Journal of The Korea Society of Computer and Information
Vol. 23 No. 11, pp. 193-201, November 2018
www.ksci.re.kr
https://doi.org/10.9708/jksci.2018.23.11.193

# The Strategy of Wireless Power Transfer for Light Rail Transit By Core Technologies Analysis Based on Text Mining

Xiang-Yu Meng*, Young-Jae Han**, Soo-Min Eum*, Sung-Won Cho*

## Abstract

In this paper, we extracted relevant patent data and conducted statistical analysis to understand the technical development trend related to Wireless Power Transfer (WPT) for Light Rail Transit (LRT). Recently, with the development of WPT technologies, the Light Rail Transit (LRT) industry is concentrating on applying WPT to the power supply system of trains because of their advantages compared wired counterpart, such as low maintenance cost and high stability. This technology is divided into three areas: wireless feeding and collecting technology, high-frequency power converter technology and orbital and infrastructure technology. From each specific area, key words in patent document were extracted by TF-IDF method and analyzed by social network. In the keyword network, core word of each specific technology were extracted according to their degree centrality. Then, the multi-word phrases were also built to represent the concept of core technologies. Finally, based on the analysis results, the development strategies for each specifics technical area of WPT in LRT filed will be provided.

▸Keyword: Wireless power transfer, Light rail transit, Text mining, Core technologies analysis

## I. Introduction

최근 산업계에서 큰 이슈로 부상하고 있는 철도차량용 무선전력전송 기술은 차량에 전력을 전송하기 위하여 선의 사용 없이 지상과 차상에 설치되어 있는 코일을 통해 전력을 유도하는 기술이다. 무선전력전송 기술은 접촉식 전력공급시스템보다 건설비 및 유지보수 비용이 저렴하고 신뢰성 및 안전성이 높으며, 환경 친화성을 향상시킬 수 있으므로 미래교통시스템의 전력공급 솔루션이 될 것으로 전망된다. 또한, 무선전력전송 기술은 미래 사회 실현을 위한 전파분야의 핵심기술로서 철도뿐 아니라, 우주항공, 자동차, 선박, 모바일 및 전자기기, 로봇 등에 활용될 수 있는 매우 큰 파급효과를 지닌 기술이다. 이러한 무선전력전송 기술을 경전철에 적용하기 위하여 국내에서도 대용량 무선전력전송시스템을 연구 개발하고 이를 차량에 적용하는 연구를 수행 중이며, 향후 다양한 산업분야에 적용하기 위해 지속적으로 연구개발을 진행하고 있다.

이에 따라, 경전철용 무선전력전송 기술의 트렌드를 파악하여 중심기술을 분석하는 것은 국내 다양한 산업분야에 미래 방향성을 제시하고 실용화 방안을 마련할 수 있는 중요한 기틀을 형성하기 위해 반드시 필요하다.

이에 본 연구는 국내외 경전철용 무선전력전송 기술 시장의 동향을 조사하여 기술 발전 트렌드를 파악하고, 이를 토대로 키워드를 추출하여 특허 동향을 분석하고, 키워드 간 연관성 규명을 통해 중심기술을 정의한다. 궁극적으로, 중심기술 기반의 기술로드맵을 도출하고 이를 통해 경전철용 무선전력전송 기술

• First Author: Xiang-Yu Meng, Corresponding Author: Young-Jae Han
*Xiang-Yu Meng (mengxiangyu@korea.ac.kr), Dept. of Industrial Management Engineering, Korea University
**Young-Jae Han (yjhan@krri.re.kr), Railroad Type Approval Team, Korea Railroad Research Institute
*Soo-Min Eum (su9364@korea.ac.kr), Dept. of Industrial Management Engineering, Korea University
*Sung-Won Cho (speargungnir@korea.ac.kr), Dept. of Industrial Management Engineering, Korea University
• Received: 2018. 10. 19, Revised: 2018. 11. 15, Accepted: 2018. 11. 16.
• This research was supported by "Development on the Interface Technologies of Wireless Power Transfer System for LRT (Light Rail Transit)" of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport(17RTRP-B097052-03)

개발 전략을 제시함으로써 국내 경전철용 무선전력전송 기술의 연구개발에 시사점을 제시하는 데 기여하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 경전철용 무선전력전송 기술에 대해서 설명하여 국내외 경전철용 무선전력전송 기술의 개발 현황을 조사한다. 3장에서는 경전철용 무선전력전송 기술의 특허 동향을 분석하고 이를 토대로 사회네트워크분석을 이용하여 경전철용 무선전력전송 세부 기술별의 중심기술을 도출하며 관련한 개발 전략을 제안한다. 마지막으로 4장에서 결론을 통해 본 논문을 마친다.

# II. Preliminaries

## 1. Related Researches of WPT for LRT

### 1.1 The Wireless Power Transfer Technology

무선전력전송(Wireless Power Transfer; WPT) 기술은 크게 방사방식(Radiative)과 비방사방식(Non radiative)으로 나뉜다. 첫째, 방사방식은 전자파를 사용하여 장거리(Km 범위)에 전력을 전송하고, 안테나에서 방출되는 전력은 진공 또는 공기 매체를 통해 전파된다. 둘째, 비방사방식은 단거리에서 중거리까지의 에너지 전달에 적용되며, 근거리 유도결합 혹은 자기공명 결합 매커니즘을 사용하는 니콜라 테슬라(Nikola Tesla)의 원리를 기반으로 한다.[1][2]

유도성 무선전력전송(WPT) 기술의 충전 원리는 유도장치인 인덕터(Inductor)의 두 부분에 있다[2]. 첫 번째는 1차 권선의 역할을 하고, 나머지는 변압기의 2차 권선의 역할을 한다. 충전기는 저주파 교류전원을 고주파로 변환해주는 역할을 하며, 고주파는 충전기에서 보조 측으로 전송된 다음 직류전원으로 변환되어 배터리 팩으로 공급된다.

WPT의 기본 개념은 크게 작동 회로와 구동 회로간의 유도결합, 진동변압기 그리고 개방회로 용량으로 이루어져 있다.[2]

무선전력전송 기술 분류는 문헌 고찰, 선행연구 및 해당기술 개발 프로세스에 관한 R&D보고서를 통해 도출되었다. 그 결과, 소/대용량 무선전력전송 및 집전시스템, 근거리 및 원거리 무선전력전송시스템, 고주파 전력변환시스템, 고주파 변압시스템, 에너지저장 시스템 등의 여러 원천기술로 분류되는 것을 알 수 있다.

### 1.2 The WPT System for LRT

경전철 차량용 대용량 고주파 무선전력전송 시스템을 구성하기 위해 일반적으로 전력 변환을 위한 인버터, 지상의 급전선, 급전선에서 발생하는 자장에 대응하여 발생하는 역기전력을 이용하여 전력을 집전하기 위한 집전 모듈로 구성된다. 또한 무선전력전송 시스템에서는 지상의 급전선과 지상의 집전 모듈간의 전력 전달 효율을 향상시키기 위하여 매우 높은 주파수를 발생 할 수 있는 인버터를 채용한다. 차량의 부하 변동에 대응하여 집전 모듈의 출력 전압을 일정하게 조절하기 위한 전압조절 장치가 필요한 경우도 있다.[3]

본 논문은 경전철용 무선전력전송 기술에 대한 특허를 무선급전/집전 기술(Wireless Feeding and Collecting Technology), 고주파 전력변환장치 기술(High-frequency power converter Technology), 궤도 및 인프라 기술(Orbital and Infrastructure Technology)로 구분하여 분석하였다. 다른 차량시스템과 다르게 무선전력전송과 관련하여 무선전력전송, 집전, 전력변환장치, 인프라 기술 등이 타 기술에 비하여 중요한 기술이기 때문이다. 차량시스템과 관련된 다른 특허의 경우에는 대부분 제동장치, 대차 등도 세부기술에 포함되었으나, 본 연구에서는 무선전력전송과 관련된 핵심기술에 중점을 두고 기술을 분류하였다. 각 기술 그룹은 여러 종류의 키워드로 구성되어 있으며, 기술동향, 사례 및 선행연구 분석을 통해 추출 및 통합되었다.

### 1.3 Market Trends of Korea and Worldwide

국내 대전력 무선전력전송은 KAIST의 온라인 버스기술을 시작으로 크게 발전하고 있다. 2009년 7월, KAIST는 공진형 자기유도 기술을 적용하여 기존의 자동차를 개조·제작한 온라인 전기버스 실험 모델을 개발하였다. 이어서 2013년 2월, KAIST와 한국철도기술연구원은 충북 오송 무가선트램 전용시험선에서 대전력 무선전력전송 단위모듈 시험을 공개했으며 대용량 고주파(60kHz, 180kW) 무선전력전송 원천기술을 세계 최초로 확보하였다. 그 후에 2014년 5월, 한국철도기술연구원은 대용량 고주파(60kHz, 1MW급) 무선전력전송 기술을 세계 최초로 고속열차에 적용하는 시험을 의왕시 철도기술연구원 무선전력전송시험선에서 성공하였다. 또한, 무선전력전송 기술을 실용화하기 위해 광주·대전·창원 등의 지방자치단체들이 기술개발을 통한 새로운 도시철도 건설계획을 수립하고 있다.

해외에서도 철도 무선전력 전송에 관한 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 유럽연합에서는 EVIAC(Electronic Vehicle Inductive Automatic Charging)를 구성하여 전기자동차 및 경량 전철에 활용할 수 있는 유도 급전기술을 공동 개발하고 있다. 독일은 2007년 포르투갈(Portugal)에서 750V급 18kWh 용량의 고밀도 Ni-MH 배터리와 0.85kWh 용량의 슈퍼커패시터(Supercapacitor)를 탑재하는 하이브리드 경전철을 투입하여 프랑스도 최대 1km까지 무가선으로 운행할 수 있는 하이브리드 트램을 니스(Nice)에서 시운전을 성공하였다.

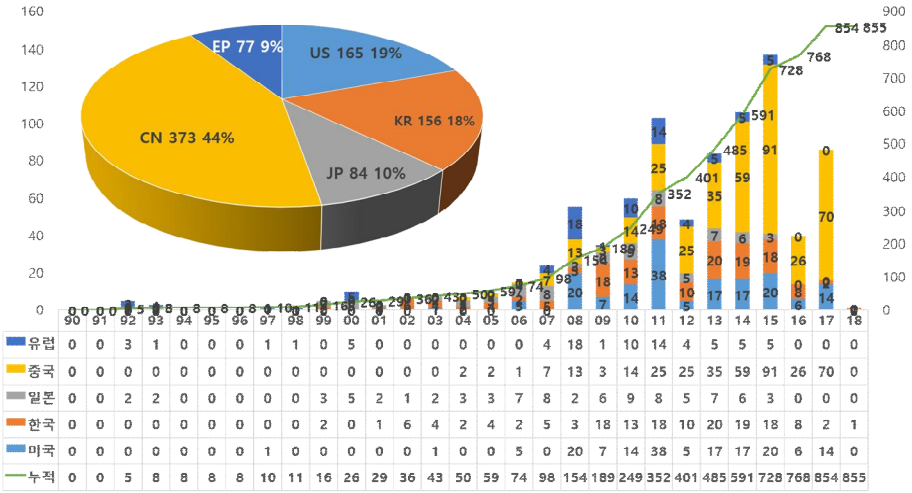
또한, 중국은 2016년 8월 처음 국내산 슈퍼커패시터 트램을 중국 후난성 우한시에서 제조하였으며 그 후에 중국 광저우시에서 투입하였다.

무선전력전송 기술은 철도분야 뿐만 아니라 많은 분야에서 활용될 수 있는 잠재력을 가지고 있으며 올해부터 2025년까지 38.7%의 증가율로 71,213백만 달러의 시장규모가 확대될 것으로 예상된다.[4]

## 2. Research Methods

### 2.1 Patent Keyword Analysis

특허는 출원한 기술을 나타낸 도면인 그림과 한 기술을 설명




| | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 00 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 유럽 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 18 | 1 | 10 | 14 | 4 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 중국 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 7 | 13 | 3 | 14 | 25 | 25 | 35 | 59 | 91 | 26 | 70 | 0 |
| 일본 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 7 | 8 | 2 | 6 | 9 | 8 | 5 | 7 | 6 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 한국 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 6 | 4 | 2 | 4 | 2 | 5 | 3 | 18 | 13 | 18 | 10 | 20 | 19 | 18 | 8 | 2 | 1 |
| 미국 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5 | 0 | 20 | 7 | 14 | 38 | 5 | 17 | 17 | 20 | 6 | 14 | 0 |
| 누적 | 0 | 0 | 5 | 8 | 8 | 8 | 8 | 10 | 11 | 16 | 26 | 29 | 36 | 43 | 50 | 59 | 74 | 98 | 154 | 189 | 249 | 352 | 401 | 485 | 591 | 728 | 768 | 854 | 855 |

Fig. 1. Patent status for each country

한 문자로 구성되며[5] 정부에 의해 제한된 시간 동안 발명자의 독점권을 보호하기 위한 시스템이다. 특허 문서는 특허 번호, 출원일, 발행일, 발명자의 이름, 요약본, 제목, 도면 및 인용 등의 정보를 포함한다. 또한, 특허는 특정 발명이나 기술의 후속 개발의 선도 지표 역할을 담당하여[6] 경제와 기술의 발전 동향을 반영할 수단으로 인식되고 있다.[7-9] 따라서 표준적이며 객관적인 특허정보는 기술 발전수준이나 혁신의 동향과 흐름을 분석하는 데에 유익하게 활용된다.[10][11]

또한, 키워드는 문서의 요약 및 압축된 비전으로 간주할 수 있으므로 키워드 추출이 문서 검색, 웹 페이지 검색, 문서 클러스터링 및 요약과 같은 많은 텍스트 마이닝 관련 작업에 중요한 기술이다.[12] 따라서, 키워드 기반의 특허 분석은 각 특허가 담고 있는 기술정보를 키워드 통해 파악하는 것이다. 여기서 특허문서는 구조화 되지 않는 자연어로 구성되어 있으며 정량적 분석이 어렵기 때문에, 텍스트 마이닝과 같은 전처리 프로세스를 통해 분석이 가능한 구조화 데이터로 변환해야 한다. 본 연구는 특허의 초록을 이용하여 분석이 가능한 데이터 구조 중의 하나인 특허-키워드행렬(Patent-keyword Matrix)로 구성하였으며 행렬의 각 행(Row)은 검색된 특허를 나타내고 각 열(Column)은 특허에서 추출된 키워드를 나타낸다. 또한, 이 행렬의 원소는 각 특허문서 내에 포함된 특정 키워드의 빈도를 나타낸다.

### 2.2 Social Network Analysis

사회네트워크분석(Social Network Analysis; SNA)은 사람, 조직, 사물 등 의사소통집단 내 개체들 간의 상호작용에 관심을 두고, 개체 간의 관계를 네트워크로 형성하여, 네트워크의 구조를 계량적으로 파악하며 시각적으로 표현하는 분석기법이다.[13] 이는 최근 사회과학, 경영학, 응용과학 등 다양한 학문 분야에서 응용되고 있다. 본 연구에서는 사화네트워크분석 기법과 키워드 분석을 복합적으로 연계하여 키워드 네트워크분석 기법으로 특허 문서에서 출현하는 단어와 단어 사이의 관계를 도출한다. 즉, 특허문서에서 수집된 키워드는 단어 간의 상관관계를 토대로 인접행렬을 구성하여 SNA그래프를 통해 시각화 작업을 수행한다.[14]

또한, 사회네트워크분석에서 네트워크 연결구조의 특성을 파악하기 위해 네트워크 밀도(Density), 중심성(Centrality) 및 집중도(Centralization) 등의 측정 지표를 사용한다.[15] 밀도는 네트워크에서 노드 간의 전반적인 연결정도를 나타내며, 밀도가 높은 네트워크는 정보의 교류가 활성화되어 응집력(cohesion)이 높다는 뜻으로 의미한다. 중심성은 한 노드가 네트워크의 중심에 위치하는 정도를 측정하는 지표로 주로 연결중심성(Degree centrality), 근접중심성(Closeness centrality), 매개중심성(Between centrality)이 있다.[16]

연결중심성은 한 노드에 직접적으로 연결되어 있는 노드의 개수로 측정되며 연결된 노드의 수가 많을 수로 연결중심성이 높아진다. 근접중심성은 한 노드가 다른 노드들과 얼마만큼 가깝게 있는지를 나타나하는 것으로 한 노드에서 다른 노드로 도달하기 위해 필요한 거리(distance)가 핵심 개념이다. 매개중심성은 네트워크에서 특정 노드가 담당하는 매개자 역할의 정도를 측정하는 지표로, 한 노드가 연결네트워크 내의 다른 노드들 사이의 최다 연결 위에 위치할수록 매개 중심성이 높아진다.[17] 또한, 키워드 네트워크를 분석할 때 연결 중심성이 높은 키워드는 다른 키워드와 공통으로 연구되는 빈도가 높으며, 최근 키워드 네트워크 분석에서 가장 많이 사용되는 중심도 지표이므로, 본 연구는 연결중심성을 이용하여 경전철용 무선전력전송 기술의 세부 기술별로 중심기술을 도출하고자 한다.

## III. Patent Trend Analysis of WPT for LRT

### 1. Patent Registration Status of WPT for LRT

#### 1.1 Patent Data Collection

특허정보는 Wipson DB를 통해 1990년부터 2018년 5월까지 한국, 미국, 유럽, 중국, 일본에 출원 및 등록된 특허들을 대상으로

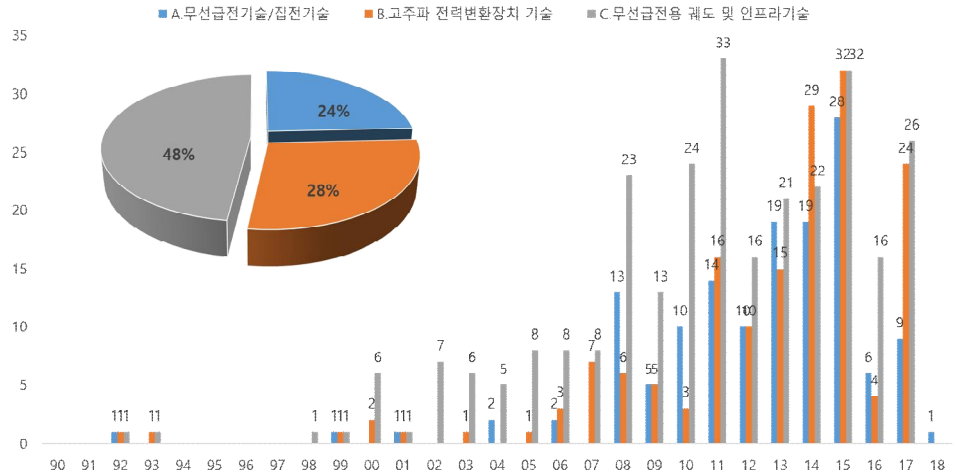



Fig. 2. Patent status for each technology category

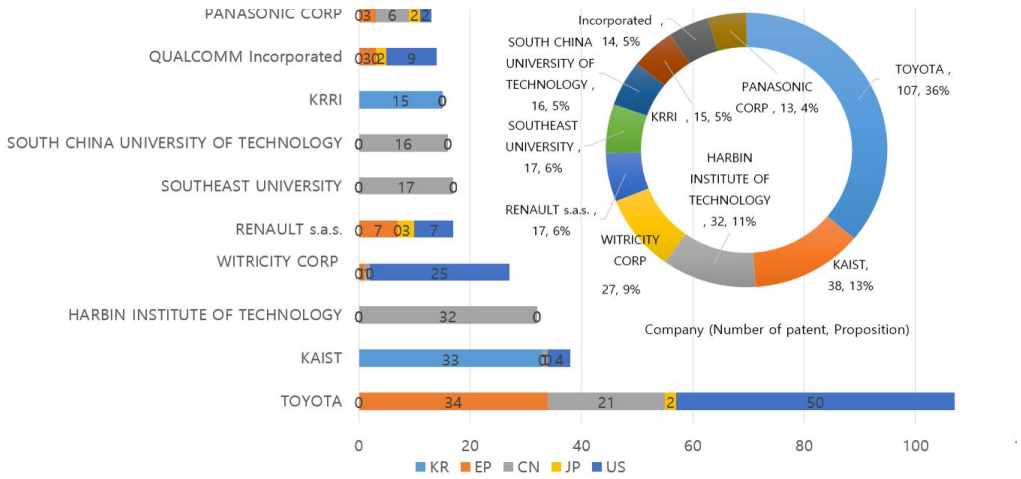



Fig. 3. Patent status for main applicants

추출하였으며, 검색 조합식은 선행연구 논문 및 R&D 보고서를 토대로 철도차량에 관련된 무선전력전송기술 관련 특허가 검색되도록 작성하였다. 추출된 총 1,453건의 특허데이터 중 유효특허선별 과정을 거쳐 총 855건의 특허를 토대로 분석을 시행하였다.

### 1.2 Patent Registration Trend by Year and Country

국가별 특허 출원 현황을 살펴본 결과, 국가별로는 중국이 44%로 최다 출원국이며, 미국(19%), 한국(18%), 일본(10%), 유럽(9%)의 순으로 출원되고 있다.

연도별 특허 출원 추세는 모든 국가가 2008년 이후 특허가 급격하게 증가하고 있으며, 특히 최다 출원국인 중국은 약 97%의 특허가 2008년 이후 출원되고 있는 등 기술 성장세가 급격하게 나타나고 있다. 이는 미국 MIT(Massachusetts Institute of Technology)연구진이 2007년도에 세계 최초로 자기공진방식에 의한 무선전력전송을 통해 2m 거리 간의 60W 백열전구로 급전한다는 시험을 성공하였으며, 그 이후에 많은 분야는 관련된 기술에 본격적인 투자를 시작하면서 철도용 무선전력전송 기술과 관련된 기술 개발도 촉진하였기 때문임을 알 수 있다.[18]

우리나라의 경우, 특허 건수는 중국이나 미국에 비해 적지만, 2009년 이후 80% 이상의 특허를 출원하여 최근 관련 분야의 관심이 증가하고 있다고 판단할 수 있다.

### 1.3 Main Applicants Analysis

특허 출원 개수 상위 10개의 출원인을 분석해 보면 Fig 2와 같이 전기자동차 개발/생산업체인 일본의 TOYOTA, 무선전력전송 기술을 보유한 한국의 KAIST, 중국의 HIT(HARBIN INSTITUTE of Technology), 미국의 Witricity 등이 많은 특허를 보유하고 있다.

또한, 한국과 중국의 경우에는 기업보다 연구기관 및 대학에서 활발한 특허 활동을 하고 있으며 무선전력전송 기술은 산업계 중심의 서비스기술보다 대학 및 연구소 중심의 원천 기술개발이 이루어지고 있다.

### 1.4 Patent Registration Trend by Specific Area

Fig 3을 보면 전체 특허건 중 무선전력전송용 궤도 및 인프라기술, 고주파 전력변환장치 기술과 관련된 특허가 각각 48%와 28%로 많은 비중을 차지하고 있으며, 관련 기술의 연구개발이 활발히 진행되고 있는 것을 알 수 있다. 무선급전/집전 기술 분야는 다른 기술에 비해 특허 건수는 적은 편이지만, 2009년 이후 특허가 급증하고 있어 최근 관심이 증가하고 있는 분야임을 알 수 있다.

## 2. Core Technologies Analysis Based on Text Mining

### 2.1 Keyword Extraction Using TF-IDF

본 연구에서는 특허정보 중 초록문서를 활용하여 키워드를 추출하였다. 키워드의 추출단계에서 단어의 출현빈도인 TF(Term Frequence)는 중요한 파라미터지만 TF만을 사용하게 될 경우, 모든 문서에서 공통적으로 많이 출현되는 단어가 가장 중요하게 나오게 되는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 공통적으로 많이 출현되는 수사, 관사 등의 단어를 제거하고, 그 외의 출현빈도가 높은 단어의 중요도를 계산하는 기법인 TF-IDF(Term Frequence-Inverse Document Frequence)를 사용하고자 한다. TF-IDF는 단순 출현빈도를 나타내는 TF에 문서 출현 빈도인 DF를 역으로 곱함으로 문서에서 출현하는 공통적인 단어를 효율적으로 제거할 수 있다.

Table 1. Top20 Keywords based on TF-IDF

| Wireless Feeding and Collecting Technology | High-frequency Power Converter Technology | Orbital and Infrastructure Technology |
|---|---|---|
| selfresonant | selfresonant | selfresonant |
| resonant | resonator | resonator |
| resonance | resonance | adjustment |
| circuit | energy | resonance |
| collector | resonant | circuit |
| connected | antenna | resonant |
| concentrator | battery | antenna |
| energy | control | energy |
| battery | inverter | coupled |
| collecting | winding | radio |
| antenna | coupled | ecu |
| control | transfer | connected |
| resonator | impedance | control |
| online | pad | capacitor |
| generation | coupling | variable |
| coupling | switching | coupling |
| pickup | capacitor | communications |
| sensor | variable | converter |
| transfer | communication | battery |
| positional | andor | wave |

Table 1에서 알 수 있듯이, 텍스트 마이닝 결과 무선급전/집전 기술을 나타내는 Wireless Feeding and Collecting Technology 분야에서는 selfresonant, resonant, resonance, circuit, collector, connected등의 단어가 가장 주요 기술 키워드임을 파악하였고, 고주파 전력변환장치 기술을 나타내는 High-frequency Power Converter Technology 분야에서는 selfresonant, resonator, resonance, energy, resonant, antenna 등의 키워드가, 마지막으로 궤도 및 인프라 기술을 나타내는 Orbital and Infrastructure Technology 분야에서는 selfresonant, resonator, adjustment, resonance, circuit, resonant 등의 키워드가 각 세부 기술군집을 나타내는 주요 키워드임을 파악하였다.

### 2.2 Core Technologies Analysis by SNA

앞선 단계에서 각 세부 기술별 빈도를 통해 주요 키워드를 추출하였다. 위에서 추출된 키워드 간의 상관관계를 분석하여 직접적으로 연관성이 높은 단어들을 도출하고 이를 중심 키워드로 정의하고자 한다. 중심 단어 도출을 위한 척도로는 '연결정도'를 뜻하는 Degree 척도를 사용하며, Degree가 가장 높은 단어가 각 기술을 대표하는 중심단어이다. Degree 척도는 사회네트워크의 중요한 중심성 지표이며 In-Degree와 Out-Degree를 합산한 것으로 연결된 노드들의 수를 뜻한다.

Fig 4는 각 세부기술별의 키워드 네트워크 시각화 결과를 나타낸다. SNA 그래프를 구성하기 위하여 먼저 키워드 간 상관관계를 구하였으며, 이를 토대로 SNA 그래프 작성에 필요한 인접행렬을 구하였다.

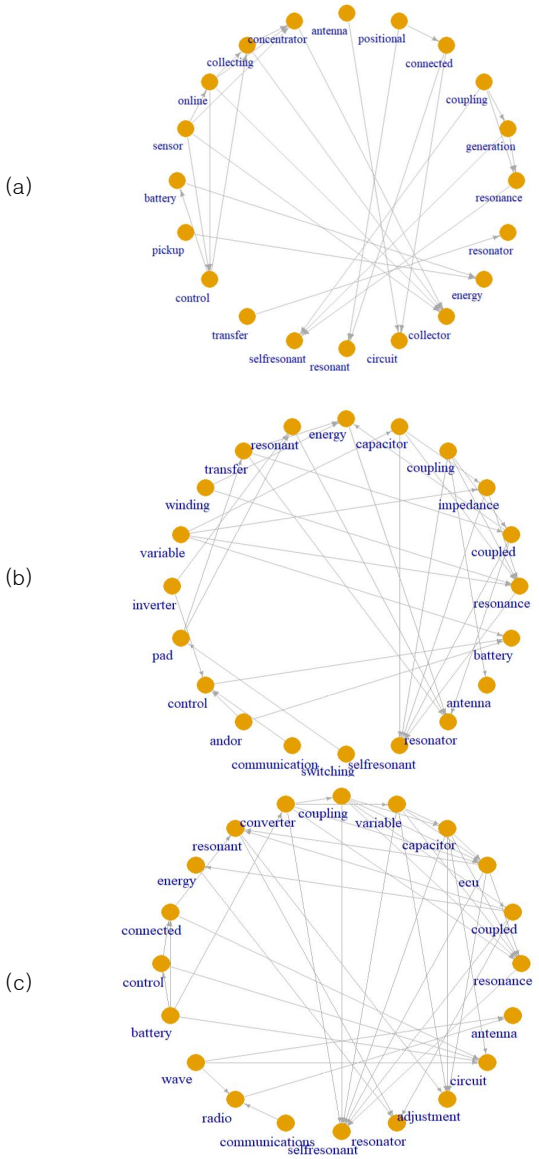



Fig 4. SNA graph by Correlation analysis for each technologies
(a) Wireless Feeding and Collecting Technology
(b) High-frequency Power Converter Technology
(c) Orbital and Infrastructure Technology

최종적으로 인접행렬을 이용한 SNA 그래프를 통하여 경전

철용 무선전력전송의 각 세부기술별 중심단어를 찾았다. Table 2는 Fig 4에서의 SNA 그래프를 통하여 도출된 키워드별 차수(Degree)를 나타낸다.

Table 2 Degree of each keyword using SNA graph

| Wireless Feeding and Collecting Technology | | High-frequency Power Converter Technology | | Orbital and Infrastructure Technology | |
|---|---|---|---|---|---|
| online | 5 | resonance | 6 | ecu | 8 |
| concentrator | 4 | coupled | 5 | capacitor | 7 |
| collecting | 4 | selfresonant | 5 | selfreson-ant | 7 |
| sensor | 4 | impedance | 4 | resonance | 6 |
| control | 4 | coupling | 4 | variable | 6 |
| collector | 4 | capacitor | 4 | coupling | 6 |
| resonance | 3 | energy | 4 | converter | 6 |
| generation | 3 | transfer | 4 | coupled | 5 |
| coupling | 3 | variable | 4 | resonant | 5 |
| connected | 3 | control | 4 | circuit | 5 |
| selfresonant | 3 | resonator | 4 | connected | 4 |
| positional | 2 | resonant | 3 | battery | 4 |
| battery | 2 | pad | 3 | adjustment | 4 |
| resonant | 2 | battery | 3 | control | 3 |
| circuit | 2 | winding | 2 | wave | 3 |
| energy | 2 | inverter | 2 | radio | 3 |
| pickup | 1 | andor | 2 | resonator | 3 |
| transfer | 1 | communic-ation | 1 | energy | 2 |
| resonator | 1 | switching | 1 | antenna | 2 |
| antenna | 1 | antenna | 1 | communi-cations | 1 |

각 키워드의 차수는 해당 키워드와 연결된 다른 키워드의 개수를 의미하기 때문에 차수가 클수록 해당 키워드가 전체 키워드에서 중심적인 역할을 수행하게 된다. 그 결과, Table 2와 같이 Wireless Feeding and Collecting 분야의 중심단어는 “online”이고, High-frequency Power Converter Technology 분야에서는 “resonance”가 중심단어를 담당하며, 마지막으로 Orbital and Infrastructure Technology 분야에서는 Electronic Control Unit을 나타내는 “ecu”가 중심 키워드임을 파악하였다.

### 2.3 Deriving of Core Technologies by Specific Area

하나의 중심 키워드는 각 세부기술의 핵심적인 성격을 대표할 수 있지만, 기술의 개념을 설명할 때 단일의 단어만으로는 의미가 너무 일반적이거나 개념을 표현하기가 모호한 경우가 많다. 이를 해결하기 위해 각 중심 키워드와 관계된 단어들의 상관계수의 평균을 계산하여 이를 넘는 단어만을 채택한 후, 기술의 개념을 설명할 수 있는 “multi-word phrases”를 만들었다. Fig 9는 각 중심 키워드와 상관관계를 형성하는 단어들로 구성하는 그래프이며 키워드 간의 상관계수는 노드를 연결하는 edge로 표시하여 상관관계가 클수록 키워드 간의 edge가 굵다.

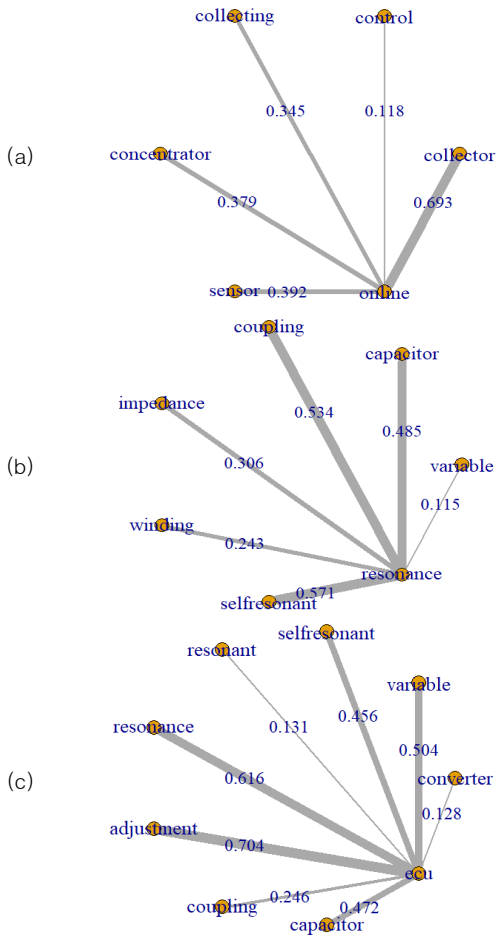



Fig 5. Core word SNA graph for each technologies
(a) Wireless Feeding and Collecting Technology
(b) High-frequency power converter Technology
(c) Orbital and Infrastructure Technology

Table 3. Correlations between Cores and linked words for each technologies

| Analysis items / Technolo-gies | Core word | Linked words | Corre-lation value | Aver-age value |
|---|---|---|---|---|
| Wireless Feeding and Collecting Technology | online | collector | 0.693 | 0.385 |
| | | control | 0.118 | |
| | | collecting | 0.345 | |
| | | concentrator | 0.379 | |
| | | sensor | 0.392 | |
| High-freque-ncy power converter Technology | reso-nance | variable | 0.115 | 0.376 |
| | | capacitor | 0.485 | |
| | | coupling | 0.534 | |
| | | impedance | 0.306 | |
| | | winding | 0.243 | |
| | | selfresonant | 0.571 | |
| Orbital and Infrastructure Technology | ecu | converter | 0.128 | 0.407 |
| | | variable | 0.504 | |
| | | selfresonant | 0.456 | |
| | | resonant | 0.131 | |
| | | resonance | 0.616 | |
| | | adjustment | 0.704 | |
| | | coupling | 0.246 | |
| | | capacitor | 0.472 | |

Wireless Feeding and Collecting 분야의 중심단어 “online”은 “collector”, “control”, “collecting”, “concentrator”, “sensor”와 상관관계가 있으며 상관계수의 평균이 0.385이다. 평균을 넘는 단어를 채택하여 multi-word phrase를 구성하면 “online collector sensor”임을 알 수 있다. 위의 개념과 특허 데이터와 관련한 자료 및 전문가의 의견을 토대로 경전철용 무선전력전송 중심기술에 적용한다면 “online collector and sensor for light rail transit wireless power transfer”를 도출할 수 있다.

High-frequency power converter Technology 분야에서 중심단어인 “resonance”는 “variable”, “capacitor”, “coupling”, “impedance”, “winding”, “self-resonant”와 상관관계를 형성하고 있다. 이러한 단어 간의 평균 상관계수는 0.376이며 multi-word phrase는 “resonance capacitor coupling self-resonant”이다. 마찬가지로 특허데이터와 관련한 보고서를 통해 최종적으로 “resonant capacitor, self-resonant coil in wireless power transmission using resonant inductive coupling”을 도출할 수 있다.

Orbital and Infrastructure Technology 분야의 중심단어인 “ecu”는 “converter”, “variable”, “self-resonant”, “resonant”, “resonance”, “adjustment”, “coupling”, “capacitor”와 상관관계가 존재하며 상관계수의 평균이 0.407이다. 상관계수의 평균이 넘는 단어를 채택하여 multi-word phrase를 구성하면 “ecu adjustment resonance variable capacitor self-resonant ”이다. 이를 통해 무선전력전송용 궤도 및 인프라 기술에서 “Wireless power transmission based on ECU adjustment controller(variable capacitor, self-resonant coil)”를 중심기술로 도출하였다.

## 3. Development Strategy of WPT for LRT

### 3.1 Online Collector and Sensor for WPT of LRT

철도차량에 지속적으로 안정된 전력을 공급하기 위해 집전 단계에서 전류의 전압 시스템, 커패시터, 전류회로의 고장 등을 실시간으로 모니터링 하는 것은 매우 중요하다. 특히, 철도와 같이 한번 작동이 중지됨으로써 파급되는 효과가 큰 운송수단의 상태 이상은 많은 이해관계자에게 치명적인 결과를 초래하게 된다. 또한, 온라인 집전 단계에서 다양한 감지 기능을 수행하는 센서는 철도차량에서 온라인 커뮤니케이션의 매개 역할을 담당하여 각 부품의 전력 데이터를 수시로 급전 모듈로 전달하고, 이를 통해 반대로 급전 모듈은 각 충전기기로 전력을 공급한다. 최근에 배터리가 없는 센서를 무선급전 시스템에 투입하는 추세이며 이러한 센서는 전력 데이터를 전송하는 동시에 무선전력전송을 통해 충전하는 것이 가능하다.

### 3.2 Resonant Capacitor, Self-Resonant Coil in WPT Using Resonant Inductive Coupling

무선전력전송 기술은 크게 자기유도방식과 자기공진방식으로 구분될 수 있으며 자기유도방식은 이미 스마트기기 충전, 무선면도기, 전동치술 등의 분야에서 상용화 되었지만, 송수신 코일이 거의 밀착되어야 하며 송수신 코일 간의 거리가 멀어지거나 코일의 중심이 일치하지 않으면 전송효율이 급격하게 떨어지는 단점이 있다.[19] 자기공진방식은 원거리 전력 전송이 가능하여 다중 충전기기의 위치와 관계없이 동시에 전력수신도 가능하므로 철도 차량뿐만 아니라 많은 분야에서 자기공진방식 무선전력전송 기술로 연구를 확장하는 추세이다.

자기공진방식은 소스코일, 수신코일, 2개의 공진코일을 사용하며 공진코일 간의 자기공진에 의해 무선전송이 이루어진다. 철도 차량에 적용할 때 자기공진시스템의 공진주파수와 무선전송효율은 공진코일 간의 거리, 공진코일의 두께, 공진코일 중심 간의 이격거리, 공진코일의 턴 수 등에 따라 다르기 때문에 고주파 전력변환 장치 기술 분야에서 공진코일의 특성에 대한 연구 및 실험이 활발히 진행 되고 있다.[19] 또한, 전력 전송 효율을 높이기 위해 공진코일에 대한 연구는 많이 진행되었지만 공진 커패시터의 개발은 아직 미흡한 단계이다.

철도차량 무선전력전송 시스템에서 급전코일에 걸리는 고전압 스트레스를 낮추기 위해 공진 커패시터는 분산 연결되어 중요한 역할을 수행한다. 공진 커패시터를 선택할 때 전력 손실, 안정성, 전압, 주파수, 셀프 힐링(self healing), 핫스팟 온도 상승, 신뢰성 및 열 관리 등의 요소를 고려 할 수 있다.[20] 공진 커패시터에서 필름 커패시터가 내전압 특성과 높은 임피던스 간의 균형을 유지하여 가격도 저렴하기 때문에 자기공진 무선급전 분야에서 많이 사용된다. 또한, 최근에 MLCCs (Multilayer ceramic chip capacitors)가 개발되었으며 필름 커패시터의 특성과 가까워 무선전력전송 차량이나 산업설비 등에 도입되는 수요가 지속적으로 상승하고 있다.[21]

### 3.3 WPT Based on ECU Adjustment Controller(Variable Capacitor, Self-Resonant Coil)

ECU는 차량에 사용되는 전자 제어 장치이며 기어 위치센서, 엔진 회전수, 스로틀 위치센서 등 각 센서로 부터 차량 상태의 정보를 입력받아 산술 연산 또는 논리 연산을 수행하여 PCU(Power Control Unit)로 클러치 차단 및 연결 신호를 보낸다. 철도 차량용 무선 급전 시스템에서도 ECU는 통합 제어 역할을 담당하는 장치이다. 전력을 전송할 때 ECU는 무선전력전송 시스템의 작동상황을 두 가지의 레벨로 나누어 관리한다. 상위 레벨은 전력 섹션을 제어하고, 하위 레벨은 전력 컨버터를 제어한다.[22]

ECU는 상위 레벨에서 전력 섹션을 관리하는 데 필요한 정보를 무선 통신 센서를 통해 교류하여 특히 픽업의 출력 전압을 감지해 무선으로 인버터에 피드백함으로써 지상의 인버터로부터 차상 전압을 제어한다. 하위 레벨에서 ECU는 전류기와 DC/DC 컨버터 사이의 전압을 목표 전압으로 전환하기 위해 DC/DC 컨버터를 제어한다. 또한, 전력을 변환할 때 ECU는 variable capacitor를 제어하여 공진코일의 공진 주파수도 조정하고, 공진 코일 간의 위치 불일치 정도도 추정한다. 최근 자기공진을 통해 발생하는 자기전파가 ECU의 데이터 전송 시스템을 방해하는 한계가 있어 이를 위한 해결책이 시급하다.

## IV. Conclusions

최근 무선전력전송 기술의 급격한 발전으로 인해 스마트기기, 무선면도기, 전기 자동차 등의 다양한 산업분야에 적용되고 있다. 마찬가지로 이를 경전철에 적용함으로써 건설비 및 유지보수 비용이 저렴하고, 신뢰성 및 안전성이 높으며, 환경 친화성을 향상시킬 수 있으므로 경전철용 무선전력전송 기술에 대한 연구개발도 활발히 진행되고 있으며, 이에 국내에서도 관련 기술의 R&D를 지속적으로 추진되고 있다.

본 논문에서는 국내 경전철용 무선전력전송 기술 분야에서 미래 방향성과 실용화 방안 구축을 위한 기술 개발 전략을 제시하기 위해 특허 분석을 통하여 기술발전 트렌드를 파악하고, 세부적인 중심기술을 도출하였다.

분석결과에 따라 중국이 경전철용 무선전력전송 기술 분야에서 가장 활발한 특허활동을 진행하고 있으며, 이어서 미국, 한국, 일본, 유럽의 순으로 출원되고 있고, 2008년 이후 모든 국가의 특허 출원 추세가 급격하게 증가하였다. 이는 세계 최초로 자기공진 방식에 의한 무선전력전송의 원천기술이 개발되었으며, 경전철분야도 활발히 관련 연구로 확장하기 때문이다. 특허의 주요 출원인 분석했을 때, 일본과 미국은 주로 산업체가 관련 연구개발 활동을 진행하고 있으며, 기술의 상용화 단계로 이루어지고 있지만, 우리나라의 경우에는 기업보다 연구기관 및 대학에서 활발한 특허 활동을 하고 있기 때문에, 향후 기술의 상용화를 위한 지속적인 투자와 기술 역량 제고가 필요한 것으로 판단된다.

경전철용 무선전력전송 기술은 크게 무선전력급전/집전 기술, 고주파 전력변환장치 기술, 궤도 및 인프라 기술로 구분할 수 있으며, 관련된 기술 분야에서 무선전력전송 궤도 및 인프라 기술과 고주파 전력변환장치 기술은 가장 큰 비율을 차지하고 있지만 무선전력급전/집전 기술도 2009년 이후 지속적인 개발이 이루어지고 있다. 또한, 각 기술별로 “online”, “resonance”, “ecu”를 중심단어로 추출하였고, 결론적으로 무선센서 기반의 온라인 집전기술, 자기공진 무선전력전송 기반의 공진코일 및 공진커패시터기술, ECU 기반의 무선전력전송 기술이 전략적인 기술개발을 위한 중심기술로 도출되었다. 본 연구 결과를 토대로 향후 경전철용 무선전력전송 기술의 동향을 파악하고 기술 개발 전략으로 활용될 수 있고, 나아가 국내 경전철용 무선전력전송 산업 경쟁력을 향상시키는데 크게 기여할 것으로 판단된다.

## REFERENCES

[1] S. Chhawchharia, S. Sahoo, M. Balamurugan, S. Sulchari, F. Yanine, “Investigation of wireless power transfer applications with a focus on renewable energy”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 91, pp. 888-902, August 2018.

[2] S. Das, K. Pal, P. Goswami, M.A.K. Kerawalla, “Wireless Power Transfer in Electric Vehicles”, International Journal of Applied Environmental Sciences, Volume 13, Number 7, pp. 643-659, January 2018.

[3] Jun-Ho Lee, Byeong-Song Lee, Jae-Hee Kim, Jeong-Shin Myeong, Seung-Hwan Lee, Chan-Bae Park, “A Study on the Configuration of the Wireless Power Transfer System for High Power, The Korean Institute of Electrical Engineers”, pp. 1653-1654 (2 pages), Jul 2014.

[4] Wireless Charging Market by Technology (Inductive, Resonant, Radio Frequency (RF), and Others), and Industry Vertical (Electronics, Automotive, Industrial, Healthcare, and Aerospace & Defense) - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2018-2025, *https://www.alliedmarketresearch.com/wireless-charging-market*

[5] Sunghae Jun, "Technology Forecasting of Intelligent Systems Using Patent Analysis", Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 21, No. 1, pp. 100-105, 2011.

[6] Victor Tang, Biao Huang, “Patent litigation as a leading market indicator”, International Journal of Technology Transfer and Commercialisation, pp. 280-291, January 2002.

[7] Wesley M. Cohen, Richard R. Nelson, John P. Walsh, "Protecting Their Intellectual Assets: Appropriability Conditions and Why Us Manufacturing Firms Patent (Or Not)", NBER Working Paper No. 7552, National Bureau of Economic Research, February 2000.

[8] Richard C. Levin, "Appropriability, r&d spending, and technological performance", The American Economic Review, Vol. 78, No. 2, pp. 424-428 (5 pages), May 1998.

[9] Manuel Trajtenberg, "A penny for your quotes: patent citations and the value of innovations", The Rand Journal of Economics, Vol. 21, No. 1, pp. 172-187 (16 pages), March 1990.

[10] P Almeida, "Knowledge sourcing by foreign multinationals: Patent citation analysis in the US semiconductor industry", Vol.17 (Winter Special Issue), pp. 155-165, Strategic management journal, January 1996.

[11] JO Lanjouw, M Schankerman, "Patent quality and research productivity: Measuring innovation with multiple indicators", The Economic Journal, 114 (April), pp. 441-465, April 2004.

[12] Menaka S, Radha N, “Text Classification using Keyword Extraction Technique”, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Volume 3, Issue 12, December 2013.

[13] Choi, I. Y. and J. K. Kim, “Product Network Analysis to Analyze the Purchase Behavior of Customers”, Journal of The Korean Operations Research and

Management Science Society, Vol.34, No.4, pp. 57-72, December 2009.

[14] Sunghae Jun, "A Big Data Preprocessing using Statistical Text Mining", Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Volume 25, Issue 5, pp. 470-476, October 2015.

[15] D Hansen, B Shneiderman, M Smith , "Analyzing Social Medial Networks: Learning by doing with NodeXL", Computing, Jul 2009.

[16] Jane Cho, "A study for research area of library and information science by network text analysis", Journal of the Korean Society for information Management, Volume 28, Issue, pp. 65-83, December 2011.

[17] Il Young Choi, Young Sung Lee, Jae Kyeong Kim, "A usage Pattern Analysis of the Academic Data base Using Social Network Analysis in K University Library", Journal of the Korean society for information management, Volume 27, Issue 1, pp.25-40, March 2010.

[18] Dinesh Baniya Kshatri, SurendraShrestha, and BhanuShrestha, "A Brief Overview of Wireless Power Transfer Techniques", The Institute of Internet, Broadcasting and Communication 2015 Conference Paper, pp. 163, Yanbian, China, June 2015.

[19] Jongho Choi, Bongsik Jeong, "Characteristic analysis of magnetic resonance coils for wireless power transfer", Journal of Electrical Engineering & Technology, pp. 15 - 17, Seoul, Korea, July 2015.

[20] Michael A. Brubaker, Hugh C. Kirbie, Terry A. Hosking, and Ted Von Kampen, "System Level Considerations for Integration of Resonant Capacitors in High Power Wireless Charging", Conference on Electric Roads & Vehicles, SBE Inc., 81 Parker Road, Barre, Vermont, 05641; (802) 661-3501, America, 2012.

[21] Magnetic Resonance Method of Wireless Power Transfer Technology for Industrial Equipment, Achieves Wireless Power Transfer to Mobile Objects with High Efficiency Can Also Be Used for Rotating Parts Such as a Robot Arm, https://product.tdk.com/info/en/techlibrary/developing/wireless/index.html

[22] Kishore Naik Mude, Paolo Colombo, ssa Luisa Rossetto, Giuseppe Buja, Manuele Bertoluzzo, "Wireless Power Transfer for Electric Vehicle, school of doctoral research in : Industrial Engineering", University of Padova, Italy, 2015.

## Authors

Xiang-Yu Meng received the B.S. degrees in Industrial & Management Engineering from Hanbat National University, Korea, in 2016. Xiang Yu Meng joined the Graduate school of the Department of Industrial Management Engineering from Korea University, Korea, in 2017. He is interested in Logistics Technology Management, Text Mining, and Supply Chain Management.

Young-Jae Han received the Ph.D. degrees in Electrical Engineering from Hongik University. In also, he received the Ph.D. degrees in Technology Management from Korea University.He is currently an principal researcher in Korea Railroad Research Institute. His research interests are technology management, system engineering, train vehicle system, test evaluation, and patent analysis.

Soo-Min Eum received the B.S. degrees in Department of Information Statistics and Division of Industrial Management Engineering Major from Korea University, Korea, in 2017.Now Studying for a master degree at Korea University During the school period, the main research interests are in Big data analysis and text mining.

Sung-Won Cho received the B.S. degrees in School of Air Transport, Transportation, Logistics And Air & space Law, Logistics Major from Korea Aerospace University, Korea, in 2016.He is currently the integrated degree of M.S. and Ph.D. in Dpt. of Industrial Management Engineering from Korea University, South Korea. He is interested in Transportation Logistics, Supply Chain Management, and Operations Research.