

# 인천항 기능 재배치에 따른 갑문의 대기 시뮬레이션 연구

† 구 자 윤\*

\* 한국해양수산연수원 교수

## A Study on the Queueing Simulation of Lock Gates according to the Functional Rearrangement in Incheon Port

† Ja-Yun Koo\*

\* Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 608-080, Korea

**요 약** : 인천항에서는 인천대교 건설을 계기로 남외항 건설을 추진함과 더불어 인천 내항 등의 기능 재배치가 추진되고 있다. 본 논문은 기능 재배치 계획에 따라 2011년과 2015년의 해상교통량을 추정하고, 내항의 갑문 운용에 따른 선박의 대기시간을 항만운용 시뮬레이션에 의하여 분석하여 내항에 기항하는 선박들의 체선·체화비용을 산정·분석하고자 하였으며, 최종적으로 2011년부터 2015년까지 내항에 기항하던 컨테이너선들의 남항/남외항으로의 이전에 따른 경제적 효과를 평가하고자 한다. 주요한 연구결과는 다음과 같다. (1) 갑문 이용율이 약 7~8%p 낮아졌다. (2) 갑문 대기시간 및 체선·체화비용이 약 25%p 절감되는 효과가 나타났다. (3) 갑문 이용료와 선석 이전에 따른 항로 단축 편익 등을 제외하고 갑문 운용에 따라 발생하는 체선·체화비용은 연간 약 8억원의 절감효과가 있었다.

**핵심용어** : 대기행렬이론, 체선비용, 체화비용, SLAM 시뮬레이션 언어, 통항 우선권, 평균 운영수준

**Abstract** : Due to the construction of Incheon Grand Bridge, there is driven a necessity for rearranging the function of Inner Port with the development of Outer South Port. In this paper, I'd like to simulate the port operation levels of Lock Gate in Inner Port with estimating the traffic volumes of 2011 and 2015, which will reveal the Demurrage Cost and the Accumulation Cost of Freight in Inner Port. Finally I will evaluate the economic movement effects of the container ship's calling from Inner port to South Port/Outer South Port from 2011 to 2015. The results are as followings ; (1) The average utilization of Lock Gates are reduced by 7~8 percentage point. (2) The mean queueing value are saved by 25 percentage point. (3) The Demurrage Cost and the Accumulation Cost of Freight except Lock Gate charges and the Benefit of Routeing Reduction are saved about 800 million Won annually.

**Key words** : The queueing theory, The demurrage cost, The accumulation cost of freight, Simulation language for alternative modelling, Transit priority, Average operational utilization level

## 1. 서 론

인천 갑문은 2004년 11월 10KT 갑문의 내측 문짝을 1련 증설하는 공사를 완료하여 공사 이전에 10KT 갑문 문짝이 1개 뿐으로 문짝 보수를 위하여 매 3년마다 45~60일 10KT 갑문을 폐쇄함에 따라 선박대기 증가 등의 항만운영 저효율 부분을 개선하였다(구, 2002).

인천 남외항 개발사업은 인천 송도신도시와 영종도 인천국제공항을 이어주는 인천대교 건설을 계기로 2005~2006년도 남외항개발 기본계획이 시행되었고, 2015년에 컨테이너 13선석, 일반부두 4선석 등 총 17개 선석 완공을 목표로 올해 착공할 예정으로 추진중이다(해양수산부, 2005a).

이에 따라 컨테이너를 처리하는 내항 컨테이너부두를 오는 2015년까지 남항과 남외항으로 이전하는 등 남외항 건설에 따른 인천 내항 기능 재배치 등이 추진되고 있다.

본 연구에서는 인천항 기능 재배치 계획에 따라 2011년과

2015년의 해상교통량을 추정하고, 연도별 항별 교통량 추정치에 따라 대기이론 시뮬레이션 기법에 근거한 SLAM (Simulation Language for Alternative Modelling) SYSTEM ver. 4.6으로 시뮬레이션하여 내항 기항 선박의 대기시간을 산정하고 이에 따른 선박의 체선·체화비용을 산정·분석하고자 하며, 2015년 남외항 완공시 내항에 기항하는 컨테이너선의 남항/남외항 이전에 따른 경제적 효과를 평가하고자 한다.

## 2. 인천항 개발계획과 교통량 추정

### 2.1 인천항 개발계획

인천항의 2011년 및 2015년 물동량 전망 및 중장기 개발계획은 해양수산부(2005a)에 근거하였으며, 이를 요약하면 물동량 전망은 Table 1과 같고, 인천항 중장기 개발계획은 Table 2와 같다.

† 교신저자 : 종신회원, jayunkoo@hanmail.net 051)620-5765

Table 1 Prospect of cargo volume in Incheon Port  
(단위: 천RT, 천TEU)

| 구 분            | 2004             | 2011               | 2015               |
|----------------|------------------|--------------------|--------------------|
| 비컨테이너          | 67,676           | 94,608             | 102,768            |
| 컨테이너<br>(천TEU) | 16,090<br>(935)  | 47,742<br>(3,055)  | 60,025<br>(3,871)  |
| 유 류            | 39,182           | 46,866             | 49,879             |
| 계              | 122,948<br>(935) | 189,216<br>(3,055) | 212,672<br>(3,871) |

자료: 해양수산부(2005a)

Table 2 Middle-long term development plan in Incheon Port  
(단위: 천RT, 천TEU)

| 구 분            |             |         | 2004   |         | 2011   |         | 2015   |    |
|----------------|-------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|----|
|                |             |         | 물동량    | 선석      | 물동량    | 선석      | 물동량    | 선석 |
| 인천<br>대교<br>이북 | 남향          | 비컨테이너   | 8,830  | 15      | 6,903  | 16      | 7,996  |    |
|                |             | 컨테이너    | 100    | 7       | 1,490  | 7       | 1,490  |    |
|                |             | 모래      | 11,414 | -       | -      | -       | -      | -  |
|                |             | 유류      | 2,109  | 2       | 2,523  | 2       | 2,685  |    |
|                | 연안항         | 비컨테이너   | -      | 2       | 373    | 2       | 392    |    |
|                |             | 컨테이너    | 240    | -       | -      | -       | -      |    |
|                |             | 유류      | 5,474  | 5       | 6,548  | 5       | 6,969  |    |
|                | 내향          | 비컨테이너   | 43,756 | 43      | 35,391 | 43      | 39,022 |    |
|                |             | 컨테이너    | 595    | 4       | 640    | -       | -      |    |
|                | 북향          | 비컨테이너   | -      | 17      | 14,391 | 17      | 15,234 |    |
|                |             | 유류      | 20,023 | 6       | 23,949 | 6       | 25,489 |    |
|                | 거침도<br>(일도) | 모래      | 3,676  | 15      | 36,216 | 16      | 37,737 |    |
|                | 소계          | 비컨테이너   | 52,586 | 77      | 57,058 | 78      | 62,644 |    |
|                |             | 컨테이너    | 935    | 11      | 2,130  | 7       | 1,490  |    |
|                |             | 모래      | 15,090 | 15      | 36,216 | 16      | 37,737 |    |
|                |             | 유류      | 27,606 | 13      | 33,020 | 13      | 35,143 |    |
| 인천<br>대교<br>이남 | 남외항         | 비컨테이너   | -      | 3       | 1,334  | 4       | 2,387  |    |
|                |             | 컨테이너    | -      | 6       | 925    | 13      | 2,381  |    |
|                |             | 유류      | 11,576 | 3       | 13,846 | 3       | 14,736 |    |
| 총 계            | 비컨테이너       | 52,586  | 80     | 58,392  | 82     | 65,031  |        |    |
|                | 컨테이너        | 935     | 17     | 3,055   | 20     | 3,871   |        |    |
|                | 모래          | 15,090  | 15     | 36,216  | 16     | 37,737  |        |    |
|                | 유류          | 39,182  | 16     | 46,866  | 16     | 49,879  |        |    |
|                | 계           | 107,793 | 128    | 144,529 | 134    | 156,518 |        |    |

자료: 해양수산부(2005a)

2.2 교통량 추정

인천항의 2011년, 2015년 교통량 추정은 Fig. 1의 절차와 같이 시행되었고, 예로서 내향과 남외항의 추정 교통량을 Table 3에 보이며, 본 연구에 사용된 2011년과 2015년의 인천항 각 항별 추정 교통량은 Table 7과 같다.

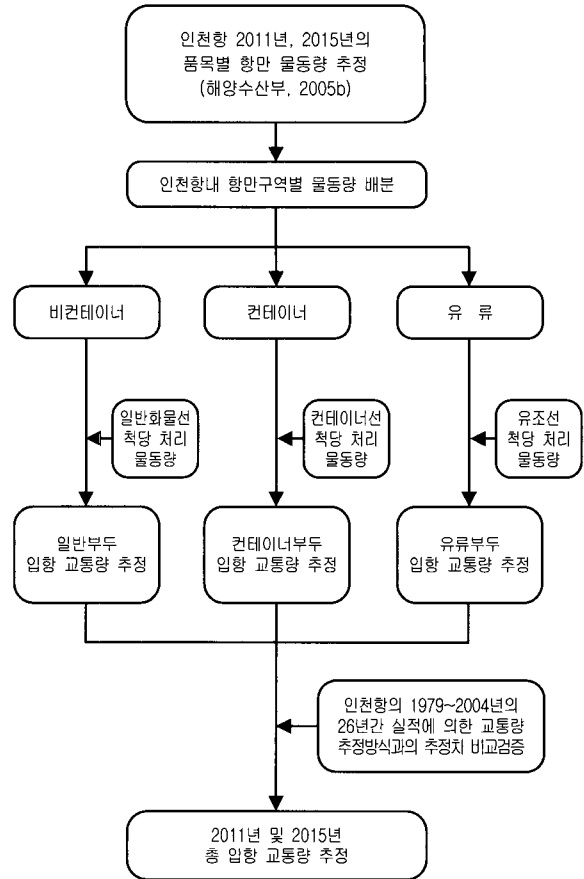


Fig. 1 Flow chart for estimating the traffic Volume in Incheon Port

Table 3 Estimated traffic volume  
(a) Year : 2011

| 구 분       | 화물량<br>(천RT,<br>천TEU) | 적당<br>처리량<br>(RT, TEU) | 입항<br>척수<br>(척) | 톤수구분<br>(G/T) | 톤수별<br>입항비율 | 톤수별<br>입항척수<br>(척) |        |    |
|-----------|-----------------------|------------------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------|--------|----|
| 내향        | 일반<br>화물              | 35,391                 | 10,842          | 3,264         | 7K미만        | 0.6709             | 2,190  |    |
|           |                       |                        |                 |               | 7K-10K      | 0.0399             | 130    |    |
|           |                       |                        |                 |               | 10K-20K     | 0.0953             | 311    |    |
|           |                       |                        |                 |               | 20K-50K     | 0.1757             | 573    |    |
|           | 컨테<br>이너              | 640                    | 477             | 1,342         | 7K 미만       | 0.8205             | 1,101  |    |
|           |                       |                        |                 |               | 7K-10K      | 0.0447             | 60     |    |
|           |                       |                        |                 |               | 10K-20K     | 0.0969             | 130    |    |
|           |                       |                        |                 |               | 20K-50K     | 0.0379             | 51     |    |
|           | 남외항                   | 일반<br>화물               | 1,334           | 10,842        | 123         | 7K 미만              | 0.6709 | 82 |
|           |                       |                        |                 |               |             | 7K-20K             | 0.1352 | 17 |
|           |                       |                        |                 |               |             | 20K-50K            | 0.1757 | 22 |
|           |                       |                        |                 |               |             | 50K 이상             | 0.0182 | 2  |
| 컨테<br>이너  |                       | 925                    | 726             | 1,274         | 7K 미만       | 0.5640             | 719    |    |
|           |                       |                        |                 |               | 7K-20K      | 0.2864             | 365    |    |
|           |                       |                        |                 |               | 20K-50K     | 0.1496             | 190    |    |
|           |                       |                        |                 |               | 50K 이상      | 0.0094             | 50     |    |
| 유류        | 13,846                | 31,438                 | 440             | 7K 미만         | 0.5161      | 227                |        |    |
|           |                       |                        |                 | 20K-50K       | 0.0864      | 38                 |        |    |
| 인천항<br>합계 |                       |                        |                 |               | 0.3975      | 175                |        |    |
| 인천항<br>합계 |                       |                        | 25,949          |               |             | 25,949             |        |    |

(b) Year : 2015

| 구 분       | 화물량<br>(천RT,<br>천TEU) | 적당<br>처리량<br>(RT, TEU) | 입항<br>척수<br>(척) | 톤수구분<br>(G/T) | 톤수별<br>입항비율 | 톤수별<br>입항척수<br>(척) |
|-----------|-----------------------|------------------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------|
| 내항        | 일반<br>화물              | 39,022                 | 11,449          | 3,408         | 7K미만        | 2,287              |
|           |                       |                        |                 |               | 7K-10K      | 136                |
|           |                       |                        |                 |               | 10K-20K     | 325                |
|           |                       |                        |                 |               | 20K-50K     | 599                |
|           |                       |                        |                 |               | 50K 이상      | 62                 |
| 남외항       | 일반<br>화물              | 2,387                  | 11,449          | 209           | 7K 미만       | 140                |
|           |                       |                        |                 |               | 7K-20K      | 28                 |
|           |                       |                        |                 |               | 20K-50K     | 37                 |
|           |                       |                        |                 |               | 50K 이상      | 4                  |
|           | 컨테<br>이너              | 2,381                  | 767             | 3,104         | 7K 미만       | 1,751              |
|           |                       |                        |                 |               | 7K-20K      | 889                |
|           |                       |                        |                 |               | 20K-50K     | 464                |
| 유류        | 14,736                | 33,197                 | 444             | 7K 미만         | 229         |                    |
|           |                       |                        |                 | 20K-50K       | 38          |                    |
|           |                       |                        |                 | 50K 이상        | 177         |                    |
| 인천항<br>합계 |                       |                        | 26,071          |               |             | 26,071             |

### 3. 인천항 운영효율 평가모델의 구성

#### 3.1 인천항 운영 시뮬레이션의 통항규칙 모델링

인천항 입출항시 인천대교와 갑문 등의 통항규칙을 포함하여 다음과 같은 운항 특성이 고려되도록 본 시뮬레이션의 모델링을 규칙화하였다.

- 1) 선박의 통항은 교통안전특정해역내에서는 해상교통안전법, 항계내에서는 개항질서법이 적용되어, 교통안전특정해역내에서는 병행항행, 항계내에서는 단선항행이 가능하다. 다만 인천대교에서는 7,000 G/T 이상은 주경간 항로를, 7,000 G/T 미만은 측경간 항로를 이용한다(구 등, 2004).
- 2) 선박의 항로 진입부 도착은 포와송 분포(Poisson Distribution)를 따른다. 즉, 각 항로별 입항선박의 도착시간은 지수 분포(Exponential Distribution)에 따른다.
- 3) 항로에 도착한 선박은 선행선박과의 거리가 충분할 때 항로에 진입할 수 있다. 최소한 선박간의 이격거리는 선박 길이와 선속에 따른 최소이격거리에 따른다.
- 4) 항로의 진입순서는 먼저 도착한 선박이 먼저 진입한다 (First Come First Served Queue Discipline).
- 5) 갑문 이북의 수역으로 입출항하는 위험물 운반선박은 야간 입출항이 제한된다.
- 6) 현행 정부의 준설계획인 등, 서수도는 DL(-)15.7m, 남항 및 팔미도 북측항로는 DL(-)14.0m, 남항이북 제1항로는 DL(-)12.0m을 적용하는 것으로 시뮬레이션을 계획한다.
- 7) 대개 20,000 G/T (35,000 DWT급) 이상의 선박은 만재흘수가 11.0m 이상으로, 제1항로 준설계획 항로수심인

12.0m에서 조위를 맞추기 위한 조위대기가 필요하다.

- 8) 남외항 LNG 선박의 경우 평균 입항톤수가 98,196 G/T 이지만 입항흘수는 12m이므로 DL(-)14.0m에서 상시 입항 가능한 것으로 한다.
- 9) 내항으로의 입항을 위한 갑문 통과는 저조시 조고가 120cm 이하일 경우 갑문 운영이 불가능하며, 120cm 이하의 조고는 월 22회 수준이므로, 이를 고려한 일일 갑문 운영시간은 평균 22시간 32분이다.
- 10) 10KT와 50KT의 갑거 수심이 DL(-)7.5m, 갑거 입구의 제2항로 수심이 DL(-)8.0m 이므로 조고 120cm를 고려하여도 8.7m의 수심으로 7,000 G/T 이상은 조위대기가 필요하고, 평균수면 (+)4.6m를 고려할 때 12.1m의 수심이 확보되어 20,000 G/T까지 통항이 가능하다.
- 11) 항로내에서 모든 선박이 일정한 속도로 항행한다. 단, 항로내의 각 구간에 대한 평균 속도는 해당 구간별로 따로 정한다.
- 12) 선박이 항로내의 교차점을 진행할 때 안전상 일정시간 동안 다른 선박이 진입할 수 없으며, 선박의 항로 교차점 통과시간은 5분으로 한다.
- 13) 내항을 입항하기 위한 갑문 입거는 매시간 1척 이용 가능하다. 따라서 내항 입출항시 1만톤 및 5만톤의 2개 갑문을 이용할 수 있으며, 각 갑문 점유시간은 35분으로 한다(한국해양수산연수원, 2000).
- 14) 내항 입출항시 10,000 G/T 이하 선박이 1만톤 갑문을 이용하는 확률은 2000~2004년의 5년간 기준으로 62%이며, 나머지 38%는 5만톤 갑문을 이용하였으며, 이 확률을 본 시뮬레이션에도 적용한다.
- 15) 항로의 교차점에서 선박이 조우하게 될 때 선박의 항행규칙에 따른 우선순위에 따라 교차점을 통과한다. 개항질서법에 의거하여 항로 출입 선박과 항로를 통항하는 선박 사이에는 항로 출입 선박이 피항할 의무를 가진다.
- 16) 항로의 교차점이나 항로의 기중점에는 선박의 대기에 필요한 충분한 수역을 가진다.
- 17) 선박이 항로내에서 정선할 때에는 그 정선 위치를 유지할 수 있고, 정선후 다시 그 영역내 항행속도로 항해하기까지의 지체시간은 무시한다.
- 18) 항만에서의 선석의 부족으로 인한 대기는 고려하지 않는다.
- 19) 예인선, 도선사의 숫자는 충분하여 이들을 기다리는 시간의 지체는 없다.
- 20) 항내 소형선박(길이 30m 미만인 선박)은 고려대상에서 제외하였으며, 전 선박의 항로내의 운항에 대해서는 완전한 통제가 이루어진다.
- 21) 인천대교 통과시 일방통항을 시행한다면 안전을 위한 선박간 이격거리는 다음 식을 적용한다.

$$d = (2.2 \times V^{0.75} + 1.8) \times L$$

단, d = 최소 이격거리(m)

V = 선박 속도(knots)

L = 선박 길이(m)

22) 항만운영 효율성 시뮬레이션에서 사용하는 인천대교 통과 시 선박의 대기속력은 10Kts로 한다.

### 3.2 인천항 항로의 모형

인천항을 6개 지역으로 구분한 각 부두에 선박이 접이안하기 위해서는 10개의 교차점이 발생하는 것을 알 수 있다. 이와 더불어 인천대교에서 서측 측경간, 주경간, 동측 측경간의 3개 교차부와 갑문에서 10KT 갑거와 50KT 갑거의 2개 교차점을 별도 처리하여 총 15개 교차부를 포함한 전체 항로에 대하여 항만운영효율을 평가하기 위해 SLAM SYSTEM을 이용하여 1년 동안 약 525,600분간의 시뮬레이션을 시행한다. 인천항 항로상에서의 선박 운항은 Fig. 2와 같은 형태로 나타낼 수 있다.

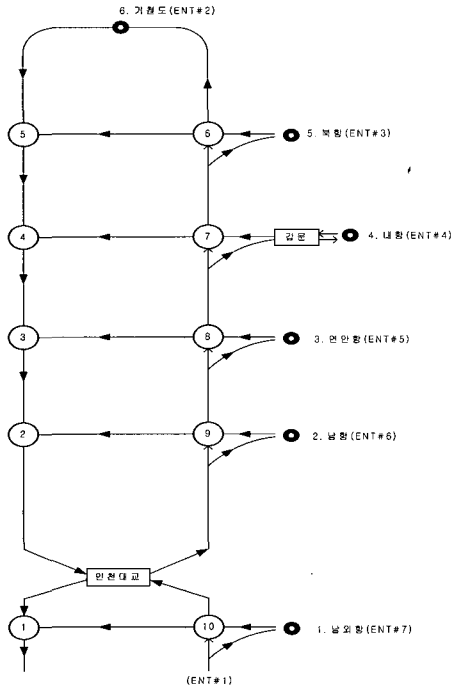


Fig. 2 Location of piers and numbers of crossing point

따라서 총 15개 교차점에서의 선박 통행 우선순위는 개항질서법에 의거하여 Table 4와 같이 설계한다.

Table 4 Transit priority at each crossing point

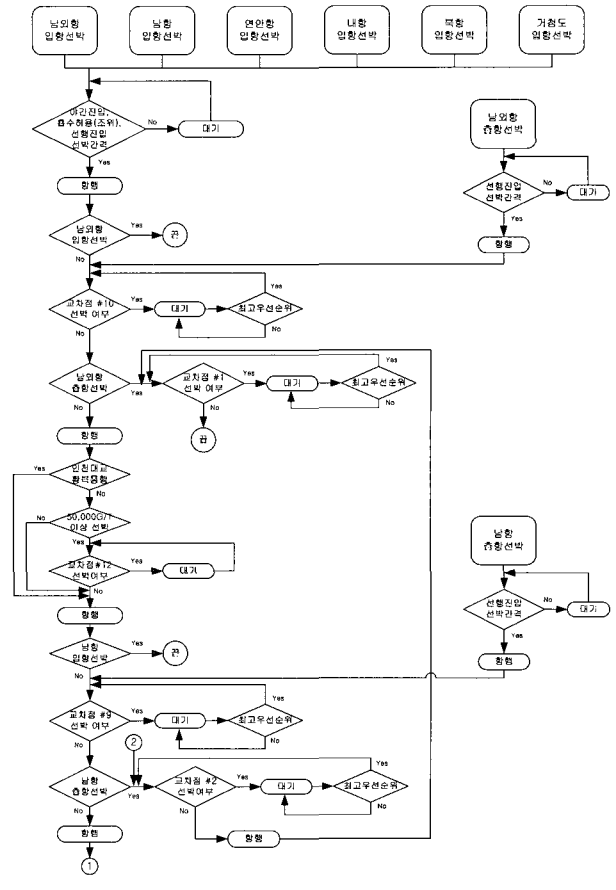
| 교차부 번호 | 선박 진입방향                      | 통행 우선권 | 점유시간 (분) |
|--------|------------------------------|--------|----------|
| 1      | • 8진입부(남외항) → 출항항로<br>• 출항항로 | 출항항로   | 5<br>5   |
| 2      | • 6진입부(남항) → 출항항로<br>• 출항항로  | 출항항로   | 5<br>5   |
| 3      | • 5진입부(연안항) → 출항항로<br>• 출항항로 | 출항항로   | 5<br>5   |
| 4      | • 4진입부(내항) → 출항항로<br>• 출항항로  | 출항항로   | 5<br>5   |

|           |  |      |          |
|-----------|--|------|----------|
| 5         | • 3진입부(북항) → 출항항로<br>• 출항항로            | 출항항로 | 5<br>5   |
| 6         | • 3진입부(북항) → 출항항로<br>• 입항항로            | 입항항로 | 5<br>5   |
| 7         | • 4진입부(내항) → 출항항로<br>• 입항항로            | 입항항로 | 5<br>5   |
| 8         | • 5진입부(연안항) → 출항항로<br>• 입항항로           | 입항항로 | 5<br>5   |
| 9         | • 6진입부(남항) → 출항항로<br>• 입항항로            | 입항항로 | 5<br>5   |
| 10        | • 8진입부(남외항) → 출항항로<br>• 입항항로           | 입항항로 | 5<br>5   |
| 인천대교 12   | • 주경간 입항항로<br>• 주경간 출항항로               | -    | 8<br>8   |
| 갑문 14, 15 | • 8교차부 → 4진입부(내항)<br>• 4진입부(내항) → 7교차부 | 출항항로 | 35<br>35 |

주 : 교차점 12에서의 점유시간은 일방향로의 조건에서 50,000 G/T 이상 선박간의 교차에 한하여 적용된다.

### 3.3 인천항 운영효율 평가 모델의 흐름도

인천항 운영효율 평가 시뮬레이션 모델의 흐름도는 전체적으로 Fig. 3과 같다.



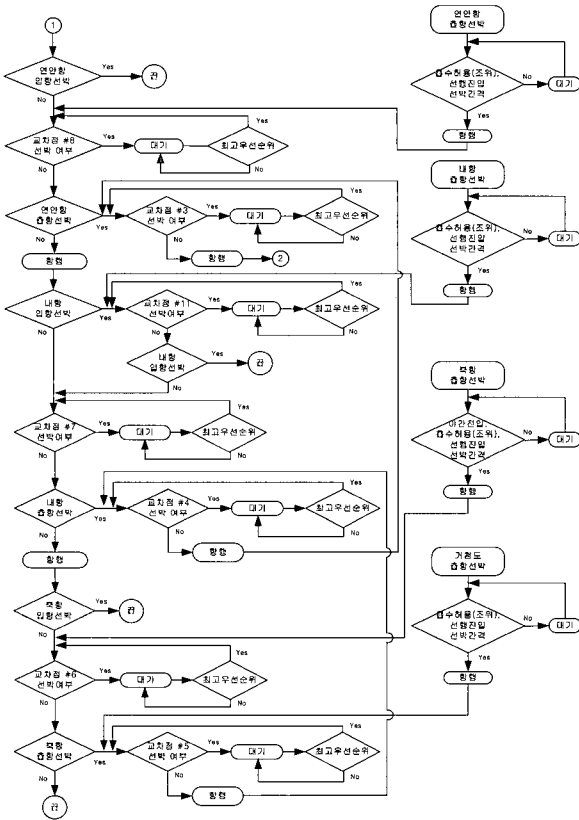


Fig. 3 Flow chart for evaluating the operational utilization levels of lock gates in Inner Port

3.4 평가 모델에 사용된 데이터

1) 항로내 선박의 속력과 항행시간

항로내 각 교차점간의 항로길이를 선박종류 시뮬레이션 결과 획득한 평균선속으로 나누면 Table 5와 같이 각 교차점간의 항행시간이 계산된다.

Table 5 Channel length and average pilot time

| 영역별             | 선박 항행경로                | 항로 길이 (mile) | 평균 선속 (kts) | 항행 시간 (분) |
|-----------------|------------------------|--------------|-------------|-----------|
| 남외항             | • 입항: 1진입부 → 10교차부     | 2.0          | 12          | 10        |
|                 | • 출항: 8진입부 → 10교차부     | 6.0          | 8           | 45        |
|                 | 10교차부 → 1교차부           | -            | -           | -         |
| 남항              | • 입항: 10교차부 → 인천대교 교차부 | 8.0          | 10          | 48        |
|                 | 인천대교 교차부 → 9교차부        | 1.5          | 10          | 9         |
|                 | • 출항: 6진입부 → 9교차부      | 1.5          | 4           | 23        |
|                 | 9교차부 → 2교차부            | -            | -           | -         |
|                 | 2교차부 → 인천대교 교차부        | 1.5          | 10          | 9         |
| 인천대교 교차부 → 1교차부 | 8                      | 10           | 48          |           |
| 연안항             | • 입항: 9교차부 → 8교차부      | 1.5          | 6           | 15        |
|                 | • 출항: 5진입부 → 8교차부      | 0.5          | 4           | 8         |
|                 | 8교차부 → 3교차부            | -            | -           | -         |
|                 | 3교차부 → 2교차부            | 1.5          | 6           | 15        |

|     |                     |     |   |    |
|-----|---------------------|-----|---|----|
| 내항  | • 입항: 8교차부 → 7교차부   | 0.5 | 6 | 5  |
|     | • 출항: 4진입부 → 갑문 교차부 | -   | - | -  |
|     | 갑문 교차부 → 7교차부       | 0.5 | 4 | 8  |
|     | 7교차부 → 4교차부         | -   | - | -  |
|     | 4교차부 → 3교차부         | 0.5 | 6 | 5  |
| 북항  | • 입항: 7교차부 → 6교차부   | 1.3 | 6 | 13 |
|     | • 출항: 3진입부 → 6교차부   | 0.5 | 4 | 8  |
|     | 6교차부 → 5교차부         | -   | - | -  |
|     | 5교차부 → 4교차부         | 1.3 | 6 | 13 |
| 거점도 | • 출항: 2진입부 → 5교차부   | 3.5 | 6 | 35 |

2) 선박의 도착시간 분포

모든 선박은 지수분포에 따라 항로의 진입부에 도착하며, Table 6의 평균도착시간간격에 의하여 발생한다.

3) 선박간 최소 진입간격

항로내에서 안전을 위하여 최소 이격거리를 유지하며, 항로내에서 10노트로 항행할 경우 선박의 최소 진입간격은 Table 6과 같다.

Table 6 Average arrival time interval and min. time interval required to enter each pier of Incheon Port per year

(a) Year : 2011

| 구 분     | 톤수구분 (G/T) | 입항 척수 (척) | 평균 도착간격 (분) | 선박 길이 (m) | 선박간 최소진입간격 |            |      |
|---------|------------|-----------|-------------|-----------|------------|------------|------|
|         |            |           |             |           | 최소이격 거리(m) | 최소시간 간격(분) |      |
| 남항      | 일반 화물      | 7K미만      | 4,099       | 128.2     | 94         | 1,332      | 4.3  |
|         |            | 7K-20K    | 311         | 1,690.0   | 144        | 2,041      | 6.6  |
|         |            | 20K-50K   | 288         | 1,825.0   | 190        | 2,693      | 8.7  |
|         |            | 50K 이상    | 27          | 19,466.7  | 208        | 2,948      | 9.5  |
|         | 컨테이너       | 7K 미만     | 1,291       | 407.1     | 96         | 1,360      | 4.4  |
|         |            | 7K-20K    | 575         | 914.1     | 163        | 2,310      | 7.5  |
|         |            | 20K-50K   | 290         | 1,812.4   | 240        | 3,401      | 11.0 |
|         | 유류         | 7K미만      | 725         | 725.0     | 94         | 1,332      | 4.3  |
|         |            | 7K-20K    | 0           | -         | -          | -          | -    |
| 20K-50K |            | 2         | 262,800.0   | 190       | 2,693      | 8.7        |      |
| 연안항     | 일반 화물      | 7K미만      | 255         | 2,061.2   | 94         | 1,332      | 4.3  |
|         |            | 7K-20K    | 0           | -         | -          | -          | -    |
|         |            | 7K 미만     | 0           | -         | -          | -          | -    |
|         | 컨테이너       | 7K-20K    | 0           | -         | -          | -          | -    |
|         |            | 20K-50K   | 0           | -         | -          | -          | -    |
|         |            | 0         | -           | -         | -          | -          |      |
| 유류      | 7K미만       | 1,607     | 327.1       | 94        | 1,332      | 4.3        |      |
|         | 7K-20K     | 69        | 7,617.4     | 144       | 2,041      | 6.6        |      |
|         | 0          | -         | -           | -         | -          |            |      |
| 내항      | 일반 화물      | 7K미만      | 2,190       | 240.0     | 94         | 1,332      | 4.3  |
|         |            | 7K-10K    | 130         | 4,043.1   | 138        | 1,956      | 6.3  |
|         |            | 10K-20K   | 311         | 1,690.0   | 146        | 2,069      | 6.7  |
|         |            | 20K-50K   | 573         | 917.3     | 190        | 2,693      | 8.7  |
|         | 50K 이상     | 60        | 8,760.0     | 208       | 2,948      | 9.5        |      |
|         | 컨테이너       | 7K 미만     | 1,101       | 477.4     | 96         | 1,360      | 4.4  |
|         |            | 7K-10K    | 60          | 8,760.0   | 163        | 2,310      | 7.5  |
| 0       |            | -         | -           | -         | -          |            |      |

인천항 기능 재배치에 따른 갑문의 대기 시뮬레이션 연구

|     |                 |         |       |          |     |       |      |
|-----|-----------------|---------|-------|----------|-----|-------|------|
|     |                 | 10K-20K | 130   | 4,043.1  | 240 | 2,437 | 7.9  |
|     |                 | 20K-50K | 51    | 10,305.9 | 279 | 3,401 | 11.0 |
| 북향  | 일반 화물           | 7K미만    | 3,119 | 168.5    | 94  | 1,332 | 4.3  |
|     |                 | 7K-20K  | 181   | 2,903.9  | 144 | 2,041 | 6.6  |
|     |                 | 20K-50K | 233   | 2,255.8  | 190 | 2,693 | 8.7  |
|     |                 | 50K 이상  | 24    | 21,900.0 | 208 | 2,948 | 9.5  |
|     | 유류              | 7K 미만   | 710   | 740.3    | 94  | 1,332 | 4.3  |
|     |                 | 7K-20K  | 53    | 9,917.0  | 144 | 2,041 | 6.6  |
|     |                 | 20K-50K | 146   | 3,600.0  | 190 | 2,693 | 8.7  |
|     |                 | 50K 이상  | 53    | 9,917.0  | 208 | 2,948 | 9.5  |
| 거침도 | 일반 화물           | 7K미만    | 2,869 | 183.2    | 94  | 1,332 | 4.3  |
|     |                 | 7K-20K  | 2,579 | 203.8    | 144 | 2,041 | 6.6  |
| 남외향 | 일반 화물<br>모래, 유류 | 7K 미만   | 82    | 6,409.8  | 94  | 1,332 | 4.3  |
|     |                 | 7K-20K  | 244   | 2,154.1  | 144 | 2,041 | 6.6  |
|     |                 | 20K-50K | 60    | 8,760.0  | 214 | 3,033 | 9.8  |
|     |                 | 50K 이상  | 177   | 2,969.5  | 271 | 3,840 | 12.4 |
|     | 컨테이너            | 7K 미만   | 719   | 731.0    | 96  | 1,332 | 4.3  |
|     |                 | 7K-20K  | 365   | 1,440.0  | 163 | 2,310 | 7.5  |
|     |                 | 20K-50K | 190   | 2,766.3  | 240 | 3,401 | 11.0 |
|     |                 | 합 계     |       | 25,949   |     |       |      |

|     |                 |         |       |          |     |       |      |
|-----|-----------------|---------|-------|----------|-----|-------|------|
|     |                 | 10K-20K | 0     | -        | -   | -     | -    |
|     |                 | 20K-50K | 0     | -        | -   | -     | -    |
| 북향  | 일반 화물           | 7K미만    | 3,122 | 168.4    | 94  | 1,332 | 4.3  |
|     |                 | 7K-20K  | 181   | 2,903.9  | 144 | 2,041 | 6.6  |
|     |                 | 20K-50K | 234   | 2,246.2  | 190 | 2,693 | 8.7  |
|     |                 | 50K 이상  | 24    | 21,900.0 | 208 | 2,948 | 9.5  |
|     | 유류              | 7K 미만   | 715   | 735.1    | 94  | 1,332 | 4.3  |
|     |                 | 7K-20K  | 54    | 9,733.3  | 144 | 2,041 | 6.6  |
|     |                 | 20K-50K | 147   | 3,575.5  | 190 | 2,693 | 8.7  |
|     |                 | 50K 이상  | 54    | 9,733.3  | 208 | 2,948 | 9.5  |
| 거침도 | 일반 화물           | 7K미만    | 2,790 | 188.4    | 94  | 1,332 | 4.3  |
|     |                 | 7K-20K  | 1,685 | 311.9    | 144 | 2,041 | 6.6  |
| 남외향 | 일반 화물<br>모래, 유류 | 7K 미만   | 140   | 3,754.3  | 94  | 1,332 | 4.3  |
|     |                 | 7K-20K  | 257   | 2,045.1  | 144 | 2,041 | 6.6  |
|     |                 | 20K-50K | 75    | 7,008.0  | 214 | 3,033 | 9.8  |
|     |                 | 50K 이상  | 181   | 2,903.9  | 271 | 3,840 | 12.4 |
|     | 컨테이너            | 7K 미만   | 1,751 | 300.2    | 96  | 1,332 | 4.3  |
|     |                 | 7K-20K  | 889   | 591.2    | 163 | 2,310 | 7.5  |
|     |                 | 20K-50K | 464   | 1,132.8  | 240 | 3,401 | 11.0 |
|     |                 | 합 계     |       | 26,071   |     |       |      |

(b) Year : 2015

| 구 분     | 톤수구분 (G/T) | 입항 척수 (척) | 평균 도착간격 (분) | 선박 길이 (m) | 선박간 최소진입간격 |           |       |
|---------|------------|-----------|-------------|-----------|------------|-----------|-------|
|         |            |           |             |           | 최소이격 거리(m) | 최소시간간격(분) |       |
| 남향      | 일반 화물      | 7K미만      | 4,498       | 116.9     | 94         | 1,332     | 4.3   |
|         |            | 7K-20K    | 341         | 1,541.3   | 144        | 2,041     | 6.6   |
|         |            | 20K-50K   | 315         | 1,668.6   | 190        | 2,693     | 8.7   |
|         |            | 50K 이상    | 30          | 17,520.0  | 208        | 2,948     | 9.5   |
|         | 컨테이너       | 7K 미만     | 1,221       | 430.5     | 96         | 1,360     | 4.4   |
|         |            | 7K-20K    | 544         | 966.2     | 163        | 2,310     | 7.5   |
|         |            | 20K-50K   | 275         | 1,911.3   | 240        | 3,401     | 11.0  |
|         |            | 유류        | 7K미만        | 730       | 720.0      | 94        | 1,332 |
| 7K-20K  | 0          |           | -           | 144       | 2,041      | 6.6       |       |
| 20K-50K | 2          |           | 262,800.0   | 190       | 2,693      | 8.7       |       |
| 연안항     | 일반 화물      | 7K미만      | 254         | 2,069.3   | 94         | 1,332     | 4.3   |
|         |            | 7K-20K    | 0           | -         | -          | -         | -     |
|         | 컨테이너       | 7K 미만     | 0           | -         | -          | -         | -     |
|         |            | 7K-20K    | 0           | -         | -          | -         | -     |
|         |            | 20K-50K   | 0           | -         | -          | -         | -     |
|         | 유류         | 7K미만      | 1,620       | 324.4     | 94         | 1,332     | 4.3   |
|         |            | 7K-20K    | 69          | 7,617.4   | 144        | 2,041     | 6.6   |
|         |            | 20K-50K   | 0           | -         | -          | -         | -     |
| 내향      | 일반 화물      | 7K미만      | 2,287       | 229.8     | 94         | 1,332     | 4.3   |
|         |            | 7K-10K    | 136         | 3,864.7   | 138        | 1,956     | 6.3   |
|         |            | 10K-20K   | 325         | 1,617.2   | 146        | 2,069     | 6.7   |
|         |            | 20K-50K   | 599         | 877.5     | 190        | 2,693     | 8.7   |
|         | 컨테이너       | 50K 이상    | 62          | 8,477.4   | 208        | 2,948     | 9.5   |
|         |            | 7K 미만     | 0           | -         | -          | -         | -     |
|         |            | 7K-10K    | 0           | -         | -          | -         | -     |
|         |            | 7K-10K    | 0           | -         | -          | -         | -     |

4) 모델의 수행시간

모델은 분단위로 수행되며, 1년(525,600분)의 기간동안 수행한다.

4. 갑문 운영에 따른 체선·체화비용 산정

4.1 대기시간 산정

갑문 운영에 따른 대기시간은 갑문 통과를 위한 조위대기와 갑문 점유로 인한 대기로 구성되며, 이들 대기시간의 합은 2011년, 2015년 기준으로 각각 5,749시간, 4,329시간으로 선박 운항에 상당한 제한 요소로 작용되고 있다. 그러나 갑문 운영 이용율은 2011년도 기준으로 10KT가 28%, 50KT가 33% 수준으로 평가되며, 컨테이너선이 남외향으로 이전되는 2015년도에는 10KT가 20%, 50KT가 26%로 약 7~8%의 이용율이 낮아질 것으로 추정된다(Table 7 참조).

단, 제1항로 준설이 DL(-)14.0m로 준설된다 하더라도 갑문의 운영에 최소 조고가 120cm가 요구되고, 갑문 수심이 DL(-)7.5m, 갑문 입구의 제2항로 수심이 DL(-)8.0m 이므로 조고 120cm를 고려하여도 8.7m의 수심으로 7,000 G/T 이상은 조위대기가 상시 필요한 것으로 판단되므로 제1항로의 준설이 갑문 운영이나 내향의 입출항 대기시간 단축에 효과를 발휘하지 못한다.

2011년 기준으로 내향 입항 선박의 척당 평균 대기시간은 50,000 G/T 이상이 3.96시간, 10,000~50,000 G/T 선박이 1.57시간, 7,000~10,000 G/T 선박이 0.43시간, 7,000 G/T 미만 선박이 0.03시간으로 대형 선박일수록 내향입항을 위한 평균 조위대기시간이 크게 나타남을 알 수 있다.

Table 7 Queuing time according to traffic scheme

| 년도                      | 위 치                  |                             | 항로 수심 조건 | 통항 량 (척)                    | 평균 대기시간     |         | 총 대기시간 (시간) |         |         |
|-------------------------|----------------------|-----------------------------|----------|-----------------------------|-------------|---------|-------------|---------|---------|
|                         |                      |                             |          |                             | 평균대기 시간 (분) | 이용 율(%) |             |         |         |
| 2011년                   | 내항입항조위대기             | File 24 - 7,000 G/T 미만      | -7.5m    | 3,275                       | 1.525       | -       | 83.2        |         |         |
|                         |                      | File 29 - 7,000~10,000 G/T  |          | 217                         | 25.539      | -       | 92.4        |         |         |
|                         |                      | File 30 - 10,000~50,000 G/T |          | 1,084                       | 94.401      | -       | 1,705.5     |         |         |
|                         |                      | File 31 - 50,000G/T 이상      |          | 73                          | 237.838     | -       | 289.4       |         |         |
|                         | File 14 - 10KT 갑문 대기 |                             |          | 4,269                       | 7.580       | 28.43   | 539.3       |         |         |
|                         | 내항출항조위대기             | File 26 - 7,000 G/T 미만      |          | 3,210                       | 1.515       | -       | 81.1        |         |         |
|                         |                      | File 32 - 7,000~10,000 G/T  |          | 181                         | 22,966      | -       | 69.3        |         |         |
|                         |                      | File 33 - 10,000~50,000 G/T |          | 1,087                       | 89.365      | -       | 1,619.0     |         |         |
|                         |                      | File 34 - 50,000 G/T 이상     |          | 75                          | 142.072     | -       | 177.6       |         |         |
|                         |                      | File 15 - 50KT 갑문 대기        |          | 4,929                       | 13.299      | 32.82   | 1,092.5     |         |         |
|                         | 갑문 총 대기시간            |                             |          |                             |             |         |             | 5,749.3 |         |
|                         | 2015년                | 내항입항조위대기                    |          | File 24 - 7,000 G/T 미만      | -7.5m       | 2,374   | 1.527       | -       | 60.4    |
|                         |                      |                             |          | File 29 - 7,000~10,000 G/T  |             | 143     | 24.117      | -       | 57.5    |
|                         |                      |                             |          | File 30 - 10,000~50,000 G/T |             | 915     | 90.972      | -       | 1,387.3 |
| File 31 - 50,000 G/T 이상 |                      |                             | 54       | 164.816                     |             | -       | 148.3       |         |         |
| File 14 - 10KT 갑문 대기    |                      | 3,034                       | 4.490    | 20.20                       |             | 227.0   |             |         |         |
| 내항출항조위대기                |                      | File 26 - 7,000 G/T 미만      | 2,303    | 1.577                       |             | -       | 60.5        |         |         |
|                         |                      | File 32 - 7,000~10,000 G/T  | 134      | 24.991                      |             | -       | 55.8        |         |         |
|                         |                      | File 33 - 10,000~50,000 G/T | 954      | 94.755                      |             | -       | 1,506.6     |         |         |
|                         |                      | File 34 - 50,000 G/T 이상     | 66       | 172.184                     |             | -       | 189.4       |         |         |
|                         |                      | File 15 - 50KT 갑문 대기        | 3,908    | 9.762                       |             | 26.03   | 635.8       |         |         |
| 갑문 총 대기시간               |                      |                             |          |                             |             |         | 4,328.6     |         |         |

4.2 갑문 통과선박의 연도별 총 체선·체화비용 산정

갑문을 통과하는 내항 입항선박의 선종은 2011년은 일반화물선과 컨테이너선으로 구성되지만, 2015년 이후는 항만기능 재배치에 따라 컨테이너선은 남외항으로 이전되고 일반화물선만의 입항으로 변경된다.

이들 입항선의 연도별 선종 변경을 고려한 갑문 통과시 조위대기에 따른 체선·체화비용은 2011년 3,359백만원, 2015년 2,564백만원으로 각각 산정된다(Table 8).

즉, 선박이 대형화될수록 내항을 입출항하기 위해서는 조위 대기시간이 많이 발생되고 또한 선박규모에 따른 일일단위 체선·체화비용이 크므로 총 대기비용이 매우 크게 발생되므로, 컨테이너선의 남외항 이전은 매년 약 8억원의 체선·체화비용을 절감할 수 있다.

Table 8 Demurrage cost and accumulation cost of freight for one-way traffic scheme in vessel

| 년도             | 총대기시간 (일)               | 선종비율 (%)     | 체선 비용 (천원)              | 체화 비용 (천원) | 소계 (천원)   | 총 대기 비용 (백만원) |           |
|----------------|-------------------------|--------------|-------------------------|------------|-----------|---------------|-----------|
| 2011년          | 7,000 G/T 미만 6.9        | 화물선 (83.4)   | 17,062                  | 5,300      | 22,362    | 3,359         |           |
|                |                         | 컨테이너선 (16.6) | 4,458                   | 2,775      | 7,233     |               |           |
|                | 7,000~10,000 G/T 6.7    | 화물선 (84.9)   | 27,617                  | 15,711     | 43,328    |               |           |
|                |                         | 컨테이너선 (15.1) | 7,039                   | 4,902      | 11,941    |               |           |
|                | 10,000~50,000 G/T 138.5 | 화물선 (92.5)   | 966,096                 | 943,420    | 1,909,516 |               |           |
|                |                         | 컨테이너선 (7.5)  | 128,847                 | 100,655    | 229,502   |               |           |
|                | 50,000 G/T 이상 19.5      | 화물선 (100.0)  | 200,753                 | 287,196    | 487,949   |               |           |
|                |                         | 컨테이너선 (0.0)  | -                       | -          | -         |               |           |
|                | 10KT 갑문대기 22.5          | 화물선 (83.5)   | 55,705                  | 17,303     | 73,008    |               |           |
|                |                         | 컨테이너선 (16.5) | 14,449                  | 8,995      | 23,444    |               |           |
| 50KT 갑문대기 45.5 | 화물선 (88.1)              | 265,647      | 221,392                 | 487,039    |           |               |           |
|                | 컨테이너선 (11.9)            | 37,674       | 26,233                  | 63,907     |           |               |           |
| 2015년          | 7,000 G/T 미만 5.0        | 화물선 (100.0)  | 14,825                  | 4,605      | 19,430    | 2,564         |           |
|                |                         |              | 7,000~10,000 G/T 4.7    | 22,819     | 12,981    |               | 35,800    |
|                |                         |              | 10,000~50,000 G/T 120.6 | 909,445    | 888,098   |               | 1,797,543 |
|                |                         |              | 50,000 G/T 이상 14.1      | 145,160    | 207,665   |               | 352,825   |
|                | 10KT 갑문대기 9.5           | 화물선 (100.0)  | 28,168                  | 8,750      | 36,918    |               |           |
|                | 50KT 갑문대기 26.5          | 화물선 (100.0)  | 175,616                 | 146,360    | 321,976   |               |           |

주: 체선·체화비용의 단가는 해양수산부(2002)에 근거하였음.

5. 결 론

인천항 기능 재배치 계획에 따라 2015년 남외항 완공시 내항에 기항하는 컨테이너선의 남항 또는 남외항 이전을 추진하고 있다. 본 연구에서는 대기이론 시뮬레이션 기법에 근거한 SLAM SYSTEM ver. 4.6으로 인천항 항만운용 시뮬레이션을 시행하여 내항 기항 선박의 대기시간을 산정하고 이에 따른 선박의 체선·체화비용을 산정·분석함으로써 내항에 기항하는 컨테이너선의 남항/남외항 이전에 따른 경제적 효과를 평가한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 갑문 운영 이용율은 2011년도 기준으로 10KT가 28%, 50KT가 33% 수준으로 평가되며, 컨테이너선이 남외항으로 이전되는 2015년도에는 10KT가 20%, 50KT가 26%로 약 7~8%의 이용율이 낮아질 것으로 추정된다.

둘째, 갑문 통과시 조위대기에 따른 체선·체화비용은 2011년 3,359백만원, 2015년 2,564백만원으로 각각 산정된다.

셋째, 컨테이너선의 남외항 이전은 항로단축에 의한 경비 절감이나 갑문 사용료를 제외하고도 갑문 운용에 따라 발생하는 매년 약 8억원의 체선·체화비용을 절감할 수 있다.

물류비 절감은 항만의 경쟁력을 높이는데 가장 결정적인 요소이다. 따라서 본 연구과정과 같은 항만운용 시뮬레이션에 의한 경제성 분석은 항만의 최적의 기능 재배치를 위하여 필수적인 의사결정과정이라고 사료된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 구자윤(2002), "인천항 갑문의 운영수준에 관한 연구", 한국항해항만학회지 26권 2호, pp. 177~182.
- [2] 구자윤, 김석재, 장은규, 김세원(2004), "인천항 제2연륙교 적정 주경간 폭 결정에 관한 연구 (1) 교통량 측면과 선박 조종 측면에서의 소요 교각폭 산정", 한국항해항만학회지 28권 10호, pp. 933~940.
- [3] 구자윤, 김석재, 장은규(2005), "인천항 제2연륙교 적정 주경간 폭 결정에 관한 연구 (2) 주경간의 통항방식에 따른 항만운영의 경제성 분석", 한국항해항만학회지 29권 1호, pp. 65~69.
- [4] 인천지방해양수산청(2005), "제2연륙교 건설에 따른 안전 조치 및 종합운영계획 연구용역 최종보고서"
- [5] 한국종합물류연구원(2005), "전국 항만물동량 예측 점검 연구보고서"
- [6] 한국해양수산연수원(2000), "인천항 갑문문짝(10KT) 증설 공사 관련 선박조종 시뮬레이션 용역보고서"
- [7] 해양수산부(2002), "항만산업의 경제적 파급효과에 관한 연구"
- [8] 해양수산부(2005a), 인천남외항 기본설계중 인천항 종합발전계획
- [9] 해양수산부(2005b), 전국 무역항 기본계획정비 용역 보고서(안)
- [10] 해양수산부(2006), 제2차 전국항만(무역항) 기본계획 수정계획(안)

---

원고접수일 : 2007년 3월 12일

원고채택일 : 2007년 4월 30일