

소듐 실험 시설의 소화 설비 구성 방법

Methods to Compose Sodium Fire Extinguishing
Equipments on Sodium Test Facility

KAERI

2008. 06.

한국원자력연구원

제 출 문

한국원자력연구원장 귀하

본 보고서를 2008년도 “냉각재기반연구시설운영” 과제의 【소듐 실험 시설의 소화 설비 구성 방법】 에 대한 기술보고서로 제출합니다.



과 제 명 : 냉각재기반연구시설운영

과제책임자 : 김 병 호

참 여 자 : 김 종 만

정 지 영

최 병 해

요 약 문

소듐 실험 장치에서 소듐의 누출로 인한 화재는 그 현상에 따라 풀형 화재(pool fire), 분무형 화재(spray fire), 조합형 화재(combined mixed fire), 원주형 화재(columnar fire) 등으로 구분한다. 이러한 화재의 형태는 누출부의 구조, 크기, 소듐의 온도, 분출속도, 분출량 등 여러 가지 요소에 의해 결정된다.

본 보고서는 소듐 취급 장치 및 시설에서의 소듐 화재 시 장치의 형태에 따라 효과적인 진압을 위한 적합한 소화설비의 구성 방안을 검토하였다. 또한 소듐의 누출에 의한 화재의 위치나 범위 등을 고려한 소화재의 분사 방식과 분사 범위, 분사 위치, 시간에 따른 화재의 확산 등을 고려하여 효과적인 소화 방안을 소화 설비를 중심으로 기술하였다.

SUMMARY

Sodium may ignite spontaneously when exposed to the atmosphere if its temperature is high enough by a leak in a test facility. Sodium fires are classified into three groups of pool fire, spray fire, combined mixed fire and columnar fire according to their phenomena. The type of fire is determined depending on such factors as shape and size of a leak part, and temperature, leak rate, leakage amount of sodium.

In this report, the methods to compose the suitable fire extinguishing systems were studied to suppress fire effectively when fire brakes out in large sodium handling test facilities and effective extinguishing methods were described in consideration of spraying method, spraying range, spraying location of fire-fighting materials, and fire extension according to time.

목 차

요약문	i
SUMMARY	iii
목차	v
그림 목차	vii
표 목차	xi
제 1 장 서론	1
제 2 장 화재의 특성	2
제 1 절 화재의 일반적 특성	2
제 2 절 소듐 화재의 특성	5
제 3 장 소듐 화재 소화 설비의 구성 및 특징	11
제 1 절 소듐 화재 소화 설비의 구성 방법 및 특징	11
제 2 절 소화 설비의 설계 시 고려 사항	19
제 4 장 결론	25
참고문헌	

표 목 차

표 1 “D” 급 소화제의 주요 현황 24

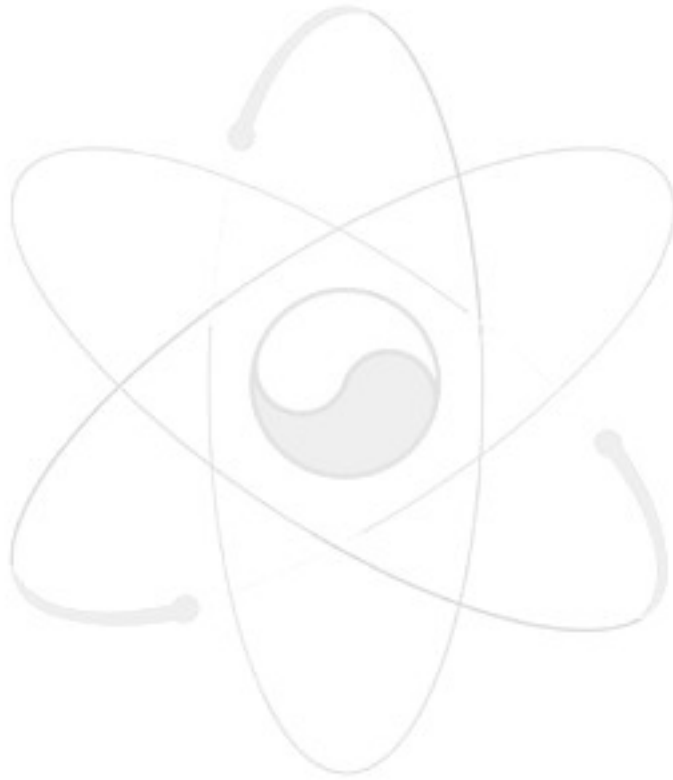


그림 목 차

그림 1 풀형 화재 모형	7
그림 2 분무형 화재 모형	8
그림 3 원주형 화재 모델	8
그림 4 Single Tank-Two Stage type 예	12
그림 5 Single Tank-Single Stage type 예	13
그림 6 Mobile type(Single Tank-Two Stage type) 예	14
그림 7 Single Tank-Single Stage-Mobile Mixed type(2:1 대응방식) 예	15
그림 8 Single Tank-Single Stage-Mobile Mixed type(1:2 대응방식) 예	16
그림 9 Single Tank-Single Stage-Flexible type(1:1 대응방식)예	17
그림 10 복합형 구성 예	18
그림 11 수평형 호스 릴의 예	20
그림 12 수직형 호스 릴의 예	20
그림 13 박스형 호스 릴의 예	20
그림 14 약제 유동화 작업을 위한 약제 탱크의 구성 예	22

제 1 장 서 론

소듐은 상온에서 고체 형태로 존재하며 산소와의 반응을 통해 서서히 조해되는 성질을 가지고 있으며, 물과의 접촉 시에는 격렬한 반응에 의한 폭발과 화재를 동반한다. 이러한 소듐의 특성상 산소와 수분을 차단하기 위하여 불활성 가스로 충전한 밀폐된 공간에 보관하며 잉곳형 소듐은 표면에 파라핀 등의 피막을 형성하여 산소와의 접촉을 차단하는 방법 등을 통해 보관한다.

상온에서 고체인 소듐은 약 100℃에서 용융되어 액상이 되는데 상온의 소듐은 물과의 직접 접촉 제외하면 화재의 가능성이 낮은 편이지만 대기 중의 고온 소듐은 산소와 반응하여 발화의 가능성이 매우 높다. 특히, 소듐을 이용한 실험 장치는 고온 운전을 하는데 운전 시 고온의 소듐이 누출될 경우에는 화재로 이어질 가능성이 대단히 높다.

소듐 실험 장치에서의 소듐 화재는 대부분 고온 소듐의 누출에 의해 발생하는데 소듐의 누출 분포는 밸브, 배관 등 연결부, 열교환기, 펌프, 기타 순으로 알려져 있다. 소듐 화재를 예방하기 위해서는 소듐의 특성을 고려하여 장치에 소요되는 부품들을 선정하는 것이 대단히 중요하며 배관 등 기기의 연결부에서 누출이 없도록 완전 밀폐형 구조로 해야 한다.

고온 소듐의 누출에 의한 소듐 화재는 누출 압력에 따라 활발하고 백색 연무를 동반하는데 매우 조심스럽게 제어하여야 하며, 물이나 그 외의 일반소화제를 사용해서는 안 되며 지정된 소화제를 사용하여야 한다. 따라서 소듐 화재에 적합한 소화 설비를 갖추어야 하며, 장치의 특성, 장치의 운전 온도 및 압력 등을 고려해 화재에 대비한 주요 사항들이 고려되어야 한다.

제 2 장 화재의 특성

제 1 절 화재의 일반적 특성

화재는 성장성, 우발성, 불안정성의 특성이 있으며 특정장소, 시간, 계절과 상관없이 발생하며 계절적으로는 겨울과 봄 사이에 가장 많이 발생하는 것으로 알려져 있다.

1. 화재의 발전단계

가. 발화(ignition)

최초의 화재가 시작되는 단계로 열이 축적되어 활성화 에너지 즉, 점화에너지를 초과하는 순간을 말한다.

나. 성장기(developing fire)

flashover 전 단계로 개방계의 연소 양상으로 평균온도는 낮고 화재는 화염 부근에 국한적이다. 성장기 화재의 특성은 다음과 같다.

- Flashover : 완전 성장 화재의 시작으로 연소속도의 증가와 이에 따른 갑작스런 화염의 확산.

- 국부 화재로부터 전체 화재로의 전이.

- 연료 지배 화재로 부터 환기 지배 화재로의 전이.

- 천장아래 집결된 미연소 가스나 증기를 통한 갑작스런 화염의 전파

- CO, 연기, 에너지발생은 최고조에 달하고 산소농도는 거의 “0” 이 된다.

- flashover 이전에 대피를 완료해야 하며 flashover 이후에는 인명 안전에 심각한 위협을 받는다.

다. 완전성장기(fully developed fire)

화염이 전체를 에워싸고 일부 화염이 창문이나 문을 통해 새어나갈 정도의 상태로 모든 연료가 최고의 잠재력을 발휘하는 상태로 열방출율은 최대까지 도달한다. 완전성장기의 특성은 아래와 같다.

- 환기 지배 조건의 화재가 되며 화열로 창문이 모두 파괴된 경우는 환기 제한을 받지 않는다.

- flashover 시의 온도는 500-600℃에서 완전성장시에는 800-1000℃에 이르게 된다.

- 고온으로 인한 건물구조에 손상을 줄 수 있으며, 구조적 파괴 위험이

존재 한다.

라. 감쇄기(decay period)

평균온도가 최고값으로부터 80% 까지 떨어진 후의 단계로 높은 국부온도를 유지하는 잔화를 남긴다.

2. 불의 성장과 확산

일단 불이 나면 불은 외부 공기로부터 산소를 공급받아 불꽃으로부터 되돌아온 열에 의해 연속적으로 재점화, 확산하여 다른 가연물질을 태우면서 확대해 나가는데 이러한 확대현상은 직접 물질이 화염에 접촉하면서 진행되는 것이 대부분이나 열의 이동이나 불꽃(불티)이 날아가는 현상(비산)도 있다. 이 두 가지 물리적인 상태가 단독 또는 중복해서 불이 진행하게 되는데 이 중에서 특히 열의 이동에 의해서 확대하는 경우에도 전도, 대류, 복사의 3가지 작용에 의하여 진행되는 이들 중 하나에만 의하지 않고 3가지가 동시에 작용한다.

가. 전도

열이 물질 속으로 전해져 가는 현상으로 온도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 이동하는 성질을 말하며 일반적으로 고체는 기체보다 열이 잘 전달된다. 예를 들어 철사 끝을 불로 가열하면 얼마 후 다른 한쪽까지 뜨거워지는 현상을 말한다.

나. 대류

가열된 공기의 움직임에 의해 열이 이동하는 현상을 말한다. 방안에 난로를 피웠을 때 따뜻한 공기는 가벼워져서 위로 올라가고 찬 공기는 아래로 내려오는 현상이 반복되어 실내가 따뜻하게 되는 현상이 그 예라 할 수 있다.

다. 복사

고열체로부터 저열체로의 열의 이동이 전도나 대류와는 달리 중간의 매개물 없이 직접 열이 이동하는 현상으로 태양열이 지상의 물체를 따뜻하게 해주는 현상이 대표적인 예다.

3. 소화 대책

소화 대책은 화재의 종류, 발생원 등에 적합한 소화약제의 종류와 소화대책이 강구되어야 한다. 화재 안전의 기본은 ‘발화 방지’, ‘발화 후 확대 방지’, ‘화재

에 의한 피해를 최소화 할 것' 등이며 이를 위한 요건들을 보면 아래와 같다.

- ① 발화 방지 : 가연물 및 착화원 제거
- ② 조기 발견 : 조기 발견 및 경보
- ③ 확대 방지 : 방화칸막이 및 구획화. 구역의 소화 설비 설치
- ④ 대피 수단 : 안전로, 피난로 확보 및 소화 시 접근로 확보
- ⑤ 피해 억제 : 화재 위험 구역의 분리

가. 소화약제의 조건

- ① 연소 3요소 중 한 가지 이상을 제거 할 능력이 탁월할 것
- ② 가격이 저렴할 것
- ③ 저장이 안정적일 것
- ④ 환경오염이 적을 것
- ⑤ 인체에 독성이 없을 것

나. 소화약제의 특성 및 적응화재와 소화 효과

소화 대책이나 소화법은 화재의 구분에 따라 소화약제, 적응화재, 소화 효과 등을 고려하여 적합한 소화 약제를 사용하여야 하며, 화재와 소화약제의 부적합은 소화 효과의 감소나 화재의 확산을 가져올 수 있으므로 특별한 주의가 요구된다.

다. 소화설비 선정 시 고려사항

소화설비의 선정에는 소화 성능, 설치 및 유지관리, 경제성 등이 고려되어야 한다.

(1) 소화 성능

화재는 일반화재(A급), 유류화재(B급), 전기화재(C급), 금속화재(D급), 주방화재(K 또는 F급) 등으로 구분되며 화재의 특성에 따른 적용성이 있어야 한다. 즉, 발화와 발화 이후의 확산 특성 등을 고려하여 냉각, 질식 등이 조화되어 우수한 소화 성능을 가져야 한다.

(2) 설치 및 유지관리

소화 설비는 직사광선, 외부의 온도 변화, 눈과 비 등으로 보호되어야 하며 이에 따른 영향을 최소화하여 안정된 상태로 유지되어야 한다. 이를 위하여 별도의 저장시설내에 설치하여야 하며 유지 보수를 위한 충분한 공간을 확보해

야 한다.

(3) 경제성

소화 설비는 약제 용기를 비롯하여 가스시스템, 배관 등 여러 가지 부수 장치들이 소요된다. 또한 약제의 종류에 따라 고가인 경우가 많기 때문에 설치에 소요되는 비용과 소화의 효율성 등이 충분히 고려되어야 한다.

(4) 진화 후 잔여물질 처리

화재 진화 후 잔여물은 환경오염이나 처리에 소요되는 비용을 고려하여 환경 친화적이고 처리 비용을 줄일 수 있는 방안이 검토되어야 한다.

제 2 절 소듐 화재의 특성

상온에서 고체 형태로 존재하는 소듐은 대기 중의 산소와 결합하여 서서히 조해되는 특성을 가지고 있으며 소듐 실험 장치에서는 가열기에 의해 용융된 상태로 운전하기 때문에 외부로의 누출이 없도록 해야 한다. 용융 소듐의 누출은 대기 중의 산소와 결합하여 화재로 이어질 가능성이 높으며 특히 소듐의 형태와 관계없이 물과의 접촉은 격렬한 폭발 반응과 함께 화재를 동반한다.

소듐 화재의 특성은 전술한 바와 같이 누출의 형태, 누출부 형상, 크기, 위치, 소듐의 온도, 누출 압력, 누출량 등에 따라 풀형 화재, 분무형 화재, 조합형 화재, 원주형 화재 등으로 구분한다. 소듐 화재의 구분은 초기 고온 소듐의 누출에 이어 화재로 발달된 화염의 형태에 따른 구분으로 명확한 특성을 갖기 보다는 복합적인 형태로 나타난다.

소듐 화재는 D급 화재로 분류되는 금속성 화재로 진화에도 여러 가지 어려움이 있으며 소화제도 한정적인 특성을 가지고 있다. 소듐 취급시설은 화재 예방과 진화를 위한 다양한 안전 설비를 포함한 복합적인 구조로 설계·제작된다. 소듐은 다른 원소와 반응성이 높기 때문에 소듐 용기의 재질, 소듐과의 반응성 물질, 공기 중의 연소, 물과의 반응 등을 고려해서 취급해야 한다.

소듐 화재는 상온의 고체 상태에서 보다는 가열 후 액체 상태에서 가능성이 높으며 특히 고온 소듐이 용기의 외부로 누출될 경우 화재의 가능성이 대단히

높기 때문에 소뚝 장치의 운전 시 누출이 되지 않도록 해야 한다. 소뚝 장치에 설치되는 밸브, 펌프, 배관의 연결부, 센서 설치부 등은 다른 부위에 비해 소뚝의 누출 위험이 높기 때문에 압력, 온도, 구조재의 특성 등을 고려해서 설계·제작되어야 한다.

소뚝 화재는 온도와 압력이 상승하고 유독성 연무를 발생시키는데 이는 인체는 물론 장치 및 기기의 손상과 오염, 장치의 용기 파손 등의 문제를 일으킬 가능성이 있다.

1. 소뚝의 발화

실온의 대기 중에서 소뚝은 서서히 산화된다. 이러한 상태가 계속되면 열이 축적되고 소뚝의 온도가 증가하여 산화 속도가 빨라지고 이로 인하여 작은 화염을 일으키고 화재가 발생하게 된다. 소뚝 화재를 유발하는 요소는 여러 가지가 있으며 주요 인자들을 보면 아래와 같다.

- 소뚝의 온도
- 산소와 수분
- 압력 및 누출 형태
- 누출 소뚝의 양

소뚝의 발화 온도는 115℃ 정도로 알려져 있으며 액체 소뚝의 경우 약 200℃ 에서 백색의 연무를 동반한 노란색을 가진 화염이 발생하여 활발하게 진행된다.

2. 소뚝화재의 형태

가. 풀형 화재(pool fire)

풀형 화재는 개방된 용기나 용기의 하부에서 짧은 시간에 다량의 소뚝이 누출될 경우 소뚝이 분산되지 않고 용기의 하부로 흘러 풀을 형성하여 화재를 발생하며 연소 부분의 표면에서만 화재가 진행되고 연소 속도나 화재의 확산 속도는 분무형에 비해 느리고 화재가 지속적으로 진행되는 특성을 가지고 있다.

풀형 화재는 대기 중에서 소뚝이 연소할 경우 작은 불꽃을 형성하며 소뚝산 화물에 의해 백색의 진한 연무가 발생한다. 온도가 증가함에 따라 소뚝 표면에

전체적으로 연소가 진행된다.

풀형 화재의 특성은 주로 소뿔 및 소뿔 풀의 온도, 용기내의 가스 조성 과 온도, 압력, 산소 농도, 용기의 크기 및 형태, 풀 표면적의 깊이 및 단열 상태 등에 의해 결정된다.

풀 연소는 누설한 소뿔이 바닥의 소뿔 수집 용기 등에 모인 상태로 연소하는 것으로 소뿔 수집 용기가 없이 시멘트 바닥에서 소뿔 화재가 진행되는 경우에는 화재에 의해 시멘트가 가지고 있던 수분이 흘러나와 고온 소뿔과의 반응에 의해 화재를 가속화시키는 효과가 있기 때문에 훨씬 위험하게 진행되는 경우가 있다. 그림 1에 풀형 화재 모형을 나타내었다.

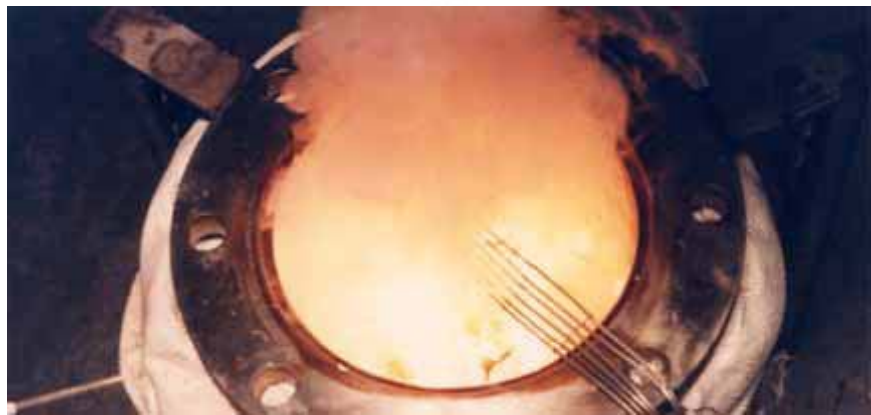


그림 2 풀형 화재 모형

나. 분무형 화재(spray fire)

분무형 화재는 소뿔 장치의 가압과 소뿔의 유동이 이루어지고 있는 상태에서 배관부 등의 균열에 의해 고온 소뿔이 압력에 의해 분출되어 대기 중에서 연소하여 발생하는 화재의 형태로 짧은 시간에 다량의 소뿔 분출과 화재의 확산으로 소뿔 화재 중 가장 위험은 형태로 알려져 있다. 이는 풀형 화재에 비해 확산속도가 상당히 빠르고 순간적으로 격렬한 화재의 형태로 진행되므로 진화에도 어려움이 있다. 분무형 화재 시 발화 온도는 풀형 화재에 비해 낮는데 약 3~4kg/cm²에서 누출구의 크기가 0.2-0.5 μ m 정도의 경우로 공기 중에 분사될 때 공기 중의 수분과 관계없이 약 120 $^{\circ}$ C에서 발화하는 것으로 알려져 있다.

분무형 화재는 풀형 화재와는 달리 구조재에 접촉하지 않고 대기 중에 분출하는 형태로 진행하기 때문에 분무형 화재는 단위시간 당의 연소량이 비교적 큰 것으로 알려져 있다. 그림 2에 분무형 화재 모형을 나타내었다.

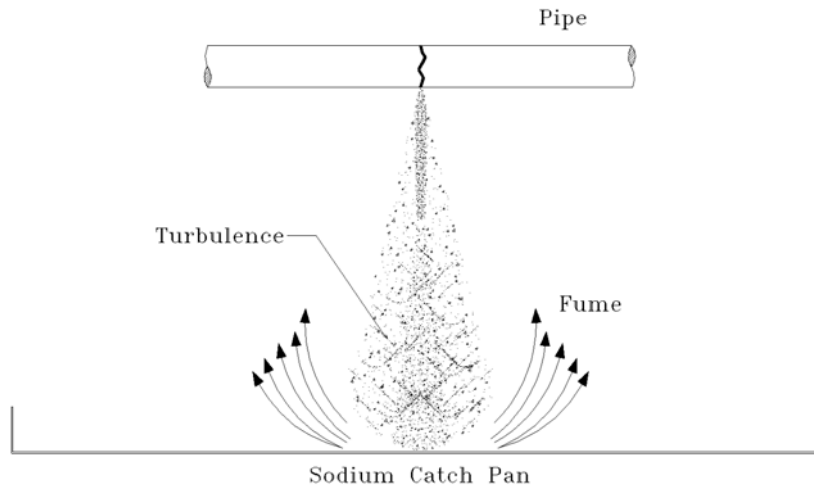


그림 3 분무형 화재 모형

다. 원주형 화재

원주형 화재는 누출된 소듐이 분사되지 않고 낙하하는 물이나 막대 모양과 같이 원주 형태로 낙하하여 바닥에 풀을 형성하고 풀 표면에서 액적이 튀어 화재가 발생하는 형태이다. 원주형 화재는 소듐 장치의 배관부가 보온재, 외장재 등의 여러 층으로 구성되어 운전되고 있는 경우를 고려하면 상기의 풀형 화재나 분무형 화재에 비해 발생 가능성이 높은 형태의 누설, 또는 화재 형태라고 할 수 있다. 그림 3에 원주형 화재 모형을 나타내었다.

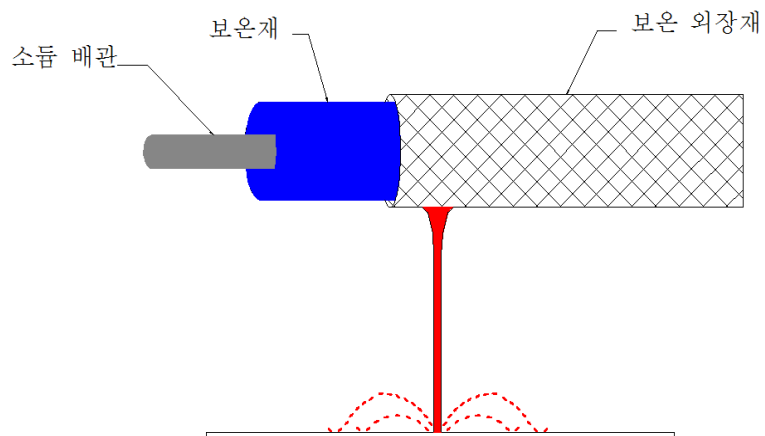


그림 4 원주형 화재 모형

원주형 누설을 바닥에 충돌·비산시켰을 경우의 화재의 정도는 같은 규모의 분무형 화재보다 열 영향이 다고 감소되는 것으로 알려져 있다.

라. 조합형 화재

조합형 화재는 풀형과 분사형 화재가 혼합된 형태로 풀형 화재와 분사형 화재가 동시에 발생하거나 분무형 화재 후 풀형 화재가 이어지는 형태로 누출 부위에서 분사되는 소듐의 분사 특성에 의해 결정된다.

3. 소듐 소화 예방 대책

화재는 발화 후 진화 과정도 중요하지만 적극적인 화재 예방 활동을 통해 화재가 발생하지 않도록 하는 것이 중요하다. 소듐 화재의 예방은 안전한 취급과 보관을 통해 가능하다. 소듐은 밀봉된 용기나 소듐과 반응성이 없는 석유 등 광물성 기름 속에 보관한다. 밀봉 용기는 파손, 외부 온도의 영향으로 산화 가능성이 있으므로 습기가 없는 밀폐된 용기에 보관하는 것이 안전하다.

모든 화재는 발생 후 잘 소화하는 것보다 사전 예방활동이 훨씬 중요하다. 특히, 소듐과 같은 금속화재는 화재와 폭발이 병존하기 때문에 소화에 어려움이 있다. 따라서 사전 예방활동이 더욱 중요하다. 사전 예방활동은 주로 화재 대책 3대 원칙에 의해 진행되는 것이 일반적이는데, 화재 대책의 3대 원칙은 발화방지, 확대방지 및 소화이다.

발화방지와 소화는 물을 포함하여 소듐과 쉽게 반응하는 물질을 소듐과 완전히 격리하는 것이며, 확대방지는 화재의 번짐과 폭발 방지를 말하며, 적절한 예방조치, 소화방법, 소화재의 선정 등이 매우 중요하다.

소듐 화재 소화 시에는 염화소듐, 인산소듐, 흑연 등과 같은 비활성 물질의 건조한 분말과 건조한 모래를 사용하는 것이 바람직하며, 탄산소듐을 사용하고 질소 등 불활성 가스를 발사제로 사용하는 것도 좋은 방법이다.

4. 소듐 화재 위험성

소듐은 인화성과 가연성을 가지고 있으며, 열, 스파크, 불꽃에 의해 쉽게 점화되는 성질을 가지고 있다. 특히, 물과의 접촉 시 맹렬하게 반응하여 폭발과 함께 강한 화염을 생성시킨다. 소듐 화재는 소화 후에도 다시 발화되기도 한다. 소듐 화재 시 자극성, 부식성, 독성을 가진 백색의 연무가 발생한다. 소듐 화재 진압 시 발생하는 부산물은 환경오염을 일으킬 수 있다. 따라서 소듐 취급 시설의 화재 확산 방지를 위해 소듐 취급 시설의 구획화, 소듐의 누출이나 화재 시 수

로, 하수구, 지하실, 밀폐된 공간으로 유입되지 않도록 하여야 한다.

소뚝은 고체 상태에서 대기 중에 장시간 노출하면 대기 중의 산소나 수분과 결합하여 서서히 조해되고 이러한 상태가 지속되면 열 축적으로 인해 화재로 이어질 가능성은 매우 높다. 따라서 상온에서의 소뚝은 산소와 수분을 철저히 차단하여 보관하여야 한다.

5. 소뚝의 취급

소뚝 화재의 예방을 위해서는 안전한 취급과 보관 등의 적극적인 안전 활동이 우선 이루어져야 한다. 소뚝을 보관하는 장소는 금수 지역으로 소뚝과 반응성이 있는 물, 가스 등의 배관이 없어야 하며, 환기와 자연 채광이 가능한 장소가 적합하다.

소뚝은 소방법상 갑종 위험물중 제3류 위험물로 분류되어 소방법 및 소방기술기준에 관한 규칙에 의해 기준 수량, 주의사항은 반드시 준수해야 한다. 소뚝의 옥내저장소에는 다음과 같은 사항이 충족되어야 한다.

- 수분으로부터 철저히 격리되어 항상 건조한 상태를 유지해야 한다.
- 저장소의 구조는 방화성 및 불연성 재료를 사용해야 한다.
- 저장소 내에서의 화기 취급을 금한다.
- 통풍이 잘 되도록 유지한다.
- 가스 폭발이나 발화원이 없어야 한다.
- 주변의 시설물과 격리된 안전한 장소에 보관한다.

6. 소뚝 화재의 소화

소뚝 화재는 격렬하게 연소하기 때문에 연소 시 연소 확대 방지에 우선 주력하여야 한다. 특히, 물이나 폼(FOAM)과 같은 일반적인 소화제는 소뚝과 격렬하게 반응하여 폭발과 함께 연소하므로 사용해서는 안 된다.

소뚝 화재를 소화하기 위해서는 질식이나 타고 있는 금속을 덮어 금속을 발화온도 이하로 식히는 방법이 효과적이며 불활성기체를 사용해서 산소공급을 차단해야 한다. 건조탄산나트륨, 건조소금, 건조흑연 등이 쓰인다.

제 3 장 소화 설비의 구성 및 특징

제 1 절 소듐 화재 설비의 구성 방법 및 특징

본 장에서는 소화 실험 장치나 소듐 취급 시설에 적용이 가능한 장치의 형태와 소화 설비의 운용 방식에 따른 소화 설비의 구성 방법과 특징에 대해 기술하였다.

1. Single Tank-Two Stage 방식

가. 설비의 구성

Single Tank-Two Stage 방식은 자동 분사 방식으로 화재감지기에 의해 화재 경보가 발생하면 소화 설비의 약제 탱크에 질소를 가압하게 되고 압력에 의해 약제 탱크의 방출 밸브가 개방되면서 분사 노즐을 통해 약제가 분사되는 방식이다. 화재감지기의 이상 등으로 화재 감지에 오류가 발생할 경우에는 사용자의 판단에 의해 수동 조작도 가능하다.

그림 4에 Single Tank-Two Stage 방식의 구성 방식을 나타내었다. 이는 1:2(약제 탱크 1:소듐 장치 2) 대응방식으로 하나의 소화 설비에 2대의 소듐 장치를 연결하여 장치의 운영에 따라 선택밸브(VD-1, VD-2)를 개방 또는 폐쇄한 후, 소화 설비를 작동 가능한 상태로 유지시킨 후 장치를 운전할 수 있다. 예를 들면, A-실험장치의 운전 중에는 밸브 VD-1을 개방하고 밸브 VD-2는 잠근다. 반대로 B-실험장치의 운전 시에는 밸브 VD-1을 잠그고, 밸브 VD-2를 개방하여 운전한다. 이때, 약제 탱크 측의 가압, 압력 밸브 등의 개폐는 화재 경보가 발생하면 자동으로 작동하며 정전을 가정한 화재 발생을 대비해 비상전원부가 있어서 정전 시에도 자체 전원을 통해 작동이 가능하다.

나. 소화 설비의 작동

(1) 자동 작동

자동 작동은 아래와 같은 순서에 의해 작동한다.

- ① 경보기의 화재 감지기 작동
- ② 제어반 경보
- ③ 기동장치의 작동으로 기동 용기가 개방되고 가압용 용기밸브를 개방시킨다.
- ④ 가압용 가스가 압력조정기를 통하여 소화 약제 탱크를 가압한다.
- ⑤ 소화약제 탱크의 압력증가로 정압 작동장치가 작동한다.
- ⑥ 주밸브가 개방된다.

⑦ 소화 분말이 분사되어 화재를 진압한다.

(2) 수동 작동

수동 작동은 아래와 같이 작동 된다.

① 화재발생(감지기신호 확인 또는 화재 인지)

② 제어반 start button 누름 -> 1차 솔레노이드 밸브 작동-> 질소가스 방출 및 방출램프 점등 -> 질소가스 약제탱크에 공급 -> 약제탱크에 질소가스 충압 및 조작반 압력스위치 작동 -> 2차 솔레노이드 밸브 작동 -> 방출밸브 개방(discharge valve) -> 분말약제 방출 -> 소화

(3) 정전 시 작동

① 화재발생(감지기신호 또는 화재인지)

② 1차 솔레노이드 밸브 안전핀제거 및 수동 작동 -> 질소가스 방출 -> 질소가스 약제탱크에 충압 -> 방출기동밸브 개방 -> 2차 솔레노이드 밸브를 작동하여 방출밸브 개방 -> 분말약제 방출 -> 소화

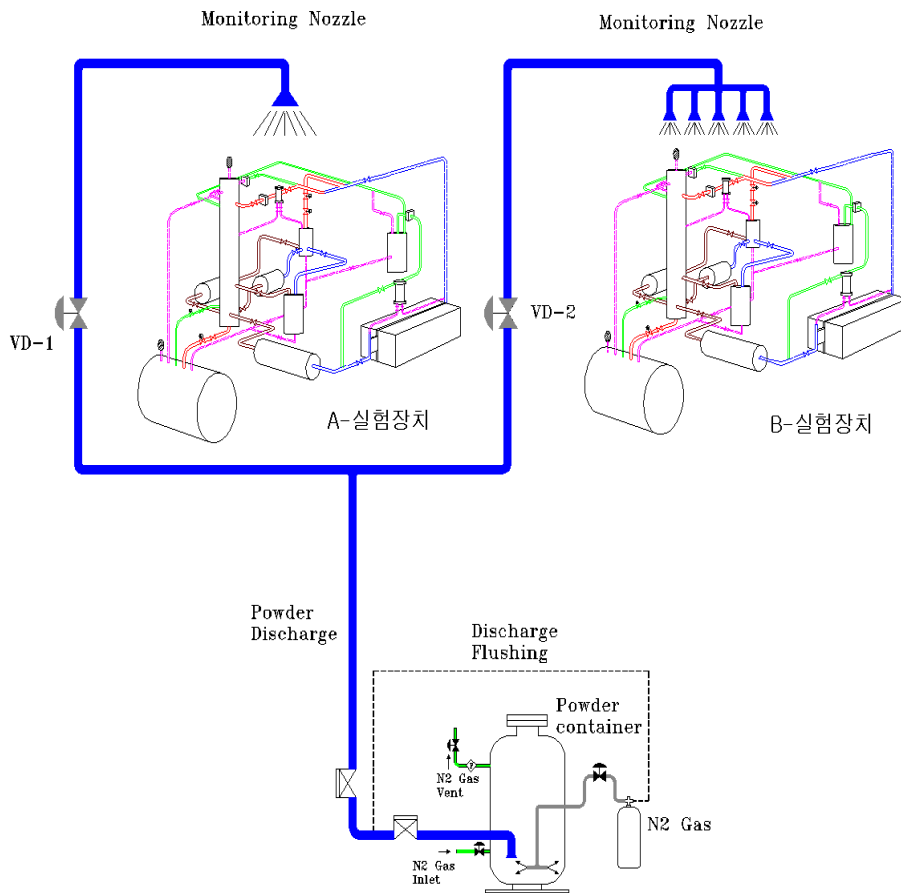


그림 5 Single Tank-Two Stage 방식 예

(4) 특징

Single Tank-Two Stage 방식은 중간 밸브(VD-1, VD-2)의 관리가 중요하다. 또한 분사 노즐이 실험 장치의 상부에 있어서 발화 지점에 집중 분사가 곤란하다. 이 방식은 소화제 분사 범위가 넓은 경우에 적합하다.

2. Single Tank-Single Stage 방식

Single Tank-Single Stage 방식은 상기의 Single Tank-Two Stage 방식과 같은 방식으로 작동 방식 역시 같다. 다만, 약제 탱크와 소독 장치를 1:1로 대응시킨다는 것이 다른 점이다. 이 방식은 상기의 Single Tank-Two Stage 방식에 비해 배관 구성이 단순해 관리가 용이하다. 그림 5에 Single Tank-Single Stage 방식의 구성도를 나타내었다.

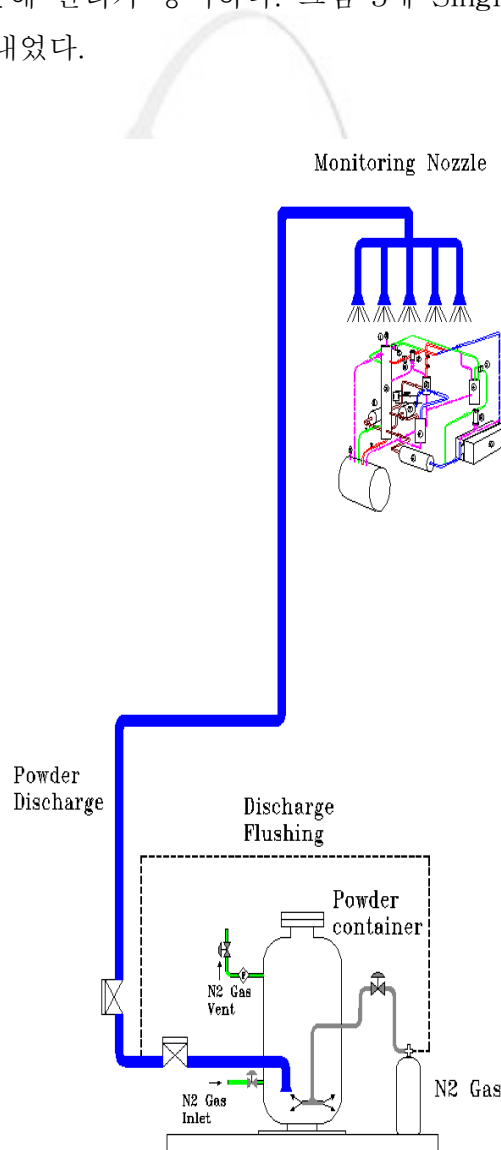


그림 6 Single Tank-Single Stage 방식 예

3. Mobile 방식

Mobile 방식은 상기의 Single Tank-Two Stage 방식, 또는 Single Tank-Single Stage 방식으로 구성이 가능하며 현장의 여건에 따라 구성이 가능하다.

Mobile 방식은 그림 6에서 보듯이 금속 약제 배관의 후단에 고무 계열의 호스 릴을 설치하여 운용하는 것이 다르다. 이 방식은 약제 탱크와 호스 릴을 연결한 방식으로 배관 구성이 간단하고 관리가 용이하다. 발화 위치나 화재 범위에 따라 사용자가 임의로 분사가 가능한 특징이 있다. 설비의 작동은 기본적으로는 상기의 방식과 같으며 자동 및 수동(직접분사) 조작이 가능하다. 수동 분사 시 노즐 선단부의 On/Off 스위치를 On 시키면 약제 탱크의 가압부터 분사까지 자동 진행된다. 다만 상기의 2개 방식의 경우 분사 압력이 약 7~8kg/cm² 정도로 높은 편이지만 이 방식은 사용자의 취급성을 고려해 노즐 선단에 감압 밸브를 설치해 분사 압력이 약 3~4kg/cm² 정도로 조절하여 운용된다. Mobile type의 분사 거리는 약 3~4m 정도로 알려져 있다. 이 방식은 약제 호스 릴의 길이 조절이 가능하며 규격은 3/4" × 30m 이며 길이는 제작 시 조정이 가능하다.

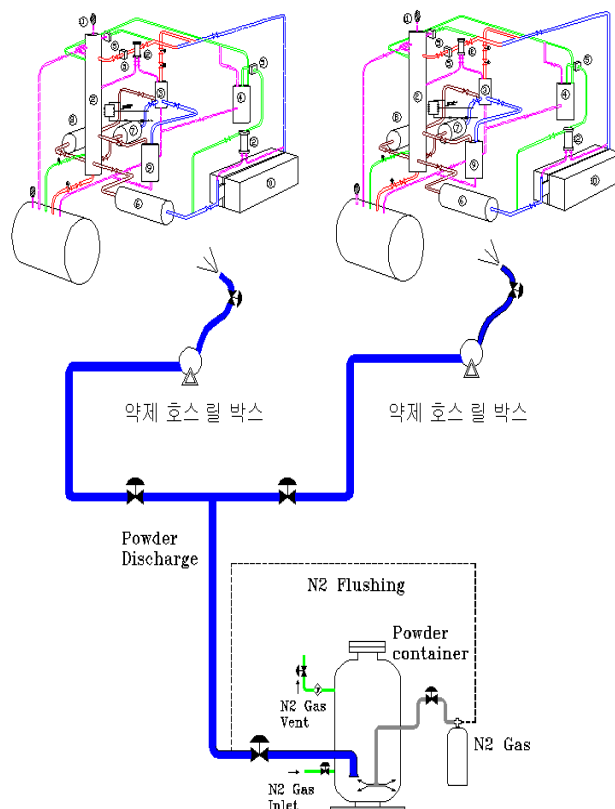


그림 7 Mobile type(Single Tank-Two Stage type)의 예

4. Single Tank-single Stage - Mobile Mixed 방식(2:1 대응 방식)

이 방식은 하나의 장치에 Single Tank-Single Stage 방식과 Mobile 방식을 각각 구성해 혼용한 방식으로 2:1(약제 탱크 2, 장치 1) 대응 방식이다. 이 방식은 Single Tank-Single Stage 방식 부분은 대형이며 급속히 전파되는 화재에 집중 분사와 넓은 범위의 소화 시 운용이 가능하며, Mobile 방식은 사용자의 판단에 의해 초기 화재 대응 및 발화 지점 집중 분사에 적절한 방식이다.

이 방식은 2:1 대응 방식으로 2대의 소화설비가 필요하므로 설비비가 Single Tank-single Stage 방식의 2배 정도로 고가인 것이 불리한 점이다. 작동 등은 상기의 방식과 동일하다. 이 방식은 2대의 소화설비와 배관 등의 관리에 다소 어려움이 있다. 그림 7에 Single Tank-single Stage-Mobile Mixed 방식(2:1 대응 방식) 예를 나타내었다.

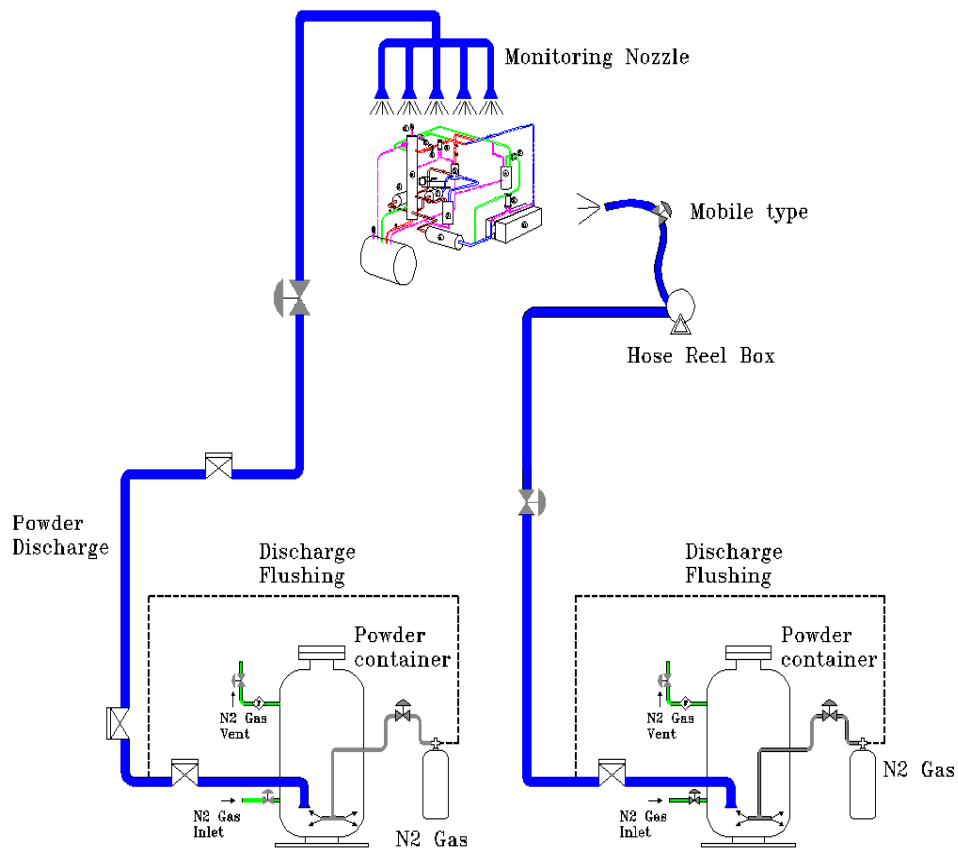


그림 8 Single Tank-single Stage-Mobile Mixed 방식(2:1 대응 방식) 예

5. Single Tank-single Stage-Mobile Mixed 방식(1:2 대응 방식)

이 방식은 하나의 약제 탱크에 Single Tank-Single Stage 방식과 Mobile 방식을 각각 구성해 혼용한 방식으로 Single Tank-Single Stage 방식의 약제 이송 배관의 특정부에 Mobile 방식의 노즐을 결합한 방식으로 모니터링 노즐은 누출 가능성이 높은 부위에 집중 분사 시 운용이 가능하며, Mobile 방식은 사용자의 판단에 의해 초기 화재 대응 시 운용한다. 다만 소독 장치의 운전 여부에 따라 중간 밸브를 선택에 약제 유로를 확보하는 것이 중요하다.

이 방식은 Single Tank-single Stage 방식에 비해 배관 구성이 다소 복잡하다. 작동 등은 상기의 방식과 동일하다. 분사 시간이 약 30초 이내 이므로 동시 사용은 어렵다는 단점이 있다. 그림 8에 Single Tank-single Stage type - Mobile Mixed 방식(1:2 대응 방식) 예를 나타내었다.

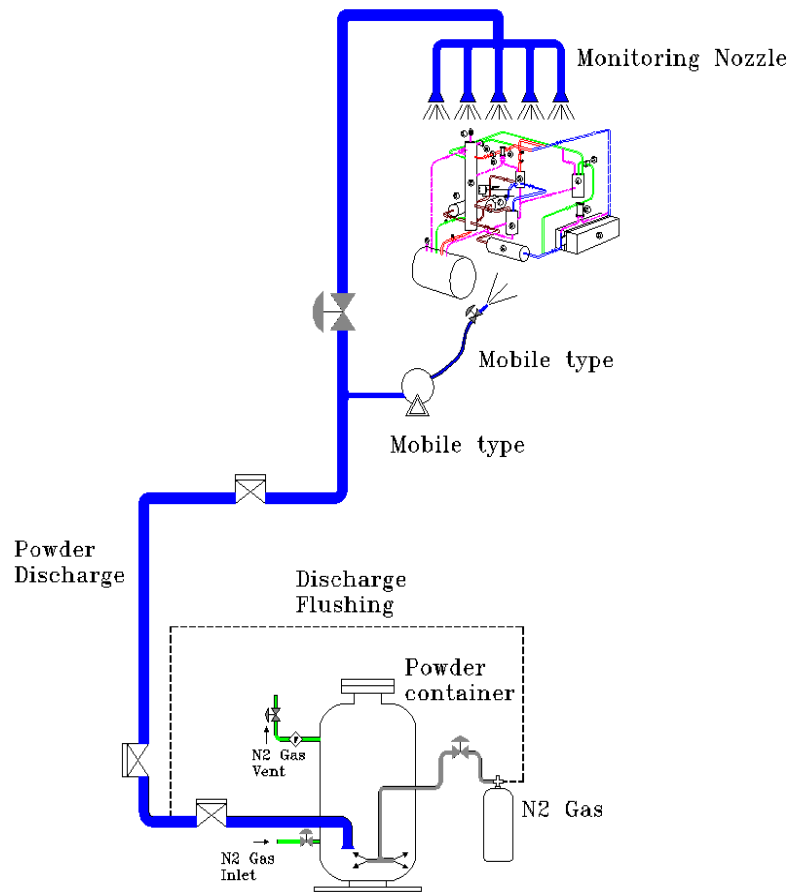


그림 9 Single Tank-single Stage type - Mobile Mixed 방식(1:2 대응 방식) 예

6. Single Tank-single Stage-Flexible 방식(1:1 대응 방식)

이 방식은 하나의 약제 탱크에 Single Tank-Single Stage 방식을 변형 적용한 방식으로 원칙적으로는 1:1 대응 방식이나, 분사 노즐을 여러 개 설치하고 분사 노즐은 flexible 관으로 구성해 예상되는 발화 위치나 발화 가능성이 많은 부위에 배치하고 필요시 노즐의 개폐를 통해 발화부분에 집중 분사가 가능한 방식이다. 노즐 설치 시 주의할 점은 약제 분사 시 분사 압력에 의해 노즐이 흔들릴 가능성이 있으므로 분사 지점 근처의 지지대에 의한 고정 필요하다. 이 방식은 현장의 여건이나 필요에 따라 노즐 선단에 On/Off 밸브를 설치해 운용함으로서 특정 부위를 집중 분사하도록 구성이 가능하다. 그림 9에 Single Tank-single Stage type - Flexible 방식(1:1 대응) 예를 나타내었다.

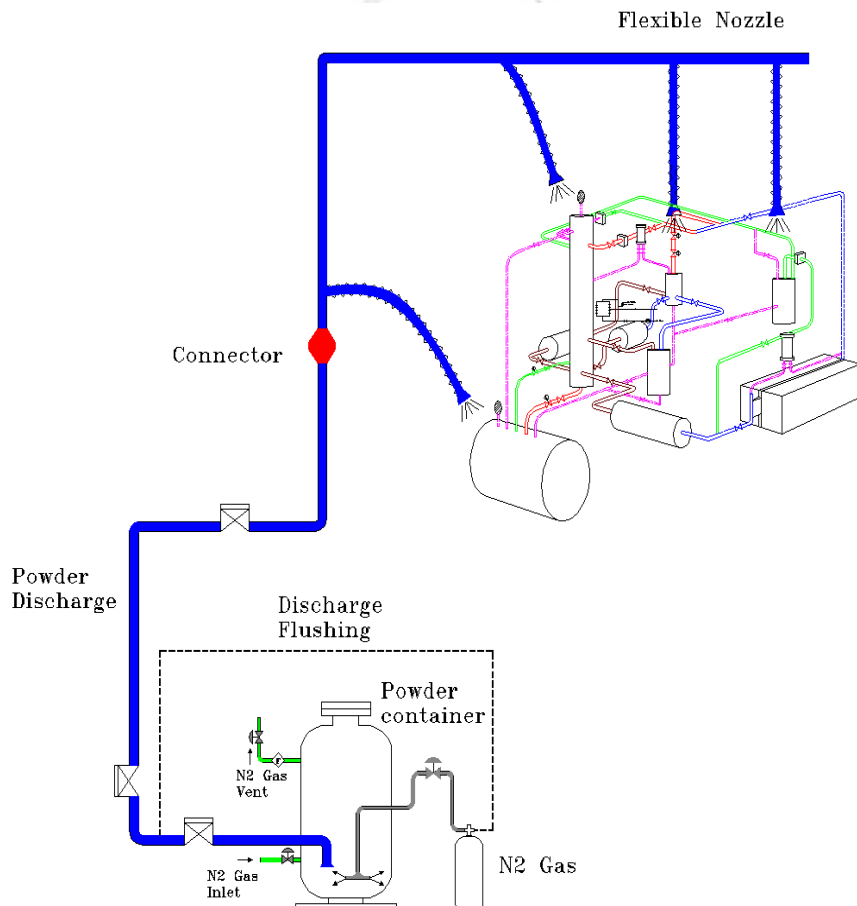


그림 10 Single Tank-single Stage type - Flexible 방식(1:1 대응) 예

7. 혼합 방식

이 방식은 그림 10과 같이 1:3, 또는 1:다수 대응 방식으로 대형 시설이거나 일정한 구역 내에 다수의 장치가 가동되는 곳에 유용한 방식으로서 모니터링 노즐과 Mobile 방식 노즐이 설치되어 있다. 이 방식은 고정 분사 노즐과 모바일 노즐의 배치 개소를 여건에 맞게 탄력적 운용이 가능하며 Mobile 방식은 소규모 화재나 발화 지점의 집중 분사가 용이하고 고정 노즐은 대형 화재에 넓게 분사가 가능하기 때문에 특성을 고려한 배치가 고려되어야 한다.

이 방식은 소화설비의 구조와 배관의 길이가 길기 때문에 관리상 다소의 어려움이 예상된다. 또한 약제 탱크의 용량은 장치나 설비의 예상되는 화재 규모나 장치 당 운전되는 소뎀의 최대량을 기준으로 설계 및 충액을 하는 것이 좋다.

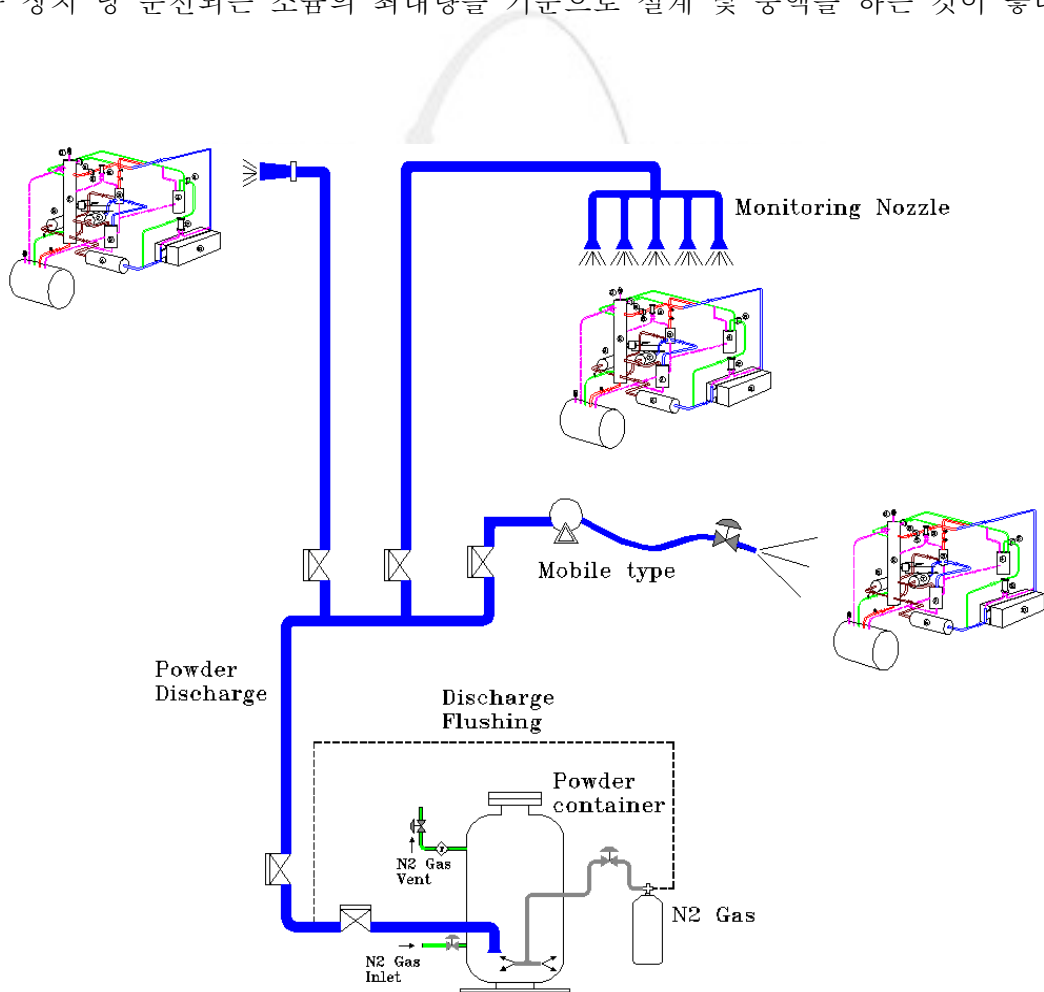


그림 11 혼합 방식 구성 예

제 2 절 소화 설비의 설계 시 고려 사항

1. 배관

소화 설비의 배관은 금속관을 이용해서 고정하는 방식을 주로 적용된다. 소화 설비의 배관은 화재안전기준(NFSC107)의 제8조(배관)의 규정에서 정한 배관 자재를 사용한다. 배관은 배관용 탄소강관(KS D 3507) 또는 배관내 사용압력이 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상일 경우에는 압력배관용 탄소강관(KS D 3562)이나 이와 동등 이상의 강도·내식성 및 내열성을 가진 것으로 하여야 한다.

배관의 고정은 배관의 자체하중, 약제방출 시 진동 등을 흡수 할 수 있도록 단위 배관 규격별로 적절한 위치(약 3m이내)에 고정한다. 배관연결 시 용접 연결은 용접부를 필히 도색하여야 하며, 나사이음 연결 시 이음나사 부분을 테프론 씌 또는 씌 콤 파운드를 사용하여 씌링한다. 배관의 설치가 완료되면 필히 공기 등으로 배관 내를 세척하고 방출헤드를 설치해야 한다.

최근 탄소강관의 부식성이나 배관재의 경량화를 고려해 스테인레스강관을 적용하는 것이 유리하다는 견해가 있다. 이는 탄소강관 시공의 경우보다 스테인레스강관을 적용하면 스케줄을 작게 해도 되므로 중량의 경감, 작업성(용접성) 증가, 인장강도나 내식성이 뛰어나며 반영구적으로 유지보수가 필요 없다는 장점 등을 고려했을 때 장기적 측면에서 탄소강관 시공시보다 유리하다는 의견이다.

상기의 고정형 배관에 비해 호스 릴은 약제 탱크의 측의 배관과 나사로 연결하여 사용할 수 있으며 이는 물, Foam, Dry Chemical 발포용으로 널리 사용된다. 수동, 수, 전동 겸용 형이 있다.

호스 릴 방식의 특징은 분사헤드가 배관에 고정되어 있지 않고 소화약제 저장용기와 호스를 연결하여 사람이 직접 발화점에 소화 약제를 방출하는 이동식 소화설비를 말한다. 이는 전역방출방식이나 국소방출방식과 같이 사전에 배관을 고정 설치하는 것이 아니고, 옥내소화전과 같이 화재의 경우 호스를 연장하여 사람이 조작하는 방식이다. 그림 11~13에 호스 릴의 종류를 나타내었다.

대표적인 사양은 $3/4" \times 30\text{m}$, $1" \times 30\text{m}$ 이며, 재질은 탄소강관-고무, 스테인레스강관-고무이며, 사용 압력은 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 종류별 사양은 유사하다.



그림 12 수평형 호스 릴의 예



그림 13 수직형 호스 릴의 예

<p>제품소개 Shilla Fire Product</p> <ul style="list-style-type: none"> ● NOZZLE ● VALVE&CONNECTOR ● MONITOR ● HYDRANT ● FOAM EQUIPMENT ● SPECIAL EQUIPMENT ● TESTERS 	<p>● SL-75H ● SL-75V ● SL-75S</p> <p>SL-75S(BOX TYPE FIRE HOSE REEL)</p>  <p>SL-75S(BO: BOX내부에 나 관할 수 있고 Hose가 길긴 고 풀기가 쉽 Water, Foam 수동, 전동수 PTL사 규격; 하였다.</p>
	<p>큰 이미지 보기 Data Sheet Catalog Movie</p>

그림 14 박스형 호스 릴의 예

2. 약제탱크

소화 약제 탱크는 고압 방식으로 충전되어야 하므로 한국소방검정공사의 제품 검사를 필한 제품을 사용해야 한다. 설치하는 탱크 고정대를 제작하여 설치하고 방출, 유지보수 및 관리 시 흔들림이 없어야 한다. 탱크 고정대는 바닥으로부터 약 5~10cm 이격시켜 물 등에 의해 용기 부식이 없도록 하여야 한다.

대용량 약제 탱크는 초기 분말을 충전하기 전에 내부를 충분히 건조시킨 후 약제 분말을 충전하여야 하며, 초기에 약제 충전이 완료되면 자주 개방할 수 없는 특성이 있다. 따라서 외부의 공기에 의해 수분이 탱크내로 침투하지 않도록 하여야 한다. 또한 약제 탱크는 결로, 탱크 내외의 온도차 등에 의해 탱크 내부에서 응고가 되는 일이 없어야 정상적으로 약제가 분사 될 수 있다.

약제 탱크는 약제의 관리와 건조 상태를 확인하기 위해서 약제 탱크를 수시로 개방하기 어렵기 때문에 그림 14와 같이 약제 탱크의 하부에 가스(일반적으로 질소) 인입 배관을 설치하고 탱크 상부에는 가스 밴트관을 설치하여 필요시 탱크내의 약제를 강제 순환시키는 방식에 의해 약제의 응고 방지를 도모할 수 있다. 밴트관측에는 약제의 손실을 방지하기 위한 필터를 설치하는 것이 좋다.

탱크의 하부와 상부에 평상시의 약제 상태와 약제 유동화 시 유동 상태를 관측할 수 있는 관측장을 설치하여 가스 주입과 동시에 약제의 유동화가 정상적으로 이루어지는지 여부를 확인 할 수 있다. 그림 14는 대용량 약제 탱크의 구성 예로서 기존의 약제 탱크를 개선한 방식으로 약제의 유동화를 위한 보조구를 설치한 예를 나타내었다.

약제의 유동화 작업은 탱크 상부의 가스 밴트관의 밸브를 개방한 후, 탱크 하부의 가스 인입관의 밸브를 개방해 질소 가스를 주입한다. 이때, 탱크 상부의 압력계를 통해 약제 탱크의 압력을 확인하고 서서히 압력을 증가시켜 하부와 상부 측의 약제 유동화 관측창을 통해 약제의 유동화 여부와 유동화 상태를 확인한다.

약제의 유동이 충분히 진행되었다고 판단되면 약제 탱크의 가압을 중단하고 밸브를 잠근다. 이때, 약제 탱크의 내부의 약제가 안정화 될 때까지 기다린 후, 관측창을 통해 약제의 안정화 상태를 확인한 후 가스 밴트관의 밸브를 잠근다.

유동화 작업이 완료되면 가스 밴트관의 필터를 분해하여 압축 공기 등으로 세척하여 충분히 건조시킨 후 재설치 한다.

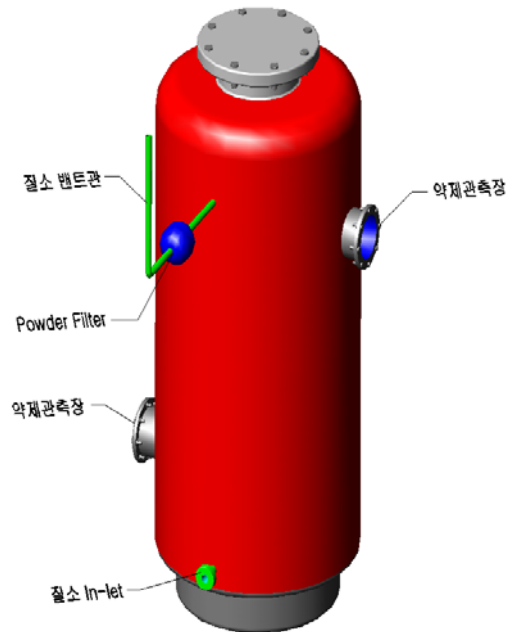


그림 15 약제 유동화 작업을 위한 약제 탱크의 구성 예

3. 소화 약제

소듐 화재는 D급 화재로서 가연성 금속류의 화재이다. 소듐은 화학적으로 활발해서 공기와 접촉하여 점화원이 없어도 자연 발화하는 자연발화성을 갖고 있다.

소듐 화재 발생 시 물이나 하론, CO₂ 에 강렬히 반발함으로 수계소화설비나 일반 Gas계 소화설비를 사용해서는 안 되며, 또한 물을 사용할 경우 엄청난 반응 수소가 발생해 대규모 폭발이 일어나므로 반드시 지정된 소화제를 사용해야 한다.

소듐 화재를 비롯한 D급 소화 약제는 국내에서 생산되는 제품이 없어 전량 수입을 하고 있는 실정이다. 일반적으로 0.5kg 정도의 화재 진화 시 약제의 투입량은 약 6.5kg 정도가 소요되며 약제의 특성에 따라 다소 차이가 있는 것으로 알려져 있다.

D급 소화 약제는 외국의 사례를 보면 여러 가지가 있다. 그중 대표적인 것은 일본에서 생산되고 있는 나트렉스(상품명)와 프랑스에서 개발된 Macalina(상품명), 미국에서 생산되는 아메렉스(상품명) 등이 있다. 대표적인 금속 화재의 소화 약제는 표 1에 나타내었다.

4. 소듐 화재의 소화

효과적인 화재진압을 위해서는 먼저 소화기로 금속표면을 45° 각도로 약제를 금속 표면에 부드럽고 효과적으로 방사하여 큰 불이 진화되면 소화 약제를 삼으로 퍼서 뜨거운 금속표면에 추가로 살포하여 소화하고 세밀한 점검을 통해 소화가 완료된 것을 확인하여야 한다.

소듐은 소화제 살포 후 표면에서는 소화가 된 것처럼 보이지만 눈으로 보이지 않는 금속 깊숙한 곳에 불씨가 남아 있거나 대기 중의 산소나 수분과 접촉하면 다시 재발화 하는 특성상 주의를 요한다.

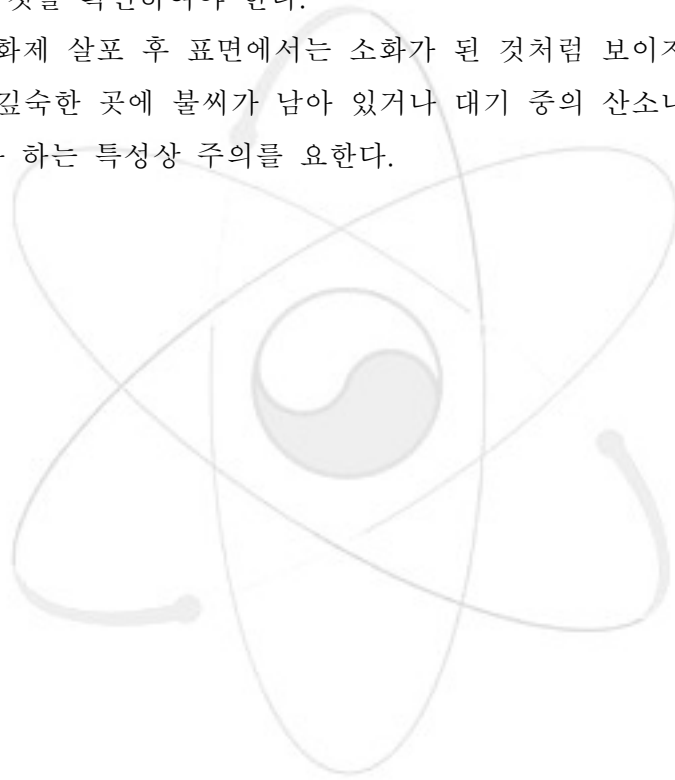


표 1 주요 금속 화재 소화 약제의 현황

소화제	주성분	특성	적용화재
MET-L-X	염화나트륨(NaCl) 및 첨가물	<ul style="list-style-type: none"> - 용기 보관 시 분해, 물리적 성질 변화가 없다. - 분말소화제는 Mg, Na, K, NaK 화재에 적합하다. 	Mg, Na, K, NaK
Na-X 분말	탄산나트륨(Na ₂ CO ₃)과 첨가제	<ul style="list-style-type: none"> - 첨가제는 습기에 대한 저항성과 유동성을 증대시키기 역할을 한다. - 649℃~816℃에서 타고 있는 금속에 적용 시 2차 재해가 없다. - 건강에 대한 위험을 알려진바 없으며 분해되지 않는다. 	Na 등
G-1 분말	유기인과 흑연이 입혀진 코크스로 구성	<ul style="list-style-type: none"> - 독성이 없고 비가연 분말이다. - 흑연은 열전도체로서 화재 열을 흡수해 금속의 온도를 발화온도 이하로 낮추어 소화한다. 	Mg, Na, K, Ti, Li 등
TEC(Ternary Eutectic Chloride)	염화칼륨(KCl), 염화나트륨(NaCl), 염화바륨(BaCl ₂)의 혼합물	<ul style="list-style-type: none"> - 연소성 금속화재에 유효하다. - 분말은 금속표면에 용융된 염(KCl, NaCl, BaCl₂)이 덮이면서 공기를 차단한다. - 염화바륨(BaCl₂)은 유독하므로 흡입하지 않도록 한다. 	Na, K, NaK
BORALON	트리메톡시보란과 하론 1211 혼합물	<ul style="list-style-type: none"> - 가수분해가 쉽기 때문에 주기적인 약제의 교환이 필요하다. 	Mg 등

제 4 장 결론

소듐은 위험물관리법상 3류 위험물로 분류되며 자연발화성물질 및 금수성물질로서 공기 중에서 발화의 위험성이 있으며, 물과 접촉하여 발화 또는 폭발에 의한 유독가스를 발생하는 위험성을 가진 물질이다. 따라서 발화 요인을 적극적으로 제거하여 안전하게 보관, 취급하는 것이 중요하다.

소듐화재는 금속화재로 일반 화재와 비교하여 초기 진화나 소화에 어려움이 있다. 특히, 대규모 소듐화재의 진화는 사실상 불가능하며 주변의 인화 물질과 가연성 물질을 제거하는 등 화재의 확산 방지 노력이 필요하다.

소듐화재 소화에 필요한 소화제의 개발은 외국 사례는 많지만 국내 개발 현황은 전무한 실정이며 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이다.

또한, 국내의 금속화재용 소화설비에 대한 설치와 관리 등에 대한 명확한 기준이나 설치 예도 거의 없기 때문에 대부분 외국의 사례를 검토하여 적용하고 있다.

소화설비의 구성과 운용은 소듐 취급 설비와 장치 등의 규모나 특성, 소듐의 온도, 주변 여건 등을 종합적으로 고려해 현장의 여건에 적합한 방식을 도입하여야 한다.

향후 소듐을 비롯한 금속화재에 대한 충분한 연구 개발을 통해 소화제와 소화설비에 대한 기준이나 근거 등이 마련되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 정지영. “소듐 취급시설의 안전대책” [한국화학공학회 2006.]
2. “소듐 화재 방호 대책과 옥내저장소의 소화설비”[한국원자력연구원]
KAERI/TR-2770/2004
3. 김병호. “소듐 화재의 소화현상 분석” [한국화학공학회 2002.]
4. 조병렬. “격납용기내에서 분무형 나트륨화재 현상 해석“ [한국산업안전학회
1996.]
5. J. L. Ballif, “Liquid Metals Fire Control Engineering Handbook”
[HEDL-TM-79-17 UC-41, 79a 1979.]
6. Carey B. Jacson, “Liquid Metals Handbook” 1995

서 지 정 보 양 식

수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드
KAERI/TR-3593/2008			
제목 / 부제	소듐 실험 시설의 소화 설비 구성 방법		
연구책임자 및 부서명	김병호 (고속로기술개발부)		
연구자 및 부서명	김종만, 정지영, 최병해		
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구원
페이지	26p	도표	있음(o), 없음()
참고사항			
공개여부	공개(○), 비공개()	보고서종류	기술보고서
비밀여부	대외비(), _ 급비밀	계약번호	
연구위탁기관			
초록 (15-20줄 내외)			
<p>소듐 화재는 금속화재로 D급 화재로 분류하며 화재 시 진화에도 어려움이 많다. 본 보고서는 소듐 화재의 특성과 소듐 화재 시 효과적인 소화를 위한 분사 방식별 소화설비의 구성 방법을 기술하였다.</p>			
주제명키워드 (10단어내외)			
소듐, 금속화재, 소화제, 소화설비			

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET					
Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.	INIS Subject Code
KAERI/TR-3593/2008					
Title / Subtitle		Methods to Compose Sodium Fire Extinguishing Equipments on Sodium Test Facility			
Project Manager and Department		B.H. Kim (Fast Reactor Technology Development Group)			
Researcher and Department		J.M. Kim, J.Y. Jeong, B.H. Choi			
Publication Place	Daejeon	Publisher	KAERI	Publication Date	2008. 6
Page	26p.	Ill. & Tab.	Yes(o), No ()	Size	21x29.7 cm.
Note					
Open	Open(o), Closed()		Report Type	TR	
Classified	Restricted(), ___Class Document				
Sponsoring Org.				Contract No.	
Abstract (15-20 Lines)		<p>Sodium fire is graded "D" and it is difficult to extinguish sodium fire. In this report, the characteristics of sodium fire and the methods composing the suitable fire extinguishing systems to suppress fire effectively were described.</p>			
Subject Keywords (About 10 words)					
		sodium, metal fire, fire-fighting materials, fire extinguishing system			

