정수기 화재 재현실험을 통한 메커니즘 연구

A Study on the Mechanism through Reproduction Experiments of Water Purifier Fire

이정일*

Lee, Jung Il

Abstract

Today, most people work and home, through the water purifier has been resolved. Depending on seasonal changes and personal taste of coffee, if you can enjoy a snack and water purifier is a restaurant, lounge, public areas and focusing on the rapid spread of the fire, water purifier as compared to the total number of fires increased by 0.03% per year trend on, but the washrooms fire and fire-related research data and case studies with analysis of the exact cause lack of proper preventive measures are insufficient reality. This study focused on the water cooler to understand the structure and principles of fire, fire out a mechanism to review the weak factors should contribute to fire prevention.

Key words : Water purifier, Analysis, Principles of fire, Fire prevention

요 지

오늘날 대다수 국민들은 일터나 가정에서 정수기를 통해 식수를 해결하고 있다. 계절변화와 개인 취향에 따라 커피, 라면 등의 간식을 즐길 수 있는 냉온정수기가 음식점, 휴게실, 공공장소 등을 중심으로 급격하게 보급 되면서 냉온정수기의 화재가 전체 화재건수대비 매년 약 0.03%씩 증가 추세에 있으나, 냉온수기화재 관련 연구 자료와 화재사례분석 등이 미비하여 정확한 원인분석과 더불어 적절한 예방대책이 미흡한 현실이다. 이에 본 연구에서는 냉온수기를 중심으로 구조와 원리를 이해하고 화재 발생 메커니즘을 밝혀 화재취약 요인을 검토하여 화재예방에 기여하고자 한다.

핵심용어 : 냉온수기화재, 화재사례분석, 원인분석, 화재발생 메커니즘, 화재예방

1. 서 론

1.1 연구의 목적

최근 상수도의 수질에 대한 논란 등으로 인해 건강을 최우선으로 하는 시대 분위기와 맞물려 일터와 가정을 중심으로 정수기는 이제 생활의 필수품으로 인식되었다. 최근 냉온수기의 화재가 전체 화재건수대비 매년 약 0.03%씩 증가 추세에 있으나 냉온수기화재 관련 연구 자료와 화재사례분석 등이 미진하여 정확한 원인분석과 적절한 예방대책 마련이 필요한 시점이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 전기에너지를 이용한 냉온수기의 구조·원리를 이해하고, 화재발생 등에 대한 메커니즘을 통해 화재취약 요인에 대한 고찰과 화재원인조사의 길잡이를 마련하고, 제조상 결함 등을 추가로 검토하여 우리나라 정수기 화재 예방에 기여하고자 한다.

1.2 연구의 방법

요즘 정수기 화재에 대한 연구로서 정수기화재원인 감식에

관한 연구가 많이 나오고 있다. 본 연구는 우리나라 정수기 화재 연구를 통한 화재발생 메커니즘을 밝혀 화재취약 요인에 대한 화재예방의 목적을 달성하기 위해 다음과 같은 방법으로 연구하고자 한다. 첫째, 정수기 등의 종류를 파악하고, 둘째, 정수기의 구조 원리를 이해하며, 셋째, 발화사례를 조사하고, 넷째, 화재재현을 통한 발화가능성을 검토 하여 화재 예방 방법을 제시하고 재현실험을 통한 발화가능성 및 화재 현장에서 발화원인으로 나타난 발화사례를 중심으로 실험 및 기술한다.

2. 정수기 등의 종류(구분)

일반적으로 정수필터를 이용하여 정수된 물을 사용하는 정수기와 생수기를 사용하는 생수기로 구분하는데, 여기에 전기 에너지를 이용하여 냉온수와 이온수를 만드는 등 사용목적에 따라 다양한 성능을 가진 제품이 만들어지고 있다(국내에 100개 이상의 제조사가 있음).

*정회원 · 서울 중부소방서 현장지휘대 경영학박사·행정학박사 (E-mail : gydhhh@hanmail.net)

표 1. 국내 정수기 비교

No	구 분	비 고
1	정 수 기 (냉온정수기)	- 정수필터를 이용하여 정수된 물을 사용 - 정수된 물을 전기를 이용하여 냉온수로 사용 ※ 냉장기능을 겸하는 것도 있음
2	생 수 기 (냉온생수기)	- 생수를 전기를 이용하여 냉온수로 사용 ※ 냉장기능을 겸하는 것도 있음
3	이온수기	- 전기를 이용, 물의 분자구조를 이온화(산 및 알칼리)하여 사용
4	연 수 기	- 양이온 교환수지를 이용하여 물에 들어있는 칼슘과 마그네슘을 흡착하고 나트륨성분을 풀어주어 경수를 연수로 사용

※ 본 연구에서 말하는 냉온수기는 전기를 이용한 정수기와 생수기를 말함.

3. 구조 및 원리

냉온수기 중 정수기능이 없이 생수통을 통하여 공급받은 물을 단순히 냉각 및 가열만 방식과 수도물에 직접 연결하여 정수필터를 통해 정수한 후 냉각 및 가열하는 방식이 있는데, 기본적인 구조 및 원리는 비슷하다. 두 제품 모두 온수기능을 하는 부분이 포함되어 있어 온수의 온도를 제어하는 부분은 항상 고온상태의 환경을 갖는다. 또한 냉온수기는 24시간 작동을 시켜놓는 곳이 대부분이고 사용시간 이외에도 가열과 냉각이 지속적으로 반복되는 특징을 가진다.

3.1 냉온수기 구조

일반적인 냉온수기의 구조는 기기의 외형을 구성하는 본체(Body), 물을 데워주는 히터(Heater), 물을 냉각하는 냉각기, 물 배관, 내부배선, 전원스위치 등이 기본적으로 장착되고 기능에 따라 부가적으로 추가되는데, 각 기능별로 구분하면 다음과 같다.

- ① 본체(Body) : 철판케이스, 플라스틱케이스 등
- ② 급배수 : 생수통, 냉온수 탱크, 냉온수 배관 및 밸브 등
- ③ 보온재 : 스티로폼, 스폰지, 비닐 등

그림 1. 정수기

그림 2. 생수기

- ④ 온수 : 히터(시즈히터, 밴드히터) 등
- ⑤ 냉각 : 압축기, 응축기, 드라이어, 증발기, 모세관 등
- ⑥ 제어(안전): 서모스탯(바이메탈), 메인기판, 기동(과부하) 릴레이, 서미스터, 변압기, 콘덴서, 냉온수센서, 퓨즈 등
- ⑦ 기타 : 전원스위치, 플러그, 표시램프, 전기배선 등

3.1.1 주요부품의 명칭

외관 구조물 검토결과 발화원은 전기배선 및 제어(안전)장

그림 3. 주요구조 및 명칭

그림 4. 냉온수기 구조도

치 등 전기기기라 할 수 있고, 가연물은 보온재(스티로폼, 스펀지 등)라 할 수 있으며, 특히, 냉수탱크 및 냉수배관의 결로현상을 방지하기 위하여 설치한 보온재(스티로폼 등)와 온수탱크의 보온을 위하여 설치한 보온재(스펀지 등)가 발화원(히터, 서모스탯, 메인기판 등)에 접하여 상존하고 있어, 이상 발열 시 쉽게 연소 확대 요인으로 작용할 수 있는 취약요인이 발견되었다.

3.1.2 전기배선도

그림 5. 냉온수기 회로도

3.2 냉·온시스템 작동방식

센서부(서미스터)의 감지온도에 따라 제어부(PCB)에 의해 동작부(컴프레서와 히터)를 작동시키는 방식과 센서부와 제어부의 기능을 동시에 수행하여 서모스탯(Thermostat)에 의하여 동작부(컴프레서와 히터)를 작동시키는 방식 등이 있다.

3.2.1 냉각시스템 작동방식

냉수센서(서미스터)의 감지온도에 따라 전자제어(PCB)에 의하여 기동릴레이에 전압을 공급하여 압축기가 작동하는 방식과 서모스탯의 감지온도에 따라 기동릴레이에 전압을 공급하여 압축기가 작동함으로써 냉각 사이클이 작동하는 방식 등이 있다.

냉각 사이클(Cooling Cycle)은 저온·저압의 냉매가스를 받은 압축기는 고온·고압의 냉매가스를 응축기로 보내면 고온·고압의 냉매액으로 변환, 드라이어에서 수분을 제거 후 모세관을 통과하면서 저온·저압의 냉매액으로 변하여 냉수탱크에서 증발작용을 하고 압축기로 들어가 순환작용을 한다.

3.2.2 온수시스템 작동방식

온수탱크에 부착된 바이메탈 설정 온도(약80~110℃)에 따라 설정온도 이하일 경우 히터가 작동하고 설정온도 이상이 되면 작동이 중지되도록 하여 원하는 적정 온수를 생산하는 시스템으로 전자제어(PCB) 방식과 바이메탈(Thermostat)제어 방식이 있다.

4. 발화사례

4.1 냉각장치 서모스탯 발화

냉온수기 뒷면에 설치된 서모스탯 가동접점부분에서 전기적인 이상(트래킹 등)발열로 발화한 경우로 <그림 6>과 같다.

그림 6. 서모스탯 가동접점 소회흔과 연결배선의 단락흔

4.2 바이메탈 온도조절장치 발화

온수통에 설치된 바이메탈서 온도조절장치 가동접점부분 등에서 전기적인 이상(트래킹 등) 발열로 발화원 경우로 <그림 7>과 같다.

4.3 전기배선의 발화

냉온수기 상단 내부로 인입되어 여러 갈래로 분기되는 다

발로 묶여진 전선몽치에서 누전이나 전기합선 등으로 발화한 경우로 <그림 9>와 같다.

4.4 메인기판 발화

냉온수기 정수기 좌측 하단 부위에 설치된 메인 기판의 납땜 불량이나 전기소자의 열화 등으로 인해 발화된 경우로 <그림 10>과 같다.

그림 7. 바이메탈 서모스탯 □부분의 국부적 탄화 형태

그림 8. 내부 가동접점 용융형태

그림 9. 내부의 각 기기에 연결된 내부배선의 전기적 용단흔

그림 10. 국부적으로 소훼된 메인기판과 샘플과의 비교 형태

그림 11. 국기동릴레이의 이상발열(소해)형태

그림 12. 콘덴서의 단자판 이상 파열 형태

4.5 기동릴레이 발화

컴프레서(압축기) 기동릴레이 이상발열로 발화한 경우로 <그림 11>과 같다.

4.6 콘덴서 발화

모터 구동용 콘덴서의 이상발열로 발화한 경우로 <그림 12>와 같다.

5. 재현실험을 통한 발화가능성 검토

재현실험은 1차 2011년 3월 12일 토요일 오전 10시부터 18시까지 서울소방학교 공터에서 진행 하였으며, 2차 재현실

정수기 화재 재현실험을 통한 메커니즘 연구

험은 5월 16일 13시부터 18시까지 중부소방서 실험실에서 진행하였다. 날씨는 맑았고, 온도는 16.4°C였으며, 습도는 15.1%였고, 실험기자재는 냉온수기 4개, 발전기1개, 전기장치 세트1개, 열화상 카메라 1대 등을 사용하여 실험을 진행하였다. 방호과 화재조사계에서 화재조사담당의 11명이 참가하여 바이메탈 온도조절장치의 발화부터 연소과정, 변압기의 발화부터 연소과정, 기관의 발화부터 연소과정, 기동장치(기동·과부하 릴레이)의 발화부터 연소과정, 외부화염에 의한 연소 후 전 단계의 발화부와 비교하였다. 온도조절장치, 기동장치, 메인기관, 변압기의 발열 실험으로 정상가동상태의 부품에 임의적 소금물 투여 발열(트레킹) 시켜, 외부화염에 의한 내·외부소해상태 실험하였고, 정상가동상태에서 외부화염에 의하여 냉온수기를 연소시켰으며 전원공급을 위해 발전기를 사용하였다.

5.1.1 바이메탈 온도조절장치의 발화부터 연소과정

시 간	온 도	내 용	비 고
00분	21도	실험전 온도	
01분 16초	23도	연기발생	바이메탈 접점부위
02분 15초	29도	불꽃발생	"
02분 03초	32°C	스편지연소	보온재연소시작
07분 18초	95°C	재 발화 시작	바이메탈접점부위
07분 20초	400도	재발화(불꽃발생)	"
07분 40초	400도	불꽃소화	"
08분 12초	400도	재발화(불꽃발생)	"
08분 45초	300°C	불꽃소화	"
09분 08초	400°C	"	"
09분 59초	430°C	"	"
10분 27초	400°C	자연소화	시작 10분 27초 종료

5.1.2 변압기의 발화부터 연소과정

시 간	온 도	내 용	비 고
00분	22°C	시작온도	
02분 07초	23°C	온도상승	
02분 27초	29°C	소리남	변압기
05분 21초	23°C	온도하락	"
09분 00초	68°C	불꽃발생	"
09분 56초	73°C	"	
10분 23초	23°C	불꽃없음	변압기
11분 15초	35°C	불꽃발생	"
12분 03초	69°C	온도상승	"
13분 33초		자연소화	"

5.1.3 기관의 발화부터 연소과정

시 간	온 도	내 용	비 고
00분	19°C	시작온도	
00분 37초	28°C	온도상승	
00분 50초	39°C	"	기관
01분 40초	60°C	연기와 불꽃발생	"
02분 00초	50°C	연기와 불꽃멈춤	시작 2분 종료

압축기 외부 소해상태

릴레이 외부 소해상태

바이메탈 내부 가동접점 소해상태

그림 13. 외부화염에 의한 연소 후 전 단계의 발화부와 비교

5.1.4 기동장치(기동 · 과부하 릴레이)의 발화부터 연소과정

시 간	온 도	내 용	비 고
00분	20°C	시작온도	
02분 00초	23°C	온도상승	
02분 30초	26°C	"	기동릴레이
05분 21초	23°C	온도하락	"
09분 00초	32°C	불꽃발생	"
10분 05초	35°C	불꽃멈춤	
10분 23초	23°C	온도하락	"
12분 13초	35°C	불꽃재발	"
12분 16초	31°C	불꽃멈춤	"
12분 20초	26°C	자연소화	차단기작동

5.1 재현실험 결과

5.2 발화가능성 검토결과

정수기 화재는 일반 전기기기와 같이 전기배선 또는 주요 부속품인 제어(안전)장치의 고장으로 전선피복이나 보온재 등 가연물에 착화할 가능성이 있음을 확인 하였고, 불완전 접촉과 기계적 · 열적손상이나 관리자의 취급부주의 등 환경적 요인 등으로 절연이 파괴되어 발화하는 것을 확인하였다.

제어장치 고장에 의한 발화가능성으로 회로기관 및 서모스탯(바이메탈)의 고장(제조상결함 또는 트래킹 등)에 따른 전기적 이상발열 발화 가능성이 있음을 재현실험 5.1.1 바이메탈 온도조절장치의 발화부터 연소과정을 통해 확인하였다.

냉온수기 설치장소의 부적정에 의한 발화가능성으로 지하실 등 습기가 많은 곳에 설치하거나 냉수탱크 결로현상에서 발생하는 수분 등이 기기내로 흘러내려 ON/OFF스위치와 전선접속 부분에 누전 또는 트래킹과 흑연화로 인한 발화 가능성이 있음을 확인하였다.

변압기 이상발열로 인한 발화가능성으로 변압기(코일)는 장기간 사용, 먼지 및 습기 등에 의한 절연열화로 인한 발열가능성에 대해서는 재현실험 5.1.2 변압기의 발화부터 연소과정을 통해 확인하였다.

기동릴레이 이상발화로 인한 발화가능성과 경연열화 및 내부 결로(물)침입에 의한 기동릴레이 내부에 트래킹(고정점점

과 가동접점 사이)에 의한 출화가능성에 대해서는 5.1.4 기동장치(기동 · 과부하 릴레이)의 발화부터 연소과정을 통해 확인하였다.

6. 결 론

요즘 정수기 화재가 많이 발생함에 따라 관심이 높아지고 있다. 과거에는 연구가 대부분 정수기화재원인 감식에 관한 연구였다. 본 연구에서는 정수화재 재현실험을 통해 발화가능성을 검토하여 발화원인을 찾아내어 정리하였다.

본 연구의 재현실험 결과 일반적으로 발생하는 전기배선의 절연열화(합선 등)에 의한 화재를 제외 한다면 전기를 제어하는 기기에서 발화가능성이 비교적 높다는 결론에 이른다. 특히 각 주요기능을 제어하는 회로기관과 서모스탯 고장으로 전기에너지가 적절하게 제어되지 않음으로써 전기적 이상발열에 따른 발화가능성이 가장 높다. 또한 발화부에 접한 보온재가 연소를 확대시키는 가연물로 존재한다는 취약요인이 확인되었다. 따라서 냉온수기 제조과정에서 이상 발열되지 않은 제어장치를 사용하거나 보온재를 불연재료로 사용한다면 냉온수기로 인한 화재를 대부분 예방할 수 있을 것으로 판단 된다.

참고문헌

- 이정일 외 1인 (2007) 정수기화재원인 감식에 관한 연구, **한국방재학회지**, 제7권, 제1호, pp. 108-120.
- 이정일 외 11인 (2006) **화재조사실무**.
- 이정일 (2009) **화재조사 감식실무**.
- 이의평(2003) **신 화재조사교본(일본 동경소방청 번역본)**.
- 최진만 (2010) **신 화재조사총론**.
- 최충석외 6인 (2004) **전기화재공학**.
- 인천 소방본부 (2003) **현장실무자를 위한 화재원인 조사기법**.
- 인터넷자료 (웅진코웨이)(<http://www.coway.co.kr>).

- ◎ 논문접수일 : 11년 03월 22일
- ◎ 심사의뢰일 : 11년 04월 01일
- ◎ 심사완료일 : 11년 06월 13일