

CFD를 이용한 자동차 공기역학 특성 해석

허 남 건 교수 · 서강대학교 기계공학과

1. 머리말

공기역학(Aerodynamics) 분야는 항공기의 항력과 양력을 해석하는 것으로부터 출발하여 터보기계의 날개주위의 유동 및 자동차 주위의 유동 등 다양한 물체 주위의 유동해석을 통하여 물체에 작용하는 힘을 해석하는 분야이다. 특히, 항공기와 자동차에 대한 공기역학적인 연구는 비행 또는 주행의 안정성 및 항력 감소의 측면에서 수행되어 지고 있다. 그러나, 자동차 주위의 공기 유동은, 유동의 박리를 대부분 피할 수 있는 항공기 주위의 유동과는 다르게, 일반적으로 복잡한 3차원 형상의 유동 박리를 수반하고 있다. 그러므로, 주로 박리가 일어나는 지점과 박리기포의 크기를 조절하는 방향으로 연구가 진행되고 있다.

자동차 주위의 공기역학에 대한 해석은 크게 세 가지의 방법으로 분류될 수 있다. 즉, 실제 도로상에서의 항력 측정, 풍동에 의한 실험 및 수치해석에 의한 항력 계산이 그것이다. 그러나, 실제 도로상에서의 측정은 가장 정확한 결과를 주지만 시제품의 제작이 선행되어야 하는 점이 있어서 개념 설계의 단계에서는 적용하기 어렵다. 풍동에 의한 실험은 축소 모델을 사용하여 개념 설계의 단계에서 공기역학적인 특성을 예측할 수 있으나 거대한 풍동 실험 장치와 이에 따른 막대한 경비, 그리고 축소모델에 대한 실험의 경우 실험 결과의 부정확성으로 인해 실제 적용에 제약받고 있는 실정이다.

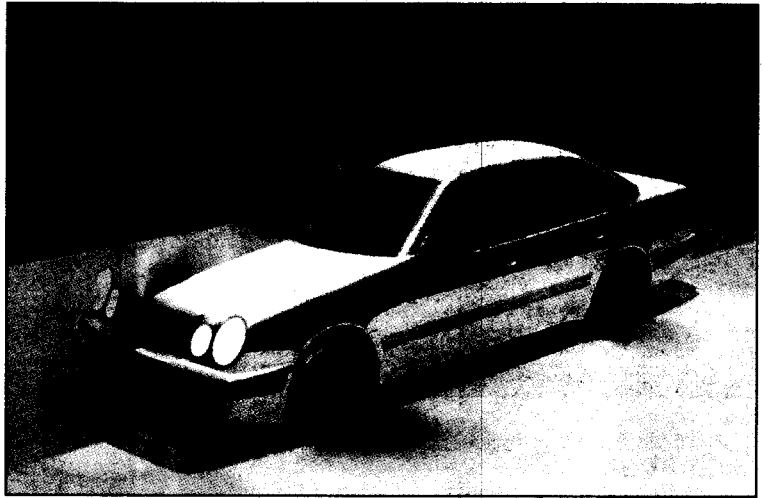
최근 컴퓨터의 급속한 발달과 전산 유동해석 기법의 발달로 인하여 전산 유체역학(CFD,

Computational Fluid Dynamics)을 이용하는 방법이 많이 시도되고 있는데 이는 자동차 외형의 개념설계 단계에서 간단히 공기역학적인 특성을 예측하여 곧바로 설계 변경에 반영할 수 있는 이점과 그에 따른 경비 절감의 이점이 있다. CFD를 이용한 3차원 자동차 공기역학 특성 해석은 외국에서는 80년대 후반부터, 그리고 국내에서는 90년대 초반부터 본격적으로 수행되어 자동차 외형의 설계에 응용되고 있다.

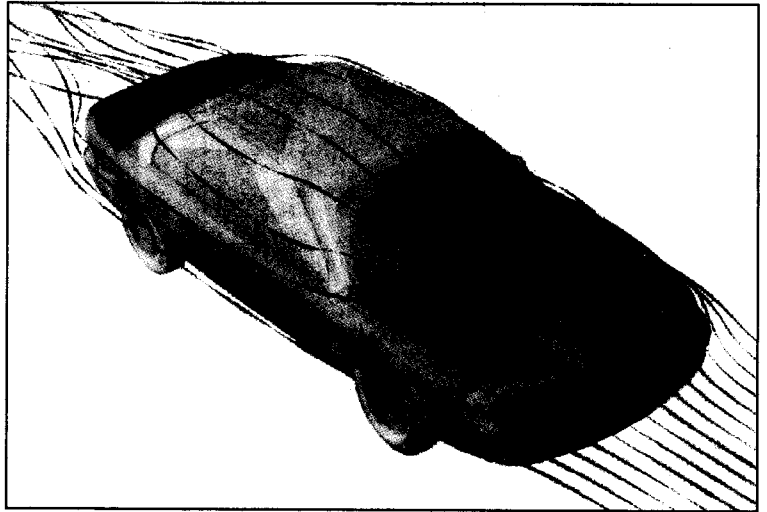
그러므로, 여기에서는 3차원 자동차 주위의 유동에 대하여 수치 시뮬레이션 방법과 유동장 및 항력계수를 예측한 사례들을 설명하고, 또한 CFD를 이용한 자동차 공기역학 해석의 문제점 및 향후 CFD의 발전 방향에 대해서도 언급하고자 한다.

2. CFD 적용 방법

CFD가 실제 설계해석에 적용되기에는 CFD 프로그램, 해석용 컴퓨터, 형상모델링, 그리고 설계 해석 엔지니어의 네 요소가 모두 갖추어져 있어야 한다. 우선 CFD 프로그램은 방정식의 이산화 방법에 따라 유한차분법(FDM), 유한요소법(FEM), 그리고 유한체적법(FVM) 프로그램으로 대별할 수 있다. 초기 FDM을 근간으로 하는 프로그램은 복잡한 형상을 다루기가 어려웠기 때문에 실제 산업체에서의 적용 사례는 거의 없었다. 70년대 이후 개발되기 시작한 FEM 프로그램이 산업체의 유동해석에 적용되기 시작하였으나 계산 격자수 및 계산시간의 제약으로 사용이 제한적이었으며, 현재에는 80년대 이후 본격적으로 개발된 FVM 프로그램들이 대부분의 산업체 유동해석에 사용되고 있다. FVM 프로그램으로서 특히 자동차 공력특성 해석에 많이 사용되는 상용 프로그램으로는 STAR-CD(그림 1 참조), Fluent(그림 2 참조), CFX, Phoenix 등 있다. 또한 최근에 개발되어 상용화된 Lattice-Boltzmann 방법을 사용하는 PowerFLOW도 자동차 공력특성 해석에 사용되고 있다



〈그림 1〉 Star-CD를 이용한 Mercedes Benz E-class 자동차 주위의 압력분포



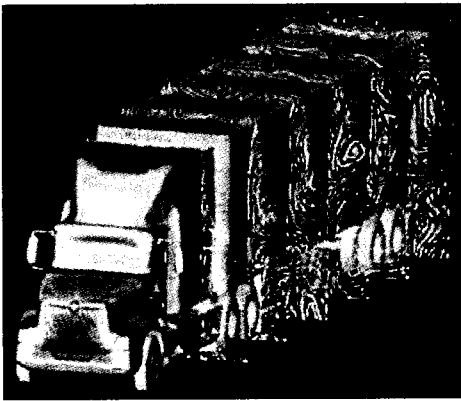
〈그림 2〉 Fluent를 이용한 세단형 자동차 주위의 유선형태

(그림 3 참조).

컴퓨터 기억용량과 연산시간의 급속한 발전은, 과거 수백 억 원을 들여 도입한 대형 슈퍼컴퓨터로서만 가능하던 CFD 해석을, 최근에는 수백 만원 대의 개

인용 워크스테이션 또는 PC로서도 가능하게 하였다. 또한, 최근 병렬컴퓨터의 발달로 과거 불가능으로 여겨졌던 대용량의 계산을 쉽게 수행하고 있다.

자동차의 형상을 정확하게 모



〈그림 3〉 PowerFLOW를 이용한 트럭 주위의 유동 해석

델링하여야 좋은 결과를 얻을 수 있으나, 설계에 3차원 CAD도면이 도입되기 전에는 형상 모델링에 많은 시간이 소요되어 어려움이 많았다. 하지만 요즘은 CAD도면을 이용하는 자동격자 생성장치의 도움으로, CAD도면으로부터 몇 시간 내에 격자생성을 완료하여 해석하고 있다. 또한 계산 격자의 수가 많을수록 형상모델링을 실제에 가깝게 할 수 있어 좋은 결과를 얻을 수 있으며, 최근에는 약 수백만 내지 천만개의 계산 격자를 가지는 모델을 사용하여 해석하는 예도 있다.

CFD 적용의 가장 중요한 요소는 바로 직접 모델링하고 해석을 수행하는 엔지니어이다. 아직까지는 CFD 해석 방법과 생성된 격자의 형상에 따라 결과가 다를 수 있으므로, 아무리 좋은

CFD 프로그램과 비싼 컴퓨터를 가지고서도 엔지니어가 결과의 신뢰성에 대한 정확한 분석을 할 수 없으면 CFD의 적용은 아주 위험한 결과를 초래할 수도 있을 것이다.

3. 자동차 공력특성 해석

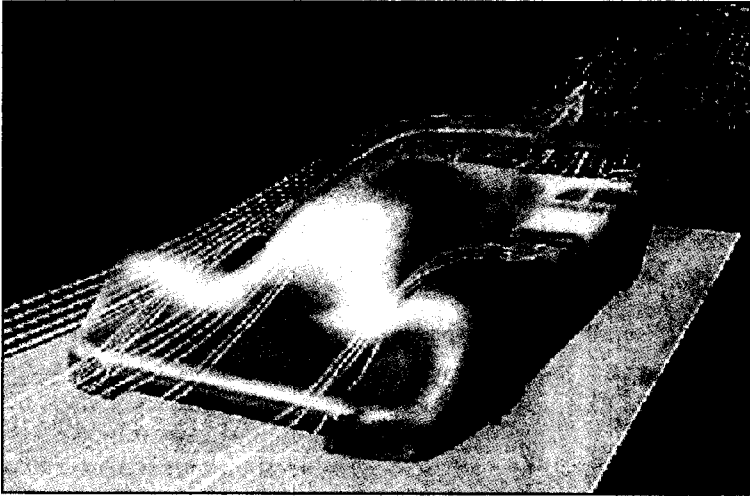
매년 개최되는 미국 자동차공학회(SAE)에 발표되는 자동차 공기역학 분야의 논문에는 점점 CFD가 큰 비중을 차지하고 있다. 과거 여러 논문에서 자동차의 항력계수를 예측한 결과를 보면, 실제 실험 값보다 대체로 약 50% 정도 높게 예측되어, CFD의 적용 자체가 의문시되어 왔다. 그러나, 기본 형상에 공력장치를 부착하는 등 약간의 형상변경이 있는 경우의 해석결과는, 기본형상에 대한 결과와 비교하여, 실험결과와 아주 비슷한 항력계수의 변화율에 대한 결과를 주므로, 실제의 항력계수 예측보다는 형상의 "fine tuning"에 CFD를 성공적으로 사용하여 왔다.

수치해석이 실제 항력계수를

제대로 예측하지 못하는 이유는 대체로 난류 모델의 부정확성, 대류항 처리 기법상의 오류, 충분하지 않은 계산 격자의 수, 그리고 충분히 크지 않은 수치해석 영역의 사용 등에 기인한다. 특히, 난류모델은 대부분 표준 k-ε 모델 또는 이와 유사한 모델을 사용하는데, 이러한 모델은 기본적인 유동에 대해서도 정확한 결과를 줄 수 없기 때문이다. 즉, 자동차 주위의 유동을 정확히 예측하기 위해서는 후향계단 주위의 유동, 디퓨저에서의 유동, 곡관에서의 유동 등 기본적인 유동의 정확한 해석 능력이 필수적이나, 최근까지 개발된 난류모델로는 이 모두에 대한 정확한 해석이 불가능하기 때문이다.

최근에는 고 정도의 난류 모델, 고차의 대류항 처리기법과 많은 격자수를 사용하여 실험과 매우 근접한 항력계수를 얻고 있다. 그러나 자동차에서 항력계수에 비해 상대적으로 그 값이 작은 양력계수는 여전히 큰 차이를 보이고 있으므로, 경주용 자동차(그림 4 참조) 등의 주행안정성을 위한 양력 특성을 정확히 해석하기 위해서는 좀 더 나은 난류모델의 개발이 필수적이다.

앞에서 언급한 대로 CFD를 통한 자동차 공기역학 해석은 아직까지는 정확한 항력계수와 양



〈그림 4〉 Porsche 965 Race Car 주위의 유동해석

력계수를 주지는 않지만, 이를 통하여 대체적인 유동형태를 파악할 수 있으므로, 이와 연관된 다음의 여러 가지 분야에 활발히 적용되고 있다.

- 외형 설계의 "fine tuning"
- spoiler, corner vane 등 공력장치의 설계
- 엔진룸 내부 열/유동 해석
- 브레이크 냉각 해석
- 뒤 유리창의 먼지 부착방지
- 연료 탱크 주위 열/유동 해석
- wiper 성능 해석
- 추월과 교행시의 비정상 공력특성
- 공력 소음 해석
- 기타

특히, 공력 소음 해석은 자동차의 설계에서 추구되어온 고성능, 고안전성과 함께 높은 승차

감의 실현을 위해 최근 가장 관심이 고조되고 있고 앞으로 활발히 진행될 CFD 연구/적용 분야이다. 또한 추월과 교행시의 공력 특성등 비정상 유동해석은 많은 격자수와 해석시간을 요하는 해석으로 현재까지는 제한적으로 수행되어 왔으나, 앞으로는 주행 안전성의 추구를 위하여 정확한 해석이 요구되는 분야이다.

최근 CFD를 이용한 자동차 외형의 최적설계 방법도 그 가능성이 보여지고 있다. 이 방법은, CFD 해석후 결과를 분석하여 좀 더 나은 방향으로 설계변경이 요구되는 경우, 최적화 알고리즘의 적용을 통해 컴퓨터 스스로 설계변경과 이에 대한 CFD 해석을 반복적으로 수행하여, 주어진 목적함수(항력계수 등)를 이

용하여 구속 조건내에서 스스로 최적의 설계형상을 찾아가도록 방법이다.

4. 맺음말

이상에서 살펴본 바와 같이 CFD를 이용한 자동차 공력특성 해석은 현재 활발히 적용되고 있으며, 앞으로 더욱 정확한 난류 모델의 개발과 수치해석 기법의 개발로 적용이 크게 확대될 전망이다. 따라서 멀지 않은 장래에 CFD를 이용한 자동차 공력특성 해석이 자동차의 설계단계에서 바로 적용되어 좀 더 정확한 설계를 통한 개발 기간의 단축이 가능하리라고 생각된다.

참고문헌

1. [http:// icemcfd.com/cfd/CFD_Codes.html](http://icemcfd.com/cfd/CFD_Codes.html).
2. 허남건, "CFD와 자동차 공기역학," '92 국내의 한국과학기술자 학술회의 논문집, 한국과학기술단체 총연합회, pp.338-343, 고려대학교, 1992.
3. Williams, J., et al., "A Calibration Study of CFD for Automotive Shapes and CD," SAE Paper No. 940323, in Analysis of Vehicle Aerodynamics SP-1036, SAE, pp.1-20, 1994.

4. Axelsson, N., Ramnefors, M., & Gustafsson, R., "Accuracy in Computational Aerodynamics Part 1: Stagnation Pressure," SAE Paper No. 980037, in Developments in Vehicle Aerodynamics SP-1318, SAE, pp.107-118, 1998.
5. Perzon, S., Sjogren, T., & Jonson, A., "Accuracy in Computational Aerodynamics Part 2: Base Pressure," SAE Paper No. 980037, in Developments in Vehicle Aerodynamics SP-1318, SAE, pp.119-131, 1998.
6. Perzon, S., Janson, J., & Hoglin, L., "On Comparisons between CFD Methods and Wind Tunnel Tests on a Bluff Body," SAE Paper No. 1999-01-0805, in Vehicle Aerodynamics and Wind Noise SP-1441, SAE, pp.133-148, 1999.
7. Ogawa, S. & Kamioka, T., "Review of Aerodynamic Noise Prediction using CFD," SAE Paper No. 1999-01-1126, in Vehicle Aerodynamics and Wind Noise SP-1441, SAE, pp.245-261, 1999.
8. N. Hur & W. Kim, "Optimal Design for the Low Drag Rear Shape of the MIRA Reference Model by using CFD," Proc. of 4th KSME-JSME Fluids Eng. Conf., pp.633-636, Pusan, Korea, 1998.