

B-14

스프링클러용 유리발브의 개발

Development of glass bulb for sprinkler head system

김병철 · 정훈철 · 서요원

Kim, Byung Cheol · Jung, Hoon Choul · Seo, Yo Won · Myung, Young Sup

Abstract

A glass bulb is the most reliable and simplest device for a fire sprinkler head system. We had developed an accurate glass bulb. The glass bulb is composed with a glass ampoule, liquid filled within the ampoule and an air bubble in the liquid. The first step of the development was to establish a stable mass production system for uniform glass ampoule. The second step is to optimize the composition of the liquid and the size of the bubble. It was also a difficult problem to devise manufacturing process to form uniform bubble size. The final step for the development is to control the mechanics for glass breaking by surface treatment for the glass bulb.

key words : Sprinkler head, glass bulb

유리발브는 스프링클러 헤드용으로서 가장 간단하면서도 신뢰성이 높은 기구라 할 수 있다. 본 개발에서 우리는 정밀하게 동작하는 유리발브를 개발하였다. 유리발브는 유리앰플과 충전액 그리고 액 내부에 형성된 기포로 구성된다. 개발의 첫 단계는 균일한 유리 앰플의 양산기술 및 설비의 개발이었다. 두 번째 단계는 유리앰플에 충전될 액체의 종류와 형성시킬 기포의 크기에 대한 최적화였다. 액을 충전할 때 균일한 기포크기를 형성시킬 수 있는 양산공정의 개발 역시 어려운 문제 중 하나였다. 개발의 최종 단계는 유리발브의 표면에 대한 처리를 통해 유리발브의 파괴역학 제어기술개발이라 할 수 있다.

1. 서 론

스프링클러는 화재의 발생을 감지하여 무인상태에서도 화재를 조기에 진화할 수 있는 매우 중요한 장치로서 그 중요성에 대한 인식이 증가하고 있다. 스프링클러의 핵심은 화재의 발생을 감지하는 감열부에 있다고 할 수 있다. 전통적으로 감열부는 퓨지블랭크 방식과 유리발브 방식으로 대별되는데, 내구성 및 신뢰성 등의 이유에 의해 유리발브 방식에 대한 관심이 증가하고 있는 추세에 있다. 그럼에도 불구하고 국내에 유통되는 유리발브는 전량 수입되고 있는 현실은 결코 바람직하다 할 수 없다. 이 같은 배경에서 당사의 본 개발팀은 스프링클러헤드의 유리발브를 개발하고, 뿐만 아니라 양산을 전제로 한 제조 기술의 개발에 주력하였으며 본 논문에서 이에 대해 상세히 기술하고자 한다.

2. 본 론

스프링클러 헤드용 유리발브 및 그 양산기술의 개발은 우선 균일한 유리 앰플의 제조기술을 전제로 한다. 이에 더하여, 열팽창계수 (thermal expansion coefficient) 와 압축도 (compressibility)를 고려한 최적의 충전액 선정과 기포크기에 따른 동작 특성에 대한 이론적 연구가 본 개발의 핵심이라 할 수 있다. 또한 대량 생산을 전제로 한 제품의 개발로서 균일한 기포를 형성시키는 공정기술의 개발 역시 중요한 개발의 한 단계라 할 수 있다. 본론에서는 스프링클러 헤드용 유리발브 및 그 양산화 개발 과정에서 당면했던 개별적인 연구

* 정회원 · 필코그라스

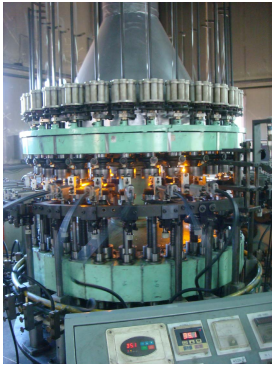


그림 1. 자동 앰플 제조기

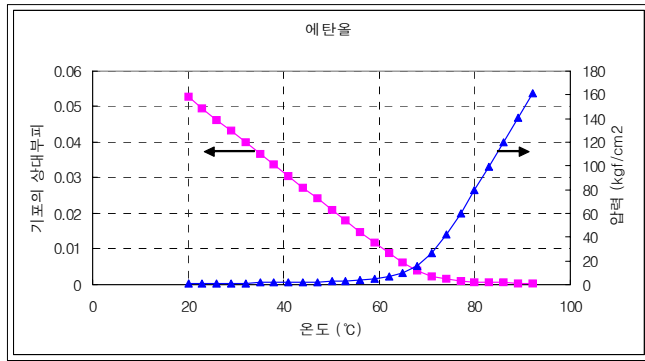


그림 2. 온도에 따른 기포크기 및 압력

주제들을 자세히 기술 하고자 한다.

2.1 유리 앰플의 양산 공정

당사는 유리 앰플 전문 기업으로서 사용 중이던 주사제용 앰플 제조기를 개조하여 스프링클러 유리밸브용 앰플제조기로 개발하였다. 그 제조기의 전경은 그림 1.과 같다. 원자재인 유리관을 수직으로 꽂아 넣으면 시계방향으로 회전하며 LPG와 산소의 혼합가스를 연료로 한 강한 불꽃과 기계장치에 의해 절단, 바닥면 성형, 윗부분과 주입구부 모세관의 성형이 자동으로 이루어진다. 이와 같이 만들어진 유리 앰플은 외형과 내부치수 뿐 아니라 강도 등의 모든 특성에서 균일하다.

2.2 충전액 및 기포 형성

스프링클러헤드용 유리밸브에서 파괴온도의 설정은 내부에 형성되어 있는 기포의 크기에 의한다. 온도가 상승함에 따라 유리밸브 내의 액은 열팽창에 의해 팽창하게 되고 완전히 밀폐되어있는 유리밸브 내에서 이는 기포크기의 감소로 나타난다. 일정온도가 되면 기포는 육안 관찰이 불가능할 정도로 작아지게 되는데 그 이후부터 유리밸브의 내벽에 압력이 급격히 증가하게 되어 유리밸브가 파괴된다.

이 과정에 대한 수학적 모델에 관여하는 물리 상수는 액체의 열팽창계수(α)와 압축도(κ)인데, 유리밸브 내 액체의 부피(v_l)를 결정하는 관계식은 식 (1)과 같다

$$\frac{dv_l}{v_l} = \alpha dT - \kappa dP \tag{1}$$

식 (1)에서 T 는 온도를 P 는 압력을 의미하는데, 온도범위가 크지 않으므로 다음과 같이 근사할 수 있다.

$$\frac{\Delta v_l}{v_l} = \alpha \Delta T - \kappa \Delta P \tag{2}$$

식 (2)에서 ΔT 는 기포를 형성시킨 온도 (T^0)로부터의 온도차이를 의미하고 ΔP 는 대기압 (P^0)로부터의 압력차를 의미한다. $\Delta T = T - T^0$ 로 쓸 수 있고, 또 기포를 구성하는 기체가 이상기체라고 가정하면 이상기체의 상태방정식 ($P V_b / T = P^0 V_b^0 / T^0$)과 $\Delta P = P - P^0$ 의 관계로부터 기포의 부피(v_b)를 이용해 다음 식 (3)을 쓸 수 있다.

$$\Delta P = P^0 \left(\frac{v_b^0 T}{v_b T^0} - 1 \right) \tag{3}$$

또, $\Delta v_l = v_l - v_l^0$ 인데 유리자체의 압축팽창을 무시하면 기포크기의 감소량과 같다. 즉,

$$\Delta v_l = - \Delta v_b = v_b^0 - v_b \tag{4}$$

식 (2)에 ΔT 에 관한 표현과 식 (3) 및 (4)를 대입하면 식 (5)를 쓸 수 있다.

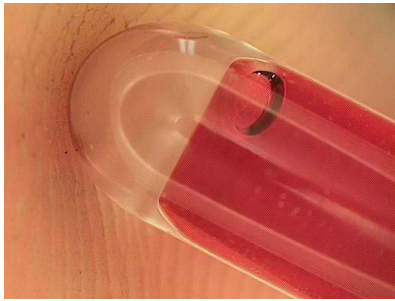


그림 3. 유리밸브 저부

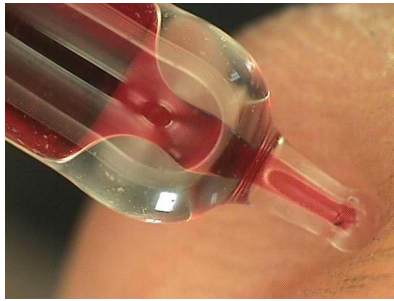


그림 4. 유리밸브 상부

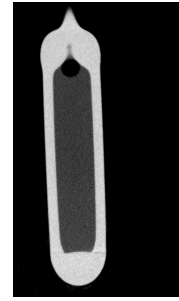


그림 5. CT사진

표 1. 열팽창계수 및 압축도

	벤젠	에탄올	물
열팽창계수 ($\alpha/10^{-4}K^{-1}$)	12.4	11.2	2.07
압축도 ($\kappa/10^{-6}atm^{-1}$)	94	110	45.3
$dP/dT(atm/K)$	13.9	10.2	4.6

$$\frac{v_b^0 - v_b}{v_l^0} = \alpha(T - T^0) - \kappa P^0 \left(\frac{v_b^0 T}{T^0 v_b} - 1 \right) \quad (5)$$

식 (5)에서 미지의 항은 기포의 부피 (v_b)와 그때의 온도 (T)뿐이며 나머지 기호들은 모두 유리밸브를 제조할 때 결정되는 값들이다. 식 (5)를 v_b 에 관해서 정리하고 간략화하면 다음과 같다.

$$v_b^2 + (aT + b)v_b - cT = 0 \quad (6)$$

where $a = \alpha v_l^0$
 $b = -\alpha v_l^0 T^0 + \kappa P^0 v_l^0 - v_b^0$
 $c = \frac{\kappa P^0 v_b^0 v_l^0}{T^0}$

식 (6)은 v_b 에 관한 2차방정식으로 그 해인 식 (7)은 기포의 크기를 온도에대한 함수로 나타낸다

$$v_b = \frac{-aT - b + \sqrt{(aT + b)^2 + 4cT}}{2} \quad (7)$$

식 (3)을 만드는데 이용했던 이상기체의 상태방정식에 식 (7)을 적용하여 유리밸브의 내부에 발생하는 압력을 표현하면 다음과 같다.

$$P = \frac{v_b^0 P^0}{T^0} \frac{T}{v_b} = \frac{2v_b^0 P^0}{T^0} \frac{T}{\sqrt{(aT + b)^2 + 4cT} - aT - b} \quad (8)$$

식 (7) 과 (8)을 에탄올에 대해 풀어내 도시한 것이 그림 2. 이다. 계산에서 사용한 에탄올의 열팽창계수와 압축도는 표 1.에 요약하였으며, 상온에서 기포의 크기는 유리밸브 내적의 5.3%가 되도록 설정하였다. 그림 2.에서 보는 바와 같이 유리밸브 내부의 압력은 처음에 거의 변화가 없다가 일정 온도가 되면 급격히 변하기 시작하는데 그 변화율이 선형으로 나타나게 된다. 양산되는 스프링클러 헤드의 동작온도가 작은 편차를 갖기 위해서는 그림 2.와 같은 압력-온도 관계에서의 기울기가 커야 한다. 즉, 온도가 1℃ 상승함에 따라 압력이 얼마나 증가하느냐는 수치는 충진 되는 액의 특성에 따르는데 이 값이 큰 액체를 사용해야만 파괴온도의 편차를 줄일 수 있다는 것이다. 온도가 상승함에 따라 압력의 상승률이 일정한 온도구간에서 기포크기는 이미 충분히 작아져 온도 변화에 따른 변화율이 거의 0에 가깝다. 즉 식 (1)에서 $dv_l/v_l=0$ 인 조건을 찾으면 온도 상승에 따른 압력상승률을 알 수 있다.

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\alpha}{\kappa} \quad (9)$$

이같은 이론적 배경 하에서 본 연구팀은 다양한 액체에 대해 식 (9)로 정의되는 특성치를 지표로 최적의 액을 선정하였다.

3. 결 론

본 연구에서 본 연구팀은 스프링클러헤드용 유리밸브 및 그 양산기술을 개발하였다.

이를 위해 유리밸브가 파괴되는 현상에 대한 수학적 모델을 개발하였고, 이로부터 유리밸브의 동작특성에 관여하는 액체의 주요 특성치가 열팽창계수와 압축도의 비율임을 보였다.

기호 요약

α 열팽창계수	κ 압축도	
T 온도	T^0 기포를 형성시킨 온도	$\Delta T = T - T^0$
P 압력	P^0 대기압	$\Delta P = P - P^0$
v_b 형성된 기포의 부피	v_b^0 상온 (T^0)에서의 기포부피	
v_l 유리밸브내 액체의 부피	v_l^0 상온 (T^0)에서의 액체의 부피	