

操船補助用 引船의 曳引角度에 對한 研究

尹 点 東

A Study on the Determination of a Ship's Direction Being Pulled by a Assistant Tug

Jum-Dong Yun

目 次

- | | | |
|-------------------------|---------------------------|---------------|
| I. 序 論 | (2) Virtual mass의 값 및 方向性 | |
| II. Virtual mass effect | (1) Virtual mass의 理論的인 考察 | (3) 船體加速度의 方向 |
| | III. 結 論 | |

Abstract

In handling a large ship with the assistance of a tug boat in a restricted area, virtual mass effect should be taken into consideration to conduct an effective and safe maneuvering.

It is owing to virtual mass effect that the actual direction of ship's movement does not coincide with the direction being pulled.

In this paper, virtual mass effects with different directions are studied, and the angle difference is calculated between the actual direction of ship's movement and the direction being pulled by a assistant tug boat.

Also, several cases are shown where virtual mass effects have been taken into account in practical ship's handling.

1. 序 論

오늘날 大型船의 港內操船은 Tug boat의 補助없이는 생각할 수 없고 그것은 大型船의 回頭促進, 惰力의 抑制, 偏向의 制御 및 前後方向과 橫方向의 移動等に 使用되고 있다. Tug boat를 利用하여 本船을 一定方向으로 移動코저 할 때에는 그 曳引의 方向과 本船의 實際運動方向은 一致하지 아니하는 바 그 原因은 船體의 運動方向에 따라 Virtual mass가 달라지는데 있다.

本研究에서는 船體의 運動方向에 따라 Virtual mass effect 가 달리 생기는 原因을 究明하고, 그로 因하여 생기는 引船의 曳引方向과 船舶의 實際運動方向과이 사이에 생기는 角度差를 算出하여 實際操船時 適切하게 適用될 수 있는 境遇를 例示하였다.

I. Virtual mass effect

Virtual mass effect 라 함은 水上 또는 水中에서 船體가 加速運動을 할 때에는 마치 船體의 質量이 增加한 것과 같은 效果가 생기는 것을 말하고 같은 物體의 加速 및 減速이 空氣中에서 이루어지는 것보다 困難하게 될 뿐만 아니라 이것으로 因하여 여러가지 附隨의인 影響이 나타나게 된다.

勿論 空氣中運動에서도 眞空中運動에 比較하면 같은 效果가 나타나는 것이기는 하나 空氣의 密度가 적기 때문에 別問題가 되지 아니한다. 그러나 水中運動에서는 Virtual mass가 實際船體의 質量과 같은 程度로 되고 無視할 수 없게 된다. 만약 船體가 水中이 아니고 水銀과 같은 液體 속에서 움직인다고 假定하면 一層 더 큰 Virtual mass가 나타날 것이다.

그러나 空氣中이라 하더라도 飛行機와 같이 空氣의 浮力과 一致하여 떠가는 物體는 船體가 水中에서 떠서 움직이는 것과 같은 程度의 Virtual mass effect 를 받을 것이다.

(1) Virtual mass 의 理論的인 考察

眞空中에서는 質量 m 인 物體에 힘 f 를 作用시켜서 생기는 加速度는 $a = \frac{f}{m}$ 가 되나 水中에서는 같은 힘으로 얻어지는 加速度는 훨씬 작아지게 된다. 그리하여 그 작아지는 原因을 質量이 커진 것처럼 생각하여 $a' = \frac{f}{(m+m')}$ 라고 하면 이 때의 m' 를 Virtual mass 라고 한다.

回轉에 있어서도 이와 똑 같이 慣性 Moment가 增加하게 된다.

다음에 Virtual mass effect가 생기는 原因에 對하여 考察하여 보자.

흔히 Virtual mass는 船體에 附隨하여 船體附近의 물이 船體와 함께 運動하므로 質量이 커지는 것과 같다고 說明하는 수도 있다. 例를 들면 圓柱를 軸에 直角으로 움직이면 뒤에서 圓柱와 거의 같은 速度로 死水가 따라오고 이 물의 質量이 Virtual mass라고 생각하는 것이다. 그러나 이러한 推理가 妥當하지 아니한 證據로는 圓柱를 急히 停止시키면 뒤에 따라오던 물은 圓柱를 따라 넘어서 앞으로 움직이고 決코 圓柱와 함께 멈추지 아니한다. 그러므로 다음과 같이 推理하는 것이 妥當할 것이다. 即 그림.1과 같이 物體가 水中에서 움직이면 水中에 壓力을 發生한다.

이 壓力은 物體表面에 直角으로 作用하므로 例컨대

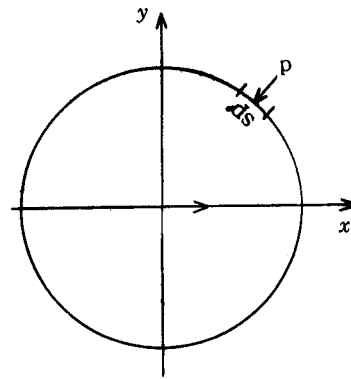


그림 1

x 方向의 分力을 取하여 物體表面에 따라서 積分하면 x 方向의 抵抗力을 計算할 수 있다.

$$F_x = \int p l ds \dots\dots\dots(1)$$

但 p = 壓力 l = 方向餘弦 ds = 微小面積

그런데 物體가 速度, 加速度를 함께 가지고 있을 때에는 이 壓力 p 는 速度, 加速度의 函數로 된다. 이것을 線型化하여 $p = p_0 \dot{x} + p_1 \ddot{x}$ 로 表示하면 (1)式은

$$F_x = \dot{x} \int p_0 l ds + \ddot{x} \int p_1 l ds \dots\dots\dots(2)$$

로 되고 이것을 物體의 運動方程式

($m\ddot{x} + F_x = \Sigma X$ 但 X : x 軸方向外力)에 代入하면

$$(m + \int p_1 l ds) \ddot{x} + \int p_0 l ds \dot{x} = \Sigma X \dots\dots\dots(3)$$

即 이것은 質量이 $m' = \int p_1 l ds$ 만큼 增加한 것과 같은 效果를 나타낸다.

그런데 이것은 다음과 같이 說明된다. 그림 2와 같이 圓柱가 理想流體中에서 軸에 直角으로 u 의 速度로 進行하면 물은 그림과 같이 流線에 따라서 움직이게 된다. 即 圓柱의 앞에 있는 물은 밀려나가고 流線에 따라서 移動하여 圓柱의 後面에 흘러 들어 가나 圓柱가 通過한 後에는 물은 靜止하여 運動은 남지 아니한다.

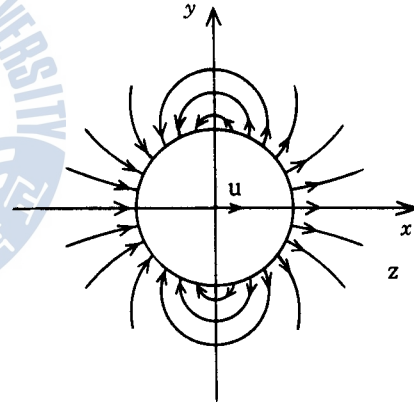


그림 2

流線에 따른 流速은 場所에 따라 다르지만 모두 圓柱의 速度 u 에 比例하여 增減한다.

따라서 圓柱를 靜止狀態에서 急히 加速한다고 하면 周圍의 물은 그림과 같은 流線에 따라서 所定의 流速이 되도록 加速된다. 이것은 管속의 물을 밀어주는 것과 같고 이 때문에 圓柱의 表面은 反力으로서 加速度에 比例한 壓力을 받아서 Virtual mass effect를 發生하게 된다. 그리하여 圓柱가 運動을 멈추게 되면 周圍의 물도 일제히 靜止하게 되나 이미 加速되어 運動하는 물 때문에 갑작스러운 減速은 힘들게 된다.

다음에 以上の 說明을 좀 더 流體力學的으로 取扱하여 보자.

지금 船體가 理想流體中을 運動한다고 假定하고 그 6個의 自由度에 對한 運動을

- x 方向의 速度 u x 軸周圍의 角速度 ω_x
- y 方向의 速度 v y 軸周圍의 角速度 ω_y
- z 方向의 速度 w z 軸周圍의 角速度 ω_z

라고 하면 一般的으로 速度 Potential 은

$$\phi = \phi_1 u + \phi_2 v + \phi_3 w + a_1 \omega_x + a_2 \omega_y + a_3 \omega_z$$

로 表示할 수 있다.

여기서 $\phi_1 \sim a_3$ 는 船體의 外形에 따라서 決定되는 係數이다. 한편 船體의 運動에 依하여 水中에 生기는 壓力은 Bernoulli의 定理에 依하여

$$p = c - \rho gh - \frac{1}{2} \rho V^2 - \rho \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

.....(4)

但 c 는 場所에 따라서 決定되는 定數

ρ 는 물의 密度

$$V^2 = u^2 + v^2 + w^2$$

이들중 $\frac{\partial \phi}{\partial t}$ 가 非定常運動에 따라서 생

기는 項이다. (4)式을 (2)式에 넣고 積分하면 第1項은 常數, 第2項은 靜壓을 積分한 것으로 浮力이 되고 第3項은 動壓을 積分한 것으로 壓力抵抗이 되지만 自由表面이 없으면 0, 自由表面이 있으면 造波抵抗으로 될 것이다. 第4項이 加速度에 比例하는 抵抗 即 Virtual mass effect를 일으키는 項으로 이것을 (3)式에 代入하여 이 項만을 計算하여 보자 于先 ϕ 를 t 에 關하여 微分하고 $\frac{\partial \phi}{\partial t}$ 의 各 成分을 代入하면 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \phi_1 \dot{u} + \phi_2 \dot{v} + \phi_3 \dot{w} + a_1 \dot{\omega}_x + a_2 \dot{\omega}_y + a_3 \dot{\omega}_z$$

$$x \text{ 方向의 Virtual mass } m_x = \rho \int \int \phi_1 l ds$$

$$y \text{ 方向의 Virtual mass } m_y = \rho \int \int \phi_2 m ds$$

$$z \text{ 方向의 Virtual mass } m_z = \rho \int \int \phi_3 n ds$$

x 軸周圍의 附加慣性 Moment

$$J_x = \rho \int \int a_1 (ny - mz) ds$$

.....(5)

y 軸周圍의 附加慣性 Moment

$$J_y = \rho \int \int a_2 (lz - nx) ds$$

z 軸周圍의 附加慣性 Moment

$$J_z = \rho \int \int a_3 (mx - ly) ds$$

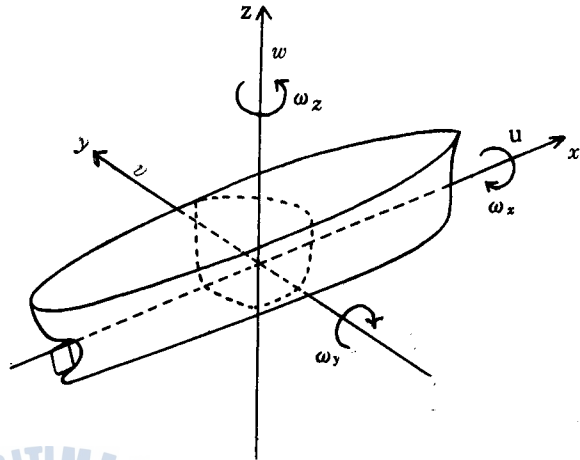


그림 3

이와 같이 Virtual mass 는 物體의 外形에 따라서 決定되기 때문에 運動方向에 따라서 그 값을 달리한다.

이 方向性 때문에 水中의 船體運動은 空氣中の 物體運動과는 그 性質이 달라진다.

以上은 慣性力의 增加를 質量의 增加에 基因한다고 생각하여 說明한 것이다.

(2) Virtual mass 의 값 및 方向性

여러가지 形態의 物體가 갖는 慣性力에 對한 Virtual mass 의 값을 들어보면

① 球

$$[m' = \frac{1}{2}\rho V = \frac{1}{2}m \quad V: \text{球의 容積}]$$

② 圓柱(軸에 直角方向으로 運動할 때)

$$[m' = \rho V = m \quad V: \text{單位길이의 容積}]$$

③ 橢圓體

그림 4와 같이 長軸을 x , 短軸을 y, z 로 하고 그들 軸 方向의 Virtual mass 를 m_x, m_y 라 하고 (m_z 는 考慮할 必要없음) z 軸 周圍의 附加慣性 Moment 를 J_z 라고 하면 그림 5와 같이 된다.

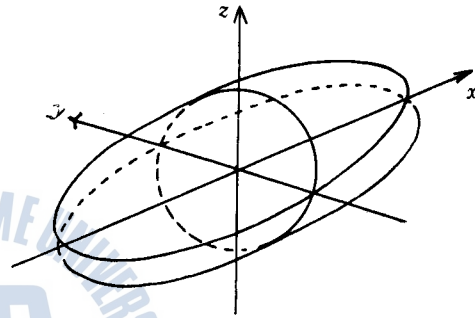
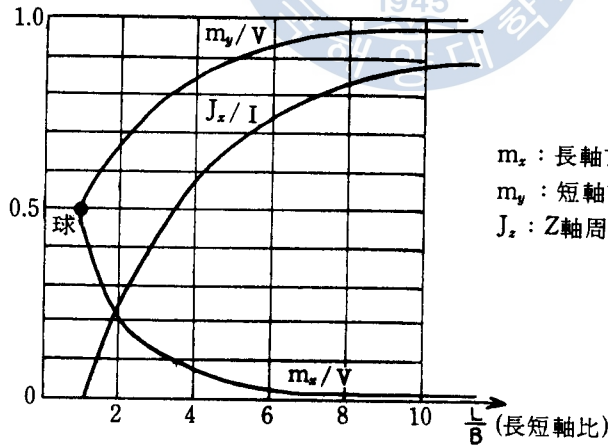


그림 4



m_x : 長軸方向의 Virtual mass
 m_y : 短軸方向의 Virtual mass
 J_z : Z 軸周圍의 附加慣性 Moment

그림 5

即 長短軸의 길이의 比에 따라 m' 가 變하고 長軸 L 및 短軸 B 의 比가 1 即 球가 될 때에는 어느 方向에 對하여도 $\frac{1}{2}\rho V$ 가 되고 길게 될수록 m_x 는 減少되고 m_y 는 增加된다. J_z/I 의 I 는 回轉橢圓體의 內部를 充水하여 생긴 重心에 對한 慣性 Moment 이다.

④ 船體

大略 긴 橢圓體가 갖는 m' 의 性質을 가지나 肥脣係數, 突出部, 角部 等の 모양에 따라 달라진다. 船舶에 對하여 計算된 이들 값의 大略을 보면 다음과 같다.

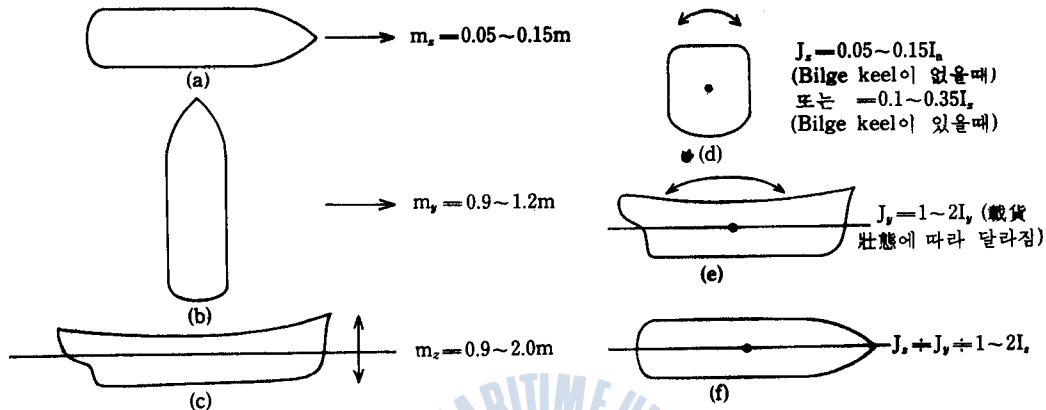


그림 6

(3) 船體加速度的 方向

眞空中에서는 物體에 어떤 方向의 힘을 作用시키면 加速度的 方向은 힘의 方向에 一致하여 나타난다. 그러나 水中에서의 船體의 運動은 m' 의 값이 方向에 따라 달라지므로 加速度 方向과 힘의 方向은 一致하지 아니한다.

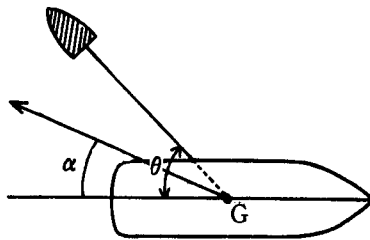


그림 7

그림 7에서와 같이 Tug boat 가 船首尾線과 θ 의 角度로 船體를 曳引하면 船體의 進行方向은 船首尾線과 α 角을 이루는 方向으로 移動한다.

α 角에 對한 計算式을 誘導하면 그림 8에서

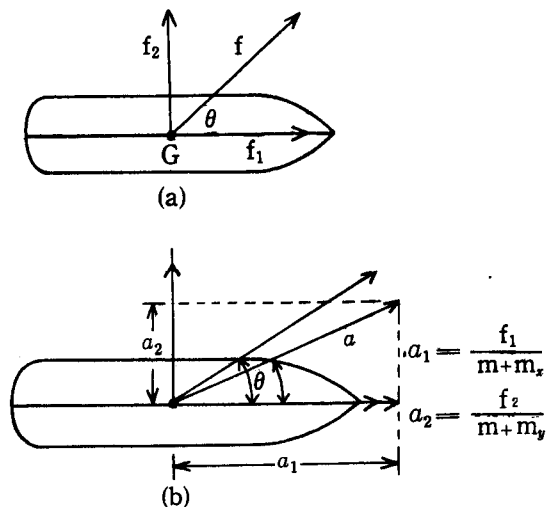


그림 8

$$\tan \theta = \frac{f_2}{f_1}$$

$$\tan \alpha = \frac{a_y}{a_x} = \frac{(f_2/m + m_y)}{(f_1/m + m_x)} = \frac{f_2}{f_1} \cdot \frac{m + m_x}{m + m_y} \quad (\text{但 } a_x = a_1 \quad a_y = a_2)$$

$$\text{即 } \tan \alpha = \frac{m + m_x}{m + m_y} \cdot \tan \theta \dots \dots \dots (6)$$

球狀이 되지 아니하는 限 $m_x \approx m_y$ 이므로 α 와 θ 는 같아지지 아니한다.

船體에 있어서는 $m_y > m_x$ 이므로 α 는 θ 보다 작아지나 모든 船體에 適用할 수 있는 大略의 α 를 알아보기 爲하여 前述의 $m_x = 0.05 \sim 0.15m$ $m_y = 0.9 \sim 1.2m$ 의 中間值를 잡아 略式을 만들어 보면

$$\tan \alpha = \frac{(1 + 0.1)m}{(1 + 1.05)m} \cdot \tan \theta$$

$$\tan \alpha \approx \frac{1}{2} \tan \theta \dots \dots \dots (7)$$

7式에 依하여 θ 및 α 값에 對한 大略의 값을 計算하면 다음과 表와 같다.

θ	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
α	5°	10.3°	16.1°	22.8°	30.8°	40.9°	53.9°	70.6°

θ 와 α 의 關係를 Graph 로 表示하여 보면 그림 9와 같이 되고 이 圖表에서 보면 θ 角 45° 未滿에 있어서는 α 는 θ 의 約 $\frac{1}{2}$ 이 되는 直線狀을 이루고 있음을 알 수 있다.

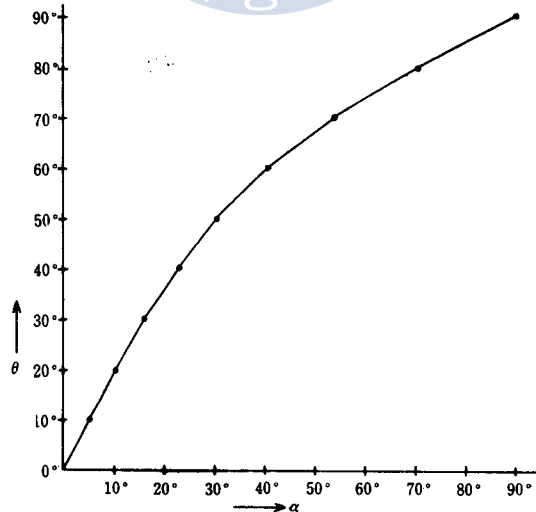


그림 9

Ⅲ. 結 論

Tug boat의 曳引方向에 對한 問題點만을 보다 더 明確히 理解하여 實際 操船에 有用한 結論을 얻기 爲하여 曳引力의 力着點에 對한 것은 省略하고, 그림 10과 같은 與件下에서의 出港을 생각하면서 結論을 내리고자 한다.

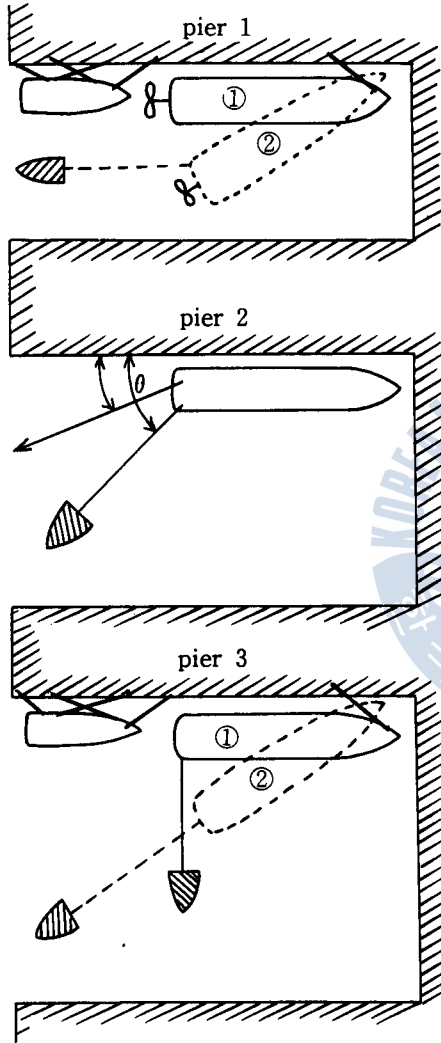


그림 10

(1) Pier 1에서의 離岸의 境遇와 같이 外方에 전혀 餘裕水域이 없고 船尾後方에 障礙物이 있는 곳에서는 本船機關의 使用과 Fore spring line의 利用으로 船尾를 돌린 後가 아니면 Tug boat의 小角度 曳引을 試圖하여서는 아니된다.

(2) Pier 2에서의 離岸의 境遇와 같이 外方에 약간의 餘裕水域이 있고 Tug boat를 $\theta=45^\circ$ 程度의 斜方向으로 使用할 수 있는 곳에서는 θ 가 必要한 α 의 2倍가 되는 方向으로 引船을 命하여야 할 것이다. 即 $\theta=2\alpha$ 가 되어야 한다.

(3) Pier 3에서의 離岸의 境遇와 같이 外方水域에 充分한 餘裕가 있고 船尾後方에 障礙物이 있을 때에는 一次로 船尾를 埠頭에서 거의 直角이 되는 方向으로 引出한 後에 所要의 α 方向으로 船體가 移動될 수 있도록 θ 角을 決定하여야 할 것이다.

이 때 θ 의 範圍가 $70^\circ > \theta > 45^\circ$ 에서는 $\alpha = \theta - 20^\circ$ 程度가 되도록 θ 를 決定하여야 한다. (그림 9 參照)

參 考 文 獻

- 1) 藤本武助：流體力學，養賢堂，東京，1964. pp. 1~50
- 2) 尹 点 東：船舶運用的 理論과 實務，韓國海洋大學 海事圖書出版部，釜山，1973, pp. 120~124
- 3) 元良誠三：船體運動力學，海文堂，東京，1963. pp. 1~50
- 4) 北原久一：港内の 操船，成山堂，東京，1965, pp. 35~43