

자동차산업과 전산유체역학

Computational Fluid Dynamics and Auto Industry

유 재 석*
Jaisuk Yoo

자동차 회사들은 실제 실험의 보조적 수단으로서 전산 해석을 위하여 점점 supercomputer에 의존하고 있으며, 언젠가는 전산 해석이 실험을 대체할 가능성도 있다. 개발 초기 단계에서 전산 해석적 방법을 적용한다면 시간과 비용이 많이 드는 실제 모델 시험을 생략할 수도 있을 것이다. Daimler-Benz, Opel, Peugeot, Volkswagen 등에서는 Cray supercomputer를 설치하였으며, Chrysler는 Control Data 205를, Toyota는 Fujitsu VP100 supercomputer를 사용하고 있다. 그외의 일본 자동차 회사는 대여 또는 대학과 협조하여 supercomputer를 사용하고 있다.

전산유체역학(Computational Fluid Dynamics) 문제 해결이 supercomputer를 이용한 작업의 대부분을 차지하고 있다. 설계시에 필연적으로 다루어야 하는 자동차의 내부와 외부의 유동장은 매우 복잡하다. 그중 가장 대표적인 것은 바로 자동차 주위의 공기의 유동, 즉 자동차의 공기역학적 문제이다. 공기역학 문제로는 항력계수, 방열기와 환기 시스템내의 유동, 앞유리창에서의 공기유동, 바람에 의한 소음, 들쭉 및 측면에서 바람이 불때의 조정 반응등이다. 또한 내부의 유동으로는 엔진으로의 유동, 연소실내의 공기와 연료의 연소, 촉매환원장치로의 배기가스 유동, 엔진 냉각(엔

진 주위의 공기의 유동 및 엔진 블럭과 방열기의 냉각수 유동), 윤활유 유동 및 냉난방 시스템에서의 공기 유동등을 들 수 있다.

몇년 전까지만 하더라도 이러한 유동의 대부분은 실험을 통하여서만 이해할 수 있었다. 그러나 현재에는 supercomputer를 통하여 복잡한 유동을 자세히 계산할 수 있다. 실험 자료가 존재하지 않는 새로운 개념도 CFD 프로그램을 이용하여 해석할 수 있게 되었으며 또한 설계에 필요한 시간을 절약할 수 있게 되었다. 어떤 경우에는 계산이 실험보다 비용과 시간이 적게 든다. 실험이나 개발과정 중의 여러 아이디어를 선별하는데 필요한 계산은 정확할 필요는 없다. 향후에는 아마도 실험보다는 전적으로 계산결과로부터 설계를 시작하게 될 것이다.

이러한 발전에도 불구하고 항공기에 비해 자동차에 대한 공기역학 모사분야의 발전이 대단히 뒤떨어져 있다. 왜냐하면 첫째로 항공기 설계에 있어서 공기역학은 가장 중요한 사항이나, 자동차 설계에 있어서는 공기역학은 차체의 외관이나 안정성, 안락성 등과 거의 대등한 사항이다. 둘째로 자동차 주위의 공기유동은 근본적으로 비압축성이기는 하나, 비점성이며 박리되지 않는 항공기 주위의 공기유동에 비하여 매우 복잡하다. 경계층의 많은 부

* 正會員, 아주대학교 공과대학 기계공학과

이 글은 미국기계학회지 Mechanical Engineering Vol.109/No.12에 실린 "Going With (And Computing) The Flow"를 번역하여 소개하는 것이다. <역사주>

분에서 박리가 일어나며 흔히 매우 강한 와류가 발생한다. 유동장은 3차원이며 또한 과도 현상이 된다. 불행히도 항공 산업분야에서 사용되는 수치방법의 대부분은 자동차 주위의 유동을 적절히 모사하지 못하고 있다.

그럼에도 불구하고 자동차 주위의 공기역학에 관한 수치적 연구가 많이 진행되고 있다. General Motors의 연구소에서는 Cray X-MP를 사용하여 유동 모사 방법을 개량하고 있다. Supercomputer를 도입하기 이전까지는 수치방법을 수정한 후 이것이 제대로 작동하는지를 알기 위하여 많은 시간을 기다려야 했으나, 현재는 두 세시간 정도면 답을 얻을 수 있다. 동시에 GM의 연구원들은 수치방법만을 고집시켜 생각할 수 없다는 것을 발견하였다. 즉 수치연구와 실험이 서로 상호 보완하여야 한다는 것이다. 실제로 GM에서 수치적 연구가 발전됨에 따라 수치 모델의 개량과 증명을 위하여 풍동 사용이 증가되었다.

예를 들어 난류는 유동장을 결정하는데 있어서 지배적인 물리적 현상이지만 모델화하기는 대단히 어렵다. GM연구소의 연구원 Dean Hammond는 다음과 같이 말한다. “수치 모델에서 매개변수를 변화시켜 얻은 난류 계산 결과를 실험치와 비교한다. 그러나 결과를 비교하려면 풍동 실험으로부터 매우 자세한 자료가 필요하다. 예전에는 단지 힘만을 측정하였으나, 현재는 힘 뿐만 아니라 모든 표면에서의 압력과 속도의 세 방향 크기, 난류 성질의 일부를 측정하고 있다. 풍동을 현재도 사용하지만 전적으로 새로운 방법으로 사용하고 있다.”

1. 엔진 연소의 모델화

자동차 주위의 공기역학과 마찬가지로 엔진 연소의 모델화에도 방대한 프로그램과 super-computer가 요구된다. 이는 난류 유동, 실린더 내부에서 발생하는 화학적 과정등이 모두 포함되어야 하기 때문이다. 연소 모델의 최대 장점은 이 모델을 통하여 삼차원 공간에서 시간에 따라 변화하는 물리적 현상을 해결할 수

있다는 것이다. 이 모델은 물리적 기본법칙에 기초를 두고 있으나, 어떤 현상에 관해서는 경험적인 모델을 포함하고 있다. 기존의 균일 충전 방식의 가솔린 및 디젤 엔진과 직접 분사식 층상 급기(direct-injection stratified-charge; Disc)엔진에 관한 모델화가 진행되어 왔다. 디젤 및 Disc엔진은 액체연료 분무 및 비균일 연소로 인하여 매우 복잡하다. 그러나 직접 분사식 엔진의 연소시스템이 미래의 배기가스 규제를 만족하고 기존 엔진의 가능성 있는 대안이 되기 위하여서는 많은 개량이 요구된다.

기존의 균일 충전 방식의 엔진 성능을 향상시키기 위하여 다차원모델을 사용할 가능성은 매우 불확실하다. 왜냐하면 이러한 엔진은 이미 고도로 잘 조정되어 있어 큰 성능 향상을 기대할 수 없기 때문이다. 그러나 작은 이득이기는 하나 성능 개선은 계속될 것이다. 이러한 작은 이득(예를 들어 연료 소비율의 1% 감소 정도)을 예측하기 위하여서는 고도로 정확하고 완벽한 모델이 요구된다.

다차원 모델도 결국 기술수준을 급격히 향상시키기 보다는 설계에 필요한 시간을 줄이게 될 것이다. 왜냐하면 실험에 비해 모델화에는 비교적 시간과 비용이 적게 소요된다. 설계를 다듬기 위하여 또한 시행착오적 개발 과정의 수고를 줄이기 위한 설비 선택을 위하여 모델을 사용할 수도 있다. 또한 모델을 이용하여 실험자료를 분석하여 실험자료를 얻을 수 없는 부분에 대한 예측도 가능하다. GM에서는 좀더 보편적이고 제한조건이 적은 2세대 연소 모델에 관해 연구중이다.

2. 자료 해석(DECIPHERING THE DATA)

Supercomputer를 이용하면 비교적 짧은 시간 동안에 방대한 양의 자료를 얻을 수 있다. 즉 한번에 100,000개의 요소점과 1,000개의 시간 간격에 관해 12개 정도의 변수를 처리할 수 있다. 계산 자체에는 불과 수 시간이 소요되지만, 이 계산을 준비하고 계산된 3차원 과도 자료를 처리하기 위해서는 몇 달이 걸릴

수도 있다. 다시 말하면 적어도 현재의 상태에서는 supercomputer의 능력이 이를 사용하는 사람의 능력을 증가하고 있다. 그러나 다차원 연소 모델이 발달되어 설계에 활용되고 널리 사용된다면 이 문제점은 극복될 것이다. 우리가 원하는 것은 방대한 자료를 우리가 이해할 수 있는 형식으로 해독하는 것이 이상이다. 즉 자료를 해독하여 이를 의미있고 간결한 설계 지침으로 종합하는 일이다.

GM연구소의 Keith Meintjes는 다음과 같이 설명한다. “약 5년전 Alex Alkidas와 나는 디젤 엔진의 예연소실에서의 유동에 관한 실험자료와 계산결과를 종합하였다. 실험결과와 계산 결과 사이에 만족할 만한 정성적인 일치점을 보았으며, 모델로 삼은 다른 사람들의 실험결과를 설명할 수 있었다. 그러나 ‘분사각을 바꾸어야만 하는가?’라는 설계자의 물음에는 답할 수가 없었다. 이러한 질문에 답할 수 있을 때까지는 모델화의 진가는 발휘될 수 없을 것이다”

많은 supercomputer 사용자나 공급자들은 3차원 파도 현상의 수치결과를 이해하는데 가장 중요한 것이 graphics라고 주장한다. 최근의 국제학술대회에서 Meintjes는 다음과 같이 언급하였다. “Graphics를 생각할 때 color animation이 요구된다는 어쩔 수 없는 결론에 도달한다. Real-time animation은 현재 불가능하지만 비교적 짧은 시간내에 videotape를 이용하여 animation시킬 수 있는 기술은 보유하고 있다. 여기서 중요한 사항은 graphics 단말기에 나타나 있는 것을 하나의 화면으로 재구성하는 programmable video animation controller이다. Animation 과정의 속도는 화면의 복잡성과 전산기와 단말기 간의 자료 전송 속도에 좌우된다. 그러나 한 시간내에 real-time 1분에 해당되는 animation을 만들 수 있으며, 연구 도구로서 일상적인 animation사용이 가능하다”

Supercomputer, computer graphics 및 발전된 소프트웨어의 공급으로 자동차 회사에서

전산유체역학의 연구에 박차를 가하고 있다. 또한 첨예한 국제 경쟁에서 살아남고, 배기 및 안전, 소음에 관한 엄격한 규제를 만족시키고, 성능이 좋고 신뢰성이 높고 연료소비율이 좋은 차에 대한 요구가 증가될수록 수치적 방법은 점점 더 중요해질 것이다.

참 고 문 헌

1. “Computational Research at General Motors Research Laboratories.” Cray Channels, Volume 7 Number 3, 1985, pp.6-11.
2. Ginsberg, M., ed., “Supercomputers in the Automotive Industry.” SAE SP-674 Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa., 1985.
3. Johns, R.J.R., “A Unified Method for Calculating Engine Flows.” ASME 84-DPG-1P, 1984.
4. Marino, C., ed., Supercomputer Applications in Automotive Research and Engineering Development. Southampton, Great Britain, Computational Mechanics, 1986.
5. Meintjes, K. and A.C. Alkidas, “An Experimental and Computational Investigation of the Flow in Diesel Engine Pre-chambers.” SAE Paper 820275, SAE Transactions, Vol.91, pp.1148-1165.
6. Meintjes, K., “Engine Combustion Modeling: Prospects and Challenges.” Cray Channels, Volume 8 Number 4, 1987, pp.12-15.
7. Morse, A.P., J.H. Whitelaw, and M. Yianeskis, “The Influence of Swirl on the Flow Characteristics of a Reciprocating Piston-Cylinder Assembly.” Imperial College, Mechanical Engineering Department, Report GS/78/41.
8. Rudinger, B., Nonsteady Duct Flow: Wave Diagram Analysis. New York, Dover Publications, 1955.