소평가하고 있으나 수정 k-ε 모델이 타 모델에 비해 실험치에 근접한 수치 결과를 보였다.

제2분지관 오른쪽 면의 압력분포를 Fig(b)에 나타내었으며, 계산결과들은 모두 실험치와 많은 오차를 나타내고 있다. 이는 입구에서 유입된 유동이 주관(main duct)의 상면부에 부딪히자마자 이음부각 90° 연결되어 있는 제2분지관에 유입하면서 유동의 급격한 변화로 인하여 내벽 쪽으로 박리되어 생성되는 넓은 재순환 기포(Recirculation bubble)를 난류모델의 부정확성으로 인하여 정확하게 예측하지 못하는데 따른 계산오차이며 이는 본 논문에서 적용된 난류모델들이 박리유동의 특징인 난류에너지의 생성률과 소산

율 사이의 비평형 상태를 충분히 반영하지 못하기 때문이며 또한 제2분지관의 경우와 같이 박리 유선각(Angle of separation streamline)이 급격한 경우에는 유동방향과 계산격자간의 뒤틀림(skewness)으로 인한 오류확산(false diffusion)도 오차의 한 원인이라고 생각되어 진다.

Fig.4(c), (d)에 제2분지관의 상면과 하면에서의 압력분포를 각각 나타내었다.

5.2 관내 유동장 해석

수정된 k-ε 모델을 사용하여 계산한 A/C 덕트내의 3차원 유동해석 결과를 속도장과 압력장으로 각각 나타내었다.

Fig.5(a)에서 보듯이 A/C 덕트 내를 흐르는

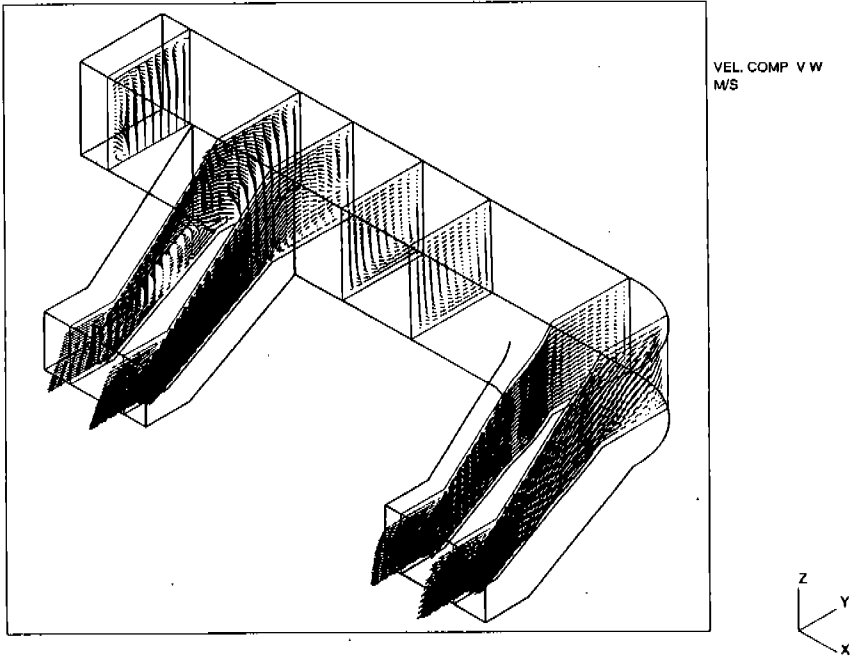


Fig.6 Computed V, W Velocity Vector Plot of the A/C Duct

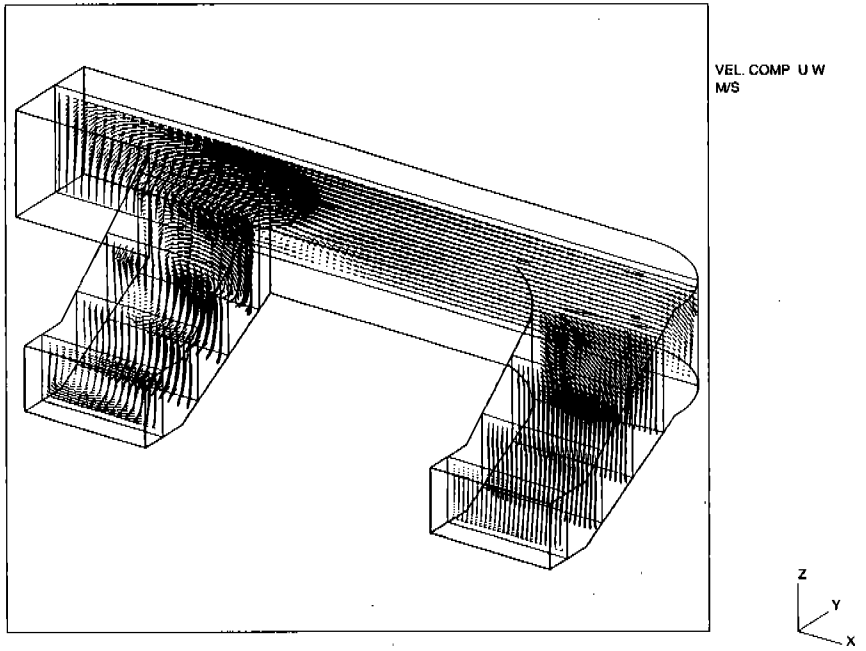
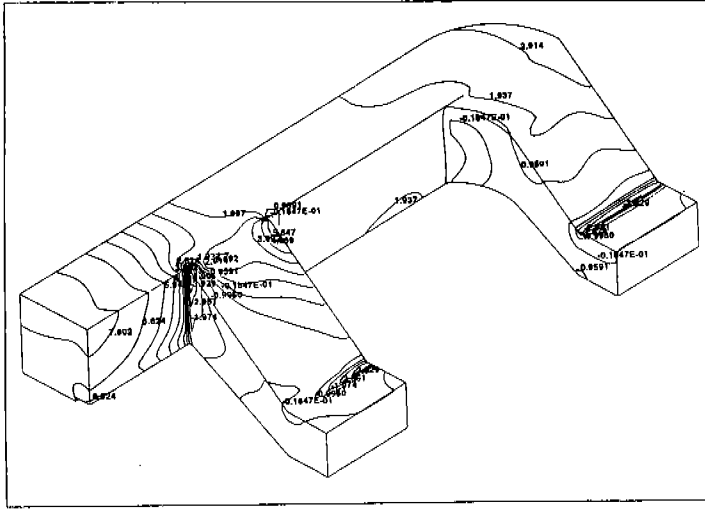


Fig.7 Computed U, W Velocity Vector Plot of the A/C Duct; Frontal Section

Fig.8 Computed Pressure Coefficient(C_p) Contours

유동은 제2분지관 입구에는 오른쪽 벽쪽에 박리로 인한 넓은 재순환 영역이 존재하며 Fig.5(b)가 나타내듯이 최대속도분포가 왼쪽벽면에 치우쳐서 나타나며 재부착 위치를 지나자마자 출구로 유출되어 왼쪽벽면으로 유동이 치우치는 상당히 불안정한 속도분포를 보이고 있다. 한편 제2분지관을 지난 주관의 하류방향에는 제2분지관 쪽에 치우쳐서 높은 속도분포를 나타내고 있으며 이는 하류로 진행하며 점차 회복되다 90° 곡률 부분에 도달해 제1분지관의 앞면부를 타고 가속되어 출구를 빠져나가고 있음을 볼 수 있다.

Fig.6는 덕트내의 V, W방향 속도벡터를 나타내었다. 입구에서 분출된 유동이 덕트 상면부를 타고 제2분지관으로 흐르며 덕트 아래 부분에 큰 재순환 영역이 형성되어 있고, 주관(main duct)의 경우 양쪽 분지관 사이의 영역에서는 Fig.3(c), (d)에서 나타내었듯이 상하면의 압력차에 의한 2차유동이 존재함을 알 수 있다. Fig.7에 덕트 정면에서 자른 단면에 U, W 속도벡터를 나타내었으며 제2분지관의 경우 입구부에서 박리로 인한 재순환 영역이 생성되기 시작함에 따라 덕트단면 좌우측 아래쪽 모서리 부근에 2개의 와류가 형성되어 있음을 볼 수 있고 이들은 점차 하류로 진행하며 우측 아래쪽 모서리에서

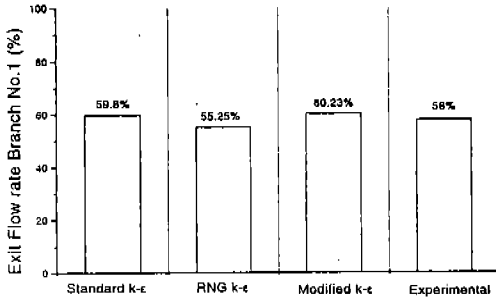
합쳐져서 출구 직적에는 상면의 압력이 경사불연속(slope discontinuity)의 존재로 인하여 급격히 낮아짐에 따라 점차 상면쪽으로 이동하며 한 개의 와류를 형성하고 있다.

Fig.8은 덕트 내의 압력분포(C_p)를 나타낸 것으로서 분지관 출구근처에 존재하는 경사불연속에서 압력강하가 존재함을 알 수 있고 제2분지관의 유입부에서 유동의 급격한 변화로 인하여 많은 압력변화가 일어남을 볼 수 있다.

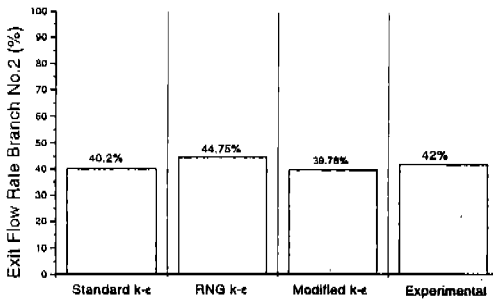
5.3 유출유량 배분

A/C 덕트의 설계에 있어서 가장 중요한 요소는 유입된 유동이 가능한한 각 출구로 균일한 유량이 유출되도록 설계하는 것이다. 따라서 이러한 유량의 배분율을 미리 예측하여 초기설계에 적용한다면 덕트 최적설계에 많은 도움을 줄 수 있을 것이며 따라서 본 논문에서는 각 난류모델 별로 계산한 유출유량 배분율을 실험치와 비교하여 예측정확도를 비교하여 CFD 해석의 적용가능성을 검증하였다.

Fig.9(a), (b)에 각 난류모델 별로 계산된 제1,2출구에서의 유출유량 배분율을 퍼센트 단위로 나타내었다. 계산결과 표준 k-ε 모델이 유출 배분율(%)을 오차 2% 이내로 가장 정확히 예측하



(a) Branch #1



(b) Branch #2

Fig.9 Comparison of Measured and Predicted Flow Distribution of A/C Duct;

고 있으며 급격한 단면변화와 큰 박리유선각이 존재하는 2번 분지관은 재순환 영역의 발생으로 인하여 야기되는 편중된 속도분포를 지니므로 1번 분지관에 비하여 적은 유량을 유출하고 있음을 알 수 있다. 따라서 실설계에 있어서는 분지관들의 분기가 및 주관과의 직경비 등의 최적화를 많은 계산을 통하여 이루어 내야 할 것이다.

6. 결 론

큰 단면변화와 곡률을 지닌 복잡한 A/C 덕트의 설계에 많은 도움을 줄 수 있는 CFD 기법의 적용가능성을 검증하기 위하여 현재 3차원 난류 유동해석에 많이 쓰이고 있는 난류모델인 표준 k-ε 모델과 RNG k-ε를 곡률 및 회전이 난류구조에 미치는 영향을 고려한 수정된 난류모델과 함께 사용하여 그 계산결과를 실험값과 비교하였

으며 덕트내의 속도, 압력분포, 유출유량 및 재순환 영역 등을 해석하여 A/C 덕트내를 흐르는 유동특성을 연구하였고 A/C 덕트설계에 도움을 줄 수 있는 기초설계 데이터를 획득하였다.

계산결과,

- 1) A/C 덕트설계에 있어 큰 박리유선각이 존재하는 분지관은 입구에서의 큰 유동변화로 인하여 재순환 영역을 형성하며 분기부에서 유동저항과 입력강하를 증대시키며 외벽쪽에 편중된 속도분포를 형성하고 결과적으로 타 분지관에 비하여 적은 유출유량을 가져오므로 설계시 분지각 설정에 많은 주의를 기울여야 한다.
- 2) 3차원 A/C 덕트에 적용된 수정된 k-ε 모델은 타모델에 비해 덕트내의 90° 곡률 부근에서 정량적으로 개선된 결과를 나타내어주고 있으나, 출구에서의 유출유량 및 재순환영역의 예측에 있어서는 크게 개선된 결과를 나타내지 못하였다.
3. 덕트내에 존재한 곡률 및 급격한 유동변화는 덕트의 내, 외벽면을 흐르는 유동을 급가감속시킴에 따라 벽면간에 많은 압력차를 형성하여 따라서 이를 통과하는 유동은 와류등을 형성하여 결국 유속분포의 불균형을 가져오며 따라서 A/C 덕트를 설계할 때 이러한 점에 많은 유의를 기울여야 한다.
- 4) CFD 기법을 이용한 해석결과와 3차원 가시화 처리로 복잡한 A/C 덕트내의 박리 및 재순환 기포등의 유동특성을 잘 파악할 수 있었으며 해석결과 또한 실험치와 타당한 범위내에서 일치하였다. 따라서 실설계에 CFD기법을 적용한다면 빠른시간과 최소경비로 보다 정확한 최적설계가 이루어 질 것이다.
- 5) 그러나 박리영역등에서 수치적 오차가 발생할 수 있으므로 해석결과와 검증의 위하여 최소한의 실험이 이루어 져야 할 것으로 생각되어 지며 이를 최소화하기 위해서는 보다 정확한 난류모델 및 수치해법 개발이 선행 되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Soojin Jeong, Jaejin Lee and Sungkuk Jang "Numerical Simulation on three Dimensional Flow and Temperature Distribution in a Passenger Compartment", High Performance Computing Asia Conference, Taiwan, FH00032 1995.
2. Tohr Komoriya et al. "Numerical Simulation of the Flow in a Vehicle Passenger Compartment using Finite Volume Method", JSAE Review, Vol. 12, No. 3, pp. 36~41, 1991.
3. Leschziner, M. A, and Rodi, W, "Calculation of Annular and Twin Parallel Jets Using Various Discretization Schemes and Turbulence Model Variations", Trans, ASME, J. Fluids Eng., Vol. 103, pp. 352~360, 1981.
4. B. E. Launder, C. H. Priddin, B. I. Sharma, "The Calculation of Turbulent Boundary Layers on Spinning and Curves Surfaces", Trans. ASME, J. Fluids Eng., Vol. 99, pp. 231~239, 1977.
5. V. Yakhot and S. A. Orszag "Development of Turbulence Models for Shaer flows by a Double expansion technique", Phys. Fluids A 4(7), July, pp. 1510~1520, 1992.
6. 명현국, "이차적인 변형을 효과를 나타내는 새로운 변수의 제안", 대한기계학회 논문집, Vol. 18, No. 1 pp. 184~192, 1994.
7. Chao-Hsin, Taeyoung Han and V. Sumantran "Experimental and Computational Studies of Flow in a Simplified HVAC duct", Int. J. of Vehicle Design, Vol. 15, Nos.1/2, pp. 147~165, 1994.
8. J. Busch, W. S. Pien, AbdulNour, J. S. Brown, "Computational Fluids Dynamics Analysis and Validation for a HVAC Duct Design", SAE Paper No. 940597, 1994.
9. STAR-CD User's Manual Ver.2.21 Computational Dynamics Limited, 1994.
10. D. E Winterbone et al. "Developments Methods of Considering Wave Action in Pipes Connected to I.C. Engines", ASME, Int'l Symposium on Flows, Vol.3, pp. 71~88, 1985.
11. Lipsch, D., Moravec et al. "Measurement and Calculations of Laminar Flow in a 90° Bifunction", Journal of Biomechanics, Vol. 15, No. 7, pp. 473~485, 1982.
12. Dimitriadis, M. A et al. "Computational of Three Dimensional Flow in Manifold Type Junctions" ASME Symposium on Flows and Flow Related Phenomena in Reciprocating I.C. Engines, Florida, pp. 57~62, November, 1985.
13. V. S. Pratap, D. B. Spalding, "Numerical Computations of the Flow in Curved Ducts", The Aeronautical Quarterly, Vol. 26, pp. 219~228, 1975.
14. B. E. Launder, D. E. Spalding "The Numerical Computation of Turbulent Flows", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering Vol. 3, pp. 269~289, 1974.