

시뮬레이션 분석을 통한 EPS실 화재위험성 평가에 관한 연구

A Study on Fire Risk Assessment of a EPS room using Fire Simulation

Eungu Ham^{a,1}, Dongcheol Kim^{b,*}, Changwoo Lee^{c,1}

^a Department of Architecture, University of Kwangwoon, 447-1 wolgye dong, Seoul 139-701, Republic of Korea

^b Department of Architecture, University of Kwangwoon, 447-1 wolgye dong, Seoul 139-701, Republic of Korea

^c Department of Fire & Disaster Prevention, University of Korea Soonsil Cyber, 23 sami-daero 30-gil, Seoul 110-340, Republic of Korea

ABSTRACT

This study was conducted by utilizing simulation (FDS6) the fire characteristics of the flammable substances such as cable compartment of a small space in the EPS room type. In the partitioned space of a room EPS supply of oxygen does not facilitate the combustion of the upward-sloping curve, as in a standard fire curve is not observed. Simulation results in a situation where ventilation is limited to the heat release rate and smoke emission characteristics of the fire showed a complex and unstable form a repeating rise and fall. Fire time was longer than the fire load. Change in the smoke emission than the heat release rate is slow, but changes of the overall surface was found to exhibit affinity.

KEYWORDS

Small Spaces
Cable Fire
EPS
Simulation
FDS6

본 연구는 구획된 소공간유형의 EPS실에서 케이블 등의 가연성물질에 대한 화재특성을 시뮬레이션(FDS6)을 활용하여 진행하였다. 구획된 공간인 EPS실에서는 산소의 공급이 원활하지 않아 표준화재곡선에서와 같은 우상향의 연소곡선이 나타나지 않았다. 환기가 제한되는 상황에서 열방출율과 연기 방출량에 대한 시뮬레이션 결과는 상승과 하락을 반복하며 불안정한 형태의 복잡한 화재특성을 보였다. 화재시간은 화재하중에 비하여 길게 나타났다. 열방출율에 비하여 연기 방출량의 변화는 느리게 진행되었으나 전체적인 면에서 변화양상은 유사성을 보이는 것으로 확인되었다.

소공간
분전반
케이블
시뮬레이션
FDS6

© 2015 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-010-79797-9239. Fax. 82-02-940-5192.
Email. cheol555@hanmail.net

1 Tel. 82-02-940-75192. Email. hameg@hanmail.net

1976-2208 © 2015 Korea Society of Disaster Information All rights reserved.

http://dx.doi.org/10.15683/kosdi.2015.11.4.581

ARTICLE HISTORY

Received Nov. 18, 2015

Revised Nov. 29, 2015

Accepted Dec. 01, 2015

1. 서론

본 연구는 다양한 화재원인 중에 전기화재에 관한 것으로 전기설비의 안전성능 기준이 강화되고 제품의 질적 수준이 향상됨에 따라 발화요인별 화재발생율이 다소 둔화되고 있으나 전기화재는 여전히 화재사고의 상당한 부분을 차지하고 있는 실정으로 소공간에서 발생할 수 있는 화재를 대상으로 하였다. 국민안전처의 통계자료에 의하여 2014년 1월 1일부터 2014년 12월 31일까지 발화요인별 화재발생건은 Table1.과 같이 나타났고, 이 표를 보면 2014년도 연간 총 화재의 발생 건수는 42,135건이었으며, 이중 전기적 발화요인은 9,445건으로 총 화재의 발화요인중 22.42퍼센트로 나타났다.(MPSS, 2014)

Table 1. Fire ignition Factors 2014

구분	계	전기적	기계적	화학적	가스누출	교통사고	부주의
건별	42,135	9,445	4,064	360	168	511	21,489
퍼센트	100	22.42	9.65	0.85	0.40	1.21	51.00

오늘날 사용되는 에너지는 대체로 전기, 가스, 경유 등으로 구분되며 이 중에 사용의 편리성으로 인해 전기 사용이 증가하여 전기에 대한 사용의존도가 높아지게 되었으며, 이러한 추세가 발화요인 중에 전기화재의 발생 건을 가중시키는 주요 원인에 해당된다. 일반적으로 사용하고 있는 전기적인 에너지의 양은 발화에 필요한 에너지의 양에 비추어 상당히 높은 수준이며 따라서 비정상적인 전기의 흐름, 즉 어떤 요인에 의해서 과전류, 단락, 지락, 접촉불량 등이 세부적인 전기화재 발화요인으로 분류될 수 있으며 이를 화재발생 건별로 세부하여보면 Table 2와 같이 확인할 수 있다. (MPSS, 2014)

Table 2. Electrical ignition factor 2014

구분	계	누전, 지락	접촉불량 (단락)	절연열화 (단락)	과부하/ 과전류	압착, 손상 (단락)	충간 단락	트래킹 (단락)	반단선	미확인	기타
건	9,445	386	892	2,492	926	568	96	750	176	2,396	763
퍼센트	100	4.09	9.44	26.38	9.80	6.01	1.02	7.94	1.86	25.37	8.08

또한 대부분의 건축물은 전기를 공급하기 위하여 구획되어진 소규모 공간에 수변전설비나 분전반 그리고 케이블 등과 같은 전기관련 설비가 설치되어 있다. 이러한 전기설비가 집적화되어 있는 소규모공간을 유지관리 과정에서 창고로 겸용하는 잘못된 사례도 종종 확인되고 있으므로 화재하중 예측을 전기설비에 한정하여 설정하는 것이 실제의 보수적인 화재규모를 예측하는데 불합리한 측면이 있으나, 본 연구에서는 전기설비만을 대상으로 진행하였다.

본 연구에서는 이러한 전기화재의 발생현황을 확인하고 다양한 건축 공간 중에서 소규모 공간에 해당하며 전기 또는 통신 설비가 공간규모 대비 집적화되어 있는 EPS실(통신장비 포함)화재에 대한 화재역학적 관계를 화재시물레이션을 이용하여 해석하고 그에 따라 화재위험성을 확인하였다.

2. 연구의 범위 및 방법

(1) EPS실

본 연구에서 정하고 있는 EPS(Electrical Piping Shift)실이란 건축물 내의 각 부분에 전기를 공급하기 위한 부대시설 즉, 전기시설물로서 예를 들면 동력용, 전열용, 전등용의 케이블 또는 전선과 전기적인 장치들이 포설되어 있는 실을 말한다.

일반적으로 EPS실의 화재하중이라 할 수 있는 케이블 등은 건축물의 수변전실에서 근접한 위치에 있는 경우에 많고, 원거리에 위치한 경우에는 상대적으로 작다.

또한, 건축물이 완공된 경우에는 열의 축적에 의한 화재위험성 때문에 케이블 트레이 및 샤프트에는 1단으로 배선하고 있으나, 유지관리 과정에서 점차적으로 배선이 증가되고 있는 실정이며, 그 밖에도 오래된 건축물의 경우에는 케이블의 내열성능 및 난연성능도 보장할 수 없으며, 전기적인 장치들도 열악하게 관리되고 있어 화재하중을 예단하기란 쉽지 않은 것이 현실이다. Fig. 1에서는 현재 EPS실로 유지되고 있는 한 사례를 보여주고 있다.



Fig. 1 EPS room

(2) 화재시물레이션(FDS6)

화재란 단지 탄소 및 수소 원자 이상을 포함하고 있는 여러 연료 가스를 포함하는 상대적으로 복잡한 연소과정이며 발생하는 연소 가스종의 수도 셀 수 없이 많다. 그러나 화재시물레이션은 화재현상에 대하여 현재까지 파악하고 있는 물리·화학적 해석을 기반으로 하고 있으며, 화재의 화학적 관점은 탄화수소 연료와 산소의 반응을 통하여 최종 연소생성물인 이산화탄소와 수증기를 생성하는 것으로 연료의 수도 제한하고 반응 또한 하나 또는 두 가지로 제한하여 해석한다.

3. 화재 시나리오 설정

(1) 가연성 물질

가연성 물질은 EPS실의 일반적인 구성요소인 케이블과 전기적인 장치로 보았으며, 실제로 그 밖의 여러 가지 화재하중에 관하여 본 연구에서는 연료의 총량에 합산한 것으로 계산하였다. 본 구성에 세부적인 사항은 케이블, 개폐기 등으로 구성된 전기적인 장치에 관하여 PVC 재질로 구성하였으며, 건축물 내의 케이블 및 전선 화재하중에 관한 LAPP GROUP(CANADA) 자료에 의하면 기본적인 물질이 PVC인 경우 평균 5.8kWh/kg으로 되어 있고, 연료의 총량은 케이블 0.6/1kV CV × 10 × 100m로 가정한 화재하중으로 모델을 구성하였다. 이 중 C0506T1의 부피는 0.476 m³으로 가정하였으며, 이 경우 C0506T1 중량은 714kg이고 구리를 제외하고 연료에 해당하는 부분에 관한 화재하중은 13.36 kg/m³에 해당하도록 설계하였다.(LAPP GROUP PRODUCTS, 2015)

연료에 관한 FDS 묘사는 다음과 같이 진행하였다.

```
&SPEC ID = 'C0506T1',          FORMULA = 'C2H3Cl'/
&SPEC ID = 'OXYGEN',          LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE./
&SPEC ID = 'NITROGEN',       LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE./
&SPEC ID = 'HYDROGEN CHLORIDE', LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE./
&SPEC ID = 'WATER VAPOR',    LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE./
&SPEC ID = 'CARBON DIOXIDE',  LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE./
```

```

&SPEC ID = 'CARBON MONOXIDE',      LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE./
&SPEC ID = 'SOOT',                 LUMPED_COMPONENT_ONLY = .TRUE./

&SPEC ID = 'AIR', BACKGROUND=.TRUE.,
  SPEC_ID(1) = 'OXYGEN',  VOLUME_FRACTION(1) = 1 ,
  SPEC_ID(2) = 'NITROGEN', VOLUME_FRACTION(2) = 3.76, /

&REAC FUEL = 'C0506T1'
  SPEC_ID_NU = 'C0506T1', 'AIR', 'PRODUCTS', NU=-1, -1.830357143, 1,
  HEAT_OF_COMBUSTION = 16533.33, CHECK_ATOM_BALANCE=.TRUE. /
    
```

(2) 연소

FDS 연소 모델은 가연성 물질을 스칼라 양으로 반응 및 계산하며, 연료와 산소의 반응이 반드시 순차적으로 완전하지는 않으나 환기 공간에서 특성에 의해 연소의 속도가 결정된다. 열방출율은 여러 종의 질량 생성율(\dot{m}_α''')과 이에 해당되는 생성열(Δh_f)에 따르므로 질량반응물질과 생성물질 사이에 얻어지는 열방출률(\dot{q}''')은 식(1)과 같은 일반적인 열특성 공식에 따른다.(Hwang et al., 2008)

$$\dot{q}''' = - \sum_{\alpha} \dot{m}_{\alpha}''' \Delta h_{f,\alpha} \quad \dots \text{식(1)}$$

(3) 반응시간

유동장의 로컬 상태에 기초하여 상기 혼합 시간에 대한 본 모델에서의 고려사항은 물리적 과정과 하부 격자의 이류, 그리고 부력 가속 및 제어 흐름 시간 척도로서 그것은 LES(Large Eddy Simulation) 필터 폭의 변화에 따라 SGS(Subgridscale) 모델의 이류 및 부력 가속 규모의 혼합시간에 대하여 Fig. 2와 같은 도표가 나타난다.

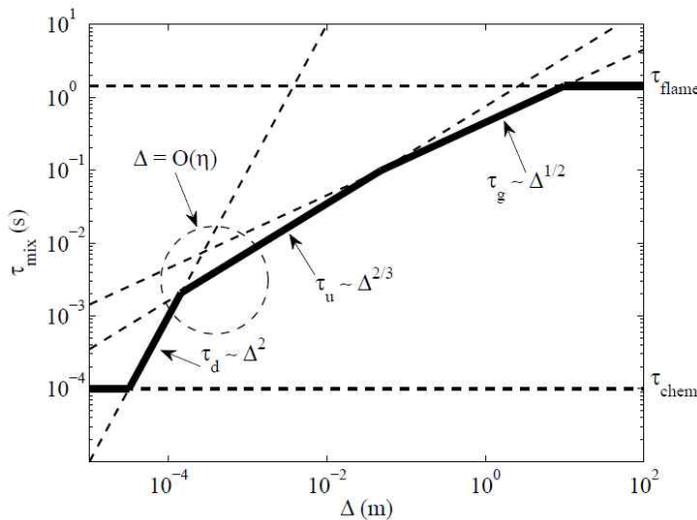


Fig. 2 Reaction time scale model

상기 Fig. 2를 참조하면 FDS6에서 정하고 있는 반응시간 흐름에 대한 가정에 의하여 시간 모델은 좌하에서 우상으로 연결된 두꺼운 선에 해당하며, 반응시간은 실제 반응시간의 규모나 화학반응(chem)에 비하여 일반적으로 같거나 크게 구성하는데 이는 혼합이 분자의 확산을 제어하고 있기 때문에 혼합 시간이 필터 폭의 제곱으로 변화될 것이다(NIST, 2015).

(4) 생성물

상기 연료에 관한 연소모델에 대하여 대기 중의 산소와 질소 참여하면 연소 구성의 반응식은 식(2)와 같다.(NIST, 2015)

$$Y = [Y_{C_2H_3} \ Y_{O_2} \ Y_{N_2} \ Y_{CO_2} \ Y_{H_2O}]^T \cdot \dots \text{식(2)}$$

생성물에 대한 FDS 묘사는 다음과 같다.

&SPEC ID = 'PRODUCTS',

SPEC_ID(1) = 'WATER VAPOR',	VOLUME_FRACTION(1)= 1 ,
SPEC_ID(2) = 'NITROGEN',	VOLUME_FRACTION(2)= 6.882142857 ,
SPEC_ID(3) = 'CARBON DIOXIDE',	VOLUME_FRACTION(3)= 1.181547619 ,
SPEC_ID(4) = 'CARBON MONOXIDE',	VOLUME_FRACTION(4)= 0.297619048 ,
SPEC_ID(5) = 'HYDROGEN CHLORIDE',	VOLUME_FRACTION(5)= 1 ,
SPEC_ID(6) = 'SOOT',	VOLUME_FRACTION(6)= 0.520833333 /

6개의 변수 XB를 이용하여 설정된 누설틈새를 통해 방출되는 연기의 량(Volume flow)은 체적에 대한 값을 적분측정 방식에 따라 식(3)와 같은 계산에 의하여 산출하였다. 여기서 m/sec는 방출속도, m²은 틈새면적이다.(NIST, 2015)

$$Volume\ flow = \int u \cdot ds \quad \dots \text{식(3)}$$

$$\frac{m}{sec} \cdot m^2 = m^3/sec$$

(5) 모형

본 연구에서 구상한 EPS실의 구조는 사람이 활동하지 아니하고 건축물의 유지관리를 위하여 사용되어지는 부속설비에 해당하며 일반적인 규모 및 구조로 선정하였다. 따라서 폭 1.9m, 넓이 2.5m, 높이 2.5m로 콘크리트로 구획된 실이며, 외부로 열전달이 제한되는 재질로 구상하였다. 또한 누설틈새는 높이는 1.7m~1.8m, 폭이 0.1m로 설정하여 내부와 외부 간의 기류의 흐름 연결로를 통해 연기가 배출되도록 시도하였다.

Fig. 3은 이러한 시뮬레이션의 모형을 보여주고 있으며, 또한 수직으로 관통하는 전기 및 통신 설비용 트레이와 분전반 및 통신장비를 한쪽 벽면에 설치하고 반대되는 면에 출입문을 설치하도록 구성한 것을 보여주고 있다.

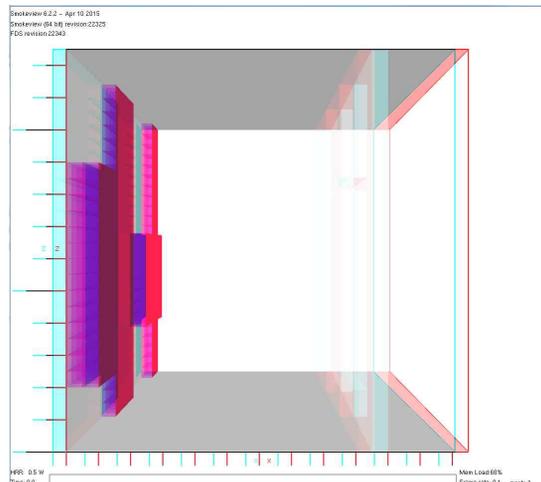


Fig. 3 Simulation model

4. 고 찰

4.1 연소 결과

본 연구에서는 일반적인 건축설계에 따라 구성된 EPS실내에서 화재가 발생하는 경우에 산소의 공급이 원활하지 아니하는 공간적 특성에 기인한 화재 성장과정을 Fig. 5와 같이 FDS6을 이용한 시뮬레이션을 통해 열의 발생과 전달에 관하여 확인하고자 한다.

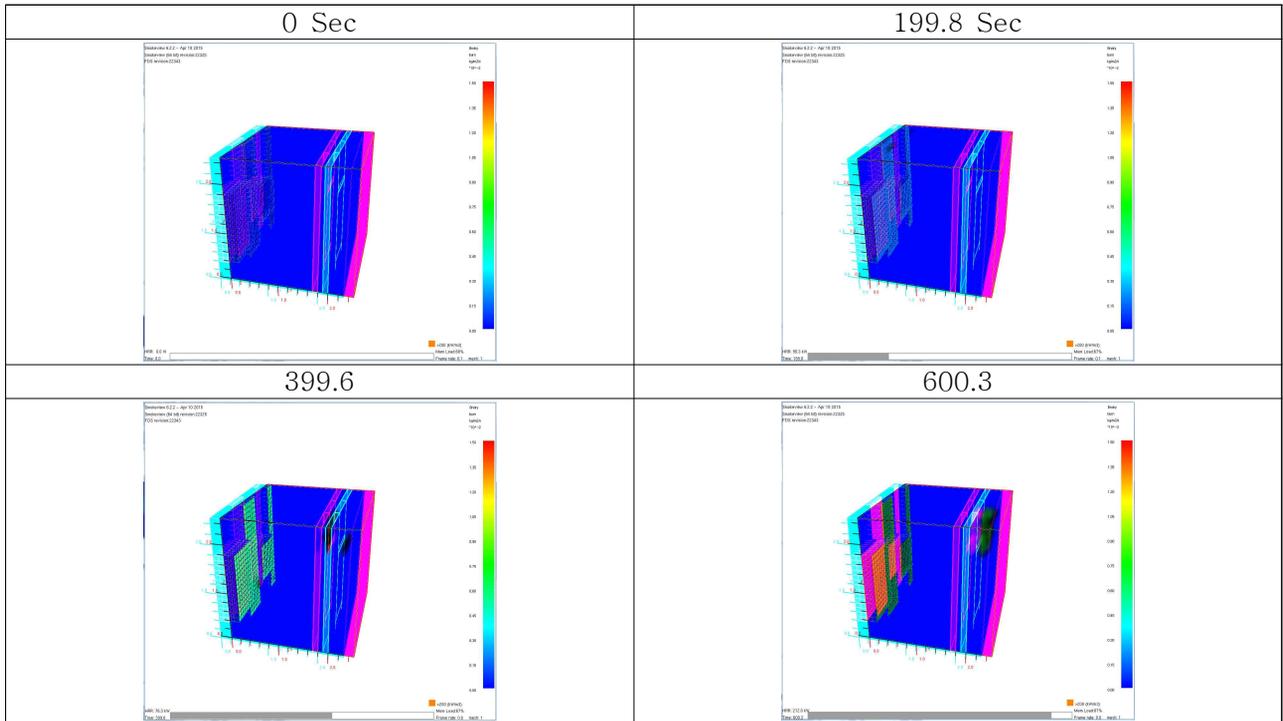


Fig. 5 Heat generation and delivery

연소는 가연성물질과 산소의 화학적 조성이 연소범위에 이르는 경우에 발화에너지의 자극으로 인해 일어나는 현상이다. 따라서 가연성 물질이 일정하게 정해놓은 상황에서 산소의 공급 조건이 열악한 경우 연소는 산소의 공급이 지배되는 환기지배형의 연소특성을 보이게 되며, EPS실이라는 구획된 실은 외부와 틈새를 통해 환기된다는 점을 감안할 때, 상기 모형의 EPS실에서 연소의 패턴은 Fig. 4의 그래프와 같이 나타났다.

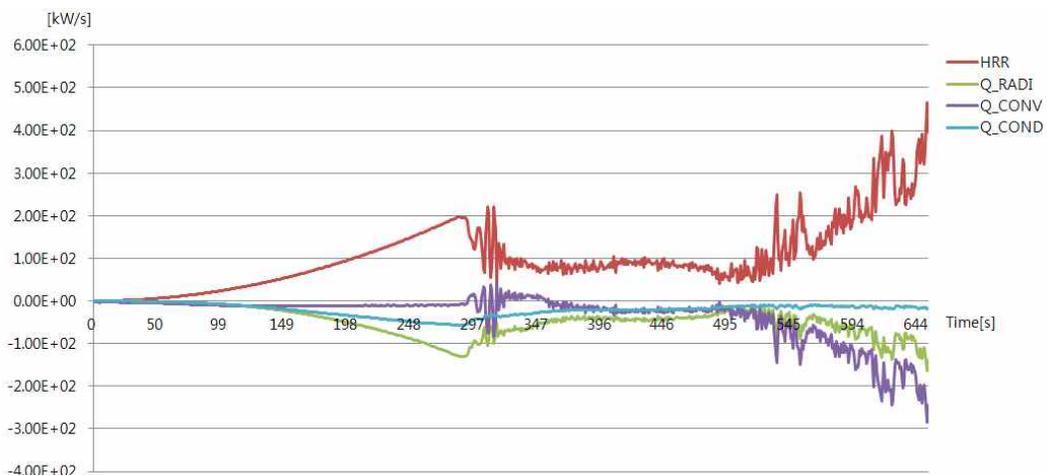


Fig. 4 Combustion resulting graph

상기 Fig. 4 그래프에서 HRR(Heat release rate)은 연소로 인해 생성되는 열량을 나타내며, 이렇게 형성된 열은 다음 화학반응 열로 작용하고, 축열과 열 전달 경로로 유출된다. 따라서 본 그래프에서의 RAD는 고체물질과 흡수 개구부부에 유출된 복사열 손실, CONV는 외부로 유출된 대류열 손실, COND는 주위 고체에 흡수된 에너지의 양을 나타낸다. 그래프에서 보여주고 있는 연소과정에서 연소초기의 상황은 표준적인 연소와 동일한 패턴을 보이고 있으나, 약 280초를 지나면서 특이한 양상으로 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 비정상적인 형태의 연소패턴은 화재로 인한 피해를 예측하고 대응하기 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

4.2 연기 방출량

화재로 인한 피해는 열에 의해서도 발생하지만 대체로 연기의 생성으로 인해 발생하는 것으로 알려져 있다. 연기는 유독가스로 구성되어있어 무엇보다 인간의 생명에게 치명적인 위해를 가하며, 사람이 연기에 노출되어 호흡기를 통해 흡입되면 유독가스 성분으로 인해 짧은 시간 내에 질식사에도 이를 수 있다. 본 연구 모델에서 적용된 케이블과 같은 고분자물질의 연소의 경우 불완전연소로 인한 연기는 다른 재질에 비하여 다량 배출되는 것으로 알려져 있다. 특히 소공간으로 구획된 EPS실내에서의 화재 시뮬레이션 즉, Table6에 의한 연소 결과에서 나타난 특이한 양상과 같은 경우는 불완전연소 형태의 대표적인 일면을 보여주고 있는 사례에 해당한다.

본 FDS6을 통한 시뮬레이션 화재모델에서 연기의 방출량은 틈새면적을 통해 EPS실의 외부로 유출되는 연기 방출량을 Volume Flow를 이용하여 Device 적분 측정방식을 이용하여 산정한 것이다.

Table3을 보면 연기 방출량은 발화 시점부터 급격한 증가추세를 유지하다가 약 100초부터 상승률이 다소 작아졌으며, 약 150초를 지나면서는 약 300초에 이를 때까지 완만하게 상승하여 초당 0.0427m³의 방출율을 보였다. 이 후에 약 500초에 이를 때까지 급격하게 하락하여 초당 0.0074m³의 방출율을 보였으며 이후에 다시 상승하여 약 650초에 초당 0.0492m³의 방출율을 보였고 이후에 약 700초에 이를 때까지 다시 하락하여 초당 0.0371m³의 방출율을 보였다가 다시 상승하는 추세를 나타냈으며, 약 600초가 되었을 때에는 초당 0.0637m³의 방출율을 보였다

연기 방출량의 변화가 열방출량의 변화와 동일하지는 않지만 약 300초에서 감소하고 약 500초에서 증가하는 경향을 볼 때 전체적인 흐름에 비추어서 유사성을 보이고 있다는 것이 표와 그래프에서 확인되고 있다. 이와 같은 연기 방출량의 변화양상은 환기가 제한된 구획된 실이라 공간적인 특성이 일반적인 화재의 성장곡선에 따른 연기 방출량과의 차이점을 나타내고 있으며, 산소의 제한은 화재의 지속시간을 길게 유지하며 연기의 총 발생량이 증가하게 되는 요인이 된다.

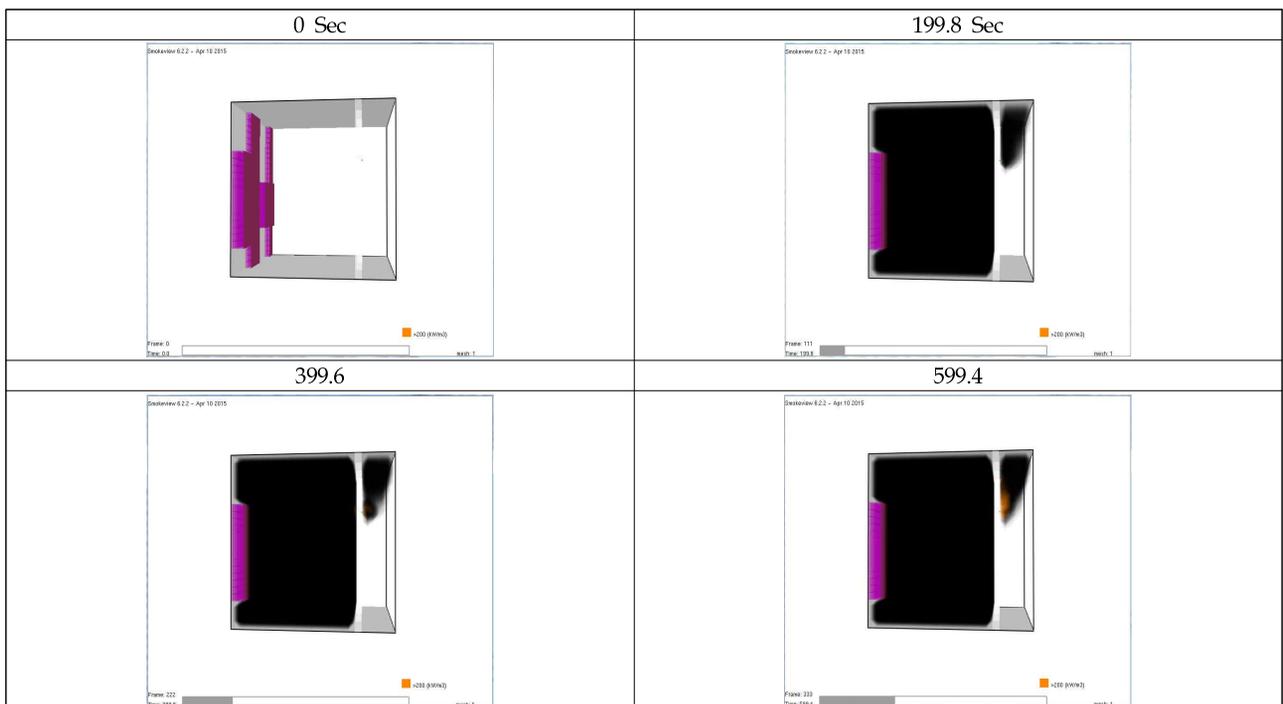


Fig. 6 Smoke emissions

Table 3. Smoke rate per unit

sec	0	50	100	150	200	250	300	350	400
m3/s	0	0.0155	0.0320	0.0393	0.0409	0.0405	0.0427	0.0352	0.0271
450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
0.0186	0.0074	0.0227	0.0425	0.0492	0.0371	0.0444	0.0515	0.0572	0.0637

5. 결 론

일반 건축물의 EPS실 및 TPS실에서 발생가능한 화재를 FDS6이라는 화재시뮬레이션을 통해 연소율, 복사열량, 그리고 연기 방출량을 확인하였다. 본 연구에서 예상한 화재 시나리오에서 화재하중 밀도는 일반적이고 평균적인 수준이었으며, 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 열방출율(HRR)은 약 280초에 이를 때까지 안정적인 우상향 곡선을 유지하다가 이후에 불안정한 곡선으로 급격하게 낮아졌으며, 약 500초에 이를 때까지 이러한 불안정한 패턴을 유지하다가 우상향하는 추세선을 나타내었다.

(2) 연기 방출량은 약 300초에 이를 때까지 상승하는 곡면에 있었으나 이후에 하락하여 약 500초에 최소 방출율을 기록한 후에 다시 상승하는 추세선을 나타내었고 이후에 일부 하락하는 면도 있었으나 약 900초에 이를 때까지 상승하였다.

(3) 열방출율과 연기 방출량은 대체로 비슷한 양상을 보였으며, 이는 산소의 공급에 기인한 연소속도에 따라 변화되는 곡선을 나타내고 있었으며, 연기의 발생은 약 900초에 이를 때까지 장시간 지속되는 것을 보였다.

케이블을 비롯한 전기설비가 집적화되어 있는 소규모로 구성된 화재 즉, EPS실 화재는 케이블과 같은 가연성물질과 산소의 공급이 제한된 상황에서의 화재에 해당하며, 이러한 소공간으로 구획된 공간적인 특성으로 인해 화재 초기부터 환기지배형의 화재특성을 보이고 있어 화재 양상은 일반적인 화재와 확연하게 다르다는 것을 보여주었다.

또한 본 연구에서는 화재를 CFD를 기반으로 하는 FDS6이라는 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 환기가 제한되는 소공간 내에서 가연성물질인 케이블 화재에 대한 결과를 도출하였으며, 이를 통하여 얻은 자료는 향후 화재의 역학적 관계를 해명하기 위한 기초자료와 피난대책을 수립하기 위한 자료 등에 활용될 수 있고, 그 밖에도 EPS실과 같은 화재모델에 관하여 표준화재모델을 개발하는 것에도 활용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2015년 국민안전처 재난안전기술개발 기반구축사업 “국가안전기준개발 및 실증연구” 지원사업으로 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

References

- NIST Special Publication 1018-1 Sixth Edition(2015), " Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide", The National Institute of Standards and Technology
- Sam-Kew Roh, Dong-Cheol Kim, Eun-Gu Ham(2012), "The study of fire suppression capability of low pressure water-mist system for wooden cultural properties", Journal of the Korea Society Disaster Information Vol. 8 No.4 pp 401-410
- MPSS(Ministry of Public Safety and Security). (2014). <http://www.mpss.go.kr> "Statistics of Fire Status"
- LAPP GROUP PRODUCTS. (2015). Appendix T27 : Fire Load Calculation of Cables. LAPP GROUP, Canada