
 論 文

大韓造船學會誌
 第27卷 第4號 1990年 12月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 27, No. 4, December 1990

Horn Type 舵와 한雙의 舵의 舵直壓力 計算에 관한 研究

李 承 建*

Calculation of the Rudder Normal Force for a Horn Type Rudder and Twin Rudder

by

Seung Keon, Lee*

要 約

揚力面の 揚力計算에 흔히 쓰이고 있는 方法을 크게 나누면 Vortex Lattice 法과 Mode Function 法이 있다. 잘 알려진 것 처럼, Vortex Lattice 法은 解의 收斂性은 좋으나 計算時間이 많이 걸리는 問題點이 있고, Mode Function 法은 計算時間은 짧으나 解가 特異해 지는 경우가 있다. 그러므로 本 論文에서는 兩方法의 長點들을 살리도록, 揚力面을 Span 方向으로 分割하고 各 Strip에 Mode Function을 사용하여 Vortex를 分布시켜, 揚力面理論으로 揚力을 計算하였다.

우선 Horn Type의 半均衡舵에 本 計算法을 適用하여 舵直壓力을 計算하고 舵 單獨試驗을 並行하여 計算法의 有用性을 檢證하였다. 그 結果, Stall과 같은 非線形的 流體現象이 일어나지 않는限, 本 計算法은 有用하다는 結論을 얻었다. 끝으로, 本 計算法을 平行하게 늘어선 한雙의 長方形舵에 適用하여 두 舵 사이의 相互干涉도 計算하였다.

Abstract

To calculate the lift of a thin lifting surface like the ship-rudder, it is popular to replace the lifting surface by a series of vortices. Two methods, which are vortex lattice method and mode function method, are frequently used to distribute the vortices on the lifting surface.

In this paper, the intermediate way of two mentioned calculation method is carried out to exploit the merits of them. The basic concept of this method is to divide the lifting surface with several strips in span-wise and replace vortices to the chord-wise at each strips.

A horn type semi-balanced rudder is chosen for the real method, and the validity of the proposed calculation is pursued by the open water test of the same rudder.

Finall, this method is applied to the calculation of the interference between the two homogenous rudders siting parallel to the free stream.

Nomenclature

- a : Strength of each vortices distributed by the mode function
- c : Chord length of the rudder
- F_N : Rudder normal force
- H : Height of the rudder
- s : Span of the rudder
- z : Interval between two homogenous rudders
- w : Induced velocity
- δ : rudder angle
- γ : Strength of the vortex
- β : Attack angle
- A : Aspect ratio
- θ : Shedding angle of the free vortex

1. 序 論

舵와같이 縱橫比가 1.0정도이고 두께가 얇은 揚力面의 揚力計算法으로서는, 舵를 平面으로 假定하고 그 表面에 Vortex를 分布시켜 揚力을 구하는 것이 一般의 方法이다. Vortex를 分布시킬 때에도 機械的으로 格子를 發生시켜 各 格子를 Horse-shoe Vortex로 代置하는 方法(Vortex Lattice法)이 있고, Mode Function을 使用하여 Vortex를 分布시키는 方法(Mode Function 法 등이 있다[1, 2, 3, 4]). 두 方法은 서로 長短點이 있으므로 本 論文에서는 兩者의 長點을 살피도록 舵를 Span 方向으로 分割하고, 各 Strip마다 Chord 方向으로는 Sugai의 Mode Function[5]을 使用하여 Vortex를 分布시켜 揚力面 理論을 適用하여 舵直壓力을 計算하였다. 이러한 計算法은 Nakatake[6], Hirano[7] 등에 의해 提案된 바 있다.

對象으로 한 舵는 Horn-Type의 半 均衡舵이고 舵單獨 試驗을 통해 本計算法의 有用性을 檢證하였다. 덧붙여, 本 計算法을 平行하게 配置된 한 雙의 長方形舵에 適用하여 두 舵 사이의 相互干涉도 計算하여 보았다.

2. 定 式 化

먼저 Fig.1과 같이 點 $p'(x', y', z')$ 에 있는 Horse-shoe Vortex에 의해 點 $P(x, y, z)$ 에 誘起되는 Down Wash 를 計算해 보자.

그림에서 y_1' 에서 y_2' 까지 分布되어있는 Bound Vortex 要素 dy' 에 의해 點 P 에 誘起되는 誘起速度 dw 는 渦의 強度를 4π 라하면,

$$dw = \frac{4\pi}{4\pi} \cdot \frac{dy'}{h^2} \cdot \sin\beta \quad (1)$$

여기서 $h^2 = R^2 + (y - y')^2$

$$R^2 = (x - x')^2 + (z - z')^2$$

$$\sin\beta = R/h$$

따라서 dw 는

$$dw = \frac{R dy'}{[R^2 + (y - y')^2]^{3/2}} \quad (2)$$

여기서 Bound Vortex는 y_1' 에서 y_2' 까지 分布하고 있으므로

$$w = \int_{y_1'}^{y_2'} dw = \int_{y_1'}^{y_2'} R dy' / [R^2 + (y - y')^2]^{3/2} \quad (3)$$

이다. 이식을 적분하면

$$w = -1/R \left[(y - y') / \sqrt{R^2 + (y - y')^2} \right]_{y_1'}^{y_2'} \quad (4)$$

여기서 $[]_{y_1'}^{y_2'}$ 의 意味는 $[]$ 안의 式에 y 대신 y_2' 를

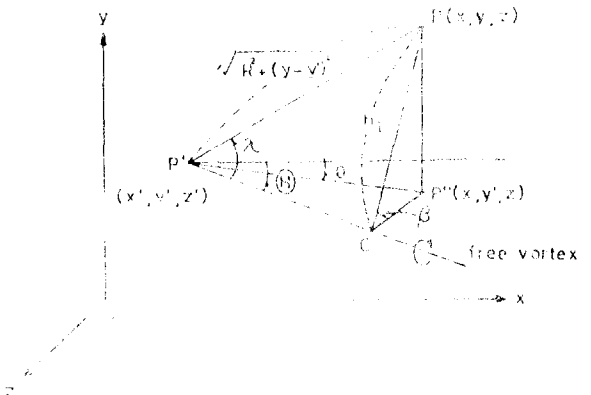
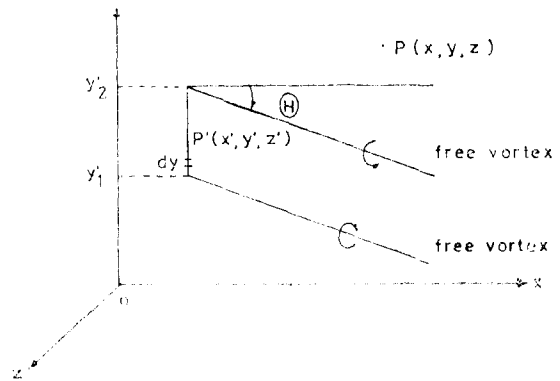


Fig. 1 Coordinate system of a horse-shoe vortex

代入한 값에서 y_1' 를 代入한 값을 뺀 다는 것이다.

이 w 의 xy 면에 垂直인 成分은 $w \cdot \cos \theta$ 이다.

$$\text{단, } \tan \theta = (z - z') / (x - x')$$

다음으로, 自由渦에 의한 誘起 速度를 求한다. Fig. 1에서 처럼 點 $P'(x', y', z')$ 에 始點이 있고 xy 면과 角 θ 를 이루며 放出되는 自由渦에 의한 面 $p'pc$ 에 直角인 誘起速度 w_i 는

$$w_i = \frac{\gamma}{4\pi} \cdot \frac{\cos \lambda + 1}{h_1} \quad (5)$$

이 w_i 의 $p'pc$ 면에 平行인 成分 w_T 는

$$w_T = w_i \sin \beta = w_i (y - y') / h_1 \quad (6)$$

한편 w_T 의 z 軸에 平行인 成分 w_n 은

$$w_n = w_T \cos \theta = (\cos \lambda + 1) \cdot (y - y') \cos \theta / h_1^2 \quad (7)$$

여기서, $h_1^2 = R^2 \sin^2(\theta - \theta) + (y - y')^2$

$$\cos \lambda = R \cos(\theta - \theta) / \sqrt{R^2 + (y - y')^2}$$

그러므로 自由渦에 의한 Down Wash는

$$w = \int_{y_1'}^{y_2'} \frac{(y - y') \cos \theta}{\sqrt{R^2 + (y - y')^2}} \left\{ \frac{R \cos(\theta - \theta) + \sqrt{R^2 + (y - y')^2}}{R^2 \sin^2(\theta - \theta) + (y - y')^2} \right\} dy' \quad (8)$$

結局, 1個의 Horse-shoe Vortex에 의한 誘起速度 w 는

$$w = - \int_{y_1'}^{y_2'} \frac{(y - y')}{\sqrt{R^2 + (y - y')^2}} \left\{ \frac{\cos \theta}{R} + \cos \theta \frac{\sqrt{R^2 + (y - y')^2} + R \cos(\theta - \theta)}{R^2 \sin^2(\theta - \theta) + (y - y')^2} \right\} dy' \quad (9)$$

3. 數值計算

以上과 같이 求해진 誘起速度에 關한 核函數(Kernel Function)을 利用하여 Fig. 2과 같은 Horn Type의 半均衡舵에 대해 揚力을 求해보자.

그림에서 처럼 Horn部를 Span方向으로 $(2M+1)$ 分割하고 各 Strip에 對해 Chord方向으로 $(N+2)$ 個의 渦를 Sugai의 Mode Function에 의해 分布시킨다. 舵의 作動部에 對해서도 Span方向으로 $(2M'+1)$ 個의 Strip으로 分割하고 各 Strip에 對해 $(N'+2)$ 個의 渦를 分布시킨다.

即, 各 Strip에서의 Mode Function은

$$\gamma_{HM}(\theta) = (1 + \cos \theta) / \sin \theta \cdot 2 / (N+1) \cdot U \sum_{p=0}^{N+1} \epsilon_p \cdot a_{HMp} \sum_{k=0}^{N+1} \epsilon_k \cdot \cos k\theta_p \cdot \cos k\theta \quad (10)$$

$$\theta_p = \pi \cdot p / (n+1), \quad p = 0, 1, 2, \dots, n+1$$

$$\epsilon_p, \epsilon_k = \begin{cases} 1/2 (p, k=0, n+1 \text{ 또는 } n'+1) \\ 1 (p, k \neq 0, n+1 \text{ 또는 } n'+1) \end{cases}$$

$$\gamma_{RM'}(\nu) = (1 + \cos \nu) / \sin \nu \cdot 2 / (N'+1) \cdot$$

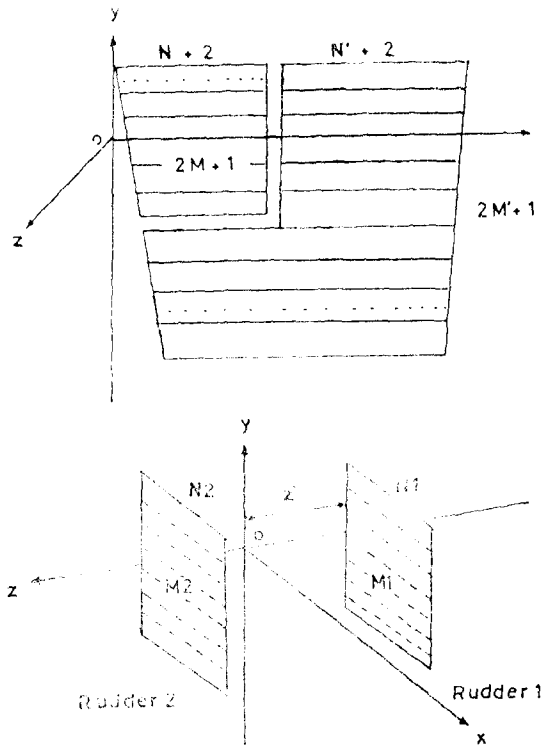


Fig. 2 Coordinate system for calculating the lift of a semi-balanced rudder and two parallel rudders.

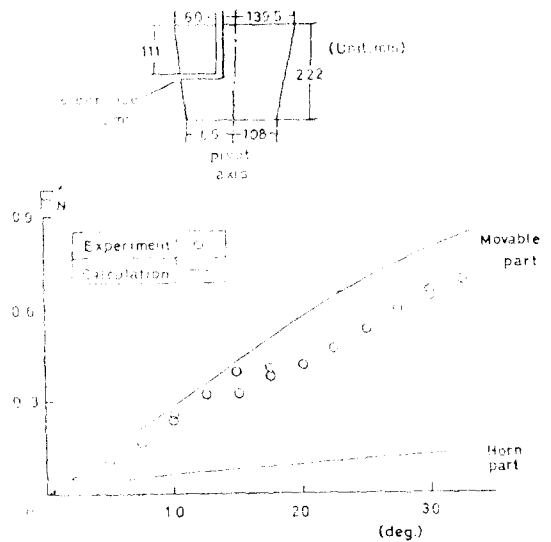


Fig. 3 Calculation of the normal force of a semi-balanced rudder by the lifting surface theory.

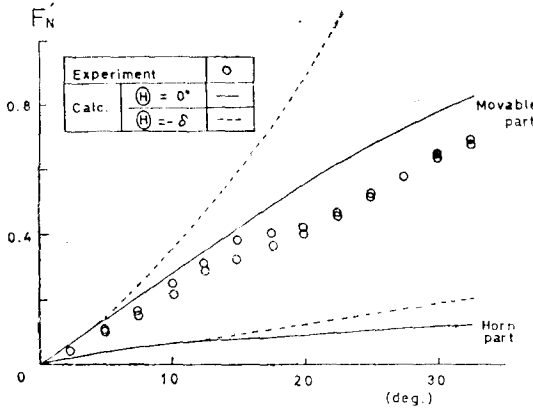


Fig. 4 The effect of the shedding angle of the free vortex upon the calculated rudder normal force

$$U \sum_{p=0}^{N'+1} \epsilon_p \cdot a_{RMp} \sum_{k=0}^{N'+1} \epsilon_k \cdot \cos k v_p \cdot \cos k v \quad (11)$$

$$(v_p = \pi \cdot p / (n' + 1), p = 0, 1, 2, \dots, n' + 1)$$

여기서 a_{HMp} 는 Horn부의 M번째 Strip에서의渦의強度를 나타내고 a_{RMp} 는舵作動部の M'번째의 Strip에서의渦의強度를 나타낸다.

이제渦의強度들을未知數로 하여揚力面에서의境界條件, 즉揚力面을貫通하는흐름은存在하지 않는다는條件을利用하여聯立方程式을 만들어이들을 푼다. 그結果 얻어진渦의強度를 가지고揚力面全體의循環을求하고Kutta-Joukowski定理에 의하여揚力을計算하면 Fig.3와 같이 된다. 그림에서는揚力の舵面에垂直인成分,即舵直壓力를 나타내고 있다.

實際의計算은Horn部를Span方向으로7分割하고各Strip에6個의渦를配置하였으며作動部는Span方向으로7分割하고各Strip에12個에渦를配置하였다. 여기서Horn부나作動部를7分割한것은,解의收斂테스트結果7分割以上이면解의安定성이 있으나7分割以下인境遇解가發散하는境遇가 있어收斂性的의下限分割로서7分割이選擇된 것이다.

또Horn部에서의自由渦放出角 θ_H 및作動部에서自由渦放出角 θ_R 은 모두 0° 로 하였다. 이自由渦의放出角 θ 은揚力計算에 큰影響을 미치는要素로서, 一般의으로縱橫比(A)가3以上이면 $\theta=0^\circ$ 로, $A=1.0$ 이면 $\theta=\beta$ (流入角)로, $A=0.1$ 이면 $\theta=0.5\beta$ 로 하는 것이 좋다고 되어 있다. 그러나Hirano等¹⁾은 $A=1.25$ 인Horn Type의半均衡舵에 대해流場可視化實驗을 통해自由渦의放出角이 0° 임을報告하고 있다.

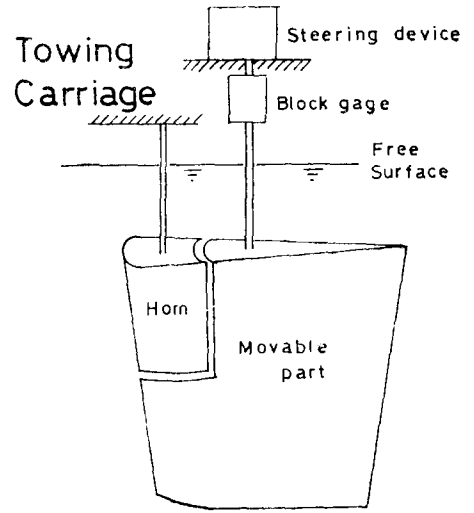


Fig. 5 The scheme of the open water test for the horn type semi-balanced rudder.

本計算에서도 Fig.4에서와 같이自由渦의放出角을 0° 로 한쪽이實驗結果와 잘對應하고 있다. 덧붙여Horn부와作動部는 서로連結되지 않는狀態(clearance : 3mm)이고實驗에서도同一하게Setting하고 있다.

4. 實 驗

本計算法の有用性を檢證하기 위해Horn Type半均衡舵의單獨試驗(Open Water Test)을行하였다. 즉 Fig.5와 같이舵를設置하여舵作動部の直壓力만을計測하도록 하였다. 實驗에使用한舵는Span이222mm이고Chord는上部가202.5mm下部가174mm이며, Horn部和作動部のClearance는3mm이다. 舵의沒水深度(水面에서舵의上部까지距離)는自由表面의影響을 피하기 위해 $0.54H$ (H는舵高)로 하였다. 舵의曳引速度는 $0.6\text{m/s} \sim 0.9\text{m/s}$ 이고舵角은 2.5° 間隔으로 $-35.0^\circ \sim +35.0^\circ$ 範圍에서實驗을 하였다. 그結果 얻어진舵單獨特性이 Fig.3이다.

그림에서,舵角 15° 附近에서多少非線形的特性이 나타나고 있다. 이는Horn부의뒤끝이날카로운形狀을 하고 있어 이로 인하여 그直後에 있는作動部에서部分的인Separation現象이 생겨揚力이多少減少되기 때문에 나타나는 것으로 생각된다. 本實驗에서는흐름의可視化는行하지 않았지만영국의Goodrich等[8]은Horn Type半均衡舵의風洞實驗을 통해Horn

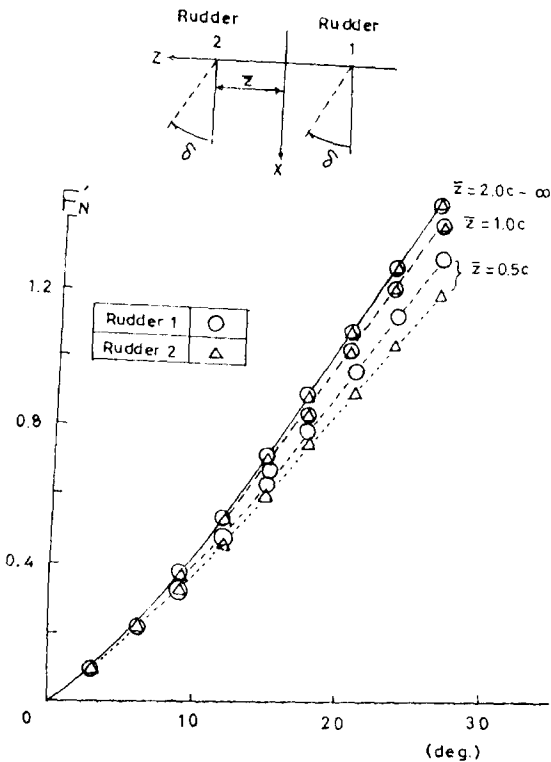


Fig. 6 The effect of the interval between two homogenous rudders, siting parallel to the free stream

部的 뒤쪽에서 部分的 Stall 現象이 일어난다고 報告하고 있다. 本 論文에서 Horn부의 直壓力 計測을 하지 않은 理由는, 물론 Horn부의 流體力도 重要한 意味를 가지나, 흔히 模型船 試驗時 Horn부는 Hull의 一部로서 製作되는 境遇가 많고, 따라서 Horn부의 流體力은 Hull의 流體力에 包含되므로 이번 實驗에서는 除外 되었다.

5. 한 雙의 長方形舵의 相互干涉의 計算

2軸 2舵船과 같이 同一한 舵가 平行하게 配置되 作動할 境遇 두 舵 사이의 干涉을 考察할 必要가 있다. 여기서는 本 論文의 計算法을 利用하여 縱橫比 1.1255인 長方形舵에 對해, 兩 舵 사이의 距離(z)를 Parameter로 하여 z를 變化시키면서 兩 舵의 直壓力을 計算하였다. 즉 2節의 定式化에 있어 點 (P'(x', y', z))의 座標 入力時 z'값에 z나 -z를 一律적으로 追加하는 方法에 의해 兩 舵 사이의 距離를 考慮하고 있다. 舵角은 兩 舵가 同一한 境遇만을 對象으로 하였다. 그 結果가

Fig.6이다. 實際의 計算은 兩舵의 Span을 9分割하고 各 Strip에 對해 Chord方向으로 10個의 Vortex를 配置 하였다. Rudder 1과 Rudder 2의 位置 關係는 Fig.6과 같다. 또 自由渦의 放出角은 모두 0°로 하였다. 그림에서 보듯이 兩舵의 間隔이 Chord길이의 2倍 以上이면 舵사이의 相互干涉은 無視할 수 있다.

6. 結 論

舵와같은 縱橫比 1.0程度의 揚力面의 揚力計算法으로서 Vortex Lattice法과 Mode Function法을 混合한 方法을 提案하고 이를 Horn Type의 半 均衡舵에 適用한 結果, Stall과 같은 非線形的인 流體學動을 除外한 舵의 揚力 計算이 滿足할 만한 精度로 이루어졌다. 덧붙여 本 論文의 計算法을 한雙의 長方形舵의 相互干涉 計算에 應用한 結果, 두 舵가 서로 Chord의 2倍 以上 떨어져 있으면 相互干涉은 無視할 수 있다는 結論을 얻었다.

參 考 文 獻

- [1] 藤野正隆, 加納敏幸, “舵と船體の相互干涉に關する基礎的研究”, 日本造船學會 論文集 第147號, pp.141-148, 1980.
- [2] 藤野正隆, 昭田敏晴, “船體と舵の相互干涉に關する基礎的研究”, 日本造船學會 論文集 第146號, pp.213-221, 1979.
- [3] 花岡達郎, “揚力面의 數值解における問題點”, 日本航空宇宙學會誌 第23圈 第263號, pp.633-644, 1975.
- [4] Bollay, W., “A nonlinear wing theory and its application to rectangular wings of small aspect ratio”, ZAMM, Vol.19 Nr. 1, 1939.
- [5] 菅井和夫, “小縱橫比揚力面에 對する新しい線形近似法”, 日本造船協會論文集 第117號, pp.31-38, 1965.
- [6] 上田耕平, 中武一明, “揚力面 理論の一數值解法”, 九大工學集報 第51卷 5號, pp.709-715, 1978.
- [7] 平野雅祥, 高品純志, “Open water performance of semi-balanced rudder”, 西部造船會會報 第64號, pp.93-101, 1981.
- [8] Goodrich, G.J. and Molland, A.F., “Wind tunnel investigation of semi-balanced ship skeg-rudder”, Trans. RINA, pp.285-307, 1979.