

無造波船型에 關하여

仁荷大學校 造船工學科

教授 曹 奎 鍾

石油波動以來 漁船界에서도 Energy 節減은 매우 切實한 問題로 提起되고 漁船의 船型改良에의 關心도 높아지고 있다. 漁船은 速長比가 比較的 높아 全抵抗에 대한 造波抵抗의 寄與率이 一般商船에 比해 훨씬 높기 때문에 無造波船型의 概念을 導入하여 그 船型改良을 企圖하는 것은 有益한 일이라 할 수 있다.

이와같은 觀點에서 無造波船型의 概念과 그 發展過程을 簡單하게 살펴보고자 한다.

배의 造波抵抗에 關한 本格的인 實驗的 發表는 1871年 最初의 試驗水槽가 만들어 지면서 부터라 할 수 있을 것이고 그보다 約 60年 늦게 造波抵抗理論이 發達되었으며 이 兩者를 有機的으로 結合시킨 것은 그보다 또 約 30年 늦게 이룩 되었다.

無造波船型이란

여기서 말하는 船型이란 水面下의 船體의 形狀을 指稱하며 물결이란 배가 航走할때 水面에 생기는 물결中에서 造波抵抗의 原因이 되는 後續自由波—所謂 航跡波—를 指稱한다.

無造波船型이란 주어진 吃水狀態에서 주어진 設計速力을 中心으로 그 前後의 速力에서 물결의 發生程度가 格別히 적은 船型을 指稱하는 것이다.

後續自由波에는 船首波와 船尾波外에 어깨部分에서 發生하는 물결도 있으나, 漁船과 같이 中央平行部가 없는 船型에서는 어깨에서 發生하는 물결을 없애는 것은 容易하다. 또 船尾波는 물의 粘性 때문에 相當히 弱화되는 故로 無造波船型을 얻으려면 우선 船首波를 消滅시키는 것이 先決問題가 된다. 船尾波를 消滅시키는 手

段은 粘性의 影響을 除外하면 原理上 同一하다.

問題는 無造波의 判定基準이다. 數學的인 嚴正한 뜻에서 無造波는 아닐지라도 在來의 經驗的 傳統的 船型設計技術에 比較해서 格別히 물결이 줄어들지 않았으면 無造波라고 말하는 것은 우습다. 船首波만에 대해서 생각하면 그 波高—正確하게는 重率振幅函數의 平均—가 $1/2$ 以下, 따라서 船首波만에 依한 造波抵抗이 $1/4$ 以下로 줄어든다면 量的으로나 感覺的으로서 無造波船型이란 用語를 써도 無妨하리라 생각 한다.

船型學과 波紋解析

1960年頃을 境界로 하여 그 前後에서 船型研究의 方法論이 完全히 달라졌다. 即 그때까지는 造波抵抗이라는 結果만에 執着하여 그 原因이 되는 배의 물결의 研究는 소홀히 하고 있었다.

배를 設計할때 直接 必要한 것은 틀림없이 船型과 造波抵抗을 連結짓는 資料이지만 造波抵抗이 더 以上 줄어들 수는 없는가 하는 궁극적인 船型을 探究하기 위해서는 그 原因이 되는 물결에 까지 파고 들어서 調査할 必要가 있다. 船型과 造波抵抗을 連結하는 資料는 대단히 중요한 것이지만 여러 假定위에 成立하는 理論의 欠陷을 補正하고 設計에 活用하기 위해서는 造波抵抗의 面에서의 補正으로서는 效果가 없고 그에 앞선 中間情報量인 물결의 段階에서 補正할 必要가 있다. 또한 그렇게 하는 것이 가장 效果가 있다. 여기서 물결이라 함은 舷側에 보이는 물결 만은 아니고 오히려 그보다 重要한 것은 배의 後方으로 퍼져가는 所謂 航跡波이다.

船型試驗水槽에서 模型船을 끌어 그때 發生하

는 물결을 直上面에서 撮影한 垂直寫眞(波紋寫眞)은 배의 물결의 全貌를 定性的으로 또한 半定量的으로 把握하는데 대단히 有益하다. 後述하는 사진 1은 그 一例이다. 定量的인 資料로서는 더 나아가 2枚의 垂直寫眞을 스트레오 사진으로 결합시키면 波高가 求해지고, 배의 물결의 等高線圖(波紋圖)가 그려진다. 一方, 造波抵抗理論에 따른 理論波紋圖를 컴퓨터로 求해 두었다가 前述한 實測波紋圖와 比較해 본다. 이와같은 作業을 「波紋解析의 船型試驗法」이라고 말하고 있다.

波紋解析의 利點은 여러가지가 있으나 첫째로 船首波와 船尾波를 明確하게 區別할수 있기 때문에, 作業의 前半 段階에서 우선 물의 粘性의 影響이 거의 들어가지 않은 船首波를 解析함으로써 粘性 以外的 原因에 依한 理論의 欠陷을 가려낼수 있다는 點이다.

어떤 分野의 科學技術에서나 理論과 實驗과의 相補的 協力이 發展을 위한 絕對 必要條件임은 勿論이지만, 배의 造波抵抗의 問題에 關係 이 條件이 참되게 滿足된 것은 船型試驗水槽가 만들어져서부터 90年을 經過한 1960年 以後 日本 東京大學의 Inui교수등에 依한 前記「波紋解析의 船型試驗法」이 確立되어서 부터 라고 할수 있다.

후루드(FROUDE)의 船型試驗水槽

波紋解析의 要諦는 1871년의 옛부터 있던 船型試驗水槽와 그보다 約 60年 뒤져서 徐徐히 發達해온 造波抵抗理論과를, 배가 發生시키는 물결을 媒體로 結合시킨데 있다.

여기서 船型試驗水槽에 關係 言及키로 한다.

試驗水槽에서 使用하는 模型船의 크기는 적은 것은 1.2m 程度부터 큰것은 10m 程度까지 大小各種이 있고 水槽의 規模도 大體로 이에 比例한다.

예를 들면 가장 큰 것은 길이 約 1km, 幅이 約 17m, 水深이 約 7m나 되는 것이 있다. 大體로 水深은 使用模型船의 길이程度, 水幅은 使用模型船의 길이의 2~2.5倍 程度이다. 試驗水槽의 機能面에서 가장 重要的 것은 그 위를 달리

는 電車, 即 模型船의 曳引車이다. 그 走行中の 速度變動이 全無하도록, 또한 願하는 速度를 正確히 얻을수 있도록 自動制御 되고있다.

試驗水槽가 이 世上에 태어난것은 우이람 후루드(1810~1879)라는 偉大한 土木 兼 造船技術者의 卓越한 工學的센스와 確固한 信念 및 實行力의 덕분이었다. 후루드의 偉大한 業績은 造船界에서는 이미 世界的으로 널리 알려져 있는 故로 여기서는 다음 두가지만 指摘해 두고자 한다. 첫째로 후루드가 試驗水槽의 有効性を 主張할 때 가장 어려웠던 論爭의 相對는 實船實驗 至上主義者들이었다는 點.

둘째로 후루드나 그 反對論者나 모두 그 當時의 造船界에서의 배의 抵抗에 關한 最大關心事는, 이미 船型이 決定된 段階에서 어느 程度의 馬力の 機關을 竝으면 所定の 速力을 얻을수 있을까? 即 實船 抵抗值를 如何히 正確하게 推定할수 있을까 하는 問題였다는 點이다.

그 때문에 후루드가 創始한 船型試驗法도 船型이 定해지고, 推進器가 定해져 있을때의 船體의 抵抗이나 推進器의 推力, 回轉力率, 效率 등을 確認하는데 가장 適切한 方法으로 되어 있다. 換言하면, 模型船의 抵抗과 推進器의 推力等, 計測對象은 全部 힘으로서 힘의 計測에 依한 最終結果의 確認에 始終하였다.

船型과 造波抵抗과의 關係는 不幸히도 大端히 微妙해서, 船型의 微小한 差異가 때에 따라서는 造波抵抗을 크게 變化시키는 수가 있다. 그 最大의 理由는 船體의 各部로부터 發生한 물결이 後方으로 傳播되어 가는 過程에서 서로 겹쳐져서 複雜하게 干涉하기 때문이다.

이것을 船型學에서는 造波干涉이라고 부르고 있으나 造波干涉에도 肉眼으로 쉽게 觀測할수 있는 巨視的레벨의 것도 있고, 肉眼으로는 觀測하기 어려운 微視的레벨의 것도 있다. 예를 들면 船首에서 發生하는 船首波와 船尾에서 發生하는 船尾波가 배의 後方에서 干涉해서 造波抵抗曲線에 봉우리와 골을 만드는 所謂 험프, 홀로우 現象은 前者에 屬해 후루드의 時代부터 알려져 있었다. 그 中에서도 지금부터 이미 百餘年前 1877년에 후루드가 「船體平行部の 길이가 造波抵抗에 미치는 影響에 關해서」라는 有名한 論文

을發表하고 있음은 잘 알려진 일이다.

以上을 要約하면, 船型→배의물결→造波抵抗이란 複雑한 因果關係를 解明하는 目的을 위해서는, 「힘의 計測」만에 依한 「最終結果의 確認」을 A 模型에서 B 模型으로 機械的으로 移行하는 試行誤差法으로는, 船型改良의 效果가 적고, 또한 물결을 보는데도 肉眼으로 觀察할수 있는, 巨視的 實像만을 相對로 해 가지고 서는, 물결을 消滅시키는 手段은 될수 없었던 것이다.

해부록(HAVELOCK)의 造波抵抗理論

波紋解折으로 부터 出發하여 無造波船型을 發見해 내는데 까지의 思考過程에는 세가지 關門이 있다. 그 詳細한 內容을 다 記術할수는 없으나, 가장 基本的인 것으로 생각되는 것은 船型으로부터 물결, 물결에서 造波抵抗이란 過程을 通해서 主役을 맡을 「자」가 必要하고, 그 「자」는 배의 물결의 持性を 一義的이고도 全面的으로 規定할수 있는 것이어야 한다는 點이다. 即 船型이 定해지면 理論計算으로도 그것이 求해질수 있고, 또한 模型船의 물결의 觀測資料로부터도 直接 比較檢討가 可能한 것이어야 하며, 또한 이 「자」와 造波抵抗과의 사이에도 確實한 物理的 法則이 確立되어 있는 것이어야 한다.

이와같은 目的의 「자」로서 가장 適合한 것에 해부록이 1934년에 發表한 素成波의 概念이 있다.

이 理論의 思考方式의 本質을 한마디로 表現하면 다음과 같다. 우리의 肉眼으로 볼수있는 배의 물결을 눈에 보이는 그대로의 複雑한 三次元의 물결로서 取扱하지 말고 일단, 그 構成要素에 까지 分解해 버리지. 그러면 그것은 二次元인 平面波(素成波)가 어떤 一定한 法則下에 모여서 이루어진 것이라고 理解할 수 가 있다. 그렇게 생각하면, 三次元的 構成을 가진 複雑한 「實像」인 배의 물결을 二次元的 性質을 가진 素成波라는 「心像」의 集合體로서 理解 할 수 있는 것이다.

이것은 數學에서 말하는 후우리에 積分의 思考方式과 꼭 같은 것이지만, 그 理解를 돕기 위해서 다음과 같은 例를 생각해드 좋을 것이다.

연못의 한가운데 돌을 던졌다고 생각하자. 그러면 그 點을 中心으로 同心圓의 波紋이 동그라미를 그리며 퍼져간다. 눈에 보이는 것은 同心圓形의 물결이지만, 보기에 따라서는 平面波가 落下點을 中心으로 放射狀으로 360度 모든 方向으로 一濟히 안쪽에서 바깥쪽으로 傳播된 結果라고 볼수도 있을 것이다. 배의 경우에는 直線上을 한 方向으로 一定速度로 前進하고 있기 때문에 素成波의 構成은 投石의 例처럼 點對稱은 되지않고, 좀더 複雜해진다라는 差異가 있다. 또한 가지 重要한 差異는 배가 點이 아니고 길이를 가지며, 그 굵기가 길이 方向으로 變化한다는 點이다. 1887年 英國의 物理學者 케르빈(KELVIN)은 배의 크기를 無視하고 이것을 點으로 간주하여 그것이 一定速度로 前進할 때 後方에 생기는 放射線狀의 물결 模樣을 計算으로 求했다. 이것이 有名한 케르빈波라고 불리우는 것인데, 배는 點이 아니고, 길이가 있으며, 그 斷面이 中央에서 굵고 前後에서 뾰쪽하다. 따라서 船首에서 船尾까지의 各 斷面에서 이와같은 새끼 케르빈波가 發生하고, 그것이 後方에 傳播되는 過程에서 全體로서 重疊되게 된다.

새끼 케르빈波의 位相은 배의 前半部에서는 斷面增加率이 正이기 때문에 항상 물결이 봉우리로 부터 始作되고 배의 後半部에서는 그와 反對이다. 또한 그 振幅은 斷面變化率에 比例하며 斷面變化率은 船首尾의 兩端에서 絶大值가 最大가 되고, 배의 中央에서 零이된다. 새끼 케르빈波거리의 중첩을 생각할때 배 全體에 대해서 생각하지 말고, 배를 中央에서 잘라서 생각하면 생각하기 쉽다. 앞에서 巨視的인 물결의 干涉例로서 船首波와 船尾波와의 干涉을 말했으나, 이때의 船首(尾)波는 엄밀하게 말하면, 船首(尾)端에서 發生하고 있는 것이 아니고, 船首(尾)부터 船體中央에 걸친 배의 前(後)半部 全體로서 만들고 있는 물결인데, 이것을 後方에서 觀察하면 巨視的으로는 마치 그것이 船首(尾)附近에서 發生하고 있는 것처럼 보일 뿐인 것이다. 이와같이 보이는 또 한가지 理由는 배가 만드는 물결의 波長(이것은 船速의 自乘에 比例한다) 이 배의 길이에 비해 작기 때문이기도 하다. 即 高速페리나 콘테이너船에서 그 比는 約

$\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$, 大型탱커에서는 약 $\frac{1}{7}$ 정도이다.

이 비가 작을수록 船首(尾)波의 特性은 船首(尾)端의 局部的인 斷面變化率——所謂 水切角——만으로 決定되고, 船體中央部 가까이 의 他 斷面으로부터 發生하는 大部分의 물결은 內部干渉의 結果에 何等 寄與하지 않는다. 最近의 배는 船首船底 가까이 에 발부란 突出部를 가진 것이 많은데 이 발부의 容積이 前半部 船體의 全容積의 2% 前後의 크기라도 振幅比로 1對 1, 即 等 振幅의 條件을 滿足시킬수 있음은 이 때문이다.

以上과 같이 微視的인 새끼케르빈波가 배의 前(後)半部마다 集合되어 만들어진 巨視的 船首(尾)波는 各各 船首(尾)端을 起點으로하는 正弦波(S波), 余弦波(C波)의 두 巨視的 케르빈波의 和로서 理解되며 이에 對해 前述한 素成波의 思考를 適用하면 結果는 다음과 같이된다.

(1) 素成波는 배의 進行軸($\theta=0$)을 中心으로 左右各各 90度까지의 範圍에서 各方向으로 傳播되고 그 傳播速度는 $V\cos\theta$ (V 는 船速)로 주어진다.

다. 各 素成波의 振幅은 θ 의 函數로서 $S(\theta)$, $C(\theta)$ 라고 表示하고, 이것을 素成波 振幅函數라고 한다. $S(\theta)$, $C(\theta)$ 는 船首(尾)波를 全面的으로 規定한다.

(2) 造波抵抗은 振幅函數의 自乘에 $\cos^3\theta$ 를 곱해서 이것을 素成波의 全域에 걸쳐 積分한 것 에 比例한다.

(3) θ 를 바탕으로 振幅函數曲線을 그릴경우 θ 의 全域($\theta=0 \sim \frac{\pi}{2}$)에서 그 符號가 正 또는 負인 體 全혀 變化하지 않는 船型과 그렇지않은 船型이 있다. 前者를 單純船型, 後者를 高次船型이라고 한다.

물결의 比較

波紋解析의 實効性을 表示하는 1例로서 Inui教授等に 依해서 連絡船(길이 120m, 速力 18knot)을 對象으로 行해진 研究結果의 1部를 사진 1에 表示한다.

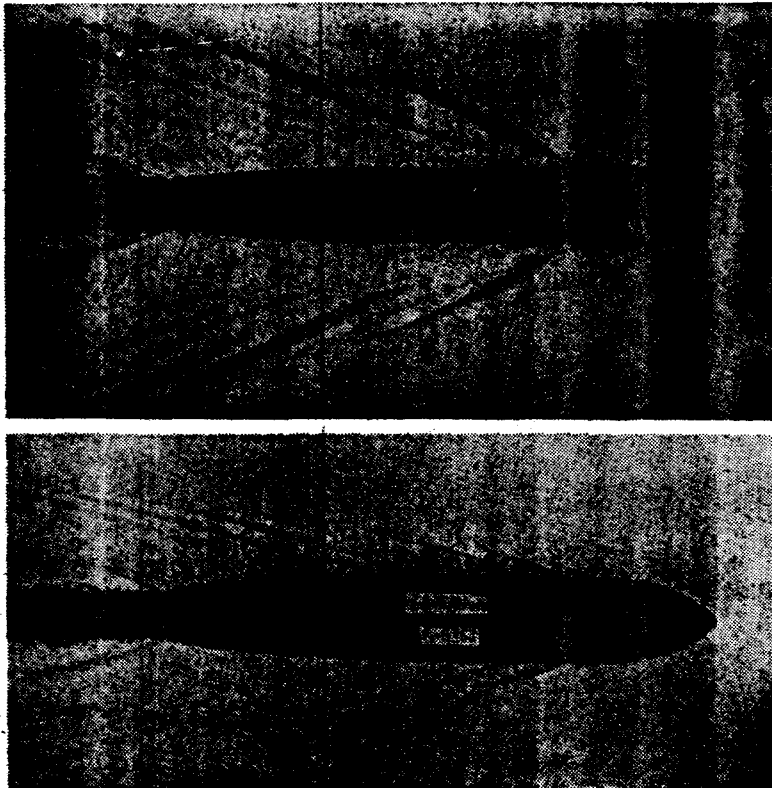


사진 1 連絡船의 波紋比較
(上) 在來船型 (下) 無造波船型

이것은 單純船型인 主船體에다 大型발부(容積比 2%)를 組合시킨 所謂 第1種의 無造波船型의 범주에 屬한다. 그림中 上이 在來船型, 下가 無造波船型으로 兩船型의 後半部는 同一하다. 兩船型의 船首波의 差異는 明白하여 在來船型에서는 相當히 큰 船首波와 앞 어깨물결이 觀察되는데 비해 無造波船型에서는 船首波는 거의 完全히 消滅되고 있다. 이 때의 抵抗試驗의 結果로서는 前者의 造波抵抗을 100이라 할때 後者는 40의 레벨까지 低下되었다. 후루드數가 0.267인 이 程度의 速度에서의 造波抵抗全體에 對한 船首波와 船尾波의 寄與率은 보통 7對 3乃至 6對 4 程度인 故로 殘餘40이란 것은 若干남는

어깨물결과 船尾波와에 依한 것이라고 判斷해도 좋을 것이다.

발브를 除外한 主船體의 船首波나 발브의 물결이나 모두 巨視的인 케르빈波이다. 그 兩者間에 거의 完全한 造波干涉을 일으키기 위해서는 세가지 條件이 必要하다. 重要度の 順序로.

첫째 ; 兩케르빈 波의 起點을 正確하게 一致시킬것

둘째 ; 逆位相일것

셋째 ; 等振幅일것

이중 둘째, 셋째 條件은 三次元의 물결을 念頭に 두지말고 素成波로 分解해서 二次元 平面波끼리의 干涉問題로 置換해서 생각하면 쉬워진다.

無造波船型의 實現으로 함프(hump) 홀로(hollow)를 念慮할 必要가 없어진 것은 船型設計上 한 革命이라고 할수 있을 것이다.

함프, 홀로의 現象은 船首波, 船尾波가 함께 存在할때 비로서 發生하는 現象이다. 그중 어느 한가지를 지울수 있다면 이와같은 現象은 없어

지는 셈이다. 따라서 原理上 船首波는 어떤 후루드數에서도 지울수 있기 때문에 1960년에는 함프 領域이라 하여 忌避되던 후루드數 0.27~0.32의 領域이 現在는 큰태이너船等 一般商船의 常用速度로 들어 오게 되었다.

無造波船型의 研究는 그後 第2種, 第3種으로 發展했다. 둘다 主船體는 高次船型으로, 컴퓨터속에서 最適化시켜 船首(尾)波系 各各의 内部干涉을 最大로 活用하여 물결을 지우고 있는 것이다. 다만 第2種은 전혀 발브를 붙이지 않고 第3種은 補助的인 小型발브를 붙이고 있는 것이 다른 點이다. 배의 船首部에서는 荷物의 大小에 따라 吃水의 變化가 크다.

吃水가 變하면 主船體의 물결과 발브의 물결과 大小關係가 붕괴되어 버리기 때문에 第3種과 같은 思考가 생기게 됐다.

다만 이때는 理論 그 自體의 精度가 한층더 精密함이 要請되고 있는바 今後의 研究에 期待를 걸고 있는 것이다.

