

선박의 위험구역에 설치되는 인화성가스 탐지장치의 유효성

김만웅, 김성동, 이경우, 이영호*
(사)한국선급, ** 한국해양대학교

The effectiveness of flammable gas monitoring system in ship's dangerous spaces

M. E. Kim, S. D. Kim, K. W. Lee, Y. H. Lee*
Korea Register of Shipping, *Korea Maritime University

1. 서 론

선박은 자동차, 비행기 등과 같이 수송기계에 속한다. 선박은 대량의 화물을 장거리로 저렴하게 운송할 수 있다는 장점으로 인해 널리 사용되고 있다. 선박이 운송하는 화물은 크게 여객과 화물로 구분되고, 화물은 건화물(Dry Cargo)과 액상화물(Liquid Cargo)로 나눈다. 이 중에서 액상화물은 화물을 격납할 수 있는 화물탱크를 선박에 갖추어야 하며, 화물탱크는 그 구조와 재질이 화물의 종류에 따라 달라진다.

부식성이 아주 강한 화물을 운송하는 경우에는 내부식성 재질 또는 코팅을 하여야 하고, 극저온이 요구되는 액화천연가스의 경우에는 극저온용 재질을 사용하여야 한다. 특히 가연성 화물을 적재하는 경우에는 폭발 및 화재에 대비하여 여러 가지 방폭설비 및 방화설비와 관련된 요건들이 요구된다. 이러한 사항들은 화물의 종류에 따라 매우 달라지므로, IMO에서는 SOLAS^[1], IBC Code^[2] 및 IGC Code^[3]에서 각 화물의 특성을 고려하여 각각의 요건을 정하고 있다. 또한 액상화물은 특수한 몇몇의 화물을 제외하고는 가연성물질이므로, SOLAS, IBC Code 및 IGC Code에서는 다양하고 복잡한 방폭설비와 방화설비 요건을 제정하고 있다.

화물탱크와 같이 화물을 격납하기 위해 사용되는 구역을 화물구역이라고 하는데, 화물구역에서 방폭 및 방화설비의 기본 개념은 화재3요소 중 하나인 산소를 통제하는 것이다. 산소의 농도를 폭발 또는 발화 한계 이하로 조절함으로써 폭발 또는 발화를 근본적으로 방지하는 것이다. 이를 위해 화물탱크의 기상부에는 질소와 같은 불활성가스(Inert Gas)를 충전하여 통상적으로 화물탱크 내부의 기상부의 산소농도가 5%이하가 되도록 유지한다. 하지만, 화물구역 중에서 작업자가 수시로 출입하여야 하는 구역에는 산소농도를 조절할 수 없으므로, 화재의 3요소 중 발화원을 통제하거나 구역 내부에 존재하는 가연성 물질을 통제하여 폭발 또는 발화를 방지한다.

SOLAS, IBC Code 및 IGC Code에서는 항해중 또는 정박중에 작업자가 수시로 출입하는 화물펌프실에서의 가연성 물질을 통제하기위하여 화물펌프실에 가연성가스 탐지기를 설치하도록 요구하고 있다. 하지만, 화물펌프실은 송풍기를 통해 지속적으로 환기되고 있으므로, 내부의 공기유동이 매우 복잡하며, 가연성가스 탐지기를 잘 못 설치할

경우 가연성가스의 농도가 제한값 이상이 되더라도 가연성 가스를 탐지하지 못하여 폭발 또는 발화의 위험에 노출될 가능성이 매우 높다.

본 연구에서는 화물펌프실의 가연성가스 탐지기의 효과적인 배치를 위하여 실제 선박에서의 계측과 전산유체역학(CFD)를 이용한 계산을 실시하였으며, 계측과 계산의 결과로부터 화물펌프실 가연성가스 탐지기의 효과적인 배치를 위한 지침을 제시하고자하며, 본 연구에서 제시하는 지침은 선박의 화물펌프실 뿐만 아니라, 가연성 물질을 취급하는 육상설비의 기계실에도 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 화물펌프실의 개요와 요건

Fig. 1은 선박 화물펌프실의 개요를 나타낸 것이다. 좌측은 화물펌프실에 화물펌프를 설치한 형태이고, 우측은 각 화물탱크에 화물펌프를 설치한 형태이다. 좌측과 같은 경우에는 기관실(Engine Room)과 화물탱크 사이에 발라스트펌프실(Ballast Pump Room)이 배치되는데, 이러한 경우에 발라스트펌프실은 화물펌프실과 동등한 위험도를 가지는 것으로 간주한다.

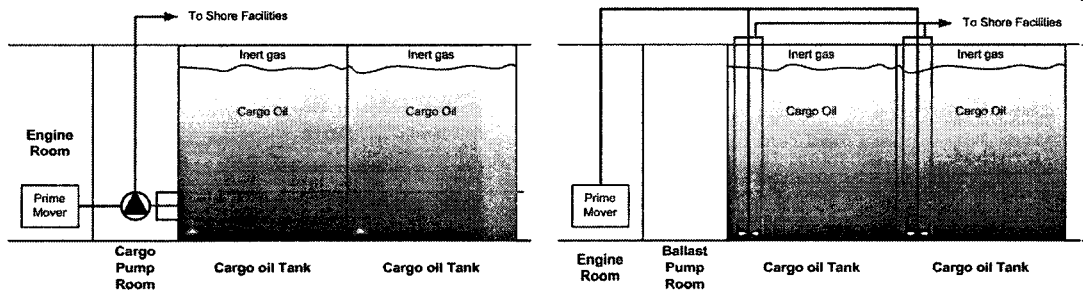


Fig. 1 Schematic Arrangement and Piping Diagram of Cargo Pump Room

참고로, 각 화물탱크에 화물펌프를 설치한 경우에 화물펌프는 기관실에 설치된 유압 동력원으로부터 유압을 공급받아 화물탱크 내에 있는 임펠러(Impeller)에 연결되어 있는 유압모터를 구동하여 펌프를 작동시킨다. 이외에도 많은 형태가 있을 수 있지만, 현재 건조되고 있는 선박은 Fig. 1의 두가지 형태를 주로 사용한다.

Fig. 1에서도 알 수 있듯이, 발라스트펌프실을 포함한 화물펌프실은 작업자가 수시로 출입하는 구역이므로, 항상 송풍기를 통해 통풍을 실시하고 있으며, 화물탱크와 인접하여 있어 화물증기가 항상 존재한다. 또한 화물펌프실의 경우 화물펌프로 화물을 이송하는 과정에서 화물이 누설될 수 있으며, 선박으로 운송하는 대부분의 액상화물은 가연성 물질이므로, 화물펌프실은 항상 폭발 및 발화가능성이 있는 구역이 된다.

이러한 이유로 해서 SOLAS Reg.II-2/4.5.10.1.3에서는 화물펌프실에 탄화수소(hydrocarbon)의 농도를 연속적으로 감시할 수 있는 탄화수소감지기를 설치하도록 요구하고 있으며, 공기의 유동을 고려하여 탄화수소 탐지기는 화물증기가 체류될 수 있는 곳에 배치하여야 하고, 탐지장치의 설정값은 LFL(Lower Flammable Limit)의 10%이내 가 될 것을 요구하고 있다.

하지만, SOLAS에서는 화물증기가 체류할 수 있는 장소에 대한 지침과 두가지 이상의 화물을 적재할 경우의 탐지장치 설정값을 어떻게 설정하여야 하는지에 대한 지침이 마련되어 있지 않아 요건의 취지에 적합하도록 탐지장치를 설치하는데 어려움이 많다.

3. 실선 계측 및 결과

Table 1은 8척의 실제 운항선박의 화물펌프실에서 계측한 결과로서, 화물펌프실에서 4곳의 장소를 선정하여 탄화수소농도를 계측하여 그 결과를 정리한 것이다. 이 계측 결과는 화물펌프실에서 탄화수소 농도가 가장 높아지는 화물 양하작업시에 계측한 결과이다.

Table 1 Measurement of the concentration of hydrocarbon in cargo pump-room

No.	Ship's Type	Atm. Temp.	Room Temp.	Measurement(Vol %)			
				1	2	3	4
1	Oil/Chemical Tanker	14	24	0	0	0.3	2.0
2	Oil/Chemical Tanker	14	25	0	0	0	0
3	Oil/Chemical Tanker	9	40	0	0	0	0
4	Oil/Chemical Tanker	13	24	0	0	0.1	0.3
5	Oil/Chemical Tanker	11	24	0	0	0	0
6	VLCC	20	34	0	0	0	0
7	VLCC	17	38	0	0	0	0
8	VLCC	19	35	0	0	0	0

Measurement Point

- 1: left side of 2nd deck floor 2: right side of 2nd deck floor;
 3: left side of bottom deck floor 4: right side of bottom deck floor.

Table 1의 결과를 보면, 계측을 실시한 선박들은 정비와 관리가 잘 시행되어 있어 펌프의 글랜드(Gland) 등을 통한 화물유류의 누출로 인한 화물증기의 축적이 없지만, 국부적으로 탄화수소의 농도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

4. 실험 및 결과

본 연구에서는 화물펌프실 내의 화물증기 축적에 관한 정보를 확인하기 위해 실험을 실시하였다.

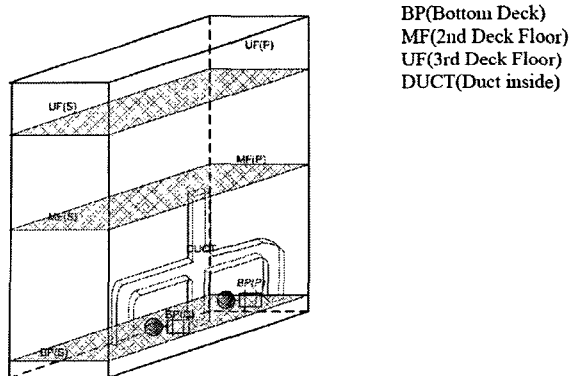


Fig. 2 Measuring points

본 연구에서는 Fig. 2에 나타난 바와 같이, 휘발유를 채운 트레이(Tray, 0.8mW×0.8mB×0.1mH)를 화물펌프실의 바닥판에 위치시키고, 화물펌프실의 여러 위치에서 탄화수소 농도를 측정하였다. Fig. 2에서 덕트는 200mm×200mm의 크기이고, 바닥판 상의 30cm 높이까지 연장되어 있다. 화물펌프실의 여러 위치에서 탄화수소 농도를 측정한 결과 트레이의 30cm 상방에서는 13.2%(Vol)로 측정되었으나 나머지 위치에서의 측정값은 아래의 표와 같다.

POINTS	BP(S)	BP(C)	BP(P)	MF(S)	MF(P)	UF(S)	UF(P)	DUCT
Flammable gas	0.8	1.2	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5

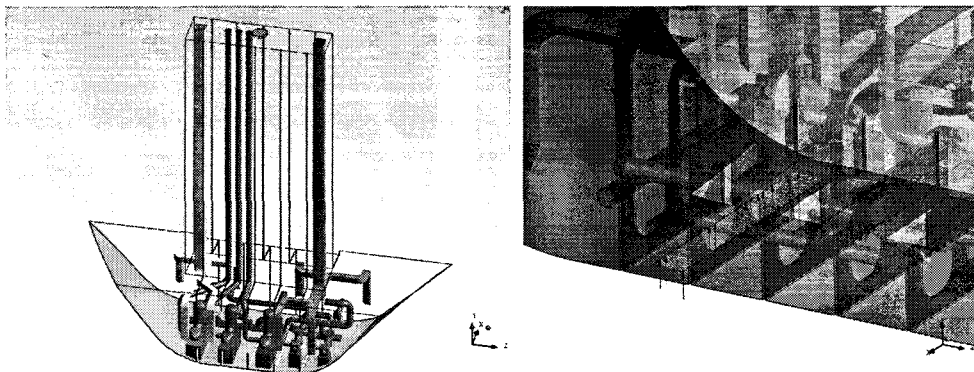
실험결과 2nd Deck 상방의 위치에서는 가연성가스를 전혀 탐지하지 못한다는 것을 알 수 있으며, 가연성가스 탐지기가 화물유가 누출된 위치와 매우 가까이 위치하는 경우를 제외하고는 가연성가스를 탐지하기가 매우 어렵다는 것을 알 수 있었다.

5. 계산 및 결과

상기의 실험결과를 확인하기 위하여 본 연구에서는 전산유동해석(Computational Fluid Dynamics Analysis)를 실시하였으며, Table 3와 같은 통풍장치를 설치한 VLCC(Very Large Crudeoil Carrier)의 화물펌프실에 대하여 해석을 실시하였다.

Table 3 Specification of ventilator

Volume of Cargo Pump-Room	Abt. 4,700 m ³
Fan Type	Exhaust, Axial, Explosion proof type
Capacity of Fan	50,000 m ³ /hour x 2 sets
Ventilator size	1,600mm (radius)

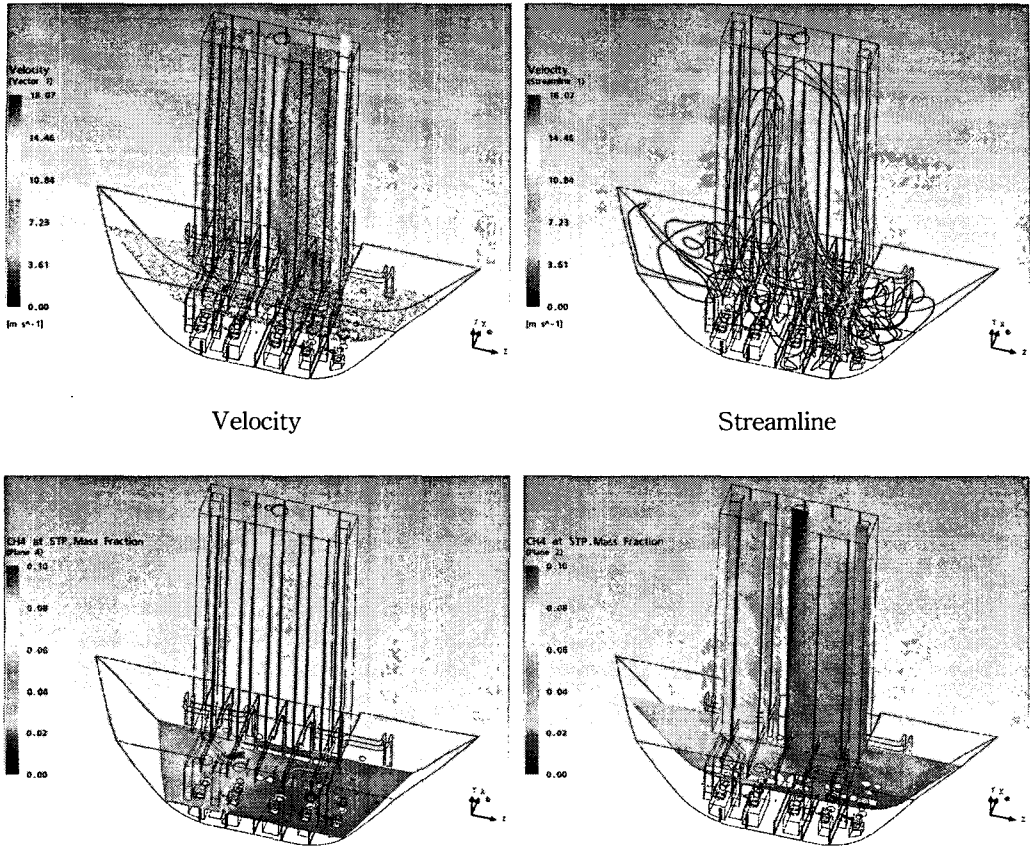


3D modeling

Leaked flammable liquid

Fig. 2 Modeling of cargo pump-room

Fig. 2는 전산유동해석을 위해 작성된 3D 유동해석모델을 나타낸 것으로서, 화물유는 화물펌프실의 바닥판상에 누출된 조건으로 하였다.



Flammable gas concentration(elevation 2m) Flammable gas concentration(section)
 Fig. 3 Results of computational analysis

Fig. 3는 계산결과를 나타낸 것이다. 계산결과 공기의 유동은 화물펌프실의 구석진 곳에 체류한다는 것을 알 수 있다. 하지만, 가연성가스의 농도는 누설된 액체가 있는 장소를 제외하고는 높게 나타나지 않는다는 것을 알 수 있다.

6. 결론

화물펌프실에 설치되는 가연성가스 탐지기는 아래의 사항을 고려하여 배치되어야 하며, 필요한 경우에는 실선 실험 또는 전산유동해석을 실시하여야 한다.

- (1) 화물펌프실의 형상
- (2) 배기덕트의 위치에 따른 공기유동 특성

또한 실선계측, 실험 및 전산유동해석의 결과를 고려해 볼 때, 가연성가스 감지기는 아래와 같이 설치하여야 한다.

- (1) 화물유의 누설이 발생할 수 있는 화물펌프 또는 화물펌프 사이의 직상방에 탐지

기를 설치하여야 한다.

- (2) 화물펌프실의 바닥판 상방 30cm 이내에 1개 이상의 탐지기를 설치하여야 한다.
- (3) 최대 10m 단위로 화물펌프실의 길이방향 및 횡방향으로 1개씩의 탐지기를 설치하여야 한다.

또한 2개 이상의 화물을 적재하는 선박에 대해서는 가연성가스 탐지기의 설정값은 아래의 식으로 얻어지는 평균 LFL(LFL_m)을 사용하여야 한다.

$$LFL_m = \frac{100}{\sum_{i=1}^n (C_{fi}/LFL_i)}$$

C_{fi} : the volume percent of cargo gas i in the gas mixture

LFL_i : lower flammable limit of cargo gas i in the gas mixture

7. 참고문헌

1. "International Convention for the Safety of Life at Sea", IMO, 2006 Consolidated Edition, IMO, 2006
2. "International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk (IBC Code)", IMO
3. "International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code)", IMO