

분말소화약제에 의한 나트륨 연소잔재의 안정화 효과

방재설비부 선임연구원 박 영 근

질소로 소화한 나트륨의 연소잔재를 대기중에서 안전하게 처리하는 방법을 검토할 목적으로 나트륨의 연소잔재에 금속화재 소화용 분말소화약제를 방사하였을 때의 안정화 효과를 조사하여 다음의 결과를 얻었다.

- (1) 금속화재 소화용 분말소화약제는 질소가스로 소화한 나트륨의 연소잔재를 안정화하는 효과가 있다.
- (2) 분말소화약제를 방사한 연소잔재를 대기분위기에서 휘저어도 착화하지 않기 때문에 연소잔재의 안전한 후처리에 도움이 된다.
- (3) 분말소화약제에 의한 안정화 효과는 물리적인 공기 차단(질식)작용이 아닌, 연소잔재를 연쇄차단시키는 화학적인 작용에 의한 것이다.

1. 머리말

금수성(禁水性)물질인 금속나트륨은 고속 증식의 냉각제 및 고성능 전지의 재료로써 용융상태로 사용되고 있다. 그것이 공기 분위기에 누설되면 착화되어 화재가 발생된다. 나트륨 화재시 소화제로 물을 사용할 수 없기 때문에 분말

소화약제에 의한 소화방법 외에 질소가스의 주입으로 산소 분위기를 질소분위기로 전환하여 소화하는 방법이 검토되고 있다. 그러나 질소가스로 소화한 나트륨의 연소잔재는 상온에서 냉각될 경우 공기 분위기에 노출되면 다시 착화연소되는 경우가 있어 소화 후의 후처리가 문제가 되고 있다. 소화 후의 연소잔재를 대기중에서 처리할 수 있도록 하기 위해서 소량의 산소와 이산화탄소 및 수증기를 포함하는 질소가스를 화재구획에 일정 시간 동안 공급하여 연소잔재를 안정화시키는 방법이 시도되었다. 그러나 이 방법에 의한 연소잔재의 표면상에 나타나는 안정화 효과는 인정되었지만 심층부에 대한 안정화 효과는 작고 심층부가 대기 중에 접촉되면 재착화하는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 질소로 소화한 나트륨의 연소잔재를 대기중에서 안전하게 처리하는 방법에 대해 검토하기 위하여 나트륨의 연소잔재에 금속화재 소화용 분말소화약제를 방사하여 안정화 효과를 조사하고 그 기구를 검토하였다.

2. 실험장치와 실험방법

상온에서 착화하는 나트륨 연소잔재의 제작,

샘플링 및 분말에 의한 안정화 실험에는 그림 1에 표시한 동축류 컵버너를 사용하였다. 연소용기는 내경 30 mm, 깊이 10 mm의 스테인리스 스틸(SUS316)제로 저부에 가열 블록과 외경 1.6 mm의 시스 열전대를 부착하였다. 유리의 외관은 외경 100 mm의 파이렉스 유리관을 사용하였다. 나트륨 온도제어는 시판중인 ON/OFF식의 반도체 온도제어 장치를 사용하여 실시하였다. 공기 및 질소를 버너 저부에 있는 세척용 유리 구슬층을 통과하도록 하였다. 그 유량은 마이크로 콘트롤러를 이용하여 조정하였다. 시료의 온도는 용기의 바닥에 부착한 열전대로 측정하였다. 연소잔재 샘플링을 위해 버너 본체와 유리관의 접속부분에 글로브 백(Glove bag)을 취부하였다. 질소 분위기 상태에서 유리관과 버너 본체를 분리하여 연소잔재를 글로브 백 안에서 자유롭게 조작할 수 있는 구조로 만들었다.

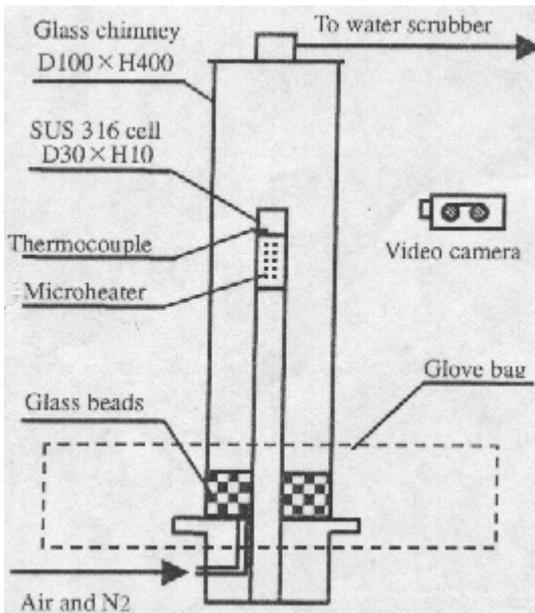


그림 1. 나트륨 동축버너 도해

실험에 사용한 나트륨은 순도 98 % 이상의 각봉상(角棒狀)을 사용하였다. 질소는 용기에 충전한 것을 사용하였고 유리관내에서의 온도는 $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$, 상대온도는 0.2 %였다. 또 공기는 건조기가 달린 컴프레서에서 공급하고 드라이어를 통해서 버너로 공급되며 질소와 같은 $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$ 였다.

분말소화약제는 시판중인 금속화재용 분말소화약제 나트렉스(NATREX)-M과 나트렉스(NATREX)-L을 사용하였다. 표 1에 제조회사에서 제공하는 그 주성분과 물리적 성질을 표시하였다. 단, 그 상세한 조성이 공표되어 있지 않았다.

실험에서는 질소 분위기 중에서 나트륨을 연소용기에 약 7g을 채우고 가열 블록에 설치하였다. 나트륨을 질소 분위기 속에서 약 $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 가열한 다음 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 냉각한 상태를 유지한 후 분위기를 공기로 교체하여 20초 동안 자유롭게 연소시킨 다음 6 %의 산소농도 분위기로 바꿔 연소를 억제한다. 그 분위기를 150초 정도 유지한 후 질소 분위기로 바꿔 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이하까지 냉각하고 연소잔재를 채취하여 안정화 효과를 관측하였다

표 1. 분말소화약제의 주요 성분과 물성

항 목	NATREX-M	NATREX-L
주요성분	$\text{Na}_2\text{CO}_3, \text{K}_2\text{CO}_3$	$\text{CaCl}_2, \text{NaCl}$
비 중	약 0.6	약 0.8
색 갈	노란색	엷은 녹색
습 도	0.5 % 이하	0.5 % 이하
녹 는 점	약 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$	약 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$
적용화재	나트륨 등	리튬 등

분말에 의한 안정화 효과를 관찰할 때 질소분위기의 글로브 백 안에서 제작된 연소잔재를 2세트로 나눈다. 한 세트에는 분말소화약제인 나트렉스(NATREX)-M 또는 나트렉스(NATREX)-L을 방사한 후 남은 분말을 흔들어 떨어뜨리고 스테인리스 스틸제 받침대에 올려놓았다. 또 대조 샘플로서 나머지 한 세트의 연소잔재에 분말소화약제를 방사하지 않은 상태로 다른 받침대에 올려놓았다. 두개의 받침은 연소잔재 제작시 연소용기와 바뀌 유리관내에 대칭적으로 설치하였다. 샘플을 두 개의 받침대에 올려놓은 후 질소 분위기를 공기로 교체하여 착화 유무를 관측하였다.

3. 실험결과와 고찰

그림 2는 나트렉스(NATREX)-M에 의한 연소잔재 전체에 대한 안정화 효과를 표시한 사진이다. 그림 2의 (a)는 상기에서 상술한 조건으로 제작된 나트륨의 연소잔재이며 상온에서 착화 여부를 확인하기 위해 분말을 방사하기 전에 그 우측의 일부를 샘플링하고 질소 중에서 보관하였다. 착화성을 확인할 때 채취한 연소잔재를 10 mm 정도 크기 4개로 나눠 공기에 노출시켰다.

그림 2의 (b)와 같이 4개의 연소잔재가 공기 중에서 각각 착화·연소하여 제작된 샘플이 상온에서 착화한다는 것을 확인할 수 있었다. 또 공기에 노출된 후 착화까지의 착화지연은 1~2초 정도였다. 그림 2의 (c)는 (a)에 표시한 연소잔재에 나트렉스(NATREX)-M을 방사하고 공기 분위기로 교체한 후의 상황이다. 육안으로 확인할 수 있는 착화 현상은 없었고 그림 3과 같이 공기 주입 후에 연소용기에는 온도변화가 나타나지

않았다.

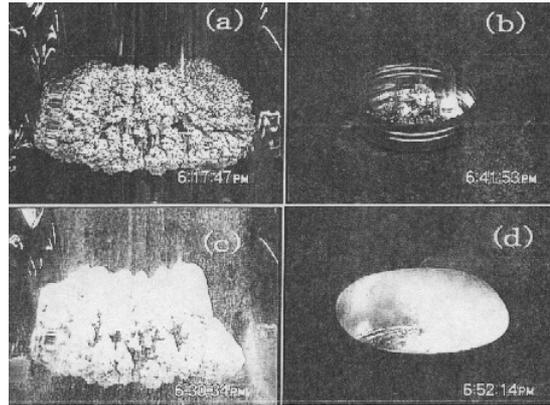


그림 2. 분말소화약제를 사용한 나트륨 연소잔재의 안정화 효과

또 그 후 공기 분위기 속에서 분말을 방사하고 연소잔재를 금속 막대로 휘저어도 착화하는 경우는 없었다. 단 질소 분위기 속에서 분말을 방사할 때 용기의 온도가 일시 조금 상승하는 것이 관측되었다. 마지막으로 분말이 방사된 공기중에서 타지 않았던 연소잔재에 나트륨이 남아 있는 것을 재확인하기 위해 연소잔재를 약 0.2 g 추출하여 약 0.05 g의 물을 가하였다. 그림 2의 (d)와 같이 물을 가하면 연소잔재가 불꽃을 튀면서 격하게 연소하는 미반응의 나트륨이 존재하는 것을 확인하였다. 이 실험에 의해 분말소화약제인 나트렉스(NATREX)-M은 나트륨 연소잔재에 대한 안정화 효과가 있다는 것을 확인하였다.

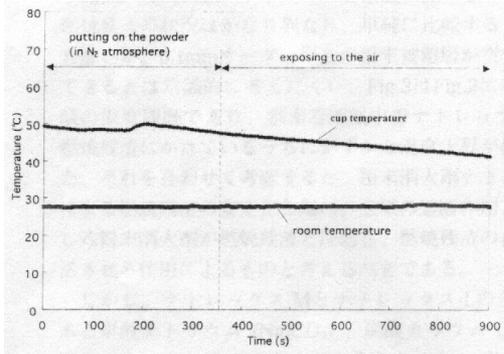


그림 3. 나트륨 연소잔재의 온도변화

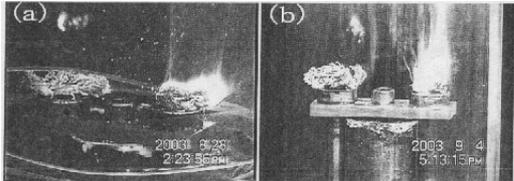


그림 4. 여러 종류의 분말소화약제를 사용한 나트륨 연소잔재 비교실험

확인 실험으로써 같은 조건으로 제작된 나트륨 연소잔재를 채취하여 거의 같은 크기의 것을 선택하여 그 한편으로 분말소화약제를 방사한 후 여분의 분말을 흔들어 떨어뜨리려 받침대에 올려놓았다. 또 한편의 연소잔재에는 분말소화약제를 방사하지 않은 상태로 다른 받침대에 올려놓았다. 그 후 질소 분위기를 공기로 교체하여 착화 유무를 관측하였다. 그림 4에 그 상황을 나타내었다. 그림 4 (a)의 좌측은 나트렉스(NATREX)-M, 그림 4 (b)의 좌측은 나트렉스(NATREX)-L을 방사한 샘플로 우측은 모두 분말을 방사하지 않은 샘플이다. 이렇게 분말을 방사하지 않은 연소잔재는 모두 공기의 노출에 의해 상온에서 착화되었지만 분말을 방사한 것은 착화하지 않고 안정화된 것이 확인되었다.

질소 가스로 착화한 나트륨 연소잔재가 상온에서 착화하는 메커니즘은 아직 설명되지 않았지만 미반응의 나트륨과 공기의 접촉 면적이 크고 또한 나트륨의 산화반응에 의한 발열 축적되기 쉬운 단열성이 높은 구조로 되어 있거나 산화성물질과 환원성물질이 공존하는 활성이 높은 혼합물에 의한 것으로 추측된다. 또한 분말소화약제에 의한 안정화의 메커니즘에 대해서,

- 1) 분말의 피복에 의한 공기(산소)의 차단과
- 2) 연소잔재 표면의 연쇄차단에 의한 안정화 등 두 가지를 생각할 수 있다.

나트렉스(NATREX)-M 및 나트렉스(NATREX)-L의 소화원리에 대해서는 냉각효과 외에 타고 있는 금속에 접촉될 경우 나트렉스(NATREX)-M은 약 100°C, 나트렉스(NATREX)-L은 약 500°C에서 용융하여 그 물체의 표면에 피치상의 피막을 만들어 외부 공기와의 접촉을 차단하는 것이다. 그러나 상온에서의 연소잔재에 상기 분말 방사시 그것이 용융하여 피치상의 피막을 만들 정도의 온도 상승이 없기 때문에 만일 공기와의 접촉 차단에 의해 안정화를 시킨다면 연소잔재의 표면에 방사되는 분말을 일정 두께로 유지할 필요가 있는 것이다.

사용한 분말소화약제의 피복 층 두께와 공기 차단효과와의 관계가 불분명하지만 직경 500 mm 나트륨 풀(Pool) 화재 소화실험에서 소화하려면 용융 나트륨의 표면에 수 mm 두께의 분말소화약제 나트렉스(NATREX)를 보존할 필요가 있고 또한 나트륨의 스며듦에 의한 재착화를 방지하기 위해서는 두께 6 cm의 분말을 방사할 필요가 있다고 한다. 분말의 틈새를 채워 나트륨의 스며듦을 방지하기 위해 플라스틱 등의 고분

자물질을 분말소화약제로 참가하는 방법도 시도되었다. 32 g의 나트륨을 이용한 소화실험에서는 스며듬에 의한 재착화를 방지할 수 있는 효과가 인정된 피복 두께는 최소 1.5 cm였다.

안정화시키기 위해 분말소화약제를 연소잔재의 표면에 어느 정도의 두께로 방사되면 되는지를 조사하기 위해 그림 4에 표시한 실험에서는 상기의 분말소화약제를 연소잔재에 일단 방사 후 그것을 흔들어 떨어뜨려 착화의 유무를 관측하였다. 그 결과 연소잔재에 분말소화약제를 일단 방사 후 그것을 흔들어 떨어뜨려도 안정화 효과가 보존되는 가를 확인하였다. 그림 5에 분말이 방사되지 않은 연소잔재 (a)와 나트렉스(NATREX)-L을 방사한 후 흔들어 떨어뜨린 연소잔재 (b)의 확대 사진이다. (a)의 매끄러운 표면에 비해 (b)의 표면에 분말이 부착되어 있는 것을 알 수 있지만 그 두께는 겨우 0.1 mm 이다.

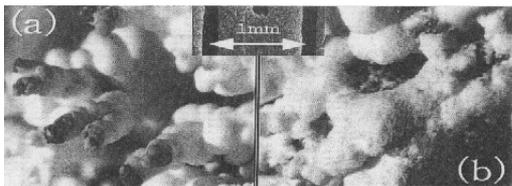


그림 5. 분말이 방사되지 않은 상태의 연소잔재 (a)와 분말이 방사된 상태의 연소잔재 (b)

당연히 연소상태의 나트륨과 상온에서의 나트륨 연소잔재 상황이 상당히 다르기 때문에 단순히 비교하는 것은 불가능하지만 0.1 mm 두께의 분말 피복층이 공기를 차단할 수 있다고는 상식적으로 생각하기 어렵다. 그림 3은 그림 2에 표시한 실험의 온도 변화이며 질소 분위기 속에서 나트렉스(NATREX)-M을 연소잔재에

방사 중에 얼마되지 않는 온도 상승이 관측되었다. 그것을 포함하여 고려하면 분말소화약제 나트렉스(NATREX)에 의한 연소잔재의 안정화 작용은 공기의 차단작용보다도 오히려 분말소화약제가 연소잔재와 반응하여 연소잔재의 표면을 연쇄차단시키는 작용에 의한 것으로 고려해야 한다.

그러나 나트렉스(NATREX)-M과 나트렉스(NATREX)-L의 주성분인 탄산나트륨(Na_2CO_3), 탄산칼륨(K_2CO_3), 염화칼슘(CaCl_2) 및 염화나트륨(NaCl)은 고체, 건조, 상온의 조건에서 나트륨, 산화나트륨 및 과산화나트륨 모두에 반응하지 않기 때문에 이들 주성분이 연소잔재를 활성화시킬 가능성이 낮다. 주성분 외에 소화약제에 첨가제 및 0.5 % 이하의 수분이 포함된다. 그들은 특히 수분이 연소잔재 표면의 나트륨과 반응하여 축열되기 쉬운 구조를 파괴하는 것 또는 과산화나트륨과 반응하여 활성이 높은 물질을 연쇄차단시킬 가능성을 생각할 수 있다. 앞으로 연소잔재 표면의 전자현미경 관찰, 연소잔재 조성의 화학분석 및 성분이 한정된 분말에 의한 안정화 실험 등을 통해 안정화 효과가 있는 물질을 선정하여 연소잔재의 착화 구조의 설명을 겸해 안정화의 메커니즘을 설명해 나갈 예정이다.

4. 맺음말

질소로 소화한 나트륨의 연소잔재를 대기 중에서 안전하게 처리할 수 있는 방법을 검토하기 위해 나트륨의 연소잔재에 금속화재 소화용 분말소화약제를 방사하여 안정화 효과를 조사하였다. 그 결과는 다음과 같음을 알 수 있었다.

- (1) 분말소화약제인 나트렉스(NATREX)-M 및 나트렉스(NATREX)-L은 질소 가스로 소화된 나트륨의 연소잔재를 안정화하는 효과가 있다.
- (2) 상기 분말소화약제를 방사한 연소잔재를 휘저어도 착화하지 않기 때문에 수증기 및 이산화탄소에 의해 표면만이 안정화된 연소잔재의 안전한 후처리에 도움이 된다.

- (3) 상기 분말소화약제에 의한 나트륨의 연소잔재에 대한 안정화 효과는 분말에 의한 공기 차단작용보다 주로 연소잔재를 연쇄차단시키는 작용에 의한 것으로 추정된다. 단 분말소화약제 중에 어느 성분이 어떻게 기여하고 있는지 또한 다른 종류의 분말소화약제도 같은 효과를 가지고 있는지는 불분명하다. 앞으로 그들을 선정하여 연소잔재의 착화 구조와 안정화 기구를 해명할 예정이다. **FILK**

—출처: 『消防研究所報告 제97호』 (2004년 3월)

