

인천항의 선박도착 분포 및 부두서비스 실태 분석에 관한 연구

황해성* · 곽규석**

Analysis on the Distribution of Ship Arrival and the Cargo
Handling Service of Inchon Port

H. S. Hwang · K. S. Kwak

Key Word : 인천항(Inchon port), 항만물류시스템(Port physical distribution system), 대기행렬이론(Queueing theory), 시뮬레이션 모형(Simulation model), 체선율(Congestion rate), 시나리오(Scenario), 대기행렬순위원칙(Queue discipline), 단일과정(Single-phase), 서비스율(Service rate), 운송시스템(Transportation system)

Abstract

Ship's delay caused by port congestion has drawn attention to the necessity for analysis on overall operation in the port. But, in order to analyze the complicated port operation which contains large number of variable factors, queueing theory is needed to be adopted, which is applicable to a large scale transportation including ship's arrival in a large port.

In this paper, a simulation model for Inchon Port was developed by the software SIMAN V and presented congestion rate under a certain scenario regarding the arrival ship's number and service levels.

To develop the simulation model, types of ships and cargoes during the 1995 in Inchon Port was analyzed in advance.

The results of the simulation can be summarized as follows :

* 성회원, 한국해양대학교 박사과정(해양수산부 인천지방해난심판원 심판관)

** 정회원, 한국해양대학교 교수

In order to maintain present levels of congestion rate and time with the increasing number of arrival vessels, service rate should be increased at an exponential rate.

To improve the current congestion effectively, part of cargoes are needed to be transferred to a newly developing port.

Results obtained from simulation can be used properly to prepare improved service levels and to plan appropriate investment strategies.

1. 서론

1.1. 연구목적

인천항은 수도 서울의 관문으로서 수출입화물량 및 취급규모에서 우리나라 제2의 항만으로서 역사적으로 대륙무역의 전진기지이며, 특히 중국과의 교역 중심항이다.

오늘날 인천항은 증가하는 수출입물동량이 인천항의 처리능력의 한계를 넘어섰을 뿐만 아니라 정부의 사회간접자본의 확충을 위한 항만, 배후 도로 시설의 투자에도 불구하고 극심한 항만 적체 현상을 경험하고 있다.

적체현상이 극심한 항만에서의 해결책은 선석, 하역장비를 포함한 화물처리능력의 확장임은 재론의 여지가 없으나, 이는 막대한 투자재원을 필요로 하며 모든 문제점이 해결되기까지는 오랜 시일이 소요된다. 따라서 현재의 극심한 적체현상을 해결하는 가장 단기적 처방은 선박입출항시스템과 하역시스템을 효율적으로 관리·운영하는 것이다.

본 연구에서는 인천항의 부두현황 및 선박입출항 패턴을 파악하여 시뮬레이션 모형 등을 이용하여 현재 인천항의 체선현황을 개선하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

1.2. 연구방법 및 범위

본 연구에서는 인천항에서 실제 기록된 선박의 입항, 접안, 이안 시간 등의 입력자료들을 기반으로 하여 시뮬레이션 모형(Simulation model)에 의해 현재 운영 중인 부두서비스의 실태 및 문제점을 파악하고 선박의 체선시간을 단축할 수 있는 방안을 찾아 분석함과 동시에 다양한 시나리오에 대

한 시뮬레이션을 시행하여 향후 인천항의 체선 변동추이를 예측함과 아울러 인천항의 효율적 운영에 대한 개선방향을 제시하였다.

본 연구에서는 시뮬레이션 전용언어인 SIMAN V를 이용하여 인천항만의 체선문제에 대한 모델을 구성하고 여러 시나리오에 대한 인천항의 체선율 변동에 대하여 분석하였다.

2. 인천항의 현황

인천항은 개항 당시에는 자연항이었으나, 최고 10미터에 달하는 간만의 차로 인한 선박입출항 장애를 해소하기 위하여 갑문시설을 설치하여 내항 전역을 선거화함으로써 인공항으로 변모하게 되었다. 인천항의 항계선은 인천광역시 고척도 남단(북위 37도 33분 54초, 동경 126도 21분 00초), 영종도 북단, 팔미도 등대와 변도를 거쳐 시흥군 군자면 죽울리 서단을 잇는 해면으로서 항계내 수면적은 283,170천㎡, 간만의 차가 9-10미터이며, 선거내 수면적은 18,500천㎡에 수심이 8-13미터이다.¹⁾

1) 항로

인천항의 항로는 근접항로와 진입항로로 크게 구분되며, 근접항로는 입항로(동수도)와 출항로(서수도)로 세분된다. 입항로는 변도에서 3킬로미터 떨어진 하류로부터 팔미도옆을 지나는 항로까지의 수로를 말하며, 그 길이는 약 34킬로미터, 폭은 1킬로미터, 수심은 15-30미터에 달한다. 입항시 도선사의 승선위치는 동수도가 시작되는 곳에서 남서쪽으로 약 24킬로미터 떨어진 안도부근의 해상에서 이루어진다. 출항로는 팔미도옆 항로에서부터 서쪽으로 소야도와 벌도까지의 수로를 말하며 수

로의 길이는 약 38킬로미터, 폭은 1킬로미터, 수심은 11.58미터 정도이다.

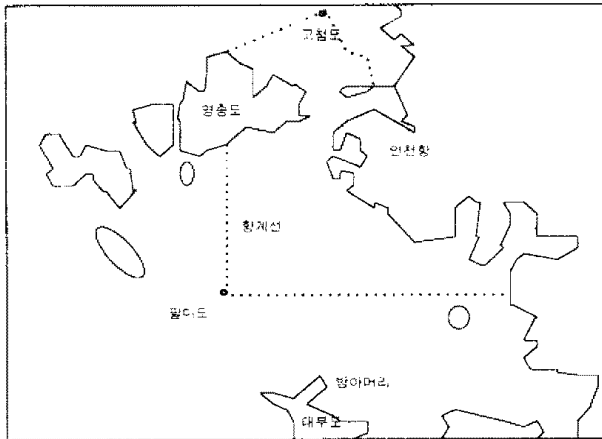


Fig. 2-1 Location map of Incheon Port

인천항의 항계도는 Fig. 2-1과 같다.

2) 묘박지

인천항 항계내의 묘박지는 검역묘지로부터 북향 돌핀이 위치하는 해역까지 진입항로 내측에 39개소가 지정되어 있으며, 인천항을 입항하는 선박들이 대기하거나 부선하역을 하는 선박들이 정박하는 곳이다. 지정묘박지는 직경 700-900미터의 수면적을 갖고 있으며, 수심은 12-17미터 정도이다.²⁾

3) 갑문시설

갑문시설은 최고 10미터의 간만의 차를 극복하기 위하여 건설되었으며, 5만톤급 갑거 및 1만톤급 갑거 각각 1기씩 설치되어 있다. 갑거내 부두로 진입하기 위해서는 갑거를 통과하여야 하며 통과시간은 5만톤급 갑거는 대략 50-60분, 1만톤급 갑거는 40-50분 정도이다.³⁾

Table 2-1 Particulars of Lock

구분		5만톤급	1만톤급
갑거		1기	1기
길이(장)	총연장	436.7m	288.25m
	내측	271.7m	181m
	외측	366.9m	208m
너비(폭)		36m	22.5m
높이(고)	갑문턱부터	18.5m	18.5m
	갑거바닥부터	19m	19m

자료 : 인천항 갑문관리소, 인천항 갑문시설 해설, 1995, p.22.

4) 부두시설

인천항은 갑문시설을 중심으로 갑문내의 내항과 갑문밖의 외항으로 구분하며, 외항은 다시 위치와 기능에 따라 남항, 북항, 연안항 및 석탄부두로 구분된다.

선거내는 외항화물 전용부두로 운영되고 있는데, 인천항의 수출입화물을 취급하는 선거내 접안시설은 모두 8개 부두로 구획지어져 있다. 이들 부두는 전문화 계획에 의거 제 1·2·3·6부두는 잡화취급 부두, 제4·5부두는 컨테이너·자동차 전용부두, 제7부두는 양곡 전용부두 그리고 제8부두는 고철 전용부두로 계획되어 있으나, 실제로 완전한 부두별 전문화는 이루어지지 못하고 있다.

선거외의 남항, 북항, 석탄부두는 주로 선거내 처리가 어려운 유류, 액체가스, 공해성 화물인 석탄 모래 등을 취급하고 있으며 연안부두는 서해도서를 잇는 여객선 접안시설 및 어선기지로 활용되고 있다. 선거내외항의 화물처리를 주로한 부두시설은 Table 2-2와 같다.⁴⁾

Table 2-2 Berth facilities of Incheon Port

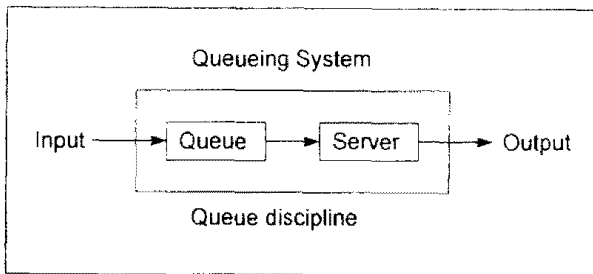
구분	부두	길이(m)	접안능력 (천톤×척)	하역능력 (천톤/년)	하역장비	주요취급화물
내항	1	1,799	50×1, 35×2, 45×4, 2×3	3,790	-	잡화, 산물, 원목
	2	1,442	30×1, 20×2, 8×4	3,317	-	잡화, 철재, 원목
	3	1,250	20×1, 10×2, 8×5	2,720	-	산물, 철재, 잡화
	4	1,160	50×1, 40×1, 30×1, 20 ×1, 10×1	7,000	G/C 5기, T/T 4기, 양곡 하역기 2기	컨테이너, 잡화
	5	1,110	50×4	2,664	-	자동차, 잡화, 양곡
	6	750	50×1, 30×2	2,490	-	합판, 펄프, 철재
	7	1,305	50×4, 2x1	4,636	언로다 4기	양곡, 잡화
	8	910	50×3	3,417	크레인 5기	원당, 고철, 규사, 소 금, 광석, 부원료
	내항계	9,726	45척	34,638	-	-
외항	석탄	240	100×1, 50×1 (석탄) (유 류)	3,024 (1,369)	언로다 2기, S/R 1기	수입유연탄, 유류
	연안	1,268	20×2 (유공,쌍용) 3×1 (유공) 1.5×1 (유공) 0.5×1(쌍용)	5,033 (4,585)	-	유류, 수산물, 연안화물
	남항	386	10×3(쌍용양회,한라,동 양씨멘트) 5×1 (효유) 3×1(한일탱크) 2×1 (효유)	1,227 (810)	-	LPG, 쌍용양회 680,400T/년, 유류, 시멘트, 액체화물, 모래, 기타잡화
	북항	1,140	75×2(한화) 50×2(한화,대한항공) 40×1(호남) 20×1(한전) 5×1(호남)	10,248 (10,248)	-	원유, 무연탄, LPG, 유류, 시멘트, 모래, 원목
	외항계	3,034	20척	20,032 (17,012)	-	-
총계	12,760	65척	54,670			

주) 하역능력 ()내는 돌핀시설의 액체화물 능력임.
 자료 : 인천지방해운항만청, 인천항항만시설운영규칙, 1996.

3. 선박입출항시간 분포추정을 위한 이론

3.1. 대기행렬모델의 기본개념

대기행렬모델의 기본적인 목표는 서비스를 제공하는데 필요한 직접비용과 서비스를 받으려는 개체를 기다리게 하는데 드는 간접비용의 합을 최소로 하는 데에 있다. 즉, 시스템의 서비스 제공자가 최적인 숫자보다 많다면 이것은 과다한 자본투자를 유발시키게 되며, 서비스 제공자가 최적인 숫자보다 적다면 대기행렬을 너무 길게 만들게 되므로 대기행렬 길이와 서비스 제공자의 수는 적정한 수준으로 유지하는 것이 바로 대기행렬모델의 주목적이 된다. 대기행렬모델을 적용할 수 있는 가장 단순한 대기행렬시스템은 Fig. 3-1에서 보는 바와 같이 투입개체가 도착되어 형성하는 대기행렬과 서비스 제공창구(Channel) 및 서비스를 받은 개체가 떠나는 출구 등의 여러 요소들로 구성되어 있다. 대기상황을 계량화하기 위해서는 다음과 같은 요소들이 정의되어야 하는데 이러한 요소들이 다양한 배열을 이루어 독특한 대기행렬시스템을 구성하게 된다.



자료 : 이상문, 경영과학론, 법문사, 1996, p.614.

Fig. 3-1 A model of Single-channel, Single-phase.

1) 입력(Input source)

대기행렬시스템의 입력은 서비스를 받기 위하여 시스템에 도착하는 선박, 사람, 제품, 각종업무 등으로서 이들의 모집단이 어느 정도 크면 무한모집단으로 단정하는 것이 일반적인데, 그 이유는 무한모집단의 모델화가 유한모집단의 모델화보다 훨씬 간단하기 때문이다.

2) 대기행렬순위원칙(Queue discipline)

개체들이 대기행렬에 들어간 후 서비스 받게 되는 우선순위를 대기행렬순위원칙이라고 부르며, 가장 일반적인 대기행렬순위원칙은 도착순(First-come, First-served) 원칙이다. 다른 일반적인 대기행렬순위원칙으로는 최단여유시간(Shortest slack time) 원칙 등이 있다. 여기서 여유시간(Slack time)이란 작업의 예상완료일자와 완결일자와의 차이를 말한다. 항만에서는 보통 도착순원칙을 채택하여 작업을 운행하나, 대기행렬순위 원칙에는 여러가지가 있으므로 시스템의 사정에 따라 그에 맞는 순위원칙을 채택하여야 한다.

3) 대기행렬의 길이(Queue length)

어떤 시스템의 대기행렬은 비교적 많은 수를 수용할 능력이 있는 반면에 매우 제한된 수용능력을 가지고 있는 시스템도 있다. 대기행렬의 수용능력이 제한 요소가 될 때, 대기행렬시스템안에 들어올 수 있는 개체의 수가 제약을 받는다면 그 시스템은 대기행렬의 길이가 유한해 질 것이다. 이러한 시스템을 분석하기 위해서는 도착의 상당구분이 대기행렬의 수용능력의 부족으로 인하여 입장이 허락되지 않는 모델 즉 유한대기행렬모델을 사용해야 하는데 항만의 재반시설 등은 이러한 유한의 대기행렬을 가지는 대표적인 예이다.

4) 서비스율(Service rate)

시스템내에서 각 개체에게 서비스를 제공하는데 드는 시간을 서비스시간이라고 한다. 서비스시간은 일정할 수도 있으나 일반적으로 확률변수가 되는 경우가 많은데, 그 이유는 요청된 서비스가 다르기 때문일 수도 있고, 동일서비스라 할지라도 원래 서비스시간이 확률적으로 변하기 때문일 수도 있다.

5) 출구(Output or Efflux)

개체가 서비스를 받고 시스템을 떠나게 되면 다음과 같은 두 개의 가능한 집단 중의 하나에 속하게 된다. 즉, 본래의 모집단에 되돌아가거나 또는 대기행렬에 재투입될 확률이 그와 동일한 집단에 속할 수도 있고 또는 서비스를 필요로 하는 확률이 낮은 집단에 속하는 경우는 죽을 때까지 그 집단에

그냥 속하는 경우와 일정기간이 경과한 후에 앞의 집단으로 옮겨가게 되는 경우로 구분할 수 있다. 또한 어떤 시스템에서는 개체별로 서비스가 한번 밖에 일어나지 않는 경우도 있다.

3.2. 대기행렬모델의 기본구조

모든 대기행렬시스템에서 대기행렬과정은 서비스 시설의 성격에 따라 일반적으로 다음과 같은 네 가지 기본적인 구조로 나뉘어 진다.⁵⁾

- i) 단일경로, 단일과정(Single-channel, Single-phase)
- ii) 단일경로, 복수과정(Single-channel, Multi-phase)
- iii) 복수경로, 단일과정(Multi-channel, Single-phase)
- iv) 복수경로, 복수과정(Multi-channel, Multi-phase)

여기서 경로(Channel)가 단일인가 복수인가를 나타낸 것은, 하나의 대기행렬에서 서비스창구로 연결된 경로가 하나인가 두 개 이상인가를 표시하기 위한 것이다. 도식적으로 나타내면 Fig. 3-2와 같다.

이들 중 본 논문에서 분석한 인천항만의 예와 관계가 깊은 복수경로, 단일과정(Multiple-channel Single-phase)모델에 대해 설명하기로 하자.

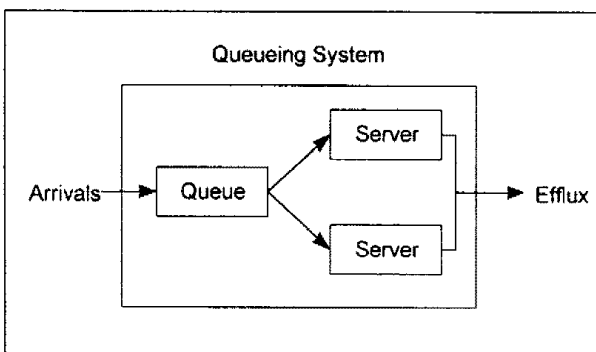


Fig. 3-2 A model of Multi-channel, Single-phase.

복수경로, 단일과정 시스템은 둘 또는 그 이상의

서비스 제공자가 있고 수행작업과 대기행렬이 하나만 있는 경우로 Fig. 3-2이 이러한 시스템을 나타내고 있다. 여기서 두 서비스 제공자 앞에 단일 대기행렬이 있어 복수경로가 존재한다는 것이지, 서비스 제공자앞에 각기 하나씩의 대기행렬이 있다는 것을 의미하지는 않는다.

3.3. 선박회항시간에 대한 대기행렬모델의 적용

대기행렬시스템에 모델을 적용시키는 데에는 2가지의 중요한 기본 요소가 있는데, 바로 도착함수와 서비스함수가 그것이다. 일반적으로 대기행렬에서 예상되는 지연의 크기와 대기행렬의 길이에 관한 결과는 통계적인 자료와 적절한 모델로부터 계산할 수 있다. 또한 선박의 항만내에서의 회항시간은 항만의 시설물들을 이용하고자 항만에 도착하는 선박과 부두의 점유시간 즉, 서비스 시간에 의해 결정된다.

대기행렬모델에 사용되는 매개변수는 다음과 같다. λ 는 평균도착률(도착선박수/시간), μ 는 평균 서비스율(접안선박수/시간), N 은 서비스 창구의 수, 그리고 ρ 는 이용률인데 $\rho = \lambda / N\mu$ 로 표시한다. 일반적으로는 음의 지수형태의 Poisson도착과 Erlang서비스인 상황에 있는 다중창구와 무제한적인 대기행렬인 상황하에서는 수학적인 해는 존재할 수 없다.⁶⁾

그러면 여기에서 본 논문에서 채택하고 있는 대기문제의 수학적인 분석방법에 대해 간단히 설명해 보기로 하자. 여객선이나 계획표에 따라 운항되는 선박을 제외하고는 항만에서의 선박도착의 패턴은 보통 확률적(Stochastic)이라고 간주할 수 있다. 선박들이 일단 항만에 도착하게 되면, 직접부두로 접안하거나 부두가 빌 때까지 기다리게 된다. 각 선박이 수송하는 화물량 및 그 화물을 하역하는데 필요한 시간과 부두를 기다리는 선박에 있어서의 항내지연시간 등은 분포함수로 나타낼 수 있다. 예를 들어 항만의 선박의 도착률은 Poisson 도착의 확률적 함수이고, 부두에서의 서비스 시간은 음의 지수분포에 따라 변한다고 가정하면, 그때 대기행렬분석은 Erlang 함수를 이용함으로써 할 수

있다. 이러한 분포의 형태는 선박도착시각 및 서비스시간의 통계적인 누적분포와 이론식의 누적분포를 비교하고 χ^2 검정을 실시함으로써 구할 수가 있다. 그러나, 실제의 문제에 있어서는 χ^2 검정에 만족치 않는 특수한 경우도 있다. 일반적으로 Erlang의 누적확률분포는 다음과 같이 주어진다.⁷⁾

$$P_o(t) = e^{-kut} \sum_{n=0}^{k-1} (K\mu t)^n \frac{1}{n!}$$

4. 시뮬레이션(Simulation)에 의한 분석

시뮬레이션 모형은 현실 구조를 분석하고자 하는 관점에 따라 다음과 같이 구분될 수 있다.⁸⁾

· 물리적 모형과 수리적 모형

- ① 물리적 모형(Physical model 또는 Iconic model)
현실의 물체와 유사한 형태를 갖게 만들어 놓은 것.
- ② 수리적 모형(Mathematical model 또는 Symbolic model)
부호나 수식을 이용하여 현실문제를 표시하는 것.

· 정적모형과 동적모형

- ① 정적모형(Static model)
시간의 경과가 시스템의 상태에 영향을 미치지 않음, 즉 시스템에 시간의 개념이 포함되어 있지 않은 모형.
- ② 동적모형(Dynamic model)
시간이 지남에 따라 시스템의 상태가 바뀌는 모형

· 확률적 모형과 확정적 모형

- ① 확률적모형(Stochastic model)
사건이 발생하는 시간이 확률적인 모형
- ② 확정적모형(Deterministic model)
확률적인 요소가 포함되어 있지 않은 모형, 즉 모든 사건이 정해진 시간에 발생한 모형

· 이산형 모형과 연속형 모형

- ① 이산형모형(Discrete model)
모형의 상태가 특정 시점에서만 바뀌는 모형

② 연속형모형(Continuous model)

모형의 상태가 시간에 대해서 연속적으로 바뀌는 모형

본 연구에서 다루게 되는 시뮬레이션모형은 수리적, 이산형, 동적, 확률적모형에 속하는 모형이다. 수집된 자료의 기술통계량(Descriptive statistics)에 관해 설명하기로 한다. 즉, 대상 항만별 수집된 자료의 특성을 나타내고자 선박크기(G/T)별 분포, 선적된 화물톤별 분포, 화물종류별 분포, 선박대기시간분포, 선박체항시간분포(선박이 입항하여 출항하기까지 항만에 머문시간), 서비스시간분포를 돛수 분포표와 가로막대그래프, Pie chart 등을 이용하여 구간별 빈도수, 비율, 평균, 표준편차 등을 나타내기로 한다.

인천 내항의 1부두~8부두까지의 선석에 대한 이용현황을 분석하기 위한 모의실험(Simulation)을 수행하려 한다. 이러한 모의실험을 수행하기 위해서 경영과학(Operations research : OR)의 대기행렬이론(Queueing theory)을 활용하고 생산관리에서 유용하게 사용되고 있는 Simulation software인 SIMAN과 ARENA를 이용한다.

인천 내항에 대한 대기행렬 분석 모형은 다음 Fig. 4-1과 같이 표현할 수 있다.

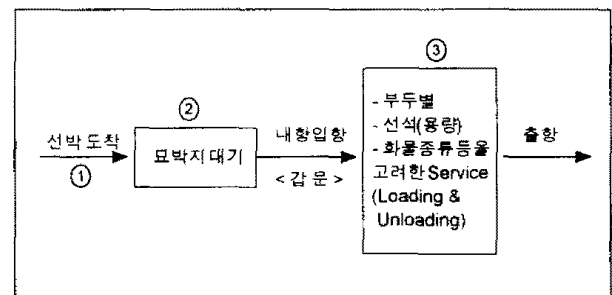


Fig. 4-1 Simulation queueing model of incheon inner pier

4.1. 대기행렬 분석에서 사용되는 데이터

4.1.1. 선박도착시간에 관한 분포

인천지방해운항만청의 선박 출·입항일지는 매일매일의 각 선박에 대한 모지대기시간 그리고 부두서비스를 받는 각 선박의 상세한 움직임을 제공

하고 있으며, 입출항 선박일일 이동상황부는 매일 매일 도착하는 각 선박의 도착시각, 부두접안시각 및 이안시각에 관한 매일매일의 자료들을 전산처리하여 부두서비스 시간을 제공하고 있다. 1995.1.1.부터 1995.12.31까지의 기간 동안 인천지방해운항만청 부두과 및 운영과의 공식기록들로부터 다음의 자료들을 수집하였다. 즉, 1) 선명, 2) 접안 부두, 3) 묘지에 도착한 날과 시각, 4) 묘박대기시간, 5) 부두에 접안한 날과 시각, 6) 부두를 이안한

날과 시각, 7) 총톤수, 8) 적재화물종류, 9) 적재톤수 등이다. 수집한 자료들은 정밀한 확인을 거쳐 정리한 후, 총 5,011척의 선박에 관한 자료를 채택하였다.⁹⁾

인천항에서 처리하고 있는 화물들은 200여종으로써 17개 화물군의 이름으로서 분류하여 각각의 화물군의 이름에 따른 특성에 따라 부두 및 선석을 결정하게 된다. 다음 Table 4-1은 현재 인천지방해운항만청 및 하역회사의 자료를 근거로 하여 17개화물군에 대한 선박들의 입항간격시간을 dots표로 정리한 것이다.

Table 4-1 Frequency of inter-arrival time of cargo group (단위:척)

구간	고철	곡물	광석	규사	기계류	목재	사료	선철	소금	원당	원목	유지류	자동차	잡화	절재	컨테이너	합판
0.3	0	3	1	0	0	1	3	0	0	1	16	0	3	13	32	27	0
0.5	1	4	0	0	0	0	0	0	0	1	11	0	1	9	43	16	1
1	2	9	5	0	1	3	7	0	0	0	15	0	4	21	51	11	0
1.5	1	7	2	0	0	3	1	0	0	0	11	0	4	24	38	15	1
2	0	5	1	0	1	2	1	0	0	1	16	0	2	27	43	29	1
2.5	0	7	2	0	0	0	8	1	0	2	11	1	4	16	59	23	3
3	0	11	2	0	0	0	0	1	0	0	22	0	3	24	52	12	1
3.5	0	4	2	0	0	1	2	0	0	1	14	0	2	14	37	20	3
4	1	6	0	0	0	1	1	0	0	0	7	0	5	17	53	13	5
4.5	1	1	3	0	0	5	1	0	0	1	14	0	1	10	42	26	3
5	1	7	3	0	0	1	5	0	0	0	9	0	2	14	48	18	2
5.5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	8	1	6	16	51	20	1
6	1	9	0	0	0	1	4	2	0	0	15	0	9	25	41	21	1
7	2	9	1	0	0	1	0	0	0	2	17	0	5	23	46	26	1
8	1	9	1	0	0	1	0	0	0	1	8	0	6	37	36	19	1
9	2	14	1	0	0	1	5	2	0	0	5	0	5	19	52	15	3
10	0	11	2	0	1	1	5	1	0	1	6	0	8	22	40	9	3
11	2	5	4	0	0	4	4	0	0	2	2	0	6	18	26	15	1
12	1	4	5	0	0	5	2	0	0	0	9	0	10	18	39	29	0
13	2	7	4	0	0	3	0	2	0	1	6	1	5	20	32	26	4
14	3	4	1	0	0	3	0	0	0	2	4	0	3	16	37	21	2
15	1	4	2	0	0	2	3	0	0	0	6	0	8	14	25	20	1
16	0	7	4	0	0	2	2	0	0	2	7	0	3	11	24	19	2
17	0	6	3	0	0	3	3	0	0	1	5	0	5	12	16	21	0
18	1	6	3	0	0	1	0	1	0	1	6	0	8	17	19	20	2
19	0	9	0	0	1	0	2	0	0	1	4	1	15	13	29	12	4
20	1	7	2	0	0	1	4	1	0	1	6	1	5	13	22	16	3
21	1	10	2	0	1	2	6	0	0	0	13	0	7	15	25	11	2
22	0	5	3	0	0	4	1	3	1	2	10	0	8	26	35	11	1
23	0	14	4	0	0	1	2	2	0	1	4	0	20	16	19	9	3
24	1	4	3	0	0	3	0	1	0	2	7	0	10	12	18	14	2
25	0	8	1	1	0	7	4	4	0	2	8	0	15	14	32	11	3
30	2	22	10	0	5	13	8	4	1	1	7	2	21	26	32	13	12
35	2	14	10	0	6	3	5	4	0	2	9	0	13	26	23	4	7
40	0	9	2	1	7	5	6	6	0	4	7	3	25	19	13	6	6
45	6	10	4	0	4	8	9	5	0	2	2	1	18	10	9	4	9
50	8	12	11	0	12	4	9	6	0	2	5	3	21	18	9	3	3
60	0	12	10	0	13	5	5	5	0	1	7	2	20	29	1	3	6
70	2	9	9	1	10	18	2	9	0	4	9	2	11	15	2	1	4
80	7	7	8	0	11	15	4	9	1	2	4	1	16	9	0	0	6
90	1	5	8	0	12	11	9	13	0	2	2	2	14	20	0	0	7
100	0	6	11	0	11	15	0	18	0	1	2	4	21	0	1	0	5
150	4	5	13	0	22	12	0	11	0	2	4	0	9	0	1	1	12
200	2	1	16	0	26	16	3	10	2	1	3	5	10	0	0	0	6
250	5	0	11	0	21	10	3	13	1	1	0	6	8	0	0	0	9
300	2	0	0	1	22	6	1	11	3	0	0	0	1	0	0	0	2
350	0	0	2	0	20	2	0	5	1	0	0	3	0	0	0	0	1
400	1	0	0	2	20	0	0	6	4	0	0	0	5	0	0	0	0
450	1	0	0	0	24	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
500	0	0	0	0	5	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
1000	1	0	0	3	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0
1500	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3000	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
총합계	70	329	192	12	256	206	140	161	19	56	363	40	411	738	1253	610	155

위의 숫수표의 자료를 이용해서 입항간격시간에 대한 확률분포를 추정한다. 이를 위해서 ARENA의 기능을 사용함으로써 화물별로 다음 Table 4-2와 같은 확률분포를 구했다. 물론 이와 같이 구하여진 분포들은 일부는 유의수준 내에서 채택된 것도 있지만 일부는 검정결과 채택되지 못한 것도 있으나 주어진 여러 종류의 확률분포 중 가장 잘 부합되는 확률분포를 사용하기로 하였다.

고철에 대한 도착시간에 관한 분포는 Table 4-2의 $-0.01 + EXPO(106)$ 의 지수함수로 나타나며 분포도는 Fig. 4-2와 같다.

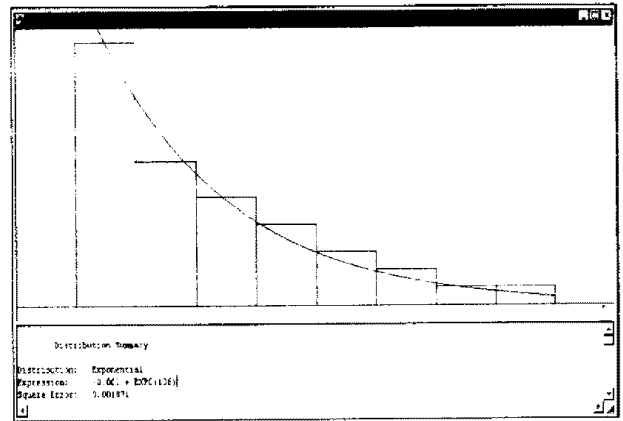


Fig. 4-2 Distribution of scrap cargo arrival time

Table 4-2 Distribution of cargo arrival time [cargo quantity, service time]

화물종류	도착시간에 관한 분포	화물량에 관한 분포	서비스시간에 관한 분포
고 철	$-0.001 + EXPO(106)$	$256 + 6.92e+004 * BETA(0.444, 0.9016)$	$3 + 216 * BETA(0.6848, 1.24)$
곡 물	$-0.001 + GAMM(35, 0.7049)$	$119 + LOGN(5.08e+004, 1.79e+005)$	$1 + 670 * BETA(1.03, 3.68)$
광 석	$-0.001 + EXPO(45.9)$	$482 + EXPO(2.04e+003)$	$4 + GAMM(18.8, 1.63)$
규 사	$14 + LOGN(511, 1.79e+003)$	$TRIA(1.5e+003, 1.29e+004, 3.95e+004)$	$36 + WEIB(99.5, 1.17)$
기계류	$-0.001 + EXPO(34.2)$	$0.999 + EXPO(2.28e+003)$	$GAMM(31.3, 1.35)$
목 재	$279 * BETA(0.6546, 4.02)$	$34 + EXPO(7.77e+003)$	$419 + BETA(0.5635, 1.75)$
사 료	$GAMM(71.8, 0.8162)$	$78 + WEIB(1.21e+004, 0.9619)$	$6 + 649 * BETA(0.4126, 4.25)$
선 철	$EXPO(62.5)$	$NORM(4.75e+003, 2.15e+003)$	$2 + LOGN(48.1, 44.3)$
소 금	$49 + 549 * BETA(1.08, 0.762)$	$7.85e+003 + 3.63e+004 * BETA(0.7652, 0.3267)$	$103 + 278 * BETA(0.9293, 1.31)$
원 당	$3 + WEIB(141, 0.9269)$	$67 + 3.91e+004 * BETA(0.9456, 1.79)$	$NORM(78.5, 78.6)$
원 목	$-0.001 + 157 * BETA(0.61, 3.96)$	$53 + GAMM(6.12e+003, 1.36)$	$3 + ERLA(17.2)$
유지류	$8 + 526 * BETA(0.8002, 1.35)$	$501 + WEIB(9.92e+003, 0.3654)$	$TRIA(12, 50.8, 150)$
자동차	$-0.001 + EXPO(21)$	$-0.001 + GAMM(7.08e+003, 1.09)$	$TRIA(46, 54.9, 379)$
잡 화	$-0.001 + 79 * BETA(0.6698, 3.89)$	$-0.001 + GAMM(2.27e+003, 1.24)$	$2 + LOGN(126, 238)$
철 재	$-0.001 + WEIB(6.53, 0.8591)$	$-0.001 + WEIB(4.28e+003, 1.36)$	$3 + 2.1e+003 * BETA(0.6581, 13.7)$
컨테이너	$-0.001 + 82 * BETA(1.03, 5.07)$	$21 + 8.33e+004 * BETA(0.6933, 12.5)$	$8 + LOGN(194, 204)$
합 판	$-0.001 + EXPO(61.4)$	$496 + ELRA(3.87e+003, 2)$	$13 + GAMM(54.6, 1.31)$

주) Distribution	Abbreviation	Parameters
Beta	BETA	(Alpha, Alpha ²)
Erlang	ERLA	(ExpoMean, K)
Exponential	EXPO	(Mean)
Gamma	GAMM	(Beta, Alpha)
Lognormal	LOGN	(Mean, StdDev)
Normal	NORM	(Mean, StdDev)
Triangular	TRIA	(Min, Mode, Max)
Weibull	WEIB	(Beta, Alpha)

4.1.2. 화물량에 관한 분포

1995년도 입항자료를 분석한 결과 화물별 선박톤수에 대한 dots표는 Table 4-3과 같다. 이 Table 4-3을 이용하여 화물별 화물량에 대한 확률분포를 구했다(Table 4-2참조). 여기에서도 선박도착간격 시간 분포와 같은 분석결과가 나왔으나 동일한 방법으로 확률분포를 선택하였으며, 고철에 대한 화물량에 대한 분포는 Table 4-2의 $256+6.92e+004*BETA(0.444, 0.9016)$ 의 BETA함수분포식으로 나타나며, 그 분포도는 Fig. 4-3과 같다

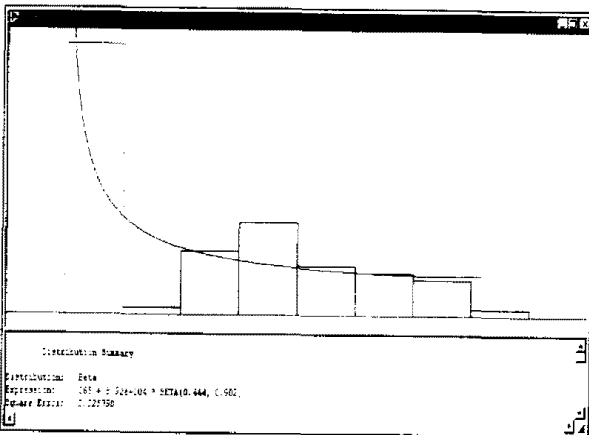


Fig. 4-3 Distribution of cargo quantity of scrap cargo

4.1.3 서비스시간에 관한 분포

서비스시간 간격 dots표를 이용하여 선박도착시

간에 관한 분포를 구한 것과 같은 방법으로 확률분포를 선택하였으며, 예로서 고철에 대한 서비스시간에 관한 분포는 Table 4-2의 $3+216*BETA(0.6848, 1.24)$ 의 BETA함수 분포식으로 나타나며, 그 분포도는 Fig. 4-4와 같다.

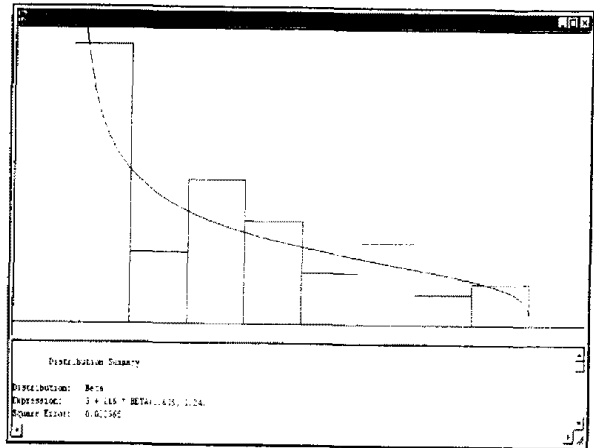


Fig. 4-4 Distribution of scrap cargo service time

Table 4-3 Frequency of vessel tonnage by cargo group

(구단단위: 1,000ton)

화물종류	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-15	15-20	20-30	30-50	50-총합
고철	0	2	9	7	6	0	5	8	2	4	0	9	6	8	4
곡물	20	19	26	41	24	8	13	16	28	13	5	16	42	18	329
광석	9	36	24	19	39	8	24	0	2	12	0	5	9	3	192
구사	2	0	0	0	1	0	2	1	0	0	1	2	0	3	12
기계류	54	69	27	41	21	16	7	5	10	2	1	0	0	3	256
목재	35	28	15	21	16	24	8	17	10	6	13	6	2	5	206
사료	16	11	16	21	14	9	18	5	11	0	4	3	9	2	140
사철	10	21	24	19	13	20	9	11	8	11	6	3	6	0	161
스금	0	0	1	0	0	3	0	2	1	0	0	6	5	0	19
원단	3	4	2	6	10	0	5	1	1	0	13	9	2	0	56
원목	28	45	34	29	16	24	31	29	26	32	18	15	20	16	363
유제품	5	8	9	4	2	0	5	3	0	0	1	0	0	2	40
자동차	47	53	37	41	25	35	47	30	19	21	16	23	11	6	411
잡화	135	124	95	162	85	39	15	10	16	9	21	4	8	10	738
철재	142	421	105	162	96	144	52	34	20	14	18	20	17	6	1253
합계	73	124	94	104	62	39	24	10	26	19	5	18	5	7	610
합산	2	2	1	3	11	3	10	9	4	21	63	10	16	0	155
총합계	576	986	519	630	441	371	275	191	184	164	165	149	158	89	5711

4.1.4 화물별 화물톤수에 대한 자료

화물별로 선박톤수가 결정되면 그에 따른 화물량을 무작위로 발생시킨다. 이는 또한 입항자료를 근거로 분석하여 선박톤수와 화물톤수의 회귀관계를 구하여 이를 이용하여 회귀관계의 상하에 비선형 신뢰구간을 설정함으로써 이를 근거로 화물량을 발생시키도록 했다.

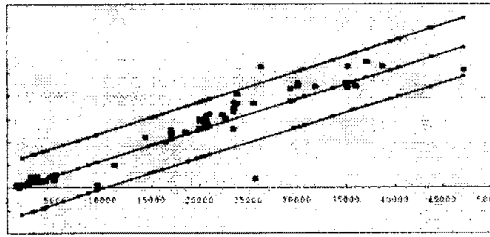


Fig. 4-5 Degree of scatteredness of vessel tonnage and cargo quantity(in case of scrap)

4.1.5 화물별·부두별 처리 비율

1995년도 입항·양하작업을 수행한 자료를 분석한 결과 화물별로 부두별 화물 처리비율은 Table 4-4와 같다.

Table 4-4 Cargo handling rate of pier by cargo

(unit: 천ton)

화물종류		1부두	2부두	3부두	4부두	5부두	6부두	7부두	8부두	총합계
고 철	화물량	319	10	12	0	16	0	71	1198	1626
	화물비율	6.00%	0.19%	0.35%	0.00%	0.29%	0.00%	1.61%	34.76%	4.24%
곡 물	화물량	435	1440	304	3033	160	73	3770	254	9469
	화물비율	8.19%	27.20%	8.86%	35.54%	2.89%	3.08%	85.51%	7.36%	24.70%
광 석	화물량	197	94	105	8	24	32	17	2	479
	화물비율	3.70%	1.77%	3.04%	0.09%	0.45%	1.38%	0.38%	0.05%	1.25%
규 사	화물량	9	19	26	0	53	0	0	363	469
	화물비율	0.16	0.36%	0.76%	0.00%	0.95%	0.00%	0.00%	10.53%	1.22%
기 세 류	화물량	327	45	45	54	25	64	19	3	582
	화물비율	6.16%	0.85%	1.32%	0.63%	0.46%	2.69%	0.44%	0.09%	1.52%
복 재	화물량	129	186	185	396	303	413	11	14	1637
	화물비율	2.43%	3.52%	5.40%	4.64%	5.47%	17.48%	0.26%	0.41%	4.27%
사 료	화물량	441	619	351	51	16	0	323	115	1916
	화물비율	8.29%	11.70%	10.23%	0.60%	0.29%	0.00%	7.32%	3.33%	5.00%
선 철	화물량	281	89	151	21	10	23	22	68	665
	화물비율	5.28%	1.69%	4.40%	0.24%	0.17%	0.96%	0.50%	1.99%	1.73%
소 금	화물량	23	17	41	0	39	21	0	600	741
	화물비율	0.43%	0.31%	1.20%	0.00%	0.71%	0.89%	0.00%	17.40%	1.93%
원 당	화물량	67	27	24	0	23	39	2	606	788
	화물비율	1.26%	0.51%	0.69%	0.00%	0.42%	1.65%	0.03%	17.58%	2.06%
원 목	화물량	1038	924	880	0	584	5	3	20	3454
	화물비율	19.53%	17.46%	25.61%	0.00%	10.53%	0.23%	0.07%	0.58%	9.01%
유 지 류	화물량	0	8	0	5	0	186	24	12	235
	화물비율	0.00%	0.16%	0.00%	0.06%	0.00%	7.85%	0.54%	0.34%	0.61%
자 동 차	화물량	79	143	112	724	3223	12	1	0	4294
	화물비율	1.48%	2.71%	3.26%	8.48%	58.15%	0.49%	0.02%	0.00%	11.20%
삼 화	화물량	733	726	282	73	138	79	44	49	2125
	화물비율	13.79%	13.73%	8.22%	0.86%	2.49%	3.33%	1.00%	1.43%	5.54%
철 새	화물량	1116	792	784	1494	725	743	89	132	5875
	화물비율	21.00%	14.96%	22.81%	17.51%	13.09%	31.45%	2.02%	3.84%	15.33%
컨테이너	화물량	27	40	25	2646	31	38	3	8	2818
	화물비율	0.51%	0.76%	0.72%	31.01%	0.55%	1.62%	0.07%	0.25%	7.35%
합 관	화물량	94	112	108	29	171	635	10	2	1161
	화물비율	1.76%	2.11%	3.14%	0.34%	3.09%	26.89%	0.23%	0.06%	3.03%
전체화물량		5313	5292	3435	8533	5542	2364	4409	3447	38335
전체화물비율		100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

4.2. 시뮬레이션

4.2.1. 시뮬레이션을 위한 준비

1) 모델 구성을 위한 가정 및 분포추정

가) 인천항 모델에 있어서의 항만 모델 가정

- 입항선박의 발생은 각 화물별 1995년도 1월 1일~12월 31일 까지의 인천항의 실제데이터를 통해 구해진 확률분포에 근거하여 발생한다.
- 입항선박의 실린 화물량은 각 화물별 1995년도 1월 1일~12월 31일 동안의 데이터를 통해 화물량과 선박량에 관해서 구해진 회귀식에 근거하여 확률적으로 발생한다.

- 입항선박에 실린 화물의 종류는 선박과 1대1로 대응하도록 한다.
- 입항선박의 접안 선석은 1995년도 실적자료와 인천항 선석회의의 조건들을 기준으로 하여 실린 화물과 선박의 크기에 적합한 장소를 선택하여 접안하게 된다.
- 하역작업은 선박의 접안과 동시에 시작된다.
- 서비스율은 입출항시간의 차와 선박의 화물량과의 시간당 처리량으로 구한다.
- 입항선박의 서비스가 끝나면 즉시 항구를 떠나게 된다.

Table 4-5 Reliability of cargo quantity and vessel tonnage

화물종류	상	한
고 철	$1766.140 + 0.667 * X + 1.98 * \sqrt{12238909.64 * \left[1 + \frac{1}{80} + \frac{(X - 20325.425)^2}{27551971622} \right]}$	
곡 물	$6452.781 + 0.551 * X + 1.96 * \sqrt{39337614.06 * \left[1 + \frac{1}{355} + \frac{(X - 26671.941)^2}{63583319735} \right]}$	
광 석	$-897.0889 + 1.457 * X + 1.96 * \sqrt{8292910 * \left[1 + \frac{1}{190} + \frac{(X - 2519.742)^2}{877084656.4} \right]}$	
규 사	$5132.847 + 0.732 * X + 2.069 * \sqrt{36397272.58 * \left[1 + \frac{1}{25} + \frac{(X - 18770.56)^2}{2922501024} \right]}$	
기계류	$1997.214 + 0.459 * X + 1.96 * \sqrt{36300295.38 * \left[1 + \frac{1}{256} + \frac{(X - 2276.863)^2}{2131550440} \right]}$	
목 재	$6045.587 + 1.151 * X + 1.96 * \sqrt{63140034.73 * \left[1 + \frac{1}{210} + \frac{(X - 7802.286)^2}{10050459461} \right]}$	
사 료	$1706.546 + 0.979 * X + 1.96 * \sqrt{653917208.8 * \left[1 + \frac{1}{154} + \frac{(X - 12438.324)^2}{30239683374} \right]}$	
선 철	$793.481 + 0.742 * X + 1.97 * \sqrt{2551101.599 * \left[1 + \frac{1}{140} + \frac{(X - 4748.493)^2}{649416389} \right]}$	
소 금	$2734.732 + 0.535 * X + 2.08 * \sqrt{2378913.333 * \left[1 + \frac{1}{23} + \frac{(X - 32203.521)^2}{2998233920} \right]}$	
원 당	$3110.847 + 0.558 * X + 2.006 * \sqrt{6402735.596 * \left[1 + \frac{1}{58} + \frac{(X - 13582.948)^2}{5280012895} \right]}$	
원 목	$2655.306 + 0.842 * X + 1.96 * \sqrt{19436588.14 * \left[1 + \frac{1}{413} + \frac{(X - 8362.610)^2}{21452150884} \right]}$	
유지류	$10054.371 - 0.057 * X + 2.021 * \sqrt{66666090.1 * \left[1 + \frac{1}{42} + \frac{(X - 5584.762)^2}{222836071.6} \right]}$	
자동차	$18916.964 + 1.150 * X + 1.96 * \sqrt{321442050.5 * \left[1 + \frac{1}{558} + \frac{(X - 7693.952)^2}{36232735280} \right]}$	
잡 화	$5294.946 + 0.913 * X + 1.96 * \sqrt{77238688 * \left[1 + \frac{1}{751} + \frac{(X - 2829.234)^2}{6870610593} \right]}$	
철 재	$1828.869 + 0.601 * X + 1.96 * \sqrt{18602177.62 * \left[1 + \frac{1}{1317} + \frac{(X - 4461.320)^2}{34427444892} \right]}$	
컨테이너	$4306.957 + 0.662 * X + 1.96 * \sqrt{21720994.31 * \left[1 + \frac{1}{640} + \frac{(X - 4403.766)^2}{15590116379} \right]}$	
합 판	$4601.611 + 0.820 * X + 1.97 * \sqrt{17263767.03 * \left[1 + \frac{1}{141} + \frac{(X - 8237.390)^2}{3794085926} \right]}$	

화물종류	하	한
고 철	$1766.140 + 0.667 * X - 1.98 * \sqrt{12238909.64 * \left[1 + \frac{1}{80} + \frac{(X - 20325.425)^2}{27551971622} \right]}$	
곡 물	$6452.781 + 0.551 * X - 1.96 * \sqrt{39337614.06 * \left[1 + \frac{1}{355} + \frac{(X - 26671.941)^2}{63583319735} \right]}$	
광 석	$-897.0889 + 1.457 * X - 1.96 * \sqrt{8292910 * \left[1 + \frac{1}{190} + \frac{(X - 2519.742)^2}{877084656.4} \right]}$	
규 시	$5132.847 + 0.732 * X - 2.069 * \sqrt{36397272.58 * \left[1 + \frac{1}{25} + \frac{(X - 18770.56)^2}{2922501024} \right]}$	
기계류	$1997.214 + 0.459 * X - 1.96 * \sqrt{36300295.38 * \left[1 + \frac{1}{256} + \frac{(X - 2276.863)^2}{2131550440} \right]}$	
목 재	$6045.587 + 1.151 * X - 1.96 * \sqrt{63140034.73 * \left[1 + \frac{1}{210} + \frac{(X - 7802.286)^2}{10050459461} \right]}$	
사 료	$1706.546 + 0.979 * X - 1.96 * \sqrt{653917208.8 * \left[1 + \frac{1}{154} + \frac{(X - 12438.324)^2}{30239683374} \right]}$	
선 철	$793.481 + 0.742 * X - 1.97 * \sqrt{2551101.599 * \left[1 + \frac{1}{140} + \frac{(X - 4748.493)^2}{649416389} \right]}$	
소 금	$2734.732 + 0.535 * X - 2.08 * \sqrt{2378913.333 * \left[1 + \frac{1}{23} + \frac{(X - 32203.521)^2}{2998233920} \right]}$	
원 당	$3110.847 + 0.558 * X - 2.006 * \sqrt{6402735.596 * \left[1 + \frac{1}{58} + \frac{(X - 13582.948)^2}{5280012895} \right]}$	
원 목	$2655.306 + 0.842 * X - 1.96 * \sqrt{19436588.14 * \left[1 + \frac{1}{413} + \frac{(X - 8362.610)^2}{21452150884} \right]}$	
유지류	$10054.371 - 0.057 * X - 2.021 * \sqrt{66666090.1 * \left[1 + \frac{1}{42} + \frac{(X - 5584.762)^2}{222836071.6} \right]}$	
자동차	$18916.964 + 1.150 * X - 1.96 * \sqrt{321442050.5 * \left[1 + \frac{1}{558} + \frac{(X - 7693.952)^2}{36232735280} \right]}$	
잡 화	$5294.946 + 0.913 * X - 1.96 * \sqrt{77238688 * \left[1 + \frac{1}{751} + \frac{(X - 2829.234)^2}{6870610593} \right]}$	
철 재	$1828.869 + 0.601 * X - 1.96 * \sqrt{18602177.62 * \left[1 + \frac{1}{1317} + \frac{(X - 4461.320)^2}{34427444892} \right]}$	
컨테이너	$4306.957 + 0.662 * X - 1.96 * \sqrt{21720994.31 * \left[1 + \frac{1}{640} + \frac{(X - 4403.766)^2}{15590116379} \right]}$	
합 판	$4601.611 + 0.820 * X - 1.97 * \sqrt{17263767.03 * \left[1 + \frac{1}{141} + \frac{(X - 8237.390)^2}{3794085926} \right]}$	

나) 입항선박의 지정 우선순위 결정에 관한 규칙

- 입항시간이 빠른 선박이 우선한다.
- 입항선박은 각각의 화물의 종류 및 선박의 크기에 따라 우선적으로 전용부두를, 그리고 접안을 할 수 없을 때에는 차순위의 부두에, 그리고 앞의 두가지 조건을 만족할 수 없을 때에는 외항에 대기하게 된다.
- 자동차 운반선이 일반화물선에 우선한다.
- 선박의 입항조건(선박의 Draft 문제 등)에 따라 선박의 입항시간이 뒤늦더라도 입항을 우선적으로 하여 전체적 체선 시간의 감소를 가져오도록 한다.

· 긴급 사건(폭풍, 안개, 갑문의 고장 등) 발생시에는 긴급 사건에 대한 처리가 끝날 때까지 선박의 서비스는 중단되며, 이에 따라 선박의 입출항 또한 중단된다.

다) 입항선박의 화물별 도착시간, 화물량, 서비스 시간에 관한 분포

화물종류별 입항선박의 도착시간, 화물량, 서비스 시간에 관한 분포의 추정은 SIMAN V10)에서 제공하는 분포추정기능을 통하여 KS-test와 Chi square test를 시행하여 가장 오차가 작은 분포를 토대로 얻어진 화물별 도착시간, 화물량, 서비스 시간에 관한 분포는 Table 4-2와 같다.

라) 입항선박의 톤수와 화물량과의 관계

입항선박의 톤수와 화물량에 관한 분석은 일차적으로 1995년 실제데이터를 단순회귀분석을 통하여 회귀선을 구하고 그에 따른 유의수준 5%의 신뢰구간의 상한과 하한을 계산하고, 그에 따른 신뢰대를 작성하였다. 이러한 이유는 실제데이터에 의한 자료의 산포가 커서 발생하는 변동의 특성을 반영하기 위함이다. 구체적인 방법을 설명하면 회귀선을 중심으로 하는 신뢰대의 상한과 하한을 Table 4-5에서 나타내고 있는 식에 의하여 구하고 상한과 하한의 범위내에서 균일분포에 따라 발생하는 난수를 선박용량의 값으로 사용하였다.¹¹⁾

4.2.2. 모델의 구성과 시뮬레이션 결과

이 절에서는 앞에서 설명한 모델의 가정과 기초자료들을 이용하여 인천항을 모델로 한 시뮬레이션을 수행한 결과를 분석하고자 한다.

1) 시뮬레이션의 흐름도¹²⁾

인천항의 항만모델은 크게 3단계로 나뉘어 구성된다. 첫 번째 단계로 앞에서 구한 기초자료들을 이용하여 입항하는 선박의 화물종류와 실린 화물의 크기를 화물종류에 따른 도착시간분포에 따라 개체를 발생시키고 이에 따라 회귀식에 의해 화물량에 맞는 선박을 결정하게 되는 과정이다. 두 번째

단계는 이러한 입항선박에 적합한 부두를 선정하는 과정으로 앞에서 제시한 입항선박 지정 결정에 관한 규칙에 따라 적합한 부두를 선택하게 된다. 마지막 단계는 이러한 과정을 거쳐 부두에 접안한 선박에 대하여 화물의 종류 및 화물량에 따라 서비스를 받게 한다. 또한 이 과정을 통해 처리된 선박을 부두 및 화물별로 처리량 및 처리비율 그리고 체선에 관한 정보에 대하여 1년간의 시뮬레이션 결과치를 수집한 후 실험을 끝내게 된다. 시뮬레이션 모델의 흐름 및 세부적 항목은 Fig. 4-6에 나타나 있다.

2) 시뮬레이션 결과

SIMAN V를 이용하여 구성한 시뮬레이션 모델을 통하여 1년간의 인천항의 항만 운영상태를 분석하는데 필요한 다음의 정보들을 얻을 수가 있다.

- 총처리선박수 및 각 화물별 총처리선박수
- 각 부두에 대한 화물별 처리선박수
- 총화물처리량 및 각 화물별 처리량
- 각 부두에 대한 화물별 처리량 및 비율
- 총체선선박 및 각 화물별 체선선박수와 평균체선시간
- 입항시간 및 양적하시작 시간
- 부두에 머무른 시간
- 긴급사건의 발생여부 및 발생회수

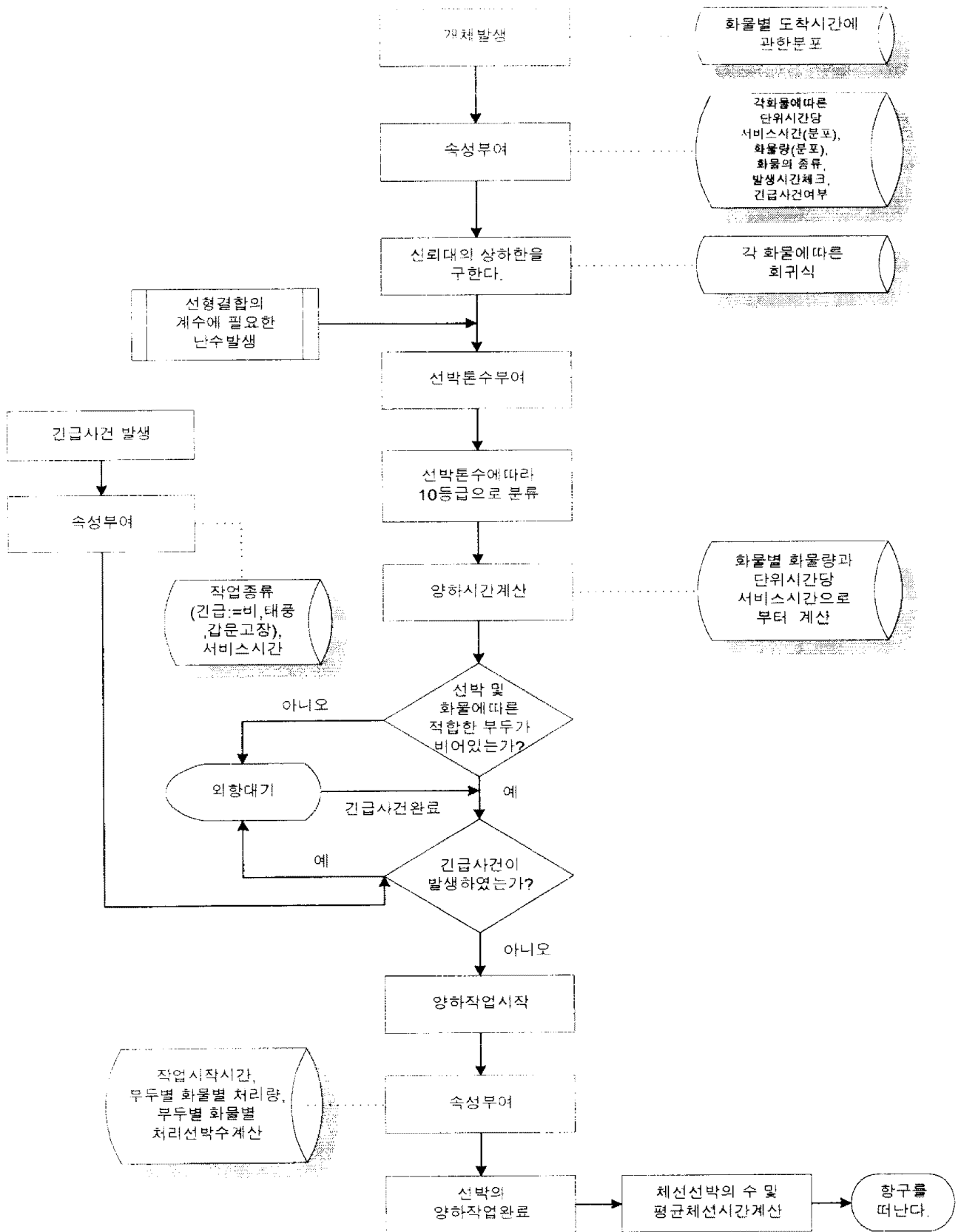


Fig. 4-6 Simulation flow

5. 부두서비스 실태 분석 및 검토

Fig. 5-1, Fig. 5-2, Fig. 5-3, Fig. 5-4는 여러 가지 관점에서 시뮬레이션 실행 결과를 통계 처리한 결과이다. 이 결과를 통해서 인천항의 현재의 운영 상태를 살펴보면 다음과 같은 특징을 나타내고 있다.

5.1. 시뮬레이션 결과 분석

- 처리된 선박중 철재선박이 1,268척으로 그 처리수가 가장 많으며(Fig. 5-1), 처리된 화물량은 곡물이 가장 큰 비율을 차지한다(Fig. 5-3).
- 체선선박의 수 및 평균체선시간은 대형화물인면서 전용 부두를 사용하고 있는 고철(8부두), 자동차(4, 5부두), 컨테이너(5부두) 등의 화물이 심한 체선상태를 나타내고 있으며 소형화물인면서 모든 부두에 접안 가능한 철재의 경우는 체선상태가 심각하지 않은 것으로 나타나고 있다.(Fig. 5-1, 5-2, 5-4)
- 가장 많은 화물을 처리하고 있는 부두는 4부두이며(Fig. 5-4), 4부두에서 가장 많이 처리하고 있는 화물의 종류는 이 부두를 전용부두로 사용하고 있는 컨테이너 화물이며, 각 부두별 가장 많은 화물량의 처리율 및 처리량은 Fig. 5-4와 Fig. 5-6에 나타나 있다.

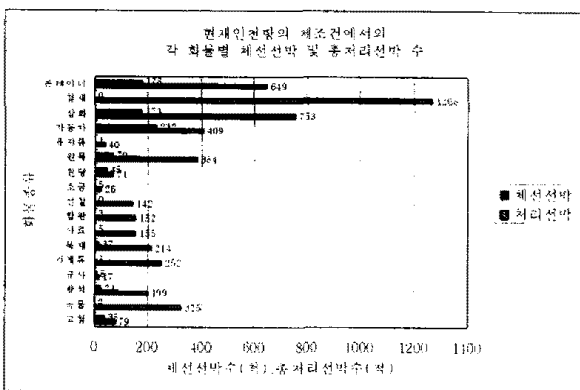


Fig. 5-1 Number of congested vessel by cargo

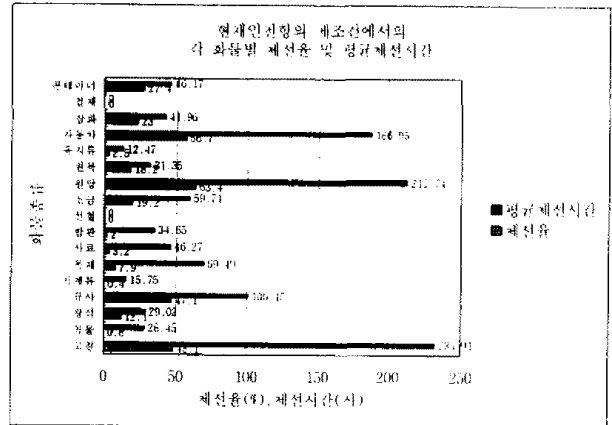


Fig. 5-2 Congestion rate by cargo and average delayed time

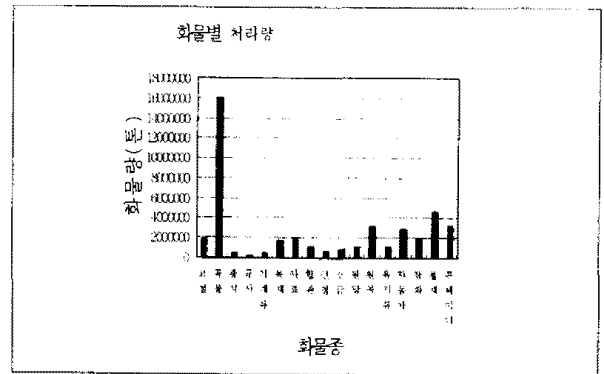


Fig. 5-3 Cargo-wise handled quantity and breakdown of handled rate by cargo

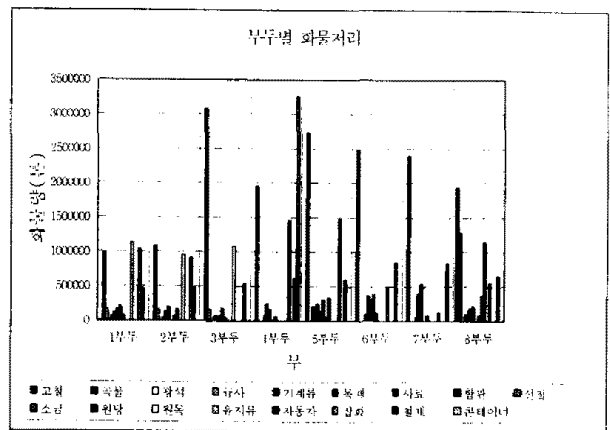


Fig. 5-4 Cargo quantity handled by pier

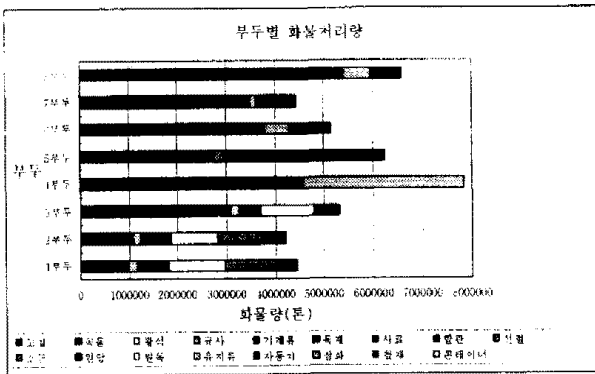


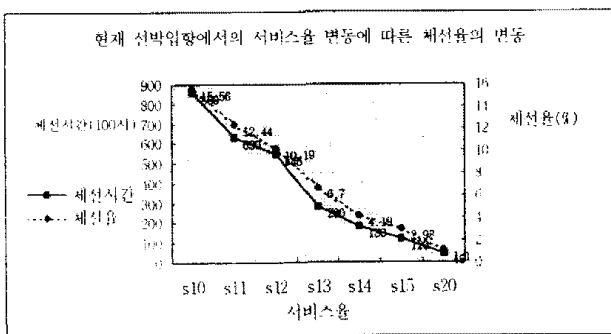
Fig. 5-5 Cargo handled by pier and total quantity handled by pier

5.2 인천항의 제조건의 변화에 따른 체선율의 변동

5.2.1 입항선박수와 서비스율의 동시변동에 따른 체선율의 변동

본 연구의 목적에서 밝힌 바와 같이 항만의 서비스능력증가에 따른 비용이 막대하기 때문에 수요에 대한 정확한 예측이 적절한 투자효과를 얻어내는 데 효과적일 수 있다. 따라서 입항선박수의 변동과 서비스능력의 변동에 따른 실행 결과들을 제시함으로써 의사결정자들로 하여금 수요변동에 따른 적절한 투자를 할 수 있도록 제조건의 변동에 따른 체선율의 변동상황을 살펴보고자 한다.

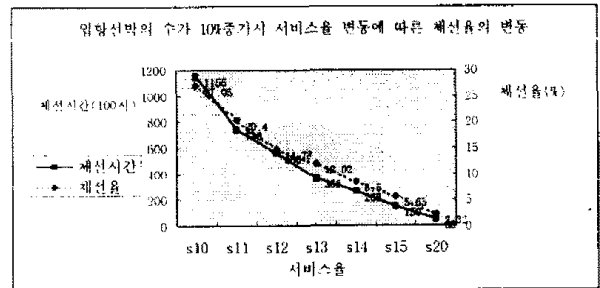
가. 입항선박의 수는 고정되고 서비스율만 증가될 경우



s# : #×10%의 서비스율

Fig. 5-6 Congestion rate at present status

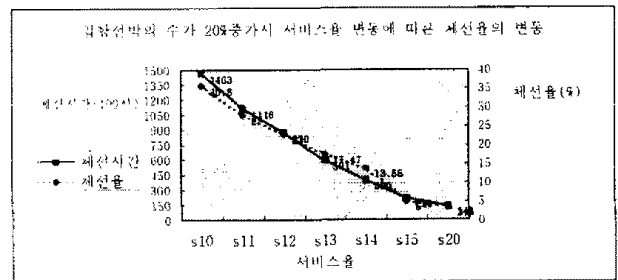
나. 입항선박의 수가 10% 증가되고 서비스율이 증가될 경우



s# : #×10%의 서비스율

Fig. 5-7 Congestion rate at 10% increase of incoming vessels

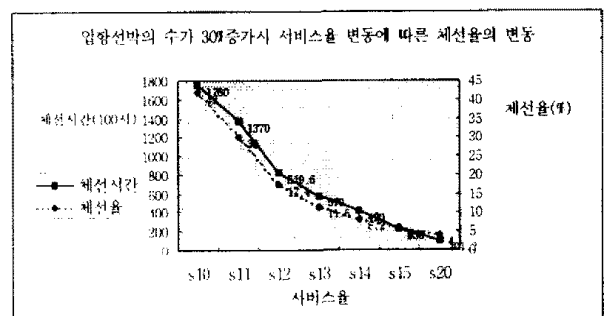
다. 입항선박의 수가 20%증가되고 서비스율이 증가될 경우



s# : #×10%의 서비스율

Fig. 5-8 Congestion rate at 20% increase of incoming vessels

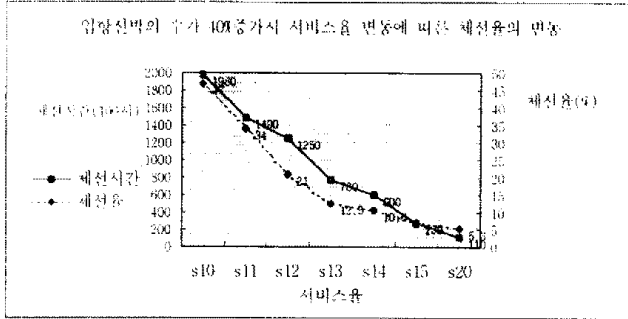
라. 입항선박의 수가 30%증가되고 서비스율이 증가될 경우



s# : #×10%의 서비스율

Fig. 5-9 Congestion rate at 30% increase of incoming vessels

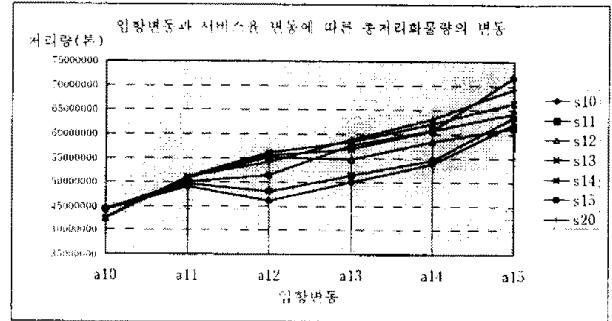
마. 입항선박의 수가 40%증가되고 서비스율이 증가될 경우



s# : #×10%의 서비스율

Fig. 5-10 Congestion rate at 40% increase of incoming vessels

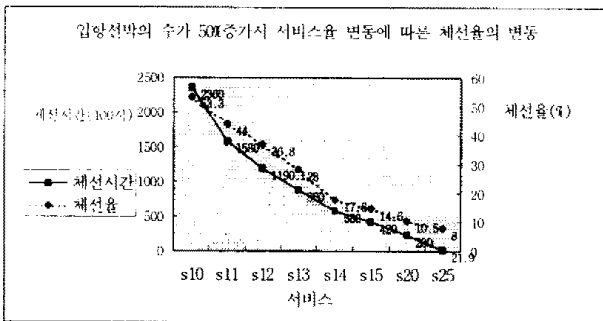
아. 입항선박과 서비스율의 변동에따른 총처리 화물량



a# : #×10%의 입항선박 증가율

Fig. 5-13 Total handled cargo quantity by change of incoming vessels and service rate

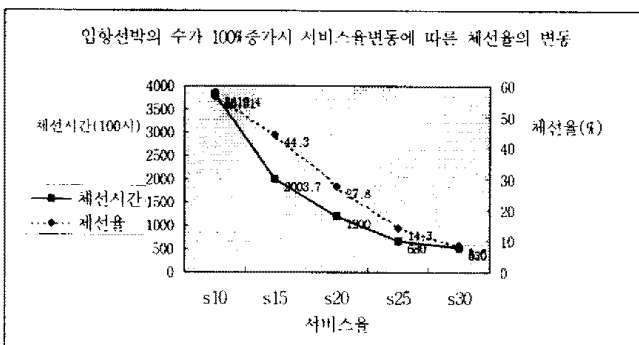
바. 입항선박의 수가 50%증가되고 서비스율이 증가될 경우



s# : #×10%의 서비스율

Fig. 5-11 Congestion rate at 50% increase of incoming vessels

사. 입항선박의 수가 100%증가되고 서비스율이 증가될 경우



s# : #×10%의 서비스율

Fig. 5-13 Congestion rate at 100% increase of incoming vessels

앞의 여러 가지 시나리오에 따른 시뮬레이션의 결과에서 보듯이 현재 인천항만에서 제공하고 있는 서비스 수준을 유지하기 위해서는 입항선박의 수가 증가할수록 그에 따른 서비스능력은 지수적으로 증가해야함을 알 수가 있다. 그리고 입항선박의 수가 증가할수록 화물의 종류에 따른 입항경향과는 관계없이 선박의 크기가 작은 선박들이 우선적으로 처리가 됨을 시뮬레이션을 통한 분석에서 알 수가 있다. 그 이유는 서비스수준이 입항하는 선박의 수에 비하여 현저하게 부족한 상태를 나타내기 때문에 모든 선박이 심각한 체선상태에 있게 되어 큰 선박을 처리하기 위하여 선석을 비워둘 수가 없기 때문에 계속해서 입항하는 선박들중 우선적으로 선석이 빌 때마다 접안시켜 양하작업을 수행하기 때문이다.

입항선박의 수와 서비스율을 동시에 변화시켰을 경우 화물처리량을 통해서 알 수 있는 것은 입항선박의 수의 수준에 따라 그에 따른 처리량은 동시에 양의 방향으로 증가하기는 하나 그 증가율은 입항선박증가율에 따라 이를 수용할 수 있는 수준의 서비스가 제공되고, 어느정도 수준의 체선율이 우선적으로 개선될 때 화물처리량의 증가율이 커지는 것을 실험결과를 보아 알 수 있었다. 그러나 서비스율이 초과적으로 증가할 때는 선석의 이용률이 저하됨을 볼 수 있다.

5.2.2 아산항의 건설에 따른 이산화물량에 의한
체선율의 변동

장차 준공운영예정인 아산항 건설로 인한 화물이전 수송에 따른 예상되는 인천항의 화물별 체선현황은 다음과 같다.¹³⁾

Table 5-1 Expected transfer Cargo

화물종류	곡 물	사 료	복 재	자동차	원 목
전가예상 %	20%	60%	50%	4%	30%

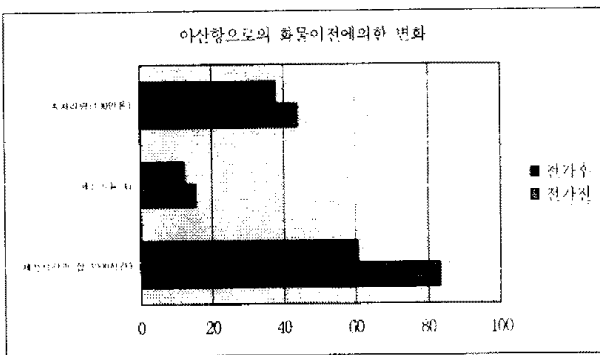


Fig. 5-14 Change of Congestion rate by Cargo transfer to Asan port

시뮬레이션 결과 체선선박들의 총체선시간이 약 2만여 시간이 단축되는 효과를 볼 수 있다. 이 결과는 아산항의 건설이 인천항의 체선 상태를 개선시킬 수 있음을 보여준다. 그리고 전체 처리선박에 대한 체선비율은 약 3%포인트 가량이 줄어드는 것을 알 수 있었다.

6. 결 론

본 연구에서는 인천항만의 실제데이터를 분석하여 얻어진 선박도착 시간, 화물량, 서비스시간 분포와 인천지방해운항만청 및 하역회사의 선석 접안 운영 원칙을 근거로 하여 인천항의 현황 및 운영의 흐름을 분석할 수 있는 Port-simulation 모델을 구성하였다. 그리고 입항선박량 및 서비스능력의 변화에 따른 인천항의 향후 총화물처리능력과 체선 변화 분석할 수 있었으며, 그 결과를 요약하면,

- 1) 심한 체선상태를 나타내는 고철의 경우 선박 도착시간은 지수분포, 화물량과 서비스에 관한 분포는 베타(Beta)분포를 나타낸다.
- 2) 시뮬레이션의 결과에서와 같이 입항하는 선박의 수가 증가함에 따라 현수준의 체선율 및 체선시간의 유지를 위해서는 서비스율의 지수적 증가가 필요함을 알 수 있었다.
- 3) 또한 신항의 개발에 따른 화물 이전으로 인해 인천항의 체선율 및 체선시간이 개선됨을 볼 수 있었다.

이와 같은 결과를 통하여 항만을 운영·관리하는 의사결정자는 시뮬레이션을 통하여 거대한 물적·인적 자원이 들어가는 항만의 서비스 개선을 하는데 있어서 예상되는 선박수의 변화에 따른 적절한 서비스 수준을 유지하기 위한 투자 규모를 예측할 수 있을 것이다. 그리고 인천항의 체선 상태를 개선하기 위해서는 서비스 수준의 향상을 위한 지속적이고 장기적인 투자 계획과 아산항의 개발의 따른 시뮬레이션 결과에서도 알 수 있듯이 인천항의 개발이 요구된다.

참고문헌

- 1) 인천지방해운항만청, 인천항백서, 1992, p.112.
- 2) 인천지방해운항만청, 인천항 항만시설운영규칙, 1996, pp.17-18.
- 3) 인천항감문관리소, 인천항 감문시설해설, 1995, p.22.
- 4) 인천지방해운항만청, 인천항 항만시설운영규칙, 1996, pp.22-28.
- 5) 이상문, 경영과학론, 법문사, 1996, p.617.
- 6) Morse, P.M. "Queues, Inventories and Maintenances", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1958.
- 7) Per Brum, "Port Engineering", Gulf Publishing Co., 1981, pp.466-473.
- 8) 이철영, "시스템공학개론", p.71.
- 9) 인천지방해운항만청, 인천항 선박입출항대장, 1995.

- 10) Pegden, C.D. "Introduction to SIMAN, Systems"
Modeling Corporation State College Pennsylvania,
1984. pp.3-25.
- 11) 오택섭, "사회과학데이터분석법", 나남 출판,
pp.291-300.
- 12) A Law & D. Kelton, Simulation Modeling &
Analysis, 1991, 2nd Ed, Mcgrow-Hill,
Singapore, pp.382-387
- 13) 인천지방해운항만청, 인천항채선·채화해소대
책, 1996.4.