

직사각형 프리즘 주위의 유동구조에 대한 경계층 두께의 영향

지호성* · 김경천† · 이승홍** · 부정숙**
(2002년 1월 24일 접수, 2002년 4월 6일 심사완료)

Effect of Boundary Layer Thickness on the Flow Around a Rectangular Prism

Ho Seong Ji, Kyung Chun Kim, Seung Hong Lee and Jeong Sook Boo

Key Words: Flow Structure(유동구조), PIV(Particle Image Velocimetry, 입자영상유속계), Rectangular Prism(직사각형 프리즘), Effect of Boundary Layer Thickness(경계층 두께의 영향)

Abstract

Effect of boundary layer thickness on the flow characteristics around a rectangular prism has been investigated by using a PIV(Particle Image Velocimetry) technique. Three different boundary layers(thick, medium and thin) were generated in the Atmospheric Boundary Layer Wind Tunnel at Pusan National University. The thick boundary layer having 670 mm thickness was generated by using spires and roughness elements. The medium thickness of boundary layer($\delta=270$ mm) was the natural turbulent boundary layer at the test section floor with fairly long developing length(18 m). The thin boundary layer($\delta = 36.5$ mm) was generated on the smooth panel elevated 70cm from the wind tunnel floor. The Reynolds number based on the free stream velocity(3 m/s) and the height of the model(40 mm) was 7.9×10^3 . The mean velocity vector fields and turbulent kinetic energy distributions were measured and compared. The effect of boundary layer thickness was clearly observed not only in the length of separation bubble but also in the location of reattachment point. The thinner the boundary layer thickness, the higher the turbulent kinetic energy peak around the model roof became. It is strongly recommended that the height ratio between the model and the approaching boundary layer thickness should be encountered as a major parameter.

기호설명

H : 모형의 높이[mm]
 \bar{q}^2 : 난류운동에너지[m^2/s^2]
 Re_H : 레이놀즈수(프리즘높이 기준)
 Re_x : 국소레이놀즈수
 Re_δ : 레이놀즈수(경계층두께 기준)

x, y, z : 유동방향, 수평방향 그리고 수직방향 좌표

U, V : 유동방향, 수평방향 국소 평균유속 [m/s]

U_∞ : 자유유동속도[m/s]

u, v, w : 유동방향, 수평방향 그리고 수직 방향 난류 섭동성분[m/s]

u_* : 마찰속도[m/s]

δ : 경계층두께[mm]

δ^* : 배제두께[mm]

θ : 운동량두께[mm]

δ^*/θ : 형상계수

* 회원, 부산테크노파크 부산대분소 연구원
 † 책임저자 회원, 부산대학교 기계공학부, 기계기술연구소,
 E-mail : kckim@pusan.ac.kr
 TEL : (051)-510-2324, FAX : (051)-512-9835
 ** 회원, 부산대학교 기계공학부

τ_w : 벽면전단응력[N/m^2]

1. 서론

다양한 레이놀즈수의 범위내에서 직사각형 프리즘 주위의 유동구조에 대한 연구는 많은 선행 연구자들에 의해 수행되었다.⁽¹⁾ 하지만 대부분의 연구는 균일 유동의 접근 유동장과 경계층 유동의 접근 유동장에 놓인 직사각형 프리즘 주위의 유동구조에 대한 연구들이다.^(1,2) 한편, 저층 건물 주위의 유동특성과 같은 풍공학적인 연구는 대기경계층을 모사해야 하므로 두꺼운 경계층을 형성시킨 풍동^(3,4)을 이용하거나 원형을 직접 자연적인 대기경계층에 위치시켜 실험을 수행한다.⁽⁵⁾ 그동안 경계층 내부에 놓인 저층건물 형상의 구조물 주위에 대한 풍동실험이 다양하게 수행되었으나, 경계층의 두께의 변화가 구조물 주위의 유동특성에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 체계적인 연구는 거의 수행되지 않았다.

한편, 유동장의 측정기법에 있어서도 종래의 열선풍속계나 레이저 도플러 유속계를 이용한 한 점 측정기법을 이용한 연구는 많이 수행되었지만 최근 유동장 전체를 순간적으로 포착할 수 있는 입자영상유속계 기법을 풍공학 연구에 적용한 사례는 매우 드문 실정이다. Poitras⁽⁶⁾ 등은 지붕의 형상 변화에 따른 유동 구조를 파악하기 위한 실험을 수동과 PIV 기법을 이용하여 수행하였다. 그러나 난류운동에너지분포등 난류특성치에 대한 결과는 얻지를 못하였다. Kim 등은 경사지게 접근하는 유동장에 놓인 직사각형 프리즘의 상면에서 발생하는 원추형 와의 유동구조를 입자영상유속계 기법을 이용하여 규명하였다.⁽⁷⁾ Ji 등은 두꺼운 난류경계층내에 놓인 모형에 대하여 측정단면의 변화에 따른 유동구조를 PIV 기법을 이용하여 규명하였다.⁽⁸⁾

Hosker는 직사각형 프리즘 주위의 기초적인 유동의 특징에 대하여 재정립하였다.⁽¹⁾ 그럼에도 불구하고 유동이 난류구조를 지니고 있고 그리고 3차원의 유동구조를 지니고 있는 후류영역에서의 상세한 유동구조는 아직까지 규명된바가 없다. 실질적인 풍공학의 적용에 있어서, 대기경계층에서 관찰되는 높은 레이놀즈수의 유동의 물리적인 모사가 어렵기 때문에 대기경계층 풍동을 이용하

여 적절한 영역의 유동을 모사하여 실험을 수행해야 한다.

본 연구는 PIV 기법을 이용하여 경계층 두께가 건물 모형주위의 유동구조에 미치는 영향을 관찰하고자 한다. 연구 결과를 통하여 얻어진 난류운동에너지 분포와 같은 모형 주위의 난류정보는 모형 표면에서의 풍하중의 평가 그리고 모형 주위에서의 난류혼합과 연관이 있는 물질 확산에 대한 정보를 제공할 수 있다.

2. 실험장치와 방법

2.1 실험장치의 구성

본 실험은 부산대학교에 있는 개방형의 대형 대기 경계층 풍동에서 수행되었다. 풍동의 주요 제원은 시험구간의 크기가 $2.1 \times 2.1 \times 20m(W \times H \times L)$ 이다. 실험에는 세가지 형태의 접근 유동장이 사용되었고, 그것은 삼각와류발생기(H 950 mm \times W 80 mm, 4개)와 거칠기 요소(체인, Φ 2.5 mm, 300 mm 간격)를 조합하여 생성한 가장 두꺼운 경계층, 풍동의 충분한 길이에 의하여 자연스럽게 생성되는 중간 두께의 경계층, 그리고 풍동의 바닥으로부터 70 cm 수직으로 상승시킨 영역에서의 얇은 경계층이다. Fig. 1은 가장 두꺼운 경계층 형성을 위하여 삼각와류발생기와 거칠기 요소를 조합하여 구성한 실험장치의 개략도이다.

Fig. 2는 직사각형 프리즘 주위의 유동구조 파악을 위한 실험장치 구성의 개략도를 나타낸 것이다. 적용된 직사각형 프리즘의 크기는 $140 \times 95 \times 40$ mm(L \times W \times H)이다. 프리즘은 레이저광의

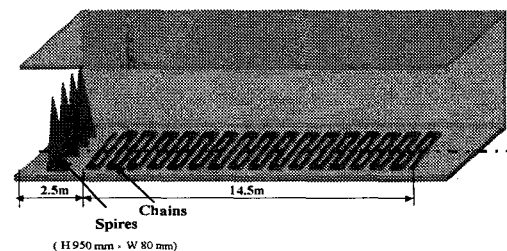


Fig. 1 Schematic of boundary layer generation system

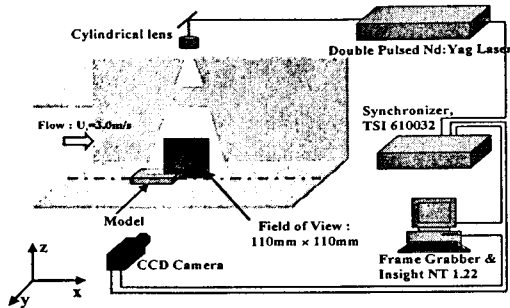


Fig. 2 Schematic of experimental set-up

반사를 최소화하기 위하여 유리로 제작하였다. 대부분의 PIV 실험에 적용되는 추적입자는 비유독성, 비부식성, 비연마성, 비휘발성이어야 하고 화학적으로 불활성이어야 한다. PIV 실험에 있어서 이와 같은 요구조건을 만족하는 추적입자는 많으나, 본 실험에 있어서 추적입자는 올리브 기름의 액적을 적용하였다. 올리브 기름 액적의 경우 선행연구자들의 연구를 통하여 보고된 바와 같이, 풍동을 이용한 실험과 같은 기체의 유동에 적절한 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 의 입경을 지니고 있다.⁽⁹⁾

추적입자의 생성은 두 개의 라스킨 노즐 챔버 (각 챔버 당 라스킨 노즐 6개)를 제작하여 실험에 적용하였다. 챔버의 제작 시 1개의 라스킨 노즐에서 배출되는 공기의 반경을 고려하여 중첩이 발생되지 않도록 배치하였으며, 입구부에는 분배기를 통하여 압축공기가 6개의 노즐에 균일하게 공급되도록 하였다.

프리즘은 풍동의 입구로부터 18 m 하류에 위치시켰고, 레이저광은 풍동의 상측에 설치된 구형렌즈를 통하여 평면 광으로 만들어져 모형 지붕의 상측에 수직으로 조사하였다. 그리고 CCD 카메라는 Fig. 2에서 보여지듯이 조사된 평면 레이저광에 대해 수직으로 설치하였다.

2.2 실험방법

본 실험에 적용되어진 PIV 시스템은 펄스당 최대출력이 200 mJ인 이중펄스(double pulsed) Nd-Yag 레이저, 고해상도 CCD 카메라, 동기화장치(TSI 610032) 그리고 펜티엄 컴퓨터로 구성되어 있다. 레이저빔은 반사경과 구형의 렌즈를 통하여

얇은 평면 광으로 형성되어 시험구간에 조사된다. 화상자료의 획득을 위하여 $1\text{K} \times 1\text{K}$ 의 해상도를 가지는 PIVCAM 10-15 CCD 카메라를 사용하였다. 가장 두꺼운 경계층의 유동정보를 얻기 위하여 $28 \text{ cm} \times 28 \text{ cm}$ 의 평면영상을 획득하였으며, 적용된 렌즈는 18-108 mm 광각렌즈를 사용하였다. 중간 두께의 경계층과 얇은 경계층의 경우 $11 \text{ cm} \times 11 \text{ cm}$ 의 평면영상을 획득하였으며, 적용된 렌즈는 80-200 mm 망원렌즈를 사용하였다. 유동 정보 획득을 위한 두 화상간의 시간간격은 가장 두꺼운 경계층, 중간 두께의 경계층 그리고 얇은 경계층의 경우 각각 $200 \mu\text{s}$, $150 \mu\text{s}$ 그리고 $150 \mu\text{s}$ 이다. 획득한 화상은 실험 case당 가장 두꺼운 경계층, 중간 두께의 경계층 그리고 얇은 경계층의 경우 각각 2040 장(속도장 1020 개), 1020 장(속도장 510 개) 그리고 1020 장(속도장 510 개)를 획득하여 후처리하였다. 그리고 경계층 영역에 대한 실험이 풍동 바닥면에 대하여 수직방향으로 3개 영역에 걸쳐 화상을 획득하였다.

PIV 실험시 입자의 위치와 화상의 위치사이의 비선형 관계에 의해 야기되는 왜곡의 보정은 수행된 실험의 결과의 정확성을 높인다.⁽¹⁰⁾ 작은 화상의 획득에 의한 유동정보는 왜곡이 발생한다 할지라도 왜곡의 정도가 무시할 정도이다. 그러나 거대화상의 경우 왜곡의 정도는 실험 결과의 정확성에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 거대화상의 획득 시 발생하는 왜곡은 다음의 식 (1)에 의하여 보정을 하였다.

$$\text{Image}_{x,y} = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + a_6x^3 + a_7x^2y + a_8xy^2 + a_9y^3 \quad (1)$$

직사각형 프리즘 주위의 유동장 정보를 얻기 위하여 적용된 렌즈는 80-200 mm 망원렌즈를 사용하여 $11 \text{ cm} \times 11 \text{ cm}$ 의 평면영상을 획득하였다. 프리즘 주위의 유동 정보 획득의 경우 두 화상간의 시간간격은 $150 \mu\text{s}$ 이다. 화상획득은 실험 케이스당 1020 장(속도장 510 개)을 획득하여 후처리하였다. 속도벡터의 계산과 후처리는 자체 개발한 PIV-ACE V 1.0을 이용하였고, 속도벡터의 추출은 2 화상 상호상관기법을 사용되었다.

속도계산을 위한 탐색영역의 크기는 24×24 픽셀로 선정하였고, 50 %의 중첩이 허용되었다. 속

도백터의 격자 수는 7,056 개이고 백터간의 공간 해상도는 1.3 mm이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 접근유동

Fig. 3은 풍동의 입구로부터 18m 떨어진 곳에서 측정된 접근유동장의 정보를 표현한 것이다. 국소 레이놀즈수(Re_x)는 임계값인 5×10^5 보다 큰 3.36×10^6 이고, 경계층 두께 ($\delta = 650$ mm)에 대한 레이놀즈수(Re_δ)는 1.1×10^5 이다. 그리고 배제두께(δ^*)와 운동량 두께(Θ)는 각각 117.4 mm와 78 mm로 측정되었다. 따라서 형상계수(δ^*/Θ)는 층류인 경우의 형상계수값 2.59보다 매우 작은 1.50이었다. 이 값은 실험에 적용된 경계층 유동이 난류경계층 영역이라는 것을 의미한다.

중간 두께의 경계층의 경우 경계층 두께 ($\delta = 270$ mm)에 대한 레이놀즈수(Re_δ)는 4.32×10^4 이다. 그리고 배제두께(δ^*)와 운동량 두께(Θ)는 각각 41.3 mm와 30 mm로 측정되었다. 따라서 형상계수(δ^*/Θ)는 층류인 경우의 형상계수값 2.59보다 매우 작은 1.37이었다. 이 값은 실

험에 적용된 경계층 유동이 난류경계층 영역이라는 것을 의미한다.

얇은 경계층의 경우 경계층 두께 ($\delta = 36.5$ mm)에 대한 레이놀즈수(Re_δ)는 6.7×10^3 이다. 그리고 배제두께(δ^*)와 운동량 두께(Θ)는 각각 7.6 mm와 2.46 mm로 측정되었다. 따라서 형상계수(δ^*/Θ)는 층류인 경우의 형상계수값 2.59보다 큰 3.09로 나타났다. 이 값은 실험 적용된 경계층 유동이 층류경계층 영역이라는 것을 의미한다. 표 1은 접근 경계층에 대한 정보를 상세히 표현한 것이다. 본 연구에 적용된 접근 유동장과 모형의 비를 비교하여보면 두꺼운 경계층일 경우 멱법칙 지수(α)는 0.24를 나타내며, 적용된 유동이 도시 근교지역의 경계층에 가깝다는 것을 의미한다. 도시근교 지역의 실질적인 경계층은 약 366m~400m 정도이다. 따라서 모형의 실제 높이는 약 24.6m로 나타난다. 중간두께의 경계층의 경우 멱법칙 지수(α)의 값이 0.17을 나타내며, 적용된 유동이 광활한 개활지 유동을 나타낸다. 이때 실질적인 경계층의 두께는 약 276 m이다. 그러므로 모형의 실제높이는 약 40.9 m이다.

3.2 평균속도분포

접근 유동장의 변화에 의한 저층 건물 모형 주위 유동구조를 확인하기 위한 실험을 PIV 기법을 이용하여 모형의 중심단면에 대하여 수행하였다.

Figs. 4~6은 가장 두꺼운 경계층에 놓인 사각 프리즘의 중심단면에서 획득한 속도분포를 유선과 수직방향에 대한 속도분포로 표현한 것이다. Fig. 4는 모형 주위의 평균유동분포를 유선으로 표현한 것이다. Fig. 5는 모형의 상층의 평균유동을 수직방향에 대한 속도분포로 표현한 것이다. Fig. 6은 모형의 후류영역의 평균유동을 수직방향에 대한 속도분포로 표현한 것이다. 유선으로 표현한 결과를 살펴보면 건물 모형의 전면 모서리와 후면 모서리에서 발생하는 유동의 박리가 명백히 확인되었다. 이는 많은 선행연구자들에 의해 지적된 것처럼 유동장에 놓인 물체의 급격한 형상변화는 유동의 박리를 유발한다는 것과 잘 일치된다. 그리고 재부착 위치는 $\partial u / \partial y = 0$ 인 지점을 확인하므로 명백하게 확인되어질 수 있다. 재부착 위치는 모형의 중심에 대한 실험의

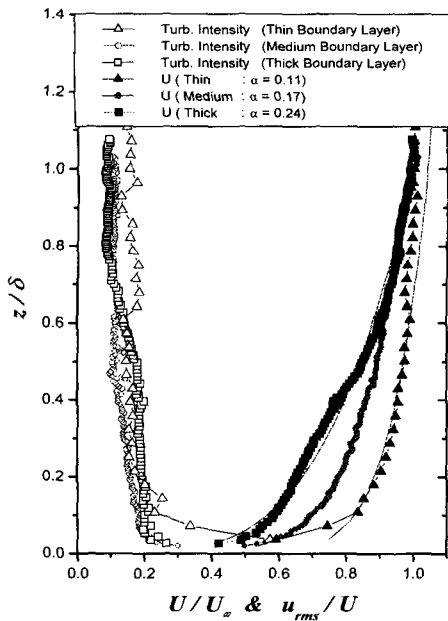


Fig. 3 Approaching boundary layer

Table 1 Boundary layer characteristics & PIV parameters

Case	Thick	Medium	Thin
U_∞	3 m/s	3 m/s	3 m/s
Time interval	200 μ s	150 μ s	150 μ s
# of ensemble	1,020	510	510
Field of view	280mm \times 280mm	110mm \times 110mm	110mm \times 110mm
mm/pixel	0.27	0.11	0.11
# of vector	3,969	7,056	7,056
Interrogation window	24 \times 24	24 \times 24	24 \times 24
δ	650 mm	270 mm	36.5 mm
δ^*	117.4 mm	41.3 mm	7.6 mm
θ	78 mm	30 mm	2.46 mm
Shape factor	1.50	1.37	3.09
Re_δ	1.1×10^5	4.32×10^4	6.7×10^3
u_*	0.085 m/s	0.092 m/s	0.14 m/s
τ_w [N/m ²]	8.67×10^{-3}	1.02×10^{-2}	2.4×10^{-2}
Re_H	7.9×10^3	7.9×10^3	7.9×10^3

경우 지붕표면에서는 약 1.01H, 후류 영역에서는 5.43H(모형 끝단으로부터 1.93H 떨어진 지점)에서 각각 발생되었다. 재순환영역의 경우는 건물의 전면부와 지붕표면의 전면부 그리고 후류영역에서 재순환이 발생되는 것이 명백히 확인되었다.

Figs. 7~9는 중간 두께의 경계층에 놓인 사각 프리즘의 중심단면에서 획득한 속도분포를 유선과 수직방향에 대한 속도분포로 표현한 것이다. Fig. 7은 모형 주위의 평균유동분포를 유선으로 표현한 것이다. Fig. 8은 모형의 상측의 평균유동을 수직방향에 대한 속도분포로 표현한 것이다. Fig. 9는 모형의 후류영역의 평균유동을 수직방향에 대한 속도분포로 표현한 것이다. 유선으로 표현한 결과를 살펴보면 유동의 박리와 재순환 영역(모형의 정면, 지붕 표면의 모서리 영역 그리고 후류영역)이 명백히 관찰된다. 평균속도분포의 결과를 통하여 $\partial u / \partial y = 0$ 인 지점을 추적하므로 명백히 확인되어진다. 지붕표면에서의 재부착 위

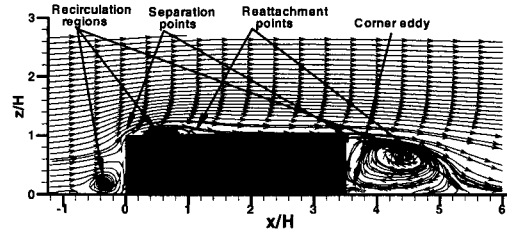


Fig. 4 Streamlines from ensemble averaged velocity field(thick boundary layer)

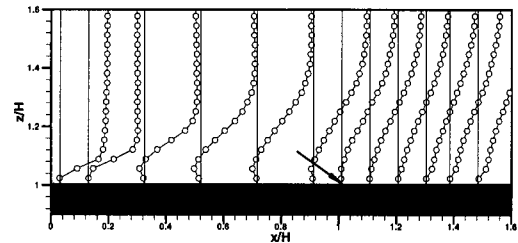


Fig. 5 Ensemble averaged velocity field (thick boundary layer)

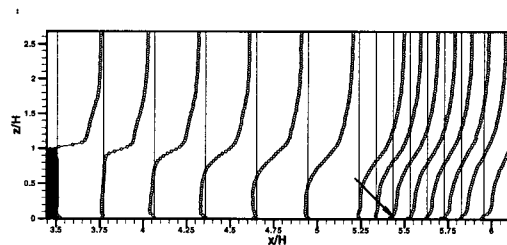


Fig. 6 Ensemble averaged velocity field (thick boundary layer)

치는 약 1.18H위치에서 발생하였으며, 후류영역에서의 재부착은 5.56H에서 발생되었다.

Figs. 10~12는 얇은 경계층에 놓인 사각 프리즘의 중심단면에서 획득한 속도분포를 유선과 수직 방향에 대한 속도분포로 표현한 것이다. Fig. 10은 모형 주위의 평균유동분포를 유선으로 표현한 것이다. Fig. 11은 모형의 상측의 평균유동을 수직방향에 대한 속도분포로 표현한 것이다.

Fig. 12는 모형의 후류영역의 평균유동을 수직방향에 대한 속도분포로 표현한 것이다. 유선으로 표현한 결과를 살펴보면 유동의 박리와 재순환 영역(모형의 정면, 지붕 표면의 모서리 영역 그리고 후류영역)이 명백히 관찰된다. 평균속도분

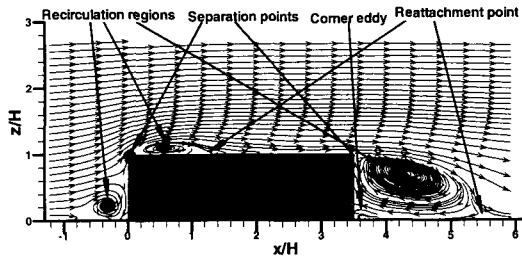


Fig. 7 Streamlines from ensemble averaged velocity field (medium boundary layer)

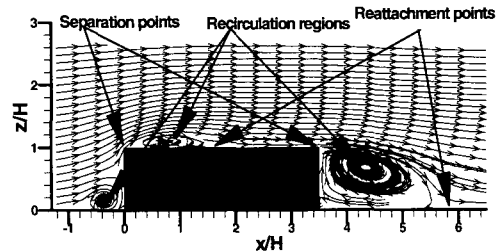


Fig. 10 Streamlines from ensemble averaged velocity field (thin boundary layer)

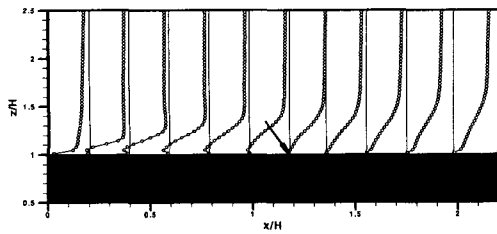


Fig. 8 Ensemble averaged velocity field (medium boundary layer)

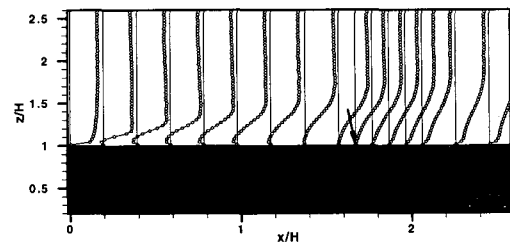


Fig. 11 Ensemble averaged velocity field (thin boundary layer)

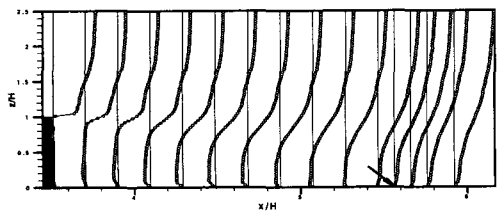


Fig. 9 Ensemble averaged velocity field (medium boundary layer)

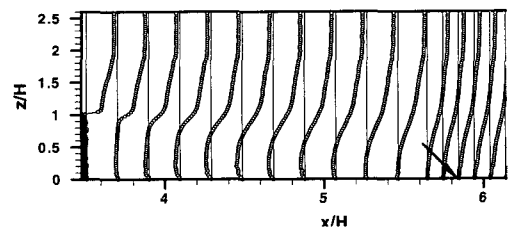


Fig. 12 Ensemble averaged velocity field (thin boundary layer)

포의 결과를 통하여 $\partial u / \partial y = 0$ 인 지점을 추적하므로 명백히 확인되어진다. 지붕표면에서의 재부착 위치는 약 $1.57H$ 위치에서 발생하였으며, 후류영역에서의 재부착은 $5.84H$ 에서 발생되었다. Figs. 13, 14는 접근 유동장 변화에 따른 유선분포의 변화를 확인하기 위하여 비교하여 표현한 결과이다. 모형에 접근하는 경계층 두께에 따른 비교를 통하여, H/δ 의 값이 증가할수록 지붕에서의 재순환 영역의 크기는 증가하며($0.19H \rightarrow 0.21H \rightarrow 0.27H$), 지붕에서의 재부착 위치는 유동의 하류 방향으로 이동하였다($1.01H \rightarrow 1.18H \rightarrow 1.57H$). 그리고 모형의 후류영역에서의 재순환 영역의 크기는

증가하며, 재부착 위치는 하류로 이동하였다($5.43H \rightarrow 5.56H \rightarrow 5.84H$).

모형 정면의 정체점의 위치는 경계층 두께가 얇아짐에 따라 모형의 바닥면으로 이동하였다($0.77H \rightarrow 0.67H \rightarrow 0.56H$). 이는 경계층 두께에 대한 모형의 높이의 비가 증가할수록 건물모서리에 접근하는 주 유동 방향의 속도가 빠르기 때문에 발생하는 강한 주 유동 속도의 섭동에 의한 것으로 판단된다.

3.3 난류 운동에너지 분포

난류 운동 에너지는 난류 섭동 거동에 의해 야

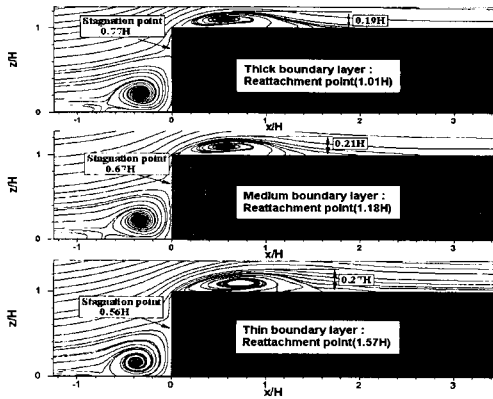


Fig. 13 Comparison of streamlines by approaching boundary layer (windward side)

기되므로 평균 난류 운동에너지 분포는 지붕의 모서리에서 발생하는 유동에 관한 동역학적 정보를 제공한다. 난류 운동 에너지는 각각의 순간유동장에서 평균 유동장을 빼고 남은 순간 섭동속도장으로부터 계산된다. 주 유동방향(x축)의 속도 섭동성분과 수직방향(z축)의 속도 섭동성분만을 측정하였으므로 난류 운동 에너지 분포는 다음의 식 (2)에 의해 구한다.

$$\begin{aligned} \overline{q^2} &= \frac{1}{2} (\overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2}) \\ &= \frac{3}{4} (\overline{u^2} + \overline{w^2}) \end{aligned} \quad (2)$$

단, $\overline{v^2}$ 은 $0.5(\overline{u^2} + \overline{w^2})$ 으로 가정한다.

Figs. 15~18은 U_∞^2 로 무차원화된 건물 모형 주위의 난류운동에너지 분포를 나타낸 것이다. Fig. 15는 가장 두꺼운 경계층에 위치한 모형의 중심 단면에서의 난류운동에너지 분포를 표현한 것이다. Fig. 16은 중간 두께의 경계층에 위치한 모형의 중심단면에서 획득한 난류운동에너지 분포이다. 난류 운동에너지분포에서 모서리 영역(36%)보다는 재순환 영역의 난류운동에너지(46%)가 약 10%더 높은 값을 지니고 있다. 이는 재순환 영역에서의 순간유동장에서 관찰되어지는 와 운동에 의한 속도 섭동성분에 의한 난류운동에너지 분포에 지배적인 역할을 하는 것으로 판단된다. Fig. 17은 얇은 경계층에 위치한 모형의 중심단면에서 획득한 난류운동에너지 분포이다.

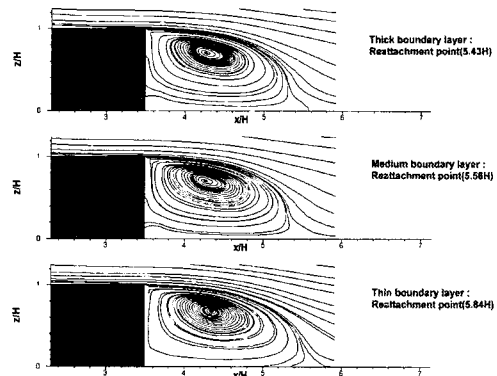


Fig. 14 Comparison of streamlines by approaching boundary layer (leeward side)

Fig. 18은 접근 경계층 두께의 변화에 따른 모형의 중심단면에서 난류운동에너지 분포의 비교를 표현한 것이다. 중간두께의 경계층의 경우, 정면의 재순환 영역에서 42%를 나타내고 있으며, 피이크치는 건물 지붕의 재순환 영역(0.4H위치)에서 약 69%로 피이크치를 나타내고 있다. 재부착이 발생하는 약 1H의 위치에서 55%를 나타내고 있다. 그리고 건물의 하류 박리 위치인 3.5H에서 25%, 후류 재순환 영역인 5H의 위치에서 25%를 나타내고 있다. 균일 유동장에 대한 결과는 정면 재순환 영역에서 59%를 나타내고 있다. 피이크치는 건물 지붕의 재순환 영역(0.4H위치)에서 약 76%로 피이크치를 나타내고 있다. 재부착이 발생하는 약 1H의 위치에서 67%를 나타내고 있다. 그리고 건물의 하류 박리 위치인 3.5H에서 33%, 후류 재순환 영역인 5H의 위치에서 33%를 나타내고 있다. 경계층 두께의 변화에 따른 난류운동에너지 분포를 비교하여보면, 정면의 경우 재순환 영역의 규모에 있어서 많은 차이는 없으나, 난류운동에너지 크기는 중간 두께의 경계층에서의 결과와 얇은 경계층에서의 결과의 경우 가장 두꺼운 경계층에서의 결과에 비하여 각각 약 1.2배, 1.7배 증가하는 것을 확인할 수 있다. 모형 지붕에서의 재순환 영역에서는 중간 두께의 경계층에서의 결과와 얇은 경계층에서의 결과의 경우 가장 두꺼운 경계층에서의 결과에 비하여 각각 1.2배, 1.3배 증가한다. 지붕의 재부착 위치 근처에서는 중간 두께의 경계층에서의 결과와 얇은 경계층에서의 결과의 경우 가장 두꺼운 경계층에

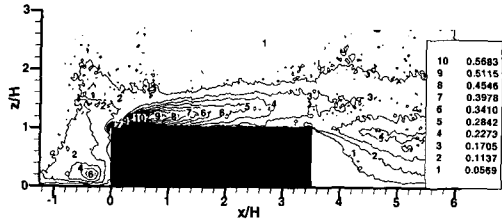


Fig. 15 Turbulent kinetic energy distribution (thick boundary layer)

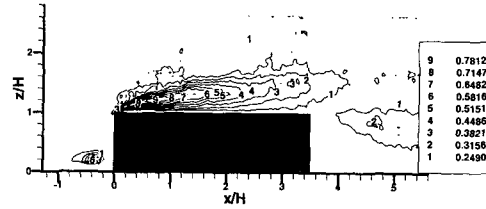


Fig. 17 Turbulent kinetic energy distribution (thin boundary layer)

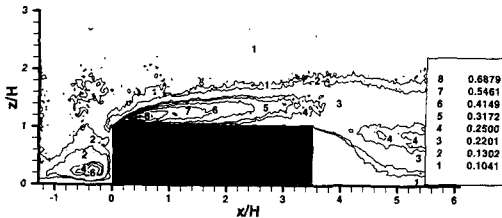


Fig. 16 Turbulent kinetic energy distribution (medium boundary layer)

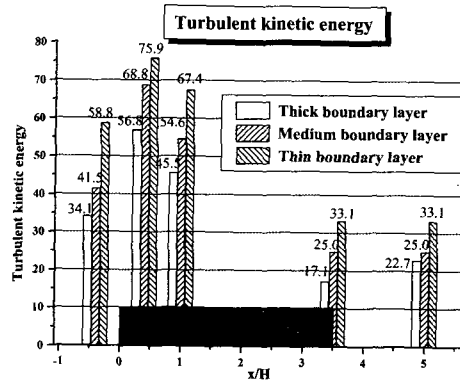


Fig. 18 Comparison of turbulent kinetic energy by approaching boundary layer

서의 결과에 비하여 각각 1.2배, 1.4배 증가한다. 모형의 하류영역에서의 박리위치에서는 중간 두께의 경계층에서의 결과와 얇은 경계층에서의 결과의 경우 가장 두꺼운 경계층에서의 결과에 비하여 각각 1.5배, 1.9배 증가한다. 그리고 후류의 재순환 영역에서는 중간 두께의 경계층에서의 결과와 얇은 경계층에서의 결과의 경우 가장 두꺼운 경계층에서의 결과에 비하여 각각 1.1배, 1.5배 증가한다. 이는 건물 모형에 대한 경계층 두께의 비(H/δ)가 증가할수록 난류운동에너지가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 균일 유동의 경우 유동의 박리에 의한 전단층의 생성에 기인하는 것으로 판단된다.

4. 결론

다양한 접근경계층에 놓인 직사각형 프리즘 주위의 유동구조를 PIV 기법을 이용한 실험을 수행하여 얻어진 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 접근 유동장의 변화에 따른 비교를 통하여, 경계층 두께에 대한 모형의 높이의 비가 증가할수록 중심단면에서 재부착 위치는 하류로 이동하였다(지붕 표면; 1.01H→1.18H→1.57H, 후류영역;

5.43H→5.56H→5.84H). 지붕에서의 재순환 영역의 크기는 증가하였다(0.19H→0.21H→0.27H). 그리고 정체점의 위치는 바닥면으로 이동하였다(0.77H→0.67H→0.56H).

(2) 경계층 두께에 대한 모형의 비가 증가할수록 평균 난류 특성치가 증가하였다. 난류운동에너지는 건물 지붕의 재순환 영역에서 피크치를 나타내며, 후류영역에 비하여 약 2.5배 높은 값을 지니고 있다.

(3) 접근하는 유동장의 변화에 따른 비교의 결과, 난류운동에너지의 경우, 피크치는 건물 지붕의 재순환 영역에서 발생되며 얇은 경계층에서의 경우가 두꺼운 경계층의 경우에 비하여 약 1.3배 높은 값을 나타낸다. 경계층 두께에 대한 모형 높이의 비가 난류운동에너지 생성에 가장 지배적인 인자로 작용하는 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) Hosker R. P., Jr., 1984, "Flow and Diffusion Near Obstacles, in Darry Randerson (Eds.)," Atmospheric Science and Power Production, DOE/TIC-27601, U.S. Department of Energy.
- (2) Akins R. E. and Reinhold T. A., 1998, "Laser Doppler Velocimeter Measurements of Separated Shear Layer on Bluff Bodies," *J. Wind & Eng. Ind. Aerodyn.* Vol. 74-76, pp. 455~461.
- (3) Banks D., Meroney R. N., Sarkar P. P., Zhao Z. and Wu F., 2000, "Flow Visualization of Conical Vortices on Flat Roofs with Simultaneous Surface Pressure Measurement," *J. Wind. Eng. & Ind. Aerodyn* Vol. 84, pp. 65~85.
- (4) Ham H. J. and Bienkiewicz B., 1998, "Wind Tunnel Simulation of TTU Flow and Building Roof Pressure," *J. Wind. Eng. & Ind. Aerodyn* Vol. 77&78, pp. 119~133.
- (5) Cheung J. C. K., Holmes J. D., elbourne W. H., Lakshmanan N. and Bowditch P., 1997, "Pressures on a 1/10 Scale Model of the Texas Tech building," *J. Wind Eng. & Ind. Aerodyn.* Vol. 69-71, pp. 529~538.
- (6) Poitras G., Brizzi L. E., Pecheux J. and Gagnon Y., 2000, "The Study of Fluid Flows in the Immediate Vicinity of Building Models," *9th Int. Symp. on Flow Visualization*, pp. 246-1~246-10.
- (7) 김경천, 지호성, 성승학, 2001, "직사각형 프리즘 상면에서 발생하는 원추형 와의 유동구조," 대한기계학회논문집 B권, 제25권, 제5호, pp. 713~721.
- (8) 지호성, 김경천, 추재민, 이석호, 성승학, 2001, "두꺼운 난류경계층 내부에 놓인 직사각형 프리즘 주위의 유동구조," 대한기계학회논문집 B권, 제26권, 제4호, pp. 578~586.
- (9) Melling A., 1997, "Tracer Particles and Seeding for Particle Image Velocimetry," *Meas. Sci. & Technol.* Vol. 8, pp. 1406~1416.
- (10) Soloff S. M., Adrian R. J. and Liu Z. C., 1997, "Distortion Compensation for Generalized Stereoscopic Particle Image Velocimetry," *Meas. Sci. & Technol.* Vol. 8, pp. 1441~1454.