

할로겐 및 카본 히터의 화재 위험성

1. 들어가며

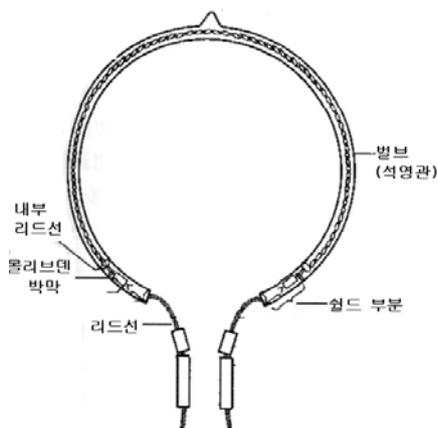
최근 들어 겨울 난방기구로서 할로겐 히터와 카본 히터라고 하는 전기스토브가 급속히 보급되고 있다. 이러한 난방기구는 대부분 소형인데, 콘센트만 있으면 이용 장소에 구매 받지 않는다는 장점이 있다. 종류에 따라서는 사용방법이 잘못되어 화재 위험성이 높은 것도 있다. 이러한 위험성에 대해 화재 실험 사례도 보고되고 있다. 이 글에서는 시판되고 있는 할로겐 히터 5종, 카본히터 2종 및 종래부터 사용되어오던 석영관 히터 1종에 대해 그 특성을 비교해보고, 할로겐 히터의 화재위험성에 대한 실험을 행하여 종류에 따른 차이점을 비교해 보았다.

2. 할로겐히터의 구조

할로겐히터란 할로겐램프가 방사하는 빛을 열로 이용하는 난방기구로서, 구조적으로는 환형의 석영 유리관의 가운데에 할로겐 가스를 주입하여 필라멘트의 적정온도로 최적인 빛을 열로 방출하게 하는 것이다.

외관적으로는 종래의 니크롬선을 이용한 석영관 히터와 유사하지만, 할로겐 가스의 주입구조와 말단의 쉴드 부분의 구조가 크게 다르고, 네온관에 가까운 구조라 할 수 있다. 또한 전구와 같은 필라멘트에 통전하는 구조로서 ON/OFF시의 반응시간이 비교적 짧아, 다른 난방기구와 차이가 있다.

말단의 쉴드 부분에 폴리브덴 박막을 이용해서 고온에 이르기 전에 열팽창에 의해 이 부분이 절단되어 안전기능을 행한다. 또한, 광 에너지를 기본적으로 이용하는 가열체이기 때문에 광학적인 집광·산광이 가능하여서, 반사판 등을 이용하여 열 방향성을 유도할 수 있는 이점이 있다. 이러한 원리로 할로겐히터는 선풍기형 모양 등으로 만들 수 있으며, 소형 경량이라는 장점과 공기오염이 없다는 특징을 가지고 있다.

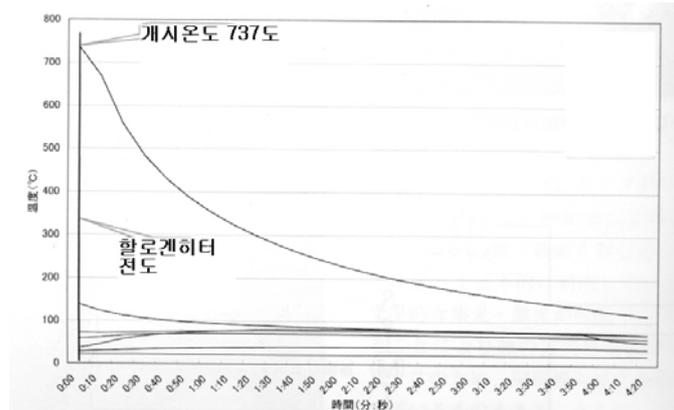


[그림 1] 할로겐 히터 구조도

3. 할로겐히터에 의한 화재실험

[실험 1] 할로겐히터를 모포 위에 넘어뜨린 경우

전원 스위치(800W, 이하 동일)를 넣은 후 최고온도(히터 부분 737°C)에 달하고, 그 온도를 유지한 채 6분 경과 후 할로겐히터를 넘어뜨리자 온도는 급속히 하강하였다. 할로겐히터가 넘어진 후 5분이 경과한 뒤 넘어진 부분에 접한 모포를 확인하자, 열에 의한 흔적이 보이지만 연소는 일어나지 않았다. 넘어질 때 전원 OFF 스위치가 작동된 것이 확인되었다.



[그림 2] 전도 후 온도 추이

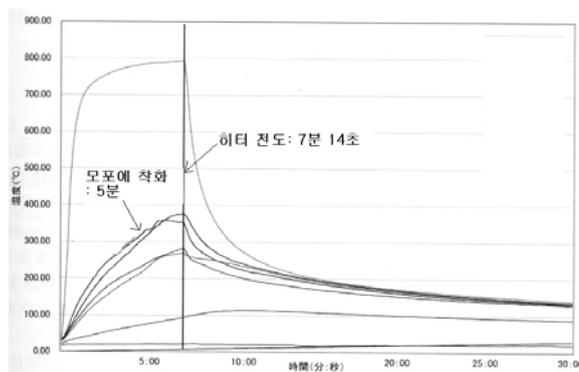
(※ 흑백 인쇄 상태로 각 부분별 온도의 구별이 힘들나 전체적인 온도 추이를 보기 바람)

[실험 2] 할로겐히터에 모포를 씌운 경우

할로겐히터에 아크릴제 모포를 씌우자 1분 30초 후에 착화가 일어나, 2분 45초 후에 모포가 반월 형상으로 연소된 것이 확인되었다.

[실험 3] 할로겐히터에 모포를 씌우고 일정시간 후 모포 위에 넘어뜨린 경우

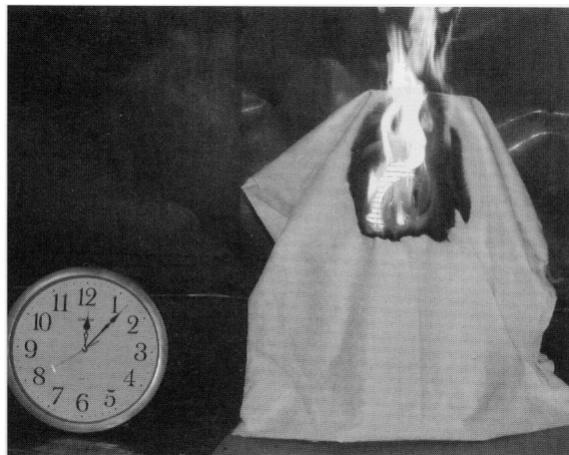
실험 2의 모포가 반월형태로 착화된 상태에서, 7분 12초 후에 이불 위로 넘어뜨렸다. 할로겐히터의 전원은 전도시 전원 OFF 스위치에 의해 끊어졌고, 불이 붙은 모포에 의해 그 하부의 이불이 무염연소를 시작하여 계속 타는 것이 확인되었다. (그림3 참조)



[그림 3] 불이 붙은 후 히터의 전도시

[실험 4] 할로젠히터에 이불시트를 덮은 경우

이불시트를 덮은 경우 2분 45초 후에 흰 연기가 발생하고, 4분 30초 후에 구멍이 생기고, 7분 25초 후에 시트에 불이 붙었다. (그림 4 참조)



[그림 4] 시트를 히터에 덮은 경우

결과의 분석

이러한 실험으로부터,

- 1) 할로젠히터에 의류 등이 덮인 경우처럼 가연물이 접촉하면 착화할 수 있다.
- 2) 전도시에는 전원 OFF 스위치가 작동하여, 단시간에 온도가 저하하기 때문에 이불 등에 불이 붙지는 않는다.
- 3) 거주자가 잘못하여 모포 등을 히터에 덮게 되고 이것이 착화된 후 넘어진 경우에도 이불 등에 연소가 발생하여 화재에 이르게 된다.

4. 여러 가지 형태의 전기스토브에 대한 실험

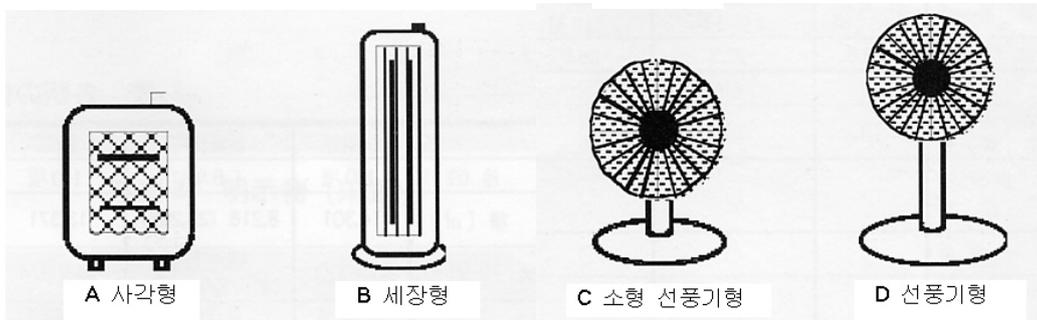
실험에서 [표 1]은 시판되는 할로젠히터 5종, 카본히터 2종, 석영관 히터 1종의 전기스토브가 시료로서 사용되었다. 이 중에서 시료 1~5는 히터로부터의 복사열과 반사판에서 반사된 열을 전방으로 복사하는 형식이고, 시료 6~8은 히터의 복사열을 모두 반사시켜 전방으로 복사하는 형식이다. [그림 5]는 실험에 사용된 전기스토브의 형식을 대략 분류해놓은 것이다.

실험은 각 시료에 대해서 히터의 전면을 덮고 있는 금속판 가드 표면의 온도 및 가드면 근처의 복사열선속을 측정하였다. 또한, 가드에 면 수건을 접촉시켜 시간경과에 따른 수건의 소손상황을 관찰하였다.

온도측정은 직경 0.2mm의 K형 열전대를 사용하고, 가드면 중앙 부근에 최고 온도를 보이는 1개 부분에 대해 측정하였다. 온도의 측정시간은 통전개시 후 10분간이다.

[표 1] 실험에 사용된 전기스토브

시료	히터 종류	소비전력(W)	형태 (그림 5)	안전장치 (전도시 전원차단장치 제외)
1	카본	600	A	온도 퓨즈 113℃(반사판 우측면)
2	석영관	800	A	—
3	카본	600	A	온도 퓨즈 128℃(반사판 우측면)
4	할로겐	800	A	—
5	"	800	B	자동온도조절장치 150℃(상부)
6	"	500	C	자동온도조절장치 150℃(반사판 내측)
7	"	500	C	온도 퓨즈 119℃
8	"	800	D	자동온도조절장치 150℃(반사판 내측)



[그림 5] 전기스토브 형태

복사열전속의 측정에는 VATELL사 제품 TC 1000형의 열전속계를 사용하고, 가드 면에서 최고로 복사열전속이 강한 1개소에서 측정하였다. 열전속계는 가드 면과 접촉하지 않도록 주의하고, 1mm 정도까지 접근시켰다. 통전 개시 후, 온도가 안정되기까지 10분간의 평균치를 평균복사열전속으로 하였다.

수건을 접촉시킨 실험은 4분의 1로 접은 수건을 각 히터의 가드 면에 부착하여, 통전개시 후의 각 수건의 소손상태를 관찰하였다. 수건의 취급 방법에 대해 세탁물 등이 떨어진 경우와 이불 등이 접촉한 경우를 가정하여, 가드의 위쪽 반을 수건으로 덮은 경우와 가드 아래쪽 반을 수건으로 덮은 경우의 두 가지를 실험하였다.

4.1 실험결과

(1) 온도 및 복사열전속

복사열전속의 측정결과는 [그림 6]과 같으며, 평균복사열전속과 가드 면의 최고온도는 [표 2]와 같다.

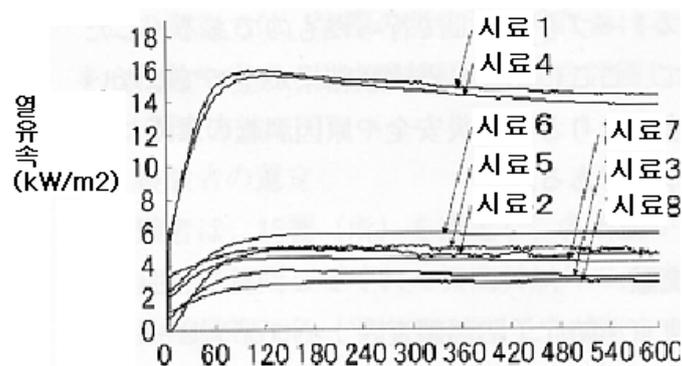
각 시료 중에 가드 면의 온도가 특히 높고 복사열전속이 높은 것은 시료 1인 카본히터 및 시료 4인 할로겐 히터로, 시료 1의 경우 가드 면의 최고 온도는 183℃, 평균복사열전속은 14.8 kW/m², 시료 3의 카본히터는 최고 온도가 130℃, 평균복사열전속은 3.3kW/m²

이다.

시료 1~5의 히터로부터 가드까지의 최단거리는 최소값이 시료 1의 24mm, 최대값이 시료 5의 69mm이다. 복사열전속의 측정결과는 히터의 종류 및 소비전력 외에 그 거리 차이도 큰 영향을 주는 것으로 추정되었다. (역자주: 복사열량은 거리의 제곱에 반비례하기 때문이다.)

[표 2] 실험결과

시료 번호	평균 복사열전속 (kW/m ²)	가드 면의 최고온도(°C)	수건 착화시간(초) (위쪽 반쪽 부분)	수건 착화시간(초) (아래쪽 반쪽 부분)
1)	14.8	183	78	100
2	4.6	137	320	190
3	3.3	130	300	390
4	14.4	178	130	170
5	4.9	67	1104	착화 안함
6	5.8	64	착화 안함	"
7	4.2	69	"	"
8	2.9	93	"	"



[그림 6] 복사열전속 측정결과

(2) 수건의 소손현황

세탁물 등이 낙하한 경우를 가정하여, 가드의 위쪽 반을 수건으로 덮은 경우 수건의 소손상황은 [그림 7]과 같으며, 이불 등의 접촉을 상상하여 가드 면의 앞쪽으로부터 반을 수건으로 덮은 경우의 소손상황은 [그림 8]과 같다. 모든 경우에서 유염(有炎) 연소는 일어나지 않았지만, 무염착화하는 경우가 있었다. [표 2]에 그 착화시간을 표시하였다.

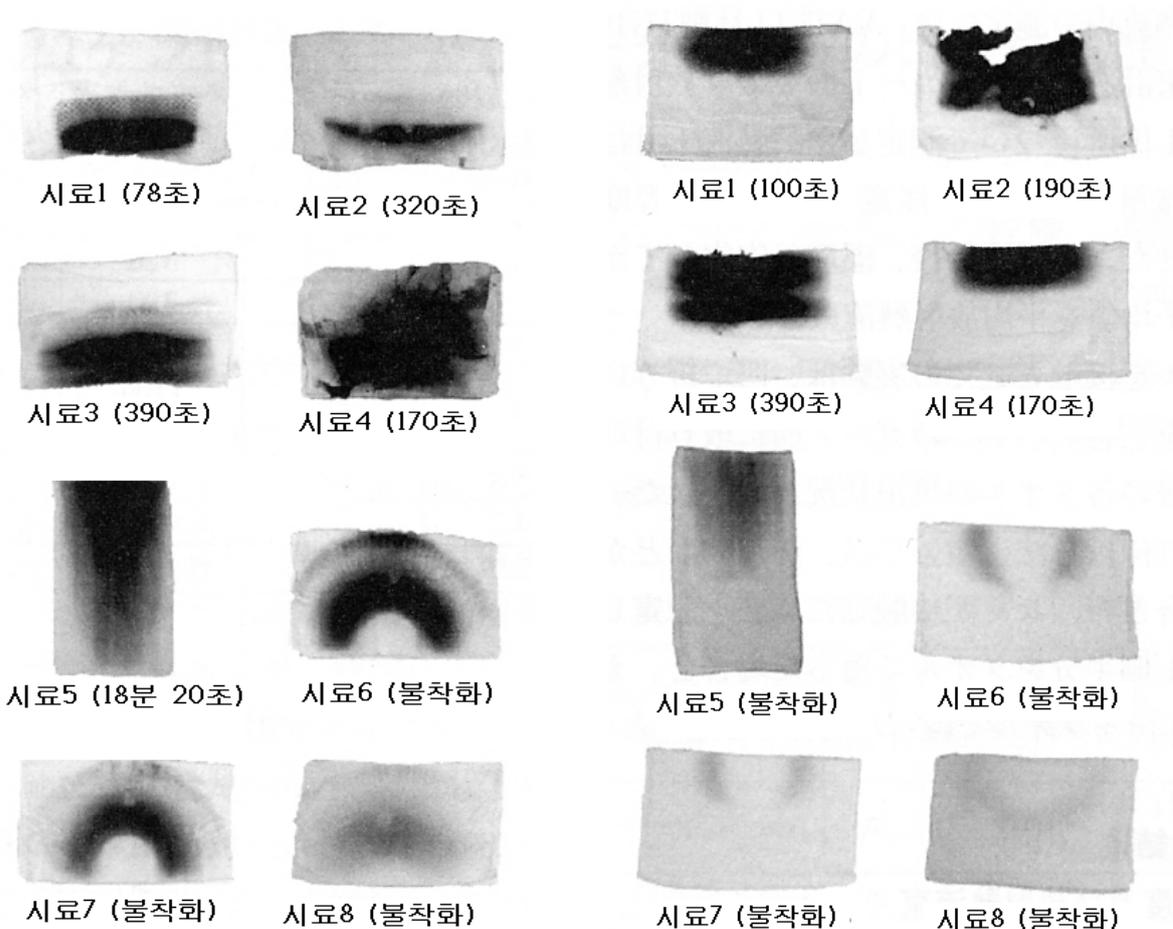
가드의 위쪽 반을 수건으로 덮은 실험에서는 시료 1이 통전개시로부터 78초, 시료 4가 130초에서 무염연소를 시작하였다. 또한, 시료 2,3,5는 착화시간에는 차이가 있었지만, 모두 무염연소하였다. 이 중에서 시료 5는 통전개시로부터 약 10분 30초 후에 안전장치의

1) 사각 형태의 카본 히터가 가장 빠른 착화시간을 보이고 있다.

서모스탯이 작동되었지만, 바이메탈이 자연냉각되어 자동적으로 통전회복된 후, 두 번째의 서모스탯 작동시에는 무염연소가 시작되었다. 시료 6~8은, 실험을 행한 1시간의 범위 내에서 착화에 이르지 않았다.

가드의 아래쪽 반에 수건을 걸친 실험에서는 시료 1이 통전개시로부터 100초, 시료 4는 170초에 무염연소를 시작하였다. 또한 시료 2,3도 무염연소를 하였지만, 시료 5~8은 실험을 행한 1시간 범위 내에서 착화에 이르지 않았다.

또한, 이번 실험에서는 시료 5,6의 위쪽 부분을 수건으로 덮은 경우에 안전장치(서모스탯)가 작동하는 예가 있었지만, 그 외의 시료에서는 안전장치의 작동을 볼 수 없었다.



[그림 7] 가드 위쪽을 수건으로 덮은 경우

[그림 8] 가드 아래쪽을 수건으로 덮은 경우

5. 결론

이번 실험에서 무염연소는 시료 1~5와 같이, 가열부분이 직접 보이는 종류의 경우에 발생하였다. 할로겐 히터와 카본 히터의 각 한 가지 종류에서는 가드 면 근처의 평균복사열선속이 다른 종류보다 2배 이상 큰 약 15kW/m^2 였다. 이 복사열은 큰 칼로리미터에 의한 합판 가열시험에서 확인한 바, 점화원이 없어도 두께 5mm 합판이 약 10분후에는 무염착화하는 수치이다. 이번 실험에서는 시료 1에 의한 실험에서 수건이 최소시간인 78

초 만에 무염착화하였다.

이에 비해, 시료 6~8에서는 히터로부터 복사열을 모두 반사판에서 반사시켜 전방으로 복사하는 선풍기형 타입으로서, 복사열전속은 비교적 작은 편이었다.

화재위험성을 검토한 경우, 시료 1~4는 가드 면이 낮게 위치하고 있어, 취침 중에 이불 등이 접촉하기 쉽다고 여겨졌다. 따라서 복사열전속의 큰 기종인 할로겐히터 또는 카본히터에서는 접촉한 이불이 단시간에 착화해 화재에 이를 가능성이 크다고 여겨진다.

이번 실험은 제한적인 조건 하에서 일부의 대표적인 스토브를 사용하여 이루어졌다. 그러나 조금이나마 화재안전과 원인조사에 참고가 되었으면 하는 바람이다.

출처 : 일본 「火災」 270, 280호 (저자 : 사토 히데키, 동경소방청 예방부 조사과)

번역 및 정리 : 위험조사부 사원 유호정