

자동화컨테이너터미널의 설계 및 운용 최적화를 위한 시뮬레이션 기법의 적용

Application of Simulation Technique to the Optimal Design and Operation of the Automated Container Terminals

장성용, 용운중

(서울산업대학교 산업공학과)

Seong Yong Jang, Bo-Gi Jeon

(Dept. of I.E., Seoul National University of Technology)

요 약

정부는 자동화컨테이너터미널을 구축하기 위한 기초연구를 수행하고 있다. 자동화컨테이너터미널은 선박하역을 담당하는 컨테이너 크레인과 야드 크레인을 무인 혹은 유/무인 자동제어가 가능하도록 설계하고 선박과 야드간 이동은 AGV를 이용하여 자동화함으로써 생산성 향상, 인건비 절감 등을 목표로 하고 있다. 본 연구에서는 1척의 선박이 접안할 수 있는 가상의 자동화컨테이너터미널에서 컨테이너 크레인 수, AGV 대수, 야드 크레인 수 등을 변화시켜가면서 터미널의 생산량을 추정할 수 있는 시뮬레이션 모델을 개발하여 제시하였다. 또한 향후 자동화컨테이너터미널의 최적 설계 및 운용을 위한 시뮬레이터를 개발하기 위한 구상을 제시하였다.

1. 서론

국제 컨테이너 수송 분야에서 두드러진 변화는 크게 선박의 대형화로 인한 규모의 경제의 실현 노력과 항만에서 체류하는 시간의 단축으로 인한 비용절감 노력의 두 방향에서 추진되고 있다. 컨테이너터미널에서 발생하는 비용이 컨테이너 총 수송원가의 30%를 점유하고 있기 때문에 각국의 주요 항만들은 터미널 운영방식을 개선하는 등 운영효율화 노력에 박차를 가하고 있다. 항만시설 증가는

막대한 재원이 요구될 뿐 아니라 운영면에서도 높은 인건비 및 부족한 노동력 확보문제를 해결하고 단위면적당 생산성의 향상을 이룩하기 위해 컨테이너터미널의 자동화가 꾸준히 시도되어 오고 있다.

자동화컨테이너터미널은 선진항만에서는 이미 실용화하여 발전단계에 들어서고 있다. 현재 세계적으로 가장 앞선 자동화컨테이너터미널을 보유하고 있는 네델란드의 ECT 터미널의 경우 10여년전에 이미 컨테이너터미널의 개념을 확립하고 1997년에 2세대 자동화컨테이너터미널을 가동하였으며, 현재는 제3세대 자동화터미널의 일부기능을 가동하고 있거나 추진을 계획하고 있다. 싱가포르 항만의 경우 세계 제1의 물동량을 취급하는 환적중심의 항만으로서 그 특성에 적합하도록 자동화 기술을 개발, 발전시키고 있다. 토지 이용의 효율화를 위해 고단적의 환적 시스템을 개발하고 고임금, 인력문제 해결을 위해 초대형터미널에 맞는 차세대 자동화터미널을 개발하여 시험운영중에 있다. 일본의 경우는 자동화를 본격적으로 실행하고 있지는 않으나 언제든지 필요성을 가지면 실용화할 수 있는 연구개발이 이루어져 있으며, 자동화 장비 또한 이미 개발을 하여 초기 파일럿 테스트중이거나 타 국가에 부분적으로 수출하고 있는 상황이다. 영국의 데임즈 항만의 경우 일본 가와시키 항만의 자동화에 도움을 줄 정도로 자동화 기술이 발전되어

있으나, 야드 부분만을 자동화하여 운영중에 있으며 향후 자체적으로 이동 장비나 연계장비 등의 자동화를 끝 이룰 수 있을 것으로 판단된다.

국내에서는 한국해양수산개발원에서 해양수산부의 지원하에 한국형 자동화컨테이너터미널을 구축하기 위한 대안 마련을 위한 타당성 연구를 진행중이며, 부산가덕신항만 컨테이너터미널에서도 자동화시스템으로 실시설계를 진행중이다.

자동화컨테이너터미널은 터미널의 효율적이고 안전한 운영을 위해서는 선측장비, 이동장비, 야드장비 등의 자동화된 기계 및 메카트로닉스 등의 요소 기술면 뿐 아니라 이러한 요소기술 들을 활용한 자동제어 및 시스템 기술에 대한 연구개발도 대단히 중요하다. 본 연구는 컨테이너터미널내의 각 구성요소를 포괄하는 시스템 설계 및 운용기술로서 시뮬레이션 기법을 활용하는 것을 다룬다.

본 연구에서는 제2장에서 자동화컨테이너 터미널의 구성요소 및 하역방식에 대하여 기술하고, 제3장에서는 선석 1개인 가상의 자동화컨테이너터미널의 시뮬레이션 모형을 제시하며, 4장에서는 향후 자동화컨테이너 터미널의 설계 및 운영에 활용가능한 시뮬레이터의 구상안을 제시하기로 한다.

2. 자동화컨테이너터미널의 구성 및 운영방식

2.1 자동화컨테이너터미널의 구성 요소

자동화컨테이너터미널은 일반 컨테이너터미널과 기본구조면에서는 동일하나 요소기술면에서 무인화 혹은 무인/유인의 반자동화 형태의 장비를 활용하며 컨테이너와 각 기계들과의 작업계획 및 제어가 보다 실시간에 이루어질 수 있도록 최첨단의 정보통신기술을 활용함으로써 인력을 줄이고 생산성을 높일 수 있도록 운용된다. 일반 터미널은 선측과 야드 간에 컨테이너 이동이 야드트랙터나 포크리프트 등의 유인장비에 의존해왔으나 자동화터미널은 고속의 무인반송차(AGV)에 의해 이루어지며, 이로 인해 AGV와 하역장비들과의 동시화(synchronization)가 대단히 중요하다.

자동화컨테이너터미널의 주요 구성요소는 선측 하역장비, 터미널내 이동장비, 야드장비로 나누어 볼 수 있다.

1) 선측하역장비

컨테이너크레인인 항만운송서비스에서 Post-Panamax급 및 Super Post-Panamax급 선박이 증가하면서 최근 주요항만에 Super Post-panamax급 크레인의 설치가 증가하는 추세이다. 컨테이너선이 4,400 TEU인 경우 선박길이는 282m, 선폭은 32m로 15열의 outreach 컨테이너크레인(C/C)이 필요하다. 6,000 TEU 와 8,000 TEU인 경우는 선박길이가 각각 290m와 330m로 선폭은 42.5m와 45m에 달해 크레인도 outreach가 19열과 20열이 되어야 한다.

그러나 자동화터미널을 안벽법선으로부터 8m 도로를 둘 경우 6,000 TEU급과 8,000 TEU 급 선박에 필요한 컨테이너 크레인의 outreach 사양은 21열과 22열이 되어야 한다.

컨테이너크레인의 트롤리 수평운행 속도는 현재 180m/min이나 MHI사나 Noell사의 경우 횡행속도를 최대 240m/min까지 증가시켰다. 트롤리의 속도가 증가하고 급가속, 감속에 따라 케이블이 손상되거나 유지보수비용이 증가하게 되어 최근 Motorized Festoons, Contactless Festoons 같은 기술이 개발되고 있다.

AC Driver는 주로 케이블트롤리 등 저출력장치에, DC Driver는 호이스트 등 고출력장치에 사용되었으나, 최근 기술개발로 고출력장치용 운행에 AC Driver가 개발 장착되고 있는 추세이다. 특히 자동화 컨테이너크레인의 경우, 제어부의 생산에 비중이 재래식 C/C에 비해 증가하고 있다.

2) 이동장비

컨테이너선박이 대형화됨에 따라 시간당 처리능력이 50개에 이르는 높은 속도의 컨테이너크레인이 개발됨에 따라, 병목현상이 발생하지 않기 위해서는 안벽과 적재야드 사이의 이송시스템이 발전해야 할 필요성이 발생하고 있다. 이에 따라 안벽과 야드간에 이동장비로 AGV가 채택되는데 그 이유는 장기간에 걸친 높은 노동비용의 절감, 인간적인 결함 방지 및 24시간 연속운행의 생산성 달성을 들 수 있다.

현재 컨테이너터미널용 AGV는 독일의 MDF(Mannesmann Demag Fordertechnik)사와

Kamag사, 그리고 일본의 MES(Mitsui Engineering & Shipbuilding)사에 의해 개발되었으며, MDF사 AGV는 ECT터미널에서 운영중이며 Kamag사와 MES사의 AGV는 싱가포르의 PSA에서 시험운행 중에 있다. MDF사의 AGV 최고주행 속도는 초당 4.5m이나 실제로는 4m의 속도로 운행되고 있으며, 위치결정 정밀도는 1 inch 범위이다. 현재 AGV 제작사들은 최대 주행속도를 8m 정도로 높이고 위치결정 정밀도도 10mm 이내로 하기 위한 기술개발을 진행중이다. 이러한 경우 실제주행속도가 최대주행속도에 근접하기 위해서는 통행제어(navigation System)이 밀반침이 되어야 한다. 현재 통행제어 시스템은 ECT에서 개발한 FROG 시스템이 있으나 이는 중앙관리시스템으로 AGV 대수가 증가하면 AGV 주행 속도가 낮아지는 단점이 있다. 따라서 분산식 통행제어시스템의 개발이 요청되고 있다.

3) 야드하역장비

자동화컨테이너터미널에서 운용이 가능한 야드장비는 RTGC(Rubber Tired Gantry Crane), RMGC(Rail Mounted Gantry Crane), ASC(Automated Stacking Crane),

OHBC(Overhead Bridge Crane) 등이 있으며, RMGC는 대부분의 Positioning 기술이 고정변수이기 때문에 자동화가 비교적 용이하다(<표1> 참조). 특히 Anti-sway 기술을 RMGC에 적용함으로써 91m의 스패거리, 20열 5단적 규모의 처리능력을 갖는 RMGC도 개발되고 있다.

RMGC 제작기술은 네델란드의 Nelcon사, 독일의 Noell사, 일본의 NKK사가 주도하고 있으며 최대주행 속도는 각각 분당 240m, 152m, 180m에 이른다.

2.2 자동화 관련 기술

자동화컨테이너터미널에 적용될 자동화 기술 관련 사항을 살펴보면 다음과 같다.

- 자동위치확인시스템(APIS: Automatic Positioning Indication System)
- 자동하역시스템(Automatic Loading System)
- 적재윤곽스캐닝시스템(SPSS: Stack Profile Scanning System)
- 트레일러정지시스템(Vehicle Docking System)
- 하중제어장치(Load Control Mechanism)

<표 1> 야드하역장비 일반사양 비교표

| 구분 | RMGC | RTGC | OHBC |
|----------|---|--|---|
| 스팬 | · 14~16열 1~5단적 · 영국템즈항: 9열, 1~5단적 | · 6~7열, 1~4단적 · 98년 이후 1~5단적 | · 13열 1~8단적 |
| 갠트리 이동속도 | · Noell사: 152m/min · 가와사키 NKK사: 180m/min | · Shiusawa MHI사, 말레이시아 Morris사: 135m/min | · Keppel/Mitsui사: 120m/min |
| 장점 | · 자동화 용이 · 일관통합 이송 적합 · 신속한 컨테이너 오르내림 | · 소형, 경량 · 연약지반 사용 가능 · 저가의 장비 가격 | · 고단적에 적합 · 고속주행, 정밀제어 · 토지비용/인건비가 비싼 경우 적용 |
| 단점 | · 매우 낮은 공극률의 지반 필요 | · 설계 및 조종기능의 복잡성 | · 고가의 레일설치비용 · 수출·입 화물 비중이 큰 경우 효율성 저하 |

- 무선조종시스템(Remote Control System)
- 진단 및 상태조회 시스템(Diagnostics and Condition Monitoring System)
- 이동차량추적장치(Digital Geographic Positioning System)
- 자동화컨테이너인식시스템(Automated Container Recognition System)
- 영상정보처리시스템(Image Processing System)

2.3 컨테이너 흐름 분석

향후 컨테이너 선박의 대형화 추세를 반영하여 우리나라에 입항하는 컨테이너선박을 통해 수송되는 컨테이너를 수입, 수출, 환적으로 나누어 보면 각각 32%, 37%, 31%를 보이고 있다. 또한 컨테이너 터미널과 하주간의 내륙 이송은 육상(도로)운송, 철도운송, 연안운송이 각각 51%, 32%, 17%를 보이고 있다(<그림1> 참조).

수입컨테이너의 경우 적컨테이너가 77%, 공컨테이너가 23%이다. 컨테이너 크기가 40피트짜리는 전체의 약 60%를, 나머지가 40%를 보이고 있다. 적컨테이너를 종류별로 보면 일반 컨테이너가 69%, 특수컨테이너가 8% 비중이다. 적컨테이너중에서 FCL이 60%를 LCL이 17%의 비중을 보이고 있다. 수입컨테이너중에 적컨테이너는 평균 5일간의 장치기간동안 터미널 야드에 머문 후에 내륙으로 이송된다. 이때 FCL은 직접 반출되고 LCL은 컨테이너조작장(CFS)서 적출(Devanning)되어 화물별로 하주에게 수송된다. 공컨테이너는 공컨테이너 야드에서 적재되었다가 일부는 수출용 LCL에 사용되기 위해 CFS로 보내어지고 일부는 내륙의 수요자에게 이송된다.

수출컨테이너의 경우 적컨테이너가 89%, 공컨테이너가 11%이다. 컨테이너 크기가 40피트짜리는 전체의 약 60%를, 나머지가 40%를 보이고 있다. 적컨테이너를 종류별로 보면 일반 컨테이너가 83%, 특수컨테이너가 6% 비중이다. 적컨테이너중에서 FCL이 60%를 LCL이 29%의 비중을 보이고 있다. 수출컨테이너는 대체로 선박입항 5일전에 하주로부터 터미널에 반입되어 야드에 적재되어 있다가 선박이 접안한 후 수입컨테이너의 하역이 완료된 후 선적이 이루어진다. 이때 FCL은 직접 반입되고 LCL은 하주로부터 이송된 화물을 컨테이너조작장(CFS)서 공컨테이너에 적입(Vanning)하여

야드에 저장한후 선적된다.

환적컨테이너는 입항선박에서 하역되어 약 7일 정도 야드에 적재되어 있다가 출항선박에 선적되어 반출된다. 환적컨테이너는 적컨테이너가 약 65%, 공컨테이너가 35%이다.

선박이 터미널에 접안하면 컨테이너는 선측에 있는 컨테이너크레인에 의해 하역이 이루어지며 컨테이너는 AGV위에 상차되어 해당 야드로 이동한다. 해당 야드에 도착하면 야드 크레인에 의해 야드에 적재된다. 야드에 적재된 반입용 컨테이너는 야드크레인에 의해 트랙터 트레일러에 상차되어 게이트를 거쳐 터미널을 빠져나간다. CFS에 사용될 공컨테이너나 철송을 위한 컨테이너는 터미널 내의 야드트랙터에 실려 CFS나 철송장으로 이동된다. 반대로 수출용 컨테이너는 트랙터트레일러에 실려 게이트를 거쳐 해당 야드에 도착한다. 도착된 컨테이너는 야드 크레인에 의해 하차되고 야드에 적재된다. 선적이 시작되면 해당야드에 적재된 컨테이너를 야드크레인을 이용하여 AGV에 상차하고 선측으로 무인 이송된다. 선측에 도착한 컨테이너는 컨테이너 크레인을 활용하여 선박에 선적한다.

3. 가상터미널 시뮬레이션 모형

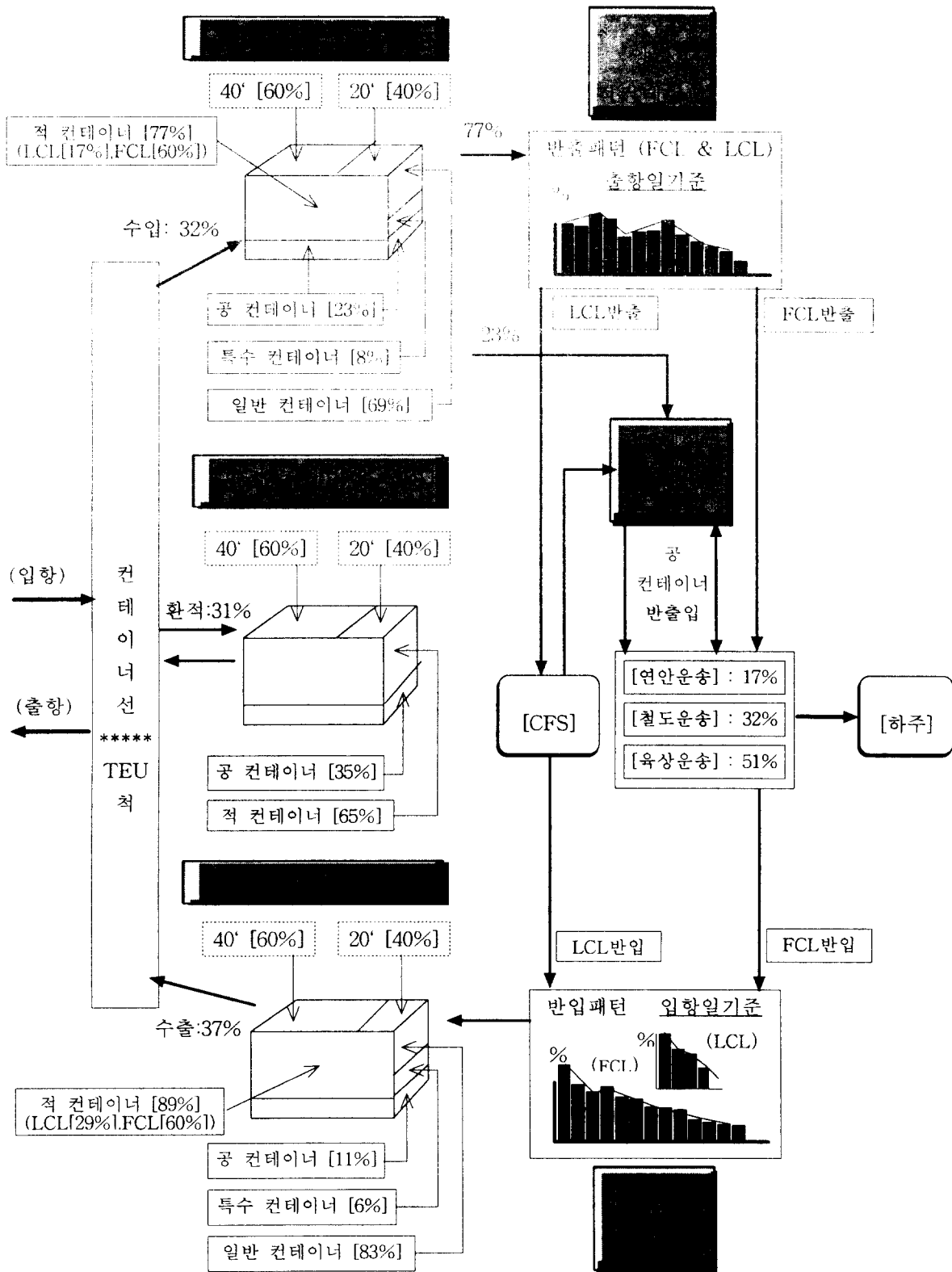
3.1 가상터미널의 개요

본 연구에서는 AGV를 이용한 자동화컨테이너터미널의 설계 및 운영에 활용할 수 있는 시뮬레이션모형의 프로토타입을 개발하였다. 가상터미널의 배치도가 <그림 2>에 나타나 있다. 가상터미널은 1척의 선박이 접안할 수 있으며 선측의 컨테이너크레인은 3대를 기본으로 하고 야드는 선측에 가장 가까운 곳으로부터 환적야드, 수출용야드, 수입용야드를 각각 2개씩 배치하여 각각에 대하여 야드크레인 RMGC 1기씩을 배치하였다. 야드의 내측에는 반입 및 반출 각각 3차선의 게이트가 있다.

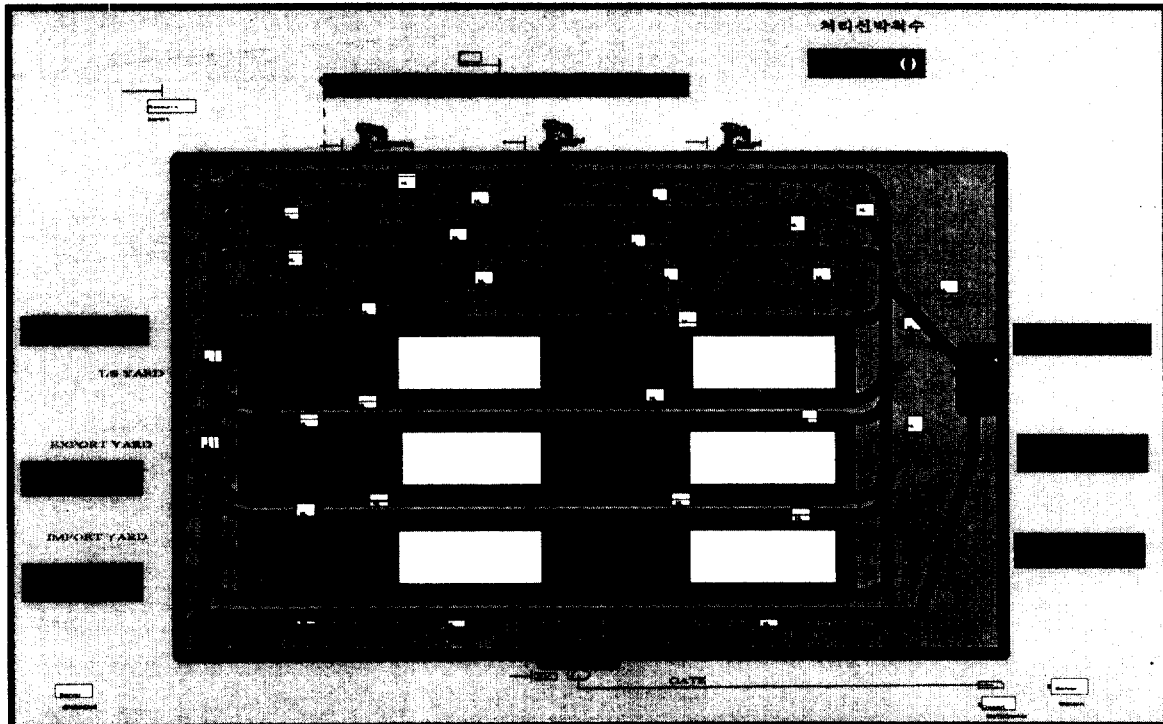
AGV lane은 선측에는 3개의 lane이 수평으로 놓여 있으며 야드로 연결되는 lane은 반입용과 반출용 1 lane 씩이 수직으로 놓여 있고 각 야드에는 2개의 lane이 수평으로 수직 lane과 연결되어 있다. AGV간의 Blocking 방지를 위해 터미널 외곽으로 순환형 lane이 연결되어 있어 있다. 모든 lane은 단방향이다.

3.2 가상터미널의 운영 매개변수

주요 운영 매개변수들을 정리하면 다음과 같다.



<그림 1> 컨테이너 흐름모델



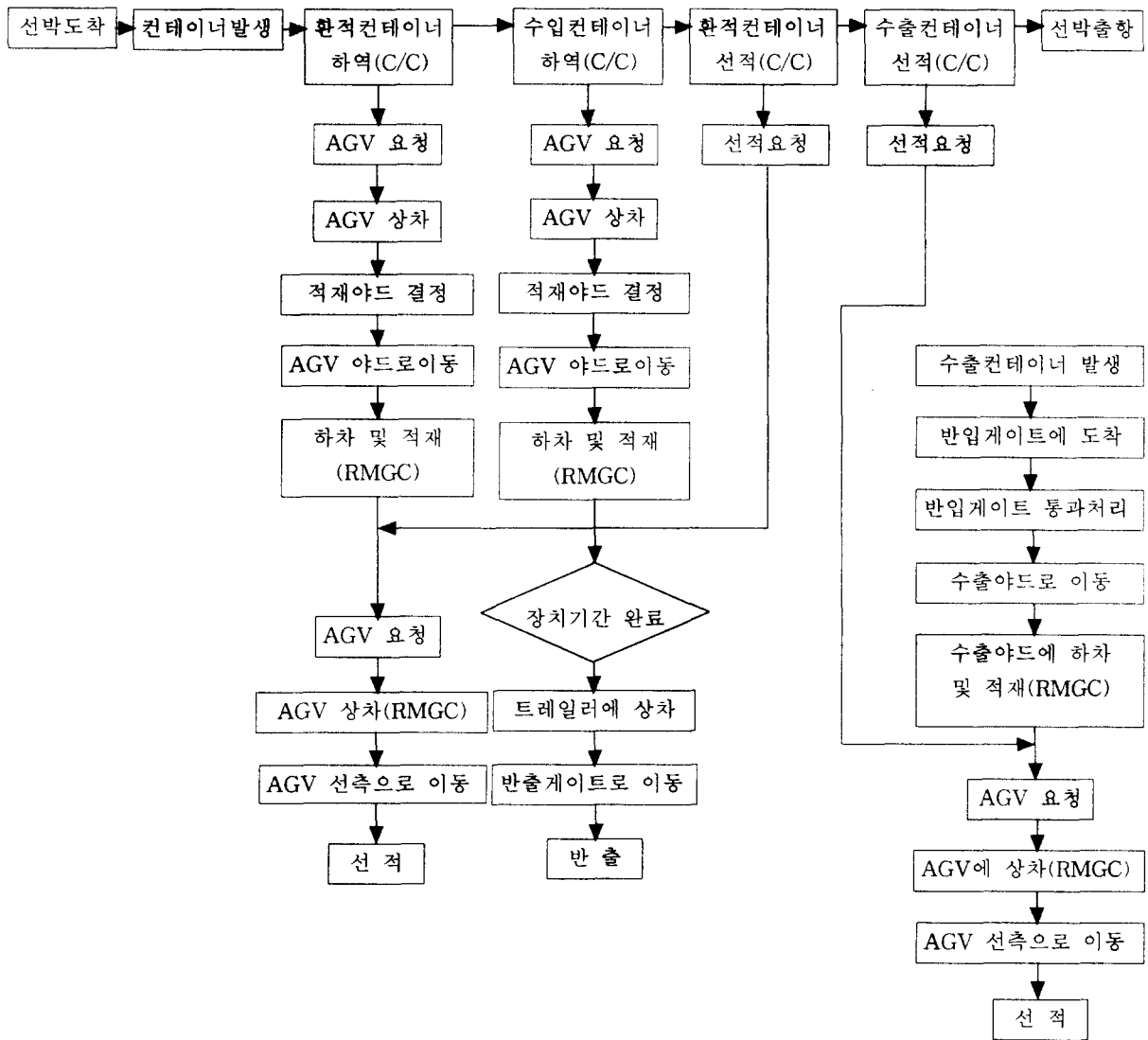
<그림 2> 컨테이너터미널시물레이션 Layout

- 선석수: 1
- 선석길이: 350m
- C/C 수 : 3
- 처리계획물동량(AnnualTEU): 35만 TEU
- 모선당양적하컨테이너분포: Triangular (800, 1000, 1200TEU)
- 모선도착분포: Exponential (8760/AnnualTEU/1000)
- 모선별컨테이너점유비율
 - 환적양하: 10.5%
 - 환적적하: 10.5%
 - 수출컨테이너: 36.6%
 - 수입컨테이너: 32.4%
- 컨테이너장치기간
- 수입/수출: 120시간(5일)
- 환적: 168시간(7일)
- C/C의 Van당 처리시간: 144초/Van(25Van/시간)
- RMGC의 Van당 처리시간: 89.4초
- AGV 이동 속도: 5.5 m/sec
- AGV 길이: 17m

3.2 Arena 모형

가상터미널의 시물레이션 모형은 Arena 3.0을 사용하여 개발하였다. 이 모형에 사용된 개체들의 흐름을 <그림 3>에 나타내었다.

주요한 개체는 선박과 컨테이너이다. 선박은 도착하면 하역해야할 환적 및 수입컨테이너를 발생시키고 환적컨테이너 및 수입컨테이너를 C/C를 이용하여 하역한다. 또한 수출용 환적컨테이너와 수출컨테이너 개수를 발생시켜 필요한 개수만큼 각각 선적요청을 해당 야드에 보낸다. 수입환적컨테이너와 수입컨테이너는 이동해야할 야드를 결정하



<그림 3> 가상 자동화컨테이너터미널의 업무 흐름도

고 AGV를 요청한다. AGV가 도착하면 컨테이너는 C/C에 의해 하역되어 AGV에 상차되고 해당 야드로 이동한다. 컨테이너를 실은 AGV가 해당야드에 도착하면 야드크레인 RMGC를 이용하여 하차하여 야드에 적재시킨다. 컨테이너를 내린 AGV는 Home Station으로 이동하여 다음 작업요청을 기다린다. 수입용야드에 적재된 컨테이너는 5일동안 장치된 후 RMGC를 이용하여 트레일러에 상차하여 게이트로 이동하고 게이트를 통과하여 터미널 밖

으로 반출된다. 환적컨테이너는 환적용야드에서 장치되어 있다가 환적컨테이너의 선적 요청이 있으면 AGV를 요청하고 AGV가 야드에 도착하면 RMGC를 이용하여 상차하여 선측으로 이동한다. 이 때 선적지점을 결정하고 그 지점으로 이동한다. 선측에 도착하면 C/C를 이용하여 선박에 선적된다. 수출용 컨테이너는 선박이 도착하기 5일전에 게이트에 도착하여 게이트에서 통과처리를 마친 후 장치해야할 야드를 결정한 후 해당 수출용야드로

이동한다. 야드에 도착하면 RMGC를 이용하여 야드에 적재시킨다. 수출용야드에 장치된 컨테이너는 선적요청이 있으면 AGV를 요청하고, AGV가 야드에 도착하면 RMGC를 이용하여 상차하여 선측으로 이동한다. 이 때 선적지점을 결정하고 그 지점으로 이동한다. 선측에 도착하면 C/C를 이용하여 선박에 선적된다.

3.3 시뮬레이션 결과 분석 예

가상터미널 시뮬레이션모형을 이용하여 몇가지 실험을 수행하였다. 본 연구에서는 선박도착 시간간격이 고정시간인 경우와 지수분포인 경우 각각에 대하여 AGV 대수를 변화시켜 가면서 터미널의 수행도를 측정하였다. 수행도 평가척도로는 선박척수 및 컨테이너처리 개수 그리고 선박체류시간을 사용하였다. 실험은 1년간의 작업을 1개월씩 나누어 통계치를 수집하는 비중료시뮬레이션 분석방법을 사용하였다(<표2> ~ <표7> 참조). 1년간의 시뮬레이션 실행시간은 PC에서 30 ~ 60분으로서 AGV수가 증가할수록 실행시간이 길다. 이는 AGV 이동제어를 위한 계산량이 AGV수가 증가함에 따라 크게 증가하기 때문이다.

선박도착간격이 고정시간간격인 경우에는 AGV 수와 무관하게 처리선박척수나 처리컨테이너개수가 거의 일정하다. 그러나 선박이 터미널에 체류하는 평균시간은 AGV수가 증가함에 따라 감소하다가 AGV수가 5대 이상인 경우에 약 14.3시간으로 일정함을 보여주고 있다. 선박도착간격이 지수분포를 가정한 경우에는 AGV수가 증가함에 따라 처리선박 척수나 처리 컨테이너수 그리고 처리 터미널 체류시간 등이 개선된 결과를 보이다가 6대 이후에는 거의 개선되지 않거나 오히려 낮아지는 결과를 보이고 있다.

따라서 선박도착 간격이 일정한 경우에는 AGV수가 4대이면 충분한 것으로 보이며, 지수분포를 따르는 경우에는 6대가 가장 적합한 것으로 판단된다.

4. 자동화컨테이너터미널 시뮬레이터 구상안

자동화터미널은 선박과 컨테이너라는 두가지 종류의 개체가 있으며, 선석, C/C, AGV, 야드, 야드

장비, 게이트 등 다양한 자원들로 구성되어 있다. 자동화터미널은 초기투자비가 많고, 업무가 복잡하여 초기 설계단계부터 운영단계에 이르기까지 다양한 의사결정을 지원할 수 있는 지원 시뮬레이터가 필요하다.

이 시뮬레이터는 2가지 접근법이 가능하다. 하나는 Arena, AutoMod, ProModel, Taylor System 등과 같은 특정의 기존 시뮬레이션 패키지를 활용하여 주어진 터미널에 대하여 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션 모형을 개발하는 방법이 있으며, 다른 하나는 자동화컨테이너터미널의 복잡한 특성을 충분히 반영할 수 있고 각 단계에서 필요한 의사결정을 지원할 수 있는 복합적이고 통합적인 전용의 시뮬레이터를 개발하는 방법이다.

기존의 패키지를 활용하여 자동화터미널의 설계 및 운영문제를 지원하기 위한 모형은 비교적 단기간에 걸쳐 개발이 가능하다. 그러나 기존의 패키지들은 컨테이너터미널의 다양한 의사결정을 지원하기 위해 요구되는 복잡한 영역을 모델링하는데는 한계가 많이 존재한다. 또한 터미널의 요구조건이 달라질때마다 다른 분석이 요구되는데 융통성이 부족하다. 또한 대부분의 패키지들은 야드에 컨테이너를 복수층으로 장치하는 3차원적인 모형화를 제공하지 못하며, 사용자 인터페이스나 데이터베이스와 연계 등이 운영시스템과 용이하게 연계시키기가 어렵다. 따라서 자동화컨테이너터미널 전용의 시뮬레이터를 개발하는 것이 터미널에서 요구되는 복잡하고 다양한 의사결정 지원 도구로서 필수적이라고 판단된다. 이러한 시뮬레이터가 개발되면 하나의 터미널만이 아닌 구성요소나 특성이 다른 터미널에서도 쉽게 적용할 수 있고 시뮬레이션에 대한 전문지식이 부족하더라도 현장 운영에 대한 경험이 많은 사람이면 활용할 수 있을 것이다. 우리나라 정부가 구상중인 시범 자동화터미널의 Test-bed로서 활용될 수 있고, 개발 이후 국내외 다른 터미널에도 활용가능하도록 시뮬레이터를 개발해야할 것이다. 이러한 시뮬레이터는 다음과 같은 요구사항을 반영하여야하며 다양한 목적에 활용이 가능할 것이다.

<표2> 선박체류시간(입항선박분포:고정시간간격)

(단위: 시간)

| AGV수 | 1월 | 2월 | 3월 | 4월 | 5월 | 6월 | 7월 | 8월 | 9월 | 10월 | 11월 | 12월 | 가중평균 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | 27.06 | 27.72 | 27.47 | 28.6 | 27.68 | 27.15 | 26.33 | 27.97 | 27.05 | 28.52 | 26.16 | 28.36 | 27.52 |
| 3 | 18.76 | 19.22 | 19.06 | 19.8 | 19.04 | 18.96 | 18.26 | 19.45 | 18.73 | 19.76 | 18.14 | 19.65 | 19.07 |
| 4 | 14.63 | 15.1 | 14.85 | 15.56 | 14.91 | 14.83 | 14.29 | 15.21 | 14.66 | 15.46 | 14.21 | 15.36 | 14.92 |
| 5 | 14.04 | 14.46 | 14.23 | 14.91 | 14.29 | 14.22 | 13.69 | 14.57 | 14.05 | 14.81 | 13.63 | 14.72 | 14.30 |
| 6 | 14.04 | 14.46 | 14.23 | 14.91 | 14.29 | 14.22 | 13.69 | 14.57 | 14.05 | 14.81 | 13.63 | 14.72 | 14.30 |

<표3> 선박체류시간(입항선박분포:지수분포)

(단위: 시간)

| AGV수 | 1월 | 2월 | 3월 | 4월 | 5월 | 6월 | 7월 | 8월 | 9월 | 10월 | 11월 | 12월 | 가중평균 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | 40.07 | 62.33 | 73.91 | 94.92 | 46.48 | 89.92 | 81.01 | 35.94 | 90.01 | 82.27 | 32.46 | 35.82 | 67.91 |
| 3 | 28.91 | 37.48 | 25.14 | 22.88 | 26.19 | 24.78 | 26.08 | 26.19 | 22.6 | 23.18 | 22.8 | 36.65 | 27.39 |
| 4 | 20.49 | 24.59 | 24.84 | 21.23 | 19.24 | 18.47 | 18.22 | 17.81 | 23.31 | 22.65 | 22.84 | 22.36 | 21.68 |
| 5 | 19.34 | 18.89 | 20.83 | 22.22 | 15.58 | 16.87 | 19.96 | 18.82 | 19.16 | 24.21 | 17.64 | 29.63 | 20.29 |
| 6 | 19.25 | 16.36 | 15.83 | 15.81 | 24.11 | 16.49 | 14.69 | 18.82 | 25.5 | 16 | 15.68 | 22.84 | 18.91 |
| 7 | 19.26 | 17.37 | 14.7 | 18.09 | 19.24 | 22.83 | 18.91 | 19.18 | 22.4 | 22.51 | 15.49 | 18.38 | 19.32 |
| 8 | 19.28 | 16.06 | 17.29 | 17.01 | 20.78 | 16.73 | 15.53 | 17.3 | 17.67 | 17.7 | 18.63 | 19.82 | 18.05 |

<표4> 처리선박척수(입항선박분포:고정시간간격)

(단위: 척)

| AGV수 | 1월 | 2월 | 3월 | 4월 | 5월 | 6월 | 7월 | 8월 | 9월 | 10월 | 11월 | 12월 | 계 |
|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 2 | 14 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 21 | 20 | 21 | 20 | 240 |
| 3 | 14 | 21 | 20 | 21 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 240 |
| 4 | 15 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 240 |
| 5 | 15 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 240 |
| 6 | 15 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 240 |

<표5> 처리선박척수(입항선박분포:지수분포)

(단위: 척)

| AGV수 | 1월 | 2월 | 3월 | 4월 | 5월 | 6월 | 7월 | 8월 | 9월 | 10월 | 11월 | 12월 | 계 |
|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 2 | 11 | 23 | 20 | 26 | 17 | 26 | 16 | 16 | 18 | 18 | 15 | 13 | 219 |
| 3 | 10 | 27 | 17 | 15 | 22 | 24 | 12 | 23 | 21 | 20 | 17 | 23 | 231 |
| 4 | 15 | 25 | 27 | 15 | 17 | 22 | 16 | 15 | 18 | 24 | 20 | 24 | 238 |
| 5 | 15 | 23 | 17 | 19 | 17 | 19 | 21 | 20 | 27 | 23 | 24 | 20 | 245 |
| 6 | 15 | 22 | 21 | 11 | 24 | 22 | 15 | 22 | 22 | 18 | 12 | 23 | 227 |
| 7 | 15 | 19 | 14 | 20 | 19 | 19 | 22 | 17 | 22 | 23 | 12 | 24 | 226 |
| 8 | 15 | 11 | 17 | 20 | 31 | 20 | 18 | 20 | 22 | 20 | 24 | 23 | 241 |

<표6> 처리컨테이너수(입항선박분포:고정시간간격)

(단위: 개)

| AGV수 | 1월 | 2월 | 3월 | 4월 | 5월 | 6월 | 7월 | 8월 | 9월 | 10월 | 11월 | 12월 | 계 |
|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 2 | 7686 | 10657 | 10981 | 11030 | 10975 | 10583 | 10380 | 10986 | 10571 | 11287 | 10089 | 11334 | 126559 |
| 3 | 7699 | 10644 | 10981 | 11050 | 10955 | 10656 | 10307 | 11116 | 10441 | 11457 | 9919 | 11449 | 126674 |
| 4 | 7699 | 10644 | 10981 | 11060 | 10945 | 10720 | 10243 | 11233 | 10324 | 11457 | 9919 | 11499 | 126724 |
| 5 | 7699 | 10644 | 10981 | 11060 | 10945 | 10748 | 10215 | 11290 | 10267 | 11457 | 9919 | 11449 | 126674 |
| 6 | 7699 | 10644 | 10981 | 11060 | 10945 | 10748 | 10215 | 11290 | 10267 | 11457 | 9919 | 11449 | 126674 |

<표7> 처리컨테이너수(입항선박분포:지수분포)

(단위: 개)

| AGV수 | 1월 | 2월 | 3월 | 4월 | 5월 | 6월 | 7월 | 8월 | 9월 | 10월 | 11월 | 12월 | 계 |
|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 2 | 5893 | 12214 | 10617 | 13894 | 9169 | 13851 | 8452 | 8570 | 8961 | 9036 | 7977 | 7090 | 115724 |
| 3 | 6046 | 14064 | 9093 | 7867 | 11413 | 12985 | 5996 | 11984 | 11290 | 10672 | 8786 | 11660 | 121856 |
| 4 | 8192 | 12807 | 14641 | 8365 | 7945 | 11120 | 9271 | 7495 | 10625 | 11892 | 11380 | 12637 | 126370 |
| 5 | 8192 | 11852 | 8980 | 10810 | 8774 | 9950 | 10731 | 10562 | 14446 | 12022 | 12764 | 11049 | 130132 |
| 6 | 8192 | 10985 | 10127 | 9994 | 12999 | 11841 | 7774 | 11360 | 12423 | 9867 | 5634 | 12098 | 123294 |
| 7 | 8192 | 9816 | 7119 | 10459 | 9879 | 10883 | 11230 | 9281 | 11685 | 12699 | 5671 | 12593 | 119507 |
| 8 | 8192 | 5133 | 8772 | 10573 | 16189 | 10918 | 9823 | 10879 | 11608 | 10651 | 12510 | 12199 | 127447 |

O. 전용시뮬레이터의 구성 및 요구조건

- 시뮬레이션 엔진
- 운영데이터베이스와의 연계
- 입력자료 분석시스템
- 출력결과분석 시스템
- 표준보고서 작성시스템
- 2-D 및 3-D 애니메이션 시스템
- 터미널도면작성 CAD 시스템
- CAD 시스템과의 연계
- 시뮬레이션 디버거
- What-If 기능 제공
- 장비 종류별 Crane 작업, AGV 통행제어,
- 야드장치 및 야드크레인 작업 모듈 제공
(3차원 작업)
- Crane과 AGV와의 동시성 연계
- 터미널내 야드장치계획, 선적계획, Bay Plan과의 연계
- 제어 및 유뮤선 통신시스템과의 인터페이스 제공

O. 시뮬레이터 활용 분야

(설계 분야)

- C/C대수, 야드크레인, AGV 대수 결정
- 레이아웃 선정
- AGV lane 배치 선정
- 야드 최적 단적수(Stacking Height) 결정
- 터미널 처리 능력
- 디자인 변화에 따른 처리능력 산출

(운영분야)

- 장비 추가시 처리능력 변화 추정
- 기계 고장시 처리능력 변화 추정
- 야드 운영시스템 변경 검증
- 컨테이너수요 증대시 운영시스템 결정
- 선박입항패턴 변화시 운영방식 변경
- 컨테이너 종류별 점유비 변화시 대처방안 도출
- AGV 통행제어 시스템 성능 평가

5. 결론 및 추후연구

본 연구에서는 외국의 자동화컨테이너터미널 개발

현황을 살펴보았으며, 자동화터미널에 사용되는 구성요소와 컨테이너의 흐름을 분석하였다. 그리고 컨테이너선박이 한척 집안 가능한 가상의 자동화터미널에 대한 시뮬레이션 모형을 개발하여 AGV 대수를 변화시켜 가면서 컨테이너처리 능력 및 선박처리척수 그리고 선박체류시간 등의 수행도 변화를 분석하였다. 그 결과 선박도착간격이 고정적 간격인 경우에는 AGV 대수가 4대 이상인 경우에는 터미널의 수행도가 변하지 않아 주어진 여건 하에서는 4대의 AGV대수가 최적임을 볼 수 있었으며 선박도착간격이 지수분포를 따라 도착하는 경우에는 AGV대수가 6대인 경우가 최적인 결과를 보였다.

또한 향후 자동화컨테이너터미널의 설계 및 운영 의사결정을 위한 시뮬레이터 개발의 필요성과 개발시 시뮬레이터의 구성요건 및 적용분야 등에 대하여 논하였다.

참고문헌

1. 장성용, *컴퓨터시뮬레이션*, 서울산업대학교출판부, 1994.
2. 장성용, "시뮬레이션 기법을 이용한 컨테이너 터미널의 운영 시스템 결정", *산업공학* 제1권 제1호, 1988.4, 49-61.
3. 장성용, "시뮬레이션 기법을 이용한 컨테이너 터미널 하역능력 추정", *한국시뮬레이션학회지*, 제5권 제1호, 1996.6, 53-66.
4. 장영태, *Port Investment Planning Using a Computer Simulation Model*, 연세대학교 대학원 박사학위논문, 1995.12
5. 한국해양수산개발원, *한국에서의 자동화컨테이너터미널 개발 필요성*(항만정책공청회자료), 1998, 7.
6. Cochran J.K. and Lin L "Application of Computer Simulation to Freight Transport Systems." *Journal of Operational Research Society*, V.40, N.5, 433-441.
7. ESCAP, *Manual of Port Simulation Model*, Tokyo, 1987.

8. Hassan, Said Ali, "Port Activity Simulation: An Overview", *Simulation Digest*, V.23, N.2, 17-36.
9. Hayuth, Y. et al., "Building a Port Simulator", *Simulation*, V.63, N.3, 179-189.
10. Kelton, W. D. et al., *Simulation with ARENA*, WCB/McGraw-Hill, 1998.
11. Kondratowicz, I.J., "Methodological Solution for Increased Efficiency of Modelling and Simulation of seaports and Inland Freight Terminals", *Maritime Policy and Management*, V.19, N.2, 157-164.
12. System Modelling Corporation, *ARENA User's Guide*, 1994.
13. System Modelling Corporation, *ARENA Template Reference Guide*, 1994.