도시철도역사에서 화재유동에 대한 병렬계산방법연구

The development of parallel computation method for the fire-driven-flow in the subway station

장용준** □ 이창현* □ 김학범** □ 박원희**
Jang, Yong-Jun □ Lee, Chang-Hyun □ Kim, Hag-Beom □ Park, Won-Hee

ABSTRACT

This experiment simulated the fire driven flow of an underground station through parallel processing method. Fire analysis program FDS(Fire Dynamics Simulation), using LES(Large Eddy Simulation), has been used and a 6-node parallel cluster, each node with 3.0Ghz_2set installed, has been used for parallel computation. Simulation model was based on the Kwangju-geumnan subway station. Underground station, and the total time for simulation was set at 600s. First, the whole underground passage was divided to 1-Mesh and 8-Mesh in order to compare the parallel computation of a single CPU and Multi-CPU. With matrix numbers(15×10^6) more than what a single CPU can handle, fire driven flow from the center of the platform and the subway itself was analyzed. As a result, there seemed to be almost no difference between the single CPU's result and the Multi-CPU's ones. 3×10^6 grid point one employed to test the computing time with 2CPU and 7CPU computation were computable two times and fire times faster than 1CPU respectively. In this study it was confirmed that CPU could be overcome by using parallel computation.

국문요약

본 연구는 병렬처리기법을 이용하여 지하역사 화재유동을 시뮬레이션 하였다. 화재해석 프로그램으로는 LES(Large Eddy Simulation)화재해석 프로그램 중 하나인 FDS(Fire Dynamics Simulation)를 사용하여 연구를 진행하였으며, 각 Node당 3.0Ghz_2set이 탑재된 6-node parallel Cluster장비를 사용하여 병렬계산을 수행하였다. 시뮬레이션 모델은 광주 금난로 4가 지하역사를 대상으로 하였으며, 총 시뮬레이션 시간은 600s로 하였다. 먼저 Single-CPU와 Multi-CPU를 이용한 병렬계산과의 결과 비교를 위하여 전체 역사를 1-Mesh와 8-Mesh로 나누어 각각 Single-CPU계산과 Multi-CPU를 이용하여 계산결과를 비교 분석 하였으며, Single-CPU에서 처리가 불가능한 격자수(15×10^6)를 가지고 승강장 중앙에서의 화재와 객차 내에서의 화재유동분석 하였다.

연구결과 Single-CPU 해석과 Multi-CPU를 이용한 병렬계산에 있어서, 해석결과의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 계산시간의 비교에서도 14개의 Mesh를 가지고 약 300만개의 격자를 사용한 경우에 있어서 2CPU(4core)와 7CPU(14core)의 계산시간은 1CPU에 비하여 각각, 2배, 5배의 차이를 보였다. 병렬처리기법의 도입으로 Single-CPU의 한계를 극복하여 보다 빠르고 정확한 결과값을 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 향후 병렬처리기법연구에 있어서 계산효율성 증대를 위한 연구가 계속적으로 진행되어야 할 것이다.

E-mail :changhy@krri.re.kr
Tel : (031) 460-5856 FAX : (031) 460-5319
* 책임저자, 한국철도기술연구원, 환경화재연구팀
** 한국철도기술연구원, 환경화재연구팀, 선임연구원

1. 서 론

최근 컴퓨터의 발달로 인하여 실생활 주변의 다양하게 발생하는 복잡한 유동현상을 전산유체역학(CFD)를 이용하여 수치해석 및 시뮬레이션을 통해 실제와 같은 현상을 구현하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 지하역사의 경우 그 특수한 조건으로 인하여, 화재발생으로 인한 위험도가 높은 시설물 중에 하나임에도 불구하고 실제 화재실험의 경우 많은 제약을 받는 것이 사실이다. 이로 인하여, 컴퓨터를 이용한 수치해석기법의 연구가 대안으로 떠올랐다. 또, 컴퓨터의 성능이 점점 향상됨에 따라 복잡한 형상에 대해서도 해석이 가능해 짐에 따라 정확하고 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있게 되었다. 특히 MPI(Message Passing interface)기법의 도입으로 인하여, 전산유체역학 발전에 있어서 큰 영향을 미치고 있다.

본 연구의 목적은 이러한 MPI(Message Passing interface)기법을 이용하여 지하역사 화재유동을 분석하는 것이다. LES(Large Eddy Simulation)화재해석 프로그램 중 하나인 FDS(Fire Dynamics Simulation)를 Single-CPU(1 Mesh)의 계산결과와 Multi-CPU(8 Mesh)결과를 비교해 보았고 많은 격자수와 복잡한 형상에 있어서 화재유동현상을 분석해 보았다.

2. 본 론

2.1 시뮬레이션 모델 Geometry 및 Grid-system 1.

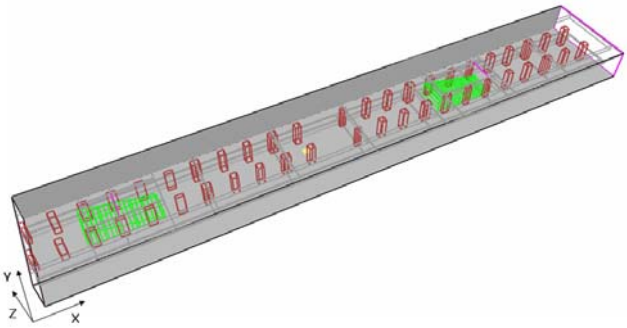


Figure 1. Simulation Model Geometry

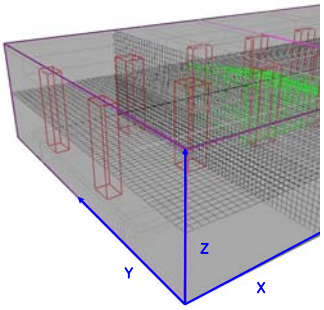


Figure 2. Simulation Model Grid

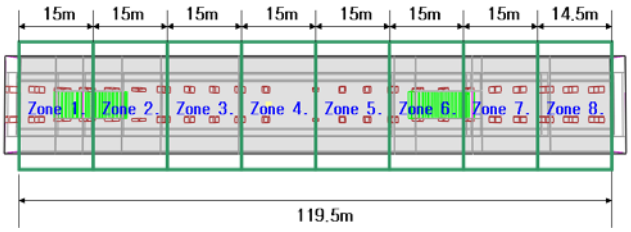


Figure 3. Result Value of Zone(-X-)

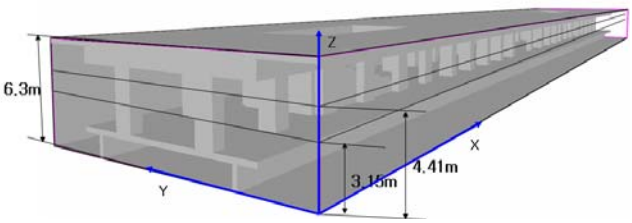


Figure 4. Result Value of Hight (-Z-)

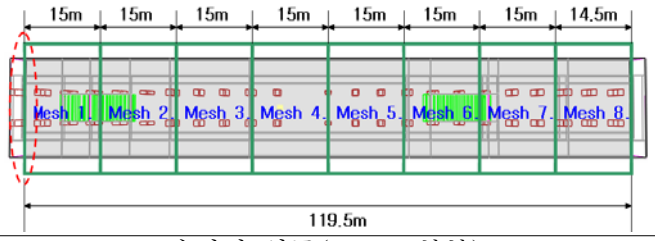
시뮬레이션 모델은 광주지하철 금난로 4가 역사이며, Figure 1.에서 보는 바와 같이 지하승강장부분만 모델링 하였다. 해석대상의 Dimension은 Figure2.에서 보는 것처럼 L(x)=119.5m, W(y)=18.8m, H(z)=6.3m이며 격자셀의 개수 및 크기는 320*64*20개로 409600개이고 격자하나당 0.37m*0.29m*0.31m의 크기를 가진다. 양쪽 터널부분과 계단부분은 Open으로 하였으며, 승강장 전체는 Concrete로 가정하였다. 화재시나리오는 철도건설 안전 세부기준에 따라 승강장 중앙에서 10MW의 화재로 하였으며, Ultra-Fast 화재성장 곡선에 따라 화재가 발생한다 가정하였고, 총 시뮬레이션 시간은 600s로 하였다.

시뮬레이션 결과는 Single CPU의 경우 Multi-CPU에서의 결과비교를 위하여 Figure 3.에서 보는 바와

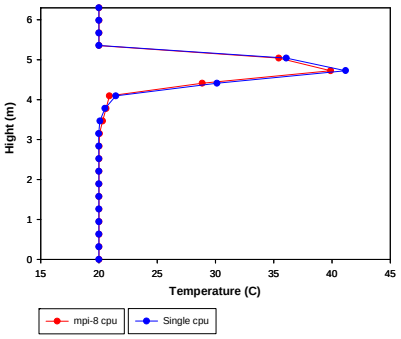
같이 총 8개의 Zone으로 나누어 산출하였으며, 그림 Figure 4. 에서처럼 화재유동이 활발히 일어나는 승강장 천정 부분(4.41m)과 승강장 중간부분(3.15m)의 화재유동 및 온도를 비교 분석 하였다.

2.2 시뮬레이션 결과 및 고찰 1.

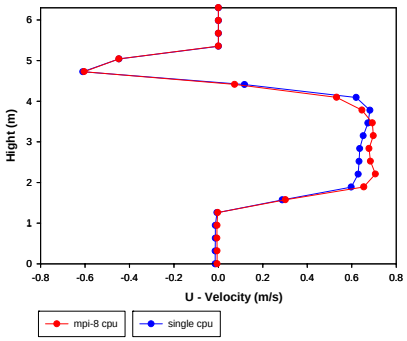
Table 1. 승강장 터널쪽 부분에서의 온도 및 속도 비교



승강장 입구(X-0.0m부분)

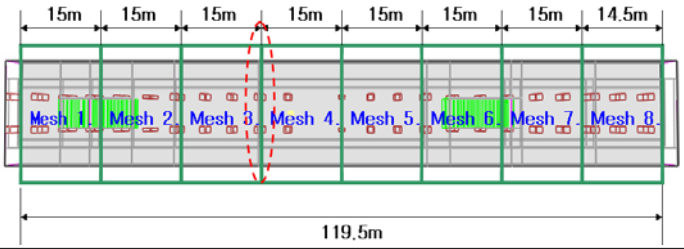


온도비교 그래프 비교 (Single/mpi-8)

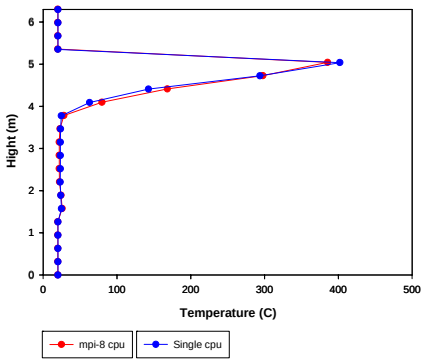


속도 그래프 비교 (Single/mpi-8)

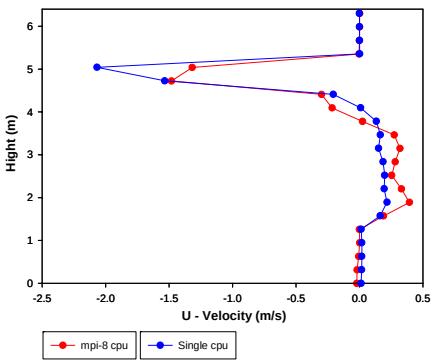
Table 2. 승강장 화재부분에서의 온도 및 속도비교



화재발생부분(X-45.0m)



온도비교 그래프 비교 (Single/mpi-8)



속도 그래프 비교 (Single/mpi-8)

Single--CPU의 경우와 Multi- CPU의 결과 비교는 Table1.과 Table2.에서 보는 바와 같이 터널쪽 부분과 화재유동데이터가 가장 많이 흔들릴 것으로 예상되어지는 화재지점과 가장 가까운 Mesh경계층부분을 비교하였다. 시뮬레이션결과 Table1.과 Table2모두 큰 차이를 보이지는 않았으며, 다만 화재부분의 Mesh 경계층 부분에서 데이터가 흔들리는 현상이 발생하였지만, 이러한 현상은 Single-CPU로 Multi-Mesh를 계산했을 때 발생하는 현상과 같은 현상으로 이는 병렬계산의 문제라기보다는 FDS Multy-Mesh의 각Mesh 간의 상호정보교환 과정에서 발생하는 현상으로 보인다.

2.3. 시뮬레이션 모델 Geometry 및 Grid-system

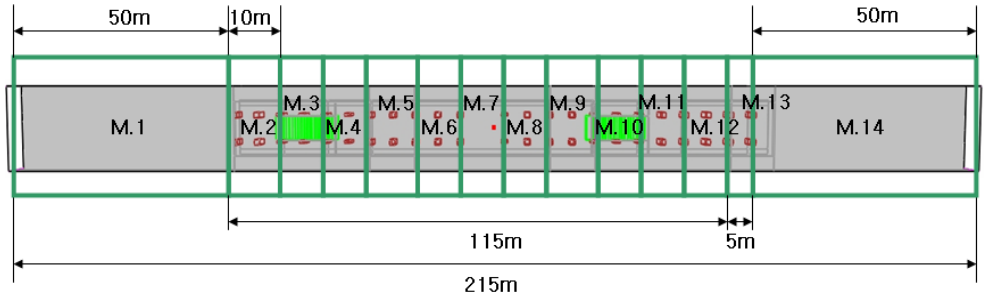


Figure 5. Grid Mesh, Dimension

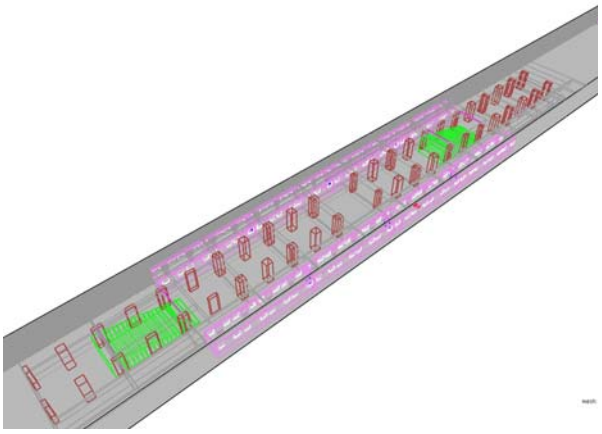


Figure 6. Simulation Model Geometry(train)

Figure 7. Simulation Model Geometry(train)

터널 효과를 보기위하여 승강장 양쪽으로 터널부분을 추가하여 Figure 5.에서 보는바와 같이 승강장을 모델링 하였다. 총 14개의 Mesh를 사용하였으며, L(x)=215m, W(y)=18.8m, H(z)=6.3m의 Dimension을 가진다. 격자셀의 크기는 객차가 없는 경우 약0.2m*0.2m*0.2로 총 3,233,600개의 격자수를 가진다. 계산시간의 비교를 위해 같은 모델링을 1개의CPU를 활용한 경우와 2개의 CPU를 활용한 경우, 그리고 7개의 CPU를 활용한 경우로 나누어 연구를 수행하였다.

열차가 있을 경우는(Figure 6.) 시뮬레이션 모델 Dimension은 동일하며, 터널양쪽 격자셀의 크기는 0.2m*0.2m*0.2m이고 그 외는 0.1m*0.1m*0.1m이고, 총 15,635,200개의 격자수를 가진다. 승강장 전체는 Concrete로 가정하였으며, 객차의 경우는 자세한 물성치적용 보다는 화재유동의 장애물로서만의 역할만을 고려하여 전체를 Steel로 가정하였다. 또한 승강장쪽 문과 갱웨이의 경우 Figure 7. 에서보는 것처럼 승객대피상황을 가정하여 모두 OPEN으로 하였으며, 객차의 유리의 경우는 감지기를 설정하여 유리가 보통 파손되는 온도인 500℃에 도달하였을 때, Open되도록 하였다.

2.4 시뮬레이션 결과 및 고찰

Table 2. Simulation End Time

single Mesh(50s) 1node-1CPU(2core)	parallel 14-Mesh(50s) 1node-2CPU(4core)	parallel 14-Mesh(50s) 4node-7cpu(14core)
38007.060	19494.479	7600.467

Table2. 는 14-Mesh로 만들어진 모델링을 1개의 CPU만을 사용하여 해석한 시간과 2개의 CPU를 사용하여 해석한 시간, 7개의 CPU를 사용하여 해석한 시간의 차이를 나타낸 것으로 1개의 CPU만을 활용한 해석에 비해 각각 2배와 5배의 시간단축을 보였다. CPU의 개수가 늘어나고 Mesh의 개수가 늘어날수록 각 CPU의 계산할당이 짧아지므로 계산시간을 줄어들지만, 그만큼 생성되어지는 파일량이 증가하고 이를 각 CPU간의 정보교환 시간이 증가하므로 결과적으로 기대만큼의 계산속도가 나오지는 않는 것으로 보인다.[5]

Figure 8. Temperature(Y=9.4m, 600sec)

Figure 9. Temperature(Z=4.9m, 600sec)

Figure 10. Temperature(Y=1.9m, 600sec)

Figure 11. Temperature(Z=3.7m, 600sec)

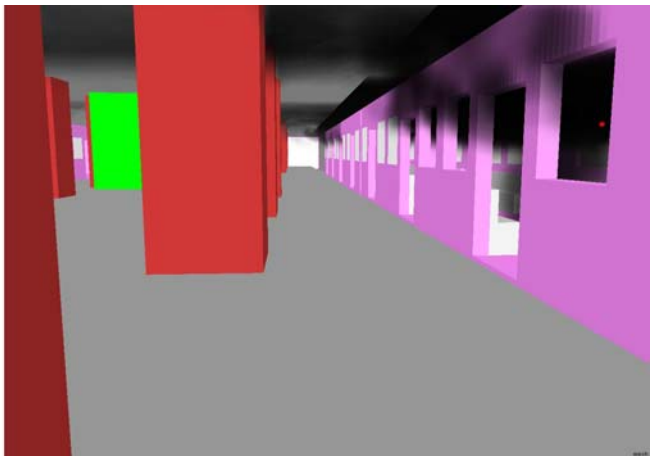


Figure 12. Soot Mass Fraction (420sec)

지하승강장 대피의 경우 4분 이내에 승강장 대피가 이루어져야 하고, 대피통로의 온도는 대피시간이 6분이상이면 49℃이하가 되어야 한다.[1],[3],[4] 600sec의 화재시뮬레이션 결과 승강장 중앙 화재의 경우 Figure 8.에서 보는바와 같이 승객의 평균 호흡높이인 1.5m(y=3.15m) 지점에서의 온도는 안전기준 보다 상승하지 않았다. 하지만, 화재로 인하여 가열된 공기나 CO등의 물질등은 승강장 천정을 따라 이동하다가 계단을 통하여 윗 층으로 유입되는 현상을 보였다. 이는 승강장 화재의 경우 승객피난에 있어서 안전지대가 되어야할 대합실 부분이 위험해지는 결과를 초래할 수 있을 것으로 보인다. 본 연구에서 화재해석 경우 평상시 지하역사의 유동형태를 배제하였지만, 지하역사의 제연시설의 중요성을 보여주는 결과라 생각된다.

Figure 10, Figure 11, Figure 12.는 객차내부에서 화재가 난 경우의 그림으로 역사중앙에서의 화재보다 온도가 2배정도 가까이 상승하였으며, 이러한 열기는 객차의 천정을 따라 갱웨이를 통과하여 다른 객차로 이동하였으며, Open되어져 있는 객차출입문과 500℃이상의 고온으로 인하여 깨어진 창문을 통하여 승강장으로 전파 하였다. 승강장 중앙화재와 마찬가지로 승객 평균호흡 높이인 1.5m에서의 온도나 CO는 기준치보다 낮게 측정 되었다.

시뮬레이션 결과 많은 수의 격자나 Multi-Mesh에 있어서도 병렬계산에는 큰 무리는 없었다. Multi-Mesh를 나누는 과정에 있어서도, Mesh의 경계면이 급격한 유동이 발생하는 화재위치 부분이나 유동의 입, 출구 부분에 위치하는 경우를 제외하고는 안정된 결과를 얻을 수 있었다. 다만 시뮬레이션 결과파일을 얻는 과정에서 방대해지는 데이터량에 따라 데이터 출력에 있어서 Smoke-View사용시 Error 발생률이 높았으며, FDS Input-Data 작성시에 많은 수의 결과파일 요구되면, 계산이 중단되는 현상이 발생

하였다. 또, Multi-Mesh 경계부분의 데이터가 하나의 Mesh로 이어진 곳에 비하여 유동이 매끄럽지 못한 현상도 보였다.

3. 결론

연구결과 Single-Cpu를 이용한 계산과 Multi-CPU를 이용한 병렬계산에 있어서 계산결과의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 병렬계산기법을 도입함으로서 계산속도의 관점에서 상당한 효과를 볼 수 있을 것으로 기대되고, 기존의 Single-Cpu를 이용한 계산의 한계를 극복하여, 보다 유동적이고 정확한 계산이 이루어 질것으로 생각된다. 다만, 본 연구 과정에서 생겼던 몇몇의 문제점들은 계속적 연구를 통해 해결될 것이며, 향후 보다 효율적인 병렬계산을 위한 방법의 연구가 진행된다면, 수치해석의 발전에 있어서 매우 유용할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. "도시철도 정거장 및 환승 편의시설 보완설계 지침" 건교부 고시 2002년 11월
2. "도시철도 규칙" 건설교통부령 412호, 2004년 12월 개정
3. "철도시설 안전기준에 관한 규칙" 건설교통부령 제476호
4. "철도화재 안전성능 평가 및 사고방지 기술 개발 '2차년도 보고서, 2007년 8월
5. 최희종, 박종천, 윤현식, 전호환, 강대환(2006), "병렬계산기법을 이용한 선체주위 점성유동장의 LES 해석", 한국해양공학학회지, 제20권 제4호, pp.76-82
6. Kevin Mcgrattan, Bryan Klein, Simo Hostikka, Jason Floyd(2007), Fire Dynamics Simulation(Version5) User's Guide, NIST