

## PIV를 이용한 단순물체 후류의 유동특성에 관한 연구

최상범<sup>1</sup> · 조대환\* · 최주열<sup>1</sup>

(원고접수일 : 2010년 10월 12일, 원고수정일 : 2010년 11월 19일, 심사완료일 : 2011년 1월 11일)

### A Study on Flow Characteristics Behind the Bluff Body Using the PIV

Sang-Bom Choe<sup>1</sup> · Dae-Hwan Cho\* · Joo-Yol Choi<sup>1</sup>

**요 약 :** 이 연구에서는 대표적인 단순물체인 컨테이너선의 거주부를 모델링하여 모형선을 제작하였다. 그리고 거주부 측면에 디플렉터의 설치와 Sunken Deck의 개폐에 따른 거주부 후방의 배기가스 역류방지 효과를 회류수조에서 PIV 기법을 이용하여 측정하였다. 실험 장치는 고속카메라, 레이저, 이미지보드, 대용량컴퓨터로 구성된다. 거주부 후방에서 평균속도벡터와 축방향 속도를 구하여 그 결과를 서로 비교하였다.

**주제어 :** 단순물체, 거주부, 디플렉터, PIV, 회류수조

**Abstract:** In this study, We modeled the deck house of the container ship like the representative bluff body and made the model ship. By using the PIV technique, the exhaust gas anti-reflux effect of the deck house backward according to open and close of the Sunken Deck and installation of the deflector in deck house side were measured in circulating water channel. The experiment system consists of hi-speed camera, laser, image board, host computer. The mean velocity vector and time mean axial velocity were found in deck house backward and the results were compared each case.

**Key words:** Bluff body, Deck house, Deflector, Particle image velocimetry, Circulating water channel

## 1. 서 론

단순물체(Bluff body) 주위의 유동현상과 영향에 대한 관찰과 고찰은 실제 산업분야에서 발생하는 많은 공학적인 문제를 해결하는데 필요하다. 단순물체 주위의 유동은 비정상 유동이면서 복잡한 유동현상들이 혼재하여 나타난다. 따라서 단순물체 주위의 유동 현상을 규명하는 것은 공학적 측면에서 기본이 되는 것이며, 물체 주위에 발생하는 여러 가지 문제를 해결하고 이해하는데 필수적이다. 최근 컨테이너화물 물동량의 증가는 컨테이너 선박의 대형화를 촉진 시키고 있다. 선사들은 경제적 효과를 추구하기 위해 대형화는 기술과 경제성이

보장되는 한 지속될 전망이다[1]. 이러한 대형 컨테이너선은 여러 가지 이유로 다른 선종의 선박에 비해 거주구역의 배치가 선수 쪽으로 많이 이동하여 있다. 거주부 형상은 단순한 평면들로 구성되어 있기 때문에 대표적인 직사각형의 단순물체라 할 수 있다. 또한 컨테이너선의 특성상 갑판상부에 화물을 적재하므로 거주부의 높이가 비교적 높은 편이며 연들의 위치도 거주부의 후방에 설치되게 된다. 따라서 거주구역 후방에 부압 층이 형성되고 이에 따른 배기가스의 역류가 발생하게 된다. 선박의 연대에서 배출되는 배기가스에는 이산화탄소를 비롯한 이산화황(SO<sub>2</sub>), 질소산화물(NO<sub>x</sub>)등과 같

\* 교신저자(목포해양대학교 기관시스템공학부, E-mail:dhcho@mmu.ac.kr, Tel: 061-240-7217)

<sup>1</sup> 목포해양대학교 기관시스템공학부

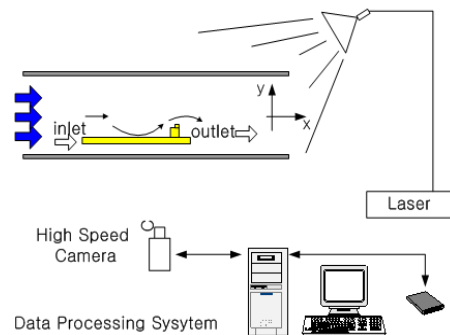
이 인체에 해로운 물질을 다량 함유하고 있다[2]. 이런 배기가스가 역류하여 선체주위에 정체되면 선박과 선적화물을 오염시킬 뿐 아니라 거주구역 후방에 컨테이너의 적재가 적은 경우 배기가스는 에어컨 팬과 기관실 팬을 통하여 거주구역 내부로 유입되고 선교 측에 정체되어 선박근무자의 건강과 각종 기기에 좋지 않은 영향을 미친다.

단순물체 주위의 유동현상은 유체역학적이거나 산업현장에서 매우 중요하고 고전적인 관심사였기 때문에 지금까지 많은 연구가 진행되고 있다[3]. 특히 PIV(Particle Image Velocimetry)를 이용한 단순물체 후류의 유동특성에 관하여 연구한 내용을 살펴보면 다음과 같다. [4]에서는 Multyvision PIV 기법을 이용하여 6가지 단순물체 후류영역의 유동특성을 관찰 하였고, [5]에서는 직사각형 실린더에서 수치해석 및 PIV기법으로 평균속도를 구하였으며, [6]에서는 원형 및 정사각 실린더의 후류에 관한 실험연구를 통해 후류의 재순환 영역을 비교하였다. 또한 선박에 대한 거주부 후방과 연돌 주위의 유동현상에 관한 연구는 모형 시험과 CFD 해석이 주로 사용되고 있다. 모형 시험은 정확도는 우수한 반면, 유동장의 모든 정보를 얻기 위해서는 시간과 비용이 많이 소요된다. CFD 해석은 정확도는 다소 떨어지지만 다양한 설계조건과 실험조건에 대하여 신속하고 경제적인 검토를 가능하기 때문에 최근 CFD 해석 사례가 증가되고 있다. [7]에서는 CFD 해석을 통하여 선박 배기관에서 배출된 배기가스가 확산되어 거주부 후단에 정체되는 원인을 거주부 후단의 압력 감소로 인하여 배기가스의 주 흐름이 낮아지기 때문이며, 선교와 연돌에서 형성된 난류가 배기관에서 배출된 배기가스의 난류혼합을 촉진시키기 때문이라고 하였다. 이러한 현상은 공선 시운전 중에 뚜렷하게 나타난다고 하였다. [8]에서는 선박의 Funnel 설계 시 고려해야 할 전반적인 사항에 대하여 그동안 수행했던 전산해석을 바탕으로 설계 권고안을 제시하였으며, [9]에서는 선박의 거주부 형상을 단순화하여 거주부 후방의 유동특성을 전산해석과 PIV 해석 통하여 비교하였다.

본 연구에서는 대형 컨테이너선의 거주부 후방에 배기가스가 역류하는 현상을 개선하고자 8700TEU급 컨테이너선을 1/40로 축소된 단순모형을 제작하여 실험을 하였다. 실험은 소형 회류수조에서 실시하였으며 거주부 후방의 유동을 PIV 기법을 이용하여 계측하였다. 거주부 측면에 디플렉터의 설치와 Sunken deck의 개폐에 따라 거주부 후방 유동특성의 변화와 부압영역의 형태를 관찰하고, 배기가스 역류방지 효과를 고찰하고자 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

2차원 회류수조는 투명한 강화유리로 제작되었으며 균일한 유입속도를 얻기 위하여 전방에 정류관과 다공관을 설치하였다. 시험부의 규격은  $l=1,500\text{mm}$ ,  $h=600\text{mm}$ ,  $w=400\text{mm}$  이며 수면의 높이는 500mm로 유속분포는  $\pm 2.0\%$ 이다. **Figure 1**은 전체적인 실험장치의 구성도이다. PIV의 영상처리시스템은 크게 레이저(5W), 레이저 시트, 고속카메라(FASTCAM-X,  $1280 \times 1024$ ), 영상처리프로그램(CACTUS 3.1), 제어 및 계산용 컴퓨터 등으로 구성된다. 레이저로부터 원통형 렌즈를 통해 2차원의 단면광을 생성하여 계측 유동장을 가시화 하고, 가시화된 영상을 고속카메라로 촬영하였다. 촬영된 영상은 이미지를 0에서 255단계의 Gray레벨로 전송하는 DT3155보드를 통해 컴퓨터에 저장된다. 그리고 영상처리프로그램인 CACTUS 3.1을 이용하여 해석하였다.



**Figure 1:** Schematic diagram of experiment

PIV계측에서 유동장을 가시화하고 해석하는데 있어 가장 중요한 부분을 차지하는 것이 입자의 선정이다. PIV는 유동장에 분포된 입자의 미소시간 간격 영상을 컴퓨터로 분석하여 속도벡터에 대한 데이터를 얻는 방법이므로 입자의 추종특성은 결과의 신뢰성에 매우 큰 영향을 미친다. 따라서 실험에서 사용한 고체 트레이서 입자는 거름망을 이용하여 평균직경이 110 $\mu\text{m}$  정도의 추종성과 산란성이 우수한 백색의 PVC(Poly Vinyl Chloride) 구형입자를 사용하였다.

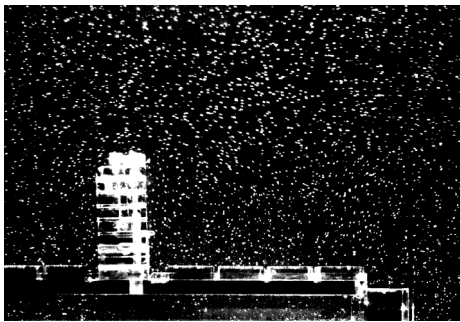


Figure 2: Visualization image of flow field

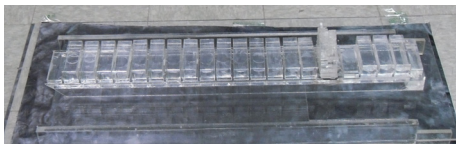


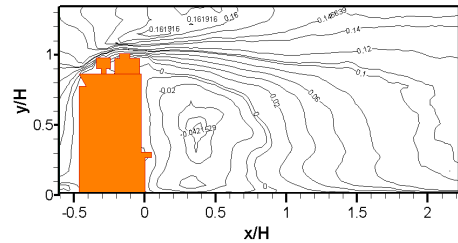
Figure 3: 1/400 scale model ship

Figure 3은 실험에 사용된 모형선의 사진이다. 모형의 제작은 시험부의 크기를 고려하여 8700TEU급 컨테이너선을 1/400로 축소하여  $l=815\text{mm}$ ,  $h=13\text{mm}$ ,  $w=10.5\text{mm}$ 이고 그중 대표길이인 Deck house의 높이  $H$ 는 95mm로 레이저의 투과성이 좋은 아크릴로 제작하였다. 모형은 바닥으로부터 1.1H, 수면에서 모형상부까지는 3H로 모형을 설치하였다. 그리고 수면파에 의한 빛의 굴절현상을 없애기 위하여 상부에 얇은 아크릴 판을 설치하여 채널형의 유로를 만들었다.

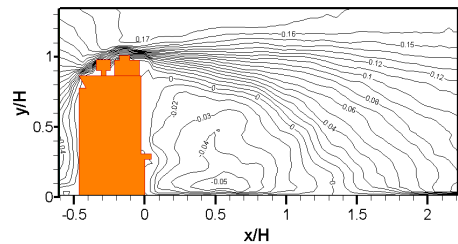
### 3. 결과 및 고찰

Figure 4는 거주부 후방 유동장의 수평속도성

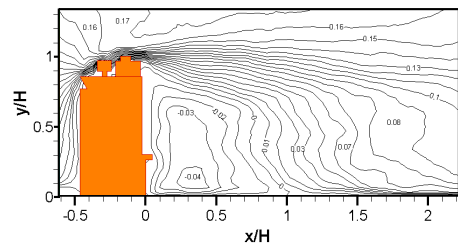
분에 대한 등속도선도이다. 전면에서 유입되는 속도성분이 거주부의 전면에 부딪쳐 좌우측 및 상부로 진행하고 거주부 후방에서는 계단유동과 유사한 유동구조를 보이고 있다. 모형선 주위의 속도장을 분석한 결과 거주부의 후방에 형성된 부압영역의 영향과 좌우측에서 돌아서 유입되는 흐름의 간섭으로 거주부 높이 기준  $x/H=1.3$  근방에서 재부착점을 형성하고 있다. (a) Original의 경우  $x/H=0.4$ ,  $y/H=0.45$  위치에서 최고의 음의 속도를 나타냈다. 또한 전체적인 음의 속도분포를 보이는 영역은  $x/H=0 \sim 0.9$ 에서 나타났다. 하지만 Covering을 한 경우와 거주부 측면에 디플렉터를 설치한 경우는  $x/H=0 \sim 1.3$ ,  $x/H=0 \sim 1.0$ 으로 나타났다. 그리고 가장 큰 음의 속도 영역도  $x/H=0.5$ ,  $y/H=0.1$   $x/H=0.35$ ,  $y/H=0.1$ 에서



(a) Original



(b) Covering

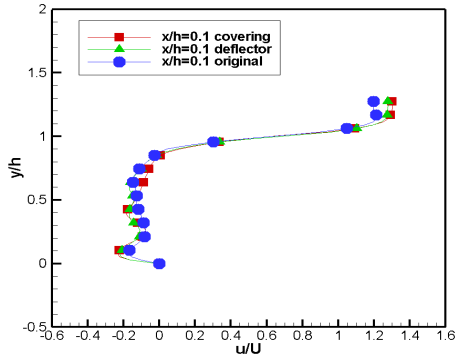


(c) Deflector

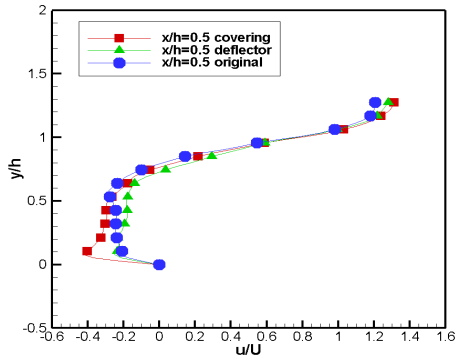
Figure 4: Comparison of equi-velocity distribution

나타났다. 이것은 Covering의 경우 거주부 후방의 갑판을 연장하는 효과가 있어 거주부 방향으로 재순환을 촉진 시키는 것으로 판단되며, 디플렉터의 경우 거주부 측면의  $y/H=0.4\sim 0.7$  주위에 설치된 디플렉터에 의해 전방에서 유입된 주 흐름이 후방으로 흘러 나가면서 계측영역인 거주부 중앙으로 재순환을 일으켜 거주부 중앙부의 음의 속도를

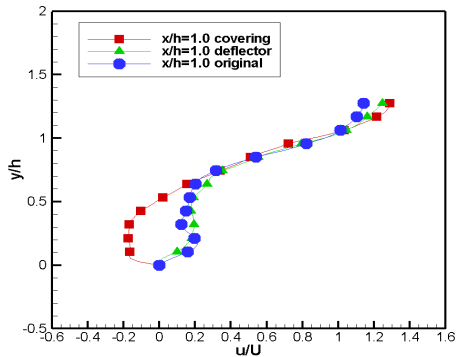
증가시킨 것으로 보인다. 하지만 기관실 팬이 설치된  $y/H=0.4$ 에서는 배기가스 역류로 인한 기관실로의 유입방지 효과는 있을 것으로 판단된다. 이것은 [10]에서 실선을 1/100로 모델링하여 모형선의 연돌에서 배출되는 배기가스를 유동 가시화하고 디플렉터가 배기가스 역류에 미치는 효과에 대한 풍동실험의 결과와 일치함을 보였다.



(a)  $x/H=0.1$

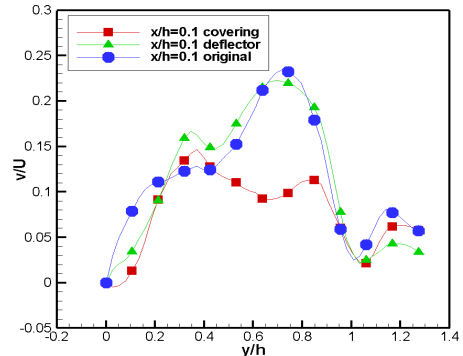


(b)  $x/H=0.5$

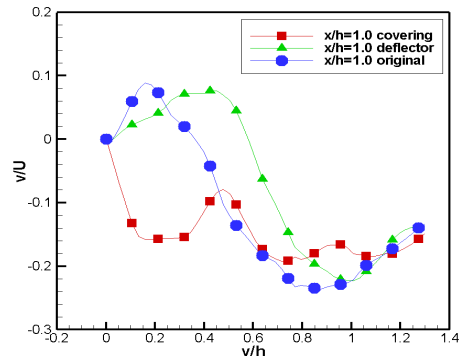


(c)  $x/H=1.0$

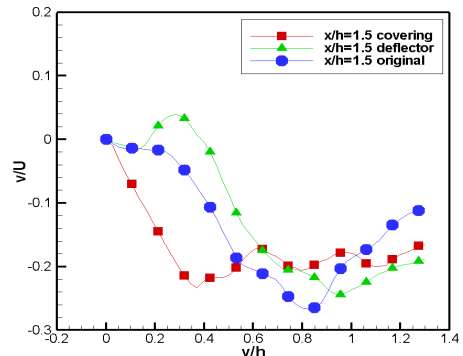
Figure 5: Comparison of u-velocity component



(a)  $x/H=0.1$



(b)  $x/H=1.0$



(c)  $x/H=1.5$

Figure 6: Comparison of v-velocity component

Figure 5는  $x/H=0.1 \sim 1.0$ 까지의 거주부 후방의 평균 수평속도성분( $U$ )을 유입평균 수평속도 성분( $u$ )으로 무차원화 하여 각 조건별로 비교하여 나타낸 것이다.  $x/H=0.1$ 의 경우 모든 조건에서 각 위치별로 매우 비슷한 값을 보였다. 이것은 거주부 후방에 아주 근접한 구역인  $x/H=0.1$ 에서는 거주부 벽면의 영향으로 수평방향 속도성분이 각 조건별로 크게 영향을 받지 않음을 의미한다. 하지만  $x/H=0.5 \sim 1.0$ 까지의 영역에서는 Sunken deck를 Covering한 경우가 다른 경우 보다 작은 값을 보였으며, 특히  $x/H=0.5$ 에서 가장 작은 값을 보였다. (c)  $x/H=1.0$ 은 Covering한 경우만  $y/H=0.5$ 까지 음의 값을 보였으며 이런 현상은 전술한 바와 같이 Covering으로 인한 재순환의 축진으로 보여진다. Figure 6은 수직성분 평균속도성분을 나타낸 것이다. (a)  $x/H=0.1$ 의 경우  $y/H=0.5 \sim 0.9$ 에서 Covering을 한 것이 다른 두 조건에 비해 상부로 유동하는 값이 작게 나타남을 보였다. 또한 모든 조건에서 상부로 유동하는 양의 값을 보였다. 이것의 독특한 물체 후류에서 나타나는 재순환영역의 순환류가 거주부 벽면에 부딪쳐 상승류를 만들었기 때문으로 보이며 Figure 5의  $x/H=0.1$ 에서의 수평방향의 속도성분이 큰 변화가 없었던 것도 이런 원인으로 보인다. (b)  $x/H=1.0$ 의 경우 측면에 디플렉터를 설치한 경우가 다른 것에 비해  $y/H=0.4 \sim 0.7$ 부분에서 상부로 유동하는 성분이 크게 나타났다. (c)  $x/H=1.5$  위치에서도  $y/H=0.2 \sim 0.6$ 사이에서 높게 나타남을 보였다. 이것은 디플렉터를 설치 위치와 일치하며 디플렉터를 통해 기체가 압축되어 후방영역으로 진행함으로써 거주구역 후방에 형성되는 부압영역을 줄여주기 때문이다. 디플렉터를 통한 기류가 배기가스를 선미 부분으로 밀어내어 배기가스의 역류를 감소시키는 것으로 판단된다. 그리고 모든 위치에서  $y/H=0.9$  이후에는 즉 상부영역에서는 각 조건별로 수직성분에 대한 유동의 변화가 크지 않았다. 이것은 물체 상부에서 박리되어 후류로 흐르는 주유동은  $y/H=0.9$  이후에는 수직방향 유동에 각 조건이 크게 영향을 주지 않고 있음을 의미한다.

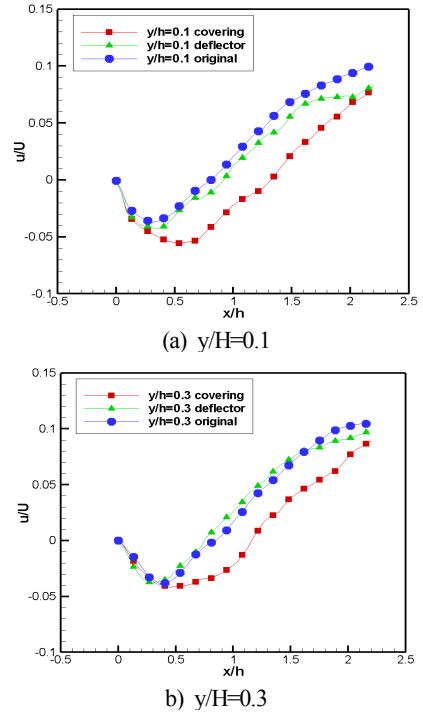


Figure 7: Comparison of u-velocity component

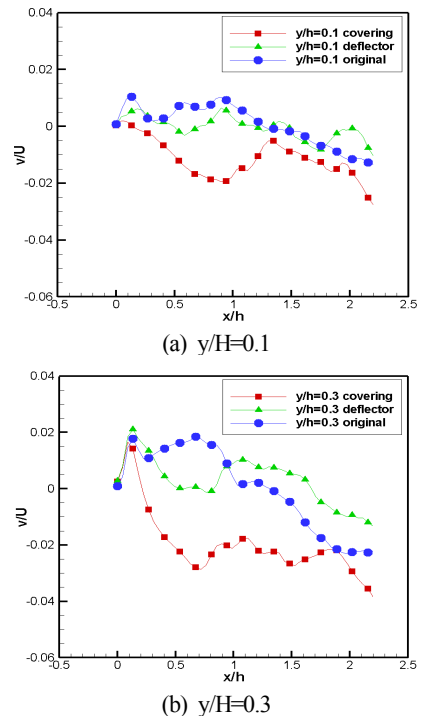


Figure 8: Comparison of v-velocity component

Figure 7과 Figure 8은  $y/H=0.1$ 과  $0.3$ 에서 각각수평, 수직성분에 대한 속도 변화량을 비교한 것이다. Figure 7의  $y/H=0.1$ 과  $0.3$ 에서의 수평 속도 변화량은 Covering을 한 것이 다른 두 조건에 비해 낮게 나타났으며,  $y/H=0.3$ 에서는 디플렉터를 부착한 경우가  $x/H=0.5 \sim 1.5$  범위에서 디플렉터의 영향으로 다른 경우보다 역류성분의 속도 변화량이 미소하게 좋은 결과를 보였다. Figure 8의 수직방향의 속도 변화에 서도 Covering을 한 것이 좋지 않은 결과를 보였다.  $y/H=0.3$ 에서 디플렉터의 경우가  $x/H=1.0$ 이후에 다른 경우와 비교해 값이 증가함을 보였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 단순물체와 유사한 대형 컨테이너선의 거주부를 모사하여 컨테이너선의 후방에 배기가스가 역류하는 현상을 개선하고자 거주부 측면에 디플렉터의 설치와 Sunken deck의 개폐에 따라 거주부 후방의 배기가스 역류방지 효과를 PIV 기법을 이용하여 계측하였다. 그 결과는 다음과 같다.

(1) Original의 경우  $x/H=0.4$ ,  $y/H=0.45$  위치에서 최고의 음의 속도가 나타났다. 또한 거주부의 후방에 형성된 부압영역의 영향과 좌우측에서 돌아서 유입되는 흐름의 간섭으로 거주부 높이 기준  $x/H=1.3$  근방에서 재부착점을 형성하였다.

(2) 디플렉터는 거주구역 후방에 형성되는 부압영역을 줄여 줌으로서 배기가스 역류 방지 효과가 있음을 보였다. 특히 기관실 팬이 설치된  $y/H=0.4$ 에서는 배기가스 역류로 인한 기관실로의 유입방지 효과는 큰 것으로 보이며 실선을 1/100로 축소하여 연돌에서 배출되는 배기가스를 가시화한 풍동실험(10)의 결과와 일치함을 보였다.

(3) Sunken deck를 Covering 한 경우는 다른 두 가지 조건보다 수평방향의 음의 속도성분이  $x/H=0 \sim 1.3$ 까지 크게 나타났으며 배기가스 역류방지에는 큰 효과가 없는 것으로 보였다.

#### 참고문헌

- [1] 임남균, 초경순, “초대형 컨테이너선의 거주구역 재배치에 대한 경제성 평가”, 한국항만학회 학회지, 제29권, 제6호, pp. 529-536, 2005.
- [2] 박상민, 김종화, 차훈, 신현준, 설신수, “선박 연돌 설계 기준에 대한 연구”, 기술현대중공업, vol.28, no.2, 2008.
- [3] A. Okajima, “Strouhal Number of Rectangular Cylinders”. Fluid Mech, vol. 123, pp. 379-398, 1982.
- [4] 이현, Multyvision PIV에 의한 단순물체 후류에서의 유동특성에 관한 연구, 한국해양대학교 석사학위논문, 2001.
- [5] D. S. Jang, Y. W. Lee, D. H. Doh, C. S. Kang, and T. Kobayashi, “Large eddy of flow arround a bluff body of vehicle shape”, Proceedings of the 6th Asian Symposium on Visualization, pp. 335-340, 2001.
- [6] 장태현, 이명재, “수평원통관 내에서 원형 및 정사각 실린더의 후류에 관한 실험적 연구”, 한국산업응용학회논문집, 제6권, 제3호, pp. 253-259, 2003.
- [7] 김종화, 박상민, 차훈, 신현준, 설신수, “전산 해석을 이용한 선박 연돌 배기가스 기류 해석”, 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 852-857, 2007.
- [8] 김승혁, 정왕조, 조원호, 강대열, “Funnel 설계 권고안”, 대한조선학회 특별논문집, pp. 59-64, 2006.
- [9] C. J. Lee and D. H. Cho, “A study on velocity and pressure characteristics beehind a resistance body”, Proceedings of the International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion Tongyeong, pp. 7-10, 2009.
- [10] 최상범, 조대환, 최주열, 이철희, “플랩을 갖는 디플렉터의 기류변화 특성에 관한 연구”, 한국마린엔지니어링학회 춘계학술대회 논문집, pp. 443-444, 2010.

## 저 자 소 개



**최상범(崔相範)**

1997년 목포해양대학교 졸업, 2007년 목포해양대학교 대학원 졸업(공학석사), 현재 동 대학원 박사과정



**조대환(趙大煥)**

1998년 한국해양대학교 대학원 졸업 (공학박사), 현재 목포해양대학교 기관시스템공학부 교수



**최주열(崔珠烈)**

1975년 한국해양대학교 졸업, 1992년 조선대학교 대학원 졸업(공학박사), 현재 목포해양대학교 기관시스템공학부 교수