

폭발관내에서 금속망 소염소자의 소염성능에 관한 연구

A Study on the Quenching Ability of Wire Gauze in a Explosion Pipe

김 영 수* · 신 창 섭**

Young-Su Kim · Chang-Sub Shin

(1997년 2월 28일 접수, 1997년 9월 5일 채택)

ABSTRACT

The behaviors of flame propagation and quenching ability in a pipe were investigated to make a design criteria of flame arrester. The effects of the number of wire gauzes and free area on the quenching ability were discussed.

Experimental results showed that the flame velocity was important factor of the quenching ability. The flame velocity in case of closed pipe was increased about twenty times faster than that of open. The quenching ability was increased about 10% with 3% decrease of free area and it was changed significantly by the sealing condition of the pipe end. The quenching flame velocity can be estimated by using experimental equations.

1. 서 론

가연성 액체 및 가스를 취급하는 대규모 플랜트 및 시설에서 화재가 발생할 경우 커다란 손실을 초래하게 되며, 특히 석유류 탱크의 개구부, 가연성 가스 수송라인, 용제 회수덕트, 건조기 배기덕트, 가스용접장치 등의 통기관을 통하여 외부 또는 인접장치에서 형성된 화염이 역화하여 화재가 형성되면, 이때 급격한 압력상승으로 집속장치 등 약

한 부분이 파괴된다. 이러한 폭발 위험성을 방지하기 위해서는 점화에 의해 생성된 화염을 차단하여 더이상 전파하지 못하도록 하여야 하며, 이와 같은 폭발화염을 초기단계에 소염시켜 폭발사고의 확대를 방지하기 위한 가장 효과적인 안전장치로 화염방지기(Flame arrester)가 있다.

화염방지기는 가연성물질의 종류, 농도, 압력, 온도 및 화염이 전파하는 관로의 형상, 크기, 내벽의 상태등에 따라 다르게 설치되어야 한다. 화염

*충북대학교 대학원

**충북대학교 안전공학과

방지기의 가장 중요한 부분은 소염소자이다. 소염소자는 화염으로 부터 연소에 필요한 활성분자를 흡수하고 화염전파에 필요한 최소한의 온도가이하로 화염을 냉각시켜 소염시키는 장치로, 화염을 소멸시키는 것과 함께 폭발압력에 견디야 하며, 압력 손실 등을 고려하여 가장 효율적인 소염소자의 종류, 세극의 크기와 두께를 선택하여 설치하여야 한다.

화염전파속도는 화염방지기 설계의 가장 중요한 인자이다. 화염전파속도가 빠른 가연성 가스는 소염하기 어렵고 이 화염전파속도는 장치의 구조 및 재질, 점화원으로 부터의 거리에 따라 변하게 되므로 화염방지기의 설계를 위하여 우선 각 장치내에서의 최대화염속도를 추정하여야 한다. 화염방지기의 소염형태와 소염기구에 관해서는 지금까지 여러보고가 있지만 설치장소에 따른 소염소자 세극의 크기, 두께 등 설계기준으로 확립된 것은 거의 볼 수 없다.

따라서 본 연구에서는 폭발관의 개폐 상태를 변화시켜 최대화염전파속도 측정하고, 금속망을 소염소자로 사용하여 세극의 크기 및 매수를 변화시켜 최적의 화염방지기를 설계하며, 이를 표현할 수 있는 실험식을 만들고자 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 소염소자 매수의 영향

Palmer는 금속망을 소염소자로 사용할 경우 금속망 매수의 증가에 따른 한계화염속도를 식(1)로 나타냈다.

$$(V_c)_N = (V_c)_1 [1 + 0.2(N-1)] \dots\dots\dots (1)$$

$$N \leq 6$$

여기서 $(V_c)_N$: N장에서의 한계화염속도

$(V_c)_1$: 1장에서의 한계화염속도

N : 소염소자의 매수

이 식에 따르면 금속망의 매수를 1장 늘릴적마다 $(V_c)_N$ 는 20%씩 증가하며, 6매를 초과하면 $(V_c)_N$ 는 증가하지 않는다.

2.2 소염소자의 세극크기와 한계화염속도

Palmer는 소염소자의 세극 직경 및 두께에 따른 한계화염속도 (V_c) 를 다음과 같은 식으로 나타내었

다.

$$V_c = 0.5 \epsilon \frac{L}{D^2} \dots\dots\dots (2)$$

여기서 ϵ 은 금속망의 노출면적에 대한 개구부 면적비, L는 소염소자의 두께, D는 세극의 직경이다.

그리고 세극단면이 원형이 아닌 경우는 상당직경(D_H)을 사용한다.

$$D_H = 4 \times (\text{세극의 단면}) / \text{세극의 둘레}$$

2.3 안전간극(Safe Gap)

관 직경이 400mm보다 작은 경우는 표면적/부피 비율 때문에 화염전파속도는 관 길이의 증가에 따라 계속 증가하지 않는다. 만일 관의 직경이 더욱 작아지면 화염전파속도는 작아질 것이며 어떤 한계점 이하에서는 화염전파가 되지 않을 것이며, 이를 안전간극이라 한다.

Table 1은 한국 및 일본의 안전간극에 따른 폭발등급의 분류이고, Table 2는 독일의 화염방지기 시험규격에서 안전간극을 이용하여 각각의 폭발등급을 세분화한 것이다. 이러한 자료를 토대로 하여 안전율을 적용하여 화염방지기의 안전간극을 정할 수 있다.

Table 1 Explosion classes by the safe gap

korea	Explosion class	1	2	3
	Safe gap(mm)	>0.6	>0.4, ≤0.6	≤0.4
Japan.	Explosion class	II A	II B	II C
	Safe gap(mm)	>0.9	>0.5, ≤0.9	≤0.5

Table 2 Explosion classes by the safe gap

Explosion group	Safe gap S 20(mm)	Safe gap of the test mixture(mm)
II A	>0.90	0.90
II B1	≥0.85	0.80
II B2	≥0.75	0.70
II B3	≥0.65	0.65
II B4	≥0.50	0.45
II C	<0.50	0.29

3. 실험장치 및 방법

3.1 화염방지기

화염방지기의 원리는 금속망 혹은 연소 차단금

속과 같은 미세한 관을 사용하여 고온의 화염을 얇은 관에 접촉시켜 열전달에 의하여 급속히 열을 제거하는 장치이다. 따라서 화염의 온도가 낮아져 연소가 중지되고, 반응에 필요한 분자의 생성속도가 손실 속도보다 작아짐으로써 화염이 소멸되는 원리이다.

본 실험에서는 Table 3과 같은 특성을 지닌 금속망 소염소자를 사용하여 세극의 크기, 매수를 변화시켜 실험하였으며 이때의 소염소자의 세극크기는 Table 2를 참고로 하여 0.6mm 부근에서 가공하여 사용하였다.

Table 3 Characteristics of wire gauze

Mesh	Wire thickness (mm)	Mesh width (mm)	Proportion of gauze not blocked by wires(ϵ)
19	0.275	1.025	0.81
21	0.225	1.000	0.78 </td
29	0.225	0.650	0.73
39	0.200	0.450	0.67
44	0.200	0.370	0.62

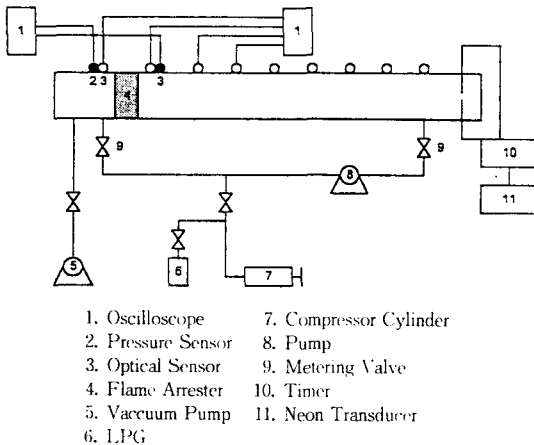


Fig. 1 Schematic of pipe type explosion vessel system

3.2 실험장치

본 실험에서 사용한 장치는 Fig. 1과 같으며 내경 54mm, 길이 4.5m인 파이프형 폭발관을 수평으로 고정 설치하여 사용하였으며, 화염전파속도를 측정하기 위하여 광센서를 50cm 간격으로 8개를 설치하고 8곳에서 나오는 신호는 증폭기를 통하여 digital storage oscilloscope 로 계측하고 화염방지기 뒷부분에도 광센서를 설치하여 화염이 화염방

지기에 의해 소멸되었는지 여부를 확인할 수 있도록 하였다. 또한 압력센서를 화염방지기의 앞과 뒷부분에 설치하여 화염이 소멸된 경우와 통과될 때의 폭발압력을 측정하였다.

폭발관에 주입되는 가연성물질은 순도 97.3% 프로판(LPG)을 사용 하였으며, 압축 실린더를 사용하여 정량을 주입하였다. 그리고 가연성 물질과 공기의 균일한 혼합을 위하여 펌프를 사용하여 순환 혼합시킨다. 점화원으로는 1차 220V, 2차 20000V 전압의 용량을 가진 neon transducer를 사용하고 방전전극의 전극간 간격은 0.1mm로 하며 방전시간은 0.5sec로 하였다.

3.3 실험방법

본 실험은 파이프형 폭발관 양끝을 플랜지로 막고 진공펌프로 내부를 진공으로 만든 후 공기 압축 실린더를 이용하여 정량의 프로판과 공기를 주입한다. 다음으로 관내의 균일한 농도를 만들기 위하여 순환펌프를 이용하여 수분 동안 혼합시킨 후 관끝 10cm 부근에서 점화 시킨다.

실험 첫번째 단계로 관의 위치에 따른 화염전파속도를 측정하기 위하여 가연성 물질의 농도를 변화시켜 폭발을 일으킨다. 관끝의 상태를 점화원 쪽은 밀폐하고 반대쪽을 개방한 경우(이하 밀폐한 경우)와 점화원쪽과 반대쪽 모두를 개방한 경우(이하 개방한 경우) 각 조건에서의 최대화염속도와 최대폭발압력 및 압력상승속도를 측정한다.

실험 두번째 단계로 19, 21, 29, 39, 44mesh인 5종의 금속망을 소염소자로 사용하여 각 조건에서의 소염능력을 측정하고, 각 화염전파속도에서의 소염능력을 판단하여 소염소자의 최적 구조, 재질, 틈새크기 및 매수 등 화염방지기의 설계조건을 찾는다. 그리고 화염방지기 앞에서 소멸된 경우와 화염이 통과될 때의 폭발압력의 변화를 측정한다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 관내에서의 화염전파속도

Fig. 2와 같이 밀폐한 경우 화염전파속도는 점화원으로부터 4m 지점에서 최고 125.1m/sec를 나타냈으나, 개방한 경우는 최고 5.4m/sec로 나타나

큰 차이를 보이고 있다. 이와 같이 밀폐한 경우 화염전파속도가 증가되는 원인은 밀폐에 의하여 미연소 가스가 압축되고 이 압력에 의해 화염이 급격히 이동하며 또한 이에 따라서 미연소 가스가 난류가 되면서 화염전파속도가 증가된다. 관끝의 상태에 따른 화염전파속도의 영향은 아주 크게 나타나 밀폐한 경우가 개방한 경우보다 평균 20배 증가하였다.

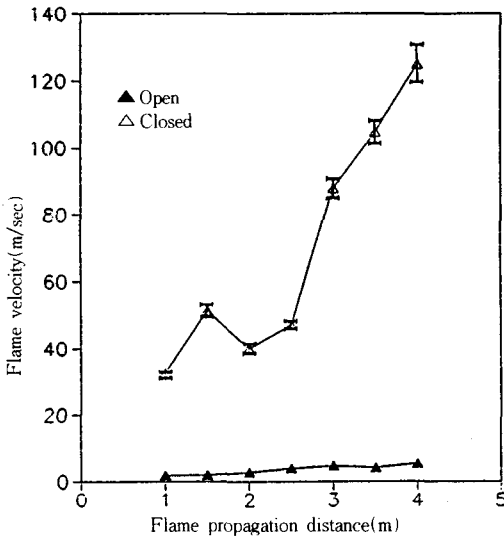


Fig. 2 Variations of flame velocity with flame propagation distance

4.2 화염방지기의 소염성능

4.2.1 금속망의 소염성능

화염전파속도가 가장 빠른 4m 지점에 Table 3과 같은 특성을 지닌 금속망을 사용하여 금속망의 매수 및 공극율을 변화시켜 각각의 조건에 따른 소염성능을 측정하였다.

그림에 나타난 ●는 화염이 소염된 경우이고, ○는 화염이 통과한 경우를 나타내며 그림과 같이 화염전파속도의 임계치가 존재하고 그 화염전파속도 이하에서는 화염은 모두 소염되었으며 또한 한계화염속도 이상에서는 화염이 통과하였다. 화염방지기의 소염성능은 관내에서의 화염전파속도에 따라 결정됨을 알 수 있었다. 화염방지기의 소염성능은 한계화염속도로 평가하는 것이 가능하며 화염방지기의 설계에 있어 화염전파속도가 중요한

인자가 된다. 한계화염속도를 측정하기 위해 시료 가스의 농도를 변화시켜 실험한 결과로서 Fig. 3과 Fig. 4는 개방한 경우로 그림과 같이 금속망의 매수가 증가함에 따라 소염 가능한 한계화염속도는 대수적으로 증가함을 알 수 있었으며, 공극율을 0.73, 0.78, 0.81로 변화시켜 실험한 결과로서 공극율이 3%씩 감소함에 따라 한계화염속도는 평균 10%씩 증가하였다.

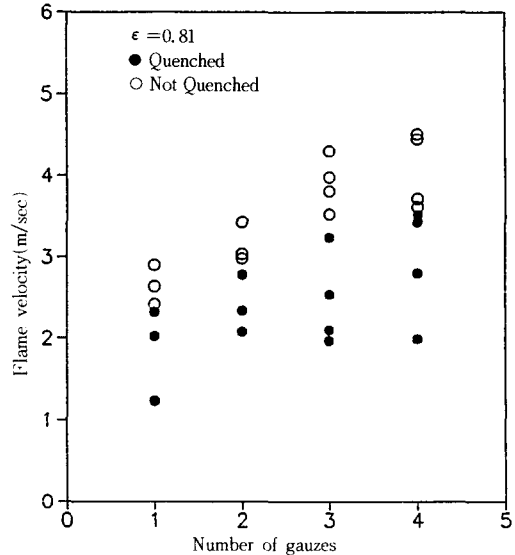


Fig. 3 Effect of the number of wire gauzes on quenching flame velocity with 19mesh gauzes

Fig. 5와 Fig. 6은 개방한 경우로 Palmer의 식(1)과 실험값을 비교한 것이며, Palmer는 금속망이 1장 증가할 때마다 소염성능이 20%씩 직선적으로 증가하며 6장 이상에서는 더 이상의 소염성능이 증가하지 않는다고 발표하였으나 본 실험 결과로는 소염성능의 증가는 대수적으로 나타나고 있다. 본 실험의 측정값과 Palmer식과의 편차는 0.56이지만 식(3)과의 편차는 0.46으로 오차의 범위가 작아 개방한 경우에는 다음과 같은 식(3)으로 표현할 수 있다.

$$(V_c)_N = (V_c)_1 + 0.87 \ln(N) \dots\dots\dots (3)$$

여기서 $(V_c)_N$ 는 N장에서의 한계화염속도, $(V_c)_1$ 는 1장에서의 한계화염속도, N는 소염소자의 매수이다.

Fig. 7과 Fig. 8은 밀폐한 경우로 개방한 경우보다 큰 한계화염속도를 나타내고 있어 관끝의 상태

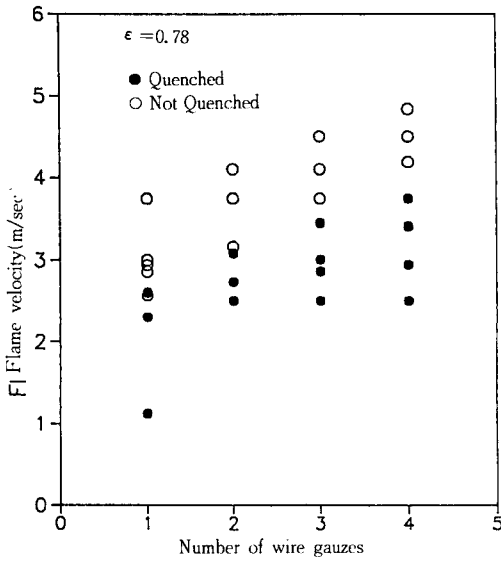


Fig. 4 Effect of the number of wire gauzes on quenching flame velocity with 21mesh gauzes

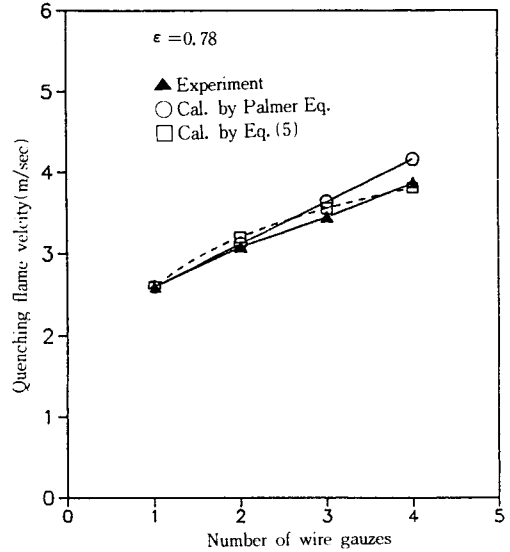


Fig. 6 Comparison of the experimental quenching flame velocity with calculated data on 21mesh gauzes

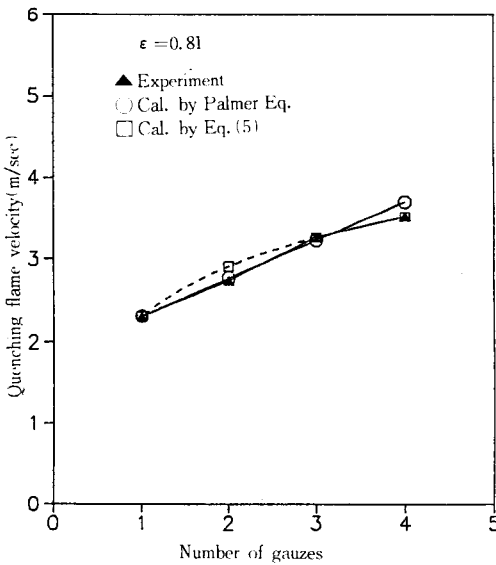


Fig. 5 Comparison of the experimental quenching flame velocity with calculated data on 19mesh gauzes

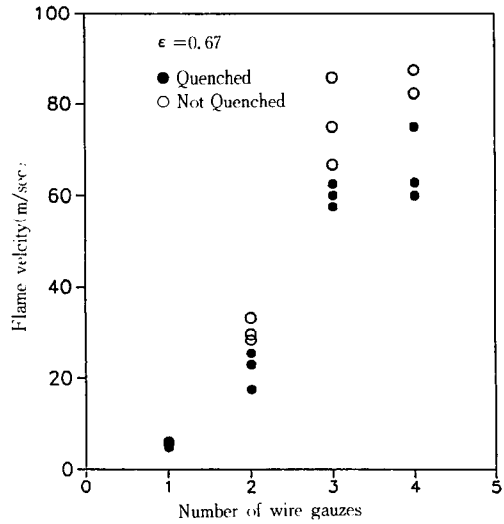


Fig. 7 Effect of the number of wire gauzes on quenching flame velocity with 39mesh gauzes

에 따라 소염성능이 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 한편, Palmer식은 밀폐한 경우는 전혀 맞지 않음을 알 수 있어 본 연구에서는 금속망의 매수에 따른 밀폐한 경우에 적용 가능한 한계화염속도에 대한 다음과 같은 식을 만들었다.

$$(V_c)_N = (V_c)_1 + 54 \ln(N) \dots\dots\dots (4)$$

Fig. 9와 Fig. 10은 Palmer의 식(1)로 구한값과 식(4)로 구한 값을 비교한 것이다. 여기서 나타나듯이 본 연구에서 제시한 식으로 구한값이 Palmer의 식으로 구한 값보다 잘 맞는다는 것을 알 수 있다.

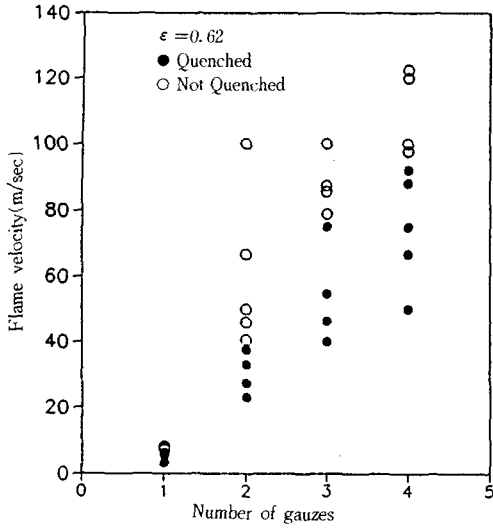


Fig. 8 Effect of the number of wire gauzes on quenching flame velocity with 44mesh gauzes

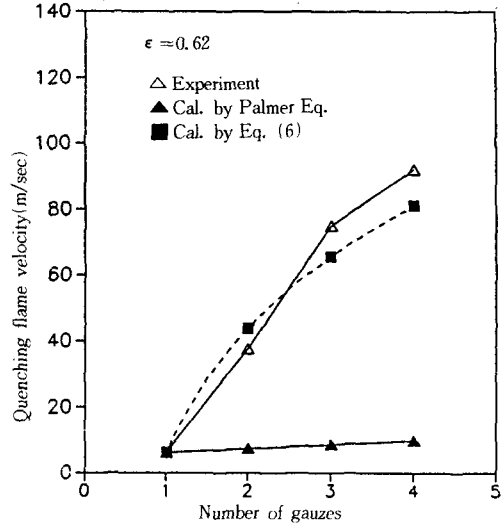


Fig. 10 Comparison of the experimental quenching flame velocity with calculated data on 44mesh gauzes

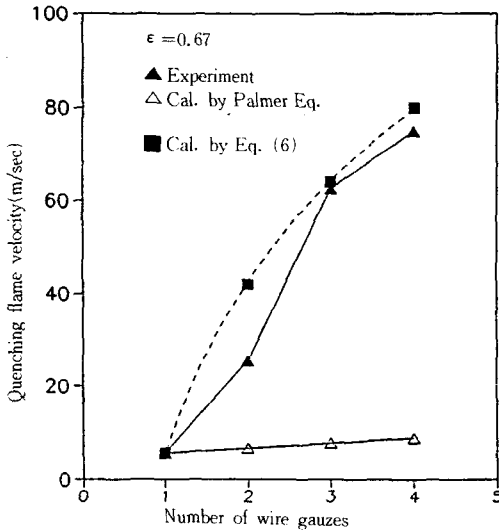
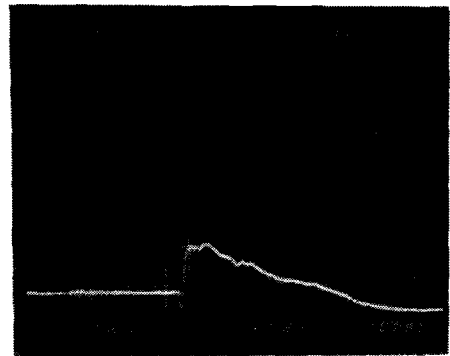


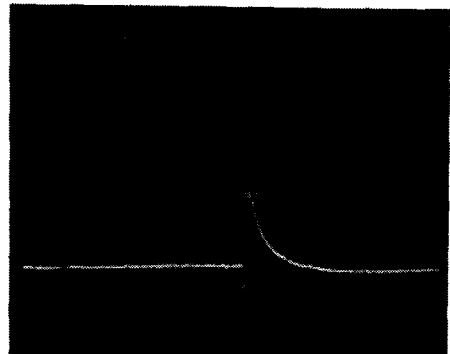
Fig. 9 Comparison of the experimental quenching flame velocity with calculated data on 39mesh gauzes

4. 2. 3 폭발압력의 변화

Fig. 11은 화염방지기 앞에 압력센서를 설치하여 소염된 경우와 화염이 통과된 경우의 압력파의 영향을 측정 한 것으로 화염이 통과된 경우는 압력파가 화염방지기를 통하여 배출됨을 볼 수 있으며 소염된 경우는 압력파의 축적으로 화염방지기에 미치는 임펄스(Impulse)가 증가함을 알 수 있었다.



(A) Quenched



(B) Not quenched

Fig. 11 Pattern of explosion pressure curves

5. 결 론

이상과 같이 폭발관내에서 금속망 소염소자의 소염성능에 대한 실험 및 고찰을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 최대화염전파속도는 폭발관을 밀폐한 경우 125.1m/sec, 개방한 경우는 5.4m/sec로 관끝의 상태에 따라 큰 영향을 받음을 알 수 있었다.
- 2) 금속망의 소염성능은 공극율이 3%씩 감소에 비례하여 평균 10%씩 증가하였다.
- 3) 관끝의 상태에 따라 금속망의 소염성능이 큰 차이가 있어 Palmer의 실험식은 적용할 수 없으며 금속망의 매수에 따른 한계화염속도를 다음식으로 추정할 수 있다.
 - ① 관끝을 밀폐한 경우

$$(V_c)_N = (V_c)_1 + 54 \ln(N)$$
 - ② 관끝을 개방한 경우

$$(V_c)_N = (V_c)_1 + 0.87 \ln(N)$$
- 4) 동일한 화염전파속도에서 소염이 된 경우는 소염이 되지 않은 경우에 비하여 압력파의 축적으로 화염방지기에 미치는 impulse가 증가하였다.

참 고 문 헌

- 1) Broschka, G. L., Ginsburgh, I., Mancini, R. A and Will, R. G., "A Study of Flame Arrester in Piping System", Plant/Operation, Vol. 2, No. 1, pp. 5~12, 1983.
- 2) Palmer, K. N., "Chemical Process Hazards", 1980.
- 3) Roussakis, N. and Lapp, K., "A Comprehensive Test Method for Inline Flame Arrester", Plant/Operation, Vol. 10, No. 2, pp. 85~92, 1991.
- 4) Walter, B., "Flame Arrester and Flashback Preventers", Plant/Operation, Vol. 1, No. 4, pp. 203~208, 1982.
- 5) Wilsion, R. P. and Flessner, M. F., "Design Criteria for Flame Arresters", Loss Prevention, Vol. 12, 1979.
- 6) 津田健, 北條英光, "フレイムアレスタ-の 壓力損失と 消炎性能に 及ぼす 目詰まり의 影響", 安全工學, Vol. 31, No. 4, pp. 249~252, 1992.
- 7) 津田健, 北條英光, "多層金網形 フレイムアレスタ-의 消炎性能", 安全工學, Vol. 28, No. 5, pp. 279~284, 1989.
- 8) 津田健, 北條英光, "クリソフリボン型 フレイムアレスタ-의 設計に 關する 基礎的研究", 安全工學, Vol. 34, No. 5, pp. 339~345, 1995.

1) Broschka, G. L., Ginsburgh, I., Mancini,