

자동화항만의 야드 운영시스템 레이아웃 설계

홍 동 희[†] · 정 태 충^{††}

요 약

동북아 중심 항만의 기반을 다지기 위해 자동화항만의 건설이 시급히 요청되고 있다. 따라서 우리나라에 적합한 자동화항만의 운영시스템 레이아웃 설계방안을 제시하고자 한다. 본 논문에서는 자동화항만의 운영시스템이 추구해야할 목표를 충족시키며, 각 자동화 장비를 통한 화물의 수출입 이동경로에 따라 운영시스템의 기본 모델을 4가지로 구분하고, 여러 입력 요소들을 변경시켜 가며 시행착오를 거쳐 동적으로 분석해 나감으로서 최적의 운영시스템 모델을 선정하고, 그에 대한 수출입화물별 야드 운영시스템 레이아웃을 설계하였다. 특히 미래의 자동화항만에서는 어떠한 자동화 장비를 사용하느냐에 따라 그 생산성이 달라진다. 그러나 현실적으로 비용측면과 현재의 작업 흐름을 도외시 할 수 없기 때문에 현재의 작업을 최적화하고 현재의 사용 장비와 자동화 장비의 대체로 작업의 혼선이 발생하지 않은 방법을 선택하여 레이아웃을 설계하였다. 본 논문의 야드 운영시스템에서 기술한 장비들은 Q/C(Quay Crane)을 제외한 모든 야드 장비가 완전자동화를 전제로 한 것이다.

Optimized Design for Yard Operating System Layout of Automated Container Terminal

Dong Hee Hong[†] · Tae Choong Chung^{††}

ABSTRACT

Construction of automated terminal is urgently demanded to gain the foundation of hub-port in north east Asia. Therefore we suggest an adequate operating system layout of automated terminal in Korea. In this paper the aim of automated terminal operating system is satisfied, four basic models are divided according to moving course of export and import cargo of each automated equipments, several input data are changed and analyzed dynamically by Trial and Error method, and then an optimized operating system model is selected, and designed for yard operating system layout on the basis of the selected model. Particularly, the productivity of automated port is up to the kind of automated equipments. However, because expense and present work process must be considered actually. In order to prevent confusion of the work, the method to optimize the present work and substitute present equipments and automated equipments was designed. It is a premise that all the yard equipments described in this paper must be automatic except quay crane.

키워드 : 자동화항만(Automated Port), 자동화터미널(Automated Terminal), 컨테이너항만(Container Terminal), 야드 운영시스템(Yard Operating System), 야드 시뮬레이션(Yard Simulation), 야드 레이아웃(Yard Layout), 컨테이너(Container)

1. 서 론

세계화, 개방화에 따라 우리나라는 1998년에 673만TEU (Twenty feet Equipment Unit)이고, 2002년에는 900만TEU를 넘을 것으로 추정되어 2011년까지는 연평균 8.8%로 증가할 것으로 예상하고 있다¹⁾. 이와 같은 항만 물동량의 높은 증가세에 의해 현재 수준의 컨테이너항만 시설로는 그 수요를 충족시킬 수 없기 때문에 향후 컨테이너항만 건설에 대한 시설확충은 필연적인 것으로 판단된다. 또한 컨테이너항만에서 발생하는 비용이 컨테이너 총 수송원가의 30%를 차지하고 있기 때문에 기업의 경쟁력과 직결되어 있는 해운수송 비용절감 요구에 부응하기 위해서도 각 국

주요항만들은 야드 운영방식을 개선하는 운영효율화 노력에 박차를 가하고 있다[7]. 특히 점차 높아지는 인건비와 부족한 노동력 문제를 해결하고, 토지 이용과 작업 능력의 극대화를 꾀하기 위한 항만시설의 첨단화 요구가 세계적으로 증가되고 있으며, 그 일환으로 자동화된 새로운 야드 운영시스템 개발이 활발히 추진되고 있다.

자동화항만은 노동력이 가장 많이 요구되는 작업인 안벽으로부터 장치장까지의 컨테이너이송과 이송된 컨테이너의 장치 및 장치된 컨테이너를 트럭에 실어주는 일련의 모든 야드 작업을 사람이 전혀 개입하지 않고 장비 스스로 처리하는 무인자동화 운영을 목표로 하는데, 무인자동화의 가장 큰 이점은 바로 인건비 절감이다[1,5]. 실제로 자동화항만과 재래식항만을 동시에 운영하고 있는 외국의 경우 전체 운영비에 대한 인건비 비중이 자동화인 경우 25%인데 반하여 재래식인 경우는 44%에 달하고 있다[10]. 앞으로

[†] 정 회 원 : 동원대학 e-비즈니스과 교수

^{††} 정 회 원 : 경희대학교 컴퓨터공학과 교수

논문접수 : 2002년 2월 18일, 심사완료 : 2002년 11월 25일

기술이 발전하면 더욱 높은 생산성을 보일 것으로 기대되며, 노동자들의 파업으로 인한 작업중단도 크게 줄고 작업자가 직접 작업에 투입되지 않으므로 산업재해도 대폭 경감시킬 수 있다.

우리나라도 21세기 신 해양 경쟁시대에 대비하고, 동북아 첨단 자동화항만의 선도적 입지를 구축함에 따라 중심항만(Hub-port)의 기반을 다지고, 동북아 물류중심 국가로 나아가기 위해, 보다 경쟁력 있고 우리 실정에 적합한 저 비용, 고 효율의 자동화항만 개발이 시급하며, 그에 알맞은 자동화된 야드 운영시스템이 필요한 실정이다. 왜냐하면 항만에서 처리되는 대부분의 작업이 야드에서 이루어지고 있기 때문에 야드 운영의 효율성이 곧 항만운영의 효율성과 직결되기 때문이다.

따라서 이 연구에서는 향후 개발되어야 할 우리나라 여건에 적합한 자동화항만에 있어, 항만 생산성에 가장 중요한 요소인 야드의 운영시스템 레이아웃에 대한 최적의 설계 방안을 제시하고자 한다.

이 연구의 주요 내용으로는 안벽 능력과 장치장 능력 및 개발 전체 조건과 소요 TGS를 산정하였고, 야드 운영시스템에 대한 4가지 모델 설계안을 제시하여 각 모델별로 자동화 운영부품과 생산성 측면의 반출입시 cycle time을 비교 평가하였다.

2. 야드 운영시스템 대안 모델 설계

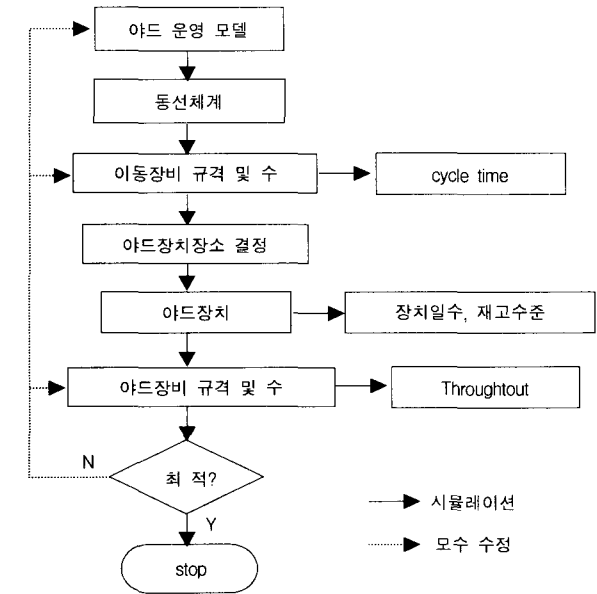
2.1 모델 설계를 위한 야드 시뮬레이션의 범위

야드 시뮬레이션은 항만에 설치된 하역장비가 선박으로부터 화물을 하역하는 것으로부터 시작하여 트럭이 화물을 싣고 게이트를 벗어나는 것까지를 포함한다. 이와 같은 야드 부분에서의 시뮬레이션은 물론 선박도착분포와 항만에 설치된 하역장비의 하역시간분포 및 고장시간분포 그리고 화주의 요구에 의한 트럭의 도착시간분포 등에 따라 확률적으로 상호 의존관계[1, 3]에 있지만 본 논문에서는 이들이 상호 독립적인 것처럼 가정하여 시뮬레이션을 실시한다. 이러한 가정은 이론적으로는 모순되지만 현실적으로 다음과 같은 이유로 설득력을 가지고 있다.

- 첫째, 선박이 항만(부두)을 점유하고 있을 때는 반드시 하역이 이루어진다.
- 둘째, 야드의 장치공간이 부족하여 선측의 하역작업이 지연되는 경우는 없다.
- 셋째, 선박도착분포의 특성은 선측 장비의 하역생산성에 내재되어 있다. 즉 야드 시뮬레이션은 선측 장비의 하역생산성에 의해서 고객(화물)이 된다.

즉 서버로서의 야드는 물동량을 고려하여 TGS(TEU Ground Slot)를 설계하였기 때문에 시뮬레이션 내에서 야드

면적은 더 이상 제약조건으로 작용하지 않으며, 야드 대기 시스템은 야드의 배치도, 이동장비의 동선체계, 야드 내의 이동장비(AGV, 트럭) 및 장치장비(RMGC, ASC, OHBC)의 서비스 시간분포에 의해서만 영향을 받는다. 또한 야드 시뮬레이션의 입력자료는 선측 하역장비의 하역시간 분포에 의해서 결정된다.



(그림 1) 야드 시뮬레이션 흐름도

야드 시뮬레이션은 (그림 1)에서와 같이 ①이동장비의 동선체계, ②야드장비의 구성, ③야드장치 등 3단계로 구성된다. 이동장비의 동선체계는 야드를 수출입화물, 철송화물, 냉동화물, CFS(Container Freight Station)화물 등 용도에 따라 진행방향이 결정되어 평가척도 중의 하나인 이동장비의 cycle time이 대안별로 구해진다[4, 15]. 이동장비가 화물이 지정된 블록으로 이동하면 야드 장치장비가 지정된 곳에 장치한다. 시뮬레이션 내에서 화물의 장치장을 구현하는 문제는 화물별로 미리 정해진 블록에 대해서 FIFO 규칙에 의해 지정하든지 아니면 과거의 실제 자료에 의해서 확률분포로 장치장소를 지정할 수도 있다.

시뮬레이션의 결과로 야드 운영시스템의 레이아웃을 설계하는 데에는 많은 노력을 필요로 함으로 4개의 모델들을 작성하여 이를 토대로 시뮬레이션을 실행하고 그 결과를 비교함으로써 최적의 모델을 도출하도록 한다.

2.2 야드 시뮬레이션의 흐름

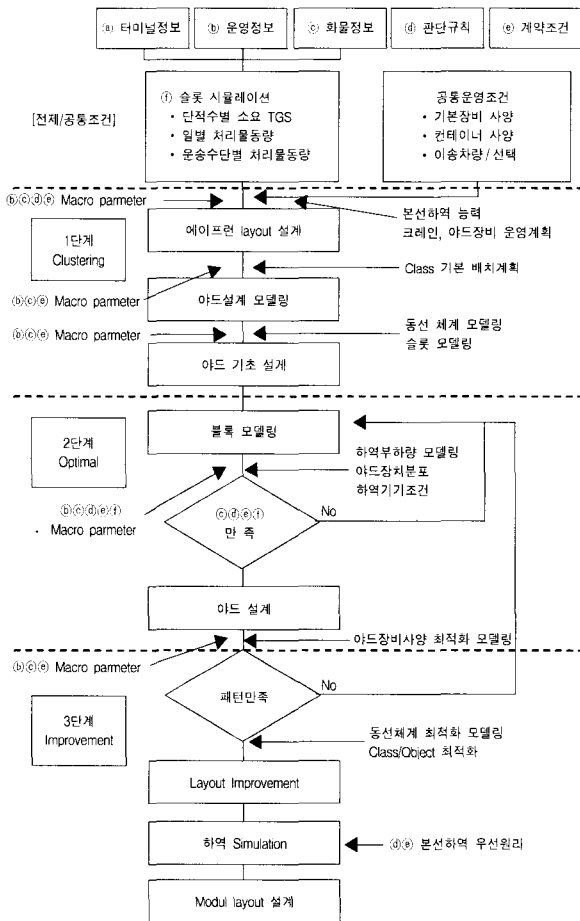
야드 운영시스템의 레이아웃을 설계하기 위해서는 여러 가지 전제조건과 공통적으로 사용되어야 할 조건들이 있다. 그 조건에는 항만의 안벽길이, 선석수, 자동화장비의 기준 사양 등과 같은 항만정보, 운영정보, 취급가능물량과 대상 지역의 화물별 분포비율과 같은 화물정보, 설계를 위한 판단기준, 주변환경과 여건에 적합한지를 판단하는 조건 등이

1) 한국해양수산개발원, 「항만기본계획 재정비」, 1998. 12.

있다[11]. 이러한 정보를 바탕으로 야드 시뮬레이션을 수행하기 위한 기초작업에 들어간다. 이 기초작업에는 단적수별 소요 TGS, 일별 처리 물동량, 운송수단별 처리 물동량 등에 관한 데이터를 산출하고 기본 장비의 사양과 컨테이너 사양, 이송차량 및 선박사양 등을 정한다.

전제와 공통조건이 완성되면 제1단계인 초기 야드 배치 모델링과 야드 기초설계에 들어가며 이 과정에서 각종 정보를 바탕으로 본선하역능력, 장비설계사양 및 운영계획, 야드 기본배치계획, 동선체계 모델링, 각 Slot 모델링을 계획한다.

야드 기초설계가 완성되면 제2단계로 최적화작업에 들어간다. 상세한 각 블록 모델링을 수행하며 각 화물정보, 판단기준, 제약조건 및 초기 Slot 시뮬레이션을 만족하면 야드 설계로 들어가고 그렇지 않으면 다시 블록 모델링을 수행하면서 조건이 만족할 때까지 계속적으로 재작업을 한다. 이 과정에서 하역 부하량 모델링을 실시하고 야드장치분포, 하역기기 조건을 감안하여 작업을 수행한다.



(그림 2) 야드 시뮬레이션 레이아웃 설계 흐름도

제2단계를 완성하면 완성된 레이아웃을 바탕으로 레이아웃을 개선한 후 제2단계에서 만족된 야드 설계를 가지고 수출입 운송패턴을 만족하는지 여부를 검토하여 만족하지

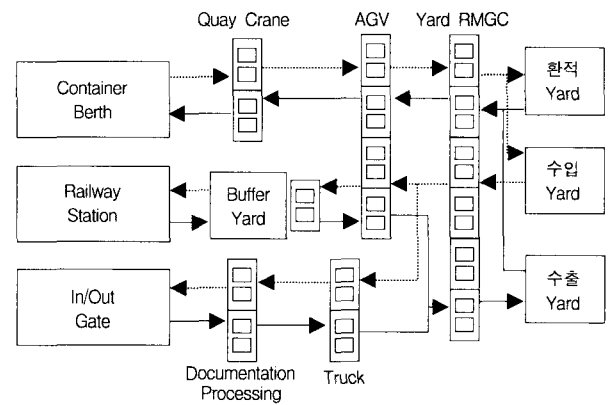
못하면 반복적으로 실시하며 이 단계에서 야드 장비사양의 최적화작업을 실시한다. 수출입운송패턴을 만족시키면 동선체계 최적화, 각 단계 및 목표를 최적화하여 터미널 레이아웃을 향상시키고 본선하역 우선원리를 적용하여 하역 시뮬레이션을 수행하고 최종적으로 모델 레이아웃 설계를 확정짓는다. 이러한 과정을 본 논문에서는 4가지 모델을 설계하여 결과를 비교, 최적에 해당하는 모델을 선택한다. 다음의 (그림 2)은 야드 시뮬레이션의 설계 과정을 나타낸 것이다.

2.3 운영시스템의 대안 모델

자동화터미널의 운영시스템을 다음과 같이 4가지 모델로 나누어 설계를 추진하였는데, 환적, 수입, 수출물량 발생시 각 자동화 장비를 통한 컨테이너의 이동경로에 따라 각 모델별로 구분하였다. 본 운영시스템에 적용된 장비들은 Q/C를 제외한 전 야드장비가 완전 자동화를 전제로 한 것이다. 다음의 모델이름은 편의상 야드 운영의 주장비 이름을 붙여서 만든 것이다.

2.3.1 RMGC-1 모델

RMGC-1 모델의 운영시스템은 환적물량 발생시 선석에서 Q/C를 통하여 AGV(Automated Guided Vehicle)로 옮겨지고 다시 RMGC(Rail Mounted Gantry Crane)를 통하여 환적야드로 적재되며, 반출시에는 이의 역순을 거치는 과정이 발생된다. 수입물량 발생시 선석에서 Q/C를 통하여 AGV로 옮겨지고 다시 RMGC를 통하여 수입야드로 적재되며 외부 반출시 야드 RMGC에서 일부는 AGV를 통하여 레일로 외부 반출되고 일부는 외부 트럭을 통하여 반출되는 과정을 거친다. 수출물량은 레일 및 게이트를 통하여 반입된 컨테이너가 AGV 및 외부 트럭에서 야드 RMGC를 거쳐 수출야드에 일정기간 장치되어 있다가 다시 야드 RMGC에서 AGV를 거쳐 선박에 적재되는 흐름을 갖는다(그림 3).

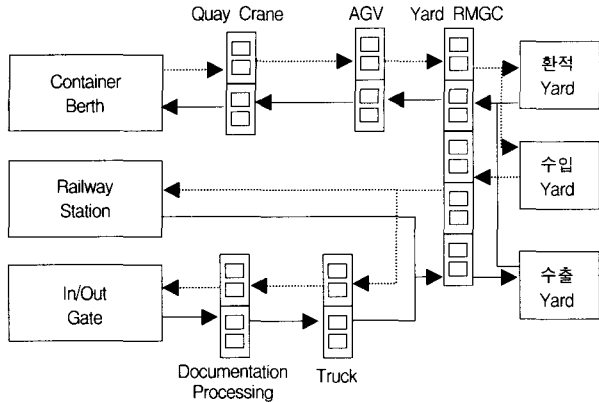


(그림 3) RMGC-1 모델

2.3.2 RMGC-2 모델

다른 처리 흐름은 RMGC-1 모델과 같으나 외부 반출시 야드 RMGC에서 일부는 AGV를 거치지 않고 레일이 설치

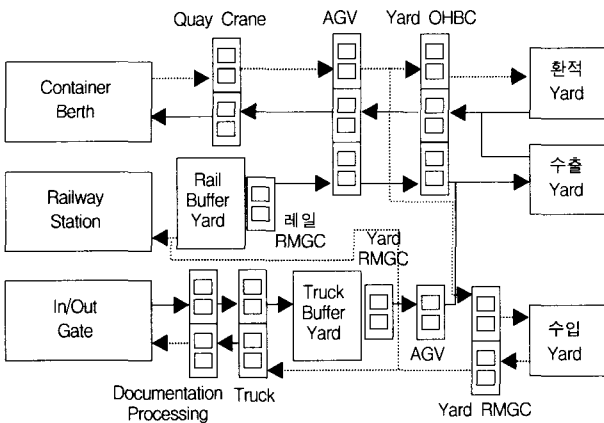
된 야드에서 외부 반출되고 일부는 외부트럭을 통하여 반출되는 과정을 거친다. 수출물량은 레일 및 트럭을 통하여 반입된 컨테이너가 야드 RMGC를 거쳐 수출야드에 일정기간 장치되어 있다가 다시 야드 RMGC에서 AGV를 거쳐 선박에 적재되는 흐름을 갖는다(그림 4).



(그림 4) RMGC-2 모델

2.3.3 OHBC 모델

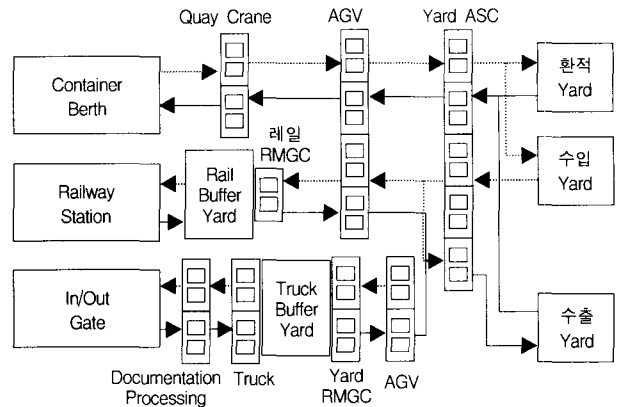
OHBC 모델의 운영시스템은 환적물량 발생시 선석에서 Q/C를 통하여 AGV로 옮겨지고 다시 OHBC(Over Head Bridge Crane)를 통하여 환적야드로 적재되며, 반출시에는 이의 역순을 거치는 과정이 발생된다. 수입물량 발생시 선석에서 Q/C를 통하여 AGV로 옮겨지고 다시 RMGC를 통하여 수입야드로 적재되며 외부 반출시 야드 RMGC에서 일부는 AGV를 거치지 않고 레일이 설치된 야드에서 외부로 반출되고 일부는 외부 트럭을 통하여 반출되는 과정을 거친다. 수출물량 중 레일물량은 레일버퍼 야드의 레일 RMGC에서 AGV를 이용하고 야드 OHBC를 거쳐 수출야드에 장치되고 외부 트럭을 통하여 반입된 컨테이너는 트럭버퍼 야드의 RMGC에서 AGV를 통하여 야드 OHBC를 거쳐 수출야드에 일정기간 장치되며 다시 야드 OHBC에서 AGV를 거쳐 선박에 적재되는 흐름을 갖는다(그림 5).



(그림 5) OHBC 모델

2.3.4 ASC 모델

다른 처리 흐름은 OHBC 모델과 같으나 OHBC 대신 ASC (Automated Stacking Crane)를 이용하며, 외부 반출시 야드 ASC에서 일부는 AGV를 거쳐 레일버퍼 야드에서 레일 RMGC로 외부 반출되고 일부는 AGV를 거쳐 트럭버퍼 야드에서 RMGC로 외부 반출되는 과정을 거친다(그림 6).



(그림 6) ASC 모델

3. 대안 모델별 비교 평가

3.1 자동화 운영부문 비교

각 모델별 자동화 운영시스템을 향한 내의 각 요소별로 특징을 살펴보면 다음의 <표 1>과 같으며, 모델 모두 Q/C는 Apron 위 하역부분만 자동화이며, Apron과 야드 사이는

<표 1> 모델별 자동화 운영부문

구분	내용
RMGC-1 모델	<ul style="list-style-type: none"> 야드내 : AGV에 의한 자동화 외부용 트럭에 대해 유인, Rail은 자동화 수입(반출) : Q/C → AGV → RMGC(유인) → 트럭 Q/C → AGV → RMGC(무인) → AGV → RMGC(임시저장 : 무인) → 철송 환적 : Q/C → AGV → RMGC(무인) → AGV → Q/C 수출(반입) : 트럭 → RMGC(유/무인) → AGV → Q/C 철송 → RMGC(임시저장 : 무인) → AGV → RMGC(무인) → AGV → Q/C
RMGC-2 모델	<ul style="list-style-type: none"> 야드내 : 모델 1과 동일 수입(반출) : Q/C → AGV → RMGC(유/무인) → 트럭/기차 환적 : 모델 1과 동일 수출(반입) : 트럭/기차 → RMGC(유/무인) → AGV → Q/C
OHBC 모델	<ul style="list-style-type: none"> 야드내 : AGV에 의한 자동화 외부용 트럭/레일에 대해 유/무인 수입(반출) : Q/C → AGV → RMGC → 트럭/기차 환적 : Q/C → AGV → OHBC → AGV → Q/C 수출(반입) : 트럭/기차 → RMGC(유/무인) → AGV → OHBC → AGV → Q/C
ASC 모델	<ul style="list-style-type: none"> 야드내 : AGV에 의한 자동화 외부용 트럭/레일에 대해 유/무인 수입(반출) : Q/C → AGV → ASC → AGV → RMGC(유/무인) → 트럭/기차 환적 : Q/C → AGV → ASC → AGV → Q/C 수출(반입) : 트럭/기차 → RMGC(유/무인) → AGV → ASC → AGV → Q/C

자동화 장비인 AGV에 의해 운영된다. <표 1>에서 RMGC-1과 RMGC-2 모델은 현재의 야드 운영시스템과 유사하여 즉시 적용이 가능하나, RMGC-2 모델은 그렇지 않으나 RMGC-1 모델은 야드 내부에 철송이 없어 철송 반출입 운영 시 야드 내에 컨테이너 이동이 발생하게 된다. 또한 RMGC-2 모델은 AGV 주행 Lane이 RMGC-1 모델에 비해 비교적 간단하다. OHBC 모델은 AGV 주행은 단순하고 거리도 짧으나 컨테이너 하역이 비교적 복잡하며, ASC 모델은 야드 장비의 운영이 복잡할 뿐만 아니라 야드의 면적도 다른 모델에 비해 더 많이 필요하게 된다.

따라서 야드의 자동화 장비의 운영측면을 비교해 보면 RMGC-2 모델이 비교적 우수함을 알 수 있다.

3.2 Cycle time 비교

운영시스템의 설계를 위해 야드의 대안 모델들은 토지활용도, 작업의 단순화 정도, 생산성, 소요비용 등 4가지 측면에서 비교 평가할 수 있다. 여기에서는 각 모델들이 자동화 장비의 이동경로를 중심으로 설계했기 때문에 생산성 측면에서 반출입시의 cycle time²⁾을 비교해 보고자 한다.

다음의 <표 2>는 각 모델들을 앞에서 설명한 야드 시물레이션을 이용하여 컨테이너가 목적지에 도달하는 시간을 나타낸 것이다. AGV의 cycle time이 ASC 모델이 가장 짧은 이유는 AGV의 이동거리가 가장 짧기 때문이나 다른 모델들도 각 장비간 cycle time이 약 1~2초 정도의 차이로 그다지 큰 차이를 보이고 있지는 않으나 Queue 모델에 의한 전체적인 컨테이너 흐름을 보면 모델별로 많은 차이가 있다. 또한 이러한 값들은 소요 장비대수 및 사양, 야드 레이아웃 등 야드 시물레이션에 있어 영향을 미치는 요소들이다.

<표 2>에서 알 수 있는 것은 화물의 흐름이 수입과 수출시 장비의 cycle time에 의해 많은 시간 차이를 보인다는 것이다.

RMGC-1 모델의 경우 수입 및 수출화물의 흐름은 동일한 장비를 거쳐 운송되고 있으며 레일의 경우 26.98분이고 트럭의 경우 14.32분의 시간이 소요된다.

RMGC-2 모델의 경우는 수입 및 수출화물의 흐름은 동일한 장비를 거쳐 운송되고 있으며 레일이나 트럭까지 화물의 운송에 있어서 모두 같은 종류의 장비를 이용하기 때문에 15.98분의 시간이 소요된다.

OHBC 모델의 경우는 수입 및 수출화물의 흐름이 동일한 장비를 거쳐 운송되지 않기 때문에 수입화물의 흐름과 수출화물의 흐름이 다르다. 따라서 수입화물은 14.71분, 수출화물은 28.92분으로 수입과 수출화물 처리에 많은 시간 차이를 보이고 있다.

ASC 모델의 경우는 수입 및 수출화물의 흐름은 동일한 장비를 거쳐 운송되고 있으며 레일이나 트럭까지 화물의 운송에 있어서 모두 같은 종류의 장비를 이용하기 때문에 26.30분의 시간이 소요된다.

<표 2> 모델별 장비들의 사이클 시간

(단위 : 분)

구 분		RMGC-1 모델	RMGC-2 모델	OHBC 모델	ASC 모델
AGV	본선/처리용	10.43	11.75	11.08	9.03
	반출입처리용	10.43	11.75	11.08	9.03
RMGC	본선/처리용	1.82	1.98	1.69	1.75
	반출입처리용	2.07	2.25	1.94	2.00
OHBC	본선/처리용			2.25	
	반출입처리용			2.57	
ASC	본선/처리용				2.91
	반출입처리용				3.33
계	수입화물	레일 : 26.98 트럭 : 14.32	15.98	14.71	26.30
	수출화물	레일 : 26.98 트럭 : 14.32	15.98	28.92	26.30

여기에서 OHBC 모델을 제외한 나머지 모델의 경우 수입과 수출 컨테이너의 도달시간이 동일하며 이중 레일과 연계되는 도달시간의 경우 RMGC-2 모델이 가장 우수하고 (RMGC-2 모델 > ASC 모델 > RMGC-1 모델의 순), 트럭과 연계되는 경우는 RMGC-1 모델이 가장 짧은 시간을 보이고 있다(RMGC-1 모델 > RMGC-2 모델 > ASC 모델의 순). OHBC 모델의 경우에는 운영체제가 근본적으로 수입과 수출시 연계되는 장비의 종류가 달라 두 값의 차이를 보이고 있다. 따라서 4개의 모델을 비교해 본 결과 전반적으로 RMGC-2 모델이 레일, 트럭의 연계시와 수입과 수출 흐름에 있어 가장 짧은 cycle time을 보이고 있는데, 이것은 가장 간단하고 단순한 야드 운영체제에 기인한 것으로 판단된다.

4. RMGC-2 모델과 기존모델과의 경제성 비교

대안 모델들 중 RMGC-2 모델이 생산성 측면에서 높은 달성도를 보이고 있음을 알 수 있으나, 현재 우리나라에서 운영되고 있는 기존 항만의 운영모델과의 경제성 측면을 비교해 보고자 한다. 경제성이란 항만이 동일한 조건과 서비스 수준 하에서 운영될 때 항만의 생산성을 감안한 개발 및 운영비용을 비교하는 것으로 설명할 수 있다. 여기에서는 자동화장비와 야드 운영시스템 레이아웃, 그리고 운영 측면을 고

2) 장비별 cycle time을 분석하기 위해서는 장비가 처리할 화물의 연간처리량을 먼저 설정해야 된다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같은 산출방식에 의해 연간처리량을 2,080,000TEU로 산정하였다.

연간처리량 = (시간당 처리개수) × (연간 총 크레인작업시간) × (조정계수)
 = ((총 작업시간당 크레인생산성) × (간섭계수) × (소형선계수)) × ((크레인수) × (크레인작업개수) × (이동계수) × (선석점유율) × (전용/공용계수) × (연간시간)) × ((TEU/BOX비율) × (Overstow계수))
 시간당 처리개수는 Post-Panamax급의 Dual Hoist Crane을 기준으로 장비가동률과 총 작업시간당 처리능력을 감안하여 28.5이나 향후 기술의 발전을 감안하여 30개로 한다.
 시간당 처리개수 = 시간당 처리능력 × 장비가동률 × 총 작업시간당 처리능력
 = 45 × 0.79 × 80% = 28.5
 연간 총 크레인작업시간은 4선석을 기준으로 선석당 크레인 3대로 총 12대의 크레인에 크레인 작업개수는 0.93, 이동계수는 0.88, 선석 점유율은 0.66, 전용/공용계수는 여러 운영자가 동시에 이용하는 공용터미널의 개념으로 계수의 값을 1.0으로 가정한다. 그리고 연간시간을 1년 360일에 1일 24시간 작업으로 가정하여 총 8,640시간으로 한다.

려하여 기존 모델로서 재래식 항만인 광양항 1단계(4선석) 레이아웃 설계와 비교한 것이다.

경제적 비용과 편익에 대한 추정기간을 설정하는데 있어서 가장 중요한 요소는 주요 기반 시설에 대한 경제적 내용연수를 결정하는 것이다. 여기에서는 주요기반 시설의 경제적 내용연수를 투자완료 후 30년으로 한다. 또한 본 논문에서는 미래비용을 순현재가치법(Net Present Value)을 중심으로 비교 검토한다.

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

또한 재래식 및 자동화항만 건설을 2005~2010년까지 완료하고 2011년 이후 개장하는 것으로 가정하며, 재래식과 자동화 형태의 항만 개발에 따른 비용은 크게 항만건설비, 하역장비비, 항만운영비로 구분한다.

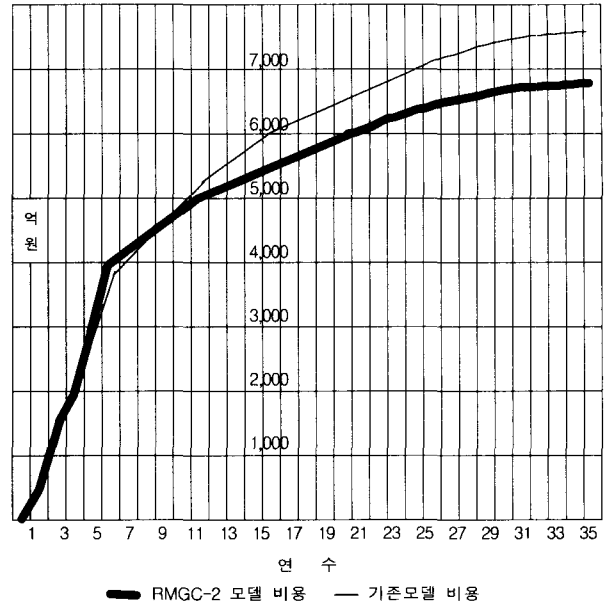
〈표 3〉 항만개발 비용 비교 (단위: 백만원)

구 분	RMGC-2모델	기존모델
항만건설비	421,669	419,115
하역장비비*	225,700	198,747
항만운영비**	18,462	39,929

* Q/C는 두 모델 모두 12대, 이송장비는 RMGC-2 모델은 AGV 76대, 기존 모델은 야드트래커 84대, RMGC는 기존모델은 22대이며, 장비가격은 자동화장비인 경우 장비제작사의 제시가격이며, 기존모델의 장비는 실제 구입가격을 적용한 것임.
 ** 항만운영비는 인건비 위주이며 RMGC-2 모델의 경우 야드내 자동화 구간 에 이동장비 및 야드장비 기사의 대부분이 소요되지 않는다. 다만 자동화에 따른 일부 새로운 업무에 인력이 추가된다. RMGC-2 모델의 인력은 Ballis의 논문에서 네덜란드 항만인 BCT의 인원을 산출한 자료를 적용하였다[12].

이상과 같은 두 모델의 연간 비용을 현재가치로 환산하여 누적시켜 나갈 때 (그림 7)에 나타낸 바와 같이 항만 개

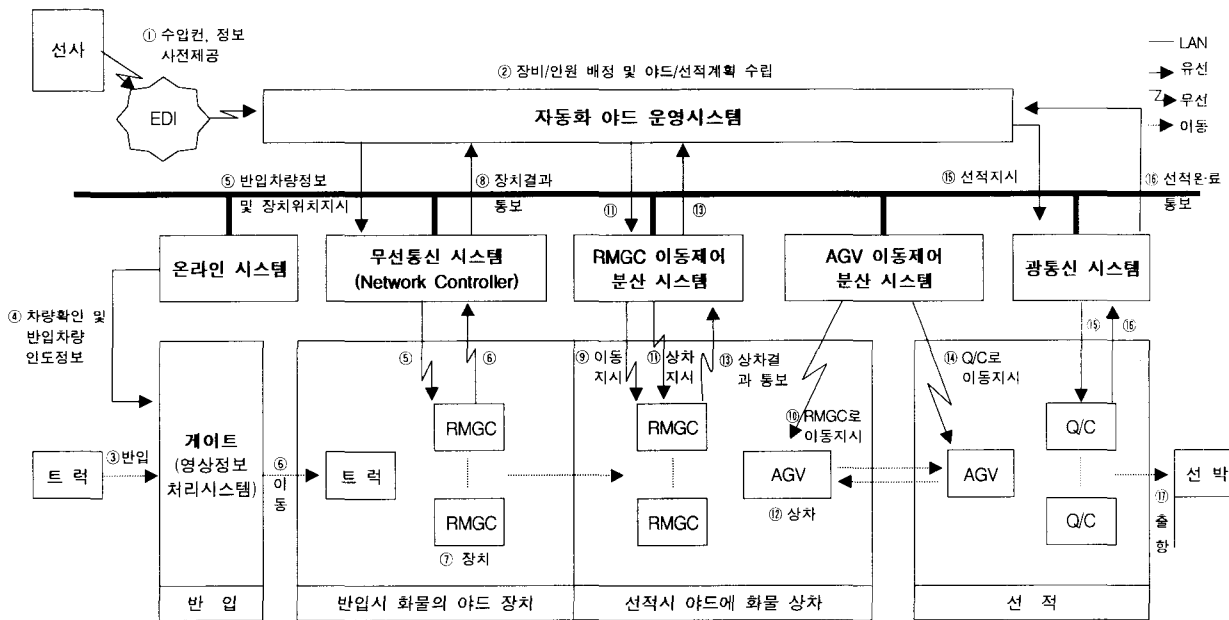
장이후 3년부터는 RMGC-2 모델 비용이 기존 모델의 비용보다 낮아지게 됨을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 RMGC-2 모델에 의한 항만의 건설이 자동화에 따른 유도되는 많은 타 분야의 경제적·비경제적 이익을 감안하지 않더라도 기존 모델에 비해 경제성이 있음을 나타내는 것이라 할 수 있다.



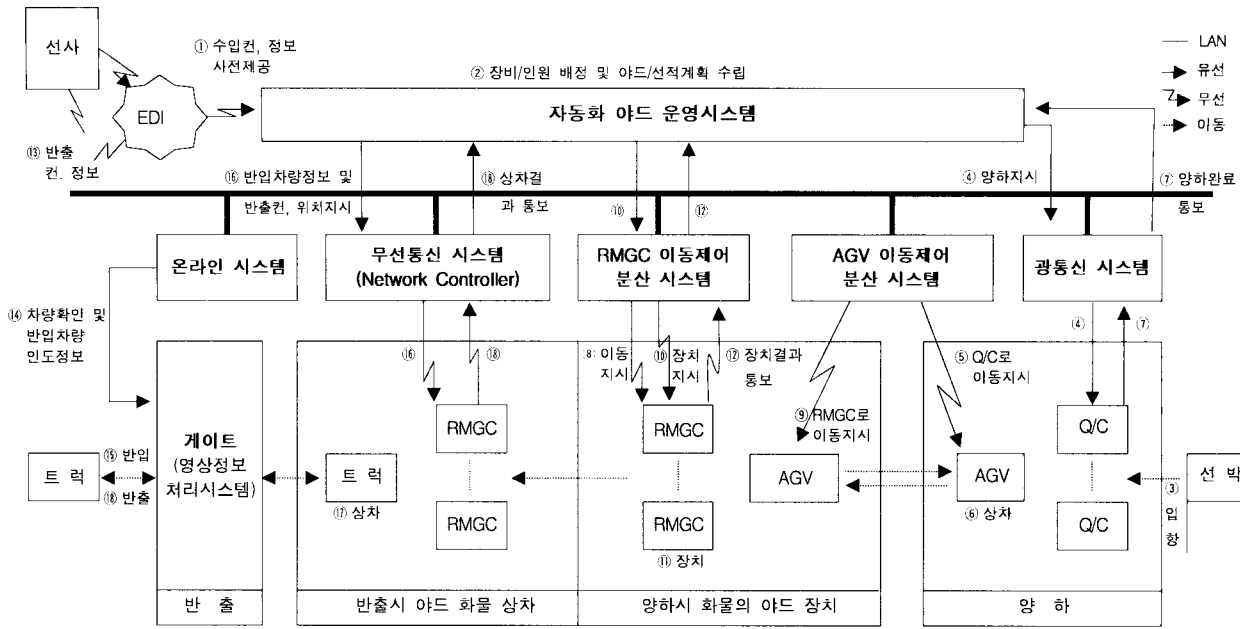
(그림 7) RMGC-2 모델과 기존 모델의 누적비용 비교

5. 야드 운영시스템 레이아웃 설계

대안 모델들 중 RMGC-2 모델이 생산성 측면에서 높은 달성도를 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 RMGC-2 모



(그림 8) 야드 운영시스템 레이아웃(수출)



(그림 9) 야드 운영시스템 레이아웃(수입)

텔의 자동화 운영 방안을 토대로 수출입 화물별로 야드 운영시스템의 레이아웃을 설계하면 다음과 같다.

5.1 야드 운영시스템 레이아웃(수출화물일 경우)

앞의 (그림 8)에 나타난 바와 같다(트럭 → 게이트 → RMGC → AGV → Q/C).

5.2 야드 운영시스템 레이아웃(수입화물일 경우)

위의 (그림 9)에 나타난 바와 같다(Q/C → AGV → RMGC → 게이트 → 트럭).

6. 결 론

자동화터미널의 운영시스템 레이아웃을 설계하는 데에는 무엇보다도 어떠한 자동화 장비를 사용하느냐에 따라 그 생산성이 달라진다. 그러나 현실적으로 비용측면과 기존의 수작업 또는 반자동화 작업의 흐름을 도외시할 수 없으며, 그에 따라 기존의 작업 흐름을 최적화하고, 기존장비와 자동화장비의 대체로 작업의 혼선이 발생하지 않는 방법이 가장 효율성을 기대할 수 있을 것이다. 따라서 이 논문에서 제시한 RMGC-2 모델의 방법을 토대로 레이아웃을 설계하는 것이 위의 상황을 가장 만족시킬 수 있다고 할 수 있다. 그러나 이 논문에서 설계한 야드 운영시스템 레이아웃대로 운영이 되기 위해서는 무엇보다도 해당 자동화 장비들의 개발이 우선적으로 이루어져야 하며, 특히 우리나라의 기술로 개발이 이루어질 때 보다 더 높은 경제적 가치가 있을 것이다. 하지만 현재는 기술 개발이 그렇지 못한 상황으로서 시급히 기술개발을 필요로 한다. 다음의 <표 4>는 선진

국의 기술수준을 100으로 했을 때 국내 장비제작업체의 기술수준을 평가한 것이며, 국내 기술수준은 인적자원, 제작설비, 경험 등을 고려한 전반적인 수준을 의미한다. 이 평가표는 장비제작업체(삼성중공업, 현대중공업, 대우중공업, 한진중공업, 한국중공업 및 관련부품업체)와 항만(부산의 기존항만과 신항만, 광양항, 감천항), 그리고 한진해운, 현대상선, 조양상선, 셋방기업 등을 방문, 또는 현황조사 설문에 의해 작성한 것이다.

<표 4> 국내 장비제작 기술수준 평가표

주요항목	국내 기술 수준	핵심 기술 확보율	선진국 수준 개발 소요 기간	핵심기술 개발방법
				● 국내 개발 ◎ 외국 자문 ○ 수입 의존
Q/C	65%	55%	4년	• 설계 및 제작기술 ● • 제어 및 인식기술 ◎ • 구동 및 제어시스템 ○
RMGC	65%	60%	4년	• 설계 및 제작기술 ● • 네비게이션 연계 ◎ • 구동 및 제어시스템 ○
AGV	45%	40%	4년	• 설계 및 제작기술 ● • 네비게이션 연계 ◎ • 구동 및 제어시스템 ○
게이트운영 시스템	90%	70%	2년	• 화상처리기술 ●
네비게이션 시스템	55%	40%	4년	• Networking & comm. ○
항만운영 시스템	90%	55%	3년	• 통합관리 및 제어기술 ● • 장비 연계 및 유지보수 ●
대고객 서비스 시스템	90%	80%	3년	• 인터넷운용 및 응용 ●
항만운영 계획시스템	90%	85%	3년	• 전문가시스템 및 최적화기술 ●

참 고 문 헌

[1] 김창곤, "시뮬레이션 모델을 이용한 컨테이너터미널 안벽능력 분석", 한국해양수산개발원, 2000.

[2] 임재민, 유병세, 김홍태, "항만 물류시스템 분석을 위한 시뮬레이션 모델 개발", 한국항만학회, '98 추계학술대회논문집, pp. 99-105.

[3] 김우선, 남기찬, "컨테이너 터미널 운영 개선을 위한 시뮬레이션 시스템 설계", 한국항만학회 '98 추계학술대회논문집, pp. 125-135.

[4] 류명욱, 김갑환, "트랜스퍼 크레인의 컨테이너 취급시간에 관한 연구", 대한산업공학회/한국경영과학회 '98 춘계공동학술대회논문집, 1998.

[5] 박창호, 노홍승, 정희균, "시스템적 접근에 의한 자동화컨테이너 터미널 개발 과제 도출", 한국항만학회 '98 추계학술대회논문집, pp.51-58.

[6] 류명욱, "컨테이너 터미널에서의 작업시간에 관한 연구", 부산대학교 대학원, 1998.

[7] 한국해양수산개발원, "자동화 컨테이너터미널 개발사업 타당성 검토 용역", 1998.

[8] 부산대학교 컴퓨터응용기술 산학공동연구소, "수출입 컨테이너 장치장 배정 전산시스템의 개발", 1995.

[9] TAO CHEN, "Yard operations in container terminal - a study in the 'unproductive moves'," *marit. pol.*, Vol.26, No. 1, pp.27-38, 1999.

[10] Jan van Beemen, Ruud van der Ham, Anko Nagel, "Feasibility Study for Automated Container Terminal in Korea," Review of KMI report, 1998.

[11] Ward, T. A. and R. Johansen, "Simulation Analysis in Terminal Planning, Pier 300 Marine Terminal Port of Los Angeles," presented at Planning and Research Seminar, AAPA, Tempa, Florida, pp.24-26, April, 1996.

[12] Ballis, A. and C. Abacoumkin, "A Container Terminal Simulation Model with Animation Capabilities," *Journal of Advanced Transpotation*, Vol.30, No.1, pp.37-57, 1995.

[13] Hayuth, Y., M. A. Pollatsch, Y. Roll, "Building A Port

Simulator," *SIMULATION*, Vol.63, No.3, pp.179-189, 1994.

[14] Merkurjev, Y., J. Tolujew, E. Blumel, L. Novitsky, E. Ginters, E. Viktorova, G. Merkurjeva and J. Pronins, "A Modeling and Simulation Methodology for Managing the Riga Harbour Container Terminal," *SIMULATION*, Vol. 71, No.2, pp.84-95, 1998.

[15] Savelsbergh, M. and M. Sol, "DRIVE : Dynamic Routing of Independent Vehicles," *Operations Research*, Vol.46, No. 4, pp.474-490, 1988.



홍 동 희

e-mail : sonbal2000@dreamwiz.com

1981년 홍익대학교 전자계산학과(학사)
 1987년 연세대학교 산업대학원 전자계산 전공(공학석사)
 1999년 경희대학교 대학원 전자계산 공학과(공학박사 수료)

1981년~1984년 군수사령부 관리정보처 전산개발과 프로그래밍 설계장교

1984년~1987년 삼성SDS s/w 개발부

1987년~1999년 한국해양수산개발원 정보시스템연구소 책임연구원

2000년~현재 동원대학 e-비즈니스과 겸임 조교수

관심분야 : planning, 물류정보시스템, 시스템설계방법론 등



정 태 충

e-mail : tcchung@khu.ac.kr

1980년 서울대학교 전자공학과(학사)

1982년 한국 과학 기술원 전자공학전공 (공학석사)

1987년 한국 과학 기술원 전자공학전공 (공학박사)

1987년~1988년 KIST 시스템 공학센터 선임연구원

1988년~현재 경희대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야 : 인공지능 등