

공장설비에서의 화재예방<내화>

일반적으로 화재 예방과 방호 방법은 수동적 방호와 능동적 방호로 구성되고 있다. 수동적 방호는 화재 발생을 예방하는 방법과 화재 전파를 제한하는 방법을 포함하고 있다. 능동적 방호법이란 소화작업과 긴급시의 행동 조치이다.

수동적 방호 방법은 플랜트의 기본적인 배치와 설계를 고려하여야 하며, 아래의 것들을 포함하고 있다.

- 1) 화재의 제거
 - a) 누설 및 분출
 - b) 착화원
- 2) 긴급시의 물질 이동
 - a) 압력의 분출 및 flare stack으로의 유도
 - b) blow down
 - c) 폐기
- 3) 내화성
- 4) 화재전파의 제한
- 5) 저장탱크의 배치

이들 중에서 본 고에서는 3)의 “내화”에 대해서 기술하고자 한다.

□ 공장설비의 내화

화재에 대한 구조물의 보호 형식, 즉 내화는 보통 지주(supporting)에 대하여 준비되며, 이것은 때때로 용기나 배관에 대해서도 필요하다. 일반적인 내화에 대해서는 Waldman(1967)이 설명하고 있다.

이와 같은 내화를 고려하는 경우에 필요한 인자로는 다음의 것이 있다.

- 1) 방호의 기준
 - a) 구조물 형식
 - b) 방호 높이

c) 방호 등급

2) 내화시스템

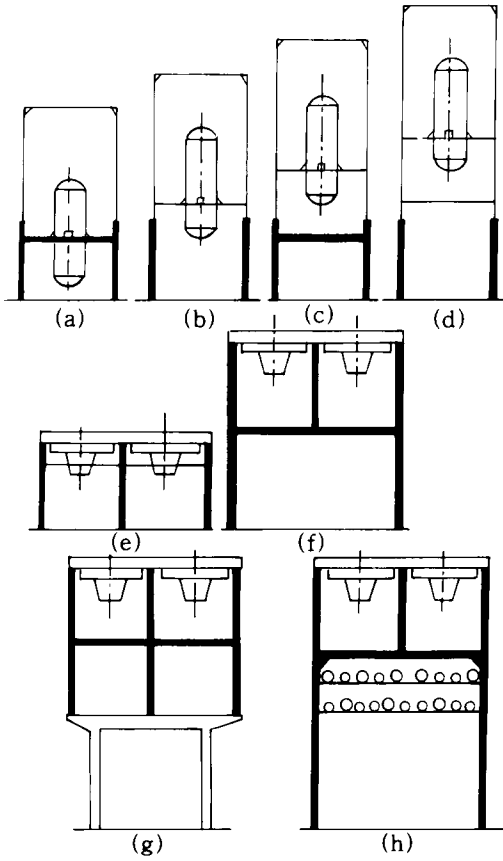
내화대책은 행해지는 구조물에 따라 실제적인 방법상의 차이가 있다. 주된 관점은 일반적으로 지지대의 방호에 두어져 있다. 대형 반응관이나 용기와 같은 장치의 지지재의 내화대책은 때로는 제한을 받는다. 그 이외의 장치 예를 들면, 열교환기나 배관의 지지대에도 내화대책은 자주 확장된다. 때로는 용기나 배관 자체에 내화대책을 실시하는 일이 있다.

내화대책의 주 목적은 화재의 원료가 되는 가연성 물질을 가진 장치를 화재로 인한 파손으로부터 예방하는 일이다. 그러므로 내화대책은 파손에 의하여 다른 장치로부터 내용물의 대량 손실은 초래하지 않는 한, 가연성 물질의 양이 적은 장치에는 필요하지 않을 것이다.

수평면 혹은 지표면보다 상부의 내화대책은 높이에 따라 변화한다. 30m 혹은 그 이상의 높이에서 피해를 입은 예도 있으나, 대개의 화재는 수평면에서 10m 이상의 높이에 달하는 일은 없다. 따라서 방화대책은 수평면보다 35ft(10m) 위까지 실시해야 한다고 Waldman은 시사하고 있다.

필요한 내화대책의 정도를 결정하는 일도 필요하다. 보통의 기준은 강제 구조재는 지정된 화재의 조건 하에서 1,000°F(538℃)보다 높은 온도에 달해서는 안된다는 것이다.

구조물의 지주에 대한 내화대책을 그림 1에 표시하였다. 내화대책상 필요로 하는 방호의 정도를 결정할 때에는 물분무와 같은 다른 방화대책을 고려한다. 그것이 중요한 전체의 방화시스템이다.



[그림 1] 구조물용 지주의 방화대책 (Klootwijk, 1976)

(a-d) 소형저장 탱크의 지주구조물

(e-g) fin-fan 냉각기의 지주구조물

(h) fin-fan 냉각기와 지상파이프 트랙의 지주구조물

일반적으로 내화대책의 목적은 화염이나 열을 받기 쉬운 모든 구조물의 부근에서는 화재의 발생을 예방하는 데에 두어야 한다. 가연성 액체를 제거하기 위한 배수로는 설치하는 편이 바람직하다.

내화시스템은 보통 대부분이 화재에 대하여 방호할 수 있는 단열재로 되어 있다. 이 단열재는 알루미늄, 아연도금강판 혹은 스테인리스강판으로 보호되어 있다.

이와 같은 단열재는 플랜트와 대기 사이의 열전달을 감소시키는 데에 사용되는 종래의 단열재와 구별해야 한다. 이와 같은 단열재는 내화성을 가지고 있을 지도 모르며, 그러지 않을 수도 있다.

단열재로 널리 사용되는 물질에는 1) 콘크리트 및 2) 마그네슘 산염화물 콘크리트가 있다. 콘크리트는 경량 골재 콘크리트 또는 vermiculite cement의 형태로 흔히 사용된다.

화재에 대한 방호는 또한, mastic (putty cement)에 의해 아크릴산비닐로 되어 있다. Mastic은 플랜트만이 아니고, 종래의 단열재의 방화에도 사용되고 있다.

단열재에 사용되는 몇가지 물질에는 특별한 내화성을 가진 것이 있다. 예를 들면, 마그네슘 산염화물은 결정수를 포함하며 그것을 방출하여 열을 흡수한다. 마찬가지로 몇가지 코팅재는 내화효과를 증대하는 특성을 가지고 있다. 팽창성의 mastic은 화재시 5-10배로 팽창하여 단열성을 높인다.

- 1) 단열특성
- 2) 기계적 강도
- 3) 부식
 - a) 기초
 - b) 보강재
- 4) 투수성
- 5) 유연성
- 6) 중량
- 7) 시공의 편리성
- 8) 가격

내화에는 구조재의 온도를 결정된 화재조건 하에서 일정한 온도 이하로 유지하는데 충분히 유효한 단열재로 하여야 한다. 이상적인 시스템은 어떤 표면이 982℃로 연속적으로 노출될 때 적어도 1.5시간 동안 538℃ 이하로 유지하는 것이 이상적인 것이라고 Kayser(1974)는 주장하고 있다. 권장되는 최대 방호시간은 일반적으로는 더욱 짧다. 따라서 Waldman은 예를 들면, 물분무의 효과 부족을 허용하는 데에 1시간은 필요하다고 제시하고 있다. 이 시간은 아래와 같이 다른 연구자들에 의해서도 인용되고 있다.

내화대책을 실시하는 대상의 기계적 강도는 보통의 플랜트 활동과 소방 호스의 방출수 양쪽에 의한 손상에 대하여 충분히 저항할 수 있는 것이어야 한다.

단열재는 기재 및 보강재를 부식시키는 것이어서는 안되며, 기재는 단열재를 부착하기 전에 깨끗하게 녹이 없는 상태로 해 둔다.

수분이 단열재를 통과하여 기재 및 보강재를 부식시키지 않는 일이 매우 중요하다. 강재의 구조내 부식은 발견하기 곤란하지만, 중대한 결과를 야기시키는 일이다. 따라서 사용되는 피복과 cladding은 완전히 방호되어야 하는 것이며, 특히 수분이 침투할 우려가 있는 수평면에서는 더욱 그러하다.

단열재는 내화처리해야 할 구조물의 팽창과 수축에 대하여 틈 및 갈라짐이 없도록 하고, 적응할 수 있는 것으로 해야 한다.

다른 바람직한 특성으로서는 경량일 것, 공사가 쉬울 것, 낮은 비용일 것 등이다.

널리 사용되는 내화대책의 시스템은 아연도금된 강판을 clad한 콘크리트이다(Klootwijk, 1976). Vermiculite cement와 magnesium cement도 많이 이용되고 있다.

전혀 다른 방법으로서 승화물로 코팅하는 내화대책법을 Feldman(1974)이 언급하고 있다. 이 작용의 원리는 코팅재가 기체의 표면에 남아 있는 한, 승화온도를 넘는 일이 없다고 하는 것이다. 이 기술은 최초에는 대기권 공간분야에서 발달하였다. 그래서 승화물 코팅재의 Thermo Lag 330은 발사시에 3,000°F (1,649℃)에 달하는 새턴 로켓을 지지하는 구조물의 내화처리에 사용되어 왔다.

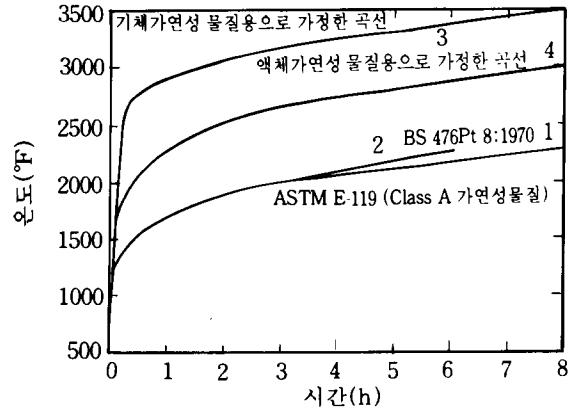
Feldman은 피트 속의 알콜 화재 중에서 1,800°F (1,649℃)로 2시간 노출시킨 강재 보의 실험을 인용하고 있다. 내화처리되지 않은 보는 10분만에 1,000°F (538℃)에 달하였다. 그런데 승화물 코팅에 의하여 내화처리된 보는 2시간이 지나도 최고온도가 500°F (260℃) 밖에 달하지 않았다.

제안되고 있는 내화시스템의 시험을 요구받는 일이 흔히 있다. 가연성 액체 화재는 공정설비에서는 흔히 있는 화재상황이지만, 그 중에서 구조재에 적용할 수 있는 표준시험이 없는 것은 유감이다. 따라서 많은 사람들은 건물화재에 관하여 고찰된 ASTM E-119의 표준시간-온도에 의존하고 있다. 시험은 <그림 2>의 곡선1에 따라 온도가 상승하는 표준화재 중에 시료를 넣고 행한다. 합격기준은 시료가 본래의 기능, 이 경우는 내화능력을 계속 가지고 있는 일이다. 대개의 시험자는 합격기준으로서 방호되는 철강의 온도를 1시간 1,000°F (538℃) 이하로 유지하는 내화능력을 사용하고 있다.

BS 476 : Part 8(1970a)의 건물화재에 대한 표준 시간-온도곡선을 상기와 비교하기 위해 <그림 2>의 곡선2에 표시하고 있다. 이외의 건물화재의 곡선에 대해서는 아래에 기술한다.

Waldman(1967)은 화학플랜트 화재에 대한 보다

실제적인 것으로서 <그림 2>의 곡선3, 4에 대체되는 보다 높은 시간-온도곡선을 제공하고 있다.



【그림 2】 건물화재의 표준시간-온도곡선과 공정설비화재의 시간-온도곡선

ASTM E-119시험의 적용이 본질적으로 불충분한 것을 Castle(1974)이 설명하고 있다. 그는 시험상태의 동일성을 보증하는 데는 온도가 같다는 것만 아니고, 열 유속(heat flux)도 같아야 한다는 것은 강조하고 이 점을 설명하는 시험결과를 제시하였다. 그는 또 ASTM E-119시험과 대체되는 pool화재 및 pit화재시험에 관해서도 검토하고 있고, pit화재의 시험은 ASTM E-119시험보다도 일반적으로 엄격하다고 말하고 있다.

또하나 흔히 사용되는 시험법은 ASTM E-84의 표면연소시험이며, 이 시험에서는 표준 화재가 시료의 표면을 가로질러 화염이 전파하는 속도를 평가하기 위해 사용되고 있다.

속도는 asbestos cement의 0에서 redwood(미국 삼나무)의 100까지의 사이의 척도로 평가된다. 이 지수가 25보다 크면 일반적으로 내화에는 불충분한 것으로 간주한다. Feldman(1974)이 이 시험의 사용법을 말하고 있다.

많은 장치와 배관에는 단열재가 사용되며, 주로 프로세스 내의 열이나 냉기의 유지에 도움이 되고 있다. 이와 같은 단열재는 내화대책용과는 다르다. 그러나, 그 단열재가 화재에 대하여 어느 정도 방호 가능할지를 아는 것은 중요하다.

배관에 흔히 사용되는 단열재에 대한 연구는

McMillan(1974)이 해 왔다. 이 시험은 직경 3in.의 단열된 배관 5본을 ASTM E-119의 시간-온도곡선에 따라 온도가 상승하는 표면적 30ft²의 화염 속에 넣는 것이다.

화염에 대하여 1시간 동안 538℃ 이하로 온도를 유지하여야만 선택될 수 있다.

거의 정확하게 이 기준을 충족시키는 시스템에는 10mil. (1mil. = 0.001in.)의 스테인리스제 재킷을 가진 두께 1in.의 규산칼슘 단열재, vinyl acrylic mastic을 가진 두께 2in.의 세라믹폼 단열재 또는 10mil.의 비닐을 피복한 철재를 clad한 두께 3in.의 경질 폴리우레탄폼 단열재 등이 있다.

화재 중의 폴리우레탄폼 단열재의 거동을 일정하지 않다. 폴리우레탄폼에는 다른 많은 형들이 있다. 화재 중에서 어떤 것은 용융하고, 어떤 것은 탄화하며, 어떤 것은 용융하고서 탄화하고, 또 어떤 것은 간극을 두면서 탄화하여 부서진다. 그러나, 어떤 종류의 폴리우레탄폼은 McMillan에 의하면 훌륭한 내화성을 가

지고 있다고 한다.

화재 중의 폴리우레탄폼의 거동에 관한 상세한 실험 연구는 Boulton, Gamadia와 Napier(1972) 및 Boulton과 Napier의 논문 중에 기술되어 있다.

내화대책은 ICI의 “액화가연성가스의 저장 및 취급 지침”(ICI /RoSPA 1970 IS /74) 속에서 논하고 있다.

이 지침은 가압저장 용기에 적절한 내화대책용 단열재의 하나는 vermiculite cement라고 한다. 널리 규정되어 있는 2시간의 방호에 필요한 vermiculite cement의 최소 두께는 2in.이다. 저온저장 용기에 종래 사용되어 온 단열재는 코르크, 폴리우레탄, perlite powder이다. 이 지침은 이러한 물질이 보여주는 내화성의 등급을 논하고 있고, 다시 내화완성을 하여 2시간의 내화성을 가지는 것이 요구된다고 시사하고 있다.

Loss Prevention in the Process Industries
(장치산업에서의 손실방지공학 I)에서 발췌

훈 소(Smoldering)

열분해에 의해 생성된 가연성분이 바람에 의해 그 농도가 희석되거나, 공간이 밀폐되어 산소공급이 부족하면, 가연성 혼합기는 생성되지 않고 發炎도 되지 않는다. 이 경우를 훈소라 하며, 밀폐에 가까운 창고 등에서 이 현상이 많이 발생한다.

훈소에서 분해 생성물이 화염이라는 고온의 장을 통과하지 않으므로 그대로 외부에 방출되기 쉽고, 분자량이 큰 특유의 냄새를 갖는 물질이나 독성이 있는 생성물이 나올 가능성이 크다. 훈소 중의 높은 냄새나 시안 등의 유독가스에 의한 중독 등이 이 예이다. 훈소에 의해 발생하는 연기는 액체 미립자계이며, 화염 중에서 생성되는 그을음과 같은 고체 미립자계의 연기와는 그 성질을 달리한다.