

A-13

FDS를 이용한 소화모형 화재거동의 시뮬레이션

권성필, 윤현주, 김형권, 라용운, 사공성호, 신동일*
한국소방검정공사, 명지대학교*

Simulation of Wood Crib Burning Behaviors by Using FDS
Kwon, Seong-Pil · Yoon, Hun-Ju · Kim, Hyeong-Gweon · Ra, Yong-Woon ·
Sakong, Seong-Ho · Shin, Dongil*
KFI, MJU*

Abstract

In this work wood crib burning behaviors have been simulated by using the FDS(Fire Dynamic Simulator) program. Wood cribs are regularly stacked arrays of wood sticks, and available for the performance rating of fire-extinguishers. On the basis of an angle iron supporter 26 layers of wood sticks have been stacked up. Each layer consists of 5 or 6 wood sticks which are placed in parallel, with a constant distance, and in alternating rows. They are laid between the horizontally adjacent sticks at the before last layer. The wood crib is ignited instantaneously by an amount of burning gasoline below. A comprehensive simulation of such a practical sophisticated combustion is still too difficult to realize with any currently available computer, although the performance of modern processors is getting better everyday. We could carry it out here through parallel computing on the HPC(High Performance Computing) cluster as the feasible alternative. At last the validation has been executed by means of temperature distribution data measured by the thermal video camera.

key words : Wood cribs, FDS, HPC, Thermal video camera.

1. 서 론

최근 도시의 급격한 팽창과 더불어 지하철이나 지하상가 등과 같이 사람들이 밀집해서 생활하는 지하공간이 현저히 늘어나고 있으며, 그런 장소에서 일어나는 화재사고로 인한 재산 및 인명피해가 해마다 크게 증가하고 있는 실정이다. 이러한 장소에서 초기화재를 진압하기 위한 수단으로 지금까지는 수동식소화기가 가장 널리 사용되고 있으며, 그 가운데서도 분말소화기는 뛰어난 소화능력과 경제성을 바탕으로 소방대상물 내에 가장 폭넓게 설치되어있는 실정이다. 그런데 현재 소화능력 시험을 통해 평가하고 있는 소화기의 소화능력단위는 정량화된 소방대책을 세우는데 있어서 가장 기본적인 출발점이라 할 수 있다. 현재 국내에서는 수동식소화기의 소화능력을 평가하기 위해 하단에 점화용 휘발유(3ℓ)를 담을 수 있는 구조의 철재앵글 연소대(높이 40cm) 위에 소나무 각목(3 × 3.5 × 90 cm)을 쌓아올려 만든 모형이 널리 사용되고 있다. 모형의 하단에 있는 휘발유에 불을 붙이면, 순식간에 상단에 있는 목재에 불이 옮겨 붙게 되며, 휘발유가 다 타고난 일정시간(3 분) 후에 모형 주위를 돌면서 소화기를 방사하여 화재를 진압하게 된다¹. 이렇게 복잡한 연소의 포괄적인 시뮬레이션은 최신 컴퓨터로도 아직은 어려우며, 고성능 컴퓨팅 클러스터를 이용한 병렬계산이 하나의 타당한 대안이다².

한편, 목재 소화모형의 연소속도에 대해서는 매우 오랜 연구가 이루어져 왔으며, 주로 1930년대에 얻은 초기 실험데이터가 이용되어 왔다. 특히, Nilsson의 실험 데이터에 기반을 둔 분석방법과 Yamashika와 Kurimoto가 제안한 관계식이 널리 알려져 있다³.

2. 시뮬레이션 환경

2.1. 고성능계산용 클러스터

실질적인 소화모형의 연소과정을 포괄적으로 시뮬레이션하기 위해서는 보통 그 모형의 복잡한 기하학적인 구조뿐만 아니라, 그 과정에 포함되는 다양한 산화반응, 관련 기체들의 난류성 전달, 대류 및 복사의 형태로 나타나는 열전달, 등으로 인해 엄청난 양의 계산이 필요하다. 즉, 이러한 시뮬레이션은 그 대상의 복잡성으로 인해 아무리 최신 컴퓨터를 사용한다고 해도 아직은 어려움이 있다. 그래서 HPC(고성능계산용) 클러스터를 이용한 병렬계산이 하나의 타당한 대안이라고 할 수 있다². 본 연구에서 사용된 고성능계산용 클러스터는 총 80 노드(16 마스터 노드, 64 컴퓨팅 노드)로 구성되어 있다. 1식의 마스터 노드는 Quad-Core Intel Xeon 2.4GHz 프로세서 4개의 CPU, 4GB DIMM 4개의 메모리, 146GB 디스크 5개의 하드디스크, 등으로 구성되어 있으며, 리눅스 운영체계를 탑재하고 있다. 8식의 컴퓨팅 노드는 Quad-Core Intel Xeon 2.5GHz 프로세서 2개의 CPU, 4GB DIMM 4개의 메모리, 146GB 디스크 1개의 하드디스크, 등으로 구성되어 있으며, 마스터 노드와 동일한 리눅스 운영체계를 탑재하고 있다. 결국, 고성능계산용 클러스터는 마스터 노드(4 CPU, 16노드)와 컴퓨팅 노드(16 CPU, 64 노드)를 합해서 총 20 CPU, 80 노드로 구성되어 있다. 마스터 노드와 컴퓨팅 노드들은 모두 하나의 서버전용 랙에 설치되었으며, 이 랙의 크기는 높이 1999mm, 가로 608mm, 세로 999mm이며, 17인치 LCD 슬라이딩 키보드 및 마우스 등을 갖추고 있다.

2.2. 휴대용 일괄처리 시스템

고성능계산용 클러스터는 “PBS(휴대용 일괄처리 시스템 전문가)라고 하는 웹기반 솔루션에 의해 관리되고 있다. PBS는 원래 미국 NASA(국립항공우주국)에서 항공우주 관련 계산 자원을 관리하기 위해 개발된 이래로, 슈퍼컴퓨터 작업부하 관리에 있어서 점차 선도적인 역할을 담당하게 되었으며, 사실상 리눅스 클러스터에서 표준이 되었다. “PBS 전문가”는 바로 그 PBS의 전문가용 버전으로서 보다 유연한 작업부하 관리시스템이다. PBS는 분산된 작업부하 관리시스템이며, 그 것의 세 가지 중요한 역할은 대기행렬 만들기, 스케줄링, 그리고 모니터링이다. 우리는 PBS를 이용하여 서로 연결된 여러 컴퓨터에 주어진 계산 작업부하의 관리 및 모니터링을 수행할 수 있다. PBS 전문가와 같은 현대적인 작업부하 관리 솔루션들은 전통적인 일괄처리 대기행렬을 만드는 특성을 포함하지만, NQS(네트워크 대기행렬 시스템)와 같은 1세대 일괄처리 시스템 보다 훨씬 뛰어난 유연성과 관리능력을 제공한다. PBS는 아래 그림과 같이 두 가지 주요 성분형태, “사용자수준 명령” 및 “시스템 데몬/서비스”로 구성되어 있다⁴.

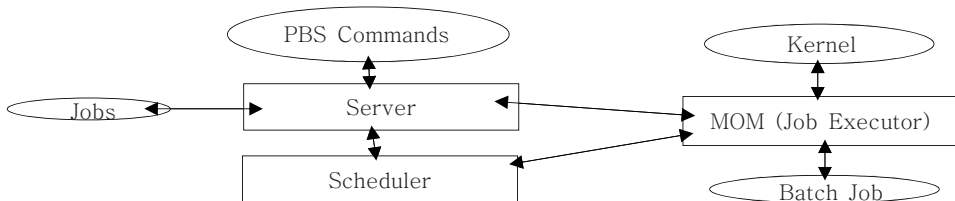


그림 1. 사용자수준 명령(○) 및 시스템 데몬/서비스(□)로 구성된 PBS

2.3. 화재역학시뮬레이터

화재 시뮬레이션 분야에서 현재 국내에서는 물론이고 세계적으로도 가장 널리 사용되고 있는 CFD(전산유체역학) 프로그램은 미국 NIST(국립표준기술연구소)에서 개발되어 2000년대 들어 세계적으로 급속

히 보급되고 있는 FDS(화재역학시뮬레이터)이다⁵. 병렬계산을 위해서는 우선 컴퓨터들을 가능한 한 일정하게 연결하고, 각 컴퓨터에 사용자 계정을 만들고, 디렉토리를 공유하며, 네트워크의 속도를 높이고, 각 컴퓨터가 다른 컴퓨터를 인식할 수 있도록 해야 하는데, 이러한 일들은 주로 병렬처리용 소프트웨어에 의해 이루어진다. 단일 업무를 여러 개의 프로세서가 수행할 수 있도록 하기 위하여 FDS는 MPI(메시지전달 인터페이스)라는 서버루틴 라이브러리를 호출해서 사용한다. 실제로, 그 업무는 여러 mesh로 쪼개지며, 한 프로세서가 각 mesh에서 작업할 수 있도록 할당된다. 각 프로세서는 주어진 mesh에 대하여 thread란 업무를 수행하는데, 여기서 MPI는 빠른 네트워크를 통해 한 thread에서 다른 thread로 혹은 mesh들 간에 정보를 전달하는데 필수적이다⁶. 스모크뷰(Smokeview)는 FDS와 같은 화재모델에 의해 생성된 수치계산결과를 시각적으로 보여주기 위해서 설계된 소프트웨어로서, C언어와 Fortran 90으로 씌어진 45,000줄 정도의 코드이며, C언어 부분은 데이터를 보여주는 데 사용되며, Fortran 90 부분은 FDS(Fortran 90으로 쓰였음)에 의해 생성된 데이터를 읽는데 쓰인다. OpenGL(3D 그래픽 모음) 및 GLUT(그래픽라이브러리 도구상자)를 활용하여, 화재의 특징(연기 및 화염의 거동)을 사실적으로 보여줘서, 사람들이 화재를 간접적으로 경험할 수 있게 해준다. 또한 추적자로 입자흐름을 보여주거나, 온도와 같은 기체흐름 데이터와 그림자 등고선의 방향이나 규모를 흐름벡터로 나타냄으로써, 특정한 시간에서 정적인 데이터를 다시 보여줄 수도 있다⁷.

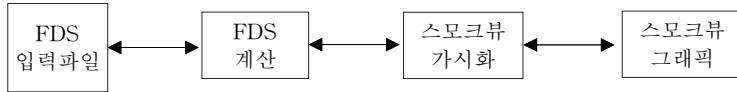


그림 2. FDS/스모크뷰를 이용한 시뮬레이션의 흐름도

3. 시뮬레이션 및 정당성 확인

FDS 프로그램을 이용하여 소화모형의 연소과정을 시뮬레이션하기 위하여, 우선 클라이언트 컴퓨터에서 초기조건 및 경계조건을 FDS 입력파일 형식에 맞춰서 적은 입력파일을 만들었다. 특히, 입력파일에는 철재앵글 연소대 위에 26단의 각목을 차례로 쌓아 올린 내용뿐만 아니라, 병렬계산을 위해 필요한 mesh의 설정 등이 들어있다. 입력파일은 PBS 웹 인터페이스를 통해서 HPC 클러스터 서버로 보내지고, 계산은 주로 컴퓨팅 노드에서 이루어지며, 컴퓨팅 자원의 활용 상태가 웹상에서 온라인 모니터링 된다. 계산 결과는 압축파일 형태로 클라이언트 컴퓨터에서 받아서 스모크뷰를 통해 [그림 3]에서와 같이 3D 그래픽으로 분석되었다. 최대 온도가 약 1,000℃까지 올라가는 것을 확인할 수 있었다.

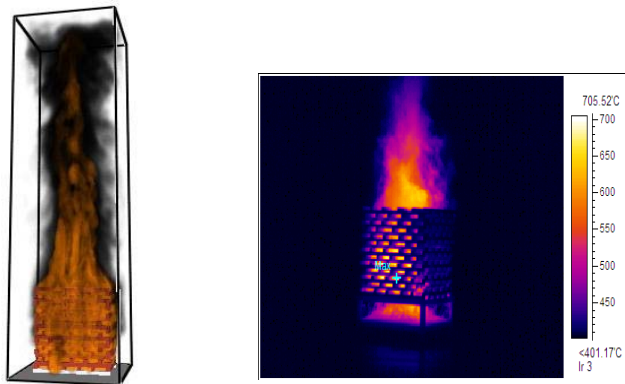


그림 3. 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 열화상카메라 측정 결과

그런데 과도하게 단순화된 모델에 의해 발생하는 오차, 모델의 파라미터 혹은 물성 값들이 포함하고 있는 오차, 수치해석에서 사용되는 선형화 과정에서 발생하는 오차 등으로 인해 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 실제 화재를 정확히 예측하는 것은 매우 어렵다. 따라서 적절한 실험결과를 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션 결과의 정당성을 확인하는 작업이 매우 중요하다. 본 연구에서는 열화상 카메라를 이용하여 모형의 연소에 의한 온도분포의 변화를 측정하였고, 실험결과와 계산결과를 비교함으로써, 시뮬레이션 결과에 대한 정당성을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 FDS를 사용하여 수동식소화기 소화능력시험에 사용되는 제1모형(2단위)의 연소에 대한 시뮬레이션을 수행했다. 복잡한 경계조건 및 연소과정의 시뮬레이션에 수반되는 방대한 컴퓨팅 부하 문제를 해결하기 위하여 병렬계산이 가능한 20 CPU, 80 노드의 고성능계산용 클러스터 서버가 구축되었다. 계산결과와 정당성 확인을 위하여 열화상카메라를 사용하여 측정한 데이터를 계산결과와 비교하였다. 본 연구에서 FDS 프로그램을 돌리기 위해 구축한 HPC 클러스터 서버는 PBD(성능기반 설계)에서 요구하는 수준의 실질적인 계산을 가능케 만들었고, 더욱이 계산결과와 정당성을 확인할 수 있는 손쉬운 방법의 제안은 큰 의미가 있다고 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 차세대핵심소방안전기술개발사업 연구비로 이루어진 것으로 본 연구를 가능케 한 소방방재청에 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국소방검정공사 (2007). “수동식소화기의형식승인및검정기술기준(KOFEIS 0101)”, 소방방재청고시
2. Sundén, B. and Faghri, M. (2008). “Transport Phenomena in Fires”, WIT Press
3. Walton, W. D., *et al* (2002). “Handbook of Fire Protection Engineering”, SFPE
4. Urban, A. (2008). “Altair® PBS Professional™ 9.2 User’s Guide”, PBS GridWorks
5. McGrattan, K., Hostikka, S., Floyd, J., Baum, H. and Rehm, R. (2008). “Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide”, NIST Special Publication 1018-5.
6. McGrattan, K., Klein, B., Hostikka, S. and Floyd, J.(2008). “Fire Dynamics Simulator(Version 5) User’s Guide”, NIST Special Publication 1019-5.
7. Forney, G. P. (2008). “User’s Guide for Smokeview Version 5 - A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data”, NIST Special Publication 1017-1.