

CFD를 이용한 승용차 에어컨 덕트의 최적설계

Optimum Design of an Automotive A/C Duct using by CFD

김 태 훈*, 정 수 진**

T. H. Kim, S. J. Jeong

ABSTRACT

Computational fluid dynamics was used to optimize an A/C duct. Three dimensional flow analysis in an automotive A/C 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. Additionally, we studied the effect of location variation of 2nd branch on exit flow ratio and could find optimal location of 2nd branch. The design of an A/C duct was modeled and calculated to enhance the airflow distribution in each outlet using the STAR-CD computational fluid dynamics software. 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 an A/C 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 : A/C(Air-conditioning), Angle of separation streamline(박리유선각), Turbulent Model(난류모형), CFD(전산유체역학), Modified k- ϵ turbulent(수정 k- ϵ 난류모델)

1. 서론

그동안 A/C(Air Conditioning)덕트내의 최적화와 유출 유량의 균등한 분배는 실험적인 방법과 시제품 제작에 의존해왔다. 그러나 정도 높은 CAE 기술발달로 인하여 최근들어 CFD(Computational Fluid Dynamics)기법을 사용하여 이를 최적화하고 있는 추세이다. 특히 차실내의 쾌적성 강조되면서 승용차 A/C의 최적설계의 중요성은 날로 높아지고 있다. 따라서 국내의 많은 자동차 회사에서 많은 연구

가 수행되어지고 있다.⁽¹⁾⁽²⁾ 특히 난,냉방시 토출구에서 유출되는 유동으로 인한 탑승부내부의 유동특성은 실험과 수치해석을 통하여 많은 연구를 수행한 결과 표준 k- ϵ 난류모델을 사용한 계산결과가 타당성 있는 예측을 할 수 있음이 확인되었다.⁽¹⁾⁽²⁾ 그러나 A/C 덕트의 설계는 관내를 흐르는 유동의 압력강하를 최대한 억제 시켜야 하고 이음부에서 균일하게 배분된 공기가 실내에 유입되도록 하여야 하며 이를 위해서는 큰 단면 변화와 급격한 곡률을 지닌 A/C 덕트내를 흐르는 복잡한 난류유동의 철저한 해

* 정회원, 마산전문대학 자동차과

** 쌍용자동차 기술연구소

석이 선행되어야 하는 A/C의 최적화 설계 중 가장 중요한 부분으로 아직 국내에서는 이부분의 수치적, 실험적 연구가 미비한 실정이다.

현재 국내 자동차 회사들도 이러한 CFD 기법의 장점으로 인하여 앞다투어 CFD 해석을 실 설계에 응용하고 있으며 많은 연구를 수행중이나 대부분 상용 프로그램을 외국으로 부터 구입하여 사용하고 있으며 사용하는 난류 모델들도 이들 프로그램들이 지원하는 표준 k-ε 난류모델과 RNG k-ε 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 고 정도의 대류항 차분법등의 개발이 중요하다. 현재 CFD 해석^{(1),(2),(6)}에 가장 널리 사용중인 표준 k-ε 모델은 모델자체가 단순하며 예측 성능이 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-ε 모델이 제안되어져 왔다.⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁶⁾

따라서 본 논문에서는 A/C덕트 내의 CFD 해석의 적용 타당성 및 이의 정확도를 검증하기 위하여 표준 k-ε 난류모델 및 RNG k-ε 모델을 유선곡률에 의한 난류구조의 변화를 예측하기 위하여 수정된 k-ε모델과 함께 사용하여 계산한 결과를 각각 실험치⁽⁷⁾와 비교하여 각 모델의 예측정확도를 확인하였으며, 이와 함께 덕트내부의 유동특성을 연구하였다. 또한 분지관의 위치에 따른 유출유량 배분을 및 이에 따른 주관에서의 속도 및 압력분포의 변화를 해석 하여 승용차 A/C덕트 설계시 도움을 줄 수 있는 기초 설계 데이터를 획득하고자 한다.

2. 해석대상 및 난류모델

모델의 대칭성을 고려하여 그림 1(a),(b)와 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 그림 2에서 나타낸 것과 같은 계산격자를 사용하였으며, 대칭성을 이용하여 우측 1/2만을 계산하였고, 계산에 사용된 총 계산 셀(cell)은 17,9713개이다.

2.1 난류모델

2.1.1 표준 k-ε 모델

고 레이놀즈수형 표준 k-ε 모델은 아래와 같이 표현된다.

$$u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu_{mol} + \frac{\nu_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \frac{\nu_T \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}}{\rho k} - \epsilon \quad (1)$$

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

여기서, ν_{mol} 은 동점성계수 이며 ν_T 는 난류 점성계수 (Turbulent viscosity) 이고 $C_{\epsilon 1} = 1.44$, $C_{\epsilon 2} = 1.92$, $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\epsilon = 1.3$ 이다.

2.1.2 RNG k-ε 모델

유효점성계수 ν_{eff} 는 RNG k-ε 모델⁽⁵⁾의 경우 아래와 같이 표현된다.

$$\nu_{eff} = \nu_{mol} \left[1 + \sqrt{\frac{C_\mu}{\nu_{mol}} \frac{k}{\epsilon}} \right]^2 \quad (3)$$

정상상태 비압축성 유동의 경우 RNG k-ε 모델은 다음과 같다.

$$u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \nu_T S^2 - \epsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) \quad (4)$$

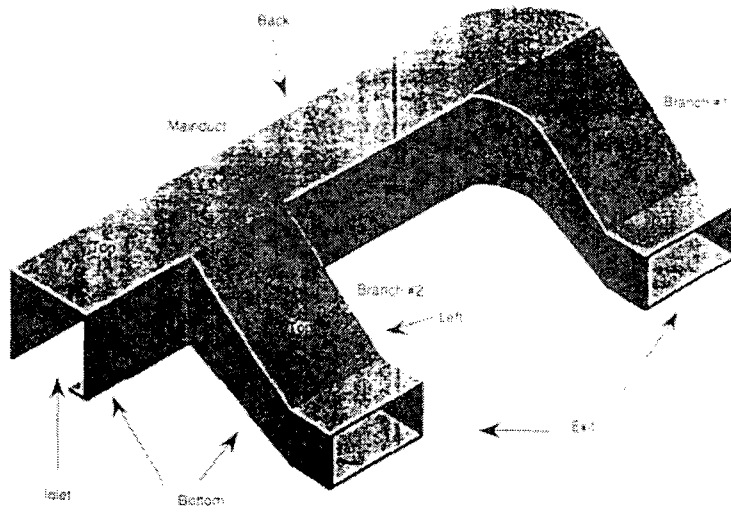


Fig.1(a) Geometry of A/C Distribution Duct

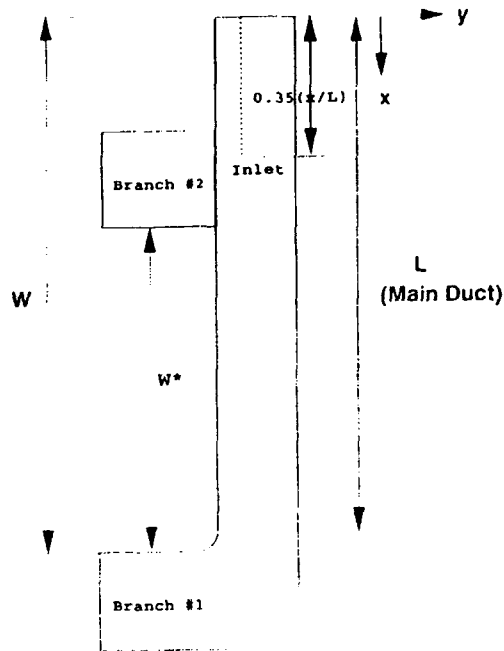


Fig.1(b) Geometry of A/C Distribution Duct

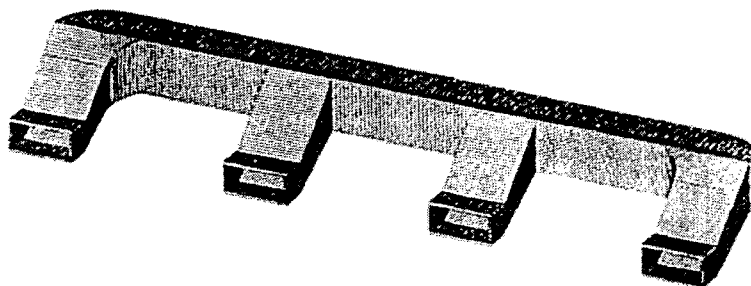


Fig.2 Computational Surface Mesh of A/C Duct

$$u_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = C_{e1} \frac{\varepsilon}{k} \nu_T S^2 - C_{e2} \frac{\varepsilon^2}{k} - R + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_T}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) \quad (5)$$

여기서,

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

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

$$C_\mu = 0.0845, \sigma_k = 0.719, \sigma_\varepsilon = 0.719,$$

$$C_{e1} = 1.42, C_{e2} = 1.68, \beta = 0.012,$$

$$\eta_0 = 4.38$$

식(3)에서 나타낸 것과 같이 RNG k- ε 모델은 $\frac{k}{\nu\varepsilon}$ 의 비에 따라서 유효점성계수가 결정

되어지며 따라서 저레이놀즈 영역에서 완전 발달된 영역으로의 유연한 이동이 가능하다. 소산을 방정식(5)에 포함되어 있는 R은 유동의 급격한 변형(rapid strain)을 표현하기 위한 항이다.

2.1.3 수정된 k- ε 모델

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 못한다고 알려져 있다. 따라서 이러한 이차적인 변형률 효과를 고려하기 위해서 Launder⁽⁴⁾ 등은 식(2)의 모델상수 C_{e2} 을 난류 Richardson 수 R_{it} ⁽⁴⁾의 선형함수로 수정한 모델을 제안한 바 있다. 그러나 유선곡률 좌표계에 의존하는 Richardson 수는 3차원으로의 수정이 어렵기 때문에 명⁽⁶⁾은 곡률효과 및 이차적인 변형률이 평균변형률과 평균와도의 상대적 크기에 의해 결정된다는 가정 하에 다음과

같은 형태의 변수를 제안하였다.

$$M_R = \frac{k^2}{\varepsilon^2} (\Omega_{ij}^2 - S_{ij}^2) \quad (6)$$

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_R 는 3차원 직교좌표계에서는 아래와 같이 표현된다.

$$M_R = - \left(\frac{k}{\varepsilon} \right)^2 \left(\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 + 2 \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} + 2 \frac{\partial v}{\partial z} \frac{\partial w}{\partial y} + 2 \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (7)$$

따라서 본 논문에서는 식(5)의 모델상수 C_{e2} 를 아래 식과 같이 수정하여 A/C 덕트내의 난류구조가 받는 유선곡률에 의한 2차적인 변형률 효과를 고려하였다.

$$C_{e2} \rightarrow C_{e2}(1 - C_c M_R) \quad (8)$$

여기서 C_c 는 Launder⁽⁴⁾ 등이 가장 최적값으로 제안한 0.2를 사용하였다.

3. 수치해석

본 논문에서는 승용차 A/C 덕트내의 3차원 유동해석을 위하여 수정된 난류모델은 Fortran으로 사용자 서브루틴을 작성하여 STAR-CD⁽⁹⁾와 컴파일하여 사용하였다.

경계조건은 덕트 입구에서는 $Han^{(m)}$ 등이 같은 모델에 대하여 실험적으로 구한 $0.043 \text{ m}^3/\text{s}$ 의 유입 유량을 주었으며, 2개의 출구에서의 경계조건은 대기압으로 처리하였다.

모든 벽조건은 점착조건 (No-slip)을 적용하였고, 벽면에서의 난류계산은 벽면함수(wall function)를 사용하였다.

대류항의 차별화는 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 연속 방정식에서의 유수의 합이 모두 10^{-3} 보다 작아질 때로 정하였다.

4. 결과 및 고찰

A/C 덕트내의 3차원 유동해석을 표준 $k-\epsilon$, RNG $k-\epsilon$, 수정 $k-\epsilon$ 난류모델을 사용하여 수치해석 하여 그 결과를 $Han^{(m)}$ 의 실험값과 비교하여 각 모델에 대한 수치적 정확도를 판별하였으며, 수치해석 결과를 토대로 덕트내의 유동특성을 해석하였다.

4.1 난류모델과 비교

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

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

이며, p_{atm} 은 대기압, r_i 는 위치벡터, N 은 총 데이터수 이다.

압력분포의 특징은 입구에서 유출된 유동이

상면에서 정체됨에 따라 높은 정체압이 존재하며, 제 2분지관이 존재하는 위치에서 압력이 급강하하고 이후에 주관(main duct)을 따라 유동이 진행하며 점차 압력이 회복되고 있음을 알 수 있다. 90° 곡률 부근인 $L^*=0.62$ 에 도달해서는 원심력으로 인한 유동의 감속으로 으로부터 압력이 급상승하고 있음을 볼 수 있다.

각 난류모델 별 계산결과를 보면 표준 $k-\epsilon$ 모델과 RNG $k-\epsilon$ 모델은 큰 차이를 보이지 않고 있으나 수정 $k-\epsilon$ 모델은 곡률부근에서 타모델에 비해 정량적으로 개선된 계산결과를 나타내고 있다. 그림 3(b)에는 블록 1 앞면에서의 압력분포를 낸 것이다.

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

그림 3(c)는 블록 1의 상면부에서의 압력분포를 나타낸 것으로써 입구에서 유입된 유동이 상면부에 부딪치며 정체되어 높은 압력이 형성된 후 점차 감소되는 경향을 보이며 제2 분지관에서 급격한 단면변화와 유동방향의 변화로 인하여 압력강하가 일어난다. 이때 수정된 $k-\epsilon$ 모델은 이 영역에서 여타의 모델보다 압력값을 과대평가하고 있으나 90° 곡률 부근에서는 타모델보다 정량적으로 우수한 결과를 내어주고 있다.

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

그림 4(a)는 제 2분지관의 왼쪽 표면의 압력 분포로서 수치결과는 전반적으로 압력값을 실험치보다 과소평가되고 있으나 수정 $k-\epsilon$ 모델이 타모델에 비해 실험치에 근접한 수치결과를

보였다.

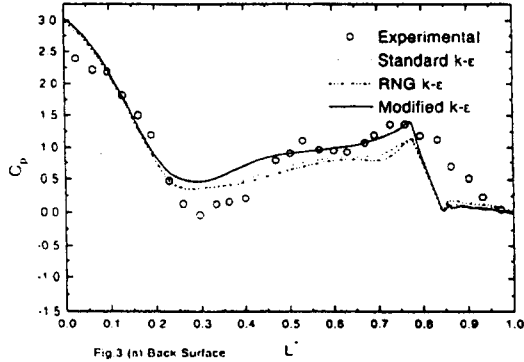


Fig 3 (a) Back Surface

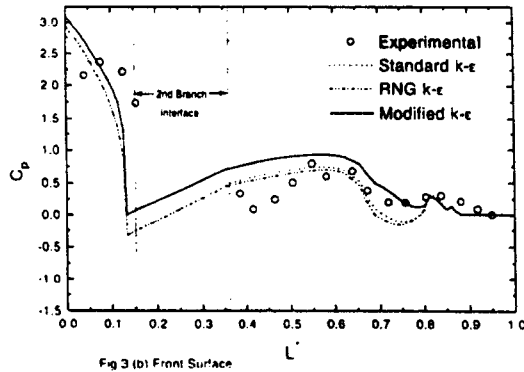


Fig 3 (b) Front Surface

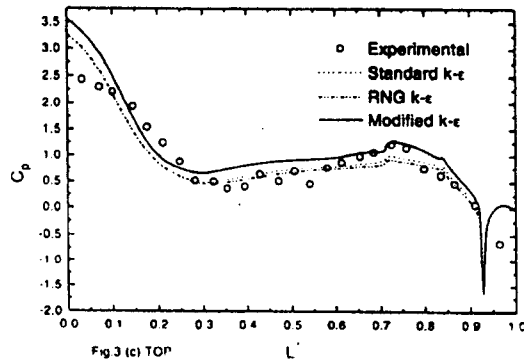


Fig 3 (c) TOP

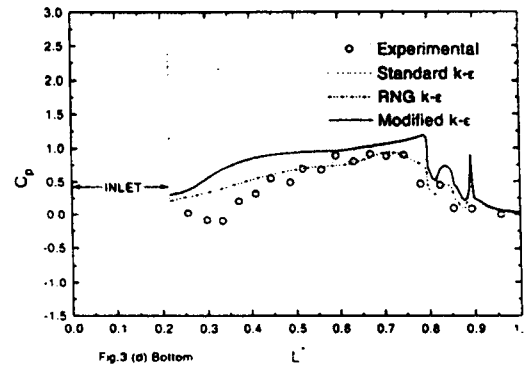


Fig 3 (d) Bottom

Fig.3 Comparison of Predicted Pressure Variation of Block with Experiment (a)Back surface (b)Front surface (c)Top surface (d)Bottom surface

제 2분지관 오른쪽 면의 압력분포를 그림 4(b)에 나타내었으며, 계산결과들은 모두 실험치와 많은 오차를 나타내고 있다. 이는 입구에서 유입된 유동이 주관(main duct)의 상면부에 부딪히자마자 이음부각 90°로 연결되어 있는 제 2분지관에 유입되면서 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 소산율 사이의 비평형 상태를 충분히 반영하지 못하기 때문이고 또한 제 2분지관의 경우와 같이 박리 유선각(Angle of separation streamline)이 급격한 경우에는 유동방향과 계산 격자간의 뒤틀림(skewness)으로 인한 오류확산(false diffusion)도 오차의 한 원인이라고 생각된다.

그림 4(c),(d)에 제 2분지관의 상면과 하면에서의 압력분포를 각각 나타내었다.

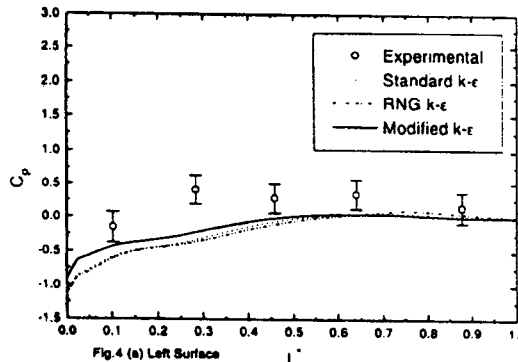


Fig 4 (a) Left Surface

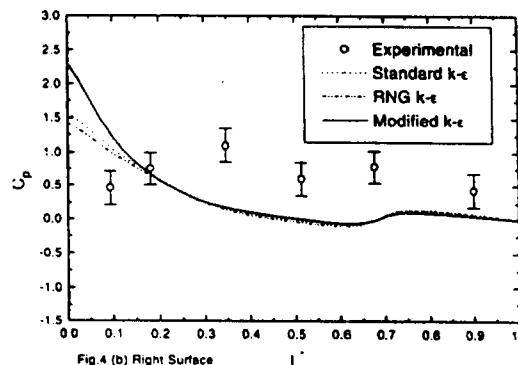


Fig 4 (b) Right Surface

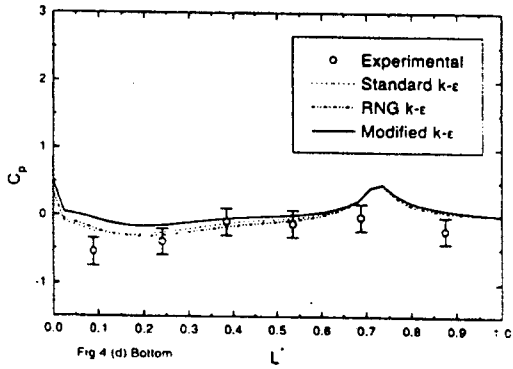
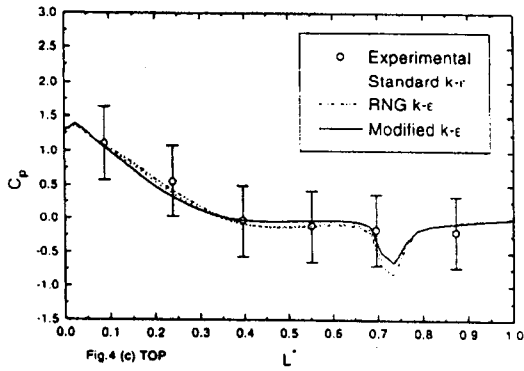
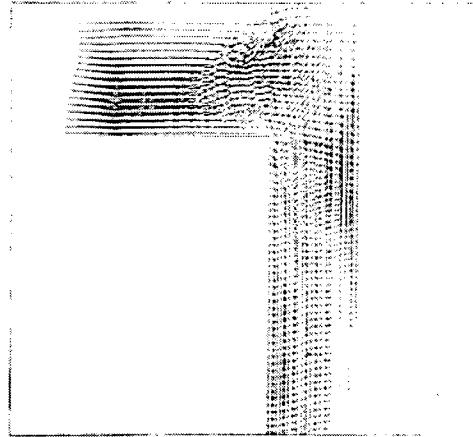
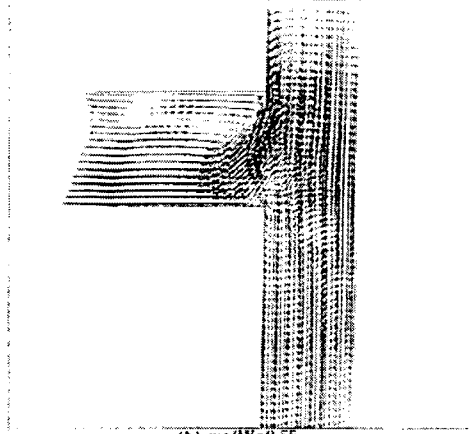


Fig.4 Comparison of Predicted Pressure Variation of Block2 with Experiment (a)Left surface (b)Right surface (c)Top surface (d)Bottom surface

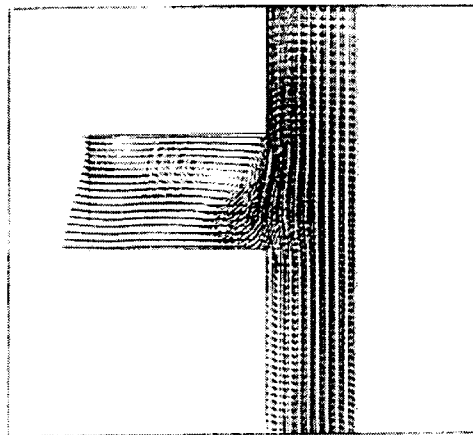
유입부에 넓은 영역에 걸쳐 박리기포가 형성되어 있음을 볼 수 있다.



(a) $w^*/W=0.7$



(b) $w^*/W=0.55$



(c) $w^*/W=0.48$

4.2 제 2분지관의 위치에 따른 유동특성 분석

앞서 전술하였듯이 박리 유선각이 큰 분지관의 경우는 타 분지관보다 박리로 인한 압력 손실로 인하여 유출유량의 손실이 많음을 알 수 있었다. 따라서 주관(main duct)을 따라 제 2 분지관의 위치를 변경시켜 이에 따른 유동특성 및 유출유량의 변동을 연구하였다.

그림 5는 w^*/W 의 비가 각각 0.7, 0.55, 0.48, 0.33일 경우에 대해서 중심선 상의 속도장을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 입구부와 제 2분지관과의 유선각이 작은 $w^*/W=0.7$ 인 경우는 분지관 입구에서 박리가 발생하지 않으며 w^*/W 비가 커질수록 주관을 타고 가속된 유동이 갑작스런 유로변경으로 인하여 제 2분지관

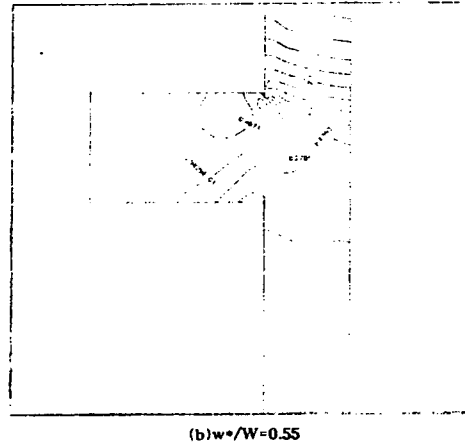
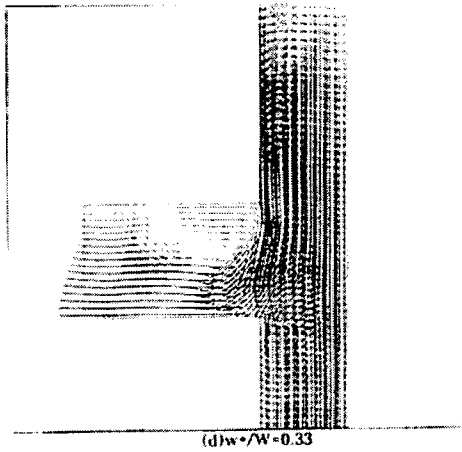
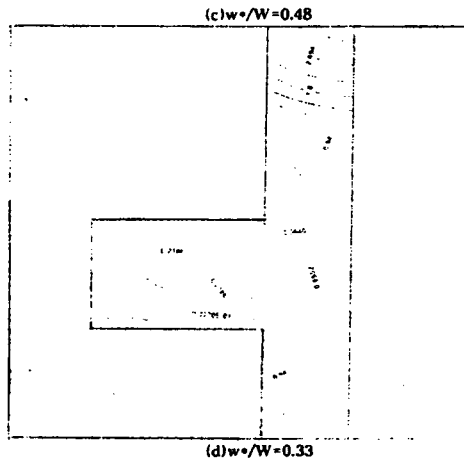
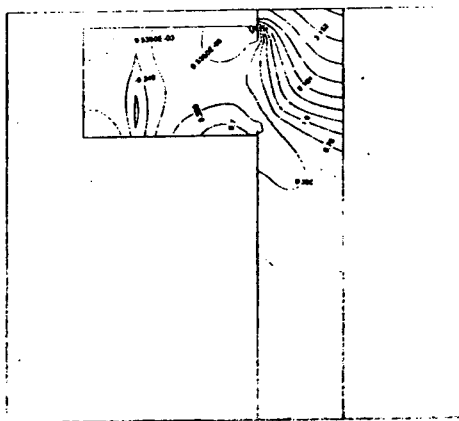
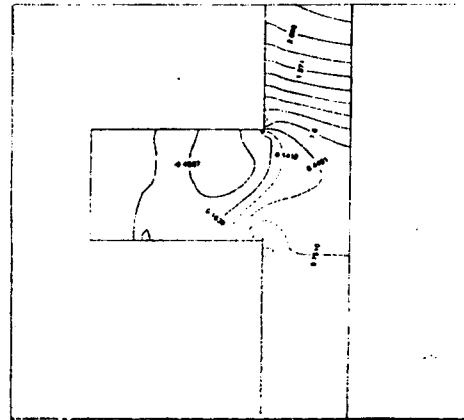


Fig.5 Velocity Vector Plot along Centerline

그림 6에 w^*/W 의 비에 따른 중심선상에서의 압력계수(C_p)분포를 나타내었다. 덕트 입구에서 토출된 유동이 방향의 큰 변화가 없는 $w^*/W=0.7$ 의 경우는 제 2분지관을 전후로 한 위치에서 압력손실이 적은데 반하여 w^*/W 비가 커짐에 따라 주관을 타고 흐르는 유동이 제 2분지관으로의 유량 배분으로 인한 유선의 급격한 변화가 발생하는 경우는 이 부분에서 많은 압력강하가 일어나며 또한 박리기포 생성으로 인한 유동손실도 커짐을 볼 수 있다.



(a) $w^*/W=0.7$

Fig.6 Pressure Distribution of A/C Duct along Centerline

제 2분지관의 위치변화에 따른 제 1,2분지관의 유출유량비를 전체 유입유량에 대한 퍼센트 단위로 그림 7에 나타내었다. 계산결과 에서 볼 수 있듯이 $w^*/W=0.65$ 의 경우에 최적의 유출유량비를 나타내었고 w^*/W 비가 이보다 증가할 경우 각 분지관의 유출유량 편차는 급격히 증대함을 알 수 있다.

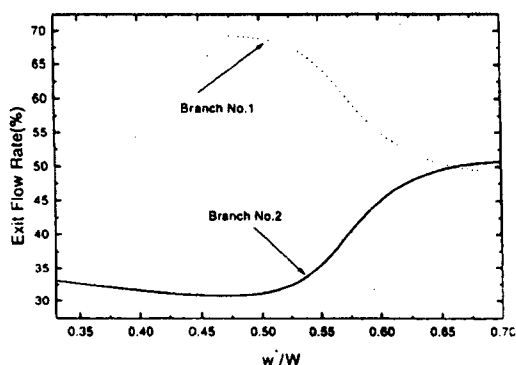


Fig.7 Variation of Exit Flow Rate through each Branches with respect to w^*/W

제 2분지관의 w^*/W 비의 변화에 따른 주관 내 중심선 상의 압력 및 속도의 변화를 각각 그림 8 및 그림 9에 나타내었다. 여기서 무차원 길이는 x/L , 속도성분은 u/U_m 으로 무차원하여 나타내었고, 압력은 C_p 로 표시하였다.

압력분포의 경우는 제 2분지관을 전후하여 급격한 압력강하를 보이고 있으며, 제 2분지관으로 가장 많은 유량이 분배되는 $w^*/W=0.7$ 의 경우가 제 2분지관을 통과시 속도의 감속으로 인하여 주관 상류부에서 가장 급한 압력강하 기울기를 나타내고 있다.

주관 중심선에서의 일관적인 속도분포는 유출된 유동이 상면부를 타고 흐르면서 점차 가속되어 흐르다 유량이 양분되는 제 2분지관 근처에서 유속이 저하되고, 이는 하류로 흐르며 회복되어가는 양상을 보이고 있으며 유속의 최고치는 제 2분지관으로의 유출유량이 많아질수록 저하되고 있다.

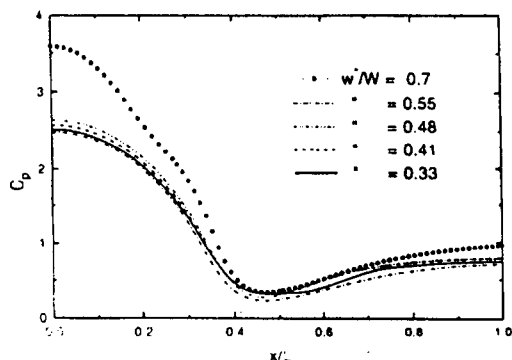


Fig.8 Effect of w^*/W Variation on the Centerline Pressure along Main Duct

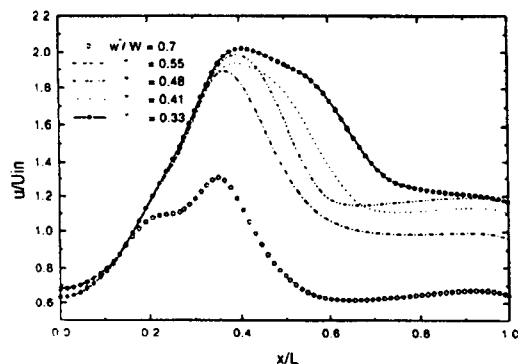


Fig.9 Effect of w^*/W Variation on the Centerline Velocity along Main Duct

4.3 유출유량 배분

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

그림 10(a),(b)에 각 난류모델 별로 계산된 제 1,2출구에서의 유출 유량 배분율을 퍼센트 단위로 나타내었다. 계산결과 표준 k-ε 모델이 유출 배분율(%)을 오차 2%이내로 가장 정확히

예측하고 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 분기각 및 주관과의 직경 비 등의 최적화를 많은 계산을 통하여 이루어 내야 할 것이다.

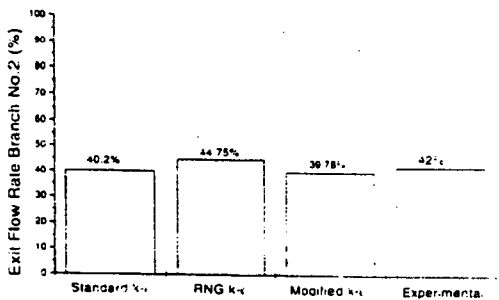
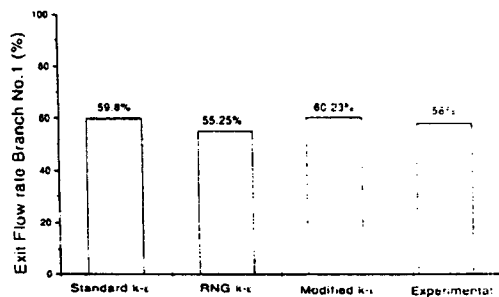


Fig.10 Comparison of Measured and Predicted Flow Distribution of A/C Duct; (a) Branch#1 (b) Branch#2

4.4 관내 유동장 해석

그림 11에서 그림 14은 수정된 $k-\epsilon$ 모델을 사용하여 계산한 A/C 덕트내의 3차원 유동해석 결과를 속도장과 압력장으로 각각 나타낸 것이다.

그림 11에서 보듯이 A/C 덕트 내를 흐르는 유동은 제 2분지관 입구에서는 오른쪽 벽쪽에 박리로 인한 넓은 재순환 영역이 존재하며 제 2분지관을 지난 주관의 하류방향에는 제 2 분지관 쪽에 치우쳐서 높은 속도분포를 나타내고 있고, 이는 하류로 진행하면서 점차 회복되다 90° 곡률부분에 도달해 제1분지관의 앞면부를 타고 가속되어 출구를 빠져나가고 있음을 볼 수 있다.

그림 12는 덕트내의 V,W방향 속도벡터를 나타내었다. 입구에서 분출된 유동이 덕트 상면부를 타고 제2 분지관으로 흐르며 덕트 아래 부분에 큰 재순환 영역이 형성되어 있고, 주관(main duct)의 경우 양쪽 분지관 사이의 영역에서는 그림 3(c),(d)에서 나타내었듯이 상하면의 압력차에 의한 2차유동이 존재함을 알 수 있다.

그림 13은 덕트 정면에서 자른 단면에서의 U,W 속도벡터를 나타내었으며 제 2분지관의 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 직전에는 상면의 압력이 경사불연속(slope discontinuity)의 존재로 인하여 급격히 낮아짐에 따라 점차 상면쪽으로 이동하며 한 개의 와류를 형성하고 있다.

그림 14는 덕트내를 흐르는 유체입자의 궤적을 나타낸 것이다

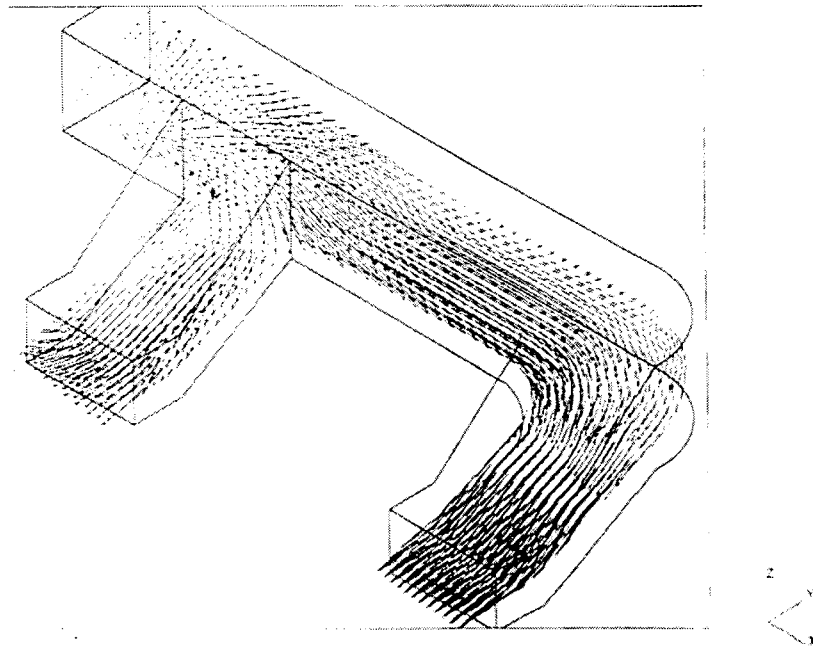


Fig.11 Computed Internal Velocity Vector Plot of the A/C Duct

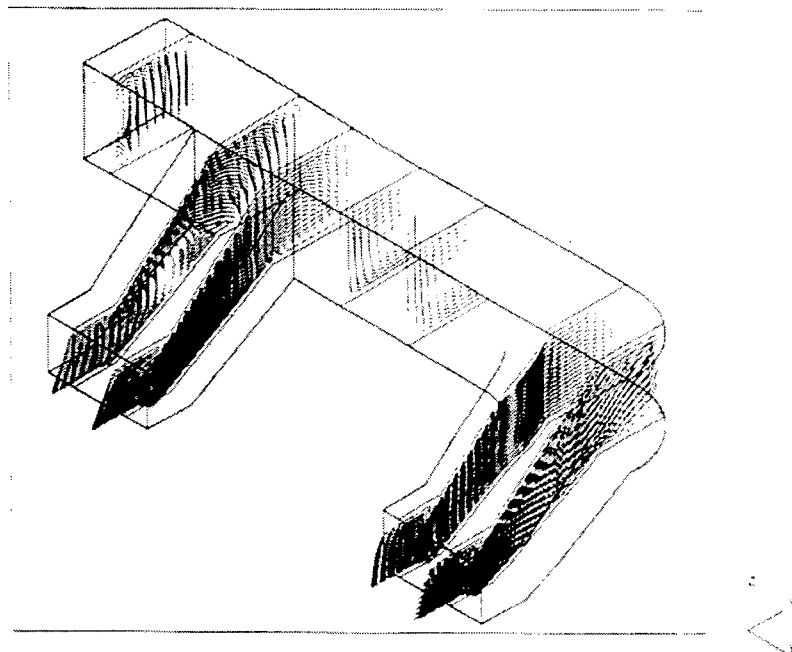


Fig.12 Computed V,W Velocity Vector Plot of the A/C Duct

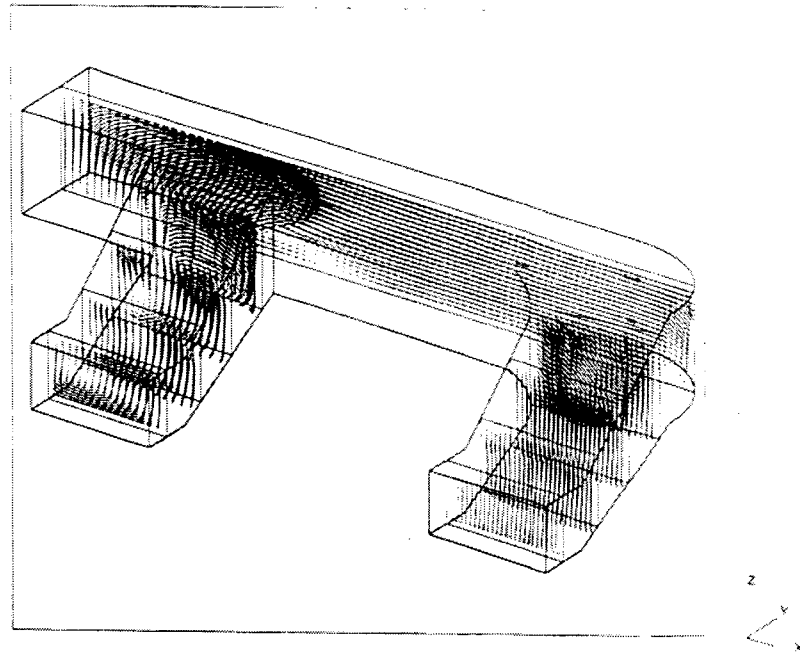


Fig.13 Computed U,W Velocity Vector Plot of the A/C Duct ; Frontal Section

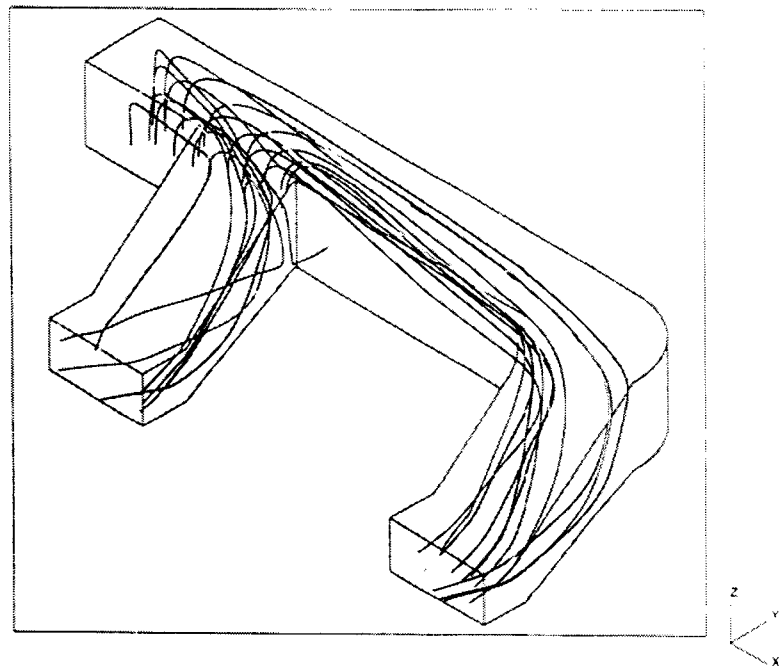


Fig.14 Computed Particle Tracking in the A/C Duct

5. 결 론

큰 단면변화와 곡물을 지닌 복잡한 승용차 A/C 덕트를 설계에 많은 도움을 줄 수 있는 CFD 기법의 적용, 덕트내의 속도, 압력분포, 유출유량 및 재순환 영역 등을 해석하여 A/C 덕트내를 흐르는 유동특성을 연구하였고, 또한 제 2분지관의 위치를 변경시켜가며 이때 일어나는 유량배분과 주관의 중심선상에 나타나는 압력 및 속도분포를 해석하여 실험값과 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) CFD 기법을 이용한 해석결과와 3차원 가시화 처리로 복잡한 A/C 덕트내의 박리및 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.

2) A/C 덕트 설계에 있어 큰 박리유선각이 존재하는 분지관은 입구에서의 큰 유동변화로 인하여 재순환 영역을 형성하며 분기부에서 유동저항과 압력강하가 증대되어 외 벽쪽에 편중된 속도분포를 형성함으로써 결과적으로 타 분지관에 비하여 유출유량이 적음을 알 수 있었고, 덕트내에 존재한 곡물 및 급격한 유동변화는 덕트의 내,외벽면을 따라 흐르는 유동을 급 가, 감속 시킴에 의해 벽면간에 많은 압력차를 형성하여 이를 통과 하는 유동은 와류등을 형성 함으로 결국 유속분포의 불균형을 가져오며 따라서 A/C 덕트를 설계할때 이러한 점에 많은 유의를 기울여야 한다.

3) 압력손실로 인한 제 2분지관의 유량배분 악화를 완화시키기 위하여 제 2분지관의 위치를 변경시켜 수치해석 한 결과 $w^*/W=0.65$ 근처에서 최적의 유량비를 나타내어 가장 균일한 유량배분을 얻을 수 있었다.

4) CFD 해석에 사용된 수정된 $k-\epsilon$ 모델은 타모델에 비해 덕트내의 90° 곡물 부근 에서 정량적으로 개선된 결과를 나타내어주고 있었으며, 또한 표준 $k-\epsilon$ 모델은 유출 배분율(%)을

가장 정확히 예측하고 있어 급격한 단면변화와 큰 박리유선각이 존재 하는 2번 분지관은 재순환 영역의 발생으로 인하여 야기되는 편중된 속도분포를 지니므로 1번 분지관에 비하여 적은 유량을 유출하고 있음을 알 수 있다. 따라서 실 설계에 있어서는 분지관들의 분기각 및 주관과의 직경비 등의 최적화를 많은 계산을 통하여 이루어 내야 할 것이다.

후 기

본 연구는 1996년도 마산전문대학에서 연구비를 지원받아 수행 되었습니다.

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. Tohru Komoriya et al., " Numerical Simulation of the Flow in a Vehicle Passenger Compartment using Finite Volume Method", JSAE Review, Vol.12, No.3, pp36-41, 1991
3. Leschziner, M.A, and Rodi, W, "Calculation of Annular and Twin Parallel Jets Using Various Discretization Schemes and and Turbulence Model Variations", Trans. ASME J. Fluids Eng., Vol.103, pp352 - 360, 1981
4. B.E.Launder, C.H.Priddin, B.I.Sharma, "The Calculation of Turbulent Boundary Layers on Spinning and Curved Surfaces", Trans. ASME, J.Fluids Eng., Vol.99, pp231-239, 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 ,pp1510-1520, 1992
6. 명현국, "이차적인 변형률 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, pp147-165, 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 Mannual 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, pp219-228, 1975
14. B.E.Lauder, D.E.Spalding, "The Numerical Computation of Turbulent Flows", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering Vol.3 pp.269-289, 1974
15. Milovan Peric, "A Finite Volume Method for Prediction of Three-Dimensional Fluid Flow in Complex Ducts," Ph.D Thesis of London Univ. pp64-72, 1985