

# 소형선박 무인기관실에 효과적인 자동소화장치 개발 연구

김 동 석 || 방재설비부 책임연구원

## 1. 서론

국내의 경우 총톤수 10톤 미만의 선박을 소형선박으로 분류하며 약 9만2천여 척이 등록되어 있는 것으로 조사되었다. 해양심판원에서 발간한 “해양사고 통계”에 의하면 우리나라 선박의 화재 및 폭발사고 건수는 지난 10년간(1995년~2004년) 547건이 발생하여 전체 해양사고의 8%를 차지하는 것으로 나타났다. 동 기간 중 선박에서의 화재로 인한 인명피해는 사망 71명을 포함 총179명으로 그 추세는 계속 증가할 것으로 예상되었다. 이러한 소형선박의 기관실은 대부분 기관 운전 중 선원이 계속적으로 배치되지 않는 무인 기관실로서 인명피해가 발생된 선박화재의 대부분이 이러한 무인 기관실 화재에 기인하는 것으로 조사되었다. 대다수의 소형선박은 선체 등 주요 구조부가 화재에 취약한 FRP로 제조되어 무인기관실에서 연소확대가 빠른 유류화재가 발생할 경우 초기소화가 이루어지지 않는다면 선박이 전소되거나 인명사망의 참사가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 소형선박 무인기관실의 화재를 초기에 진압할 수 있는 효과적인 소화장치를 개발하기 위해 동 장소의 화재위험성과 현재 국내·외적으로 사용하고 있는 소화약제의 장·단점을 비교분석하여 소화약제를 선정하고 소화성능 확인을 위해 6종의 고정식 분말소화장치 시제품을 설계·제작하였다. 또한 실제 소형선박의 화재를 모사한 조건에서 화재실험을 수행하기 위해 3개 체적의 화재모형실에 모형

엔진을 설치하고 실제와 유사한 화재시나리오에 따라 다양한 화재실험을 통해 소형선박의 무인기관실에 적합한 소화장치를 개발하고자 하였다.

## 2. 소형선박 무인기관실의 화재위험성

일본해난심판청의 통계자료에 의하면 1989년부터 2001년까지 발생한 소형선박 화재·폭발사고의 원인은 전기계통이 34%, 연료유계통이 20%, 전열기구 12%, 기타가 34%로 전기계통의 화재가 가장 많은 것으로 나타났다. 또한 일본소형선박검사기구의 “소형선박 기관실화재의 방지에 관한 조사연구위원회”의 보고서에 의하면 1987년부터 1991년까지 5년간 발생한 13건의 수동식 소화기만 비치된 소형선박 무인기관실의 화재사고를 분석한 결과 출화원인이 유류 이외의 경우에는 전부 소화 성공하였지만 유류화재의 경우는 9건 중 7건이 소화가 실패한 것으로 나타나 유류화재에 대한 화재 진압능력이 소화장치의 필수조건으로 조사되었다. 본 연구기간 중 국내 소형선박의 실태를 조사한 결과 무인기관실의 가연물은 엔진용 유류, 고무 이음새, PVC, 전선, FRP 벽면 및 천장 등으로 일반화재와 유류화재 그리고 전기화재가 소화대상이었으나 유류화재가 가장 중요한 소화대상임을 확인하였다. 또한 기관실은 체적에 비해 용량이 큰 엔진이 탑재되어 발생하는 열로 실내온도가 높고 연료유와 고온의 엔진배기관의 상호 이격거리가 짧아 화재발생위험이 상존하고 있었으며 유류화재

발생시 벽체 및 천정재 등의 가연재로 연소확대가 빠를 것으로 예상되었다. 무인기관실의 소화설비 적용상 불리한 점은 첫째, 천정과 기관 상부 거리 짧아 소화설비의 천장설치공간이 협소하였으며, 둘째는 선박이 환기 등의 개구부가 개방상태로 운항되므로 설계농도가 요구되는 가스계 소화약제의 소화효과를 크게 감소시킬 것으로 예측되었으며, 셋째는 선박의 종류 및 톤수에 따라 실제적 및 구조가 매우 다양하여 소화약제가 전체를 포용하는데 제약요소가 많은 것으로 파악되었다.

### 3. 소화약제 선정

화재는 통상 일반화재(A급), 유류화재(B급), 전기화재(C급), 금속화재(D급)로 구분된다. 선박의 무인기관실에는 고무이음새 등 일반화재 외에도 유류를 사용하는 기관의 화재위험성이 상존하고 있어 무인기관실의 소화장치(설비)는 일반화재와 유류화재에 모두 적응성이 있어야 한다. 소화장치는 가스계소화장치, 분말소화장치, 수계소화장치로 크게 구분할 수 있으며 이 중 일반화재와 유류화재에 동시에 적용할 수 있는 것은 가스계소화장치와 분말소화장치 그리고 수계소화장치 중 분무상의 강화액(K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>수용액)소화장치와 포소화장치, 미분무수소화장치이다. 무인기관실에 효과적인 소화장치는 소화성능, 설치 및 유지관리의 용이성, 경제성 등을 종합적으로 검토하여 선정할 필요가 있다. 가스계소화장치는 개구부가 큰 조건에서 소화성능이 보장되지 않거나 약제가 다량으로 필요하고 비용도 고가이며, 수계소화장치는 소화성능은 좋으나 초기 시설비용이 많이 드는데다 동절기 유지관리에 큰 어려움이 있다. 반면 분말소화장치는 소화약제 방사 후 청소의 문제가 있으나 일반, 유류, 전기화재에 대해 모두 소화성능이 우수하며 설치 및 유지관리가 용이하고 경제적으로도 가장 적합한 것으로 나타났다. 예비실험과 설치 적

합성 등을 종합 검토한 결과 인산암모늄이 주성분인 3종 분말을 소화약제로 선정하였다. 분말소화약제는 가압원으로 질소를 사용하여 축압식으로 제작하였으며 무인기관실 체적이 2.9m<sup>3</sup>의 경우 1.5kg, 4.5m<sup>3</sup>의 경우 2.5kg, 8m<sup>3</sup>의 경우 3.3kg의 분말 약제량을 기준으로 자동식 소화장치를 개발하였다.

### 4. 실험용 시제품 제작

실험용 시제품은 소화약제를 효과적으로 기관실에 분사하여 소화목적 달성할 수 있도록 총 6가지 형태의 분말소화장치를 설계하여 시제품을 제작하였다. 시제품은 종류 및 명칭은 <표 1>과 같다.

<표 1> 분말소화장치 시제품 종류 및 명칭

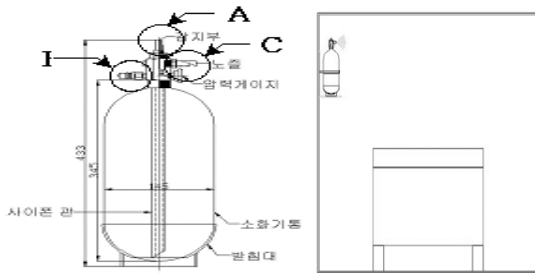
종 류	명 칭
자동식	고정식 자동 분말소화장치 (측벽설치형 직접분사식)
	고정식 자동 분말소화장치 (측벽설치형 토너먼트배관식)
	고정식 자동 분말소화장치 (천장설치형 토너먼트배관식)
수동식	고정식 수동 분말소화장치 (외부주입형 천장중앙분사식)
	고정식 수동 분말소화장치 (외부주입형 테두리관 다중노즐분사식)
수·자동 겸용식	고정식 수·자동 분말소화장치 (측벽설치형 직접분사식)

#### 4.1 자동식 분말소화장치

##### 4.1.1 고정식 자동 분말소화장치 (측벽설치형 직접 분사식)

선박기관실의 측벽 또는 모서리에 고정설치 상태에서 화재시에 발생하는 열을 감지하여 자동으

로 작동하면 소화약제를 바닥과 수평으로 직접 분사하는 방식이다. 소화기통 상부에 설치된 밸브장치에는 열을 감지하여 용융되어 저장용기 밸브를 개방시키는 감지부와 소화약제가 방호실 전체를 포용하도록 역할을 하는 분사노즐을 설치하였다. 또한 소화약제 가압원인 질소의 누설여부를 확인할 수 있도록 지시압력계도 설치하였다. [그림 1]에 시제품으로 제작된 고정식 자동분말소화기의 도면과 실제 기관실에 설치되는 단면도를 나타내었다.



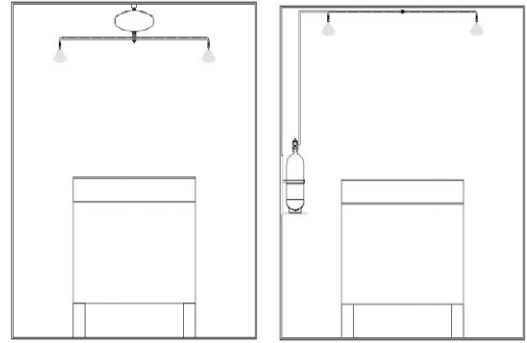
고정식 자동분말소화기      고정식 자동 분말소화장치 (측벽설치형 직접분사식)  
 [그림 1] 고정식 자동분말소화장치(측벽설치형 직접분사식)

4.1.2 고정식 자동 분말소화장치(토너먼트배관식)

선박기관실의 측벽 또는 천장에 고정식 자동분말소화기 본체를 설치하고 본체로부터 방사되는 소화약제를 토너먼트 형태의 방출유도관을 통해 4군데의 노즐을 통해 분사시키도록 시제품을 제작하였다. [그림 2]에 시제품으로 제작된 자동분말소화기 개념도와 이를 기관실에 설치한 단면도를 나타내었다.



고정식 자동 분말소화기 개념도 (천장설치형 토너먼트 배관식)

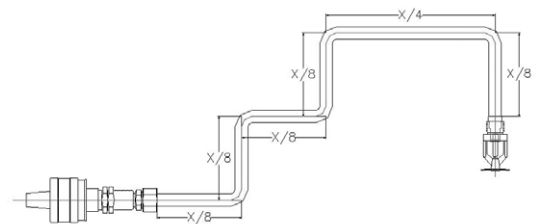


천장설치형      측벽설치형

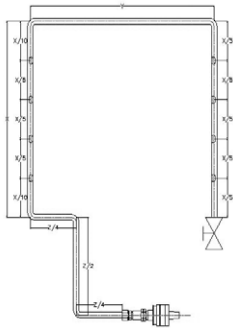
[그림 2] 고정식 자동분말소화장치(토너먼트배관식)

4.2 수동식 분말소화장치

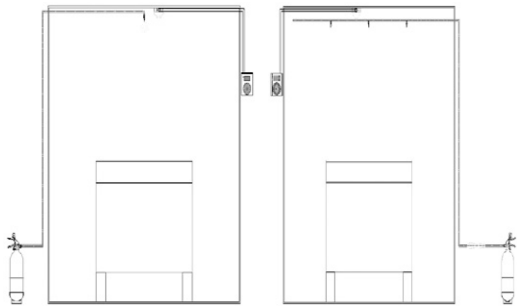
자동식 소화설비는 수동작동이 요구된다. 본 연구에서는 고정식 자동소화장치와는 별도로 설치하여 수동소화가 가능하도록 수동식 분말소화장치도 함께 개발하였다. 수동식 분말소화장치는 고압용 동관으로 소화약제 방출유도관을 설치하고 기존 수동식 분말소화기의 소화약제를 주입구를 통해 수동으로 기관실 외부로부터 내부로 주입하여 화재를 소화하도록 시제품을 제작하였다. 화재감지를 위한 별도의 화재감지장치가 필요하며 본 연구에서는 단순 경보기능만 있는 간이 형태의 자동화재탐지설비를 별도로 제작하였다. 약제방출은 천장 중앙에서 노즐을 통해 분사하거나 천장인근 상부에 설치된 테두리관에서의 구멍을 통해 분사하도록 하였다. [그림 3]에 주입구가 있는 방출유도관과 이를 기관실에 설치한 단면도를 나타내었다.



천장중앙분사식 방출유도관



테두리관 다중노즐분사식 방출유도관



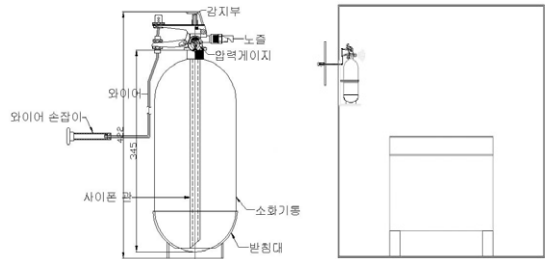
외부주입형 테두리관 다중노즐분사식 외부주입형 테두리관 다중노즐분사식  
(그림 3) 고정식 수동 분말소화장치 방출유도관 및 설치 단면도

이러한 방식은 소화약제가 주입부와 방출부 사이의 거리가 길면 배관 내용적과 압력손실이 커지므로 분사압력도 약해진다. 따라서 길이와 꺾임수의 한계를 확인하여 그 한계 내에서 설치하는 프리엔지니어드(Pre-engineered) 개념이 적용되어야 한다. 또한 화재발생시 비치된 수동식 소화기를 신속히 연결하고 약제주입시 누설이 없어야 하므로 기밀성능이 우수한 탈착식 외부주입구도 함께 개발 시제품으로 제작되었다. 천장중앙분사식의 경우 시중에서 구입한 일반 개방형 스피링클러헤드를 분사노즐로 활용하였다.

### 4.3 수 · 자동 겸용 분말소화장치

선박기관실의 측벽 또는 모서리에 수 · 자동 분말소화기를 고정 설치하고 화재시 소화기통 상부

에 설치된 밸브봉치의 감열부가 열을 감지하고 분말소화약제를 노즐을 통해 자동으로 분사하거나, 화재 경보장치 또는 육안으로 화재를 감지하고 외부에서 와이어를 당김으로서 화재를 자동 또는 수동으로 소화하도록 시제품을 제작하였다. (그림 4)에 시제품으로 제작된 수 · 자동분말소화기와 이를 기관실에 설치한 단면도를 나타내었다.



고정식 수 · 자동 분말소화기 고정식 수 · 자동 분말소화장치 (측벽설치형 직접분사식)

(그림 4) 고정식 수 · 자동 분말소화장치

## 5. 실험장치 및 실험방법

### 5.1 실험장치

#### 5.1.1 화재모형실

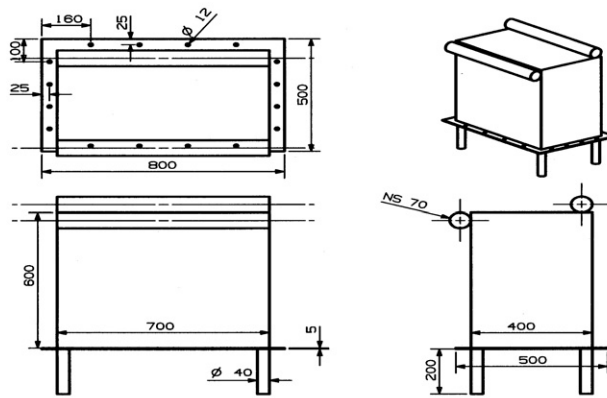
화재모형실은 체적이 2.9m<sup>3</sup>, 4.5m<sup>3</sup>, 8m<sup>3</sup> 3종류였으며 다양한 통풍조건을 모사하기 위해 2.9m<sup>3</sup>과 4.5m<sup>3</sup>의 화재모형실에는 9m<sup>3</sup>/min의 급기팬과 30cm×30cm의 배기구 2개를 측벽에 설치하였고, 8m<sup>3</sup>의 화재모형실에는 20m<sup>3</sup>/min의 배기팬과 100cm×100cm 급기구를 설치하였다. 화재모형실은 철판으로 제작하였으며 내부는 내화 시멘트보드로 마감하였다.

#### 5.1.2 모형엔진(Engine mock-up)

250~500마력의 일반적인 소형선박용 엔진을 모사하여 두께 5mm의 철판으로 0.4m(W)×0.7m(L)×0.6m(H)의 크기로 모형 2개를 제작하

였다. 모형엔진 상부는 배기관과 연료배관을 모사하여 NS70 크기의 파이프를 각각 2개 설치하였다. 모형엔진 하부는 연료팬을 배치하여 엔진하부은폐부분(bilge)에서의 고임유류화재(Pool fire)에 대한 소화성능을 확인할 수 있도록 약 0.2m 높이의 다리를 설치하고 가림판으로 일부를 막은 공간을 조성하였다. (그림 5)에 모형엔진 도면을 나타내었다.

하는 연료팬은 0.5m(L)×0.5m(W)×0.1m(H)의 크기로 제작하였고 모형엔진 하부에 설치하는 연료팬은 0.3m(L)×0.3m(W)×0.06m(H)의 크기로 제작하였다. 화재실험은 각 연료팬을 모형엔진 주위(4개) 및 하부(1개)에 배치하고 물을 절반 정도 채운 후 5분 이상 충분히 연소할 만큼의 경유를 붓고 경유의 원활한 점화를 위해 약간의 휘발유를 첨가하였다.



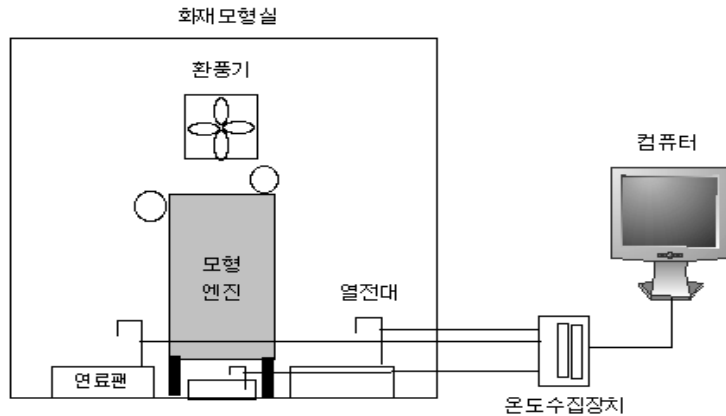
(그림 5) 모형엔진 도면

### 5.1.3 화재모형

유류화재 시나리오에 따라 화재모형은 연료팬 내의 경유를 사용하였으며 모형엔진 주변에 배치

### 5.1.4 측정장치

본 연구에 필요한 주요 측정요소는 소화 여부와 재발화 여부의 확인을 위한 온도측정이다. 이를 위



(그림 6) 화재실험장치 개략도

해 K형 열전대를 각 연료팬과 화재모형실 상부에 총 5개소 이상 설치하고 온도수집장치를 이용하여 화염의 온도를 초당 2회 측정하도록 측정장치를 구성하였다. 또한 1/100초의 분해능을 갖는 초시계를 이용하여 소화시간과 약제방출시간을 측정하였다. [그림 6]에 화재실험장치 개략도를 나타내었다.

## 5.2 실험방법

시제품과 모형엔진을 설치한 후 각 체적별 화재모형실에 연료팬을 배치하고 소화여부와 화재모형실의 온도를 측정하기 위한 열전대를 연료팬 상부에 설치하였다. 그리고 연료팬에 물과 경유를 채우고 점화용 휘발유를 첨가하였다. 자동식 소화장치의 경우는 연료를 점화한 후 소화장치 작동시간을 계측하고 소화여부와 재발화 여부를 확인하였다. 수동식 소화장치의 경우 점화 후 30초의 자유연소 후에 소화약제를 분사하여 소화시간과 재 발화 여부를 확인하였다. 실험 중 급기 또는 배기용 팬을 동작시켰으며 여러 개구조건에서 화재실험을 수행하였다. 또한 모형엔진과 시제품의 상대적 위치가 소화성능에 미치는 영향을 파악하기 위해 시제품의 위치를 모형엔진의 상단을 기준으로 여러 높이로 변경하면서 화재실험을 수행하였다.

## 6. 실험결과 및 고찰

### 6.1 자동식 분말소화장치

95℃의 공칭작동온도를 갖는 감열체가 열에 의해 동작하면 소화약제가 자동으로 방출되도록 제작한 고정식 자동 분말소화장치(측벽설치형 직접 분사식)의 경우 엔진모형 상부의 측벽 및 모서리 어느 위치에서나 최대 50초 이내에 동작하여 화재모형을 약제분사 중에 소화하였으며, 설치높이가 높을수록 소화효과가 증대되었다. 분말소화약제를 토너먼트 배관으로 하여 기존의 고정식 분말 자동 확산소화용구 보다 포용반경을 확장한 천장 및 측벽설치형 자동소화장치의 경우 엔진상부로 부터 25cm 높은 위치에서 노즐을 통해 소화약제를 분사시켰을 때 소화를 실패하였으며 분사노즐을 엔진상단과 30cm 수평 이격시 소화에 성공하였다. 자동식 분말소화장치는 방출시간이 짧을수록 소화효과가 증가하는 현상을 보였다. [그림 7] 및 [그림 8]은 자동식 분말소화장치의 화재실험 장면과 실험 중 측정된 시간-온도 그래프의 예이다.

### 6.2 수동식 분말소화장치

소화모형실 상부의 테두리 배관에 설치된 다중



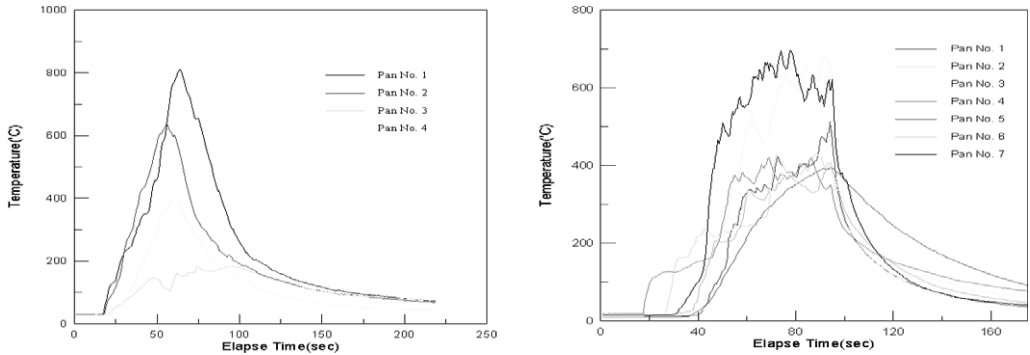
연료 연소



자동 분사 후

[그림 7] 자동식 분말 소화장치 화재실험 장면(8m³ 소화모형실)





(그림 8) 화재실험 시간-온도곡선 예

의 노즐로 소화약제를 분사시키거나 스프링클러헤드를 이용한 반사판형 노즐로 천장 중앙의 1개 지점에서 소화약제를 분사하였다. 소화배관은 구경, 꺾임수, 배관길이를 변경시키면서 화재실험을 수행하였으며 분사위치와 분사형태도 여러 가지로 변형하여 화재실험을 실시한 결과 2.9m<sup>3</sup>, 4.5m<sup>3</sup>, 8m<sup>3</sup>의 화재모형실내의 화재모형을 모두 15초 이내에 소화하였다. 15A이하 10A이상의 고압용 동관이 적용 가능하였으며, 압력손실한계를 확인한 결과 꺾임수(최대 90°) 최대 5개소를 기준으로 배관길이 약8m 까지 적용이 가능하였다. 모형엔진상단보다 방출노즐 설치높이가 높을수록 소화효과가 높았으며 엔진상부로부터 60cm이상에서 화재모형을 모두 소화하였으나 50cm 미만에서는 소화에 실패하는 경우가 있었다. (그림 9)는 외부주입형

테두리관 다중노즐분사식의 소화장면 사진이다.

### 6.3 수·자동 겸용 분말소화장치

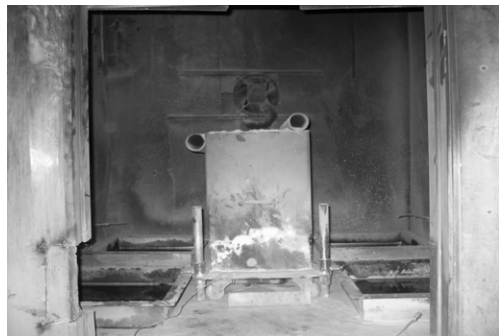
기관실 외부에서 자동식 분말소화장치에 와이어를 당김으로서 소화약제를 방출시키도록 시제품을 제작하여 화재실험을 수행한 결과 고정식 자동 분말소화장치(측벽설치형 직접분사식)와 유사한 소화성능을 확인할 수 있었다. 설치높이가 높을수록 소화효과가 높았으며 모서리부분에서도 양호한 소화성능을 보였다.

## 7. 결 론

각종 화재실험을 통해 6종의 시제품을 개발하였



수동분사



소화

(그림 9)수동식 분말 소화장치 화재실험(2.9m<sup>3</sup>) 장면  
(외부주입형 테두리관 다중노즐분사식)

으며 본 연구를 통해 도출된 주요 결론은 다음과 같다.

1. 자동식 분말소화장치 시제품은 소화모형실의 하부에 설치하는 것 보다 상부에 설치하는 것이 소화효과가 더 높았으며, 기존 자동확산소화용구보다 소화약제의 방출을 빠르게 하여 일시에 화재를 덮는 것이 B급 화재에 대한 소화효과를 크게 향상시키는 방법임을 확인하였다.
2. 수동식 분말소화장치의 경우 동관의 구경, 길이 그리고 찍임수는 주입하는 수동식 소화기의 용량(약제량 및 가압용 질소량)에 따라 그 소화성능에 한계가 있었으며, 3.3kg의 분말약제를 사용하는 수동식 소화기의 경우 15A 약제도입 동관의 5회 찍임 조건에서 동관 길이 7m는 여유율이 약 20 %의 조건으로 8m<sup>3</sup> 이내 무인기관실의 초기화재를 소화하기 위한 유용한 제한 조건임을 도출하였다.
3. 엔진 하부 은폐된 빌지 부분의 소화여부를 확인하기 위해 모형엔진 하부에 연료팬을 설치한 후 가림판으로 하부를 일부 가린 조건에서 화재실험을 실시한 결과 시제품 모두 소화 성공함에 따라 은폐부분의 소화성능도 확인할 수 있었다.
4. 소형선박의 무인기관실 화재를 효과적으로 소화하기 위한 고정식의 소화장치는 소화약제 용기의 기밀유지, 감열부의 조기 반응성, 소화약제의 방호공간 포용성능, 소화약제의 순간적 분사(고분사율)가 중요 요소임을 알 수 있었다. **FILK**

※ 본 연구는 해양수산부에서 시행한 해양수산 연구개발사업의 연구결과임. (주관연구기관 : 선박검사기술협회 / 협동연구기관 : 방재시험연구원)

[참고문헌]

1. 무인기관실에 효과적인 자동소화장치 개발연구 보고서, 해양수산부, 2005. 12
2. 소형선박 기관실화재의 방지에 관한 조사연구위원회 보고서, 일본소형선박 검사기구, 1994
3. 일본 자동확산형 분말소화기의 형식승인시험 기준, 일본 국토교통성 고시, 2002.
4. 분말소화설비의 화재안전기준(NFSC-108), 소방방재청고시 제2004-16호 (2004.6.4)

