

유동해석에 있어서의 FDS의 수치모델

이주희* · 김동은** · 권영진*

호서대학교

Numerical models for hydrodynamic flows in FDS

Lee, Juhee · Kim, Dong Eun · Kwon, Young Jin

Hoseo University

요 약

오픈 소스인 FDS(fire dynamic simulator)는 건물, 터널내의 화재나 연기, 열기류의 거동을 연구하기 위하여 국내외적으로 광범위하게 이용되고 있다. 소스코드 또한 공개 되어 있어 그 활용범위가 더욱 넓어지고 있다. 대부분의 기본적인 화재, 방재 해석을 위한 모델들을 제공하고 있으나 이를 더욱 발전시키고 새로운 알고리즘의 적용하기 위해서는 이러한 모델의 구조를 잘 이해할 필요가 있다. 본 연구에서는 이러한 FDS모델을 더욱 확장하기 위한 일환으로 현 FDS의 기본적인 구조를 검증모델(verification)을 이용하여 파악하고 이를 향후 소스코드를 확장할 수 있는 근간으로 삼고자 한다.

1. 서 론

오픈소스기반의 전산유체역학코드는 소스코드를 공유하여 전산유체역학 코드 개발에 경험이 있는 연구자들이 참여하게 함으로써 코드가 빠른 시간 내에 진보할 수 있도록 하는 장점을 가지고 있으면서 비용이 들지 않는 공개 프로그램을 지향함으로써 라이선스 비용이 필요한 상용소프트웨어의 단점을 보완할 수 있다. FDS는 오픈소스기반의 화재해석(fire dynamics)을 위한 전문프로그램으로 다양한 시나리오에 적용하여 그 실효성을 인정받고 있다(이동호등 2008, Hu, 2006). FDS는 현재는 인터넷기반으로 개발이 되고 있으며 모든 실행파일과 소스코드를 공개하고 있으며 사용자는 인터넷을 통하여 실시간으로 최신의 코드와 개발 방향, 진도를 확인할 수 있도록 하고 있다(google, 2011, nist, 2011).

이 연구에서는 FDS ver5를 사용하여 유동과 복사모델의 검증을 수행하고 향후 이를 바탕으로 코드 분석 및 코드 확장을 위한 기초적인 연구를 수행하고자 한다.

2. CFD 모델링

FDS는 finite difference method (FDM)을 사용하고 있으며 시간과 공간에 대하여 2차 정밀도를 가지도록 차분화 하였으며 특히 시간에 대하여서는 외재적 방법의 prediction-correction방법을 사용하고 있다. Navier-Stokes방정식에 대해서는 비압축성(low Mach number)가정을 사용하고 있다. 저속(low Mach number)의 경우 압축성은 없으며 해의 전파 속도가 음속과 유속으로 큰 차이를 보이게 됨으로 해석을 위한 시간 간격(time step)은 무한히 작은 값을 가져 되며 많은 반복에도 수렴된 해를 얻기 어렵게 된다(Anderson

등, 1984). FDS는 압력을 background 압력과 유동에 의한 섭동(perturbation)으로 나누고 섭동항을 N-S 방정식에 divergence취한 Poisson방정식으로부터 구하게 된다.

3 결과 및 분석

유동은 DNS, LES에 관한 고전적인 문제인 주기적 유동, backward facing step에 관하여 해석을 수행하였으며, 복사에 관해서는 인접한 두 평판의 복사열전달이다.

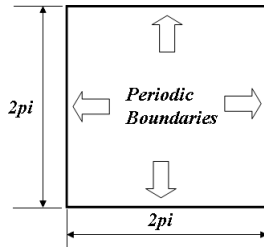


그림 1 주기적인 유동의 계산 영역

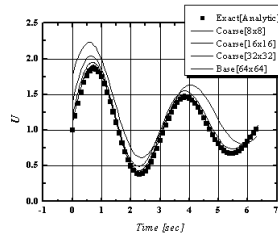
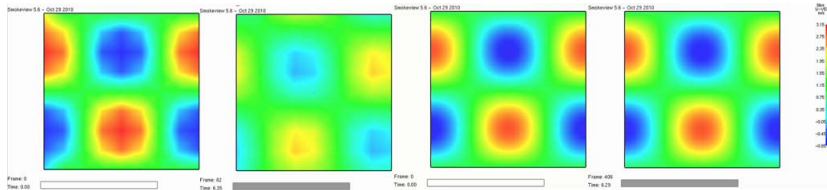


그림2 중심에서의 x방향 속도 변화



(a) $\mu = 0$ 격자수 8x8

(b) $\mu = 0$ 격자수 64x64

그림 3 U 방향 속도비교(왼쪽 $t=0$, 오른쪽 $t=2\pi$)

Fig. 1에 보는 것과 같이 계산영역의 크기는 가로 세로 동일하며 그 길이는 2π 이다. 유동은 난류 층류와는 상관없는 수학적 해석해임으로 DNS를 사용하였다. Fig.2 계산영역의 한 중앙(π, π)에서의 x방향 속도 U의 시간에 따른 변화를 나타낸 것이다. 격자의 개수가 적은 경우를 보면 시간에 따라 그 주기가 해석해(McDemotte, 2003)와 일치하지 않고 늘어나는 것을 알 수 있다. 64x64정도의 격자 개수가 되어야 비로소 해석해와 잘 일치하는 것을 알 수 있다. Fig. 3(a)(b)는 8x8의 격자로 한 주기가 지난 후에 원래의 값으로 돌아가지 못하고 피크값들이 상당히 감소한 것을 알 수 있다. 이것은 격자가 성김으로 의하여 수치적인 확산이 발생하기 때문이다. 주기가 느려진 것도 발견할 수 있다.

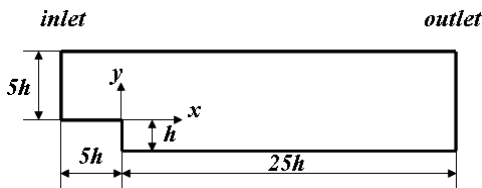


그림 4 backward facing step

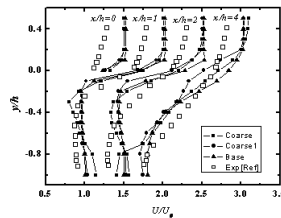


그림 5 u속도 분포

Forward facing step은 난류모델의 정확성을 검토하는데 많이 사용되는 모델이다. 2차원난류로 가정하였다. 계단의 높이(h)와 입구속도를 기준으로 Reynolds수는 37500으로 하였으며 입구의 속도는 균일한 속도를 주었다. 또 형상은 Fig. 4에 보는 것과 같다. 유동은 난류로 생각하여 LES을 사용하였으며 총 계산 시간은 250초로 하였으며 마지막 30초에 해당하는 결과를 평균하였다. Fig. 5는 실험결과(Driver, 1985)와 비교하였다. 각 위치에 따른 속도분포를 보게 되면 실험값과 다소차이를 보이고 있다. 우선 $y/h > 0$ 영역에서의 차이는 일정하게 모든 구간에서 차이를 보이고 있다. 실험의 경우 입구에는 충분히 발달된 유동이 들어오게 되나 FDS의 입구의 경우 입구속도형상에 대한 정확한 데이터가 없는 관계로 계산을 간편하게 하기 위하여 일정한 유속을 주었기 때문이다. 또한 $y/h < 0$ 의 경우에는 입구유속의 차이와 또한 FDS의 경계면을 다루는 방식에 의한 오차가 있는 것으로 생각된다. FDS는 벽면 근방의 격자의 크기가 큰 경우를 가정하여 벽면에서의 속도를 일정한 값으로 주게 됨(McGrattan, 2009)으로 완전한 non-slip 경계가 되지 않기 때문이다.

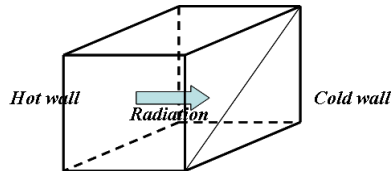


그림 6 thermal radiation model

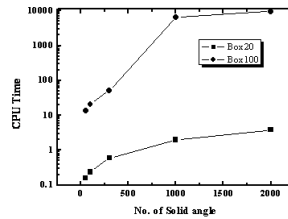


그림 7 계산시간

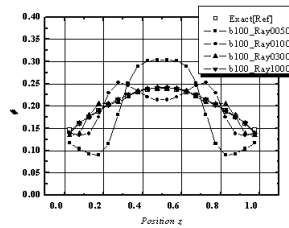
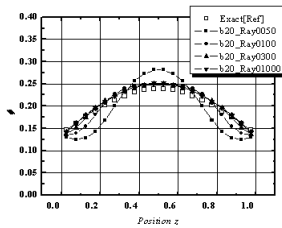


그림 8 해석해와의 비교:(a) 20개 격자, (b) 100개 격자

FDS의 radiation을 알아보기 위하여 verification모델의 radiation모델을 사용하였다. 6개의 벽 중에 1개만이 높은 온도를 가지고 있으며 나머지 벽은 온도가 0K로 설정하였다. 이 경우 해석해(Siegel, 2002)가 존재하며 FDS의 결과를 이 해석해와 비교하였다. 이 solid angle를 작게 할수록 정확한 해가 얻어지며 또 벽면을 작은 격자로 나타낼수록 정확한 해가 얻어지게 된다. Fig. 7는 solid angle의 개수에 따른 계산 시간을 나타내고 있다. 계산 시간은 로그 스케일로 표시하였다. 격자의 개수를 100으로 한 경우 solid angled의 개수가 1000개 이상이 되는 경우 계산 시간이 급격하게 늘어나고 있는데 이것은 계산에 사용한 컴퓨터(Intel 3.4G, 1Gbyte메모리)의 메모리가 부족하여 이로 인하여 가상메모리를 사용하기 때문이다. Solid angle의 개수와 격자의 개수 증가는 계산 시간을 급격하게 늘어나게

된다. Fig. 8(a)에서 보는 것과 같이 격자의 개수가 적은 경우 solid angle의 개수가 늘어남에도 불구하고 해석적인 값에 근접하지 못하고 있다. 그러나 격자의 개수가 충분한 경우 solid angle의 개수가 늘어남에 따라 해석적인 값에 근접하고 있다. 그러므로 충분한 해의 정확도를 유지하기 위해서는 solid angle의 개수뿐 아니라 적절한 격자의 개수를 유지하여야 한다.

4. 결 론

FDS의 수치모델의 특성을 파악하기 위하여 유동 및 복사해석을 수행하였다. FDS는 LES모델을 사용하며 벽면의 격자가 큰 경우 벽면을 경계층을 적절히 다루지 않으므로 경계층이 중요한 유동에서는 비교적 해가 잘 일치하지 않았다. 또 복사를 고려하기 위해서는 적절한 개수의 격자와 solid angle을 유지하여야 하며 많아지는 경우 메모리부족으로 인하여 급격한 시간 증가현상을 볼 수 있었다. 향후 이 자료를 근거로 FDS의 코드 분석과 확장에 유용한 자료로 사용될 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 2011년 소방방재청 차세대핵심소방안전기술 개발 과제 1665005762[NEMA-차세대-2011-3] 지원에 의하여 수행하였으며, 관계자들에게 감사드립니다.

참고문헌

1. 이동호, 임경범, 유지오(2008), "터널 화재시 수분무 소화설비의 효용성 평가," 한국화재소방학회논문집, 제 22권, 제5호.
2. Hu L.H., Huo, R., Peng, W., Chow, W.K., and Yang, R.X. (2006), "On the maximum smoke temperature under the ceiling in tunnel fires," Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 21, pp. 650-655.
3. <http://code.google.com/p/fds-smv>, Oct., 14. 2011.
4. <http://fire.nist.gov/fds>, Oct., 14. 2011.
5. K. McGrattan, S. Hostikka, J.Floyd, H. Baum, R. Rehm, W. Mell, and R. MCDermott (2009), Fire Dynamic Simulator (Version 5) Technical Reference Guide, Volume 1: Mathematical Model, NIST Special Publication 1018-5.
6. Anderson, D.A., Tannehill, J.C. and Pletcher R.H., (1984), Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer, McGraw-Hill Book Company, pp. 502-504.
7. R. McDermott., 2003, "A nontrivial analytical solution to the 2-d incompressible, Navier-Stokes equations," http://rand.mcdermott.googlepages.com/NS-exact_solu.pdf.
8. Driver, D.M. And Seegmiller, H.L., 1985, "Features of Reattaching Turbulent Shear Layer in Divergent Channel Flow," AIAA Journal, Vol. 23, No. 2, pp. 163-171.
9. R. Siegel and J. R. Howell, 2002, "Thermal Radiation Heat Transfer," Taylor & Francis, New York 4th edition, pp. 17-18.