

# Gas Fuelled Ship FGS 시스템에 대한 가스누출 조건 검토 및 CFD 해석

김 기평<sup>1</sup>, 강 호근<sup>1</sup>, 박 재흥<sup>2</sup>, 정 정호<sup>3</sup>

## Gas Leakage Condition and CFD analysis on Gas Fuelled ship FGS system

Kipyoung KIM<sup>1</sup>, Hokeun KANG<sup>1</sup>, Jaehong PARK<sup>1</sup> and Choungho CHOUNG<sup>2</sup>

**Abstract :** According to the requirement of Res.MSC.285(86) for natural gas-fueled engine installations in ships, pump and compressor rooms should be fitted with effective mechanical ventilation system of the under pressure type, providing a ventilation capacity of at least 30 air changes per hour. It generally considered that gas leakage is more likely from a Fueled Gas Supply System(FGS) room as compared to other places, where installed in many kind of machinery or equipments like gas supply high-pressure pipes, valves, flanges and etc. Furthermore, leaked gas may be dispersed in a short time in an enclosed space, especially a FGS room, due to high pressure. However, the present requirement in Res.MSC.285(86) just considers the ventilating capacity of air changes per hour but the capacity of leaked gas. Hence, the current requirements may not meet effectively when enforcing the new propulsion systems as marine fuel. This study is conducted for the purpose of safety evaluation about the dispersion and ventilation efficiency with estimated leakage scenario. Numerical analysis predictions as the result of this paper are explained to know the features of flow pattern and the diffusion of natural gas concentration.

**Key words :** Gas fueled ship(가스추진선박), IGC code(산적으로 액화가스를 수송하는 선박의 구조와 설비에 관한 국제규약), FGS (Fuel Gas Supply System, 가스연료공급시스템), Gas dispersion(가스방출, 가스분산)

### 1. 서 론

선박에서의 가스연료(Gas-fueled)는 주로 LNG선에서 사용되어 왔으며, 제반 위험을 줄이기 위해 IGC code에 상세하게 규정되어 있다. 최근 들어 여객선 및 화물선의 다양한 선종에서 가스 형태의 연료 사용은 일반적인 연료에 대한 대안으로서 더욱 관심이 증폭되고 있으며, 이러한 사안이 MSC 및 BLG의 여러 회기에 걸쳐 작업 프로그램으로 포함되어 있다. Res.MSC.285(86)으로 채택된 ‘선박에 설치된 천연가스 연료 사용 엔진의 안전 관련 임시 지침서’는 IGC code와 연계되어 있지 않으며, 현 규정(임시)은 많은 부분에서 검토가 필요한 실정이다.

Res.MSC.285(86)의 환기 요건에는 “펌프 및 압축기실에는 부압형식의 적절한 기계식 통풍장치가 제공되어야 하며 시간당 최소 30회 이상의 환기능력을 가지는 것이어야 한다.”, “주배전반 혹은 비상배전반으로부터 분리된 회로를 갖는 팬 혹은 주배전반 혹은 비상배전반과 공통의 배전반을 갖는 팬 그룹이 작동되지 않을 경우, 환기팬의 개수 및 전력은 전체 환기능력의 50%이상 손실되지 않는 것이어야 한다.”로 규정되어 있다.

현 규정은 가스누출량에 대한 고려는 전혀 없으며, 단지 체적(기기가 들어있는 chamber)만을 고려하여 환기 배출량을 고려하고 있다. 예를 들어 Res.MSC.285(86)의 규정에 의하면, 배출팬이 1.8 kg/s의 용량을 가지는 것이 설치되었을 경우에

가스 누출량이 1.8 kg/s이상 되었을 경우에는 누출가스가 폐워된 구역에서 일정기간동안 지속적으로 축적(accumulate)될 수 있으며 추가적인 화재폭발조건과 부합되는 경우에는 선박의 정상적인 운행이 불가능 할 수 있다. 이와 같은 현 규정의 보완을 위한 예측의 객관성을 확보하기 위해서는 Gas dispersion 및 Ventilation efficiency에 대한 수치해석결과 혹은 실험결과가 요구된다. 그러므로 본 연구에서는 Res.MSC.285(86)으로 채택된 규정 중 LNG fueled system에서 가스 누출이 가장 발생하기 쉬운 장소를 대상으로 Gas dispersion 및 Ventilation 수치해석을 수행하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 Brief overview on CFD analysis

새로운 추진시스템인 가스추진선박의 Fuel gas supply system에서 잠재적인 위험요소를 식별가능토록 하고 위험도 기반 설계를 구현하기 위하여 수치해석을 수행하고자 한다. Fig. 1은 가스연료탱크에서 LNG가스와 BOG가스가 연료공급시스템에 전달되고 적정압력과 온도로 ME-GI엔진으로 공급되는 개략도를 나타낸다. 여기서, 가스연료공급시스템에는 주로 압축기, 고압펌프, 고압기화기, 고압냉각기 등이 포함되며 그 개략도를 Fig. 2에 나타내었다. 그림과 같이 FGS 시스템이

+ 김기평((사)한국선급 해사연구팀),E-mail:kpkim@krs.co.kr, Tel: 042)869-9231

1 강호근((사)한국선급 해사연구팀),E-mail:hkkang@krs.co.kr, Tel: 042)869-9215

2 박재흥((사)한국선급 해사연구팀),E-mail:jaehpark@krs.co.kr, Tel: 042)869-9210

3 정정호((사)한국선급 해사연구팀),E-mail:chchoung@krs.co.kr, Tel: 042)869-9217

Deck 상부에 위치한 경우에는 시스템의 내부압력을 양압으로 유지하여 시스템 외부로 누출가스를 강제 환기시킬 수도 있으나, 이는 Accommodation의 위치 혹은 Bridge의 위치와 함께 고려되어야 한다. 반대로 FGS 시스템이 선박 내부에 위치하는 경우에는 시스템 내부의 압력을 음압상태로 유지시켜 가스누출 혹은 폭발 시 시스템 내부에서만 폭발 및 화염전파가 이루어지도록 설계한다. 본 연구에서는 Deck 상부에 FGS 시스템이 설치되며 양압을 유지시켜 2분 간격으로 FGS 시스템 내부 공기를 1회 순환시키는 송풍시스템을 적용한다. 이때의 공기유량은 6,600kg/h 이다.

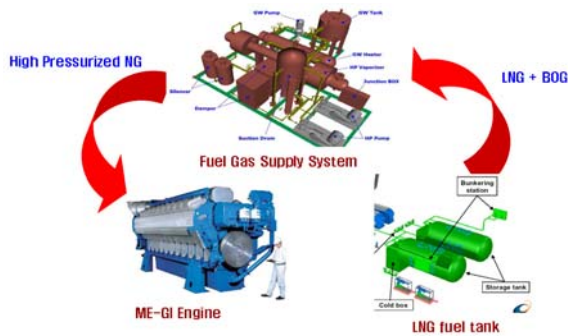


Fig. 1 Schematic of FGS system, LNG gas fuel tank and ME-GI Engine

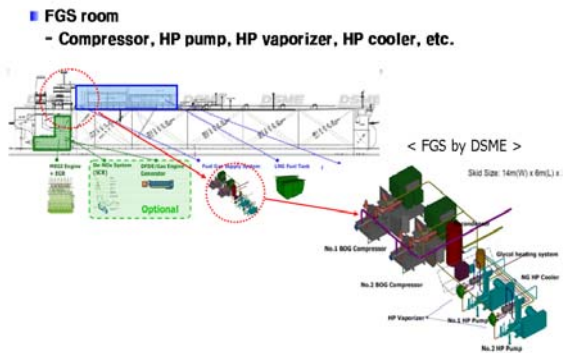


Fig. 2 Schematic of FGS room by DSME

## 2.2 Scenario

가스누출해석 및 폭발해석을 위해서는 시스템의 조건에 따른 가스누출 및 폭발 Scenario를 작성하여야 한다. 본 수치해석은 가스누출에 따른 환기시스템의 효율을 확인하는 해석으로써 FGS system과 관련한 IGF Code의 조건과 파공의 크기에 따른 가스누출량을 KOSHA Code를 이용하여 조건을 부여하였으며 Table 1에 나타내었다.

Numerical domain의 Skid size는 14m(W)x6m(L)x 2.5m(H)이며 작동유체는 공기와 메탄으로만 구성하였다. 메탄의 특성상 Fig. 3에서와 같이 약 5.5vol%~ 14vol%에서 인화성을 가지므로 본 해석의 후처리과정에서는 Lower flammable limit(LFL)인 약 50,000ppm 이상의 구역을 기준으로 순환조건에서의 메탄 잔류량 및 분포를 도식화하여 환

기효율성 및 설계 안전성을 검토하고자 한다.

Table 1. Gas leakage scenario

No	Leak hole Diameter [mm]	time to leak [s]	Mass flow of vent [kg/s]	Mass flow of leakage [kg/s]
1	12.7	8	1.5	0.0994
2	25.4	8	1.5	0.3978
3	38.1	8	1.5	0.8951
4	50.8	8	1.5	1.5912

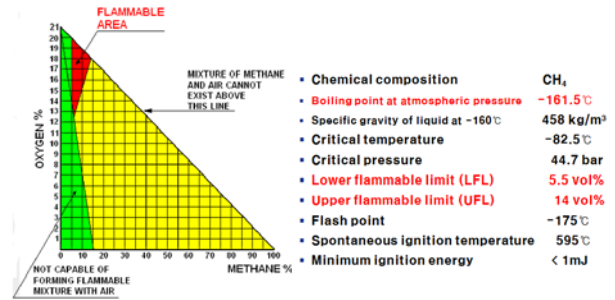


Fig. 3 Flammability condition of CH4

## 2.3 Boundary condition

Computational fluid dynamics(CFD)해석의 절차는 Fig. 4와 같으며 실제모델의 3차원 입체 모델링 이후에는 Geometry에 격자를 생성하게 되며 이때 수치해석 경계조건의 결정사항에 맞도록 선행적인 고려가 이루어져야 한다. 우선 경계조건의 특성을 파악하고 적용되는 난류모델을 선정하여 격자의 Quality를 보장하여야만 한다. 본 해석에서 사용된 난류 모델은 k-ε turbulent model을 적용하였으며 격자의 크기는  $Y^+ < 100$  조건에 적합하도록 생성하였다.

초기조건의 설정에서는 FGS 시스템의 Emergency valve가 차단되는 조건을 고려하여 가스누출은 약 8초간 지속되며 송풍기는 작동이 유지되어 120초간 해석을 수행한다. 가스가 누출되는 파트에서의 누출량 곡선을 Fig. 5에 나타내었다.



Fig. 4 CFD analysis procedure

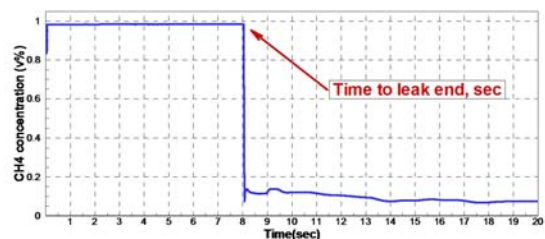


Fig. 5 Gas leakage curve on CFD result

## 2.4 Grid

본 해석에서 사용된 Total element는 약 11,000,000개, Total node는 약 2,000,000개이며 Fig. 6에 생성된 격자를 나타내었다. 구성물의 조합이 복잡하여 Hexahedral mesh의 생성에 필요이상의 많은 시간이 예상되어 I-Cem CFD 격자생성 프로그램을 이용한 Tetra mixed mesh를 구현하였으며 각 벽면에는 적절한 Turbulence model의 적용을 위하여 Prism mesh를 생성하였다.

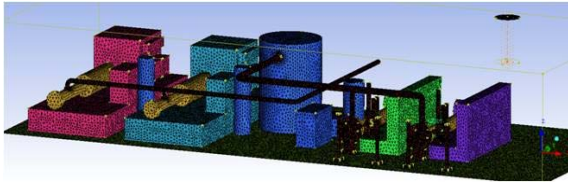


Fig. 6 Grid generation

앞서 언급한 CFD 해석절차에서와 같이 생성된 격자를 상용 코드 Ansys-CFX Pre 프로그램에 변환하여 경계조건을 부여하고 Solver 프로그램을 이용한 해석을 수행하게 된다. Fig. 7은 Ansys-CFX 프로그램으로 변환된 모델에 부여한 경계조건을 나타낸다. 벽면과 내부기기는 일반적인 Wall Function을 적용하였으며 FGS room 내부의 초기조건은 Air로 채워져 있으며 내부체적을 2분간 1회 순환시킬 수 있는 환기효과를 내기 위하여 입구에서 1.5 kg/s의 유량으로 Air를 주입한다. 출구부위는 자연적인 압력차에 의하여 압력을 유지하게 된다.

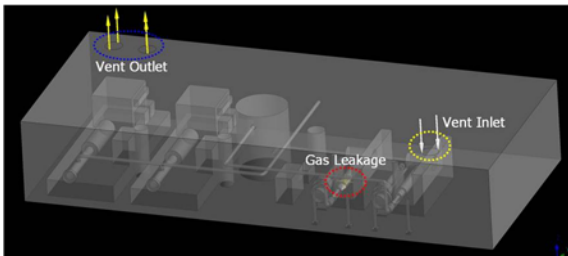


Fig. 7 Boundary condition of FGS system on ANSYS-CFX program

## 2.5 Result

본 연구는 가스추진선박의 FGS room에 대한 Methane Leakage를 통한 Dispersion 및 Ventilation에 대한 수치해석을 통하여 IMO에서 제시한 가이드라인의 보완점을 제시하고 선박안전설계의 자료를 마련하고자 진행되었다. 본 해석의 결과로써 Fig. 8 ~ Fig. 10은 앞서 제시한 가스누출 시나리오에 따른 해석경계조건의 결과이며, 해석 시나리오 Case 1 ~ 4의 환풍기 입구, 출구 그리고 해석도메인의 중앙부분을 모니터링 포인트로 지정하여 각 모니터링 포인트에서의 Methane concentration을 정량적인 그래프로 나타내었다.

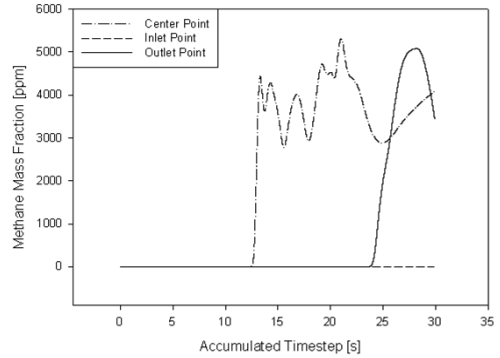


Fig. 8 Methane concentration at monitoring point on case 1 analysis result [Center, Inlet & Outlet]

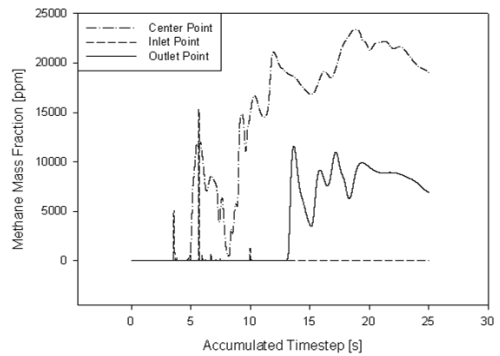


Fig. 9 Methane concentration at monitoring point on case 2 analysis result [Center, Inlet & Outlet]

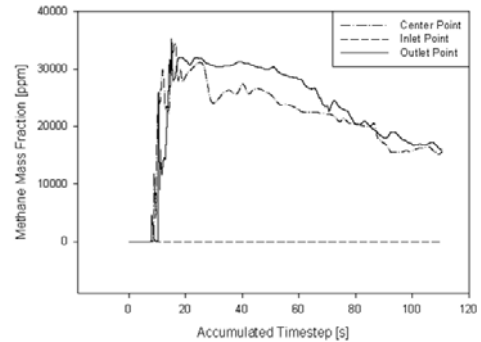


Fig. 10 Methane concentration at monitoring point on case 3 analysis result [Center, Inlet & Outlet]

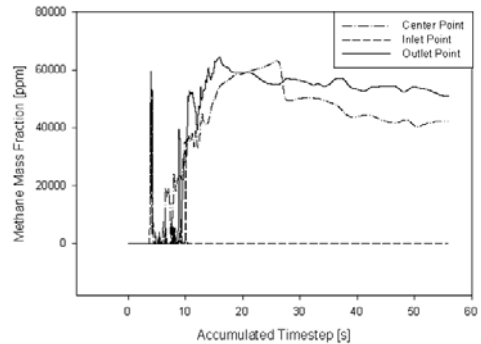


Fig. 11 Methane concentration at monitoring point on case 4 analysis result [Center, Inlet & Outlet]

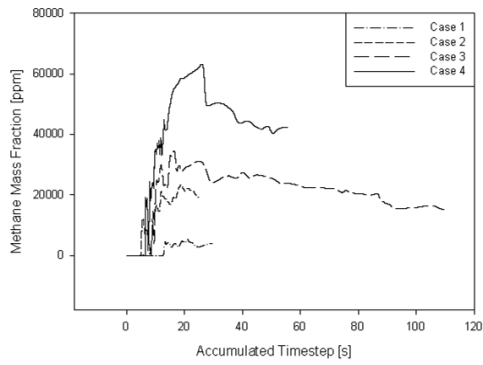


Fig. 12 Methane concentration at monitoring point of center part on case 1~4 analysis result

Case 1 ~ Case 3까지는 Methane의 Lower flammable limit(LFL) 5.5vol%에 도달하지 못하여 폭발의 위험은 적은 것으로 판단되나 Fig. 11의 Case 4의 경우에는 LFL과 Upper flammable limit(UFL) 14vol%의 조건에 부합하는 경우로써 현재 환기시스템의 적용 시 화재폭발의 위험성이 존재하게 되는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 12는 Case 1 ~ Case 4의 Center point에서의 Methane concentration을 나타내며 가시적인 결과 비교를 위하여 각각의 Case의 가스누출이 완료된 약 10초 이후의 Methane concentration 분포를 Fig. 13~ Fig. 16에 나타내었다.

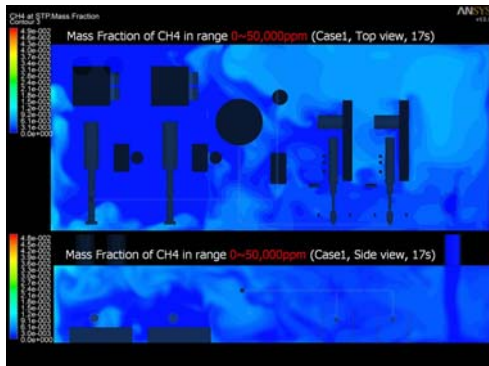


Fig. 13 Concentration of methane on case 1 after leakage about 17 second

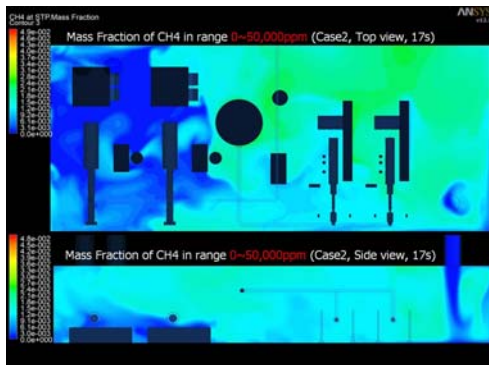


Fig. 14 Concentration of methane on case 2 after leakage about 17 second

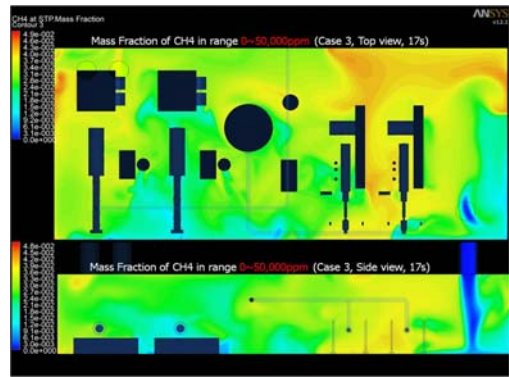


Fig. 15 Concentration of methane on case 3 after leakage about 17 second

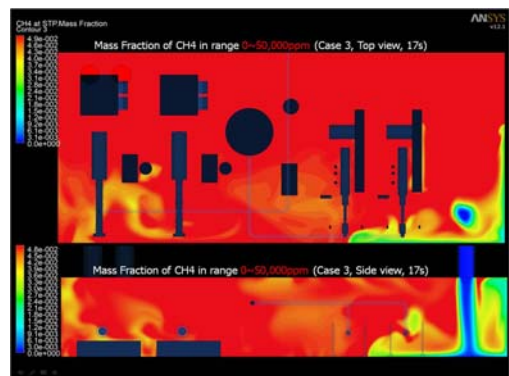


Fig. 16 Concentration of methane on case 4 after leakage about 17 second

### 3. 결론

본 연구에서는 가스추진선박의 FGS room에 대한 Gas dispersion 및 Ventilation efficiency검토를 위한 수치해석을 수행하였다. 가스누출 시나리오를 필요한 해석조건에 맞도록 설정하고 수치해석의 경계조건으로 지정하였으며, 파공의 크기에 따른 가스누출량에 따라 4 Case의 해석을 수행하였다. 해석결과로써 각각의 Monitoring point에서의 Methane concentration을 그래프로 나타내었으며 Case 4의 경우는 가스누출이 완료된 이후에도 LFL과 UFL의 범위 내에 있어 화재폭발의 위험이 있음을 확인할 수 있었으며 가시적인 결과의 비교·검토를 위하여 가스누출이 완료된 10초 이후의 Methane concentration분포를 그림으로 나타내었다.

### 참고문헌

- [1] Res.MSC.285(86) 결과보고서
- [2] 지하 공급관리소내 천연가스 고아분출시 환기효율성 검증, KIGAS Vol.6. No.1, March, 2002