

# IoT기반 철도 화차 안전운송 통합 품질관리시스템에 관한 경제성 평가지표 분석

원종운\* · 윤치호\*\* · 박상찬\*\*\*†

\*한국철도기술연구원 물류시스템연구실

\*\*경희대학교 일반대학원 의료경영학과

\*\*\*경희대학교 경영학부

## Economic Evaluation Analysis of Effect of Train Freight Car Safety Transport Integrated Quality Management System Based on Internet of Things(IoT)

Jong-Un Won\* · Chiho Yoon\*\* · Sang-Chan Park\*\*\*†

\*Korea Rail Research Institute, Logistics System Research Division

\*\*Dept. of Health Services Management, Graduate School, Kyung Hee University

\*\*\*School of Management, Kyung Hee University

### ABSTRACT

**Purpose:** The objective of this study is to verify the economic validation of quality management integrated train freight car by analyzing economic evaluation indicators such as benefit and cost, net present value, and inter rate of return.

**Methods:** First, we itemize benefit and cost field by reviewing literatures; Benefit consists of 1)Safety, 2)Operation, and 3)Maintenance; Cost consists of 1)Set-up fee, 2)Wireless internet fee, and 3)Cloud storage using fee. Second, based on these estimated values, we conduct an economic evaluation analysis. Among them, benefit and cost, net present value, and internal rate of return are selected.

**Results:** As a result, all estimated values are highly over criterion of economic validity( $B/C \geq 1$ ,  $NPV \geq 0$ ,  $IRR \geq R$ ); 1)benefit over cost ratio is 28.22, 2)Net present value is 8,121.66million KRW, and 3)Internal rate of return value is 2272%.

**Conclusion:** The findings of this study will help making a decision when train industry adopts IoT technology for improving the effectiveness.

**Key Words:** Internet-of-Things, Economic evaluation analysis, Benefit and Cost, Net Present Value, Internal Rate of Return, Train freight car, Integrated quality management, Safety transport

● Received 4 November 2016, 1st revised 23 November 2016, accepted 24 November 2016

† Corresponding Author(sangchanpark@daum.net)

© 2016, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and re-production in any medium, provided the original work is properly cited.

\* 본 연구는 한국철도기술연구원 주요 연구 사업으로 수행되었습니다.

# 1. 서론

21세기 IT시대인 지금 다양한 사물을 무선 네트워크 통신망으로 연결하여 정보를 공유하고, 그 상태를 모니터링 하는 사물인터넷(Internet of Things:IoT)에 대한 관심이 매우 증가하고 있다. Kevin Ashton(1999)은 IoT란 기존의 유선통신망인 인터넷이나 모바일 커뮤니케이션 보다 발전된 것으로 인터넷에 연결된 사물들이 사람의 제어 없이 상호간에 능동적으로 정보를 교환하고 처리하는 것으로 인간과 자연환경을 구성하는 물리적 사물 모두를 IoT로 정의 하였다. 일반적으로 IoT의 사용을 통해 사람들은 업무의 향상과 생활의 편의성 향상을 추구한다. IoT가 적용되는 산업은 기본적으로 1)Sensor, 2)Master-IoT, 3)Common Communication Carrier(SKT, KT, LGT 등), 4)Cloud Data Storage, 5)Application Service로 구성된다. 과거와는 달리 그 전달체계와 데이터 저장·이용 등에서 다양한 개선과 변화가 있어왔다.

IoT는 현실에서 매우 다양한 분야에서 활용되고 있다. 스마트 홈, 헬스케어(Healthcare), 원격제어, 스마트 카 등이 대표적으로 활용되는 분야이다. 또한 위에서 언급한 IoT의 기능 등을 활용하여 업무의 효율성을 높이기 위해 아직 IoT의 활용이 미흡한 분야에서도 이를 활용하기 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있고, 철도산업도 이종의 하나이다(Jie Gao et al, 2016; Shang Meng et al, 2016).

우리나라의 철도산업은 기간산업으로서 나라의 경제발전에 크게 기여했으며, 운송수단으로서 우리생활과 아주 밀접하게 연관되어있다. 이에 정책적으로도 많은 노력들을 기울여왔고, 지속적으로 신설 노선이 만들어지고 있으며, 기존의 노선은 개량을 통해 철도의 효율성 향상을 추구하고 있다(Kim Kwanghee et al, 2013). 특히, 과거와는 달리 철도산업의 고속화가 추진됨에 따라 수송여건 개선과 이에 따르는 안전관리 시스템 개선에 대한 요구도 동시에 증가하고 있다. 이에 국내 뿐 아니라 외국의 철도기관에서는 최신 ICT 기술의 융합을 통해 이러한 요구를 해결하려고 하는데, ICT 융합기술 중 최근에 가장 각광 받는 기술이 바로 IoT이다(Gartner, 2014; Ha et al, 2016; Korail, 2015; 2016)

국내 철도분야에서는 이미 무선 네트워크 통신망(LTE)에 대한 연구는 다양한 방법으로 실증적으로 진행되고 있다. 하지만 아직까지 이를 이용하는 IoT의 철도산업에서의 연구는 아직까지 많이 미흡한 상황이다. 특히, 승객들을 대상으로 하는 객차에 관한 연구는 상당히 진행되고 있지만, 화물을 운반하는 화차에 관한 연구는 객차에 비해 많은 관심을 받고 있지 못하다(Won et al, 2015; Kim, 2009).

철도산업에서 기대되는 IoT의 역할은 1)안전성 개선과 증가, 2) 운영효율성 개선과 증가, 3) 용이한 유지 및 보수 등 품질향상을 통한 경영효율성 증대에 있다(KDI, 2004; 2014; Ministry of Land Transport and Maritime Affairs, 2008; 2010; 2011). 또한 실제 IoT 도입 시 다양한 장점이 있을 것으로 예상되기 때문에 국내의 대형 통신사(KT, SKT 등)이 IoT사업을 위한 기반 인프라를 확충하고 있는 실정이다. 이러한 기초에 대응하여 이와 관련한 실증적이고 다양한 연구의 필요성이 증대되고 있다. 앞서 언급한 바와 같이 초기의 IoT의 정의와 구성은 현재 많은 변화와 개선을 보였다. 이러한 변화를 본 연구에서는 적극 적용하고자 한다.

본 연구는 기존의 무선 네트워크 통신망(LTE)의 연구 데이터를 바탕으로 객차에 비해 아직 연구가 미흡한 IoT기반 철도 화차 안전운송 통합 품질관리시스템에 관한 예비타당성을 경제성 지표분석을 통해 검증하고자 한다. 즉, IoT도입에 따른 철도의 Safety(안전), Operation(운영), Maintenance(유지) 등에 대한 편익과 비용을 산업측면에서 측정하고 그에 따르는 경제적 효율성을 분석한다. 이를 통해, 타당성 여부를 검증하여 IoT도입의 의사결정에 도움을 주고자하는데 본 연구의 목적이 있다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 IoT기반 철도 화차관리 시스템

본 연구는 IoT 기술을 활용하여 철도 화차의 상태를 모니터링 하고 필요한 제어를 시행하여 보다 안전성과 효율성이 개선된 화차 관리 시스템의 품질의 향상을 목표로 한다. 본 연구에서 쓰일 철도 화차관리 시스템의 기본적인 구성 요소는 <Figure 1>과 같다. <Figure 1>에서 나타난 바와 같이 열차는 1대의 기관차와 여러 대의 화차로 구성된다. 메인동력을 가진 기관차에 서버장비가 설치가 되고, 각 화차에 그 목적에 맞게 다양한 IoT 모듈(edge-IoT, sensor-IoT, master IoT등)이 설치가 되어 기관차의 서버장비를 비롯해 철도역사의 메인서버와 항상 연결되어 화차의 정보를 공유한다(Jong-Un Won et al, 2015; Kim J.J, 2009).

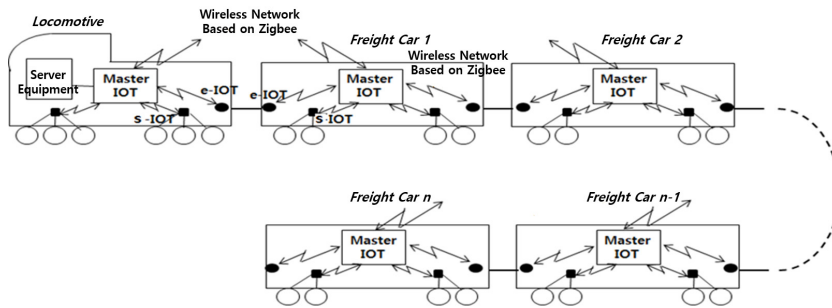


Figure 1. Components of train freight car management system(Won et al, 2015)

기관차 서버 장치는 <Figure 2>와 같이 철도화차에 사물인터넷(IoT)을 적용하여 철도 화차의 연결 상태, 브레이크 온도 및 상태 등 열차의 상태를 자동으로 감지하며 위험물이 탑재된 화물의 온도, 습도, 컨테이너 등의 개/폐 상태 등을 감지하고 이렇게 수집된 각 화차의 데이터들을 무선 통신 네트워크를 통하여 기관차에 설치된 서버 컴퓨터에 전달한다. 기관차는 이 서버 컴퓨터를 통하여 각 화차들의 연결 상태 및 제동장치 등 화차의 주요 장비에 대한 상태와 고장 여부, 화차 내에 탑재된 화물들의 상태와 안전 여부 등에 대해 모니터링하고 관리할 수 있다(Won et al, 2015). 컨트롤 타워 역할을 수행하는 중앙서버는 각 기관차의 m-IoT와 무선으로 연결되어 각 화차의 정보를 수집한다. 또한 중앙 서버는 R-LTE와 다른 무선 통신망을 통해 외부와 연결되어 수집된 화차의 정보를 외부망으로 전송시킬 수 있다(Lee, 2014)

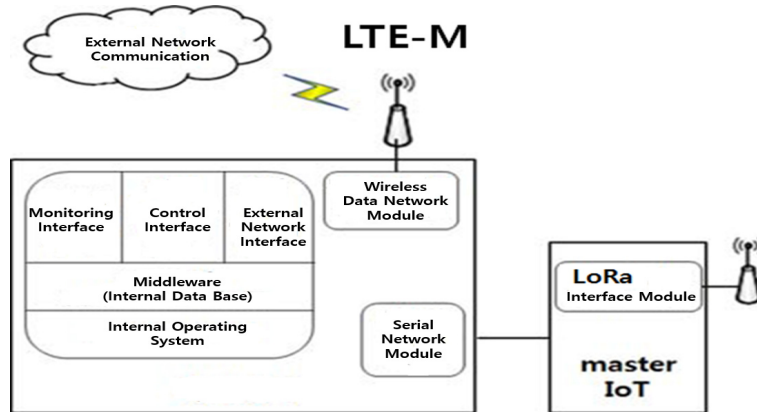


Figure 2. Functions and operation environment of server device(Won et al, 2015)

기관차 및 화차들은 각 장치들의 상태를 감지하기 위한 IoT 모듈(즉, e-IoT와 s-IoT)과의 무선 통신을 통해 감지된 데이터를 수집할 수 있다. 첫째, 각 화차에는 앞과 뒤에 연결된 화차를 식별하기 위한 e-IoT 두 개가 장착된다. 둘째, 열차의 기계 상태 (바퀴, 브레이크, 무게, 압력 등)을 감지하기 위한 몇 개의 s-IoT와 화물의 상태 (화물의 온도, 습도, 고정 상태, 컨테이너 문의 개/폐 상태 등)를 감지하기 위한 여러 개의 s-IoT가 장착된다. 따라서 master IoT는 이들 여러 개의 e-IoT와 s-IoT 모듈들과 무선 통신을 통해 각종 감지 데이터를 수집한다. 이를 위해 화차 내의 IoT 모듈들이 통신하기 위한 무선 네트워크(LTE)를 구축한다. 운영대상인 화차의 규격이 모두 똑같지 않으므로 부착되는 IoT의 종류와 개수는 다를 수 있다(Won et al, 2015; Lee, 2014).

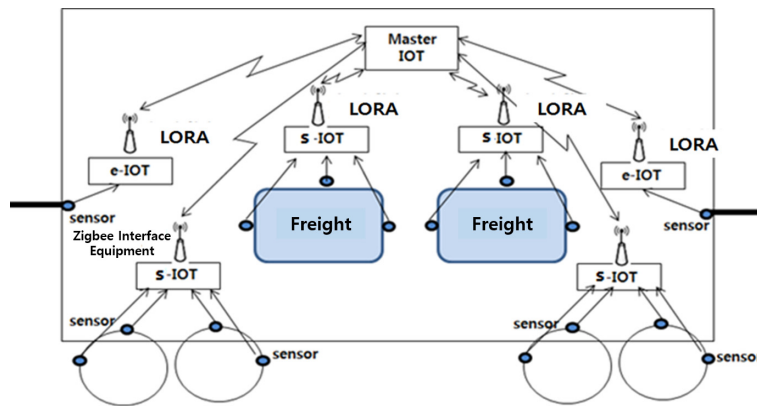


Figure 3. Concept of near field wireless network system in train freight car(Won et al, 2015)

### 2.3 경제성 분석

일반적으로 경제성 분석을 사용할 때 사용되는 지표로는 편익-비용 분석(B/C 분석), 순현재가치, 내부수익률, 회수기간법, 투자 수익률 등이 있다(Lee J.H, 2008). 본 연구에서는 편익-비용 분석(Benefit/Cost analysis), 순현재가치(Net present value)와 내부수익률(Internal rate of return)을 제시하여 경제성평가를 시행하고자 한다. 첫째, 편익분석은 일정한 할인율을 적용하여 현재가치화한 비용과 편익을 산출한 후, 비용에 대한 편익 비율을 적용하여 사

업의 경제적 타당성을 판단하는 방법이며, 일반적으로 어떤 사업에 대한 B/C 비율을 분석한 결과 값이 1보다 크면 그 사업은 경제적 타당성이 있다고 판단할 수 있다. B/C비율은 사업의 순편익 규모를 제시하지 않는 대신 비용 대비 편익의 비율만 보고하기 때문에, 수익성이 가장 높은 사업이 채택되는 것을 권고하는 방식이다. 순편익의 절대규모가 상대적으로 크지만 B/C비율은 낮은 사업보다는 사회적 파급효과는 낮지만 B/C비율이 큰 사업이 선정될 가능성이 높다. 따라서 투자규모가 다른 사업의 경제성을 평가할 경우 순현재가치법과는 다른 결과는 나올 수 있다는 점에 유의해야 한다. 만일 공공사업의 관심이 비용 대비 편익의 극대화보다는 순편익의 절대적 크기가 더 큰데 있다면 B/C비율보다는 순현재가치를 사용하는 것이 합리적이며, 이 때 B/C비율은 참조적 정보로 활용될 수 있을 것이다 (Pisello and Strassmann, 2002).

둘째, 순현재가치는 사업을 시행함으로써 발생하는 편익의 총합에서 비용의 총합을 뺀 순편익을 기준년도의 현재 가치로 할인하여 환산한 값으로 단위는 화폐가치이며, 순현재가치가 양(+ )의 값으로 분석되면, 사업의 경제적 타당성이 있는 것으로 판단할 수 있다(Park H.J, 2009).

셋째, 내부수익률은 편익과 비용의 현재가치가 동일하게 되는(B/C = 1, NPV = 0) 시기의 할인율, 즉 경제적으로 손익분기를 나타내는 수익률을 의미하며, 내부수익률의 값이 경제성 분석에서 사용한 할인율보다 크게 되면, 사업의 경제적 타당성이 있는 것으로 판단할 수 있다(Thuesen and Fabrycky, 1993).

### 3. 연구 방법

#### 3.1 연구모형

본 연구는 IoT기반 철도 화차 안전운송 통합 품질관리시스템에 관한 예비 타당성 연구이다. 이를 위한 본 연구의 틀은 <Figure 4>와 같다. 첫째, 기존의 문헌과 자료의 분석을 통해 편익(Benefit)은 Safety, Operation, Maintenance 항목으로 분류하여 계량화 한다. 둘째, 비용(Cost)의 항목은 셋업비용, 통신료, Cloud storage 이용료로 나누어 항목을 분류하고 계량화 한다. 셋째, 앞서 계량화된 편익과 비용의 항목을 토대로 경제성지표 평가분석을 시행한다. 경제성 분석 지표 중 본 연구는 B/C, NPV, IRR을 활용하였다. 마지막으로 이를 바탕으로 민감도 분석을 하여 IoT사업의 타당성을 검증하였다.

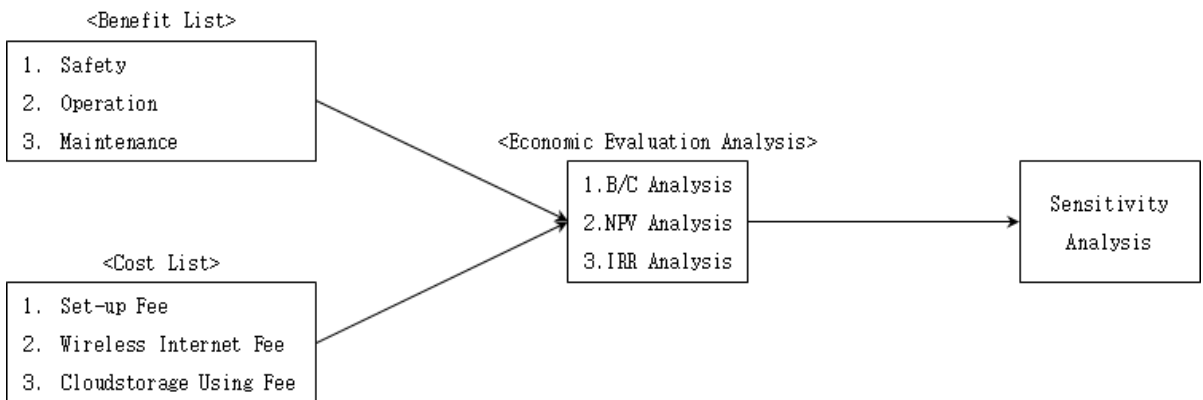


Figure 4. Research model framework

### 3.2 편익(Benefit)의 항목화

일반적으로 편익은 유형 편익과 무형 편익, 직접 편익과 간접편익으로 구분된다. 그 형태와 종류에 상관없이 예비타당성 조사의 경우에는 경제적 편익 중 정량적으로 측정할 수 있고 객관적인 화폐가치로 산출 가능한 편익만을 평가 대상으로 설정한다. 또한 객관적 타당성이 있는 데이터의 불충분성, 공공재로서 무임승차자의 발생 등의 문제가 발생할 수 있는 간접적이고 포괄적인 편익들은 모두 제외하여 추정을 한다. 하지만 IoT 기반 철도운송 통합관리 시스템효과에 관한 분석은 기준에 없었기 때문에 본 예비타당성조사의 경제성 분석부분은 기존의 문헌연구(Ministry of Land Transport and Maritime Affairs, 2012; 2011; 2010; 2008)를 통해 적합한 항목들의 편익을 차용하여 편익분석의 추정값으로 사용하였다. 또한 본 연구에서는 기존의 분류체계인 직접편익과 간접편익으로 분류하지 않았고, IoT를 활용한 철도의 화차 운영 품질부분의 개선에 초점을 맞추기 위해 편익 부분을 크게 Safety(안전), Operation(운영), Maintenance(유지) 세 분야로 설정하여 구분하였다. 기존의 연구와는 마찬가지로 객관성과 타당성을 유지하기 위해 편익으로 포함가능하나 계량화가 불가능하고, 기존의 연구에서 다루어지지 않은 항목들은 모두 제외하였다(Kang M.S, 2007).

각 항목들의 추정치는 국토해양부의 국가철도 보고서, 방송통신위원회, 철도안전종합관리시스템의 자료를 바탕으로 본 연구의 목적에 맞게 수정하여 이용하였다. Safety(안전)영역은 세부항목으로 열차사고 발생감소, 건널목사고 감소, 철도화재 사고 감소, 시설 파손감소, 직무사상예방편익이 포함되었다. 각 항목별로 조사된 편익을 살펴보면, 첫째, IoT를 이용한 신호제어통신서비스로 사전예방이 가능한 열차사고 발생감소에서 도출된 편익은 1.93억으로 추정되었다. 2008년에서 2010년까지의 자료를 바탕으로 연평균치를 추정한 것이다. 둘째, 건널목 사고는 사전예방 보다는 조기대응을 통한 피해액의 감소만 가능한데 이를 통한 건널목 사고의 피해액 감소 편익은 1.40억원으로 추정되었다. 셋째, 철도화재사고도 건널목 사고와 유사한 방식으로 추정한다. 철도화재 사고는 사전에 예방하기 어렵기 때문에 발생 후에 통신망을 이용한 재빠른 통제와 조기대응으로 피해를 감소시킨다. 이에 관련한 편익은 연 2.72억으로 추정된다. 넷째, 시설파손사고는 적절하지 못한 유지보수, 시설노후, 잘못된 사용으로 주로 무선통신망과는 관련이 없는 원인으로 발생한다. 이러한 경우에는 대응의 형태로 편익이 발생하는데 연 9.25억원의 편익이 발생할 것으로 추정되었다. 다섯째, 직무사상의 사고 예방효과를 분석해보면 연평균 사망 2.59명, 중상 8.57명, 경상 4.28명이다. 이러한 사고는 100% 예방이 가능하다고 가정할 시에 직접적인 피해 예방효과가 되는데, 통계청의 소비자물가 상승률 3.8%를 이용하여 교통사고 비용을 현재가치로 환산하면 직무사상 예방편익은 20.18억으로 추정된다.

Operation(운영)영역의 편익항목은 고객의 기회비용감소, 수송역량증대, 운행지연감소의 철도운행 효율성 증대부분과 업무프로세스 시간 감소, 통신료 감소 등의 철도 승무원 IT 서비스 제공 부분으로 구성된다. 첫째, IoT와 무선 LTE 통신 환경개선을 통해 운행손실에 따라 감소되는 고객의 기회비용은 국토해양부의 예비타당성 조사에서 도출된 연평균 139.72억원을 사용하였다. 둘째, IoT를 이용하여 증가한 수송용량 증대에 따른 편익산정을 위해 각 철도기관의 매출액(2005년~2009년)의 평균인 17,768억원을 이용하고, 부가가치를 50.28%, 운송효율의 증가치 16.7%, 을 적용하여  $(17,768 \times 50.28\% \times 16.7\%)$  추정편익1,491.93억 원을 도출하였다. 셋째, 철도안전종합관리시스템에 따르면 3년간 운행손실에 따른 비용은 연평균 208.13억으로 나타났다. 이에 철도안전정보종합포털에서 제공한 무선 통신망 적용에 의해 감소될 수 있는 운행손실의 개선 가능 효과인 22.62%를 적용하여 편익수치를 산출하였다  $(208.13 \times 22.62\%)$ . 운행손실 감소에 따른 편익은 약 47.03억원으로 추정된다. 다음으로 IoT사용으로인한 철도승무원의 운영편익을 추정하였다. 첫째, 국토해양부는 영국통신사업자인 British Telecom의 데이터를 바탕으로 무선 통신망 사용시 업무프로세스의 개선효과를 30% 산정하고, 화차의 편성을 총439편으로 가정, 편성당 1명의 기



통신료(이용료)만 들어가기 때문에 통신망 건설비는 고려대상에 포함되지 않는다. 셋째, 통신망 운영비 또한 고려할 필요가 없는 항목이다. 왜냐하면 본 연구에서는 직접서버를 직접 구축하고 운영하지 않고 Cloud storage(가상저장장치)를 사용하여 비용을 줄이고 언제 어디서든 접속할 수 있는 Cloud storage의 장점을 적극 활용하고자 한다. 즉, 기존의 차량구매비는 셋업 비용, 통신망건설비는 통신료(이용료), 통신망 운영비는 cloud storage 비용 항목으로 설정한다. 첫째, 셋업비용은 한국철도공사의 자료를 참조하여 화차 약 439편성의 화차에 각 1편당 26량으로 구성된 총 화차에 소요되는 센서+기판의 추정비용을 약 24억~28억으로 도출하였다. 둘째, 셋업 비용은 KT에 공시된 가격을 참조하여 기기대수 (총 편성 대) : X, kt GiGA IoT 요금제(원) 월정액: Y,  $X \times Y =$  월간 통신료(천원), 월간 통신료  $\times 12$ (개월) = 연간 통신료(천원)의 산식으로 도출하였다. 최저요금제인 38,000원과 최고요금제인 1,045,000원을 썼을 때의 비용을 연기준으로 환산하여 약 2억~약55억의 비용을 산출하였다. 셋째, 데이터를 저장할 Cloud storage 비용은 화차의 총 편성(439대), 1일 운행 횟수(353회), 운행시간(10시간을 초로 환산), 년 기준(30일:한달 30일로 가정  $\times 12$ 개월)의 변수로 총 정보 발생량(약 348,117.86GB)를 산출하였다. 다음으로 각 회사 KT, MS애저, 아마존 AWS, SKT등에서 제공하는 cloud서비스 비용을 조사하여 약 최소2.5억~최대 5.0억원의 비용이 발생하는 것을 추산하였다.

**Table 2.** Category of Cost items and values for train freight car base on IoT

(Unit: 1million KRW)

Item	Configuration	Cost(Min~Max)
Set-up Fee	Sensor, Master IoT, Communication Module	24~28
Wireless Internet Fee	KT, SKT Data	2~55
Cloud storage Using Fee	KT, SKT, MS Azure, Amazon AWS	2.5~5
Total Balance		28.5~88

\* 한국철도공사(2012), KT, SKT 공시자료 참조 및 본 연구에 적합하게 수정 적용함

## 4. 연구 결과

### 4.1 경제성 지표분석

본 연구에서는 IoT기반 철도 화차 안전운송 통합 품질관리 시스템의 경제성을 분석하고자한다. 경제성 분석 결과, 안전, 운영, 유지보수 관점의 편익을 모두 고려한 최대 편익 추정치는 연간 1971.76억으로 추정된다. 비용관점에서는, 현재 운영되고 있는 모든 화차내 장비 셋업비용과 이동통신사의 원거리/근거리 IoT 통신망 사용료, 그리고 IoT 통신에 발생하는 bigdata를 저장하는 cloud storage 사용료를 고려한 최대 비용 추정치는 초기년도에 88억, 2차 년도부터는 60억으로 추정된다. 사회적 할인율 5.5%를 고려하여, 추산한 첫 5년간의 B/C ratio(비용편익비율)는 28.22로서 IoT기반 철도 화차 안전운송 통합관리 시스템의 경제성은 매우 높은 것으로 분석되었다.

편익추정에 있어서 안전과 운영 관점의 편익은 매년 발생한다. 반면에 유지보수 관점의 편익은 화차의 최적 수명을 25년으로 볼 때 안전을 보장하는 예방적 유지보수 비용 발생 면에서 사용연한 12년차에서 24년차에 걸쳐서 발생하는 것으로 나타났다(Korail 2016; 2015). 따라서 본 연구에서는 경제적 타당성을 평가하기 위하여 일반적으로 사



용되는 순현재가치(NPV)와 내부수익률(IRR)의 도출은 24년 주기로 고려하였다. 그러나 실제적으로 통신 기술의 발달을 고려하여 IoT기술 발전에 따른 시스템 업그레이드를 고려하면 5년 단위의 경제성 분석이 필요할 것으로 판단된다. 5년 기준 순현재가치(NPV)는 8,121.66억, 내부수익률(IRR)은 2272%로 추정되었고, 내부수익률 관점에서 보면 사회적 할인율 5.5%를 상회하는 것으로 나타났다.

여기서 사용된 편익/비용 비율이란 총편익과 총비용의 할인된 금액의 비율, 즉 장래에 발생될 비용과 편익을 현재 가치로 환산하여 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 것으로, 일반적으로 「편익/비용 비율  $\geq 1$ 」 이면 경제성이 있다고 판단한다(Park, 2009).

**Table 3.** Benefit and Cost for 1~5 years (NPV)

(Unit: 1million KRW)

	1year	2year	3year	4year	5year	Total Balance
Benefit <sup>1)</sup>	1868.96	1771.53	1679.17	1591.63	1508.66	8419.96
Cost <sup>2)</sup>	88.00	56.87	53.90	51.09	48.43	298.30

$$\text{편익(Benefit) / 비용(Cost) 비율} = 28.22$$

순현재가치란 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준년도의 현재가치로 할인하여 총편익에서 총비용을 제한 값이며 「순현재가치  $\geq 0$ 」 이면 경제성이 있다는 의미로 해석한다(Jung, 2012).

$$\text{NPV} = 8419.96\text{억원} - 298.30\text{억원} = 8,121.66\text{억원}$$

내부수익률(IRR)은 편익과 비용의 현재가치로 환산된 값이 같아지는 할인율을 구하는 방법으로 사업의 시행으로 인한 순현재가치를 0으로 만드는 할인율이며, 내부수익률이 사회적 할인율보다 크면 경제성이 있다고 판단한다(Jung, 2012).

**Table 4.** Benefit and Cost for 1~5 years (IRR)

(Unit: 1million KRW)

	1year	2year	3year	4year	5year	Total Balance
Benefit	1868.96	1771.53	1679.17	1591.63	1508.66	8419.96
Benefit 2 <sup>3)</sup>	86.78	3.81	0.16	0.00	0.00	
Cost	88.00	56.87	53.90	51.09	48.43	298.30
Cost 3 <sup>4)</sup>	88	2.64	0.11	0.00	0.00	

편익/비용 비율, 순현재가치, 내부수익률에 의한 경제적 타당성 유무 판단이 항상 동일한 것은 아니며, 각 지표별로 장단점을 지니고 있다. IoT기반 철도 화차 안전운송 통합관리 시스템의 경제성은 세 가지 지표 모두에서 매우 높은 경제성을 보여준다.

1) 1.055의 년차 승으로 나눔  
 2) 1.055의 년차-1 승으로 나눔  
 3) IRR 2272%로 나눔 편익  
 4) IRR 2272%로 나눔 비용

## 4.2 민감도 분석

IoT기반 철도 화차 안전운송 통합관리 시스템의 편익항목들의 산출 값을 살펴보면 운영효율 증대에 따른 편익이 연간 1752.26억원으로 차지하는 비율이 전체 편익 값의 80% 이상을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이중에서도 철도운영 효율성 증대 중 내부프로세스 관점에서 수송역량 증대가 연간 1491.93억이다. IoT기반 철도 화차 안전운송 통합관리 시스템의 최초 의도는 안전관련 철도사고의 예방 및 대응에 있었으나, 최대편익은 오히려 화차의 실시간 위치파악과 철도화물의 상태정보 제공으로 인한 효율성 증대로 이어질 것으로 판단된다.

비용편익 비율을 시스템 구축의 최초 의도인 안전관련 철도사고의 예방 및 대응관점에서만 보면 연간 편익 35.48억과 초년도 비용 88억과 매년 60억 비용 발생을 고려하고, 사회적 할인율 5.5%로 보면, 비용편익 비율은 0.5로 추정된다. 비용을 최소화하는 경우, 초년도 비용 28.5억과 매년 4.5억 비용 발생을 고려하면, 비용편익 비율은 3.42로 추정된다.

유지보수와 관련된 편익은 안전이 보장되지 않는 do-nothing 대안과의 비교가 사실상 어렵기 때문에, 비용편익 비율 산정에서 안전 유지를 위한 time based 예방유지 비용을 고려하여야 한다. 이 경우 failure가 발생하기 전 미리 해당 부품에 대한 교체를 전제로 한 경우 대비, IoT기반 철도 화차 안전운송 통합관리 시스템을 활용하여 실시간으로 부품상태를 파악하여 failure가 발생하기 전에 교체하는 condition-based 유지보수를 한다고 전제하여 편익을 도출하였다. 따라서 do-nothing 대안과 비교에서는 안전 증대에 따른 편익과 운영 효율증가에 따른 편익만 고려해야 하며 이 경우 비용편익 비율은 25.64정도로 추정된다.

IoT 통신망을 통신사업자가 구축한 망을 활용할 수 있게 된 점은 매우 고무적인 요인으로 판단된다. 철도전용 무선통신망의 경우 LTE는 조건에 따라 최소 3600억원 (비용편익 비율은 2.57로 추정) 수준의 투자비를 요구한다. 상용망 장비로 700MHz 대역에서 IoT 통신망을 구축할 경우, 이동통신망 음영지역 구축 사례를 고려하며 이중화를 하지 않을 때는 4500억원 (비용편익 비율은 2.05로 추정), 장비 이중화의 경우는 6800억원 (비용편익 비율은 1.36으로 추정)의 투자비가 발생한다. 연간 60억 정도의 사용료를 지불하며 IoT 통신망을 사용할 수 있으므로 경제적 타당성이 급격히 증대된 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구는 IoT기반 철도 화차 안전운송 통합 품질관리시스템에 관한 연구로서 IoT를 도입하였을 시, 발생할 편익과 비용에 대한 경제성 분석을 통해 그 타당성을 분석하였다. 5개년을 기준으로 최대치를 추정한 결과, 총 편익은 약 8,419.97억, 총 비용 298.30억이 추산되었다. 이를 바탕으로 편익-비용분석(B/C)은 28.22, 내부수익률(IRR)은 2272%, 순현재가치(NPV)는 8,121.66억으로 추정되었다. 추정치 모두 경제적 타당성의 판단기준( $B/C \geq 1$ ,  $NPV \geq 0$ ,  $IRR \geq R$ )을 매우 상회하는 것으로 나타났다. 이는 기존의 연구와 본 연구와의 차이점에서 그 이유를 찾을 수 있다.

기존의 철도에 관한 경제성 연구와 본 연구와의 차이점을 살펴보면, 첫째, 본 연구는 IoT 적용 대상에 있어서 기존의 연구가 대부분 대상으로 했던 객차와는 다르게, 화차를 대상으로 하고 있다. 화차는 우리나라 전국에 약 1만 2천량 정도가 운영되고 있다. 객차는 이미 LTE 기반 무선 통신기술을 부분적으로 사용하여 열차 운행계획, 배치 등에 있어서 유용하게 적용하고 있다. 하지만 화차는 이에 비교하여 무선통신 기술의 적용과 계획이 상당히 더딘 편이다. 이에 본 연구는 IoT 기술의 화차적용에 대한 경제성 분석을 통해 충분히 경쟁력이 있음을 입증하였다. 둘째, 기존의 경제성 분석은 편익의 항목이 직접편익과 간접편익으로 나뉘며, 대부분이 철도의 안정성에 중점을 두고 연구가 진행

되었다. 따라서 주로 철도 운영의 유지측면에 초점을 맞추어 편익을 상계하였다. 하지만 본 연구는 화차의 Reliability(신뢰성), Availability(효용성), Maintainability(유지성) 측면을 모두 고려하여 편익항목을 세분화 하였다. 이에 편익 값의 극대화를 추구하였다. 셋째, 기존의 경제성 연구는 사용되는 비용부분의 상계에 있어서 주체가 되는 A가 단독으로 모든 비용을 지불하는 것을 가정으로 연구를 진행하였다. 때문에 비용부분의 값(value)가 매우 높게 상계되어 긍정적으로 결과값이 도출될 때 대부분의 경제성 분석의 타당성 기준( $B/C \geq 1$ ,  $NPV \geq 0$ ,  $IRR \geq R$ )을 조금 상회하는 수준으로 나타났었다. 하지만 본 연구는 IoT기술 적용을 위한 기반 인프라 산업에 대해 지출되는 큰 비용 부분을 타 기업과 공유하는 것을 가정으로 연구를 진행하였다. 앞서 언급한 바와 같이, 철도산업은 국가의 기간산업이다. 이에 우리나라는 실제로 IoT구성 요인에서 Common Communication Carrier 역할을 담당하는 통신사 KT와 SKT 등에서 IoT사업의 기반이 되는 철도 LTE 무선통신망의 인프라 구축에 적극적으로 진출하고 있다. 본 연구는 최근에 집중 조명되고 있는 공유경제에 기반한 협력적 사회(Collaborative Society), 협력적 플랫폼(Collaborative Platform)등을 적극적으로 활용하고자 한다. 이를 통해 비용에 대한 부담을 공유함으로써 기존의 수치와는 상이하게 차이가나는 결과가 도출되었다.

LTE 무선통신 기반의 IoT 기술을 우리나라 철도 화차운영에 도입하는 것은 충분한 경제성을 지니고 있는 것으로 나타났다. IoT기술이 철도 화차운영에 도입이 된다면, 데이터를 수집하는 메인서버와 모듈이 컨트롤 타워 역할을 하여 실시간으로 전국에 있는 IoT가 설치된 모든 화차의 상태와 현황의 정확한 파악이 가능하다. 이러한 이유로 서론에서 언급한 바와 같이 철도화차 운영에 있어서 첫째, 안전성이 개선·증가하고, 둘째, 철도화차 운영의 효율성이 개선·증가하며, 셋째, 철도화차의 유지 및 보수가 개선·향상될 것으로 판단된다.

비록 아직까지는 객차위주이기 하지만 국내·외에서 IoT를 철도에 적용하려는 시도가 점차 늘어나고 있다. Huawei Digital Railway Solution(2012)와 Eurotech UK의 보고서(2015)에 따르면 LTE무선 통신기반 IoT기술을 철도에 접목하면 실시간 항시 모니터링을 통한 데이터의 축적과 관찰을 통해 사고 발생시 대처 시간이 단축되고 향후 사고의 예측이 가능하다고 하였다. 또한 고객의 데이터 정보를 실시간 수집하고, 객차에 발생하는 장비의 손상 및 누수를 빠른 시간 안에 알 수 있어 철도 이용의 편의성이 증가하고, 보수유지 비용이 감소할 것이라 예측하였다. 또한 철도의 이용이 많은 유럽의 경우 2020년 이후 빠르게 실질적으로 IoT가 철도산업에 적용될 것이라 전망하였다.

국내의 상황을 살펴보면, 부산도시철도는 IoT기술을 도입하여 '도시철도 승강장 스마트 안전서비스 사업'을 시범적으로 시행하고 있다. 또한 한국철도기술 연구원은 중국철도과학연구원(CARS:China Academy of Railway Science), 일본철도종합기술연구소(RTRI:Railway Technical Research Institute)와 공동으로 기술연구 계획을 논의하였는데 이 중 'IoT기술의 철도차량 및 시설물 유지보수 적용방안'의 내용이 포함되어 있다. 이미 IoT기술과 철도 산업에서의 활용은 타 국가에서도 큰 주목을 이끄는 화제 중의 하나이다. 우리나라는 2015년에 KT와 한국철도기술 연구원이 MOU를 체결하고 IoT기술 적용을 위한 산업 인프라 구축작업을 시작하였다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 IoT기술을 철도에 접목하고 실행하는데 있어 매우 고무적인 요소가 아닐 수 없다.

어떤 산업이든 시장선점의 효과는 이미 다방면에 있어서 검증되었다. 철도산업은 기간산업이기 때문에 비단 우리나라 뿐 아니라 타 국가에서도 이미 IoT기술을 철도에 적용하는 것에 매우 많은 관심을 가지고 있다. 우리나라는 상대적으로 높은 IT기술력과 인프라 망을 구축하고 있다. 본 연구를 통해 IoT기술의 도입이 철도 화차분야에 있어서 충분히 경쟁성이 있음이 밝혀졌다. 이런 높은 기술력과 인프라망을 적극적으로 활용하여 IoT기술을 철도산업에 빠르게 도입시킨다면 국가적으로도 충분한 경쟁력을 갖출 수 있을 것으로 판단된다. 이에 지속적으로 국가적 지원과 각 기관들(한국철도, KT 등)간에 긴밀한 협력이 필요할 것이다.

본 연구의 한계점은 실제 IoT기반 철도 화차의 데이터를 이용한 실제치가 아닌 기존의 LTE 무선통신망 연구를 참조하여 IoT이론과 연구결과를 토대로 산출한 추정치로서, IoT를 이용한 철도운영 프로젝트를 실제로 시행 시 본

연구의 결과치와 실제 측정치 값 사이에 오차가 발생 할 것이다. 따라서 본 연구의 결과인 추정치는 IoT를 기반하는 철도산업을 수행시에 참고자료로만 이용할 것을 권하여, 향후 실제 IoT기반 철도 화차운영이 시행된다면 이를 기반으로 한 실증적 연구가 지속·보완 되어야 할 것이다.

## 후 기

본 연구는 한국철도기술연구원 주요 연구 사업으로 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Baek, Jong-Hyun. 2009. "The Study on Train Separation Control of Train Control System For Conventional Line Speed Up." Ph.D diss., Chonbuk National University.
- Choi, Sang-Hun, Kim, Sa-Hyuk. 2014. "A Techno-Economic Analysis of Mission Critical Communication Networks for Railways." Korea Institute of Information & Telecommunication Facilities Engineering Session 7: 160–163.
- Gartner. 2014. Hype Cycle for Emergin Technologies.
- Ha J. W, Bang J. S., and Hong. E. K. 2016. "Comparison Study of IoT Supporting Technology." The Korean Institute of Communications and Information Sciences 60:1161–1162.
- Heo, Sung-Tae. 2016. "A Study on the Urban Railway System Diagnostics using the Internet of Things(IoT)." Seoul National University of Science and Technology.
- Jie Gao, Park, Kyungsoo, and Kim, Jaehee. 2016. "A Study on Railway Services Improvement Using Quality Function Development Incorporating SERVPERF." Journal of Korean Society Quality Management 44(2):452–466.
- Jung, Sung-Hwan. 2012. "Economic Evaluation of Early Detection System for Warranty Issues." Journal of Korean Society Quality Management 40(1):39–47.
- KAIA. 2013. Strategy Plan for the Efficiency of Railway Operation and Maintenance.
- KDI. 2004. A study on general guidelines for pre-feasibility Study.
- KDI. 2014. Appropriate Vehicle Investment Cost Analysis on Railway.
- Kim, Jae-jin. 2009. "Analysis of the Economical Efficiency of the Wonju-Gangneung Railway Project and Policy Direction." Gangwon Development Research Institute.
- Kim, Jae-Jin. 2011. Analysis of the revision of Economic Analysis Manual and its effects on the railway plan in Gangwon area's. Gangwon Development Research Institute
- Kim, Kwanghee, Kim, Hyundeok. 2013. "A Study on the Evaluation of Economic Benefit for Railway Transshipment System with Non-Powered Turntable." Journal of Korea Port Economic Association 29(4):1–25.
- Korail. 2015. Business Statistics.
- Korail. 2016. Statistics of Logistic Center.
- Korean Society of Transportation. 2003. A handbook of railway Investment Analysis and Evaluation.
- Lee, Jang-Ho, Han, Sang-Yong. 2008. "An Estimation of Value of Time by Road and Rail Freight.
- Lee. Cang-Lyong. 2014. "A study on the position detection of high-speed train using RFID." Ph.D diss., Kwangwoon University.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 2007. A study on development of measuring index about rail-

- way electrification effectiveness.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 2008. The Strategy for the Promotion of the Korean Railway Logistics.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 2010. The Second Railway Safety Management System Work Plan.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 2011. Investment Evaluation of Transportation Facilities Guideline.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 2011. Statistical Yearbook of Ministry of Land, Transport and Maritime.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 2011. The Second Nationwide Railway Network Developing Plan, 2011-2020.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 2012. Analysis of Wireless Communication Network Constructing for railway System Infrastructure and Effectiveness.
- Min-Soo Kang, Eu-Bong Jung, and Key Seo Lee. 2007. "A Study on the Optimal Train Recognition Ratio Instrumentation based on RFID." *Journal of the Korean Society for Railway* 10(5):633-639.
- Park, Ho-Jung. 2009. *Economic Evaluation Theory Research*.
- Pisello, T, Strassmann, P. 2002. *IT ROI & IT Value Chain Management*, John Wiley Sons, INC.
- Shang Meng, Shin, Yong-Ho, and Lee Chul-Woo. 2016. "The influence of the IoT based healthcare user`s experience value on the usage and continuous use intention -Focused on Xiaomi Mi band user in china-." *Journal of Korean Society Quality Management* 44(3):689-706.
- Won, Jong-Un, Kim, Hak-Sung, Kim, and Jin-Ho. 2015. "Designing A Train Freight Car Management System Based on Internet-of-Thing Technology for Safe Freight Transport and Management." *Journal of Information Technology and Architecture* 12(4):695-710.