

플랩이 부착된 타 주위 유동장의 가시화

김성동* · 김진구** · 이경우*** · 최민선*** · 조대환***

Visualization of Flow Fields Around a Flapped Rudder

Seong-dong Kim, Jin-gu Kim, Gyoung-Woo Lee, Min-seon Choi and Dae-Hwan Cho

Key Words: Flow Visualization (유동가시화), Manoeuvring Characteristics(조정특성), Flapped Rudder(플랩타), Airfoil(익), Angle of attack(영각), Flap angle(플랩각)

Abstract

Manoeuvrability of ships has been receiving a great deal of attention both concerning navigation safety and the prediction of ship manoeuvring characteristics, especially at the preliminary design stage. Recently, in order to improve manoeuvrability of ships, High-lift devices could be applied to design of rudder at design stage. Now, among the them, we carried out the flow visualization and investigation of flow field around a flapped rudder(trailing-edge flap). A trailing-edge flap is simply a portion of the trailing-edge section of airfoil that is hinged and which can be deflected upward or downward. Flow visualization results of flap defection shown as follow Photos including main body and flap defection.

1. 서 론

최근 선박의 대형화, 고속화의 추세로 조종 성능이 선체의 대형화에 비해 적합하지 못한 사례가 보고되는 선박의 수가 늘고, 이로 인하여 발생하는 해난사고는 해양오염과 같은 심각한 문제를 초래하고 있다. 이러한 배경 하에서 IMO(국제해사기구)에서는 선박을 건조할 때 저속 비대선형을 중심으로 충분한 조종성을 확보할 것을 권장하고 있다⁽¹⁾. 선박의 조종운동은 주 선체, 프로펠러, 타의 복잡한 연성운동의 결과로서 조타실에서 설정한 타각은 빠르게 선체의 조종운동으로 연결되어야 한다. 저속 비대선형의 경우 이러한 조정 성능이 다른선형에 비해 떨어지므로 선박의 조종운동 개선 효과를 얻기 위해서는 이 들 3

요소를 적절히 고려한 조종운동 평가가 필요하다. 이러한 조종 성능 개선작업을 위해서는 선박의 변침 및 보침 성능에 주된 역할을 하는 조타기(Rudder)의 성능 평가가 중요하고, 때에 따라서는 특수타 채용 문제도 적극적으로 검토, 적용되고 있는 실정이다⁽²⁻³⁾. 그 중 플랩을 가지는 타는 높은 양력을 나타내는 것으로 알려져 있고⁽⁴⁻⁵⁾, 선박의 조종 성능 중 저속비대선에 적용할 경우 매우 중요시되는 선박의 침로 안정성 개선에 높은 효과가 있는 것으로 보고되고 있다.

이 연구에서는 선박의 침로 안정성 개선효과가 있는 플랩을 가지는 2차원 익 주위의 유동현상을 고찰하였다. 영각(Angle of attack)과 플랩각(Flap angle)의 변화가 연속적으로 이루어질 수 있도록 실험장치를 구성하고 소형회류수조에서 가시화 실험을 하였다. 얻어진 영상에 대해서는 입자영상유속계⁽⁶⁻⁹⁾에 의해 속도장을 계측하였다. 가시화 실험에서 주날개각과 플랩각의 변화에 따른 박리현상과 양력, 항력의 발생과정 및 증감을 고찰하였으며, 그결과 플랩각 변화에 따른 플랩 익 주위의 속도 변화를 추적할 수 있었다.

* 한국선급

** 육천대학 기계과

*** 목포해양대학교

2. 실험

이 연구에서는 플랩을 가지는 타 주위의 유동 해석을 위해 그림 1과 같은 소형이동 회류수조를 이용하였다. 소형회류수조의 시험부는 길이와 폭 및 높이가 $1300\text{ mm} \times 300\text{ mm} \times 300\text{ mm}$ 이다. 가시화 실험에서 회류수조의 시험부를 흐르는 상부의 수면과는 가시화를 위한 조명을 산란시키는 원인으로 작요하게 된다. 이러한 빛 굴절현상을 없애기 위하여 상부에 투명한 덮개를 설치하여 4각형 유로를 만들었다. 또한 수조 우측에 익의 가변축이 설치된 아크릴평판을 검은색 코팅지를 부착하여 산란광과 계측영역에서 나타날 수 있는 잡음 성분을 최소화시켰다.

주 날개와 플랩의 각도변화를 위하여 관측창 우측에 가변 축을 설치하였다. 가시화 실험에 이용된 플랩타는 NACA 0012단면을 가지는 익이며, 익의 코드길이는 150 mm , 스패의 길이는 100 mm 이다. 플랩이 부착된 타의 플랩 영향을 알아보기 위해 익은 그림 2.1과 같이 주 날개(Main foil)과 플랩(Flap)으로 각각 나누어 연속적으로 각도의 제어가 가능하다. 플랩은 주 날개부분과 익 전연(leading edge)에서 2/3, 후연(trailing edge)으로부터 1/3되는 지점에 힌지로 연결하였다.

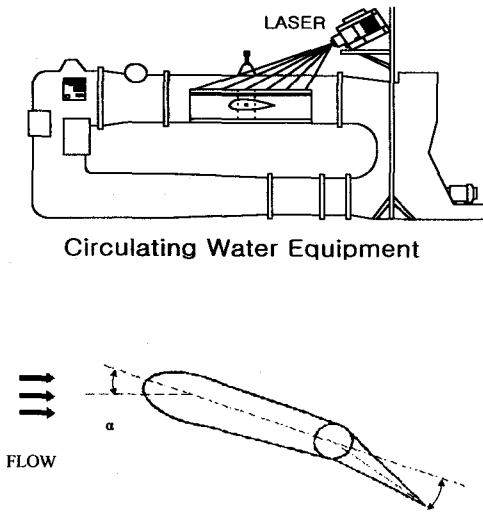


Fig. 1 Schematic Diagram of Test Setup and Flapped Rudder

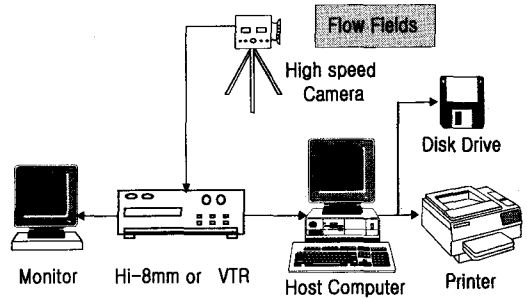


Fig. 2 Schematic arrangement of PIV system

타 단독시험의 경우, 척도영향⁽³⁾⁽¹⁰⁾을 고려해야 한다. 이 연구에서는 척도영향을 고려하여 실험 조건으로서 레이놀즈 수는 $Re = 1.027 \times 10^5$ 를 설정하였다. 주 날개의 영각(Angle of attack, 이하 α 로 정의)과 플랩 각(Flap angle, 이하 δ 로 정의)의 변화는 Shon⁽³⁾, Kato⁽⁴⁾의 연구결과를 참고하여 주 날개의 경우 $\alpha = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$, 플랩 각의 경우 $\delta = 0^\circ, \pm 10^\circ, \pm 20^\circ$ 를 설정하였다. 익주변의 유동장에 대해 상기의 조건으로 주날개와 플랩의 각도를 변화하면서 가시화실험을 하였으며 영상을 기록하였다.

그림 2는 이 연구에서 채택한 실험장치의 구성도를 나타내고 있다. 가시화를 위한 유동장 조명은 5W 출력의 Argon-Ion 레이저와 실린드릭컬렌즈가 연결된 광파이버를 이용하였으며, 플랩 익의 끝단으로부터 70 mm 떨어진 계측영역에 시이트 광(Sheet beam)을 조사하였다. 가시화된 유동장은 고속카메라로 촬영하였으며 캠코더를 이용하여 익주변 및 후류유동의 영상을 기록하였다.

입자영상유속계(PIV: Particle Image Velocimetry)를 이용한 가시화 실험은 유동장에 분포된 입자의 미소시간 간격의 영상을 컴퓨터로 분석하여 속도벡터에 대한 데이터를 얻는 방법으로 기계공학뿐만 아니라 조선해양공학 분야에서도 광범위하게 적용되고 있다⁽¹¹⁻¹⁴⁾. 이 기법은 계측영역의 속도를 동시다점으로 얻을 수 있는 장점이 있으나 계측기법의 특성상 입자의 추종특성이 결과의 신뢰성에 매우 큰 영향을 미친다. 이 실험에서는 가시화와 PIV 영상획득을 위하여, 추적 입자로서 직경 $150\text{ }\mu\text{m}$ 전후의 Polyvinyl Chloride 입자를 사용하였으며 CACTUS'2000(IIT., co)로 해석하였다.

3. 계측결과 및 고찰

$Re = 1.027 \times 10^5$ 의 채널흐름에서 고속카메라를 이용하여 플랩을 가지는 2차원 익 주위 유동장에 대한 유동가시화 실험을 하였다. 사진 1에서 사진3은 주 날개각(α)와 플랩각(δ)을 동시에 변화하였을 때, 익 주위의 유동현상을 나타내고 있다.

사진 1(a)는 주타각(α)과 플랩각(δ)을 0° 으로 고정하고 가시화 입자를 유동장에 분포하였을 때 얻어진 가시화 결과이다. 사진 1(b)는 플랩익을 $\delta = -20^\circ$ 으로 변경하였을 경우의 익 주위의 유동을 보이고 있다. 플랩익의 아랫면과 윗면의 압력구배에 의해 플랩의 아랫면에 박리현상을 동반하는 경계층이 생성되고 있으며 플랩익의 하류(downstream) 방향에 양력이 발생함을 알 수 있다. 이것은 전체 익의 양력감소의 원인이 된다.

사진 2는 주익각 α 를 10° 로 고정시키고 플랩각을 $0, \pm 10^\circ, -20^\circ$ 로 변화시킬 때의 익 주위의 유동현상을 보여주고 있다. 사진 2(a)의 경우 $\alpha = 10^\circ, \delta = 0$ 로써 플랩이 없는 전형적인 2차원 익 주위의 유동을 보여주고 있다. 익 주위의 유동특성을 알아보는 데는 물체주변의 압력차이에 의해 발생하는 박리현상이 매우 중요한데, 이 연구에서 대략적으로 영각이 12° 근방에서 박리현상이 관찰되었다. 이러한 2차원 익의 박리현상 및 박리점 위치는 항력과 양력 현상에 큰 영향을 미치지만, 이 연구에서는 우선 주 타각과 플랩각의 상호작용을 알아보는 관점에서 초기 박리점 이동 현상에 대한 고찰은 생략하였다.

사진 2(b)는 $\alpha = 10^\circ, \delta = 10^\circ$ 의 경우로서 주익각과 플랩각 조작을 동시에 조작했을 때의 양력증가를 보여주고 있다. 플랩타의 경우, 주익의 영각에 따른 양력 효과와 플랩익의 양력효과 더해진다는 것을 알 수 있다. 사진 2(c), (d)는 $\alpha = 10^\circ, \delta = -10^\circ, -20^\circ$ 의 경우로써 사진 2(a), 사진 2(b)와는 반대현상을 나타남을 알 수 있다.

사진 3(a), 사진 3(b)는 각각 $\alpha = 20^\circ$ 의 경우 δ 가 10° 에서 20° 로 변화할때의 결과이다. $\alpha = 20^\circ, \delta = 10^\circ$ 의 경우 α 의 증가로 익의 경계층 두께가 증가하고 박리점 현상이 주날개 익의 leading edge쪽에서 나타난다. 또한 플랩각의

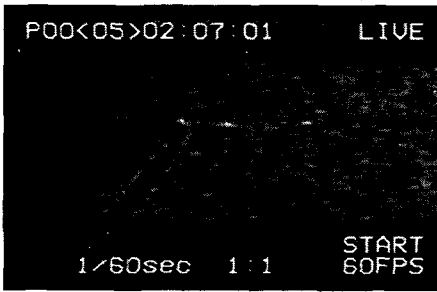
조작으로 익 아래 면에서부터 상류측으로 흐르는 흐름에 의해 박리현상도 발생한다. 주날개 익과 플랩익의 박리현상으로 익 상면에 걸친 폭넓은 회전 유동영역 생성되어, 상면의 자유유동을 교란시킨다. 사진 3(b)의 경우, 사진 3(a)와 비교해서 플랩각의 증가로 인하여 불규칙 회전유동영역이 크게 발달되고, 주날개 익과 플랩 익의 downstream과 upstream의 영향으로 플랩의 후류영역에서 와류가 발생하고 있다. 박리가 발생하는 박리영역의 압력저하는 양력을 감소시키고, 영각이 일정한도를 넘어서면 양력이 급속하게 떨어지는 실속(stall)현상이 발생하게 되므로 플랩타의 경우 박리점 전후 위치와 주날개 각 및 플랩 각의 관계를 고려한 설계가 필요하다.

사진 3(c)와 사진 3(d)는 사진 3(a), 사진 3(b)와는 플랩 각을 반대방향으로 조작한 경우로써, 주날개 익의 박리영역과 플랩 익의 박리영역이 서로 상쇄되는 경향을 보인다. 이 경우는 항력을 최소화할 수 있는 각도로 최적화를 위한 추가적인 연구가 필요하다.

그림 3, 그림4는 사진 3과 같이 $\alpha = 20^\circ$ 로 고정하고 δ 를 변화하였을 때 플랩 익 주변의 2차원 속도분포를 PIV로 계측한 결과를 나타낸다. 이 계측결과는 사진 3에서 얻어진 영상을 PIV 해석한 결과이다.

그림 3에서 보면 영각이 증가할 때, 익 윗면의 박리현상과 경계층의 영역이 나타나 있음을 알 수 있고, 날개 윗면과 아랫면의 압력구배로 인한 양력 발생을 예측할 수 있다. 또한 이 영역은 박리현상의 발생으로 박리가 발생하지 않는 영각보다는 양력이 줄어드는 실속영역으로 판단된다.

그림 4는 $\alpha = 20^\circ$ 일 경우 δ 가 10° 와 20° 로 변화할 경우 유동장 속도벡터 분포를 나타내고 있다. 그림 3과 비교해서 보면 그림 4(a)는 박리점이 주익의 L.E.쪽으로 이동하고 있음을 알 수 있다. 또한 플랩익의 T.E.쪽의 down stream이 증가하여 T.E.측에 박리영역이 나타나고 있다. 이러한 현상을 그림 3과 비교해서 평가하면 상대적인 항력 증가를 예측할 수 있으며, 양력의 측면에서 경계층 영역의 증가 즉, 날개 윗면의 음압으로 인하여 상대적인 양력 증가 효과를 기대할 수 있다. 그림 4(b)의 경우는 전자보다도 박리현상이 주익의 L.E. 쪽에 치우쳐 있고, 플랩익의 T.E. 방향으로 급격한 상향 유동이 나타나 있다.



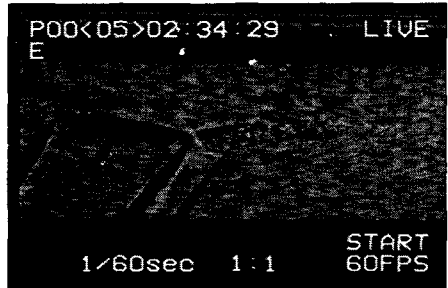
(a) $\delta = 0^\circ$



(c) $\delta = -10^\circ$



(b) $\delta = -20^\circ$



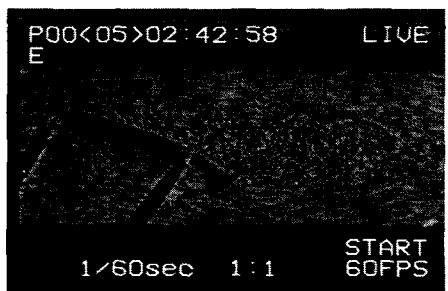
(d) $\delta = -20^\circ$

Photo. 1 Visualization of Flow Field($\alpha = 0^\circ$)

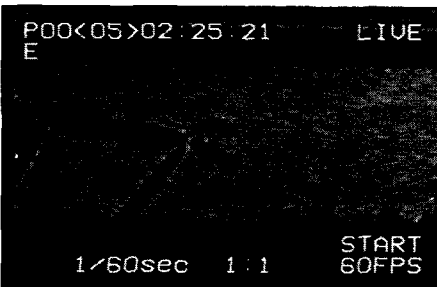
Photo. 2 Visualization of Flow Field($\alpha = 10^\circ$)



(a) $\delta = 0^\circ$



(a) $\delta = 10^\circ$



(b) $\delta = 10^\circ$



(b) $\delta = 20^\circ$

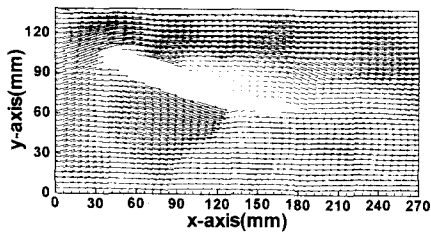


(c) $\delta = -10^\circ$

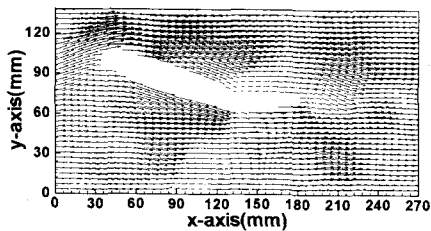


(d) $\delta = -20^\circ$

Photo. 3 Visualization of Flow Field($\alpha = 20^\circ$)

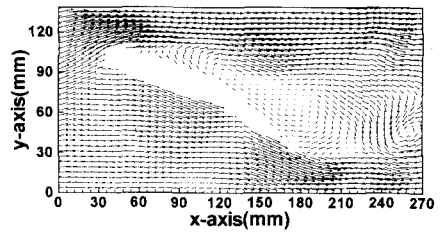


(a) $\alpha = 20^\circ$ $\delta = -10^\circ$

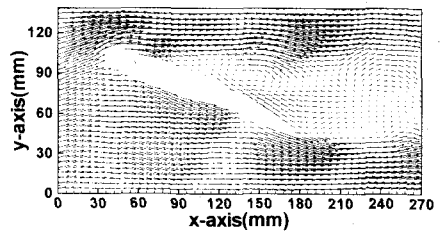


(b) $\alpha = 20^\circ$ $\delta = -20^\circ$

Fig. 3 Instantaneous Velocity vectors at Negative Flap Angle



(a) $\alpha = 20^\circ$ $\delta = 20^\circ$



(b) $\alpha = 20^\circ$ $\delta = 20^\circ$

Fig. 4 Instantaneous Velocity vectors at Positive Flap Angle

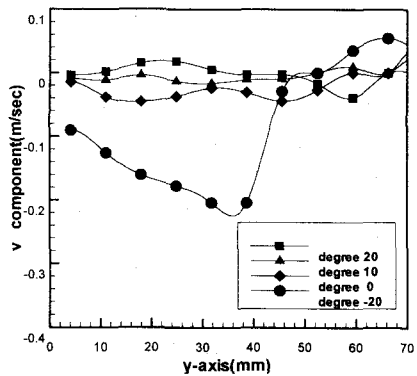
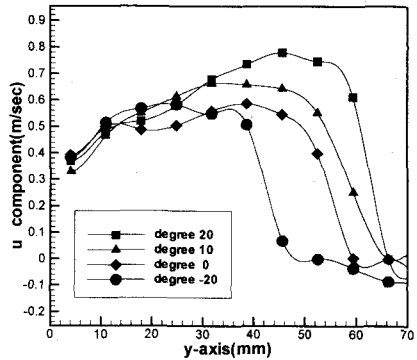


Fig. 5 u,v Velocity Distribution at $\alpha = 20^\circ$

또한 전체 익 후면에는 vortex core의 모습도 발견된다. 이러한 현상은 그림 4(a)보다도 상대적인 박리점의 이동으로 인한 항력 증가를 나타내고 있고, 양력의 측면에서 경계층 영역의 증가와 플랩의 윗면의 upstream의 형상을 볼 때 그림 3보다는 상대적인 양력 증가 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

그림 5는 플랩의 아랫면의 2차원 속도 분포를 정량적으로 도식화한 그림이다. 속도계측 위치는 플랩익의 조작으로 인한 플랩의 아랫면의 속도 분포를 알아보기 위하여 플랩익의 L.E.에서 후방 1/2 위치인 길이방향 150 mm 위치에서 계측했고, 플랩의 아랫면에서의 속도 구배를 알아보기 위하여 상기 위치에서 깊이 방향(익의 폭방향)은 플랩 힌지부터 바닥까지의 영역을 설정하였다.

계측 결과에서 볼 수 있듯이 $\alpha=20^\circ$ 에 있어서 δ 가 20° 인 경우는 다른계측결과(0° , -10° , -20°)와 달리 플랩익이 부착되어 있는 힌지 부근 즉, 깊이 방향 38mm 부근부터 플랩의 원호 모양의 곡면을 따라 유속이 downstream으로 가속되어 플랩의 끝단에서 tip의 영향으로 upstream으로 바뀌는 것을 볼 수 있다. 이러한 플랩 주위의 속도 변화는 익 상하의 역압력 구배 현상을 동반하여 양력을 증가시키는 현상과 일치하고 있으며, 플랩익의 주위의 플랩익의 조작에 의한 정량적인 속도를 변화를 추정할 수 있음을 보이고 있다.

4. 결론

PIV를 이용하여 양력특성이 뛰어난 플랩을 가지는 2차원 익 주위의 유동장에 대해 가시화 실험을 하였다. 그리고 주날개각과 플랩각의 변화에 따른 박리현상과 양력, 항력의 발생과정 및 증감을 가시화 기법을 통하여 고찰하였다. 그결과 플랩각 변화에 따른 플랩 익 주위의 속도 변화를 추정할 수 있었다. 자유표면의 영향, 벽면의 영향, 박리점 이동에 따른 항력과 양력변화와 플랩의 최적 조타 범위에 대한 정량적인 속도장 해석 등에 대한 추후의 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

(1) Explanatory Notes to the Interim Standards for

Ship Maneuverability, 1994, MSC Circ.644.

(2) 안해성, 김효철., 1999, “플랩이 부착된 타에 미치는 물 제트 분사효과에 관한 실험적 연구”, 대한조선학회논문집, 제36권 제1호.

(3) 손경호 et. al., 1997, “특수타의 채택이 침로 안정성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구”, 대한조선학회논문집, 제34권 제3호

(4) Kato, H. et al., 1968, “Flapつき舵の研究 - 第1報 : 單獨試験の結果 -”, 日本造船學會論文集 第124號

(5) Justin E. et al., 1972, “An Experimental Study of a Series of Flapped Rudder”, Journal of Ship Research

(6) 이영호 et. al., 1996, “PIV분류 및 원리”, 대한기계학회지, 제36권 제12호

(7) Y. H. Lee et. al., 1998, “An Introduction to PIV - Principle and Application -”, Flow Information Lab. KMU

(8) 송무석 et. al., 1997, “진동하는 원형주상체 주위의 유동에 관한 실험적 연구”, 대한조선학회추계학술발표 논문집

(9) Buchhave. P., 1992, “Particle image velocimetry -Status and trends-”, Experimental Thermal and Fluid Science, Vol.5

(10) Okada. S., et al., 1958, “單獨に置かれた舵の性能に關する實驗結果について - 舵の流體力學的研究 その2 -”, 日本造船協會論文集 第103號

(11) Gray, C. et al., 1995, “The Application of Particle Image Velocimetry(PIV) to Offshore Engineering”, ISOPE

(12) 권순홍 et. al., 1995, “PIV를 이용한 다수원주 주위의 유동장 해석”, 대한조선학회 추계학술발표 논문집

(13) 김성민 et. al., 1996, “잠수체 벽에 부착된 핀의 자유표면 효과에 관한 실험적 연구”, 대한조선학회논문집, 제33권 제1호

(14) B. S. Hyun et. al., 1999, “Effect of Free-Surface on Flow Field Around a Submerged Hydrofoil : Visualization Using Particle Image Velocimetry”, JAKOM'99