

解 說

「새로운 船材로서의 Mesh Reinforced Cement」

劉 俊 浩* · 金 燦 喆**

“Mesh Reinforced Cement as New Shipbuilding Material”

by

Joon Ho Yu and Hun Chol Kim

Abstract

When one speaks of a concrete ship, most people have an impression of heavy solid rough edged masses of concrete very unlike anything floatable. In the form represented by what is called “MRC,” concrete does, however, become light, homogeneous, elastic, resilient, and above all strong still retaining the basic benefit of inexpensive well known concrete properties.

The fundamental principle behind this material as a new shipbuilding material is based on the development of “ferro-cement” in the early 1940s by an Italian Engineer Pierre Luigi-Nervi.

The “MRC” or Mesh Reinforced Cement has been studied by Korea Institute of Science and Technology in connection with a research project “The Small Ship Construction Utilizing Domestic Materials And Its Economic Analysis,” of which reports have been issued previously.

In this exporsition, some of the basic qualities of “MRC” are discussed in general terms.

1. MRC 의 紹介

MRC 는 이미 새로운 船材가 아니며, 外國의 경우 Ferro-Cement, Ferrocete, Seacrete, Cecon 등 여러가지 이름으로 開發되어 各種船舶建造 및 土建構造에 利用되고 있다. 特히 最近에는 UN FAO 漁船分課로 부터 開發途上國의 船質開量策으로 추천되어 各國이 技術的인 支援을 받고 있으며, 英國, 뉴질랜드, 캐나다, 中共등지에서는 大單位 生産體制가 完備되어 自體需要는 물론 外國輸出에 임하고 있다. 우리나라는 이와같은 새로운 船材의 可能性이 1967年 金極天 教授에 의하여 最初로 紹介되었으며 [1] 그후 韓國科學技術研究所를 통하여 MRC 船의 試驗建造 및 그 技術的, 經濟的 妥當性이 具體化 되었다.

또한 海軍工廠에서도 두척의 小型 Cement 船舶을 독자적으로 建造進水 시킨바 있으며 이에 관한 資料는 이미 朴先英 會員을 통하여 學會誌에 掲載된바 있다. [2] 本小考는 韓國科學技術研究所의 MRC 船舶 開發에 관한 「國內材料를 利用한 小型船舶의 建造 및 그 經濟性에 관한 研究」에 따른 最終報告書(I, II, III

卷 全 500 page 程度)中에서 細部的인 技術內容을 除外한 일반적 사항들을 紹介하고자 함이다. Fig. 1은 KIST 의 設計建造船되고 KIST 의 技術提供으로 進水된 韓國最初의 Cement 漁船 2 隻이다.



Fig. 1 Two MRC fishing vessels (GT 7.5 & GT 25) constructed under the supervision of KIST

Cement 를 船體建造의 主材質로서 適用하려는 試圖은 약 100 餘年 前부터 시작되었으나 그의 뚜렷한 技術的 進展이 이루어지지 않았다. 그러나 第一次, 第

* 正會員, 韓國科學技術研究所

** 正會員, 韓國科學技術研究所

二次世界大戰을 전후하여 각국의 船材不足難이 심각하여짐에 따라 cement 船舶에 關한 새로운 관심과 연구가 수행되고, 그 결과 concrete ship program 이 美國등지에서 수립되었다. 이 期間中 약 50 萬噸에 達하고, 길이 15m~150m의 범위에 속하는 각종 concrete 선박들이 軍用, 또는 其他目的으로 건조되었다. 이 船舶들은 종래의 一般 concrete 工法을 크게 變化시켜 建造한 것으로 우수한 性能을 보였으나 단지 그 두께가 50~120 mm 정도로 重構造化하였기 때문에 重量問題로써 곤란을 받았다. cement 船의 輕量化노력과 함께 cement의 船材化로의 가치가 인정된 것은 1943년 Italy의 저명한 教授이며 Engineer인 Pierre Luigi-Nervi에 의한 독자적 창안의 도입이다. 그는 새로운 土建用 및 船材로서, 鋼棒을 骨材로 하고 그 위에 여러겹의 鋼網을 적층한 후 이에 cement mortar을 칠투시켜 두께 25 mm 이하의 板으로써 필요한 強度와 彈性을 얻게 하는 方法을 "Ferro-cement"라고 稱한후 이를 使用하여 165 ton 級 motor sailer인 "Irene"를 進水시켰다. 이 船舶은 機械 및 電氣施設이 없는 造船所를 통하여 불과 3個月만에 完工, 同形의 木船에 比하여 5%의 重量減少 및 40%의 船體建造費輕減을 기록하였다[3].

上記 Ferro-cement에 根據를 둔 MRC의 船材로서의 機械的特性을 갖는 基本原理는 다음과 같다. 즉 MRC가 均質材料로서의 높은 彈性과 完全水密, 機械的強성과 cracking에 대한 抵抗이 큰것은 그 原因이 主로 材料內部的 cement mortar에 대한 補強鐵材의 큰 重量比와 또한 補強要素의 mortar 內에서의 均일한 行列分布에 기인한다고 定義된다. 일반적으로 concrete 製品에서 補強鐵材의 含量이 重量比로 15%이상 되면 그 強度는 鐵筋을 少量使用한 製品보다 급격히 上昇한다. MRC의 경우도 이와 마찬가지로, 試驗結果에 의하면 鋼棒과 鋼網의 使用量을 5.5~11.5 lbs/ft³에서 27~37 lbs/ft³으로 增加시켰을 경우 材料의 強度는 5배이상 向上되었음을 알수있다. Fig. 4는 MRC 材料의 鐵材含量과 굽힘 強性係數와의 關係를 실험적으로 얻은 곡선이다. 보통 MRC에서 鋼棒 및 鋼網의 全體에 대한 構成比는 各 使用鐵材의 種類 및 規格에 따라 다르지만, 船體의 두께 15~25 mm의 범위에서는 대체로 20~27%의 값을 가지며 單位體積당 平均 30 lbs/ft³ 정도의 量을 필요로 한다.

MRC가 他 concrete 製品에 比하여 cracking에 대한 抵抗이 월등히 큰것은 材料內에 稠密하게 規則적으로 分布되어 있는 鋼網의 效果인바 이는 concrete

가 材料 內部的 補強要素 隣接周邊에서 外部荷重에 의한 應力을 상당한 크기까지 吸收할 수 있다는 原理에 근거를 두고 있다. 보통 20 mm의 두께를 기준한다면 單位面積당 2 lbs/ft² 정도의 鋼網이 補強要素로써 積層된다. 위에서 알수있는 바 MRC가 所要의 強度를 갖게 되는 이유는 強力部材로서의 鋼棒과 鋼網의 역할이며 鋼棒은 외부의 引張力과 衝擊力에 抵抗, 鋼網은 mortar 內에서 鐵筋材의 效과를 빈틈없이 均일하게 充滿시키므로써 表面의 crack을 방지하여 外部의 衝擊力을 材料全體에 均고루 分散시켜 준다. 船體建造方法에 따라서는 steel pipe가 MRC 構成에 포함되는 수가 있는데 이는 단지 초기에 船型을 成形시키고 建造期間中外形을 유지시키는 frame으로써 중요한 構造上의 強度와는 別로 無關하다. Fig. 2는 대표적인 MRC의 단면을 나타내며 Fig. 3은 MRC 試驗板이다. MRC로 船體를 建造할 경우는 대개 構造上의 強力算을 하지 않고 前例에 따라

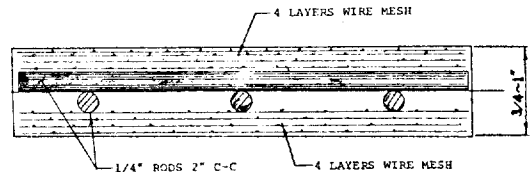


Fig. 2. Typical MRC cross section

設計施工되는 것이 보통인데 이는 小型船의 경우이고 船舶이 大型化(길이 30 m 이상)되면 船體構造의 強

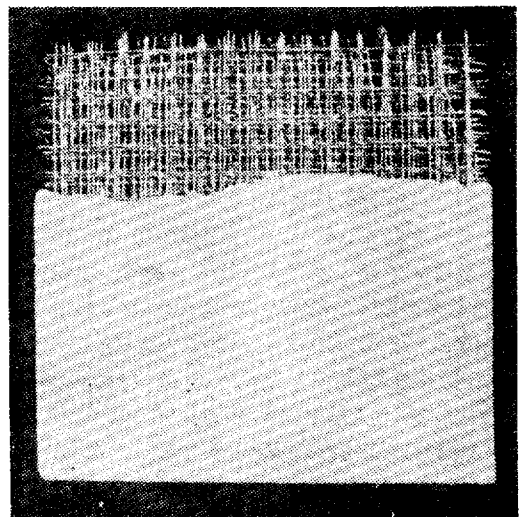


Fig. 3 MRC specimen showing its composition.

度計算이 필요하게 된다. 여기에는 두가지 方法이 있는데 하나는 MRC를 均質材料로 취급하는 homoge-

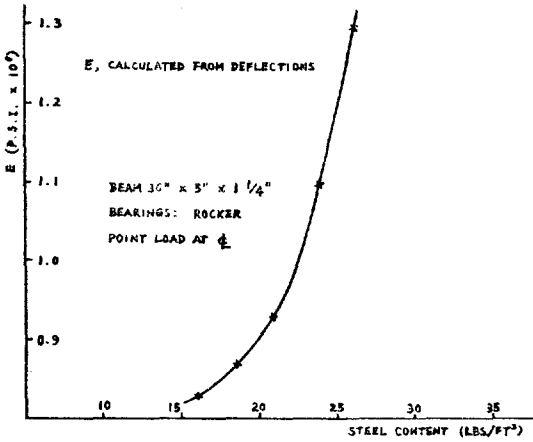


Fig. 4 MRC properties-Young's modulus(E) as a function of steel content(4)

neous method 로서 實驗에 의하여 주어진 材料의 yield strength, Young's modulus, Poisson's ratio 등을 토대로 設計構造하며, 또 한가지는 transformed area concept 에 의하는데 이것은 MRC 材料의 斷面積에 포함된 鐵補強材 부분의 面積을 그와 同一한 強度를 가진 concrete 의 面積으로 轉換하여 計算하는 方法이다. 즉,

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{\text{補強鐵材의 압축탄성계수}}{\text{concrete의 압축탄성계수}}$$

라고 하면 MRC 材料의 neutral axis 에 대하여 鐵補強材와 同一位置에 鐵補強材 斷面積의 n 倍를 concrete 面積으로 置換하는 것이다. 위의 두 方法中 後者の 것이 보다 精確하며 船體構造上의 強力用 主要骨材등에 이를 적용함이 効果적이다. 그러나 前者의 方法으로도 필요한 正確度는 충분히 얻을 수 있으며 이 경우 材料의 設計上의 allowable tensile stress 는 1200 psi 까지 잡는 것이 보통이다. 한편 MRC 船體의 建造에 있어서는 內部에 強力部材로서의 骨材등을 부착시키기가 다소어려운 만큼 보통 船殼自體만으로 一體構造로서의 強度效果를 얻는데 (일정한 크기까지의 船體에 한하여) 이를 위하여는 membrane theory 또는 shell theory 가 충분히 考慮되어야 한다 즉 lateral loads 에 의한 bending stresses 에 대하여 flat 한 船體面은 불리하므로 船體斷面上에 적절할 curvature 를 주는 것이 유리하다. 그리고 decks, floors, bulkheads 등에 큰 bending moments 가 作用치 않도록 주로 一體構造로서의 船殼面이 外力에 의한 tension 과 compression 을 吸收할 수 있도록 한다.

이때문에 MRC 船體의 설계에는 well-curved hull shape 이 많이 채택되고 있다.

2. 材料工法

MRC 는 一般 concrete 構造와는 달리, 補強材로 steel rod 를 적절히 배치하고 그 위에 여러겹의 wire mesh 를 양쪽으로 積層한 sandwich 構造內에 cement mortar 을 투입시키는 方法으로 두께가 약 20 mm 전후로 얇으며 강한 彈性을 갖게 된다. 다음에 MRC 工法에 관한 중요사항들을 간략하게 설명하기로 한다.

(1) 使用모래의 選定

mortar 을 만들때 사용되는 모래는 自然砂와 人工砂로 구분할 수 있으나 자기 一長一短이 있고, 不純物含有量의 許用限界는 3%이하로 하여야 한다. 그 以上에 있어서 wet processing, dry processing, steam processing 등으로 不純物을 제거하므로써 材料의 強度와 壽命, 그리고 cement 의 水硬化作用등이 저해되는 것을 방지할 수 있다. 적합한 모래로는 silica sand 가 良質이며 F.M. (fineness modulus)=1.7~2.6 의 범위에서 그 粒子分布가 Fig. 5 의 표시한 부분에 속하는 것이 좋다. 그러나 船體의 두께가 15 mm

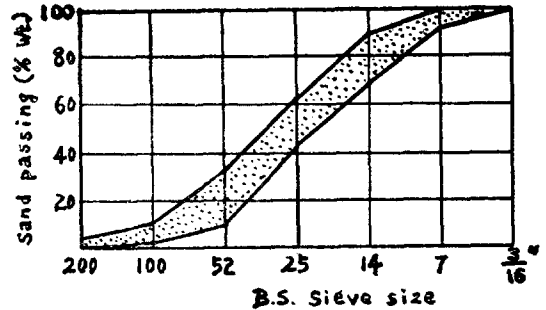


Fig. 5. Particle-size distribution of sand used

이하로 얇을 때는 굵고 거친 모래들이 제거된 Nepean sand 를 使用하는 것이 보통이다.

이외에도 使用할 모래를 선택하고 일정한 工程으로 그 質을 向上시키기 위하여는 모래의 chemical soundness, physical soundness, strength and resistance to abrasion, volume change, 砂粒形 및 比重 등이 檢討되어야 한다.

(2) 使用 Cement 의 選定

Cement 의 種類는 Portland cement, blended cement, alumina cement 로 大別되는데 이중에서 MRC 用으로는 Portland cement 만이 有效하며 ce-

ment의 風化와 變質이 이루어지지 않은 可能한한 저장기간이 짧고 신선한 cement를 사용해야 한다. 저장기간이 길고 溫氣를 흡수하고 있는 cement를 사용하게 되면 mortar의 硬化가 지연되고 強度가 저하하게 된다.

우리나라는 아직 區分되어 生産되고 있지 않지만 美國등지에서는 Portland cement를 普通(I型), 中庸熱(II型), 早強(III型), 低熱(IV型), 耐硫酸鹽型(V)의 5種으로 나누고 있다. MRC에는 V型的 Portland cement가 가장 적합한데 그 이유는 MRC가 주로 船舶材料로서 海水와 접하는 기회가 많고 따라서 海水의 강한 alkaline content 때문에 船體가 심한 侵蝕作用을 받게 되므로 이에 抵抗이 큰 耐硫酸鹽 Portland cement가 추천되는 것이다. 그러나 早期強度를 목적하는 工法, 즉, 船體의 大量生産 및 商業化目的에 있어서는 III型的 早強 Portland cement가 有用하다. 이는 V型 cement의 使用으로 인한 工期遲延化를 고려하기 때문인데, 반면 耐硫酸鹽性能이 낮으며 또한 mortar의 硬化가 빠르기 때문에 작업이 다소 어렵게 된다. 이 외에도 I型的 普通 Portland cement가 사용되는 경우가 있는데 이때는 V型이나 III型을 구하기가 어렵거나 국내에서 區分生産되지 않을 경우에 한하며, 그 材質의 耐硫酸鹽性, 強度增進性分, 強熱減量등을 파악한 후 重要결합이 없다고 인정될 때에 한하여 目的에 적용토록 한다. 그러나 아무때도 I型이 船體建造目的으로의 용도는 적합치 않을 것으로 생각된다.

Portland cement는 보통 4가지 主成分 CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 와 組成礦物로 이루어진 化合物이다. 組成礦物中 C_3S 와 C_2S 가 強度增進要素로서 나타나며 따라서 이 成分이 부족한 cement는 그 사용여부를 고려하여야 할것이다. 보통이 成分들의 構成比率는 化學分析을 통하여 밝혀지며 대체로 C_3S 와 C_2S 가 70% 이상을 점하는 것이 좋다. 또한 cement의 強度低下와 관련하여 強熱減量(ignition loss)이 측정되는데 이는 cement가 風化作用과 炭酸化作用을 받은 정도를 나타내는 척도로써, MRC용 cement의 경우 그 許用值를 3%까지 보는것이 적합하.

(3) 混和材料의 添加

混和材料라 함은 mortar배합시 MRC의 材質向上을 목적으로 sand, cement, water 이외에 少量가해지는 添加劑를 말하며 주로 다음의 3가지이다.

① Pozzolan or fly ash: mortar배합시의 單位水量減少와 作業性增進, 水密性및 海水의 化學作用에 대한 抵抗을 높이고자 함인데, 보통 cement重量的

5~15%를 이으로써 대체하여 사용할수 있다.

② Air entraining agent (AE劑): 作業性增進, 重量輕減, 외부의 氣象作用에 대한 耐久性向上을 목적하나 반면材料의 強度및 均等性이 저하하므로 MRC船의 경우 強力이 별로 문제시 되지 않는 上部노출부에 그 적용이 유리할 것으로 본다. 配合量은 空氣量試驗을 행하여 결정하되, 空氣量이 전체용적의 2~6%가 되는 범위에 정하는 것이 普通이다.

③ Waterproofing: 防水劑의 선택은 그 역할이 防水性を 높이기 위하여 材料內의 空隙을 安定하게 充填시키는 것과 물을 뒤흔기는 성질의 것과, cement의 加水分解로 생기는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 流出을 방지하는 것들이 有效하나, vinyl 및 樹脂계통, 鹽化物계통은 좋지 않다. 使用量은 제품별로 명시된 것을 따른다.

混和材料로는 이외에도 cement dispersing agent, hardening accelerator, wetting agent, setting retarder, cement extender, coloring admixture 등을 사용할수 있으나, 혼화 재료를 쓰게되면 mortar의 配合, 施工등이 복잡해 질 뿐더러 혼화재료의 效果를 예기할수 없을 때도 있으므로 엄격한 試驗을 행한 후 그 種類와 使用法을 결정할 필요가 있다.

(4) Mortar의 配合

Mortar의 配合은 所要의 強度, 耐久性, 水密性및 작업에 알맞는 workability를 가지는 범위에서 적절하게 그 配合比를 정해야 한다.

먼저 mortar혼합시의 使用量은 w/c (water-cement ratio by weight)로 표시되는데 가능한한 單位水量을 적게 함으로써 製品의 強度및 水密性を 높여야 한다. F를 concrete 강도, a,b를 cement의 品質에 따른 常數, K를 Cement 강도, x를 w/c 라고 하면,

$$F = \frac{a}{b^x} \text{이며, Portland cement의 경우에는}$$

$$F = \frac{4.7K}{20^x} \text{이다.}$$

실제로 concrete가 水和作用을 하는데 필요로 하는 水量은 w/c=0.3 정도인데 作業性を 위하여 더 많은 물을 사용하게 된다. 이러한 超過水量은 水分으로 잔존하였다가 건조후 제품내에 空間을 발생시키고 따라서 concrete는 미세한 有孔物質이 되므로 吸水나 透水가 불가피하게 된다. 그러나 너무 水量을 감소시키면 作業이 어려워 施工上 결함이 생기므로 이들을 고려하여 w/c를 35~45% 정도로 함이 적절하다. 한편 w/c를 정할때는 使用도매중의 含水率을 측정하여 이를 使用水量에 포함시켜야 한다. Fig. 6은 w/c와 제품강도와의 관계를 나타낸다.

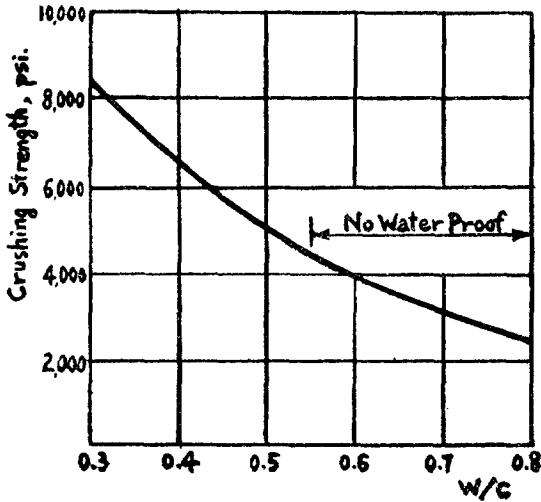


Fig. 6 Relation between w/c and MRC strength [6]

다음에 모래의 配合量은 c/s(cement sand ratio by weight)로 결정되는데 이 경우 완전한 乾砂를 기준으로 한다. MRC에서는 c/s=0.5~0.6의 범위가 製品의 強度面에서 좋다고 본다. 일반적으로 모래에는 어느 정도의 水分이 존재하기 마련이며 水分의 存在는 모래의 體積을 크게 변화시키므로 配合量을 體積으로 결정하는 것은 매우 어렵고 정확치 못하게 된다. 이때는 使用모래의 含水率, 實積率, 空閑率등을 계산하여야 하고 혹은 inundation method을 이용할 수도 있으나 보편적으로 10%까지의 추가 容積調整이 필요하다. 따라서 모래의 配合量은 重量測定으로 정하는 것이 정확하고 용이하다.

(5) 鋼棒 및 鋼網에 관하여

鋼棒 및 鋼網은 MRC의 물리적인 特性을 지배하는 重要要素로서 MRC의 強度는 이들 材料의 ①機械的性質, ②使用量, ③配置方法 등에 따라, 크게 좌우된다. 원칙적으로 高炭素鋼으로 구성된 재료가 性能上 우수하나 반던 作業이 어려우므로 底炭素鋼의 재료가 일반적으로 使用된다. MRC用으로는 炭素含量 0.2~0.8% 정도가 적절하며, 또한 이들 補強鐵材가 그 자체로는 의미가 없고 cement mortar와 결합되어서만 가능하므로 使用量을 결정하는 데 있어서도 mortar의 충분한 침투가 가능한 범위내에서만 그 構成量을 증가시킨다. 使用되는 鋼棒으로는 船의 크기에 따라, 보통 直徑 1/8 in의 spring steel, 1/4 in mild steel rod, 3/16 in hard-drawn steel rod 등이 있는데 가능하면 SWG 나 B.S. 規格에 맞는 것을 택

한다. 그 配置에 있어서는 船體가 받는 引張力에 依하여 應力分布를 규명한후 가장 有效한 方法을 택한다. 보통은 longitudinal reinforcing에 치중되며 그 간격은 2~4 in의 범위로 할수 있으나 될수 있으면 3 in 이하로 하는것이 좋다고 본다. transverse reinforcing은 생략되는 경우도 있으나 船體를 튼튼하게 하고 동시에 船體外面의 모양을 원환하게 이루기 위하여 4~6 in 간격으로 船體斷面線을 따라 취부된다. 이 외에도 船首部, 船底部, 船體中央部등에는 필요에 따라 선제강도를 향상시키기 위하여 補強用 鋼棒을 추가시킨다. 그리고 鋼棒의 연결에 있어서는 가능한 한 熔接方法을 피하고 steel wice로써 몇곳을 단단하게 묶음으로써 熔接熱로 인한 材料의 變形 및 強度低下를 막아야 한다.

鋼棒의 배치가 일단 完了되면 다음으로 鋼網의 積層作業이 된다. MRC에 이용되는 鋼網에는 chicken wire mesh, bird netting mesh, square pattern mesh 등이 있으며 構成鐵線의 굵기는 SWG gauge No. 16~25의 범위, 口徑의 크기는 3/8~1 in 범위, 그리고 積層數 船體의 크기에 따라 변하지만 보통 兩面을 합쳐서 5~12 겹 정도가 타당하다. 또한 鋼網은 galvanized mesh와 ungalvanized mesh로 區分할수 있는데 MRC에는 塗金된 것이 유리하다. 왜냐하면 鋼網은 船體表面과 近接하여 있고 따라서 海水의 영향으로 腐蝕될 염려가 있기 때문이다. 그리고 強度面에 있어서도 모든 鋼網은 완성전에 構成用鐵線의 殘留應力除去過程은 거침으로, 실제 塗金된 鋼網이 塗金 안된 것보다 強度가 크게 지하하지는 않는다. 결국 材料의 壽命을 길게하며 材料의 腐蝕을 막아 mortar과의 부착력을 향상 강하게 함은 물론 作業性을 높이기 위하여도 galvanized mesh가 추천된다.

(6) Cementing 作業과 養生

cementing을 하는 作業場은 적사광선 및 바람의 유동이 없어야 하며 가능한 한 濕度가 높고 氣溫은 最低溫度를 10°C로 정함이 두난하되 常溫의 범위가 좋다고 본다. 일반적으로 기온 4°C까지는 常溫의 施工法으로 두난하나 그 이하는 적절한 保溫作業이 필요하며, 특히 -3°C 이하에서는 본격적인 寒中 concrete 施工法에 따라야 한다. 즉, 물과 모래를 가열하여 concrete의 온도를 높일 뿐만 아니라, 필요에 따라 적당한 保溫, 給熱에 의하여 취부한 mortar을 적정온도범위에 유지시켜야 한다.

cementing 作業에 있어서 mortar이 鐵材사이로 완전히 充填되도록 振動機를 이용하는데 MRC에는 外

部型振動機로써 pencil vibrator 가 적절하다. 有效한 振動機의 性能으로는 振動數가 每分 7,000 이상, 振幅이 0.5~1.0 mm, 加速度는 3~6g 정도의 것을 선택하도록 한다. 만일 振動機를 사용하지 않으므로써 船體의 構成중에 빈 空隙을 남긴 채로 作業을 완료하게 되면 後에 이 부분으로부터 材料의 缺陷이 발생되어 가기 쉽다. 한편 cementing 에 있어서 두껍게 바르는 것은 좋지 않으며 鋼網의 積層위로 mortar만 의 表皮가 1.5~2.5 mm 가량되는 것이 적합하다. 즉 너무 두껍게 바르면 船體의 重量만 커지는 결과가 되며 強度上으로는 별로 利點이 없게 된다. 왜냐하면 mortar 은 MRC 構成鐵用材와 결합하여서만 충분한 효과를 나타내게 되고, 그 자체로서는 cracking 의 발생, 물의 흡수등 오히려 불리한 결과들을 초래할 위험성이 있기 때문이다.

일단 cementing 作業이 완료되면 다음 과정은 養生(curing)인데 이는 表面을 溼潤狀態로 유지하여 mortar 의 内部로부터 水分이 증발하는 것을 방지하고, concrete 의 硬化作用을 충분히 발휘시키는 동시에 乾燥에 의한 收縮으로 일어나는 龜裂을 방지하기 위한 作業을 말한다. 즉 MRC 의 養生作業은,

- ① 서리, 日光의 直射, 바람, 비에 대하여 재료의 노출면을 보호하는 것.
- ② 材料가 충분히 硬化할때까지 충격과 과대한 荷重을 가하지 않도록 보호하는 것.
- ③ 材料의 硬化중 적절한 온도로 유지할 것.
- ④ 硬化중에 충분한 濕氣를 주는것, 등이다.

Curing 에는 自然養生法과 人工養生法이 있는데 自然養生을 보통 그 期間을 7日, 14日, 28日의 세가지로 분류한다. 이상적으로는 cement 主成分의 완전한 水和를 위하여 6個月間 concrete 를 溼潤狀態로 유지할 필요가 있으나, 실제의 施工에 있어서이는 어려운 일이므로 MRC 의 경우 대개 3~4週日의 기간이 적절하다. 또한 早強 Portland cement 를 사용한 경우에는 그 水和作用이 硬化의 초기에 크므로 3日 이상 溼潤狀態로 유지하면, 普通 Portland cement 의 경우에 7日 이상 溼潤상태로 유지한 것과 동등한 효과가 있음을 알아야 한다. 다만 早強 Portland cement 를 사용하면 초기의 發熱量이 크고 硬化가 빠르고로 균열이 일어나기 쉬운 가답에 특히 주의 하여서 충분한 濕氣를 공급하도록 한다. 人工養生은 cement 의 curing 을 外熱反應이라 보고 加熱에 의하여 養生期間을 단축시키는 방법이다. 이 경우에는 steam generator 등으로 週邊의 空氣를 飽和蒸氣狀態로 만듬으로써 어떤 경우에는 自然養生 21日의 효과를 24時間

정도로 얻기도 한다. 따라서 이 방법은 製品의 商業化目的에 유리하다고 본다. 일반적으로 製品의 強度와 水密性, 凍結融解 및 氣象條件에 대한 抵抗性등은 養生方法및 그 結果에 따라 크게 변하므로 이에 대한 세심한 주의가 필요하다. Fig. 7 은 養生의 효과와 concrete 製品의 強度增進관계를 나타낸다.

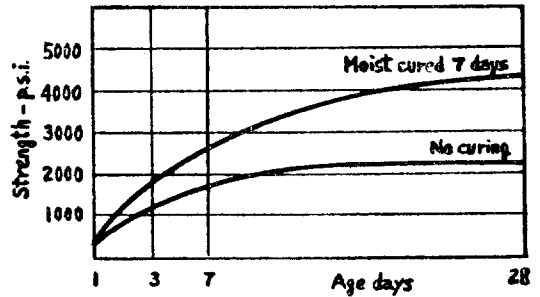


Fig. 7 Effect of concrete curing [7]

이상으로 MRC 材料工法에 있어서의 細部內容을 생략한 基本事項들을 설명하였다.

3. 船材로서의 考察

(1) MRC 材料의 物理的性質

- ① 比重 : 151 lbs/ft³, 약 2.42 정도
- ② 引張強度 : 48 in × 12 in × 7/8 in 의 MRC 試片中央에 tensile bending stress 를 가한 경우,
 - a) Crack 이 발생하는 응력; 1900 psi
 - b) 항복응력; 3600 psi
 - c) 파괴응력; 5340 psi
- Pure tensile stress 에 대하여
 - a) Crack 이 발생하는 응력; 1300 psi
 - b) 파괴응력; 1690 psi

良質의 木材에서 섬유질방향에 따른 인장강도는 600 psi 정도이나 섬유질방향에 수직인 引張強度는 무시할 정도이다. 이에 비하여 MRC 는 모든 方向으로 거의 同一한 인장강도를 가지고 있다.

③ 壓縮強度: MRC 압축강도는 木材보다 훨씬 크며 6 in × 6 in × 6 in 正方形試片의 試驗結果는 다음과 같다.

양	생	기	간	7 일	14일	28일
극	한	하	중	116	135.5	196.5
파	괴	강	도	7,217.3	8,742.2	12,225
			tons			
			psi			

④ 彈性率 : modulus of elasticity, 1.30×10^6 psi

⑤ Bending fatigue tests 結果 :

21.65 in × 5in × 0.65 in 의 4 個試片에 대한 試驗結

果는 다음과 같다. 단, alternating loads의 作用點은 한쪽의 지지점으로부터 8.5 in 이다[8].

試片	交番應力 psi	cycles 數	試 驗 結 果
A	+625 -544	2×10^6	미소 crack 만 발생
B	+700 -600	2×10^6	재료균열은 전혀없음
C	$\pm 1,100$	100,000	Crack 단 발생
D	$\pm 1,185$	100,000	Crack 단 발생

위의 결과는 MRC가 交番荷重 및 反微荷重에 매우 强하다는 것을 나타내고 있다. Fig. 8은 KIST에서 행한 MRC試片의 굽힘試驗 과정이다.

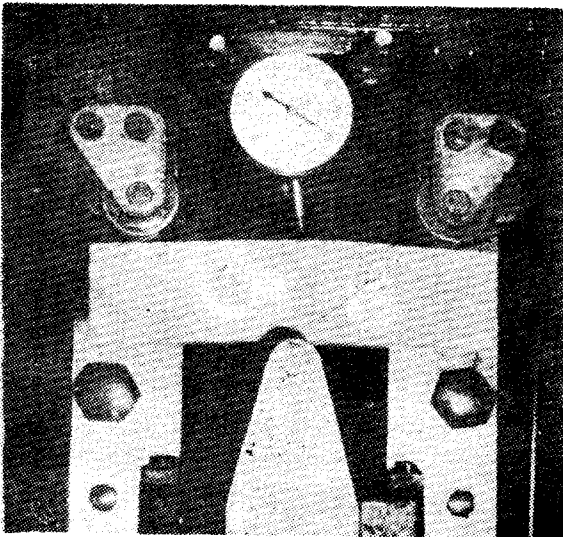


Fig. 8 MRC bending specimen under loading (at KIST)

⑥ 耐熱性: MRC試片을 1700°C의 高溫으로 1.2時間동안 가한 試驗에서 재료상에 뚜렷한 缺陷이 나타나지 않았다. 즉 MRC材料는 他船材보다 월등하게 耐熱 및 耐火性이 强하다.

⑦ 熱傳導率: 매우 낮으며 steel의 1/6 정도이다. 따라서 外部의 氣溫變化에 대해 保溫性이 우수하다.

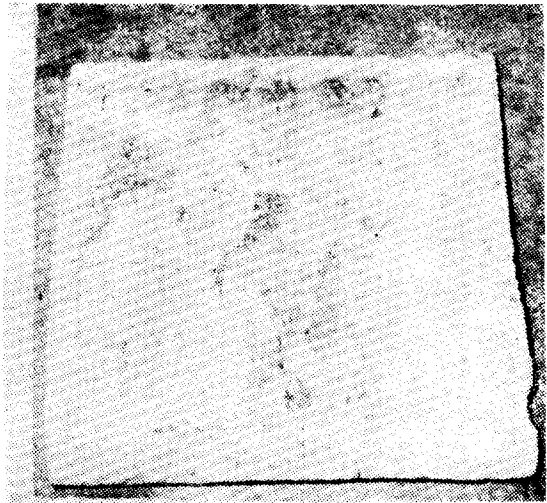
⑨ 化學反應物質에 대한 抵抗: 일부의 有機酸 (organic acid; 황산, 질산, 아황산, 염화수소, 불화수소等)에 대한 저항은 다소 약하나 대체적으로 他船材보다 化學反應에 强하다.

⑩ Vibration absorbance: 動力傳達에 따른 振動現象은 木材, FRP, 鐵材에 비해 훨씬 작은 편이다.

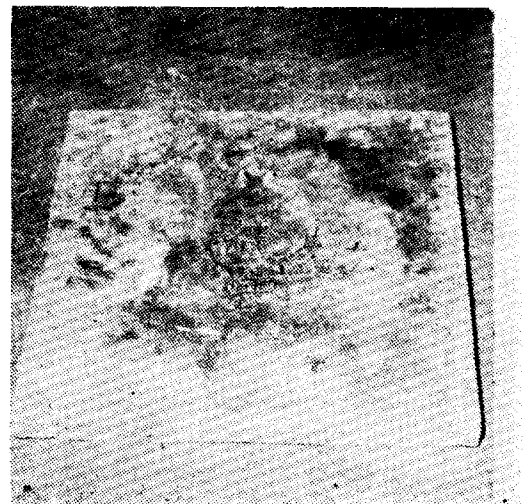
⑪ 防音性: 방음성이 좋으며 船體로 사용할 경우 과도에 부딪히는 騒音이 많이 감소된다.

⑫ 無臭性: 일단 MRC가 乾燥하면 아무 냄새도 나지 않으며 항상 清潔新鮮하다.

⑬ 衝擊에 대한 抵抗: MRC는 外部의 衝擊值에 대하여 의외로 큰 抵抗을 가지고 있다. 두께 3cm, 넓이 1.5m×1.5m의 正方形 MRC板에 750 kg-m까지의 衝擊值(落下錘 250 kg, 最高높이 3 m)를 가한 試驗에서 충격면이 突孔되거나 완전한 파괴 일어가지 않았다. 다만 그 部分이 아래로 휘고 mortar이 부서져서 鋼網이 노출되며 積層 鋼網이 弱化하는 정도



(Back)



(Face)

Fig. 9. Results of the MRC specimen after impact test, the surface a little shattered, cracked, and mesh bulged, but neither punched nor broken to pieces. (at KIST)

였으나, 水密성은 계속 유지하였다. Fig. 9는 KIST에서 행한 試驗後의 試片의 상태이다. 충격에 대한 저항은 각 재료의 靱性(toughness), 즉 破碎될때까지 energy를 흡수 할수 있는 능력을 비교함으로써 알수 있는데 이는 引張試驗結果에 따른 應力-變形度 曲線下의 面積으로서 나타낼 수 있고 몇가지 船材別 引張變形度 曲線은 Fig. 10과 같다.

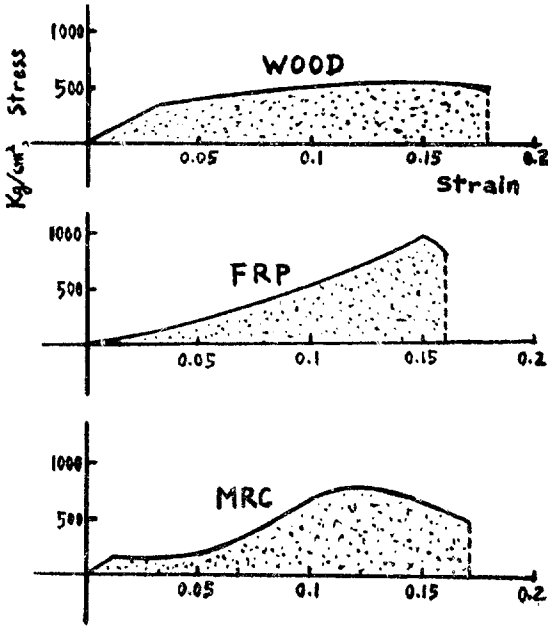


Fig. 10 Comparison of tensile stress-strain curves of three kinds of shipbuilding materials

曲線下의 面積比, 즉 各 材質의 지수가 동일한 경우의 衝擊抵抗比는,

wood : FRP : MRC = 0.97 : 0.91 : 1.00의 比率로 된다. 따라서 船體의 두께 및 構造가 同一한 경우를 가정하면 MRC가 木材나 FRP와 衝擊抵抗面에서 거의 비슷하거나 우수하다는 것을 알수있다.

(2) 船體建造方法

MRC 船의 建造도 造船技術의 영역인만큼 그 基本原理에 있어서는 他船體建造와 同一하다고 볼수있다. 단지 製品화된 船材를 이용치 않고 船材自體부터 製造해 나가야 하므로 하나의 工程이 더 追加되어 他船體建造보다 다소 어려워진다고도 생각할수 있다. 보편적으로 MRC 船의 建造工法에는 다음과 같은 3가지 方法이 있다.

① Pipe frame method: 成形用 frame으로써 直徑 1/2 in 혹은 3/4 in의 steel pipe를 船體斷面形狀대로

現圖에 따라 굽히고 이들을 제위치에 組立하여 固定시킨후 이위에 鋼棒과 鋼網을 積層하여 cementing하는 方法이다. 이 方法은 가장 初步的이고 주로 amateur 造船者에 의한 個別的인 設計建造에 적합하다고 볼수있다. pipe frame method는 工期가 길어지고 船型을 처음부터 끝까지 原形대로 유지시키기 어렵기 때문에 商業化目的에는 불리하나 반면 安全性은 높다. 이 建造法은 가장 오래된 方法으로서 外國에서도 현재까지 個別建造에 널리 通用되고 있으며, 우리나라의 경우 현재까지 進水된 cement 船은 대개 이 方法에 의하였다.

② Web frame method: 필요한 곳의 船體橫斷面에 따라 그와 일치시켜서 各各의 web 및 dulkhead 木型을 만들고 여기에 鋼棒과 鋼網을 취부시켜 組立한 후 各木型의 外形線을 따라 船殼을 형성, 木型上의 鋼棒·鋼網과 연결한 후 cementing을 끝내는 方法이다. 즉 施工期間을 통하여 견고한 型支持材로서의 木型을 사용하고 作業이 완료되면 이를 제거하는 方法이다. web frame method는 外國의 경우 小型漁船을 제외한 中型漁船建造에 많이 채택되고 있다. 그러나 이는 one-off-construction technique로서 어디까지나 生産性은 낮고 다만 船體構造技術의 향상을 목적한다고 보아야 할것이다.

③ Cedar mold method: 船體의 外板과 肋骨, 甲板 등 완전한 木型을 준비하고 이 위에 MRC 構造를 입혀서 건조하는 方法인데 使用木型은 건조후 전반적으로 제거되는 것이 보통이며, 다만 시공기간을 통하여만 이들을 船體의 型支持材와 MRC의 內面 lining으로 이용하려는 方法이다. 이 方法은 아직 일반적으로 적용되지 못하였고 現在 向上段階에 머물러 있으나, 몇가지 外國의 建造實例를 살펴볼때 時間의 절약이 현저하다는 것을 알수있다. 또한 船體를 뒤집어 놓고 內部の 木型을 견고한 backing plate로 삼아 위에서 cementing하기 때문에, pipe frame method에서와 같이 外力이나 自重에 의하여 船體가 다소 變形하는 일이 없으며 처음부터 끝까지 동일한 船體曲面을 유지시킬수 있다.

(3) MRC 船體의 長短點

MRC 船의 長點은 여러가지로 區分되나 주로 施工 方法, 使用된 材料의 種類, 建造된 隻數에 따라 많은 영향을 받게된다. 다음은 MRC 船의 一般的인 有 理點들이다.

① 船體建造費가 저렴하다: 木船이나 鋼船에 비해 30~50%가 저렴하며 艤裝品이 완비된 總船價面에서는 木船보다 10%정도의 利得을 볼것이다.

② 施工에 있어서 高度의 熟練工을 필요로 하지 않으며, 주로 값싼 勞動力과 비교적 小規模의 施設裝備로서 그 建造가 가능하다.

③ 補修가 용이하고 維持費가 거의 들지 않는다 : MRC 船은 시간의 경과에 따라 材料가 腐敗하거나 海中浸蝕을 받지 않고 항상 初期 狀態를 유지하며 損傷이 가해졌을때 수리가 他船에 비하여 매우 쉽다.

④ 어려운 船型에도 쉽게 그 成形이 가능하다.

⑤ 船體內部的 有效體積增加와 船體重量의 減少 : MRC 船은 一體構造로서의 強力效果를 가지기 때문에 內部肋骨등을 사용하지 않고 따라서 자연히 船內容積이 넓어지게 되고 重量이 減少된다. 이를 重構造의 內部骨格材를 使用하는 木船과 비교하면 보통 5~10%의 有效體積이 증가하며 또한 20 噸級 이상의 船舶에서는 重量面에서 木船보다 가벼워진다.

⑥ 壽命이 월등하게 길다 : concrete의 점진적인 水和作用은 50년이상에 달하며 이에 의하여 MRC 船體는 보다 견고해진다. 따라서 MRC 船舶의 壽命은 100年 정도로 보아도 무난한 것이다.

⑦ 局部的인 船體破損의 樣相이 양호하다 : 外部衝擊의 경우 船體가 깨지거나 부서지거나 혹은 구멍이 뚫리거나 하지 않고, 그 영향이 부분적으로 국한되며 주로 船體가 찌그러지거나 그 부분의 表皮 cementing이 떨어져 나가거나 한다. 따라서 急激한 浸水로 인한 危險성이 적으며 물이 조금씩 새어드는 정도로써 그 자리에서 쉽게 수리할수 있다.

다음에는 MRC 船의 短點들을 기술한다. 일반적으로 初期의 concrete 船舶들은 材料의 brittleness와 high weight 등 불리한 점들이 많았으나, 이러한 問題點들은 MRC의 개발로 크게 향상되었고 더불어 船體로서의 충분한 強度와 彈性을 얻게 되었다. 그러나 아직 여러가지 短點들을 소지하고 있는 것이 사실이다.

① 鋼船과 비교할 경우 建造할수 있는 船舶의 크기에 제한을 받는다 : 현재의 技術程度로 무난하게 건조할수 있는 MRC 船舶의 適正範圍는 대체로 10~100 噸級이라고 보며 이 이상의 船舶에서는 現在와 같은 施工法으로 強力面에서 불충분 하게되고 따라서 새로운 構造方法이 적용되어야 할것이다. 또한 10 噸級 이하의 小型船에서는 他船體에 비하여 상대적으로 重量이 커진다.

② Flat 한 혹은 knuckled MRC 船型에서는 強力部材로서의 肋骨등이 필요한데 이들의 成形取附法이 他船體에서의 方法보다 어렵다.

③ 鑢裝品등의 附着이 어렵고 또한 MRC 船體가 일단 完成되면 船舶設計上의 변화나 수정이 어려워진다. 그리고 內裝工事, 他材料를 이용한 隔壁이나 甲板의 船體와의 결합이 어렵다.

④ 船體의 완전한 일괄적 品質管理가 어려워진다.

⑤ 強度重量比가 비교적 작기 때문에 輕荷重을 요하는 高速艦등의 건조에는 적합하지 않다.

⑥ 精確한 材料試驗, 船의 設計 및 性格試驗에 관한 資料가 매우 제한되어 있으며, 外國으로부터 공개된 많은 자료들도 그 대부분이 단편적인 紹介와 商業目的에 치중될 뿐 技術的으로 가치있는 참고자료는 구하기가 힘들다.

(4) 새로운 工法으로의 適用方向

MRC와 관련하여 船材로서의 그 構成法 및 工法을 他方法으로 變換 혹은 改良시키려는 研究가 外國에서 수행되고 있다. 몇가지 대표적인 것을 소개하면 다음과 같다.

① Glass-cement: 鋼棒과 鋼網대신에 특별히 生産處理된 glass fiber를 concrete 內部的 補强材로 사용하는 방법이며, fycrete 라고도 한다. 研究者는 Lebanon의 Professor Sami Abboud Klink이며 소련에서도 그 開發에 성공하고 있다[9].

② Ferra-shotcrete: 이는 MRC 船體의 cementing을 機械的인 방법으로 보다 신속하게 그리고 補强材사이로의 완전한 mortar 浸透를 목적으로, 機械內에서 cement mortar 이 混合된후 壓縮空氣에 의하여 cementing 面에 噴出된다. 開發者는 canada의 Prof. L. Lachance이며 우리나라에서도 KIST를 통하여 이에 해당하는 Cement-gun 試驗이 이루어졌다[10].

③ Expanded metal technique: wire mesh 대신에 두껍고 폭이 있는 expanded metal mesh를 사용함으로써 鋼網의 積層數를 줄이는 동시에 作業量도 훨씬 감소시키려는 방법이다. Prof. Wright 및 J.G. Byrne 등에 의하여 개발되고 있다[11].

④ Aluminium reinforcing: Steel 보강재 대신에 aluminium 보강재를 사용하면 重量輕減의 利得은 현저하나 반면 aluminium과 wet cement와의 化學反應때문에 aluminium의 특별한 表面處理가 필요하다. 또한 aluminium의 熱膨脹率이 concrete와 비교하여 약 3倍 정도의 큰 값을 가지므로 이 問題도 해결되어야 할것이다. 이 방법은 아직도 初期研究段階에 머물고 있다[12].

⑤ Wirand: 鋼棒과 鋼網을 사용하지 않고 대신 머리칼 같은 steel wire나 stainless steel wire를 잘게 썰

어서 mixer 內에서 cement mortar 과 함께 混合시킨다. 이 결과 가는 鐵線 조각들이 조밀하게 포함된 concrete 제품은 cracking 과 tensile stress 에 큰 抵抗值를 갖게 된다. 이 방법은 美國의 Prof. James Romuali 와 Batelle Memorial Institute 에 의해 研究되었으며 mold 를 사용하는 型鑄造 및 thin section 을 갖는 印의 成形에 유리하다고 본다[13].

⑥ Pre-stressed concrete: 이 방법은 이미 새로운 것은 아니지만, MRC 船의 建造에 있어서도 補強鐵材를 미리 tension 處理한 후 concrete 로 被覆함으로써 船體의 強度를 향상시킬 수 있다. 특히 flat 한 船底나 straight 한 船側面에, 그리고 船이 大型化할 때 이 방법을 적용하는 것이 유리하다[14].

⑦ Self-stressing cement: Expansive cement 를 사용하면 養生되는 동안 그 體積이 膨脹하며 concrete가 硬化한 후 內部的 鐵補強材가 일정한 크기의 tension 을 吸收하여 prestressing 의 效果가 생기도록 하는 研究가 이루어지고 있다.

⑧ Combination MRC and fiberglass: MRC 의 表面外層을 fiberglass 로 덮어 씌우는 방법이며 주로 concrete 와 fiberglass 와의 接着이 문제가 된다. 이 방법은 美國의 Prof. Brady William 에 의하여 現在 研究되고 있다[16].

(5) MRC 船材의 經濟性

MRC 의 開發目的은 國內에서 생산되고 있는 값싼 原資材를 사용하여 우수한 船舶을 建造함으로써 國內需要를 충족시키고 동시에 船材輸入으로 인한 막대한 外貨支出을 막으려 한다. 즉 100%의 國內船材로 建造 가능하다는 점과 저렴한 建造費用, 값싼 勞動技術力의 動員吸收, 建造場所 및 施設의 제약에 거의 無關하다는 점들은 國內船舶建造與件에 최대의 능을을 제공할 여지가 있다고 보며 특히 水産業振興에 있어 가장 큰 장벽으로 되어있는 考朽漁船의 代替問題는 MRC 漁船을 손쉽게 大量生産함으로써 그 展望을 밝게 할 수 있다고 생각한다. 다음에 이에 관한 몇가지의 經濟的인 面을 살펴 보기로 한다.

① 利用範圍: MRC 構造로 유리한 船種으로는 沿近海漁船, 各種浮船, 娛樂用 yacht 나 boat floating dock, 其他 船舶등이며, Fig. 11 에 표시한 바와같이 建造에 有利한 船의 크기범위가 鋼材를 제외한 他船材보다 크다고 볼수있다. 또한 MRC 는 造船資材로서의 용도 이외에 土建用의 一般構造物이나 海中 및 水中構造, 建築資材, 및 家具用으로 이용될 수 있다.

② 國內資材의 使用度: MRC 構造에 소요되는 材料는 모두가 國內主産調達が 가능한 品目이다. 따라

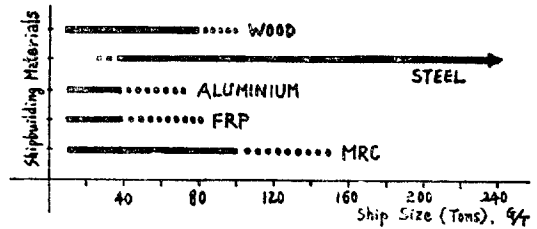


Fig. 11 Approximate sizes when some typical ship building materials are used to advantage. (KIST)

서 木船이나 鋼船, FRP 船, aluminium 등과 같이 그 原資材의 큰 部分을 外國輸入에 의존치 않아도 되므로, 外貨의 절약과 함께 資材求得의 어려움으로 인한 工期의 지연을 방지할 수 있다. 다음은 船材別 國産化率을 價格을 기준으로 推定한 것이다. 一例로

船 材 別	國 産 化 率	備 考
鋼 船	70~80 %	古鐵을 수입
Aluminium 船	20~50 %	原資材 輸入
木 船	40~50 %	原木를 輸入
F R P 船	30~40 %	硝子纖維輸入
M R C 船	90~100 %	國內調達が可能

年間 木造船을 MRC 船으로 代替함을 가정한다면 原木輸入額에 해당하는 약 \$200萬의 外貨를 每年 (3 경제개발기간중) 절약할 수 있다고 본다.

③ 船價: MRC 船舶을 需要者에게 보급하는데 있어서 가장 유리한 一面은 船價가 他 船種에 비하여 뚜렷하게 저렴하다는 사실이다. 즉 同型船에 대하여 MRC 船을 基準으로 한다면 船體構成價에 있어서 木船은 MRC 船의 1.3~2 배, 鋼船은 1.5~2 배 이상, FRP 船은 3 배 정도, aluminium 船은 4~5 배의 價格으로 構成된다. 한편 總船價의 構成比를 비교하면 평균적으로 木船의 경우 船體工事が 60%, 機關設置 20%, 기타 艙裝部分이 20%로 되나, MRC 船에서는 船體 50%, 機關 25%, 艙裝 25% 정도로 船體構成比가 상대적으로 낮아진다. 그러나 船舶이 대형화할수록 他船舶에 있어서 船體構成비가 70~80%까지 증가하므로, MRC 로 현재의 범위 보다 큰 선박들을 建造한다면 總船價面에서 木船이나 鋼船보다 15% 이상의 建造費 引下를 結果할 수 있을 것이다. 참고로 25 噸級 MRC 試作艇의 他船種과의 船體船價比較를 소개한다. 단 이 경우는 MRC 試作艇인 만큼 船價가 다소 높아 졌다고 볼수있다.

항 목	MRC 선	목 선	강 선
재 료 비	강재류(약 5톤) 364,922	목재류(수입품각종약40 m³) 1,400,000	강재류(약22톤)₩1,960,000
	철당류(약 6톤) 1,068,200	목재류(국산각종약 9m³) 270,000	용접봉(약0.8톤)₩120,000
	물 탈(약13톤) 97,774	기 타 536,9000	형판, 도장, 기타 ₩900,000
	기 타 166,374	소 계 2,206,900	
	소 계 1,697,270	(750×1,400원) 788,000	(550공×1,400원) 770,000
공 입	(616공×1,000원) 616,000		
합 계	₩2,313,270	₩3,004,900	₩3,750,000
관 리 비 (17%)	393,256	510,833	₩ 637,500
총 계	₩2,706,526	₩3,515,733	₩4,387,500
총톤수 톤당 가격	₩ 108,300	₩ 140,600	₩ 175,500

선가비교표(GT 25 톤급) (1969년 9월 기준)

④ 勞動力 供給 : MRC 船은 他船船의 경우처럼 施 工人員중에 專門技術者의 구성비율이 높지 않으며 비 교적 값싼 勞動力을 大量 활용하여 그 建造가 가능 하다. 木船과 비교하면 一工當 工賃比가 평균적으 로 木造船 技術者의 2/3 정도이며, 따라서 所要의 工 數는 보다 증가될지라도 全體의 工賃額은 크게 절약 될 것이다. 또한 MRC 船의 建造技術은 外國이나 우리나 마찬가지로 機械的인 方法을 사용치 않고 주로 사람 의 손(hand work)에 의한 純粹勞動이 대 부분을 차지하는 만큼 그 勞動生産性이 先進外國과 우리나라가 비등하게 될 것이다. 따라서 先進外國의 勞賃이 時間當 \$2~4인데 비하여 우리나라는 불과 \$0.5 정도로 매우 저렴하다는 것을 감안하면, MRC 船船만은 外國보다 그 船價를 대폭 인하시킬수 있고 그 결과 大量生産體制를 통하여 輸出可能性을 타진 해 보기가 용이할 것이다.

이상으로 MRC 船材에 관한 基礎的인 檢討를 끝맺 는바, 보다 상세한 技術的인 內容에 關하여는 참고문 헌들을 이용할수 있다고 본다.

參 考 文 獻

[1] 金極天 : "Ferro-Cement 船에 關하여, 漁船의 船質改良에 關한 심포지엄(講演集), 水産廳, 1967. 12. 16.

[2] 朴先英 : "Ferro-Cement Boat 건조보고, 大韓 造船學會誌 第 8 卷 第 1 號 may 1971.

[3] Pierre Luigi-Nervi: *Structures*, Chapter 4, Mc Graw-Hill Book Co., New York, 1956.

[4] Collen, Lyal D.G.: "Some Experiments in

Design and Construction with Ferro-Cement", *Transactions, The Institution of Civil Engineers of Ireland*, Jan. 1960

[5][6] Gainer W. Jackson, W.Moly Sutherland *Concrete Boatbuilding*, Chapter 7, John de Graff Inc., New York, 1969.

[7] John Samson, Geoff Wellens: *How to Build a Ferro-Cement Boat*, Chapter 5, Samson marine Design Enterprises Ltd., Vanconver, Canada, 1968.

[8] "Seacrete" (Charateristics), Windboats Ltd., Wroxham, norwich, Norfolk, Nor 03z, England, 1963.

[9] Same as the [5], Chapter 3.

[10] L. Lachance: "Ferro-shotcrete: a promising material", *Ocean Industry*, nov. 1970.

[11] [12] Same as the [9]

[13] F. F. Fondriest: Report No. Racic-LR-3085 "State of the art of construction of riverine craft using concrete materials", Battelle Memorial Institute, Oct. 1969.

[14] Same as the [13]

[15] Same as the [9]

[16] Noel D. Viemeyer: "Background-information on Ferro-Cement as a boatbuilding material for developing countries", National Academy of Sciences, TA/OST and NESA/SA (AID), Mar. 1971