

# 선박 물류 프로세스의 실시간 서비스 완료시간 예측에 대한 연구

## Real-time Estimation on Service Completion Time of Logistics Process for Container Vessels

윤신휘(Shin Hwi Yun)\*, 하병현(Byung-Hyun Ha)\*\*

### 초 록

물류 시스템은 다양한 프로세스에 걸친 한정된 자원들의 작업을 통해 고객에게 서비스를 제공한다. 이와 같은 복잡한 환경에서 높은 서비스 수준을 유지하기 위해서는 프로세스 진행 상황에 대한 실시간 모니터링과 그를 통한 성과 달성도의 지속적인 관리가 필수적으로 요구된다. 본 연구에서는 컨테이너 터미널을 대상으로 선박 물류 프로세스의 서비스 완료시간을 예측하는 방법론을 제시한다. 이를 위해 먼저 선박에서 컨테이너를 싣고 내리는 프로세스에 영향을 미치는 요인을 파악한다. 그리고, 확인된 요인들 중 영향 정도를 직접적으로 측정하기 어려운 것에 대해 정량적인 값을 추정하는 방안을 개발한다. 서비스 완료 시간에 대한 실시간 예측은 의사결정 나무를 사용한다. 과거 프로세스 진행 이력을 바탕으로 의사결정 나무를 학습시킨 후, 특정 시점에서 실시간 요인의 상태를 이용하여 서비스 완료시간을 예측한다. 컨테이너 터미널 시뮬레이션 모형을 활용하여 본 연구에서 제시하는 방법론을 검증하였다.

### ABSTRACT

Logistics systems provide their service to customers by coordinating the resources with limited capacity throughout the underlying processes involved to each other. To maintain the high level of service under such complicated condition, it is essential to carry out the real-time monitoring and continuous management of logistics processes. In this study, we propose a method of estimating the service completion time of key processes based on process-state information collected in real time. We first identify the factors that influence the process completion time by modeling and analyzing an influence diagram, and then suggest algorithms for quantifying the factors. We suppose the container terminal logistics and the process of discharging and loading containers to a vessel. The remaining service time of a vessel is estimated using a decision tree which is the result of machine-learning using historical data. We validated the estimation model using container terminal simulation. The proposed model is expected to improve competitiveness of logistics systems by forecasting service completion in real time, as well as to prevent the waste of resources.

**키워드** : 물류 시스템, 프로세스 모니터링, 서비스 완료시간, 의사결정 나무, 컨테이너 터미널  
Logistics Systems, Process Monitoring, Service Completion Time, Decision Trees,  
Container Terminal

---

본 연구는 2006년도 부산대학교 교내학술연구비(신임교수연구정착금)에 의한 연구임.

\* (주)케이프 대리

\*\* 교신저자, 부산대학교 산업공학과 조교수

2012년 05월 21일 접수, 2012년 05월 22일 심사완료 후 2012년 05월 23일 게재확정.

## 1. 서 론

생산 공정의 자동화와 함께 전 세계적인 교역량의 증가로 인해 다양한 분야에서 물류에 대한 중요성이 크게 부각되었다. 물류 시스템은 내외부의 여러 프로세스에 걸친 한정된 자원들의 운용을 통해 고객에게 서비스를 제공한다. 이와 같은 복잡한 환경에서 높은 서비스 수준을 유지하기 위해서는 프로세스 진행 상황에 대한 실시간 모니터링과 그를 통한 지속적인 관리가 필수적으로 요구된다.

본 연구에서는 컨테이너 터미널을 대상으로 선박 물류 프로세스의 서비스 완료시간을 예측하는 방법론을 제시한다. 고객에 대한 중요 서비스의 완료시간을 예측하기 위해, 터미널 운영 시 실시간으로 수집되는 프로세스 상태에 대한 정보를 사용한다. 이를 위해 터미널의 가장 중요한 프로세스인 선박에서 컨테이너를 싣고 내리는 작업 프로세스를 분석한다. 컨테이너 터미널의 경우 선박의 컨테이너 처리 시간 준수가 경쟁력 유지를 위한 핵심적인 요소이다. 선박에 대한 작업이 늦어질 경우 고객에게 지연된 시간에 대한 손해를 배상해야 하며, 고객으로부터 신뢰를 잃어 터미널간의 경쟁에서 뒤처지게 된다. 반면 작업이 계획보다 일찍 완료되면 할당된 장비와 시설, 인력 등의 자원을 낭비하는 결과를 초래하게 되며, 자원 활용의 비효율성을 가져오게 된다. 따라서 경쟁에서 우위를 점하기 위해서는 작업시간을 정확히 예측하고 준수하는 것이 요구된다.

지금까지 현장에서는 완료시간의 예측을 위해 전적으로 운영을 담당하는 전문가의 판단에 의존해왔다. 하지만 컨테이너 터미널의

규모가 커지고 장비의 자동화와 운영의 지능화 정도가 높아지면서 전문가의 판단만으로 완료시간에 대한 정확한 예측을 수행하는 것은 점점 어려워지고 있다. 즉, 작업에 투입된 장비와 노동력 등 직접적이고 물리적인 요인들만으로 어렵하여 완료시간을 예측하고 약속된 시간을 준수하기는 쉽지 않다. 이와 같은 눈에 보이는 요인들 외에 작업 일정계획과, 장비의 성능, 작업의 진행 이력 등 작업 환경과 상황이 서비스 시간에 크게 영향을 주며 동시에 그 요인들 간에도 서로의 영향이 존재하기 때문이다. 따라서 사전에 작업계획의 이상 유무를 판단하여 자원의 낭비를 막고 서비스 수준을 향상시키기 위해서는 체계적인 방법에 의해 완료시간을 예측하는 방법론이 필요하다.

현재까지 다양한 측면에서 컨테이너 터미널 운영의 효율화와 생산성 제고에 대한 연구가 진행되어 왔다. 대표적으로 터미널을 효과적으로 운용하여 컨테이너 처리 능력을 높이기 위해 최적화 방법론 기반의 계획과 통제 방안을 탐구하고 있다. 즉, 개별 선박의 안벽에서의 접안 시간과 위치를 지정하는 선석 계획과[13], 터미널로 반입된 컨테이너를 장치할 위치를 결정하는 장치 계획[16], 선박에서 컨테이너를 내리는 싣는 작업의 순서를 지정하는 본선 계획[14]을 수립한다. 이와 같은 계획을 바탕으로 장치 위치를 실시간으로 결정하며[15], 장치장에서 컨테이너를 반출할 때 재취급 컨테이너를 옮겨 놓을 위치를 결정하고[10], 컨테이너를 이송하기 위해 내부 트럭을 운용한다[11]. 그리고 전체적인 물류 프로세스를 고려하여 컨테이너의 흐름을 추적한다[5]. 터미널 운영 최적화와 관련된 연

구들에 관한 보다 상세한 목록은 Steenken et al.[19]과 Stahlbock and Voß[18]에서 확인할 수 있다. 선박에 대한 서비스 효율을 높이기 위해서는 터미널이 취급하게 될 컨테이너 물량의 특성에 맞추어 적절하게 설계되어야 한다. 이를 위해 전수민 등[7]과 이병권, 김갑환[6]은 장치장에서의 최적 컨테이너 블록 배치 설계안을 탐구하였다.

터미널 간의 생산성 비교분석은 DEA(Data Envelopment Analysis) 기법을 이용한 연구가 주류를 이룬다. 박길영 외[3]는 DEA를 통하여 장비 투입에 따른 컨테이너 터미널의 생산성을 비교하였다. Tongzon[20]은 DEA 기법을 이용하여 호주 항만의 효율성을 평가하였으며, 박구웅[2]은 세계적인 항만을 대상으로 상대적 효율성을 비교분석 하였다. 그러나 DEA 기법을 이용한 생산성 및 터미널 효율의 비교는 터미널 간의 상대적인 우위를 측정하기 위한 것을 주목적으로 하여 서비스 완료 시간 등 개별 컨테이너 터미널의 성능 지표의 추정을 위해서는 사용되기 힘들다.

터미널의 생산성 산정을 위해 개별적인 장비들의 성능을 분석하거나[1] 연계 수송하는 장비들을 고려한 능력 분석[21], 운영전략을 고려한 분석[4] 등이 존재하나, 전반적인 장비 또는 터미널의 생산성에 초점을 맞추어 특정 선박의 완료시간을 예측에는 한계를 가진다. 터미널 성능의 측정을 위한 시뮬레이션 연구로 최용석[8]은 장비사용의 최적화를 위해 시뮬레이션 결과를 사용하였으며, 하태영, 최용석[9]과 Ha et al.[12]은 컨테이너 터미널의 장비들의 결합 생산성을 분석하여 안벽 크레인, 야드 크레인, 야드 트럭간의 최적 장비 사용대수를 구하는 연구를 수행하였다. 하

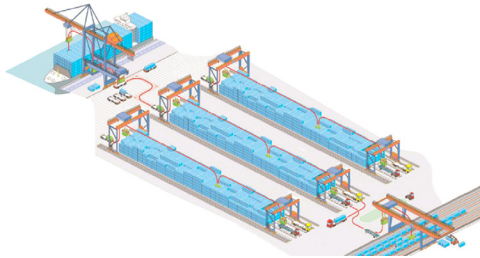
지만 특정 상황에서의 대상이 되는 선박만을 구체적으로 고려하여 서비스 완료시간 예측하는 연구는 찾아보기 어렵다.

본 논문의 나머지 부분의 구성은 다음과 같다. 먼저 제 2장에서는 컨테이너 터미널을 구성하는 시설과 장비와 함께 컨테이너를 취급하는 구체적인 운영 방식을 소개하고, 그를 바탕으로 제 3장에서 선박 서비스 완료시간에 영향을 미치는 요인을 분석한다. 그리고 직접적인 측정이 불가능한 요인들에 대해 정량적인 값을 추정하는 방식을 제시한다. 제 4장에서는 본 연구에서 제시하는 방법론의 검증을 위해 사용한 컨테이너 터미널 시뮬레이션 모형을 제시하고, 의사결정 나무를 학습을 통해 예측한 예상 완료시간의 정확도를 평가한다. 마지막으로 제 5장에서 결론과 향후 과제를 도출한다.

## 2. 컨테이너 터미널 운영

컨테이너 터미널의 시설은 크게 선석(berth), 장치장(yard), 게이트(gate) 세 부분으로 나누어 진다. <그림 1>은 컨테이너 터미널의 주요 시설과 작업중인 선박의 모습을 보여준다. 선석은 선박이 컨테이너 터미널에 도착하여 컨테이너를 내리거나 싣는 하역 작업을 수행하기 위해 접안하는 장소이다. 선박으로부터 내려진 수입 컨테이너를 터미널 외부로 반출하기 전까지 보관하거나 터미널 외부에서 싣고 들어온 수출 컨테이너를 선박에 싣기 전까지 일정기간 보관하는 장소를 장치장이라고 한다. 장치장은 여러 개의 컨테이너 블록(block)으로 이루어지며, 블록은 다시 여러 개의 베이(bay)와 열(row),

단(tier)으로 구분된다.



〈그림 1〉 항만 컨테이너 터미널과 컨테이너 흐름

컨테이너 터미널에서 사용되는 일반적인 장비로는 선박에서 컨테이너를 내리는 양하(discharge) 작업과 싣는 적하(loading) 작업을 수행하는 안벽 크레인(quay crane)과 채시(chassis)에 컨테이너를 싣고 터미널 내에서 운반하는 작업을 수행하는 야드 트럭(yard truck), 장치장에 설치되어 야드 트럭으로부터 운반된 컨테이너를 적재 또는 반출하는데 사용되는 장비인 야드 크레인(yard crane) 등이 있다.

일반적인 컨테이너 터미널의 작업은 컨테이너의 흐름에 따라 반입(gate-in), 적하(loading), 양하(discharging), 반출(gate-out)로 나눌 수 있다. 컨테이너 반입은 외부 트럭이 수출할 컨테이너를 터미널로 싣고 와서, 게이트를 통과하고, 야드 크레인에게 컨테이너를 인계하여, 컨테이너가 장치장에 놓여 지기까지의 작업 흐름이다. 컨테이너 적하는 장치장에 있는 수출할 컨테이너를 해당 선박에 싣기 위한 작업의 흐름으로서, 야드 트럭이 장치장과 안벽 크레인 사이를 왕복 운행하며 컨테이너를 운반한다. 양하 작업은 선박에 선적된 수입 컨테이너를 장치장으로 이송하여 외부로 반출하기 전까지 보관하는 작업의 흐름으로서 야드 트럭이 안벽 크레인과 장치장 사이를

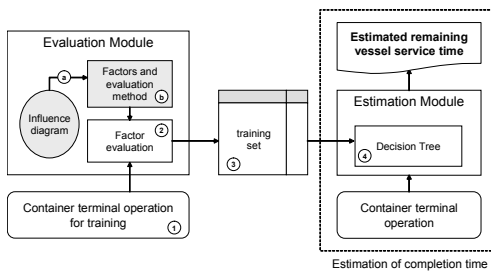
왕복 운행하며 컨테이너를 운반한다. 마지막으로, 반출 작업은 장치장에 장치되어 있는 수입 컨테이너를 외부로 싣고 나가기 위한 작업의 흐름으로, 외부 트럭이 장치장에서 야드 크레인으로부터 컨테이너를 받아 터미널 밖으로 운송한다.

컨테이너 터미널의 업무는 크게 반입과 양하 작업을 포함하는 수출과 적하와 반출 작업을 포함하는 수입으로 나누어진다. 수출 업무는 선사로부터 입항할 선박에 대한 정보를 받아서 작업할 선적을 할당하는 선적 계획으로부터 시작된다. 그리고 해당 선박에 선적할 예정 컨테이너를 접수한다. 선적 예정 컨테이너를 바탕으로 장치장의 특정 장소에 일시 보관 수행할 장치계획을 수립하고, 적하 순서를 지정하는 본선 계획을 작성한다. 선박이 입항하면 수출 컨테이너를 적하하는 것으로 수출 업무는 종료된다. 수입의 경우 선사로부터 선박에서 양하할 컨테이너 정보를 접수하는 것으로부터 시작된다. 수출 절차와 유사하게 수입 컨테이너를 위한 장치 계획을 수립하고, 양하 순서를 지정하는 본선 계획을 작성하게 된다. 선박이 입항하면 수립된 계획에 따라 컨테이너를 양하하여 장치장에 위치시키고, 최종적으로 운송사의 반출 요청을 받아 야드 크레인이 외부 트럭에 컨테이너를 전달해주게 된다.

### 3. 완료시간 예측 방법론

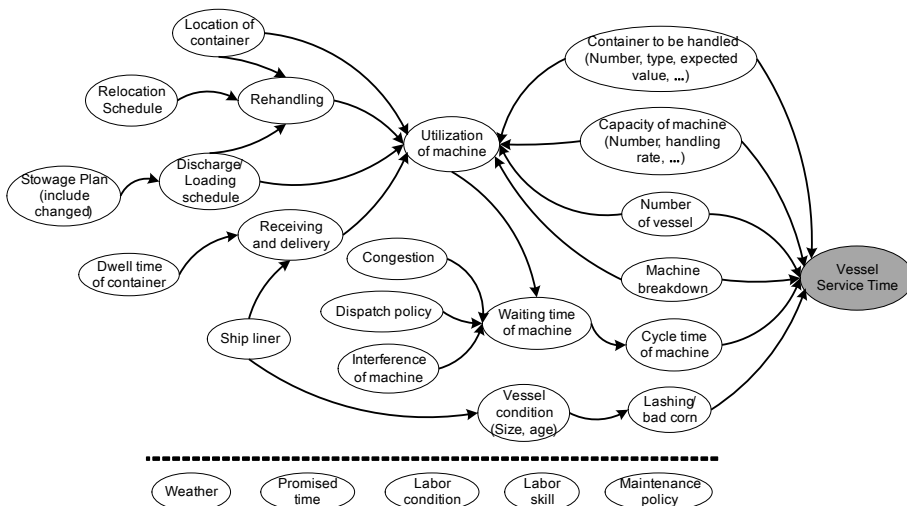
본 연구에서는 선박의 서비스 완료시간을 예측하기 위해, 먼저 완료시간에 영향을 주는 가능 요인들을 추출하고 각각의 요인의 특징

을 파악한다. 가능 요인들 중 주요 요인을 선정하고 요인을 정량화하는 알고리즘을 통해 구체적인 요인의 정도를 산출한다. 그리고 예측 모형의 학습과 검증에 필요한 훈련 집합(training set) 얻은 후, 기계적 학습 기법을 이용하여 예측 모형을 구축한다. 마지막으로, CART나 CHAID와 같은 의사결정나무 기반의 예측 모형을 이용하여 특정 시점에서 요인들의 정량적인 값을 바탕으로 특정 선박의 완료시간을 예측한다. <그림 2>는 이와 같은 선박 서비스 완료시간 예측 시스템의 구조도를 보여준다.



〈그림 2〉 선박 서비스 완료시간 예측 시스템

터미널에서 선박의 완료시간에 영향을 주는 요인은 매우 많으며, 그 요인들은 상호간에 영향을 주고받는다. 본 연구에서는 서비스 완료시간에 영향을 주는 요인을 파악하기 위하여 영향 다이어그램(influence diagram) [17]을 사용하였다. <그림 3>은 도출한 영향 다이어그램을 보여주며 완료시간에 영향을 미치는 요인과 그 요인들간의 관계가 나타나 있다. 완료시간에 직접적으로 영향을 주는 요인은 컨테이너의 개수, 선박의 양적하 작업을 하는 안벽 크레인의 대수와 성능 등이 있다. 하지만 이와 같은 직접적인 요인 이외에 간접적 요인들도 상당히 크게 영향을 미친다. 예를 들어, 컨테이너 양적하를 담당하는 안벽 크레인의 경우 컨테이너를 운반하는 야드 트럭이 부족하거나 정시에 도착하지 못했을 경우 작업이 지연된다. 그리고 야드 트럭의 경우 크레인간의 간섭이나 컨테이너의 재취급으로 인하여 장치장에서의 원활한 작업이 이루어지지 않을 경우 정체를 겪게 된다. 정체된 야



〈그림 3〉 재항시간에 영향을 주는 요인과 관계

드 트럭은 다시 정시에 안벽 크레인에게 도착하지 못하여 정상적인 양적하 작업에 영향을 미치게 된다.

<표 1>은 각 요인들에 대한 설명과 값이 가지는 특성을 보여준다. 기계 학습 기법을 이용하여 예측 모형을 학습시키기 위해서는

요인들이 취하는 값의 형태가 정량화 되어야 한다. 하지만 <표 1>에서와 볼 수 있듯이 완료시간에 영향을 주는 요인들의 값이 모두 정량적 것은 아니다. 예를 들어, 양적하 작업을 해야 할 컨테이너 개수, 사용 중인 장비의 수 등은 객관적인 수치화가 가능하지만 작업

<표 1> 선박 서비스 완료시간에 영향을 미치는 요인들과 특징

| No. | 요인              | 측정                                  | 설명                                                      | 특징  |
|-----|-----------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----|
| 1   | 작업할 컨테이너 수      | 양/적하 컨테이너의 수량                       | 작업하는 컨테이너 수에 따라 완료시간이 달라짐                               | 정량적 |
| 2   | 컨테이너 분포         | 작업할 컨테이너의 분포                        | 작업할 컨테이너 분포는 야드 트럭과 안벽 크레인 그리고 야드 크레인에 영향을 줌            | 정량적 |
| 3   | 투입장비 대수         | 작업에 투입 가능한 장비의 수                    | 장비 투입대수에 따라 완료시간이 크게 좌우됨                                | 정량적 |
| 4   | 안벽 크레인의 단기적 성능  | 안벽 크레인의 시간당 작업 개수                   | 안벽 크레인의 성능은 양/적하 작업에 가장 중요한 부분임                         | 정량적 |
| 5   | 날씨<br>풍속<br>기온  | 작업 중일 때의 바람의 세기와 온도                 | 호이스트의 흔들림 커짐                                            | 정량적 |
|     |                 |                                     | 기온은 작업자의 상태에 영향을 줌                                      |     |
| 6   | 장치장 장비의 혼잡      | 장치장에서 작업하는 장비들의 혼잡 정도               | 장치장 장비의 혼잡은 안벽 크레인의 작업에 영향을 미침                          | 정성적 |
| 7   | 안벽 크레인의 간섭      | 작업 중에 발생하는 간섭                       | 양/적하 작업 중 크레인간에 간섭이 발생하면 간섭이 발생한 크레인은 작업이 중단됨           | 정량적 |
| 8   | 재취급 개수          | 양/적하 작업을 할 때 작업에 관계 없이 취급되는 컨테이너 개수 | 재취급 발생으로 인하여 야드 트럭의 대기가 발생하고 그로 인하여 야드 크레인의 작업에도 영향을 미침 | 정량적 |
| 9   | 야드 트럭의 대기/정체    | 야드 트럭의 평균 대기 시간                     | 야드 트럭의 대기과 정체로 인하여 크레인의 대기 시간이 발생                       | 정량적 |
| 10  | Lashing/Cone 불량 | 작업 중 Lashing/Corn 불량 발생 확률          | Lashing/Cone의 불량으로 인하여 안벽 크레인의 대기가 발생함                  | 정량적 |
| 11  | 장비 고장           | 장비의 고장이 일어날 확률                      | 장비의 고장으로 작업을 하지 못하여 작업에 악영향을 미침                         | 정량적 |
| 12  | 장치장 혼잡          | 장치장의 복잡도로 인한 교통의 혼잡                 | 장치장에서의 작업이 많을 경우 장비간의 대기 및 간섭이 발생할 가능성이 높아져 작업의 효율이 떨어짐 | 정성적 |
| 13  | 작업자의 상태 및 기술숙련도 | 양/적하 계획 능력 및 장비 숙련도                 | 작업자의 몸 상태 또는 기술수준은 장비사용과 작업 효율에 영향을 미침                  | 정성적 |
| 14  | 양/적하 스케줄        | 작업할 컨테이너의 스케줄                       | 양/적하 스케줄에 따라 장비의 효율성이 달라짐                               | 정성적 |
| 15  | 할당 정책           | 블록에서 컨테이너의 장치 위치 계획                 | 할당 방식에 따라 야드 크레인의 간섭 및 트랙터의 정체에 영향을 미침                  | 정성적 |

자의 기술이나 상태, 재취급 스케줄과 같은 요인들은 주관적인 판단에 따라야 한다. 본 연구에서는 객관적인 수치를 이용하여 요인들 값을 수치화한 것을 정량적이라고 정의하였으며 주관적인 판단에 의해서 수치화된 값을 정성적이라고 보았다. 본 연구에서는 정량적인 요인들 중 작업할 컨테이너 개수와 컨테이너의 분포, 장비 투입 대수, 안벽 크레인의 단기 성능, 안벽 크레인의 간섭, 예상 재취급 개수를 사용하여 의사결정 나무를 학습시켰다.

영향 다이어그램을 사용하여 파악된 정량적인 요인들 중 작업할 컨테이너 개수를 제외하면 모두 직접적으로 측정될 수 있는 것이 아니며, 특정 방법을 사용하여 그 값을 추정해야 한다. 요인을 정량화한 값은 예측 모형의 입력으로 사용되므로 본 연구에서는 모두 1차원의 스칼라(scalar) 값으로의 정량화 방식을 개발한다. 이는 한 요인에 대해 둘 이상의 요소로 정량화하는 경우 요소들 간의 상관관계까지 예측 모형이 학습해야 하는 어려움이 있을 것으로 판단해서이다. 각 요인의 값을 예측모형에 사용하기 위한 추정 방법과 그 계산 과정을 제시하면 다음과 같다.

먼저, 본 연구에서는 장치장의 혼잡 정도를 파악하기 위하여 이와 상관 관계가 있는 작업할 컨테이너의 분포를 사용하였다. 작업할 컨테이너가 장치장의 어느 한 블록에 집중되어 있다면 그 블록에 작업이 집중되는 현상이 일어나 장치장의 혼잡도가 올라가게 된다. 그로 인하여 야드 트럭의 정체가 발생되며, 야드 크레인 간 간섭과 컨테이너의 재취급 발생 빈도도 높아질 것이다. 즉, 장치장

에서 작업이 원활이 수행되지 못하여 안벽 크레인의 작업에 지장을 주고 선박의 완료시간에 지연 시키게 된다. 본 연구에서는 컨테이너의 분포 정도를 정량화하기 위하여, 각 블록을 표본점으로 보고, 전체 작업할 컨테이너 대비 그 블록에 장치된 컨테이너의 비율을 발생 확률로 고려한 엔트로피를 사용한다. 결과적으로, 작업할 컨테이너가 소수의 블록에 집중될수록 요인의 값은 0에 가까워지게 된다. 엔트로피 외 분산 등 불균형 정도를 표현할 수 있는 다른 정량화 방법도 가능하나, 엔트로피를 사용하는 경우 남은 컨테이너의 총 개수와 무관한 독립적인 값을 도출할 수 있는 장점이 존재한다.

다음으로, 선박의 완료시간을 예측하기 위해서는 작업에 투입될 장비의 수가 매우 중요하다. 본 연구에서는 완료시간을 예측하고자 하는 시점에서 약속 완료시간까지의 평균 장비 사용 대수를 계산하여 요인을 정량화한다. 평균 장비 사용 대수를 구하기 위하여 다음과 같이 가정하였다. i) 작업에 투입되는 장비의 대수는 작업 계획을 통하여 알 수 있음, ii) 장비의 성능과 운전자의 기술은 모두 동일함.  $a$ 를 완료시간을 예측하려는 시점이고,  $b$ 는 약속된 작업 완료시점,  $f(t)$ 를 시점  $t$ 에서 투입 계획 중인 장비의 대수라고 하면, 본 연구에서는 평균 투입 장비로 시간 평균인  $\int_a^b f(t)dt/(b-a)$ 를 사용한다. 참고로, 만일 약속된 작업 완료 시점과 실제 서비스가 완료되는 시점 간의 차이가 크지 않은 경우 이 값은 유효한 추정치가 될 수 있으나, 그렇지 않은 경우 투입 대수를 상대적으로 축소하거나 확대하는 위험성을 내포하고 있다. 따

라서 보다 정교한 정량화 방법을 사용하는 경우 더 정확한 예측이 가능할 수 있을 것이라고 생각된다.

안벽 크레인의 단기 성능은 완료시간에 직접적인 영향을 미친다. 하지만 추후 작업할 시간 동안 안벽 크레인의 성능을 정확히 예측하는 것은 쉽지가 않다. 그러므로 본 연구에서는 앞으로 작업할 시간 동안에 안벽 크레인의 성능 정도를 추정하기 위해 완료시간을 예측하는 시점 이전의 장비성능을 구하여 사용한다. 이를 위해 본 연구에서는 완료시간을 예측하려는 시점 이전의 안벽 크레인의 성능은 안벽 크레인의 종류와 작업자의 능력 등 추후 작업할 안벽 크레인의 작업환경과 비슷할 것으로 가정한다.

컨테이너 선박의 양적하 작업은 여러 대의 안벽 크레인에 의해서 수행된다. 선박의 크기에 따라서 일반적으로 3대에서 5대의 안벽 크레인이 작업을 한다. 작업 중에는 각각의 안벽 크레인이 작업해야 할 컨테이너가 서로 인접해있는 경우가 발생한다. 이런 경우 먼저 작업하고 있는 안벽 크레인 때문에 다른 안벽 크레인은 작업을 하지 못하고 대기하는 간섭 현상이 발생하게 된다. 안벽 크레인의 간섭은 완료시간에 상당한 영향을 미친다. 하지만 역시 작업환경이 시시각각으로 변하는 상황에서 정확하게 안벽 크레인의 간섭 정도를 예측하는 것은 쉽지가 않다. 따라서 본 연구에서는 안벽 크레인의 간섭과 상관관계가 있는 예상 간섭 지표를 구하여 사용한다. 이 지표는 양적하 일정계획을 통해 안벽 크레인의 간섭을 예상하여 구한 모든 안벽 크레인의 작업이 끝나는 작업횟수로 산정된다. 예상 간섭 지표를 구하기 위해 다음과 같은 사항

을 가정한다.

- 작업하는 크레인의 성능과 운전자의 능력은 동일하다.
- 크레인은 한 번에 하나씩만 양적하 작업을 수행하며 작업은 동시에 시작된다.
- 한 크레인이 작업하는 베이의 바로 옆 베이에 있는 컨테이너는 다른 크레인이 작업할 수 없다.
- 컨테이너 하나의 양적하 시간은 컨테이너의 위치와 상관없이 동일하다.
- 서로 다른 두 대의 크레인 간의 간섭만 고려한다.

예상 간섭 지표를 구하는 규칙은 다음과 같다.

- 크레인 작업 중 간섭이 발생했을 경우 작업 대상 베이에 남아있는 컨테이너 수가 작은 크레인이 먼저 작업한다.
- 간섭 없이 작업할 수 있는 베이가 없다면, 작업이 많이 남은 크레인이 먼저 작업한다. 만일 동일한 수의 작업이 남아 있다면 선박의 앞쪽에 가까운 크레인이 먼저 작업한다.

마지막으로, 장치장에서 선박으로 컨테이너를 이송하기 위해 야드 크레인이 반출 작업을 수행할 때 대상 컨테이너가 다른 컨테이너 밑에 놓여 있는 경우가 발생한다. 이 경우 대상 컨테이너의 위에 위치한 컨테이너를 먼저 다른 곳으로 옮겨야만 해당 컨테이너의 작업이 가능해진다. 이와 같이 이송 컨테이너를 처리하기 위하여 또 다른 컨테이너를 작



업하는 경우를 재취급이라고 하며, 완료시간에 큰 영향을 미치게 된다. 하지만 역시 정확한 재취급 개수를 정확히 파악하는 것은 쉬운 일이 아니다. 본 연구에서는 재취급의 발생 정도를 파악하기 위하여 실제 재취급 개수와 상관관계가 있는 예상 재취급 개수를 사용한다. 예상 재취급 개수를 구하기 위해 다음과 같은 가정을 도입한다.

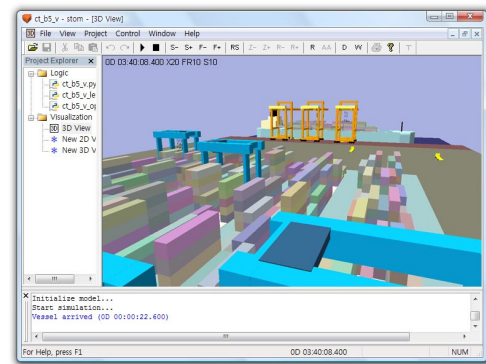
- 컨테이너의 양적하 일정계획을 이용하여 블록에서 작업할 컨테이너의 순서를 미리 알 수 있다.
- 양적하 될 컨테이너의 장치장에서의 위치는 알고 있다.
- 안벽 크레인에서 야드 크레인까지 트럭의 이동시간은 고려하지 않는다.
- 야드 크레인은 한 번에 한 개의 컨테이너만 작업한다.
- 작업 대상인 컨테이너가 다른 컨테이너에 의해 재취급 되었을 경우, 재취급 된 컨테이너를 작업할 때 다시 재취급은 발생하지 않는다.

위와 같은 가정을 사용하여, 각 야드 크레인이 컨테이너를 블록에서 반출할 때 대상 컨테이너의 위에 놓여있는 컨테이너의 개수를 예상 재취급 개수로 산정한다.

#### 4. 예측 방법론 검증

실제 터미널에서 예측 모형의 데이터를 얻고 그 결과를 검증하기 위해서는 많은 시간과 비용이 소요된다. 따라서 본 연구에서는

실제 컨테이너 터미널과 유사한 환경과 운영 규칙을 가지는 컨테이너 터미널 시뮬레이터를 사용하여 제시한 모형을 검증하였다. <그림 4>는 본 연구에서 사용한 시뮬레이터의 모습을 보여준다.



<그림 4> 컨테이너 터미널 시뮬레이터

사용된 터미널 운영 시뮬레이션 모형의 설정 내용은 <표 2>에 요약되어 있다. 시뮬레이션 모형의 초기화를 위해 다음의 절차를 수행하였다.

- 양하 컨테이너는 100개에서 450개까지, 적하 컨테이너는 100개에서 720개를 생성한다.
- 생성된 양적하 컨테이너 개수는 각 베이에 임의로 할당한다. 단, 각 베이에는 최소 1개 이상 80개 이하로 할당한다.
- 작업할 안벽 크레인의 양적하 일정계획을 생성한다. 먼저 동일한 개수의 선박 베이를 각 안벽 크레인에 할당하고, 총 작업 개수를 더 이상 균등화 시킬 수 없을 때까지 작업 베이를 인접 크레인에 재할당 한다.

〈표 2〉 시물레이션 모형의 규격

| 시설 및 장비 | 내용                                                                                                                             |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 선박      | 선박이 터미널로부터 서비스를 받기 위한 장소                                                                                                       |
| 안벽      | 안벽 크레인의 대기 장소                                                                                                                  |
| 장치장     | 총 5개의 블록으로 구성<br>블록의 크기는 6 row, 15 bay이며 6 tier까지 적재 가능<br>적하 공간은 bay 1(TP에 가장 가까운 bay)부터 bay 10까지<br>양하 공간은 bay 11부터 bay 15까지 |
| 대기 장소 1 | 안벽 크레인 및 야드 크레인으로부터 작업을 할당 받지 못한 야드 트럭들이 대기하는 곳                                                                                |
| 대기 장소 2 | 적하 컨테이너를 실은 야드 트럭이 적하 순서가 될 때 까지 기다리는 곳                                                                                        |
| 안벽 크레인  | 선박의 양/적하를 작업을 수행하는 장비 본 연구에서는 2대에서 4대를 사용하였음                                                                                   |
| 야드 트럭   | 양/적하 컨테이너를 운반하는 장비이며 본 연구에서는 총 12대를 사용하였음                                                                                      |
| 선박      | 양/적하 컨테이너를 장치하는 선박으로써 10 rows 9 bays이며 총 8 tier까지 적재 가능함                                                                       |
| 컨테이너    | 컨테이너의 크기는 40ft로 모두 동일함                                                                                                         |

- 양적하 컨테이너가 장치될 블록의 번호를 임의로 할당한다. 만일 개별적으로 임의의 블록을 할당하였을 경우 컨테이너의 개수가 많아질수록 각 블록 간 장치되는 컨테이너 분포는 균등해진다. 따라서 먼저 각 블록 별 장치확률을 임의로 정하고, 그 확률에 따라 컨테이너를 블록에 배치한다.

선박을 서비스하기 위한 시물레이션 모형의 운영 규칙은 실제 컨테이너 터미널에서 수행하는 방식을 참고하여 개발하였다. 예를 들어 안벽 크레인의 운영 규칙은 다음과 같다.

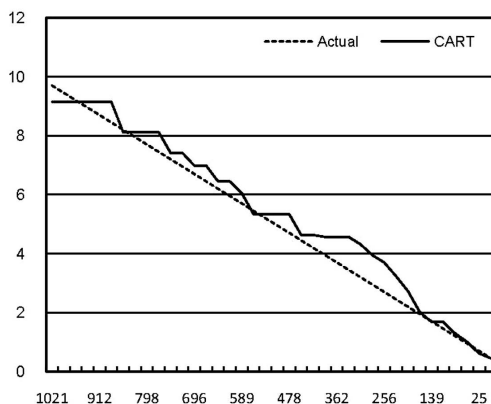
- 선박이 접안하면 각각의 안벽 크레인은 처음 작업할 베이로 이동한다.
- 양하 작업은 육측에 가까운 컨테이너부터 먼저 처리하고, 적하는 반대로 작업한다.
- 대기 장소 1에서 대기 중인 야드 트럭에게 양적하 작업을 할당 한 후 컨테이너의 양하 작업을 시작한다. 야드 트럭이 도착하면 컨테이너를 장치한 후 작업 리스트에서 해당 컨테이너를 삭제한다. 작업 베이의 모든 컨테이너가 양하 되었다면 동일한 베이에 적하 작업이 있는지 확인한다.
- 적하 작업이 있을 경우 대기 장소 1에 대기 중인 야드 트럭에게 적하할 컨테이너의 번호를 할당한다.
- 야드 트럭이 적하 컨테이너를 싣고 도착하면 컨테이너를 선박의 해당 위치에 장치하고 작업 리스트에서 해당 컨테이너를 삭제한다. 만약 작업 리스트에 적하 작업이 남아있다면 작업을 끝낸 야드 트럭에 할당 한다.
- 작업하고 있는 베이에 적하 작업이 끝났다면 다음에 작업할 베이로 이동한다.

본 연구에서는 예측 모형의 학습을 위한 훈련 데이터로 30개의 선박을 처리한 결과를 사용하였다. 의사결정 나무의 학습을 위해 CART와 CHAID 알고리즘[17]을 사용하여 예측 모형을 학습시킨 후 완료시간을 예측하였다. 완료시간 예측을 위한 실험에서 선박의 서비스에는 약 9시간 42분이 소요되었으며, 약 15분간의 간격으로 39번의 예측을 수행하였다.

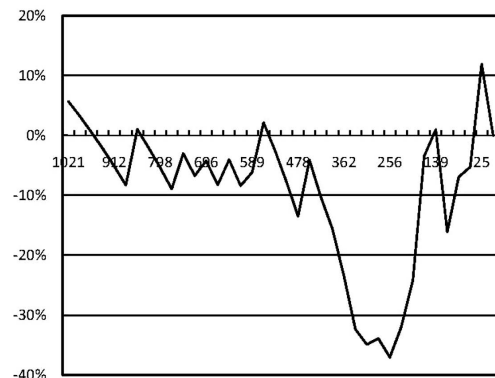
먼저, CART 알고리즘을 이용하여 예측 모형을 학습시키기 위해서 이진 분리 방식을 사용하였으며, 상위 노드의 최소 개수와 하위 노드의 최소 개수, 최대 트리 깊이를 각각 50, 25, 10을 사용하였다. CART 알고리즘의 학습결과 깊이가 9, 총 노드의 수는 177개, 터미널 노드 수는 89개인 의사결정 나무가 생성되었다. <그림 5>는 각각 실제 남은 시간 대비 구축된 의사결정 나무로 예측한 작업 시간의 절대값과 오차 비율을 보여준다. 실제 남은 시간은 남은 작업 컨테이너의 개수를 사용하여 표시하였다. 실험 결과 컨테이너 작업량이 약 400개에서 200개 정도까지 남아있

는 구간에서 실제보다 많이 남은 것으로 예측하는 것을 볼 수 있다. 실험을 통해 수행한 39번의 예측과 실제 남은 시간에 대한 분단위의 평균제곱오차(mean square error)는 약 933.3으로 계산되었다.

다음으로, CHAID 알고리즘을 이용한 예측 모형의 학습에서는 다지 분리 방식을 사용하였으며, 상위 노드의 최소 개수와 하위 노드의 최소 개수, 최대 트리 깊이는 CART 알고리즘과 동일한 값을 사용하였다. CHAID 알고리즘의 학습결과 깊이가 4, 총 노드의 수는 113개, 터미널 노드 수는 78개인 의사결정 나무가 생성되었으며, <그림 6>은 각각 실제 남은 시간 대비 구축된 의사결정 나무로 예측한 작업 시간의 절대값과 오차 비율을 보여준다. CHAID 알고리즘을 사용한 결과 평균제곱오차는 약 1010.0으로, CART 알고리즘을 사용한 결과와 비교하면 약 8.1%의 차이를 보인다. 따라서, 두 학습 알고리즘이 유사한 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

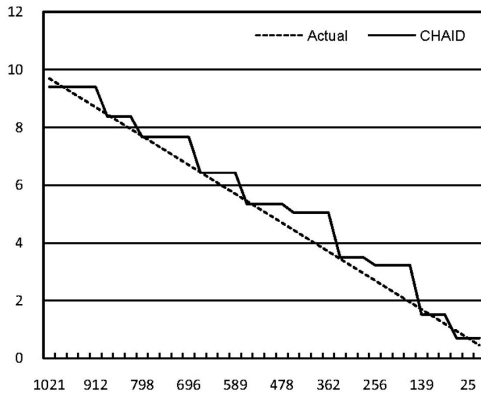


(a) 작업 완료시간 예측

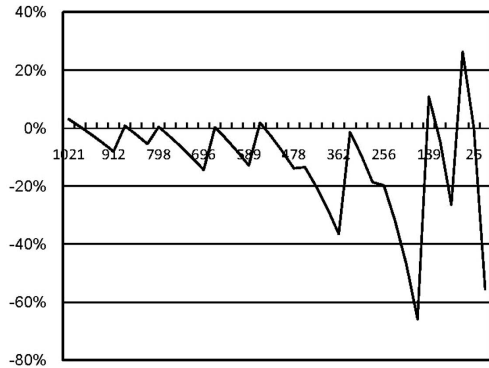


(b) 실제 대비 오류율

<그림 5> CART 알고리즘의 결과



(a) 작업 완료시간 예측



(b) 실제 대비 오류율

〈그림 6〉 CHAID 알고리즘의 결과

## 5. 결 론

본 연구에서는 물류 시스템에서 서비스 완료 시간을 예측하기 위해 중요 프로세스를 수행하는 자원들의 작업에 영향을 미치는 요인들을 파악하고 이들을 정량화하고 추정하는 방법을 제시하였다. 그리고 CART와 CHAID 알고리즘을 이용하여 의사결정 나무를 학습시킨 후 완료시간을 산정하였다. 구축한 예측 모델을 검증하기 위해 컨테이너 터미널을 대상으로 시뮬레이션 모델을 활용하였다. 실험 결과 CART와 CHAID 알고리즘은 비슷한 수준의 성능을 도출하는 것을 파악할 수 있었다.

의사결정 나무에서는 입력 값을 특정 기준에 따라 나누고 각 상황에 대해 다른 방식을 적용하여 예측값을 산출한다. 따라서, 선박의 컨테이너 처리에 소요되는 시간이 요인의 변화에 따라 비선형적으로 변하는 터미널의 운영을 고려할 때 적절한 방법론으로 사료된다. 하지만 본 연구에서 제시한 방법의 유효성을 보다 정확히 검증하기 위해서는 인공 신경망

등의 다른 예측 방법론과의 비교가 필요할 것으로 생각된다. 또한 가상의 시뮬레이션 환경이 아니라 실제 컨테이너 터미널의 운영에 적용을 하여 그 효과를 검증해야 할 것이다. 또한 직접적인 측정이 어려운 요인들에 대한 추정 방식의 성능이 예측 모형의 성능을 크게 좌우할 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서 제시한 추정 방법들 보다 정교한 방법을 사용하여 예측 모형을 학습시키고 완료시간의 예상에 사용할 필요가 있을 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김기영, “컨테이너 터미널에서 자동화된 트랜스퍼 크레인의 컨테이너 취급시간을 위한 평가모형”, IE interface, 제19권, 제3호, pp. 214-224, 2006.
- [2] 박구웅, “동아시아·유럽·북미 컨테이너

- 항만의 상대적 효율성 비교 분석”, 한국환경경제학회지, 제26권, 제4호, pp. 219-246, 2010.
- [3] 박길영, 오성동, 박노경, “컨테이너항만의 경쟁력 측정방법 : AHP와 DEA 접근”, 한국환경경제학회지, 제21권, 제1호, pp. 1-185, 2005.
- [4] 배종욱, “운영전략을 고려한 수직 배치형 컨테이너 터미널의 생산성 분석에 관한 연구”, 대한설비관리학회지, 제16권, 제3호, pp. 81-89, 2011.
- [5] 안경립, 윤근영, 박찬권, “물류 화물 추적 을 위한 UN/CEFACT 표준기반의 BP 모델 링 및 데이터 정의”, 한국전자거래학회지, 제 14권, 제4호, pp. 299-313, 2009.
- [6] 이병권, 김갑환, “컨테이너 터미널에서 자 동화 야드 크레인이 설치된 블록의 설계”, 대한산업공학회지, 제35권, 제1호, pp. 73-86, 2009.
- [7] 전수민, 김갑환, “류광렬, 시뮬레이션을 이 용한 컨테이너 터미널의 수평배치 장치장 의 배치도 설계”, IE Interface, 제20권, 제1 호, pp. 49-57, 2007.
- [8] 최용석, “Analysis of Combined Produc tivity of Equipments in Container Ter minal”, 해양정책연구, 제20권, 제2호, pp. 57-80, 2005.
- [9] 하태영, 최용석, “시뮬레이션을 이용한 자 동화 컨테이너터미널의 결합 생산성 분 석”, 한국경영과학회 2004년 춘계학술대 회논문집, pp. 643-646, 2004.
- [10] Caserta, M., Voß, S., “A Corridor Method-Based Algorithm for the Pre-marshaling Problem,” Lecture Notes in Computer Science, Vol. 5484, pp. 788-797, 2009.
- [11] Grunow, M., Günther, H-O., and Lehmann, M., “Strategies for Dispatching AGVs at Automated Seaport Container Termin als,” OR Spectrum, Vol. 28, pp. 587-610, 2006.
- [12] Ha, B-H., Park, E-J., and Lee, C-H., “A Simulation Model with a Low Level of Detail for Container Terminals and Its Applications,” Proceedings of 2007 Winter Simulation Conference, 2007.
- [13] Hendriks, M., Laumanns, M., Lefebber, E., and Udding, J. T., “Robust Cyclic Berth Planning of Container Vessels,” OR Spectrum, Vol. 32, No. 3, pp. 501-517, 2010.
- [14] Imai, A., Sasaki, K., Nishimura, E., and Papadimitriou, S., “Multi-objective Simul taneous Stowage and Load Planning for a Container Ship with Container Rehandle in Yard Stacks,” European Journal of Operational Research, Vol. 171, No. 2, pp. 373-389, 2006.
- [15] Kang, J., Ryu, K. R., and Kim, K. H., “Deriving Stacking Strategies for Export Containers with Uncertain Weight In formation,” Journal of Intelligent Manu facturing, Vol. 17, pp. 399-410, 2006.
- [16] Ku, L. P., Lee, L. H., Chew, E. P., and Tan, K. C., “An Optimisation Framework for Yard Planning in a Container Terminal : Case with Automated Rail mounted Gantry Cranes,” OR Spectrum, Vol. 32, pp. 519-541, 2010.
- [17] Russell, S. and Norvig, P., “Artificial

- Intelligence : A Modern Approach, 2nd Ed.,” Pearson Education, Upper Saddle River, NJ, 2003.
- [18] Stahlbock, R., Voß, S., “Operations Research at Container Terminals : a Literature Update,” OR Spectrum, Vol. 30, pp. 1-52, 2008.
- [20] Steenken, D., Voß, S., Stahlbock, R., “Container Terminal Operation and Operations Research-a Classification and Literature Review,” OR Spectrum, Vol. 26, pp. 3-49, 2004.
- [21] Tongzon, J., “Efficiency Measurement of Selected Australian and Other International Ports Using Data Envelopment Analysis,” Transportation Research Part A, Vol. 35, No. 2, pp. 107-122, 2001.
- [22] Vidovic, M. and Kim, K. H., “Estimating the Cycle Time of Three-Stage Material Handling Systems,” Annals of Operations Research, Vol. 144, No. 1, pp. 181-200, 2006.

## 저 자 소 개



윤신희

2007년

2009년

2009년~현재

관심분야

(E-mail : onlyiayou@naver.com)

경성대학교 산업공학과 (공학학사)

부산대학교 산업공학과 (공학석사)

(주)케이프 생산 1팀 생산관리 및 ISO 9001 담당자

제조업 생산성 향상, 싱글 PPM, 컨테이너 터미널 운영 분석



하병현

1998년

2005년

2006년~현재

관심분야

(E-mail : bhha@pusan.ac.kr)

서울대학교 산업공학과 (공학학사)

서울대학교 산업공학과 (공학박사)

부산대학교 산업공학과 조교수

비즈니스 프로세스 최적화, 물류 시스템 관리, 컨테이너 터미널 운영, 시뮬레이션