

다양한 영각을 갖는 2차원 장방형 각주의 공력특성에 관한 연구

송근택* · 김유택** · 이영호***

A Study on Aerodynamic Properties of Two-Dimensional Rectangular Prism in Various Angles of Attack

K-T Song* · Y-T Kim** · Y-H Lee***

Key words : Rectangular Prism(장방형 각주), Aspect Ratio(변장비), Angle of Attack(영각), Finite Difference Method(유한차분법), Irregular Grid(부등격자)

Abstract

The present study is aimed to reveal macroscopic aerodynamic characteristics of two-dimensional rectangular prisms with three aspect ratios($D/H=1, 2$ and 3) and six angles of attack($0^\circ, 10^\circ, 13.5^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ and 45°). The Reynolds number is fixed as 1×10^4 . The SOLA-based revised finite difference method for the conservation form on irregular grid was adopted as a new numerical method.

Instantaneous flow patterns at 45° in case of $D/H=2$ and $D/H=3$ show larger asymmetric wake development which is closely related to the sharp decrease of drag coefficients at higher angles of attack range. Vorticity propagation into enlarged wake region is conjectured to be responsible for this phenomenon.

The Strouhal number is found to be sensitive to the angle of attack at higher aspect ratios($D/H=2$ and 3).

1. 서 론

장방형 각주는 뭉툭한(bluff) 형상을 갖는 물체로서 주변에 역류 및 박리영역을 형성하며 후류에 주기성을 갖는 규칙적인 와열이 형성되어 매우 복잡한 유동특성을 나타낸다. 그러므로 후류에 생성되는 와열의 방출과 특성을 명확히 규명하는 것은 이들의 유동형상을 알기 위한 유체역학적 관심과

더불어 공학적으로는 물체후단의 물질운송 및 확산상태를 다루기 위하여 혹은 후류에 의한 물체의 공력특성을 알기 위한 자료로서 큰 의미를 가진다.

항력과 양력의 변동, 물체주변 압력분포의 시공간적 변화 그리고 방출와의 탁월주파수를 나타내는 스트로할수(Strouhal number), 이와 같은 외부류의 공력학적 특성을 연구하는 비정상 bluff body 유동은 고유의 복잡한 유동 메커니즘^[1]의 이유로

* 한국해양대학교 대학원 기계공학과
** 한국해양대학교 해사대학 기관시스템공학부
*** 한국해양대학교 공과대학 기계·정보공학부

많은 연구자들로부터 큰 관심을 끌어왔다.

지금까지 발표된 연구결과를 살펴보면 실험에 있어서는 Okajima^[2]가 다양한 변장비를 갖는 2차원 각주에서의 스트로할수의 변화를 알기 위해 넓은 범위의 레이놀즈수에 걸친 실험을 통하여 체계적인 연구결과를 보고하고 있고, Lee^[3] 및 Kwok^[4]은 난류유동장에서의 난류에 의한 영향 및 영각변화에 따른 유동특성을 밝히고 있다. 또한 Sakamoto-Oiwake^[5]는 난류경계층에서 2차원 각주에 미치는 변동압력을 유동장이 급변하는 직각부 근방까지 계측한 결과를 보이고 있다. Igarashi^[6]는 영각 0°의 경우에 장방형 각주의 변장비를 바꾸어서 공력특성을 검토하였다. 수치해석에 있어서는 Davis-Moore^[7]가 대류항의 2차정도(accuracy)의 풍상차분(upwind difference)인 QUICK 스킴을 적용하여 레이놀즈수 2800까지 계통적인 계산을 행하여 자신의 실험결과와 비교하였으나 스트로할수나 항력계수의 값을 다른 연구결과보다 전반적으로 크게 평가하고 있으며 항력계수 및 양력계수의 산출에 있어서 물체면에서의 전단성분을 무시하고 압력성분만을 고려한 점이 지적되고 있다.

최근에는, 특히 LES에 있어서, 영각 0에 대한 2차원과 3차원 장방형 각주의 CFD적용의 체계적인 연구가 보고되었다.^[9] Okajima^[10]는 다양한 영각에 대한 평판 유동의 공역학적 특성을 실험적 방법으로 연구하였다. 그러나 고레이놀즈수에서 다양한 영각과 변장비에 따른 유동의 공역학적 거동의 상세한 연구는 아직 보고된 바가 없다.

본 연구는 3가지의 변장비 (D/H=1, 2, 3) 와 6가지의 영각 (0°, 10°, 13.5°, 20°, 30°, 45°) 에 대한 2차원 장방형 각주의 전반적인 공력특성을 규명하는데 목표를 두었다. 대상 유동장의 레이놀즈수는 장방형 등의 각형 물체의 공력특성이 넓은 레이놀즈수의 범위에서 큰 변화가 없기 때문에 실험결과와의 비교가 용이한 레이놀즈수 10⁴을 채택하였다.

수치해석기법으로는 SOLA(Solution Algorithm)에 기초한 유한차분법이 채택되었다. 계산결과, 특정 영각 및 변장비에서 공력특성이 급격히 변화함을 알 수 있었다.

2. 수치 해석

2.1 지배방정식

유체의 물리적 현상을 기술하는 지배방정식인 Navier-Stokes방정식은 연속체 유동 중 어느 한 점을 중심으로 유체입자의 운동을 표현하는 편미분방정식으로 구성되어 있다. 이 경우 복잡한 형상의 물체에 대해서는 해석적인 해가 얻어지기 어려우며 다른 방법이 필요하다.

비압축성, 비정상 점성흐름에 대하여 직각좌표계상의 2차원 Navier-Stokes방정식과 연속방정식을 보존형으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u \cdot u}{\partial x} + \frac{\partial v \cdot u}{\partial y} \\ = -\frac{\partial p}{\partial x} + g_x + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial u \cdot v}{\partial x} + \frac{\partial v \cdot v}{\partial y} \\ = -\frac{\partial p}{\partial y} + g_y + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \tag{3}$$

여기에서 압력 p는 밀도 ρ로 나눈 값으로 만일 변수를 무차원화하는 경우, 대표속도 U(=1)을 사

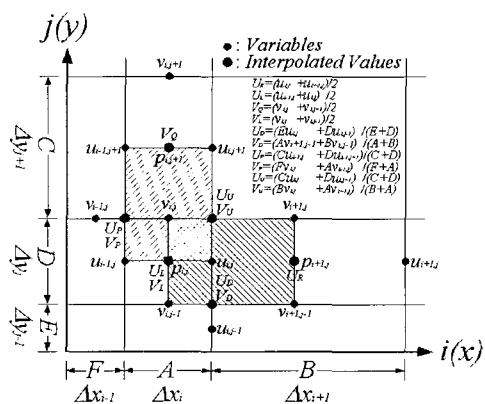


Fig. 1 Variable Allocation on Irregular Grid

용하여 $p/\rho U^2$ 의 형태로 되는 경우에는 $2p$ 의 값이 그대로 공력계수의 계산에 이용된다.

Fig. 1과 같은 변수분포를 갖는 부등간격 격자상에서 차분근사를 행하기로 한다. 본 연구에서는 수치안정성을 유지하기 위해 풍상차분을 사용하며, 보존형의 스킴중에서 MAC법의 중심차분과 부분도너셀(partial-donor cell)의 풍상차분을 병용하였다.

다음과 같이 부등간격에 대한 보정식을 구하였다. 식(1), 식(2) 및 식(3)을 부등간격 격자상에서 차분화하면 다음과 같다.

$$u_{ij}^{n+1} = u_{ij}^n + \Delta t \left[\frac{p_{ij}^n - p_{i+1,j}^n}{(A+B)/2} + g_x - FUX^n - FUY^n + VISX^n \right] \quad (4)$$

$$v_{ij}^{n+1} = v_{ij}^n + \Delta t \left[\frac{p_{ij}^n - p_{i,j+1}^n}{(C+D)/2} + g_y - FVX^n - FVY^n + VISY^n \right] \quad (5)$$

여기서 FUX, FUY, FVX, FVY는 대류항이며 VISX, VISY는 점성항이다.

2.2 안정성 해석

유동장을 이산화하기 위해서는 격자의 크기가 정해져야 한다. 또한 비정상 계산에서는 시간진행을 위한 미소 시간간격의 설정이 필요하게 된다. 이와 같은 선택된 격자 크기나 시간간격은 해의 정확도나 수렴성에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 선정된 시간간격이 허용할 수 있는 범위를 초과하면 수치해법은 불안정하게 되고 의미 있는 해를 얻을 수 없게 된다. 이와 같은 관점에서 모든 수치계산에 있어서 올바른 해를 얻기 위해서는 안정성의 한계를 고려하지 않으면 안된다.

안정성에 대한 조건을 결정하는 첫 번째의 기준은 유체입자가 얼마나 빠르게 계산격자를 통과하여 흘러가는데 관련되어 있다. 안정된 해를 얻기 위한 시간간격의 크기는 다음의 식으로 구해진다 (Courant조건).

$$\Delta t \leq \frac{1}{\left| \frac{\Delta x}{u} \right| + \left| \frac{\Delta y}{v} \right|} \quad (6)$$

이 기준은 유체입자가 한 시간간격 내에서 계산격자의 크기보다 작게 이동하도록 움직이는 거리를 제한하는 것을 의미한다. 만약 이 조건이 위배된다면, 정보는 격자에 관련된 변수들에 전혀 영향을 미치지 않으면서, 단일스텝시간 안에 계산격자를 완벽하게 뛰어 넘을 정도의 큰 거리로 운반될 수가 있다.

두 번째의 안정성 기준은 점성에 의한 운동량 이송과 관련되어 있으며 다음의 식으로 나타낸다(확산수조건).

$$\Delta t \leq \frac{1}{2\nu} \left| \frac{\Delta x^2 \Delta y^2}{\Delta x^2 + \Delta y^2} \right| \quad (7)$$

이 식은 유체의 운동량 이송이 일정 시간간격 동안 해당 격자의 거리를 넘을 수 없도록 제한함을 의미한다. 해의 안정성을 보장하기 위해서는 식(6)과 식(7)에 의해 결정된 두 개의 시간간격 중에서 보다 작은 값을 선택하여야 한다. 그리고 이렇게 채택된 Δt 에 안정계수를 곱하여 시간간격을 정하는 것이 보통이며 이 값은 레이놀즈수에 따라 각각 다르게 부여할 수 있다. 시간적분은 양적인(explicit) 오일러 기법을 적용하였다.

한편, 본 연구에서 사용된 대류항의 인공점성을 알아보기 위한 안정성 해석은 Hirt^[14]에 의한 기법을 적용하였으며 이를 통하여 공간 차분정도를 확인하였다.

2.3 계산방법 및 경계조건

본 연구에서는 대표속도값을 U , 대표길이를 각 주높이 H , 동점성계수를 ν 로 하여 정의된 레이놀즈수를 $Re=UH/\nu$ 라고 하였으며 계산대상은 10^4 으로 일정한 값을 취하였다. 일반적으로 비정상 흐름의 계산에 있어서 초기의 속도, 압력 및 밀도 등의 값을 정하는 방법에 따라 그 이후의 결과는 큰 영향을 받는다. 본 계산에서는 유동장 전체에 영각 0° 일 때 무차원속도($u=1, v=0$)를 영각 θ° 일 때 무

차원속도($u=\cos\theta$, $v=\sin\theta$)를 균일하게 분포시킨 뒤 Courant수 및 확산수를 만족시키는 시간간격 ($\Delta t=0.001$)에 안정계수 0.2를 곱하여 무차원시간 50까지 계산을 진행시키고, 계산초기의 과도유동이 지난 뒤에는 안정계수 0.8의 값을 부여하는 기법을 취하였다. 또한 풍상차분의 가중계수는 0.5로 설정하였다. 속도 및 압력의 반복 수렴 판정 조건으로서는 격자에서의 발산(divergence)의 최대값 0.002를 기준으로 하였다. 초기조건으로서 압력과 중력가속도는 전 영역에서 0의 값을 부여하였다. 여기에서 계산격자 ($i \times j$)는 변장비에 따른 격자수로서 변장비에 따라 각각 100×80 , 120×80 , 130×80 의 크기를 가지며, 최소격자의 크기는 $1/20H$ (H =각주 높이)의 크기를 갖는다. 각각의 변장비에 따른 계산영역은 대표높이($H=1$)로 Fig. 2에서와 같이 표시한 경우에 각주 전면에서 $6H$, 후방에서 $14H$, 상하경계면으로 $8H$ 의 크기를 갖는다. Fig. 2에서 경계조건과 격자분포를 도시적으로 보이고 있다. 상방 및 하방경계조건에서는 보통 slip조건 또는 주기조건을 부여하나 본 계산에서 재현되는 단일 각주의 후방에서 Karman와류의 구조상 slip조건을 채택하였다. 각주의 경계조건은 격자의 경계면을 각주면으로 생각하여 이 면을 통한 법선방향의 속도성분은 항상 존재하지 않는다는 부착조건(no-slip조건)을 부여하였다.

유입조건은 동일한 유입속도값을 부여하여 균일 유동으로 가정하였다. 유출조건에서는 무한의 실제영역을 정해진 유한의 계산영역에서 재현하고자 함으로서 상류측으로 수치적인 영향이 전파되어 경우에 따라서는 계산자체가 불가능하게 되기 때문에 본 계산에서는 압력값에 대하여 $p=0$ 의 Dirchlet조건을 주었다.

시간진행에서는 1차 정도의 오일러기법을 양적으로(explicitly) 적용하였으며, Karman와류의 발생을 촉진시키기 위하여 별도의 수치적인 교란은 부여하지 않았다.

시간평균의 공력계수의 값은 완전히 발달한 유동장의 값을 평균하여 산출하였다. 한편 각주 주변에서의 공력특성계수의 산출은 계산결과 얻어진 무차원 속도 u , v 와 압력 p 를 이용하여 제공력계수의 값을 산출하였다. 데이터의 샘플링 시간간격은

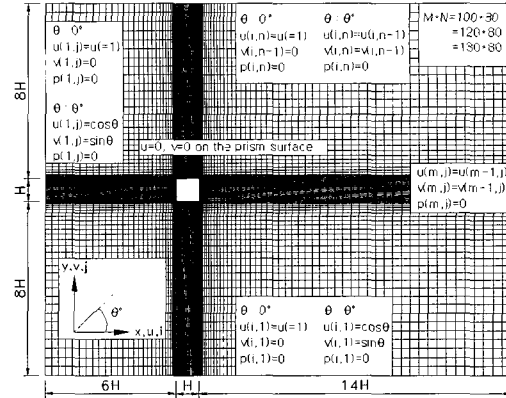


Fig. 2 Calculation Domain & Boundary Condition

1.0이며 무차원시간 300까지 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

각주와 같이 뚱뚱한 물체의 경우, 공력학적 특성은 레이놀즈수 10^4 이상에서 급변하지 않는다. 이는 원주에서 보여지는 경계층의 복잡한 발달 없이 각주의 전연과 후연에서 갑작스럽게 유동의 박리가 발생하기 때문이다. 그래서 본 연구에서 채택한 레이놀즈수 10^4 은 대표적인 고레이놀즈수라고 생각되어진다. 각주후방에서의 박리와류는 주로 전연에서 발생된 강한 반대방향 와도와 순환의 2개의 분리된 전단층의 상호간섭에 의해 형성된다. 이런 현상을 엔트레인먼트 효과라 하며 이것은 각주 유동의 공력학적 메커니즘을 지배한다. Fig. 3(a)는 변장비 2, 영각 45° 에서 항력계수가 최대일 때의 유선도를 나타내고 있으며, Fig. 3(b)는 동일한 영각에서 변장비가 3인 경우 항력계수가 최대일 때의 유선도를 나타내고 있다. 예로 본 연구에서 계산한 변장비 3, 영각 30° 에서 양력계수가 최대인 경우의 유동형상(Fig. 3(c))과 비교하면 큰 규모의 비대칭성 와류가 각주후방에서 발달하고 규칙적인 방출와는 흐름방향을 따라서 급격히 확산하는 것을 알 수 있다. 이러한 와류의 독특한 거동은 뒤에 기술할 항력계수의 급격한 감소와 밀접한 관련이 있다. 전연부의 두 모서리로부터의 전단층의 곡률이나 전연부에서 박리된 와류가 각주의 상부면에서 재부착하는 것은 분명 이 영각에서의 엔트

레인먼트 메커니즘을 변화시킨다.

Fig. 4는 각주주위의 순간압력계수분포를 나타내고 있다. 종종 항력계수와 양력계수에 영향을 미치는 와도 성분은 무시되는데, 이것은 고레이놀즈수에서의 계산값이 낮기 때문이다. 그러므로 이 압력계수의 분포는 힘과 관련된 공력특성을 본질적으로 잘 보여주고 있다. 화살표의 크기는 압력계수의 크기를 나타내며 플러스 방향(정압)의 화살표는 각주면을 향하고 있다.

Fig. 5(a)와 Fig. 5(b)에 변장비 1에서 영각 0°, 10°, 13.5°, 20°, 30°, 45° 일 때의 항력계수와 양력계수의 계산결과와 종래의 실험결과⁽¹⁾와의 비교를 각각 도시하였다.

그림에서 볼 수 있듯이 항력계수와 양력계수의 영각별 분포가 실험결과와 비교적 잘 일치함을 나

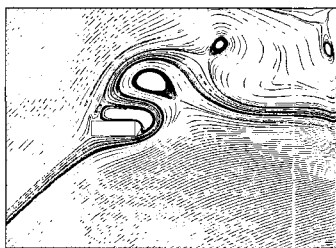
타내고 있으며 항력계수와 양력계수 모두 영각 13.5°에서 현저히 감소하는 특징과 잘 일치하고 있다. 전단층의 재부착이 Obasaju에 의해 발표된 것과 같이 이 영각에서 항력 및 양력계수가 급격히 감소하다가 다시 급격히 증가하는 현상을 주되게 지배하고 있다. 특정 영각에서의 항력계수의 급격한 감소는 정방형 각주 형상을 갖는 동력체의 경우 유속방향에 대해 13.5°경사시켜 이동시킨다면 가장 작은 항력을 받으므로 산업분야에서 공력학적 응용이 가능하다고 생각되어진다. 변장비 2과 3의 경우에도 이런 특정 영각을 찾아내기 위해 5가지 영각(0°, 10°, 20°, 30°, 45°)에 대해 계산을 행하였으며 그 결과를 항력계수는 Fig. 5(c)에 양력계수는 Fig. 5(d)에 각각 도시하였다. 그러나 큰 영각 간격으로 만족할 만한 결과는 얻어내지 못하였다.

Fig. 5(c)와 Fig. 5(d)는 정방형 각주와 두 개의 장방형 각주 사이의 서로 다른 공역학적 특징을 나타내고 있다.

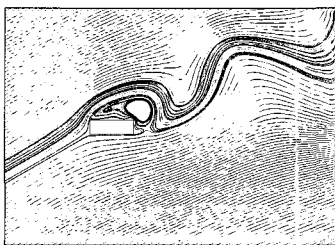
항력계수는 변장비 2, 3에서 영각 30°까지 지속적으로 증가하나 영각 30°~45° 사이에서는 급격



(a) $D/H=2, \theta=45^\circ, C_{Dmax}(T=145)$

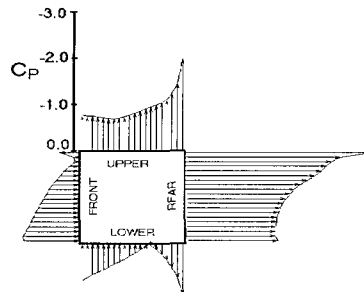


(b) $D/H=3, \theta=45^\circ, C_{Dmax}(T=232)$

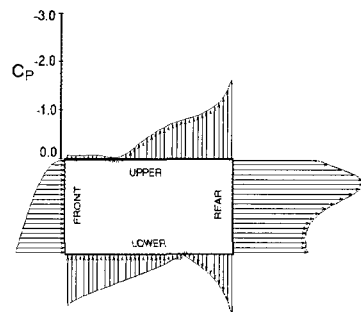


(c) $D/H=3, \theta=30^\circ, C_{Lmax}(T=106)$

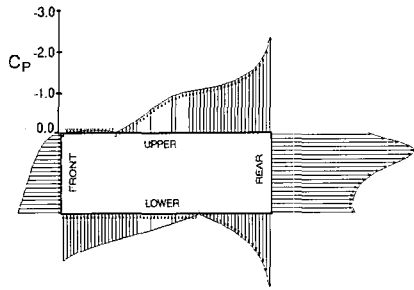
Fig. 3 Instantaneous Streamlines



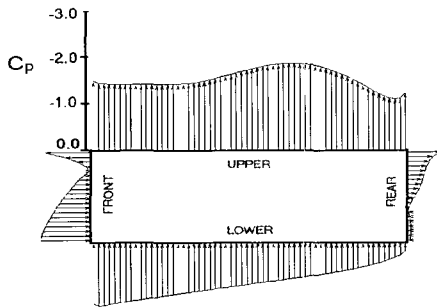
(a) $D/H=1, \theta=45^\circ, C_{Dmax}(T=150)$



(b) $D/H=2, \theta=45^\circ, C_{Dmax}(T=145)$



(c) $D/H=3, \theta=45^\circ, C_{Dmax}(T=232)$



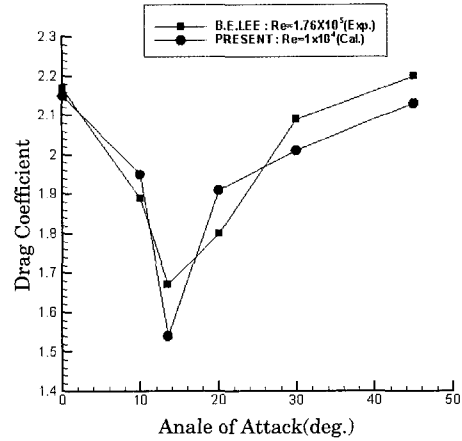
(d) $D/H=3, \theta=45^\circ, C_{Dmin}(T=150)$

Fig. 4 Instantaneous C_p Distribution

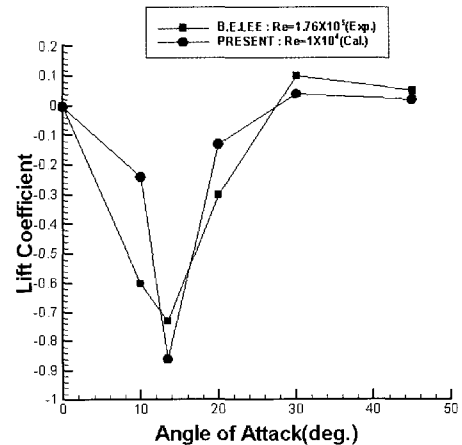
하게 감소한다.

이러한 현상은 이미 와류 후류 영역의 흐름방향으로의 확대에 인한 결과 또는 포텐셜 주류로의 와류의 확산에 의한 결과로 언급되었다. 이것이 각주 후면의 약한 부압력계수 분포를 야기 시키면서 강한 순환의 유리된 와류가 각주 후면으로 접근하는 것을 막는다. 양력계수에 대해서는 Fig. 5(d)에서 보듯이 변장비 2, 3에서 양력계수의 단순한 증가가 관찰되었다. 이러한 현상의 원인은 변장비가 증가함에 따라 각주상부에서 박리 와류가 더 넓게 확대된 영역을 형성하며 이로 인해 각주상면에서 부압력계수가 넓게 분포하기 때문이다.

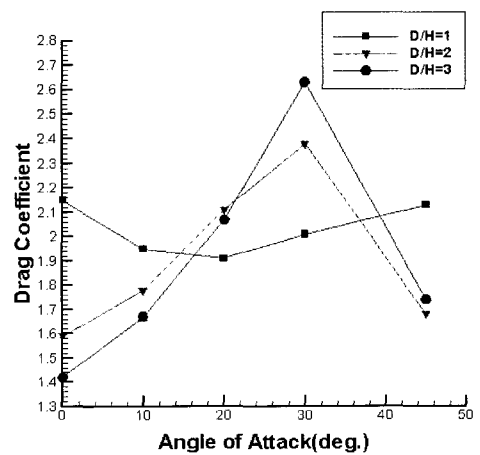
각주 후방에서의 방출와의 주파수 특성을 연구하기 위하여 fH/U (f : 방출와 주파수, H : 각주높이, U : 대표속도)로 정의된 무차원 매개변수인 스트로할수가 10° 의 영각 간격으로 항력계수, 양력계수 그리고 배압계수에 대한 시계열 변동의 FFT 분석에 의해 계산되었다. Fig. 6은 변장비와 영각의 변화에 따른 스트로할수 분포를 나타내고 있다.



(a) C_D Comparison



(b) C_L Comparison



(c) C_D according to D/H & θ

수치계산의 신뢰성을 확인하기 위하여 변장비 1에 대해 기존 실험결과^{[9][12]}와 비교하였으며, 비교 결과 비교적 잘 일치됨을 나타내고 있다. 변장비 1에서 수치계산결과와 실험결과 모두 스트로할수는 이미 언급한 바와 같이 유동의 재부착이 일어나는 영각 13.5°에서 최대값을 나타낸다. 변장비가 2, 3인 경우 스트로할수는 변장비 1에서의 값보다 전체적으로 낮은 값을 나타낸다. 최대 스트로할수는 영각 10°에서 나타났으며 스트로할수는 영각의

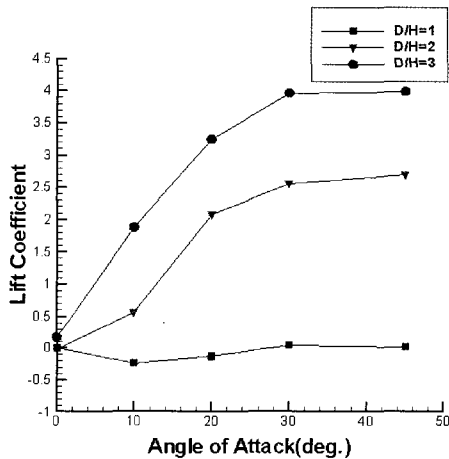
증가와 함께 지속적으로 감소한다. 이것은 장방형 각주의 경우와 반대로, 스트로할수가 큰 변장비에서 영각에 매우 민감하다는 것을 나타낸다. 더 세분화된 영각에 대해 계산을 한다면 최대 스트로할수는 다른 영각에서 나타날 수 있다고 생각된다.

4. 결 론

2차원 장방형 각주유동의 거시적인 공력특성을 수치해석기법으로 연구하였다. 레이놀즈수는 10^4 이며, 3가지의 변장비(D/H=1, 2, 3)와 6가지의 영각(0°, 10°, 13.5°, 20°, 30°, 45°)에 대해 계산을 수행하였다. 변장비가 2, 3인 경우, 영각 45°에서의 순간유동형상은 높은 영각 범위에서의 항력계수의 급격한 감소와 밀접한 관계가 있는 큰 비대칭 후류의 발달을 나타내었다. 확장된 후류 영역으로의 와도의 확산이 이러한 현상을 야기시키는 것으로 생각된다. FFT 분석에 의해 스트로할수가 계산되었으며 정방형 각주의 경우 유동의 재부착이 일어나는 영각 13.5°에서 최대값을 나타냈다. 또한 스트로할수는 정방형 각주의 경우와 반대로 변장비 2, 3에서 영각에 매우 민감함을 나타냈다.

참 고 문 헌

- [1] D. A. Lyn, S. Einav, W. Rodi and J. H. Park, "A Laser-Doppler Velocimetry Study of Ensemble Averaged Characteristics of the Turbulent near Wake of a Square Cylinder", *J. Fluid Mech.*, Vol. 304, pp.285~319, 1995.
- [2] A. Okajima, "Strouhal Numbers of Rectangular Cylinders", *J. Fluid Mech.*, Vol. 123, pp.379~398, 1982.
- [3] B. E. Lee, "The Effect of Turbulence on the Surface Pressure Field of a Square Prism", *J. Fluid Mech.*, Vol. 69, pp.263~282, 1975.
- [4] K. C. S. Kwok, "Effects of Turbulence on the Pressure Distribution around a Square Cylinder and Possibility of Reduction", *Trans. ASME J. Fluid Eng.*, Vol. 105, pp.140~144, 1983.
- [5] H. Sakamoto and S. Oiwake, "Fluctuating Forces on a Rectangular Prism and a Circular



(d) C_L according to D/H & θ
Fig. 5 Drag and Lift Coefficients

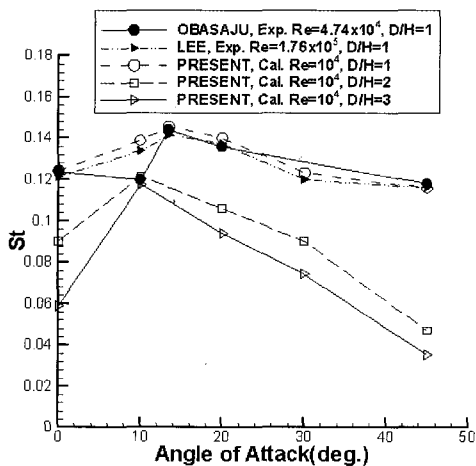


Fig. 6 Strouhal Number for Various D/H & θ

Cylinder Placed Vertically in a Turbulent Boundary Layer", Trans. ASME J. Fluids Eng., Vol. 106, pp.160-166, 1984.

- [6] T. Igarashi, "Characteristics of the Flow around Rectangular Cylinders(the case of the angle of attack 0 deg)", JSME, Vol. 50, pp.3185~3192, 1984.
- [7] R. W. Davis and E. F. Moore, "A Numerical Study of Vortex Shedding from Rectangles, J. Fluid Mech., Vol. 116, pp.475~506, 1982.
- [8] R. W. Davis, E. F. Moore and L. P. Purtell, "A Numerical-Experimental Study of Confined Flow around Rectangular Cylinders", Phys. Fluids, Vol. 27(1), pp.46~59, 1984.
- [9] W. Rodi, J. H. Ferziger, M. Breuer and M. Pourquie, "Status of Large Eddy Simulation:Results of a Workshop", Trans. ASME J. Fluids Eng., Vol. 119, pp.248~262, 1997.
- [10] A. Okajima and T. Matsumoto, "Aerodynamic Characteristics of Flat Plates with Various Angles of Attack in Oscillatory Flow", JSME Int. B, Vol. 41, No. 1, pp.290~296, 1998.
- [11] C. E. Hirt, "Heuristic Stability Theory for Finite Difference Equations", J. Comp. Phys., Vol. 2, pp.339~355, 1968.
- [12] E. D. Obasaju, "An Investigation of the Effects of Incidence on the Flow around a Square Section Cylinder", The Aeronautical Quarterly, Vol. 34, pp.243~259, 1983.

저 자 소 개



송근택(宋根澤)

1970년 7월생. 1996년 한국해양대학교 기계공학과 졸업. 1998년 동 대학원 기계공학과 수료(석사). 현재 동 대학원 기계공학과 박사과정. 1995년~2001년 현대그룹. 2001년~현재 Hilti Korea.



김유택(金由澤)

1968년 2월생. 1990년 한국해양대학교 기관공학과 졸업. 1996년 한국해양대학교 대학원 졸업(석사). 2000년 일본 큐슈공업대학 대학원 졸업(박사). 1990년~1993년 SK해운, 엔지니어. 2000년~2001년 일본 큐슈공업대학 SVBL 강사. 2001년~현재 한국해양대학교 재직(해사대학, 기관시스템공학부 전임강사)



이영호(李英浩)

1958년 2월생. 1980년 한국해양대학교 기관공학과 졸업. 1982년 한국해양대학교 대학원 기관공학과(공학석사). 1986년~1989년 일본 동경대학 기계공학과(공학박사). 1980년~현재 한국해양대학교 근무(기계·정보공학부 교수). 2001. 12.~현재 재단법인 한국조선기자재연구원 원장.