

## 해외 철도사업 발주 특성에 따른 철도 시장 동향 분석

### Investigating Railway Market Trends based on the Characteristics of International Railway Business Orders

오지택 · 황선근 · 표석훈\*

Ji-Taek Oh · Seonkeun Hwang · Sukhoon Pyo

**Abstract** This research suggests feasible means for domestic railway industries to actively enter overseas railway markets by thoroughly analyzed the business trends of the expanding international railway markets and their characteristics. The 983 independent cases of international railway orders introduced in domestic markets during the past five years were analysed. In order to enhance the efficiency and consistency of the series of analysis, one classification system was established, and proportions of each category were assessed after the analysis of each piece of business information in the classification. It can be concluded from the analysis that early entrance into new projects with system design similar to that used in Korea will enrich the chances for domestic industries to enter the expanding international railway market, because Korean business is likely face competition from other companies for low-price contracts if the entering timing to the market is too late.

**Keywords** : Strategy to Export Railway Business, Market Analysis, Characteristics of Orders, Railway Status

**초 록** 본 연구는 지속적으로 증대되고 있는 해외철도 시장을 면밀히 분석하여 각 사업의 특성을 분석하고 국내 철도산업이 해외 철도시장에 적극적으로 진출 할 수 있는 방안을 제시하였다. 국내에 최근 5년간 소개된 독립적인 983개의 해외철도사업에 대한 발주특성을 분석하였으며, 분석의 효율성과 일관성을 높이기 위하여 하나의 분류체계를 수립하고 각 사업정보를 분류항목에 따라 분석하고 구성 비율을 평가하였다. 분석결과 초기 신규성 사업의 참여 또는 진입 없이 후속 발주사업의 참여는 저가수주로 귀결될 가능성이 높으므로, 초기 신규성 사업의 주도적 진출과 수행을 통하여 한국 시스템과 동질화된 시스템 설계를 통하여 한국산업계가 고부가가치 철도사업에 진입기반을 구축할 수 있을 것이다.

**주요어** : 철도산업해외진출전략, 시장분석, 발주특성, 철도현황

## 1. 서 론

국제 철도시장이 지속적으로 확대됨에 따라 KTX를 성공적으로 건설 및 운영했던 국내 철도 기술이 본격적으로 해외 진출을 시도하려는 적극적인 관심이 늘어나고 있다. SCI Verkehr(2014)에 따르면 2023년의 전 세계 철도의 연장이 2013년 대비 37% 가량 증가할 것으로 예측되었다[1]. 최근 국제 철도시장은 아시아-태평양 지역 국가들 중심으로 많은 성장을 보일 것으로 예측되며, 중남미, 중동 그리고 일부 아프리카 지역의 시장규모가 증대될 것으로 예측되고 있다[2]. 철도는 토목, 건축, 차량, 통신, 전기 등의 다양한 산업들과 연계되는 종합산업으로 해외건설 수주 경험이 많고, IT기술의 선도국인 우리나라의 전망이 밝은 분야이다. 한국철도시설공단의 경우 2005년 중국 수투선 감리용역을 시작으로 2015년 3월까지 15개국 41개사업, 약 895억원의 수주를 달성하였다[2].

해외철도시장은 각 국가별 재정적, 정치적 상황 등 다양한 요인들에 의해 영향을 받고 있으며, 지속적인 정보의 갱신과 시장 관련 환경 변화를 고려하여 규모를 산출하여야 할 것이다. 국내에 소개되고 있는 다양한 시장분석보고서는 기본적으로 계획이 공표된 사업들에 기초하여 사업비의 규모를 집계하여 제공하고 있다. 그러나 철도사업의 높은 공공성과 장기간이 소요되는 SOC사업의 속성상 계획대로 실행에 옮겨지는 경우는 매우 낮은 상황이다. 이러한 관점에서 단순히 계획 및 공표된 사업이 실

\*Corresponding author. E-mail: shpyo@krri.re.kr.

© 2016 The Korean Society for Railway. All rights reserved.

<https://doi.org/10.7782/JKSR.2016.19.6.785>

제 발주로 이어져 수주할 수 있는 상태로까지 연결되는 사례는 아주 드물다는 것을 불과 몇 년의 사업진행 추이에 대한 관찰만으로도 손쉽게 파악할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 각 국에서 계획 중인 철도사업의 규모와 분포는 향후 시장에 대한 진출과 수주를 희망하는 주체로서는 선택과 집중을 위한 기준 정보로서 유용성을 갖는다 할 수 있다.

해외 철도사업 중 단일 사업으로 가장 큰 사업비의 규모와 대규모 철도시스템이 공급되는 고속철도시장에 대한 전망과 정보는 여타 철도사업에 비하여 많은 관심을 끄는 사업이라 할 수 있다. 그 이유로는 여러 가지가 있을 수 있으나, 가장 기술적으로 유사성이 높기 때문에 고속철도사업을 추진한 경험이 있는 국가와 기업들이 적극적으로 접근하는 경향을 보인다. 특히, 대규모 사업제원이 소요되기 때문에 기술적 요소이외에도 재원조달에 대한 항목이 사업제안의 차별화 항목으로 작용하기도 하는 분야이다.

고속철도사업과 관련하여 전 세계 고속철도 인프라에 대한 투자의 81.6%가 아시아·유럽지역서 집중적으로 이뤄졌으며, 2013년 기준으로 2,278억 USD (한화 약 253조원)에서 2020년에는 2,466억 USD (한화 약 274조원)으로 까지 투자가 확대될 것으로 예측되고 있다. 노선의 연장은 2013년 기준으로 총 51,376km에서 연 평균 7.3%의 성장률로 2020년까지 약 83,960km 까지 늘어날 것으로 예측되고 있다. 이러한 철도노선 연장사업은 터키, 일본 및 중국에서 진행 중이며 2020년에는 완료될 것으로 예상하고 있다. 반면에 폴란드 HSR사업과 같은 유럽의 여러 고속철도사업들은 재원부족에 따른 조달의 어려움으로 계획수준에서 머물러 있는 상태이다.

고속철도 선로의 영업운전이후 사용 년수에 따른 분포로는 일본, 프랑스 및 독일이 차량과 인프라부문에서 1세대로 구별될 수 있으며, 2020년까지 지속적인 개량이 이루어질 것으로 예상된다. 중국의 경우 통상적인 고속철도 사업추진 형태를 벗어난 아주 이례적인 사례로서 2020년 이후 전 세계 고속철도 노선의 상당부분을 중국이라는 단일국가에서 차지할 것으로 예상되고 있다.

유럽, 북미, 남미 및 아프리카 지역에서는 250km/h~300km/h 속도대역의 고속철도가 주종을 이룰 것으로 예상되며, 고속철도 차량의 경우 Alstom AGV, Bombardier Zefiro 380 그리고 Siemens Velaro와 같은 현재 세대의 철도차량 형식간 경쟁이 예상된다. 또한 일본, 프랑스 및 독일에서는 1세대급 고속철도차량에 맞춰 건설된 철도노선들이 향후 지속적으로 개량될 것으로 예상할 수 있다.

중국을 제외한 아시아 지역에서는 160km/h~200km/h 속도대의 철도건설이 활발할 것으로 예상되며, 이 지역에서는 Alstom Pendolino와 Bombardier Zefiro 250과 같은 차량들 간의 경쟁이 예상되고 있다.

서유럽 철도망 규모는 인프라구조물관리자(IM, Infrastructure Manager)에 의해 폐선되는 구간과 비슷한 비율로 신규 건설되고 있기 때문에 현재의 수준을 유지할 것으로 예상되고 있다. 그리고, 유럽은 철도 전철화에 대하여 가장 큰 시장으로 간주되고 있으며, 2013년 현재 약 59.6%가 전철화되어 있고 고속철도 노선은 전체가 전철화 되어 있다. 고속철도의 전철화는 고품질의 구리합금을 요구하기 때문에 전 세계 철도용품 공급시장에서 전철화사업은 가장 유망한 분야로 빠르게 성장하고 있다.

본 연구에서는 앞에서 언급한 바와 같이 지속적으로 증대되고 있는 해외철도 시장을 면밀히 분석하고자 다양한 경로를 통해 국내에 소개 된 해외철도사업정보를 각 사업별 세부내용에 따라 분석하여 국내 철도산업이 해외 철도시장에 적극적으로 진출할 수 있는 방안을 제시 하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 관련연구 고찰

오지택 외(2007)의 『철도산업의 해외진출에 대한 전문가의견조사 분석』에서는 대규모 산업인 철도의 특성상 해외 진출시 보이지 않는 상대국의 시장특성과 요구를 미리 파악하고 체계적인 전략을 구축하는 것이 중요하며, 정부의 금융지원이 가장 중요하다는 결론을 제시하였다[3].

조무영(2015)의 『해외 철도시장 동향과 한국철도 해외진출전략』에서는 국내 철도산업의 세계진출을 위해서는 국가 간 철도관련 기술의 격차가 줄어들고 있는 상황에서 일부 사업비를 정부에서 지원하는 방식 등의 정부의 역할이 중요하다는 결론을 제시하였다[4].

문진수(2016)의 『철도산업 해외진출 영향요인과 여건 분석』에서는 해외진출 활성화를 위하여 정부차원의 정보 및 인적 네트워크 구축체계의 강화, 기술개발의 종합적인 계획수립을 통한 관련 기술을 체계적으로 개발할 필요, 철도기술의 국산화, 현지 인력활용, 금융지원 등을 통한 가격경쟁력 확보를 위해 정부차원의 지원이 중요성 등을 제시하였다[5].

## 2.2 분석을 위한 영향요인 선정

SCI Verkehr[1] 등에 의해 해외철도시장의 규모, 현황 및 전망 등이 분석되고 있으나, 기존의 해외철도시장 자료들은 큰 범주로 구분하여 분석되어 있는 관계로, 실질적으로 사업의 속성에 해당될 수 있는 하위정보의 분석과 입수가 별도의 노력이 없이는 불가능한 수준이라 할 수 있다.

기존의 해외철도시장에 대한 정보는 거시적인 관점에서 해외철도 시장의 규모와 흐름을 파악하는 용도로만 활용하는 것이 적절하다 판단하고, 본 연구에서는 실질적으로 국내에 다양한 경로를 통하여 소개 및 입수된 해외철도 사업정보를 각 각의 사업별 세부내용에 따라 분석하고자 하였다.

우선, 해외철도시장을 구성하는 각각의 사업에 대한 기본정보를 한국철도협회에서 기 보유하고 있는 “해외철도사업 동향”으로부터 입수하고, 2009년 6월부터 2015년 10월까지 소개된 사업들을 대상으로 상세분석을 수행하였다.

각 개별 사업에 대한 정보를 분석하기에 앞서 하나의 분석틀로서 체계적인 분류항목을 수립하여 향후 지속적인 사업정보의 누적을 통하여 특정 사업의 실현가능성과 사업구성요소간의 상관관계를 도출하는데 활용하고자 하였다. 각 개별 사업에 대한 체계적 분류를 위한 항목은 다음과 같이 구분하여 설정하였다.

- (1) 발주사업의 재원조달 방식 : 재정, PPP, 민자, 재원출처 포함
- (2) 발주처 유형: 정부(지사체, 공공 포함), 민간기업, 국제기관(ODA관련), 계약관계상의 위치 분석을 위해 필요(주관사, 하도급 등)
- (3) 사업의 유형: 엔지니어링, 건설, 조달(차량, 전기, 신호통신 등)
- (4) 사업의 구분: 신규(신설) 사업, 사후사업(유지보수관리, 개량 등)
- (5) 시스템 유형: 고속철도, 일반철도, 화물철도, 도시철도(경전철, 트램 등)
- (6) 발주 사업비 규모
- (7) 권역별 구분: 서유럽, 동유럽, 아프리카, 아시아-태평양, 북미, 남미 등
- (8) 국가별 구분: 분석된 모든 개별 국가의 발주사업 시계열 정보
- (9) 분석된 국가 대상 사회경제·지표의 조사

지난 5년간 한국철도협회의 “해외철도사업 동향”정보를 통하여 소개된 사업 중 중복내용 및 전후연관사업들을 제거하여 독립적인 단일 사업으로 분리한 결과로 분석에 사용된 총 사업정보는 983개로 도출되었다. 도출된 사업정보를 활용하여 발주동향 사업의 체계적 재분류 및 분석을 실시하였다.

## 2.3 분석결과 및 고찰

### (1) 권역 및 발주시기별 분포

Table 1은 국내에 소개된 983개의 해외철도사업의 권역별 분포 분석결과를 나타내고 있다. 발주지역은 아시아-태평양(아태) 지역이 43.1%로 가장 높게 나타났으며, 이어서 아프리카 16.8%, 남미 10.9% 순으로 분석되었다. 2009년부터 국내에 소개된 철도사업 정보의 최초 발주 또는 발표시기를 분석한 결과, 2013년도에 전체 사업의 22.2%가 이뤄져 가장 활발하게 사업이 추진된 년도로 분석되었으며, 2013년의 전후로 하여 2014년 15.9%, 2012년 15.1% 순으로 분포하였다. Table 2는 발주시기별 분포를 나타낸다.

Table 1. Regional classification of rail business orders.

Items	Numbers of orders	Proportion (%)
West Europe	32	3.3
East Europe	101	10.3
Africa	165	16.8
Asia-Pacific	424	43.1
North America	48	4.9
South America	107	10.9
Middle East	106	10.8
Sum	983	100

Table 2. Date information of rail business orders.

Year	Numbers of orders	Proportion (%)
2004	1	0.1
2007	1	0.1
2008	4	0.4
2009	10	1.0
2010	24	2.4
2011	54	5.5
2012	148	15.1
2013	218	22.2
2014	156	15.9
2015	131	13.3
2016	1	0.1
Future	43	4.4
Unknown	192	19.5
Sum	983	100

## (2) 사업비 규모와 방식 및 발주처 유형에 따른 분포

국내에 소개된 총 사업의 사업비는 50억 이하가 58.3%(573건)로 가장 높게 나타났으며, 51억~99억 5.0%(49건), 100억 이상 3.0%(29건) 순으로 분석되었다. 사업비가 파악이 안되는 사업정보는 총 332건 이었다. 각 개별 사업비가 50억 미만이라는 의미는 소규모의 엔지니어링사업 유형이라 이해할 수 있으며, 국내에 소개된 대부분의 해외철도사업이 컨설팅 용역이거나 pre-FS와 같이 사업의 초기 발굴 및 타당성 검토단계에서 요구되는 내용이라 판단할 수 있다.

국내에 소개된 해외철도사업의 재원 조달방식은 재정사업(해외자금이 포함되는 경우)이 33.6%(330건)로 가장 높게 나타났으며, 재정사업(정부자금 100%)은 25.9%(225건), 민-관(Public-private partnerships, PPP모델)은 9.1%(89건), 민자사업(민간자본 100%)은 9.1%(89건) 순으로 분석되었다. 정부의 재정과 정부자금이 투입되는 사업이 전체의 약 60%를 차지하는 것으로 나타났다. 또한, 사업의 재원 조달 및 구성이 확인되지 않는 사업이 약 30%(296건)로 분석된 것은 이미 선정된 주관사업자가 하위 공급자를 구하는 사업의 경우로 해석할 수 도 있다.

발주처 유형은 정부가 64.2%(631건)로 가장 높게 나타났으며, 지방정부 19.8%(195건), 국제기관 4.3%(42건), 민간기업 1.1%(11건) 순으로 분석되었다. 정부 및 지방정부의 유형이 84%라는 점과 사업비 규모중 50억 미만이 58.3%라는 점은 사업의 조달(공급)유형보다는 엔지니어링 성격의 사업이 주류를 이룬다는 예측을 가능케 하는 점이라 할 수 있다. 그리고 발주처 유형이 파악 안되는 사업정보는 총 104건 이었다.

## (3) 계약위치별 유형

발주된 사업의 입찰 참가주체의 계약위치는 주관사가 98.3%(966건)로 가장 높게 나타났으며, 하도급 0.0%, 미확인이 1.7%(17건)로 분석되었다. 본 항목에 대해서는 분석시 추가적인 정보가 필요한 것으로 판단되며, 이는 단일 기업이 제안할 수 있는 사업인지, 컨소시엄의 형태로 국내기업 또는 다국적기업들로 구성되어 제안하여야 하는 것인지에 대한 확인이 필요함을 의미한다. 통상 엔지니어링 용역일지라도 과업의 내용과 규모에 따라 한국기업, 제3국기업 및 현지기업이 컨소시엄으로 제안하는 경우들이 있기 때문에 참여지분과 업무의 분장에 따라 성격이 달라진다 할 수 있다.

## (4) 사업종류(분야) 및 사업유형별 분포

사업의 분야별 종류는 인프라(노선, 궤도, 토목, 역사 등)관련 내용이 40.4%로 가장 높게 나타났으며, 차량 7.9%, 기타 7.1% 순으로 분석되었다. Table 3에 결과를 나타내었다.

사업유형은 건설이 45.6%(448건)로 가장 높게 나타났으며, 엔지니어링(컨설팅 등) 17.9%(176건), 조달(공급) 15.8%(155건), 총괄사업(턴키, EPC 등) 3.3%(32건) 순으로 분석되었다. 그리고 사업유형이 파악 안되는 사업정보는 총 172건 이었다.

**Table 3.** Rail business classification by industrial type.

Area	Numbers of orders	Proportion (%)
Rolling Stock	78	7.9
Electrical	24	2.4
Signal & communication	39	4.0
Infrastructures	397	40.4
Operations & maintenance	16	1.6
System	26	2.6
Others	70	7.1
Unknown	333	33.9
Sum	983	100

**Table 4.** Detailed classification of the engineering business

Type	Numbers of orders	Proportion (%)
Research	26	14.1
Feasibility study	49	26.5
Design	32	17.3
Analysis	5	2.7
Purchase	7	3.8
Supply	3	1.6
Test	0	0.0
Construction supervision	9	4.9
Test drive	1	0.5
Evaluation	1	0.5
Consulting	28	15.1
Advising	2	1.1
Maintenance	8	4.3
Business control	14	7.6
Sum	185	100

엔지니어링성격의 사업에 대한 세부 유형별 분포분석에서 타당성조사가 26.5%로 가장 높게 나타났으며, 설계 17.3%, 자문 15.1%, 연구 14.1% 순으로 나타났다. 타당성 조사와 설계 유형이 43.8%를 차지하는 것을 알 수 있다. Table 4는 분석결과를 나타낸다.

(5) 사업의 단계 및 철도시스템 유형별 구분

사업의 단계는 OEM(신규사업공급자)사업에 해당되는 신규가 82.3%(809건), 사후사업(After-Sales, 유지보수/관리 등)이 13.2%(130건)로 분석되어, 새로이 시작하는 철도사업에 대한 내용이 대부분을 차지한다는 것을 확인하였다. 그리고 사업의 단계가 파악이 안되는 사업정보는 총 44건 이었다. 사후사업의 세부내용에 따른 분포는 개량(현대화, 개선, 업그레이드 등)이 71.2%(84건), 유지보수관리가 28.8%(34건)로 분석되었다.

시스템의 유형은 도시철도가 37.5%로 가장 높게 나타났으며, 일반철도 26.0%, 고속철도 7.3% 순으로 분석되었다. Table 5는 철도시스템 유형별 분포를 나타낸다.

Table 5. Classification by train type.

Train type	Numbers of orders	Proportion (%)
High speed train	72	7.3
Conventional train (passenger & freight)	256	26.0
Freight train only	37	3.8
Metro including MRT, subway and LRT	369	37.5
Others (Tram, PRT and etc.)	39	4.0
Unknown	210	21.4
Sum	983	100

### 3. 결 론

본 연구에서는 국내에 최근 5년간 소개된 독립적인 총 983개의 해외철도사업에 대한 발주특성분석을 수행하였다. 분석의 효율성과 일관성을 높이기 위하여 하나의 분류체계를 수립하고 각 각의 사업정보를 분류항목에 따라 분석하고 구성비율을 평가하였다. 7개 권역으로 구분하여 분석한 결과 아시아-태평양 지역에서 발주되는 사업이 43.1%로 가장 많이 소개되었으며 그 뒤를 이어 아프리카와 동유럽이 10%대의 비율로 소개되었다. 아태지역의 철도사업은 지난 5년간 424건이 소개되었으나 수주 또는 진출에 성공한 결과는 매우 미비한 상황이다. 아태 시장은 ODA(공적개발원조)사업에 의해 일본 기술체계의 영향력이 크게 작용하고 있으며, 최근 들어 유럽식 기술체계가 점차 그 비중을 높여가고 있는 실정이다. 일본식 기술체계에서 유럽식으로 전환되어가는 배경에는 ODA의 차관사업이 과거 구속성(tied)에서 비구속성(untied)로 점차 확대되어 가는 것과 관련될 수 있다.

국내에 소개된 철도사업정보의 특이한 점은 사업비의 규모가 50억 미만인 소규모 엔지니어링 성격의 사업이 약 570건이 되고 대부분이 정부나 지방정부에 의해 직접발주가 된다는 것이다. 또한 사업의 종류(분야)별 분포 분석에서 가장 많은 부분을 차지하는 것은 인프라 구조물이었으며 여타 철도산업분야에 비하여 탁월하게 높은 비중을 차지하고 있다는 것이다. 사업의 유형별 분석에서도 인프라 구조물과 밀접한 엔지니어링과 건설과 관련된 내용이 약 65%를 차지할 정도로 높은 비중을 보이고 있다.

또한 철도건설기준과 밀접한 관계를 갖는 엔지니어링 성격의 사업을 세부 유형별로 분석한 결과 타당성조사, 설계 그리고 감리/자문이 약 64%를 차지하는 것으로 나타났다. 또한, 사업의 추진단계별 구분에서 82.3%에 해당하는 809개의 사업이 새로이 착수하는 신규성 사업으로 분류되었음에 주목할 필요가 있다. 그리고 약 63.5%의 사업인 625개 사업이 일반철도(여객 또는 화물)와 도시철도와 관련된 사업으로 분석되었다.

본 연구에서 수행한 철도사업의 세부항목 분석을 통하여 다음과 같이 정리 할 수 있다.

- (1) 철도후발국가에서 발주되는 사업임에도 실제 수주실적은 저조함
- (2) 발주사업의 절반이상이 50억원 미만의 소규모임
- (3) 철도노선 확충과 관련된 인프라 분야의 신규성 사업 비중이 높음
- (4) OECD ODA 정책의 비구속성 권고로 일본 주도의 기술체계에서 유럽식으로 점진적 전환중임
- (5) 일반철도와 도시철도 사업 비중이 높음
- (6) 타당성, 설계 등과 같은 신규성 사업의 참여는 후속적 시공/공급사업 진입을 위한 교두보로서 고부가가치 사업 수주를 위하여 매우 중요한 전략적 활동임

본 연구를 바탕으로 한국 철도 산업이 활발하게 해외 시장에 진출하려면 다음과 같은 전략을 제안할 수 있다. 초기 신규성 사업의 참여 또는 진입 없이 유럽식 또는 일본식 기술기준체계를 적용하여 진행되는 사업의 후속 발주사업의 참여는 단순 하도급 또는 다수의 보편적 공급자 입장에서 치열한 경쟁으로 저가수주로 귀결될 가능성이 높다. 따라서 초기 신규성 사업의 주도적 진출과 수행을 통하여 친 한국성향 또는 동질화된 대응 가능한 시스템체계를 통하여 철도사업의 후속공정인 건설, 조달에서 한국산업계의 고부가가치 진입기반을 구축할 수 있을 것이다.

## 후 기

본 논문은 국토교통과학기술수진홍원 철도기술연구사업의 연구비 지원(과제번호: 16RTRP-B067919-04)에 의해 수행되었습니다.

## References

- [1] SCI Verkehr (2014) *Rail Transport Markets – Global Market Trends 2014-2023*.
- [2] J.W. Oh (2015) Accomplishment of global business korea rail network authority and future strategy, *Railway Journal, Korean Society for Railway*, 18(2), pp. 79-82. (in Korean)
- [3] J.T. Oh, H.T. Kim, D.H. Kang, S.M. Hong (2007) Analysis of specialist Suggestions about advance into overseas markets of railroad industry, *Proceedings of 2007 Spring Conference of the Korean Society for Railway*, Busan, pp. 21-29. (in Korean)
- [4] M.Y. Cho (2015) Trends of international railway markets and strategy for Korean railway industries to entering international markets, *Monthly Transportation*, 208(6), pp. 6-9. (in Korean)
- [5] J. Mun (2016) Analysis of influence factors and current conditions for Korean railway export, *Journal of the Korean Society for Railway*, 19(3), pp. 363-372. (in Korean)

(Received 28 October 2016; Accepted 26 December 2016)

---

**Ji-Taek Oh** : jtoh@krii.re.kr

Korea Railroad Research Institute, 176 Railroad Museum Road, Uiwang-si, Gyeonggi-do 16105, Korea

**Seonkeun Hwang**: skhwang@krii.re.kr

Korea Railroad Research Institute, 176 Railroad Museum Road, Uiwang-si, Gyeonggi-do 16105, Korea

**Sukhoon Pyo**: shpyo@krii.re.kr

Korea Railroad Research Institute, 176 Railroad Museum Road, Uiwang-si, Gyeonggi-do 16105, Korea