

자동화 컨테이너 터미널에서의 장치장 운영 시뮬레이션 연구

왕승진¹, 김갑환¹, 박영만¹, 양창호², 김영훈², 배종욱²

¹부산대학교 산업공학과, ²한국해양수산개발원

Abstract

For the efficient operation of container terminals, it is essential to develop optimal operation rules for marshaling yard and yard cranes. However, decision rules for conventional container terminals expose various limitations to be applied to automated container terminals. This paper introduces a development of a simulation model for evaluating various operation rules for automated transfer cranes (ATCs) and yard operation in the marshaling yard.

1. 서론

자동화 컨테이너 터미널에 대한 장비운영 및 알고리즘은 일부 선진 터미널에서만 개발되었다. 그리고 아직까지 대외적으로 그 기술이 알려지지 않고 있다. 특히 본 논문에서 다룬 장치장의 형상이 기존의 수평배치와 다른 수직배치이기 때문에 쓰이는 장비와 그 장비의 운영 그리고 장치장운영 등이 다르게 된다. 이러한 차이점이 컨테이너 터미널의 운영에 많은 영향을 미치게 때문에 장비와 장치장에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 자동화 컨테이너 터미널의 효율적인 운영을 위한 장치장의 운영규칙연구 및 장치장 작업 장비의 운영문제를 다루었다. 특히 장치장 작업 장비 중에서도 ATC (Automated Transfer Crane)의 운영 규칙연구와 장치장 운영규칙연구를 위한 시뮬레이션 모델의 개발사례에 대해서 다루었다.

ATC 운영은 자동화 터미널에서 운영의 효율화를 위한 기초가 되면서 터미널의 전체 생산성에 영향을 미치는 중요한 부분이고 이에 따른 장치장 운영은 선박의 처리시간뿐만 아니라 터미널의 비용적인 측면과 아주 밀접한 관계를 가진다. 따라서 본 연구에서는 가상적인 자동화 컨테이너 터미널의 시스템을 설계하여 ATC 운영과 장치장의 운영에 관한 여러 가지 규칙과 전략을 제안하고 제시된 운영규칙과 전략연구를 위하여 개발된 시뮬레이션 모델을 소개한다. 개발 도구로는 객체지향 프로그램이며 시뮬레이션

전문 언어인 SIMPLE++를 사용하였다.

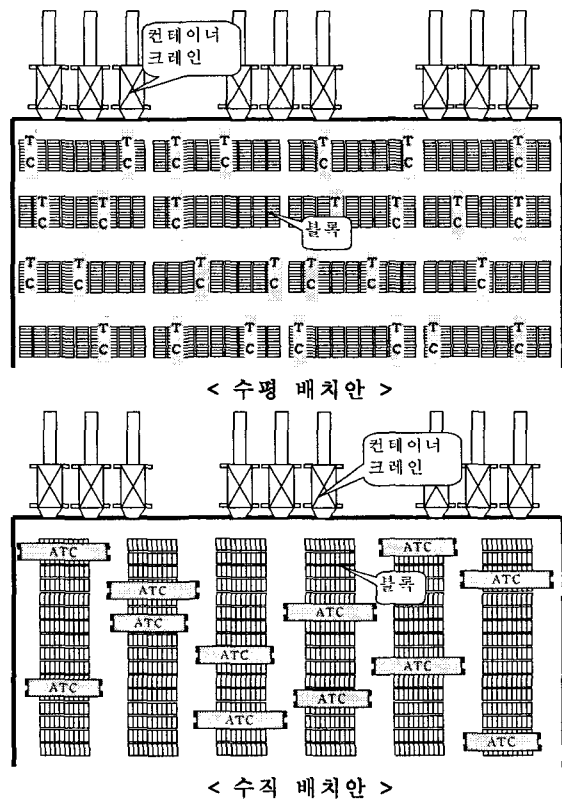


그림 1. 컨테이너 터미널의 장치장 비교

2. 자동화 컨테이너 터미널의 개요

본 연구에서 다룬 컨테이너 터미널은 자동화 컨테이너 터미널로서 크게 게이트(Gate), 장치장, 선석(Berth) 이렇게 3부분으로 구분 지을 수 있다. 반입 또는 반출 물량이 출입하게 되는 게이트 그리고 적하 및 양하가 이루어지는 선석은 기존의 수평배치 장치장과 크게 다를 것이 없지만 기존의 터미널과 가장 차이가 많이 나는 부분은 장치장이 된다.

연구 대상의 반입과 반출은 트럭이 게이트를 이용하여 작업이 이루어지며 장치장에서의

한국과학기술원(KAIST) 2002년 5월 3일~4일

작업은 ATC가 하고 있으며 양하 및 적하는 선석에 위치한 컨테이너 크레인 (Container Crane : CC)과 AGV (Automated Guided Vehicle : AGV)에 의해 작업에 의해서 이루어진다. 기존 수평배치형태의 블록에서는 컨테이너 이송장비가 반입, 반출, 양하, 적하를 위하여 작업하려는 장치장의 베이(Bay)에 직접 가야 하지만, 본 연구 대상 터미널에서는 작업대기위치를 이용하여 ATC가 작업위치로 이동하여 컨테이너를 인출하거나 적재하게 된다.

터미널을 통해 연계 수송되는 화물이 일시적으로 장치되는 장치장 블록(Block)이 안벽 법선에 수직으로 배치되어 있으며 컨테이너도 수직으로 배치된다. 장치장 블록에는 레일(Rail)상에서 이동하는 ATC가 하역작업을 수행한다. 화물의 반출입을 위해 들어온 외부트럭은 블록의 육측 끝부분에서 전송작업을 수행하는 반면 장치장과 선박간의 화물 이송을 수행하는 AGV의 전송지점은 블록의 해측 끝부분에 위치한다.

각 블록에는 외부트럭이나 AGV가 ATC의 서비스를 받기 위해 대기하는 작업대기위치 (Transfer Point : TP)가 존재한다. 자동화 컨테이너 터미널에서는 ATC의 효율을 높이기 위한 한 방안으로 AGV가 블록 내로 진입하여 작업을 하게 된다.

컨테이너 터미널에서 발생하는 주요작업은 반입, 반출, 양하, 적하 이렇게 크게 네 가지로 구분할 수 있다. 반입작업은 외부트럭이 수출할 컨테이너를 싣고 게이트를 통해 들어오면 장치장에서 ATC가 블록에 저장하는 것을 말한다. 반출작업은 장치장에 저장되어 있던 수입 컨테이너가 ATC에 의해 외부트럭에 실은 후 터미널의 게이트를 통해 밖으로 빠져나가는 작업을 말한다. 양하작업은 수입 컨테이너를 컨테이너 크레인이 선박으로부터 내려 AGV를 통해 장치장에 도착하면 ATC가 저장하는 것을 의미하고, 적하작업은 장치장에 저장되어 있던 수출 컨테이너를 ATC가 인출하여 AGV에 실어주면 선석으로 옮겨서 컨테이너 크레인이 배에 싣는 작업을 말한다.

3. 장치장 운영을 위한 운영 규칙 연구

3.1. ATC (Automated Transfer Crane)의 운영규칙 연구

운영 규칙 연구에 앞서 여기에서 다루는 문제는 두 대의 기계에 여러 개의 일을 할당하는 문제(2 machine n job Problem)와 유사한 문제로 볼 수 있지만 성능이 다른 2대의 기계라는 점과 처리작업의 동적(Dynamic)인 도착 문제까지 포함 된 복합적인 문제이기 때문에 발견적 운영 규칙을 사용하였다. 편의상 하나의 블록 내에 있는 2대의 ATC를 크기에 따라 큰 ATC와 작은 ATC라 부르기로 한다.

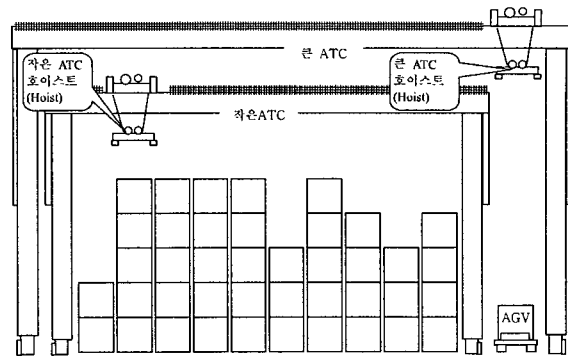


그림 2. 크기가 다른 두 대의 ATC

ATC운영 규칙 연구로 작업할당 (Allocation)의 문제와 작업 순서(Sequence)를 결정하는 문제로 나누어 접근하였다. 성능과 크기가 다른 두 대의 ATC 상호간의 간섭을 고려한 작업할당 문제에는 크게 반출입, 양적하 작업 중에서 우선순위(Priority)를 부여하는 역할구분 전략 과 역할을 구분하지 않는 역할 비구분 전략으로 크게 나누었다. 즉, 역할 구분 전략에서는 큰 ATC는 양적하작업을 우선적으로 처리하며, 양적하작업이 없는 경우에는 반출입작업을 처리하고, 작은 ATC는 반출입작업을 우선적으로 처리하며, 반출입작업이 없는 경우에 양적하 작업을 처리하는 전략이다. 역할 비구분 전략은 두 ATC가 양적하, 반출입 작업에 대하여 먼저 도착한 작업을 ATC의 구분 없이 처리하고 단 AGV가 블록안으로 들어올 경우에는 큰 ATC만 처리하는 전략이다.

작업 순서를 결정하는 문제에서는 각 전략에 대하여 여러 개의 대기작업 중에서 어떤 작업을 처리할 것인가를 결정하는 작업순서 결정규칙이 되겠다. FIFO(First In First Out) 규칙과 무부하 이동거리 최소화(Minimum Empty Travel Distance : METD)규칙으로 나누었다. ATC가 작업을 수행할 때 FIFO규칙은 블록내 트럭이나 AGV중 먼저 도착한 차량을 서비스 해주는 규칙을 의미하고, 무부하 이동거리 최소화규칙은 작업대기위치에 도착한 작업들 중에서 ATC의 빈 상태의 이동이 최소가 되는 작업을 먼저 서비스 해주는 규칙을 말한다.

3.2. 장치장에서의 장치위치 결정 규칙 연구

장치위치 결정 규칙 연구에서는 공간할당과 저장블록 결정으로 나누었으며 공간할당은 베이단위할당과 스택단위할당으로 구분하며 저장블록 결정은 무작위(Random) 결정규칙과 블록 그룹별 우선순위 차등화 규칙 그리고 선박별 집중화 장치규칙으로 구분하였다.

기본적으로 40Feet와 20Feet의 컨테이너는 구분하여 저장하고 즉, 하나의 베이에 섞어서 저장하지 않고 반입 물량과 반출 물량도

대한산업공학회/한국경영과학회 2002 춘계공동학술대회
한국과학기술원(KAIST) 2002년 5월 3일~4일
구분하여 저장한다.

3.2.1. 공간할당 단위 결정

공간할당은 장치장의 저장 공간을 어떤 단위로 할당할 것인가를 의미하며 장치장의 전반적인 운영의 측면으로 볼 수 있다. 베이단위는 블록내의 하나의 베이에 같은 그룹만을 저장하는 것을 의미하고 스택단위할당은 베이내에서 하나의 스택에 같은 그룹을 저장하는 것을 의미한다. 이러한 할당단위에 따라 장치장의 활용도뿐만 아니라 작업의 효율이 다르게 되기 때문에 공간할당의 단위결정은 아주 중요하다.

베이단위할당은 하나의 베이내에 다른 그룹을 섞지 않기 때문에 스택단위할당보다는 재취급 회수가 적을 것으로 예상되지만 공간할당 측면에서는 스택단위할당이 더 좋을 것으로 예상된다. 이러한 기회비용(Trade-Off)의 측면이 있기 때문에 이와 같은 전략을 세우게 되었다.

3.2.2 저장블록 결정 규칙

무작위 결정규칙과 블록 그룹별 우선순위 차등화 규칙 그리고 선박별 집중화 장치규칙이 있다. 무작위 결정규칙은 블록을 결정할 때마다 전체 블록을 대상으로 임의로 하나의 블록을 선택하는 것을 의미하고 블록 그룹별 우선순위 차등화 규칙은 각 선박에 대해 거리가 가까운 블록의 그룹에 대해 우선순위를 가지게 된다. 본선작업시 컨테이너가 처리될 선박의 위치에 따라서 우선순위가 높은 블록을 선택하여 장치장에 저장하는 규칙이다. 선박별 집중화 장치규칙은 하나의 선박에 대해 반입 및 양하할 물량이 저장될 블록이 선택되면 그 블록에 집중해서 저장하는 규칙이다.

이러한 결정 규칙들에 따라 장치장에 있는 ATC의 작업에 대한 부하가 달라지게 된다. 이러한 작업의 부하는 작업 처리량과 장비의 활용도 그리고 선박의 작업처리시간 등과 밀접한 관계를 가진다. 장치장에 저장된 컨테이너의 위치가 분산화 되면 ATC의 작업에 대한 부하가 평준화되는 반면 AGV의 이동경로가 길어지게 되는 기회비용이 존재하게 된다.

4. 시뮬레이션

컨테이너 터미널의 문제는 제약조건이 너무 많고 복잡한 요소가 많기 때문에 발견적 기법을 적용하여 시뮬레이션으로 그 성능을 평가하고자 한다. 시뮬레이션이란 복잡한 공정 또는 시스템의 설계 및 운영의 결과를 효율적으로 분석하는 도구중의 하나이며 실제 시스템의 모델을 설계하고 시스템의 거동과 운영에 대해 실행 가능한 여러 방법을 이해하기

위하여 모델을 실험하는 일체의 과정이라고 정의 할 수 있다.

본 논문에서는 객체 지향적이고 시뮬레이션 전문 언어인 SIMPLE++를 사용하였으며 선석, 게이트, 장치장으로 나누어서 터미널을 묘사하였다.

4.1 선석 프레임

본 프로그램에서의 선석은 선박의 입출항, 컨테이너 크레인의 작업 그리고 AGV의 작업이 이루어지는 곳으로 초기 데이터를 생성하게 되며 구조는 기본가정을 바탕으로 하여 프로그램 되었다.

4.1.1 기본가정

선석은 3개로 되어있다고 가정한다. 모든 선박은 정해진 시간에 도착하며 도착한 선박의 접안할 선석의 위치는 이미 결정되어 있다. 작업하는 컨테이너 크레인의 대수도 양하 및 적하할 물량에 따라 각 선석마다 결정 되어있으며 작업 중간에 대수의 변동은 없다. 각 선석에서 각 블록으로 이동시 AGV의 트래픽 컨트롤(Traffic Control)은 하지 않으며 AGV의 수리 및 고장등에 의한 작업지체에 관련된 모든 일은 일어나지 않는다고 가정한다.

4.1.2 데이터 생성

초기 데이터로는 도착할 선박의 모든 적하 물량과 양하할 물량이 되는데 선박의 도착시간을 알고 있으면 초기화 시점에 생성된다. 이들 각 선박에 실을 컨테이너들은 해당 선박의 컨테이너 반입허락기간 동안에 일정한 분포로 터미널에 들어온다. 이 프로그램에서는 반입허락기간을 10일로 두었으며 각 선박이 도착하기 이전 10시간부터 4일동안 적하 물량이 미리 정해진 비율대로 매일 일정한 간격으로 반입 물량 리스트를 작성하도록 하였다.

초기 생성 데이터 물량은 기존의 데이터에서 구한 분포를 이용한 자료가 되겠으며 생성되는 내용으로는 선박 당 적하물량, 양하물량, 적하물량의 그룹(Group)수와 클러스터(Cluster)수 그리고 양하물량의 클러스터수이다.

양하 작업 리스트는 선박이 도착하는 즉시 초기 생성되었던 양하 물량에 대해 날짜 및 시간이 정해져서 생성된다. 양하 작업 리스트의 생성 방법은 작업이 할당된 각 컨테이너 크레인마다 양하 리스트가 있고 동일 클러스터의 단위로 양하물량을 양하 하는 순서로 작성된다.

반출물량의 데이터는 선박이 양하 작업을 완료하면 되면 바로 적하 작업이 시작하게 되는데 적하 작업이 있기 이전에 적하 작업 리스트와 반출 작업 리스트를 작성하게 되는데 적하 작업 리스트의 작성 방식은 장치장에 있는 동일 그룹의 컨테이너중에서 무작위로 선

정하게 된다.

반출 작업 리스트는 양하 작업이 완료한 시점의 일정한 시간 이후부터 일정한 기간동안 매일 전체물량을 일정한 시간간격으로 무작위로 반출해 나가도록 작성된다. 즉, 양하한 순서와는 무관한 순서로 나가게 된다.

4.1.3 프레임의 구조

선박이 도착하게 되면 해당 선석에서 작업이 시작되고 이전의 선박의 작업이 완료하기 이전에 다음 선박이 도착하게 되면 대기하게 된다. 하나의 선석에는 컨테이너 크레인이 1대에서 4대까지 운영 가능하다. 즉, 유동적인 컨테이너 크레인의 운영의 확장성에 맞도록 설계되어 있다.

각각의 컨테이너 크레인마다 AGV가 동일한 수로 할당되며 할당되는 대수는 조절이 가능하다. AGV는 적하와 양하의 작업을 하게 되고 AGV의 작업 시작 위치와 작업 완료 위치는 모두 선석으로 되어 있다. 각 선석에서 블록간의 거리는 고려되었다.

유휴상태의 AGV는 AGV Queue라는 곳에 대기하게 되어 있는데 유휴상태란 컨테이너 크레인이 작업이 없어 AGV가 유휴상태가 되는 경우와 컨테이너 크레인이 작업이 거의 끝나 갈 무렵 더 이상 할당할 작업이 없을 경우의 AGV는 유휴상태가 되는 것이다. 양하 작업을 완료한 AGV는 선석으로 다시 돌아와 AGV Queue라는 곳에 갔다가 잔여 작업이 있을 경우에는 먼저 도착한 AGV순으로 즉, FIFO의 규칙으로, 작업을 할당 받는 방식으로 설계되어 있으며 작업을 마친 AGV가 미처 선석에 도착하지 않은 경우는 컨테이너 크레인이 대기하게 된다.

적하 작업의 경우에는 컨테이너 크레인이 AGV에 내려 놓을 시점에 AGV가 없으면 대기하게 되고 적하할 물량을 싣고 온 AGV를 컨테이너 크레인이 작업을 한 후 다음 적하할 물량이 있을 경우에는 바로 작업을 받고 선석을 떠나게 되고 그렇지 않으면 AGV Queue에서 대기하게 된다.

4.1.4 프레임에서의 사건흐름

선석 프레임에서의 사건흐름은 선박이 도착하여 소멸할 때까지를 나타내었다. 양하할 물량의 장치위치 결정시점은 양하할 컨테이너를 AGV에 상차하기 이전에 결정된다. 양하의 완료는 마지막 컨테이너를 AGV에 상차함으로써 완료가 된다. 만약 양하할 물량이 없을 경우에는 바로 적하 작업이 이루어진다. 양하와 마찬가지로 적하 작업이 없을 경우에는 양하 작업을 마치면 선박은 반출 리스트만을 작성하고 선석을 떠나게 된다.

적하 작업은 AGV가 선석에서 컨테이너 크레인의 요구에 의해 출발하여 장치장에서 컨테이너를 싣고 컨테이너 크레인까지 오는

것이 적하작업 완료가 되겠으며 양하 작업은 컨테이너 크레인이 상차작업을 마치면 선석에서 나가 장치장에 컨테이너를 저장한 뒤 빈 AGV로 돌아오게 된다.

마지막 컨테이너를 컨테이너 크레인이 선박에 실으면 적하 작업이 완료가 되며 적하 작업을 마치게 되면 선박은 선석을 떠나게 된다.

4.2 게이트 프레임

본 프로그램에서의 게이트는 반입 물량과 반출 물량을 처리하는 트럭의 출입이 있는 곳이다. 반입게이트(In_gate)는 반입 물량의 차량과 반출을 위한 트럭이 들어오는 곳이 되겠으며 반출게이트(Out_gate)는 반입작업을 마친 트럭과 반출 물량을 실은 트럭이 나가게 되는 곳이 된다. 모든 반입 물량에 대한 데이터가 생성되며 게이트 프레임의 구조는 기본가정을 바탕으로 프로그램 되었다.

4.2.1 기본가정

게이트에서 블록들간의 거리는 없는 것으로 하였다. 반입게이트와 반출게이트는 3개가 있다고 가정한다. 반입 물량도 시간이 지체되거나 하는 예외 현상은 발생하지 않는 것으로 가정한다.

4.2.2 데이터생성

초기 데이터에서 반입물량이 정해지면 시뮬레이션 기간동안의 모든 반입물량의 반입 날짜와 시간이 정해진다.

4.2.3 프레임의 구조

반입게이트는 반입 물량을 싣고 온 트럭 또는 반출을 위한 빈 트럭이 들어오게 되고 반출게이트는 반출물량을 싣고 나가는 트럭과 반입작업을 마친 트럭이 통과하여 나가게 되어 있다. 반입게이트와 반출게이트에는 각각 하나의 버퍼가 있다. 만약 게이트를 통과하는 트럭들이 한꺼번에 몰려 과부하가 걸릴 경우에 트럭들은 버퍼에서 대기하고 있다가 유휴한 게이트가 생기면 통과하게 된다.

4.2.4 프레임에서의 사건흐름

외부에서 터미널로 들어오는 트럭의 사건과 터미널에서 외부로 나가는 사건으로 구성되어 있다.

반입게이트에서는 트럭이 게이트에 도착하게 되면 도착하는 순서대로 컨테이너의 저장위치를 결정하여 그 정보를 받게 되고 반출 물량을 가지러 온 트럭은 반출하려는 컨테이너 위치의 저장위치 정보를 전달 받게 된다. 정보를 받은 트럭은 해당 블록으로 이동하게 된다.

4.3 장치장 프레임

본 프로그램에서의 장치장은 반입 물량을

적하 작업이 있을 때까지 컨테이너를 저장하는 공간과 양하한 물량을 반출할 때까지 저장하는 공간이다. 장치장에서는 데이터를 생성하는 부분은 없다. 장치장 프레임의 구조는 기본 가정으로 바탕으로 설계되었다.

4.3.1 기본가정

장치장은 21개의 블록으로 구성되어 있으며 하나의 블록에는 41개의 베이로 구성되어 있다. 하나의 베이에는 5단의 스택이 10개로 구성되어 있다. 장치장의 Broken Space를 가능한 한 줄이기 위해 해측으로부터 저장공간을 할당한다.

육측에는 5개의 트럭의 작업대기위치가 있고 해측에는 6개의 AGV의 작업대기위치가 존재한다. 6개의 해측 작업대기위치중 하나는 AGV가 블록안으로 진입하여 작업을 하려는 경우의 작업대기위치가 된다. 이때 블록안으로 들어올 수 있는 AGV의 대수는 1대이다.

4.3.2 프레임의 구조

하나의 스택 또는 베이에서는 컨테이너의 개수로 여유공간을 계산하게 되고 하나의 스택 또는 베이에는 항차, 그룹, 컨테이너의 크기 와 개수의 정보만을 가지고 있다.

하나의 블록에는 트럭이나 AGV의 과부하를 해결하기 위한 버퍼를 두었으며 블록의 들어오는 입구와 나가는 출구에 하나씩 설계되어 있다. 하나의 블록을 진입한 트럭이나 AGV는 작업대기위치로 가게 되는데 작업대기위치를 선택하는 방식은 작업을 가장 오랫동안 기다린 작업대기위치에 우선순위가 있으며 동물이 발생할 경우는 무작위로 처리한다. ATC의 간섭문제는 작은 ATC가 작업을 할 경우에는 차지하는 베이만큼의 큰 ATC의 프로세스를 점유하도록 설계 되어 있으며 큰 ATC가 작업을 할 경우에는 차지하는 베이만큼의 작은 ATC의 트랙을 점유하게 설계되어 있다. ATC가 작업을 할당 받고 이동을 할 때는 작업을 하려는 장소를 미리 예약하는 것이 아니라 목표지점방향으로 이동 후 큰 ATC의 경우 그 위치에 작업이 선행 중이면 대기하고 작은 ATC의 경우는 이동 중에 큰 ATC가 작업중이면 작업이 완료할 때 까지 대기한 후 계속 진행하는 방식으로 설계되어 있다. ATC는 작업을 완료한 곳에서 대기하게 되어 있으며 큰 ATC가 작업하려는 위치에 유희상태의 작은 ATC가 있는 경우는 일정 거리만큼 이동하게 된다.

4.3.3 프레임에서의 사건흐름

반입, 반출의 차량 또는 본선작업의 AGV가 장치장에 도착한 사건으로 시작하게 되는데 ATC가 유희한 시점에 작업이 도착하면 어느 ATC가 작업을 처리할지 결정하는 의사결정을 하게 된다. 그렇지 않은 경우는 작업리

스트에 정보를 리스트에 등록하고 대기한다. ATC가 하나의 작업을 완료한 시점에는 어떤 작업을 처리할지의 의사결정을 하게 된다. 작업이 할당되면 작업리스트의 내용은 삭제되고 ATC는 해당 지역으로 이동한다. 작업을 완료한 차량 또는 AGV는 장치장을 빠져나가게 된다.

5. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 컨테이너 터미널 연구로서의 한 방향으로 자동화 컨테이너 터미널에 대해서 연구하였다. 특히 기존의 터미널과 다른 수직 배치 장치장의 사용으로 그에 따른 장비와 장치장의 운영에 대해 시험하기 위한 시뮬레이션 모형을 개발하였다.

터미널의 효율적인 운영을 위해서는 ATC의 운영에 대한 연구와 장치장 운영뿐만 아니라 선석과 게이트등 전반적인 터미널의 운영이 함께 고려되어야 한다. 따라서 터미널에서 사용되고 있는 다양한 장비와 장치장의 다양한 운영전략에 대하여 추가적으로 연구가 필요하다고 사료된다. 그리고 여기에서 다루지 않았던 리마살링과 환적물량의 처리는 추후 과제로 꼭 필요하다고 생각된다. 본 논문은 자동화 컨테이너 터미널의 수직배치형태에 대하여 장비 운영전략 연구와 장치장 운영의 기초를 제안한 것에 그 의미가 있다고 사료된다.

Acknowledgement

본 연구는 2001년 한국해양수산개발원(KMI)의 지원에 의한 것임.

참고문헌

윤원영, 최용석, 송진영, 양창호(2001), 컨테이너 터미널에서 컨테이너 크레인의 하역능력 추정에 관한 시뮬레이션 연구, 대한산업공학 회지, Vol.14(1), 67-78.

Evers, J. J. M. and Koppers, S. A. J. (1996), Automated guided vehicle traffic control at a container terminal, *Transportation Research Part A*, 30, 21-34.

Kim, K. H., Park, K. T., Lim, J. K., and Takahashi, T. (1999), A distributed control strategy for automated guided vehicle system in port container terminals, *Proceedings of the 3rd international conference on material handling & international conference on freight pipeline*, Shanghai, China, Oct. 19-23, 17-21.

Lai, K. K. and Lam, K.(1994), A Study of Container Yard Equipment Allocation Strategy in Hong Kong, *International Journal of Modeling & Simulation*, Vol.14(3), 134-138.