

# 內燃機關 燃料噴射系에 있어서의 壓力波의 傳播와 噴射늦음과의 關係

蔡 亨 鎔

On the relationship between the pressure-wave-dissemination of  
F. O. injection system and the injection lag in the internal combustion engine.

Chai Hyung-Yong

## Abstract

The pressure-wave-dissemination of F. O. injection system in the internal combustion engine is very important .

It was stated the pressure-wave-dissemination of a tube of equal sectional area and the practical injection system for using a elementary method of pressure-wave-dissemination in tube, and gave an outline of the relationship between the pressure-wave-dissemination and the injection lag.

## 目 次

- |                      |                           |
|----------------------|---------------------------|
| 1. 緒 言               | 5. 噴射Pump와 噴射弁이 달린 導管內의 壓 |
| 2. 燃料噴射過程            | 力波의 傳播                    |
| 3. 燃料油의 壓縮率과 壓力의 上昇  | 6. 結 論                    |
| 4. 導管內의 壓力傳播에 關한 基礎式 |                           |

## 1. 緒 言

內燃機關에서는 燃料油를 1/100~1/1000秒의 極히 短時間內에 燃燒을 完了시키는 것임으로 燃料噴射系統의 任務는 가장 重大한 것이며 設計 및 施工은 慎重을 要한다. 特히 噴射系統內는 高壓의 燃料油가 作用되는데 plunger速度가 낮고 壓力波가 작으면 噴射弁의 針弁은 1회에 열리 지 않고 2回 或은 그 以後의 高壓의 壓力波가 到達해서 針弁의 spring의 힘, 摩擦力 및 慣性에 이기면 valve가 啓開된다.

그리고 過大한 壓力波가 導管內를 往復하면 振動을 이르고 그 振幅이 너무 크면 一旦 閉鎖 된 針弁이 再次啓開되어 有害한 結果를 이르킨다.

이와같이 燃料噴射系에 있어서의 壓力波의 傳播는 噴射關係에 直接的인 影響을 미치므로 壓力 波의 傳播에 影響을 주는 條件을 追求하고 噴射늦음(injection lag)과의 關係를 略述하려 한다.

## 2. 燃料噴射過程

燃料噴射의 過程을 考察할때 F. O. pump端의 plunger의 壓送條件부터 吐出弁의 作動噴射管

內的 壓力波의 傳播 nozzle의 噴射 및 反射波의 狀況을 생각할 必要가 있다.

圖-1에서 plunger가 움직이기 始作하여 a點에서 燃料吸入孔을 닫으면 barrel內的 壓力은 上昇하기 始作하며 그 壓力이 噴射管內 殘留壓力  $p_R$ 와 같은 b點에 達하면 吐出弁이 열려 導管內의 壓力은 bc로 上昇한다. c點의 壓力이 噴射 nozzle의 壓力에 이기면 針弁은 올라가서 噴孔으로부터 噴射하기 始作한다. ac의 期間을 噴射늦음 (injection lag)이라 한다.

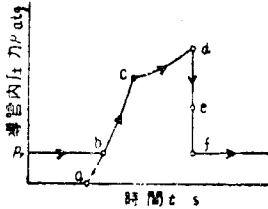


圖-1 導管內의 壓力變化

燃料가 噴射하기 始作하면 plunger의 速度는 같아도 壓縮油量은 적어지므로 壓力上昇率은 적어지서 曲線 cd와 같이 曲線 abc보다 緩慢한 曲線으로 된다. d點에서 pump의 排出口가 열리면 油壓은 急下降하고, e點에서 針弁이 spring의 힘에 依하여 닫히고 또한 吐出弁의 吸込 collar가 作用하여 導管內를 減壓시킴으로 壓力은 f點까지 急下降해서 再次 殘留壓力  $p_R$ 로 된다.

그러나, 이러한 생각은 plunger가 油全體를 同時에 壓縮하는 것으로 假定한 것이며 實際의 燃料噴射는 훨씬 複雜하며 高壓油가 아주 短時間에 運動하는 問題이므로, 所謂 水槌作用을 이르게 壓力, 速度와 같은 energy의 傳播速度의 影響까지 생각해야할 必要가 있다.

圖 2는 導管內의 壓力波의 傳播를 考慮한때의 噴射過程을 表示한 것이며

- (A)는 燃料 pump의 吐出弁에 가까운 導管內의 壓力變化
- (B)는 針弁의 lift
- (C)는 噴射弁에 가까운 導管內의 壓力의 變化를 表示한 것이다.

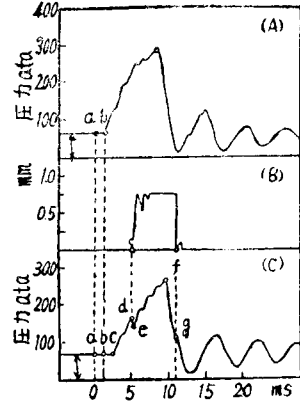


圖 2 pump出口壓力 針弁의 lift, 噴射弁入口壓力의 變化

### 3. 燃料油의 壓縮率과 壓力의 上昇

一般으로 容積  $V$ 인 液體가  $\Delta p$ 의 壓力變化에 依하여  $\Delta V$ 만큼 容積이 減少하였다면, 壓縮率은  $\alpha = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta p}$  ( $\text{cm}^2/\text{kg}$ )로 表示되고 壓縮率의 逆數를 液體의 體積彈性率이라 하며  $E$ 로 表示한다.

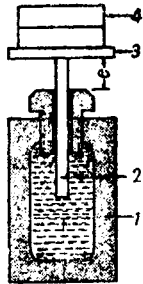


圖3 壓縮率測定裝置

즉

$$E = \frac{1}{\alpha}, \Delta p = E \cdot \frac{\Delta V}{V} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{①로 된다.}$$

빨리 壓縮하면 斷熱壓縮이 되고 徐徐히 壓縮하면, 等溫壓縮이 된다. 燃料噴射에 必要한 것은 前者이다.

壓縮率은 壓力보다 溫度의 影響이 크며 比重이 클수록 작다.

圖-3은 D. H. Alexander氏의 輕油의 壓縮率測定裝置를 表示하며 圖中1은 燃料油를 넣은 鋼製의 筒, 2는 直徑  $d$ 의 Piston, 3은 Weight, 4를 올려놓는 판, 間격  $e$ 를 測定한다. 表-1은 그의 體積彈性率을 表示한다. 그

表-1 輕油의 體積彈性率

$(P_1 \sim P_2)$ atg	Ekg/m <sup>2</sup>
0~51	$1.65 \times 10^8$
0~102	$1.87 \times "$
0~153	$1.98 \times "$
0~205	$2.06 \times "$
0~256	$2.01 \times "$
0~306	$2.03 \times "$
0~352	$2.075 \times "$

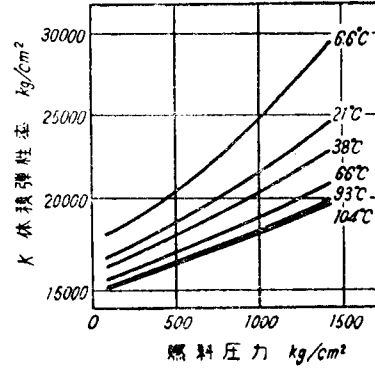
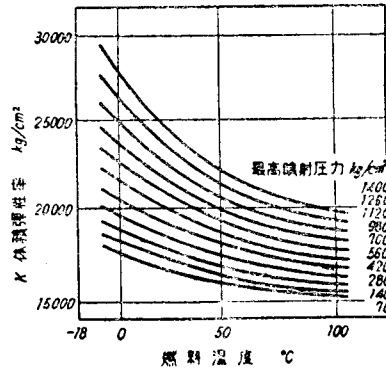


圖-4 輕油의 體積彈性率에 對한 溫度의 關係      圖-5 輕油의 體積彈性率에 對한 壓力의 關係

리코 體積彈性率은 溫度 및 壓力에 依하여 圖-4, 5와 같이 變化한다.

$V_i$ : 圖-1의 曲線 cd上의 어떤 時刻 t에서의 pump, 導管 및 噴射弁內의 油의 容積

$V_p$ :  $\Delta t$ 時間後까지의 pump로부터의 排出量

$V_f$ : 噴射量이라 하고 ①式을 利用하여 壓力上昇  $\Delta p$ 를 求해서 圖-1의 壓力曲線 bcd를 求할수 있다.

$$\Delta p = E \cdot \frac{V_p - V_f}{V_i - V_f} \approx E \cdot \frac{V_p - V_f}{V_i} \left( 1 + \frac{V_f}{V_i} \right) \dots\dots\dots ②$$

pump plunger速度를  $v_p$ 斷面積을  $S_p$ 라하면

$$V_p = S_p \int_t^{t+\Delta t} v_p dt \dots\dots\dots ③$$

噴孔有效面積 =  $S_n$       流量係數 =  $C$

cylinder內 gas壓力 =  $p_g$ 라하면

$$V_f = CS_n \int_t^{t+\Delta t} \sqrt{\frac{2g}{r}} (p - p_g) dt \dots\dots\dots ④$$

③, ④를 ②에 代入하면 噴射中の 壓力曲線 cd의 形이 定해진다.

또  $V_f=0$ 라 놓으면 噴射前의 壓力曲線 bc의 形이 定해진다. 이 結果로부터 Plunger의 速度  $v_p$ , 斷面積  $S_p$ 를 크게 하고, 油의 容積  $V_i$ 를 적게 하면 壓力上昇은 急히 된다는 것을 알수있다.

#### 4. 導管內의 壓力傳播에 關한 基礎式

(1) 噴射管內의 어떠한 點에 있어서 壓力이 變化하는 要因이 있으면 그 影響은 流體中을 音速으로 傳播한다.

$$\text{그音速 } v_s = \sqrt{\frac{Eg}{r}} \dots\dots\dots ⑤$$

$E$ : 體積彈性率 kg/cm<sup>2</sup>

$g$ : 重力加速度 m/sec<sup>2</sup>

$r$ : 流體의 比重 kg/m<sup>3</sup>

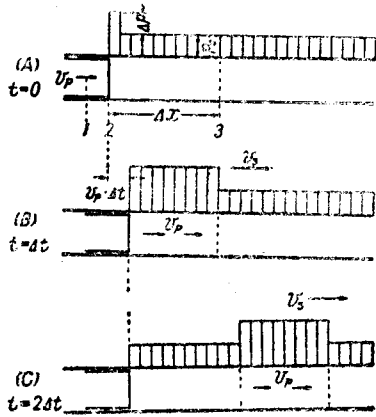


圖-6 壓力波的傳播

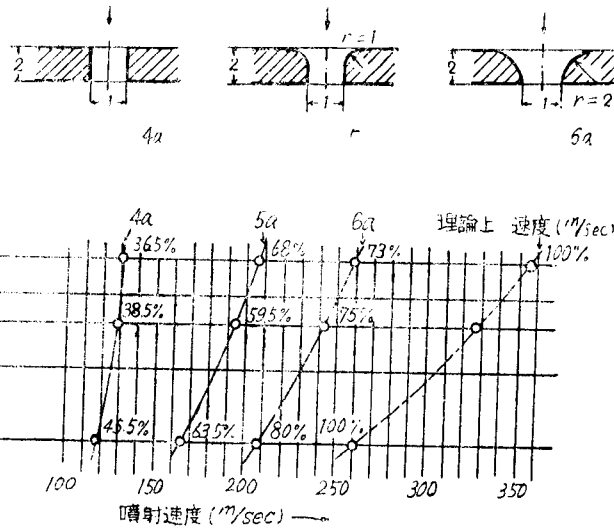


圖-7 噴射速度와 壓力關係

(2) 流體의 速度가 變化하면 壓力의 變化는 液體中の 音速과 같은 速度로서 液體中을 傳播한다. 即

$$\Delta p = \Delta v \sqrt{\frac{Er}{g}} = E \frac{v_p}{v_s} \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

( $v_p$ 는 plunger 速度) 即 壓力의 變化量과 速度의 變化量은 比例한다.

圖-6은 等斷面積의 導管內의 壓力波의 傳播를 表示한 것이며  $t = \Delta t$ 時의 壓力分布는 (B)圖로 되고 以後는 plunger가 靜止하므로 plunger先端에는 再次 速度0, 壓力 $p_0$ 의 波가 發生하며 이것이 音速  $v_s$ 로 傳播해감으로 速度  $v_p$ , 壓力  $p_0 + \Delta p$ 의 壓力波로 되어 (c)圖와 같이 導管內를 進行한다. 圖-7은 sulzer社에서의 燃料噴射의 實驗記錄이다.

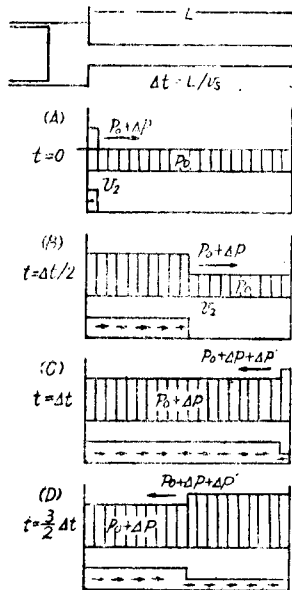


圖 7 導管內의 壓力과 速度의 變動

### 5. 噴射 pump 와 噴射弁이 달린 導管內의 壓力波의 傳播

圖-8은 壓力波가 pump 端부터 nozzle 端에 達할때까지의 時間

$$\Delta t = \frac{L}{v_s}$$

라하고 이것을 段階的으로 생각한 導管內의 壓力과 速度의 變動을 表示한 것이다.

nozzle에 있어서의 最初壓力은  $p_0$ 이나  $\Delta t$ 時間後에는  $(p_0 + \Delta p)$ 로 되며 同時에  $(p_0 + \Delta p + \Delta p')$ 로 上昇한다. 이것은 同時에 壓力上昇된 것임으로 壓力은  $\Delta t$ 時間後  $p_0$ 에서  $(p_0 + \Delta p + \Delta p')$ 로 上昇한 것이 된다. 그 後는 導管內를  $(-\Delta v')$ 의 速度波가 plunger로 되돌아간다. 이 方法을 되풀이하면, 導管內의 任意의 一點에서의 速度와 壓力을 알수 있다. 有效噴射期間을  $n$ 度, pump의 回轉數를  $N$  r. p. m. 라하면. cam가  $n$ 度 回轉하는데 要하는 時間  $t$ 는

$$t = \frac{n}{\frac{N}{60} \times 360} = \frac{n}{6N} \text{ sec}$$

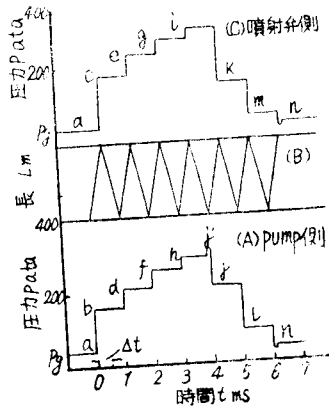


圖-10 壓力과 速度의 變化

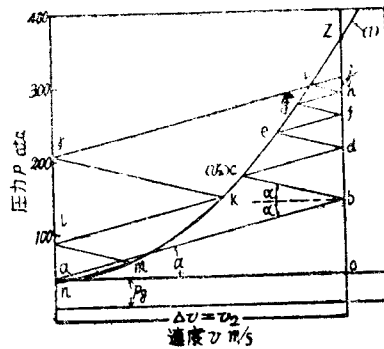


圖-9 pump端과 噴射弁端의 導管內의 壓力과 速度의 變化

이 時間內의 壓力波의 往復回數 =  $\frac{t}{\Delta t} = \frac{n}{6N} \cdot \frac{v_s}{L}$  로 된다.

그리고 nozzle, plunger 및 導管의 斷面積, nozzle의 開弁 및 閉弁壓力 또 cylinder內의 gas壓力, 殘留壓力, 速度係數, 導管의 길이, pump의 r. p. m, 燃料油의 體積彈性率 및 比重, 有效噴射期間을 알면 式 ⑤, ⑥을 利用해서 各點에서의 壓力과 速度를 計算할 수 있다. 例컨데 nozzle로부터 流出되는 速度

$$v_o = C \sqrt{\frac{2g}{r} (p_f + p_r + p_r + p_R - p_c)}$$

이때 導管內의 流速과 壓力은

$$v_i = C \frac{A_o}{A_i} \sqrt{\frac{2g}{r} (p_f + p_r + p_R - p_c)}$$

$p_i = p_f + p_r + p_R$  여기에서

$$p_f : \text{nozzle端에 向하는 壓力波} = v_i \sqrt{\frac{Er}{g}}$$

$p_r$  : nozzle端에서 反射된 壓力波

$p_R$  : 殘留壓力

$r$  : 燃料의 比重

$A_o$  : nozzle의 斷面積

$A_i$  : 導管의 斷面積

$C$  : 速度係數

$p_c$  : cylinder內의 gas壓力

$E$  : 燃料油의 體積彈性率

$$v_f : \text{導管에 들어가는 燃料의 速度} = \frac{A_p}{A_i} \times v_p$$

$A_p$  : plunger斷面積

$v_p$  : plunger의 速度

여기에서 求한 壓力과 速度變動狀態를 圖式으로 圖-9, 圖-10과 같은 方法으로 表示할 수도 있다.

6. 結 論

燃料噴射系에 있어서의 壓力波의 傳播는 5節에서 記述한바와 같이 F. O. pump導管 噴射弁 및 燃料油等 여러가지의 影響을 받는다.

그런데

$$\text{噴射늦음(injection lag)} = (b_1 + p_r - p_1) \frac{\alpha V_1}{S_p C_m} + \frac{L}{v} (b_2 + R - p_r) \frac{V_2 \alpha}{S_1 v_1} \dots\dots\dots ⑦$$

인 式으로 表示된다.

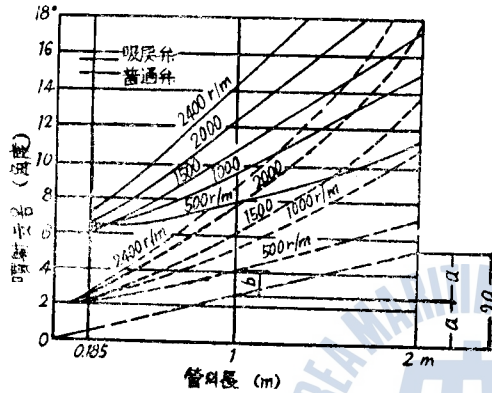


圖 11 導管의 長과 噴射늦음

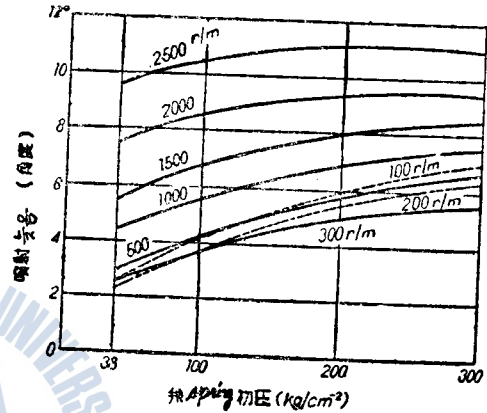


圖 12 弁spring의 初壓과 噴射늦음 普通弁인 경우

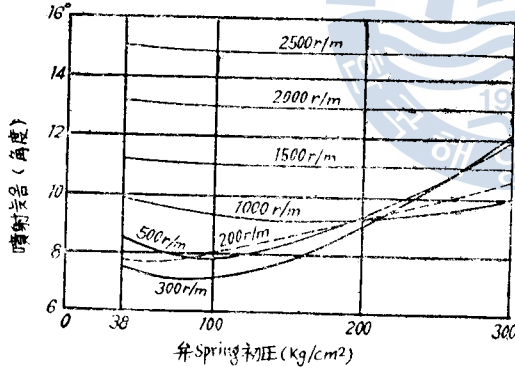


圖 13 弁spring의 初壓과 噴射늦음 (吸戾弁인 경우)

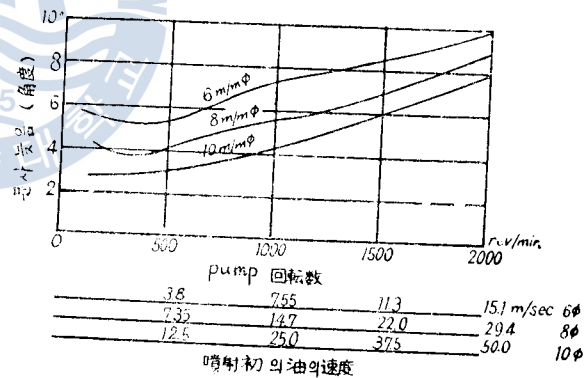


圖 14 油의 速度와 噴射늦음

여기에서

- $b_1$  : 吐出弁의 spring壓力
- $p_r$  : 導管內의 殘留壓力
- $p_1$  : 燃料 pump 吸入壓力
- $\alpha$  : 燃料의 壓縮率
- $V_1$  : 燃料pump內의 油容積
- $S_p$  : plunger의 斷面積
- $C_m$  : plunger의 平均速度

- $v$ : 壓力波의 傳播速度
- $L$ : 導管의 길이
- $b_2$ : 針弁의 spring壓力
- $R$ : 針弁의 摩擦力
- $V_2$ : 噴射弁에 包含된 油容積
- $S_1$ : 導管의 斷面積
- $v_1$ : 導管内의 油의 平均速度

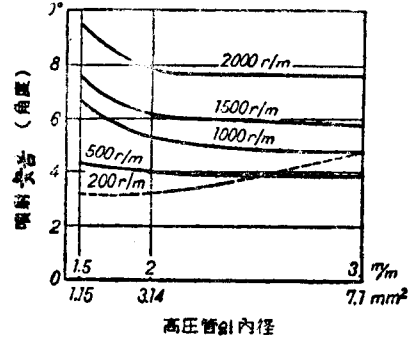


圖-15 高壓管의 內徑과 噴射 늦음

또한 參考的으로 噴射 늦음과 關係되는 5個의 圖表 (圖-11, 圖-12, 圖-13, 圖-14, 圖-15)를 表示하였다.

이와같이 噴射 늦음은 위의 여러가지 條件으로 廣範圍하게 噴射系의 壓力波의 傳播와 不可分의 關係로 變化함을 알 수 있다.

### 參 考 文 獻

- ① 鈴木 內燃機關 第5卷 11月號(1966). 65p. 山海堂
- ② " " 第6卷 1月號(1967). 89p. "
- ③ 渡部 " (燃料噴射의 解析) 127p. 코로나社
- ④ 大井佐次. 데이ゼル機關 124p. 山海堂
- ⑤ 兒王 " " の設計と調整 153p. 코로나社
- ⑥ 曾田熊谷 內燃機關ハンドブック 316p. 養賢堂
- ⑦ 栗野內田 熱機關基礎理論 218p. "
- ⑧ 韓國海洋大學 機關科要諦 315p. 海洋大學圖書出版部

# 普通水密隔壁板의 設計法에 關한 研究

宋 江 燮 · 高 允 燮

## A Study on the Design Method for the Plating Thickness of the Ordinary Watertight Bulkhead.

By K. S. Song · Y. S. Koh

### Abstract

According to the recommended regulations of the International Conference on SOLAS in 1960, the ordinary bulkhead plating thicknesses in the various rules by Classification Societies are divided into two factors; one is the thickness factor considered on strength and the other a proper margin of resistance.

In this paper, represented by charts, only the strength factors in the Rules are compared both with one another, and with Hovgaard's and other methods. It is found that all Rules are nearly approached to Hovgaard's method. U. S. and British Navy methods determining the plating thicknesses are approximately approaching to a new formula suggested in this paper.

### <目 次>

- |             |                |
|-------------|----------------|
| 1. 序 論      | 4. 許容壓力에 對한 比較 |
| 2. 隔壁板의 設計法 | 5. 結 論         |
| 3. 設計許容壓力   |                |

## 1. 序 論

隔壁은 船舶에 있어서 水面 下部에 破損을 입었을 때 다른 隔室에의 浸水를 阻止하고 甚하게 Rolling 할 때의 Racking force 에 견디며, 또는 使用目的이 相異한 隔室로 배를 區分하는 등 없어서는 안될 重要한 構造材이다.

隔室은 使用目的에 따라 다음의 세 種類로 大別할 수 있다.

- (1) 普通水密隔壁 : 事故로 因한 浸水를 局限하기 爲해서 設置하는 水密隔壁
- (2) 深水槽隔壁 : 恒時 물, 油類 등을 積載하기 때문에 長期間에 걸쳐 返復荷重을 받는 隔壁
- (3) 非水密隔壁 : 單純히 區劃의 目的으로 設置한 非水密隔壁

위에서 (1)의 普通水密隔壁板에 對해서만 1960年의 SOLAS設計基準에 依據 各 船級協會의 規則을 腐蝕에 對한 餘裕와 強度를 考慮로 한 두께로 分類하고 強度를 考慮로 한 두께에 對해서만 서로 比較 檢討하였다.