

## 경인운하용 바야지시스템의 수송효율에 관한 연구

이재욱\*, 김영훈\*\*

### On the Transportation Efficiency of Barge System in Kyongin Canal

J.W. Lee\* and Y.H. Kim\*\*

#### 요 약

현재, 유럽에서 중요한 역할을 담당하고 있는 수송모델로서 바다와 강을 연계한 Sea-river 수송모델은 황해권 지역에서의 국내·외 화물수송과 여객수송에 있어 장래에 매우 중요한 역할을 할 것이다. 본 연구에서는 육상수송에 따른 국내 교통 혼잡문제와 극동아시아 국가의 화물량 증대로 인한 물류 문제의 개선을 위해 경인운하의 운항조건에 적합한 sea-river 연계 바야지선단의 수송모델을 제안한다. 즉, 본 연구에서는 경인운하의 형상과 크기 등의 제한조건 등을 고려하여 바야지선단의 수송효율 측면의 경제성을 바탕으로 경인운하를 이용한 황해권의 sea-river 연계 수송모델로서 효율적인 바야지선단 구성의 표준화를 제시하고자 한다.

#### Abstract

Recently, the coastal transportation of the Yellow Sea is increasing due to the vastly expanding trade among countries surrounding the Yellow Sea. As the 50 percentages of the total domestic container transportation are concentrated on the National Capital region, the traffic congestion in the key land transportation routes brings about the weakening of the global competitiveness. In this study, the efficient barge systems for sea-river shipping of the Han-river, the Kyongin canal and coastal ways of the Yellow Sea are considered based on the criterion of canal and cargo volumes. To find the efficient barge system of the model barge in the Kyongin canal, the transport efficiency factor and transport ability of each barge system with the variation of sailing speed and length are calculated.

---

접수일자: 2000년 8월 18일, 승인일자: 2000년 12월 7일

\* 정희원, 인하대학교 선박해양공학과 교수(E-mail:leejwook@inha.ac.kr)

\*\*정희원, 목포대학교 선박해양공학과 계약교수(E-mail:younghun@apollo.mokpo.ac.kr)

1. 서 론

최근 국내 경제규모의 확대로 연안운송이 증가하고 있으며, 특히 황해권의 주변국과의 무역규모도 급증하고 있다. 그러나 국내 수출입 컨테이너 화물중 50%가량이 수도권이나 부산에서 수도권 육상운송시 도로정체에 따른 물류비용의 증가로 국제경쟁력을 약화시키는 요인으로 작용하고 있다. 이에 정부에서는 수도권 물류체제를 개선하기 위해 경인운하의 건설을 추진하고 있다.

이에 본 연구에서는 경인운하 건설계획시 선정된 미국 표준바야지를 대상으로 경인운하에서의 효율적인 바야지 시스템에 대하여 알아보기 위하여 바야지 시스템 구성에 대한 운항속도, 운항거리에 따른 수송효율과 수송능력을 비교, 검토하였다.

2. 경인운하 운항시 고려요인

경인운하는 부산지역에서 수도권지역으로 운송되는 각종 화물을 서해안을 경유하여 수도권까지 직접 수송하며, 장래 남한강까지 연결하여 물류비용을 절감하고자 계획된 운하이다. 경인운하를 통해 운송될 주요 화물로는 컨테이너화물, 철광석류, 해사, 시멘트 및 자동차로 이들 화물의 운송을 위해 컨테이너선, 바야지선, 자동차운반선 등이 운항하도록 계획하고 있다.

향후 수도권 화물수송의 주요 통로 역할을 하게 될 경인운하는 운항 선박의 크기와 운항조건의 제한으로 운송규모에 대해 제한요소로 작용하게 된다. 즉, 경인운하의 기하학적 형상과 크기는 운항 선박의 크기에 영향을 줄 것이며, 또한 기후조건을 비롯한 환경적 요인들도 선박의 운항시간에 제한요소로 작용하여 결국 운송물동량 규모에 대해 영향을 미칠 것이므로 이들에 대한 충분한 고려가 있어야 할 것이다. 이들 운항 선박에 대한 경인운하의 제한요소를 구체적으로 알아보면 다음과 같다.

2.1 기하학적 형상에 따른 고려요인

경인운하를 운항하는 선박 설계시 선박의 크기는 운하의 기하학적 크기에 의해 선형적으로 제한을 받게될 것이다. 약 19.1km에 달하는 경인운하의 폭은 100m이고 수심은 6m이다. 서해측과 한강측에 각각 3기와 2기씩 설치하는 갑문의 크기에 의해서도 선박의크기가 제한된다.

서해측과 서울측의 갑문크기는 길이×폭 이 각각 225×26, 225×18(m)이다. 경인운하에는 선박의 접안, 하역시설 뿐만 아니라 화물의 보관 처리 등을 위한 물류시설기능을 하는 서울터미널과 인천터미널이 건설된다. 이들 터미널의 접안길이는, 서울터미널이 컨테이너부두 650m, 철재부두 350m, 자동차부두 300m이고 인천터미널은 컨테이너부두 800m, 철재부두 600m로 할 계획이다.

기존의 인천-부산간 운항하는 컨테이너선의 크기를 기준으로 볼 때, 경인운하의 운항 가능한

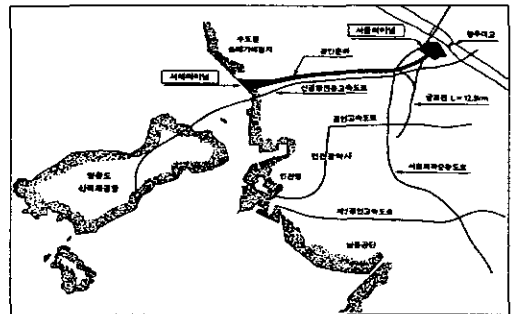


Fig. 1 Kyongin canal under planning

Table 1 Size of sluice (Yellow Sea side)

|       | 문비의 폭과 높이( B×H) |             | 갑실의 길이 |
|-------|-----------------|-------------|--------|
|       | 서해측             | 주운 수로측      |        |
| No. 1 | 26m × 18m       | 26m × 14.8m | 225m   |
| No. 2 | 18m × 18m       | 18m × 14.8m | 225m   |

Table 2 Size of sluice (Han-River side)

|       | 문비의 폭과 높이( B×H) |             | 갑실의 길이 |
|-------|-----------------|-------------|--------|
|       | 주운 수로측          | 한강측         |        |
| No. 1 | 18m × 8.6m      | 18m × 13.3m | 225m   |

최대선형은  $L \times B \times D=82.2 \times 14.8 \times 5.9(m)$ 로 약 140TEU의 컨테이너를 적재 운송하는 것으로 하고 있다. 바이지선의 경우는 open hopper type의 미국 표준 바이지선  $L \times B \times d = 53.3 \times 27.1 \times 2.7(m)$ 를 기준으로 최대 3행 3열의 바이지선단을 계획하고 있다.

한편, 경인운하의 설계시 경인운하 내에서의 선박의 선회에 대한 고려가 미흡한 것으로 판단되므로 운하내의 일정지역에 선회용 수로시스템을 건설하든가 일부 운하 폭을 확장하는 등의 선회에 대한 방안이 강구되어야 할 것으로 보인다.

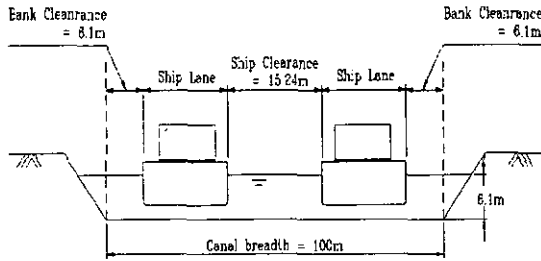


Fig. 2 Section dimension of Kyongin canal

2.2 운항에 따른 고려요인

경인운하의 운항 가능일수는 연간 324일 정도 된다. 과거의 통계를 기준으로 할 때, 안개와 결빙으로 인해 33일, 태풍주의보 및 경보로 2일간 운항이 불가능하고, 한강 또는 굴포천 홍수로 인해 6일 정도 운항이 불가능하다. 또한 경인운하의 설계시 선박의 운항속도는 대체로 선박교차시 4노트, 단독운항시 6~7노트 정도로 유지할 때 적정 하도록 하였는데, 이 때 선박과 선박간의 최소간격은 15.24m, 제방과 선박간의 최소간격은 6.1m로 유지하여야 천수운항시 발생할 수 있는 천수효과, 위벽효과(bank effect)를 피할 수 있도록 하고 있다. 예인선을 이용한 갑문의 통과시간은 약 35분 정도된다.

한편, 경인운하를 이용해 운송될 물량은 Table 3와 같이 2021년의 연간 컨테이너 수송량은 약 92만 8천TEU으로 1일당 약 2,870TEU의 컨테이너가 이송된다.

Table 3 Expected volume of Kyongin canal cargoes (unit : 1000t, 1,000TEU)

| 품목   | 2001           | 2006           | 2011           | 2021            |
|------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 해사   | 6,126          | 10,870         | 18,150         | 22,900          |
| 컨테이너 | 4,276<br>(256) | 6,188<br>(350) | 9,200<br>(555) | 15,479<br>(928) |
| 철강제품 | 3,375          | 3,983          | 4,700          | 7,267           |
| 시멘트  | 147            | 216            | 350            | 690             |
| 합계   | 13,918         | 21,257         | 32,400         | 46,542          |

자료: 해운산업연구원(1995), "수도권 수송체계 개선을 위한 경인운하 건설방안".

주: 단계별 건설계획에 따른 갑문 등의 처리능력을 고려하여 처리량 산정

3. 바이지 시스템의 수송효율과 수송 능력

3.1 기본개념의 수식화

경인운하를 이용한 내륙수운과 연안용 컨테이너 수송에 바이지 시스템의 이용이 가능하다. 일반적으로 바이지 선단은 자항선에 비해 건조비용과 제반운용비용면에서 유리하기 때문에 연안용 중단거리 수송수단으로 많이 활용되는 추세를 보이고 있다. 그러므로 운항조건, 운송화물의 종류 등에 따라 운송물량규모, 운항속도, 총운송시간 등이 고려되어 바이지 선단의 운용시 수송능력을 극대화 하고 수송효율성을 높일 수 있도록 바이지 시스템을 구성하여 운항해야 할 것이다.

일반적으로 바이지 시스템의 수송규모  $T_v$ 는 바이지 시스템의 적재화물량과 이 적재화물량을 수송하는 바이지 시스템의 운항속도에 따라 결정된다. 즉 다량의 화물을 고속으로 운송하는 것이 수송규모면에서 유리하다고 할 수 있다. 그러므로 수송규모  $T_v$ 는,

$$T_v = M_p \times V_v \quad (\text{ton} \cdot \text{km/h}) \quad (1)$$

여기서,

$T_v$ : 바이지시스템의 수송능력 (ton · km/h)

$M_p$ : 바이지시스템의 적재하중(ton)

$V_v$ : 바이지시스템의 운항속도 (km/h)

다량의 화물을 수송하기 위해서는 바아지 시스템(선단)이 커져야 하는데, 바아지의 크기는 앞서 지적했듯이 경인운하의 갑문크기, 수로폭, 깊이 등에 의해 제한을 받게 될 것이다. 크기가 제한된 바아지를 이용하여 많은 화물을 운송하기 위해서는 적절한 선단을 구성하여 항차당 많은 화물을 수송하는 것이 유리하다. 그러나 바아지 시스템을 구성하여 운항을 하기 위해서는 바아지의 연결 등 운항을 위한 사전적 준비시간이 필요하게 된다. 즉, 바아지 시스템이 화물 수송에 투여하는 총 투입시간은 바아지 시스템의 실제 운항시간과 바아지, 예인선 등의 운용관리 및 연결시간 등으로 이들의 소요시간을 모두 고려해야 한다. 그러므로 이러한 시간적 개념만을 고려한 바아지 시스템의 수송능력의 효율성은 화물수송의 총투입시간 중에서 실제 화물운송의 시간비율을 높이고 그외 시간을 줄여야 높아지게 된다.

바아지선단의 수송효율성

$$= \frac{\text{실제 화물수송시간}}{\text{화물수송에 대한 총투입시간}}$$

여기서 실제 화물운송시간을 제외한 바아지선단의 운용 관리시간에는 pusher의 단독 운항시간으로 실제 바아지 운송에 관련이 없는 시간과 pusher와 바아지의 연결시간, 바아지들 간의 연결시간 등이 포함된다. 이에 따라 수송효율성을 나타내는 수송효율계수(Transport efficiency factor) F는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F = \frac{t_v}{t_n} = \frac{t_v}{t_v + t_a + t_r} \quad (2)$$

여기서,  $t_n$  = 화물수송의 총투입시간

$$= t_v + t_a + t_r$$

$t_v$  : 바아지선단의 운항시간

$t_a$  : pusher의 단독운항시간으로 채선, 계류 및 유지관리에 필요한 시간

$t_r$  : pusher와 바아지의 연결시간과 바아지들의 연결시간

또한  $t_r = \frac{L_r}{V_r}$ ,  $t_a = \frac{L_a}{V_a}$  이므로

$$F = \frac{1}{1 + \left( \frac{L_a}{V_a} + t_r \right) \frac{V_r}{L_r}} \quad (3)$$

여기서  $L_r$  : 바아지선단의 운항거리 (km)

$L_a$  : pusher의 단독 운항거리 (km)

$V_a$  : pusher의 속도(km/h)

그러므로 수송효율성을 고려한 바아지 선단의 실제적인 수송능력  $T(\text{ton} \cdot \text{km}/\text{h})$ 는,

$$T = T_v \cdot F = M_p \cdot V_r \left( \frac{1}{1 + t_u \frac{V_r}{L_r}} \right) \quad (4)$$

여기서  $t_u$ 는 바아지 운송에 따른 pusher와 바아지의 연결시간, 바아지간의 연결시간 등 실제 운항 이전에 필요한 사전 준비시간이다. 상기 식들에서 보면, 수송효율은 바아지 선단의 운송속도  $V_r$ , 운항거리  $L_r$  및 바아지 연결시간  $t_u$ 에 의해 결정되는데, 수송효율은  $t_u$ 와  $V_r$ 가 증가할수록 감소하는 경향을 보이는 반면,  $L_r$ 가 증가할수록 수송효율은 증가하는 경향을 보인다.

바아지선의 연결시간은 수송효율을 높이는데 반비례적으로 작용하므로 적절한 연결시스템의 선택을 통해 연결시간을 줄일 수 있도록 해야 할 것이다. 일반적으로 바아지선의 연결시간은 pusher (또는 tug)와 바아지의 연결시간, 바아지 선단 구성에 따른 바아지 수에 의해서 결정될 것이다. 즉 바아지의 수가 증가 할수록 바아지들의 연결시간도 증가하는데 바아지 연결시스템, 연결방법 여하에 따라 그 증가 정도에 차이가 있을 것이다. 예를 들면, Fig. 3에서 보는 바와 같이 바아지의 연결시간이 바아지 수의 증가에 따라 선형적으로 증가하는 경우 (a)로,

$$t_u = a + bk \quad (5)$$

여기서,  $a, b$  : 연결시스템 방식에 따라 결정되는 상수  
 $k$  : 바이지수

상기 식은 바이지 한 척당 연결 시간을 모든 바이지에 동일하게 적용하는 경우이다. 이와 달리  $t_u$ 가 상기의 1차함수 형태가 아니고 고차함수 형태로 나타나는 시간 개념으로, 바이지 수의 증가에 따라 비선형적으로 증가하는 경우(b)를 고려할 수 있다. 이 경우는 연결해야 할 바이지의 수가 많을 때 바이지간의 연결을 동시에 행함으로써 바이지당 연결시간을 줄일 수 있는 효과를 고려한 개념이라 할 수 있다.

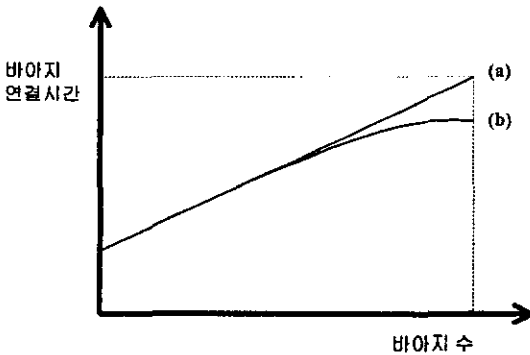


Fig. 3 Relation between the number of barges and barge connection time

한편, 바이지 시스템의 수송능력  $T$  는 적재화물량  $M_p$ , 운항속도  $V_v$ , 수송효율계수  $F$  에 의해서 결정된다. 수송능력은 적재화물량  $M_p$ , 운항속도  $V_v$  에 비례하여 증가하지만 이를 위해 소요마력이 보다 큰 pusher의 사용이 요구된다. 즉, 수송능력을 높이기 위해서는 고마력의 pusher가 필요한데 원가개념 측면에서 보면, 이는 pusher 건조비의 상승으로 인해 초기 원가부담이 증가하고 또한 운항속도 증가에 따른 연료비용의 증가로 인해 운항비용도 증가해 수송능력이 높다고 할 수 없다. 말하자면 적절한 소요마력 하에서 적정의 운항속도를 유지하면서 수송능력을 높이는 것이 필요하다.

이러한 개념 하에서 볼 때, 수송능력  $T$  는 원가개념이 적용되는 소요마력당 수송능력으로 평가해 보아야 실질적인 수송능력의 평가가 이루어진다. 결국 바이지 시스템은 수송효율면과 소요마력당 수송능력면에서 유리할 때 실질적으로 수송능력이 높다고 할 수 있다.

한편, 소요마력은 전저항과 운항속도로 표현된다. 즉,

$$P_E = R_T \times V \tag{6}$$

여기서,  $P_E$  : 유효마력(kw)

$R_T$  : 전저항(ton)

$V$  : 운항속도(m/sec)

그러므로 소요마력당 수송능력은,

$$\frac{T}{P_E} = \frac{M_P \cdot V \cdot F}{R_T \cdot V} = \frac{M_P \cdot F}{R_T} \tag{7}$$

이때 수송능력  $T$  와  $P_E$  의 단위는 [질량]/[시간]<sup>2</sup> 으로 같기 때문에 소요마력당 수송능력  $T/P_E$  는 무차원화된 계수가 된다.

### 3.2 수송효율과 수송능력의 계산

#### 3.2.1 가정과 계산범위

우선 경인운하용 바이지로 경인운하 계획시 선정된 U.S. standard barge를 기준으로 하여 1항차에 대해 바이지 수, 운항속도, 바이지 연결시간에 따른 수송효율을 비교, 계산하였다. U.S. standard barge의 크기는  $L \times B \times D = 53.3 \times 7.9 \times 2.7$ (m)로 적재하중은 약 900ton이다. 동선형의 바이지를 선단으로 형성하는 경우, 경인운하의 갑문 통과를 위해서는 최대 3행 3열의 바이지 선단 구성이 가능하다. 즉, 최대 바이지 선단은  $L = 53.3 \times 3 = 159.9$ (m),  $B = 7.9 \times 3 = 23.7$ (m)이며, 최대 적재하중은 8,100ton이 된다.

다. 그러므로 본 연구에서의 적재하중을 900ton~8,100ton까지 바이지선을 1척에서 9척까지 선단을 구성하는 경우에 대하여 수송효율과 수송능력을 비교 분석하였다.

바이지 선단의 운항거리는 경인운하의 거리인 19.1km를 기준하여 향후 바이지 선단의 운항 가능한 거리를 중심으로 선택하였다. 즉  $L_p = 19.1\text{km}, 38\text{km}, 380\text{km}, 530\text{km}$ (인천~대련),  $610\text{km}$ (인천~청도),  $770\text{km}$ (인천~부산),  $940\text{km}$ (인천~상해)에 대하여 계산을 수행하였다. 바이지의 운항속도는 경인운하 내에서의 운항을 고려하여 4~9knot 구간으로 계산하였다. 바이지 간의 연결시간은, 바이지 간의 연결시간이 바이지의 수  $k$ 에 선형적으로 증가하는 경우  $(t_u)_a$ 와 비선형적으로 증가하는 경우  $(t_u)_b$ 에 대하여 다음과 같이 가정하여 계산을 수행하였다. 바이지 한척이 pusher와 연결하는 시간은 30분으로 가정하였다.

한편, U.S. standard barge의 소요마력당 수송능력  $T/P_E$ 를 알아보기 위해서는 앞 식에서 보듯이 U.S. standard barge의 전저항  $R_T$ 를 알아야 하는데, 관련자료가 없으므로 유사 선형의 바이지 자료를 토대로 추정하였다. 본 연구에서는 Europa IIa 바이지 시스템의 운항속도별 배수량당 전저항 관계자료를 활용하였다. 다음과 같은 과정을 통해 연구대상 바이지(U.S. standard barge)의 배수량 대비 전저항을 상사법칙에 의해 구하였다. 먼저 대상 바이지의 전저항과 배수량을 각각  $R_{T1}, \Delta_1$ 이라고 하고 Europa IIa의 전저항과 배수량을 각각  $R_{T2}, \Delta_2$ 이라고 할 때, 상사법칙에 의해서 다음과 같이 된다. 두 바이지의 기하학적 형상은 거의 유사하며, 속장비는 동일하다고 가정한다.

$$\left(\frac{R_{T2}}{R_{T1}}\right) = \left(\frac{\Delta_2}{\Delta_1}\right)^3, \quad \left(\frac{R_{T1}}{\Delta_1}\right) = \left(\frac{R_{T2}}{\Delta_2}\right) \quad (8)$$

그러므로 소요마력당 수송능력은,

$$\begin{aligned} \frac{T}{P_E} &= \frac{M_P}{R_{T1}} \cdot F \\ &= \frac{M_P}{\left(\frac{R_{T1}}{\Delta_1}\right) \cdot \Delta_1} \cdot F \\ &= \frac{M_P}{\left(\frac{R_{T2}}{\Delta_2}\right) \cdot \Delta_1} \cdot F \end{aligned} \quad (9)$$

Table 4 Barge connection time according to the number of barges

| $k$ | $(t_u)_a$ | $(t_u)_b$ |
|-----|-----------|-----------|
| 1   | 0.5       | 0.5       |
| 2   | 0.6667    | 0.6667    |
| 3   | 0.83333   | 0.8333    |
| 4   | 1.0000    | 0.9167    |
| 5   | 1.1667    | 1.0000    |
| 6   | 1.3333    | 1.0833    |
| 7   | 1.5000    | 1.1333    |
| 8   | 1.6667    | 1.1833    |
| 9   | 1.8333    | 1.2167    |

Table 5 Principal dimension Europa IIa

| 길이<br>L(m) | 폭<br>B(m) | 흘수<br>T(m) | 바이지중량<br>(ton) | 적재중량<br>(ton) |
|------------|-----------|------------|----------------|---------------|
| 76.5       | 11.4      | 3.7        | 400            | 2,565         |

Table 6 The total resistance per displacement according to the velocity and number of barges

| V(km/h) | $R_T / \Delta \text{ (N/m}^3\text{)}$ |         |         |
|---------|---------------------------------------|---------|---------|
|         | $k = 2$                               | $k = 4$ | $k = 6$ |
| 7.412   | 5.625                                 | 6.875   | 8.125   |
| 9.265   | 8.281                                 | 11.094  | 13.750  |
| 11.118  | 11.875                                | 16.563  | 22.969  |
| 12.971  | 17.031                                | 24.531  | 37.816  |
| 14.824  | 24.462                                | 38.906  |         |

자료 : Heuser, H.H.(1988), "Weiterentwicklung bei Formwahl und Linienentwurf von Binnengutschiffen", "Jahrbuch der Schiffbantechnischen Gesellschaft", 82.Band

3.3 계산결과와 해석

3.3.1 운항속도와 수송효율의 관계

경인운하와 같이 짧은 운하에서는 바이지 선대별 수송효율이 Fig. 4~5에서 보는 계산 결과와 같이 운항속도가 증가할수록 감소하고 있다. 이러한 수송효율의 감소 경향은 바이지 선단이 클수록 커지는 경향을 보이는데, 이는 연결해야 할 바이지 수가 증가할수록 바이지 간의 연결시간이 증가하기 때문이다.

그러므로 수송효율을 향상시키기 위해서는 연결시간을 줄이도록 해야 할 것이다. 이는 바이지수

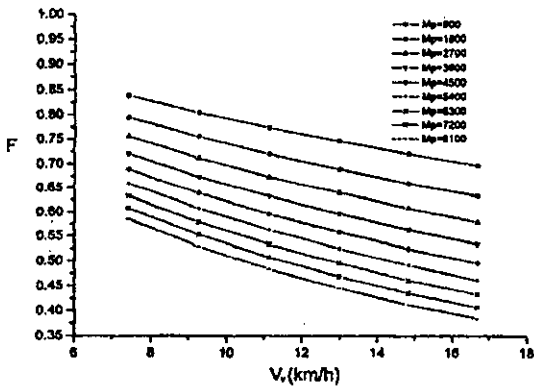


Fig. 4 Transport efficiency F and velocity  $V_v$  at  $t_u=(t_u)_a$ ,  $L_v=19.1km$

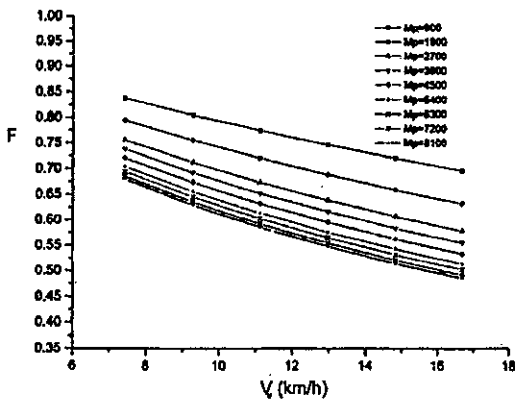


Fig. 5 Transport efficiency F and velocity  $V_v$  at  $t_u=(t_u)_b$ ,  $L_v=19.1km$

$k=6$  이상일 때  $t_u$ 가 선형적으로 증가하는 형태인  $(t_u)_a$ 일 때 보다 비선형적으로 증가하는 형태인  $(t_u)_b$  일 때 수송효율의 감소 경향이 둔화되는 것으로 보아 알 수 있다. 예를 들면,  $k=9$ 일 때 운항속도  $V_v=16.677 km/h$ 에서  $t_u=(t_u)_a$  일 때는  $F=0.3845$ 이나  $t_u=(t_u)_b$  일 때는  $F=0.4849$ 로 수송효율이 약 26%가량 높게 나타나고 있다.

3.3.2 운항거리와 수송효율의 관계

운항거리에 따른 수송효율의 변화를 알아보기 위해 바이지 선대의 구성에 따라 중국 및 부산까지의 바이지 운송을 전제로 바이지 시스템의 운항거리를 변화시키면서 수송효율을 계산하였다. 우선 동일한 운항속도 하에서 운항거리가 길어질수록 수송효율이 증가하는 경향을 보이고 있다. 특히 바이지 시스템이 커질수록 수송효율의 증가효과가 뚜렷하게 나타나고 있다(Fig. 6참조).

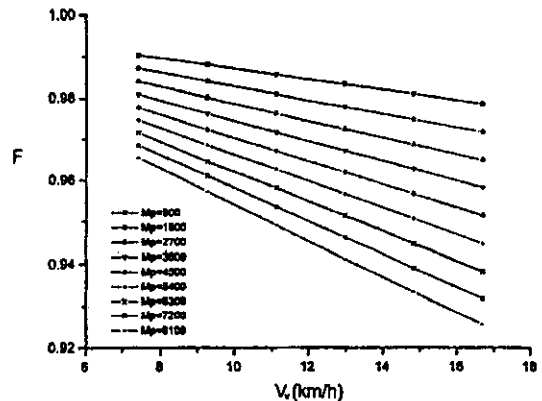


Fig. 6 Transport efficiency F and velocity  $V_v$  at  $t_u=(t_u)_a$ ,  $L_v=380km$

Table 7 에서 보는 바와 같이  $V_v=9.265 km/h$ 일 때 운항거리가 19.1km에서 770km로 증가시 바이지 한 척이 운항하는 경우인  $k=1$ 일 때는 수송효율이 23.5% 증가하지만 바이지 9척이 운항하는 경우인  $k=9$  일 때는 수송효율이 56.7% 증가하였다. 이는 운항거리가 증가하면 실제 운항시간이 길어져 총운항시간대비 바이지의

**Table 7** Transport efficiency according to the transport distance and number of barges at  $V_r=9.265$  km/h

|       | 19.1km | 38.0km | 380km  | 530km  | 610km  | 770km  |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| k = 1 | 0.8048 | 0.8913 | 0.9880 | 0.9913 | 0.9925 | 0.9940 |
| k = 2 | 0.7556 | 0.8602 | 0.9840 | 0.9885 | 0.9900 | 0.9920 |
| k = 3 | 0.7121 | 0.8311 | 0.9801 | 0.9856 | 0.9875 | 0.9901 |
| k = 4 | 0.6922 | 0.8173 | 0.9781 | 0.9842 | 0.9863 | 0.9891 |
| k = 5 | 0.6734 | 0.8040 | 0.9762 | 0.9828 | 0.9850 | 0.9881 |
| k = 6 | 0.6555 | 0.7911 | 0.9743 | 0.9814 | 0.9838 | 0.9871 |
| k = 7 | 0.6453 | 0.7835 | 0.9731 | 0.9806 | 0.9831 | 0.9865 |
| k = 8 | 0.6353 | 0.7761 | 0.9720 | 0.9797 | 0.9823 | 0.9860 |
| k = 9 | 0.6289 | 0.7712 | 0.9712 | 0.9792 | 0.9819 | 0.9856 |

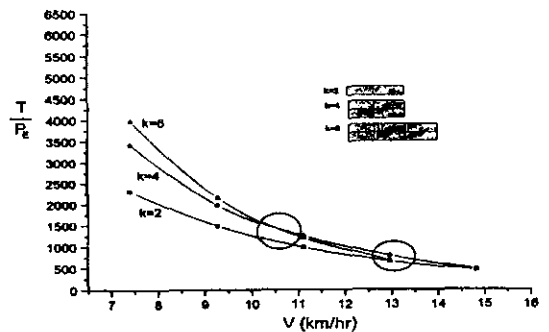
연결시간 비중이 상대적으로 감소하여 수송효율에 미치는 영향이 점차 감소하는 반면 운항거리의 영향이 커지기 때문이다.

또한 운항속도가 커질수록 바이지시스템이 큰 경우에 운항거리 증가에 따른 수송효율의 증가효과가 더욱 커지고 있다.  $V_v = 16,677$  km/h 일 때 운항거리가 19.1km에서 770km로 증가시  $k=1$  일 때 수송효율은 42% 증가하지만  $k=9$  일 때 수송효율은 200% 정도 증가한다. 결국 운항거리가 짧은 경우에는 선형이 큰 바이지를 이용해 수송능력을 향상시키며, 저속으로 운항하여 적절한 수송효율을 유지하는 것이 효과적이다.

### 3.3.3 운항속도와 수송능력의 관계

경인운하에서 소요마력당 수송능력은 바이지 선대의 크기에 관계없이 운항속도 증가에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다(Fig. 7 참조).

이는 수송능력이 운항속도 자체의 증가로 인한 수송능력의 증가효과 보다 운항속도 증가에 따른 전저항의 증가가 더 급격히 이루어져 결국 전체적인 수송능력을 감소시키는 효과로 작용하고 있기 때문이다. 동일한 운항속도 하에서는 전반적으로 바이지 선대규모가 커짐에 따라 소요마력당 수송능력도 증가하는 경향을 보이고 있으나, 바이지 선대 규모에 따라 어느 임계운항속도에서 바이지 선대규모가 작은 쪽 보다 오히려 소요마력당 수송능력이 감소하는 경우가 발생하게 된다. 바이지수가 Table 9에서 보는 바와 같이  $k=4$ ,  $k=6$ 일



**Fig. 7** Transport capacity and velocity of barges at  $t_u=(t_u)_a$ ,  $L_v=19.1$ km

때를 비교해 보면, 운항속도  $V_v=11.118$ km/h (6knot) 이후에  $k=6$  일 때의 소요마력당 수송능력이  $k=4$  일 때 보다 낮게 나타나고 있다. 실제 이러한 경향을 그림 에서 보면 약 10.5km/h 정도부터  $k=4$ 일 때의 수송능력이  $k=6$  일 때 보다 크게 나타나고 있다. 이러한 경향성을 감안하여 운항속도를 연장하면, 어느 운항속도 이상에는  $k=6$ 일 때가  $k=2$ 일 때 보다 소요마력당 수송능력이 떨어지며, 또한 이러한 경향은  $k=2$ ,  $k=4$  일 때도 적용될 것으로 보인다.

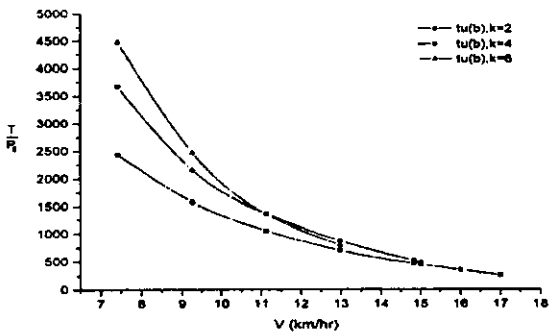
### 3.3.4 운항거리와 수송능력의 관계

소요마력당 수송능력은 동일한 바이지 선대의 동일한 운항속도에서 운항거리가 길어질수록 증가하고 있다(Fig. 8~9참조). 운항거리가 19.1km 일 때는 임계운항속도가 10.5km/h 정도에서 발

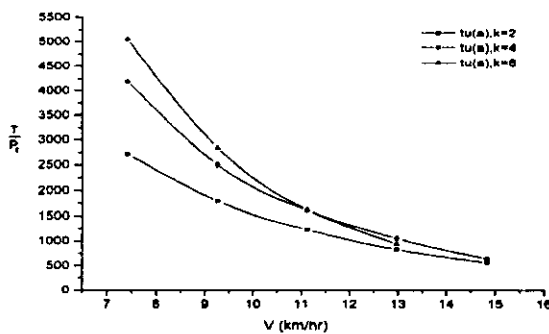


**Table 8** Transport capacity per one HP according to the transport distance, velocity and the number of barges

| L(km) | V(km/h) | 7.412 | 9.265 | 11.118 | 12.971 | 14.824 |
|-------|---------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 19.1  | k=2     | 2436  | 1573  | 1046   | 697    | 465    |
|       | k=4     | 3614  | 2093  | 1316   | 837    | 499    |
|       | k=6     | 4196  | 2285  | 1268   | 718    |        |
| 38    | k=2     | 2713  | 1791  | 1219   | 825    | 559    |
|       | k=4     | 4198  | 2499  | 1611   | 1048   | 638    |
|       | k=6     | 5053  | 2839  | 1620   | 940    |        |
| 380   | k=2     | 3026  | 2049  | 1424   | 990    | 687    |
|       | k=4     | 4920  | 3035  | 2023   | 1359   | 853    |
|       | k=6     | 6206  | 3644  | 2168   | 1308   |        |



**Fig. 8** Transport capacity and velocity of barges at  $t_u=(t_u)_b$ ,  $L_v=19.1km$

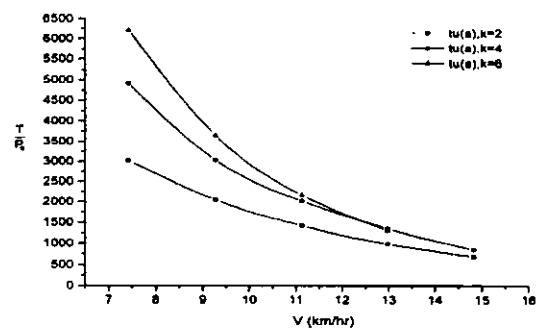


**Fig. 9** Transport capacity and velocity of barges at  $t_u=(t_u)_a$ ,  $L_v=38km$

생하였으나 운항거리가 38km, 380km로 증가할 때는  $V_v=12.971km/h(7knot)$ 에서  $k=4$ 일 때  $k=6$ 일 때 보다 소요마력당 수송능력이 증가하고 있다. Fig.9와 Fig.10에서 보면 임계운항속도가 11.3km/h, 12.3km/h로 이동하고 있으므로 결국 운항거리가 증가할수록 이러한 임계속도 위치가 점차 높은 운항속도 쪽으로 이동하고 있음

을 알 수 있다. 그러므로 수송능력은 적재물량이 많고 운항속도가 높을 때 커지나 바이지 시스템의 연결시간을 감안한 시간개념적 수송효율과 바이지 선대크기 증가와 운항속도 증가에 따른 전저항의 증가로 인해 소요마력당 수송능력은, 바이지 선대 크기(적재물량의 크기)가 작을 때 오히려 높게 나타나는 임계운항속도가 존재하므로 바이지 선대별로 그러한 임계속도 이상의 운항은 수송효율과 수송능력면에서 불리하므로 피하는 것이 좋다.

한편, 바이지 연결시간 변화에 따른 소요마력당 수송능력을 보면 연결시간이 작은 경우인  $t_u=(t_u)_b$ 일 때  $t_u=(t_u)_a$ 일 때 보다 크게 나타나고 있으며, 바이지 선대의 크기가 클 때 그러한 경향은 더욱 두드러져 동일한 운항거리에 대해 운항속도 증가에 따른 바이지 수에 대한 임계 운항속도는 더욱 높은 운항속도 쪽으로 이동하게 된다 <Fig. 10 참조>.



**Fig. 10** Transport capacity and velocity of barges at  $t_u=(t_u)_a$ ,  $L_v=380km$

4. 결 론

- 바이지시스템의 수송효율은 동일한 화물 적재 시 운항속도 증가에 따라 감소하고, 동일한 운항 속도시 바이지 선대가 커져 화물적재량이 증가할 수록 감소하는 경향을 보이는데, 이러한 경향은 운항거리가 길어질수록 줄어들게 된다. 즉, 경인 운하와 같이 짧은 운하에서는 총운항소요시간대비 바이지 연결시간의 비중이 높아 긴 운하에 비해 수송효율에 큰 영향을 주게 된다.

- 바이지시스템의 수송능력으로는 운항속도, 적재량 및 소요마력 등이 고려된 원가개념적 소요마력당 수송능력 뿐만 아니라 바이지 연결시간 등 시간개념적 수송효율면도 동시에 고려되어야 한다.

- 소요마력당 수송능력은 동일한 운항속도시 바이지시스템의 규모가 클수록 운항거리가 길수록 커지나, 바이지시스템이 커지면 전저항의 증가율이 운항속도 증가에 따라 급격히 증가하여 오히려 소요마력당 수송능력이 떨어지는 임계운항속도가 존재하므로 이 임계속도 이상에서는 오히려 바이지시스템의 크기를 줄여 운항하는 것이 유리하다.

- 900톤급 미국 표준바이지를 경인운하에서 운항하는 경우, 수송효율과 소요마력당 수송능력은 운항속도 10.5km/h 이상에서 2행 2열의 바이지시스템이 2행 3열의 바이지시스템 보다 유리하다.

후 기

본 연구는 학술진흥재단의 인하대학교 부설 연구소 지원연구비(95-005-E0070)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 해운산업연구원 1995 "수도권 수송체계 개선 위한 경인운하 건설방안"
- Criqui, G. 1994.9. "The design and construction of new push boats"
- Giblon, R.P., & Tapscott,R.J. 1993 "Design and Economics of Integrated Tug-Barge System",Maritime Technology, Vol.10
- Heuser, H.H. 1988 "Weiterentwicklung bei Formwahl und Linienentwurf von Binnenguterschiffen", 「Jahrbuch der Schiffbantechnischen Gesellschaft」,82. Band,
- Masilge,C. 1994.9. "Inshore ship production",



<이재욱>



<김영훈>