

컨테이너터미널 야드 운영의 자동화 방식 결정에 관한 연구

유동호* · 최형림** · 박남규*** · 이선용****

*동아대학교 경영정보학과 박사과정, **동아대학교 경영정보학과 교수, ***동명정보대학교 유통경영학과 교수,
****동아대학교 항만물류시스템학과 석사과정

A Study on the Type of Automatic Yard Operation in the Container Terminal

Dong-Ho Yoo · Hyung-Rim Choi** · Nam-Kyu Park*** · Sun-Yong Lee*****

**Department of Management Information System, DongA University, Busan, Korea*

***Department of Management Information Science, DongA University, Busan, Korea*

****Department of distribution Management, Tongmyung University of Information Technology, Busan, Korea*

*****Department of Port&Logistics System, DongA University, Busan, Korea*

요 약 : 전 세계 항만은 급속히 변화하는 환경에 적응하고, 경쟁국가 항만보다 앞서나가기 위한 노력을 지속적으로 경주하고 있는 실정이다. 주목할 만한 세계항만의 변화는 연평균 8.4%씩 증가 추세에 있는 전 세계 물동량 및 선박의 대형화 즉, 현재 8,000TEU급 선박은 물론 12,000TEU급 선박까지 출현하는 현실을 들 수 있다. 이외에도 인건비 상승, 항만관련 기술 환경의 변화와 같은 환경적 변화가 급격히 일어나고 있는 실정이다.

국내의 경우도 2000년 현재 912만TEU 수준인 물동량이 2011년에는 1,318만 TEU로 증가할 것으로 전망하고 있는데 이는 2000년 현재의 3배 수준이고, 인건비 또한 컨테이너터미널 비용의 40%이상을 차지하는 등 다양한 어려움을 겪고 있다. 따라서 국내 특히 부산항만은 이러한 환경변화에 대응할 수 있는 컨테이너터미널 시설이 필요한데 이를 위해서는 현재의 시설은 최대한 활용하면서 생산성의 극대화는 물론 비용 절감을 위한 방안이 필요하다. 따라서 본 연구는 국외 선진 자동화 컨테이너터미널의 야드 운영현황을 파악하여 요인도출 및 이러한 결과를 토대로 국내의 경우 어떠한 부분들을 자동화 하는 것이 가장 효과적인지에 관한 대안을 도출한다. 도출된 대안별로 초기 투자비 및 운영비에 대한 한계가치를 제시하여 의사결정자의 의사결정 시 참고할 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 이러한 연구는 현재 국내 컨테이너터미널이 향후 자동화로 전환할 때 중요한 기준이 될 수 있으며 항만에 관한 국가 정책수립 시에도 중요한 참고자료로서 활용가능하다.

핵심용어 : CTA, ECT, TMP, PPT, OI, RMGC RTGC 등

1. 서 론

국내 컨테이너터미널들은 급변하는 국내외 환경에 적응함은 물론 국내외 경쟁 컨테이너터미널 보다 우위에 서기 위한 노력을 지속적으로 기울이고 있는 실정이다. 특히 국내 컨테이너터미널 중 부산항에 위치하고 있는 컨테이너터미널은 세계 컨테이너 물동량 처리 5위를 차지하고 있어 밀려드는 컨테이너 물량을 효율적으로 처리하기 위한 방안 마련이 시급한 실정이다. 그러기 위해서는 현재 컨테이너터미널 환경을 최적으로 활용할 수 있어야 함은 물론 새로이 건설되는 컨테이너터미널 또는 선

석확장 시에는 기존 컨테이너터미널과 효율적으로 연계가 가능한 장비 및 운영 방안 등이 모색되어야 한다.

본 연구는 새로운 컨테이너터미널 개발하거나 혹은 기존 컨테이너터미널에 자동화를 도입하고자 하는 경우를 대상으로, 야드 운영의 자동화를 위한 몇 가지 유형을 제시하고 이들 유형의 특징 및 경제적 분석을 시도하고자 한다.

본 연구의 방법으로는 문헌조사 및 선진항만 방문조사를 통해 해외 선진 컨테이너터미널의 야드 운영에 대한 사례 분석을 실시하여, 야드 운영 자동화를 구분 지을 수 있는 요인을 도출하였다. 도출된 유형결정요소의 검증을 위해 컨테이너터미널 관

* 본 연구는 2004년도 해양한국발전프로그램(KSGP) 연구개발사업의 지원에 의한 것입니다.

련 전문가들에게 의견을 설문하여, 의사결정 시 현실적 상황으로 고려될 수 있는 야드 운영 자동화 방안들을 제시하였다.

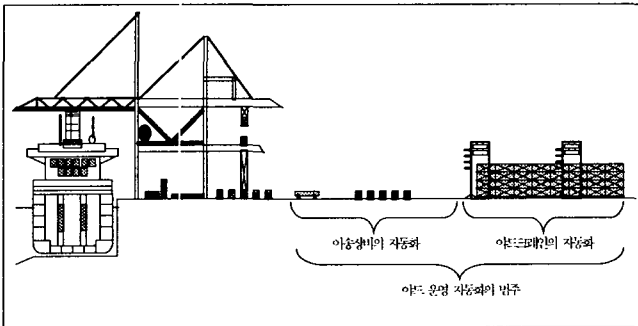
본 연구는 국내 컨테이너터미널이 향후 자동화 운영시스템을 도입할 때 개별 상황에 적합한 최적유형을 선택하는데 의사결정 지침을 제공할 것이다.

2. 국외 컨테이너터미널 야드 운영방식 분석

본 절에서는 국외 컨테이너터미널의 야드 운영방식을 분석함으로써 국내 야드 운영 자동화를 위해 필요한 요인들을 도출하는데 목적이 있다.

2.1 야드 운영 자동화의 개념

해외 선진 컨테이너터미널의 경우 완전자동화는 물론 부분(야드)자동화를 구축하여 운영 중인 컨테이너터미널이 늘어나고 있는 추세이다.¹⁾ 야드 운영 자동화는 “컨테이너터미널 야드 운영의 핵심인 이송작업, 야드 장치작업의 일부 또는 전부를 자동화한 터미널”로 정의할 수 있고, 이러한 야드 운영 자동화는 <Fig. 1>과 같이 이송장비의 자동화와 야드 크레인의 자동화로 구분 지을 수 있다.²⁾



<Fig 1> Concept and Category of Automatic yard operation

이러한 측면에서 2.2절에서는 해외 선진 컨테이너터미널의 야드 운영 자동화현황을 파악하여 추후 국내 컨테이너터미널 야드 운영 자동화 방식 결정을 위한 요인 도출 시 기준으로 활용하고자 한다.

2.2 해외 선진 컨테이너터미널의 야드 운영 자동화 형태 분석

해외 선진 컨테이너터미널 야드 운영 자동화 형태를 분석하기 위한 대상 터미널로는 독일 CTA, 네덜란드 ECT, 영국 TMP, 싱가포르 PPT, 홍콩 HIT, 일본 OI 등이 해당된다. 독일

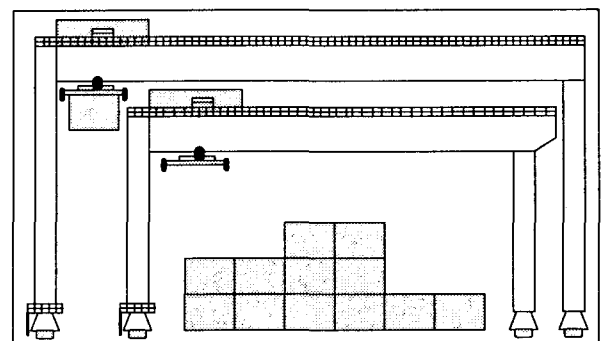
- 1) KMI, “자동화 컨테이너터미널 개발사업 타당성 검토용역”, 1998
- 2) Dirk Steenken · Stefan Vob and Robert Stahlbock, “Container Terminal operation and operations research- a classification and literature review”, OR Spectrum, 2004

CTA와 네덜란드 ECT의 경우는 완전자동화 컨테이너터미널에 해당되지만 야드 운영의 측면에서만 본다면 본 연구와 밀접한 연관성이 있고, 향후 부분자동화 컨테이너터미널이 완전자동화 컨테이너터미널로 전환하기 위한 모델이 된다고 판단된다. 또 영국 TMP, 싱가포르 PPT는 야드 운영 즉 장치장 크레인을 무인으로 운영하고 있고, 홍콩 HIT나 일본 OI의 경우는 장치장 크레인이 대부분 자동으로 운영되고 있으나 작업자가 항상 탑승하고 있다는 것이 영국 TMP나 싱가포르 PPT와는 대별되는 점이라 할 수 있다. 그러나 이러한 사항들이 야드 운영 자동화의 모든 점을 반영하지 못하므로 본 절에서는 각 국외 컨테이너터미널 야드 크레인 및 이송장비 그리고, 이들 간의 인터페이스 부분과 이러한 장비를 효율적으로 운영하기 위한 야드의 배치와 관련된 사항들을 중심으로 살펴보고자 한다. 먼저 이러한 국외 컨테이너터미널의 야드 크레인 운영 현황을 살펴보면 다음 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Yard Equipment Status of Abroad Container Terminal

터미널	야드크레인	이송장비	상하차작업
CTA	· DRMGC(무인)	· AGV	· 리모트컨트롤
ECT	· ASC(무인)	· AGV	· 리모트컨트롤 · Straddle Carrier
TMP	· RMGC(무인)	· Y/T	· 현장 작업자 조이스틱
PPT	· OHBC(무인) · RMGC(유인)	· Y/T	· 리모트컨트롤
HIT	· RMGC(유인) · RTGC(유인)	· Y/T	· 14피트이내 크레인 기사가 직접 조작
OI	· RMGC(유인)	· Y/T	· 14피트이내 크레인 기사가 직접 조작

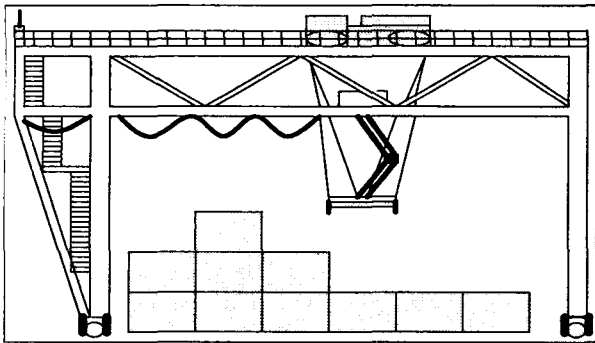
독일 CTA의 경우 DRMGC (Double Rail Mounted Gantry Crane) 즉 블록에 2기의 크고 작은 크레인을 운영(<Fig. 2>)하고 있는데 가장 현대화된 크레인 운영이라 볼 수 있다. 2기의 크레인이 상호교차 작업함으로써 크레인간의 간섭을 줄이게 되어 야드 작업 생산성을 극대화 할 수 있으며, 1기가 고장 날 경우 나머지 1기가 작업을 대신해 줄 수 있어 작업 중단의 예외상황에 대비할 수 있다.



<Fig. 2> DRMGC of CTA

그리고, DRMGC와 AGV 사이의 상하차 작업 시에는 완전자동화 되어있고, 외부트럭과의 작업 시에는 원격조종실에 있는 작업자가 리모트 컨트롤러로 작업한다.³⁾

네덜란드 ECT의 경우 <Fig. 3>에서 보는 바와 같이 ASC (Automated Stacking Crane)를 사용하여 야드 작업을 수행하고 있는데 네덜란드의 경우 블록의 길이가 짧아 블록당 1기의 크레인을 사용하고 있는데 고장 시에는 Rescue Crane이 작업을 대신 수행하게 된다.⁴⁾

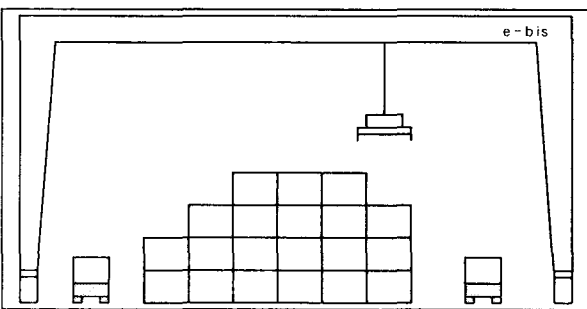


<Fig. 3> ASC of ECT

ECT의 경우도 AGV와 ASC작업 시에는 자동으로 작업이 진행되고, 외부트럭과의 작업을 위해서는 ASC와 외부트럭 사이에 Straddle Carrier가 중개역할을 수행함으로써 작업 속도를 높일 수 있도록 하고 있다.

영국 TMP의 경우는 <Fig. 4>과 같은 RMGC를 블록당 2기의 RMGC (Rail Mounted Gantry Crane)를 사용하고 있는데 RMGC 중 라멘 형을 사용하여 작업을 수행하고 있다. 크레인 고장 시 2기 중 1기가 작업을 대신 수행하고 있다.⁵⁾

영국 TMP는 내외부 트럭과의 상하차 작업을 위해서는 터미널 내 작업자가 크레인 근처에서 조이스틱을 이용하여 상하차 작업을 수행하여 문제 발생 시 즉각적인 대처가 가능하다.



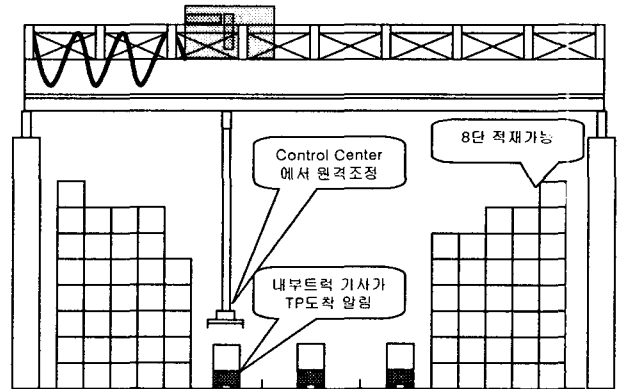
<Fig. 4> RMGC of TMP

3) Thomas Koch, "Automated Container Terminals", 자동화컨테이너터미널 21세기 추세 p49-79, 2003

4) LEGANA, "Benchmarking Visit of ISP Consortium to ECT Delta Terminals", 2002

5) H.R. Choi, "Current Status and Development Strategy of the Automated Container Terminal".2004 IAPH p97-165, 2004

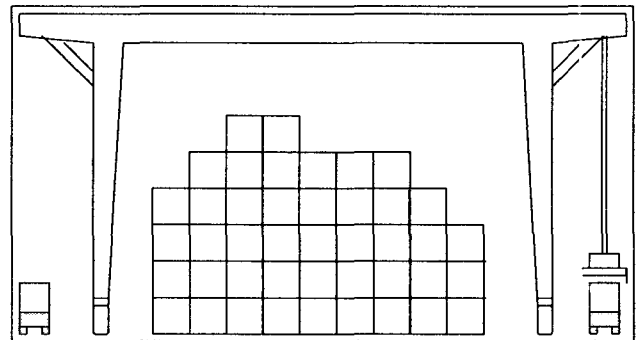
싱가폴 PPT의 경우는 <Fig. 5>와 같이 OHBC(Over Head Bridge Crane)를 사용하고 있는데 현재 국외 컨테이너터미널에 사용 중인 야드 크레인 중 가장 고가의 장비이지만 생산성 측면에서는 대단히 유용한 장비라 할 수 있다.



<Fig. 5> OHBC of PPT

싱가폴 PPT에서 사용되고 있는 OHBC는 블록별 좌우에 크레인 이동을 위한 구조물이 있어 내부트럭의 주행로를 블록과 블록 사이에 두었고, 내부트럭에 컨테이너 상하차를 위해서는 독일 CTA와 같이 원격조종실에서 작업자가 리모트 컨트롤러를 이용하여 작업하고 있다.⁶⁾

홍콩 HIT의 경우 <Fig. 6>과 같은 타입의 크레인을 블록당 4기의 RMGC를 사용하고 있는데 영국과 달리 캔틸레버 형을 사용하여 작업을 수행하고 있다.



<Fig. 6> RMGC of HIT

홍콩 HIT의 경우 RMGC에 항상 작업자가 탑승하고 있고, 대부분 작업은 자동으로 수행되나 내외부 트럭을 위한 상하차 작업을 위해서는 작업자가 직접 컨테이너를 조작하고 있는 실정이다.⁷⁾

일본의 OI의 경우도 홍콩과 같은 장비로 운영을 하고 있고, 노조문제로 인해 크레인에 작업자가 탑승하여 작업을 수행하고 있다. 홍콩이나 일본의 경우도 작업자가 탑승하고 있어 무

6) www.hit.com.hk

7) www.hit.com.hk

인 크레인보다는 작업의 정확성 측면이나 문제 발생 시 대처 능력 면에서는 타 자동화 컨테이너터미널보다 우위에 있다고 할 수 있다. 국외의 경우 컨테이너터미널 운영 시 인건비의 비율이 높은 만큼 향후 컨테이너터미널의 자동화를 위해서는 고려되어야 할 주요 요인이라 할 수 있다⁸⁾

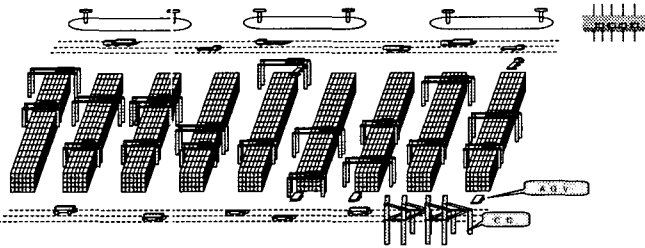
다음으로 야드 배치와 관련된 컨테이너터미널의 현황을 살펴 보면 <Table 2>와 같다. 국외 자동화 컨테이너터미널을 살펴 본 결과 야드 레이아웃과 관련해서는 야드 배치형태, 내외부 트럭 TP, 비퍼존 유무, 수출입 야드구분으로 나누어 볼 수 있다.

<Table 2> Yard Arrangement Status of Abroad Container Terminal

터미널	야드배치 형태	내·외부 트럭 TP	비퍼존 유무	수출입 야드구분
CTA	수직배치	끝단	무	구분하지 않음
ECT	수직배치	끝단	무	구분하지 않음
TMP	수평배치	끝단	유	구분하지 않음
PPT	수평배치	내부진입	무	환적과 구분함
HIT	혼합배치	내부진입	무	구분하지 않음
OI	수평배치	내부진입	무	구분하지 않음

<Table 2>를 보면 완전 자동화 컨테이너터미널은 수직배치이고, 부분자동화 컨테이너터미널은 대부분 수평배치 및 혼합배치 형태를 취하고 있다.

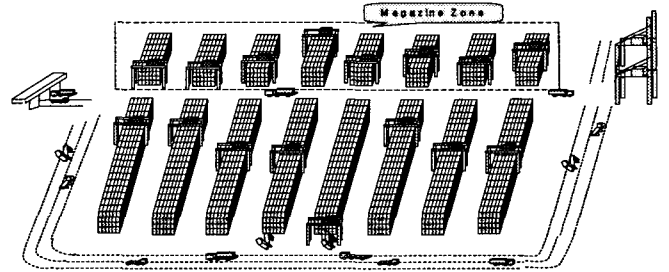
완전자동화 컨테이너터미널의 경우 <Fig. 7>과 같은 형태를 취하고 있는데 이는 AGV와의 효율적 연계와 외부트럭과 야드 크레인과의 원활한 작업을 위해서이다.⁹⁾



<Fig. 7> Yard Arrangement of Fully Automated Container Terminal

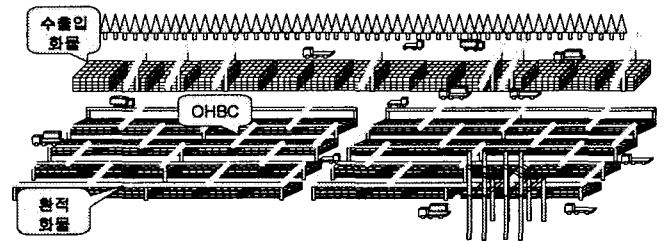
영국 TMP의 경우 <Fig. 8>와 같이 형태는 수평배치이나 운영은 수직배치와 유사하게 운영하고 있는 실정이다. 영국 TMP의 경우 타 국외의 컨테이너터미널과 달리 Magazine Zone을 운영하고 있는 것이 주요 특징이라 할 수 있는데 반출입 및 수출입을 위한 모든 컨테이너는 모두 이 Magazine Zone을 거치게

되어있다. 여기서 모든 작업이 원활히 수행될 수 있도록 제조작업을 수행한다.¹⁰⁾



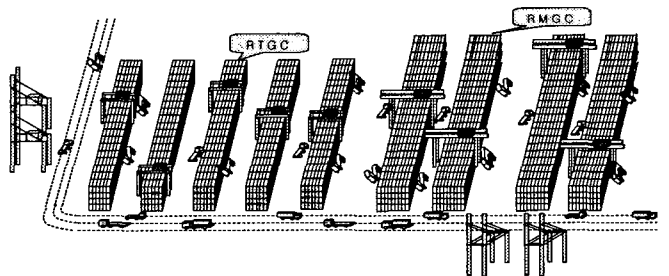
<Fig. 8> Yard Arrangement of TMP

이와는 달리 싱가포르 PPT나 일본 OI의 경우는 <Fig. 9>와 같이 수평배치에 외부트럭이 블록 내부에 진입하게 하여 작업을 수행하고 있는 실정이다. OI의 경우 배치는 수평이나 내외부트럭이 블록에 진입하는 방식과 사용하는 장비는 서로 다름을 앞서 설명한 바 있다. 싱가포르 PPT의 경우 전체 처리 물동량 중 80% 이상이 환적화물이므로 환적화물 처리에 주력하기 위해 수출입 야드는 별도의 공간에 설치되어 있다.



<Fig. 9> Yard Arrangement of PPT

끝으로 홍콩 HIT의 경우 형태상으로는 <Fig. 10>과 같고, 선석의 위치에 따라 수직배치와 수평배치의 혼합 형태이나 운영에 있어서는 국내 재래식 컨테이너터미널과 같이 수평운영으로 보는 것이 바람직하다.



<Fig. 10> Yard Arrangement of HIT

8) CIIMPS, "신선대 컨테이너터미널의 자동화 야드 운영방안에 관한 연구", 2004

9) 1)과 동일

10) www.hph.com.hk/business/ports/europe/Thamesport.htm

이상에서 살펴본 바와 같이 선진 자동화 컨테이너터미널들은 각기 상이한 야드 운영 자동화 방식을 보유하고 운영비 절감은 물론 생산성을 높이고자 노력하고 있다.

따라서 국내 컨테이너터미널의 야드 운영 자동화 방식 결정을 위해서는 먼저 국내 컨테이너터미널과 연관된 환경적 측면을 고려할 필요가 있고, 이를 해결할 수 있는 야드 운영 자동화 방식이 결정되어야 한다. 이상에서 논의한 선진 자동화 항만의 사례를 통하여 유형결정에 영향을 주는 몇 가지 요소도 도출할 수 있다.

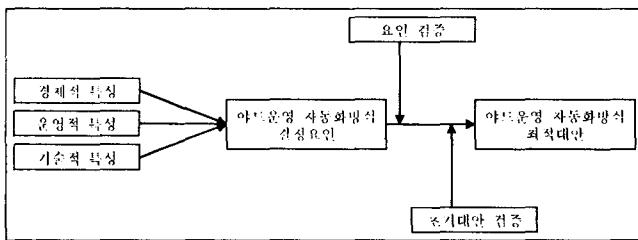
<Table 3> An element for Type Decision

유형결정요소	속성
야드배치	수평형, 수직형
버퍼존	유무
외부트럭TP	내부진입, 끝단
야드용도구분	환적용, 수출입용
상하차작업	유인로컬통제, 무인 리모트 통제
야드크레인	성능의 차이

3. 야드 운영 자동화 방식 결정을 위한 요인 분석

3.1 연구모형

본 연구를 위해서는 국내 컨테이너터미널이 보유하고 있는 다양한 상황적 특성을 가장 먼저 고려해야 하는데 이러한 고려사항들을 경제적, 운영적, 기술적 측면으로 나누어 볼 수 있다. 본 연구에서는 국외 사례분석을 통해 도출된 요인들을 기초로 1차적인 대안들을 제시할 수 있는데 이를 관련전문가들을 통해 검증하는 단계를 거치게 되고, 최종 수립된 대안들을 중심으로 투자비 및 운영비 측면에서의 분석을 통해 대안별 합의를 제시하고자 한다.

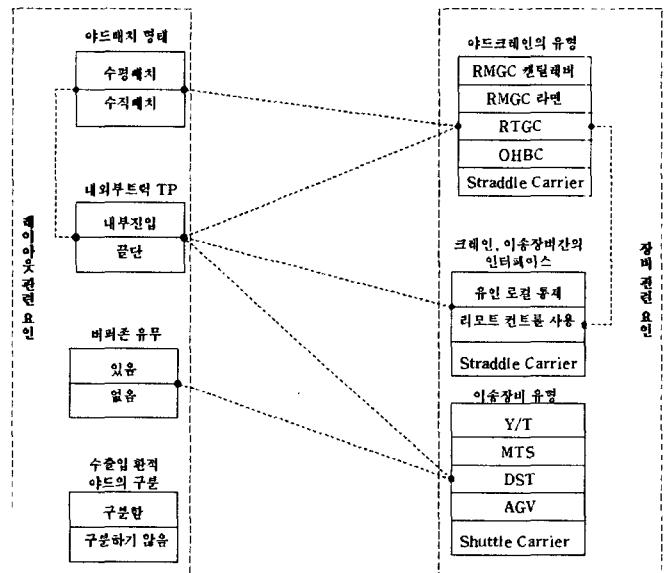


<Fig. 11> Research Model

3.2 요인 분류 및 요인간 관계

2장에서 논의한바와 같이 국외 컨테이너터미널 야드 운영 자동화 방식을 살펴보면 <Fig. 12>에서 보는 바와 같이 크레인 장치와 야드 레이아웃 부분으로 나눌 수 있고, 장비관련 세부 요인으로는 야드 크레인, 크레인과 이송장비간의 인터페이스, 이송장비의 유형 등으로 나누어질 수 있다. 또 야드 레이아웃과 관련해서는 야드 배치형태, 내외부 트럭을 위한 TP 위치, 버퍼존의 유무, 수출입 야드의 구분 등이 있다. 그리고, 장비 및 레

이아웃에 해당되는 요인들 간에도 서로 영향을 미치는 요인들이 있는데 장비와 내외부트럭간의 작업을 고려해서는 어떤 장비를 사용해야 할지 연계해서 생각해야 하고, 레이아웃 부분의 배치형태와 TP의 경우도 밀접한 연계성이 있는데 배치형태를 수직으로 가져간다면 내외부트럭의 작업공간을 분리한다는 의미므로 자연스럽게 TP를 블록의 끝단에 두어야 한다. 이처럼 각 부문별 요인사이에도 밀접한 연계성이 있고, 더불어 각 부문별 요인 간에도 연계성이 고려되어야 한다. 예를 들면 수직배치인 경우 RMGC 캔틸레버 형을 사용한다는 것은 공간적으로나 비용적으로 낭비이고, TP를 블록내부로 두었을 때 AGV를 활용하기는 큰 어려움이 따르므로 고려하기 힘들다. 이러한 요인들 간의 관계는 야드 운영 자동화 방식 결정 시 고려되어야 할 중요한 요인이라 할 수 있다.



<Fig. 12> Relationship of Factor for Automatic Yard Operation

3.3 요인별 특성

본 절에서는 앞서 제시된 각 부문별 요인들의 세부적인 특징 및 주요 고려사항들을 각각 제시하고 국내 컨테이너터미널의 환경을 고려하여 적절치 못한 요인들은 퇴화하고자 한다. 선별된 요인들을 대상으로 초기대안을 만들고 이들을 검증하는 단계를 거치고자 한다.

3.3.1 야드 장비의 특성

먼저 장비관련 요인들 중 야드 크레인에 대한 특징 및 자동화 시 고려해야 할 사항들을 살펴보면 다음과 같다.

캔틸레버형 RMGC는 야드 블록 내 외부트럭 및 YT 진입 시 작업이 용이하고, 안전한 작업을 보장하며, 야드 공간 활용도가 높다는 것이 특징이다. 이 장비는 생산성이 높아 새로이 도입하는 경우에 선호하지만 투자비용이 많다는 것이 단점으로 작

용한다. 이 장비를 효과적으로 사용하기 위해서는 외부트럭 및 YT의 야드 블록 내 진입이 필수적인데, 내부TP블록에 정차한 외부트럭을 자동으로 상하차 작업하기 위해서는 어려움이 예상된다.

라멘형 RMGC을 사용할 경우에는 이송차량의 정차위치가 블록내부 혹은 끝단 모두 가능하나, 블록 내에 TP를 둘 경우 안전성을 높일 수 있는 방안이 필요하고, 블록 끝단에 TP를 둘 경우에는 생산성을 제고할 수 있는 방안이 요구된다.

OHBC의 경우는 타 장비들에 비해 생산성이 높지만 과도한 비용(RMGC에 비해 약 2배)이 추가되어야 하고, 야드 내에 크레인 운영을 위한 구조물이 건축되어야 함으로 추가적인 공간도 필요하여 현재 국내 환경에는 적합하지 않은 것으로 조사되었다.

Straddle Carrier의 경우 타 장비들에 비해 저렴하고 신속하나 고단적(3~4단적)이 안되므로 생산성에 문제가 있고, 컨테이너 단적수를 낮춰서 야드에 장치해야 하므로 많은 야드 공간이 필요하다. 따라서 이 장비도 국내 환경에 적합하지 않은 것으로 조사되었다.

현재 국내 컨테이너터미널 관련 실무전문가들을 대상으로 향후 야드 운영 자동화를 위해 야드 크레인을 도입한다면 어떤 크레인을 도입하겠는가라는 간단한 선호도 조사 결과 총 응답자 38명 중 22명이 RMGC 캔틸레버 형을 선호하였고, 14명이 RMGC 라멘형, 나머지 2명이 OHBC를 선호한 것으로 조사되어 국내 컨테이너터미널 야드 운영 자동화를 위해서는 RMGC가 유력한 대안인 것으로 판단할 수 있다.

3.3.2 이송장비의 특성

다음으로 컨테이너터미널 내 이송장비인 YT와 AGV 및 기타 장비의 특성 및 자동화 시 고려사항들을 살펴보면 다음과 같다. YT의 경우 완전자동화 컨테이너터미널을 제외하고 대부분의 컨테이너터미널에서 사용하고 있어 기존 장비를 활용한다는 점에서 경제적 이유와 작업 관행의 측면에서 선호되는 것으로 조사되었다.

AGV는 완전자동화 컨테이너터미널에서 사용하고 있는데 완전자동화 컨테이너터미널의 경우 내외부트럭 TP와 연관지을 수 있다. AGV를 도입하는 경우, 블록의 끝단에 TP를 두어 자동화 장비인 AGV와 외부트럭의 간섭을 없애므로써 장비의 효율성을 극대화시킬 수 있어 수평배치를 기본 배치로 고려하고 있는 상황에서는 AGV를 도입하기에는 이송장비 운영의 어려움이 예상된다.

이러한 문제점으로 인해 AGV도입을 포기한 항만으로 싱가포르 PPT나 영국 TMP가 있다. 이 두 항만의 경우 AGV의 도입을 시도한 적은 있으나 각기 특정한 이유로 적용하지 못한 경험이 있다. 싱가포르 PFT의 경우는 앞서 설명한 바와 같이 OHBC를 사용하므로 블록내부로 AGV와 내부트럭(유인)이 동시에 진입해야 하는 상황들로 인해 AGV와 내부트럭(유인)이 충돌하는

사태를 겪음으로써 AGV 실용화에 실패하였고, 영국 TMP의 경우는 AGV 도입에 따른 생산성과 초기투자비를 비교했을 때 채산성이 맞지 않아 도입을 뒤로 미루어 놓은 상태이다.¹¹⁾ 이러한 예들은 장비의 효율성이 뛰어나더라도 각 컨테이너터미널들이 처해있는 상황들에 따라 적용여부가 결정된다는 것을 보여주고 있다.

이외에 기타 장비들 즉 MTS, DST, Shuttle Carrier의 경우는 각 컨테이너터미널에서 환경에 적합한 특성을 반영하여 적용된 장비들이므로 야드 면적의 규모, YT의 높이 등 국내 컨테이너터미널의 사정에 적합하지 않다는 주장에 따라 유형결정요인에서 제외시켜서 논의를 진행하고자 한다.

이는 야드 크레인과 같이 선호도 조사에서 총 응답자 38명 중 32명이 YT를 사용하는 것이 적절하다고 했고, 6명만이 AGV를 도입하여 향후 완전자동화를 대비하는 것이 좋을 것 같다고 응답하였다. 따라서 현재시점에서는 YT의 사용이 유력한 것으로 사료된다.

3.3.3 야드 크레인 상하차 작업통제방법

야드 크레인과 이송장비간의 작업연결을 위한 장비들의 특징 및 자동화 시 고려사항들을 살펴보면 다음과 같다.

이러한 장비들은 자동화 야드 크레인과 내외부트럭간의 작업 시 효율적인 연계를 목적으로 한다. 야드 운영방법으로서 야드 크레인을 유인으로 운영하는 경우와 무인으로 원격조정장치로 통제하는 방법으로 나눌 수 있다.

유인통제의 경우는 노동조합의 요구 및 작업기사의 안전을 확보하기 위해 야드 크레인의 상하차 작업 시 야드 크레인 기사가 탑승하여 작업하는 방식으로서 일본의 OI, 홍콩의 HIT가 유인통제유형에 속한다. 유인상하차작업방식은 야드 자동화 방식과는 다른 방식이지만, 현실적으로 무시할 수 없는 방식이다. 운영비 절감 목표를 달성할 수 없지만, 직접상하차 시 차량과 작업컨테이너가 근접한 위치에 있을 때에만 수동 작업으로 하기 때문에 크레인자동운영의 장점을 살릴 수가 있다.

이에 비해 무인원격조정통제 방식은 CTA, PPT 등에서 사용하는 방식으로 원격조종실에서 모니터를 통해 야드 크레인의 일정부분(상하차작업)만 작업자가 수행하게 된다. 따라서 작업에 소요되는 원격작업요원은 크레인 3~4기에 작업자 1인정도가 있으면 된다. 따라서 인건비에 대한 부담이 적어 유인통제보다 운영비가 적게 소요된다. 그러나, 원격지에서 작업을 하므로 작업 시 발생하는 문제에 대한 즉각적인 대처가 어렵고, 원활한 작업을 위해 장비에 여러 가지 기능의 카메라 및 표시기 등의 추가적인 설치가 요구된다.

11) 최형림·박남규·박병주·유동호·권해경, “자동화 컨테이너터미널 개발 전략에 관한 연구”, 한국항해항만학회 2004 춘계학술대회 논문집 p479-485, 2004

Straddle Carrier의 경우는 크레인이 야드에 컨테이너를 내려 놓으면 내외부트럭에 상차하는 작업과 Straddle Carrier가 내외부트럭의 컨테이너를 야드에 내려놓는 하차작업을 수행하게 되는데 이 장비는 수동운전에 따른 인건비 및 장비투입에 따른 장비비가 동시에 발생하고, 이의 효율적 운용을 위해서는 야드 공간이 추가적으로 필요하므로 여러 가지 면에서 국내에는 적합하지 않는 것으로 조사 되었다.

이에 대한 선호도 조사결과는 총 응답자 38명 중 20명이 크레인 탑승 및 크레인 근처에서 직접 크레인을 조작하는 방식이 적합하다고 응답하였고, 16명이 원격조종이 적합하다고 응답하였으며, 잘 모르겠다라는 의견도 2명 있었다. 이러한 결과로 볼 때 국외 선진 컨테이너터미널의 사례와 같이 노동조합, 인건비 등 다양한 측면에서 고려될 수 있는 요인이라 판단된다.

3.3.3 야드 레이아웃의 요인별 특성

다음으로 야드 레이아웃과 관련된 요인들에 대해 특징 및 자동화 시 고려해야 할 사항들을 설명하고자 한다. 야드 레이아웃의 경우는 각 부문별로 요인을 분리해 두었지만 서로 간에 밀접한 연계성을 지니고 있다.

야드 레이아웃 관련 요인 중 가장 기본이 되는 배치형태는 수평이나 수직이나에 따라 다양한 운영방안 및 장비가 필요하다. 그러나 배치형태만을 가지고는 결정할 수 없는 문제이므로 내외부트럭 TP의 위치와 야드 크레인에 대한 언급이 함께 되어져야 한다. 먼저 수평배치의 경우는 야드가 선석과 수평의 방향으로 이루어진 것인데 여기에는 우선 내외부트럭의 TP 및 야드 크레인의 타입과 밀접한 연관이 있다. TP가 끝단일 경우 야드 크레인이 외부트럭을 인식하기에 용이하고, 안전성이 높다. 그러나, 야드 크레인의 이동거리가 길어지게 되므로 작업 생산성은 떨어지는 단점이 있다. 그러나, 블록내부로 내외부트럭이 진입하게 되면 트럭 인식을 위한 추가적인 장치는 물론 내외부트럭 주행 시 혼잡도 문제와 안전을 위한 방안이 고려되어야 한다.

그러나 국내의 경우 기존 컨테이너터미널과의 연계성 및 기존 수평배치 노하우 보유 등 여러 가지 문제로 인해 수직배치보다 수평배치를 선호하는 것으로 조사되었다.

수직배치의 경우 완전자동화 컨테이너터미널에 적용되어 있는 형태인데 내외부트럭 즉 AGV와 외부트럭의 주행로를 분리함으로써 간섭을 피하고, 외부트럭 TP를 끝단에 둬으로써 무인 야드 크레인이 외부트럭을 인식하는데 용이하고, 안전성이 높다는 장점이 있다. 그러나 TP가 끝단에 있으므로 야드 크레인의 이동거리가 길어짐으로 인해 작업 생산성은 떨어지는 단점이 있다. 따라서 야드 운영만을 자동화하는 경우에는 적합하지 않은 것으로 사료된다.

버퍼존의 경우 영국 TMP에서 사용하고 있는 장치장의 일부 분인데 반입 및 양하 컨테이너는 반드시 거치게 되는 공간이다.

반입의 경우 외부트럭이 신고 온 컨테이너를 일단 일반 블록에 장치했다가 원활한 적하 작업을 위해 버퍼존으로 옮겨서 재조작 작업을 수행하게 되고, 양하의 경우는 효율적인 반출을 위해 재조작 작업을 수행하는 곳이다. 이러한 버퍼존의 경우 국내 컨테이너터미널의 공간이 협소하고, 투자비가 충분하지 않으므로 적용하기에는 용이하지 않은 것으로 판단되어 의사결정을 위한 대안으로서는 선호하지 않는 방식이다.

야드 레이아웃과 관련해서는 기존 컨테이너터미널 운영 시 보유한 노하우 등으로 인해 수직보다는 수평배치를 선호하였고, 국외의 작업사정과 국내의 작업사정이 상이하다는 점에서 수출입 야드 구분, 버퍼야드 등에 대한 의견에는 부정적인 것으로 조사되었다.

끝으로 수출입 야드를 구분하는 것은 싱가포르 PPT에서 사용하고 있는 형태로서 환적을 위한 야드를 두어 내부트럭만 취급하고, 수출입을 위한 야드는 따로 두어 유인 크레인을 사용하고, 외부트럭을 담당하게 된다.

이러한 야드 구분 운영방식은 싱가포르 PPT와 같이 환적화물이 전체 처리물량 85% 이상이 되는 특수한 경우에 활용이 용이하고, 국내 컨테이너터미널과 같이 40% 정도의 환적물량이 처리되는 경우는 부적합하다고 판단되고, 앞서 설명한 버퍼존의 경우와 같이 분리를 위한 여분의 공간이 또 필요하게 되므로 이 또한 국내의 사정에 적합하지 않다. 이상의 내용에서 초기 대안 설정 시 고려할 수 있는 요소들을 다음 <Table 4>과 같이 정리할 수 있다.

<Table 4> Factor of Automatic Yard Operation

야드배치 형태	내·외부 트럭 TP 위치	크레인 및 이송장비를 위한 인터페이스	야드크레인 유형	이송장비의 유형
수평배치	내부진입	조이스틱	RMGC 컨틸레버	YT
	끝단	리모트 컨트롤	RMGC 라멘	

4. 컨테이너터미널 야드 운영 자동화를 위한 대안 검토

본 장에서는 앞서 3장에서 도출된 야드 운영 자동화 요인들을 대상으로 초기대안을 도출하고 각 대안별 총비용의 현가를 계산하여 컨테이너터미널 의사결정자의 의사결정 시 적절한 대안을 선택할 수 있도록 가이드라인을 제시하고, 추가적으로 야드 운영 자동화 시 고려해야 할 사항들을 정리하였다.

4.1 국내 컨테이너터미널 야드 운영 자동화를 위한 대안 검토

본 절에서는 3장에서 도출된 요인들을 기초로 초기 대안들을

제시하고, 각 대안들이 갖는 장단점을 설명하고자 한다. 먼저 초기 대안들의 장단점을 설명하기 위한 야드 운영 자동화 환경을 제시하면 다음 <Table 5>와 같다.

<Table 5> Research Surroundings

구분	내용
면적	8.9ha
블록너비	28.5m~28.6m(RTGC의 경우 약 19m)
블록길이	219.9m
베이길이	12m
RMGC 사용시 블록 수	캔틸레버형: 5개 라멘형: 7~8대
RMGC 사용대수	캔틸레버형: 10대 라멘형: 15대
RTGC 사용시 블록 수	7~8대
RTGC 사용대수	15대

<Table 5>와 같이 본 연구에서는 각 대안별 비교를 위해 동일한 면적에 한 개 선석을 새롭게 개발한다고 보고, 어떠한 대안들이 적절한지 비용측면에서 적절한 대안을 제시하고자 한다.

이러한 환경에 기반을 두고 앞서 도출된 요인들을 대상으로 초기대안들을 제시하면 다음 <Table 6>와 같이 8가지 정도의 대안이 제시될 수 있는데 여기에는 2가지 이상의 대안이 있는 요인들만을 대상으로 초기대안들을 제시하고, 2가지 미만의 요인들 즉 야드배치 형태 및 이송장비의 유형은 수평배치 형태와 YT를 사용하는 것으로 고정한다.

<Table 6>에서 보듯이 총 8가지 정도의 대안을 대상으로 각각의 장단점 및 비용 측면에서의 분석을 통해 최적대안을 도출하고자 한다.

1안의 경우 내외부트럭이 블록 내부로 진입하게 하고, 자동화 크레인(RMGC 캔틸레버)과의 작업을 위해 장치장에 특정 작업자가 상주해야하고, 블록내부로 진입하게 됨으로써 트럭의 도착 인식 및 정위치 정차 등을 확인하고, 안전하게 작업하기 위한 장비들의 도입이 요구된다. 또한 캔틸레버 형을 사용하게 되면 블록 양쪽에서 작업을 해야 하므로 이를 작업로 및 주행로가 구별되어 공사되어야 한다. 따라서 이에 대한 초기 투자비 및 향후 유지·보수를 위한 비용들이 발생된다.

그러나, 블록 내부로 내외부트럭을 진입하게 됨으로써 RMGC의 이동거리를 줄일 수 있고, 크레인 양쪽으로 작업이 가능하므로 장비의 시간당 생산성을 극대화시킬 수 있는 장점이 있다.

2안의 경우 1안과 달리 자동화 크레인(RMGC 라멘)을 사용하는 대안인데 가장 큰 차이점은 장비의 형태가 다르다는 것인데 RMGC 라멘의 경우 RMGC 캔틸레버가 6단 9열까지 장치 가능 한데 비해 4단 6열정도의 장치능력을 가지고 있어 캔틸레

버 형보다 많은 장비를 필요로 한다. 그리고, 라멘형의 경우 내외부트럭의 작업을 위해서는 크레인 아래로 내외부트럭이 진입되어야 하므로 상하차 작업 시 안전상의 문제가 제기된다.

<Table 6> Type for determination of automated yard operation

구분	내·외부 트럭 TP 위치	크레인과 이송장비를 위한 인터페이스	야드크레인 유형
1안	내부진입	유인로컬	RMGC 캔틸레버
2안	내부진입	유인로컬	RMGC 라멘
3안	내부진입	리모트 컨트롤	RMGC 캔틸레버
4안	내부진입	리모트 컨트롤	RMGC 라멘
5안	끝단	유인로컬	RMGC 캔틸레버
6안	끝단	유인로컬	RMGC 라멘
7안	끝단	리모트 컨트롤	RMGC 캔틸레버
8안	끝단	리모트 컨트롤	RMGC 라멘

그러나, 캔틸레버형 보다 가격이 저렴하고, 블록간 공간을 확보할 수 있어 내외부트럭의 주행을 위한 많은 비용이 소요되지 않는 것을 장점으로 볼 수 있다. 추가적으로 향후 완전자동화 시 AGV 사용으로 인해 블록 끝단에 내외부트럭의 TP를 둘 경우 유용한 것으로 판단된다.

3안의 경우는 1, 2안과 차이가 나는 것이 작업자가 원격통제실에서 리모트 컨트롤러를 사용해 내외부트럭에 대한 작업을 처리하는 것인데 운영상의 중요한 점은 1명의 작업자가 여러대의 크레인을 운영할 수 있는 장점이 있어 인건비 절감이 특징이라 할 수 있다.

4안의 경우는 리모트 컨트롤과 라멘 타입을 사용하므로 운영상에 편리함이나 이점은 있지만 비용측면에서는 타 대안에 비해 다소 소요가 될 것으로 판단된다.

5안에서 8안까지는 앞의 1, 2, 3, 4안에 비해 내외부트럭의 TP를 블록 끝단에 둔다는 것이 가장 큰 차이점인데 TP를 끝단에 둘 경우 끝단에 내외부트럭의 정위치를 위한 시설을 해두어 내부 진입에 비해 정확한 위치에 정차시킬 수 있고, 어떤 연계장비를 사용하든 인건비를 많이 줄일 수 있는 장점이 있다. 그러나, 크레인의 이동거리가 길어지게 되어 크레인의 생산성이 낮아질 가능성이 있다.

이상의 대안들과 재래식 컨테이너터미널을 초기투자비 및 운영비 측면에서 비교하여 각 대안의 경제적 분석결과를 제시하고자 하였다.

운영방식결과와 연관되는 비용은 초기투자비와 운영비이다.

초기투자비는 토목공사비, 전기공사비, 장비구입비가 포함되고, 운영비에는 인건비, 동력비, 유지관리비, 감가상각비 등이 포함된다.

토목공사비에는 지반개량공사비, 도로 및 포장공사비, 부대공사비를 포함하며, 장비구입비는 재래식 컨테이너터미널의 경우 RTGC와 YT구입가격이 포함되었고, 야드 운영 자동화를 위해서는 RMGC(라멘, 캔틸레버)와 YT 및 내외부트럭과 관련된 시설비, 장비비 등이 포함되었다.

운영비의 인건비는 내외부트럭 작업을 위한 인건비, 원격조종실에서의 작업을 위한 인건비로 구성되었고, 동력비의 경우, RTGC는 시간당 21,000원, RMGC는 시간당 29,400원, YT는 시간당 15,120원의 비용으로 계산하였다. 유지관리비는 포장관리비로 연간 도로포장공사비의 1%, 장비유지비로 장비구입비의 5%, 부대설비유지비로 부대공사비의 1%, 전기통신비로 전기통신공사비의 6.5%의 비용이 든다. 본 논문에서는 감가상각 기간을 30년으로 추정하였다. 12)

동일한 면적(9.8ha)에 각 대안별 비용의 현재가치를 구하여(아래 공식 참조) 누적비용을 재래식 컨테이너터미널과 비교한 결과는 <Fig.13>와 같다. 이 때 RMGC 캔틸레버형(6단9열)을 적용할 경우는, 5블록에 10대의 RMGC와 YT 40대¹³⁾가 필요하며, RTGC(4단6열)와 RMGC라멘형의 경우는 TC 15대와 YT 80대가 필요하다. 인건비의 경우 1일 3교대로 일인당 월임금은 400만원으로 예상하였고 매년 7%의 임금상승률을 반영하여 계산하였다.

$$NPV = \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+d)^i} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

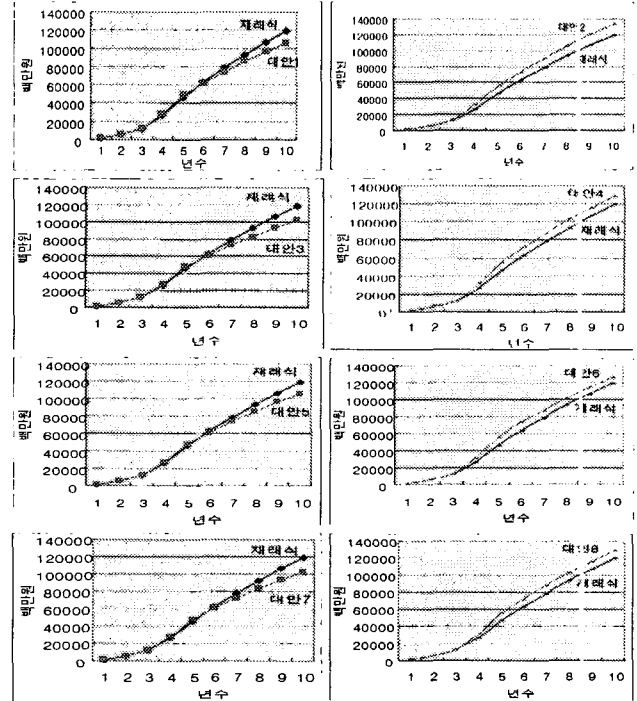
C_i : i년도 비용

d : 적용할인율(실질할인율 10%로 가정)

참고로 초기투자비에서 매립되지 않은 토지를 이용하여 선석을 개발할 경우 지가(地價)가 매립비 대신에 추가될 수 있다.

<Fig 13>은 새로운 선석 개발 시 앞서 제시된 대안과 같이 다양한 대안들이 재래식 컨테이너터미널 개발 및 운영 시 투입되는 비용이 어느 정도 차이가 나는지 연도별 누적비용을 비교한 그림이다. 1안 ~ 8안까지의 대안 중 1, 3, 5, 7안은 RMGC 캔틸레버형을 사용하는 경우이고, 2, 4, 6, 8안은 RMGC라멘형을 사용하는 경우이다. RMGC라멘형의 경우, 재래식 컨테이너터미널과 비교하여 투자비 및 운영비가 더 많이 소요되는데 이는 4단 6열의 장비를 사용하게 되면 블록도 많아지고, 대수도 많아지게 되어 비용측면에서 보았을 때, 적절한 대안이 아님을 알 수 있다.

RMGC캔틸레버형의 경우, 대안1에서 대안 7로 갈수록 재래식 컨테이너터미널과 비교하여 더 빠른 시기에 비용이 낮아짐을 알 수 있는데 각 대안별로 크게 차이가 나지는 않지만 7안이 비용측면에서 최적의 대안인 것으로 분석되었다.



<Fig. 13> Comparison of Conventional Container Terminal vs. Alternative measure

그러나 향후 적절한 대안을 선택하기 위해서는 본 연구에서 제시된 비용적 측면의 분석과 더불어 생산성 측면, 운영적 측면, 기술적 측면 등이 추가적으로 반영된 대안들이 필요하다.

4.2 국내 컨테이너터미널 야드 운영 자동화 방식 결정 시 고려 사항

이상의 내용 외에도 실제 야드 운영을 자동화함에 있어 이와 연계되는 다양한 부문을 고려해야 한다. 첫째, 야드 할당계획에 있어서 재래식 컨테이너터미널에서 작업자가 하던 것을 시스템이 담당해야 하므로 이에 대한 방안이 필요하고, 둘째, 게이트에 외부트럭이 도착해서 야드 내 정확한 TP까지 이동하는 것과 이를 자동화 크레인이 인지하여 작업의 효율성을 높이는 운영방안 및 시설투자가 필요하다. 이외에도 작업별 적정 크레인 대수 및 블록 활용방안 등 다양한 측면별 운영 방안이 고려되어야 야드 운영의 자동화 시 실제적인 효과를 거둘 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 동북아 주요 항만-국가간의 중심항만 선점경쟁에서

12) 1)과 동일

13) TC 3대당 YT 4대가 소요되는 것으로 추정함

비교우위를 확보하여 우리나라 컨테이너터미널이 경쟁력을 갖출 수 있도록 하는데 목적이 있다. 이에 국내 컨테이너터미널의 선석확장 및 새롭게 건설되는 컨테이너터미널 중 예산이나 환경 등을 고려하여 컨테이너터미널 운영의 핵심인 야드 운영을 자동화하고자 할 때 고려해야할 요인과 경제적 측면에서 어떠한 대안이 가지는 함의를 분석하고자 하였다.

그러나 야드 자동화 유형을 결정할 때는 경제적 측면외에도 기술적, 운영적 타당성이 좀 더 세밀히 고려되어야 하고, 의사결정 시에도 보다 명확한 정보를 제공할 수 있는 결과를 도출해야 한다고 본다.

따라서 추후 연구에는 앞서 제시된 다양한 측면을 고려한 내용을 담고 의사결정자가 생각하는 가중치에 따라 최적대안을 제시할 수 있는 연구가 수행되어야 한다.

터미널 개발 전략에 관한 연구”, 한국항해항만학회 2004 춘계학술대회 논문집, p479-485, 2004

- [15] 한진수, “회계정보시스템의 개발 시 타당성 분석에 관한 연구”, 경영논총 Vol.19, 1995
- [16] 황재한, “공공투자사업의 경제적 타당성 분석에 관한 연구”, 산업연구 Vol.13, 2001
- [17] KMI, “우리나라 컨테이너부두 생산성 향상방안 연구”, 2002. 4
- [18] KMI, “자동화 컨테이너터미널 개발사업 타당성 검토용역”, 1998
- [19] CIIMPS, “신선대 컨테이너터미널의 자동화 야드 운영방안에 관한 연구”, 2004

참 고 문 헌

- [1] Dirk Steeken, Stefan Vob, Robert Stahlbock, “Container terminal operation research - a classification and literature review”, OR Spectrum, 2004
- [2] H. R. Choi, “Current Status and Development Strategy of the Automated Container Terminal”.2004 IAPH p97-165, 2004
- [3] Jan van Beeman, “Automated Container Terminal”, International Symposium on Automated Container Terminal, the Trend in the 21st Century, p17-32, 2003
- [4] Keith Forward, “Recent developments in Ports Information Technology”, Digital Ship Ltd, London, 2003
- [5] LEGANA, ‘Benchmarking Visit of ISP Consortium to ECT Delta Terminals’, 2002
- [6] P.A. Ioannou, H. Jula, “Advanced Material Handling”, the Center for Commercial Deployment of Transportation Technologies 2000
- [7] Thomas Koch, “Automated Container Terminals”, International Symposium on Automated Container Terminal, the Trend in the 21st Century, p49-79, 2003
- [8] 김명경, 자동창고시스템의 경제적 타당성 분석, 경영학 연구 Vol.- No6, 1998
- [9] 김우선, “컨테이너터미널의 이송장비 유형과 블록배치 형태 분석”, 월간 해양수산 제225호, 2003
- [10] 류명중, “컨테이너터미널 유형 평가”, 한국해양대학교, 2003
- [11] 배영주, “비용-편익분석을 이용한 공공사업의 타당성 분석”, 산업과학논문집 Vol.8, 2000
- [12] 유일근, “건설전략에 의거한 경부고속도로의 경제적 타당성 분석”, 과학기술연구논문집 Vol.10 No.2, 1999
- [13] 박남규, 최형립, 이창섭, “AHP기법을 활용한 자동화 컨테이너터미널 운영목표 설정에 관한 연구”, 해운물류연구, 제 40호, 2004
- [14] 최형립, 박남규, 박병주, 유동호, 권해경, “자동화 컨테