

화재감지 감열체로서 유리벌브의 양산화 개발

김병철* · 정훈철* · 서요원* · 김용규**

필코그라스* · (주)대명기계공업**

Development of glass bulb as a fire detecting element.

Kim, Byung Cheol* · Joung, Hoon Choul* · Seo, Yo Won* · Kim, Yong
Kyu**

Pilko glass* · DaeMyung Machinery Industry**

요 약

유리벌브는 다양한 자동 소화장치 또는 시설에 신뢰성이 높은 감열체로서 각광받고 있다. 당사는 최근 작동온도가 매우 균일하고 하중강도가 우수한 유리벌브를 개발하였고 양산화에도 성공하였다. 본 논문에서는 당사가 개발한 유리벌브의 품질특성을 소개하고자 한다. 특히 본 연구에서는 화재 감지용 감열체로서 유리벌브의 주요 특성치인 반응시간지수(RTI)에 대해 비중 있는 연구를 진행하여 유리벌브의 RTI를 결정하는 주요 변수들을 도출하고, 이를 설계에 응용하여 유리벌브의 RTI를 조절할 수 있는 톨로서 개발하였다.

1. 서 론

화재 발생 시 초기진화의 중요성은 더 이상 강조할 필요가 없다. 그러나 남대문 화재 등 많은 화재의 경우 무인상태에서 발생한다. 무인상태에서 발생하는 화재에 대해서 유일한 초기진화수단은 스프링클러 등과 같이 화재 발생시 이를 감지하여 자동으로 진화하는 방법일 것이다. 이같은 유형의 소화장치로는 스프링클러 장치 이외에도 자동확산소화용구, 자동식소화기, 고체에어졸 자동소화장치 등이 있다.

이 중 자동식 소화기는 화재발생 뿐 아니라 연기와 개스감지의 기능도 요구하므로 전자식 화재 감지 소자를 사용한다. 그 이외의 무인상태에서 동작하는 소화장치들은 전원 독립형이므로 전자식을 채택할 수 없고, 이 경우 공인된 화재감지 소자는 이용성합금과 유리벌브이다.

이용성 합금은 녹는점이 낮은 합금을 말하는데 화재감지에 쓸 수 있는 이용성 합금은 납과 카드뮴 등의 중금속을 포함 함으로 인해 환경문제 뿐 아니라 제조공정에서 작업자의 건강문제를 일으킬 수 있다는 단점이 있다. 또한 고온 다습한 조건에 장시간 노출되면 부식 등에 의한 노화와 열화에 따라 오동작 또는 미동작으로 이어질 가능성이 있음을 부인할 수 없다.

유리 밸브는 이러한 문제점을 야기하지 않으나 국내 제조사가 없어 전량 수입해야 한다는 점은 유리밸브의 대중화에 큰 장애가 되고 있었다. 또한 각 국가마다 다소 상이한 기술기준 때문에 수입 제품을 쓸 경우 국내의 실정이나 기술기준에 부합하지 않을 수도 있고, 국내의 상황 변경 시 또는 문제 발생 시 이에 대한 대응이 난해하다는 단점이 있다.

이같은 배경하에 당사는 유리밸브의 국산화 개발을 추진하였고, 그 결과는 2008년도 한국화재소방학회 춘계학술논문 발표회에 소개한 바 있다.¹⁾ 본 논문은 그 후속연구로서 개발품이 아닌 양산품에 대한 품질 및 성능평가 결과를 소개하고자 한다. 또한 반응시간지수 (RTI)에 대한 해석을 통해 RTI를 제어하는 설계변수를 정의하고 이를 제조기술에 응용할 수 있게 하였다.

2. 유리밸브 양산품의 품질 특성

2.1 유리밸브 개요

유리밸브는 유리 앰플에 열팽창계수와 비열 및 압축률이 적합한 액체를 충전하고 이를 밀봉하여 만들어진다. 만들어진 유리밸브에는 액체가 완전히 차있지 않고 일정크기의 기포를 남기는데 온도가 상승하면 액체의 부피가 팽창하면서 기포를 수축시키고 기포가 완전히 소멸된 이후에는 액체의 팽창이 유리밸브의 벽면을 압박하여 이를 파괴시킨다. 그림 1은 당사의 유리밸브가 장착된 스프링클러헤드에 열을 가하면서 고속카메라로 촬영한 동영상의 일부를 나타낸 것이다.

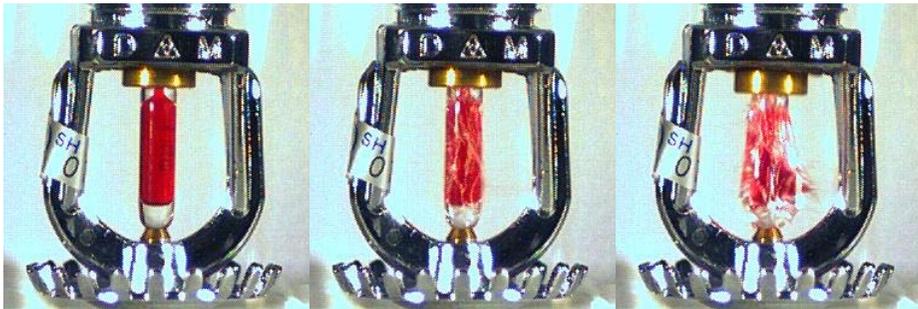


그림 1. 유리밸브 동작시 고속카메라 촬영

유리밸브 내에 형성되어있는 기포의 크기가 클수록 더 높은 온도에서 기포 소멸이 이루어짐은 당연하다. 따라서 유리밸브의 동작온도는 제조공정 중 기포의 크기를 제어함으로써 설정할 수 있다. ‘스프링클러헤드의 형식승인 및 검정기술기준²⁾은 유리밸브의 표준적인 동작온도와 그 액체의 색별을 표 1과 같이 규정한다.

당사는 기포의 크기를 자유로이 제어할 수 있는 공정기술을 개발함으로써 해서 표 1의 다양한 동작온도를 갖는 유리밸브를 생산할 수 있는 양산화기술을 확보하였으며, 본 논문에서는 가장 널리 쓰이는 68℃급 (빨간색)유리밸브를 중심으로 소개하고자 한다.

표 1. 유리벌브의 표시온도 별 색별

표시온도(℃)	액체의 색별	표시온도(℃)	액체의 색별
57	오렌지	141	파랑
68	빨강	182	연한자주
79	노랑	227	검정
93	초록	-	-

2.2 작동온도시험

동 기술기준은 표시온도보다 10℃ 낮은 온도로부터 매 분 1℃ 이내의 비율로 온도를 상승시킬 때 유리벌브가 동작하는 온도가 표시온도의 95%에서 115%의 범위 이내이어야 한다고 규정한다. 즉 68℃급 유리벌브의 경우 허용공차는 64.6℃~78.2℃이다.

그림 2는 무작위로 추출된 68℃급 유리벌브 100개에 대해 위의 시험방법으로 동작온도를 시험하여 그 분포를 나타낸 그림이다. 약 70℃를 중심으로 ±4℃ 이내에 99%가 분포하고 있다. 이는 규격상의 허용공차에 비해 충분히 균일하다고 할 수 있는 분포이다.

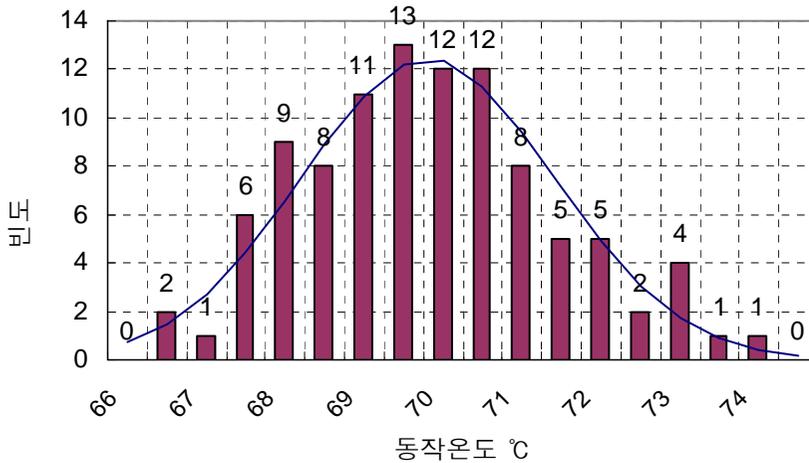


그림 2. 작동온도 분포도

2.3 반응 시간지수 (RTI) 시험

반응 시간지수 (RTI)는 기류의 온도, 속도에 따른 작동시간을 나타내는 지표로서 화재 감지 감열체로서 매우 중요한 감도시험 항목이다. 동 기술기준은 반응시간지수에 따라 유리벌브를 3가지로 분류하고 있으며 이는 표 2와 같다.

RTI는 주어진 온도의 기류를 주어진 속도로 가하여 동작할 때까지의 시간을 측정하여 얻을 수 있는데, 동 기술기준²⁾은 표시온도와 반응 유형에 따라 표 3과 같이 시험하는 기류 특성을 정한다.

표 2. 유리벌브의 반응 유형 정의

유형	RTI (ms) ^{1/2}
표준반응	80초과 350이하
특수반응	51초과 80이하
조기반응	50이하

표 3. RTI시험시 기류온도와 기류속도 조건

표시온도(℃)	표준반응		특수반응		조기반응	
	기류온도 ℃	기류속도 m/s	기류온도 ℃	기류속도 m/s	기류온도 ℃	기류속도 m/s
57~77	191~203	2.4~2.6	129~141	2.4~2.6	129~141	1.65~1.85
79~107	282~300	2.4~2.6	191~203	2.4~2.6	191~203	1.65~1.85
121~149	382~432	2.4~2.6	282~300	2.4~2.6	282~300	1.65~1.85
163~191	382~432	3.4~3.6	382~432	2.4~2.6	382~432	1.65~1.85

주어진 시험조건에서 일차적으로 측정되는 것은 동작시간(t_b)인데 이로부터 식 1. 에 의해 RTI를 얻을 수 있다.³⁾

$$RTI = \frac{t_b \sqrt{u}}{\ln \frac{T_g - T_r}{T_g - T_b}} \quad (\text{식 1})$$

식 1.에서 u 는 기류속도 T_g 는 기류온도, T_r 은 실내온도, T_b 는 동작온도이다. 유리벌브에 T_g 의 온도를 갖는 기류가 가해질 때 시간에 따른 유리벌브의 온도 상승률(dT/dt)은 기류와 유리벌브의 온도차 ($T_g - T$), 유리벌브의 표면적, 유리의 표면상태와 기류 속도에 의해 결정되는 열전달계수 (h)에 비례하고, 유리벌브의 질량 (m), 유리벌브의 비열 (c)에 반비례한다.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{hA}{mc}(T_g - T) \quad (\text{식 2})$$

식의 간략화를 위해 $\tau = \frac{mc}{hA}$ 로 정의하고, 유리벌브의 초기온도 $T(0)$ 를 실온 (T_r)과 같다는 초기조건 하에 미분방정식을 풀면 그 해는 식 3과 같다.

$$T = T_g + (T_r - T_g)e^{-t/\tau} \quad (\text{식 3})$$

식 3은 시간에 따라 유리벌브의 온도 변화를 나타내고 있다. 유리벌브의 온도가 동작온도라고 하고 ($T = T_b$), 식 3의 역함수를 구해 τ 를 동작시간 t_b 의 함수로 나타낸 후 RTI의 정의가 $\tau\sqrt{u}$ 임에 대입하면 (식 1)이 얻어진다.

위와 같은 방법에 의해 측정된 RTI는 표 4와 같다. 측정된 RTI값은 86.1의 평균치와 2.63의 표준편차를 갖는 분포를 이루는데 이는 규정된 표준반응형의 RTI값 범위 내에 안정적으로 분포한다고 말할 수 있는 수치이다.

표 4. 양산품의 반응시간지수 (RTI) 측정 결과

구분	RTI
1	87.6
2	86.5
3	89.0
4	85.2
5	82.1
평균	86.1
표준편차	2.63

표 5. 프로필렌글리콜 사용 시제품의 반응시간지수(RTI) 측정 결과

구분	RTI
1	73.5
2	80.1
3	75.8
4	83.4
5	86.3
평균	79.8
표준편차	5.27

3. RTI의 조절

일반적으로 널리 쓰이는 외산의 표준형 유리벌브는 에틸렌글리콜이나 프로필렌글리콜과 같은 다가 알콜류가 충전액으로 사용되는 것으로 파악되고 있다. 이에 따라 본 연구팀 역시 다가알콜의 하나인 프로필렌글리콜을 사용하여 시제품을 생산한 바 있으며 이로부터 얻은 작동온도 및 RTI 측정치는 그림 3과 표 5와 같다.

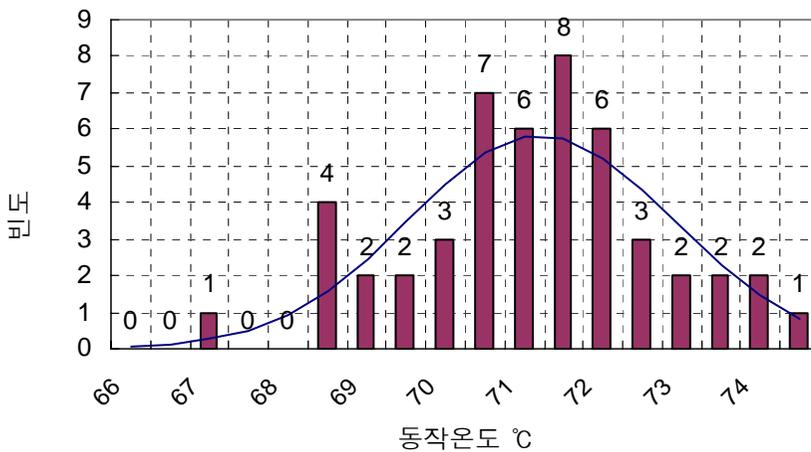


그림 3. 프로필렌글리콜 사용 시제품의 작동온도 분포도

동작온도의 분포는 당사의 양산품 (그림 1)과 비교해 볼 때 별 차이가 없으나 RTI값은 $79.8 \text{ (ms)}^{1/2}$ 의 평균값을 보여 당사의 양산품 보다 작은 것으로 나타났다. 그런데 기술기준은 RTI값 $80 \text{ (ms)}^{1/2}$ 을 기준으로 표준반응형과 특수반응형을 구분하고 있다. 따라서 약 80에 중심값을 두는 분포는 표준반응형과 특수반응형 어느 것으로도 사용될 수 없다. 따라서 본 연구팀은 유리벌브의 RTI를 조절할 수 있는 방법을 찾기 위해 노력했으며 충전

액의 밀도와 비열을 조절하여 이를 가능하게 했다.

유리벌브의 $RTI = \frac{mc}{hA} \sqrt{u}$ 라 했다. 여기서 m 과 c 는 각각 유리벌브의 질량과 비열인데, 이들의 곱은 유리벌브 전체의 열용량을 나타낸다. 이는 식 4와 같이 유리만의 열용량과 충전액의 열용량의 합으로 나타낼 수 있다.

$$mc = m_g c_g + V_l \rho_l c_l \quad (\text{식 4})$$

m_g 는 유리만의 질량으로 0.49g, c_g 는 유리의 비열로 0.84J/g°C, V_l 은 유리벌브 내부 부피로서 0.08ml, ρ_l 은 충전액의 밀도로서 프로필렌글리콜의 경우 1.036g/ml, c_l 은 충전액의 비열로서 프로필렌글리콜의 경우 2.51J/g°C이다. 기류속도 2.4m/s에서 프로필렌글리콜을 사용한 유리벌브의 RTI가 평균 79.8 (ms)^{1/2} 이었으므로 이를 식 5에 대입하여 얻은 열전달계수 h 와 표면적 A 의 곱은 0.012였다.

$$hA = \frac{m_g c_g + V_l \rho_l c_l}{RTI} \sqrt{u} \quad (\text{식 5})$$

이 계수와 정의된 상수들을 이용하여 사용하는 충전액의 특성치 ($\rho_l c_l$; 밀도와 비열의 곱)와 RTI값의 관계식을 식 6과 같이 유도하였다.

$$RTI = 53.1 + 10.3 \rho_l c_l \quad (\text{식 6})$$

본 연구팀은 기술기준에 안정적으로 부합하는 RTI를 갖도록 밀도와 비열의 곱이 3.2인 액체를 조제하였고 이를 양산품에 적용하였다. 밀도와 비열의 곱이 3.2인 액체를 사용할 경우 식 6은 RTI를 86.2로 예측하는데, 양산품에 대한 측정치의 평균 86.1은 이와 매우 잘 일치하였다.

4. 결론

본 연구에서 동작 온도가 균일하고 반응시간지수 RTI가 국내 규정에 잘 부합하는 화재 감지용 감열체인 유리벌브를 개발하였다. 이와 함께 유리벌브의 RTI를 조절할 수 있는 주요 변수를 도출하고 이를 양산기술로 적용하게 하였다. 현재까지의 개발 기술은 RTI가 50 이하이어야 하는 조기 반응형에는 적용할 수가 없으며 향후 이에 대한 개발에 전력할 계획이다.

참고문헌

1. 김병철 외 2 (2008). “스프링클러용 유리벌브의 개발” 한국화재소방학회 춘계학술논문 발표회 논문집 pp 144-147
2. 소방방재청고시 제2005-72호 스프링클러헤드의 형식승인 및 검정기술기준(KOFEIS 0501)
3. 김동석 외 2 (1993) “스프링클러헤드 응답성에 관한 실험적 연구” 한국소방학회지 7권 2호 pp 3-12