

粘性의 影響을 考慮한 船用 TP620 翼型의 翼特性 研究

金 時 榮*

Viscous Effects on the Characteristics of TP620 Hydrofoil

Si-Young KIM*

In this paper, the author investigate viscous effects on the characteristics of TP620 hydrofoil.

The pressure distribution on the foil section in non-cavitating flow should be considered its characteristics of displacement thickness due to viscous effects. Theoretical potential theory, which neglects viscous effects do not agree with this analysis, especially at leading edge region of the foil. And, the efficiency of TP620 hydrofoil considering viscous effects is a little lower than that of the foil, which neglected viscous effects.

序 論

2次元 翼型의 流動場에 대한 研究는 여러가지^{1), 2), 3)}가 있지만 이들은 모두 線形理論으로서 「翼型前緣으로부터 剝離가 發生한다.」고 假定하지 않으면 翼型前緣에서 壓力이 無限大로 크게 發散한다는 不合理性이 있었다.

그리고, 非線形理論으로서 山崎⁴⁾ 및 西山⁵⁾의 方法이 있지만 이들은 모두가 境界層두께를 0으로하는 境界條件을 주고 있으므로 實測值와의 오차가 있었다.

또한 最近에 山口⁶⁾의 Potential 理論⁷⁾에서는 實測值를 充分히 說明할 수 없는 경우가 많다. 또 Arakeri⁸⁾는 半球形의 物體에 대해 Potential 流動을 粘性에 依한 境界層을 假定하고 그의 影響을 考慮했을 경우에 좀더 實測值에 接近시킬 수 있음을 報告하고 있다.

그리고, 이들을 바탕으로 前報⁹⁾에서 potential 理論에 依해 解析된 船用 TP620 翼型에 대하여 potential 流의 非cavitation 狀態에서 粘性의 效果에 依한 境界層의 特性值들을 調査한 結果 流動에 影響을 끼치는 것을 알았다. 그래서 本論文에서는 前報와 같은 狀態에서 粘性의 效果에 依한 境界層 形成으로 排除 두께가 存在하므로 原翼型은 겉보기 斷面이 사실상

두꺼워져서 이것으로 因하여 翼型의 性能에 어느정도 影響을 끼치는가에 대한 翼型의 特性值들을 調査 하였다.

計 算 法

1. 座標系 및 主流速 分布

2次元 定常流 및 非cavitation 狀態를 假定하고 Fig. 1과 같이 翼의 首尾線에 x軸 그것에 수직으로 y軸을 取하고 翼 前後緣의 x座標를 各 0, 1로 하였다.

그리고 均一流 U_∞ 는 x軸에 α 의 角度로써 流入하여 翼주위를 돌아서 後緣으로 흘러가며 빔금과 같이 potential 流의 粘性效果에 依해서 境界層이 생기고

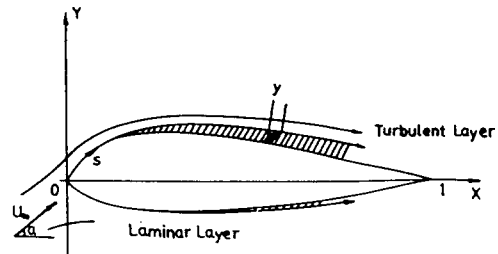


Fig. 1. Coordinate system and boundary layer Model.

* 釜山水產大學: National Fisheries University of Pusan

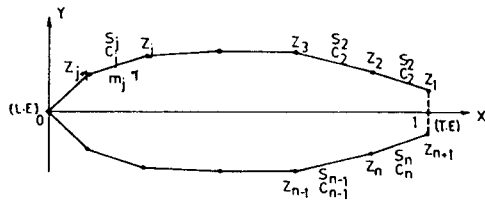


Fig. 2. Discretization of boundary.

前緣으로부터의 좌표를 s 라 하면 s 의變化에 따라層流가亂流로遷移한다고假定한다.

그리고解析을 위하여境界를 Fig. 2와 같이翼後緣上面→前緣→翼後緣下面的順으로 n 個의線分으로分割하고各線分の中點에湧出分布 m_j , 均一渦分布 γ 를分布시키면翼表面任意的點 z 에 있어서復素共役速度 $w(z)$ 는 다음과 같이表示된다.

$$w(z) = U_\infty e^{-i\alpha} + \frac{1}{2\pi} \sum_{j=1}^n m_j \frac{|s_j|}{s_j} I_n \frac{z-z_j}{z-z_{j+1}} + \frac{\gamma}{2\pi i} \sum_{j=1}^n \frac{|s_j|}{s_j} I_n \frac{z-z_j}{z-z_{j+1}} \quad (1)$$

2. 境界條件⁶⁾

境界條件으로서 以下の 것을 생각하고各線分の中點 c_j 에서境界條件式을 만족토록 한다.

(i) 接線流條件

翼表面에서流線의方向과分割한線分의方向이一致한다. 그리고初期에서는粘性의影響이無視된狀態, 다음은 이를考慮한狀態에서翼의걸보기 두께의分割面을 따라 만족토록 한다.

즉,

$$I_m \{w(c_j) \times s_j\} = 0 \quad (2)$$

(ii) Kutta의湧出條件

翼後緣部分에서는 이를 둘러싸는上下面의2點에서流速은 같다.

初期에서는粘性의影響이 무시된狀態에서原翼型的 마지막要素의中點, 그리고粘性이考慮된狀態는排除두께를補正한 끝의翼要素中點에서 다음式이各各 만족토록 한다. 즉,

$$-R_e \{w(c_1) \times s_1 / |s_1|\} = R_e \{w(c_n) \times s_n / |s_n|\} \quad (3)$$

3. 層流境界層의排除두께¹⁰⁾

層流部分에서排除두께 δ^* 는層流境界層의形成에依해流速變化에 대하여流體의量이主流測에排除

되므로 그量이非粘性流體에 대한翼表面으로부터排除두께 δ^* 內에 있는流量 $U_e \delta^*$ 와 같다고 보면

$$\delta^* = \frac{1}{U_e} \int_0^\infty (U_e - u) dy = \int_0^\infty \left(1 - \frac{u}{U_e}\right) dy = \theta H(K_1) \quad (4)$$

이 된다. 그리고, 여기서

$$H(K_1) = \begin{cases} 2.61 - 3.75K_1 + 5.24K_1^2 & (K_1 > 0) \\ 0.9731 / (0.4 + K_1) + 2.088 & (K_1 < 0) \end{cases} \quad (5-a)$$

$$K_1 = \frac{\theta^2}{\nu} \frac{dU_e}{ds}, \quad \theta^2 = 0.45 \nu U_e^{-6} \int_0^s U_e^5 ds \quad (5-b)$$

이다.

이렇게 하여計算된排除두께 δ^* 를原翼型에 그 두께를補正하여 다시式(1) 및境界條件을 만족토록 걸보기翼表面의主流速을 구한다.

4. 層流剝離 및亂流遷移點^{11), 12)}

層流剝離는 $K_1 = -0.09$ 에서 생긴다. 그리고 첫이점은 다음의判定式을 써서 s 의位置를 구한다.

$$R_\theta = 1.174 \{1 + (22400/R_s)\} R_s^{0.46} \quad (6-a)$$

단,

$$R_\theta = \frac{U_e \theta}{\nu}, \quad R_s = \frac{U_e s}{\nu} \quad (6-b)$$

遷移點에 달하면 이點의첨자를 (tr) 로 붙여서 그位置로부터亂流로移行해서 다음式으로接續시킨다.

$$\theta = \theta_{tr}, \quad H_t = H_{tr} - \Delta H \quad (6-c)$$

단,

$$\Delta H = 0.785 + 0.14 \log_{10} (R_{\theta tr}) - 0.005 \{ \log_{10} (R_{\theta tr}) \}^2 \quad (6-d)$$

5. 亂流境界層의排除두께¹¹⁾

亂流境界層의計算은 Head의方法에 의해 다음式으로부터 구했다.

$$\frac{d\theta_t}{ds} + (H_t + 2) \frac{\theta_t}{U_e} \frac{dU_e}{ds} = \frac{C_{ft}}{2} \quad (7-a)$$

$$\frac{1}{U_e} \frac{d}{ds} (U_e \theta_t H_t) = F(H_t) \quad (7-b)$$

단,

$$F(H_t) = 0.0306 (H_t - 3.0)^{-0.6169} \quad (7-c)$$

$$H_t = \begin{cases} 0.8234 (H_t - 1.1)^{-1.287} + 3.3 & (H_t < 1.6) \\ 1.5501 (H_t - 0.678)^{-3.064} + 3.3 & (H_t > 1.6) \end{cases} \quad (7-d)$$

$$C_{ft} = 0.246 \cdot 10^{-0.678 H_t} R_\theta^{-0.263} \quad (7-e)$$

윗式에依하여任意的點 $s = s^*$ 에 있어서 걸보기翼두께에 대하여運動量두께 θ 및形狀係數 H_t 를 ds 만큼 증분해가면서 반복으로計算하여亂流境界層의排除두께 $\delta^* = H_t^* \theta_t^*$ 의 값을 첫이점으로부터翼後緣

까지 計算을 行한다.

6. 揚力 및 抗力⁵⁾

겉보기 翼表面에 따른 座標와 壓力係數를 s 및 $C_p(s)$ 라 하면 揚力係數 C_L 및 抗力係數 C_D 는

$$C_L = \frac{1}{C} \oint C_p(s) \cos(x, s) ds = \frac{1}{C} \oint C_p(s) dx \quad (8-a)$$

$$C_D = \frac{1}{C} \oint C_p(s) \sin(x, s) ds = 2 \frac{\delta_{21}^2}{C} \quad (8-b)$$

으로서 計算할 수 있다.

計算結果 및 考察

船用翼型의 효율에 대해서는 potential 流動이나 아주 큰 高速의 流速度인 경우 粘性의 影響이 커서 이를 考慮했을 경우는 實測值와의 차이를 갖게 된다.

Fig. 3은 迎角이 $0.7^\circ, 1.7^\circ, 2.7^\circ$ 일 경우에 翼正 壓力面에 생기는 排除 두께 δ^* 을 表示한 것이다. 層流部分에서 前緣으로부터 亂流部分의 後緣으로 갈수록 그 量은 증가하여 특히 鈍이점部分에서 層流剝離 및 亂流遷移함에 따라 두께의 不連續이 생기고 특히 後緣部分에서 그 두께가 열려 있음을 알 수 있다. 이는 粘性에 의한 겉보기 두께가 사실상 증가해 있으며 不連續點에서는 速度구배가 0인 것을 알 수 있다. 粘性의 影響이 速度감소에 의해 壓力회복이 크게 作用함을 알 수 있다. 그리고 排除두께는 迎角과 더불어 증가하는 경향을 보이고 있다.

또 Fig. 4, 5, 6은 各各의 迎角의 變化에 따른 排除두께를 考慮했을 경우의 排除두께 外緣의 主流速에 의한 壓力과 potential 流動에 의한 主流速과의 比

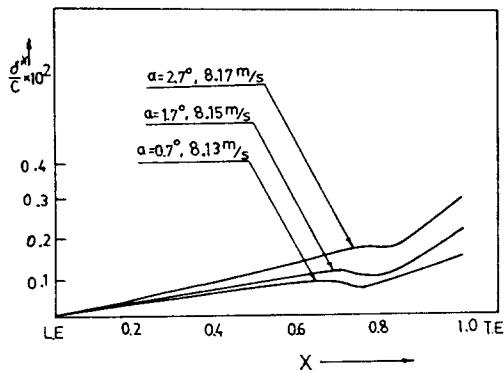


Fig. 3. Sample of displacement-thickness of blade section due to viscous flow ($r/R=0.7$, TP620).

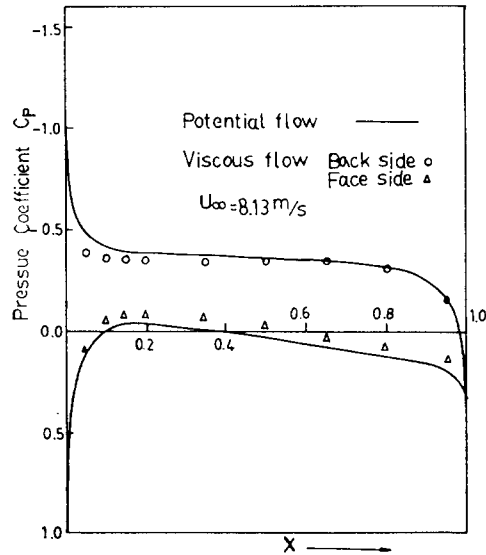


Fig. 4. Pressure distribution in noncavitating condition ($\alpha=0.7^\circ, r/R=0.7$, TP620).

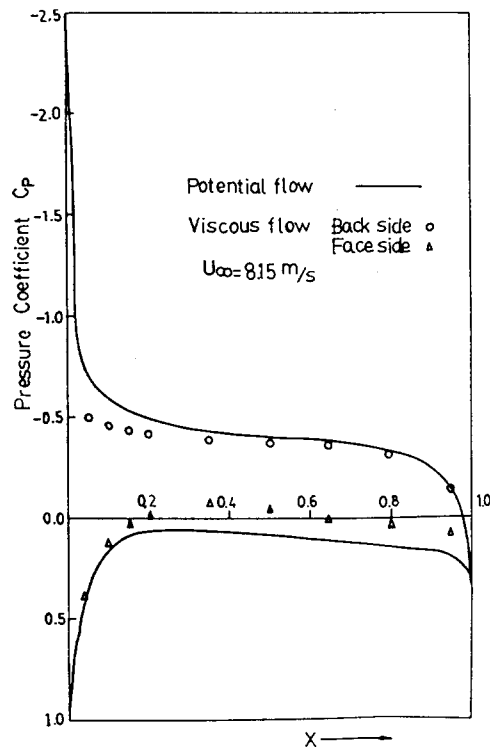


Fig. 5. Pressure distribution in noncavitating condition ($\alpha=1.7^\circ, r/R=0.7$, TP620).

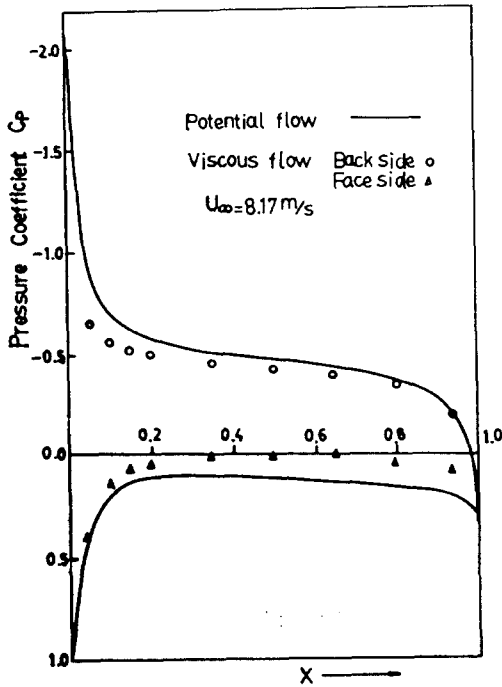


Fig. 6. Pressure distribution in noncavitating condition ($\alpha=2.7^\circ$, $r/R=0.7$, TP620).

較를 나타내고 있다. 壓力分布곡선은 排除두께를 考慮한 쪽이 그로 因하여 速度分布가 다소 감소하고 있음을 알 수 있고 後緣部分근방에서는 그 값이 평탄하고 排除두께에 依한 粘性의 效果가 翼의 前方으로 伸장되어 있음을 알 수 있고 翼의 前緣部에서 그 分布가 potential 流에서는 急의 피크를 갖고 있으나 粘性流에서는 나타나지 않는것은 그 영향으로 因하여 效果가 前緣에까지 미침을 알 수 있다.

그리고 Fig.7은 速度分布에 依한 正壓面運動量 두께의 變化를 迎角에 대하여 翼弦長에 따라 그 값의 分布경향을 나타내고 있다. 여기서 翼前緣部에서는 排除두께가 얇아 그 값이 작으나 前이점 부근을 지나서 後緣으로 갈수록 翼表面의 排除두께증가 및 겹보기 翼두께 變化에 依하여 壓力회복 및 速度감소로 그 값이 급격히 증가함을 알 수 있고 그 증가 경향은 層流域보다 亂流域이 크고 α 의 증가에 비례하였으며 前이점은 迎角이 클수록 翼前緣으로 移動하는 경향을 보였다.

그리고, Fig.8 및 9는 주어진 迎角에서 翼迎角에 따른 揚力 및 抵抗力의 變化를 나타낸 것으로 potential 流動 및 排除두께를 고려했을 때 서로 그 값을 비교

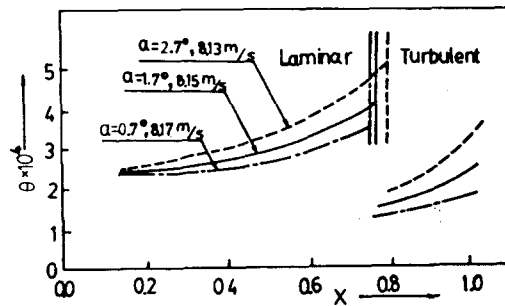


Fig. 7. Modified momentum thickness due to viscous effects ($r/R=0.7$, TP620).

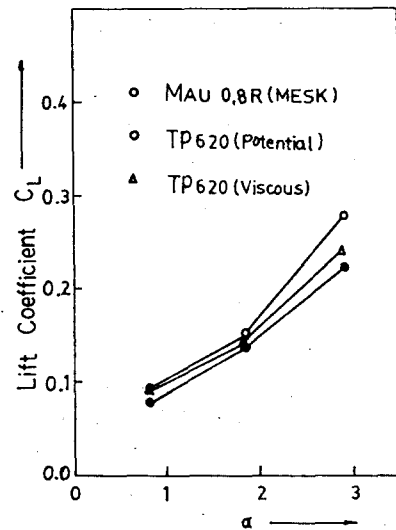


Fig. 8. Variation of lift coefficient due to attack angle.

하였다. 즉, 排除두께를 考慮했을 경우가 揚力에서는 potential 流 보다 다소 감소하였으며 抵抗力에서는 그 값이 다소 증가해 있음을 알 수 있다. 이는 粘性 效果에 依한 排除두께의 영향이 있음을 알 수 있다. 그리고 이 값이 camber의 變化가 심한 後緣部부근에서 약간 차이를 보이며 前緣의 부근에서는 거의 없었다. 이 特性은 前緣에서는 粘性의 영향에 依한 排除두께의 生成이 없고 後緣에서는 排除두께가 증가해도 차이가 없는 것은 亂流가 burst 流動이어서 壓力에 크게 영향이 없음을 알 수 있다. 그리고 迎角의 變化에 대하여 그 값의 차이가 다소 있으므로써 사실은 翼性能의 감소가 있음을 알 수 있다.

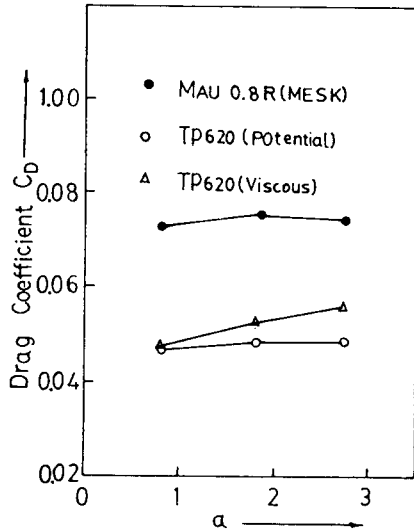


Fig. 9. Variation of drag coefficient due to attack angle.

要 約

以上으로부터 非cavitation 定常狀態인 船用 TP620 翼型의 粘性的 影響에 의한 排除두께를 考慮했을 경우의 翼特性을 要約하면 다음과 같다.

1. 粘性的 影響에 의한 壓力分布는 前緣部分에서는 負壓의 피크가 사라지고 後緣部에서는 걸보기 翼 두께 生成에 의해서 potential 流動의 相似形을 보이는 것은 burst 流動으로 後緣部分 流動에 큰 影響이 없음을 알 수 있다.

2. 排除두께 및 運動量두께는 層流部分보다 亂流部分의 증가비율이 크고 速度구배가 0인 천이점부근에서 不連續으로 因해 粘性力에 의한 初生 cavity의 存在 可能性을 排除두께 및 運動量두께 分布로부터 알 수 있다.

3. 粘性에 의한 排除두께의 生成으로 原翼型의 斷面은 사실상 증가하며 이를 考慮한 경우 翼性能이 약간 감소했다.

參 考 文 獻

- Geurst, J. A. (1959): Linearized theory for partially cavitated hydrofoils. Int. Shipbuilding progress, Vol. 6, No. 60, 369-384.
- 花岡達郎(1966): 任意翼型의 캐비테이션 流場의 線形理論(その3. 部分空洞의 解法). 日本造船學會論文集, Vol. 119, 18-28.
- 西山哲郎·伊藤 惇(1977): 特異點法による部分空どう翼의 流場의 基礎式とその解法(第1報, 二次元單獨翼). 日本機械學會論文集(第2部), Vol. 43, No. 370, 2165-2174.
- 山崎正三郎·高橋通郎(1979): 特異點法を用いた二次元厚翼의 部分空洞의 解法. 日本造船學會論文集, Vol. 146, 112-118.
- 西山哲郎·伊藤 惇(1981): 特異點法による部分空どう翼의 流場의 基礎式とその解法(第5報, 反りおよび厚みの大きい單獨翼). 日本機械學會論文集(B編), Vol. 47, No. 424, 2229-2234.
- 山口 一(1983): 耐캐비테이션性能의 優れた 翼型의 開發. 日本造船學會論文集, Vol. 154, 102-108.
- Hess, J. L. and A. M. O. Smith (1966): Calculation of potential flow about arbitrary bodies. Progress in Aeronautical, Vol. 8, 120-155.
- Arakeri, V. H. and A. J. Acosta, (1973): Viscous effects in the inception of cavitation on axisymmetric bodies. J. Fluid Engineering, Trans. of ASME. Vol. 95, 519-527.
- 徐奉錄·金時榮(1985): 定常狀態인 船用 TP620 翼型의 境界層特性 研究. 韓國船舶機關學會 秋季學術發表 論文抄錄集, 66-71.
- 上田耕平(1984): 定常狀態의 프로ペラ에 及ぼす粘性的의 影響(I). 西部造船會會報, 第69號, 57-78.
- 生井武文·井上雅弘(1978): 粘性流體의 力學. 理工學社, 155-160.
- 森山文雄·山崎隆介(1981): 프로ペラ後流中おかれた舵に働く力について. 西部造船會會報, 第62號, 23-40.