

Funnel 설계 권고안

김승혁**, 정왕조*, 조원호**, 강대열**

삼성중공업 의장기술연구*
삼성중공업 운영종합설계팀 (종합설계)**

Funnel Design Guidance

Seung-Hyuk Kim*, Wang-Jo Jeong*, Won-Ho Cho** and Dae-Youl Kang**

Samsung Heavy Industries Marine System Research*
Samsung Heavy Industries General Design**

Abstract

Most important factor to consider funnel performance is exhaust gas temperature and exhaust gas concentration. Electric equipments on the wheelhouse top affected exhaust gas temperature. So, it is important that electric equipments keep away from high temperature. Though exhaust gas concentration is not a regulation and restraint, the exhaust gas can cause serious problems for the on-board air quality and result in irreversible damage to the ship and people. So, we focus on the exhaust gas concentration also. When judge whether a measured concentration is acceptable or not, criteria based on the LTEL (Long Term Exposure Limit). In this paper, we carried out the smoke simulation study. For this analysis, we used FLUENT which is commercial CFD (Computational Fluid Dynamics) code.

※Key words : Funnel (연통) , LTEL (Long Term Exposure Limit, 장기노출한계), FLUENT, CFD(전산 유체역학)

1. 서론

본 논문에서는 선박의 Funnel 설계시 고려해야 할 전반적인 사항에 대하여 그 동안 수행했던 전산해석을 바탕으로 설계 권고안 (Guidance)을 제

안하였다. Funnel 의 성능 평가시 고려해야 할 가장 중요한 사항인 Funnel 주위의 온도 분포와 배기가스의 농도를 중심으로 주요 설계 인자의 영향을 살펴보고, Funnel 주위의 유동 개선에 사용되어지는 부가물들의 영향도 함께 살펴보았다.

권고안은 설계 인자에 대한 조치사항과 온도와 배기가스 농도에 가중치를 적용하여 작성하였다.

†교신저자: seunghyuk.kim@samsung.com

2. 본론

2.1 Funnel 설계시 고려해야 할 사항

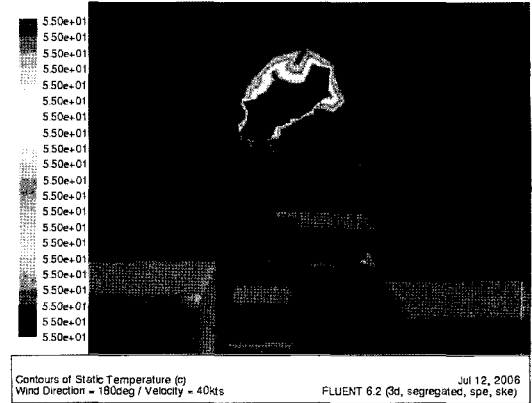
Funnel 설계시 고려해야 할 중요한 사항은 배기가스 배출온도에 의한 거주구 상부(Top)에서의 온도분포와 배기가스의 농도라 할 수 있다. 특히 온도는 거주구와 Funnel 이 일체형으로 되어 있는 컨테이너선에서 선미에서 바람이 불 때(선미풍) 문제를 일으킬 수 있고, 실제로도 여러 척의 실적 선에서 문제 발생이 보고되었다. 최근에는 환경, 안전 및 승무원의 건강 등 선박의 성능 이외의 것들에 대해서도 많은 요구를 하고 있는 실정이다. 따라서 배기가스의 농도는 Rule 이나 Regulation 사항은 아니지만, 근래에 많은 관심을 받고있는 요소이다. 그을음(Soot) 역시 거주구 Top 에 설치되는 각종 전장품의 오염을 유발시키므로 중요하게 고려해야 할 사항이긴 하지만, 정확한 해석이 어렵고 아직 검증이 되어있지 않기 때문에 본 해석에서는 제외하기로 한다. 다른 중요한 고려 사항인 속도벡터와 난류강도는 참고자료로 사용하였다.

2.2 온도에 영향을 주는 인자

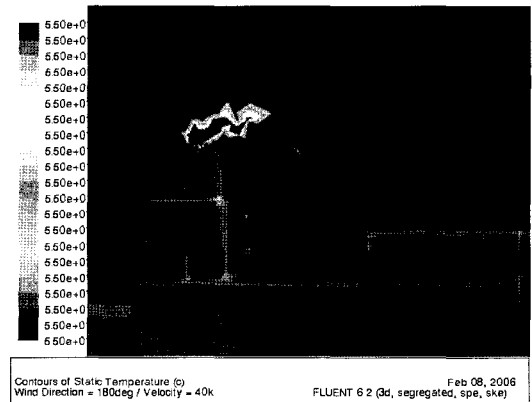
배기가스의 배출온도는 통상 200℃ 이상의 고온으로 레이더, 안테나와 같은 거주구 Top 에 설치된 각종 전장품 장비들이 배기가스 열에 의해서 손상을 받을 가능성이 항상 존재한다. 고온의 배기가스 열에 의한 장비의 손상 가능성을 감소시키기 위해서는 다음과 같은 설계가 필요하다.

첫째, 거주구와 Funnel 사이의 거리를 가능한 멀리 이격시켜 배치 한다. 두 구조물 사이의 거리가 멀면 선미풍일 경우 고온의 배기가스가 거주구 Top 에 근접하기 전에 대기에 의한 냉각효과로 온도가 감소하게 된다. 통상적으로 거주구와 Funnel 사이의 거리가 먼 원유운반선(Crude Oil Tanker, C.O.T.)나 LNG 운반선에서는 배기가스 열에 의한 손상문제가 없는 것을 봐도 쉽게 알 수 있다.

Fig. 1 은 컨테이너선과 LNG 운반선의 배기가스 온도분포를 나타낸 그림이다. 그림에서 붉은색으로 칠해진 영역은 배기가스 온도에 의해 장비들이 손상을 입을 가능성이 있는 영역이다. 배기가스의



컨테이너선



LNG 운반선

Fig. 1 Exhaust gas temperature distribution

배출온도가 비슷하더라도 안테나와 Funnel 사이의 거리가 멀기 때문에 LNG 운반선의 경우가 컨테이너선 보다 좋은 결과를 보인다.

둘째, 배기관 높이를 가능한 한 높게 한다. 배기가스 열이 장비에 손상을 주기 위해서는 배기가스가 거주구 Top 에 근접해야 한다. 배기관이 높으면 풍속이 커져야 배기가스가 거주구 Top 에 더 근접한다. 하지만, 풍속이 커지면 강제대류현상 때문에 냉각효과 역시 증가하여 배기가스의 고온부는 점차 감소하게 된다. 따라서, 배기관의 높이가 높을수록 열에 의한 손상을 받을 가능성은 감소하게 된다. 단, 이 경우 레이더의 스캐닝 영역을 고려하여 레이더의 운용을 방해하지 않도록 한다.

Fig. 2 는 약 2m 정도 높이 차이가 나는 Funnel

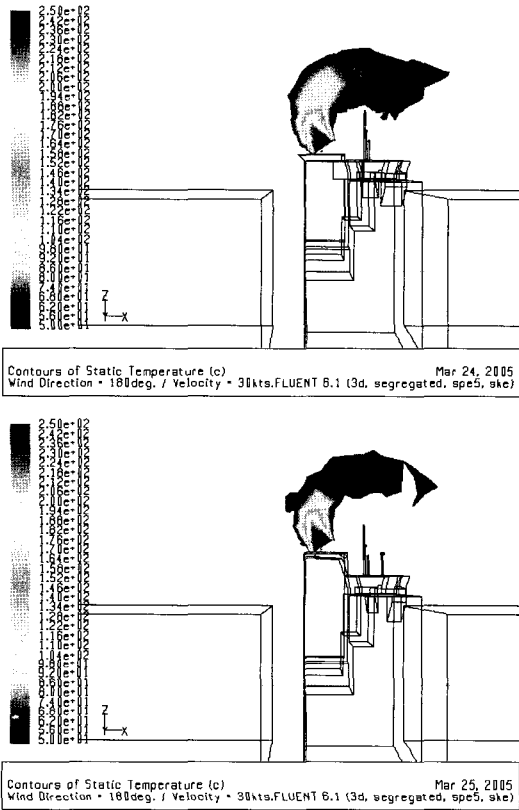


Fig. 2 Exhaust gas temperature distribution according to funnel height in Containership

을 가지고 있는 컨테이너선의 배기가스 온도 분포를 비교한 그림이다. 색이 표시된 영역은 배기가스 온도에 의해 장비들이 손상을 입을 가능성이 있는 영역이다. 그림에서 보듯이 Funnel 높이가 높을수록 배기가스 온도에 의해 손상을 입을 가능성은 줄어든다.

셋째, 배기가스의 배출속도를 증가시킨다. 증가된 배출속도는 거주구 Top 으로의 배기가스의 접근을 어렵게 하여 배기가스 열에 의한 각종 전장품의 손상 가능성을 감소시킨다. 배출속도를 증가시키는 방법으로는 배기관 출구를 노즐 형태로 제작하는 것이 검토될 수 있다. 이 경우 배출속도 증가로 인한 기관계의 영향이 반드시 평가되어야 한다.

2.3 배기가스의 농도에 영향을 주는 인자

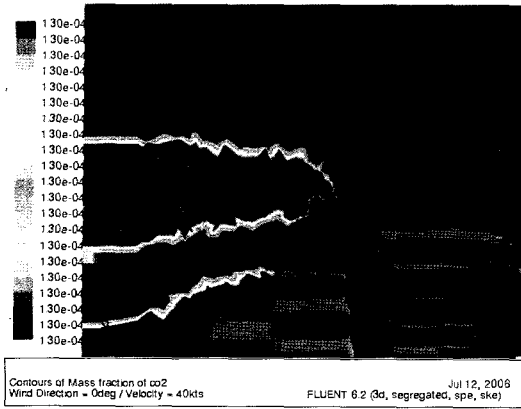
통상 선수풍의 경우 배기가스 중의 일부는 거주구로 인해 발생하는 유동 경계층을 뚫고 나가지 못하고 재순환되는 경향을 보인다. 이는 거주구 후부의 압력 감소에 기인하므로 이 경우 인접하여 설치된 Air Intake Fan 을 통해 엔진 룸 내부로 역류될 수 있으며 또한 거주구내의 승무원에게 건강상 악영향 및 불쾌감을 유발할 수 있다.

일반 상선에서 배기가스 농도에 대한 의무적인 Rule 이나 Regulation 사항은 없지만, 당 연구소에서는 Health and Safety Executive 의 EH40/2002 Guidance 의 권고 사항인 Long Term Exposure Limit (LTTEL)를 기준으로 평가하고 있다.

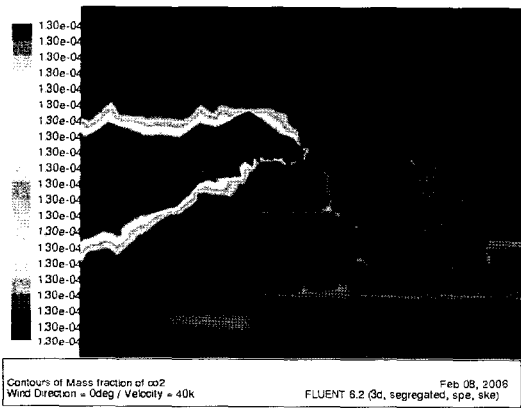
첫째, Funnel 및 엔진 룸 케이싱(Casing) 후부에서 재순환 유동을 최소화시키는 방향으로 설계한다. 컨테이너선의 예를 들면 컨테이너를 적재하지 않거나 부분 적재 상태에서 운항할 경우 거주구는 선수로부터 불어오는 바람(선수풍)을 직접 맞고 이로 인해 경계층이 형성되며 경계층 하부 및 거주구 후부에는 재순환 유동이 발생한다. 하지만 컨테이너를 만재(Full Loaded)할 경우에는 거주구 후부에 적재된 컨테이너는 압력감소에 기인한 재순환 유동이 발생할 공간을 제거함으로써 선미 끝부분으로 재순환 유동을 이동시키는 효과를 나타낸다. 또한 거주구 전부에 적재된 컨테이너에 선수풍이 직접 맞은 후 경계층이 상당히 발달(develop)된 후 거주구에 맞기 때문에 경계층의 높이를 어느 정도 감소시키는 역할을 한다. 따라서 경계층을 뚫지 못한 일부 배기가스가 존재하더라도 이것은 거주구와 상당히 떨어진 선미 근방에서 재순환되므로 거주구 근처에서 배기가스는 거의 존재하지 않게 된다.

이는 멤브레인형 LNG 운반선에서도 볼 수 있는 현상이다. 멤브레인형 LNG 운반선의 경우 거주구의 앞쪽에 Trunk Deck 이 상갑판(Upper Deck) 위로 올라와 있기 때문에 유사한 거주구 및 Funnel 형상을 가지는 원유운반선에 비해 다소 향상된 성능을 갖는다. 따라서 엔진 룸 케이싱을 가능한 한 체적을 크게 함으로써 압력 감소 및 재순환 유동이 발생할 공간을 제거하는 것이 바람직하다.

Fig. 3 은 원유운반선 및 LNG 운반선의 배기가



Crude Oil Tanker



LNG Carrier

Fig. 3 Exhaust gas concentration distribution

스 농도분포를 나타낸다. 그림에서 붉은색으로 칠해진 영역은 배기가스에 의해 장비들의 작동에 영향을 끼칠 가능성이 있는 영역이다. 원유운반선은 재순환되는 가스에 의해서 비슷한 형상의 LNG 운반선보다 엔진 룸 케이싱의 배기가스 농도가 높다.

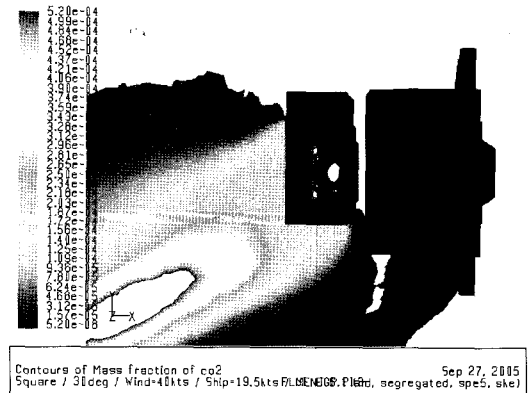
둘째, 배기관 높이를 가능한 한 높게 한다. 선수풍의 경우 거주구 앞쪽에 특별한 구조물이 없다면 바람을 받는 유일한 구조물은 거주구가 된다. 이로 인해 경계층이 형성되고 하부에 형성된 난류 영역을 뚫고 배기가스가 배출되면 거주구 주변에 배기가스가 잔존할 가능성이 적지만, 그렇지 않을 경우 재순환현상에 의해 배기가스가 잔존하게 된다. 경계층을 뚫고 나갈 수 있는 가장 효율적인 방법은 배기관의 높이를 높이는 경우이다.

셋째, 배기가스의 배출속도를 증가시킨다. 배기

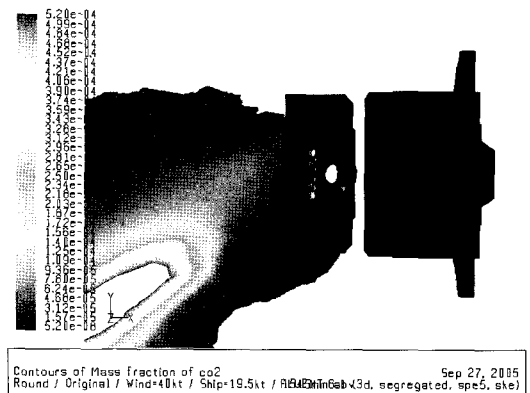
가스의 배출속도가 높을수록 풍속과 상관없이 경계층을 뚫고 나갈 가능성이 높기 때문에 배출속도를 높이는 것이 배기가스의 농도를 감소시키는 직접적인 방법이 된다.

넷째, Funnel 형상은 각진 형태(Square Type)보다 타원형(Elliptic Type) 혹은 곡률 모서리를 가진 형태(Round Type)를 권장하며 위치는 선박의 좌우 중앙에 위치시킨다. 만일 선박의 좌현 혹은 우현으로 치우쳐 배치해야 할 경우에는 Funnel 체적을 작게 한다.

Fig. 4 는 각진 형태와 곡률 모서리를 가진 Funnel 형상의 배기가스 농도를 비교한 그림이다. 곡률 모서리를 가진 Funnel 형상이 배기가스를 잘 배출해 내기 때문에 각진 형상에 비해 엔진 룸 케이싱 주변의 배기가스 농도를 보면 200 배 이상의



Square Type



Round Type

Fig. 4 Exhaust gas concentration distribution according to funnel type

일반 상선은 Funnel 이 선박의 좌우 중앙에 위치하고 Funnel 체적이 작아서 거주구에 기인한 난류영역 내에 포함되기 때문에 Funnel 자체의 형상이나 체적은 영향을 적게 미친다. 하지만 극지용 셔틀 탱커(Arctic Shuttle Tanker)의 경우처럼 Funnel 을 좌현 혹은 우현 한 쪽으로 치우쳐 배치하거나 신형 추진식 LNG 운반선의 경우처럼 상대적으로 큰 체적을 가지는 Funnel 이 설치되면, Funnel 의 일부가 바람을 직접적으로 맞게 되는 입사각에 노출되면, Funnel 의 형상 및 체적은 바람이 불어오는 방향 뒷부분의 난류영역 형성에 큰 영향을 미치는 인자가 된다.

다섯째, 각종 배기관들은 배출 성능을 향상시키는 방향으로 배치한다. 통상의 선박은 Fresh Air Intake 위치가 Engine Room Casing 의 후부 혹은 좌우 측면에 배치되는데 유량이 가장 많은 배기관을 선박의 중심에서 벗어나 배치하게 되면 치우친 쪽의 Fresh Air Intake 위치에서 배기가스의 농도가 증가된다. 같은 이유로 유량이 가장 많은 배기관을 중심으로 보기류 배기관을 좌우 대칭으로 배치한다.

한편 배출속도가 낮은 배기관을 맨 앞쪽에 배치하게 되면 강하지 않은 선수풍에도 영향을 크게 받아 뒤쪽에서 배출되는 배기가스에 악영향을 미칠 수 있다.

2.4 기타

앞서 설명했던 주요 인자들 이외의 Funnel 을 구성하고 있는 다른 인자들에 대한 영향은 다음과 같다.

첫째, 배기가스관의 배치는 주 엔진(Main Engine)용 배기관을 중심으로 밀집시키는 것이 유리하다. 배기가스 자체의 상승력은 유량과 속도에 의해 결정이 되는데 통상적으로 주 엔진에서 배출되는 배기가스가 가장 큰 상승력을 가지게 된다. 주엔진용 배기가스관을 중심으로 다른 배기가스관들을 모아주게 되면 전체적으로 단일 배기관의 형태로 하나의 상승력을 갖게 되어 배출성능에 보다 유리하게 작용한다.

둘째, 배기가스관의 배치는 좌우대칭으로, 선체 횡방향보다는 종방향으로 배치하는 것이 유리하다.

통상 선박이 운항시에 배기가스에 가장 큰 영향을 미치는 것은 선수풍이고 또한 온도에 가장 큰 영향을 미치는 것은 선미풍이기 때문에 배기가스관이 종방향으로 배치가 되면 선수풍과 선미풍에서 횡방향보다 상대적으로 강한 상승력을 가지게 되어 성능상 유리하게 작용한다.

셋째, 배기가스관의 경사각은 배기가스의 형태(Plume)를 바꾸지만, 특정한 경사각의 성능이 우수하다고 할 수는 없다. 대부분의 경우 배기가스 측면에서는 수직배기관이 유리하지만, 바람이 거의 없을 경우에는 오히려 배기가스의 농도가 더 높은 결과를 보였다.

넷째, Funnel 주위의 유동 개선을 위해 설치되는 여러가지 부가물 - Deflector, Spoiler 등 - 은 특정 풍향에 있어 유동 개선에 좋은 영향을 주기도 하지만, 여러 방향의 풍향을 고려할 때 부가물을 설치하지 않았을 때보다 오히려 안 좋은 성능을 보이기도 했다.

3. 결론

지금까지 Funnel 설계시 고려해야 할 중요한 인자들을 중심으로 성능에 미치는 영향을 살펴본 것이다. 이것을 토대로 아래와 같은 설계 권고안을 마련하였으며 괄호 안의 온도와 농도의 숫자(1~5)는 가중치를 나타낸다. 즉, 가중치의 숫자가 높을수록 중요도가 높다.

- 1) 배기관의 높이
 - : 가능한 높게 설치한다(온도: 5, 농도: 5).
- 2) 배기관의 배치
 - a) 유량 기준
 - : 최대 유량 배기관을 중심으로 배치한다
(온도: 4, 농도: 2)
 - b) 속도 기준
 - : 배출 속도순으로 선수부터 배치한다
(온도: 3, 농도: 2)
 - c) 위치 기준
 - : 횡방향보다는 종방향으로 배치한다
(온도: 3, 농도: 2)
 - d) 형태 기준

- : 배기관을 모으는 형태로 배치한다
(온도: 3, 농도: 2)
- e) 배기가스 배출속도
: 가능한 빠르게 배출시킨다. 단 엔진의 배압을 고려한다(온도: 4, 농도: 4)
- f) 거주구와 Funnel 간 거리
: 교호작용 존재(온도: 3, 농도: 1)
- g) 엔진 룸 케이싱 체적
: 가능한 크게 (온도: 1, 농도: 4)
- h) Funnel 형상
: 타원형이나 곡률형태 (온도: 1, 농도: 3)
- i) Funnel 위치
: 선폭방향의 중앙부에 위치
(온도: 2, 농도: 3)
- j) Funnel 체적
: 교호작용 존재 (온도: 1, 농도: 2)
- k) 배기관의 경사각
: 교호작용 존재 (온도: 1, 농도: 1)
- l) Funnel 부가물
: 교호작용 존재 (온도: 1, 농도: 1)

참 고 문 헌

- 정왕조, 2006, "Verification of wind sensor position", 마린 엔지니어링 학회, 2006 년도 전기 학술대회논문집, pp.171-172.
- HSE, 2003, "Occupational Exposure Limits 2003", EH40/202
- Samsung Heavy Industries Co., Ltd, 2003, "Wind Tunnel Tests with 270m LNG Carrier", *FORCE 2003064*,



< 김 승 혁 >



< 정 왕 조 >



< 조 원 호 >



< 강 대 열 >