

粘性抵抗에 對한 最近의 問題點

金 燾 喆*

배의 全抵抗은 一般的으로 (1) 造波抵抗과 (2) 粘性抵抗 둘로 나누고 粘性抵抗은 나아가서 船體表面과 船長에 準한 平板에 對한 摩擦抵抗 및 多少 三次的인 效果인 船體型狀과 渦에 基因한 剩餘抵抗으로 나누어서 생각할수 있다. 其外에 粗度修正係數 ΔC_F 를 여기에 함께 고려하여 必要한 馬力이나 速力推定을 하고 있다. 그러나 근자에 大型船의 建造에 따라 또 造波抵抗에 對한 知識이 깊어짐에 따라 종래의 方法에 對한 反省이 必要하게 되었고 最近에 이르러서는 學究的인 면에서 및 實用的인 면에서 그 研究가 相當히 활발하여졌다.

여기에서는 粘性抵抗에 關한 문제점들을 馬力推定과 關係해서 綜合的인 면에서 몇가지 생각해보고 最近의 興味를 끄는 研究과제들을 적어보기로 하겠다.

우리가 잘 아는 바와같이 위예적은 抵抗成分의 區分은 그 定義가 막연하고 數值를 分離하는데는 여러가지 어려운 點이 있어 過去에 많은 研究와 經驗이 있음에도 불구하고 아직도 馬力推定은 모형선에 依한 實驗(Model Test)에 의존하지 않으면 안되는 형편에 놓여있다. 물론 모형선이란 實船에 比하여 實驗相似法則(Law of similitude)에 對한 Reynolds Number 가 아주 적음으로 해서 實驗에서 얻는 測定值自體를 뜻있게 해석한다는 것이 또한 어려운 문제가 아닐수 없다.

歷史的으로는 William Froude[1]는 全抵抗을 平板에 準한 摩擦抵抗과 其外를 當라한 剩餘抵抗으로 나누어서 생각했으며 後者는 소위 Froude's Law 에 依해서 外插推定(Extrapolation)에 썼다. 여기에서 剩餘抵抗의 一成分인 渦에 依한 抵抗과 型狀抵抗은 本來粘性에 基因하는 것이기 때문에 역시 어느程度 Reynolds Number 에 따라 外插해야겠다는 것이 알려졌고 이것들의 좀더 뜻있는 처리문제가 造波現象과의 相互作用처리와 함께 論議되어 있다. 이點을 多少再考한다는 意味에서 Hughes의 方法[2]이 나왔던 것인데 이 推定法에 依하여는 위의 粘性抵抗을 平板에 따라 全部 Reynolds Law 에 依해서 外插推定하는 것이다. 위의 두 方法의 事實上의 差인즉 다시 말하면 型狀抵抗과 渦抵抗을 Froude's Law 와 Reynolds Law 中 어느便으로 分類하느냐하는 것이 되었고 結果的으로는 Froude의 推定法이 여러가지 推定法中에서 가장높은 馬力을 얻게 되는데에 反하여 Hughes의 方法이 낮은 馬力을 推定하게된다는 말이되겠다.

위를 普通 쓰여지는 無次元抵抗係數로서 表示하면 다음과 같다.

Froude의 方法 :

$$\begin{aligned} C_t &= C_f + (C_w + C_{eddy} + C_{form}) \\ &= C_f + C_r \end{aligned}$$

Hughes의 方法 :

$$\begin{aligned} C_t &= C_w + (C_f + C_{eddy} + C_{form}) \\ &= C_w + C_r \end{aligned}$$

* 正會員, 韓國科學技術研究所 (造船海洋技術研究室長)

$$= C_w + C_f(1 + K)$$

단 여기에서

C_t : 全抵抗係數

C_f : 平板에 準한 摩擦抵抗係數

C_w : 造波抵抗係數

C_{eddy} : 渦抵抗係數

C_{form} : 型狀抵抗係數

$C_r \equiv C_w + C_{eddy} + C_{form}$: 剩餘抵抗係數

$C_o \equiv C_f + C_{eddy} + C_{form} \equiv C_f(1 + K)$: 粘性抵抗係數

K : 型狀係數(Form factor)

처음에는 型狀係數 K 는 船型에만 依한 常數로서 가정되어 소위 低速歸一點(Low Froude Number Run-in Point)에서 求려서 幾何學的인 相關關係

가, C_B , B/T , ∇/L^3 등의 영향

나, Full load 와 Ballast condition 의 영향

다. Trim-Heave 의 영향

라. Bulb 의 영향

등에 따라 數值들이 얻어져 있었다. 여기에서 第1圖에 그 一例를 보인다. 그림에서 Granville[3]의 結果는

$$K = 18.7 \left(C_B \cdot \frac{B}{L} \right)^2$$

으로 表示되는 것이다.

그러던 것이 요즈음은 次次 速度에 따르는 K 의 變化를 云云 하게 忖였고[5] 더우기 推進機(Propeller)가 있을때와 없을때의 變化等[6]도 차츰 研究하기 始作함에 이르렀다. 더우기 粘性抵抗의 本質의 究明을 위하여 그의 成分을 알고 그의 變化等에 對한 資料를 얻음으로서 많은 지식의 확대가 기대될 뿐만 아니라 머지 않은 將來에 뜻있는 三次元外插推定法이 可能해지리라고 기대되고 있다.

그 研究方法으로서 是 單一모형을 쓰는 경우는 單獨 抵抗시험 結果로부터 型狀係數를 求함은 비교적 손쉬운 일이나 實驗에 相當한 細心이 要求되고 求해진 統括적인 數值만 갖고는 原因을

캐내고 學究的인 研究를 뜻있게 할수없는 結果가 있다. 그 다음에는 自由水面의 影響을 無視 또는 적당히 조절하여 水中이나 風洞에서 潛水船體(Submerged body)를 利用하는 方法인데 固轉體 또는 간단한 船型에 對하여서는 Potential flow 를 쓰는 計算의 도움을 얻을수 있는 利點이 있다. 이때에는 Reynolds Law 만 適用하면 되므로 施設이 허락하는 범위에서 高速度를 써서 Scale effect 의 影響을 研究할수 있다. 그리고 Flow visualization 을 비교적 손쉽게 쓸수 있는 점도 利點의 하나이다. 그러나 이러한 方法이 손쉬운 反面에 역시 物理的 根本을 캐내는 데는 미비한 것이요 最近에는 造波抵抗理論에 따라 波形分析(Wave Analysis)[7]을 해서 造波 저항을 우선 잘 알아야겠다는 方向과 Betz-Tulin-Landweber 의 理論을 따라 直接 wake 에서 粘性抵抗을 測定[8]해야 한다는

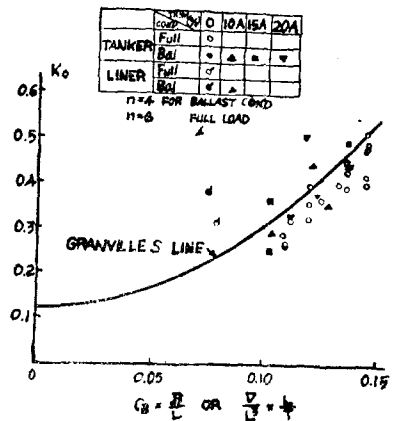


Fig. 1 K-Factor vs. $C_B \cdot B/L$ [4]

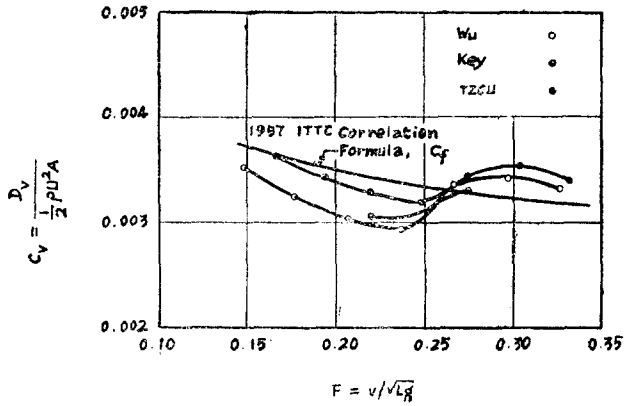


Fig. 2 Viscous-drag coefficient versus Froude number for a Series-60 ship model [8]

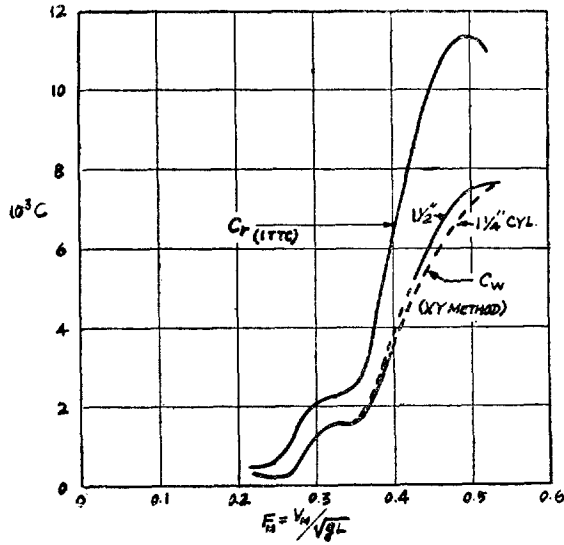


Fig. 3 Experimental wave resistance of the 5 ft 0 in. Series-60 Model (0.60 Block) [9]

方向으로 氣運이 쓸리고 있는 것이다. 여기에 그 結果 例를 各各 하나씩 든다.

여기에서 第2圖는 粘性抵抗을 Wake measurement에서 얻은것과 종래의 方法에 依하여 얻은것과를 비교한 것으로서 速度에 依한 變化相을 보여주고 있다. 第3圖는 造波抵抗係數 C_w 와 剩餘抵抗係數 C_r 를 비교한 것으로서 變化하는 모양은 비슷함을 알수있다.

또 근자에 活潑하여진것은 回流水路(Circulating water tank)를 써서 거기에서 流線觀察(Flow visualization)을 통하여 渦를 研究하는 것으로서 아주 便利할 뿐만 아니라 渦의 生成을 조절하는 간단한 장치등을 시험하는데 널리 쓰이고 있다. 가까운 日本에는 最近에 이르러 10餘個所에서 大型의 것들이 製作되었음은 特記할만한 것이다.

이제까지 알려진 結果에 依하여는 一般船型에 있어서는 造波抵抗이 종전에 생각하던바와 같이 그렇게 많은

부분을 차지하지 않고 있다는 결론을 얻게 되었고 粘性抵抗의 重要性을 재인식하여야겠다는 點에 達했다고 말할 수 있게 되었다. 그 하나의 例로서 船首에 달은 Bulb는 原來 造波抵抗理論에서 나왔던 것인데 요지음에는 아주 저속에서도 큰 効果가 있음을 發見하게 되어 어떤 粘性抵抗成分의 相殺作用이 있지 않나하는 견해들이 나오게 되었다.

또 粘性抵抗에 關한 문제가 더욱 뚜렷하여진 또 하나의 理由로서는 過去十年間의 造船界의 活動을 보면은 建造船舶들이 次次 肥大하여짐과 同時에 Froude Number가 점점 작은 方向 即 低速化하여가고 있다는 事實이다. 그와 同時에 종래의 方法에 따르는 소위 粗度修正 ΔCF 가 그 본뜻을 잃게 되고 實船試運轉結果와 맞추기 위해서는 이제는 負數로서 대처하지 않으면 안된 形便에 이르고 만 것이다. 이는 종래 우리가 써오던 Model Testing의 原理나 推定法이 그다지 정확하지 못했음을 지적함이고 한편으로는 實船試運轉經驗의 重大性을 뜻함인 것이다. 그러나 實船試運轉方法이란 돈이 많이 들고해서 이를 되도록이면 피해야겠다는 것이 하나의 動機가 되어 現在 여러 角度에서 많은 研究가 進行中이고 앞으로 기대할바가 크다.

오늘날 우리의 立場은 粘性抵抗問題를 좀더 學究的인 面에서 공부해야겠고 一面으로는 型狀係數 K 나 粗度修正係數 ΔCF 를 試運轉과 맞추기 위한 修正係數로서 쓰지 않고 三次元效果를 낼수 있으며 平時에 손쉽게 쓸수 있는 Extrapolator를 찾아야겠다.

基礎的인 문제面에서 粘性抵抗을 우선 세가지로 나누어서 그에 수반되는 문제점들을 나열하여 본다.

가. 摩擦抵抗

1. 平板船體와 Pipe管을 생각할때 境界層의 두께 (Boundary layer thickness)가 船體外面에서는 平板에서 보다 얇고 Pipe管内에서는 두꺼움을 곧 알 수 있다. 그러면 三次元表面을 流線이 어떻게 퍼져 있으며 Boundary layer는 어떻게 되어 있느냐? Cross-flow가 있는데 어떻게 취급할수 있는가?

2. 流線이 沒水體의 경우와 自由表面이 있을때의 경우 어떻게 다를것인가?

3. 摩擦抵抗이 自由表面에 依해서 어떻게 變化하는가?

나. 壓力抵抗

1. Pressure fluctuation이 무엇과 相關關係를 갖고있는가?

2. 船尾部에 있어서 三次元的 Pressure reduction은?

3. 自由表面에 依한 壓力抵抗의 變化는?

다. 渦分離

1. 三次元的 分離(separation)이란 추측할수 있을까? 分離點(separation point)을 制御함으로써 wake를 어느정도 조정할수있을까?

2. 推進機有無에 따르는 分離의 差는?

3. 渦가 갖고 있는 抵抗을 測定 또는 計算할 수 있을까?

4. 渦의 動的成分을 적게하는 方法은?

위에 몇가지 最近 外國에서 제기된 問題들을 간단히 나열하였다. 여기에서 부기하고 싶은 것은 이러한 問題들이 抵抗뿐만 아니라 推進機의 設計振動問題等 여러가지에 관련이 있다는 것이다.

實用的 Extrapolator를 求하는데 對하여는 여러개의 모형을 쓰는 相似模型法(Geosims)이 Telfer에 依하여 主張되었었는데 누구나 原則에는 찬성하나 여러개의 모형을 만드는데는 값이 비싸고 꼭 相似하게 만들기 힘들다는 등 많은 문제點이 있어 이제까지 겨우몇번 시험했을 뿐이다. [10].

다음은 高重力場에서의 實驗方法인데 Geosims 方法에 依한것과 비슷한 結果를 얻을수있으리라고 보나 單一모

형을 쓸수있는 특색이있다. 이方法은 여기에 多少 설명을 가하려고 한다.[11]

船型시험에서 Froude Law 와 Reynolds Law 가 가장 重要한 實驗相似法則임은 잘 아는 바와 같다. 그 하나인 Froude No.가 두 相似船型에서 같은 條件으로서

$$(Fr)_p = (Fr)_m$$

$$\text{or } \frac{v_p}{\sqrt{L_p \cdot g_p}} = \frac{v_m}{\sqrt{L_m \cdot g_m}} \quad (1)$$

여기에서 Fr : Froude No., V : 船速, L : 船長, g : 重力常數이고 subscript p 와 m 는 各各 prototype 와 model 을 뜻한다. 또 $g_p \equiv g$ 이다.

(1)式으로부터 바로

$$v_m = v_p \sqrt{\frac{L_m \cdot g_m}{L_p \cdot g}} \quad (2)$$

Reynolds No.가 같은 조건으로선

$$(Re)_p = (Re)_m$$

$$\text{or } \frac{v_p \cdot L_p}{\nu_p} = \frac{v_m \cdot L_m}{\nu_m} \quad (3)$$

여기에서 Re : Reynolds No, ν : kinematic viscosity 를 말한다. 위에서

$$v_m = v_p \cdot \frac{L_p \nu_m}{L_m \nu_p} \quad (4)$$

(4)와 (2)로부터

$$g_m = g \left(\frac{L_p}{L_m} \right)^3 \cdot \left(\frac{\nu_m}{\nu_p} \right)^2 \approx \lambda^3 g \quad (5)$$

단, $\lambda \equiv L_p/L_m$

(5)를 (2)에 代入함으로써

$$v_m = v_p \cdot \lambda \left(\frac{\nu_m}{\nu_p} \right) \approx \lambda \cdot v_p \quad (6)$$

따라서 船長比가 λ 인 모형을 人工重力場 $\lambda^3 g$ 속에서 λv_p 의 속도로 움직이게 하면 Froude No. 와 Reynolds No.를 同時에 맞추어줄수가 있다.

물론 여기에는 어려운 실제적인 문제가 있어서 Reynolds No.를 꼭같이 하는것보다 重力場도 내리고 모형속도도 내리서 높은 값의 Reynolds No.에만 만족할수도 있다.

예를 들어서 버가 1,000 ft 船速이 50 ft/sec 라 하면는 3.3 ft 의 모형을 써서 3,000 g 속에서 實驗을 했다면

$$(Re)_p \approx 5 \times 10^9$$

$$(Re)_m \approx 5 \times 10^7$$

이 되고 v_m 은 158 ft/sec 이 되겠다. 普通の 直線型 Tank 에서 모형시험을 써서 5×10^7 程度의 Reynolds No.를 내리려는 約 48 ft 의 model 을 쓰지 않으면 안되고 아주 큰 Tank 가 必要할 것이다.

위와같은 모형을 쓰고 船型速度와 重力場을 조절하여 줌으로서 더작은 모형에서 얻을수있는 Reynolds No.를 얻게됨으로서 이 方法을 쓰려는 單一모형을써서 geosims test 를 할수 있게되어 있다.

여기에 必要한 장치는 美國의 Grumman 의 시설[12]을 개혁해야하는 것이고 대략 다음과 같은 모양을 갖추어야 할것이다. 단 모형 시험方法들과 마찬가지로 이 方法에도 多少의 단점이 있음을 지적해둔다. 다음 第4圖에 그 개요를 보인다.

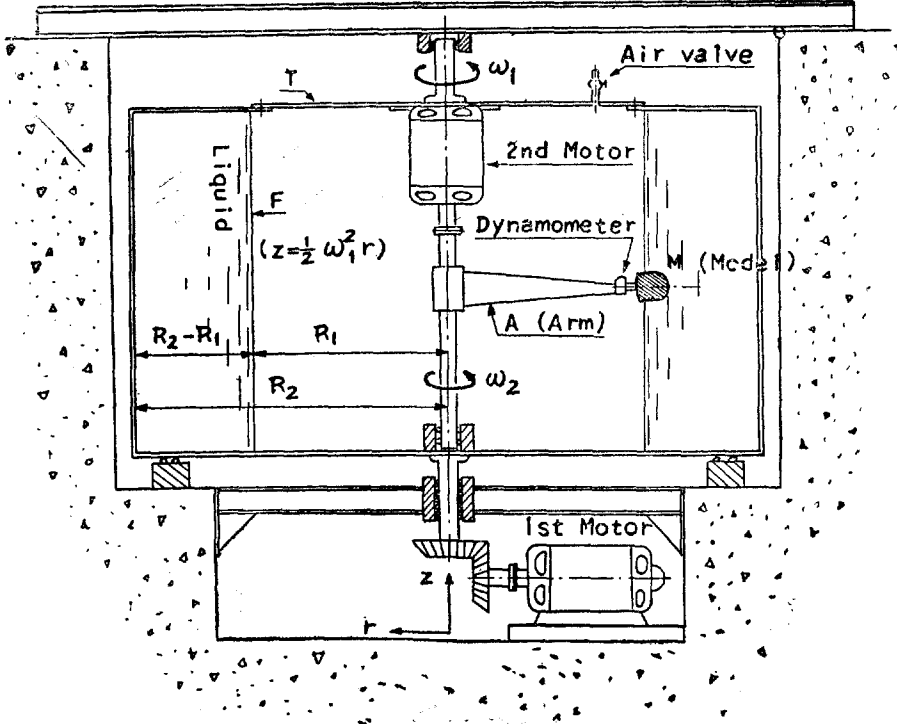


Fig. 4 Schematic of proposed artificial gravity tank

說明을 加하면 물이 半쯤들어있는 圓型용기를 一定速度 ω_1 으로 돌리면 그 自由水面은 $\frac{1}{2}\omega_1^2 r$ 의 회전체가 된다. 重力은 $\omega_1^2 r$ 이다. 모형을 다른速度 ω_2 로서 돌리고 ω_1 과 ω_2 에 依한 相對速度로서 船型速度 v_m 을 이룬다. 測定機들은 모형부근에 둔다.

끝을 맺는 意味에서 말하면 粘性抵抗이 重要性化하여 감을 一般的인 면에서 이야기 했으며 學究的인 논제를 몇개 나열하였다. 實用面에서는 單一모형을 쓰는 Extrapolation 方法을 제기하였다.

우리의 造船界도 앞으로 활발해지리라고 믿으며 不遠間에 이러한 문제들에 부딪히리라고 생각하며 하루빨리 그렇게 되길 바란다.

參 考 文 獻

[1] Payne, M.P. "Historical Note on the Derivation of Froude's Skin Friction Constants," *Transactions of Institution of Naval Architects*, 1963.
 [2] Hughes, G. "Friction and Form Resistance in Turbulent Flow, and a Proposed Formulation for Use in Model and Ship Correlation," *TINA*, 1954.
 [3] Granville, P. "The Viscous Resistance of Surface Vessels and the Skin Friction of Flat Plates, *Transactions of Society of Naval Architects and Marine Engineers*, Vol. 64 (1956)
 [4] 日本造船學會 抵抗・推進シンポジウム(1968.6), p. 46.

- [5] 谷口中 “Study on Scale Effect of Performance by Use of Geosims of a Tanker,” 日本造船學會論文集, 120號 (1966)
- [6] Hucho, W.H. “On the Influence of a Stern Propeller upon Pressure Distribution and Boundary Layer of an Axisymmetric Body(Unpublished Report)
- [7] Inui, T. “Wave-making Resistance of Ships” *Transactions of Society of Naval Architects and Marine Engineers*, vol. 70, 1962, pp.283—353.
- [8] Tzou, K.T.S. and L. Landweber. “Determination of the Viscous Drag of a Ship Model,” *Journal of Ship Research* vol. 12-2, June 1968, p. 105.
- [9] Pien, P.C. “The Application of Wave-making Resistance Theory to the Design of Ship Hulls with Low Total Resistance,” *Proceedings of 5th Symposium on Naval Hydrodynamics*, Office of Naval Research, U.S. Navy, Bergen, Norway, 1964.
- [10] Lackenby, H. “B.S.R.A. Resistance Experiment on the Lucy Ashton...,” *Transactions of INA*, 1954.
- [11] Kim, H.C., *A Method of Testing Free Surface Models in An Artificial Gravity Field*, The Univ. of Michigan, 1967.
- [12] Grumman Aircraft Engineering Corporation, *High Speed Hydrodynamic Laboratory*, Bethpage, N.Y., 1962.