

《해설》

原子力船의 經濟性

鄭 雲 赫

韓國海洋大學

1. 序 論

原子力船의 經濟의 特色은 「建造費는 비싸나 燃料費는 싸다」는 것이다. 이 原則은 原子力船에 관한 한 예나 지금이나 변함이 없다. 또 금후에도 변함이 없을 것이다.

原子力船의 經濟性을 比較檢討하는데는 대체로 資本收益率과 運送原價의 두 가지 方法이 있다. 이들은 각각 다음과 같이 定義된다.

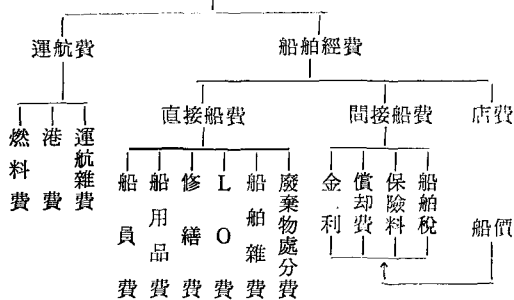
$$\text{資本收益率} = \frac{\text{年間運賃收入} - \text{年間運航經費}}{\text{建造船價}} \times 100$$

$$\text{運送原價} = \frac{\text{年間運送總經費}}{\text{年間運送貨物量(噸)}}$$

여기서 資本收益率의 年間運航經費는 年間總經費에서 金利와 償却費를 除外한 것이다. 그리고 資本收益率은 運賃收入이 判明되지 않으면 比較檢討가 곤란하므로 開發段階에 있는 原子力船에 대해서는 적합하지 않다. 그러므로 여기서는 후자의 運送原價를 중심으로 原子力船의 經濟性을 比較檢討하고자 한다.

運送原價의 年間運送總經費는 여러가지의 經費要素로 구성되어 있다.

표 1. 年間運送總經費의 구성요소  
年間運送總經費



年間運送總經費의 系統表를 살펴보면, 原子力船은 在來船에 비해서 燃料費가 싸기 때문에 運航費는 작으나 船價가 비싸서 間接船費 혹은 船舶經費가 增加하게 된

다. 따라서 間接船費와 燃料費에 있어서의 損益이 在來船과 原子力船의 經濟的競爭을 左右하게 된다.

2. 運 航 費

運航費에는 燃料費, 港費 및 運航雜費가 포함된다. 燃料費는 運航費중 가장 큰 要素인 동시에 原子力船이 在來船보다 經濟性에 있어서 크게 有利한 점이다. 核燃料費는 核燃料 cycle 費와 燃料交換費로 나누어서 생각할 수 있다.

原子爐에 裝荷한 核燃料 진부를 한꺼번에 交換한다고 하면 核燃料 cycle 費는 다음 식으로 주어진다.

$$\text{核燃料cycle費} = \frac{(\text{裝荷時總價格} - \text{出荷時總價格}) + \text{總利息}}{\text{爐心壽命間總發生馬力}}$$

$$= \frac{(U_f - U_i)L_o + \frac{1}{2}(U_f + U_i)L_o i - \frac{bL_o}{365Pf}}{24b\eta L_o}$$

$$\times 0.7457 (\text{원/SHP} \cdot \text{hr})$$

여기서

$U_f$  = 燃料裝荷時에 있어서 換算된 燃料價値(원/kgU)

$U_i$  = 使用後再處理해서 사용되는 U 價値를 燃料出荷時에 있어서 換算된 價値(원/kgU)

$L_o$  = 爐內에의 燃料裝荷量(kgU)

$P$  = 原子爐의 熱出力(kW)

$i$  = 價値換算을 할 때의 年金利

$f$  = 原子爐의 平均負荷率

$b = U$ 의 燃燒度(kWD/kgU)

0.7457 = kW 馬力換算係數

$\eta$  = 機關의 正味效率

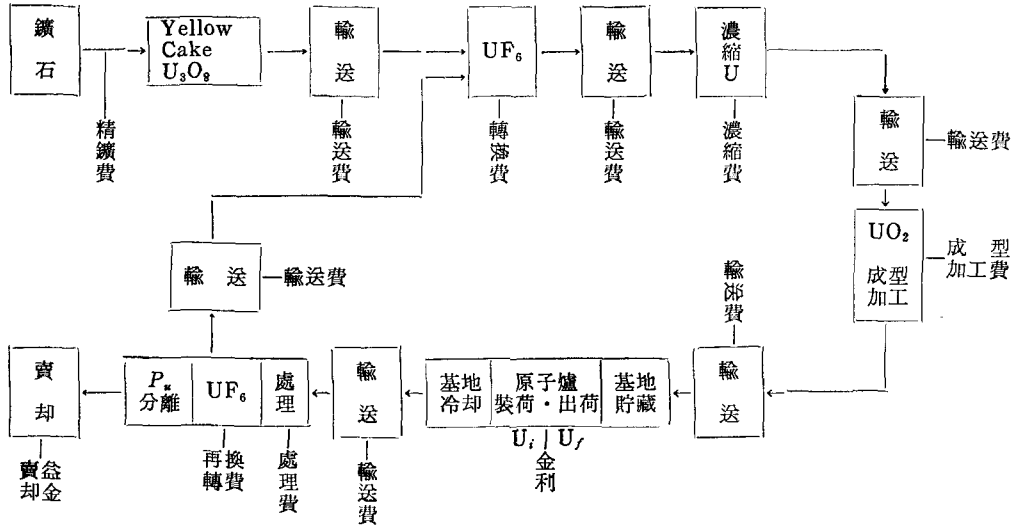
$U_f$ 와  $U_i$ 는 각각 다음 項目들로 구성된다(표 2 참조).

$$U_f = \text{Yellow Cake 單價} + \text{轉換單價} + \text{濃縮單價} + \text{成型加工單價} + \text{輸送費} + \text{金利}$$

$$U_i = \frac{(\text{再生 } U \text{ 賣却益} + P_u \text{ 賣却益}) - (\text{再處理單價} + \text{輸送費} + \text{金利})}{1 + \text{年金利}(\text{冷却期間} + \text{輸送期間} + \text{再處理期間})}$$

$U_f$ 와  $U_i$ 에 포함되어 있는 構成要素의 實際價格은 原子爐의 型式과 出力에 의해서 변한다. 電氣出力 50만

표 2. 核燃料 cycle 費의 구성요소



kW 級의 輕水型原子力發電所의 燃料 cycle 費試算을 보면,

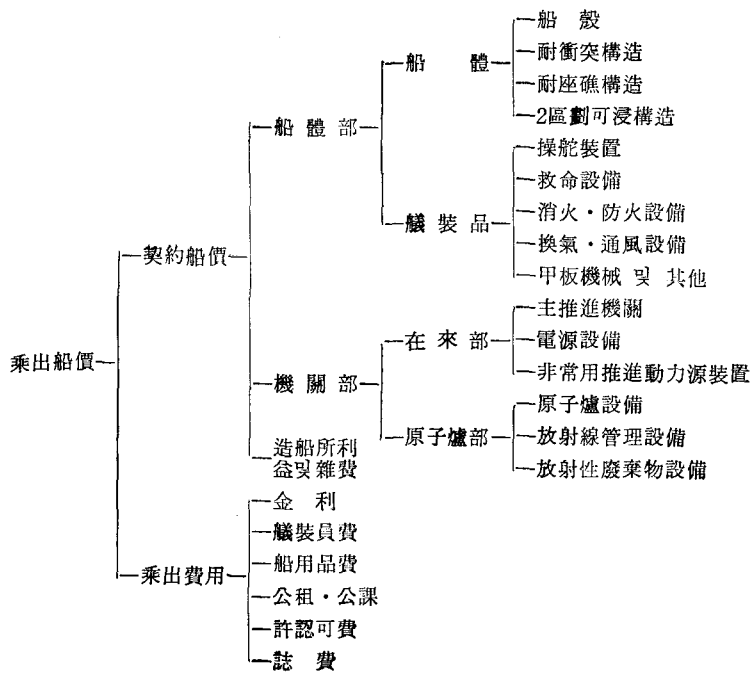
- 濃縮費 : 약 35~40%
- U 精鑛費 : 20~30%
- 成型加工費 : 20~30%
- 再處理費 : 10%

다음에 燃料交換費에는 施設使用料, 工賃, 精耗品 및

廢棄物處分費 등이 포함된다. 燃料交換費는 全燃料을 交換하는 方式에서는 全燃料費의 약 0.3~0.7%를 차지하고, 一部를 交換하는 方式에서는 약 0.5~1.2%를 차지한다.

港費중에는 船舶의 入出港, 停泊, 港의 利用등에 의해서 생기는 모든 費用이 포함된다. 原子力船에 있어서 는 放射線監視에 대한 費用이 추가로 필요하다. 그러나

表 3. 乘出船價



전체로서 港費의 增額은 그다지 크지 않다.

### 3. 船舶經費

#### 3.1 船價

原子力船의 船舶經費에 가장 크게 영향을 주는 것은 船價이다. 船價에도 契約船價와 乘出船價가 있다. 契約船價는 造船契約을 한 船價로서 原價에 造船所의 利益(약 5%) 및 雜費(入渠費, 進水費, 式典費, 管理費, 通信費)가 포함된다. 乘出船價는 建造 중에 요한 金利 및 其他費用을 契約船價에 포함시킨 最終取得時의 船價이다. 즉

$$\text{乘出船價} = \text{契約船價} + \text{乘出費用}$$

原子力船에 대한 船體部價格은 在來船에 비해서 船體鋼材의 增加와 艙裝品の 高級化로 인해서 비싸진다. 船體部의 價格增加는 대략 10% 내외이다.

機關部價格은 高價의 原子爐施設때문에 在來船에 비해서 비싸고 높다. 原子爐의 價格은 技術進步와 連續製造에 의해서 下降하는 傾向을 보여준다. 日獨共同研究의 報告에 의하면 제1基를 100으로하면 제2基는 86.8%, 제5基는 75.5%로 내려간다. 原子爐設備이외에 放射線管理設備 및 放射性廢棄物設備에 대한 經費가 부수된다.

在來機關部의 價格은 在來船과 별로 큰 차이가 없으나, 機關部 전체를 보면 原子力船은 在來船보다 약 2.0~2.5배 高價이다.

乘出船價는 在來船의 경우에는 契約船價의 약 4~5% 增加가 되나, 原子力船의 경우에는 契約船價의 약 10% 增加로 해서 계산하는 것이 보통이다.

船價는 船의 種類, 크기, 航路, 馬力 등에 따라서 다르다. 原子力船화가 기대되는 大型船과 高速船에서의 船價試算은 다음 表 4와 같다.

表 4. 船價比의 試算例

	馬力	契約船價比	乘出船價比
原子力船/在來船	70,000	1.46	1.53
	80,000	1.76	1.83
	128,000	1.41	1.44
	180,000	1.25	1.31

이 表 4를 보면, 原子力船의 船價는 在來船보다 약 50%가량 高價임을 알 수 있다.

#### 3.2 直接船費

原子力船의 경우에는 在來船에는 없는 廢棄物處分費가 直接船費에 추가된다. 그 외의 經費要素에 대한 增額은 대략 다음과 같다.

- 船員費 : ~10% 增額
- 修繕費 : ~50% 혹은 0~10% 增額
- 船用備品 : ~20% 혹은 0~15% 增額
- 船舶雜費 : 0% 增額
- 潤滑油費 : 0% 增額

#### 3.3 間接船費

經濟性으로 보아서 原子力船의 가장 不利한 部分이 이 間接船費이다. 이 중에서도 金利나 償却費가 主要인 것이다.

原子力船에 있어서 金利는 在來船과 차이가 많으나 利率 자체는 在來船과 다름 없다.

償却費는 使用年數를 통해서 元金과 利子를 합한 것을 均등히 매년 지불하는 年金法을 택한다.

$$\text{耐用年數均等經費} = I \left\{ i + \left( 1 - \frac{S}{I} \right) \frac{i}{(1+i)^n - 1} \right\}$$

여기서  $I$  = 初期의 船價

$S$  = 使用後의 殘存價値

$i$  = 利率/年

$n$  = 使用年數

在來船에서는 法定耐用年數 18年後의 殘存價値를 10%로 계산하고 있다. 그러나 原子力船의 경우는 放射能을 가지고 있는 原子爐裝置의 解體處分에 餘分의 經費가 필요하므로 殘存價格은 0으로 보는 것이 보통이다.

保險料에 있어서 原子力船의 경우에는 原子力損害賠償責任保險과 原子力損害賠償補償契約이 필요하다. 全保險料를 통해서 보면, 在來船의 保險料는 船價의 약 1%정도가 보통이나, 原子力船에 대해서는 船價의 약 2.5% 정도로 된다. 船舶稅는 建造費의 0.3%정도에 해당한다.

間接船費 전체를 종합해서 생각하면, 原子力船의 경우 첫 해에는 乘出船價의 15%로 最大가 되고 償却됨에 따라서 金額이 감소한다.

### 4. 年間運送貨物量

原子力船에서는 燃料油를 積載하지 않아도 되므로 積荷의 增加가 기대된다. 大型 tanker 船에서는 약 1.5%

가량 증가한다. 그러나 container 船에서는 原子力船의 경우 積載個數가 오히려 적어진다. 그 理由는 첫째, 原子爐室+原子爐補機室+主機室이 boiler 室+主機室 보다 크다. 둘째, 安全確保에 原子爐室兩側과 船倉과의 境界, 二重底의 一部를 空隙으로 할 필요가 있다. 셋째 큰 遮弊體 때문에 原子爐裝置의 重量이 boiler 裝置에 비해서 훨씬 크다. 넷째, container 船에서는 燃料油 대신에 固定 ballast 가 필요한 경우가 있다.

原子爐室의 크기는 馬力이 增加해도 약간 밖에는 커지지 않는 特徵이 있다. 따라서 原子力船의 貨物積載率은 大型, 大馬力船일수록 在來船과의 競爭條件이 좋아진다.

年間航海日數에 있어서는 原子力船은 在來船보다 年間稼動日數가 減少한다. 그 理由는 첫째, 燃料交換의 作業日數가 修理日數보다도 약간 더 많다. 둘째, 原子力船은 每年原子爐施設에 관한 檢査를 받지 않으면 안

된다. 이 檢査는 原子爐를 停止해서 原子爐裝置의 主要部分의 安定性을 check 하기 위한 것으로서 在來船의 年次檢査와 같이 停泊荷役중에 實施하기는 곤란하다. 셋째, 燃料交換基地가 修繕地와 따로 있는 경우에는 基地에의 往復이 不稼動日數로 된다.

5. 結 論

지금까지 記述한 모든 經費要素를 총합하여 年間運送貨物量으로 나누면 運送原價가 구해진다. 다음 표는 한 container 船의 船價 및 運送原價를 例示한다.

表 5에서 보면 報告當時(1967年)의 燃料費下에서는 原子力船의 運送原價는 在來船에 비해서 27 knot 船에서는 高價이고 33 knot 船에서는 다소 低價로 나타나지만, 現燃料費下에서는 27 knot 船에 대해서 原子力船의

表 5. Container 船의 船價 및 運送原價\*

(1,000個積, Kobe-New York)

		在來船	原子力船	在來船	原子力船
速 力 (knot)		27	27	33	33
軸 馬 力		72,000	66,000	206,000	174,000
船 價 (億 yen)	船 體 部	24.3	25.0	29.9	30.2
	機 關 部	26.1	48.4	62.0	84.85
	小 計	50.4	73.4	91.9	115.05
	契 約 船 價	58.47	85.14	106.6	133.45
	乘 出 船 價	61.39	93.65	111.9	146.8
年間經費 (億 yen)	金利·償却費等	9.20	14.02	16.75	22.0
	燃 料 費**	6.15 (24.60)	3.32 (5.10)	16.60 (66.40)	6.49 (11.70)
	船 員 費	1.20	1.28	1.20	1.28
	修 繕 費	0.65	0.85	1.22	1.55
	船費·店費等	0.26	0.26	0.26	0.26
	原 子 力 保 險	—	0.17	—	0.25
小 計	17.46 (42.06)	20.00 (21.78)	36.03 (102.43)	31.83 (37.04)	
年 間 航 海 數	9.75	9.60	11.64	11.46	
年 間 貨 物 量 (FT)	279,000	274,500	333,000	328,000	
運 送 原 價 (yen/FT)	6.27 (15.00)	7.29 (7.95)	10.82 (30.8)	9.70 (11.30)	

\* “原子力開發利用長期計劃”, 日本原子力委員會, 原子力船分科會報 1967

\*\* 核燃料費(報告當時)를 70,000馬力에서 0.65 yen/SHP. hr, 180,000馬力에서 0.55 yen/SHP. hr 를 사용, ( ) 안의 値는 現燃料 價格, 燃油 20,000 yen/t, 核燃料 1 yen/SHP. hr 을 기준으로 계산한 値를 표시한다.

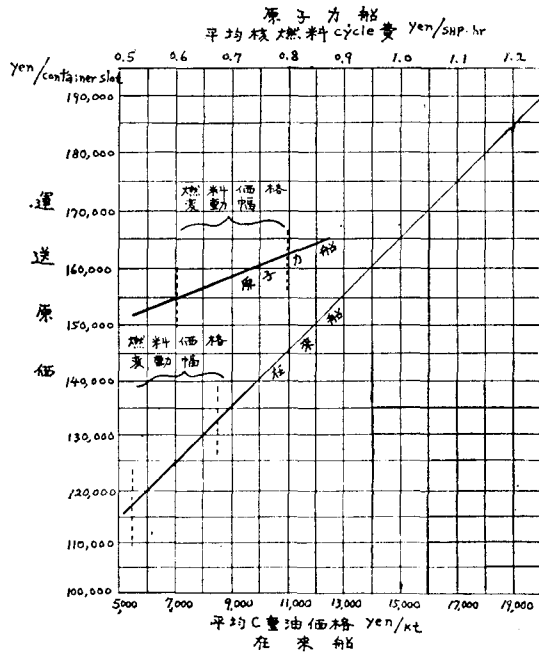


그림 1. container 運送原價의 比較\*

\* 80,000馬力原子力 container 船에 관한 日獨共同評價 研究報告書, 日本原子力産業會議, 日獨原子力 container 船 共同評價研究會, 1972.3

運送原價는 在來船의 1/2이고, 33 knot 船에 대해서는 1/2.7라는 저렴한 價格을 보여준다.

그림 1은 日獨共同研究結果의 一例를 보여준다. 그림 1은 船價를 구한 후 金利, 償却費, 燃料費등의 모든 船 舶經費를 算出하고 燃料費를 변화할 때 運送原價가 어떻게 변하는가를 보여준다.

그림 1에서 當時의 燃料價格(.....선내)에서는 在來船의 運送原價는 117,000 yen~133,000 yen/container 에 대해서 原子力船에서는 155,000 yen~163,000 yen/container 로 된다. 運送原價의 勾配로 볼때 在來船의 경우가 燃料費變動에 대해서 더 크게 變함을 알 수 있다.

現在의 燃油價格(20,000 yen/kt)에서는 이 그림으로부터 推定하여 볼때 原子力船의 쪽이 運送原價가 싸게 됨을 알 수 있다.