

화물유 펌프실의 환기특성에 관한 연구

박 찬 수* · 조 대 환*

A Study on Ventilation Characteristics of Cargo-oil pump room

C. S. Park* · D. H. Cho*

Key words : Particle Image Velocimetry(PIV : 입자영상유속계), Flow Visualization(유동가시화), Ventilation Characteristics(환기특성), Cargo-oil Pump Room(화물유 펌프실), Unsteady Flow(비정상유동)

Abstract

In this study, a scaled model chamber was built to investigate ventilation characteristics of the Under floor Air-conditioning System. Experimental study was performed in model for cargo-oil pump room with inlet and outlet by visualization equipment with laser apparatus. Instant simultaneous velocity vectors at whole field were measured by 2-D PIV system(CACTUS' 2000) which adopted two-frame grey-level cross correlation algorithm. The flow pattern reveals the large scale counterclockwise forced-vortex rotation from upside louver to lower scupper toward diagonal corner and also found small eddies at bottom layer

기호설명

B : width of cavity(mm)
 H : height of cavity(mm)
 L : length of cavity(mm)
 l : distance between particles
 Re : modified Reynolds number, $v \cdot B/\nu$
 U : unit velocity (m/sec)
 u : x-axis direction velocity
 v : y-axis direction velocity

(x, y) : pixel coordinate of image

그리스 문자

Δt : time interval between image frame
 θ : rotation angle of image
 λ : wave length of laser

1. 서 론

원유나 석유제품류를 운반하는 유조선과 화학

* 목포해양대학교 기관공학과(원고접수일 : 99년 11월)

제품 등을 운반하는 위험 화학품 운반선(Chemical Tanker) 등 많은 선박이 액체화물의 운송에 이용되고 있다. 이러한 선박의 운항에 있어서 제일 중요한 작업은 화물을 적재하고 하역하는 작업이다. 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 케이싱(Casing)에 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.

IGC code¹⁾(International code for the construction and equipment of ships carrying liquid gases in bulk)에서는 환기능력에 대해 12장 1절에서 다음과 같은 규정을 두고 있다. “통풍장치의 흡입구 및 배출구는 그 구역 내에 가연성 또는 독성의 화물증기가 축적되지 아니하도록 충분한 공기를 유통시킬 수 있고 또한 내부에서 안전하게 작업할 수 있는 환경이 확보되도록 배치하여야 한다. 또한 통풍장치는 그 구역의 총 용적을 기준으로 하여 시간당 30회 이상의 환기능력을 가지는 것이어야 한다.” 그리고 IGC code 13장 6절에서는 플랜지, 밸브 등이 설치되는 장소 및 보일러, 디젤 기관, 가스터빈과 같이 가스연료를 사용하는 기기의 연료관 부분에는 통풍후드 또는 케이싱을 설치하여야 하며 이 통풍후드 또는 케이싱의 환기에 1시간당 30회의 공기치환이 되는 배기식 동력통풍장치의 설치를 규정하고 있다.

사각공간의 환기와 관련된 연구는 모델실험²⁻⁵⁾

이나 수치해석⁶⁻⁷⁾에 의해 주로 연구되고 있으며, 주로 내부유동패턴을 개선으로 환기구조에서 정체구역을 줄이거나 환기효율의 개선으로 에너지를 절감하는 것을 목표로 하고 있다.

이러한 배경으로부터 이 연구에서는 실제선박의 펌프실을 1/18로 축소된 모델을 대상으로 가시화 실험 및 PIV기법⁸⁻¹⁰⁾을 적용한 계측으로 내부의 환기특성을 고찰하고 정체구역을 규명하여, 일선 해기사의 안전운항과 선박의 배관설계에 관한 기초자료의 확보를 일차적인 목표로 하였다. 그 결과 정체구역은 선수 측 좌현 상부구역이었으며, 상부의 통풍구로부터 대각방향의 유출구로 배출되는 주 흐름의 속도=根號Y 내부 환기구조에 가장 큰 영향을 미치는 결과를 얻었다.

2. 실험방법 및 계측조건

그림1은 본 연구의 모델이 된 선박의 전체 배치도이다. 선박을 측면에서 본 배치도가 상부의 도면이고 아래쪽의 도면이 위에서 본 배치도이다. 선박의 거주구는 선미 측에 위치되어 있으며, 선수 측으로부터 거주구까지 대부분은 화물탱크로 구성되어 있다.

측면배치도에서 보면 선미 측으로부터 선박의 추진을 위한 주기관이 탑재되어 있는 기관실과 바로 옆에 펌프실이 있다. 화물이송을 위한 펌프의 동력원은 기관실에 설치되어 있고, 구동 축은 벽면을 관통하여 펌프와 연결되어 있다. 이것은 동력원

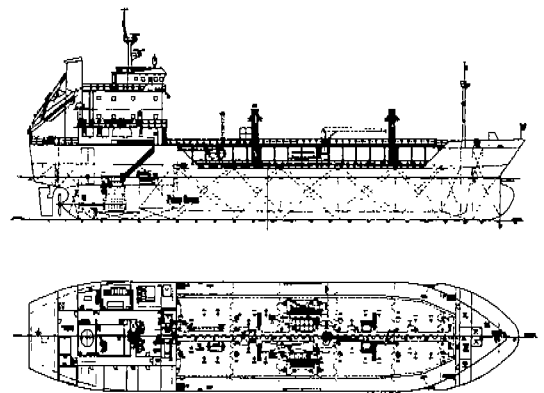


Fig. 1 Arrangement of Tanker

3. 실험 결과 및 고찰

그림3은 실험유동장의 개략도로서 내부유동의 흐름패턴이 간략히 도시되어 있다. 내부 배관 때문에 카메라의 위치를 선수 측에서 선미 방향으로 하였다. 따라서 계측경과와 개략도와는 좌우가 다르게 나타나 있다. 계측 영역은 작업이 가장 많이 있는 장소인 선수미 벽면근처의 두 영역($z/Z=0.1$, $z/Z=0.9$)과 중앙단면($z/Z=0.5$)의 3단면을 대상으로 가시화 하였다.

전체적인 유동패턴은 크게 3가지로 나누어 설명할 수 있다. 촬영된 영상을 관찰하여보면 유동장의 우측상부에 위치한 유입구로부터 대각방향의 좌측하부로 흐르는 "L"형 유동(그림3 "A", "C")이 전체유동패턴에 가장 큰 영향을 미치고 있으며 이 경향은 레이놀즈수가 증가할수록 크게 나타났다. 그림3의 유동의 개략도에 나타나 있는 것과 같이 자연통풍구로부터 유입되어 대각방향의 배기구로 흐르는 유동이 주유동으로 관찰되었으며, 그림3의 "C"와 같은 경로로 우측 배기구 측으로 이동한다. 그리고 바닥면을 순환하는 흐름의 영향으로 그림3의 "D"와 같은 경로로 일부가 이동하게 된다. 전체적인 유동의 형태는 "C"의 경로로 이동하는 주유동과 이로 인한 2차와류가 내부유동을 지배하고 있으며 여기에 합류되지 못한 흐름은 내부공간의 벽면을 따라 재순환 하게 된다. 따라서 각 단면별 2차와류의 위치도 $z/Z=0.5$ 의 경우 중앙 하부에 있으나 $z/Z=0.1$ 의 경우 좌측벽면 측에 근접하여 크게 나타나고 $z/Z=0.9$ 의 경우 반대로 우측벽면의

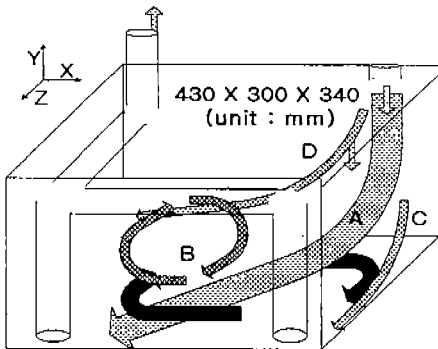
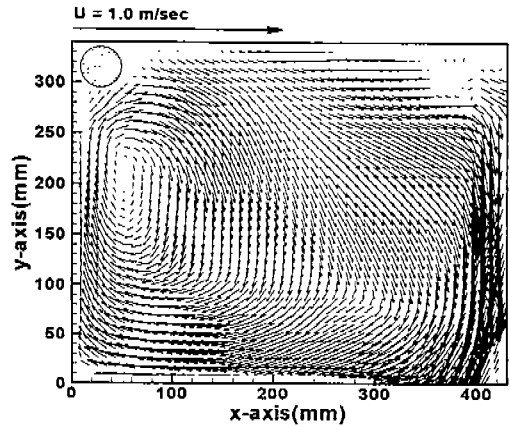
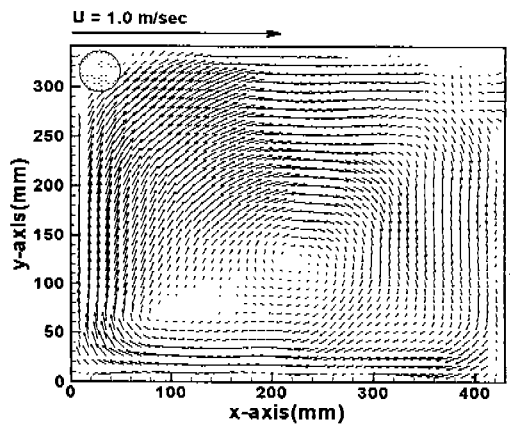


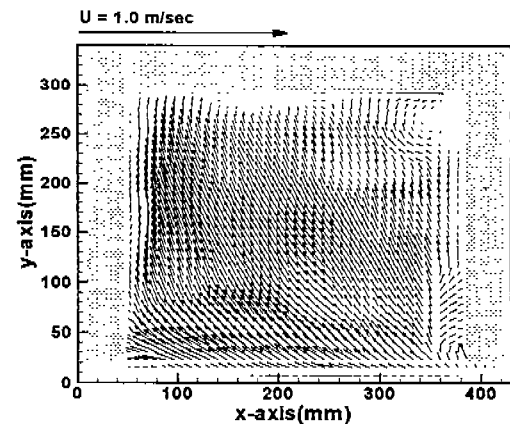
Fig. 3 Schematic diagram of model pump room



(a) $z/Z=0.1$



(b) $z/Z=0.5$



(c) $z/Z=0.9$

Fig.4 Time-mean Velocity Distribution

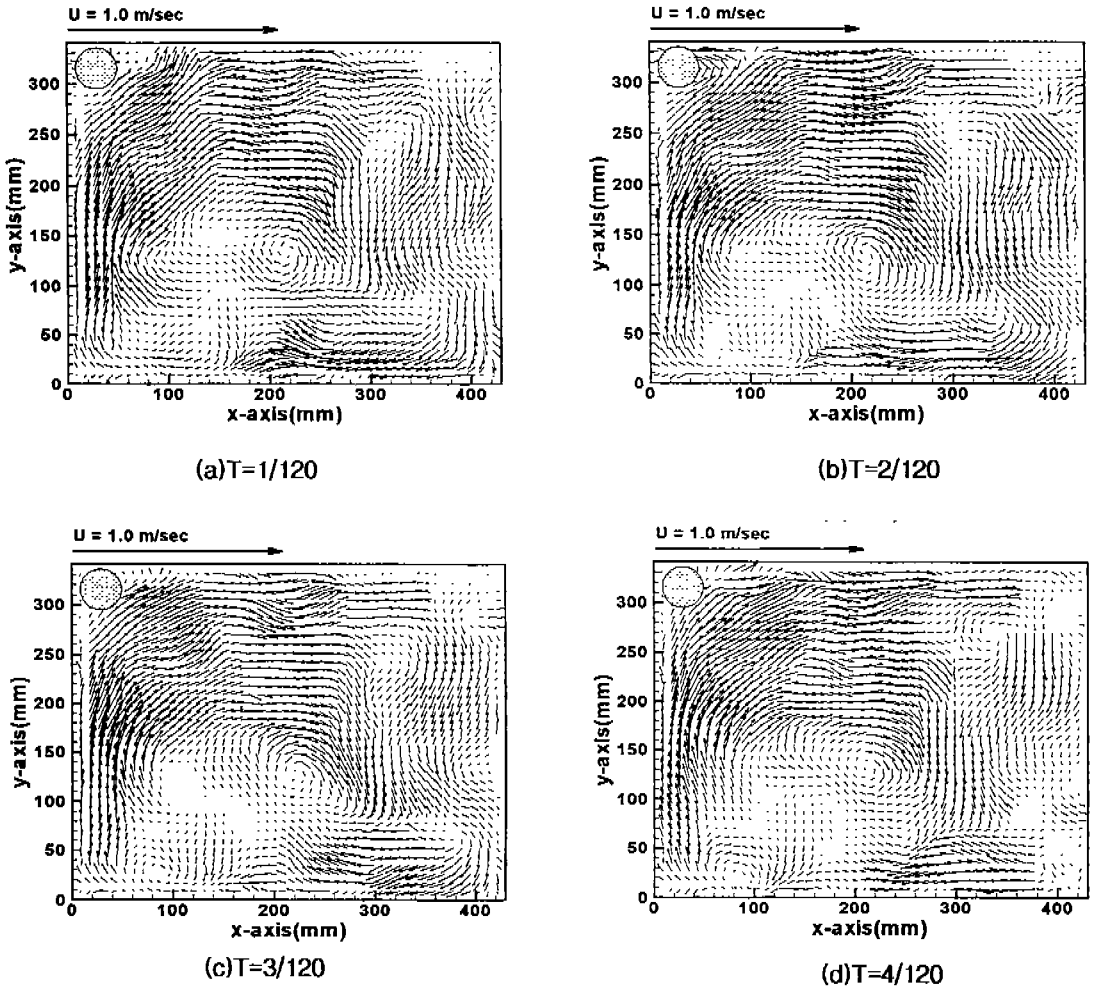


Fig. 5 Time-Sequential Instantaneous Velocity Distribution at $z/Z=0.5$

상부에서 볼 수 있다.

즉, 대각방향의 단면을 기준으로 선미 측의 우측 모서리와 선수 측의 좌측 모서리 영역으로 갈수록 단면별 와류의 위치는 하부에서 상부 측으로 그리고 중앙에서 좌우 측벽면 쪽으로 측으로 이동하여 나타나게 된다. 와류의 회전 방향은 모두 시계방향이다. 그림4는 전체적인 유동의 경향을 파악하기 위하여 환기횟수 45회에 대한 단면별 PIV 계측을 행한 결과를 보이고 있다. 계측단면은 z축을 기준으로 선수 측으로부터 $z/Z=0.1$, $z/Z=0.5$ 그리고 $z/Z=0.9$ 의 세 단면이다. 어느 경우에도 우측상부 구역(실선의 좌현 상부 측)의 속도분포가 다소 낮

게 나타나고 있다. 그리고 $z/Z=0.1$ 및 $z/Z=0.5$ 의 경우 강제와류와 유사한 구조의 시계방향으로 회전하는 와류를 볼 수 있다.

이 와류의 세기는 그림4(a)의 $z/Z=0.1$ 의 단면에서 가장 크게 나타나고 있고 위치는 좌측벽면 근처이다. 이곳에서 와류의 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 나타나게 된다. 그림에는 나타나 있지 않

나 이 흐름은 유출구로 이동하면서 매우 복잡한 구조의 와류를 형성하며 이동하고 우측하부의 유출구로 배출된다. 그리고 우측상부의 모서리 영역에 작은 규모의 시계반대방향으로 회전하는 와류가 보이고 있다.

우측벽면의 중간에서부터 유입유동이 보이는 것은 해석영역이 유입구의 하부가 아닌 $z/Z=0.1$ 단면이기 때문이다.

그림4(c)는 $z/Z=0.9$ 의 단면에서의 PIV계측 결과이다. 유동의 경향은 내부를 재순환 하는 저주파성의 유동의 영향으로 상부로 상승하며 $z/Z=0.1$ 의 단면으로 재순환 하게 된다. 이것은 공간 내부에 흐르는 주유동이 대각방향으로 진행하기 때문이다.

그림5는 임의의 시각에 계측한 전 유동장에 대

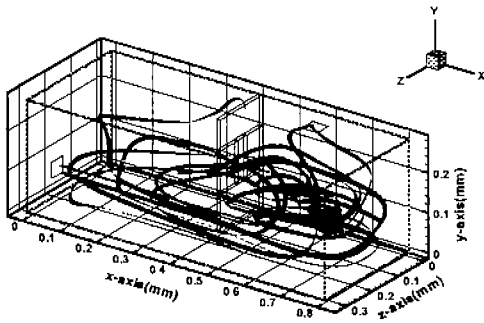


Fig. 6 Stream-ribbons of hood room for LNG Carrier(Ref.6)

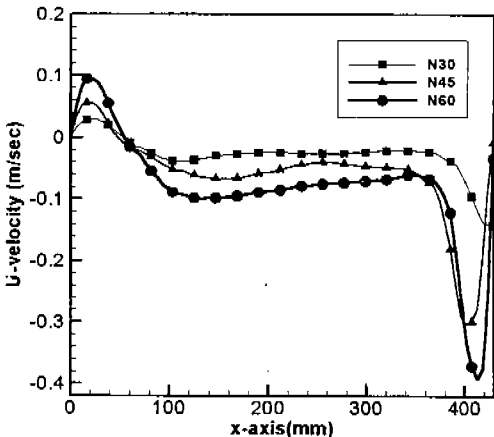


Fig. 7 Time-mean Velocity Profiles at Vertical center line

한 PIV 결과 중 $z/Z=0.5$ 에 해당하는 단면의 시간별 순간속도분포이다. 그림5에서 시간간격은 1/120초이다. 그림5(a)에서 보면 전체적으로 벽면을 따라 회전하는 유동과 좌측 하부에 또 다른 와류가 나타나고 있다. 그리고 시간진행에 따라 작은 와류가 생성되고 소멸되면서 유출구로 이동하는 비정상 특성을 보이고 있다. 이것은 그림3에서 설명한 바와 같이 자연통풍구로부터 유입된 유동이 일차적으로 하부의 바닥면에 도달하여 이동하기 때문이다. 특히 배기구가 바닥면에 근접해 있어 공간내부를 재순환 하는 저주파성의 유동이 주유동에 혼합되면서 나타나는 유동현상으로 추정된다.

배기구가 바닥면에 근접하여 설치된 것은 원유나 원유의 정제유 등에서 발생하는 가연성 가스중 공기보다 무거운 가스의 비율이 많기 때문이다. 시간별로 유동형태의 변화가 크게 나타나는 것은 우선적으로 중앙부의 2차와류의 좌측으로 상승하여 시계방향으로 회전하는 유동의 변화이다. 주유동에 의해 발생된 와류의 위치는 시간에 따라 변화하지 않으나 이를 중심으로 회전하는 유동에 의해 주변의 흐름은 크게 변화하고 있음을 알 수 있다.

그림5(a)에서 우측하부에 바닥면의 따라 이동하는 유동의 경우 우측벽면의 주위에서 하강하는 흐름이 바닥면을 따라 이동한 것이다. 1/120초의 시간차를 두고 계측된 그림5(b)에서는 이 유동의 흐름방향이 중앙부의 와류의 중심 축으로 이동하고 있고, 그 영향으로 그림5(c)에서 좌측 바닥면에 또 다른 와류를 형성하고 있다. 이 와류는 그림5(d)에서 그 크기가 다소 커지고 있다. 그러나 우측상부의 영역에서는 시간 변화에 따라 속도분포가 크기가 비교적 작게 나타나 있다. 이러한 경향은 그림4(c)의 우측상부에서와 같이 선수 쪽으로 가면 서 더욱 낮게 나타나게 된다.

그림6은 Cho⁶⁾가 LNG선박의 후드실을 대상으로 환기횟수 45회에 대해 수치해석을 한 결과이다. 펌프실에 비해 장방형인 점과 내부에 격벽이 있는 점등이 다소 상이하나 "L"형의 주흐름 및 중앙부에 강제와류 형태의 재순환 유동이 존재하는 점은 이 연구의 실험결과와 유사하다. 펌프실의 환기특성은 대각 방향의 주유동과 공간내부를 재순환 하는 저주파성의 흐름이 내부에서 혼합되는 복

잡한 형태이다. 따라서 차후에는 계측기법의 개선을 통한 3차원의 계측이 필요하다.

그림7은 3가지 환기횟수의 시간평균의 데이터를 이용하여 수직속도성분을 내부공간의 기하학적 수평중심선에 대해 80개의 검출점을 도시한 결과이다. 계측단면은 $z/Z=0.1$ 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 영향이 45회에 비해 작기 때문인 것으로 추정된다.

4. 결 론

이 연구에서는 위험액체화물을 수송하는 특수선을 대상으로 화물유 펌프실의 환기특성을 규명하고자 하였다. 가시화 실험모델은 운항중인 선박의 펌프실을 실측하여 축소 제작하였으며 내부속도분포는 PIV 기법으로 계측하였다. 이 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 정체구역은 선수 측 좌현 상부영역이었으며, 이는 배기구를 대칭으로 설치할 경우 크게 개선될 것으로 판단된다.

(2) 환기구조에 가장 큰 영향을 미치는 것은 상부의 통풍구로부터 대각방향의 유출구로 배출되는 "L"형의 주유동의 속도분포이며 이 경향은 레이놀즈수가 증가할수록 크게 나타났다.

(3) 펌프실의 중앙에 강재와류와 유사한 구조를 갖고 시계방향으로 회전하는 재순환 와류가 주유동의 영향으로 발생하였다.

(4) 시간진행에 따른 순간 속도분포에서 바닥면을 따라 이동하는 유동에서 작은 규모의 와류가 생성되고 소멸되면서 유출구로 이동하는 비정상 특성을 보였다.

펌프실의 유동구조는 3차원성이 크므로 차후에 3차원 CFD에 의한 비교검토가 필요하다.

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) H. S. Chung, H. M. Jeong, C. J. Lee, and S. S. Kwon, "Study on convection heat transfer in a ventilated room with horizontal partitions", proc. 11th Int. Heat Transfer conf., kyongju, Vol.3, pp.245~250, 1998.
- 3) Y.H. Lee, C.S.Kim, D.H.Cho, J.W.Choi, "PIV Measurement of Cubic Cavity Driven by 2-D Plane Poiseuille Flow," Proc. 3rd J/KSME Fluids Eng. Conf., JSME-KSME, pp.335~340, 1994
- 4) 최장운, 도덕희 and 이영호, "PIV에 의한 가정용 냉장고팬 유입부의 속도계측", 대한기계학회 춘계학술대회논문집(2), pp.670~674, 1996
- 5) 김동찬, 박찬수, 최민선 and 조대환, "특수선 화물유 펌프실의 환기에 관한 가시화 실험", 한국동력기계공학회 추계학술대회논문집, pp.81~86, 1998.
- 6) 조대환, 김준효, 김동찬 and 이영호, "3차원 수치해석에 의한 LNG선박의 후드실 환기구조에 관한 연구", 한국동력기계공학회 추계학술대회논문집, 1999.
- 7) 박찬수, 조대환, "일정 열유속의 열원을 갖는 사각공간의 혼합대류 열전달", 한국박용기관학회지, 23권 제3호, 1999.
- 8) R.J.Adrian, "Limiting Resolution of Particle Image Velocimetry for Turbulent Flow," Proc. Advances in Turbulence Research, POSTEC Pohang Korea, pp.1~19, 1995
- 9) R.D.Keane and R.J.Adrian, "Theory of Cross-Correlation Analysis of PIV Images, Flow Visualization and Image Analysis," F.T.M.Nieuwstadt (ed.) Kluwer Academic Pub. pp.1~25, 1993
- 10) Y.H.Lee, D.H.Doh, J.W.Choi, "A Study on Video-Fields Correlation PIV for High Speed Flows", Proc. of 1st Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing, Hawaii, 1997.

저 자 소 개



박천수(朴燦洙)

1957년 3월10일생. 1978년 목포해양대학교 기관학과 졸업. 1998년 목포대학교 기계공학과 졸업(석사). 1999년~현재 동대학원 박사과정 재학중1급기관사. 1999년~현재 목포해양대학교, 기관 공학부 전임강사, 당 학회 회원



조대환(趙大煥)

1986년 한국해양대학교 기관학과 졸업, 1998년 한국해양대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사), 목포해양대학교 기관공학부 전임강사, 당학회 종신회원