

工學博士 學位論文

자동화 컨테이너터미널의
ATC 동적운영로직 및 간섭회피전략 개발

- 광양항 자동화터미널 사례중심 -

Dynamic Operation Logics & Interference Avoidance Strategies
for ATC in Automated Container Terminal

指導教授 南 奇 燦

2004年 2月

韓國海洋大學校 大學院

物流시스템工學科

金 羽 善

本 論文을 金羽善의 工學博士 學位論文으로 認准함

主審 工學博士 郭 圭 錫 印

委員 工學博士 金 煥 成 印

委員 工學博士 夏 源 翊 印

委員 工學博士 許 允 守 印

委員 工學博士 南 奇 燦 印

2003年 12月

韓國海洋大學校 大學院

物 流 系 工 學 科

金 羽 善

목 차

1. 서론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 범위	2
1.3 기존연구 및 한계	3
1.4 연구의 수행방법 및 구성	6
2. 자동화 컨테이너터미널의 현황, 운영장비 및 평면배치	8
2.1 반자동화 컨테이너터미널의 개요 및 하역시스템 분석	8
2.2 자동화 컨테이너터미널의 개요 및 하역시스템 분석	15
2.3 자동화터미널의 운영장비	24
2.4 장치장의 블록평면배치	35
3. 연구 대상 자동화 컨테이너터미널의 개요 및 자동화 장비운영전략	39
3.1 연구대상 터미널의 개요	39
3.2 자동화 컨테이너터미널의 자동화 장비운영전략	43
4. ATC 운영 시뮬레이션의 설계 및 구현	53
4.1 MIT 및 PIAS의 특징 및 적용과정흐름	53
4.2 ATC 운영 시뮬레이션의 설계	55
4.3 GA(Gwang Yang Automated Container Terminal) 장치장의 운영 시뮬레이션 구현	61
5. 시뮬레이션 실험결과	64
5.1 대안별 결과	64
5.2 시사점	94
6. 결론	97

표 차 례

<표 1-1> 기존연구 정리	5
<표 2-1> PPT 자동화 컨테이너터미널의 물류체계	9
<표 2-2> 테임즈항(Thames Port) 자동화터미널의 물류체계	11
<표 2-3> HIT 자동화터미널의 물류체계	13
<표 2-4> 가와사키 컨테이너터미널의 물류체계	14
<표 2-5> ECT 컨테이너터미널의 물류체계	17
<표 2-6> CTA 컨테이너터미널의 물류체계	18
<표 2-7> Euromax 컨테이너터미널의 물류체계	20
<표 2-8> HNN 컨테이너터미널의 물류체계	21
<표 2-9> GA 컨테이너터미널의 물류체계	23
<표 2-10> AGV의 기본개념 및 특징	25
<표 2-11> AGV의 제원	25
<표 2-12> SHC의 기본개념 및 특징	27
<표 2-13> SHC(Shuttle Carrier)의 제원	27
<표 2-14> ATC의 기본개념 및 특징	29
<표 2-15> ATC(Automated Transfer Crane)의 제원	30
<표 2-16> ASC의 기본개념 및 특징	32
<표 2-17> OHBC의 기본개념 및 특징	33
<표 2-18> 수평배치의 기본개념 및 특징과 적용터미널	36
<표 2-19> 수직배치의 기본개념 및 특징과 적용터미널	38
<표 3-1> ATC가 차지하는 베이수	42
<표 3-2> Closed Loop 방식과 Cross Lane 방식의 장단점 비교	46
<표 3-3> 균등할당과 속성별할당 비교	48
<표 4-1> ATC의 개체속성과 개체상태	56
<표 4-2> AGV 및 외부트럭의 개체속성과 개체상태	58
<표 4-3> ATC 상태정의	59
<표 5-1> 작업전담 vs 공동작업	89
<표 5-2> FIFO vs METD vs MIT	90
<표 5-3> NIAS vs PIAS	91
<표 5-4> MIT&PIAS vs METD&PIAS vs Others	92
<표 5-5> 대안별 이동시간, 주행간섭, 작업간섭	93

그림 차례

<그림 2-1> PPT 자동화 컨테이너터미널의 물류체계 흐름도	10
<그림 2-2> 테임즈항(Thames Port) 자동화터미널의 물류체계 흐름도	11
<그림 2-3> HIT 자동화터미널의 물류체계 흐름도	13
<그림 2-4> 가와사키 터미널의 레이아웃 변경형태	14
<그림 2-5> 가와사키 컨테이너터미널의 물류체계 흐름도	15
<그림 2-6> ECT 컨테이너터미널의 물류체계 흐름도	17
<그림 2-7> CTA 컨테이너터미널의 물류체계 흐름도	19
<그림 2-8> Euromax 컨테이너터미널의 물류체계 흐름도	20
<그림 2-9> HNN 컨테이너터미널의 물류체계 흐름도	22
<그림 2-10> GA 컨테이너터미널의 물류체계 흐름도	23
<그림 2-11> AGV	26
<그림 2-12> SHC(Shuttle Carrier)	28
<그림 2-13> ATC(Automated Transfer Crane)의 정면도	28
<그림 2-14> ASC 크레인	32
<그림 2-15> OHBC(Overhead Bridge Crane)	34
<그림 2-16> 자동화터미널의 야드운영 하역장비 시스템	34
<그림 2-17> 수평배치	36
<그림 2-18> 수직배치	38
<그림 3-1> 터미널 단면도(해측)	40
<그림 3-2> 해측과 육측의 컨테이너 전송점 및 전송위치	41
<그림 3-3> 간섭의 형태	42
<그림 3-4> Closed Loop 방식	44
<그림 3-5> Cross Lane 방식	46
<그림 3-6> 자동화터미널의 운영전략 구성도	52
<그림 4-1> ATC의 작업과정 흐름도	57
<그림 4-2> AGV 및 외부트럭의 작업과정 흐름도	58
<그림 4-3> ATC의 상태전이도	60
<그림 4-4> 대안 구성도	62
<그림 4-5> 시뮬레이션 흐름도	63
<그림 5-1> 대안 1의 이동시간분포	65
<그림 5-2> 대안 1의 주행간섭분포	65
<그림 5-3> 대안 1의 작업간섭분포	66
<그림 5-4> 대안 2의 이동시간분포	67
<그림 5-5> 대안 2의 주행간섭분포	67

<그림 5-6> 대안 2의 작업간섭분포	68
<그림 5-7> 대안 3의 이동시간분포	69
<그림 5-8> 대안 3의 주행간섭분포	69
<그림 5-9> 대안 3의 작업간섭분포	70
<그림 5-10> 대안 4의 이동시간분포	71
<그림 5-11> 대안 4의 주행간섭분포	71
<그림 5-12> 대안 4의 작업간섭분포	72
<그림 5-13> 대안 5의 이동시간분포	73
<그림 5-14> 대안 5의 주행간섭분포	73
<그림 5-15> 대안 5의 작업간섭분포	74
<그림 5-16> 대안 6의 이동시간분포	75
<그림 5-17> 대안 6의 주행간섭분포	75
<그림 5-18> 대안 6의 작업간섭분포	76
<그림 5-19> 대안 7의 이동시간분포	77
<그림 5-20> 대안 7의 주행간섭분포	77
<그림 5-21> 대안 7의 작업간섭분포	78
<그림 5-22> 대안 8의 이동시간분포	79
<그림 5-23> 대안 8의 주행간섭분포	79
<그림 5-24> 대안 8의 작업간섭분포	80
<그림 5-25> 대안 9의 이동시간분포	81
<그림 5-26> 대안 9의 주행간섭분포	81
<그림 5-27> 대안 9의 작업간섭분포	82
<그림 5-28> 대안 10의 이동시간분포	83
<그림 5-29> 대안 10의 주행간섭분포	83
<그림 5-30> 대안 10의 작업간섭분포	84
<그림 5-31> 대안 11의 이동시간분포	85
<그림 5-32> 대안 11의 주행간섭분포	85
<그림 5-33> 대안 11의 작업간섭분포	86
<그림 5-34> 대안 12의 이동시간분포	87
<그림 5-35> 대안 12의 주행간섭분포	87
<그림 5-36> 대안 12의 작업간섭분포	88
<그림 5-37> 작업전담 vs 공동작업	89
<그림 5-38> FIFO vs METD vs MIT	90
<그림 5-39> NIAS vs PIAS	91
<그림 5-40> MIT&PIAS vs METD&PIAS vs Others	92
<그림 5-41> 대안별 이동시간, 주행간섭, 작업간섭	93
<그림 5-42> 운영로직과 이동시간, 주행간섭, 작업간섭의 관계	96

**Dynamic Operation Logics & Interference Avoidance
Strategies
for ATC in Automated Container Terminal**

Kim, Woo Sun

**Department of Logistics Engineering
Graduate School of Korea Maritime University**

Abstract

It is necessary quick loading and unloading because throughputs of container in container terminals were increased all over the world. An advanced Automated Container Terminal(ACT) was needed to improve the competitiveness of port logistics.

There is not different between ACT and Manned Container Terminal in gate and berth operation. Terminal yard has most differential part in terms of automation in AGV and ATC operation.

In this study we analyze equipment operation strategy of AGV and ATC for domestic Gwang Yang ACT. The objective of this paper is to develop dynamic operation logic and interference avoidance strategy.

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

전세계적으로 컨테이너 물동량이 증가하여 신속한 하역작업을 수행해야 할 필요성이 대두되었으며, 항만물류의 경쟁력을 높이기 위해서 인력위주의 작업을 탈피하여 저비용, 고효율의 경쟁력 있는 첨단 기능을 보유한 항만건설이 필요하게 되었다. 이에 따라 선진외국항만에서는 항만하역장비의 자동화에 눈을 돌려 자동화 컨테이너터미널을 건설하였다.

자동화 컨테이너터미널은 반자동화터미널과 자동화터미널로 나눌 수 있다. 대표적인 반자동화터미널에는 HIT, PPT, 템즈항 등이 있으며, 자동화터미널에는 ECT, CTA 등이 운영되고 있으며, 국내에서는 광양항 3단계 자동화 컨테이너터미널이 계획중에 있다.

자동화 컨테이너터미널 생산성의 핵심은 자동화 장비인 ATC(Automated Transfer Crane)와 AGV(Automated Guided Vehicle)의 효율적인 운영이다. 장비의 효율적인 운영은 자동화 컨테이너터미널의 생산성을 결정짓는 가장 중요한 요소이다(권해경, 2002).

그러나, 국내외의 대부분의 연구는 모든 자동화터미널에 적용가능한 이송장비인 AGV의 운영에 초점이 맞춰져 있으며, 운영방식과 물류체계가 서로 달라 장치장 하역장비인 ATC 에 관한 연구는 상대적으로 빈약한 형편이다. 또한, ATC를 운영하고, 유사한 운영방식과 물류체계를 갖는 CTA터미널과도 내부진입로의 유무로 인하여 운영로직의 국내 적용에 어려움이 있다. 참고로 할 만한 상세한 운영기술도 공개가 되지 않고 있기 때문에 선진항만으로 도약하기 위하여 자동화 컨테이너터미널에 대한 연구가 필요하다(이주호, 2003).

실제 자동화장비운영중에는 예기치 못한 상황이 생겨 계획을 수정해야 할 경우가 빈번히 발생하는데 이때마다 재계획을 하는 것은 너무나 비효율적이다. 그래서 자동화 장비운영은 한번에 정해진 계획대로 이루어지는 것 보다 각 장비가 어떤 작업을 할당받기 위한 의사결정이 이루어지는 경우 이를 이벤트(event)이라 하면, 그 사건

을 효율적으로 해결 할 수 있는 단순한 할당규칙(dispatching rule)에 의해 사건 중심으로 운영되는 것이 현실적이다(이상완외 5명, 2002).

자동화 컨테이너터미널의 게이트와 선석의 운영은 기존 컨테이너터미널과 큰 차이점이 없으나 자동화장비의 운영으로 인하여 가장 많은 차이를 보이고 있는 부분은 장치장이다. 따라서, 고가의 자동화 장비들을 효율적으로 운영하고 생산성을 증대하기 위하여 각 단계별 전략의 통합을 이루어야 한다. 그러므로, 본 연구에서는 국내의 광양 3단계 자동화 컨테이너터미널을 대상으로 하여 AGV 및 ATC의 장비 운영전략을 분석하고, 기존에 연구되지 않았던 간섭회피전략에 대한 개념을 정립한다. 그리고, ATC 장비의 효율적 운영에 있어서 가장 중요한 사항인 동적운영로직을 개발하고, 각 전략단계별 운영로직을 통합하여 단순한 할당규칙을 이용해서 ATC 생산성 저해요인인 간섭을 최소화하는 간섭최소화전략과 능동적인 간섭회피전략을 개발하여 자동화장비의 운영효율성과 생산성을 증대시키는 것을 본 연구의 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위

자동화 컨테이너터미널의 ATC 동적운영로직의 개발 및 간섭회피전략의 개발을 위해서 본 연구의 범위는 1장, 서론으로 연구의 배경 및 목적, 연구의 범위, 기존연구, 연구의 수행방법 및 구성으로 이루어진다. 2장은 자동화터미널의 이해를 돕기 위해서 국내외 자동화 컨테이너터미널에 대한 자료조사를 하여 HIT, PPT, 템즈항과 같은 반자동화터미널과 ECT, CTA 등과 같은 자동화터미널에 대해서 설명한다. 특히, 자동화 컨테이너터미널에서의 AGV, ASC, ATC와 같은 자동화운영장비와 컨테이너터미널에서의 수직배치와 수평배치와 같은 평면배치를 다룬다. 3장에서는 분석대상 자동화 컨테이너터미널의 물류체계와 사용장비 등을 기술하고, 기존에 개별적으로 연구된 AGV 및 ATC의 자동화 장비운영전략에 대해서 일괄적으로 통합 정리하여 설명하고, 간섭최소화전략과 간섭회피전략을 제안한다. 4장에서는 제안한 간섭최소화전략과 간섭회피전략의 세부적인 적용방법을 기술하며, ATC 운영시뮬레이션 설계 및 구현을 위하여 시뮬레이션 분석을 위한 기초작업을 수행한다.

5장에서는 시뮬레이션을 통하여 도출된 실험결과를 분석하고, 마지막으로 6장에서는 결론을 도출한다.

1.3 기존연구 및 한계

1.3.1 기존연구

국내외에서 자동화 장비인 AGV와 ATC, ASC에 대한 여러 가지 연구가 있었다. 그러나 본 연구에서는 분석대상인 ATC장비의 운영에 초점을 맞추어 기존연구를 정리한다.

국내의 자동화 터미널 시뮬레이션에 관한 연구로 왕승진(2002)은 자동화 터미널에서의 성능이 다른 두 대의 ATC 운영전략 중 작업할당문제와 작업순서결정문제로 나누어서 접근하였다. 양/적하작업 ATC와 반/출입 작업 ATC를 구분하고, 각 작업당 무부하 운동이 최소인 작업을 적용하는 것이 우수하다는 것을 보였고, 작업순서결정문제에서는 선입선출(FIFO)과 무부하 이동거리 최소화(METD)전략을 비교하여 무부하 이동거리 최소화전략의 우수함을 증명하였다. 장치장운영 규칙에서는 스택단위 할당이 베이단위 할당보다 유휴공간(Broken Space)을 줄임으로 장치장 효율을 높인다는 것을 보여주었으며, 또한 양/적하 작업시 블록 집중화보다 무작위 블록 선택 규칙이 ATC의 작업부하를 고르게 배분하는 효과가 있어서 더 우수하다는 것을 제시하였다.

장성용, 용운중(1998)은 1척의 선박이 접안 할 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 운영을 위한 시뮬레이터를 개발하기 위한 구상을 제시하였다.

이주호(2002)는 자동화 컨테이너터미널에서의 이적운영규칙에 관한 연구에서 ATC 이적작업의 운영방안과 컨테이너 장치위치 할당에 관한 운영방안을 제시하고, 시뮬레이션을 이용하여 실험을 비교분석하였다.

이석준(2003)은 자동화 컨테이너터미널에서의 자동화 야드크레인(ATC)의 운영 규

칙연구 위하여 시간창(time window)을 이용하여 자동화 야드크레인의 운영에 관한 여러 가지 규칙과 전략을 제안하고, 제시된 운영규칙과 전략의 시뮬레이션 실험을 통해 자동화 야드크레인에 적합한 운영규칙을 제시하였다.

권해경(2002)은 작업대기위치에서 다음 작업을 할당 시켜주는 AGV의 할당규칙과 ATC의 재취급 규칙을 제안하였으며, 이들 규칙이 각각 운영되는 운영방안을 제안하였다.

외국의 경우 Patrick J.M. Meermans와 Albert P.M. Wagelmans(2001)는 자동화 컨테이너터미널에서 자동화 장비의 총작업소요시간(makespan)을 최소화하기 위한 통합 운영계획 방법으로 Branch & Bound 알고리즘과 Beam Search법을 제안하였다.

<표 1-1> 기존연구 정리

저자	연구내용	비고
왕승진	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성능이 다른 두 대의 ATC 운영전략 중 작업할당 문제와 작업순서결정문제로 나누어서 접근 ○ 작업순서 결정문제에서는 무부하 이동거리 최소화 전략의 우수함을 증명 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 각 전략을 개별적으로 분리하여 연구
용운중	<ul style="list-style-type: none"> ○ 가상의 자동화컨테이너터미널에서 컨테이너 크레인 수, AGV 대수, 야드 크레인 수 등을 변화시켜 가면서 터미널의 생산량을 추정할 수 있는 시뮬레이션 모델을 개발하여 제시 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 계획 시뮬레이션 수행
이주호	<ul style="list-style-type: none"> ○ ATC 이적작업의 운영방안과 컨테이너 장치위치 할당에 관한 운영방안을 제시 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 이적운영규칙 연구
이석준	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자동화 야드크레인(ATC)의 운영 규칙연구를 위하여 시간창(time window)을 이용하여 자동화 야드크레인의 운영에 관한 여러 가지 규칙과 전략을 제안 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시간창을 이용해서 확정적인 상황에서 크레인의 운영 규칙연구
권해경	<ul style="list-style-type: none"> ○ 작업대기위치에서 다음 작업을 할당 시켜주는 AGV의 할당규칙과 ATC의 재취급 규칙 실험 	<ul style="list-style-type: none"> ○ AGV 할당규칙과 ATC 재취급 최소화를 위한 규칙 실험
Patrick	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자동화 컨테이너터미널에서 자동화 장비의 총작업소요시간(makespan)을 최소화하기 위한 통합 운영계획 방법으로 Branch & Bound 알고리즘과 Beam Search법을 제안 	<ul style="list-style-type: none"> ○ OR 기법을 이용하여 총작업소요시간 최소화연구

1.3.2 기존연구의 한계

지금까지 연구된 장비운영계획문제들은 실제상황은 동적이고 확률적 환경인데도 불구하고, 정적이고 확정적인 상태라고 가정하거나, 각 단계별 전략을 개별적으로 연구하여 운영로직을 통합적으로 고찰하지 못하였다.

이러한 가정들은 현실적이고 동적인 문제들을 해결해 나가는 것을 어렵게 한다. 실제 자동화 컨테이너터미널의 환경은 매우 복잡한데 결정론적인 알고리즘 기반의 운영계획 방법들은 컨테이너발생과 처리시간의 변화와 같은 발생시점이 예측불가능한 상황과 간섭에 의한 대기과 같은 상호작용에 의해 발생하는 불확실한 상황에 대해서 동적으로 고려하지 않는다.

이로 인해, 계획된 작업 일정들과 실제 실행되는 작업의 내용과는 많은 차이가 생긴다. 결과적으로 전통적인 운영계획 기법으로 얻을 수 있는 해는 현실의 운영 시스템에서는 좋은 수행결과를 제공해 주지 못한다.

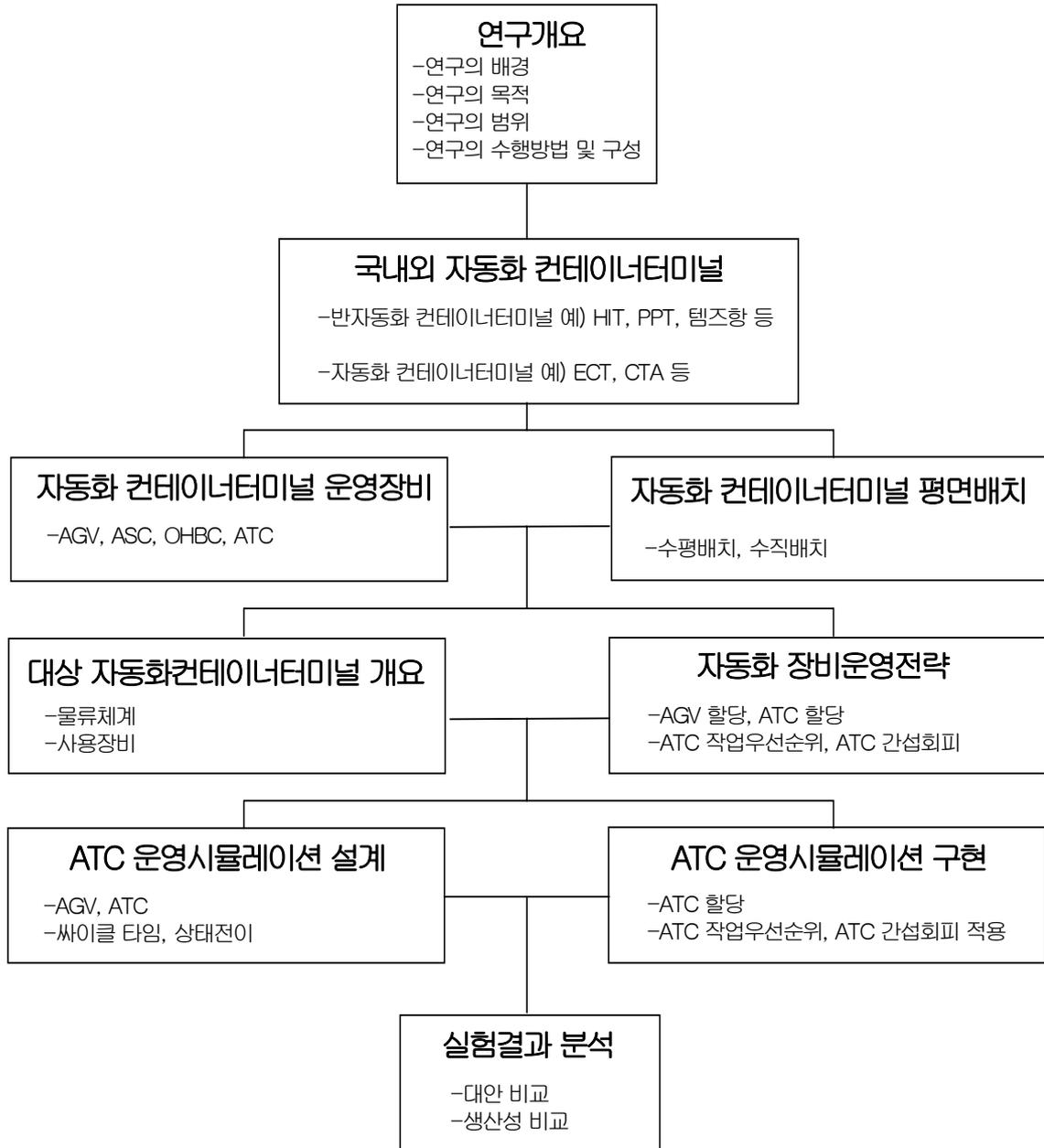
따라서, 자동화 장비운영은 한번에 정해진 계획대로 작업이 이루어지는 것 보다 각 장비가 작업을 끝내고 다음 작업을 할당받기 위한 의사결정이 이루어지는 경우 그 사건을 효율적으로 해결해 줄 수 있는 단순한 할당규칙(Dispatching Rule)에 의해 사건 중심으로 운영되는 것이 현실적이며, 동적로직의 구현을 위해서도 필수적이다.

1.4 연구의 수행방법 및 구성

1.4.1 연구의 주요내용

연구내용	세부분야	추진방법
현황분석	<ul style="list-style-type: none"> ● 반자동화 컨테이너터미널 예) HIT, PPT, 텀즈항 등 ● 자동화 컨테이너터미널 예) ECT, CTA 등 ● 운영장비 예) AGV, ASC, OHBC, ATC ● 평면배치 예) 수직배치, 수평배치 	<ul style="list-style-type: none"> ● 문헌조사 ● 관련기관 자료수집
대상 자동화 컨테이너터미널 개요 및 자동화 장비운영전략 분석 및 개발	<ul style="list-style-type: none"> ● 대상 터미널 개요 -물류체계, 사용장비 ● 자동화 장비운영전략 분석 -AGV 할당, ATC 할당 -ATC 작업우선순위, ATC 간섭회피 ● 간섭최소화 및 회피전략 개발 -MIT, PIAS 	<ul style="list-style-type: none"> ● 문헌조사 ● 관련기관 자료수집 ● 분석, 개념정리,구축
ATC 운영 시뮬레이션 설계 및 동적로직 개발	<ul style="list-style-type: none"> ● 동적로직의 구현을 위한 수단 -개체속성, 개체상태 -상태정의, 상태함수정의, 상태전이도 ● 동적로직 개발 ● ATC 운영시뮬레이션 설계 	<ul style="list-style-type: none"> ● 분석, 정리, 개발
ATC 운영 시뮬레이션 구현	<ul style="list-style-type: none"> ● ATC 운영시뮬레이션 구현 -AGV, ATC 	<ul style="list-style-type: none"> ● 프로그래밍

1.4.2 연구의 흐름도



2. 자동화 컨테이너터미널의 현황, 운영장비 및 평면배치

2장에서는 자동화 컨테이너터미널에 대한 이해를 돕기 위해서 국내외 반자동화 및 자동화 컨테이너터미널의 개요와 하역시스템을 설명하고, 자동화터미널에서 사용하는 이송장비 및 하역장비와 장치장운영과 관련된 평면배치에 대해서 설명한다.

2.1 반자동화 컨테이너터미널의 개요 및 하역시스템 분석

반자동화터미널은 이송장비 또는 야드 하역장비의 부분적인 자동화가 이루어진 터미널이며, 수평배치이다.

PSA의 PPT 터미널, 영국의 테임즈 항, 홍콩의 HIT 터미널, 일본의 가와사끼 터미널 등이 있다.

2.1.1 PSA(PPT : Pasir Panjang Terminal)

1) 개요

PSA는 Tanjong Pagar Terminal, Keppel Terminal, Brani Terminal, Pasir Panjang Terminal 등 4개의 터미널을 운영하고 있다. 일반적으로 주요 터미널들이 중심항을 지향하는데 비하여 PSA는 입지적 여건상 환적중심항(mega transshipment hub)을 터미널 운영 목표로 설정하고 있다.

일반적으로 알려진 것과는 달리 PSA 터미널 전체가 자동화로 나가는 것이 아니라 PSA 개발 계획의 4단계에 해당하는 Pasir Panjang Terminal(PPT)만이 무인자동화를 목표로 개발되고 있을 뿐이다.

1993년부터 “3rd Terminal”이라는 명칭으로 OHBC(Over Head Bridge Crane)와 AGV 하역장비 개념으로 자동화 개발에 착수하였다. 1997년 10월 4개 선석으로 1단계 개장을 하여 많은 시행착오를 거치면서 시스템 안정화단계를 거쳐서, 2000년 3월 6개 선석으로 공식 개장하였다.

2) 하역시스템 분석

PPT 자동화컨테이너터미널은 현재 “ㄱ” 자 형태의 안벽으로 형성되어 상부에 4선석과 측면부에 2선석으로 구성된다. PPT 자동화컨테이너터미널 하역시스템의 특징은 컨테이너를 수입/수출, 환적물량으로 구분하여 서로 다른 하역방식을 사용하고 있다. 먼저, 약 70%를 차지하는 환적물량의 처리는 환적물량을 이송하는 야드트럭의 운전자를 지속적인 교육과 훈련을 시키고, 인센티브를 제공하여 하역장비에 도킹(Docking)시 정확하게 접근하게 하여 손쉽게 OHBC와 야드트럭이 원격조정에 의한 자동운전을 수행하고 있다.

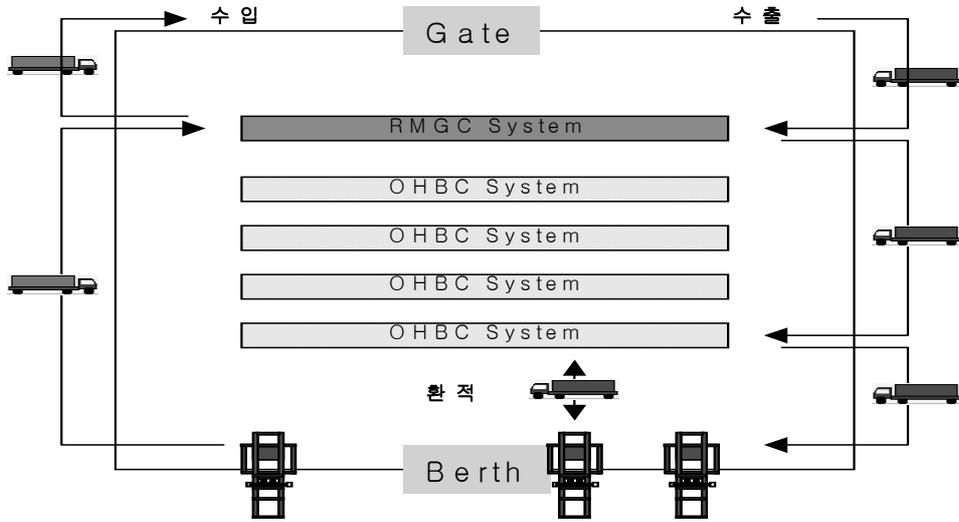
약 30%를 차지하는 수입/수출물량의 경우는 수출입물량을 이송하는 외부트럭의 경우 환적물량보다 적고, 외부트럭운전수의 교육, 훈련비용 및 외부트럭에 필요한 통신시설을 부착하는 비용이 많이 소요되므로 RMGC와 외부트럭을 이용한 수동운전을 수행하고 있다.

PPT는 야드내 베이가 안벽 법선에 평행하게 배치되어 있으며, 해측에는 선석당 OHBC가 4레인, 육측에는 RMGC 1레인이 배치되어 있는 형태이다. 처음 계획은 야드내 이송장비로 AGV를 도입하여 사용하도록 하였으나, 현재는 YT를 도입하여 사용하고 있고, 야드크레인은 OHBC(OverHead Bridge Crane)를 채택하여 사용하고 있다. 각 화물별 컨테이너의 흐름을 살펴보면 다음과 같다.

<표 2-1> PPT 자동화 컨테이너터미널의 물류체계

구 분	운영방법	비 고
환적	C/C ↔ YT ↔ OHBC ↔ 환적야드	현재 YT를 사용
수입	C/C → YT → RMGC → 수입야드 → RMGC → 외부트럭	
수출	외부트럭 → RMGC → YT → OHBC → YT → C/C	

<그림 2-1> PPT 자동화 컨테이너터미널의 물류체계 흐름도



2.1.2 테임즈 항

1) 개요

테임즈 항만은 1990년에 운영을 시작하였으며, 현재 유럽에서 가장 빨리 성장하는 컨테이너 항만 가운데 하나이다.

2) 하역시스템 분석

안벽에는 수동으로 운영되는 고속의 Post-Panamax급 컨테이너크레인이 5기 설치되어 있는데, 크레인의 사양은 에어 드래프트(Air Draft)가 30m, 아웃리치가 컨테이너 16열을 커버할 수 있다. 한편 컨테이너 17열을 커버할 수 있는 컨테이너를 주문 중에 있다고 한다.

유인차량은 현재 안벽과 컨테이너 야드 사이에 컨테이너를 이송하기 위해 사용된다. 본선작업에 있어서 안벽크레인과의 야드 사이의 컨테이너이송은 현재 야드샤시를 이용하고 있다.

컨테이너 야드는 완전 자동화 크레인으로 운영된다. 야드 영역에는 7단적으로 컨테이너를 적재할 수 있는 자동화된 RMGC가 14대 있으며 현재 1레인의 길이는

650m이고 9열 4단적까지 적재되어 있다. 컨테이너의 수령과 인도는 운전자가 없는 자동화이며 외부 차량위로의 컨테이너 최종 적재는 운반장치 교환베이에서 차량 운전자에 의해 원격으로 조정된다. 크레인 적재장소 사이의 컨테이너 운반은 재래식, 유인, 내부 이동 차량에 의해 수행된다.

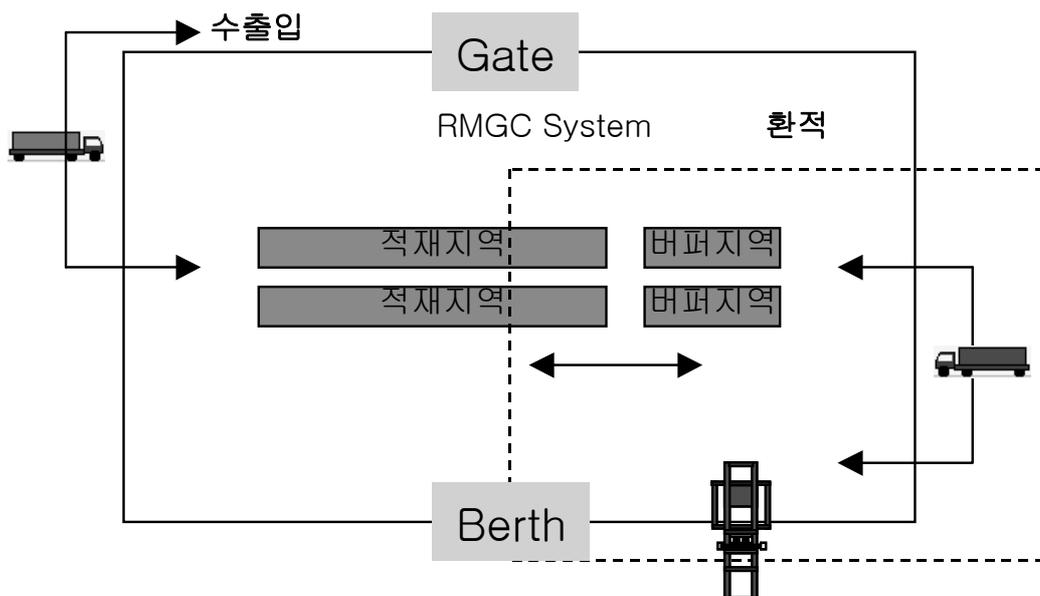
반출입작업에 있어서 RMGC는 무인운전을 원칙으로 하고 있으며, 지상배차원이 외부샤시에 대한 적정주차위치를 지시하고, 또 컨테이너 최종 옮겨쌓기 단계에서의 스프레더 조작은 무선으로 리모트콘트롤 한다. 운영 인원에 있어서는 1인이 복수의 RMGC를 담당하고 있다.

<표 2-2> 테임즈항(Thames Port) 자동화터미널의 물류체계

구 분	운영방법	비 고
환적	C/C ↔ YT ↔ RMGC ↔ 적재야드	-
수출입	C/C → YT → RMGC → 버퍼야드 → RMGC → 적재야드 → RMGC → 외부트럭	

자료 : 한국컨테이너부두공단, “유럽(영국, 독일) 자동화터미널 개발현황”, 2001

<그림 2-2> 테임즈항(Thames Port) 자동화터미널의 물류체계 흐름도



2.1.3 HIT(Hongkong International Terminal)

1) 개요

홍콩은 중국 및 인접 아시아 각국과 관련하여 급속도로 성장일로를 걷고 있는 경제지역인 아시아 환태평양의 중심과 Peal River Delta 지역 입구에 전략적으로 위치해 있다.

이러한, 홍콩항의 항만시설은 대부분 구룡반도의 서측에 집중되어 있으며, HIT터미널의 경우 CT 4, 6, 7, 8(East), 9로 구성되어 있다.

2) 하역시스템분석

HIT의 자동화 개념은 ECT, PSA, CTA의 개발 초기부터 터미널 전체에 대한 자동화개념과는 다른 적재용량향상을 위한 장비자동화가 주목적이다. 이러한 자동화는 유인 운전후 단계별 자동화를 구현하는 개념과는 달라서 제한된 부지내에서 가용할 수 있는 장비자동화를 말한다.

이러한 자동화 RMGC의 적용배경은 1990년대 이후부터 급격한 물동량 증가(연간 50만TEU 이상 증가)로 인하여 추가부지 확보 없이 물동량을 증가시켜야 하며, 적재용량면에서 발생하는 병목현상을 해결하고, 기존터미널의 운영에 영향을 최소화하면서 생산성을 향상시키기 위해서 3P-Project를 시작하였다. 3P-Project는 Productivity Plus Program으로 현재의 동일한 자원으로 더 높은 생산성을 갖는 터미널을 만들기 위한 것이다. 따라서, 생산성향상 및 자동화가 용이하고, 좁은 공간내에서의 적재용량이 높은 RMGC를 선택하여 1999년 중반부터 장치지역에서만 자동화를 하고 있다.

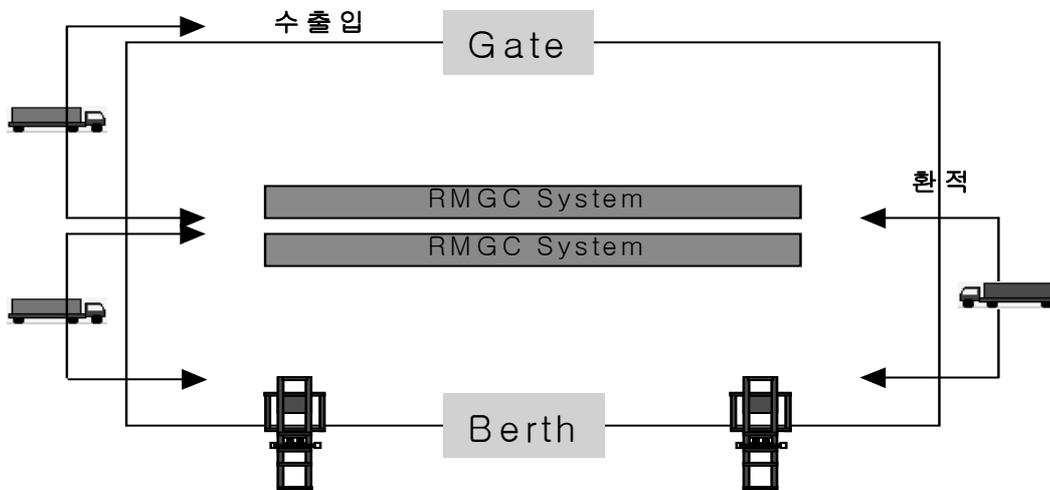
이러한 자동화 RMGC는 C/C 타입트롤리(Rope Trolley)로서 TGSB(Trolley Girder Support Beam) 위에 기계실/전기실이 설치되어 있으며, 양쪽 캔티레버형이다. RMGC의 자동화 운영에 있어서 실제 컨테이너가 적재되어 있는 레일스팬의 내부공간에서는 4대의 카메라를 이용해서 완전자동화로서 운행되고 있으며, 레일스팬 외부의 트럭레인에서는 안전과 신뢰성을 높이기 위해서 수동운전을 하고 있다.

<표 2-3>

HIT 자동화터미널의 물류체계

구 분	운영방법	비 고
환적	C/C ↔ YT ↔ RMGC ↔ 적재야드	-
수출입	C/C ↔ YT ↔ RMGC ↔ 적재야드 ↔ RMGC ↔ 외부트럭	

<그림 2-3> HIT 자동화터미널의 물류체계 흐름도



2.1.4 가와사키 터미널 (Kawasaki Terminal)

1) 개요

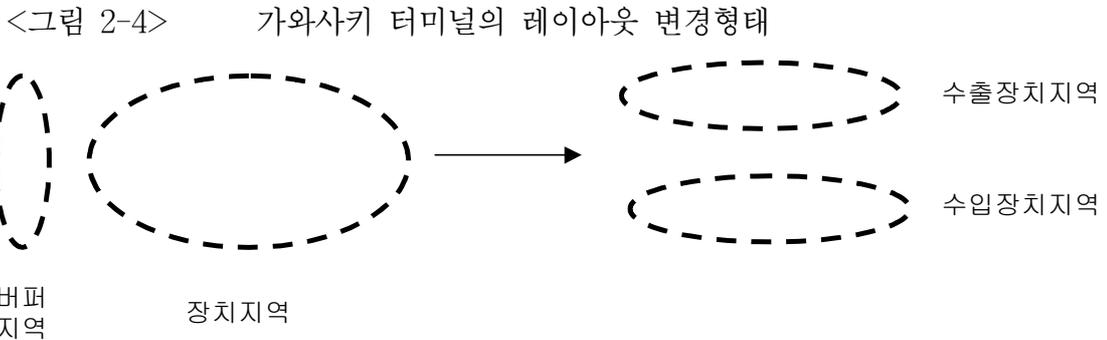
가와사키 터미널은 1996년에 개장하였으며, 아직까지는 자동화 컨테이너하역장비를 채택하지는 않았다. 또한, 가까운 장래에 자동화 시스템이 될지도 불확실한 상황이지만 간단히 소개를 하면 가와사키 항만의 컨테이너터미널의 설계는 영국의 테임즈항의 기본정책과 설계를 기초로 하였고, 테임즈항 컨테이너터미널의 엔지니어에 의해 컨설팅을 받았다. 테임즈항은 분리된 안벽을 가지고 있으며 구조가 복잡하여 터미널내의 컨테이너의 재조작비용이 증가한다. 따라서, 터미널의 정상적인 운영이 불가능하여 가와사키 터미널은 실패한 터미널로 간주되고 있다.

2) 하역시스템 분석

가와사키 터미널은 버퍼지역과 장치지역이 분리되는 수평형태를 취한다. 이러한 형태는 영국의 테임즈항의 자문을 받아서 야드트럭(향후 AGV)과 외부트럭과의 간섭을 방지하기 위해서 외부트럭은 야드내에 진입하지 못하게 하고, 육측의 반출입과 해측의 반출입을 장치지역과 버퍼지역에서 수행하기 위해서 장치장을 장치와 버퍼 지역으로 구분하여 하역의 효율성을 극대화 하고자 하였다.

그러나, 수입화물의 경우 YT → 버퍼지역 → 장치지역 → 키오스크 → 게이트순으로 화물의 흐름이 형성됨으로(수출화물은 수입화물의 역순) 복잡한 과정을 거치게 된다. 또한, 자동화 RMGC가 블록의 전체거리(700m)를 주행해야 하므로 RMGC의 이동거리가 길어져서 시간당 생산성이 8Van/hr로 낮아진다. 이러한 결과로 본선 하역시 반출입용 트럭이 오랜시간 대기하게 된다.

가와사키 터미널의 현재의 대응책으로는 키오스크 즉, 반출용 대기장소를 없애고 외부트럭이 바로 버퍼지역으로 진입하게 하여 트럭 회전시간을 줄이고 야드의 생산성을 향상시켰으며, 장치장 전체를 수평방향으로 해측/육측으로 구분하여 재래식 터미널 개념으로 레이아웃을 변경하여 운영하고 있다.

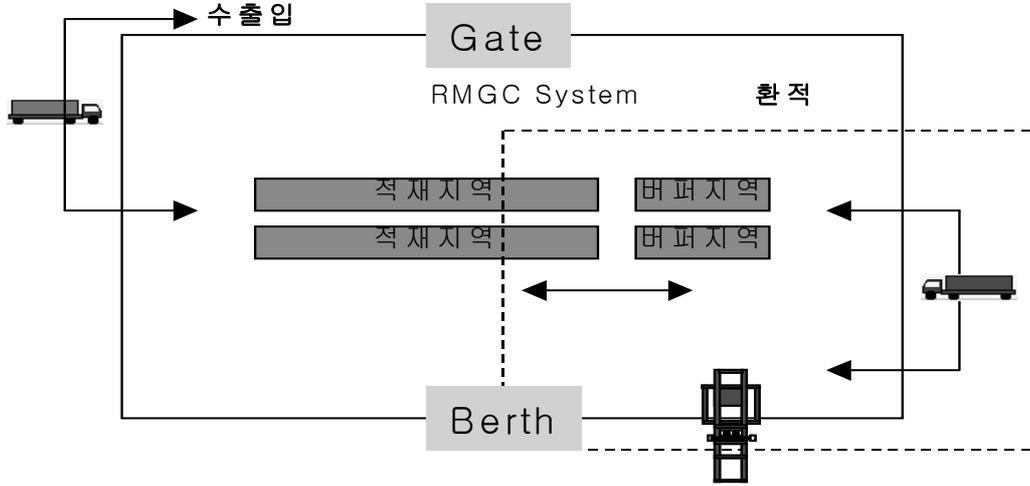


자료 : 한국컨테이너부두공단, “아시아지역의 자동화컨테이너터미널”, 2000

<표 2-4> 가와사키 컨테이너터미널의 물류체계

구 분	운영방법	비 고
환적	C/C ↔ YT ↔ RMGC ↔ 버퍼야드 ↔ RMGC ↔ 적재야드	현재수출입 장치장을 분리사용
수출입	C/C ↔ YT ↔ RMGC ↔ 버퍼야드 ↔ RMGC ↔ 적재야드 ↔ RMGC ↔ 외부트럭	

<그림 2-5> 가와사키 컨테이너터미널의 물류체계 흐름도



2.2 자동화 컨테이너터미널의 개요 및 하역시스템 분석

자동화터미널은 이송장비 및 야드 하역장비의 완전자동화가 이루어진 터미널로 평면배치의 형태는 수직배치이다.

네덜란드의 ECT, 독일의 CTA, 네덜란드의 Euromax, 벨기에의 Hessenatie, 우리나라의 GA 터미널이 운영, 건설, 계획중이다.

2.2.1 ECT(Europe Combined Terminal)

1) 개요

ECT는 유럽에서 가장 거대하고 진보된 터미널중의 하나로, 1966년 설립 이후 급속한 성장을 지속하여, 로테르담 항만 내의 컨테이너 물동량의 약 3/4 을 처리하고 있다.

깊은 수심과 정온한 수역을 확보하고 있으며, 아울러 고도의 종합통제시스템을 보유하고 있다. Delta Container Division에는 모든 컨테이너와 유통시설이 최적으로 집적화되어 있어서 터미널 체제가 통합 내륙수송(바지, 레일, 도로)에 있어 효율성과

운영성, 그리고 신뢰성을 높이고 있다.

ECT는 자동화터미널에 대해 이미 오래 전부터 자동화의 필요성을 인지하여 연구 개발을 지속적으로 추진하여 왔고, 현재에도 차세대 자동화 항만의 개발을 위해 많은 투자를 하고 있다.

이러한 투자로 인해 자동화터미널이 기존 터미널과 비교하여 저비용, 고효율의 이점을 보유하고 있다.

2) 하역시스템 분석

선박에서 컨테이너를 양·적하하기 위하여 안벽에는 특별히 설계·제작된 컨테이너크레인을 설치한다. 컨테이너크레인 후면에 있는 야드는 컨테이너의 임시 저장 장소로 되어 있고 컨테이너의 운송은 안벽과 야드 사이에서 발생한다.

ECT에서 냉컨, 위험물컨, Bulk 및 Pallet화물은 분리된 야드에 저장되고, 냉동야드와 공컨테이너 야드는 일반적인 야드와 구별되어 있다. 냉동컨테이너 야드에는 전력시설이 연결되어있고, 공컨테이너야드에서는 공컨테이너를 수리하고 유지보수까지도 수행을 한다. 터미널의 육상측은 내륙철도 및 도로와 연계된다. RMGC는 레일터미널의 기차에서 컨테이너를 적재 및 하역하고 트럭의 적재 및 하역장소에 사용되는 장비인 S/C에 의해 육상에서 컨테이너를 취급하게 된다.

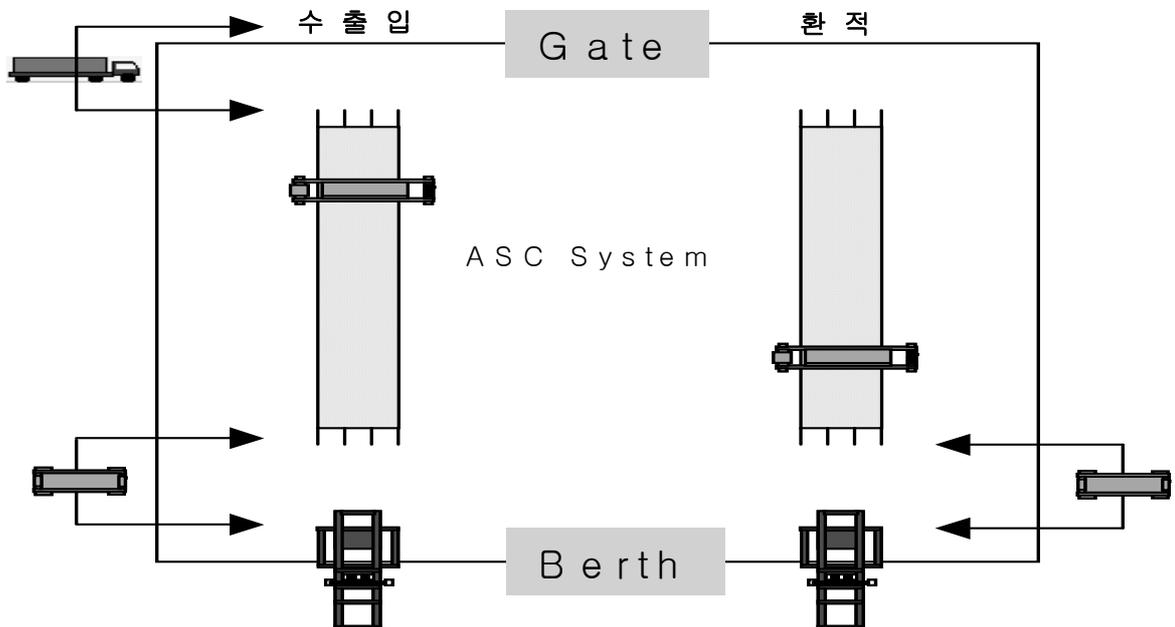
DSL과 DDE터미널에서 안벽크레인과 컨테이너야드 사이의 운송은 AGV에 의해 수행되고, AGV상의 양·적하 작업은 컨테이너크레인 레일스팬 내에서 발생하며, AGV는 컨테이너를 적재된 후 PCS에 의해 ASC에 인접한 특정 전송점으로 이동하라는 명령을 받게된다. 공차상태의 AGV는 PCS에 의해 ASC가 AGV에 컨테이너를 적재시키고자 하는 전송점 중 한곳으로 이동하라는 명령을 받아 적재완료 후 계속된 PCS의 지시에 의해 컨테이너크레인으로 향한다. 대부분의 AGV는 야드와 컨테이너크레인 사이에서 컨테이너를 전송하며, 일부 AGV는 AGV 보조야드와 ASC야드, 공컨테이너 야드 사이의 컨테이너 교환을 위해 사용하고 있다.

육상 컨테이너 야드의 각 레인에 있는 ASC 부근 아래 전송점이 있으며 수입 컨테이너들은 ASC에 의해 전송점으로 이동되고 수출 컨테이너들은 ASC에 의해 이들 전송점에서 꺼내어 진다.

<표 2-5> ECT 컨테이너터미널의 물류체계

구 분	운영방법	비 고
환적	C/C ↔ AGV ↔ Kiosk ↔ ASC ↔ 적재야드	수직배치
수출입	C/C ↔ AGV ↔ Kiosk ↔ ASC ↔ 적재야드 ↔ ASC ↔ Kiosk ↔ 외부트럭	

<그림 2-6> ECT 컨테이너터미널의 물류체계 흐름도



2.2.2 HHLA CTA(Container Terminal Altenwerder)

1) 개요

1997년 독일의 함부르크시는 항만생산성 증가, 항만서비스의 향상, 화물처리비용을 절감하기 위해 자동화 터미널을 개발하여 HHLA에게 Altenweder 컨테이너 터미널 운영권을 허가하였다. 해측에서 계획처리 물동량은 1차 계획에서 110만TEU, 2차 계획까지 약 190만TEU로 설정하고 있다.

2) 하역시스템현황

안벽운영은 14대의 Post-Panamax 컨테이너크레인을 투입하여 대형선박에 대한 신속한 컨테이너 양적하를 보장할 계획이다. 이러한 크레인의 높이가 72m이고 레일 스패니 35m, 권상 높이는 38.5m, 권상 하중은 53톤에 이른다. 최근에 개발된 형태의 갠트리 크레인의 특징은 다음과 같다. 즉, 별도의 기능을 하는 기중기(traveler) 2개에 의해서 컨테이너가 옮겨지는 시스템을 채택하고 있는데 반자동화운영에서는 해측에 위치하고 있는 기중기(cat)가 컨테이너를 선박에서 갠트리 플랫폼 위에 있는 수직 라싱 플랫폼에 갖다 놓고, 자동화운영에서는 완전자동화된 기중기가 컨테이너를 인수하여 원격으로 조정되는 무인운송차량 위에 놓는 방식으로 운영된다.

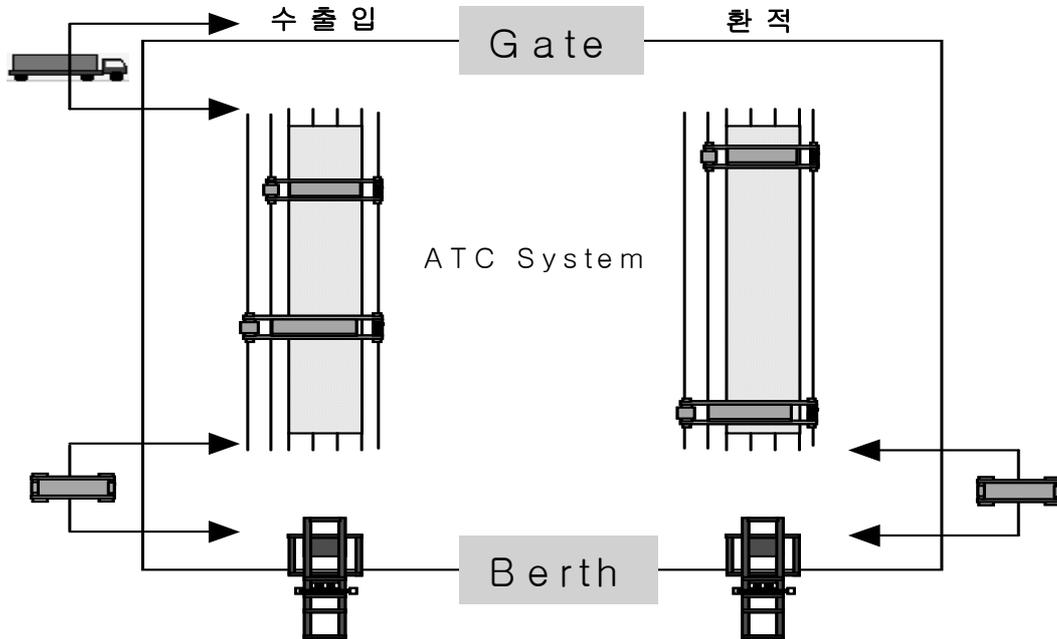
안벽과 야드운영은 안벽과 장치장 사이로 컨테이너 이송은 AGV에 해당하는 무인 이송차량 65대를 투입하려 한다. 속도는 초속 6m로서 바닥에 설치된 전자감응장치의 회로망의 도움을 받아서 동선체계를 구성하는 것으로 되어있으며 이러한 작업이 행해지는 장소는 직원의 안전을 위해서 직원의 출입이 제한된다. 전자감응장치는 AGV가 지나가는 순간에 포착하도록 되어 있다. 중앙의 차량통제소는 수송과 차량통로 구성의 효율성을 통제한다.

야드운영은 야드에서 육측작업을 위해 이송된 컨테이너의 인도/인수에는 ATC를 투입하여 운영하고 있다. 야드의 면적은 225,000㎡로서(1단계에서는 112,000㎡)이고 22개(1단계에서는 11개)의 장치블럭으로 구성되며 장치능력은 30,000TEU(1단계에서는 11,000TEU)이다. 장치단적수는 4단 10열로 운영되고 있다.

<표 2-6> CTA 컨테이너터미널의 물류체계

구 분	운영방법	비 고
환적	C/C ↔ AGV ↔ Kiosk ↔ ATC ↔ 적재야드	수직배치
수출입	C/C ↔ AGV ↔ Kiosk ↔ ATC ↔ 적재야드 ↔ ATC ↔ Kiosk ↔ 외부트럭	

<그림 2-7> CTA 컨테이너터미널의 물류체계 흐름도



2.2.3 네덜란드의 Euromax

1) 개요

Euromax 터미널은 로테르담항만 Maasvlakte 지역의 마지막 남은 부지에 터미널을 건설하려고 계획중이다.

제1단계는 2006년에 가동될 예정이며, 마지막 단계는 시장상황에 따라 변동될 수 있지만 대략 2015년 즈음에 가동될 것으로 예측된다.

2) 하역시스템현황

안벽운영은 듀얼호이스트의 Post-Panamax급 컨테이너크레인을 투입하여 1단계 7,500TEU급에서부터 2단계 12,500TEU급의 대형선박에 대한 신속한 컨테이너 양적 하가 가능하도록 할 계획이다.

안벽과 장치장 사이의 컨테이너 이송은 AGV 60대를 투입하는 것으로 계획하고

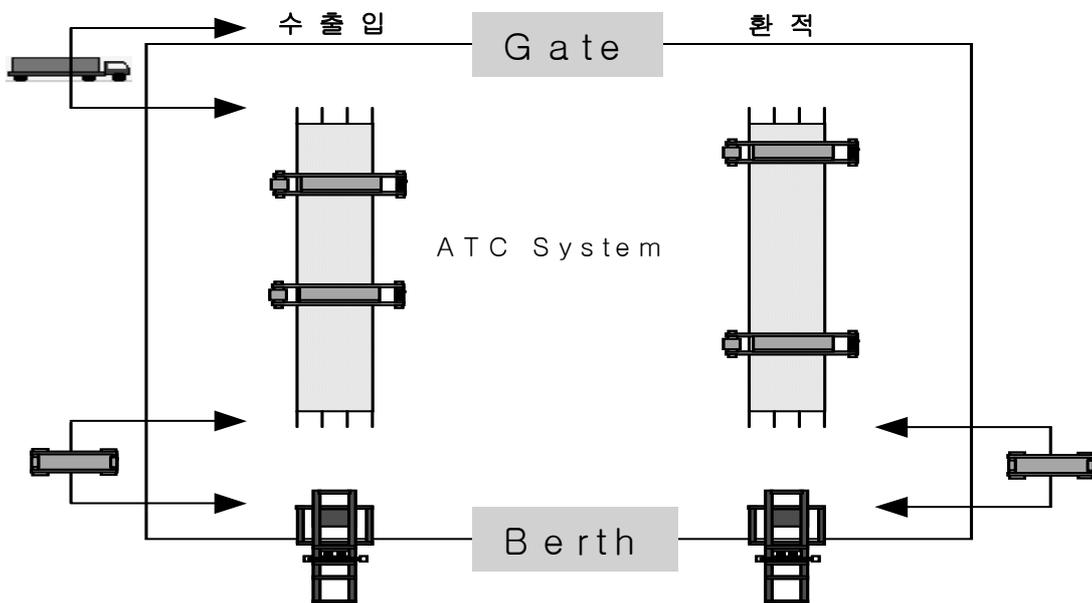
있다.

야드운영은 야드에서 육측작업을 위해 이송된 컨테이너의 인도/인수에는 자동화 RMG 갠트리 크레인인 ATC를 투입할 것으로 계획하고 있다. 야드의 면적은 250ha로서 1단계에서는 52ha이고 2단계에서는 78ha, 3단계에서는 120ha의 면적으로 구성될 계획이다.

<표 2-7> Euromax 컨테이너터미널의 물류체계

구 분	운영방법	비 고
환적	C/C ↔ AGV ↔ Kiosk ↔ ATC ↔ 적재야드	수직배치
수출입	C/C ↔ AGV ↔ Kiosk ↔ ATC ↔ 적재야드 ↔ ATC ↔ Kiosk ↔ 외부트럭	

<그림 2-8> Euromax 컨테이너터미널의 물류체계 흐름도



2.2.4 벨기에 안트워프항의 Hessenatie 자동화 컨테이너터미널

1) 개요

H.N.N(Hesse-Noord Natie)사와 PSA가 합작으로 자동화 컨테이너터미널을 계획 중이고 “Tidal Container Dock”에서 자동화 터미널 건설을 추진중이나 1선석 안벽이 시공된 상태에서 지역주민과 환경문제로 현재 공사가 중단되었다. 그러나, 계속 공사를 추진할 것으로 예상된다.

2) 하역시스템현황

OHBC시스템은 가장 효율적인 장치장 크레인인 Rail-Mounted Overhead Stacking Cranes을 기반으로 하고 있다. 이러한 오버헤드 개념의 더 큰 장점은 장비의 고가궤도 아래 지역을 활용할 수 있고, 크레인은 가벼우며, 비싸지 않고, 빠른 이동속도를 갖는다. 그러나, 고가궤도 설치에 대한 투자가 육상레일설치 비용보다 3~4배 정도 높지만 한번 설치하면 고가궤도는 유지비용이 적다는 장점이 있다.

벨기에 Hessenatie 자동화 컨테이너터미널에서 사용될 OHBC시스템은 현재 “Churchill Dock”의 일반화물 부두에서 시험운전중에 있다.

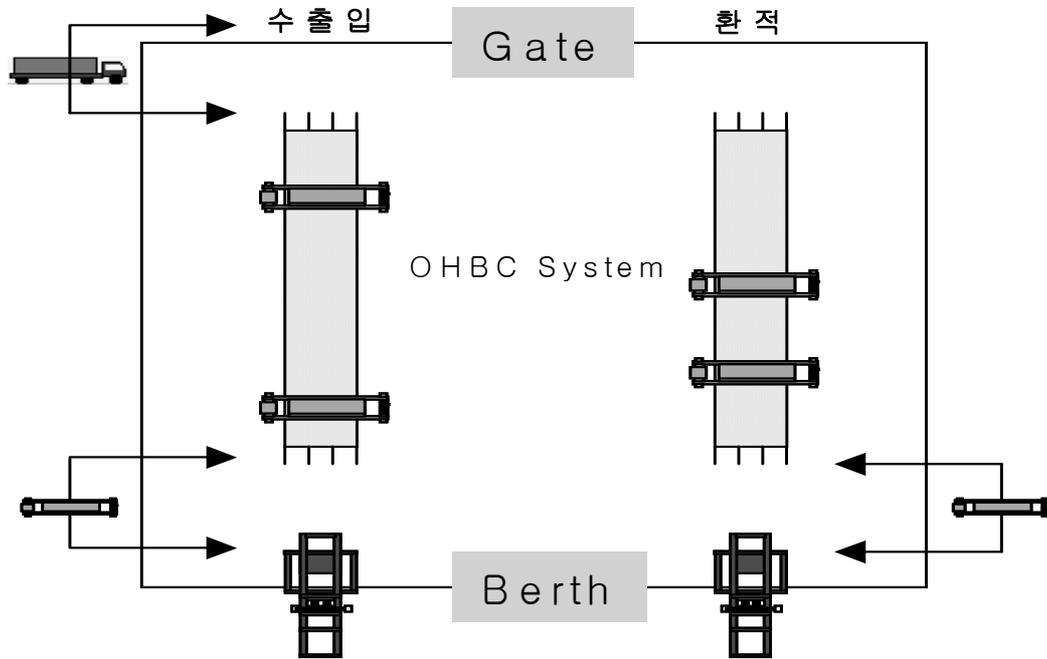
또한, 터미널의 이송장비로서 유인 SHC(Shuttle Carrier)가 벨기에 Hessenatie 자동화 컨테이너터미널에서 사용될 예정이다.

따라서, 본선작업시의 작업형태는 안벽크레인 ↔ SHC ↔ OHBC 의 형태로 이루어진다.

<표 2-8> HNN 컨테이너터미널의 물류체계

구 분	운영방법	비 고
환적	C/C ↔ SHC ↔ Kiosk ↔ OHBC ↔ 적재야드	수직배치
수출입	C/C ↔ SHC ↔ Kiosk ↔ OHBC ↔ 적재야드 ↔ OHBC ↔ Kiosk ↔ 외부트럭	

<그림 2-9> HNN 컨테이너터미널의 물류체계 흐름도



2.2.5 광양항 3단계 자동화 컨테이너터미널(GA : Gwangyang Automated container terminal)

1) 개요

기존의 재래식 터미널의 생산성을 향상시켜 고생산성, 고부가가치 터미널을 운영하기 위해 광양항 3단계 자동화 컨테이너터미널 개발을 추진하였다. 광양항 3단계 자동화 컨테이너터미널은 2008년까지 3개 선석을 건설할 예정이다.

2) 하역시스템 분석

광양항 3단계 컨테이너터미널은 무인이송장비와 무인야드하역장비로 운영되는 자동화 컨테이너터미널로 설계되어 C/C↔AGV↔ATC의 하역시스템 구조로 운영될 계획이다. 수직배치형 장치장 구조로 계획되어 본선과 반출입 차량의 통행을 분리하여 안벽생산성을 높이도록 하였다. 안벽작업시 C/C↔AGV간의 조별작업을 원칙으로 운영할 계획이나 운영시스템의 효율성을 높이는 측면에서 Pooling 방식을 추가

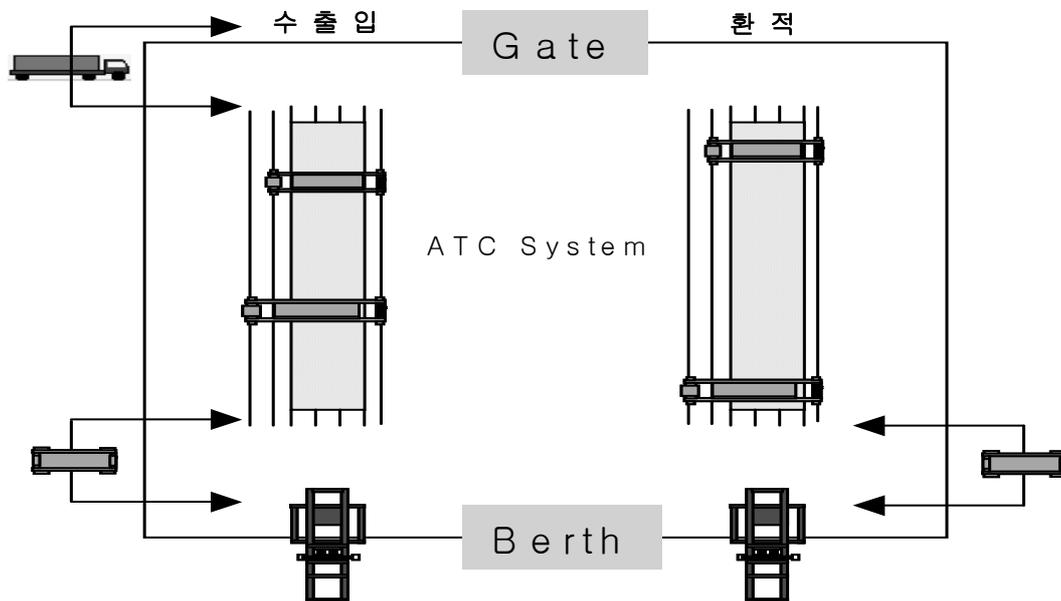
로 고려하고 있다.

기존의 재래식 터미널에서는 장치장 블록내로 YT 또는 외부트럭이 진입이 가능하였으나 수직배치형 경우는 블록 양끝단의 TP(Transfer Point)를 이용하여 장치작업을 하도록 하였다. 이것은 안벽이송과 반출입 차량의 흐름을 분리시켜 차량의 원활한 운행이 이루어지도록 설계한 것이다.

<표 2-9> GA 컨테이너터미널의 물류체계

구 분	운영방법	비 고
환적	C/C ↔ AGV ↔ Kiosk ↔ ATC ↔ 적재야드	수직배치
수출입	C/C ↔ AGV ↔ Kiosk ↔ ATC ↔ 적재야드 ↔ ATC ↔ Kiosk ↔ 외부트럭	

<그림 2-10> GA 컨테이너터미널의 물류체계 흐름도



2.3 자동화터미널의 운영장비

자동화터미널에서 사용되는 운영장비는 대표적으로 이송장비와 야드하역장비로 나눌 수 있다. 자동화 이송장비로는 AGV가 있으며, 현재는 유인이나 추후 무인으로의 개발이 가능한 SHC가 있다.

야드하역장비로는 CTA터미널에서 사용하고 있는 ATC와 ECT에서 사용하고 있는 ASC, H.N.N터미널에서 사용계획중인 OHBC등이 있다.

2.3.1 이송장비

대표적인 자동화 이송장비로는 AGV가 있으며, 칼마(Kalmar)사에서 개발하여 현재는 유인이나 추후 무인으로의 개발이 가능한 SHC가 있다.

1) AGV

(1) 개요

자동화터미널에서 사용되는 대표적인 이송장비인 AGV시스템은 네덜란드의 ECT 컨테이너터미널에서 처음 사용되었으며, 20ft 컨테이너 2개 또는 40피트, 4피트 컨테이너 1개를 적재하여 운행할 수 있다.

AGV는 폭 2.7m, 길이 15.8m로 전후방으로 주행이 가능하며, 중심선을 기준으로 10m의 회전반경이 필요하며, 이에따라, 수평이동후 야드방향으로의 회전을 위해서는 약 40m의 공간이 필요하다.

AGV의 주행시스템에는 고정경로, 반고정경로 및 자유경로의 3가지 형태가 있다. 고정경로의 경우, AGV는 지하에 매설된 유도케이블 또는 보도상의 페인팅 경로를 따라 주행한다. 반고정경로의 AGV는 페인팅 경로 또는 유도케이블을 따라 주행하는 것이 원칙이나 지하의 지정위치의 Tag로부터 경로의 번지수를 파악함으로써 주행경로의 조합을 자유롭게 선택할 수 있다.

자유경로는 일반적으로 레이더/비콘 또는 DGPS를 채용하고 있어서 야드내를 자유롭게 주행할 수 있으나 충돌을 방지할 수 있는 최적경로의 선택제어가 어렵다.

<표 2-10>

AGV의 기본개념 및 특징

구분	기본개념	특징
AGV	<ul style="list-style-type: none"> 안벽과 야드사이를 주행하는 이송 장비로서 무인으로 운영 네덜란드의 ECT에서 처음으로 도입하여 성공적으로 운영 중 	<ul style="list-style-type: none"> 주행특성상 전후방으로 자유자재 주행가능 네바퀴가 동시에 회전됨으로 회전 반경이 작아짐

(2) 제원 및 적용

AGV의 폭은 2.7m이고, 길이는 15.8m이다. 이동속도는 최대주행속도 6.5m/sec이며, 정상주행속도는 5~6m/sec이고, 코너링속도는 1~3m/sec이다. 따라서, 적재하중 60ton인 경우 5m/sec까지 도달하는데 걸리는 시간은 17.03sec이다. 이러한 AGV는 무인으로 주행함으로 정밀한 위치통제가 필요하여 네바퀴간 균형을 위하여 허용 수평오차 범위는 ±20.0mm에서 수평을 유지해야 한다. 현재, 네덜란드의 ECT와 독일의 CTA에서 운행중이다.

<표 2-11>

AGV의 제원

구 분		비 고
폭		2.7m
길 이		15.8m
주행 속도	최대주행속도	6.5m/sec
	정상주행속도	5~6m/sec
	코너링주행속도	1~3m/sec
허용오차		±20mm



자료 : www.gottwald.com

1) SHC(Shuttle Carrier)¹⁾

(1) 개요

안벽크레인과 장치장 하역장비 사이를 왕복주행하는 차량은 오랜 시간동안 트럭의 형태로 컨테이너를 샷시에 적재하여 이송하는 형태가 주를 이루었다. 그러나, 스웨덴의 Kalmar사에서 트럭이 갖는 수동적인 형태의 하역장비 대기를 제거하여 컨테이너 터미널 생산성을 향상시키기 위해서 능동적인 형태의 이송장비를 개발하였다.

안벽크레인에서 크레인 백리치에 내려놓은 컨테이너를 스프레더를 이용해서 로딩(적재)이 아닌 피킹(집어들리기)방식을 이용해서 이송장비에 하역기능을 추가하는 방식이다.

Kalmar에 의하면 SHC(1+1)를 사용하면 안벽크레인의 생산성을 25% 향상시킬 수 있으며, 2대의 SHC로 6대의 AGV를 대신할 수 있다고 한다.

현재, 앤티워프의 헤세노드(Hessenoord)에서 테스트 완료하였으며, 유인이므로 수평배치와 수직배치의 블록형태 모두에 적용할 수 있어서 작업유연성이 뛰어나다.

1) TOC 2002 EROUPE, "Kalmar Container Handling", 2002

<표 2-12>

SHC의 기본개념 및 특징

구분	기본개념	특징
SHC	<ul style="list-style-type: none"> · 피킹방식으로 운영되는 컨테이너 터미널 이송장비 · 유인운행 	<ul style="list-style-type: none"> · 스프레더가 장치를 이용해서 컨테이너를 바닥에 내려놓거나, 피킹 · 하역작업시 장비간 대기시간의 감소 · 능동적인 형태의 작업방식으로 작업 유연성이 뛰어나

(2) 제원 및 적용

Karmar에서 개발된 모델명 SHC240은 인양능력 40톤, 장치능력 2단(1+1)으로 외부트럭의 위를 컨테이너를 리프팅한 상태에서 통과주행이 가능하다.

운전석을 포함한 장비의 최대높이는 10,030mm이고, 최대폭은 5,100mm, 내부폭은 컨테이너폭 2,440mm에 좌우로 약간을 여유를 더하여 3,500mm이다.

자체무게는 컨테이너를 리프팅하지 않고, 인력이 탑승하지 않은 순하중으로 43,000kg이며, 타이어는 18.00 - 33 인치를 사용한다.

벨기에의 Hessianatie 터미널에서 이송장비로 유인 SHC를 사용할 계획으로 있다.

<표 2-13>

SHC(Shuttle Carrier)의 제원

구분	비고
모델명	SHC240
인양능력(tonnes)	40
장치능력(no. cont)	2(1+1)
최대높이(mm)	10,030
최대폭(mm)	5,100
내부폭(mm)	3,500
무게(kg)	43,000
타이어(in)	18.00 - 33
파워(kW/rpm)	272/2,100
토크(Nm/rpm)	1,546/1,600

자료 : www.kalmarind.com

<그림 2-12> SHC(Shuttle Carrier)



자료 : 1. www.kalmarind.com
2. TOC 2002 EROUPE, "Kalmar Container Handling", 2002

2.3.2 자동화터미널 장치장 하역장비

자동화터미널의 장치장 하역장비를 시스템적인 측면에서 세 가지로 분류하면 DRMG, TRMG, OHBC로 구분할 수 있으며, 각각의 장치장 하역장비의 특징에 따라 운영방식이 달라진다.

1) DRMG(Double Rail Mounted Gantry Crane)

DRMG시스템은 블록당 2개의 RMG는 별도 2개의 크레인 궤도를 운행한다. 그래서, 상부 크레인의 밑으로 하부크레인이 통과하도록 궤도가 배열되어 있어서 생산성이 높다. 그리고, 크레인이 해측이나 육측에서 동시에 작업할 수 있을 뿐만 아니라 하나가 고장이나 파손 시 다른 하나의 크레인으로 장치장 블록에서 작업을 할 수 있어서 위험상황에서 효율적으로 대비할 수 있다. 그러나 DRMG시스템은 상대적으로 고가의 시스템으로 장치장 운영에 있어서 다른 시스템보다 더 많은 레인이 필요하여 건설비가 높아지고, 한정된 터미널공간의 효율적이용 측면에서 다른 2가지의 선택 가능한 시스템보다 불리하다.

DRMG 시스템을 사용하거나, 사용할 예정인 자동화 컨테이너터미널은 HHLA의 CTA에서 현재 사용중이며, 우리나라의 광양항 3단계 자동화컨테이너터미널에서 사용예정중이다.

(1) ATC(Automated Transfer Crane)

① 개요

ATC는 독일의 CTA에서 사용하고 있는 자동화 야드크레인으로 한 개의 블록에 2대의 작은 ATC와 큰 ATC를 배치하여 수직배치의 자동화 컨테이너터미널에서 장 치장 생산성을 높이기 위한 자동화 RMGC이다.

먼저, CTA의 경우 작은 ATC는 4단 10열의 컨테이너 블록을 담당하기 위해 만들어졌으며, 큰 ATC는 작은 ATC의 위로 컨테이너 1개를 집은 상태에서 주행이 가능하도록 약 6m 정도 높게 설계되었다. 이러한 설계는 Euromax 터미널에서도 사용될 예정이다. 국내의 GA터미널에서 사용될 ATC는 작은 ATC는 유사하나 큰 ATC의 경우 1열의 내부진입로를 두어서 폭으로는 9.5m, 높이로는 6.1m정도 큰 규모이다.

<표 2-14> ATC의 기본개념 및 특징

구분	기본개념	특징
ATC	· 수직배치의 터미널에 사용되는 자동화 RMGC	· 한블록에 두 대의 ATC가 배치되어 운영 · 크기가 서로 달라서 큰 ATC는 작은 ATC의 위로 주행가능 · 현재, CTA에서 사용중이며, Euromax, GA터미널에서 사용 계획 중

② 제원 및 적용현황

현재 국내 GA터미널에서 운영계획중에 있는 ATC의 제원을 보면 작은 ATC와 큰 ATC의 인양하중은 40.6톤으로 같으며, 레일스팬은 작은 ATC 31m, 큰 ATC 40.5m로 내부주행로 때문에 큰 ATC가 약 9m 정도 넓다.

스프레더 인양높이는 작은 ATC 18m, 큰 ATC 24.22m로 큰 ATC가 약 6m 남짓 크게 설계되었다. 작은 ATC와 큰 ATC는 그 크기의 차이로 인하여 평균 싸이클 타

임이 작은 ATC의 경우 90.5초, 큰 ATC의 경우 94로 약간의 차이를 보이고 있다.

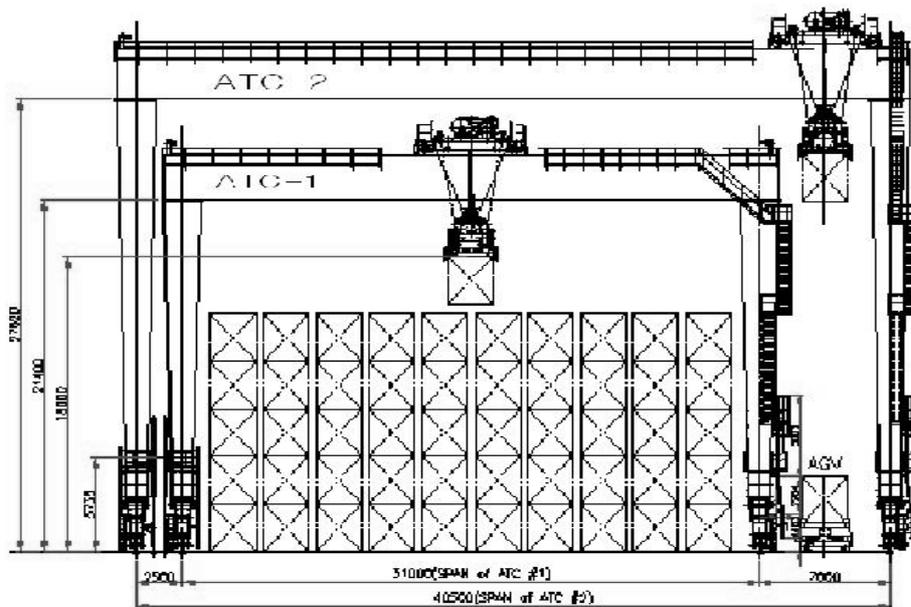
현재, 독일의 CTA에서 사용중이며, 네덜란드 Euromax, 우리나라의 GA터미널에서 사용할 예정으로 있다.

<표 2-15> ATC(Automated Transfer Crane)의 제원

구 분	ATC-1	ATC-2
인양하중(ton)	40.6	40.6
레일스팬(m)	31	40.5
스프레더 인양높이(m)	18	24.22
겐트리 휠베이스(m)	10.5	10.5
트롤리 주행길이(m)	25.54	31.78
휠 수량/코너(EA)	6	6
크레인 자중(ton)	285	332
최대 휠로드	19.2	21.5
평균 사이클 타임(sec.)	90.5	94

자료 : 현대중공업

<그림 2-13> ATC(Automated Transfer Crane)의 정면도



자료 : 현대중공업

2) TRMG(Two Rail Mounted Gantry Crane)

TRMG시스템은 블록당 2개의 RMG를 동일 크레인궤도에 설치하고, 하나의 크레인 해측에서 작업하고, 다른 하나는 외부트럭의 양하/적하용으로 육측에서 작업한다.

크레인은 상호 교차주행 할 수 없고, 운영 시 서로 간섭이 발생하지 않는 방식으로 각각의 크레인은 전자제어장치 작업할당 시스템에 의해 조정된다.

하나의 크레인에 결함이 발생하는 경우에 운영에 지장이 없도록 다른 크레인이 외부의 정비장소로 고장난 크레인을 밀어낸다. TRMG시스템의 크레인은 DRMG 크레인 보다 작고 크레인 궤도의 길이를 1/2만 필요로 한다.

TRMG시스템을 사용하거나, 사용할 예정인 자동화 컨테이너터미널은 네덜란드 Maasvlakte지역의 DSL(Delta Sea-Land)터미널과 DDE(Delta Dedicated East)터미널에서 사용중이며, Euromax 터미널에서는 제 1단계 2006년 목표로 건설중에 있다.

(1) ASC(Automated Stacking Crane)

① 개요

네덜란드의 ECT는 1966년에 설립된 이후 유럽에서 가장 규모가 크고 진보된 컨테이너터미널을 운영하고 있으며, 로테르담 전체 컨테이너 처리물량중 3/4를 차지한다.

세계 최초의 자동화터미널로서 네덜란드의 DDN터미널에서 1993년 3단(1 over 2)의 형태로 처음 사용된 ASC는 C/C↔AGV↔ASC의 체제로 운영되었다.

1996년에 DSL의 문제점을 개선보완하여 DDE(Delta Dedicated East)에서 4단(1 over 3)의 형태로 개발되었으며, 2003년 DDW(Delta Dedicated West)에서는 더더욱 생산성이 향상된 5단(1 over 4)의 ASC를 개발하여 사용하고 있다.

<그림 2-14> ASC 크레인



3) OHBC(Overhead Bridge Crane)

OHBC 시스템은 가장 효율적인 장치장 능력(ha당 컨테이너 장치 개수의 토지이용)인 Rail Mounted Overhead Stacking Cranes을 이용하기에 이르렀다. (TRMG보다 17%, DRMG보다 28% 더 장치할 수 있음)

Overhead 개념의 더 큰 장점은 장비의 고가궤도 아래 지역을 활용할 수 있고, Overhead 크레인이 가볍고, DRMG나 TRMG보다 저렴하며, 빠른 이동속도를 가지고 있다.

그러나, 고가궤도 설치에 투자가 육상 레일설치 비용보다 3~4배 정도 높지만 한번 설치하면 고가궤도는 유지비용이 적은 장점이 있다.

OHBC 시스템을 사용하거나, 사용할 예정인 자동화 컨테이너터미널은 싱가포르의 PSA터미널에서 사용중에 있으며, 현재 건설중인 벨기에의 안트워프의 Hesseantie 자동화 터미널에서 사용계획중이다.

(1) OHBC(Over Head Bridge Crane)

① 개요

자동화터미널에서 OHBC의 사용은 PSA에 의해서 시작되었다. 1993년 “3rd

Terminal”이라는 명칭으로 OHBC와 AGV 개념으로 자동화개발에 착수하여 97년 4 개선적으로 상업운전을 시작하면서 많은 시행착오를 거쳐 시스템을 안정화하여 2000년에 6개 선석으로 공식적인 상업운전을 시작하였다.

PSA의 OHBC는 8단10열의 레일스팬 45m의 초대형구조물로서 내부에 3열의 트럭 주행로를 가지고 있는 형태이다.

약 70%를 차지하는 환적컨테이너를 전담처리하며 크레인 1기에 5대의 카메라(크레인 3대, 스프레다 2대)가 장착되어 운영된다.

관제탑에서 CCTV화면을 통해서 컨테이너를 집고, 컨테이너번호를 확인만 해주면 화면이 사라짐과 동시에 크레인운 컨테이너를 처리한다.

생산성은 일반컨테이너터미널에 비해서 3배정도 향상된다.

벨기에의 HNN터미널에서 사용계획으로 있는 OHBC는 5단 10열의 구조로 한개 블록에 2대의 OHBC를 사용할 예정이며, 현재 테스트중에 있다.

<표 2-17> OHBC의 기본개념 및 특징

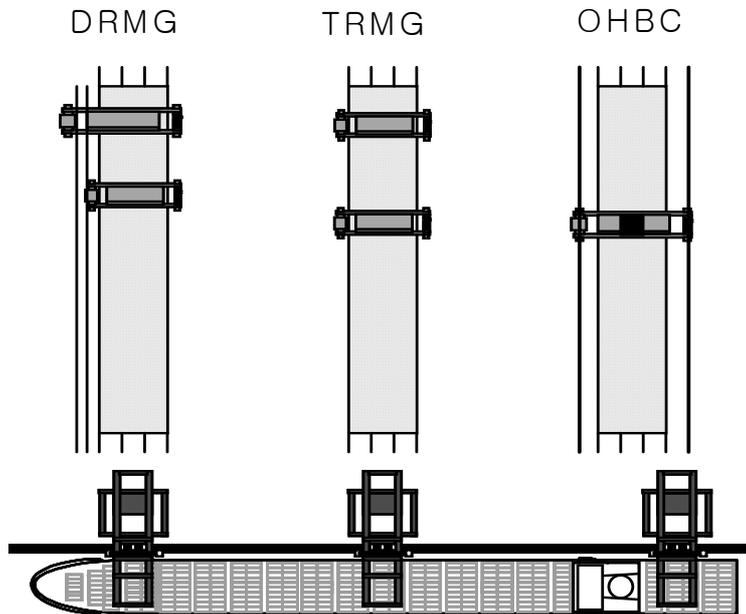
구분	기본개념	특징
OHBC	<ul style="list-style-type: none"> · PSA에서 사용하고 있는 자동화 장비로 고단적의 장치장 운영에 적합 · 현재, 벨기에 HNN터미널에서 운영계획중 	<ul style="list-style-type: none"> · 자동화 야드장비로서 오랜기간이 검증 을 거쳐서 일반터미널의 3배의 생산성을 냄 · 크레인 1기에 5대의 카메라를 장착하여 운영 · 벨기에 HNN터미널에서는 한 개 블록에 2대의 OHBC를 사용할 예정

<그림 2-15>

OHBC(Overhead Bridge Crane)



<그림 2-16> 자동화터미널의 야드운영 하역장비 시스템



2.4 장치장의 블록평면배치

장치장의 장치블록은 일반적으로 베이(bay), 열(row), 단(tier)으로 구성된다. 이러한 구성은 블록이 안벽법선에 대해서 수평인가 또는 수직인가와는 상관없이 일정한 것이며, 이는 블록의 장치용량과 관계가 있다.

컨테이너터미널에서 장치블록의 형태를 안벽법선에 대하여 수평 또는 수직으로 배열하는 것은 컨테이너터미널의 이송장비와 장치장하역장비에 밀접한 관련이 있다.

이들 수평배치와 수직배치는 각각의 특성에 따라 컨테이너터미널의 운영방식이 달라진다. 일반적으로 수평배치는 장치장하역장비가 서로 다른 블록으로 이동이 가능해서 작업 스케줄링이나, 운영계획을 고려하기 위해서는 전체블록의 상태 또는 인접한 블록의 상태를 동시에 고려해야 한다. 그러나, 수직배치의 경우 개별 블록이 독립적인 형태로 운영되어 서로 다른 블록의 장치장하역장비 운영이 인접한 또는 전체 블록에 영향을 미치지 않는다. 따라서, 한 개 블록만을 대상으로 하여 개발된 운영로직을 전체 블록에 동일하게 적용할 수 있다.

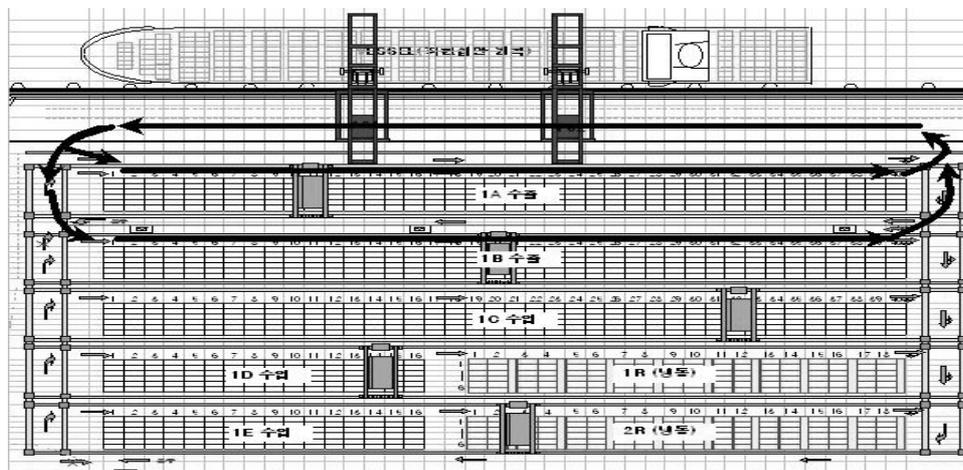
2.4.1 수평배치

일반적으로 널리 사용되는 형태로서 안벽법선에 대해서 수평의 형태로 구성된 블록을 말한다. 이러한 수평형태는 이송장비의 특성인 목적베이까지의 신속한 접근성을 최대한 활용하는 방법이다.

RTGC, RMGC, OHBC 등의 수평배치에 적합한 장치장하역장비와 결합되어 이송장비와 장치장하역장비 사이의 원활한 정보교환을 통하여 최대의 생산성을 도출할 수 있으며, 오랜시간 대부분의 컨테이너터미널에서 사용된 형태이므로, 운영상의 신뢰성과 상황에 따른 운영유연성이 높다. 그리고, 작업시 이송장비와 장치장하역장비 사이의 컨테이너교환을 위한 전송점(Transfer Point)이 블록에 폭넓게 위치하기 때문에 특정블록에 작업이 집중되어도 충분한 이송장비 대기공간의 확보가 가능하며, 블록과 특정 안벽크레인이 연계되어 장치장 장치위치 결정과 컨테이너관리가 용이하다. 그러나, 운영특성상 이송장비의 회전공간 및 주행공간이 필요하여 장치공간이 줄어들고, 안벽에서부터 목적베이까지의 이송거리가 길어지는 단점이 있다.

국내 및 전세계 대부분의 재래식 컨테이너터미널에서 YT와 RTGC, RMGC를 사용하는 수평배치 결합을 사용하고 있으며, 예외적으로 반자동화로 운영되고 있는 PSA에서 YT와 자동화된 OHBC(OverHead Bridge Crane)를 사용하고 있으며, PSA와 같이 반자동화로 운영되고 있는 영국의 테임즈포트에서도 YT와 자동화된 RMGC를 수평배치에서 사용하고 있다. 이러한 YT는 확장 개량된 형태로 ECT의 DMU에서 5개의 샷시를 연결한 MTS를 사용하고 있으며, PSA에서도 2층 적재가능한 더블샷시를 사용하고 있다.

<그림 2-17> 수평배치



자료 : 한진감만터미널 내부자료

<표 2-18> 수평배치의 기본개념 및 특징과 적용터미널

구분	기본개념	특징		적용터미널
		장점	단점	
수평배치	<ul style="list-style-type: none"> 안벽법선에 대하여 수평의 형태로 구성된 블록 형태 	<ul style="list-style-type: none"> 이송장비의 높은 목적배이 접근성을 활용한 방식으로 신속한 하역작업가능 운영상의 신뢰성과 상황에 따른 운영유연성이 높음 	<ul style="list-style-type: none"> 이송장비의 회전공간과 주행공간이 많이 필요하여 장치공간 활용도가 낮음 	<ul style="list-style-type: none"> 국내외 대부분의 컨테이너터미널 PSA, 테임즈포트 등

2.4.2 수직배치

네덜란드의 ECT 컨테이너터미널에서 AGV와 ASC의 결합으로 처음 사용된 형태의 블록이다.

자동화 장비인 AGV의 경우 느린 이동속도에 따른 이동시간 증가와 컨테이너의 외부 반출입을 위한 외부트럭과의 충돌과 같은 비상상황의 대처능력이 낮기 때문에 외부트럭의 이동경로와 내부 이송장비인 AGV의 이동경로를 분리하여 안전사고 위험을 줄이기 위해서 나타난 블록배치형태이다.

이러한 수직배치는 외부트럭 및 AGV의 회전공간 및 주행공간이 수직블록의 양끝단에 위치하여 블록사이의 회전공간 및 주행공간이 필요없어 수평배치에 비해서 상대적으로 장치공간을 넓게 사용할 수 있다.

그러나, 이송장비에 비해서 작업유연성이 낮은 ASC 또는 RMGC 위주의 하역작업으로 수평배치에 비해서 블록의 생산성이 떨어진다.

또한, 컨테이너의 교환을 위한 안벽측 전송점과 육상측 전송점의 개수가 제한적이어서 본선작업시 전체적인 생산성 향상을 위해서 작업부하를 여러 블록에 골고루 분산시켜야한다.

따라서, 작업이 없는 시간을 이용하여 블록간 또는 블록내의 컨테이너 리마샐링을 통하여 생산성 향상을 꾀해야한다. 그러므로, 이러한 리마샐링과 본선작업시 블록간 작업부하의 균등화를 위해서 컴퓨터화된 계획작업이 필수적으로 요구된다.

전세계적으로 수직배치의 컨테이너터미널을 운영하고 있는 곳은 네덜란드의 ECT와 독일 HHLA의 CTA 두 곳이 있다. 그리고, 향후 개발예정인 네덜란드의 Euromax, 벨기에의 Hessenatie 그리고, 국내의 광양항 3단계 자동화 컨테이너터미널 등에서 수직배치 형태를 사용할 계획이다.

현재, ECT에서는 AGV와 자동화된 ASC를 사용하고 있으며, CTA에서는 AGV와 자동화된 ATC를 사용하고 있다. 또한 현재 개발예정인 네덜란드의 Euromax, 벨기에의 Hessenatie와 우리나라의 광양항 3단계 자동화 컨테이너터미널도 AGV를 사용할 예정이다.

이와 같이, 일반적으로 AGV를 사용하는 모든 자동화컨테이너터미널은 내부이송장비인 AGV와 외부트럭의 이동경로를 분리하여 장치장운영을 단순화하기 위하여 수직배치를 사용하고 있다.

<그림 2-18>

수직배치



자료 : ECT 브로슈어

<표 2-19>

수직배치의 기본개념 및 특징과 적용터미널

구분	기본개념	특징		적용터미널
		장점	단점	
수직배치	<ul style="list-style-type: none"> 안벽법선에 대하여 수직의 형태로 구성된 블록형태 	<ul style="list-style-type: none"> 안전사고 예방을 위하여 내부 이송장비와 외부트럭의 이동 경로를 분리하여 트래픽 단순 이송장비의 회전공간과 주행공간이 적게 소요되어 장치공간 활용도가 높음 	<ul style="list-style-type: none"> 작업유연성이 낮은 ASC 또는 RMGC 위주의 하역작업으로 블록의 생산성이 떨어짐 	<ul style="list-style-type: none"> ECT, CTA 광양항 3단계 2차, 네덜란드 Euromax, 벨기에 Hessenatie 예정

3. 연구 대상 자동화 컨테이너터미널의 개요 및 자동화 장비운영전략

자동화 컨테이너터미널 운영의 핵심은 자동화 장비인 AGV와 ATC의 운영이다. 이러한 장비의 운영은 작업 계획에 따른 작업 배정과 작업 순서에 따라 최적의 생산성을 도출할 수 있는 장비의 작업 스케줄링을 결정하는 것이다.

각 장비들이 최고의 생산성을 발휘하기 위해서는 작업계획의 효율성과 작업장비 간의 간섭을 최소화 하여야 한다.

이를 위해서 3장에서는 대상 터미널의 물류체계를 분석하고, 물류체계에 따라 발생하는 장치장 작업장비의 생산성을 저하시키는 간섭에 대해서 정의한다. 그리고, 자동화 장비의 운영전략으로 기존에 개별적으로 연구되었던 각각의 전략을 통합하여 AGV의 라우팅전략, 블록할당전략과 ATC 장비운영전략, 작업우선순위결정전략, 간섭회피전략을 다루며, ATC의 효율적 운영과 생산성 향상을 위해서 동적로직에서만 가능한 작업우선순위결정전략에서의 간섭최소화전략(MIT)과 능동적간섭회피전략(PIAS)의 운영로직을 제안한다.

3.1 연구대상 터미널의 개요

본 연구는 광양항 3단계 자동화 컨테이너터미널의 하역시스템을 대상으로 한다. 광양항 3단계 자동화 컨테이너터미널은 수직배치에 DHST(Dual Hoist Second Trolley)형태의 안벽크레인을 사용할 계획으로 있으며, 이송장비는 AGV를 사용하고, 장치장의 하역크레인은 자동화 RMGC인 ATC를 사용할 계획이다.

3.1.1 연구대상 터미널의 물류체계

AGV는 안벽크레인의 백리치에서 컨테이너의 적재가 이루어지며, 수평이동 후 야드방향으로 회전하여 블록의 TP(Transfer Point)로 이동한다. 만약, TP에 빈 공간

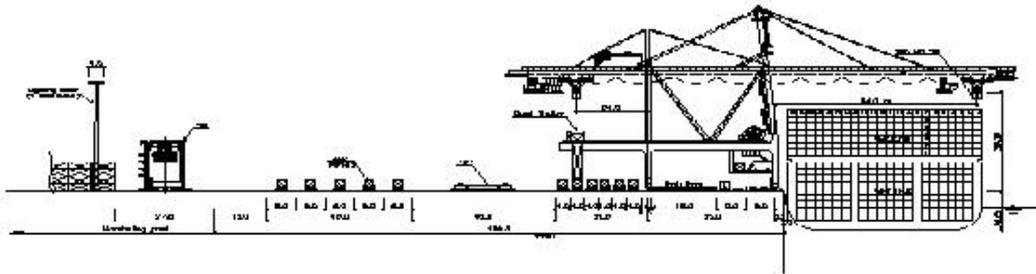
이 없을 경우에는 해측주행레인과 육측주행레인 사이의 대기공간에서 대기한다.

ATC는 성능이 서로 다른 ATC-2(큰 ATC)와 ATC-1(작은 ATC)로 이루어지며, 한 블록에 큰 ATC와 작은 ATC가 각각 한대씩 조를 이루어서 배치된다.

ATC-1은 내부에서 움직이는 크레인으로 컨테이너 10열의 폭에 5단적의 높이를 취급할 수 있도록 설계되었으며, ATC-2는 컨테이너 10열과 이송차량(AGV 또는 유지보수차량) 1대가 운행할 수 있는 레인을 가졌으며, 5단적의 적재높이를 취급할 수 있도록 설계되었다.

ATC-1과 ATC-2 사이에 1열의 AGV 진입로가 있어서 안벽측의 수출입컨테이너를 이송하는 AGV만이 진출입 할 수 있으며, 운영상 작업우선순위를 갖는다. 이러한 특성으로 인하여 내부진입로에 진입한 AGV의 작업은 ATC-2에 의해서만 이루어진다.

<그림 3-1> 터미널 단면도(해측)



자동화야드의 컨테이너 전송위치는 블록의 양 끝단에 위치하고 있으며 블록의 양 끝단에 이송장비에 컨테이너를 적재하거나 하역하기 위한 키오스크라는 이송장비 대기장소가 있다.

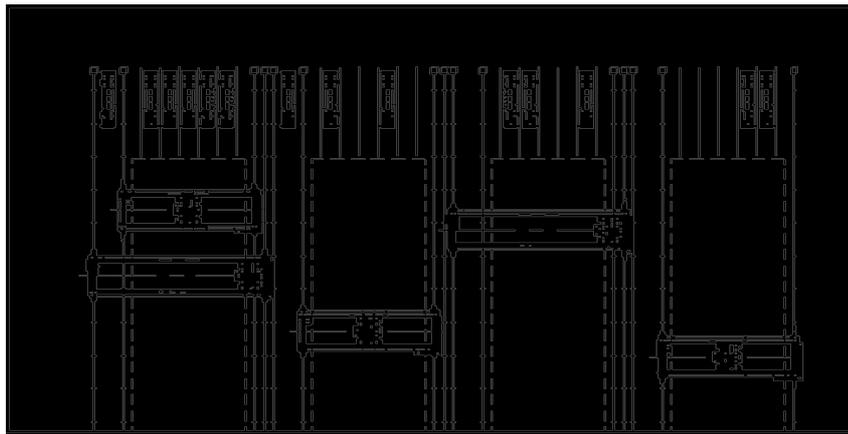
야드장비의 작업이 자동으로 수행되기 때문에 이송장비는 특정한 장소에서 컨테이너 전송이 이루어져야 하는데, 이를 전송점이라 하며 각 블록의 폭에 따라 달라진다. 전송점은 본선화물을 야드에 하역/적재하는 해측전송점과 반출입 화물을 야드에 적재하는 육측전송점이 있다.

해측전송점은 한 블록의 키오스크영역이 31m, AGV 주행영역이 7m이고, AGV의 폭을 감안했을 때 전송점은 키오스크영역이 4개소, AGV주행영역이 1개소로 블록당 총 5개소이다. 육측전송점의 경우 이송장비가 자동화장비가 아닌 유인장비이기 때문에 외부트럭 작업영역 폭을 확대하고, ATC의 비상시 유지보수를 위한 시설설치 등으로 해측보다는 외부트럭이 주차가능한 폭이 좁기 때문에 블록당 소요 전송점의 수는 4개소이다.

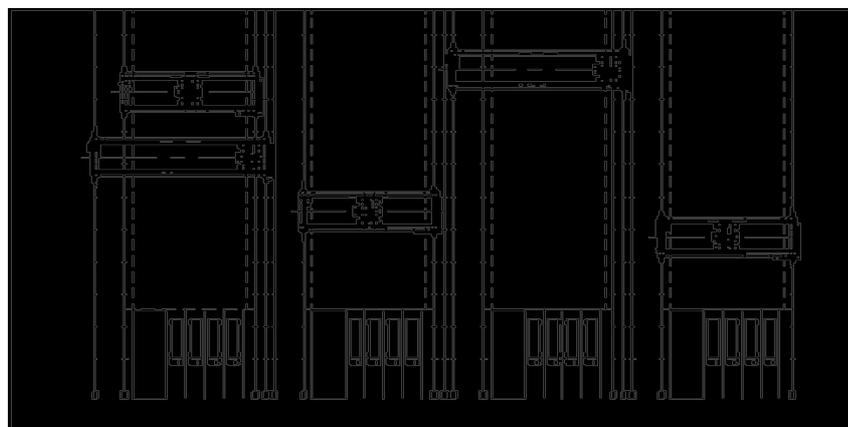
각 장비별 접근방안을 살펴보면 AGV가 ATC에 대한 접근로는 해측전송점과 ATC-1과 ATC-2 사이의 AGV용 도로가 있다.

또한 ATC에 대한 외부트럭의 접근로는 터미널 후면 외부트럭 주행로를 통하여 키오스크내의 육측전송점으로 접근이 이루어진다.

<그림 3-2> 해측과 육측의 컨테이너 전송점 및 전송위치



해 측



육 측

자료 : 한국컨테이너부두공단, “광양항 3단계 자동화터미널 개발기본계획”, 2001.

3.1.2 자동화 컨테이너터미널 장치장 장비 운영생산성 저해요인

1) 간섭

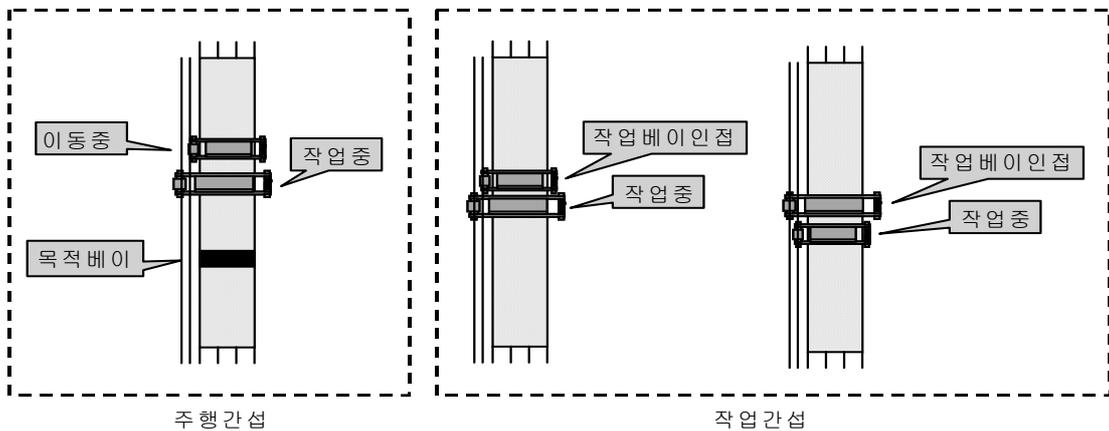
동일 블록에 2대의 ATC가 동시에 작업을 수행함으로써 발생하는 간섭은 자동화 컨테이너터미널 생산성에 큰 영향을 미친다. 간섭이 발생하게 되면 작업중이거나 이동중인 크레인은 간섭상황이 해지될 때 까지 충돌을 방지하기 위해서 정지해야 하며 이는 생산성의 저하를 초래한다. 따라서, 간섭의 형태에 대해 이해하고, 간섭을 줄일 수 있는 방안을 도출하는 것은 중요한 문제이다.

먼저, 간섭은 두 가지 상황에서 발생한다. 첫 번째는 주행간섭으로 이는 ATC-2가 작업중 일 때, ATC-1이 ATC-2의 작업지점을 통과하는 경우이다.

두 번째는 작업간섭으로 ATC-2가 작업중 ATC-1의 작업위치가 컨테이너 크기별 ATC가 차지하는 베이수 이내인 경우이거나, ATC-1이 작업중 ATC-2의 작업위치가 ATC-1 작업위치의 컨테이너 크기별 ATC가 차지하는 베이수 이내인 경우 안전을 위해서 일정거리 밖에서 대기한다.

<그림 3-3>

간섭의 형태



<표 3-1>

ATC가 차지하는 베이수

	ATC-1		ATC-2	
	20피트	40피트	20피트	40피트
베이수	2	3	3	4

자료 : 왕승진, "자동화 컨테이너터미널에서 장치장 운영규칙에 관한 연구", 석사학위논문, 부산대학교, 2002.

3.2 자동화 컨테이너터미널의 자동화 장비운영전략

자동화 컨테이너터미널에서의 장비운영전략은 크게 AGV 운영전략과 ATC 운영 전략으로 나눌 수 있다.

AGV 운영전략에는 AGV 라우팅전략과 AGV 블록할당전략이 있으며, ATC 운영 전략에는 장비할당전략과 작업우선순위결정전략, 간섭회피전략이 있다.

기존의 연구에서는 각 전략들이 개별적으로 연구되어 전체적인 관점에서 연구내용을 파악할 수 없었으며, 통일된 흐름도 갖지 못하였다. 그래서, 본 연구에서는 각 전략들이 자동화 장비운영전략에 어떻게 적용되는가에 대한 세부사항과 흐름을 설명하고, 간섭을 줄여서 운영효율성을 향상시키고, 생산성을 높일 수 있도록 간섭최소화전략과 능동적 간섭회피전략을 개발하여 제안한다.

3.2.1 AGV 운영전략

AGV의 운영전략에는 AGV의 운행경로 설정을 위한 라우팅전략과 경로를 따라 이동하는 동안 발생하는 AGV간의 트래픽통제전략 등의 AGV 장비통제를 위한 전략과 AGV에 적재되거나 적재될 컨테이너의 할당전략으로 나눌 수 있다.

1) AGV 라우팅전략²⁾

자동화터미널에서 이송장비인 AGV 시스템을 구축할 때 가장 중요한 것은 이송장비 주행영역 내에서 주행로 배치를 결정하는 것이다.

일반적으로 주행로 배치는 안벽 법선과 장치장 사이의 에이프런과 터미널 길이에 의해 형성된 직사각형 형태로 이어지며, 직사각형 격자망의 주행로 위를 AGV가 운행하게 된다.

간단한 경우라도 가장 중요한 것은 이송장비들 간의 상호간섭을 최소화하도록 전체통행흐름을 설계하는 것이다. AGV의 라우팅전략은 크게 Closed Loop 방식과 Cross Lane 방식으로 나눌 수 있다.

2) 전영환, “세계 선진항만 자동화터미널 운영실태”, 한국컨테이너부두공단, 2002

(1) Closed Loop

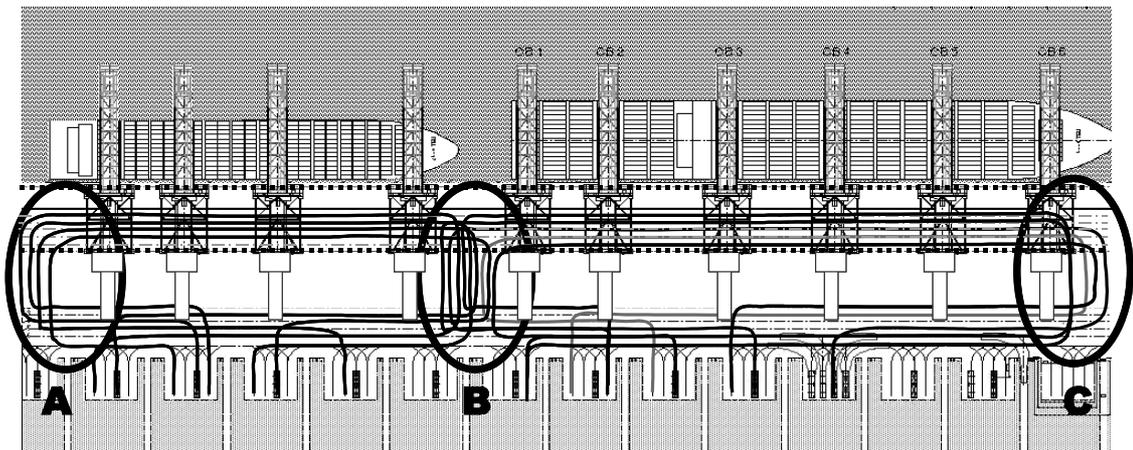
ECT 터미널에서 사용한 방식으로 각 컨테이너 크레인마다 AGV 주행레인을 가지고 있으며, 특정 크레인에 할당된 AGV는 정해진 주행레인에 정렬대기하여 작업을 수행한다.

AGV는 야드크레인에서 안벽크레인 및 백리치영역까지의 원형모양인 “Closed Loop”에서 이동한다.

한 척 또는 여러 척의 선박에 배치되는 AGV는 이러한 루프안에서 통합/운영되며, 이러한 루프들 사이에 있는 그림의 A, B, C 영역은 본선작업시 AGV 운행이 중복되는 지점으로 병목현상이 발생하는 지점이다.

<그림 3-4>

Closed Loop 방식



이러한 Closed Loop 방식은 비교적 쉽게 제어가 가능하며, ECT 터미널에서 현재 까지 10년이상 사용된 경험이 있으나, 이 방식은 다음과 같은 단점을 가지고 있다.

첫째, 전형적인 안벽크레인 하부의 레일스팬 간격은 레인 수가 5개 이상 초과할 수 없기 때문에, 안벽크레인의 최대수량은 Loop당 5기 이내로 제한된다.

둘째, 안벽크레인은 AGV가 주행하기 위한 주행로와의 사이의 간섭을 받기 때문에 안벽크레인의 이동에 다소 제한을 받는다. AGV의 원활한 주행을 위해서는 루프 사이의 소요공간을 충분히 확보하여야 하며, 이웃하여 접안된 선박의 선수와 선미 사이의 간격은 상대적으로 넓어야 한다.

셋째, 작업 배치과정이 어렵고, 일단 안벽크레인 정면의 대기 라인에 진입한 후에

는 배치순서의 변경이 어렵다. 사이클당 주행거리가 매우 길고, 각 AGV는 선박(또는 선석)의 전체길이 만큼 주행하여야 한다.

넷째, 안벽크레인 아래지역의 서비스 레인으로 향하거나 돌아 나올때 교통량이 많은 병목구간을 통과하여야 한다.

다섯째, 본선 해치카바 구역이 안벽측과 야드 통행영역 사이에 위치하므로 안벽크레인 영역의 교통흐름에 장애요인이 된다.

(2) Cross Lane

Closed Loop 방식에 대한 개선으로 새로운 AGV 주행로 설치는 각 안벽크레인의 백리치 영역으로 직접 진입하고 나오게 하는 운행방식이 선호되고 있다.

현재 이 방식에는 AGV가 안벽크레인 아래로 간섭을 받지 않고 직접 접근하며, 각 안벽 크레인 앞쪽의 완충레인으로 직접 주행한다.

Cross Lane 개념의 주요한 특징은 다음과 같다.

첫째, 크레인 하부 적하지역까지 간섭을 받지 않고 직접 접근할 수 있다.

둘째, 안벽크레인은 AGV 주행에 따른 충돌위험 없이 신속하게 이동하여 작업을 수행할 수 있다.

셋째, AGV 사이클당 주행길이가 Closed Loop 방식보다 40% 정도 짧으며, 결과적으로 AGV의 설치 소요수량이 줄어든다.

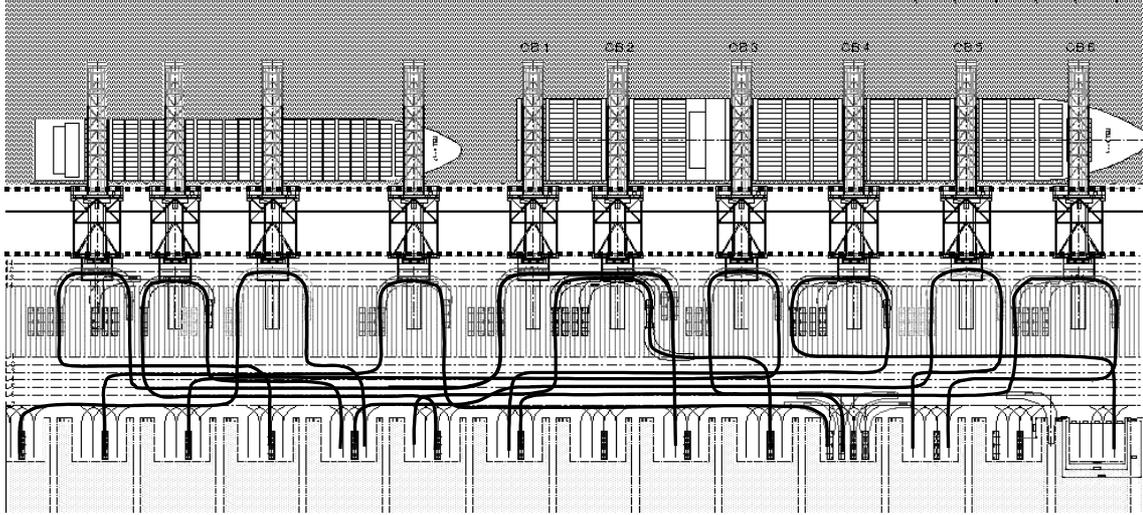
넷째, 이 개념은 무순접근 방식의 AGV 버퍼를 사용하므로, 안벽크레인 아래에 양적하를 위해 대기중인 AGV를 신속하게 이동시킬 수 있다.

다섯째, 연속하여 접안된 양선박의 선수와 선미 사이의 간격이 넓지 않아도 된다.

여섯째, 자동화 이송장비인 AGV 통행(백리치 영역)과 중량 및 특수화물용 일상유인 교통운반이 정확히 구분된다.

<그림 3-5>

Cross Lane 방식



Cross Lane 개념의 경우 전체 복합시스템의 생산량이 증가하며, 간섭의 감소, 크레인 작업지역에서의 접근용이, 주행로의 유연성과 정확한 작업스케줄에 따라 Closed Loop 개념과 비교하여 30% 이상의 높은 생산성을 나타낸다.

<표 3-2> Closed Loop 방식과 Cross Lane 방식의 장단점 비교

구분	Closed Loop 방식	Cross Lane 방식
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 10년 이상 사용된 검증된 방식 • AGV가 한 방향으로 움직이므로 교통 통제 및 제어가 용이 • 각 C/C별 일정 라인수가 할당되어 AGV의 할당이 용이 	<ul style="list-style-type: none"> • Closed Loop 방식에 비해 생산성이 30% 이상 높음 • AGV의 주행길이가 30% 이상 단축되어 투입대수의 감소 • 대기중인 AGV가 타 지역으로 빠른 이동이 가능
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 라인수가 5개 이상 초과가 어려움 • C/C와 AGV의 주행로상의 간섭으로 C/C 이동에 제한 • 선박사이의 간격이 상대적으로 넓어야 하며 AGV의 주행거리가 김 • 배정된 AGV의 작업순서 변경이 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> • 아직 검증이 되지 않음 • 크레인에 대한 AGV의 작업 할당이 복잡함 • 장치장측 주행라인에서 AGV의 정체현상 및 간섭이 발생할 가능성이 있음

2) AGV의 블록할당전략

AGV의 블록할당전략은 대표적으로 균등할당전략과 속성별할당전략의 두 가지이다. 균등할당전략은 장치장 하역장비인 ATC의 작업부담을 균등하게 유지하고 작업블

균형을 최소화하여 하역생산성을 높이고자 하는 전략이다.

속성별할당전략은 양하작업시 컨테이너의 적재효율성을 높이고 재조작을 최소화하기 위해서 양하컨테이너의 장치장 적재단계에서 크기(20“, 40”), 그룹, 화주 등의 속성을 특징을 고려하는 전략이다. 왕승진(2002)에 의해서 균등할당 전략의 우수함이 입증되었다.

(1) 균등할당

장치장 하역장비인 ATC의 작업부담을 균등하게 유지하고 작업불균형을 최소화하여 하역생산성을 높이고자 하는 전략으로 각 안벽크레인에서 출발한 AGV가 각 블록에 순차적으로 할당되어 작업을 수행하는 전략이다. AGV가 순차적으로 블록에 할당됨으로 특정블록에 작업이 집중되는 것을 방지할 수 있으며, 전체적으로 작업장비를 효율적으로 사용할 수 있어서 선박의 하역생산성을 높일 수 있는 장점이 있다. 그러나, 장치장의 적재효율이 떨어지고, 재조작의 횟수를 증가시키는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해서는 리마샬링을 통한 컨테이너의 효율적 재배치가 필요하다.

(2) 속성별할당

양하작업 시 컨테이너의 적재효율성을 높이고 재조작을 최소화하기 위해서 양하컨테이너의 장치장 할당단계에서 크기(20“, 40”), 그룹, 화주 등의 속성을 고려하는 전략이다.

이러한 속성별할당전략은 속성별로 스택단위할당이 가능하여 적재공간의 효율성을 높일 수 있는 장점이 있다. 그러나, 동일 속성의 컨테이너가 특정블록에 집중되는 경우 ATC 장비의 효율적 운영에 막대한 지장을 초래하는 단점이 있다.

<표 3-3>

균등할당과 속성별할당 비교

구분	균등할당	속성별할당
장점	<ul style="list-style-type: none"> 특정블록에 작업이 집중되는 것을 방지 작업장비를 효율적으로 사용할 수 있어서 선박의 하역생산성을 높일 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 속성별로 스택단위할당이 가능하여 적재공간의 효율성을 높일 수 있음
단점	<ul style="list-style-type: none"> 장치장의 적재효율이 떨어짐 재조작의 횟수를 증가시킴 	<ul style="list-style-type: none"> 동일 속성의 컨테이너가 특정블록에 집중되는 경우 ATC 장비의 효율적 운영에 막대한 지장을 초래

3.2.2 ATC 운영전략

ATC의 운영전략에는 장비운영전략, 작업우선순위결정전략, 간섭회피전략의 세 가지가 있다. 장비운영전략은 ATC-1과 ATC-2가 수출입화물, 반출입화물을 구분해서 전담을 하는 작업전담전략과 수입화물구역, 수출화물구역, 환적화물구역을 설정하여 전담하는 구역전담전략, 작업 및 구역을 구분하지 않고 작업을 수행하는 공동작업전략으로 나눌 수 있다. 작업우선순위결정전략은 작업대기중인 AGV의 작업중 어떤 작업을 수행할 것인지 결정하는 전략으로 일반적인 FIFO(First In First Out), 간섭최소화(Minimum Interference Time), 무부하이동거리최소화(Minimum Empty Travel Distance) 전략등 가장 많은 대안이 존재한다. 간섭회피전략은 수동적인 간섭회피전략(NIAS : Negative Interference Avoidance Strategy)과 능동적인 간섭회피전략(PIAS : Positive Interference Avoidance Strategy)으로 나눌 수 있는데, 그동안 기존연구에서 다루지지 않았던 부분으로 수동적인 전략을 기본으로 하여 적용되었다. 수동적인 간섭회피전략은 ATC간의 간섭 및 충돌을 방지하기 위해서 ATC-2가 작업을 수행하고 있는 중에는 ATC-1은 이동을 하지 않고 TP에서 작업이 끝나기를 기다렸다가 작업을 수행하는 방식으로 동적인 작업상황을 일일이 파악할 수 없으므로 수동적인 방법으로 최대한의 안전을 확보하는 전략이다. 능동적인 간섭회피전략은 ATC간의 간섭 및 충돌을 방지하기 위해서 다른 ATC가 작업을 수행하고 있는 중에는 안전거리까지 이동하여 작업상태를 파악하여 이동하는 방식으로 동적인 작업상황을 파악하여 최고의 생산성을 얻을 수 있는 전략이다.

1) 장비운영전략

장비운영전략에는 작업전담전략, 구역전담전략, 공동작업전략이 있다.

(1) 작업전담전략

수출입화물, 반출입화물을 구분해서 전담을 하는 작업전담전략으로 ATC-1은 육측의 반출입화물을 전담하고 ATC-2는 해측의 양적하화물을 전담하는 방식이다. 이러한 전략은 작업로직이 단순하고 적용이 쉬우나 양적하화물 또는 반출입화물이 불균형하게 발생하는 경우 장비이용율이 낮아지고, 작업효율이 떨어지는 단점이 있다.

[기본전략]

▷ ATC-1은 육측의 반출입 작업만을 전담한다.

▷ ATC-2는 해측의 양적하 작업만을 전담한다.

(2) 구역전담전략

구역전담전략은 블록을 수입, 수출, 환적으로 구분하여 수입은 ATC-2가 담당하고, 수출컨테이너는 ATC-1이 담당하며, 환적컨테이너는 ATC-1과 ATC-2가 공동으로 작업을 수행하는 전략으로 각 구역의 크기를 결정하는 것이 어려운 문제이며 발생작업의 불균형으로 장비이용율이 낮아지고, 작업효율이 떨어지는 단점이 있다.

[기본전략]

▷ 수입컨테이너작업 및 내부진입로 작업은 ATC-2 담당한다.

▷ 수출컨테이너작업은 ATC-1이 담당한다.

▷ 환적컨테이너작업은 ATC-1과 ATC-2가 공동으로 담당한다.

(3) 공동작업전략

공동작업전략은 양적하작업을 위한 내부통행로 이용 컨테이너를 제외하고는 각 ATC의 작업위치와 상황에 따라 작업을 수행하는 전략으로 2대의 ATC가 동시에 작업을 수행함으로 생산성이 높다. 그러나 운영로직이 복잡하고 장비간 간섭을 효율적으로 최소화해야 하는 어려움이 있다.

[기본전략]

- ▷ 내부진입로 작업은 ATC-2가 담당한다.
- ▷ 반출입, 양적하작업을 구분하지 않고 현재 ATC위치에서 가장 가까운 TP를 선택한다.

2) 작업우선순위결정전략

작업우선순위결정전략은 곧 작업의 순서를 결정하는 전략으로 일반적인 FIFO, 간섭최소화, 무부하이동거리최소화전략 등의 다양한 전략이 있다.

동적로직의 유효성 검증을 위해서 왕승진(2002)의 연구에서 사용된 FIFO, METD 전략을 선택하여 본 연구에서 제안한 MIT 전략과 비교를 위한 기본전략을 제시한다.

(1) FIFO(First In First Out)

가장 일반적인 전략으로 먼저 TP에 진입한 AGV의 작업요청을 처리하는 방식으로 운영로직이 단순하다.

[기본전략]

- ▷ 각 장비운영전략에 따라 TP에 먼저 진입한 AGV 또는 트럭순으로 작업을 수행한다.

(2) 무부하이동거리최소화전략

ATC가 컨테이너를 집지 않고 이동하는 무부하 이동거리를 최소화하기 위한 방법으로 무부하이동거리가 최소가되는 작업을 우선적으로 처리하는 전략이다.

왕승진(2002)에 의해서 FIFO 전략보다 우수한 전략임이 증명되었다.

[기본전략]

- ▷ 장비운영전략에 따라 무부하 이동거리를 최소화하기 위한 작업의 AGV 또는 트럭순으로 작업을 수행한다.

(3) 간섭최소화전략

두 대의 ATC가 동시에 작업을 수행함으로 필연적으로 발생하는 간섭을 최소화하기 위한 전략으로 간섭상황을 만들지 않으면서 간섭을 최소화하는 방법이다. 동적인 장비운영계획이 가능해야 한다.

[기본전략]

▷ ATC가 대상작업을 선택할 경우 현재 작업수행중인 ATC와 주행간섭 및 작업간섭이 발생하는지를 파악한 후, 현재 작업수행중인 ATC와 간섭이 발생하지 않는 작업을 선택하여 작업을 수행한다.

3) 간섭회피전략

(1) NIAS(Negative Interference Avoidance Strategy)

수동적 간섭회피전략으로 동적로직을 적용하지 못하여 이동 및 작업수행시 다른 ATC의 상태를 파악하지 못하므로 ATC간의 간섭 및 충돌을 방지하기 위해서 다른 ATC가 작업을 수행하고 있는 중에는 이동을 하지 않고 작업이 끝나기를 기다렸다가 작업을 수행하는 방식이다. 각 장비간에 통신이 원활히 이루어지지 않아서 동적인 작업계획을 세우기 어려운 경우에 사용된다. 따라서 안전측면에서는 높은 수준이나 생산성이 낮고 간섭율이 높다.

[기본전략]

▷ 주행간섭

- ATC-2가 작업중이고, ATC-1이 주행을 해야할 경우 TP 또는 현재위치에서 작업완료시 까지 대기한 후 ATC-2의 작업이 완료되면 이동한다.

▷ 작업간섭

- 각 ATC들의 목적 작업위치에서 간섭이 발생하는 경우 ATC-2는 안전거리 확보 후 대기하며, ATC-1은 TP 또는 현재위치에서 대기한 후 ATC-2의 작업이 완료되면 이동하여 작업한다.

(2) PIAS(Positive Interference Avoidance Strategy)

능동적인 간섭회피전략은 ATC간의 간섭 및 충돌을 방지하기 위해서 다른 ATC가 작업을 수행하고 있는 중에는 안전거리까지 이동하여 작업상태를 파악하여 이동하는 방식으로 장비간의 통신이 원활하게 이루어지며, 간섭최소화전략과 함께 사용하면 간섭을 최소화할 수 있다. 발생작업에 따른 동적인 계획의 수립이 용이한 경우 생산성 향상을 위해서 사용된다.

[기본전략]

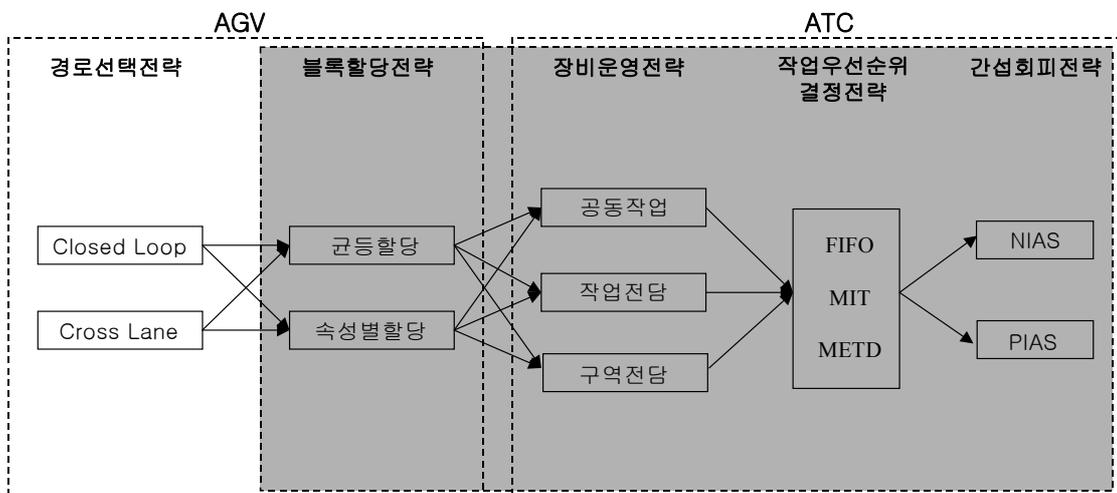
▷ 주행간섭

- ATC-2가 작업중이고 ATC-1이 주행중인 경우 ATC가 차지하는 베이수의 범위내에서 안전거리를 확보한 후 대기한다. ATC-2 작업완료시 주행을 계속하여, 목적베이 도착 시 ATC-2의 안전거리 확보유무 확인 후 작업을 수행한다.

▷ 작업간섭

- ATC-1이 작업중이고 ATC-2가 주행중인 경우는 통과 후 컨테이너 사이즈별 ATC가 차지하는 베이수의 범위에 ATC-1의 존재유무 확인 후 안전거리가 확보되면 작업을 수행한다.
- 각 ATC들의 목적 작업위치가 간섭이 발생하는 경우 안전거리 확보 후 대기한다.

<그림 3-6> 자동화터미널의 운영전략 구성도



4. ATC 운영 시뮬레이션의 설계 및 구현

본 장에서는 먼저, 본 연구에서 제안한 간섭최소화전략 및 간섭회피전략의 세부적 적용과정흐름을 기술한다. 그리고, 동적로직의 구현과 간섭최소화전략 및 간섭회피전략의 세부적용과정흐름의 적용을 위한 시뮬레이션 설계를 하여, 각 시뮬레이션을 이용한 대안들의 동적로직과 본 연구에서 개발 제안한 간섭최소화전략 및 간섭회피전략의 유효성검증을 위해서 ATC 운영시뮬레이션 설계와 구현을 한다.

4.1 MIT 및 PIAS의 특징 및 적용과정흐름

본 연구에서 개발 제안한 작업우선순위 결정전략에서의 MIT와 간섭회피전략에서의 PIAS의 특징 및 세부적인 적용과정흐름 기술한다.

4.1.1 MIT 특징 및 적용과정흐름

MIT는 간섭의 최소화를 위한 전략으로 ATC가 작업의 유무를 파악하여 작업이 존재하는 경우 적용되는 전략이다.

ATC는 작업이 종료되면, 제자리에 정지해서 다음 작업을 검색하게 되며, 이때, 공동작업의 장비할당전략 상황에서는 간섭 및 이동거리를 고려해서 작업을 선택하게 된다.

본 연구에서 제안한 MIT의 주요한 특징은 두 가지가 있는데 첫 번째는 ATC별로 적용 전략이 다르다는 것이다. ATC-1의 경우 상대적으로 크기가 작기 때문에 주행 간섭 및 작업간섭에 민감하다. 그러나, ATC-2의 경우 ATC-1보다 크기가 크기 때문에 주행간섭은 고려하지 않고 오직 작업간섭만을 고려한다. 따라서, ATC별로 전략 적용이 다르게 된다. 두 번째는 두 단계에 걸쳐서 전략을 적용한다는 것이다. 첫 번째 단계에서는 작업을 선정하는 단계이다. 이때, 첫 번째 특징에서 설명한 것 처럼 각 ATC별로 간섭을 고려하여 반출입, 양적하 작업을 선정한다. 두 번째 단계에서는 다수의 작업이 존재하는 경우 목적작업의 선정이다. 이 단계에서는 기본적으로

간섭을 최소화하기 위해서는 이동거리를 최소화해야 하므로, 이동거리가 짧은 작업을 선택하게 된다.

이러한 두 가지 특징에 따른 적용과정흐름을 기술하면 다음과 같다.

[Step 1] 양쪽 TP에 작업검색

[Step 2] 작업이 없으면 정지

[Step 3] 반출입, 양적하 중 한쪽에 작업이 있는 경우 작업수행을 위한 주행시작

[Step 4] 반출입, 양적하 양쪽에 작업이 있는 경우

[Step 5] 작업지점 까지의 이동거리 계산, 가까운 작업위치 선택

- ATC-1의 경우 이동경로상에 ATC-2가 작업상태인지 파악
- ATC-2의 경우 주행시작

[Step 6] 반출 및 적하작업의 경우 그대로 수행

[Step 7] 반입 및 양하작업의 경우 복수개의 작업이 존재하면 각 작업별 이동거리 계산

[Step 8] 이동거리가 최소가 되는 작업선택 작업수행

4.1.2 PIAS 특징 및 적용과정흐름

PIAS는 작업수행시 다른 ATC의 작업상태로 인한 주행간섭의 증가를 회피하기 위한 전략이다.

기존의 수동적인 방식에서는 충돌을 방지하기 위해서 보수적인 방식으로 장비를 운영하여 작업시 주행간섭이 과다하게 나타나는 현상을 가져왔다.

이러한 주행간섭은 자동화터미널의 생산성을 저해하는 요인이 된다. 따라서, 주행간섭을 줄이고, 생산성 향상을 위해서 동적인 상황에서 능동적인 방식으로 충돌상황을 회피할 수 있는 PIAS의 개발이 필요하게 되었다. 이러한 PIAS의 능동적 특징에 따른 적용과정흐름을 기술하면 다음과 같다.

[Step 1] 집기작업

[Step 2] ATC-1은 주행시작전 이동경로상에 다른 ATC 유무검색

[Step 3] ATC-2가 작업중인 경우 위치파악

- [Step 4] ATC-2의 작업안전거리까지 이동하면서 지속적인 ATC-2의 상태파악
- [Step 5] ATC-2의 작업안전거리까지 도달하였을때 ATC-2의 상태가 작업이 아니면 계속주행
- [Step 6] ATC-2는 주행간섭이 없으므로 작업목적위치까지 이동하여 ATC-1의 위치파악
- [Step 7] ATC-1의 위치가 작업안전거리 이내이면, ATC-1의 상태파악 후 작업사태면 대기, 작업상태 아니면 이동지시
- [Step 8] ATC-1의 위치가 작업안전거리를 넘어서면 작업수행

4.2 ATC 운영 시뮬레이션의 설계

자동화 컨테이너터미널의 AGV의 블록할당전략과 ATC의 장비운영전략, 작업우선 순위전략, 간섭회피전략의 적용을 위한 시뮬레이션 모델의 설계를 위해서는 AGV 또는 트럭과 ATC간의 연계작업을 고려해야한다. 이들은 각각이 서로 개별적으로 운영되기 보다는 상호연계된 형태로 작업을 수행하기 때문에 시뮬레이션 모델 설계 시 각 장비간의 연계성을 반영하여야 한다.

4.2.1 ATC

장치장에 적재되어 있는 컨테이너를 AGV에 적재하거나 AGV에 적재되어 있는 컨테이너를 장치장에 적재하는 작업을 수행한다.

개체의 속성은 ID, LOC, STATE, WR-NO, WR-TM, WR-LIST 등으로 나누어지며, 개체의 상태는 정지, 이동, 작업, 간섭, 재취급의 다섯 가지로 표현된다.

<표 4-1>

ATC의 개체속성과 개체상태

구 분		비 고
개체속성	ID	ATC의 인식번호
	LOC	ATC의 위치(TP 또는 베이)
	STATE	ATC의 현재 상태(정지/이동/작업/간섭/재취급)
	WR-NO	ATC의 작업수
	WR-TM	ATC 작업시간
	WR-LIST	ATC 작업물량
개체상태	정지	작업이 없을 때
	이동	작업지점으로 이동할 때
	작업	작업중일 때
	간섭	주행간섭 또는 작업간섭중일 때
	재취급	재취급중일 때

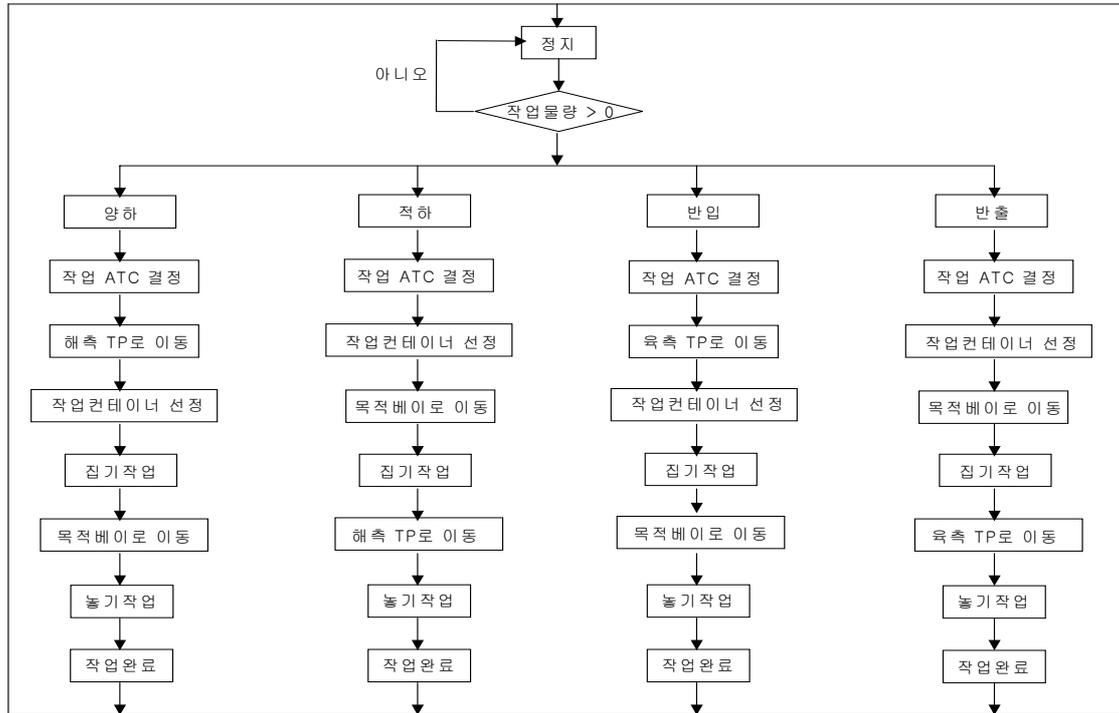
시뮬레이션 분석에서 ATC의 역할은 이송장비의 작업요청을 최대한 신속하게 처리해주는 것이다. <그림 4-1> ATC의 작업과정흐름도의 1사이클에서 1개의 컨테이너가 처리된다.

ATC의 작업과정흐름도에서 양하작업의 경우를 예로 들어 설명하면 다음과 같다.

작업이 발생하면 작업을 수행할 ATC를 결정한 후 ATC를 해측 TP로 이동시킨다. 해측 TP에 도착한 ATC는 수행할 작업을 선택하여 집기작업후 목적베이로 이동을 하여 놓기작업을 수행한다.

<그림 4-1>

ATC의 작업과정 흐름도



4.2.2 AGV 와 외부트럭

AGV는 안벽의 크레인으로부터 컨테이너를 블록으로 이송하거나, 블록의 ATC로부터 컨테이너를 안벽크레인까지 이송해주는 작업을 수행한다.

외부트럭은 외부로부터 컨테이너를 블록으로 이송하거나, 블록의 ATC로부터 컨테이너를 외부로 운송해주는 작업을 수행한다.

개체의 속성은 ID, LOC, STATE, WR-NO, WR-TM, WR-LIST 등으로 나누어지며, 개체의 상태는 정지, 이동, 대기의 세 가지로 표현된다.

AGV 및 외부트럭의 작업과정흐름도에서 양하작업의 경우를 예로 들어 설명하면 다음과 같다.

안벽의 크레인으로부터 컨테이너를 적재한 AGV는 목적블록을 선택하여 이동한다. TP에 진입하기 전에 대기이동버퍼에서 TP에 빈자리가 있는지 여부를 파악한 후 진입가능이면, 자리를 할당받아서 진입하고 그렇지 않으면, 대기를 시작한다. TP에 진입한 AGV는 작업리스트에 작업을 올리고, ATC에게 컨테이너를 인도하면 TP에서 나와서 안벽으로 이동한다.

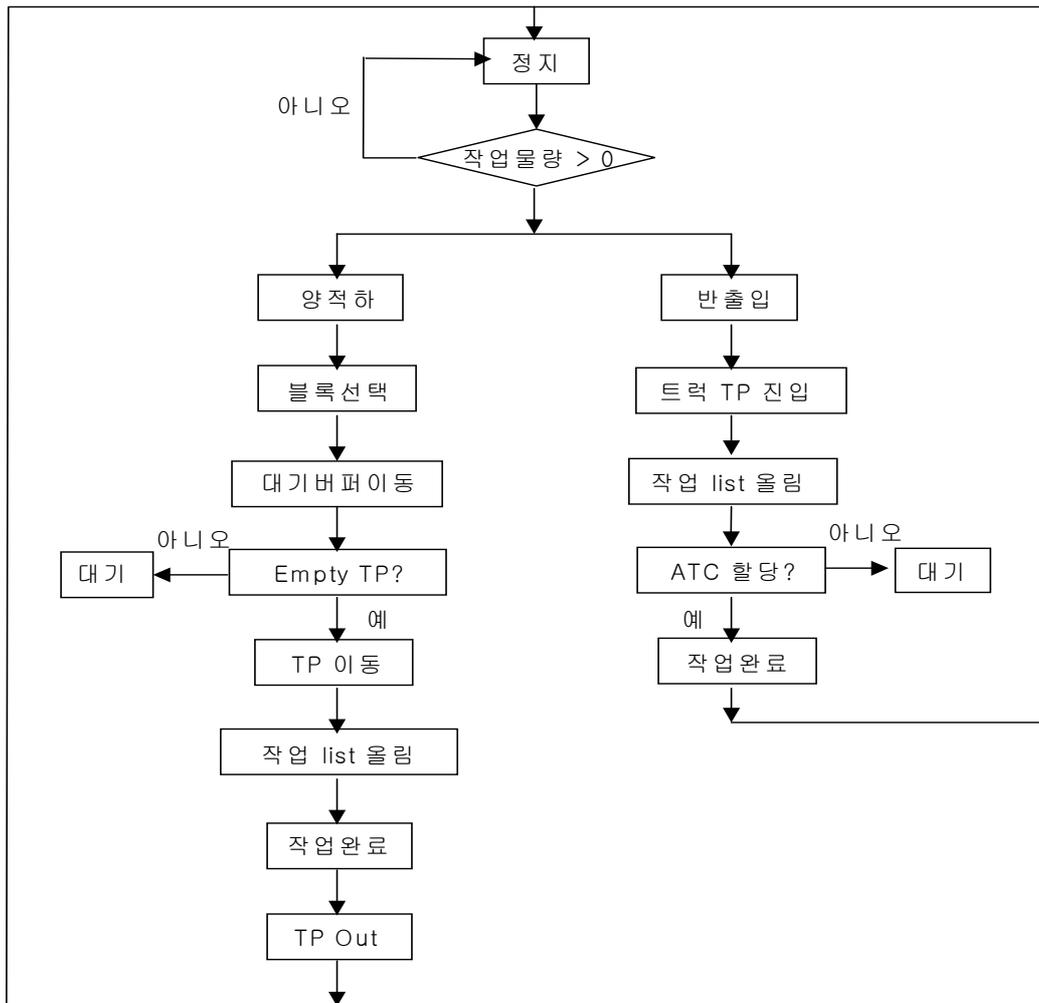
<표 4-2>

AGV 및 외부트럭의 개체속성과 개체상태

구 분	비 고	
개체속성	ID	AGV 및 외부트럭의 인식번호
	LOC	AGV 및 외부트럭의 위치(TP 또는 베이)
	STATE	AGV 및 외부트럭의 현재 상태(정지/이동/대기)
	WR-NO	AGV 및 외부트럭의 작업수
	WR-TM	AGV 및 외부트럭 작업시간
	WR-LIST	AGV 및 외부트럭 작업물량
개체상태	정지	작업이 없을 때
	이동	작업지점으로 이동할 때
	대기	작업 대기중일때

<그림 4-2>

AGV 및 외부트럭의 작업과정 흐름도



4.2.3 ATC 상태정의

시물레이션 모델에서 사용되는 ATC는 각각의 작업단계를 상태로 표현할 수 있다. 이러한 상태를 나타내는 상태정의와 상태전이도는 동적로직의 구현을 위해서 필수적인 것으로 각 ATC의 상태에 따라 로직의 적용을 다르게 할 수 있어서 동적 운영시물레이션을 가능하게 한다. 상태정의와 상태전이도는 다음과 같다.

1) 상태정의

ATC의 상태를 작업을 위한 1사이클에 포함된 6가지로 정의하며, 6가지 상태의 시간합이 1사이클이 된다.³⁾

T1은 정지상태, T2는 이동상태, T3는 집기상태, T4는 놓기상태, T5는 간섭상태, T6는 재취급상태를 나타낸다.

<표 4-3> ATC 상태정의

ATC	
T1	○ 정지상태
T2	○ 이동상태
T3	○ 집기상태
T4	○ 놓기상태
T5	○ 간섭상태
T6	○ 재취급상태
$CT(Cycle\ Time) = \sum_{i=1}^6 T_i$	

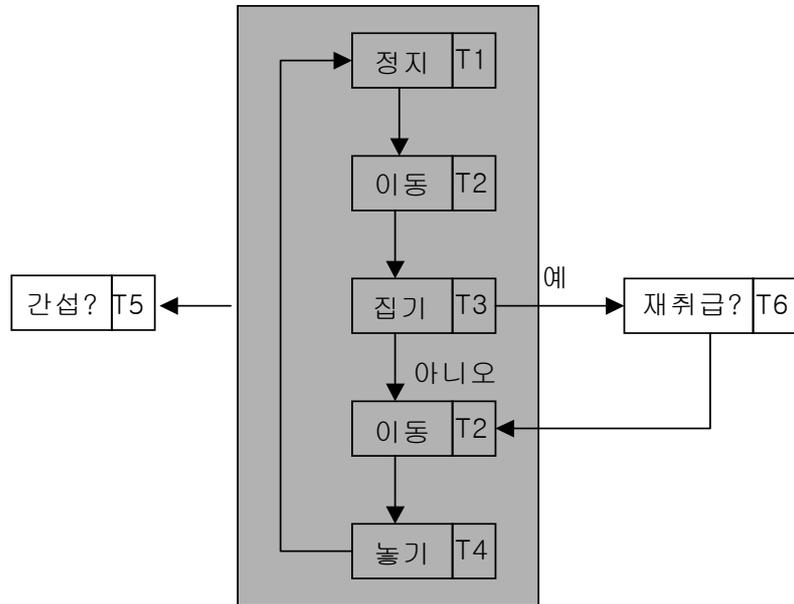
2) 상태전이도

ATC의 6가지 상태를 정지상태에서부터 최종놓기 단계까지의 1사이클을 따라 각각의 상태가 어떻게 변하는지 나타내는 그림이다.

작업이 없는 상태인 정지에서부터 발생된 작업을 수행하기 위해 이동하고 집고, 놓고, 간섭과 재취급 유무를 파악하는 각각의 상태별 시간을 수집한다.

3) 양창호외 2명(2003), 「자동화 컨테이너터미널의 이송장비 시물레이션 모델」, 한국산업공학회 춘계학술대회.

<그림 4-3> ATC의 상태전이도



4.2.4 개발전략 적용과정흐름

자동화터미널의 ATC 운영을 위한 동적로직의 개발을 위해서 위에서 개체의 속성 및 상태를 정의하고, 상태함수와 상태전이도를 작성하였으며, 각 자동화장비의 작업 흐름도를 작성하였다. 개체속성과 상태함수, 작업흐름도를 바탕으로 적용과정흐름을 단계별로 작성하면 다음과 같다.

[Step 1] AGV의 TP도착과 함께 작업이 List에 등록된다.

[Step 2] 등록된 작업에 따라 작업종류, 작업위치, ATC위치 등을 고려하여 작업을 수행 할 ATC를 결정한다.

[Step 3] 작업수행이 결정된 ATC-2는 주행간섭을 고려하지 않고 이동하며, ATC-1의 경우 이동경로상에 ATC-2가 위치하는 경우 현재 위치와 상태를 파악하여 지속적으로 간섭유무를 점검하며 목적위치로 이동한다.

[Step 4] 간섭이 발생하면 안전거리 확보후 대기하며, 간섭해지 시 다시 이동을 시작한다.

[Step 5] 목적위치에 도착하여 작업을 수행하기 전에 작업간섭을 점검하고 안전확

인 후 작업을 수행한다.

[Step 6] 작업을 수행한 후 이동시작시 ATC-1은 ATC-2의 상태를 파악하여 간섭회피전략에 따라 이동을 결정한다.

[Step 7] ATC-1은 이동중 지속적으로 ATC-2의 상태를 파악하여 작업상태인 경우 작업위치를 파악하여, 목적위치와의 거리를 계산하고 안전거리확보유무를 파악한 후 작업간섭이 발생하면, 안전거리 밖에서 대기하고, 그렇지 않다면 계속 이동하여 작업을 수행한다. ATC-2의 경우는 주행간섭을 고려하지 않고 목적위치로 이동하여 작업간섭만을 점검한 후 작업을 수행한다.

[Step 8] 작업완료 후 각 상태함수별 통계량을 저장한다. 그리고, 등록된 작업유무를 파악한 후 작업이 있으면 [Step 2] 단계에서부터 다시 작업을 수행하고, 작업이 없으면 제자리에 정지한다.

4.3 GA(Gwang Yang Automated Container Terminal) 장치장의 운영 시뮬레이션 구현

<그림 3-6> 자동화터미널의 운영전략 구성도에서와 같이 GA의 장치장 ATC운업을 위한 전략들의 결합은 장치장과 직접 연계된 AGV의 블록할당전략에서부터 ATC의 장비운영전략, 작업우선순위결정전략, 간섭회피전략 등 4가지 전략의 결합으로 36가지의 대안이 가능하다.

그러나 본 연구에서는 AGV는 정상적인 운영이 가능하다고 가정하고, 장치장 운영장비인 ATC를 위주로 하여 장치장운영전략인 장비운영전략, 작업우선순위결정전략, 간섭회피전략을 중심으로 12가지 대안에 대한 시뮬레이션을 수행한다.

12가지 대안은 동적로직과 본 연구에서 제안한 MIT와 PIAS의 유효성을 검증하기 위해서 왕승진(2002)의 연구에서 사용된 FIFO와 METD 전략을 포함하여 MIT와 비교분석한다.

<그림 4-4>

대안 구성도



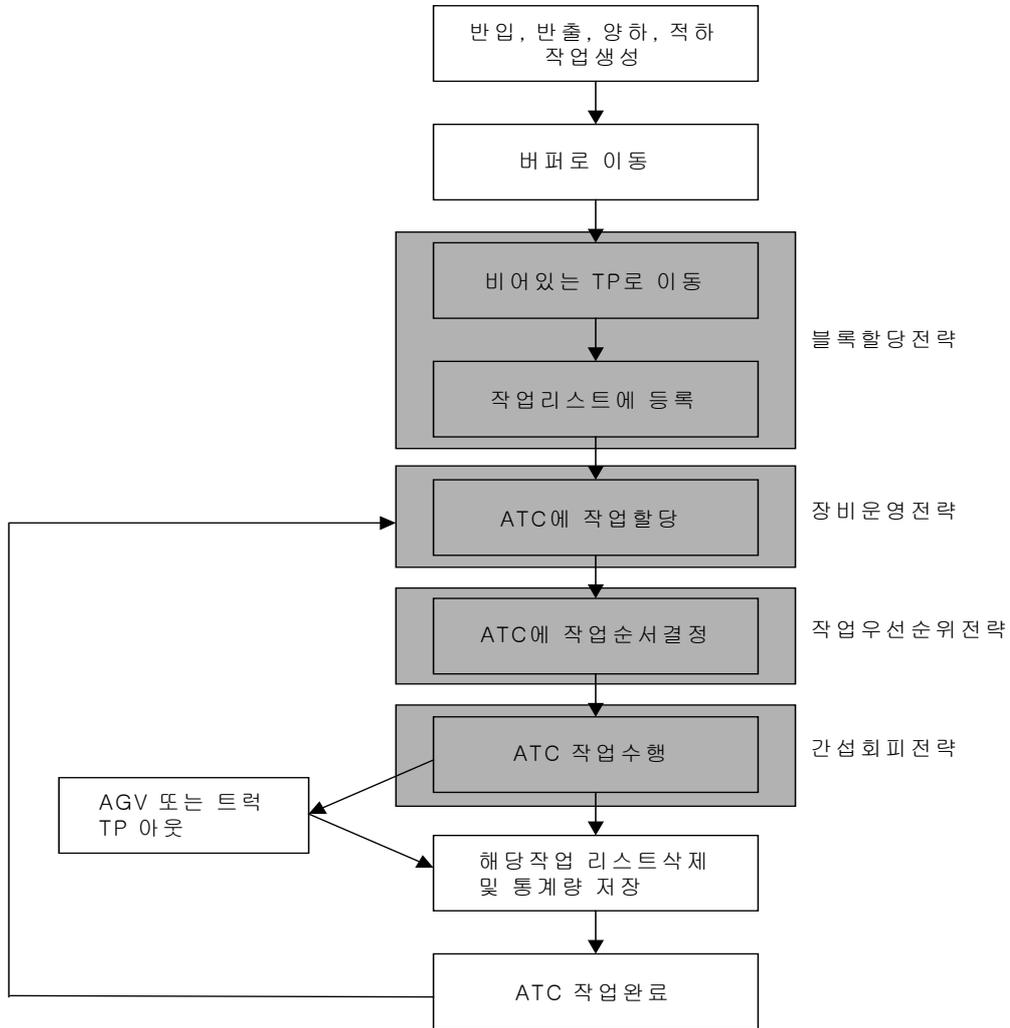
시뮬레이션은 비주얼베이직 6.0과 MS Access를 이용해서 개발하였다. 시뮬레이션은 수직배치의 특성상 ATC작업시 리마샬링을 제외하고는 블록간 영향을 미치지 않으므로 1개 블록만을 대상으로 하며 초기 단계에서 야드는 모두 비어있는 것으로 한다. ATC-1과 ATC-2는 해측TP와 육측TP에서 시작하며, 작업이 완료된 ATC는 작업완료시점에서 제자리에 정지한다.

AGV 및 트럭의 도착은 무작위로 해측과 육측작업에서 발생한다.

적양하작업과 반출입작업의 비율을 50:50으로 하여 공동작업 및 역할구분 등에 있어서 특정 운영로직에 편향이 없도록 하였으며, 간섭의 현실적인 수치적표현을 위해서 왕승진(2002)의 연구에서 사용된 재취급비율 0.9825을 사용하여 ATC의 작업통계량을 산정하였다.

<그림 4-5>

시물레이션 흐름도



5. 시뮬레이션 실험결과

작업데이터의 편향으로 인한 결과의 왜곡을 방지하기 위해서 100개의 적양하, 반출입 자료를 이용해서 각각 20회의 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션 실험결과는 대안별로 분석결과를 기술하고, 작업 전략들을 구분하여 각 단계별로 장비운영전략인 작업전담 vs 공동작업, 작업우선순위결정전략인 FIFO vs METD vs MIT, 간섭회피전략인 NIAS vs PIAS로 구분하여 각 전략별 특성을 비교 분석하고, 본 연구에서 제안한 MIT와 PIAS의 유효성을 검증하기 위해서 MIT&PIAS vs METD&PIAS vs Others 로 구분하여 비교 분석한다.

또한, 분석결과를 통해서 도출된 결과를 분석하여 대안별, 전략별로 본 연구에서 제시하는 시사점을 기술한다.

5.1 대안별 결과

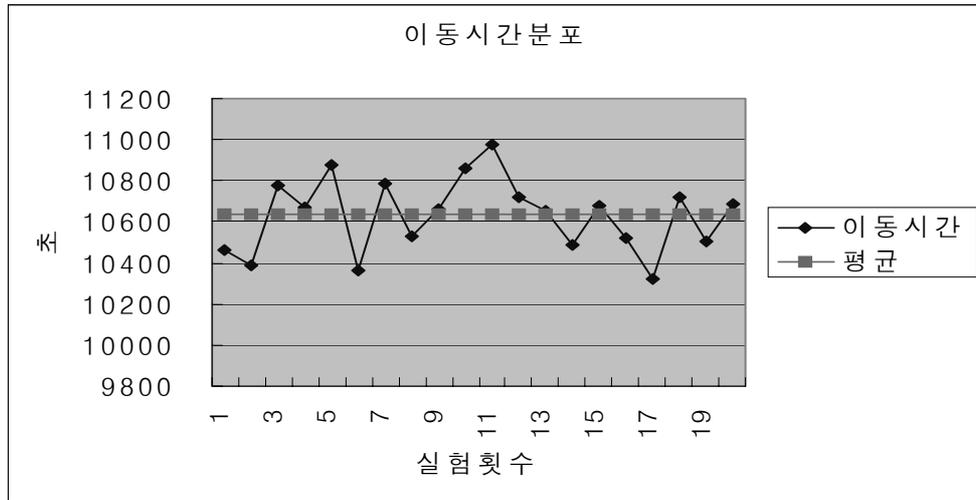
집기, 놓기, 재취급은 작업시간을 나타내고, 주행간섭과 작업간섭의 크기를 표현하기 위한 수치로서 상수를 사용하여 분석하였으므로, 20번의 반복실험에서 나타난 수치들이 큰 의미를 지니지 않는다. 따라서, 본 연구에서의 동적로직개발과 전략에 따른 간섭최소화 결과의 비교분석을 위해서 이동시간과 주행간섭, 작업간섭만을 비교 분석한다.

5.1.1 대안 1 (작업전담 → FIFO → NIAS)

1) 이동시간

대안 1에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 이동시간의 평균은 10,634초로 나타났으며, 최소 이동시간 10,325초, 최대 이동시간 10,979초로 나타났다.

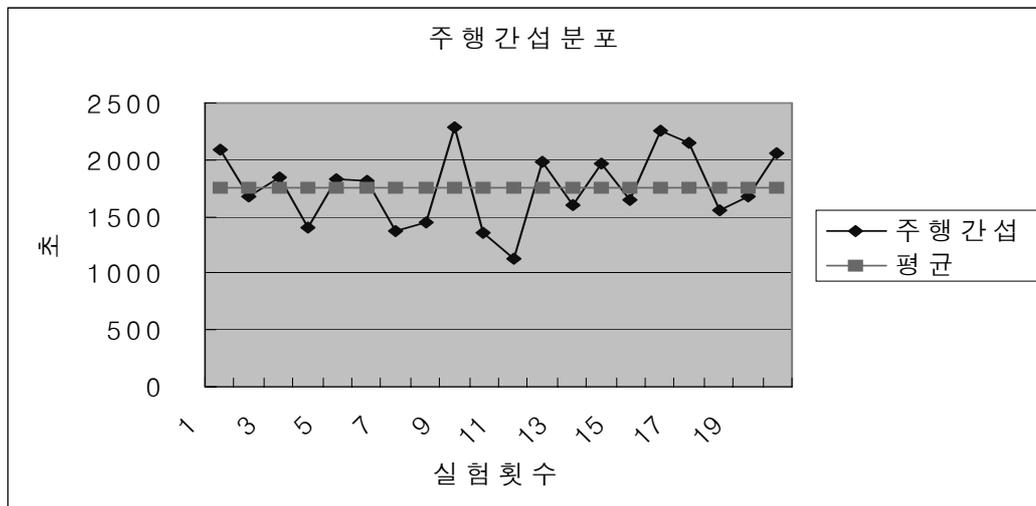
<그림 5-1> 대안 1의 이동시간분포



2) 주행간섭

대안 1에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 주행간섭의 평균은 1,756초로 나타났으며, 최소 주행간섭시간은 1,126초, 최대 주행간섭시간은 2,286초로 나타났다.

<그림 5-2> 대안 1의 주행간섭분포

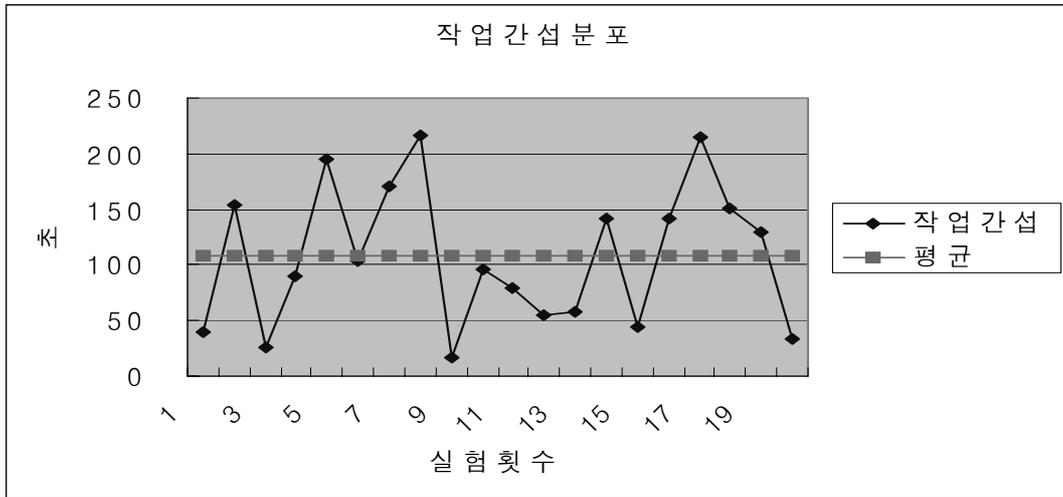


3) 작업간섭

대안 1에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 작업간섭의 평균은 108초로 나타났으며, 최소 작업간섭시간은 17초, 최대 작업간섭시간은 216초로 나타났다.

<그림 5-3>

대안 1의 작업간섭분포



4) 대안 1 결과분석

대안 1의 이동시간 평균 10,634초, 주행간섭 평균 1,756초, 작업간섭 평균 108초를 더하면 평균 이동 및 간섭시간이 12,496초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 1,894초 높게 나타났다.

이것은 작업전담전략 및 FIFO전략에 따른 이동시간 증가와 NIAS에 의해서 주행 간섭이 증가하였기 때문이다.

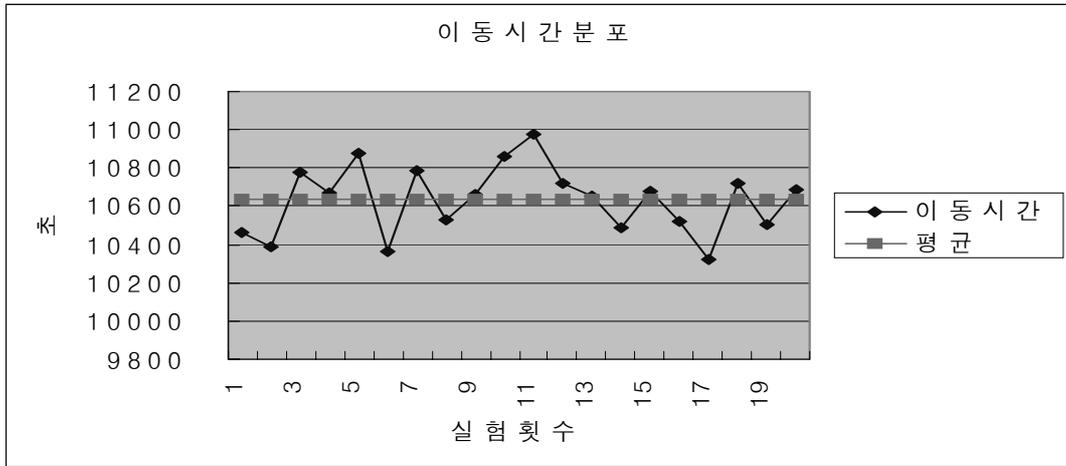
5.1.2 대안 2 (작업전담 → FIFO → PIAS)

1) 이동시간

대안 2에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 이동시간의 평균은 10,634초로 나타났으며, 최소 이동시간 10,325초, 최대 이동시간 10,979초로 나타났다.

<그림 5-4>

대안 2의 이동시간분포

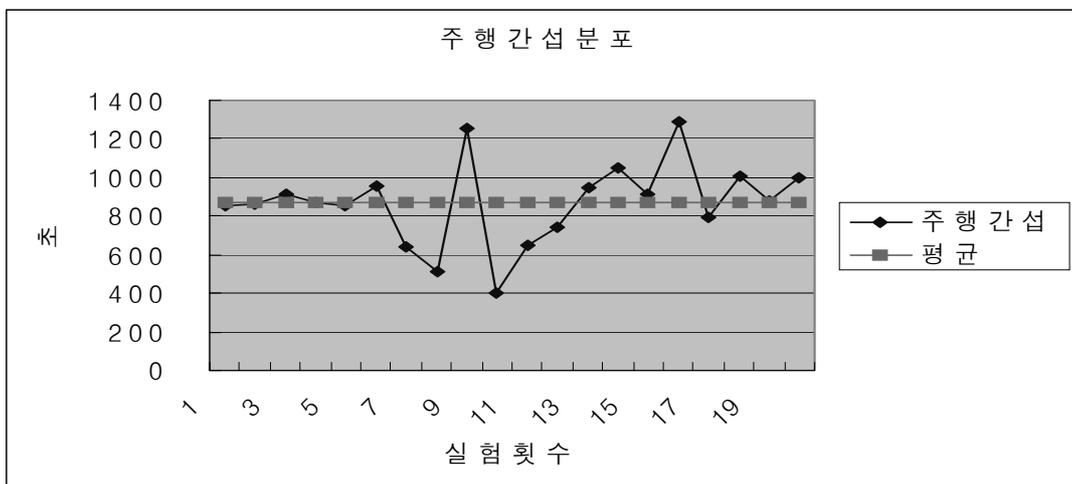


2) 주행간섭

대안 2에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 주행간섭의 평균은 869초로 나타났으며, 최소 주행간섭시간은 510초, 최대 주행간섭시간은 1,290초로 나타났다.

<그림 5-5>

대안 2의 주행간섭분포

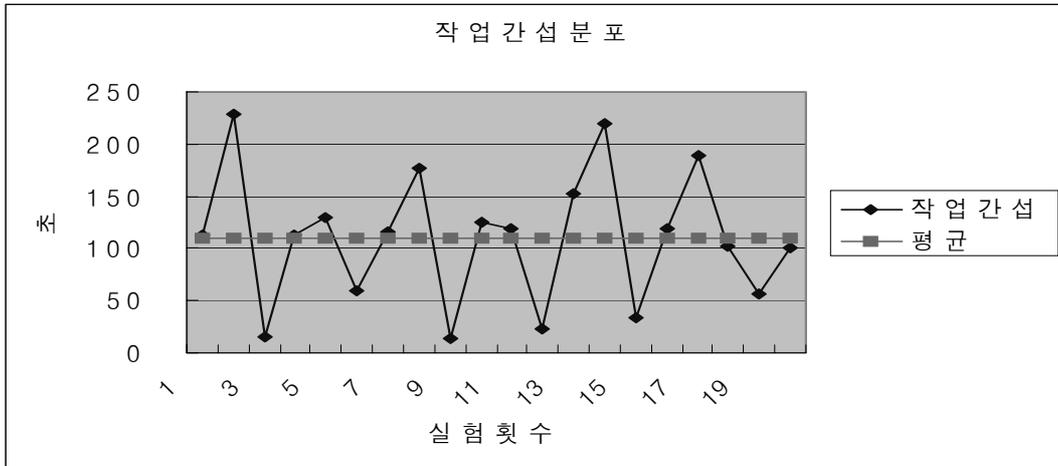


3) 작업간섭

대안 2에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 작업간섭의 평균은 108초로 나타났으며, 최소 작업간섭시간은 17초, 최대 작업간섭시간은 216초로 나타났다.

<그림 5-6>

대안 2의 작업간섭분포



4) 대안 2 결과분석

대안 2의 이동시간 평균 10,634초, 주행간섭 평균 869초, 작업간섭 평균 110초를 더하면 평균 이동 및 간섭시간이 11,613초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 1,011초 높게 나타났다.

이것은 작업전담전략 및 FIFO전략 때문에 이동시간이 높으나, PIAS전략으로 인해 주행간섭이 감소하였기 때문이다.

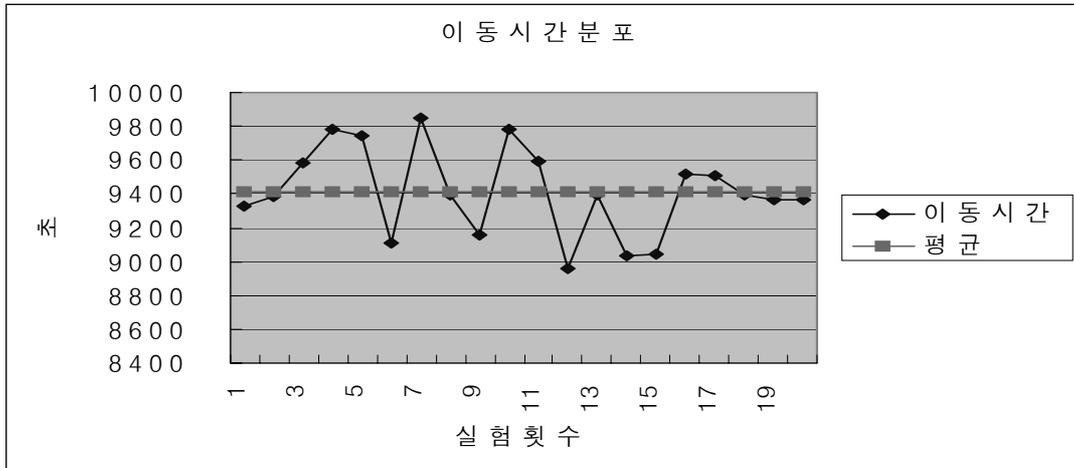
5.1.3 대안 3 (작업전담 → METD → NIAS)

1) 이동시간

대안 3에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 이동시간의 평균은 9,414초로 나타났으며, 최소 이동시간 8,955초, 최대 이동시간 9,845초로 나타났다.

<그림 5-7>

대안 3의 이동시간분포

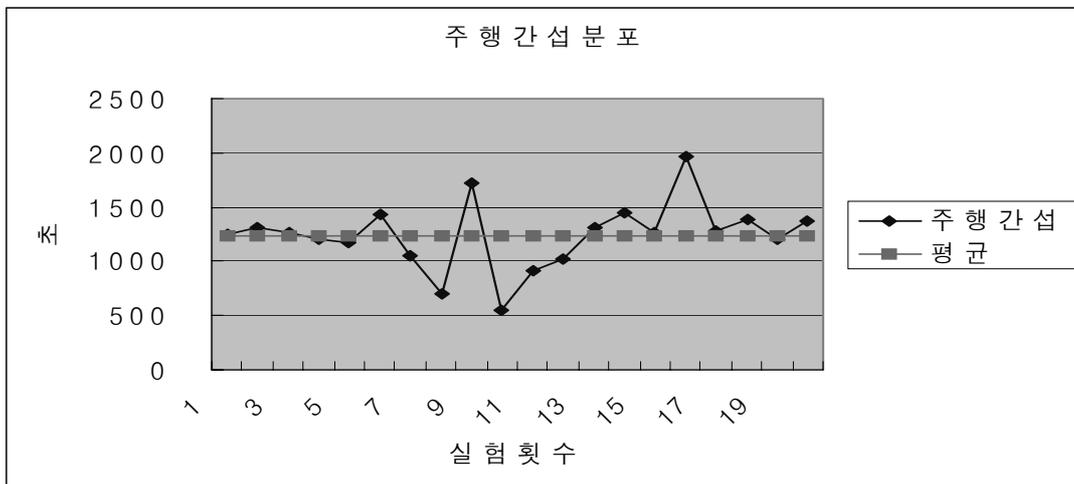


2) 주행간섭

대안 3에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 주행간섭의 평균은 1,241초로 나타났으며, 최소 주행간섭시간은 550초, 최대 주행간섭시간은 1,961초로 나타났다.

<그림 5-8>

대안 3의 주행간섭분포

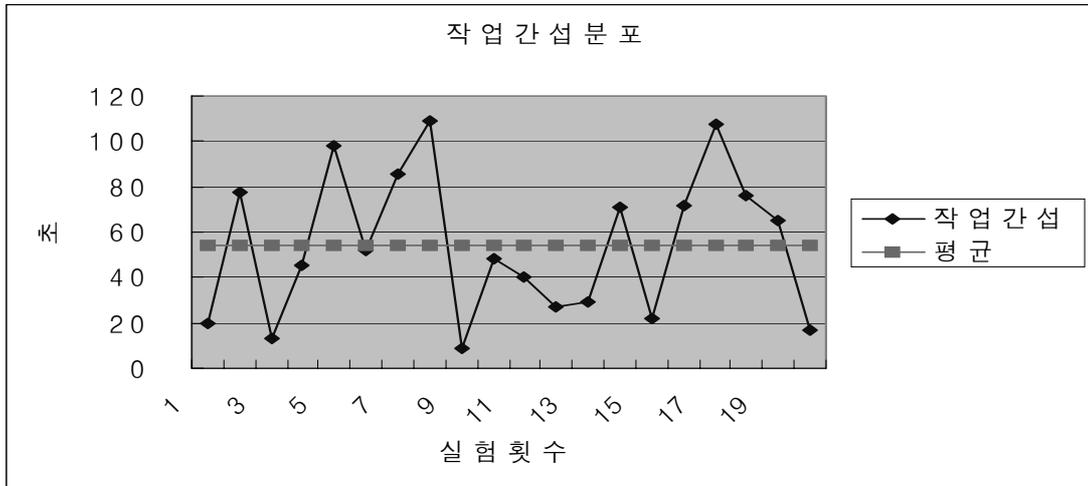


3) 작업간섭

대안 3에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 작업간섭의 평균은 54초로 나타났으며, 최소 작업간섭시간은 9초, 최대 작업간섭시간은 109초로 나타났다.

<그림 5-9>

대안 3의 작업간섭분포



4) 대안 3 결과분석

대안 3의 이동시간 평균 9,414초, 주행간섭 평균 1,241초, 작업간섭 평균 54초를 더하면 평균 이동 및 간섭시간이 10,710초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 108초 높게 나타났다.

이것은 작업전담전략 따른 이동시간 증가와 NIAS에 따른 주행간섭이 증가하였으나 METD 전략이 이를 상쇄하였기 때문이다.

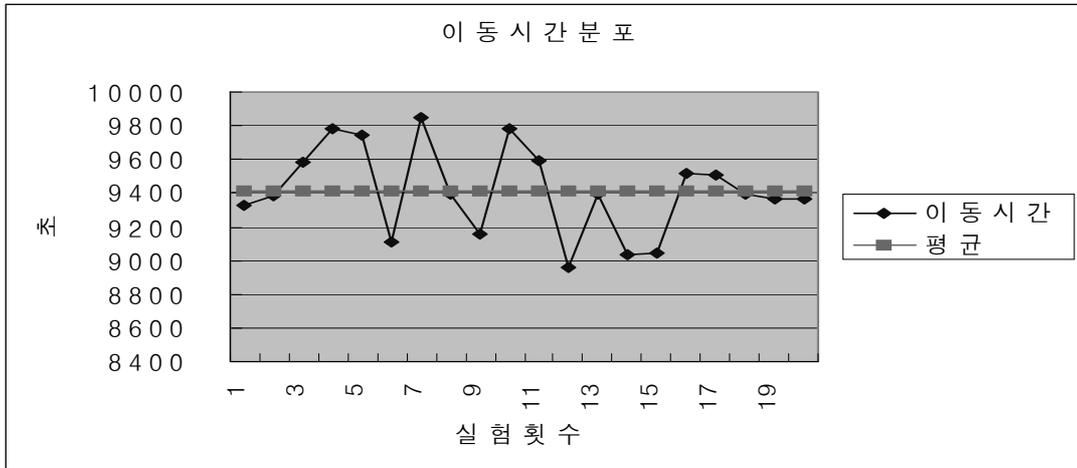
5.1.4 대안 4 (작업전담 → METD → PIAS)

1) 이동시간

대안 4에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 이동시간의 평균은 9,414초로 나타났으며, 최소 이동시간 8,955초, 최대 이동시간 9,845초로 나타났다.

<그림 5-10>

대안 4의 이동시간분포

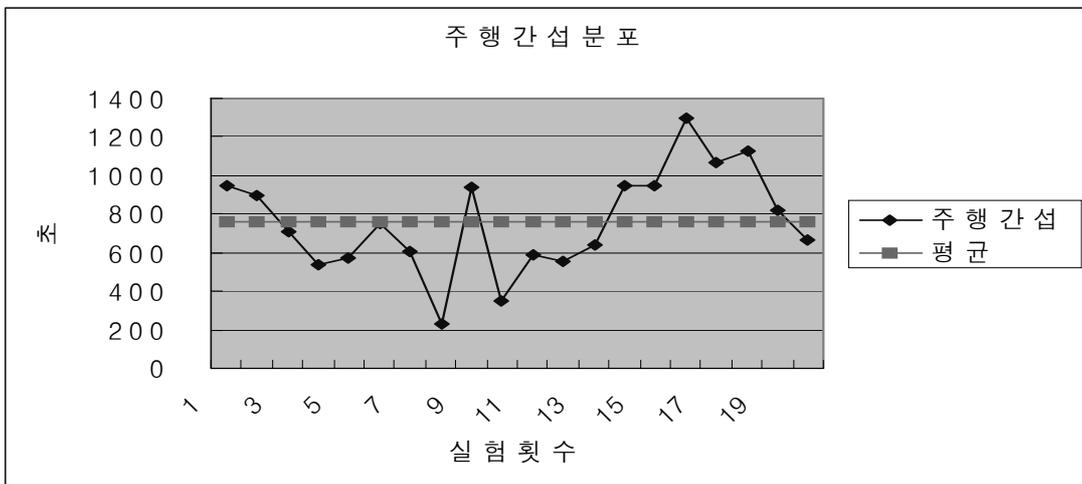


2) 주행간섭

대안 4에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 주행간섭의 평균은 760초로 나타났으며, 최소 주행간섭시간은 234초, 최대 주행간섭시간은 1,301초로 나타났다.

<그림 5-11>

대안 4의 주행간섭분포

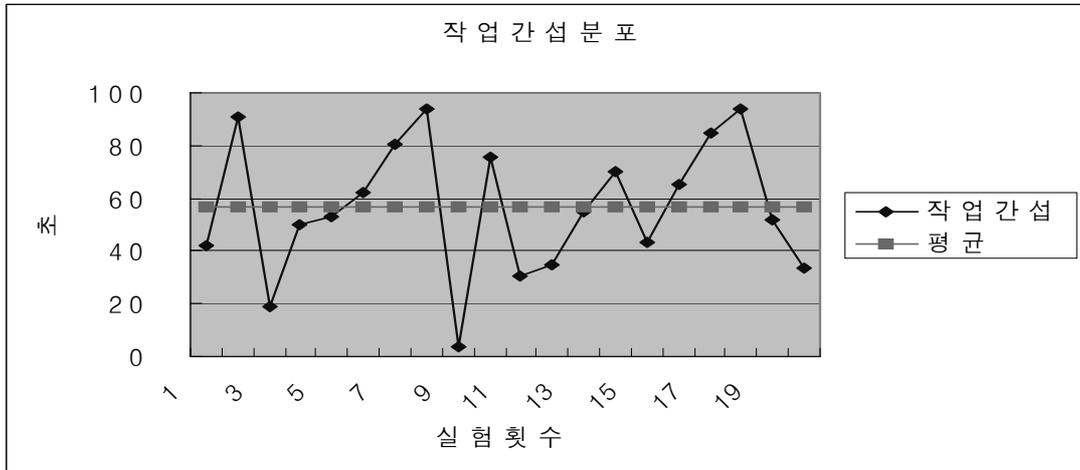


3) 작업간섭

대안 4에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 작업간섭의 평균은 57초로 나타났으며, 최소 작업간섭시간은 4초, 최대 작업간섭시간은 94초로 나타났다.

<그림 5-12>

대안 4의 작업간섭분포



4) 대안 4 결과분석

대안 4의 이동시간 평균 9,414초, 주행간섭 평균 760초, 작업간섭 평균 57초를 더 하면 평균 이동 및 간섭시간이 10,231초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 371초 낮게 나타났다.

이것은 작업전담전략에 때문에 증가된 이동시간이 METD와 PIAS에 의해서 주행 간섭 및 작업간섭이 감소되었기 때문이다.

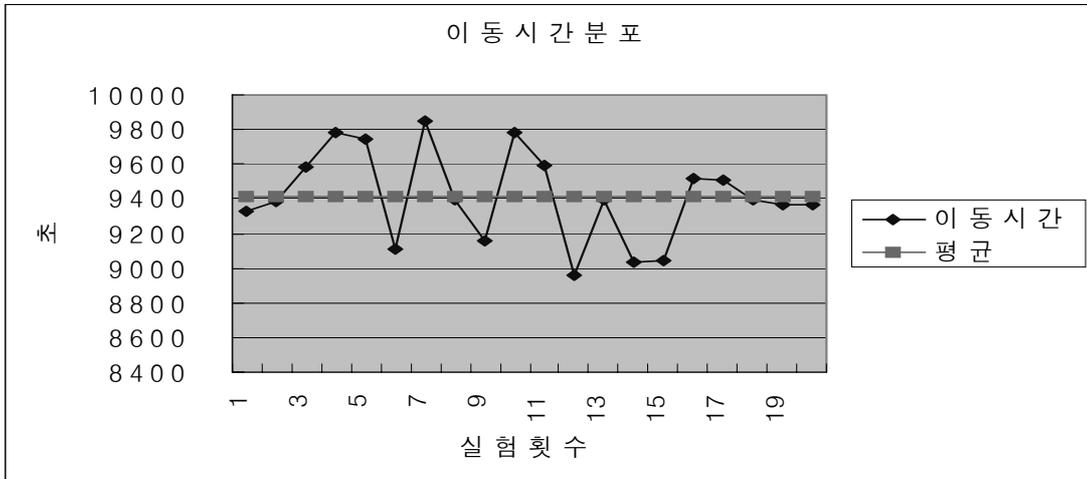
5.1.5 대안 5 (작업전담 → MIT → NIAS)

1) 이동시간

대안 5에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 이동시간의 평균은 9,414초로 나타났으며, 최소 이동시간 8,955초, 최대 이동시간 9,845초로 나타났다.

<그림 5-13>

대안 5의 이동시간분포

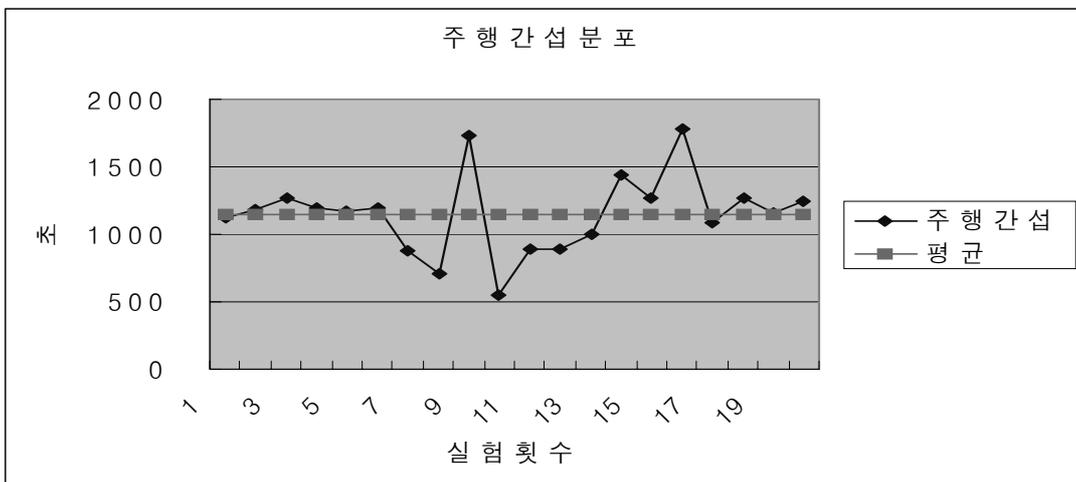


2) 주행간섭

대안 5에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 주행간섭의 평균은 1,150초로 나타났으며, 최소 주행간섭시간은 550초, 최대 주행간섭시간은 1,776초로 나타났다.

<그림 5-14>

대안 5의 주행간섭분포

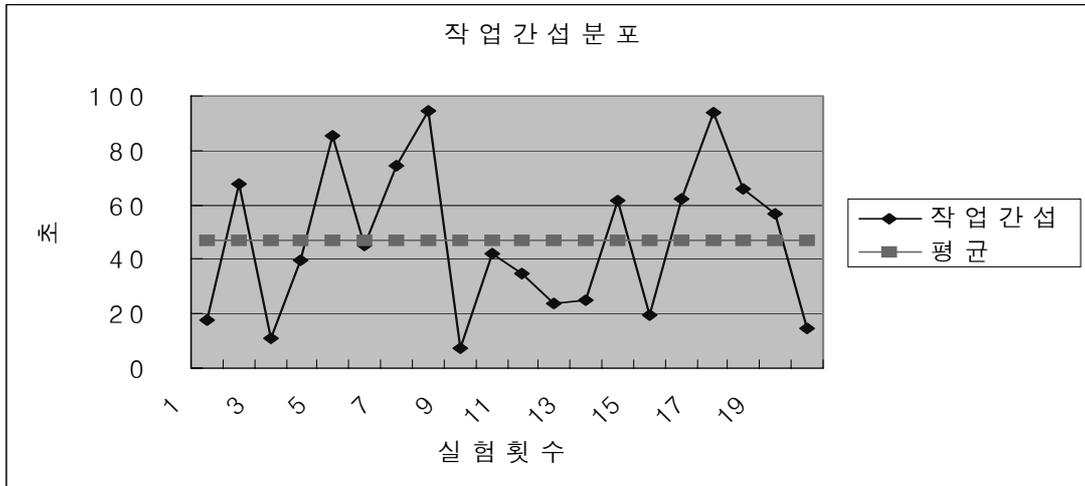


3) 작업간섭

대안 5에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 작업간섭의 평균은 47초로 나타났으며, 최소 작업간섭시간은 7초, 최대 작업간섭시간은 94초로 나타났다.

<그림 5-15>

대안 5의 작업간섭분포



4) 대안 5 결과분석

대안 5의 이동시간 평균 9,414초, 주행간섭 평균 1,150초, 작업간섭 평균 47초를 더하면 평균 이동 및 간섭시간이 10,612초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 6초 높게 나타났다.

이것은 작업전담전략 및 NIAS전략에 따라 증가된 이동시간 및 주행간섭이 MIT 전략에 의해서 상쇄되었기 때문이다.

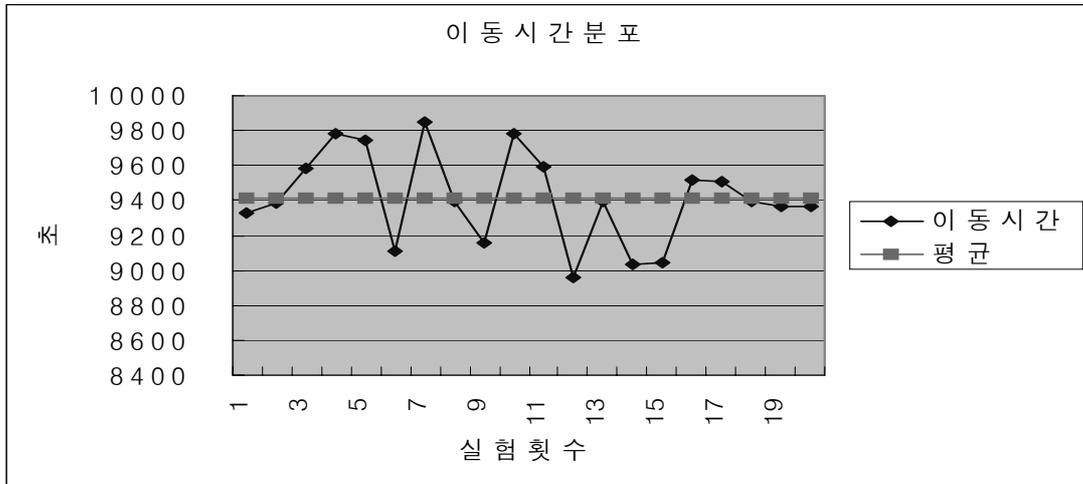
5.1.6 대안 6 (작업전담 → MIT → PIAS)

1) 이동시간

대안 6에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 이동시간의 평균은 9,414초로 나타났으며, 최소 이동시간 8,955초, 최대 이동시간 9,845초로 나타났다.

<그림 5-16>

대안 6의 이동시간분포

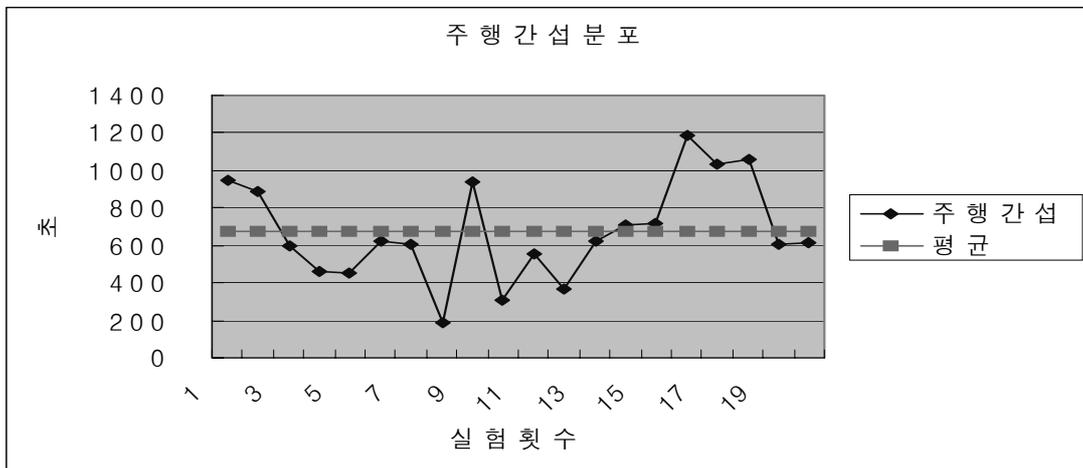


2) 주행간섭

대안 6에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 주행간섭의 평균은 674초로 나타났으며, 최소 주행간섭시간은 185초, 최대 주행간섭시간은 1,186초로 나타났다.

<그림 5-17>

대안 6의 주행간섭분포

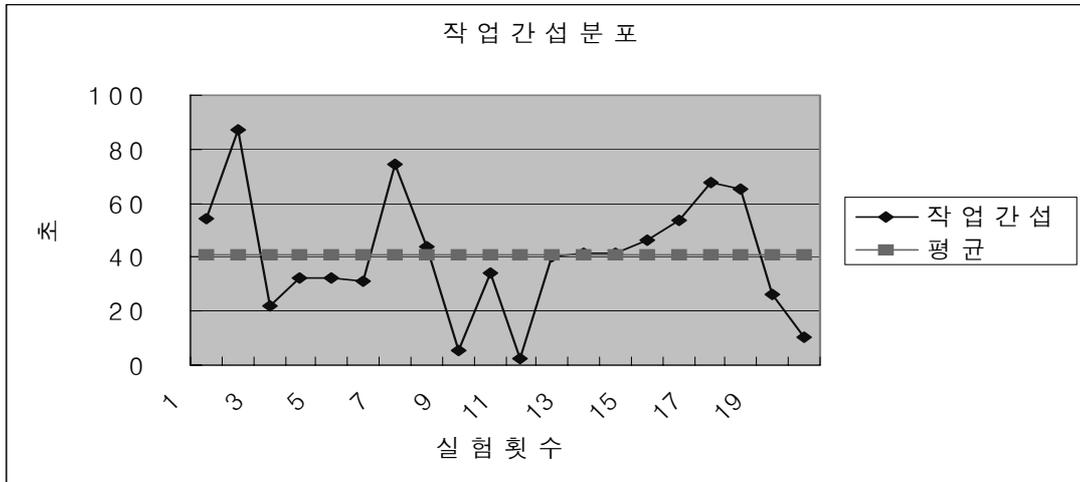


3) 작업간섭

대안 6에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 작업간섭의 평균은 41초로 나타났으며, 최소 작업간섭시간은 2초, 최대 작업간섭시간은 87초로 나타났다.

<그림 5-18>

대안 6의 작업간섭분포



4) 대안 6 결과분석

대안 6의 이동시간 평균 9,414초, 주행간섭 평균 674초, 작업간섭 평균 41초를 더하면 평균 이동 및 간섭시간이 10,129초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 473초 낮게 나타났다.

이것은 작업전담전략 때문에 증가된 이동시간이 MIT와 PIAS로 인해 이동시간 및 주행 및 작업간섭이 감소하였기 때문이다.

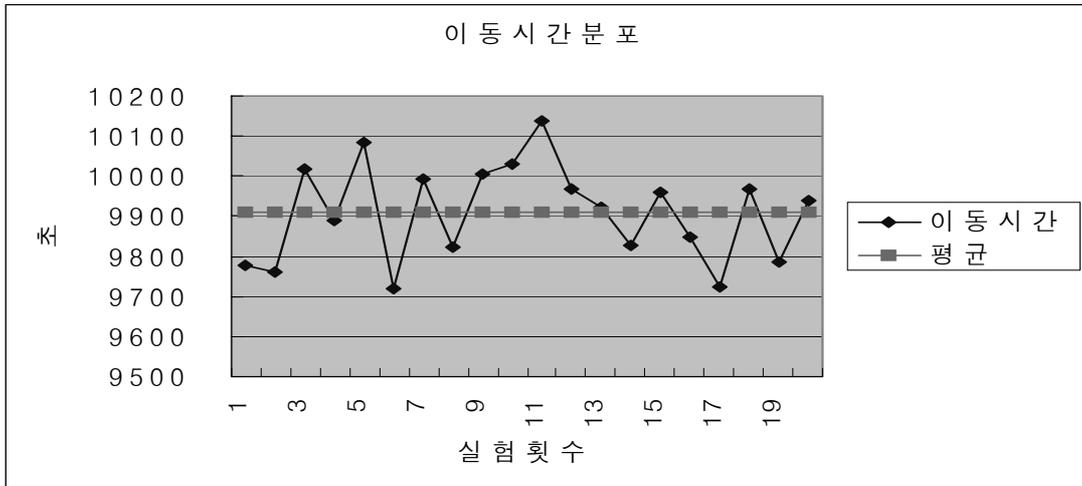
5.1.7 대안 7 (공동작업 → FIFO → NIAS)

1) 이동시간

대안 7에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 이동시간의 평균은 9,909초로 나타났으며, 최소 이동시간 9,721초, 최대 이동시간 10,139초로 나타났다.

<그림 5-19>

대안 7의 이동시간분포

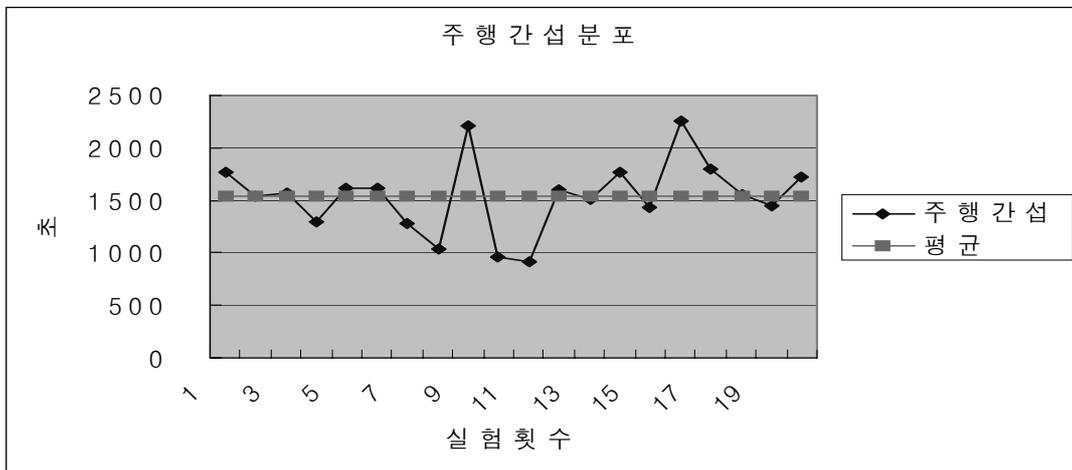


2) 주행간섭

대안 7에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 주행간섭의 평균은 1,545초로 나타났으며, 최소 주행간섭시간은 921초, 최대 주행간섭시간은 2,250초로 나타났다.

<그림 5-20>

대안 7의 주행간섭분포

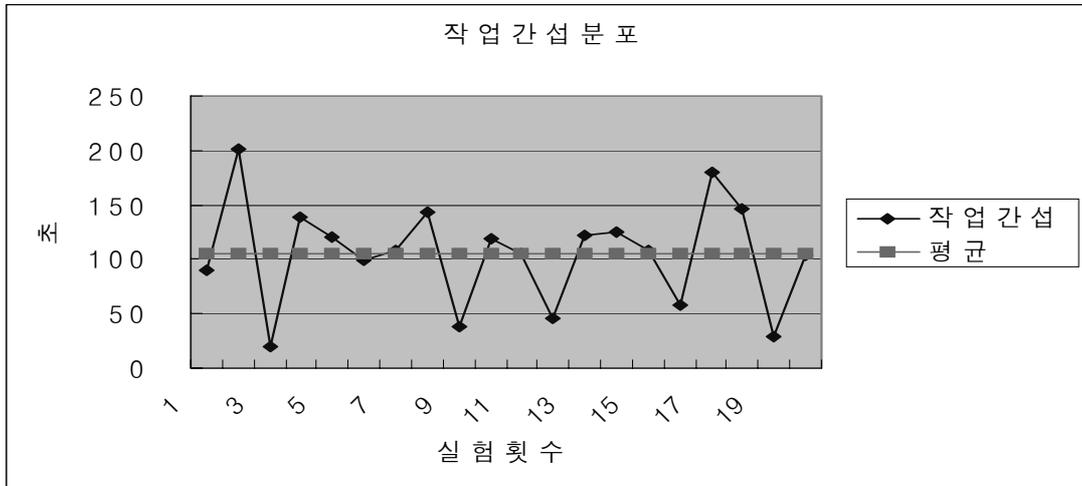


3) 작업간섭

대안 7에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 작업간섭의 평균은 105초로 나타났으며, 최소 작업간섭시간은 28초, 최대 작업간섭시간은 202초로 나타났다.

<그림 5-21>

대안 7의 작업간섭분포



4) 대안 7 결과분석

대안 7의 이동시간 평균 9,909초, 주행간섭 평균 1,545초, 작업간섭 평균105초를 더하면 평균 이동 및 간섭시간이 11,559초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 957초 높게 나타났다.

이것은 FIFO전략과 NIAS에 때문에 증가된 이동시간 및 주행간섭이 공동작업전략에 의해서 대안 1보다 937초 감소되었다.

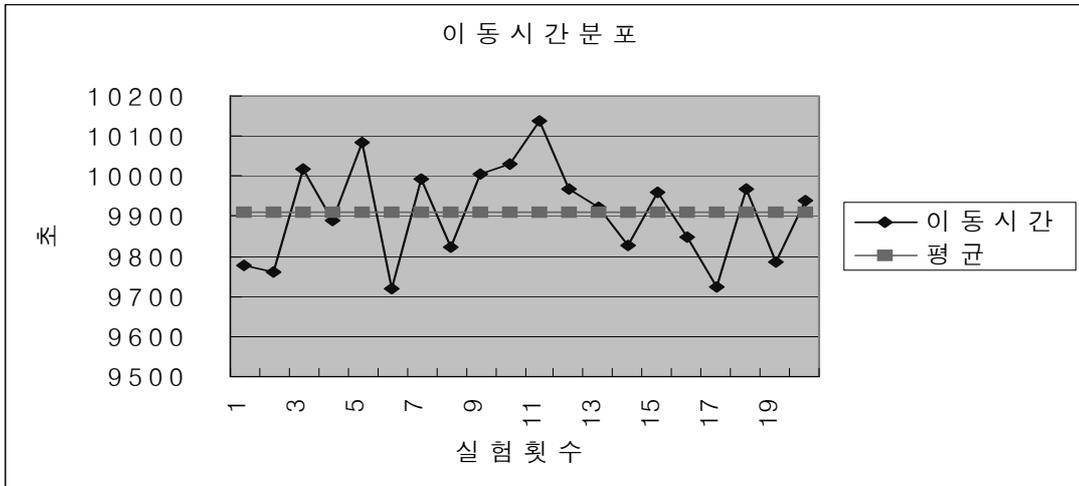
5.1.8 대안 8 (공동작업 → FIFO → PIAS)

1) 이동시간

대안 8에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 이동시간의 평균은 9,909초로 나타났으며, 최소 이동시간 9,721초, 최대 이동시간 10,139초로 나타났다.

<그림 5-22>

대안 8의 이동시간분포

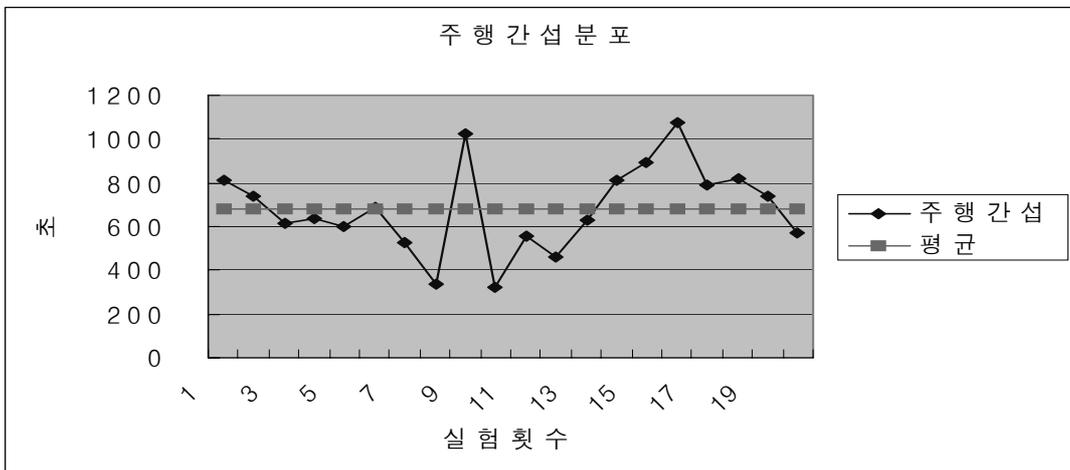


2) 주행간섭

대안 8에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 주행간섭의 평균은 683초로 나타났으며, 최소 주행간섭시간은 324초, 최대 주행간섭시간은 1,073초로 나타났다.

<그림 5-23>

대안 8의 주행간섭분포

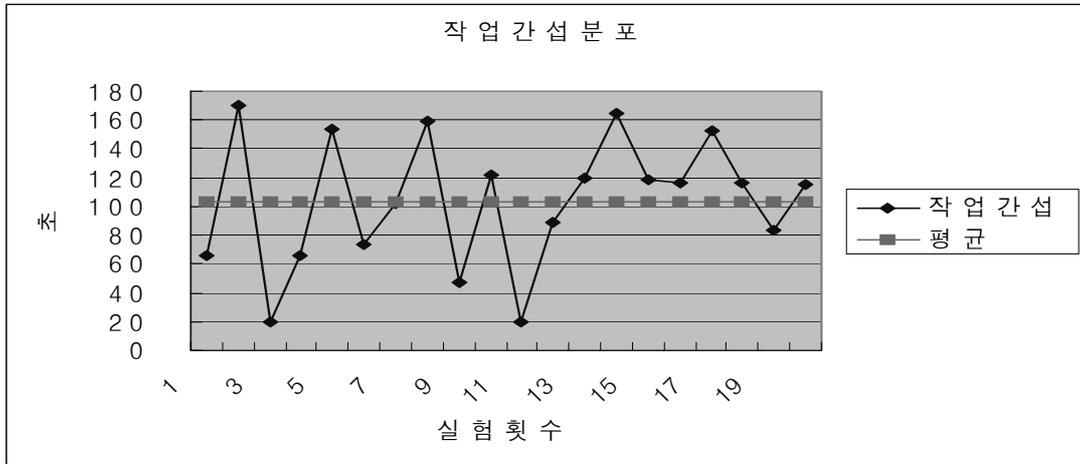


3) 작업간섭

대안 8에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 작업간섭의 평균은 104초로 나타났으며, 최소 작업간섭시간은 19초, 최대 작업간섭시간은 170초로 나타났다.

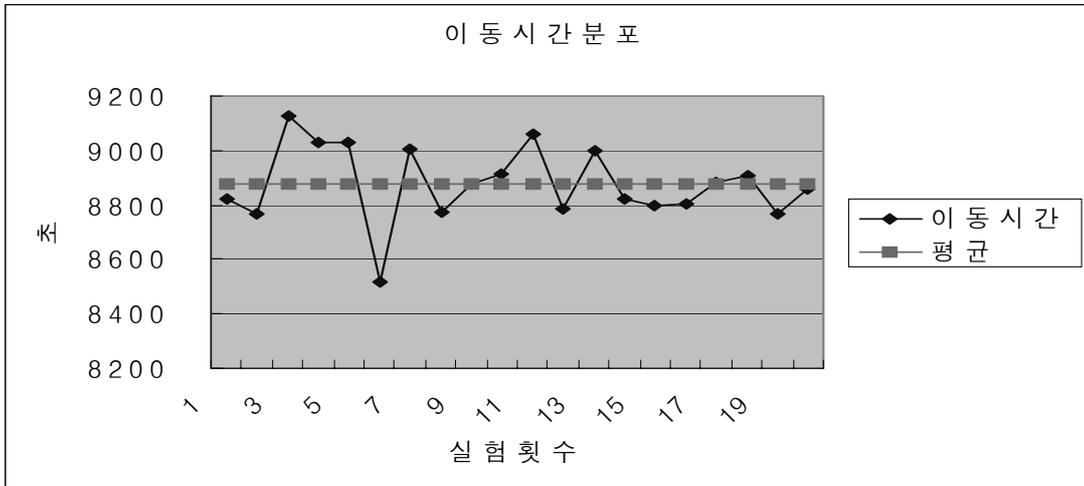
<그림 5-24>

대안 8의 작업간섭분포



<그림 5-25>

대안 9의 이동시간분포

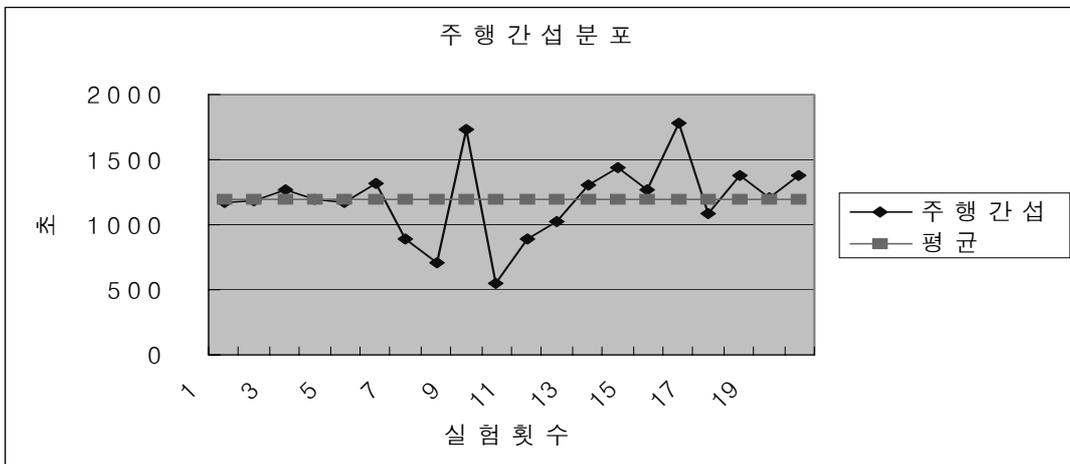


2) 주행간섭

대안 9에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 주행간섭의 평균은 1,197초로 나타났으며, 최소 주행간섭시간은 550초, 최대 주행간섭시간은 1,776초로 나타났다.

<그림 5-26>

대안 9의 주행간섭분포

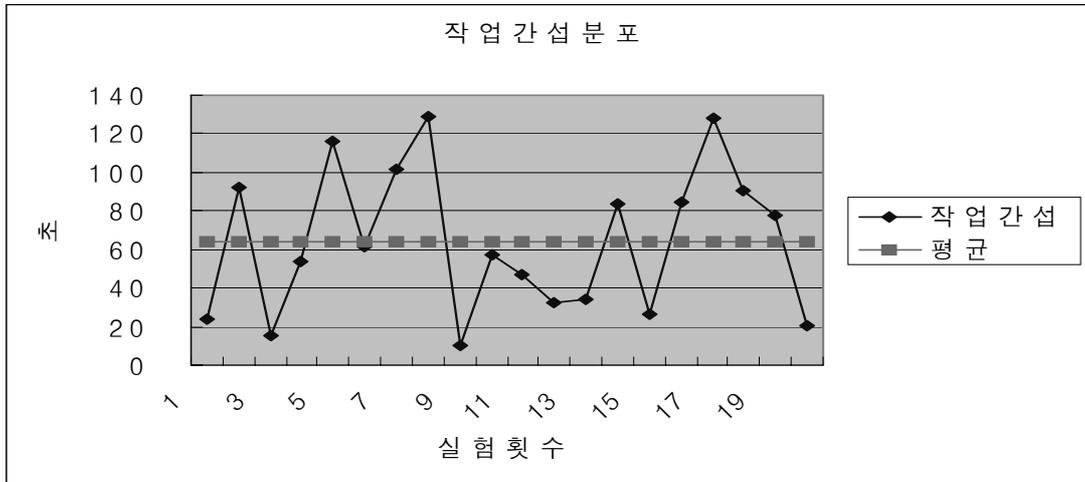


3) 작업간섭

대안 9에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 작업간섭의 평균은 64초로 나타났으며, 최소 작업간섭시간은 10초, 최대 작업간섭시간은 129초로 나타났다.

<그림 5-27>

대안 9의 작업간섭분포



4) 대안 9 결과분석

대안 9의 이동시간 평균 8,877초, 주행간섭 평균 1,197초, 작업간섭 평균 64초를 더하면 평균 이동 및 간섭시간이 10,138초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 464초 낮게 나타났다.

이것은 NIAS에 때문에 증가된 주행간섭이 공동작업전략과 METD전략에 의해서 대안 3보다 572초 감소되었다.

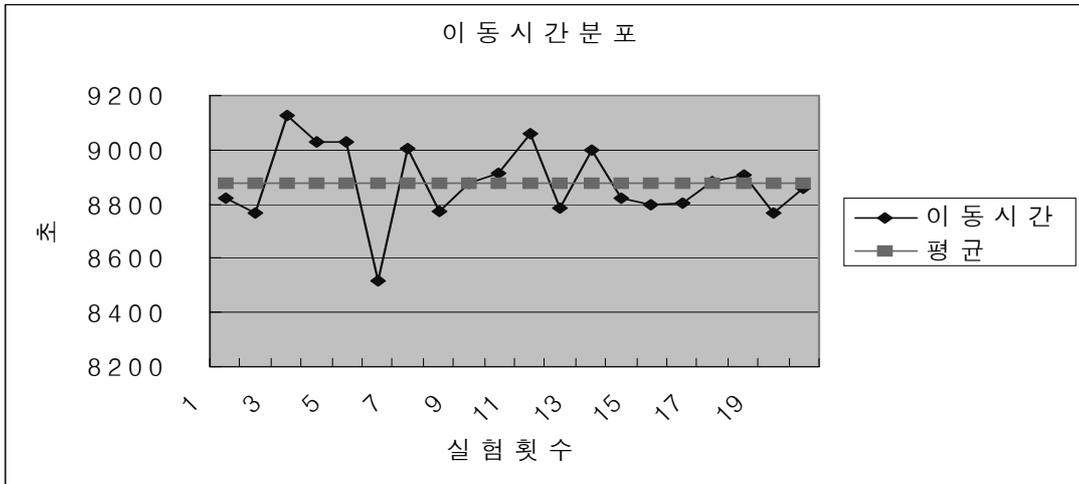
5.1.10 대안 10 (공동작업 → METD → PIAS)

1) 이동시간

대안 10에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 이동시간의 평균은 8,877초로 나타났으며, 최소 이동시간 8,518초, 최대 이동시간 9,124초로 나타났다.

<그림 5-28>

대안 10의 이동시간분포

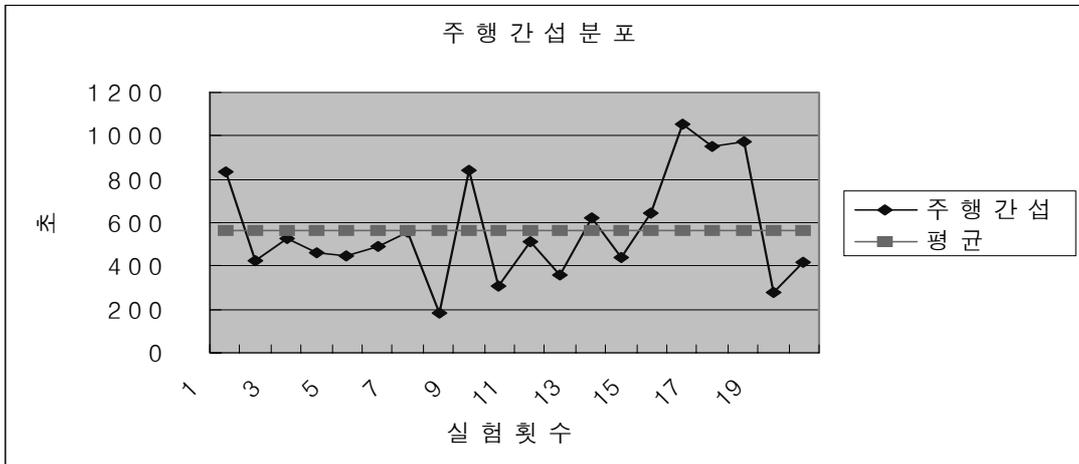


2) 주행간섭

대안 10에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 주행간섭의 평균은 566초로 나타났으며, 최소 주행간섭시간은 185초, 최대 주행간섭시간은 1,055초로 나타났다.

<그림 5-29>

대안 10의 주행간섭분포

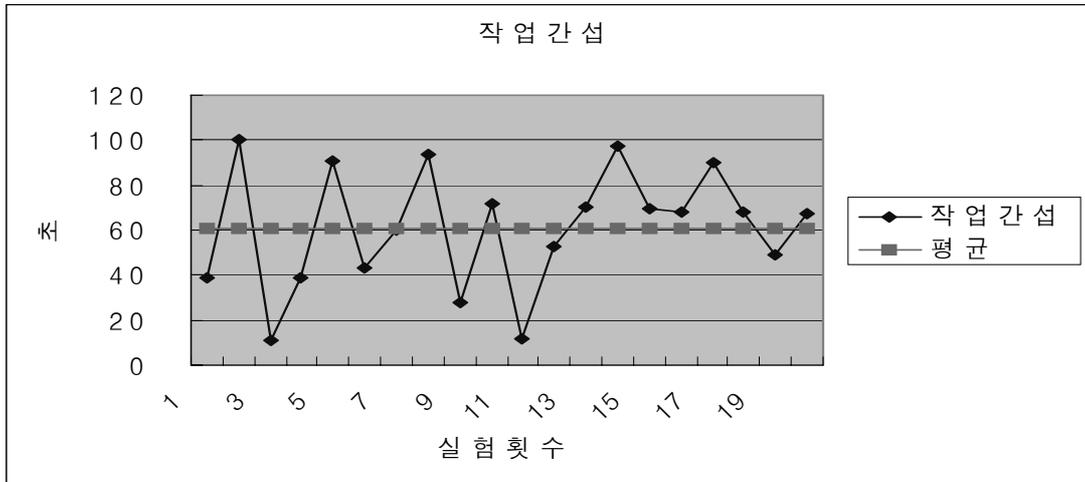


3) 작업간섭

대안 10에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 작업간섭의 평균은 61초로 나타났으며, 최소 작업간섭시간은 11초, 최대 작업간섭시간은 100초로 나타났다.

<그림 5-30>

대안 10의 작업간섭분포



4) 대안 10 결과분석

대안 10의 이동시간 평균 8,877초, 주행간섭 평균 566초, 작업간섭 평균 61초를 더하면 평균 이동 및 간섭시간이 9,504초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 1,098초 높게 나타났다.

이것은 전략들의 결합이 효율적으로 이루어져서 이동시간, 주행간섭, 작업간섭이 대안 4보다 727초 감소되었다.

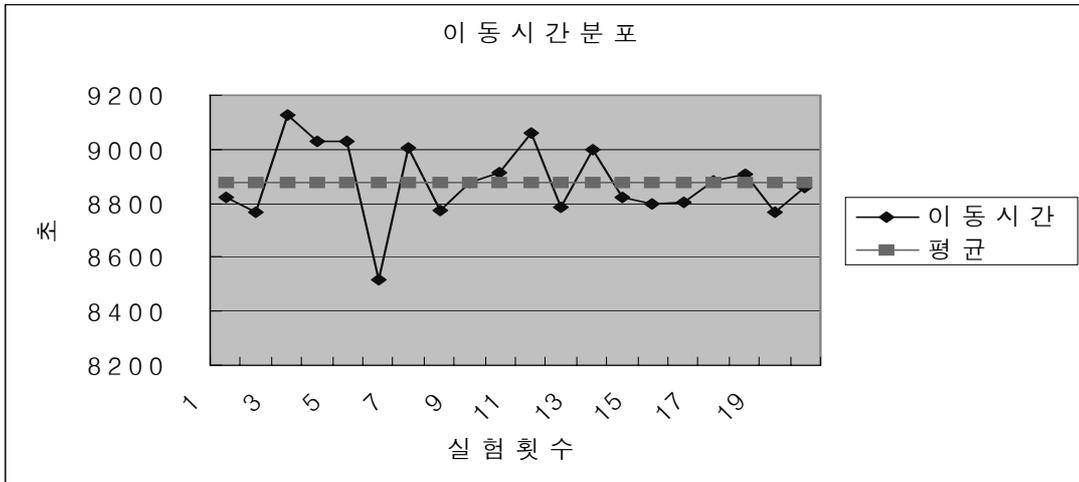
5.1.11 대안 11 (공동작업 → MIT → NIAS)

1) 이동시간

대안 11에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 이동시간의 평균은 8,877초로 나타났으며, 최소 이동시간 8,518초, 최대 이동시간 9,124초로 나타났다.

<그림 5-31>

대안 11의 이동시간분포

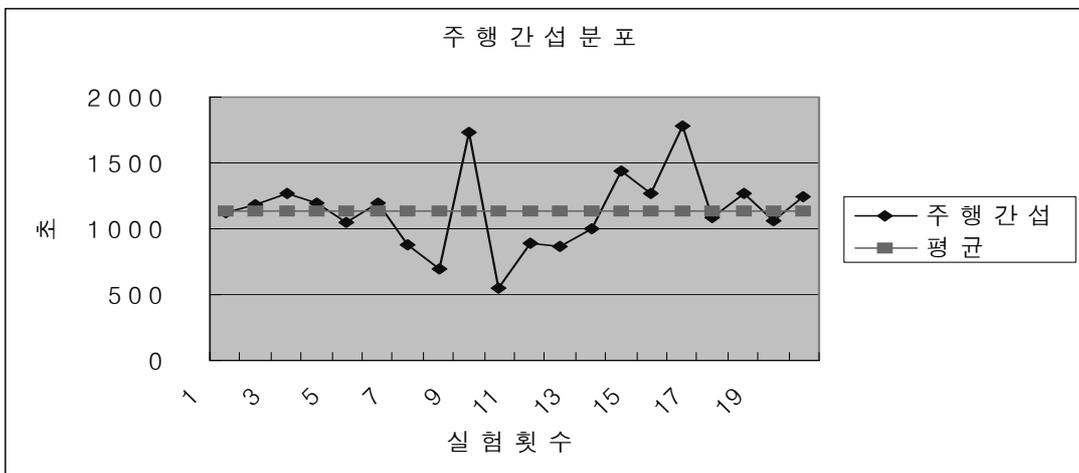


2) 주행간섭

대안 11에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 주행간섭의 평균은 1,138초로 나타났으며, 최소 주행간섭시간은 550초, 최대 주행간섭시간은 1,776초로 나타났다.

<그림 5-32>

대안 11의 주행간섭분포

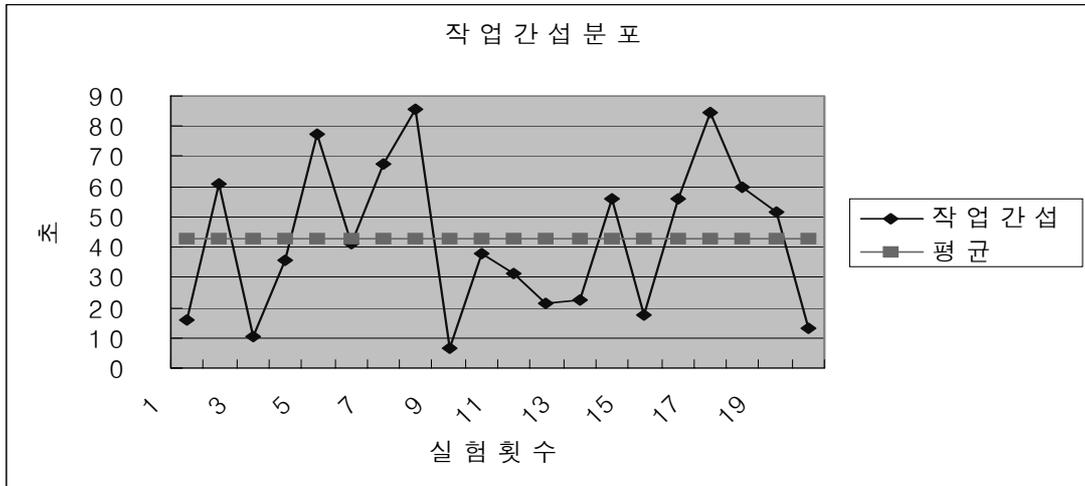


3) 작업간섭

대안 11에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 작업간섭의 평균은 43초로 나타났으며, 최소 작업간섭시간은 7초, 최대 작업간섭시간은 86초로 나타났다.

<그림 5-33>

대안 11의 작업간섭분포



4) 대안 11 결과분석

대안 11의 이동시간 평균 8,877초, 주행간섭 평균 1,138초, 작업간섭 평균 43초를 더하면 평균 이동 및 간섭시간이 10,057초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 545초 낮게 나타났다.

이것은 NIAS에 의해서 주행간섭이 증가하였으나, 공동작업전략과 MIT전략에 의해서 이동시간, 주행간섭, 작업간섭이 대안 5보다 555초 감소되었다.

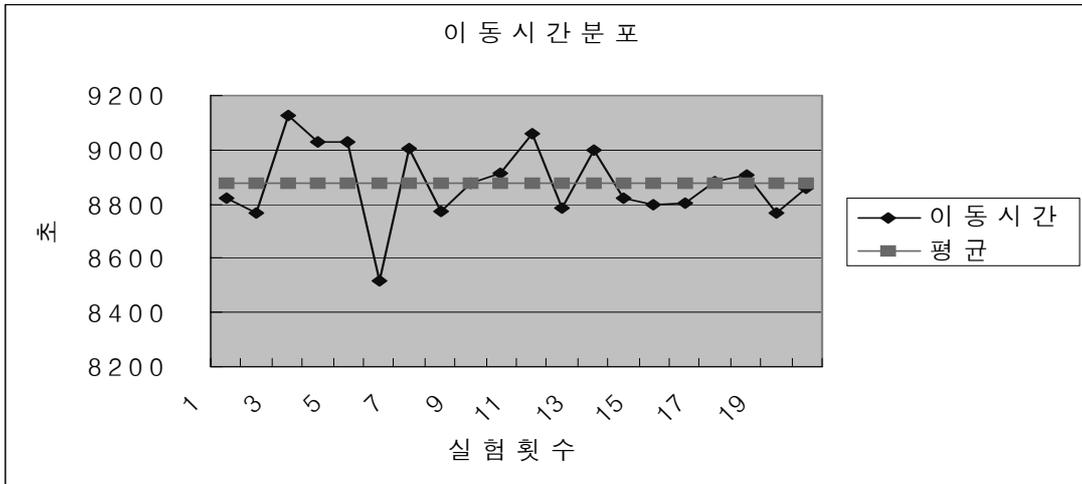
5.1.12 대안 12 (공동작업 → MIT → PIAS)

1) 이동시간

대안 12에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 이동시간의 평균은 8,877초로 나타났으며, 최소 이동시간 8,518초, 최대 이동시간 9,124초로 나타났다.

<그림 5-34>

대안 12의 이동시간분포

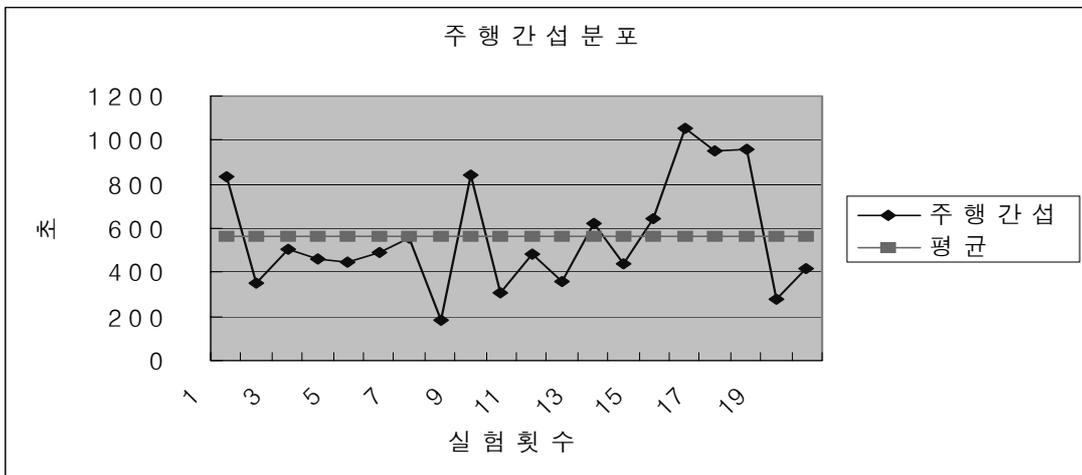


2) 주행간섭

대안 12에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 주행간섭의 평균은 560초로 나타났으며, 최소 주행간섭시간은 185초, 최대 주행간섭시간은 1,055초로 나타났다.

<그림 5-35>

대안 12의 주행간섭분포

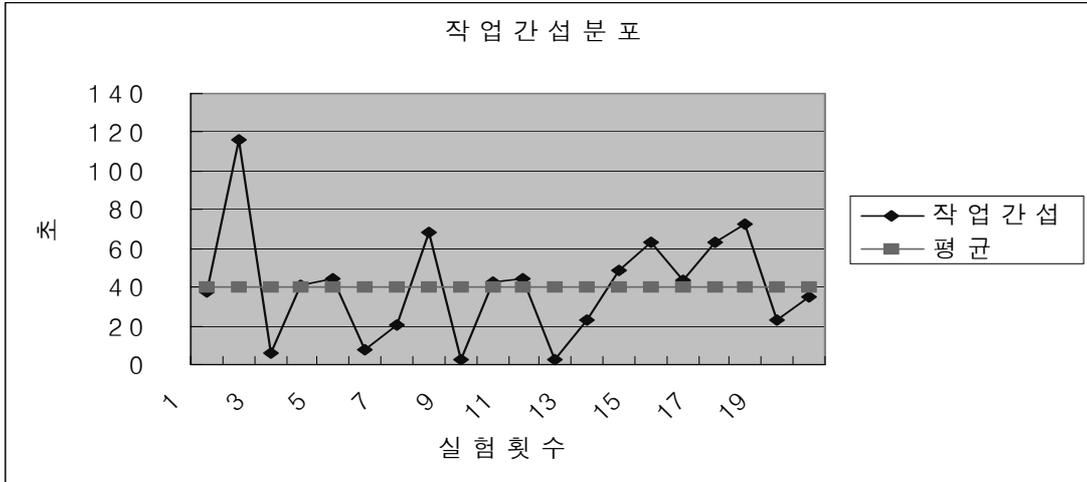


3) 작업간섭

대안 12에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과 작업간섭의 평균은 40초로 나타났으며, 최소 작업간섭시간은 3초, 최대 작업간섭시간은 116초로 나타났다.

<그림 5-36>

대안 12의 작업간섭분포



4) 대안 12 결과분석

대안 12의 이동시간 평균 8,877초, 주행간섭 평균 560초, 작업간섭 평균 40초를 더 하면 평균 이동 및 간섭시간이 9,477초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 1,125초 높게 나타났다.

이것은 전략들의 결합이 가장 효율적으로 이루어져서 이동시간, 주행간섭, 작업간섭이 대안 6보다 652초 감소되었다.

5.1.13 전략별 결과분석

작업 전략들을 구분하여 각 단계별로 장비운영전략인 작업전담 vs 공동작업으로 구분하고, 작업우선순위결정전략인 FIFO vs METD vs MIT로 구분하고, 간섭회피 전략인 NIAS vs PIAS로 구분하며, 각 전략별 특성을 분석한다.

1) 작업전담 vs 공동작업

작업전담의 경우 각 대안별 평균이동시간 9,821초, 평균주행간섭 1,075초, 평균작업간섭 69초이며, 공동작업의 경우 평균이동시간 9,221초, 평균주행간섭 948초, 평균작업간섭 69초로 나타났다.

작업전담의 경우 고정된 작업을 수행해야 하므로 다시 되돌아가는 거리가 길어져서 이동시간이 공동작업보다 600초 크게 나타났다. 이러한 이동시간의 증가는 주행

행간섭의 평균도 1,213초로 높게 나타났으며, 작업간섭 또한 107초로 상대적으로 높게 나타났다.

METD전략의 경우는 블록내부의 진입레인의 활용도를 높여서 전체 이동시간의 평균이 9,145초로 낮게 나타났으며, 이에 따라 전체주행간섭의 평균도 941초로 낮게 나타났으며, 작업간섭 또한 59초로 상대적으로 낮게 나타났다.

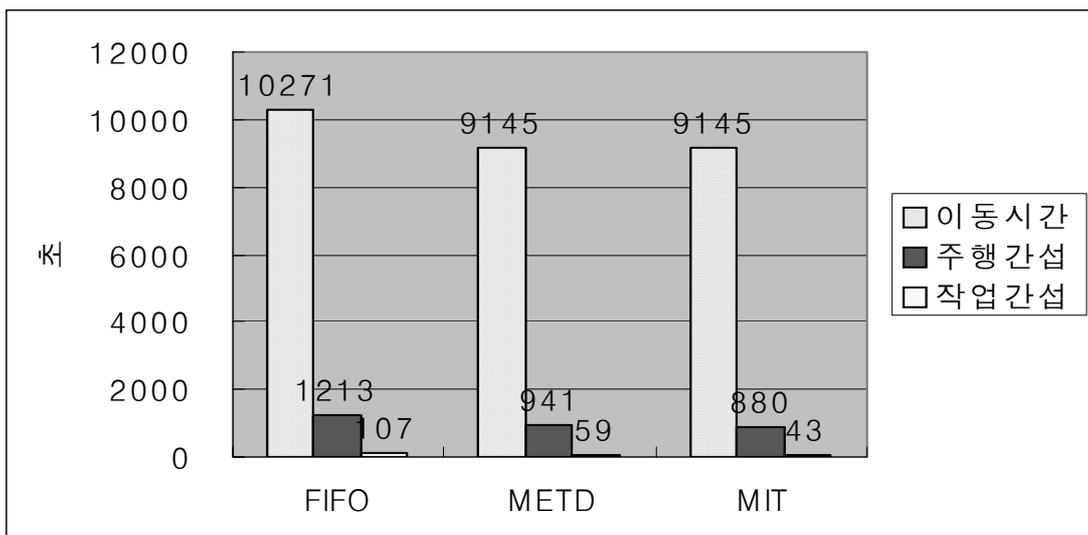
MIT전략의 경우는 METD와 마찬가지로 블록내부의 진입레인을 적극적으로 활용하여 전체 이동시간의 평균이 9,145초로 METD와 동일하게 나타났으며, 전체 주행간섭의 평균은 880초로 METD전략보다 61초 낮게 나타났으며, 작업간섭 또한 43초로 METD전략보다 16초 낮게 나타났다.

이는 MIT전략에 의해서 낮아진 작업간섭에 의하여 주행간섭도 같이 낮아지는 결과를 가져왔다.

<표 5-2> FIFO vs METD vs MIT

구 분	이동시간	주행간섭	작업간섭
FIFO(초)	10,271	1,213	107
METD(초)	9,145	941	59
MIT(초)	9,145	880	43

<그림 5-38> FIFO vs METD vs MIT



3) NIAS vs PIAS

수동적 간섭회피전략인 NIAS의 경우 전체 이동시간 평균 9,521초, 전체 주행간섭 평균 1,338초, 전체 작업간섭 평균 70초로 나타났으며, 능동적 간섭회피전략인 PIAS의 경우 전체 이동시간 평균 9,521초, 전체 주행간섭 평균 685초, 전체 작업간섭 평균 69초로 나타났다.

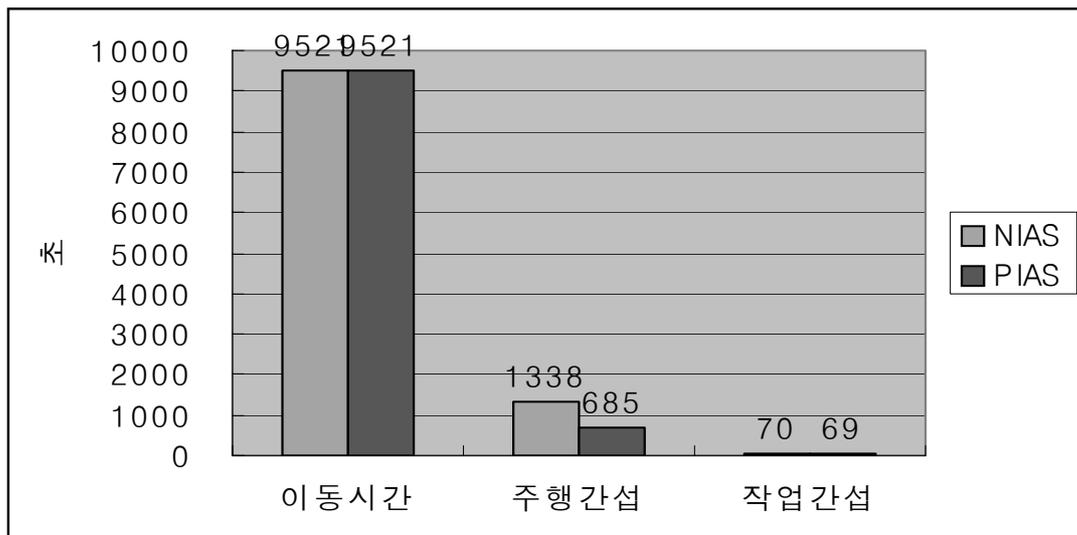
NIAS의 경우 동적로직을 적용하지 못하여 ATC-1이 TP를 출발하고자 하는 시점에서 ATC-2가 작업중이면 TP에서 ATC-2가 작업이 종료하기를 기다리는 방식이므로 전체 이동시간의 평균은 PIAS와 동일하나 전체 주행간섭의 평균에서 PIAS보다 653초나 주행간섭이 많이 발생하여 51%의 주행간섭을 감소시켰다. 그러나, 작업간섭은 NIAS 70초, PIAS 69초로 관계가 미미한 것으로 나타났다.

이와같이, 간섭회피전략의 경우 주행간섭에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

<표 5-3> NIAS vs PIAS

	이동시간	주행간섭	작업간섭
NIAS	9,521	1,338	70
PIAS	9,521	685	69

<그림 5-39> NIAS vs PIAS



4) MIT&PIAS vs METD&PIAS vs Others

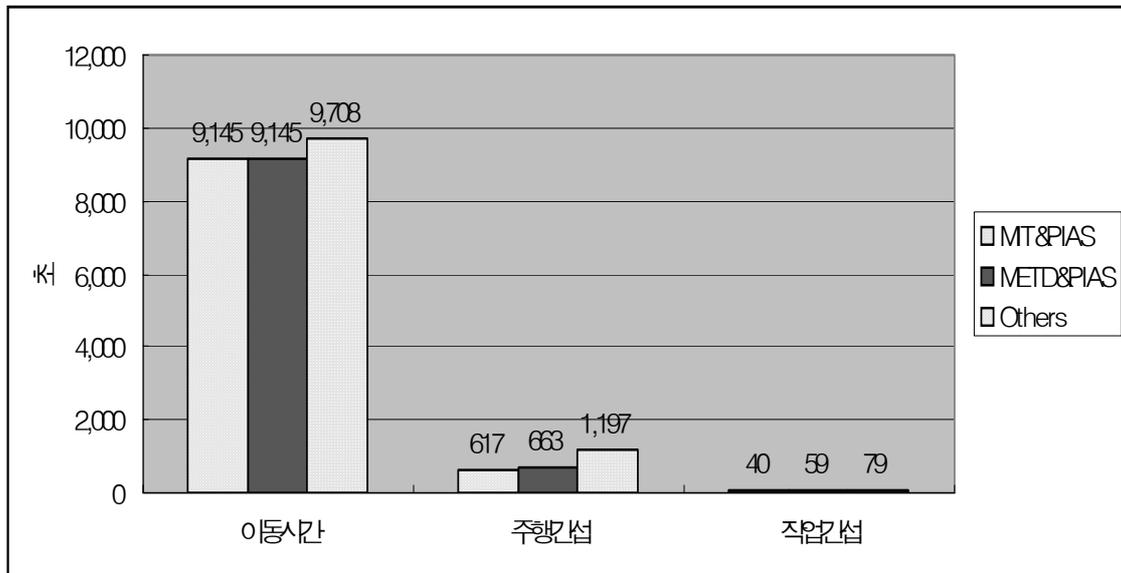
MIT&PIAS 와 METD&PIAS 전략의 결합을 제외한 다른 대안들의 경우 이동시간 평균 9,708초, 주행간섭 평균 1,197초, 작업간섭 평균 79초이며, METD&PIAS 전략의 경우 이동시간 평균 9,145초, 주행간섭 평균 663초, 작업시간 평균 59초로 결과가 도출됐다.

MIT&PIAS 전략의 경우 이동시간 평균 9,145초, 주행간섭 617초, 작업간섭 40초로 다른 어떤 전략들의 결합보다 주행간섭 및 작업간섭을 감소시킬 수 있는 우수한 전략임을 알 수 있다. 이와 같이, 간섭을 최소화하기 위해서는 작업의 선택 단계에서부터 간섭을 최소화할 수 있는 작업을 선택하는 것이 중요하다.

<표 5-4> MIT&PIAS vs METD&PIAS vs Others

	이동시간	주행간섭	작업간섭
MIT&PIAS	9,145	617	40
METD&PIAS	9,145	663	59
Others	9,708	1,197	79

<그림 5-40> MIT&PIAS vs METD&PIAS vs Others



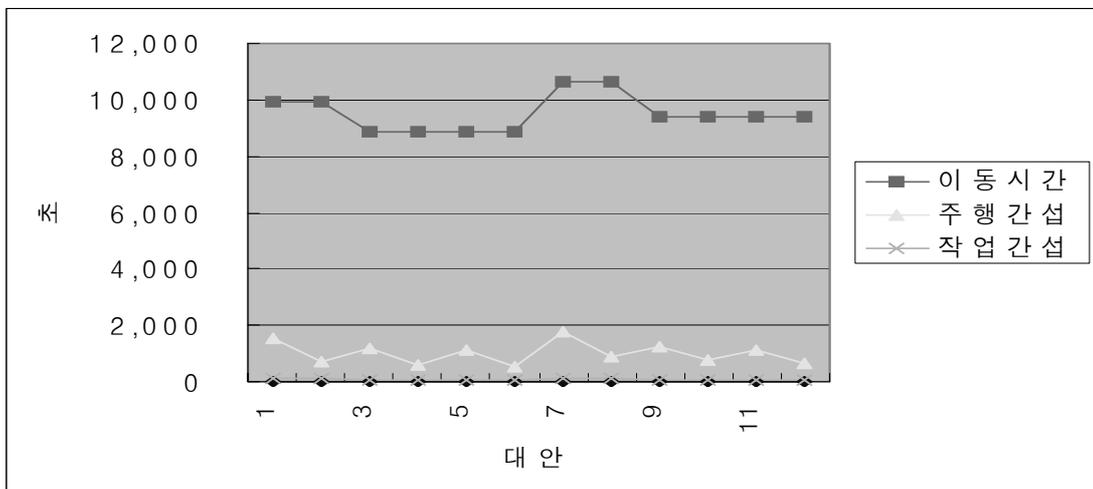
5) 대안종합

각 대안별로 최고 이동시간, 주행간섭, 작업간섭은 대안 1(작업전담 → FIFO → NIAS)의 10,634초, 1,756초, 108초로 나타났다. 각 대안별로 최저 이동시간, 주행간섭, 작업간섭은 대안 12(공동작업 → MIT → PLAS)의 8,877초, 560초, 40초로 나타났다. 각 대안별 이동시간, 주행간섭, 작업간섭을 정리하면 다음과 같다.

<표 5-5> 대안별 이동시간, 주행간섭, 작업간섭

대안	이동시간	주행간섭	작업간섭
1	10,634	1,756	108
2	10,634	869	110
3	9,414	1,241	54
4	9,414	760	57
5	9,414	1,150	47
6	9,414	674	41
7	9,909	1,545	105
8	9,909	683	104
9	8,877	1,197	64
10	8,877	566	61
11	8,877	1,138	43
12	8,877	560	40
평균	9,521	1,012	69

<그림 5-41> 대안별 이동시간, 주행간섭, 작업간섭



5.2 시사점

5.2.1 대안별 시사점

앞에서 12가지 대안에 대해서 시뮬레이션을 수행해서 결과를 도출하였다. 도출된 결과를 바탕으로 대안별 본 연구의 시사점을 정리하면 다음과 같다.

먼저, 대안 1의 경우 평균 이동 및 간섭시간이 12,496초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 1,894초 높게 나타났다.

이것은 작업전담전략 및 FIFO전략에 따른 이동시간 증가와 NIAS에 따른 주행간섭이 증가하였기 때문이다.

대안 2의 경우 평균 이동 및 간섭시간이 11,613초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 1,011초 높게 나타났다.

이것은 작업전담전략 및 FIFO전략 때문에 이동시간이 높으나, PIAS전략으로 인해 주행간섭이 감소하였다.

대안 3의 경우 평균 이동 및 간섭시간이 10,710초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 108초 높게 나타났다.

이것은 작업전담전략 따른 이동시간 증가와 NIAS에 따른 주행간섭이 증가하였으나 METD 전략이 이를 상쇄하였기 때문이다.

대안 4의 경우 평균 이동 및 간섭시간이 10,231초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 371초 낮게 나타났다.

이것은 작업전담전략에 때문에 증가된 이동시간이 METD와 PIAS에 의해서 주행간섭 및 작업간섭이 감소되었기 때문이다.

대안 5의 경우 평균 이동 및 간섭시간이 10,612초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 6초 높게 나타났다.

이것은 작업전담전략 및 NIAS전략에 따라 증가된 이동시간 및 주행간섭이 MIT 전략에 의해서 상쇄되었기 때문이다.

대안 6의 경우 평균 이동 및 간섭시간이 10,129초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 473초 낮게 나타났다.

이것은 작업전담전략 때문에 증가된 이동시간이 MIT와 PIAS로 인해 이동시간

및 주행 및 작업간섭이 감소하였기 때문이다.

대안 7의 경우 평균 이동 및 간섭시간이 11,559초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 957초 높게 나타났다.

이것은 FIFO전략과 NIAS에 때문에 증가된 이동시간 및 주행간섭이 공동작업전략에 의해서 대안 1보다 937초 감소되었다.

대안 8의 경우 평균 이동 및 간섭시간이 10,695초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 93초 높게 나타났다.

이것은 FIFO전략에 의해서 증가된 이동시간이 공동작업전략과 PIAS에 의해서 대안 2보다 918초 감소되었다.

대안 9의 경우 평균 이동 및 간섭시간이 10,138초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 464초 낮게 나타났다.

이것은 NIAS에 때문에 증가된 주행간섭이 공동작업전략과 METD전략에 의해서 대안 3보다 572초 감소되었다.

대안 10의 경우 평균 이동 및 간섭시간이 9,504초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 1,098초 높게 나타났다.

이것은 전략들의 결합이 효율적으로 이루어져서 이동시간, 주행간섭, 작업간섭이 대안 4보다 727초 감소되었다.

대안 11의 경우 평균 이동 및 간섭시간이 10,057초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 545초 낮게 나타났다.

이것은 NIAS에 의해서 주행간섭이 증가하였으나, 공동작업전략과 MIT전략에 의해서 이동시간, 주행간섭, 작업간섭이 대안 5보다 555초 감소되었다.

대안 12의 경우 이동시간 평균 8,877초, 주행간섭 평균 560초, 작업간섭 평균 40초를 더하면 평균 이동 및 간섭시간이 9,477초가 되어 전체 평균 이동시간 및 간섭시간 평균 10,602초 보다 1,125초 높게 나타났다.

이것은 전략들의 결합이 가장 효율적으로 이루어져서 이동시간, 주행간섭, 작업간섭이 대안 6보다 652초 감소되었다.

12가지 대안을 가지고 분석을 수행한 결과 작업수행을 위한 최적의 조합은 본 연구에서 제안한 MIT와 PIAS전략의 결합인 대안 12로 나타났다.

즉, 공동작업-MIT-PIAS의 구성으로 공동작업을 수행하며, 동적인 상황에 따라

작업을 결정하고 간섭을 회피할 수 있는 전략으로 ATC 작업운영로직을 구성해야 한다는 것을 알 수 있다.

5.2.2 전략별 시사점

각각의 분석결과를 전략별로 결합하여 비교 분석하면 단계별 전략들과 이동시간, 주행간섭, 작업간섭의 관계를 파악할 수 있다.

먼저, ATC의 이동시간을 줄이기 위해서는 장비운영전략에서는 12가지 대안을 작업전담전략과 공동작업전략으로 구분하여 평균을 도출하면, 작업전담전략은 10,965초, 공동작업전략은 10,238초로 공동작업이 우수하다. 작업우선순위결정전략에서는 12가지 대안을 FIFO, METD, MIT로 구분하여 평균을 도출하면 FIFO 10,271초, METD 9,708초, MIT 9,145초로 MIT가 가장 우수하다.

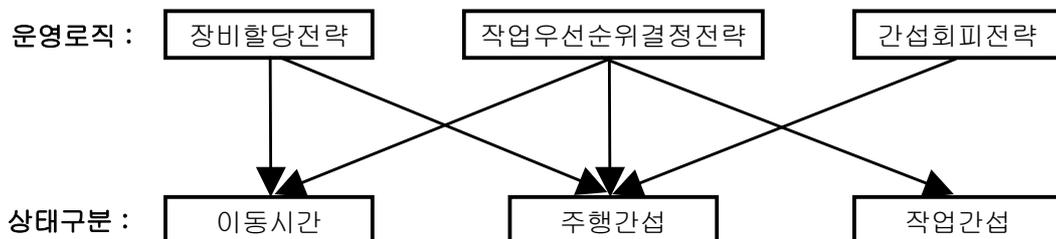
주행간섭을 줄이기 위해서는 필연적으로 이동시간을 줄여야 하므로, 앞에서 분석한 이동시간이 최소가 되는 공동작업과 MIT를 사용해야 한다.

간섭회피전략에서 주행간섭 및 작업간섭을 줄이기 위해서 12가지 대안을 NIAS와 PIAS로 구분하여 평균을 도출하면, NIAS 1,408초, PIAS 754초로 PIAS가 우수하다.

작업간섭을 줄이기 위해서는 작업의 선택단계에서 작업간섭을 없애거나 줄일 수 있는 작업을 선택해야 하므로, MIT전략을 사용해서 작업간섭을 줄여야 한다.

위에서 분석한 전략별 시사점을 바탕으로 각 운영로직과 이동시간, 주행간섭, 작업간섭의 관계를 그림으로 나타내면 다음과 같다.

<그림 5-42> 운영로직과 이동시간, 주행간섭, 작업간섭의 관계



6. 결론

전 세계적으로 컨테이너 물동량이 증가하여 신속한 하역작업을 수행해야 할 필요성이 대두되면서 선진외국항만에서는 항만하역장비의 자동화에 눈을 돌려 자동화 컨테이너터미널을 건설하였다.

자동화 컨테이너터미널은 반자동화터미널과 자동화터미널로 나눌 수 있는데, 국내에서는 광양항 3단계 자동화 컨테이너터미널이 계획중에 있다.

자동화 컨테이너터미널의 생산성의 핵심은 자동화 장비인 ATC와 AGV의 효율적인 운영에 있다. 그러나, 국내외의 대부분의 연구는 모든 자동화터미널에 적용가능한 AGV의 운영에 초점이 맞춰져 있으며, 운영방식과 물류체계가 서로 달라 ATC에 관한 연구는 상대적으로 빈약한 형편이다. 또한, ATC를 운영하고, 유사한 운영방식과 물류체계를 갖는 CTA터미널과도 내부진입로의 유무로 인하여 운영로직의 국내 적용에 어려움이 있으며, 참고로 할 만한 상세한 운영기술도 공개가 되지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 자동화 컨테이너터미널의 운영로직의 이해를 돕기 위해서 AGV 운영을 위한 경로선택전략으로 Closed Loop 방식과 Cross Lane 방식에 대해서 설명하였으며, 블록할당전략에서는 AGV의 블록별 균등할당전략과 컨테이너 속성별 할당전략에 대해서 설명하였다.

ATC의 운영을 위한 장비운영전략으로는 공동작업 방식과 작업전담 방식, 구역전담 방식에 대해서 설명하였다. 작업우선순위결정전략에서는 FIFO 방식과 METD, 방식에 대해서 설명하였으며, 간섭을 최소화하기 위한 MIT전략을 개발하여 제안하였다. 그리고, 마지막으로 기존의 연구에서는 작업우선순위결정전략에서 간섭을 줄이는 연구를 수행하였으나, 본 연구에서는 적극적으로 간섭을 최소화하기 위해서 간섭회피전략을 개발하여 제안하였다.

ATC의 운영을 위한 장비할당전략, 작업우선순위결정전략, 간섭회피전략을 개발하기 위해서는 동적인 상황에서의 통제가 이루어지지 않는다면 아무런 의미가 없다. 따라서, 본 연구에서는 동적인 로직의 개발을 위해서 단순한 할당전략(Dispatching Rule)의 이용을 위해서 AGV 및 ATC의 개체속성 및 개체상태를 정의하였으며,

AGV 및 ATC의 작업과정 흐름도를 작성하였다. 또한 ATC의 각 상태함수를 정의하였으며, 상태전이도를 통하여 작업과정에서 발생하는 ATC의 각 상태함수의 변화를 볼 수 있도록 하였다.

이러한 동적로직을 이용한 시뮬레이션은 서로 다른 100개의 적양하, 반출입 자료를 각각 20회 수행하여 결과를 도출하였다.

시뮬레이션 수행결과 12개의 대안별로 적용 개별전략에 따른 이동시간, 주행간섭, 작업간섭을 도출하여 전략별 동적로직의 유효성을 증명하였으며, 각 전략의 결합을 통한 간섭 최소화 및 최소 처리시간을 갖는 대안으로 공동작업-MIT-PIAS 전략의 결합이 선정되어 본 연구에서 제안한 간섭최소화전략(MIT)과 간섭회피전략(PIAS) 전략 개발이 유효함을 증명하였다.

그리고, 기존의 개별적인 전략의 연구에서는 파악할 수 없었던 각 단계별 전략들과 이동시간, 주행간섭, 작업간섭의 관계를 파악하여 추후 운영상황에 적용 및 연구 개발 시 운영개선을 위해서 어떤 전략을 개발해야 하는지 알 수 있게 되었다.

본 연구에서는 자동화장비의 생산성향상과 간섭최소화를 위한 장비운영로직에 대해서 연구를 하였다. 그러나, 실제로 자동화장비가 운영되기 위해서는 장치장에 적재되거나, 적재할 컨테이너의 크기, 종류와 컨테이너 장치계획, 리마샬링, 재고계획 등 장치장자체의 운영과 연계가 되어야 실제 운영상황에서의 각 ATC의 작업에 따른 현실적인 작업통계량의 도출이 가능하다. 따라서, 추후의 연구에서는 컨테이너와 장치장자체의 운영계획이 고려된 통합운영계획의 수립연구가 필요하다.

참 고 문 헌

권해경(2002), “자동화 컨테이너터미널에서 운송장비의 효율적인 운영방안”, 석사학위 논문, 동아대학교.

김양근, 홍성대(2003), “자동화 컨테이너터미널 운영방안 발전추세”, 항만.

박창호, 노홍승, 정희균(1998), “시스템적 접근에 의한 자동화컨테이너터미널 개발 과제 도출”, 한국항만학회 ‘98추계학술대회논문집, pp.51-58.

윤원영외 2명(2003), “시뮬레이션을 이용한 자동화 컨테이너터미널의 이전 운영규칙에 관한 연구”, 2003 대한산업공학회 춘계 학술발표회.

양창호외 2명(2003), “자동화 컨테이너터미널의 이송장비 시뮬레이션 모델”, 한국산업공학회 춘계학술대회.

이상완외 5명(2002) “자동화 컨테이너터미널에서 운송장비의 효율적인 운영방안”, 한국항해항만학회 제26권 제2호, pp. 63-70.

이석준, “자동화 컨테이너터미널에서의 자동화 야드크레인의 작업순서 결정법”, 석사학위논문, 부산대학교, 2003.

이주호(2002), “자동화 컨테이너터미널에서의 이적 운영규칙에 관한 연구”, 석사학위논문, 부산대학교.

왕승진(2002), “자동화 컨테이너터미널에서 장치장 운영규칙에 관한 연구”, 석사학위논문, 부산대학교.

장성용, 용운중(1998), “자동화 컨테이너터미널의 설계 및 운용 최적화를 위한 시뮬레이션 기법의 적용”, 한국시뮬레이션학회 논문집, pp. 25-35.

정영석, 진규호(1998), “일본의 자동화 터미널 시설계 소개”, 한국항만학회 ‘98 추계학술대회논문집, pp.19-49.

한국컨테이너부두공단(2001), “광양항 3단계 자동화컨테이너터미널 개발기본계획”.

한국컨테이너부두공단(2002), “아시아지역의 자동화컨테이너터미널”.

한국컨테이너부두공단(2002), “유럽 자동화터미널 개발현황”.

한국컨테이너부두공단(2001), “유럽(영국, 독일) 자동화터미널 개발현황”.

브로슈어

Euromax 터미널 브로슈어

가와사키터미널 브로슈어

홈페이지

www.gottwald.com

www.kalmarind.com

www.mardep.gov.hk

Mark B.D. , J.oseph J.M. and Evers T.J.A.(2001) , “A simulation Model for Integrating Quay Transport and Stacking Policies on Automated Container Terminals”, Proceeding of the 15th European Simulation Multiconference.

Choi Jang Rim(2000), “Trends and future of Port Industry”, Proceeding of KASS and KOMARES International Symposium.

Watanabe Itsuro(1996), “An Approach to the Automated Container Terminals”, the 4th Seminar of the Advanced Technology of the Ocean/Port Logistics, KIMM.

Meermans J.M. , Albert P.M. Wagelmans(2001), “Effective algorithm for integrated scheduling of handling equipment at automated container terminals”, Technical Report EI 2001-19, Econometric Institute, Erasmus University Rotterdam.

Meermans J.M. , Albert P.M. Wagelmans(2001), “Dynamic scheduling of handling equipment at automated container terminals”, Technical Report EI 2001-33, Econometric Institute, Erasmus University Rotterdam.

Rijsenbrij J.C.(2002), “Double or Quit? New concept in Terminal Design”, Terminal Operating Conference(TOC).

Thomas Koch(2003), “Experience with Terminal Automation : The Container Terminal Altenwerder(CTA) Hamburg”, TOC 2003 EUROPE.

Karel Travernier(2002), “Kalmar Container Handling”, TOC 2002 EUROPE.

Yvo Saanen, Jeroen van Meel, Alexander Verbraeck(2003), “The next generation automated container terminals”, TOC 2003 EUROPE.