

# 항만 컨테이너 터미널에서의 RFID 적용을 위한 시뮬레이션 연구

이충훈 · 장경열 · 김재곤 · 유우식<sup>†</sup>

인천대학교 산업경영공학과

## A Simulation Study for RFID Application to the Port Container Terminal

Lee Choong Hoon · Jang Kyoung Yeol · Kim Jae Gon · Yoo Woo Sik<sup>†</sup>

Dept. of Industrial and Management Engineering, University of Incheon

In this study, we propose an RFID based container terminal operation process. Field tests are conducted for 900 MHz (truck identification) tag and 433 MHz RFID (container identification/e-seal) tag at an Incheon container terminal to verify possibility of applying RFID in the container terminal gate. To evaluate effect of applying RFID in the container terminal operation, simulation models for current and RFID based container terminals are developed using ARENA. Simulations are carried out using industrial field data and the result indicates that performance of the container terminal can be prominently improved after RFID application.

**Keywords** : RFID, Container Terminal, Simulation, Process Model

### 1. 서론

세계의 항만 물류는 동북아시아 지역의 물동량 급증에 의한 물동량 처리 능력과 국제교류 물품의 보안 및 정확한 정보전달에 큰 관심을 가지고 있다. 이에 맞추어 국내 항만물류에서는 물류처리 능력 향상과 보안 수준 향상을 위해 실시간 컨테이너 추적 서비스, 컨테이너의 이력정보관리, 컨테이너 보안 시스템 등에 관심을 갖기 시작했다.

이와 같은 국내외 항만 물류 환경 변화 속에서 RFID (Radio Frequency Identification)기술이 중요 이슈로 떠올랐다. RFID 기술은 사물에 전자 태그를 부착하여 무선으로 사물의 ID를 인식하는 기술로 항만 물류 컨테이너의 실시간 추적 및 이력관리 등의 데이터 처리와 실물인 등의 보안 분야에서 혁신을 가져올 수 있는 해결책

으로 대두 되었다.

RFID 태그는 정보를 담고 있는 마이크로칩과 안테나로 이루어진 무선인식용 칩으로 리더와 안테나의 상호작용에 의해 리더가 태그의 정보를 비접촉 방식으로 읽어 들여 정보시스템에 전송하는 시스템이다. 이러한 RFID 태그의 산업체 적용은 국내외로 많은 연구가 현재 진행되고 있다.

국내의 경우 해양수산부 주도로 부산항만을 대상으로 하는 RFID 적용 연구 및 시범적 도입은 활발히 이루어지고 있으며 부산 허치슨 터미널 같은 경우 게이트와 안벽크레인, 야드크레인 등에 모두 23기의 RFID 리더를 설치한 뒤 시범운행을 성공적으로 마치기도 하였다. 또한 항만 컨테이너 터미널의 RFID를 이용한 무인, 자동화 터미널 구축의 연구가 진행 중이다.

항만 터미널의 시뮬레이션 연구는 ARENA등의 상업

<sup>†</sup> 교신저자 wsyoo@incheon.ac.kr

용 소프트웨어 패키지를 이용하거나 자체적으로 특정 항만 컨테이너 터미널을 분석하기 위해 제작한 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 현재 항만 터미널 프로세스의 분석 연구가 진행 되고 있다.

본 연구에서는 인천 항만 컨테이너 터미널을 대상으로 RFID 적용에 관한 연구와 시뮬레이션 패키지를 이용한 항만 컨테이너 터미널의 RFID 도입에 관한 시뮬레이션 연구를 진행 하였다.

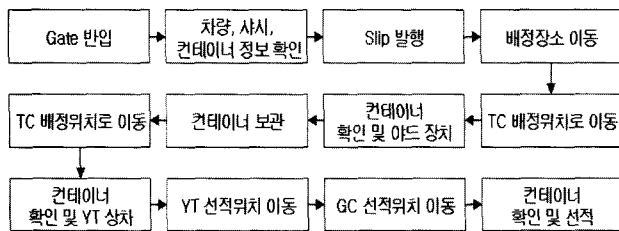
## 2. 항만 컨테이너터미널 AS-IS 분석

### 2.1 분석 대상

본 연구에서는 인천 선광 컨테이너 터미널을 대상으로 RFID 적용을 위한 시뮬레이션 연구를 수행하였다. 선광 컨테이너 터미널은 연간최대 40만 TEU의 컨테이너 화물 처리가 가능한 컨테이너전용 터미널로 게이트의 바코드 시스템을 비롯하여 야드 및 본선작업의 전산화가 이루어져 있는 항만 컨테이너 터미널이다.

### 2.2 업무 프로세스 분석

인천 선광 컨테이너 터미널의 업무는 크게 수출업무와 수입업무로 나뉜다. 수출의 경우 게이트 진입부터 선적, 수입의 경우 하역부터 게이트 아웃의 프로세스로 진행된다.

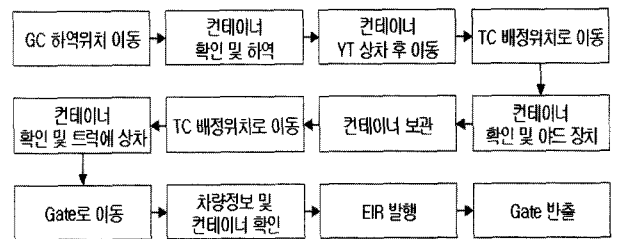


<그림 1> 수출 업무 프로세스

<그림 1>은 수출과 관련한 업무 프로세스를 나타내고 있고 프로세스의 상세 설명은 다음과 같다.

- ① 운송사는 COPINO(사전 반/출입 정보)를 컨테이너 터미널에 전송한다.
- ② 차량이 터미널에 도착하면 차량기사는 차량, 사시, 컨테이너의 정보가 담긴 바코드를 터미널 게이트에 설치된 바코드리더기에 인식 시킨다.
- ③ 터미널에서는 COPINO를 기반으로 인식된 바코드의 내용과 도착한 차량의 정보를 확인한다.

- ④ 확인이 끝나면 바코드시스템에서는 배정위치가 담겨있는 슬립을 발행한다.
- ⑤ 컨테이너 검수가 필요할 경우는 터미널게이트의 직원이 육안으로 확인한다.
- ⑥ 모든 확인이 끝나면 차량은 게이트를 지나 배정장소가 적힌 슬립 정보에 따라 이동한다.
- ⑦ 배정장소로 해당 차량이 이동하는 동안 터미널 전산 시스템에서는 트랜스퍼크레인(TC)에 작업 지시를 내려 해당 장소로 이동하도록 한다.
- ⑧ 해당 컨테이너 장치위치에 도착한 트랜스퍼 크레인인은 도착한 차량과 컨테이너의 정보를 확인한 후 컨테이너를 야드에 장치시킨다.
- ⑨ 야드에 장치된 컨테이너 정보는 트랜스퍼 크레인 기사에 의해 최종 확인된다.
- ⑩ 일정기간동안 컨테이너는 야드에 장치된다.
- ⑪ 일정기간 장치된 컨테이너는 트랜스퍼 크레인인에 의해 확인 작업을 거쳐 야드 트레일러(YT)에 상차된다.
- ⑫ 야드 트레일러는 터미널 시스템의 지시에 따라 선적위치로 컨테이너를 운반한다.
- ⑬ 갠트리크레인(GC)에서는 선적지시목록에 따라 야드 트레일러로부터 운반된 컨테이너를 확인한 후 선박에 선적한다.
- ⑭ 선적 과정에서 실봉인, 컨테이너의 이상 유무를 검사하고 이상이 없을 경우 선적을 완료한다.



<그림 2> 수입 업무 프로세스

<그림 2>는 수입 업무와 관련한 프로세스를 나타내고 있다. 수입 업무의 상세 프로세스는 다음과 같다.

- ① 하역사는 선사로부터 하역 목록을 적수 받은 후 하역목록에 의거하여 하역작업에 대한 계획을 수립한다.
- ② 선박 도착 후 하역사는 작업계획에 따라 갠트리 크레인을 이용하여 컨테이너의 확인 후 야드 트레일러에 하역한다.
- ③ 하역된 컨테이너를 실은 야드 트레일러는 컨테이너 장치를 위하여 야드로 이동한다.
- ④ 트랜스퍼 크레인에서는 장치될 컨테이너의 작업지

시를 받아 해당 장소로 이동한다.

- ⑤ 컨테이너를 장치할 위치에 도착한 트랜스퍼 크레인운은 야드 트레일러로부터 하역된 컨테이너를 받아 컨테이너의 정보 확인 후 야드에 장치한다.
- ⑥ 일정기간동안 컨테이너는 야드에 장치된다.
- ⑦ 트랜스퍼 크레인은 터미널 시스템으로부터 정보를 받아 일정기간이 지나 외부로 운송되어질 컨테이너의 반출정보를 가지고 있는 차량이 도착하면 해당 컨테이너를 확인하여 해당 차량에 장치시킨다.
- ⑧ 컨테이너를 장치시킨 차량은 야드를 빠져나가 터미널 게이트로 이동한다.
- ⑨ 게이트에서는 바코드시스템을 이용하여 차량의 정보를 확인 후 EIR(기기수도증)을 발행하고 차량은 터미널 게이트를 빠져나간다.

### 2.3 이슈분석

인천 선광컨테이너 터미널에서의 업무 프로세스의 분석결과 다음과 같은 문제점들이 발견되었다.

- ① 차량이 게이트에 들어온 후 차량번호, 샤시 번호 확인 시 차량기사가 전달하는 정보로만 확인이 가능하다. 일부 컨테이너 터미널에서 화상인식을 통한 인식을 하고 있지만 대부분의 경우 육안 또는 바코드인식을 하는 경우가 많고 샤시 번호나 컨테이너의 실봉인 같은 경우 확인 작업을 하지 않는 경우가 많다. 정확한 컨테이너 화물의 정보를 파악하기 위해서는 차량, 샤시, 컨테이너 상태 등의 정확한 정보의 파악이 필요하다.
- ② 게이트 통과 후 차량 기사들은 슬랩에 적힌 배정 위치정보를 기반으로 야드 내 이동을 한다. 그러나 위치정보를 제대로 확인하지 못하거나 가독성이 떨어져 터미널내의 배정장소로 빠르게 이동하지 못하는 경우가 발생한다. 이는 터미널내의 교통 혼잡을 야기 시키고 장비의 대기시간을 증가시키는 원인이 된다. 그러므로 정확한 위치정보 전달을 위한 수단이 필요하다.
- ③ 현재 대부분의 컨테이너 터미널에서는 장치장 내에 장치된 컨테이너의 위치정보 확인을 수작업으로 통해 기록한다. 이는 위치 정보의 정확도를 낮추어 작업효율을 좋지 않게 한다. 정보시스템이 잘 구축되어 있는 터미널이라 할지라도 기본적으로 사람의 수작업에 의해 등록되기 때문에 정확하지 못한 데이터 입력으로 작업의 재 조작을 야기시킬 수 있다. 그리하여 야드 내의 실시간적인 컨테이너의 위치데이터가 필요하게 되었다.
- ④ 작업지시 후의 장비(야드 트레일러, 야드 트랙터)

의 실시간 위치 확인이 이루어 지지 않고 있다. 계획변경이나 긴급 작업 시 장비의 정확한 위치 파악이 이루어 지지 않으면 빠른 대응을 할 수 없다. 그러므로 신속한 야드 내의 작업 대응을 위하여 야드트레일러, 야드트랙터 등의 장비들에 대한 위치 확인이 필요하게 되었다.

- ⑤ 갠트리 크레인을 이용한 선적 또는 하역 작업 시 컨테이너의 번호와 실 봉인의 확인 작업을 사람의 육안으로 확인하고 있다. 이 경우 작업 오류가 발생할 가능성이 있고 실봉인 상태도 정확한 판단을 하지 못할 가능성이 있다. 실봉인과 같은 경우 수입/수출 화물의 보안 문제와 밀접한 관계를 갖고 있기 이에 정확한 검사가 요구 되고 있다.
- ⑥ 대고객 서비스를 위한 컨테이너의 위치추적이나 정보 확인이 컨테이너 터미널 내로 국한되어 있다. 하지만 앞으로의 국제적 추세를 보았을 때 출항 후의 해외에서의 위치 확인이나 해외에서 수입되는 도중의 화물위치 확인을 할 필요성이 있다. 이를 위해서는 컨테이너 터미널 자체의 정보 시스템을 넘어선 국내 운송사, 선사, 해외 운송사, 해외 선사 등에서 모두 적용 가능한 정보시스템의 구축이 필요하다.

### 3. 항만터미널 To-Be 프로세스 모델

<그림 3>은 RFID 도입 후의 업무 프로세스를 나타내고 있고 세부적인 사항은 다음과 같다.

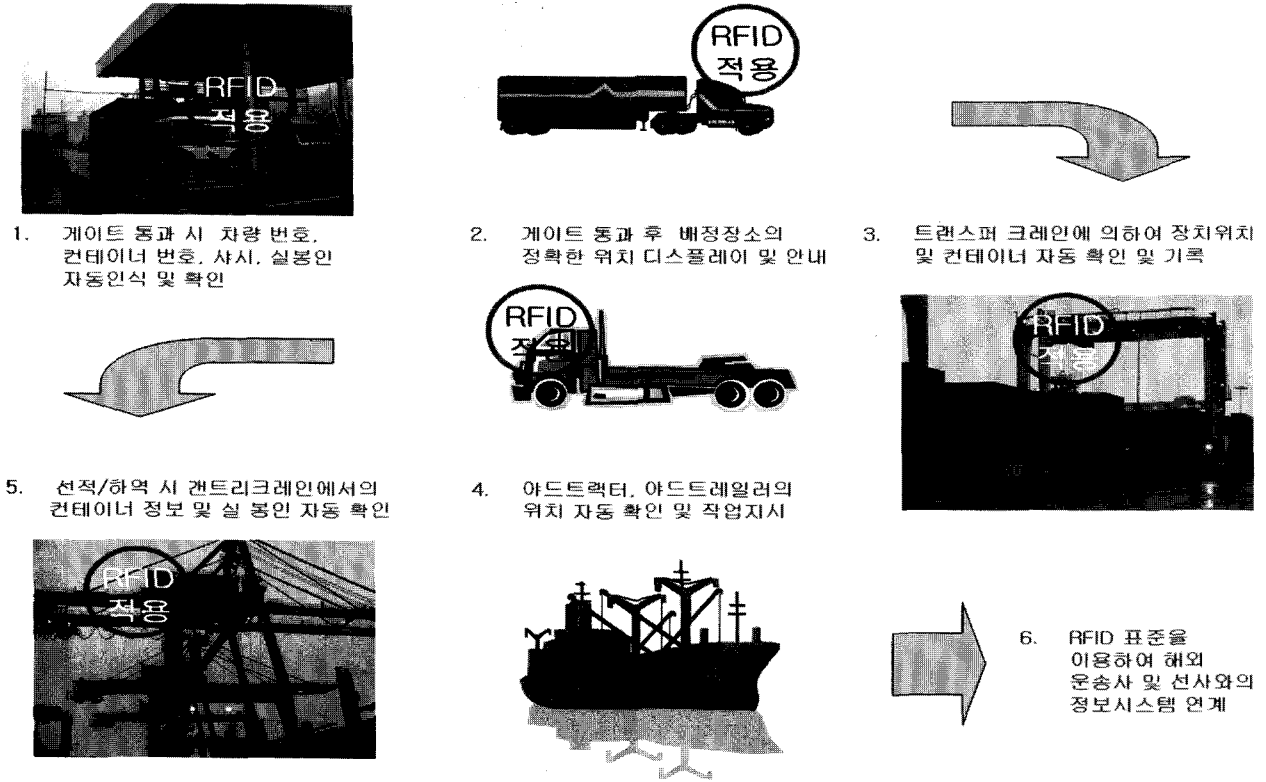
#### 3.1 게이트 반입

컨테이너 터미널에 출입하는 차량, 샤시, 컨테이너에 각각의 정보를 담은 RFID 태그를 부착하고 컨테이너 터미널에 게이트에 들어가게 되면 터미널 게이트에서는 자동적으로 차량번호, 샤시번호, 컨테이너번호를 인식하고 사전 등록된 정보와 비교하여 자동 승인을 내리게 된다. 이러한 시스템으로 컨테이너 차량은 게이트에서의 멈춤 없이 통과가 가능하게 되고

실봉인 확인 또한 일반 실 대신 e-Seal을 사용함으로써 컨테이너의 현 상태를 신속, 정확하게 파악할 수 있다.

#### 3.2 야드 내 이동

게이트를 통과한 후 차량 내에 장치된 디스플레이 장치에서는 터미널로부터 배정받은 컨테이너 장치 위치가 표시되고 길의 안내까지 담당하게 된다. 이로써 야드 내



<그림 3> RFID 도입 후 컨테이너 터미널 업무 프로세스 <번호순서 확인해 주세요 4, 5가 바뀐듯 하네요>

의 차량 혼잡을 줄이고 정확한 도착시간과 장소를 파악할 수 있어 트랜스퍼 크레인의 작업지시가 효율적으로 이루어지고 장비의 대기시간을 줄일 수 있다.

### 3.3 터미널 게이트 기타사항

게이트에서 RFID 시스템과 함께 컨테이너 검수장치(X-Ray이용)등의 장비를 병행하여 사용하면 더 큰 효과가 있을 것이라 기대된다.

### 3.4 장치장 내의 컨테이너 확인

RFID 태그가 부착된 차량이 게이트를 통과하면 야드 내의 트랜스퍼 크레인에서는 이 정보를 받게 되고 지정된 위치로 이동한다.

배정위치에 도착을 하면 트랜스퍼 크레인은 해당 컨테이너를 집게 되고 이때 트랜스퍼 크레인에 장착된 리더기를 통해 컨테이너의 정보 확인 및 데이터 입력이 동시에 이루어지게 된다. 컨테이너의 정보가 맞는 것을 확인한 후 지정된 장소에 장치를 하게 되면 작업이 끝나게 되고 트랜스퍼 크레인은 작업지시에 따라 다음 장소로 이동한다. 장치 후 야드 내에 설치된 RFID 리더기

를 통해 컨테이너의 위치가 실시간으로 파악된다.

위와 같은 프로세스의 적용 시 컨테이너 확인 정확성이 높아지고 단말기를 통한 트랜스퍼 크레인 기사 데이터 입력 작업이 사라진다.

### 3.5 장치장 내의 장비 위치확인

각 야드 트레일러, 야드 트랙터에는 RFID 리더기 및 태그가 부착되어 야드 내에 설치된 RFID 리더기로 위치 정보를 보낸다. 터미널은 장비들의 위치정보를 파악하여 작업지시 스케줄을 작성하거나 긴급 오더가 있을 경우 빠르게 대처할 수 있도록 한다.

### 3.6 선적/하역 시 컨테이너 정보 및 상태 확인

갠트리 크레인은 컨테이너를 선적/하역하면서 크레인에 장착된 리더기를 통해 컨테이너의 정보를 전달 받아 컨테이너의 정보 인증 및 승인을 하고 작업을 진행한다. 선적/하역 시 컨테이너의 실봉인의 데이터를 읽어서 컨테이너의 상태정보를 기록하여 보안 기록으로 남길 수 있다.

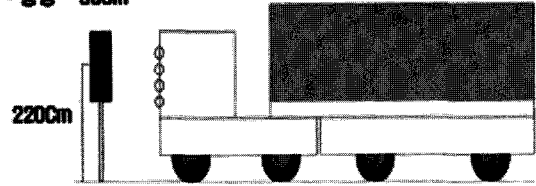
위와 같은 시스템이 구축될 경우 컨테이너 선적/하역

작업의 재작업 비율이 줄어들어 컨테이너 확인 시간이 감소하게 되는 효과가 있을 것이다.

### 3.7 확장된 형태의 위치추적 시스템

RFID를 이용하면 현재 국내에 국한되어 있는 정보시스템의 범위를 확장하여 국제적인 위치추적, 화물관리 정보 시스템의 구현이 가능해진다. RFID의 국제 표준에 맞추어 주파수 대역과 통신규격을 정의하고 국외 선사, 터미널, 운송사와 정보 시스템을 연계하면 수출 후 혹은 수입 전 컨테이너에 대한 정보를 실시간으로 확인할 수 있다. 이는 항만 컨테이너 터미널에서의 정확한 작업 시간과 컨테이너 정보를 관리할 수 있어 작업 계획의 정확성을 높일 수 있고 갠트리 크레인 등의 장비 대기 시간을 줄일 수 있고 고객서비스 수준의 상승이라는 장점이 있어 이윤 창출에도 도움이 될 것이다.

900MHz 태그 부착위치  
 • 중앙 + 15cm  
 • 중앙  
 • 중앙 - 15cm  
 • 중앙 - 30cm



<그림 4> 900MHz RFID 이동 인식 실험

## 4. 항만 컨테이너 터미널 게이트 실증실험

실제 항만 컨테이너 터미널에서의 RFID 적용 가능성을 평가해 보기 위해 RFID 적용이 가장 용이하고 433MHz 태그와 900MHz 태그를 모두 실험할 수 있는 컨테이너 터미널 게이트를 대상으로 실증실험을 수행하였다.



<그림 5> 반복 이동 테스트

### 4.1 실험장비

실증실험에 사용된 주요 장비는 900MHz, 433MHz의 RFID장비와 컨테이너 차량, 컨테이너, 구조물 등이다.

### 4.2 실험방법

#### 4.2.1 900MHz RFID 이동 인식실험

900MHz RFID 태그를 트럭에 부착하여 속도와 안테나 각도, 태그 부착위치를 인자로 하여 실험을 실시하였다. 안테나 각도는 차량 진입 방향을 기준으로 45, 60, 75도, 태그부착위치는 <그림 4>와 같이 220cm를 기준으로 -30, -15, 0, +15cm (태그의 부착 가로위치는 운전자 중앙), 차량이동속도는 10, 20, 30km로 설정하였다.

#### 4.2.2 433MHz RFID 태그의 이동 인식실험

컨테이너에는 433MHz 태그를 부착하여 <그림 5>와 같이 10회 반복 이동 테스트를 실시하였다. 태그는 차량 후문 중앙의 e-Seal 위치에 부착하였으며 차량은 10~30km/h 사이의 속도로 구조물 상단에 설치된 리더기를 지나가도록 하였다.

### 4.3 실험결과

#### 4.3.1 900MHz RFID 이동 인식실험 결과

<표 1>은 각도(A), 속도(B), 태그 부착 위치(C)에 따른 인식 결과를 보여준다.

<표 1> 900MHz RFID 이동 실험 인식률

(단위 : %)

차량 속도 (B)	태그 위치 (C)	각도(A)			
		30° (A1)	45° (A2)	60° (A3)	75° (A4)
10KM (B1)	-30CM(C1)	90	90	100	70
	-15CM(C2)	100	100	100	100
	0CM(C3)	40	100	100	100
	+15CM(C4)	40	70	100	80
20KM (B2)	-30CM(C1)	20	30	50	70
	-15CM(C2)	40	100	100	100
	0CM(C3)	60	60	20	0
	+15CM(C4)	40	70	80	70
30KM (B3)	-30CM(C1)	0	50	70	60
	-15CM(C2)	70	100	100	100
	0CM(C3)	30	0	0	0
	+15CM(C4)	70	50	60	60

<표 2>는 <표 1>에 대한 ANOVA 분석 결과를 나타내고 있으며 속도와 태그 부착 위치(인자 B, C)는 인식률에 독립적으로 유의함을 알 수 있다.

<표 2> 900MHz RFID 이동 실험에 대한 ANOVA 분석 결과

요인	SS	DF	MS	F0	F(0.9)	F(0.95)	F(0.99)
A	3739.58	3	1246.53	2.17	2.38	3.10	4.94
B	11304.17	2	5652.08	9.86*	2.59	3.49	5.85
C	15689.58	3	5229.86	9.12*	2.38	3.10	4.94
AXB	579.17	6	96.53	0.17	2.09	2.60	3.13
AXC	2635.42	9	292.82	0.51	1.96	2.39	3.46
BXC	6929.17	6	1154.86	2.01	2.09	2.60	3.13
e	10320.83	18	573.38				
T	51197.92	47					

주) 유의수준 1%에서 유의함.

4.3.2 433MHz 이동 인식실험 결과

테스트 수행 결과 433MHz e-seal 태그의 경우 차량 속도에 관계없이 100%의 인식률을 보였다.

4.4 실증실험 결과 분석

900MHz RFID 태그의 경우 가장 좋은 인식 조건(속도 : 10KM, 태그 위치 : 리더기 중앙으로부터 -15CM 위치)에서 100%의 인식률을 보였으며, 433MHz RFID 태그의 경우도 e-seal 태그 위치에 부착되었을 경우 차량 속도에 관계없이 100%의 인식률을 보였다.

따라서 컨테이너 터미널 게이트에서의 RFID 현업 적용 가능성은 기술적으로 충분하다고 볼 수 있으며 게이트 이외의 야드와 선적/하역 등의 업무에 있어서도 RFID 적용 가능성은 높다고 예상할 수 있다.

5. 시뮬레이션

항만 컨테이너 터미널에서의 RFID 도입 시 컨테이너 확인 및 검사 시간 단축에 따른 작업 성능(대기시간, 장비 점유율 등) 향상을 정량적으로 평가하기 위해 범용 시뮬레이션 소프트웨어인 ARENA를 사용하여 시뮬레이션을 수행 하였다. 수행 방법은 RFID 적용 전의 항만 컨테이너 터미널을 모델링하여 시뮬레이션 모델의 타당성을 검증한 후 RFID 도입 후 개선된 업무에 대해 시뮬레이션을 수행함으로써 개선 전과 개선 후의 성능을 정량적으로 확인할 수 있도록 하였다. 시뮬레이션은 <표 3>과 같은 환경에서 수행 되었다.

<표 3> 시뮬레이션 환경

시스템 환경	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ARENA 5.0</li> <li>• Windows XP</li> <li>• Intel Pentium4 2.8Ghz</li> </ul>
작업 환경	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 작업 셋업 시간 없음</li> <li>• 1일 12시간 작업</li> <li>• 365일 진행</li> </ul>

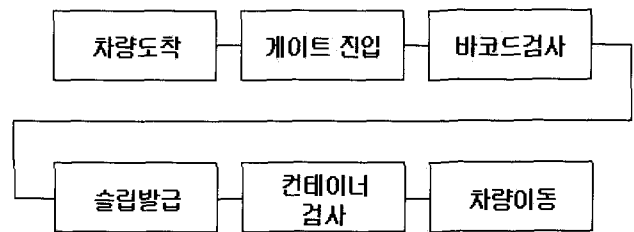
작업 환경 중 1일 12시간 작업은 요일별 작업시간의 평균을 나타낸 것이다.

5.1 RFID 적용 전의 시뮬레이션 모델

RFID 적용 전의 컨테이너 터미널을 모델링 하기 위하여 3장에서 분석되었던 항만 컨테이너 터미널의 프로세스를 활용하였고 인천 선광 컨테이너 터미널에서 제공 받은 기초 데이터를 입력하였다. RFID 적용 전 시뮬레이션 모델의 업무 프로세스 및 입력 데이터에 관한 설명은 다음과 같다.

5.3.1 게이트 반입

<그림 6>은 게이트 반입의 프로세스 흐름을 보여준다. 게이트 반입에서는 바코드 시스템에서의 차량확인 및 검수절차를 거쳐 야드로 이동하도록 설계되었다. 컨테이너 반입률은 실제 평균 반입률을 근거로 지수분포를 사용하여 생성하였으며 각 프로세스는 선입선출의 방식을 따르도록 하였다. 게이트에서의 주된 리소스는 바코드시스템과 게이트 관리자이다.

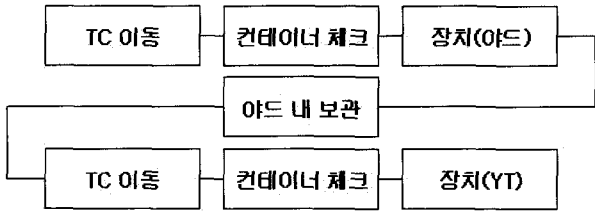


<그림 6> 게이트 반입 프로세스

5.3.2 야드 장치(수출)

<그림 7>은 수출 물류 중 야드 장치의 프로세스이다. 야드 장치 또한 게이트 반입과 마찬가지로 선입선출의 방식을 따르며 트럭으로부터 야드로 운반되어온 컨테이너가 도착하면서부터 진행 되는 프로세스이다. 컨테이너가 도착되면 컨테이너의 검사 후 장치를 한다. 그 후 일정시간의 보관시간을 거쳐 컨테이너의 확인 후 야드 트레일러에 장치되고 야드 트레일러는 선적을 위해 해

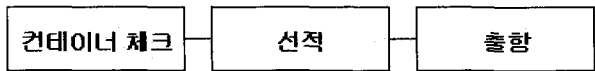
당 선박 앞의 장치장으로 이동한다. 야드 장치에서의 주된 리소스는 트랜스퍼크레인(TC)이다.



<그림 7> 야드 장치(수출) 프로세스

5.3.3 선적

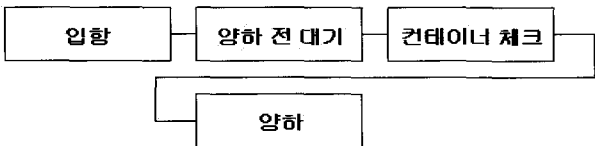
<그림 8>은 선적과 관련한 프로세스를 나타내고 있다. 선적 프로세스는 야드 트레일러에 의해 장치장으로부터 운반된 컨테이너의 확인과 선박의 본선작업으로 이루어진다. 주요 리소스는 갠트릭크레인(GC)과 선적을 관리하는 언더맨이다. 기본 작업은 선입선출의 방식을 적용하였다.



<그림 8> 선적 프로세스

5.3.4 양하

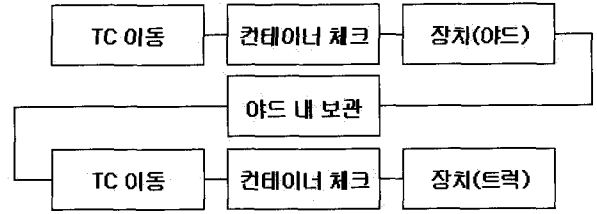
<그림 9>는 컨테이너를 실은 선박의 정박 후 이루어지는 양하의 프로세스를 나타낸다. 양하 프로세스는 선박이 도착한 후 통관이나 서류작업등에 의해 양하전 대기 시간이 존재한다. 그 후 컨테이너의 체크 및 야드 트레일러로의 양하 작업 후 야드 트레일러는 야드로 이동한다. 양하 프로세스에서의 주요 리소스는 갠트리 크레인 및 언더맨이다. 시뮬레이션 모델에서 양하되는 컨테이너는 작업 스케줄이 이루어졌다는 전제 하에 선입 선출에 의한 작업이 이루어진다.



<그림 9> 양하 프로세스

5.3.5 야드 장치(수입)

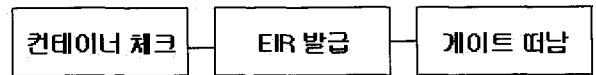
<그림 10>에서 보여주고 있는 수입 물류 프로세스에서의 야드 장치는 수출 프로세스와 거의 같은 구조로 설계되었다. 수출 프로세스와 마찬가지로 선입선출의 방식과 주요 리소스로 트랜스퍼 크레인이 사용된다.



<그림 10> 야드 장치(수입) 프로세스

5.3.6 게이트 반출

<그림 11>은 터미널 외부로의 컨테이너 반출에 대한 프로세스를 보여준다. 항만 터미널의 반출 프로세스는 트럭의 반입과 컨테이너 장치 후 게이트의 확인 및 반출로 이루어져 있지만 시뮬레이션 모델에서는 트럭의 흐름에 관한 관리는 생략되었기 때문에 트럭으로부터 운반되어온 컨테이너의 확인과 반출이라는 프로세스를 시뮬레이션 모델을 설계하였다. 주된 리소스는 바코드 시스템과 게이트 관리자이고 선입 선출의 방식을 따랐다.



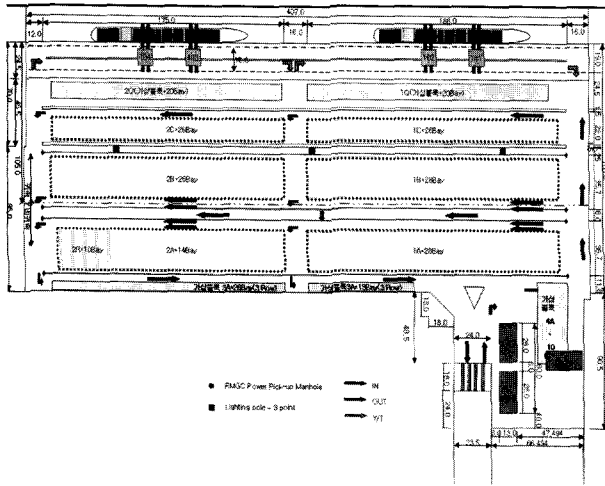
<그림 11> 게이트 반출 프로세스

5.3.7 입력 데이터

시뮬레이션 모델에서는 <표 4>의 입력 데이터를 사용하였으며 지점별 이동거리 계산을 위해 <그림 12>의 컨테이너 터미널 배치도를 사용하였다.

<표 4> RFID 적용 전 시뮬레이션 모델 입력 데이터

	선광 터미널	시뮬레이션모델
게이트 컨테이너 반입 시간간격	3분	expo(3분)
차량 확인 및 발급시간	5초	expo(5초)
컨테이너 검수시간	1분 이내	tri(0.5, 1, 1.5)분
TC : 컨테이너 장치시간	평균 3.3분	expo(3.3분)
GC : 선적, 양하시간	평균 2분	expo(2분)
야드내 트럭, YT의 속도	20km/h	20km/h
양하전 대기시간	30분	30분
컨테이너 체크시간	즉시	tri(4, 5, 6)초
게이트관리인원	6명	6명
트랜스퍼크레인	6기	6기
갠트릭크레인	3기	3기
야드트레일러	13대	13대
야드크기	6596TEU	6596TEU
언더맨	5명	5명
지점별 이동거리	배치도 참고	배치도평균거리



<그림 12> 시뮬레이션 대상 컨테이너 터미널 배치도

5.2 시뮬레이션 모델 검증

선광컨테이너 터미널의 시뮬레이션 모델이 RFID 적용 전의 실제 업무 프로세스를 제대로 묘사하고 있는지를 실제 데이터를 사용하여 검증하였다. 판단 요소는 선광 컨테이너 터미널의 중점 관리 항목이며 시뮬레이션을 통해 확인이 가능한 본선 양하 실적, 게이트 반입 실적, 본선 작업 시 시간당 처리물량, 컨테이너 상하차 작업 대기시간이다.

<표 5> 선광 컨테이너 터미널 실제 데이터를 통한 시뮬레이션 모델 검증

결과 항목	실제값	시뮬레이션 결과
본선 양하 실적	11884TEU/월	11680TEU/월
게이트 반입 실적	12542TEU/월	12412TEU/월
본선작업 시 시간당 처리 물량	23VAN/h	23.7VAN/h
컨테이너 상하차 작업 대기시간	27.2분	27.78분

<표 5>에서와 같이 선광 터미널에서의 실제 데이터와 시뮬레이션 모델의 결과 값이 근사한 것으로 나타났다. 이는 개발한 시뮬레이션 모델이 타당성이 있음을 검증하는 것이다.

5.3 RFID 적용 후의 시뮬레이션 모델

RFID 적용 후의 시뮬레이션 모델은 게이트, 장치, 이동, 선적/하역 등의 업무에 RFID가 적용되었다는 가정 하에 설계하였다. <표 6>에서와 같이 차량확인 및 발급시간과 컨테이너 검수시간은 0으로 줄었고 양하전 대기시간

은 하역 전 수행해야 하는 업무인 화물의 종류/양 및 특성 파악, 적하목록, 선행증권 확인, 외관상 이상 유무 확인, 봉인 상태 확인 등에서 RFID를 도입할 경우 최소 50% 이상의 시간적 단축이 기대되어 50%가 감소된 시간으로 설정하였다. 컨테이너의 체크시간은 RFID를 도입할 경우 0에 가까우나 버퍼시간을 주어 1~2초로 설정하였다.

<표 6> RFID 적용 후 시뮬레이션 모델 입력 데이터

	현재모델	RFID 적용모델
게이트 컨테이너 반입 시간간격	3분	expo(3분)
차량 확인 및 발급시간	expo(5초)	0
컨테이너 검수시간	tri(0.5, 1, 1.5)	0
TC : 컨테이너 장치시간	expo(3.3분)	expo(3.3분)
GC : 선적, 양하시간	expo(2분)	expo(2분)
야드내 트럭, YT의 속도	20km/h	20km/h
양하전 대기시간	30분	15분
컨테이너 체크시간	tri(4, 5, 6)초	tri(0, 1, 2)초
게이트관리인원	6명	0명
트랜스퍼크레인(TC)	6기	6기
센트릭크레인(GC)	3기	3기
야드트레일러(YT)	13대	13대
야드크기	6596TEU	6596TEU
언더맨	5명	5명
지점별 이동거리	배치도 평균거리	배치도 평균거리

5.4 RFID 적용 전 모델과 RFID 적용 후 모델의 결과 비교

<표 7>에서 볼 수 있듯이 RFID를 항만 컨테이너 터미널에 적용할 경우 작업 대기시간 감소에 큰 효과가 있는 것으로 나타났다. 특히 컨테이너의 상하차 작업 대기시간과 같은 경우 27.8분에서 16.8분으로 40%의 대기시간이 감소하였다. 또한 RFID 적용 전 모델에 비해 RFID 적용 후 모델의 Apron, TC, GC의 점유율이 약 2~3%씩 감소한 것으로 나타났다. 점유율이 감소하였다는 것은 Apron, TC, GC의 작업처리능력이 향상되었다는 것으로 더 많은 물량을 처리할 여유가 생겼다는 것을 의미한다. 이는 RFID 도입 후 컨테이너 체크시간, 대기시간 감소에 따라 병목작업인 TC 작업에서의 작업 가능시간이 늘어난 결과이다. 각 업무에서의 처리능력 향상은 전체 컨테이너 터미널의 처리능력 향상과 밀접한 관계가 있다. 그러므로 RFID의 적용은 항만 컨테이너 터미널의 컨테이너 처리 능력을 높여준다는 결론을 얻을 수 있다. 뿐만 아니라 항만 컨테이너 터미널에서의 RFID 도



입은 업무 자동화로 인한 인건비 감소, 작업오류의 감소로 인한 재처리 작업시간이나 대기시간 감소 등의 이점이 있다.

<표 7> 시물레이션 결과 값 비교

결과 항목	RFID 적용 전 모델	RFID 적용 후 모델
본선 양하실적	11680TEU/월	11770TEU/월
게이트 반입 실적	12412TEU/월	12415TEU/월
본선작업시시간당 처리 물량	23.6VAN/h	23.9VAN/h
컨테이너 상하차 작업 대기시간	27.8분	16.8분
TC 점유율	97.8%	96.3%
GC 점유율	55.7%	53.2%
Apron 점유율	83.2%	80.4%
GC 대기시간	4.7분	3.53분

## 6. 결 론

본 연구에서는 항만 컨테이너 터미널에서의 RFID 적용을 위해 컨테이너 터미널 게이트에서의 RFID 실증실험과 실제 컨테이너 터미널의 데이터를 기초로 한 시물레이션을 실시하였다. 실증실험을 통해 RFID 현업 적용 가능성을 확인하였으며, 시물레이션을 통해 RFID가 적용되었을 경우의 정량적인 업무 성능 향상을 확인할 수 있었다.

비록 본 연구에서는 항만 컨테이너 터미널에서의 RFID 도입 효과를 평가하기 위해 시물레이션을 통해 측정 가능한 정량적인 결과값만을 비교, 분석하였지만 RFID를 도입할 경우 보안 수준 향상, 작업 오류 감소, 컨테이너 실 시간 추적 등의 시물레이션을 통해 측정 불가능한 효과가 있기 때문에 실제 RFID의 적용 효과는 시물레이션을 통해 제시한 효과보다 훨씬 더 크다고 예상할 수 있다.

현재 기술적, 비용적 관점에서 보았을 때 항만 컨테이너 터미널 및 관련 물류 업체들에서 RFID를 현업에 바로 적용시키기에는 많은 어려움이 있다. 하지만 현재의

기술 발전 속도로 보아 향후 5년 이내에는 전 세계적으로 RFID의 항만 적용이 일반화 될 것으로 예상된다.

본 연구에서 개발한 시물레이션 모델은 추후 항만 컨테이너 터미널에서의 RFID 현업 적용 타당성 평가를 위한 도구로 활용될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 RFID 도입 시 업무 프로세스 재설계는 고려하지 않았지만 추후 연구과제로서 RFID 적용 시 업무 프로세스 재설계와 이를 고려한 시물레이션 모델 개발 및 성능 평가가 진행되어야 한다. 또한 RFID 도입 비용 대비 효과 분석에 대한 연구가 추가로 수행되어야 한다.

## 참고문헌

- [1] 강영문; “국제물류 환경변화와 우리나라 항만의 활성화 전략”, 물류학회지, 14(2) : 49-71, 2004.
- [2] 김현지; “물류 유통부문의 RFID 활용방안에 관한 연구”, 유통정보학회지, 7(1) : 39-65, 2004.
- [3] 배종욱; “컨테이너터미널에서 버퍼 야드에 관한 시물레이션 연구”, 대한설비관리학회지, 9(4) : 95-105, 2005.
- [4] 장명희, 노미진; “국내외 물류부문의 RFID 도입에 따른 SWOT 분석과 사례연구”, 한국해운물류학회, 47 : 151-179, 2005.
- [5] 홍동희; “시물레이션과 유전자 알고리즘을 이용한 선석 계획과 야드 설계의 통합”, 한국해운물류학회, 44 : 77-92, 2005.
- [6] 이재인, 정기호; “RFID 적용에 의한 부산항의 항만 물류 개선에 관한 연구”, 한국컨텐츠학회 춘계종합 학술대회논문집, 3(1) : 300-303, 2005.
- [7] 왕승진, 김갑환, 박영만, 양창호, 김영훈, 배종욱; “자동화 컨테이너 터미널에서의 장치장 운영 시물레이션 연구”, 대한산업공학회 춘계학술대회논문집 : 974-978, 2002.
- [8] 이장룡, 변의석; “Arena를 이용한 공동수송알고리즘의 성능 분석”, 대한산업공학회 춘계학술대회논문집 : 436-441, 2003.