

[Research Paper]

바이메탈식 온도센서를 적용한 건조설비에서의 화재 위험성 연구

박남규 · 김진표 · 남정우 · 박종택 · 송재용[†]

국립과학수사연구원

Study of the Fire Risk Caused by the Use of a Bimetal type Thermometer in the Drying Equipment

Nam-Kyu Park · Jin-Pyo Kim · Jung-Woo Nam · Jong-Taek Park · Jae-Yong Song[†]

National Forensic Service

(Received April 12, 2017; Revised May 16, 2017; Accepted May 30, 2017)

요 약

본 논문에서는 바이메탈식 온도센서를 적용한 건조설비에서의 화재 위험성에 대하여 연구하였다. 건조설비는 산업현장 등에서 광범위하게 사용되고 있으며, 건조 대상물이 가열될 때 발생하는 가연성 가스 및 증기에 의한 폭발 및 화재 등이 일어나기 용이하기 때문에 구조와 사용방법 등에 대한 규제가 엄격하게 이루어지고 있지만 부적합한 온도센서를 활용한 건조로 등의 내부온도 측정시 정확한 온도 측정이 이루어지지 못하는 경우에는 그만큼 화재 위험성이 증가하게 된다.

따라서 본 논문에서는 건조설비에 광범위하게 사용되고 있는 바이메탈식 온도센서의 구조를 분석하고, 측정 대상물의 성상에 따른 온도 측정 실험을 수행하였다. 측정 대상물에 따른 온도 측정 결과, 기체 및 고체에 대한 온도 측정에 있어서는 실제 온도에 비해 낮은 온도로 측정되었으며, 액체 대상물의 경우에는 비교적 정확한 온도 측정이 가능하였다. 이러한 실험 결과로부터 바이메탈식 온도센서는 기체 및 고체의 온도 측정에는 부적합하며, 액체의 온도 측정에 보다 적합한 특성을 나타내었다.

ABSTRACT

In this paper, the fire risk using a bimetal type thermometer for construction installation is presented. Because construction equipment is used widely in the field and the site is exposed to explosions and fire by combustible gas or fume, strong restrictions on the structure and usage are applied. Moreover, the risk of fire increases as precise temperature measurements are poorly conducted via an inner temperature sensor inside construction furnace. Therefore, this paper presents the results of structural analysis of a bimetal temperature sensor which is used widely in construction installation and temperature measurement experiments relative to the material property of the target object. The results revealed the relatively precise temperature of the liquid object, whereas those of the gas and solid object showed a lower temperature compared to the real temperature. This shows that bimetal-type temperature sensor is more suitable for measuring a liquid state object than measuring a gas or solid state object.

Keywords : Drying Equipment, Bimetal Type Thermometer, Fire Risk, Inappropriate Using

1. 서 론

건조설비는 열원을 사용해서 총포·도검·화약류 등의 안전관리에 관한 법률에 규정하는 화약, 폭약 및 화공품 이외의 물질을 가열 건조하는 건조실 및 건조기를 총칭해서 일컫는다. 산업안전보건에 관한 규칙에서는 위험물을 건조하는 장치를 설치하는 부분의 건축물은 독립된 단층 건물로 하여야 하고, 설비는 건조 대상물의 종류, 가열건조의

정도, 열원의 종류 등에 의해 폭발, 화재의 우려가 없도록 해야 한다. 이를 위해 구성 재료 및 설비의 구조는 이들의 재해를 방지할 수 있도록 해야 한다. 건조설비는 열원으로 사용하는 연료 가스, 연료 기름에 의한 폭발화재, 건조물이 가열될 때에 발생하는 가연성 가스 및 증기에 의한 폭발화재 등이 일어나기 쉽기 때문에 구조와 사용방법 등에 대한 규제가 있으며, 특히 위험물 등에 관계되는 설비는 위험물 건조설비로 규정하여 방호 및 안전장치 등에 대한 특별한

[†] Corresponding Author, E-Mail: hvlab@korea.kr, TEL: +82-2-2600-4972, FAX: +82-2-2600-4999

© 2017 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

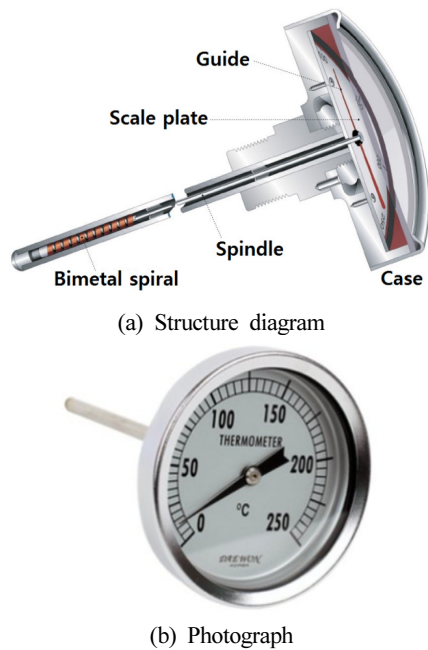


Figure 1. Structure diagram and photograph of a bimetal type thermometer.

규제가 있다⁽¹⁻⁴⁾. 그럼에도 불구하고 건조설비는 산업 현장의 다양한 분야에서 광범위하게 사용되고 있으며, 금속의 열처리 과정, 도장 이후 도료의 건조 등의 분야에서 필수적인 설비로 이용되고 있다⁽¹⁻⁴⁾. 특히 이러한 건조설비에서는 가열 또는 건조 대상물에 따라 온도제어에 실패하게 되면 제품의 품질이 저하되는 것은 물론 화재사고로 이어지는 등의 위험 상황이 발생할 수 있어 정확한 온도제어가 필수적이다. 건조설비 자체는 열원을 취급하는 공정이므로 열원 관리 및 정확한 온도제어가 필수적이며 온도제어 분야에서는 열전대, 측온저항체, 바이메탈식 온도센서 등이 적용되고 있다. 고가의 설비 또는 높은 온도의 제어에는 주로 열전대 및 측온저항체가 사용되고 있으며, 온도 제어에 고도의 정밀함을 요하지 않는 설비인 경우에는 경제성을 고려하여 저가의 바이메탈식 온도센서를 적용하기도 한다. 다만 바이메탈식 온도센서는 저가로 구성할 수 있는 장점이 있는 반면 측정 대상에 따라 온도 편차가 크게 나타나고, 정확한 온도 측정이 어려운 점으로 인해 종종 화재사고 발생의 원인이 되기도 한다⁽⁵⁻⁷⁾.

본 연구에서는 바이메탈식 온도센서가 적용된 간이 건조로에서의 화재사고 사례를 분석하고, 측정 대상물에 따른 바이메탈식 온도센서의 온도 편차를 실험적으로 확인함으로써 바이메탈식 온도센서의 부적절한 사용으로 인한 화재 위험성에 대해 기술하였다.

2. 바이메탈식 온도센서의 개요

앞서 언급한 바와 같이 온도제어를 위한 온도센서로 상

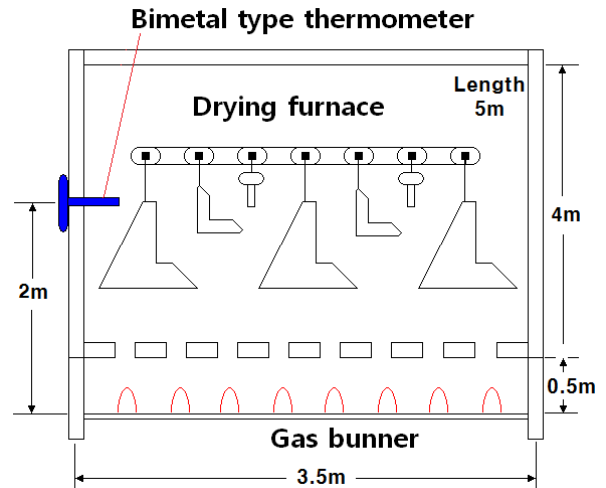


Figure 2. Schematic diagram of drying furnace using a bimetal type thermometer.

대적으로 저가이면서도 손쉽게 적용할 수 있는 센서 중의 하나가 바이메탈식 온도센서이다. 바이메탈식 온도센서 중에서도 가장 광범위하게 사용되는 것은 Figure 1에 나타난 바와 같이 아날로그 바이메탈식 온도센서로 바이메탈식 나선(bimetal spiral)을 축(spindle)을 통해 온도계 지침(guide)에 직접 연결하여 일체형으로 구성한 것이 특징이다.

아날로그 바이메탈식 온도센서를 엄밀히 구분하면 온도를 측정하는 감열체 부분에 바이메탈식 재료를 나선형, 태엽형 및 원호형 등으로 구성할 수 있으며, 나선형인 경우, 액체의 온도측정에 적합하고, 태엽형 및 원호형은 기체 온도측정에 보다 나은 정확성을 가지는 것으로 알려져 있다^(3,4).

3. 건조설비에서의 화재사고 사례

본 연구에서 주목한 화재 사례는 2014년 5월 부산 사상구 소재 분전반 제조업체의 건조설비에서 화재가 발생한 것이다. 화재가 발생한 건조설비는 Figure 2에 나타난 바와 같이 샌드위치 패널 및 경량 철골 구조물을 사용하여 가건물 구조로 만든 간이 건조설비로 전기분전반 및 관련 부품을 분체도료를 이용하여 도장한 후, 일정 온도에서 건조하는 목적의 것이며, 전체 크기는 폭 3.5 m, 길이 5 m 및 높이 4 m로 구성되고, 하단 0.5 m 아래에 가스버너를 설치하여 필요한 온도까지 가열할 수 있도록 하는 구성이다. 건조설비 앞뒤로 문이 설치되어 있으며, 도장된 전기분전반 및 관련 부품을 내부에 걸어두고 문을 닫은 후, 가스버너로 내부 온도를 상승시키는 원리이고, 온도제어에는 나선형 바이메탈식 온도센서를 이용하여 건조설비 내부의 온도를 200 °C 까지 상승시킨다. 바이메탈식 온도센서는 지면으로부터 2 m 높이에 설치되며, 온도계의 눈금은 건조설비 외벽에서 육안으로 확인할 수 있도록 구성되어 있다. 건조설비 내부 온도의 설정은 건조설비 외벽에서 바이메탈식 온도센서의



(a) Burn pattern of fire scene



(b) Inside of drying furnace



(c) Gas supplying line



(d) Bimetal spiral

Figure 3. Fire accident of drying furnace caused by inappropriate using a bimetal type thermometer.

온도를 확인한 후, 설정온도가 되면 가스버너를 차단시키는 작업이며, 이러한 일련의 작업은 모두 사람이 직접 조작하는 수동 작업으로 이루어진다.

Figure 3에 나타난 것은 Figure 2에 나타난 건조설비에서의 화재 사례를 나타낸 것으로 건조로가 설치되어 있는 부분이 전반적으로 심하게 연소된 상태이고, 건조로 내부가 다른 부위에 비해 가장 심하게 연소된 모습을 나타내고 있다.

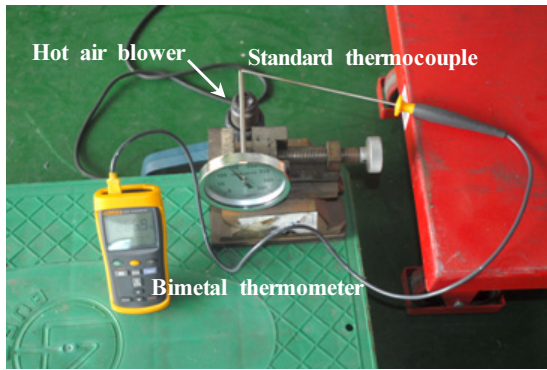
건조로 측면에는 건조로 가열을 위한 가스 공급용 배관 등이 위치해 있는 상태이고, 가스배관 상단에 바이메탈식 온도센서가 설치되어 있는 구성으로 온도 지시부(scale plate)는 건조로 외벽에 위치하고, 건조로 내측에 위치한 온도센서의 감열부 부분(bimetal spiral, 직경 6.4 mm)은 도료 잔해가 완전히 덮여있는 상태로 화재 이전부터 이와 같은 상태이었던 것으로 추정되며, 이러한 상태에서는 건조로 내부에 상당한 온도변화가 있더라도 정확한 온도 측정은 불가능할 것으로 판단된다.

Figure 3(d)에 나타난 바와 같이 온도센서의 감열부 부분이 도료 잔해에 싸여있는 상태로 건조로 내부의 정확한 온도 측정이 불가능한 상태이고, 건조로 외부에서 온도센서의 눈금을 보고 수동으로 조작하는 형태인 점과 건조로 하부에서 가스버너를 통해 건조로 내부의 온도를 상승시키는 방법 등을 감안한다면 실제 외부에서 확인하여 조작하는 온도에 비해 건조로 내부의 온도는 상당한 차이가 발생할 수 있을 것으로 추정된다. 건조로 내부에는 건조 대상물인 전기분전반 이외에 다른 가연물이나 발화원인을 제공할 만한 특이 설비는 설치되어 있지 않은 상태로써 만일 외부에서 확인하는 온도에 비해 건조로 내부의 온도가 상당한 차이를 두고 온도 상승이 이루어진다면 건조로 내부의 건조 대상물(전기분전반)을 매개로 충분히 화재사고로 이어질 수 있을 것으로 생각된다.

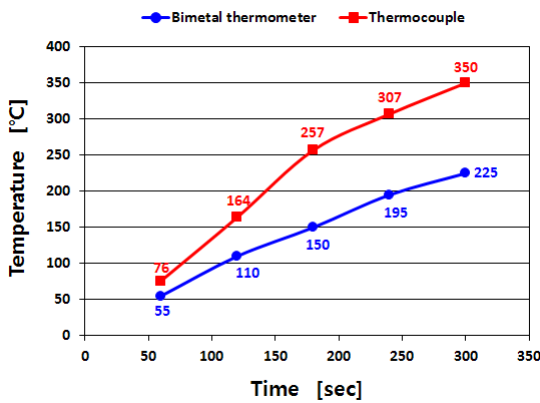
4. 온도측정 실험

바이메탈식 온도센서의 사용 환경에 따른 화재 위험성 평가를 위하여 기체상태의 온도 변화를 측정하여 바이메탈식 온도센서의 적합성 여부를 평가하였다. 온도 측정 방법으로는 열풍기를 이용하여 대기온도를 상승시키는 과정에서 바이메탈식 온도센서에서 측정되는 온도와 표준온도센서(80PK-26 Tapered temperature probe, FLUKE)에서 측정되는 온도를 비교하였다. 온도 측정 방법으로는 개방된 공간에서의 대기 온도변화 측정, 건조로와 유사한 밀폐공간에서의 기체 온도변화 측정을 수행하였으며, 그 결과를 Figure 4와 Figure 5에 각각 나타내었다.

먼저 Figure 4에 나타난 바와 같이 열풍기에서 직접 분출되는 열풍 온도를 측정한 결과, 낮은 온도에서는 온도편차가 크지 않은 것으로 나타났으며, 300 °C 이상의 온도에서는 표준 온도센서와 바이메탈식 온도센서 간 약 100 °C 이상의 온도차이가 발생하는 것으로 평가되었다.



(a) Experimental apparatus



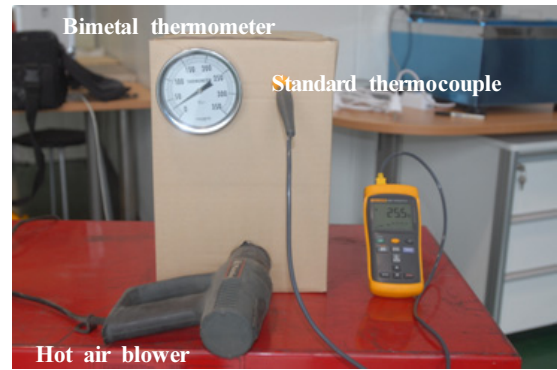
(b) Experimental results

Figure 4. Measuring experiment of air temperature in the open space using by hot air blower (convection heat of air).

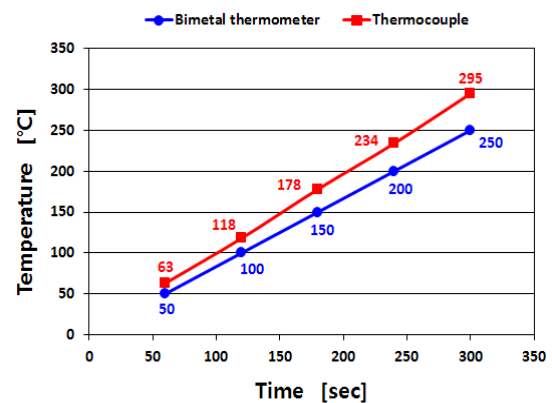
건조로와 유사한 형태의 밀폐구조(240 mm (W)×280 mm (D)×400 mm (H))에서는 Figure 5에 나타난 바와 같이 개방된 공간에서의 온도 측정 결과와는 달리 온도편차가 상대적으로 적은 것으로 평가되었으며, 바이메탈식 온도센서에서 250 °C로 측정되는 온도는 실제로 295 °C를 나타내는데 약 45 °C의 온도 차이를 나타내었다. 이러한 결과를 고려할 때 실험에 적용한 나선형의 바이메탈식 온도센서의 경우에는 기체상태의 온도 측정에 있어서 실제온도와 큰 차이를 나타낸 것으로 확인할 수 있으며, 기체 상태의 온도 측정에는 부적합한 것을 알 수 있다.

두 번째로 고체 상태에서의 전도열에 대한 온도 측정 결과 비교를 위하여 Figure 6과 같이 스테인리스 금속판 아래에서 열풍기를 통하여 동 금속판을 가열할 때 가열 중심부에서 온도 측정결과를 나타내었다.

금속판의 가열 중심부에서 바이메탈식 온도센서와 표준 온도센서에서 측정된 온도는 온도가 상승함에 따라 일정한 비율로 나타나는데 표준 온도센서에서 측정된 실제 온도와 바이메탈식 온도센서에서 측정된 온도의 차이는 60-80 °C 범위로 나타나는데 낮은 온도 및 높은 온도에서 비교 일정한 차이를 나타내는 결과를 보였다. 고체 금속판을 가열하는 과정에서 얻어진 온도 측정 결과를 고려할 경우, 바이메



(a) Experimental apparatus



(b) Experimental results

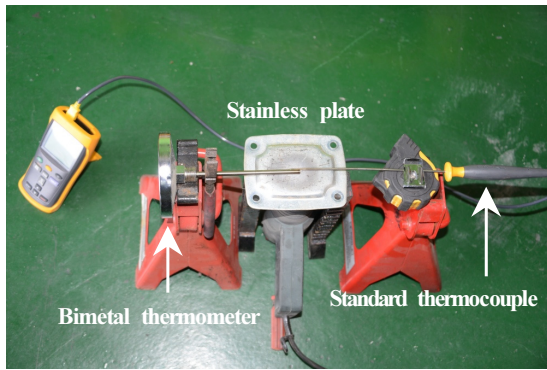
Figure 5. Measuring experiment of air temperature in the closed space using by hot air blower (convection heat of air).

탈식 온도센서는 고체 상태의 금속판에 접촉식으로 온도를 측정하는 방법에서도 실제 온도와 상당한 온도차이를 나타내므로 이러한 방식에서 바이메탈식 온도센서를 적용하는 것 역시 적절하지 못한 것으로 평가되었다.

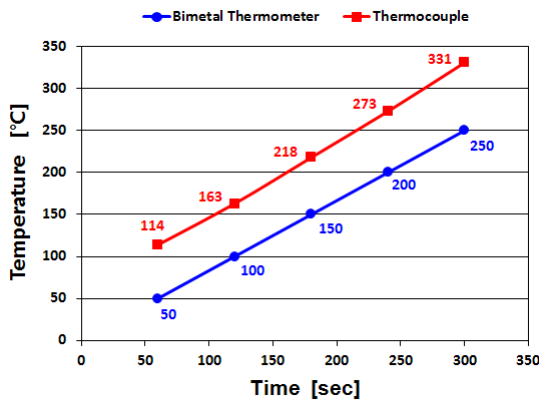
마지막으로 식용유를 이용한 액체의 온도 측정 실험장치 및 실험결과를 Figure 7에 나타내었다. 식용유 가열을 위한 실험장치로는 업소용 튀김기 제품을 이용하였으며, 식용유를 가열하는 과정에서의 온도 측정에는 앞서 사용한 것과 동일한 바이메탈식 온도센서와 액체 상태 대상물의 온도 측정에 적합한 표준 온도센서(80PK-22 Immersion temperature probe, FLUKE)를 적용하였다.

식용유를 가열시키면서 온도를 측정한 결과, 낮은 온도 범위에서는 바이메탈식 온도센서와 표준 온도센서 사이의 온도편차가 크지 않은 상태로 정확한 온도 측정이 가능한 것으로 판단된다. 200 °C 이상의 상대적으로 높은 온도 범위에서도 온도 편차는 약 10 °C 내외로 그다지 크게 차이나지 않는 상태로 바이메탈식 온도센서의 경우에는 액체 상태의 온도 측정에 있어서는 비교적 정확한 측정 결과를 나타내었다.

상기 여러 조건에서의 온도 측정 실험결과, 기체 상태 및 고체 상태의 온도 측정에 바이메탈식 온도센서를 적용



(a) Experimental apparatus



(b) Experimental results

Figure 6. Measuring experiment of stainless plate surface temperature (conduction heat of metal).

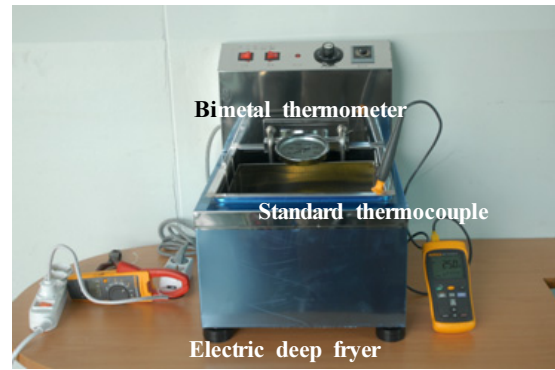
하는 경우에는 상대적으로 실제 온도와 큰 온도 편차를 나타내므로 기체 상태 및 고체 상태의 온도 측정에 바이메탈식 온도센서를 적용하는 것은 부적절한 것으로 판단되며, 식용유와 같은 액체 상태의 온도 측정에 바이메탈식 온도센서를 적용하면 비교적 정확한 온도 측정이 가능하였다.

이러한 실험결과로부터 화재사례로 소개한 건조로와 같은 구조에 바이메탈식 온도센서를 적용하는 것은 부적절한 것으로 판단되며, 그만큼 화재의 위험성도 높아질 것으로 판단된다. 액체를 대상으로 하는 설비 등에 바이메탈식 온도센서를 적용하는 것은 비교적 정확한 온도 측정이 가능한 것으로 평가되었으며, 바이메탈식 온도센서는 식용유 등과 같이 액체 상태의 대상물 온도 측정에 제한적으로 적용하는 것이 보다 바람직할 것으로 생각된다.

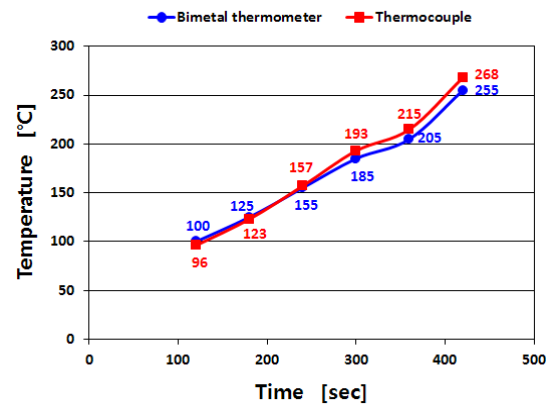
5. 결론

본 논문에서는 바이메탈식 온도센서를 적용한 건조설비에서의 화재사례를 소개하였으며, 측정 대상의 성상에 따른 온도 측정의 정확도를 분석하였다.

비교적 간편하게 사용할 수 있는 나선형 구조의 바이메탈식 온도센서는 기체 및 고체 상태의 온도 측정에 있어서는



(a) Experimental apparatus



(b) Experimental results

Figure 7. Measuring experiment of frying oil in the electric deep fryer (convection heat of liquid).

실제온도와 최대 100 °C 이상의 온도 차이가 발생하는 결과를 나타내었다. 이러한 온도편차로 인하여 건조설비에 바이메탈식 온도센서를 적용하는 경우에는 온도센서에서 측정되는 온도에 비해 실제 온도는 상당히 높게 나타나는데 이러한 원인으로 인해 건조설비에서의 화재 위험성은 높아질 것으로 판단된다. 따라서 건조설비에서의 온도 측정에서는 바이메탈식 온도센서는 부적합 것으로 판단되며, 화재위험성 또한 증가하므로 경제적 비용이 증가하더라도 보다 정확한 온도 측정이 가능한 온도센서를 사용해야할 것이다.

결론적으로 건조설비에서의 화재 위험성을 낮추기 위해서는 기체상태의 온도를 정확하게 측정할 수 있는 열전대 타입 등의 온도센서 적용이 필요하며, 단순히 일부 개소에서 온도 측정값을 이용할 것이 아니라 다수의 개소에서 동시에 온도를 측정하는 등의 보다 적극적인 온도센서 적용이 필요할 것으로 생각된다.

References

1. NFPA 86 : Standard for Ovens and Furnaces (2011).
2. UL 795 : Standard for Commercial-Industrial Gas Heating Equipment (2014).

3. Korea Legal, Occupational Safety and Health Act enforcement Ordinance and Regulations (2015).
4. Kwon Ho-Young, Metal Surface Treatment Engineering, Gold Publishing Company, pp. 330-350 (2004).
5. D. W. Song, K. S. Kim, C. H. Kim, S. G. Lee and S. K. Lee, "A Study on Accident Frequency by Installing Safety Devices in the LPG Heating and Drying Furnace", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 19, No. 4, pp. 49-54 (2015).
6. J. H. Lee, K. S. Yu and K. S. Park, "Availability Analysis of Safety Devices installed for Reventing Accidental Events in the LPG Refuelling Station", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 10, No. 1, pp. 26-31 (2006).
7. Shin Youngseok, "A system of Optical Fiber Temperature Sensors Using Bimetal Elements", Journal of Information and Communication Technology, Vol. 18, No. 1, pp. 29-38 (2010).