

전통재래시장 상가간의 구역 구분에 따른 화재강도 분석

김태권
계명대학교 기계공학과

Analysis of Fire Intensity According to the Zones Classification in Traditional Market Stores

Tae Kwon Kim
Department of Mechanical Engineering, Keimyung University

요약 본 연구에서는 화재시물레이션을 이용하여 전통재래시장 상가 간 내연성 구획 벽 설치에 따른 화재강도 분석을 실시하였다. 대구 서문시장 4지구 상가 일부분을 대상으로 모델링을 실시하였으며 섬유, 의류와 같은 가연물을 통로 인근에 배치하여 2016년 화재발생 당시와 유사한 조건으로 해석을 진행하였다. 최초발화지점은 4번째 상가 적치물에서 전기합선에 의해 발생한 것으로 가정하였다. 구획 벽이 없는 경우 최초발화지점에서 방사형태로 급속도로 화재가 전파되며, 600초 이후 30 m²의 상가를 전소시켰다. 상가간 구획 벽을 설정한 경우 화재저항으로 인해 화재의 확산을 구획지역 내부로 한정시킬 수 있었다. 열발생율이 급격히 상승하기 시작하는 200초(X₁)에서 600초(X₂)까지 총 발생한 열에너지를 통해 두 해석조건에 대한 화재강도를 예측하였다. 결과적으로 본 연구에서 설정한 발화지점 인근의 구획 벽 설치를 통하여 해석한 결과 약 11.12 MW(55.68 %)의 열에너지 발생을 지연시킴을 확인하였다. 추후 구획 벽의 배치 및 재연설비 설치에 따른 연기제어에 대한 추가 해석을 수행함으로써 전통재래시장에서의 종합적인 화재특성 연구가 필요할 것으로 생각된다.

Abstract This study analyzed the fire intensity according to the zones classification between traditional market stores using FDS software. Modeling was conducted for the Seomoon traditional market district 4 at Daegu, which places combustibles, such as textiles and clothing near the passageway. The first ignition point assumed a short circuit fire situation at the fourth store combustible. The analysis was conducted under similar conditions as the fire situation in 2016. When there was no section wall, the fire spread rapidly through radiation in all directions from the fire-origin point. After 600 seconds, the mall was burnt to the ground. When section walls were present, however, the fire could be restricted inside the compartment. The first intensity of the two analysis conditions was predicted from the total heat energy from 200 seconds (X₁) to 600 seconds (X₂), where the heat generation rate began to increase rapidly. As a result of installing section walls near the fire point, heat energy generation of approximately 11.12 MW (55.68 %) was delayed. Further analysis of smoke control, according to the section wall arrangement and re-installation facilities, will be needed to study the characteristics of fire in traditional markets comprehensively.

Keywords : FDS, Tradition Market, Fire Intensity, HRR, Section Wall

*Corresponding Author : Tae-Kwon Kim(Keimyung Univ.)

email: tkkim@kmu.ac.kr

Received February 28, 2020

Accepted June 5, 2020

Revised May 12, 2020

Published June 30, 2020

1. 서론

국가의 급속한 성장에 따른 도시 밀집화로 현재 광역 도시들은 고층건축물과 다중이용시설, 제반시설의 복합화가 진행 중이다. 인구밀집이 가속화됨에 따라 다양한 위험요인들이 존재한다. 그 중에서 경제적, 인적피해가 가장 큰 것은 화재사고이다[1]. 다중이용시설에서 화재가 발생하게 되면 인적 피해뿐만 아니라 경제적으로 막대한 손실을 가져오게 된다[2]. 지난 10년간 국내 화재발생 건수는 약 43,000건이고 매년 평균 2,000여명의 인명피해가 발생한다[3]. 이처럼 많은 화재사건 사고들로 인하여 국민들은 안전에 대한 관심이 높아지고 있으며 국가적으로 재난방지 및 대책이 현안과제로 떠오르고 있다. 인구 밀집도가 높은 다중이용시설은 화재에 매우 취약하기 때문에 설계단계에서 화재시물레이션을 이용한 피난대책을 수립하고 화재안전기준에 맞는 연기제어를 위한 방화, 제연설비를 설치하는 것이 의무이다[4,5]. 하지만 전통재래시장과 같이 상대적으로 노후화 된 다중이용시설의 경우 화재발생시 큰 피해를 유발할 가능성이 매우 크다[6].

Ma Jun Chao 등[7]은 화재시물레이션(FDS: Fire Dynamics Simulation)를 이용하여 전통재래시장 지붕 환기구 형태 변화에 따른 온도분석 및 배연성능의 개선 방안을 파악했으며, 조성우 등[8]은 전통시장을 대상으로 방화구획에 따른 화재확산 및 이격거리에 대한 연구를 수행하였으며, 구인혁 등[9]은 전통재래시장을 대상으로 화재시물레이션을 통해 전통시장지역의 화재확대성상 및 화재위험성을 평가하였다.

근년에 발생한 대표적인 사례 중 하나는 2016년 11월 30일 대구 서문시장 4지구에서 발생한 화재사건이다. 상가 전체를 태우고 진화작업은 3일째 이어졌으며 결국 전소 후 붕괴되었다. 서문시장 4지구의 경우 구조적으로 내부 상가들이 밀집해 있었으며, 섬유와 같은 가연물이 다량 적치되어 있어 화재확산을 키웠다[9]. 화재가 급속도로 성장한 이유 중 하나는 상가가 개방된 단일공간에 밀집되어 있는 구조적 특성상 많은 가연물에 의해 화재가 빨리 전파되어 초기진압이 불가능하였다. 이처럼 노후화된 전통재래시장의 화재 확산속도를 막기 위해서는 내부 상가간의 구획을 설정하여 화재 전파속도를 지연시킬 필요가 있다. 본 논문에서는 미국 국립표준기술연구소(NIST: National Institute of Standards and Technology)에서 개발한 화재시물레이션 소프트웨어를 이용하여 전통재래시장의 화재시나리오를 설정하고, 내연성 콘크리트 벽을 이용하여 상가의 구분에 따른 화재확산특성 해

석을 수행하였다.

2. 본론

2.1 화재모델링

2016년 11월 30일에 발생한 대구 서문시장 4지구 화재사고는 상가 679개가 전소되었으며 약 469억 원의 재산피해를 발생시켰다. 서문시장 4지구 남서편 1층 상가에서 최초발화가 발생하였다. 인근 점포의 침구류 및 의류, 원단 등 다량의 가연물로 급격히 화재가 전파되어 12월 2일 완진되었다. 결과적으로 상가건물의 30%가 붕괴되었으며 화재현장 안전진단에서 E등급을 받아 사용불가 판정을 받게 되었다. 서문시장 4지구 상가는 화재에 취약한 많은 구조적 문제를 지니고 있었다. 아래 Fig. 1과 같이 협소한 통로 주변으로 다량의 섬유 및 인화성이 높은 제품들이 적치되어 있었다.



Fig. 1. Seomoon market

이러한 배치 특성상 전통재래시장은 화재발생시 화재 성장을 가속화 시킬 수 있다. 기존의 서문시장의 경우 상가를 구분하는 구획은 없으며 대부분 섬유, 커튼 등으로 진열되어있는 실정이다.

전통재래시장 상가별 구획 벽 설정에 따른 화재강도 분석을 위하여 대구 서문시장 4지구를 대상으로 화재강도 분석을 실시하였다. 아래 Fig. 2는 FDS를 이용하여 대구 서문시장 4지구 상가 2층을 모델링 한 것이다. Fig. 2의 (a)는 기존 서문시장 상가를 모델링 한 것으로 상가 2층 내부 가연성 적재물을 연속적으로 배치하였다. 각 상가 사이에는 1.5 m의 통로가 있으며 적재물의 높이는 1.3 m로 설정하였다. 위의 Fig. 2의 (b)와 같이 최초 발화지점을 기준으로 상가 구획 벽을 설정하였고 발화지점 인근 상가 사이를 0.2 m 벽으로 구분하였으며 가연물은 동일하게 적용하였다. 전통재래시장 화재해석을 위한 모

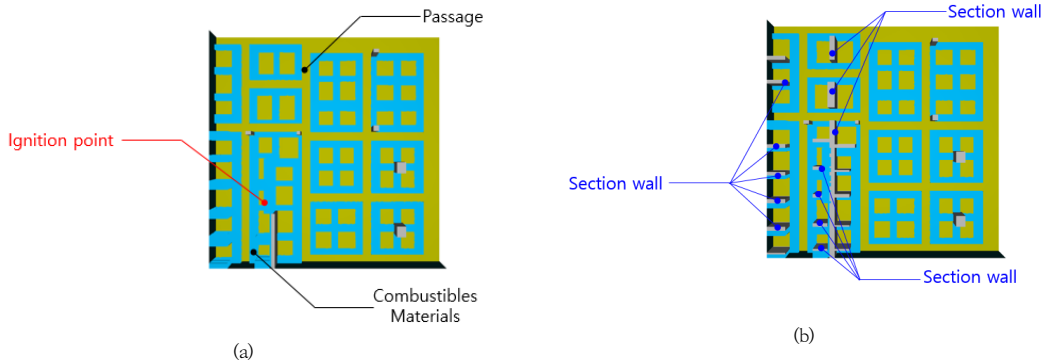


Fig. 2. Modeling of Seomoon market using FDS (a) case1(noon section wall) (b) case2(section wall)

델링은 서문시장 2층 발화지점을 포함한 일부분을 선정 하였으며 전체 크기는 30.0 m × 30.0 m × 3.5 m 이다. 상가 복도를 기준으로 좌우 가연물을 설정하였다. 기존 화재발생 당시의 상황을 재현하기 위하여 Case1은 상가간 구획 구분되지 않은 기존의 서문시장 4지구 2층 형상을 모델링하였으며, Case2는 발화지점을 기준으로 상가 간 콘크리트 벽을 설정하여 각 상가를 구분함으로써 화재확산 해석을 수행하였다. 구획 벽은 두께 60 cm 의 콘크리트 벽으로 인접한 상가와 통로를 제외하고 완전 차단된 벽을 설정하였다.

전통재래시장 상가 구획 벽에 따른 화재시물레이션 분석을 수행하기 위하여 적용한 내부 가연물에 대한 정보를 위의 Table 1에 나타내었다. 상가 내부 적치된 가연물은 목재선반 위의 가연성 섬유 및 침구류로 설정하기 위해 Fabric과 Foam, 방화벽 및 건물의벽과 기둥은 콘크리트로 설정하였다. 최초발화지점은 4번째 상가 적

치물에서 전기합선에 의한 화재가 발생한 상황을 가정하였으며 전기합선으로 인해 침구류 및 의류에서 발화가 확대되는 조건으로 가정하였다. 기존에 설치되어있는 제연설비 및 스프링클러는 작동하지 않는 것을 가정하고 해석을 진행하였다.

2.2 화재모델 및 민감도 분석

본 연구에서는 NIST에서 개발한 화재시물레이션인 FDS를 이용하여 전통재래시장 상가 구분에 따른 화재확산 해석을 수행하였다. 화재 시 발생하는 연기, 화재전파, 열유동 분석 CFD 소프트웨어인 FDS는 LES(large eddy simulation) 난류모델을 기반으로 국내외 화재분석 및 피난연구에 보편적으로 사용하고 있다. 본 소프트웨어에서는 점성유체의 운동을 기술하는 비선형 방정식은 Navier-Stokes 방정식을 이용하여 수치해석을 실시한다.

Table 1. Simulation conditions for the FDS[10]

Material	Pine wood	Fabric	Foam	Gypsum plaster	Steel	Concrete
Specific heat (kJ/kg•K)	1.38	1	1	N.A.	0.46	0.0104
Conductivity (W/m•K)	0.14	0.10	0.05	0.48	45.80	1.80
Density (kg/m3)	489	100	40	1,440	7,850	2,100
Heat of combustion (kJ/kg)	14,500	15,000	33,280	N.A.	N.A.	N.A.
A	1.89E+10	4.28E+14	1.69E+08	N.A.	N.A.	N.A.
E	1.51E+05	2.02E+05	1.35E+05	N.A.	N.A.	N.A.
Heat of reaction (kJ/kg)	430	3,000	1,750	N.A.	N.A.	N.A.

- Specify A & E : $(\frac{\rho_{s,i}}{\rho_0})^{n_s} A \exp(\frac{-E}{RT_s}) \max[0, T_s - T_{thr}]^{n_t}$

- Total simulation time : 600 sec

- Ignition point : Combustibles materials (cloth, fabric, foam)

$$\frac{D\bar{U}_i}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \nu \left(\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_i} \right) - \tau_{ij} \right\} \quad (1)$$

$$\tau_{ij} = \bar{U}_i \bar{U}_j - \overline{U_i U_j} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Z_\alpha) + \nabla \cdot (\rho Z_\alpha U) = \nabla \cdot (\rho D_\alpha \nabla Z_\alpha) + \dot{m}_\alpha + \dot{m}_{b,\alpha} \quad (3)$$

여기서 U 는 속도, D_α 는 확산계수, $\dot{m}_{b,\alpha}$ 는 단위체적당 증발 Species, \dot{m}_α 는 단위체적당 Species의 발생량을 나타낸다.

화재예측에는 실험적 접근을 통하여 결과를 도출하는 방법이 있지만, 화재실험의 경우 많은 시간과 비용이 소요되기 때문에 화재 전산해석을 위해 다양한 모델들이 개발되었다. FDS에는 화염전파 구현 및 화재규모 산출을 위하여 표면열방출법(HRRPUA method)과 열분해법(pyrolysis method)을 이용한다.

본 연구에서는 열분해법을 이용하여 화재전파 및 화재 규모를 산출하였다. 열분해법은 연소과정에서 온도변화에 따라 열분해로 인한 연소성 증기의 방출속도를 산출 및 선형화를 실시한다. 결과를 아레니우스 1차 열분해방정식(arrhenius 1-order reaction rate equation)으로 근사화하여 A(pre exponential factor)와 B(activation factor)값으로 입력하게 된다[11].

$$\left(\frac{\rho_{s,i}}{\rho_0} \right)^{n_s} A \exp\left(\frac{-E}{RT_s} \right) \max[0, T_s - T_{thr}]^{m_t} \quad (4)$$

FDS 해석결과의 모델 불확실도 및 민감도 분석을 실시하였다. FDS의 경우 화재특성치의 예측에 난류 유동과 연소모델이 큰 영향을 미친다. 화재 예측의 경우 격자의 크기결정이 매우 중요하다[12]. 본 연구에서는 적용한 화재모델을 바탕으로 화재특성직경(characteristics fire diameter, D^*)을 통해 격자의 크기에 따른 열발생률을 분석하였다.

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_0 T_0 C_{p0} \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (5)$$

화재특성직경을 구하기 위하여 구획벽 유무에 따른 Case의 물성치를 바탕으로 계산한 결과 아래 Table 2에 나타내었다. 화재특성직경의 경우 Case1은 3.176 m,

Case2는 2.293 m이었으며, 격자의 크기는 일반적으로 $D^*/\delta x$ 의 값이 5~10으로 선정한다[13]. 따라서 최종적으로 393,750 m³ 해석대상 모델링의 D^* 2.293 m를 기준으로 $D^*/\delta x$ 가 10 % 되는 최소격자 크기인 정육면체 격자(0.2 m × 0.2 m × 0.2 m)를 생성하였다.

Table 2. Calculation mesh size for sensitivity analysis

		Case1	Case2
		None wall	Section wall
Characteristic fire diameter (D^*)		3.176	2.293
Mesh size (m)	Maximum $D^*/\delta x = 5$	0.635	0.229
	mininum $D^*/\delta x = 10$	0.317	0.459
Parameters		- Temperature: 293.15K - Density: 1.204 kg/m ³ - Specific heat: 1.005 kJ/kg·K	

2.4 시뮬레이션 결과

전통재래시장 상가 구분에 따른 화재강도 분석을 위하여 화재시뮬레이션을 이용한 분석을 실시하였으며 결과는 다음과 같다. 전통재래시장 화재발생 후 시간에 따른 온도를 위의 Table 3에 나타내었다. 전통재래시장 내부 상가가 벽에 의해 구분되지 않은 조건의 경우 최초발화 지점에서 발생한 화열이 인근 상가 가연물로 급속도로 전파되고 약 300초 이후 최초발화상가 인근 가연성 적치물까지 확산됨을 확인하였다. 기존 서문시장 상가의 경우 상가마다 복도 인근에 적치한 상품들이 연속적이며 구획의 구분 없이 나열되어 있으므로 실제 화재 발생 당시 본 해석과 같이 급속도로 화재가 성장했을 것으로 판단된다.

시간에 따라 점차 화재가 방사 형태로 확산하며 상가 구분이 없을 경우 화재저항으로서의 장애물이 존재하지 않기 때문에 급속도로 확산하는 것을 확인할 수 있다. 최초발화 600초 후 30 m²의 2층 상가 전체에 확산해가는 것을 확인하였다.

전통재래시장 내부에 콘크리트 벽을 이용하여 상가간의 구획을 설정한 Case2의 경우 최초발화 후 300초까지 연소가 구획 내에서 확대되는 것을 확인할 수 있다. 최초발화 300초 이후부터 상가 구분 벽에 의해 화재확산이 연결통로로 집중되고 상가 전체로 확대를 지연시키는 것을 확인할 수 있다. 최초발화 600초 이후에는 구획 벽 사이의 통로를 통해 인근 상가 열로 확산함을 확인하였다.

Table 3. Chronological temperature contour

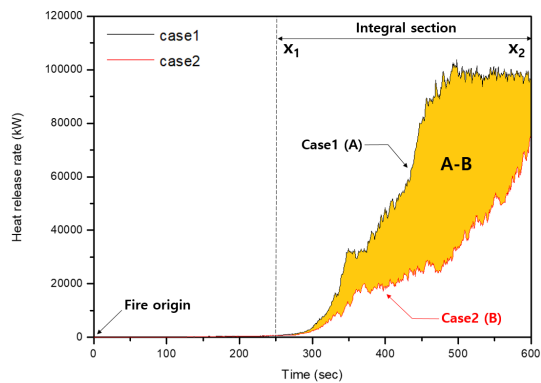
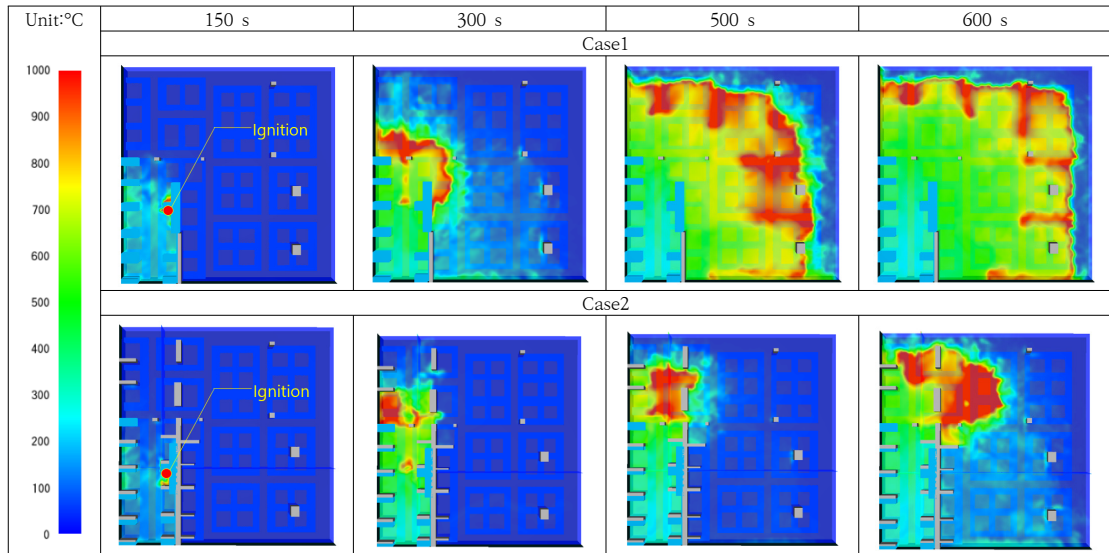


Fig. 3. Heat release rates for section wall

위에 나타난 Fig. 4는 FDS 해석결과를 바탕으로 각 전통재래시장 상가 구획 벽 설치유무에 따른 열발생률 (HRR: heat release rate)을 나타낸 것이다. 최초발화 후 300초가 경과하면 두 해석조건 모두 약 1,000 kW의 HRR을 확인하였다. 300초 이후부터 급격히 화재가 성장하여 구획이 구분되지 않은 경우 약 500초 이후부터 약 100,000 kW의 HRR을 확인하였다. 상가간의 구획 벽을 설정한 조건의 경우 상대적으로 완만하게 증가하는 화재성장률을 확인하였다. 그리고 500초에서 25,558 kW였으며 계속 성장하여 600초에는 71,550 kW임을 확인하였다.

화재가 급속도로 성장하는 250초(X_1)에서 600초(X_2)까지 총 발생한 에너지를 아래 Table 4에 나타내었다.

해석결과를 통해 도출한 각 Case의 화재성장에 따른 열 발생율을 화재가 급속도로 전파되는 영역에 대해 구간적 분한 후, 열발생율이 큰 Case1 면적에서 Case2 면적의 차를 계산하여 상가구분에 따른 총 열에너지를 도출하였다. 적분구간은 250초(X_1)에서 600초(X_2)까지이며, 0.0183초 미소시간(dx)으로 나누어 구간적분을 실시하였다. 최초 화재발생 후 약 250초까지는 두 해석결과 모두 상가 구획 벽을 설치하지 않은 Case1의 경우 화재가 성장하는 250초부터 600초 까지 화재가 급속도로 성장하였으며, 열에너지는 19,970 kW임을 확인하였다. 상가 구획 벽을 적용한 Case2의 경우 내연소재의 상가 구획 벽을 통해 화재성장이 지연되어 8,850 kW의 열에너지를 확인하였다. 결과적으로 두 해석조건에 따른 열에너지의 차(B-A)는 약 11,120 kW로 상가 구획 벽의 설치가 화재성장속도 및 화재규모에 상당한 영향을 주는 것을 확인하였다.

Table 4. Fire intensity

	Case1 (A)	Case2 (B)
	None wall	Section wall
Generated heat energy	19,970 kW	8,850 kW
Reduced heat energy	11,120 kW (A minus B)	
Reduction rate	55.68 %	
Integral information	Type : Mathematical area X1 = 250 sec X2 = 600 sec dX = 0.0183	

3. 결론

본 연구는 FDS를 이용하여 전통재래시장 화재발생시 상가 구획벽 설치에 따른 화재강도분석을 실시하였으며 연구를 통해 도출한 결과는 다음과 같다.

전통시장 화재발생시 상가 내 적치되어 있는 가연물을 통해 화재가 급속도로 성장하며 다량의 가연물에 의해 성장속도가 매우 빠른 것을 확인하였다. 그리고 화재가 점차 방사 형태로 확산하여 실제 화재상황에서 초기진압에 실패할 경우 화재의 진압에 어려움이 예상된다.

전통재래시장 상가 간 내연성 구획 벽을 설정한 경우 구획벽은 화재저항으로서의 역할을 수행함으로써 화재의 확산 및 성장시간을 지연시켜주는 것을 확인하였다. 본 연구에서 설정한 발화지점 인근의 구획 벽 설정을 통하여 해석한 결과 약 11.12 MW (55.68 %)의 열에너지 발생을 지연시킬 수 있다. 뿐 만 아니라 인근 상가간의 간격 및 가연물의 배치간격이 조밀하고, 상가간의 구획 구분이 없는 전통재래시장의 경우 화재확산에 매우 취약하여 초기진압이 매우 중요함을 확인하였다.

본 연구에서는 상가 구획벽을 통한 화재성장해석을 수행하였으며, 추후 구획 벽의 배치 및 재연설비 설치에 따른 연기제어에 대한 추가 해석을 수행함으로써 전통재래시장에서의 종합적인 화재특성 연구가 필요할 것으로 생각된다.

References

- [1] I. H. Koo, U. G. Yoon, D. J. Kim, B. C. Kim, Y. J. Kwon, "A Study on the Applicability and Development Utilization of Assessment system of Urban Fire Risk for Disaster Prevention City", Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol.16, No.6, pp.137-167, Nov. 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2016.16.6.137>
- [2] S. A. Kwon, J. E. Lee, Y. U. Bae, H. J. Lee, S. E. You, "Safety Measure for Overcoming Fire Vulnerability of Multiuse Facilities - A Comparative Analysis of Disastrous Conflagrations between Miryang and Jecheon", Crisisonomy, Vol.14, No.5, pp.149-167, May. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.14251/crisisonomy.2018.14.5.149>
- [3] Fire Occurrence Summary, Statistical Information Report, National Fire Agency, Korea, pp.42-44.
- [4] Y. M. Shin, Y. R. Lim, Y. H. Ahn, "A Study on the Optimization Method for Evacuation Procedure on Fire in Public Facilities-Focusing on Multiplex-", Fire Science and Engineering, Vol.33, No.1, pp.113-120, Dec. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2019.33.1.113>
- [5] S. G. Kim, "A Study on the Smoke control Design parameter of Large Volume space by Fire Dynamic Simulation", Journal of The Korean Academia-Industrial cooperation Society, Vol.19, No.11, pp.237-243, Nov. 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.11.237>
- [6] S. Y. Kim, A Study on Improvement on Fire Safety Realities through the Fire Hazard Analysis at Traditional Market, Master's thesis, Gachon University, Korea, pp.10-13, 2016.
- [7] Jun. Chao. Ma, B. H. Lee, K. H. Lee, "A Study on Improvement of the Roof Vents in the Arcade Traditional Market", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.30, No.1, pp.17-23, Nov. 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2018.30.1.017>
- [8] S. W. Cho, J. H. Lee, H. J. Sim, J. K. Jeong, "The basic study on fire properties of combustible materials for compartment plan of traditional market", Proceedings of Architecture Institute of Korea, AIK, Korea, Vol.34, pp.417-418, October 2014.
- [9] I. H. Koo, B. H. Lee, Y. J. Kwon, "A Study on the Analysis of Simulation for Fire Safety Diagnosis in Traditional Market Area", Journal of The Korea Institute of Building Construction, Vol.17, No.1, pp.46-47, May. 2017.
- [10] Yuen. A. C, Yeoh. G. H, Alexander. B, Cook. M, "Fire scene investigation of an arson fire incident using computational fluid dynamics based fire simulation", BUILDING SIMULATION, Vol.7, No.5, pp.477-487, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12273-014-0164-9>
- [11] H. B. Kim, D. H. Lee, W. S. Jin, S. J. Yang, S. J. Kim, "The Studying on the Numerically Computational Simulation for Measuring the Train Fire Size by HRRPUA Method", Journal of The Korean Society for Railway, Vol.2010, No.10, pp.337-337, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14346/JKOSOS.2016.31.1.025>
- [12] W. H. Park, "Sensing Characteristics of Fire Detectors in Railway Tunnel by Using Numerical Analysis", Journal of The Korean Academia-Industrial cooperation Society, Vol.16, No.11, pp.7964-7970, Nov. 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.11.7964>
- [13] M. H. Salley, R. Wachowiak, Nuclear Power Plant Fire Modeling Analysis Guidelines, Nuclear Regulatory Commission, USA, pp.20-23.

김 태 권(Tae-Kwon Kim)

[정회원]



- 1992년 8월 : 한국과학기술원
기계공학(연소공학) 전공 (박사)
- 1981년 3월 ~ 1995년 8월 : 한국
기계연구원 동력기계연구실장
- 1995년 9월 ~ 현재 : 계명대학교
기계공학과 교수

〈관심분야〉

연소공학