

## 선박의 기관실 통풍 해석

이 혁\*\*, 서형균\*\*

대우조선해양(주) 선박해양기술연구소\*  
대우조선해양(주) 종합설계팀\*\*

### Ventilation Analysis for an Engine Room of a Ship

Hyeok Lee<sup>†</sup>\* and Hyung Kyun Seo<sup>\*\*</sup>

Ship & Ocean R&D Institute, Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd.\*  
Integrated Design Team, Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd.\*\*

#### Abstract

This study contains the CFD analysis to predict the flow in engine room and utilize the results as a reference for arranging smoke detectors. FLUENT, a commercial CFD code is adopted because of its good application experience in DSME(Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd.). The target is the engine room of VLCC, which was delivered in 2002. The model for analysis includes main structure elements, ventilation ducts, main engine and other big size equipment. From the analysis results, the internal flow pattern can be observed and some guidelines for the position of smoke detectors can be presented.

※Keywords : Engine Room(기관실), Ventilation(통풍, 공기조화), VLCC(초대형원유운반선), CFD Analysis(전산유체해석), Smoke Detector(연기감지기)

#### 1. 서론

선박의 기관실에는 운항을 위한 여러 시스템을 구성하는 장비들과 이들을 연결하는 수많은 배관 및 공기공급을 위한 덕트가 복잡하게 배치되어 있다. 중요한 시스템들이 대부분 모여 있기 때문에 기관실에는 화재에 신속히 대응하기 위해서 온도

감지기(Temperature Detector)와 연기감지기(Smoke Detector)를 설치하도록 선급에서 규정하고 있다(Lloyd Register 2002).

조선소에서는 선급규정에 따라 이러한 감지기를 설치하여 왔으나, 시운전 중에 실시하는 연기감지기 시험에서 상당수의 감지기가 연기를 감지하기 힘든 위치에 설치되어 있어 그 위치를 변경한 사례가 많이 보고되었다. 감지기의 설치 위치 변경은 선박이 거의 완성되고 시운전을 거친 이후에 이루어지는데, 이를 위해서 발판을 다시 설치해야 하는 등 많은 시수가 투입되는 작업이 요구된다.

접수일: 2003년 10월 6일, 승인일: 2004년 9월 7일

†주저자, E-mail: hlee@dsme.co.kr

Tel: 055-680-5571

이러한 이유로, 본 연구에서는 연기감지기 설치 위치가 적절한지를 시운전 이전에 판단하고 이를 설계에 반영하고자 기관실 내 공기유동 해석을 수행하게 되었고, 그 도구로 DSME 에서 그동안 공기 관련 유동 해석에 사용하여 좋은 효과를 얻었던 FLUENT 를 채택하였다(윤재돈/김용수 2001).

일차적으로 연기감지기의 설치 위치에 대한 구체적인 권고안을 작성하는 목적을 가지고 해석을 시작하였다. 하지만 해석이 진행되는 동안 연기감지기 설치 위치가 지적되는 사례가 많이 발생하지 않고, 기관실 같은 대규모 공간에 대한 공기유동 CFD 해석의 정량적인 신뢰도를 검증할 방법이 없는 관계로, 설치 위치에 대한 구체적인 권고안이 아닌 적절치 못한 설치 위치, 즉, 피해야 할 설치 위치를 추천하는 권고 사항의 제시를 목적으로 하였다.

## 2. 기관실 내 통풍, 공기조화

적절한 작업 환경과 장비 보호를 위해서 선박의 기관실에는 외기가 공급된다. 일반 상선에서는 기관실 케이싱에 위치한 Mushroom type 공기공급 팬 4 개가 덕트를 통해서 외기를 공급한다. 공기공급 팬 아래에 바로 연결된 4 개의 주 덕트에 공급된 외기는 복잡하게 배치된 덕트를 따라 각 갑판 별로 필요한 곳에 공급된다. 기관실 내 공기는 덕트를 통해 공급된 외기에 의해 천천히 밖으로 배출된다. 일반적으로 배출되는 곳은 연돌 뒤쪽에 위치하며 특별한 배출 장치는 없다. 요약하면, 일반 상선의 기관실 내 공기조화는 외기를 강제 공급하여 자연 배출시키는 공기순환 과정이다

## 3. 해석 대상

해석 대상 선박의 주요 제원(Principal Dimensions)은 Table 1 과 같다.

구체적인 해석 대상인 기관실의 공기유동 해석을 위해서는 공간(Volume)이 정의되어야 한다. 해석을 위해 새로이 정의되는 공간은 굵은 선으로 Fig. 1 에 개략적으로 나타내었다.

Table 1 Principal dimensions of a ship

LBP	320.0 m
Breadth_mld	58.0 m
Depth_mld	31.0 m
Draft_mld	20.8 m

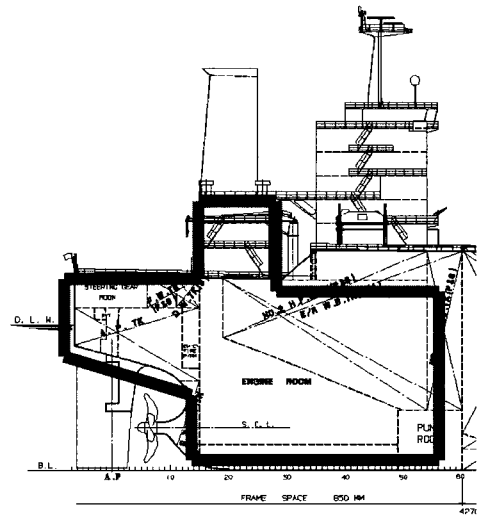


Fig. 1 Cross-section of an engine room

## 4. 기관실 모델링

### ▪ 구조 모델링

기관실 구조 모델링에는 기관실을 둘러싸고 있는 선체 외판과 강도 유지를 위해 배치되어 있는 각종 구조부재 들을 포함하였다. 해석대상으로 정의한 기관실 범위는 깊이 방향으로 볼 때, 이중저 탱크 윗부분(Double Bottom Tank Top)부터 기관실 케이싱 까지이다. DSME 에서 사용하는 선체 CAD 정보를 바로 사용하는 것은 공기유동 해석을 위한 모델링 작업에 그다지 큰 이득이 없고, 오히려 과도하게 자세한 형상정보를 사용함으로써 해석을 위한 격자수가 크게 증가되어 해석용 서버에서 계산 가능한 격자수를 초과할 수도 있다. 이 때문에 구조 모델링에는 출도된 선체건조도면과 선형자료를 이용하였다. 완료된 모델을 Figs 2~3 에 나타내었다.

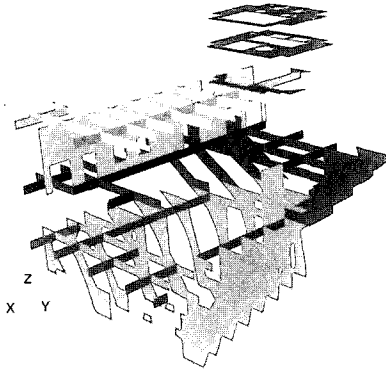


Fig. 2 Structure model 1

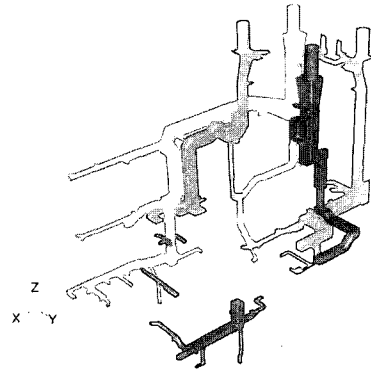


Fig. 4 Duct model

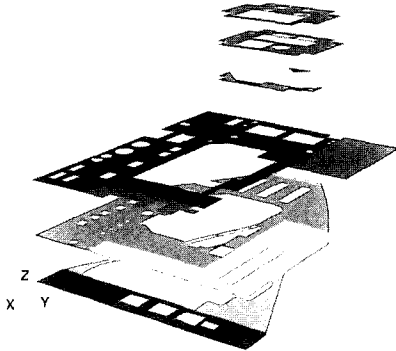


Fig. 3 Structure model 2

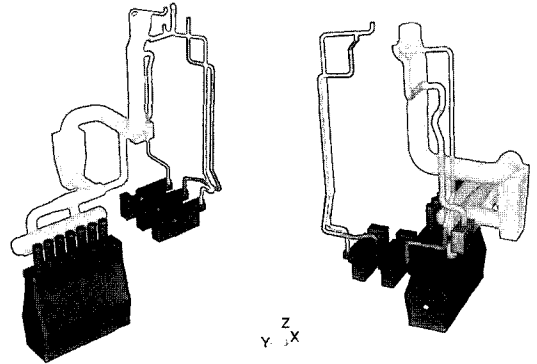


Fig. 5 Main engine & piping model

▪ 의장품 모델링

의장품들은 그 모양과 설치 위치가 매우 다양하기 때문에, 출도된 도면을 이용하여 직접 모델링하는 것은 상당한 시간을 필요로 한다. 다행히 설계용 CAD 도면이 있어서 의장품을 일일이 모델링하는 작업은 피할 수 있었다. 하지만, 상세한 형상 정보를 포함하고 있는 설계용 CAD 도면은 공기유동 해석을 위한 형상 모델링에 바로 사용될 수 없었다. 왜냐하면, 공기유동에 주는 영향이 미미한, 크기가 작은 의장품이나 큰 의장품의 작은 부분들의 간략화가 필요했기 때문이다. 같은 이유로, 간략화는 다른 경우에도 적용하였는데, 높이가 갑판 높이의 1/3 정도보다 작은 의장품과 1000A 이하인 배관들을 모델링 대상에서 제외하였다. Figs

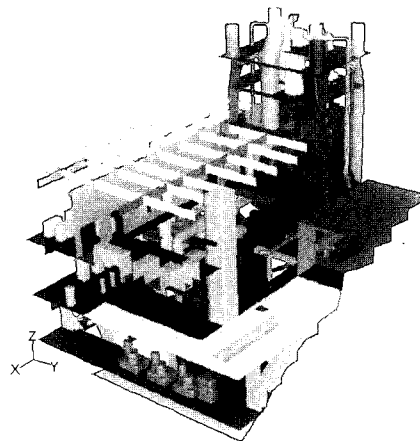


Fig. 6 Total engine room model - inside

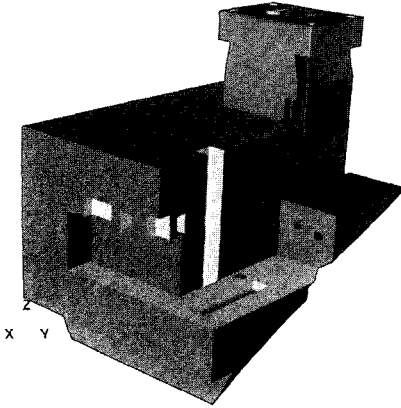


Fig. 7 Total engine room model - outside

4~5는 각각 덕트 모델, 주기관 및 Piping을 나타낸다.

## 5. 기관실 전체 모델링

구조 모델링과 의장품 모델링을 거쳐 만들어진 각 모델은 기관실 전체 모델을 만들기 위해서 하나의 모델로 통합하였다. Fig. 6은 하나로 합쳐진 기관실 전체 모델의 내부를 나타내고, Fig. 7은 기관실 전체 모델의 외부를 나타낸다.

## 6. 격자 생성

CFD 해석을 위해서 GAMBIT으로 완성된 전체 기관실 형상모델에 격자를 생성해야 한다. FLUENT는 CFD 해석방법 중 FVM(Finite Volume Method)를 사용하며 비정규격자계(Unstructured Grid)를 사용한다(Fluent Inc. 2001a).

원론적으로, CFD 해석에서는 문제에 따라 해당 물리 현상과 대상을 잘 표현할 수 있는 격자계를 선택해야 하는데, 본 해석은 정량적인 신뢰도보다는 우선 유동의 경향을 파악하는 데에 그 목적이 있고, 더욱이 해석 대상인 기관실의 모양이 매우 복잡하여 육면체 격자로는 표현하기 힘들므로, 모든 공간에 대해 사면체 격자를 사용하였다. 격자 품질 향상을 위하여 복잡한 공간에 대해서는

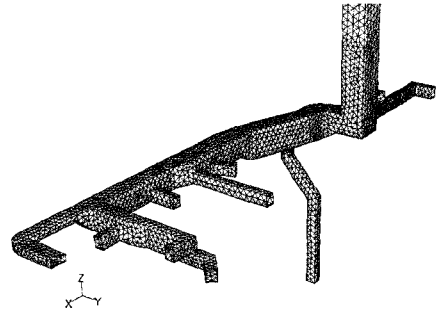


Fig. 8 Ventilation duct model & grid

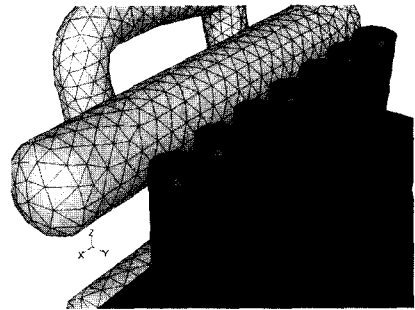


Fig. 9 Main engine model & grid

각각의 면(Surface) 격자에 일일이 격자의 일그러짐 정도(Skewness)를 검토하여 격자를 생성하였다(Figs 8~9). 이러한 과정을 거침으로써 예상보다 상당히 적은 격자수를 갖는 적절한 품질의 격자계를 생성할 수 있었다. 최종적으로 생성된 총체적격자(Volume Mesh)는 150만여 개였으며, Skewness가 0.8 이상인 체적격자의 비율이 0.5% 이하였다.

## 7. 해석 조건

본 해석에서는 RNG  $k-\epsilon$  난류모델을 채택하였고, 운동량과 난류 관련 물리량에 대해 First Upwind 수치해석 방법을 사용하였다(Fluent Inc. 2001b). 실제 기관실 내 공기유동은 주기관이나 장비들로부터 발생하는 열에 의한 영향을 받지만, 덕트를 통해 빠른 속도로 공급되는 공기가 주는 영향이 지배적이라 가정하였다.

입구 경계조건은 외기가 공급되는 덕트 배출속

도를 설계 풍량으로부터 계산하여 속도 입구조건 (Velocity Inlet Condition)을 적용하였고(김성은 등 1990), 출구 경계조건은 대기압 출구조건 (Atmospheric Pressure Outlet Condition)을 적용하였다. 출구 경계는 케이싱과 연돌이 연결되는 공간 내의 평면으로 정하였는데, 실제 배출구가 있는 곳은 아니지만, 이곳을 통과하는 공기 압력과 실제 배출구에서의 공기 압력 모두 대기압과 거의 같다고 봐도 무방하다. 그 외 경계는 모두 벽면 경계조건(Wall Boundary Condition)을 적용하였다.

### 8. 해석 결과

해석시 경계조건으로 적용된 각 덕트 배출구의 외기 배출속도는 16 m/s ~ 4 m/s에 걸쳐 있는데, 기관실 내에서 공기는 대부분의 공간에서 1 m/s 정도로 이동함을 해석결과로 알 수 있었다. 이렇게 대부분의 공간에 걸쳐 상대적으로 작은 속도로 공기가 이동되는 것은, 외기가 공급되는 덕트 배출구에 비해 기관실 내부가 매우 크기 때문이라고 판단된다. 기관실 내 공기순환 양상을 보면, 덕트 배출구가 있는 갑판 뿐만 아니라 다른 갑판에서도 넓은 공간에 걸쳐 공기가 이동이 일어난다는 것을 알 수 있었다. 넓은 공간을 거친 공기는 최종적으로는 압력이 낮은 케이싱 방향으로 이동하여 연돌 쪽을 통해 배출되는 것도 확인할 수 있었다.

기관실 내의 전반적인 공기유동을 더 상세히 알아보고자, 전체 기관실 모델 중앙을 가로지르는 관찰 평면(Observation Plane)을 만들어 이 평면에서의 공기유동을 살펴보았다. Fig. 10는 관찰 평면의 전체적 유동 양상을 보여주는 속도벡터이다. 공기의 흐름이 비교적 빠를 것으로 판단되는 덕트 배출구 주변과 장비 근처, 그리고 케이싱을 제외한 부분에서, 공기가 거의 같은 속력으로 이동하는 것을 볼 수 있다. 주기관 주변의 공기유동은 일정한 방향의 흐름없이 회전하는 모습을 보여준다. 이는 덕트 배출구를 통해 서로 다른 방향으로 공기가 공급되기 때문이다. 공기가 밖으로 배출되는 통로 역할을 하는 케이싱 부근의 공기유동을 보면, 대기압 조건을 적용한 출구에 가깝기 때문

에 기관실의 다른 부분에 비해 상대적으로 유동 속도가 빠른 것을 확인할 수 있다.

기관실 내 공기유동은 출구의 대기압과 공급되는 공기의 압력 등에 기인하는데, Fig. 11에서 보이는 정압 분포도를 보면 공기가 어떻게 흘러가는지 파악할 수 있다. 즉, 압력이 높은 곳에서 압력이 낮은 곳으로 공기가 흐르게 되므로(White 1994), 압력 차이가 크지 않은 기관실 내 넓은 공간을 공기가 복잡한 형태로 이동하다가, 결국 압력이 낮은 케이싱을 통해 배출구 쪽으로 이동하여 대기 중으로 배출된다.

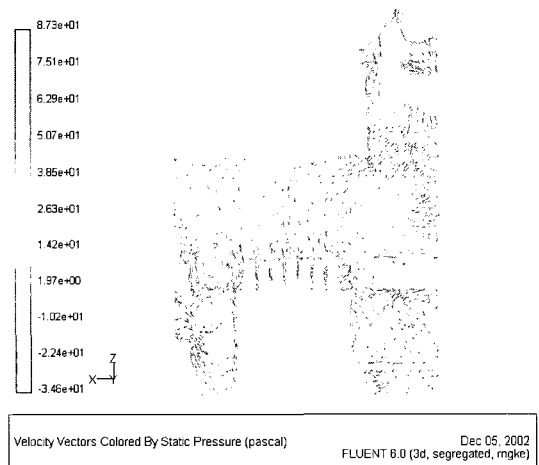


Fig. 10 Velocity vector in the observ. plane

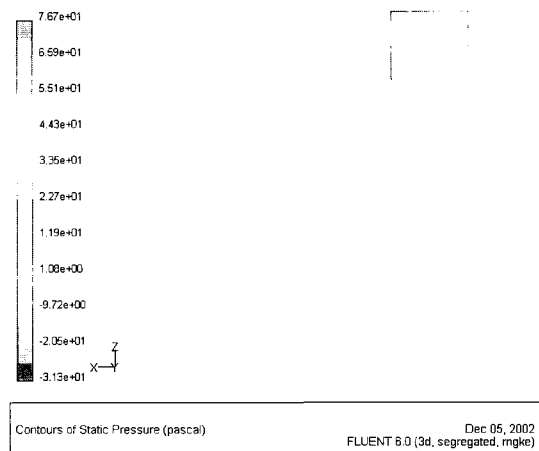


Fig. 11 Static pressure in the observ. plane

### 9. 국부 공기유동 - 연기감지 시험 비교

개략적인 연기감지기 설치 권고 항목을 제시하기 위해, 해석 대상 선박 연기감지 시험 사진 자료와 CFD 해석 결과를 비교하였다. 이 비교를 통해 해석 결과의 정성적인 타당성이 확인되면 이로부터 개략적인 연기감지기 설치 권고 항목을 마련할 수 있을 것이다. 본 해석은 연기(Smoke)유동을 포함하지 않고 있으므로, 연기감지 시험과 직접적인 비교를 할 수는 없지만, 연기감지 시험에서 관찰되는 연기 이동 모습과 해석 결과 중 유동의 Pathlines 을 비교하는 것은 충분히 타당하다고 판단된다. 하지만, 많은 가정을 갖고 있는 CFD 해석을 규모가 크고 내부가 복잡한 대상의 공기 유동에 적용한 처음 단계이므로, 앞으로 많은 개선 여지가 있다는 점도 염두에 두어야 할 것이다.

연기감지 시험은 선주와 선급 입회하에 시운전 시 수행하는데, 선박이 정상상태로 운항하고 있고 기관실 통풍 시스템(Engine Room Ventilation System)이 작동하고 있을 때, 갑판 별로 선급 검사원이 지정하는 위치에서 연기를 발생시켜 화재 경보(Fire Alarm)가 울리는지 확인하는 시험이다. 참고로 DSME 시운전부에서는 운반이 용이한 연기발생기를 자체 제작하여 이 시험에 사용하고 있다.

연기감지 시험시 여러 곳에 연기발생기를 놓고 관찰하였는데 그 중에서 연기 관찰이 비교적 잘 되었던 두 곳의 사진 자료와 해석결과를 비교하였다. Fig. 12 에서 작은 화살표가 가리키는 곳이 연기가 발생되어 나오는 곳이며, 큰 화살표는 연기가 이동하는 방향을 나타낸다. 발생된 연기가 공간에 빠르게 퍼지기 때문에 해석결과와 Pathlines 와 같은 연기 흐름을 관찰하는 것은 상당히 어려운 일이었다. 제한적이긴 하지만, 관찰한 두 곳의 국부 공기유동이 해석 결과(Pathlines)와 공기유동의 경향이 같음을 확인할 수 있었다(Fig. 12 과 Fig. 13 / Fig. 14 과 Fig. 15).

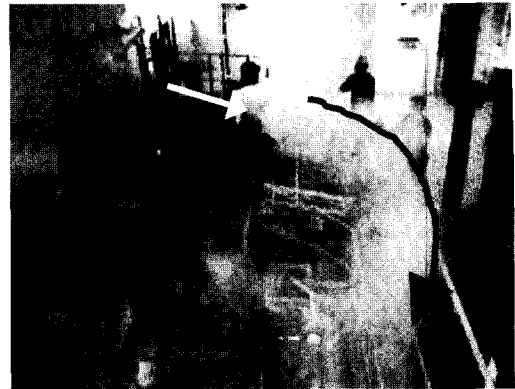


Fig. 12 Smoke test at position 1

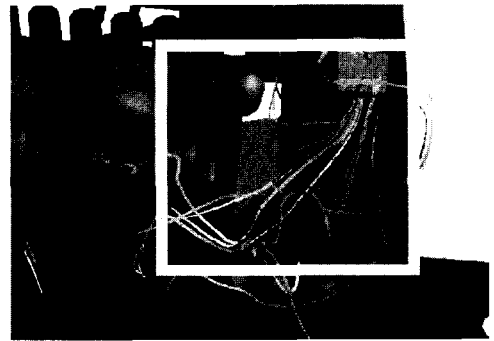


Fig. 13 Air Flow pattern at position 1



Fig. 14 Smoke test at position 2

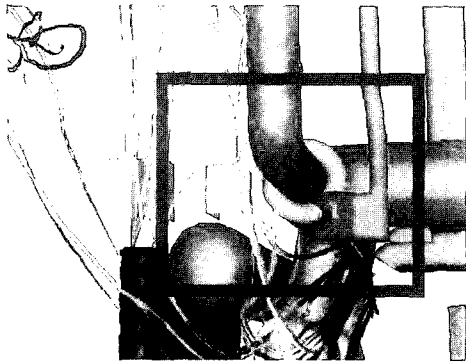


Fig. 15 Air flow pattern at position 2

10. 결론 및 향후 방향

CFD 해석을 통해 규모 크고 그 내부가 복잡한 선박의 기관실 내 공기유동을 살펴보고, 제한적이거나 이를 실선 연기감지 시험과 비교할 수 있었다. 몇몇 위치의 국부적인 유동을 연기감지 시험과 비교한 결과, CFD 해석을 통해 얻은 공기유동이 전반적으로 실제유동과 유사함을 확인하였으며, 이를 통해 아래와 같은 개략적인 연기감지기 설치 위치 권고 항목을 제시할 수 있었다.

덕트 배출구 주변, 특히 덕트 배출구 위쪽에 연기감지기 설치를 피한다.
덕트 배출구보다 갑판으로부터의 높이가 낮게 연기감지기를 설치한다
주기관이 위치한 중앙부 갑판 끝단의 연기감지기는 다른 곳보다 갑판으로부터 더 낮은 위치에 설치한다
갑판으로부터 낮은 위치에 적은 수의 연기감지기를 설치하는 것이, 보다 높은 위치에 많은 수의 연기감지기를 설치하는 것보다 더 효율적이다.

본 연구를 통해 조선소에서 CFD 해석 적용 분야를 넓힐 수 있었으며, 필요할 경우 이번에 해석한 VLCC 외에 다른 선종의 기관실에 대한 해석도 가능할 것이다. 연돌 연기 배출성능 해석과 같이, 공기 유동만을 계산하지 않고, 연기에 대한 유동 모델을 추가하여 해석한다면 실제 연기감지 시

험 자료와 더욱 직접적인 비교도 가능할 것으로 판단된다.

본 해석 대상처럼 대규모이면서 복잡한 공간 내 공기유동의 경우는 적절한 실험방법도 정립되어 있지 않아 실험과 병행하는 CFD 해석이 어려운 상황이다. 또한, 실제 선박에서의 시험도 CFD 해석에서 고려하기 힘든 외적 요인이 많다는 것을 염두에 두어야 할 것이다.

본 연구는 대규모 복잡 대상에 대한 공기유동 해석분야에서 한걸음 나아가는 과정에 있는 것이며, 앞으로 CFD 해석방법은 물론, 이를 뒷받침 할 수 있는 적절한 실험방법에 대한 논의가 함께 이루어지는 방향으로 진행될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 김성은, 김부기, 김대규, 1990, 덕트 Ventilation System 설계에 관한 연구 II, 대우조선 기술 보고서
- 윤재돈, 김용수, 2001, 컨테이너선 화물창 내부의 열유동 해석기술 개발, 대우조선 기술 보고서
- Fluent Inc, 2001a, GAMBIT User' s Guide
- Fluent Inc, 2001b, FLUENT 6 User' s Guide Vol. 1~5
- Lloyd' s Register, 2002, Fire protection, Detection and Extinction Requirements, Rules and Regulations for the Classification of Ships Part 6 Chap. 4
- White, F.M., 1994, Fluid Mechanics, 3rd Ed. McGrawHill



< 이 혁 >



< 서 형 군 >