

철도 IT융합 기술 연구개발 기획 연구

A Study on the R&D Planning of Railway IT Convergence Technology

장태우(Tai-Woo Chang)*, 이홍주(Hong-Joo Lee)**, 이준호(Jun-Ho Lee)***,
원종운(Jong-Wun Won)****, 이 석(Suk Lee)*****

초록

철도는 친환경 교통·물류수단으로 각광받고 있으며, 세계 철도차량시장 점유율 확대를 위해 IT 기술을 융합하여 경쟁력을 강화하고자 하는 노력이 진행되고 있다. 본 연구는 철도 IT융합 기술의 연구개발을 진행하기 위한 방안을 제시한다. 철도 IT융합 기술과 관련한 기존 연구결과물 및 특허에 대해 분석하고 기술분류에 따른 대상과제를 도출한 후, 전문가 설문조사와 다원속성효용이론(MAUT) 방법론을 이용하여 핵심 연구과제를 선정하였다. 연구 결과는 철도 IT융합에 대한 향후 정책 수립 및 연구과제 기획 등에 활용할 수 있을 것이다.

ABSTRACT

Railway is paid attention as a means of environment-friendly transportation and logistics. Efforts to enhance the competitiveness by IT convergence, for railway vehicle market share of the world, has been promoted. This study proposes a technology development plan of railway IT convergence. We analyzed the results of legacy researches and technology patents related with railway IT convergence and derived the target tasks in accordance with our technologies classification. By adopting the multi-attributes utility theory methodology and using survey of experts, we selected the core research issues. The result of this study could help policy making and R&D planning about railway IT convergence.

키워드 : 철도 기술, IT융합, 다원속성효용이론, 연구개발 기획
Railway Technology, IT Convergence, MAUT, R&D Planning

* Corresponding author, Department of Industrial & Management Engineering, Kyonggi University (keenbee@kgu.ac.kr)

** Department of Industrial & Management Engineering, Kyonggi University

*** Korea Railway Research Institute

**** Korea Railway Research Institute

***** Korea Railway Research Institute

2013년 04월 30일 접수, 2013년 8월 26일 심사완료 후 2013년 9월 16일 게재확정.

1. 서 론

철도는 수송 수단으로서 가장 높은 에너지 효율특성을 갖추고 있으며, 수송량당 에너지 소비량은 여객 기준 버스 대비 1/4.7, 물류(화물) 기준 자동차 대비 1/3.4에 이른다[1, 10]. 뿐만 아니라 철도운송의 기본특성인 대량수송성, 저공해성 등과 함께 최근 고속전철이나 경전철에서 추구하고 있는 쾌적성까지 합쳐 21세기 육상교통·물류산업의 주력으로 계속 성장할 전망이다.

한국철도차량공업협회의 자료[16]를 분석해보면, 연간 1.5~2.0% 성장할 것으로 전망되는 세계 철도시장은 인프라 등을 제외한 철도차량 및 제어시스템 시장만도 351억 유로로 선박시장과 유사한 규모를 보인다. 시장 규모가 크에도 불구하고 우리나라의 시장점유율이 낮기 때문에 향후 발전가능성은 크다고 볼 수 있다. 이러한 세계 철도시장에 대한 경쟁력 확보와 점유율 확대에 대한 요구가 지속되고 있다. 예로 우리나라 철도차량 및 부품 수출은 2005년 하락세를 보인 이후 급속히 성장하고 있으며 수입액도 급증하고 있는 상태로[16], 성장세를 뒷받침할 첨단기술의 개발 요구가 제기되고 있다.

이러한 환경에서 최근 발달한 IT 기술과 전통적인 철도 시스템 엔지니어링 기술을 융합하여 철도의 안전성과 효율성을 높이는 경쟁력 있는 신기술 및 신서비스에 대한 연구개발 필요성이 제기되고 있다[7]. 특히 철도 시스템의 구성요소에 대한 진단 및 분석, 통합 및 인터페이스 등에 대한 융합기술, 융합을 위한 IT 활용과 시스템 개발 등이 요구되고 있다. 또한 유비쿼터스 환경 적응 및 승객

의 편의성 증진, 실시간 관리를 통한 철도안전성 증대, 대규모 전력을 소비하는 철도시스템의 전력 활용 효율화 목적의 측면에서도 IT융합의 요구도 증대되고 있다.

뿐만 아니라 EU의 InteGRail, TrainCom, 일본의 Cyber Rail 프로젝트 등과 같이 철도산업의 지속적 성장을 목적으로 진행되고 있는, 선진국의 IT융합 연구개발에 대한 대응 필요성도 제기되고 있다. 또한 철도차량에서 열차상태 감시 시스템, 무선 데이터전송 시스템 등을 도입하는 추세는 더욱 가속될 것으로 보인다. SNCF, 지멘스, 알카텔, 독일철도(DB) 등 유럽의 철도운영기관 및 주요 제작사가 참여하여 유럽 철도를 위한 광대역/융합 통신 시스템을 개발하는 프로젝트가 진행되었으며, 여기에는 승객 서비스나 원격 유지보수 등의 내용도 포함되어 있다. Cyber Rail 관련 연구에서 개별화된 고객 지원 시스템을 위한 안내 시스템과 시각장애와 휠체어 사용자 등의 교통 약자를 위해 지원 시스템을 개발한 사례도 존재한다. 스마트그리드에 대한 철도전력 측면의 IT융합 검토도 이뤄지고 있다. 일본 메이텐, 히타치, 미쯔비시 등에서 세계적 수준의 전력변환장치를 개발, 일본 지하철 구간에 널리 사용하고 있으며, 국외로 수출하기도 한다[7, 15, 21].

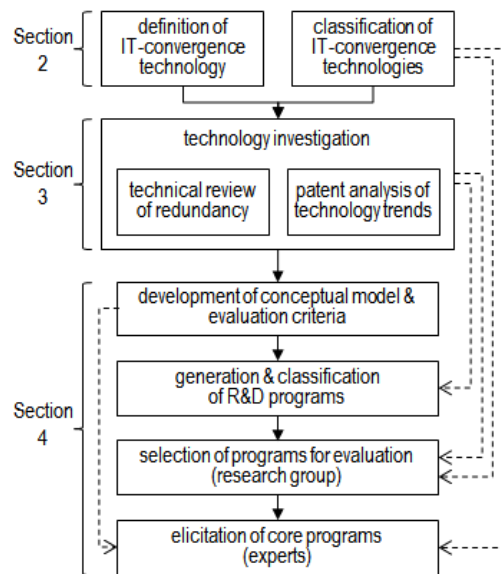
차·지상간 통신 인프라, 실시간 승객정보 안내, 수요 기반 수송, 원격 모니터링·유지보수 등과 같은 IT융합 분야에서 철도 기술업그레이드 요구도 국내에서 계속되고 있다. IT융합을 통한 부가서비스 창출 및 국산화, 연구개발을 통한 철도산업의 경쟁력 확보가 요구되는 시점에, 일반 IT융합에 대한 기술분야 발굴[17] 및 전략수립[6, 8] 등과 차별화

하여 철도 시스템의 발전에 특화된 연구개발 지원이 필요한 상태이다. 현재 수송 시스템 중 자동차 및 조선 산업에 대한 IT융합 기술 로드맵[14]은 존재하나 철도 분야의 전략이 부재한 상황이다. 철도 IT융합 시스템 개발에 대한 개별적인 방안 제시[7]가 있었으나, 전체적인 로드맵과 연구개발 과제 기획이 체계적으로 수립되어야 할 시점이다.

본 연구는 철도 IT 분야의 기존 연구개발 및 기획 과제의 결과물 및 기술특허 등을 검토하고 추후 IT융합 측면에서 연구개발되어야 할 관련 기술을 추가로 조사하고 정리·분석하였다. 이를 통해 주요 연구과제를 도출하고, 전문가 및 관련 담당자에 대한 인터뷰 등을 통해 도출된 연구개발 과제들 간의 우선순위를 선정하여, 철도 IT융합 기술 연구개발의 방안을 제시하는 것을 본 연구의 목표로 한다. 본 연구의 주요 공헌점은 전반적인 방안의 수립 과정을 포함하여 다음과 같다.

- 철도 교통 및 물류 분야에서의 IT융합 기술 정의 및 분류
- 철도 IT 분야의 연구개발 및 특허 내용 종합 검토 및 분석
- 주요 철도 IT융합 기술 및 연구과제의 도출
- 합리적인 연구개발 우선순위 선정을 위한 평가지표의 설정
- 다원속성효용이론(Multi-Attribute Utility Theory, MAUT) 개념을 사용한 핵심과제 선정

본 연구는 <Figure 1>과 같은 절차에 따라 구성된다. 절차간의 연관성은 점선으로 표시하였다.



<Figure 1> Research Procedure and Contents

2. 철도 IT융합 기술 정의 및 분류

기존 연구들에 의하면 ‘IT융합’은 일반적으로 전이(transmission) 또는 발표(presentation)를 통해 컴퓨터와 디지털 텍스트, 그래픽, 음성 및 영상 신호를 결합하는 능력의 영향을 의미하며, 정보통신산업진흥원의 실태조사[9]에서는 다음과 같이 세 가지 단계의 IT융합으로 정의하였다.

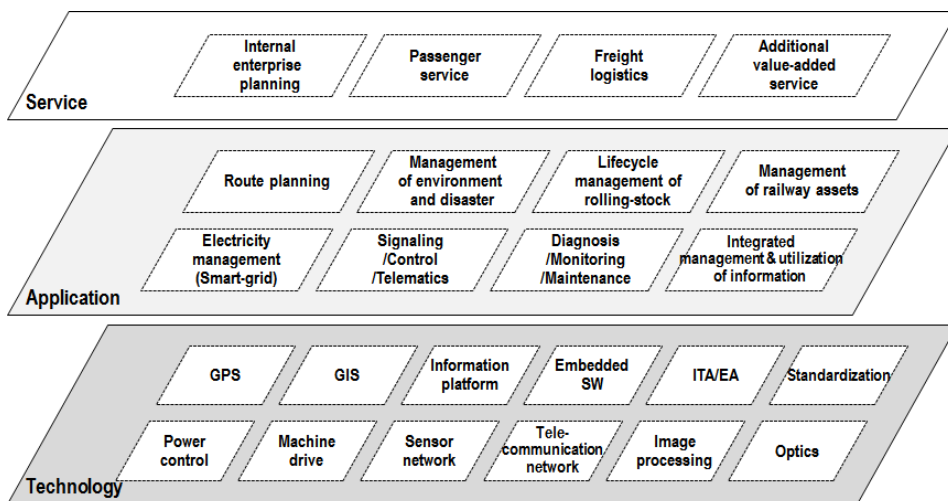
- 1단계 IT융합 : IT 기술과 제품, 또는 IT 기술과 비즈니스 프로세스의 융합. 제품과 IT 기술의 융합은 지능형 제품
- 2단계 IT융합 : 부분적 사회 IT 인프라와 제품에 내재(Embedded)된 IT의 융합
- 3단계 IT융합 : 사회 인프라를 통해 이종 산업 제품에 내재된 IT 간의 융합

이러한 의미에서 ‘철도 IT융합’은 IT 기술을 기반으로 통합 네트워크로 구성되는 각 분야(신호, 전력, 차량, 시설, 교통/물류)별로 효율적인 사고예방, 원격진단 및 유지보수를 통해 철도운행의 높은 신뢰도와 안전성 및 기능성 향상을 도모할 수 있는 철도 운영 관리의 통합 솔루션, 또는 솔루션이 인프라 및 제품에 내재되어 비즈니스 프로세스와 융합되는 것으로 정의한다. 또한 ‘철도 IT융합 기술’은 철도 IT융합을 구현하기 위한 기반 기술과 융합이 구현되는 응용 및 서비스 기술로 정의할 수 있다.

이와 같은 철도 IT융합 기술을 체계적으로 분류할 필요가 있다. IT융합의 양상이 진화하므로 유형화 및 분류의 의미가 적다는 지적도 있으나 변화에 대응하기 위한 상황분석과 대응전략의 고안이 필요하다[12]. 분류체계의 상위 레벨 구성을 위해 본 연구는 정보화에 대한 종합 설계 및 관리를 위한 정보기술아키텍처(ITA, Information Technology Ar-

chitecture) 개념을 차용하였다. ITA는 일반적으로 업무(프로세스), 데이터, 응용, 기반기술로 구분하여 기관의 임무와 성과 달성에 필요한 업무, 정보시스템 등 무형의 자원들을 구조적으로 정리한다. 본 연구의 주된 추진방향이 기존 시스템에 대한 검토가 아니므로 데이터를 제외한 세 가지 구분체계로 기술을 분류한다. 또한 철도산업 전반에 대한 기술을 검토하고 연구개발 계획을 수립하기 위한 것을 목적으로 하므로 업무 부분은 철도 서비스로 용어를 대체하였다. 즉 앞서의 철도 IT융합 기술의 정의에 맞춰 기반 기술, 응용 기술, 서비스 기술로 나누어 상위 레벨을 구성하였다.

기반 기술은 철도의 운전에 필요한 기반 기술과 IT융합을 구현하기 위한 요소 기술을 통틀어 분류하고, 응용 기술은 기반 기술이 철도산업의 생산과 운영에 1차적으로 사용되어 융합되는 기술을 분류한다. 서비스 기술은 철도의 궁극적 목적인 여객 수송과 화물 물류



〈Figure 2〉 Mega Factors of a Technology tree of Railway IT-convergence

및 부가적으로 적용되는 대고객 서비스를 두었고, 산업 운영을 위한 내부 계획을 포함하여 분류하였다.

기존 연구개발 과제에의 내용을 검토하여 상위 레벨에 적절한 24개 대구분요소(mega factor)를 재구분하여 <Figure 2>와 같이 기술트리를 구성하였다. 철도기술을 대상으로 한 대표적인 한국철도학회의 논문분류(차량 시스템, 전기·신호·통신, 토목·궤도, 정책·물류·디자인, 안전·방재 및 시험인증)도 참고하였으나, IT융합의 측면에 맞춰 고려할 기술 위주로 재구성하였다. 또한 각 기술 분류의 의미상 오류가 있는 부분을 수정하여 조사된 다른 기술들과 함께 대구분요소에 재할당하였다.

가능한 기술들끼리 배타적으로 분류하도록 하였으나 상호 연계적인 부분에서는 배타적이지 않은 경우도 존재한다. 실제로 나열된 기술들은 상호 연관성을 가지고 복합적으로 개발되어 사용될 수 있다. 응용 기술 중 ‘정보 통합관리 및 활용’은 기반 기술 중 ‘정보플랫폼’을 통해 전달된 열차-노선 간 다량의 데이터에 대해 데이터마이닝 등을 통해 분석하는 기술이라 할 수 있고, 이는 서비스 기술의 ‘내부 계획’을 통해 인력 및 자산 할당 등의 변화를 피할 수 있고 구간별 통행시간 등의 정보를 제공하는 ‘대고객 부가 서비스’ 기술로 활용될 수 있을 것이다.

또한 각 기술의 상세한 분류를 모두 포함시키진 않았다. 예를 들어 김동관 등의 연구 [2]에서 제시한 IT융합 서비스 활용기술 중 ALL-IP, WiBro, WLAN, WCDMA 등은 포괄적으로 ‘통신 네트워크’ 기술로 제시하였다. ‘영상처리/인식’ 기술 역시 동영상과 정지영

상에 대한 일반적인 멀티미디어 영상 처리 기술과 적외선열화상 처리 등을 포괄하고 있고, ‘광학’ 기술도 Opto-Laser 처리 등을 포괄하고 있다.

3. 기술 분석

3.1 기술 조사 및 중복성 검토

먼저 신규로 연구개발되어야 할 기술을 조사하기 위해 한국철도기술연구원 내 연구부서를 대상으로 철도 분야에서 IT 기술이 융합되어 사용될 수 있는 기술에 대해 수요조사를 실시하였고, 이에 대한 자료를 취합하여 세부기술을 정리하였다. 또한 [15]를 포함한 기존 연구·기획보고서 등에서 추후 개발되어야 할 것으로 제시한 관련 기술과제들을 선별하여 중복을 제외한 후 추가하여 180개 기술목록을 정리하였다.

24개 대분류 기준에서 기술트리에 맞춰 세분화하는 개념으로 해당 중분류 기술까지 분류한 결과는 <Table 1>과 같다. 철도의 안정성 측면을 강화하기 위한 연구들이 많이 수행되어야 함을 볼 수 있다.

정리된 기술별로 기존 연구와의 연관성 및 중복성을 검토하여 향후 개발할 철도 IT융합 연구과제를 도출할 필요가 있다. 중복성을 파악하기 위해 기존 연구개발 사업 및 과제에 대해 조사하였다. 먼저 국가과학기술지식정보서비스 사이트(ntis.go.kr)에서 ‘철도’ 키워드로 검색하여 기존 자료를 조사하였다. 또한 한국철도학회의 논문집에 발간된 IT 관련 연구논문을 조사하였다. <Table 2>에 ‘진단/유지보수

〈Table 1〉 Classification of Railway IT-Convergence Technologies

mega-factors		mid-level categories
Service	Freight logistics	- efficiencies for railway freight operation - process automation of railway freight - service enhancement for customer of railway freight
	passenger service	- context-awareness intermodal customer information service technology - operation assistance system
	Additional value-added service	- intra-train value-added information service - information service for train stations - information service to the potential customers - enhancement of convenient mobility for the handicapped
Application	Route planning	- construction of ubiquitous railway operating and control system - intelligent guidance information technology based the real-time demand - train routing and monitoring - organization and scheduling of rolling stocks
	Management of environment and disaster	- early detection and monitoring of disaster evacuation - enhancement of passenger comfortableness - regular safety and protection system - safety monitoring - environment monitoring
	Signaling /Control /Telematics	- convergence platform for integrated wireless networking between train and road - railway telecommunication technology for railway IT-convergence system - integrated wireless data management system for railway using BcN - telecommunication infrastructure for telematics of high-speed train - telematics network of rolling stocks
	Diagnosis /Monitoring	- generic technology for real-time diagnosis - construction of real-time diagnosis system - intelligent diagnosis using sensor network - intelligent monitoring of railway system
	Structural diagnosis	- real-time monitoring of abnormal status of rolling stock with wireless and non volatile SAW sensors - health assessment of rolling stocks and facilities using thermovision technology - real-time healthiness monitoring of roadbed, tunnel using fiber optic sensors - opto-laser system technology for tunnel scanning
	Maintenance	- optimization of maintenance(SAW) - condition-based maintenance(CBM) system - process automation of maintenance - history management of maintenance - augmented reality-based maintenance
	Electricity management (Smart-grid)	- optimal energy usage technology in electric railway - energy harvesting for railway - centralized optimal protection of AC substation system of electric railway - intelligent collection and monitoring between track and pantograph for rolling stock
	Management of railway assets	- management of electronic blueprint - information service of construction statistics - real-time process management - management of construction materials - assets management in location, history and arrangement
	Embedded S/W	- embedded S/W for railway
Technology	Information platform	- integrated middleware platform for telematics of rolling stocks - modeling technology based on information from rolling stocks - information standardization of railway sensor nodes

〈Table 2〉 Exemplary Technology Review of Redundancy
(Diagnosis/Monitoring/Maintenance part)

mid-level categories	supposed technologies in demand survey	relation	legacy research with related subjects
Generic technology for real-time diagnosis	- Analysis, evaluation and diagnosis of wheel-rail interaction - Real-time recognition and location of rolling stock - Criteria establishment for risk assessment		[R&D programs] R1. Development of intelligent monitoring system for urban railway R2. U-sensor Network Devices and Remote Diagnosis System for Power Facilities of Electric Railway R3. System development of healthiness monitoring and noise/vibration reduction of rail track R4. Fundamental research on healthiness monitoring of railway system R5. Development of distributed mobile devices for testing running performance of rolling stock R6. Development of technology for performance enhancement of railway system R7. Development of stabilization technology of high-speed railway control system
Construction of real-time diagnosis system	- Real-time sensing of earthquake for high-speed railway - Sensing of rail temperature - Real-time measuring of water level at bridges	R2, A7, A8	
Intelligent diagnosis using sensor network	- Construction and arrangement of sensor network - Real-time sensing and duplex transmission - Power supply of sensor network	R2	
Real-time monitoring of abnormal status of rolling stock with wireless and non-volatile SAW sensors	- Transmitting and monitoring data of SAW sensors for rolling stock - Signal processing of wireless data	R2	
Health assessment of rolling stocks and facilities using thermo-vision technology	- Nondestructive examination application using thermo-vision technology - Production and evaluation of standardized flawed specimen of rolling stocks and facilities - Analysis of thermo-elastic behavior of comparison specimen	R3, R4, A4	
Real-time healthiness monitoring of roadbed, tunnel using fiber optic sensors	- Healthiness monitoring system using distributed fiber optic sensors - Wireless data transmitter of rail-facility healthiness	R4, A5	[Research papers] A1. Development of Tele-presence System for Schedule Management in Railway Construction Project A2. Building TRMS S/W based on Reliability Centered Maintenance A3. Image Quality Evaluation for the Railway Abrasion Measurement with a High Resolution A4. A Guided Wave-Based Structural Damage Detection Method for Structural Health Monitoring A5. Study on the Appropriateness of Track Maintenance Works through the Evaluation of Track-bed Conditions A6. A Study on the Assessment of Residual Life Span for Old Type Signalling Equipment A7. Corrosion Fatigue Reliability-Based Life Cycle Cost Analysis of High-Speed Railway Steel Bridges A8. High Speed Rail Measurement System of HSR-350x A9. A Case Study on Determining Doors Maintenance Intervals through Running Fault Data Analysis for Metro EMU
Opto-laser system technology for tunnel scanning	- Enhancement of image-laser conformation algorithm and crack detection algorithm - Portable type structure for mobility	A1	
Optimization of maintenance(SAW)	- Wireless monitoring of bearing, motor, disk-break, etc - Optimization of periodic cycle of preventive maintenance	A9	
Intelligent monitoring of railway system	- Energy harvesting for railway - On-board intelligent monitoring of rolling stocks - Non-contact automatic measurement in maintenance process of rolling stocks	R1	
Condition-based maintenance(CBM) system	- Maintenance efficiency analysis of railway system - Optimization of condition-based maintenance for railway system - Development and test of CBM software	A2, A9	

/모니터링' 중분류에 해당하는 기술에 대해 세부기술 수준에서 기존 연구와의 주제 중복성을 검토한 결과를 예로 보인다. 일부 연관성 및 중복성을 가지는 연구를 표시하였고, 중복된 세부기술 및 관련 내용은 이후 작업에서 제외하도록 하였다.

3.2 특허 분석

기술특허에 대한 분석을 통해 철도 IT융합 기술로 정의된 기술들의 동향 및 개발 현황을 분석하고, 향후 기술개발을 위한 연구개발 기획에 핵심적인 정보를 제공할 수 있다. 핵심 기술영역과 향후 유망한 기술영역을 도출하여 기술전략 수립의 기초자료로 활용하고자 해당 기술들과 관련된 키워드 중심의 특허 분석을 실시하였다. 이를 통해 기술의 중복성을 회피하고 개발해야 할 주요 기술을 추출하는데 도움이 될 수 있다.

본 연구에서는 미국 특허청(United States Patent and Trademark Office)의 DB를 활용하였으며, 한국 특허청의 특허 정보검색 서비스(kipris.or.kr)에서 제공하는 특허 분석도구인 PIAS(Patent Information Analysis System) 소프트웨어를 이용하여 특허를 주제별로 분류하고 그 결과물을 바탕으로 분석을 진행하였다. 본 논문은 특허분석 및 기술동향분석이 주된 목적이 아니므로 참고할 수 있는 주요 분석 결과만 다음과 같이 간략히 나열한다. 분석 결과는 과제 도출 및 평가 대상선정 과정에서 참고하였고, 기술의 상세 내용 정리 작업 등에 활용하였다.

- 이용자의 만족도를 높일 수 있는 환경관리 기술과 안전성 확보 관련 기술에 대

- 한 특허가 많이 출원된 것으로 나타남
- 아직은 대부분의 기업이 표준화 기술보다는 기반기술 획득 활동에 더 활발함
- IT융합을 통하여 정보 관련 기술이 중요해짐에 따라 국제 특허 분류코드(IPC) 클래스 기준으로 G11(information storage), G06(computing, calculating, counting)에 관련된 기술이 많은 것으로 나타났다으며, 그 외에는 전기 관련 기술이 높은 빈도를 가진 것으로 나타남
- 특정 국가에서 독과점하고 있는 것으로 나타난 보안기술, 집진, SoC 등의 핵심 기술 등은 연구개발시 회피해야 할 것으로 판단됨
- 우리나라는 이동통신 관련 기술에서 강점(점유율 측면)을 가지고 있는 것으로 판단됨
- 허핀달지수가 낮아 경쟁상태로 파악되는 환경관리, 수명주기관리, 안전성향상 기술에 관련된 특허는 다양한 특허분류 영역에서 나타남을 알 수 있음
- 통합 DB 분석 및 네트워크 관련 기술이 특허출원의 평균 증가율이 높아 기술의 중요성이 커지고 있음을 알 수 있음

4. 연구과제의 평가 및 선정

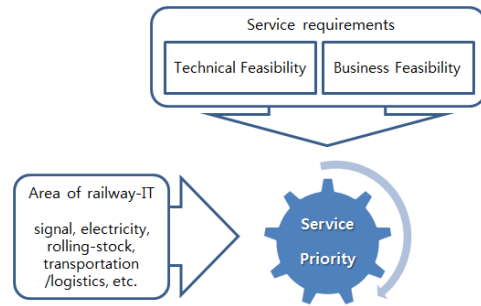
본 절에서는 다양한 연구개발 과제에 대한 검토 및 핵심 연구과제들을 합리적으로 도출하기 위한 과정을 설명한다.

4.1 개념모형 및 평가지표 개발

먼저 기술이 사용되는 철도 서비스의 비즈

니스 기회요인을 분석하기 위해 Dorf[18]가 제시한 시장에서 기회를 창출하는 9가지 요인을 고려하였다. 요인들의 속성분석을 통해, 유사한 속성을 지닌 요인들로 묶어 두 가지의 요인으로 정리하였다. 즉 새로운 시장을 창출하고 고객 맞춤형 서비스 제공 그리고 가치 전달의 관리 및 개선을 통한 비즈니스 기회요인을 찾는 요인들을 ‘고객편의 서비스’로, 새로운 기술을 응용하여 비즈니스 기회를 탐색하는 요인들을 ‘기술적 서비스’로 구분하였다. 고객편의 서비스는 소비자 및 시장의 요구사항을 반영한 사업적 속성을 내재하고 있으며, 기술적 서비스는 철도 IT융합 기술을 통해 소비자에게 서비스를 제공하는 속성을 설명하고 있다. 이에 본 연구에서는 이러한 요인 구분을 각각 사업적 실현 가능성(Business Feasibility)과 기술적 실현 가능성(Technology Feasibility)의 평가속성으로 분석하여 <Figure 3>과 같은 개념모형을 제시하였다.

또한 철도기술백서[11] 및 철도기술 관련 논문을 참고하고, 미국 국립보건원(National Institute of Health)에서 연구 프로젝트 선정 시 사용하는 분석방법론[20]과 과학기술 정책



<Figure 3> Conceptual Model for Evaluation

연구원에서 연구가 진행되었던 대형연구개발 사업의 기술적·경제적 타당성 분석방법[3]을 바탕으로 두 가지의 평가속성을 세분화하여 각각 4개의 평가요인을 두었다. 평가속성별 평가요인의 정의는 <Table 3>과 같다.

4.2 대상과제의 선정 및 평가

본 절에서는 다원기준 의사결정기법 중 다원속성효용이론(MAUT)을 이용한 연구과제 우선순위 선정을 위한 분석방법을 제시한다.

MAUT는 대표적인 다원기준 의사결정기법인 AHP(Analytic Hierarchy Process)에 비

<Table 3> Evaluation Factors and their Definition

Attribute	Evaluation factor	Definition
Technical Feasibility	objective adequacy	how much adequate is the R&D objective to the railway service
	technology innovativeness	how much innovative is the developed technology compared with the past one
	technology excellence	how much could the developed technology improve the railway service
	spin-off effect	spin-off effects of the developed technology
Business Feasibility	functional convenience	customer benefits of railway service by adopting the new technology
	market breadth	railway market increase by adopting the new technology
	increase in revenue	revenue increase by differentiated service offer of railway
	commercialization	degree of technology commercialization for railway service

해 쌍비교의 일관성을 보장할 수는 없다. 그러나 평가 대상과제가 다수여서 소수 대안 선정에 중점을 두는 AHP보다 본 연구에 적합하고 평가가 단순하여 평가자의 평가 거부감을 줄일 수 있어 본 연구에서는 MAUT를 이용하였다.

MAUT는 Von Neumann과 Morgenstern의 효용이론을 기초로 Keeney와 Raiffa[19]에 의하여 구체적인 기법과 적용 절차 등이 개발되었다. MAUT는 위험에 대한 개인의 태도를 반영한 효용함수와 평가기준(속성)들을 모형에 구체화하고, 이와 관련한 적절한 함수형태의 식별 문제가 개인의 선호와 효용함수 형태를 결정하게 된다는 특징을 갖고 있다. MAUT는 비용편익 분석과 같이 정량적 자료만을 사용하는 경우에 비해 정성적인 요인들도 종합적으로 고려할 수 있다는 점과 요인들 간 상대적 중요도를 구할 수 있다는 점에서 그 유용성을 높게 평가할 수 있다. 또한 각각의 요인들에 대한 효용함수를 구함으로써 위험에 대한 의사결정자의 태도를 판별하고 의사결정에 참여하는 사람들의 특성을 발견해 낼 수 있다는 장점이 있다[4].

MAUT를 이용하면 양적, 질적 지속가능성 지표를 의사결정과정 상에 광범위하게 포함시킬 수 있으며, 철도 용·복합 서비스 환경에서 우선적으로 수행해야할 연구 과제를 도출하고자 할 때 비교적 단순하고, 직관적이며, 편리하게 가중치를 할당할 수 있다는 장점이 있다. 또한 MAUT는 각 대안에 가중치를 부여하여 집계하는 과정을 거치는데, 이 중 가장 간단하고 널리 이용되는 집계 방법은 선형 가중 합(weighted linear average)을 취하는 것이다[5].

기존 연구에 대한 중복성 검토 결과 및 특허분석 결과를 반영하고, 기술·특허의 수요조사 및 관련 연구결과 내용 추출에 대한 제3장의 분석 결과를 고려하여 <Table 1>의 51개 중분류 수준의 기술을 세부기술 내용으로 재구성하고, 기술조사 분석결과를 반영·보완하여 48개 신규 과제를 도출하였다. 분석결과 및 도출과제를 두고 연구진 내의 논의를 거쳐 평가 대안으로 주요 연구과제를 1차 선정하였으며, 이를 요약하면 <Table 4>의 18개 과제와 같다. 과제의 내용이 기반, 응용, 서비스의 분류에 모두 포함되는 경우 중점이 되는 분야에 배치하였다.

본 연구에서는 합리적인 의사결정을 위해 철도 분야뿐만 아니라 IT 기술 및 서비스 분야에서 5년 이상 연구 및 근무한 경험자를 선정하여 설문조사를 실시하였다. 일반적인 예비타당성조사 수행시 AHP 평가 인력을 7~8명으로 구성[13]하는 점을 감안하여, 평가위원은 학계 3명, 연구계 3명, 산업계 1명의 총 7명으로 하였다. 제 4.1절에서 제시한 세부평가요인을 고려하여 평가속성별로 18개 과제에 대해 리커트 5점 척도로 평가하도록 하였다.

조사결과를 토대로 이를 기술적 실현 가능성 정도와 사업적 실현가능성 정도를 상대적으로 비교하였다. 본 연구에서는 이 결과 값을 포트폴리오 매트릭스(Portfolio Matrix)로 분석하였다.

4.3 핵심연구과제 도출

7명 평가자의 각 과제에 대한 두 가지 속성별 평가치의 평균 값(μ_1 와 μ_2)을 좌표값으로 입력하여 <Figure 4>와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 각 지표에 대한 평가위

〈Table 4〉 18 Programs for Experts Evaluation

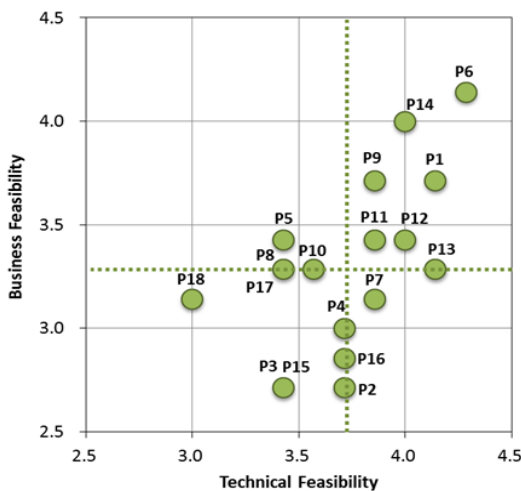
Mega-factor		Program
Service	Freight logistics	P1. Technology development for u-Freight on global railway : to establish automation foundation of freight handling process using RFID/USN technologies in global competitive environment
	passenger service	P2. Context-awareness intermodal customer information service technology : to locate customers and realizing the destination of them and to provide information about guiding and real-time routing
	Additional value-added service	P3. Technology of enhancing convenient mobility for the handicapped : to develop technologies such as locating the handicapped, networked electronic wheelchair, RFID-based braille block, etc.
Application	Route planning	P4. Technology of intelligent operation system based the real-time demand : to plan railway routing based on the past pattern analysis and the real-time demand, to disperse and forecast the traffic congestion
	Mngt. of disaster and environment	P5. Sensor-based early detection/monitoring of disaster and environmental damages : motion sensing, poisonous gas detection and platform-falling customer detection based on USN technology
	Lifecycle management of rolling-stock	P6. Development of railway PLM system for innovation of rolling stock production : to systematically manage information which is necessary for product development of rolling stocks and to manage life-cycle of them
	Electricity mngt. (Smart-grid)	P7. Technology of optimal energy usage and energy harvesting : to optimally manage the peak load, to utilize regenerated energy, and to harvest self-generated energy from train vibration
	Signaling/Control /Telematics	P8. Development of core technology for telematics infrastructure of rolling stocks : to develop remote data capturing technology and related management system using wireless telecommunication for high-speed trains
	Diagnosis /Monitoring /Maintenance	P9. Development of intelligent diagnosis technology based on real-time monitoring : intelligent monitoring of rolling stocks and facilities along the tracks with wireless and non-volatile SAW sensors
		P10. Development of augmented reality applications for railways : to provide augmented reality-based train maintenance, technology education and value-added service
	Management of railway assets	P11. Real-time lifecycle management of railway assets : to real-time manage operating equipment and facilities such as train station and railway vehicle base through attribute monitoring
	Integrative mngt. and utilization of information	P12. Technology development for intelligent utilization of operation and management information : to integratively manage big-data from manufacturing, operation and environments of railways and to intelligently utilize data using data mining technique
Technology	Information platform	P13. Development of original information modeling technology of virtual rolling stock through railway IT-convergence : to model virtual rolling stocks for analysis of interaction between parts and stocks all over the lifecycle of them
		P18. Development of integrated IT-convergence platform system based on real-time information : to develop an integrated IT-convergence platform with data-warehouse and sensor interface for making efficient maintenance of rolling stocks and facilities
	Embedded S/W	P15. Development of embedded S/W for railway : to develop V&V process embedded S/W for railway and testing automation tools, to standardize coding rules and to construct a HILS-based testbed
	Power control	P16. Network-based optimal protection of AC substation system : to develop optimal protection technology through analysis of AC substation system of electric railway using networks
	Sensor network	P17. Design and implementation of sensor-based testing/measuring system : to stabilize high-speed trains by capturing and transmitting status-data of infrastructure with sensors
	Telecommunication network	P18. Development of original technology for core telecommunication modules of next generation rolling stocks : to develop technologies of NEMO and interfaces for implementing telecommunication network of next generation rolling stocks such as high-speed trains

원별 배점 크기의 차이가 존재하므로 정규화 과정을 거칠 필요가 있으며, 표준정규화를 통한 결과는 <Table 5>의 μ_1' , μ_2' 과 같다. 평점 평균에 대한 표준정규화 과정을 거친 후, MS Excel의 거품형 차트를 이용하여 포트폴리오 매트릭스로 배치하면 <Figure 5>와 같이 표현된다. <Figure 4>와 비교하여 각 점의 배치가-특히 점수가 낮은 경우에서-조금씩 달라져 있음을 볼 수 있다.

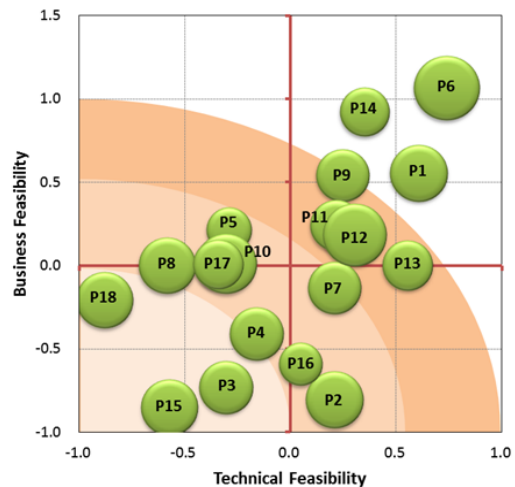
<Figure 5>에서 각 원의 크기는 <Table 5>에 보이는 바와 같이 두 지표의 표준편차를 산술평균($\sigma^* = (\sigma_1' + \sigma_2')/2$)하여 입력 데이터로 사용하였다. 표현된 거품(bubble)의 지름은 산술평균의 1/4정도로 실제 표준편차를 고려하면 과제의 중요도 거품이 겹치는 분이 발생하지만, 본 연구에서는 과제에 대한 평가점수가 겹치는 정도를 고려한, 지표평균간 유의수준은 반영하지 않는 것으로 가정하였다. 즉, 표준편차는 고려하지 않고 평균만으로 우선순위를 정한다.

<Table 5> Normalized Result of the Evaluation Data

Program	μ_1'	μ_2'	σ^*	r	Ranking
P1	0.61	0.56	0.930	2.23	3
P2	0.21	-0.81	0.926	1.22	11
P3	-0.31	-0.73	0.799	0.74	17
P4	-0.16	-0.41	0.800	1.02	15
P5	-0.29	0.21	0.571	1.40	9
P6	0.74	1.07	1.197	2.70	1
P7	0.21	-0.13	0.786	1.49	8
P8	-0.59	0.00	0.903	1.08	18
P9	0.24	0.54	0.786	1.98	4
P10	-0.31	0.01	1.033	1.23	10
P11	0.21	0.24	0.756	1.74	7
P12	0.30	0.18	1.124	1.76	6
P13	0.55	0.00	0.707	1.85	5
P18	0.35	0.92	0.691	2.35	2
P15	-0.57	-0.85	0.893	0.45	18
P16	0.05	-0.59	0.518	1.12	13
P17	-0.35	0.01	0.703	1.20	12
P18	-0.88	-0.21	0.899	0.80	16



<Figure 4> Portfolio Matrix of Evaluation



<Figure 5> Portfolio Matrix after Normalization

과제별 우선순위를 설정하기 위해 두 가지 평가속성을 모두 고려하도록 <Figure 5>의 (-1, -1)을 원점으로 재조정하여 중심으로부터의 거리를 $r = \text{SQRT}((\mu_1' + 1)^2 + (\mu_2' + 1)^2)$ 으로 계산하였다. 거리가 멀수록 두 지표의 중요도가 모두 큰 상태라 할 수 있다. 이에 따라 순위를 설정한 결과를 반영하여 우선순위와 함께 <Table 6>에 정리하였다. 두 평가속성의 결과가 모두 평균 이상인 7개의 과제를 우선순위와 함께 고려하여 핵심 연구과제로 선정하였다. 철도 PLM 시스템과 실시간 정보플랫폼의 필요성과 IT융합형 물류 자동화에 대한 요구가 큼을 알 수 있다. 선정된 과제에 대해서는 세부 연구 내용을 함께 정리하여 향후 연구과제 기획 등에서 참고할 수 있도록 하였다.

5. 결 론

철도산업에 우리가 보유한 IT 기술과 융합하여 시장경쟁력을 강화하면 자동차·조선산업과 같이 철도 시스템을 수출전략 상품화

하는데 도움이 될 것이다. 철도차량 부문 제품개발 및 제조 생산성 혁신에 대한 요구도 발생하고 있으나, 자동차·조선 분야의 활발한 정책적 지원에 반해서 철도 분야의 IT 관련 지원은 미비한 상태이다.

본 논문은 철도산업 IT융합의 필요성을 고려하여 아래와 같은 세부 목표에 따라 다음의 연구를 진행하였다.

- 철도 IT융합 기술트리 정립
- 철도 IT융합 연구과제 도출
- 관련 특허 등의 기술조사
- 우선순위 선정을 위한 평가지표 개발
- 핵심연구과제 선정

기반, 응용, 서비스의 3개 대분류와 24개 중분류를 포함한 기술트리를 작성하였고, 철도 IT융합 관련 부서별 기술·과제 수요조사를 통해 기술을 정리하였다. 국가 R&D 및 기타 과제 중 철도 IT와 관련된 연구과제들을 조사하였고, 기술트리 중분류 기술별 기존 과제와의 중복성을 검토하였다. 미국 특허 DB를 키워드 중심으로 특허 조사를 실시하여 동향을 반영할 수 있도록 하였다.

<Table 6> Ranking of the Elicited Core R&D Programs

No.	Program	Ranking	Ranking after normalization
P6	Development of railway PLM system for innovation of rolling stock production	1	1
P18	Development of integrated IT-convergence platform system based on real-time information	3	2
P1	Technology development for u-Freight on global railway	2	3
P9	Development of intelligent diagnosis technology based on real-time monitoring	4	4
P13	Development of original information modeling technology of virtual rolling stock	5	5
P12	Technology development for intelligent utilization of operation and management information	6	6
P11	Real-time lifecycle management of railway assets	7	7

과제의 우선순위 도출을 위해 다원속성효용이론을 선택하고, 기술적 실현가능성과 사업적 실현가능성을 각 4개의 세부평가 요인을 갖는 평가 지표로 설정하였다. 연구과제 검토 결과 및 특허 분석 결과를 고려하여 재분류 기술별 18개 연구과제를 1차 선정하였고, 이를 대상으로 전문가 평가를 실시하였다. 평가위원별 배점의 차이를 고려하여 표준 정규화 후 결과 분석을 통해 7개의 핵심 연구 과제를 도출하였다.

본 연구에서 도출된 과제들은 정보통신산업진흥원에서 정의한 IT융합 수준에서 2단계 기술 정도로 제시되어 있다. 3단계의 IT융합은 철도 인프라가 타 산업 제품과 융합되는 단계일 수 있으며, 제시된 기술들은 향후 3단계까지 확대될 수 있을 것이다. 그러나 타 산업에 비해 IT융합이 부족했던 철도산업에서, 선정된 핵심 연구과제들은 철도차량의 생산(P6, P13), 철도물류 및 운영(P1, P12), 유지보수(P9, P11, P18) 단계에서 기술 발전 및 시장경쟁력 강화의 수단으로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구의 결과는 철도 IT융합 기술에 대한 동향 파악을 통해 기술로드맵을 작성하는데 지원할 수 있을 것이다. 철도 IT융합 기술 연구과제에 대한 우선순위 선정과 핵심과제 도출 단계에서도 세부 기술별로 연구 및 평가를 보완한다면, 본 연구의 절차 및 결과를 참고하여 본격적인 연구개발 기획을 지원할 수도 있을 것이다. 또한 향후 철도 IT 관련 국가 연구개발 사업의 창출을 위한 기획 연구보고서의 근거 자료로 활용 가능할 것이다.

References

- [1] Ministry of Land, Transportation & Maritime Affairs, Statistical Yearbook of MLTM, 2008.
- [2] Kim, D. K., Baek, D. H., & Jin, H. C., A Study on Technology Characteristics of IT Convergence Service and Application Technology for Industrial Convergence, Journal of Korea Society of IT Services, Vol. 9, No. 2, 2010.
- [3] Kim, T. Y., Lee, J. D., & Lee, J. S., Methodology for technological & economical feasibility study of big R&D programs, STEPI, 2002.
- [4] Park, J. H. & Kim, J. H., A Comparative Study of MAUT and AHP in Priority Setting of R&D Projects, Journal of Korea Technology Innovation Society, Vol. 2, No. 2, 1999.
- [5] Park, J., Eom, J. K., & Lee, J., Priority Decision Making for Planning A Long-term Sustainable High-speed Rail Network using Multi-Attribute Utility Theory, Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 11, No. 1, 2008.
- [6] Park, J., Jo, H., Kim, M., & Kim, S., A Study of Strategy for Spread of Green IT, The Journal of Society for e-Business Studies, Vol. 17, No. 2, 2012.
- [7] Lee, J.-H., Won, J.-W., & Kim, Y.-K., A Study on the Construction of the Intergrated Platforms for the Railway IT

- Convergence, Proceedings on the 2010 spring conference of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 2010.
- [8] Chang, T.-W., Na, D.-G., & Koo, H., Employment Strategy of Information Technology for Postal Mail Acceptance Service, The Journal of Society for e-Business Studies, Vol. 18, No. 2, 2009.
- [9] National IT Industry Promotion Agency, Field survey on the status of IT-industry convergence, 2009.
- [10] Korea Energy Economics Institute, 2008 Energy Consumption Survey, Ministry of Knowledge Economy, 2008.
- [11] National Railroad Administration, Korea Railroad Research Institute, Whitepaper of Railroad Technology, 2002.
- [12] Ha, J. & Lee, S. B., Development and policy implication of IT convergence industries, Korea Institute for Industrial Economics & Trade Policy Information p. 171, 2012.
- [13] Korea Development Institute, Supplements to the general guideline for feasibility study, 2004.
- [14] Korea Institute for Advancement of Technology, 2010 Roadmap of original technologies for industry convergence, 2010.
- [15] Korea Railroad Research Institute, Planning of u-Rail system development, Ministry of Land, Transportation & Maritime Affairs, 2008.
- [16] Korea Rolling Stock Industries Association, <http://www.korsia.or.kr/>.
- [17] Han, E. S., Kim, T. W., Key, Y. M., & Hong, S. T., Development Simulation of Emerging IT Convergence Technologies, Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 25, No. 1, 2010.
- [18] Dorf, R. C., Technology Ventures, McGraw-Hill, 2008
- [19] Keeney, R. L. & Raiffa, H., Decisions with Multiple Objectives : Preferences and Value Tradeoffs, Wiley, New York, NY., 1993.
- [20] National Institute of Health, <http://www.nih.gov>.
- [21] TRIP(Transport Research & Innovation Portal), <http://www.transport-research.info>.

저 자 소 개



장태우
1995년
1997년
2004년
2002년~2007년
2007년~현재
관심분야

(E-mail : keenbee@kgu.ac.kr)
서울대학교 산업공학과 (학사)
서울대학교 산업공학과 (석사)
서울대학교 산업공학과 (박사)
한국전자통신연구원 연구원/선임연구원
경기대학교 산업경영공학과 부교수
시스템공학, 정보시스템, 우편/물류/SCM



이홍주

2010년~현재
관심분야

(E-mail : blue1024@kyonggi.ac.kr)
Carnegie Mellon University, School of Computer Science
연세대학교 정보산업공학과 (박사)
서울대학교/서강대학교 연구교수
경기대학교 산업경영공학과 조교수
신기술 비즈니스 모델 개발, 벤처창업, 금융경제학



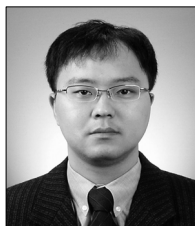
이준호
1983년
1989년
1998년
1998년~2005년
2005년~현재
관심분야

(E-mail : jhlee77@krri.re.kr)
광운대학교 전기공학과 (학사)
광운대학교 전기공학과 (석사)
일본 Kanazawa 국립대학교 (Ph.D.)
미국 Univ. of Virginia 기계항공공학과 연구원
한국철도기술연구원 선임연구원
IT융복합기술, 자기부상제어, 에너지저장시스템,
기계시스템제어



원중운
1996년
1998년
2004년
2003년~2005년
2005년~현재
관심분야

(E-mail : juwon@krri.re.kr)
한국해양대학교 제어계측공학과 (학사)
한국해양대학교 제어계측공학과 (석사)
경북대학교 전자공학과 (박사)
한국전자통신연구원 연구원
한국철도기술연구원 선임연구원
IT융복합기술, AIDC, 증강현실, 영상신호처리



이 석
1995년
1997년
2002년
2003년~2005년
2005년~현재
관심분야

(E-mail : slee@krri.re.kr)
성균관대학교 산업공학과 (학사)
한국과학기술원 산업공학과 (석사)
한국과학기술연구원 산업공학과 (박사)
한국전자통신연구원 선임연구원
한국철도기술연구원 선임연구원
물류시스템 효율화, 물류표준화, 철도물류기술,
생산관리, IT융복합기술