

## 인천내항을 위한 시뮬레이션 모델 개발<sup>1)</sup>

A Study on the Development of Simulation Model for Incheon Port

김 동 희<sup>2)</sup>, 김 봉 선<sup>3)</sup>, 이 창 호<sup>3)</sup>

*DongHee, Kim · BongSun, Kim · ChangHo, Lee*

### Abstract

Incheon Port is the second largest import-export port of Korea, and has the point at issue such as the excessive logistics cost because of the limits of handling capacity and the chronic demurrage. The purpose of this paper is to develop the simulation program as a long-term strategic support tool, considering the dual dock system and the TOC(Terminal Operation Company) system executed since March, 1997 in Incheon Port. The basic input parameters such as arrival intervals, cargo tons, service rates are analyzed and the probability density functions for these parameters are estimated. From the simulation model, it is possible to estimate the demurrage status through analyzing various scenarios and to establish the long-term port strategic plan.

### 1. 서론

한국은 21세기 동북아 경제권의 물류 중심지로 성장할 것으로 기대되고 있으며, 항만 관련 산업은 그 주력산업으로서 효율적 항만운영은 국가 경쟁력 향상을 위한 필수 요소가 될 것이다[2]. 국내 제2의 수출입항 역할을 수행하고 있는 인천항의 경우, 처리능력의 한계를 넘어섰을 뿐 아니라 만성적인 체선·체화로 인해 물류비용증가 등의 문제점이 야기되고 있다[3]. 인천항의 여러 가지 문제점들에도 불구하고 2개의 갑문시스템 및 부대시설이 복잡하고 처리화물의 종류가 다양함으로 인해 항만 전체 운영실태를 분석·개선하려는 연구가 부족한 것도 사실이다[6]. 본 연구에서는 특수 시설인 갑문과 1997년 3월부터 시행된 부두운영회사(Terminal Operation Company ; TOC)제도를 고려하여 항만의 전략수립을 위한 장기 의사결정지원도구로서 시뮬레이션 모델을 제시하고자 한다. 이를 통하여 체선·체화현상을 분석하

1) 본 연구는 부분적으로 1998년도 인하대학교 교내연구비 지원에 의하여 수행되었음

2) 인하대학교 산업과학기술연구소

3) 인하대학교 산업공학과

고, 화물량의 변동, 하역작업의 효율화, 시설 증대로 인한 서비스의 향상, 그리고 인근항으로의 화물이전으로 인한 화물량의 감소 등과 같은 제조건 변화 시나리오에 따른 영향을 검토함으로써 장기적인 항만운영계획의 수립과 같은 의사결정을 지원할 수 있을 것이다[1].

## 2. 인천항의 특성 및 운영분석

인천항은 내항을 중심으로 연안항, 북항, 남항으로 구성되어 있으며, 내항의 경우 공칭 8개 부두, 50개 선석을 갖추고 있다. 부두운영 효율화를 위해 1997년 3월부터 공영부두인 1, 4, 7부두를 제외한 나머지 5개 부두에 대해 부두운영회사제도를 시행하고 있다[7].

심각한 체선·체화 현상에 따라 많은 물류비용이 소요되는 인천항의 상황을 개선하기 위하여 장기적으로는 자본투입과 하역장비 기계화 등의 항만시설 확충과 남·북항, 아산항, 경인운하 터미널 등의 인접항의 개발을 추진하는 한편, 단기적으로는 기존시설의 효율적 운영을 최대화하여 생산적이고 경쟁력을 갖춘 항만으로의 발전방안이 필요하다[5,6].

항만운영은 선석을 지정하는 단계와 접안하여 화물을 양적하하는 단계로 나누어 볼 수 있다[5]. 인천항에서는 관계자들로 구성된 '선석회의'를 주최하여 다음날의 선석사용을 배정하고 있다. 여기에서 입항선박은 입거시간과 접안선석이, 출항선박은 출거시간이 순서와 함께 결정된다. 이 때 고려해야 할 사항으로는 갑문사용(5만톤급, 1만톤급)과 부두운영회사제도, 그리고 내항수심이다. 이들을 고려하기 위하여 인천항백서, 운영세척에서와 같은 공식적규칙들과 선석배정 전문가의 경험등을 재구성 한 것이 배정규칙 1, 2, 3이다. 규칙1은 갑문사용 우선순위 규칙으로 입항선박은 기본적으로 입항예정시간(ETA)를 기준으로 빠른 선박이 우선 입항하게 되며, 예외적인 경우들이 존재한다. 이를 정리한 것이 <표 1>이다. 규칙2는 하역사-화물별 선석규칙으로 하역사에 관계없는 선박으로는 여객선, 대일선이 있으며 이를 정리한 것이 <그림 3>이다. 규칙3은 물리적 선석접안규칙으로 선박이 선석에 접안할시 안전을 위하여 물리적으로 제한하는 규칙이며,  $(\text{선박흘수} + 0.3\text{m}) \leq (\text{선석기본수심} + \text{갑문공시수심})$ 으로 제한하는 것과 선박간에는 10m의 여유가 있어야 한다는 것이다[4].

<표 1> 배정규칙 1

조건대상	IF	THEN
국적	대한민국	ETA -24Hr
선박속성	수출선	ETA 00:01
선박종류	여객선	우선지정
선박속성	조달선	우선지정
선박속성	대일선	우선지정
선박속성	단기하역선	우선지정
화물	컨테이너	우선지정
화물	자동차	우선지정
선박속성	정기선	우선지정
선박속성	외항작업	우선지정
ETA	빠르다	우선지정

인천항에서 취급하고 있는 화물종류는 모두 200여종으로 항만청에서는 자료입력을 위하여 42개군으로 분류하고 있다. 이를 입출항 자료를 근거로 처리화물량이 많은 주요화물을 기준으로 하고 이와 속성이 유사하거나 화물이 접안하는 선석이 유사한 화물들을 하나의 군으로 분류하여 15개 화물군으로 분류하였다(<표 2> 참조).

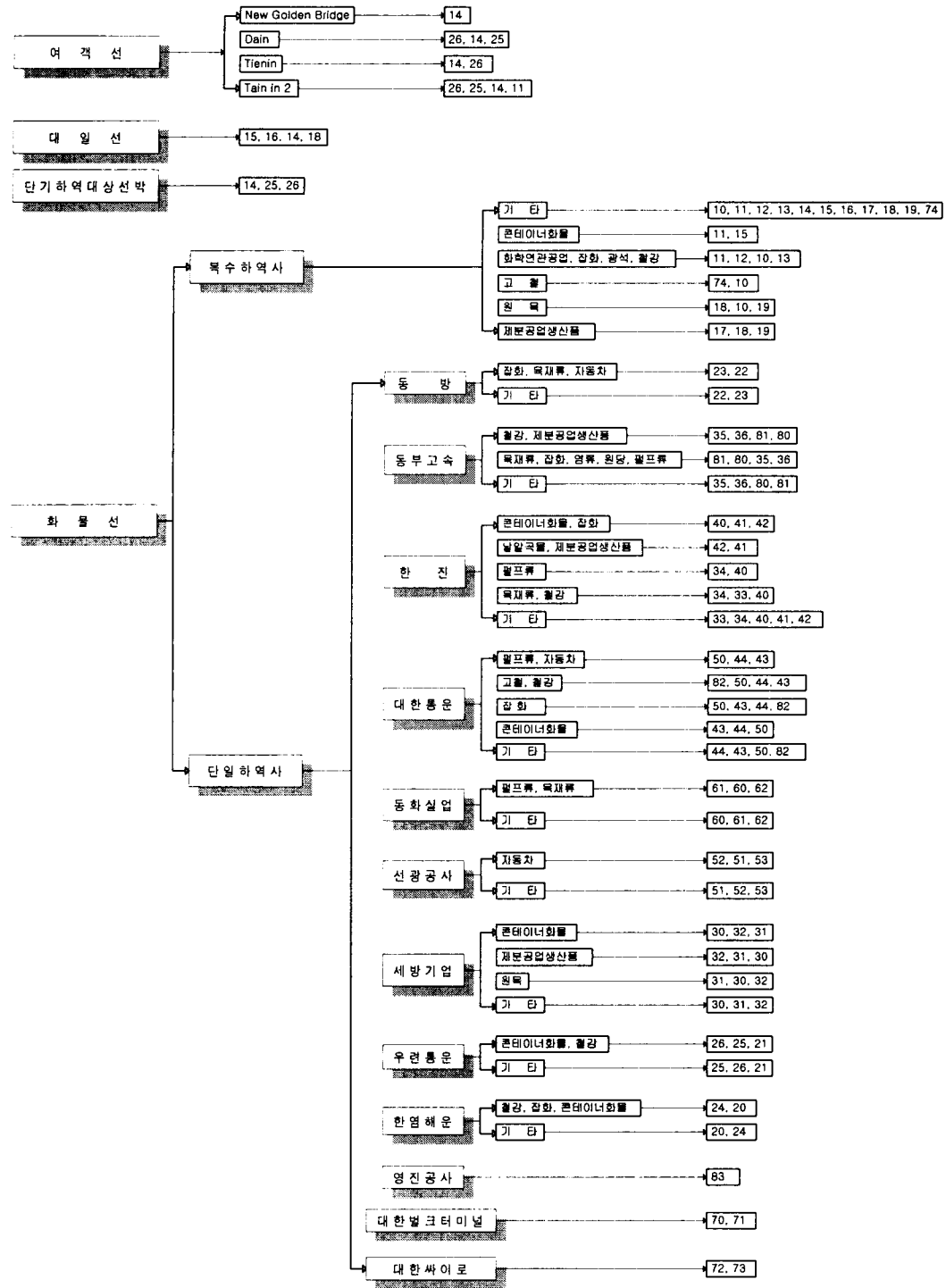
<표 2> 화물군의 분류

화물군	화물 목록
고철	scrap, iron scrap, 고철
광석	모래, 시멘트, 철광석, 인광석, 기타 광석 및 생산품
날알곡물	보리, 소맥, 옥수수, 양곡류, 참깨, 콩, 당밀
목재류, 합판	목재류, 합판, 코르크
목재펠프	목재펠프, 용지, 인쇄
비철, 비금속	비철, 비금속 및 제품, 선철
수송기기	기계류 및 부품, 자동차, 중장비, 트럭
염류	염류, 공업소금
원당	원당, 설탕, 당류
원목	원목
잡화	동식물성 원료 및 가공품, 동식물성 유지류, 육류, 환적화물, 유연탄, 어획수산물, 어획냉동어, 전기 기기 및 전자 제품
제분공업생산품	사료 및 사료원료
철강	철재류, 철판, 코일, 파이프, 동판, 래일
컨테이너	컨테이너화물
화학연관공업	방직용 섬유류, 비료, 케미칼 가스, 플라스틱류, 고무류, 피혁류, 석유제품류

### 3. 인천항 시뮬레이션을 위한 가정

시뮬레이션을 위한 기본 가정은 다음과 같다.

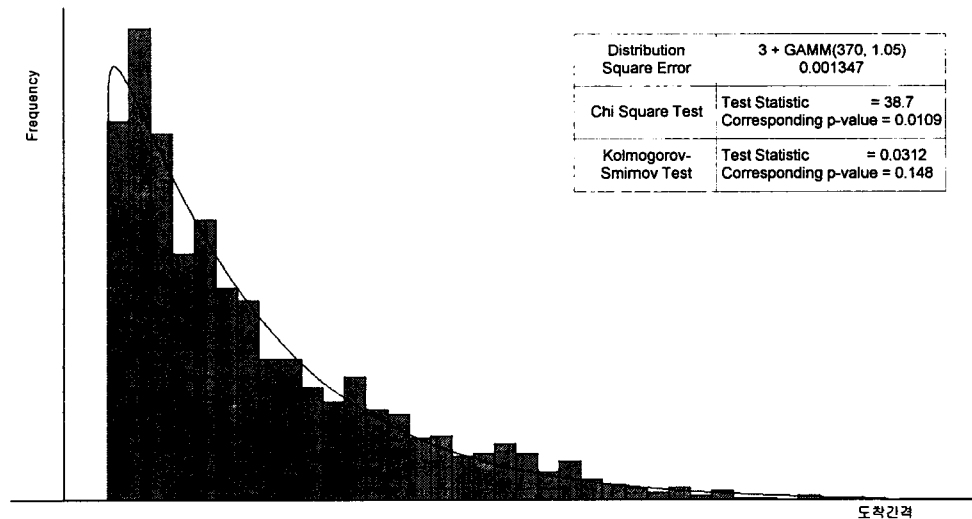
- 화물군, 선박유형, 선석은 선박과 1대 1 대응한다.
- 선박종류별 도착간격 및 화물량은 1997년도 실제 입·출항 자료를 분석하여 구해진 확률분포에 의해 생성한다.
- 화물선의 서비스 시간은 [화물군별 평균 서비스율(서비스시간/화물량)]×[화물군별 발생 화물량]으로 구한다.
- 여객선의 서비스 시간은 1997년도 여객 자료를 분석하여 구해진 확률분포에 의해 생성한다.
- 여객선과 화물선, 하역사는 실제 자료의 경우수에 따른 확률로 생성한다.
- 입항선박은 1997년도 실제자료와 인천항 선석회의에서 적용되는 선석배정규칙을 기준으로 구성된 규칙에 의해 선석을 선택하여 접안한다.
- 묘박지~갑문, 갑문~선석의 이동시간은 각각 30분으로 상수이며 갑문이용시간은 내·외수위조절에 30분, 문짝개폐에 평균적으로 5만톤급 갑문 6분, 1만톤급 갑문 4분이 소요된다.
- 선박 접안과 동시에 작업은 시작되고, 서비스가 끝나도 출항을 위해 갑문배정이 될 때까지 이안대 기한다.



<그림 3> 배정규칙 2

- 출항시 갑문사용이 끝남과 동시에 항구를 떠난다.
- 갑문 내 · 외측에는 동시에 2대의 배가 지날 수 없으며, 이 충돌제한 범위는 이동시간의 1/6, 즉 5분으로 한다.
- 선박의 수리시간 등 입항선박의 부수적인 시간은 서비스시간에 포함된다.
- 실험을 위한 준비시간(Warm-Up Period)은 10일로 한다.
- 1일 작업시간은 실제 인천항에서의 작업시간인 24시간으로 한다.
- 입항을 위한 우선순위는 배정규칙1을, 접안선석 결정에는 배정규칙2를, 접안 시 물리적 조건 파악에는 배정규칙3을 각각 사용한다.

선박의 도착발생을 위하여 화물군 및 여객선(16종)별로 도착간격을 부여하고, 화물선의 경우 화물량과 서비스시간, 국적, 선박톤급, 하역사를 할당하며 여객선일 경우 서비스시간, 선박톤급을 부여한다. 화물군 및 여객선 16종별 도착간격, 화물량, 서비스시간 분포는 ARENA로 추정하였으며, 화물선의 서비스시간은 [발생화물량×화물군별 평균서비스율]로 계산한다. <그림 4>는 컨테이너 선박의 경우 97년 입항자료에 대한 히스토그램과 분포적합결과를 보여주고 있다[9].



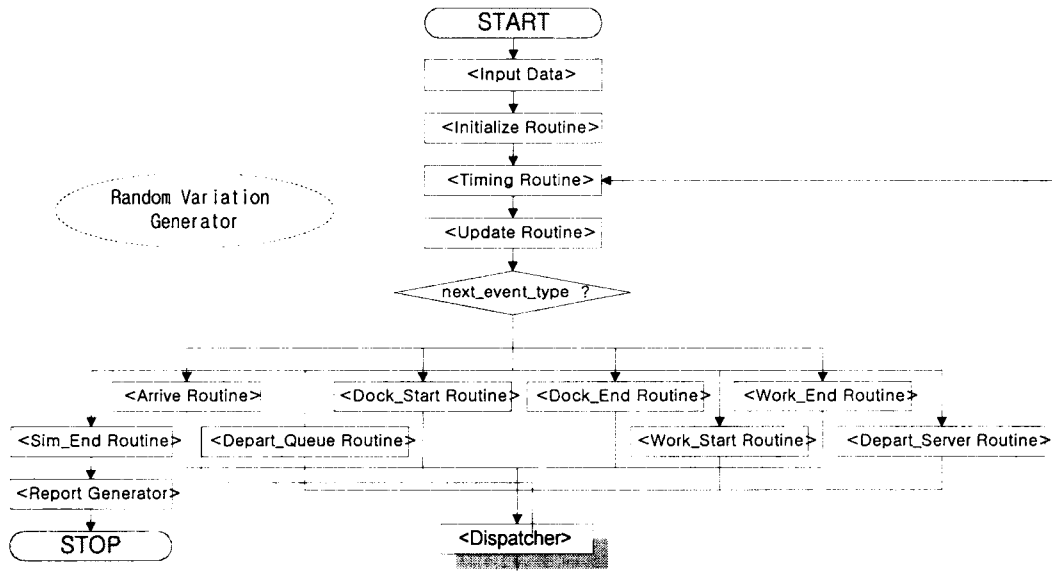
<그림 4> 컨테이너 화물의 분포 적합 결과

선박톤급은 화물선의 경우  $8042+0.45 \times \text{발생 화물량}$ 으로, 여객선의 경우는  $6060+17300 \times \text{BetaDist}(8.42, 7.53)$ 으로 할당한다. 선박국적의 경우 내국적선, 대일선, 기타로 나누어 총자료 건수 중에 차지하는 비율로서 각각 18.3%, 0.5%, 81.2%로 할당한다. 또한 하역사의 경우 먼저 복수하역사와 단일하역사를 자료비율로서 각각 20%, 80%로 할당하고, 단일하역사의 경우 12개 하역사에 각각 3.56%, 8.55%, 28.14%, 18.49%, 6.5%, 9%, 6.97%, 6.44%, 3.89%, 3.03%, 1.96%, 3.47%로 할당한다.

### 4. 인천항 시뮬레이션 모델의 구성

프로그램은 이산사건 기반 모델로 구성되었으며, 시간증가 방식은 Next-Event Time Advancing을 채택하였다. 시뮬레이션은 공식적인 규칙들과 전문가의 경험으로 구성된 지식베이스와 선박·선석 등의 정보로 구성된 데이터베이스를 기반으로 수행되며, 모델의 전체 흐름은 <그림 5>와 같다[8].

시뮬레이션 프로그램은 각 화물군별로 추정된 분포를 사용하여 도착을 발생시키며, 도착된 선박들에 대하여 화물량, 선박속성, 서비스시간 등을 부여하게 된다. 프로그램의 Iteration마다 Dispatcher를 호출하게 되며, 큰 갑문, 작은 갑문에 대하여 대기열(묘박지)을 떠날 선박과 선석을 떠날(이안할) 선박을 갑문을 사용하게 될 시간을 기준으로 배정하게 된다. 이때 갑문사



<그림 5> 시뮬레이션 모델의 흐름도

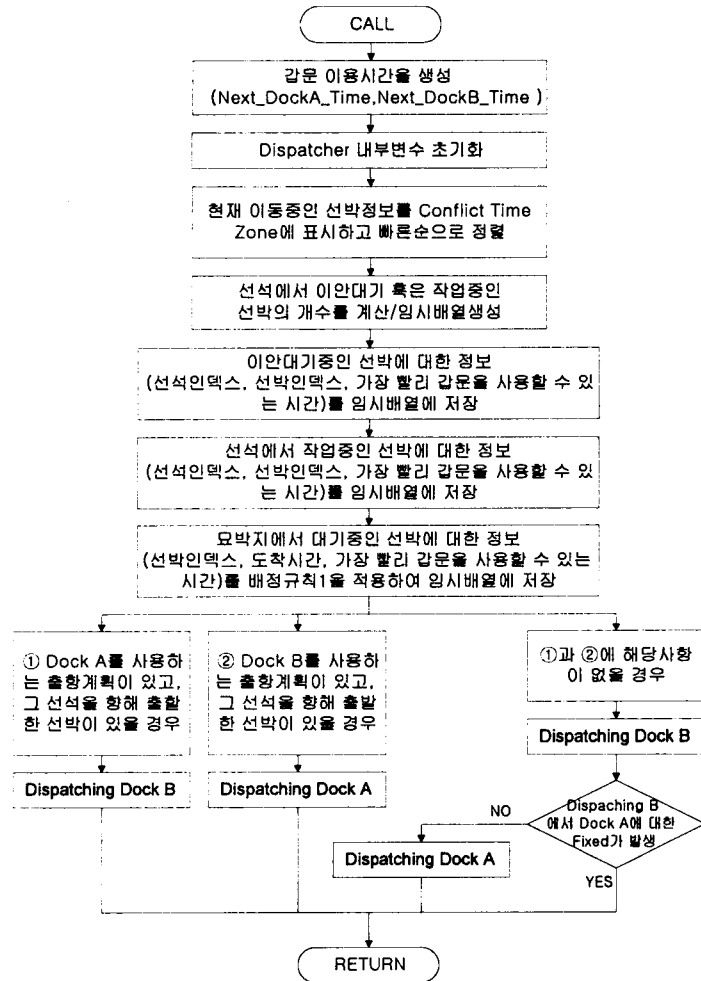
용에 대한 충돌범위와 갑문사용전후의 충돌범위를 계산하여 고려하게 된다. 프로그램 내의 각 루틴들 및 사건루틴들과 개략적인 역할은 다음과 같다.

<b>[INIT]</b>	
· 입력 파라미터들 읽기	
· 시스템 변수들 초기화 및 각 화물군별 초기 도착 발생	
<b>[TIMING]</b>	
· 아래와 같은 순서로 사건리스트(event list)중에서 다음 처리할 사건을 검색하여 결정	
출항을 위한 갑문B 사용종료	출항을 위한 갑문A 사용종료
출항을 위한 갑문B 사용시작	출항을 위한 갑문A 사용시작
갑문B 사용을 위한 선석에서 이안	갑문A 사용을 위한 선석에서 이안

선석에서 작업종료	선석에서 작업시작
입항을 위한 갑문B 사용종료	입항을 위한 갑문A 사용종료
입항을 위한 갑문B 사용시작	입항을 위한 갑문A 사용시작
갑문B 사용을 위한 묘박지에서 출발	갑문A 사용을 위한 묘박지에서 출발
묘박지 신규선박 도착	
[UPDATE]	
· 통계량들 업데이트	
[ARRIVE]	
· 현재 도착을 처리하는 화물군 또는 여객선의 다음 도착 발생	
· 다음 도착으로 발생된 선박에 화물량, 서비스시간 등을 발생	
· 대기열수 및 도착수 증가	· Dispatcher 호출
[DEPART_QUEUE]	
· 해당 갑문의 다음 사용시작시간을 배정	· 대기열수 감소
· Dispatcher 호출	
[DOCK_START]	
· 해당 갑문유형의 다음 사용종료시간을 배정	· Dispatcher 호출
[DOCK_END]	
· 해당 선석의 다음 작업시작시간을 배정	· Dispatcher 호출
[WORK_START]	
· 해당 선석의 다음 작업종료시간을 배정	· 서버상태 = busy
· Dispatcher 호출	
[WORK_END]	
· 서버상태 = delay	· Dispatcher 호출
[DEPART_SERVER]	
· 해당 갑문의 다음 사용시작시간을 배정	· 서버상태 = idle
· Dispatcher 호출	
[REPORT]	
· 시뮬레이션 결과를 작성	
[Random Variation Generator]	
· Uniform(Min,Max)	· UnifInt(Min,Max)
· EXPON(Mean)	· TRIANG(Min,Mid,Max)
· mErlang(Beta,M)	· NormDist(Mu,Sigma)
· LogNorm(Mu,Sigma)	· GamAlphaBeta(Beta,Alpha)
· BetaDist(Alpha1,Alpha2)	· Weibull(Beta,Alpha)

입항·출항계획을 결정해주는 Dispatcher가 호출되면 갑문이용시간을 발생시켜 준다. 그 후, 현재 시스템 내에 있는 다른 선박들에 의해 갑문과 갑문전후에 선점되어 있는 구간을 갑문사용 충돌범위(Dock Conflict Time Zone)와 갑문전후 충돌범위(In\_Out Conflict Time Zone)에 일률적으로 계산하게 된다. Dispatcher의 전체 흐름은 <그림 7>과 같으며, Dock B를 사용하게 될 입출항계획을 수립하는 Dispatching\_DockB의 흐름도는 <그림 8>과 같다.

Dispatching\_DockB는 Dock Conflict와 In\_Out Conflict를 고려하여 가장 빨리 갑문을 사용할 수 있는 시간을 기준으로 Dock B를 이용할 입출항계획 중 하나를 세워주게 된다.



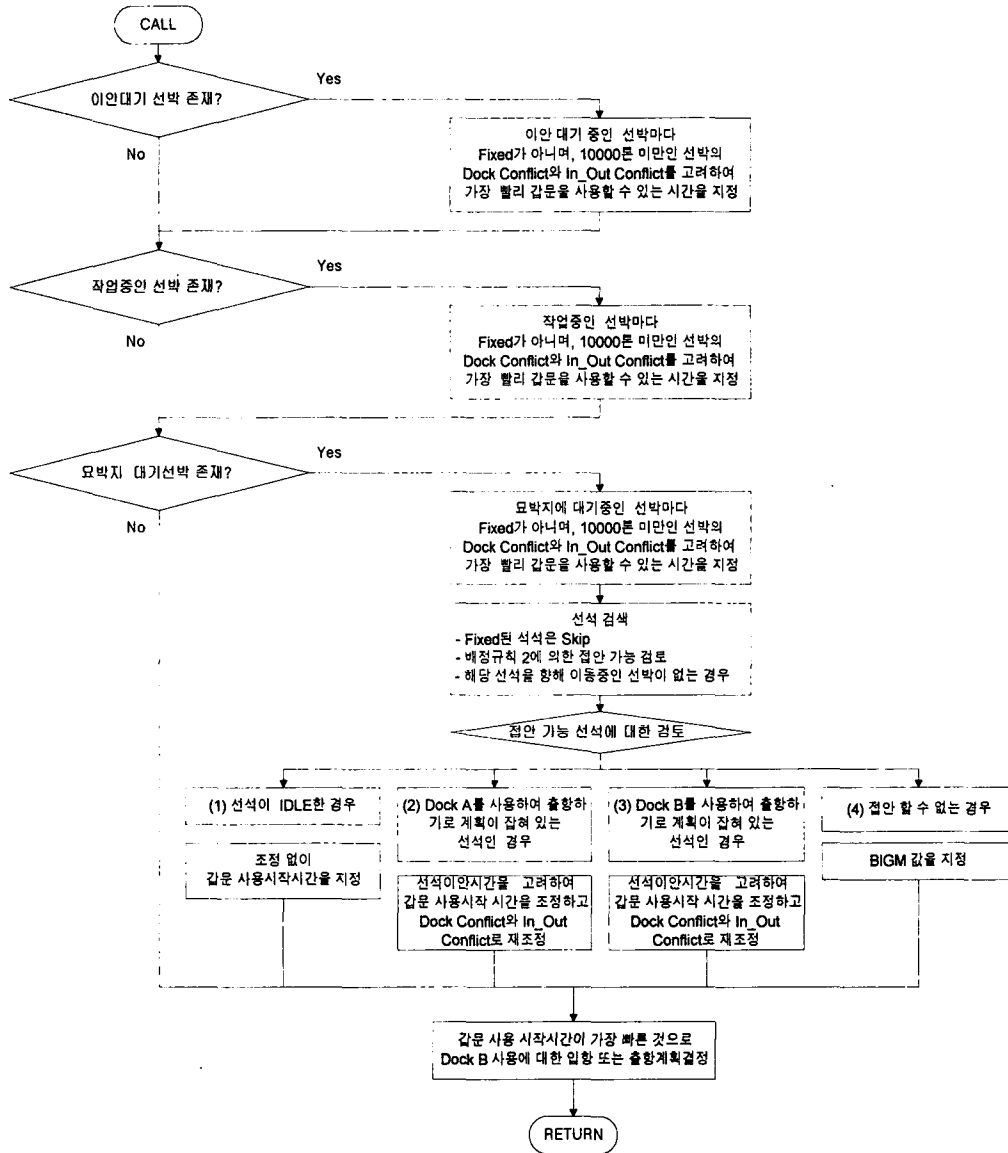
<그림 7> Dispatcher의 흐름도

Dispatching\_DockA의 경우, 대상 선박이나 선석의 검색조건에서 10,000톤급 미만 선박에 대한 제한이 없어지고 Dispatching\_DockB에서 결정된 선박 및 선석을 고려하지 않는 등 몇 가지 차이만 제외하고는 Dispatching\_DockB와 같다.

### 5. 모델의 타당성 검토

모델의 타당성 검증을 위하여, 97년도 체선선박수 및 체선율, 총처리건수 및 총처리량, 그리고 화물군별 처리건수 및 처리량에 해당하는 실적치와 시물레이션 수행결과치들과 비교하였으며 이를 통하여 연구의 시물레이션 모델이 인천내항을 잘 설명하고 있다고 결론을 내릴 수 있었다. <표 3>과 <그림 9>에는 각각 체선율과 처리량 비교를 보여주고 있다.

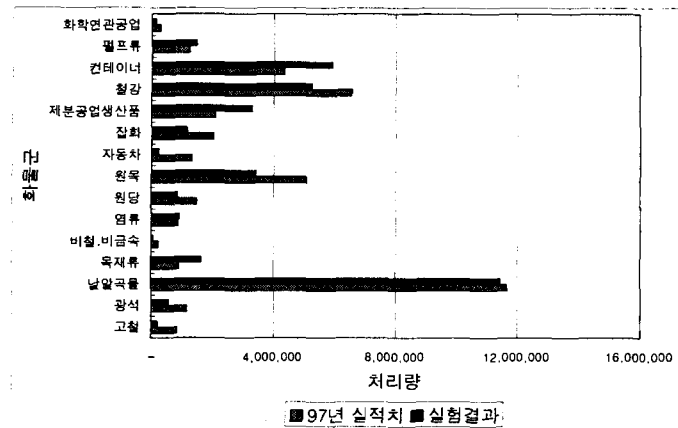




<그림 8> Dispatching\_DockB의 흐름도

<표 3> 체선율의 비교

	97년 실적치	실험 결과치
처리 선박수	6061	6144
체선선박수	1240	1488
체선율	20.5%	23.35%



<그림 9> 화물 처리량의 비교

## 6. 결론

본 연구에서는 인천내항을 대상으로 갑문과 부두운영회사제도를 고려하여 장기 의사결정지원시스템으로서 시뮬레이션 모델을 제시하였다. 항만의 장기운영전략수립, 즉 기계화장비 도입 등으로 서비스능력의 향상, 인근항 개발 등으로 화물량의 이전, 입항 선박 및 화물량의 증대 등과 같은 환경변화의 분석을 지원할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김동희, 김봉선, 이창호, "인천내항의 전략수립과 분석을 위한 시뮬레이션 기반 의사결정지원시스템 개발", 한국시뮬레이션학회 추계학술대회, 1998.
- [2] 김봉선, 이창호, 김원재, 김홍섭, "인천항의 경쟁력 증대 방안에 관한 연구", 인천상공회의소, 1995.
- [3] 김형태, "부두운영 효율화 방안", 해운산업연구원, 1993.
- [4] 김동희, 허동은, 김봉선, 이창호, "효율적 선석운영을 위한 의사결정지원시스템에 관한 연구", IE Interface 산업공학, Vol. 11, No.1, 1998.
- [5] 박남규, "인공지능을 이용한 선석지정 전문가시스템에 관한 연구", 한국해운학회지, Vol.11, 1990.
- [6] 박창호, "항만 유통의 효율화 과제", 전국경제인연합회 항만의 경쟁력 제고를 위한 정책토론회, 1997.
- [7] 인천지방해운항만청, "인천항백서", 인천지방해양수산청, 1997.
- [8] Law, A.M. and W.D. Kelton, Simulation Modeling & Analysis, McGraw-Hill, 1991.
- [9] Systems Modeling Corporation, "ARENA Manuals", Systems Modeling Corporation, 1994.

## 저자소개

김동희

1992년 인하대학교 산업공학과 공학사

1994년 인하대학교 산업공학과 공학석사

2000년 인하대학교 산업공학과 공학박사

현 재 철도 연구소 선임연구원

관심분야 O.R. 응용, 물류시스템, 일정계획, 시뮬레이션, AI 등

김봉선

1977년 인하대학교 산업공학과 공학사

1981년 인하대학교 산업공학과 공학석사

1987년 독일 Karlsruhe 대학교 경제학박사

현 재 인하대학교 산업공학과 교수

관심분야 일정계획, 시뮬레이션, 물류시스템, 경제성분석 등

이창호

현재 인하대학교 산업공학과 교수로 재직중. 인하대학교 산업공학과를 졸업(1978), 한국과학기술원 산업공학과에서 공학석사(1980), 한국과학기술원 경영과학과에서 공학박사(1993)를 취득. 주요 연구관심분야는 인천항의 물류관리, 항공산업관련 스케줄링과 중소기업의 ERP 개발 등