

縱規則波中에서의 船體運動解析

權 寧 中

造船工學科

〈요 약〉

縱規則波中에서의 標準型 漁船(KIST 設計)과 高速 個走船에 대하여 上下搖動, 縱搖動 및 그들의 聯成運動方程式의 係數들을 계산하였다.

또한 각 계수들을 Froude Number 0.30인 경우에 대하여 8가지의 서로 다른 Strip Theory에 따라 求하고, 서로를 비교검토하였다.

A Study on the Ship Motions by Various Strip Theories in Head Sea

Kwon, Young Joong

Dept. of Naval Arch. and Shipbuilding Science

〈Abstract〉

The coefficients of equations of heave, pitch and coupled motion are computed for the small typical fishing boat with transom stern (KIST-MRC Fishing Boat) and brave class planning boat in regular head sea.

And the results of computations based on eight modes of strip theory are compared one another for the speed of Froude Number 0.30.

I. 緒 論

船體運動에 對한 問題는 造船學者들에게 오랜동안 解決되지 않은宿題로 남아있었다.

前世紀末 Kriloff에 依하여 規則波에서의 船體運動에 關한 理論的 解析이 展開되었는데 이를 "Strip Mothod"의 始嚮라고 볼 수 있겠으나 滿足할 만한 解答을 주지 못했다.

그러나 1953年에 St. Denis와 Pierson⁽³⁾이 船體運動에 線型重疊原理를 導入함으로써 現今에 이르기까지 많은 學者들이 船體運動을 그들이 제各自誘導한 Strip Mothod를 利用해서 解決하는 契機가 마련되었다.

即 1955年 Korvin-Kroukovsky⁽⁷⁾가 Froude-Kriloff의 假定을 基盤으로 하여 heave와 pitch의 聯

成運動에 Strip Method를 適用하고 곧이어 1957年에 Korvin-Kroukovsky와 Jacobs⁽⁸⁾가 그들의 첫번方法을 修正했는데 이것이 實際에 適用될 수 있는처음의 理論이며 이는 "Strip-Slender-Body Theory"로 알려져 있다. 그後 1958年 Watanabe⁽²⁵⁾가 Korvin-Kroukovsky와 Jacobs의 方法을 修正하여 體系를 세웠으며, 1959年 Vossers⁽²²⁾가 그의 方法을 發表했고, 1967年 Gerritsma와 Beukelman⁽⁵⁾은 前進速度項을 加味하여 高速 destroyer에 使用한 實例를 보여 주었다. 한편 1962年 Timman과 Newman⁽¹⁷⁾은 船體運動方程式 係數中 forward speed에 關한 項의 Symmetry Relationship을 밝혔으며, 1969年 Söding⁽¹⁴⁾, Tasai와 Takaki⁽¹⁸⁾ 및 Borodai와 Netsvetayev等은 高速과 large bulbous bow를 가진 船型에 利用할 수 있는 Strip Method를 求했다. 또 1969年에는 Ogilvie와 Tuck⁽¹³⁾가 Slender-

Body Theory의 概念을 바탕으로 head sea에서 전히 새로운 理論을 展開하여 所謂 "Rational Strip Theory"를 誘導해 냈으나 그 中 몇개의 項은 아직 積分할 수가 없다. 最近에 Salvesen, Tuck, Faltinsen⁽¹⁵⁾은 Strip Method를 利用하니 Oblique Sea에서도 船體運動을 理論적으로 求할 수 있음을 밝혔으며 W. Frank, Salvesen⁽⁴⁾은 "Lewis Form Method"가 適用되지 않는 船型에 Frank의 "Close-Fit Method"를 利用하여 實驗值와 比較的 近似解를 求得了.

以上의 이더 理論들은 船型, 船速 및 船體運動의 振動數(等의 頻率)에 따라 각各長短點들을 갖이고 있으나 다른 體系의in 比較 檢討가 完全히 이루워지고 있지 않으나 같다. 다만 1937年에 Netherland Ship Model Basin의 Joosen⁽⁶⁾等이 Korvin-Kroukovsky의 理論⁽³⁾과 Vossers⁽²¹⁾의 理論을 比較해 본 것과 1970年에 Beukelman⁽²⁾이 Gerritsma와 Beukelman의 理論⁽⁵⁾과 Ogilvie와 Tuck⁽¹³⁾ 및 Vugts⁽²⁾의 運動方程式 係數들을 比較한 것이 있는 것으로 알고 있으나, 1971年 본인의⁽²⁷⁾ 1가지 船型(小型漁船)에 對して 8가지 Strip Theory를 適用한 것이 있는 程度이다.

이에 本 論文에서는 低速船型(漁船)과 高速船型(滑走船)別로 8가지의 Strip Theory를 適用하여 運動方程式의 係數面에서 比較 檢討하였다.

II. Heave와 Pitch의 聯成運動에 關한 여러가지 Strip Theories

上下搖動 方程式

$$(M-a)Z + b\dot{Z} + cZ + d\dot{\theta} + e\theta + h\varphi = F(x)$$

縱搖動 方程式

$$(I_y - A)\ddot{\theta} + B\dot{\theta} + C\theta + D\dot{Z} + E\dot{Z} + HZ = M(x)$$

上記 運動方程式의 係數들은 다음과 같다.

1. Ordinary Strip Theory^(10, 18)

이 方法은 取扱이 容易하고 工學의in 精度를 滿足 시켜 주므로 一般의으로 추천되어 지나 高速範圍에서는 잘 들어 맞지 않는다.

$$a = \int_L a_n dx$$

$$b = \int_L b_n dx$$

$$c = \int_L c_n dx$$

$$d = - \int_L a_n x dx$$

$$e = - \int_L b_n x dx + 2u \int_L a_n dx + u \int_L \frac{da_n}{dx} x dx$$

$$h = - \int_L c_n x dx - u \int_L b_n dx$$

$$A = \int_L a_n x^2 dx$$

$$B = \int_L b_n x^2 dx$$

$$C = \int_L c_n x^2 dx - u E$$

$$D = d$$

$$E = - \int_L b_n x dx - ua$$

$$H = - \int_L a_n x dx$$

2. Vossers's Strip Theory⁽²²⁾

船體를 兩端이 呈鋸齒形 slender body로 表做하고, 배의 前進速度와 流體粒子의 orbital motion에 關한 Smith effect를 無視하여 다음과 같이 展開하였다.

$$a = \int_L a_r dx$$

$$b = \int_L b_r dx$$

$$c = \int_L c_r dx$$

$$d = - \int_L a_r x dx$$

$$e = - \int_L b_r x dx$$

$$h = - \int_L c_r x dx$$

$$A = \int_L a_n x^2 dx$$

$$B = \int_L b_n x^2 dx$$

$$C = \int_L c_n x^2 dx$$

$$D = d$$

$$E = - \int_L b_n x dx$$

$$H = - \int_L c_n x dx$$

3. Vugts's⁽²⁾ (or Semenov-Tjan-Tsanskij) Strip Theory

이들의 係數중에서 forward speed term의 Timman과 Newman의 symmetry relationship을 滿足시켜 주며 또 W.E. Smith⁽¹⁶⁾의 實驗結果에 依

하면 이 forward speed term⁽⁵⁾ 高速範圍에서 크게 영향을 미친다는 것이 밝혀졌다. 또 高速船에서 係數 A의 second order에 forward speed term⁽⁶⁾ 크게 영향을 미친 것으로 알려져 있다.⁽⁴⁾ 이 式은 上記한 3條件를 滿足해 주나 完全하게 考慮하여 주지는 않나 實際에는 약간의 差異가 있다.⁽²⁾

$$\begin{aligned} a &= \int_L a_n dx - \frac{u}{w_e^2} \int_L \frac{db_n}{dx} dx \\ b &= \int_L b_n dx + u \int_L \frac{da_n}{dx} dx \\ c &= \int_L c_n dx \\ d &= - \int_L a_n x dx - \frac{2u}{w_e^2} \int_L b_n dx + \frac{u^2}{w_e^2} \int_L \frac{da_n}{dx} dx \\ &\quad - \frac{u}{w_e^2} \int_L \frac{db_n}{dx} x dx \\ e &= - \int_L b_n x dx + 2u \int_L a_n dx + u \int_L \frac{da_n}{dx} x dx \\ &\quad - \frac{u^2}{w_e^2} \int_L \frac{db_n}{dx} dx \\ h &= - \int_L c_n x dx \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= \int_L a_n x^2 dx + \frac{2u}{w_e^2} \int_L b_n x dx - \frac{u^2}{w_e^2} \int_L \frac{da_n}{dx} x dx \\ &\quad - \frac{u}{w_e^2} \int_L \frac{db_n}{dx} x^2 dx \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= \int_L b_n x^2 dx - 2u \int_L a_n x dx - u \int_L \frac{da_n}{dx} x^2 dx \\ &\quad - \frac{u}{w_e^2} \int_L \frac{db_n}{dx} x dx \end{aligned}$$

$$C = \int_L c_n x^2 dx$$

$$D = - \int_L a_n x dx - \frac{u}{w_e^2} \int_L \frac{db_n}{dx} x dx$$

$$E = - \int_L b_n x dx + u \int_L \frac{da_n}{dx} x dx$$

$$H = - \int_L c_n x dx$$

4. Gerritsma and Beukelman's Theory⁽⁵⁾

transom stern의 end effect를 考慮하여 주었고 Davidson-A type과 같은 高速船에 適用될 수 있는 速度項을 修正하였으나, B와 D에는 速度의 修正項이 없고 더욱이 前進速度의 영향이 크게 作用하는⁽¹⁶⁾ D에 symmetry relationship⁽⁶⁾ 안 맞는다.

$$\begin{aligned} a &= \int_L a_n dx \\ b &= \int_L b_n dx - u \int_L \frac{da_n}{dx} dx \end{aligned}$$

$$c = \int_L c_n dx$$

$$d = - \int_L a_n x dx - \frac{u}{w_e^2} \int_L b_n dx + \frac{u^2}{w_e^2} \int_L \frac{da_n}{dx} dx$$

$$e = - \int_L b_n x dx + 2u \int_L a_n dx + u \int_L \frac{da_n}{dx} x dx$$

$$h = - \int_L c_n x dx$$

$$A = \int_L a_n x^2 dx + \frac{u}{w_e^2} \int_L b_n x dx - \frac{u^2}{w_e^2} \int_L \frac{da_n}{dx} x dx$$

$$B = \int_L b_n x^2 dx - 2u \int_L a_n x dx - u \int_L \frac{da_n}{dx} x^2 dx$$

$$C = \int_L c_n x^2 dx$$

$$D = - \int_L a_n x dx$$

$$E = - \int_L b_n x dx + u \int_L \frac{da_n}{dx} x dx$$

$$H = - \int_L c_n x dx$$

5. Ogilvie and Tuck's Theory(or Rational Strip Theory)⁽¹³⁾

d 와 D 의 forward speed term⁽⁵⁾ 있고 symmetry relationship을 滿足하므로 高速船에서는 比較的 잘 맞는다.⁽¹⁵⁾ 그러나 symmetry theory가 適用될 수 없는 transom stern ship⁽⁶⁾는 不適當하다.⁽²⁾

$$a = \int_L a_n dx$$

$$b = \int_L b_n dx$$

$$c = \int_L c_n dx$$

$$d = - \int_L a_n x dx - \frac{u}{w_e^2} \int_L b_n dx$$

$$e = - \int_L b_n x dx + u \int_L a_n dx$$

$$h = - \int_L c_n x dx$$

$$A = \int_L a_n x^2 dx$$

$$B = \int_L b_n x^2 dx$$

$$C = \int_L c_n x^2 dx$$

$$D = - \int_L a_n x dx + \frac{u}{w_e^2} \int_L b_n dx$$

$$E = - \int_L b_n x dx - u \int_L a_n dx$$

$$H = - \int_L c_n x dx$$

6. Tasai and Takaki's Theory⁽¹⁸⁾

O.S.M.에서 缺如되어 있는 速度項을 補完하였다. 하지만 前進速度의 영향을 크게 받는 d 와 D 에 symmetry theorem을 適用시키지는 않았다.

$$a = \int_L a_n dx$$

$$b = \int_L b_n dx$$

$$c = \int_L c_n dx$$

$$d = -\int_L a_n x dx$$

$$e = -\int_L b_n x dx + u \int_L a_n dx$$

$$h = -\int_L c_n x dx + u \int_L b_n dx$$

$$A = \int_L a_n x^2 dx$$

$$B = \int_L b_n x^2 dx + \frac{u^2}{w_e^2} \int_L b_n dx$$

$$C = \int_L c_n x^2 dx - u^2 \int_L a_n dx$$

$$D = -\int_L a_n x dx$$

$$E = -\int_L b_n x dx - u \int_L a_n dx$$

$$H = -\int_L c_n x dx - u \int_L b_n dx$$

7. Korvin-Kroukovsky and Jacob's Theory⁽⁸⁾ (or Strip-Slender Body Theory)

1955年 Korvin-Kroukovsky의 理論에 wave에 따른 energy dissipation을 考慮하였고 速度項(or damping)을 修正하였다. 하지만 station間의 wave system의 영향을 無視하였고 pitch damping coeff.에 forward speed를 考慮치 않았다.⁽¹⁾

$$a = \int_L a_n dx$$

$$b = \int_L b_n dx$$

$$c = \int_L c_n dx$$

$$d = -\int_L a_n x dx$$

$$e = -\int_L b_n x dx + 2u \int_L a_n dx + u \int_L \frac{da_n}{dx} x dx$$

$$h = -\int_L c_n x dx + u \int_L b_n dx$$

$$A = \int_L a_n x^2 dx$$

$$B = \int_L b_n x^2 dx - 2u \int_L a_n x dx - u \int_L \frac{da_n}{dx} x^2 dx$$

$$C = \int_L c_n x^2 dx - u \int_L b_n x dx + u^2 \int_L \frac{da_n}{dx} x dx$$

$$D = -\int_L a_n x dx$$

$$E = -\int_L b_n x dx + u \int_L \frac{da_n}{dx} x dx$$

$$H = -\int_L c_n x dx$$

8. Vassilopoulos and Mandel's Theory⁽²¹⁾ (or Pure Strip Theory)

strip-slender body theory의 e, B, C, E 3次元의으로 速度項을 考慮해 넣고 symmetry relationship($d = -D, e = -E$)을 滿足시켰다.

Jacobs는 이를 “Pseudo-3-dimmensional term”이라고 評하면서 實際에도 다른 項에 比해 追加된 項은 영향이 작다고 強張하고 있다. zero speed에서는 strip-slender body theory와 같다.

$$a = \int_L a_n dx$$

$$b = \int_L b_n dx$$

$$c = \int_L c_n dx$$

$$d = -\int_L a_n x dx$$

$$e = -\int_L b_n x dx - u \int_L a_n dx$$

$$h = -\int_L c_n x dx + u \int_L b_n dx$$

$$A = \int_L a_n x^2 dx$$

$$B = \int_L b_n x^2 dx - u \int_L a_n x dx$$

$$C = \int_L c_n x^2 dx - u \int_L b_n x dx$$

$$D = -\int_L a_n x dx$$

$$E = -\int_L b_n x dx$$

$$H = -\int_L C_n x dx$$

III. 計算 및 結果

1. 計 算

計算에 使用한 KIST-MRC fishing boat의 Lines는 Fig. 1에 있으며, 主要치수는 다음과 같다.

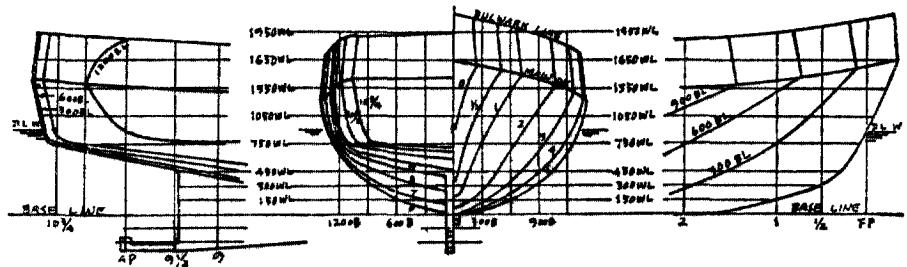


Fig. 1 Lines of KIST-MRC Fishing boat.

Length Over All	11.000m
Length Between Perpend.	9.670m
Breadth(MLD)	2.800m
Depth(MLD)	1.220m
Draft(DLWL)	0.900m
Volume of Disp.	11.58m ³
Block Coeff. (C_b)	0.44
Midship Section Coeff. (C_m)	0.79
L.C.B. forward from midship	2.050m
Radius of gyration(assumed)	0.25L _{bp}

위에서 설명한 漁船 및 比較에 使用된 高速滑走船은 모두 Transom Stern를 갖고 있으며, 中央橫斷面은 大略 Fig. 2와 같다.

계산은 $F_n=0.30$ 에 대하여 했으며, 計算한 波長은 다음과 같다.

$$\lambda/L = 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.6$$

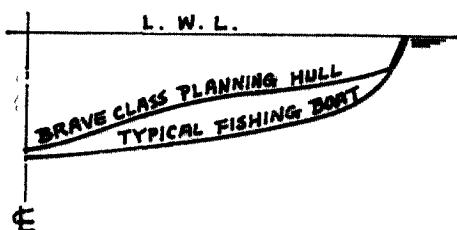


Fig. 2 Midship Sections

2. 結 果

모든 係數들은 次元化하여 Fig. 3부터 Fig. 14까지에 收錄하였다.

但 그림에서 實線은 滑走船의 계산 결과를 표시하

- 며 點線은 漁船을 나타내고 있다. 또한 曲線에 附記되어 있는 番號들은 다음과 같은 理論들을 뜻한다.
- 即 (1) : Ordinary Strip Theory
 - (2) : Vossers's Strip Theory
 - (3) : Vugt's(or Semenof-Tjan-Tsanskij) Strip Theory
 - (4) : Gerritsma and Beukelman's Strip Theory
 - (5) : Rational Strip Theory
 - (6) : Tasai and Takaki's Strip Theory
 - (7) : Strip-Slender Body Theory
 - (8) : Pure Strip Theory

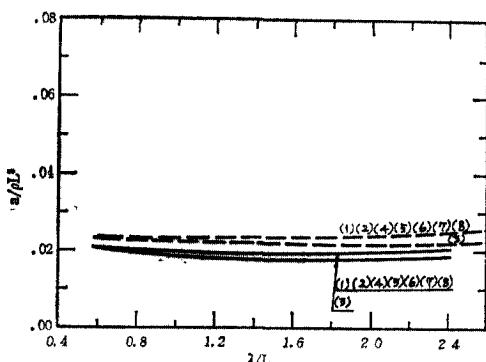
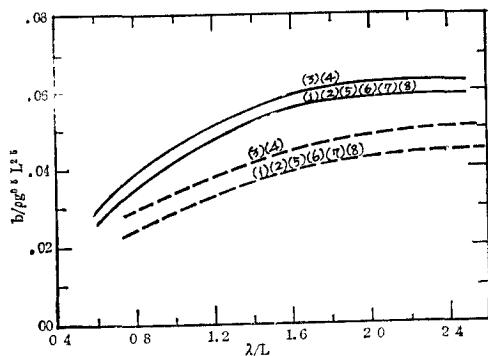
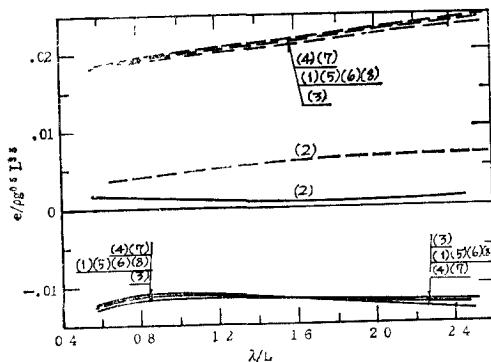
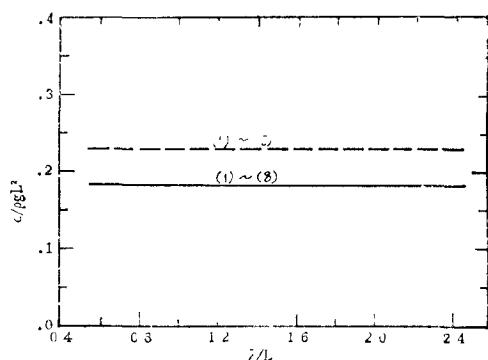
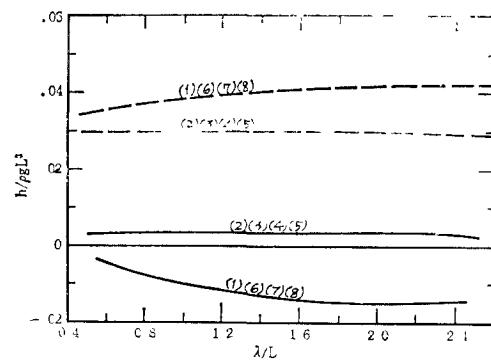
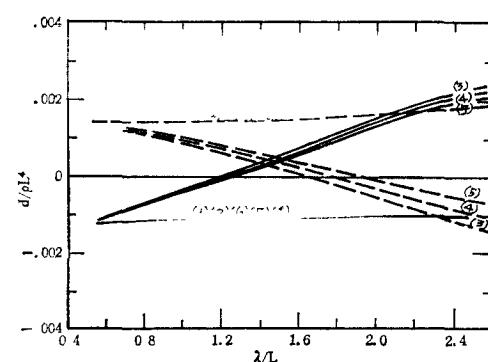
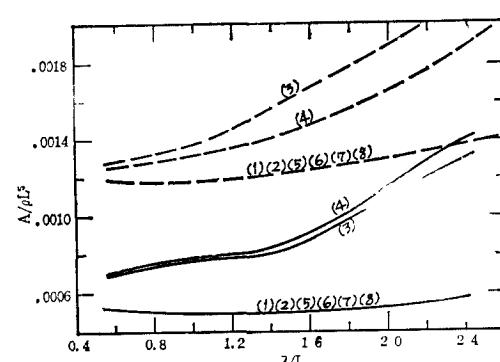
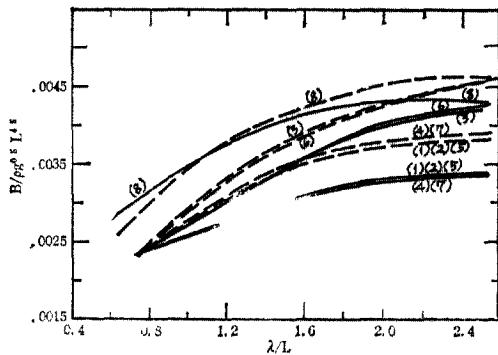
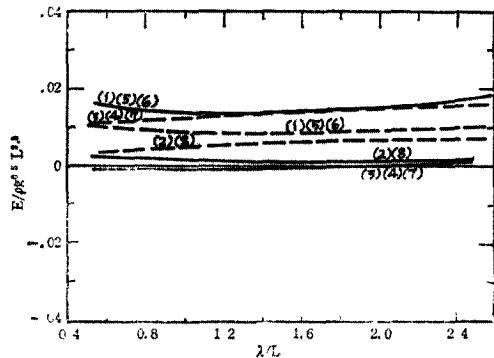
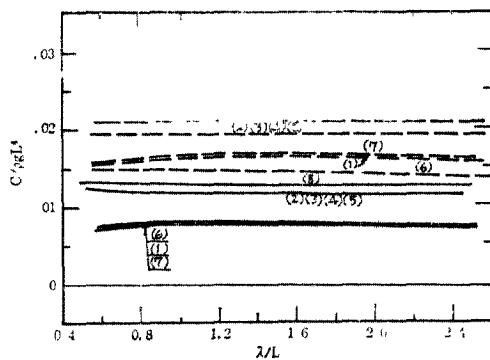
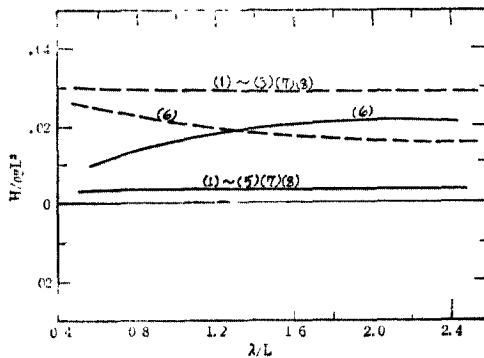
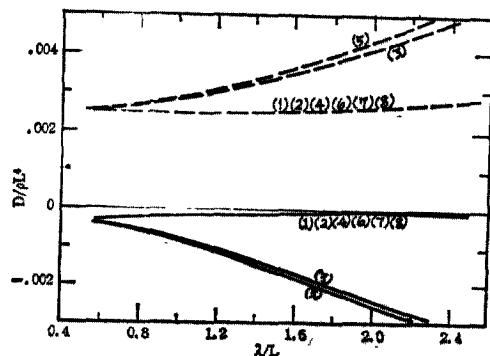


Fig. 3 Comparison of the Added Mass Coefficient a.

Fig. 4 Comp. of the Damping Coeff. b .Fig. 7 Comp. of the Coupling Coeff. for Damping e .Fig. 5 Comparison of the Hydrostatic Restoring Force Coeff. c .Fig. 8 Comp. of the Cross Coupling Coeff. h .Fig. 6 Comp. of the Mass Coupling Coeff. d .Fig. 9 Comparison of the Coeff. of Added Mass Moment of Inertia A .

Fig. 10 Comp. of the Damping Moment Coeff. B .Fig. 13 Comparison of the Cross Coupling Coeff. for Damping E .Fig. 11 Comp. of the Hydrostatic Restoring Moment Coeff. C .Fig. 14 Comparison of the Cross Coupling Coeff. H .Fig. 12 Comp. of the Mass Coupling Coeff. D .

heave damping coeff. b 를除外하고는 거의 모든係數 값에 있어서 排水型船인 標準型漁船의 값이 高速滑走船보다 큰 것으로 나타났다.

coupling coeff. d 및 D 에서는 두 船型의 波長에 따른 效果가 서로 反對로 나타남을 볼 수 있으며, 특히 (3), (4), (5)의 理論들에서 더욱 甚하게 나타났다. 여기서 Beukelman의 Davidson-A type destroyer의 實驗結果⁽²⁾ 및 Friesland class frigate에 對한 W. E. Smith의 實驗結果⁽¹⁶⁾에서 속도 영향을 고려하여준 (3), (4), (5)의 理論들이 實驗 값과 더욱 잘 맞았다는 事實을 감안하여 볼 때, 船型이 係數 d 및 D 에 미치는 영향은 큼을 알 수 있으며,

이러한 경향은 coupling coeff. e, h, H 等에서도 엿볼 수 있다.

또한 係數中「波長／ 배길이」(λ/L)의 영향을 많이 받는 것은 b, d, h, A, B, D 等으로 나타났으며, 계수 b 및 B 에서는 8가지의 모든 理論들에서 공통적으로 그려졌다. 또한 계수 d 에서는 (3), (4), (5)의 理論이, 계수 D 에서는 (3), (5)의 理論이, 계수 h 에서는 (1), (6), (7), (8)의 理論이, 계수 A 에서는 (3), (4)의 理論이 이러한 경향을 더욱 험격하게 나타내고 있다.

以上의 考察로 미루어 보아 다음과 같이 結論 지울 수 있겠다.

(1) b 를 除外한 거의 모든 係數面에서 低速 排水型船이 高速 滑走型船보다 큰 값을 갖는다.

(2) 係數 b, d, e, h, A, B, D, H 들에서는 波長(λ/L)의 영향이 크게 나타나는 理論들이 있으며, 특히 coupling coeff. d, D, h, H 들에서는 Vugt's의 理論, Gerritsma and Beukelman's theory, rational strip theory 및 Tasai and Takaki's theory들이 이너한 傾向을 크게 나타내고 있으며 船型에 따른 變化도 크다. 實驗結果^{(2), (10)}를 감안할 때 上述한 4개의 理論들이 高速船에 가장 適合한 것으로 料り되기도 한다.

後記

本論文作成 때에 資料 整理를 도와 준 김영준, 윤봉섭兩君에게 甚深히 謝意를 表한다.

本論文에 使用한 電子計算機은 IBM 1130이었다.

記號

$a, b, c, d, e, h, \dots, A, B, C, D, E, H$ } : 運動方程式의 係數

a_n : 斷面附加質量

A_h : heave로 因한 進行波의 振幅과 heave 振幅의 比

b_n : sectional damping

B_n : 斷面의 水綫幅

C_n : $\rho g B_n$

$F(x)$: exciting force

ρ : 물의 密度

w : circular frequency

w_e : frequency of encounter
 F_n : Froude number ($= u/\sqrt{Lg}$)

g : 重力加速度

I_y : mass moment of inertia

k : wave number ($= 2\pi/\lambda$)

K_4 : 自由表面 影響係數

L : 배의 길이

M : 船體의 質量

$M(x)$: exciting moment

u : 배의 速度

Z : heave의 変位

θ : pitch phase angle

λ , 波長

参考文獻

1. M. A. ABKOWITZ, L. A. VASSILOPOULOS and F. H. SELLAS, "Recent Developments in Seakeeping Research and its Application to Design", advanced copy of paper to be presented at annual meeting, New York, N.Y., November (1966).
2. W. BEUKELMAN, "Pitch and Heave Characteristics of a Destroyer," Delft, Netherlands, Shipbuilding Laboratory, Report No. 257, January (1970).
3. M. St. DENIS and W. J. PIERSON, "On the Motions of Ships in Confused Seas", *Trans. SNAME*, Vol. 61, (1953)
4. W. FRANK and N. SALVENSEN, "The Frank Close-Fit Ship Motion Computer Program", Department of Hydromechanics Research and Development, Report No. 3239, June (1970).
5. J. GERRITSMA and W. BEUKELMAN, "Analysis of the Modified Strip Theory for the Calculation of Ship Motions and Wave Bending Moments," Neth. Ship Research Center, Report No. 96S, June (1967).
6. W. P. A. JOOSEN, R. WAHAB and J. J. WOORTMAN, "Vertical Motion and Bending Moments in Regular Waves", Netherlands, Shipbuilding Laboratory, Report No. 67-093-ZT, June (1967).
7. B. V. KORVIN-KROUKOVSKY(1955c), "Inv-

- estigation of Ship Motions in Regular Waves", *SNAME*, Vol. 63, 1955.
8. B. V. KORVIN-KROUKOVSKY AND W.R. JACOBS, "Pitching and Heaving Motions of a Ship in Regular Waves", *Trans. SNAME*, Vol. 65, (1957).
9. B. V. KORVIN-KROUKOVSKY, "Theory of Seakeeping", (text) *SNAME*, (1961).
10. E.V. LEWIS, "The Motion of Ships in Waves" (text) P.N.A. chapter II.
11. L. LENDWEBER and M.C. de MECAGNO, "Added Mass of Two-Dimensional Forms Oscillating in a Free Surface", *Journal of Ship Research*, November (1957).
12. T.F. OGILVIE, "Recent Progress Toward the Understanding and Prediction of Ship Motion," Proceedings of the ONR Fifth Symposium on Naval Hydrodynamics, Bergen, Norway, (1964).
13. T.F. OGILVIE and E.O. TUCK, "A Rational Strip Theory of Ship Motion: Part I", Department of Naval Architecture, the University of Michigan, Report No. 013, (1969).
14. H. SÖDING, "Eine Modifikation der Streifenmethode", *Schiffstechnik Bd.* 16, Heft 80, (1969).
15. N. SALVESEN, E.O. TUCK and O. FALTINSEN, "Ship Motions and Sea Loads", advanced copy of paper to be presented at the Annual Meeting, New York, N.Y., November 12~13, (1970).
16. W.E. SMITH, "Computation of Pitch and Heave Motions for Arbitrary Ship Forms", *International Shipbuilding Progress*, Vol. 14, (1967).
17. R. TIMMAN and J.N. NEWMAN, "The Coupled Damping Coefficients of Symmetric Ships", *Journal of Ship Research*, Vol. 5, No. 4, (1962).
18. F. TASAI and M. TAKAKI, "Theory and Calculation of Ship Responses in Regular Waves", (in Japanese), Symposium on Seaworthiness of Ships, *Japan Society of Naval Architects*, (1969).
19. E.O. TUCK, "A systematic Asymptotic Expansion Procedure for Slender Ships", *Journal of Ship Research*, Vol. 8, No. 1, (1964).
20. F. URSELL, "On the Heaving Motion of a Circular Cylinder on the Surface of a Fluid", *Quart. Journal Mech. and Applied Math.*, Vol. II, (1949).
21. L. VASSILOPOULOS and P. MANDEL, "A New Appraisal of Strip Theory", Proceedings of the ONR Fifth Symposium on Naval Hydrodynamics, Bergen, Norway, (1964).
22. G. VOSSERS, "Some Applications of the Slender Body Theory in Ship Hydrodynamics", publication No. 214 of the Netherlands Ship Model Basin.
23. J.H. VUGTS, "The Hydrodynamics Coefficients for Swaying, Heaving Shipbuilding Laboratory, Report No. 194 January (1968).
24. G. VOSSERS, "Fundamentals of the Behaviour of Ships in Waves", *International Shipbuilding Progress*, Vol. 6, No. 64, December (1959).
25. K. WATANABE, "On the Theory of Pitch and Heave of a Ship", *Technology Reports of the Kyushu University*, Vol. 31, No. 1, January (1958).
26. KURT WENDEL (1950), "Hydrodynamische Massen und Hydrodynamische Massenträgheit Momente", *JSTG*, band 44, (1950). English translation "Hydrodynamic Masses and Hydrodynamic Moments of Inertia", *DTMB* No. 260 July (1956).
27. 권영중, 황종호, "船體運動에 關한 Strip Method의 一考察", 大韓造船學會誌 第8卷 第1號, pp. 17~28, (1971).