
 論 文

大韓造船學會誌
 第21卷 第3號 1984年 9月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 21, No. 3, September 1984

河川貨物運搬船의 船體抵抗과 推進에 對하여*

金 基 曾**

Resistance and Propulsion of Inland Water Cargo Vessel*

by

K.Z. Kim**

Abstract

In recent days, many manufacturing factories have been established and operated along riversides or on sea coasts. In consequence thereof, modern inland vessels with their small draught but large carrying capacity have been developed to operate as a single unit or in convoy with a barge.

Knowledge on the behaviour of inland cargo vessels in shallow water exists presumably in U.S.A., U.S.S.R. and West Germany Literature available on this subject is quite limited.

Model tests were carried out, both in calm water and in waves to obtain hull lines, which not only improve the seaworthiness of inland vessels but also permit to run in convoy with other vessels on inland waterways.

The results, which to some extent have also been tested in full scale, are entirely satisfactory. This paper describes the the resistance of some newly developed inland water cargo vessels.

1. 緒 言

工業의 發展에 따라 數많은 工場들이 江邊 또는 沿岸에 세워짐에 따라 原料의 搬入·製品搬出等 河川航行 船舶에 의한 物動量은 莫大하며, 이들은 그 나라 經濟發展에 크게 寄與하고 있다. 工場의 어느 地域에의 密集은 그 地域에 人口集中으로 因한 車輛交通問題, 가스, 油類, 化工藥品 等の 危險物資의 住居地域 通過 輸送等 어려운 問題가 생기게 된다.

이리하여 多量의 物資를 經濟的으로 危險物質을 安全하게 輸送하는 手段으로서 河川航船舶이 다시 注目을 받게 되었다[1].

最近 河川, 湖水 等 內陸水路를 통해 石炭, 鑛石 等 其他 여러가지 貨物을 多量으로 輸送하는데 單一船舶들에 의한 輸送은 時間과 人件費, 其他 離費 등으로 因한 支出이 많기 때문에 여러 개의 艇船(Barge)를 連繫하여 이를 Tug Boat로 밀든가 하는 輸送方式도 생겼다. 따라서 보다 效率的인 艇船(Barge)의 標準規格化가 進行되고 있다. 從來에는 河川貨物運搬船은 主로 內陸의 平水區域을 航行하였기 때문에 大洋의 風浪에 對한 耐航性은 問題視되지 않았다. 그러나 最近 Europe에서는 北海에 油田이 發見, 開發되어 物質補給輸送을 河口港에서 荷物積換作業을 하지 않고 內陸水路와 近海사이를 航行할 수 있도록, 어느 정도의 耐航性도 갖추도록 船型 개발에 힘써 왔다[7].

接受日字 : 1984年 5月 3日, 再接受日字 : 1984年 9月 7日.

* 本論文은 1984年 4月 21日 蔚山 現代重工業(株)에서 開催되었던 學會의 春季研究發表會에서 發表되었음.

** 正會員, 忠南大學校 造船工學科

따라서 여기서論하고자 하는 것은 Europe의 內陸水路, 특히 Rhine江 등에서 貨物輸送에 從事하는 駁船(Barge), 機關貨物船(self-propelled Motor Cargo Ship)에 對해서 V.B.D.(Duisburg河川航行船舶試驗研究所)에 開發된 船型的 船體抵抗과 推進에 關한 特性이다.

2. 河川航行貨物運搬船의 船型

船舶이 河川, 또는 湖水等 內陸水路를 航行하는데는 數 많은 狹少한 水路의 길목, 運河의 匣門等 여러가지 條件이 다르게 된다. 따라서 河川航行船舶은 길이, 幅, 吃水 等에 엄격히 特約을 받게 된다. 이같은 制約下에 效率的인 貨物輸送을 할 수 있는 船舶은 大洋을 航行하는 貨物船과는 그 크기가 다른 뿐만 아니라 船型도 크게 달리하고 있다. 이들을 서로 比較하기 위해 몇 隻의 船舶을 選擇하여 Table 1과 Table 2에 表示하였다.

이리하여 이들의 河川航行貨物運搬船과 大洋을 航行하는 貨物船의 特性을 比較하면 다음과 같다.

方形비계수 C_B (Block Coefficient)는 駁船(Barge) $0.88 < C_B < 0.93$, 河川航行機關貨物船에서는 $0.84 < C_B < 0.90$ 으로서, 大洋을 航行하는 貨物船의 $0.66 < C_B < 0.74$ 보다 훨씬 큰 數值를 보여 주고 있다.

$\frac{L}{\sqrt{V}^{1/3}}$ 의 값도, Barge인 경우 $6.0 < \frac{L}{\sqrt{V}^{1/3}} < 7.2$, Motor Cargo Ship인 경우 $7.31 < \frac{L}{\sqrt{V}^{1/3}} < 8.50$ 으로서, 大洋을 航行하는 貨物船의 경우 $\frac{L}{\sqrt{V}^{1/3}} = 5.0$ 에 비해 훨씬 크다.

Table 2 Particulars of Ocean Going Cargo Ships Used in Shallow-Water Tests

Model No	3748-2	3801	3867	3886
Ship type	Liberty	Victory	T. 2 Tanker	T. 1 Tanker
<i>L, ft</i>	427.3	445.0	510.0	311.0
<i>B, ft</i>	56.9	62.0	68.0	48.2
<i>T, ft</i>	27.7	28.5	30.2	19.2
<i>Δ tons</i>	14176	15045	21778	5968
C_B	0.735	0.669	0.722	0.726
C_M	0.980	0.980	0.980	0.980
C_P	0.747	0.677	0.740	0.734
<i>L/B</i>	7.51	7.18	7.50	6.45
<i>B/T</i>	2.05	2.17	2.25	2.51
Propeller dia, <i>ft</i>	17.80	20.5	18.36	12.5

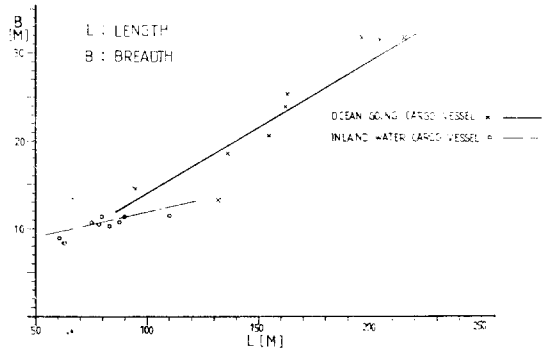


Fig. 1 Relation between Length and Beam

Table 1 Particulars of Inland Water Going Cargo Ships used in Shallow Water Tests

	M951/949 (Barge)		M651/952 (Barge)			M968/949 (Mortor Ship)	
<i>Lo</i> (m)	80		80			110	
<i>L</i> (m)	79.32	79.96	78.89	79.34	79.70	109.16	109.90
<i>B</i> (m)	11.40	11.40	11.40	11.40	11.40	11.40	11.40
<i>T</i> (m)	2.00	3.00	2.00	2.50	3.00	2.00	3.00
(m^3)	1591	2469	1640	2074	2521	2112	3305
C_B	0.882	0.903	0.912	0.917	0.925	0.849	0.879
<i>L/B</i>	6.96	7.01	6.92	6.96	6.99	9.58	9.68
<i>B/T</i>	5.70	3.80	5.70	4.56	3.80	5.70	3.80

Propeller Data M968/949 (Mortor Shp)

Dia meter	$D(m)$	1.687
Pitch	$P(m)$	1.435
Pitch Ratio	P/D	0.850
Expanded-area ratio	AE/A_0	0.550
Blade NO.	Z	4
Profile length at 0.7R	$C(m)$	0.497

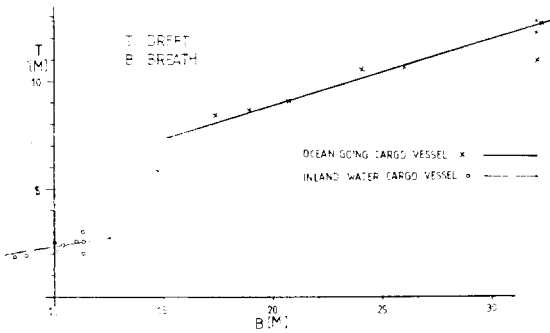


Fig. 2 Relation between Beam and Draft

그리고 船體의 中央平行部(Parallel Middle Body)의 길이 L_{pm} 의 L_{WL} 에 對한 比, 즉 $\frac{L_{pm}}{L_{WL}} = 0.65$ 에나 달한다(8).

또한 L/B 의 값에도 差異가 많고, 特히 幅 B 와 吃水 T 와의 比에는 엄청나게 差異가 있다. 이들의 L, B, T , 의 相互間의 關係를 比較하기 爲하여 圖表化한 것이 Fig. 1과 Fig. 2이다.

3. 模索試驗

3.1. 模型船型選擇

河川航行 貨物運搬船의 模型으로 選定된 船型은 Europe의 內陸水路, Rhine江 등에서 運航되어 잘 알려진 Europe II A型에 해당되는 艇船(Barge)과 機關設置自航貨物運搬船(Self Propelled Motor Cargo Ship)로서, 이들 船類의 線圖와 附加物配置는 V, B, D 에서 考案된

것으로서, 또한 最近 U.S.S.R의 內陸水路 航行船舶에 關해 公開된 것 中에서 船體의 船首部分의 形態를 선택한 것이다(2).

3.1.1. 船首型

船首에는 2가지型을 選定하였고, 이들은 Europe의 內陸水路에서 널리 알려져 있는 것으로서, 中에는 橢圓形船首 M949는 抵抗의 見地에서 有利하게 開發되었으나 曲面으로 因해 工作費用이 많이 든다. 또한 China Line을 갖는 M952型 船首도 있다. 이型의 船首는 Europe II A Barge의 型으로 開發된 것으로 Barge들을 서로 연결해서 運航할 때 간단하게 甲板으로 代用할 수 있다.

3.1.2. 船尾型

艇船(Barge)의 船尾型으로서는 M951型을 選定, 그리고 機關貨物運搬船(Motor Cargo Ship)의 船尾로서 M968을 選定한다.

이 M968型의 船尾는 2軸 Screw Propeller推進으로서 Kört Nozzle이 달려있는 Ponton Form의 改良된 型으로서, 오늘날 Europe의 主要內陸水路에 從事하는 機關貨物船의 代表的인 船尾型이다. 이 型의 船尾는 원

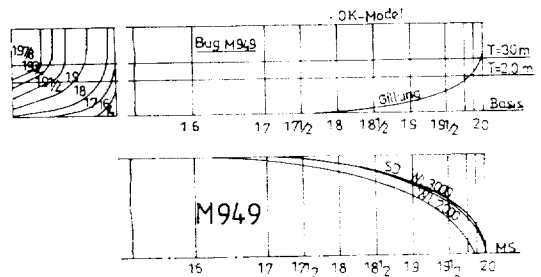


Fig. 3 Barge M949 Stem

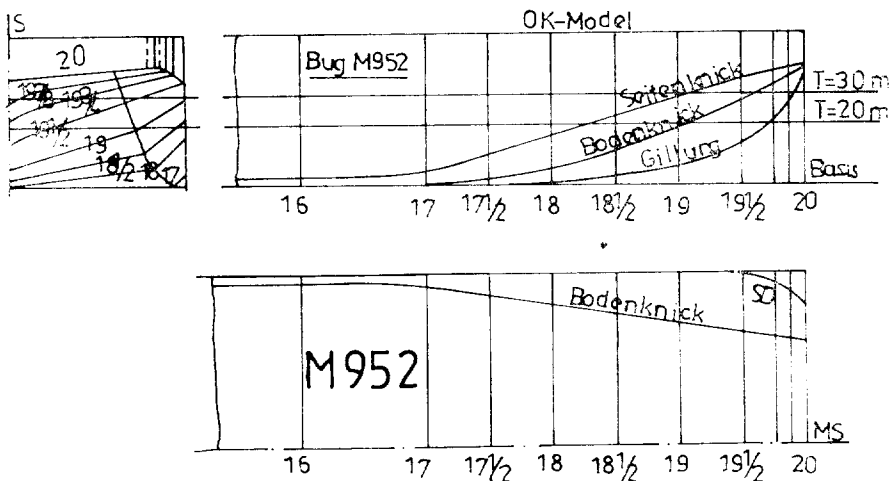


Fig. 4 M952 Stem

만한 波浪에서도 Screw Propeller가 水面 밖에 露出되지 않아 Propeller部分에 空氣流入을 防止할 수 있다.

3.2. 模型船의 構成

앞에서 選定된 船首型 M949와 M952, 그리고 船尾型 M951와 M968으로 다음과 같이 模型船을 組合 構成 한다.

躉船(Barge)		機關貨物船(Motor Cargo Ship)	
船尾型	船首型	船尾型	船首型
M951	— M949	M968	— M949
M951	— M952	M968	— M952

이와같이 組合해서 構成한 模型船 M951/949, M951/952, M968/949의 船體의 主要치수와 Propeller에 對한 내역을 Table 1에 이미 表示하였다.

그리고 이들의 船型의 線圖의 略圖를 Fig. 3-6에 도시하였다.

3.3. 模型試驗記錄 및 資料[4], [5]

試驗에 使用된 模型船의 縮尺은 1 : 18이다. 尺算出에는 ITTC(1957)에 따라 淡水密度 $\rho = 1,000\text{kg/m}^3$, $C_F = \frac{0.075}{(\log R_n - 2)^2}$ 를 使用하였다[4, 5].

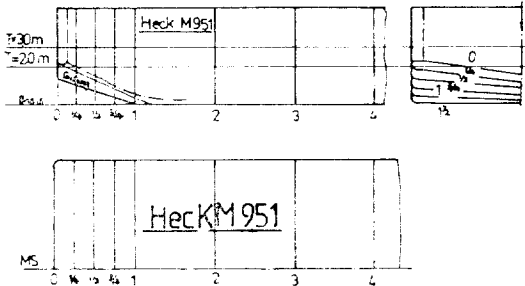


Fig. 5 Barge M951 Stern

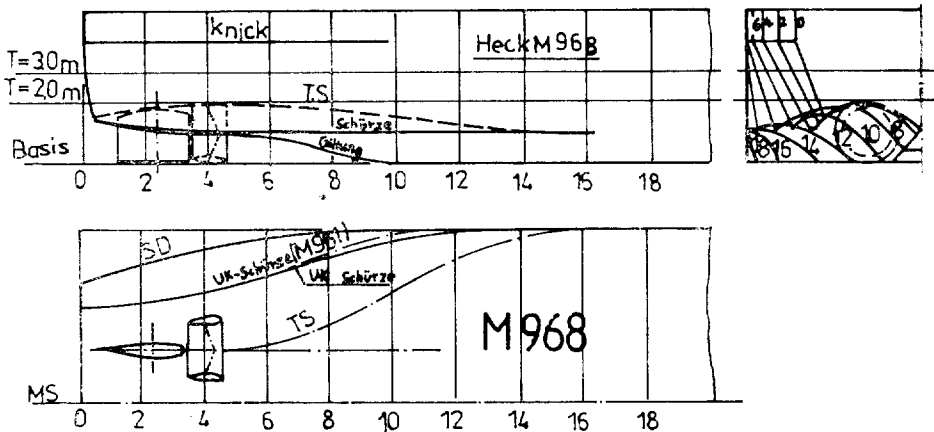


Fig. 6 Motor Cargo Ship M968 Stern

Table 3 Resistance Test Program

h : Water Depth (m)
 T : Draft (m)

$T(m)$	$h(m)$	4.0	5.0	10.0	18.0
2.0			M951/949	M968/949	M951/949
3.0		M951/949	M951/949	M968/949	M951/949
			M951/952		M968/949

Table 4 Propulsion Test Program

$T(m)$	$h(m)$	5.0	10.0	18.0
2.0		M968/949	M968/952	M968/949
3.0		M968.949	M968/952	M968/949
		M968/949		

河川航行船舶의 船體抵抗은 航行하는 水域의 水深의 영향을 받기때문에, 水深 4.0m에 18.0m까지 4 단계로 나누고, 또한 吃水를 2.0m와 3.0m로 航行하는 상태에서 平水에서의 船體抵抗試驗과 Propeller試驗에 對한 Program을 表示한 것이 Table 3과 Table 4이다.

이들의 試驗結果를 Fig. 7~Fig. 10에 도시하였다.

4. 試驗資料에 對한 考察

Fig. 7에서 Fig. 10까지에서 보는 바와 같이, 河川航行船舶의 船體抵抗은 얇은 물에 대해 대단히 민감하다[9].

우선 船舶이 水深이 다른 淺水區域을 航行하면 船體 周邊의 potential flow에 變化가 생기며, 船體에 생기는

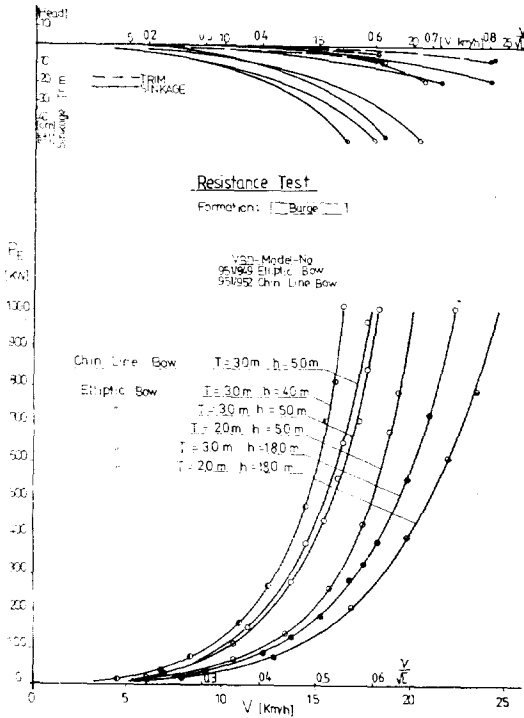


Fig. 7 Resistance Test Results for M951/949, M951/952

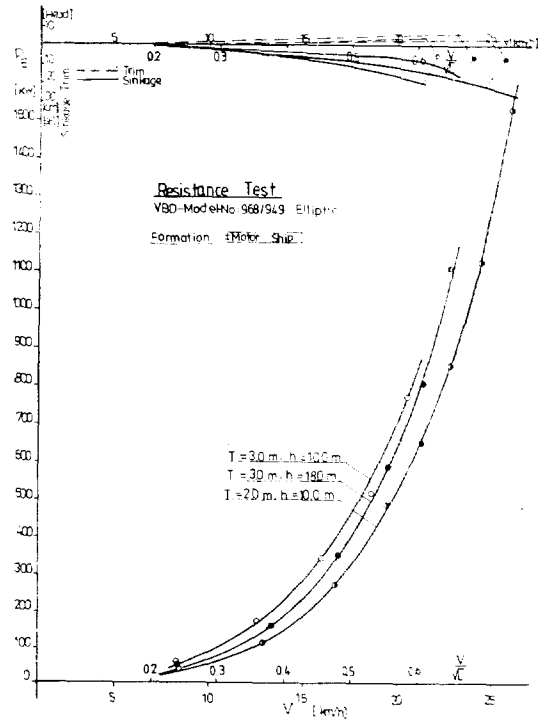


Fig. 8 Resistance Test Results for M968/949

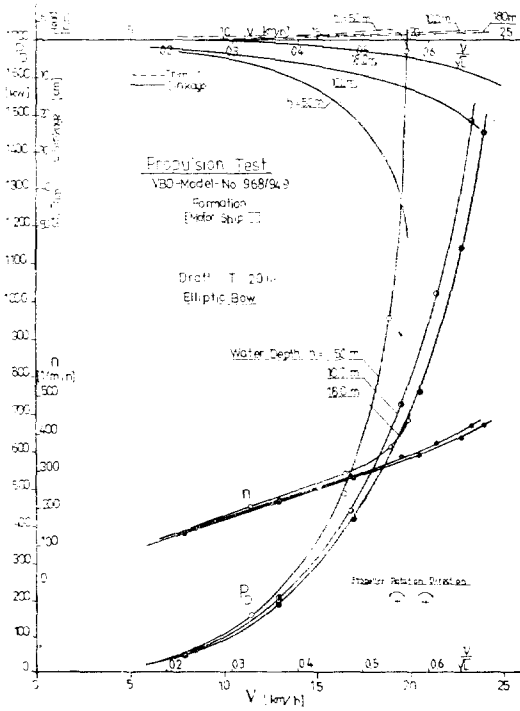


Fig. 9 Propulsion Test Results for M968/949

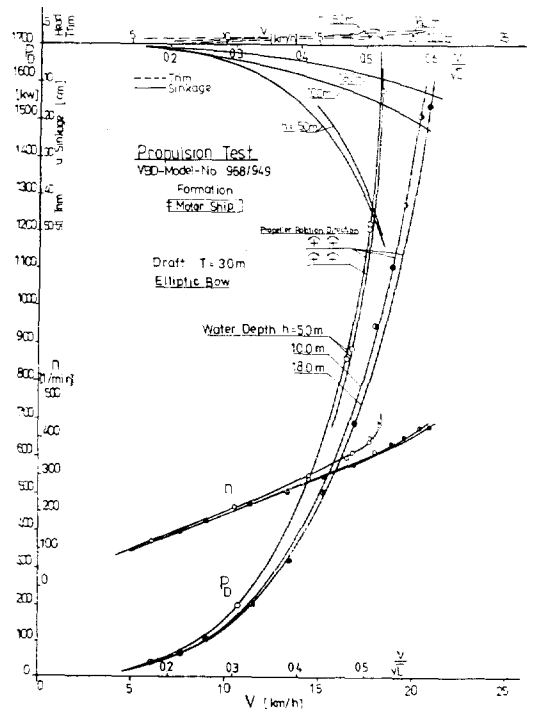


Fig. 10 Propulsion Test Results for M968/949

沈下(sinkage), trim도 水深에 따라 變하게 되어 船體 抵抗도 變하게 된다[10].

두번째 영향은 깊은 물에서 얇은물로 航行할때의 波形이 變化하게 되어 이에 따른 造波抵抗에 變化가 생긴다.

깊이 h 의 물에서의 表面波의 速度 V_w 는 다음 式으로 주어진다.

$$V_w^2 = \frac{gL_w}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L_w} \quad (1)$$

여기서 L_w 는 波頂과 波頂사이의 길이이다. 충분히 깊은 물에 對해서는

$$V_w^2 = \frac{gL_w}{2\pi} \quad (2)$$

얇은 물에 對해서는

$$V_w^2 = gh \quad (3)$$

으로 表示할 수 있다.

船舶의 速度 V 가 얇은 물에서 大略 $0.4\sqrt{gh}$ 보다 작은 범위에 있을 경우는, 깊은 물에서 發生하는 波形과 별로 差異가 없지만, 臨界速度 \sqrt{gh} 에 가까워지면, 壓力點으로 인한 모든 造波의 效果는 進行하는 方向과 직각을 이루는 橫波의 波頂에 集中되어, 모든 에너지는 그 파도를 타고 나가게 되며 抵抗은 급격히 增加된다.

Schlichting은 船體抵抗의 淺水效果에 關係 연구해석한 바 있다. 이 해석은 幅에 制限이 없는 얇은 물에 대한 것이며, 亞臨界速度範圍에서 抵抗增加에 關한 것이다.

얇은 물에서의 波長과 충분히 깊은 물에서의 波長이 서로 같을때, 이들 wave의 速度의 比는 다음 式으로 表示하게 된다.

$$\frac{V_1}{V_\infty} = \left[\tan h \frac{gh}{V_\infty^2} \right]^{1/2} \quad (4)$$

여기서 V_1 은 얇은물에서의 wave의 속도, V_∞ 는 충분히 깊은 물에서의 wave의 속도이다.

Schlichting은 船舶의 造波抵抗은 2次的으로 發生하는 橫波에 달려있다고 假定하였고, 얇은물에서의 速度 V_1 에 대응하는 造波抵抗이, 깊은 물에서의 速度 V_∞ 에 대응하는 造波抵抗 R_w 와 같다고 假定하여 船體抵抗을 Fig. 11과 같이 해석하였다.

速度修正

$$\Delta V = \Delta C + \Delta V_{pot} \quad (5)$$

$$V - \Delta V = V - \Delta C - \Delta V_{pot}$$

$$\frac{V - \Delta V}{V} = \frac{V'}{V} = 1 - \frac{\Delta C}{V} - \frac{\Delta V_{pot}}{V} \cdot \frac{V'}{V}$$

$$\frac{V'}{V} = \frac{1 - \frac{\Delta C}{V}}{1 + \frac{\Delta V_{pot}}{V}}$$

抵抗修正

$$\frac{R_{fr}'}{R_{fr}} = \frac{V'^2}{V^2} \quad (6)$$

$$R_{fr} - R_{fr}' = R_{fr} \left[1 - \frac{V'^2}{V^2} \right]$$

$$\frac{\Delta R_{fr}}{R_{fr}} = 1 - \left(\frac{V'}{V} \right)^2 = 1 - \left(\frac{V - \Delta C}{V} \right)^2 = 1 - \left(1 - \frac{\Delta C}{V} \right)^2$$

Weiblum은 Schlichting의 假定下에서의 船體抵抗에 關係 數學적으로 解析하였다. 船舶이 얇은 물에서 臨界速度以下로 航行할때는 아주 近似하게 맞는 것을 알게 됐다.

그리고 淺水效果의 限界에 關係 Kempf는 Fig. 12에 表示된 曲線으로 限界를 提示했고, Schuster와 Weiblum은 $\frac{V_s}{\sqrt{W_d}} = 4.3$ 인 直線으로 表示하였다.

Kempf가 주장하는 曲線에 따르면, 吃水 $T=3.0m$, 水深 $18.0m$ 이면 $\frac{W_d}{T} = 6.0$ 으로서 이에 대응하여 $\frac{V_s}{\sqrt{W_d}} \approx 2.6$ 임을 보여주고 있다. 따라서 $V_s(\text{knot}) \approx 2.6 \sqrt{W_d(m)}$ 가 되며, 吃水 $T=3.0$, 水深 $h=18.0m$ 에 대응 속도 $V_s \approx 11.04 \text{knot} = 20.44 \text{km/h}$ 以下에서의 模型 試驗은 淺水效果를 받지 않은 充分히 깊은 물에서의 試驗으로 보아도 된다. 따라서 이를 基準으로 하여 淺水가 船體抵抗에 주는 影響을 比較考察할 수 있다.

$\frac{W_d}{T}$ 의 값이 적을 때는 즉, 吃水에 比해 水深이 얇을 때는 낮은 速度에서도 淺水效果가 있다는 것을 보여주고 있다. 吃水 $2.0m$, 水深 $4.0m$ 인 경우는 $V_s = 2 \text{knot} \approx 3.7 \text{km/hr}$ 以下일때 淺水效果가 생기지 않는다는 것을 意味한다[6].

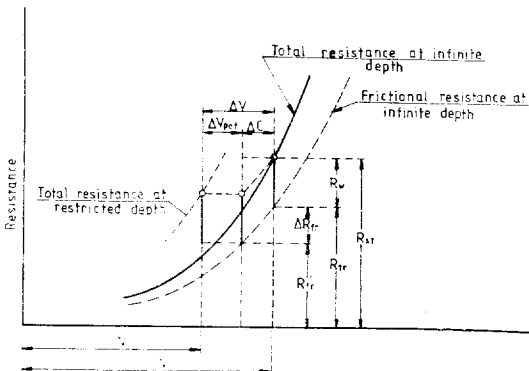


Fig. 11 Schematic Representation of Schlichting's Method

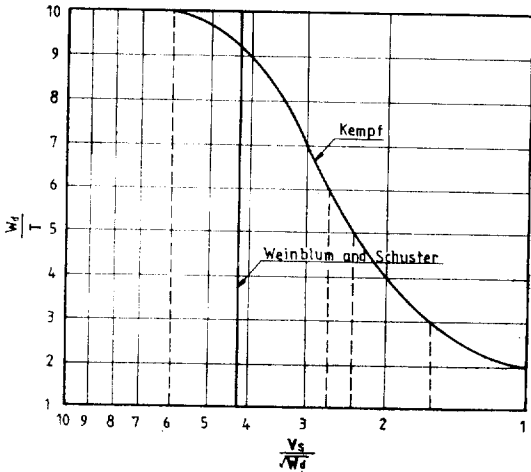


Fig. 12 Limits of the Influence of Shallow Water on Wave-making Resistance According to Kempf (V_s knots, W_a in m, T in m)

4.1. 淺水效果로 因한 船體抵抗增加

淺水效果가 船體抵抗에 어떻게 影響을 주는 가를 알아 보기 위해 Fig. 7로부터 Barge M951/949에 대해 吃水 $T=3.0m$, 水深 $h=18.0m$ 인 경우의 抵抗을 基準으로 하여 [6] 淺水效果로 因한 抵抗增加率을 百分率로 Fig. 13에 도시하였다. M968/949에 대해서도 같은 방법으로 해석하여 Fig. 13에 함께 表示하였다.

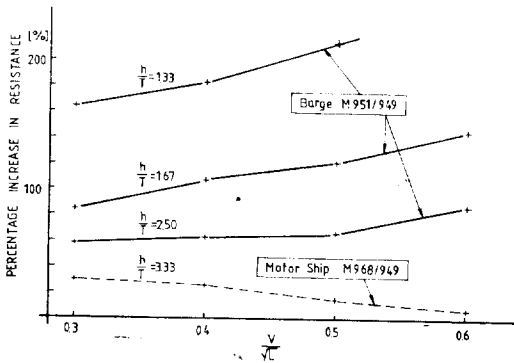


Fig. 13 Increase in Resistance According to h/T for M951/949, M968/949

4.2. 淺水效果와 船體沈下

模型船舶 M951/949와 M968/949의 淺水效果로 因한 沈下狀態를 알아보기 위하여, Fig. 7과 8로부터 吃水 T , 水深 h , $\frac{V}{\sqrt{L}}$ 에 대응하는 沈下(Sinkage)결과를 정리하여 沈下의 比의 값을 水深, $\frac{V}{\sqrt{L}}$ 에 따른 변화로써 Fig. 14와 Fig. 15에 제시하였다.

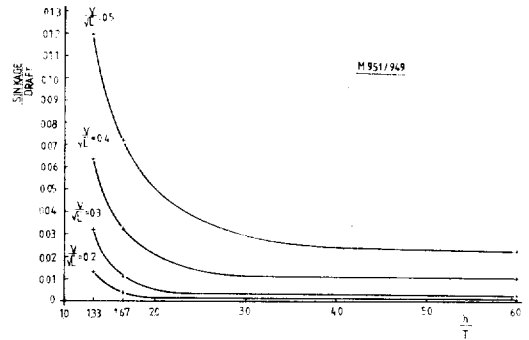


Fig. 14 Sinkage in Shallow Water (M951/949)

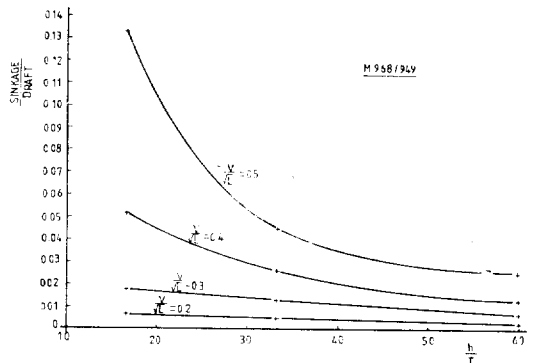


Fig. 15 Sinkage in Shallow Water (M968/949)

大洋을 航行하는 貨物船型의 淺水效果로 因한 沈下狀態에 비하여 河川航行 船舶型이 훨씬 크게 淺水效果의 影響이 있다는 것을 알 수 있다.

4.3. 吃水, 水深과 Propeller軸馬力 r.p.m과의 關係

한편 河川航行船舶이 淺水區域을 航行할 때 propeller에 對한 傳達動力과 吃水와의 關係를 알아보기 위하여 Fig. 9와 10을 利用하여 水深 18.0m에서의 傳達馬力 P_D 를 基準으로 한 動力增加率을 계산하여 그결과를 Fig. 16에 도시하였다[3].

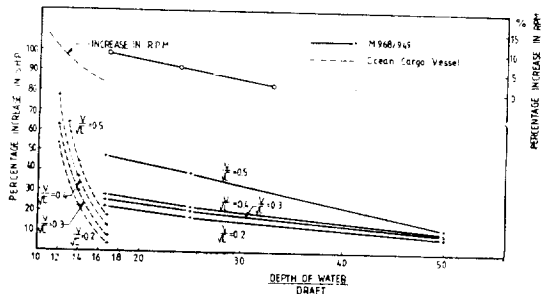


Fig. 16 Increase in Shaft Horsepower and r.p.m in shallow Water

이 그림에는 淺水效果로 因한 Propeller의 變化率을 水深 18.0m일 때의 試驗值에 대비한 結果가 실려있다.

結 言

航行하는 內陸水路의 地理的 與件에 따라 길이, 幅, 吃水 등에 엄격히 制約을 받으면서 보다 效率的인 貨物 輸送能力을 갖기 위한 河川航行貨物運搬船의 船型은 大洋을 航行하는 貨物船의 船型과는 크게 差異가 난다. 적은 吃水로써 復原性이 좋고, 보다 많은 貨物을 輸送하기 위해서 方形비척係數 C_B 의 값이 특히 크다. 그리고 船體抵抗을 적게 하기 위해서는 橢圓型 M949船首型이 有利하고 大洋을 航行하는 貨物船에 비해 LB 와 BT 의 값이 크다.

적은 吃水로써 큰 推進을 얻기 위해서는, 2軸 Screw, 3推 Screw 推進裝置를 하게 되며, 적은 吃水에 비해 보다 큰 지름의 Propeller를 갖기 위해서는 M968型的 Ponton형상의 船尾가 바람직스럽다. 그리고 河川航行 貨物運搬船型은 淺水效果로 因한 吃水에 對한 沈下比率이 크다. 따라서 抵抗推進에 보다 크게 영향을 주고 있다. 이것은 船府의 平均한 面積의 水線面積에 對한 비가 크기 때문에 Potential flow의 變化가 크다고 推定된다.

河川航行 貨物船의 船體抵抗에는 여러가지 要因이 作用하기 때문에 이것을 研究解析하는 것은 難題로 생각된다. Europe의 內陸水路에 適合한 船舶을 그대로 우리나라에 適用하는데도 問題가 있을 것으로 보아 우리도 우리나라의 內陸水路에 適合한 船型開發에도 힘써야 될 것으로 생각된다.

끝으로 이 論文은 文敎部에서 주관한 I.B.R.D. 차관

사업의 일환으로 필자가 1982년 12월 20일부터 1년간 서독 Aachen 공대에 파견되어 Prof. H.G. Schultz, Prof. H. Schneekluth 및 V.B.D. (소장 H.H. Heuser)의 도움을 받아 수행한 과제의 결과임을 밝히며, 이 기회에 문교부당국에 심심한 사의를 표하는 바입니다.

참 고 문 헌

- [1] Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstrassen, Nr. 6/83, pp.212, 225-226.
- [2] Versuchsanstalt für Binnenschiffbau E.V. Duisburg Bericht Nr. 1024, 1982, pp.2, 71-96.
- [3] H.Poehls, Entwerfen von Schiffen und Schiffstheorie, Universität Hannover, 1981, pp.5-12.
- [4] E. Müller, "Systematische Modellversuche mit Schubleichter Verbänden 1976", Schiff und Hafen, 1982, pp.26-31.
- [5] H. Heuser, Widerstand und Leistungsbedarf von Binnengüterschiffen, 1982, p.8.
- [6] A. J. W. Lap, Fundamental of Ship Resistance and Propulsion, pp.108-112.
- [7] H.-J. Guschall, Internationales Verkehrswesen, 1981, p.175.
- [8] H. Schneekluth, Hydromechanik in Schiffsentwurf, 1983, pp.450-451.
- [9] Principles of Naval Architecture, pp.320-329.
- [10] T.C. Gilmer, Modern Ship Design, Naval Institute Press, pp.100-102.