

## 선석의 연속관리를 통한 인천항 선석운영 연구

- A Study on the Continuous Operation of Berth in Incheon Port -

최 현 규\*

HyunKyu, Choi

김 영 민\*

YoungMin, Kim

이 창 호\*

ChangHo, Lee

## 요 약

Port Simulation 문제는 항만의 운영실태를 분석하는데 있어서 크게 두 가지 측면에서 연구되어 왔다. 하나는 항만의 운영효율을 분석하기 위한 연구이고, 다른 하나는 항만과 인근 도시간의 물류시스템과 관련된 연구로 분류할 수 있다.

인천항은 '96년도 체선율이 32.3%로 국내 다른 항만과 비교해 보면 가장 심각한 체선실태를 보이고 있으며 이에 따른 물류비용을 포함한 추가비용의 손실이 크다. 따라서 기존의 연구에서 인천항의 체선현황을 분석하고 개선방안을 제시하는 Simulation Model이 연구되었고, 이를 이용한 의사결정지원시스템을 개발해서 활용방안을 모색중이다. 그러나, 이들 연구에서는 아직 실제 운영하고 있는 연속관리부분에 대해서는 고려하지 않았다. 이에 본 연구에서는 기존의 연구를 검토하고 특히 선박의 대기시간을 줄이고 선석의 활용도를 높일 수 있는 연속관리 부분을 집중 연구 이를 시스템에 반영하였다. 향후 연속적인 선석접안을 적용하여 얻은 결과를 기존의 Port Simulation 이나 선석운영 의사결정 지원시스템 개발에 활용하려 한다.

## 1. 서론

세계 각국은 지속적인 개방화와 국제화에 따라 새로운 경제환경에 적응하기 위해 모든 노력을 경주하고 있다. 이에 따라 동북아 경제권의 중심에 있는 우리나라는 21세기에 동북아 및 세계 경제의 물류 중심지로 성장하리라 기대된다. 인천항은 수도 서울의 관문으로서 수출입 화물량 및 취급규모에서 우리나라 제2의 항만이며 대북 교역량의 증가와 대중국 교역량의 증가로 그 중요성이 날로 부각되고 있다.

그러나, 인천항은 날로 증가하는 수출입 물동량이 인천항에서의 처리 능력의 한계를 넘어섰을 뿐만 아니라, 정부의 사회간접자본의 확충을 통한 항만, 배후 도로시설의 투자에도 불구하고 항만에서의 극심한 체선 및 체화현상으로 인해 물류비용 증가 등의 문제점을 야기하고 있다. 또한 인천항은 이런 체선 및 체화현상에도 불구하고 갑문시설과 기타 부대시설이

\* 인하대학교 산업공학과

복잡하고 처리화물의 종류가 다양해 항만의 전체적인 운영실태를 분석하려는 연구가 부족하였다.

기존의 Simulation과 의사결정지원시스템에서도 이를 해결하고자 인천항의 선석지정 규칙을 고려한 시스템을 연구해 왔다[1,3,4]. 그러나, 실제 인천항에서 적용되고 있는 중요한 요소 중의 하나인 하나이상의 선석에 두 척 이상의 선박을 접안하는 점이 고려되지 않았다. 따라서 기존 연구된 Simulation이나 의사결정지원시스템은 실제 운영방식과 틀리고 이에 따른 결과도 차이가 있음을 알 수 있다. 특히 선석에서 서비스 받는 선박의 수는 실제 상황과는 틀리다. 이에 본 연구에서는 기존의 선석지정 규칙과 더불어 선석에 연속접안이 가능하다는 점을 반영하기 위해 45개의 선석을 23개의 선석군으로 재구성하여 적용하고, 추가적으로 수심에 대한 제한 사항을 실제 수심의 상황에 맞게 현실성 있는 방향으로 연구하여 기존의 연구 및 실제 인천항의 운영 시스템과 비교한다.

## 2. 인천항의 특성 및 운영분석

인천항은 개항 당시에는 자연항이었으나, 최고 10m에 달하는 간만의 차로 인한 선박 입·출항의 장애를 해소하기 위하여 갑문시설을 설치하여 내항 전역을 선거화 함으로서 인공항으로 건설되었다.

이에 따라, 인천항은 갑문이라는 특수한 환경을 가지고 있는 항만으로 기본적으로 세 가지 배정규칙을 기반으로 부두를 운영하고 있다[5].

배정규칙 1은 갑문사용 우선순위 규칙으로 입항선박은 기본적으로 입항예정시간(ETA : Expected Time of Arrival)을 기준으로 입항예정시간이 빠른 선박이 우선권을 가지게 되며, 예외적인 경우들이 존재한다. 예를 들면, 내국적선과 여객선은 선박의 우선순위에 특혜를 주어 다른 선박보다 우선적으로 입항 할 수 있도록 하였다. 이는 실제 선석배정 시 활용되는 규칙으로 시스템에 반영되어야 한다.

배정규칙 2는 하역사-화물별 선석규칙으로 이는 연속관리에서는 기존과는 다르게 고려되어야 한다. 선박의 하역사와 화물군에 따른 접안될 수 있는 선석을 찾는 기존 연구와는 틀리게 본 연구에서는 선석의 하역사만을 고려하여 각 하역사별 접안 가능선석을 찾아 길이와 수심을 비교하여 접안의 가능 여부를 판단하게 된다. 하역사는 공용선석을 비롯하여 총 13개로 구성되어 있고, 각 하역사별로 접안 가능한 선석은 지정되어 있다. 따라서 선박이 입항하게 되면 해당 하역사가 소유하고 있는 선석을 찾아 연속접안을 하도록 한다.

배정규칙 3은 물리적 선석접안규칙으로 선박이 선석에 접안할 때 안전을 위하여 물리적으로 제한하는 규칙으로  $(\text{선박홀수} + 0.3\text{m}) \leq (\text{선석기본수심} + \text{갑문공시수심})$ 으로 제한하는 것과 선박간에는 10m의 여유가 있어야 한다는 것이다. 좀 더 현실적이고 선석을 효율적으로 운영하기 위해서는 규칙 3 역시 기존의 규칙에 추가적으로 고려될 사항이 있다. 수심에 대한 고려는 지금까지 최소수심을 대표수심으로 현실과는 다르게 운영되어 왔으나, 본 연구에서는 수심을 좀 더 세분해서 현실 상황과 맞게 고려하려 한다. 또한 접안된 선박이 앞뒤로 10m의 여유가 있으면 연속접안이 가능하다는 점을 본 연구에서 집중적으로 다루고자 한다.

기존의 연구에서는 한 선석에 한 척의 선박을 접안할 수 있다는 가정을 갖고 시스템을

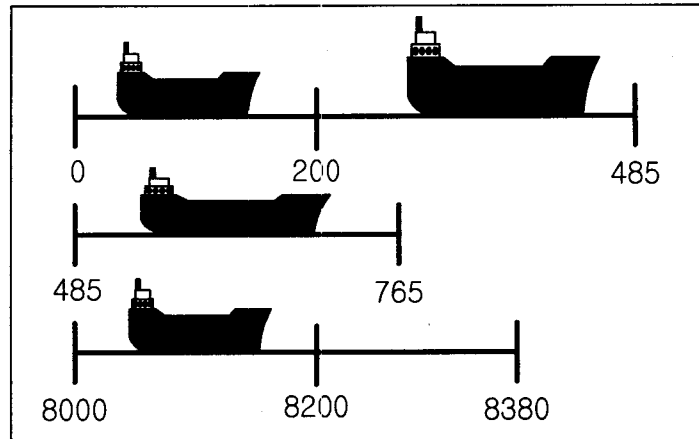
구현하였다[1,3,4]. 그러나, 실제 인천항의 선석운영은 선박이 묘박지에서 대기하는 시간을 줄이고, 좀 더 효율적으로 선석을 사용하기 위해 배정규칙 3, 즉 흘수가 만족되고, 선박간의 거리가 유지된다면 한 선석에 연속해서 두 척 이상의 배를 접안 시킬 수 있도록 선석회의를 통해 결정하고 있다. 따라서 본 연구에서는 선석회의를 통해 실제 인천항에서 운영되고 있는 사항들을 시스템에 반영하고자 연속접안을 고려한 선석운영을 연구하여 이를 활용한 시뮬레이션 모델을 구축하고자 한다.

### 3. 연속관리를 위한 선석배정 시스템

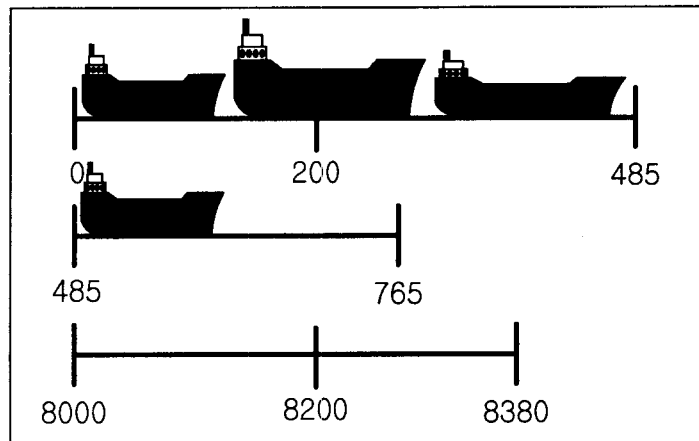
연속관리에 의한 선석배정의 구현은 현재의 운영 시스템을 좀 더 현실적으로 반영하기 위해 필수적인 요소이다. 현재 인천항은 많은 입·출항 선박으로 인해 선박이 묘박지에서 입항하지 못하고 대기하는 시간이 많다. 또한 하나의 선석에 한 척의 선박만을 접안시키다 보면 사용하지 않는 여유공간이 많이 생기게 된다. 따라서, 선석의 효율적인 운영과 선박의 대기시간 등을 줄이기 위해 한 선석에 두 척 이상의 선박이 접안하는 것을 허락하고 있으며, 본 연구에서는 이를 시스템에 적용하여 실제 운영시스템에 더욱 적합하고 타당성 있는 시뮬레이션 모델을 구현하고자 했다.

현재 연구되고 있는 연속관리를 위한 기본 제약사항으로는 첫째, 선박은 화물종류와는 관계없이 해당 하역사가 관리하는 선석이면 어느 곳이나 접안 할 수 있다는 점이다. 물론 외국 적선이나 해당하역사가 없는 경우에는 공용부두에 접안하는 것을 원칙으로 하고 있다. 이 제약사항은 배정규칙 2에 영향을 미치며, 앞에서도 언급했듯이 기존의 규칙적용을 변형하여 이를 시스템에 이용해야 한다. 둘째, 수심은 구간별로 변화가 심한 부분을 중심으로 나누어서 고려한다. 이는 기존의 하나의 해당선석의 최소수심을 대표 수심으로 사용하는 경우와는 다르며 이 역시 좀 더 실제적인 시스템으로 발전시킬 수 있을 것이다. 현재는 한 선석당 세 개의 구간 수심으로 나누어서 고려하고 있다.

기존의 연구에서는 선박의 하역사와 화물종류를 기본으로 하여 45개의 선석에서 접안 가능한 하나의 선석을 찾아 단지 하나의 선박을 접안하는 것을 원칙으로 하고 있으며, 접안하는 선석의 수심은 그 선석의 최소수심으로 나타내고 선박이 접안 가능한지를 판단하게 된다. 연속관리에서는 선박의 하역사만을 기본으로 해서 해당하역사의 선석이고 수심이 만족되고, 선박의 앞 뒤 간격이 10m이상의 여유가 있다면 화물종류가 틀리더라도 연속하여 접안할 수 있도록 하였다. 이는 현재 인천항에서 선석을 활용도를 높이기 위해 실제로 운영되는 시스템이다. 여기에서 또 한가지 고려해야 될 사항은 하나의 대표 수심으로 최소수심을 사용하다 보니 실제 공간상은 접안이 가능하나 물리적인 요소인 수심에 의해 접안을 하지 못하는 경우가 발생하게 되는데 이를 방지하고자 좀 더 실질적인 수심을 적용한다. 즉, 선석의 번호와 관계없이 실제 수심 자료를 찾아서 수심의 변화가 심한 부분을 중심으로 나누어서 측정하고 이를 대표수심으로 이용한다. 이 역시 선석의 활용도를 높이는 중요한 요소이다.



<그림 1> 연속접안이 가능하지 않는 경우



<그림 2> 연속접안이 가능한 경우

기존 연구의 시스템에서는 <그림 1>과 같이 하나의 하역사가 다섯 개의 선석을 관리한다고 가정하면 각 선석에 하나의 선박만을 접안시킬 수밖에 없다. 그러나 연속관리를 적용한다면 위의 다섯 개의 선석을 <그림 2>와 같이 이웃한 선석들을 묶어 세 개의 선석군으로 관리 할 수 있다. 이는 해당 하역사의 하나의 선석에 한 척의 선박을 접안 시키고 동일한 하역사의 선박이 접안할 경우 선석의 여유공간을 이용하여 한 선석에 두 척 이상의 선박을 접안시킬 수 있다. 그림에서 쉽게 알 수 있듯이 4개의 선석에 네 척의 선박을 접안하는 경우에서 연속접안이 가능함에 따라 3개의 선석에 네 척의 선박을 모두 접안할 수 있게 된다. 이는 기존의 방법보다 선석의 활용도를 더욱 높일 수 있을 것이다. 실제로 선석의 번호는 선석관리를 위한 형식적인 번호이고, 물리적인 분리가 아니므로 기존의 선석번호와는 무관하게 두 선석에 한 척의 선박이 걸쳐서 접안하는 것이 가능하다. 물론 이 때, 앞에서 말한 수심의 조건과 앞 뒤 여유간격의 조건은 만족해야 한다.

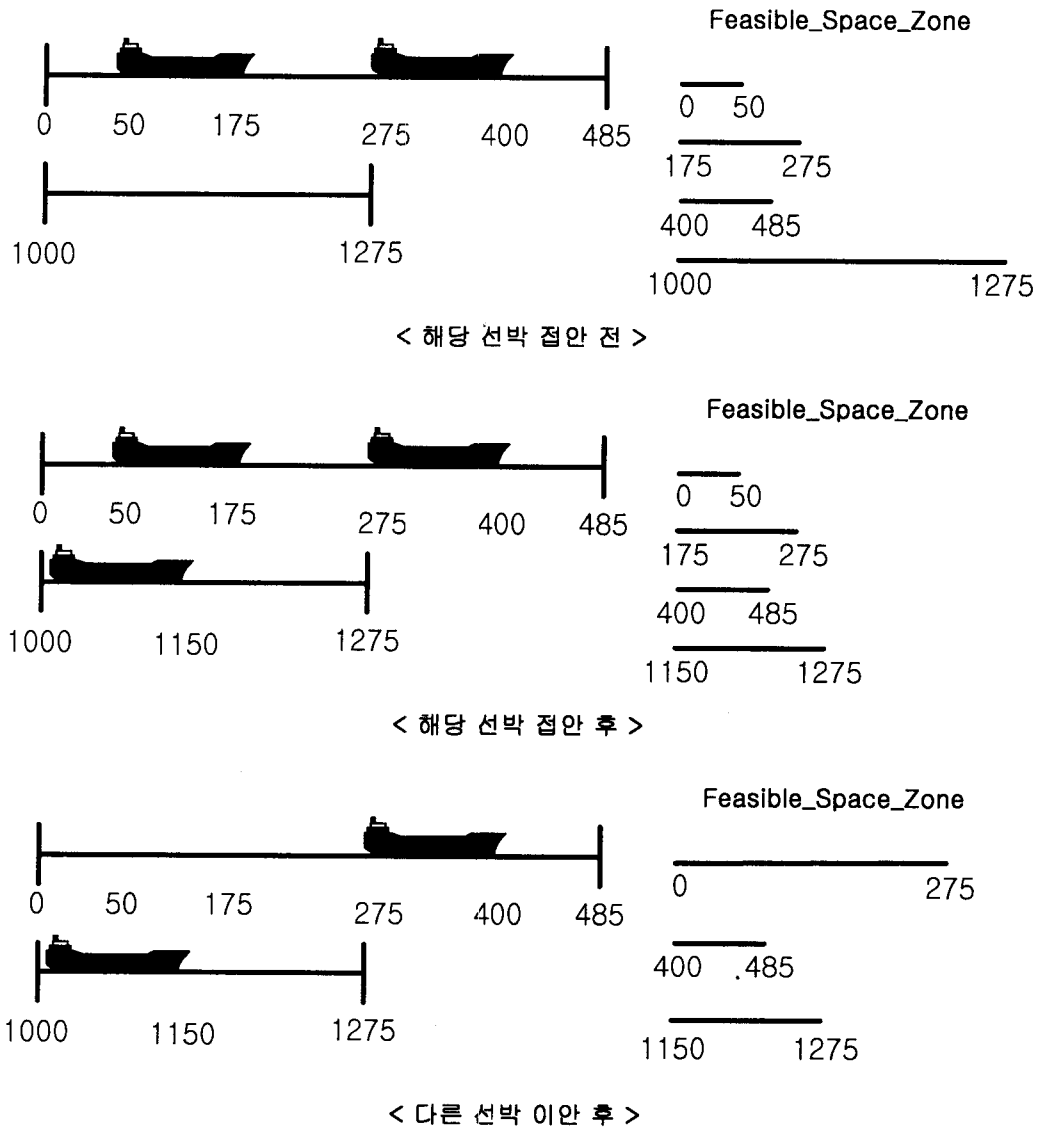
연속관리를 위한 시스템을 구현하기 위해서는 선석을 선석번호를 이용하여 이산적으로 관리하는 것에서 각 선석을 Zone으로 표현하여 연속적으로 관리가 가능하도록 수정한다. 현

재 연구 시뮬레이션에서는 각 선석을 하역사가 같고 이웃한 선석을 하나의 Zone으로 간주하여 관리하게 된다. 즉, 45개의 선석을 위와 같은 방법으로 분류하여 총 23개의 선석군으로 분류하여 시스템을 운영한다. 이는 기존의 배정규칙 2를 연속관리를 위해 변경해야 하는 상황이며, 선박의 하역사-화물별 접안 가능한 선석을 지정하는 것과 달리 하역사에 의해 선석군을 형성해 각 하역사별 가능한 Basic\_Space\_Zone을 지정하고, 이를 기본으로 하여 접안 가능한 위치를 얻게 된다. 이를 정리한 것이 <표 1>이다.

<표 1> 하역사별 담당 선석 및 Basic\_Space\_Zone

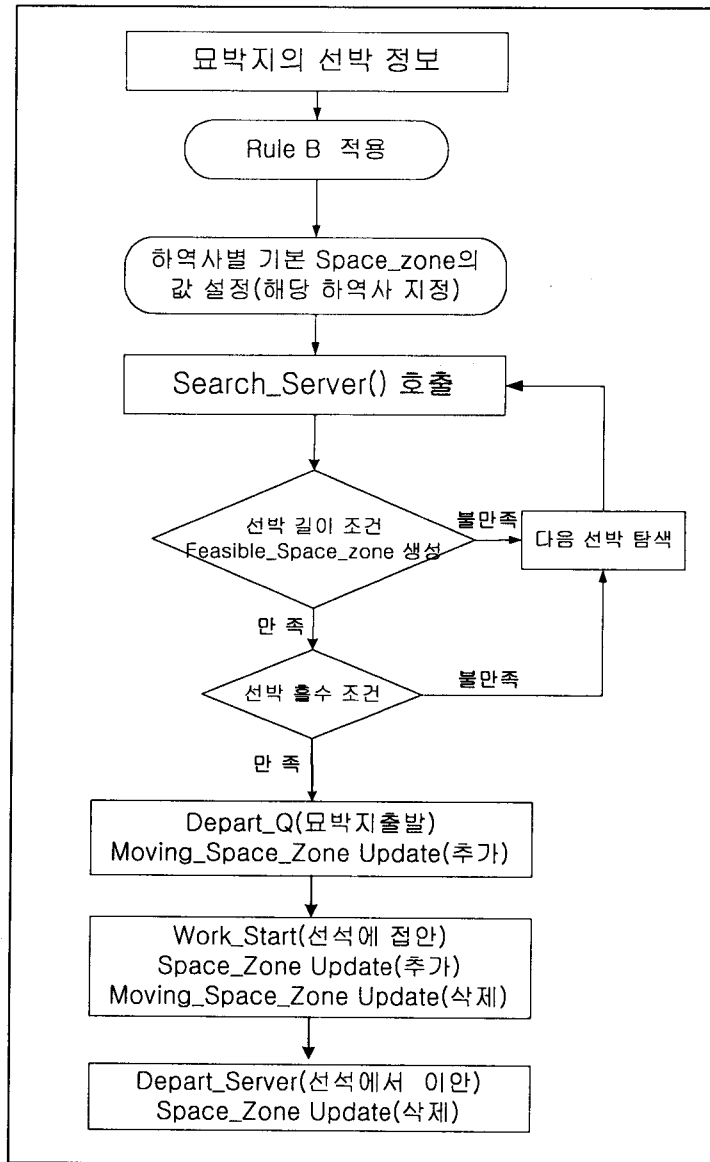
번호	담당 하역사	선석 번호	Basic_Space_Zone
1	공용부두선석	10, 11, 12, 13, 14	0 ~ 913(m)
2	공용부두선석	15, 16, 17, 18, 19	913 ~ 1779(m)
3	한염해운	20	1779 ~ 1991(m)
4	우련통운	21	1991 ~ 2191(m)
5	동방	22, 23	2191 ~ 2591(m)
6	한염해운	24	2591 ~ 2791(m)
7	우련통운	25, 26	2791 ~ 3221(m)
8	세방기업	30, 31, 32	3221 ~ 3771(m)
9	한진	33, 34	3771 ~ 4121(m)
10	동부고속	35, 36	4121 ~ 4471(m)
11	한진	40, 41, 42	4471 ~ 5096(m)
12	대한통운	43, 44	5096 ~ 5631(m)
13	대한통운	50	5631 ~ 5911(m)
14	선광공사	51, 52, 53	5911 ~ 6741(m)
15	동화실업	60, 61, 62	6741 ~ 7491(m)
16	대한벌크터미널	70	7491 ~ 7795(m)
17	대한벌크터미널	71	7795 ~ 8099(m)
18	대한싸이로	72	8099 ~ 8403(m)
19	대한싸이로	73	8403 ~ 8707(m)
20	공용부두선석	74	8707 ~ 8907(m)
21	동부고속	80, 81	8907 ~ 9287(m)
22	대한통운	82	9287 ~ 9507(m)
23	영진공사	83	9507 ~ 9727(m)

우선 하역사가 같은 선석군들을 <표 1>과 같이 각각 Basic\_Space\_Zone으로 나타내고, 선박이 묘박지를 떠나게 되면 해당 선박의 정보를 Moving\_Space\_Zone에 임시로 저장하고 있다가 선박이 접안 가능한 선석을 탐색하여 실제로 접안하는 시점에서 그 선박의 정보를 Moving\_Space\_Zone에서 가져와 Space\_Zone으로 저장한다. Space\_Zone은 각 하역사별 Basic\_Space\_Zone의 정보를 그대로 가져와 추가적으로 선박이 접안되는 정보를 저장하는 배열이다. 어떤 선박이 접안한 후에 다른 선박이 접안을 하기 위해서는 현재 접안되어 있는 정보를 가지고 있는 Space\_Zone을 기준으로 접안가능한 구간을 나타내는 Feasible\_Space\_Zone을 생성, 탐색을 하고 접안이 가능하게 되면 위의 과정을 반복한다. 선박이 접안되어 있는 선석에서 작업을 마치고 이관을 하게 되면 접안 정보를 가지고 있는 Space\_Zone에서 해당 선박의 접안정보를 찾아 배열에서 삭제하고 Space\_Zone을 업데이트 한다.



<그림 3> 접안과 이안에 따른 Feasible\_Space\_Zone의 변화

실제 선박이 입항을 하기 위해서 해당 하역사의 현재 접안되어 있는 선박을 제외한 나머지 여유공간과 선박의 길이를 일차적으로 비교하게 되는데 여기서 여유공간이 Feasible\_Space\_Zone이며, 선박의 접안 및 이안에 따른 Zone의 변화는 <그림 3>으로 설명된다. 즉, 선박의 접안함에 따라 Zone은 줄어들고, 선박이 이안하면, 해당 점유 Zone은 다시 Feasible\_Space\_Zone으로 추가된다. 이를 다시 전체적인 흐름도로 나타내면 <그림 4>와 같이 나타낼 수 있다.



<그림 4> 선박의 흐름에 따른 Space\_Zone의 변화

## 6. 결론 및 추후과제

본 연구에서는 인천항의 실제데이터를 분석하여 얻어진 선박도착 시간, 화물량, 서비스시간 분포와 인천지방해운항만청 및 하역회사의 선석 지정 규칙, 특히 한 선석에 두 척 이상의 선박이 접안 가능한 연속관리를 고려한 인천항의 선석운영 방법론에 대한 기본 모델을 제시하였다. 이를 근거로 하여 인천항의 현황 및 운영 상태를 분석할 수 있는 Simulation 모델을 구성 중이다. 기존의 시뮬레이션과 마찬가지로 이 역시 기계화장비 도입 등으로 인한 서비스능력의 향상을 고려 항만의 장기운영전략을 수립하는 데 그 일차적인 목적이 있다. 본 연구에서는 선석의 연속관리를 위해 Space\_Zone이라는 배열 개념을 이용해 현재 내항 내에

각 선석에 대한 정보를 저장하고, 이를 이용하여 선박의 입항 시 접안여부를 판단하고 연속 접안이 가능하면 이를 허용하여 선석의 이용률을 높였다. 화물량의 증대와 선박의 증가로 인한 각종 서비스의 지연은 본 연구에서 제시한 연속관리를 활용해서 개선되었다. 즉, 연속접안을 이용하여 선박의 대기시간을 낮추고 갑문 및 선석을 효과적으로 사용할 수 있는 결과를 얻게 되었다.

앞으로의 연구과제로는 현 연구중인 시스템을 좀 더 현실적인 데이터를 기본으로 하여 구축하고, 이를 기존의 Simulation Model에 추가적으로 고려한다. 특히 아직 정확해서 적용되지 못한 수심에 대한 연구가 필요하다. 또한 Simulation Model이 완성되면 여러 가지 상황에 대한 실험을 수행하여 실제 자료와 비교, 검토하여 모델의 타당성을 검증한 후, 각종 시나리오 분석을 통해 북항 및 남항 등 인접항의 개발 등에 대한 대안 등을 제시한다. 그리고, 더 나아가 기존의 연속관리에 대한 사항을 의사결정지원시스템에 반영하여 현실적이고 효율적인 시스템이 되도록 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김동희, 김봉선, 이창호, "인천내항을 위한 시뮬레이션 모델 개발", 한국항만학회 추계학술대회, 1999.
- [2] 김봉선, 이창호, 김원재, 김홍섭, "인천항의 경쟁력 증대 방안에 관한 연구", 인천상공회의소, 1995.
- [3] 김동희, 최운, 김봉선, 이창호, "모의실험을 통한 인천항의 운영실태분석에 관한 연구", 공업경영학회지, 제22권 제49집, 1999.
- [4] 유재성, 김동희, 김봉선, 이창호, "인천항의 효율적 선석운영을 위한 실시간 의사결정지원 시스템 구축", 한국항만학회, 제13권, 제2호, 1999.
- [5] 인천지방해운항만청, "인천항백서", 인천지방해양수산청, 1997.
- [6] Brown, G.G., S.Lawphongpanich and K.P.Thurman, "Optimizing Ship Berthing", Naval Research Logistics, Vol.41. 1994.
- [7] Kao, C. and Lee, H. T., "Coordinated Dock Operations : Integrating Dock Arrangement with Ship Discharging", Computers in Industry, Vol.28, 1996
- [8] Kao, C. Li, D.-C., Wu, C. and Tsai, C.-C., "Knowledge-based Approach to the Optimal Dock Arrangement", International Journal of Systems Science, Vol.21, No.11, 1990