

論 文  
A2-1

## 항만 물류시스템 분석을 위한 시뮬레이션 모델 개발

임재민\* · 유병세\* · 김홍태\*

### Development of Simulation Model for Analyzing the Physical Distribution System in Ports

J.M. Lim\* · B.S. Yoo\* · H.T. Kim\*

**Key Words** : 물류시스템(Physical Distribution System), 대기행렬시스템(Queueing System), 시뮬레이션모델(Simulation Model)

#### Abstract

Simulation modeling has become an extremely important approach to analyzing complex system. In recent years the number of people using simulation as problem-solving aid has increased.

In this Paper, we developed a simulation model for analyzing the physical distribution system in ports. we used Arena 2.2 which is a kind of simulation software based common simulation language, SIMAN V. And then, we applied this model to kwangyang port(partially) and analyzed the effect of it upon port system in according to change of the quantity of goods transported.

#### 1. 서 론

본 연구에서는 광양항의 2011년에 예상되는 물동량에 따른 개발계획(안)을 반영한 시뮬레이션 모형(simulation model)을 수립하고 시행함으로써 부두서비스의 실태 및 문제점 등을 파악하고, 다양한 물동량의 변화에 따른 광양항의 물류흐름 및 체선 변동추이의 예측, 항로능력 등을 분석하기 위한 것이다.

본 연구에서는 대기행렬 모형을 적용한 시뮬레이션 모델을 시뮬레이션 전용언어인 SIMAN V를 바탕으로 하여 애니메이션 기능을 추가한 Arena 2.2 소프트웨어를 이용하여 수립하고 시행하였다.

따라서, 먼저 대기행렬 모형에 대한 간략한 정의 및 내용을 소개하고, 이러한 모형을 적용한 시뮬레이션 모델의 설계 및 실행, 그리고 시뮬레이션 실행 결과에 대한 분석의 순으로 언급하고자 한다.

\* 정회원, 한국기계연구원

## 2. 대기행렬 모형(시스템)

### 2.1 기본개념

대기행렬의 기본적인 목표는 서비스를 제공하는 데 필요한 직접비용과 서서비스를 받으려는 개체를 기다리게 하는데 드는 간접비용의 합을 최소로 하는데 있다. 대기행렬 모형의 가장 단순한 형태는 그림 1과 같이 서비스를 받기 위해 도착하는 대상물, 대상물이 도착하여 형성하는 대기행렬 및 서비스를 제공하는 시설 등의 부분으로 구분된다.

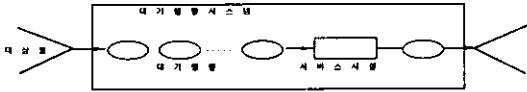


그림 1 기본적인 대기행렬시스템  
(Queueing System)

#### (1) 대상물

대기행렬시스템의 대상물은 서비스를 받기 위하여 시스템에 도착하는 선박, 사람, 제품 등으로서 다음의 3가지를 알아볼 필요가 있다.

- 대상물의 크기
- 대기행렬에 도착하는 과정
- 대기행렬에 대한 고객들의 자세

##### ① 대상물의 크기

대상물의 크기는 대기행렬모형의 성격을 결정하는 중요한 파라미터로서 대상물의 크기가 무한대라고 가정하는 경우 대기행렬 모형은 좀더 쉽게 풀 수 있는 반면 유한한 대상물을 갖는 문제는 좀더 복잡하다. 무한한 대상물과 유한한 대상물의 대기행렬모형의 차이는 새 고객이 도착하는 확률이 대기행렬의 크기에 의해 영향을 받는가의 여부에 있다.

##### ② 고객도착과정

고객의 도착과정은 이미 확정된 스케줄에 따르거나 또는 무작위적(random)으로 도착할 수 있다. 도착과정이 무작위적인 경우 도착과 도착사이의 시간,

즉 도착간시간(inter-arrival time)의 확률분포를 알아야 한다. 만일 이 도착간시간의 분포가 지수분포(exponential distribution)를 갖는다면 고객의 도착과정은 포아송과정(poisson process)을 갖는다.

포아송과정은 어느 순간에 대하여 미래가 과거에 무관하다는 성질로 말미암아 분석이 매우 용이하여지며, 실제로 많은 대기행렬모형이 이러한 성질을 만족하기 때문에 대기행렬분석에서 가장 많이 이용되는 도착과정이다.

##### ③ 고객의 자세

마지막으로 대상물에 대하여 알아보아야 할 점은 대기행렬에 대한 고객의 자세이다. 대상물이 서비스창구에 도착하였을 경우 서비스를 받기 위해 대기행렬에서 기다리는 경우 도중에 대기를 포기하고 시스템을 빠져 나가는 경우를 생각할 수 있다. 이러한 경우의 분석은 매우 어려우기 때문에 보통 대부분의 모형에서는 고객들이 무한히 대기행렬에서 기다린다고 가정한다.

#### (2) 대기행렬

대기행렬의 성격을 결정짓는 요소는 대기행렬의 최대크기이다. 어떤 시스템의 대기행렬은 비교적 많은 수를 수용할 능력이 있는 반면에 매우 제한된 수용능력을 가지고 있는 시스템도 있다.

#### (3) 서비스 시설

서비스 시설에 대해서는 다음의 3가지를 알아볼 필요가 있다.

- 서비스시설의 구조
- 서비스시간의 확률분포
- 서비스제공정책

##### ① 서비스 시설의 구조

서비스 시설은 먼저 단일단계(single-phase) 구조와 다단계(multi-phase) 구조로 구분된다. 단일단계 구조는 한 가지 종류의 서비스 시설로부터 서비스를 받는 구조로서 공중전화의 대기행렬체계가 하나의 예이다. 다단계 구조는 몇가지의 서로 다른 형태의 서비스 시설로부터 서비스를 받아야 하는 경우로서

항구에 들어오는 화물선박을 생각해 볼 수 있다.

또한 서비스 시설의 숫자에 따라 단일채널(single-channel)체계 또는 다중채널(multi-channel) 체계로 구분된다.

따라서 대기행렬체계는 단계의 수 및 서비스 시설의 수에 따라 단일단계-단일채널구조, 단일단계-다중채널구조, 다단계-단일채널구조 및 다단계-다중채널구조로 구분할 수 있다.

② 서비스 시간의 확률분포

서비스 시간에 걸리는 시간은 항상 일정할 경우도 있고 또는 확률분포를 갖는 무작위적인 경우도 있다. 많은 대기행렬모형에서 서비스 시간은 확률분포를 갖는다고 가정한다. 만일 서비스 시간이 지수분포를 갖는다면 서비스 시간은 무기역성(memoryless property)을 갖는다. 즉 시각 t까지의 서비스가 완료되지 않은 한 고객에 대해 앞으로 더 소요될 서비스 시간의 확률분포는 이 고객을 처음부터 다시 서비스를 시작한다고 할 때에 필요한 서비스 시간의 확률분포와 같다는 것이다.

③ 서비스 제공정책

이것은 대기행렬에서 기다리고 있는 고객중에서 누구에게 다음의 서비스를 제공할 것인가를 결정하는 규칙을 말한다. 흔히 생각할 수 있는 것이 FCFS(first come, first served)로서 대기행렬모형에서는 가장 많이 사용되는 정책이다. 때로는 LCFS(last come, first served)도 이용되는데 이것은 가장 늦게 도착한 고객에게 먼저 서비스를 제공하는 정책이다.

또 하나의 중요한 정책은 고객들에게 우선순위를 부여하는 방법이다. 이 경우에는 대기행렬에 기다리고 있는 고객 중에서 우선순위가 가장 높은 고객이 먼저 서비스를 받는다. 그런데 한 고객이 서비스를 제공받고 있는 도중에 이 고객보다 우선순위가 높은 고객이 도착한 경우 두가지 정책이 가능하다. 첫째는 현재 서비스를 제공받고 있는 낮은순위의 고객을 다시 대기행렬로 보내어 기다리게 하고 새로 도착한 높은순위의 고객에게 먼저 서비스를 제공하는 정책이다. 즉 높은순위의 고객이 낮은순위의 고객보다 먼저 서비스를 받을 권리(preemption)를 인정하는 정책으

로서 이러한 정책을 선취우선순위정책(preemptive priority discipline)이라고 부른다. 두 번째는 높은 순위의 고객이 도착하였다 할지라도 현재 서비스를 받고 있는 고객은 서비스를 끝까지 받는 정책으로 비선취우선순위정책(non-preemptive priority discipline)이라 부른다.

2.2 일반적 대기행렬 모형의 공식

단일단계-단일채널의 대기행렬 모형은 고객의 도착과정과 서비스 시간의 분포 등에 따라 그 분석방법은 달라지지만 이러한 분석을 통하여 다음과 같은 효과지표(measures of effectiveness)를 구하는 것에 초점을 두고 있다.

L : 대기행렬시스템내에 있는 고객의 숫자(서비스를 받고 있는 고객의 숫자 포함)의 기대값

L<sub>q</sub> : 대기행렬에서 기다리고 있는 고객의 숫자의 기대값

W : 한 고객이 대기행렬시스템에서 보내는 시간(서비스를 받는 시간 포함)의 기대값

W<sub>q</sub> : 한 고객이 대기행렬에서 기다리는 시간의 기대값

그런데 도착과정과 서비스 시간이 어떠한 분포를 갖든지간에 만일 이 시스템이 안정상태(steady-state)에 도달하게 된다면 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$L = \lambda W \dots\dots\dots (i)$

$L_q = \lambda W_q \dots\dots\dots (ii)$

$W = W_q + \frac{1}{\mu} \dots\dots\dots (iii)$

여기서 λ는 평균고객도착율, μ는 평균서비스율 나타낸다.

(i)식은 안정상태에 도달하게 되면 대기행렬 체계내에 있는 고객의 수의 평균치는 한 고객이 대기행렬시스템에서 보내는 평균시간 동안 도착한 고객의 숫자만큼이 됨을 의미하며, (ii)식은 마찬가지로

대기행렬에서 기다리고 있는 고객수의 평균치는 한 고객이 대기행렬에서 기다리는 평균시간동안 도착한 손님의 숫자만큼이 된다는 것을 의미한다. (iii)식은 한 고객이 대기행렬시스템에서 보내는 평균시간은 대기행렬에서 기다리는 평균시간과 서비스에 걸리는 시간의 합임을 알 수 있다.

### 3. 대기행렬 모형을 적용한 시뮬레이션

#### 3.1 시뮬레이션 모델의 설계

##### (1) 모델설계를 위한 정의

시뮬레이션 모델의 설계를 위해서 광양항의 부두 및 항로간 교차점을 정의하면 아래와 같다. 아래의 그림 2에서 붉은색은 출항항로와 입항항로의 교차점을 나타내며, 파란색은 출항항로와 출항항로간의 교차상태를 나타낸다. 또한 연두색의 경우는 입항항로에서 목적부두에 따라 분기하는 경우를 나타낸다.

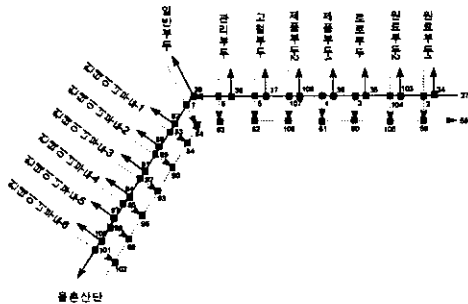


그림 2 부두 및 항로간 교차점의 정의

##### (2) 가정사항

- o 항로는 입출항 전용선을 가지고 있는 것으로 가정하였으며, 통항시 선박간의 최소이격거리는 선박의 길이의 8배로 가정
- o 선박의 통항속도는 7노트를 적용
- o 항로 및 부두간의 거리는 축척 1/20000의 해도

상에서 산출

- o 입출항 선박에 대한 부두할당은 연간운항예측 자료를 기준으로 전체대비 각 부두(혹은 지역)별 상대적 비율을 적용하였으며, 선종별/크기별 선박의 크기, 톤수 및 서비스 시간은 97년도 PORT-MIS 자료를 이용하여 각각에 대한 분포를 산출하여 적용 (단, 컨테이너선 경우에 있어서 서비스 시간은 실적 자료가 없는 관계로 13시간으로 가정함)

- o 각 부두의 선석배정에 대한 사항은 고려하지 않았으며, 부두 전체의 능력을 기준으로 하여 선박의 톤수에 해당하는 자원을 할당하는 것으로 함

- o 광양제철부분의 원료 및 제품부두는 각각 2개의 동일한 부두가 있는 것으로 자원을 할당하였으며, 하포컨테이너 부두의 경우는 6개부두로 균일하게 할당

- o 부두에서 출항시 교차점에서의 소요시간은 40분(각각 20분씩 2개의 교차점)으로 가정하였으며, 부두에서 출항시 교차점을 중심으로하여 입항항로 및 출항항로의 진입을 금지토록 모델링함

##### (3) 부두 및 교차점의 모델링

정의한 부두 및 교차점에 대해서 가정사항을 고려하여 범용시뮬레이션 언어인 SIMAN V를 기반으로 하여 애니메이션 기능을 추가한 Arena 2.2 소프트웨어를 이용하여 모델링하였다.

###### 가. 부두의 모델링

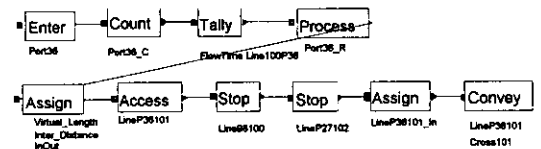


그림 3 부두의 모델링 예(컨테이너부두 6)

###### 나. 교차점의 모델링

다. 전체모델링 결과(일부)

위와 같은 방법에 따라 광양항 전체부두 및 교차점들에 대해서 모델링한 결과의 일부를 나타내면 아래의 그림 5와 같다.

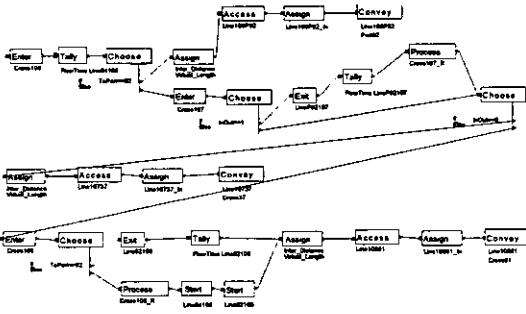


그림 4 교차점의 모델링 예

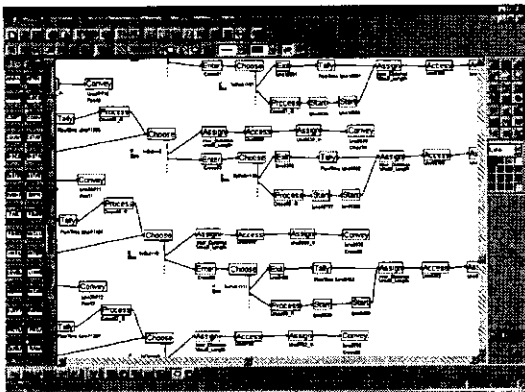


그림 5 전체모델링 결과의 일부

### 3.2 시뮬레이션 실행

시뮬레이션은 10일간(14,400분)의 Warming Up 후 30일간(43,200분) 입항하는 선박의 도착분포에 변화를 주어가면서 실행하였다. 아래의 그림 6은 시뮬레이션이 실행되는 동안의 애니메이션 형태를 나타낸다.



그림 6 시뮬레이션의 실행화면

### 3.3 시뮬레이션 결과의 분석

그림 7은 30일간의 시뮬레이션 실행후 각 부두별 입항선박의 수를 나타내고 있으며, 오른쪽의 범례는 시뮬레이션을 통해 얻어진 입항선박의 수를 1년을 기준으로 단순 산술적 계산에 의해 전체 입항선박수를 예측한 결과이다. 아울러 그림 8은 이때의 부두별 평균이용율을 나타내고 있다.

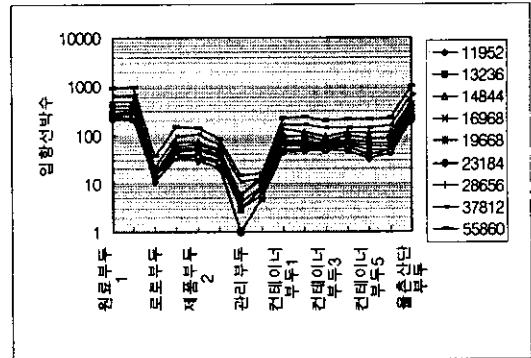


그림 7 부두별 입항선박수

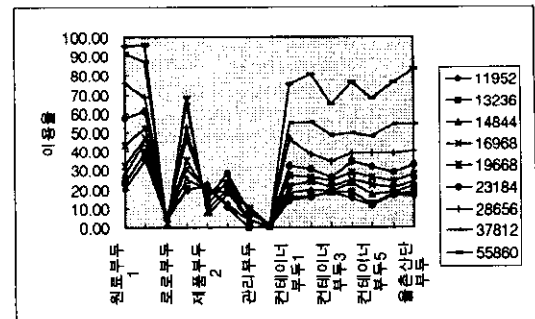


그림 8 부두별 이용율

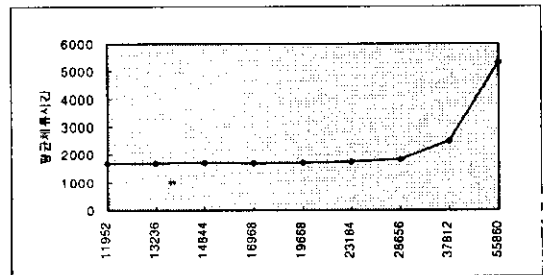


그림 9 물동량변화에 따른 평균체류시간

그림 9는 물동량 변화에 따른 항만내 선박의 평균 체류시간(입항하여 부두에서 서비스를 마치고 항만을 빠져나갈 때까지의 평균시간)을 나타내는 것으로 년(年) 선박의 입항척수가 28,656척 이상으로 증가할 경우에는 급격히 평균체류시간이 증가하는 것을 볼 수 있다.

아래의 그림 10, 11은 입항시 각 교차점에서의 평균대기시간 및 최대대기시간을 나타내는 것이며, 그림 12, 13, 14는 원료부두, 제품부두 및 컨테이너부두에 대해서 물동량별 대기시간의 변화를 나타낸 것이다.

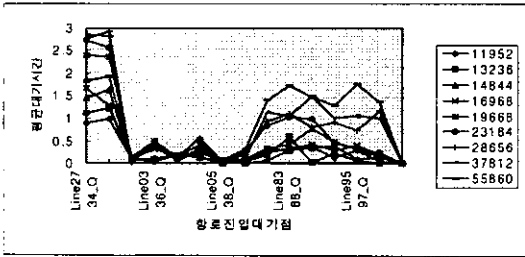


그림 10 교차점별 평균대기시간

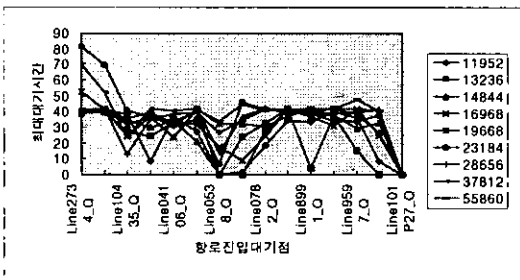


그림 11 교차점별 최대대기시간

그림에서 볼 수 있듯이 입항선박의 수가 28,656척 이상이 될 경우에는 원료 및 CTS부두 부분(교차점 02, 104) 및 제품부두 부분(교차점04, 107)에서 급격히 평균대기시간이 증가함을 볼 수 있으며, 컨테이너부두 부분(교차점83, 89, 92, 95, 98, 101)에서는 입항선박의 수가 55,860척이 될 경우에 한해서 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다.

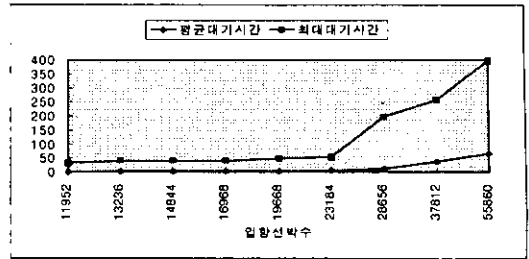


그림 12 원료부두2(교차점104)에서의 대기시간

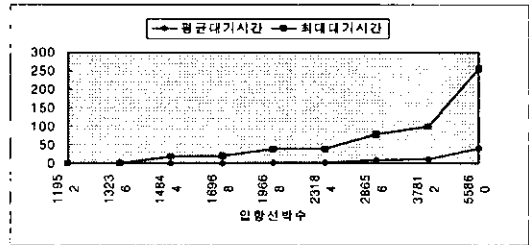


그림 13 제품부두1(교차점4)에서의 대기시간

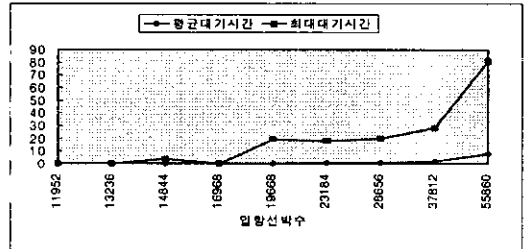


그림 14 컨테이너부두(교차점89)에서의 대기시간

## 4. 결론

이상과 같이 2011년의 광양항 물동량을 기준으로 하여 개략적인 시뮬레이션 모델을 설계하고, 물동량의 변화에 따른 시뮬레이션의 결과를 분석하여 보았다.

그러나 본 시뮬레이션의 결과는 전반적인 항만의 운영관점에서 검토되어야 하며, 선박의 통항이 혼잡한 경우 등과 같은 특정시간에 대한 혼잡도 평가와 같은 기타의 결과와 종합적으로 검토되어야 할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] 이철영, 남만우, “목포항 물류시스템의 분석에 관한 연구”, 한국항만학회지, 제10권, 제1호, pp.1-14, 1996.
- [2] 황해성, 곽규석, “인천항의 선박도착 분포 및 부두서비스 상태 분석에 관한 연구”, 한국항만학회지, 제11권, 제1호, pp.1-20, 1997.
- [3] 구자윤, “항계내 항로의 해상교통 혼잡도 평가에 관하여”, 한국항만학회지, 제11권, 제2호, pp.173-189, 1997.
- [4] 이철영, “항만물류시스템”, 효성출판사
- [5] 여수지방해양수산청, “여수·광양항 항만시설 운영세칙”, 1997.
- [6] 조규갑 외 공역, “생산시스템 시뮬레이션“, 창현출판사