

[논문] 태양에너지

Solar Energy

Vol. 19, No. 3, 1999

PIV 계측에 의한 산업용 송풍기 익의 유동특성

김진구*, 윤석범**

* 충북도립 옥천대학 기계과

** 국립 익산대학 자동차과

Flow Characteristics for Blade of Industrial Axial Blower by PIV Measurement Method

J. G. Kim*, S. B. Yoon**

* *Okchon provincial college*

** *Iksan National college*

ABSTRACT

An experimental study was carried out to investigate the flow characteristics of a stationary blade for six kinds of measuring angles of attack, 0° , 10° , 20° and 30° at Reynolds number of 5.8×10^4 . Instant simultaneous velocity vectors around blade were measured by 2-D PIV system where laser-based illumination and two-frame grey-level cross correlation algorithm were adopted.

Velocity profiles show uniform approaching flow from the straightening equipment, and experimental results reveal that separation phenomena occur and the separation point moves upstream with increasing angle of attack.

1. 서 론

익형주위의 흐름¹⁾은 그 형상에 따라 유동특이

크게 다르므로, 적용대상 기기나 분야에 따라 특정한 형상이 개발되어 사용되어 왔다. 이러한 익형은 항공기에서 뿐만 아니라 축류터빈, 축류펌

프, 축류 송풍기 등에서도 널리 사용되고 있다. 익형주위 유동 특성은 에어 포일과 거의 유사하며 지금까지의 적용 예를 보면 실속현상이 발생할 조건이나 풍동실험 등에 의해 경험적으로 파악된 불안정한 영역에서는 운전되지 않도록 비교적 소극적으로 설계를 행하여 왔다. 그러나 현대 산업의 발전에 따라 보다 넓은 운전 범위가 요구되고 있으며 그 추세도 대용량화 및 대형화가 되고 있는 실정이다.

익형 주위의 유동장은 그 유동 특성이 형상에 따라 매우 복잡하게 변화하여 설계에 많은 어려움이 있을 뿐 아니라 이에 대한 기술적인 개선도 필요하다. 실제 산업용 축류팬의 경우에도 기술 도입에 있어 설치각에 따른 유동특성이나 성능 곡선을 파악하는 정도에 그치고 있으며 실물 크기에서 실제 적용되는 고속유동장에서의 계측은 실험 여건상 여러 가지 어려운 점이 많은 실정이다. 이러한 일련의 익형주위의 유동장 전체를 대상으로 하는 정량적인 실험적 연구는 익형의 설계에 실질적인 자료를 제공할 수 있을 것으로 예상된다.

한편 유체공학적인 관점에서 주요한 계측항목은 우선적으로 속도성분을 들 수가 있다. 이는 유동현상을 지배하는 N-S방정식의 구성에서 나타나듯이 3차원적인 유체입자 궤적의 기술에는 뉴우톤역학의 범위를 벗어나지 못하며 따라서 속도, 가속도 변위에 관한 기초적인 물리량의 확보가 우선적으로 필요하게 되기 때문이다. 이에 대한 공학적인 문제에서 많은 계측기법이 발달되어 왔으나 어느 경우에도 제한적인 용도에 머물고 있으며 특히 현재 급속히 발달하고 있는 컴퓨터 관련기술과 병행하여 성능이 개선될 수 있는 기법이 부족한 실정이다. 지금까지의 유동장의 속도 계측기법으로는 LDA 또는 열선유속계가 정도면에서 신뢰성을 유지하여 왔으나 유동현상의 기본 특성인 비정상적 순시 다점계측이 원리적으로 불가능한 한계를 극복하지 못하고 있다. 이와 같은

문제점을 근본적으로 해결할 수 있는 기법^{2~4)}이 유동장의 영상처리를 통한 속도계측이며 이 기법은 급속하게 발전하고 있는 컴퓨터 및 주변기기의 성능에 대응하여 개선되고 있으며 현재 이에 관한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있고 유체 기계에 적용이 시도되고 있다. 본 연구에서는 이러한 점에 주목하여 실제 산업용에 쓰이는 축류팬의 한 모델을 선택하고 일차적으로 영각에 따른 유동변화를 PIV계측^{5~6)}으로 고찰하고자 하였다. 그 결과 영각의 증가에 따라 후연부에서 전연부 측으로 층류 박리점이 이동하였고 주위의 운동에너지의 분포에서도 유동패턴의 변화를 잘 보여 주었다. 그리고 순간의 속도분포도에서 역압력구배 및 실속현상의 경향이 잘 나타남을 알 수 있었다.

2. 실험

2.1 실험장치

통상의 축류송풍기의 출구측 유동속도는 최대 10~25m/sec 전후이다. 실험모델은 10m/sec 전후의 중형 팬으로서 계측정도를 향상시키고자 실물크기로 제작하였다. 재질은 투명성이 최대한 보장되는 고급 아크릴로 하여 가시화가 가능하게 하였고 작동유체로서는 대기압에서 상온의 수돗물을 대상으로 하였다. 속도벡터의 획득은 임의의 한순간에 있어서 얻은 영상에 대하여 2000개 전후의 유효벡터를 구하고자 하였으며 정류기의 출구 단면 평균유속은 0.68m/sec 전후이다. 유동장의 촬영은 고속도카메라(Photron Fastcam 240pps 640x240 pixel)를 이용하였다.

Fig. 1은 본 연구에서 채택한 실험장치의 구성도이다. 조명용 레이저로서는 5W출력의 연속광 아르곤이온레이저를 사용하였으며 고속유동장 계측을 위하여 고속카메라 및 관련 시스템을 배치하였다.

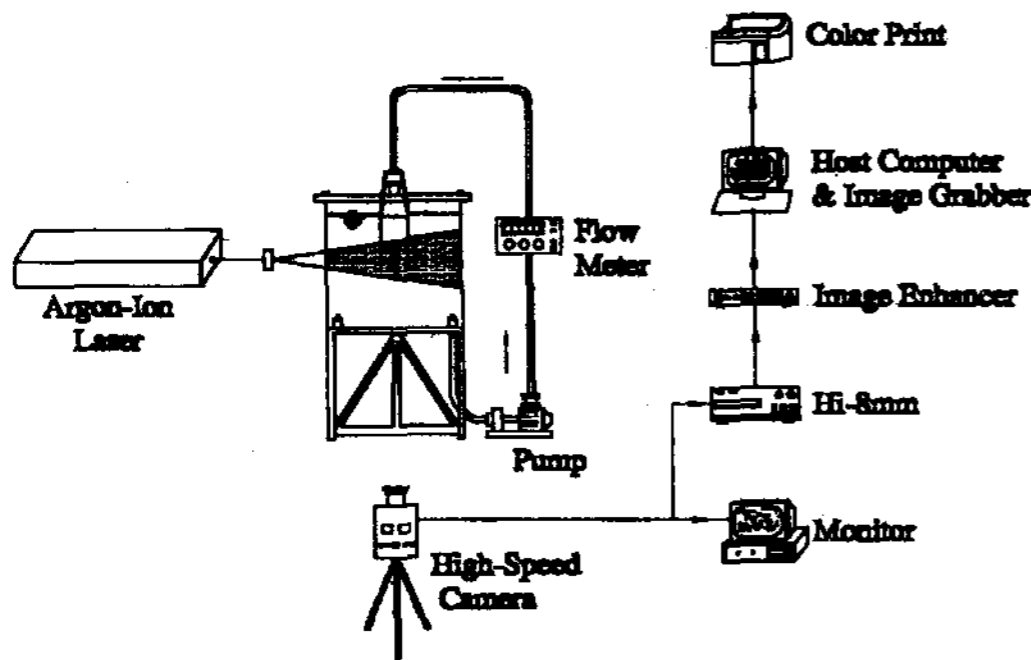


Fig. 1. Schematic Arrangement of PIV System

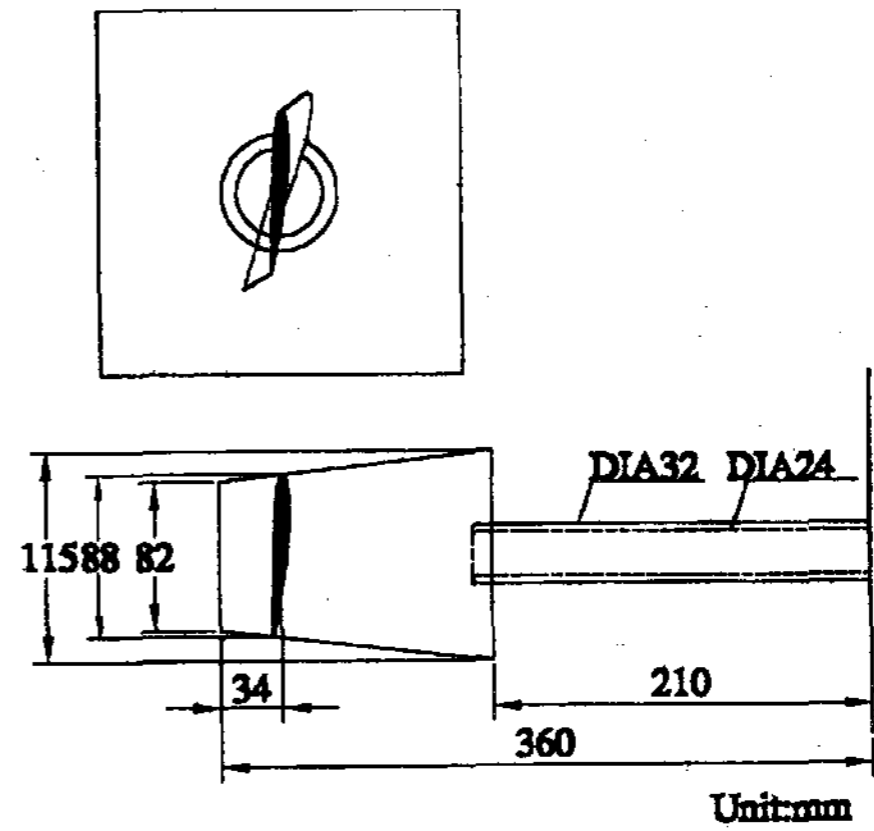


Fig. 3. Dimension of Measuring Region

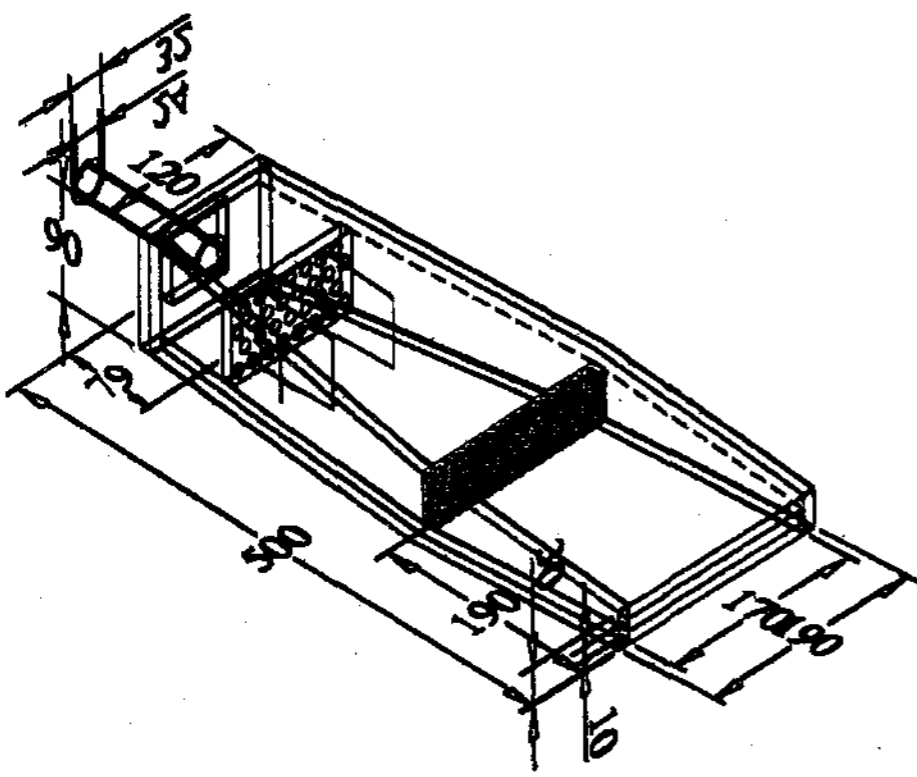


Fig. 2. Flow Straightening Equipment

순환펌프를 이용하여 정류장치에 작동수를 연속으로 공급하였으며 이때에 정류기내의 1단 축과 2단축을 거치면서 균일한 흐름이 형성되게 된다. 정류기는 내경 30mm의 입구관에서 유선형의 형상을 갖는 확대 수축 노즐의 형상으로 설계하였으며 길이는 약 500mm×170mm이고 재질은 투명 아크릴판으로 제작하였다. 가시화 및 PIV의 영상획득을 위하여 추적입자로서 직경 100미크론 전후의 Polyvinyl Chloride를 사용하였다. 초기에 정전기에 의하여 달라붙는 것을 방지하기 위하여 세제를 소량 혼합하여 이를 투입하였다.

Fig. 2는 자체 설계하여 제작한 정류장치를 보여주고 있다. 정류장치의 중간부분에 정류판을 2개 설치하였으며 그 위에 지름 4φ의 정류 홀을 각각 53개와 80개가 되도록 하였다.

Fig. 3은 계측단면을 보이고 있다. 익형을 중심으로 하여 가로 세로 각각 131mm이고 익 끝단으로부터 위치는 34mm이다. 익형은 각도가 조절 가능한 송풍기용의 날개 길로서 통상 45°의 설치 각을 갖는다. 상온(20°C)에서 청정공기를 작동 유체로 할 때 356m³/min의 풍량을 가진다. 그리고 통상적으로 12%전후이며 최대정압은 1500pa이다. 이 익형을 대상으로 가시화를 행하였고 그 결과를 고속도 카메라로서 촬영하여 얻어진 연속영상은 NTSC방식의 저속영상으로 재생하여 이를 Hi-8mm 캠코오더에 기록하였다. 영상처리를 위한 이미지 보오드는 DT3155 (640x480 pixel, B&W)이며 이 보오드는 CPU 120MHz의 호스트컴퓨터에 삽입되어 있다. 중간에 영상개선 장치로서 SONY사의 MPU100가 이용되었다. 조명으로서 소형 원통형렌즈를 레이저출구에 부착하여 두께 약 2mm의 시이트라이트를 계측영역에 조사하였다.

Fig. 4는 본 실험에서 채택한 영각을 보이고 있다.

2.2 PIV계측

실험에서 얻어진 유동장의 영상에 대하여 몇가지의 전처리과정을 행하였다. 이것은 주로 잡음성분의 제거가 주목적이고 전처리된 영상에 대하여

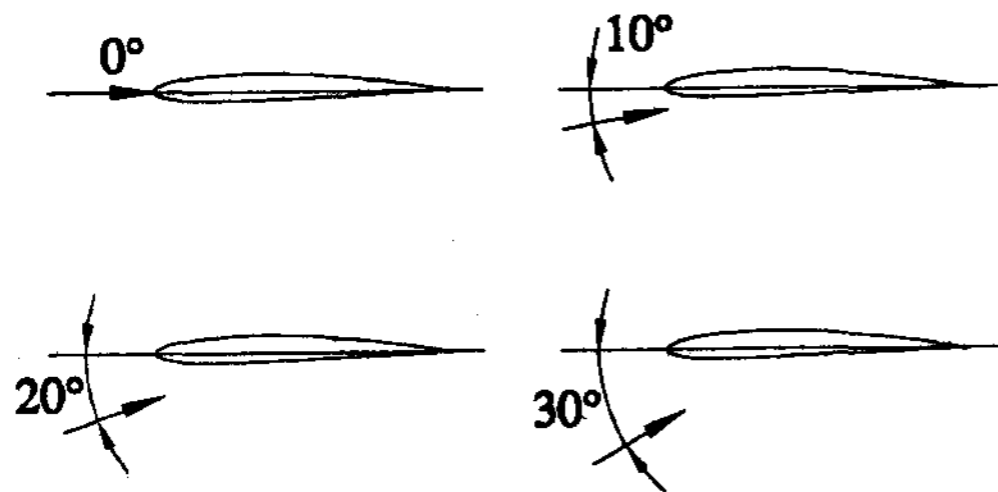


Fig. 4. Four Kinds of Angle of Attack

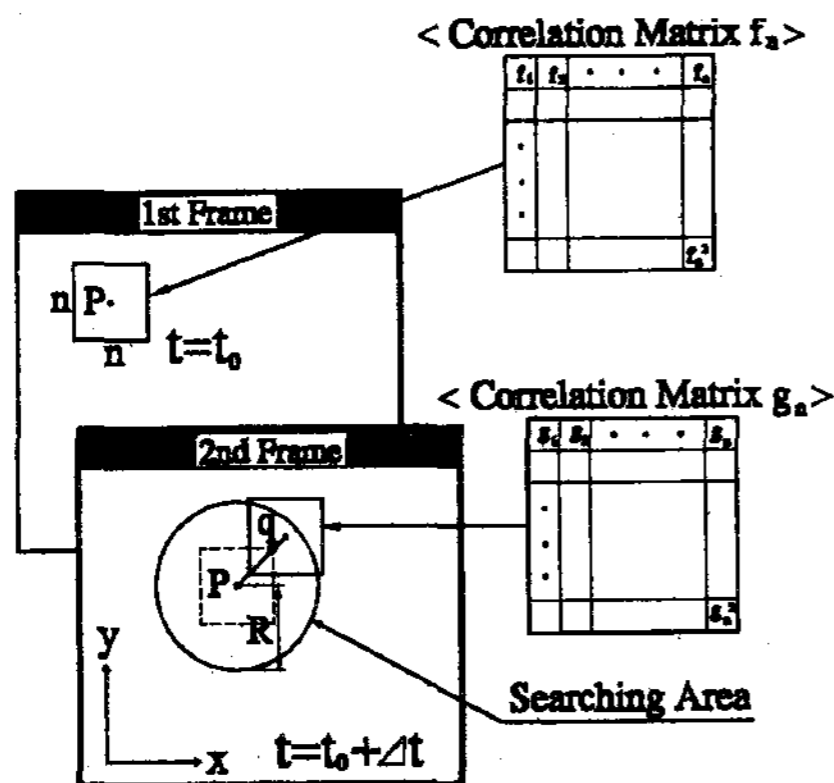


Fig. 5. Classification of PIV by Identification Algorithm

적당한 속도벡터 추출 알고리즘을 적용하여 유동장의 속도벡터를 구한다.

Fig. 5는 계조치 상호상관법의 원리를 나타내는 것으로 미소시간 동안 유동장의 화상의 계조치 패턴은 크게 변하지 않는다고 가정하면 제1화상에서의 상관영역내의 계조치분포와 미소시간후의 제2화상에서의 계조치분포는 유사한 형태를 보일 것이다.

본 연구에서는 속도계측기법으로서 2차원의 PIV를 택하였다. PIV에서 속도를 구하기 위한 기본적인 개념은 질점역학에서와 마찬가지로 임의의 입자운동에 요하는 시간간격 및 벡터변위 관계로부터 구할 수 있다. PIV의 속도추출 알고리즘은 연속된 두 프레임의 유동장영상을 이용하여 이들의 계조치를 이용한 상호상관법이다. 즉,

미소간격을 갖는 연속된 두 프레임의 영상을 이용하여 이들의 계조치에 대하여 다음 식과 같은 상호상관계수를 이용하여 최대상관계수의 위치를 속도벡터의 종점좌표로 정하는 방법을 택하였다.

$$C_{fg} = \frac{\sum_{i=1}^{n^2} (f_i - \bar{f})(g_i - \bar{g})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n^2} (f_i - \bar{f})^2 \sum_{i=1}^{n^2} (g_i - \bar{g})^2}}$$

단, f_i, g_i 는 상관영역내의 각 픽셀의 계조치를 의미하며 \bar{f} 는 평균을 뜻한다.

한편 PIV에서 요구되는 영상처리중 반드시 필요한 것이 영상에 포함된 잡음제거이다. 이것은 이후의 처리과정에 큰 영향을 미치며 특히 과오벡터의 발생에 민감하게 작용하고 잡음제거에 가장 큰 효과를 얻을 수 있는 것은 배경제거 (background elimination) 이다. 이것은 실험대상 중 입자를 제외한 움직이지 않는 부분을 제거하여 영상처리에 불필요한 부분을 최소화하는 것이 일차목적이다. 이를 위해서는 실험시작 단계에서 입자의 주입 전에 대상 유동장을 촬영한 다음 이 유동장을 입자가 유입된 실제 유동장으로 부터 단순 감산하는 방법이 이용되고 있으나 실용상 번거로운 작업이 요구된다. 편의상 입자가 주입된 임의의 프레임영상을 감산하는 기법을 채택할 수도 있으나 이 때에는 입자위치에서 겹치는 부분이 있음으로서 유효한 계조치분포가 그대로 유지되기 어렵다.

본 연구에서는 이를 위한 해결방안으로서 해석 유동장의 연속된 180회분전후의 영상을 채택하여 이들의 계조치를 합산하여 산술평균한 영상을 기준으로 한 다음 실제로 처리하고자 하는 순시의 유동장 영상으로부터 감산하는 방법을 택하였다. 이 기법은 잡음제거에 매우 효과적이었으며 특히 과오벡터의 발생을 크게 감소시키는데 큰 역할을 하였다.

다음으로 계조치 상호상관법에서는 최대상관계수의 위치를 정수로 표시되는 픽셀값 이하의 정도로 정확하게 구하여야 한다. 즉 PIV의 다이내믹레인지를 증가시키기 위해서는 이와 같은 서브픽셀 해상도문제를 해결하여야 하며 이것은 PIV의 계측성능을 크게 좌우한다. 특히 벡터의 시점과 종점간의 거리가 2-3픽셀 이하인 경우에는 얻어진 벡터의 정도에 결정적인 영향을 미친다. 지금까지의 다른 연구결과를 보면 도심좌표를 구하는 방법 및 2차곡면 최소자승법이 주로 이용되고 있다. 도심좌표를 이용하는 경우에는 기법의 단순함이 장점으로 거론되고 있으나 오차가 증대하는 결점이 있다. 2차곡면 최소자승법은 이론적으로 가장 우수한 기법으로 평가되어 많이 채택되고 있고 본 실험결과의 처리도 이 기법에 의하였다. 그리고 시간평균 속도값은 5분 동안 촬영된 연속된 유동장의 영상에 대하여 랜덤하게 얻은 180개의 영상에 거의 동일한 시간간격으로 반복 처리한 것을 더하여 구하였다.

3. 계측결과 및 검토

본 실험의 가정은 2차원 익 단면을 일정한 흐름 중에 두고 이를 가시화 한 것이다. Fig. 6은 임의의 순간에서 얻은 속도벡터이다. Fig. 6(a)에서 보이는 것은 영각이 0° 인 경우이다. 상부의 속도벡터는 1.0m/sec 를 나타내는 기준 속도벡터이고 유동장의 계측영역은 가로 세로 각각 131mm 이다. 유동은 좌측에서 정류장치를 통해 균일하게 유입하여 우측으로 유출되고 있다. 영각이 작을 때는 역압력 구배는 생기나 경계층 박리는 일어나지 않아야 한다. 실험중 실제의 유동을 관찰한 결과 경계층박리가 일어나는 영각은 7° 전후로 보이며 이에 대하여는 추후에 계측이 필요하다.

Fig. 6(b)는 영각이 10° 일때의 순간의 속도

벡터이다. 전연 근처에는 층류 경계층이 발생하고 익단면의 압력분포의 영향을 받아 층류경계층내의 속도 분포는 그 외측의 압력의 변화에 의해 표면으로부터 벗겨져서 역류영역이 발생되고 있다. 이와 같은 박리가 그 경우와 같이 층류경계층 그대로 박리를 발생할 때 흐름은 익의 표면으로부터 영구히 벗어나지만 난류경계층의 형태로 다시 표면에 되돌아오는 재부착점도 나타나고 있다.

Fig. 6(c)의 경우는 영각이 20° 인 경우를 보이고 있다. 영각이 10° 에서는 박리영역이 익의 기하학적 중심에서 후연부 측이나 Fig. 6(c)의 경우는 전연부측으로 이동하고 있고 영각이 증가한 만큼 유동현상이 윗면에서 압력구배가 심해지고 유동박리가 활발함을 보이고 있으며 역 압력구배 현상도 나타나고 있다.

Fig. 6(d)의 경우는 영각이 30° 일 때 앞의 경우와 마찬가지로 임의의 순간에 속도벡터의 분포를 보이고 있으며 박리의 규모가 매우 큰 것을 알 수가 있다. 후연에서는 발생하는 와류가 영각의 증가에 따라 보다 활발하게 나타나고 있다. 그리고 유동장의 좌측상부에서의 속도가 우측상부에 대하여 다소 작게 나타나는 것은 가시화시 조명이 우측에서 좌측으로 비추인 관계로 익형이 상부와 하부에 반사하여 그림자가 진 이유이다. 또한 Fig. 6(c)에서 보이는 실속이 보다 증가하여 나타남을 알 수 있으며 이때에 이론적으로는 양력이 급격히 감소하고 저항은 현저히 증가하게 된다. 본 연구에서는 측정범위를 속도계측에 국한하였다.

Fig. 7에서는 각각의 영각에 따라 순시속도벡터 180회분을 합산하여 산술평균한 결과인 시간평균속도벡터를 보이고 있다. 영각이 증가함에 따라 익형의 압력면에서는 일부의 영역에서 역류의 현상이 나타나고 있다. 임의 순간의 속도벡터에서는 이러한 비정상성을 갖는 역압력 구배가 잘 나타나고 있으나 시간 평균에서는 이러한 경

향이 오히려 작게 나타나고 있다. 이러한 현상은 이론적으로 충분히 예상할 수 있는 현상으로서 차후에 각 단면에 따라 보다 체계적인 검토가 요구된다.

Fig. 8은 영각이 20° 인 경우에 대하여 계측영역을 가로축을 기준으로 6등분한 선상에서 유입

유동에 대한 시간 평균 속도성분을 도시한 것이다. 좌측에서 첫 번째 측면을 보면 유입유동이 균일한 분포를 보이고 있고 이것은 유입류의 직진성이 그대로 유지되고 있음을 잘 나타내고 있다. 또한 각 단면을 비교하여 보면 하류측으로 갈수록 유입유동의 유속이 감소하고 있다. 이것은

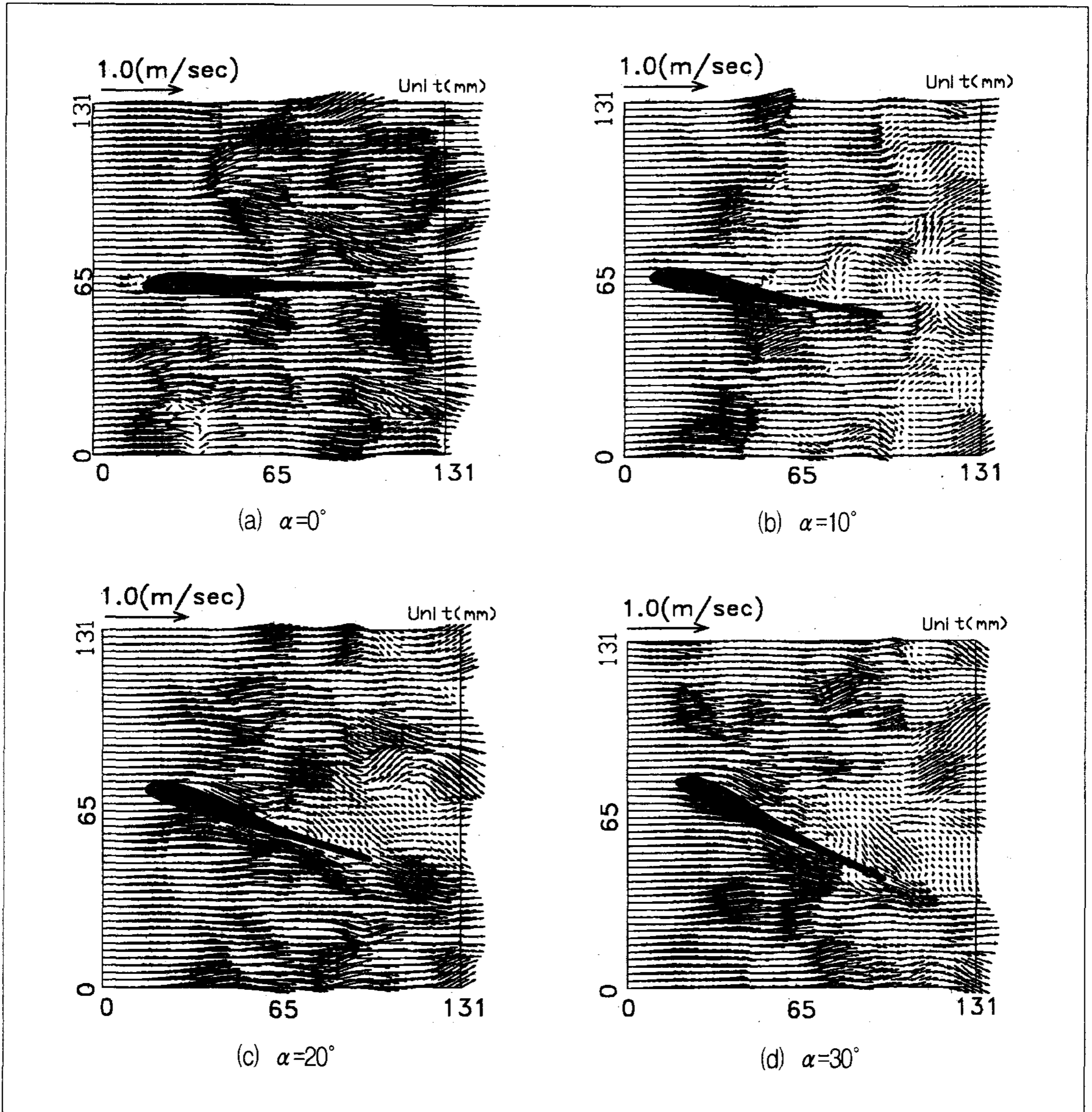


Fig. 6. Instantaneous Velocity Distribution

정류기의 출구의 폭이 7.5mm로서 하류로 가면서 스펙방향으로 확산이 일어나면서 직진하는 유량이 감소한 것이 원인으로 판단되며 실험상의 문제점으로 지적될 수 있다. 유동장의 특성을 알아보는 또 다른 방법으로서 격자점에서의 수평방향과 수직방향의 속도성분으로부터 운동에너지를

구하여 이를 비교하는 것이 유용하다.

Fig. 9는 각 영각에 대한 시간 평균의 운동에너지를 공간 분포적으로 나타낸 것으로 상부에서 하부측이 흐름방향이며 익을 중심으로 좌측이 배압면이고 우측이 압력면이다.

전체적인 유동의 경향은 우측이 좌측에 비하여

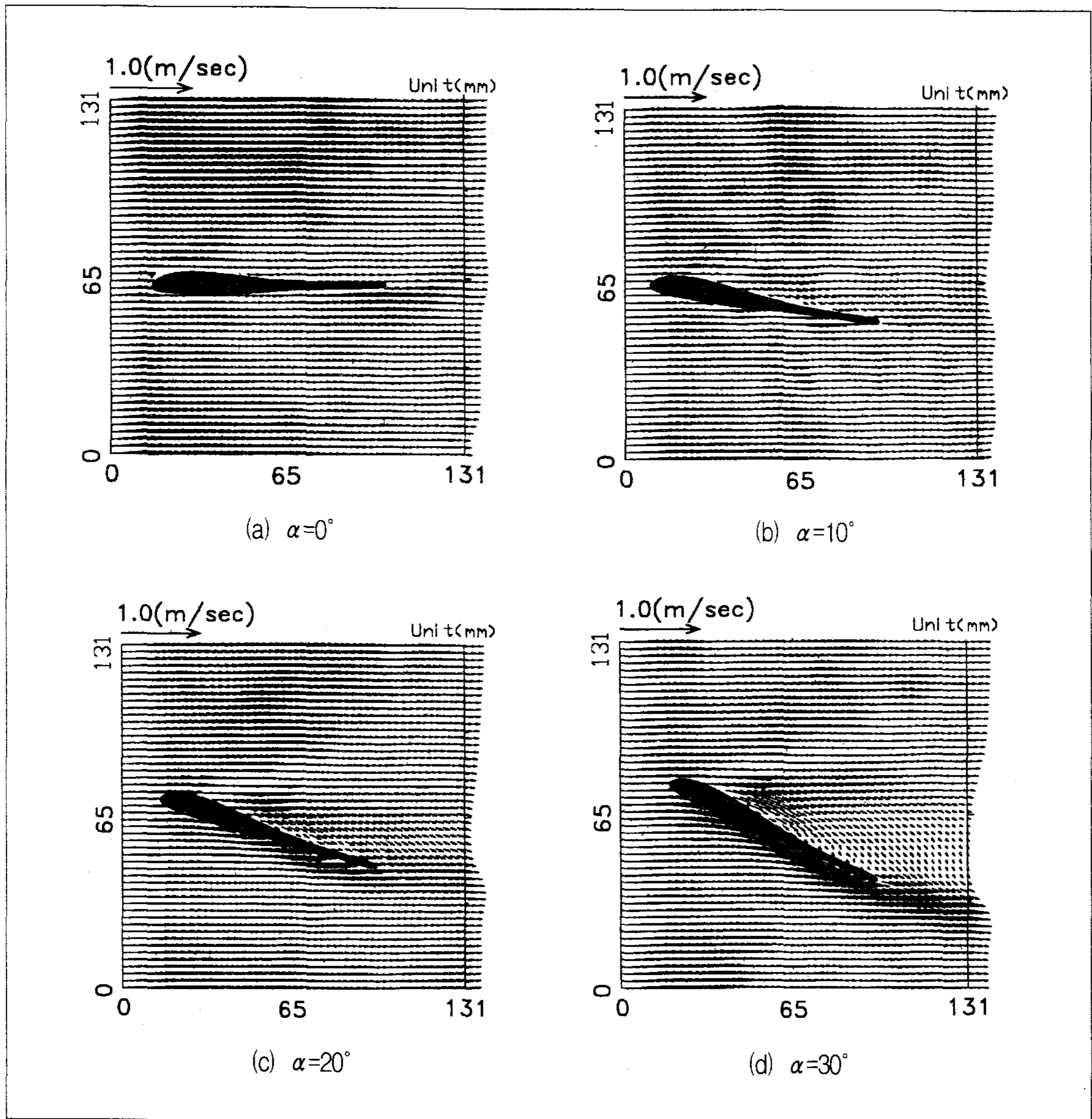


Fig. 7. Time-mean Velocity Vectors

보다 높은 운동에너지를 보유하고 있고 익의 표면은 극히 낮으나 경계층을 벗어난 직후의 유동은 변화가 매우 많음을 보이고 있다. 전반적인 경향은 영각의 변화에 따른 전체유동이 잘 나타나고 있다.

4. 결 론

PIV를 적용하여 익형 주위의 속도벡터를 PIV에 의해 구하고 그 유동특성을 고찰하였다. 실제 산업용의 축류 환을 실물 크기로 제작하여 가시

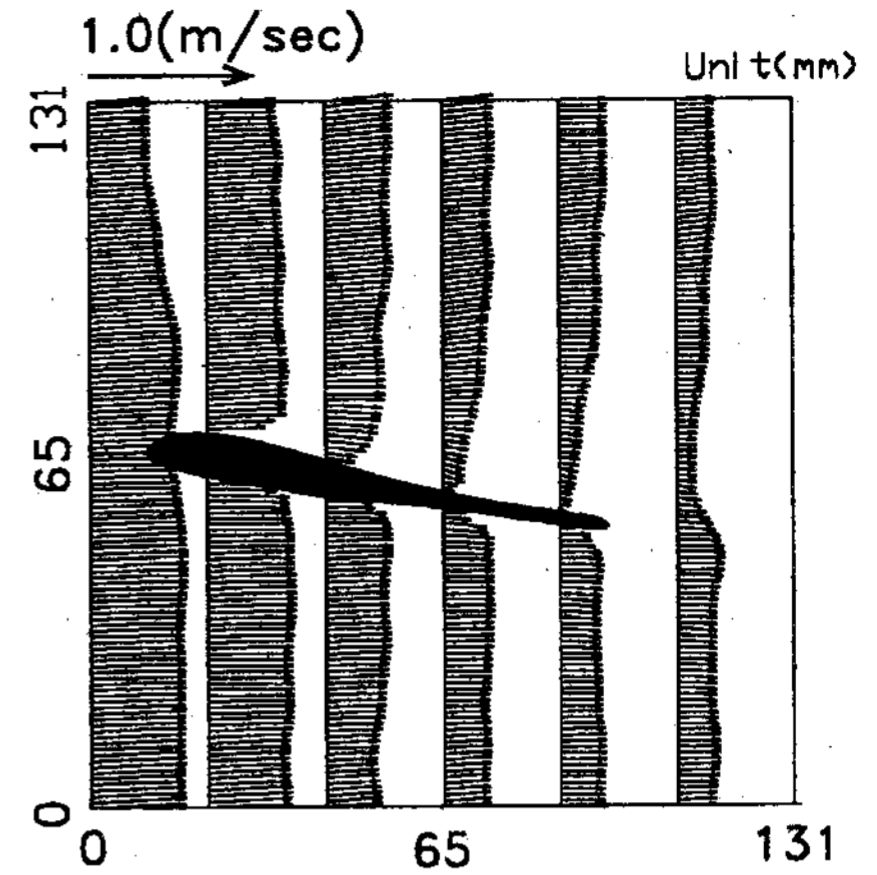


Fig. 8. Velocity Profiles ($\alpha=10^\circ$)

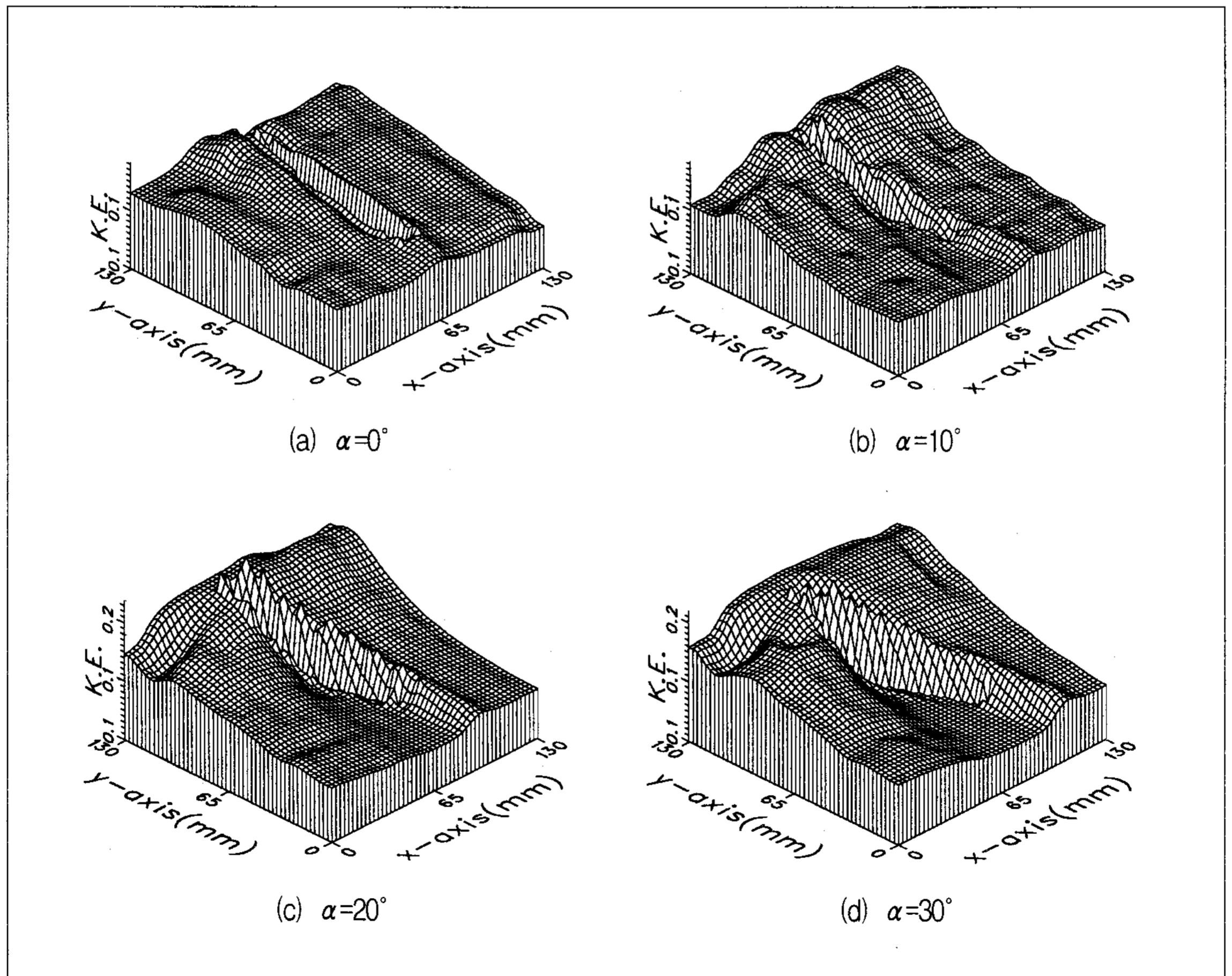


Fig. 9. Time-mean Kinetic Energy Distribution

화를 가능하게 하여 실험장치를 구성하였으며 정류장치로부터 균일한 유입 유속을 확보하였다. 익형은 각각의 영각(Angle of attack)이 각각 0° , 10° , 20° , 30° 를 선택하였으며 유입 유속은 10m/sec , Reynolds수는 5.8×10^4 로 하고 효과적으로 속도벡터를 산출하여 제반 유동특성을 검토하였다.

그 결과 순시 및 시간평균의 속도분포 익주변에 박리 현상을 관찰할 수 있었으며 영각이 증가할수록 전연부측으로 박리점이 일관되게 이동함을 알 수 있었다. 또한 시간평균 분포에서는 전연에서 후연으로 갈수록 운동에너지가 급격하게 약화되는 특성을 얻을 수 있었다. 향후에는 보다 다양한 단면에서 정압공에 의한 압력분포를 계측하여 체계적인 연구가 추가로 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Hira Niro, Theory of aerodynamic Characteristics, 1982, pp.35~60
2. Visualization Society of Japan, Handbook of Flow Visualization, Asakura Book Co. (Japanese), 1986
3. W. Merzkirch, Flow Visualization (2nd ed.), Academic Press Inc., 1987
4. W, J, Yang, Handbook of Flow Visualization, Hemisphere Pub. Co., 1989
5. 이영호, PIV에서의 계조치상호상관법의 개발, 대한기계학회 춘계학술대회 논문집2, '1995, pp.396~400.
6. 이영호, PIV에서의 보간 방법의 적용, 대한기계학회 춘계학술대회 논문집2, 1995, pp.49~56.