

## 선박 기관실 국부화재시 안전한 장소에 관한 고찰

이경우, 김만용, 김창\*, 김민수\*, 김사웅\*, 김종진\*  
(사)한국선급, \*(주)윈

### A study for safe position from local fire in ship's engine-rooms

K. W. Lee, M. E. Kim, C. Kim\*, M. S. Kim\*, S. W. Kim\*, J. J. Kim\*  
Korea Register of Shipping, \*Corporation WIN

#### 1. 서 론

선박은 대량의 화물을 저렴한 가격으로 지리적인 제약없이 장거리 운송할 수 있다는 장점으로 인해 국제적인 운송수단으로 널리 사용되고 있다. 하지만, 선박은 대양을 비교적 오랜 기간동안 스스로 항해하여야 한다는 단점을 가지고 있어, 다른 운송기계에 비해 많은 설비들을 추가로 갖추어야 한다.

열악한 해양환경에서도 견딜 수 있는 강한 선체가 필요하며, 추진력을 발생시키는 주 기관(Main Engine), 전력을 발생시키는 발전기(Generator)와 발전기용 엔진(Generator Engine), 증기를 발생시키는 보일러(Boiler), 오랜 기간동안 사용할 연료유를 저장할 연료유 및 윤활유 저장장치 및 재생장치, 음식물 보관용 냉장장치, 압축공기 장치, 청수제조장치 등과 같은 많은 종류의 설비들이 선박 특히 선박의 기관실에 설치되며, 이러한 설비들은 선박의 안전하고 안정적인 운항에 꼭 필요한 설비들이므로, 기관실은 선박에서 가장 중요한 구역으로 취급된다.

하지만 기관실은 많은 발화원과 인화성물질이 집중되어 있어 항상 화재의 위험에 노출되어 있으며, 화재로 인한 선박의 위험을 방지하기 위해 화재탐지장치 및 소화설비가 집중적으로 배치되어 있으며, 여러 종류의 화재방지조치들이 강구되어 있다.

또한 선박의 안전을 위하여 UN산하 국제해사기구(IMO)에서 규정하여 국제적으로 시행하고 있는 해상인명안전국제협약(SOLAS)에서는 화재탐지장치, 소화설비 및 화재방지조치들에 대해 자세하게 규정하고 있으며, 각국 정부는 SOLAS<sup>[1]</sup>의 요건을 동일하게 적용하고 있다.

SOLAS에서는 기관실에 고정식국부소화장치(Fixed Local Application Fire Fighting System)를 설치하도록 요구하고 있으며 고정식국부소화장치의 조작장치를 기관실 내부 및 외부에 설치하도록 요구하고 있다. 또한 기관실에 설치되는 발전기의 연료유 공급장치에 차단밸브(Isolating Valve)를 설치하도록 요구하고 있으며, 기관실 내부에 설치되는 고정식국부소화장치의 조작장치와 차단밸브는 화재시에도 접근할 수 있는 장소에 배치하도록 요구하고 있다.

본 연구에서는 기관실 내에 국부화재가 발생한 경우에 국부화재를 진압하기 위해 작업자가 접근할 수 있는 장소에 대한 과학적 근거를 제시하고자 한다. 본 연구의 결과는 선박뿐만 아니라, 육상 플랜트의 기계실 등에도 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 2. SOLAS의 요건

Fig. 1과 Fig. 2는 고정식국부소화장치와 발전기엔진 연료공급용 차단밸브에 대한 요건을 나타낸 것이다.

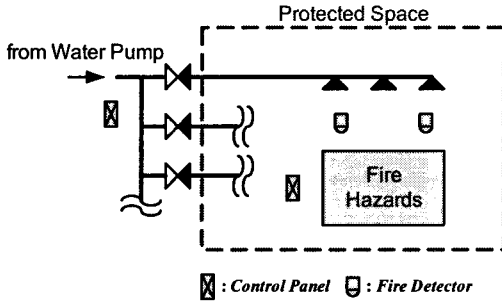


Fig. 1

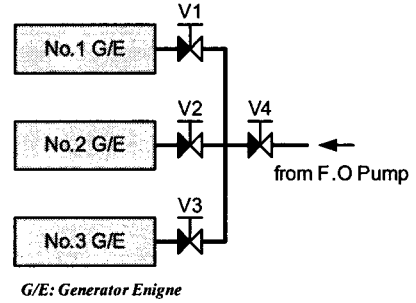


Fig. 2

Fig. 1에서 보여지듯이 고정식국부소화장치용 제어반(Control Panel)은 보호구역(Protected Space) 내부와 외부에 설치하여야 하는데, 내부에 위치하는 제어반이 화재 위험장소(Fire Hazards)에 너무 가까이 있는 경우에는 화재발생시에 작업자가 Control Panel에 접근하기가 어려워 초기 화재 진압이 어려워진다.

Fig. 2는 발전기엔진 연료공급용 차단밸브와 관련된 사항으로, 선박에서는 선내에 전기를 공급하기 위해 일반적인 화물선에서는 3~4대의 발전기엔진을 설치하고 평상시 운항중에는 1~2대의 발전기엔진을 운전하게 된다. 만약 Fig. 2에서 No.1 G/E과 No.2 G/E을 운전하고 있는 상황에서 No.2 G/E에 화재가 발생한다면, No.2 G/E에 공급되는 연료유를 차단하여야 한다. 화재가 발생하지 않은 No.1 G/E에는 연료유를 계속 공급하면서 화재가 발생한 No.2 G/E에 공급되는 연료유를 차단하기 위해서는 V2 밸브를 잠궈야 한다. 하지만, V2밸브가 No.2 G/E에 너무 가까이 위치한다면 작업자가 접근하여 밸브를 조작하기 어렵기 때문에 화재가 확산되어 선박내에 전기를 공급하지 못해 선박의 안전에 영향을 미칠 수 있다.

Table 1 Table 1 . Heat flux and related level of heat flux  
(from .Thermateq.-nology., March, 2002, Vatel Corp.)

Heat Flux	Related Level of Heat Flux
0.025 W/cm <sup>2</sup>	Heat flux radiating from a human body on a cold winter day.
0.14 W/cm <sup>2</sup>	Heat flux from the sun on a clear day in the tropics.
0.64 W/cm <sup>2</sup>	Heat flux 10 cm away from a 100 W incandescent light bulb.
1 W/cm <sup>2</sup>	Causes burn to human skin after 10 seconds.
5 W/cm <sup>2</sup>	Causes burn to human skin after 1 second.
10 W/cm <sup>2</sup>	Heat flux from a propane torch at the flame tip.
100 W/cm <sup>2</sup>	Heat from an oxy-acetylene torch at the flame tip.
6500 W/cm <sup>2</sup>	Heat flux on the surface of the sun (radiation only).

이러한 이유로 해서 SOLAS에서는 보호구역 내부에 설치되는 고정식국부소화장치용 제어반과 발전기엔진용 연료유 차단밸브를 화재 발생시에도 안전하게 접근할 수 있는 장소에 배치하도록 요구하고 있다.

하지만, 화재 발생시에도 안전하게 접근할 수 있는 장소에 대한 과학적인 근거가 부족하여 선박 설계시에 많은 혼선을 빚어왔다. 본 연구에서는 화재 발생시에 화재로부터 발산되는 열유량(Heat Flux)을 계측하고 그 결과로부터 화재시에도 안전하게 접근할 수 있는 장소에 대한 근거를 제시하고자 하며, Table 1의 자료를 이용하여 화재시에도 안전하게 접근할 수 있는 열유량을  $0.7 W/cm^2$ 으로 결정하였다.

### 3. 이론적 배경

화재로부터 발산되는 열유량을 계산하기 위해서는 우선 화재모델을 가정하여야 하는데, 본 논문에서는 IMO FP 44/INF.4에서 제시된 화재모델을 사용하였다. IMO FP 44/INF.4<sup>[2]</sup>에서는 내압을 받는 관에서 가연성물질(연료유)이 가압되어 분무되고 이렇게 발생한 화재가 화재를 Fig. 3에서 보여지는 원형화재(Cylindrical Flame)로 가정하였으며, 식(1)~식(4)를 이용하여 화염으로부터의 열유량을 계산하였다.

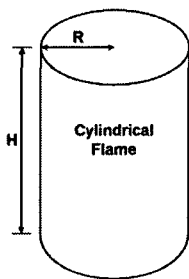


Fig. 3

$$E = \alpha R_f \quad (1)$$

여기서,  $\alpha$  : shape coefficient determined by equation (2)  
 $R_f$  : radiant heat ratio,  $2000 \text{ kcal}/m^2h$

$$\alpha = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left( \frac{m}{\sqrt{n^2 - 1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left\{ \frac{a - 2n}{n \sqrt{ab}} \tan^{-1} \left( \sqrt{\frac{a(n-1)}{b(n+1)}} \right) - \frac{1}{n} \left( \sqrt{\frac{n-1}{n+1}} \right) \right\} \quad (2)$$

여기서,  $a = (1+n)^2 + m^2$ ,  $b = (1-n)^2 + m^2$ ,  $n = L/R$   $m = H/R$   
 $R$  : radius of flame,  $m$ ,  $H$ : height of flame,  $m$ ,  $3R$

$$S = \pi R^2 = \frac{0.2^2 A V_0}{V_B} \quad (3)$$

여기서,  $S$  : 화염의 단면적,  $m^2$ ,  $A$  : 관의 단면적,  $m^2$ ,  $V_0$  : 누출속도,  $m/sec$   
 $V_B$  : 연소속도,  $0.28 \times 10^{-4} m/sec$

$$V_0 = C_d \sqrt{\frac{2P}{\rho}} \tag{4}$$

여기서,  $C_d$  : 분출계수, 0.6,  $P$  : 관내부의 압력,  $Pa$ ,  
 $\rho$  : 관내 연료유의 밀도,  $950kg/m^3$

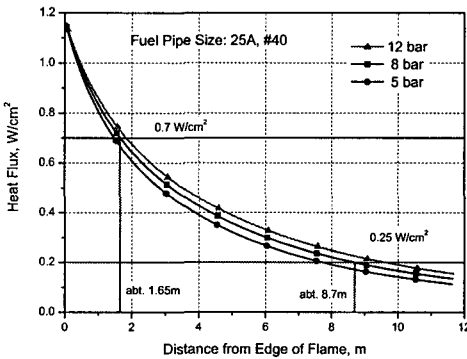


Fig. 4

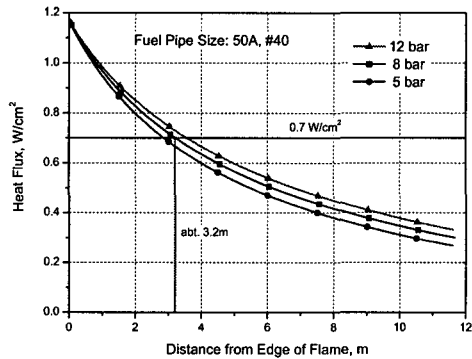


Fig. 5

Fig. 4와 Fig. 5는 각각 25A와 50A관에서 연료유 누출되어 화재가 발생했을 때, 화염으로부터의 거리에 따른 열유량을 나타낸 것이다. 하지만, 이러한 화재 모델에서 계산된 열유량은 너무나 많은 가정을 포함하고 있어 그 결과를 신뢰하기가 힘들다.

#### 4. 실험 및 결과

본 연구에서는 화재로부터 전달되는 열유속을 계측하기 위해 Fig. 6와 같은 실험설비를 설치하여 열유속과 온도를 계측하였다.

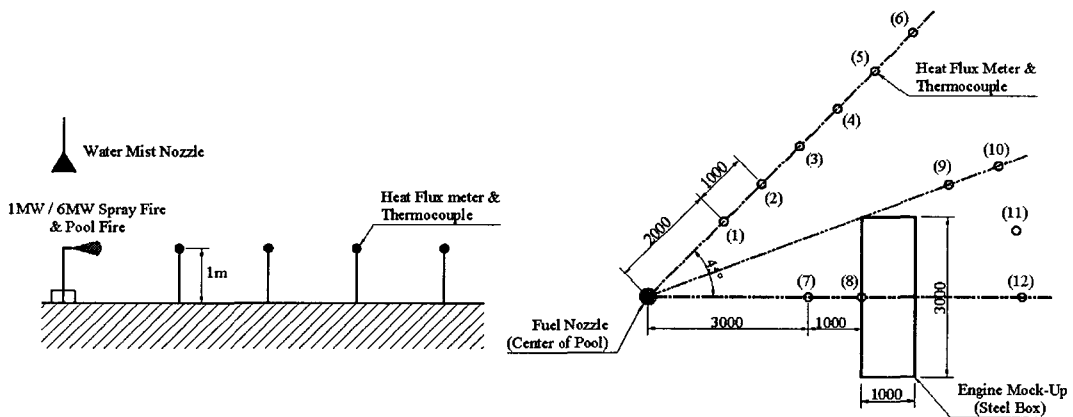


Fig. 6 Arrangement of Experiment for Heat Flux from Fire

Fig. 6에서 보여지듯이, 실험은 화재로부터 완전히 노출되었을 때와 방해구조물 (Obstruction)이 존재할 때의 Heat Flux를 동시에 계측할 수 있도록 실시되었다. 또한

고정식국부소화장치가 작동했을 때의 Heat Flux의 변화를 관찰하기 위해 F.O Spray Nozzle 상방에 Water Mist Nozzle을 설치하였다. 실험과 관련된 상세한 사항은 Table 2, Table 3 및 Table 4와 같다.

Table 2 Fire Scenario for Experiment

No.	Source of Fire	Firing Direction	Position of Heat Flux Meter	Kind of Fuel
6MW	6MW F.O Nozzle <sup>1)</sup>	To Mock-Up	6	Diesel Oil
1MW-1	1MW F.O Nozzle <sup>1)</sup>	To Mock-Up	6	Diesel Oil
1MW-2	1MW F.O Nozzle <sup>1)</sup>	To Mock-Up	10	Diesel Oil
Pool	Square Box <sup>2)</sup>	-	4	Heptane <sup>3)</sup>

1) Refer to IMO MSC/Circ.913, Annex, Table 3.2.2.1

2) 770 mm x 770 mm x 300 mm(Height) × 5 mm(Thickness) Steel Box

3) Height of water: 65 mm, Height of Heptane: 10 mm

Table 3 Experiment Condition

Heat Flux Meter	64-5SB-20, MEDTHERM Corp.
Amplifier for Heat Flux Meter	H-201, MEDTHERM Corp.
Thermocouple	K type
Installation of Heat Flux Meter & Thermocouple	1m above from ground
Size of Test Shop	20m(L)×15m(B)×13m(H)
Ambient Temperature	About 20℃

Table 4 Specification of Water Mist Nozzle

Approval Standard	MSC/Circ.913
Model No.	MistWin-T10(WIN Corp.)
Working Pressure	40 ~ 80 bar
K-factor	2.4
Max. horizontal nozzle spacing	2.5 × 2.5 m
Min./Max. vertical distance from object	0.5 m / 4 m
Actual vertical distance from fuel nozzle	1 m
Actual vertical distance from center of pool	2 m

Figure 5는 실험의 결과를 나타낸 것이다. fire source의 변화에 따른 각 지점에서의 온도변화에서 알 수 있듯이 화재 발생 지역 주변의 온도는 화재의 크기에 따라 크게 달라지며, 화재로부터의 거리가 멀어질수록 온도가 하락하며, 하락의 비율은 화재의 크기가 클수록 급격해진다. 또한 water mist가 분출된 이후에 일정한 시간이 지난 후에는 화재 주변의 온도가 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 또한 Water Mist System을 작동시킨 경우에 모든 종류의 실험에서 화재로부터 가까운 장소에서 온도가 일시적으

로 상승하는 현상이 나타나는데, 이는 화재가 발생했을 때에는 화재의 열이 상방으로 대부분 전달되게 되며, 이때 Water Mist가 분출되어 화재와 접촉하게 되면, Water Mist가 증발을 하게 되고, 화재의 상승기류와 Water Mist의 유동이 서로 부딪치며 증발열이 일시적으로 옆으로 분출되면서 나타나는 현상으로 판단된다.

Heat flux에 있어서는  $0.7 W/cm^2$  이하의 열유속에서 작업이 가능한 것으로 가정하였는데, M/E에서의 화재로 비유할 수 있는 6MW Spray Fire의 경우에는 화재로부터 7m 이상 떨어진 곳에서도 높은 열유속이 전달되므로 기관실 내에서 M/E으로부터 개방되어 있어 직접적으로 열유속이 전달되는 장소에서는 작업자의 접근이 불가능하다는 것을 알 수 있다.

G/E의 화재로 가정할 수 있는 1MW Spray Fire의 경우에는 7m가 떨어진 장소에서 약  $0.4 W/cm^2$ 의 열유속이 나타나므로, 계측된 온도와 비교하여 검토해 볼 때, 화재로부터 약 4~5m 정도 떨어진 장소에서는 G/E에서 발생한 화재로부터 열유속이 직접적으로 전달된다고 하더라도 작업자의 접근이 가능할 것으로 판단된다.

Bilge area 또는 oil coaming에서의 화재로 생각할 수 있는 Pool 화재의 경우에는 열유속과 온도가 1MW Spray Fire보다 약간 낮은 수준을 가지므로 작업자의 접근가능 위치에 대해서는 Spray Fire 만을 고려하여도 될 것으로 판단된다.

Figure 5에 나타난 계측결과에서 가장 주목하여야 할 부분은 1MW Spray-2의 결과이다. 기관실은 매우 복잡하고 밀집되게 배치되어 있으므로 화재가 발생했을 때, 열유속의 전달을 방해하는 많은 방해구조물(Obstruction)이 존재한다. 이러한 방해구조물을 고려하여 화재와 방해구조물(이 실험에서는 Engine Mock-Up) 끝단부의 일직선상에 존재하는 Position 10에서 열유속을 계측하였다. 계측결과 이 위치에는 열유속이 거의 전달되지 않았으며 이러한 결과는 온도 계측결과를 고려해 볼 때, Position 9, 11 및 12 또한 열유속이 거의 전달되지 않는다는 것이 확인되었다.

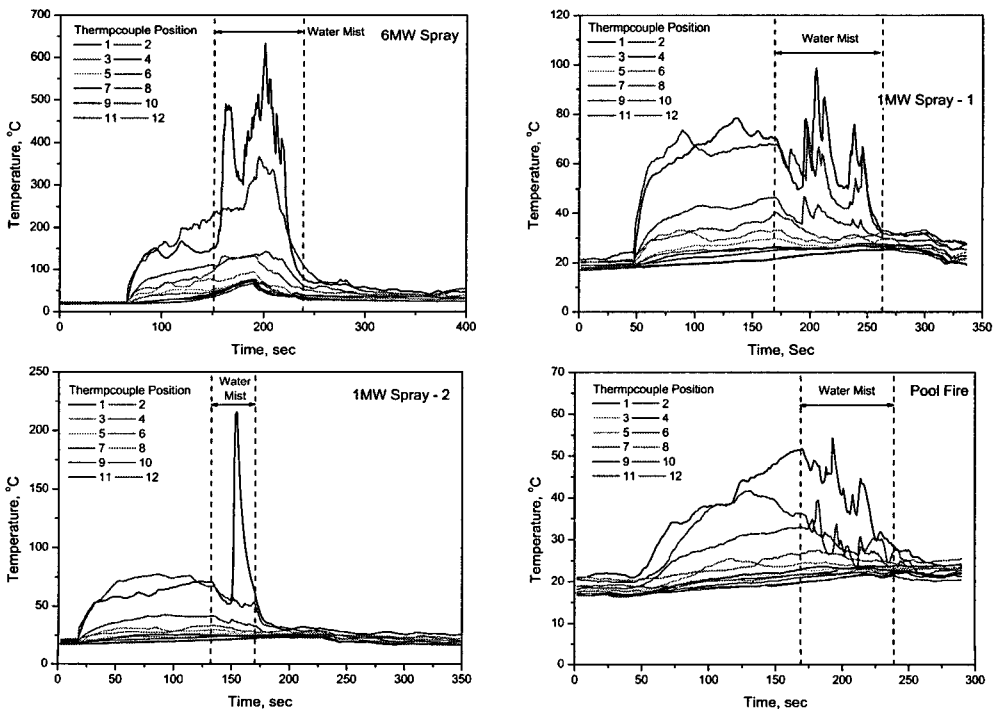


Fig. 7 (Continue)

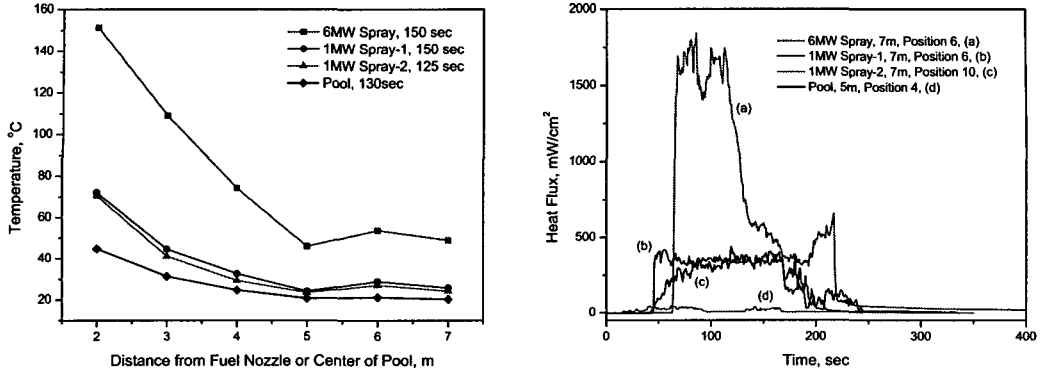


Fig. 7

## 5. 결론

본 연구를 통해 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) Main Engine과 대형의 화재가 발생할 수 있는 화재위험요소에 대한 화재안전설비의 조작장치를 화재위험요소와 같은 구역에 설치할 경우에는 반드시 열유속의 전달을 방해할 수 있는 방해구조물을 이용하여 배치하여야 한다.
- (2) Generator Engine, Boiler Burner, Incinerator Burner 등과 같이 상대적으로 소형의 화재가 발생할 수 있는 화재위험요소에 대한 화재안전설비의 조작장치를 화재위험요소와 같은 구역에 설치할 경우에는 가능한한 열유속의 전달을 방해할 수 있는 방해구조물을 이용하여 배치하거나 이러한 배치가 불가능할 경우에는 최소한 5m이상 떨어진 곳에 배치하여야 한다.
- (3) 화재안전설비 조작장치의 적절한 배치와 더불어 초기화재 진압 또는 화재의 확산을 방지하기하고 안전하고 신속한 화재진압작업을 위해서는 국부소화장치가 반드시 설치되어야 하며, 많은 종류의 소화장치 중에서도 인체에 무해하고 소화장치 작동중에도 작업자가 접근할 수 있는 Water Mist System과 같은 수계소화설비가 바람직할 것으로 판단된다.

## 5. 참고문헌

1. "International Convention for the Safety of Life at Sea", IMO, 2006 Consolidated Edition, IMO, 2006
2. "Result of the research on applicability of Formal Safety Assessment to comprehensive review to SOLAS chapter II-2", FP 44/Inf.4, IMO, 1999