

컨테이너터미널 트랜스퍼 크레인의 배정 및 이동경로 최적화 모델

신정훈* · 유성진** · 장명희†

* 한국허치슨터미널(주), **, † 한국해양대학교 해운경영학부 조교수

A Study on Optimized Decision Model for Transfer Crane Operation in Container Terminal

Jeong-Hoon Shin* · Song-Jin Yu** · Myung-Hee Chang†

* Hutchison Korea Terminals, Busan 601-050, Korea

**, † Division of Shipping Management, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요약 : 최근 컨테이너터미널 간의 경쟁이 심화되면서 생산성 측면뿐 만 아니라 비용경제성 측면에도 관심이 부각되고 있다. 특히, 에너지 소비량 및 장비투입 규모가 큰 트랜스퍼 크레인 부문에 대한 비효율적인 작업요소가 컨테이너터미널 경쟁력 제고에 있어서 걸림돌이 되고 있으며 이에 대한 개선은 인적, 물적 운영비용의 절감과 함께 생산성의 향상에도 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대된다. 따라서 본 연구에서는 현재 국토해양부 주관으로 진행 중인 'RFID를 활용한 RTLS 기반 항만물류효율화 사업'을 통하여 제공 가능한 컨테이너터미널 반·출입 대상 컨테이너의 시간적 가시성을 토대로 트랜스퍼 크레인의 배정 및 이동경로에 대한 클러스터링 기반 최적화모델을 제안하고 시뮬레이션 기법을 통하여 기대효과수준을 확인하였다.

핵심용어 : 트랜스퍼 크레인, 경로 최적화, 컨테이너터미널, K-평균 군집화

Abstract : As the excessive competition between container terminals has been deepening, not only productivity, but also cost economic of the terminals has been raised. With regard to this, the competitiveness of the terminals is limited because of inefficiency operation of transfer crane(T/C) which needs large amount of energy consumption. Therefore, it is possible that the improvement in the T/C operation leads to saving cost for resources and energy as well as increasing the productivity of the terminals. This study provides 'the K-Means Clustering based Optimized Decision Model for Transfer Crane Operation', referring to 'RFID & RTLS based Port Logistics Initiative' of Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs and estimates the efficiency through simulating.

Key words : Transfer Crane, Route Optimization, Container Terminal, K-Means Clustering

1. 서론

오늘날 컨테이너 물동량의 지속적인 증가와 항만간의 경쟁 가속화로 인해 항만의 효율적 운영과 서비스향상에 대한 관심과 노력이 증대되고 있다. 과거의 항만은 지역적 독립성을 바탕으로 주변항만과의 경쟁에 크게 노출되어 있지 않았지만 최근에 와서 거점별 중심항만(Hub Port)의 등장과 동일지역내의 항만시설 공급과잉 등으로 인해 컨테이너터미널은 무한 경쟁시대에 돌입했다고 볼 수 있다.

특히 원유가격의 급등과 같은 에너지비용의 가파른 상승 추세는 지금까지 생산성 향상에만 중점을 두고 노력해온 컨테이너터미널 운영사들에게 에너지 및 자원의 절감을 위한 새로운 운영전략의 필요성을 깨닫게 하고 있다.

컨테이너터미널 운영에 있어서 트랜스퍼 크레인(Transfer Crane)은 선석작업을 위한 컨테이너 공급의 시발점이자 외부로

부터 반출·입되는 컨테이너의 적입·적출을 담당하는 중요한 장비로써 안벽생산성에 매우 중요한 영향력을 미치며 아울러 외부트럭의 Turn-around-time과 같은 서비스지표에도 직접적인 연관이 있다. 또한 장비배치 규모뿐만 아니라 에너지소모 비중을 고려할 때 효율성 향상을 위한 개선이 시급한 요소로 주목되고 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 진행 중인 컨테이너 위치인식 인 프라 구축계획을 전제로 가까운 시일 내에 터미널 외부의 이송 중인 컨테이너에 대한 공간적·시간적 가시성 정보를 활용할 수 있다고 가정하고 이를 적극적으로 활용한 트랜스퍼 크레인의 효율적인 배정 및 이동경로 제공을 위한 의사결정 모델을 제안한다. 제안 모델은 현행 트랜스퍼 크레인의 작업방식과 문제점 그리고 관련 선행연구에서 제시하고 있는 운영규칙 및 작업할당 우선순위 등에 대한 분석을 토대로 K-Means Clustering 기법을 적용한 알고리즘을 도출하고 시뮬레이션을

* 대표저자 : 신정훈(정회원), masjh@hotmail.com 010)3843-8638

** 중신회원, coppers@hhu.ac.kr 051)410-4383

† 교신저자 : 장명희(중신회원), cmhee2004@hhu.ac.kr 051)410-4384

통하여 기존의 발견적 기법을 상황에 따라 적용하는 운영방식과의 효율성 비교 검증을 하였다.

2. 트랜스퍼 크레인에 관한 이론적 배경 및 선행연구

트랜스퍼 크레인은 컨테이너 야드에 설치되어 야드에 운반되어진 컨테이너를 적재 또는 반출하는데 사용되는 장비로서 비교적 많은 양의 컨테이너를 적재할 수 있어 컨테이너 야드의 활용도가 높은 장비이다. 트랜스퍼 크레인은 레일주행방식의 RMGC(Rail Mounted Gantry Crane)와 타이어구동방식의 RTGC (Rubber Tired Gantry Crane) 두 종류가 있어 터미널운영자가 시스템 특성에 따라 채택하여 사용하며 우리나라의 경우 기존 컨테이너터미널에서는 일반적으로 기동성이 높은 RTGC를 주로 사용하고 있으며, 근래 개발된 신규터미널이나 자동화를 고려한 컨테이너터미널에서는 RMGC 또는 ATC(Auto Transfer Crane)방식의 도입도 계획하고 있는 추세이다.

2.1 트랜스퍼 크레인 작업체계

트랜스퍼 크레인의 작업은 일반적으로 접안선박의 양·적하 작업을 지원하는 본선작업과 게이트 반출·입 대상 컨테이너의 적·출 업무를 수행하는 반·출입 작업 그리고 장치된 컨테이너의 재 정돈을 위한 이적 작업으로 구분할 수 있다.

1) 본선 작업

본선작업과 관련한 트랜스퍼 크레인의 역할은 적하 시 선적 계획순번에 따른 대상컨테이너의 원활한 공급과 양하 시 양하된 컨테이너의 특성에 따라 장치장별로 구분하여 배정된 컨테이너를 신속·정확하게 장치하는 것이다. 이와 같이 본선작업의 경우에는 양·적하 작업계획이 이미 수립된 상태에서 진행되므로 트랜스퍼 크레인의 적정 배정대수산정 및 이동순서에 대한 스케줄링이 가능하다. 또한 본선작업은 터미널의 가장 중요한 생산성 지표인 안벽생산성과 직결되기 때문에 타 작업에 비해 절대적인 우선순위를 갖는다.

2) 반출·입 작업

반출·입 작업은 선박별 선적예정물량정보와 COPINO EDI 정보를 토대로 장치장의 Workload를 고려하여 트랜스퍼 크레인의 배치와 장치장 할당영역이 분산되며 외부트럭의 게이트 통과시점에 작업 목록이 활성화되어 트랜스퍼 크레인 단말기를 통하여 작업완료처리로 이어진다.

반출·입 작업의 경우에도 선석계획 및 선박별 반출·입 패턴에 따른 개략적인 계획이 수립되어지기도 하지만 지금까지는 대상 트럭의 도착예정시각정보의 부재 또는 부정확으로 인해 정확한 스케줄링을 수립할 수 없으며 이러한 제약이 장비 및 인력의 과다투입 및 에너지낭비의 원인이 되고 있다.

3) 이적 작업

이적 작업은 안벽생산성을 보다 향상시키고 장치장의 활용도를 높이기 위해 터미널 자원의 유휴시간대에 흩어져 있는 동일 특성의 컨테이너들을 재 정돈하는 작업이다. 이적작업은 터미널의 안벽생산성 향상을 위해 중요한 작업이지만 외부고객과 직접적으로 연관된 업무가 아니기 때문에 일반적으로 본선 및 반출·입 작업에 비해 우선순위가 낮아 터미널 자원의 충분한 유휴시간이 없을 때에는 생략되는 경우가 많다. 그러나 반출·입 작업의 정확한 스케줄링이 보장된다면 작업간의 대기시간을 활용하여 반출·입 작업과 함께 이적 작업을 수행할 수 있으며 이는 터미널 전반의 생산성향상에 영향을 미칠 것이다.

Fig. 1은 트랜스퍼 크레인의 작업종류별 작업체계를 도식화한 것이다.

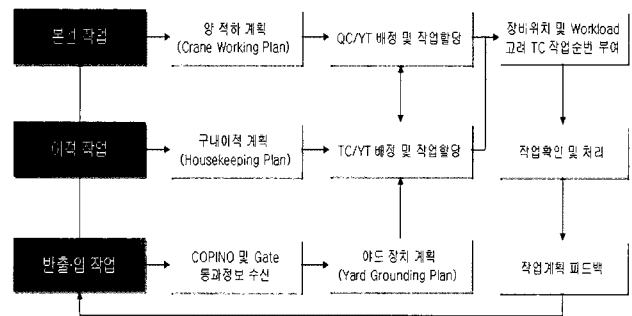


Fig. 1 Transfer Crane Operation Process

2.2 반출·입 대상 컨테이너의 가시성 확보에 관한 선행연구

윤동한 등(2001)은 컨테이너화물 반출예약제 도입 연구에서 터미널 간에 생산성 차이를 설명하는 제 요인들 중에서 현실적으로 국내 터미널에서 체계적으로 적용하지 않았던 정책수단인 반출예약제에 초점을 맞추어 도입 시 효율성 개선효과를 분석하였다. 반출컨테이너의 예정 작업시각 부재에 따른 효율성 저하요인인 장치장 내 재조작(rehandling) 과다 발생문제는 반출예약제를 시행할 경우 이론적으로 컨테이너 재조작 회수를 1/2로 감소하여 결과적으로 야드 생산성 및 장비활용도가 제고되는 효과가 있음을 확인하였다. 그러나 이러한 기대효과에도 불구하고 EDI 및 터미널운영시스템에 대한 개선방안이 함께 고려되지 못함으로 인해 관련 이해당사자의 호응 결여로 실질적인 적용이 이루어지지 못하였다.

국토해양부는 RFID 기술을 적용한 U-Port 구축사업의 일환으로 2004년부터 최첨단 항만운영을 위해 'RFID기반의 항만물류 효율화사업'을 추진하고 있다. 본 사업을 통하여 컨테이너 1만개와 컨테이너 차량 2만대에 RFID Tag를 부착하고 RFID 인식장비 220여대를 컨테이너터미널 및 부산 주요간선도로 톨게이트에 설치하였으며 미국 롱비치 한진터미널 등 해외 주요 3대 항만에 국내기술로 만든 RFID 인식장비를 설치하여 시범운용을 실시하였다. 또한 수집된 RFID 인식정보의 활용을 위하여 구축된 GCTS¹⁾는 차량 또는 컨테이너의 물류거점 반·출입 및

장치, 하역 작업 결과를 실시간으로 자동 수집하여 컨테이너 및 화물의 위치 추적을 조회하고 정보를 제공하는 물류정보시스템이다. GCTS는 RFID 기반의 물류정보 네트워크를 구축하여 차량·컨테이너의 물류거점 반출·입 및 장치, 하역 작업결과를 실시간으로 자동 수집함으로써, 컨테이너 및 BL번호 등을 이용한 컨테이너 및 화물의 위치추적을 조회하고 정보를 제공하는 목적으로 개발되고 있다. 또한 컨테이너 터미널의 게이트, 장치 크레인, 하역크레인 등의 항만 시설 및 장치에 대한 운영현황 파악, 다양한 거점 및 구간의 수출입 물동량 및 리드타임 분석 등을 전 세계 어디에서나 인터넷을 통해 쉽고 정확하게 확인할 수 있다. GCTS는 추적 데이터 자동 수집을 위한 RFID태그, 리더, 미들웨어, 컨트롤러, 운영서버 및 네트워크 등의 RFID 인프라와 태그의 부착, 등록, 리더 설치 및 운영을 위한 운영관리 시스템, 각 거점의 리더를 통해 실시간으로 수집된 정보를 활용한 컨테이너·차량·화물의 추적, 항만 시설의 운영현황, 물류 리드타임 제공을 위한 위치추적 시스템으로 구성되어 있으며 현재 국토해양부의 '해운·항만물류 효율화 사업'을 통하여 지속적으로 보완·개발되어질 예정이다.

신정훈(2008)은 국토해양부에서 진행 중인 'RFID기반의 항만 물류 효율화사업'을 통해 구축된 컨테이너화물 위치인식 인프라를 응용하여 터미널 현장에서 사용빈도 및 활용도가 가장 높은 COPINO EDI를 중심으로 RTLS를 이용한 EDI의 시간적 개념 적용과 USN을 활용한 실시간 정보생성·전송방식을 도입한 차별화된 Real Time EDI System 모델을 제안하였다. 시스템 도입에 따른 컨테이너터미널의 장치장 운용에 있어서의 기대효과로는 첫째, COPINO를 통하여 수신된 반출시간정보를 통하여 장치장에 적재된 반출대상 컨테이너의 작업순번을 부여할 수 있으며, 터미널운영시스템에서 최적의 Rehandling Position을 제공하여 컨테이너 제조자 횡수를 획기적으로 줄일 수 있다. 둘째, 장치장 위치별 외부 트레일러의 도착시간을 예측할 수 있어 최소한의 장비로 경제적인 작업배치가 가능해진다. 셋째, 미반입 컨테이너와 같이 불확실한 상황에 대해 시간적, 공간적 가시성을 제공하여 신속한 의사결정을 제공한다. 마지막으로 수집된 정보를 통하여 터미널 전반의 교통상황을 예측할 수 있고 예측된 정보를 운송사와 공유할 수 있어 교통체로 인한 문제를 예방할 수 있다. 또한 운송사 측면의 기대효과로는 첫째, Terminal Operation System을 PORT-MIS와 GCTS에 실시간 접목시킴으로 인해 컨테이너터미널의 작업 스케줄과 상황을 고려하여 최적의 배차운용에 활용할 수 있다. 둘째, 컨테이너터미널에 수집된 예측정보를 통하여 교통체로 예상시간을 미리 알고 배차시간을 조정할 수 있어 교통체로 인한 시간낭비를 막을 수 있으며 터미널 내의 장비배치가 효율적으로 이루어짐에 따라 터미널 내 대기시간 및 체류시간도 단축되게 된다. 셋째, 정보의 정확도가 향상되어 정보 불일치로 인한 재전송과 같은

문제가 해결된다.

Real-time EDI 시스템 적용에 있어서 ICD²⁾에서 Terminal까지의 트레일러 이동과 COPINO 전송 및 활용 사례를 보면 Fig. 2에서 보는바와 같이 차량이 ICD를 출발할 때 출구에 설치된 RFID 리더기에 의해 차량번호와 해당 컨테이너가 인식되고 GCTS에 위치정보를 보냄과 동시에 COPINO EDI를 발생시킨다. 이 때 COPINO 정보에는 현재 위치를 교통정보시스템의 정보와 연동하여 계산된 목적지까지의 도착예정시각정보가 포함된다. 또한 차량이 고속도로 톨게이트와 같은 주요 거점을 통과할 때마다 COPINO의 도착예정시각정보를 갱신하여 재발송한다. 이러한 실시간 EDI 발생과 예정시각정보는 터미널에서 장치장 작업 계획수립에 활용되어 장비의 효율적 배치, 재취급을 감소 및 운영관련 의사결정에 도움을 주게 된다.

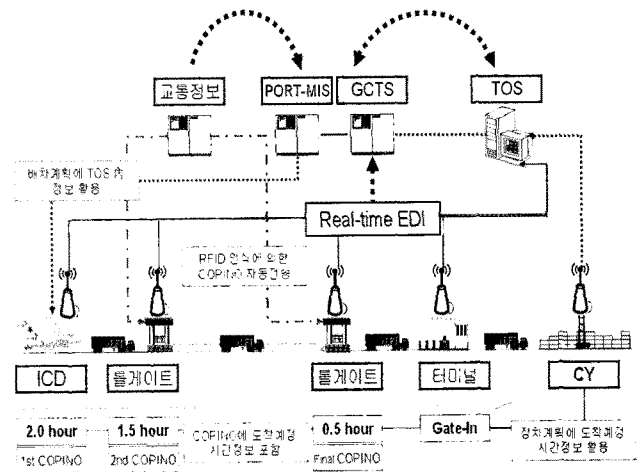


Fig. 2 Real Time COPINO EDI Model

2.3 트랜스퍼 크레인 Operation 관련 선행연구

이경모 등(1998)은 트랜스퍼 크레인의 반입·반출 작업순서 결정규칙 연구에서 동적인 환경에서 좋은 성능을 보이는 발견적 기법을 찾기 위해 다음의 네 가지 발견적 기법을 비교 평가하였다.

- i) FCFS (First-come-first-serve): 가장 먼저 도착한 트럭을 먼저 처리한다.
- ii) UT (Uni-direction Travel): 한쪽 방향으로 진행하면서 작업하다가 진행방향에 트럭이 없으면 방향을 바꾼다.
- iii) NT (Nearest Truck First Serve): 크레인의 현재 위치에서 가장 가까이 있는 트럭을 처리한다.
- iv) SPT (Shortest Processing Time Rule): 서비스 시간(실제로 컨테이너를 처리하는 시간 + 이동시간)이 가장 짧은 트럭을 먼저 처리한다.

1) GCTS: Global Container Tracking System, 'RFID를 활용한 항만물류효율화사업'을 통해 획득된 위치정보를 활용하기 위해 구축된 컨테이너물류추적정보시스템.

2) ICD : Inland Container Depot, 내륙 컨테이너 기지.

또한 이와 같은 네 가지 발견적 기법 외에 동적계획법을 적용한 기법을 추가하여 효율성 분석을 위한 시뮬레이션을 시행한 결과 동적기법을 통한 의사결정 보다 단 방향 서비스 방식(UT)이 최선의 성능을 나타내는 것으로 확인되었으며 이와 같은 결과는 도착 트럭의 예정시각과 분포에 대한 정보가 생략되었고 트럭의 한계 대기시간의 허용범위를 지나치게 길게(30분) 잡은 것도 원인으로 볼 수 있다.

김우선 등(2004)은 이경모 등(1998)의 연구를 확장하여 트랜스퍼 크레인의 다양한 작업운영체계를 분석하고 장치장에서의 주행로 특성에 따른 트럭의 대기 및 주행로 점거 행태를 분석하여 블록에 진입하여 대기할 수 있는 최대 대기차량 수를 도출할 수 있는 산정식을 정리하고, 공간적 제약 상태를 분석하였다. 또한 기존 FCFS, UT, NT규칙에서 발생하는 데드락(Dead Lock)³⁾의 예와 동일지점에 둘 이상의 작업이 발생하는 경우의 대기공간 문제점을 분석하고, 이를 해결하기 위한 공간자원과 다작업원칙을 모형화하여 해법절차와 순서도를 제시하였다.

그러나 대부분의 터미널이 트랜스퍼 크레인의 트럭작업을 위한 주행로(Transfer Point Lane) 이외에 최소 2차선 이상의 통행로 있는 현실을 감안할 때 연구에서 지적인 공간제약문제는 무의미하며 오히려 복수 크레인의 협업작업으로 인한 장비간의 간섭문제로부터 야기되는 공간적 제약문제가 더 중요하다고 볼 수 있다.

오명섭 등(2005)은 트랜스퍼 크레인의 이적 작업 시 복수 크레인 배치로 인한 크레인간의 간섭 파악과 지연에 대한 계산방안을 도출하고 간섭발생시 각각의 크레인에 대한 우선순위를 부여하는 여러 가지 경우에 대한 실험을 하였다. 이 연구에서 제안한 이적 계획 방안은 크레인에 작업 하나를 할당하기 위하여 먼저 현 시점에서 특정 크레인에 할당할 대상 컨테이너들을 파악하는 후보 생성 단계와 각 후보 컨테이너들이 할당되었을 때 가능한 상태 그래프를 생성해보고 그 중에서 하나를 선택하는 계획 선정 단계로 이루어진다. 이들의 연구는 복수 크레인 운영으로 인한 장비간의 간섭문제를 고려함에 가치를 둘 수는 있지만 의사결정 범위가 이적작업에 국한되어 다중 작업이 동시에 수행되고 있는 터미널 운영상황에서는 적용의 한계가 있다.

3. 클러스터링 기반 트랜스퍼 크레인 배정 및 이동경로 최적화 모델

3.1 K-평균 클러스터링(K-Means Clustering) 기법

클러스터링(Clustering)이란 유사한 특성을 가지는 객체 집합에 대해 유사성을 측정하고 몇몇의 집단으로 군집화하여 각 집단의 성격을 파악함으로써 객체 집합의 구조에 대한 이해를 돕고자하는 분석 방법이다. 객체들을 분류하기 위한 명확한 기준이 존재하지 않거나 알려지지 않은 상태에서 다양한 특성을 지

닌 객체를 집단으로 분류하는데 사용되는 기법으로 데이터마이닝의 주요 기법 중의 하나이다. 클러스터링은 크게 계층적 클러스터링 방법(Hierarchical Clustering Method)과 비계층적 클러스터링 방법(Non-hierarchical Clustering Method)으로 나눌 수 있고, 본 연구에서는 비계층적 클러스터링 방법 중 가장 이해하기 쉽고 계산 속도가 빠른 K-평균 클러스터링(K-Means Clustering)을 사용하였다.

K-평균 클러스터링은 학습 자료로부터 주어진 K개의 클러스터를 추출하는 데 효율적인 알고리즘이다. K-평균 클러스터링 알고리즘은 각 클러스터에 대해 전체 평균 거리를 최소화하는 방향으로 클러스터를 생성한다. 데이터 간의 유사성(Similarity)을 정량화하기 위해 다음과 같이 일반적으로 유클리드 거리(Euclidean Distance)를 척도로 많이 사용한다.

$$Dist(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (X_i - Y_i)^2}$$

K-평균 클러스터링 알고리즘은 다음과 같고, Fig. 3은 알고리즘에 대한 예시 그림이다.

1. k 개의 클러스터 중심을 초기화 한다.
2. 전체 데이터를 분류한다. 각각의 데이터 X_i 에 대해 가장 가까운 중심 클러스터 C^* 를 구하고, X_i 를 C^* 로 분류한다.
3. 각 클러스터에 대해 클러스터의 중심을 다음 식으로 다시 계산한다.

$$M_k = \frac{1}{N_k} \sum_{j=1}^{N_k} X_{jk}$$
 여기서 M_k 는 새로운 중심 클러스터, N_k 는 클러스터 k에 속하는 데이터 개수, X_{jk} 는 클러스터 k에 속하는 j번째 데이터이다.
4. 각 클러스터의 중심의 변화가 없을 때까지 2, 3 단계를 반복한다.

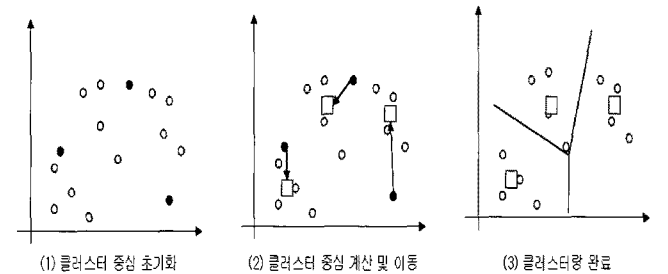


Fig. 3 K-Means Clustering

3.2 K-Means Clustering 기반 트랜스퍼 크레인 배정 및 이동경로 최적화 알고리즘

Fig. 4는 K-means Clustering을 적용한 Transfer Crane(TC) Deployment Engine의 의사코드이며 경로 최적화를 위한 기본적인 작업규칙 내용은 다음과 같다.

3) 트랜스퍼 크레인 작업 대상 또는 완료한 트럭이 이동하기 위한 공간적 제약으로 정지하는 현상

```
[Transfer Crane Deployment Engine]
1. Retrieve container list for TC from working database
   - SetConA
2. Find containers to be handled within one hour from
   SetConA - SetConB
3. Calculate appropriate number TC - n
4. Find n clusters of SetConB using k-means clustering
   algorithm and assign cluster with minimum distance
   for each container
5. While ( not null SetConB ) {
6. Find a cluster having maximum number of containers
   and containers belonging to it - SetTemp
7. If ( number of SetTemp > nTC ) then change cluster
   of (number of SetTemp - nTC) containers from
   SetTemp into other clusters with minimum distance
   (nTC = maximum number of containers to be handled
   for TC for one hour)
8. Assign SetTemp into a TC_job_list and update
   SetConB }
9. Update SetConA
10. If not null SetConA then goto step2, else stop
```

Fig. 4 Pseudo code of K-Means Clustering Algorithm for TC

- Step1) 본선 및 야드 계획시스템의 작업 목록 데이터베이스로부터 시퀀스에 따른 작업 대상 컨테이너 목록을 확보한다. [SetConA]
- Step2) 작업 대상목록을 1시간 작업시간단위로 분할하여 TC를 할당한다. [SetConB]
- Step3) 대상 컨테이너의 수량 및 거리값을 TC의 시간당 작업 능력 및 이동속도를 대입하여 적정 배정대수를 계산한다.
- Step4) 적정 TC 배정수를 기준으로 클러스터링을 수행하고 각각의 컨테이너를 가장 가까운 클러스터에 할당한다.
- Step5) SetConB의 대상 컨테이너가 남아있을 경우,
- Step6) 가장 많은 컨테이너가 소속된 클러스터를 파악한다. [SetTemp]
- Step7) 클러스터에 할당된 컨테이너의 수가 시간당 최대 처리 개수보다 많으면 그 초과개수만큼의 컨테이너를 가장 가까운 다른 클러스터로 변경한다.
- Step8) SetTemp의 컨테이너를 TC작업목록에 할당하고 SetConB를 갱신한다.
- Step9) 'SetConA'를 갱신한다.
- Step10) 'SetConA'가 소진 될 때까지 Step2로 돌아가 반복 수행한다.

4. K-Means Clustering 적용 시뮬레이션

현행 트랜스퍼 크레인 배정 및 작업할당방법은 앞에서 고찰한 이경모 등(1998)의 연구에서 제시된 여러 가지 발견적 기법 중 적용방법이 단순하면서도 외부 트레일러 기사의 대기 순번을 최대한 고려하고 평균대기시간을 초과하지 않는 범위 내에서 장비운용효율성을 높이기 위해 근거리 작업에 우선 배정하는 방식인 FCFS(First-come-first-serve)와 NT(Nearest Truck First Serve) 기법의 병행방식이 주로 이용되고 있다. 이와 같은 현행 작업방식과 본 연구에서 제안하고 있는 K-Means Clustering 기법을 적용한 트랜스퍼 크레인 배정 및 이동경로 최적화 모델간의 효율성 비교를 위하여 시뮬레이션을 실시하였다.

Table 1 Result of Simulation(Origin Data)

시각	처리 개수	현H터미널방식(A)		클러스터링(B)		비교 결과
		TC수	이동거리	TC수	이동거리	
0시	150	6	661	6	465	B
1시	131	5	558	5	414	B
2시	151	5	663	5	591	B
3시	116	5	418	5	309	B
4시	93	4	697	4	778	A
5시	110	5	673	4	407	B
6시	97	5	581	4	518	B
7시	103	5	480	4	514	-
8시	86	4	858	4	763	B
9시	88	4	790	4	837	A
10시	41	4	335	2	424	-
11시	56	3	158	3	192	A
12시	72	3	739	3	449	B
13시	48	3	232	2	360	-
14시	18	2	246	1	480	-
15시	44	3	365	2	736	-
16시	36	4	332	2	554	-
17시	66	3	367	3	415	A
18시	71	3	382	3	518	A
19시	85	3	416	3	416	=
20시	77	3	470	3	371	B
21시	88	3	221	3	221	=
22시	108	4	319	4	319	=
23시	103	4	503	4	503	=
합계	2,038	93	11,464	83	11,554	
평균	84.9	3.88	477.7	3.46	481.4	

본 연구에서 시뮬레이션은 수평배치 구조의 터미널에서 횡적으로 연결되어 협업작업을 위한 트랜스퍼 크레인의 블록 간 이동이 가능한 4개의 블록그룹을 대상으로 하였으며 트랜스퍼 크레인의 이동거리는 베이(Bay)번호 한 단위를 기준단위(3.15m)로 계산하였으며 블록 간 교차주행로 폭은 20피트 5베이에 해당되는 거리로 동일 적용하였다. 또한 각 장비의 작업속도 및 주행속도는 동일하다고 가정하였으며 각 베이 내의 컨테이너 적재위치 별 작업소요시간도 비교의 객관성을 위해 동일한 값을 적용하였다.

K-Means Clustering 기반 최적화 모델의 효율성을 확인하기 위해 H터미널의 24시간 실제 운영결과를 비교대상으로 하였으며 H터미널은 트랜스퍼 크레인의 배정 및 작업할당방법에 있어 FCFS(First-come-first-serve)와 NT(Nearest Truck First Serve) 기법을 함께 고려하여 전문가에 의한 의사결정을 수행하고 있다.

시뮬레이션 결과는 Table 1과 같으며 H터미널의 의사결정기법과 비교하여 9개의 구간에서 클러스터링 기반의 의사결정기법이 유리한 결과 값으로 도출되었고 5개의 구간에서는 기존의 의사결정이 유리한 것으로 확인되었으며 4개의 구간은 동일한 결과치가 나왔다. 24개의 구간 중 나머지 6개의 구간에서는 배정된 트랜스퍼 크레인의 수가 상이하여 비교가 불가하였다.

Table 1에서 보는 바와 같이 컨테이너 처리개수를 기준으로 시뮬레이션 결과를 분석해보면 처리개수가 100개 이상으로 상대적으로 많았던 8개의 구간(0시, 1시, 2시, 3시, 5시, 7시, 22시, 23시)에서는 배정 크레인 대수의 차이로 인한 비교가 불가한 1개의 구간(7시)을 제외하고는 모두 클러스터링 기법이 우수한 결과를 보였다. 반면, 처리개수가 50개 이하로 적은 경우에는 클러스터링에 의한 적정 장비대수 산정이 용이하지 않아서 비교가 불가능한 사례가 대부분이었다.

Table 2 Result of Simulation(Valid Data only)

시각	처리 개수	현H터미널방식(A)		클러스터링(B)		비교
		TC수	이동거리	TC수	이동거리	
0시	150	6	661	6	465	B
1시	131	5	558	5	414	B
2시	151	5	663	5	591	B
3시	116	5	418	5	309	B
4시	93	4	697	4	778	A
5시	110	5	673	4	407	B
6시	97	5	581	4	518	B
8시	86	4	858	4	763	B
9시	88	4	790	4	837	A
11시	56	3	158	3	192	A
12시	72	3	739	3	449	B
17시	66	3	367	3	415	A
18시	71	3	382	3	518	A
19시	85	3	416	3	416	=
20시	77	3	470	3	371	B
21시	88	3	221	3	221	=
22시	108	4	319	4	319	=
23시	103	4	503	4	503	=
합계	1,748	72	9,474	70	8,486	
평균	84.9	4.00	526.3	3.89	471.4	

Table 1의 시뮬레이션 결과에서 배정 크레인 대수의 차이로 인해 비교 불가한 6개 구간을 제외한 나머지 영역을 Table 2와 같이 재구성해 보면 클러스터링 기법이 H터미널에서 적용하고 있는 기존방식에 비해 크레인 투입배정대수는 3% 감소하고 크레인의 총 이동거리는 10% 감소하는 결과를 보이고 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 컨테이너터미널에서의 에너지 절감 및 장비가동 효율성 향상을 위하여 트랜스퍼 크레인의 작업방식과 관련한 의사결정기법들을 분석하고 이동경로 최적화문제의 해결을 위한 대안으로 시간적, 공간적으로 분산된 작업 대상 컨테이너들에 대한 비계층적 클러스터링 기법을 적용한 알고리즘을 도출하였다.

K-Means Clustering 기반 최적화방안의 효율성 검증을 위해 실시한 시뮬레이션 결과 적정수준 이상의 컨테이너 처리량이 공급되고 트랜스퍼 크레인의 배정 및 블록 간 이동이 빈번히 발생하는 상황에서는 클러스터링을 통한 의사결정기법이 장기적으로 유리하다는 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 FCFS(First-come-first-serve) 기준에 가중치를 두어 트럭의 도착순번에 의해 작업순서를 확정하여 적용함에 따라 우선순위의 변경을 고려하지 않아 클러스터링의 크레인 이동거리 감소효과가 약 10% 수준에 머물렀으나 향후과제로는 외부트럭의 한계대기시간을 추가로 고려하여 크레인의 에너지절감효과를 극대화할 수 있는 클러스터링 모델에 대한 연구가 필요하다. 또한 클러스터링의 기준시간범위 및 크레인의 이동속도 및 적재위치에 따른 작업속도의 가변적 적용을 통한 클러스터링의 효율성 변화를 확인하기 위한 실험과 클러스터링을 통한 크레인의 배정대수 및 이동경로 분석정보를 다시 계획 시스템에 피드백 하여 재클러스터링을 수행하는 보다 효율적인 의사결정기법에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 김우선, 최용석(2004), “공간자원 및 다작업원칙을 고려한 트랜스퍼 크레인 운영규칙에 관한 연구”, 한국항해항만학회지, 제28권 제8호, pp. 721-726.
- [2] 김우선, 최상희, 하태영(2007), “컨테이너터미널 에너지비용 절감방안 연구”, 한국해양수산개발원.
- [3] 신정훈(2008), “컨테이너터미널 운영 효율성 향상을 위한 RFID/USN 및 RTLS 기반 시스템 모델 연구”, 한국해양대학교 해사산업대학원, 석사학위논문
- [4] 오명섭 (2005), “복수 크레인을 활용한 블록 내 컨테이너 이적 계획”, 한국항해항만학회지, 제29권 제1호, pp. 413-421.
- [5] 윤동한 (2001), “컨테이너화물 반출예약제 도입 연구”, 한국해양수산개발원.
- [6] 이경모, 김갑환(1998), “트랜스퍼 크레인의 반입 및 반출 작업순서 결정규칙”, 한국항해항만학회 '98추계학술대회논문집, pp. 309-313.
- [7] 이석용(2007), “RTLS 기반의 컨테이너터미널 Dynamic Planning에 관한 연구”, 부산대학교 대학원, 박사학위논문
- [8] 최종희, 김수엽, 이호준(2007), “항만물류 선진화를 위한 RFID 기술 도입 방안”, 한국해양수산개발원.
- [9] Park, B. J. and Choi, H. R.(2007), “Development of

Operation Strategy to improve Efficiency for Twin Automated Transfer Crane in an Automated Container Terminal", International Journal of Navigation and Port Research, Vol.31, No.7, pp. 605-611.

원고접수일 : 2008년 6월 10일
심사완료일 : 2008년 8월 22일
원고채택일 : 2008년 8월 26일