심야용 축열식 전기온풍기의 화재 위험성에 관한 연구

A study on Fire Hazard of Electric Radiant Heating Systems with Thermal Storage Using Off-peak Electricity

한국화재조사학회, 경기도지방경찰청 **박민영*, 문용수****

Abstract

The purpose of this study is to identify the fire danger of the electric radiant heating system and check the way how to use it and the problems that could be possible through a actual case. We carry out an experiment to identify the possibility of the fire in the similar condition of the actual fire case.

The results of this study are as follows. It is a possible condition to fire if the air blast of the electric radiant heating system is blocked by some combustible materials such as plastic bags continuously. A temperature sensor and a residual current device are necessary to disconnect the power source. It is also necessary to attach a notice in front of the electric radiant heating system that shows users the fire danger to forbid the possible fire. Fires could be happened by internal defects of the electronic products. However, we can also find many external reasons to happen fires. Therefore, we need to check all reasons to make fires in the scene of a fire.

1. 서 론

국내 심야전기제도는 필요한 시간대에 소비전력이 줄어들어 발전용량이 남아 낭비되는 것을 막기 위해 전력소비가 적은 심야 시간대에 전기를 공급받아 심야 전력기기를 이용하여 축열 형태로 저장함으로서 전력을 효율적으로 사용하기 위한 목적으로 도입되었다.

현재까지 심야 전력 이용에 관한 연구가 활발히 진행 되어 왔으나 건축물에 적용되는 여러 난방시스템들 중 심야 전력을 이용한 축열식 전기온풍기를 검토 대상으로 한 연구사례는 많지 않다. 특히 난방기기의 화재 위험성 평가를 해석한 사례는 거의 찾아 볼 수 없는 실정이다.

심야용 축열식 전기온풍기의 고안 목적은 축열재의 중앙부분 축열을 이용하여 외부 공기를

데우고, 데워진 공기가 균일하게 배출되도록 함으로서 난방효율을 높이며 난방 가능시간이 연장되도록 함과 동시에 실내의 균일한 난방을 하기 위한 것이다. 하지만 열풍을 불어내는 하단의 송풍구의 입구측에서 적재물의 탄화로 인하여 화재가 발생되는 사고사례가 일어나고 있다.

이에 본 연구에서는 심야용 축열식 전기온풍기의 화재 사고사례를 살펴보고 이를 기초로 하여 화재 검증 실험을 실시하였다. 본 연구는 화재 검증 실험 결과를 바탕으로 심야용 전기온풍기의 화재위험성을 파악하여 실 사용자의 전기온풍기 사용과정과 그 문제점을 확인하고, 화재감식 및 검증 시 기초 자료로 활용하기 위한 목적으로 작성되었다.

2. 전기온풍기의 화재사고 사례 분석

2-1. 화재현장

수원 장안구 ○○약국 내부로, 화재 현장의 소훼 부위는 복구된 상태였으며, 관계자가 보관중이던 소훼된 축열식 전기온풍기를 약국 내 설치되어 있던 장소로 이동하여 관찰하였다.

온풍기의 전면 및 좌측면에 화염에 의한 변색흔과 하단의 송풍구 입구 주변으로 기저귀 탄화용융물의 융착상태가 관찰되었다. 온풍기 내부 안전소자(온도퓨즈, 벨로우즈 관, 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.

2-2. 화재현장 사진 분석

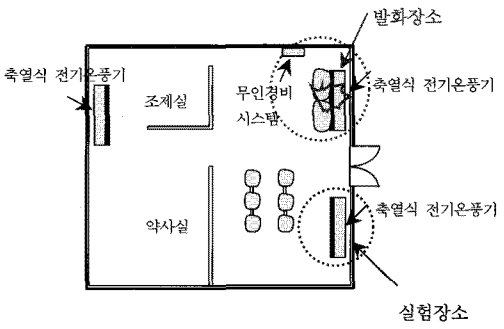

Fig 1. 화재실 내의 현장 단면도

Fig 1.는 화재실 내의 현장 단면도를 나타내며, 축열식 전기 온풍기 3대와 무인 경비 시스템이 설치되어 있었으며, 전기온풍기 우측의 유리창 파손과 좌측의 약국 물품등이 소손되어있는 상태이다.

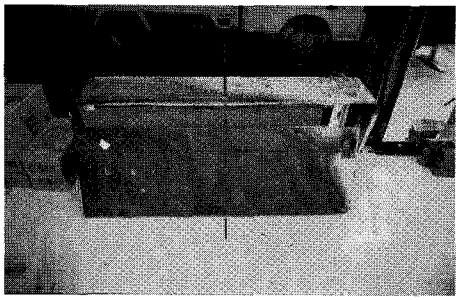

Fig 2. 임장 복구 상태의 축열식 전기온풍기

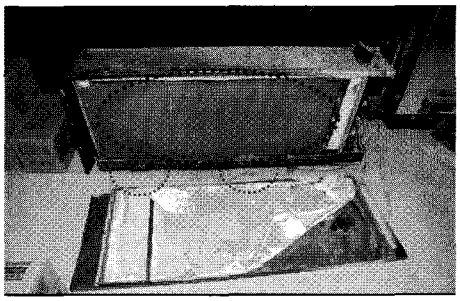

Fig 3. 전기온풍기의 전면 커버 안쪽을 촬영

Fig 2.은 임장 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. Fig 3.는 중앙커버를 분리하여 내부 커버를 촬영한 것으로 커버 중앙으로 강한 수열의 흔적이 나타나고 있으며 송풍구 ○ 부위에 기저귀로 추정되는 탄화 용융물이 융착 상태임을 볼 수 있다.

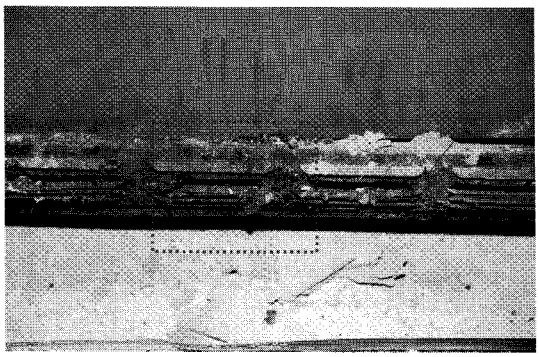

Fig 4. 송풍구의 근접 촬영

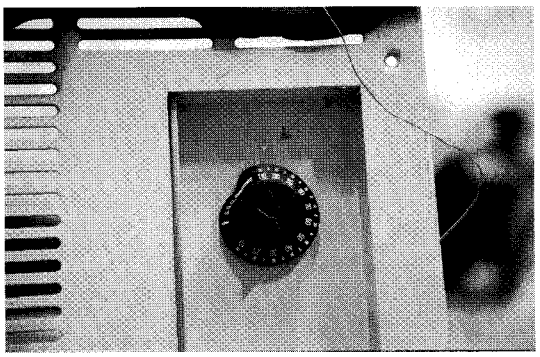

Fig 5. 축열 온도 조절 손잡이의 근접 촬영

Fig 4.는 전기온풍기의 송풍구를 근접 촬영한 것으로 탄화 용융물의 융착 상태를 볼 수 있다. Fig 5.는 축열 온도 조절 손잡이의 온도 위치가 110℃에 위치하여 있으며, 이는 사용자가 축열식 전기온풍기의 최대 사용온도로 사용하고 있었음을 나타낸다.

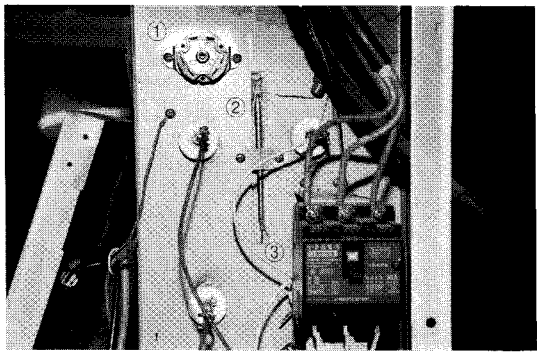

Fig 6. 내부 안전소자 부위를 근접 촬영

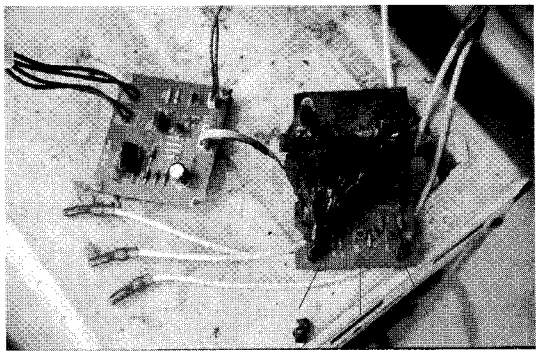

Fig 7. 온풍기의 실내조절기 회로 기판 촬영

Fig 6.는 내부 안전 소자 장착 부위를 근접 촬영한 것으로 ①온도퓨즈, ②벨로우즈 감열봉, ③누전차단기 등이 위치하며 출화 및 결함 특이점으로 보이는 그을임이 관찰되지 않았다. Fig 7. 온풍기 실내 조절기 회로 기판을 촬영한 것으로 ↗전원, ↑저온, ↖고온 스위치이며, 특이점은 발견되지 않았다.

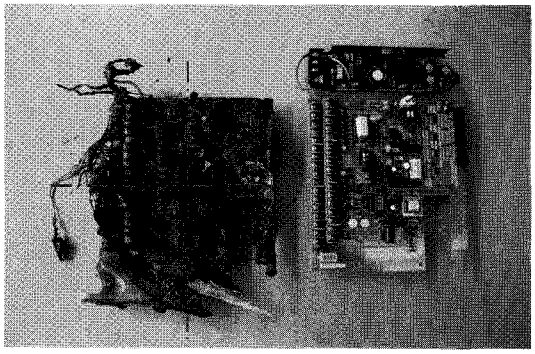

Fig 8. 무인경비시스템의 제어장치 잔해

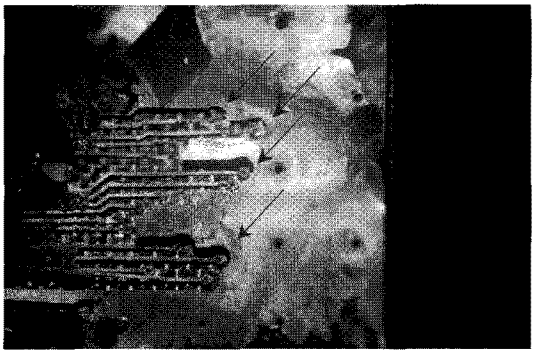

Fig 9. 회로기판의 현미경 촬영

Fig 8.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. Fig 9.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. 연구 결과는 다음과 같다.

3. 실험장치

3.1 심야용 전기온풍기

실험을 하기 위해 사용된 심야용 축열식 전기온풍기의 구성도는 Fig 10.과 같으며, Fig 11.은 심야용 축열식 전기온풍기의 실물이다.

전기온풍기의 구동을 살펴보면 세라믹 또는 고밀도의 철 화합물로 제작된 벽돌을 기기에 내장하여 550~650℃정도의 고온으로 축열 하였다가 난방 시 기기내부로 온풍을 불어내거나 자연방열시켜 난방하는 장치이다.

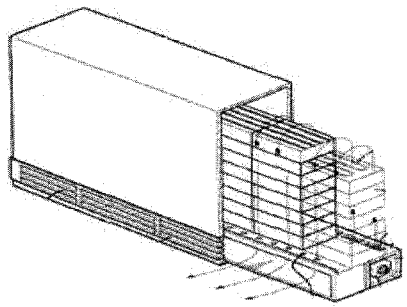

Fig 10. 심야용 축열식 전기온풍기 단면도

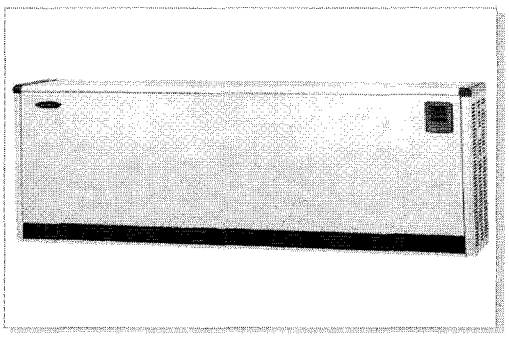

Fig 11. 심야용 축열식 전기온풍기

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

Table 1. 심야용 축열식 전기온풍기의 제원

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

Table 1.은 심야용 축열식 전기온풍기의 사양을 나타낸다.

3상 380V의 전원을 사용하며, 전기온풍기의 규격과 축열 벽돌 사용수량에 따라 소비전력과 축열량에 차이를 보이고 있다.

3.2 열화상 카메라

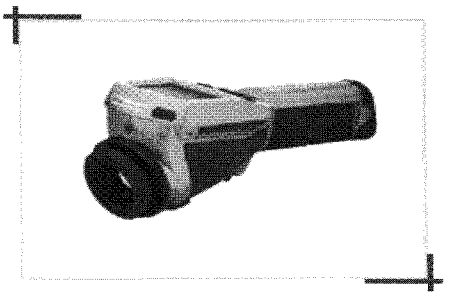

Fig 12. 열화상 카메라

Fig 12.은 열화상 카메라를 나타낸 것이다. 실험 시 온도 측정은 1m 떨어진 거리에서 동일하게 측정하였으며, 측정된 온도분포는 열화상 카메라의 LCD모니터에 출력되어 최고온도 990℃까지 측정된다.

Table 2.는 열화상 카메라의 제원을 나타낸다.

4. 실험 장치의 온도 측정

4.1 실험 방법

실험에 사용된 장치의 구성도는 Fig 13.와 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.

Table 2. 열화상 카메라의 제원

내 역	제원 및 설명
시야각/최소초점거리	19° x 14°/0.3 m(17 mm 렌즈포함)
온도분해능	0.1℃ at 30℃
초점	수동 조정
디스플레이화면	2.5인치 LCD 화면(16K)
온도범위	기본사양:-20℃ 에서 +990℃
정밀도	±2℃ , ±2%
측정형식	최대지역, 최소지역, 지역평균 온도를 3개의 이동스팟으로 표현 AUTO HOT-spot, 문자주석기능, 소리알람 기능

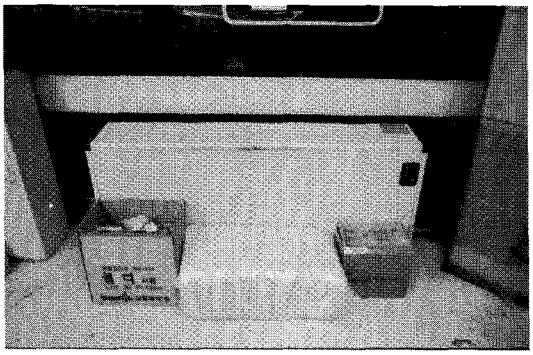

Fig 13. 실험 장치의 구성도

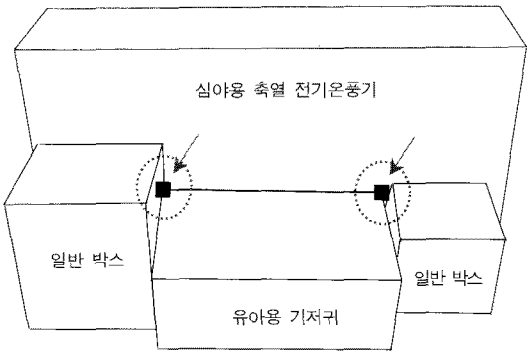

Fig 14. 실험장치의 온도 측정 부위

실험 시 Fig 14.과 같이 두 점의 틈새 온도를 측정하였으며, 측정거리는 측정부위로부터 1m의 거리를 두어 측정하였다.

4.2 실험 결과

심야 전력 인가 시간인 22:00~04:50까지 6시간 50분 동안 축열온도를 열화상 카메라를 이용하여 측정하였으며, 측정한 데이터는 Table 3.와 Fig 15.~Fig 20.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.

Table 3. 축열식 전기온풍기의 축열 온도 측정

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

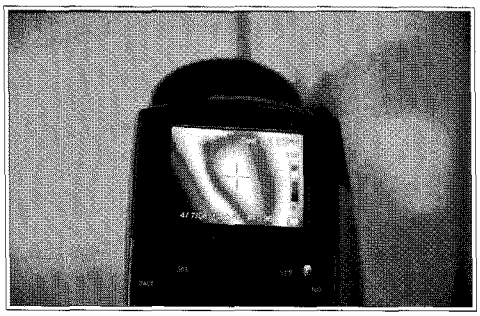

Fig 15. 02:00의 축열 온도 측정 (119℃)

Fig 16. 03:30의 축열 온도 측정 (142℃)

Fig 17. 03:35의 축열 온도 측정(143℃)

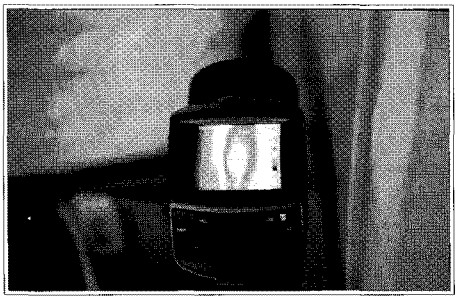

Fig 18. 04:25의 축열 온도 측정(157℃)

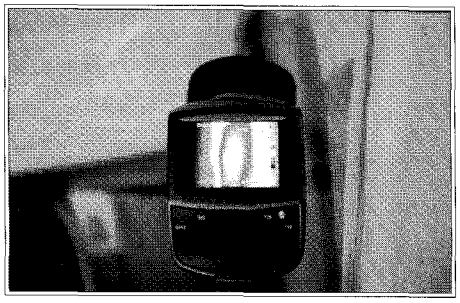

Fig 19. 04:30의 축열 온도 측정(158℃)

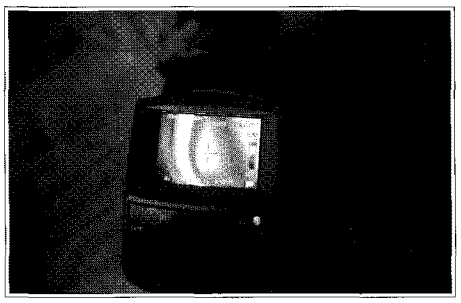

Fig 20. 04:40의 축열 온도 측정(166℃)

5. 실험 고찰

Table 3.을 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 틀려지는 것으로 생각된다.

Fig 21.~22.은 송풍구의 기저귀 융착 상태를 나타내며, 기저귀의 좌측과 우측에 탄화현상을 보이고 있다.

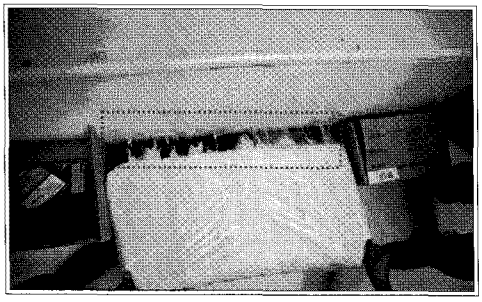

Fig 21. 송풍구의 기저귀 융착 상태

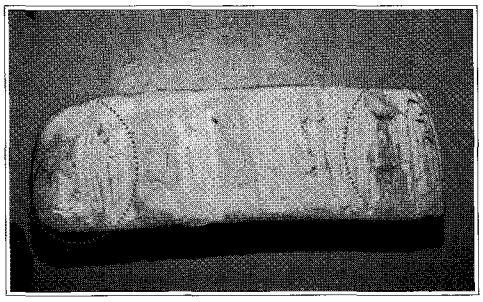

Fig 22. 기저귀의 탄화 상태

6. 결론

심야 전력 인가 시간인 22:00~04:50까지 6시간 50분 동안 축열온도를 측정한 결과 다음과 같은 사실을 확인할 수 있었다.

1) 전기온풍기의 송풍구를 기저귀 뭉치 등으로 막아두고 실험한 결과 02:00 이후에 기저귀 탄화냄새를 확인할 수 있었으며, 04:40에 측정한 송풍구와 기저귀 접촉 표면 온도는 168℃로 확인되었다..

2) 30분마다 평균 7.3℃씩 온도가 상승하는 것으로 나타났으며, 03:00의 127℃에서 141℃의 온도로 급격하게 올라가는 것으로 확인되었다. 이는 이 시점에서 기저귀 표면의 비닐 탄화 온도와 표면에 축척되는 온도가 동시에 축열되기 때문인 것으로 생각된다.

3) 측정된 168℃의 온도는 송풍구와 기저귀 틈새 온도이며, 실제 두 물체 간 접촉 표면 온도는 168℃이상 일 것으로 추정된다.

이에 온풍기의 송풍구를 비닐 등 가연물이 막고 있다면 충분히 축열 발화할 수 있는 조건으로 판단된다.

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 수 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.

참고문헌

1. 심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기와 비축열식 전기방열기의 난방특성 및 실내온열환경 평가에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 2003. 3
2. 심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기의 난방특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 1999.
3. 축열식 전기온풍기, 특허, 김용덕 김정기, 특허2019920024578, 1992. 12
4. 축열식 전기온풍기의 배기열풍온도 조절장치, 특허, (주)대영공업, 특허2019980006452, 2000
5. 화재조사, 신광문화사, 김만우, 2004. 3
6. 화재조사용어집, 신광문화사, 김만우, 2004. 5
7. 전기화재공학, 동화기술교역, 최충석 외 3명, 2000. 3