

자영 컨테이너 장치장의 평가를 위한 시뮬레이션 모델의 개발*

Development of a Simulation Model for the Evaluation of the Off-Dock Container Yard

윤원영** · 최용석**

Won Young Yun · Yong Seok Choi

Abstract

The Off-Dock Container Yard(ODCY)s in Pusan are located at 48 different places, and it causes serious problems in the container cargo transport and inland traffic near Pusan district. Hence, the analysis and evaluation of ODCY operation is important. Therefore, this paper proposes a simulation model which evaluates the operation of ODCY. It also proposes a simulation model using an object-oriented approach which includes the system is modeled with object-class hierarchy and SIMPLE++, an object-oriented simulation software, is used to develop the model.

1. 서 론

우리 나라 컨테이너 물동량은 최근 5년간 연평균 16%의 높은 증가율을 보이고 있으며, 부산항은 1996년 4,760,507TEU를 처리하여 세계 5위의 컨테이너 처리실적을 가지고 있다[6]. 이러한 무역 규모의 급격한 팽창에 따른 해상 물동량의 증가로 이를 처리하기 위한 항만관련 시설의 확충 또는 신설 등과 같은 '규모의 확대'로써 이에 대처하고 있는 상황이다. 그러나, 기존 컨테이너 터미널 시설의 확충 또는 신설 역시 부지 확충이나 매입의 어려운 점, 선박의 접안이 가능한

부두로서의 특성, 터미널 시설과 관련된 배후 컨테이너 장치장의 시설, 컨테이너 장치장을 연결하는 교통 시설 등을 고려할 때 이 또한 상당히 어려운 실정이다.

부산지역에 산재한 자영 컨테이너 장치장(Off-dock Container Yard; ODCY)은 1996년말 총 12개 업체의 50개소로 1996년 부산항 수출입물량(3,819,155TEU)의 91%인 3,477,242TEU를 처리하여 1995년 처리물량(3,132,000TEU)에 비해 11% 증가하였으나 ODCY의 총 부지면적은 1996년 486,000평으로 1995년도의 455,861평에 비해 6.2%가 증가하였다[6]. 이와 같은 상황에서 불

* 이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

** 부산대학교 산업공학과, 기계기술연구소

때 시설 규모의 확대보다는 기존의 컨테이너 터미널과 관련된 소규모로 운영되는 다수의 자영 컨테이너 장치장들의 물류취급의 생산성을 보다 더 높일 수 있는 컨테이너 처리에 관한 운영정책의 계획 및 운영방법이 필요하다. 뿐만 아니라, 터미널 운영주체의 영업측면에서 보면 현재 여러 터미널간에 선박유치를 위한 경쟁이 국내외적으로 차츰 치열해지고 있는 현실을 감안할 때 컨테이너 관련 장치 시설의 생산성 향상은 비용절감이라는 측면에서뿐만 아니라 고객확보라는 측면에서 아주 중요한 과제가 아닐 수 없다. 이와 같은 사실을 고려할 때, 컨테이너 물류 취급의 생산성향상이 터미널 내부의 문제뿐만이 아니라 터미널 배후에 산재한 ODCY와도 밀접한 관계가 있다.

컨테이너 터미널내의 물류시스템은 컨테이너 전용부두, 컨테이너 전용 특수장비 및 야적용 장치장의 유기적인 연결에 의해서 하역, 이송 및 보관의 기능을 수행한다. 컨테이너 터미널과 관련한 컨테이너 장치장들의 저장시스템을 중심으로 컨테이너의 흐름을 압축하여 창고개념을 응용하면 구체화된 광대한 컨테이너 장치장에서 표준화된 컨테이너 화물의 입, 출고와 재고관리로 시스템을 요약할 수 있다⁴⁾. 그러나 ODCY의 경우는 이러한 창고가 소규모로 여러 장소에 분산되어 있다고 할 수 있다.

일반적으로 컨테이너의 재고관리는 2가지로 나눌 수 있는데, 첫째는 선박회사에서 자사의 컨테이너 용기를 효율적으로 이용함으로써 컨테이너의 회전율을 높여 고정자산 비용을 감소시켜 채산성 향상과 수요에 즉각 대응하는 용기관리이며, 둘째는 컨테이너 터미널의 장치장 운영의 효율화를 위한 장치장 관리이다. 그러나 지금까지 장치장 관리의 연구는 주로 터미널 내부의 부두 컨테이너 장치장(On-dock Container Yard; On-Dock CY)에 대해서 집중적으로 연구되어 왔었다^{1, 3, 5, 7, 9, 10)}. 그러나 터미널의 효율적 운영을 위해서는 컨테이너 장치장의 역할을 하는 항만 외부의 ODCY와 연계된 물류 흐름의 효율화를 기하는 외부 장치장 관리가 필수적이다.

ODCY의 운영은 장치장의 운영주체, 운영방식과 물량, 지역적인 여건에 따라 사정은 달라지지만, 대체적으로 한정된 시설능력을 최대한 발휘하여야 하는 우리나라의 부산항과 같은 여건에서는 항만과 물류흐름 전

반의 생산성에 직접적으로 영향을 준다.

우리 나라의 주요화물 발생지역인 공단 및 공업지역은 부산항에서 보면 내륙에 산재해 있고, 지형적인 특성으로 경부선을 제외하면 대부분이 중, 단거리이므로 컨테이너 운송에 있어서는 88%-89%정도의 컨테이너는 도로로 수송되고 있어 수송수단간의 적정 분담이 이루어지지 않고 있는 실정이다⁴⁾. 그러므로 도로수송에 대한 과도한 의존에 따라 기존 도로망에 대하여 부하, 적체, 공해를 유발하고 있다. 따라서 항만 인근의 ODCY는 항만과 산재된 수요/공급지를 연결하는 완충, 저장공간으로서 이 공간의 효율적 운영이 항만의 경쟁력과 서비스수준을 높이는 데 중요하다고 할 수 있다.

다수의 ODCY가 운영되고 있는 부산의 경우 ODCY들이 컨테이너 터미널에서 이루어지는 본선의 선적과 하역작업의 기능을 수행하고 있으므로 운영방법의 합리화를 위한 운영정책계획이 요구되며, 운영정책대안들을 비교·분석하여 효율적인 운영정책을 제안할 수 있는 연구가 필요하다.

2. ODCY의 현황

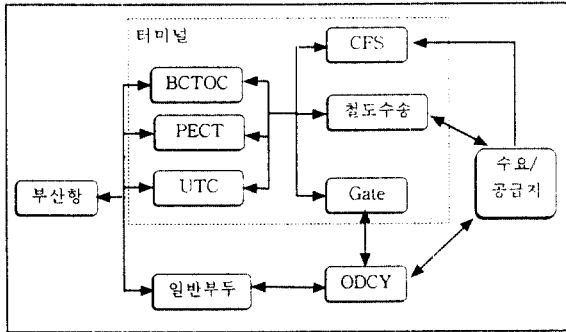
우리 나라는 내륙 컨테이너 기지가 확보되지 못한 상태에 있으므로 부산시내에 산재한 ODCY가 내륙 컨테이너 기지의 역할을 수행하고 있으며, 컨테이너의 내륙수송에 있어서 부산시내의 ODCY가 기종점의 역할을 하고 있다.

<그림 1>과 같이 ODCY는 터미널의 컨테이너 장치장과 컨테이너의 수요/공급지와와의 중간 창고 역할을 함으로써 컨테이너 화물의 물류 흐름을 중계하는 역할을 하며, 또한 장치 보관기능, LCL(Less than Container Load Cargo)화물의 집하 분류기능, 내륙운송 터미널 기능, 통관기능, 컨테이너 및 장비의 정비보수기능 등을 담당하고 있다²⁾.

그러나 교통량 가중에 의한 도시 기능의 저하와 ODCY의 컨테이너 조작으로 인한 소음, 공해 등의 도시 환경의 저해, 토지 이용과 도시 개발의 제약 등의 문제점을 야기시키고 있다. 또한 항만 물류 측면에서 내륙운송 효율의 저하, 물적 및 인적 자원의 비효율적 운용으로 인한 유통비용의 증가 등으로 인하여 결국 항만 기능의 저하를 가져오게 한다⁵⁾.

따라서 항만 물류를 효율적으로 운용하기 위해서는 ODCY의 효율적인 운영이 필수적이다.

또한, 컨테이너 화물의 유통구조를 살펴보면, 컨테이너 전용부두의 절대부족으로 부두 컨테이너 장치장의 기능이 미흡한 실정이며, 컨테이너 화물이 부산시내 곳곳에 50개나 산재해 있는 ODCY를 경유해야 하는 이중적인 구조를 가지고 있다. 따라서, 이러한 컨테이너의 유통구조 때문에 증복된 시내운송이 요구되며, 결국 도시교통에 영향을 미치게 된다. 즉 컨테이너 수송로인 부두로, 우암로, 수영로, 도시고속도로, 용당로, 용호로 등의 주요 간선도로의 교통체증을 유발시키는 요인이 되고 있다[2].



〈그림 1〉 컨테이너 화물의 국내 흐름

이러한 현상은 도시 교통의 측면에서 항만 물동량이 도시 교통에 큰 영향을 끼치고 있음을 부인할 수는 없으나, 항만 물류의 관점에서는 수송시간의 지연 및 수송비의 증대 등으로 인해 항만 생산성의 저하와 수출 경쟁력의 약화 등을 가져오는 요인이 된다.

우리 나라 컨테이너 물동량은 매년 증가추세이며 그

증가율이 1993년 이후 급증하고 있는 실정이고, 특히 최근 5년간 총물동량의 연평균 증가율은 16%로 나타났다[6]. 이러한 물동량 증가에서 부산항의 처리물량이 큰 비중을 차지하고 있으며, 또한 부산항 처리물량의 86%가 ODCY를 경유하여 처리된다는 것을 〈표 1〉에서 알 수 있다. 〈표 1〉에서와 같이 ODCY의 물량증가에 비해 면적의 증가가 상대적으로 낮은 것이 장치공간의 부족으로 인한 물류비용의 추가 부담을 유발하게 된다.

3. 시스템 분석

ODCY의 운영을 분석하기 위해서는 컨테이너 물동량 처리면에서 수요/공급지와 컨테이너 터미널의 상호관계, 그리고 역할에 대한 체계적인 분석이 필요하며, 본 연구에서는 우선 ODCY, 컨테이너 터미널, 수요/공급지에 대한 운영의 연관성을 분석하였다.

3.1 ODCY

ODCY의 이용은 크게 수출 컨테이너의 ODCY반입과 수입 컨테이너의 ODCY반출의 두 가지이용 방식이 있다. 또한 ODCY작업 유형으로 분류하면 수출 컨테이너화물 장치와 수입 컨테이너화물 장치의 두 가지로 나눌 수 있다.

수출 컨테이너화물의 장치는 선박의 입항 일정을 맞추기 위해 ODCY에 컨테이너를 사전 반입하는 경우와 화주의 공장 협소로 ODCY에 컨테이너를 조기 반입하는 경우에 발생하며, 반대로 수입 컨테이너화물의 장치는 화주 창고의 부족 또는 화물작업 여건 미비 등 화주의 사정으로 컨테이너 이수 지연이 발생하거나 컨

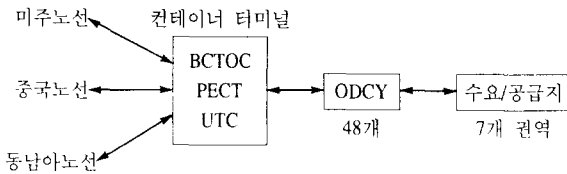
〈표 1〉 ODCY처리물량 현황(한국컨테이너부두공단, 1997년)

구분	수출입물량	부산항물량	ODCY물량	ODCY개수	ODCY총면적
1995년	3,941,679TEU 100%	3,643,298TEU 92.43%	3,132,000TEU 79.46%	12개업체 48개	455,861평
1996년	4,260,240TEU 100%	3,819,155TEU 89.65%	3,476,000TEU 81.59%	12개업체 50개	486,000평
연간증가율	8.0%	4.8%	11.0%	0.4%	6.2%

테이너 보세운송면허 또는 통관에 따른 기간 소요 또는 차량 부족, 중량제한, 교통체증 등으로 컨테이너 수송 효율이 저하된 경우를 들 수 있다.

또한 ODCY내부적으로는 컨테이너가 노선별로 관리되며, 컨테이너화물의 목적지에 따라 구분되는 노선의 라인별 관리가 주로 사용된다. 노선의 라인별 관리에서는 수출이나 수입의 경우 주로 컨테이너 선박의 목적항에 따라 미주노선, 중국노선, 동남아노선 등이 대부분이며, 따라서 이 세 가지 노선별로 구분된 라인별 관리가 현행 운영방식의 주류를 이룬다.

ODCY를 중심으로 컨테이너의 흐름을 표현하면 다음 <그림 2>와 같다.



<그림 2> ODCY를 중심으로 한 컨테이너의 흐름

<그림 2>에서와 같이 ODCY는 컨테이너 터미널과 수요/공급지의 물류를 중계하기 위해서 컨테이너 터미널로 운송되는 물량과 시간, 수요/공급지별 운송 물량과 운송시간 등을 고려하여 운영 계획을 세운다. 운영 계획에서는 수출 물량에 대한 선적 시간과 선적 물량에 대한 정보를 개별 수요/공급지에 전달하고, 이 계획에 맞추어 운영을 하게 된다.

3.2 수요/공급지

1993년~1995년 3년동안의 우리나라의 컨테이너 물동량 자료를 근거로 하여 1995년도 컨테이너 물량의 처리 현황을 7대 권역으로 나누어 수요지와 공급지별로 물량을 조사한 결과는 <표 2>와 같이 요약된다[6].

<표 2>의 물동량의 비율은 전국 수출입 컨테이너 물동량의 약 80%를 처리하고 있는 부산지역 ODCY업체에서 처리하는 권역별 컨테이너 화물을 적용한 것이다. 권역별 컨테이너 물동량 비율은 수도권 36.3%, 부산권 17.6%, 경남권 16.1%, 경북권 12.8%, 중부권 9.0%,

호남권 7.5%, 강원권 0.7%로 나타났으며, <표 2>에서 제시된 연평균 물동량은 적컨테이너를 기준으로 추정된 물량이다.

<표 2>에서는 수요/공급지별 물량과 물량의 비율을 권역별로 분류하였으며, 이를 바탕으로 ODCY별 컨테이너 처리 물량과 단위 기간별 처리물량을 추정하면 다음 <표 3>과 같으며, 수출 컨테이너와 수입 컨테이너의 물량 비율은 56.5 : 43.5로서 수출 컨테이너 물량의 처리 비중이 높다는 것을 알 수 있다.

<표 2> 컨테이너 물량의 수요/공급지 권역별 분담비율(1995년도)

지역	중심지	물량비율(%)	평균거리(km)	연평균물동량(TEU)
수도권	부곡기지	36.3	430	1,171,401
부산권	부산	17.6	20	567,952
경남권	울산	16.1	60	519,547
경북권	대구	12.8	140	413,056
중부권	대전	9.0	300	290,430
호남권	광주	7.5	400	242,025
강원권	춘천	0.7	350	22,589
		100.0		3,227,000

<표 3>에서 추정된 ODCY물량이 <표 2>의 수요/공급지 권역별 물량분담비율로 컨테이너 차량에 의해 운송이 되며, 또한 <표 3>의 수출입 컨테이너 물량의 수입과 수출은 컨테이너 터미널에서 처리가 된다.

<표 3> ODCY의 물량 추정(단위: TEU)

구 분	수출 컨테이너	수입 컨테이너	합 계
48개 ODCY의 연평균 처리물량(TEU)	1,824,000	1,403,000	3,227,000
1개 ODCY의 연평균 처리물량(TEU)	38,000	29,229	67,229
1개 ODCY의 월평균 처리물량(TEU)	3,167	2,436	5,603

3.3 컨테이너 터미널

컨테이너 터미널은 부산항에서 컨테이너 터미널로 조업중인 BCTOC(부산컨테이너부두운영공사), PECT

(동부산컨테이너터미널), UTC(우암터미널) 등을 대상으로 하며, 이들 컨테이너 터미널에서의 작업은 수출 컨테이너와 수입 컨테이너의 처리로 구분할 수 있으며, 수출 컨테이너의 경우 선박이 입항하기 4일전부터 컨테이너 터미널로 컨테이너를 반입하기 시작하여 10시간 전까지 반입을 완료하여야 한다.

그러나 수입 컨테이너의 경우 컨테이너 터미널에서 ODCY로 운송하는 경우에는 시간적인 제약이 많지 않으므로 컨테이너 터미널내의 장치장이라는 제한된 공간에서 일시 장치한 후 ODCY로 운송을 하게 된다. 그러나, 컨테이너 터미널의 장치장에 장치할 경우에는 보관비용이 많이 소모되므로 무료 장치기간을 최대한 활용하여 장치시킨 후 ODCY로 운송하는 방식이 사용되고 있다.

컨테이너 터미널은 컨테이너 선박의 입항과 출항에 대한 선박 정보 시간정보와 수출 컨테이너 물량과 수입 컨테이너 물량의 정보를 ODCY와 공유하게 되며, 이러한 정보를 바탕으로 선박의 입항 시간에 맞춰 수출 컨테이너를 컨테이너 터미널로 반입이 되도록 하고, 수입 컨테이너의 ODCY로의 반출 시간을 지시한다.

4. 시뮬레이션 모델

ODCY의 단위 모델을 개발하여 ODCY모델의 수를 늘려서 모델을 확장하거나 컨테이너 터미널과 연결된

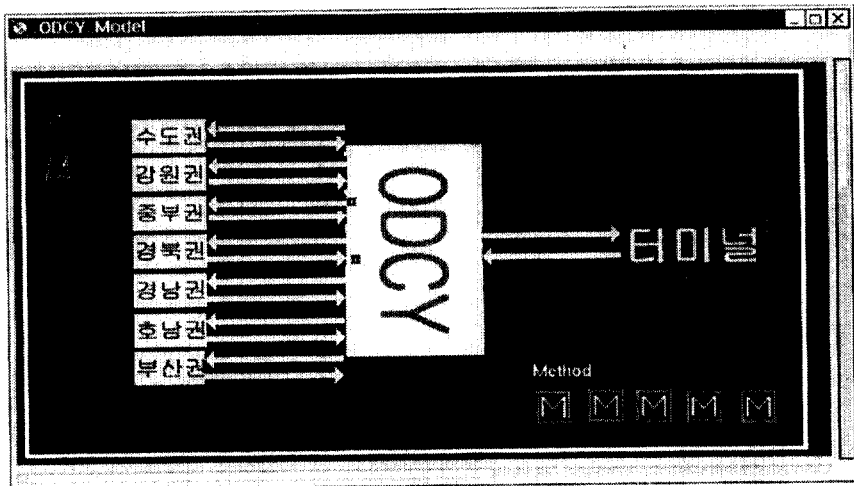
통합 시스템으로의 확장이 용이하도록 하기 위해서 객체지향개념을 이용하여 모델을 개발하였다[8].

4.1 시스템의 구조

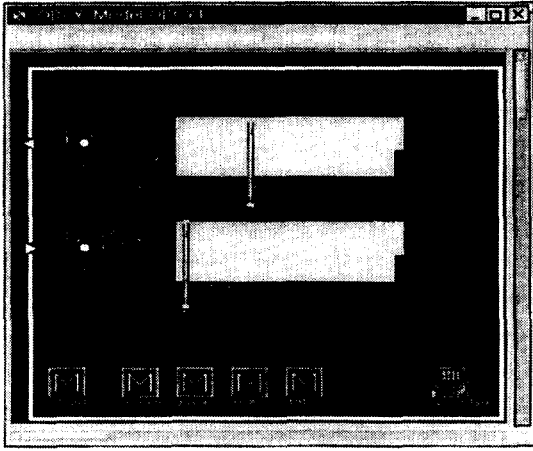
ODCY, 컨테이너 터미널, 수요/공급지 등의 단위 모델을 개발하여 다수의 모델들로 확장한 시스템은 아래의 <그림 3>과 같다. <그림 3>에서 ODCY, 컨테이너 터미널, 수요/공급지 등은 객체로 정의되어 있으며, 또한 하나의 단위 모델로서도 표현이 가능하다. 수요/공급지 객체의 경우 상속성(Inheritance)을 적용시켜 기본적인 속성은 그대로 유지하도록 하고, 변화되는 컨테이너 물량과 속성만을 변경시켜 다수의 수요/공급지를 생성하도록 객체지향개념의 상속성을 활용하였다.

<그림 3>에서 시스템의 하부 요소인 ODCY모델, 컨테이너 터미널, 수요/공급지 등의 객체를 더블 클릭하면, 개별 모델이 표현되도록 Top-down방식의 모델을 개발하였다.

<그림 3>의 시스템에서 ODCY모델을 더블 클릭하면 <그림 4>와 같이 ODCY모델에 대한 화면이 나타나게 된다. <그림 4>의 ODCY모델은 수출 블록과 수입 블록으로 구성되며, 각 블록에는 컨테이너 취급장비인 트랜스퍼 크레인(Transfer Crane: TC)이 한 대씩 작업을 하도록 하였다.



<그림 3> 개발된 시스템의 모델 구성 화면



〈그림 4〉 ODCY 모델

4.2 객체의 정의

ODCY에서 실제 사용되는 장비와 설비를 유사한 속성(Attribute)을 가진 객체로 정의하여 실제 작업에 필요한 속성을 부여하도록 하였다. 컨테이너, 컨테이너 차량(Trailer), 컨테이너 취급 장비 등은 물류객체(Material Flow Object)로 정의하며, 객체에 정의된 속성은 〈표 4〉와 같다.

〈표 4〉에서 정의된 객체속성은 장비의 작업을 제어하기 위한 것으로 컨테이너에 정의된 수출/수입 구분,

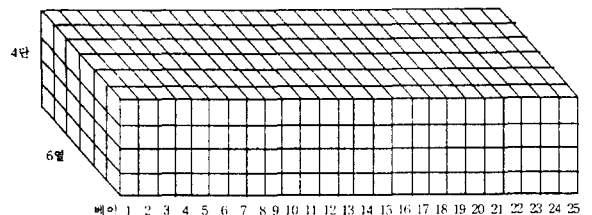
ODCY내의 장치위치 그리고 노선 등은 컨테이너 취급을 위한 속성이다. 컨테이너 차량과 컨테이너 취급장비는 자체 구동능력을 가진 것으로 정의하며, 특히 컨테이너 취급장비는 컨테이너의 상차/하차 작업을 수행할 수 있도록 정의하고 작업목록을 가지고 있도록 하였다.

4.3 블록의 모델

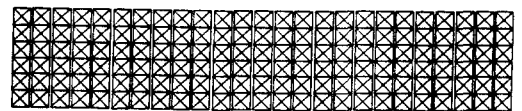
ODCY에는 내부에 컨테이너를 쌓아두는 공간인 블록(Block)을 가지고 있으며, 수출 컨테이너를 장치하는 수출 블록과 수입 컨테이너를 장치하는 수입 블록으로 구분하여 운영한다. 하나의 블록은 25칸의 베이(Bay)로 구성되며, 하나의 베이에는 20피트(Feet) 컨테이너를 기준으로 6열로 4단을 쌓을 수 있으므로 한 블록의 최대 용량은 $25 \times 4 \times 6 = 600$ 개가 된다. 이러한 블록의 실제 형태는 〈그림 5〉의 (a)와 같이 3차원의 저장 창고와 같다. 이러한 3차원의 장치 공간인 블록을 〈그림 5〉의 (b)와 같이 2차원의 평면으로 4단을 표현할 수 있도록 □형상으로 묘사하여, □형상을 변화시켜 몇 단이 쌓여 있는지 아이콘(Icon)으로 표시하여, 시물레이션 실행 동안 애니메이션(Animation)을 통해서 시각적으로 확인할 수 있도록 하였다. □형상의 저장공간 한 단위를 저장공간에 대한 목록을 가진 객체로 만들어 저장된 컨테이너의 정보를 기록할 수 있도록 하였다.

〈표 4〉 물류 객체의 속성 정의

물류객체	객체 속성
컨테이너	- 수입 컨테이너와 수출 컨테이너의 구분 - ODCY내의 장치위치(베이번호, 열번호, 단번호) - 노선
컨테이너 차량 (Trailer)	- 빈차량/용차량 구분 - 운행속도 - 컨테이너를 운송할 목적지 위치
컨테이너 취급 장비 (TC)	- 자체 운행속도 - 컨테이너 상차/하차(Loadng/Unloading) 작업시간 - 상차/하차 구분 - 작업해야 할 컨테이너 목록 - 작업 대기중인 컨테이너 차량 목록

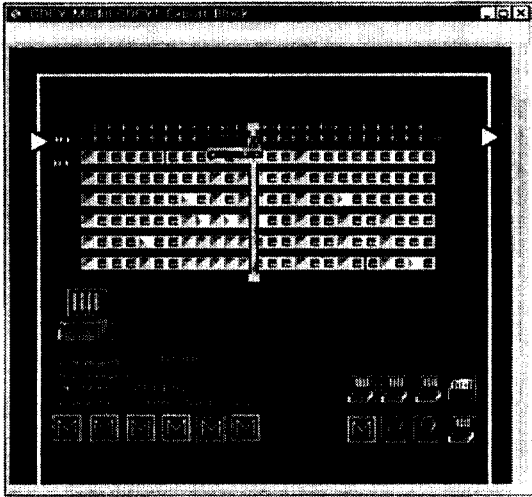


(a)



(b)

〈그림 5〉 실제 블록의 형태(a)와 모델에서 블록의 표현방법(b)



〈그림 6〉 개발된 블록 모델

〈그림 6〉의 개발된 블록 모델내에는 컨테이너 차량의 운행 경로를 일방향 경로로 구성하고, 컨테이너 취급장비의 운행 경로는 양방향 경로로 구성하여 임의의 작업위치로 이동할 수 있도록 하였다. 컨테이너 차량이 작업 위치 베이에 도착하면, 운행을 중지하고 컨테이너 취급장비가 컨테이너의 상차/하차 작업을 하고 나면, 운행을 계속하게 된다. 컨테이너 취급장비는 작업 위치 베이로 이동한 후 작업목록에 기록된 컨테이너를 상차/하차 작업하며, 그 베이에서 작업이 완료되면, 작업 목록에 기록된 다음 컨테이너 작업 위치 베이로 이

동한다. 이러한 컨테이너 차량과 컨테이너 취급장비의 작업 상황을 〈그림 6〉에서와 같이 블록 모델 수준에서 애니메이션이 가능하도록 하여, 작업 상황을 확인하고 모델을 검증하기 용이하도록 하였다.

블록 모델을 운영하기 위해서 블록 모델내에 메소드와 정보DB를 만들어 물류객체의 작업 제어와 컨테이너 정보 관리를 수행하도록 하였다. 정의된 메소드와 정보DB의 종류와 수행하는 기능은 〈표 5〉와 같다.

4.4 컨테이너 운영 정보

ODCY에서는 수요/공급지와 컨테이너 터미널 측에서의 컨테이너 처리 물량에 대한 정보를 가지고 운영을 하며, 운영 정보를 관리하기 위해서 컨테이너 터미널에 선박정보 DB(Ship_info_table)을 정의하고, 수요/공급지에 컨테이너 취급을 위한 컨테이너 정보 DB(CT_info_table)와 컨테이너 발생정보 DB(Con_create_table)를 정의하였다. 정보의 생성은 컨테이너 터미널에 정의된 선박정보에서 노선(Ship Type), 컨테이너 선박의 입항시간(Ship Arrival Time), 수출 물량(Export Quantity), 수입 물량(Import Quantity), 컨테이너 선박의 입항 예정시간(Sim Ship Arrival Time), 컨테이너 선박의 출항예정시간(Sim Ship Departure Time) 등을 먼저 생성하여 이를 바탕으로 하여 수요/공급지의 분배된 물량과 역산된 시간을 컨테이너 취급정보와 컨테이너 발생

〈표 5〉 블록 모델에 정의된 메소드의 기능과 정보DB의 관리 정보

메소드 이름	메소드의 기능	정보DB 이름	정보DB의 관리 정보
Init	블록 모델의 초기화	A_Type	미주노선 선박도착시간과 할당된 컨테이너 장치위치 목록
Reset	블록 모델의 재설정	B_Type	동남아노선 선박도착시간과 할당된 컨테이너 장치위치 목록
Bay_Alloc	컨테이너의 장치위치(베이) 할당	C_Type	중국노선 선박도착시간과 할당된 컨테이너 장치위치 목록
Load	TC의 컨테이너 반출작업 제어	Empty_Bay	할당이 안 된 베이 목록
Policy	블록운영규칙 실행	Bay_Alloc	베이별 할당된 컨테이너 목록
Select_Bay	할당이 안 된 베이 지정	Out_Table	반출될 컨테이너 위치와 반출시간 목록
G1_interval	반출 컨테이너 시간 관리		

정보를 생성한다. 수요/공급지와 컨테이너 터미널에 정의된 컨테이너 운영 정보는 <표 6>과 같이 분류할 수 있다.

<표 6>에서 컨테이너 터미널에 정의된 선박정보 DB를 이용하여 각 수요/공급지에 정의된 컨테이너 정보

<표 6> 컨테이너 운영 정보의 구조

	DB Name	Field Name
컨테이너 터미널	Ship_info_table	- Ship_Type - Ship_Arrival_Time - Export_Quantity - Import_Quantity - Sim_Ship_Arrival_Time - Sim_Ship_Departure_Time
		CT_info_table
수요/공급지	CT_info_table	- Ship_Type - Export_Quantity - Transport_Start_Time - Sim_Ship_Arrival_Time
	Con_create_table	- Transport_Time_Interval - Ship_Type - Sim_Ship_Arrival_Time

DB와 컨테이너 발생정보 DB를 생성하게 된다.

컨테이너 정보 DB에 정의된 수출물량은 선박정보 DB의 수출 물량을 각 수요/공급지별 물량으로 분배된 것이며, 운송 시작시간은 컨테이너 선박의 입항예정시간에 컨테이너 운송시간을 고려한 시간이다.

<표 6>에서 정의된 운영 정보 중 컨테이너 터미널에 정의된 선박 정보 DB는 <그림 7>과 같다.

4.5 메소드의 정의

시물레이션 모델 내에 정의된 객체들의 작업을 제어하기 위해서 작업지시용 메소드(Method)를 작성하게 된다. 메소드의 역할은 메소드가 위치한 객체의 수준에서 작업이 발생하는 물류객체의 작업 지시와 운행 제어를 처리하게 된다. 모델 내에 작성된 메소드들 중 ODCY의 운영규칙과 관련된 메소드들의 수행 기능을 나타내면 <표 7>과 같다.

<표 7>에서 나타난 메소드 중에서 컨테이너 장치위

string 0	string 1	time 2	integer 3	integer 4	time 5	time 6
	Ship_Type	Ship_Arrival_Time	Export_Quantity	Import_Quantity	Sim_Ship_Arrival_Time	Sim_Ship_Departure_Time
0	원	11:06:27.5382	53	41	6:11:06:27.5382	6:21:06:27.5382
1	A	1:00:52:29.2729	51	37	7:00:52:29.2729	7:10:52:29.2729
2	B	1:08:35:51.4873	53	41	7:08:35:51.4873	7:18:35:51.4873
3	C	2:00:01:41.6429	50	36	8:00:01:41.6429	8:10:01:41.6429
4	A	2:13:03:12.9596	53	42	8:13:03:12.9596	8:23:03:12.9596
5	C	2:22:23:08.7887	54	44	8:22:23:08.7887	9:08:23:08.7887
6	A	3:09:05:41.3606	52	39	9:09:05:41.3606	9:19:05:41.3606
7	B	3:21:58:40.4521	52	40	9:21:58:40.4521	10:07:58:40.4521
8	A	4:14:03:56.0982	51	37	10:14:03:56.0982	11:00:03:56.0982
9	B	5:01:48:13.5589	54	44	11:01:48:13.5589	11:11:48:13.5589

<그림 7> 선박 정보DB의 정보 구조

〈표 7〉 운영규칙에 관련된 주요 메소드

메소드 이름	메소드 수행 기능
TC_Control	- TC의 상차, 하차 작업의 처리 - TC의 작업위치로의 이동지시
Com_pos	- TC의 작업위치 확인 - Trailer가 작업위치 도착시 TC와의 위치 비교
Bay_Alloc	- 컨테이너가 ODCY의 입구에 도착했을 때 컨테이너가 장치될 Bay 위치를 할당

치를 할당하기 위한 Bay_Alloc 메소드의 코드는 다음 〈그림 8〉과 같으며, 메소드의 작성은 SIMPLE++ 내에 내장된 Simtalk언어를 사용하였다.

```

is
local ob1,ob2 : object;
    ij : integer;
    s1 : string;
do
ob1 :=@.~.~;
If @.occupied and @.st = 0
then
If @.cont.Ship_type = "A"
then
    If ob1.B_01.succ(7).empty
    then
        @.destination := ob1.B_01.succ(1);
        ob2 := ob1.B_01;
    elseif @.cont.Ship_Arrival_Time = ob1.B_01.succ(7)[2.1]
    then
        from i := 1;
        until i > 8
        loop
            s1 := ".ODCY_Model.ODCY1.Import_Block.B_0" +
                num_to_str(i);
            From j := 7;
            until j < 2
            loop
                ob2 := str_to_obj(s1);
                print ob2;
            end;
        end;
    If ob2.succ(j).full
    then
        j := j-1;
    else

```

4.6 컨테이너 차량계획

컨테이너를 수송하기 위해서는 컨테이너 차량을 이용하여야 하므로 컨테이너의 반출시에 컨테이너의 반출시간DB을 정의하여 반출될 컨테이너들을 시간순으로 기록되도록 하였다.

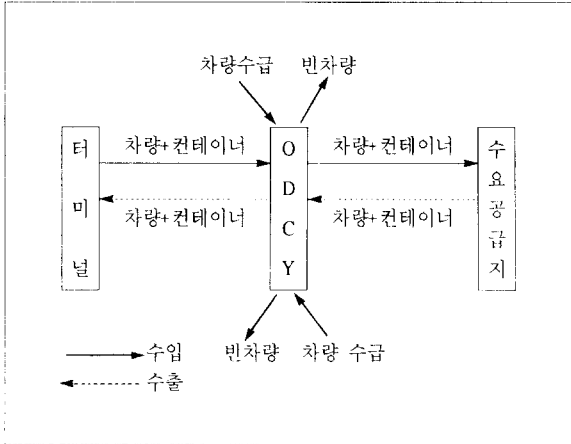
컨테이너가 ODCY에 반입되어 블록에 장치되면, 장치된 컨테이너의 반출시간을 반출시간DB에 기록하고 반출시간에 빈 차량을 생성하여 반출작업을 수행하도록 한다. 이러한 차량계획은 수입 컨테이너와 수출 컨테이너에 같이 적용되며, 〈그림 9〉와 같이 컨테이너를 실은 차량이 ODCY에 도착하면 컨테이너를 장치시킨

```

        @.destination := ob2.succ(1);
        j := -1;
        i := 100;
    end;
end;
i := i + 1;
end;
else
from i := 8;
until i < 1
loop
    s1 := ".ODCY_Model.ODCY1.Import_Block.B_0" +
        num_to_str(i);
    From j := 7;
    until j < 2
    loop
        ob2 := str_to_obj(s1);
        If ob2.succ(j).full
        then
            j := j-1;
        else
            @.destination := ob2.succ(1);
            j := -1;
            i := -1;
        end;
    end;
    i := i - 1;
end;
end;
end;

```

〈그림 8〉 컨테이너 장치위치를 할당 메소드(Bay_Alloc)의 코드 예



<그림 9> 컨테이너 수송차량의 흐름

후 빈차량이 되며, 반출될 컨테이너를 싣기 위해 차량이 수급되어야 한다. 따라서 수출/수입 컨테이너를 운반해온 후 빈차량은 삭제되며, 반출 컨테이너가 발생하면 ODCY 입구에서 생성하도록 하여 차량의 수급이 이루어진다고 가정한다.

차량계획을 위해서 블록 모델내에 컨테이너 반출시간DB를 정의하였으며, 기록되는 항목은 장치된 컨테이너의 반출시간, 선적될 컨테이너 선박의 노선, 입항시간, 장치위치의 베이 번호, 열(Row) 번호, 단(Tier) 번호 등이다. <그림 10>에 기록된 컨테이너 반출시간DB를 이용하여 반출될 컨테이너의 위치와 반출시간을 컨테이너 취급장비의 작업목록에 기록하고 또한 반출시간에 맞추어 차량의 수급이 되도록 하였다.

ODCY_Model.ODCY1.Export_Block.Out_Table							
	string 1	time 2	time 3	object 4	integer 5	integer 6	string 7
string 0	Ship_Type	Ship_Arrival_Time	Start_Time	Bay_pos	Row_pos	Tier_pos	
1	B	6:11:06:27.5382	2:11:57:07.8762	.ODCY_Model.ODCY1.Export_Block.B_13	3	1	
2	B	6:11:06:27.5382	2:12:02:29.2454	ODCY_Model.ODCY1.Export_Block.B_13	3	2	
3	B	6:11:06:27.5382	2:12:07:33.4351	ODCY_Model.ODCY1.Export_Block.B_13	3	3	
4	B	6:11:06:27.5382	2:12:16:09.5165	ODCY_Model.ODCY1.Export_Block.B_13	3	4	
5	B	6:11:06:27.5382	2:12:23:11.6412	ODCY_Model.ODCY1.Export_Block.B_13	2	1	
6	B	6:11:06:27.5382	2:12:23:34.6140	ODCY_Model.ODCY1.Export_Block.B_13	2	2	
7	B	6:11:06:27.5382	2:12:52:42.0041	ODCY_Model.ODCY1.Export_Block.B_13	2	3	
8	B	6:11:06:27.5382	2:13:05:28.3498	ODCY_Model.ODCY1.Export_Block.B_13	2	4	
9	B	6:11:06:27.5382	2:13:11:34.7060	ODCY_Model.ODCY1.Export_Block.B_13	1	1	
10	B	6:11:06:27.5382	2:13:14:26.7314	ODCY_Model.ODCY1.Export_Block.B_13	1	2	
11	B	6:11:06:27.5382	2:13:19:56.6741	ODCY_Model.ODCY1.Export_Block.B_13	1	3	

<그림 10> 컨테이너 반출시간DB

5. 실험 및 실험 결과

5.1 시뮬레이션 입력 자료

본 연구에서 개발된 모델을 평가하기 위하여 ODCY에서 처리되는 1개월 분의 컨테이너 처리 물량과 컨테이너 선박의 입항시간에 대한 정보를 이용하여 구체적인 DB의 항목들을 계산하여, 선박정보DB, 컨테이너정보DB, 컨테이너 발생DB 등에 자동 생성하여 시뮬레이션을 실행하도록 하였으며, 모델에 입력되는 구체적인 입력자료를 요약하면 <표 8>과 같다.

<표 8> 시뮬레이션 입력 자료

입력 항목	입력값
컨테이너 선박의 도착시간 간격	평균 12시간의 지수분포
컨테이너 선박 노선의 발생 비율	미주노선, 중미노선, 동남아노선 각각 1/3
수출 컨테이너 물량	Uniform(50,55)
수입 컨테이너 물량	Uniform(35,45)
수요/공급지 거리	실제 고속도로와 국도의 거리 추정치
컨테이너 취급장비 속도	작업시간은 평균 1분의 지수분포 자체 이동속도는 시속 8.1km
컨테이너 차량 운행 속도	시속 80km

5.2 시뮬레이션 실험 방법

ODCY모델의 시뮬레이션을 하기 위해서 ODCY의 운영에 가장 중요한 요소인 수출 장치장의 운영 규칙에 대한 운영 대안을 만들어 실험을 계획하였다. ODCY의 경우 수출 블록에 수출용 컨테이너를 장치할 경우에 컨테이너 터미널로의 반출을 고려하여 노선별로 컨테이너를 관리하게 되며, 수입 블록은 블록에 컨테이너를 장치한 후 통관, 분류 작업을 한 후 반출하여 수요/공급지로 운송하게 된다. 수입 컨테이너의 통관, 분류 작업은 작업 순서에 대한 규칙이 없으므로 운영 대안으로 고려하지 않는다. 그러므로 실험에서 고려되는 운영 대안은 수출 블록에 대한 운영 규칙을 기반으로 하였다.

블록의 운영 규칙에 대한 운영 대안을 다음과 같이

두 가지로 구성하였다.

운영 대안 1

1) 수출 블록의 운영 규칙

- ① 블록내의 베이들을 노선별로 동일한 공간을 미리 할당한다.
- ② 컨테이너 속성의 노선별로 미리 할당된 베이에 장치한다.
- ③ 동일한 노선으로 할당된 베이내에서는 선적시간이 동일한 컨테이너들을 같은 베이에 장치한다.
- ④ 도착시간이 빠른 컨테이너가 아래 단에 쌓이도록 장치하여 선적시간이 빠른 컨테이너가 아래 단에 놓이지 않도록 장치한다.
- ⑤ 컨테이너 취급 장비는 작업목록에 기록된 컨테이너 순서대로 상차/하차 작업을 한다.

2) 수입 블록의 운영 규칙

- ① 노선별로 구분 없이 베이를 순서대로 할당한다.
- ② 장치된 컨테이너의 통관, 분류 작업시간 동안 장치시킨다.
- ③ 통관, 분류 작업의 완료 후 반출 컨테이너를 순서대로 컨테이너 취급 장비의 작업목록에 기록하여 작업하도록 한다.

운영 대안 1의 블록 운영 규칙을 적용한 블록의 베이 할당 결과는 <그림 11>과 같이 할당된 베이에 컨테이너가 밀집되어 있다.

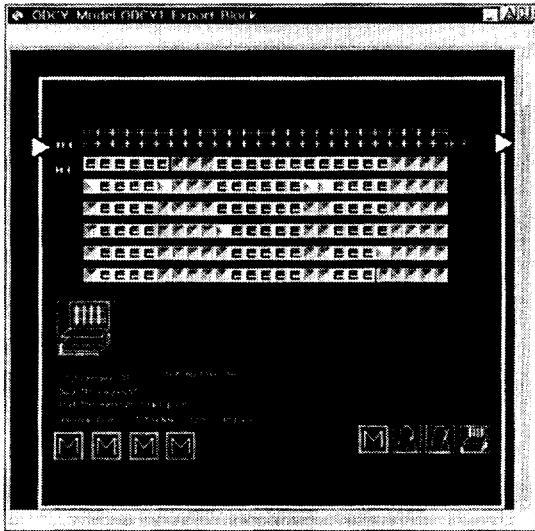
운영 대안 2

1) 수출 블록의 운영 규칙

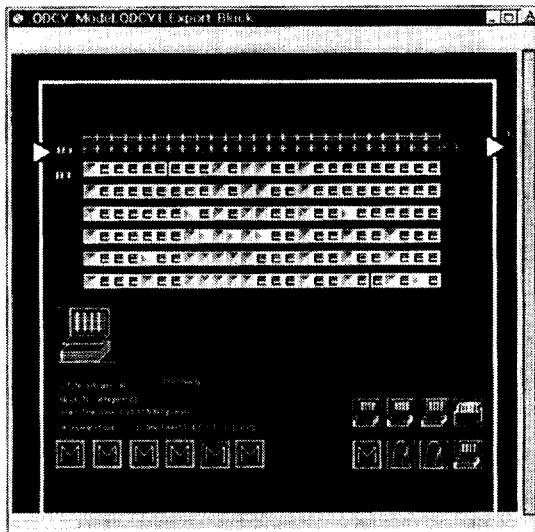
- ① 블록내의 베이들을 노선에 관계없이 임의로 베이를 할당한다.
- ② 컨테이너 속성의 노선에 따라 하나의 베이가 할당되면, 할당된 베이에는 하나의 노선만 장치한다.
- ③ 동일한 노선에서도 컨테이너의 선적시간이 다르면, 임의의 다른 베이에 할당한다.
- ④ 컨테이너 취급 장비는 작업목록에 기록된 컨테이너 순서대로 상차/하차 작업을 한다.

2) 수입 블록의 운영 규칙

운영 대안 1과 동일한 운영 규칙을 적용한다. <그림 12>와 같이 운영 대안 2의 블록 운영 규칙을



〈그림 11〉 운영 대안 1의 블록의 운영 규칙을 적용한 실행 화면



〈그림 12〉 운영 대안 2의 블록의 운영 규칙을 적용한 실행 화면

적용한 블록의 베이 할당 결과는 운영 대안 1을 적용한 베이 할당 결과와 달리 베이가 랜덤(Random)하게 할당되는 것을 볼 수 있다.

위의 두 가지의 운영 대안을 평가하기 위해서 TC활

용도와 평균블록점유율을 이용하여 장비효율과 공간효율을 평가하며, TC활용도와 장치장 점유율은 아래의 방법으로 시물레이션 모델 내에서 계산되도록 하였다.

$$TC\text{활용도} = \frac{\text{이동시간} + \text{작업시간}}{\text{이동시간} + \text{대기시간} + \text{작업시간}} \quad (1)$$

$$\text{평균블록점유율} = \frac{\text{평균점유공간}}{\text{총장치공간}} \quad (2)$$

식(1)에서 이동시간은 베이간을 이동할 때 발생하는 시간이고, 작업시간은 컨테이너 상차/하차 작업에 소요되는 시간이며, 대기시간은 TC가 작업을 위해 대기하는 시간이다.

식(2)에서 블록점유율은 한 블록을 기준으로 하며, 총장치공간은 한 블록의 최대용량인 600이며, 평균점유공간은 블록에 장치된 컨테이너의 평균수량이다.

5.3 시물레이션 결과

시물레이션을 720시간 실행하여 ODCY의 1개월 분의 처리작업을 대안 1과 대안 2에 대해서 실행한 결과로 얻은 통계량은 다음의 〈표 9〉와 같이 나타났다.

〈표 9〉의 시물레이션 결과에서 장비 활용도 측면에서 TC 처리 컨테이너물량은 한 블록을 담당하는 TC가 상차/하차 작업을 한달간 수행하여 처리한 물량을 나타내며, 수출블록의 처리 물량이 수입블록의 처리 물량보다 많은 것은 터미널의 컨테이너 물량에서 수출물량의 비율이 더 많은 것을 나타낸다.

TC활용도는 수출 블록에 대한 TC활용도의 경우 운영 대안 2가 25.19%로 운영 대안 1의 22.34%보다 높게 나타났으며, 수입 블록에 대한 TC활용도의 경우는 운영 대안 1과 운영 대안 2가 1.2%정도 차이가 났다. 이러한 결과는 운영 대안 2에서는 컨테이너를 장치할 때 저장위치인 베이를 랜덤하게 할당하기 때문에 노선별 물량들이 여러 베이에 흩어져 있으므로 TC가 노선별 물량을 처리하기 위해 작업지점인 해당 베이로 이동하는데 시간이 더 소요된다는 것을 알 수 있다. 따라서 TC활용도를 고려할 경우 운영 대안 1과 같이 동일한 노선은 가까운 베이에 공간을 지정하여 할당하여 공간을 노선별로 운영하는 것이 유리한 정책임을 알 수 있다.

〈표 9〉 시뮬레이션 결과

평가 항목	비교 항목	운영 대안 1		운영 대안 2	
		수출 블록	수입 블록	수출 블록	수입 블록
TC 처리 컨테이너물량		5071 TEU	4700 TEU	5274 TEU	4521 TEU
TC활용도		22.34 %	19.61 %	25.19%	18.43%
평균 점유 공간		103.97 TEU	221.1785 TEU	109.122 TEU	227.998 TEU
평균블록 점유율		17.33 %	36.86 %	18.19%	38 %

공간활용도 측면에서 평균 점유 공간의 경우 수출 블록과 수입 블록 모두 운영 대안 1이 운영 대안 2보다 낮으며, 평균블록 점유율의 경우는 평균 점유 공간을 총장치공간에 대해서 구한 비율로서 수출블록의 경우 운영 대안 1이 17.33%로 18.19%인 운영 대안 2보다 낮은 것을 알 수 있다. 이러한 낮은 평균 블록 점유율은 공간이 적게 소요되며, 따라서 장치장의 공간을 더 효율적으로 사용한 것이라 할 수 있다.

수입 블록의 경우는 운영 대안 1과 운영 대안 2에 동일한 규칙을 적용하였으므로 컨테이너 물량에 대해서 비슷한 비율의 값이 나온 것을 알 수 있다.

따라서 운영 대안 1과 2를 TC활용도와 장치장 활용도의 측면에 대해서 비교하면, 운영 대안 1이 TC장비를 사용하는 시간을 줄이면서 컨테이너를 장치하는 데 사용되는 저장 공간도 줄일 수 있는 운영 대안임을 알 수 있다.

위의 시뮬레이션 결과로서 본 연구에서 적용한 블록 운영 규칙에 의한 운영 대안이 ODCY의 운영 정책을 비교할 수 있다는 것을 알 수 있으며, 또한 이러한 운영 대안들이 ODCY의 효율을 평가하기 위해 활용이 가능하다는 것을 알 수 있다.

6. 결 론

ODCY의 효율적인 운영은 부두의 운영과 컨테이너 물류 비용에 직접적인 영향을 미치는 중요한 문제이지만 지금까지 ODCY의 체계적인 분석이 미흡한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 ODCY의 현황과 터미널, 수요/공급지와의 역할에 대한 체계적인 분석을 통하여

ODCY의 운영정책을 분석하기 위한 시뮬레이션 모델을 개발하였으며, 시뮬레이션 모델의 개발을 위하여 객체지향기법을 활용하여 확장의 용이성과 현실 상황을 고려할 수 있도록 하였다.

그리고 ODCY의 운영을 위한 대안을 만들어 시뮬레이션 모델을 실험한 결과, 본 연구에서 개발한 시뮬레이션 모델을 이용하여 다양한 ODCY의 운영 정책을 평가할 수 있다는 것을 알 수 있으며, 또한 효율적인 ODCY의 운영에 적합한 운영정책을 마련하는데 사용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 김 현, “시뮬레이션에 의한 부산컨테이너터미널 운영의 체계적인 분석”, 「석사학위논문」, 한국해양대학교, 1988.
- [2] 남만우, 이철영, “내륙 컨테이너 기지의 입지 선정에 관한 연구”, 「한국해양대학 대학원 논문집」, 13권(1992), pp37-50.
- [3] 박창호, “부산항의 컨테이너 물류시스템 분석에 관한 연구”, 「박사학위논문」, 한국해양대학교, 1992.
- [4] 백인태, 「컨테이너 터미널의 장치장 물류관리에 관한 소고」, 부산컨테이너부두운영공사, 1992.
- [5] 양원, 이철영, “부산 항만물동량이 도시교통에 미치는 영향에 관한 연구”, 「한국해양대학 대학원 논문집」, 13권(1992), pp71-82.
- [6] 한국컨테이너부두공단, 「컨테이너화물 유통추이 및 분석」, 1997. 5.
- [7] Chung, Y.G., “An animated simulation model for a transtainer based container handling facility”, 「Master

thesis], Oregon State University, 1987.

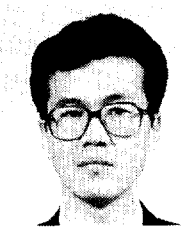
[8] James Martin and James J. Odell, 「Object-Oriented Analysis & Design」, Prentice-Hall, New Jersey, 1992.

[9] Kim, K.H. and D.Y. Kim, "Group Storage Methods at Container Port Terminals", *The Material Handling*

Division 75th Anniversary Commemorative Volume
ASME1994, MH-Vol.2(1994), pp.15-20.

[10] Taleb-Ibrahimi, M., "Modeling and analysis of container storage in ports", 「Ph. D. Thesis」, University of California at Berkeley, 1989.

● 저자소개 ●



윤원영

1982년 서울대학교 산업공학과 학사
1984년 한국과학기술원 산업공학과 석사
1988년 한국과학기술원 산업공학과 박사
현 재 부산대학교 산업공학과 부교수
관심분야 신뢰도 및 정비이론, 시물레이션



최용석

1993년 창원대학교 산업공학과 학사
1995년 부산대학교 산업공학과 석사
현 재 부산대학교 산업공학과 박사과정
관심분야 시물레이션