

工學碩士 學位論文

자동화 컨테이너 터미널 장치장 운영 시뮬레이션  
시스템 개발에 관한 연구

Development of simulation system for the yard operation  
of automated container terminal

指導教授 申 宰 榮

2004年 2月

韓國海洋大學校 大學院

物流시스템工學科

崔 勳 浩

# **Development of simulation system for the yard operation of automated container terminal**

Choi, Hoon Ho

Department of Logistics Engineering  
Graduate School of Korea Maritime University

## **Abstract**

In this paper, we developed simulation system for automatic terminal CY, so we focused on the next five factors.

Firstly, we were made to direct Layout Design for equipments and facilities of container terminal CY. Secondly, we realized connection system with terminal equipments such as AGV system, GC and ATC. Connection to the terminal equipments is most important characteristic of automatic container terminal. Third, Users can see the different result from their choice according to the operation rules of various terminals. Forth, we designed simulation that is able to the monitoring of the simulation result and simultaneously, it could be check

to the change when we directly input the editing facts. Lastly, the result can check the analysis content of simulation at the Visual Manager, Analysis Manager and Report according to the simulation scenario. The Visual Manager is 2D animation, so it chooses the way of the fixed time increasing. We made to users can see the result of graph and table form at the Analysis Manager which analyzes evaluation factors of various container terminals.

# 목 차

## Abstract

|   |     |
|---|-----|
| 목 차.....  | i   |
| 그림 목 차.....                                       | iii |
| 표 목 차.....  | v   |
| <br>  |     |
| 제 1 장 서론.....                                     | 1   |
| 1.1 연구의 배경 및 필요성.....                             | 1   |
| 1.2 기존 연구의 고찰.....                                | 3   |
| 1.3 연구의 목적.....                                   | 8   |
| 1.4 연구의 특성 및 기존 연구와의 비교.....                      | 9   |
| 1.5 논문의 구성.....                                   | 10  |
| <br>  |     |
| 제 2 장 시뮬레이션 개요.....                               | 11  |
| 2.1 시스템의 개념 및 시뮬레이션 모델.....                       | 11  |
| 2.2 이산사건 시뮬레이션(Discrete-Event Simulation) 구성..... | 15  |
| 2.2.1 시간 진행 방법(Time-Advance Mechanisms).....      | 15  |
| 2.2.2 주요 구성요소와 구조.....                            | 16  |
| 2.3 자동화 컨테이너 터미널 운영 분석.....                       | 19  |
| <br>  |     |
| 제 3 장 시뮬레이션 시스템 설계.....                           | 22  |
| 3.1 시스템의 범위.....                                  | 22  |
| 3.2 시스템 주요 구성 요소.....                             | 23  |
| 3.3 난수 자동 발생모듈 및 데이터 발생모듈.....                    | 25  |
| 3.4 클래스 및 객체 정의.....                              | 26  |
| 3.5 알고리즘 및 규칙.....                                | 29  |
| 3.5.1 Berthing Scheduling.....                    | 29  |
| 3.5.2 GC Assignment.....                          | 33  |
| 3.5.3 Yard Planning.....                          | 34  |
| 3.5.4 GC 작업에 따른 AGV/TC 작업 흐름.....                 | 35  |

|         |                                 |    |
|---------|---------------------------------|----|
| 3.5.5   | AGV 요청에 따른 작업할당 및 경로 선정.....    | 36 |
| 3.6     | 개발 언어.....                      | 41 |
| 3.7     | 시뮬레이션 평가 및 분석.....              | 42 |
| 제 4 장   | 시스템 구현.....                     | 44 |
| 4.1     | Menu 구성.....                    | 44 |
| 4.2     | Simulation Design Wizard.....   | 49 |
| 4.3     | Emergency Manager.....          | 55 |
| 4.4     | Simulation Service Manager..... | 57 |
| 4.5     | Visual Manager.....             | 58 |
| 4.6     | Analysis Manager.....           | 60 |
| 제 5 장   | 결론 및 추후 연구과제.....               | 61 |
| 참 고 문 헌 | .....                           | 63 |

## 그 립 목 차

|   |    |
|---|----|
| <그림 2 - 1> 다음사건 시간 증가 방식에서의 흐름 .....                | 18 |
| <그림 2 - 2> 자동화 터미널 업무 흐름 .....                      | 20 |
| <그림 3 - 1> 시뮬레이션 구조 .....                           | 25 |
| <그림 3 - 2> Berthing Scheduling - 도착우선규칙 .....       | 30 |
| <그림 3 - 3> Berthing Scheduling - 물량우선규칙 .....       | 31 |
| <그림 3 - 4> Berthing Scheduling - 기간별작업시간우선 규칙 ..... | 32 |
| <그림 3 - 5> GC Assignment - 물량우선규칙 .....             | 33 |
| <그림 3 - 6> GC 작업에 따른 AGV/TC 작업 흐름 .....             | 35 |
| <그림 3 - 7> AGV 요청에 따른 작업할당 .....                    | 36 |
| <그림 3 - 8> Closed Loop 방식의 Layout .....             | 37 |
| <그림 3 - 9> Pooling 방식의 Layout .....                 | 38 |
| <그림 3 - 10> AGV 경로선택 - 분기 Search 방식 .....           | 40 |
| <그림 4.1 - 1> File Menu .....                        | 45 |
| <그림 4.1 - 2> View Menu .....                        | 45 |
| <그림 4.1 - 3> Simulation Menu .....                  | 46 |
| <그림 4.1 - 4> Report Menu .....                      | 47 |
| <그림 4.1 - 5> Window Menu .....                      | 47 |
| <그림 4.1 - 6> Help Menu .....                        | 48 |
| <그림 4.2 - 1> 자동화 터미널 시뮬레이션 디자인 마법사 .....            | 49 |
| <그림 4.2 - 2> Terminal Size .....                    | 50 |
| <그림 4.2 - 3> 선석 및 장치장 정보 입력 .....                   | 50 |
| <그림 4.2 - 4> Terminal Layout Design Window .....    | 51 |
| <그림 4.2 - 5> 선박 및 컨테이너 정보 입력 .....                  | 52 |
| <그림 4.2 - 6> 선박 및 컨테이너정보 Window .....               | 52 |
| <그림 4.2 - 7> 선박도착시간분포 발생 Window .....               | 53 |
| <그림 4.2 - 8> 알고리즘 및 규칙 .....                        | 54 |
| <그림 4.3 - 1> Emergency Manager .....                | 55 |
| <그림 4.3 - 2> 장비 고장 및 교체에 따른 Scheduling 방법 .....     | 56 |

|   |    |
|---|----|
| <그림 4.4 - 1> Simulation Service Manager Window..... | 57 |
| <그림 4.5 - 1> Visual Manager Window .....            | 59 |
| <그림 4.5 - 2> Simulation Log 메시지.....                | 59 |

# 표 목 차

|   |    |
|---|----|
| <표 2 - 1> 시스템 담당자의 장비 운용에 따른 효율화 달성 ..... | 21 |
| <표 3 - 1> 터미널 시뮬레이션 클래스 및 객체 .....        | 27 |
| <표 3 - 2> 컨테이너 터미널의 성능 평가지표 .....         | 42 |
| <표 4 - 1> File Menu .....                 | 45 |
| <표 4 - 2> View Menu .....                 | 46 |
| <표 4 - 3> Simulation Menu .....           | 46 |
| <표 4 - 4> Report Menu .....               | 47 |
| <표 4 - 5> Window Menu .....               | 47 |
| <표 4 - 6> Help Menu .....                 | 48 |



# 제 1 장 서론

## 1.1 연구의 배경 및 필요성

국제 물류에서 가장 큰 비중을 차지하는 해상 운송은 조선 기술의 발전과 더불어, 첨단 컴퓨터 시스템과 인터넷 및 네트워크망을 이용하여, 선박의 대형화, 정보화, 시스템화, 자동화하는 추세이다. 또한, 국제 산업의 발전에 기인하여 수출입 화물의 증가로 컨테이너 터미널의 처리 요구량은 기존의 터미널에 많은 부담을 주게 되었고, 이러한 문제를 해결하기 위해 각국은 컨테이너 터미널의 효율적인 운영 및 처리능력의 증가에 많은 관심을 가지고 있는 실정이다. 이에 각국은 기존의 컨테이너 터미널의 생산성, 효율성 향상뿐만 아니라 신설되는 컨테이너 터미널을 효율적인 시스템으로 구축하여 국제 사회에서 높은 경쟁력을 확보하려고 노력하고 있다. 이러한 중요성과 더불어 항만하역 및 토지 활용의 효율성, 노동력 절감 그리고 자동화 관련 기술 확보 등의 요인은 자동화 터미널 개발의 중요한 장점이 될 수 다.

자동화 터미널 개발에 있어 처리능력, 서비스 수준, 생산성 수준 등의 개발 목표를 달성하기 위한 최적의 터미널 yard 배치, 하역 및 운영시스템 선정, 장비소요대수 등을 검토하기 위해서는 목적식과 제약식을 가지는 분석적 해결 방법(analytic solution)보다는 가상의 터미널을 구현하여 최적대안을 분석할 수 있는 시뮬레이션 모델(Simulation Model)의 사용이 타당하다. 즉, 실제 터미널의 복잡성으로 인하여 수학적 분석이 어렵고, 기존의 터미널에서 실제 실험이 불가능하며, 가능하더라도 소요 비용이 너무 크기 때문이다. 이러한 필요성에 따라 자동화 터미널뿐만 아니라, 기존의 컨테이너 터미널을 대상으로 시뮬레이션 모형을 개발하는 연구가 국내외적으로 꾸준히 이루어져 왔다. 그러나, 기존의 연구는 터미널 안에서 일어나는 각종 업무의 복잡성 및 불확실성 때문에, 터미널 시뮬레이션을 하기 위한

가정과 함께 여러 가지 제약을 두고, 모델을 단순화시키거나 업무의 일부분만을 고려하여 모델을 설계하였다.

기존의 연구를 간단하게 살펴보면, 컨테이너 터미널에 관한 체계적인 연구는 1960년대 이후이며, 초기의 단순한 대기시간 및 자본투자비용 최소화 모형들은 국제 물류 및 항만의 발전과 더불어 항만시스템의 복잡성으로 인하여 복잡한 프로세스를 모형화하는데 한계를 가졌다. 이를 극복하고자 현실세계에 좀 더 가깝게 모델링 할 수 있는 시뮬레이션 연구는 1969년 이후 본격화되었다. 그러나, 전용 터미널의 등장과 그 복잡도가 훨씬 높아진 1990년대 이후의 항만에 대한 전통적인 시뮬레이션 접근 방법은 컨테이너터미널장비의 지속적인 향상으로 운영절차와 시설물의 배치 등에서의 빈번한 변화에 대처하기 위한 정교화된 시스템을 제대로 반영하기에는 그 유연성이 떨어졌다.[양창호(2002)등] 이러한 이유로 터미널 전문 시뮬레이션의 필요성이 대두 되었고, 미국 컨설팅사인 JWD의 General Marine Terminal Simulation Model(GMTS)과 자동화 터미널인 네덜란드의 ECT에서 개발하여 활용하고 있는 Container Terminal Simulation(CTS)과 같은 터미널 전문 시뮬레이션이 발표되었고, 국내의 경우 한국해양수산개발원(KMI)에서 Simulation in Marine Terminal Planning(SMTP)을 개발하게 되었다.

전문 터미널 시뮬레이션 툴은 터미널 내부에서 필요한 여러가지 정보를 입력하고, 프로세서의 처음부터 끝까지 일관된 흐름에 따라 이루어지며, 시뮬레이션 설계자가 요구하는 다양한 분석 도구를 제공함으로써, 터미널 설계 및 운영에 대한 방향을 제시하고, 나아가 새로운 장비 및 제반 상황에 대한 변화를 미리 분석해 볼 수 있도록 하여 터미널의 최적 운영을 예상할 수 있도록 한다.

본 연구는 자동화 컨테이너 터미널 도입에 앞서 막대한 재원이 드는 장치장 자동화 장비 및 설비의 적절한 선정과 검토를 위하여 자동화 컨테이너 터미널 장치장 시뮬레이션 운영 시스템 개발을 목표로 하고 있다. 즉, 여러 가지 컨테이너 터미널의 요소들을 사용자가 직접 입력하여, 장치장 Layout 디자인부터 운영 업무, 모니터링 및 Analysis, 각 장치장 하역 장비의 Scheduling과 그에 따른 알고리즘

및 규칙들을 사용자가 직접 설계하며, 이때 좀더 나은 알고리즘 및 규칙이나 새로운 장비에 대한 처리가 필요한 경우 그에 대한 모듈만 추가함으로써 시뮬레이션이 가능하도록 하는 시뮬레이션 시스템 개발이 본 연구의 목표이다. 이를 위해 장치장 내의 장비 및 설비의 상호 참조 및 객체 지향적인 설계와 더불어 시스템 설계자가 Yard Layout 및 각종 설비를 유연하게 설계할 수 있도록 사용자 편리성과 기능 확장성이 높은 사용자 인터페이스로 설계하였으며, 이러한 시설 및 장비의 원활한 운영을 위한 규칙 및 알고리즘을 시스템 설계자가 쉽게 테스트할 수 있도록 하였고, 전체적인 시뮬레이션 구조는 이산사건 시뮬레이션으로 처리하였다.

## 1.2 기존 연구의 고찰

본 연구는 터미널에서 일어나는 일련의 업무를 기본으로, 각 업무를 사용자가 설정하며, 그에 따른 시뮬레이션 결과를 분석 및 모니터링 도구를 통해 보여줌으로써 사용자의 의사결정을 돕고자 한다. 본 장에서는 시뮬레이션 툴에서 필요한 터미널 업무와 시뮬레이션 관련 기존 연구에 대해 알아보하고자 한다.

터미널 업무 중 가장 처음으로 일어나는 것은 선석 계획이다. 선석 계획 및 선박 운영에 대한 기존 논문으로 이홍걸(1995)등은 MPS(Maximum Position Shift)의 개념을 도입하여, 항만운영자 및 선사의 입장을 융합하였고, 발견적 알고리즘과 최적화 알고리즘을 통해 얻은 해의 값을 비교 분석하였고, 김대상(1999)은 선석 할당 계획문제를 집합문제 유형의 최적화 모형으로 정식화하여 해결하고자 하였고, 제안된 집합문제 유형의 최적화모형의 해결을 위해 필요한 선석할당 가능스케줄 생성 알고리즘을 제시하였다. 여기서 선석 점유율 및 대기 시간 가중치를 두고 터미널의 여건에 맞는 비중을 사용자가 임의로 두었고, 목적 함수로는 선석 점유율과 대기시간의 총합을 최소화하는 것이다. Yongpei Guan(2002)등은 Scheduling 에 대하여 processor들을 직선으로 나열시켜 각각의 Job에 대해 다중

연속 프로세서로 동시 처리되는 것을 고려하였다. 목적 함수로는 Job의 달성시간의 최소화이며, 프로세서를 위한 Job들을 그룹화 할 때 “Zig-zagging” 탐색 방법인 Heuristic H를 사용하였다. Imai(2003)등은 기존의 BAP(Berth Allocation Problem)에서 고려되지 않았던 Calling 선박에 다양한 서비스 우선순위를 두고, DBAP(Dynamic Berth Allocation Problem)를 통해 비선형 문제 결과를 위한 휴리스틱 기반 Genetic 알고리즘을 제시하였다.

선석 계획이 끝나면, Gantry Crane(GC)을 할당을 하게 된다. 그러나 GC 할당에 관한 기존의 논문은 미흡한 수준이다. 이러한 이유는 상황에 따라 긴급 선박이나 지연 선박이 발생했을 때, 더 많은 GC를 Real Time으로 배정하게 되고, 선석 계획이 일어난 시점에서는 그러한 상황을 알수 없기 때문이다. 본 연구에서는 GC 할당에 대한 간단한 규칙으로 물량우선규칙을 제시하며, 추후 좀 더 나은 알고리즘 및 규칙은 모듈을 추가함으로써, GC 할당에 대한 항목을 추가하기로 한다.

GC 할당 계획이 끝나면 본선 작업을 실시하는데, 컨테이너 양·적하 작업을 위한 본선 작업 계획에 대한 연구를 살펴보면 신재영·남기찬(1998)은 국내 터미널의 실무적인 요구사항과 효율적 계획안의 제시가 가능한 자동 선적 의사결정지원시스템(Decision Support System)을 개발하였는데, 이 시스템은 실무 작업 환경에 적합한 전문가 시스템(Expert System)이라 할 수 있으며, 신재영·곽규석·남기찬(1999)은 효율적인 컨테이너 터미널 선적 계획을 위해서 인공지능(Artificial Intelligence)과 전문가 시스템을 이용하여 자동 선적 계획 모듈을 위한 시스템을 설계하였다. 또한, 이광인(1998)은 터미널내의 장치 위치를 고려하여 컨테이너의 적부계획을 수립하고 이 적부 계획을 바탕으로 선적계획을 수립하는 것에 대한 발견적 해법을 제시하고 컨테이너 선적계획을 위한 통합 의사결정지원시스템을 설계하고 개발하였다.

다음으로, 터미널 업무는 본선 작업과 함께 장치장 계획이 일어난다. 장치장 계획에 대한 연구로는 이채민(2002)은 장치장의 운영시스템과 계획시스템을 따로 나누지 않고 하나로 통합하여 운영 계획을 수립하는 방법 및 해법에 대한 연구를

시도하였으며, 장치 공간의 배정 및 최종 위치까지 결정하는 해법을 도출하는 과정에서 실무 계획수립자들이 수출 장치장 계획을 수립하기 위해 고려하는 방법들을 기초로 하여 현실에 사용될 수 있는 발견적 해법을 제시하고, 해법을 적용하기 위하여 실제 업무에서 사용될 수 있는 시스템을 개발하고 구현하였다. 손예진(2002)등은 수출 장치장 계획 문제를 제약조건만족 문제로 보고, 이러한 대규모의 탐색공간으로부터 효과적인 해를 찾기 위해 Dependency-directed backtracking 기법을 적용하였고, 탐색 중에 제약조건을 만족하는 해를 찾기 어렵다고 판단될 경우에는 일부 제약조건을 완화하여 해를 재 탐색하는 제약조건 완화 기법을 적용 하였고, 이경모(1999)등은 터미널에서 반입/반출 트럭이 일정한 시간 이상의 작업 지연에 대한 지연비용의 합을 최소화하기 위한 장치장 작업 순서 결정 규칙을 위해 동적계획법 모형을 제시하였고, 발견적 기법과 강화학습 기법들과의 성능 비교를 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 김동조(1999)등은 터미널의 Yard상에서 발생하는 재취급 문제를 해결하는 계획과 기존의 시스템들이 가진 장점을 결합하여 장비효율의 극대화, 취급시간의 단축등의 효과를 위해 컨테이너 장치 계획 시스템을 개발하였다. 이를 위해 계획자 모듈, 사용자 인터페이스 모듈, 화면출력 모듈, 사용자 질의응답 모듈등을 구현하였다. 김갑환·박영만(1997)은 수출 컨테이너 장치장 계획시 재취급을 최소화하기 위해 무게를 가장 중요한 의사 결정 요소로 보고 동적 계획법을 이용해 최적의 장치 위치를 결정하는 모형을 제시하였다.

장치장까지 계획을 마치면 장치장의 하역장비에 대한 세부적인 계획이 일어난다. 장치장 하역시스템 관련 연구로 류광열(2003)등은 자동화 터미널의 AGV 경로 설계시 광양항을 기본으로 한 변형된 FROG방식을 채택하였으며, AGV 운영 시스템으로 트랙모듈단위 경로 시스템과 Grid 단위 경로 시스템을 시뮬레이션을 통한 효과 검증을 제시하였고, 김갑환(2001)등은 터미널 취급장비인 컨테이너 크레인(Container Crane), 자동화 트랜스퍼 크레인(Automated Transfer Crane), 무인 운반차(Automated Guided Vehicle)을 위한 터미널의 레이아웃 중 수평형 배치안과 수직형 배치안을 시뮬레이션 기법을 사용하였고, 각 배치안별로 사용되는

레인의 수, 라인 운영 방안, 적정 장비 대수 등을 결정하였다. 배종욱(1999)등은 자동화 터미널에서 선박에서부터 AGV로 CC(Container Crane)의 화물 이송을 AGV와 CC의 운영방식에 따라 Single-cycle 운영과 Dual-cycle 운영으로 구분하여 비교 분석하였고, 변건식(2001)등은 컨테이너 터미널의 자동화 중 야드 자동화를 위해서 DSRC방식(Dedicated short range communication)의 게이트 자동화 시스템의 구축 필요성을 말하였고, 여러가지 Yard장치의 상태 및 정보간 일어나는 송/수신 정보를 통해 각각의 프로시저를 제시하였다. 또한, 김기영(1997)등은 TC(Transfer Crane)가 Yard상 각 Bay에서의 준비시간과 이동 시간을 포함하는 컨테이너 작업시간 최소화를 목적함수로 하는 IP(Integer Programming)문제를 정의하였고, 그에 따른 최적 Routing 알고리즘을 제시하였고, 김갑환(1998)등은 장치장내에 AGV를 활용하는 문제를 대상으로 AGV 시스템 컨트롤러의 구조와 각 통제계층의 기능을 정의하여 기능별로 효율적인 운영규칙과 알고리즘을 제시하였다. 그 내용으로는 차량을 작업 종류별로 할당하는 차량할당문제, 본선작업 수행에 필요한 AGV의 배정을 위한 배차계획 문제, AGV의 이동거리 최소화 및 본선작업의 지연을 최소화를 위한 수학적 모델, 다른 장치와의 상호작용문제 등을 다루었다.

위에서 살펴본 터미널 업무의 스케줄링 관련 업무와 하역장비에 관한 업무를 기초로 본 연구는 시물레이션에 필요한 Scheduling 부분과 장비운영에 관한 규칙을 적용하도록 한다.

다음으로 컨테이너 터미널 전체 시스템 및 시물레이션에 대한 연구를 살펴보면, 윤원영등(1998)은 컨테이너 터미널 운영 계획을 평가하기 위해서 하역 장비의 활용도를 이용한 통계량으로 장비의 대기, 유휴, 이동 등 시간요소를 항목으로 하여 전체 시물레이션 시간을 평가방법으로 하였다. W.Y Yun and Y.S. Choi(1999)는 컨테이너 터미널 시스템에 대한 시물레이션을 객체지향 방법으로 접근하였으며, 컨테이너 터미널의 평가, 터미널 내의 장비들에 대한 평가(GC, TC, TR, YT), 그리고 장치장 취급률에 대한 평가로 세분화 하여 SIMPLE++ 을 사용하여 시물레이션을 시행하였고, 그 결과를 분석하였다. M. Kia(2002)등은 컨테이너 터미널의 용량에 대한

Handling 기법과 그에 대한 영향에 관해 터미널의 실행을 평가하는 데 있어서의 컴퓨터 Simulation을 이용하여 조사하였다. 또한, 2가지 확률적 시스템(컨테이너의 대부분을 트럭으로 이송 및 컨테이너 대부분을 철송으로 이송)을 비교 연구하였고, 터미널의 혼잡을 감소시키고 용량을 증가시키는 실행 기준과 모델 매개변수와 같은 운영 방법을 제안하였다. 김우선(1999)은 기존 터미널을 분석하여 거시적 시뮬레이션 모형을 개발하는 것을 목적으로 세부적인 시스템 설계를 제시하였고, 미시적 수준에서 적용될 수 있는 터미널 운영 개선을 위한 시뮬레이션 시스템을 설계하였다. 또한, 우리나라의 기존 터미널 자료를 바탕으로 선박 발생기 모듈과 트럭 발생기 모듈을 구체적으로 설정하였고, 기타 게이트에서의 문제 및 반출입 컨테이너 종류등을 세부적으로 분석하여 시뮬레이션에 적용하였고, 다음의 각각의 시뮬레이션 즉, 안벽 시뮬레이션, 게이트 시뮬레이션, 장치장 시뮬레이션 등을 실시한 후 각각 제시한 대안에 따른 결과를 분석하였다.

위에서 기존의 터미널 시스템에 대한 생산성 및 효율성을 높이기 위한 시뮬레이션 및 시스템들을 살펴보았다. 다음으로 전체적인 자동화 터미널 시스템에 관한 연구를 살펴보면, 양창호(2000)는 광양항 자동화 컨테이너터미널에 대한 기본 건설 계획을 기초로 각 파라미터들을 정의 하고 시뮬레이션 분석을 통해 자동화 터미널이 기존 터미널에 비해 갖는 우수성을 생산성 측면과 경제성 측면으로 분석하였고, 김갑환(2002)등은 자동화 컨테이너 터미널의 운영에 필요한 통제시스템을 설계하고 이를 검증하기 위한 시뮬레이션 개발 방법을 제시하였으며, 객체지향적인 설계 요소를 강조하였다. 장성용(1998)등은 국외 및 국내의 자동화 컨테이너 터미널의 개발현황을 통해 구성요소와 컨테이너의 흐름을 분석하였고, 컨테이너선박이 한척 접안 가능한 가상의 자동화터미널에 대한 시뮬레이션 모형을 개발하여, Arena를 통해 AGV 대수를 변화시켜 가면서 컨테이너처리 능력 및 선박 처리척수 그리고 선박체류시간 등의 수행도 변화를 분석하였다.

마지막으로 컨테이너선의 도착시간 분포, 하역 컨테이너수등 터미널 환경에 대한 논문으로 임봉택(1999)등은 최근 우리나라 컨테이너 물류시스템의 환경변화가

컨테이너 터미널에 미친 영향을 분석해 보기 위해 BCTOC 컨테이너 터미널의 상황을 시스템적 관점에서 체계화하고, 컨테이너 물류시스템을 확률적인면을 고려한 시뮬레이션 기법을 이용하여 모델화하였고, 그 결과를 분석했다. 이때, 선박 도착시간 분포로는 지수분포를, 하역 컨테이너수는 정규분포 및 지수분포를, 선박의 터미널 서비스 시간 분포는 정규분포를, 컨테이너 장치기간과 Gate 반출입은 특정 패턴을 시뮬레이션에 적용하였다.

### 1.3 연구의 목적

자동화 터미널에서 AGV의 작업 처리는 가장 중요한 작업이라 할 수 있다. 기존의 터미널 관련 시뮬레이션에서는 Yard 장치간 이동은 GC에 따른 장치장 이송장비의 작업이 명확한 상태에서 시뮬레이션이 수행되어져 왔다.[양창호(2002)등, 김갑환(2001)등, 배종욱(1999)등, 김우선(1999), 장성용(1998)] 이에 본 연구의 첫째 목적으로, AGV를 GC나 ATC의 상황에 유연하게 대처하며, 능동적인 경로 선정을 할 수 있는 AGV 작업 할당 및 경로 설정 시스템을 제시하고, 추후에 더 나은 AGV관련 알고리즘이 제시될 경우 본 시스템에 적용하기로 한다.

또한 Berthing Scheduling 이나 GC Assignment에 따라 선박에 대한 선석의 활용도가 달라질 수 있으며, 다양한 Rule 이나 알고리즘의 적용을 선택하여, 많은 수의 장비로 구성된 대규모의 터미널 운영에 대한 예측을 수행하여, 자동화 터미널관련 분야에 기여하고자 하는 것이 본 연구의 두번째 목표이다.

마지막으로 터미널 Layout을 간단한 사용자 인터페이스로 손쉽게 설계 할 수 있으며, Layout에 따른 터미널 운영 효율에 대해 알아보고 최적의 Layout 선택에 도움이 되고자 한다.



## 1.4 연구의 특성 및 기존 연구와의 비교

터미널 시뮬레이션에 관한 기존의 연구는 일반적으로 시뮬레이션 하고자 하는 대상을 분석하여 모델을 세우고, MATLAB 이나 ARENA와 같은 수치적 시뮬레이션 툴을 사용하여 수행하거나 C++ 과 같은 범용언어를 이용하여, 제시한 모델의 각 부분을 Coding 하였다. 이러한 연구는 모델 중심으로 특정 터미널에 한하여 적용하며, 터미널의 상황이 바뀌거나 수정이 필요할 경우 전체 또는 많은 부분에서 모델의 수정이 불가피하며, 여기에 Coding 작업 또한 많은 수정을 해야 한다.

이러한 시점에서 터미널의 전문적인 정보를 처리할 수 있는 터미널 관련 전문 시뮬레이션 패키지는 꼭 필요하며, 한국해양수산개발원(KMI)의 Simulation in Marine Terminal Planning(SMTP)나 미국 컨설팅사인 JWD의 General Marine Terminal Simulation Model(GMTS), 자동화 터미널인 네덜란드의 ECT에서 개발하여 활용하고 있는 Container Terminal Simulation(CTS)와 같은 터미널 전문 시뮬레이션이 발표되고 있는 상황이다.

KMI에서 개발한 SMTP는 여러가지 면에서 본 연구와 비슷하다. 즉, Layout 및 장비등의 사용자 입력을 통해 최적의 장비소요대수, Layout 도출등과 능력 분석을 통하여 최적의 터미널 구성과 운영방안의 수립등의 결과 도출 면에서 본 연구 또한 그러한 결과를 도출하고자 한다. 그러나, 본 연구는 시뮬레이션 수행시 멈춤 기능을 두고 중간 단계에서 GC나 AGV의 수의 변화를 주거나 AGV의 트래픽등의 변화 요소를 직접 수정하여 결과를 볼 수 있도록 한다. 또한, 새로운 알고리즘 및 규칙들을 도입할 경우, Visual Basic 모듈로 해당 모듈에 대한 결과를 생성 시킬 수 있도록 하여, 시뮬레이션이 유연하게 대처 하도록 한다는 점은 위에서 개발한 SMTP와 차이점이 될 수 있을 것이다.

본 연구는 자동화 컨테이너 터미널에서의 다양한 구성 요소간의 운영 및 전략과 터미널 Layout의 사용자 입력을 통하여 최적의 운영전략, 장비소요대수, Layout을 도출하고자 하며, 사용자 편의성을 위하여 운영 상황을 모니터링 할 수 있는 Visual

Manager 시스템을 두어 시뮬레이션 진행간에도 장비의 Productivity 등의 변화를 주어 시뮬레이션에 미치는 영향을 알아볼 수 있도록 하며, 자동화 터미널의 구성요소를 객체화하여 사용의 편리성, 유지/보수성, 유연성, 확장성등을 강화하고자 한다. 또한, 분석과 모니터링 툴을 이용하여 자동화 터미널 최적의 운영 및 규칙 등을 도출해 내고, 이를 통하여 최적의 터미널 구성과 운영 방안을 수립할 수 있도록 하고자 한다.

## 1.5 논문의 구성

본 연구는 이산사건 시뮬레이션을 기초로 시뮬레이션 디자인 마법사를 통해서 터미널의 Layout 및 각종 장비와 설비를 사용자가 직접 디자인할 수 있고, 시뮬레이션을 수행하기 위한 각 장비의 Scheduling 또한 사용자가 선택하여 수행하며, Visual Manager 및 Analysis Manager를 이용하여 시뮬레이션 결과를 모니터링 할 수 있도록 하였다. 또한, Emergency Manager를 통해 시뮬레이션 기간 동안 일어나는 긴급 상황이나 장비의 고장등을 확률적으로 입력하여 그 결과를 분석함으로써, 실제 자동화 컨테이너 터미널에서 일어날 수 있는 상황을 최대한 반영하였다.

본 연구의 구성은 제 1장의 서론 부분에서 연구의 배경 및 필요성과 기존 논문의 고찰 및 비교에 대한 사항을 다뤘으며, 제 2장에서는 일반적인 시뮬레이션에 대한 개념 및 이산사건 시뮬레이션을 소개하고, 자동화 터미널의 운영에 대하여 분석하였다. 제 3장에서는 본 연구의 시뮬레이션 시스템의 구성을 전체적으로 살펴보았으며, 제 4장에서는 실제 구현된 자동화 터미널 장치장 시뮬레이션 시스템의 자세한 정보 및 구조를 알아보고, 마지막으로 제 5장에서는 결론 및 추후 연구과제에 대하여 논의하였다.

## 제 2 장 시뮬레이션 개요

본 연구에서 다룰 자동화 터미널을 모델화 하기 위해 분석적 해결 방법(analytic solution), 즉, 대수학, 미적분, 확률론등과 같은 수학적 방법을 이용하기에는 너무 복잡하며, 현실적으로 불가능하다. 따라서, 시뮬레이션에 의한 방법을 추구해야만한다.

본 장에서는 자동화 터미널 시뮬레이션 틀에서 필요한 시뮬레이션의 개념 및 시스템 접근 방법과 자동화 터미널의 운영의 구성에 대하여 논의하고자 한다.

### 2.1 시스템의 개념 및 시뮬레이션 모델

시스템이란 어떤 논리적인 목적을 달성하기 위하여 서로 협력하는 개체(Entity)들의 모임이다.[이영해(1993)등] 예를 들어 선박과 장치장 개체를 오가며 컨테이너를 Pick-up/Delivery 작업을 하는 AGV개체는 전체 터미널 시스템의 일부분 이다. 여기서 Gate 개체가 포함된다면 시스템의 정의는 분명 더 확장되어야 할 것이다. 시스템의 상태(state)란 연구 대상에 관련하여 특정 시간에 시스템을 기술하기 위해 필요한 변수들의 모임이다. AGV의 경우 상태변수(state variable)는 현재 이동(moving) 상태와 GC나 ATC에 의해 작업(working)하는 상태등이다. 시스템은 이산시스템(discrete system)과 연속시스템(continuous system)의 2가지 형태로 분류한다. 이산시스템은 시스템의 상태 변수가 구분가능한 형태로 이산적으로 시간에 따라 변화한다. GC의 작업은 AGV가 도착하거나 작업(Discharging/Loading)을 하고 이동할 경우에만 상태가 변한다. 연속시스템은 상태변수가 시간에 대해 연속적으로 변화하는 시스템이다. 예로써, AGV는 연속적으로 변화하는 위치가 이에 속한다. 실제로 완전히 이산 혹은 완전히 연속의 형태인 시스템은 거의 없으며, 두 가지 형태 중 하나의 형태가 시스템을 좌우하므로 시스템을 둘 중의 하나의 형태로 분류하는

것이 가능하다.

때때로 여러 구성 요소들간의 관계를 이해하거나 새로운 운영규칙이나 알고리즘으로 시스템 효율을 예측하기 위하여 시스템을 연구하는 것은 바람직하다. 그러나 실제의 시스템을 가지고 직접 실험하는 것은 불가능할 수도 있고, 비경제적이며, 시스템의 붕괴 우려가 있다. 이는 아직 존재하지 않는 시스템의 경우에는 더욱 그러하다. 만일 실제로 AGV의 개수에 따른 선박 체류시간의 변화를 알고자 하여, 직접 시행해본다면 터미널의 서비스에 대해 막대한 영향을 줄 수도 있다. 많은 시스템들에 대한 실제의 실험이 불가능하므로 시스템 분석가들은 실제 시스템의 동작을 추론하기 위하여 보통 모델(model)을 사용한다. 모델이란 어느 특정 시스템을 연구할 목적으로 개발한 시스템의 묘사라 할 수 있다. 모델은 실제의 시스템 자체를 이용하여 실험이 가능한 것처럼 분석가나 의사결정자(decision maker)가 시스템에 관한 결정을 내릴 수 있도록 아주 상세하며 타당성이 있어야 한다.

일반적으로 시뮬레이션 모델을 명확히 정의하지는 못할지라도, 시뮬레이션 모델을 정적(static) 혹은 동적(dynamic), 결정적(deterministic) 혹은 확률적(stochastic), 이산(discrete) 혹은 연속(continuous)형으로 구분할 수 있다. 정적 시뮬레이션 모델(static simulation model)은 특정시간에 있어서의 시스템에 관한 표현이다. 몬테칼로(Monte Carlo)시뮬레이션 모델이 정적 시뮬레이션 모델의 대표적인 모델이다. 동적 시뮬레이션 모델(dynamic simulation model)은 시간에 따라 전개되는 시스템에 관한 표현이다. 확률변수를 포함하지 않는 시뮬레이션 모델을 결정적 모델이라 한다. 이 모델은 주어진 입력 집합에 대해 유일한 출력의 집합이 존재한다. 한편, 시뮬레이션 모델이 하나 이상의 확률변수를 포함한다면 이 모델은 확률적(stochastic)이다. 확률적 모델의 출력자료는 임의적이며 모델의 특성에 대한 추정량이다. 본 연구에서 확률 분포를 가지는 선박의 도착 시간 간격(arrival interval), 선박의 서비스 시간, 컨테이너의 하역 수량등을 확률적 모델로 구할 수 있다. 이 확률변수들은 각각 자신의 고유 확률 분포를 가질 수 있으며, 본 시뮬레이션에서는

몇 가지 분포를 선택할 수 있고 또한 추가 가능하도록 유연성을 둔다.

이산모델(discrete model)은 항상 이산시스템(discrete system)을 모델화 시키기 위해서만 이용되는 것이 아니며, 연속모델의 경우도 마찬가지다. 어느 특정 시스템에 대하여 이산모델을 사용할 것인지 아니면 연속모델을 사용할 것인지에 대한 결정은 연구의 대상에 따라 다르다.[이영해(1993)등] 본 연구의 AGV의 작업, GC 작업, ATC 작업 등은 시간상 구분 가능한 시점(Event)에서 단지 상태 변수의 변화를 사용하여 시스템을 모델링 할 수 있으므로 이산모델(Discrete Model)로 구분될 수 있다. 또한 이산 모델, 동적 모델, 확률적 모델 등은 이산사건 시물레이션(Discrete-Event Simulation)으로 볼 수 있다. 이산사건 시물레이션은 시간상 구분 가능한 시점에서 단지 상태 변수의 변화를 사용하여 시스템을 모델링한다. 이 시간상 구분 가능한 시점들은 사건(event)이 발생하는 시간이며, 사건이란 시스템의 순간적인 상태변화를 의미한다.

이산사건 시물레이션은 그 접근방법에 따라 다시 절차적 접근방법과 객체지향적 접근방법으로 나눌 수 있다. 절차적 접근방법은 개체의 흐름에 따라 모델링하는 방법으로 개체의 특성이 속성에 저장되며, 등록되어 있는 라이브러리를 사용한다. 반면에, 객체지향적 접근방법은 각 객체의 상호작용과 메시지에 따라 모델링 되며, 객체는 자신의 속성만을 보유한다. 절차적 접근방법은 대기행렬네트워크(Queuing Network) 형태의 모델링에 적합하며, 각각의 프로세스 수행을 과정묘사 방식으로 진행한다. 그러나, 터미널 운영은 장비 및 설비들간의 상호작용이 복잡하여 절차적 접근방법으로 모델링 하는 데에는 한계가 있다. 이러한 이유로, 터미널의 운영에서 Vessel, GC, AGV, TC 등의 장비간 상호작용을 잘 묘사할 수 있는 객체지향적인 방법이 요구된다.[양창호(2002)등]

객체지향적 접근방법(OOA - Object Oriented Approach)는 매우 강력한 방법론으로 기존의 절차적 접근에서는 불가능했던 매우 직관적이고 자연스러운 구조를 구현할 수 있다. 다시 말해, 모든 작업을 작은 단위로 쪼개어 그 각각의 단위들이 명백하게 특화된 작업을 수행할 수 있도록 디자인한다는 것을 말한다. 특히, 컨테이너 터미널과

같은 다단계 또는 계층구조적으로 모델링해야 하는 경우 프로그램들을 여러 개의 객체단위로 분할하고 각 개체가 수행하는 행위와 상태변화는 객체 내부에 정의되는 메소드(Method)로 모델링하고, 객체간의 상호작용은 메시지 교환에 의해서 이루어지도록 객체지향 모델링 방법을 따르는 것이 타당한 것으로 간주되고 있다.

객체지향적 방법을 적용하기 위해서는 객체와(Object) 클래스(Class)를 정의해야 한다. 여기서 객체(Object)란 확인할 수 있는 어떤 단일의 물체를 말하며, 클래스(Class)란 객체가 무엇인지에 관한 일반적인 정의를 말한다. 예를 들어 AGV, 외부 트럭, GC, ATC등을 객체로 볼 수 있고, 이송장비는 AGV, 외부 트럭 등에 대한 객체들의 클래스이다. 또한, 메소드(Method)라는 개념은 각 객체들이 어떻게 동작하느냐를 말하며, 각 객체가 가지고 있는 데이터 표현은 필드(field)로 나타낼 수 있다. 예를 들어, AGV가 이동(moving)하는 것이나 기다리는(waiting) 것은 메소드이며, AGV의 각 위치(position)와 목적지등은 필드(field)라 할 수 있다.

본 연구는 위에서 언급 하였듯이 시뮬레이션에 필요한 기초 정보(선박 도착시간 간격, 선박 서비스 시간, 컨테이너의 하역수량, 시간에 따른 외부 트럭의 Gate 통과 간격등)를 확률변수를 가지는 여러가지 확률분포로 나타낼 수 있도록 설계하였고, 기타 터미널 운영에 관하여(AGV의 작업, GC 작업, ATC 작업등) 객체지향적인 접근 방법으로 각 객체간의 상태변화에 따른 사건발생을 기본으로 하는 이산사건 시뮬레이션으로 디자인하였다.

## 2.2 이산사건 시뮬레이션(Discrete-Event Simulation) 구성

본 장에서는 이산사건 시뮬레이션의 일반적인 구성요소와 특징을 알아보려고 한다.

### 2.2.1 시간 진행 방법(Time-Advance Mechanisms)

이산사건 시뮬레이션 모델의 동적인 성질 때문에, 시뮬레이션을 진행함에 따라 시뮬레이션된 시간(simulated time)의 현재값을 유지할 필요가 있으며, 시간을 진행(advance)시키기 위한 메커니즘이 필요하다. 이때, 시간의 현재값을 가지는 시뮬레이션 모델의 변수를 시뮬레이션 시계(simulation clock)라 한다. 시뮬레이션 시간과 컴퓨터상으로 시뮬레이션을 수행하는 데 걸리는 시간 사이에는 아무런 관계도 존재하지 않는다.

시뮬레이션 시계를 진행시키기 위한 방식으로 2가지가 제안되고 있는데, 첫째, 다음사건 시간 진행법(next-event time advance)와 고정증가 시간 진행법(fixed-increment time advance)이다. 첫번째 방식은 대다수의 시뮬레이션 언어와 범용언어로 모델을 작성하는 사람들이 주로 사용하며, 본 연구에서는 기본적으로 다음사건 시간 진행법으로 시뮬레이션을 수행하며, 고정증가 시간 진행법은 Visual Manger를 수행했을 때 일정한 Time 변수에 따라 작동하게 된다. 고정증가 시간 진행법은 다음사건 시간 진행 방식의 특수한 부류에 속한다.

다음사건 시간 진행 방식에서 시뮬레이션 시계는 0으로 초기화되고 다음 사건들의 발생 시각이 결정된다. 이 때의 시계는 이 사건들 중 최초로 사건이 발생한 시각으로 맞추어 진다. 이때, 하나의 사건이 발생 하였으므로 시스템에서 하나나 그 이상의 객체 상태가 변경되며 다음에 발생할 사건들에 대한 시각이 또한 변경된다. 시계는 다시 이 사건들 중 최초의 발생 시각으로 맞춰지며 시스템의 상태가 변경되고 다음에 발생한 사건들에 대한 시간이 변경된다. 시계를 진행시키는 과정은 예정된 중단 조건이 만족될 때까지 계속된다. 이산사건 시뮬레이션 모델에 대한

모든 상태는 사건의 발생 시각에 따라 변화하며 시스템의 비활동 기간(inactivity period)은 사건시각에서 다음의 사건시각으로 시간을 증가시킴으로써 생략된다. 고정증가 시간 진행 방식은 고정된 시간만큼씩 시계를 진행시키므로 비활동 기간의 생략이 불가능하며 상당한 양의 컴퓨터 시간을 소모하게 된다.

시뮬레이션은 발생 시간(time of occurrence)의 오름차순으로 사건들을 수행시킴으로써 시간과 관련하여 진행된다. 사건 루틴의 기본적 특징은 시뮬레이션 시간이 이 과정 동안 경과되지 않는 점이다. GASP 4는 사건계획방식을 사용하며, SLAM이나 SIMSCRIPT II.5도 이 방식중 하나이다.

본 연구에서는 시뮬레이션 디자인 마법사에서 얻은 Input Parameter 데이터를 기초로 스케줄을 만들고, Event List에 등록된 후 시간순으로 사건을 수행하며, 이때, 객체 상호 작용방식(Object-interaction approach)으로 AGV와 ATC, GC등 터미널 장비들 간의 객체 상호간에 일어나는 사건들에 의해 시뮬레이션을 실행한다. 또한, Visual Manager를 통해 일정한 시간에 시뮬레이션을 정지시키고, Data의 변경을 통해 어떠한 상황을 대입시킬 수 있으며, 이때는 적용 시점부터 Rescheduling을 시작하여 시뮬레이션을 수행해 나간다.

### 2.2.2 주요 구성요소와 구조

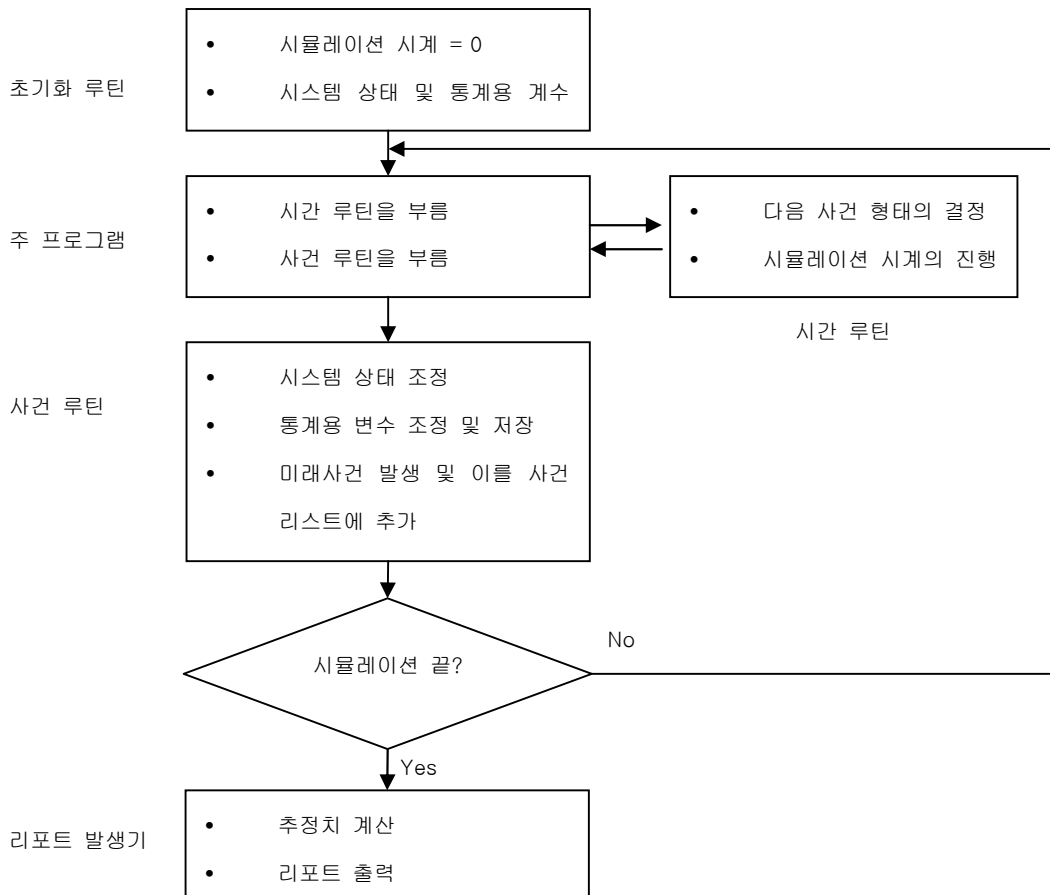
이산사건 시뮬레이션 모델들은 많은 공통적인 구성요소들을 공유하며 프로그램을 코딩하고 오류수정을 하며 변형시키는 하나의 논리적 구조가 존재한다. 특히 다음의 구성요소들은 다음사건 시간 진행 방식을 사용하는 이산사건 시뮬레이션 모델에서 발견된다.

- 1 시스템 상태(System State) : 특정시각에 있어서의 시스템을 기술하기 위해 필요한 상태 변수(state variable)들의 모임. 중단 조건의 객체 상태를 사건 발생 마다 Update 하고 Check하여 시스템의 중단 여부를 결정 짓는다.



- 1 시물레이션 시계(Simulation Clock) : 시물레이션 시각에 대한 값을 제공하는 변수.
- 1 사건 리스트(Event List) : 각 형태의 사건이 발생하는 시각을 포함하는 리스트.
- 1 통계용 변수(Statistical Variable) : 시스템 수행(system performance)에 관한 통계정보를 저장하기 위한 변수
- 1 초기화 루틴(Initialized Routine) : 시간 0에서 시물레이션 모델을 초기화 시키는 서브루틴(subroutine)
- 1 시간 루틴(Timing Routine) : 사건 리스트로부터 다음에 발생할 사건을 결정하고 시물레이션 시계를 진행시키는 서브루틴
- 1 사건 루틴(Event Routine) : 특정한 형태의 사건이 발생할 때 시스템 상태를 새롭게(update)하는 서브루틴
- 1 리포트 발생기(Report Generator) : 통계용 변수로부터 시스템 수행의 측정값에 대한 추정량을 계산, 시물레이션이 끝날 때 결과를 인쇄하는 서브루틴
- 1 주프로그램(Main Program) : 다음에 발생할 사건을 결정하기 위하여 시간 루틴(timing routine)을 호출하고 시스템 상태의 변경을 위하여 해당루틴으로 제어를 옮기는 프로그램

위의 구성요소들 간의 논리적 관계는 다음과 같은 흐름을 보인다.



<그림 2 - 1> 다음사건 시간 증가 방식에서의 흐름

본 연구는 시간증가 방식에 따라 시뮬레이션을 수행할 수 있는 툴을 개발하며, 나아가 사건 루틴에서 일어나는 여러가지 시스템의 상태 변화를 OOP의 개념을 도입하여 처리하고, 시뮬레이션의 중단은 시스템 내의 각 객체의 상태를 Check 하여 결정한다. 또한 각 사건 루틴은 여러 가지 객체에 영향을 미치며, 입력 받은 Input Parameter를 기본으로 여러가지 규칙 및 알고리즘은 상황에 따라 여러 가지 성능을 보일 수 있다.

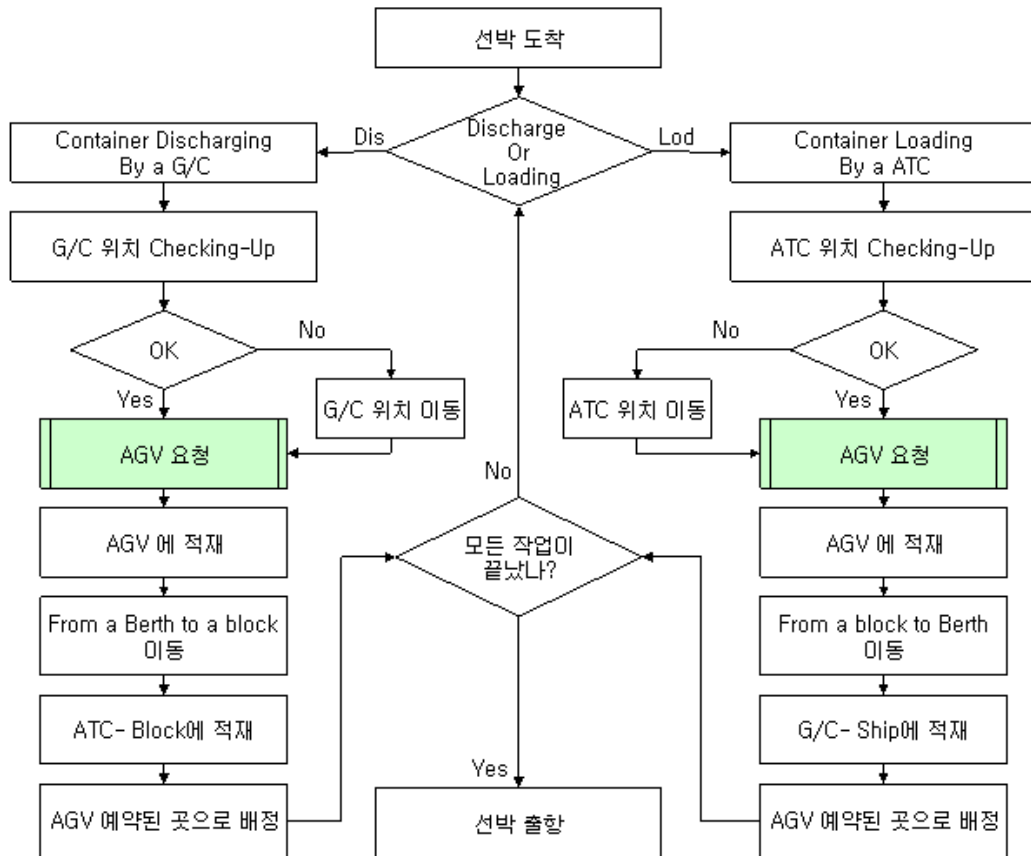
## 2.3 자동화 컨테이너 터미널 운영 분석

자동화 컨테이너 터미널은 일반 컨테이너 터미널과 기본 구조면에서는 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 포크리프트등의 유인장비에 의존해 왔으나 자동화 컨테이너 터미널은 무인반송차(AGV)에 의해 이루어지며, 이로 인해 AGV와 하역장비들과의 정보교환이 대단히 중요하다. 본 연구에서 AGV의 이동 및 작업은 GC작업 기준에 의해 결정되며, 연관되는 작업은 GC의 이송위치에서 대기하는 AGV에 의해서(시간을 중심) 결정된다. 또한 ATC의 작업은 AGV의 도착예정정보를 기준으로 하는 AGV시스템에 의해 결정된다.

자동화 터미널 업무를 살펴보면, 터미널에 선석 Scheduling에 따라 선박이 도착하면 계획된 GC Scheduling에 의해 Discharging/Loading 작업이 시작된다. 여기서 선박 도착전의 계획으로 선박의 선석 배정 계획이 가장 먼저 일어나며, 그에 따른 GC의 대략적 할당도 이때 일어난다. 또한, 본선 계획과 장치장 계획이 순서에 따라 계획된다. 본선 계획은 선박에 배정된 GC의 세부적인 작업 순서를 결정하는 것이며, 장치장계획은 야드 Block내에 컨테이너 양/적하를 계획하는 것이며, 이들 계획이 준비되면 기본적인 Scheduling을 마치게 된다. 이러한 Scheduling이 준비되었고, 선박이 도착하여 GC가 작업을 시작하면 양하나 적하를 위해 AGV가 요청되고, AGV가 요청되었을 때 각 AGV의 상태를 Check한 후 Idle 상태를 우선으로 보내며, 다음으로 작업중인 AGV에 대해서는 최단 시간에 도착할 수 있는 AGV에 대해 이동을 요청한다. 이때, 최적 경로 및 Traffic 문제에 대한 해법이 필요하다. 도착된 AGV에 컨테이너를 적재 및 Pick up하고 다음 위치로 이동을 명령 한다. 선박에 양하/적하될 컨테이너가 모두 끝나면 선박은 출항하게 되며,

GC는 다음 작업을 위해 대기 한다.

그림 2-2는 자동화 터미널의 컨테이너 이동에 따른 업무흐름이며, 본 연구에서 주 프로그램 및 사건/시간 루틴을 이루는 부분을 다이어그램으로 나타낸 것이다.



<그림 2 - 2> 자동화 터미널 업무 흐름

위와 같이 자동화 터미널에서 장비의 효율적인 운영을 지원하기 위한 목적으로 GC, AGV, ATC의 연관관계가 대단히 중요하다. 즉, 육측 작업인 GC - AGV와의 작업과, AGV - ATC와의 작업은 GC작업의 지연이 없을 때 가장 빠르므로, 알맞은 장비의 선택 및 그에 따른 유연한 운영이 필요하다 할 수 있다.

시뮬레이션 담당자는 선택한 각 장비의 활용도에 따른 알고리즘을 적절히 조화시켜 다음과 같은 장비의 효율화 목적을 달성하고자 할 것이다.

**<표 2 - 1> 시스템 담당자의 장비 운용에 따른 효율화 달성**

|     |  |
|-----|--|
| GC  | 생산성 목표를 달성하기 위한 GC의 대기시간 최소화<br>장치장 상태에 따른 작업순번과 양하/적하의 조화<br>변경된 조건에 대한 작업의 유연성   |
| AGV | GC 작업 요구의 만족<br>ATC와 조화된 작업<br>AGV 대기시간 최소<br>공차주행과 주행거리 최소화                       |
| ATC | 육측(Gate 반·출입)/해측(양·적하) 작업요구와 시간제약을 만족<br>ATC 대기시간 최소화<br>스프레더의 빈 상태로 이동 및 작업거리 최소화 |

## 제 3 장 시물레이션 시스템 설계

시물레이션 시스템에 관한 진행 방향과 자동화 터미널 업무를 이전 장에서 살펴보았다. 본 장에서는 이산사건 시물레이션을 기초로 하여 자동화 터미널 전반에 관한 업무를 사용자의 입력 값과, 선택된 운영 및 규칙을 적용하여 통합적인 시물레이션 수행을 위한 자동화 시물레이션 시스템의 설계에 대해 알아보도록 한다.

### 3.1 시스템의 범위

본 시스템의 연구 범위는 첫째, 터미널의 장비 및 설비의 Layout 디자인과 둘째, 자동화 터미널의 가장 중요한 특징이라 할 수 있는 AGV 시스템 및 GC, ATC와 같은 터미널 장비와의 연계 시스템을 구현하고, 셋째, 사용자가 선택한 각종 운영 룰에 따라 다른 결과를 볼 수 있도록 하며 넷째, 시물레이션 결과를 모니터링 하면서 수정할 사항을 직접 입력하여 변화를 알아볼 수 있도록 하였다. 결과물로는 시물레이션 시나리오에 따른 Visual Manager와 Analysis Manager 에서 확인할 수 있으며, Visual Manager는 2D Animation을 보여주기 위해 고정시간 증가방식을 선택하며, Analysis Manager에서는 각종 그래프와 표모양의 결과를 보여준다.

본 연구의 전체 시물레이션 구현은 대단히 많은 시간을 요하며, 다음의 몇 가지 사항을 가정하여 두고, 추후 개발에서 그러한 가정을 세부적으로 구현하기로 한다. 첫째, Gate를 통과하는 컨테이너 화물 차량에 대한 대기시간이나 기타 Gate 처리에 관한 사항은 제외하며, 본 시스템에서는 선박의 도착시간전에 선박의 양적하 컨테이너가 이미 장치 되었다는 가정아래 수입 컨테이너에 대한 무료장치장 일수만을 둔다. 둘째, 사용자가 직접 Yard 장치장을 디자인 하므로, 그에 대한 처리량의 계산이나 Block Bay 수는 이미 분석 되어 있다고 가정한다. 이때 발생할 수 있는 장치장의 Block 부족에 관한 문제는, 수입 컨테이너에 대해 ODCY나

입력된 장치일수가 되면 장치장내에서 수입 컨테이너를 제거한다. 셋째, 선박의 자세한 구조 정보(Bay, Row, Tier)에 따른 선박의 컨테이너 위치 정보는 생략하고, 선박에 배정된 컨테이너가 각 Hatch에 균일하게 분포 되었다고 가정 한다.

### 3.2 시스템 주요 구성 요소

본 연구에서 구현하게 될 주요 구성 요소는 크게 3가지로 나눌 수 있다. 첫째, Input Parameter/Emergency Manager 등을 사용자가 시뮬레이션에 필요한 다양한 정보를 입력하는 자동화 터미널 시뮬레이션 디자인 마법사와, 둘째, Scheduling/Event Manager/Object Manager 등과 같은 내부 Operation Module, 마지막으로 Visual Manager/Analysis Manager등의 분석 및 모니터링 시스템이 있다.

자동화 터미널 시뮬레이션 디자인 마법사에서 입력 받을 수 있는 Input Parameter는 시뮬레이션 수행 기간, 선석 개수, 선박 개수, GC 효율 및 타입, ATC 효율 및 타입, AGV 효율 및 타입, Yard 블록 크기, 터미널 레인 설정, GC 개수, ATC 개수, AGV 개수 등의 터미널 제반사항에 대한 기본정보와 선박도착시간 분포, 선박당 컨테이너 개수 분포, 컨테이너 장치 일수 분포등의 확률변수의 지정과 마지막으로 Scheduling에서 선박의 도착 순서에 따른 Berthing Scheduling에 대한 규칙 및 알고리즘, GC Assignment 에 대한 규칙 및 알고리즘, Yard 블록에서 컨테이너 Grouping과 Scheduling에 대한 규칙 및 알고리즘, AGV 최적 경로 방법등을 설정한다. Parameter 정보들을 모두 입력하게 되면 1차적인 Scheduling을 만들게 된다. Input Parameter는 기본적으로 자동화 터미널 시뮬레이션 디자인 마법사에서 입력 받게 되며, 각각의 Window를 선택 할 수도 있다.

Emergency Manager 는 AGV, GC, ATC등의 연간 고장 및 교체 확률을 정하고, 장비 고장과 교체에 따른 최대/최소 기간 설정을 하여 Uncontrollable Input

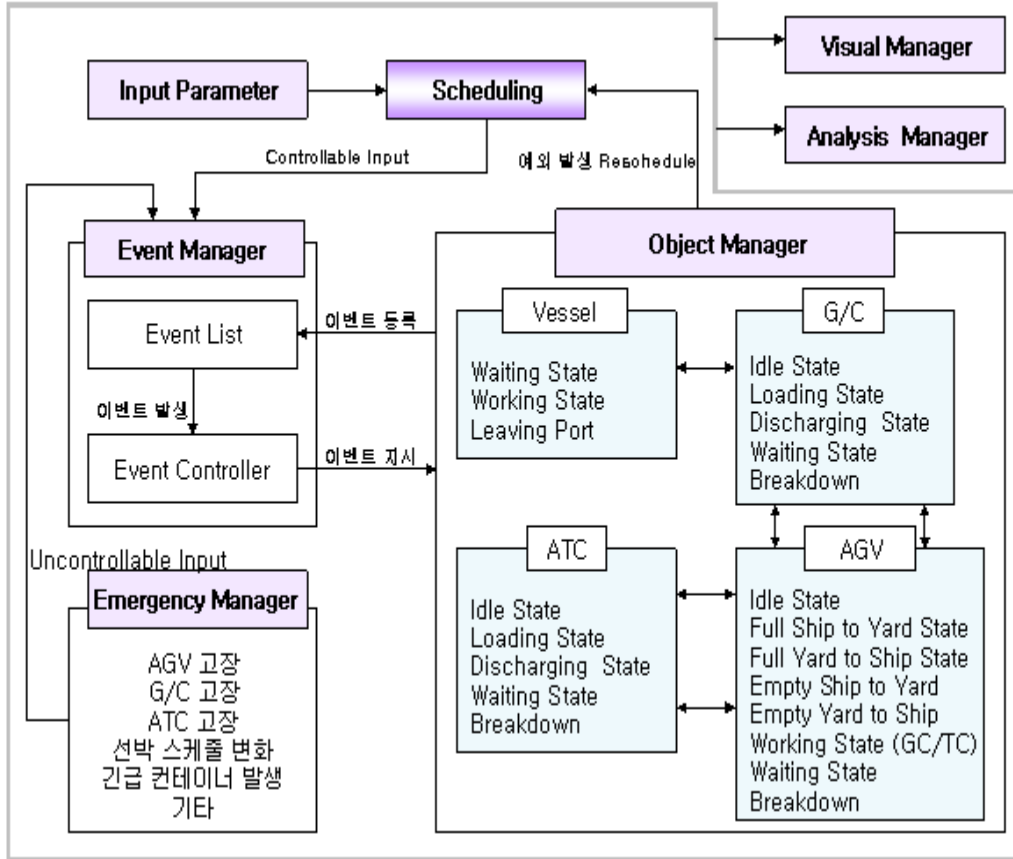
Information을 통해 실제 컨테이너에서 벌어질 수 있는 다양한 상황을 적용하도록 한다. 이때, 사용자의 의도에 따라 1차적인 Scheduling에 Uncontrollable Input Information의 2차적인 요소를 더하여 Scheduling을 만들게 된다. 추후에 Gate 알고리즘을 넣은 후 긴급 컨테이너 발생부분과 선박 스케줄링의 변화에 따른 대기 시간 발생 및 선박 취소와 같은 정보도 추가 할 것이다.

내부 Operation Module은 시뮬레이션을 수행하였을 때 작동하는 모듈로 Event Manager 에서는 Scheduling에서 만들어진 각 사건들을 오름차순으로 정렬하여 Event List를 만들고 이를 Event Controller를 통해 Object Manager에 메시지로 전달하게 된다. Object Manager에서는 Event Manager에서 전달된 메시지를 수행하고 이때 발생한 시간 및 상황 정보를 변수로 저장하고 통계 정보를 모으며, 이를 통해 Visual Manager 및 Analysis Manager에서 다시 구현 및 분석할 수 있도록 한다. 또한 예외 상황이 발생했을 경우 Scheduling 모듈에서 부분 및 전체의 Rescheduling 을 통해 상황을 진행해 나아간다. 즉, 시뮬레이션 실행을 이끌어 가는 Main 프로그램이 Object Manager에 해당한다.

분석 및 모니터링 부분을 차지하는 Visual Manager 및 Analysis Manager 에서는 Object Manager에서 저장된 변수를 이용하여 사용자에서 시현을 해봄으로써 어디서 문제가 발생했는지에 대한 분석과 검토를 할 수 있도록 하였다. 이때, Visual Manager는 사용자가 입력한 시간 간격을 기준으로 시뮬레이션의 진행 상황을 모니터링 할 수 있으며, Analysis Manager에서는 각종 Text 및 Graphic으로 시뮬레이션을 분석한다.

다음은 전체적인 시뮬레이션 틀의 구조를 나타내는 Flow-chart 이다.





<그림 3 - 1> 시뮬레이션 구조

### 3.3 난수 자동 발생모듈 및 데이터 발생모듈

자동화 터미널 시뮬레이션에 필요한 기초정보 중 데이터의 확률변수(선박 도착 간격, 각 선박의 컨테이너수 등)가 필요하다. 입력 데이터가 확률변수인 시스템의 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 이러한 입력들의 확률 분포를 결정해야 한다. 예를 들어, 선박의 도착 시간(arrival time)의 확률 분포를 위해 평균치가 10시간인 지수 분포를 택하는 경우와 Gate에서 시간대별 Gate 통과 확률을 1/24, 3/24, 4/24

...등으로 결정하는 경우를 들 수 있다.

시뮬레이션 담당자들이 어떻게 입력 확률 분포를 결정해야 하는지는 첫째, 기존 논문(20등)에서 이론적 확률분포(theoretical distribution)가 적합한가를 선정한 후 선정된 분포의 모수(parameter)들을 결정하여, 그 확률분포로부터 시뮬레이션 수행 동안 필요한 확률변수에 대한 데이터를 발생시키는 방법과, 둘째, 주어진 데이터를 이용하여 이론적인 분포의 형태를 구하지 않고 그 데이터의 경험적 분포(empirical distribution)를 이용하여 직접적으로 필요한 표본을 발생시키는 방법 등이 있다. 이에 대한 자세한 사항은 본 논점외의 사항이며, 이미 시뮬레이션 담당자들이 터미널에 대한 기본적인 정보(어떤 종류의 확률 분포를 따를 것인지)를 가진 상태에서 시뮬레이션을 수행 한다는 가정하에, 여러가지 확률 분포를 가지고 난수를 발생시키는 난수 자동 발생모듈과 발생된 난수를 이용하여 적당한 데이터를 얻을 수 있는 데이터 발생모듈을 자동화 터미널 시뮬레이션 디자인 마법사에 적용하기로 한다.

### 3.4 클래스 및 객체 정의

시뮬레이션에 수행시 필요한 주 프로그램 및 사건/시간 루틴에서는 Event List에서 발생한 사건을 중심으로, 각 객체의 상호 연관으로 인한 상태의 변화로 시뮬레이션을 진행해 간다. 본 장에서는 그러한 객체를 이루는 클래스와 객체에 대해 알아보자.

클래스의 필드와 메소드는 앞에서 잠깐 논의한바 있다. 일반적으로 상위 클래스에서 정의된 필드와 메소드를 하위 클래스에서 상속, 재정의, 추가등을 할 수 있으며 이러한 성질 때문에 객체지향적인 프로그래밍 방법의 재사용성은 높아진다. 또한 클래스를 다시 정의 하면 각 객체들의 공통된 데이터 타입과 연산들을 하나의 집합으로 묶어서 하나의 타입(type)으로 추상화 될 수 있다. 보통의 경우 타입은

클래스를 통해서 구현되고, 이러한 클래스의 타입을 하위 클래스에서 상속받아 그 성질을 사용하며, 상속받은 메소드 중 하위 클래스에서 다형성이나 Overriding 등의 성질을 이용해 재구성한다. 본 연구에서는 프로그래밍 언어로 Visual Basic을 이용하기 때문에 대략적인 클래스의 성질을 사용하며, 추후에 연구될 시뮬레이션 프로그램에는 C#이나 Java와 같은 객체지향 언어를 이용함으로써, 좀 더 세부적으로 클래스에 대하여 다룰 것이다.

본 연구에서는 크게 Class\_Crane, Class\_Vessel, Class\_Transporter 등의 장비(하역 및 선박)에 관한 클래스와 Class\_Facility 등의 설비에 관한 클래스와 Class\_Event, Class\_Emergency 와 같은 사건 관련 클래스로 나뉜다. 장비 관련 클래스에서는 기본적으로 장비의 명칭(Name)과 상태(State) 등이 필드로 있으며, Change\_State() 과 같은 상태의 변화를 나타내는 메서드가 있다. 또한, 각 장비의 움직임이나 특성을 나타내는 필드와 메서드가 포함된다. 설비 관련 클래스에서는 설비의 명칭(Name), 설비에 배정된 다른 설비의 배열(Assigned\_Facility())와 설비 구조정보등의 필드와 설비에 장치된 장비의 작업순서 (Assigned\_Crane\_Sequence()) 등의 메서드가 포함된다. 사건 관련 클래스에서는 사건 명칭과 사건종류등의 필드와 Event에 등록하는 메서드가 포함된다. 기타로는 각 클래스 고유의 메서드 및 필드가 포함된다.

다음은 본 연구에서 정의한 각 클래스(Class) 및 객체(Object)를 나타낸다.

**<표 3 - 1> 터미널 시뮬레이션 클래스 및 객체**

| Class              | Field                            | Method          | Object |
|--------------------|----------------------------------|-----------------|--------|
| <b>Class_Crane</b> | Name, Type, State,               | Change_State(), | GC     |
|                    | Current_Woking_Time,             | Move(),         | ATC    |
|                    | Next_Woking_Time,                | Work(),         |        |
|                    | Current_location, Next_location, | Request_AGV()   |        |

|                          |   |  |                 |
|--------------------------|---|--|-----------------|
|                          | Number_Of_Sequence,<br>Sequence()   |  |                 |
| <b>Class_Vessel</b>      | Name, State, Number_Of_GC's,<br>GCs(), ETA, ETD, Berth_Index,<br>Dischaging_Van, Loading_Van,                                 | Change_State(),  | Vessel          |
| <b>Class_Transporter</b> | Name, State, Current_location,<br>Current_Time,<br>Number_Of_PathGrid,<br>PathGrid(),<br>PathTime()                           | Change_State(),<br>Move(),<br>Wait(),<br>Request_Path(), | AGV             |
| <b>Class_Facility</b>    | Name,<br>Number_Of_Assinged_Facility,<br>Assinged_Facility(),<br>Cell_Information(Bay, Row,<br>Tier), - <a href="#">Block</a> | Assinged_Crane<br>_Sequence()                            | Berth,<br>Block |
| <b>Class_Event</b>       | Object_ID, Object_Name,<br>Event_ID, Evenet_Time,<br>Event_Description  | Create_Event_List()<br>Order_Event()<br>Rescheduling()   | Event           |
| <b>Class_Emergency</b>   | Emer_ID, Emer_Name,<br>Emer_Description,<br>Emer_probability  | Create_Emergency()<br>Regist_Event()                     | Emergency       |

### 3.5 알고리즘 및 규칙

본 장에서는 본 연구에서 다루는 알고리즘 중 Scheduling 부분과 사건 루틴에서 쓰이는 몇 가지 알고리즘 및 규칙에 대해 알아 보고자 한다.

Scheduling 부분에서는 Input Parameter에서 주어진 선박의 도착 순서를 기본으로, 몇 가지 간단한 선석 배정 규칙과 간단한 휴리스틱 방법을 제시한다. 그 후 선박에 대한 GC 배정 규칙을 이용하여 각 선박에 GC를 할당한다. 또한 Yard 내에 배정될 컨테이너에 대하여 실무에서 쓰이는 Yard 규칙 및 기존 논문에서 제시된 알고리즘을 선택적으로 적용 할 수 있도록 한다.

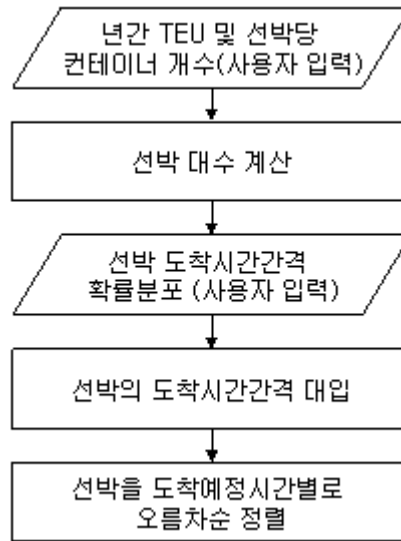
사건루틴에서는 Scheduling 부분에서 만들어진 Event List를 기본으로 사건이 일어나며, 이때 AGV의 이동은 스케줄링이 아닌 실시간 배정을 원칙으로 AGV의 상태를 알아보고 최적 경로를 구한 뒤, AGV에 작업을 할당한다.

#### 3.5.1 Berthing Scheduling

본 연구에서 구현하게 될 시뮬레이션 시스템에서 사용자가 선택할 수 있는 선석 스케줄링 방법은 선박의 도착 예정시간을 최우선하는 도착시간우선규칙, 주어진 물량우선규칙 적용기간 안에서 물량을 기준으로 선박을 정렬하는 물량우선규칙, 기간이 주어지고 그 기간안에서 선박들의 작업시간을 최소로 하는 기간별작업시간우선규칙 등이 있다. 위에서 제시한 방법보다 좀 더 나은 알고리즘 및 규칙은 추후에 추가하도록 한다.

### 1. 도착시간우선규칙

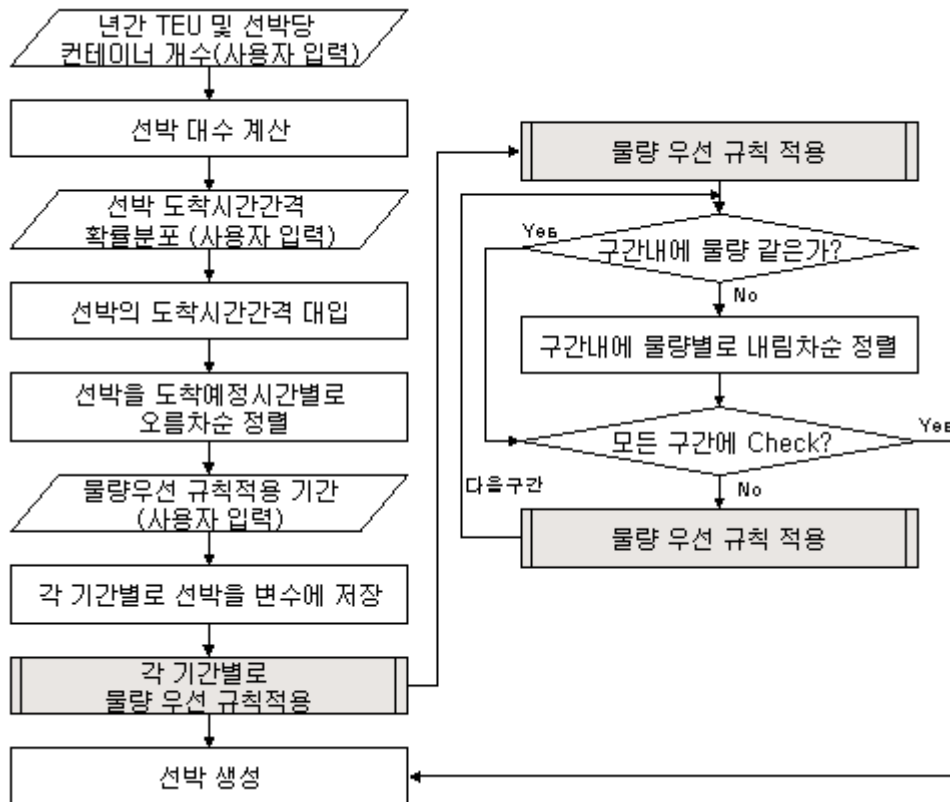
도착시간우선규칙은 Input Parameter에서 선택한 선박의 도착시간을 내림차순으로 정렬하고, 순서대로 Berth에 배정하는 방법이다. 다음은 도착시간우선규칙을 나타내는 Flow-Chart 이다.



<그림 3 - 2> Berthing Scheduling - 도착우선규칙

## 2. 물량우선규칙규칙

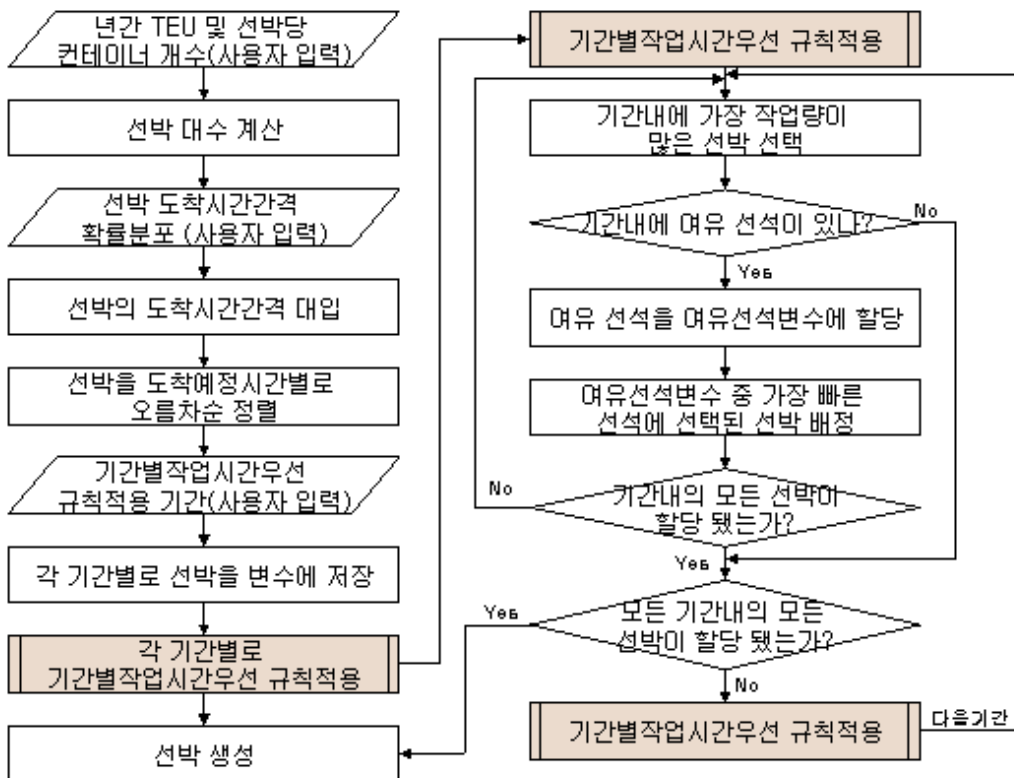
물량우선규칙규칙은 주어진 물량우선규칙 적용기간에 도착순서를 고려하여 내림차순으로 정렬하고, 물량우선규칙 적용기간에서 선박을 물량수로 재정렬한다. 다음은 물량우선규칙을 나타내는 Flow-Chart 이다.



<그림 3 - 3> Berthing Scheduling - 물량우선규칙

### 3. 기간별작업시간우선규칙

기간별작업시간우선규칙은 선박을 도착시간으로 정렬한 뒤, 주어진 대기시간 허용범위안에서 작업시간 순으로 선박을 재정렬하여 선석에 배정하는 방법이다. 다음은 기간별작업시간우선규칙을 나타내는 Flow-chart 이다.



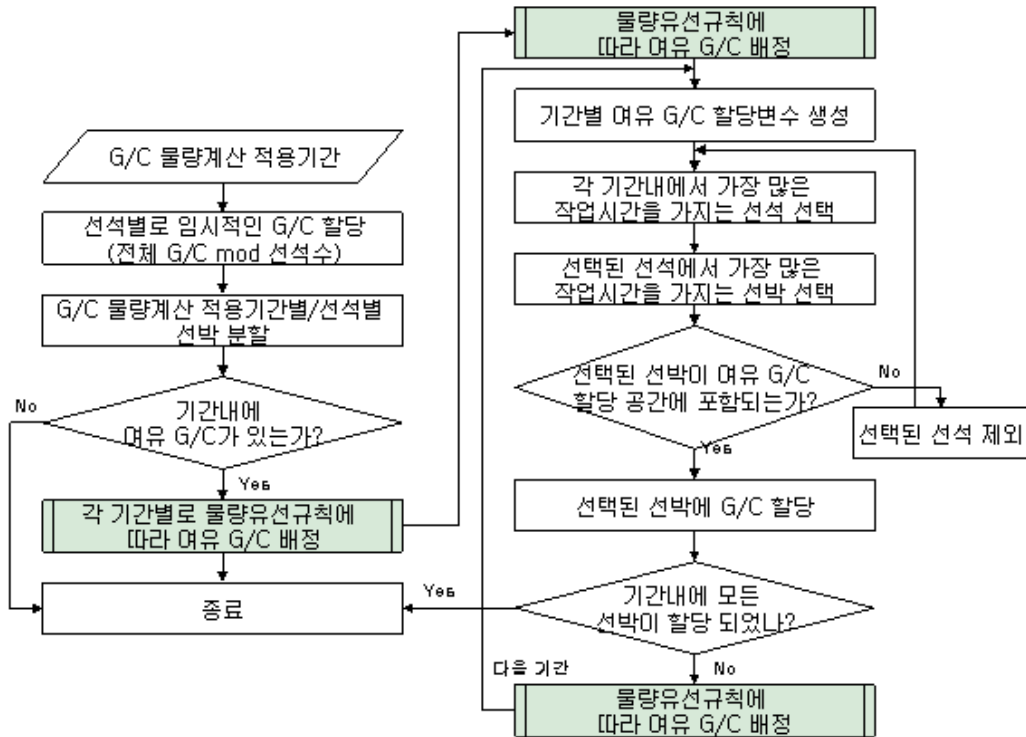
<그림 3 - 4> Berthing Scheduling - 기간별작업시간우선 규칙



### 3.5.2 GC Assignment

본 연구에서 구현하게 될 시물레이션 틀에서 사용자가 선택할 수 있는 GC Assignment 방법은 기간이 주어지고 그 기간 안에서 선박들의 작업 시간을 최소화 하는 물량우선규칙 등이 있다. 위에서 제시한 방법보다 좀 더 나은 알고리즘 및 규칙은 추후에 추가하도록 한다.

물량우선규칙은 GC 물량계산 적용 기간을 입력받은 후 선석별로 균일하게 GC를 배정하고, 여유 GC를 기간별로 각 선석의 선박 작업 총 시간을 구한 후, 가장 많은 시간이 걸리는 선석과 선박을 선택하고 GC를 배정하는 방법이다. 다음은 GC Assignment의 물량우선규칙을 나타내는 Flow-chart 이다



<그림 3 - 5> GC Assignment - 물량우선규칙

### 3.5.3 Yard Planning

본 연구에서 구현하게 될 시뮬레이션 틀에서 선택할 수 있는 Loading 컨테이너에 대한 Yard Planning은 다음의 세단계에 걸쳐 작업을 수행한다.

첫번째 단계는 장치장 컨테이너의 Grouping Factor(G/F) 우선순위를 결정하는 것으로 Loading 컨테이너 우선순위 대상은 POD, Shipping Line, 20ft Container First등이 있으며, 우선 순위가 0이면 해당 우선순위 대상은 제외된다. 우선순위가 결정되면, 우선순위에 따라 G/F를 만든다. 좀더 세분화된 G/F를 만들기 위해서는 Full/Empty속성과 Weight 속성, 기타 컨테이너 속성을 우선 순위에 두어야 하지만 본 연구에서는 위의 3가지 속성만을 G/F 요소로 두고 추후에 추가하기로 한다.

두번째 단계는 Priority가 결정된 G/F에 대하여 GC를 배정한다. 이때, First-Fit 규칙과 Best-Fit규칙을 선택할 수 있으며, G/F의 GC별 물량 한계치는 (G/F 물량)/(GC 할당 대수)로 한다.

마지막 단계는 우선순위가 높은 G/F의 물량을 대상으로 Block들의 Bay를 Search해 나가며 Bay와 Row를 할당해 나간다. 이때, Block별 Bay 우선순위(예를 들어 1번 선석에 할당된 Block이 3개이고 각 Block의 Bay시작이 1Block-1Bay, 2Block-1번 Bay, 3Block-2번Bay라 하면 우선 순위는 1-1, 2-1, 1-2, 2-2, 3-2번 Bay가 된다.)에 따라서 먼저 할당한다. 또한 동일 G/F의 한 GC의 물량이 두 개 이상의 Block에 나누어져 장치되지 않도록 하며, 동일한 Row에는 G/F의 혼재를 금지 한다. 또한 다른 모선의 컨테이너가 Stacking되어 있는 Row에는 계획하지 않는다.

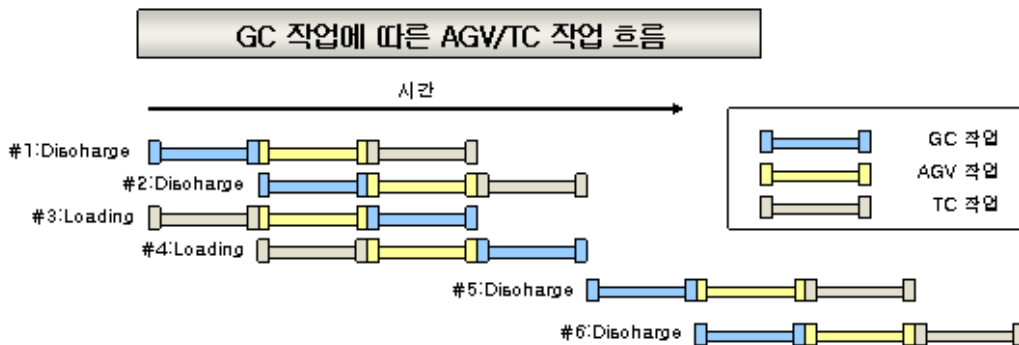
Discharge 컨테이너에 대한 Yard Planning은 수입 컨테이너 장치장 지역, 즉 자동화 터미널에서 선석 반대편에서부터 수입 컨테이너를 배정한다. 수입컨테이너는 불확실한 장치기간 때문에 Yard Stacking에 대한 기존연구가 부족하다. 만약 장치장의 공간이 부족하면, 수입컨테이너는 ODCY에서 처리 한다는 가정하에 수입컨테이너가 차지했던 Yard 공간을 비우도록 한다. Discharging 컨테이너에

대한 알고리즘 및 규칙은 추후에 추가하기로 한다.

### 3.5.4 GC 작업에 따른 AGV/TC 작업 흐름

Discharge/Loading 컨테이너에 대한 GC 배정 및 선박의 Hatch 배정을 하면, 각 GC에 따른 Scheduling이 생성된다. Event List에는 GC Scheduling, AGV Scheduling, ATC Scheduling이 시간순으로 정렬되어 지므로, 모든 Scheduling의 시작은 GC Scheduling에서 시작한다. 이때, GC 작업 중 Discharge 컨테이너에 대한 작업은 GC 작업이 먼저 일어나고, AGV와 ATC의 순서대로 작업이 진행된다. 이와는 반대로, Loading 컨테이너에 대한 작업은 GC 작업이 일어나는 시점에 맞추기 위해 AGV 작업과 ATC 작업을 거꾸로 계산한다. 이때, AGV 나 ATC의 작업에서 주어진 GC 작업시간에 도착하지 못했을 때, GC의 작업 대기 시간이 발생한다.

다음은 GC작업에 따른 AGV/ATC의 작업 흐름을 나타낸 것이다.

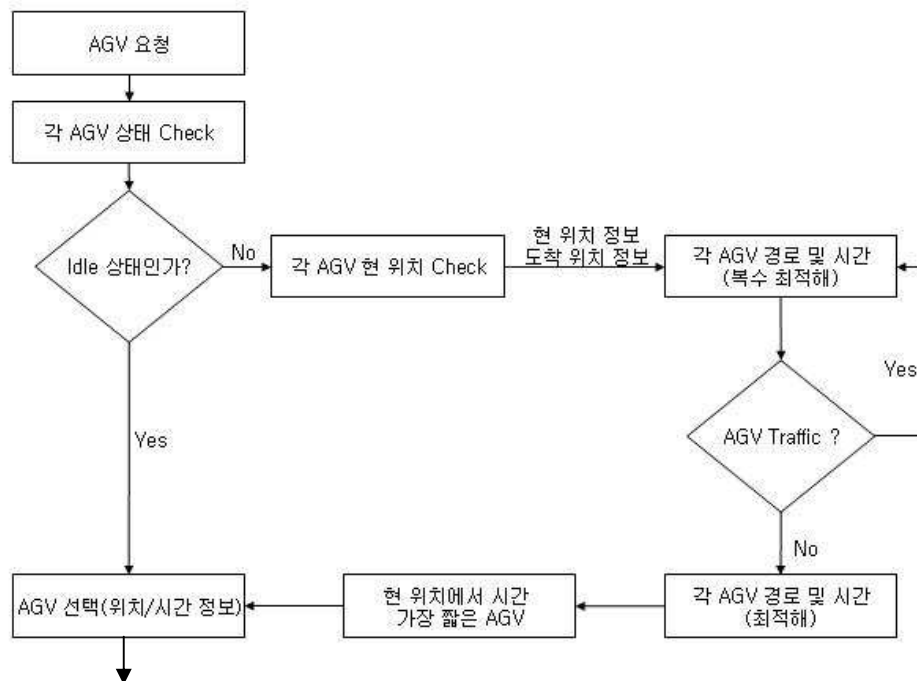


<그림 3 - 6> GC 작업에 따른 AGV/TC 작업 흐름

### 3.5.5 AGV 요청에 따른 작업할당 및 경로 선정

Event List에서 발생한 사건 중 Discharging/Loading 에 따라 터미널 업무는 시작 된다. 본 연구에서 터미널 업무의 시작은 모든 기초 Data가 입력된 후 각 장비에 대한 Schedule을 생성하고, Emergency Manager에서 생성된 사건과 통합하여 Event List에 등록한 후 List의 진행에 따라 양/적하 작업을 진행한다. AGV의 요청부분은 GC Job Schedule 작업 중 일어나며, 같은 시간대에 여러대의 AGV가 움직이므로, AGV 각 객체는 시간 및 경로 정보를 가지고 있다. 이러한 정보를 이용하여 같은 시간대에 같은 장소의 Schedule이 발생하는 것을 방지한다.

다음은 AGV 요청에 따른 작업 할당 문제의 프로세스를 나타낸 것이다.

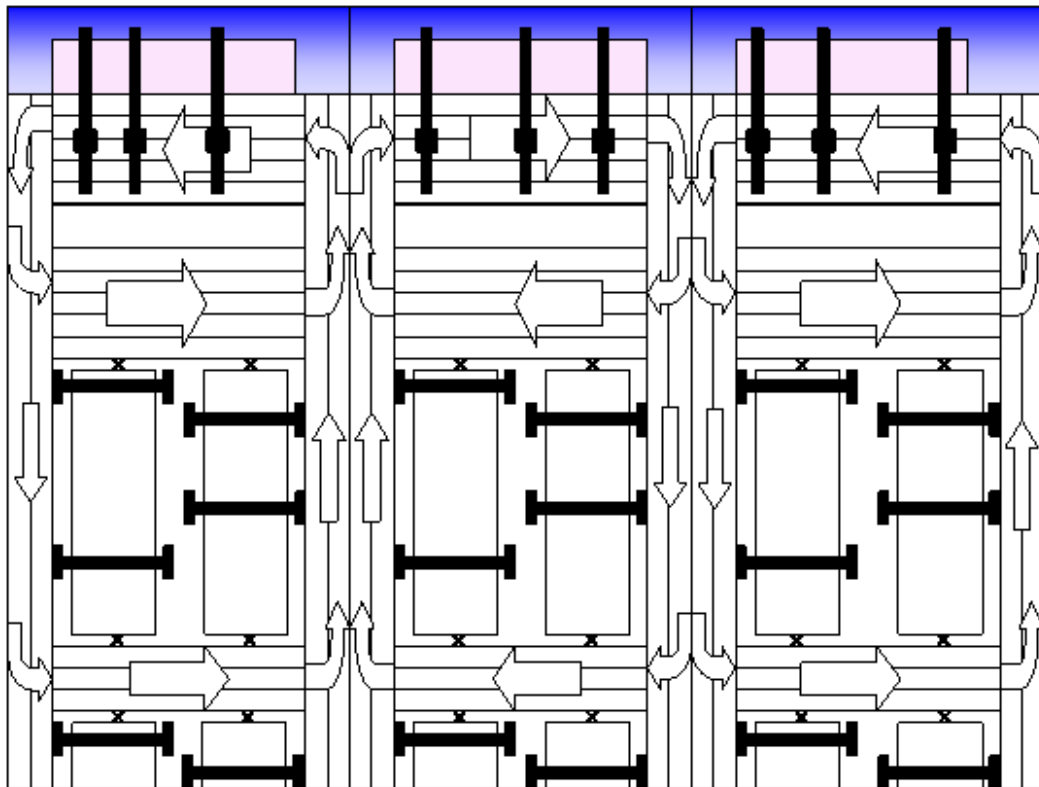


<그림 3 - 7> AGV 요청에 따른 작업할당

AGV 요청에 따른 작업에서 AGV의 경로는 복수 최적해가 나오며, Traffic이 일어나는 AGV에 대해 최적 경로를 바꾸고 만약 최적 경로에서도 역시 Traffic이 일어난다면, Traffic구간 전에서 대기 시간을 가지도록 한다. 모든 AGV가 Traffic이 없을 때까지 반복적으로 알고리즘을 돌리며, 이때 다음 작업까지 이동 시간이 가장 짧은 AGV를 선택하게 된다.

본 연구에서 AGV의 경로를 구하는 문제를 두 가지의 AGV 경로 방식에 따라 다르게 선정하였다.

첫째로, AGV의 경로 방식이 Closed Loop 인 경우를 들 수 있다. Closing Loop 방식은 각 선석별로 AGV 및 이용 가능한 Block을 지정하고 경로를 이동하는 조별 방식이다. 다음은 Closed Loop 방식의 Layout을 나타낸 것이다.

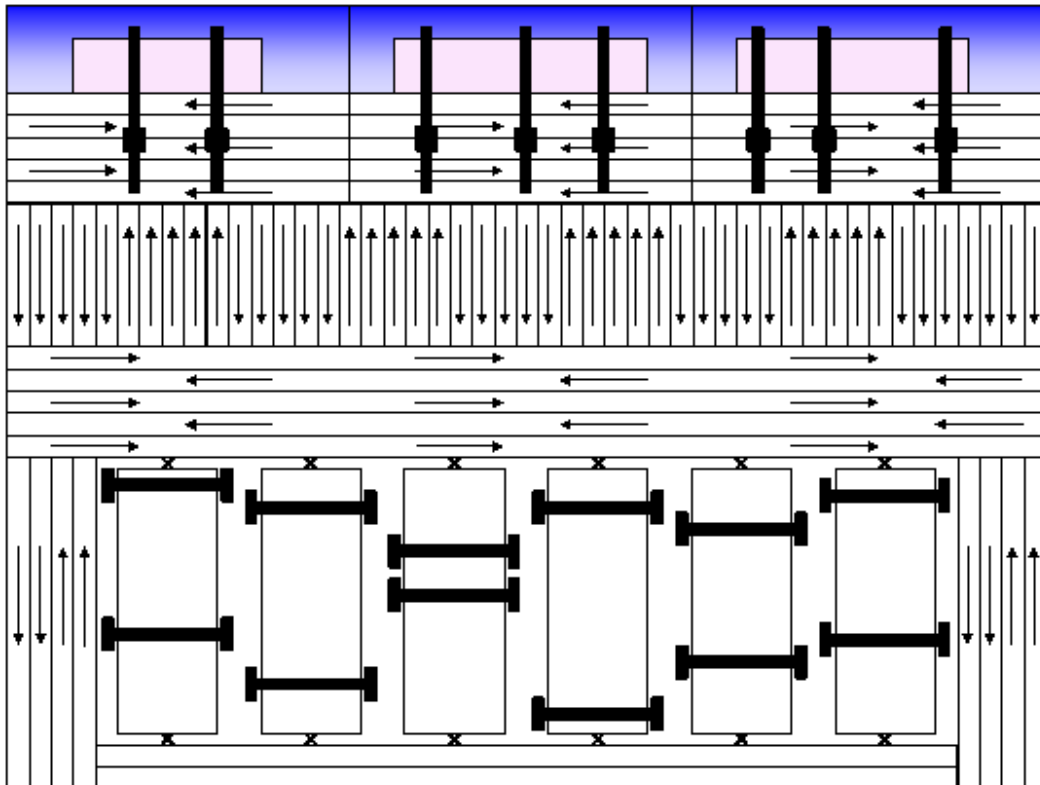


<그림 3 - 8> Closed Loop 방식의 Layout

두번째로, AGV의 경로 방식이 Pooling 방식인 경우이다. 각 AGV는 지정된

선석이나 Yard Block이 없으며 GC나 ATC의 작업에 할당될 AGV는 전체 AGV의 상태를 점검하여 선택되어 진다.

다음은 Pooling 방식의 Layout을 나타낸 것이다.



<그림 3 - 9> Pooling 방식의 Layout

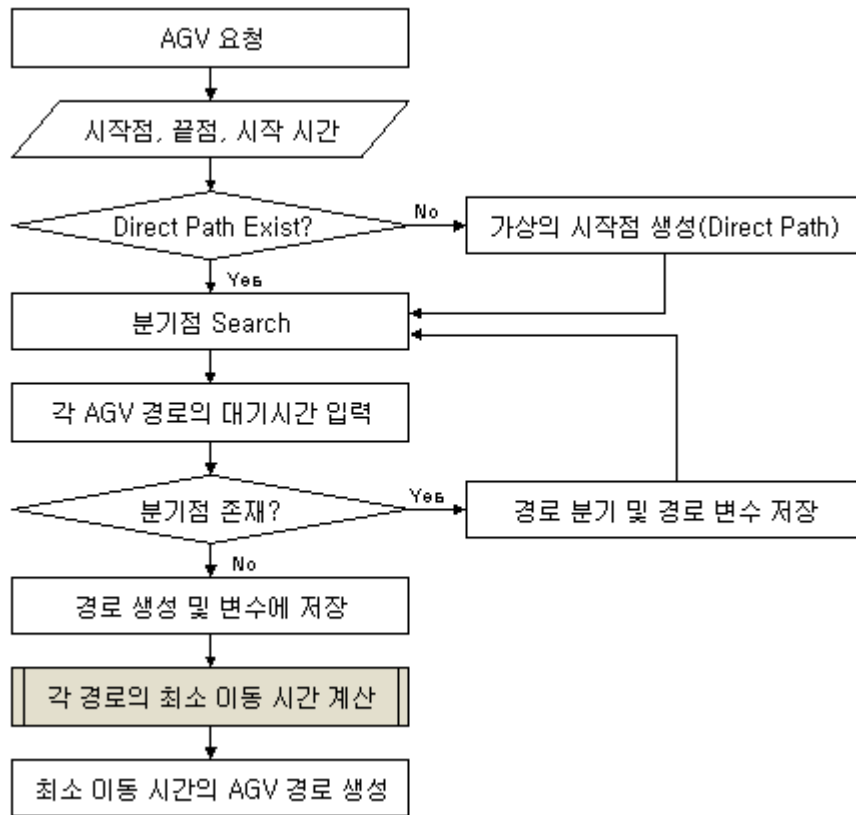
물론 위의 2가지 Layout의 디자인이 고정된 것은 아니지만, 각 Lane의 성질은 다르게 작용 한다. 즉, Closed Loop 방식은 좌우방향의 레인의 성질이 우선이며, 위 아래방향의 레인은 좌우방향의 레인 성질에 종속된다. 반대로, Pooling 방식은 좌우방향의 레인성질이 위아래 방향의 레인 성질에 종속된다. 이러한 이유는 AGV 경로 설정과 관계가 있다. 추후에 다른 방식의 규칙이나 알고리즘이 나오면 추가하도록 한다.

본 연구는 Grid 방식으로 터미널 장치장 Layout을 나타내기 때문에 세세한

표현이 가능하다. 다음에 설명되는 분기 Search 방식을 이용한 AGV 경로선택은 이러한 Grid 방식을 이용하였다. Layout 디자인에 관한 자세한 사항은 4장에서 살펴보도록 한다.

본 시뮬레이션에서 선택할 수 있는 AGV의 경로 방식은 분기 Search 방식으로 AGV요청에 따른 시작점, 끝점, 시작 시간이 주어지면 시작점에서 시작하여, 각 Grid Cell 마다 분기점을 찾는다. 이때, 분기점이 존재하면 경로를 나누고 변수에 저장한 후 각 분기에서 다시 분기점을 찾는다. 이동시간은 AGV의 Grid Cell을 이동할 때마다 기존의 AGV 경로를 검색하여 Traffic이 발생하면 대기시간을 주고 이동시간에 대기 시간을 더해준다. 모든 분기점을 찾고, 더 이상 분기점이 없으면 알고리즘은 끝나게 되고, 지나온 경로의 이동시간이 최소가 되는 경로를 선택하고 AGV를 선택한다.

다음은 AGV 경로 설정에 관한 알고리즘을 나타내는 Flow-chart 이다.



<그림 3 - 10> AGV 경로선택 - 분기 Search 방식



### 3.6 개발 언어

시뮬레이션을 수행하기 위해 기존에는 ARENA, ASIM과 같은 시뮬레이션 툴을 이용하는 방법과 C++, Visual Basic과 같은 범용 언어를 이용한 프로그래밍 방법을 사용해 왔다. 그러나 위와 같은 전문 시뮬레이션 툴을 이용하는 방법과 범용 프로그램을 사용한 시뮬레이션 방법은 연구하고자 하는 모델을 세우고 그에 따라 부분적인 시뮬레이션을 수행 하였기 때문에 본 연구와 구별되는 것이다. 만약 새로운 터미널에 관한 제약이나 기타 수정해야 할 부분이 생기면 시뮬레이션 모델의 수정부터 심하게는 처음부터 다시 개발해야 하는 경우도 생길 수 있다. 본 연구는 전문 시뮬레이션 툴과 범용 언어를 이용한 프로그래밍 방법의 중간 단계라 할 수 있는 컨테이너 터미널 장치장에 관한 전문 시뮬레이션 툴을 개발하고자 하는 데에 그 목적이 있다. 즉, 자동화 터미널 시뮬레이션을 수행하기 위해 단순히 모델을 설정하고, 일정한 규칙을 가지는 시뮬레이션 범용 언어로써의 Visual Basic 언어 선택이 아닌, 시뮬레이션 툴 시스템 개발에 있어서의 언어로 Visual Basic을 사용 하였다.

Visual Basic은 현재 터미널 관련 기업들에서 가장 많이 사용하고 있으며, 새로운 알고리즘이나 규칙 및 장비의 도입을 위해 Visual Basic 언어로 간단하게 모듈을 추가하면 그러한 규칙을 적용할 수 있도록 한다.

### 3.7 시물레이션 평가 및 분석

본 연구에서 사용하게 될 분석방법은 크게 3가지로 Visual Manger를 이용한 모니터링과 Analysis Manager를 이용한 Graphic적인 분석방법과 마지막으로 Report기능을 두었다.

Visual Manager를 이용하면, 시물레이션 전반에 걸친 작업이 변수에 저장되어 있으므로, 고정시간방식 절차에 따라 시물레이션 진행중의 상황을 모니터링 할 수 있으며, 일부 환경의 수정 또한 가능하도록 한다. 이러한 기능은 타 시물레이션 툴과 비교되는 것이라 할 수 있다.

Analysis Manager와 Report에서는 시물레이션 모델을 검증하기 위한 수행 결과를 보여준다. Analysis Manager에서 만들어진 Graphic과 Summary는 Report에서 출력된다. 이때, 시물레이션 모델을 평가하기 위한 GC의 가동률, 대기시간비율, AGV의 할당대수, ATC의 시간당 처리율, 가동률, AGV의 사이클타임, AGV의 ATC대기시간, 장치장 점유율, 선석 점유율, 선박 대기시간 ... 등의 여러가지 평가 지표를 이용해야한다. 평가지표는 시물레이션 수행 중에 수집된 여러가지 통계량이며, 다음 표와 같은 평가 지표로써 터미널의 효율을 알아 볼 수 있다. 1)

<표 3 - 2> 컨테이너 터미널의 성능 평가지표

| 평가 지표 | 장비 및 설비      | 출력 항목                                 |
|-------|--------------|---------------------------------------|
| 생산성   | GC           | 처리량, 가동률, 가용률, 대기시간비율, AGV할당대수        |
|       | ATC          | 시간당 처리율, 가동률, 대기비율, 이동비율, 간섭비율        |
|       | AGV          | 사이클타임, 평균속도                           |
| 결합생산성 | GC, ATC, AGV | AGV의 ATC대기시간, AGV의 GC 대기시간, AGV의 선회주기 |

|       |     |                                  |
|-------|-----|----------------------------------|
|       | 장치장 | 장치장 점유율, 할당공간비율                  |
| 서비스수준 | 선석  | 선석 점유율, 도착/완료 선박수, 선석별 작업수, 대기비율 |
|       | 선박  | 대기시간, 재항시간                       |

평가지표 중 각 장비가용률 및 가동률을 이용하여 장비의 효율적인 할당 및 유지보수의 상태를 파악할 수 있다. 장비가용률은 장비가 실제로 가동한 시간을 총 작업시간으로 나눈 비율이며, 장비가동률은 장비가 투입되어 실제 작업을 한 시간을 총 작업시간으로 나눈 비율이다. 시뮬레이션 결과로 장비가용률이 낮은 경우는 장비가 비효율적으로 배치되었다는 것을 의미하며, 장비가용률은 높고 장비가동률이 낮은 경우는 장비이동 및 대기시간이 과다하거나 장비를 적정 수준보다 높게 보유하고 있다는 것을 판단할 수 있다. 또한, 장비의 사이클 타임은 하나의 컨테이너를 처리하는 데에 소요되는 시간으로 AGV의 경우 선석과 장치장간을 이동하여 컨테이너를 이송하는 데에 소요되는 시간이며, GC 와 ATC의 경우 컨테이너를 장치위치에서 이송장비로 전달하는 데에 소요되는 시간이다. 기타 평가지표도 각 장비 및 설비의 효율성 및 문제 사항을 나타내며, 시뮬레이션 담당자가 이러한 분석을 통해 시나리오를 선택하는 데에 도움이 될 것이다.

## 제 4 장     시스템 구현

본 장에서는 앞서 분석된 자동화 터미널 업무 내용과 시스템 설계를 바탕으로, 자동화 터미널 시뮬레이션 툴 시스템을 구현한 내용을 소개한다. 개발 시스템의 환경은 다음과 같다.

- OS: Windows 2000 Professional
- CPU: Pentium IV-1.6
- Memory: 512MB
- Resolution: 1280 × 1024
- 개발도구: Visual Basic 6.0

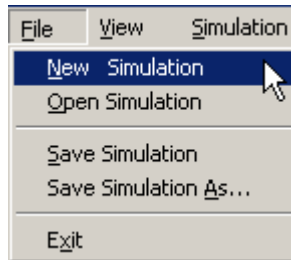
### 4.1    Menu 구성

전체 시뮬레이션 툴 시스템은 File, View, Report, Simulation, Window, Help 의 Main Menu로 이루어져 있다. 시스템을 이루는 전체 메뉴 구조는 다음 그림과 같다.

본 프로그램은 총 6개의 메뉴로 구성되어 있으며 각 주메뉴는 하위에 또다른 메뉴를 가지고 있다. 프로그램이 실행된 초기 상태에서는 대부분의 하위 메뉴가 비활성화된 상태이며 사용자의 작업 지정에 따라 메뉴의 활성화가 이루어지게 된다. 각 메뉴의 기능 및 구성을 설명하면 다음과 같다.

#### File

Simulation의 시작, 저장, 불러오기 등의 기능을 한다.



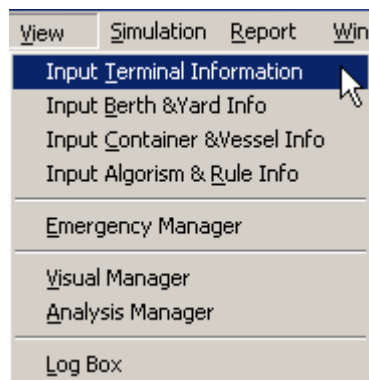
<그림 4.1 - 1> File Menu

<표 4 - 1> File Menu

| Simulation  메뉴명       | 기 능                          |
|-----------------------|------------------------------|
| New Simulation        | 자동화 터미널 시물레이션 디자인 마법사를 여는 기능 |
| Open Simulation       | 기존에 저장된 시물레이션을 불러오는 기능       |
| Save Simulation       | 현재의 시물레이션을 파일로 저장하는 기능       |
| Save Simulation As... | 현재의 시물레이션을 다른이름으로 저장하는 기능    |
| Exit                  | 현재 프로그램을 종료하는 기능             |

## View

자동화터미널 시물레이션 디자인 마법사의 각 창들을 나타내는 Input Parameter 부분과 Emergency / Visual / Analysis Manager 등의 창을 보여주며, Log Box를 열고 닫는다.



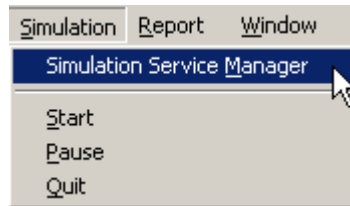
<그림 4.1 - 2> View Menu

**<표 4 - 2> View Menu**

| View  메뉴명                     | 기 능                        |
|-------------------------------|----------------------------|
| Input Terminal Information    | 터미널 정보 입력 창을 여는 기능         |
| Input Berth & Yard Info       | 선석 및 장치장 정보 입력 창을 여는 기능    |
| Input Container & Vessel Info | 선박 및 컨테이너 정보 입력 창을 여는 기능   |
| Input Algorithm & Rule Info   | 알고리즘 및 규칙 정보 입력 창을 여는 기능   |
| Emergency Manager             | Emergency Manager 창을 여는 기능 |
| Visual Manager                | Visual Manager 창을 여는 기능    |
| Analysis Manager              | Analysis Manager 창을 여는 기능  |
| Log Box                       | Log Box를 열고 닫는 기능          |

**Simulation**

시뮬레이션의 수행, 일시정지, 중단 등의 기능을 수행한다.



**<그림 4.1 - 3> Simulation Menu**

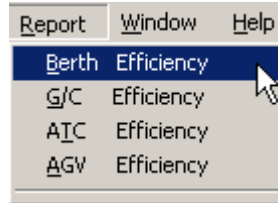
**<표 4 - 3> Simulation Menu**

| Simulation  메뉴명            | 기 능                    |
|----------------------------|------------------------|
| Simulation Service Manager | 시뮬레이션 서비스 관리자 창을 여는 기능 |
| Start                      | 시뮬레이션을 수행하는 기능         |
| Pause                      | 시뮬레이션 도중 일시중지 기능       |
| Quit                       | 시뮬레이션 도중 중단 기능         |

**Report**

각종 분석을 위한 리포트 출력 기능을 수행한다. 부족한 부분은 추후에 필요한

Report를 추가한다.



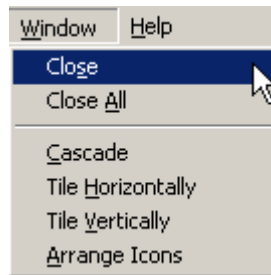
<그림 4.1 - 4> Report Menu

<표 4 - 4> Report Menu

| Report   메뉴명     | 기 능                        |
|------------------|----------------------------|
| Berth Efficiency | Berth Efficiency 를 출력하는 기능 |
| GC Efficiency    | GC Efficiency 를 출력하는 기능    |
| ATC Efficiency   | ATC Efficiency 를 출력하는 기능   |
| AGF Efficiency   | AGV Efficiency 를 출력하는 기능   |

## Window

각종 Window 에 대한 정렬 및 닫기 기능을 수행한다.



<그림 4.1 - 5> Window Menu

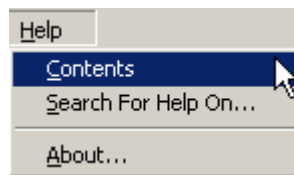
<표 4 - 5> Window Menu

| Window   메뉴명      | 기 능                  |
|-------------------|----------------------|
| Close             | 현재 활성화된 화면 창을 닫는 기능  |
| Close <u>A</u> ll | 현재 열린 화면 창 모두를 닫는 기능 |

|                           |                               |
|---------------------------|-------------------------------|
| <u>C</u> ascade           | 현재 열려진 화면 창을 계단식으로 정렬하는 기능    |
| Tile <u>H</u> orizontally | 현재 열려진 화면 창을 수평바둑판식으로 정렬하는 기능 |
| Tile <u>V</u> ertically   | 현재 열려진 화면 창을 수직바둑판식으로 정렬하는 기능 |
| <u>A</u> rrange Icons     | 현재 열려진 화면 창을 아이콘으로 정렬하는 기능    |

## Help 메뉴

Help 메뉴는 프로그램 사용과 관련하여 각종 도움말을 제공하는 기능을 한다.



<그림 4.1 - 6> Help Menu

<표 4 - 6> Help Menu

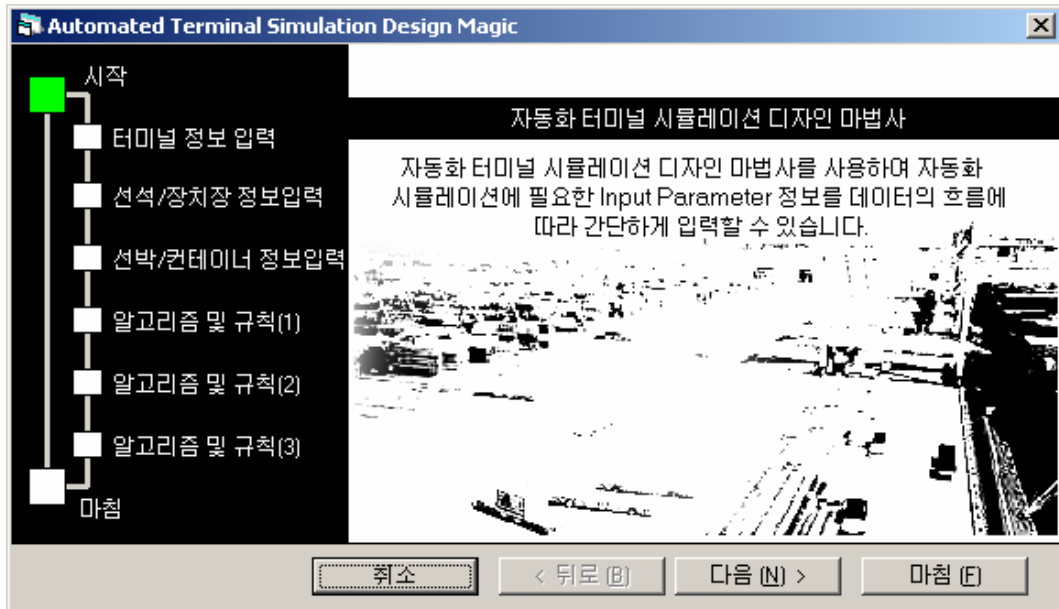
| Help 메뉴명                      | 기능                       |
|-------------------------------|--------------------------|
| <u>C</u> ontents              | 본 프로그램의 도움말 파일을 여는 기능    |
| <u>S</u> earch For Help On... | 색인을 사용하여 특정 도움말을 보여주는 기능 |
| <u>A</u> bout...              | 프로그램의 등록정보를 표시하는 기능      |



## 4.2 Simulation Design Wizard

자동화 터미널 시뮬레이션 디자인 마법사는 시뮬레이션 모델을 수행하기 위한 Input Parameter 정보를 입력받으며, 전체적인 터미널 업무의 흐름에 따라 Data를 생성 시켜 나간다. 마법사의 구성은 터미널 정보 입력, 선석 및 장치장 정보 입력, 선박 및 컨테이너 정보 입력, 알고리즘(1,2,3)등으로 구성되어 있다. 위의 요소들은 View Menu에서 각각의 Window로 구현 하였으며, 입력 정보의 수정은 이 부분을 통하여 할 수 있다.

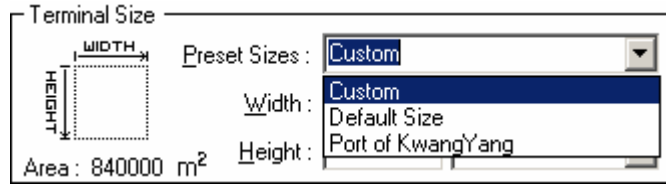
다음은 자동화 터미널 시뮬레이션 디자인 마법사 초기 화면이다.



<그림 4.2 - 1> 자동화 터미널 시뮬레이션 디자인 마법사

터미널 정보 입력에서는 Simulation Name과 Simulation Period를 정할 수 있으며, 기타 Terminal Size 및 Grid Setting을 할 수 있다. 특이할 만한 사항은 Terminal Size에서 기존의 터미널이나 기타 사용자가 이미 입력 하였던 사항을 불러와 사용할 수 있도록 하였다.

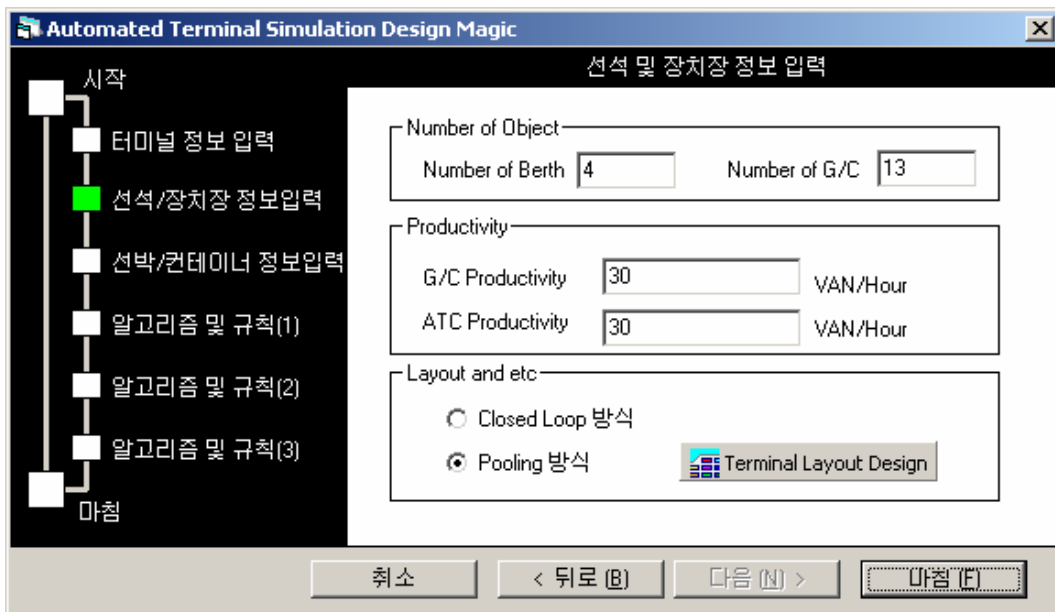
다음은 터미널 정보 입력 부분 중 Terminal Size의 화면이다.



<그림 4.2 - 2> Terminal Size

선석 및 장치장 정보입력 부분에서는 선석과 GC의 개수를 입력하고 GC 및 ATC의 작업 효율성을 입력할 수 있으며, Closed Loop 방식과 Pooling 방식으로 구분되는 Terminal Layout Design창을 띄울 수 있다.

다음은 선석 및 장치장 정보 입력 화면이다.

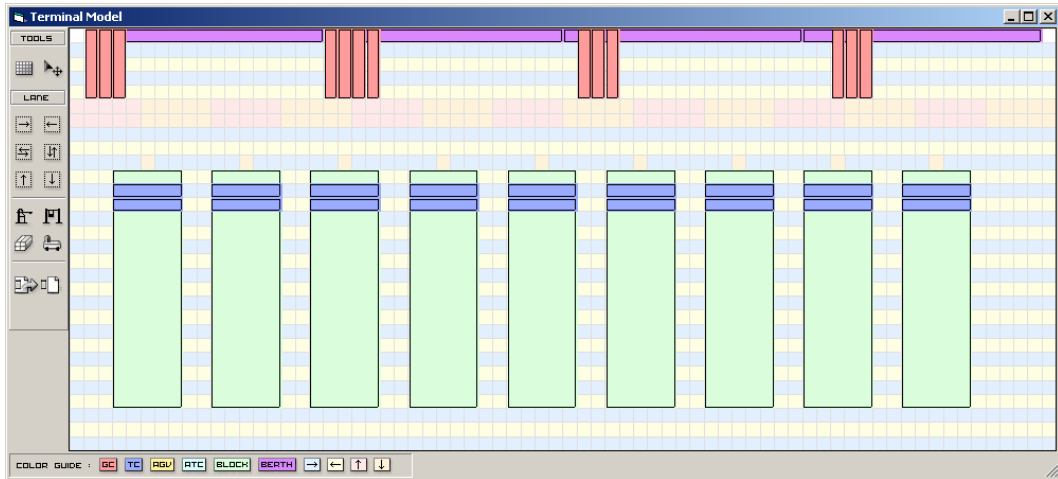


<그림 4.2 - 3> 선석 및 장치장 정보 입력

선석 및 장치장 정보 입력에서 Terminal Layout Design 버튼을 누르면 터미널 Layout을 Design 할 수 있는 Terminal Layout Design Window가 뜬다. 이 창에서는 왼쪽의 툴 박스를 이용하여, 터미널의 Lane 및 Lane 방향과 Block(Bay,

Row, Tier), GC, ATC 등을 간단하게 Drag & Drop 방식을 사용하여 Design 할 수 있다.

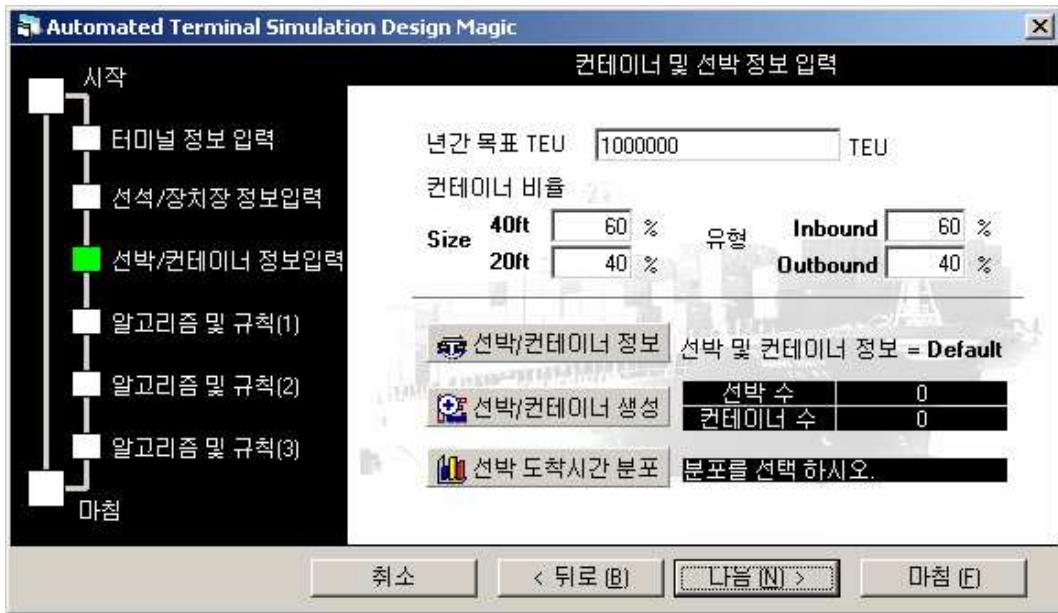
다음은 Terminal Layout Design Window 화면이다.



<그림 4.2 - 4> Terminal Layout Design Window

선박 및 컨테이너 정보 입력에서는 연간 목표 TEU와 컨테이너 비율을 입력하며, 선박및컨테이너정보 버튼을 누르면 선박 및 컨테이너정보입력 Window가 뜬다. 선박및컨테이너생성 버튼을 누르면 앞에서 입력한 Data를 가지고 선박 수와 컨테이너 수가 구해진다. 선박도착확률분포 버튼을 누르면 분포 Window가 뜬다.

다음은 선박 및 컨테이너 정보 입력 화면이다.



<그림 4.2 - 5> 선박 및 컨테이너 정보 입력

선박 및 컨테이너 정보창은 선박에 따른 최대/최소 컨테이너 수, 최대/최소 선박 길이, 최대/최소 수출 컨테이너 POD 및 선사수, 선박 구성 비율 등을 6가지 선박 타입으로 세분화 하였고, 이 정보를 사용자가 입력 또는 수정할 수 있도록 하였다.

다음은 선박 및 컨테이너정보 Window화면이다.

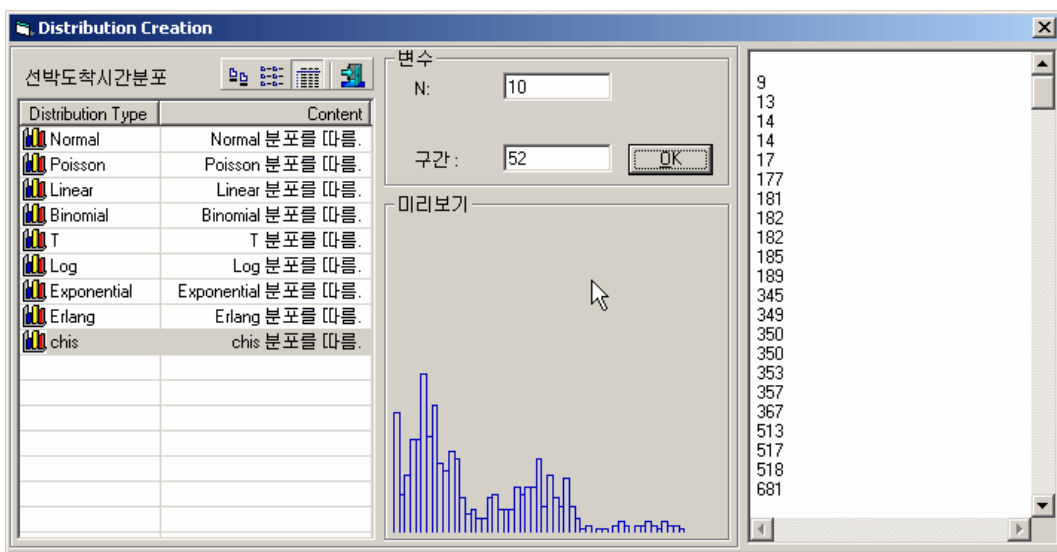
| 선박타입 | 최소 Cntr 개수 | 최대 Cntr 개수 | 선박 구성 비율 (%) | 최소 선박 길이(m) | 최대 선박 길이(m) | 수출 Cntr 최소 POD | 수출 Cntr 최대 POD | 최소 선사 개수 | 최대 선사 개수 |
|------|------------|------------|--------------|-------------|-------------|----------------|----------------|----------|----------|
| 1    | 2800       | 5200       | 0.0          | 350         | 400         | 2              | 5              | 4        | 9        |
| 2    | 1700       | 3200       | 1.0          | 300         | 350         | 2              | 4              | 4        | 8        |
| 3    | 1200       | 2200       | 5.0          | 275         | 300         | 2              | 4              | 3        | 7        |
| 4    | 1000       | 1800       | 14.0         | 265         | 295         | 2              | 3              | 3        | 6        |
| 5    | 600        | 1200       | 30.0         | 230         | 290         | 1              | 3              | 2        | 5        |
| 6    | 300        | 850        | 50.0         | 150         | 280         | 1              | 2              | 2        | 4        |

<그림 4.2 - 6> 선박 및 컨테이너정보 Window

분포 생성 Window는 3장에서 설명한 난수 자동 발생모듈과 데이터 발생모듈이

쓰이는 Window이다. 왼쪽의 ListView에서 대입하고자 하는 분포를 넣고, 분포에 따른 Parameter를 넣고 OK 버튼을 클릭하면 오른쪽 TextBox에서 결과가 보여진다. 현재는 프로그램내에서 선박도착시간분포에만 이용하고 있으나, 추후에는 여러가지 데이터에 적용할 수 있도록 한다.

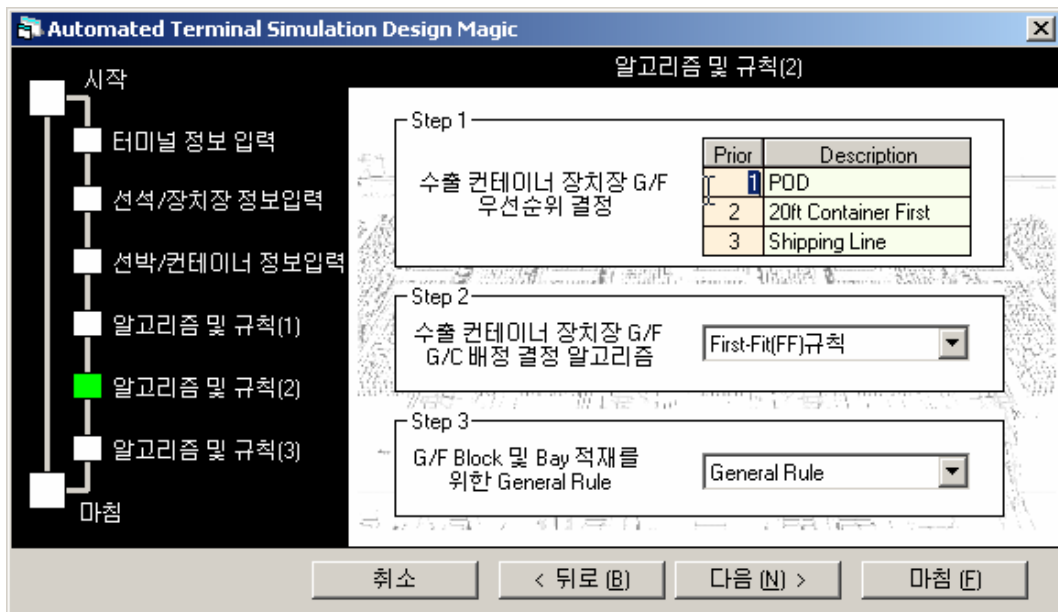
다음은 선박도착시간분포 발생 Window 화면이다.



<그림 4.2 - 7> 선박도착시간분포 발생 Window

알고리즘 및 규칙 Window에서는 터미널 업무에서의 유연한 운영을 위하여 알고리즘을 선택하고, 알고리즘에 따른 Parameter 값을 넣는다. 3장에서 설명한 Berthing Scheduling 과 GC Assignment 관련 알고리즘 및 규칙은 (1)에서, Yard Planning 관련 알고리즘 및 규칙은 (2)에서, AGV 관련된 알고리즘 및 규칙은 (3)에서 선택 할 수 있다.

다음은 알고리즘 및 규칙(2)의 화면이다.



<그림 4.2 - 8> 알고리즘 및 규칙

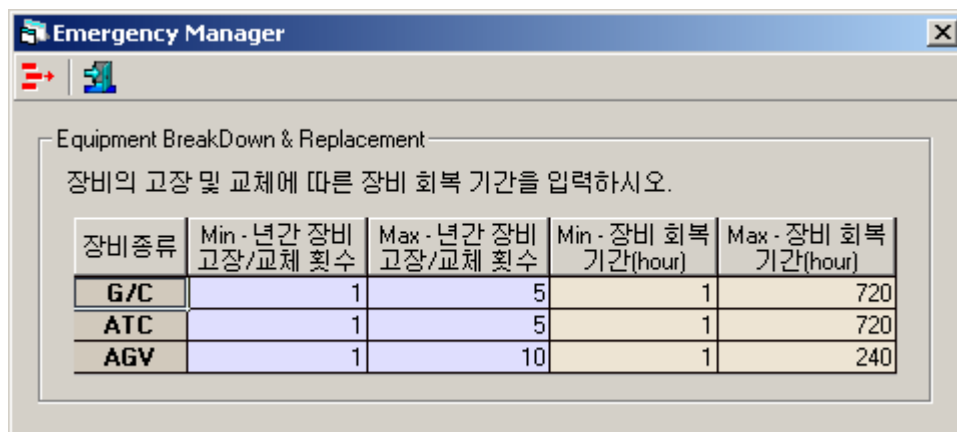
모든 Input Parameter에 대한 선택이 끝나면 1차적인 Scheduling이 만들어 진다. 만약 다음의 Emergency Manager에서 사건에 대한 확률을 입력하면, Input Parameter에서 만들어진 Scheduling 과 Emergency에서 만들어진 Scheduling을 결합하여 Event List에 등록하게 된다.

### 4.3 Emergency Manager



Emergency Manager는 AGV, GC, ATC등의 연간 장비 고장 및 교체 횟수의 최대/최소 값과 장비 회복 기간(hour)의 최대/최소 값을 입력받는다.

입력 받은 고장/교체 횟수를 이용하여, 각 장비의 개수에 같은 장비가 뽑힐 수 있도록 Random 값을 주고, 고장/교체 장비 및 횟수를 선정한다. 고장/교체 장비가 선정되면, 시물레이션 수행 기간 중에 고장 시기를 Random하게 발생 시킨다. 고장/교체 시점이 정해지면 그 시점부터 Rescheduling을 하며, 고장/교체 시점의 마지막 작업을 기억하고, 회복된 후 마지막 작업의 다음 작업부터 Rescheduling을 수행한다.

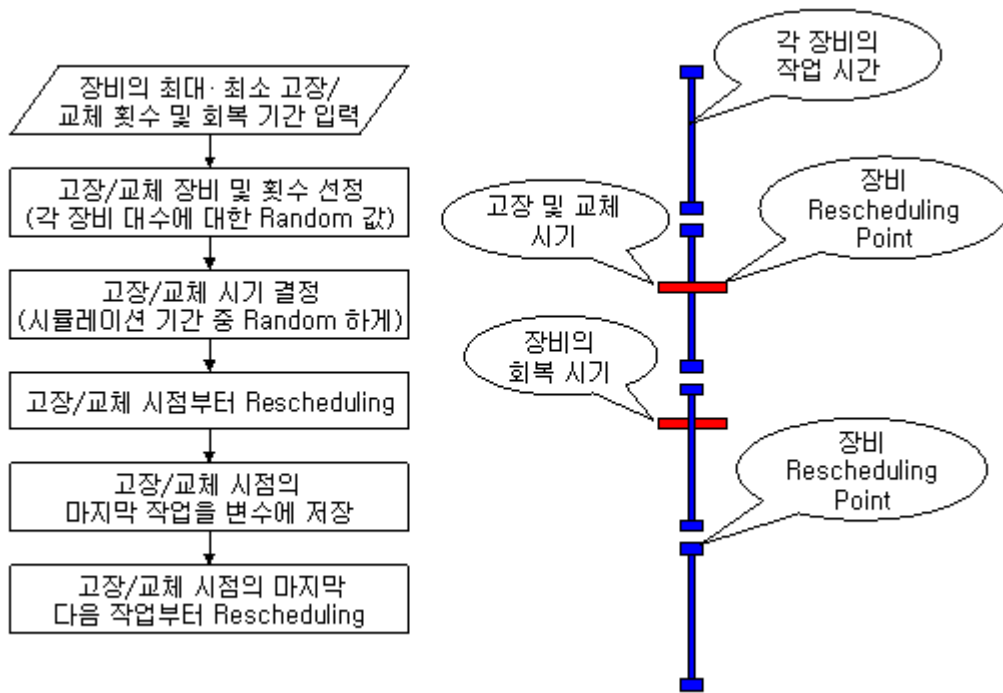
다음은 Emergency Manager 화면이다.



<그림 4.3 - 1> Emergency Manager

이때,  아이콘은 현재 입력 받은 값을 Scheduling에 적용하는 작업을 수행하며,  아이콘은 작업을 수행하지 않고 창을 닫는다.

다음은 Emergency Manager에서 장비 고장/교체에 따른 Scheduling 방법을 나타내는 Flow-chart 이다.



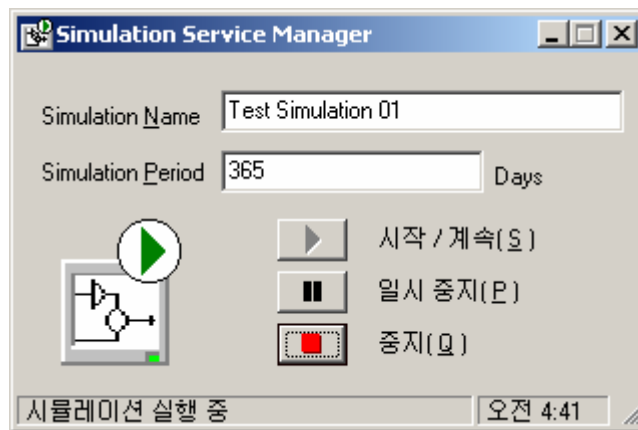
<그림 4.3 - 2> 장비 고장 및 교체에 따른 Scheduling 방법



#### 4.4 Simulation Service Manager

Simulation Service Manager는 Simulation에 대하여 시작, 일시 중지, 멈춤 기능을 수행하는 Window이다. ▶ 아이콘은 Simulation Design Wizard와 Emergency Manger에서 입력 받은 Input Parameter 값을 조합하여 Scheduling을 만들고, Scheduling을 Event List에 등록한 후 Simulation을 수행한다. 이때, 시간 진행 방법은 다음사건 시간 진행법이다. ■■ 아이콘은 Simulation 수행 중에 일시 정지의 기능을 수행한다. ■ 아이콘은 Simulation 수행 중에 Simulation을 중지시키는 기능을 수행한다. 위의 기능은 Main Menu의 Simulation 하위 메뉴에서 수행할 수도 있다.

다음은 Simulation Service Manager Window 화면이다.

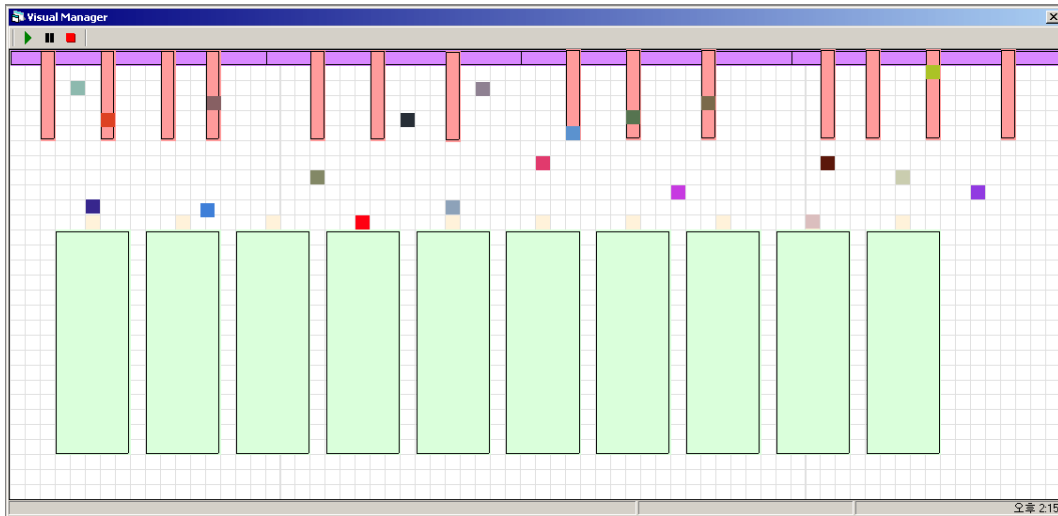


<그림 4.4 - 1> Simulation Service Manager Window

## 4.5 Visual Manager

4.4장의 Simulation Service Manager에서는 시뮬레이션 시간 진행 방법을 다음사건 시간 진행법으로 하여, Simulation의 시간 흐름과 현실의 시간 흐름은 별개로 수행되어 진다. 그러나, Visual Manager에서의 시간 진행 방법은 고정증가 시간 진행법으로, 실제 시간을 축소하여 Simulation을 진행해 나가며, 터미널의 상황을 직접 확인할 수 있다. Visual Manager가 수행되어지기 위해서는 Simulation Service Manager에서 시뮬레이션을 한번은 수행시켜야 하며, 그 이유로는 Simulation Service Manager에서 각종 알고리즘 및 규칙들이 적용된 후 만들어진 사건들이 시간순으로 변수에 저장되어야만 실제 시간과 같은(축소된) 시간으로의 시뮬레이션 수행이 가능하기 때문이다. 또한, Visual Manager에서는 일시정지시, 부분적인 터미널 환경변화를 줄 수 있으며, 이때에는 Simulation Service Manager와는 별개로 Rescheduling한 후 계속 진행해 나갈 수 있다. 또한 변수에 시간 별로 사건들이 저장되어 있기 때문에 사용자가 원하는 시뮬레이션 시점으로 시간을 이동할 수도 있다.

다음은 Visual Manager Window 화면과 Log 메시지 화면이다.



<그림 4.5 - 1> Visual Manager Window

| Log  |      |        |               |              |          |           |        |
|------|------|--------|---------------|--------------|----------|-----------|--------|
| 선박:1 | GC:2 | Seq:55 | 시작시간(초):39240 | 끝시간(초):39300 | Hatch:4  | Cntr:645  | type:2 |
| 선박:1 | GC:3 | Seq:55 | 시작시간(초):39240 | 끝시간(초):39300 | Hatch:7  | Cntr:1222 | type:1 |
| 선박:1 | GC:4 | Seq:55 | 시작시간(초):39240 | 끝시간(초):39300 | Hatch:10 | Cntr:108  | type:2 |
| 선박:1 | GC:1 | Seq:56 | 시작시간(초):39300 | 끝시간(초):39360 | Hatch:1  | Cntr:733  | type:1 |
| 선박:1 | GC:2 | Seq:56 | 시작시간(초):39300 | 끝시간(초):39360 | Hatch:4  | Cntr:654  | type:2 |
| 선박:1 | GC:3 | Seq:56 | 시작시간(초):39300 | 끝시간(초):39360 | Hatch:7  | Cntr:1223 | type:1 |
| 선박:1 | GC:4 | Seq:56 | 시작시간(초):39300 | 끝시간(초):39360 | Hatch:10 | Cntr:128  | type:2 |

<그림 4.5 - 2> Simulation Log 메시지

## 4.6 Analysis Manager

Analysis Manager 에서는 크게 Analysis of Berth, Analysis of Yard, Analysis of Vessel, Analysis of GC, Analysis of ATC, Analysis of AGV, AGV vs Order 등의 Tab을 두고 각각을 분석한다.

Analysis of Berth - 선석 점유율, 도착/완료 선박수, 선석별 작업수, 대기비율 등을 그래프 및 표를 이용하여 분석한다.

Analysis of Yard - 장치장 점유율, 할당공간비율 등을 그래프 및 표를 이용하여 분석한다.

Analysis of Vessel - 대기시간, 재항시간 등을 그래프 및 표를 이용하여 분석한다.

Analysis of GC - 처리량, 가동률, 가용률, 대기시간비율, AGV할당대수 등을 그래프 및 표를 이용하여 분석한다.

Analysis of ATC - 시간당 처리율, 가동률, 대기비율, 이동비율, 간섭비율 등을 그래프 및 표를 이용하여 분석한다.

Analysis of AGV - 사이클타임, 평균속도 등을 그래프 및 표를 이용하여 분석한다.

AGV vs Order - AGV의 ATC대기시간, AGV의 GC 대기시간, AGV의 선회주기 등을 그래프 및 표를 이용하여 분석한다.

## 제 5 장 결론 및 추후 연구과제

본 연구는 다음의 다섯 가지에 중점을 두고 시뮬레이션 시스템을 개발하였다.

첫째, 컨테이너 터미널 장치장 장비 및 설비의 직접적인 Layout Design을 할 수 있도록 하였다. 즉, 컨테이너 터미널 설계자는 Terminal Layout Design Window 등의 손쉬운 사용자 인터페이스를 이용하여, 간단한 장비 및 설비 개수의 입력 또는 장비를 Drag & Drop하는 방식으로, 터미널 내의 시설 및 장비를 직접 디자인할 수 있도록 하였다.

둘째, 자동화 컨테이너 터미널의 가장 중요한 특징이라 할 수 있는 AGV 시스템과 그에 따른 GC/ATC와 같은 터미널 장비와의 연계 시스템을 구현하였다. 본 연구에서는 기본적으로 GC의 작업을 우선으로 하였으며, GC 작업이 결정되면 AGV와 ATC의 작업이 양/적하 여부에 따라 순서를 달리하여 작업을 부여하였다.

셋째, 사용자가 선택할 수 있는 각종 터미널 운영 룰을 제시하였고, 이에 따라 다른 결과를 볼 수 있도록 하였다. 즉, Berthing Scheduling/GC Assignment/Yard Planning/AGV 작업할당 및 경로선택 등의 터미널의 운영에 필요한 룰을 Simulation Design Wizard에서 선택할 수 있도록 하였다. 본 연구의 Berthing Scheduling에서는 도착시간우선규칙, 물량우선규칙, 기간별작업시간우선규칙을 제시하였고, GC Assignment에서는 물량우선규칙을 제시하였다. 또한, Yard Planning에서는 컨테이너의 G/F(Grouping Factor) 우선순위의 결정, G/F에 대한 GC 배정, 각 Bay/Row/Tier 단위에 대한 할당 등의 세가지 단계를 두는 Yard Planning에 대한 General Rule을 제시하였다. AGV 작업할당 및 경로선택에서는 Closed Loop방식과 Pooling방식의 Layout에 따라 Yard Lane의 속성을 다르게 하였고, AGV의 경로 방식은 분기 Search 방식을 제시하였다.

넷째, 시뮬레이션 결과를 모니터링하면서 수정할 사항을 직접 입력하여 변화를 알아볼 수 있도록 하였다. 위 기능은 Visual Manager에서 구현되며, 그 원리로는

Simulation의 시간 진행 방법을 고정증가 시간 진행법으로 하여 시물레이션 중간에 일시정지를 한 후, 중지한 시간(Event)으로부터 Rescheduling하여 시물레이션을 재수행하는 것이다. 또한 변수에 시간 별로 사건들이 저장되어 있기 때문에 사용자가 원하는 시물레이션 시점으로 시간을 이동하는 것도 가능하다.

마지막으로, 결과물은 시물레이션 시나리오에 따라 Visual Manager, Analysis Manager, Report 에서 시물레이션의 분석 사항을 확인할 수 있으며, Visual Manager는 2D Animation으로 고정시간 증가 방식을 선택하며, Analysis Manager에서는 각종 컨테이너 터미널의 평가 지표를 분석하여, 그래프와 표모양의 결과를 볼 수 있도록 구성하였다.

향후 연구 과제로는 본 연구에서 얻어진 성과 및 결과를 바탕으로 사용자가 시물레이션 언어를 대신할 수 있도록 사용자 인터페이스를 좀 더 세세한 부분까지 정의할 수 있는 툴을 개발해야 할 것이다. 또한, 시물레이션에 대한 유연성 및 자유도를 최대한 높여 주는 Framework를 제공함으로써, 자동화 컨테이너 터미널 시물레이션 부분에서 사용할 수 있는 전문적인 컨테이너 터미널 시물레이션 툴로 이용되도록 꾸준한 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] 양창호, 최용석, "컨테이너터미널 계획 시뮬레이션 모델링 개발방향 연구",  
해양정책연구(2002), Vol. 17 No. 2
- [2] 류광렬, 김갑환, 이용환, 손예진, 이진경, 강재호, 이석준, 전수민,  
"자동화터미널을 위한 본선 계획 및 AGV 운영방안에 관한 연구",  
지능형통합항만관리연구센터 (한국과학재단)지원 발표논문(2003)
- [3] 양창호, "동북아 물류중심기자를 이끌어 갈 광양항 자동화 컨테이너터미널",  
광양항국제포럼발표집(2002), p471-481
- [4] 김갑환, 원승환, 양창호, 김영훈, 배종욱 "시뮬레이션을 사용한 자동화 컨테이너  
터미널 레이아웃의 평가", 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회  
논문집(2001), p418-421
- [5] K. H. Kim, S. H. Won, J. K. Lim, Teruo Takahashi, "A Simulation-Based  
test-bed for a Control Software in Automated Container Terminals",  
Proceedings of the 30th International Conference on Computers & Industrial  
Engineering (2002)
- [6] J. W. Bae, K. H. Kim, "Dispatching AGVs in Automated Port Container

Terminals”, Proceedings of Joint Conference of Korean Society of Operations Research / Management Science and Korean Institute of Industrial Engineering, Kye-myung University (1999)

[7] 변건식, 윤현성, 이창호 "한국형 컨테이너 야드 자동화를 위한 시스템 개발", 동아대학교 정보기술연구소 논문집, Vol. 8 No. 2(2001), p81-88

[8] 장성용, “자동화컨테이너터미널의 설계 및 운용 최적화를 위한 시뮬레이션 기법의 적용”, 한국시뮬레이션학회 추계학술대회논문집 Vol.11(1998), p25-35

[9] Ki Young Kim and Kap Hwan Kim, “A Routing Algorithm for a Single Transfer Crane to Load Export Containers onto a Containership”, Computers and Industrial Engineering, Vol. 33 No. 3-4(1997), p673-676

[10] 손예진, 류광렬, “제약만족탐색 기법을 이용한 수출 컨테이너 장치장 계획”, 한국지능정보시스템학회논문지(2002), p99-105

[11] 이경모, 김갑환, ”트랜스퍼 크레인의 반입 및 반출 작업순서 결정규칙의 도출과 비교 실험연구”, 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회논문집 (1999), Session C2.3



- [12] 김동조, 박영택, "Planning 기반 컨테이너 장치 계획 시스템", 한국지능정보 시스템학회논문지(1999), Vol.5 No. 1
- [13] 김갑환, "무인운반차를 이용한 터미널의 자동화에 관한 연구", 한국과학재단 연구결과보고서(1998)
- [14] Kim, K. H., "Evaluation of the Number of Rehandles in Container Yards", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 32 No.4(1997), 701-711
- [15] 신재영, 남기찬, "컨테이너 선박의 자동적재 계획을 위한 지능형 의사결정지원시스템", *한국항만학회지*, Vol. 16 No.2(1998), 29-37
- [16] 신재영, 곽규석, 남기찬, "효율적인 컨테이너 터미널 선적 계획을 위한 의사결정지원시스템", *한국항만학회지*, Vol. 2 No.13(1999), p1-12
- [17] 이광인, "컨테이너 선적 계획을 위한 통합 의사결정지원시스템", 한국해양대학교 석사학위논문(1998)
- [18] 윤원영, 안창근, 최용석, 김갑환, "컨테이너 터미널 계획 평가를 위한 시뮬레이션 연구", *한국항만학회 추계학술대회논문집* (1998), 117-124

- [19] W.Y Yun and Y.S. Choi, "A Simulation Model for Container-Terminal Operation Analysis Using Object-Oriented Approach", *International Journal Of Production Economics*, Vol. 59(1999), 221-230.
- [20] 임봉택, 성경빈, 류형근, 이철영, "최근 컨테이너 물류시스템의 환경 변화가 컨테이너 터미널에 미친 영향에 관한 연구", 항만학회 발표논문집(1999)
- [21] M. Kia, E. Shayan, F. Ghotb, "Investigation of port capacity under a new approach by computer simulation", *Computers & Industrial Engineering*, 42(2002), p533-540
- [22] 김우선, "컨테이너 터미널 운영 개선을 위한 시뮬레이션 모형 설계 및 개발", 한국해양대학교 석사학위논문(1999)
- [23] 이홍길, "발견적 알고리즘에 의한 컨테이너 터미널의 선석 배정에 관한 연구", 한국해양대학교 석사학위논문 (1996)
- [24] 김대상, "선석할당 계획문제의 최적화에 관한 연구", 한국해양대학교 석사학위논문(2002)

- [25] Yongpei Guan, Wen-Qiang Xiao, Raymond K. Cheung and Chung-Lun Li, “A multiprocessor task scheduling model for berth allocation: heuristic and worst-case analysis]”, Operations Research Letters Vol. 30 No.5(2002), 343p-350p,
- [26] Akio Imai, Etsuko Nishimura, Stratos Papadimitriou, “Berth allocation with service priority”, Transportation Research Part B(2003)
- [27] 이영해, 백두권, 『시스템 시뮬레이션』, 京文社, 1993

## 감사의 글

올해 몸도 많이 편찮으신 가운데 미숙하기만 하였던 제자에게 따뜻한 관심으로 지도해주신 신재영 교수님께 진심으로 감사 드립니다. 또한 바쁘신 일정에도 불구하고 논문 심사를 맡아 세심한 지도를 아끼지 않으신곽규석, 이철영 교수님께 깊이 감사 드리며, 석사과정을 마치기까지 많은 가르침 주신 남기찬, 신창훈, 김환성 교수님께도 감사 드립니다.

처음 물류정보실험실에 들어왔을 때 아무것도 모르는 실험실 생활을 알려주었고, 같이 생활한 태영이형, 환욱이형, 광덕이형, 같은 동기지만 동기 같지 않던 영훈이형이 자리를 빌어 감사 드립니다. 대학원 진학에 결정적인 원인이 되었고, 물심양면으로 이끌어 주었던 채민이형 감사 합니다. 먼저 실험실을 나가서 지금은 어엿한 사회인이 되어 격려와 성원을 아끼지 않았던 태원아, 고맙다. 또한, 나중에 실험실에 들어와 프로젝트 하느라 고생 많았던 병호, 지철, 성일, 경무, 웅섭, 재경, 준석에게도 감사의 마음을 전합니다.

타지 생활에 힘들었지만, 고향에 가면 나에게 휴식이 되었던 성국, 지윤, 필연, 민형아 너희들 때문에 내가 버티고 있다. 정말 고맙다.

아들 뒷바라지 하시느라 고생하시고 끝까지 믿음으로 지켜봐 주신 아버님과 어머니님 정말 감사 드립니다. 못난 형을 믿고 따라와 주었던, 곧 외국 나가서 고생할 동생 훈성에게도 고마운 마음을 전하며, 소중한 가족과 함께 나에게 가장 힘이 되었던 사랑스런 연인 현주에게 이 논문을 바칩니다.