

소형선박 기관실화재에 대한 자동소화시스템 개발연구 Development of Fire Extinguishing System Suitable for Unmanned Engine Room of a Small Ship

김동석[†] · 곽지현 · 강대선* · 손봉세**

Dong-Suk Kim[†] · Ji-Hyun Kwark · Dae-Sun Kang* · Bong-Sei Son**

한국화재보험협회 방재시험연구원, *선박검사기술협회, **경원전문대학 소방시스템과
(2006. 7. 18. 접수/2006. 8. 30. 채택)

요 약

소형선박의 기관실을 상사한 모형실에서 분말소화설비의 개발을 위한 화재시험을 수행하였다. 화재시험이 수행된 모형실은 2.9 m³, 4.5 m³, 8 m³ 3종류였으며 각 모형실에는 개구부와 송풍용 팬이 설치되었다. 경유를 소화모형의 연료로 사용하였다. 또한 소화약제 방출용 노즐은 천장에서는 하향으로 벽 또는 벽의 모서리에서는 수평으로 분사되도록 설치하였다. 개발제품은 모든 소화모형을 분말소화약제 방출 중에 소화하였으며 소화 후 재발화가 없었다.

ABSTRACT

A study developing the dry powder fire extinguishing system inside the simulated machinery spaces of small ship was performed. Fire tests were conducted inside the compartments having volume 8 m³, 4.5 m³ and 2.9 m³ respectively. The openings and fans were established on the walls of the compartments. Diesel oil was used for the test fuel. In addition fire extinguishing nozzles using dry powder were installed downward at ceiling and horizontally at the wall or conner. All fires in the test were extinguished under system activation and there was no reignition.

Keywords : Dry powder extinguishing system, Machinery spaces, Fire test

1. 서 론

해양심판원에서 발간한 “해양사고통계”에 의하면 우리나라 선박의 화재 및 폭발 건수는 지난 10년간(1995년~2004년) 547건이 발생하여 전체 해양사고의 8%를 차지하는 것으로 조사되었다. 동 기간 중의 선박에서의 화재로 인한 인명피해는 사망 71명을 포함 총 179명으로 그 추세는 계속 증가하는 것으로 나타났다. 국내의 경우 총톤수 10톤 미만의 선박을 소형선박으로 분류하며 약 9만 여척이 있는 것으로 조사되었다. 이러한 선박의 기관실은 대부분 기관 운전 중 선원이 계속적으로 배치되지 않는 무인 기관실로서 인명피해가 야기되는 선박화재의 대부분이 이곳에서 발생하는 것으로 조사되었다. 대다수의 소형선박은 선체 등 주요

구조부가 화재에 취약성이 있는 FRP로 제조되어 무인 기관실 화재발생시 유류화재에 의한 빠른 연소확대로 인해 초기소화가 이루어지지 않으면 선박이 전소거나 인명사망의 참사가 발생한다. 본 연구에서는 이러한 소형선박 무인기관실(이하 “무인기관실”이라 한다.)의 화재를 초기에 진압할 수 있는 소화장치를 개발하기 위해 모형엔진을 설치한 3개 체적의 화재모형실에서 자동 또는 수동으로 동작하는 분말소화장치 6종을 제작하여 실제와 유사한 화재시나리오에 따라 다양한 소화 실험을 통해 무인기관실에 적합한 소화장치를 개발하였다.

2. 무인기관실의 화재위험 특성

무인기관실의 가연물의 종류는 기름(경유, 가솔린), 고무이음새, PVC, 전선, FRP 벽면 및 천장 등이며, 우리나라와 소형선박의 형태 및 관리체계가 유사한 일본

[†]E-mail: dskim@kfpa.or.kr

의 선박화재 사고사례(1987-1991)의 분석결과에 의하면 분석사례건수 총 13건 중 출화원인이 기름 이외의 화재는 모두 소화기로 소화되었으나 기름화재 9건 중 7건이 소화에 실패하여 이러한 유류화재를 자동으로 감지·소화할 수 있는 자동식 소화장치의 필요성이 제기되었다. 본 연구에서는 동 장소에 적용될 수 있는 자동소화장치를 개발하기 위하여 국내 소형선박의 실태 조사(약 20여척)를 수행하였으며 다음과 같은 무인기관실의 화재특성을 확인하였다. 첫째 비교적 작은 체적의 기관실에 높은 마력의 엔진이 탑재되고 연료유와 엔진의 이격거리가 짧아 화재발생 위험이 상존하고 있었으며, 둘째 선박의 종류 및 톤수에 따라 실제적 등의 구조가 다양하고 벽체 및 천장재가 가연성 재료로 연소 확대가 용이하였으며, 셋째 천장과 기관 상부의 거리가 짧고 협소하며 개구부가 개방 상태로 유지되고 기관 하부에 은폐 공간이 존재하여 일부 설치된 기존의 천장설치용 자동확산용구는 소화효과가 낮은 것으로 조사되었다. 특히 5톤 이하의 선박은 대부분 엔진 상부 천장에 해치식 출입문이 설치되어 있으므로 소화설비 설치에 어려움이 있는 것으로 나타났다.

3. 소화약제의 선정

무인기관실에 효과적인 소화약제의 선정은 소화성능, 설치 및 유지관리의 용이성, 경제성 등을 종합적으로 검토하여 선정할 필요가 있으며, 이를 위해 먼저 각 소화약제의 장단점을 비교 분석하였다. 가스계 소화약제의 소화원리는 주로 질식 및 연쇄반응억제 작용으로 소화를 위해서는 설계농도 유지가 필수적이거나 무인 기관실과 같이 운항 중 환기구나 해치 등이 개방되고 개구부로 기류가 유입되는 조건에서는 소화효과가 크게 떨어지는 것으로 분석되었다. 또한 가스계 소화장치는 약제 저장용기가 직사광선이나 빗물로부터 보호되어야 하므로 기관실 밖에 별도의 저장시설이 필요한 것으로 판단되었다. 수계 소화장치 중 포소화설비는 급격한 포의 팽창에 의해 개구부가 커도 짧은 시간에 화재를 덮어 소화시키는 성능이 있었으며, 미분무수 소화설비도 미립화된 물입자의 질식작용이나, 기화열로 화원을 냉각시켜 소화에 효과적이었으나 추운 겨울철에도 운항을 계속하여야 선박의 특성상 기온에 크게 영향을 받아 동파방지 등 유지관리에 어려움이 크고, 부수적으로 가압송수장치 등 별도의 장치가 수반되므로 소형선박의 소화설비로는 효과가 낮은 것으로 판단되었다. 반면 분말소화장치는 기관실내에 직접 설치하거나 부피가 작은 수동식 소화기를 조타실 등에 비치할 수 있어

유지관리가 용이하며 가스계 소화약제보다 상대적으로 저렴한 장점이 있는 것으로 조사되었다. 이에 따라 일반화재, 유류화재, 전기화재에 대해 모두 적용성이 있고 소화성능이 있으며 설치 및 유지관리가 용이성과 경제성 등을 종합적으로 검토한 결과 ABC급 3중 분말이 가장 적합한 소화약제로 평가되었다.

4. 분말소화장치 시제품

검토된 소화약제는 분말, CO₂, 청정소화약제, 미분무수, 강화액 등이었으며 예비실험과 설치유지의 적합성 그리고 경제성을 종합 분석하여 인산암모늄이 주성분인 3중분말 소화약제를 선정하였으며, 분말소화약제를 효과적으로 기관실에 분사하여 소화를 달성할 수 있도록 총 6가지 형태의 소화장치를 설계하여 시제품을 제작하였다. Table 1에 제작된 분말소화장치의 시제품을 나타내었다.

또한 Fig. 1에 대표적 시제품인 고정식 자동 분말소화기와 이를 소화모형실에 설치한 고정식 자동 분말소화장치(측벽설치형 직접분사식)의 개략도를 나타내었다.

Table 1. 제작된 분말소화장치 시제품

종류	분말소화장치 시제품 명칭
자동식	고정식 자동 분말소화장치(측벽설치형 직접분사식)
	고정식 자동 분말소화장치(측벽설치형 토너먼트 배관식)
	고정식 자동 분말소화장치(천장설치형 토너먼트 배관식)
수동식	고정식 수동 분말소화장치(외부주입형 천장중앙 분사식)
	고정식 수동 분말소화장치(외부주입형 테두리관 다중노즐분사식)
수·자동 겸용식	고정식 수·자동 분말소화장치(측벽설치형 직접 분사식)

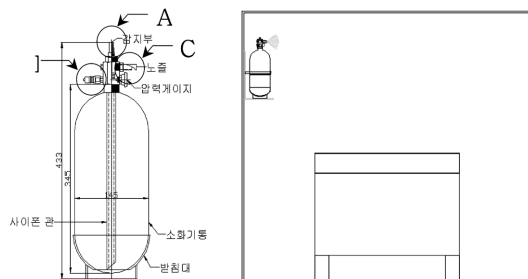


Fig. 1. 고정식 자동 분말소화장치(측벽설치형 직접분사식).

4. 실험장치 및 실험방법

4.1 실험장치

4.1.1 화재모형실

화재모형실은 체적이 2.9 m³, 4.5 m³, 8 m³ 3종류였으며 다양한 통풍조건을 모사하기 위해 2.9 m³과 4.5 m³의 화재모형실에는 9 m³/min의 급기팬과 30 cm×30 cm의 배기구 2개를 측벽에 설치하였고, 8 m³의 모형 기관실에는 20 m³/min의 배기팬과 100 cm×100 cm 급기구를 설치하였다. 화재모형실은 철판으로 제작하였으며 내부는 내화 시멘트보드로 마감하였다. Fig. 2는 화재모형실의 외형이다.

4.1.2 모형엔진(Engine mock-up)

250~500마력의 일반적인 소형선박용 엔진을 모사하여 두께 5 mm의 철판으로 0.4 m(W)×0.7m(L)×0.6 m(H)

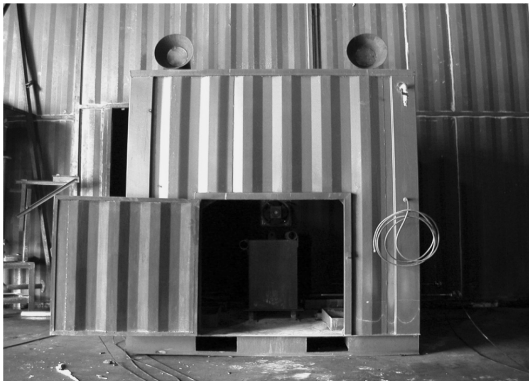


Fig. 2. 화재모형실 (8 m³) 외형.

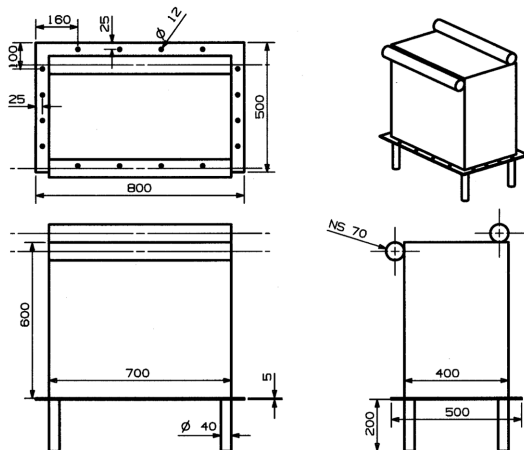


Fig. 3. 모형엔진 개략도.

의 크기로 모형 2개를 제작하였다. 모형엔진 상부는 배기관과 연료배관을 모사하여 NS70 크기의 파이프를 각각 2개 설치하였다. 모형엔진 하부는 약 0.2 m의 공간을 설치하여 엔진하부에 고임유류화재(Pool fire)에 대한 소화성능을 확인할 수 있도록 하였다. Fig. 3에 제작된 모형엔진 개략도를 나타내었다.

4.1.3 화재모형

유류화재 시나리오에 따라 화재모형은 연료팬 내의 경유를 사용하였으며 연료팬의 크기는 0.5 m(L)×0.5 m(W)×0.1 m(H)과 0.3 m(L)×0.3 m(W)×0.06 m(H)를 사용하였다. 소화실험은 각 연료팬에 물을 절반 채운 후 5분 이상 충분히 연소할 만큼의 경유를 붓고 경유의 원활한 점화를 위해 약간의 휘발유를 첨가하였다. 연료팬은 각 화재모형실의 화재 시나리오에 따라 모형엔진의 주위바닥에 4개를, 모형엔진 하부에 1개를 배치하였다.

4.1.4 측정장치

본 연구에 필요한 주요 측정요소는 소화 여부와 재발화 여부이다. 이를 판단하기 위해 K형 열전대를 각 연료팬과 화재모형실 상부에 총 5개소 이상 설치하고 온도수집장치를 이용하여 화염의 온도를 초당 2회 측정하였다. 또한 1/100초의 분해능을 갖는 초시계를 이용하여 소화시간과 약제방출시간을 측정하였다. Fig. 4에 화재실험장치 개략도를 나타내었다.

4.2 실험방법

시제품과 모형엔진을 설치한 각 체적별 화재모형실에 연료팬을 배치하고 소화여부와 화재모형실의 온도를 측정하기 위한 열전대를 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

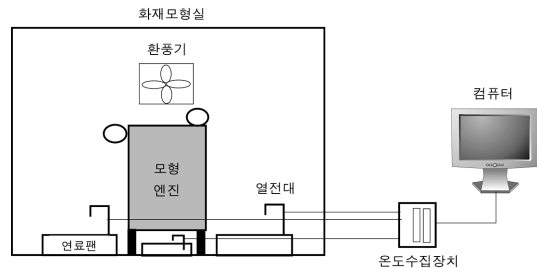


Fig. 4. 화재실험장치 개략도.

Table 2. 시험결과 요약

소 화 장치명	형 식	실험 조건					실험 결과	
		모형실 체적 (m ³)	약제량 (kg)	노 즐 위 치	약제 분사율 (kg/s)	급 · 배기 (m ³ /min)	소화 시간 (sec)	재발화 여부
고정식 자동 분말소화 장치	측벽설치형 직접분사식	8	3.3	엔진상단 높이의 측벽	0.47	급기: 자연 배기: 20	5	없었음
	측벽설치형 직접분사식	8	3.3	엔진상단으로부터 110 cm 상부 높이의 측벽	0.55	급기: 자연 배기: 20	5	없었음
	측벽설치형 토너먼트배관식	8	3.3	엔진상단으로부터 100 cm 상부 높이의 측벽	0.60	급기: 자연 배기: 20	4	없었음
	천장설치형 토너먼트배관식	8	3.0	엔진상단으로부터 30 cm 상부 높이	0.60	급기: 자연 배기: 20	3	없었음
고정식 수동 분말소화 장치	외부주입형 천장중앙분사식	4.5	2.5	엔진상단으로부터 40 cm 상부 높이의 측벽	0.25	급기: 9 배기: 자연	10	없었음
	외부주입형 테두리 관 다중노즐분사식	2.9	1.5	엔진상단으로부터 10 cm 상부 높이의 테두리	0.23	급기: 9 배기: 자연	9	없었음
고정식 수 · 자동 분말소화 장치	측벽설치형 직접분사식	4.5	2.5	엔진상단 높이의 측벽	0.50	급기: 9 배기: 자연	5	없었음
		4.5	2.5	엔진상단으로부터 65 cm 상부 높이의 측벽	0.50	급기: 9 배기: 자연	3	없었음
		2.9	1.5	엔진상단 높이의 측벽	0.38	급기: 9 배기: 자연	4	없었음
		2.9	2.5	엔진상단으로부터 15 cm 상부 높이의 측벽	0.38	급기: 9 배기: 자연	3	없었음

자유연소 후에 소화약제를 분사하여 약제 방출시간과 소화시간을 측정하고 재 발화 여부를 확인하였다. 실험은 모형엔진과 시제품의 상대적 위치가 소화성능에 미치는 영향을 파악하기 위해 시제품의 위치를 모형엔진의 상단을 기준으로 여러 높이로 변경하면서 소화실험을 수행하였다. 또한 각 소화시험은 실제 선박운항 중 개구부 개방과 배기팬이 작동되는 최악의 소화조건을 고려하여 각 체적별 화재모형실에 설치된 개구부를 개방하고 배기팬을 가동한 상태에서 소화실험을 수행하였다. Table 2에 급배기 조건을 나타내었다.

5. 실험결과 및 고찰

5.1 실험결과

2.9 m³ 체적의 경우 1.5 kg, 4.5 m³ 체적의 경우 2.5kg, 8 m³의 경우 3.0 kg 또는 3.3 kg의 ABC급 분말소화약제를 화재감지부가 설치된 자동식 소화기에 약 9.7 kg/cm²의 질소로 충약하여 소화실험을 수행하였다. 약 80여회의 소화실험을 실시하여 소화성능이 최종 확인된

주요 실험결과를 Table 2에 요약하였다.

5.2 실험결과 고찰

5.2.1 고정식 자동 분말소화장치

측벽 또는 모서리에 고정 설치하여 95°C 공칭작동 온도를 갖는 감열체가 열에 의해 동작하면 소화약제가 자동으로 방출되도록 제작한 고정식 자동 분말소화장치의 경우 엔진모형 상단으로부터 어느 위치에서나 최대 50초 이내에 자동 동작하여 분사시작 후 화재모형을 최대 6초 이내에 소화하였는데, 설치높이가 높을수록 소화에 유리하였다. 분말소화약제를 토너먼트 배관으로 하여 기존의 고정식 분말 자동확산소화용구 보다 포용반경을 확장한 천장 또는 측벽설치형 토너먼트배관식의 경우 엔진상단으로부터 25 cm 위치에서 노즐을 통해 소화약제를 분사시켰을 때 소화에 실패하였으며 분사노즐을 엔진상단으로부터 30 cm 이상 이격시킬 경우 소화에 성공하였다. 자동식 분말소화장치는 방출시간이 짧을수록 즉 약제 분사율이 높을수록 소화시간도 단축되었다.

5.2.2 고정식 수동 분말소화장치

고정식 수동 분말소화장치는 기관실 밖에서 기관실 내에 고정하여 설치된 동관을 이용한 방출유도관에 수동식 분말소화기로 소화약제를 주입하여 화재를 소화하도록 구성하였다. 소화약제의 분사는 화재 모형실 상부의 테두리 배관에 설치된 다중의 노즐로 분사시키거나 스프링클러헤드를 이용한 반사관형 노즐로 천장 중앙의 1개 지점에서 분사하였다. 소화배관은 구경, 꺾임수, 배관길이를 변경시키면서 소화실험을 수행하였으며 분사위치와 분사형태도 여러 가지로 변형하여 소화실험을 실시한 결과 2.9 m³, 4.5 m³, 8 m³의 화재모형실 내의 화재모형을 모두 최대 15초 이내에 소화하였다. 배관 호칭구경 15A 이하 10A 이상의 고압용 동관이 적용 가능하였으며, 압력손실한계를 확인하는 꺾임수(최대 90°)는 5개소를 기준으로 길이 약 8 m까지 적용이 가능하였다. 모형엔진상단보다 방출노즐 설치높이가 높을수록 소화시간이 짧았으며 엔진상부로부터 40 cm 이상에서 화재모형을 모두 소화하였다.

5.2.3 고정식 수·자동 분말소화장치

상기 4의 고정식 자동 분말소화장치에 와이어를 연결하여 기관실 외부에서 와이어를 당김으로써 소화약제를 방출시키도록 시제품을 제작·설치하여 소화실험을 수행한 결과 자동소화장치와 유사한 소화성능을 확인할 수 있었다. 설치높이가 높을수록 소화시간이 짧았으며 모서리부분에서도 양호한 소화성능을 보였다.

5.2.4 종합분석

상기 실험 결과에서 보듯이 자동식이 수동식 보다 소화시간이 약 2배 이상 빨라 방출률이 소화성능에 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며, 급배기조건에서도 모두 소화가 가능하여 분말소화약제의 통풍상태에서의 소화성능도 확인할 수 있었다. 본 연구는 기관실 체적과 형태가 다양한 국내 소형선박에 프리엔지니어드(Pre-engineered) 형태로 적용이 가능하도록 최악의 조건에서 실험이 수행되었다. 따라서 국내 소형선박의 대부분이 소규모 영세사업자에 의해 운항되므로써 경제성이 중요시 되고 있으나 본 연구에서 소화성능 확인을 통해 개발된 6가지 형식의 분말소화설비는 화재감지성능과 내구성 확보되고 소화실험을 통해 성능이 확인된다면 단독 또는 겸용으로 현장조건에 맞게 설치되어 소형선박의 화재소화에 큰 역할을 할 수 있을 것으로

판단되었다.

6. 결 론

각종 소화실험을 통해 6종의 분말소화장치를 개발하였으며 본 연구를 통해 도출된 주요 결론은 다음과 같다.

1) 고정식 자동 분말소화장치 시제품은 소화모형실의 하부에 설치하는 것 보다 상부에 설치하는 것이 소화효과에 더 유리하였으며, 소화약제의 방출시간을 기존 자동확산소화용구(약 12초)보다 빠르게 분사(약 6초)하여 일시에 화재를 덮는 것이 B급 화재에 대한 소화효과를 크게 향상시키는 방법임을 확인하였다.

2) 수동식 분말소화장치의 경우 동관의 구경, 길이 그리고 꺾임수는 주입하는 소화기의 약제량에 따라 그 소화성능에 한계가 있었으며, 3.3k g의 분말약제량 일 때 15A 방출유도관의 경우 5회 꺾임 조건에서 동관 길이 7 m는 약 20 %의 여유율로 8 m³의 무인기관실 소화를 위한 유용한 제한 조건임을 도출하였다.

3) 엔진 하부 은폐된 빌지 부분의 소화여부를 확인하기 위해 모형엔진 하부에 연료팬을 설치한 후 가립판으로 하부를 가린 조건에서 화재실험을 실시한 결과 모두 소화가 됨에 따라 시제품의 은폐부분의 소화성능도 확인할 수 있었다.

4) 소형선박의 무인기관실 화재를 효과적으로 소화하기 위해서는 소화약제 용기의 기밀유지, 감열부의 조기 반응성, 소화약제의 방호공간 포용성능, 소화약제의 순간적 분사(고분사율) 성능이 중요 요소임을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부의 해양수산연구개발사업으로 수행한 연구결과입니다.

참고문헌

1. 소형선박 기관실화재의 방지에 관한 조사연구위원회 보고서, 일본소형선박검사기구(1994).
2. 일본 자동확산형 분말소화기의 형식승인시험기준, 일본 국토교통성 고시(2002).
3. 분말소화설비의 화재안전기준(NFSC 108), 소방방재청고시 제2004-16호(2004.6.4).