

## 전산 유체 해석에 의한 자동차 운반선 내부 환기 시스템 평가

이승수<sup>†\*</sup>, 김학선<sup>\*</sup>, 천승현<sup>\*\*</sup>

충북대학교 구조시스템공학과<sup>\*</sup>  
한국 하이프레스 (주)<sup>\*\*</sup>

### Assessment of Ventilation System for Ro/Ro Ship Using CFD

Sungsu Lee<sup>†\*</sup>, Hak-Sun Kim<sup>\*</sup> and Seung Hyun Chun<sup>\*\*</sup>

Department of Structural Systems & CAE, Chungbuk National University<sup>\*</sup>  
Hipres Korea, Co., Ltd.<sup>\*\*</sup>

#### Abstract

Due to emission of vehicles during loading/unloading, ventilation system in Roll-on/Roll-off ship is inevitable; however it is very difficult to predict the ventilation performance before it is finally built in. Although the requirements for the ventilation system include air change rate and maximum allowable concentration of CO in the cargo holds, even prototype tests are hardly able to quantify the ventilation performance. In the present paper, a new method to assess the ventilation performance of Roll-on/Roll-off ship is proposed by using computational fluid dynamics. The air exchange is modeled by introducing multi-species transport of existing air in the holds and new air from the ventilation system. Conservation of multi-species as well as 3D Navier-Stokes equation are solved numerically in time dependent manner. Several cases of different configuration are considered. The results include predicted mass fraction of new air in the holds. It is also presented that CO concentration can be estimated based on the predicted air change performance. Due to the lack of experimental data, the computed results are not verified; however, the proposed method can be applied as an assessment tool.

※Keywords: CFD(전산유체역학), Air Change Rate(공기 순환률), Multi-species(다종물질), Ventilation System(환기설비), Mass Fraction(질량분율)

---

접수일: 2004년 5월 18일, 승인일: 2004년 10월 4일

† 주저자, E-mail: joshua@chungbuk.ac.kr

Tel: 043-261-3344

#### 1. 서론

자동차 운반선 (Roll-on/Roll-off)의 주요 의장  
설계 품목 중 하나는 화물 적재 공간 (Cargo

Hold) 내부의 환기 설비이다. 자동차 운반선의 특성상 자동차를 탑재하거나 하역하는 경우에 차량의 장시간 운행이 요구되어, 이에 따른 차량 배기가스의 방출은 필연적이다. 그러나 화물 적재 공간과 같이 거의 밀폐된 공간에서 장시간 동안 차량 배기가스가 방출되는 경우 탑재나 하역을 위해 화물 탑재 공간에 투입되는 인력에게 매우 열악한 작업 환경이 형성될 수밖에 없다. 따라서 모든 자동차 운반선은 일정 요건을 만족하는 환기 설비를 갖추고 있으며, 그 환기 성능은 주로 실험적인 방법에 의해 평가되고 있다 (SIS Handbook 150 1982).

현재 자동차 운반선의 환기 설비 설계는 요구 환기 성능을 기준으로 주로 유사 실적선 자료를 이용하여 환기 설비의 주요 제원인 송풍량 및 환기구의 위치 등을 선정해오고 있다. 실적 자료가 미비한 내부 구조의 자동차 운반선의 환기 설비를 설계해야 하는 경우 환기 성능을 사전에 추정하거나 환기 설비를 최적화하는 것이 거의 불가능한 실정이다. 따라서 건조된 자동차 운반선의 환기 성능이 요구 조건을 만족하지 못하는 경우, 의장품으로서 환기 설비가 화물 적재 공간 외부에 설치된 송풍기 이외에 선각을 따라 배치된 덕트와 환기구로 구성됨을 고려할 때 전면적인 수정은 전체 생산에 막대한 지장을 초래할 수 있다.

따라서 보다 체계적이고 정량적인 방법에 의한 자동차 운반선의 환기 설비 설계 또는 성능 추정은 자동차 운반선 생산 과정에 있어 매우 핵심적인 기술이라고 할 수 있다. 환기 설비의 주요 파라메타인 송풍기의 성능과 환기구의 형상/위치 등을 고려할 때 일반적으로 선형의 설계나 성능 해석에 활용되는 모형 시험은 환기 설비의 경우에는 적합하지 않다.

선박내부의 환기 성능 평가에 대한 국내외 연구는 매우 미미하다. Persson (1980)은 자동차 운반선 내부의 차량 배기 가스량의 추정에 의한 환기량 결정 방법에 대하여 논하였으며, Appleman (2000)은 선박 탱크 내부의 환기 방법에 대하여 논한 바 있다. 국내에서는 자동차 실내 환기에 대한 실험 (윤정환 등 1997)이나 실내 공간의 열전달에 대한 수치 연구 (정한식 등 1997), 선박내

일부 공간에 대한 축소 모형을 이용한 환기 실험 (Choi et al. 2000, Kim et al. 2000) 등이 있을 뿐이다. 특히 전산 유체 역학의 선박 분야 적용은 주로 선형 설계 (김선영과 김연규 2001)나 유동 해석 (부경태 등 2003) 분야에 국한되고 있으며, 선박 내부의 환기 성능 해석에 관한 연구는 거의 전무한 실정이다.

이에 본 논문에서는 자동차 운반선의 화물 적재 공간과 환기 설비를 전산 모델링하고, 전산 유체 역학 (Computational Fluid Dynamics)을 이용하여 내부 유동을 분석하고 이로부터 설계된 환기 설비의 환기 성능을 평가하고자 한다. 특히 환기 성능을 내부 유동 속도나 유동 특성만이 아니라 다종물질 이송 (Multi-species transport) 관점 (Bird et al. 1960)에서 환기구를 통하여 방출된 공기가 화물 적재 공간 내부의 기존 공기를 대체하는 순환 특성을 직접 해석함으로써 보다 현실적인 평가 방법을 제시하였다. 본 연구에서는 전체 대상 공간내의 새로운 공기의 질량 분율 (mass fraction)을 순환율로 정의하여, 시간 변화에 따른 순환율의 변화를 고려하여 차량의 탑재/하역 시에 발생하는 일산화탄소 (CO)의 농도 변화에 미치는 환기 설비의 영향을 간접적으로 평가하는 방법을 제시하였다. 본 논문의 전산 유동 해석은 유한체적법 (Finite Volume Method)에 기반을 둔 상용 프로그램인 FLUENT를 이용하였으며, 2 방정식을 이용한  $k-\epsilon$  난류 모델을 적용하였다.

## 2. 전산 유체 해석 기법

본 연구에서는 유한체적법 기반의 FLUENT를 이용한 전산 유체 해석을 수행하였는데, 3차원 유동해석을 비압축성, 정상유동에 대한 연속방정식, 운동량방정식(Navier-Stokes equation)과 난류 모델은  $k-\epsilon$  모델을 사용하였다.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} \quad (2)$$

Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations를 통하여 Turbulent Kinetic Energy의 최종형태는 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial \rho k U_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \epsilon \quad (3)$$

여기서  $U_i$ 는 Mean Flow를 나타내고 있고,  $G_k$ 는 mean velocity의 구배에 의한 난류에너지 생성을 나타내며,  $\mu_t$ 는 Velocity scale과 Length scale에 의해 정의된다.  $\rho \epsilon$ 는  $k$ 의 점성 소산율을 나타내고 있다. 또한  $\epsilon$  수송 방정식의 최종형태는 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial \rho U_i \epsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} G_k - \rho C_{2\epsilon} \frac{\epsilon^2}{k} \quad (4)$$

$k-\epsilon$  수송방정식에 나타나는 계수들은 기초 실험 데이터에 의해서 추천되어지는 값들은 사용하고 있으며, 본 연구에서는  $C_\mu = 0.09$ ,  $\sigma_k = 1.00$ ,  $\sigma_\epsilon = 1.30$ ,  $C_{1\epsilon} = 1.44$ ,  $C_{2\epsilon} = 1.92$ 와 같이 사용되었다.

또한 화물 적재 공간 내부에 있는 기존의 공기와 환기구를 통하여 방출되는 공기를 구분하기 위하여 물성은 동일한 2 종류의 유체의 연성을 고려하기 위한 다종물질 이송 현상을 해석하기 위하여 다음과 같은 물질 보존 방정식을 포함하였다.

$$\frac{\partial \rho Y_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho Y_i u_j}{\partial x_j} = - \frac{\partial J_{i,j}}{\partial x_j} \quad (5)$$

이때  $i, j$ 는 각각 다종물질과 좌표계를 나타내는 첨자이다. 또한  $Y_i$ 는 다종물질의 질량 분율을 나타내며,  $J_{i,j}$ 는 물질의 농도차에 의한 확산항으로 Fick's law에 의해 혼합물내의 확산계수인  $D_{i,m}$ 를 이용하여 다음과 같이 표현된다.

$$J_{i,j} = - \rho D_{i,m} \frac{\partial Y_i}{\partial x_j} \quad (6)$$

### 3. 모델링 및 전산 해석 기법

#### 3.1 자동차 운반선의 전산 모델링

Fig. 1은 본 논문의 해석 대상인 자동차 운반선의 전산 모델링을 나타낸다. 해석은 자동차 운반선의 1개의 Deck을 대상으로 하며 차량 이동 통로인 Ramp가 환기의 출구로 이용된다. 특히 각 Deck은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 부분 격벽으로 분할되는 내부 형상을 갖는다. 또한 선각의 일부에 포함된 환기 설비들이 Fig. 1에 나타나있다. 특히 Fig. 1에 나타난 바와 같이 환기 성능의 향상을 위해 부분 격벽 중앙에 소형의 축류 송풍기를 설치하였다.

본 논문에서는 차량 탑재와 하역 과정의 환기 성능 평가를 위하여 Fig. 1에 보는 바와 같이 차량이 약 50% 정도 탑재된 반차 상태 (Half-loaded State) 만을 고려하였다.

#### 3.2 환기 설비의 모델링

본 연구에서는 환기 설비의 조건 변화에 따른 환기 성능을 평가하기 위하여 전체 송풍량, 환기구의 위치 및 환기구 별 송풍량을 변화시키며 해석을 수행하였다. Table 1은 본 논문에서 고려한 해석의 경우와 관련된 설비 특성을 나타낸다. 이때 기준 송풍량은 화물 적재 공간의 총 용적을 기준으로 결정된 시간당 총 송풍량으로 단위는  $m^3/h$ 이다.

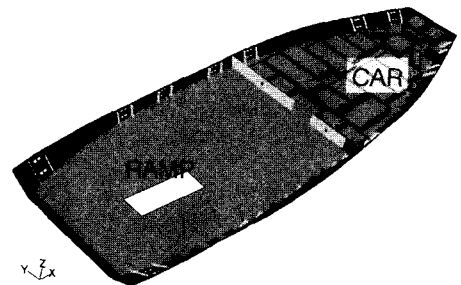


Fig. 1 Computational model of half-loaded state

Table 1 Parameters for Ventilation Systems

Case	1	2	3	비고
송풍량	100%	100%	110%	기준 송풍량 대비
환기설비 위치	Type 1	Type 2	Type 2	Fig.2
환기구 형상	Type A	Type B	Type B	Fig.3

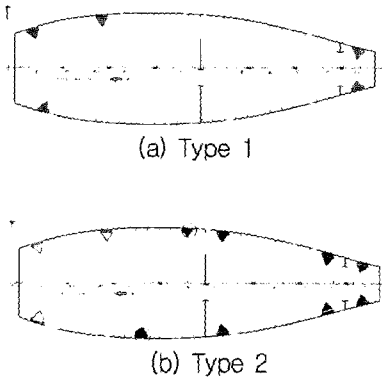


Fig. 2 Ventilation Locations

Fig. 2는 Table 1에 설명된 해석 경우에 해당하는 Type 1 및 2의 환기 설비 위치를 삼각형 표시로 나타낸다. Type 1은 대상 선박과 유사한 실적선의 경우에 이용된 환기 설비로서 환기구당 약  $31,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 의 풍량을 환기구에 수직한 방향으로 토출하도록 하였다. Type 2는 본 연구를 위하여 수행된 사전 해석에 의해 Type 1보다 순환률이 개선된 환기 설비 위치를 나타내며, 중실 삼각형과 중공 삼각형에 해당하는 환기구에서 각각  $17,500 \text{ m}^3/\text{h}$ 과  $10,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 의 풍량이 토출되도록 하였다. 또한 국부적으로 발생하는 정체 영역을 제거하기 위하여 Fig. 2(b)에서 원으로 표시된 위치의 환기구는 풍량의 50%를 선분으로 나타낸 방향으로 45도의 토출각을 갖도록 설정하였다.

Fig. 3은 Fig. 2에 지정된 환기 설비 각 위치에서의 환기구 형상을 나타낸다. 본 연구에서는 같은 크기의 환기구를 배치하되 기존 실적선에서 이용되는 8개와 풍량이 같은 경우 토출 풍속 증가를 기대할 수 있는 4개의 경우를 고려하여 그 영향을



(a) Type A (b) Type B  
Fig. 3 Vent Configuration

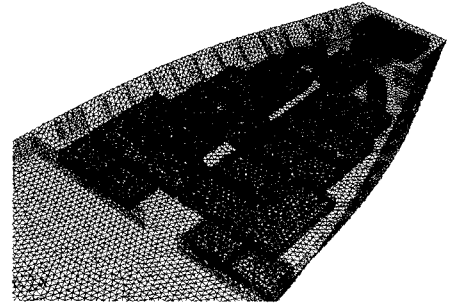


Fig. 4 Grid on surfaces of forward cargo hold

평가 하였다. 참고로, 통상 환기구의 토출 풍속이  $8 \text{ m/s}$  이하가 되도록 권장하고 있다(SIS Handbook 150 1982).

### 3.3 전산 해석 방법 및 경계조건

본 연구에서는 Fig. 4에 보인 바와 같이 4면체 격자를 이용하였다. 그림에 보이는 경우는 격자의 수가 약 250,000 정도이며, 탑재된 차량은 6면체의 형상으로 단순화 하였다. 전산 해석은 단일 공기에 대한 정상 유동 해석을 먼저 수행하여 내부 공간의 유동장이 충분히 발달된 정상 상태에 이르도록 하였다. 이 때를 기점 ( $t=0$ )으로 정상 상태의 기존 공기 유동장에 환기구로부터 새로운 공기 (AIR2)를 방출하여 시간 변화에 따른 AIR2의 내부 공간 점유율로부터 순환율을 평가하였다. 식 (1)~(5)의 시간적분은 SIMPLE 방법을 이용하였다.

전산 해석을 위한 경계조건으로 차량을 포함한 모든 고체 면에서는 점착조건 (no-slip condition)을 적용하였으며, 환기구에서는 지정된 풍량과 방향성을 만족하는 유입 유동을 갖도록 하였다. 또한 유출은 Fig. 1에 보이는 RAMP를 통하여 이루어지도록 하였으며, 유출면에서는 대기압을 경계

조건으로 부과하였다.

### 3.4 격자 수렴도

본 연구의 해석 결과는 실험 자료 등을 이용하여 검증할 수 수행하기 어려운 형편이다. 따라서 수치 해석 과정의 검증에 의하여 결과의 신뢰도를 간접적으로 평가하기 위하여 격자의 수를 변화에 따른 해석 결과를 비교하였다. 비교에 이용된 격자의 수는 약 250,000와 480,000로서 Fig. 5는 환기구에서 AIR2가 방출이 시작되고 일정 시간(T)이 경과한 후에 선체 중앙에서 AIR2의 점유율(즉, 순환율)의 길이 방향 분포의 비교를 나타낸다. 해석에 이용된 격자수의 차이에 의해 국부적으로 미소한 차이를 보이고 있으나 전체적으로 좋은 일치를 보이고 있어, 이후 본 연구에서는 약 250,000개의 격자를 이용하여 해석을 수행하였다.

## 4. 환기 성능 해석 및 평가

일반적으로 자동차 운반선의 환기 설비에 대한 요구 성능은 시간당 공기 순환수 (Air Change Rate: ACR)와 CO와 같은 배기가스의 최대허용 농도이다. 건조 후에는 환기구에서 계측되는 풍속을 이용한 풍량과 내부 용적을 비교하여 ACR의 평가가 이루어지는 것이 현재의 관행이며, CO와 같은 배기가스의 농도는 종합적인 평가가 이루어지지 않고 있다. 그러나 비록 환기구에서 계측된

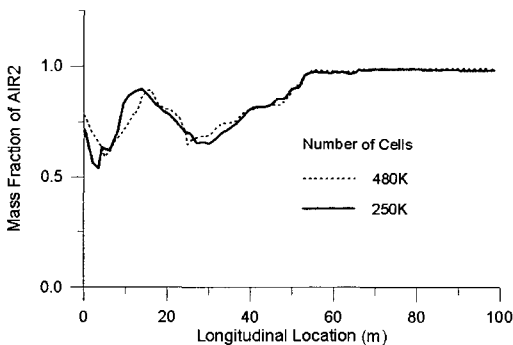


Fig. 5 Mass fraction of AIR2 along a longitudinal path on center plane t=T

풍량을 기준으로 ACR의 요구 조건을 만족하였다고 하여도 내부 용적 전체에 순환이 발생하였다고 판단하기는 어렵다. 특히 환기구가 Fig. 1에 도시된 RAMP 인근에 위치하는 경우, 환기구에서 방출된 공기는 거의 내부 용적을 거치지 않고 바로 방출되기 때문이다.

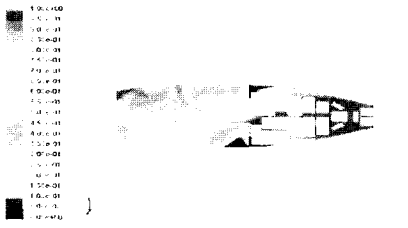
따라서, 정량적으로 나타낼 수는 없으나 현저한 정체 구역의 형성이 최소가 되는 환기 설비를 요구하기도 한다. 건조 후 실험적인 방법에 의한 환기 성능 시험으로 많이 이용되고 있는 Smoke Test는 불명확한 가시성에 의해 환기 성능을 평가하게 되는데, 이를 이용하여 정체 구역의 형성을 파악하고 있는 실정이다. 최근 PIV (Particle Injection Velocimeter)를 이용한 선내 환기 성능 실험 방법에 대한 논의가 있으나 (조대환과 이영호 2001), 실험 장비의 제한으로 실선의 경우 적용이 용이하지 않을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 ACR의 정량적인 평가가 어려운 현상을 고려하여 앞에서 기술한 바와 같이 기존 공기의 유동장이 형성된 내부 용적에 환기구에서 방출된 새로운 공기 (AIR2)의 질량 분율(Mass fraction)로서 순환율을 평가하였다.

### 4.1 시간 경과변화에 따른 순환율의 변화

ACR의 요구 조건은 일반적으로 수분 내에 전체 화물 적재 공간에 대한 1회의 공기 순환을 요구한다. 따라서 본 연구에서는 AIR2가 방출이 시작되고 일정 시간(T)이 경과한 후에 내부의 순환율을 평가하였다.

Fig. 6은 Table 1에 나타낸 각 해석 경우에 Deck의 중간 위치에서 순환율 분포와 용적 평균 순환율을 나타낸다. 순환율이 1에 가까울수록 AIR2의 점유 비율이 높음을 나타낸다. 같은 송풍량을 갖는 Case 1과 2를 비교해 볼 때, 환기 설비의 재배치에 의해 Case 2가 Case 1에 비하여 순환율이 6%정도 증가하고, 특히 정체구역으로 판단되는 저순환 영역이 크게 감소함을 알 수 있다. Case 2와 동일한 환기 설비에 풍량을 10% 증가시키는 경우 (Case 3) 순환율이 3% 정도 증가함을 볼 때, 순환율은 풍량의 증가 비율보다 작은 비율로 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 증가



(a) Case 1 (용적평균 순환율: 72%)

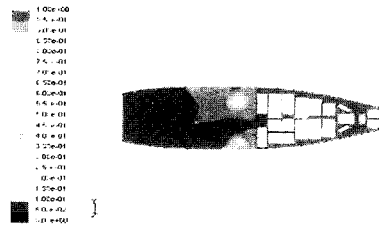
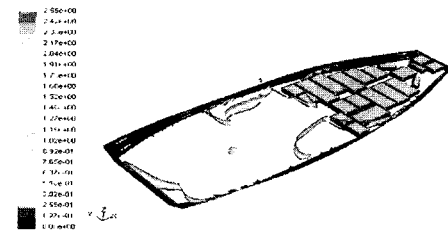


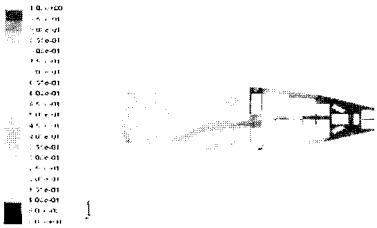
Fig. 8 Distribution of mass fraction of AIR2 on mid-height plane at  $t=2T$  for Case 2



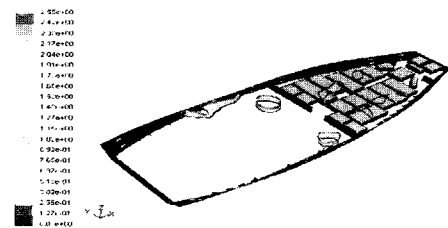
(b) Case 2 (용적평균 순환율: 78%)



(a) Case 1



(c) Case 3 (용적평균 순환율: 81%)



(b) Case 2

Fig. 6 Distributions of mass fraction of AIR2 on mid-height plane at  $t=T$

Fig. 9 Iso-surface of mass fraction of AIR2 of 50%

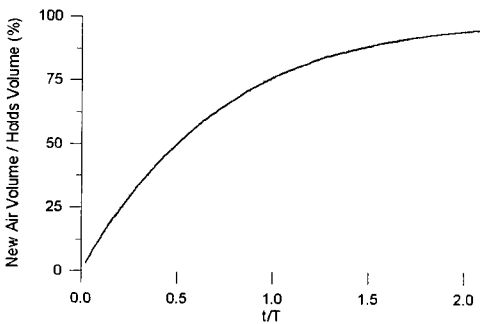


Fig. 7 Time history of mass fraction for Case 2

된 풍량의 상당 부분이 RAMP를 통하여 단시간 내에 방출되었음을 의미한다.

Fig. 7은 Case 2의 경우  $t=2T$ 까지의 용적 평균 순환율의 변화를 보여준다.  $t=2T$ 에서 순환율은 97% 이상을 나타내어 Fig. 8에서 보는 바와 같이 거의 모든 내부 용적내 공기가 AIR2로 대체되었음을 나타낸다.

#### 4.2 정체 영역

Fig. 6에서 보인바 있는 순환율의 분포로부터

정체영역의 형성은 정성적으로 파악이 가능하다. 그러나 보다 실질적인 평가를 위해 본 논문에서는 순환율이 일정한 값 이상을 갖는 영역을 Fig. 9에서 보는 바와 같이 도시하였다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 Case 1의 경우 부분 격벽 후방에 선각을 따라 대규모의 정체영역이 Deck의 수직방향에 걸쳐 발달할 수 있음을 확인하였으며, Case 2는 이와 같은 현상이 크게 감소하였음을 알 수 있다.

4.3 CO의 농도 추정

차량의 탑재와 하역 과정에 발생하는 배기가스인 CO의 농도를 추정하는 것은 발생 위치가 시간에 따라 이동하게 됨으로 실험이나 전산 해석을 수행하는 것이 매우 어렵다. 전산 해석을 수행하려는 경우 본 연구에서 이용한 다종물질 이송방정식에 CO를 포함하고, CO의 발생을 이동 용출점(moving source)으로 가정하여 비정상해석을 수행하여야 한다. 그러나 이 경우 선내 환기 성능에 영향을 미치는 차량의 배치와 이에 따른 전산 격자계가 동시에 변화하여야 하므로 전산 해석을 수행하는 것은 현실적으로 어렵다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 CO의 방출을 직접 포함하는 대신, 일정시간동안 방출된 CO가 화물공간 내에 균일하게 분포되어 있고, Fig. 7에 보인 바 있는 순환율의 시간변화에 의해 방출된다고 가정하였다.

본 연구에서는 차량 1대의 방출 CO의 양을  $0.75m^3/h$ 로 설정하였으며, 동시에 탑재 또는 하역중인 차량은 10대로 가정하였다. 그 결과 1시간 동안 탑재/하역이 이루어지는 경우 대상 화물 적재 공간의 CO 농도 변화는 Fig. 10에 보는 바와 같이 추정된다.

5. 결론

본 논문에서는 전산 유체 역학 (Computational Fluid Dynamics)을 이용한 자동차 운반선 환기 설비의 환기 성능 평가 기법을 제시하였다. 다종물질 이송 (Multi-species transport) 관점에서 새로운 공기의 질량 분율 (mass fraction)을 순환율로 정의하고, 환기구를 통하여 방출된 공기가 화물

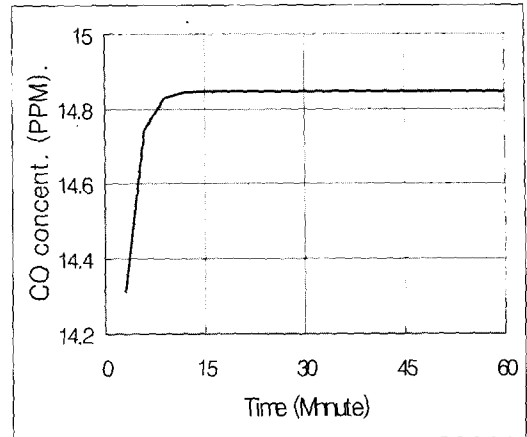


Fig. 10 Predicted CO concentration

적재 공간 내부의 기존 공기를 대체하는 순환 특성을 직접 해석함으로써 보다 현실적인 평가 방법을 제시하였다. 제시된 기법을 이용하여 해석을 수행하였으며, 시간 변화에 따른 순환율의 변화는 물론 정체영역 발생 가능 위치와 범위를 추정하였다. 또한 차량의 탑재/하역 시에 발생하는 일산화탄소 (CO)의 농도 변화에 미치는 환기 설비의 영향을 간접적으로 평가하는 방법을 제시하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 지역전략산업 석박사 연구 인력 양성 사업의 연구결과로 수행되었음.

참 고 문 헌

- 김선영, 김연규, 2001, "사항중인 선체 주위의 점성유동 Ptk's 및 조종유체력에 선미 형상이 미치는 영향," 대한조선학회 논문집, 제 38권, 제 3호, pp. 30-37.
- 부경태, 한재문, 송인행, 신수철, 2003, "FLUENT 코드를 이용한 타 단면의 점성 유동 해석," 대한조선학회 논문집, 제 40권, 제 4호, pp. 1-14.
- 윤정환, 이상중, 김기환, 1997, "TLC와 컬러화상처리를 이용한 자동차 실내 환기유동의 온도

장 측정,” 한국자동차공학회 논문집, 제 5권, 제 1호, pp. 120-128.

- 정한식, 정효민, 김경근, 1997, “환기구를 가진 실내공간에서 복사 및 대류 열전달의 비교 연구,” 한국박용기관학회지, 제 21권, 제 3호, pp. 229-235.
- 조대환, 이영호, 2001, “선박에서 유체기계 및 환기성능평가를 위한 PIV의 적용,” 한국박용기관학회지, 제 25권, 제 3호, pp. 540-551.
- Appleman, B.R., 2000, "Ventilation and Dehumidification of Ship Ballast Tanks for Blasting and Coating Work," J. Protective Coatings & Linings, Vol. 17, No. 4, pp. 43-52.
- Bird, R.B., Stewart, W.E. and Lightfiit, E.N., 1960, Transport Phenomena, Wiley.
- Choi, M.S., Cho, D.H. and Park, C.S., 2000, "A Study on Ventilation Characteristics of Cargo-oil Pump Room," Proc. 4th JSME-KSME Thermal Eng., Kobe.

- Kim, M.E., Kim, D.C., Cho, D.H. and Lee, Y.H., 2000, "Experimental and Numerical Study on Ventilation Characteristics of Hood Room for LNG Carrier," Proc. 9th Int. Symp. Fluid Visualization.
- Persson, R., 1980, "Cargo Space Ventilation in RO-RO Ships," Shipbuilding and Marine Eng. Int., Vol. 103, No. 1235, pp. 16-23.
- SIS Handbook 150, 1982, Clean air in Ro/Ro cargo spaces.



< 이 승 수 >



< 김 학 선 >



< 천 승 현 >