

## Hydrofoil 선박용 POD 변형에 따른 압력분포 특성

이춘기<sup>1</sup> · 김희성<sup>2</sup> · 문성배<sup>†</sup>

(Received October 7, 2014 ; Revised October 28, 2014 ; Accepted November 12, 2014)

### Pressure distribution near truncated POD attached on hydrofoil vessel

Chun-Ki Lee<sup>1</sup> · Hee-Sung Kim<sup>2</sup> · Seung-Bae Moon<sup>†</sup>

**요약:** 본 연구는 Hydrofoil 선박용 POD의 형상변화에 따른 압력분포 특성을 파악하기 위하여 CFD기법을 적용하여 수행하였다. POD 단면의 기본형상을 원점(상단)으로 하여 x축 방향으로 0cm(원본형상)에서 8cm까지 절단했을 때, 점성저항은 조금씩 감소하였으나, 압력저항은 조금씩 증가하는 결과를 얻었다. 하지만 동일한 조건하에서 9cm를 절단했을 경우에는 점성저항은 증가하고, 압력저항은 감소하는 경향을 보였다. 결론적으로, 압력저항이 점성저항에 비해 POD형상의 압력분포 특성에 많은 영향을 미친다는 것과 9cm를 절단한 근처에서 전체저항이 감소한다는 결론을 얻었다.

**주제어:** Hydrofoil 선박, POD 형상, 점성저항, 압력저항, 압력분포

**Abstract:** This paper has a purpose to find out the characteristics of pressure distribution according to the POD shape installed in the Hydrofoil vessel, using the CFD. The results showed that as we cut the POD cross-section's basic shape along the x-axis from 0 to 8cm, the viscous resistance had decreased, but then the pressure resistance had increased modestly. However, the cutoff length of POD cross-section shape has close to 9cm, the viscous drag had increased and the pressure drag had decreased. As a result, we found out that the pressure resistance made more effects in POD shape than the viscous resistance, and the total resistance decreased near the 9cm of cutoff length.

**Keywords:** Hydrofoil vessel, POD shape, Viscous resistance, Pressure resistance, Pressure distribution

## 1. 서론

대한해협을 횡단하여 한국과 일본을 정기적으로 운항하는 고속여객선과 해양생물 및 해상부유물과의 충돌사고가 빈번히 발생하면서 선박의 안전항해를 저해하는 요인으로 부각되고 있다. 최근 해양오염을 방지하기 위한 다양한 법규와 협약이 강화되면서 해상의 부유물은 많이 감소하고 있기 때문에 이러한 고속 여객선의 충돌은 주로 해양포유류인 고래와 이루어지고 있는 것으로 밝혀졌다.

2006년과 2007년에 한국과 일본의 해상에서 발생한 고래와의 충돌사고는 적잖은 인명피해를 유발하였다. 이러한 Hydrofoil 선박의 충돌사고를 미연에 방지하기 위하여 고래류가 기피하는 수중음향신호를 발신하는 장치의 개발을 비롯한 다양한 연구가 이루어지고 있으나[6]-[8] 실용적인 측면에서는 아직 그 효과는 미비한 상태에 있다.

최근에는 고래류를 미리 탐지하여 충돌을 사전에 피할 수 있는 방안으로 3차원 전방감시 소나시스템을 Hydrofoil

선박에 장착할 수 있는 기술개발이 요구되고 있다. 이 전방감시 소나시스템은 고속으로 운항하는 Hydrofoil 선박의 구조학적 특성을 감안하면 Foil의 수면 아래 부분이 적합하는데, 그 중에서 수면 아래에 있는 POD 형상의 전두부를 절단하고 전방감시 소나시스템을 절단된 POD에 부착하는 기술이 활발하게 연구되고 있다.

그러나 선체저항을 최소화하도록 설계된 POD를 절단하면서 발생하는 형상변화는 또 다른 저항증가와 이로 인한 선속저하를 유발할 수 있을 뿐만 아니라 선박의 운동성능에도 좋지 않은 영향을 미칠 수 있기 때문에 POD의 형상변화에 따른 POD 주변의 압력분포 및 저항특성에 대한 수학적 고찰이 필요하다. 이 연구에서는 Hydrofoil선박의 전방의 수중에서 유영하는 고래를 탐지할 수 있는 3차원 전방감시 소나시스템을 POD를 절단하여 부착하였을 때 유발되는 POD의 압력분포의 특성변화를 전산유체역학(CFD, Computational Fluid Dynamics)기법[1]-[5][9]을 적용하여

<sup>†</sup> Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7793-4141>): Division of Navigation Science, Korea Maritime and Ocean University, Dongsam-dong, Yeongdo-gu, Busan, 606-791, Korea, E-mail: msbae@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4280

<sup>1</sup> Department of Navigation Science, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: leeck@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4277

<sup>2</sup> Department of Navigation Science, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: nahs1130@kmou.ac.kr, Tel: 010-2556-9311

고찰하였다. Figure 1은 한국과 일본을 운항하는 쾌속여객선을 보여주고 있다.

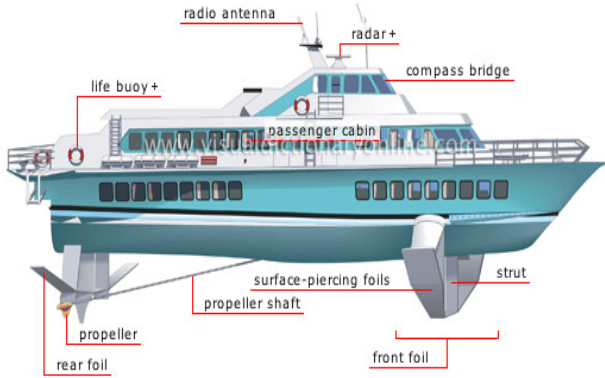


Figure 1: Hydrofoil Vessel(<http://visual-merriam-webster.com>)

## 2. 배경 및 방법

### 2.1 3차원 모델링한 POD 형상

CFD 해석을 통하여 Hydrofoil선박에 장착되어 수면 아래에 위치해 있는 POD 형상의 변화에 따른 압력분포 특성에 대한 연구를 수행하기 위하여 이 논문에서는 쾌속여객선에 부착되어 있는 POD에 대하여 POD 주변에 부착된 실제 형상물을 모델링하였으며, 모델링한 POD 형상은 Figure 2와 같다.

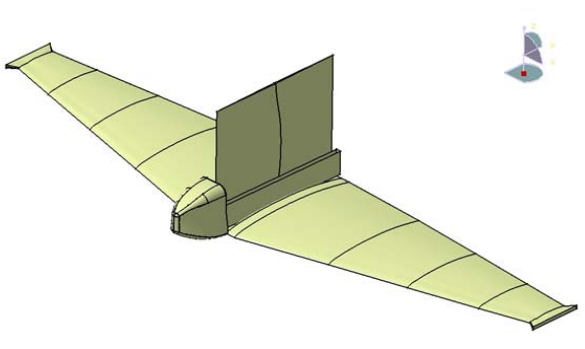


Figure 2: POD shape of Hydrofoil vessel

### 2.2 수치해석 기법

많은 산업체에서는 전산유체역학에 의한 유동장 해석을 쉽게 하기 위해 상용 프로그램들이 널리 배포되어 있는데, 본 연구에서는 현재 널리 사용되어지고 있는 유동장 해석 프로그램을 이용하여 수치 해석하였고, 계산 격자는 3-D Prism mesh로 하였다. 또한, POD가 부착된 실제 형상물 주변에 유입되는 유속은 40knots(20.58m/s)로 계산하였고, 난

류모델링은 Realizable  $k-\epsilon$  Two-layer model을 적용하였다. 그리고 본 연구에서 주어진 문제를 해석하기 위해 사용된 유체 유동의 지배방정식은 질량보존방정식(연속방정식), 운동량보존방정식(Navier-Stokes equation) 및 에너지보존방정식이고, 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

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

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

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

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

여기서  $C_p$ 는 물체의 비열,  $T$ 는 물체의 표면온도,  $k$ 는 열전도율,  $S_e$ 는 소스항을 의미하고 있다.

### 2.3 수치해석 방법

본 연구에서는 Figure 3에 나타낸 바와 같이 수면하의 실제형상물이 부착된 POD의 기본형상(Original)의 가장 앞부분을 기준으로 하여 x축 방향으로 0cm ~ 9cm까지 1cm 간격으로 절단하면서 POD 단면 형상을 변형시켰고, POD 주변에 부착된 실제 형상물을 대상으로 하여 일정 유입속도 (40knots=20.58m/s) 조건에 대한 압력분포 특성에 관하여 기본형상을 포함한 총 10조건에 대해서 수치해석을 수행하였다.

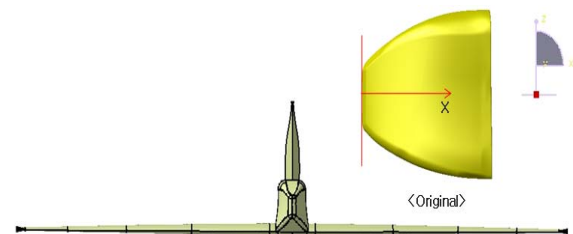


Figure 3: Section of POD shape

### 2.4 수치해석 결과 및 고찰

Figure 3에 나타낸 POD 주변에 부착된 실제 형상물을 대상으로 하여 POD의 가장 앞부분(x축 방향)을 기준으로

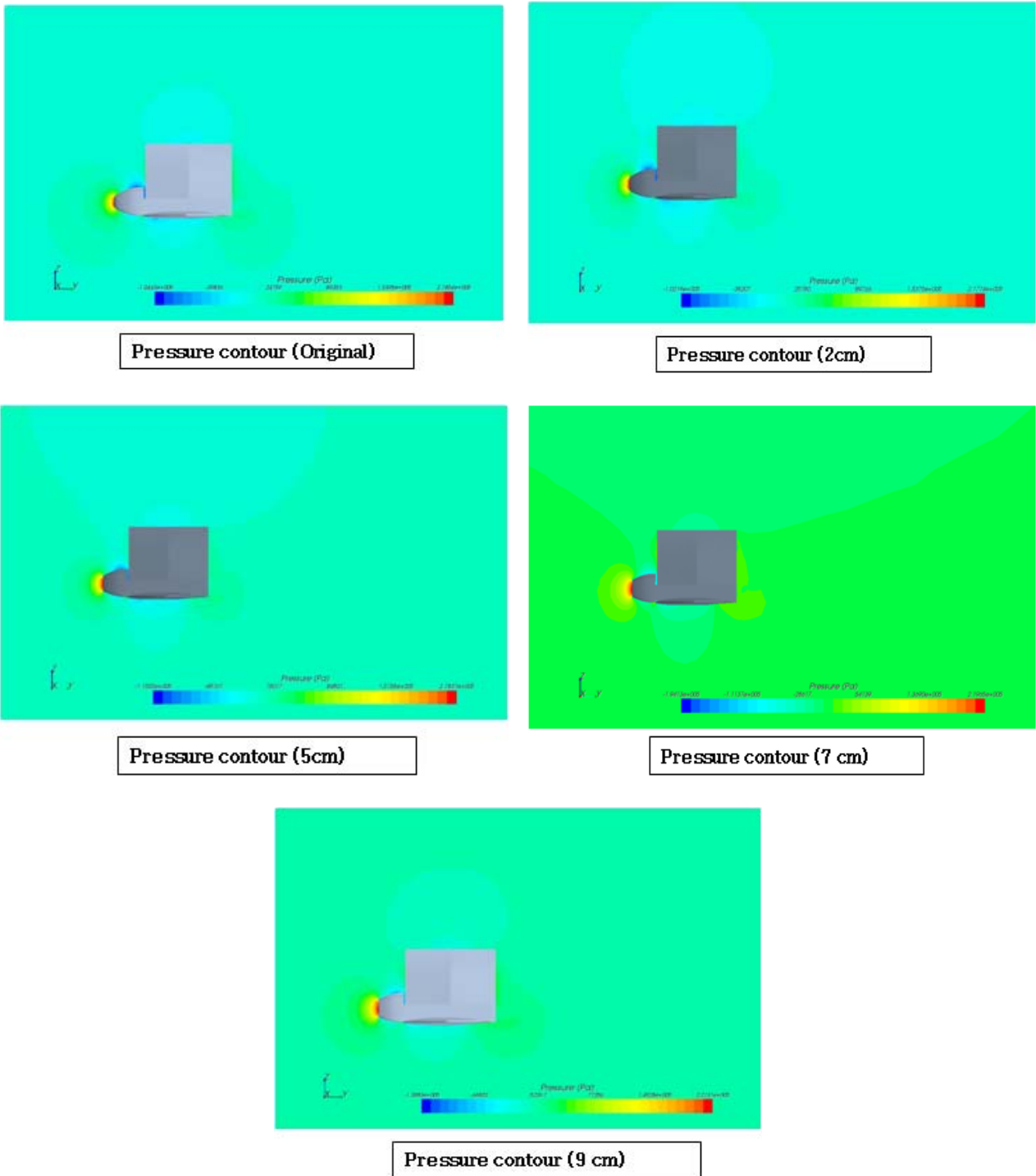


Figure 4: Results of pressure distributions

POD 형상을 변형(1cm씩 줄임)시켜서 일정 유입속도 (40knots) 조건에 대한 해석을 수행하였고, 압력분포 및 속도 벡터 특성에 관한 수치해석 결과는 Figure 4, Figure 5 및 Figure 6과 같다. 또한 POD 형상 변화에 따른 저항특성 변화를 그래프로 나타내면 Figure 7과 같다.

Figure 4, Figure 5 및 Figure 6에서 알 수 있듯이, POD 주

변에 부착된 실제 형상물을 대상으로 하여 수치 계산한 결과, 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 절단하였을 때, 절단된 길이가 증가함에 따라 압력분포 및 속도벡터 특성

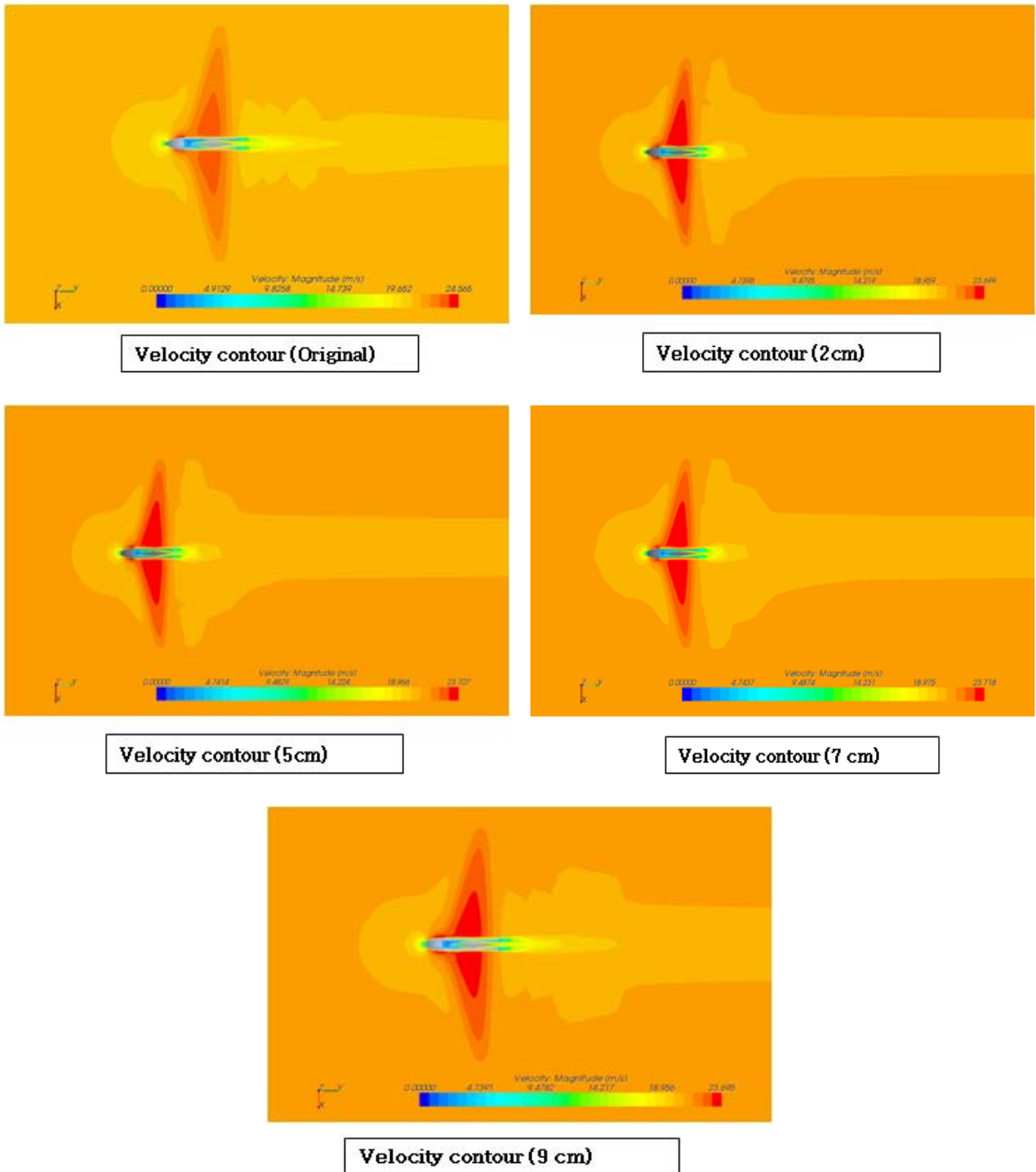


Figure 5: Results of velocity contour

이 변화되고 있음을 알 수 있는데, 이와같은 현상은 vortex 영향 때문인 것으로 판단된다.

Figure 7은 POD 주변에 부착된 실제 형상물을 대상으로 하여 POD의 가장 앞부분(x축 방향)을 기준으로 POD 단면 형상을 변형(1cm씩 줄임)시켜가면서 일정 유입속도 (40knots) 조건에 대한 해석을 수행한 결과를 보여주고 있

다. Figure 7에서 삼각형 기호는 점성저항을 의미하고 있고, 원 기호는 압력저항을 의미하고 있으며, 사각형 기호는 POD 주변에 부착된 실제 형상물에 미치는 전체적인 저항 특성을 나타내고 있다. Figure 7에서 POD 단면의 기본 형상을 기준으로 하였을 때 점성저항의 경우, x축 방향으로 단면을 1cm씩 절단하여 8cm까지 절단하였을 때, 절단길이의

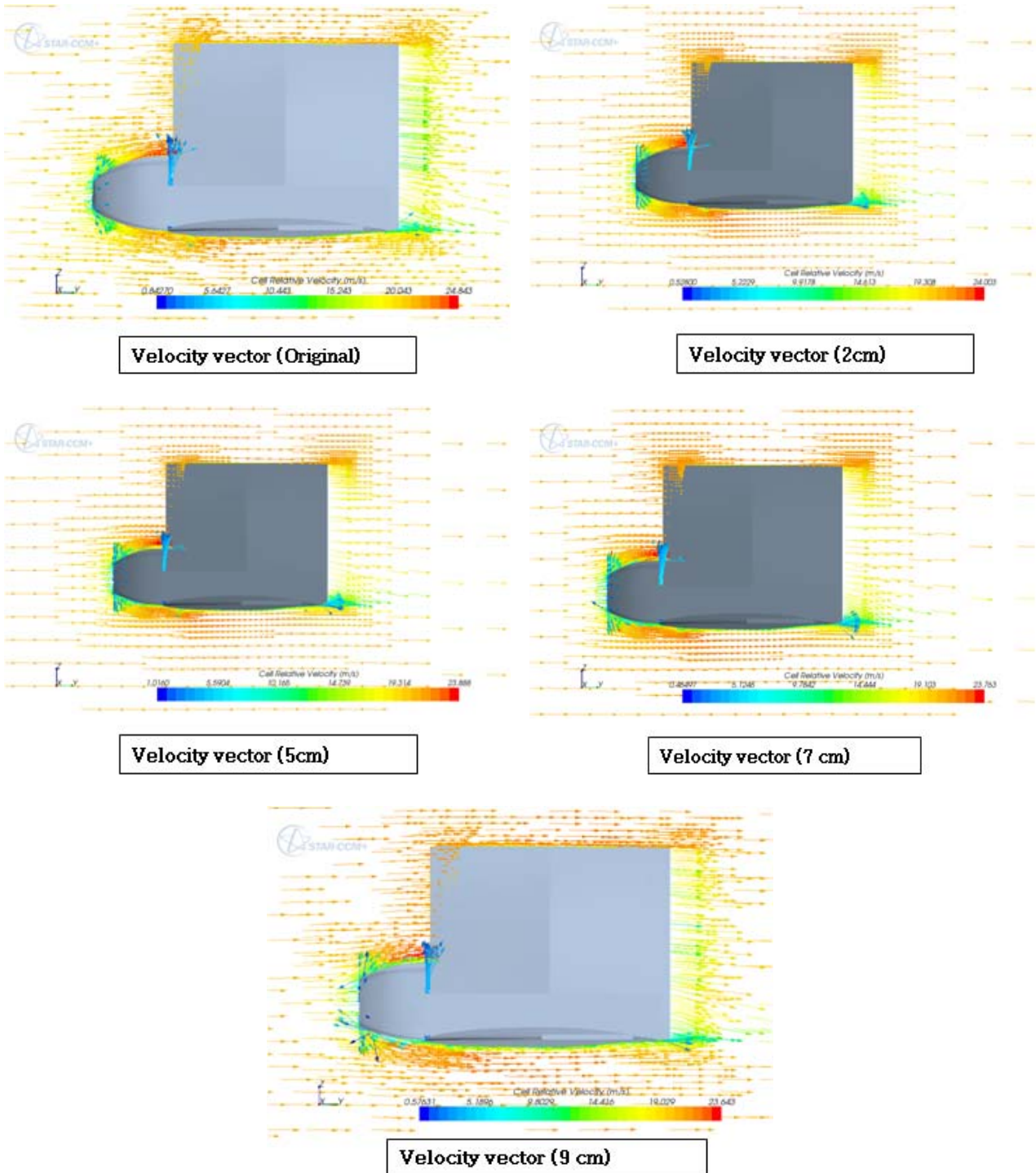


Figure 6: Results of velocity vector

증가 및 POD 단면 형상의 변화에 따라 소폭 감소하는 경향을 보이고 있으나, 9cm를 절단한 부근에서는 반대로 소폭 증가하는 경향을 보이고 있다. 한편, POD 단면의 기본 형상을 기준으로 하였을 때 압력저항의 경우, x축 방향으로 단면을 1cm씩 절단하여 8cm까지 절단하였을 때, 절단길이의 증가 및 POD 단면 형상의 변화에 따라 저항값도 소폭

증가하는 경향을 보이다가, 9cm를 절단한 부근에서는 반대로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 따라서 POD 주변에 부착된 실제 형상물에 작용하는 전체저항은 압력저항과 비슷한 경향으로 8cm부근까지 절단하였을 경우에는 소폭 증가하는 경향을 보이다가 9cm를 절단한 부근에서는 반대로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 현상은 POD 주변에

부착된 실제 형상물의 경우, 점성저항에 비하여 압력저항의 변화가 크기 때문에 전체적으로 압력저항의 영향을 크게 받고 있는 것으로 판단된다.

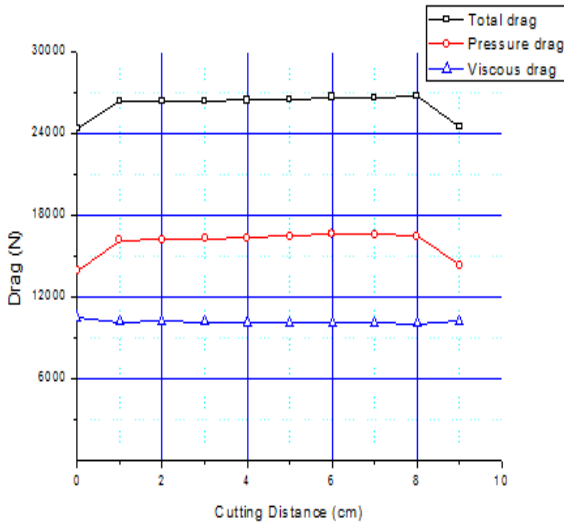


Figure 7: Result due to change of POD shape

### 3. 결과

CFD 해석을 통하여 Hydrofoil선박에 장착되어 있는 POD 주변에 부착된 실제 형상물을 대상으로 하여 POD의 가장 앞부분(x축 방향)을 기준으로 POD 단면 형상을 변형(1cm씩 줄임)시켜가면서 일정 유입속도(40knots) 조건에 대한 해석을 수행하였고, POD 단면 형상 변화에 따른 압력분포 특성에 대하여 검토하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, POD 단면의 기본형상을 원점(가장 앞부분)으로 하여 x축 방향으로 1cm씩 절단하면서 POD 단면 형상의 변화에 따른 압력분포 특성의 변화를 해석한 결과, 0cm ~ 8cm 까지 절단한 POD 단면 형상에 대해서는 단면형상이 절단되어감에 따라 점성저항은 소폭 감소하는 경향을 보였으나, 압력저항은 소폭 증가하는 경향을 나타내었다.

둘째, POD 단면 형상의 원점(가장 앞부분)으로부터 x축 방향으로 9cm를 절단한 부근에서는 점성저항의 경우 소폭 증가하는 경향을 보여주고 있으나, 압력저항의 경우에는 감소하는 경향을 보여주고 있다.

셋째, POD 단면 형상의 원점(가장 앞부분)으로부터 절단된 길이가 증가함에 따라 압력저항(Pressure resistance)이 지배적이므로 전체적인 저항의 변화특성은 압력저항의 변화와 비슷한 경향을 나타내고 있다.

마지막으로, 압력분포에 대한 결과를 참고하면 9cm 이후 영역부터 유동박리의 재 부착에 의해 점성저항은 소폭 증가하나, 재 부착된 유체에 의한 압력 성분이 추진 방향으로 작용하여 압력저항이 크게 감소하는 것으로 판단되고, 본

연구결과는 고속여객선과 고래를 포함한 수중체와의 충돌방지를 위한 3차원 전방감시소나시스템 연구에 유용할 것으로 판단된다.

### References

- [1] S. J. Ahn and O. J. Kwon, "Cavitation flow simulation for a 2-D hydrofoil using a homogeneous mixture model on unstructured meshes," *Journal of Computational Fluids Engineering*, vol. 17, no. 1, pp. 94-100, 2012 (in Korean).
- [2] S. J. Ahn, O. J. Kwon, and Y. P. Jung, "Viscous flow analysis of underwater propulsor using an unstructured overset mesh technique," *Proceedings of the Korean Society for Computational Fluids Engineering Spring Conference*, pp. 341-346, 2010.
- [3] Y. D. Choi, Y. T. Kim, and Y. H. Lee, "CFD analysis of pressure pulsation and internal flow for a positive displacement hydraulic turbine," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 31, no. 6, pp. 687-693, 2007 (in Korean).
- [4] J. H. Jun, S. E. Lee, J. W. Kwon, and J. W. Son, "Analysis of flow around ship using unstructured grid," *Proceedings of the Korean Society for Computational Fluids Engineering Spring Conference*, pp. 187-193, 2011.
- [5] H. D. Lee, M. S. Jung, and O. J. Kwon, "Numerical analysis of unsteady viscous flows using a fast grid deformation technique on hybrid unstructured meshes," *Journal of Computational Fluids Engineering*, vol. 14, no. 3, pp. 33-48, 2009 (in Korean).
- [6] D. J. Lee, K. S. Kim, and D. S. Byun, "Extraction of the ship movement information by a radar target extractor," *Journal of the Korean Society of Fisheries Technology*, vol. 38, no. 3, pp. 249-255, 2002.
- [7] H. W. Lee, H. R. Cho, J. S. Park, H. T. Kim, and Y. S. Yu, "Risk analysis for collision of multiple vessels or obstacles using fuzzy logic in maritime," *Proceedings of the Korean Institute of Maritime Information and Communication Sciences*, pp. 487-488, 2011.
- [8] J. S. Park, G. H. Lee, and T. D. Phu, "Analysis of ship collision behavior on offshore windtower," *Proceedings of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*, pp. 610-613, 2011.
- [9] Y. S. Shin, "Numerical analysis of viscous flows on unstructured grids using the optimal method of strongly implicit procedure," *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, vol. 49, no. 2, pp. 196-202, 2012.