

## 浦項綜合製鐵 鋼材品の 沿岸輸送을 爲한 PUSH-BARGE SYSTEM 에 關한 一考

李 丙 奭\* 金 燾 喆\*

### 要 約

浦項綜合製鐵은 製品出荷時 海送比를 約 80% 程度로 잡고 있으며, 現在 하루 平均 約 3,000 ton 가량의 製品이 出荷되고 있다. 따라서 鋼材品 輸送에 push-barge system 을 適用했을 경우에 各 主要豫想消費地의 1日 豫想消費量을 장래의 施設擴張을 考慮하여 1,000 ton/day 에서 4,000 ton/day 까지 가정하였고 速度는 沿岸貨物船의 例를 따라 7 knots 에서 13 knots 까지 걸쳐 調査하였다. 廻航時 貨物은 일단 없는 것으로 간주하였으며 몇가지 생각될 수 있는 schedule 中에서 “1 tugboat: 3 barges”, “2 tugboats: 4 barges”, “3 tugboats: 5 barges”의 3가지만을 對象으로 하였다.

調査한 結果 消費量 1,000 ton/day 인 경우에  
浦項-蔚山: 1,000 DWT barge, 8 knots,

1 tugboat: 3 barges

浦項-釜山: 1,550 DWT barge, 8 knots,  
1 tugboat: 3 barges

浦項-仁川: 2,690 DWT barge, 9 knots,  
2 tugboats: 4 barges

등이 最適인 것으로 나타났다. 또 自航貨物船과 比較하면 같은 크기의 自航貨物船 2.5~3.0 隻에 該當하는 效率를 가진다.

이 結果로 미루어 보건대 push-barge system 은 앞으로 研究開發의 充分한 價値가 있는 것으로 생각된다.

### 1. 序 言

本 研究은 最近 普及이 活潑해지고 있는 push-barge system 을 概略의인 面에서 考察하기 위하여 浦項綜合製鐵의 鋼製品을 國內 主要豫想消費地에 分配하기 위

한 system 의 몇 가지 경우를 들어 比較 檢討한 것이며 基本調査가 充分치 못하였으므로 結果에 대한 絶對值의 効用보다는 이 結果를 土台로 장차 좀 더 자세한 研究가 이루어질 수 있도록 妥當한 方法을 提示하는 力點을 두었다.

### II. 沿革 및 概要

美國의 初期開拓時代에 Ohio 江에서는 上流의 Pittsburgh 에서 “돌아오지 않는 배”로 불리는 상자형의 flat boat 를 下流로 띄워 貨物의 輸送에 利用했다.

1807年 Hudson 江에서 Fulton 의 증기선이 처너항 해를 한 以後 水運의 급격한 發達이 이루어졌으며 動力機關의 發達로 종래 不可能했던 tugboat 가 有力한 水運道具로 登場하여 대개 1930年頃에 그림 1과 같은 barge 船團이 나타났다.

船首에 push-knee 를 裝備한 ‘towboat’가 數十隻의 barge 를 連結해서 밀고가는 것이며 이는 push-barge 와 基本性格에 있어 類似한 것이다.

近來에 와서 世界的으로 船價와 運航費가 昂騰하고 있는 것은 주지의 事實이며 運賃을 줄이기 위한 海運界의 努力은 船舶의 大型化, 自動化, 高速化로 集約된다. 그 結果 mammoth tanker 와 container 船이 탄생하였고 이는 1960年代 海運의 性格을 가름하는 것이라고 할 수 있다. 그러나 繼續의인 努力을 기울이고 있는 이들로부터 建造費가 싸고 運航費가 적게 드는 barge 가 注目을 받게 된 것은 當然한 일이라 할 것이다.

여기서 나타난 것이 이른바 push-barge system 이다 (그림 2).

從來의 tug boat 와 barge 의 關係인 “barge 를 끌고 다니는 tugboat”가 아닌 “barge 를 밀고 다니는 tug-



그림 1. Barge 船團의 장관 (towboat : 3240 hp, barge : 25 隻)

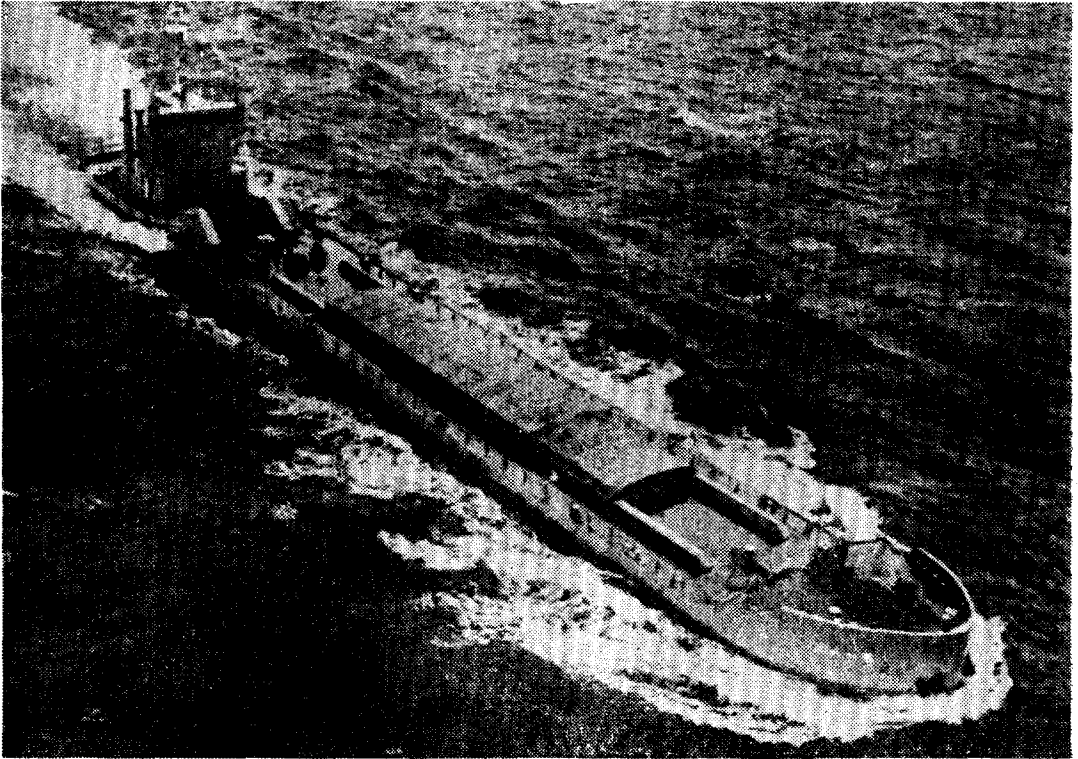


그림 2. 日本 “아와타製鐵所”의 鋼材運搬船 “八光號”

boat”가 그것이다. 이 system 은 1970年代 初期에 實用化되기 始作하여 지금은 tug 와 barge 의 連結部分에 대한 活潑한 研究로 大洋航海도 가능하게 되었으며 日本 같은 海안 해도 數十隻의 push-barge 가 취항하고 있으며 그 經濟性을 높이 評價받고 있는 바 “1960年代는 container ship 의 해인 것처럼 1970年代는 push-barge 의 해가 될 것”이라는 外國 專門家들의 豫見이 事實化되어갈 징조가 보이고 있는 것이다.

最近 우리나라에서는 2次에 걸친 經濟開發計劃이 成功으로 끝나고 3次經濟開發計劃이 推進中인 바, 海運貨物量이 급격히 늘어나고 있어 從來의 沿岸貨物船으로는 도저히 需要를 감당할 수 없게 되었다.

더구나 4次經濟開發計劃이 끝나는 1981年 以後가 되면 沿岸貨物運送이 가장 큰 問題로 대두될 可能性이 있으므로 지금부터 長期的인 眼目으로 이에 對處할 方案을 計劃의 으로 강구할 必要가 있을 것이며 push-barge system 도 훌륭한 한 方法이 될 수 있는 것이다.

먼저 push-barge 란 어떤 것인가부터 紹介하자면, 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 貨物을 滿載한 barge 船尾에 tugboat 가 連結되어 “밀고” 目的地로 가서 tugboat 와 barge 를 分離한 다음 미리 짐을 다 내리고 기다리고 있거나 다른 길을 실은 barge 를 “밀고” 原點이 나 또 다른 目的地로 出發하는 方式이다. 따라서 이

system 은 貨物이 一定하게 있는 固定航路에서 定期船의 性格을 띠게 되며 確切한 schedule 에 따라 움직이게 되어 tugboat 와 船員을 常時 活用함으로써 높은 經濟性을 維持하는 것이다.

이 system 은 다음과 같이 크게 3部分으로 나눌 수 있으며 概要는 다음과 같다.

### 1) Tug-boat

Towing 을 目的으로 하는 tug boat 와는 달리 船尾部分의 作業 space 가 필요하지 않은 代身, barge 뒤에 붙어서 밀 때 조종성 문제나 저항 때문에 幅을 늘려야 한다. 그리고 可能하면 積載運航效率이 좋은 Kort-nozzle 을 使用하는 것이 좋을 것이다.

### 2) Barge

從來의 箱子型 barge 보다는 좀더 날씬한 모양을 하여 充分한 block coefficient 를 가지면서도 航海에 별 지장이 없는 모양이어야 한다.

### 3) 連結部分

連結部分에 대한 研究는 相當한 進척을 보여 美國에서 의 例를 보면 3~4萬 DWT 級 tanker barge 를 14.5 knots 의 速力으로 大洋을 航海할 수 있을 만큼 되어 있고 日本에서도 여러 가지의 連結方式을 獨自의 으로 考案, 使用하고 있다. 이 部分은 워급할 경우에 對備해서 連結 및 分離가 간편해야 하며 分離時에는 3分

以上の時間이 걸리지 않아야 하는 등 이 system의 短點은 補充할 수 있도록 적극적인 研究開發이 있어야만 할 것이다.

다음으로 이 system의 長短點을 살펴보면,

1) 長 點

- 建造費와 運航費가 싸다.
- 機關을 最大限으로 利用할 수 있다.
- 乘務員의 數가 줄어들므로 人件費를 節減할 수 있다.
- Barge의 形態가 單純하며 機關 및 居住施設은 tug-boat에 모아서 compact하게 設計할 수 있으므로 修理維持費가 적게 든다.
- 自航船에 比較 draft를 줄일 수 있다.

2) 短 點

- 連結部分 때문에 耐波性이 弱하다(따라서 沿岸航海에 適合함).
- 自航貨物船에 比較 抵抗이 크다.
- 一般的으로 高速이 힘들다(大型일 경우 14~15 knots까지는 可能).
- 조종성이 별로 좋지 못하다(그러나 종래의 pulling towboat보다는 조종성이 좋음).

以上에서 살펴본 바를 考慮한다면 이 system은 主로 沿岸에 位置한 生産工場으로부터 消費地까지의 沿岸航海에 아주 適合하나 連結部分에 대한 研究開發로 大洋에 進出하는 것도 차차 나타나고 있다. 무엇보다도 經濟性이 좋다는 點에서 活潑한 普及이 있을 것으로 생각된다.

III. 研究過程

本 研究은 最適의 크기, 速度 등을 決定하는 것이 目的이므로 너무 상세한 部分은 省略하고 大略的인 추세를 살피기로 하였음은 序言에서 밝힌 바와 같다. 따라서 運貨率 自體는 크게 信憑性이 없겠으나 相對的인 數値에 그 主眼點을 두기 위해선 重要事項만을 考慮하였다.

貨物은 浦項綜合製鐵에서 生産하는 鋼材로 하였으며 主要豫想消費地는 蔚山, 釜山 및 仁川으로 하였다. 이에 따라 浦項-蔚山, 浦項-釜山, 浦項-仁川의 3航路가 決定된다.

Barge의 크기를 獨立變數로 삼는 것이 一般的인 方法이겠으나 貨物의 輸送需要量이 우리에게는 큰 關心事이므로 消費地의 一日豫想消費量을 獨立變數로 삼고 沿岸에서의 가장 適當한 速度로 생각되는 7 knots에서 13 knots까지 各各의 速度에 대해 가장 큰 barge의 크기를 求하여(같은 速度에서 같은 貨物을 같은 거리 輸送하는 데는 그 貨物을 한꺼번에 輸送하는 것이 가장

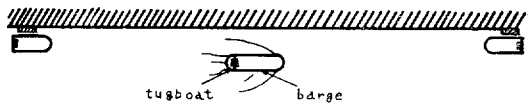
經濟的인 것이므로) 그에 要求되는 tug의 馬力을 測定하였다.

Barge의 建造費는 길이에 가장 크게 關係되므로 J. Fetchko[1]의 graph를 船價上昇率 10%로 잡아 그대로 使用하였으며 tugboat는 R.A. Stearn[2]의 調査를 利用하여 船價上昇率 20%로 잡아 建造費를 計算하였다.

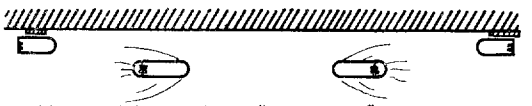
Push-barge system에서는 tugboat數와 이의 對應하는 barge數에 따라 몇가지 schedule이 있으나 여기서는 其中 適合한 것으로 생각되는 3가지만을 對象으로 하였으며 複合航路에 關한 것은 우선 除外했다.

3가지 schedule을 圖示하면 다음과 같다.

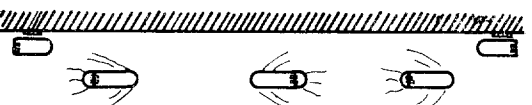
(1) Schedule I ; tug 1隻 ; barge 3隻



(2) Schedule II ; tug 2隻 ; barge 4隻



(3) Schedule III ; tug 3隻 ; barge 5隻



代表的인 速度인 10 knots를 例로 들어 連航 schedule을 그리면 그림 3과 같다.

그러나 Schedule III은 浦項-蔚山, 浦項-釜山 등과 같은 짧은 航路에 있어서는 適當치 못하므로 考慮이 되지 않았다. 그리고 速度는 沿岸에서 push-barge에 適合한 速度인 7 knots에서 13 knots까지를 研究對象으로 삼았다. 以上과 같은 計算過程은 그림 4의 計算過程 圖表에 表示하였다.

이렇게 하여 RFR(最少要求運貨率)이 各各의 航路, schedule, 貨物의 量, 速度 등에 대해 計算되어지던 graph로 옮겨 最適速度를 求했으며 그때의 barge 크기, tug 馬力, 速度 등을 擇하는 것이 가장 經濟的인 것이다.

IV. 研究結果

鋼材의 豫想消費量이 定해진 것이 아니므로 各 一日 豫想消費量에 대한 最適值를 求했으며 여기서의 最適值라 함은 港口 및 航路의 制約이나 loader 및 unloader

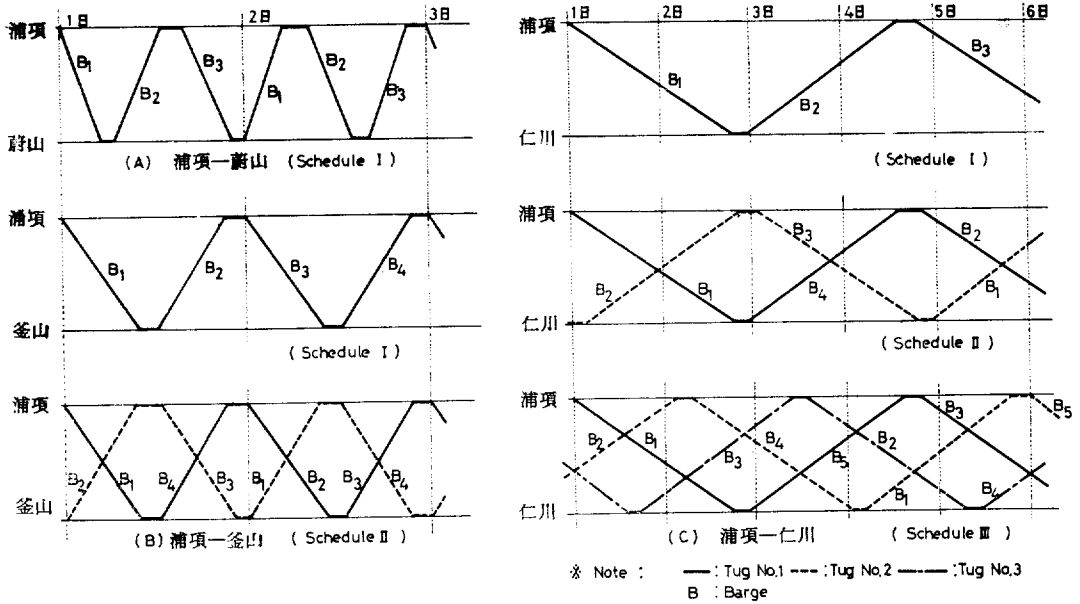


그림 3. 各 航路에 對한 運航 Schedule (10 knots 일 경우)

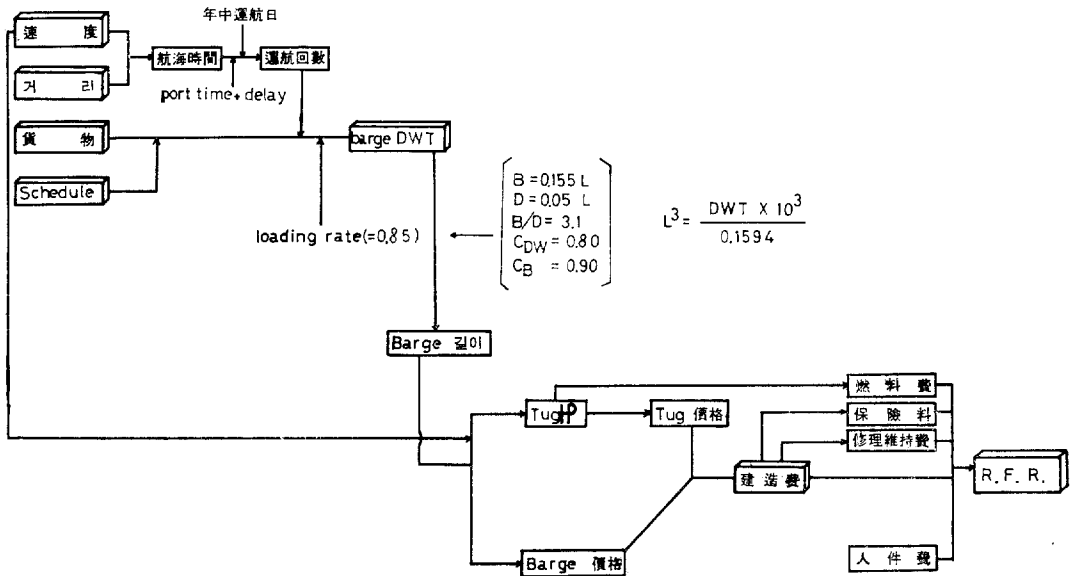


그림 4. Flow Chart of Calculating R.F.R

의 作業率에 拘碍받지 않고 一方으로 定한 값이다.

1) 浦項-蔚山

假想消費量 ton/day	schedule	barge DWT	tug HP	速度 kts	運賃率 (\$/ton)
1,000	1 tug: 3 barges	1,000	600	8	0.81
2,000	"	1,900	850	9	0.57

2) 浦項-釜山

假想消費量 ton/day	schedule	barge DWT	tug HP	速度 kts	運賃率 (\$/ton)
1,000	1 tug: 3 barges	1,550	610	8	0.96
2,000	"	2,600	1,250	10	0.79
3,000	2tugs:4 barges	2,120	880	9	0.68
4,000	"	2,820	900	9	0.62

3) 浦項-仁川

假想消費量 ton/day	schedule	barge DWT	tug HP	速度 kts	運賃率 (\$/ton)
1,000	2 tugs: 4 barges	2,690	910	9	2.42
2,000	3 tugs: 5 barges	3,250	1,290	10	2.02
3,000	"	4,470	1,810	11	1.83
4,000	"	5,960	1,870	11	1.67

自動車便은 運賃이 比較할 수 없을만큼 높으며 鐵道를 利用할 경우에는 浦項에서 蔚山 및 釜山까지의 運賃은 2,000 ton/day 以下の push-barge system에서보다 약간 낮으나 全的으로 鐵道에만 依存한다면 相當한 數의 貨車가 必要할 것이므로 貨車가 不足한 近來의 事情으로 보아서 困難이 따를 것이다(浦項綜合製鐵에서는 製品出荷時 海送量을 出荷量의 80%로 잡고 있음).

以上的 表에서 보인 結果는 가장 理想的인 경우이다. 實際에 있어서는 loader 및 unloader의 作業率을 70 ton/hr로 한다면 다음과 같이 自航貨物船과 比較될 수 있다. (단, 여기서는 Schedule I에 限함)

○ 浦項-蔚山

速度 10 knots, 크기 1,300 DWT(10 knots 대의 許容最大크기)인 barge 3隻으로 된 push-barge system은 같은 速度 및 크기의 自航貨物船 約 2.6隻에 該當하는 效率을 가진다.

○ 浦項-釜山

速度 10 knots, 크기 2,000 DWT(許容最大크기)인 barge 3隻으로 된 push-barge system은 같은 速度 및 크기의 自航貨物船 約 2.8隻에 該當하는 效率을 가진다.

○ 浦項-仁川

速度 10 knots, 크기 7,400 DWT(許容最大크기)인 barge 3隻으로 된 push-barge system은 같은 速度 및 크기의 自航貨物船 約 2.9隻에 該當하는 效率을 가진다.

(以上的 대한 計算은 計算附錄을 참조할 것)

위에서 본 바와 같이 push-barge system의 自航船에 대한 效率은 航路가 길어질수록 즉, loader와 unloader의 作業時間이 長아질수록 커진다.

3 航路에 있어서의 自航船에 대한 效率은 大體로 2.5~3.0程度이며 이는 RFR(最少要求運賃率)을 考慮해 넣지 않더라도 自航船 2.5隻의 價格과 barge 3隻+ tugboat 1隻의 價格差가 明白한 만큼 push-barge system의 높은 經濟性을 端的으로 보여주는 것이다.

V. 分析

1. 浦項-蔚山

蔚山地域에서는 하루 2,000 ton 以上の 鋼材가 所要되지 않을 것으로 생각하였으며 그림 5는 RFR 計算

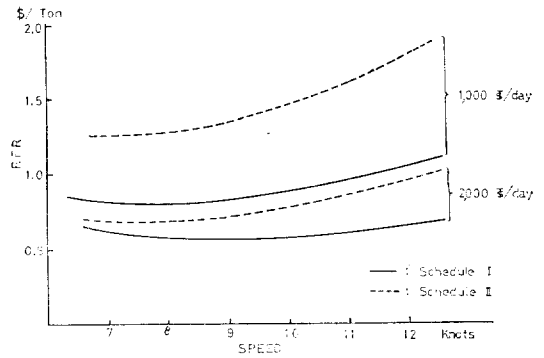


그림 5. 浦項-蔚山間 RFR 曲線

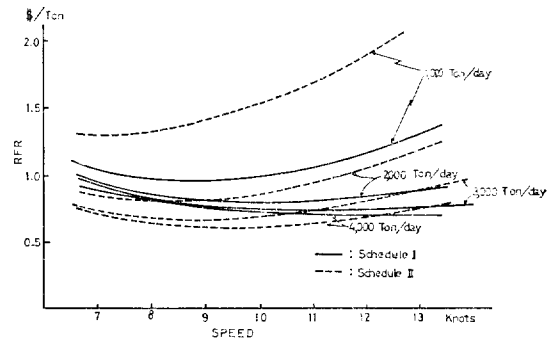


그림 6. 浦項-釜山間 RFR 曲線

結果를 graph로 表示한 것이다.

그림 5에서 보는 바와 같이 barge가 커질수록(즉, 貨物이 많아질수록) Schedule I과 II의 差가 좁혀지며 貨物의 量이 많아지면 언젠가는 Schedule II가 Schedule I보다 有利한 때가 있음을 豫想할 수 있다.

2,000 ton/day의 경우, 9 knots에서와 12 knots에서의 RFR의 差는 그리 甚하지 않다. 또한 push-barge는 元來 定期運航의 性格을 가지므로 RFR에 別로 拘碍받지 않고 時間規則性을 얻을 수 있는 速度를 擇할 수 있다.

2. 浦項-釜山

釜山地域에서의 鋼材需要는 相當히 클 것으로 豫想되므로 4,000 ton/day까지 對象으로 삼았으며 그 結果를 그림 6에 보인다.

그림 6에서 볼 수 있는 바와 같이 1,000 ton/day의 경우에는 Schedule II가 相當히 不利하나 2,000 ton/day부터는 Schedule II가 오히려 有利한 範圍가 있으며 그 範圍는 貨物의 量이 많아질수록, 즉, barge의 크기가 增加할수록 넓어진다.

浦項-蔚山과 마찬가지로 最少運賃率이 나타나는 速度는 貨物이 많아질수록 커지나, curve가 그렇게 급하지 않으므로 구태어 運賃率에 拘碍받을 必要는 없을 것이다.

3. 浦項-仁川

浦項-仁川間은 相當히 긴 航路이므로 Schedule III도 考慮에 넣었다.

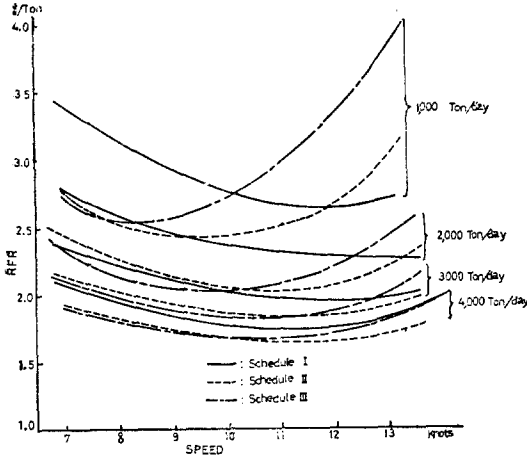


그림 7. 浦項-仁川間 RFR 曲線

그림 7에서 보는바와 같이 1,000 ton/day일 때에는 Schedule II 및 III이 Schedule I보다 有利할 때도 있으나 11 knots 부근에서부터 경사가 몹시 심해진다. 따라서 이 경우에는 Schedule II의 10 knots 부근이 가장 經濟的일 것 같다.

貨物이 量이 增加할수록 경사는 완만해지며 Schedule II와 III이 一般的으로 I보다 有利해진다.

4,000 ton/day의 경우에는 10 knots 부근까지 Schedule III이 II보다 有利한 것은 注目할만하다. 따라서 이 추세대로라면 5,000 ton/day에서는 II보다 III이 13 knots 까지도 有利해 질것이 거의 確實하며 경사도 상당히 완만한 편이다.

또한 이 航路는 南海의 多島海를 지나야 하므로 barge의 크기가 작은 것일수록 運航에 便利할 것이며 이러한 點들로 미루어 볼때 Schedule III이 이 航路에 適合할 것 같다. 그러나 심한 경사를 가진 부근의 速度는 可能한 限 피하는 것이 좋을 것이다(Schedule III에서 barge 크기는 같은 貨物, 같은 速度에서의 Schedule I의 1/3 밖에 되지 않음).

4. Barge의 크기에 따른 RPR의 變化

같은 速度 및 航路에서는 barge가 커질수록 最少運賃率이 낮아짐을 浦項-仁川間을 例로 한 그림 8에서 관찰할 수 있다.

※ Barge가 小型일 때는 큰 問題點이 없으나 5,000 DWT級을 넘어서면 實際에 있어 港口의 制約과 loader 및 unloader의 作業能力 問題로 難點이 있을 것이므로 注意를 要한다. 이에 對해서는 研究結果에서 “許容最大 크기”라는 이름으로 言及한바가 있으며 이 크기는 loader 및 unloader의 能力만을 고려한 것이고 그 計

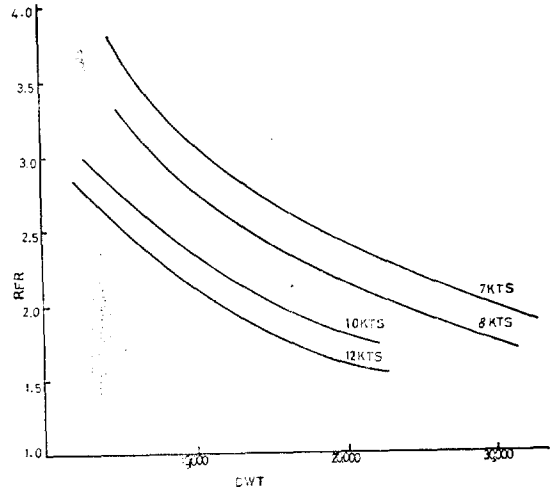


그림 8. 浦項-仁川間 Barge DWT에 따른 RFR 變化曲線  
算過程은 計算附錄에서 참조하기 바란다.

V. 計算附錄

1. 運賃率計算에 使用한 公式

※ RFR 公式(最少要求運賃率)

$$RFR = \frac{CRF \times P + Y}{C}$$

을 사용했다[3].

- 단, {
- CRF: capital recovery factor(0.193)  
(tax rate=48%  
after tax profit=11%)
  - P: total investment
  - C: annual cargo carried
  - Y: 運航費(賃金, 燃料費, 修理維持費, 保險金, 港口稅 等을 합친것)

※ 賃金은 승무원 1人當月 \$500로 하고 tug 1隻에 必要한 승무원은 10名으로 2交代制로 근무한다.

(따라서 年中賃金=60,000 \$×tug 數)

※ 燃料費는 bunker 油의 價格을 18.5\$/ton으로 잡고 燃料消耗量은

$$W_{fuel} = \frac{(SFC)(SHP) \times \text{항해時間}}{2240}$$

ton으로 求했

다[4]. 단 SFC=specific fuel consumption  
=0.4 lb/SHP for diesel engine

※ 修理維持費는 감가상각비로 간편화시켜 배의 수명을 30年으로 보고(建造費×0.033)으로 求했다.

※ 保險金은 (建造費×0.015)를 잡았다.

※ 港口稅는 RFR에 相當히 큰 影響을 미칠 것이나 計算의 편의상 일단 除外했다.

※ 年中 定期檢査日을 15日로 하고 weather frequency를 0.94로 잡았다. 따라서 年中 運航日은 330日이

된다.

※ Loading rate 는 0.85 로 하였다.

※ Barge 의 치수는

$B=0.155L$ ,  $B/d=3.1$  (기존 data 에서)

†  $C_{Dw}=0.80$ ,  $C_B=0.90$  으로 하였다.

따라서  $DWT = \frac{0.9 \times 0.155L \times 0.05L \times L}{35} \times 0.8$

즉  $L^3 = \frac{DWT}{1.594} \times 10^4$  에서  $L$  을 구했다.

† :  $\left[ \begin{array}{l} \text{H. Benford "Ocean Ore-Carrier Economics"} \\ \text{에서 hull weight}/\Delta = 0.2 \text{ 로서, } \Delta \text{ 에 別로} \\ \text{영향을 받지 않으며 barge 는 DWT+hull} \\ \text{weight} = \Delta \text{ 이므로 } C_{Dw} = 1 - 0.20 = 0.80 \text{ 임} \end{array} \right]$

※ Tug boat 의 馬力은 R.A. Stearn[2]의 graph 를 引用, 決定하였다.

2. 實際에 있어서 push-barge 効率計算

(loader 및 unloader 의 作業率: 70 ton/hr 로 가정)

1) 浦項-蔚山

速度가 10 knots 일 경우

tug 一週航海時間: 16 時間

loader 및 unloader 의 作業能力:  $16 \times 70 = 1,120$  ton

barge 許容最大크기: 1,300 DWT

따라서 1,300 DWT barge 3 隻으로 이루어진 push-barge system 은 速度 10 knots, 크기 1,300 DWT 인 自航貨物船 約 2.6 隻에 該當하는 效率을 가진다.

$$\left( \frac{16 \times 2 + 50/10 \times 2}{16} \approx 2.6 \right)$$

2) 浦項-釜山

速度 10 knots 일 경우

tug 一週航海時間: 24 時間

loader 및 unloader 의 作業能力:  $24 \times 70 = 1,680$  ton

barge 許容最大크기: 2,000 DWT

따라서 2,000 DWT barge 3 隻으로 된 push-barge 는 速度 10 knots, 크기 2,000 DWT 인 自航貨物船 約 2.8 隻에 該當한다.

$$\left( \frac{24 \times 2 + 90/10 \times 2}{24} \approx 2.8 \right)$$

3) 浦項-仁川

速度 10 knots 일 경우

tug 一週航海時間: 24 時間

loader 및 unloader 의 作業能力:  $90 \times 70 = 6,300$  ton  
barge 許容最大크기: 7,400 DWT

따라서 7,400 DWT barge 3 隻으로 된 push-barge 는 速度 10 knots, 크기 7,400 DWT 인 自航貨物船 約 2.9 隻에 該當하는 效率을 가진다.

$$\left( \frac{90 \times 2 + 420/10 \times 2}{90} \approx 2.9 \right)$$

參 考 文 獻

- (1) J. Fetchko: "Methods of Estimating Investment Costs of Ships" *Univ. of Michigan* No. 079, June, 1968.
- (2) (3) R.A. Stearn: "Great Lakes Barge Operation-A Review" *Marine Technology* Vol. 2, No. 1-Jan., 1965,
- (4) Roger P. Johnson: Henry P. Rumble: "Weights Cost and Design Characteristics of Tankers and Dry-Cargo Ships" *Marine Technology* Vol. 1.2, No.2, Apr., 1965.
- (5) H. Benford: "Ocean Ore-Carrier Economics and Preliminary Design", *SNAME* Nov., 1958.
- (6) Masaharu Sawa: "Economics of Push Towing Conducted for the Yawata-Hikari Barge Line", *SNAME* June, 1967.
- (7) J.L. Foley: "Barges in Ocean Service", *SNAME* May, 1965.
- (8) L.R. Glostien, J. S. Heyrman: "Offshore Barge Transportation on the Pacific Coast", *SNAME* Nov., 1965.
- (9) G.L. Grunthamer: "Commercial Transportation on the Inland Waterways", *SNAME* June, 1962
- (10) J.L. Moss: "Hydrodynamic Performance of Large Seagoing Barges", *Univ. of Michigan*, Sep., 1967.
- (11) "The Integrated Tug-Barge: Alternative to the Conventional Ship?", *Surveyor-A.B.S.* Feb., 1973.
- (12) 金喆俊: "Pusher 海上輸送方式-Barge Line System 의 現況" 船級 6 卷 1 號, 1973.