

개방형 도시철도의 무임승차 예방시스템 도입을 위한 기술 타당성 연구

박민규*

*동양대학교 철도경영학과

A Technical Study on the Free-riding Prevention System of the Open-type Urban Rail

Min-Kyu Park*

*Department of Railway Management, DONGYANG University

Abstract

This paper reviews the one of problems that may occur for the tram operating in Korea, it's a free-riding problem, I analyzed the feasibility of combining the introduction of world-class technology solution "IT". It is under review the introduction of tram in Su-won city, Chang-won city, Wi-Rye new town. Free-riding is one of the biggest issues of any agency that operates the public transportation system.

It has been acting as the main factors threatening the financial integrity of the operating agency, and the ratio of free-riding is further increased.

In this paper, I want to build a foundation for the development of the system by analyzing the economic feasibility for the introduction of free-riding prevention system.

Keywords : TRAM, Free-riding, technical analysis,

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 국회에서는 지방자치단체가 수행하고 있는 지하철이나 경전철 무임승차제도를 정부 부조금 지급 대상에 포함되도록 하는 '부조금 관리에 관한 법률 일부 개정안'을 발의하였다. 현행법에서는 서울 등 도시철도 무임수송 손실비용은 국고지원 대상에서 빠져있어 손실액 전부를 지자체가 떠안고 있다. 2014년도 기준 서울도시철도의 국가 복지정책으로 인한 지하철 무임수송 인원은 2억 4,900만 명으로 전체 이용인원의 13.7%에 이르며, 무임손실액은 2,880억 원으로 당기순손실 4,245억원의 67.8%를 차지하여 재정악화의 주요 원인으로 지적되고

있다. 서울의 한 도시철도 운영기관에서는 2013년까지 5년 사이에 부채가 23% 증가하여 총 3조 3,300 억 원에 이르고 있으며, 이러한 영업적자는 차량, 시설 등 승객의 안전수송을 위한 투자활동에 까지 영향을 준다고 보고하고 있다. 이는 재정이 부실할 경우 자칫 지하철 안전문제를 소홀히 하여 시설 노후화에 적절히 대응할 수 없기 때문이다. 실제 2014년 5월 발생한 지하철 2호선 상왕십리역 전동차 추돌사고의 원인이 안전점검 소홀 외에도 복잡한 신호체계와 함께 20년 이상 된 낡은 차량과 시설 노후화 등이 주요 요인으로 꼽히고 있다. 이러한 재정악화의 원인이 경로우대와 무임승차에 따른 운임 수입 감면이 가장 큰 원인으로 지적 받고 있다.

이러한 문제는 서울뿐 아니라 전국의 도시철도 운영기관 모두에 해당되는 사항으로 그 사안이 더 심각하게 받아들일 필요가 있다.

†This research was supported by the industry-Academy cooperation foundation of DongYang University

†Corresponding Author : Min-Kyu PARK, Railway Management, DONGYANG UNIVERSITY, 145, dongyangdae-ro, Punggi-eup, youngju-si, E-mail: railroad@dyu.ac.kr

Received August 31, 2015; Revision Received December 23, 2015; Accepted December 24, 2015.

앞서 살펴본 도시철도의 경우 승객 요금 납부 게이트는 폐쇄형으로 개방형, 혼합형에 비해 그 비중이 낮을 수 있다. 하지만 향후 위례 신도시, 수원, 성남 등에서 도입 예정되어 있는 노면전차(트램)는 개방형 요금 징수체계를 갖추고 있어 해외 사례와 같이 무임승차 비중이 더 높아질 수 있을 것이다.

본 논문은 박민규(2015)의 ‘노면전차 무임승차 예방 시스템 도입을 위한 타당성 조사 연구’의 경제성 분석에 이어서 실제 개방형 도시철도 요금징수시스템에 대한 무임승차 발생 알고리즘(계수 논리), 시스템 논리 구성, 구성 스펙 등에 대한 기술적 가능성에 대한 후속 연구로 볼 수 있다. 경제성 분석은 창원시 도시철도 수요예측결과를 토대로 B/C는 4.23, NPV는 460,857만원, IRR은 140.52%로 검토시스템에 대한 경제성을 확보할 수 있었다.

이를 통해 도입 예정인 신교통시스템에 대한 유지보수 부담을 저감하고 안전성 확보를 위한 투자의 선순환 모델에 기여하고자 한다.

1.2 연구의 방법

본 연구를 진행하기 위해 앞선 논문의 경제성 분석 결과를 다시 정리하고, 노면전차를 운영 중인 해외 기관의 사례 및 현황 분석을 시행하였다. 무임승차예방시스템은 승하차 미 카드태깅 계수정보 통계를 활용한 알고리즘을 제시하고, 승객계수 적용기술과 관련한 방안을 검토하였다.

2. 국내외 사례 및 이론적 고찰

2.1 대중교통 요금징수시스템의 유형

현재 국내외에서 도입한 대중교통 요금징수시스템은 개방형, 폐쇄형, 통로형 등 세 종류로 구분된다.

개방형은 승객에 대한 대중교통 이용 접근성 향상, 혼잡도 저감 등에 기여하여 승객에 대한 서비스 만족도를 향상시킬 수 있다. 개방형은 설치비용에 대한 예산이 절감될 공간 활용 가능성이 높다. 하지만 개방형 요금징수시스템은 승객 수요가 많은 첨두시간에는 무임승차 가능성이 높고, 혼잡한 차내에서 단속요원에 대한 적절한 단속방안이 없는 단점이 있다.

폐쇄형은 중전철 및 경전철 등에 주로 채택하고 있고, 승하차 인원이 많은 역에서는 통과설비를 많이 설치하여 혼잡도를 저감시켜야 하므로 예산적인 면에서 부담이 있다.

통로형은 통로 입·출구에는 통과 게이트가 설치되

어 수요에 따라 단일통로, 2중통로 등이 연결된 형태로 되어 있다. 연결된 통로 내에서는 자유로운 환승이 가능하고, 장애인도 쉽게 휠체어 이동이 가능하고, 폐쇄형과 개방형의 단점을 보완하고 있어 노면전차 시스템에 도입하기 적당하다. 하지만 노면전차 전용선로를 추진하고 있고, 도로 상황이 좋지 않은 상황에서 통로형 설치를 위한 추가공간 확보 역시 쉽지 않은 문제이다.

2.2 국내 사례

국내에서는 철도사업법 제 10조(부가운임의 징수)에서 부정승차한 경우 운임 외 30배의 범위에서 부가운임을 징수할 수 있도록 정의하고 있고 운영기관 자체적인 ‘여객운송약관’에서 정당한 승차권을 소지하지 않은 경우에 승차구간의 기준운임·요금과 그 기준운임의 10배 이내에서 부가운임을 부과하도록 하고 있다.

도시철도에서의 부정승차 유형으로는 습득한 타인의 장애인 복지카드를 이용해 무임승차권을 발급하거나, 학생·장애인·노인 등 우대용 교통카드를 사용하는 경우와 화장실 이용 및 반대편 노선 이용 등의 사유로 비상게이트를 불법적으로 통과하는 경우이다. 이런 도시철도 사례와 더불어 한국철도공사에서의 고속철도 부정승차 단속 사례를 보면 정기승차권 유효기간을 위조하여 징역형을 선고받는 사례가 있다. 이는 KTX 정기 승차권이 만료되자 유효기간을 위조하여 6개월간 서울-대전간 KTX 열차를 공짜로 이용하여 570만원의 편법 이익을 취한 것으로 징역 6월에 집행유예 1년을 선고 받은 것이다. 또한 2012년 6월에는 KTX 열차승차권을 확인하지 않는 점을 이용해 승차권을 구입하지 않고 부산~동대구 구간을 탑승하여 1만 4,400원의 이익을 취한 혐의로 벌금형을 받았으며, 이와 관련하여 범칙금 처분이 곤란한 경우 즉결심판에 넘기고, 열차를 포함해 대중교통 3회 이상 상습 무임승차 시엔 철도경찰대에서 형사입건할 수 있다.

2.3 해외사례

앞선 박민규(2015)의 논문에서 언급한 것과 같이 해외 노면전차 운영기관에서도 무임승차에 대한 부담은 매우 크고 대책 마련에 대해 상당한 금전적, 시간적 노력을 기울이고 있다.

미국 콜로라도 지역교통국 RTD(Regional Transportation District)에서는 경전철의 무임승차 단속을 위해 EDA(enterprise Digital Assistant)를 활용한 무임단속 정책을 시행하고 있다. 이는 보안요원들이 직접 무임승차자를 적발하여 단속하는 프로세스를

개선하기 위해 RTD 사무실과 무전 연락을 통해 무임승객의 신원과 재범 여부를 확인하는 복잡한 절차를 거쳤고, 이 과정에서 무임승객과의 다툼이 발생하여 재판으로 확대된 사례가 빈번한 문제점을 개선한 시스템이다. 첫 번째 위반 시 벌금 부과 대신 사진을 찍어 시스템에 DB화하고 있으며, 이 때 EDA라 불리는 손바닥 크기의 모듈라 장비를 활용하고 있다. 이 단말기는 \$3,800 정도로 사진 기능이 내장되어 있어 무임승객에 대한 처리 시간을 매우 획기적으로 단축시켜 주고 있으며, 두 번째 단속되었을 경우 \$50의 벌금을 내고, 3번째 위반자는 100달러의 벌금과 2급 경범죄에 처하고 있다. 그리고 여러 차례 소환장을 발부받은 사람은 RTD 소유 건물 및 시설물에 대한 접근이 원천 차단하여 불이익을 주고 있다. 2011년 RTD는 130만명의 승객에게 검표를 요청하였고, 이 중 무임승차한 26,000여명에게 경고와 6,500명에게 소환장을 발부하였다.

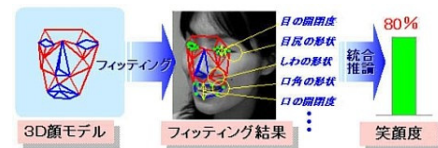


[Figure 1] EDA Equipment of Colorado RTD

캐나다 벤쿠버의 TRANSLink의 무임승차는 현재 설치되어진 무인개찰 시스템의 약점을 이용한 것으로, 단속자에 대해 부과된 벌금에 대해 미납하더라도 별도의 법률적 제재 규정이 없어 무임승차 미 벌금 미납 비율이 갈수록 증가하는 실정이다. 이를 해결하기 위해 2012년 교통경찰의 조사권한과 과태료 징수가 가능한 법률이 통과되어 9월에 무임승차에 대한 교통경찰의 강력한 단속이 시행되었다. 하지만 이러한 정부측 의견과 달리 새로운 규칙은 명확히 무임승객으로 판명나지 않은 일반시민에게 ID를 요구하는 것은 위헌의 소지가 있고 요금 검사와 경찰 DB를 토한 범죄자나 보호관찰 위반자를 가려 체포하는 과정에서의 위험성과 전문성 확보의 미비 등에 관한 우려를 나타내고 있다.

일본에서는 지하철 무임승차 방지를 위해 ‘얼굴인식시스템’을 개발하여 운행 중이다. 작동원리는 개찰구 앞에 설치된 카메라를 통해 얼굴을 인식한 뒤 이전 데이터를 대조하여, 상습범인 경우 개찰구를 통과할 때 경고음이 울리도록 되어있다. 시간대별 지하철 이용자

의 연령과 성별 분석, 여성 이용객이 많은 시간대에 여성 전용 차량을 늘리거나 노약자 이용이 증가할 때 안전요원 배치를 늘리는 등 지하철 안전운행에도 기여할 수 있을 것이다.



[Figure 2] Operation thesis of Facial cognition system

3. 무임승차 예방시스템 개발 개요

3.1 개인 프라이버시 해소 방안

개발 시스템은 기본적으로 무임승객에 대한 신원확인이 필요하므로 열차 내 CCTV 설치가 필수적이다. 하지만 이는 열차 내 승객을 잠재적인 범죄자로 취급하는 우려가 있어 관련 전례를 찾아 솔루션을 제시할 필요가 있다.

한국철도공사에서 노선 내 성범죄 예방을 위해 성범죄 신고 문구를 게시하거나 성폭력 금지 홍보물을 배포하고 직원들을 교육시키는 활동을 통해 자체적으로 성범죄 예방 활동을 하고 있다. 하지만 일부에서는 이러한 신고문구의 게시, 홍보물 배포 등의 소극적 대응으로는 성범죄 예방을 위한 효과는 미비할 것으로 판단하고 있다. 이러한 간접적 대응책에서 벗어나 모든 전동차에 CCTV를 설치하면 심리적 압박감으로 성범죄 뿐 아니라 다른 범죄도 감소되는 효과와 함께 국민이 안전한 철도를 만들어 나갈 수 있다.

하지만, CCTV 설치를 통해 범죄 예방의 효과를 볼 수는 있지만, 도시철도를 이용하는 모든 승객들을 잠재적 범죄자 취급으로 심각한 사회 문제로 대두되었다. 한국의 경우 개인정보보호법상 도로, 공원, 지하철역, 백화점 등 열린 공간이 아닌 직원 등 특정인만 출입할 수 있는 사업장, 공장 등에 설치하는 CCTV는 사전에 정보 주체의 동의를 받도록 되어 있지만 지켜지지 않

는 경우가 많다. 국가인권위원회가 2001~2012년 CCTV, 휴대전화, PC 등 전자적 수단에 의한 초동감시 침해 사례를 조사한 결과를 보면, CCTV가 481건 (70.8%)으로 가장 많은 비중을 차지했다.

이러한 노력의 일환으로 2014년 1월 14일에 도시철도법이 개정되어 폐쇄회로 텔레비전의 설치·운영에 관한 조문이 신설되었다. 이 조문에 따르면 도시철도 운영자는 범죄 예방 및 교통사고 상황 파악을 위해 도시철도 차량에 대통령령으로 정하는 기준에 따라 폐쇄회로 텔레비전을 설치하도록 하였다.

이론상 노면전차 이용객 모두는 무임승차 가능성이 있음을 가정한다면, 이용객에 대한 개인정보(사진 등)로 인한 다툼 및 소송 가능성이 있으며 이에 따라 ‘개인정보보호법’, ‘CCTV 개인영상 정보보호 가이드라인’에서 허용하는 범위 내에서의 기술 구현이 가능토록 정의해야 한다. 아울러 헌법 상의 ‘초상권’, ‘개인정보자기결정권’, ‘사생활의 비밀과 자유 등의 권리’ 등에 대한 충분한 검토 후 시스템 개발이 필요하다.

실제 국내에서 신분당선은 무인으로 운영되므로 관제실에서 열차내의 상황을 정확히 파악하기 위해서 열차 내 CCTV 설치가 필수적이었다. 하지만 운행 열차 내의 CCTV가 낡았었던 승객은 국민인권위 진정 등 많은 민원을 제기하였지만, 지속적인 철도사고 및 범죄가 발생하는 시점에서 승객의 안전 확보를 위해 부득이한 설비로 판단되고 승객의 이해가 이루어져 지금은 기타 무인 경전철에도 도입되어 활용되고 있다.

따라서 이러한 기본 문제는 관련법령의 개정으로 제반 규정을 잘 따른다면 크게 문제가 없을 것으로 판단된다.

3.2 시스템의 개념

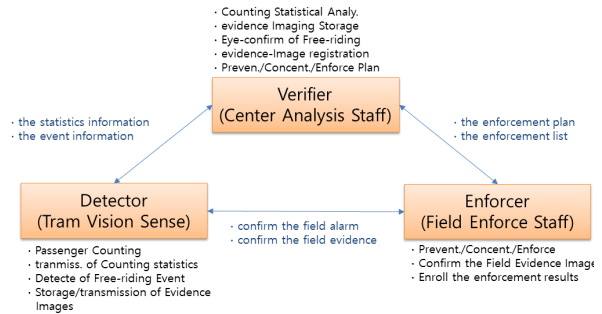
노면전차 무임승차예방 시스템은 i) 무임승차 이벤트 인지, ii) 무임승차자 단속의 2단계로 설계할 수 있다. 우선 무임승차 이벤트 인지를 위한 기본 계산 알고리즘은 아래와 같이 차량 승차인원 계수에 카드리더기 태깅인원 계수와와의 차이로 설정할 수 있다.

무임승차자 계수 = 차량 승차인원 계수 - 카드리더기 태깅인원 계수
--

- 차량 승차인원 계수
 - 차량 승차인원은 출입문에 설치된 영상기반 측정 센서를 통해 카운팅
- 카드리더기 태깅인원 계수
 - 카드리더기를 통해 정상 이용객을 카운팅

- 무임승차자 계수

- 해당 정류장 발차시점에 승차인원 계수값과 태깅인원 계수값에 차이가 발생할 경우 해당 정류장에서 무임승차가 발생한 것으로 판단



[Figure 3] the concept of Free-riding prevention solution

두 번째는 무임승차자 단속을 위해 별도의 단속인원을 두지 않는 것이 기본 개념이지만, 개인 정보보호법 등의 인권침해 소지가 있어 이러한 문제가 해결되기 전까지는 수요가 많은 권역별로 단속팀을 배치하여 무임승차 단속이 필요하다. 무임승차에 관한 모든 정보는 노면전차운영센터에 실시간으로 전송되고, 무임승차자에 대한 단속은 운영센터에서 현장단속요원에 관련 정보를 제공하여 단속하는 개념이다. 무임승차자의 항의를 원천 차단하기 위해 콜로라도의 EDA와 같은 스마트 단말기를 통해 위반 이미지 등의 정보를 확인할 수 있는 시스템 기능과 벌금 납부를 위해 경찰 등 유관기관과의 협력체계 구축이 필요하다.

3.3 무임승차 예방 업무 시나리오 개발

노면전차 무임승차 예방 개념은 크게 두 가지로 구분하고자 한다. 첫째는 사전예방적 관점에서 승객을 대상으로 무임승차 자체를 예방하고 홍보하기 위한 활동과 둘째로 노면전차 탑승 승객을 대상으로 무임승차 단속 활동 등을 규정짓는 것이다. 이 두 가지 개념 중 본 연구에서는 승객에 대해 무임승차예방 시스템의 설치 안내와 법적인 규정 내에서의 설치 안내 정보 게시를 통해 예방과 홍보의 관점에서 시나리오의 우선순위를 두었다. 그 다음은 이러한 예방·홍보의 노력에도 불구하고 무임승차 승객을 대상으로 승객과의 마찰을 최소화하며 실제 무임승차 단속 활동에 대한 시나리오를 제공하고자 한다.

3.3.1 예방·방지 시나리오

노면전차 운영기관에서는 노면전차 운영에 대한 기초질서 확립을 위해 지속적인 홍보 및 부정승차 단속을 시행한다. 노면전차 운영기관 입장에서는 무임승차를 하는 승객들에게 이에 해당하는 일차적 책임이 있다고 할 수 있지만, 실제로 이들로 하여금 무임승차 환경이 마련되지 않았나를 둘러보고 개선해야 할 필요성이 있다. 따라서 이 시나리오에는 무임승차 예방·단속 시스템을 이용하여 승객들로 하여금 무임승차에 대한 단속이 상시 이루어지고 있음을 지속적으로 홍보할 수 있고, 그러한 노면전차의 상시 단속시스템으로 인해 무임승차 의지를 사전 차단하는 효과를 거둘 수 있다.

① 단속시스템 설치 홍보

-무임승차 예방·단속시스템은 노면전차 승객의 승하차 여부를 인지할 수 있도록 영상센서가 탑재되어 있으며, 이 영상센서는 개인 프라이버시를 침해할 여지가 있으므로 관련 법령이 정하는 기준으로 노면전차 차량 내부에 설치되어 있음을 안내하는 홍보 활동을 시행해야 함

② 시스템 입력 데이터 분석

-개발 시스템은 향후 영상데이터의 실시간 전송, 노면전차 승객관련 원천 데이터 입수 등 2가지 경로의 확장성을 고려하여 설계되었음. 이에따라 승객의 무임승차와 관련된 시간대별 승객 수요, 역별 승객 수요 등 승객의 노면전차 이용 패턴의 이해를 위한 데이터를 분석함

③ 단속요원 탄력배치

-데이터 분석 결과는 단속요원들로 하여금 집중 근무 시간 및 주요 근무 역 등을 정보를 제공하여, 상시 단속체계를 통해 무임승차의 의지를 원천 차단하는 홍보 효과를 거둘 수 있도록 함

3.3.2 단속 시나리오

개발 시스템을 통해 무임승차 이벤트가 발생되면 단속요원에게 실시간으로 관련 정보를 전송하여 무임승차자를 색출하고 규정에 따라 벌금부과 등의 액션을 취해야 한다. 일차적으로 무임승차 승객이 발생하면 단속요원에게 정보 전달과 더불어 해당 노면전차 차량 내부에도 안내방송 등을 통해 요금을 납부할 수 있도록 한다. 그리고 입수한 정보를 통해 가장 가까운 단속요원이 해당 차량을 탑승하여 무임승차자를 색출하도록 하는데, 이때 중요한 것은 승객과의 마찰을 최소화하기 위한 노력들이 전제되어야 하며 이를 위해 다양한 상황을 고려한 대처능력이 사전 교육을 통해 이루어져야 한다. 이러한 사전

교육은 '상황별 대응 매뉴얼' 화하여 시행할 수 있다.

① 무임승차 발생 이벤트 알람 및 안내방송 실시

-시스템이 무임승차 이벤트 발생을 인지했을 때, 해당 정보를 즉시 단속요원이 보유한 단말기로 전송되어야 함(* 단말기에 표출되는 정보는 시스템 설계 시 노면전차 운영과 관련된 각종 원천 정보와 안전관련 정보를 포함하고 있으며, 이는 관련 법령에서 정한 규정 내에서의 기준을 따라야 함)

-무임승차 발생 이벤트는 단속요원과 노면전차 차량 내의 승객이 인지할 수 있도록 모니터와 안내방송을 통해 이루어짐

② 단속요원 파견

-시스템 분석결과 무임승차 발생 이벤트는 단속요원이 단속활동에 필요한 기본적인 정보인 발생 차량 번호, 시간, 관련 영상정보 등을 단말기에 전송함

③ 벌금 부과 및 제재활동

-시스템에서 인지한 무임승차 이벤트를 단속요원에게 전달하고 전달된 정보에 기반하여 무임승차자를 발견했다면, 규정에 따라 기본요금의 30배에 해당하는 벌금을 부과하여야 함(* 벌금 부과 시 승객과의 다툼이 발생할 수 있으므로 다양한 상황에 대한 매뉴얼을 단속요원에게 사전 교육하여 대민 마찰이 발생하지 않도록 충분한 교육을 시행하도록 함)

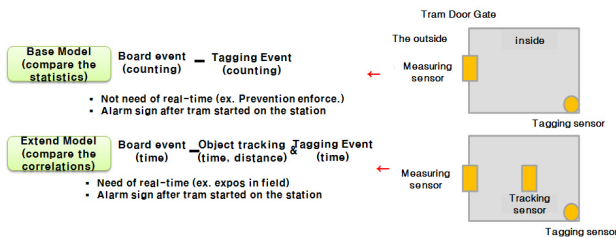
-그리고 벌금에 대해 성실한 납부가 될 수 있도록 벌금 미납 시 발생할 수 있는 제도적 제약조건에 대해 충실히 설명하도록 함

3.4 무임승차 알람 메커니즘 및 대응 프로세스

무임승차 알람 메커니즘은 1) 카운팅 결과값 비교기반, 2) 카운팅 이벤트 시각과 승객 위치 기반, 3) 카운팅 이벤트 시각과 승객 행위 기반, 4) 카운팅 이벤트 감지기반 등 총 4가지 타입으로 분류할 수 있다.

먼저 카운팅 결과값 비교 기반의 경우 승하차측정센서에서 측정된 승차카운팅 결과값과 승하차태깅센서에서 측정된 태깅카운팅 결과값을 비교하여 차이가 발생하면 알람을 발생시키는 비실시간 방식이며, 통계처리에 의존한다. 둘째, 카운팅 이벤트 시각과 승객 위치 기반의 경우는 승하차측정센서 또는 승하차추적센서에서 감지한 승차 이벤트 시각(Timestamp), 승하차태깅센서에서 감지한 승차태깅이벤트 시각(Timestamp) 그리고 태깅이벤트 시점에 승차승객의 태깅센서로부터의 상대거리를 조합하여

무임승차징후를 판단하여 알람을 발생시키는 실시간 방식이며, 승차상황에서 이벤트간 상관관계에 의존한다. 셋째, 카운팅 이벤트 시각과 승객 행위 기반의 경우는 승객 위치에 의존하는 두 번째 타입의 문제를 극복하기 위한 방법으로 승차승객의 태깅행위를 영상기반으로 감지하고 태깅센서의 승차태깅이벤트와 조합하여 무임승차징후를 판단하는 방식이다. 넷째, 카운팅 이벤트 감지 기반의 경우는 승객행위를 감지하는 세 번째 타입에서 태깅센서가 탐지한 태깅이벤트를 추적센서에 전달하는 방식을 기존 유무선 연결이 아닌 문자, 색깔, 소리 또는 비가청주파수대역 음파로 전달하여 이를 추적센서 스스로 센싱할 수 있도록 하는 방식이다. 이 중 본 연구는 계수 통계비교 방식의 실시간 알람과 이벤트 상관비교 방식의 실시간 알람 방식을 선정하여 알고리즘 개발을 진행하였다.



[Figure 4] the Alarm Mechanism of Free-riding

4. 시스템의 검증

4.1 프로토타입 구현

버스와 노면전차의 승하차 출입문과 내부 승하차구역을 모형화 하였으며, 시뮬레이션 테스트에 활용하였다. 버스의 경우 승하차 최소높이는 2.3M(지면 기준), 최대너비는 1.3M로 설정하였으며, 노면전차의 경우 승하차 최소높이는 2.2M(플랫폼면 기준), 최대너비는 1.6M로 설정하였다. 따라서 모형은 최소높이 2.2M, 최대너비는 1.6M로 설정하여 시뮬레이션에 활용하였다.

버스와 노면전차(개방형 모델)을 대상으로 유사한 데모 환경을 구축하였으며, 주요 구성요소는 다음과 같다.

① 도어오픈스위치

- 역할 : 출입문 개폐 유무를 감지하는 센서로 정류장 도착에 따른 문열림과 정류장 출발에 따른 문닫힘 이벤트를 승하차계수센서에 전달하여 승하차 승객계수의 시작 시점과 종료 시점을 알려 준다.
- 설치 : 노면전차 출입공간 모형의 승차진입방향 출입문 좌측 바깥쪽 수직 폴대(지면높이 : 1.2M)
- 적용장비 : 문열림푸쉬버튼

② 승하차계수센서

- 역할 : 문열림 이벤트를 시작으로 승차 및 하차 승객의 수를 각각 카운팅하며, 문닫힘 이벤트를 끝으로 카운팅을 종료하는 형태로 정류장별 승하차 승객수를 카운팅한다. 또한, 승하차태깅센서가 승하차추적센서에 제공한 태깅 이벤트(교통카드와 교통카드단말기간 트랜잭션 발생)를 토대로 승하차추적센서로부터 태깅 카운팅 정보를 수신하여 승차승객 카운팅 값과 승차태깅 카운팅 값을 이용하여 무임승차징후 유무를 판단한다.
- 설치 : 노면전차 출입공간 모형의 승차진입방향 출입문 상단 바깥쪽 가로 폴대(지면높이 : 2.4M)
- 적용장비 : 스테레오(3D) 스마트비전센서(베이스라인 12cm)

③ 승하차추적센서

- 역할 : 초기 계획은 승하차태깅 증적영상(또는 이미지) 획득과 승하차 태깅센서로부터 태깅 이벤트 수신에 따른 태깅 카운팅과 카운팅 결과값을 승하차계수센서에 전달하는 것이 주된 목적이었으나, 프로토타입 구성 과정에서 출입구역에 출현한 승차승객의 동선을 출입구역 내에서 추적함으로써 정상승차(출입구역 진입·카드 태깅 이벤트 발생·출입구역 퇴출) 트랜잭션과 무임승차(출입구역 진입·카드 태깅 이벤트 없음·출입구역 퇴출) 트랜잭션을 구별하여 무임승차징후를 판단한다.
- 설치 : 노면전차 출입공간 모형의 승차진입방향 우측 안쪽 수직 폴대(지면높이 : 2.4M)
- 적용장비 : 스테레오(3D) 스마트비전센서(베이스라인 12cm)

④ 승하차태깅센서

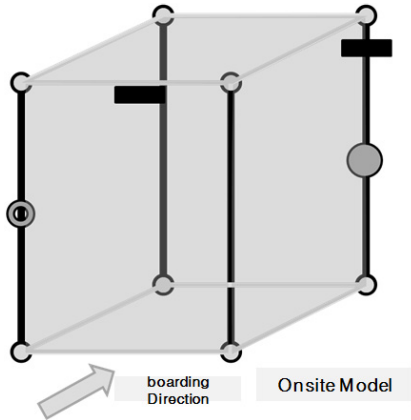
- 역할 : 승하차시 교통카드 태깅을 센싱하여 유료 승객수를 계수한다.
- 설치 : 노면전차 승하차추적센서 바로 아래(지면높이 : 1.2M)
- 적용장비 : NFC 카드 리더기

⑤ 알람경보센서

- 역할 : 무임승차징후를 탐지한 경우 승하차계수센서에 의해 적색경광등 또는 음성메시지 또는 특정 비프음(beep sound)으로 징후탐지사실을 외부에서 육안 또는 소리로 확인할 수 있도록 한다.
- 설치 : 승하차계수센서 바로 옆

⑥ 스마트패드

- 역할 : 승하차 승객수와 탑승 승객수와 관련된 통계정보를 정류장별 또는 시간대별로 볼 수 있으며, 무임승차와 관련된 통계정보와 이벤트 로그를 조회할 수 있다.
- 설치 : 휴대형
- 적용장비 : 안드로이드 패드



[Figure 5] Prototype model

현재의 기술을 검토한 결과 철도운영기관 마다의 특성을 반영해야 하겠지만 무임승차 예방 시스템 개발을 위한 기술적 성공은 충분히 가능하리라 판단된다.

4.2 검증 시나리오

4.2.1 시나리오 구성

측정센서의 정확도 측정을 통해 기본모델을 검증하였고, 추적센서의 강건성 측정을 통해 확장모델 검증하였다. 기본모델은 무임승차 알람 메커니즘 4가지 타입에서 언급된 카운팅 결과값 비교를 활용한다.

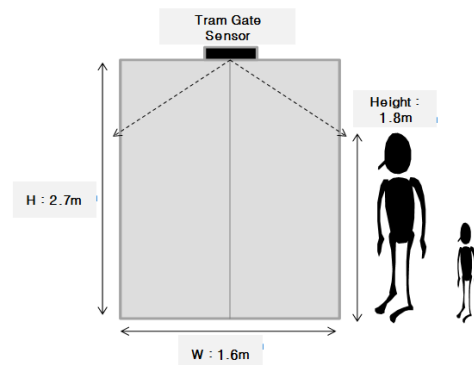
- ① Incoming People 측정 정확도
 - (승차계수인원-승차실제인원)/승차실제인원
- ② Outgoing People 측정 정확도
 - (하차계수인원-하차실제인원)/하차실제인원
- ③ Balanced People 측정 정확도
 - (|승차계수인원-승차실제인원| + |하차계수인원-하차실제인원|)/(승차실제인원+하차실제인원)

확장모델은 무임승차 알람 메커니즘 4가지 타입에서 언급된 '카운팅 이벤트 시작과 승객 위치' 를 조합하여 상관관계를 활용하였다.

- ① 정상 트랜잭션 M 회 발생
 - 승차 → 태깅구역 진입탐지(무임승차 상태 Flag 'On')추적 → 태깅(무임승차 상태 Flag 'Off') → 이탈
- ② 비정상 트랜잭션(무임승차정후) N회 발생
 - 승차 → 태깅구역 진입탐지(무임승차 상태 Flag 'On') 추적 → 이탈
- ③ 단속요원용 정보단말 정류장별 무임승차통계 및 이벤트 이미지 조회검색
 - 무임승차상태 Flog 'On' 통계정보 조회

4.2.2 검증 결과

데모환경 구성에 사용한 3D 스마트비전센서는 베이스라인이 12cm인 모델을 사용하였다. 기본모델 검증과정에서 95% 이상의 카운팅 정확도를 확보하기 위해서는 최소 2.7M 이상 확보되어야 함을 확인했다. 따라서 향후 렌즈간 베이스라인 조정을 통해 최대너비 범위와 최소높이 범위에 따른 최적의 베이스라인 값을 시뮬레이션을 통해 확인해야 할 것으로 본다. 또한, 사용하는 렌즈의 초점거리를 줄이는 방식, 즉 광각렌즈를 채택함으로써 최소높이에 따른 최대너비의 축소를 보상할 수 있도록 해야 할 것이다.



[Figure 6] the Primary Model

노면전차 환경에 기본모델을 적용할 경우의 문제점은 노면전차 승하차 출입문 상단틀의 최소높이가 2.26M라고 할 때 측정정확도 95%를 보장하기 어렵게 된다는 점이다. 이를 개선하기 위해 베이스라인을 줄여 설치높이를 줄이고, 광각렌즈를 사용하여 시야각을 좀 더 넓힌다면 개선할 수 있으나, 노면전차 출입문의 폭이 최대 1.6M인 점을 감안한다면 안정적인 측정 커버리지를 확보하기 위해 출입문마다 2개의 3D 비전센서를 사용할 가능성이 높다.

이런 점을 고려할 때 인접 센서 상호간에 통신 인터페이스 설계·구현하거나, 센서 게이트웨이 장비 구성

을 검토해 봐야 할 것이다. 또한, 인접 센서간 측정영역을 나누어 담당하도록 센서장비설정이 요구될 것이며, 이러한 설정을 현장 또는 센터에서 신속하게 편리하게 수행할 수 있는 운영의 편리성도 함께 고려해야 할 것이다.

5. 결론 및 개선방향

본 연구는 개방형 노면전차를 대상으로 한 신교통시스템의 무임승차 예방시스템을 개발하고자 하였다. 무임승차는 복지형 무임승차와 불법 무임승차로 구분되고, 이중 불법 무임승차를 대상으로 예방 솔루션을 제시하고자 하는 것이다.

이를 위해 복지형 무임승차를 포함한 불법 무임승차는 운영기관의 안전 투자비 부담을 늘려 승객의 안전에 영향을 미치는 악순환을 야기시키고 있어 단순히 무임승차 그 자체의 문제로 한정시키기엔 무리가 있다. 따라서 승객이 안전하고 서비스 수준이 높은 지속가능한 교통서비스로서의 역할을 위해서도 무임승차는 반드시 예방할 필요가 있는 것이다.

지난 논문에서 개발 시스템의 경제성은 충분히 확보된 것으로 분석되었고, 본 논문에서는 기술적 개발 방향성 및 검증을 시행하였다. 그 결과 무임승차의 계몽을 위한 교육적 방안과 함께 시스템 운영 설계를 시행하였고, 시스템 프로토타입을 구현하여 데모 버전의 초기 모델을 개발하였다. 검증과정에서 95% 이상의 카운팅 정확도를 확보하기 위해서는 최소 2.7M 이상 확보되어야 함을 확인하였고, 향후 렌즈간 베이스라인 조정을 통해 최대너비 범위와 최소높이 범위에 따른 최적의 베이스라인 값을 시뮬레이션을 통해 확인해야 할 것으로 본다. 노면전차 환경에 기본모델을 적용할 경우의 문제점은 노면전차 승하차 출입문 상단 틀의 최소높이가 2.26M라고 할 때 측정정확도 95%를 보장하기 어렵게 된다는 점이다. 이를 개선하기 위해 베이스라인을 줄여 설치높이를 줄이고, 광각렌즈를 사용하여 시야각을 더 넓힌다면 개선할 수 있으나, 노면전차 출입문의 폭이 최대 1.6M인 점을 감안한다면 안정적인 측정 커버리지를 확보하기 위해 출입문마다 2개의 3D 비전 센서를 사용해야 할 것이다.

6. References

- [1] Yoo-Sun Ji, Si-young Park, Kyung-sup Kim(2015), Improvement of free-riding on the urban railway(Focusing on the Seoul Metro), Korea Society for Railway, pp.738-743
- [2] Chang-Hoon Lee, Sung-bong Chung, Si-Gon Kim(2015), Free-ride Improvement system using a transportation card data, Korea Society for Railway, 2015.5 pp978-981
- [3] KORAIL(2013), Railway passenger transport terms
- [4] Price Watger House Coopers(2007), Translink Fare Evasion Internal Audit
- [5] Korean Network(2012), Internet Newspaper
- [6] Radio Korea(2013), Internet Newspaper
- [7] Rail Industrial Information Center, <http://www.kric.or.kr>
- [8] <http://www.radiokorea.com/news/print.php?uid=117235>

저자소개

박민규



동국대학교에서 안전공학사·석사, 서울과학기술대학교 철도경영정책학과에서 철도안전 분야 박사학위를 취득하였다. 탑엔지니어링 기술연구소에서 R&D 연구팀장, 교통안전공단 철도안전처 등을 거쳐, 현재 동양대학교 철도경영학과 교수로 재직 중이다. 관심분야는 철도안전, Human Error, 철도계획 및 정책 등이다.