

## 무인기관실에 설치된 자동확산소화용구의 소화특성

곽지현

방재시험연구원

### Fire extinguishing characteristics of an automatic spread extinguisher in an unmanned engine room

Ji-Hyun Kwark

Fire Insurers Laboratories of Korea

#### 1. 서론

국내 연안을 운항하는 소형선박의 경우 기관운전 중 기관실에 기관운전 중 기관실에 선원이 계속적으로 배치되지 않는 경우를 무인기관실이라 하는데 선박직원법시행령의 선박직원 최저 승무기준에 의하면 총톤수 30톤 미만의 선박은 기관장이 승선하지 않아도 되며, 특히, 어선의 경우에는 기관장이 배치되어도 어선원의 부족으로 기관장도 어로작업에 종사하는 경우가 대부분이므로 실질적으로 무인기관실로 운항되는 경우가 있는 것으로 조사되었다.

소형선박에서 화재가 빈번하게 발생하는 주된 이유로는 연료 및 윤활유와 같은 인화성 물질과 고온의 엔진 등이 기관실에 있어 연료의 누설 또는 비산 등에 의해 화재가 발생할 위험이 매우 높은 장소임에도 불구하고 기관실이 좁기 때문에 선원이 기관실에 당직 근무하는 것이 거의 불가능하거나 승선인원의 부족으로 기관장이 어로작업 등 갑판부 업무를 겸임하여 무인기관실로 운항하게 되므로 평상시에 화재방지를 위한 감시활동이 매우 어렵기 때문인 것으로 판단된다.

현재 소형선박의 무인기관실은 협소하여 구조상 화재가 나도 접근이 어렵고, 엔진에서 발생하는 고열에 의해 과열되는 경우가 많아 화재발생 위험이 상존하여 특별히 신뢰성이 높은 소화설비를 설치해야 함에도 불구하고 휴대식소화기나 자동확산형소화기 등에 의해 방호되고 있는 실정이다. 이로 인해 조기 화재감지 및 소화작업 실패로 커다란 피해가 야기되는 경우가 빈발하고 있으며, 특히 소형선박의 상당수가 FRP 재질로 제작되어 있어 더욱 큰 화재위험성을 가지고 있다.

본 연구에서는 현재 무인기관실에 가장 많이 설치되어 있는 자동확산소화용구에 대해 실제와 유사한 무인기관실 조건을 모사하여 소화특성을 살펴보고 문제점을 분석해 보고자 한다.

#### 2. 실험장치 및 실험방법

##### 2.1 실험장치

무인기관실에 설치된 자동확산소화용구의 소화특성을 살펴보기 위해서는 이와 유사

한 기관실 모형과 모형엔진이 필요하며, 기관실의 크기와 형태, 화재위험성 등을 고려하여 실제와 비슷한 화재시나리오를 적용하여야 한다. Fig. 1은 본 연구에서 사용한 실험장치의 개략도인데 크게 화재모형실과 모형엔진, 연료팬, 온도계측장치, 환풍기 등으로 구성된다.

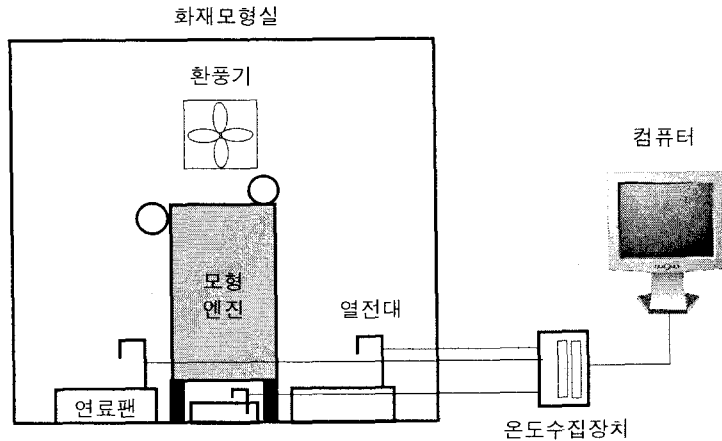
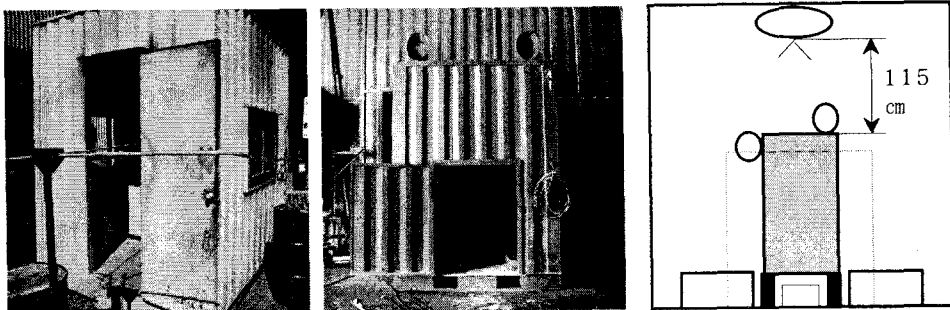


Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

### 2.1.1 화재모형실

무인기관실을 모형화하기 위해 우선 화재모형실의 크기와 모양을 선정하였다. 이를 위해 선박검사기술협회에 등록된 국내 선박들의 용적톤수에 따른 크기 분포를 참고하여 대표값을 정하였는데, 10톤 미만에 해당하는 소형선박들이 대부분으로 전체의 88%를 차지하고 있었다. 이 중 5톤 미만의 선박은 1.9~13.4m<sup>3</sup>의 기관실 체적을 가지며, 5톤 이상 10톤 미만의 선박은 3.7~21.9m<sup>3</sup>의 기관실을 가지고 있었다. 모양은 주로 직육면체나 정육면체의 형태였으며 기관실 양쪽 벽면에 환기구를 가지고 있는 경우가 대부분이었다. 본 연구에서 화재모형실은 두 가지를 선정하였는데 하나는 현재 선박용 자동확산 소화용구의 형식승인시험에 사용되고 있는 체적 24.3m<sup>3</sup>의 화재모형실이고, 또 하나는 기관실 실태조사에서 10톤 미만 소형선박 중 가장 많은 분포를 차지한 5~10m<sup>3</sup> 크기의 중간치인 8m<sup>3</sup> 크기의 기관실을 선정하였다. 24.3m<sup>3</sup> 화재모형실은 직육면체이고 8m<sup>3</sup> 화재모형실은 정육면체이다.



(a) 8m<sup>3</sup> (b) 24.3m<sup>3</sup>

Fig. 2 Figure of fire test rooms

### 2.1.2 모형엔진

선박검사기술협회(KST)에 등록된 소형어선(10톤미만) 및 유람선에 설치된 엔진은 선박용 엔진 제조사의 자료 및 1, 2차의 선박실태조사 결과에 의하면 대부분 250~500마력 정도로 추산되며, 좁은 공간에 1대 또는 2대의 엔진이 설치되어 있고 엔진 주변에 화재의 원인이 될 수 있는 연료 및 배기가스용 배관이 설치되어 있다. 대형선의 경우, 엔진의 모형은“IMO MSC/Circ 668, 728, 913 및 최개정안(부속서B)”에 의하면 실제 엔진을 단순 상사한 1m(W) × 3m(L) × 3m(H)의 크기의 강철제의 육면체에 배기가스 매니폴더와 그레이팅을 상사한 NS300 크기의 파이프 2개를 상부에 배치하고 하부에 3개의 tray를 설치한 ‘floor plate system’를 채택하고 있으며, 또한 일본 소형선박검사기구(이하 JCI)의 “소형선박 기관실화재의 방지에 관한 조사연구위원회 보고서”에 따르면 실제 엔진을 상사한 0.4m(W)×0.7m(L)×0.6m(H)의 크기의 2개의 강철제 육면체만을 나란히 배치하여 모의실험을 수행하고 있다. JCI의 모형엔진은 실제 엔진을 잘 상사하고는 있으나 화재의 원인이 될 수 있는 엔진 주변의 배관을 고려해야 할 것으로 판단되므로 본 연구에서는 “IMO MSC/Circ 668, 728, 913 및 최신 개정안(부속서 B)”과 JCI의 보고서를 상호 보완하여 다음과 같이 모형엔진을 설계 및 제작하였다. 소형 선박용 250 ~ 500마력 정도의 엔진은 그 크기가 대략 폭 0.8m, 길이가 1.5m, 높이가 1.2m 전후 이므로 모형엔진의 크기를 0.4m(W)×0.7m(L)×0.6m(H) 및 0.8m(W)×1.4m(L)×1.2m(H)의 두 가지 크기로 상사하고, 엔진 화재의 주원인이 될 수 있는 연료관과 배기관을 모사하기 위해 파이프를 엔진 측면 상단과 반대편 엔진 위에 각각 설치하였다. 또한 엔진 아래 숨은 화재인 발지화재의 적용을 위해 모형엔진의 높이를 조절할 수 있도록 제작하였다. Fig. 3은 설계한 두 가지 모형엔진(Engine mock-up)의 사진이다.

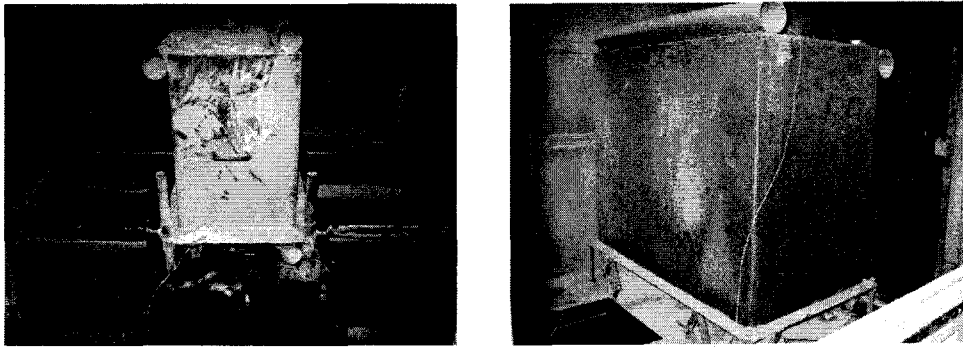


Fig. 3 Engine mock-up

### 2.1.3 화원 및 연료팬

각 소화시험에 사용되는 화원은 국내 선박용 기관의 특성상 대부분이 디젤기관인 점을 감안하여 경유를 사용하였는데 다만 원활한 점화를 위해 시험 직전에 약간의 휘발유를 첨가하였다. 연료를 담은 팬은 아래 Fig. 4와 같다. 연료팬에 먼저 물을 반쯤 채우고, 다시 경유를 적당히 채워 화원으로 사용하는데 이 때 연료는 5분 이상 충분히 연소할 수 있는 양으로 하였다. 또한 엔진 상단의 연료관이나 배기관에서 과열로 불이 나는 경우를 모사하기 위하여 실제 배기관에 감겨 있는 단열재를 모사한 암면을 모형엔진의 배기관에 부착하였고, 화재시험 시 경유를 침전시켜 화원으로 하는 소화시험도 실시하였다.

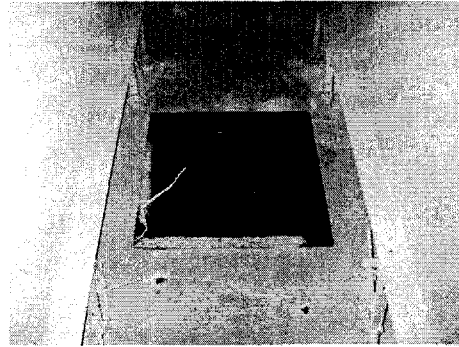
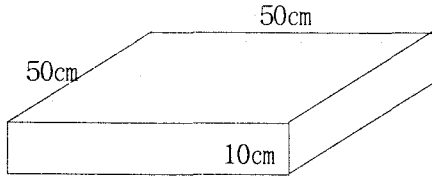


Fig. 4 Fuel pan

### 2.1.4 환풍기

실제 기관실 내에는 엔진의 연소에 필요한 공기와 환기구 및 급·배기 팬에 의한 공기가 유입되므로 실내에는 일정한 공기의 흐름이 있게 된다. 본 연구에서 선박신타조사 시 풍속계로 측정된 결과에 의하면 무인기관실 내 공기유속은 최저 2.5m/s에서 최고 6.6m/s의 분포를 보였는데 이는 분당 8m³ 내지 60m³의 공기를 기관실 내로 흡인하는 것에 해당하였다. 이를 위해 Fig. 5와 같이 환풍기를 설치하여 실험을 수행하였다.

Fig. 5 Ventilator

### 2.1.5 열전대 및 온도수집장치

화재시험 시 소화여부를 확실히 판단하기 위하여 각 화원에 열전대를 설치하고 실시간으로 화원 및 화재실내의 온도를 계측하였다. K형 열전대와 온도수집장치를 이용하여 화원의 온도를 초당 2회씩 측정하여 소화 여부 및 재발화 여부를 판단하였다. Fig. 6은 온도측정을 위한 장치들을 나타낸다.



(a) Thermocouple (b) Data acquisition unit

Fig. 6 Temperature data acquisition unit

## 2.2 실험방법

자동확산소화용구의 화재실험은 선박용 자동확산소화용구의 형식승인시험기준에서 적용하고 있는 화재실과 같은 크기의 화재모형실(24.3m³)과 10톤 미만 선박의 대표급인 8m³ 화재모형실에서 각각 수행하였다. 모형엔진의 수는 1대 또는 2대인 경우 모두 소화 특성을 살펴보고 화원의 위치와 개수를 달리해가며 소화성능을 확인하였다. 이 때 화재실의 환기구를 각각 개방하거나 폐쇄하여 실험을 수행하였으며, 특히 소화장치의 설치위치와 높이(엔진과의 수직거리)에 따른 소화특성을 살펴보았다. 본 연구에서 수행한 자동확산소화용구의 화재실험조건을 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1 Experimental condition

| 실험<br>번호 | 화재<br>실체적 | 엔진수 | 감열체<br>작동온도 | 화원<br>(연료팬번호) | 환기                    | 소화장치 위치<br>(엔진-노즐<br>수직거리) |
|----------|-----------|-----|-------------|---------------|-----------------------|----------------------------|
| 1        | 24.3m'    | 2대  | 93℃         | 5번            | 없음                    | 천장중심<br>(80cm)             |
| 2        |           |     |             | 1,2,5번        | 없음                    | 천장중심<br>(80cm)             |
| 3        |           |     |             | 3,4,5번        | 없음                    | 천장중심<br>(80cm)             |
| 4        |           |     |             | 1,2,5번        | 150cm×70cm×2곳         | 천장중심<br>(80cm)             |
| 5        |           |     |             | 1~5번          | 150cm×70cm×2곳         | 천장중심<br>(80cm)             |
| 6        |           |     |             | 1~5번          | 150cm×70cm×2곳<br>+양쪽문 | 천장중심<br>(80cm)             |
| 7        |           |     |             | 1,3,5번        | 150cm×70cm×2곳         | 천장우측중앙<br>(80cm)           |
| 8        |           | 1대  |             | 5번            | 150cm×70cm×2곳         | 천장중심<br>(80cm)             |
| 9        |           |     |             | 3,4번          | 150cm×70cm×2곳         | 천장중심<br>(30cm)             |
| 10       |           |     |             | 1~5번          | 20m'/min 강제배기         | 천장중심<br>(115cm)            |

먼저 Fig. 7과 같이 24.3m' 화재모형실 내에 대형 모형엔진 2대를 설치하고 연료팬 (50cm×50cm) 5개를 기관실 중앙, 좌우엔진 아래 그리고 각 엔진 앞쪽에 설치하였다. 각 연료팬에는 열전대를 설치하였고 화재모형실내 상단에도 열전대를 설치하여 점화 후 시간에 따른 화염과 화재실내 온도변화를 계측하였다.

화재시험은 화재하중이 낮은 화재로부터 점점 악조건으로 설정을 바꾸어가며 수행하였는데, 먼저 화재모형실 천장 중심에 93℃에서 동작하는 자동확산소화용구를 설치하고 바닥 한 가운데에 있는 5번 연료팬에만 화재를 발생시켜 시험을 수행하였다. 이 때 화재시험실내 급기나 배기는 하지 않았으며 환기구도 모두 닫은 상태로 시험하였다. 또한 화원수를 점점 늘려가며 모형엔진 앞(연료팬 ①,②)이나 아래(연료팬 ③,④)에도 화재를 발생시켜 시험을 진행하였으며, 화재모형실 앞뒤로 150cm×70cm의 환기구를 개방하거나 화재모형실 양쪽의 문을 열어 더욱 악조건인 상태에서 화재시험을 수행하였다.

또한 실제 선박에서 기관실 천장에 해치 등이 있거나 기타 조건 때문에 천장 중심에 자동확산소화용구가 부착되어 있지 못하고 옆으로 치우쳐져 설치되어 있는 경우가 많아 이와 같은 조건으로도 화재시험을 수행하였으며, 모형엔진 바로 위에 자동확산소화용구를 설치하여 엔진 아래 숨은 화재(빌지 화재)의 소화성능도 확인해 보았다. 이 때 엔진 상단과 자동확산소화용구 사이의 거리에 따른 소화성능을 확인하기 위해 자동확산소화용구의 설치 높이를 낮추어 소화성능을 확인해 보았다. 또한 8m' 화재모형실에서는 분당 20m'의 강제 배기시 소화성능도 확인해 보았다.

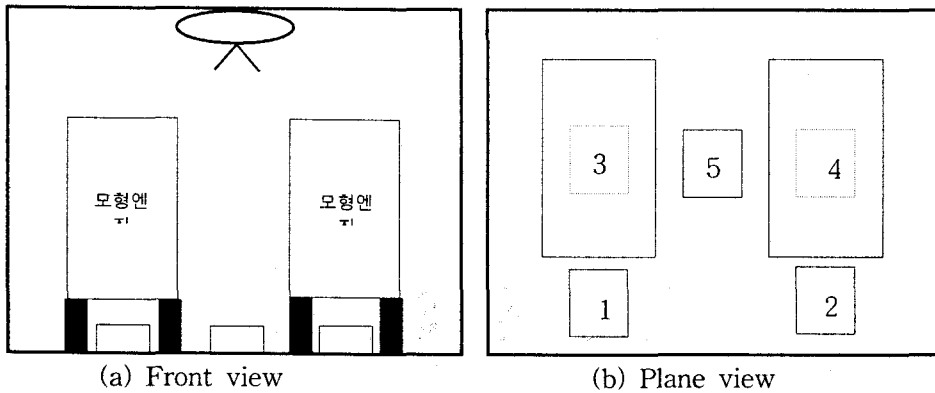


Fig. 7 Arrangement of engine mock-ups and fuel pans

### 3. 실험결과 및 고찰

실험은 우선 Fig. 7과 같이 자동확산소화용구가 천장중심에 설치되어 있고 화재모형실 양쪽으로 모형엔진이 배치되어 있는 조건에서 수행하였다. 화원이 기관실 중앙에 하나만 있는 경우 화재는 쉽게 소화되었으며, Table 1의 실험조건 2'5와 같이 화원이 양쪽 엔진 아래에 숨어있거나 엔진 앞쪽에 나와 있거나 또는 화원 5개가 모두 점화된 경우라도 소화장치는 점화 후 30초 안에 모두 동작하여 10초 이내에 모두 소화되어 엔진 아래의 숨은 화재에도 소화능력이 있는 것으로 확인되었다. 이 경우는 소화약제의 유동이 차폐되지 않는 소화에 유리한 조건으로 환기구가 밀폐된 경우는 물론 화재실 앞뒤로 개방되어 있는 경우에도 화원의 수에 상관없이 모두 쉽게 소화되었는데, 이때의 소화메커니즘은 노출되어 있는 5번 화원이 먼저 소화되고, 순간 엔진 아래 화원 3,4번 쪽과 5번 사이의 온도차가 커지며 밀도가 낮은 3,4번 쪽으로 기류가 급격히 이동하면서 소화약제가 함께 유동해 엔진 아래 숨은 화재까지도 무난히 소화시킬 수 있었던 것으로 사료된다. 그러나 6번 실험과 같이 화재모형실의 양쪽문까지 모두 열어 개구부를 크게 한 조건에서는 쉽게 소화되지 않는 결과를 얻었다.

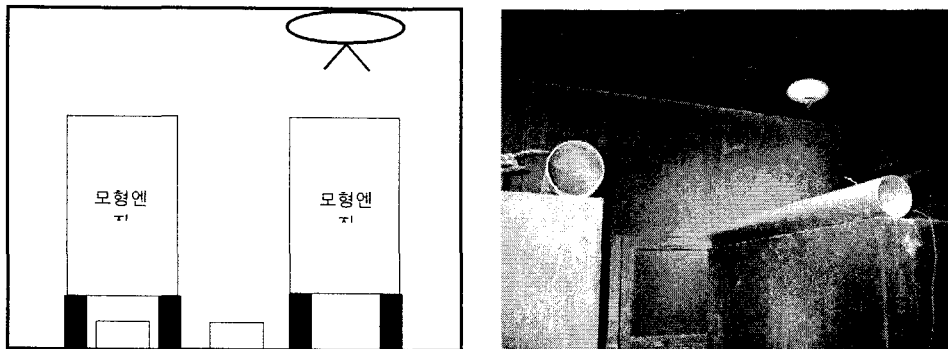


Fig. 8

한편 Fig. 8과 같이 소화장치가 기관실 중앙에 설치되지 않고 우측으로 편심되어 설치된 경우를 모사한 7번 실험 결과, 소화장치 아래에 있는 우측엔진에 의해 방출된 약제의 상당량이 차단되어 좌측엔진 아래의 화원들이 소화되지 못하였다.

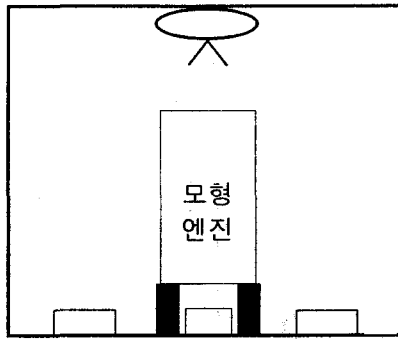


Fig. 9

이러한 효과를 좀 더 자세히 살펴보기 위해서 Fig. 9와 같이 모형엔진을 기관실 중앙에 1대만 설치하고 천장 중앙에 소화장치를 설치한 후 자연환기 조건에서 화원을 엔진 아래와 좌우측에 설치하여 화재실험(8번 실험)을 수행한 결과 엔진 아래 숨은 화재의 소화에 실패하였다. 이상의 두 실험으로부터 사방으로 넓게 확산되며 약제가 방출되는 자동확산소화용구는 가까이에 차폐물이 있는 경우 그 뒤에 가려진 화재에는 효과가 떨어지는 것으로 확인되었다.

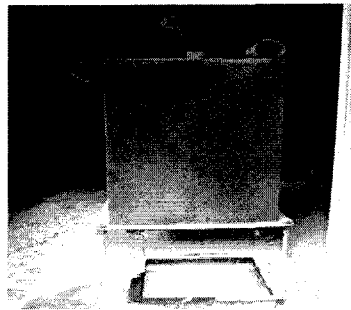
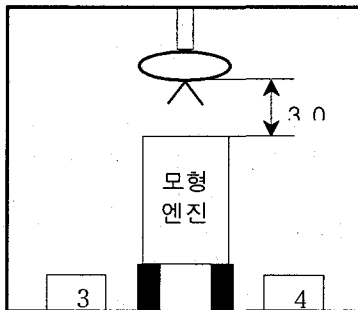


Fig. 10



Fig. 11 Fuel pans blocked by engines

한편 실제 무인기관실은 천장높이가 충분하지 못하고 엔진과의 이격거리가 협소한 경우가 많으므로 소화장치의 설치높이를 낮추어 8번 실험과 유사하게 실험을 수행해 보았다. Fig. 10과 같이 소화장치와 엔진상단과의 거리를 짧게 하고, 화원은 엔진 양쪽

에만 설치하여 실험한 결과 두 개 모두 소화에 실패하였다. 따라서 소형선박의 무인기관실에 설치된 자동확산소화용구는 설치장소 아래에 엔진 등의 차폐물이 있거나 특히 기관실 높이가 충분치 못하여 이격거리가 짧은 경우에는 소화성능에 심각한 문제를 야기할 수 있다고 판단된다. 또한 10번 실험에서 보듯이 기관실의 개구부가 넓거나 급배기량 많아 실내 유속이 높은 조건에서도 소화성능을 보장받지 못하는 것으로 나타났다. 이상의 실험 결과를 정리하면 Table 2와 같다.

Table 2 Experimental results

| 실험번호 | 소화성능    |         |         |           |
|------|---------|---------|---------|-----------|
|      | 작동시간(초) | 소화시간(초) | 방출시간(초) | 분사율(kg/초) |
| 1    | 19      | 6       | 13      | 0.23      |
| 2    | 17      | 6       | 12      | 0.25      |
| 3    | 21      | 9       | 13      | 0.23      |
| 4    | 28      | 4       | 11      | 0.27      |
| 5    | 18      | 7       | 12      | 0.25      |
| 6    | 27      | 실패      | 11      | 0.27      |
| 7    | 36      | 실패      | 11      | 0.27      |
| 8    | 44      | 실패      | 12      | 0.25      |
| 9    | 105     | 실패      | 12      | 0.25      |
| 10   | 35      | 실패      | 13      | 0.23      |

#### 4. 결론

가. 무인기관실에 설치된 자동확산소화용구는 약제방출이 차단되지 않는 조건에서는 3.0kg 짜리 1개의 소화장치로 24m<sup>3</sup> 체적의 공간을 방호할 수 있다.

나. 자동확산소화용구는 수직 하방향 인근에 차폐물이 있으면 소화성능이 떨어지며, 그 거리가 가까울수록 성능은 급격히 저하된다.

다. 소형선박의 무인기관실과 같이 소화장치의 설치 및 적용이 불리한 조건에서 현재의 법규정인 자동확산소화용구의 단순한 설치에 신중히 재고되어야 한다.

#### 감사의 글

본 연구는 해양수산부의 2005년도 선박안전기술개발사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. J. G. Quintiere, Principles of fire behavior, Thomson learning, 1997
2. 선박소방설비기준, 해양수산부 고시 제2004-61호, 2004
3. 선박용물건의 형식승인시험및검정기준, 해양수산부 고시, 제2002-94호, 2002
4. 고정식자동확산분말소화기의 형식승인시험기준, 해양항만청 고시 제88-46호, 1988
5. 선박법, 해양수산부, 1999
6. 소형선박 기관실화재의 방지에 관한 조사연구위원회 보고서, 일본소형선박검사기구, 1994
7. 자동확산형 분말소화기의 형식승인시험기준, 일본 국토교통성 고시, 2002
8. 박형주, 화재시험개론, 지인당, 1997
9. 이정훈, 선박의 화재안전도 평가에 관한 연구, 서울대학교 학위논문, 1999