한국ITS학회논문지
J. Korea Inst. Intell. Transp. Syst.
15(4) : 129~142(2016)
ⓒ 2016. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.
pISSN 1738-0774, eISSN 2384-1729
DOI http://dx.doi.org/10.12815/kits.2016.15.4.129

철도통합무선통신망 도입효과의 평가 -원주-강릉구간에 대한 사례를 중심으로-

Evaluation for the Introduction Impact of an Integrated Railway Wireless Network : A Case Study of the Wonju-Gangneung Rail Line

조 한 벽*
(Hanbyeog Cho)
(Electrics and Telecommunications Research Institute)

장 정 아**
(Jeong Ah Jang)
(Ajou University)

조 창 희***
(Chang-hee Jo)
(Ajou University)

윤 학 선****
(Hak-Sun Yun)
(Korea Rail Network Authority)

요 약

본 연구는 미래 철도망에서 이용될 예정인 LTE 기반 철도통합무선통신망 서비스의 효과에 대하여 경제성 분석방법을 이용한 평가를 수행한 것으로, 철도통합무선통신망을 설계할 때 편익을 극대화 하는 요소가 무엇인지 확인하고 이를 설계에 반영하도록 평가 결과를 활용하는 것을 목적으로 한다. 본 연구에서 경제적 효과 분석의 주요 대안으로 기존의 무선통신 방식(VHF로 구축할 경우와 TRS로 구축할 경우)을 신규노선에 설치하는 경우에 대비하여, LTE-R 방식의 무선통신 방식을 철도망에 설치할 경우에 대한 도입 효과를 분석한다. 주요 변수로는 직접 편익 항목별 편익기여율 변수를 이용하여 민감도 분석을 수행하였다. 사례 연구로 2018년 도입되는 원주-강릉 노선에서의 무선통신 서비스의 편익기여율이 10%이상 증대될 때 BCR이 1.0이상이 되기 때문에 이를 고려한 ICT 설계가 요구됨을 확인하였다. 향후 원주-강릉 노선에 LTE-R 통신 서비스 도입시, 세부 무선통신 서비스별 편익기여도를 높이기 위한 설계가 요구되고, 실제 구축 이후의 편익기여도에 대한 검증을 통하여 경제적 효과를 확인할 수 있을 것으로 예상된다.

핵심어 : 철도무선통신, LTE-R, 비용편익비, 경제성분석, 경제성 효과

ABSTRACT

This study performs an evaluation, using the economic feasibility analysis method, of the LTE based railway wireless networks (LTE-R) service that is planned to be used for the future railway networks in Korea. Its objectives are using the evaluation results and working to reflect the factors that lead to a maximization of benefits in designing an integrated railway wireless network. This study analyzes the impact of implementing an LTE-R on the railway networks, in contrast to the existing wireless network methods, e.g. VHR and TRS to new rail lines on an economic view. This results found that the benefit cost ratio is greater than 1.0 with a 10% contribution to benefits of the wireless network service in the case study on the Wonju-Gangneung rail line that will start operations in 2018; as a result, an ICT design is desired. For the introduction of an LTE-R service for the Wonju-Gangneung rail line, design specifications need to increase to benefits for each service, which will verify actual contributions and therefore result in an overall economic effect.

Key words : Railway Wireless Network, LTE-R, Economic Effect, BCR(Benefit Cost Ratio), Economic Analysis

† 본 연구는 2016년도 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받은 철도기술연구사업(16RTRP-B089552-03)의 일환으로 수행하였음
* 주저자 : 한국전자통신연구원, 스마트모빌리티연구부 지능형운전지원연구실 책임연구원
** 교신저자 : 아주대학교 TOD 기반 도시교통연구센터 연구교수
*** 공저자 : 아주대학교 건설교통공학과 박사과정
**** 공저자 : 한국철도시설공단 부장, 일반고속철도무선제어연구단장
† Corresponding author : Jeong Ah Jang (Ajou University), E-mail azang@ajou.ac.kr
† Received 8 July 2016; reviewed 3 August 2016; Accepted 20 August 2016

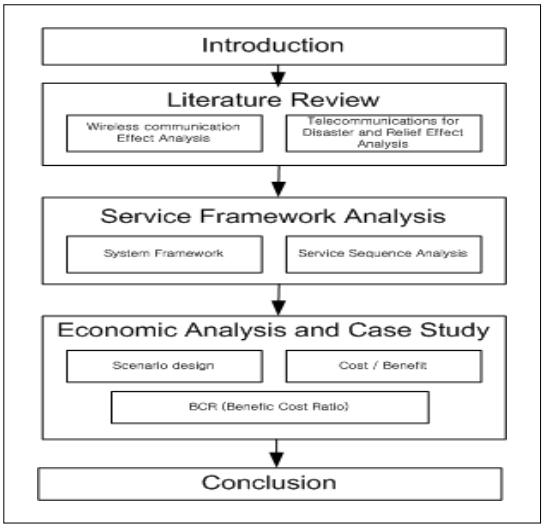
Ⅰ. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

전 세계의 모든 무선통신은 LTE(Long Term Evolution, 이하 LTE)를 통하여 발전할 것으로 전망되고 있으며, LTE를 응용하여 철도에 특화시킨 방식이 바로 LTE－R(LTE for Railway, 이하 LTE－R) 기술이다. 현재, 유럽, 중국 등 많은 나라가 기존의 3G 기술을 기반으로 한 GSM－R(Global System Mobile for Railway, 이하 GSM－R)이라는 기술을 철도무선통신망에 활용하고 있으나 전 세계적으로 LTE－R의 연구개발이 진행 중에 있다[1~4]. 우리나라 철도전용 무선통신망은 철도사고예방 및 예측대응, 신속한 정보 전달로 대형철도사고나 대철도 테러 등에 대비한 보안성 및 안전성을 향상시킬 수 있으며 이를 위한 “무선통신 기반의 열차제어 통신시스템”의 개발을 추진하고 있다[5]. 일반(광역) 및 고속철도 운영 시 적용 가능한 LTE 기반의 철도전용 무선통신망 실용화 및 표준화 기술로 차세대 철도시스템의 혁신을 가져올 것으로 예상된다. 현재 철도분야에서는 VHF(Very High Frequency, 이하 VHF), TRS－ASTRO(American Society for Radiation Oncology 이하 ASTRO), TRS－TETRA (Terrestrial Trunked Radio, 이하 TETRA)의 3가지 무선통신 방식이 혼재되어 운영되고 있으며, 현재 개발하고 있는 LTE－R 방식의 무선통신방식이 도입되면 미래의 국내 철도 무선통신망의 일관성 및 철도환경의 첨단화를 가져올 것으로 보인다. LTE－R 무선통신망의 도입 효과에 대한 정책적, 사회문화적, 기술적 측면의 당위성은 명백하나, 실제 세부 무선통신망 서비스의 경제적 효과는 어느 정도 되는지 정량화되지 않은 실정이다. LTE－R 무선통신 서비스의 효과를 정량화하기 위해서는 LTE－R 통신서비스의 유형분석을 기반으로 한 경제성 분석 방법론의 정립이 요구된다. 본 연구에서는 이러한 LTE－R 무선통신서비스에 대한 효과를 정량화하는 방법론을 살펴보고, 이를 기반으로 2018년 우리나라에서 첫 번째로 도입예정인 원주－강릉노선 노선에 대한 사례분석 결과를 제시하고자 한다. 이러한 효과분석은 LTE－R 무선통신망의 효과를 보다 극대화하기 위한 세부 서비스 설계의 기반 자료로 활용이 가능하다. 이를 통하여 ICT 기반 철도통신 분야에 대한 사용자와 운영자 측면을 고려한 세부 서비스의 우선순위 선정 등의 설계 방안 마련에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

2. 연구의 범위

LTE－R 무선통신망의 효과 분석을 위하여 <Fig. 1>과 같은 연구의 흐름도를 가진다. 본 연구 2장은 무선통신서비스의 효과분석 관련 기존 연구의 검토, 3장은 도입효과 분석을 수행하는 LTE－R 통신서비스의 구조 및 흐름도 분석, 4장과 5장은 대안에 따른 경제성 분석과 원주－강릉선의 사례분석 결과를 제시한다.



〈Fig. 1〉 Research Flow

Ⅱ. 관련 연구동향

1. 경제성 분석 방법론

경제적 타당성을 평가하기 위해서는 첫 번째 비용편익비율(Benefit Cost Ratio : B/C Ratio), 즉 총편익과 총비용의 할인된 금액의 비율(장래에 발생될 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 편익의 현재가

치를 비용의 현재가치로 나눈 값)을 구하는데 통상 비용편익비율이 1.0 이상이면 경제성이 있다고 판단한다. 분석하고자 하는 사업의 성격에 따라 편익을 추정하는 방법이 상이할 수 있는데, 정보화부문의 경우 일반적으로 균형성과평가법(Balanced Score Card, 이하 BSC)에 따른 편익항목을 정의하여 평가한다[6]. BSC는 재무성과위주의 성과관리 관점을 조직의 무형자산 등 비재무적 성과를 정량과 연계하여 종합적으로 측정할 수 있는 방법론으로, 비재무적 관점의 고객, 내부프로세스, 혁신에 대한 것을 다룬다. BSC의 경우, 편익추정 범주를 고객(국민에게 보다 나은 서비스 제공), 예산(예산 절감), 내부업무 효율화(업무의 효율성 제고), 조직혁신(변화의 제도화 및 조직혁신을 통한 변동대응능력 제고) 등 네 가지 측면에서 정보화사업의 성과가 목표 달성에 기여하는지를 점검 및 분석한다. 철도무선통신망의 경우 정보화측면의 효과를 계량화할 수 있기 때문에 BSC를 적용한 방법을 사용할 수 있다. 다른 경제성 분석 방법론은 헤도닉 가치평가 모형, 조건부가치측정법(Contingent Valuation Method, CVM) 등을 수행할 수 있다. 헤도닉 가치평가모형은 대체시장을 이용하여 재화의 가치를 추정하는 방법인데 본 연구에서는 관련 시장 거래가 현존하지 않기 때문에 이를 활용하기 어렵다. 조건부가치측정법의 경우 소비자에 대한 지불의사(willingness to pay : WTP)를 이용하는 것인데, 본 연구의 주요 사용자는 운영자이기 때문에 일반적인 소비자 측면에서 CVM 기법을 적용하기 어려운 실정이다. 본 연구에서는 BCR를 주요 경제성 지표로 선정하였는데, 원주－강릉선과 같이 특정 구간의 일반화를 위하여 순현재가치나 내부수익율법 보다는 BCR를 이용하여 연구 결과를 제시하였다.

2. 기존 무선통신 및 재난망 사업 효과분석 연구

기존 철도 분야 및 재난망에 대한 무선통신 기술 및 경제성 분석한 국내 연구결과를 살펴보면 다음과 같다.

1) 2006년 철도통합무선망 구축사업

2006년 한국개발연구원을 중심으로 수행된 철도무선통신망 구축사업의 경우 기존의 ASTRO 및 VHF 방식의 철도무선통신을 TETRA 방식으로 전환할 경우의 비용 및 편익분석을 수행하였다[7]. 기본 대안(do－nothing)의 경우 VHF 방식을 그대로 유지할 경우와, 비교 대안의 경우 TETRA 방식으로 구축할 경우를 비교하였고, 주요 편익 도출방식은 BSC 모형을 이용하였고, 무선통신망활용에 따른 상용 업무 개선효과와 재난대응업무 개선효과로 구분하여 추정하였다. 여기서, 상용업무 개선효과는 BSC모형의 인과 관계틀에 따라 편익은 사고예방으로 인한 손실감소, 연착에 의한 기회비용감소효과, 열차증편에 의한 수익증대효과로 구분하였다. 재난대응에 의한 피해감소효과는 충돌과 같은 순간적인 사고에서 효과적인 재난대응으로 사망자감소효과, 화재 등의 진행형 재난에서 피해의 감소효과로 구분하여 추정하였다. 무선통신에 의한 열차사고 위험 감소 효과에 대한 편익 기여도를 1~10%로 추정하였는데, 편익 기여도라 함은 모두 무선통신망의 개선에 의해 발생하는 것은 아니고, 무선통신이 기여하는 부분만큼만 효과로 인정하는 개념을 도입하였다. 그 결과 B/C가 0.07에서 1.01로 나타났다.

2) 2009년 통합지휘무선통신망 구축사업

2009년 유럽형 TRS TETRA 방식의 도입에 따라 재난대응 통합무선통신망을 구축하는 방안에 대하여 「통합지휘무선통신망 구축 전략계획(ISP) 수립」 보고서(소방방재청, 2006.5)를 타당성재조사를 위한 요구안으로 설정하여 재조사를 수행하였다[8]. 이전 연구와는 달리 무선통신망과 SOP의 변화에 따른 재난 피해의 변화모형을 투입－산출 모형으로 구축하였고 이를 위하여 소방, 경찰, 지자체 등을 포함한 14개 유형의 기관들에서 재난 대응 업무를 일선에서 수행한 담당자 357명(129명이 응답)을 대상으로 설문 실시하였다. 타당성 재조사안의 B/C는 0.75로 제시하였다.

3) 2012년 국가 철도전용 통합무선망 구축 방안 및 효과분석

철도전용 통합무선망 기술대안 분석은 VHF, TRS－ASTRO, TETRA, GSM－R, WCDMA, WiBro, LTE/LTE－R의 국내 도입 타당성을 검토하고 이에 따른 기술 대안을 선정하여 경제성 분석, 정책적 타당성 등을 검토하였다[9]. 그 결과 무선통신망 기여율이 1%일 경우 B/C 비율은 0.1, 기여율이 10%이상이 되어야 1.01의 B/C가 나타날 것으로 분석하였다. 무선통신망의유형별로 편익을 산출하지 않고 LTE－R 서비스 기반으로 편익을 산출하였기 때문에 망 구축 대안별 B/C 분석은 이루어지지 않았다.

4) 2014년 재난안전무선통신망 구축사업

전국을 대상으로 재난안전무선통신망을 구축할 경우, Wibro 구축시와 TETRA 구축 대안에 대하여 분석하였다[10]. 편익의 경우 소방, 경찰, 기타기관의 재난안전통신망의 기여도와 공동편익을 추정하였고 이를 위하여 전문가 설문조사를 실시하였다. 그 결과 10년에 약 24,357억원의 재난안전무선통신망 구축의 편익이 발생할 수 있음을 추정하였다[11~14].

3. 시사점 및 연구의 착안점

앞에서 살펴본 기 수행된 무선통신망 효과분석 연구와 관련하여 BSC 방법론의 형태와 편익의 대항목 등은 실제 LTE－R 통신망 구축 서비스와 동일하기 때문에 본 연구에서 수용할 수 있다. 그러나 기존 연구에서는 세부적은 LTE－R 통신서비스의 정의 및 서비스 흐름이 정의되지 않았기 때문에 통상적인 수준의 가정 하에서 연구를 진행하였다. 본 연구에서 살펴보고자 하는 철도통합무선통신 서비스의 경우 철도전용서비스와 재난통신망과의 공유서비스가 존재하기 때문에 기 연구된 국가 재난안전망무선통신망 구축 편익의 큰 틀을 수용하여 효과분석에 활용할 수 있다. 본 연구는 기존 연구와 달리 국내 표준화 제정이 완료[15]된 LTE－R 무선통신망 세부 서비스를 근간으로 세부 철도통신서비스의 편익을 구체화하고 이를 기반으로 경제적인 효과 분석을 진행하였다.

Ⅲ. 철도통합무선통신서비스 분석

1. 시스템 구조

LTE은 3GPP에서 제정한 표준기술로 1999년부터 최근까지 1년 내지 3년 단위로 발표하는 Release 형태의 표준 규격에서도 Release 8에 해당하는 기술이다. 철도에서 LTE가 이슈화 된 원인은 유럽에서 주로 사용하는 GSM－R 기술이 철도안전 및 이용자 편의 서비스 제공을 위한 고품질의 멀티미디어 서비스 및 CCTV 등을 제공하기 어렵게 되면서 GSM 기술의 진화 버전인 LTE가 GSM－R의 진화모델로서 적합하다고 판단되어졌기 때문이었다. 철도통신무선통신망 도입 시 가능한 서비스에 대한 정의는 국내 표준이 이미 제정이 되었다[15]. 본 연구는 이러한 국내 표준의 철도통신 무선통신망을 수용할 경우에 대한 도입효과 평가를 진행한다. 상기 표준에서 구성하는 주요 시스템 요소는 <Fig. 2>과 같으며 세부 정의는 아래와 같다.

- 철도교통관제 : 철도관제설비를 통하여 전체 철도운행 및 LTE－R 철도무선통신서비스를 총괄하는 역할을 수행, 단말 장치와 음성 통화, 데이터 및 영상 서비스를 제공하도록 서비스 플랫폼 기능과 VHF 무선 통신망, TETRA 무선 통신망, LTE 무선 통신망 및 폐색 센터와 연동 기능 제공
- LTE－R 코어망 : LTE－R 무선통신의 핵심기능(EPC[1], IMS[2], QoS[3] 등)을 담당, 전체 LTE－R 네트워크상에서 가입자 관리, 각종 서비스 호처리, 라우팅, 망간 연동 등 멀티미디어 서비스를 제어하기 위한 핵심기능을 담당
- LTE－R 무선접속망 : 무선 패킷 통신을 제공하는 기지국과 무선 커버리지를 확장할 수 있는 중계기로 구성, 기지국은 IP 통신망을 통하

1) EPC : Evolved Packet Core, IP 기반 교환방식의 MME (Mobility Management Entity), S－GW, P－GW로 구성되며 패킷기반 멀티미디어 서비스를 제공
2) IMS : IP Multimedia Subsystem, 멀티미디어 서비스를 All－IP 기반에서 제공
3) QoS : Quality of Service

여 코어 망과 연동

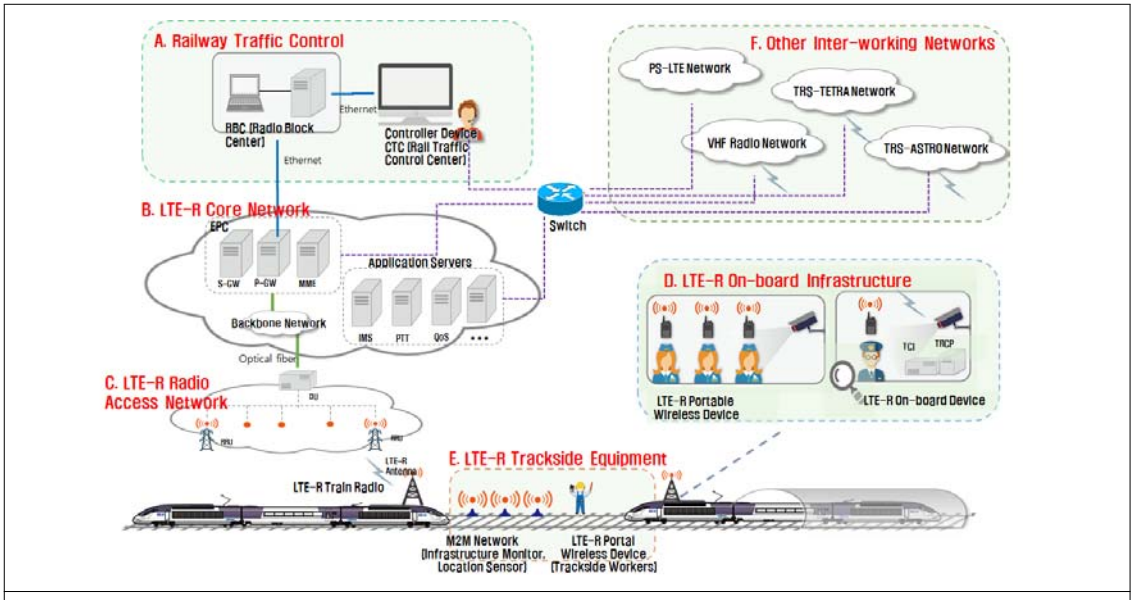
- LTE-R 차상인프라 : 개인 휴대 형태의 휴대 단말과 기관실에 설치되어 운용되는 차량 이동국이 있으며 무선 접속 기능과 단말 서비스 기능 제공
- LTE-R 선로변 장치 : 선로변의 위치검지장치와 같은 인프라센서, M2M 무선장치 및 선로변 작업자의 휴대단말 등으로 유지보수 및 선로변 상태 모니터링 등의 다양한 어플리케이션 적용이 가능함
- 기타 통신망과의 연동 : LTE 기반 철도 통신망은 재난 통신망과 동일 주파수 대역으로 인한 주파수 간섭이 최소화되고 두 망간 통화가 되도록 상호 연동이 되며, 기존에 사용하고 있는 VHF, TETRA, TRS 철도 통신망과 연동이 지원 가능함

2. 서비스 유형 분석 및 편익요소 확인

TTAI.Ko-06.0407[15]에서는 LTE기반 철도무선통신서비스의 범위를 <Table 1>과 같이 정의하고 있다. 정의된 주요 서비스의 항목은 철도제어데이터 서비스, 음성통신서비스, 데이터서비스, 영상서비스이다. 각 서비스별로 세부 정의된 상세 서비스로 <Table 1>과 같이 20개로 정의하였다. 이러한 각 서비스에 대하여 각각의 데이터 흐름을 정의하였고 기존 철도방식과 대비하여 LTE-R 통신이 차별화된 서비스 흐름을 파악하고 이를 기반으로 추가적인 편익요소에 대하여 확인하였다. 그 결과 <Table 2>와 같이 직접편익요소와 간접편익 요소로 정의하였다.

〈Table 1〉 Detailed Applications of LTE-R

Type	Outline of Detailed Applications
Train Control Data Services	(1-01) Train radio and RBC access service
	(1-02) Train monitoring data transfer service
	(1-03) Train control permission data information transfer service
Voice Communications Services	(2-01) Individual voice call service
	(2-02) Emergency call service
	(2-03) Voice communication call service
	(2-04) Group voice call service
	(2-05) On-train incoming voice communication from the controller towards the driver(functional addressing)
	(2-06) Location-based call services(location-based addressing)
	(2-07) Shunting mode communication service
	(2-08) Direct communication service
	(2-09) Support communication service
	(2-10) Voice call recording service
	(2-11) Emergency safety communication network inter-working service
	(2-12) Inter-working service with existing network
Data Services	(3-01) Database prioritization service
	(3-02) Inter-working service with emergency communication network
Video Services	(4-01) Video information transfer service
	(4-02) Video information recording service
	(4-03) Group video call (video PTT) service



〈Fig. 2〉 Structure of LTE-R Railway Wireless Network System

〈Table 2〉 Results of the Analysis of the Benefits of LTE-R Services

Services			Detailed Applications		Notes
Direct benefits	Railway control data service	Prevention and follow-up measures of railway accidents	• Prevention of railway accidents	Reduction of physical damage	(benefit 1) Quantifiable effects of accident reduction (personnel, technical and external factors)
				Reduction of personnel harm	
			• Follow-up measures to railway accidents	Reduction of physical damage	
				Reduction of personnel harm	
				Reduction of secondary accident	
		Enhancement of railway operational efficiency	• Customer perspective	Reduction of customer opportunity cost	(benefit 2) Quantifiable effects following the enhancement of transport efficiency
			• Processing perspective	Increase in transport capacity	
				Reduction of maintenance cost	
				Reduction in operational delays	
	Voice call service	Customized voice calls	• Customer perspective	Reduction of customer opportunity cost	(benefit 3) Quantifiable effects of an enhancement in work quality and processing as a result of the use of an integrated device for train crew
				Enhancement of service quality	
				Enhancement of the scope of service	
			• Processing perspective	Reduction of task processing time	
				Strengthening of task quality	
	Data service	High-value data	• Customer perspective	Reduction of customer opportunity cost	(benefit 4) Quantifiable added benefits of the provision of a train crew IT service (ticketing, etc.)
				Enhancement of service quality	
				Enhancement of the scope of service	
			• Processing perspective	Reduction of task processing time	
				Strengthening of task quality	
	Video service	Utilization of video information	• Customer perspective	Benefit from customer video information service	(benefit 5) Quantifiable added benefits of the provision of a video service
			• Processing perspective	Enhance video situation control efficiency	
				Cost-reduction in the maintenance of alternative system	
	Certification and security	Reliable communications certification and security	• Customer perspective	Reduction of user opportunity cost	Did not quantify effects due to the absence of direct factors for certification and security
				Enhancement of service quality	
				Enhancement of the scope of service	
			• Processing perspective	Reliability of task quality	
	Emergency network sharing	Effective emergency measures	• Customer perspective	Reduction of user opportunity cost	(benefit 6) Quantifiable benefits and costs as a result of the provision of an emergency service and utilization of common infrastructure
				Enhancement of service quality	
				Enhancement of the scope of service	
			• Overall societal perspective	Cost reduction in constructing an alternative system	
Indirect benefits	Domestic and overseas market generation		• Increase Korean LTE-R technology in domestic market		(benefit 7) Market generation effects
			• Increase share in overseas LTE-R technology		
	Improvement of environment		• Energy reduction	Reduction in energy-use/TOE	(benefit 8) Improvement of environment
			• Air pollution reduction	Reduction in CO_2/air pollutants	

Ⅳ. 도입효과분석 방법론 설계

1. 비용 요소 분석

철도무선통신 시스템의 구축에 따른 비용은 크게 아래와 같이 구성될 수 있다.

- 초기 인프라 구축 비용(통신 인프라 내구연한은 10년으로 가정)
- 초기 단말기 구입 비용(내구연한은 5년으로 가정)
- 유지보수비용(유지보수 요율은 통상적으로 10%로 함)[6]

2. 편익 요소 분석

1) 열차제어 서비스 편익

열차제어서비스의 편익은 사고의 감소효과와 수송효율성증대에 따른 효과의 두 가지가 존재할 수 있다. 사고감소효과의 경우 철도사고의 예방과 대응편익측면에서 물적/인적피해의 예상 감소효과를 계량화할 수 있다. 향후 LTE-R 통신서비스의 도입으로 차량의 실시간 감시 및 진단 시스템, 영상/센서 등을 활용한 감시/진단 지원 모니터링 시스템이 제공되어 예방과 사고 발생의 조기 인지를 통한 피해 감소가 가능하다는 측면이다. 또한 상호 작용 불량 및 안전장치 고장 등에 의한 외부 요인의 경우 사전적 예방은 어렵더라도 효과적인 대응으로 조기 상황파악이 가능해 피해 확산을 줄일 수 있다. 상기 편익은 2008년부터 2014년까지의 열차사고 현황자료[16]를 근간으로 인적요인 즉, 부주의한 행동에 의한 사상인원의 감소효과를 100% 예방하고, 그 외 기술적 요인 사고는 50% 예방, 50% 대응할 경우를 전체의 사고 대응 편익 효과로 두고, 이중 LTE-R 무선통신서비스의 편익기여율을 1~15%로 변동하여 사고감소 편익 효과를 계량화하였다. 이후 원강선의 효과를 추정하였고 그 결과는 <Table 3>과 <Table 4>와 같다.

〈Table 3〉 Benefits from Measures to Reduce Personnel Harm

Contribution to benefits		1%	3%	5%	8%	10%	15%
Number of persons reduced	Killed	1.23	3.70	6.17	9.87	12.34	18.51
	Serious injury	1.15	3.45	5.75	9.19	11.49	17.24
	Slight injury	1.45	4.34	7.24	11.58	14.47	21.71
	Subtotal	3.84	11.53	19.22	30.75	38.44	57.66
Cost of reduction measures (hundred million KRW)	Killed	7.10	21.29	35.48	56.77	70.96	106.44
	Serious injury	0.90	2.71	4.52	7.24	9.05	13.57
	Slight injury	0.08	0.23	0.38	0.60	0.75	1.13
	Subtotal	8.08	24.23	40.38	64.61	80.76	121.14

〈Table 4〉 Benefit from Accident Reduction Effect of the Wonju-Gangneung Rail Line (Unit : hundred million KRW)

Contribution to benefits	1%	3%	5%	8%	10%	15%
Wonju-Gangneung Rail Line	1.02	1.57	2.11	2.92	3.46	4.81

수송효율성 증대에 따른 효과의 경우, 무선통신서비스가 수송수요의 증대를 직접적으로 가져오는 것은 아니며, 일반적으로 철도 운행 효율성 증진은 고객 측면의 편익과 내부 프로세스 측면의 편익을 동시에 가져다 줄 수 있다. 고객 측면의 편익은 연착률 감소에 의한 고객 기회비용 감소효과가 있을 수 있으나, 열차 연착자료의 데이터 부재로 계상하기 어려움. 단, 기존 연구[12]에서 수행한 2012년 연평균 총 139.72억원의 고객의 기회비용 발생 비용을 준용하고, 이를 2018년, 물가상승률 3%로 적용시 161.97억원으로 계상이 가능하다. 내부 프로세스 측면의 편익의 경우 열차 증편에 따른 부가가치 증대효과, 기존 신호시스템의 철거에 따른 유지보수비용 감소효과, 연착율 감소에 따른 운행손실비용 감소효과가 있다. 이 또한 정 기존 연구[12]의 결과를 준용하여 재추정하면 <Table 5>와 같이 산출이 되었다.

〈Table 5〉 Benefit from Operational Effect of the Wonju-Gangneung Rail Line (Unit : hundred million KRW)

Contribution to benefits	1%	5%	10%	15%	20%	25%
Wonju-Gangneung Rail Line	6.82	9.43	12.69	15.95	19.21	22.47

2) 음성 및 데이터서비스 편익

음성서비스의 경우 VHF나 TRS의 경우에 대비하여 차별적인 서비스 편익은 도출하기 어렵다. 다만, 승무원의 통합단말 이용 시 업무 프로세스의 개선효과가 있을 수 있기에 업무 프로세스의 개선효과 비율에 따라 <Table 6>과 같이 편익의 변동이 계량화 가능하다.

〈Table 6〉 Benefits from the Effects of the Improvement of Task Processing, 2018(Unit : hundred million KRW)

	Total wages (Annual salary*number of train crew)		Ratio of the improvement in task processing					
	2012	2018	1%	3%	5%	8%	10%	15%
Effect of train crew's usage of the integrated device	1844.64	2,138.44	21.38	64.15	106.92	171.08	213.84	320.77

데이터서비스의 경우 승무원 IT 서비스 제공의 내부 프로세스 개선효과의 편익으로 첫째, 업무 프로세스 향상 편익이 도출되며, 업무 프로세스 향상은 여객 차량에 승차한 승무원이 고객 밀착형으로 정보서비스를 제공하고, 각종 진단, 감시, 자료 수집, 모바일 오피스 등 관련 업무를 수행하여 스마트워크 형태로 업무를 수행할 수 있다는 관점에 분석이 가능하다. 그 결과는 <Table 7>과 같다.

〈Table 7〉 Benefits from the Provision of a Train Crew ITS Service(Ticketing, etc.), 2018(Unit : hundred million KRW)

	Total wages (Annual salary*number of train crew)		Ratio of the improvement in task processing					
	2012	2018	1%	3%	5%	8%	10%	15%
Effects of the improvement of task processing	1844.64	2,138.44	21.38	64.15	106.92	171.08	213.84	320.77

그 경우, 원주-강릉 및 인천공항-강릉 구간의 음성 데이터서비스 편익은 <Table 8>과 같다.

〈Table 8〉 Benefits from Voice Data Service on Wonju-Gangneung Rail Line, 2018 (Unit : hundred million KRW)

Total ratio of task processing improvements	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Wonju-Gangneung Rail Line	0.72	3.58	7.16	10.75	14.33	17.91	21.49

3) 영상서비스 편익

무선영상감시시스템의 경우 영상상황관제, 유선 CCTV 대체, 18GHz 무선영상감시시스템 대체 등으로 인한 다양한 편익을 발생시킬 수 있을 것으로 보인다. 영상 관제의 경우 여객 객차 및 시설 등에 대한 영상감시를 수행함으로써 현장에 가지 않고도 즉시 상황을 파악하고 빠르게 대응할 수 있도록 지원하는 것으로 이동 중인 여객 객차에서 발생할 수 있는 다양한 사건 및 사고에 대한 영상을 관제하고 녹화할 경우 원격으로 상황을 조기에 파악하고 대응할 수 있도록 하여 실제적인 인력 증원 효과가 획득 가능하다. 2018년 기준, 영상 서비스 제공에 따른 업무효율성 향상비율에 따른 편익의 경우 정보통신정책연구원(2012)에서는 계상된 m-CCTV 도입 객차수, 법질서 개선 요구정도, 철도 공안유지비, 철도 공안근무시간을 준용하여 추정하였다.

- m-CCTV 도입객차수 : 9634대
- 법질서 개선요구정도 : 30%

- 철도 공안유지비 : 1419만원
- 철도공안근무시간 : 8시간
- 총 규모=m-CCTV 도입 객차수×법질서 개선 요구정도×철도 공안유지비×철도 공안근무시간

그 결과는 <Table 9>와 같다.

〈Table 9〉 Benefits from Video Service on Wonju-Gangneung Rail Line, 2018(Unit : hundred million KRW)

Benefit ratio for the provision of video services	1%	3%	5%	8%	10%	15%	30%
Wonju-Gangneung Rail Line	1.27	3.82	6.37	10.19	12.74	19.11	21.49

4) 재난망 공유 서비스 편익

2014년 한국개발연구원의 재난안전무선통신망 구축사업[10]에 의하면 한국의 국가안전재난통신망과 철도통합무선망인 LTE-R의 통신이 연동되어 상호간 통신이 가능하도록 구축될 경우, 철도무선통신망의 효과는 재난대처에 따른 편익과, 재난통신망의 활용에 따른 전국의 비용절감효과가 있다. 재난통신망과 철도무선통신망의 구축 범위에 따라 공통으로 이용하는 국토의 면적을 산출이 가능한데, 재난통신망이 우리나라 국토 100,210km2에서 현재 운영되는 철도망과 LTE-R 도입시 도심 0.7km마다, 도심외곽 1.4km마다, 농어촌지역 3.3km마다 무선통신망을 이용할 경우 다음과 같이 공통이용 면적의 변화가 존재한다[13, 14]. 도심외곽 1.4km 반경 고려 시 전국토의 10.04%가 LTE-R과 공통으로 이용하는 효과가 있을 것으로 추정하고, 이중 인천공항-강릉구간의 경우 전 국토의 0.78%의 공통이용효과가 있고, 원주-강릉 구간의 경우 0.23%의 공통이용효과가 존재할 것으로 보인다. 이러한 수치의 경우, 실제 LTE-R 사업의 수행에 따라 인프라의 구축형태와 실제 성능에 따라 커버리지가 변동한다.

2014년 한국개발연구원의 결과[10]와 같이 우리나라 재난망 구축과 편익은 다음과 같다.

- 재난망 초기 구축비용 : 6,900억원
- 재난망 단말기 비용 : 4,161억원
- 비용합계 16,744억원
- 총편익 : 24,357억원(10년)
- 연편익 : 1,892억원(할인율 5.5% 적용시)

2018년 기준으로 LTE-R 구축에 따른 셀반경에 따라 PS-LTE 공통이용에 따른 비용 및 편익 절감효과를 추정하면 <Table 10>과 같다. 최종 PS-LTE 공통이용에 따른 비용 및 편익 절감효과는 전체 철도노선의 도심부(w_1), 도심외곽(w_2), 농어촌(w_3)의 비율을 고려하여 다음의 식으로 계상하였다.

- PS-LTE 공통이용 편익 효과

$= w_1$*도심부전체편익

$+ w_2$*도심외곽전체편익

$+ w_3$* 농어촌전체편익

단, $w_1 + w_2 + w_3 = 100(\%)$

〈Table 10〉 Estimated Cost and Benefit Reducing Effects of the Co-use of PS-LTE (Unit : hundred million KRW)

		Total (10 years)			Annual Benefits
		Cost reducing effect from co-use of service	Effect of co-benefits from using service	Sub total	
Cell coverage (0.7km for urban areas)	Using national rail network	840	1,222	2,062	160
	Using Wonju-Gangneung rail line	19	27	46	3.6
Cell coverage (1.4km for outskirts)	Using national rail network	1,681	2,445	4,125	320
	Using Wonju-Gangneung rail line	38	55	93	93
Cell coverage (3.3km for rural areas)	Using national rail network	3,965	5,767	9,732	756
	Using Wonju-Gangneung rail line	90	131	222	17.2

원주-강릉구간의 경우 10%, 부도심부 20%, 농어촌부 70%로 설계되어 PS-LTE망과 공동이용할 경우 최종 부가편익은 <Table 11>과 같다.

〈Table 11〉 Co-benefits from PS-LTE Network on Wonju-Gangneung Rail Line, 2018 (Unit : hundred million KRW)

Total co-benefits of PS-LTE network	609
Benefits of Wonju-Gangneung Rail Line	20

5) 간접 편익 추정

기존 연구[9]에서는 철도전용통합무선망의 구축 결과가 간접적인 시장창출 편익 효과가 크며, 부가가치율과 점유시장 규모와 사업화 성공률을 100%로 달성하였다고 가정하여 국내외 시장 규모 및 편익을 산출한 바 있다. 그 결과 우리나라의 경우 신호 분야는 연간 약 853억 시장이 형성되고, 통신 분야는 863억의 시장이 형성될 것으로 추정하였다. 환경개선효과 분석의 경우 시스템 제거에 의한 전력요금 절감 편익과 타 교통수단 간 전환수요에 의한 에너지 절감 및 대기오염 감축 편익으로 볼 수 있다. 도로에서 철도로 수단변경에 다른 전환수요를 고려하여 철도전용 통합무선망 구축에 따른 에너지 절감 및 대기오염 감축 효과를 분석하였다. 즉 도로대비 교통수단별 여객 수송량과 철도전용 통합무선망 도입으로 인한 16.7%의 수송량 증대 효과를 추정할 경우 연간 최대 약 2조 4,600억의 편익 창출이 가능한 것으로 추정하였다.

본 연구에서는 기존 연구[10]의 비율과 본 대상구간의 범위를 이용하여 재 추정 하였는데 실제 2018년 1차적으로 도입하려는 원주-강릉구간의 LTE-R 시스템을 고려할 경우 시범적으로 구축되는 성격이 강하기 때문에 상기 효과가 그대로 나타난다고 볼 수는 없어 조심스러운 접근이 요구된다. 또한 환경개선 효과 편익의 경우, 도로에서 철도로의 전환수요를 고려한 것이므로 이를 실제 VHF 방식이나 TRS 방식의 통신망을 구축하는 대안에 대한 환경개선효과 편익으로 보기에는 어렵다. 즉, 통신망 자체로는 환경개선 효과를 상기 내용을 그대로 준용하기에는 그 산정 방법론의 제한조건상의 차이가 있어 준용하기 어렵다고 사료된다. 본 연구에서는 환경개선 효과 부문을 활용할 경우와 그렇지 않을 경우로 나누어서 고려할 수 있다.

Ⅴ. 원강선 적용 사례

1. 분석 시나리오 설계

경제성 분석을 위한 본 연구의 시나리오는 다음과 같이 설정될 수 있다. 단, 공간적 범위가 확대될 경우 철도망의 노선길이, 운영되는 철도차량의 개수, 간격 등을 고려하여 편익 및 비용 부문의 원단위 혹은 단위값의 수정이 요구된다.

- 공간적 범위 : 원주-강릉구간을 포함한 구간
- 시간적 범위
  - 2018년 기준, 평창올림픽 수송수요 반영
  - 분석기간 10년, 20년, 30년 반영시
- 구축 대안
  - 기본대안, do-nothing : VHF 구축
  - 비교대안 : TRS 구축
  - 비교대안 : LTE-R 구축
- 시나리오
  - 시간적 범위(3가지 : 10년, 20년, 30년)
  - 통신대안(2가지, VHF대비 LTE-R시스템, TRS대비 LTE-R시스템)
  - 직접편익효과 비율(3가지 : 5%, 10%, 15%)
  - 간접편익효과(2가지 : 적용시/미적용시)
  - 총 : 3*2*3*2=36 시나리오

2. 원주-강릉구간 적용 결과

편익/비용 비율(BCR)은 경제적 타당성을 평가하기 위해서 우선적으로 산출 되는 수치이다. 장래에 발생할 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 총 편익의 현재가치를 총 비용의 현재가치로 나눈 것이다.

〈Formula 7〉

편익・비용비율(B/C비)=

$$\sum_{t=0}^{n}\frac{B_t}{(1+r)^t}\Big/\sum_{t=0}^{n}\frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서, B_t : 매년도 편익, C_t : 매년도 비용
r : 사회적 할인율(5.5%), n : 분석기간

1) 간접편익 미포함 시

<Table 12>와 같이 간접편익 미적용 시 VHF 대비 LTE-R 시스템의 BCR 분석결과, 직접편익 효과가 15%이상일 경우 편익이 1.0이상이 나타남을 알 수 있다.

〈Table 12〉 BCR Analysis Results : Constructing LTE-R in Contrast to Constructing VHF

		5%	10%	15%
Analysis period	10 years	0.62	0.87	1.12
	20 years	0.7	0.98	1.26
	30 years	0.77	1.08	1.39

<Table 13>과 같이 간접편익 미적용시 TRS 대비 LTE-R 시스템의 BCR 분석 결과, 직접편익 효과가 15%이상일 경우 편익이 1.0이상이 나타나고, 분석기간이 20년일 경우 직접편익기여율이 10%일 경우 BCR>1.0을 보인다.

〈Table 13〉 BCR Analysis Results : Constructing LTE-R in Contrast to Constructing TRS

		5%	10%	15%
Analysis period	10 years	0.71	0.99	1.27
	20 years	0.8	1.12	1.43
	30 years	0.88	1.23	1.59

2) 간접편익 포함 시

간접편익 적용 시 VHF 대비 LTE-R 시스템의 BCR 분석 결과는 <Table 14>와 같으며 모두 BCR>1.0이 나타나고 있다. 기존 연구[9]에서는 철도전용통합무선망의 구축 결과가 간접적인 시장창출 편익 효과가 크며, 부가가치율과 점유시장 규모와 사업화 성공률을 100%로 달성하였다고 가정하여 국내외 시장 규모 및 편익을 산출한 바 있다. 본 연구에서는 실제 성공률의 범위를 5-15%로 둠에도 불구하고 이전 시장창출효과의 규모가 매우 컸기 때문에 본 연구의 범위하에서도 BCR이 직접편익보다 상대적으로 높게 나타났다.

〈Table 14〉 BCR Analysis Results : Constructing LTE-R in Contrast to Constructing VHF

		5%	10%	15%
Analysis period	10 years	2.09	2.34	2.58
	20 years	2.35	2.63	2.91
	30 years	2.61	2.91	3.22

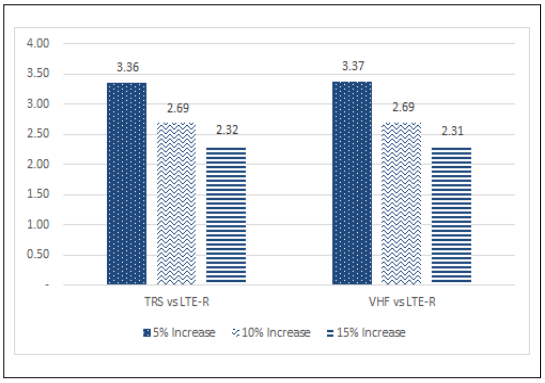
간접편익 적용 시 TRS 대비 LTE-R 시스템의 BCR 분석 결과는 <Table 15>와 같으며 모두 BCR>1.0으로 나타나고 있다.

〈Table 15〉 BCR Analysis Results : Constructing LTE-R in Contrast to Constructing TRS

		5%	10%	15%
Analysis period	10 years	2.38	2.66	2.95
	20 years	2.68	3.0	3.32
	30 years	2.97	3.32	3.68

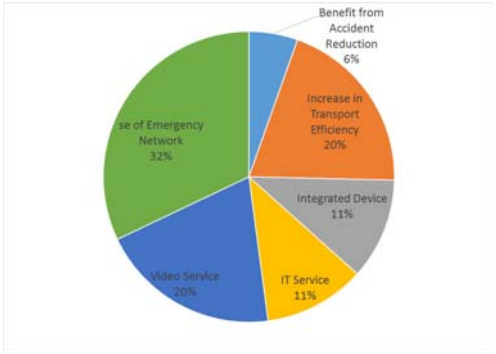
3) 주요 시사점

<Fig. 3>과 같이 원강선구간의 직접편익 효과보다는 간접편익의 효과가 직접편익효과와 관련된 기여율이 5%일 경우는 3.36배, 10%일 경우는 2.69배, 15%일 경우는 2.32배가 높게 나타나고 있다.



〈Fig. 3〉 Comparison of Benefit Cost Ratio Between Including and Excluding Indirect Benefits

직접편익 부문을 살펴보면 <Fig. 5>와 같이 재난망 공유서비스의 효과가 32%, 수송효율성증대효과가 20%, 영상서비스 효과가 20%, 통합단말과 IT서비스가 각 11%, 사고감소 편익효과가 6%에 해당한다. 따라서 재난망의 활용도를 높이고, 수송효율성 증대 및 영상서비스의 설계가 중요한 설계 주안점이 될 것으로 보인다.



〈Fig. 4〉 Distribution of Direct Benefits by Category for a Direct Benefit Contribution of 10%

향후 무선통신 서비스 시스템의 경제성 분석 결과의 경우, 직접편익 효과와 관련된 편익 기여율에 대한 추정 및 검증이 중요하고 향후 전국으로 확대 적용 시에 간접편익의 효과가 증대될 것이기 때문에 이에 대한 의사결정자의 적절한 설정이 요구된다. 실제적으로 직접편익 효과를 증대하기 위한 방법은 무선통신서비스의 편익기여율을 VHF 및 TRS 대안보다 10% 이상 각각 증대시켜야 실제적으로 경제성이 있다고 말할 수 있다.

Ⅵ. 결 론

본 연구에서는 철도망에서 이용될 예정인 LTE-R무선통신서비스 서비스의 효과에 대하여 경제성 분석을 통한 정량적 결과를 살펴보았다. 공공사업의경제성 분석은 사업의 실시 전에 타당성 분석을 위하여 활용되는 것이 일반적이나, 본 연구는 LTE-R 무선통신 서비스를 설계하고 이를 활용할 때 편익을 극대화 하는 요소가 무엇인지 확인하고 설계에 반영하는데 이용할 수 있다. 경제성 분석을 위한 주요 대안으로 기존의 무선통신 방식(VHF로 구축할 경우와 TRS로 구축할 경우)으로 신규노선에 설치하는 경우에 대비하여, 본 사업에서 개발되는 LTE-R 방식의 무선통신 방식을 설치할 경우에 대한 도입 효과를 분석하였다. 경제성 분석 방법론의 경우 기존 연구에서 진행된 연구 조사 결과를 큰 틀에서는 수용하고, 국내 표준에서 정의한 무선통신 통합서비스의 세부 항목별로 BSC 기반 경제성 분석을 추가적으로 진행하였다. 주요 변수로 각 편익 항목별 편익기여율 변수를 이용한 민감도 분석을 도출하여, 향후 무선통신 서비스의 효과를 극대화하는 방향성을 제시하였다. 세부 연구 내용으로 LTE-R 무선통신서비스의 편익요소를 도출하기 위하여 서비스 유즈케이스를 시퀀스다이어그램 수준으로 분석하였고 이를 기반으로 6개의 직접편익요소와 2개의 간접편익 요소를 도출하였다. 직접 편익 요소의 경우 사고의 감소효과기반 계량화(인적요인, 기술적요인, 외부요인), 수송효율성 증대에 따른 효과 계량화, 승무원의 통합 단말 이용에 따른 업무 품질 및 프로세스 향상 효과 계량화, 승무원 IT서비스 (티켓팅 등) 제공 부가 편익 계량화, 영상서비스 제공에 따른 부가 편익 계량화, 재난서비스 제공시 공통인프라 활용 시 비용 및 편익 계량화으로 구분하였다. 이러한 무선통신 서비스 시스템의 경제성 분석 결과의 경우, 직접편익 효과와 관련된 편익 기여율에 대한 추정 및 검증이 중요하고 향후 전국으로 확대 적용 시에 간접편익의 효과가 증대될 것이기 때문에 이에 대한 의사결정자의 적절한 설정이 요구된다. 향후 2018년 도입되는 원강선에 LTE-R 구축 시 실제 직접 편익요소의 편익기여도를 10%이상 증대하기 위한 세부적인 ICT 요소를 고려한 ICT 설계가 요구되며 그에 따른 편익기여도의 검증방안 수립이 필요할 것으로 사료된다.

REFERENCES

[1] Huawei LTE for Rail Technical White Paper, 2014, HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.

[2] Alain BERTOUT Alcatel-Lucent, Next Generation of Railways and Metros wireless communication systems, IRSE ASPECT 2012.

[3] http://www.samsungsds-nss.com/?p=LTE-R_Solution.

[4] https://www.alcatel-lucent.com/railways.

[5] KTCS LTE-R Research, http://ktcs.kr.or.kr.

[6] Korea Development Institute(2013), Study for Preliminary Feasibility Study Standard Guidelines of Informitization Projects (Second Edition).

[7] Korea Development Institute(2006), 2006 Preliminary Feasibility Study Report, Railway Wireless Network Construction (Informatization) Project.

[8] Korea Development Institute(2009), 2009 Preliminary Feasibility Study Report, Construction of the Integrated Command Wireless Communication Network Project.

[9] Korea Information Society Development Institute(2012), National Railway Wireless Network Construction Plan and Impact Analysis, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.

[10] Korea Development Institute(2014), 2014 Preliminary Feasibility Study Report, PS-LTE Construction Project.

[11] Huh J. H.(2014), "Current Situation and Plan for PS-LTE," TTA Journal, vol. 156, pp.12-20.

[12] Ministry of Public Safety and Security(2015), Public Hearing Data for the PS-LTE Construction Project.

[13] Kim S. H.(2015), PS-LTE Feasibility Study and Industrial Development Plan, [PS-LTE Forum] PS-LTE Workshop Presentation(2015.03.11.).

[14] Kim S. H.(2015), "A Brief Study on the Main Issues in Constructing PS-LTE," *Korea Information Society Development Institute*, vol. 27, no. 17, p.608.

[15] TTAI.KO-06.0407, LTE-based Railway Communication System Requirements (Commercial and High-Speed Railway). December 16, 2015.

[16] http://www.railsafety.or.kr.

저자소개

조 한 벽(Cho, Han byeog)
1984년 5월～현재 : 한국전자통신연구원 (책임연구원)
1992년 2월 : 한양대학교 대학원 산업공학과 졸업(공학박사)
1983년 2월 : 한양대학교 대학원 산업공학과 졸업(공학석사)
1981년 2월 : 아주대학교 산업공학과 졸업(공학사)
e－mail : hbcho@etri.re.kr

장 정 아(Jang, Jeong Ah)
2014년 4월～현재 : 아주대학교 (지속가능 TOD 도시교통 연구센터 연구교수)
2004년 5월～2014년 3월 : 한국전자통신연구원 자동차/조선 IT융합 연구부 선임연구원
2002년 3월～2009년 2월 : 아주대학교 일반대학원 건설교통공학과 졸업(공학박사)
2000년 3월～2002년 2월 : 아주대학교 일반대학원 건설교통공학과 졸업(공학석사)
～2000년 2월 : 아주대학교 환경도시공학부 졸업(공학사)
e－mail : azang@ajou.ac.kr

조 창 희(Jo, Chang－hee)
2013년 1월～현재 : 아주대학교 (건설교통공학과 박사과정 교통공학전공)
2012년 1월～2012년 12월 : 한국철도기술연구원 첨단물류연구팀 연구원
2010년 1월～2011년 12월 : 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도연구소(경영학석사)
e－mail : chjo@ajou.ac.kr

윤 학 선(Yun, Hak－Sun)
2014년 12월～현재 일반고속철도무선제어연구단장(책임급)
2001년 3월～현재 : 한국철도시설공단(부장)
2012년 광운대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학박사)
2000년 광운대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사)
1995년 서울과학기술대학교 전기공학과 졸업(공학사)
e－mail : amayun@kr.or.kr