

## 中小型船의 機關部重量推定

金 極 天\*

## Estimation of Machinery Weights of the Medium and Small-sized Ships

Keuck Chun Kim

## Abstract

For preliminary estimation of ships' machinery weights, many papers giving well-judged data and discussions for rational method of estimation, such as [1], [2], [3], [4], [5], [6],\*\* are available. However, they are mostly concerned with large ships propelled by power more than about 2,000 horsepower. Regarding the medium and small-sized ships, as far as the author is aware, fragmental data and vague discussions found in various technical literature are the all available.

In this paper, available data concerned with machinery weights of commercial ships propelled by direct-drive diesel plants of power below 3,000 horsepower with single screw propeller are collected and analysed to obtain systematic data. The results are given in Fig. 2 as weight to power ratio versus power per shaft diagrams together with supplementary data Fig. 1 and Fig. 3. Influences of various factors such as revolutions per minute, mean effective pressure, type and construction of the main units on machinery weights are also investigated in detail to give a better guidance for logical and rational utilization of the proposed diagrams in preliminary estimation of machinery weights.

## 1. 緒 言

船舶의 機關部重量이라함은 推進動力裝置의 全重量, 即 主推進機關과 그의 直接關聯諸機의 重量(以下 主機重量이라 稱함)과 推進軸系 및 推進器, 펌프 및 管類, 起動空氣系統, 燃料系統, 潤滑油系統, 清海水系統, 보일러 및 보일러水, 復水器, 造水裝置, 諸系統內의 液體, 煙路 및 煙筒, 機關室通風裝置, 機關室內 사다리 및 그레이딩, 豫備品 및 倉庫品, 發電機 및 關聯電氣裝置 等の 重量(以下 餘他重量이라 稱함)이 이 重量群에 包含된다.

機關部重量은 普通 商船에 있어서 輕荷重의 15~30%에 達하므로, 基本設計가 주어진 船速 및 載貨重量에 對하여 最小排水量을 갖이는 船舶을 設計하여야함을 原則으로 하며 事實上 重量推定으로 始作하여 重量計算으로 끝나게 됨을 考慮할 때 初期設計段階에 있어서 다른 重量群과 더불어 이를 合理的으로 推定하여야함은

原稿受理日字 1966年 1月 20日

\* 正會員, 서울大學校 工科大學

\*\* [ ]內의 數字는 本論文의 末尾에 掲載한 參考文獻의 番號임.

매우 緊要한 일이다. 그러나 類似性이 매우 큰 設計上의 基準船의 重量配分資料가 있는 境遇를 除外한다면 이는 容易한 作業이 아니다.

設計資料로서는 機關部 重量을 主機出力의 어떤 函數로 表示할 수 있도록 分類集積하는 것이 便利하며, 軸當主機出力을 基準으로 한 馬力當重量이란 表示法이 흔히 使用되나 主機出力이 同一하여도 船舶의 機能, 速長比, 主機의 種類, 型式, 回轉數 및 位置 等에 따라 機關部重量이 크게 달라질 수 있으므로 體系있게 綜合된 것이 아니면 活用하기가 매우 困難하다. 特히 中小型船에 있어서는 船種도 많거니와 主機가 種類에 있어서는 經濟的 優位性 때문에 大體로 디젤機關으로 限定되어 있어도 그들의 型式, 回轉數, 過給度等이 多樣하여 上述한 困難은 主機選擇問題와 더불어 加重된다.

初期設計에 있어서는 機關部重量의 合理的 推定에 關한 研究報文은 적지 않아 發表되고 있으나 [1], [2], [3], [4], [5], [6], 이들의 大部分은 主機出力 約 3,000 馬力 以上의 大型船을 對象으로 하고 있으며, 中小型船은 論外로 하고 있거나 아니면 極 소홀이 다루어져 있다.

本論文에서는 主機出力 3,000 馬力 以下の 中小型船을 對象으로 하여 斷片的으로 알려진 實船資料들을 調査分析한 結果를 綜合體系化하여 機關部重量의 初期推定을 爲한 한 基準資料를 提示하는 한편 合理的인 推定方法에 關聯된 諸問題를 論하고자 한다.

2. 資料調查의 基準, 方法 및 結果

資料調查의 基準은 主機出力 約 3,000 馬力 以下の 直結디젤機關驅動 單螺旋船에 두되, 主機의 最大速續每分回轉數는 推進器의 最適回轉數를 考慮하여 Table 1 과 같이 限定하였고, 主機型式에 關하여서는 鑄造, 單動, 트렁크·피스톤, 直列실린더, 自己逆轉式 無過給機關을 基準型式으로 擇하였다.

Table 1 Selected ranges of propeller R.P.M

BHP/SHAFT	100~400	400~1,000	1,000~2,000	2,000~3,000
RPM	400~350	350~250	300~200	200~150

中小型船의 機關部重量에 關한 實船資料는 워낙 稀하지 않은데, 特히 全重量과 더불어 主機重量 및 餘他重量의 構成內容이 具體적으로 細分된 것은 매우 稀少하였으므로 實船資料로부터 主機重量과 餘他重量을 直

Table 2 Characteristics of main propulsion engines selected

	No of Cyl.	BHP	RPM	Piston Speed m/sec	BMEP kg/cm <sup>2</sup>	Stroke/Bore	Remarks
4—Stroke—Cycle							
European A(MAN)	5~10	800~1,600	275	6.4	5.95	1.75	indirect rev. below 300 BHP
Japanese	4~8	100~1,000	400~280	5~6	5.1~5.7	1.4~1.6	
2—Stroke—Cycle							
European B(B&W)	2~10	140~3,600	375~150	5~6	5.1~5.3	1.7~1.86	indirect rev, below 400 BHP
European C(Sulzer)	4~11	400~2,400	350~155	5~5.3	4.5~4.7	1.45~1.7	

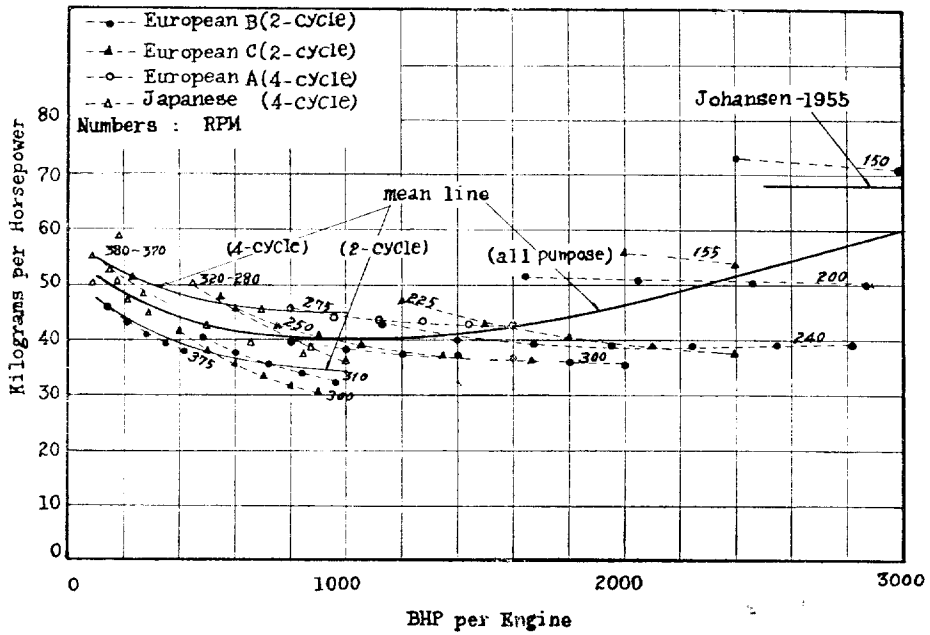


Fig. 1 Specific weight of main diesel engines  
(Single acting, normally aspirated, trunk piston, casted construction)

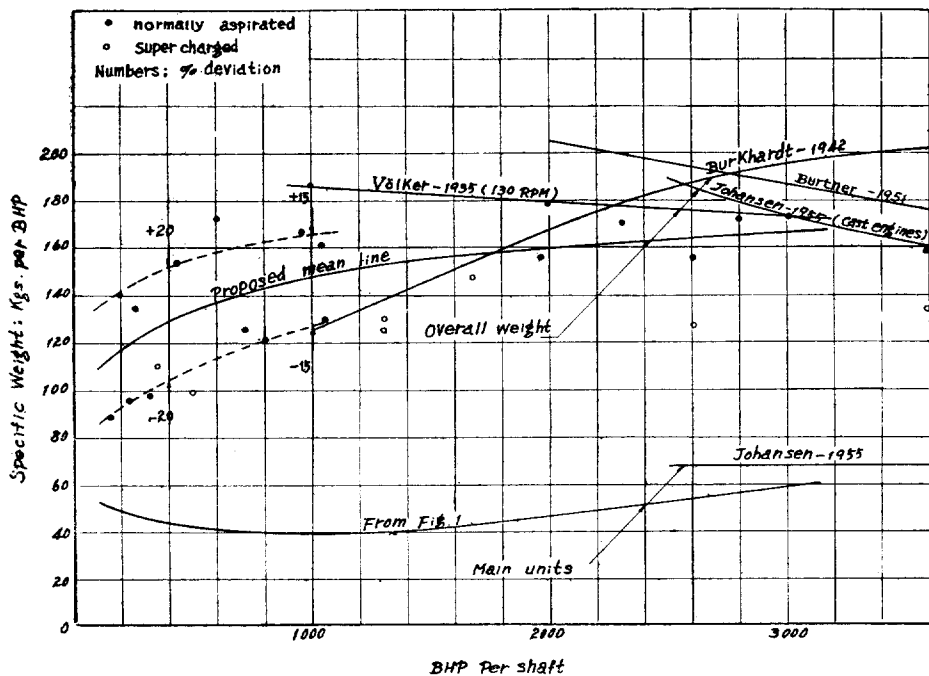


Fig. 2 Specific weight of direct-drive marine diesel plants

接分析해내는 일은 거의 不可能하였다. 故로 主機重量과 餘他重量의 構成比率은 間接的인 方法에 依하여 推定하였다. 卽 機關部 全重量만 實船資料에 依據하고 이에 對應하는 主機重量으로서는 歐羅巴의 製造者中 B&W, MAN 및 Sulzer 의 3社와 日本製造者들의 機關中에서 本調査基準에 符合하며 또 Table 2와 같은 特性을 갖는 機關의 重量을 基礎로 하여 Table 1을 參照하여 얻은 平均曲線 Fig. 1이 使用되었다. Fig. 1의 主機重量에는 間接逆轉式 小型機關의 逆轉裝置重量이 包含되어 있다.

機關部全重量에 關해서는 實船資料 24 例를 基礎로 하여 馬力當全重量을 算定하고, 이들을 主機出力 約 2,500 馬力 以上에 對한 1955年의 Johansen의 曲線 [1], [2], 主機出力 約 1,000 馬力 以上에 對한 1942年의 Burkhardt의 曲線 [3] 및 1935年의 Völker의 曲線 [4], 1951年의 Burtner의 曲線 [12] 등과 比較檢討 하므로써 Fig 2에 圖示한 바와 같은 平均曲線을 얻었다. 前述한 바와 같이, 餘他重量의 概略值을 알기 爲하여 Fig. 1의 主機重量의 平均曲線을 Fig. 2에 重疊하였으므로 이 두 曲線을 根據로 하여 主機重量과 餘他重量의 構成比率로서 Fig. 3을 얻었다.

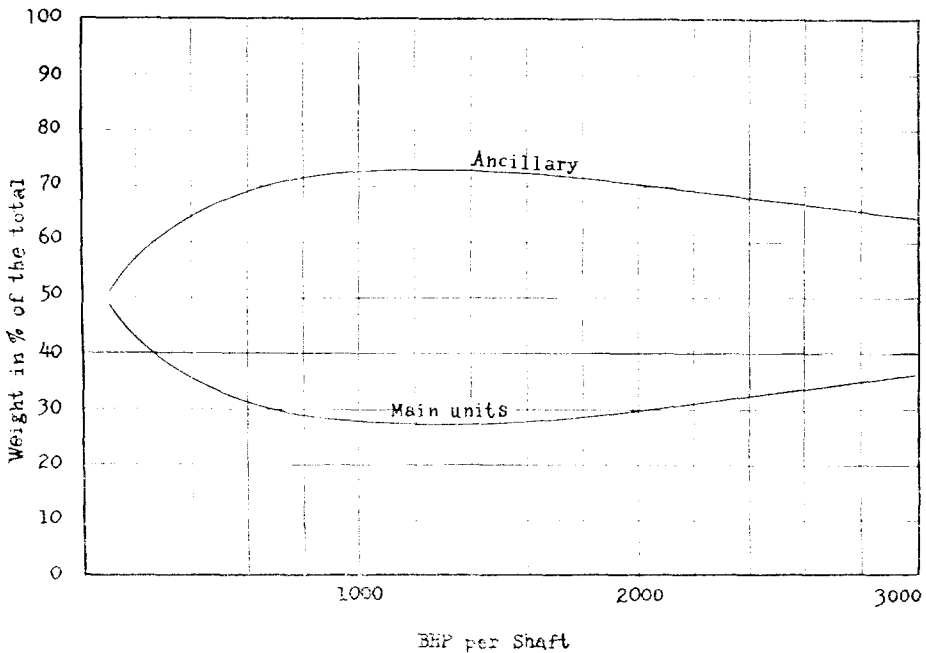


Fig. 3 Weigt distribution of direct-drive marine diesel plants  
(Based on the mean lines of Figs. 1 & 2)

### 3. 考 察

#### (1) 主機重量

Johansen의 大型디젤 機關船 38 隻에 對한 調査結果 [2]는 主機出力 2,500~15,000 馬力 範圍內에서 主機의 馬力當重量이 거의 一定值를 갖었으나 (附錄 參照) 中小型船의 境遇에는 主機型式이 多様하며 또 推進器最適回轉數가 大型船의 100~150 R.P.M 에 對하여 Table. 1에서 보는 바와 같이 幅이 넓게 變化하므로 그렇게 될 수는 없다. 그러므로 中小型船의 機關部重量 初期推定은 主機의 型式, 回轉數, 平均有效壓力 및 其他諸特性이 重量에 미치는 影響을 충분히 把握하지 않으면 좋은 結果를 期待하기 어렵다. 또 이와 같은 知識

은 主機選擇의 優劣에도 크게 作用할 것이다.

回轉數의 影響

力學的으로 相似한 機關은 平均有效壓力(BMEP) 및 피스톤速度가 서로 같을 것이므로 馬力當重量이 每分回轉數(R.P.M)에 逆比例하게 된다. 이 關係는 力學的 非相似機關에 對하여서도 어느 程度 適用될 수 있으리라고 推論된다.

그 理由は 無過給機關의 境遇에 있어서 BMEP, 피스톤 速度, 行程-徑比 등이 實際面에서 크게 다르지 않기 때문이다. 卽 船用디젤機關의 一般的設計資料에 依하면 이들의 限界値는 차례로 大略 4.5~6 kg/cm<sup>2</sup>, 5~7 m/sec, 1.4~1.7 程度인데, 其中 BMEP 와 피스톤 速度에 對하여서는 실린더當出力을 높이기 爲하여 前記限界値의 上限에 接近하는 傾向이 있고 行程-徑比에 對하여서는 出力이나 型式이 같은 境遇 燃燒 및 空氣容量의 見地로 부디 要求되는 最適値의 範圍가 별로 크지 않을 것이며 또 行程長을 制約하는 船深 또는 機關室 높이가 類似船이라면 別로 差가 없기 때문이다. 上述한 推論을 Fig. 1의 資料를 가지고 檢討한 結果는 實値의 理論値에 對한 誤差가 約 12% 以內였는데, 이 程度의 誤差는 初期推定의 目的이라면 許容될 것으로 믿는다.

BMEP의 影響

機關出力은 실린더體積, BMEP 및 RPM의 相乘積에 比例하므로, 單位 실린더體積當重量이 서로 같고 또 每回轉當 動力行程數가 같은 境遇라면 馬力當重量은 BMEP와 RPM의 相乘積에 逆比例하게 된다. 換言하면 馬力當重量과 BMEP 사이에도 逆比例關係가 成立한다. 이 事實이 直結驅動의 境遇 推進器 最適回轉數의 制約으로 因하여 RPM의 增加가 甚히 制限되는 船用機關에서 過給機關의 發達을 急速히 促進시키고 있다. 그러나 過給에 依한 出力增加率은 製造者에 따라 差가 커서 30%로 부터 100% 또는 그 以上까지의 分布를 갖음을 留意하여야 한다. 過給機自體의 重量은 增加出力 1馬力當 1.5~2.0 kg 程度에 不過하므로 過給機關의 重量輕減은 크다. 出力이 같은 境遇, 過給機關의 無過給機關에 對한 重量輕減率을 過給度別로 調査한 結果는 Table 3과 같다.

Table 3 Weight saving of supercharged engines

	Output with supercharger: BHP	Rate of power increased	Weight saved %	Length saved %
4-Stroke-Cycle	450~2,500	50	28~30	29~32
Japanese & European A	500~4,000	100	38~40	42~45
2-Stroke-Cycle European B & C	800~3,500	35	25~28	20~24

動力行程數 및 其他의 影響

機關出力이 每回轉當 動力行程數에 比例하므로 실린더體積, BMEP 및 RPM 등이 같은 境遇理論上으로는 2 行程機關의 重量이 4 行程機關의 重量의 1/2이 되겠으나, 實際로는 前者의 體積效率, 機械의 效率 등이 後者에 比하여 낮고 또 슬러스트·블록크나 關聯補機의 重量은 主로 出力에 比例하는 탓으로 그렇지 못하다. Fig. 1의 資料에 依하면 同一出力의 4 行程機關의 重量에 比하여 2 行程機關의 重量은 直接逆轉式에서 20~25% 程度, 間接逆轉式에서 15~20% 程度 가벌다.

複動機關의 單動機關에 對한 重量輕減率도 위와 비슷하다. 또 熔接機關의 鑄造機關에 對한 重量輕減率은 出力 1,000~2,500馬力範圍內에서 10~15% 程度이다.

## (2) 餘他重量

主機出力이나 型式 등이 같아도 船種, 速長比 또는 總噸數當主機出力, 主機的 位置, 推進器 驅動方式, 補機類에 對한 船舶安全法 및 船級協會規則의 要求條件等에 따라 매우 變動이 크다.

Fig. 3에 依하면 全重量에 對한 占有比率이 主機出力 約 1,300 馬力을 頂點으로 하여 約 70~50%에 達하고 있다. 이로부터 機關部重量推定의 成功與否는 餘他重量의 推定에 依하여 支配될 수 있음을 알 수 있다.

中小型船의 境遇, 主機重量을 基準으로 한 單純한 比率의 方法이 흔히 使用되나 이 方法은 큰 誤差를 內 포함 可能性이 크다.

重量區分이 잘 되어 있는 類似船의 餘他重量을 根據로 하여 新船과 類似船의 設計上의 差異點을 잘 勘案하여 調整하는 것이 가장 合理的이겠으나 事實上 그러한 資料가 주어진 類似船을 찾아내거란 쉬운 일이 아니므로 一般의 資料에 依存할 수 밖에 없는데 Fig. 2와 Fig. 3은 한 좋은 길 잡이가 될 것이다. Fig. 2에 依할 境遇 主機出力이 작을수록 誤差가 클 것이 豫測되나, 작은 船舶에서는 推進動力裝置가 簡單하므로 個別重量을 算定하여 集計하는 일도 그다지 어렵지 않을 것이다. 이 境遇에 推進器重量에 關한 Troost [9]나 Tingey [10]의 略算式, 軸系裝置와 推進器의 初期設計를 爲한 Tomalin [7], 의 各種 노모그램 및 Stevens [6], Simpson [8], 이나무라[稻村] [11]等 諸氏의 勸告가 매우 有用할 것이다. Stevens 氏는 軸徑 5' 內외의 軸系全重量이 軸自重의 約 1.7 倍라고 말하고 있고, 이나무라氏는 燒球機關이 主機인 漁船에 對하여 軸系重量을 主機出力 1馬力當 約 10 kg로 推算할 것을 勸하고 있다. Simpson 氏는 主機 RPM이 250~400 程度인 트로울러에 對하여 餘他重量이 主機重量과 비슷한 값이 된다고 말하고 있는데 이는 主機가 無過給機關인때인 것으로 解釋된다.

## (3) 全重量

디젤機關船의 軸當主機出力 對 馬力當全重量曲線이 스무우스한 連續曲線이 될 수 없으리라는 것은, 1例로 推進器 最適回轉數의 變化傾向이나 法規上의 要求事項이 階段의인 點 等を 考慮한다면 쉽게 짐작할 수 있는 일인데, 가장 두드러진 不連續點이 軸當主機出力 約 3,000 馬力近處에 있고 또 그 近處에서 馬力當 全重量이 最大値임은 注目할 일이다(Fig. 2 및 附錄 參照).

Burkhardt-1942 曲線은 大型船에서는 過대한 값을 주고 있으나(附錄 參照), 中小型船에서는 比較的 本調査에 依한 平均曲線에 가까우며, Völker-1932 曲線도 RPM에 對하여 修正한다면 本調査의 平均曲線에 가까워질 것이다. 이러한 事實은 中小型船의 機關部設計에 있어서는 重量輕減을 爲한 努力이 훨씬 消極的이었음을 뜻하는 것으로 믿어진다.

## 4. 結 論

資料調査와 分析에 未備한 點이 적지 않으나, 中小型船의 機關部重量의 初期推定을 爲하여 適當한 基準船資料가 없는 境遇에 對備할 수 있는 한 基準資料를 提示하였는데, 同平均曲線은 大型船에 關한 Johansen-1955 曲線과 같지 못하여 實船實績의 偏差가 좀 크다. 그러나 活用에 있어서 主機 또는 推進器 回轉數, 過給度, 主機型式 및 構造, 總噸數當出力 또 速長比 等を 잘 勘案한다면 初期推定 目的으로서는 滿足할만한 概略值를 얻을 수 있을 것이다.

主機出力이나 型式이 알려졌을 境遇 直接全重量을 얻고져 한다면가 또는 主機重量만을 基準으로 하여 比率的 方法으로 全重量을 얻는 方法은 止揚하고, Fig. 2 및 Fig. 3을 活用하여 爲先 餘他重量의 概略值를 얻

고 나서 따로 推定한 主機重量과 合算하여 全重量을 求하는 方法을 擇할 것을 勸한다.

中小型船의 境遇에 大型船에 對한 Johansen—1955 曲線과 같이 좋은 基準資料를 얻을려면은 主機型式이나 回轉數外에 船種, 速長比 또는 總噸數當出力等 새로운 徑數를 導入할 必要性이 切實하나 從來 中小型船의 機關部重量은 多小 소홀이 다루어져 온 탓으로 잘 整備된 資料가 적어서 試圖할 수 없었다. 中小型船의 機關部重量에 對한 實船實績을 잘 整理하여 次期設計에 對備하도록 한다면 좋은 基準資料를 얻기 爲해서 뿐만 아니라 設計上 機關部全重量 輕減에도 큰 成果를 期待할 수 있을 것이다.

끝으로, 本論文 作成을 爲하여 많은 助言을 주신 金在瑾教授와 資料蒐集을 도와주신 金喆俊氏에게 深甚한 謝意를 表한다.

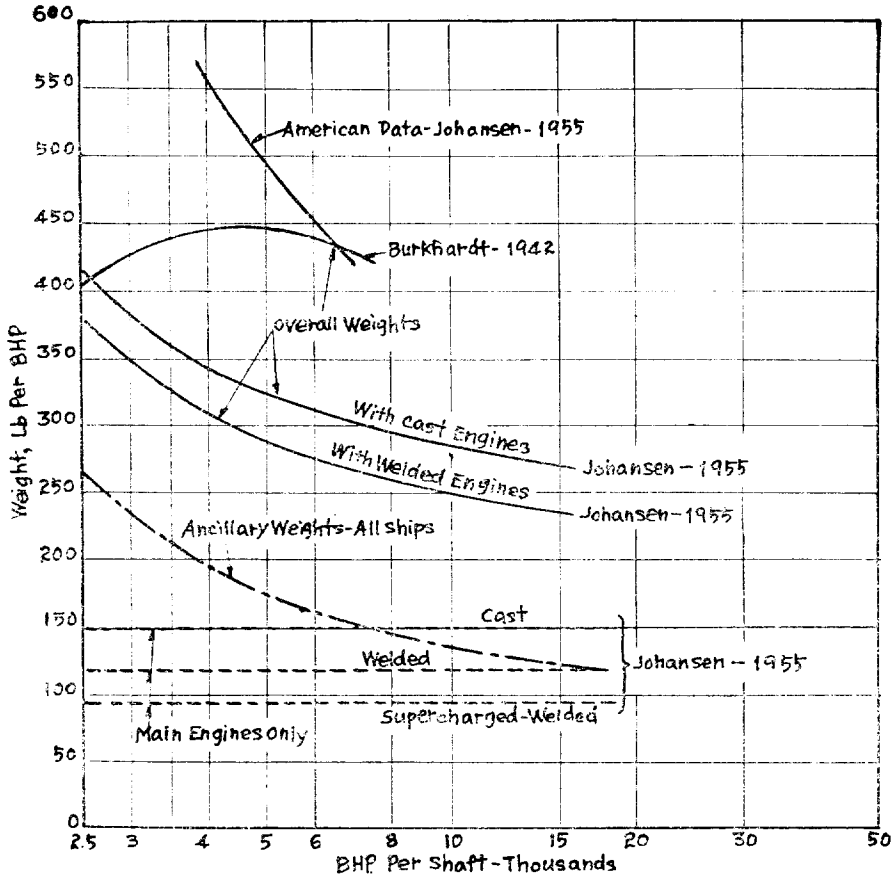
### 參 考 文 獻

- [ 1 ] Powell, S.C.; “Estimation of Machinery Weights”, Trans. SNAME, Vol.66, 1958.
- [ 2 ] Johansen, H.; “The Factors Involved in a Comparison between Direct-drive Diesel Installation and Gearing Steam Turbine Installation”, International Shipbuilding Progress, Vol.2, No.8, 1955.
- [ 3 ] Burkhardt, J.E.; Propelling machinery, Marine Engineering, Vol.1, Chapt. 1, SNAME, 1955.
- [ 4 ] Völker, J.; Jahrbuch der Schilbautechnischen Gesellschaft, 1935, 또는 日本造船協會編 船舶工學便覽 第2分冊 p. 80., 1962.
- [ 5 ] Benford, H.B.; “Engineering Economy in Tanker Design”, Trans. SNAME, Vol. 65, 1957.
- [ 6 ] Stevens, E.A.; “Machinery Weights”, Marine Engineering and Shipping Review, 1942 & 1943.
- [ 7 ] Tomalin, G.; “Marine Engineering As Applied to Small Vessels” Trans. SNAME, Vol.61, 1953.
- [ 8 ] Simpson, D.S.; “Small Crafts: Construction and Design”, Trans. SNAME, Vol.59, 1951.
- [ 9 ] Van Lammeren, Troost and Koning; Resistance, Propulsion and Steering of Ships, H. Stam Hearlem Holland, 1948.
- [10] Tingey, R.H.; Propeller and Shafting, Marine Engineering Vol.1, Chapt. 9, SNAME, 1955.
- [11] 稻村桂吾; 漁船論 1960.
- [12] Burtner, E.; Sec. 11 Marine Engineering, Mechanical Engineers’ Handbook, Fifth Edition, Edited by L.S. Marks, 1951.

附 錄

大型 直結디젤 機關船의 機關部重量

—[1]로 부터 轉載함—



Appendix : Specific weight of direct-drive diesel plants of large ships.

(Reproduced from Reference-1)