

Dynamic Stereo PIV에 의한 델타형 날개에서의 3차원 와류 유동에 관한 연구

이현[†] · 김미영* · 최장운** · 최민선*** · 이영호****

Three Dimensional Vortex Behavior of LEX Delta Wing by Dynamic Stereo PIV

Hyun Lee, Mi-Young Kim, Jang-Woon Choi, Min-Seon Choi and Young-Ho Lee

Abstract

Leading edge extension(LEX) in a highly swept shape applied to a delta wing features the modern air-fighters. The LEX vortices generated upon the upper surface of the wing at high angle of attack enhance the lift force of the delta wing by way of increased negative suction pressure over the surfaces. The present 3-D stereo PIV includes the Identification of 2-D cross-correlation equation, stereo matching of 2-D velocity vectors of two cameras, accurate calculation of 3-D velocity vectors by homogeneous coordinate system, removal of error vectors by a statistical method followed by a continuity equation criterion and so on.

A delta wing model with or without LEX was immersed in a circulating water channel. Two high-resolution, high-speed digital cameras(1280pixel×1024pixel) were used to allow the time-resolved animation work. The present dynamic stereo PIV represents the complicated vortex behavior, especially, in terms of time-dependent characteristics of the vortices at given measuring sections. Quantities such as three velocity vector components, vorticity and other flow information can be easily visualized via the 3D time-resolved post-processing to make the easy understanding of the LEX effect or vortex emerging and collapse which are important phenomena occurring in the field of delta wing aerodynamics.

Key Words : 3-D Stereo PIV(3차원 스테레오 PIV), Delta wing(델타형 날개), Leading Edge Extension(연장된 앞전), Induced Vortex(흡입와류), High-speed Camera(고속도카메라)

1. 서 론

델타형 날개는 아음속 또는 초음속 유동에서 사용하기 위해 설계된 대칭적인 삼각형 구조의 날개로서 음속 부근에서의 충격파의 발생이 주는 여러 가지 영향을 적게 하여 비행기의 가속을 증

진 날개이다[1]. 높은 받음각(Angle of attack)을 가지는 델타형 날개 상면의 공기흐름은 날개의 전연에서 두개의 흐름으로 분리되어 나선형 구조를 갖는 흐름을 형성하게 되며, 이러한 나선형 와류의 중심에서 발생하는 빠른 유속은 날개 윗면에 큰 부압(Suction pressure)을 형성하여 고양력을 발생시키게 된다. 날개의 받음각이 증가함에 따라 날개 상면의 와류 중심에서의 속도와 와도의 증가를 가져오며, 이러한 결과로 날개에서의 양력의 증가를 가져오게 된다. 그러나 실속각 이상의 받음각을 가지게 되면 날개 상부에서 집중된 와류선이 임의의 조건 하에서 붕괴되어 급격한 양력의 감소와 피칭모멘터의 손실을 초래하는 와류붕괴(Vortex breakdown) 현상을 발생시키게

[†] 한국해양대학교 대학원
E-mail : david@pivlab.net

* 한국해양대학교 대학원

** (주)아이아이티

*** 목포해양대학교 기관 시스템 공학부

**** 한국해양대학교 기계정보 공학부

가시키고, 안정성을 증가시킬 수 있는 장점을 가

된다.

2차원 시간해상도 PIV를 적용하여 다양한 받음각(15°, 20°, 25°, 30°)과 날개위치(30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%)의 변화에 따른 델타형 날개에서의 나선형 와류의 발생, 와류의 발달, 와류 붕괴등의 유동 특성을 고찰한 연구는 이미 행하여 졌다[2]. 그러나 델타형 날개에서 발생하는 나선형 와류는 본질적으로 강한 3차원 유동 특성을 가지고 있으므로 2차원 PIV 계측으로서는 완전한 와류 특성을 이해하는데 한계를 가지고 있다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 유동장의 3차원 정보를 획득할 수 있는 3차원 스테레오 PIV를 적용하여 보다 신뢰성 있는 3차원 유동의 해석을 행하고자 하였다. 본 연구실에서 개발되어 연구에 채택한 3차원 스테레오 PIV의 호모지니어스 좌표계(Homogeneous coordinate)는 카메라의 사진좌표를 사용하지 않고 영상좌표를 사용하여 영상에 투영된 입자들의 3차원 위치를 계산하므로 기존의 3차원 스테레오 PIV에 비해 카메라 왜곡보정 및 표정요소등을 구하는 과정이 불필요하며, 이에 대한 계산 오차를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다.

스테레오 PIV에 의해 획득된 3차원 해석 영역에서의 속도벡터 및 유동정보는 3차원 애니메이션소프트웨어(AMIRA)에 의해 다양한 작업을 통하여 보다 현실적인 유동해석을 위한 여러 가지 정보를 획득할 수 있으며, 실험 결과를 통해 획득된 3차원 PIV의 동영상은 델타형 날개에서 발생하는 복잡한 3차원 유동을 이해할 수 있는데 큰 도움을 줄 수 있다.

2. 실험

2.1 실험모델

그림1은 LEX를 부착한 델타형 날개의 모델을 나타내고 있다. 델타형 날개모델은 코드길이가 190mm, 뒷전에서 스캔폭이 120mm, 65°의 후퇴각(Sweep angle)을 가지며, 86%의 코드 위치에서 90°로 잘라 낸 평판형 삼각 날개로서 앞전의 날개는 25°의 각도로 NC가공에 의해 황동으로 제작되었다. 이러한 델타형 모델은 받음각과 옆미끄럼각의 변화를 용이하게 조절할 수 있는 그림2와 같은 장치에 고정되어 수조내부에 설치되었으며, 실험에 사용된 회류수조는 내부의 유동장을 가시화 하기에 적합하도록 아크릴로 제작되

었고 200mm×200mm의 해석영역을 가지도록 제작

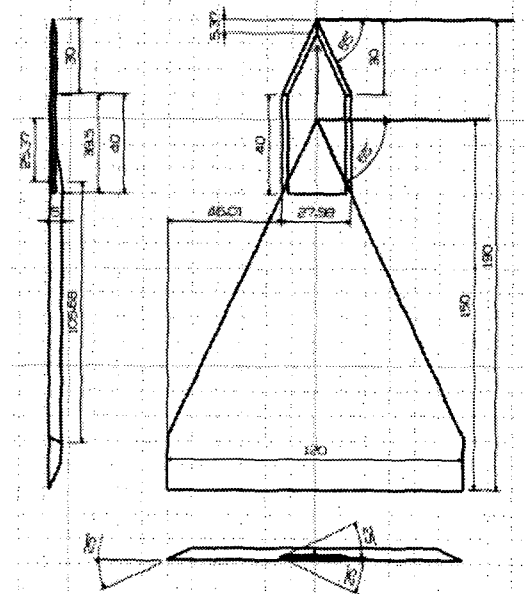


Fig.1 - Dimension of model(with LEX)

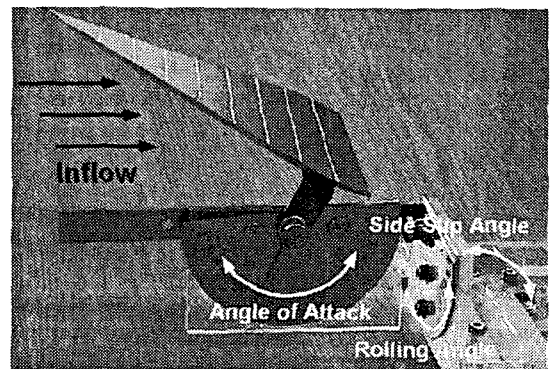


Fig.2 - Controllable angle adjustment mechanism 하였다.

2.2 실험계측

본 실험에서 작동 유체로는 20°C 상온수가 사용되었고, 수조의 하단에 설치되어 있는 밸브를 이용하여 입구속도 0.2m/sec($Re=3.0 \times 10^4$, chord length=150mm)로 설정하여 실험을 행하였다. 추적입자로는 작동유체의 흐름에 방해를 주지 않는 직경 120 μ m의 PVC 구형입자를 사용하였으며, 광원으로는 4W급 출력의 Ar-Ion 연속광 레이저가

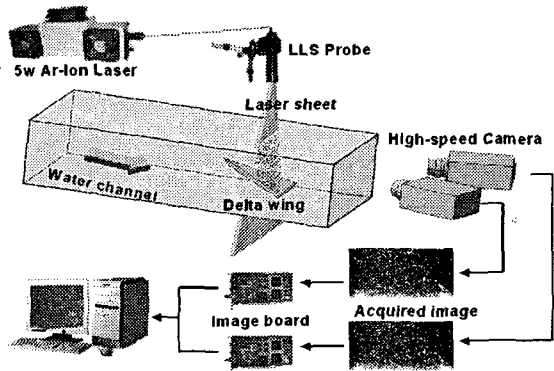


Fig.3 - PIV arrangement

사용되었고, 그림3의 스테레오 PIV의 시스템과 같이 1280×1024 pixel의 해상도를 가지는 2대의 고속도 카메라(Maximum:1000FPS)를 입력장치로 하여 1,000장의 연속적인 영상을 획득하였으며, 입력된 영상은 2차원 동일입자 추적에서 영상의 잡음제거등에 효과적인 배경감산에 사용되는 평균영상을 만드는데 사용되었다. 1/500초의 시간간격으로 입력된 250장의 연속적인 영상은 PIV 전용 소프트웨어(CACTUS3.1)를 사용하여 다양한 전처리 과정을 거친 후, 상호상관법(Cross correlation)에 의한 동일입자 추적을 행하였다.

2.3 카메라 교정(Camera calibration)

스테레오 PIV에서 보다 정확한 스테레오 정합 및 실험결과를 획득하기 위해서는 정밀한 카메라 교정 과정이 진행되어야 한다. 그림4는 본 실험에 사용된 캘리브레이터를 보여주고 있다. 캘리브레이터는 가로100mm x 세로100mm인 얇은 금속 평판에 10mm씩 등간격(가로9개×세로9개)으로 직경이 0.3mm인 원을 정확하게 표시한 후 깊이 방향으로 회전트래버싱(1/50mm scale) 손잡이를 1mm씩 11회 이송시켜 투영변환식을 구하는데 사용되는 지상좌표를 얻는다.

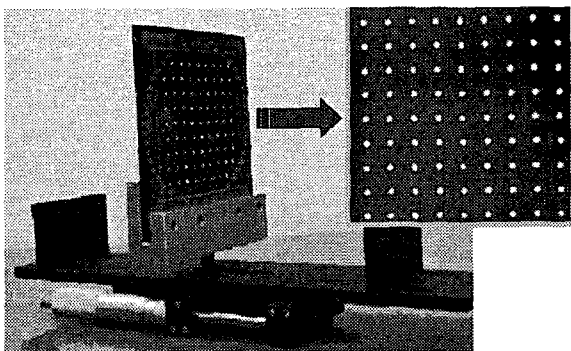
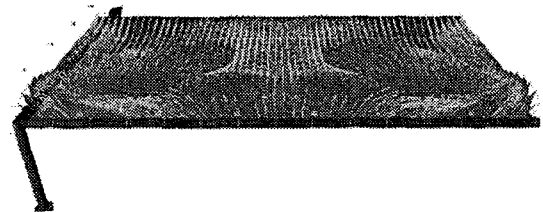


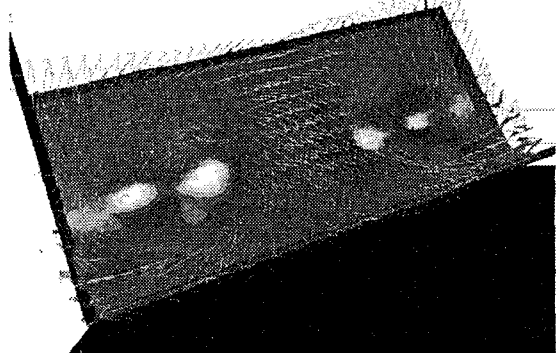
Fig.4 - Calibration equipment
3. 결 과

그림5는 델타형 날개 상면에서의 시간평균 속도벡터, 와도의 분포등의 유동정보를 나타내고 있으며, 스테레오 PIV를 통해서 획득한 데이터는 애니메이션 전용 소프트웨어인 AMIRA(www.amiravis.com)를 이용하여 나선형 와류의 복잡한 3차원 와류거동등의 유동특성을 더욱 현실적으로 해석하는데 유용하게 활용되었다.

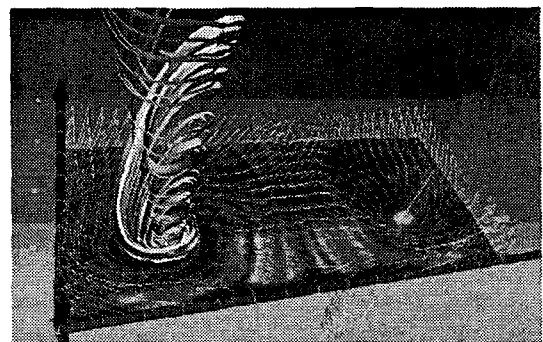
그림6은 받음각 25° 에서 코드위치(30%~70%)의 변화에 따른 델타형 날개에서의 와류분포를 나타내고 있다. 그림6(a)는 와류의 중심부가 날개의 상부와 밀착하여 원형을 유지하면서 후방으로 이동하고 있지만, 그림6(b)는 날개의 상부에 부양되어 형성되며, 후방으로 이동하면서 타원을 형



(a) Symmetric vortex patterns

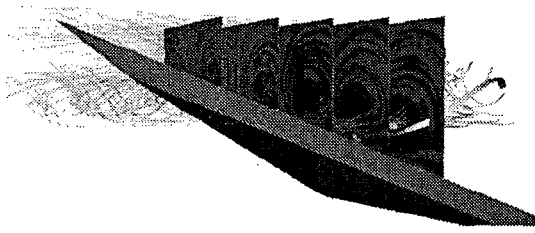


(b) Vorticity with vectors

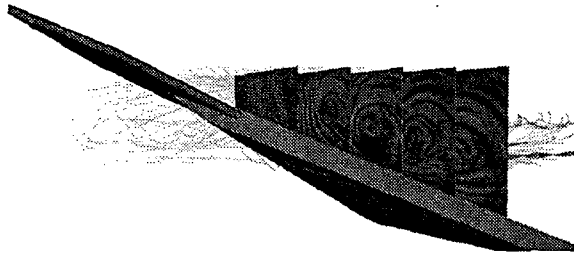


(c) Spiral vortex formation with velocity vectors

Fig.5 - Sample picture from the 3-D animation 성한다. 그림6(b)에서 날개의 전연부에 와의 중심이 부양되어 형성되어 있는 것은 날개의 전연에

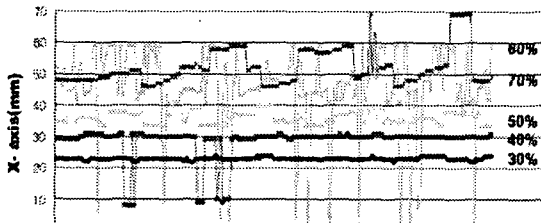


(a) Distribution of vorticity(without LEX)

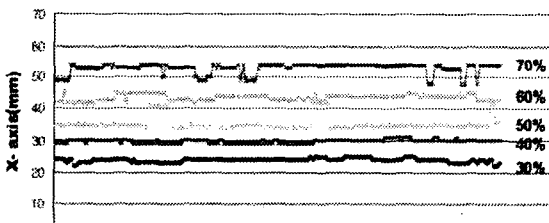


(b) Distribution of vorticity(with LEX)

Fig.6 - Comparison of Vorticity's distribution



(a) Position of maximum vorticity (without LEX)



(b) Position of maximum vorticity (with LEX)

Fig.7 - Comparison of maximum vorticity position with the passage of time

부착된 LEX에 의해 생성되어진 LEX 와류의 영향으로 인한 것이며, 후방으로 이동하면서 LEX 와류와 주와류가 결합하면서 하나의 와류로 형성되는 것을 보여주고 있다.

그림7은 시간의 변화에 따른 델타형 날개의 x 축에서의 와도중심의 변화를 나타내고 있다. LEX를 부착하지 않은 그림7(a)의 30%영역에서는 와도중심의 위치가 거의 일정하나, 후방으로 이동하면서 와도중심의 위치변화가 심하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 특별히 60%영역에서는 와도중심의 위치가 주기적으로 현저하게 낮은 x 축의 위치에 나타나는 것을 확인할 수 있는데,

이는 날개 후방으로 이동하면서 현저하게 감소된 제1차 최대와도의 값이 2차 최대와도의 값보다 낮은 값을 가지게 되어 최대와도 중심의 위치가 2차 와도로 이동하는 것을 보여주고 있다. 반면에 LEX를 부착한 그림7(b)를 살펴보면 30%와 40% 위치에서는 그림7(a)의 경우와 거의 비슷한 위치에 존재하며, 날개의 후방으로 이동하면서 와도 중심의 위치변화가 나타나지만 그림7(a)와 같은 현저한 와도중심의 변화는 나타나지 않는다.

4. 실험

본 연구에서는 높은 받음각을 가지는 델타형 날개에서의 유동을 규명하기 위하여 Dynamic 3차원 스테레오 PIV를 적용하여 3차원 속도벡터 및 유동정보를 획득하였으며, 델타형 날개에서 발생하는 복잡한 3차원 유동현상을 관찰하여 3차원 단면에서의 정량적인 데이터를 획득하였다. 델타형 날개에서 LEX의 부착유무에 따른 결과를 비교함으로써 LEX의 부착함에 따른 날개의 안정성을 저하시키는 와류붕괴의 지연등에 대해서 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 : R01-2000-00318)의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Neven Lang N., 1998, "PIV Measurement in Sub-and Supersonic Flow over the Delta Wing Configuration", Proc. of 8th Int. Sym. on Flow Visualization, Paper number-205.
- 2) Lee Y.H. Sohn M.H., Lee H., Kim J.H., Kim B.S., 2002, "PIV Analysis of a Delta Wing Flow with or without LEX", Proc. of 11th Int. Sym. of Application of Laser Techniques to Fluid Mechanics, No.4-5.