

☒ 응용논문

모의실험을 통한 인천항의 운영실태분석에 관한 연구[†]
A Simulation Study on the Demurrage of Inchon Port

김 동 회**
Kim, Dong Hee
최 운**
Choi, Un
김 봉 선*
Kim, Bong Sun
이 창 호*
Lee, Chang Ho

Abstract

The purpose of this study is to develop a port simulation program for Inchon Port. The arrival and departure data from Inchon Port is analyzed and the berthing rule based on formal materials and experiences is constructed. A Port-Simulation program to analyze the effects of the changes in ship arrivals, service capacities upon the demurrage is constructed and several scenarios are analyzed. It is expected that we can use the simulation results in order to prepare proper service levels and plan appropriate investment strategies.

1. 서론

세계 각국은 지속적인 개방화·국제화에 따른 새로운 경제 환경에 적응하기 위하여 많은 노력을 경주하고 있으며, 21세기 세계 경제의 중심역할을 할 한국은 동북아 경제권의 물류 중심지로 성장할 것으로 기대된다[2]. 그러나, 앞으로 물류의 중심역할을 담당해야 할 국내 항구는 낙후된 설비와 정보관리체제의 미비로 인하여 그 경쟁력을 상실하고 있는 실정이다. 특히 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[1,3,11]. 이러한 문제점들에도 불구하고 갑문시설과 기타 부대시설이 복잡하고 처리화물의 종류가 다양해 항만 전체 운영실태를 분석·개선하려는 연구가 부족한 것도 사실이다. 본 연구에서는 인천항의 현황을 파악하고 시뮬레이션을 통해 체선원인을 분석하며, 향후 화물량의 변동, 하역작업의 효율화로 인한 서비스율의 향상, 인근항로의 화물이전으로 인한 화물량의 감소 등의 제조건들의 변화에 따른 영향을 검토하여 효율적인 항만 운영

* 인하대학교 산업공학과

** 인하대학교 대학원 산업공학과

† 본 연구는 부분적으로 인하대학교 97년도 교내연구비 지원에 의하여 수행되었음

방식을 제시하고자 한다[5,6,7].

본 연구의 대상인 인천항의 내항은 총 8개 부두, 50개 선석으로 구성되어 있으며 약 200여 가지의 화물을 다루고 있다[8,9]. 연구에서는 취급화물을 15개 화물군으로 분류하여 화물별 도착간격, 화물량, 서비스율 등의 기초자료를 분석하여 분포를 추정하고 전문가들의 경험과 지식을 토대로 선석지정규칙을 구성하였다[12,14,15]. 또한 ARENA를 이용하여 시뮬레이션 모델을 구축하고 여러 가지 시나리오에 따른 변동을 분석하였다[13,16,17].

2. 부두운영방식

항만은 부두를 효율적으로 운영함으로 선박의 제항(在港)비용을 절감시키고 부두의 이용과 관련된 물류비용을 감소시킬 수 있다. 따라서 선진국 주요 항만들은 부두시설을 효율적으로 운영하기 위해 각 항만의 특성에 적합한 운영방법을 모색하고 있다. 공용부두의 운영방식은 부두의 이용화물을 기준으로 한 운영방식과 이용자를 기준으로 한 운영방식으로 크게 분류할 수 있다. 부두의 이용화물 및 항로 기준 운영방식으로는 화물별 부두 우선지정제도, 항로별 부두 우선지정제도 등이 있고, 이용자 기준 운영방식으로는 선착순 이용제도, 특정이용자 우선지정제도, 특정이용자 전용사용제도 등을 꼽을 수 있다. 인천항의 경우 화물별 부두우선지정제도, 선착순 사용제도, 특정 이용자 우선사용제도를 기본으로 운영하고 있다.

인천항은 개항 당시 자연항이었으나, 최고 10m에 달하는 간만의 차로 인한 선박 입출항 장애를 해소하기 위하여 갑문시설을 설치하고 내항 전역을 선거화 함으로서 인공항으로 변모하게 되었다. 인천항 선거 내에는 8개 부두에 모두 50개의 선석이 있으며, 부두별 주요 취급화물을 살펴보면 1, 2, 3, 6부두는 일반공용부두로 주로 철재, 원목, 사료, 잡화 등을 처리하고 있으며, 4부두는 한진과 대한통운의 민자부두로서 컨테이너 전용부두로 이용되고 있다. 5부두는 1987년 이후 본격화된 자동차 수출의 전용부두로 이용되고 있으며, 7부두는 양곡 전용부두로서 우리나라 전체 수입양곡의 약 79%를 취급하고 있다. 8부두는 고철과 철물 전용부두로 이용되고 있다[8,9,10].

3. 선석지정규칙

인천항은 선착순 부두사용제도와 특정화물 우선지정제도를 기본으로, 컨테이너 전용부두를 제외한 모든 선석에 대하여 선박이 접안하기 하루 전에 '선석회의'를 개최하여 다음날의 사용을 지정하는 방식으로 운영되고 있다[4,8,9].

3.1 입항선박의 선석지정우선순위결정 규칙

입항선박의 선석지정 우선순위는 기본적으로 입항예정시간(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.

3.2 화물별 부두지정에 관한 규칙

인천항은 기본적으로 화물별 부두 우선사용제도를 택하고 있으며, 1, 2, 3, 6부두는 일반잡화

부두로 모든 선박의 사용이 가능하다.

3.3 선박의 선석접안에 관한 규칙

인천항 선거내 수위는 갑문관리소에서 공시하는 선거내 수위와 선박의 기본수준의 합으로 나타내어지며, 선박의 안전을 위하여 인천항 선거내 수위와 선박의 흘수(吃水 ; draft)와의 최소차이는 0.3m로 제한하게 된다. 원칙적으로 하나의 선석에 한 척이 접안하도록 되어 있으나 인천항의 체선·체화현상으로 선박의 선수, 선미로부터 각각 10m의 여유만 있으면 하나의 선석에 여러 척이 접안할 수도 있다.

4. 인천항을 위한 시뮬레이션

4.1 운영실태 분석

인천항에서 처리하고 있는 화물은 다음의 15개 화물군으로 분류되고 각 화물군의 특성에 따라 부두 및 선석을 지정하게 된다. 1996년도 양적하작업을 수행한 자료를 분석한 결과 화물군·부두별 화물처리비율은 <표 1>과 같다.

<표 1> 화물별·부두별 화물처리량

	1부두	2부두	3부두	4부두	5부두	6부두	7부두	8부두	화물별 합계
고철	13580	2200	3700	1697	4884	0	69958	1136913	1232932
기타광석	285369	88904	234359	0	99286	64768	8285	541838	1322809
날알곡물	448509	1610276	249106	3959745	97271	6548	4656075	423169	11450699
목재류합판	67899	52297	84851	0	333078	966548	20913	3505	1529091
목재펠트	172346	188889	134741	323982	344958	336909	15000	27354	1544179
비철비금속	106198	72723	45235	0	20125	21643	3122	129168	398214
수송기기	67681	91500	60286	139820	519665	73260	0	1895	954107
염류	63000	36000	14700	7000	207800	149880	0	497508	975888
원당	87184	174057	64881	79816	135331	55000	12300	876684	1485253
원목	1722082	1437256	1024266	8600	1543051	22960	0	0	5758215
갑화	604754	218489	279144	323061	66154	279250	169066	40289	1980207
제분공업생산품	554787	1038821	1085029	219884	15744	2000	153338	10000	3079603
철강	1520510	927447	722419	599032	591978	1118021	106430	438616	6024453
폰테이너	127129	280129	21945	3695110	70800	15520	14900	3500	4229033
화학연관공업	243933	98049	82703	0	150439	21593	3271	21604	621592
부두별 합계	6084961	6317037	4107365	9357747	4200564	3133900	5232658	4152043	42586275

4.2 시뮬레이션을 위한 가정 및 분포추정

입항선박의 화물별 도착시간, 화물량 그리고 서비스율에 관한 분포추정은 ARENA에서 제공하는 Input Analyzer와 Statistica를 사용하였으며, 15개 화물군별로 도착시간간격, 화물량 그리고 서비스율 각각에 대하여 구해진 각 화물별 분포는 <표 2>와 같다. 인천항의 시뮬레이션을 위한 기본 가정은 다음과 같다.

- 입항선박의 도착간격, 화물량, 시간당 양적하량 등은 각 화물군별로 1996년도 인천항의 실제 자료를 분석하여 구해진 확률분포에 의해 발생한다.
- 입항선박에 실린 화물의 종류는 선박과 1대1로 대응하도록 한다.
- 입항선박은 1996년도 실제자료와 인천항 선석회의에서 적용되는 선석지정 규칙을 기준으로 하여 각 화물에 적합한 선석을 선택하여 접안하게 된다.
- 양적하작업은 선박의 접안과 동시에 시작되고, 서비스가 끝나면 즉시 항구를 떠나게 된다.
- 입항선박이 갑문을 통과하여 선석에 접안할 때까지 걸리는 시간은 1시간이다.

- 선박의 수리시간 등 입항선박의 부수적인 시간은 모두 서비스시간에 포함된다.
- 1일 작업시간은 실제 인천항에서의 작업시간인 20시간으로 한다.
- 1년 중 눈, 비등으로 인해 항만에서 서비스할 수 없는 날은 인천항의 강우일수인 30일로 한다.

<표 2> 화물별 도착시간간격, 화물량, 서비스율에 대한 분포

화물종류	도착간격	화물량	시간당 서비스량
고철	1+WEIB(87.6, 0.945)	209+5.48e4*BETA(0.207, 0.815)	2+ERLA(91.5, 1)
기타광석	1+WEIB(52.6, 1.13)	228+LOGN(7.83e3, 2.23e4)	6+LOGN(77.2, 131)
날알곡물	1+GAMM(26.8, 1.27)	700+5.75e4*BETA(0.792, 0.741)	6+WEIB(337, 0.783)
목재류, 합판	2+GAMM(50, 1.14)	279+ERLA(4.02e3, 2)	2+LOGN(142, 169)
목재펠프	1+261*BETA(0.83, 2.73)	512+GAMM(5.77e3, 1.33)	2+LOGN(267, 416)
비철, 비금속	3+WEIB(96.9, 1.09)	177+WEIB(3.39e3, 0.884)	5+LOGN(70.5, 94.4)
수송기기	1+140*BETA(1.37, 6.12)	14 + GAMM(1.19e+003, 1.24)	ERLA(25.7, 2)
염류	TRIA(2, 88.1, 863)	1e3+4.41e4*BETA(0.509, 0.328)	30+LOGN(566, 1.2e3)
원당	1+EXPO(86)	50+WEIB(1.28e4, 1.17)	11+GAMM(112, 1.29)
원목	0.999+WEIB(27.6, 1.26)	400+LOGN(1.22e4, 2.33e4)	5+LOGN(114, 162)
잡화	1+94*BETA(1.15, 3.58)	5+WEIB(2.41e3, 1.35)	WEIB(66.6, 0.826)
제분공업생산품	1+WEIB(44.7, 1.08)	744+GAMM(9.9e3, 1.06)	7+LOGN(124, 179)
철강	1+71*BETA(1.09, 3.11)	50+LOGN(5.02e3, 5.41e3)	LOGN(110, 120)
컨테이너	1+WEIB(23.3, 1.38)	20+LOGN(3.25e3, 6.1e3)	10+LOGN(160, 173)
화학연관공업	1+ERLA(35, 2)	151+LOGN(6.7e3, 2.17e4)	5+LOGN(85.5, 114)

4.3 모델의 구성과 시뮬레이션의 결과

시뮬레이션 모델은 다음 3부분으로 구성된다. 실제자료 분석을 통한 기초자료를 바탕으로 선박의 화물군별 도착시간 간격에 따라 개체를 발생시키고 화물유형, 화물량, 시간당 서비스량 등의 정보를 부여하는 부분 ; 입항선박에 대해 화물군별로 선석지정규칙을 고려하여 선석을 결정하고, 선박의 입항부터 접안까지의 과정을 animation으로 보여주는 단계 ; 그리고 서비스 받은 선박을 선석 및 화물군별로 처리선박수, 처리량, 처리비율, 체선에 관한 정보 등에 대해 시뮬레이션 결과를 구하는 부분.

시뮬레이션을 통하여 화물군별 처리선박수 및 총 처리선박수, 화물군별 처리량 및 총 화물처리량, 선석에 대한 화물별 처리선박수, 선석에 대한 화물별 처리량 및 처리비율, 화물군별 체선선박수와 평균체선시간 및 총 체선선박수, 선석에 대한 체선선박수 및 체선율, 화물군별 재항시간 및 평균 서비스시간 등의 정보를 얻을 수 있으며, 다음의 결론을 얻을 수 있다.

- 1년 동안의 시뮬레이션의 결과 총 처리선박수는 6,204척이었고 체선선박수는 2,014척으로 32.5%의 체선율을 보이고 있으며 총 처리화물량은 약 4,200만톤이었다. 그리고 체선선박의 평균체선시간은 약 55시간인 것으로 나타났다.
- 화물별 처리실적을 살펴보면 철강, 컨테이너, 잡화, 수송기기의 순서로 처리선박수가 많으며, 처리화물량은 날알곡물, 철강, 원목, 컨테이너의 순서임을 알 수 있다.
- 8개 부두 중에서는 컨테이너 전용부두인 4부두에서 가장 많은 화물처리량 및 처리선박수를 보여주고 있다.
- 화물종류별 체선상태는 체선선박수는 철강, 컨테이너가 많으며, 체선선박의 평균체선시간은 고철이 가장 길다는 것을 알 수 있다.
- 부두별 체선현황을 살펴보면 체선선박수는 4부두에서 가장 많았고, 체선율은 7부두가 높다는

것을 알 수 있다.

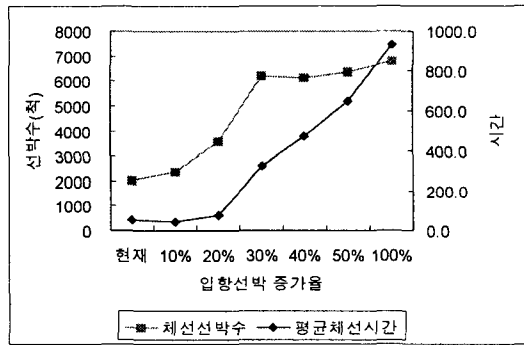
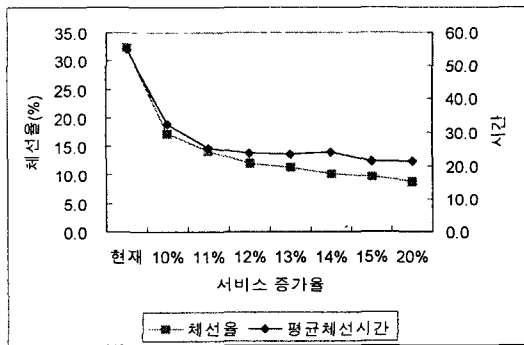
- 96년 실적치(총 처리선박수 5,909척, 체선 선박수 1,908척, 체선율 32.3%)와 위 결과, 그리고 화물별·부두별 화물처리 실적치(<표1>)와 수행결과(<표3>)를 비교해볼 때 시뮬레이션 프로그램은 실제 상황을 잘 반영하고 있다고 볼 수 있다.

<표 3> 화물별·부두별 화물처리 수행결과

	1부두	2부두	3부두	4부두	5부두	6부두	7부두	8부두	화물별합계
고철	0	0	0	0	0	0	422535	809974	1232509
기타광석	226377	14032	252859	0	139352	18554	0	673090	1324264
날알곡물	1123424	821153	1169179	2868138	451247	0	4275464	740209	11448814
목재류합판	0	0	119223	0	735408	738069	0	0	1592700
목재펠트	51812	226556	98518	377710	333256	438373	0	0	1526225
비철비금속	148342	50364	7737	0	0	10323	0	86892	303658
수송기기	0	141284	8492	213260	481255	97108	0	0	941399
염류	0	33277	0	0	325407	306326	0	313598	978608
원당	418066	321807	0	342962	61339	0	0	303080	1447254
원유	1327675	1227582	1423097	0	1756880	0	0	0	5735234
잡화	805307	103037	247283	533812	0	141412	213731	0	2044582
제분공업생산물	708729	667222	1230497	348813	0	0	121048	0	3076309
철강	1725105	1100578	103382	691561	0	1731584	0	692900	6045110
콘테이너	214804	839257	0	3002704	80743	0	0	0	4137508
화학연관공업	263207	58413	86327	0	142209	0	0	0	550156
부두별합계	7012848	5604562	4746594	8378960	4507096	3481749	5032778	3619743	42384330

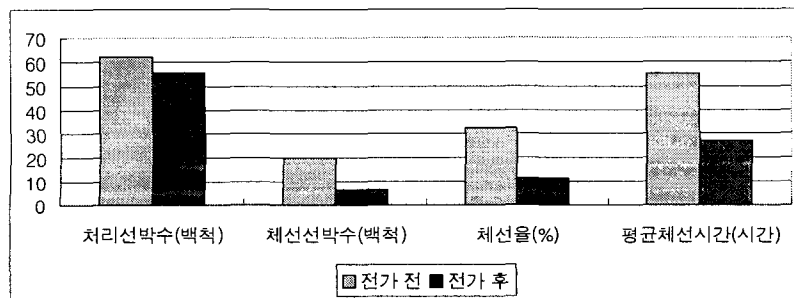
4.4 인천항의 제조건의 변동에 따른 영향 분석

서비스율 증가 및 선박수 증가, 인접항만으로의 화물이동에 따른 체선 변화를 살펴봄으로써 아산항의 건설과 화물이동이 인천항의 체선율 크게 개선시킬 수 있음을 알 수 있으며, 여유 서비스능력을 다른 화물을 처리하는데 사용함으로써 체선이 상당히 감소될 수 있음을 알 수 있다.



<그림 1> 서비스율 증가에 따른 체선변화

<그림 2> 입항선박수 증가에 따른 체선변화



<그림 3> 아산항으로의 화물이동에 따른 영향

5. 결론

시뮬레이션 결과와 그에 따른 대책을 요약하면 다음과 같다 ; 첫째, 시뮬레이션의 결과에서와 같이 입항선박 수의 증가에 따른 체선율 및 체선시간의 증가를 막기 위해서는 서비스율의 지속적 증가가 필요하다. 하역장비의 기계화 등을 통한 설비의 확장뿐만 아니라 TOC제도의 도입 등을 통해 항만운영방식의 효율화가 필요하다. 둘째, 신항의 개발에 따라 인천항의 체선율 및 체선시간이 크게 개선될 수 있다. 이를 위해 아산항과 경인운하 터미널 등 화물을 이전에 필요한 신항의 개발이 요구된다.

추후 연구과제로는 비용을 고려한 선석지정 문제와 서비스율을 향상시키는 데 필요한 비용의 경제성평가, 그리고 97년도부터 시행된 TOC제도의 영향 분석 등을 들 수가 있다.

6. 참고문헌

- [1] 김동희, 허동은, 김봉선, 이창호, “효율적 선석운영을 위한 의사결정지원시스템에 관한 연구,” 산업공학, 제11권 제1호, 1998
- [2] 김봉선, 이창호, 김원재, 김홍섭, 인천항의 경쟁력 증대 방안에 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] 박창호, “항만 유통의 효율화 과제,” 전국경제인연합회 항만의 경쟁력 제고를 위한 정책토론회, 1997
- [6] 이연구, “인천지역 항만개발의 과제와 전략,” 한국해양수산개발원, 1997.6
- [7] 인천지방해운항만청, 인천항 체선·체화 해소대책, 인천지방해운항만청, 1996.4.
- [8] 인천지방해운항만청, 인천항백서, 인천지방해운항만청, 1992
- [9] 인천지방해운항만청, 인천항 항만시설운영세칙 개정, 인천지방해운항만청, 1996
- [10] (주)한진해운 인천지점, 항만(부두)의 관리 운영과 개발실태 및 애로현황, (주)한진해운 인천지점, 1996
- [11] 허동은, “선석지정을 위한 지식기반 의사결정지원시스템에 관한 연구,” 인하대학교 산업공학과 석사학위논문, 1997
- [12] Frankel, E.G., *Port Planning and Development*, John Wiley & Sons, 1987
- [13] Hayuth, Y., Pollatschek, M.A. and Roll, Y., “Building a Port Simulator,” *Simulation*, Vol.63, No.3, 1994
- [14] Kao, Chiang, Lee, H.T., “Coordinated Dock Operations : Integrating Dock Arrangement with Ship Discharging,” *Computers in Industry*, Vol.28, 1996
- [15] Kao, Chiang, Li, Der-Chiang, Wu, Chihsen, and Lai, Chih-Yan, “Scheduling Ship Discharging Via Knowledge Transformed Heuristic Evaluation Function,” *International Journal of Systems Science*, Vol.23, No.4, 1992
- [16] Law, A.M. and Kelton, W.D., *Simulation Modeling & Analysis*, McGraw - Hill, 1991
- [17] Ramani, K.V., “An Interactive Simulation Model for the Logistics Planning of Container Operations in Seaports,” *Simulation*, Vol.66, No.5, 1996