

시즈히터의 발화가능성 고찰

The Study on the Fire Dangers of Sheath Heater

문 용 수* · 윤 정 미** · 공 하 성**

Yong-Soo Moon* · Jung-Mi Yun** · Ha-Sung Kong**

1. 서 론

우리나라는 경제 발전과 더불어 대규모 중·대형 이상의 산업현장은 화재 및 산업 안전에 대한 인식이 어느 정도 자리잡고 있는 시점에 있으나, 아직까지 가내 수공업 형태의 1인 또는 2인 정도로 운영하는 영세 소규모 작업장은 화재 위험성에 대한 안전의식의 부족과 영세한 작업 환경 속에서 여러 가지 화재의 위험성이 존재하고 있다. 또한 이러한 요인들로 인하여 화재가 발생하는 경우가 많다. 소규모 작업장 내에서 화재 발생 빈도가 다소 높은 부분에 속하는 안전장치가 없는 시즈히터(sheath heater)의 사용 중 부주의로 인해 과열되어 발화하는 사례가 빈번하여 사례 소개를 통한 조사 방법에 대한 의문점을 제시하고, 동일 조건에서 화재실험을 수행하여 화재조사 방법에 대한 특징점을 찾고자 한다.

2. 시즈히터의 구조

시즈(피복 파이프)히터는 <그림 1>과 같이 금속 파이프의 중간에 코일 형태의 전열선(Ni-Cr계열)을 통과시켜서 파이프(SUS, INCOLOY)와 전열선과의 접촉을 방지하기 위해 산화마그네슘(Magnesia) 등의 내열성 무기질 절연 분말 재료를 봉입한 것으로, 파이프의 양쪽 끝부분이 밀봉된 형태로 되어 있다. 다른 발열체는 전열선이 공기 중에 노출되어 있으므로 수명이 길지 않지만, 시즈히터는 완전하게 밀봉되어 있으므로 수명이 길며, 물 속에서도 사용 가능하여 여러가지 용도로 사용된다.

* 서울시립대학교 대학원 재난과학과

** 경일대학교 소방방재학과



<그림 1> 시즈히터의 구조

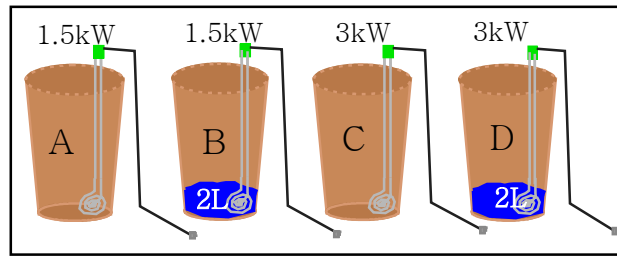
3. 실험방법

본 연구는 안전장치 없는 시즈히터 발화 사례에 대한 감식·감정상의 의문점을 기초로 하여 화재 사례와 같이 일반적으로 물통 용도로 사용하는 합성수지 용기 내에 물이 없는 상태에서 전원(디젤발전기 50kW, 단상 220V, 단락차단회로 : 50A 전자식 배선용차단기, 30A 전자식 누전차단기, 30A 열동식 배선용차단기로 구성)이 인가된 시즈히터(1.5kW, 3kW)를 삽입하여 가열하였고, 물의 증발 온도와 시간을 파악하고자 용기내 물 2L를 넣고 시즈히터로 가열하는 동안 물의 증발 속도 및 온도, 연기발생 시점(온도, 시간), 착화 시점(온도, 시간), 온도변화 형태, 착화부분 위치 및 형태 등을 체크하기 위해 <표 1>, <그림 2>과 같이 각각의 조건으로 A, B, C, D로 분류하여 나누어 실험을 진행하였으며, 온도 측정은 열화상 카메라(비접촉식)를 이용하여 용기 내부에 삽입된 전열부를 포인트로 고정하여 측정하였다.

또한 부가적으로 착화원이 없는 상태에서 1.5kW, 3kW 시즈히터의 최고 온도 상승을 측정하였다.

<표 1> 실험 조건 분류

	시즈히터 (용량, 전원)	용기내 물의 양	비 고
A	소비전력1.5kW, 전압220V	-	용기내 물이 전혀 없는 상태의 1.5kW히터 사용
B	소비전력1.5kW, 전압220V	2L	용기내 물(2L)이 있는 상태의 1.5kW히터 사용
C	소비전력1.3kW, 전압220V	-	용기내 물이 전혀 없는 상태의 3kW히터 사용
D	소비전력1.3kW, 전압220V	2L	용기내 물(2L)이 있는 상태의 3kW히터 사용



<그림 2> 실험 조건 그림

실험은 <그림 3>과 같이 야외에서 진행한 관계로 소개된 사례의 건물 내 조건에 비해 축열 조건의 차이가 있었을 것으로 판단된다.



<그림 3> 야외 실험 장면

4. 실험 조건별 특이점 및 온도 측정 결과

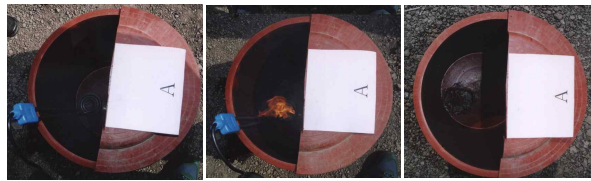
<표 1>의 실험조건으로 실험을 진행하여 <표 2>과 같이 시간 변화에 따른 온도의 변화, 착화시점 등의 결과를 얻었다.

<표 2> 실험 결과

조건 \ 분	분														
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
A	604														
	1분50초 연기발생(450℃) 1분58초 용기 착화(604℃)														
B	164	145	144	147	157	176	194	208	227	259	290	297	447	671	683
	70분40초 연기발생(651℃) 71분10초 용기 착화(683℃)														
C	589														
	1분08초 연기발생(488℃) 1분17초 용기 착화(589℃)														
D	510	512	566	547	619	577	670								
	33분27초 연기발생(658℃) 33분55초 용기 착화(670℃)														

4.1 A실험 조건의 결과

소비전력 1.5kW용량의 시즈히터를 물이 없는 합성수지 용기 내의 시즈히터에 전원을 인가한 결과 온도가 급격히 상승하여 <그림 4(a)>와 같이 1분 50초(450℃)가 경과한 상태에서 연기가 발생했으며, 그 후 <그림 4(b)>와 같이 8초후(총 1분 58초 경과) 용기 바닥에 착화(604℃)되었고, <그림 4(c)>와 같은 시즈히터 바닥이 닿은 면에 원형의 탄화 용융흔을 나타내었다.



(a) 연기가 발생하는 장면 (b) 착화된 장면 (c) 소화 후 바닥상태

<그림 4> A실험의 결과

4.3 B실험 조건의 결과

소비전력 1.5kW용량의 시즈히터를 물 2L를 넣은 합성수지 용기 내의 시즈히터에 전원을 인가한 결과 물 2L가 약 70분 동안 <그림 5(a)>와 같이 끓으면서 증발하였고, 물이 끓는 동안의 온도는 200℃내외로 완만히 증가하다가 물이 거의 소진될 시점인 65분대에 400℃이상 온도가 급격히 증가하여 바닥이 드러나면서 시즈히터와 바닥이 닿는 면에서 70분 40초에 연기가 발생(651℃)한 후 71분 10초에 <그림 5(b)>와 같이 착화(683℃)되어 화염이 지속적으로 확산된다. 소화 후 <그림 5(c)>와 같은 시즈히터 바닥이 닿은 면에 탄화 용융흔을 나타내었다.



(a) 물이 끓는 장면 (b) 착화된 장면 (c) 소화 후 바닥 상태

<그림 5> B실험의 결과

4.4 C실험 조건의 결과

소비전력 3kW용량의 시즈히터를 물이 없는 합성수지 용기 내의 시즈히터에 전원을 인가한 결과 1.5kW용량의 히터에 비해 급격히 온도가 상승하여 <그림 6(a)>와 같이 1분 8초(488℃)가 경과한 상태에서 화염을 동반한 연기가 발생하였으며, 그 후 <그림 6(b)>와 같이 9초 후(총 1분 17초 경과) 용기 바닥에 착화(589℃)하여 연소가 확산되었고, <그림 6(c)>와 같은 시즈히터 바닥이 닿은 면에 원형의 탄화 용융흔을 나타내었다.



(a) 화염과 연기발생 (b) 착화 연소 확산 (c) 소화 후 바닥 상태

<그림 6> C실험의 결과

4.5 D실험 조건의 결과

소비전력 3kW용량의 시즈히터를 물 2L를 넣은 합성수지 용기 내의 시즈히터에 전원을 인가한 결과 용기 내 물 2L가 B조건 보다는 2배 이상 빠른 시간인 30분 동안 <그림 7(a)>와 같이 끓으면서 증발하였고, 물이 끓는 동안의 온도는 500℃이상 완만히 증가하다가 물이 거의 소진될 시점인 30분대에 600℃이상 온도가 증가하였으나, 물이 완전히 소진되지 않고 용기 바닥에 잔류하고 있는 상태에서 33분 27초에 바닥이 아닌 용기 측면과 히터 발열부 목 부분과 접촉된 부위에서 외관이 변형되면서 연기(658℃)가 발생하고, 33분 55초에 <그림 7(b)>와 같이 용기 측면에 착화(670℃)되었다. 소화 후 용기를 관찰한바, 용기 내부 바닥에는 탄화 용융흔이 전혀 없었으며, <그림 7(c)>와 같이 용기 측면 내측과 외측에 동시에 화염이 진행된 탄화 용융 변형흔이 관찰되었다. 또한 부가적으로 측정된 1.5kW시즈히터의 최고 온도의 측정치는 871℃이며, 3kW시즈히터의 최고 온도 측정치는 941℃이었다.

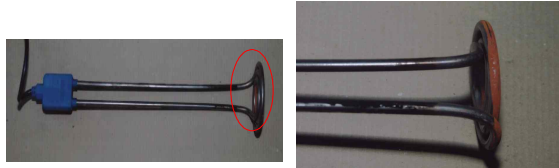


(a) 물이 끓는 상태 (b) 측면에 착화 상태 (c) 용기 외관 상태

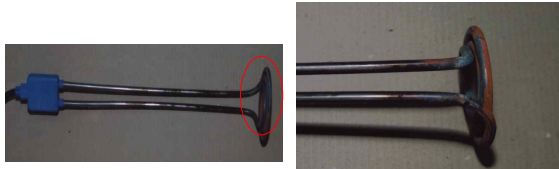
<그림 7> D실험의 결과

5. 실험 결과에 대한 비교 관찰

위의 각 조건으로 실험한 시즈히터의 외관 및 발열부는 <그림 8>~<그림 11>로서, 각 조건의 시즈히터 마다 정도의 차이는 있지만 동일하게 ○발열부만 변색 상태가 관찰됨.



<그림 8> A시즈히터



<그림 9> B시즈히터



<그림 10> C시즈히터



<그림 11> D시즈히터