에너지節約型 沿岸油槽船의 設計

徐 尙 元*

A Design of Energy Saving Coastal Tanker

*Sang Won Seo**

1. 序 言

1973年의 석유파동과 1978年末의 이란문제 이후 야기된 세계 각국의 에너지자원에 대한 관심도는 어느 때보다도 고조되어 가고 있으며, 자원빈곤국인 우리나라도 최근에 자원의 長期 안정확보의 필요성을 인식하게 되어, 자원외교의 강화로 석유, 천연가스 등의 장기공급체계를 구축하고 있고, 정부의 에너지다변화정책으로 화력발전소, 시멘트공장 등의 動力源을 유연탄으로 대체한다든지, 원자력 및 태양열의 이용 등 많은 시책이 발표되고 있다. 그러나 모든 산업의 근본인 석유류의 수입은 경제성장과 더불어 매년 10% 이상씩 증가하여 왔고 앞으로도 계속 증가하여 1990년에는 3억 BBL 이상이 될 전망이다.

이처럼 막대한 量의 原油를 수입하기 위해서는 많은 문제가 수반될 것이다. 物量의 확보, 수송수단, 경제성, 비축시설 등 한 가지도 쉬운 문제는 아니다. 정부에서는 이러한 문제들을 꾸준히 검토하여 시행하여 왔으며, 적극적인 외교와 많은 재정적인 투자를 하여 괄목할 만한 좋은 결과를 이룩하였다. 특히 輸入物量의 확보, 수송수단인 大型油槽船의 船腹量確保, 大型外航船의 접안이 가능한 港灣施設의 증대 等, 대외적인 문제에는 괄목할 만한 발전을 보았다. 그러나 이러한 原油를 비축할 시설과 精油工場에서 정제된 제품들의 국내 수송수단인 油槽貨車, 油槽트럭, 船舶 등은 이에 미치지 못하고 있다.

특히 輸送裝備中 수송물량의 약 30%를 차지하고 있는 油槽船은 몇몇 船舶을 제외하고는 小型, 老朽된 선박으로 당장이라도 廢船하여야 할 船舶이 20% 이상을 차지하고 있다.

本 硏究에서는, 이미 건설된 항만시설과 精油工場의 能力, 輸送裝備의 비교 등으로 內航船으로서 적정한 크기의 精油製品輸送用 油槽船을 선정하여 推進効率이 좋은 새로운 船型을 개발하고, 模型船의 水槽試驗을 통하여 그 성능을 분석하고 船內의 에너지 이용을 극대화할 수 있는 방안을 모색하였다.

본 보고에서는 이중 船形과 추진기에 관한 부분만을 간추려 소개하여 본다.

2. 主要要目의 決定

현재 우리나라의 精油工場은 울산, 온산, 여수, 인천에 위치하고 있으나, 조사된 자료 및 그동안의 실적 등으로부터 온산과 인천항은 精製油의 海上運送 적출항으로서는 제외하였다.

현재 울산항의 대한석유공사는 여러 해운회사로부터 선박을 傭船하여 運航하고 있는데, 各航路마다 차이는 있으나 中小型 油槽船 여러 隻

* 大德船舶分所 基本設計室, Member of Basic Design Group

을 運航시키는 방법이고, 여수의 호남정유는 방계 해운회사에서 직영으로 大型船으로 운송하고 있다.

이 두 회사의 運送方法에 대한 運航經濟性에 대하여는 상세한 검토를 수행치 못하였으나, 그 외 여러 사항을 감안하여 비교적 운항거리가 길고 物量이 많으며 현재 선령 25년 이상된 大型油槽船이 투입되고 있는 여수~인천(항해거리 342海里)間을 航路로 선정하였다.

현재 30,000 DWT급의 內航油槽船이 여수·인천간을 운항하고 있으나, 이는 여러 종류의 선박왕래가 빈번한 沿岸으로 運航上 어려움이 많고 인천항의 干滿의 差, 강한 潮流 등을 고려하고, 高油價時의 最適船이 大型, 肥大, 低速化하는 경향과 현재 여수·인천간을 운항하고 있는 大型(20,000 DWT급)·老朽 油槽船을 대체해야 된다는 관점과 本航路에 運航實績이 많은 船主들의 의견을 반영하고, 또한 船舶의 에너지 절약을 위한 여러가지 자료를 분석하고, MARPOL '78의 적용범위를 최소한으로 할 수 있도록 하여 載貨重量 20,000 屯 미만, 航海速力 12.0 놋트의 것을 적정선으로 선택하였다.

仁川港에는 載貨重量 30,000 屯급의 油槽船이 入出港할 수 있는 油類揚荷設備가 되어 있으나, 심한 西海岸의 간만의 차와 조류의 속도 등을 감안하여 吃水는 최대 9.5 m로 제한하고, 선박의 왕래가 빈번한 內航船으로서 나쁘지 않은 操縱性을 가지도록 船의 길이와 폭을 정하였다.

또한 浮心位置는 抵抗 및 推進面과 積荷時 Trim을 고려하여 船首部로 $1.5\% \leqq L_{cb} \leqq 2.7\%$를 기준으로 하고, 방형비척계수는 $0.81 \leqq C_b \leqq 0.83$의 肥大船으로 하였다. 그외 여러가지 제한조건들을 최대로 만족할 수 있도록 初期主要寸法과 경하중량 등을 계산하여 아래와 같은 寸法을 얻었다.

垂線間長	LBP	140.0 m
型　　幅	B_{MLD}	22.5 m
型　　深	D_{MLD}	14.0 m
吃　　水	T	9.4 m

3. 船型設計 및 模型船 水槽試驗

3.1 船 型 設 計

推進馬力節減法은 船體抵抗의 감소와 推進効率의 향상으로 大別된다. 前者는 新造時 선체저항 자체를 감소시키는 방법과 航海中의 저항증가를 억제하는 船舶運航上의 문제로 구분된다. 선체저항 감소를 위해서는, 船首 Bulb의 채용과 조파저항이론을 응용하여 造波抵抗을 줄이는 방법과 粘性抵抗을 감소시키는 방법 등이 있다.

그리고 推進効率을 향상시키기 위해서는 우선 推進器의 효율을 증가시키는 방법이 있다. Propeller의 효율향상은 한 마디로 말해서 荷重度(B_p)를 낮게 하여 얻을 수 있다. 하중도를 낮추는 것은 Propeller 단위면적당의 Thrust를 낮게 하는 일이고, 그러기 위해서는 Propeller 直徑을 크게 하고, 그것에 대응하여 回轉數를 감소시킬 필요가 있다. 즉 低回轉 大直徑 Propeller를 채용해야 한다.

여기서 추진마력 절감을 위한 수단으로서 종래 행해오던 Bulbous bow 등 船首의 개량은 어느정도 한계에 달했고, 자연히 Propeller 회전수를 낮춰서 추진효율을 높이는 案이 대두되게 되었다. 여러가지 자료에 의하면, 在來船의 船尾形狀 및 Propeller 주위의 船體形狀의 일부를 변경해서 大直徑 Propeller를 채용한 선박에서는, Propeller 효율은 대폭적으로 증가하지만 선체효율(η_H)의 低下가 현저하여 기대한 만큼의 馬力節減을 얻지 못하고 있다.

本 研究에서는 그림 1에서 보이는 바와 같이 在來의 船形을 대담하게 변형해, 船體의 중앙부 근으로부터 Propeller가 위치하는 船尾로 향해 터널을 형성하여 大直徑 Propeller를 장비하기에 충분한 공간을 확보할 수 있도록 하고, 形狀을 단순화하였다.

이 船型은 在來의 肥大船形에서의 나쁜 船尾흐름을 개선하고, 낮은 吃水의 바라스트상태에서도 터널로 인하여 Propeller가 회전시 충분히 沒水할 수 있다.

本 船尾船形의 특색으로는

① 추진효율의 증가로 機關馬力을 감소시키므로 기관구입비와 燃料費가 절약된다.

② 작은 마력의 기관을 설치할 수 있으므로 機關區域과 燃料탱크가 작게 되어 積載重量 혹

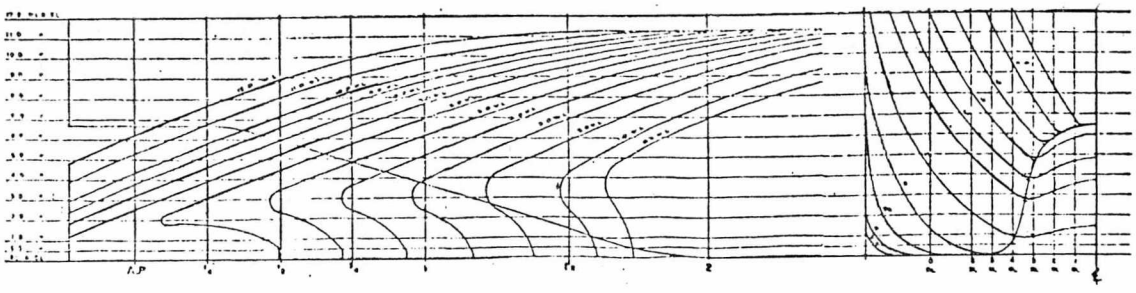

그림 1. 船尾形狀

은 積載容積을 증가시키게 된다.

③ 曲線이 적은 단순한 船尾形狀을 채용하고 있으므로 선미형상의 일부만을 변경하여 대직경 Propeller를 채용한 선형보다는 선각공사비를 감소시킬 수 있다.

또한 추진마력을 더욱 감소시키기 위하여 形狀이 서로 다른 그림 2와 같은 Bulbous bow를 가진 2개의 船首를 설계하여 모형선시험으로 그 특성을 비교하였다.

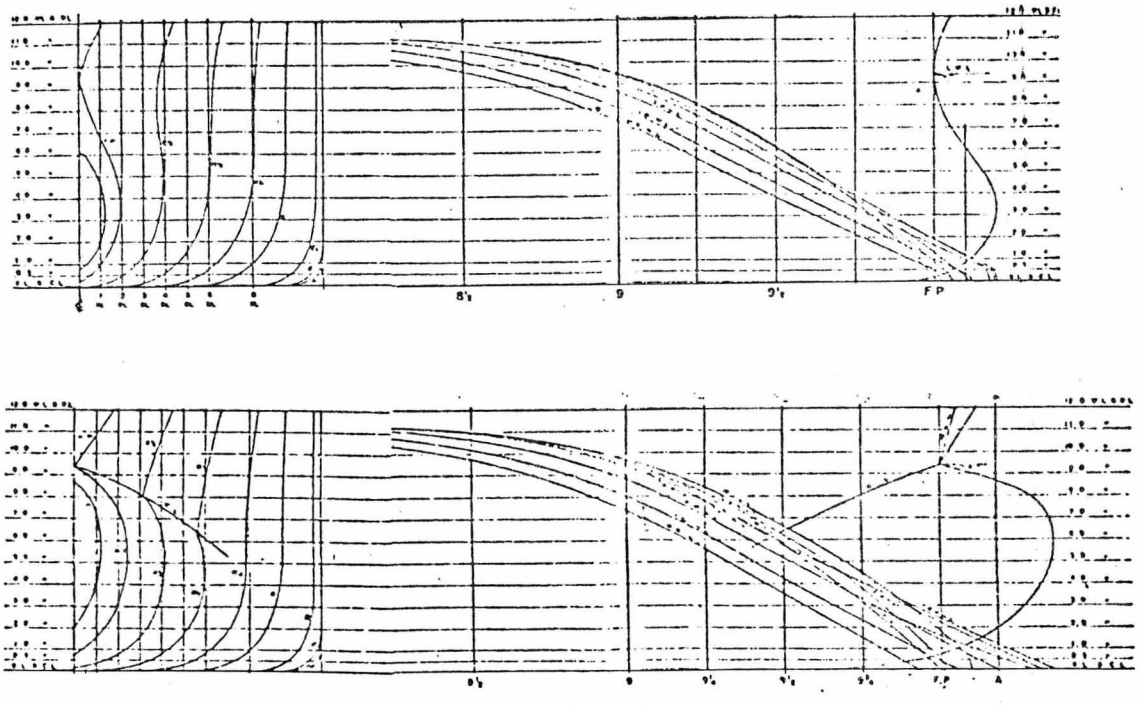

그림 2. 船首形狀

3.2 Propeller 設計

Propeller 직경을 증가시키고 Propeller 回轉數를 작게 하면 Propeller 翼의 面積은 증가하지만 展開面積比는 減少한다. 예를 들면 Propeller 직경을 증가시켜 回轉數를 120 rpm 에서 60 rpm으로 낮추면 翼面積은 약 30% 증가하지만 展開面積比는 약 40% 감소하게 된다. 따라서 大直徑 Propeller의 翼幅은 상대적으로 작게 되고, 통상의 Propeller에 비해서 상당히 細長한 翼을 가진 Propeller가 된다.

本 研究에서는 Burrill Cavitation 圖表를 이용하여 最小展開面積比 BAR를 계산했고, 日本

의 MAU Series 4.40 圖表를 이용하여 Propeller를 설계하였다. 船尾形狀에 맞춰 最大 Propeller 直徑 D는 6.1 m로 제한하고, 圖表上의 最大直徑 D_0는 5% 큰 값으로 취하였으며, 回轉數 별로 $\sqrt{BP}$와 δ를 구해 Propeller series 圖表에서 찾은 최고효율은 그림 3과 같이 회전수가 67.5 rpm일 때이다. 즉 연속최대출력에서 70 rpm인 경우이다.

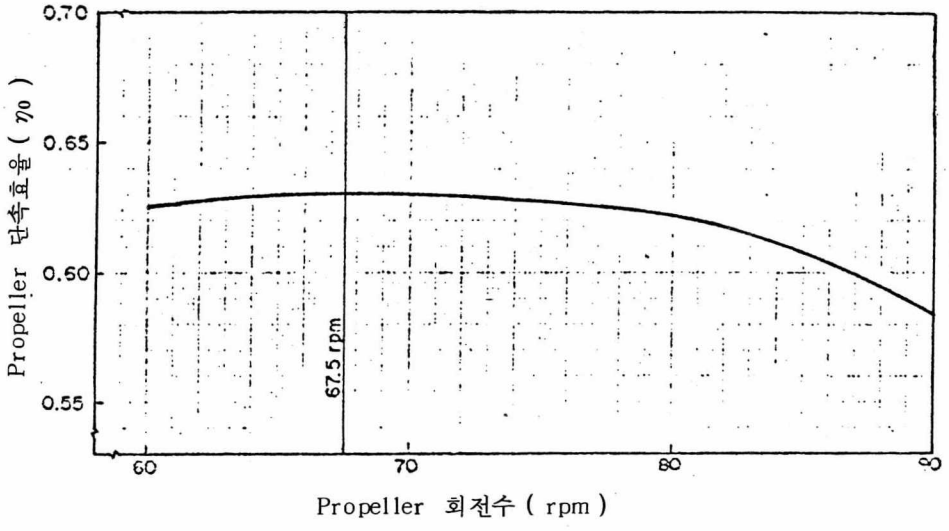

그림 3. **Propeller** 회전수와 단독효율의 관계

지금까지 低回轉·大直徑 Propeller의 연구에서 선진국에서는 65 rpm까지 낮춰서 연구하고 있지만, 본 연구에서는 70 rpm을 最低回轉數로 제한하였으며, 中速디젤기관에 遊星齒車減速裝置를 조합하여 Propeller 회전수를 70 rpm까지 낮춘 실적도 있다.

이와같이 하여 최대회전수 70 rpm에서 아래의 Propeller를 채용하였다.

直　　徑	6.100 m
피　　치	5.399 m
전개면적비	0.400
翼 厚 比	0.043
보 스 比	0.164
翼　　數	4

3.3 模型船 水槽試驗

本 船型은 그 形狀이 새로운 선형이므로 정확한 유효마력, 전달마력, 각종 저항추진계수 그리고 Propeller 회전면에서의 반류분포를 얻기 위해서 당 연구소 선형시험수조에서 저항시험, 自航試驗, Propeller 單獨試驗, 伴流分布調査試驗, Tuft 流線調査試驗을 실시하였다.

결과해석에서 모형선값으로부터 실선값으로 확장하는 방법으로는 "Froude 해석법 (C_R 사용)"과 "ITTC 1957年 模型船—實船相關曲線"을 사용하였고, 모형—실선 縮尺效果는 1978年 ITTC에서 추천하는 방법으로 계산하였다 모든 선형시험의 각종 계측치는 電算化된 資料取得組織 (Computerized Data Acquisition System)에 의해 얻어졌다.

各 試驗의 결과는 그림 4, 5, 6, 7에 나타난 바와 같다.

3.4 推進性能 및 經濟性의 比較

本船의 성능은 모형선의 수조시험을 통하여 확인되었다. 다른 일반선형을 가진 선박과 성능을 비교하기 위하여 본 연구에서는 영국 B.S.R.A.의 계통적 모형선 시험자료와 Seaking program에 저장되어 있는 선형자료를 이용하여 본선과 크기와 寸法이 같은 선박의 추진마력을 계

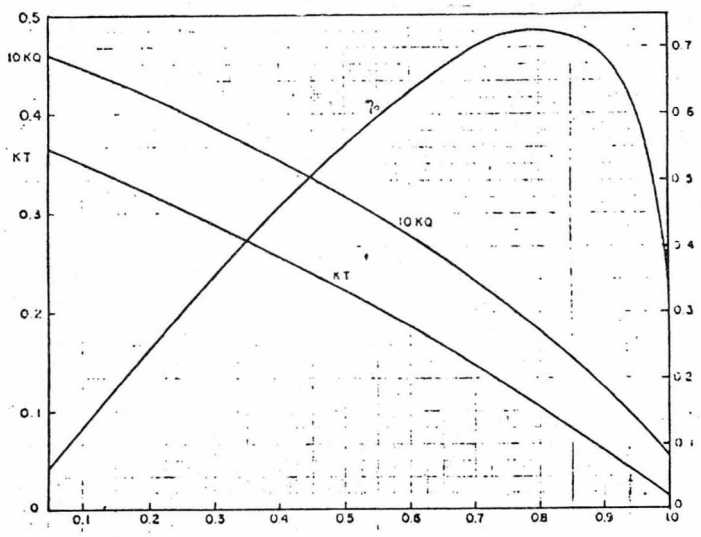

그림 4. **Propeller** 단독시험결과

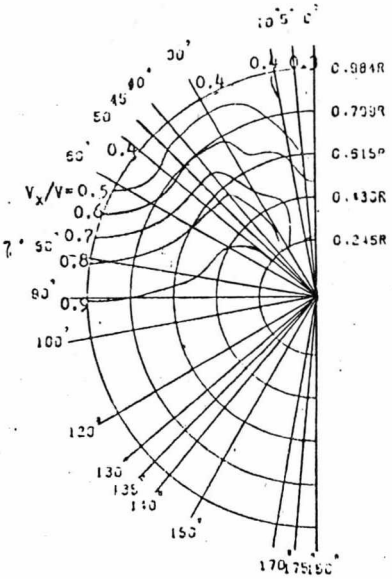

그림 5. 반 류 분 포 도

SHIP NO.	CONDITION	DRAFT (M) F. P.	A. P.	DISPLACEMENT (M^3)	MARKS
KS 055	FULL LOAD	9.40		24373.5	
	BALLAST	4.30	5.70	12191.6	
KS 056	FULL LOAD	9.40		24369.6	
	BALLAST	4.30	5.70	12192.3	

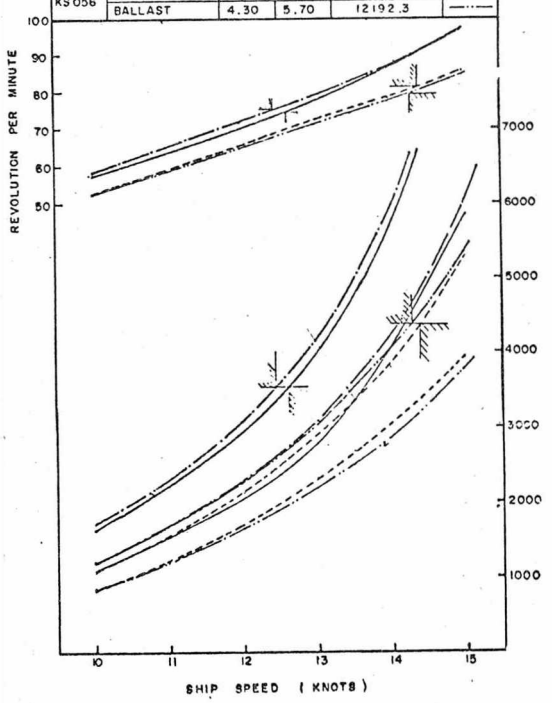

그림 6. 마력추정 곡선도

SHIP NO.	CONDITION	DRAFT (M) F. P.	A. P.	DISPLACEMENT (M^3)	MARKS
KS 055	FULL LOAD	9.40		24373.5	
	BALLAST	4.30	5.70	12191.6	
KS 056	FULL LOAD	9.40		24369.6	
	BALLAST	4.30	5.70	12192.3	

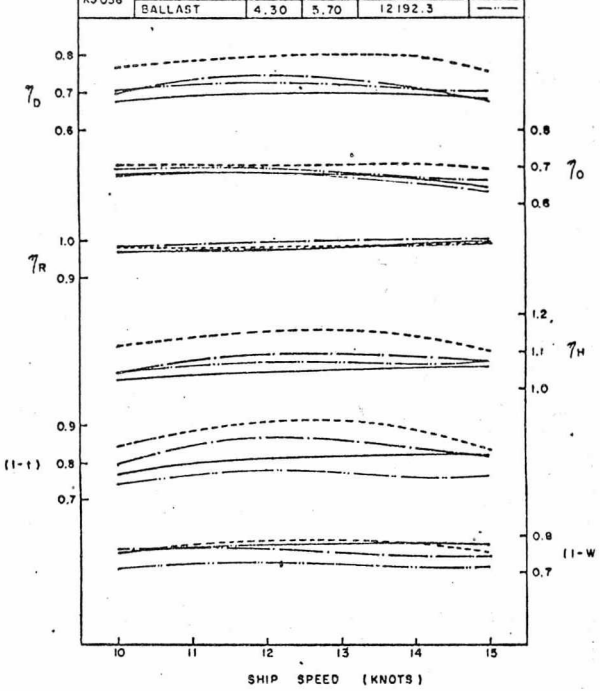

그림 7. 추진성능계수곡선도

산하여 비교하였다. 여기서 두 선형에 대한 傳達馬力(DHP)을 구하기 위하여 Propeller 회전수는 在來船과 같이 120 rpm으로 하였다.

그림 8에는 3가지 선형, 즉 본 연구에서 설계된 선형, B.S.R.A.의 계통적 모형선, Seaking program의 선형 등의 有效馬力과 傳達馬力이 잘 나타나 있다. 이를 보면 설계속력 12.0 놋트에서 B.S.R.A. 선형자료보다 약 15%, Seaking 선형자보료다는 무려 30%의 추진마력을 절감하고 있다. 그리고 현재 여수—인천 항로에 운항되고 있는 항해속력 14.0 놋트의 20,000 DWT급 선박보다는 14.0 놋트에서 약 17%의 추진마력을 절감하고 있다. 이를 建造費中에서 인건비와 부수되는 工事費를 제외하고 主機關(수입품) 가격만을 계산하다면 약 330,000 $의 건조비절감이 되고, 燃料費는 年間 약 2억 2천만원이 절약되는데 이는 순수연료(Bunker C)비이고 이것에 윤활유, 디젤유, 보수유지비 등을 합한다면 더욱 증가할 것이다. 또한 주기관 마력이 감소함에 따라 재화중량에도 약간의 증가를 가져오게 되어 경제성이 높은 선형으로 판단된다.

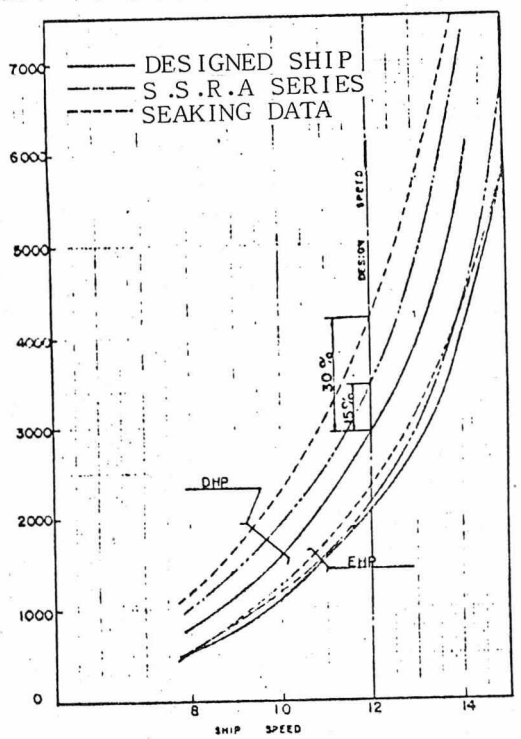

그림 8. 推進馬力의 비교

4. 結 言

本 研究는 범국민적으로 추진하고 있는 에너지節約施策에 호응하고, 새로운 기술을 도입 또는 개발한다는 의미와 또한 運航經濟性이 높은 선박을 설계한다는 견지에서 의미있는 연구였다고 생각된다. 그러나 정확한 물동량의 추정, 항로 및 항만조사, 선박건조비의 추정과 경제성평가 등을 포함한 초기과정인 最適船의 크기와 速力 등의 추정에 많은 시간을 할애하지 못해 미흡한 결과를 초래하게 되어 섭섭한 마음이며, 이와같은 초기과정에서는 船主가 될 海運會社 및 관련기관과의 공동연구가 필요할 것으로 여겨진다.

그동안 우리의 沿岸海運은 零細하였고, 외국에서 中古船을 도입하여 안이하게 운항되어 왔다. 그러나 이것은 燃料價格이 안정되었던 과거의 이야기이며 요즈음과 같이 매년 運航費가 증가하고 있는 때에는 재고되어야만 하겠다. 그리고 국민경제적인 측면에서 沿岸海運의 運航效率 향상방안 및 沿岸船舶의 近代化가 시급하다고 하겠다. 이런 의미에서 당 연구소에서는 이미 설치된 시험기기들을 이용하여 새로운 선형을 개발 연구 중에 있으며, 선진국의 최신기술을 도입 소화하고, 선체설계에 필요한 많은 要素技術을 확보하려고 노력하고 있다.

後 記

本 技術報告는 當研究所 大德船舶分所 基本設計室에서 政府出捐金에 의한 標準型船設計의 일환으로 수행된 研究結果中 일부를 발췌하여 수록한 것이다.

本 研究業務修行中 當所의 先任研究員으로 재직하면서 本 研究部分에 특히 노고가 많았던 金聖冀氏에게 깊이 감사하는 바이다.

參 考 文 獻

1) 韓國石油開發公社, 石油事典 1980.
2) 해운항만청, 내항해운업체현황, 1981. 9.

3) 해운항만청, 해운항만통계년보, 1980.
4) 박용철, 김성기 외, "석탄운반선의 최적초기설계", 한국선박연구소 연구보고서 UCE 61—74. 80, 1980. 2.
5) A.Zachariades, *Other Economic Factors Affecting Optimal Speed*, Ship Speed and Economics, Univ. of Newcastle upon tyne Apr. 1981.
6) 서상원, 한순흥 외, "연안도서의 화물수송체계 합리화를 위한 연구", 한국기계연구소 연구보고서 UCE 70—129. D, 1981. 1.
7) 第 174 研究部會, "馬力節減を目的とした 1 軸中型船の船尾形狀の開發に關する研究", 日本造船研究協會, 研究資料, No. 302, 1978.
8) 第 174 研究部會, "馬力節減を目的とした 1 軸中型船の船尾形狀の開發に關する研究", 日本造船研究協會, 研究資料 No. 320, 1979.
9) 濱田 晃, 省エネルギー時代に最適な船型船舶", 船舶 Vol. 50. No. 5, 1977.
10) 門井弘行, "低回轉大直徑プロペらによる馬力の節減", Journal of the M.E.S.J. Vol. 15. No. 2
11) T.P.O'Brien, *The Design of Marine Screw Propellers*, Hutchinson Scientific and Technical
12) 日本舶用機器開發協會, "내일의 조선기술에의 도전 '夢'"
13) 梁承一, 金恩燦 外, "梁水大型水槽에서의 模型試驗을 위한 豫備調査에 관한 研究", 韓國船舶研究所 研究報告書 UEC 31—45. 78, 1978 년 4 월
14) 梁承一, 金恩燦 外, "標準模型船의 船型試驗 및 機器開發에 關한 研究", 韓國船舶研究所 研究報告書 UEC 35—56. 79, 1979 년 5 월.
15) Todd, F.H., *Table of Coefficients for A.T.T.C. and I.T.T.C. Model Ship Correlation and Kinematic Viscosity and Density of Fresh and Salt Water*, Technical & Research Bulletin 1—25, SNAME, May 1964.
16) *Report of the Performance Committee*, Proceedings of 13th ITTC, 1972.
17) *Report of the Performance Committee*, Proceedings of 14th ITTC, 1975.
18) *Report of the Performance Committee*, Proceedings of 15th ITTC, 1978
19) *Standard Procedure for Resistance anPd ropulsion Experiments with Ship Model*, British Towing Tank Panel, 9th ITTC, September, 1960.
20) 梁承一, 金恩燦, "自航推進試驗 技法 開發에 關한 研究", 韓國船舶研究所 研究報告書 UCE 57—75. 80, 1980 年 2 月
21) 梁承一, 金性煥 外, "伴流分布 測定法 및 機器開發에 관한 研究", 韓國船舶研究所 研究報告書 UCE 55—73. 80, 1980 년 2 월