

# 인천내항의 전략수립과 분석을 위한 시물레이션 기반 의사결정지원시스템 개발

김동희, 김봉선, 이창호  
인하대학교 산업공학과

## Development of a Simulation-based DSS for the Management Strategy Analysis of Incheon Port

Dong-Hee Kim, Bong-Sun Kim, Chang-Ho Lee  
Dept. of IE., Inha University

### Abstract

The purpose of this paper is to develop a port simulation program for Incheon Port. The arrival and departure data from Incheon Port are analyzed, several probability density functions for the interval time and service time are estimated, and the berthing rules are constructed based on experts experiences. The port simulation program is written in visual basic considering the interarrival p.d.f., service rate p.d.f., berthing rules, and dual-dock system, and is used to analyze the effects of the changes in ship arrival rate and service rate upon the demurrage. It is expected that we can use the simulation results in order to prepare proper service level and to evaluate the appropriate investment strategy to be planned.

### 1. 서론

세계 각국은 지속적인 개방화·국제화에 따라 새로운 경제 환경에 적응하기 위하여 많은 노력을 경주하고 있다. 한편 동북아 경제권은 21세기 세계 경제의 중심역할을 할 것으로 전망되고 있으며 한국은 동북아 경제권의 물류 중심지로 성장할 것으로 기대된다. 그러나, 국내 항만은 낙후된 설비와 정보관리체제의 미비로 인하여 그 경쟁력을 상실하고 있는 실정이다. 국내 제2의 수출입항 역할을 수행하고 있는 인천항의 경우, 처리능력의 한계를 넘어섰을 뿐만 아니라 정부의 사회간접자본 투자에도 불구하고 만성적인 체선·체화로 인해 물류비용 증가 등의 문제점을 야기하고 있다. 이러한 문제점들도 불구하고 2개의 갑문시스템 및 부대시설이 복잡하고 처리화물의 종류가 다양해 항만 전체 운영실태를 분석·개선하려는 연구가 부족한 것도 사실이다[2, 3, 6].

본 연구에서는 실제 자료와 현장조사를 통해 부분적으로 부두운영회사제도(TOC : terminal operating company)로 운영중인 인천항의 현황을 파악하고, 이를 기반으로 갑문과 선석지정규칙을 고려한 시물레이션을 통해 체선·체화현상을 분석하여 향후 화물량의 변동과 하역작업의 효율화, 시설의 증대로 인한 서비스의 향상, 그리고 인근항으로의 화물이전

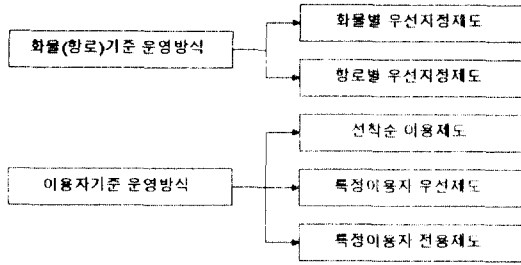
으로 인한 화물량의 감소 등과 같은 제조건의 변화에 따른 영향을 검토함으로써 효율적 항만운영계획에 도움이 될 수 있는 인천항 시물레이션 프로그램을 개발하고자 한다[11, 12, 15, 17].

인천항과 관련하여 수행된 기존의 연구들의 경우 실제로 인천 항만운영에 큰 결정요인인 갑문을 시스템에 고려하지 않거나 97년부터 시행된 TOC를 반영하지 않고 있으며, 시물레이션 연구의 경우 ARENA를 사용하고 있다[1, 3, 9, 10]. 본 연구의 대상인 인천항의 내항은 공칭 8개 부두, 50개 선석 그리고 약 200여종의 화물을 다루고 있으며, 97년 3월부터 부분적으로 TOC제도를 운영하고 있다. 연구에서는 선석을 실제 사용하고 있는 45개로 재구성하고 취급화물을 15개 화물군으로 분류하여 화물별 도착간격, 화물량, 서비스율 등의 기초자료를 분석하였다. 인천항백서 및 전문가들의 경험과 지식을 토대로 갑문을 고려한 선석지정규칙을 재구축하였으며, Visual Basic과 Access를 사용하여 시물레이션 프로그램을 개발하였다.

### 2. 인천항의 운영방식

항만은 부두를 효율적으로 운영함으로 선박의 재항비용을 절감시키고 부두의 이용과 관련된 물류비

용을 감소시킬 수 있다. 따라서 선진국 주요 항만



<그림 1> 항만의 운영방식

들은 부두시설을 효율적으로 운영하기 위해 각 항만의 특성에 적합한 운영방법을 모색하고 있다[4, 5].

인천항의 경우, 특정 이용자 우선사용제도(TOC 부분적용), 선착순이용제도 그리고 화물별 우선지정제도를 기본으로, 선박이 접안하기 하루 전 '선석회의'를 통해 다음날의 선석사용을 지정하는 방식으로 운영되고 있다[7, 8]. 다른 항만들과는 달리 큰 조석차로 인해 갑문시스템을 운영하고 있으며 이로 인해 선석지정 문제는 더욱 복잡하게 된다. 선석회의에서 사용하는 규칙을 정리하면 다음과 같다[13, 14].

2.1 입항선박의 선석지정 우선순위결정 규칙

입항선박의 선석지정 우선순위는 기본적으로 입항 예정시간(expected time of arrival ; ETA)을 기준으로 입항예정시간이 빠른 선박이 우선권을 가지게 된다. 그러나, 선석지정 대상선박의 특성에 따라 혜택을 받는 선박 종류로는 자국적선, 여객선, 정부물자조달선, 대일선(對日船), 단기하역작업대상선박, 컨테이너선, 자동차운반선, 정기운항선박, 외항작업선박 등이 있다.

2.2 하역사별·화물별 부두지정에 관한 규칙

인천항은 기본적으로 특정이용자 우선사용제도 및 화물별 부두 우선지정제도를 택하고 있으며, 1부두는 일반갑화부두로 모든 선박의 사용이 가능하다.

2.3 선석접안에 관한 규칙

인천항 선거나 수위는 갑문관리소에서 공시하는 선거나 수위와 선석의 기본수준의 합으로 나타내어

지며, 선박의 안전을 위하여 인천항 선거나 수위와 선박의 흘수(draft)와의 최소차이는 0.3m 이상으로 제한한다. 원칙상 하나의 선석에 한 척이 접안하도록 되어 있으나 인천항의 체선·체화현상으로 선박의 선수, 선미로부터 각각 10m의 여유만 있으면 하나의 선석에 여러 척이 접안할 수도 있다.

3. 인천항 시물레이션 모델

인천항에서 처리되고 있는 화물은 총 200여종으로 연구에서는 처리화물량, 화물속성, 접안선석 등을 기준으로 15개 화물군으로 분류하였다(표1 참조).

화물군별 도착시간, 화물량, 서비스율에 관한 분포추정은 ARENA의 Input Analyzer 및 Statistica를 사용하였다. 인천항의 시물레이션을 위한 기본 가정은 다음과 같다.

- 선박의 도착간격, 화물량은 화물군별로 1997년도 실제자료를 분석하여 구해진 확률분포에 의해 발생한다.
- 화물선의 서비스 시간은 [화물군별 (서비스시간/화물량)에 대하여 구해진 확률분포]×[화물군별 발생 화물량]으로 구한다.
- 여객선과 화물선, 하역사는 실제자료의 경우수에 근거한 확률에 의해 발생한다.
- 화물군 및 선석은 선박과 1대 1 대응한다.
- 입항선박은 1997년도 실제자료와 인천항 선석회의에서 적용되는 선석지정 규칙을 기준으로 적합한 선석을 선택하여 접안하게 된다.
- 묘박지~갑문, 갑문~선석의 이동시간은 각각 30분이며 갑문이용시간은 내·외 수위조절에 30분, 문짝개폐에 평균적으로 큰갑문(5만톤급) 6분, 작은갑문(1만톤급) 4분이 소요된다[7, 8].
- 선박 접안과 동시에 작업은 시작되고, 서비스가 끝나도 갑문배정이 될 때까지 이완대기한다.
- 출항시 갑문사용이 끝남과 동시에 항구를 떠난다.
- 갑문 내·외측에는 동시에 2대의 배가 지날 수 없으며, 이 충돌제한 범위는 이동시간의 1/6로 한다.
- 선박의 수리시간 등 입항선박의 부수적인 시간은 서비스시간에 포함된다.

<표 1> 화물군별·하역사별 처리량

	대한해운	대한사이로	동방	동부	선광	영진	한진	대한통운	동화실업	세방기업	우원	한염	총 합계
고철			4500			318076		171170	8000	10047			511793
광석			23506	9080	232526	117206	42900	131172	24982		97962	18498	697832
날알곡물	1458903	2567693	47832	51775	1975377		1869298	1595251		131315	96082	22575	9816101
목재류			58659	141569	7208		1703	1800	364432	28613		13906	617890
비철·비금속				9308	9097	84611	1480	19734	6500	23864	43226	6942	204822
염류				4156	792600	10770						69673	877199
원당	24335	53354		10463	31280	314715	5500	266462	1100	89950		408925	1213584
원목			732079	1058251	535948	103273	2000	3000	991167	664159		7500	4097377
자동차			4661	198	24904	6383	21517	73088	75000	1000	16752		223503
잡화			29766	106067	237298	177191	94451	126846	96462	33850	461626	51566	1632445
제분공업	18900	94833	327204	268797	148881	11900	6000	208140	29924	407082	580438		2102099
철강			20000	515119	96494	1336172	1854884	351519	19276	89440	138912	140650	4562466
컨테이너			1323	1134	8337	262800	1103098	1025597	6000	70896	132686	1122	2613156
펄프류			1000	282050	6282		218237	29668	24707	7803	22575		592322
화학원관			22832		50891	19969		10000	1404	10534	7613	6238	130482
총 합계	1502138	2715880	1273362	2458077	4157123	2763066	5221068	4013447	1648954	1568553	1597872	747595	29893071

- 준비시간(warm-up period)은 10일로 한다.
- 1일 작업시간은 실제 인천항에서의 작업시간인 20 시간으로 한다.

4. 프로그램의 구성 및 결과

연구의 인천항 시뮬레이션 프로그램은 next-event time advance 방식으로 구성되었으며[12], 복잡한 로직구현을 위하여 일반언어인 Visual Basic을 사용하였다. 프로그램의 전체 흐름은 <그림 2>와 같으며, 사용된 각 event module과 개략적인 역할은 다음과 같다.

[INIT]

- initialize system variables
- generate initial arrivals for each cargo type

<그림 2> 시뮬레이션 프로그램의 흐름도

[TIMING]

- determine the next handling event

[UPDATE]

- update statistics

[ARRIVE]

- generate the next arrival for the next handling cargo type
- increase num\_in\_Q, count\_arrival

· Call Scheduler

[DEPART\_QUEUE]

- assign the next dock\_start for the next handling dock type

- decrease num\_in\_Q
- Call Scheduler

[DOCK\_START]

- assign the next dock\_end
- Call Scheduler

[DOCK\_END]

- assign the next work\_start
- Call Scheduler

[WORK\_START]

- generate the next work\_end
- server\_status = busy
- Call Scheduler

[WORK\_END]

- server\_status = delay
- Call Scheduler

[DEPART\_SERVER]

- assign the next dock\_start for the next handling dock type
- server\_status = idle
- Call Scheduler

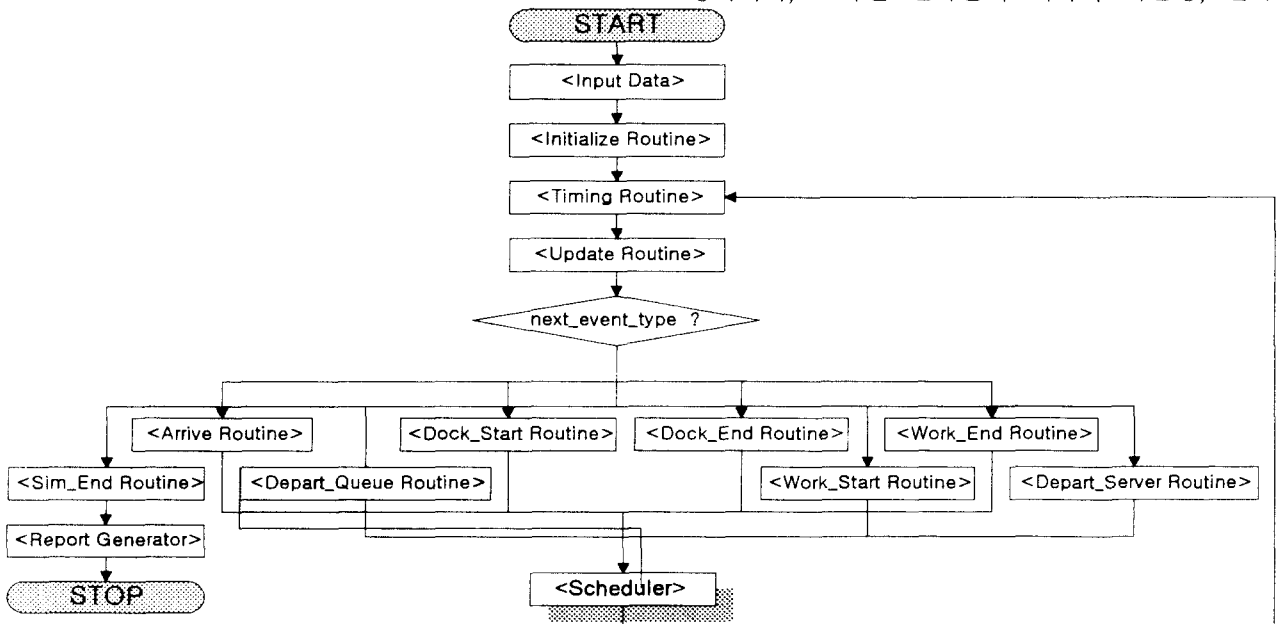
[REPORT]

- produce the simulation report

[Scheduler]

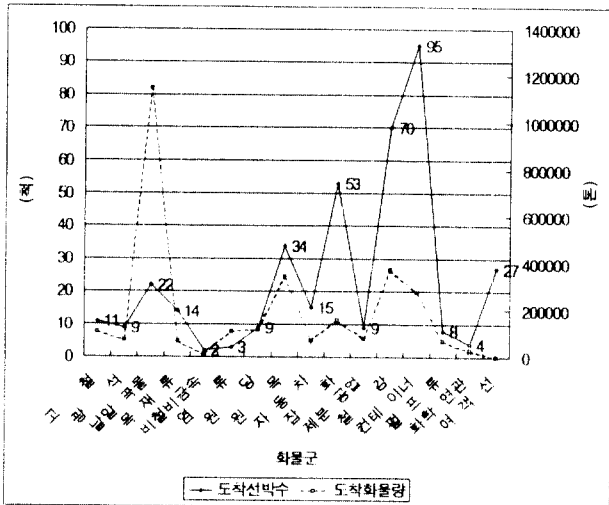
- generate the next dock time for each dock type
- calculate dock conflict time zone
- calculate dock in-out conflict time zone
- assign ships waiting in arrival queue and berth to each dock type, if possible

각 화물군별로 추정된 분포를 사용하여 도착을 발생시키며, 도착된 선박들에 대하여 화물량, 선박속

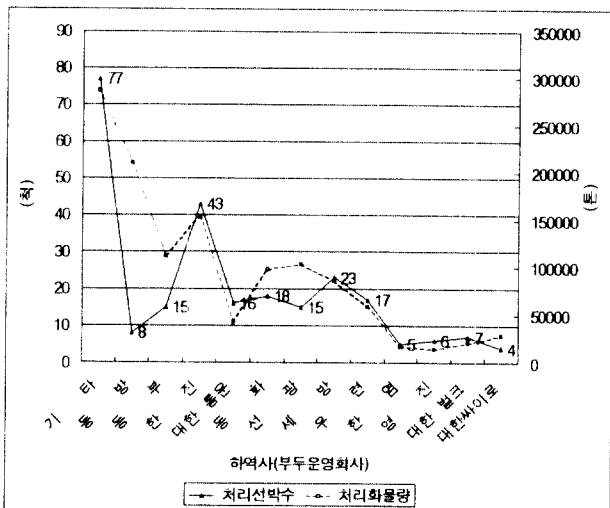


성, 서비스시간 등을 부여하게 된다. 프로그램의 매 반복마다 Scheduler를 호출하며 큰 갑문, 작은 갑문에 대하여 대기열(요박지)을 떠날 선박과 선석을 떠날(이안)할 선박을 배정하게 된다. 이때 갑문사용에 대한 충돌범위(dock conflict time zone)와 갑문사용 전후의 충돌범위(dock in-out conflict time zone)을 계산하여 고려하게 된다.

이상의 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 1달(36000분)동안 실험을 수행하였을 경우, 반복회수는 3382, 런타임은 17.93분, 총도착선박수는 385척, 총도착화물량은 3010585.38톤이 발생하였다. 런타임에는 데이터베이스 입출력시간과 결과보고서 작성시간 및 준비시간이 포함되어 있다. 총출항선박수는 300척, 평균 대기선박수는 57.43척, 평균 재항선박수는 95.45척이며, 12시간 이상 대기한 선박 118척의 총체선시간은 8447.92분으로 나타났다. 화물군별 도착선박수 및 도착화물량은 <그림 3>과 같으며, 부두운영회사별 처리선박수 및 처리화물량은 <그림 4>와 같다.



<그림 3> 화물군별 도착선박수/도착화물량



<그림 4> 하역사별 처리선박수/처리화물량

## 5. 결론

본 연구에서는 만성적인 체화현상을 보이고 있는 인천항을 대상으로 97년 실제자료를 분석하여 각종 분포를 추정하고, 갑문시스템 및 부두운영회사제도를 고려한 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다. 이를 통하여 현재 항만의 운영실태를 분석하고, 각종 제반환경의 변화에 따른 영향을 분석하여 적절한 대책을 수립함으로써 효율적인 항만운영계획 및 투자계획을 수립할 수 있다.

현재까지 연구에서는 현장조사 및 실제 자료분석을 수행하고 갑문 및 부두운영회사제도를 고려한 시뮬레이션 모델의 기본구조를 구성하였으며, 추후 진행될 내용으로는 하역사별 선석지정규칙 및 수신자료를 이용한 접안규칙의 개선 적용, 프로그램의 수행도 향상과 사용자 인터페이스의 추가 및 개선 [16] 등을 들 수 있다.

## 6. 참고문헌

- [ 1]김동희, 허동은, 김봉선, 이창호, "효율적 선석운영을 위한 의사결정지원시스템에 관한 연구," 대한산업공학회, IE Interface, Vol. 11, No.1, 1998.
- [ 2]김봉선, 이창호, 김원재, 김홍섭, 인천항의 경쟁력 증대방안에 관한 연구, 인천상공회의소, 1995.
- [ 3]김형렬, "인천항의 체선 실태분석 및 개선방안에 관한 연구," 인하대학교 산업공학과 석사학위논문, 1997.
- [ 4]김형태, 부두운영 효율화 방안, 해운산업연구원, 1993.
- [ 5]이연구, "인천지역 항만개발의 과제와 전략," 한국해양수산개발원, 1997.
- [ 6]인천지방해운항만청, 인천항 체선·체화 해소대책, 인천지방해운항만청, 1996.
- [ 7]인천지방해운항만청, 인천항백서, 인천지방해운항만청, 1992.
- [ 8]인천지방해운항만청, 인천항 항만시설운영세칙, 인천지방해운항만청, 1996.
- [ 9]장성용, 장영태, "수도권 신항만 건설 타당성 분석을 위한 시뮬레이션 모형 개발," 한국시뮬레이션학회 춘계학술대회 논문집, 1998.
- [10]허동은, "선석지정을 위한 지식기반 의사결정지원시스템에 관한 연구," 인하대학교 산업공학과 석사학위논문, 1997.
- [11]E.G., Frankel, *Port Planning and Development*, John Wiley & Sons, 1987.
- [12]Y., Hayuth, M.A., Pollatschek, and Y., Roll, "Building a Port Simulator," *Simulation*, Vol.63, No.3, 1994.
- [13]C., Kao, H.T., Lee, "Coordinated Dock Operations: Integrating Dock Arrangement with Ship Discharging," *Computers in Industry*, Vol.28, 1996.
- [14]C., Kao, D.-C., Li, C., Wu, and C.-Y., Lai, "Scheduling Ship Discharging Via Knowledge Transformed Heuristic Evaluation Function," *International Journal of Systems Science*, Vol.23, No.4, 1992.
- [15]A.M., Law, W.D., Kelton, *Simulation Modeling & Analysis*, McGraw - Hill, 1991.
- [16]K.V., Ramani, "An Interactive Simulation Model for the Logistics Planning of Container Operations in Seaports," *Simulation*, Vol.66, No.5, 1996.
- [17]UNCTAD, *Port Development*, United Nations, 1985.