

항만컨테이너터미널 게이트 입/출입 관리에서의 RFID 적용에 관한 실증 연구

장경열¹ · 이충훈¹ · 김재곤¹ · 임승길² · 유우식^{1*}

¹인천대학교 산업경영공학과 / ²성결대학교 e-비즈니스IT학부

An Empirical Study on RFID Application to the Container Terminal Gate Management System

Kyoungyeol Jang¹ · Chunghoon Lee¹ · Jae-Gon Kim¹ · Seung-Kil Lim² · Woosik Yoo¹

¹Department of Industrial and Management Engineering, University of Incheon, Incheon 402-749

²Division of e-business IT, Sungkyul University, Anyang 430-742

We conduct an empirical study on RFID application to a real container terminal gate. The objective of this study is three-fold. The first is to design a new gate management process that applies RFID technology. For this purpose, we analyze current gate management process to find opportunities for improvement. The second is to verify the 433 and 900 MHz RFID technology in terms of the recognition rate of information contained in RFID tag under various conditions such as the speed of vehicle, the position of RFID tag and the tilt of RFID reader. We perform some experimental tests for this verification. Finally, we try to find suitable conditions for the speed of vehicle, the position of RFID tag and the tilt of RFID tag reader based on results of the experimental tests. Those findings are obtained with some ANOVA tests. Additionally, we summarize anticipated issues when applying RFID technology to the gate management process and possible solutions for the issues.

Keyword: RFID, empirical test, seaport container terminal

1. 서론

기업의 생산 및 판매가 점차 글로벌화 되어가고 세계화의 진전 및 시장 개방의 가속화로 인해 국내/외적으로 물류산업의 중요성이 높아지고 있다. 특히 동북아 경제 규모의 급격한 확대로 컨테이너 물동량이 증가하면서 한국, 중국, 싱가포르, 일본 등의 아시아 국가 간의 항만물류 주도권 경쟁이 나날이 치열해 지고 있다.

이와 같은 상황에서 항만물류의 거점인 항만터미널은 경쟁에 살아남기 위해 지속적인 항만사용료 인하와 서비스수준 개

선을 시도하고 있다. 각국 항만들은 업무 및 장비의 자동화, 고속화를 추구하는 차세대형 터미널의 개발하고 다양한 배후수송망 확보에 노력하고 있다(Park, 2005).

아울러 항만운영의 효율성을 획기적으로 증대시키기 위해 RFID(Radio Frequency Identification)를 기반으로 하는 유비쿼터스 인프라를 항만에 구축하여 수출입 물류에 활용하는 u-Port화 계획을 수립하고 있다.

RFID는 정보를 담고 있는 태그(Tag)와 안테나로 이루어진 무선인식용 칩을 말하며 리더와 안테나의 상호작용에 의해 리더가 태그의 정보를 비접촉 방식으로 읽어 들여 정보시스템에

*연락처 : 유우식 교수, 402-749 인천광역시 남구 도화동 177 인천대학교 산업경영공학과, Fax : 032-761-9954,

E-mail : wsyoo@incheon.ac.kr.

2006년 11월 접수, 1회 수정 후 2006년 12월 게재확정.

전송하게 된다. RFID는 바코드를 대체할 차세대 인식기술로 많은 정보의 저장, 높은 인식률, 비 접촉형 인식매체, 긴 도달거리, 다른 통신망과의 연계 및 통신 가능성 등의 확장성으로 인해 물류/유통, 군사, 식품/안전 등 모든 산업에 있어 킬러애플리케이션으로서 막대한 영향을 끼칠 전망이다(Kim, 2004).

RFID는 기술발전에 따른 칩의 소형화와 단가 하락에 따라 점차 현업 적용가능성이 높아짐에 따라 향후 관련 시장도 폭발적으로 성장할 것으로 예상된다. RFID 관련 시장은 2010년까지 세계시장규모가 약 540.8억 달러에 이를 것으로 예상되며 국내 시장 규모는 약 39억 달러로 예측되고 있다(IT838전략기술개발 Master Plan/IITA).

표 1. 국내/외 항만/항공 물류의 RFID 적용 사례

적용 지역	사업주체	내 용
한국	해양수산부	항만물류 효율화 시범사업(2004)
	인천광역시	항공화물 RFID 시범사업(2005)
	한국공항공사	항공수하물 추적통제시스템 개발 (2004)
일본	ANA/나리타 공항 관리공단	화물 수취/전담 서비스로 화물에 RFID 부착하여 화물정보를 관리, 화물수취서비스 제공
EU	British Airways 항공	공항에서 승객들의 여행가방에 RFID 태그를 부착하여 승객과 승객의 여행가방을 매칭시켜 승객이 자신의 여행가방을 손쉽게 찾을 수 있도록 함
미국	연방통신 위원회	2005년부터 미국내 반입하는 컨테이너를 대상으로 RFID태그 부착 강제규정 승인
	라스베가스 맥캐런 국제공항	승객의 수화물처리 실패율이 15-30%까지 줄이기 위해 승객 수화물 추적 시스템 프로젝트 시작

<표 1>은 최근 국내외에서 항만 및 항공 물류에 RFID 기술의 적용한 사례를 보여주고 있다. 국내의 경우 정부 주도로 조달, 국방, 수의, 물류, 공항관리 등의 5개 분야에 대해서 1차 시범사업이 진행되었으며 현재 2차 시범사업이 진행 중에 있다. 이 중 항만물류와 관련해서는 해양수산부 주도로 2004년 1월부터 2004년 8월까지 부산항을 대상으로 RFID기반 항만물류 효율화 사업을 시범 사업으로 추진하였으며, 2006년부터 2008년까지 110억원을 투입해 본격적인 u-Port 시스템 구축에 들어갈 예정이다. 미국의 경우 911테러 이후 국가보안에 대한 관심이 높아지면서 미국으로 반입되는 모든 컨테이너에 대해 2005년부터 RFID 태그를 부착하도록 하는 정책을 추진하고 있다(Chang and Noh, 2005). 이에 따라 국내 해운물류 업계는 물론 정부 차원의 대응책 마련이 시급하다는 목소리가 높아지고 있다.

이처럼 국내외적으로 항만물류 대한 RFID 현업적용이 가시권에 들어오게 되었으나 아직까지 국내의 경우 RFID 적용 항만물류 관련 연구는 매우 미미한 상황이다. 최근에 항만 컨테이너 터미널 게이트에서 컨테이너 자동식별을 위해 900MHz

RFID를 사용한 컨테이너관리 시스템이 개발된 바 있으나(Ro and Kim, 2006), 국제적으로 컨테이너 식별을 위해 사용되는 RFID 태그는 433MHz 태그가 거의 표준으로 자리 잡아 가고 있기 때문에 433MHz 태그의 항만 적용에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 실제 항만을 대상으로 900MHz, 433MHz RFID에 대한 실증실험을 수행하고 그 결과를 분석하여 최적의 RFID 적용 환경을 제시하고자 한다. 또한 RFID를 현업에 적용 시 발생할 수 있는 이슈에 대해서 파악하고, 이에 대처할 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

2. 업무프로세스 분석 및 설계

본 연구에서는 인천의 S컨테이너 터미널을 대상으로 RFID 실증실험을 실시하였다. 인천항만의 컨테이너 처리 업무 중에서 RFID 적용이 가장 용이하고 빠른 적용효과를 기대할 수 있는 게이트에서의 컨테이너 반출입 업무를 대상으로 RFID 적용 실증 실험을 수행하였다. 실증실험을 통해 최적의 컨테이너 차량 이동 속도, RFID 태그 부착 위치, 안테나 각도 등을 제시하고자 한다.

2.1 실증실험 대상

실증실험 대상인 인천의 S컨테이너 터미널의 시설 및 장비에 대해서 간략히 살펴보면 트랜스퍼(transfer) 크레인 6기, 갠트리(gantry) 크레인 3기, 야드 트레일러 13대, 게이트 5개를 보유하고 있으며 동시에 2대의 선박이 접안할 수 있고, 야드크기는 6,596TEU이며 한 해 동안 최대 400,000TEU를 처리할 수 있다.

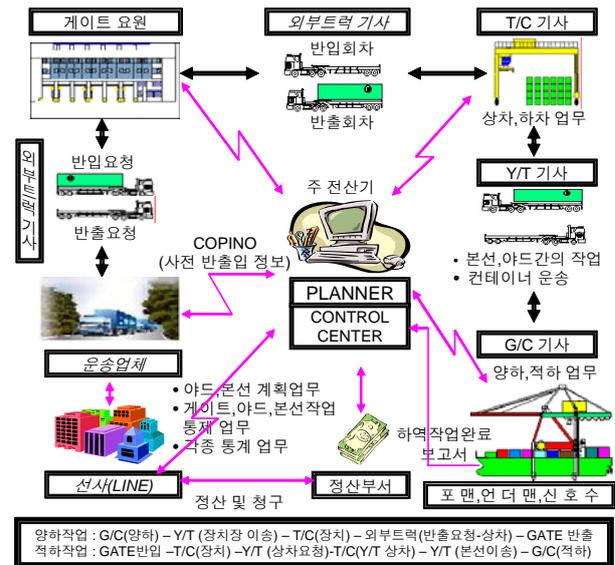


그림 1. S컨테이너 터미널의 업무흐름

S컨테이너 터미널의 컨테이너 처리 업무프로세스에 대해서

살펴보면 <그림 1>과 같다. 적하작업의 진행과정을 살펴보면, 선사에서 컨테이너터미널에 본선 작업 요청과 운송업체에 컨테이너 운송 요청을 하면 운송업체는 COPINO 정보를 컨테이너 터미널에 전달한다. 해당 컨테이너를 운송업체에 의해 컨테이너 터미널로 운송한다. 터미널 게이트에 도착하면 게이트 입/출입 담당자에게 관련 정보를 전달하고, 컨테이너 상태를 점검 받은 후에 컨테이너를 게이트에 반입한다. 컨테이너는 트랜스퍼 크레인으로 야드에 적재하게 된다. 상차 요청이 오면 야드 트레일러에 컨테이너를 적재하여 본선으로 이동한다. 이송된 컨테이너를 갠트리 크레인을 이용하여 본선에 적화한다. 이 모든 과정의 정보 전달 및 처리는 컨테이너 터미널 정보시스템 상에서 이루어진다.

S컨테이너 터미널에서의 양하작업은 본선에서 컨테이너 번호, 손상유무를 확인한 후 양하작업을 갠트리 크레인을 이용하여 진행하고 하역작업 완료 보고를 전산으로 처리한다. 양하된 컨테이너를 야드 트레일러에 적재하여 야드로 이송한다. 이송되어온 컨테이너는 트랜스퍼 크레인 기사가 지정된 야드에 적재하고 결과 보고를 전산처리한다. 운송업체 차량이 컨테이너를 반출하러 오면 트랜스퍼 크레인 기사는 지정된 컨테이너를 운송업체 차량에 적재한 후 완료 보고를 한다. 게이트에서는 반출 컨테이너를 검사한 후, 컨테이너 인(수)도증을 발행하여 주고 컨테이너를 반출시킨다. 이 모든 과정의 보고는 전산으로 처리된다.

2.2 터미널 게이트 AS-IS 컨테이너 반/출입 프로세스

현재 S 컨테이너 터미널의 게이트에서의 컨테이너 반/출입 업무 프로세스는 다음과 같다.

- ① 선사는 컨테이너터미널에 본선 작업 요청한다.
- ② 선사는 운송업체에 컨테이너 반입 요청한다.
- ③ 운송업체는 COPINO(사전 반/출입 정보)를 컨테이너 터미널에 제공한다.
- ④ 컨테이너를 운송하여 컨테이너 터미널 게이트에 도착하면 컨테이너차량 기사는 차량번호, 샤시번호 등을 게이트 입/출입 담당자에게 보고하고, 게이트 입/출입 담당자는 슬립(slip) 발행하며 동시에 게이트 요원들은 컨테이너 상태 검사한다.
- ⑤ 컨테이너 차량 기사는 지정받은 야드로 이동하여 컨테이너 적출한다.
- ⑥ 컨테이너 반출시에는 선사가 운송업체에 반출을 요청하고 운송업체는 COPINO정보를 컨테이너 터미널에 제공한 후 게이트 통과한다. 컨테이너차량 기사는 반출할 컨테이너를 적재한 후에 위의 ④번 작업을 진행한 후 게이트를 통과한다.

수출입 컨테이너의 게이트 자동 반출입 처리를 위해, 사전 반출입 예약 자료를 접수하고 있으나 정보의 정확도가 낮고, 적시성이 결여되어 있다. 또한 반입 컨테이너 정보처리가 자

동화된 바코드 시스템으로 이루어지고 있으나 차량정지 후 바코드 인식, 차량과 컨테이너의 일치 여부 대조, 컨테이너 이상 유무 확인, 컨테이너 봉인 여부 확인 등의 추가 작업에 따른 반/출입 시간 증가 등의 문제점이 있다.

2.3 터미널 게이트 TO-BE 컨테이너 입/출입 프로세스

게이트 반/출입 업무에 RFID를 적용할 경우의 업무 프로세스는 다음과 같이 설계될 수 있다.

- ① 선사는 컨테이너터미널에 본선 작업 요청한다.
- ② 선사는 운송업체에 컨테이너 반입 요청한다.
- ③ 운송업체는 COPINO(사전 반출입 정보)를 컨테이너 터미널에 제공한다.
- ④ 운송사의 컨테이너차량은 터미널 게이트의 RFID 리더기를 통과하여 진입한다. 이때 차량에는 차량정보가 담겨있는 900MHz의 RFID 태그가 부착되어 있고, 컨테이너에는 컨테이너와 컨테이너의 내용물에 대한 정보가 있는 433MHz의 태그가 부착되어 있으며, 컨테이너 후면에 433MHz의 e-seal 태그를 부착하여 현재 컨테이너 잠금 상태를 체크하게끔 한다.
- ⑤ 터미널은 RFID 리더기로 읽은 정보를 기준으로 슬립을 작성하고, 컨테이너차량은 터미널로부터 슬립정보를 PDA와 같은 무선터미널 장비로 전송받아서 이를 이용하여 배정된 야드 위치로 이동하여 컨테이너를 적출한다.
- ⑥ 터미널로부터 컨테이너 반출시에는 선사가 운송업체에 반출을 요청하고 운송업체는 COPINO정보를 컨테이너 터미널에 제공한 후 게이트 통과한다. 이때 차량에 부착된 900MHz의 RFID 태그를 RFID 리더기가 인식하여 컨테이너차량은 터미널로부터 슬립정보를 PDA와 같은 무선터미널 장비로 전송받아서 적재할 컨테이너가 있는 야드로 이동한다. 반출할 컨테이너를 적재한 후에 컨테이너차량은 터미널 게이트의 RFID 리더기를 통과하여 나간다. 이때, 위의 ④와 같은 과정을 거치게 된다.

위에서 제시한 To-Be 프로세스의 구현을 위해서는 RFID 기술의 현업적용에 앞서 실증실험을 통한 기술적 적용 가능성 평가 및 분석이 필요하다. 특히 RFID 태그의 상황별 인식률에 대한 평가, 분석이 핵심적이라 할 수 있다. 본 연구에서는 차량 부착용 900MHz 태그와 컨테이너 부착용 433MHz 태그와 e-seal 태그에 대해 필드테스트를 수행하여 여러 가지 외부 조건별 태그 인식률을 측정하고, 현업 적용 시 발생 가능한 이슈들을 도출하고 분석하였다.

3. 실증실험

실증실험에서는 S 컨테이너 터미널 게이트에서 차량 부착용

900MHz 수동형 태그와 433MHz 능동형 태그(e-seal)에 대한 상황별 인식률을 측정하고자 한다. 실험의 세부목표는 아래와 같다.

- ① 상황별 RFID 태그 인식률 측정
- ② 900MHz RFID 태그의 차량 최적 부착 높이 결정
- ③ 900MHz RFID 리더기 안테나 최적 각도 결정
- ④ 433MHz RFID 태그의 컨테이너 최적 부착 위치 결정
- ⑤ 차량 최적 이동 속도 결정

본 연구에서 실험 여건상 컨테이너 부착용 433MHz 태그를 433MHz e-seal 태그로 대신하였다.

3.1 실증실험 진행 단계

실증실험 수행 중 발생할 수 있는 시행착오를 최소화하고 비용부담을 줄이기 위해서 3단계로 실험을 진행하였다. 1단계는 랩실험으로 실증실험에 사용되는 장비에 대한 셋업 및 작동 테스트와 장비간의 인터페이스를 설정을 하는 단계이다. 2단계는 예비실험으로 리더기, 안테나, 구조물 등 실험에 사용되는 장비들을 현장에 설치 한 후 SUV(카니발) 차량을 이용하여 태그 인식실험을 수행함으로써 안테나 각도, 태그 부착 높이, 차량 속도 등의 실험조건들에 대한 적정 실험범위를 찾고 실증실험 중 발생할 수 있는 문제점을 사전에 파악, 조치하는 단계이다. 3단계는 본 실증실험으로 컨테이너 수송트럭을 사용하여 태그의 차량 및 컨테이너 부착위치, 안테나 각도, 차량 속도 등의 상황변화에 따른 인식률을 측정하는 단계이다.

① 1단계(랩실험)

- 기간: 2006년 2월 1일 ~ 2006년 2월 28일
- 실험내용
 - 장비셋업
 - 장비동작 확인
 - 장비간의 정보흐름 확인

② 2단계(예비실험)

- 기간: 2006년 3월 6일 ~ 2006년 3월 21일
- 실험시간: 오전 9시 ~ 오후 6시
- 실험내용
 - 리더기 부착용 구조물 및 900MHz RFID 장비 항만터미널 게이트 설치
 - 장비 및 시스템 동작 점검
 - SUV 차량과 900MHz RFID 장비를 이용하여 예비실험 수행

③ 3단계(실증실험)

- 기간: 2006년 3월 22일 ~ 2006년 4월 7일
- 실험시간: 오전 9시 ~ 오후 6시
- 실험내용
 - 433MHz RFID 장비 동작 점검
 - 실제 컨테이너 및 컨테이너 차량과 900MHz 및 433MHz RFID 장비를 이용하여 실증실험 수행

실증실험에 사용된 장비는 <표 2>와 같다.

표 2. 실증실험 장비

장비명	장비정보
RFID 장비 (900MHz)	안테나 <ul style="list-style-type: none"> • 품명: General Purpose Antenna (PN : ANT-001) • 형태: 두 개의 원형 편파 안테나 내장 • 규격: 31.5cm(가로)×71.8cm(세로)×3.8cm(두께) • 무게: 3.62kg • 재질: 알루미늄 코팅에 플라스틱 커버 • 동작온도: 0°C ~ 50°C
	리더기 <ul style="list-style-type: none"> • 품명: Multi-Protocol Reader(AR 400) • 동작주파수: 902 ~ 928MHz, Frequency hopping • 출력: 30dBm 이상 • EPCglobal: Class0, Class0+, Class1 • 규격: 22.23cm(가로)×29.8cm(세로)×5cm(두께) • 무게: 2.72kg
	태그 <ul style="list-style-type: none"> • 품명: SYMBOL Tag(Generic user Tag) • 규격: 15.2cm(가로)×2.5cm(세로) • 판독거리: 9.6m 이하 • 사용: 유리, 플라스틱, 종이, 가방 등의 일반적인 용도
RFID 장비 (433MHz)	안테나 겸 리더기 <ul style="list-style-type: none"> • 품명: Savi Fixed Reader(SR-645) • 규격: 30cm(지름) × 14cm(두께) • 무게: 1.9kg • 동작주파수: 433.92MHz • 동작온도: -32°C ~ 60°C • 동작거리: 100m • 출력: 100dBm
	태그 <ul style="list-style-type: none"> • 품명: Savi SmartSeal(St-650) • 무게: 277g • 동작주파수: 433.92MHz • 동작온도: -40°C ~ 70°C
기타	SUV <ul style="list-style-type: none"> 2차 실험용 차량 (기아 카니발)
	컨테이너 차량 <ul style="list-style-type: none"> 컨테이너 운반용 대형 트럭
	컨테이너 <ul style="list-style-type: none"> 20피트 컨테이너
	구조물 <ul style="list-style-type: none"> 안테나 장착용 구조물(게이트에 설치) • 구조물의 재질: 철재 • 구조물의 넓이: 6m • 구조물의 높이: 5m
서버 <ul style="list-style-type: none"> 미들웨어 및 데이터베이스 서버 	

예비실험 및 실증실험을 진행하기 위한 실험 조건 및 환경은 <표 3>과 같다.

표 3. 예비실험/실증실험 실험 조건 및 환경

단계	실험 조건 및 환경
2단계 예비 실험	<ol style="list-style-type: none"> 1. 태그 종류: 900MHz 2. 태그 부착 위치: SUV 전면 운전석유리창에 부착하며, 높이는 135cm(리더기 높이)를 기준으로 -20, -10, 0, +10, +20cm 3. 차량 정차 위치: 안테나에서 태그 위치까지 거리를 1m에서 시작하여 태그를 인식 못할 때 까지 1m씩 증가 4. 차량 이동 속도: 10km/h, 20km/h, 30km/h 5. 안테나 위치: 게이트에 진입할 때 진입로 왼쪽에 안테나 위치 6. 안테나 각도: 벽면과 평행했을 때를 0°라고 했을 때 안테나 각도를 15°, 30°, 45°, 60°, 75° 변화시켜 측정
3단계 실증 실험	<ol style="list-style-type: none"> 1. 태그 종류: 433MHz 능동형(e-seal), 900MHz 수동형 2. 433MHz 태그 부착 위치: 컨테이너 내부 바닥면 9곳, 컨테이너 문 내부9곳, 컨테이너 문 외부 9곳 3. 900MHz 태그 부착 위치: 컨테이너차량 전면 운전석 유리창에 부착하며, 높이는 220cm(리더기 높이)를 기준으로 -20, -10, 0, +10, +20cm 4. e-seal 태그 부착 위치: 컨테이너 문 외부 1곳 5. 차량 정차 위치: 컨테이너 앞, 중간, 뒤 부분이 RFID 리더기 바로 밑에 올 때 정차 6. 차량 이동 속도: 10km/h, 20km/h, 30km/h 7. 433MHz 안테나 위치: 게이트 진입로 중앙에 안테나 위치 8. 900MHz 안테나 위치: 게이트에 진입할 때 진입로 왼쪽에 안테나 위치 9. 433MHz 안테나 각도: 지면과 수평 10. 900MHz 안테나 각도: 벽면과 평행했을 때를 0°라고 했을 때 안테나 각도를 30°, 45°, 60°, 75° 변화시켜 측정 11. 433MHz 안테나 높이: 지상에서 5m

900MHz RFID 태그는 RFID 안테나 중앙 높이(135cm)에 부착하였다.

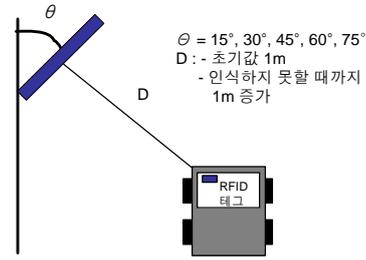


그림 3. 안테나 각도 조절

3.2.1의 과정을 통해서 <그림 4>의 결과를 얻었고 그림에서 보듯이 안테나의 각도는 인식거리에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 인식거리는 안테나 각도 30°~75° 범위에서 긴 인식거리를 가졌다.

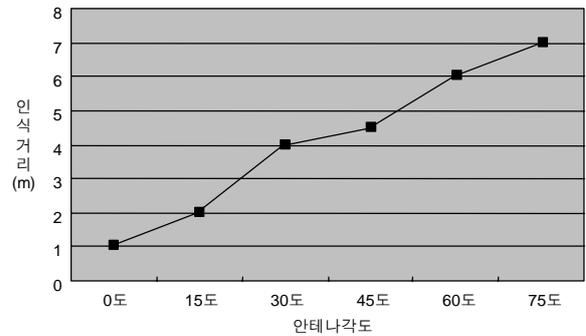


그림 4. 안테나 각도별 인식거리

<그림 2>는 실증실험을 위한 시스템 구성을 나타낸다.

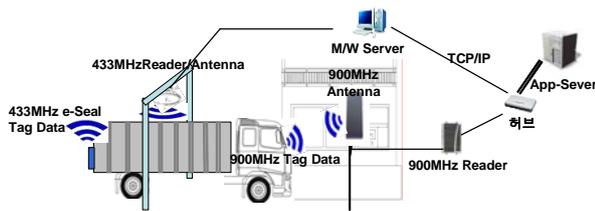


그림 2. 실증실험 시스템 구성도

3.2 예비실험

3.2.1 900MHz 정지 인식시 인식 거리 실험

900MHz RFID 태그의 차량인식 최적 각도를 찾기 위해 SUV 차량(카니발)을 사용하여 실험을 시행하였다. 그림 3과 같이 벽면을 기준으로 안테나 각도를 <그림 3>과 같이 15°, 30°, 45°, 60°, 75°로 설정하고 거리(D)를 1m에서 시작하여 1m씩 증가시켜 가면서 인식하지 못할 때까지 인식 실험을 진행하였다.

3.2.2 900MHz 이동시 인식을 실험

차량 이동시 900MHz 태그의 인식률을 확인하기 위해 SUV 차량의 앞 유리에 태그를 부착하여 이동 인식 실험을 실시하였다.

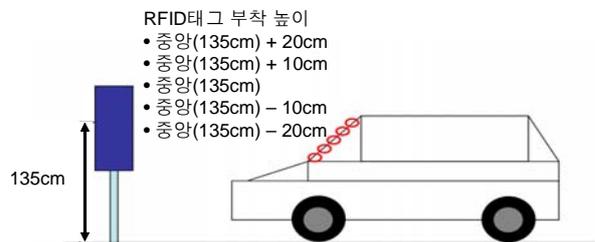


그림 5. SUV RFID 태그 부착 높이

실험의 인자는 안테나 각도, 태그의 부착 위치, 차량의 속도이다. 안테나 각도는 15°, 30°, 45°, 60°, 75°로 설정하였고 태그의 부착 높이는 <그림 5>처럼 지면에서 차량 앞 유리의 중간 지점까지의 높이인 135cm를 기준으로 -20cm, -10cm, 0cm, +10cm, +20cm 하였다. 차량 속도는 10km/h 미만 일 경우 인식률은 좋

으나 속도가 느려서 실험에서 제외하였고, 30km/h 보다 빠를 경우는 터미널 내에서 안전상의 문제로 인해 제외하였다. 따라서 차량 속도는 10km/h, 20km/h, 30km/h로 하였다. 실험은 각 인자를 조합하여 실험을 진행하였다.

900MHz 이동 인식 실험 결과 태그 부착 높이와 안테나 각도, 차량 이동 속도는 인식률에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 태그 부착높이의 경우 차량 유리의 중앙 부분(135cm)에서 아래로 10cm 떨어진 지점이 가장 인식률이 좋았다.

예비 실험을 통해서 실증실험에서 사용할 안테나 각도, 태그 부착 높이, 차량 이동 속도에 대한 적정 실험값들을 찾았다. 안테나 각도의 경우 0°, 15°일 경우에는 인식 거리가 짧고, 90°일 때는 인식 거리가 너무 길어 30°, 45°, 60°, 75°를 실험값으로 결정하였다. 태그 부착 높이의 경우 안테나 중앙 높이 보다 낮은 부분에서 인식률이 높았으므로 실증실험에서는 안테나 중앙 높이보다 낮은 곳에 태그를 하나 더 부착하기로 하였다. 차량 이동 속도는 앞서 설명한 바와 같이 터미널 내에서 적정 속도인 10km/h, 20km/h, 30km/h로 설정 하였다.

3.3 실증실험

3.3.1 900MHz 태그에 대한 차량 이동시 인식률 실험

<그림 6>과 같이 900MHz RFID 태그를 트럭에 부착하여 차량 속도와 안테나 각도, 태그 부착 높이를 실험 인자로 하여 실험을 실시하였다. 안테나 각도는 30°, 45°, 60°, 75°로 하고, 차량 이동속도는 10km/h, 20km/h, 30km/h로 설정하였다. 태그 부착 높이는 220cm를 기준으로 -30cm, -15cm, 0cm, +15cm로 하였는데 -30cm에 대해서 실험을 진행한 이유는 예비실험을 통해서 안테나 중앙보다 낮은 부분에서 인식률이 좋은 것으로 나타났기 때문에 추가적으로 실험을 실시하였다.

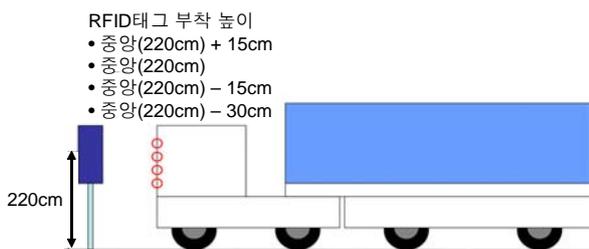


그림 6. 900MHz RFID 트럭 인식 거리 실험

3.3.2 433MHz 태그에 대한 차량 정지시 인식률 실험

433MHz의 RFID 태그를 컨테이너에 부착하여 인식률을 알아보는 실험을 실시하였다. 부착위치는 <그림 7>과 <그림 8>과 같이 컨테이너 밑면에 9개, 컨테이너 문의 내부에 9개, 문 외부에 9개의 태그를 부착하였고, 433MHz 리더기의 위치는 <그림 9>와 같이 컨테이너의 앞, 중앙, 뒤에 맞추어 실험을 진행하였다. 안테나를 설치하기 위해서 구조물을 제작하였고, 안테나 높이는 5m이다.

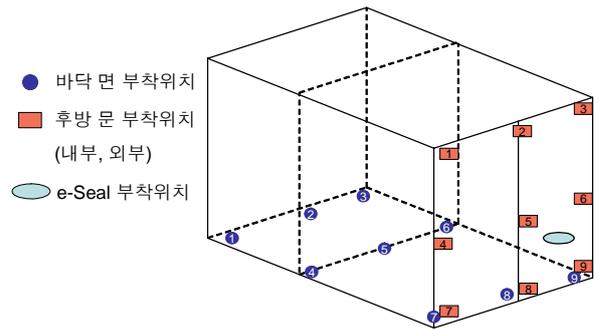


그림 7. 433MHz RFID 태그 컨테이너 부착 위치

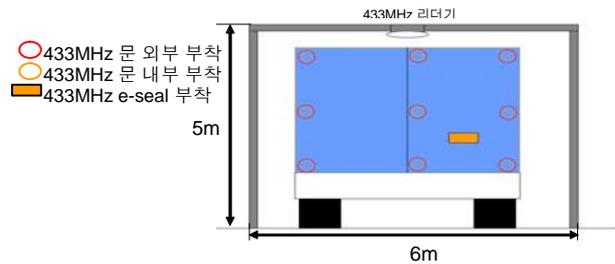


그림 8. 433MHz RFID 태그 차량 후면 부착 위치



그림 9. 433MHz RFID 트럭 정지 실험 리더기 위치

3.3.3 433MHz 태그에 대한 차량 이동시 인식률 실험

<그림 10>과 <그림 11>과 같이 컨테이너에는 433MHz 태그를 후문 외부 가운데 위치(통상 e-seal의 위치)에 부착하여 실험을 진행하였다. 차량 이동시 인식률을 조사하기 위하여 차량 속도는 10~30km/h 사이에서 랜덤으로 하여 리더기를 통과시키는 실험을 100회에 걸쳐 반복적으로 실시하였다.



그림 10. 433MHz RFID(e-seal) 부착



그림 11. 반복 이동 테스트

4. 실증실험 결과 분석

4.1 900MHz 태그에 대한 차량 이동시 인식률 실험 결과 분석

<표 4>는 900MHz RFID 태그에 대한 차량 이동 인식률 실험 결과 차량 속도, 안테나 각도, 태그 부착 높이별 인식률을 나타낸다. 표에서 안테나의 각도는 A, 차량 속도는 B, 태그 높이는 C로 나타낸다.

표 4. 900MHz 태그 사용 차량 이동실험 인식률

(단위 : %)

각도		30°(A1)	45°(A2)	60°(A3)	75°(A4)
차량속도	태그높이	인식률	인식률	인식률	인식률
10km/h (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/h (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/h (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

인자 : A (각도), B (속도), C (태그부착높이)
태그 높이는 135cm를 기준으로 +-하였다

각도, 속도, 높이 세 가지 요인들이 인식률에 미치는 영향을 알아보기 위해 ANOVA 분석을 실시하였다. <표 5>는 ANOVA 분석 테이블을 나타낸다.

표 5. 900MHz 태그 사용 차량 이동실험 ANOVA 분석 테이블

요인	SS	DF	MS	F0	F (0.9)	F (0.95)	F (0.99)
A	3739.58333	3	1246.52778	2.17	2.38	3.10	4.94
B	11304.16667	2	5652.08333	9.86**	2.59	3.49	5.85
C	15689.58333	3	5229.86111	9.12**	2.38	3.10	4.94
AXB	579.16667	6	96.52778	0.17	2.09	2.60	3.13
AXC	2635.41668	9	292.82408	0.51	1.96	2.39	3.46
BXC	6929.16668	6	1154.86111	2.01	2.09	2.60	3.13
e	10320.83331	18	573.37962				
T	51197.91667	47					

인자 : A(각도), B(속도), C(태그부착높이)

<표 5>에서 각 인자 사이에 교호작용이 없는 것을 알 수 있다. 따라서 교호요인들은 모두 오차에 풀링하여 <표 6>과 같이 다시 나타내었다.

표 6. 900MHz 태그 사용 차량 이동실험 ANOVA 분석 테이블 (풀링 후)

요인	SS	DF	MS	F0	F (0.95)	F (0.99)
A	3739.58333	3	1246.52778	2.38	2.76	4.13
B	11304.16667	2	5652.08333	10.77**	3.15	4.98
C	15689.58333	3	5229.86111	9.97**	2.76	4.13
e	20464.58334	39	524.73290			
T	51197.91667	47				

<표 6>의 ANOVA 분석 테이블에 의하면 B, C 인자는 독립적으로 유의하다는 것을 알 수 있다. 이는 차량 속도와 태그 부착 높이가 인식률에 독립적으로 큰 영향을 미친다는 것을 의미한다.

독립적으로 유의한 인자 B, C에 대해서 인식률을 나타내는 <그림 12>, <그림 13>에서 인자별 인식률이 가장 좋은 조건을 보면 차량 속도는 10km/h(B1), 태그 부착 높이는 기준 높이에서 -15cm(C2) 낮은 205cm이다.

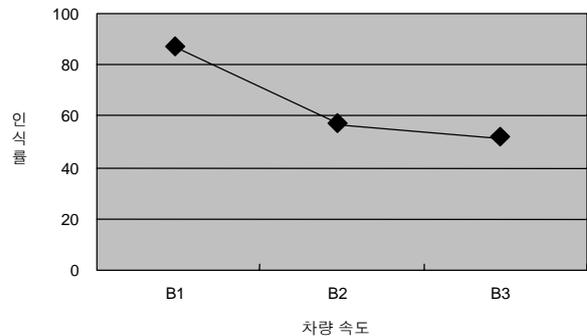


그림 12. 차량 속도에 따른 인식률

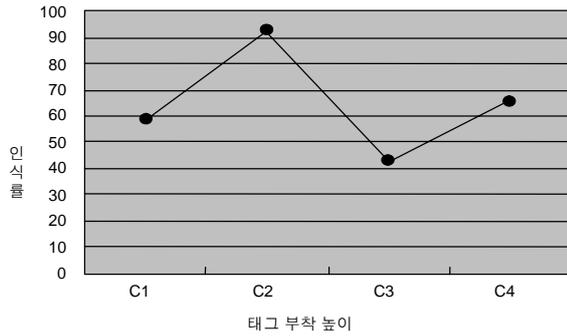


그림 13. 태그 부착 높이에 따른 인식률

각도는 인식률에 별 영향을 미치지 않는 것으로 나타났지만 이는 60°, 75°에서 인식률에 차이가 미미하기 때문이다. <표 4>를 살펴보면 60°, 75°에서 좋은 것을 명시적으로 알 수 있다.

인식률이 가장 좋은 10km/h(B1), -15cm(C2)에 대해 식 (1)을 사용하여 95% 신뢰구간 추정하면 결과는 다음과 같다.

$$u() = \bar{x} \pm t_{0.975}(r) \sqrt{\frac{V_e}{\text{반복수}}} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} u(B_1) &= 80.52 \sim 91.98 \\ u(C_2) &= 85.89 \sim 99.11 \\ u(B_1 C_2) &= 97.59 \sim 100 \end{aligned}$$

앞의 결과에서 가장 좋은 인식률을 보이는 10km/h(B1)의 차량 속도와 -15cm(C2)의 태그 부착 높이의 두 가지 조건 하에서는 95% 신뢰구간에서 인식률이 97.59% 이상인 것을 알 수 있다.

4.2 433MHz 태그에 대한 차량 정지 인식률 실험 결과 분석

433MHz RFID 태그를 컨테이너에 부착하여 RFID 리더기의 위치별, 태그 부착 위치별로 나누어 정지 테스트를 수행한 결과는 <표 7>과 같다.

표 7. 433MHz 태그 사용 차량 정지 실험 인식률

(단위 : %)

상세위치(C)		1	2	3	4	5	6	7	8	9
리더기 위치(A)	위치그룹(B)	인식률								
앞	바닥	99	100	96.2	100	97.9	99.6	97.5	95.3	98.3
	문외부	98.6	100	100	99.6	99.2	100	100	100	100
	문내부	93.4	100	99.2	100	99.6	99	100	92.3	99.6
중간	바닥	96.6	100	99.6	99.6	100	100	78	94.8	88.2
	문외부	100	99.6	100	99.5	100	99.6	97.6	99	95.6
	문내부	99.3	99	98.9	98.9	98.3	98	98.6	99.6	86.5
뒤	바닥	97.6	96.2	100	100	99	99	98.6	99.6	98
	문외부	97	99	98.3	99	98	100	100	100	99.2
	문내부	100	99	100	99.3	98	96.6	100	97	100

인자 : A (리더기 위치), B (위치 그룹), C (상세위치)

<표 8>은 <표 7>에 대해 ANOVA 분석을 실시한 결과이다.

표 8. 433MHz 태그에 대한 차량 정지 인식률 실험의 ANOVA 분석 테이블

요인	SS	DF	MS	F0	F(0.9)	F(0.95)	F(0.99)
A	429.38563	2	214.69282	6.57**	2.30	3.0	4.61
B	469.87452	2	234.93726	7.19**	2.30	3.0	4.61
C	1070.82267	8	133.85283	4.09**	1.67	1.94	2.51
AXB	332.16252	4	83.04063	2.54*	1.94	2.37	3.32
AXC	4183.6477	16	261.47798	8.00**	1.42	1.57	1.88
BXC	1342.72548	16	83.92034	2.57*	1.42	1.57	1.88
AXBXC	821.73748	32	25.67930	0.79	1.24	1.32	1.47
e	23835.7	729	32.69643				
T	32486.056	809					

인자 : A (리더기 위치), B (위치 그룹), C (상세위치)

<표 8>에서 A (리더기 위치), B (위치 그룹), C (상세위치) 인자는 독립적으로 유의한 것으로 나타났지만, <표 8>의 데이터를 살펴보면 개개의 인자의 인식률은 큰 차이가 보이지 않아서 조건이 다양하게 나올 수 있다. 따라서 유의한 2개의 인자 사이의 교호작용에 대한 최적조건을 구해서 서로의 관계를 알아보았다. <표 8>에서 세 가지 인자들이 동시에 작용했을 경우에는 인식률에 미미한 영향을 주는 것으로 나타났으나, A (리더기 위치)와 B (위치 그룹), A (리더기 위치)와 C (상세위치), B (위치 그룹)와 C (상세위치) 인자 사이의 관계는 유의한 것으로 나타났다. 식 (1)에 의해서 95% 신뢰구간 추정했을 때 결과는 다음과 같이 나타났다.

$$\begin{aligned} u(A_1 C_2) &= 96.46 \sim 100 \\ u(A_1 B_2) &= 96.17 \sim 100 \\ u(B_1 C_4) = u(B_2 C_6) &= 96.32 \sim 100 \end{aligned}$$

2개의 인자 사이의 교호작용 결과값을 보면 A1(리더기 위치 앞) 상황에서 B2(태그위치: 문 외부)와 C2(태그 세부위치: 2번 위치) 조건일 때와 B1(태그위치: 바닥)과 C4(태그 세부위치: 4번 위치) 조건이 최적의 결과를 나타내고 있다.

95%신뢰구간에서 다음과 같은 결과값을 얻을 수 있었다.

- 리더기 위치가 컨테이너의 앞(A1)일 경우 2번 위치(C2)의 인식률이 96~100 %이다.
- 리더기 위치가 컨테이너의 앞(A1)일 경우 문 외부(B2)에서 인식률이 96~100%이다.
- 태그부착위치가 컨테이너의 바닥(B1)일 경우 바닥 쪽 4번 위치(C4), 태그 부착 위치가 문 외부(B2)일 경우 6번 위치(C6)에서 인식률이 96~100%이다.
- 종합적으로 리더기가 컨테이너의 앞에서 위치할 때 문의 부의 2, 4, 6 즉 모서리의 중점일 때 인식이 가장 잘 되는 것으로 나타났다.

4.3 433MHz e-seal 태그에 대한 차량 이동시 인식률 실험 결과 분석

실험에서 사용된 433MHz RFID e-seal 태그는 인식거리가 100m 정도로 매우 길었기 때문에 차량이 게이트에 통과하기 전까지 리더기가 여러 번에 걸쳐서 태그를 인식하는 문제점이 있었다. 실험의 결과 433MHz e-seal 태그를 컨테이너 뒷문 e-seal 위치에 부착하였을 경우 100% 인식률을 보였다.

4.4 최적의 태그 부착 위치와 차량 이동 속도

실증실험을 통해서 컨테이너 터미널 게이트에 RFID 도입을 위해서 다음 조건에서 최적의 결과를 얻었다.

- 900MHz RFID 최적 환경값
 - 안테나 각도: 60도, 75도
 - 태그 높이: 중앙으로부터 -15cm
 - 차량 이동 속도: 10km/h
- 433MHz RFID 최적 환경값
 - e-Seal: 차량 후문(100%인식)
 - 컨테이너 인식을 위한 태그: 컨테이너 후문 외부에 부착

실증실험에서 433MHz e-seal 태그의 인식거리가 너무 길어서 실제로 게이트를 통과 여부와 게이트 통과 시간 등에 대한 정확한 정보를 알기가 어려웠다. 따라서 차량에 부착한 900MHz 태그와 433MHz 태그를 조합하여 사용할 때 컨테이너와 컨테이너의 내용물에 대한 정보를 정확하게 판단할 수 있을 것이다.

실증실험에 통해서 RFID의 현재 기술로도 충분히 항만 터미널 게이트에 적용이 가능함을 알 수 있었다.

5. 토의 및 결론

본 연구에서 실증실험을 진행에서 도출된 주요 이슈와 이슈에 대한 해결 방안 살펴보면 다음과 같다.

- ① 게이트에서의 컨테이너 상태 검사에 따른 게이트 통과 지연
 - 원인
 - 컨테이너터미널에서 선사의 컨테이너를 관리하는 On-Dock 계약에 따른 컨테이너 관리
 - 게이트 입/출입시 컨테이너 이상유무 검사
 - 해결방안
 - X-ray 검사기를 도입하거나 스마트센서기술을 도입
- ② 433MHz의 어플리케이션에서 컨테이너가 게이트에 통과하는 정확한 순간에 433MHz 능동형 태그 인식 확인의 어려움
 - 원인
 - 433MHz 능동형 태그의 인식거리가 100m정도로 너무 길기 때문에 게이트 통과하기까지 어플리케이션이 같은 태그를 중복 인식하고 아직 게이트를 통과하지 않은 컨테이너도 통과한 것으로 인식
 - 해결방안
 - 433MHz 능동형 태그의 출력을 조절
 - 컨테이너 부착용 433MHz 능동형 태그와 차량부착용 900MHz의 수동형 태그를 같이 사용
- ③ 종이 슬립 발행에 따른 차량 정지로 인해 게이트 통과 지연
 - 원인
 - 컨테이너 반입 시 적재할 야드 정보 등이 기재된 종이 슬립 발행
 - 컨테이너 반출시 반출 컨테이너 정보 등이 기재된 종이 슬립 발행
 - 해결방안
 - PDA 등과 같은 무선 단말기를 사용하여 입/출입 정보를 송수신
- ④ 20피트짜리 컨테이너 2개를 붙여 이동 할 경우 컨테이너 태그 인식 문제
 - 원인
 - 20피트 컨테이너 두 개를 이어서 한 차량으로 이동할 때 컨테이너에 부착된 태그를 구분하여 인식하기 어려움
 - 해결방안
 - 차량에 900MHz 수동형 태그 정보를 이용하여 컨테이너 정보 파악하거나 컨테이너 부착용 433MHz 능동형 태그 정보와 차량부착용 900MHz의 수동형 태그 정보를 조합하여 사용
 - 미들웨어에서의 인식충돌방지 알고리즘 사용

본 연구에서는 항만의 u-Port화를 앞당기기 위해 u-Port의 핵심기술이라고 할 수 있는 RFID 기술을 항만물류업무에 시범적용하고 그 결과를 분석하였다. 아직까지는 기술적, 업무적, 예산상의 이유로 RFID 기술을 당장 현업에 적용하기에는 무리라

고 생각된다. 하지만 국제무역 규제와 업무 효율성 및 안전성 제고의 측면에서 RFID 기술을 항만물류에 적용하는 것은 이제 시간의 문제 일 뿐이지 선택의 문제가 아니다. 따라서 지금부터라도 RFID 기술도입을 준비해야 할 것이다. 본 연구는 항만에 RFID 기술을 도입하기 위한 최초의 타당성 검증 및 기반조성이라는 측면에서 그 의미가 매우 크다고 할 수 있다.

향후 발전된 신물류시스템을 개발하여 항만터미널에 실제 적용할 때 본 연구결과는 기초자료로 매우 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 본 연구에서 수행한 실증실험을 야드관리, 창고관리, 선적/하역 등에 확대 적용할 수 있을 것이다. RFID를 항만 물류전반에 적용하기 위해서는 적용하였을 때 업무 프로세스 개선이 선행 되어야 하고, 개선된 업무 프로세스와 기존의 업무 프로세스와의 성능평가가 진행되어 개선효과에 대한 정량적인 평가가 이루어져야 한다.

본 연구에서 수행한 RFID 현장적용을 통해서 얻은 결과와 경험을 토대로 RFID 기술의 항만 현업적용을 위해서는 다음과 같은 작업이 필요하다. 첫째로 앞으로 항만 업무 프로세스의 개선 작업이 필요하다. 둘째로 항만에 적용할 RFID는 향후 국제적으로 통용이 가능한 RFID의 표준기술을 사용하여야 한다.

셋째로 항만터미널에만 국한되지 않고 제조업체, 운송업체, 선박회사, 세관 등 관련 업체 및 기관에 일괄적으로 적용하여야 하며, 그 효과를 높이기 위해서는 중요성을 인식하고 국가 차원에서 RFID 기술 도입 사업이 추진되어야 하겠다.

참고문헌

Chang, M. H. and Noh, M. J. (2005), RFID Case Study of Domestic and Foreign Logistics using SWOT Analysis, *Journal of Shipping and Logistics*, No 47, 151-179.

Kim, J. D. (2004), The Industrialization Plans of RFID for the Use of New Logistics Information Systems, *Journal of Maritime Law and Commerce*, 6(2), 171-191.

Park, Y. T. (2005), A study on the Busan Port's port Cluster Construction Strategy for Northeast Asia Logistics Centralization, *Korea Logistics Review*, 8(1), 107-130.

Ro, C. H. and Kim, K. Y. (2006), Design and Implementation of Port container Management System Using RFID, *Jour. of the Korea Contents Association*, 6(2), 1-8.

<http://www.kora.or.kr/radar/200605/contents/19999.jsp>.



장경열

인천대학교 산업경영공학 학사
 인천대학교 산업경영공학 석사
 현재: 인천대학교 산업경영공학 박사과정
 관심분야: e-Logistics, 물류정보시스템



임승길

부산대학교 산업공학 학사
 한국과학기술원 산업공학 석사
 한국과학기술원 산업공학 박사
 현재: 성결대학교 e-비즈니스 IT학부 조교수
 관심분야: 공급망 운용 및 설계, BPR, 기업정보시스템



이충훈

인천대학교 산업경영공학 학사
 현재: 인천대학교 산업경영공학 석사과정
 관심분야: e-Logistics, 물류정보시스템



유우식

서울대학교 산업공학 학사
 한국과학기술원 산업공학 석사
 한국과학기술원 산업공학 박사
 현재: 인천대학교 산업경영공학 교수
 관심분야: CAD/CAM, e-Logistics, 물류정보시스템



김재곤

한국과학기술원 산업공학 학사
 한국과학기술원 산업공학 석사
 한국과학기술원 산업공학 박사
 현재: 인천대학교 산업경영공학 조교수
 관심분야: e-비즈니스 기술, 물류시스템 설계/운용