

발전설비용 소화시스템의 성능 예측을 위한 CFD기법 적용 연구

정희택*, 배강열*, 김찬희*, 정인수*, 배진수*, 한용식**, 김종진***

Application of CFD Method to Performance Prediction of Fire-Suppression System for Electric Power Utilities

H.T. Chung*, K.Y. Bae*, C.H. Kim*, I.S. Jeong*, J.S. Bae*, Y.S. Han** and J.J. Kim***

Key Words : CFD(전산유체공학), Electric Power Utilities(발전설비), Fire-Suppression System(소화시스템), Water Mist(미분무수)

Abstract

In the present research, the exclusive analysis system based on the CFD method were suggested to predict the fire-suppression performance of water mist fire-suppression equipments for design applications. The computing scope is ranged from starting pump to fire-suppression equipments, composed of three parts that calculation of flow rate and pressure distribution at each nozzle, examining of spray performance and predicting of fire-suppression performance in the fire space. Application were done to the fire-suppression system for electric power generation plants. The results were analyzed by comparison between numerical results and initial design conditions in terms of thermal and fluid mechanics.

1. 서론

산업용 설비의 안전을 위한 소화설비에는 다양한 기법이 적용되고 있다. 이 중에서 고압의 물을 노즐을 통해 분사시켜 발생하는 미세 물방울을 이용하여 화재를 신속하게 진압하는 미분무수 소화시스템은 현재 할론 및 CO₂ 소화설비를 대체할 새로운 소화 설비 시스템으로 많은 관심을 받고 있다. 이러한 미분무수 소화시스템의 연구 및 설계는 대부분 성능 시험 등 실험적 방법에 의해 의존하고 있는 실정이다.

미분수 소화 기법은 기존의 주류를 이루는 수계소화설비인 스프링클러보다 소화 특성이 우수하므로 현재 이를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 김성찬 등[2]은 분사각이 화재실 내부의 온도장에 미치는 영향을 수치기법과 실험을 병행하여 연구하였고, 김호용 등[3]은 분무수 특성이 화염의 소화에 미치는 영향을 실험적으로 수행하였다. NIST에서 개발된 FDS 프로그램 [4]은 설비시스템 전체의 소화 특성 예측에 주로 사용되고 있다.

이러한 미분무수 소화시스템의 연구 및 설계는 대부분 성능 시험 등 실험적 방법에 의해 의존하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 범용 열유동 해석 소프트웨어를 이용하여 미분무수 소화설비의 유체역학적 성능과 소화특성을 예측하는 전용해석 시스템을 구성하고, 초기 설계 조건에 적용하여 CFD기법의 설계 적용 가능성을 검토하고자 한다. 양수발전소의 소화시스템의 실제 설계 사양을 적용하여 시스템의 성능을 전산 모의로 예측하였다.

2. 해석 기법

* 경상대학교 기계항공공학부, htchung@gsnu.ac.kr

** 한국기계연구원 환경안전그룹, yshan@kimm.re.kr

*** (주)원, jjkim@fire-corpwin.com

산업용설비에 장착되는 미분무수 소화설비의 개략도는 Fig. 1과 같다. 본 연구의 CFD 해석 범위는 구동 펌프를 시발점으로 하여 소화설비 전 구간을 대상으로 한다.

각 노즐에 부여되는 유량과 압력 분포를 구하고, 각 노즐의 분무 특성을 파악 한 후 소화 구간의 소화 특성을 예측하는 3단계로 구성된다. 펌프와 노즐 입구 사이는 수정 베르누이 방정식에 의한 복합관로의 1차원 유동 해석한다.[5] 분사노즐의 분무 성능 특성은 범용 열유동 소프트웨어인 FLUENT를 사용하였다 [6] 소화구간 내의 화재 억제 메커니즘은 FDS 프로그램을 이용하였다.[4]

각 해석기법에 대한 내용은 참고문헌[7],[8] 및 [9]에 상술되어 있다.

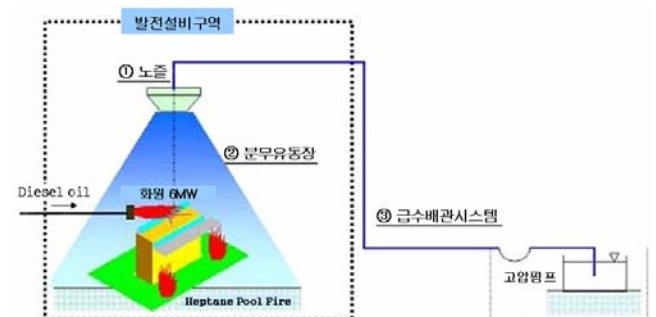


Fig. 1 Overall view of the fire suppression systems based water mist

3. 적용 결과

본 연구의 적용 대상은 양수발전소의 소화설비이다.[10] 급수

펌프에서 소화노즐까지의 배관 구성도는 Fig. 2와 같다. 펌프 구동압은 80 bar이고 예상 유량은 총 225 lpm 으로 설계되었다. 전 소화설비에는 T-10 노즐[11]이 10개 장착된다.

본 연구에서는 2절의 수치해석 기법을 적용하여 수치해석 결과와 초기 설계 조건을 비교하여 열유체역학 관점에서 소화 설비의 설계 타당성을 분석하였다.

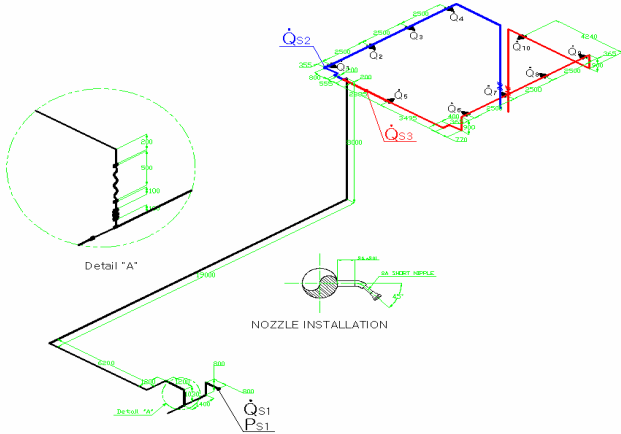


Fig. 2 Layout of pipings for WMFSS in typical electric power utilities

Table 1 Hydraulic results in the present piping system

Location	Q [lpm]	P [bar]	Remark	
S1	218.406	80	예상유량 : 225 (lpm)	
S2	87.462	76.0298		
	1	21.8694	75.9148	
	2	21.8652	75.8856	
	3	21.8634	75.8731	
	4	21.8628	75.8690	
S3	130.950	76.0298		
	5	21.8670	75.8981	
	6	21.8256	75.6110	$h_{s-6} = 0.9[m]$
	7	21.8178	75.5570	
	8	21.8136	75.5279	
	9	21.8112	75.5113	
	10	21.8118	75.5154	$h_{g-10} = -0.9[m]$

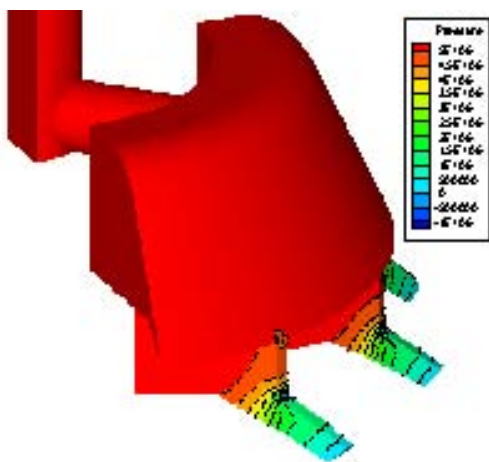


Fig. 3 Pressure fields inside nozzles

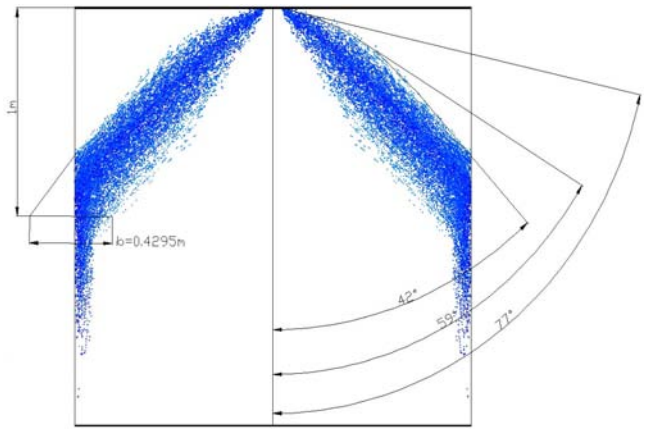


Fig. 4 Spray patterns through the single nozzle

Table 2 Comparison of CFD with Experiment for T-10 nozzle

	Exp.	CFD
K-factor	2.40	2.45
SMD [μm]	76.37	111.03
Particle velocity [m/s]	11.91	5.07
Spray angle [°]	N/A	77.0

Fig. 2와 같은 다중배관 시스템에 수정 베르누이방정식과 손실계수를 선정하여 해석한 결과는 Table 1과 같이 같다. 노즐이 장착되는 각 지점에서의 유량과 압력은 2단계의 노즐 분무 특성의 입력 데이터로 사용된다.

2단계에서는 FLUENT를 사용하여 단일 노즐의 분무 특성과 성능을 예측할 수 있다. T-1- 노즐의 설계기준치인 80 bar에서의 노즐 내부의 압력 분포는 Fig. 3과 같다. 노즐에서 분사된 미분무의 분사 특성은 Fig. 4와 같이 묘사된다. 단위노즐의 성능시험과 비교하면 CFD 해석결과는 Table 2와 같이 잘 일치하는 것을 알 수 있다. Fig. 5는 적용 노즐의 성능특성을 나타낸 것이다. 유량과 압력의 관계를 나타내는 K-factor는 2.4이다. 분사각은 75° 내외이고 입자경은 약 100 μm 이다.

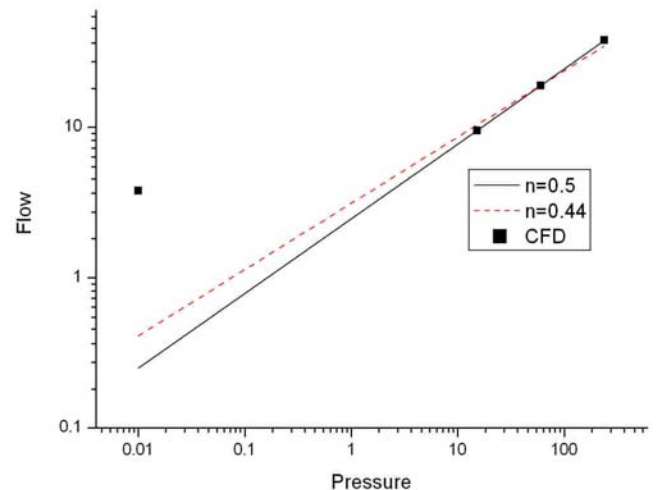
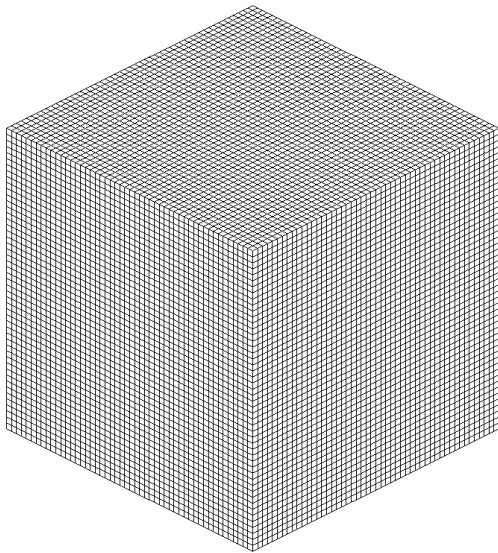


Fig. 5 Performance curve of WM nozzles

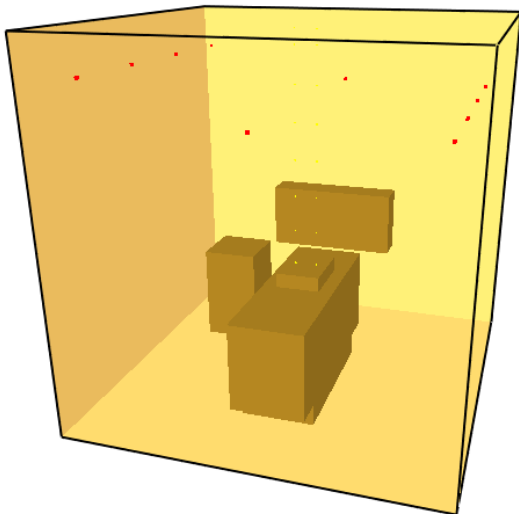
2단계의 단위노즐의 성능치와 1단계의 각 노즐의 입구 조건을 이용하여 발전설비 내 유동장의 소화 특성을 FDS를 이용하여 수치모사를 진행할 수 있다.

Fig. 6은 시뮬레이션에 사용된 계산격자와 내부형상을 나타낸 것이다. 해석공간의 크기는 가로×세로×높이=10m×10m×10m이고 사용된 계산격자는 총 125,000개가 사용되었다. 실제적인 공간의 내부에 발전설비가 존재하기 때문에 소화설비의 성능규정에 의하여 동일한 발전설비 Mock-Up을 장애물로 설치하여 해석을 진행하였다. 화원은 Fig. 7에서 보는바와 같이 Mock-Up의 상부에 위치하며 크기는 0.6m×1.4m×0.3m로 2개가 설치되었으며 1개당 화재강도는 3MW로 총 6MW가 적용되었다.

미분무수의 분사는 15초 동안 자연연소를 실행한 후 미분무수를 분사하기 시작하였으며 Fig. 7에서 보는바와 같이 분사 후 5초에서는 화재강도가 그대로 유지되다가 미분무수가 계속적으로 분사되면서 상부로부터 화염의 크기가 점점 줄어들면서 미분무수 분사 후 300초에서는 화재강도가 급격히 감소하여 소화가 발생하는 것을 확인 할 수 있다.

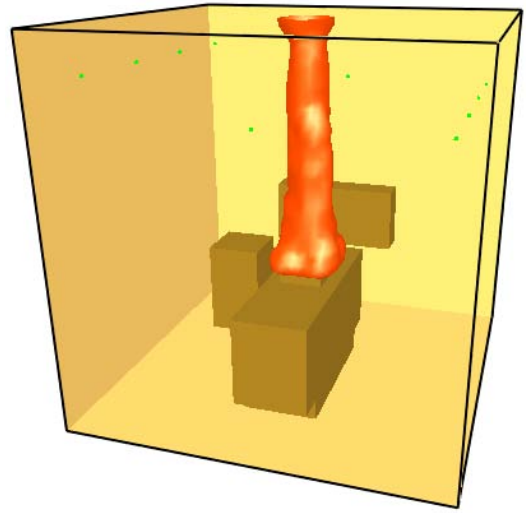


(a) computational mesh

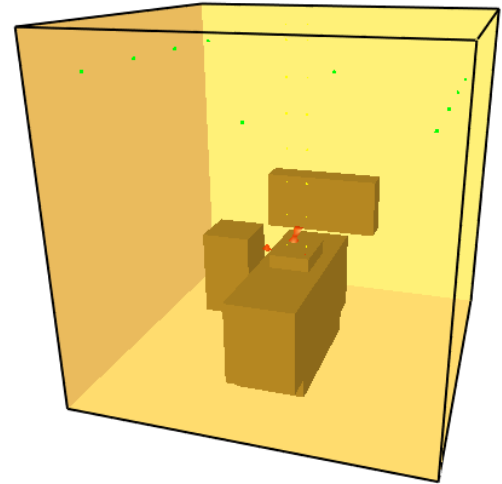


(b) geometry

Fig. 6 Computational mesh and geometry for FDS simulation



(a) 20sec



(b) 315sec

Fig. 7 Distribution of heat release rate inside the electric power room according to time of mist injection from WM nozzles

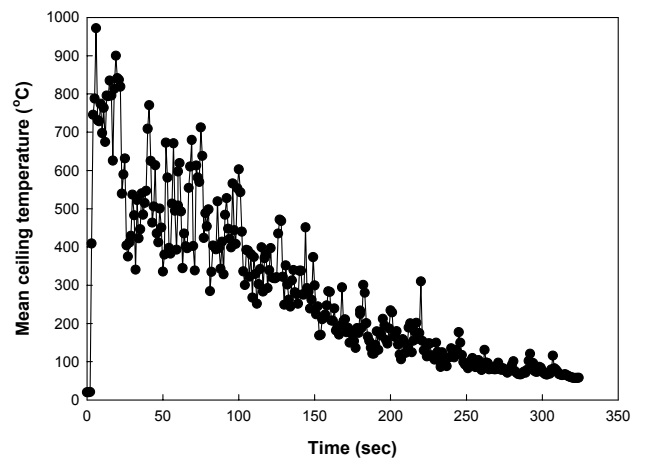


Fig. 8 History of mean ceiling temperatures

Fig. 8은 시간변화에 따른 천정부근에서 평균온도분포를 도시한 그림이다. 최대상승온도는 약 800°C이며, 미분무수와 화염과의 상호작용에 의하여 온도가 점점 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 온도분포의 경우 요동(fluctuation)이 심하게 발생하게 되

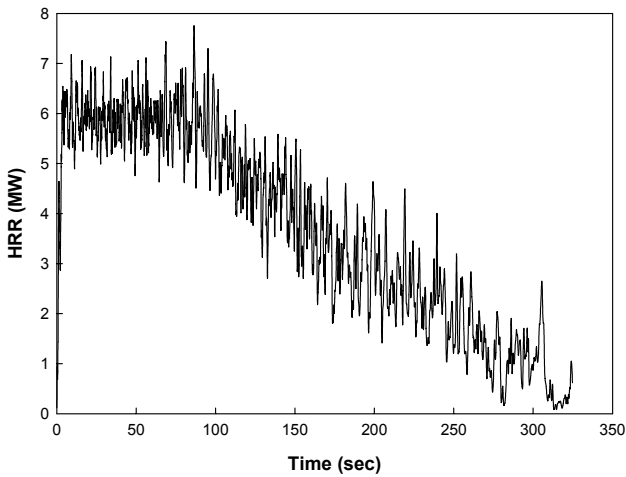


Fig. 9 History of heat release rate

는 데 이것은 미분무수의 입자가 $100\mu m$ 이고 화염의 외각에서 분무하기 때문에 화염을 상부로부터 균일하게 억제하지 못하여 화재강도가 일정하게 억제될 때 까지 이러한 현상이 발생하게 되는 것이다.

Fig. 9는 시간변화에 따른 화재강도의 크기를 나타낸 것이다. 연소를 시작하면서 초기에 급격하게 화재강도가 증가한 후 약 6MW를 100초동안 유지한 후 서서히 감소하는 것을 볼 수 있다. 자연연소 후 15초에 미분무수가 분사하게 되지만 분사된 미분무수는 화염의 외부와 상호작용에 의하여 화염을 억제하면서 화원으로 접근하기 때문에 미분무수 분사 후에도 일정 시간동안 화재강도를 유지하게 되는 것이다.

4. 결론

산업용 설비의 소화 시스템에 대한 성능 예측을 위하여 CFD 기법을 적용하고 이를 양수발전 설비에 적용하였다. 향후 설계

예상치와 성능시험 결과를 비교하여 본 연구의 전산기법이 설계 도구로서 활용될 수 있도록 개선할 예정이다.

참고문헌

- [1] 김명배, 미분무수 소화설비의 기술동향 및 NFPA 750의 소개, 화재·소방학회지, 제1권, 제2호 (2000), pp.2-5.
- [2] 김성찬 외, 물분무노즐의 분사각이 화재실 내부의 온도장에 미치는 영향, 대한기계학회 춘계학술대회 논문집 (2003), pp.1703-1708.
- [3] 김호영 외, 분무수 분무특성이 액체연료 Pool 화염의 소화에 미치는 영향, 대한기계학회논문집 B권, 제28권, 제12호 (2004), pp.1591-1599.
- [4] NIST, Fire Dynamic Simulator, Technical Reference Guide, NIST, U.S.A. (2000).
- [5] 김병하, 유체역학, 청문각 (1996).
- [6] FLUENT Inc., Fluent 6 User's Guide, Fluent Inc. Lebanon (2001).
- [7] 정희택, 정양범, 조재우, 배진수, 선박용 배관시스템의 수력학적 설계 및 해석프로그램 개발, 한국동력기계공학회지, 제5권, 제1호 (2001), pp.57-63.
- [8] 정희택, 이창효, 최병일, 한용식, 옥영욱, 미분무수 소화 노즐의 분무 특성 예측을 위한 CFD기법의 적용, 한국전산유체공학학회지, 제11권, 제4호 (2006), pp.56-61.
- [9] K.Y. Bae, H.T. Chung, Y.S. Han and C.H. Lee, Numerical Investigation on the Effects of Water-Mist Characteristics on Fire Suppression Mechanism, 2nd YSRIM Conference, Shanghai, China (2007).
- [10] (주)원, 산청양수발전소 WATERMIST 소화설비 보고서 (2007).
- [11] 김종진 외, 선박용 첨단 수계 소화시스템 개발, 지역산업기술개발사업 중간보고서 (2006).