

---

 論 文
 

---

大韓造船學會論文集  
 第 33 卷 第 1 號 1996年 2月  
 Transactions of the Society of  
 Naval Architects of Korea  
 Vol. 33, No. 1, February 1996

## 잠수체 벽에 부착된 핀의 자유표면 효과에 관한 실험적 연구

김성민\*, 이상준\*\*, 이정복\*\*

### Free-Surface Effects on a Fin Attached to a Submerged Body

by

S. M. Kim\*, S. J. Lee\*\* and C. M. Lee\*\*

#### 요 약

잠수체(strut)에 부착된 핀(fin)의 자유표면 효과를 회류수조를 사용하여 실험적으로 연구하였다. 본 연구에서는 주로 유속( $V$ ), 핀의 양각( $\alpha$ )과 핀의 몰수깊이 대 현장비, 즉 몰수비( $H/C$ )에 따른 핀의 양력을 측정하였으며, 지주가 없는 핀만의 양력을 측정하여 지주에 부착된 핀의 양력과 비교함으로써 핀에 미치는 지주의 영향도 관찰하였다. 유동가시화를 통하여 지주만 있을 때와 핀이 부착되어 있을 때의 양각에 따른 자유표면의 변화를 조사하였다. 이와 같은 실험들은 대체로 몰수비가 작은 영역을 중심으로 수행되었다. 본 연구의 결과로는 핀의 양력계수( $CL$ )는 작은 몰수비( $H/C < 3.0$ )의 경우 자유표면의 영향을 크게 받으며, 큰 몰수비( $H/C > 5.0$ )인 경우는 자유표면의 영향을 거의 무시할 수 있다. 작은 몰수깊이에서 핀의 유입양각도 지주와 유속에 의해 크게 영향을 받는다. 자유표면의 변형은 지주에 의한 조파현상이 지배적인 역할을 하고 있으나 핀의 몰수깊이가 작을 경우는 핀의 영향도 크게 작용한다.

#### Abstract

The effects of free surface and a strut on the lifting characteristics on a fin attached at the mid-chord of the strut are investigated experimentally in a circulating water channel. Variation of lift force on the fin is investigated with respect to free stream velocity( $V$ ), angle of attack of the fin( $\alpha$ ) and ratio of the submergence depth of the fin to the chord of the fin( $H/C$ ).

---

발 표: 1994년도 대한조선학회 추계연구발표회('94. 11. 12.)

접수일자: 1995년 8월 7일, 재접수일자: 1995년 11월 18일

\* 포항공과대학교 대학원 기계공학과

\*\* 정회원, 포항공과대학교 기계공학과

Attentions are focused on the lifting characteristics of the fin at shallow depths of submergence. Visualization of the free surface deformation along the strut and of the streamline about the fin is made in order to examine the inflow angle to the fin. Lift force on the fin alone i.e. in absence of the strut is also measured to investigate the difference in lifting characteristics of the fin caused by the strut. The results show that lift forces over the fin are largely affected by a free surface in the case of small submergence ratios( $H/C < 3.0$ ). For  $H/C > 5.0$ , the effects of the free surface are negligibly small. The inflow angle to the fin is significantly influenced by the strut and flow speed at the shallow depths of submergence. The deformation of the free surface is largely governed by the waves generated by the strut. However, for small submergence depths, the effects of the fin are found also significant.

## 1. 서론

급변하는 현 시대는 교통수단의 고속화를 요구하고 있으며 이러한 요구에 부응하여 선박의 초고속화도 진행되고 있다. 초고속선은 정수 중뿐만 아니라 웬만한 파랑상태에서도 고속이 유지될 때만 그 가치를 인정받을 수 있게 된다. 따라서 파랑 중 항주시 감속을 피하기 위해서는 파랑으로 인해 야기되는 선체의 운동을 억제할 수 있는 방법이 강구되어야 한다. 이러한 선체운동의 제어방법 중 하나로 종횡비가 작은 날개, 즉 핀(fin)이 사용되고 있다. 이러한 핀은 이미 잠수체에 활용되어 왔으며 최근에는 해상선박 중 초고속선에서 활용되기 시작하였다.

잠수체 핀의 경우는 자유표면의 영향에 대해 특별히 우려할 필요가 없지만 해상선박의 경우는 파랑 중에서 선체의 운동에 의해 핀의 몰수깊이가 상당히 변화할 수 있으므로 이로 인해 핀의 양력 기능에도 상당한 영향을 끼칠 수 있다. 이러한 자유표면의 영향은 반드시 파랑 중에서만 일어나는 것이 아니라 정수 중에서도 초고속선의 항주시 야기되는 trim과 선체의 조파작용에 따라 크게 일어날 수 있다. 핀은 원래 양력체이기 때문에 유입각에 따라 그 양력기능이 결정되어진다. 따라서 초고속 항주로 인한 trim이나 조파는 핀 주위의 유동을 변화시키고 이는 바로 핀에의 유입각을 변화시킴으로써 양력에 영향을 끼치게 되는 것이다.

본 연구에서는 초고속 항주로 인한 자유표면의

변형이 핀의 양력에 미치는 영향을 실험적으로 조사하고자 한다.

본 연구는 핀, 지주(strut) 그리고 자유표면 사이의 상호작용이 핀의 양력에 미치는 영향을 실험적으로 해석하는 것과 실험에서 얻어진 결과를 앞으로 수행될 수치해석을 위한 근거자료로 제공하는데 목적을 두었다. 이러한 목적 하에서 지주와 핀의 형상을 단순화 시킴으로써 수치해석을 용이하게 수행할 수 있도록 하였다.

이와 관련된 기존의 연구로 Ohmatsu등[3]은 종횡비가 작은 날개를 이용하여 자유표면으로부터 몰수깊이의 영향을 실험적으로 연구하였다. 그들은 SWATH형의 잠수체에 핀을 부착시켜서 동체와 핀간의 상호작용과 자유표면의 영향을 조사하였는데, 핀의 몰수깊이(submergence length, H)에 대한 현장(chord length, C)비(H/C)의 최소치가 1.1 밖에 안되었다. 그리고 핀이 부착된 반 잠수식 고속선 HSVW(High-speed Semi-submersible Vehicle with Wings)의 연구가 Mori등[2]에 의해 수행되었다. 이들은 주로 핀의 양력을 이용한 선체의 잠수능력과 그에 따른 저항특성을 조사하였는데, 핀의 양력에 의해 선체가 잠수함으로써 선체에 의한 조파저항(wavemaking resistance)이 현저하게 감소함을 밝혔다.

본 연구에서는 회류수조를 이용하여 몰수비(H/C)를 0.5에서 5.0까지 변화시켜가면서 양각( $\alpha$ ) 및 자유흐름속도(V)에 따른 핀의 양력계수( $C_L$ )변화를 측정하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 연구에 사용된 실험장치를 Fig.1과 Fig.2에 나타내었다. Fig.1은 핀이 부착된 지주의 개략도인데, 지주의 전후단부는 각각 장축 대 단축비가 2:1이 되는 반타원 형태이고 중간부는 평행중부형(parallel middle body)으로 수직길이 130cm, 두께 5cm, 현장 50cm로써 알루미늄을 재료로 CNC가공하여 제작하였다. 핀 모델의 단면형상과 촌법 및 좌표계를 Fig.2에 나타내었는데, 본 연구에서 사용된 제어용 핀은 알루미늄을 재료로 매끈하게 CNC가공한 NACA 0015의 익형[1]이며, 현장 10cm, 날개길이 12cm로써 종횡비는 1.2이다.

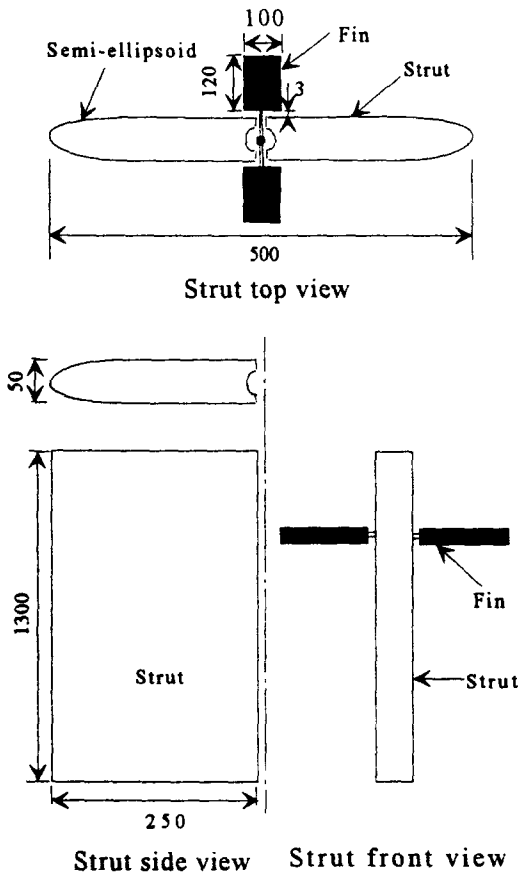
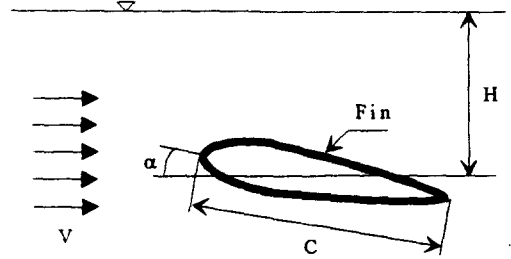


Fig. 1 Fin and strut configuration (unit: mm)

핀은 지주의 중간 부위에 수직길이 방향으로



Coordinate system of fin

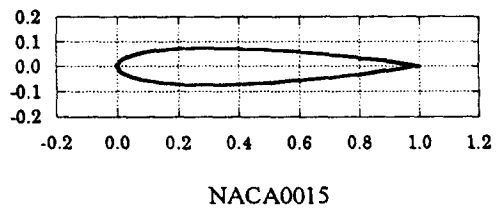


Fig. 2 NACA 0015 foil configuration and coordination system

20mm의 홈을 따라 상하로 움직일 수 있으며 핀의 양각도 조절할 수 있도록 하였다. 실험시 홈 부분에는 스티로폼(styrofoam)과 아크릴(acryl)로 메워 지주 주위유동을 원활히 하도록 하였다. 지주 양측에 부착된 핀을 연결하는 축과 직각으로 교차하는 연결막대 상단에 load cell을 부착하여 핀에 작용하는 양력을 측정하였다.

본 실험에서 사용된 회류수조는 시험부의 크기가 폭 1m, 깊이 1m, 길이 4.53m이며 최대유속이 2.2m/s 이다. 실험모델이 수조안에 설치되었을 때 막힘비(blockage ratio)는 5%정도로 막힘비에 따른 보정은 하지 않았다[4].

본 실험에서 다른 실험변수로는 자유흐름속도(V), 핀의 물수깊이(H) 즉 정수면에서 핀의 중심현선(mean chordline)까지의 깊이, 그리고 핀의 고정양각(alpha)이며, 다음과 같은 실험조건들에 대해 핀에 걸리는 양력계수(C<sub>L</sub>) 변화를 측정하였다.

$$V(m/s)=0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5$$

$$(Fr = \frac{V}{\sqrt{gC}} = 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5)$$

H(cm)=5, 8, 10, 13, 16, 20, 25, 30, 40, 50

H/C=0.5, 0.8, 1.0, 1.3, 1.6, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0

$\alpha$ (degree)=-15, -10, -5, 0, 5, 10, 15, 20

실험은 핀의 양각을 고정시킨 후 주어진 물수비에서 유속을 증가시키면서 양력을 측정 한 다음 물수비를 변경시키고, 전 물수비에 대한 측정이 끝나면 핀의 양각을 변경시켜 측정하는 방식으로 진행하였다. 실험시 지주를 입구유동에 평행되게 고정시켜 핀의 좌우측의 흐름이 대칭을 이루도록 하였다.

양력 측정을 위해 load cell에서 나오는 출력신호는 스트레인 게이지 증폭기를 거쳐 범용파형분석기 Data 6100을 통하여 디지털 값으로 취득하였다.

서론에서 언급했듯이 선체에 부착된 핀은 선체의 전진 및 파랑 중 운동등으로 양력발생기능에 상당한 영향을 받을 수 있다. 본 연구에서는 유동가시화를 통해 지주에 부착된 핀의 전진속도에 의한 흐름의 유입양각이 물수깊이와 유속에 의해 얼마나 영향을 받는지도 조사하였다.

### 3. 결과 및 검토

본 연구에서는 양각( $\alpha$ ), 물수비(H/C)와 유속(V) 변화에 따른 양력계수( $C_L$ )의 변화를 실험적으로 조사하였다. 여기서 양력계수는 다음과 같이 정의된다.

$$C_L = \frac{L}{\frac{\rho}{2} V^2 A}$$

L=2개 핀에 작용하는 양력

$\rho$ =물의 밀도=998 Kg/m<sup>3</sup>

V=자유흐름속도(m/s)

A=2개 핀의 평면적=2x(0.1x0.12)=0.024m<sup>2</sup>

본 연구에서 Froude수 ( $Fr = \frac{V}{\sqrt{gC}}$ )는 0.99V로

유속(m/s)과 거의 일치한다. 2400톤급 SWATH선의 핀을 예로 들어 현장이 3.6m이고 최고선속이 35노트인 경우, Fr수는 3.0이며 본 실험에서 택한 최고 Fr수가 1.5이므로 실제 선속은 약 18노트에 해당됨을 알 수 있다.

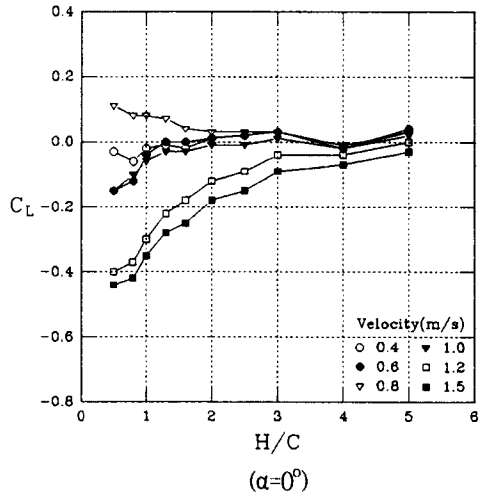


Fig. 3 Lift coefficient versus submergence ratio for various speeds with strut

Fig.3은 양각( $\alpha$ )이 0°일 때 물수비와 유속의 변화에 따른 양력계수의 변화를 나타내고 있는데 물리적으로 쉽게 예상할 수 있듯이 물수비가 증가함에 따라 핀에 걸리는 양력계수는 증가하며 어느 정도의 물수비 이상에서는 무한 유체중에서의 양력계수에 접근하고 있다. 단 Fr=0.8인 경우는 다른 Fr수의 경우와 다른 경향을 보여주고있다. 이러한 현상은 유동가시화 결과(Fig.10 및 Fig.11 참조)로부터 설명이 가능하다. 즉 핀이 위치한 지점에서 핀에 대한 흐름의 유입양각이 Fr=0.8일 때는 상향인 반면 다른 Fr수에서는 하향임을 보여주고 있기 때문이다. 또한 물수비(H/C)가 0.5인 경우처럼 핀이 자유표면에 근접 할 때는 유속의 변화에 따라 양력계수가 크게 변함을 알 수 있다. 여기서 보면 핀의 양력계수는 자유표면의 영향을 상당한 물수 깊이까지 받고 있음을 알 수 있다.

양각의 영향을 알아보기 위하여 양각( $\alpha$ )이  $5^\circ$ 와  $-5^\circ$ 인 경우의 실험결과를 Fig.4에서 비교하였다.

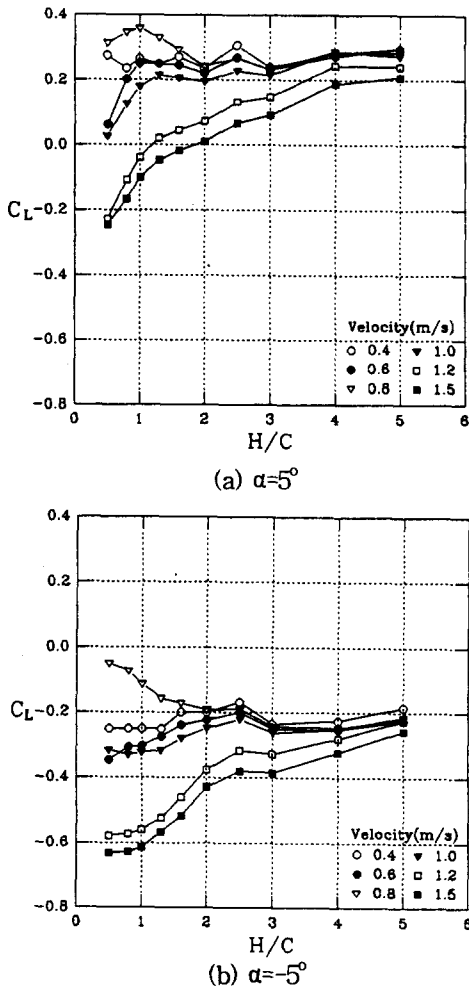


Fig. 4 Lift coefficient versus submergence ratio for various speeds with strut

이 두 가지 경우의 양력계수는 대략 상사적인 상관관계를 보여주고 있다. 본 실험에 사용된 핀의 양력곡선경사치( $C_{L\alpha}$ )는 2.76이다. 따라서 양각( $\alpha$ )이  $5^\circ$ 와  $-5^\circ$ 일 때 양력곡선경사치를 사용하여 계산된 양력계수( $C_L$ )는 0.24가 되며, Fig.3의 양력계수에 0.24를 더해주면 Fig.4의 양력계수와 거의 일치함을 알 수 있다. 이는 핀의 양력은 양각( $\alpha$ )이  $10^\circ$  이하일 때 유속에 따라 양력계수가 양각에 선형적으로 비례하고 있음을 보여준다. 물수비가 커짐에

따라 양력계수( $C_L$ )는  $0.2 \sim 0.3$  ( $\alpha = 5^\circ$ )와  $-0.2 \sim -0.3$  ( $\alpha = -5^\circ$ )에 접근하는데, 이러한 접근값의 대칭성은 큰 양각일 경우에는 잘 성립되지 않는다.

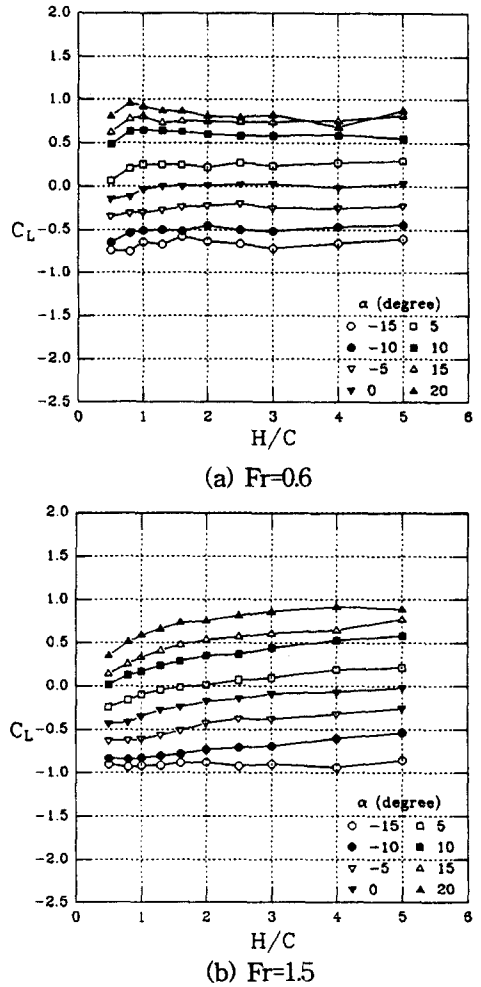
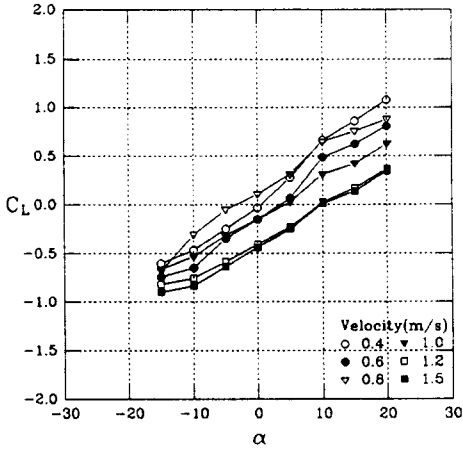
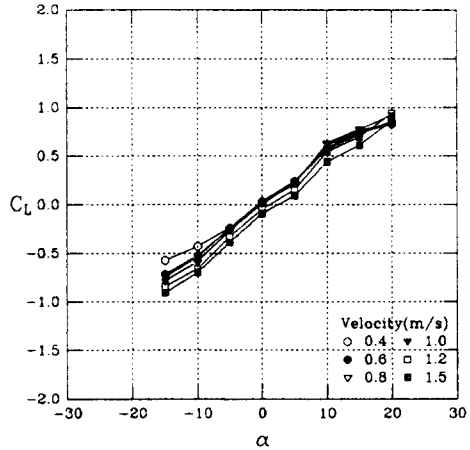


Fig. 5 Lift coefficient versus submergence ratio for various angles of attack with strut

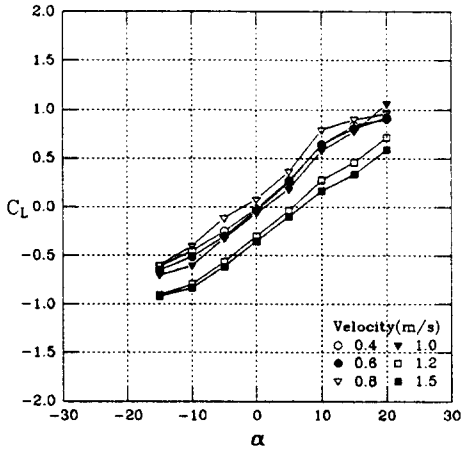
Fig.5는  $Fr = 0.6$ 과  $1.5$ 인 경우 양력계수 변화를 주어진 양각에 대하여 물수비의 함수로 나타낸 것이다.  $Fr = 0.6$ 인 경우 물수비가 2보다 큰 조건에서 양력계수가 대략 일정 값으로 접근하는 반면  $Fr = 1.5$ 인 경우 물수비가 증가함에 따라 양력계수도 증가하고 있다. 이런 결과는 자유표면이 핀에 미치는 영향은 유속이 증가함에 따라 함께 증가한다는 것



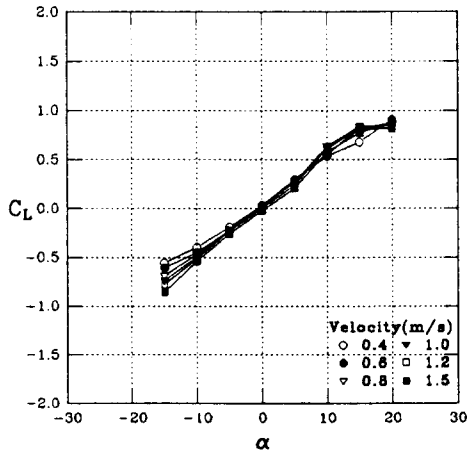
(a) H/C=0.5



(c) H/C=3.0



(b) H/C=1.0



(d) H/C=5.0

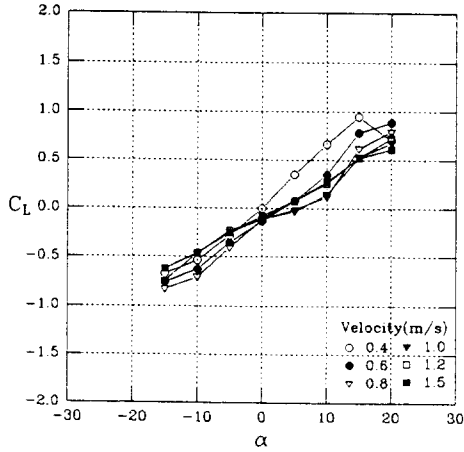
Fig. 6 Lift coefficient versus submergence ratio for various speeds with strut

을 입증하고 있다. 즉 유속이 느린 경우는 핀의 잠수깊이가 얇아도 자유표면의 영향은 무시할 수 있으나 유속이 빠른 경우는 상대적으로 잠수깊이가 깊어야만 자유표면의 영향권에서 벗어날 수 있다. 또한 두 경우 모두 양각이 증가할 수록 양력계수도 거의 비례해서 증가한다는 사실도 알 수 있다.

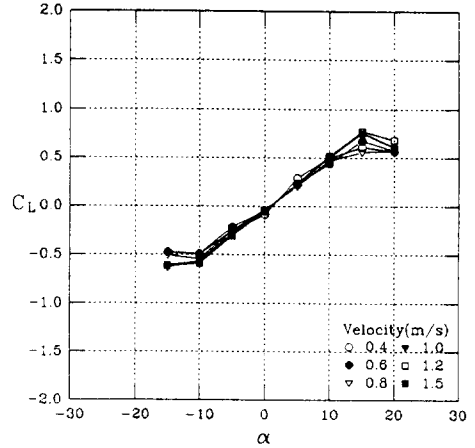
몰수비(H/C)가 0.5, 1.0, 3.0와 5.0인 경우 양각과 유속에 따른 양력계수의 변화를 Fig.6에 나타내었다. 모든 몰수비에서 유속의 크기에 상관없이 양각이 증가함에 따라 양력계수가 거의 선형적으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 몰수비가 작은 H/C=0.5 및 1.0인 경우 양력계수가 유속(V)이 1.0

과 1.2m/s사이에서 크게 변하고 있는데 이것은 이 구간에서 핀의 유입양각이 크게 변하고 있음을 예시하고 있다. 유속의 변화에 기인한 양력계수의 차이는 몰수비가 증가함에 따라 감소한다. 몰수비(H/C)가 3.0이상인 경우에는 몰수비(H/C)가 1.0이하인 경우에 비해 유속의 영향이 거의 나타나지 않는다.

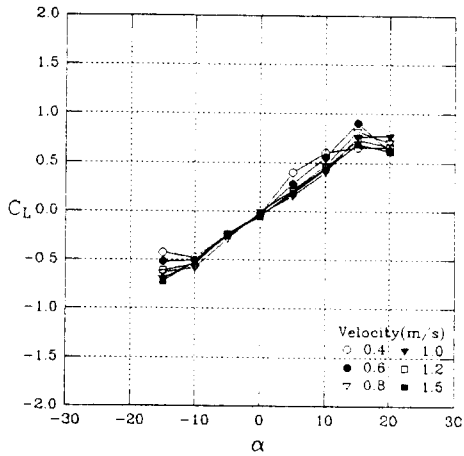
핀이 받는 양력에 대한 지주의 영향을 알아보기 위해 지주가 없는 상태 즉, 핀만 있는 상태에서의 양력을 측정하였다. 핀만의 양력을 측정할 때 지지대의 영향을 최소화하기 위하여 지지대의 단면을 타원체로 가공하였으며, 핀의 후연(trailing edge)



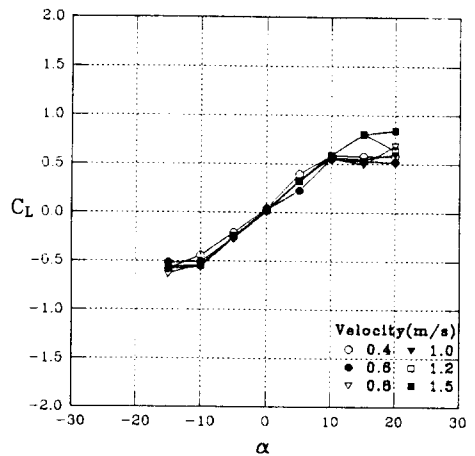
(a) H/C=0.5



(c) H/C=3.0



(b) H/C=1.0



(d) H/C=5.0

Fig. 7 Lift coefficient versus submergence ratio for various speeds with strut

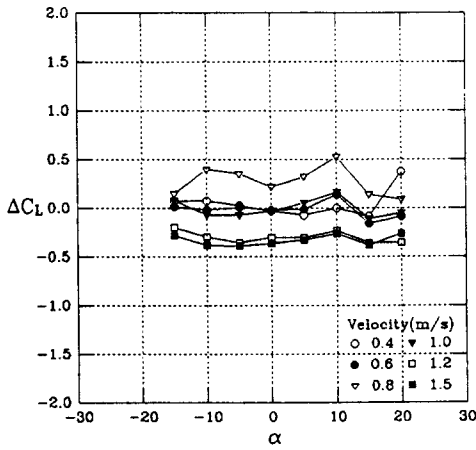
에서 15cm 떨어진 위치에 지지대를 설치하였다. 측정된 양력값에서 지지대의 영향을 보정해 줌으로써 순수하게 핀에만 작용하는 양력을 측정하였다.

Fig.7은 지주가 없이 핀만 있을 때의 양력계수를 몰수비 변화에 따른 양각과 유속의 함수로 나타낸 것이다. 몰수비(H/C)가 0.5일 때 유속의 변화에 따른 양력계수의 차이가 상대적으로 크게 나타나며 양각( $\alpha$ )이  $0^\circ$ 일 때를 중심으로 양각의 절댓값이 증가할수록 유속에 따른 양력계수의 차이가 크게 나타나는 경향을 보여주고있다. 몰수비(H/C)가 3.0이상인 경우에는 양각( $\alpha$ )이  $\pm 10^\circ$ 사이에서

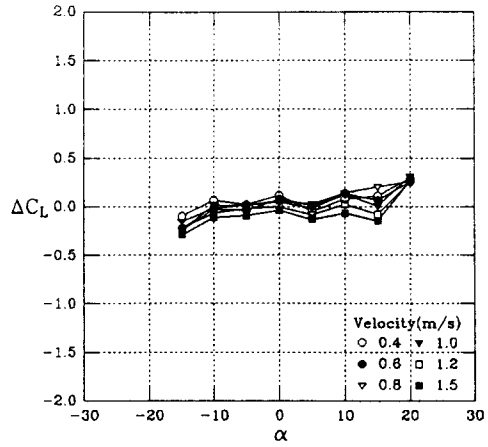
선형적으로 증가하고 있으며, 몰수비가 증가할수록 유속의 변화에 따른 양력계수의 차이는 감소함을 알 수 있다. 이러한 사실은 앞에서 언급한 지주가 있는 상태에서의 핀의 양력특성과 유사하다.

Fig.8은 지주가 부착된 핀의 양력계수와 지주가 없는 핀만의 양력계수의 차를 나타낸 것이다.

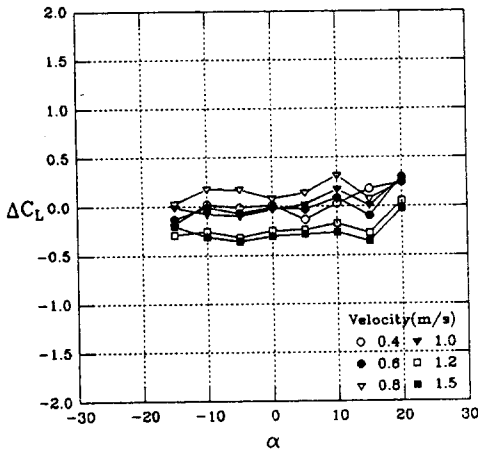
무한 유동장에서의 양력이론에 의하면 총횡비가 작은 날개는 큰 동체에 부착됐을 때 동체에 의해 양력이 증가하게 된다[5]. 본 연구에서는 이러한 현상이 자유표면이 존재하는 경우에도 나타나는가를 조사해 보았다. Fig.8에서 몰수비(H/C)가 3.0이하인 경우 유속(V)이 0.8m/s일 때를 제외하고 거



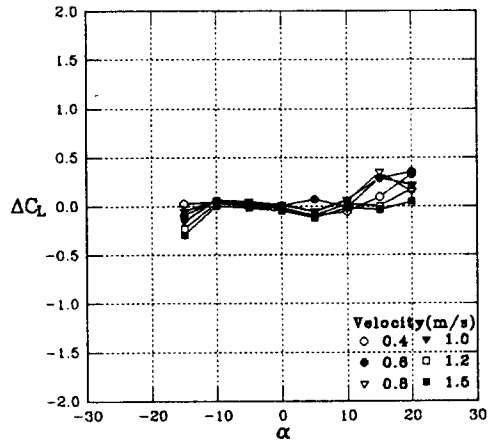
(a) H/C=0.5



(c) H/C=3.0



(b) H/C=1.0



(d) H/C=5.0

Fig. 8 The effects of strut on the lift coefficient

의 모든 유속에서 지주는 핀의 양력을 감소시키고 있음을 알 수 있다. 또한 이러한 지주에 의한 핀의 양력감소는 거의 핀의 양각에 무관하다. 그리고 몰수비가 증가할 수록 유속에 따른 양력계수의 차이가 줄어들며, 몰수비(H/C)가 3.0과 5.0으로 증가하면 양력계수에 미치는 지주의 영향이 크게 감소함을 알 수 있다. 이것은 자유표면에 근접한 영역 즉, 몰수비(H/C)가 3.0이하인 경우에는 지주의 영향이 상대적으로 크게 작용하며 유속이 증가할 수록 핀의 양력계수에 미치는 영향이 증가함을 알 수 있다. 본 실험에서는 몰수비(H/C)가 0.5인 경우 유속(V)이 1.5(m/s)일 때 양각(α)이 ±10°사이에서

지주에 의한 핀의 양력계수가 핀만에 의한 양력계수 보다 0.4정도 감소한 값을 나타낸다. 이는 몰수 깊이가 작은 영역에서 지주의 존재는 유속에 따라 핀의 유입양각에 상당한 영향을 미치고 있음을 보여준다.

핀의 양력특성을 살펴보기 위해 양력곡선경사치(lift-curve slope)를 조사하였다. 종횡비가 작은 핀에 대하여 Whicker 및 Febiner[6]는 일련의 체계적인 실험을 통해 다음과 같은 양력곡선경사치( $C_{La}$ )를 구하였다.

$$C_{La} = \frac{\alpha_0 A_e}{\sqrt{A_e^2 + 4 + \frac{\alpha_0}{\pi}}}$$



여기서  $\alpha_0$  = 기본날개단면의 양력곡선경사치  
 (NACA 0015의 경우  $\alpha_0=1.8\pi$ )  
 $A_e$  = 유효중형비 = 2x핀의 중형비

따라서 본 실험에서 사용한 핀의 경우

$$C_{La} = \frac{1.8\pi(2.4)}{\sqrt{2.4^2 + 4 + 1.8}} = 2.76$$

참고로 핀만 있는 경우 몰수비(H/C)가 3.0일 때 양각이  $\alpha = \pm 10^\circ$  사이에서 구한 양력곡선경사치( $C_{La}$ )는 약 2.8정도 였다.

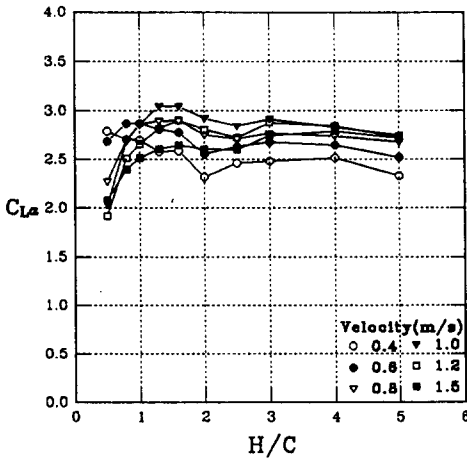


Fig. 9 Lift-curve slope versus submergence ratio

Fig.9는 양력곡선경사치를 주어진 유속에서 몰수비의 함수로 표시한 것인데, 몰수비에 따른 양력계수 곡선에서 양각  $\alpha = \pm 10^\circ$  사이를 직선으로 best fit하여 구하였다. 여기서 보면 양력곡선경사치는 대개 2.0~3.0사이에 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 다른 유속 중 가장 빠른  $V=1.5\text{m/s}$ 인 경우, 양력곡선경사치가 약간 작은 값을 가지며 몰수비(H/C)가 1.3과 1.6일 경우 비교적 큰 양력곡선경사치를 보여 주고 있다. 각 몰수비에 대하여 산술평균으로 구한 양력곡선경사치는 다음과 같다.

|          |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|
| H/C      | 0.5  | 0.8  | 1.0  | 1.3  | 1.6  |
| $C_{La}$ | 2.30 | 2.65 | 2.74 | 2.87 | 2.81 |
| H/C      | 2.0  | 2.5  | 3.0  | 4.0  | 5.0  |
| $C_{La}$ | 2.67 | 2.66 | 2.75 | 2.73 | 2.62 |

$C_{La}$ (전체 평균치)=2.68

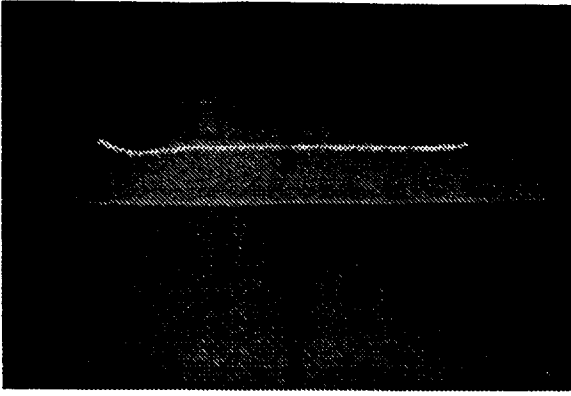
위의 결과로부터 양력곡선경사치는 핀이 자유표면에 가까이 있을 때 가장 낮은 값을 가지고 몰수비가 증가함에 따라 점차 증가하며 몰수비(H/C)가 1.3부근에서 최고값을 가진 후 완만하게 감소함을 알 수 있다.

측정된 양력계수의 변화를 좀 더 명확히 설명하고 핀 주위의 유동현상을 관측하기 위하여 유동가시화를 수행하였다. 앞에서 언급하였듯이 유속(V)이 0.8m/s인 경우는 다른 유속 조건에 비해 특이한 현상을 보여준다. 즉 몰수비(H/C)가 3.0이하인 경우  $V=0.8\text{m/s}$ 에서는 양력계수( $C_L$ )는 0이상이 되는데 비해 다른 유속에서는 양력계수( $C_L$ )가 0이하가 된다. 이 현상은 Fig.10과 11의 가시화 결과에서 설명이 가능하다. 이 결과들은 유동가시화를 통해 얻어진 사진을 그래픽 처리하여 자유표면을 밝게 강조하여 나타낸 것들이다.

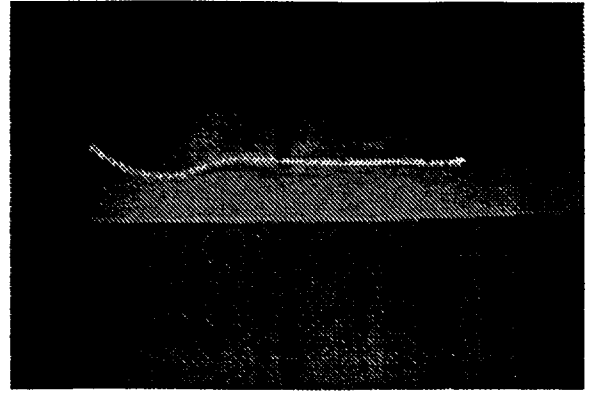
Fig.10은 핀이 없이 지주만 있는 상태에서 지주 주위의 자유표면의 변화를 보여준다. 사진 중간의 흑색 수직선은 지주의 중간위치이며 핀 현장(chord length)의 1/4지점에 해당된다. 핀의 상대적인 크기와 위치는 Fig.11을 참조하기 바란다. 이 수직선상에 나타난 자유표면의 형태로 핀에 대한 유입양각을 판단할 수 있다.  $Fr=0.8$ 인 경우에는 다른  $Fr$ 수의 경우와 달리 유입양각이 상향이다. 이와 같은 현상 때문에 앞에서(Fig.3) 언급한  $Fr=0.8$ 인 경우의 양력계수가 다른  $Fr$ 수와 구별되는 값을 보여주고 있다.

Fig.11은 핀이 부착된 경우로 몰수비(H/C)가 0.5인 경우 양각( $\alpha$ )이  $0^\circ$ 와  $15^\circ$ 이고  $Fr=0.8, 1.2$  및 1.5일 때 자유표면의 형상을 보여주고 있다. 여기서도 역시  $Fr=0.8$ 일 때 핀의 유입양각이 상향임을 확인할 수 있다.

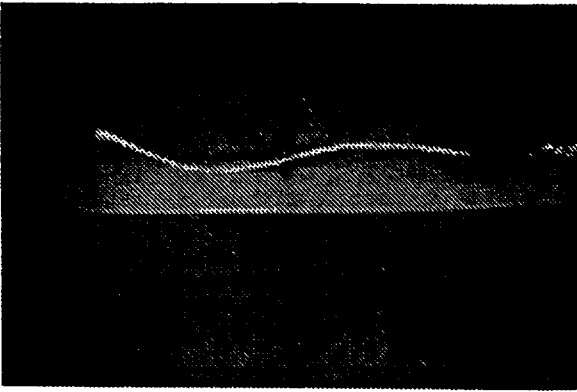
선체에 부착된 핀은 가능한한 몰수깊이를 크게



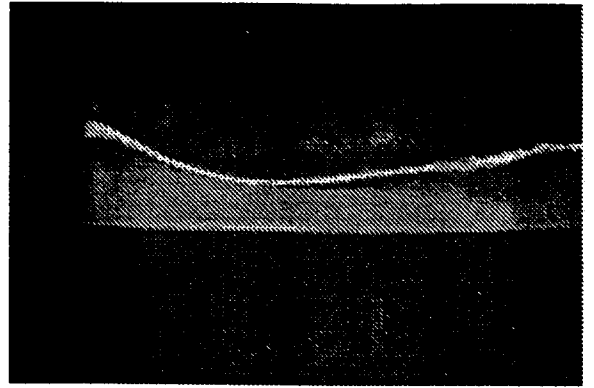
Fr=0.4



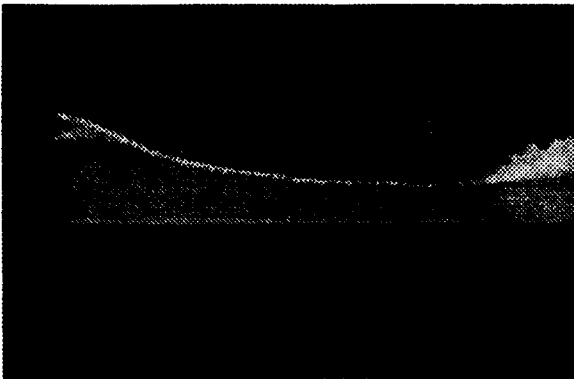
Fr=0.6



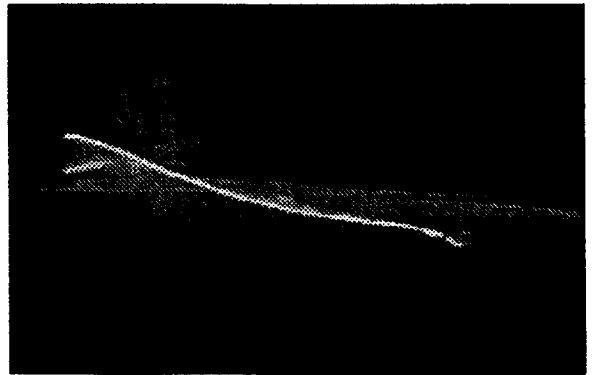
Fr=0.8



Fr=1.0

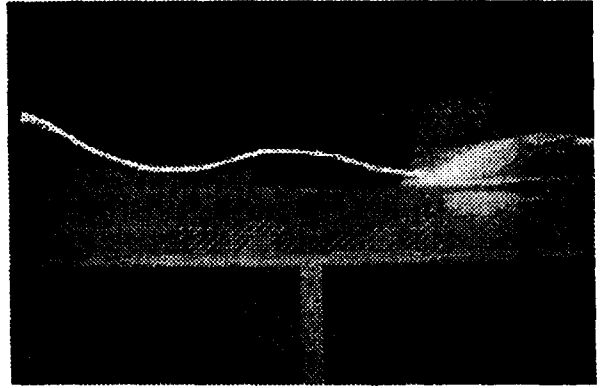
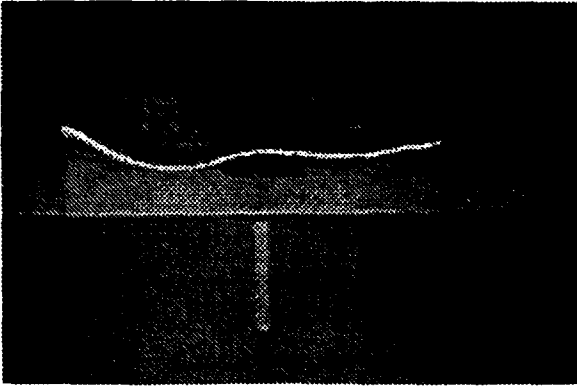


Fr=1.2

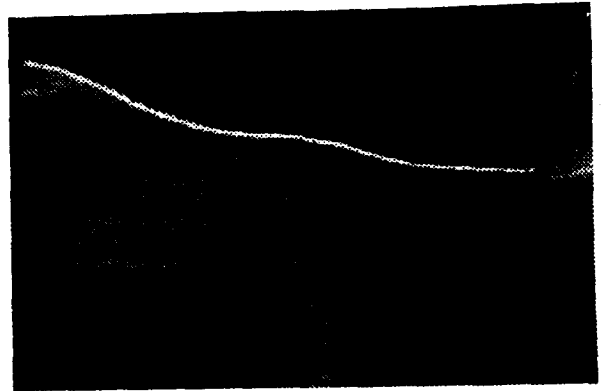
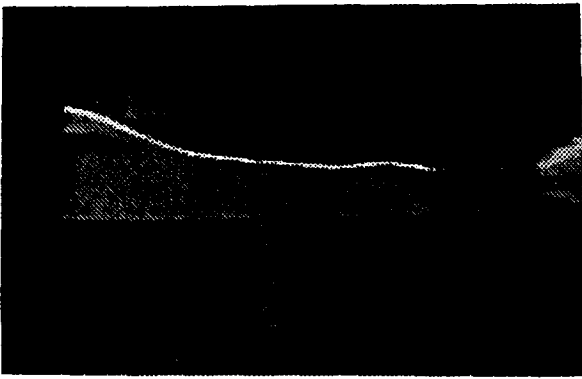


Fr=1.5

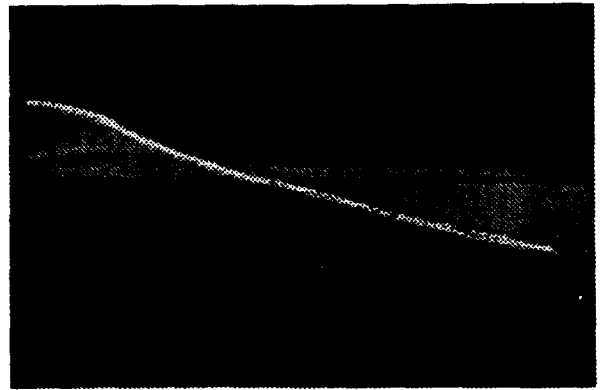
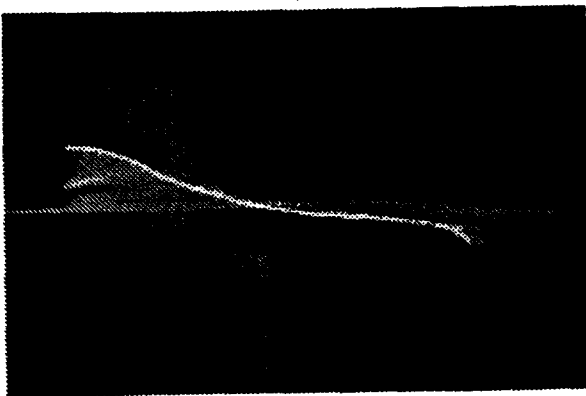
Fig. 10 Free-surface configuration without fin



Fr=0.8



Fr=1.2



Fr=1.5

$\alpha=0^\circ$

$\alpha=15^\circ$

Fig. 11 Free-surface configuration with fin(H/C=0.5)

하고 선체의 존재 때문에 야기되는 유동의 영향을 줄일수록 핀의 양력의 안정성을 유지할 수 있다. 그러나 만약 핀이 자유표면 근처에 위치하게 된다면 선체에 의해 야기되는 유동과 선속의 영향을 크게 받게 된다. 본 연구에서는 핀이 부착된 지주와 자유표면이 핀의 양력에 어떤 영향을 미치는가를 실험적으로 분석하였다. 핀이 부착된 선체의 형상과 부착된 수면하의 위치에 따라 어떤 선속에서는 핀의 양력기능이 다른 선속과는 크게 다른 양상을 보일 수 있는 사실을 뚜렷이 제시하였다.

본 논문에 발표한 양력곡선경사치( $C_{La}$ )를 Table 1에 나타내었다. 각 양각에 대한 양력계수는  $C_L = (C_{La} \times \alpha)$ 로 구해질 수 있으며, 이 식은 양각  $\alpha = \pm 10^\circ$  사이에서만 유효하다. 그리고 이러한 값들이 앞으로 수치계산과 비교될 때 도움이 될 수 있길 바란다.

4. 결론

본 연구에서는 회류수조를 이용하여 잠수체(strut) 벽 중앙부에 부착된 핀의 자유표면 효과를 조사하기 위하여 몰수비(H/C), 양각( $\alpha$ ) 및 속도(V) 변화에 따른 핀의 양력계수( $C_L$ )변화를 실험적으로 연구하였다. 실험에서 사용된 지주와 핀의 수평길이의 비는 5:1이며, 본 연구를 통해 아래와 같은 결론을 얻었다.

1) 잠수체(strut)에 부착된 핀의 양력계수( $C_L$ )는

몰수비(H/C)가 3.0이하인 경우에는 자유표면의 영향을 크게 받는다. 자유표면의 영향을 거의 무시할 수 있는 영역은 몰수비(H/C)가 5.0이상 경우라고 판단된다.

- 2) 핀의 양각( $\alpha$ )이  $\pm 10^\circ$ 사이인 구간에서 양력계수( $C_L$ )는 거의 선형적으로 변화하고 있다.
- 3) 몰수비(H/C)가 작은 경우( $H/C < 1.5$ ), 핀의 양력곡선경사치( $C_{La}$ )는 빠른 유속에서 몰수비의 값이 작을 수록 작아진다. 본 실험에서 다룬 최고 유속( $V=1.5m/s$ )에서는 몰수비(H/C)가 0.5인 경우가 5.0인 경우에 비해 양력곡선경사치가 30% 정도 감소하였다.
- 4) 자유표면의 변형은 잠수체(strut)에 기인한 조파현상이 지배적인 역할을 하고 있으나 핀의 몰수깊이가 작을 경우는 핀의 양각이 클 수록 핀의 영향을 크게 받는다.

후 기

본 연구를 지원해 주신 한국기계연구원 선박해양공학연구센터 및 첨단유체공학센터에 감사를 드린다. 본 연구수행에 많은 수고를 해주신 포항공대 기계공학과 대학원생 김성재씨에게도 감사료를 표한다.

참 고 문 헌

[1] Ira, H. A. and Albert, E. von Doenhoff, *Theory of wing sections*, Dover Pub., 1958

Table 1 Lift-curve slope( $C_{La}$ ) for various submergence ratio(H/C) and Fr number

| Fr No. | H/C   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | 0.5   | 0.8   | 1.0   | 1.3   | 1.6   | 2.0   | 2.5   | 3.0   | 4.0   | 5.0   |
| 0.4    | 2.789 | 2.708 | 2.699 | 2.580 | 2.589 | 2.317 | 2.462 | 2.482 | 2.514 | 2.333 |
| 0.6    | 2.688 | 2.869 | 2.873 | 2.807 | 2.779 | 2.556 | 2.635 | 2.680 | 2.649 | 2.523 |
| 0.8    | 2.273 | 2.702 | 2.860 | 2.896 | 2.899 | 2.754 | 2.714 | 2.769 | 2.740 | 2.680 |
| 1.0    | 2.040 | 2.687 | 2.863 | 3.049 | 3.050 | 2.922 | 2.842 | 2.916 | 2.830 | 2.754 |
| 1.2    | 1.918 | 2.512 | 2.658 | 2.815 | 2.905 | 2.807 | 2.724 | 2.880 | 2.841 | 2.734 |
| 1.5    | 2.085 | 2.398 | 2.513 | 2.609 | 2.646 | 2.609 | 2.598 | 2.743 | 2.790 | 2.717 |

- [2] Mori, K., "A study on semi-submersible high speed ship with wings -its resistance characteristics and possibility-," *J. Soc. Naval Arch Japan*, Vol.164, No.9, Dec., 1988
- [3] Ohmatsu, S. et al., "An experimental study on motion control of semi-submerged ships," *J. Soc. Naval Arch Japan*, Vol.152, pp.229-238, 1983
- [4] Goldstein, R. J., *Fluid mechanics measurements*, Hemisphere Pub, 1983
- [5] Pitt, W. C., Nielsen, J. N. and Kaattari, G. E., "Lift and center of pressure of wing-body-tail combinations at subsonic, transonic and supersonic speeds," *NACA Report 1307*, 1959
- [6] Whicker, L. F. and Feblner, L. F., "Free-stream characteristics of a family of low aspect-ratio, all-movable control surface for application to ship design," *DTMB Report 933*, 1958