



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문
3차원 비접촉식 측정법에 의한
수평자유축 조류발전 시스템의
유동특성 분석

Analyses on 3D Flow Characteristics of a
Free-Horizontal-Axis-Turbine Current Power Generation
System with a Volumetric PTV

지도교수 도 덕 희

2010년 7월

한국해양대학교 대학원

냉동공조공학과

최 진 형

本 論 文 을 崔 鎭 亨 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로
認 准 함 .

위원장 공학박사 조 효 제 (인)

위 원 공학박사 황 광 일 (인)

위 원 공학박사 도 덕 희 (인)

2009 년 7 월 13 일

한국해양대학교 대학원

목 차

그림 목차	iii
사용 기호	vi
Abstract	viii
제1장 서론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구목적	3
제2장 3차원 PTV 측정법의 원리	4
2.1 3차원 계측 원리	4
2.1.1 계측 원리	4
2.1.2 위치결정의 원리	6
2.1.3 영상변환	9
2.3 3차원 매칭 알고리즘	16
제3장 실험 및 결과	20
3.1 실험 장치 구성 및 실험 조건	20
3.2 발전특성(효율)	28
3.3 유동특성(2D-PIV, 3D-PTV)	38
제4장 결론	57
참고문헌	59

그림 목차

Figure 2.1 Rotation by X, Y and Z axis for α, β, κ	12
Figure 2.2 Relations between absolute and camera`s coordinate system	13
Figure 2.3 Definition of 3 dimension for particle position	14
Figure 2.4 Square Image of each camera	14
Figure 2.5 Transformation between pixel and real coordinate planes ...	15
Figure 2.6 Overall procedure for vector acquisitions	16
Figure 2.7 Definition of particle movement[PM]	17
Figure 2.8 Epipolar line and a search area	17
Figure 2.9 Hybrid fitness function used for sorting the most probable candidate from the candidate group database	18
Figure 2.10 Definition of particle neighborhood[PN]	19
Figure 3.1 Tested Models-mimicked fish shapes	22
Figure 3.2 Tested Models pitch angle	23
Figure 3.3 Photography section	24
Figure 3.4 Image of Photography section 0°	25
Figure 3.5 Image of Photography section 30°	25
Figure 3.6 Image of Photography section 60°	26
Figure 3.7 Image of Photography section 90°	26
Figure 3.8 Experimental Apparatus	27
Figure 3.9 Velocity Volt profiles (1.35knot)	29
Figure 3.10 Velocity Volt profiles (1.5knot)	29
Figure 3.11 Velocity Volt profiles (2knot)	30
Figure 3.12 rpm characteristics based on shape (1.35knot)	30
Figure 3.13 rpm characteristics based on shape (1.5knot)	31

Figure 3.14 rpm characteristics based on shape (2knot)	31
Figure 3.15 A50 Variation of Cp with TSR(1.5knot)	33
Figure 3.16 A50 Variation of Cp with TSR(2knot)	33
Figure 3.17 S50 Variation of Cp with TSR(1.5knot)	34
Figure 3.18 S50 Variation of Cp with TSR(2knot)	34
Figure 3.19 S55 Variation of Cp with TSR(1.5knot)	35
Figure 3.20 S55 Variation of Cp with TSR(2knot)	35
Figure 3.21 S65 Variation of Cp with TSR(1.5knot)	36
Figure 3.22 S65 Variation of Cp with TSR(2knot)	36
Figure 3.23 PIV velocity vector (S50_1.5knot)	37
Figure 3.24 PIV velocity vector (S65_1.5knot)	37
Figure 3.25 PIV velocity vector (SE50_1.5knot)	37
Figure 3.26 Grid of rear side (SE50_1.5knot)	40
Figure 3.27 Grid of rear side (S65_1.5knot)	41
Figure 3.28 Grid of rear side (S50_1.5knot)	42
Figure 3.29 S50 VS S65 velocity analysis of wake area	43
Figure 3.30 S50 VS SE50 velocity analysis of wake area	44
Figure 3.31 SE50 Vorticity structure at 1.5knot #1	45
Figure 3.32 SE50 Vorticity structure at 1.5knot #2	46
Figure 3.33 SE50 Vorticity structure at 1.5knot #3	47
Figure 3.34 SE50 Vorticity structure at 1.5knot #4	48
Figure 3.35 S50 Vorticity structure at 1.5knot #1	49
Figure 3.36 S50 Vorticity structure at 1.5knot #2	50
Figure 3.37 S50 Vorticity structure at 1.5knot #3	51
Figure 3.38 S50 Vorticity structure at 1.5knot #4	52
Figure 3.39 S65 Vorticity structure at 1.5knot #1	53
Figure 3.40 S65 Vorticity structure at 1.5knot #2	54

Figure 3.41 S65 Vorticity structure at 1.5knot #3 55
Figure 3.42 S65 Vorticity structure at 1.5knot #4 56



사용 기호

Nomenclature

A	: Cross section area
A_i	: Coefficient of area moment
$B, B_{\ddot{u}}$: Inverse matrix of M
c, c_x, c_y	: Plane distance from lens center
Cp	: Coefficient of Performance
dis	: Distance of projection
F	: Equation of observation for x-direction
G	: Equation of observation for y-direction
I	: Intensity of particle
I_0	: Maximum intensity of particle
k_1, k_2	: Lens coefficient
M_M, M_X, M_Y, M_Z	: Rotation matrix
m_x, m_y	: Movement value of principle point Movement value of principle point
o	: Original point of photographic coordinate system
O	: Original point of absolute coordinate system
p	: Particle on images
P	: Particle in space
V	: Velocity
$\Delta x, \Delta y$: Lens distortion value
x_0, y_0	: Deviation of the principal point from the center of image
x_i, y_i	: Value of the photographic position of particle
x, y, z	: Photographic coordinate system
X, Y, Z	: Absolute coordinate system
X_0, Y_0, Z_0	: Center of projection
X_i, Y_i, Z_i	: Value of the 3-D position of particle

Greek characters

α	: Tilted angle for X axis
β	: Tilted angle for Y axis
κ	: Tilted angle for Z axis
ρ	: Fluid density
λ	: Tip speed ratio
–	: Time averaged value



Analyses on 3D Flow Characteristics of a Free-Horizontal-Axis-Turbine Current Power Generation System with a Volumetric PTV

by Jin Hyung, Choi

*Department of Refrigeration and Air-Conditioning Engineering
Graduate School of Korea Maritime University*

Abstract

Flow characteristics of a fish-type current power generation system have been investigated by the use of a volumetric PTV.

Three types of the turbine blades have been tested under the current speed 1.35knot, 1.5knot and 2knot. The width of the blade installed around the body is 50mm. The load test has been carried out under the same flow conditions.

All flow features have been investigated when the blade have come to the same rotating angle position using a position sensor. Among the models it has been verified that the S65 showed the highest voltage generations. For the case of S65 turbine model, the deficit of the velocity magnitude in the wake region seems to contribute the transfer of moments from the current fluids to the turbine blade.

It is estimated that the power efficiencies of the present turbine blades are ranged from 10% to 20% at most.

제 1 장 서 론

1.1 연구배경

화석에너지의 고갈로 인한 대체에너지원 개발문제 및 산업화의 가속화에 따른 이산화탄소 배출량 증가, 다량의 온실가스 배출로 인한 기후변화와 지구온난화에 대한 대응 방안으로서 신재생에너지의 개발과 보급은 전 세계가 풀어야 할 공통과제이다. 국제 환경규제 강화 등 전 지구적인 환경오염 문제에 효과적으로 대응할 수 있는 방안의 하나로서 신재생에너지의 사용률을 높이는 일이 시급하다. 그러나 화석연료보다 생산에 드는 비용이 높고 사용 효율 측면에서 아직까지 보급이 미흡한 실정이며 지속적인 발전을 거듭해야하는 단계이다.

이런 대체에너지 개발 중에서도 태양에너지나 풍력에너지 등의 대체에너지는 지속적인 개발이 이루어 졌으나 해양에너지에 대해서는 그 활동이 조금 미미한 면이 있었다고 볼 수 있다. 하지만 해양에너지는 작동유체의 밀도가 공기보다 높은 관계로 최근 들어 많은 관심을 받고 있다. 특히 삼면이 바다이고 리아스식 해변을 가진 우리나라의 조류자원은 여타 다른 나라들보다 많은 관계로 조류발전에 대한 실증 연구가 이루어지고 있다.

조류발전은 신재생에너지 분야에서 풍력발전보다 에너지밀도가 높다는 관점에서부터 각광을 받고 있다(조철희, 2007). 조류발전은 영국과 유럽을 중심으로 개발 및 연구되어 왔으나 최근의 에너지 및 환경위기와 맞물려 전 세계적으로 광범위하게 연구가 진행되고 있다.

해류발전은 조력발전과 달리 댐을 만들고 물의 낙차를 이용하는 방식이 아니라, 해류 또는 조류의 흐름을 이용 발전하는 방식이다. 조류발전의 경우 해저 지형에 따라서 지속사용이 가능한 유속을 얻어 낼 수 있다(Myers, 2005). 그러나 조류발전의 발전량은 사용된 터빈의 수력학적 특성에 의존하게 되므로 터빈의 운전성능에 대한 평가방법이 필요하게 된다(Batten, 2007).

현재까지 개발된 조류발전수차를 살펴보면, 1931년 Darrieus가 개발한 원통형의 반동수차(Darrieus 수차)는 평이한 모양과 유속이 적은 경우에도 높은 회전속도를 유지할 수 있다는 점과 수차의 지름을 증가시키지 않아도 넓은 접촉면을 유지할 수 있다는 점에서 관심을 집중시켰다. 그러나 회전에 의한 맥동형상과 상대적으로 낮은 효율 때문에 실용화되지는 못하였고, 1994~1995년 고를로프가 다리우스 수차의 단점을 개선한 형태의 Helical 수차를 개발하였다. 국내에서는 해양수산부의 지원으로 한국해양연구원과 한국전기연구원의 공동연구로 2002년 4월에 전남 해남군 진도대교 교각에 현장실험용 조류발전 터빈, 지지구조물, 증속기 및 발전기를 설치 완료하여 관련 실험을 성공적으로 수행하였다. 본 시험에서는 3날개형 수직축 헬리컬형 수차(직경 1m, 높이 1.29m)를 설치하여 시험에 성공하였는데, 이 수차의 형태는 여타의 조류발전 수차에 비해 발전효율을 약 50%이상 개선한 고효율 터빈으로 각광을 받고 있다. 실험에서의 최대유속이 6knot(약 3m/sec)시에 10kW인 것으로 나타났다.

한국해양연구원에서는 우리나라 해안의 특성으로부터 조석간만의 차이가 많다는 점, 그리고 섬이 많은 지형적인 특성으로부터 조류속도가 조류발전에 매우 양호한 조건을 갖추고 있으므로 1MW급의 수차발전시스템을 2010년까지 완공 목표로 하고 있는 것으로 알려져 있다. 하지만, 수차발전시스템의 경우 악천후나 집중호우 등에 의해 조류에 흘러 다니는 부유물들이나 오물 또는 어업용 그물과 같은 선형(rope type) 부유물 등에 의해 수직형 발전시스템에의 유입에 의한 발전 장애 요인이 발생할 수 있다. 이런 장애 요인들을 제거하기 위해 수차발전시스템 전면에 Mesh를 설치하였으나 이는 유체의 속도를 감소시켜 발전 효율을 반감시키는 악영향을 미친다.

1.2 연구목적

본 연구에서는 앞 절에서 언급한 단점들을 고려하여 발전에 장애가 없도록 고안된 유연한 회전축을 가진 수평자유축 조류발전 시스템의 최적 설계를 위하여 3차원 유동특성을 분석하여 최적 형상을 구현하는데 그 목적이 있다.



제 2 장 3차원 PTV 측정법의 원리

2.1 3차원 계측 원리

2.1.1 계측 원리

카메라를 통한 3차원 공간의 정량적인 인식을 위해서는 2대 이상의 카메라와 각각의 카메라에 대한 정보가 필요하다. 이 카메라의 정보를 결정하는 것을 단사진표정이라 하며, 카메라 정보와 카메라로부터 얻은 영상은 카메라 중심점에 대한 투영의 관계가 성립된다. 본 논문에서는 Doh 등(2001)이 제시한 외부요소($dis, \alpha, \beta, \kappa, m_x, m_y$)와 내부요소(c_x, c_y, k_1, k_2) 등 10개의 요소를 가지는 새로운 관측방정식(2.2)을 사용한 유전알고리즘을 이용하였다.

Fig 2.7은 10개 표정요소를 이용하기 위해 절대 좌표계(X, Y, Z)에 대한 카메라 좌표계(x, y, z)의 관계를 보여 주고 있다. 먼저 dis 는 절대 좌표계 '0'(0, 0, 0)점으로부터 카메라 중심까지의 거리를 의미한다. 카메라 좌표계와 절대 좌표계를 일치시키기 위해 X, Y, Z 축에 대한 각각의 회전각을 α, β, κ 로 정의하면, 축에 대한 회전형렬은 $M_M = M_Z M_Y M_X$ 가 된다. 즉 X, Y (α, β)축 회전에 의해 카메라 좌표계의 z 축과, 절대 좌표계의 Z 축이 평행하게 되며, 다시 Z (κ)축 회전에 의해 카메라 좌표계의 x, y 축과 절대좌표계의 X, Y 축이 서로 평행하게 된다. 이렇게 회전된 절대 좌표값을 (X_m, Y_m, Z_m)으로 표시하고, 카메라의 z 축과 절대좌표계의 Z 축을 일치시키기 위한 이동량을 m_x, m_y 으로 표시한다. 이렇게 카메라의 z 축과 절대좌표계의 Z 축을 일치시키면, Fig 2.8 와 같은 카메라의 xy 평면과 절대 좌표계 사이의 투영관계가 성립된다. 즉 절대좌표계의 대상점과 사진좌표계의 투영점이 일직선상에 있다는 공선조건으로부터 다음과 같은 관측방정식을 얻을 수 있다.

$$x = c_x \frac{X_m - m_x}{\sqrt{dis^2 - m_x^2 - m_y^2 - Z_m}} + \Delta x \quad (2.1)$$

$$y = c_y \frac{Y_m - m_y}{\sqrt{dis^2 - m_x^2 - m_y^2 - Z_m}} + \Delta y \quad (2.2)$$

여기서 c_x , c_y 는 이미지 그래버에 따른 장방비의 차이를 고려한 것이며, Δx , Δy 은 이미지 중심으로부터의 거리에 따른 렌즈에 의한 굴절을 고려하여 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta x = \frac{x}{r} (k_1 r^2 + k_2 r^4)$$

$$\Delta y = \frac{y}{r} (k_1 r^2 + k_2 r^4) \quad r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

식 (2.2)와 같이 정의된 각 카메라의 표정요소를 구하기 위해 이미 알고 있는 3-D 좌표 (X_i , Y_i , Z_i)와 사진좌표 (x_i , y_i)에 대해 F, G는 식 (2.3)과 (2.4)와 같이 표시된다.

$$F = c_x \frac{X_m - m_x}{\sqrt{dis^2 - m_x^2 - m_y^2 - Z_m}} - (x - \Delta x) = 0 \quad (2.3)$$

$$G = c_y \frac{Y_m - m_y}{\sqrt{dis^2 - m_x^2 - m_y^2 - Z_m}} - (y - \Delta y) = 0 \quad (2.4)$$

이러한 F, G방정식은 비선형 연립방정식이므로 이를 풀기 위하여 초기에 표

정요소들의 미지값을 가정하고 테일러 급수전개에 의한 최소자승법으로 보정량을 구하여 수렴될 때까지 근사치를 보정하는 수정 Gauss - Newton법을 사용하였다.

2.1.2 위치결정의 원리

카메라의 표정요소가 구해지면 사진좌표(x, y)와 절대좌표(X, Y, Z) 간에 식 (2.3)와 (2.4)으로부터 다음과 같은 관계식이 성립된다.

$$F \Rightarrow \frac{c_x(X_m - m_x)}{d - Z_m} - (x - \Delta x) = 0 \quad (2.5)$$

$$\therefore X_m = \frac{(x - \Delta x)}{c_x} (d - Z_m) + m_x$$

$$G \Rightarrow \frac{c_y(Y_m - m_y)}{d - Z_m} - (y - \Delta y) = 0 \quad (2.6)$$

$$\therefore Y_m = \frac{(y - \Delta y)}{c_y} (d - Z_m) + m_y$$

여기서, $d = \sqrt{\text{dis}^2 - m_x^2 - m_y^2}$ 이다. $d - Z_m = t$ ($Z_m = d - t$)

라고 두면

$$X_m = \frac{x - \Delta x}{c_x} t + m_x$$

$$Y_m = \frac{y - \Delta y}{c_y} t + m_y \quad (2.7)$$

$$Z_m = d - t$$

이 된다. 또한, 회전변환행렬을 M_M 이라 두고, 역행렬을 B 라 두면

$$\begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{bmatrix} = M_M \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = M_M^{-1} \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{bmatrix} = B \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{bmatrix}$$

이므로 X, Y, Z 에 관해 정리하면,

$$\begin{aligned} X &= B_{11} X_m + B_{12} Y_m + B_{13} Z_m \\ &= \left(B_{11} \frac{s_x}{c_x} + B_{12} \frac{s_y}{c_y} - B_{13} \right) t + (B_{11} m_x + B_{12} m_y + B_{13} d) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y &= B_{21} X_m + B_{22} Y_m + B_{23} Z_m \\ &= \left(B_{21} \frac{s_x}{c_x} + B_{22} \frac{s_y}{c_y} - B_{23} \right) t + (B_{21} m_x + B_{22} m_y + B_{23} d) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= B_{31} X_m + B_{32} Y_m + B_{33} Z_m \\ &= \left(B_{31} \frac{s_x}{c_x} + B_{32} \frac{s_y}{c_y} - B_{33} \right) t + (B_{31} m_x + B_{32} m_y + B_{33} d) \end{aligned} \quad (2.8)$$

이 되며, 카메라의 위치(X_0 , Y_0 , Z_0)는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} X_0 &= B_{11}mx + B_{12}my + B_{13}d \\ Y_0 &= B_{21}mx + B_{22}my + B_{23}d \\ Z_0 &= B_{31}mx + B_{32}my + B_{33}d \end{aligned} \quad (2.9)$$

여기서, $d = \sqrt{\text{dis}^2 - mx^2 - my^2}$ 이고, $s_x = x - \Delta x$, $s_y = y - \Delta y$ 를 나타낸다.

이로부터 각 카메라에 대한 카메라중심(X_0 , Y_0 , Z_0)과 입자의 중심을 지나는 하나의 직선의 방정식을 구할 수 있으며, 하나의 입자에 대한 두 대 이상의 카메라로부터 구해진 직선방정식을 공선의 조건을 이용하여 구하게 된다.

즉, Fig 2.9 에서 보이는 바와 같이 P점에 대해 각각의 카메라는 다음의 직선방정식을 가진다.



$$P(X, Y, Z) = P(a_1t + X_0, a_2t + Y_0, a_3t + Z_0) \quad (2.10)$$

두 개 직선의 방정식을 다음과 같이 표시하면 다음과 같다.

$$A(X, Y, Z) = A(a_{11}t + b_{11}, a_{12}t + b_{12}, a_{13}t + b_{13}) \quad (2.11)$$

$$B(X, Y, Z) = B(a_{21}s + b_{21}, a_{22}s + b_{22}, a_{23}s + b_{23}) \quad (2.12)$$

이 두 직선에 대한 최단거리를 가지는 t , s 는 다음과 같다.

$$t = \frac{\kappa - a\beta}{1 - a^2}, \quad s = \frac{\kappa a - \beta}{1 - a^2} \quad (2.13)$$

여기서, $\alpha = a_{11}a_{21} + a_{12}a_{22} + a_{13}a_{23}$

$$\beta = a_{11}(b_{11} - b_{21}) + a_{12}(b_{12} - b_{22}) + a_{13}(b_{13} - b_{23})$$

$$\kappa = a_{21}(b_{11} - b_{21}) + a_{22}(b_{12} - b_{22}) + a_{23}(b_{13} - b_{23}) \quad \text{이다.}$$

t , s 가 구해지면 $A(X, Y, Z)$, $B(X, Y, Z)$ 가 결정되어 진다.

여기서, 실제 $P(X, Y, Z)$ 값은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \left\{ \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} \right\} \quad (2.14)$$

각 입자에 대해 위와 같은 과정을 거치면 대응하는 카메라간의 입자와 하나의 3차원 위치를 결정할 수 있게 된다.



2.1.3 영상변환

카메라 사이각으로 Fig 2.10와 같이 정사각형 대상물 영상은 사다리꼴 모양의 영상을 얻게 된다. 두 대의 카메라는 물체의 다른 각도에서 촬영하여 동일 점을 나타내지 않는다. 따라서 기하학적인 변환인 왜곡변환(Warping)을 이용하여 영상 변환을 통한 픽셀(Pixel)들의 위치를 바꿔준다. 픽셀들은 입자영상의 공간 좌표값(x' , y')으로부터 출력 영상 안의 새로운 좌표값 (x , y)로 재배치된다. 동차 좌표 개념을 이용하여 식 2.15의 2차원 선형 변환(a)를 (b)와 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (a)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (b) \quad (2.15)$$

기본적인 2차원 영상 변환은 식 2.16의 (a)평행이동, (b)회전, (c)신축 이다.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & T_y \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (a)$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (b)$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (c) \quad (2.16)$$

여기서 T_x, T_y 는 이동값, θ 값은 픽셀 위치 $(0,0)$ 에 대한 시계 방향의 회전각, S_x, S_y 는 신축량이다. (x', y') 은 입력 영상 좌표값, (x, y) 는 출력 영상 좌표값이다. 식 2.16의 이동, 회전, 신축 변환을 결합하면 식 2.17을 얻을 수 있다.

$$x' = (x \cos \theta + y \sin \theta) S_x + T_x = (S_x \cos \theta) x + (S_x \sin \theta) y + T_x$$

$$y' = (-x \sin \theta + y \cos \theta) S_y + T_y = (-S_y \sin \theta) x + (S_y \cos \theta) y + T_y \quad (2.17)$$

일반화된 형태는 식 2.18 이다.

$$\begin{aligned} x' &= a_2 x + a_1 y + a_0 \\ y' &= b_2 x + b_1 y + b_0 \end{aligned} \quad (2.18)$$

왜곡 변환의 경우 고차항의 식이나 Stereoscopic PIV 특성상 단면의 유동장을 계측하므로 1차 왜곡만을 고려한 변환을 하였다. Z =0mm 지점의 영상을 기준으로 식 2.19을 이용하여 2차원 영상 변환을 행하였다.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$x' = \frac{x^*}{z^*} = \frac{a_{11}x + a_{12}y + a_{13}}{a_{31}x + a_{32}y + 1} \quad (2.19)$$

$$y' = \frac{y^*}{z^*} = \frac{a_{21}x + a_{22}y + a_{23}}{a_{31}x + a_{32}y + 1}$$

단, x, y : 변환전의 영상의 좌표값

x', y' : 변환후의 영상의 좌표값

2차원 변환 행렬식(A)과 실제(Real)와 픽셀(Pixel)좌표의 행렬식을 나타낸다. 변환행렬 A의 8개의 미지수는 최소 자승법으로 구하였다. Fig 2.11 은 카메라의 표정요소를 이용하여, 카메라 1과 2로 받아들인 각각의 영상을 이동, 회전, 신축 등의 과정을 거쳐 영상변환 되어지는 전체적인 개략도이다.



Figure 2.1 Rotation by X,Y and Z axis for α , β , κ



Figure 2.2 Relations between absolute and camera's coordinate system

X, Y, Z	: 절대 좌표계
x, y, z	: 사진 좌표계
m_x, m_y	: 중심축의 이동량
X_m, Y_m, Z_m	: X, Y, Z 축에 의한 회전된 입자좌표
X_0, Y_0, Z_0	: 카메라 중심의 위치(절대 좌표계)
c	: 투영면(초점거리)
P	: 공간상의 입자
P'	: 카메라상의 입자



Figure 2.3 Definition of 3 dimension for particle position

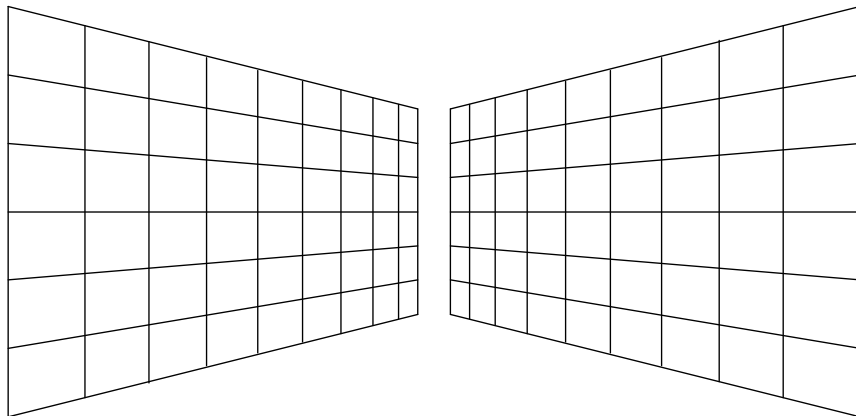


Figure 2.4 Square Image of each camera

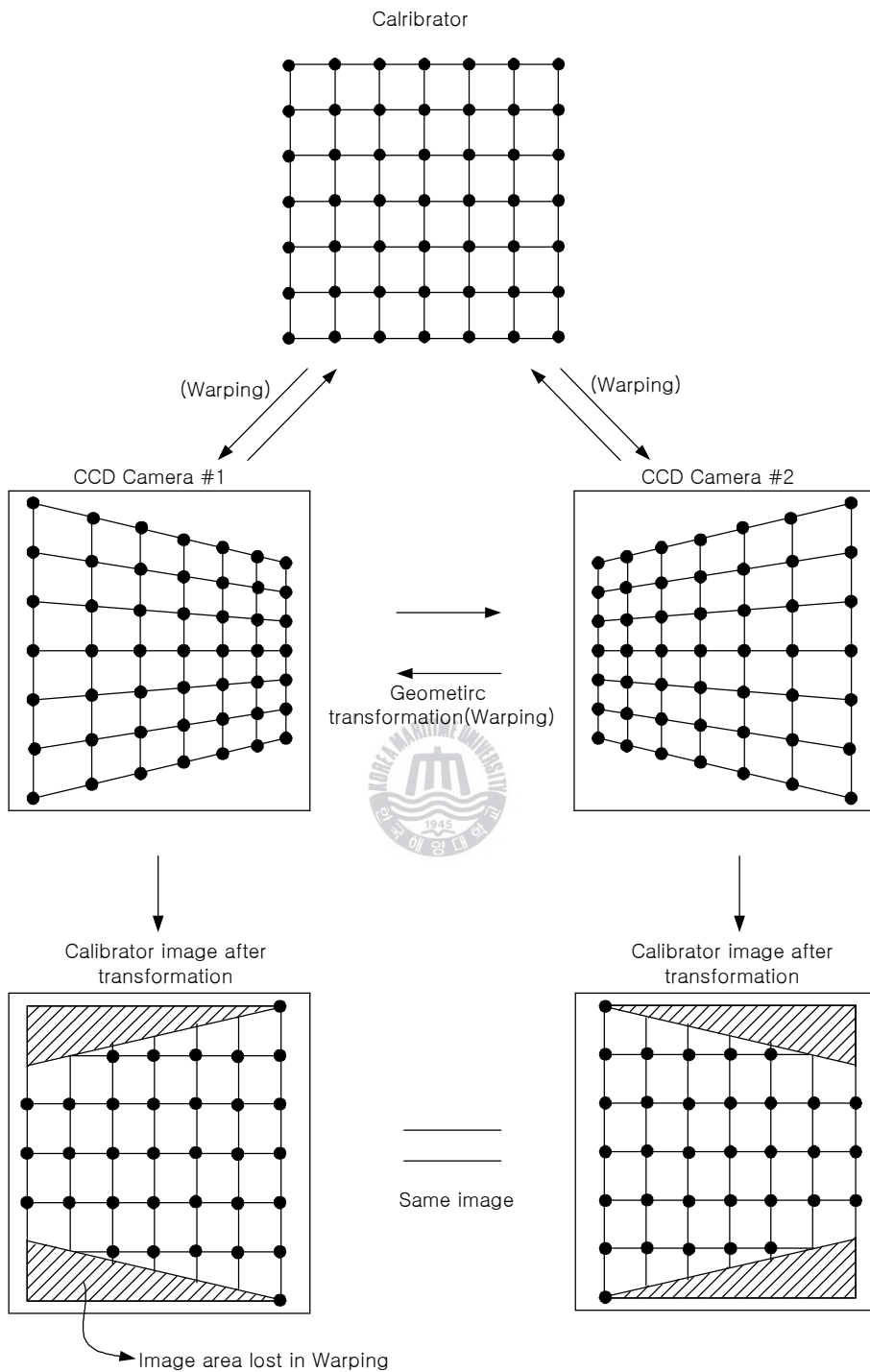


Figure 2.5 Transformation between pixel and real coordinate planes

2.2 3차원 매칭 알고리즘

2대의 카메라에서 획득된 2차원 영상을 이용하여 3차원 공간상의 좌표계를 획득하기 위해서는 먼저 정확한 입자쌍을 매칭해야 하며, 매칭된 입자는 상기의 과정을 거쳐 3차원 공간상에 정확한 입자위치계산과 이동량을 구할 수 있게 된다. 3차원 공간상의 입자를 먼저 추적한 다음, 3차원 매칭을 실시하고 최종적으로 자신의 쌍으로 결정한 다음 3차원 속도벡터를 구한다.

Fig 2.6 은 매칭알고리즘의 흐름을 나타낸다. 먼저 입자번호 k_1 과 k_2 로의 3차원벡터 후보군을 찾기 위하여 카메라1의 입자영상으로부터 2차원 속도벡터 정보를 구한다. 여기서 PM(Particle movement)은 유동장의 속도에 따라서 입의의 값으로 설정하였다(Fig 2.7). 이 과정을 시간진행(time marching)이라고 한다. 이어서 카메라2의 입자영상에서 카메라1의 입자영상의 대응(matching)되는 입자후보를 찾는다. 이 때 입자후보군이 매우 많은 관계로 계산시간이 늘어나게 되는데 계산시간을 줄이기 위하여 Fig 2.8과 같이 에피폴라선(epipolar line)을 이용하였고 입의의 영역(빗금친 부분)내에 있는 입자들을 후보로 삼았다. 이어서 입자 n_1 과 n_2 에 대해서도 동일한 방법으로 3차원 공간상에서의 입자후보들을 구한다.

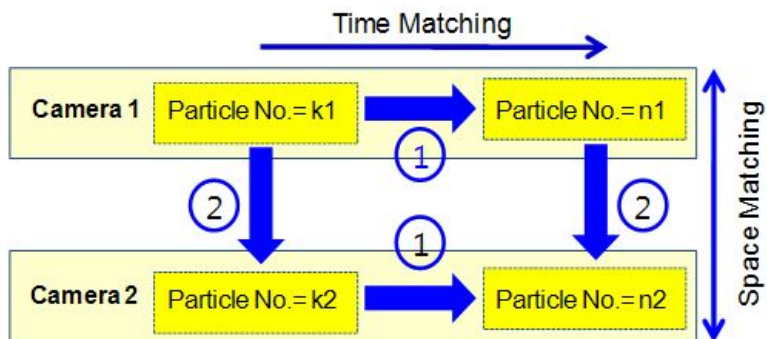


Figure 2.6 Overall procedure for vector acquisitions

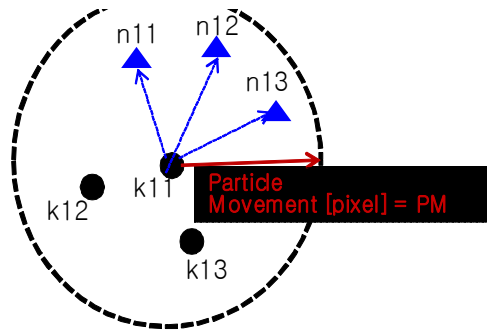


Figure 2.7 Definition of particle movement [PM]

일단 입자 k_1 에 대하여 카메라2의 영상에서의 입자 k_2 가 발견되면 카메라2의 입자영상에서의 2차원 속도벡터는 자동으로 구해지게 된다. 즉, 2시각분의 속도벡터는 먼저 구해두었기 때문이다.

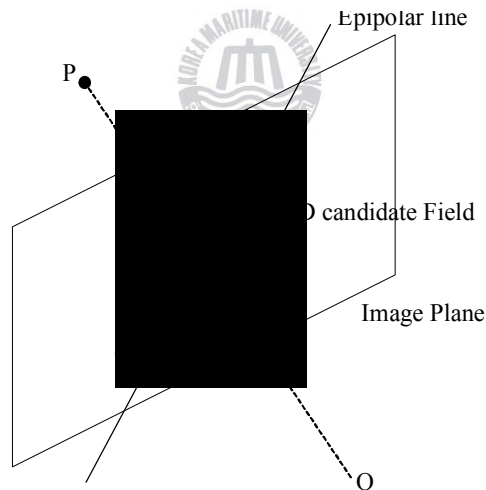


Figure 2.8 Epipolar line and a search area

만약에 입자 카메라1의 2번째 시각의 입자인 n_1 에 대한 후보가 에피폴라선을 중심으로 임의의 범위내에서 발견되면 (k_1, n_1, k_2, n_2) 는 3차원 속도벡터의

최종후보군으로 분류시킨다. 이와 같은 방법으로 카메라1과 카메라2의 모든 입자군들의 후보 데이터베이스(DB)를 구축한다. 후보 DB에 대하여 입자들의 이웃근방으로 판정될 수 있는 PN(Particle neighborhood)[mm]값을 설정하고, 이 값 이내에 있는 후보군들에 식 2.20과 같이 표시될 수 있는 벡터적합도(VF, Vector fitness)를 계산하게 된다.

$$VF[ve.ctor\ fitness] = \frac{\sum |u_i - u_o|}{\sum u_i} \quad (2.20)$$

u_i 는 자신의 입자를 제외한 PN범위 내에 있는 모든 입자들의 속도벡터를 나타내고 u_o 는 자신을 제외한 PN범위 내의 모든 입자들의 속도벡터평균을 나타낸다.

끝으로, 식 2.21로 표시될 수 있는 하이브리드시그모이드 함수(Fig 2.9)를 적용하여 이 입자후보군들이 구성하는 2대의 카메라에 의한 2개의 3차원 공간 직선간의 최단거리를 계산하여 이 값과 VF값을 적합(fitting)함으로써 입자후보군들간의 애매성을 저감시켰다.

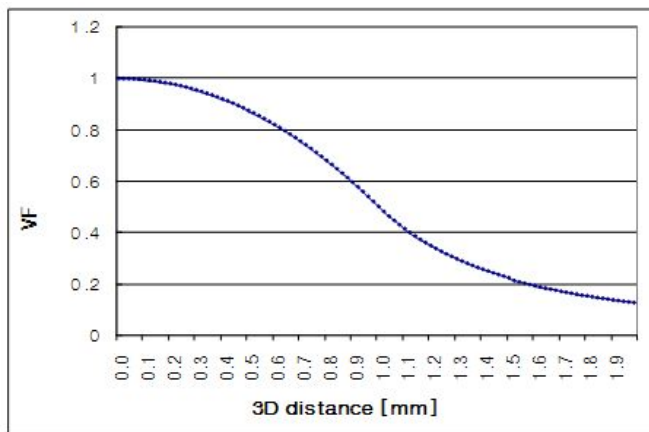


Figure 2.9 Hybrid fitness function used for sorting the most probable candidate from the candidate group database

$$f(x) = \begin{cases} -0.5x^2 + 1, & \text{at } (0 \leq x \leq 1) \\ 0.5x^{-2}, & \text{at } (x \geq 1) \end{cases} \quad (2.21)$$

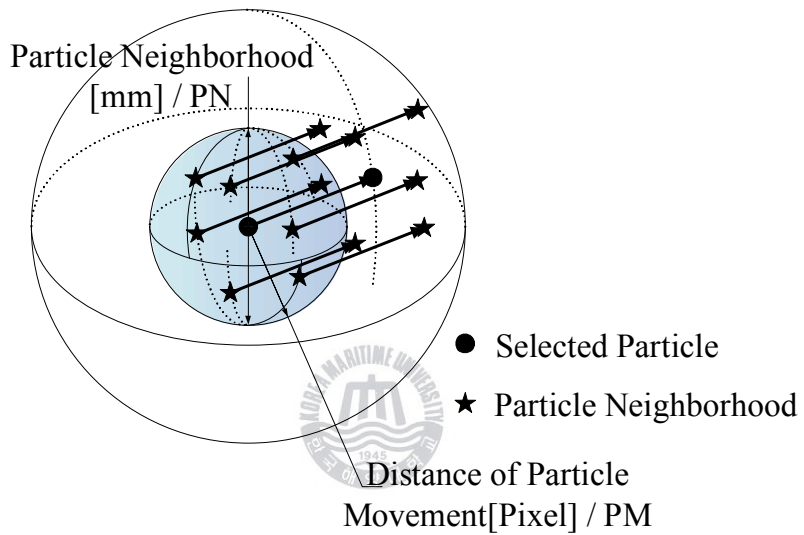


Figure 2.10 Definition of particle neighborhood[PN]

제 3 장 실험 및 결과

3.1 실험 장치 구성 및 실험 조건

본 실험에서는 다섯 종류의 수평자유축 조류발전용 Blade를 비교 실험 하였다.

모델의 형상에 따라 Fig 3.1에서 보는 바와 같이 A형, SE형, S형 3종으로 나누며 날개 각도에 따라 50° , 55° , 65° 로 분류된다.

A형은 AJI(전갱이), SE형은 SEIGO(농어), S형은 SABA(고등어)의 형상을 모방하여 제작하였으며 공학적으로 볼 때 유선형의 형상을 띄고 있는 어류의 형상이 최적의 유체 흐름을 구현 가장 형상에 따른 비교실험을 위해 A50, SE50, S50과 날개 각도에 따른 비교실험을 위해 S50, S55, S65 총 5종을 비교 대상으로 시험하였다.

PIV측정시스템(Doh 등, 2002)은 Fig 3.8에서 보는바와 같이 Blade 구동을 위한 回流수조(1100mm x 300mm x 300mm)와 2대의 고해상카메라(Kodak, ES 1.0, 30Hz, 1016*1020), Nd/Yag Laser(15Hz, 120mJ, Pulse Width 3~5ns, 532 nm wavelength), 전압측정을 위한 Pico USB Oscilloscope($\pm 100\text{mV}$ to $\pm 20\text{V}$), rpm측정을 위한 Laser tachometer(A2101, 60 to 19,999 rpm), 자전거용 발전기(JIS규격, 발전정격전압 6V, 발전전력 2.4W, 정격주파수 28Hz), Load Controller(20 to 280 ohms, 20step), 실험 장비의 동기화를 위한 Logic controller(Labsmith, LC880), 그리고 Host Computer로 구성된다.

측정방법은 回流수조의 중심인 550mm 높이 140mm 지점에 Blade를 설치하였고, Blade 길이 300mm에서 날개가 시작되는 후류부의 100mm x 100mm를 촬영하였다.

이 Blade의 중심축에는 이중와이어(double wire)로 된 유연한(flexible)축을 설치하였고 수조상부에 설치된 발전기는 자전거용 발전기를 설치하여 Blade로

부터 발생하는 에너지를 전압으로 변환 할 수 있도록 하였다.

Blade 날개의 동일한 부위를 연속적으로 촬영하기 위해 일정 유속에 따른 Blade의 회전과 Nd/Yag 레이저원과 고해상카메라의 위상을 일치시켜 날개의 동일 위상에 따른 영상만을 취합하였으며 각 날개별로 30° 씩 4등분(Fig 3.3)하여 각 부분별 유동특성을 조사하였고 발전기의 전기자와 직렬로 부하(20Ω, 40Ω, 60Ω, 80Ω, 100Ω, 120Ω, 140Ω, 160Ω, 180Ω, 200Ω, 220Ω, 240Ω, 260Ω, 280Ω)를 설치하여 각 모델에 따른 부하시험을 실시하여 유동특성과 동시에 부하에 따른 각 모델의 발전특성을 조사하였다.

측정된 영상은 해석 소프트웨어로 속도 벡터를 추출하였다. x방향으로 작용하는 속도는 u 속도 성분, y방향은 v 속도 성분, z방향은 w 속도 성분, $\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$ 는 Velocity로 표시하였다.









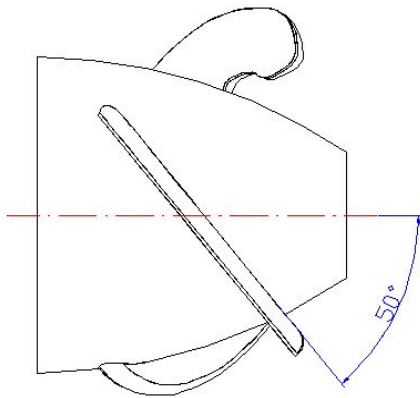
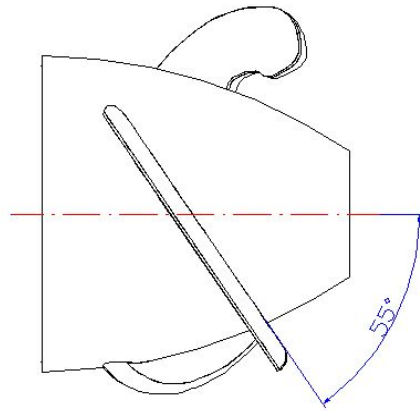
<p>A-type(Aji)</p>		
<p>S-type(Saba)</p>		
<p>SE-type(Seigo)</p>		

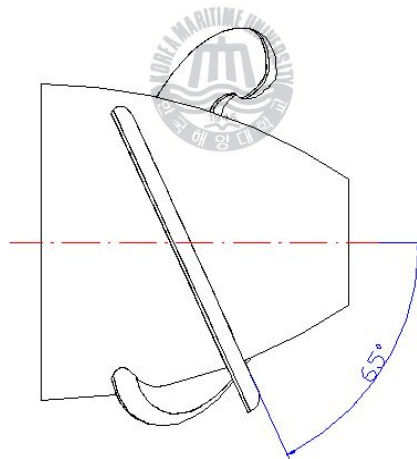
Figure 3.1 Tested Models-mimicked fish shapes



(a) at 50°



(b) at 55°



(c) at 65°

Figure 3.2 Tested Models pitch angle

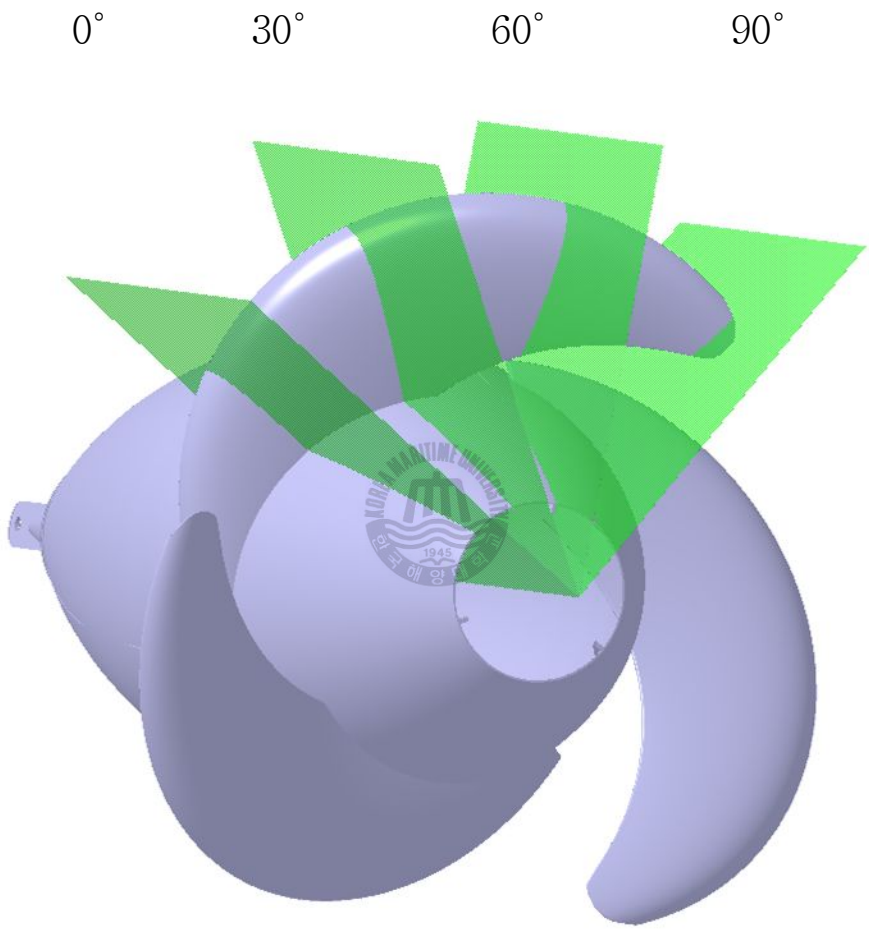


Figure 3.3 Photography section

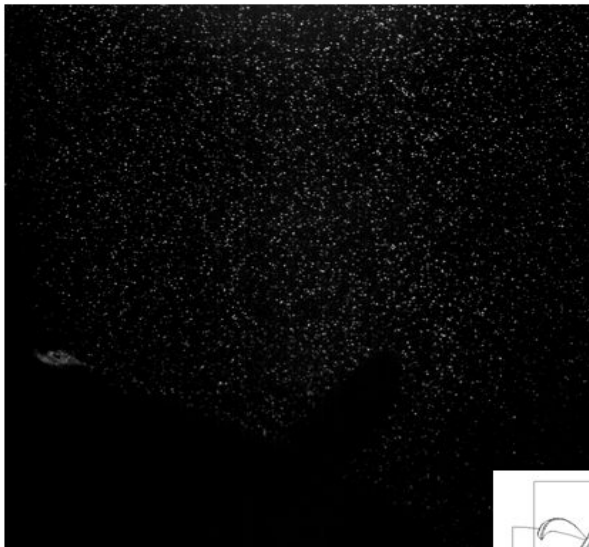


Figure 3.4 Image of Photography section 0°

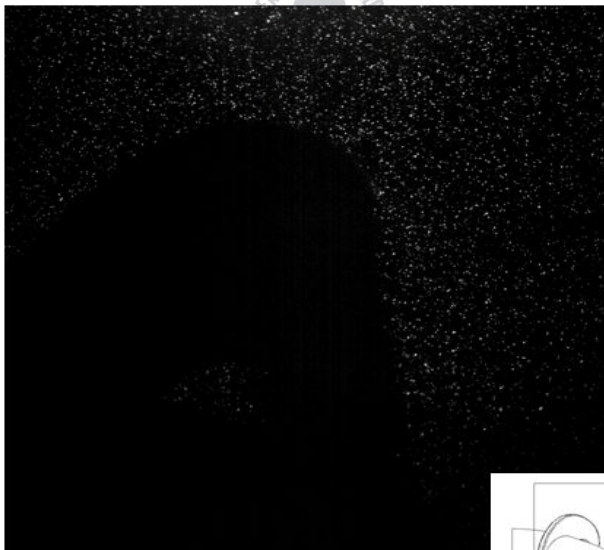


Figure 3.5 Image of Photography section 30°



Figure 3.6 Image of Photography section 60°

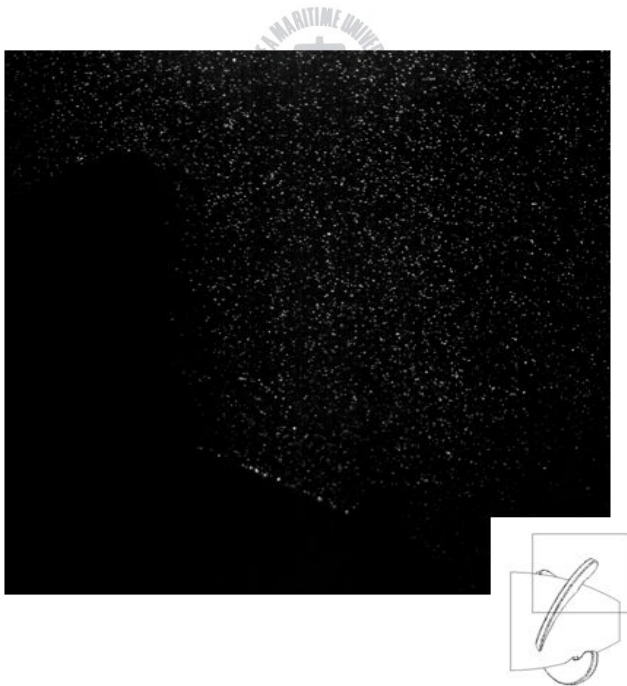


Figure 3.7 Image of Photography section 90°

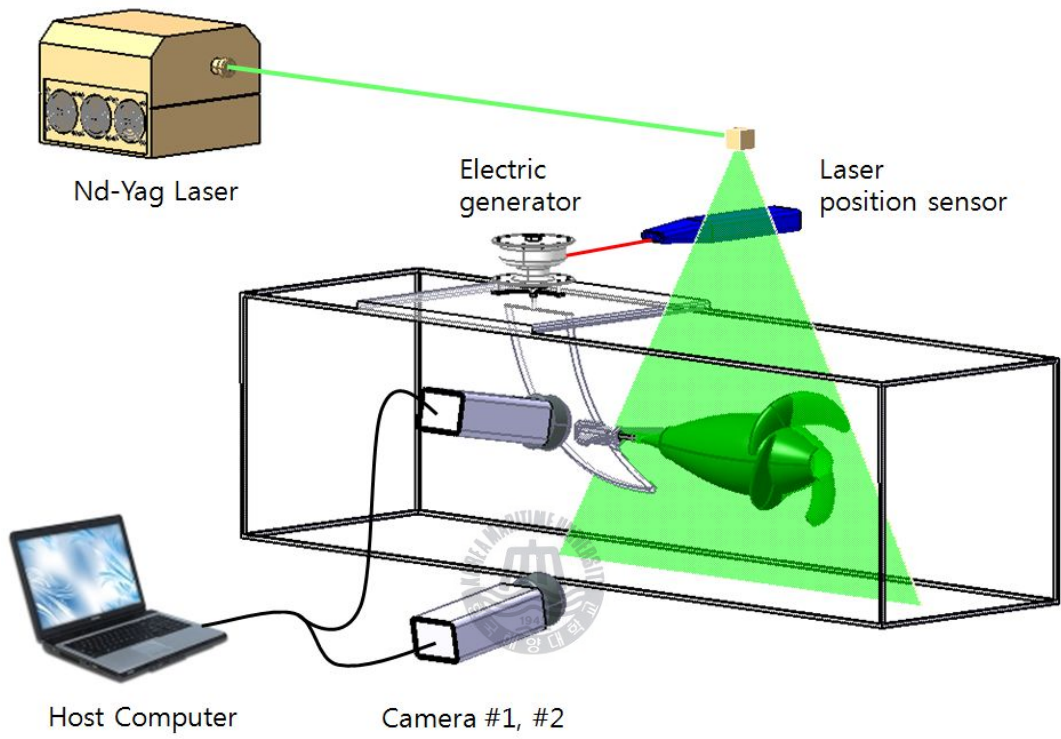


Figure 3.8 Experimental Apparatus

3.1 발전특성 (효율)

Blade 별로 2knot, 1.5knot, 1.35knot의 유속에서 부하를 높여줌에 따라 저항이 감소할 때 발생하는 전압량을 기록하여 비교한 결과(Fig 3.9, 10, 11)에서 일정한 유속에서는 세 가지 모델 중 SE형이 가장 높은 평균 전압을 발생시켰으나 유속이 느려짐에 따라 감소하는 효율도 다른 모델에 비해 높아져 1.35knot에서는 S형보다 효율이 떨어짐을 알 수 있었다. 이는 SE형이 빠른 유속에서는 다른 두 모델들보다 유속에 저항을 작게 받으나 저속에서는 다른 두 모델보다 저항을 크게 받음을 확인 할 수 있다.

위와 같은 전압 특성을 토대로 2D PIV 측정결과 Fig 3.25 SE50의 Blade 날개의 후류 속도벡터가 Fig 3.23 S50의 후류 속도벡터보다 더 낮게 측정 된 것은 SE형상이 같은 유속에서 Blade가 유속으로부터 받는 에너지의 양이 더 크므로 A형이나 S형의 Blade 보다 빠른 rpm으로 회전하고 있다는 것을 알 수 있었다.

Fig 3.23 ~ 25 Blade 날개 바깥쪽과 Blade 날개를 지나간 후류의 속도차를 비교해보면 SE50이 S50보다 유속 차이가 더 많이 나는 것을 알 수 있다.

이는 Blade 날개를 통과하는 유동이 Blade 날개에 전달한 운동에너지에 양이 많음을 나타내고 이는 Blade 바깥쪽과 후류의 속도차가 Blade 회전에 비례한다는 것을 확인 할 수 있었다.

S65의 경우에 후류 유속이 S50의 보다 약하고 날개 바깥쪽 유속과 후류의 속도차도 더 큰 것으로 나타났다.

이는 날개부분에 유동에 의해 전달되는 운동에너지가 날개에 전달되고 남은 나머지의 운동에너지 량이 후류부분에서 낮게 나타남을 의미하는 것이며, 이는 유속으로부터 날개로의 운동에너지가 보다 많이 전달되었음을 의미한다.

결론적으로 S65의 경우가 S50의 경우보다 운동-전기에너지 변환 효율이 높다는 것을 의미한다.

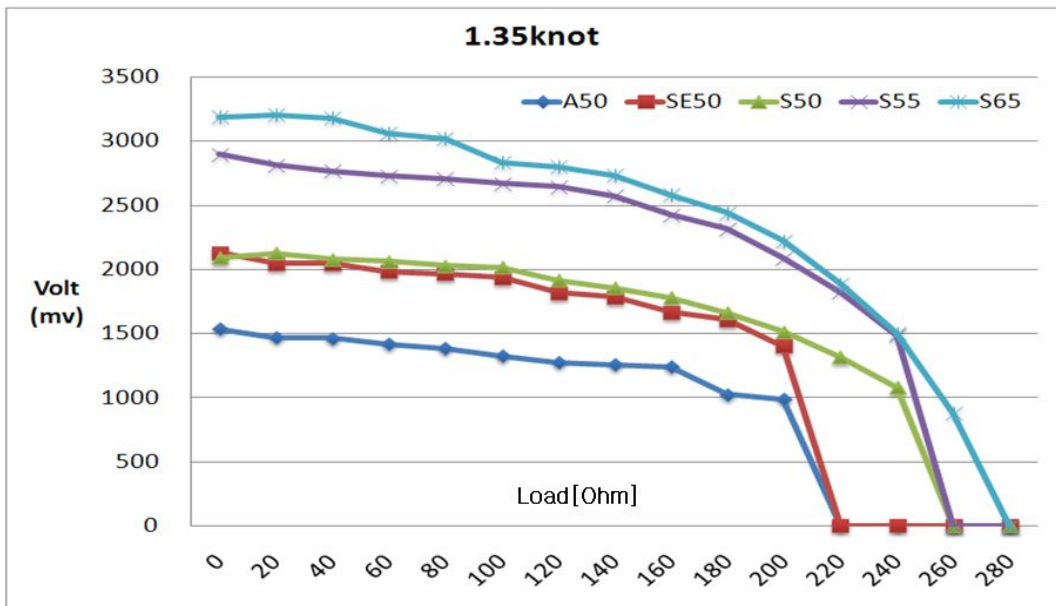


Figure 3.9 Velocity Volt profiles(1.35knot)

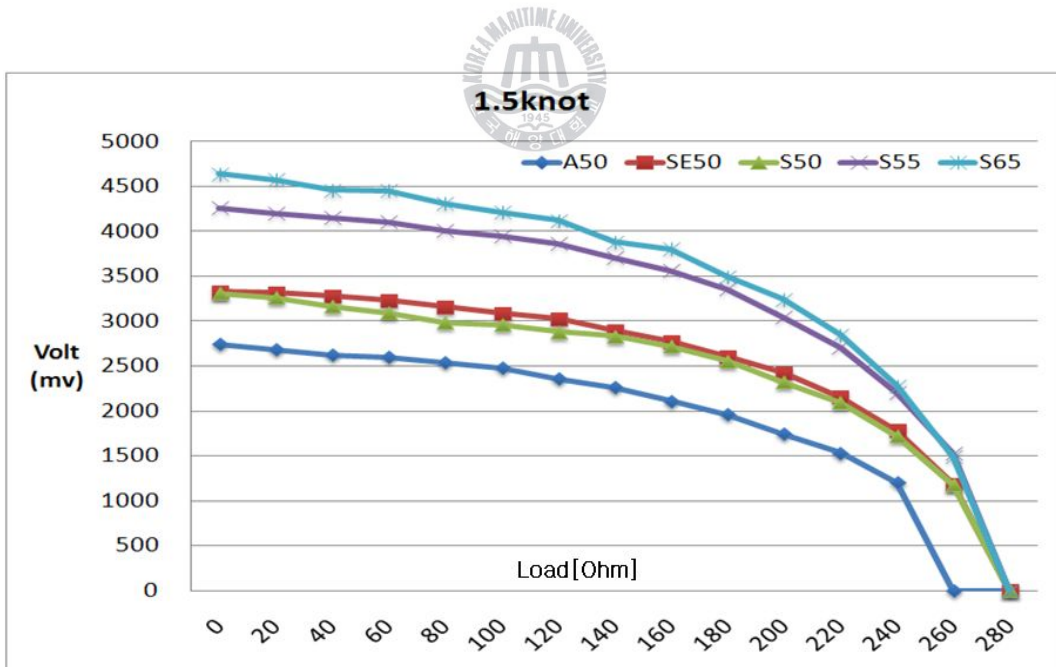


Figure 3.10 Velocity Volt profiles(1.5knot)

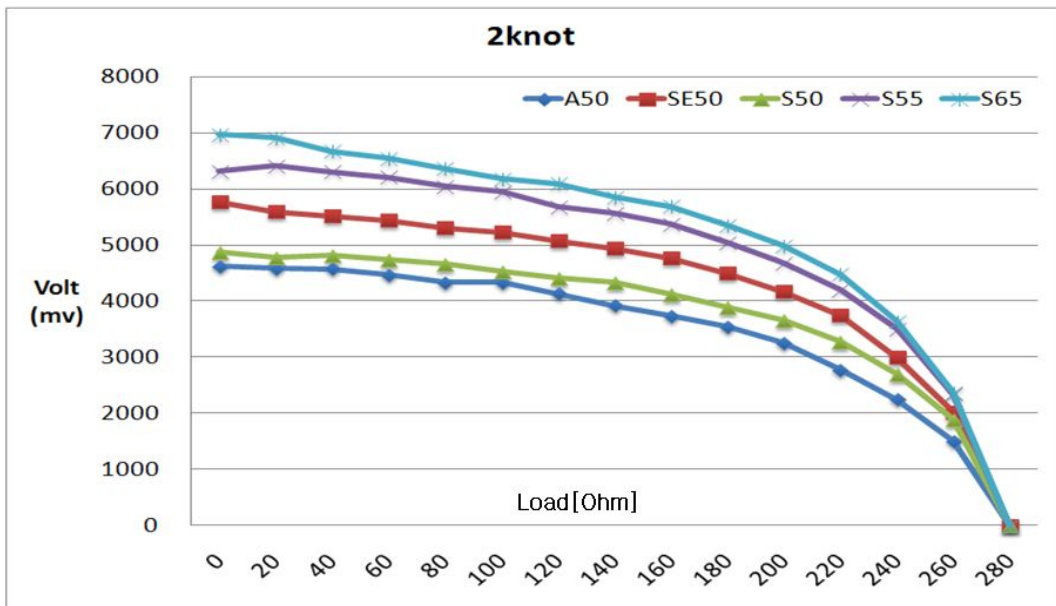


Figure 3.11 Velocity Volt profiles(2knot)

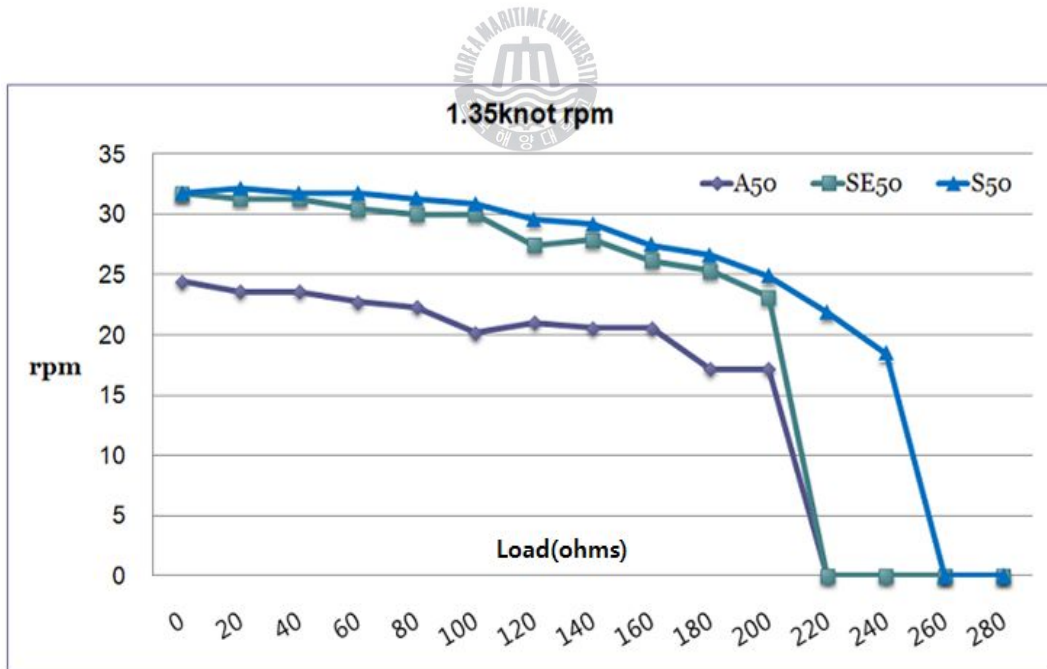


Figure 3.12 rpm characteristics based on shape(1.35knot)

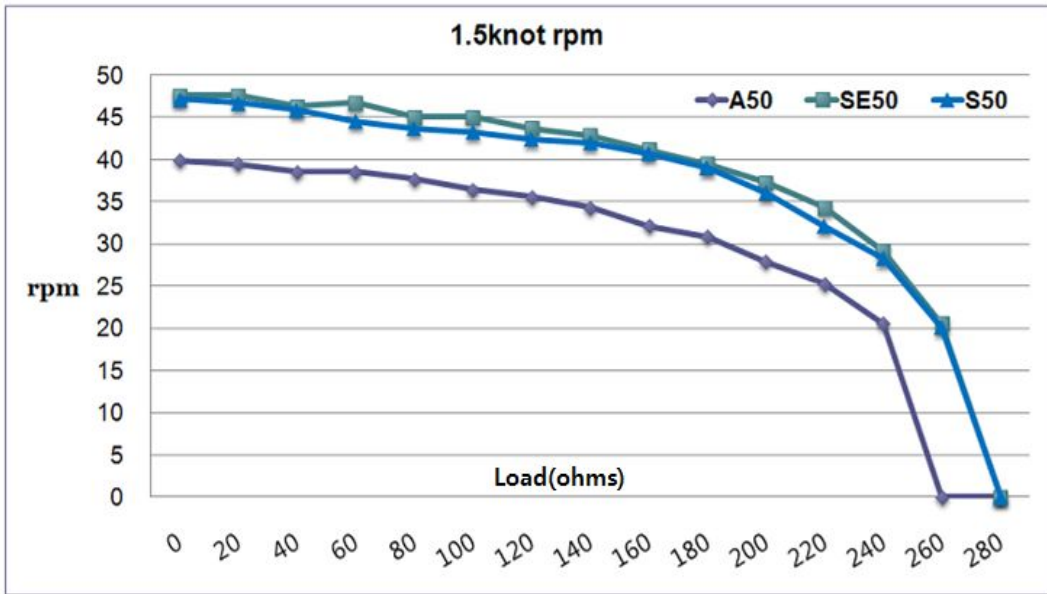


Figure 3.13 rpm characteristics based on shape(1.5knot)

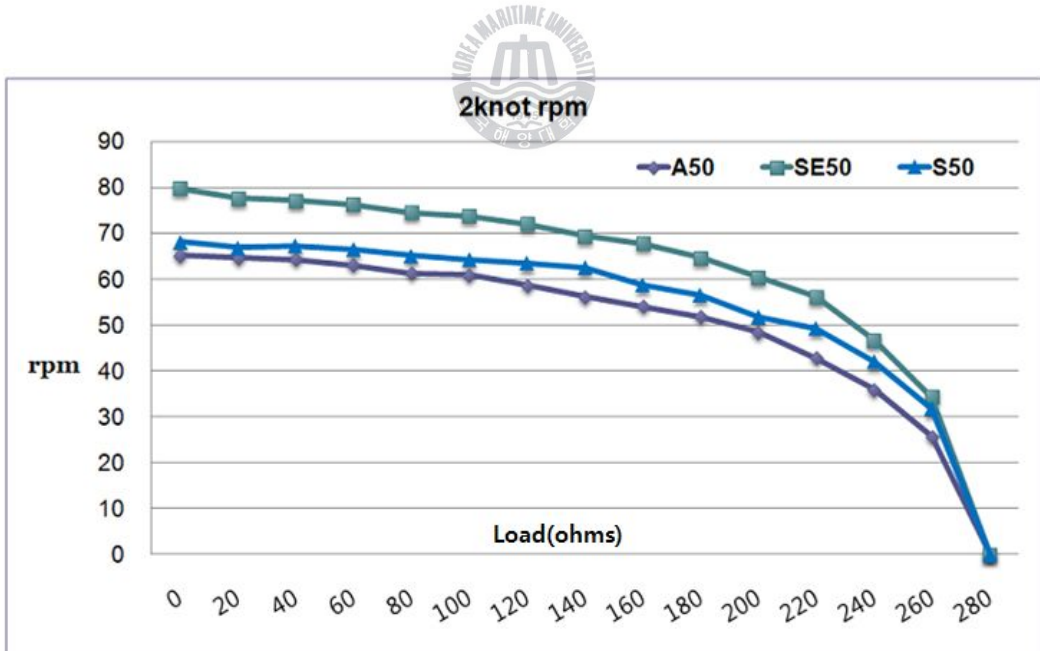


Figure 3.14 rpm characteristics based on shape(2knot)

위의 실험을 통하여 획득한 데이터 값을 바탕으로 아래의 식 2.22를 이용하여 효율을 계산하였다.

$$C_p = \frac{P_{rotor}(W)}{\frac{1}{2} \rho A V^3 * 10} \quad (2.22)$$

$$TSR(\lambda) = \frac{Velocity\ of\ blade\ tip}{Free\ stream\ velocity} \quad (2.23)$$

식 2.22의 Cp(Power Coefficient)는 유속에 따른 blade의 효율을 나타내고 식 2.23의 TSR(Tip speed ratio)은 유속에 따른 blade의 회전 속도 비를 나타낸다.

Fig 3.16의 그래프에서 보는 바와 같이 A50에서 유속이 2knot이고 부하가 140일 경우 약 10%의 효율을 나타내어 가장 높은 효율을 보이는 것으로 나타났지만 부하가 0일 경우에는 2%에도 미치지 못하는 가장 낮은 효율을 나타냄으로써 부하에 따른 효율차가 가장 큼으로 부하에 따른 전체적인 효율을 비교하여 보았을 때 효율이 좋다고 보기는 어렵다.

이에 반해 Fig 3.22에 나타난 S65의 효율곡선을 살펴보면 부하에 따른 효율차가 가장 적게 나타나는 것을 볼 수 있는데 이는 유속이나 부하의 변화량에 상관없이 가장 안정적인 발전 성향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

전체적인 그래프의 성향을 비교해 보았을 때 유속이 1.5knot일 때 가장 높은 효율 값을 보이고 있는데 이는 TSR값이 높은 것 만이 좋은 것이 아니라는 것을 보여주고 또한 과도한 유속으로 인한 TSR의 증가는 성능계수의 하락으로 자체적인 실속 발생효과를 가져 올 수가 있다는 것을 나타낸다.

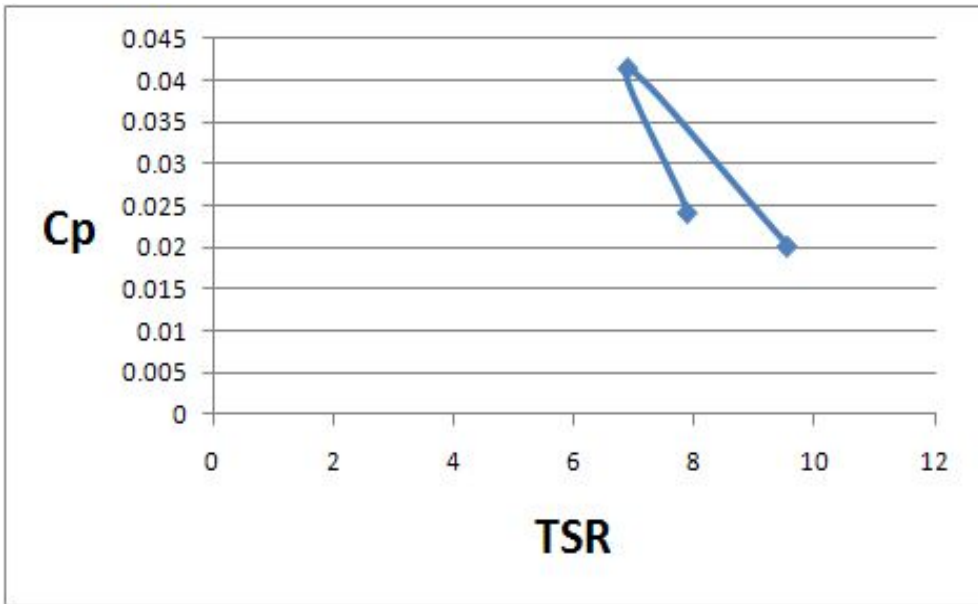


Figure 3.15 A50 Variation of Cp with TSR (1.5knot)

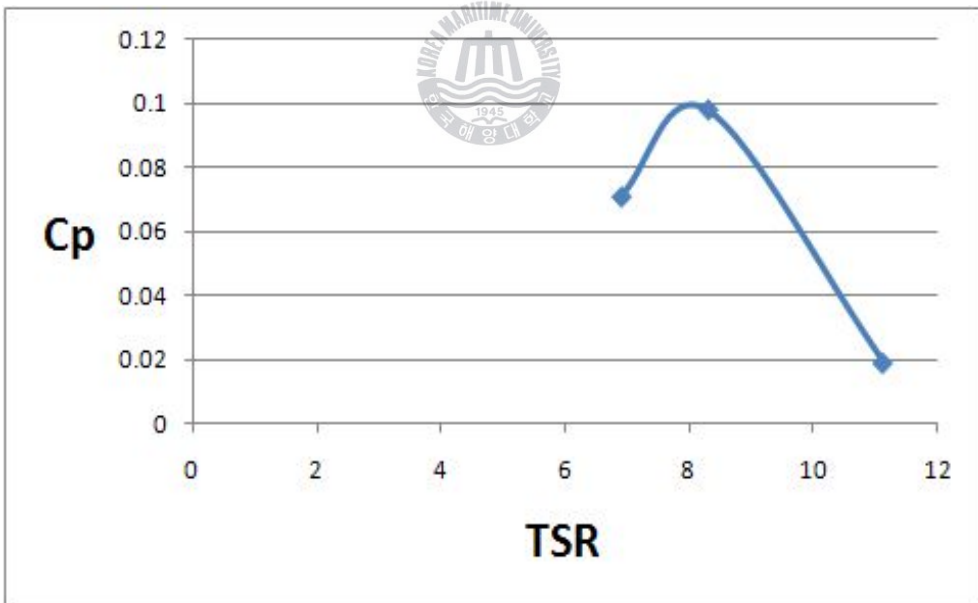


Figure 3.16 A50 Variation of Cp with TSR (2knot)

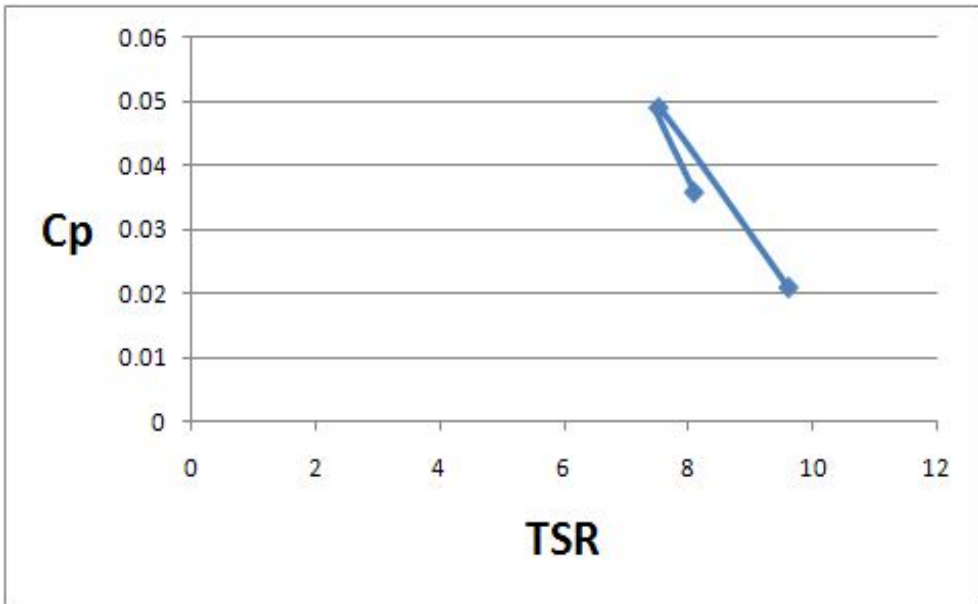


Figure 3.17 S50 Variation of Cp with TSR (1.5knot)

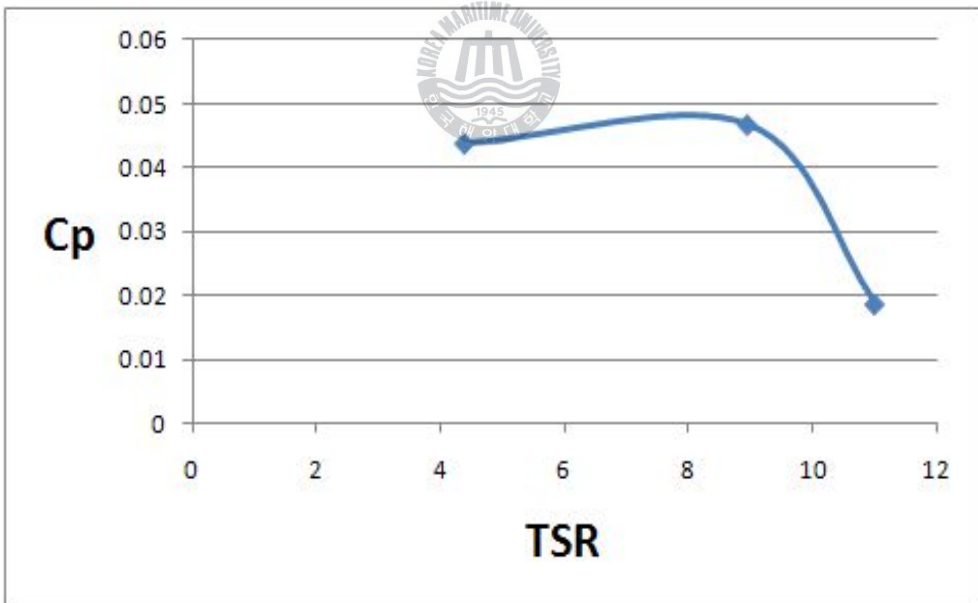


Figure 3.18 S50 Variation of Cp with TSR (2knot)

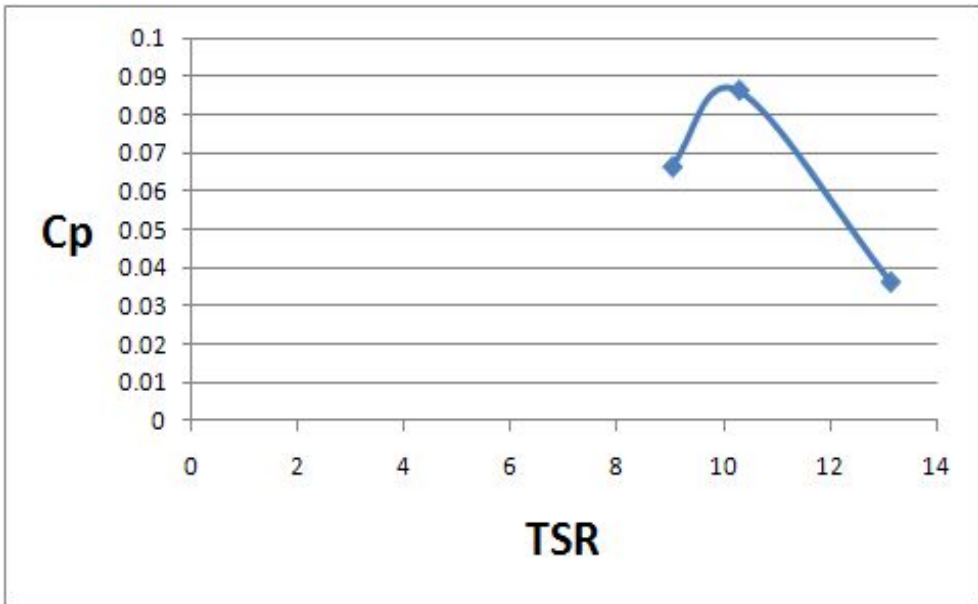


Figure 3.19 S55 Variation of C_p with TSR (1.5knot)

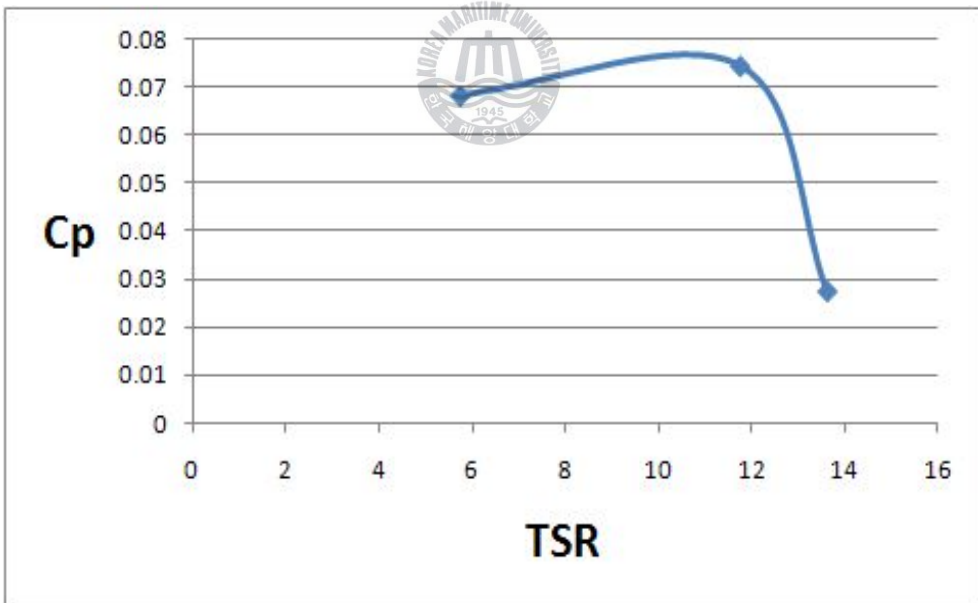


Figure 3.20 S55 Variation of C_p with TSR (2knot)

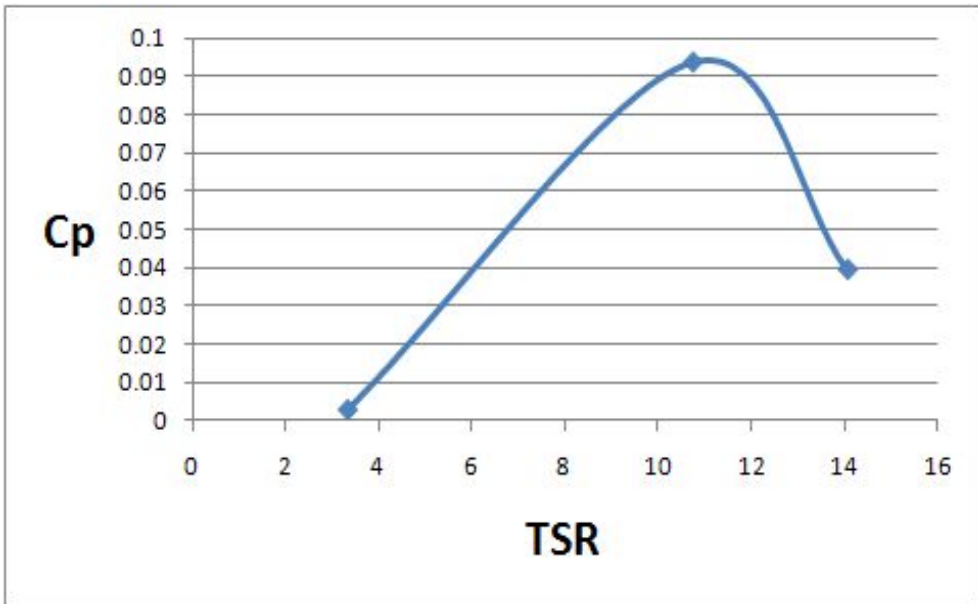


Figure 3.21 S65 Variation of C_p with TSR (1.5knot)

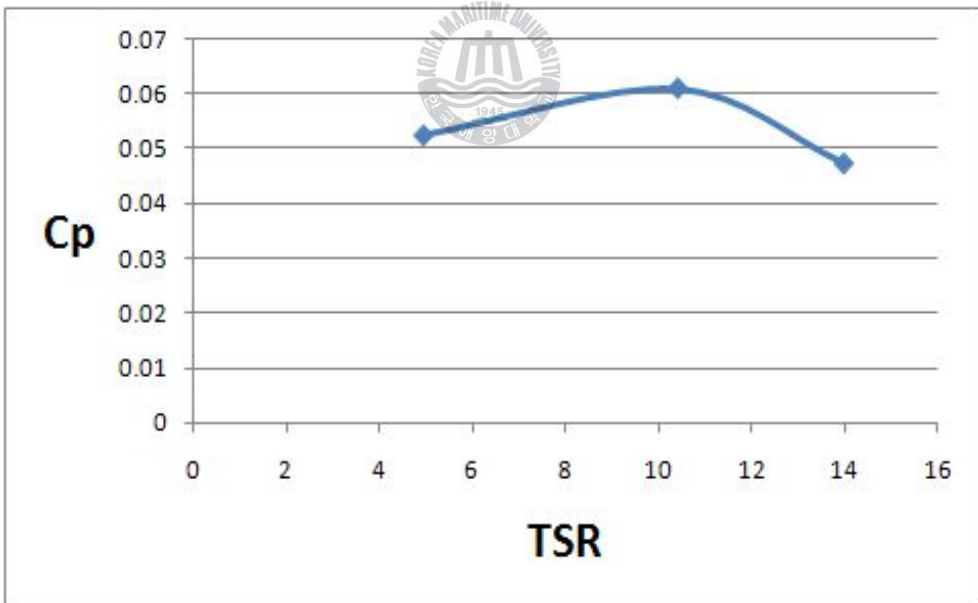


Figure 3.22 S65 Variation of C_p with TSR (2knot)

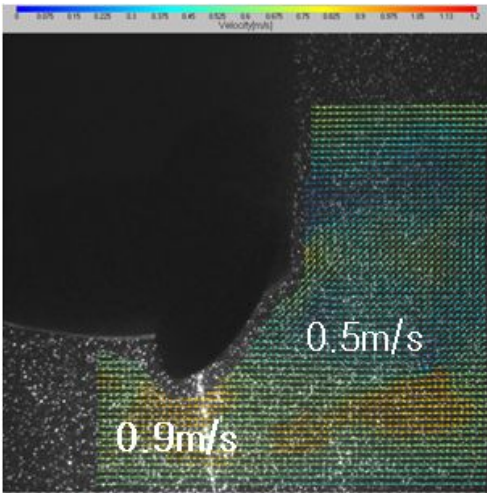


Figure 3.23 PIV velocity vector
(S50_1.5knot)

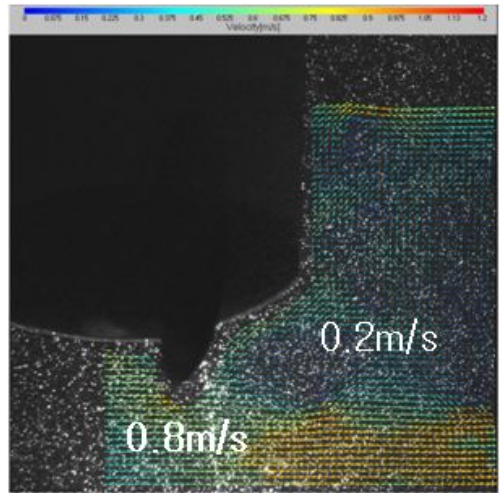


Figure 3.24 PIV velocity vector
(S65_1.5knot)

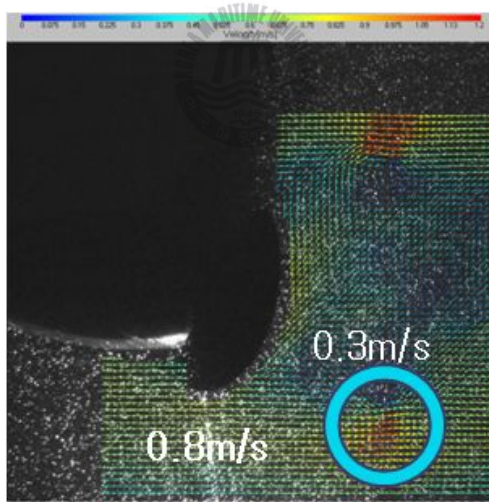


Figure 3.25 PIV velocity vector
(SE50_1.5knot)

3.3 유동특성(2D-PIV, 3D-PTV)

앞 절에서 살펴본 2D PIV 계측 데이터를 바탕으로 분석한 결과 Blade 후류에서는 3차원 성분이 더 강하게 나타남으로 인해 도 등^[4]이 개발한 볼륨 PTV 계측법을 적용하여 S50, S65, SE50 세 모델에 대하여 비교 실험을 하였다.

다섯 종류의 모델 중 A50과 S55의 경우에는 발전전압이나 일정 유속에 따른 회전속도(rpm)와 발전 전압량 등이 가장 저조하게 나타남으로 인해 볼륨 PTV 계측 실험에서는 제외하고 나머지 세 모델에 대해서만 실시하였다.

SE50과 S50의 볼륨 PTV 비교 실험 결과 Fig 3.26의 SE50의 Blade 날개의 후류 평균속도 벡터가 Fig 3.28의 S50의 후류 평균속도 벡터보다 더 낮게 측정된 것은 유속이 가지고 있던 속도에너지가 Blade의 날개에 더 많이 전달되어 날개를 통과한 후류에서는 유속이 더 낮게 측정된 것으로 볼 수 있는데 이 결과 SE50이 유속으로부터 날개에 미치는 운동에너지의 영향이 S형보다 더 크다는 것을 알 수 있었다.

Fig 3.30 (a)에 S50의 평균벡터 성분과 Fig 3.30 (b)에 SE50의 평균벡터 성분을 비교한 결과 같은 유속에서 SE50의 후류에서는 Blade의 회전방향과 반대로 흐르는 유동특성을 볼 수 있는데 이는 Fig 3.29 (a)의 S50이나 Fig 3.29 (b)의 S65처럼 날개부분의 유동특성이 위에서 아래 방향으로 한쪽으로만 흐르는 것이 아니라 위, 아래에서 Blade의 날개를 밀어주는 유동이 발생하여 더욱 효율적으로 Blade가 회전 하는 것으로 나타났다.

또한 Blade 날개 끝단과 Blade 날개가 지나간 후류의 속도차를 비교해보면 SE50의 경우 S50보다 차이가 많이 나는 것을 알 수 있다.

이는 Blade 날개를 통과하는 유동이 Blade 날개에 전달한 운동에너지에 양이 많음을 나타내고 이는 Blade 바깥쪽과 후류의 속도차가 Blade 회전에 비례한다는 것을 알 수 있다.

Fig 3.31 ~ Fig 3.42은 각각 SE50, S50, S65 모델에서의 와도장(Vorticity

Field)을 나타내고 있다.

Fig 3.37에 S50의 경우, 날개 끝단의 상하부에 비슷한 크기의 상호역방향의 와(Vortex)가 1곳에서 발생하고, Fig 3.33에 SE50의 경우는 상호역방향의 와(Vortex)구조가 2곳에 발생하고 있음을 알 수 있다. SE50의 경우에는 터빈날개 몸통이 떨리는 현상이 발생하였는데 이는 와구조(Vortex Structure)의 발생 樣相(날개를 중심으로 비대칭의 와가 발생하는 現象)과 상관하고 있음을 추론할 수 있다. Fig 3.42에 S65의 경우에는 와(Vortex)구조가 상하 교대로 발생되고 있는 것을 볼 수 있는데 이는 마치 칼만와(Kalman vortex)와 같은 양상을 띠고 있음을 알 수 있는데, 이는 터빈날개 사이를 통과하는 유체가 가장 안정적인 유동이 형성되는 것과 유관한 것으로 나타났다.



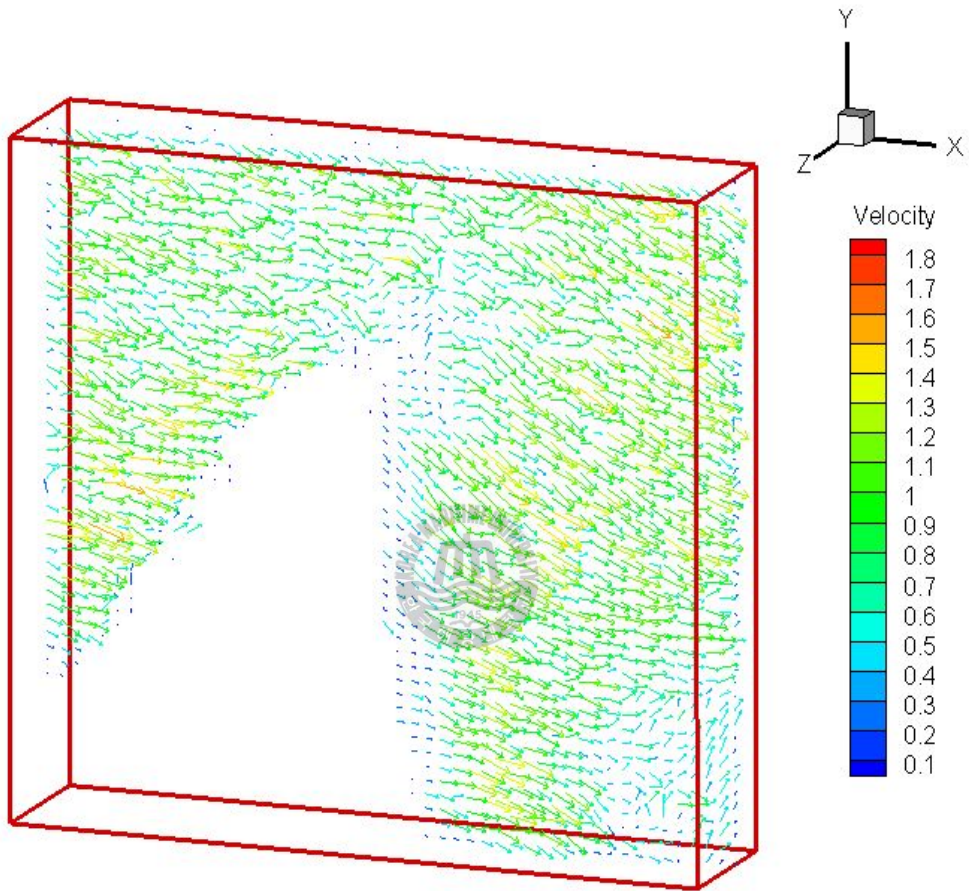


Figure 3.26 Grid of rear side(SE50_1.5knot)

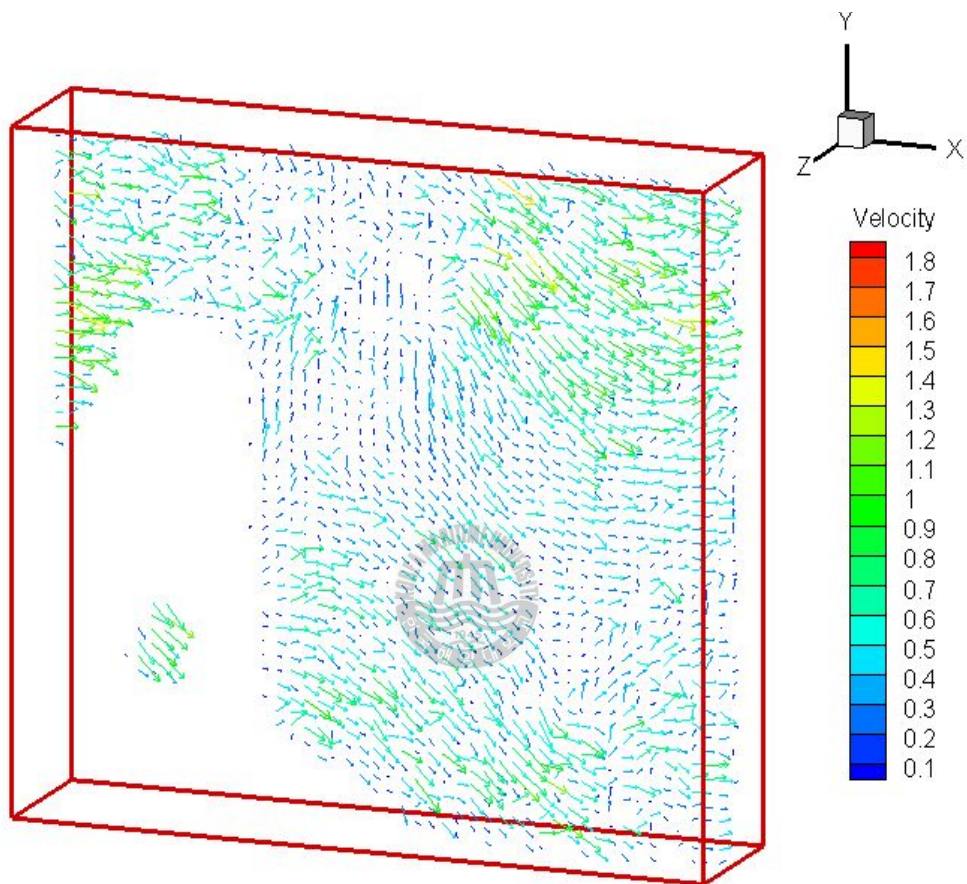


Figure 3.27 Grid of rear side(S65_1.5knot)

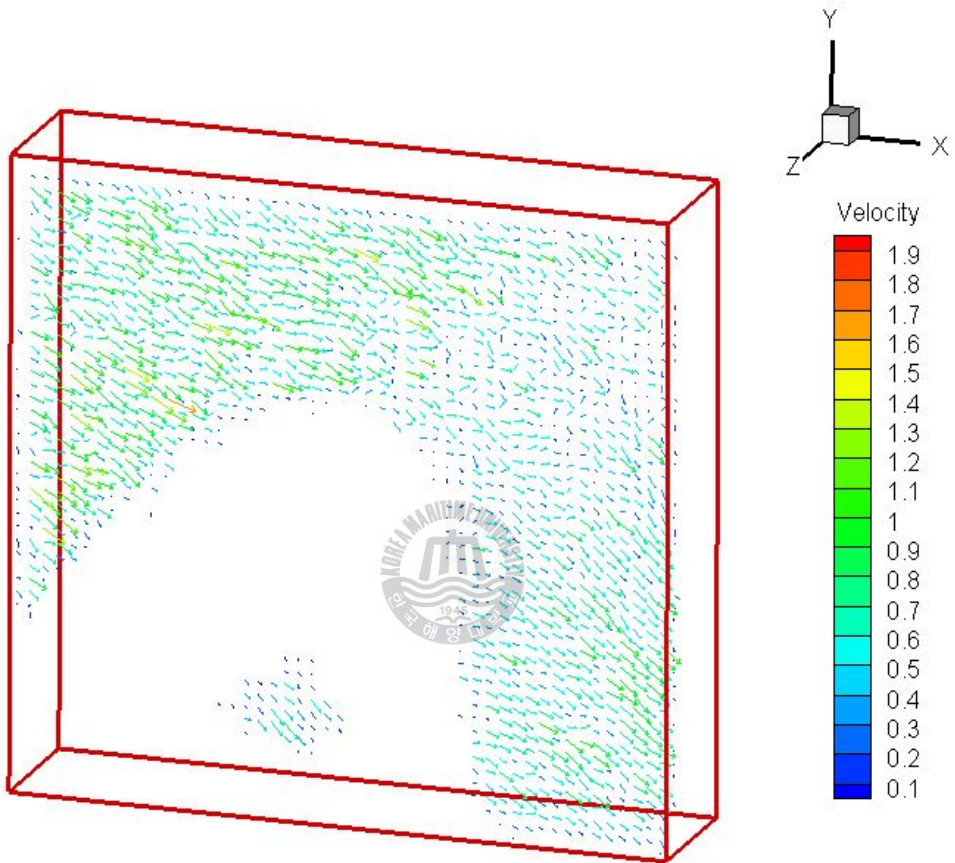
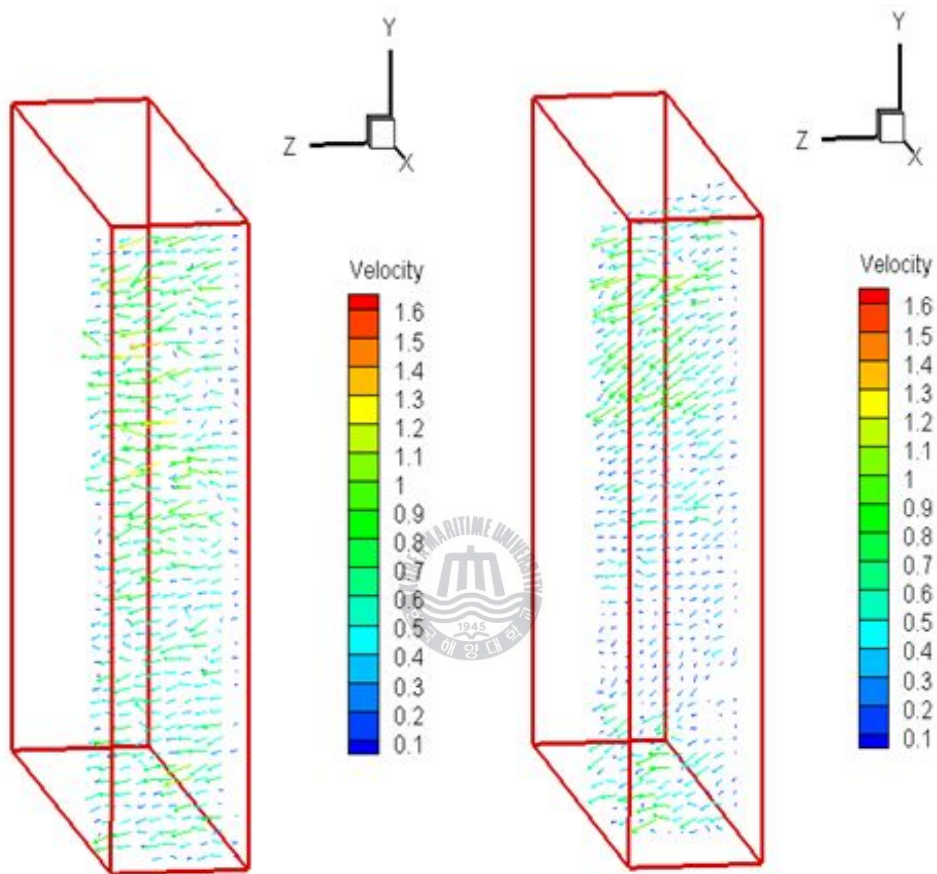


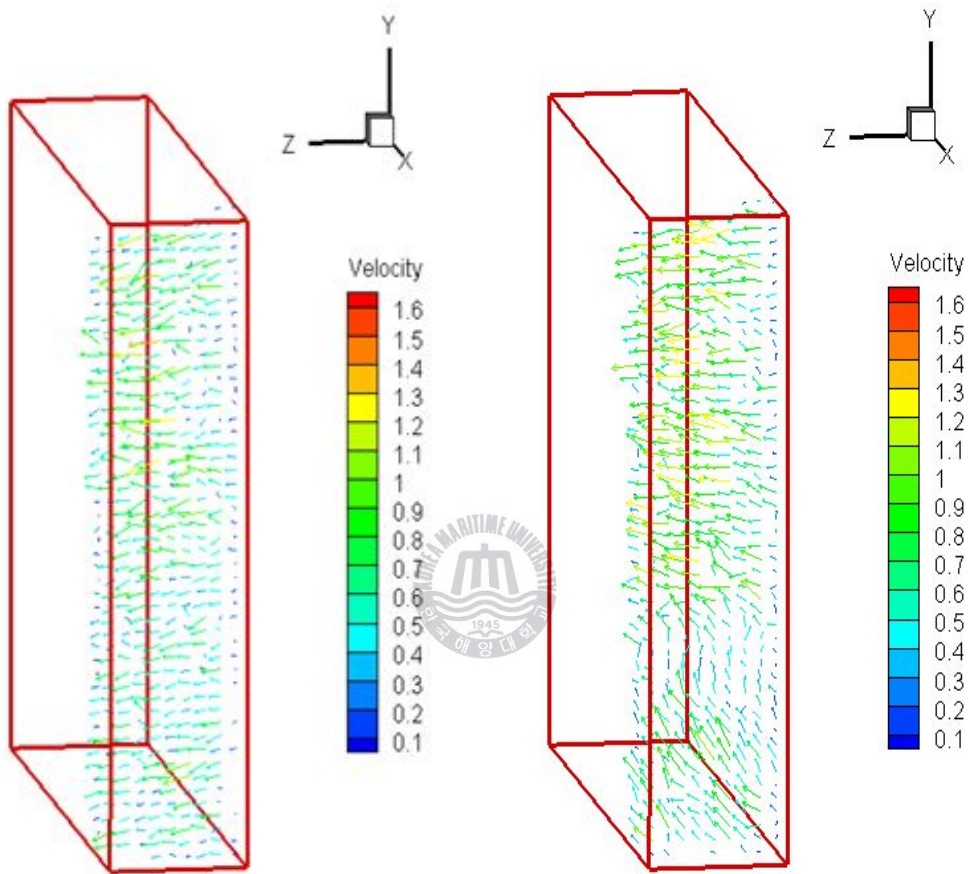
Figure 3.28 Grid of rear side(S50_1.5knot)



(a) S50_1.5knot

(b) S65_1.5knot

Figure 3.29 S50 VS S65 velocity analysis of wake area



(a) S50_1.5knot

(b) SE50_1.5knot

Figure 3.30 S50 VS SE50 velocity analysis of wake area

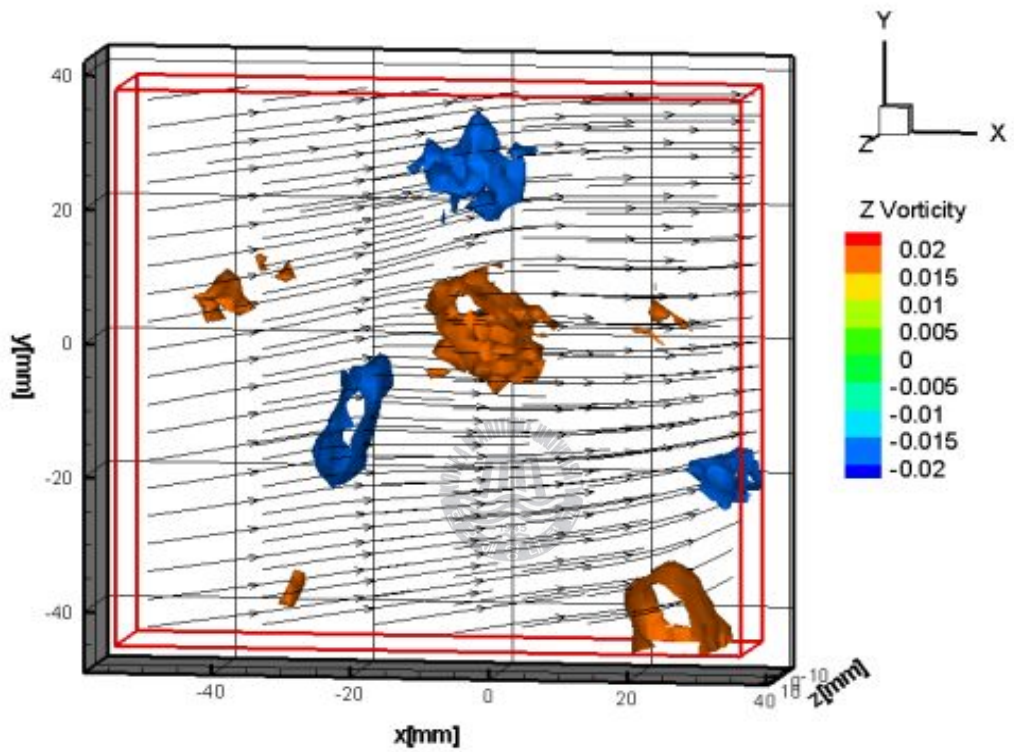


Figure 3.31 SE50 Vorticity structure at 1.5knot #1

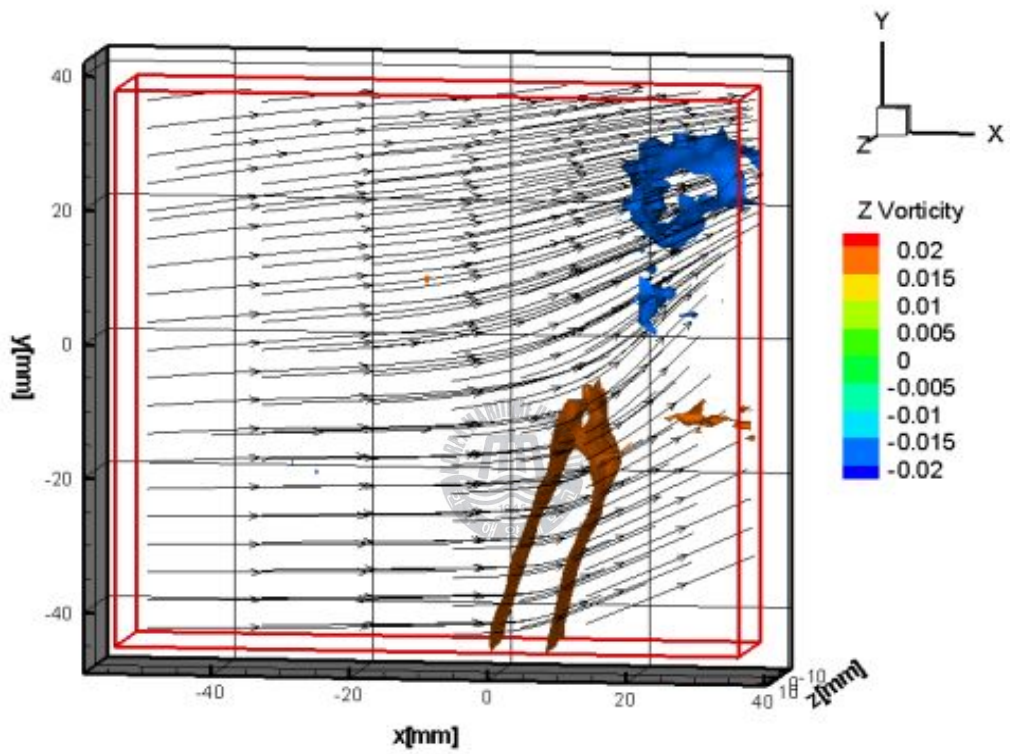


Figure 3.32 SE50 Vorticity structure at 1.5knot #2

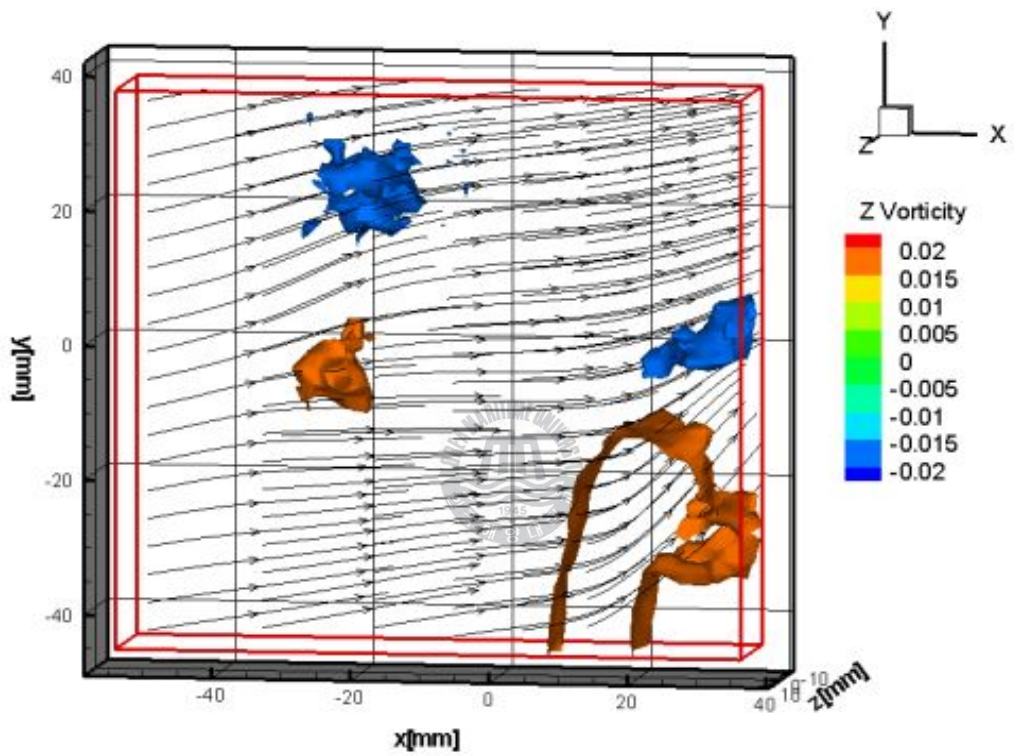


Figure 3.33 SE50 Vorticity structure at 1.5knot #3

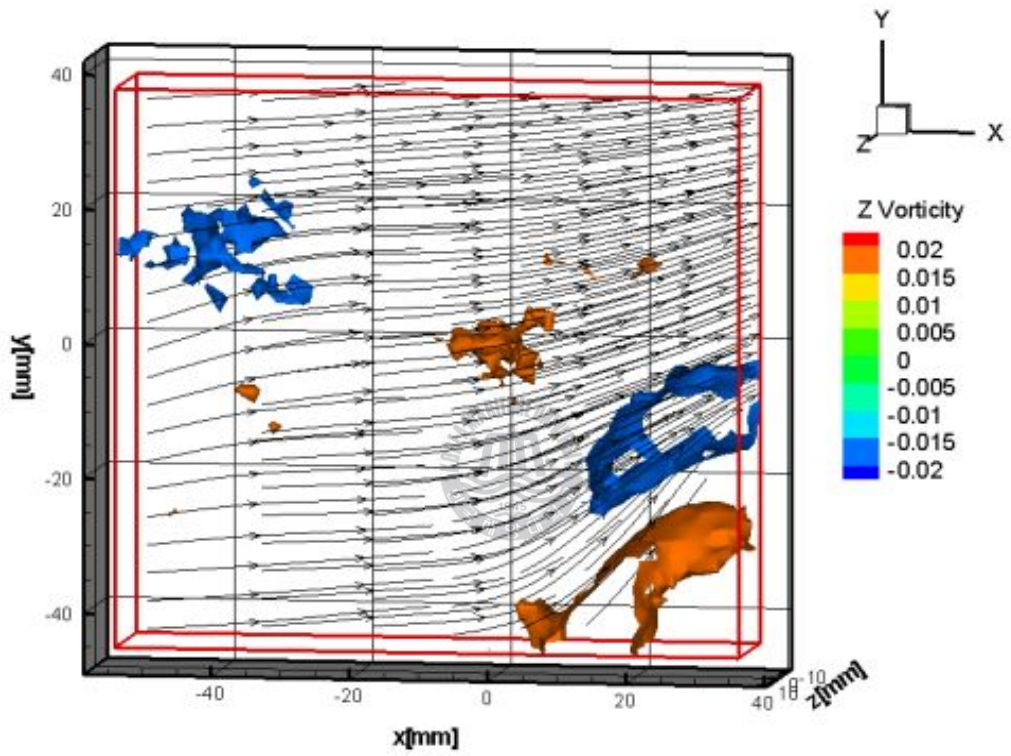


Figure 3.34 SE50 Vorticity structure at 1.5knot #4

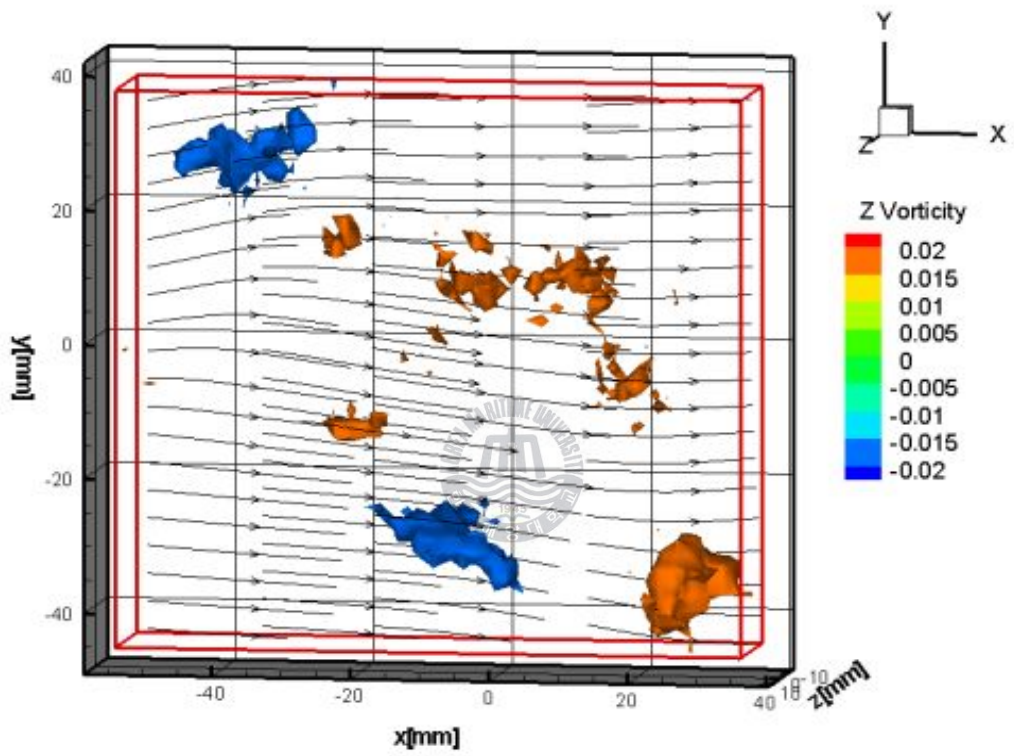


Figure 3.35 S50 Vorticity structure at 1.5knot #1

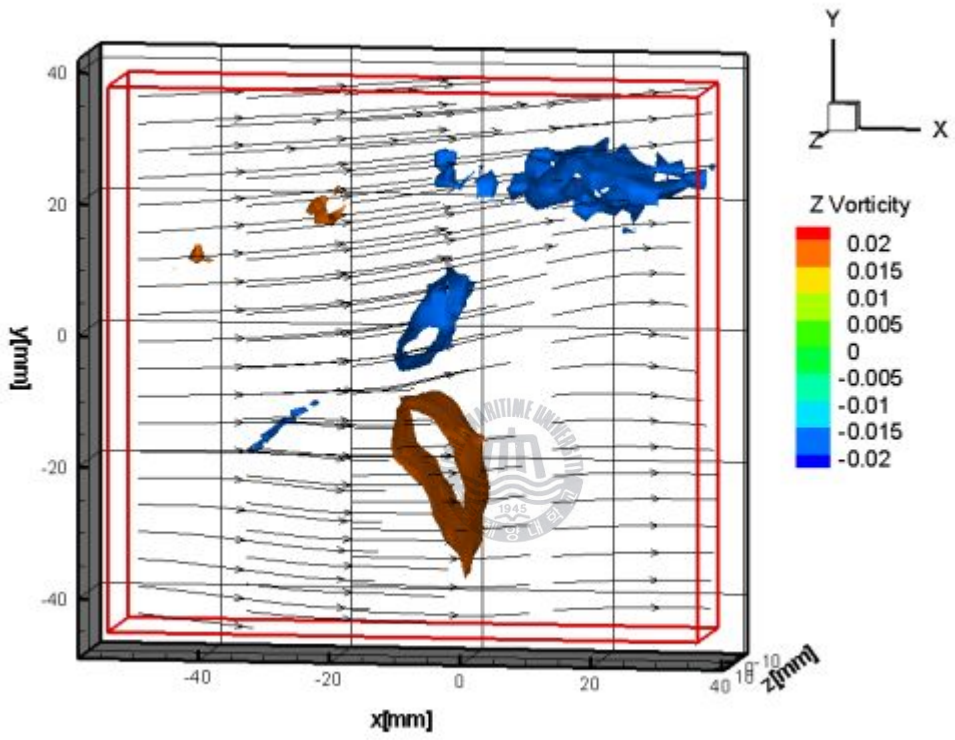


Figure 3.36 S50 Vorticity structure at 1.5knot #2

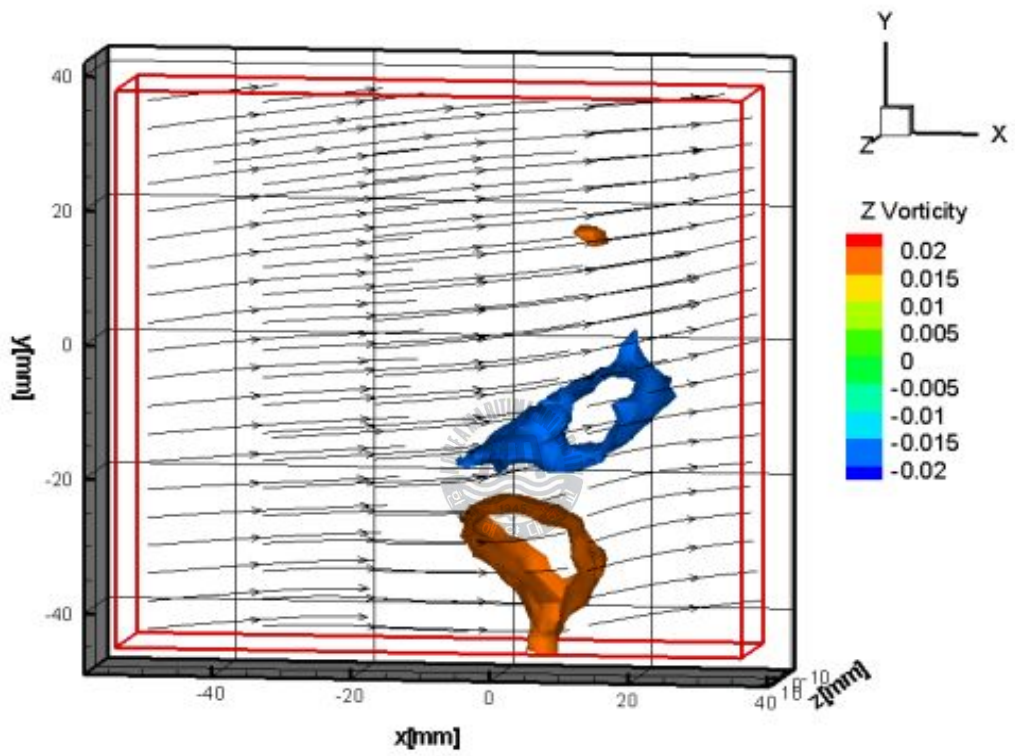


Figure 3.37 S50 Vorticity structure at 1.5knot #3

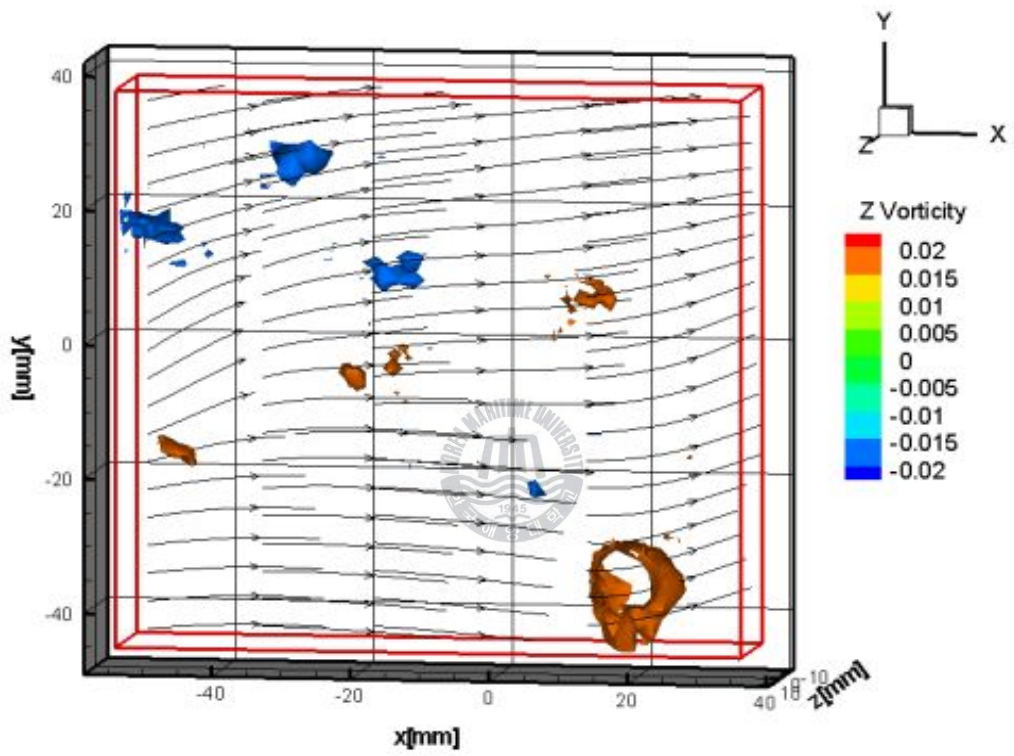


Figure 3.38 S50 Vorticity structure at 1.5knot #4

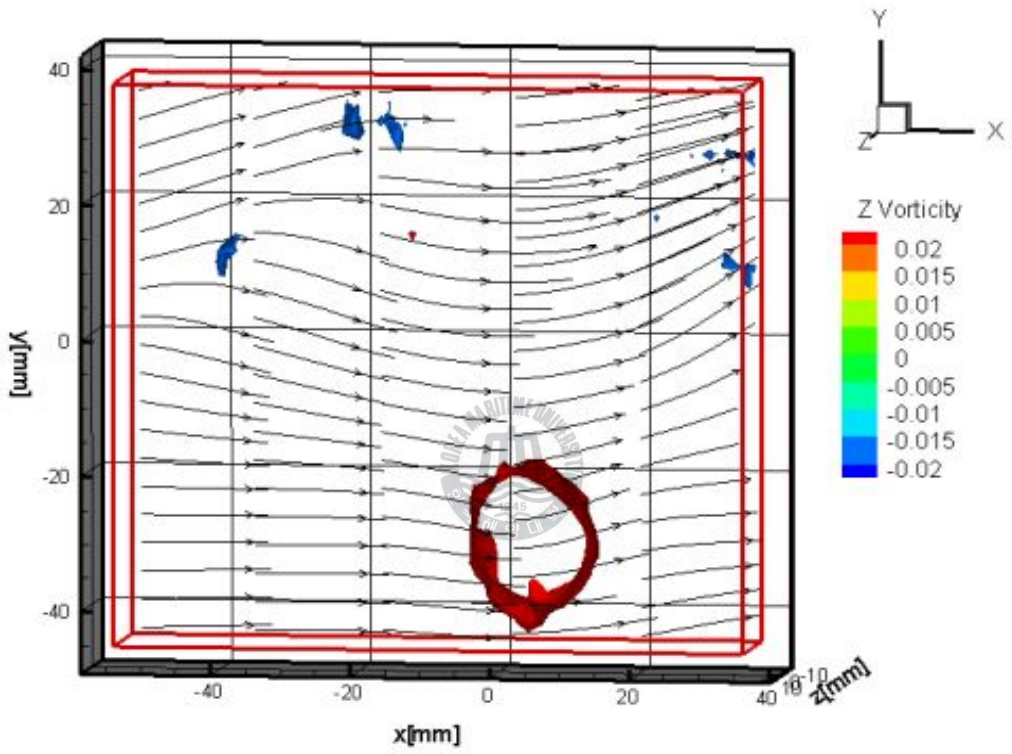


Figure 3.39 S65 Vorticity structure at 1.5knot #1

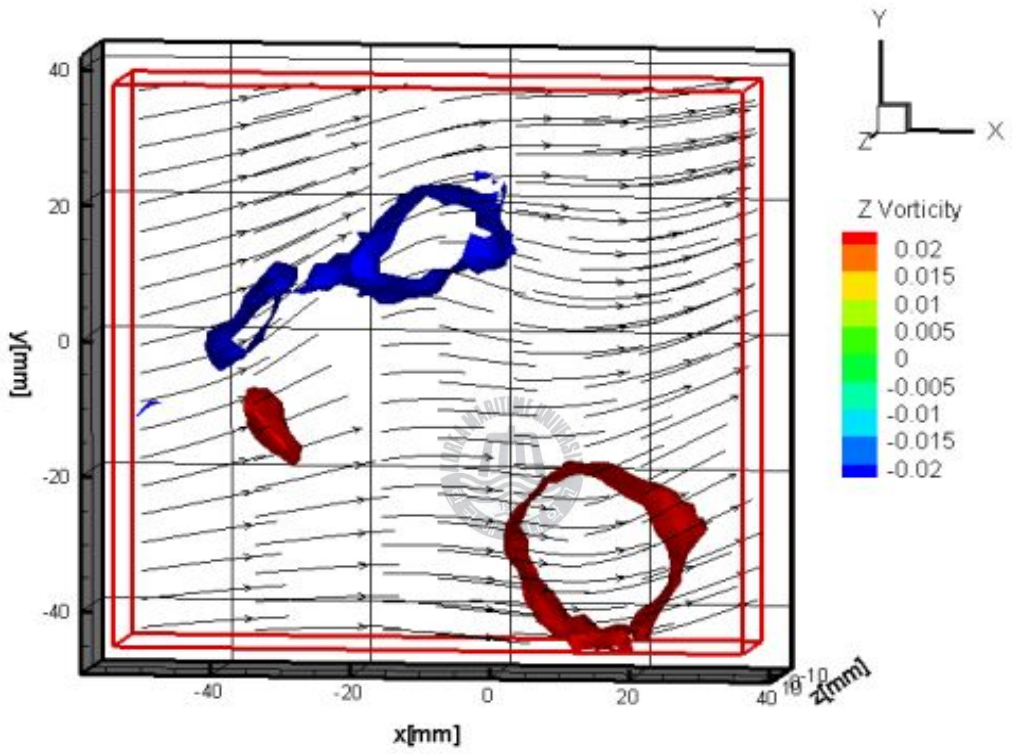


Figure 3.40 S65 Vorticity structure at 1.5knot #2

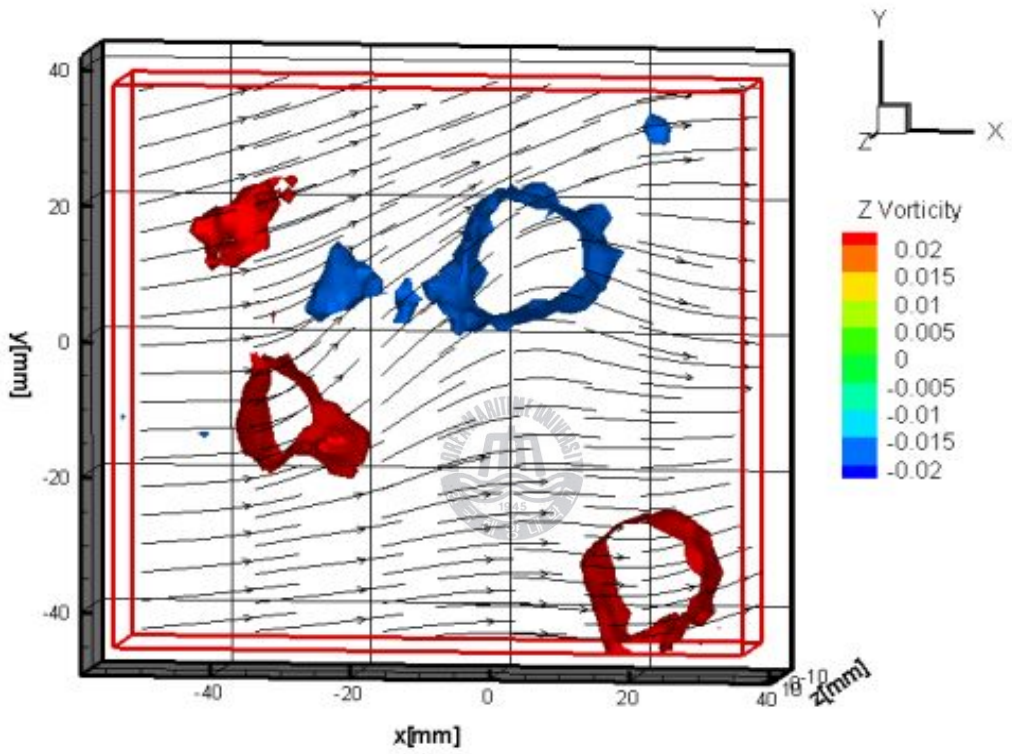


Figure 3.41 S65 Vorticity structure at 1.5knot #3

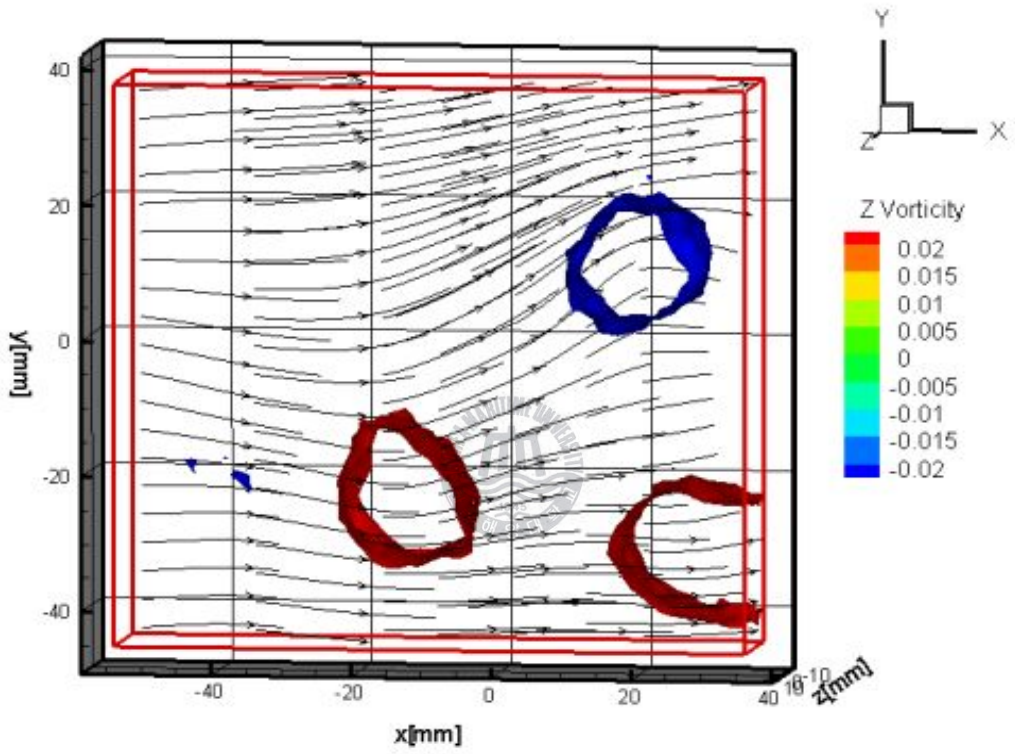


Figure 3.42 S65 Vorticity structure at 1.5knot #4

제 4 장 결론

Volumetric PTV로 수평자유축 조류발전 시스템의 Blade형상과 날개각도에 따른 터빈날개 주위의 3차원 유동특성을 조사해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

본 연구에 사용되었던 A형, S형, SE형 중 形象은 다르나 날개의 각도가 동일할 유형의 실험에서는 SE형이 가장 높은 평균 전압을 발생시켰고 Blade의 날개 부분에 상하 유동을 발생시켜 유속이 빠른 곳에서는 효율이 가장 높은 것으로 나타났다.

하지만 그런 상하유동으로 인해 저속(부하가 증가한 경우)에서도 불안정한 흔들림이 발생하였고 일정한 회전을 하지 못하여 S형보다 효율이 떨어져 빠른 조류속도에서는 SE형이 가장 좋은 발전특성을 나타내었고 저속에서는 S형이 SE형보다 더 나은 효율에 발전특성을 나타내었다.

같은 형상에서 날개의 각도에 따른 유형별 실험에서는 65° 가 50° , 55° 에 비해 빠른 유속과 느린 유속 모두 가장 높은 평균 전압을 발생시키고 저속에서도 일정한 전압을 발생시키며 가장효율이 높고 안정적인 형상 각도임을 알 수 있었다.

그리고 S65형 Blade의 유속과 부하에 따른 효율차가 가장 적게 나타남으로 어떤 조건에서든 가장 높은 효율을 보이는 것으로 나타났다.

SE형과 S형의 가장 좋은 발전특성을 보일 때 날개 후류의 속도분포를 비교해 보면 상류측(Blade 前面 몸체부) 날개입구부의 유속과 후류측(Blade 날개 後面부)의 유속이 현저히 차이가 나고 있음이 확인되었으며 동일한 형상인 경우를 비교 했을 때에는 날개각도가 클수록 발전특성이 좋았는데, 발전특성이 좋을수록(S65의 경우) 날개 주위에 발생하는 Vortex의 형태는 Kalman Vortex처럼 원형에 가까우며 주기성을 가진 후류를 발생시켰고, 나뉘수록 Vortex의 형태는 일그러진 타원에 가깝게 나타났다.

이는 유동이 가진 운동에너지가 Blade의 날개에 에너지를 전달한 후 날개를 타고 통과 할 때 Blade의 형상과 각도에 따라 얼마의 에너지를 전달하는가에 따라 그 후류에서 나타나는 Vortex의 형상이 달라지며 Blade의 효율성에도 가장 큰 영향을 미치는 것으로 解釋 할 수 있었다.

현재의, 수평자유축 조류발전용 블레이드의 발전효율은 설계조건에 따라 약 10%~20%로 예상이 되며, 보다 다양한 모델에 대한 수평자유축 조류발전 시스템에 대한 성능시험을 수행중이며, Blade의 대형화 개발과 안정적인 전력을 얻을 수 있는 방법을 구성중이며 장시간 구동 에도 파손이나 부식에 강인한 재질성능 특성평가를 수행중이다.



참고 문헌

[1] Blunden L. S., Bahaj. A. S., 2007, “Tidal Energy Resource Assessment for Tidal Stream Generators,” Proc. of Inst. Mech Eng, Part A: Journal of Power Energy, Vol. 221, No. 2, pp.137-146.

[2] Cho, C. H., 2007, “Current Power Generation,” Magazine of Korean Solar Energy Society, Vol. 6, No. 1, pp.9-16.

[3] Valdes L. and Raniriharinosy K., 2001, “Low Technical Wind Pumping of High Efficiency,” Renewable Energy, Vol. 24, pp. 275-301.



[4] Doh, D.H. Kim, D.H., Cho, K.R., Cho, Y.B., Saga, T. and Kobayashi, T. 2002, “Development of GA based 3D-PTV Technique,” Journal of Visualization, Vol.5, No.3, pp.243-254.

[5] Doh, D. H., Jo, H. J., Cho, G. R., Lee, J. M., Moon, K. R., and M. Takei, 2009, “Investigations of Flow Structures and Turbulent Properties of Cylinder Wakes by a Volume PTV, “ CD-ROM Proc. of 8thInternational Symp.onPIV, Melbourne, Victoria, Australia, August 25-28 .

[6] Raffel, M., Willert, C., Wereley, S. & Kompenhans, J., <<Particle Image velocimetry: a practical guide>> Berlin Hiedelbeg. Springer-Verlag(2007)

[7] Doh, D. H, Cho, K. R, Cho, Y. B, 「Development of a new 3D-PTV using genetic algorithm」, Proc, of 3rd Pacific Symp. on Flow Visualization and Image Processing, PSFVIP-3, Maui, Hawaii, Mar. 18-21, pp241-242. (2001)

[8] Doh, D.H., Jo, H.J., Cho, K.R., Hwang, T.G., Baek, T.S., Noguchi T., Takei, M., (2008) Developments of a Volume PTV and its application to cylinder wake measurements, Proc. of 7th JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference, Oct. 13-16, Sapporo, Japan, Paper No.J334.

