



입자영상유속계를 이용한 대형수송함(LPH) 갑판 상부의 유동장 측정 연구

심호준¹·정진덕²·조태환²·이승훈²·송지수^{3,†}

경운대학교 무인기공학과¹

한국항공우주연구원²

한국해양대학교 조선·해양개발공학부³

A Research of the Flow-Field Measurement Above the Flight Deck on LPH by PIV System

Hojoon Shim¹·Jindeog Chung²·Taehwan Cho²·Sunghoon Lee²·Gisu Song^{3,†}

Department of Unmanned and Autonomous Vehicle Engineering, Kyungwoon University¹

Korea Aerospace Research Institute²

Division of Ocean and Ship Engineering, Korea Maritime & Ocean University³

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

The flow field measurement above whole area of the flight deck on 'Landing Platform Helicopter (LPH)' was performed by using PIV system in wind tunnel. In various heading angle conditions (0deg, -30deg, -45deg, -60deg, -75deg and ± 90 deg), the velocity fields such as U velocity & V velocity were measured at three different height above flight deck. Due to the geometrical characteristics of several bodies like deck, crane and super-structure, various vortex were generated. When the heading angle is 0deg, the deck edge vortex by flight deck and massive separation by super-structure were clearly observed by visualization with smoke and PIV, respectively. In other heading angles, the acceleration of flow in space between crane and super-structure were detected. And area with flow separation by super-structure is directly related to the heading angle of vessel.

Keywords : Landing platform helicopter(대형 수송함), Flight deck(비행갑판), Particle Image Velocimetry(PIV, 입자영상유속계), Flow-field(유동장), Wind tunnel(풍동), Heading angle(선수각)

1. 서 론

최근 한반도 인근 해역 및 해상교통로의 보호를 목적으로 대한민국 해군의 항공모함 확보 필요성이 논의되고 있다. 이러한 배경에서 2020년부터 3만톤급 규모의 경항공모함(CVX) 개발을 위한 기초 연구인 함재기탑재 함정 비행갑판 및 플랫폼 설계기술 개발 과제가 진행되고 있으며, 소티(sortie, 항공기 출격횟수) 생성율(Sortie generation rate) 산출 기술, 함재기용 무장/탄약 이송체계 최적 설계 기술, 함재기 이·착함 시뮬레이션 기술, 비행갑판 유동분포 해석 기술, 비행갑판의 코팅재 배치 최적화 및 열해석 기술, 그리고 비행갑판/격납고 화재 및 함재기 충돌 해석 기술 등 세부 6과제로 구성되어있다 (DAPA Report, 2021). 이 중 비행갑판 유동 분포 해석 기술은 비행 갑판 상부의 유동

균일성 확보와 비행 갑판 및 상부 구조물 설계를 위한 필수적인 기술로 실선측정시험, 풍동(wind tunnel)시험, CFD(Computational Fluid Dynamics) 해석을 통해 비행갑판 유동분포를 파악하고 있다 (Chung et al. 2020). 비행 갑판 유동분포 해석 기술 확보를 위해서는 CFD 해석과 풍동시험 등이 필요하며, 최종적으로 실제 실선 갑판 상부에서의 유동장 예측 결과를 풍동 시험 및 CFD 해석으로부터 도출된 결과와 비교함으로써 방법론에 대한 상호보완 및 검증이 가능하다 (Bardera et al. 2017). Bardera et al. (2017)은 PIV 기법을 이용하여 스키 점프 램프 위에서 재순환 거품(recirculation bubble)으로 형성되는 3차원 유동구조를 보였으며, 스키 점프 램프의 측면(lateral sides)에서 발생하는 유동 구조로 인해 각 측정 섹션에서 재순환 거품의 구조가 다르게 생성됨을 확인하였다. Bardera et al. (2019)은 갑판 위

한 곳에서 바람 각도를 변경하면서 유동장 데이터를 PIV 기법으로 측정하였으나, 전체 비행갑판 위 유동장 분포 측정을 수행하지는 않았다. 앞서 언급한 선행연구에서는 갑판 상부의 특정 영역에 대한 측정이 주로 수행되었으며, 비행 갑판 위 전체적인 유동장은 CFD 해석 결과를 참고하는 것이 일반적이었다(Sezer-Uzol et al. 2005). 한편, 풍동 시험으로 비행 갑판 유동장을 계측하기 위해서는 넓은 측정 영역을 한 번에 측정할 수 있는 광학 측정 기법인, 입자영상유속계(Particle Image Velocimetry, PIV)로 레이저와 CCD 카메라를 이용하여 유동 속에 존재하는 입자의 거동을 측정하고 속도 벡터를 얻는 기법이 적절하다고 판단된다. 본 연구에서는 넓은 갑판과 우현으로 치우친 함교가 있는 특수선을 대상으로 PIV 기법을 이용하여 여러 풍향 조건에서 갑판 상부의 유동장을 계측하고 그 이해를 높이 고자 하였다.

2. 시험 시스템 구성

2.1 시험 모델 및 조건

대형 수송함 비행갑판 상부의 유동장 측정을 위한 시험 모델은 3축 가공기를 이용하여 제작하였으며, 대형 수송함의 선체, 비행갑판, 주구조물, 측면 부가물, 상부 부가물(근접방어체계, 크레인)을 전부 구현하였다. 시험 모델은 알루미늄 재질을 사용하였으며, 아노다이징(anodizing)을 통해 모델 표면 색상을 검정으로 구현하였다. 이를 통해 PIV를 이용한 유동장 측정 시 배경 노이즈가 최소화되도록 하였다. 시험 모델과 실선 간의 축척비는 66.667이며, 시험 모델의 선수부터 선미까지 길이(L.O.A. 기준)는 3.0 m이다. Fig. 1에서 시험 모델의 형상, 제작 형상 축 정의 및 주요 구조물의 정의를 확인할 수 있다.

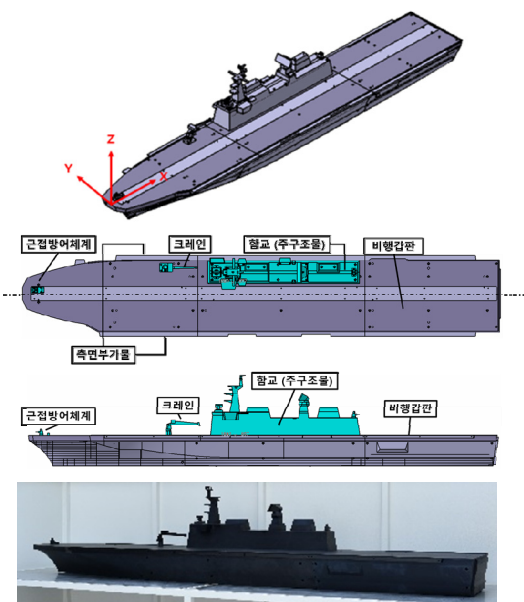


Fig. 1 Test model and coordinate system

대형 수송함 비행갑판 유동장 측정을 위해 시험 모델의 선수 각(Heading angle, Θ)은 0° , -30° , -45° , -60° , -75° , $\pm 90^\circ$ 등 총 7개 조건을 적용하였으며, 선수각 정의는 Fig. 2와 같다.

각 선수각 조건에서 선수부터 선미까지 흐름과 평행한 평면(X-Y Plane)의 유동장을 측정하며, 비행갑판 상방으로 3가지 높이를 각각 정의하여 시험을 진행하였다. 비행 갑판 위 측정 높이는 Lee et al. (2021) 등이 수행한 실선 비행갑판 유동 측정 연구 시 정의했던 높이를 참고하여 선정하였다. 또한 풍동 시험을 수행하기 위한 기준 풍속(V_∞) 및 유동장 측정을 위한 기준 높이(H)는 각각 10 m/s와 75 mm이며 Table 1에는 시험 조건을 무차원화 하여 나타내었다. 기준 풍속(V_∞)을 기반으로 한 모형선의 레이놀즈수는 약 2×10^6 이며, 풍속 15 m/s를 기준으로 한 실선의 레이놀즈수는 약 2×10^8 으로 대략 100배 정도의 차이를 보인다.

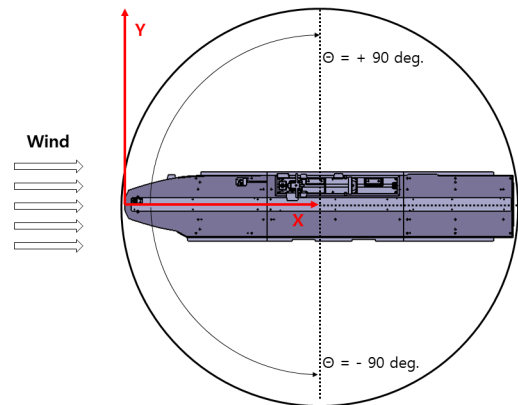


Fig. 2 Definition of heading angle

Table 1 Test conditions

Wind velocity	Heading angle (Deg.)	Height
$V_\infty, 1.5V_\infty$	0°	1H, 2H, 3H
V_∞	-30°	1H, 2H, 3H
V_∞	-45°	1H, 2H, 3H
V_∞	-60°	1H, 2H, 3H
V_∞	-75°	1H, 2H, 3H
V_∞	$\pm 90^\circ$	1H, 2H, 3H
$V_\infty=10$ m/s H: 75 mm, 5 m (Model scale, Full scale)		

2.2 실험 장치 및 방법

유동장 측정 실험은 경운대학교 풍동에서 진행되었다. 경운대학교 풍동은 개방형 시험부에 불어내기식 풍동으로 시험부의 크기는 폭, 높이, 길이 방향으로 각각 $6.0 \text{ m} \times 6.0 \text{ m} \times 8.0 \text{ m}$ 이며, 풍동의 상세한 제원은 Table 2에 표기하였다.

시험 모델의 선수각 변화는 풍동의 회전반(turn table)으로 구현하며, 유동장 측정 영역의 변경은 3축 및 2축 이송장치(traverse)로 구현하였다. 시험부 상부에 설치된 3축 이송장치에는 유동장 측정을 위한 CCD 카메라가 설치되었으며, 시험부 측면에 설치된 2축 이송장치에는 레이저를 설치하였다.

Table 2 Specifications of wind tunnel

Parameter	Specification
Type	Open circuit blowdown
Test section velocity	0.5 to 32.0 m/s
Nozzle exit	3.0 m × 3.0 m
Turbulence intensity	0.38 % (free stream)

3축 이송장치는 X, Y, 그리고 Z축 방향 이동이 가능하며, 2축 이송장치는 X, Z축 방향 이동이 가능하다. 3축 이송장치와 2축 이송장치의 Z축 이동은 비행갑판 위 유동장 측정 높이를 구현한다. Fig. 3에 도시한 바와 같이 선수각 0°의 경우, 하나의 높이 조건에서 11번의 흐름방향 (X방향) 이동을 통해 평면 유동장의 데이터 측정을 진행하였으며, 1번 측정 영역에서 이송장치의 Z축 방향 이동을 통해 갑판으로부터 3가지 높이(H, 2H, 3H)의 유동장을 각각 측정하고, 2번 영역으로 이동한 후 다시 갑판 상부 높이별로 유동장을 측정한다. 이러한 과정으로 선미의 11번 측정 영역까지 순차적으로 진행하였다. 선수각 0°의 경우는 이송장치의 X축, Z축 이동만으로 유동장 측정이 가능하나, 선수각이 있는 경우에는 X축, Y축, Z축의 3방향으로 이동시켜 가면서 위와 동일한 절차로 유동장을 측정하였다.



Fig. 3 Definition of measuring region at heading angle 0°

PIV기법을 이용하여 비행갑판 위 유동장을 측정하고, 선수각과 비행갑판 위 높이에 따른 유동장 변화를 비교하였다. 유동장 측정은 흐름방향과 평행한 단면에서 두 가지 속도 성분(u and v) 측정이 가능한 2D-PIV 기법을 이용하였다.

유동장 측정에 사용된 CCD 카메라는 2,048 × 2,048 픽셀 이고, 촬영 영역(Field of view)은 540 mm × 540 mm이며, 관심 영역(Region of interest)는 310 mm × 540 mm로 정의하였다. 레이저는 532 nm 파장에서 200 mJ 출력을 가진 Pulsed dual-head Nd:YAG 레이저를 적용하였다.

측정하고자 하는 영역에 레이저 평면광(Laser sheet)을 조사하고, 추적 입자(Tracing particle) 공급을 위해 DEHS 오일을 라스킨(laskin) 노즐을 통해 평균 직경 1 μm 의 크기로 생성시켜 CCD 카메라로 입자 영상을 획득하였다. 입자 영상 획득 및 이미지 처리를 위해 TSI 사(社)의 Insight 4G 소프트웨어를 사용하였으며, 본 시험을 위해 적용한 PIV 장치의 제원은 Table 3에 정리하였다.

레이저와 CCD 카메라를 프레임 스트래들링(frame straddling)시켜 얻은 이미지들은 이미지 처리 소프트웨어를 이용하여 처리하였으며, 4 Hz의 빠르기로 50초간 촬영한 200쌍의 이미지로부터 각각의 속도 벡터장을 얻어내고 그 결과들을 평균하여 최종 속도 벡터장으로 결정하였다. 속도 벡터 계산을 위해 FFT 방식의 상호상관(cross-correlation) 기법을 적용하였으며, 분

Table 3 Specifications of the PIV system

Equipment	Specification
Laser	QUANTEL 200 mJ Dual-head pulsed laser
CCD camera	TSI model 630076 2,048 × 2,048 pixels
Lens	Nikon 24–85 mm 1:2.8–4 D
Synchronizer	TSI model 610036 0.25 ns resolution
Particle	1 μm avg. DEHS-oil from laskin nozzle
Software	TSI Insight 4G

석된 벡터 중에서 대표값을 결정하기 위해 가우시안 최대값 (Gaussian peak) 기법을 이용하여 대표 속도 벡터를 산출하였다. 에러 벡터를 제거하기 위해 주변 벡터와의 크기를 비교하여, 설정된 크기 이상으로 차이가 나면 상관영역(correlation plane)에서 다음으로 높은 상호 상관계수 최대값(peak)을 적용하도록 하였다.

선수각 0°의 경우, 앞서 언급한 각각의 높이 조건에서 Fig. 3의 1번 측정 영역부터 11번 측정 영역까지 얻어진 속도 벡터장을 통합하여 선수부터 선미까지 평면 유동장 데이터를 취합하였으며, 선수각이 존재하는 경우 또한 동일한 데이터 후처리 과정을 통해 각각의 높이 조건에서 평면 유동장 데이터를 획득하였다. 속도 벡터장이 중첩되는 영역은 Tecplot 360의 역거리 보간(inverse-distance interpolation) 기능(Tecplot 360 User's Manual)을 적용하여 중첩 데이터를 처리하였다.

한편, 비행갑판 유동장 측정 시험을 진행하기 위해 앞서, 풍동에서 계측되는 풍속과 PIV 측정으로 얻어지는 풍속을 비교하였으며, 시험 모델이 없는 조건에서 PIV 측정을 진행하였다. 아래 Table 4는 PIV 풍속 측정 검증 시험 결과를 보여주고 있으며, 풍동에서 계측되는 풍속과 0.42%의 차이를 보임을 확인하였다.

Table 4 PIV Measurement examination

Type	Measurement results (m/s)
Wind tunnel	10.03
PIV	9.99

Fig. 4는 실험 장치 구성의 개념도를 보여준다. 앞서 기술한 바와 같이, 레이저는 시험 모델 측면에서 조사하고 CCD 카메라를 시험 모델 상부에 설치하여 비행갑판과 평행한 평면의 유동장을 측정하는 2D-PIV 측정 시스템이다. 선수부터 선미까지 유동장 측정을 위해 3축 이송장치와 2축 이송장치를 활용하였으며, 각각의 이송장치는 별도 제어를 통해 측정 영역으로 이동하였다.

앞서 언급한 바와 같이, 시험 모델의 선수각 변화는 시험모델과 연결되어 있는 회전반(turn table)을 통해 구현이 가능하며, 풍동 노즐 아래를 연장하는 수면판(water plane)을 설치하였다. 본 연구에서는 해상풍 프로파일을 별도로 생성시키지 않고 균일한 유속을 가지는 자유류(free stream)가 토출되는 환경에서 시험을 진행하였다. 수면판 구조는 알루미늄 프로파일을 사용하였으며, 수면판 상부는 알루미늄 판으로 제작하였다.

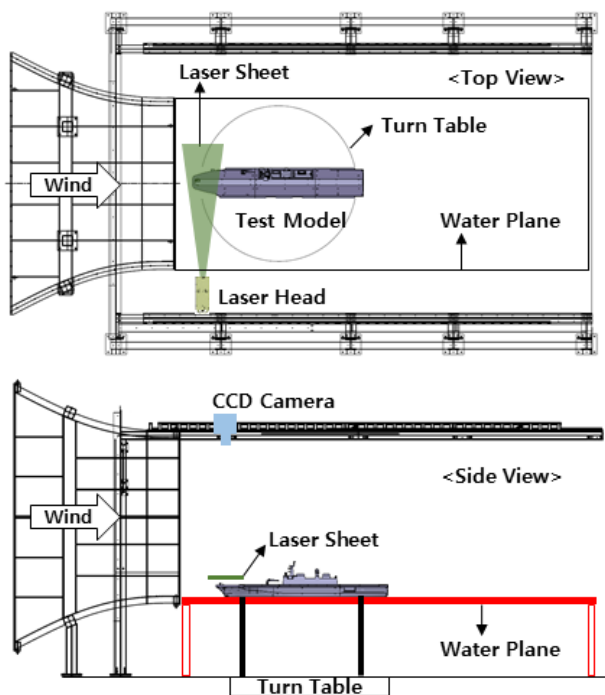


Fig. 4 Schematic of 2D-PIV measurement system

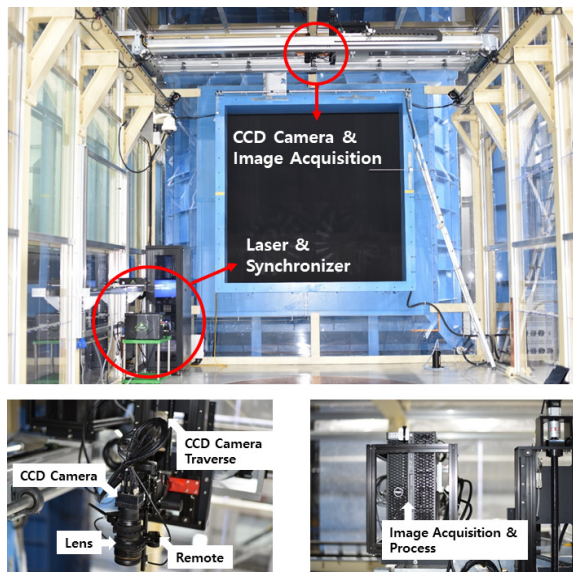


Fig. 5 Experimental equipments set-up

그리고 수면판도 배경 노이즈를 최소화하기 위하여 검정색의 얇은 필름을 부착하였다. 시험부 상부에 설치된 CCD 카메라와 렌즈에는 원격으로 카메라의 조리개, 초점, 그리고 줌인/아웃을 조정할 수 있는 PDMOVIE 장비를 설치하여, 풍동 제어실에서 CCD 카메라 제어가 가능하게 시스템을 구성하였다. Fig. 5는 실제 실험 장치의 구성을 보여주며, 수면판과 시험 모델 설치 전 PIV 측정 시스템을 보여주고 있다.

비행갑판 위 유동장 측정을 위해 먼저 시험 모델의 선수각 조건을 설정하고, 레이저와 CCD 카메라를 1번 측정 영역으로 이동한다. 비행갑판 위 높이는 기준 높이(1H) 조건으로 설정한

후, 교정판(calibration plate)을 설치하여 현재 측정 위치의 정확한 위치 정보와 영상 교정 과정(image calibration)을 수행한다. 영상 교정은 선형으로 계산되며, 영상 교정을 완료한 후 시험 풍속으로 풍동을 작동시키고, 풍속 안정화 후에 입자 영상을 획득한다. 기준 높이 1H 조건의 입자 영상을 획득하였으면 다음 높이 조건인 2H로 레이저와 CCD 카메라의 Z축을 이동시키고 입자 영상을 획득한다. 그 후 마지막 높이인 3H에서 입자 영상을 획득하면 하나의 측정 영역에 대한 높이별 입자 영상 획득을 완료한다.

2.3 모형선의 풍향 정의

실제 해상상태에서 선박이 경험하는 풍향은 Fig. 6에 나타난 바와 같이 선박 항주 방향(V_S)의 반대 방향(V_I)과 절대 풍향(absolute wind direction, V_A)의 합 벡터(vector)로 정의되며 이를 상대 풍향(relative wind direction, V_R)이라고 한다 (Bardera et al. 2019). 일반적으로 풍동 시험에서는 공기의 유입 및 유출 방향이 고정된 상태에서 선박이 부착된 회전반을 회전시킴으로써 선박의 풍향별 유동장 및 풍향중을 계측하는데, 결과적으로 모형시험 시 선박이 경험하는 풍향(Fig. 2의 θ)은 실제 해상상태에서 선박이 경험하는 상대 풍향(ψ)을 모사한 것과 동일하다.

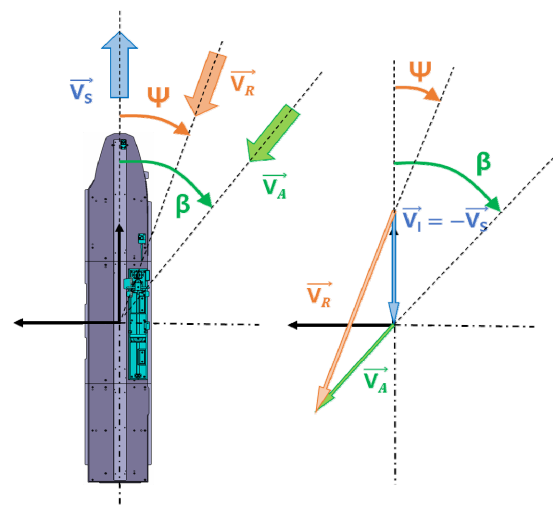


Fig. 6 Relative wind direction and absolute wind direction

3. 시험 결과

3.1 선수각 0° 조건

비행갑판 상부 유동장 측정을 위해 먼저 선수각 0° 조건에서 V_{∞} , $1.5V_{\infty}$ 의 2가지 풍속 조건에 대해 측정을 진행하였다. Table 1에 나타내었듯이 풍속 변경은 선수각 0° 조건에서만 적용하였다. 유입류(V_{∞})가 선수부를 지나면서 갑판 모서리 와류(deck edge vortex)가 생성되는데 Fig. 7에는 유동 가시화 시험을 통해 명확하게 관찰된 결과를 도시하였다.

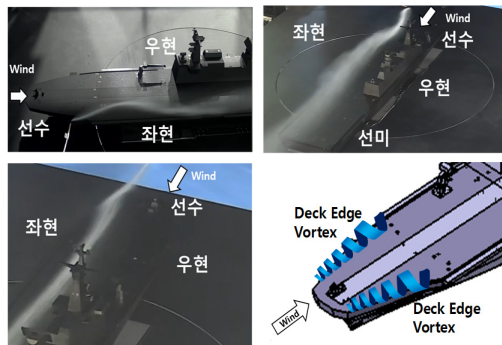


Fig. 7 Smoke Flow Visualization Results

Fig. 8은 선수각 0° 조건에서 2가지 시험 풍속에 대해 각각의 계측 높이 조건에서 선수부터 선미까지 무차원화된 흐름방향(X방향) 속도장(U) 계측 결과를 보여주고 있으며, 선수부터 선미까지의 측정 결과를 통합하여 도시하였다. 측정 높이에 따라 구조물의 존재 및 형상 등이 다르므로 U 속도장의 분포도 차이가 있지만 전체적으로 함교 후방에 느린 유동장이 공통적으로 보인다. 또한 크레인과 함교 사이의 공간에는 거의 정체되어 있다고 판단되는 영역이 존재한다. 또한 Fig. 9는 선수각 0° , 각각의 높이 조건에서 선수부터 선미까지 무차원화된 횡방향(Y방향)의 속도장(V 속도)을 보여주고 있다. Fig. 8과 9에서 확인할 수 있듯이, 동일한 갑판 상부 높이에서의 무차원화된 유동장

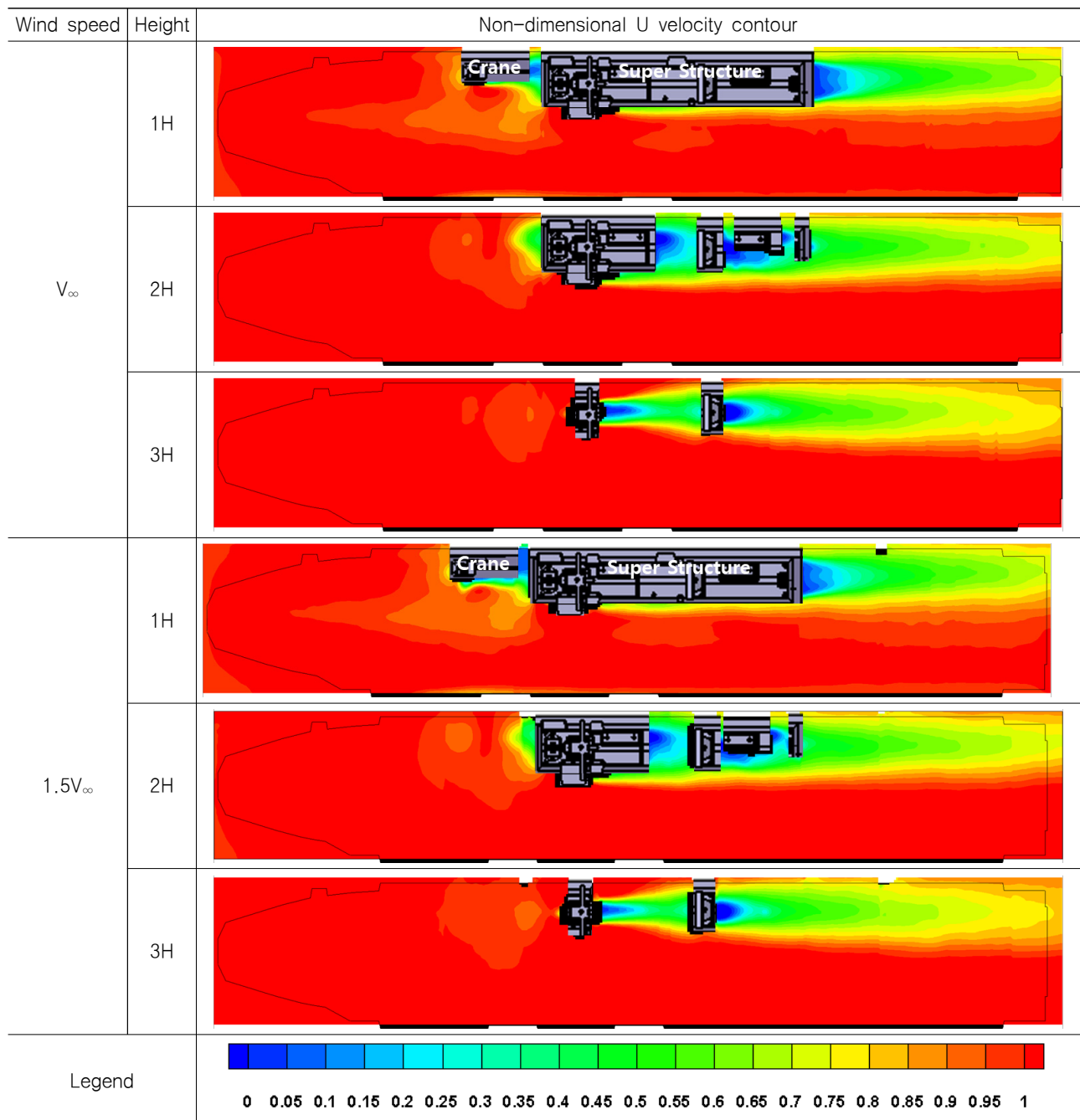


Fig. 8 Non-dimensional U velocity contour at heading angle 0°

결과는 2가지 풍속 조건에서 거의 유사하므로 선수각 0° 이외의 다른 선수각 조건 시험 시 풍속을 기준 풍속(V_∞)으로 고정하였다.

비행갑판 위 1H 결과로부터 예측된 시험결과로부터 모형선의 선수부 좌현과 우현에서 쌍으로 발생하는 갑판 모서리 와류(deck edge vortex)를 확인할 수 있으며, 그 회전 방향은 서로 반대이다. 또한 크레인 및 함교의 모서리에서 유동이 부딪히면서 선박의 폭 방향(Y 방향)으로 흐름이 유기되는데, 이러한 경향은 2H 및 3H 높이 조건에서도 동일하게 관찰되었다.

그리고 함교의 후단에서도 폭 방향(Y 방향)으로 발생하는 함교 와류(island vortex)도 확인할 수 있다. 그리고 Fig. 8과 Fig. 9

에서 나타난 바와 같이 국부적으로 유동장의 불연속적으로 보이는 측정 영역이 있지만 이는 측정 영역을 이동, 획득하면서 나타난 불확실성으로부터 기인한 것으로 전체적인 속도장의 파악에는 어려움이 없다고 판단된다.

3.2 선수각 -30° , -45° , -60° , -75° 조건

Fig. 2에서 정의한 바와 같이 선수각은 전방에서 불어오는 바람이 함교로 인해 비행갑판이 가려지는 방향이 (-)의 선수각으로 정의하였다. (-)선수각, (+)선수각 조건은 모두 기준 풍속(V_∞) 조건에서 수행되었다. Fig. 10은 -30° , -45° , -60° , -75°

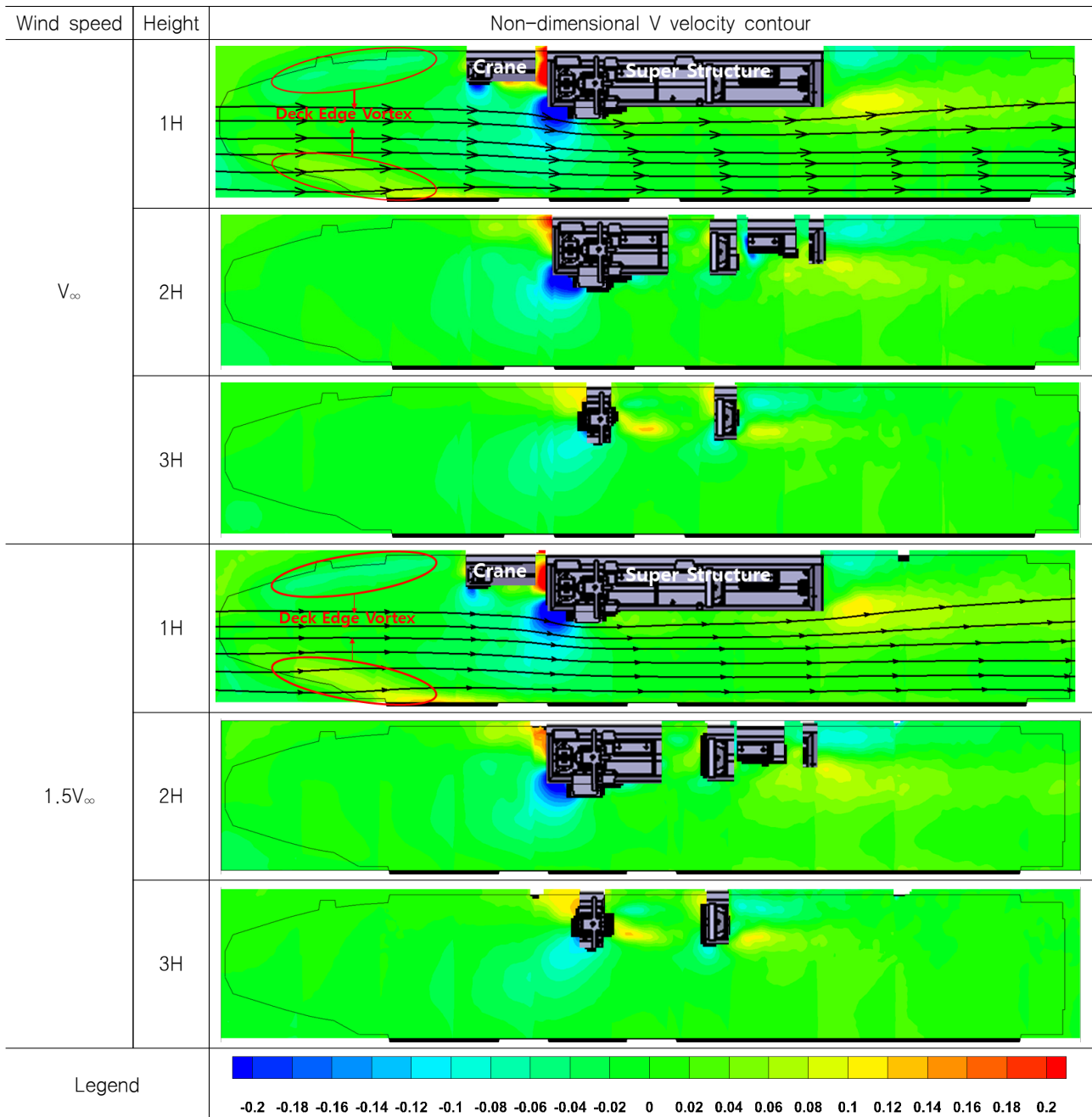


Fig. 9 Non-dimensional V velocity contour at heading angle 0°

선수각에서 비행갑판 위 기준 높이(1H)의 유동장 결과를 나타내고 있다.

크레인과 함교로 인해 비행갑판 상부에서 복잡한 유동 구조가 생성됨을 알 수 있다. 선수각 0° 조건과는 대조적으로 비행갑판 위 크레인과 함교 사이의 공간으로 빠른 유동장이 생성된다. 또한, -45° 선수각부터 선수부의 박리로 인해 유속이 느려지는 영역이 발생하는 것을 확인할 수 있으며, 선수각이

증가할수록 그 영역도 커지고 있음을 명확하게 알 수 있다.

3.3 선수각 -90° & +90° 조건

Fig. 11은 선수각 -90°와 +90° 선수각 조건의 비행갑판 위 유동장 측정 결과를 보여주고 있다. -90° 선수각 조건에서는 함교로 인해 유속이 느려지는 영역이 아주 크게 나타나며, 높이가

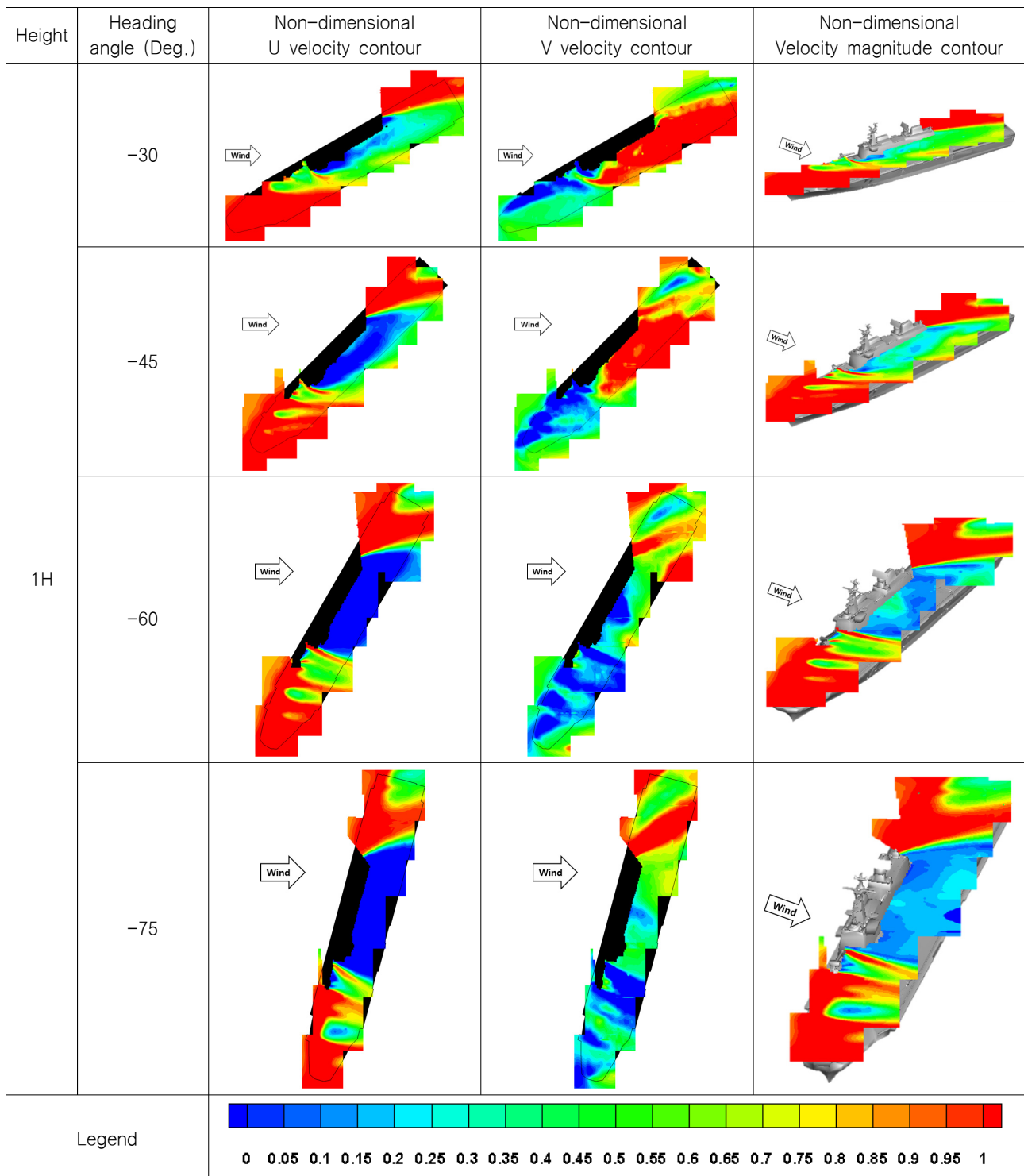


Fig. 10 Non-dimensional velocity contour at heading angle -30°, -45°, -60°, -75°

증가할수록 그 영역의 크기가 작아지는 것을 확인할 수 있다. +90° 선수각 조건에서는 함교가 바람을 막지 않기 때문에 -90° 선수각 조건과는 차이가 있었다. 특히, 2H & 3H 높이에서는 계측된 유동장을 관찰한 결과, 유동장 내의 큰 교란이 없음을 확인할 수 있다. 반면, 1H 높이에서 계측한 결과, 선박의 길이 방향으로 함교 부분을 제외한 전 영역에서 유속이 느린 영역이 관찰되었으며 이 경향은 -90° 선수각 조건과 유사하다.

3.4 갑판 상부의 유동장 분석

Fig. 12의 개략도와 같이, Sherry et al. (2009)의 연구결과, 유동이 대상 물체로 접근하다가, 모서리(separation point)에서는 유입류의 압력 구배가 급격히 변화하면서 유동이 박리되는 것으로 알려져 있으며, 본 연구의 대상인 갑판 상부 유동장에서

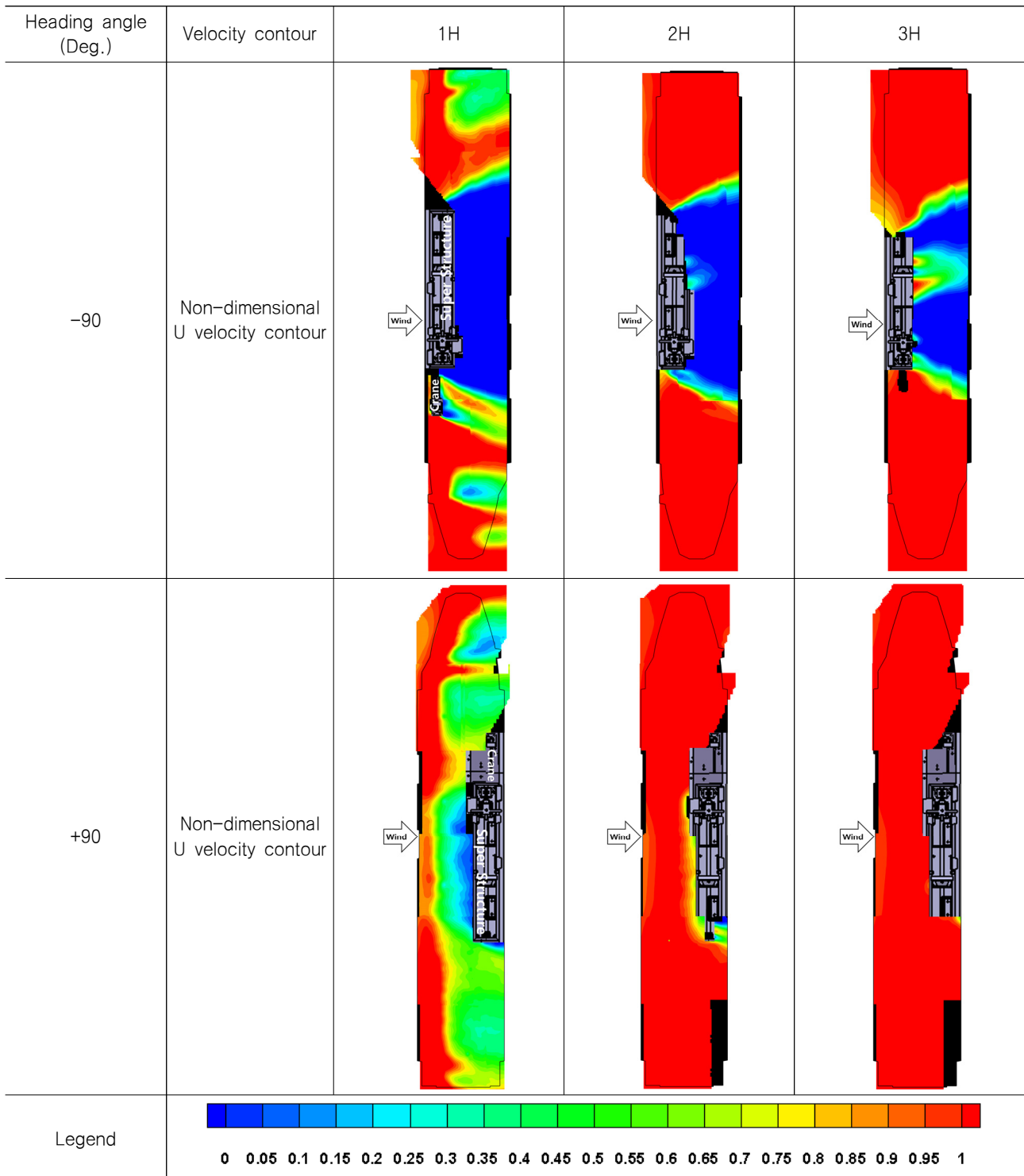


Fig. 11 Non-dimensional U velocity contour at heading angle -90°, +90°

도 유사한 특성이 관찰되었다.

Fig. 13에는 0° , -30° , -60° , -90° 에서 가시화 시험을 수행한 결과를 도시하였다. 갑판 상부에서 유동의 박리는 모두 관찰되나 0° , -30° 인 경우와 -60° , -90° 인 경우에 서로 상이한 특징이 있다. 0° , -30° 에서는 갑판 상부의 유동 박리 영역의 높이와 길이가 상대적으로 작게 나타나며, 특히, 0° 의 경우 근접방어체계로 인해 후류의 교란도 있음을 확인할 수 있다. 반면 -60° , -90° 조건에서는 유동의 강한 박리로 인해 재순환 영역의 높이와 길이가 0° , -30° 조건 대비 명확하게 크게 관찰되었다.

Fig. 11에 도시된 바와 같이 기준 계측높이(H)에서는 속도가 느린 유동장이 관찰되었으나 더 높은 계측높이(2H, 3H)는 관찰되지 않았던 이유는 Fig. 13의 가시화 시험에서 알 수 있듯이 계측높이(2H, 3H)가 재순환 영역의 높이보다 더 높았기 때문으로 판단된다. 한편, 유입각도에 따라서 갑판 상부 재순환영역의 크기가 다른 이유를 분석하고자 각 유동의 선수 각도별 시험모델의 단면을 Fig. 14에 나타내었다. 특히, 본 연구의 대상선박은 넓은 갑판을 가지면서도 함교가 선체의 우현쪽에 치우쳐 위치

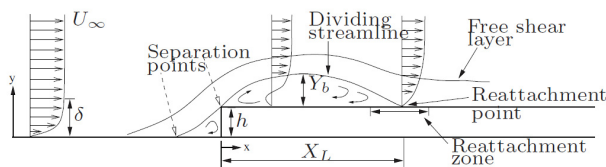


Fig. 12 Flow features over a forward facing step (Sherry et al. 2009)

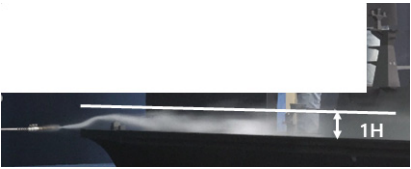
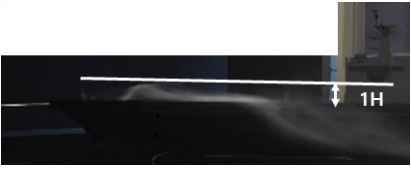
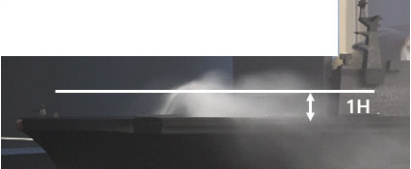
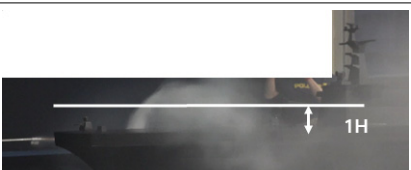
Heading angle (Deg.)	Visualization test
0	
-30	
-60	
-90	

Fig. 13 Flow visualization results according to heading angle

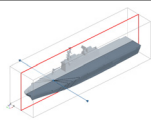
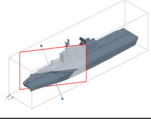
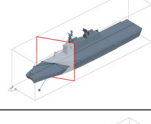
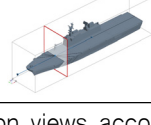
Heading angle (Deg.)	Target plane	Section view
0		
-30		
-60		
-90		

Fig. 14 Section views according to heading angle

하고 수선면 상부 단면(section)도 선박의 중심선(Y=0)을 기준으로 좌/우 비대칭적이다. 선수각이 0° 와 -30° 인 경우, 유동과 만나는 선수부의 단면은 서로 유사하고 선형(hull form)의 기울기(Slope)가 -60° , -90° 에 비해 작다. 반면, -60° , -90° 조건에서는 유동과 만나는 단면(section)형상이 점차 뭉툭한 형상(blunt body)에 가까워진다. 즉, 선수각에 따라 실제 갑판으로 유입되는 유동과 조우하는 물체의 형상이 달라지면서 갑판 상부의 유동장도 차이를 보이는 것으로 생각된다. 특히, 높은 선수각 조건에서는 유동장의 박리강도를 줄이기 위해 갑판과 유동이 만나는 모서리 부분을 둥글게 수정하거나 모따기 등을 통한 형상적 처리가 유효할 것으로 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 대형 수송함의 축소모델을 제작하고 풍동설비를 이용하여 비행 갑판 상부의 유동장을 광학 계측 기법인 2D-PIV를 이용하여 측정, 분석하였다. 7방향의 선수각(θ)에서 시험을 수행하였으며, 비행 갑판의 상부 방향으로 실선 기준 5 m(시험 기준 1 H), 10 m(시험기준 2 H), 15 m(시험기준 3 H)에 해당하는 높이에서 모형선 갑판 상부 유동장을 관찰하였다. 시험 결과, 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1) 선수각 0° 조건에서는 선수부 갑판 모서리 와류(deck edge vortex)가 생성되는 것을 확인하였고 특히, 유동가시화 시험에서도 명확하게 관찰되었다. 또한 유입류가 크레인 및 함교 전방 모서리와 부딪히면서 발생하는 횡방향 유동과 함교 후단에서 발생하는 함교 와류도 확인되었다.

2) 선수각이 존재하는 경우, 선수각 0° 조건과는 대조적으로 크레인과 함교 사이의 공간에는 제트 기류와 같은 유동장이 생성되는 영역이 존재하는 것을 관찰하였으며, 모든 (-) 선수각 조건에서 관측되었다. 또한 -45° 부터 선수부 갑판의 모서리에

서 발생하는 유동 박리로 인해 갑판 상부에 재순환 영역이 뚜렷하게 존재함을 유동장 측정 및 가시화 시험을 통해 확인할 수 있었다.

3) 선수각에 따라 재순환영역의 크기는 차이를 보이고 있으며 선수각이 커질수록 갑판 상부의 재순환영역의 크기도 비례하는 경향을 보였다. 이는 유입류와 만나는 선체의 단면 형상과 연관되어 있다고 판단되며, 선수각이 큰 상황에서는 큰 재순환 영역이 형성되므로 특정 높이 이내의 구간에서는 함재기 이착륙 시 더욱 주의가 필요하다. 뿐만 아니라 선체 갑판 측면 모서리 부분의 형상 수정을 통해 유동의 박리강도나 재순환 영역의 크기를 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

항공모함이나 대형수송함의 비행 갑판 상부 유동장에 대한 이해는 이/착륙하는 함재기의 안전 및 관제 능력 향상과 직결된 중요한 연구 주제로 본 실험적 연구를 통해 대형 수송함의 비행 갑판 위 유동장을 확보하였고, 확보된 결과는 향후 한국형 경항 공모함(CVX) 개발과정에서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

이 연구는 방위산업기술지원센터로부터 연구비를 지원받아 수행되었음(계약번호 UC200007D).

References

- Bardera, R., Leon-Calero, M. and Rodriguez-Sevillano, A., 2017. Experimental investigation of the aerodynamic flow in the aircraft carrier ski-jump by means of PIV. *VII International Conference on Computational Methods in Marine Engineering*, Nantes, Frances, June 2017.
- Bardera, R., Barcala-Montejano, M.A., Rodriguez-Sevillano, A. and Leon-Calero, M., 2019. Wind flow investigation over an aircraft carrier deck by PIV. *Ocean Engineering*, 178, pp.476-483.
- Chung, J.D. and Choi, J.H., 2020. Ship airwake researches of Landing Helicopter Assault[LHA]. *Korea Society for aeronautical and Space Sciences*, Jeju, Republic of Korea, 756-757, November 2020.

DAPA (Defense Acquisition Program Administration) Report, 2021. *'21-'35 Core technology plan*. Korea Research Institute for Defense Technology Planning and Advancement.

Lee, S.H., Chung, J.D. and Cho, T.H., 2021. Measurement of the flow on the flight deck of a landing platform helicopter to develop CVX design technology. *2021 Autumn Conference of The Society of Naval Architects of Korea*, Gunsan, Republic of Korea, November 2021.

Sezer-Uzol, N., Sharma, A. and Long, L. N., 2005. Computational fluid dynamics simulations of ship airwake. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, Vol. 219, Issue 5, pp.369-392.

Sherry, M.J., Jacono, D. L., Sheridan, J., Mathis, R. and Marusic, I., 2009. Flow separation characterisation of a forward facing step immersed in a turbulent boundary layer. *Sixth International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena*, Seoul, Republic of Korea, June 2009.

Tecplot, Inc., 2021. *Tecplot 360 User's Manual*, Available at : https://tecplot.azureedge.net/products/360/current/360_users_manual.pdf [Accessed 16 April 2022].



심 호 준



정 진 덕



조 태 환



이 승 훈



송 지 수