

# 축열식 전기온풍기의 화재위험성 평가

## A Evaluation on The Fire Danger of The Electric Radiant Heating Systems with Thermal Storage

박 민 영\* · 문 용 수\*\* · 공 하 성\*\*\* · 윤 정 미\*\*\*

### 1. 서 론

#### 1.1 연구목적 및 방법

국내 심야전력제도는 1985년에 도입되었으며, 특정 시간대에 집중되는 전력 수요를 분산하고, 전기 사용이 적은 심야시간대(밤 10시~아침 8시 및 밤 11시~아침 9시)수요를 증대시켜 전력설비를 효율적으로 이용하기 위한 제도이다.[11]

또한 심야전력 활성화를 위해 심야시간대에 전기를 공급받아 열, 온수 또는 얼음을 생산하여 급탕, 난방 또는 냉방에 이용하는 축열식 전기온수기, 축열식 전기보일러, 축열식 전기온풍기등 '심야전력기기'에 대하여 지속적인 기술개발을 통한 심야전력 난방기기의 성능향상과 저렴한 유지비로 인해 점차적으로 그 보급이 증대되고 있다.

현재까지 심야전력을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있지만 건축물에 적용되는 여러 난방시스템들 중 심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기를 검토대상으로 선정하여 전기온풍기의 화재 위험성 평가한 사례는 거의 찾아 볼 수 없다.

심야용 축열식 전기온풍기의 고안 목적은 축열재의 중앙부분 축열을 이용해 실내 온도를 난방기 표면을 통해 실내로 복사열을 방출함으로써 취출구를 통해 수평 및 연직방향 모두 비교적 균일한 온도로 외부 공기를 난방을 하기 위한 것이다. 하지만 열풍이 나오는 하단의 송풍구의 입구에 적재물의 화염전도에 의한 착화발화로 인하여 화재가 발생하는 사고사례가 일어나고 있다.

이에 본 논문에서는 심야용 축열식 전기온풍기의 화재 사고사례를 살펴보고 화재 검증 실험 결과를 바탕으로 심야용 전기온풍기의 사용자의 전기온풍기 사용과정과 그 문제점을 확인하고, 심야용 전기온풍기의 화재위험성을 파악하고자 작성되었다.

\* 한국화재조사학회

\*\* 경기도지방경찰청

\*\*\* 경일대학교 소방방재학부

## 1.2 연구 범위와 방법

각종 전열기기 사용의 증가와 건조한 날씨 때문에 전기안전을 소홀히 하면 다른 계절에 비하여 전기화재가 많이 발생하는데 전기온풍기인 난방용 전열기기는 사용 중 부주의하면 언제라도 전기화재를 일으킬 수 있는 요인이 될 수 있다.

<표 1>에서 보는 바와 같이 기존의 심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기와 관련된 연구는 기기내의 자동제어장치개발과 난방시스템의 성능평가와 건축물의 실내환경에 영향을 미치는 방열특성을 제시하는 연구 등 이었는데 본 연구에서는 심야용 축열식 전기온풍기의 화재발생 원인과 결과를 분석하여 화재 위험성에 중점을 두고 경각심을 느낄 수 있도록 하고자 한다.

<표 1> 선행 연구 동향 [1][6][9][10][14][15]

연구자	연구주제	연구내용
변상준(2009)	축열식 전기온풍기의 자동제어장치 개발	축열량을 자동으로 제어함으로써 불필요한 전력소비를 최소화 할 수 있는 초절전형 축열식 전기온풍기의 자동 제어장치 개발 제시
백이, 강금춘, 이시영(2009)	전기온풍기의 난방 특성 분석	전기온풍기와 경유온풍난방기의 사용연료에 따른 전력량 비교조사를 통해 에너지절약 방안을 모색
권성철, 한승호, 이학주, 박영근, 고기중(2003)	축열식 난방기기의 심야전력 공급시간 자동제어장치 개발	심야전력 공급시간 자동제어 장치를 개발함으로써 심야피크부하 발생을 억제하고 축열잔량에 따른 제어를 가능하게해 에너지 효율성 증대를 기대
최동호, 양창남, 임홍성(2003)	심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기와 비축열식 전기방열기의 난방특성 및 실내온열환경 평가에 관한 연구	전기온풍기와 일반전력용 비축열식 전기방열기를 검토대상 난방시스템으로 선정해 이들 시스템들의 난방특성 및 실내온열환경을 정량적으로 평가
최동호, 양창남, 양정훈(1998)	심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기의 축열용량 및 설치위치가 실내온열환경에 미치는 영향	축열식 전기온풍기의 난방특성과 설치위치에 따른 효과를 실내 온열환경과 연계하여 검토하고 난방설계 및 난방효율 향상에 기여할 수 있는 기초데이터 제시
김중수, 김경철(1991)	심야전력을 이용한 잠열축열식 바닥난방시스템의 성능평가에 관한 연구	난방기의 성능평가를 실내온열환경과 직접 연동시켜 심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기의 경제성확보와 실내쾌적성 향상측면의 강점을 연구를 통해 제시

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 축열식 전기온풍기의 정의

심야용 축열식 전기온풍기는 세라믹 또는 고밀도의 철화합물로 제작된 벽돌을 기기에 내장하여 700°~900°c 정도의 고온으로 축열 하였다가 난방시 온풍을 불어내거나 자연 방열시켜 난방 하는 장치이다. 축열식 난방기기중 유일하게 공간난방용이며 실내에 설치한다.

축열재, 히터, 단열보온재, 방열장치로 구성되어 있으며 축열재에 공기를 유동시키는 송풍수단을 구비한 것을 특징으로 하는 전자기기를 축열식 전기온풍기라고 한다.[11]

#### 2.1.1 축열식 전기온풍기의 현황

심야용 축열식 전기온풍기의 개별난방기로서 난방자소별로 각각 다른 온도로 조절 가능하며 학교, 병원 등과같이 중앙 집중 제어가 필요한곳과 설치장소의 제약을 받지 않고 있으며 한전에서는 수요관리의 하나의 방법으로 심야전력 요금 제도를 운영하고, 심야축열기기를 보급하여 기저부하증대 및 부하율을 개선하기 위한 많은 노력을 기울이고 있다.

최근 유가상승 등의 원인으로 1999~2000년에 들어서 국내의 유가상승으로 인한 심야축열기기의 경제성이 상대적으로 향상되었고, 심야기기 보급시장의 경쟁심화로 인한 기기가격의 하락으로 인하여 심야전력을 이용한 난방기기의 신청고객이 급증하여 2000년 한 해 동안 '86~99년의 총보급량을 상회하는 실정에 이르렀으며, 심야전력 난방기기의 급격한 보급증가로 인한 심야시간대 동계 최대 전력수요가 발생하였다.

2001년도부터 2010년 연도별 축열식 전기온풍기의 설치개수와 용량에 따른 증가율 현황을 살펴보면 <표 2>와 같다.

공급량이 갈수록 감소하고 있지만 기존 설치된 축열식 전기온풍기의 설치개수가 지난 10년간 118,400대를 차지하고 있으므로 이 기기들이 점차 노후화 되고 있어서 화재 위험성을 증가시키고 있다.

<표 2> 연도별 축열식 전기온풍기의 설치개수

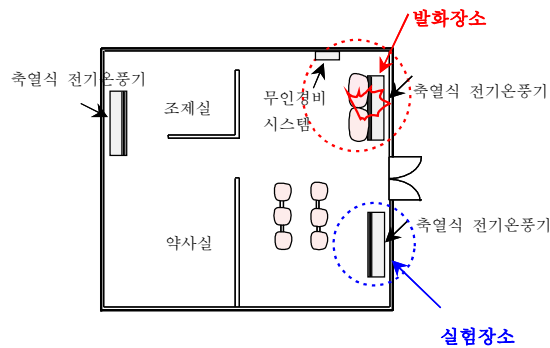
연도 개수	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	합계
설치 개수 (대)	43,200	37,700	15,000	7500	5000	3500	3100	2500	800	100	118,400

### 3. 전기온풍기의 화재사고 사례 분석

#### 3.1 화재발생 개요

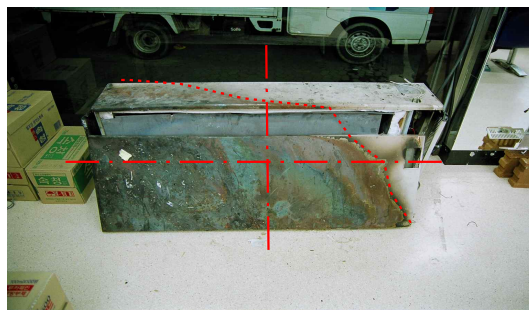
축열식 전기온풍기의 화재사고 현장으로는 수원 장안구 ○○약국 내부로, 화재 현장의 탄화 부위는 복구된 상태였으며, 보관중이던 훼손된 축열식 전기온풍기를 약국 내 설치되어 있던 장소로 이동하여 관찰하였다.

온풍기의 전면 및 좌측면에 화염에 의한 변색흔과 하단의 송풍구 입구 주변으로 기저귀 탄화 용융물의 용착상태가 관찰되었다. 온풍기 내부 안전소자(온도퓨즈, 벨로우즈관, 감열봉, 누전차단기) 송풍 모터 내부 배선 등에서 출화 및 결함 특이점이 관찰되지 않았다. 전면 판넬이 용융 소실된 실내조절기 회로 기판을 검사한 바, 전원, 저온, 고온 스위치 모두 켜짐 상태로 있었다.



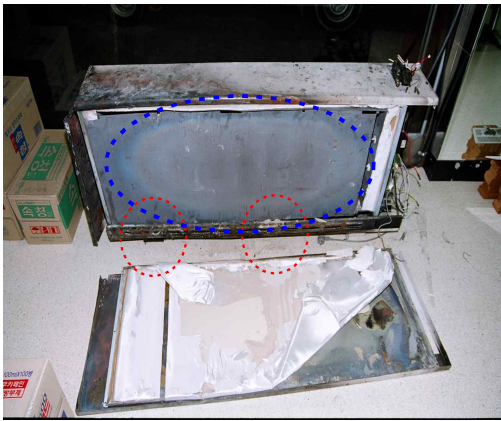
<그림 1> 화재실 내의 현장 단면도

<그림 1>은 화재실 내의 현장 단면도를 나타내며, 축열식 전기 온풍기 3대와 무인 경비 시스템이 설치되어 있었으며, 전기온풍기 우측의 유리창 파손과 좌측의 약국 물품 등이 소손되어있는 상태이다.

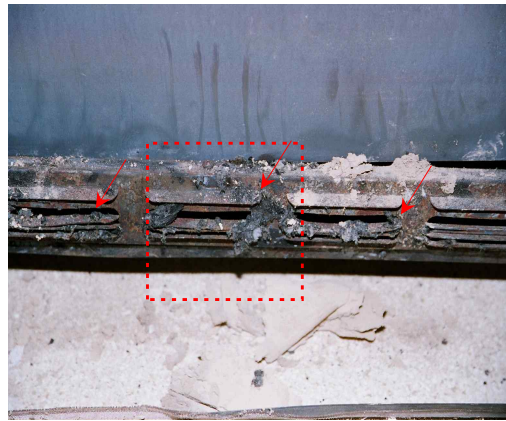


<그림 2> 입장 복구 상태의 축열식 전기온풍기

<그림 2>는 입장 당시 복구 상태로 보관 중이던 축열식 전기온풍기를 원위치로 이동 후 촬영한 것으로, 소손의 범위가 중앙 커버를 중심으로 우측보다 좌측의 소훼도가 심하며 강한 수열의 형태를 나타내고 있다.



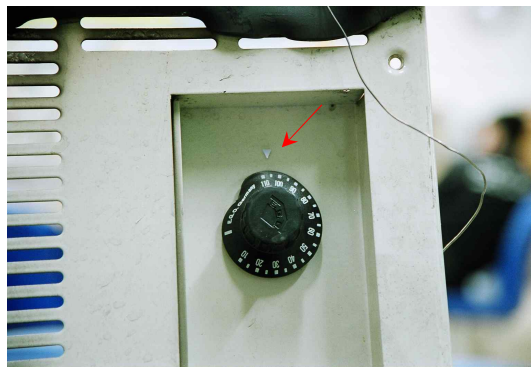
<그림 3> 전기온풍기의 전면커버 안쪽 촬영



<그림 4> 송풍구의 근접 촬영

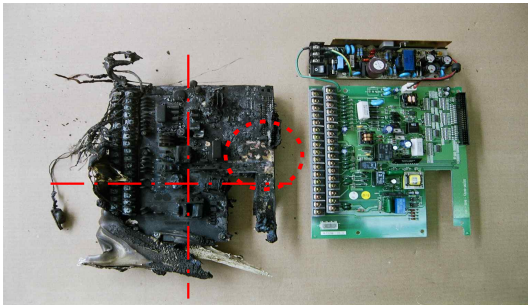
<그림 3>는 중앙커버를 분리하여 내부 커버를 촬영한 것으로 커버 중앙으로 강한 수열의 흔적이 나타나고 있으며 송풍구부위에 기저귀로 추정되는 탄화 용융물이 용착 상태임을 볼 수 있다.

<그림 4>는 전기온풍기의 송풍구를 근접 촬영한 것으로 탄화 용융물의 용착 상태를 볼 수 있다.

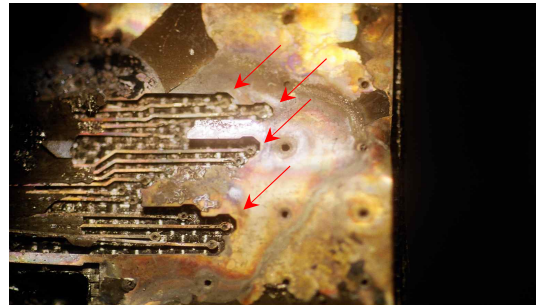


<그림 5> 축열 온도 조절 손잡이의 근접 촬영

<그림 5>는 축열 온도 조절 손잡이의 온도 위치가 110℃에 위치하여 있으며, 이는 사용자가 축열식 전기온풍기의 최대 사용온도로 사용하고 있었음을 나타낸다.



<그림 6> 무인경비시스템의 제어장치 잔해



<그림 7> 회로기판의 현미경 촬영

<그림 6>은 화재 현장에서 온풍기 우측 벽면에 설치되어 있던 무인 경비 시스템 제어장치 잔해와 비교품의 같은 회로 기판을 비교 촬영 한 것이며 열에 의해 용융과 탄화현상이 나타나고 있다.

<그림 7>은 회로 기판의 잔해 중 가장 수열의 정도가 심한 기판의 0부위를 현미경 촬영한 것으로 전기적인 특이점은 파악되지 않았다.

이상의 화재현장 감식결과 전기적인 특이점이 식별되지 않았으며, 송풍구 입구 주변의 기저귀 탄화 용융물이 식별됨에 따라 화재 검증을 하게 되었다.

## 4. 실험시료 및 측정 장비

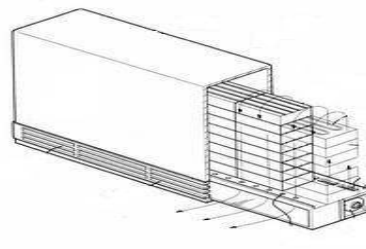
### 4.1 심야용 전기온풍기

실험시료로 사용된 심야용 축열식 전기온풍기의 구성도는 <그림 8>과 같으며, 그림 9.은 심야용 축열식 전기온풍기의 실물이다.

전기온풍기의 구동을 살펴보면 세라믹 또는 고밀도의 철 화합물로 제작된 벽돌을 기기에 내장하여 550~650°C정도의 고온으로 축열 하였다가 난방 시 기기내부로 온풍을 불어내거나 자연 방열시켜 난방 하는 장치이다.



<그림 8> 심야용 축열식 전기온풍기



<그림 9> 심야용 축열식 전기온풍기 단면도

열을 저장할 때는 외기 온도 변화에 따라 다음날 필요한 열량만큼 축열량을 조절할 수 있으며, 방열 시는 송풍기나 댐퍼를 통해 실내 온도를 조절할 수 있다.

<표 3>은 심야용 축열식 전기온풍기의 사양을 나타낸다. 3상 380V의 전원을 사용하며, 전기온풍기의 규격과 축열 벽돌 사용수량에 따라 소비전력과 축열량에 차이를 보이고 있다.

<표 3> 심야용 축열식 전기온풍기의 제원

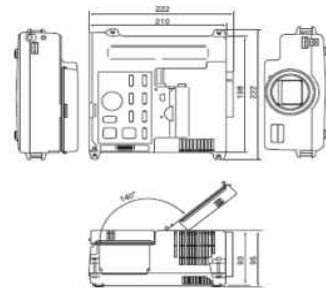
정격전압 (V)	소비전력 (kW)	규격(mm)	축열량 (Kcal)	축열벽돌(개)
3φ×380	6.0	695×1336×266	48,700	35

## 4.2 열화상 카메라

온도측정 장비로 사용된 열화상 카메라의 <그림 10>은 열화상 카메라를 나타낸 것이다. 실험 시 온도 측정은 1m 떨어진 거리에서 동일하게 측정하였으며, 측정된 온도 분포는 열화상 카메라의 LCD모니터에 출력되어 최고온도 990°C까지 측정된다.



<그림 10> 열화상 카메라



<그림 11> 열화상 카메라 단면도

<표 4> 열화상 카메라의 제원

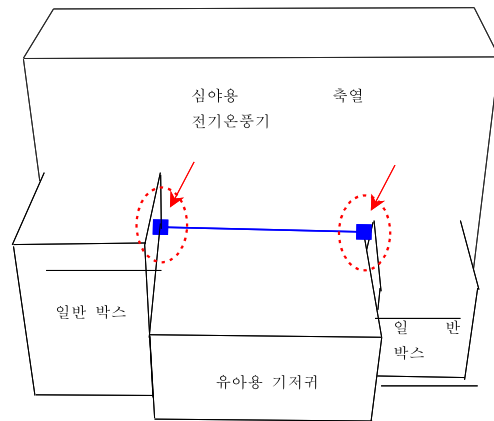
내역	제원 및 설명
시야각/최소초점거리	21° x 21.5°/30m
A/D분해능	12bits
초점거리	30cm~∞
화면화소개수	255(수평)×223(수직)
온도범위	기본사양:-10℃ 에서 +1500℃
순시시야	2.2mrad
특징	근접확대 Lens 사용 이동물체 및 회전물체도 측정

### 4.3 실험장치

실험에 사용된 장치의 구성도는 <그림 11>과 같으며, 유아용 기저귀 박스와 일반타입의 박스를 사용하여 축열식 전기온풍기의 하단 송풍구를 막는 형식으로 심야 전력의 인가되는 시간에 축열되는 열의 시간과 온도, 기저귀 박스의 탄화현상을 알아본다. 실험 시 <그림 12>과 같이 두 점의 틈새 온도를 측정하였으며, 측정거리는 측정부위로부터 1m의 거리를 두어 측정하였다.



<그림 11> 실험 장치의 구성도



<그림 12> 실험장치의 온도 측정 부위

## 5. 고찰

### 5.1 실험결과

심야 전력 인가 시간인 22:00~04:50까지 6시간 50분 동안 축열온도를 열화상 카메라를 이용하여 측정하였으며, 측정한 데이터는 <표 5>와 <그림 13, 14>와 같다.

실험 시 02:00 이전에는 별도의 열화상 카메라 촬영 없이 축열시간과 온도만을 기록하였으며, 02:00부터 04:50분까지 열화상 카메라로 촬영하였다. 그 결과는 다음과 같다.



<표 5> 축열식 전기온풍기의 축열 온도 측정

축열 측정 시간	축열 온도 측정
22:54	43℃
23:35	80℃
00:02	85℃
00:30	102℃
01:00	106℃
01:30	112℃
02:00	119℃
02:30	125℃
03:00	127℃
03:30	141℃
04:00	146℃
04:30	158℃
04:40	168℃
04:45	171℃

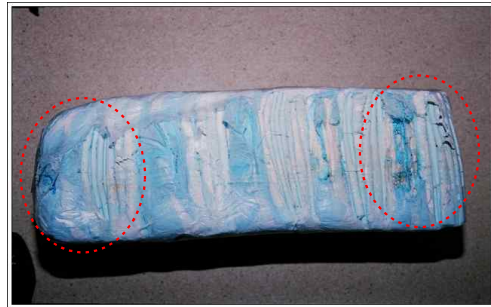
<표 5>를 통하여 확인할 수 있듯이 초기온도 43℃에서 출발하여 약 40분간 40°의 축열현상을 보였으며, 이는 초기온도에서 일정 상태까지 고온으로 축열 되었다가 축열 온도의 최고점에 도달하면 서서히 축열되는 현상을 보이고 있다.

또한 00:02~00:30, 03:00~03:30, 04:00~04:30동안 급격한 축열 상태를 보이고 있다. 이는 축열식 전기온풍기 내부의 전열선에 의해 발생된 열에너지를 축열하는 축열재(벽돌) 내의 내부온도(560~650)에 따라 조금씩 틀러지는 것으로 생각된다.

심야 전력 인가 시간인 22:00~04:50까지 6시간 50분 동안 축열온도를 측정한 결과 다음과 같은 사실을 확인할 수 있었다. <그림 13, 14>은 송풍구의 기저귀 용착 상태를 나타내며, 기저귀의 좌측과 우측에 탄화현상을 보이고 있다.



<그림 13> 송풍구의 기저귀 용착 상태



<그림 14> 기저귀의 탄화 상태

## 5.2 결과의 해석

본 연구에서는 온풍기의 송풍구를 비닐 등 가연물이 막고 있다면 충분히 축열 발화할 수 있는 환경이 되었을 경우 화재 위험성이 존재하는지의 여부를 확인하기 위해 축열 측정 시간에 따른 온도만을 기록하여 실험한 결과에 대하여 다음과 같이 해석할 수 있다.

### 5.2.1 온도 확인

전기온풍기의 송풍구를 기저귀 뭉치 등으로 막아두고 실험한 결과 02:00 이후에 기저귀 탄화냄새를 확인할 수 있었으며, 04:40에 측정된 송풍구와 기저귀 접촉 표면 온도는 168°C로 확인되었다.

### 5.2.2 온도 추정

30분마다 평균 7.3°C씩 온도가 상승하는 것으로 나타났으며, 03:00의 127°C에서 141°C의 온도로 급격하게 올라가는 것으로 확인되었다. 이는 이 시점에서 기저귀 표면의 비닐 탄화온도와 표면에 축적되는 온도가 동시에 축열되기 때문인 것으로 생각된다.

측정된 168°C의 온도는 송풍구와 기저귀 틈새 온도이며, 실제 두 물체 간 접촉 표면 온도는 168°C이상 일 것으로 추정된다.

### 5.2.3 화재 위험성 감소방안

전기온풍기의 전면 커버 하단의 송풍구 입구측이 출구측의 송풍 온도보다 더 높은 온도로 상승하게 되었을 때 전원을 자동으로 차단할 수 있는 온도센서와 차단장치가 필요할 것이라 생각된다.

온풍기 하단의 자동전원차단장치 및 온도센서의 장착이 불가할 시에는 사용자가 화재 위험성을 확실히 인지 할 수 있도록 안내 문구를 표기하여 유사한 화재 발생을 사전에 예방할 있도록 하여야 한다.

현장 감식·감정과정 중 제품 자체의 결함으로 인하여 화재가 발생함을 확인할 수 있으나, 외부적 요인과 결합하여 화재가 발생하는 경우도 있기 때문에 전기온풍기 하단의 송풍구측 기저귀 탄화 현상과 같은 사례를 참고하여 화재 현장에서 일어날 수 있는 모든 화재 발생 원인을 파악할 필요가 있다.

## 6. 결론

본 연구는 심야용 축열식 전기온풍기의 화재 위험성을 알리는데 중점을 둔 연구로서 본 연구에서는 심야용 축열식 전기온풍기의 화재 사고사례에 대해 분석하고 심야 전력 인가 시간별 축열온도 측정 결과에 대해 보고했다. 분석 결과 온풍기의 송풍구를 비닐 등 가연물이 막고 있다면 충분히 발화할 수 있는 조건으로 판단되었다.

이와 같은 가연물의 착화발화에 의한 화재위험성을 감소시키는 방안으로 향후 연구 과제로 전기온풍기의 전면 커버 하단의 송풍구 입구측이 출구측의 송풍 온도보다 더 높은 온도로 상승하게 되었을 때 전원을 자동으로 차단할 수 있는 온도센서와 차단장치의 상호 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다고 제언하였다.

또한 온풍기 하단의 자동전원차단장치 및 온도센서의 장착이 불가할 시에는 사용자가 화재 위험성을 확실히 인지 할 수 있도록 안내 문구를 표기하여 유사한 화재 발생을 사전에 예방할 수 있도록 해야 한다.

## 7. 참 고 문 헌

- [1] 금중수, 김정철 “심야전력을 이용한 잠열축열식 바닥난방 시스템의 성능평가에 관한 연구” 大韓建築學會論文集 計劃系 Vol.9. No.3. pp113-123 (1993. 03)
- [2] 김만우, 화재조사, 신광문화사, 2004. 03
- [3] 김만우, 화재조사용어집, 신광문화사, 2004, 05
- [4] 김용덕, 김정기, 축열식 전기온풍기, 특허 2019920024578, 1992. 12
- [5] 김준호 “99축열식 심야기기실무기술Ⅱ” “한국전기연구소” “1999”
- [6] 권성철, 한승호, 이학주, 박영근, 고기중 “축열식 난방기기의 심야전력 공급시간 자동제어장치 개발” 전력전자학술대회 논문집 pp921-924 (2003. 7. 14 ~7. 17)
- [7] 문 식, 정진삼 “심야전력에 관한 연구” 2009년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2009. 7. 14 - 17
- [8] 문용수, 박민영 “심야용 축열식 전기온풍기의 화재 위험성에 관한 연구” 한국화재조사학회, 2008. 06
- [9] 백이, 강금춘, 이시영 “전기온풍기의 난방 특성 분석” 한국기계기술학회지, Vol.11 No.4, (2009)
- [10] 변상준 “축열식 전기온풍기의 자동제어장치 개발”. 2004 한국정보기술학회 하계학술대회 논문집 pp245-251(2004. 8)
- [11] 전기위원회 2009년 73회차 웹진 <http://www.leadernews.co.kr/korec/webzine07/issue/issue.as>
- [12] 전력거래소뉴스레터 [http://www.kpx.or.kr/newsletter/cover/sub\\_content.php?type=11&idx=1779&curpage](http://www.kpx.or.kr/newsletter/cover/sub_content.php?type=11&idx=1779&curpage)
- [13] 지식경제부 “심야전력 현황 및 개선방안, 전기위원회 Vol 73, “2009 04”
- [14] 최동호, 양창남, 임홍성 “심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기와 비축열식 전기방열기의 난방특성 및 실내온열환경 평가에 관한 연구” 大韓建築學會論文集 計劃系 Vol.19. No.2. pp227-236 (2003. 02)
- [15] 최동호, 양창남, 양정훈 “심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기의 축열용량 및 설치위치가 실내온열환경에 미치는 영향” Vol.15. No.11. pp235-244 (1999.11)
- [16] 최충석 외 3명, 전기화재공학, 동화기술교역, 2003. 03
- [17] 축열식 전기온풍기의 배기열풍온도 조절장치, 특허(주)대영공업, 2019980006452, 2000