

겨울철 다중이용시설인 전통재래시장 난방기구 사용에 따른 화재 위험성 분석에 관한 연구

Study on Fire Hazard Analysis along with Heater Use in the Public Use Facility Traditional Market in Winter

Jaesun Ko*

Dept. of Fire fighting Safety Management, University of Howon, Republic of Korea

A B S T R A C T

Fire caused by heater has various causes as many as the types of heater. also, lots of damage of human life and property loss are caused, since annually continuous fire accident by heater in traditional market is frequently occurring. There are not many cases of fire due to heater in most of residential facilities such as general house, apartments, etc., because they are supplied with heating boiler, however the restaurant, store and office of the market, sports center, factory, workplace, etc. still use heater, e.g. oilstove, electric heater, etc., so that they are exposed to fire hazard. Also, when investigating the number of fire due to heater, it was analyzed to occur in order of home boiler, charcoal stove, oilstove, gas heater/stove, electric stove/heater, the number of fire per human life damage was analyzed in order of gas heater/stove, oil heater/stove, electric heater/stove, briquette/coal heater. Also, gas and oil related heater were analyzed to have low frequency, however, with high fire intensity. Therefore, this research aimed at considering more scientific fire inspection and identification approach by reenacting and reviewing fire outbreak possibility caused by combustibles' contact and conductivity under the normal condition and abnormal condition in respect of ignition hazard, i.e. minimum ignition temperature, carbonization degree and heat flux along with it, due to oilstove and electric stove, which are still frequently used in public use facility, traditional market, and, of which actual fire occurrence is the most frequent. As the result of reenact test, ignition hazard appeared very small, as long as enough heat storage condition is not made in both test objects(oilstove/electric stove), however carbonization condition was analyzed to be proceeded per each part respectively. Eventually, transition to fire is the ignition due to heat storage, so that it was analyzed to ignite when minimum heat storage temperature condition of fire place is over 500°C. Particularly, in case of quartz pipe, the heating element of electric stove, it is rapidly heated over the temperature of 600°C within the shortest time(10sec), so that the heat flux of this appears 6.26kW/m², which was analyzed to result in damage of thermal PVC cable and second-degree burn in human body. Also, the researcher recognized that the temperature change along with Geometric View Factor and Fire Load, which display decrease of heat, are also important variables to be considered, along with distance

KEYWORDS

Heating Apparatus
Fire Risk
Minimum Ignition
Temperature
Carbonization
Heat Accumulation
Heat Flux

change besides temperature condition. Therefore, the researcher considers that a manual of careful fire inspection and identification on this is necessary, also, expects that scientific and rational efforts of this research can contribute to establish manual composition and theoretical basis on henceforth fire inspection and identification.

난방기기에 의한 화재는 다양한 난방기기의 종류처럼 그 원인도 다양하고, 매년 계속되는 전통재래시장에서의 난방기기에 의한 화재사고가 빈번히 발생하여 인명 및 재산상의 손실을 초래하고 있다. 일반주택이나 아파트 등 대부분의 주거시설은 난방용 보일러가 보급되어 난방기기로 인한 화재가 그리 많지 않으나 식당, 시장의 점포와 사무실, 체육관, 공장, 작업장 등에서는 여전히 석유난로, 전기난로 등 난방기기를 사용 하고 있어 화재의 위험성에 노출되어 있다. 또한 난방용 기기의 발생건수를 살펴보면 가정용보일러, 목탄난로, 석유난로, 가스난로/스토브, 전기스토브/히터 순으로 발생한 것으로 분석되었으며, 인명피해 별 건수는 가스난로/스토브, 석유난로 /곤로, 전기히터/스토브, 연탄/석탄난로 순으로 분석되었다. 또한 가스 및 석유관련 난방용기기가 발생빈도(frequency)는 낮지만 화재강도(intensity)가 높은 것으로 분석 되었다. 따라서 본 연구의 목적은 다중이용시설인 전통재래시장에서 아직도 많이 사용되고 있고, 실제 화재발생사례가 많은 석유난로와 전기스토브에 의한 발화 위험성 즉 최소발화온도, 탄화 정도와 그에 따른 열유속을 정상상태와 비정상상태 하에서의 가연물의 접촉 및 전도로 인한 화재 발생 가능성을 재연하여 검토해 봄으로서 보다 과학적인 화재조사 및 감식 접근방법을 강구하고자 하였다. 재연실험 결과 실험체 2종(석유난로/전기스토브) 모두 양호한 축열 조건이 만들어지지 않는 한 발화위험성은 극히 적은 것으로 나타났지만 탄화의 상태는 각 부위별로 진행되는 것으로 분석되었다. 결국 화재로의 전이는 축열에 의한 발화이므로 최소한 화재장소의 축열 온도조건이 500℃ 이상일 때 발화되는 것으로 분석되었다. 특히 전기스토브의 발열체인 석영관인 경우 가장 짧은 시간 내(10sec)에 600℃ 이상의 온도로 급 가열 되어 이때의 열유속은 6.26kW/m2으로 나타나 이는 보온된 PVC케이블이 손상과 함께 인체에는 2도 화상을 입히는 결과를 나타내는 것으로 분석되었다. 아울러 온도 조건 이외에 거리변화에 따른 열량의 감소분을 나타내는 형태계수(Geometric View Factor)와 화재하중(Fire Load)에 따른 온도 변화도 고려되어야 할 중요한 변수임 알았다. 따라서 이에 관한 세심한 화재조사 및 감식의 매뉴얼이 있어야 할 것으로 사료되며 이러한 실험에 의한 과학적이고 합리적인 노력들이 향후 화재조사 및 감식에 대한 매뉴얼 작성과 이론적 토대를 세우는데 기여하기를 기대한다.

난방기구
화재위험성
최소발화온도
탄화
열축적
열방출량

© 2014 Koea Society of Diaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-063-450-7284. Fax. 82-063-450-7280.
Email. 119kjs@hanmail.net

ARTICLE HISTORY
Recieved Dec. 01, 2014
Revised Dec. 16, 2014
Accepted Dec. 26, 2014

1. 서론

겨울철 난방기기는 온돌 판넬, 필름 히터, 할로겐 및 원적외선 히터, 라디에이터, 온풍기, 석유난로, 가스난로 등 다양한 제품이 시중에 유통되고 있을 뿐만 아니라 편리성과 안전성이 개선된 신제품이 지속적으로 개발, 출시되고 있지만 그럼에도 불구하고 겨울철에는 다중이용시설인 전통재래시장에서 난방을 위한 화기류급이 많아져 다른 계절보다 화재가 많이 발생하고 있다. 특히 2012년도 전통시장 안전시설 점검 결과'를 분석한 자료에 따르면(1) 최근 5년간 재래시장 화재사고로 평균 50회 이상의 7.4명의 사상자와 연평균 47억여 원의 재산피해가 발생했다. 전통시장 화재는 2008년과 2009년에 각각 47건, 34건이 발생했고, 2010년과 2011년에 각각 66건과 67건으로 급증했으며, 이후 2012년에도 64건을 기록했다. 전기, 가스, 소방시설에 대한 1550개 전통재래시장 전체에 대한 안전시설 실태조사에서도(1,2) 이 중 933개 시장(60.1%)이 화재에 취약한 것으로 드러났다. 또한 화재보험 가입률을 조사한 결과, 전체 17.9%밖에 되지 않아 화재발생시 상인들의 물적 피해가 심각할 것으로 예상된다. 이는 1266개 점포 중 947개 점포가 전소되고 피해액만 해도 500억 원이 추산되는 지난 2005년 말 대구 서문시장 화재사건처럼 재래시장에서 화재가 발생할 경우 엄청난 피해가 발생할 수 있다는 우려를 낳고 있다. 최근에도 2009년 11월 20일 발생한 방배동 5층 건물의 지하상가에서의 전기스토브에 의한 화재로 인하여 사망 2명 등 계속된 전통재래시장에서의 난방기기에 의한 화재사고가 빈번히 발생하여 인명 및 재산상의 손실을 초래하고 있다. 일반주택이나 아파트 등 대부분의 주거시설은 난방용 보일러가 보급되어 난방기기로 인한 화재가 그리 많지 않으나 앞서 기술한 것처럼 식당, 시장의 점포와 사무실, 체육관, 공장, 작업장 등에서는 여전히 석유난로, 전기난로 등 난방기기를 사용하고 있어 화재의 위험성에 노출되어 있다. 난방기기에 의한 화재는 다양한 난방기기의 종류처럼 그 원인도 다양하다. 따라서 본 연구는 다중이용시설인 전통(재래시장)에서 아직도 많이 사용되고 있고, 실제 화재발생사례가 많은 석유난로와 전기스토브에 의한 발화 위험성 즉 최소발화온도, 탄화 정도와 그에 따른 열유속을 다양한 발화조건 별(정상상태의 발화위험성과, 비정상상태 하에서의 가연물의 접촉 및 전도로 인한 발화위험성)로 화재 발생 가능성을 재연하여 검토해 봄으로서 보다 과학적인 화재조사 및 감식 접근방법을 강구하고자 하였다.

2. 통계적 분석 및 이론적 고찰

2.1 통계적 분석

2.1.1 시장 종류별 화재발생상황 분석^(1,2)

Table 1. Fire situation of the past five years (2008-2012)

Type	Fire	Death	Injury	Man damage /Occurrence number
Sales facilities	956	8	41	0.05
Department store	5	0	0	0
Shopping center	15	0	4	0.27
Discount (mart)	114	0	5	0.04
Traditional street market	66	0	6	0.09
Underground shopping	5	0	0	0
Commercial Building	294	0	4	0.01
Shopping Street center	174	0	6	0.03
Other Sales facilities	283	8	16	0.08
Total	1,912	16	82	0.57

다음 Table 1은 최근 5년간 화재 발생 상황으로서 살펴보면 가장 많은 화재가 발생한 판매시설은 사망 8명, 부상 41명, 건당 인명피해율은 0.05로서 50%의 화재 발생률을 보이고 있으며, 전통재래시장은 화재발생건수는 66건으로 부상 6건, 건당 인명피해율은 0.09로서 3.45%의 화재 발생률을 보이고 있다.

2.1.2 전통시장 안전시설 점검 분석^(1,2,3)

지난 2011.12월부터 2012.2월까지 1,550개 전통시장을 대상으로 중소기업청, 소방방재청, 전기안전공사, 가스안전공사와 함께 안전점검을 실시한 결과, 상당수 시장의 안전시설이 노후화되어 있는 것으로 분석 되었다.

Table 2. The result of check table on electric and gas facilities of last 5 years (2008-2012)

Classification	Total	A (Satisfactory)	B (Stability)	C (Caution)	D (Improvement)	E (Danger)	Other (Except)
electric	1,550	213	718	407	75	6	131
Gas	1,550	305	41	71	60	792	281

전기 지적사항으로는 누전차단기 미부착· 접지상태불량· 옥내배선 불량, 개폐차단기 미설치 등이 지적되었고, 가스 지적사항으로는 파이프 배관 미설치, 용기 옥내 배관, 안전장치 미설치, 호스T 사용 등이 지적 되었다. Table 2는 최근 5년간 전기 및 가스시설 점검 결과표로서 살펴보면 점검개소는 총 1550개소이고 전기적으로 양호한 A등급은 13.74%였고, 가스측면에서 양호한 A등급은 19.67%로 분석 되었다. 또한 전기적으로 주위(C), 개선(D), 위험(E)으로 판정된 것은 488개소로 31.48%였고, 가스측면에서는 923개소로 59.54%로 분석되어 가스가 전기적 문제점보다 많은 것으로 분석되었다.

Table 3. The result of check table on fire facilities insufficient market of last 5 years(2008-2012)

Total	Seoul	Busan	Incheon	Daejeon	Ulsan	Gyeonggi	Kangwon
6	6	10	2	1	6	8	10
56	Chungbuk	Chungnam	Jeonbuk	Jeonnam	Kyungbuk	Kyungnam	Jeju
2	2	3	2	1	1	7	1

Table 3은 최근 5년간 소방시설 미흡시장 점검 결과표로서 살펴보면 전체 66개 전통시장 중 56개소가 문제점이 있는 것으로 분석되어 이에 대한 대책 마련이 필요하다고 할 수 있다. 소방적 문제점을 살펴본 결과 피난구 유도등 미점 등, 자동화재탐지설비· 옥내소화전 설치 불량, 배관 누수, 스프링클러 및 소화설비 불량 등이 지적 되었다. 따라서 이에 대한 시설개선 및 보수가 절대적으로 필요하지만 대부분의 전통시장 시장상인들은 시설개선 비용부담을 감당하기 어려운 영세생계형 사업자이며 또한 안전의식도 낮아 재난방지시설 개선을 기피하고 있어, 전통시장 화재 발생요인이 상당히 높은 것으로 전통시장 안전점검결과 조사되었다.

2.1.3 난방기기의 화재사례 통계^(1,2,3)

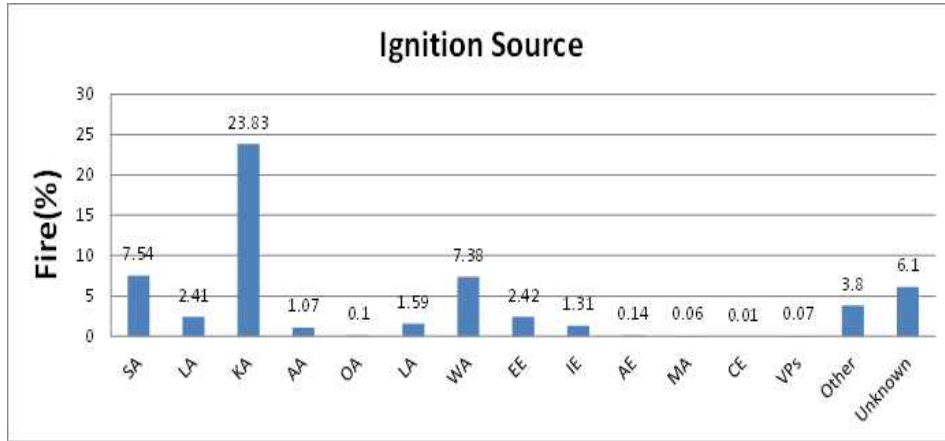


Fig. 1. Analysis of fire occurrence on ignition apparatus.

여기서 SA : Seasonal apparatus, LA : Life apparatus, KA : Kitchen apparatus, AA : Acoustic apparatus, OA : Official apparatus, IA : Illumination apparatus, WA : Wiring apparatus, EE : Electric equipment, IE : Industrial equipment, AE : Agriculture equipment, ME : Medical treatment equipment, CE : Commercial equipment, VPs : Vehicle / Vessel parts, 이다.

Fig. 1은 최근 5년간(2008~2012)화재 발화 기기별 분석(5,6)으로서 살펴보면 주방기기에 의한 발화가 22.83%로 가장 많이 화재를 유발하는 발화기기로 분석되었고 계절용기기, 배선 등의 전기 계통 순으로 나타나고 있다. 또한 발화기기 중 계절용기기에 의한 발화기기는 약 전체 대비 7.54%를 차지하는 것으로 나타났다. Table 4(5,6)는 최근 5년간(2008~2012) 난방용 기기의 화재발생현황을 나타낸 것이다. 발생건수를 살펴보면 가정용보일러, 목탄난로, 석유난로, 가스난로/스토브, 전기스토브/히터 순으로 발생한 것으로 분석되었으며, 인명피해 별 건수는 가스난로/스토브, 석유난로 /콘로, 전기히터/스토브, 연탄/석탄난로 순으로 분석되어 가스 및 석유관련 난방용기기가 발생빈도(frequency)는 낮지만 화재강도(intensity)가 높은 것으로 분석 되었다.

Table 4. Fire present condition by heating apparatus

Ignition apparatus	Fire	Death	Injury	Man damage /Occurrence number	Property damage (Thousand)
Electric heater/electric stove	196	7	14	0.11	865,803
Gas fire/stove	64	1	19	0.31	269,001
Petroleum stove / cooker	75	2	10	0.16	351,262
Briquette/coal stove	64	0	3	0.05	347,772
Charcoal stove	219	1	9	0.05	1,415,807
Family boiler	448	4	15	0.04	1,557,628
Total	1,066	15	70	0.72 / 0.12	4807,273

2.2 화재위험성시험 방법 및 이론식에 의한 열플럭스 계산^(4,5,6)

Fig. 2는 본 연구의 개요도 이다. 본 연구는 석유난로와 가스스토브 2종을 선택하여 각각에 대하여 정상상태에서의 발화위험성과 가연물 접촉, 전도, 안전장치고장 등 비정상상태에서의 발화위험성을 검토하고자 하였다. 특히 정상상태 및 비정상상태의 경우에 대하여 최소발화온도와 거리에 따른 열유속을 아래와 같은 수학적 방법으로 정량화 하였다.(4,5,6) 가상조건 (Imagination Scenario)중 화원(Fire Source)은 목재연료화염의 경우로 가정하고, 화재실의 면적은 100m², 화염

의 높이가 1m, 넓이가 0.5m, 두께 0.5m이고, 목표물과의 거리는 0.1m, 0.5m, 1m, 3m, 5m, 10m로 하여 각각의 온도에 따른 열유속을 산출해 보았다.

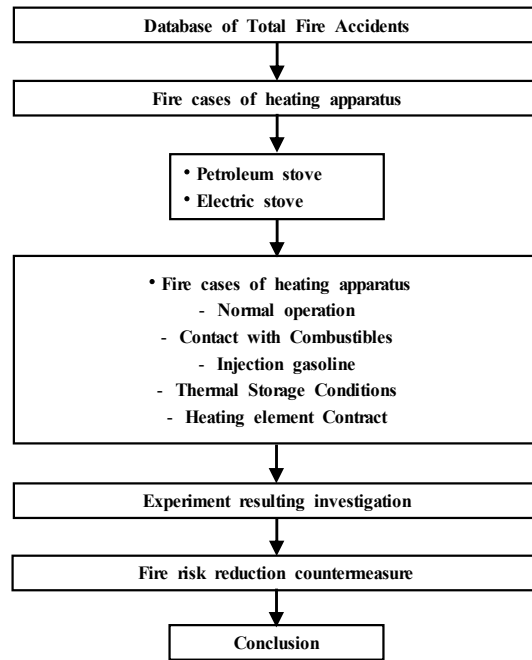


Fig. 2. Research scheme.

2.2.1 화재에서 복사강도

어느 물체의 복사능과 그것과 동일한 온도(열평형상태)의 열복사에 대한 흡수율과는 동일하다. 또한 복사에너지는 빛이나 전파등과 마찬가지로 공간을 직진하므로 방열면과 수열면의 형상이나 상호위치에 따라 방열면으로부터 나온 복사에너지의 전부는 수열면에 도달하지 않는다. 따라서 실제에 있어서는 다음 식에 두 개의 계수를 포함시켜 다음과 같이 나타낸다.

$$\dot{Q} = F_{\epsilon} F_{12} A (T_1^{1/2} - T_2^{1/2}) k \omega \quad (1)$$

여기서

F_{ϵ} : 복사능계수(Emissivity function), F_{12} : 형상계수(Geometric view factor or view factor), σ : 스테판-볼츠만 상수, T : 절대온도 이다.

또한 Kirchhof의 법칙에 의하여 열역학 제1법칙에 의해 값이 흡수능(흡수율)과 같게 되며, 따라서 흑체의 경우가 완전 흡수체가 되며 이때 $\epsilon=1$ 이다.

$$\dot{Q} = E = \sigma \cdot A \cdot T^{\frac{1}{2}} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

2.2.2 화재에서 열유속

방사체로부터 거리가 있는 한 점에서 복사강도를 계산하기 위해서는 기하학적 계수 또는 형상계수(Configuration factor)를 이용해야만 한다. 두 표면에서 표면 1이 복사력 E1으로 방사하고 있는 경우라고 가정하고 표면 2위 작은 요소 표면 dA2에 도달되는 복사강도 계산식은 다음과 같다.

$$\dot{Q} = E \cdot \int_0^{A_1} \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\Pi r^2} dA_1 \tag{3}$$

$$\dot{Q} = \Psi E \tag{4}$$

여기서 Ψ 를 배치계수라 하며 일반적으로 F_{12} 로 나타낸다. Figure 2에서와 같이 화재 또는 열면으로 부터 떨어진 목표물로의 복사열류 계산방법은 방사원의 온도 T_2 를 열면(화염)이라고 가정하고 거리 C만큼 떨어진 곳에 있는 목표물이 받는 복사열류는 T_2 의 온도에서 방사된 열류보다는 감소될 것이다.

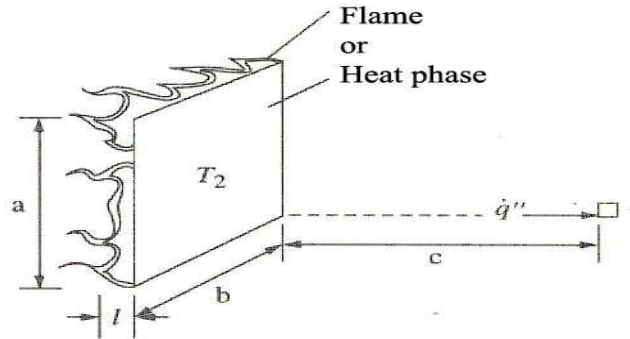


Fig. 3. Radiation from flame or heat phase.

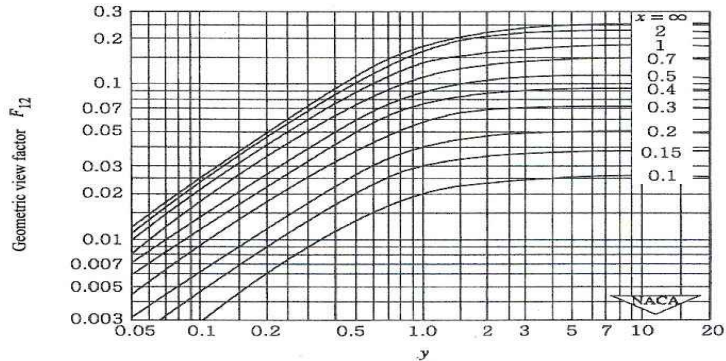


Fig. 4. Geometric view factor.

여기서 감소된 에너지 부분을 형상계수라 하며 F_{12} 로 표시한다. 이것은 목표물에서 방사체를 향해 보이는 복사선의 부분을 말하며 F_{12} 는 거리 C와 방사원의 제2 목표로서의 크기 그리고 이 두 가지 방위에 따라 결정된다. F_{12} 는 Fig 2-3에서 찾을 수 있다. 목표물에서 받는 열유속은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{q} = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^{\frac{1}{2}} F_{12} \tag{5}$$

또한 화염의 복사능(ϵ)은 Kirchhoff법칙의 관계로 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\epsilon = \exp(-kl) \tag{6}$$

여기서 k : 유효복사계수, l : 화염두께이다.

2.2.3 열전달량

대류에 의한 열전달율은 표면의 형상이나 온도, 유체의 온도와 속도, 유체의 열적 물성 값에 의해 변화하는 복잡한 함수이다. 외부유동의 경우 열전달량은 고온의 온도(T_w)와 표면에서 멀리 떨어진 곳에서의 저온의 유체온도 (T_∞) 와의 온도차($\Delta T = (T_w - T_\infty)$)에 비례하게 된다. 이 온도차와 열전달 사이의 비례계수를 대류 열전달 계수(h)라하고 t 시간동안에 이동하는 열 전달량은 온도차×표면적에 비례한다는 Newton의 냉각법칙(Newton's cooling law)에 따라 정의 할 수 있다.

$$\dot{Q} \propto A(T_w - T_\infty)t \tag{7}$$

위의 식은 열전달을 직접 계산하는데 사용할 수 없으므로 비례상수 h 를 붙임으로써 등호를 붙일 수 있다.

$$\dot{Q} = hA(T_w - T_\infty) \tag{8}$$

단위 면적당, 단위시간당의 열량을 열유속(heat flux)을 $\dot{q} = \dot{Q}/A/t$ 이라 하면 열전달율(열유속)은

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} = h\Delta T = h(T_w - T_\infty)[kw/m^2], kcal/m^2hr \tag{9}$$

대부분의 경우 유체의 온도는 벽의 온도 보다 높고 이 경우의 Newton, scaling law을 다음식과 같이 나타냄으로써 열전달이 양수로 유도된다.

$$\dot{Q} = hA(T_w - T_\infty) \tag{10}$$

여기서 A : 대류열전달이 발생하는 면적[m^2], T_w : 고온 유체 또는 고온 벽의 온도[$^\circ C$], T_∞ : 저온유체 또는 변의 유체온도[$^\circ C$], h : 대류열전달계수[$kw/m^2^\circ C$]이다.

3. 화재위험성 실험^(7,8,9)

3.1 석유난로 화재위험성 실험

3.1.1 정상작동 실험

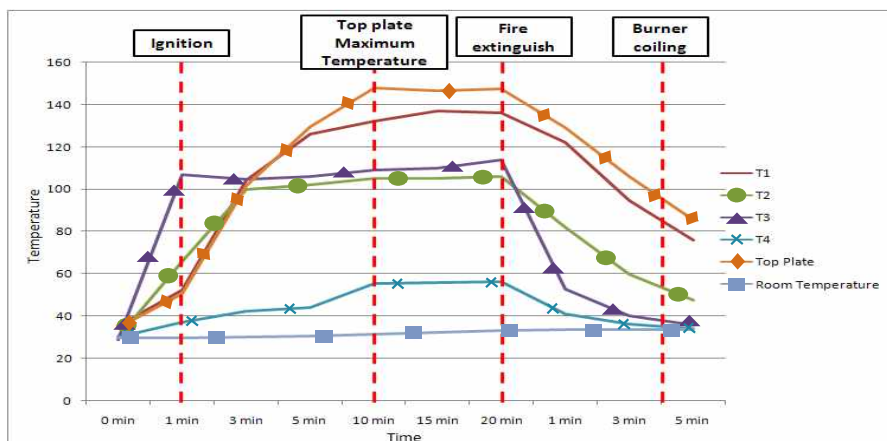


Fig. 5. Change of temperature in important region of petroleum stove.

Table 5. Results of heat flux by change of time at top plate (distance 0.1m)

Classification	Operating (min)						After operation stop (min)			
	0	1	3	5	10	15	20	1	3	5
Top Plate (°C)	34.4	50.4	101	129	148	146	147	129	106	85.5
Heat Flux (kW/m ²)	0.04	0.05	0.09	0.12	0.14	0.14	0.14	0.12	0.09	0.07

Table 6. Total results of heat flux by change of distance at top plate

Distance	0.1m	0.5m	1m	3m	5m	10m
Heat Flux (kW/m ²)	0.14	0.08	0.04	9.945E-3	5.85E-3	4.095E-3

먼저 정상 상태에서의 석유난로 자체의 발열온도를 측정해 보았다. 석유난로 윗판(Top Plate), 밑판(Base Plate), 안전망, 뒷면에서 각각 10cm이격된 거리에서 열 화상카메라를 활용 온도를 측정하고 그에 대한 열유속을 계산해 보았다. 실험결과를 살펴보면 Fig. 5에서 나타난 바와 같이 석유난로 운전 후 1분 30초 후에 버너가 점화되면서 작동하였고, 10cm 이격된 거리에서 3분이 경과하기 전에 상판(T1), 안전망(T3), 석유난로 측면(T4)과 밑판(T2)의 온도는 모두 100°C를 넘는 것으로 확인되었다. 최고온도는 정상작동 시 10분경과 후 상판부분에서 148°C로 측정되었고 그때의 열유속은 0.15 kW/m²로 계산되었다. Table 5는 상판부분(Top Plate)에서의 시간경과에 따른 온도변화와 10cm거리에서의 각각의 온도의 열유속을 계산한 결과를 나타낸 것이다. Table 6은 상판의 최고온도 시(147°C) 거리변화에 따른 열유속을 계산한 결과를 나타낸 것이다.

3.1.2 가연물 접촉 실험

석유난로에 가연물(젖은 수건, 신문지)이 접촉되었을 때 화재발생 가능성을 평가하기 위하여 수건을 접촉 시킨 경우와 상판에 신문지를 완전히 덮어서 보다 양호한 축열 조건으로 구분하여 석유난로 각 부위의 온도 측정 및 화재발생 여부를 분석하였다.

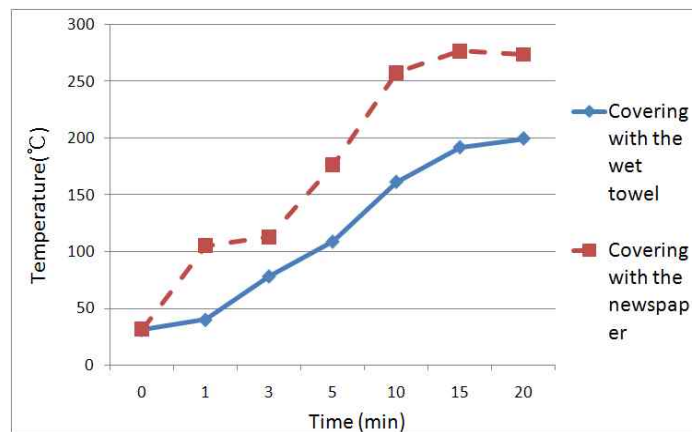


Fig. 6. Change of the temperature by hour lapse at the time of combustibles contact. (Distance 0.1m)

Fig. 6의 실험결과를 살펴보면 젖은 수건과 신문지를 이용한 가연물 접촉실험으로서 먼저 각각의 4지점으로부터 10cm 이격 된 거리에서 온도를 측정해 보았다. 특히 석유난로의 상부 안전망의 상부를 신문지로 완전히 덮어 양호한

축열 조건을 만들고 난로를 20분간 지속적으로 운전 하였으나 발화에 이르지 못하는 못하였고 그때의 열유속은 0.428kW/m^2 로 계산되었다. 탄화 정도를 검토해 보았을 때 신문지로 덮은 석유심지난로 안전망 전면부와 상판 접촉부 안쪽 신문지가 가장 심하게 탄화되었고 그 다음으로 안전망 순으로 나타났고, 상판은 탄화 정도가 상대적으로 극히 미약하게 나타났다. 또한 접촉실험에서의 가연물인 젖은 수건과 상판을 덮은 신문지와의 상판부분 온도 차이를 살펴보면 신문지로 덮은 상판부분의 온도가 젖은 수건보다 $50\sim 90^\circ\text{C}$ 높은 것으로 측정되었고 그때의 열유속의 차이는 $0.05\sim 0.08\text{kW/m}^2$ 계산되었다. 이는 축열 조건이 난방기기 화재발생과 관련하여 가장 중요한 요소임을 의미하는 것이라 할 수 있다. 전면 안전망 전체와 상판(Top Plate)에 젖은 수건을 난로에 접촉 시킨 후 20분간 지속적으로 석유난로를 운전 하였으나 이 또한 발화에 이르지 못하는 못하였고 그때의 온도 및 열유속은 199°C , 0.23kW/m^2 로 계산되었다.

Table 7. Change of the temperature & heat flux by hour lapse at the time of combustibles contact (distance 0.1m)

Classification	Time(min)						
	0	1	3	5	10	15	20
Wet towel contact($^\circ\text{C}$)	30.8	39.8	78.1	108.6	161.3	191.7	199.4
Heat Flux (kW/m^2)	0.03	0.04	0.07	0.09	0.16	0.21	0.23
Cover with the newspaper ($^\circ\text{C}$)	31.2	105	112	176	258	277	274
Heat Flux (kW/m^2)	0.04	0.09	0.10	0.19	0.37	0.42	0.41

탄화 정도를 비교해보면 석유난로의 상판 부분은 특별한 변화를 보이지 않았으나 전면부와 상판 접촉부에 위치한 젖은 수건이 가장 심하게 탄화된 흔적을 보였고 상판에서 하부로 내려갈수록 탄화의 정도는 미약 하게 나타났다. Table 7은 석유난로에 젖은 수건 및 신문지의 접촉시 열축적의 변화와 10cm 거리에서의 시간에 따른 열유속을 계산한 결과를 나타낸 것이다. Table 8은 신문지 및 젖은 수건을 접촉하였을 때 각각의 최고온도에서 거리변화에 따른 열유속을 계산한 결과를 나타낸 것이다.

Table 8. Total heat flux calculation by change of distance at the time of combustibles contact

Wet towel contact(199.4°C)						
Distance	0.1m	0.5m	1m	3m	5m	10m
Heat Flux (kW/m^2)	0.23	0.13	0.06	0.01	0.32E-3	6.52E-3
Cover with the newspaper(274°C)						
Heat Flux (kW/m^2)	0.41	0.25	0.11	0.02	0.01	0.01

3.1.3 휘발유 주입시 화재 위험성 실험

석유심지난로에 휘발유를 2.5ℓ를 주입한 후 화재위험성 실험을 수행하였다. 실험결과에서 석유심지난로 연료 주입구에 휘발유를 주입하고 운전, 점화되었을 때 비 정상연료인 휘발유의 연소로 인해 발열부 상, 하로 불꽃이 분출하였으며, 점화 후 20분경과 후 상판 온도는 269°C (인화점 : $-43\sim -20^\circ\text{C}$, 착화점 : 300°C)까지 급상승 하였고(열유속: 0.40kW/m^2), 곧바로 신문지를 이용 상판 부분을 덮자 약 11분 후에 상판부분의 접촉부분에서부터 신문지가 발화하기 시작하였다. 또한 석유심지난로 심지를 완전히 내린 후 소화 하였으나 불꽃은 약 5분간 지속적으로 유지하고 있었다. 등유와 가솔린의 액체연료에 대한 인화점을 보면 휘발유는 $-10\sim -15^\circ\text{C}$, 등유는 40°C 이상의 특성을 가지므로 등유에 비해 가솔린의 인화점이 50°C 이상 차이가 있음을 알 수 있으며 그때의 열유속의 차이는 0.05kW/m^2 정도임을 산정할 수 있었다.

3.2 전기스토브 화재위험성 실험

3.2.1 정상작동 실험

전기스토브는 국내에서 생산 판매되고 있는 2개 제조업체의 전기스토브(선풍기형 포함)를 가지고 제조사 사양에 따라 정상상태로 전원을 인가하여 전기스토브 자체 발열온도 분포를 살펴봄으로써 발화의 가능성을 확인해 보았다. 전기스토브 전면부로 부터 10cm 이격된 거리에 석유난로 밀판(Base Plate, 44cm×55cm)을 위치시켜 수열 된 밀판의 온도를 접촉식 온도기록계 및 적외선 열 화상카메라 등을 활용하여 측정하였다. 실험결과로서 Fig. 7은 전기스토브로부터 전면에 놓인 10cm 이격된 수열판(석유난로 밀판)의 중앙 부분(T2)의 온도가 상대적으로 가장 높게 나타나고 있으며 최고온도는 작동 후 20분 경과 후에 143℃(열유속: 0.14 kW/m²)를 나타냈다. 그 다음은 전기스토브 후면 금속부(T3)로 30분 경과 후에 99.7℃로 측정되었고(열유속 0.09 kW/m²)수열판 상(T1), 하(T4)와 방열판 뒤 커버(T5)는 상대적으로 낮은 온도를 나타냈다. Table 9는 일정한 위치에서 시간경과에 따른 온도변화와 그에 따른 열유속을 계산한 결과이다. 또한 Table 10은 최고온도에서 거리의 변화에 따른 열유속을 계산한 결과이다.

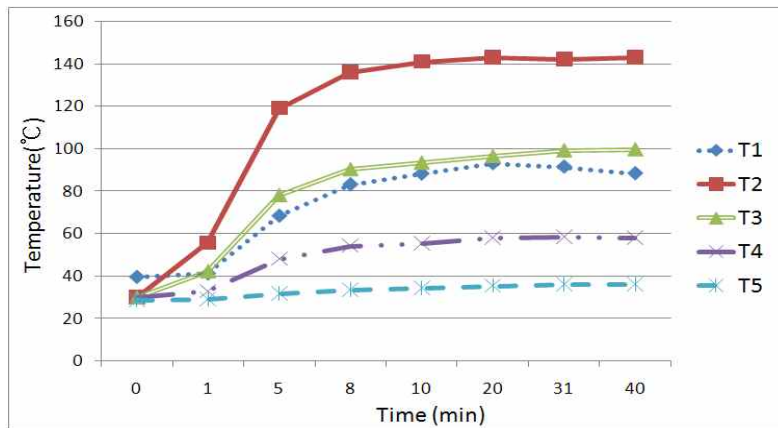


Fig. 7. Change of temperature in important region of electric stove.

Table 9. Change of the temperature & heat flux by change of time at T2 (distance 0.1m)

Classification	Time(min)							
	0	1	5	8	10	20	30	40
T2(°C)	29.9	55.6	119	136	141	142	143	145
Heat Flux (kW/m ²)	0.03	0.05	0.11	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14

Table 10. Total heat flux calculation by change of distance at T2

Distance	0.1m	0.5m	1m	3m	5m	10m
Heat Flux (kW/m ²)	0.14	0.08	0.03	9.71E-3	5.712E-3	3.00E-3

3.2.2 가연물 접촉 실험

전기스토브에 가연물(수건, 신문지)이 접촉되었을 때 화재발생 가능성을 평가하기 위하여 전기스토브에 물을 적신 수건을 접촉시킨 경우와 축열 조건이 양호한 전기스토브 전면 보호망을 신문지로 완전히 덮은 경우로 구분하여 각 부위의 온도 측정 및 화재위험성을 분석하였다.

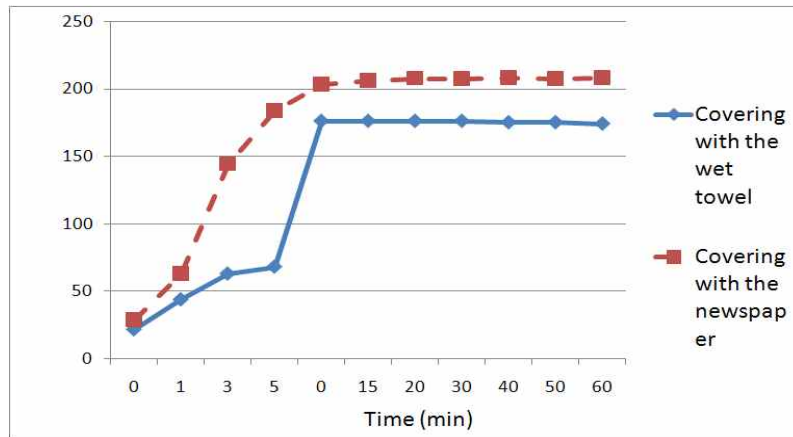


Fig. 8. Change of the temperature by hour lapse at the time of combustibles contact.(distance 0.1m)

실험결과로서 Fig. 8은 전기스토브(선풍기형) 전면 보호망 상부에 젖은 수건을 덮고 60분간을 지속하여 작동하였으나 수건은 발화되지 않았다. 전기스토브 상단 바로 아래 부분에서 10분 경과 후 가장 높은 온도인 176°C로 측정(열유속: 0.19kW/m²)되었으며, 보호망 상단부에 접촉된 부위에서 젖은 수건이 가장 심하게 탄화된 형태로 관찰된 것으로 보아 위로 상승하는 열이 상단부분에서 젖은 수건으로 차단되어 축열된 것으로 분석되었다. 또한 전기스토브의 상부 보호망의 상부를 신문지로 완전히 덮어 양호한 축열 조건을 만들고 전기스토브를 “강”으로 지속하여 작동하였으나 20분이 경과(열유속: 0.25kW/m²)하여도 발화에는 이르지 못하였다. 젖은 수건 보다 축열 조건이 양호하여 약 15분 경과 시에 203.1°C (열유속: 0.24kW/m²), 약 40분 경과 시에는 최고온도인 208.1(열유속: 0.25kW/m²)도를 나타내었으며 난로 상부를 덮은 신문의 탄화 정도는 보호망을 따라 신문지가 탄화되는 것이 확인되었다. Table 11은 전기스토브에 젖은 수건 및 신문의 접촉시 온도의 변화와 10Cm 거리에서의 시간에 따른 열유속을 계산한 결과를 나타낸 것이다. 또한 Table 12는 신문지 및 젖은 수건을 접촉하였을 때 각각의 최고온도에서 거리변화에 따른 열유속을 계산한 결과를 나타낸 것이다.

Table 11. Change of the temperature & heat flux by hour lapse at the time of combustibles contact (distance 10cm)

Classification	Time(min)										
	0	1	3	5	10	15	20	30	40	50	60
Wet towel contact(°C)	21.9	44	63.1	68.2	176	176	176	176	175	175	174
Heat Flux (kW/m ²)	0.11	0.04	0.05	0.06	0.19	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	4.2E-4
Cover with newspaper (°C)	28.7	63.1	144.2	183	203	205	207	207	208	207	208
Heat Flux (kW/m ²)	0.03	0.05	0.14	0.20	0.24	0.24	0.24	0.24	0.25	0.23	0.25

Table 12. Total heat flux calculation by change of distance at the time of combustibles contact

Wet towel contact(176°C)						
Distance	0.1m	0.5m	1m	3m	5m	10m
Heat Flux (kW/m ²)	0.19	0.11	0.05	0.01	7.60E-3	5.32E-3
Cover with the newspaper(208.1°C)						
Heat Flux (kW/m ²)	0.25	0.15	0.07	0.01	0.01	7.01E-3

3.2.3 양호한 축열 조건에서 화재위험성 실험

이를 실험하기 위해서 유사 실험도구를 제작하여 전기스토브를 내부에 넣고 한 쪽 면을 개방시키고 스토브로부터 가연물(방석)을 10cm 이격시킨 상태에서 실험을 수행 하였다. 실험결과로는 가연물을 10cm이격시킨 거리에서의 최고 온도는 전기스토브 동작 후 20분경과 후에 145.9℃(열유속 0.143kW/m²)를 나타내었고, 그 후 온도는 조금 내려가다가 다시 상승하는 등 주위 환경(풍속 등)에 영향을 받는 것으로 분석되었다. 또한 전기스토브 작동 후 약 10분 정도 경과 후에 방석 시료의 탄화 부위에서 소량의 연기가 발생하였고, 시간이 경과됨에 따라 발열체 앞에 면하는 방석 부위의 탄화 정도가 가장 심한 것으로 관찰되었다. 스토브로부터 가연물(방석)을 접촉시킨 상태에서 실험을 수행 한 결과, 가연물의 최고 온도는 전기스토브 동작 후 20분경과 후에 290.1℃(열유속: 0.47 kW/m²)를 나타내었고, 동일 환경에서 10cm 이격시킨 실험보다 140℃ 이상의 온도 차이(열유속: 0.33 kW/m²)를 보였다. 전기스토브 작동 후 약 4분이 경과하자 소량의 연기가 발생하기 시작하였고 그 후 연기의 양이 지속적으로 증가한 후 약 15분 경과 시 온도는 260℃(열유속: 0.38 kW/m²)로서 방석시료 부위에서 불꽃이 관찰되었다.

3.2.4 발열체(석영관) 접촉 실험

가연물이 발열체에 접촉하면 발화할 수 있는 개연성이 충분히 존재하므로 전기스토브의 발열체(석영관)에 신문지를 접촉시켜 화재발생 경과시간 및 위험성을 확인하는 실험을 수행하였다. 실험결과 발열체의 온도는 전기스토브 작동 후 약 10초가 경과되면서 626℃(열유속: 3.06 kW/m²)로 급격히 상승하였고 약 1분이 지나면서 800℃(열유속: 6.20 kW/m²)이상으로 상승하였다. 발열체(석영관)에 가연물이 닿으면 전기스토브 작동 후 수초 후에 발화 하는 것으로 확인 되었다.

4. 화재위험성 결과분석 및 고찰

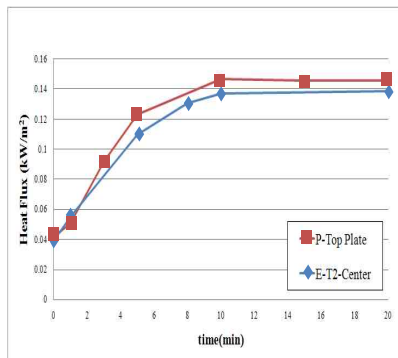


Fig. 9. Heat flux vs distance comparison of petroleum stove(P-top plate) and electric stove.(T2-center)

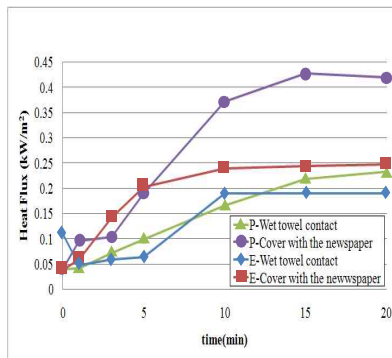


Fig. 10. Heat flux vs time comparison of petroleum stove and electric stove from combustibles contact experiment.

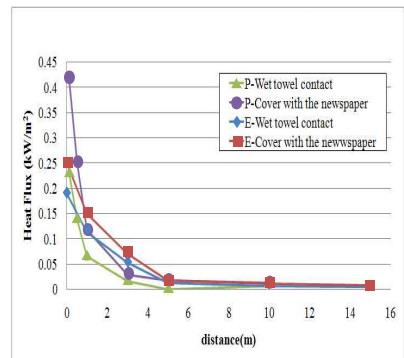


Fig. 11. Heat flux vs distance comparison of petroleum stove and electric stove from combustibles contact experiment.

Table 13. Total experimental result about fire risk analysis of experimental body

Experimental Apparatus	Experimental Type	Combustibles contact	Time (min)	Temperature (°C)	Heat Flux (kW/m ²)	Remark(1)		Remark(2)		
						Ignition	Carbonization	Wall pass mobile calorie [kcal/h]	Heat Flux [kcal/m ² h]	Wall temperature [°C]
Petroleum Stove	Normal operation	-	10	148	0.15	×	-	22,412,8	224,128	119
	Unusual operation	- newspaper	20	277	0.43	×	○	45,000,7	450,007	220
		- wet towel	20	199	0.23	×	○	31,342,93	313,429	159
	Gasoline implantation	- newspaper	10	269	0.40	ignition	-	43,749,3	437,493	214
		Falling	newspaper	Immediately	-	-	ignition	-	-	-
Electric Stove	Normal operation	-	40	143	0.14	×	-	21,537,3	215,373	116.
	Unusual operation	- newspaper	20	176	0.24	×	○	27,315,56	273,156	141
		- wet towel	20	208	0.19	×	○	32,918,8	329,188	166
	Heat accumulation	- distance,	20	146	0.14	×	○	22,062,6	220,626	180
		- contact	20	290	0.47	ignition	-	47,277	472,77	231
	Falling	newspaper	15	142	0.14	ignition	-	21,362,2	213,622	115
	Heat generation tube contact	-	0.16	626	3.06	ignition	-	106,110,6	1,061,106	493
	-	1	800	6.20	ignition	-	136,578	1,365,78	629	

난방기기 2종에 대한 화재위험성실험에 따라 다음과 같은 결과를 도출하였다. 먼저 Fig. 9에 나타난바와 같이 석유난로의 P-Top plate와 전기스토브의 E-T2-Center에서의 시간과 열유속을 비교한 결과 석유난로에서의 P-Top plate의 열유속이 좀 더 높음을 알 수 있었다. 또한 Fig. 10에 나타난바와 같이 석유난로와 전기스토브의 가연물 접촉실험에서 시간과 열유속을 종합적으로 살펴보면 P-cover with newspaper 접촉시 가장 높은 열유속을 하는 것으로 분석되었다. 아울러 Fig. 11에 나타난바와 같이 열유속과 거리의 변화를 보면 5m까지는 P-cover with newspaper 접촉 시 가장 높은 열유속을 보이나 5m이후에는 실의 경우 모두 열유속이 급격히 감소하고 있음을 볼 수 있었고, 석유난로 및 전기스토브의 가연연물 접촉 시 거리의 변화에 따른 열유속을 종합적으로 살펴보면 5분까지는 P-cover with newspaper 접촉 시 열유속이 가장 높은 것으로 분석되었으나 5분경과 후에는 석유난로 및 전기스토브의 가연연물 접촉의 경우에는 모두 열유속이 급속하게 감소하고 있고 거의 일정한 패턴을 보이고 있음을 알 수 있었다. Table 13은 난방기기의 두 종류인 석유난로와 전기스토브 2종에 대해 가상 상태 조건에서 실험한 측정치와 계산식(6,7,8)을 이용하여 열유속을 계산한 종합적인 분석결과이며, Remark(2)에서의 Wall temperature[°C]는 화재실내의 화원에서의 이격거리 10m 벽까지의 온도 감소분을 나타낸 것이다.

5. 결 론

본 연구의 실험조건 하에서 그 결과를 살펴보면 다음과 같은 결론을 얻었다. 실험체 2종(석유난로/전기스토브) 모두 양호한 축열 조건이 만들어지지 않는 한 발화위험성은 극히 적은 것으로 나타났지만 탄화의 상태는 각 부위별로 진행되는 것으로 분석되었다. 하지만 석유난로의 경우 정상연료 미사용시 상판에 신문지 접촉 시 10분경과시 발화되는 것으로 나타났다. 특히 전기스토브의 발열체인 석영관인 경우 가장 짧은 시간 내(10sec)에 600°C 이상의 온도로 급 가열 되어

이때의 열유속은 6.26kW/m^2 으로 나타나 이는 보온된 PVC케이블이 손상과 함께 인체에는 2도 화상을 입히는 결과를 나타내는 것으로 분석 되었다. 결국 화재로의 전이는 축열에 의한 발화이므로 최소한 화재장소의 축열 온도조건이 $50\text{ }^\circ\text{C}$ 이상일 때 발화되는 것으로 분석되었다. 또한 온도 조건이 외에 거리변화에 따른 열량의 감소분을 나타내는 형태계수(Geometric View Factor)와 화재하중(Fire Load)에 따른 온도의 변화도 고려되어야 할 중요한 변수임을 생각해서 이에 관한 세심한 화재조사 및 감식의 매뉴얼이 있어야 할 것으로 사료된다. 향후 본 연구에서 구축한 국내 난방기구 사고에 대한 실험자료 및 화재사례를 분석하여 매년 지속적으로 축적하고 보완 개정을 하면 국내 난방기구 화재사고에 대한 보다 신뢰성 있는 정보를 제공해 줄 수 있어 효과적이고 체계적인 화재 감식 및 감정에 이론적 토대구축에 기여할 것으로 기대된다.

References

- National Emergency Management Agency, (2012), "Fire Statistical Year book", NEMA.
- Korea Fire Safety Association, (2012), "Fire Cause Investigation & Case Analysis", KFSA.
- Samsung Loss Control Center, (2012), "Fire Analysis by Heating Equipment", SLCC.
- Korean Fire Protection Association, (2008), "Study on Fire Risk of Electric Heaters by Experimental", KFPA.
- D. M. Lee, (2008), "Fire Heat Transfer for PBF", Dong Hwa Technology Publishing.
- Y. J. Gung, "Fire Dynamics", Dong Hwa Technology Publishing, (2008).
- Gary L. Borman, Kenneth W. Ragland, (2005), "Combustion Engineering", Mc Graw Hill.
- Moran Shapiro Bailey, (2007), "Principles of Engineering Thermodynamics", Wiley Publishers.
- J. M. Smith, H. C. Van Ness, M. M. Abbott, (2007), "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics", Mc Graw Hill.
- H. P. Lee, (2007), "Combustion Engineering", Dong Hwa Technology Publishing.