

전기주전자의 화재위험성에 관한 연구

최기옥 KFPA 부설 방재시험연구원 화재조사센터 과장

1. 머리말

전기주전자는 전기를 이용하여 물을 끓이는 가전제품으로 정의할 수 있으며, 주거시설이나 사무실 등에서 주로 사용되는 전기주전자는 전기주전자, 무선전기주전자, 전기무선주전자 또는 전기포트 등의 이름으로 시중에서 판매되고 있다. 일반적으로 전기주전자는 용기 내의 물을 히터를 이용하여 가열하고, 물이 끓으면 물에서 발생하는 수증기의 열에 의해 자동전원차단장치인 바이메탈이 작동하며, 그에 따라 전원이 자동 차단되도록 제조된다. 전기주전자는 차, 컵라면 등을 먹기 위해 사용되는 뜨거운 물을 단시간 내에 끓일 수 있는 장점과 전기코드가 전기주전자의 몸체에서 분리되는 편리성 때문에 주거시설, 사무실 등에서 많이 사용되고 있다. 그러나 전기주전자는 물을 빨리 끓일 수 있고, 전기코드에서 분리되는 편리성 이면에는 사용상의 부주의 및 전기주전자 내부 안전장치의 고장 등에 의한 화재위험이 상존하고 있다. 이에 본 연구에서는 전기주전자에 대하여 그 사용조건 및 제품의 고장에 따른 기계장치의 발열특성을 확인하고, 그에 따른 화재위험성에 대해 분석하고자 한다.



[그림 1] 전기주전자의 구성



[그림 2] 전기주전자 몸체의 전면도

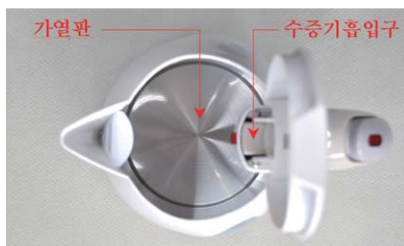
2. 본문

가. 일반구조

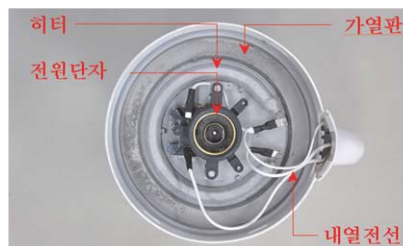
전기주전자는 크게 몸체와 받침대로 구분된다. 전기주전자의 몸체는 하부에 가열판이 설치되고 가열판의 하부에 히터가 설치된 구조이며, 받침대는 몸체를 지탱하는 받침판과 몸체에 전원을 공급하는 전원공급장치가 설치된 구조이다. [그림 1]에서 보는 바와 같이 전기주전자는 물을 끓이는 몸체와 전원을 공급하는 받침대로 구성된다. [그림 2]는 일반적인 전기주전자 몸체를 나타내고 있으며, 전기주전자의 몸체는 하부에 스테인리스 재질의 가열판이 설치되고, 가열판 상부에 수위표시창, 손잡이, 전원스위치, 뚜껑열림버튼, 뚜껑 및 배출구 등이 설치된 구조이다.

나. 세부구조

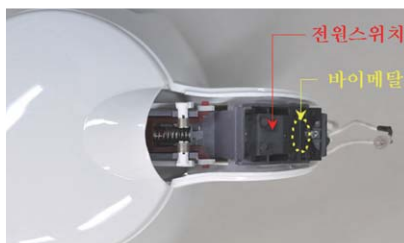
전기주전자의 몸체 하부에는 가열판이 설치되어 있고, 가열판의 하부에는 히터가 설치되어 있으며, 몸체의 전원스위치와 가열판의 하부에 안전장치인 바이메탈이 설치되어 있다. [그림 3]에서 보는 바와 같이 전기주전자의 몸체는 하부에 가열판이 설치되어 있고, 끓는 물에서 발생하는 수증기를 흡입하도록 수증기흡입구가 설치되어 있다. [그림 4]는 전기주전자 몸체의 하부를 나타낸 것이다. 전기주전자 몸체의 하부에는 가열판에 열을 공급하는 히터가 설치되어 있으며, 히터에 전원을 공급하는 전원단자 및 내열전선이 설치되어 있다. 히터는 전열선이 삽입되고, 절연특성이 우수하고 열전도가 높은 산화마그네슘(MgO)이 충전된 상태에서 금속보호관으로 밀봉된 구조의 시즈히터(Sheath Heater)의 구조이다.



[그림 3] 전기주전자 몸체의 내부



[그림 4] 전기주전자 몸체의 하부

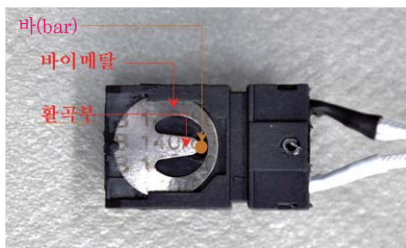


[그림 5] 전기주전자 전원스위치 상부

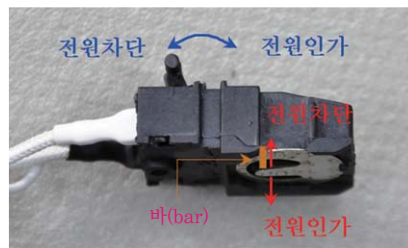


[그림 6] 전기주전자 전원스위치 하부

전기주전자의 손잡이 상부에는 전원스위치가 설치되어 있으며, 전원스위치에는 바이메탈식 자동전원차단장치가 설치되어 있어 끓는 물에서 발생하는 수증기에 의해 바이메탈이 일정시간 가열되는 경우 자동으로 전원이 차단된다. [그림 5]와 [그림 6]은 전기주전자 몸체의 손잡이 상부를 나타낸 것이다. 끓는 물에서 발생하는 수증기는 수증기흡입구로 흡입되어 수증기 이송부를 거쳐 전원스위치 하부에 설치된 바이메탈을 작동시키도록 설계되어 있다. [그림 7]과 [그림 8]에서 보는 바와 같이 전기주전자는 전원스위치의 손잡이를 반대방향으로 이동시키면 전원이 인가되며, 수증기의 가열에 의해 바이메탈이 작동하는 경우 전원스위치의 접점이 개방되어 전원이 차단되도록 설계되어 있다.



[그림 7] 전원스위치의 하부



[그림 8] 전원스위치의 내부구조 (측면, 전원이 차단된 상태)

다. 발화위험

전기주전자는 플라스틱 몸체 내부에 가열판이 설치되어 있고, 가열판의 하부에 히터가 설치되어 있으며, 히터의 저항가열방식에 의해 피 가열물인 물 등을 끓이는 장치이다. 전기주전자의 받침대에는 상시 전원이 인가되어 있고, 전기주전자의 몸체는 상시 물을 포함하고 있으며, 물 또는 물수건 등으로 자주 세척하는 가전제품으로서 먼지 및 물기가 누적되거나 전기주전자 내부의 안전장치가 고장 나는 경우 전기에너지가 열에너지로 전환되는 과정에서 발화위험이 존재한다.

3. 실험 및 결과

가. 실험 1(정상운전 실험)

(1) 실험방법

본 실험에서는 전기주전자가 정상 작동하는 경우 <표 1>과 같이 2가지의 시나리오로 구분하여 전기주전자 주요부위의 발열특성을 분석하였다. 본 실험에서 사용된 물의 양은 1ℓ, 실험실 내부온도는 10±2℃, 상대습도는 50±2%이며, 무풍상태에서 실험이 실시되었다. [그림 9]는 실험상황을 나

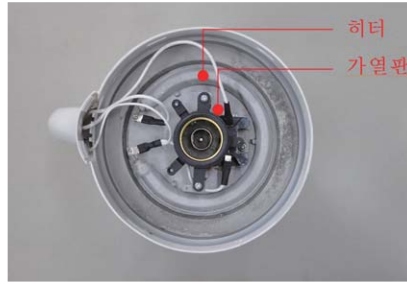
<표 1> 정상운전 중 상황별 시나리오

구분	용량[kW]		온도측정위치	
	구분	(A) 운전 중 뚜껑 닫힘	(B) 운전 중 뚜껑 개방	히터표면
			히터표면	가열판하부

타낸 것이고, [그림 10]은 전기주전자의 온도측정위치를 나타낸 것이다.



[그림 9] 뚜껑이 개방된 상태에서 작동



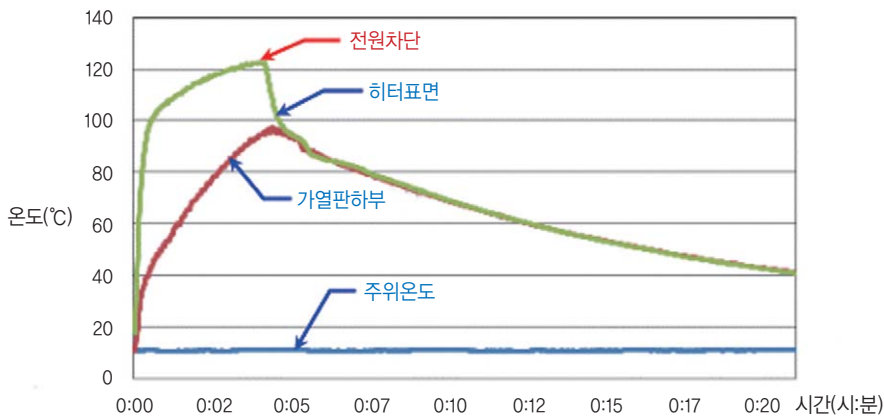
[그림 10] 전기주전자 하부 온도측정 위치

(2) 실험결과

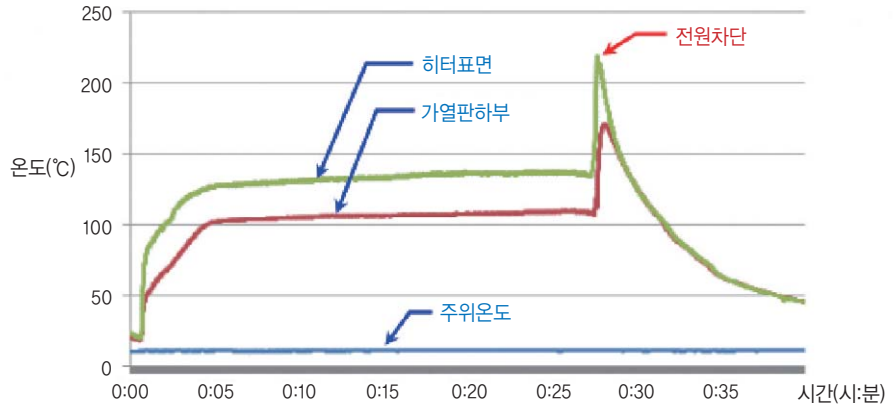
전기주전자의 『정상운전』 실험에서는 전기주전자의 뚜껑이 닫힌 상황과 개방된 상황으로 구분하여 실험을 실시하였으며, 각각의 실험에서 히터표면과 가열판하부의 온도를 측정하였다. <표 2>는 전기주전자의 뚜껑이 닫힌 상태와 개방된 상태에서의 정상운전 시 발열특성을 나타낸 것이다. 실험 A는 전기주전자의 뚜껑을 닫은 상태에서 정상 운전한 실험으로, 운전 중 히터표면 온도는 최고 123℃까지, 가열판 하부는 98℃까지 상승하는 것으로 나타났다. 최고온도까지 상승한 후 자동전원차단장치의 바이메탈의 작동에 의해 전기주전자의 전원이 차단되었으며, 히터표면과 가열판 하부는 전기주전자에 담긴 물에 의해 냉각되어 급격한 온도상승은 없었다. 실험 B는 전기주전자의 뚜껑이 개방된 상태에서 정상 운전한 실험이며, 운전 중 가열판 하부의 최고온도는 174℃까지 상승하는 것으로 나타났다. 정상 운전 시 약 7.4[A]의 전류가 흐르는 것을 확인할 수 있었으며, 과열로 인한 발화현상은 확인되지 않았다.

<표 2> 전기주전자의 상황별 정상운전 시 발열특성

측정값	구분	최고온도(℃)	
		히터표면	가열판 하부
	실험A, 뚜껑 닫힘	123	98
	실험B, 뚜껑 개방	224	174



[그림 11] 정상운전 시 온도-시간 그래프(뚜껑 닫힘)



[그림 12] 정상운전 시 온도-시간 그래프(투경 개방)

나. 실험 2(전원공급장치에 이물질 누적실험)

(1) 실험방법

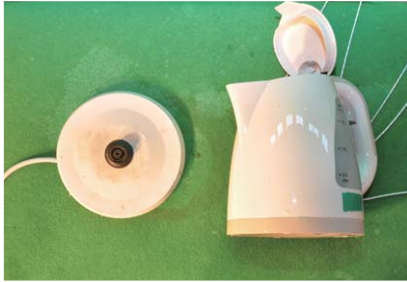
일반적으로 전기주전자의 받침대는 선반 등에 놓인 채 상시 전원이 투입된 상태로 관리되며, 이러한 상황에서는 받침대의 전원공급장치의 표면에 이물질 등이 누적될 가능성이 있다. 또한 전기주전자의 몸체는 그 사용상의 특성상 상시 물이 침투하여 누적될 수 있다. 이에 본 실험에서는 받침대의 전원공급장치에 이물질과 물기가 누적된 상태에서 실험을 실시하였다. 운전 중 전류의 일부가 받침대 전원공급장치의 표면으로 누설되고, 누설된 전류에 의해 전원공급장치의 표면에서 발열되는 상황을 시나리오로 설정하였으며, 그에 따라 전기주전자 주요부위의 발열특성을 분석하였다. 실험에서 사용된 물의 양은 1ℓ 이며, 실험실 내부의 상황은 정상운전의 경우와 동일하다.

(2) 실험결과

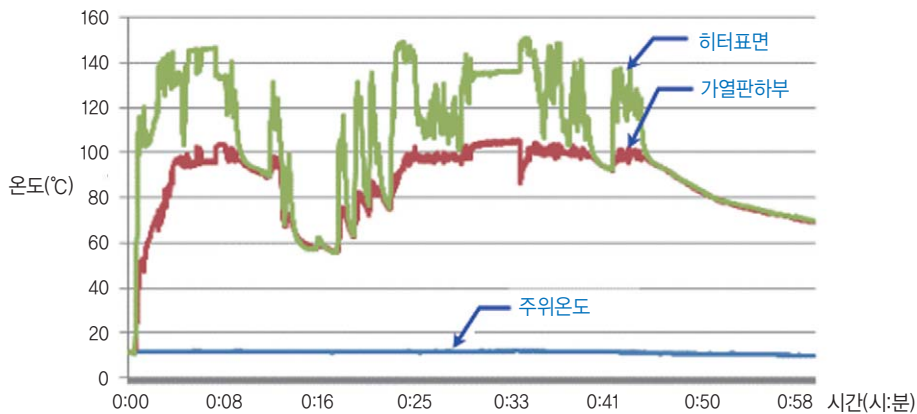
본 실험은 전기주전자의 전원공급장치에 이물질이 누적된 상태에서 전기주전자의 운전실험을 실시한 것이다. 본 실험의 발열특성은 <표 3>과 같다. [그림 15]에서 보는 바와 같이 본 실험에서 주목할 점은 전기주전자의 작동 중에 히터 및 가열판의 온도가 불규칙적으로 상승하고 하강한다는 점이다. 이 실험결과는 전기주전자의 내부 회로를 흐르는 전류의 일부가 받침대 전원공급장치의 표면으로 누설되고, 누설된 전류의 양만큼 적은 전류가 회로 내부에 흐른 결과이다. 그러한 과정에서 발생된 고열에 의해 [그림 13]과 [그림 14]와 같이 전원공급장치의 표면이 탄화되고, 전기주전자 몸체의 전원단자가 용융되는 현상이 나타났다.

<표 3> 전원공급장치에 이물질 누적운전 시 발열특성

구분	최고온도(°C)	
	히터표면	가열판 하부
측정값	152	106



[그림 13] 전기주전자 받침대와 몸체의 상황

[그림 14] 전기주전자 몸체 하부의 상황
(○표지는 전원단자에 생성된 아크흔)

[그림 15] 전원공급장치에 이물질 누적운전 시 온도-시간 그래프

다. 실험 3(안전장치 제거실험)

(1) 실험방법

전기주전자에는 손잡이 상부의 전원스위치 설치부분에 바이메탈식 자동전원차단장치가 설치되어 있으며, 가열판 하부에 바이메탈식 과열방지장치가 설치되어 있다. 이러한 안전장치에 설치된 바이메탈은 온도 상승에 따라 중심부의 금속이 굴곡(작동)되어 접점을 개방시켜 회로의 전원을 차단시킨다. 하지만 바이메탈의 접점부에 이물질이 투입되거나 녹이 스는 경우 제 기능을 할 수 없는 경우가 발생된다. 이에 본 실험에서는 최악의 상황을 가정하여 바이메탈을 제거한 후 운전을 하였으며, 그에 따른 전기주전자 주요부위의 열특성을 분석하였다. 실험에서 사용된 물의 양은 1ℓ 이며, 실험실 내부의 상황은 정상운전의 경우와 동일하다.

(2) 실험결과

본 실험은 전기주전자에 설치된 안전장치 부속품인 바이메탈을 모두 제거한 상태에서 전기주전자

의 작동실험을 실시한 것이다. 본 실험의 발열특성은 <표 4>에서 나타내고 있다. [그림 32]에서 보는 바와 같이 전기주전자는 몸체 내부의 물이 모두 증발할 때까지 히터의 표면온도는 약 125℃를 유지 하였으며, 물이 모두 증발한 후에는 온도가 급격히 상승하는 것으로 나타났다. 이때 히터표면의 온도

<표 4> 전기주전자의 안전장치 제거운전 시 발열특성

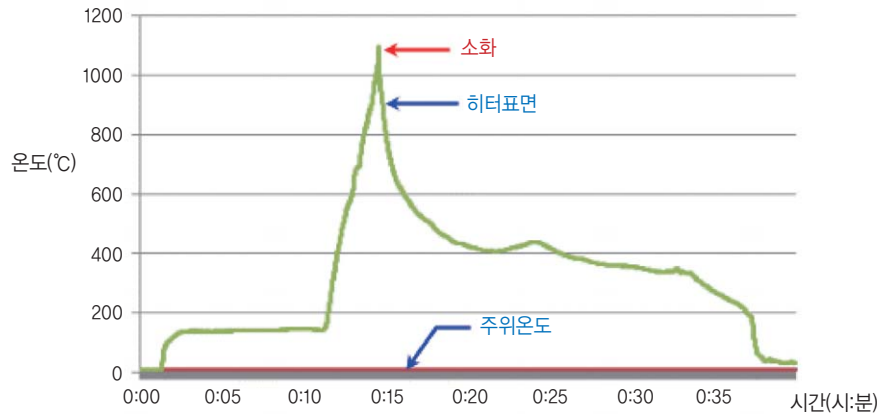
구분	최고온도(℃)
	히터표면
측정값	1,100



[그림 16] 히터 과열에 의한 전기주전자 열분해



[그림 17] 히터 과열에 의한 전기주전자 착화



[그림 18] 전기주전자의 안전장치 제거운전 시 온도-시간 그래프

는 약 1,100℃까지 상승하는 것으로 나타났으며, 상승된 온도는 히터 자체온도와 화염 온도가 합해진 것으로 해석된다. 실험 후 약 15분 후에 주수소화를 하였으며, 그 결과 온도는 급격히 하락하였다.

4. 맺음말

전기주전자를 여러 상황조건에서 작동시켰으며, 그러한 상황별 발열특성 및 전기신호를 분석하였다. 이와 같은 실험을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 전기주전자의 뚜껑이 닫힌 상태에서 정상 작동하는 경우 히터표면은 최고 123℃까지 상승하였으며, 뚜껑이 개방된 상태에서는 224℃까지 상승하는 것으로 나타났다.
- 전기주전자 받침대 전원공급장치 표면에 먼지 및 물기 등의 이물질이 누적되는 경우 절연물의 절연이 파괴되어 전원공급장치의 표면을 통해 누설전류가 흐를 수 있으며, 그로 인해 전원공급장치 표면에서 발생하는 아크(Arc) 및 고열에 의한 발화위험이 있다.
- 전기주전자는 작동 중에 뚜껑이 개방된 상태로 물이 모두 증발되는 경우 과열방지장치 바이메탈의 작동(굴곡)에 의해 접촉단자 접점이 개방과 단락동작을 반복하며, 그로 인해 접점부가 용착되는 경우 회로가 차단되지 않기 때문에 히터의 지속적인 작동에 의해 과열될 수 있다.
- 전기주전자의 안전장치인 자동전원차단장치 및 과열방지장치의 바이메탈이 녹이 슬거나 접점부에 이물질이 침입하는 경우 바이메탈이 정상작동을 하지 않을 수 있으며, 그러한 경우 히터가 과열되고 주위에 가연물이 있는 경우 화재로 진행될 수 있다. ☹