

표면반응법을 이용한 자동화 컨테이너 터미널의 버퍼 장치장에서의 장비 규모 결정

배 종 육^{*} · 양 창 호^{*} · 김 갑 환^{**}

Determination of Fleet Size of Equipment in Buffer Yard of an Automated Container Terminal by using a Response Surface Methodology

J. W. Bae · C. H. Yang · K. H. Km

Key Words : 자동화 컨테이너 터미널(automated container terminal), 시뮬레이션(simulation), 완충 지역(buffer), 반응표면방법론(response surface methodology), 운영전략(operational strategy)

Abstract

In this paper, we discuss how to operate a buffer yard in an automated container terminal, which will be used for resolving the difficulties to which the interaction between external manned trucks and internal unmanned equipment led. The determination of fleet size of material handling equipment is an important issue in designing of buffer yard in automated container terminals. This research also addresses the issue of determining buffer capacities through simulation. By using response surface methodology (RSM) for efficient experimentation, the optimal combination of design parameters under applicable operational strategies is obtained.

1. 서 론

항만에서의 물류비용 절감을 위해서는 인력 위주의 하역작업을 탈피하여 기계화되고 자동화된 하역 시스템의 도입이 필요하다. 이미 로테르담항을 비롯한 여러 선진항만에서는 항만의 완전자동화, 혹은 부분자동화 터미널을 건설·운영 중에 있다.

* 한국해양수산개발원 항만시스템연구실
** 부산대학교 산업공학과

자동화 컨테이너 터미널의 도입을 위해서는 하드웨어뿐만 아니라 소프트웨어 측면에서 기존 재래식 터미널의 구성 요소와는 차별되는 다른 구성 요소가 고려되어야 한다. 일반적으로 자동화 컨테이너 터미널은 하드웨어 측면에서 하역장비와 이송장비의 무인화로 인식된다. 무인 하역장비로는 RMGC (Rail mounted gantry crane), ASC (Automated Stacker Crane), OHBC (Overhead Bridge Crane) 등을 들 수 있고 이송장비로는 AGV (Automated Guided

Vehicle) 등이 이미 설치·운영되고 있다.

자동화 컨테이너 터미널은 무인화를 통한 노동력 절감, 자동화 장비의 운영을 통한 생산성 향상, 운영 정보의 활용을 통한 고품질 서비스 제공 등의 여러 장점이 있다. 반면에 초기투자비가 크고 문제발생시에 대처능력이 부족하며 운영시스템이 복잡해진다는 단점이 있다. 특히, 신뢰성을 요구하는 하역작업에서 외부 트럭 등의 유인장비와 무인 장비와의 인터페이스에는 아직 많은 기술적 어려움이 있다.

본 연구는 외부 트럭과 무인 장비간의 연계작업이 원활히 수행되도록 완충 역할을 하는 버퍼 야드를 자동화 터미널에 설치한다고 가정하고 이 때 적정 서비스 수준을 만족하기 위해 필요한 장비규모를 산정하는 문제를 다루었다.

버퍼 야드는 외부 트럭이 자동화 영역에 진입하지 않게 함으로써 연계작업시에 발생될 수 있는 문제점을 사전에 방지할 뿐만 아니라 장치공간의 낭비제거, 작업부하의 밸런싱의 효과를 기대할 수 있다.

하지만 컨테이너의 조작 횟수가 늘고 버퍼 야드의 설치를 위한 장치공간과 야드의 무인장비와 외부트럭을 연결하기 위한 장비가 추가적으로 필요한 단점이 있다. 또한 터미널의 전체 생산성을 고려한 버퍼 야드에서의 장비배차와 같은 운영논리도 제시되어야 한다.

일반적으로 장비규모의 산정 문제에는 수리적 분석, 대기 네트워크 이론 그리고 시뮬레이션 기법 등이 많이 적용된다. 본 연구에서는 버퍼 야드에서 수행되는 작업들의 상호작용 등의 시스템의 복잡성을 반영하기 위해 시뮬레이션을 이용하여 버퍼 야드의 운영을 모델링하였다. 그리고 시뮬레이션 실험을 통해 얻어지는 결과를 통해 목표 대기시간을 만족하는 적정 장비규모를 산정할 때 보다 효율적으로 의사 결정하기 위하여 반응표면방법론(Response Surface Methodology)을 적용하였다.

지금까지의 컨테이너 터미널에 대한 연구는 주로 재래식 컨테이너 터미널을 대상으로 이루어졌다. 김 (1999)은 수입장치장에 대해 하역장비의 이동시간 모형과 장치 공간의 크기를 결정하는 모형을 개

발하였고 관련 비용을 고려한 비용모형을 이용하여 최적의 공간의 크기와 장비의 대수를 동시에 결정하는 모형을 개발하고 해법을 제시하였다. Taleb-Ibrahimi, et al (1993)는 수출 컨테이너에 대해서 장치전략과 장비의 작업량을 고려하여 장치 소요량에 대한 수리적 분석을 하였다. De Castilho 와 Daganzo (1993)는 선박의 입항 스케줄을 반영하여 수입장치장의 저장전략에 따른 작업량의 관계를 분석하였고 Chung, et al (1988)은 효율적인 본선작업의 수행을 위해 필요한 장비규모를 연구하면서 버퍼 야드를 운영하는 문제를 다루었다.

자재취급시스템의 측면에서 제조시스템의 버퍼와 본 연구의 버퍼 야드는 유사한 특징을 가지고 있다. Egbelu와 Tanchoco (1984)는 기계와 AGV의 배차규칙이 버퍼 크기, 산출량과 배치설계 등의 작업장 설계에 영향을 미친다는 점을 보였다. 그래서 작업장 운영에서 적용될 운영규칙이 전체 시스템의 수행도를 최대화하기 위해서는 설계단계에서 통합적으로 고려되어야 한다고 하였다. Shang (1995)은 제조시스템의 설계와 최적화를 위해 두 가지의 방법을 결합하여 사용하였는데 하나는 시뮬레이션의 산출결과의 변동을 줄이기 위한 Taguchi 방법이고 두 번째는 수리적 기법과 통계적 기법을 결합한 반응표면방법론이었다. 자재취급시스템을 구성하는 중앙 버퍼와 지역 버퍼의 크기를 결정하기 위해 시뮬레이션 기법과 반응표면방법론을 적용한 예는 Mahadevan (1993)의 연구에서 살펴볼 수 있다.

2장에서는 컨테이너 터미널의 특성을 고려할 때 예상되는 버퍼 야드의 기능과 효과를 살펴보았다. 장비의 배차를 중심으로 한 운영전략에 대해서는 3장에서 다루었으며 4장에서는 본 연구에서 적용된 반응표면방법론의 절차를 정리하였다. 5장에서는 의사결정과정의 간단한 적용예를 정리하였고 본 연구의 결론과 추후연구에 대해서는 마지막 장에 요약하였다.

2. 자동화 컨테이너 터미널의 버퍼 야드

본 연구에서는 터미널의 블록이 안벽 법선과 평행하게 배치되고 마샬링 야드 (marshaling yard)와 계

이트 (gate)와의 중간영역에 버퍼 야드가 설치된 수평배치 형태의 자동화 컨테이너 터미널을 다루고자 한다. 이의 배치도를 Fig. 1에 묘사하였다.

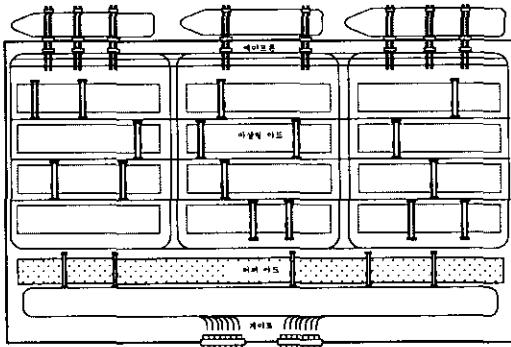


Fig. 1 Layout of an automated container terminal

외부 트럭에 대한 반출입 작업이 마셜링 야드에 설치된 무인 야드 크레인에 의해 수행된다고 가정하자. 이때 야드 크레인은 작업지점에 대기 중인 외부 트럭의 정지위치와 컨테이너의 적재위치를 인식한 후 하역작업을 수행한다. 하지만 외부트럭이 가지는 다양한 조건을 수용할 수 있는 제어기술을 도입하기 위해서는 투자비용이 크게 증가할 뿐만 아니라 작업 생산성이 저하될 것으로 예상된다. 또한 작업과정에서 발생될 수 있는 안전사고에 대한 대처가 어렵고 장비의 운영에 있어서도 불확실성의 요인이 증가하여 운영시스템을 통한 효율성 증대도 기대하기 힘들다. 자동화 컨테이너 터미널을 운영하고 있는 ECT(Europe Combined Terminals)의 경우를 살펴 보면 AGV와 ASC를 통한 무인장비간의 하역작업은 이러한 문제점이 해결된 검증된 시스템으로 판단된다. 반면 외부트럭에 대한 하역작업은 ASC가 지정된 위치에 컨테이너를 갖다두면 작업자가 운행하는 스트래들 캐리어 (Straddle Carrier)가 이를 처리하는 과정을 거친다.

본 연구에서 제시한 수평배치의 터미널의 경우에는 ECT와 같은 운반시스템은 스트래들 캐리어가 야드 크레인의 작업영역에 접근하기 곤란함으로 적용이 불가능한 것으로 판단된다. 따라서 반출입작업

에 대해서는 Fig. 1에서와 같이 터미널에 설치된 버퍼 야드의 크레인이 외부 트럭에 대한 상하차작업을 수행하고 마셜링 야드의 무인 크레인은 버퍼 야드와 마셜링 야드를 왕복하는 AGV와 같은 이송장비에 대해서만 상하차작업을 처리하는 방안을 고려할 수 있다. 이렇게 되면 유무인 장비간의 인터페이스가 수월해지고 외부 트럭을 위한 동선이 무인 이송장비의 동선과 겹쳐지는 상황을 방지할 수도 있다.

버퍼 야드에 배치되어 반출입 컨테이너를 외부 트럭과 AGV에 하역하게 될 장비의 형태를 Fig. 2에 묘사하였다. 갠чу리 크레인 (gantry crane) 타입의 장비를 제시한 이유는 기동성은 스트래들 캐리어에 비해 떨어지지만 장치능력은 보다 우수하기 때문이고 외부트럭과 AGV의 하역장비이 동기화되는 것이 생산성 측면에서 가장 바람직할 것으로 예상되기 때문이다. 크레인이 안벽에 평행하게 설치되어 있다고 가정할 때 해측 방향에서는 AGV의 상하차작업이 이루어지고 반대편에서는 외부트럭의 상하차작업이 처리된다.

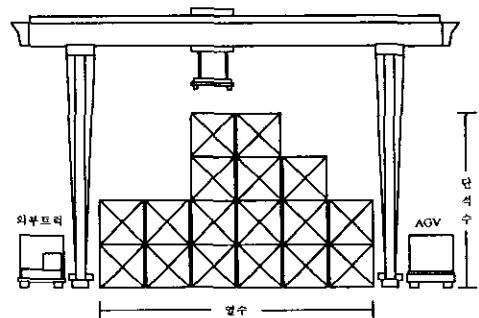


Fig. 2 Gantry crane in buffer yard

본 연구에서는 자동화 컨테이너 터미널의 버퍼 야드가 외부 트럭, AGV 그리고 크레인의 작업이 동기화되지 못한 상황에서 임시적으로 반출입컨테이너를 장치하는 완충 역할을 할 뿐만 아니라 보다 효율적인 터미널 운영을 위하여 활용될 수 있음을 제시하고자 한다. 버퍼 야드에 연계 기능 외에 장치 기능을 가지는 장치공간을 부여한 이유는 항만 운영에

있어 점차 EDI (Electronic Data Interchange) 처리 비중이 증가하여 반출입 화물에 대한 사전 파악이 가능해져 베퍼 앤드의 장치공간을 활용할 수 있다는 점을 가정했기 때문이다. 반입화물에 대해서는 작업 발생 시점의 이후에 그리고 반출화물에 대해서는 작업 발생 시점의 이전에 각각 베퍼 앤드에서 마셜링 앤드로 그리고 마샬링 앤드에서 베퍼 앤드로 컨테이너를 운반함으로써 마셜링 앤드의 저장공간과 마셜링 앤드 하역장비의 능력을 최대한 활용할 수 있다.

베퍼 앤드의 활용방안을 수립하기 위해 컨테이너 터미널이 지니는 특성을 살펴보고자 한다. 먼저, 선박의 반입 컨테이너가 장치장에 장치될 때 누적 물량에 대한 일반적인 형태를 Fig. 4에 표시하였다. 그림에서 굵은 실선은 실제 도착물량을 나타내고 점선은 예측한 도착물량을 표시한다고 하자. 그리고 가는 실선은 예측 도착물량에 따라 할당된 장치공간을 의미한다. t_0 과 t_2 는 각각 무료장치기간의 시작시점과 반입마감시점을 의미하고 t_3 은 반입 컨테이너가 선박에 적하 완료된 시점을 나타낸다. 이때 반입의 초기 기간은 도착물량은 적으면서 예측물량과 실제 반입물량의 차이가 많아 마셜링 앤드에 적재될 때 장치효율과 적하작업의 생산성을 떨어뜨리는 주요 원인이 된다.

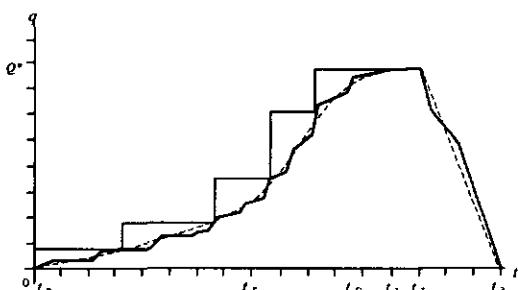


Fig. 4 Arrival pattern of export containers for a ship

Fig. 5는 일일동안 컨테이너 터미널을 통과하는 외부트럭의 도착 패턴을 분석한 결과를 보여준다. 주간에 외부 트럭의 작업량이 많고 야간에는 급격히

게 감소하는 경향을 나타낸다. 이는 터미널 운영자가 작업 여건을 조절하기 때문이라기 보다는 외부 트럭의 운영이 지니는 특성이라고 판단된다. 따라서 터미널의 설계시, 즉 하역 및 이송 장비의 규모를 산정할 때에는 작업물량이 집중되는 주간을 기준으로 의사결정이 이루어지게 된다. 개래식 터미널의 경우에는 작업물량의 불균형에 대해 투입인력의 조정, 일부 시설물 폐쇄 등의 조치를 취하는데 비해 자동화 컨테이너 터미널의 경우에는 인력 조절에 따른 효과가 적고 일일 24시간 지속적으로 운영되는 것이 보다 경제적이다.

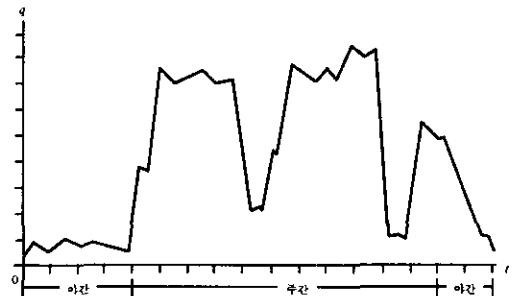


Fig. 5 Arrival pattern of external trucks during a day

반입물량과 외부트럭의 도착 패턴에서 살펴본 특성은 베퍼 앤드의 저장 기능을 부여함으로써 터미널의 작업부하를 일부 평준화시킬 수 있고 또한 마셜링 앤드의 장치계획이 보다 효율적으로 수립될 수 있는 점을 보여준다.

주간에 도착하는 반입 컨테이너의 경우에는 베퍼 앤드에 장치한 다음 작업 부하가 적은 야간을 이용하여 마셜링 앤드에 이적함으로써 주야간의 작업부하를 조정한다. Fig. 4에서 반입 컨테이너의 일정량에 도달하기 전의 t_5 시점까지는 컨테이너를 마셜링 앤드에 장치하지 않다가 적정 물량이 확보되었을 때 장치계획을 작성하여 이적작업을 수행한다. 이렇게 되면 장치공간의 할당계획이 보다 효과적이다. 하지만 반입물량이 증가하여 이를 베퍼 앤드에 저장하게 되면 베퍼 앤드에서 필요한 장치공간이 커지게

된다. 따라서 t_s 에서 t_b 기간동안에는 매일 야간에 이적작업을 통해 버퍼 야드에 대한 정리작업을 수행하는 것이 바람직한 것으로 예상된다. 그리고 반입 마감이 임박한 t_b 에서 t_i 의 기간에는 이적작업이 발생되지 않도록 바로 마셜링 야드에 장치시켜야 할 것이다.

반출작업의 경우에도 작업예정 정보가 있으면 반입작업에서와 마찬가지로 일일 작업부하를 분산시킬 수 있다. 야간을 이용하여 실제 작업의 사전에 버퍼 야드에 반출 컨테이너를 옮겨둠으로써 마셜링 야드의 크레인과 마셜링 야드에서 버퍼 야드로의 AGV 운반작업이 일시에 폭주하는 경우를 방지할 수 있다. 하지만 현재의 터미널 운영을 살펴보면 대부분의 반출작업은 외부 트럭이 도착한 시점에 확인된다. 따라서 반출작업은 주로 마셜링 야드에서 반출 컨테이너를 실어 버퍼 야드로 운반 후 대기 중인 AGV에서 버퍼 야드의 크레인이 바로 외부 트럭으로 이적시킬 것으로 예상된다.

지금까지 살펴본 버퍼 야드에서 수행되는 작업들 중에서 본 연구에서 다루고자 하는 주요 작업을 정리하면 다음과 같다.

- 야드 크레인이 외부 트럭에서 AGV로 반입 컨테이너를 직접 이적하는 경우 (직반입작업)
- 야드 크레인이 AGV에서 외부 트럭으로 반출 컨테이너를 직접 이적하는 경우 (반출작업)
- 추후 이적작업을 예상하고 야드 크레인이 외부 트럭에서 반입 컨테이너를 받아 버퍼 야드에 장치하는 경우 (반입작업)

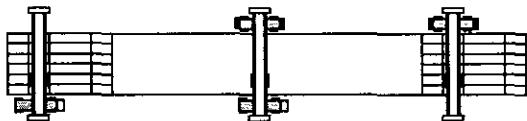


Fig. 6 Operations of yard crane in buffer yard

Fig. 6은 버퍼 야드에서 크레인의 작업을 간단히 묘사하고 있다. 그림의 상변이 마셜링 야드이고 하변의 방향이 게이트라고 하면 원쪽 크레인은 외부

트럭이 도착하여 반입작업을 하고 있는 것이다. 중간 크레인은 외부 트럭과 AGV가 동시에 도착하여 직반입 또는 반출작업을 수행하고 있으며 오른쪽 크레인은 추후 이적작업시에 AGV가 도착한 상황을 묘사한 것이다.

3. 시뮬레이션 모델

버퍼 야드에서 수행되는 작업별로 적절한 운영규칙을 적용하여 수리적 모델을 통해 장비 규모를 산정하는 것은 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 2절에서 언급한 운영방식을 반영한 시뮬레이션 모델을 작성한 다음 시뮬레이션 실험을 통해 얻은 결과를 가지고 적정 장비규모를 결정한다.

본 연구의 시뮬레이션 모델에서 가정한 사항은 다음과 같다.

- (1) 버퍼 야드와 마셜링 야드 사이의 운반작업만을 수행하는 AGV가 있다.
- (2) 게이트를 통과하는 외부트럭의 작업지점은 버퍼 야드에 균등하게 배정된다.
- (3) 작업을 마친 AGV는 마지막 작업지점에서 대기 한다.
- (4) 각 야드 크레인은 버퍼 야드에 중복되지 않는 작업영역을 가진다.

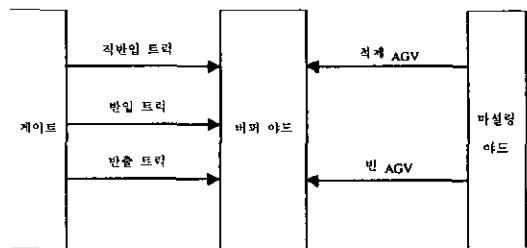


Fig. 7 Operation of buffer yard

시뮬레이션 모델의 대략적인 구성을 Fig. 7에 묘사하였다. 본 연구에서는 버퍼 야드에서의 장비 운영에 대해서는 상세히 묘사하고 게이트와 마셜링 야드에서의 작업 흐름은 단순화하였다.

외부 트럭이 터미널에 도착하여 버퍼 앤드에 직반입작업, 반입작업 그리고 반출작업이 발생하여 야드크레인과 AGV에 작업을 할당하기 위한 배차규칙(dispatching rule)은 다음과 같이 설정하였다.

(1) AGV 배차규칙

외부 트럭이 게이트에 도착한 시점에 작업요구가 발생하고 유휴 AGV은 선입선출의 원칙에 따라 작업을 수행한다. 이때 직반입작업은 버퍼 앤드에 대기 중인 AGV에 우선권이 있고 반출작업은 마셜링 앤드에 대기 중인 AGV에 우선권을 주었다.

(2) 크레인 배차규칙

외부 트럭이 버퍼 앤드의 작업지점에 도착한 시점에 작업요구가 발생하고 유휴 크레인은 선입선출의 원칙에 따라 작업을 수행한다.

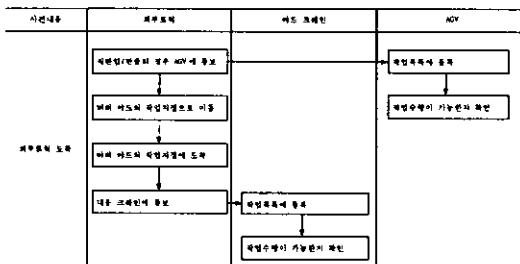


Fig. 8 Simulation process for an arrival of an external truck

외부 트럭의 도착 사건에 대해 크레인과 AGV에 작업요구가 전해지는 과정을 Fig. 8에 도식화하였다. 시뮬레이션 모델은 지식기반 객체지향 프로그래밍 언어인 G2를 이용하여 개발하였다.

4. 반응표면방법론의 적용

3절의 시뮬레이션 모델을 이용하여 운영장비의 규모를 변경하면서 실험에서 얻어지는 외부 트럭의 평균대기시간을 목표대기시간과 비교하여 적정 장비 규모를 산정할 수 있다. 하지만 의사결정변수의 조합이 많아지면 탐색영역이 크게 늘어 실험비용과 수행시간이 증가한다. 따라서 상세한 시뮬레이션의 분

석 이전에 대략적인 의사결정을 필요로 하는 실험에서는 보다 효율적인 실험방법의 적용이 필요하다.

반응표면방법론이란 실험설계와 회귀분석을 반복하여 처리와 반응간의 관계를 근사시킴으로써 최적 반응점을 구하는 방법을 말한다.(Brightman, 1978) 양적 처리들에서 반응에 대한 처리 효과의 종속성은 처리가 둘 이상의 처리 요인들의 수준조합인 경우에는 반응표면 (response curve)의 형태로 표현된다. 반응표면의 형태를 탐색하여 처리와 반응, 또는 입력변수 (input variable)와 출력변수 (output variable)간의 구조적 관계를 통찰할 수 있으며 최적 반응 (optimal response)을 주는 처리 조합을 찾을 수 있다. 반응표면방법론을 이용하더라도 한 번 실험으로 최적 반응을 결정하기란 매우 어렵다. 최적 반응이 실제 실험이 진행된 실험 영역 (experimental region) 또는 관심 영역 (region of interest)에서 벗어나 있을 수도 있고 탐지한 최적 반응이 전역 최적 (global optimum)이 아닌 국소 최적 (local optimum)일 수도 있기 때문이다. 그리고 반응표면방법론은 전체 시스템의 구조를 이해하려는 목적으로는 사용되지 않는다. 분석 과정에서 부수적으로 그러한 정보를 얻을 수는 있겠지만 반응표면방법론의 궁극적인 목적은 최적 반응점을 찾는데 있다.

일차(first-order) 실험을 위한 일반적인 2단계의 반응표면방법론의 적용 절차는 다음과 같다. (Mahadevan과 Narendran, 1993; Lee, et al, 1996)

(1) 임의의 탐색영역을 설정하여 2^k 요인 실험을 통하여 초기 기준점을 정하고 식(1)과 같은 선형관계식을 추정한다.

$$\hat{\eta} = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i X_i \quad (1)$$

여기서, $\hat{\eta}$ = 시스템 반응의 추정치

a_0 = 기준점에서의 시스템 반응

a_i = i 번째 의사결정변수의 회귀계수

X_i = i 번째 의사결정변수의 값

(2) 현재의 기준점에서 새로운 점으로 이동한 후 다시 실험을 수행하여 현재 가정된 일차 모형이 적절한지 통계적으로 유의한지를 판단한 다음 최적 반응을 주는 방향으로 실험 영역을 새로 설정하고 이상의 단계들을 반복한다.

본 연구에서는 적용한 절차는 반응의 최적점을 대기시간의 최소화가 아니라 목표대기수준을 만족하는 점으로 정의하고 이산형 독립변수가 사용된다는 문제의 특성을 고려하여 아래와 같다. 베퍼 야드에서 운영될 AGV와 야드 크레인의 대수를 의사결정 변수로 정하고 이들을 각각 X_1 , X_2 로 나타내었다.

단계 1. 적정한 실험 영역을 정하여 2²요인 실험을 실시하고 초기 기준점을 설정.

단계 2. 실험 결과를 가지고 일차 회귀식을 추정.

단계 3. 추정한 회귀식에서 추정값이 0보다 크면서 목표대기시간에 가장 근접한 의사결정변수의 조합을 찾아 새로운 기준점으로 설정. 본 연구에서는 의사결정변수가 정수형이므로 각 의사결정변수의 증가분은 1로 설정하였다.

단계 4. X_1 , X_2 를 변경하여 실험을 수행하여 평균 대기시간이 목표대기시간보다 적으면 단계 5로 가고 아니면 새로운 기준점에 대해 실험영역을 설정한 다음 실험을 수행하여 단계 2로 감.

단계 5. 의사결정변수들의 조합을 최적 설계안으로 결정함.

본 연구에서 제시한 반응표면방법론의 적용의 예를 보이기 위해 Table 1과 같은 입력자료를 가지고 시뮬레이션 실험을 실시하였다. 전체 실험영역을 크

Table 1 Input parameters and experimental conditions for an illustration

항 목	설정값(단위:분)
외부트럭의 도착간격시간	지수분포(2.5)
도착 트럭의 작업비율	직반입:반입:반출 = 10:40:50
외부 트럭의 베퍼 야드의 작업지점까지의 이동시간	일양분포(1, 5)
베퍼 야드에 대기 중인 AGV가 반출 컨테이너 가져오기	일양분포(4, 10)
마셜링 야드에 대기 중인 AGV가 반출 컨테이너 가져오기	일양분포(2, 8)
목표대기시간	10분
야드 베퍼의 배이수	120배이
워밍업기간	100번째 외부 트럭의 작업종료
수행기간	1000번째 외부 트럭의 작업종료

Table 2 Regression coefficients for buffer yard

번호	Base point		Base point의 대기시간	회귀계수			최적해		대기시간
	X_1	X_2		a_0	a_1	a_2	X_1	X_2	
1	3	3	44.049	332.98	-41.16	-37.79	4	4	14.08
2	4	4	14.076	94.71	-9.32	-9.39	4	5	9.64

레인이 2대에서 8대 그리고 AGV가 2대에서 6대까지로 정하였을 때 모든 실험영역내 의사결정변수의 조합에 대한 시뮬레이션 실험을 수행한 다음 이들 결과를 가지고 Fig. 9와 같은 반응표면을 구해보았다.

Table 2는 반응표면방법론을 적용하여 목표 대기 시간을 만족하는 의사결정변수의 조합을 찾았을 때 반복과정에서 일어진 회귀계수와 대기시간을 정리한 것이다. 적용예에서는 베퍼 야드에 4대의 크레인과 5대의 AGV가 운영되면 평균 대기시간이 9.64분으로 목표대기시간 10분을 만족하는 장비 규모임을 알 수 있다.

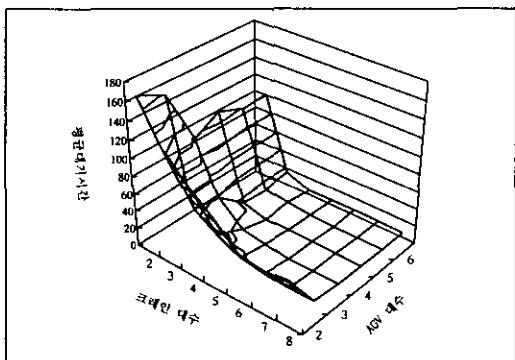


Fig. 9 Full combinatorial experiment

5. 결론 및 추후연구

본 연구에서는 유무인 장비의 원활한 연계작업을 위해 자동화 컨테이너 터미널에 베퍼 야드를 설치할 때 고려되는 요소 중에서 장비 규모의 산정을 다루었다. 먼저, 베퍼 야드를 터미널의 전체의 생산성 향상을 위해 활용할 수 있는 방안을 살펴본 다음 이를 위한 대략적인 운영전략을 제시하였다. 외부 트럭의 평균 대기시간이 목표 대기시간을 초과하지 않는 제약하에 필요한 최소 장비대수를 결정하기 위해서 시뮬레이션 분석을 하였다. 시뮬레이션의 결과를 통해 구하고자 하는 AGV와 야드 크레인의 대수를 보다 효과적으로 산출하기 위해 실험계획법에서 사용하

는 반응표면방법론을 적용한 탐색절차를 이용하였다.

베퍼 야드의 설계에서는 본 연구에서 다룬 적정 장비 규모의 산정 뿐만 장치장 영역의 크기를 동시에 고려되어야 할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서는 완충지역에서 수행되는 작업이 시간대에 따라 구분된다고 가정하여 이적작업에 따른 영향을 고려하지 않았지만 운영전략을 수립하거나 장치장 및 장비규모의 산정에서는 실제 관련을 맺으므로 추후 연구에서는 다루어져야 할 것이다. 시뮬레이션의 실험을 이용한 반응표면방법론의 적용은 많은 연구가 되어왔지만 컨테이너 터미널의 설계 문제에 대한 탐색 과정에 대한 다양한 검토가 필요할 것으로 여겨진다. 또한 장치장의 배치가 수직형태인 경우에는 하역시스템이 달라질 것이므로 이에 대한 연구가 필요하며 투자비용을 고려한 장비규모 산정도 다루어져야 할 것이다.

참고문헌

- 1) 김홍배, 컨테이너 터미널의 수입 장치장 운영정책, 부산대학교 박사학위논문, 1999.
- 2) Taleb-Ibrahim, M., De Castilho, B., and Daganzo, C. F., Storage Space vs Handling Work in Container Terminals, *Transpn Res.-B*, Vol. 27B, No. 1, 1993, pp. 13-32.
- 3) De Castilho, B., and Daganzo, C. F., Handling Strategies for Import Containers at Marine Terminals, *Transpn Res.-B*, Vol. 27B, No. 2, 1993, pp. 151-166.
- 4) Chung, Y. G., Randhawa, S. U. and McDowell, E. D., A Simulation Analysis for a Transtainer-based Container Handling Facility, *Computers ind. Engng*, Vol. 14, No. 2, 1988, pp 113-125.
- 5) Egbelu, P. J., and Tanchoco, J. M. A., Characterization of automated guided vehicle dispatching rules, *International Journal of Production Research*, Vol. 22, 1984, pp.

359-374.

- 6) Shang J. S., Robust design and optimization of material handling in an FMS, *International Journal of Production Research*, Vol. 33, No. 9, 1995, pp. 2437-2454.
- 7) Mahadevan, B. and Narendran, T. T., Buffer levels and choice of material handling device in Flexible Manufacturing System, *European Journal of Operational Research*, Vol. 69, 1993, pp. 166-176.
- 8) Brightman, H. J., Optimization through experimentation: Applying response surface methodology, *Decision Science* Vol. 9, 1978, pp. 481-495.
- 9) Lee, Y. H., Shin, H. M., Yang B. H. , Approach for multiple criteria simulation optimization with application to turning operation, *Computers and Engng* , Vol. 30, No. 3, 1996, pp. 375-386.