

論 文

## 유조선 화물취급구역내 동력환기특성에 관한 연구

조 대 환\*

### A Study on Mechanical Ventilation Characteristics in Cargo Handling Area of Tanker

*Dae-Hwan Cho\**

〈 목 차 〉

Abstract

1. 머리말

2. 화물유 펌프실 환기특성

3. LNG선박의 Hood실 환기특성

4. 맺음말

참고문헌

### Abstract

In regulation of IGC code 12.1, mechanical ventilation should be arranged to ensure sufficient air movement through the space to avoid the accumulation of flammable or toxic vapours and ensure a safe working environment, but in no case should the ventilation system have a capacity of less than 30 changes of air per hour based upon the total volume of the space.

In this study, a scaled model chamber was constructed to investigate the ventilation characteristics and stagnation area in the hood room of a LNG carrier and pump room in tanker. An experimental study was performed on the model by using visualization equipment with a laser apparatus and an image intensifier CCD camera. Twelve different kinds of measuring areas were selected as the experimental condition. Instant simultaneous velocity vectors in the whole fields were measured by a 2-D PIV system. A three-dimensional numerical simulation was also carried out for three different Reynolds numbers. Then the CFD predictions were discussed with the experimental results.

The results show the spiral L-shape flow that moves from the opening on the left wall diagonally to the upper right part dominates the ventilation structure. The stationary area of hood room in the velocity distributions was located in the upper left stern part.

\* 목포해양대학교 기관공학부

## 1. 머리말

탱커에서 화물취급작업 중 통상 사람이 들어가는 구역은 "IGC code"<sup>(1)</sup>(International code for the construction and equipment of ships carrying liquid gases in bulk) 12.1에 따른 동력통풍장치의 설치가 의무화되어 있다. 상세 내용에서는 독성 또는 인화성 증기가 체류하지 않도록 해당 구역으로 충분한 공기의 유동을 유지하고 안전한 작업환경을 유지될 수 있도록 배치하여야 함을 규정하고 있다. 그러나 통풍장치의 설계는 해당 구역의 총용적에 대하여 시간당 30회 이상의 환기능력(단, 인화점 60℃ 이하 운송선의 경우 20회)만을 도면검토 및 설계단계에서 반영하고 있는 실정이다. 따라서 유조선, 화학제품선 및 액체가스운반선에서 위의 규정의 해당구역인 화물유 펌프실, 액체화물 압축기실 또는 후드실(Hood Room)의 환기구조에 관한 유효성에 대하여 검토가 사전에 이루어져야 할 것으로 판단된다. 규정에서 제시된 바와 같이 "해당 구역으로의 충분한 공기의 유동"은 구조 격벽이나 Duct의 설치에 따라 환기능력의 저하 및 가스 정체구역의 생성으로 선박의 안전에 심각한 문제점을 유발할 수 있으므로 액화천연가스를 운반하는 선박의 가스누출 경보기 설치요건 등에 대한 구체적인 설계기준이 선주와 조선소에 기술적 근거를 가지고 제시될 필요가 있다.

환기 구조와 관련된 연구는 주로 수치적 모델링을 통한 연구결과들이 실험적 연구보다는 많이 보고되고 있으며, 이러한 기술들은 모두 내부유동패턴을 개선하여 환기구조에서 정체구역을 없애는 것을 목표로 하고 있다. Lee et al.<sup>(2)</sup>는 좌측에 급기구가 있고 우측에 배기구가 있는 정방형공간에 대하여 가시화기법을 이용하여 내부의 유동특성을 규명하고 각 단면에 대하여 속도를 정량적으로 측정하였으며 강제와의 영향에 대해 고찰하였다. Suzuki et al.<sup>(3)</sup>은 실내에서 공기 중에 부유해 있는 오염 물질 입자를 신속하게 배출시키기 위하여 환기할 때 오염 물질 입자의 궤적을 추적하여 오염 물질 입자의 거동을 이론적으로 연구하였다. Sakamoto et al.<sup>(4)</sup>는 공학적인 견지에서 난류모델의 실용성을 평가하기 위해 Smagorinsky 등이 제안한 Deardoff Model 과 Launder<sup>(5)</sup> 등이 제안한 표준  $k-\epsilon$

방정식을 비교하여  $k-\epsilon$  난류모델이 계산 시간 등 여러 면에서 더 실용적이라는 것을 보여주었다. Murakami 등<sup>(6)</sup>은 이러한  $k-\epsilon$  난류모델을 써서 단순한 정육면체의 모델로 입출구 위치를 변경시키면서 기류 유동을 계산하였으며 실험 결과와 비교하였다. Yamazaki<sup>(7)</sup> 등은 쾌적한 실내 조건을 만들기 위하여 실내에서 유동분포와 온도분포 등을 표준  $k-\epsilon$  난류모델을 적용하여 해석하였다.

이러한 배경으로부터 이 연구에서는 선박의 동력환기특성을 조사하기 위하여 탱커의 펌프실 및 LNG선박의 후드실을 축소된 모델을 대상으로 수치해석 및 PIV기법<sup>(8,9)</sup>으로 환기특성을 고찰하고 정체구역을 규명하여, 일선 해기사의 안전운항과 선박의 배관설계에 관한 기초자료의 확보를 일차적인 목표로 하였다. 그 결과 정체구역은 선수측 좌현 상부구역(펌프실)과 선미 측의 좌현 상부구역(후드실)이었으며 통풍구로부터 대각방향의 유출구로 배출되는 주 흐름의 속도분포가 내부 환기구조에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

## 2. 화물유 펌프실의 환기특성

화물유 펌프실(Cargo pump room)은 화물의 이송을 위한 각종밸브의 개폐 및 펌프의 운전이 주로 이루어지는 장소로서 실제 펌프의 운전상태를 점검하기 위하여 작업자가 주기적으로 펌프실에 순찰을 해야 하며 재래선의 경우 작업자체가 수동으로 펌프실에서 이루어진다. 이러한 펌프실에서는 가연성가스의 누설로 인한 폭발사고 또는 유독가스의 누설로 인한 질식사고 등의 인명사고의 위험이 있다. 이러한 가연성가스 또는 유독가스 등은 주로 펌프의 실(Seal)에서 누출된 화물이나 화물의 교체 등으로 파이프나 펌프의 케이싱에 잔류된 액체화물이 펌프실의 바닥으로 일부 배출되어 고인 빌지로부터 발생한다. 선박의 펌프실은 대량의 화물을 해상으로 운송하는 선박의 특성상의 장기간 밀폐된 구역으로 펌프실 출입 전에 충분한 환기 후 작업을 진행하도록 하고 있으나 안전사고의 위험은 잔존하고 있다. 즉, 안전한 펌프실내의 작업을 위해서는 펌프실의 환기가 반드시 선행되어야 한다.

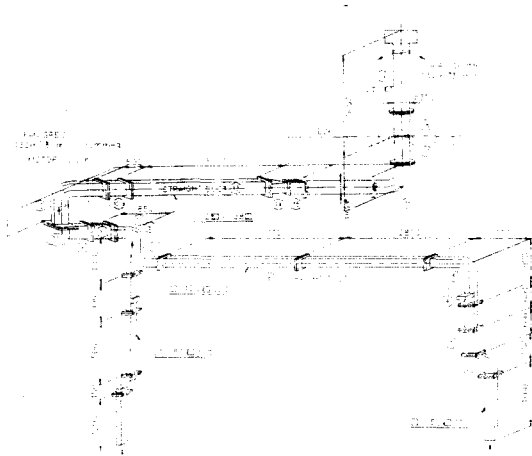


Fig. 1 Vent duct of cargo pump room

Fig. 1은 펌프실의 배관 구조를 보이고 있다. 펌프실내의 배관구조는 150×300mm의 사각덕트이다.

좌현과 우현의 배기 통로는 직관 사각 덕트와 연결되어 있으며 우현 쪽의 배관손실이 큰 구조로 되어 있다. 배기 팬의 용량과 구동 모터의 출력은 130m<sup>3</sup>/min × 30mAq, 2.2Kw이며, 설치위치는 펌프실의 상부이다. 환기방식은 상부의 자연통풍구로부터 유입된 공기가 덕트를 통해 배출되는 배기 방식이다. 펌프실의 실제 크기(B×L×H)는 7,740×5,400×6,120mm의 장방형의 공간이다.

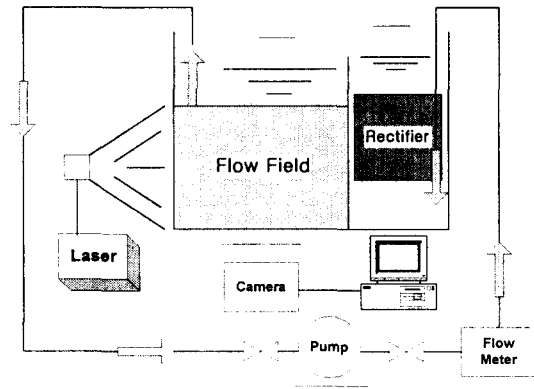


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

Fig. 2는 실험에 채택한 실험장치의 구성을 보여주고 있다. 펌프실을 축소하여 제작한 모델의 상부에 연결된 배관은 소형 원심펌프(0.1 m<sup>3</sup>/min)의 흡입측에 연결하였으며 펌프의 토출측에 유량조절밸브 및 디지털유량계를 설치하였다. 펌프에서 토출된 작동유체는 수조의 정류기를 거쳐 유동장으로 유입되며 유동장의 상부는 자유수면이 될 수 있도록 하였다.

세 가지 환기횟수 30회, 45회 및 60회의 세 가지 환기횟수에 대하여 실험을 하였고 이때 레이놀즈수는 각각 Re=1.5×10<sup>4</sup>, 2.3×10<sup>4</sup> 및 3.1×10<sup>4</sup>이다. 여기서 환기횟수는 선급에서 규정하고 있는 내부체적과 펌프실

Table 1 Experimental condition

	Item	Specification
Visualization Equipment	Image board	DT3155 (640 x 480 Pixel, B/W)
	Light source	5W Argon-Ion Laser, λ=514μm
	sheet light	Cylindrical Lens & Fiber Line, about 1.5mm
	Model dimension	1/18 of Actual size, B×L×H : 430×300×340mm.
Measuring condition	Flow meter	Water, Digital, Maker:ISOIL Co., Model:MC108-G7
	Particle	PVC(Specific Gravity:1.02, 90~150μm)
	Resolution	1/120 second, 3 Pixel/mm
Image processing	Calculation Time	20 second/Frame(200MHz, PentiumII)
	Image Record	Hi-8mm, Sony, Model:Pro5000
	Data for Time-mean	100~300 Frame(Random Acquire)
	Identification	CACTUS'2000(grey-level cross correlation algorithm)
	Error Vector(%)	Under 0.5 %/Frame, Average : about 0.15%

에서 배출되는 공기량(팬의 용량)을 기준으로 계산을 하였으며 실험조건은 표1과 같다. 펌프실의 경우 선급의 규정상 시간당 30회의 환기가 필요하는 강제대류이고, 대상으로 한 선박이 제품선으로 화물의 가열을 하지 않는 구조이므로 펌프주위의 발열은 무시하였다. Fig. 3은 전체적인 유동의 경향을 파악하기 위하여 환기횟수 45회에 대한 단면별 PIV 계측을 행한 결과를 보이고 있다. 이때 계측단면은 선수, 선미방향으로 중앙 단면( $z/Z=0.5$ )과 선수 측에 근접한 단면( $z/Z=0.1$ )이다.

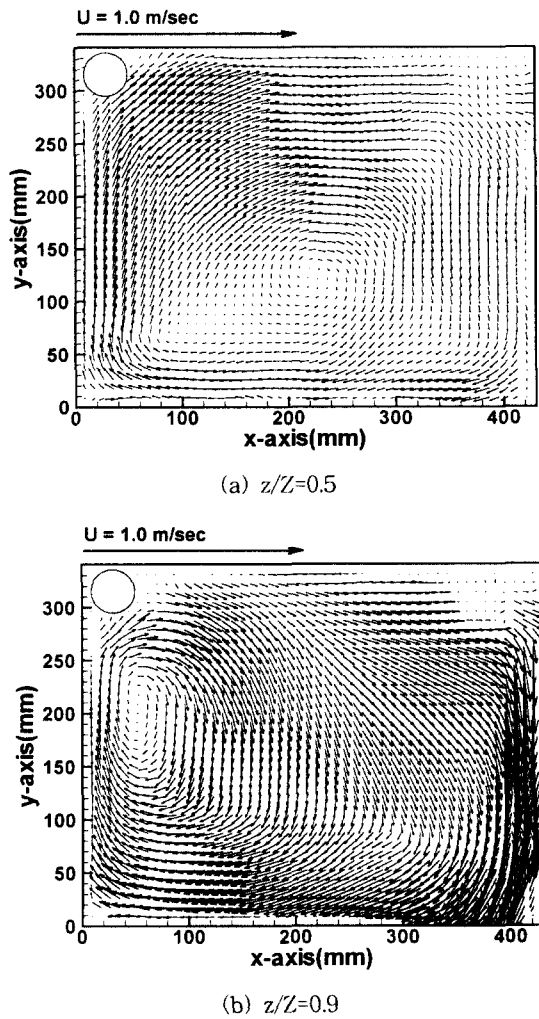


Fig. 3 Time-mean velocity distribution

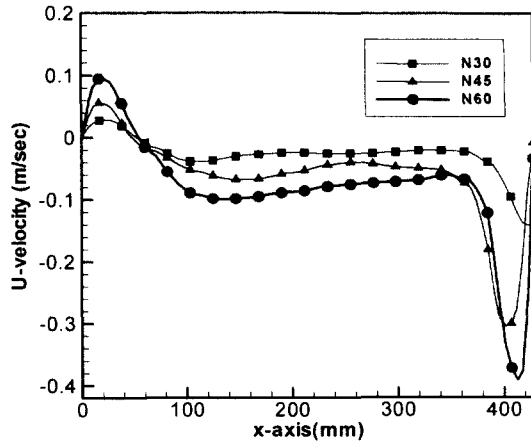


Fig. 4 Time-mean velocity profiles at vertical center line

그림에서 보면 우측상부구역(실선의 좌현 상부 측)의 속도분포가 다소 낮게 나타나고 있으며, 강제와 유사한 구조의 시계방향으로 회전하는 와가 존재함을 알 수 있다. 이 와의 세기는 Fig. 3(b)의  $z/Z=0.9$ 의 단면에서 가장 크게 나타나고 있고 위치는 좌측벽면 근처이다. 이곳에서 와의 세기가 크게 나타나는 것은 별도의 덕트가 설치되어 있지 않은 상태에서 펌프실의 상부에 자연통풍구로부터 유입된 흐름이 바닥에 도달하여 일부가 벽면을 따라 재순환하기 때문이다. 그리고 벽면을 따라 대각방향으로 내려오는 유동은 내부를 재순환 하는 저주파성 흐름의 영향으로 나타내게 된다. 그림에는 나타나 있지 않으나 이 흐름은 유출구로 이동하면서 매우 복잡한 구조의 와를 형성하며 이동하고 우측하부의 유출구로 배출된다. 그리고 우측상부의 모서리 영역에 작은 규모의 시계반대방향으로 회전하는 와가 존재함을 알 수가 있다.

Fig. 4는 3가지 환기횟수의 시간평균의 데이터를 이용하여 수직속도성분을 내부공간의 기하학적 수평 중심선에 대해 80개의 검출점을 도식한 결과이다. 계측단면은  $z/Z=0.9$ 의 단면으로서 유입구의 벽면 주위에서의 분포이다. 환기횟수 30회와 45회는 유입속도분포가 큰 차이를 보이고 있다. 계측단면이 유입유동이 있는 자연통풍구의 직하부가 아닌 점을 고려할 때 환기횟수 30회의 경우 공간내부를 순환하는 유동의 영향

이 45회에 비해 작기 때문인 것으로 추정된다.

### 3. LNG선박의 Hood실 환기특성

후드실(vent hood room)은 LNG선의 화물의 이동 경로를 결정하는 밸브가 가장 많이 설치된 장소이며, LNG가 기화되어 기관실로 가는 경유지로서 가스의 누출 위험이 큰 구역이다. Fig. 5는 H 조선소에서 건조하고 있는 Dead weight 69000 ton, 배의 전장 268.5 m, 배의 최대 속도 20.3 knot, 기관 마력 38900 PS인 멤브레인형 LNG선의 후드실을 1/15로 축소한 모델의 구조이며, 내부를 구역(block), 단면(section) 그리고 영역(area)으로 정의하였다. 모델에서의 좌표축은 XYZ(X:가로, Y:세로, Z:스팬방향)이며 원점(0,0,0)은 선미측(후면)의 좌측 하부의 모서리이다. 구역은 Fig. 5에서 보이는 것과 같이  $x/X=0.5$ 와  $z/Z=0.5$ 로 분할하여 "A", "B", "C" 그리고 "D"의 구역으로 4등분하였다. 여기서 공기가 유입되는 입구의 중심위치는 좌측벽면에서  $z/Z=0.75$ 이며, 배기구의 중심위치는 상부벽면에서  $z/Z=0.3$ 의 위치이다

후드실의 환기방식은 좌측의 외기 입구로부터 유입된공기가 후드실을 순환하며 우측 상부의 배기구를 통해 배출되는 배기식 동력동풍 방식이다.

$$Avg. = \frac{\sum_{x,y=1}^i V_{x,y}}{(i \times j)} \quad (1)$$

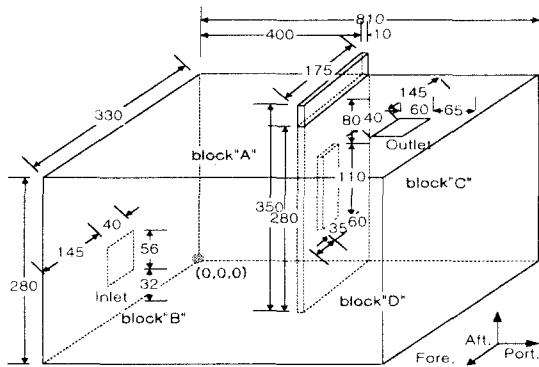


Fig. 5 Model dimension of hood room

실제 선박에서 후드실은 장방형의 공간으로 가로와 세로 그리고 높이가 12.15 m × 4.20 m × 4.95 m이고 가시화 실험을 위한 모델은 1/15 크기인 0.81 m × 0.28 m × 0.33 m이다. PIV계측을 위한 실험은 펌프실의 경우와 동일하며 유동장 만들 교체하였다. 실험에서 채택한 후드실의 속도장의 계측단면은 원점으로 기준으로  $z=0.95$ ,  $z=0.75$  그리고  $z=0.30$ 의 3단면(Fig. 6 참조)이다. 그림 설명의 편의를 위하여 이 세 단면을 벽면으로부터 가까운 계측단면으로부터 벽주위단면(wall section), 유입단면(inlet section) 그리고 격벽

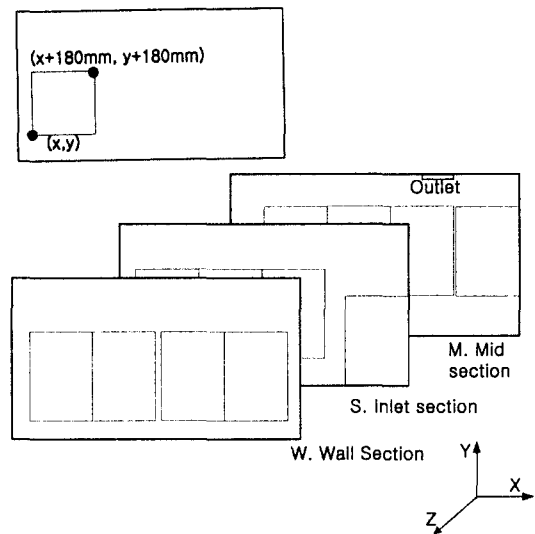


Fig. 6 Measuring section of hood room

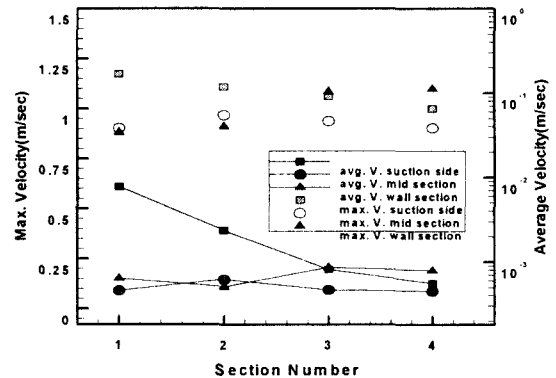


Fig. 7 Time-mean and maximum velocity

Table 2 Definition of measuring region

section	Area:x,y (mm)	Max. V. (m/sec)	Avg. V. (m/sec)
inlet section z/Z=0.75	s1:40,40	0.6099	0.1687
	s2:220,40	0.3923	0.1185
	s3:400,40	0.1961	0.0913
	s4:630,0	0.1268	0.0653
mid section z/Z=0.30	m1:90,50	0.0910	0.0385
	m2:270,50	0.1457	0.0549
	m3:450,50	0.0938	0.0467
	m4:630,50	0.0881	0.0387
wall section z/Z=0.95	w1:40,0	0.1516	0.0343
	w2:220,0	0.1091	0.0402
	w3:410,0	0.2064	0.1041
	w4:630,0	0.1911	0.1120

중앙단면(mid section)으로 구분한다. 벽 주위단면의 경우 선수측 벽면으로부터 실선에서는 약 0.25m, 모델에서는 16mm의 거리에 있다. 유입단면은 좌측의 흡입구의 중앙을 연장한 단면이며 격벽 중앙단면은 Fig. 5에서 보이는 통기구의 중앙부분을 연장한 단면이다. 표2에 각 영역의 원점좌표와 PIV계측결과에서 각 영역의 최대속도 및 식1에 의한 평균속도도 함께 나타내었다.

Fig. 7은 각 계측영역에서 평균속도와 최대속도를 각 단면 별로 나타낸 것이다. 스펠방향(z축)의 깊이를 기준으로 전면에서부터 z/Z=0.95에 위치한 벽 주위단면의 경우 흡기구에서 하류로 진행하면서 영역전체의 평균속도와 최대속도 모두 증가하고, z/Z=0.75의 유입단면의 경우 하류로 진행할수록 속도가 크게 감소하고 있다. 그러나 격벽의 통기구를 관통하는 단면(z/Z=0.30)은 속도의 변화를 미약하다. 이것은 격벽 및 통기구의 크기와 위치의 영향으로 추정된다. 배기구의 위치는 선미 측으로 치우쳐있고 주 흐름이 나선형의 형태를 보여 배기를 위한 통기구가 오히려 역류하는 흐름의 통로로 이용되고 있다.

Fig. 8은 격벽의 통풍구의 중앙단면을 연결한 선상에서의 유동장의 x = 90 mm 점으로부터 우측벽면까지 장방형의 단면을 네 영역으로 구분하여 속도장을 계측한 결과와 같은 조건에서 수치계산에 의한 결과를 보이고 있다. Fig. 8(a)의 m2영역의 결과에서 보면

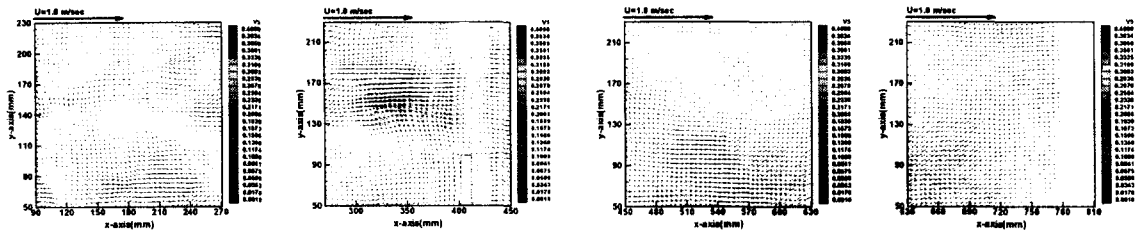
우측의 배기 측에서 좌측의 통기구가 있는 영역으로 역류하는 현상이 나타나 있다. 이것은 흡기구로부터 "L"자(字)형 흐름의 속도분포가 원뿔형으로 확대되어 유동장의 우측벽면에 충돌하고 난 후 미처 배기 측으로 빠져나가지 못하고 상대적으로 속도와 압력이 낮은 "A"구역(Fig. 5 참조)으로 이동하기 때문으로 추정된다. Fig. 8(a)의 m3영역의 경우 하부 측에서 전체적으로 낮은 속도를 갖는 역류 흐름이 나타나고 우측 상부에서는 배기구로 향하는 흐름이 나타나 있다. m1영역의 경우 중앙부분에서 역류한 흐름이 중앙부분에서 상하부의 흐름으로 분류되어 재순환 흐름을 형성하고 있음을 알 수 있다. 이것은 m2 영역의 통기구의 좌측벽면의 흐름을 형성하게 된다. Fig. 8(b)의 결과와 비교하여보면 전체적인 경향이 유사함을 알 수 있다.

수치계산에서는 실제선박의 후드실을 실측하여 모델링 하였고 환기횟수를 계산의 변화요소로 채택하였다. 환기횟수는 IGC규정에 의해 30회를 기본으로 하고 실험에서 정체구역이 파악된 만큼 환기횟수를 45회와 60회로 증가하면서 계산을 행하였다.

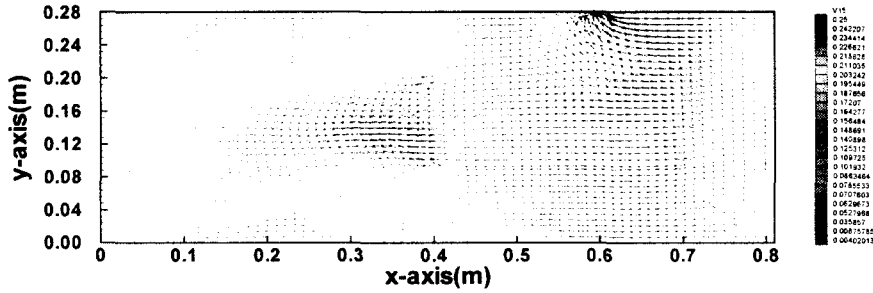
격자배치는 직교좌표계 상에서 등간격 격자를 사용하였으며 속도구배가 큰 Y방향으로 1.5배로 조밀하게 배치하였으며 PHOENICS (ver 2.4.1)을 사용하여 계산하였다. 표3은 수치계산에 적용된 계산조건이다.

Table 3 Computational Condition

Item	Conditions
Flow field	0.81×0.28×0.33(m)
Reynolds Number	6.5×10 <sup>4</sup> , 9.7×10 <sup>3</sup> , 1.29×10 <sup>4</sup>
Grid Number M <sub>x</sub> ×N <sub>y</sub> ×D <sub>z</sub>	72×38×42
Max. Grid Size	0.01125(m)
Min. Grid Size	0.00734(m)
In Flow Condition	0.347 m/sec 0.520 m/sec 0.693 m/sec
Out Flow Condition	$\frac{\partial U}{\partial y} = 0, \frac{\partial V}{\partial y} = 0, P = 0$

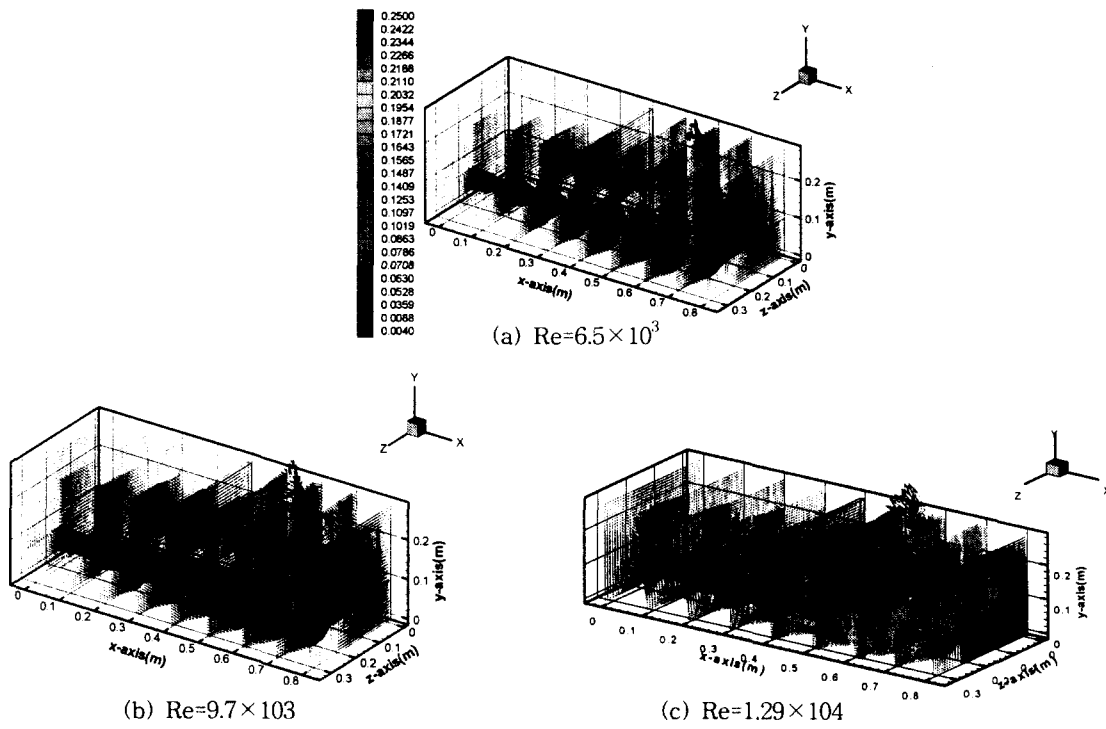


(a) Experiment result



(b) Simulation result

Fig. 8 Time-mean velocity vector at mid section(m1, m2, m3 and m4)



(b)  $Re=9.7 \times 10^3$

(c)  $Re=1.29 \times 10^4$

Fig. 9 Three dimensional velocity distribution

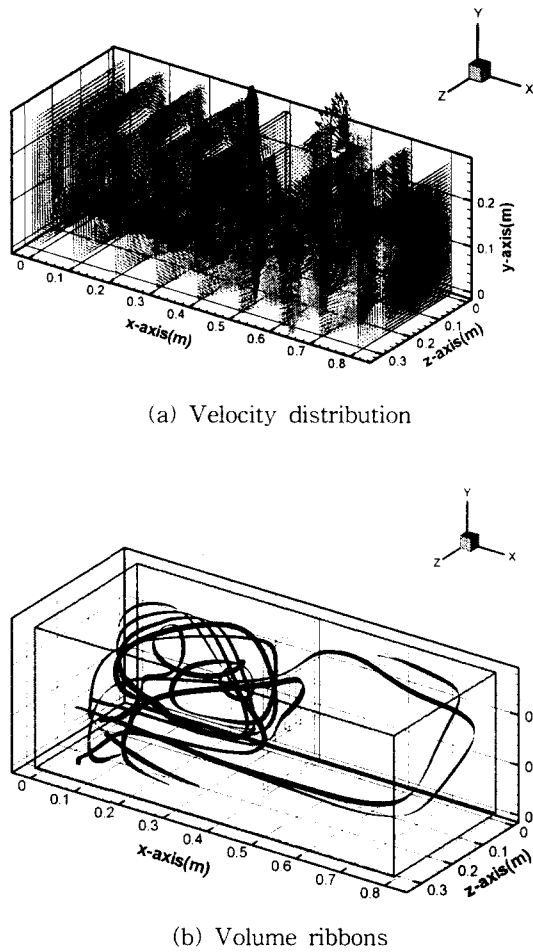


Fig. 10 CFD Result of modify inlet area

Fig. 9는 각 레이놀즈수에서 x축 방향의 속도벡터를 단면의 일정간격으로 나타낸 것이다. 좌측벽면의 입구로부터 유입되어 우측상부의 배기구로 유출되는 흐름이 우측벽면에 충돌하여 중앙격벽 주위의 흐름까지 영향을 주고 있는 것을 알 수 있으며 이러한 경향은 레이놀즈수가 증가할수록 커지고 있다. 설명의 편의를 위하여 PIV계측 결과를 고찰할 때와 같이 Fig. 5의 구역 구분을 사용한다. Fig. 9(a)에 도시되어 있는 레이놀즈수  $Re=6.5 \times 10^3$ 의 결과는 환기횟수 30회에 대한 수치해석의 결과이다. 전체적인 경향은 실험에서와 같이 "B"구역에서 "C"구역으로 L형태를 유지하면서

흐르는 주 유동이 있고 배기구로 유출되지 못한 흐름의 일부가 중앙 격벽을 통하여 구역"A"로 역류하고 있다. PIV 실험에서는 조명의 방향 및 카메라의 각도를 유지하는 어려움으로 X방향의 속도 분포는 계측하지 못하여 직접적인 비교는 어려우나 가시화 실험의 결과를 관찰한 결과와 전체적인 경향은 일치하였다. X단면의 속도분포에서 특이한 것은 구역"A"로부터 구역"B"로 유입되는 흐름이 바닥부위에서 반시계 방향으로 나선형의 흐름이 일부 나타나는 점이다. 이것은 입구의 위치가 스펠방향으로 약 2/3의 위치에 있음으로 해서 나타나는 현상으로 판단된다. 그리고 "A"구역의 좌측 상부 모서리 부의 속도분포도 매우 낮게 나타나고 있다. LNG의 특성은 공기보다 가벼우므로 유동이 없는 이러한 상부부분이 위험구역이 될 수 있을 것으로 추정된다. 중앙 격벽을 중심으로 좌측과 우측의 첫 번째 단면을 비교하여보면 "A"구역의 좌측단면의 속도분포가 다소 크게 나타나고 있다. 이것은 주유동이 배기구 측으로 진행하면서 일부 흐름이 중앙 격벽과 충돌하여 벽면을 따라 이동하기 때문이다. 이와 같은 현상은 우측벽면에서도 유사하게 나타나고 있다.

Fig. 9(b)와 Fig. 9(c)의 속도분포를 보면 전체적인 유동형태는 큰 차이를 보이지 않고 있다. 그러나 각각의 레이놀즈수가  $Re=9.7 \times 10^3$  과  $Re=1.29 \times 10^4$  으로 증가한 만큼  $Re=6.5 \times 10^3$ 의 경우와 비교하여 보면 레이놀즈수의 증가에 따른 유동 속도는 빨라지는 경향을 보이고 있다.

Fig. 10은 정체구역으로 나타난 부분을 해소하기 위하여 입구면적을 두배로 하였을 때의 결과를 나타낸 것이다. 내부 구조 중 가장 손쉽게 수정하기 위하여 높이를 그대로 두고 선미 측으로만 면적을 확장한 경우를 대상으로 하였다. 그리고 Fig. 9와 비교할 수 있도록 x축 방향의 속도벡터를 단면의 일정간격으로 나타낸 것과 볼륨라인을 도시하였다. 그림에서 보면 정체구역이었던 좌측 상부의 부분까지 입구로부터 유입된 흐름이 도달하여 정체구역이 해소됨을 알 수 있다. 그리고 좌측벽면의 입구로부터 유입되어 우측상부의 배기구로 유출되는 흐름이 우측벽면에 충돌하는 유동형태는 많이 감소되었다.

차후에 입구와 출구의 형상의 변화를 체계적으로 검토하여 원활한 환기구조를 갖는 화물구역의 설계모



델을 다각도로 검토할 경우 선박의 안전운항에 있어서 기술적으로 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 맺음말

선박의 동력환기특성을 조사하기 위하여 탱커의 펌프실 및 LNG선박의 후드실을 축소한 모델을 대상으로 수치해석 및 PIV기법으로 환기특성을 고찰한 결과 정체구역은 선수측 좌현 상부구역(펌프실)과 선미 측의 좌현 상부구역(후드실)이었으며 통풍구로부터 대 각방향의 유출구로 배출되는 주 흐름의 속도분포가 내부 환기구조에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. LNG 후드실의 경우 흐름을 제어하기 위해 설치된 중앙 격벽의 통기구는 본래의 역할과는 달리 역류하는 흐름의 통로로 이용됨을 알 수 있었으며 PIV 계측을 위해 설정한 12개의 영역 중 평균속도 및 최대 속도와 영역별변화가 가장 곳은 ml(표2)이었다. 또한 정체구역을 해소하는 방법으로는 통풍량을 늘리는 것 보다 유출입구의 크기와 위치를 개선하는 것이 효과적이었다.

#### 후 기

이 연구는 목포해양대학교 교내학술연구비의 지원으로 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

[1] International code for the construction and

equipment of ships carrying liquid gases in bulk  
 [2] Lee Y.H., Kim C.S., Cho D.H., Choi J.W., "PIV Measurement of Cubic Cavity Driven 2-D Plane Poiseuille Flow", Proc. of the Third JSME-KSME Fluids Engineering Conference, pp.335-340., 1994  
 [3] Suzuki, H. Hasegawa, E., and Matsufuji,H., " Movement of Small practices caused by an Air Flow in a Chamber". TSME international journal, Series 2, Vol.2, 1988  
 [4] Sakamoto. Y. and Matsuo. Y, " Numerical prediction of 3-D flow in a ventilated room using turbulence Models", Appl. Math. modeling, Vol.4, 1980  
 [5] Launder. B. E. and Spalding. D. B, " The numerical computation of Turbulent Flows", computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1974  
 [6] Murakami. S. and Kato. S, Sayama. S, " Three-Dimensional Numerical Simulation of Turbulence Air-flow in a ventilated Room by means of a Two-Equation Model", ASHRAE Trans, Vol.33, 1987  
 [7] Yamazaki. K, Komatsu. M, Otsubo. M, " Application Numerical Simulation for Residential Room Air Conditioning", ASHRAE Trans. No.3027  
 [8] 최장운, 이영호, "PIV에서의 계조치 상호 상관법 개발", 대한기계학회 춘계학술대회, 논문집(II), pp.396-400., 1995  
 [9] 최장운, 이영호, "PIV에서의 보간방법의 적용", 대한기계학회 추계학술대회 논문집(II), pp.49-56., 1995