

쾌속여객선의 POD 형상에 따른 압력과 속도 분포에 관한 연구

이춘기 · 임태우* · 문성배
(한국해양대학교)

A Study on the Pressure and Velocity Distributions by POD Shape of Hydrofoil Vessel

Chun-Ki LEE · Tae-Woo LIM* · Seong-Bae MOON
(Korea Maritime and Ocean University)

Abstract

This paper focuses on the effects of the changes in the resistance characteristics caused by the changes of the POD shape installed in the Hydrofoil vessel, using the CFD(Computational Fluid Dynamics). We input the POD sections' basic shape as the origin of the x and y axis. Then as we cut the x-axis 0 to 2 cm, and the more we cut it, the total resistance value had increased. However, we have recognized the fact that as we cut the POD section, 3 to 5 cm, the resistance value had rather decreased. Furthermore we found out the result that as the cut partition was larger; the POD cross-section would decrease, resulting in the linear decrease of the viscous force.

Key words : Hydrofoil vessel, POD shape, Resistance characteristics, CFD, Pressure distribution

I. 서론

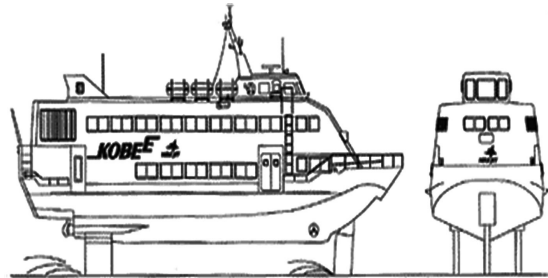
최근 우리나라 부산과 일본 후쿠오카 간에 정기적으로 왕복 운항중인 정기항로의 고속여객선 [Fig. 1]과 수중물체와의 충돌사고가 빈번히 발생하고 있다. 이러한 충돌사고 대부분의 수중물체는 고래인 것으로 판명되고 있고, 지난 2004년부터 2007년 10월까지 한국과 일본 간의 정기여객선 항로에서 8건, 일본 가고시마 해협에서 1건의 여객선과 고래와의 충돌사고(ship-strike)가 발생하였다. 특히, 이와같은 충돌사고 중 2006년 4월 일본 가고시마현 근해에서 발생한 충돌사고에서는 많은 인명피해가 발생하였고, 우리나라의 경우 2007년 3월 태종대 앞바다에서 발생한 충돌사고에서도 많은 인명피해가 발생한 적이 있었다. 육

상사고와는 달리 해상사고의 경우 대부분 인명피해 및 대형 참사로 직결되고 있고, 사고발생 후 구난이 어렵다는 특징이 있다. 그러므로 사고 후 처리보다는 사고예방이 더욱 중요하고, 이러한 관점에서 볼 때, 고속여객선과 고래와의 충돌을 방지할 수 있는 기술개발이나 연구가 절실히 요구되고 있다. 한편, 선박과 타 물체와의 충돌에 관해서는 많은 연구가 진행되고 있으나(Gong et al., 2011; Jung et. al., 2012; Kim et al., 2011; Yun, 2011), 고속여객선과 고래와의 충돌사고 방지를 위한 실용적인 연구결과는 거의 없는 상태이다. 따라서 한일 쾌속여객선과 같은 고속(45knots 이상)으로 운항하는 선박과 수중물체(원목, 고래 등)와의 충돌을 방지하고, 승객의 안전을 확보하며, 나아가 고래자원을 보호하기 위한

* Corresponding author : 051-410-4256, kyunlim@kmou.ac.kr

3차원 전방감시 소나(Forward Looking Sonar) 시스템 연구 개발이 요구된다. 또한 인명참사 및 선박손실을 방지하기 위한 고속선박의 수중물체 회피기술에 대한 연구가 요구되고 있다. 이와 같은 3차원 전방감시 소나시스템 개발을 위한 하나의 방법으로써, 고속(45knots 이상)으로 운항하는 쾌속여객선과 같은 Hydrofoil선박의 경우, Hydrofoil선박에 장착되어 수면 아래에 위치해 있는 POD 형상의 일부분을 절단하여 3차원 전방감시 소나시스템을 절단된 POD 형상에 부착하는 방법이 있을 수 있다. 하지만, POD 형상 변화에 따른 저항증가로 인하여 속력이 떨어지는 문제점이 발생할 수 있기 때문에 POD 형상 변화에 따른 유동특성 및 저항특성에 대한 학술적 연구가 먼저 수행되어야 될 것으로 보여진다. 한편, 이미 널리 알려진바와 같이, 전산유체역학(CFD, Computational Fluid Dynamics)에서는 유체 입자 하나하나를 추적하면서 푸는 Lagrangian 관점으로는 유동해석이 어려운 때가 많으므로 보통 관심이 있는 영역을 정하고서 그 영역에 대해서 질량, 운동량, 에너지 등의 보존 법칙을 적용함으로써 밀도, 속도, 압력, 온도 등의 물리량들을 얻게 된다. 그러나 이러한 Eulerian 관점에 의해 방정식을 유도하면서 나타나는 비선형(nonlinear)항 때문에, 형상이 아주 간단한 문제를 제외하고서는 해석적인 해(analytic solution)를 얻기는 거의 불가능하다. 따라서 CFD 방법에서는 관심 영역을 수많은 작은 영역으로 나누고, 각각의 작은 영역에 보존법칙들을 적용하여 근사적이고 수치적인 해를 얻는 방법을 적용하고 있는데, 최근 컴퓨터 하드웨어/소프트웨어, 특히 비정렬 격자계(unstructured grid)의 도입으로 인하여 산업체 현장에서의 적용이 매우 활발해지고 있는 분야이다(Ahn, 2011; Jeong, 2011; Shin, 2012; Jun et al., 2011). 따라서 본 논문에서는 3차원 전방감시 소나시스템을 개발하기 위한 전단계로서, CFD(Computational Fluid Dynamics) 해석을 통하여 Hydrofoil선박에 장착된 POD 형상 변화에 따른

저항특성에 대해서 검토 및 고찰하고자 한다. [Fig. 1]은 우리나라 부산과 일본 후쿠오카간을 매일 정기적으로 운항하는 쾌속여객선(코비호)를 보여주고 있다(<http://www.miraejet.com>)

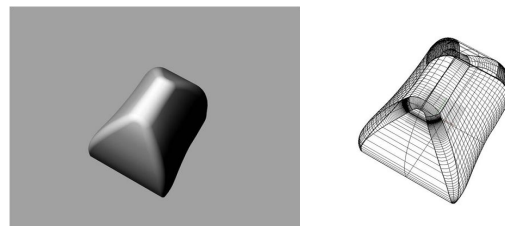


[Fig. 1] Hydrofoil Vessel KOBEE

II. 배경 및 방법

1. 3차원 모델링한 POD 형상

CFD (Computational Fluid Dynamics) 해석을 통하여 고속(45knots 이상)으로 운항하는 쾌속여객선과 같은 Hydrofoil선박에 장착되어 수면 아래에 위치해 있는 POD 형상의 변화에 따른 유동특성 및 저항특성에 대한 연구를 수행하기 위해 고속여객선에 부착되어 있는 POD에 대하여 레이저 스캔 방식을 이용하여 3차원 모델링을 실시하였고, 3차원 모델링한 POD 형상은 [Fig. 2]와 같다.

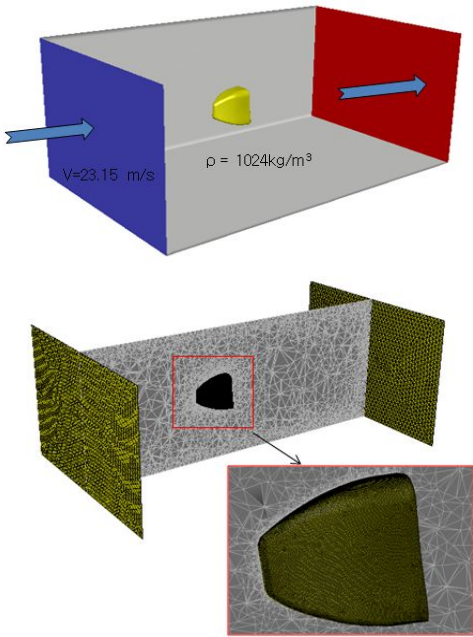


[Fig. 2] POD shape of Hydrofoil vessel

2. 수치해석 기법

많은 연구자들은 CFD에 의한 유동장 해석을 보다 쉽게 이용하기 위해 잘 알려진 상용 프로그램들을 사용하고 있다. 본 연구에서는 현재 널리

사용되어지고 있는 유동장 해석 프로그램을 이용하여 [Fig. 3]과 같이 body 주위에 5층 Prism mesh로 하여 수치 해석하였다. 또한 POD 주변에 유입되는 유속은 45knots(23.15m/s)로 계산하였다. 그리고 난류모델링은 다양한 난류 모델 중 2차 유동에 대한 비교적 정확한 예측이 가능하다고 알려져 있는 $k-\omega$ SST model(벽면 특성이 우수한 모델)을 적용하였고, SIMPLE 계열 알고리즘을 기반으로 속도와 압력에 대한 계산을 수행하였다. 또한, 본 연구에서 주어진 문제를 해석하기 위해 사용된 유체 유동의 지배방정식은 질량보존 방정식(연속방정식), 운동량보존방정식(Navier-Stokes equation) 및 에너지보존방정식이고, 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.



[Fig. 3] Mesh generation

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (1)$$

여기서 ρ 는 유체의 밀도, \vec{v} 는 3차원 속도벡터, ∇ 는 3차원 델 연산자(del operator), t 는 시간을 나타낸다.

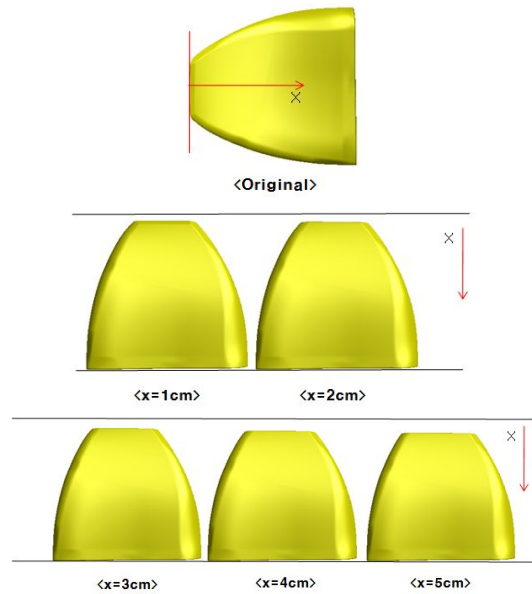
$$\frac{\partial \rho v}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v} v) = -\nabla P - \nabla \cdot \vec{\tau} + \rho \vec{g} + S_m \quad (2)$$

여기서 p 는 압력, \vec{g} 는 중력가속도, S_m 은 소스항, $\vec{\tau}$ 는 전단응력으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\vec{\tau} = \begin{bmatrix} -2\mu \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{2}{3}\mu \nabla \cdot \vec{v} & -\mu \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) & -\mu \left(\frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x} \right) \\ -\mu \left(\frac{\partial v_y}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial y} \right) & -2\mu \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{2}{3}\mu \nabla \cdot \vec{v} & -\mu \left(\frac{\partial v_y}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial y} \right) \\ -\mu \left(\frac{\partial v_z}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) & -\mu \left(\frac{\partial v_z}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) & -2\mu \frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{2}{3}\mu \nabla \cdot \vec{v} \end{bmatrix}$$

$$\frac{\partial (\rho C_p T)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho C_p \vec{v} T) = \nabla \cdot (k \nabla T) + \nabla \cdot (u \vec{\tau}) + S_e \quad (3)$$

여기서 C_p 는 물체의 비열, T 는 물체의 표면 온도, k 는 열전도율, S_e 는 소스항을 의미하고 있다.



[Fig. 4] Sections due to change of POD shape

3. 수치해석 방법

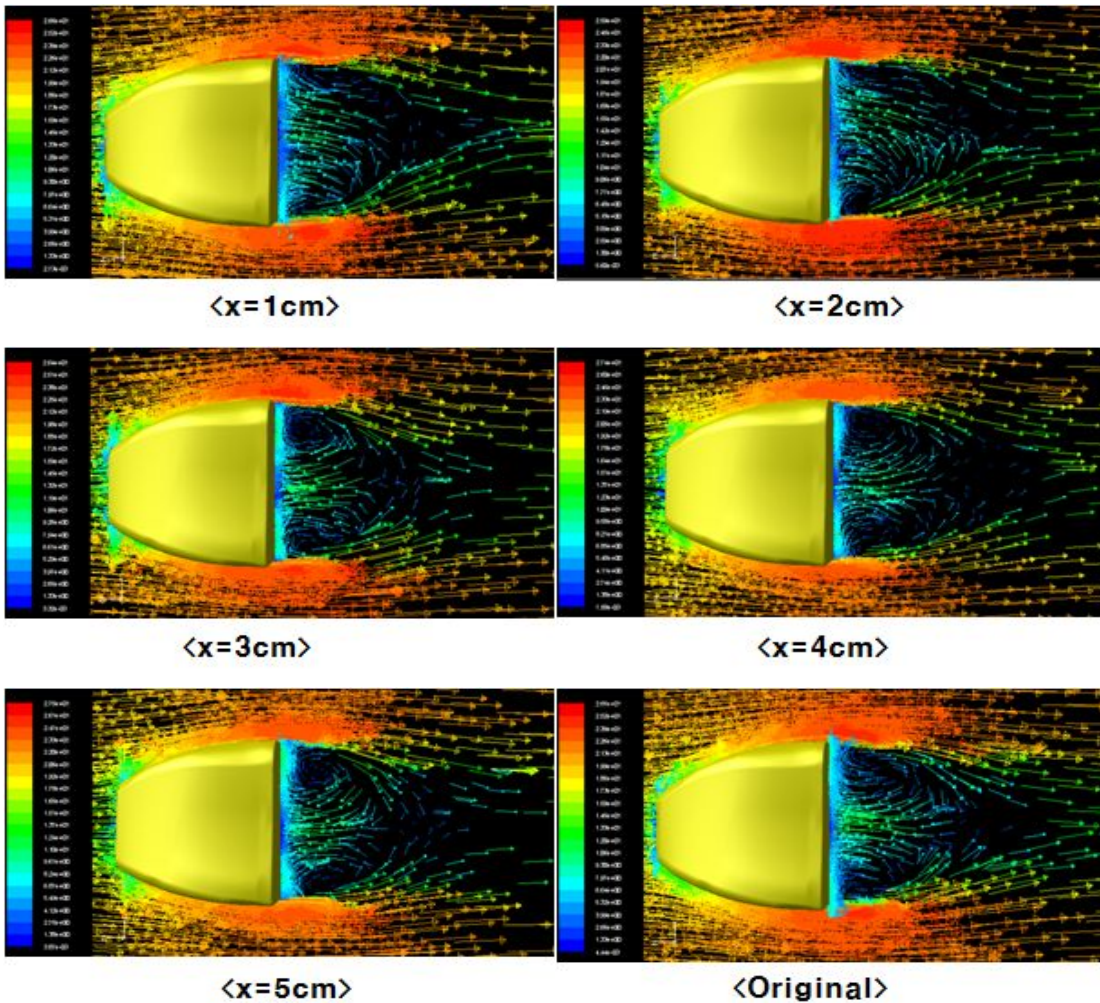
본 연구에서는 [Fig. 4]에 나타낸 바와 같이 POD의 기본형상(Original)의 앞부분을 기준으로 하여 x축 방향으로 1cm씩 절단하면서 POD 형상

을 변형시켜서 일정 유입속도 조건에 대한 저항 특성에 관하여 기본형상을 포함한 총 6조건에 대해서 수치해석을 행하였다.

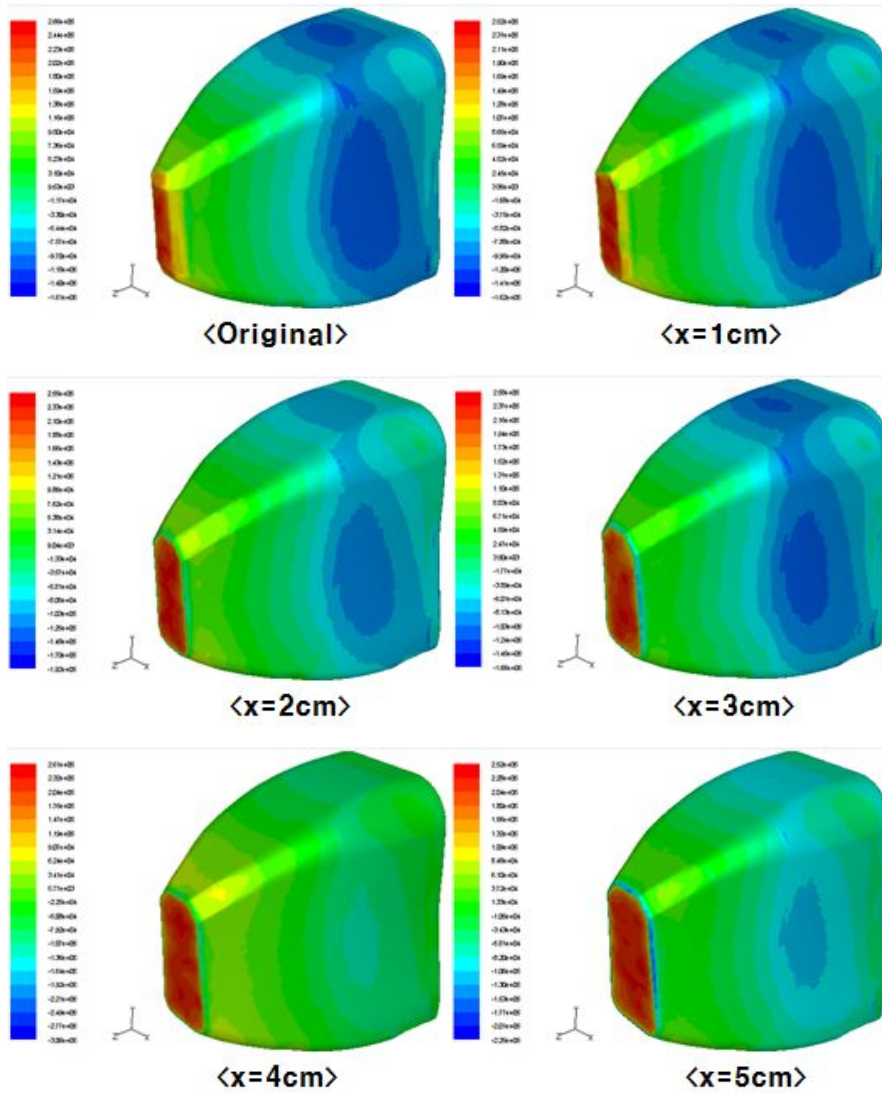
Ⅲ. 결과 및 고찰

[Fig. 4]에 나타낸 POD의 기본형상(Original)을 포함하여 POD의 앞부분(x축 방향)을 기준으로 POD 형상을 변형(1cm씩 줄임)시켜서 일정 유입

속도(45knots) 조건에 대한 해석을 수행하였고, 속도 벡터 및 압력분포 특성에 관한 수치해석 결과는 [Fig. 5] 및 [Fig. 6]과 같다. 또한 <Table 1>은 속도 및 압력분포 특성에 관한 수치해석 결과를 바탕으로 POD 형상 변화에 따른 각 단면에 미치는 저항특성 데이터를 보여주고 있고, POD 형상 변화에 따른 저항특성 변화를 그래프로 나타내면 [Fig. 7]과 같다.



[Fig. 5] Results of velocity vector



[Fig. 6] Results of pressure distributions

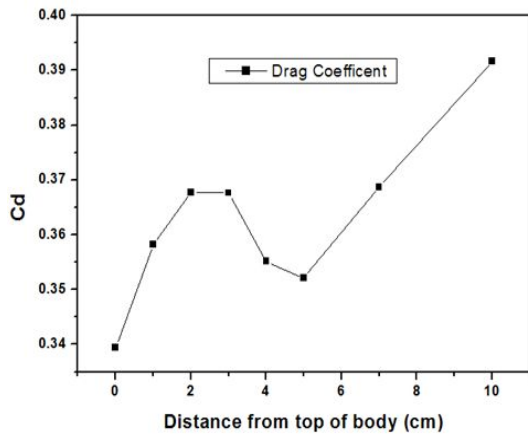
[Fig. 5], [Fig. 6] 및 [Fig. 7]과 <Table 1>에서 알 수 있듯이, POD 형상 주위의 유동패턴(vortex 등)에 따라 POD 단면에 미치는 힘의 분포가 달라지는 경향을 보여주고 있는 것을 알 수 있다. 또한 POD 단면의 기본 형상을 기준으로 하였을 경우, x축 방향으로 단면을 1cm씩 절단하여 POD 형상의 변화에 따라 저항도 점차 증가하는 특성을 보이다가, 3 ~ 5cm를 절단한 POD 단면형상의 부근에서는 오히려 저항계수가 감소하는 특성을

보이게 되었고, 이 후에는 다시 저항이 증가하는 특성을 보이게 됨을 알았다. 이러한 현상은 POD 단면 형상 후류의 vortex 영향으로 인하여 POD 형상에 미치는 힘의 값이 달라지기 때문인 것으로 판단된다. 한편 POD의 기본형상(Original) 자세를 변경하였을 경우의 압력분포 특성을 파악하기 위하여 POD의 기본형상(Original) 자세를 변경(90도 회전)하였고, 자세를 변경하여 계산된 결과(x축 방향으로 2cm 줄인 Pod 단면 형상)는 [Fig.

8]과 같다. [Fig. 8]에 나타난 바와 같이 90도 회전한 저항이 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 전하였을 경우, 속도벡터와 압력분포의 변화로

<Table 1> Resistance characteristics due to POD sections

x (cm)	Total force(N)	Pressure force(N)	Viscous force(N)	C_d	Rate of increase in resistance(%)
0	13594.7	13435.04	159.66	0.339	-
1	14386	14189.1	160	0.358	5.821
2	14729.6	14578.3	151.3	0.368	8.348
3	14726.1	14580.9	145.2	0.368	8.322
4	14224.9	14081.4	143.5	0.355	4.636
5	14103	13965.9	137.4	0.352	3.739
7	14768.2	14642.3	125.9	0.369	8.632
10	15686.1	15575.7	110.4	0.392	15.384

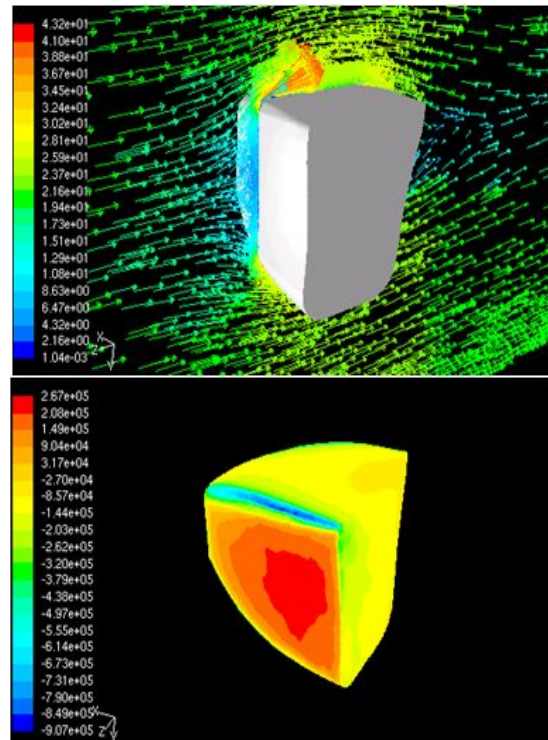


[Fig. 7] Result due to change of POD shape

IV. 결론

CFD(Computational Fluid Dynamics) 해석을 통하여 Hydrofoil선박에 장착된 POD 단면 형상 변화에 따른 저항특성을 검토하였고, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. POD 단면의 기본형상을 원점(상단)으로 하여 x축 방향으로 1cm씩 절단하여 POD 형상의 변화에 따른 저항특성의 변화를 계산한 결과, 기준점으로부터 0 ~ 2cm를 절단한 POD 단면 형



[Fig. 8] Result due to change of POD shape(90 deg.)

상에 대해서는 단면형상이 절단 되어감에 따라 저항 값이 증가하였고, POD 형상 상단으로부터 3 ~ 5cm를 절단한 POD 단면 형상에 대해서는

오히려 저항 값이 감소함을 알았다.

2. POD 단면 형상의 원점(상단)으로부터 x축 방향으로 3 ~ 5cm를 절단한 POD 단면 형상에 대해서는 POD 형상 후류의 Vortex 영향으로 인하여 POD 단면 형상에 미치는 힘의 값이 달라지는 것으로 사료된다.
3. POD 단면 형상의 원점(상단)으로부터 절단된 길이가 증가함에 따라 POD 단면 형상의 단면적은 작아지므로 Viscous force도 선형적으로 작아지는 경향을 나타냄을 알 수 있다.

References

- Ahn H. T.(2011). MOMENT-OF-FLUID METHOD FOR FREE SURFACE FLOW SIMULATION USING UNSTRUCTURED MESHES, 2011 Korean Society for Computational Fluids Engineering Spring Conference, 65~67.
- Gong G. Y. · Lee S. G · Jeong C. H and Lee C. K. (2011). The impact effect acting on a ship hull in the proximity of obstacles, 2011 Proceedings of the Korean Institute of Navigation and Port Research Spring Conference, 4~6.
- Jeong Y. C.(2011). Oil Spill Modelling on Unstructured Grid Model in Columbia River, 2011 Proceedings of the Korean Institute of Navigation and Port Research Spring Conference, 222~224.
- Jun J. H. · Lee S. E · Kwon J. W and Son J. W. (2011). ANALYSIS OF FLOW AROUND SHIP USING UNSTRUCTURED GRID, 2011 Korean Society for Computational Fluids Engineering Spring Conference, 187~193.
- Jung C. H. · Nam T. K. and Jeong J. S.(2012). A Study on the Improvement of Salvage Procedures through the Collision Accident of Ships, KINPR, 36(10), 851~856.
- Kim G. I. · Jeong J. S. and Park G. G.(2011). Analysis of Collision Probability near the MOKPO Bridge by IWRAP Model, 2011 Proceedings of the Korean Institute of Navigation and Port Research Spring Conference, 225~226.
- Shin Y. S.(2012). Numerical Analysis of Viscous Flows on Unstructured Grids Using the Optimal Method of Strongly Implicit Procedure, SNAK, 49(2), 196~202.
- Yun B. W.(2011). A Study on the Preventing Collisions between Ship and Bridge, 2011 Proceedings of the Korean Institute of Navigation and Port Research Spring Conference, 66~67.

-
- 논문접수일 : 2014년 06월 16일
 - 심사완료일 : 1차 - 2014년 07월 18일
 - 게재확정일 : 2014년 07월 24일