

# 舶用 TP 620 翼型의 空氣 浮揚特性

金 時 榮

釜山水產大學  
(1986년 5월 12일 수리)

## The Characteristics on Water Surface Effects of Air Supported TP 620 Hydrofoil over Water

Si-Young KIM

National Fisheries University of Pusan

(Received May 12, 1986)

The steady potential flow about a TP 620 hydrofoil, flying in air above a dynamic water surface, is calculated by the one dimensional theory as the clearance-to-length ratio tends to very small.

The characteristics on water surface effects of air supported TP 620 hydrofoil over water are compared NACA 4412, NACA 66 and plate. respectively. It is found that using the TP 620 hydrofoil is superior lift coefficients. Moreover for trailing edge shape of the hydrofoil, high lift coefficients at 1 Fmn can be obtained.

### 記號說明

$h(x)$  : 翼下面 座標  
 $h_L$  : 翼前緣 틈새  
 $h_0$  : 翼後緣 틈새  
 $L$  : 翼弦長  
 $p$  : 壓力分布  
 $P_0$  : 翼周圍 壓力分布  
 $s(x)$  : 水面 座標  
 $u$  : 流速分布  
 $U_\infty$  : 均一流速  
 $x$  : 翼弦長座標  
 $y$  : 水面침하량  
 $\rho_w$  : 물의密度  
 $\rho_a$  : 空氣密度  
 $\alpha$  : 迎角

### 序 論

船底部分에 날개를 붙여 어떠한 임계속도에서부터 선체를 수면상에 부상시키는 것은 抵抗을 減少시켜 同一한 動力으로 速度를 增加시키기 위해서이며, 특

히 空氣浮揚 高速艇은 空氣力學的으로 배의 무게 一部를 支持하기 위한 것이다. 그리고, 날개 밑으로 통하는 空氣는 날개를 위로 들어 올리게 하며, 선체를 수면가까이에 接近시키는 效果를 더욱 增加시킬 수 있다. 이러한 水面效果는 翼이 水表面에 더욱 接近했을 때 翼의 아래 水表面의 影響은 翼과 水面사이의 좁은 틈 内部의 壓力分布 및 急速한 速度變化로부터 揚力을 더 크게 한다. 空氣力學的으로 水表面이 단단한 地面일 경우의 一次元 解釋은 Strand<sup>1)</sup>, Gallington<sup>2)</sup>, Widnell<sup>3)</sup>, Tuck<sup>4)</sup> 등이 研究해 왔다. 그리고 翼後緣이 地表面에 近接하면 速度分布에 의한 壓力分布는 좁은 틈 領域内에서 翼外部周圍의 壓力보다도 크게 되고 또 이에 相當하는 揚力을 얻을 수 있으며, 만약 地面이 自由水表面이라면 그 위의 流動壓力은 水表面을 누를 수 있으므로 이것은 점차로 翼後緣 方向으로 壓力分布를 矯正해 나아간다. 여기에 對해 最近 Tuck가 簡單한 假定을 두어 平板에 對하여 一次元 空氣 流動理論을 論述하였다<sup>5)</sup>.

그래서 本 論文에서는 舶用 TP 620 翼型을 高速艇에 利用할 경우 空氣浮揚 特性을 調査해 보았다. 理論은 Tuck의 一次元 理論을 使用하였고 數值計算은

Halley의 方法<sup>6)</sup>을 使用하였으며 結果를 平板 및 NACA 4412, NACA 66의 경우와도 比較하여 보았다.

### 計 算 理 論

Fig. 1에 나타난 것처럼 均一한 空氣流速의 크기가  $U_\infty$  이고 自由水表面위 어떤 空間에 固定된 2次元 船用 TP 620 翼型<sup>7)</sup>을 생각하면 水表面과 翼型사이의 空氣流動 때문에 水表面은 影響을 받게 되어 水面은 沈下되고 그 量을  $y=s(x)$ 라 하고 또 翼型의 아래 면의 形象을  $y=h(x)$ 라 둔다.

그리고  $h-s$ 의 最大값이 翼의 길이  $L$ 보다 작을 경우에는 翼型和 水表面의 틈사이를 流動하는 空氣의 速度  $u(x)$ 는 一次元 流動이라 假定할 수 있다<sup>5)</sup>.

그러면

$$u(h-s) = U_\infty h_0 \quad (1)$$

가 되고 여기서  $h_0$ 는 翼後緣과 水表面과의 間隙이고  $s=0$ 에서는  $u=U_\infty$ 이다.

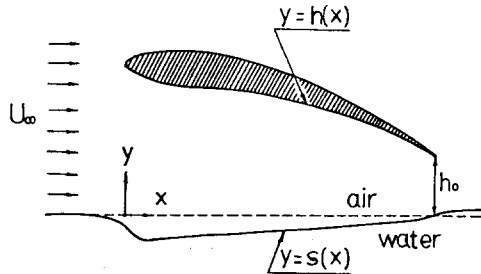


Fig. 1. Sketch of flow.

그리고 좁은 틈 内部에서 空氣의 壓力分布는 베르누이식에 의하여

$$p = P_0 + \frac{1}{2} \rho_a (U_\infty^2 - u^2) \quad (2)$$

이며 여기서  $P_0$ 는  $u=U_\infty$ 에서  $p$ 가 되고  $\rho_a$ 는 非壓縮性 流體라 假定한 空氣의 密度이다. 그리고 물은 水力學的으로 作用하고  $y=s(x)$ 인 自由水表面上에서는

$$p - P_0 = -\rho_w g s(x) \quad (3)$$

이다. 여기서  $\rho_w$ 는 물의 密度이다.

그리고 물에 吸收된 動力學的인 에너지가 空氣의 것보다 훨씬 적을 경우 및 空氣의 運動速度가 물의 運動速度보다 훨씬 클 경우에는 물의 運動量 影響은 無視한다. 이상의 方程式 (1), (2), (3)은  $p$ ,  $s$ ,  $u$ 의 未知數를 包含하고 있어서 식(2)와 식(3)으로부터  $p - P_0$ 를 消去하면

$$s(x) = \frac{1}{2} \rho_a / (\rho_w \cdot g) \times (u - U_\infty)^2 \quad (4)$$

가 되고 식(1)과 식(4)에서  $s$ 를 消去하면  $u$ 를 求하는 다음 식이 얻어진다.

$$u^3 - uT(x) + 2W^3 = 0 \quad (5)$$

여기서,

$$T(x) = U_\infty^2 + 2\rho_w g h(x) / \rho_a \quad (b)$$

$$\text{및 } h(x) = (1-x) \tan \alpha - y / \cos \alpha + h_0 \quad (7)$$

그리고

$$W^3 = U_\infty \rho_w g h_0 / \rho_a \quad (8)$$

이다. 方程式(5)의 解는  $h=h_0$ 에서  $u=U_\infty$ 을 滿足해야 하고 또  $T(x)$ 는  $h(x)$ 의 連續인 變化로부터 얻어지는 解를 滿足해야 하며, 또 이것은 後緣지점에서 얻어진 解와 連續이어야 한다.

### 數 值 解 釋

方程式(5)의 解를 求하는 方法은 Newton-Raphson의 方法에 Taylor 級數를 展開한 方法을 利用한 Halley 法을 使用한다. 여기서 第3次 微分係數 以上을 생략해서

$$F(u) = F(u_n) + \frac{F'(u_n)(u-u_n)}{1!} + \frac{F''(u_n)(u-u_n)^2}{2!} \quad (9)$$

이라 하고  $u=u_{n+1}$ 로 둔 다음  $u_{n+1}$ 이  $F(u_{n+1})=0$ 으로 되는 값을 求하고자 하는 解라 해서  $U_{n+1}$ 에 對해 풀면

$$(u_{n+1} - u_n) \left[ F'(u_n) + \frac{F''(u_n)(u_{n+1} - u_n)}{2!} \right] = -F(u_n) \quad (10)$$

이 되고

$$u_{n+1} = u_n - \frac{F(u_n)}{F'(u_n) - \frac{F''(u_n) \cdot F(u_n)}{2F'(u_n)}} \quad (11)$$

가 된다. 식(10)으로부터 初期值  $u_0 = U_\infty$ 로 잡아서 計算을 行하되 收斂값을 다음으로 하였다.

$$\frac{u_{n+1} - u_n}{u_n} \leq 10^{-5} \quad (12)$$

식(11)로부터 求한 값이  $u < U_\infty$ 이면  $p > P_0$ 가 되어 翼前後緣사이의 모든 領에서 純粹揚力이 發生한다는 것을 알 수 있다. 그리고 修正 Froude 數<sup>8)</sup>는 다음 식을 써서  $F_{mn}$ 에 對한 特性變化도 求할 수 있다.

$$F_{mn} = U_\infty (\rho_a / \rho_w \cdot g h_0)^{1/3} \quad (13)$$

또 揚力은

$$C_L = \int (p - P_0) dx / \frac{1}{2} \rho_a U_\infty^2 L \quad (14)$$

의 關係<sup>9)</sup>가 있으므로 自由水表面 沈下에 對한 揚力 特性도 알 수 있다.

計算結果 및 考察

Fig. 2는 船用 TP 620 翼型의 翼弦長 方向에 따른 流速分布을 나타낸 것이다. 翼前緣에서는  $U_\infty$  와 같이 入射하여 翼弦長에 따라 漸次 流速이 減少하다가 翼後緣의 近處에서 2次 流速 減少點이 있고 그리고 완만하게 나타내고 있다. 그리고  $U_\infty$  가 增加할수록 水面과 翼型사이의 速度分布은 대체로 減少傾向이 增加하나 小角度 變化에서 그 影響이 크며 또 翼의 下面 影響이 있는 경우와 比較해서 正反對의 現象이 나타나고 있는 것이 特異한데 이는 翼의 下部 表面이 水表面의 影響으로 流速增加에 따른 水面效果로 沈下量에 原因이 있다고 본다. 또 NACA 4412<sup>9)</sup>와 의 比較에서 水表面의 效果로 인하여 더욱 揚力特性이 있음을 알 수 있다. 그리고 Fig. 3은  $U_\infty$  가 一定일때 迎角의 增加에 따른 流速分布을 나타낸 것으로 迎角이 增加함에 따라 速度의 늦음이 增加함을 알 수 있고 또 그 增加幅은 大角度 變化率보다도 小角度에서 效果가 더욱 크며 같은 幅의 領域에서 TP 620 翼型의

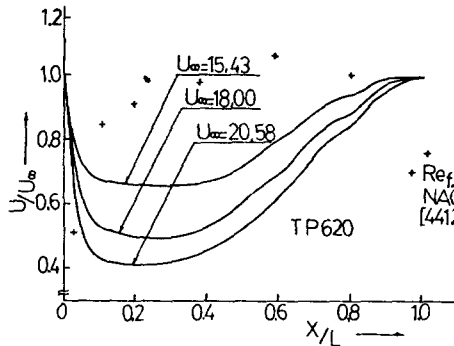


Fig. 2. Velocity distribution of TP 620 hydrofoil in the pressure side,  $\alpha = 5^\circ$ .

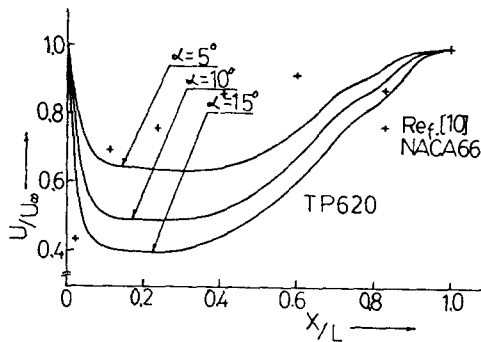


Fig. 3. Velocity distribution of TP 620 hydrofoil in the pressure side,  $U_\infty = 20.58 \text{ m/s}$ .

揚力은 같은 條件  $\alpha = 10^\circ$ 에서 NACA 66<sup>10)</sup> 보다도 優秀하게 나타났다.

Fig. 4는  $F_{mn}$ 의 變化에 따른 水表面의 沈下量 程度를 나타낸 것이다. 流速의 減少로 因하여 翼前緣에서 沈下量은 컸고 後緣으로 갈수록 自由表面에 가가워지며 後緣附近에서는 또 다른 沈下特性이 있고,  $F_{mn}$ 이 큰 값에서 沈下效果가 增加比率이 크며 平板보다<sup>3)</sup> 우수했으며 Fig. 5는 翼型의 揚力係數를 迎角 및  $F_{mn}$ 의 값에 따라 나타낸 것이다. 대개 迎角 및  $F_{mn}$ 의 增加에 對해 揚力은 增加하는 것으로 나타났으나 迎角보다는  $F_{mn}$ 의 效果가 큼을 알 수 있다. 또 迎角이  $5^\circ$ 에서 同一한 길이인 平板<sup>5)</sup>보다도 TP 620 翼型 쪽이 揚力效果가 큼을 알 수 있고 이는 後緣에서 下向壓力을 增加시킬 수 있는 形狀으로 되어 있기 때문이라고 생각된다.

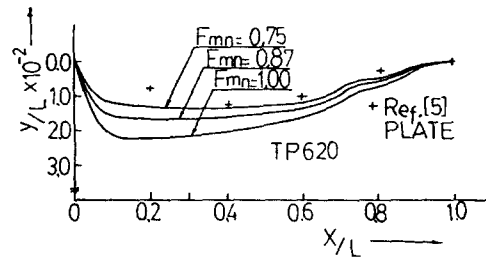


Fig. 4. Free surface depression TP 620 hydrofoil with  $h_L/h_0 = 5$ , at various  $F_{mn}$ ,  $\alpha = 15^\circ$ .

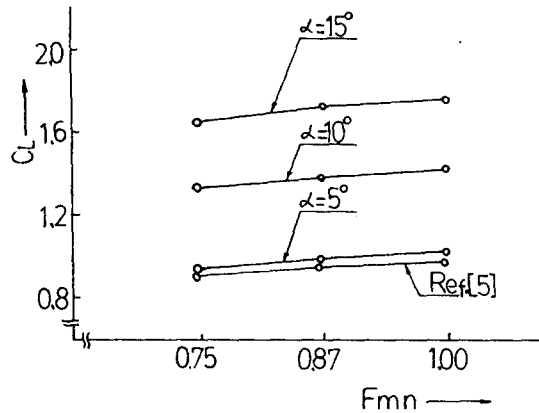


Fig. 5. Lift coefficients as a function of  $F_{mn}$  for TP620 hydrofoil at a various angle of attacks.

## 要 約

以上の結果로부터 船用 TP 620 翼型の 空氣浮揚 特性은 다음과 같다.

1. 翼弦長에 걸쳐서 下面의 流速分布는 入射流速 및 迎角의 증가에 依해 대체로 減少하며 그 傾向은 1, 2次의 速度特性 曲線을 갖고 그리고 高入射流速보다도 低入射流速에서, 큰 迎角보다는 작은 迎角에서 그 速度 減少幅이 크다.
2. 水表面의 沈下量은  $F_{mn}$ 의 증가에 比列하여 增加하나 後縁에 가까워질수록 그 量은 增加幅이 크며  $x/L=0.8$  附近에서 2次 沈下特性이 있었다.
3. 揚力特性은 迎角 및  $F_{mn}$ 의 增加에 따라 대체로 增加하지만  $F_{mn}$ 보다도 迎角의 影響이 더욱 크게 作用하며 그 값이  $5^\circ$ 인 경우 平板과의 比較에서 船用 TP 620 翼型쪽이 優秀하게 나타났다.

## 文 獻

- 1) Strand, T., Royce, W.W., and T. Fujita, (1962); Cruite Performance of Channel-Flow Ground-Effect Mechanict. Journal of the Aeronautical Sciences, Vol.29, 702-711.
- 2) Gallington, R.W. and M. K. Miller,(1970); The Ram Wing. American Institute of Aeronautics, paper No.79, 971.
- 3) Widnall, S.E, and T.M. Barrows,(1970); An Analysis Solution for Two and Three-Dimensional Wings in Ground Effect. Journal of Fluid Mechanics, Vol.41, 76-792.
- 4) Tuck, E.O.(1981); Steady Flow and Static Stability of Airfoil in Extreme Ground Effect. Journal of Engineering Mathematics, Vol.15, 89-102.
- 5) Tuck, E.O.(1984); A simple One-Dimensional Theory for Air Supported Vehicles Over Water. Journal of Ship Research, Vol.28(4), 290-292.
- 6) 金鍾浩(1983); 數値解析. 集賢社, 54-56.
- 7) 山口一(1983); 翼型に發生する部分キャビテーションの非線形理論と耐キャビテーション性能の優れた翼の開発. 東京大學工學博士論文, 41-78.
- 8) Eppler, R.(1969);Laminar Profile für Reynolds-Zahlen größer als  $4 \cdot 10^6$ . Ingenieur-Archiv, 38, 232-240.
- 9) Eppler, R.(1960); Ergebnisse gemeinsamer Anwendung von Grenzschicht-und Profil Theorie. Zeitschrift Für Flugwissen schaflen 9, 247-260.
- 10) Grundy, I(1986); Airfoils Moving in Air Close to a Dynamic Water Surface. J. Austral. Math, Soc. Ser. B 27, 327-347.