

시즈히터의 화재위험성에 관한 실험 연구

An experimental study on the fire hazard of Sheath Heater

Hakjoong Kim*

* Department of Fire Service Administration, University of Chodang, 380, Muanro, Muaneup, Muangun, Jeollanamdo, 234-701, Republic of Korea

ABSTRACT

Recently, the fire by sheath heater has been occurred frequently on winter season. The sheath heater has simple internal structure and boils water simply. Therefore, the use of sheath heater has been increased. In this study, found the fire hazard property of sheath heater from understanding the fire mechanism through the experiment to get the measure for decreasing the occurrence of fire. For the analysis of the fire hazard property of the sheath heater, performed the test of temperature change and ignition temperature by using current product. On the result of test, the sheath heaters are the most dangerous appliance to arise fire. Water temperature controller attached to sheath heater is not sufficient to prevent overheating it. The sheath heater should have level switch of water and temperature controller for heater itself to shut off the power supply. Because the cause of fire by sheath heater is overheating itself in the situation of lack water.

KEYWORDS

Sheath heater
Fire hazard
Boiling experiment
Ignition temperature
Boiled water

최근 매년 겨울철이면 온수용으로 사용 중인 시즈히터에 의한 화재가 빈번하게 발생하고 있다. 시즈히터는 구조가 간단하여 비교적 간단한 장치로 온수를 얻을 수 있기 때문에 그 사용이 지속해서 증가하고 있다. 본 연구에서는 온수용 시즈히터에 의한 화재 발생을 감소시키는 방안을 마련하기 위하여 실험을 통하여 화재 발생 메커니즘을 파악함으로써 화재의 위험요인을 발견하고자 한다. 온수용 시즈히터의 화재위험요인에 대한 분석을 위하여 시중에 시판 중인 온수용 시즈히터를 종류별로 구매하여 가열에 따른 온도변화와 발화 실험을 하였다. 실험결과 온수용 시즈히터는 화재가 발생할 위험이 아주 큰 기기이며, 온수용 시즈히터에 설치된 온도조절기는 과열을 방지하기 위한 장치의 역할을 제대로 수행하지 못하고 있음을 확인하였다. 시즈히터에 의한 화재는 발열부의 과열이 주요 원인으로 물의 양과 가장 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 물이 증발하거나, 사용자의 부주의로 물을 사용 후 보충하지 않아 수위가 내려갈 때에 이를 감지 할 수 있는 수위감지장치와 발열부가 과열되는 경우 전원을 차단할 수 있는 발열부 온도제어 장치가 설치되어야 한다.

시즈히터
화재위험성
가열실험
발화점
온수

© 2014 Koea Society of Diaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-61-450-1228. Fax. 82-61-450-1222.
Email. khj4513@hanmail.net

ARTICLE HISTORY
Recieved Nov. 03, 2014
Revised Nov. 26, 2014
Accepted Dec. 06, 2014

1. 서론

매년 겨울철이면 농가나 소규모의 공사장, 사업장에서 온수용으로 사용 중인 시즈히터에 의한 화재가 빈번하게 발생하고 있다. 시즈히터란 Sheath(피복 파이프)의 정 중앙에 전열선을 내장하고 절연체인 산화마그네슘 분말을 넣어 함께 충전하여 압축 가공한 튜브형 히터를 말한다. 시즈히터의 구조는 발열량을 높이기 위하여 코일형으로 발열선을 감아 길이를 늘이고, 열선과 보호관을 절연한 관 모양의 히터로서 외부의 물리적인 충격에도 견고하고 전기 열에너지의 효율성을 높이면서 다양한 모양으로 사용자의 용도와 형태로 적합하게 가공을 할 수 있는 장점이 있으며 설치가 용이하고 진동 및 외부충격과 기계적 강도가 크고 강하며 통상적인 사용온도는 200 ~ 300℃이고 최고 사용온도는 약 1,000℃ 이상이 되기도 한다. 시즈히터는 구조가 간단하고 사용용도에 따른 적용성이 우수하여 산업현장의 온도를 높이기 위한 공정에서 무수히 많이 사용되고 있다. 이러한 시즈히터의 편리성으로 겨울철 온수를 비교적 간단한 장치로 구성하여 편하게 사용하기 위하여 영세 소규모의 작업장이나 농가 등 일부 저소득계층의 가정에서 적절한 안전장치와 기술적 검증을 거치지 않고 자체 제작한 온수 장치로 시즈히터를 사용함으로써 온수용 시즈히터에 의한 화재가 지속적으로 증가하고 있다.

발화시기별 화재현황을 중심으로 2008년부터 2012년 9월 30일까지 5년간 전국 화재통계를 분석하여 시즈히터와 관련된 화재통계를 산출한바 발화원인이 작동기기로 확인된 화재 중에서 시즈히터에 의한 화재는 2008년도에는 265건, 2009년에는 252건, 2010년에는 219건, 2011년은 258건, 2012년 1월부터 9월 30일까지 188건으로 나타났다.

따라서 본 연구에서는 온수용 시즈히터에 의한 화재의 위험요인을 분석하고, 시즈히터의 화재 안전성 확보를 위한 실험을 통하여 시즈히터에 의한 화재 발생원리를 파악하여 화재로 인한 피해를 감소시키는 방안을 제시함으로써 시즈히터 화재로 인한 인명과 재산피해를 예방하고자 한다.

2. 본론

2.1 시즈히터의 화재특성

화재가 발생하기 위한 기본적인 요소에는 연소의 3요소(산소, 가연물, 점화원) 또는 4요소(산소, 가연물, 점화원, 순조로운 연쇄반응)가 있다. 이들 중에서도 점화원인 열은 화재가 발생하는데 있어 가장 중요한 요소로 작용한다. 우리가 살아가는 대기 중에는 산소가 약 21%를 차지하여 기본적으로 산소를 공급하고 있으며 일상생활에는 많은 가연물질들이 산재해 있다. 온수용 시즈히터의 발열부가 대기 중에 노출될 때는 과열되어 약 1,000℃ 이상의 고열이 발생하기 때문에 주변의 가연물이 접촉될 경우에는 곧바로 착화될 수 있다. 또한, 직접 가연물에 접촉이 되지 않는다 하더라도 열량이 강하기 때문에 히터봉의 주변에 근접하여 가연물이 있으면 복사열에 의하여 발화될 위험성도 높다. 따라서 다른 발화열원에 비하여 화재 발생 위험이 매우 크다.(Kong et al., 2008)

온수용 시즈히터의 화재발생 메커니즘을 살펴보면 온수용 시즈히터를 PVC 재질의 용기에 물을 넣고 끓여 온수로 사용하다가 물의 증발이나 사용 후 물을 보충하지 않아 물이 줄어들어 발열부가 대기 중에 노출되는 경우에 PVC 재질의 용기 및 가연물이 발화되어 연소가 확대되는 것이 일반적인 발화의 형태이다.(Park et al., 2009) 온수용 시즈히터로 온수를 사용하기 위하여 일정한 온도로 물의 온도를 유지하기 위한 온도조절기가 설치된 것은 물론 온도조절기가 설치되지 않은 것도 많이 시판되고 있다. 온수용 시즈히터에 의한 화재 원인은 대부분 온수를 사용한 후 물을 보충하지 않고 히터의 전원을 차단하지 않아 장시간 방치하는 경우와 히터를 켜놓은 상태에서 다른 일을 하다 망각에 의한 부주의로 발생하는 사례가 많다. (Moon, 2004; Kim, 2009) 이 때문에 온수용 시즈히터에 의한 화재위험성은 타 기기에 의한 화재위험성보다 높게 나타난다.

2.2 실험 장치 및 실험

2.2.1 실험 장치 및 도구

실험에는 Fig. 1과 같이 시즈히터 종류별로 온도조절 장치가 부착된 5 kW, 3 kW, 1.5 kW 용량 각 1개와 온도조절 장치가 없는 시즈히터 3 kW 용량 1개, 수위를 감지할 수 있는 안전장치가 부착된 3 kW 용량 1개를 사용하였다.

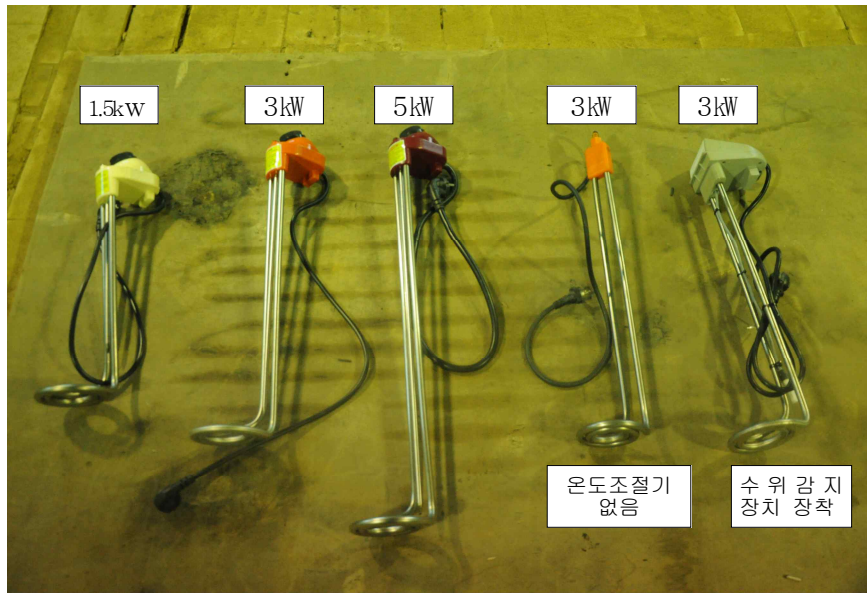


Fig. 1. Sheath heater for experiment

온도 기록계는 정확한 온도를 측정하기 위하여 Fig. 2와 같이 접촉식 열전대를 이용하여 온도를 2초 간격으로 측정하여 기록 가능한 BTM-4208SD를 사용하였다.

온도의 분포를 살펴보기 위하여 열화상 카메라를 사용하여 온도의 분포를 측정하였고 실험장면을 기록하기 위하여 디지털 카메라와 비디오카메라를 사용하여 촬영하였다. 실험에 사용한 용기는 Fig. 3과 같이 온수를 얻기 위하여 가장 일반적으로 많이 사용되고 있는 용기인 PVC재질의 용기와 알루미늄 합금 재질의 용기, 그리고 스테인리스 스틸 재질의 용기를 사용하여 온수용 시즈히터의 과열에 따른 발화와 용기의 온도변화 및 발화 위험을 실험하였다. 접촉발화 실험에는 가구류 및 실내장식물의 재료로 많이 사용되고 있는 190 mm × 290 mm 크기의 MDF 패널을 사용하여 시즈히터에 접촉하고 발화시간을 측정하였다.

FEATURES

- * 12 channels Temperature recorder, use SD card to save the data along with time information, paperless.
- * Real time data logger, save the 12 channels Temp. measuring data along the time information (year, month, date, minute, second) into the SD memory card and can be down load to the Excel, extra software is no need. User can make the further data or graphic analysis by themselves.
- * Channels no. : 12 channels (CH1 to CH12) temperature measurement.
- * Sensor type : Type J/K/T/E/R/S thermocouple.
- * Auto datalogger or manual datalogger.
- * Data logger sampling time range : 1 to 3600 seconds.
- * Type K thermometer : -100 to 1300 °C.
- * Type J thermometer : -100 to 1200 °C.
- * Page select, show CH1 to CH8 or CH9 to CH12 in the same LCD.
- * Display resolution : 1 degree/0.1 degree.
- * Offset adjustment.
- * SD card capacity : 1 GB to 16 GB.
- * RS232/USB computer interface.
- * Microcomputer circuit provides intelligent function and high accuracy.
- * Jumbo LCD with green light backlight, easy reading.
- * Can default auto power off or manual power off.
- * Data hold to freeze the measurement value.
- * Record function to present the max. and min. reading.
- * Power by UM3/AA (1.5 V) x 8 batteries or DC 9V adapter.
- * RS232/USB PC COMPUTER interface.
- * Heavy duty & compact housing case.

ELECTRICAL SPECIFICATIONS (23± 5 °C)

Sensor Type	Resolution	Range	Accuracy
Type K	0.1 °C	-50.1 to -100.0 °C	± (0.4 % + 1 °C)
		-50.0 to 999.9 °C	± (0.4 % + 0.5 °C)
	1 °C	1000 to 1300 °C	± (0.4 % + 1 °C)
		-59.1 to -148.0 °F	± (0.4 % + 1.8 °F)
	0.1 °F	-58.0 to 999.9 °F	± (0.4 % + 1 °F)
		1 °F	1000 to 2372 °F



Fig. 2. Instrument for measurement of temperature

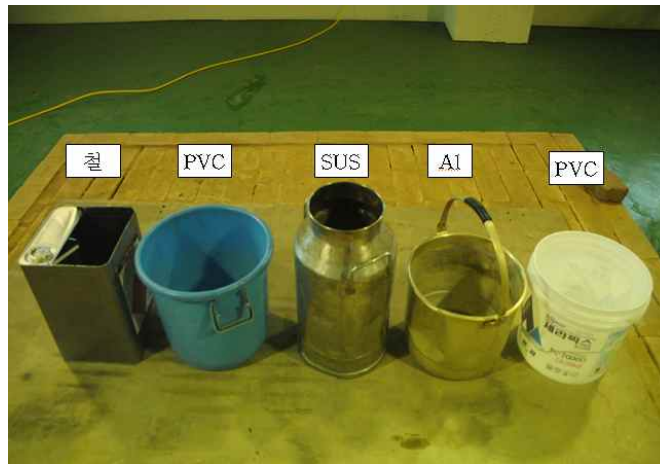


Fig. 3. Material of container

2.2.2 실험 조건 및 방법

온수용 시즈히터의 발화 메커니즘에 관한 확인과 실증적인 화재 위험성에 대하여 검증하기 위한 다음 실험을 수행하였다.

실험 1. 온수용 시즈히터를 사용하여 물 5 l를 통에 넣고 가열하여 물을 끓이는 실험을 시행하였다. 3 kW 용량의 온도조절 장치가 설치된 시즈히터와 수위조절장치가 설치된 시즈히터를 사용하여 시간에 따른 온도변화와 발화시간을 측정하였다.

실험 2. 물이 끓어 증발된 상태를 재현하기 위하여 용기에 물을 넣지 않고 PVC 재질과 알루미늄 합금(Al), 스테인리스 스틸(SUS) 재질의 용기에 시즈히터를 넣고 작동하여 시즈히터와 용기의 시간에 따른 온도 변화와 발화시간을 측정하였다.

실험 3. 용량별로 5 kW, 3 kW, 1.5 kW의 시즈히터를 사용하여 대기 중에서 가열하여 시간대별로 온도의 변화와 가연물에 접촉하여 발화되는 시간을 비교하였다.

2.3 실험 결과 및 분석

2.3.1 수증가열 실험

가. 온도조절기 설치 3 kW 시즈히터

온도 조절장치가 설치된 3 kW 용량의 온수용 시즈히터를 PVC 재질의 통에 수온이 9.8℃의 물 5 l를 넣고 가열온도를 80 ℃로 설정하여 작동하여 Fig. 4와 같은 결과를 얻었다. 수온은 80 ℃ ~ 100 ℃를 유지하나 시즈히터의 히터봉은 시간이 지나면서 700 ℃까지 상승함을 알 수 있다.

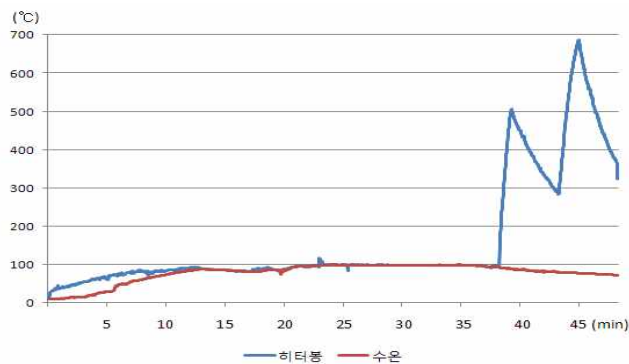


Fig. 4. Temp. change of 3 kW sheath heater with temp. controller

나. 수위감지기 설치 3 kW 시즈히터

수위 감지기가 장착된 3 kW 시즈히터는 온도조절기의 온도조절 범위가 50 °C까지로 온도조절기를 최대온도인 50 °C로 설정 후 물 5 l를 넣은 PVC 재질의 통에 넣어 가열한 결과 온도의 변화는 Fig. 5와 같이 나타났고, 수온이 52.5 °C까지 올라갔을 때 온도조절기가 작동하여 전원이 차단되었다. 시즈히터의 히터봉의 온도도 약 80 °C에 도달 후 하강하는 모습을 나타내었다.

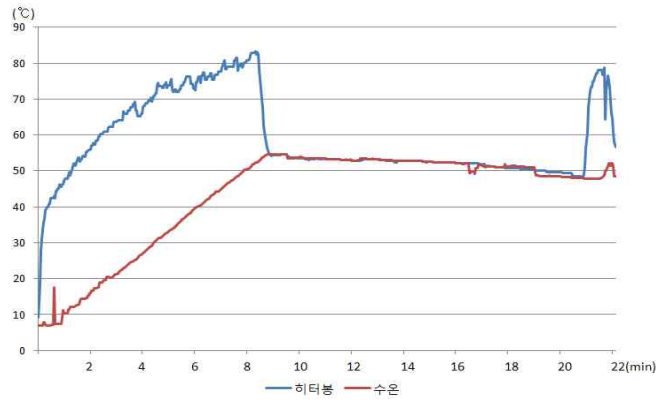


Fig. 5. Temp. change of sheath heater with level detector

2.3.2 용기의 재료별 실험

가. Al 합금용기

Al합금 용기에 5 kW 시즈히터를 넣은 후 온도조절기의 최고온도인 120 °C로 설정 후 전원을 켜자 히터의 온도가 급격하게 올라가기 시작을 하여 Fig. 6과 같이 작동 후 약 3분 후에는 1,000 °C까지 급격하게 상승하였고, 알루미늄 용기가 녹아 구멍이 발생하였다.

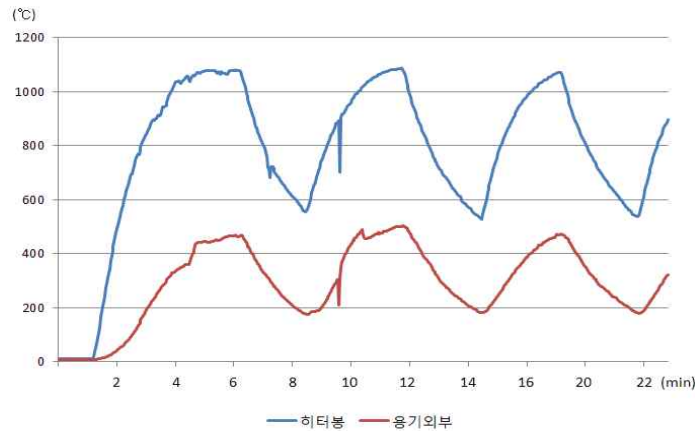


Fig. 6. Temp. change of Al container

나. SUS 합금용기

SUS(Steel Use Stainless) 합금 용기에 5 kW 시즈히터를 넣은 후 온도조절기의 최고온도인 120 °C로 설정 후 실험을 시행하였다. 전원을 켜자 히터 온도가 급격하게 올라가 782.7 °C까지 급격하게 온도가 상승하였고 용기 온도는 520.4 °C까지 상승하였다. 발열부 온도가 782.7 °C까지 상승하고 온도조절장치가 작동하여 전원이 차단되어 발열부 온도가 247.2 °C까지 냉각되자 다시 작동하여 발열부 온도가 710.9 °C까지 상승하고 다시 전원 차단되기를 반복하였다. 시간에 따른 온도의 변화는 Fig. 7과 같이 나타났다.

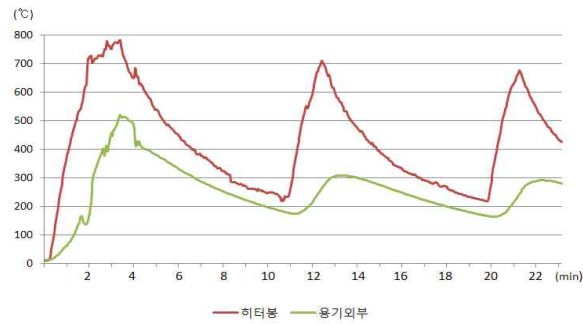


Fig. 7. Temp. change of SUS container

다. PVC 용기

13.6 °C의 물을 10 ℓ를 넣은 PVC 용기에 3 kW 시즈히터를 넣고 온도를 100 °C로 설정하고 전원을 켜자 히터봉의 온도와 수온은 상승을 시작하였으며, 작동 13분경부터는 수증기가 다량 발생하였고 23분경부터는 물이 끓기 시작을 하였다. 물이 증발한 상태를 재현하기 위하여 물통의 물을 온도센서의 하단 부까지 덜어내자 발열부의 온도는 Fig. 8과 같이 급격하게 상승하기 시작을 하였고, 용기에 구멍이 발생하였고 용기에 발화되었다.

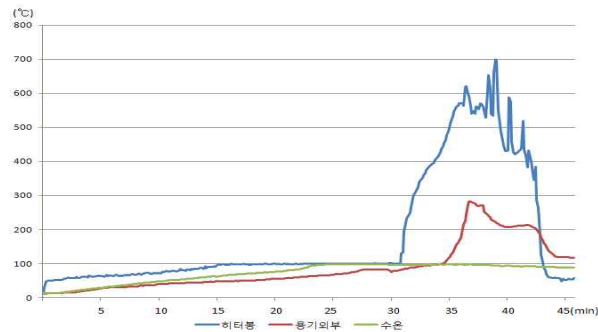


Fig. 8. Temp. change of PVC container

2.3.3 대기중 발화 실험

5 kW, 3 kW, 1.5 kW의 용량이 다른 온수용 시즈히터를 사용하여 대기 중에 노출 시킨 후 전원을 연결하여 과열실험을 시행하였다. 5 kW 용량의 시즈히터는 900 °C까지 상승하여 작동 후 1분 22초 후에 발화되었고, 3 kW 용량의 시즈히터는 온도가 905 °C까지 상승하였으며 2분 8초 후에 발화되었다. 1.5 kW 시즈히터는 온도가 649 °C까지 상승하였고 4분 19초 만에 발화되었다. 3 kW 용량의 시즈히터를 온도조절 스위치를 20 °C로 설정 후 대기 중에서 가열한 결과 120 °C로 설정한 경우와 거의 비슷한 온도분포를 보였으며 발화시간도 2분 35초로 비슷하게 나타났다. 용량별 시즈히터의 대기 중 온도변화는 Fig. 9와 같이 나타났다.

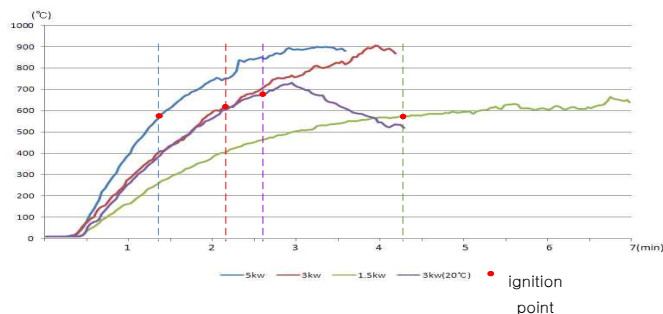


Fig. 9. Temp. change & Ignition point of sheath heater

3. 결론

본 온수용 시즈히터에 의한 화재 피해 감소를 위하여 다양한 실험을 통하여 온수용 시즈히터의 화재 발생 위험요인에 대하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 온도조절장치가 설치되어 있더라도 대기 중에 발열부가 노출되는 경우에는 온도조절장치가 설치되지 않은 시즈히터와 똑같이 발열부가 과열되므로 물의 증발 또는 온수통의 파손 등으로 물이 줄어들어 시즈히터의 발열부가 대기 중으로 노출되는 경우 온도조절장치는 시즈히터가 과열되는 것을 막는 데 아무런 영향을 미치지 못하였다.

(2) 온도조절장치가 설치된 시즈히터를 20 ℃로 가장 낮은 온도로 설정하여 실험을 시행한 결과 발열부 온도는 대부분의 가연물질이 직접 발열부에 접촉하는 경우에는 바로 발화되는 온도인 730 ℃까지 상승하여 발화위험성이 높아지며, 시즈히터의 용량이 클수록 발열부의 온도상승 속도가 빨라서 용량이 큰 시즈히터의 경우에 발화되는 시간이 짧았다.

(3) 온수용 시즈히터의 온도조절기에 의한 제어는 한계가 있기 때문에 발열부의 과열을 막기 위해서는 가장 기본적인 요인인 물의 수위를 감지하여 전원을 차단할 수 있는 수위감지 시스템과 발열부의 온도를 감지하여 이상 과열현상이 발생하는 경우에 전원을 차단 할 수 있는 발열부 온도제어장치가 절대적으로 필요하다.

References

- Kong, H,S, Moon, Y,S. (2008). "The Study of the Fire Possibility of Sheath Heater without Safety Device in Use." Korean Institute of Plant Engineering, Vol.13, No.3, pp.127-135.
- Park Y,K, Lee, S,H, Kang, Y,G, Park, J,T. (2009). "The Study of the Ignition by overheat of Sheath Heater." Korean Institute of Fire Investigation Conference..
- Moon, Y,S. (2004). "The Fire Hazard of the Using Sheath Heater without Safety mind.", Fire Insurance Vol.103, pp.20-25.
- Kim, S,G. (2009). "Fire Investigation Methodology through Ignition Mechanism of Sheath Heater." Fire Investigation Society of Korea, Vol.1, No.2, pp.52-62.
- Yang, W, Shi, Z. (2012). "Preparation and Property of Immersion Heater with SiC Composite Ceramic Sheath", Journal of the Chinese Ceramic Society Vol.40, No.3, pp. 362-365.