

2장 환경분석 및 대응전략

1절 기술동향 분석

1. 기술 분류

표 2.1.1 기술분류

대분류 (영문)	중분류, 소분류 (영문)	키워드 (영문)
터널 미기압파 저감 대책 기 술 (technologies for reduction measures of micro-pressur e wave radiating from tunnel exit)	1. 철도 터널 미기압파 기술	터널, tunnel, 철도, 고속철도, rail, railway, 열차, 기차, train, 미기압, 미기압파, micropressure, micro-pressure, 압력파, 압축파, 풍압, 바람, (wind) pressure wave, compression wave, compressive wave, 소닉, sonic, 붐, boom, 격벽, partition, 충격, bang, shock, impact, 진동, vibration, 소음, 노이즈, noise, 완충, 완화, 경감, 저감, 흡수, buffer, reduce, decrease, absorption, 후드, hood, 입구, entrance, 통풍, 통공, 원충공, hole, 에어 샤프트, air shaft, 창, 창문, window, 슬릿, slit, 덕트, duct, 멤브레인, 막, membrane, 사갱, side branch, 열차주행 시험기, moving model rig, tunnel rubbing simulator, 압력 경감 샤프트, Pressure relief shafts, 열차 전두부 형상, train nose shape, 터널 충격 흡수, tunnel Shock absorbing, tunnel shock absorber, 터널 충격 흡수 구조, tunnel shock absorbing construction, 소닉 붐 구조, sonic boom structure, 터널 경감, tunnel buffer, 터널 후드, Tunnel hood
	2. 철도 터널 흡음/방음 기술	방음계도, 방음매트, 흡음블럭, 방음블럭, mat for sound proofing, track sound absorber, sound absorption block, sound absorption block, acoustical louver, absorber of track bed
	3. TEST BED의 원격 모니터링 시스템 설계	Test-Bed 계측 시스템, 중앙 원격 모니터링 시스템 Measurement system of test Bed, (Remote control monitoring system of measurements

2. 국내외 논문분석

가. 논문분석 범위

2.1.2 논문 분석 기준

분	분석 기준
DB	Web of Science, Thomson Innovation
분석구간	1990.01.01.~2014.11.28.
검색범위	Title, Abstract

나. 기술분류 및 검색 조합식

표 2.1.3 논문 검색 조합식

	검색 조합식	검색 논문	관련 논문
A기술 (철도 터널 미기압파)	ALL=((tunnel) AND ALL=((micro*pressur* or (sonic near2 boom) or (moving and model and rig) or hood or (shock near absorb*) or air*shaft or (compress* near2 wave) or (micro* near2 pressur*) or ((wind* or air) near2 (pressur* or wave*)))) AND ALL=((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock)))):	116	81
B기술 (철도 터널 흡음/방음 기술)	(ALL=(tunnel) AND ALL=((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock)))) AND (ALL=((noise or sound or acoustic*) and (proof* or absorb* or absorpt* or louver or mat)))):	5	3
C기술 (TEST BED의 원격 모니터링 시스템 설 계)	(TI=(tunnel or track) AND ALL=((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock)))) AND (TI=((monitor* or measur* or detect* or meter* or estimat* or evaluat* or apprais* or assess* or gaug* or check or sens*)))	176	75

다. 미기압파 저감후드분야 논문기술동향

(1) 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재저널 동향

- 터널 미기압파 저감 후드 분야 논문 추이를 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 159건의 관련 논문이 발표되고 있으며, 일부 증감이 있지만 대체적으로 1990년대 후반부터 증가하는 추세를 나타내고 있음.
- 철도 터널 미기압파 기술(A기술) 분야의 논문이 많이 발표되고 있으며, 저널별로는 ACADEMIC PRESS LTD ELSEVIER SCIENCE LTD, PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD, LSEVIER SCI LTD, PROFESSIONAL ENGINEERING PUBLISHING LTD 등 유럽, 미국의 저널에서 많은 논문이 발표되고 있음.

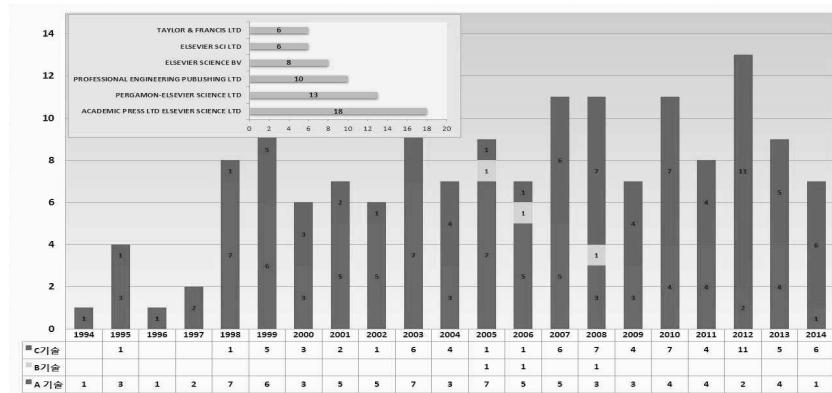
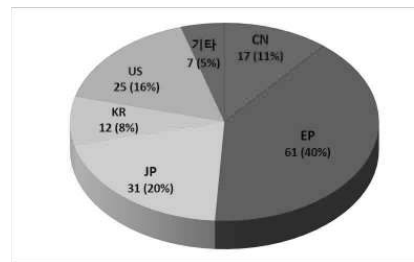


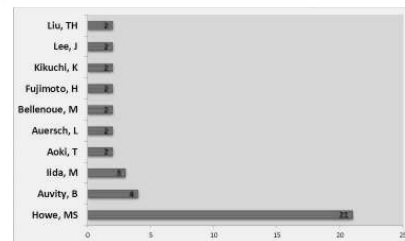
그림 2.1.1 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널

(2) 국가별, 주요연구기관, 주요저자 분석

- 터널 미기압과 저감 후드 분야 논문은 특허와 달리 유럽의 기관에서 많이 발표(40%)되고 있으며, 한국도 약간의 논문 실적이 발표(8%)되고 있는 상황임.
- 또한, 논문 발표 주요저자를 살펴보면, Howe, MS 교수(미국 Boston Univ)가 21건으로 가장 많이 발표한 것으로 나타남.



2.1.2 논문 발표 주요 국가



2.1.3 논문 발표 주요 저자

- 이 분야 최다 연구기관은 미국 Boston Univ가 24건의 논문으로 가장 발표가 많고, 다음으로 일본의 RTRI(Railway Technology Research Institute)로 8건의 논문을 발표하고 있어 해당분야를 선도하고 있음을 알 수 있음.

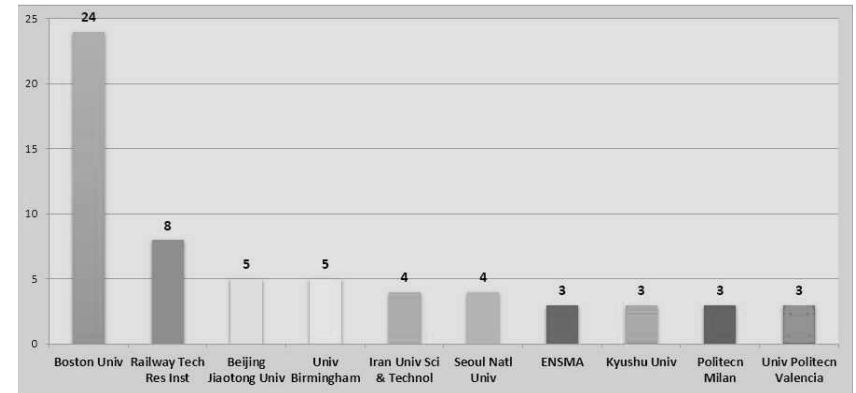


그림 2.1.4 논문 발표 주요 연구기관

(3) 주요 핵심논문 분석

(3-1) 주요 핵심논문 현황

- 고속철도에서의 철도차량-궤도-노반의 지반 진동의 상관관계 및 측정 연구와 관련된 Auersch, L (독일 Bundesanstalt Mat Forsch & Prufung)의 논문이 피인용 79건으로 가장 많음.
- 기타 소음 저감(Noise Control) 등과 관련된 논문이 피인용수가 높은 것으로 보아 관련 내용이 핵심 연구 분야임을 알 수 있음.

표 2.1.4 주요 피인용 논문 현황

	논문제목	저널명	발표년도	피인용수
1	The excitation of ground vibration by rail traffic: theory of vehicle-track-soil interaction and measurements on high-speed lines	ACADEMIC PRESS LTD ELSEVIER SCIENCE LTD	2005	79
2	Aerodynamics of high-speed railway train	PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD	2002	69
3	Theoretical and experimental investigation of the compression wave generated by a train entering a tunnel with a flared portal	CAMBRIDGE UNIV PRESS	2000	33
4	TRACK DYNAMIC BEHAVIOR AT HIGH-FREQUENCIES .1. THEORETICAL-MODELS AND LABORATORY	SWETS ZEITLINGER BV	1995	33

	논문제목	저널명	발표년도	피인용수
	MEASUREMENTS			
5	Numerical investigation of three-dimensional compressible flows induced by a train moving into a tunnel	PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD	1997	32
6	The compression wave produced by a high-speed train entering a tunnel	ROYAL SOC	1998	31
7	Composite real-time image processing for railways track profile measurement	IEEE-INST ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERS INC	2000	31
8	Impulse noise and its control	PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD	1998	24
9	Fault detection and diagnosis for railway track circuits using neuro-fuzzy systems	PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD	2008	23
10	Acoustic resonances and trapped modes in pipes and tunnels	CAMBRIDGE UNIV PRESS	2008	19

○ 최근 3년 내 발표 논문 중 피인용수가 높은 논문(Hot Paper)을 보면 피인용이 높은 논문과 마찬가지로 철도 궤도에서의 진동 측정(measurement)에 관한 연구내용이 주로 발표되고 있어 관련 분야 연구가 최근 주목받고 있는 분야임을 알 수 있음.

표 2.1.5 3년 내 발표논문 중 피인용수 높은 논문(Hot Paper) 현황

번호	논문제목	저널명	발표년도	피인용수
1	Field Assessment of the Performance of a Ballasted Rail Track with and without Geosynthetics	ASCE-AMER SOC CIVIL ENGINEERS	2010	16
2	Measurement of Distributed Antenna Systems at 2.4 GHz in a Realistic Subway Tunnel Environment	IEEE-INST ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERS INC	2012	14
3	Track-ground vibrations induced by railway traffic: In-situ measurements and validation of a 2.5D FEM-BEM model	ELSEVIER SCI LTD	2012	11
4	Optimal cross-sectional area distribution of a high-speed train nose to minimize the tunnel micro-pressure wave	SPRINGER	2010	8
5	Timetabling optimization of a single railway track line with sensitivity analysis	SPRINGER	2009	6
6	A delay estimation technique for single and double-track railroads	PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD	2010	5

번호	논문제목	저널명	발표년도	피인용수
7	Field monitoring on the train-induced vibration response of track structure in the Beiliuhe permafrost region along Qinghai-Tibet railway in China	ELSEVIER SCIENCE BV	2010	5
8	Theoretical and experimental excitation force spectra for railway-induced ground vibration: vehicle-track-soil interaction, irregularities and soil measurements	TAYLOR & FRANCIS LTD	2010	5
9	Development of track condition assessment model based on visual inspection	TAYLOR & FRANCIS LTD	2011	4
10	Evaluation of conventional methods in Analysis and Design of Railway Track System	IRAN UNIV SCI & TECHNOL	2010	4

(3-2) 주요 핵심논문 심층분석 (사례)

(가) SCI 논문 : Field Assessment of the Performance of a Ballasted Rail Track with and without Geosynthetics

○ 저널명 : JOURNAL OF GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING

○ 저 자 : Indraratna, Buddhima; Nimbalkar, Sanjay; Christie, David; Rujikiatkamjorn, Chalachat; Vinod, Jayan

○ 기 관 : Univ Wollongong, Fac Engr, Wollongong, NSW 2522, Australia.

○ 출판사 : ASCE-AMER SOC CIVIL ENGINEERS, 1801 ALEXANDER BELL DR, RESTON, VA 20191-4400 USA

○ 주요 내용 : 본 연구 결과는 토성합성재료(Geosynthetics) 여부에 따른 자갈 궤도상의 성능을 측정하는 연구에 관한 논문임

- 초록: Understanding the complex mechanisms of stress transfer and strain accumulation in layers of track substructure under repeated wheel loading is essential to predict the desirable track maintenance cycle as well as the design of the new track. Various finite element and analytical techniques have been developed in the past to understand the behavior of composite track layers subjected to repeated wheel loads. The mechanical behavior of ballast is influenced by several factors, including the track confining pressure, type of aggregates, and the number of loading cycles. A field trial was conducted on an instrumented track at Bulli, New South Wales, Australia, with the specific aims of studying the benefits of a geocomposite installed at the ballast-capping interface, and to evaluate the performance of

moderately graded recycled ballast in comparison to traditionally very uniform fresh ballast. It was found that recycled ballast can be effectively reused if reinforced with a geocomposite. It was also found that geocomposite can effectively reduce vertical and lateral strains of the ballast with obvious implications for improved track stability and reduced maintenance costs.

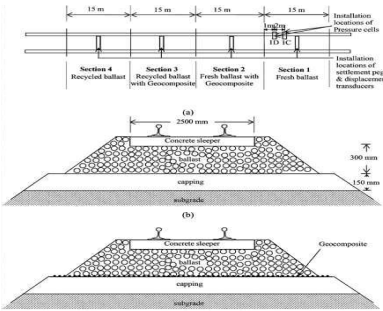


Fig. 1. (a) Details of instrumented track at Bulli; (b) section of ballasted track bed; and (c) section of ballasted track bed with geocomposite layer at the ballast-capping interface

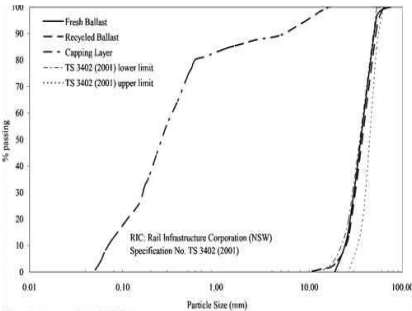


Fig. 2. Particle-size distribution of ballast and capping materials

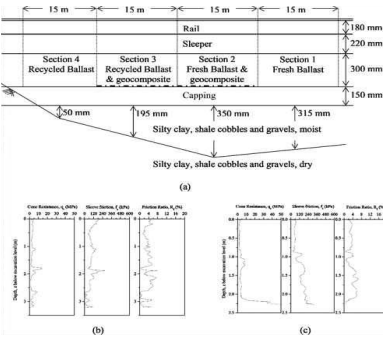


Fig. 3. (a) Longitudinal section of instrumented track at Bulli (b) EFCP test record at center of Section 2 (c) EFCP test record at center of Section 4

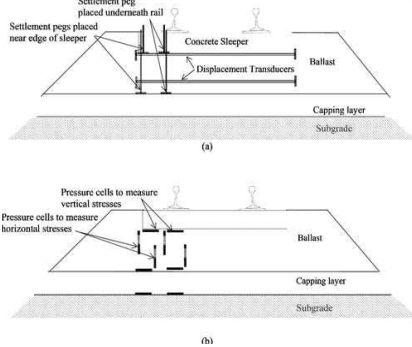


Fig. 4. Schematic diagram showing installation of: (a) settlement pegs and displacement transducers; (b) vertical and horizontal pressure cells

그림 2.1.5 핵심논문 주요내용(1)

- (나) SCI 논문 : Measurement of Distributed Antenna Systems at 2.4 GHz in a Realistic Subway Tunnel Environment
- 저널명 : IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY
- 저자 : Guan, Ke; Zhong, Zhangdui; Alonso, Jose; Briso-Rodriguez, Cesar
- 기관 : Beijing Jiaotong Univ, State Key Lab Rail Traff Control & Safety, Beijing 100044, Peoples R China.
- 출판사 : IEEE-INST ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERS INC, 445 HOES LANE, PISCATAWAY, NJ 08855-4141 USA

○ 주요 내용 : 본 연구 결과는 도시철도 터널환경에서의 2.4GHz 대의 분산 안테나 시스템(distributed antenna systems; DAS)에 대한 측정 관한 논문임

- 초록: Accurate characterization of the radio channel in tunnels is of great importance for new signaling and train control communications systems. To model this environment, measurements have been taken at 2.4 GHz in a real environment in Madrid subway. The measurements were carried out with four base station transmitters installed in a 2-km tunnel and using a mobile receiver installed on a standard train. First, with an optimum antenna configuration, all the propagation characteristics of a complex subway environment, including near shadowing, path loss, shadow fading, fast fading, level crossing rate (LCR), and average fade duration (AFD), have been measured and computed. Thereafter, comparisons of propagation characteristics in a double-track tunnel (9.8-m width) and a single-track tunnel (4.8-m width) have been made. Finally, all the measurement results have been shown in a complete table for accurate statistical modeling.

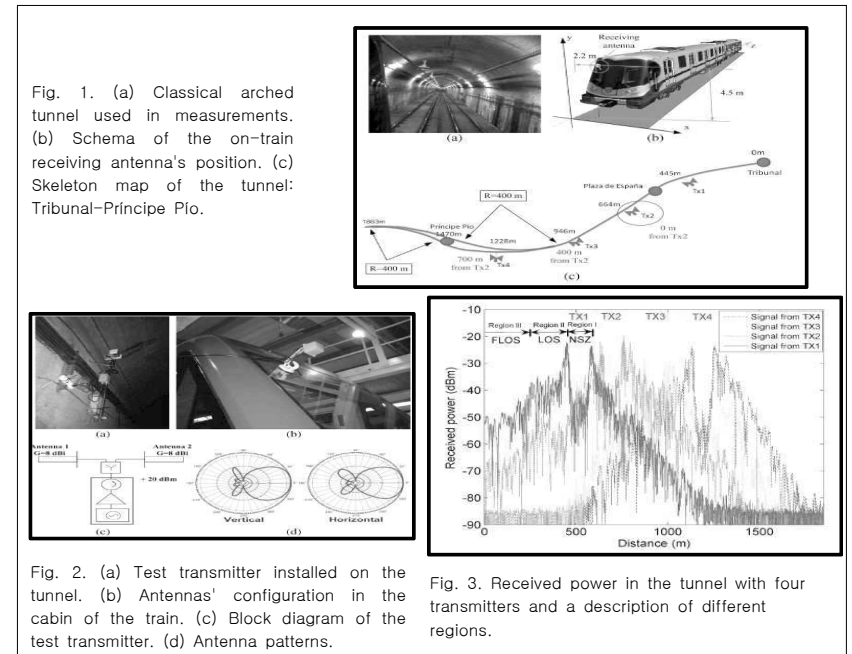


그림 2.1.6 핵심논문 주요내용(2)

(3-3) 주요 핵심논문 인용 분석

< 지표 설명 >

1. 평균 인용 수는 세트의 모든 항목에 대해 평균 인용 논문 수를 계산하는 간단한 공식으로 인용 횟수 합계를 찾은 검색결과 수로 나눈 값임.
(예: 인용 횟수 합계: 967 /찾은 검색결과: 55 = 17.58)
2. h-index*는 인용 횟수를 기준으로 내림차순으로 순위 지정된 출판물 목록을 기반으로 하고 있어 h-index가 20이면 인용이 20건 이상인 항목이 20개가 있음을 의미하므로 이 지표는 인용 횟수가 아주 많은 논문이나 인용된 적이 없는 논문의 불균형 비중을 줄이기 때문에 유용논문 인용을 신뢰할 수 있게 파악할 수 있음
※ h-index는 J.E. Hirsch가 개발하여 2005년 11월 15일 자 Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 102 (46): 16569-16572에 발표

(가) 주요 핵심논문인 'Field Assessment of the Performance of a Ballasted Rail Track with and without Geosynthetics' 는 색인 SCI-EXPANDED를 포함하여 인

용건수 16건으로 2014년 현재까지 인용횟수 합계 16건으로 최근 5년간 연간평균 인용수 3.20건에 달하고, 또한 자기인용을 제외한 인용논문 합계 16건으로 항목당 평균 인용수 16, h-index는 1에 달함.

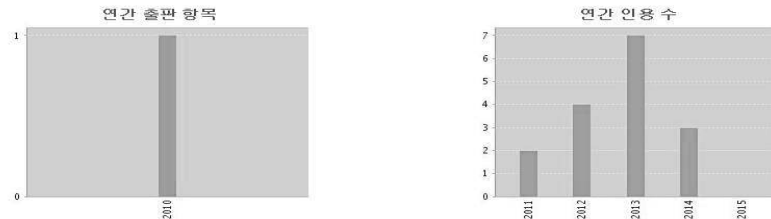


그림 2.1.7 핵심논문 인용 분석(1)

(나) 두 번째 주요 핵심논문인 ‘Measurement of Distributed Antenna Systems at 2.4 GHz in a Realistic Subway Tunnel Environment’는 색인 SCI-EXPANDED를 포함하여 인용건수 14건으로 2014년 현재까지 인용횟수 합계 14건으로 최근 5년간 연간평균 인용수 4.67건에 달하고, 또한 자기인용을 제외한 인용논문 합계 14건으로 항목당 평균 인용수 14.00, h-index는 1에 달함.

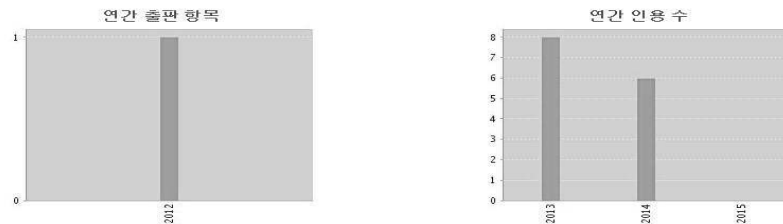


그림 2.1.8 핵심논문 인용 분석(2)

라. 열차의 고속주행시 철도터널내 공기압 특성에 관한 해석연구 논문

- 국내외 문헌조사를 통하여 철도터널의 공기압 특성에 대하여 전산유체역학 해석을 통하여 분석한 사례를 수집함.
- 해석적 연구에 사용되는 도구는 연구자가 자체 개발한 In-house code와 범용 해석프로그램이 있는데, 자체 개발코드가 상대적으로 드물고, 상세한 방법을 파악하기가 어려워 본 연구에서는 범용코드를 이용한 방법론을 중심으로 연구사례를 분석함.

○ 고속 주행시 철도터널내 공기압 특성에 관한 기초연구 사례

- 문헌출처 : 김효규외 2인, 고속 주행시 철도터널내 공기압 특성에 관한 기초연구, 한국터널지하공간학회, 2014
- ANSYS사의 상용코드인 FLUENT를 이용한 사례를 먼저 살펴보기로 함. 본 문헌은, 2차원 축대칭 모델(2D Axisymmetric Model)에 기반하였고, 시간을 종속변수로 하는 비정상상태해석을 수행함. 또한 비점성(inviscid) 특성으로 해석함. 본 문헌에서는 열차의 움직임을 모사하지 않고 Matsuo(1997)이 제시한 입구 압축과 파형을 다음의 수식에 의하여 입력하고 터널 내부를 해석함.

$$\Delta p = \Delta p_c \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{V \cdot t}{k \cdot D} \right) \right]$$

- 시뮬레이션 수행결과와 Schulwald 터널에서의 압력기울기 측정결과 비교하여 신뢰성을 검토하였으며, 압력기울기 값을 비교한 결과 평균편차가 6.1%으로 공학적인 오차 크기 않음을 도출함.
- 해석가정조건은 아래의 표와 같이 제시함.

표 2.1.6 해석조건

		적용
터널	연장	200~8000m
	단면적	90.3㎡ / 95.1㎡ / 100.1㎡
열차	주행방향	일방향
	열차속도	300km/h, 350km/h
	열차단면적	9.765㎡

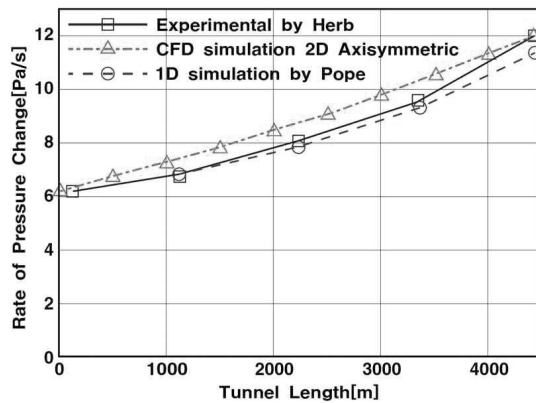


그림 2.1.9 해석결과(1)

- 2차원 해석방법을 이용한 분석으로 실제 열차거동을 모사하지 않고 실험식을 이용하여 입구 압력과의 파형을 경계조건으로 적용하여 분석을 수행하여, 터널내 압력파의 전파에 따른 압력파 기울기 특성을 전산유체해석기법을 이용하여 분석을 수행하였으며 분석결과를 실험결과와 비교하여 모델의 신뢰성을 검증함.

○ 열차가 터널에 진입할 때 발생하는 압축파에 대한 수치해석

- 문헌출처 : 김사량, 열차가 터널에 진입할 때 발생하는 압축파에 대한 수치해석, 대한설비공학회 논문집, 2006
- CD-Adapco사의 상용코드인 STAR-CD를 이용하여 해석하였으며, 터널단면을 원형으로 가정하여 2차원 축대칭 모델(2D Axisymmetric Model)을 적용하였으며, 온도변화를 무시한 비정상상태 점성 압축성유동, k-ε 난류모델을 적용함.
- 터널에서 일정거리만큼 떨어져 정지해 있던 열차가 주행속도까지 가속하여 터널에 진입할 때 터널 입구부에서 생기는 압력파에 대하여, 수치계산상의 초기조건의 영향을 검토하였고, 열차의 출발방법(급출발, 선행, 속도증가(3차, 5차, 7차))에 따른 터널입구부에서 생성되는 압력파에 미치는 영향을 분석함.

표 2.1.7 해석조건

	열차단면적	열차길이	터널연장	열차주행속도
107m ²	8.9m ²	100m	430m	350km/h

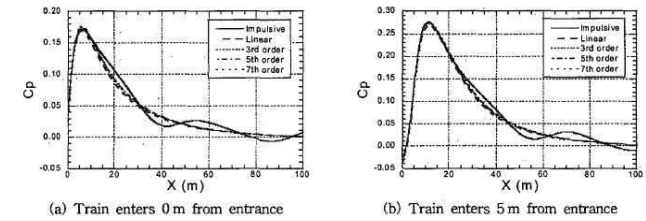


그림 2.1.10 해석결과(2)

- 해석결과로 수치해석 초기 열차의 거동특성(이동속도)에 따라 열차주변에서 발생되는 압력파의 특성이 다르게 나타나며 이러한 영향은 열차가 터널에 진입할 때 발생하는 압력파의 특성에 영향을 주는 것으로 검토됨.
- 분석시 열차형상을 모델링하여 열차의 거동특성을 Dynamic Mesh 방법을 이용하여 검토하였고, Dynamic Mesh에 의한 열차거동을 적용할 때 터널과 외부영역의 제안된 영역에서 발생할 수 있는 문제점을 제시하고 있음. 특히, 열차가 터널진입전에 발생하는 유동장의 문제점을 해결하기 위해 급출발, 최고속도가 되는 지점에 따라 발생하는 유동장의 영향을 고려해야할 필요가 있는 것으로 판단됨.

○ 입구후드가 고속열차 터널의 압력에 미치는 영향에 대한 해석적 연구

- 문헌출처 : 김동현의 4인, 입구후드가 터널의 압력에 미치는 영향에 대한 수치해석적 연구, 한국철도학회 논문집, 1999
- 프랑스 ESI사의 CFD-FASTRAN을 이용하여 분석함. 해석모델로는 2차원 비정상유동을 적용하였으며, TGV열차의 선두부를 축대칭으로 전환함. 또한, Euler 방정식을 적용하였고, 점성모델은 비점성으로 해석함.
- 주요해석 내용으로는 터널입구부 후드설치 유무에 따른 압력구배 특성을 검토하였고, 실험으로 적용된 터널과 축대칭 열차 선두부 모형과 동일하게 적용하여 실험에서 도출된 결과와 비교함.
- 후드형태에 따른 압력파의 특성을 검토하여 터널입구부의 형상(위치, 크기)에 따른 영향을 검토함.

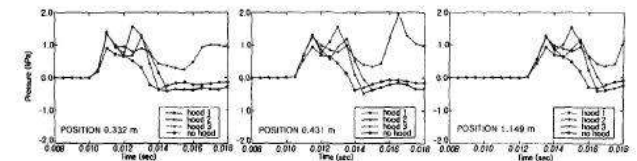


그림 2.1.11 해석결과(3)

○ 혼합차원기법을 이용한 고속열차의 터널 통과시 발생하는 비정상 압축성 유동장의 수치 해석

- 문헌출처 : 김태운외 4인, 혼합차원기법을 이용한 고속열차의 터널 통과시 발생하는 비정상 압축성 유동장의 수치해석, 한국항공우주학회지, 2002
- Roe FDS를 사용한 축대칭 Euler Solver를 적용하였고, 터널내부에서의 횡방향 속도성분을 무시하여 1차원으로 가정하는 혼합차원기법을 적용하여 움직이는 열차 주위의 영역을 제외한 터널내부 영역은 1차원 Euler방정식이 적용됨. 터널 외부미기압과 터널 내부압력변동의 정량적 특성을 고려하기 위해서는 열차근방의 유동장을 3차원 또는 축대칭으로 해석함.

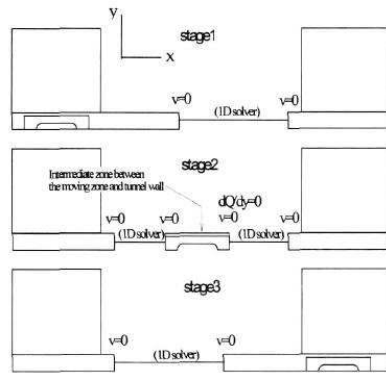


그림 2.1.12 분석방법

- 이 연구에서 혼합차원기법을 적용한 것은 2000년대 초반의 하드웨어 자원으로는 열차 및 터널의 전영역을 3차원 방정식으로 해석하는 것이 과도한 시간소요로 인하여 현실적으로 거의 불가능하였기 때문임.
- 3차원 형상을 고려한 고속철도에 의한 터널내 압력과 전파의 CFD해석
- 문헌출처 : 신대용외 5인, 3차원 형상을 고려한 고속철도에 의한 터널내 압력과 전파의 CFD해석, 한국전산유체공학학회지, 2012
 - ANSYS사의 FLUENT 코드를 이용하여 해석하였으며, 열차거동해석을 위하여 Dynamic Mesh layering기법을 적용하였고, 유동상태는 압축성 이상기체, 벽면은 비점성모델을 적용함.
 - 해석영역은 2차원 대칭 수치해석기법에 3차원 수치해석기법과 공기역학 이론을 적용, 3차원 수치해석과 2차원 수치해석의 결과를 비교함.
 - 분석결과로는 단순한 터널 내 고속철도의 압력파의 최고 압력이나 그 추이를 위

한 해석이라면 2차원 축 대칭 수치 해석으로도 충분히 해석 가능하나, 수직구 주변의 압력 변화의 보다 정확한 해석을 위해서는 수직구의 입구와 출구 단면적 비를 고려한 3차원 수치해석 법이 더 적합함을 증명함. 즉, 2차원 해석모델의 경우 구조적인 형상변화에 따른 영향을 검토하는데 한계가 있으므로 구조적인 변화가 있으며 단면적 비율에 대한 영향을 고려하여 검토하는 경우 3차원 해석모델이 타당함은 결과를 얻음.

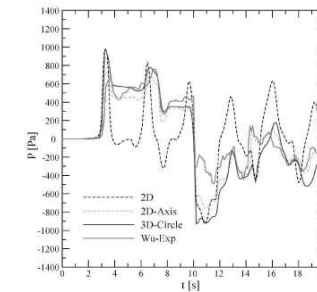


Fig. 8 Total comparison of data result

그림 2.1.13 해석결과(4)

- 국외에서 고속으로 터널에 진입하는 열차에 의해 터널 입구부에서 발생한 압력파의 거동을 전산유체 해석기법을 활용하여 압력파의 특성을 예측한 연구사례를 중심으로 조사를 수행함.
- 터널에 진입하는 고속열차에 의한 압력파의 3차원 수치예측
 - 문헌출처 : David Uystepuyst외 4인, Efficient 3D numerical prediction of the pressure wave generated by high-speed trains entering tunnels, Computers & Fluids, 2010
 - 이 연구는 해석 모델이나 코드에 대한 정확한 명칭을 명시하고 있지는 않지만, 지배방정식은 Navier-Stoke에 기초한 유한체적법을 적용하고 있는 것으로 판단됨.
 - 주요 연구내용은 해석격자 형태에 따른 결과를 실험값과 비교하여 신뢰성 향상을 도모하는 것으로 격자의 생성 및 간격에 따라 실험치와 최소 3%에서 최대 11%까지의 오차를 나타냄. 즉, 이 연구에서는 해석적 기법 적용시에 해석격자 작성의 중요성을 강조하고 있음.

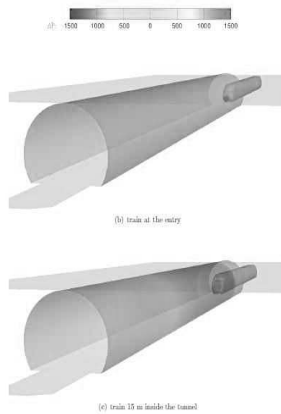


Figure 20. Generation and propagation of the compression wave (in Pa).

그림 2.1.14 해석결과(5)

○ 터널내에서 열차 교행시에 대한 수치해석

- 문헌출처 : Chia-Ren Chu와 4인, Numerical simulation of two trains intersecting in a tunnel, Tunnelling and Underground Space Technology, 2014
- ANSYS사의 FLUENT 코드를 이용하여 해석하였으며, 열차거동 해석을 위한 Sliding Mesh기법을 적용하였고, 유동상태는 압축성 이상기체, 난류모델은 ENG k- ϵ 난류 모델을 적용함.
- 연구목적은 터널내에서 교차하는 두 열차의 압력파를 해석하여 실험결과와 비교 분석함.

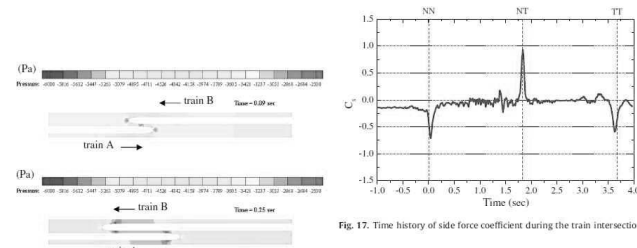


Fig. 17. Time history of side force coefficient during the train intersection.

그림 2.1.15 해석결과(6)

- 앞서 검토된 문헌의 경우, 터널내의 압축파해석시에는 벽면 점성을 비점성 (inviscid)로 해석하는 경우가 대부분이었으나, 이 연구에서는 2-equation 난류 모델을 적용함. 향후 연구시에는 유동상태의 가정에 대한 면밀한 검토와 벽면에서의 유동해석모사에 대한 연구가 반드시 필요할 것으로 판단됨.

○ 터널내를 통과하는 열차의 압력장 분석

- 문헌출처 : Jakub Novák, Single Train Passing through a Tunnel, European Conference on Computational Fluid Dynamics, 2006
- ANSYS의 FLUENT코드를 이용하여 해석하였으며, 열차거동 해석을 위한 Sliding Mesh기법을 적용하였고, 유동상태는 압축성 이상기체로 가정함.

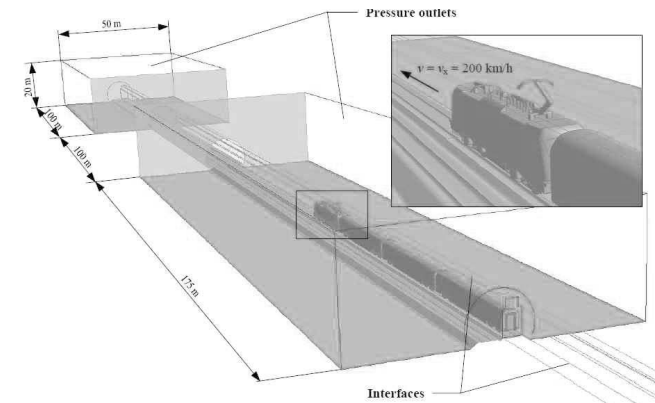


그림 2.1.16 해석모델링

- 비압축성 모델과 압축성 모델과의 차이점을 검토하여 압축성 모델 사용의 타당성을 입증하였으며, 3차원 형상특성을 고려한 열차에서의 Drag Force, 터널내 압력 변동등을 해석함.

○ 터널 입구부의 형상에 따른 압력과 특성해석

- 문헌출처 : Michael Schlämmer와 1인, CFD-Simulations on the Generation of the Pressure Wave When a High Speed Train Enters a tunnel with Different Portal Modifications, Bluff Bodies Aerodynamics & Applications, 2008
- ANSYS사의 CFX코드를 이용하여 해석하였으며, 열차거동 해석을 위한 Sliding Mesh기법을 적용하였고, 유동상태는 압축성 이상기체로 가정하였었다. 난류모델로는 SST모델(with a second order backward euler scheme for time discretization)을 적용함.
- 터널의 입구부 형상에 따르는 압력파의 특성을 해석하고 실험적 방법과의 비교를 통하여 수치해석적 방법의 타당성을 검증함.

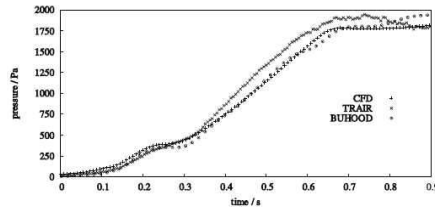


Figure 4: Comparison of calculating methods with model experiment

그림 2.1.17 해석결과(7)

- 해석적 방법에 대한 연구문헌 조사결과, 다양한 종류의 상용코드를 사용하여 해석이 가능함을 알 수 있음. 그러나, 차원해석의 종류와 난류모델의 선정에 있어서는 연구자마다 큰 차이를 나타냄. 또한, 미기압파(Micropressure Wave)와 압력장의 해석은 물리적인 큰 차이를 나타내므로 해석목적에 부합하는 해석방법의 연구가 반드시 필요함.
- 움직이는 열차의 거동모사를 위한 Sliding Mesh 또는 Dynamic Mesh의 채용은 하드웨어의 계산속도를 크게 저하시키고 많은 량의 계산자원이 소요됨으로서 다양한 해석케이스를 실행하는데 영향을 미칠 수 있음.
- 해석적 연구는 해석에 의하여 도출된 물리량을 실험적 연구에서 도출된 값과 비교하는 경우가 많은데, 기준이 되는 실험적 결과값 또는 실측치가 불안정하거나 샘플링 수가 적은 경우에는 이를 추종하는 해석의 신뢰성 자체가 크게 흔들릴 수 있으므로 해석적 연구와 동시에 신뢰성 있는 실측값이나 실험적 연구결과치가 성립되어 있어야 하는 것이 필수적임.

3. 국내의 특허분석

가. 특허분석 범위

2.1.8 특허분석 기준

분	분석 기준				
DB	Thomson Innovation				
검색국가	미국				
분석구간	출원, 등록	유럽	일본	한국	중국
	1990.01.01. ~ 2014.11.28.	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원
검색범위	Title, Abstract, Claim				

나. 기술분류 및 검색 조합식

표 2.1.9 특허 검색 조합식

기술구분	검색 조합식	검색 특허	관련특허
A 기술 (철도 터널 미기압파 기술, 철도 터널 흡음/방음 관련기술)	CTB=(tunnel) AND CTB=((micro*pressur* or (sonic near2 boom) or (moving and model and rig) or hood or (shock near absorb*) or air*shaft or (compress* near2 wave) or (micro* near2 pressur*) or ((wind* or air) near2 (pressur* or wave*)))) AND CTB=((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock)) AND DP>=(19900101); ----- (CTB=(tunnel) AND CTB=((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock))) AND DP>=(19900101)) AND (CTB=((noise or sound or acoustic*) and (proof* or absorb* or absorpt* or louver or mat)));	345	115
B 기술 (TEST BED의 원격 모니터링 시스템 설계기술)	(CTB=(tunnel or track) AND CTB=((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock))) AND DP>=(19900101)) AND (TAB=((monitor* or measur* or detect* or meter* or estimat* or evaluat* or apprais* or assess* or gaug* or check or sens*) and (wifi or wireless))));	446	116

다. 특허기술 동향

(1) 출원년도 및 국가별 특허출원 동향

- 터널 미기압과 저감 후드 분야의 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 231건의 관련 유효특허가 출원되고 있음.

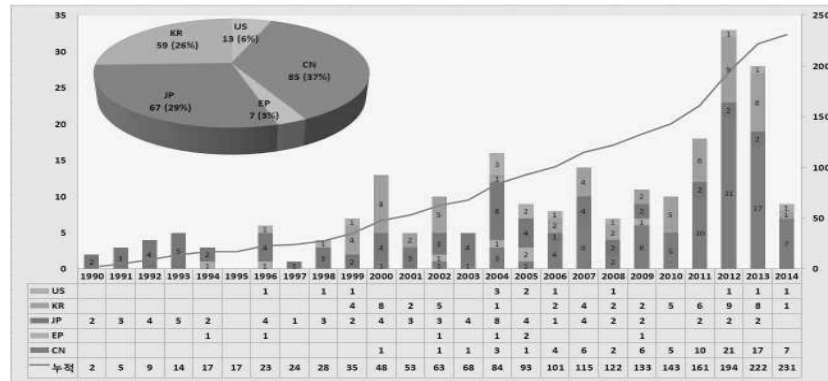


그림 2.1.18 출원년도 및 국가별 출원추이

- 국가별로는 중국이 37%(85건)로 최다이며, 일본, 한국, 미국, 유럽의 순으로 출원되고 있음.
- 우리나라는 2006년 이후 출원 특허가 전체 특허의 60%이상을 차지하는 등 최근 관련 분야 관심이 증가하고 있음이고 보여짐.
- 중국은 2006년 이후 전체 특허의 90% 이상을 출원하는 등, 최근의 기술 상승세가 매우 높게 나타나고 있음.

(2) 세부기술별 특허출원 동향

- 세부기술별 특허출원 동향을 보면, 철도터널 미기압과 저감기술(A기술)과 원격 모니터링기술(B기술) 분야 특허가 50%씩 동일하게 나타나고 있음 다만, 2000년대 이후 원격 모니터링기술(B기술)의 특허가 지속적으로 증가 추세에 있음.

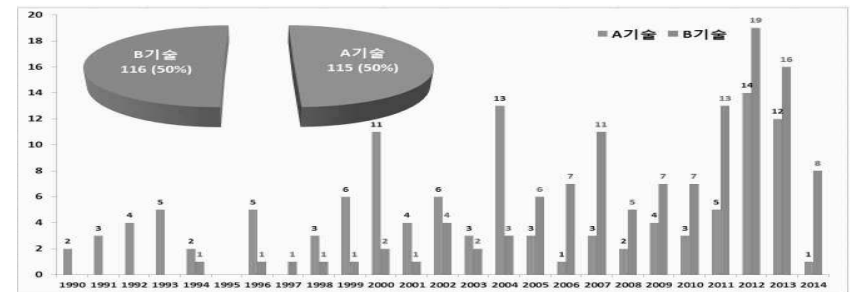


그림 2.1.19 세부기술별 특허출원동향

(3) 주요 출원인 분석

- 특허를 많이 출원한 상위 5개의 출원인(Top 5 Assignee)을 살펴보면, 한국의 KRRI, 일본의 HITACHI, RTRI, 중국의 북경교통대 등이 많은 출원을 하고 있음. 이 분야 다 출원인들은 일본의 HITACHI를 제외하고 대부분 자국 특허에 국한되어 출원한 것을 통해, 국제 기술 경쟁이 가속화하지는 않은 것으로 보여짐.

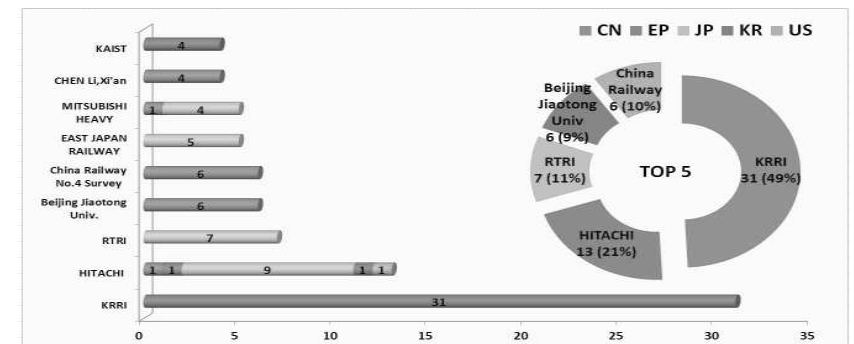


그림 2.1.20 주요 출원인 동향

- 한국의 KRRI, 중국의 북경교통대가 2010년대에 들어서도 지속적으로 많은 특허를 출원하고 있는 것을 통해, 이 분야에 대한 기술개발이 지속적으로 수행되고 있음을 확인할 수 있음. 반면에, 일본의 HITACHI는 2010년 이후 특허출원이 정제되어 있음.

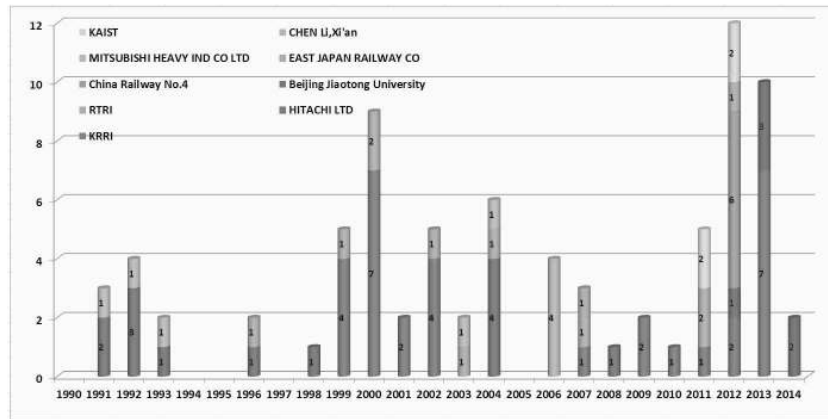


그림 2.1.21 주요 출원인 연도별 출원동향

(4) 국가별 기술 분포

- 출원국가별 세부기술 특허분포를 살펴본 결과 일본, 한국이 철도터널 미기압과 저감기술(A기술) 분야 특허가 많이 나타나고 있음. A기술 분야는 일본이 가장 많은 특허를 출원하고 있는 것으로 나타남.
- 최대 출원국가인 중국의 경우 원격 모니터링(B기술) 특허를 가장 많이 출원 하고 있음.
- 중국의 최근 철도건설 확대와 함께, 이 분야에 대한 특허 상승세가 매우 높게 나타나고 있는 것으로 판단됨. 중국이 최근 B기술에 대한 집중도가 높게 나타나는 것을 통해, 한국에서도 상대적으로 약한 B기술 분야에 대한 기술확보가 필요할 것으로 판단됨.

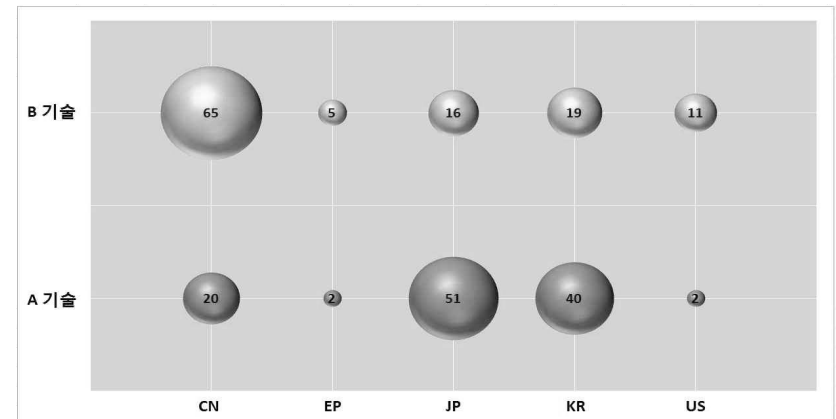
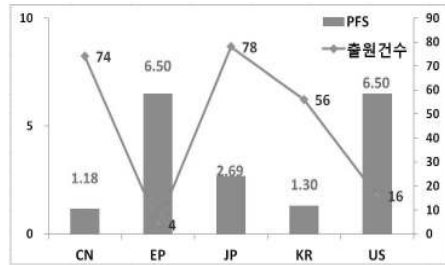


그림 2.1.22 기술별/국가별 기술분포(버블형)

(5) 우선권 국가 (Priority Country)별 특허분포 지수분석

(5-1) 시장확보지수 (PFS : Patent Family Size)

- (지표 설명) 특정 국가에서 상업적인 이익 또는 기술경쟁 관계에 있을 때 해외에 특허를 출원하므로, Family Patent 數가 많을 때 특허를 통한 시장성이 크다고 판단되어 이를 시장확보력의 지표로 사용함.
- (계산식)
 - 국가별 시장확보지수(PFS) = (∑ 해당국가 특허별 패밀리) / 해당국가 특허건수
- (분석결과)
 - 유럽의 시장확보지수(PFS)가 6.50로 가장높지만, 특허건수가 매우 작아 일반화된 결론으로 보기는 어려움.
 - 특허 건수가 많은 중국, 일본, 한국의 경우, 유럽 및 미국에 비하여 패밀리 특허가 매우 작은 수준임.
 - 한국은 향후 해외시장을 고려한 해외패밀리 특허의 확보가 요구됨.



2.1.23 국가별 출원건수 및 시장확보지수

(5-2) 인용도지수 (CPP : Cites Per Patent)

○ (지표 설명) 특정 국가의 특허들이 이후 등록되는 특허들에 의해 인용되는 횟수가 많을수록 기술경쟁력이 높으므로, 인용도지수(CPP)가 클수록 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 정도를 나타내는 지표로 사용함.

○ (계산식)

- 국가별 인용도 지수(CPP) = (∑ 해당국가 특허별 피인용수) / 해당국가 특허건수

○ (분석결과)

- 미국의 인용도지수(CPP)가 8.56으로 가장 높게 나타나 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 것으로 판단할 수 있음.
- 이에 반해, 한국은 유럽, 미국 등과 비교할 때, 특허건수에 비해 인용도지수(CPP)가 매우 낮은 수준으로, 원천특허/핵심특허 비중이 낮은 것으로 판단할 수 있음.

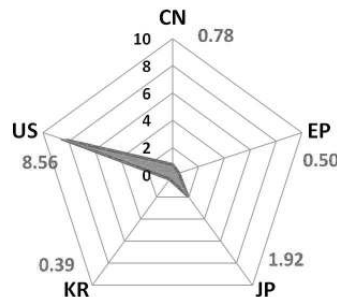


그림 2.1.24 국가별 인용도 지수

(5-3) 영향력지수(PII : Patent Impact Index) 및 기술력지수(TS : Technology Strength)

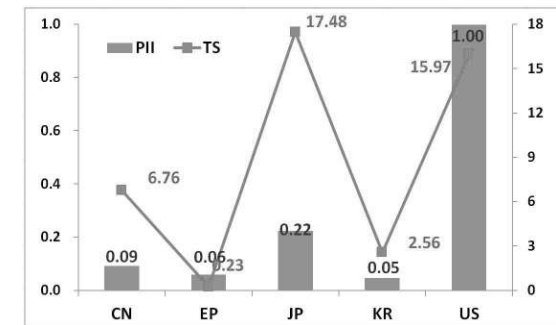
○ (지표 설명) 영향력지수는 특정 국가가 소유한 기술의 질적수준을 측정하는 지수이며, 기술력지수는 특정 국가의 기술보유 양적수준(특허건수)과 영향력지수(질적수준)을 함께 나타냄.

○ (계산식)

- 국가별 영향력 지수(PII) = 해당국가 특허 인용도지수 / 전체(모든국가) 특허
- 인용도지수국가별 기술력 지수(TS) = 해당국가 특허건수 × 해당국가 영향력 지수

○ (분석결과)

- 미국의 영향력지수(PII)가 1.00로 가장 높게 나타나 질적 수준에서 우수하며, 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서도 15.97로 우수
- 일본은 특허건수가 많음에 따라 기술력지수가 17.48로 가장 높게 나타남.
- 우리나라는 영향력지수, 기술력 지수 모두 낮게 나타나고 있음.



2.1.25 국가별 영향력지수 및 기술력지수

(6) 기술분야 특허 분포도

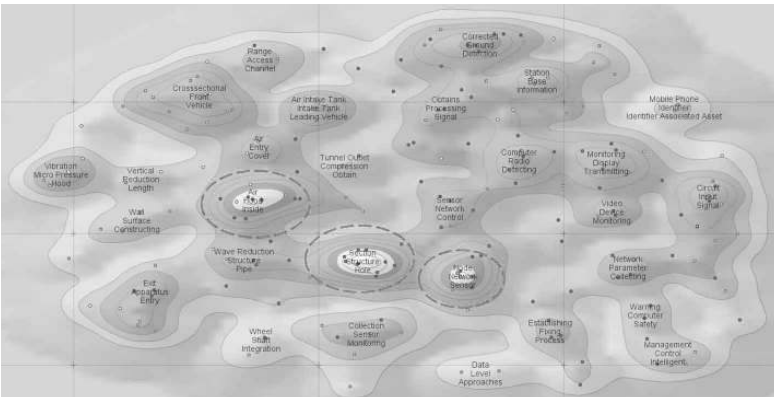
(6-1) Text mining을 통한 특허 분포

○ 터널 미기압과 저감 후드 분야 관련 검색결과 791건 중 검색 특허 중 최종 231건의 유효 특허기술이 분포함.

○ 등고선 꼭지점이 높은 Air/Hood/Inside, Section/Structure/Hole, Node/Network/Sensor 등 2개 Text에 특허가 많이 분포하고 있어 관련 분야의 기술 집중도가 높은 것으로 판단할 수 있음.

○ 특허, 2014년에 출원된 최신 특허들을 보면 Device for accurately positioning railway

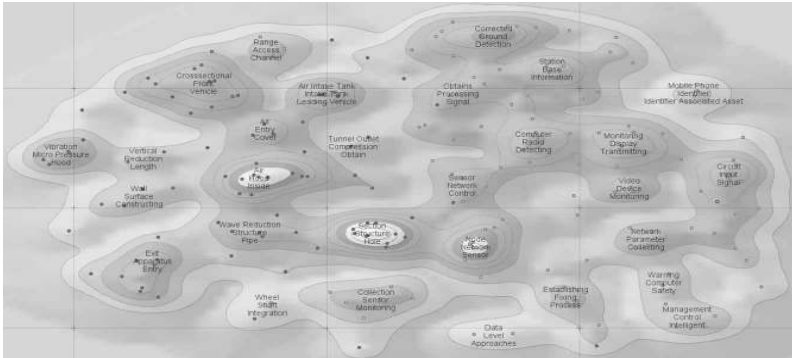
locomotive, Real-time detection method for high-speed rail, Online monitoring track traffic axle temperature system 등 원격 모니터링(B기술)과 관련된 기술이 나타나고 있음.



● 2010년 이후 ● 2000-2009 ● 1990-1999
그림 2.1.26 특허 등고선 맵

(6-2) 핵심기술(중분류 기준)을 통한 특허 분포

- 철도터널 미기압과 저장기술(A기술) 분야의 경쟁이 치열하며, 한국의 KRRI, 일본의 HITACHI 및 RTRI가 이 분야 기술을 주도하고 있음.
- 한국의 경우 KRRI, KAIST 등 대부분의 기관이 A기술에 집중하고 있는 것으로 나타나, 향후 IoT 기술 등과 연계하여 원격 모니터링(B기술)에 대한 관심도 높여야 할 것으로 판단됨.



■ A.철도터널 미기압과 저장기술 ■ B. 원격 모니터링 기술
그림 2.1.27 세부기술별 특허 등고선 맵

(7) 주요 핵심특허 현황

○ 철도 위험음향 및 위치검지, 정보시스템에 대한 STEPHENS ROBERT DOUGLAS의 미국 공개특허 US6216985B1건의 피인용 건수가 41건으로 가장 많으며, 기타 원격 모니터링과 관련된 특허들이 피인용 건수가 많아 이러한 특허들을 중심으로 주요 특허를 선정하여 핵심특허 권리 분석을 할 수 있음.

표 2.1.10 주요 핵심특허 현황 (피인용수 順)

공개번호	발명의 명칭	출원인 권리	피인용수 (Forward)
US6216985B1	Railway hazard acoustic sensing, locating, and alarm system	STEPHENS ROBERT DOUGLAS	41
US6275525B1	Enhanced method for adaptive equalization technique in mobile wireless systems	National Semiconductor Corporation	24
CN101254791A	Rail transit train automatic monitoring system based on communication	Beijing Helishi System Engineering Co. Ltd.	23
US7222003B2	Method and computer program product for monitoring integrity of railroad train	GENERAL ELECTRIC	21
JP2005212740A	VEHICLE BODY STRUCTURE FOR RAILWAY LEADING VEHICLE	EAST JAPAN RAILWAY CO	17

US20060098580A1	Apparatus and method capable of beam forming adjustments	LI Q	15
US20100141445A1	Multi-Mode Commissioning/Decommissioning of Tags for Managing Assets	Savi Networks Inc.	13
JP7089439A	SHAPE OF TOP OF ROLLING STOCK HEAD VEHICLE	WEST JAPAN RAILWAY CO	11
JP2007082075A	WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM	HITACHI KOKUSAI ELECTRIC INC	11
JP2005155129A	TUNNEL SHOCK ABSORBING WORK	EAST JAPAN RAILWAY CO	10

(8) 주요 핵심특허 심층 분석 (사례)

(8-1) 주요 핵심특허 심층분석 (권리성 분석)

○ 1990년이후 피인용수가 가장 많은 STEPHENS ROBERT DOUGLAS의 미국 공개특허 US6216985B1건은 철도 위험 음향 감지, 위치 결정 및 경보 시스템에 관한 기술이며, 2000년대 이후 출원특허 중에서는 통신을 기반으로 철도 운송 열차 자동 모니터링 시스템에 대한 중국 공개특허 CN101254791A의 피인용도가 가장 높게 나타남. 이러한 특허들을 중심으로 세밀한 검토를 통한 고려가 필요할 것으로 판단됨.

표 2.1.11 주요 핵심특허 현황

1	분류	B기술 (원격 모니터링 기술)	특허번호 (출원번호)	US1998134628A	특허번호 (공개번호)	US6216985B1
	출원인	STEPHENS ROBERT DOUGLAS	출원일	1998-08-13	공개일	2001-04-17
	발명의 명칭	Railway hazard acoustic sensing, locating, and alarm system				
	대표도면					

내용	철도 위험 음향 감지, 위치 결정 및 경보 시스템에 관한 기술
주요 청구항	1. A method for detecting a physical event which affects a metal guideway transportation system comprising the steps of: (a) introducing predetermined acoustic waves onto a metal guideway of said metal guideway transportation system at a first location, said predetermined acoustic waves propagating via said metal guideway; (b) acoustically monitoring said metal guideway at a second location; and (c) detecting a change in said predetermined acoustic waves, said change indicates a physical event has occurred between said first location and said second location whereby said metal guideway transportation system may be acoustically monitored substantially continuously, for low acoustic energy events.
법적상태 (회피전략)	- 이 특허는 1998년 출원이후 지금까지 유지되고 있는 등록특허임 - 이에 따라, 향후 관련 분야 연구를 진행함에 있어 해당 특허기술에 대한 면밀한 검토를 통해 해당기술을 침해하지 않고 회피하여 기술개발이 이루어질 수 있도록 하여야 할 것임

2	분류	B기술 (원격 모니터링 기술)	특허번호 (출원번호)	US1999471683A	특허번호 (공개번호)	US6275525B1
	출원인	National Semiconductor Corporation	출원일	1999-12-23	공개일	2001-08-14
	발명의 명칭	Enhanced method for adaptive equalization technique in mobile wireless systems				
	대표도면					
	주요 내용	디지털 무선 시스템에서의 모바일 신호 송수신 관련 기술				
	주요 개요	1. A method for adaptively equalizing an output of a digital communication channel, comprising: generating an initial channel estimation; determining an initial set of metric states of a trellis, based on a training sequence of known symbols of a received input signal comprising a sequence of symbols; updating the set of metric states according to the initial channel estimation and the received signal; updating a set of paths for the metric states using a delayed tentative decision of a symbol of the received signal, to determine a set of survivor paths; and updating the channel estimation, based on the updated metrics, delayed tentative decision, and the received signal; and further comprising iterated training to determine the metric states of the trellis, wherein in each iteration, the training sequence is reversed.				
	발견상태 (최피견백)	- 이 특허는 1999년 출원 이후 지금까지 유지되고 있는 등록특허임 - 이에 따라, 향후 관련 분야 연구를 진행함에 있어 해당 특허기술에 대한 면밀한 검토를 통해 해당기술을 침해하지 않고 회피하여 기술개발이 이루어질 수 있도록 하여야 할 것임				

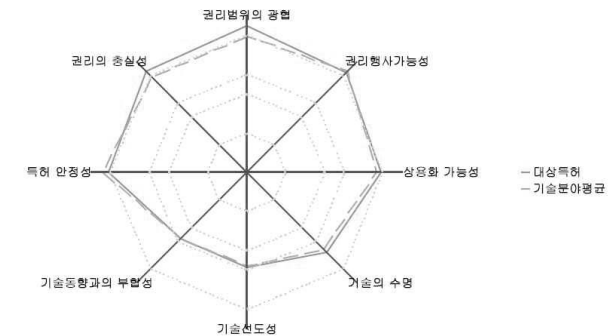
(8-2) 주요 핵심특허 심층 분석 (우수성 분석)

- 특허청 발명진흥회의 특허분석 평가시스템(SMART3)을 활용하여 피인용수가 가장 높은 미국 공개특허(US6216985B1)에 대해 상세 분석한 결과, 종합평가점수가 77점으로 AA로 우수한 기술로 평가됨.

세부내용

- 전체 미국 등록특허 중 상위 4.5%에 위치하는 우수 특허로 피인용수가 높고 독립 청구항이 많아 권리범위가 넓고 세밀하게 잘 작성되었음
- 세부적으로 살펴보면, 권리성 29.7점, 기술성 16.9점, 활용성 30.4점으로 기계분야 평균인 권리성 24.7점, 기술성 15.4점, 활용성 29.9점보다 모두 높게 평가되었음

평가지표	점수	등급	대분류(기계)			중분류(기계)			소분류(운송)		
			백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차
권리성 (40점)	29.7	AAA	3.5	24.7	2.6	3.0	24.6	2.6	2.4	24.6	2.5
기술성 (20점)	16.9	AA	7.1	15.4	0.9	6.6	15.4	0.9	6.4	15.4	0.9
활용성 (40점)	30.4	BBB	28.8	29.9	1.5	28.2	29.9	1.4	25.8	29.9	1.3
총점 (100점)	77	AA	4.5	69.9	4.0	3.7	69.9	3.8	2.7	69.7	3.6



※ 백분위(%) : 동일한 기술분야내에서 평가 점수별 순위에 대한 백분위 상의 위치

그림 2.1.28 핵심특허(US6216985B1) 평가결과

(9) 주요 출원인 심층 분석

(9-1) 주요 출원인 기술영역 분석을 통한 유사 경쟁기업 관계도 (TDA Cross-Correlation Map)

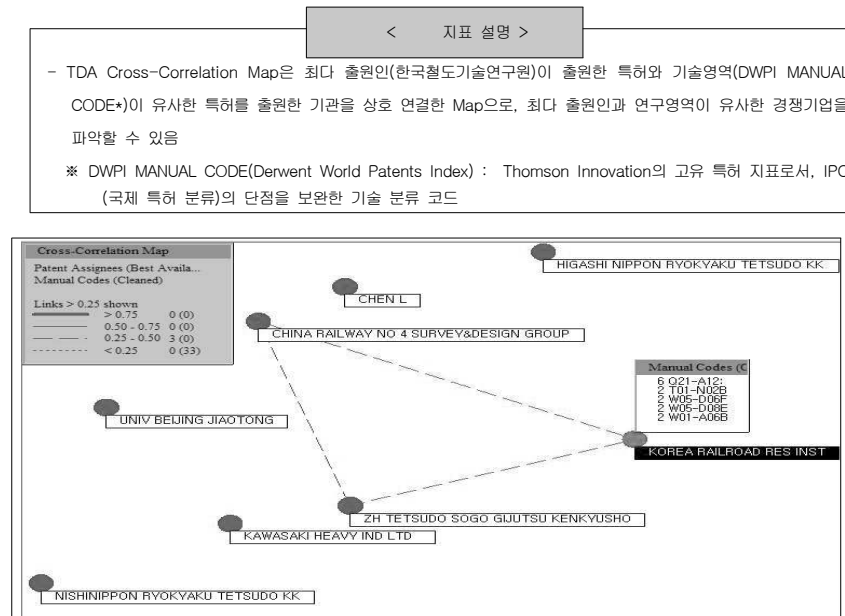


그림 2.1.29 TDA Cross-Correlation Map

○ TDA(Thomson Data Analyzer) Cross-Correlation Map을 통한 주요 출원인의 기술별 특허 출원 유사성을 살펴보면,

- 최다 출원인인 한국철도기술연구원은 Q21-A12(Railways-> Railway track arrangements/construction-> Bridges and tunnels), T01-N02B(Digital computers-> Internet and information transfer-> Communications and control-> Control-> Monitoring), W05-D06F(Alarms, signalling, telemetry and telecontrol-> Transmission systems for measurement or control signals-> Transmission medium-> Data network-based transmission), W05-D08E(Alarms, signalling, telemetry and telecontrol-> Transmission systems for measurement or control signals-> Function and mode-> Remote monitoring), W01-A06B(Telephone and data transmission systems-> Digital information transmission) 등 5개 기술 분야에 특허를 출원하고 있으며, 다 출원인인 한국철도기술연구원 기술과 유사 연구를 하는 경쟁기업으로는, ZH TETSUDO SOGO GIJUTSU KENKYUSHO, CHINA RAILWAY NO 4 SURVEY&DESIGN GROUP 등이 있음.

(9-2) 주요 출원인 상호인용 분석을 통한 기술분야/업계 핵심특허 도출(TDA Aduna Map)

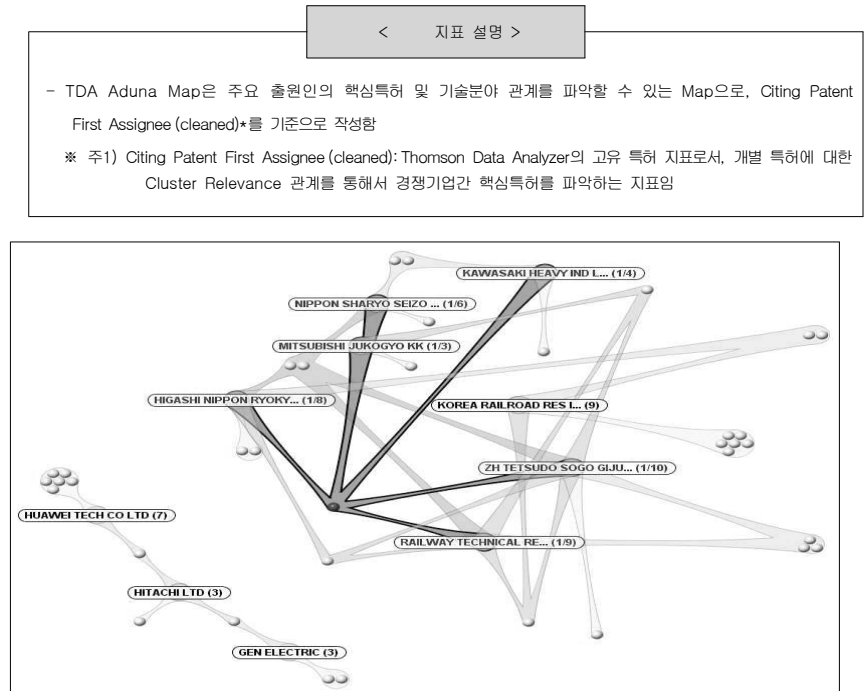


그림 2.1.30 TDA Aduna Map

○ TDA(Thomson Data Analyzer) Aduna Map을 통해 주요 출원인의 상호분석을 통해 핵심특허(기술분야, 업계)를 살펴보면,

- WEST JAPAN RAILWAY CO의 핵심 특허 기술인 일본특허(공개번호 JP1993267701A)인 “SHAPE OF TOP OF ROLLING STOCK HEAD VEHICLE” 기술은 공기 저항을 저감하기 위해 철도차량의 차체구조의 형상 기술로서 KAWASAKI HEAVY IND, NIPPON SHARYO SEIZO, MITSUBISHI JUKOGYO, HIGASHI NIPPON RYOKYAKU TETSUDO KK, ZH TETSUDO SOGO GIJUTSU KENKYUSHO, RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE 등 6개 기관에 가장 많은 기술 영향을 미치고 있어 핵심기술로 파악할 수 있음.
- 또한, HIGASHI NIPPON RYOKYAKU TETSUDO KK의 핵심 특허기술인 일본 특허(공개번호 JP2005155129A) “Shock absorbing structure for tunnel,

includes pipe sections which are protruded to outside from hood section” 기술은 터널공사시 충격흡수 구조기술로서 다출원 기관들인 한국철도기술연구원, 일본의 RTRI(Railway Technology Research Institute) 및 ZH TETSUDO SOGO GIJUTSU KENKYUSHO 에 많은 기술영향을 주고 있어 주요 세부핵심기술로 파악할 수 있음.

(10) 특허 출원 동향을 통한 집중/공백분야 등 전망

(10-1) 특허출원 기술분야별 집중/공백분야 전망

< 지표 설명 >	
- TDA Co-occurrence matrix는 모든 특허(231건)의 기술영역(DWPI MANUAL CODE)을 Matrix* 형태로 분석한 것으로, 특허 출원이 많은 기술영역(집중기술)과 적은 기술영역(공백기술)의 분석이 가능함	
* Matrix 분석 : x축과 y축에 기술영역(DWPI MANUAL CODE)을 두고, 상호 연관된 특허건수를 도출함으로써, 출원이 많은 영역과 적은 영역의 분석이 가능	

Reset	Manual Codes (Cleaned)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Manual Codes (Cleaned)	# Records	# Records	30	25	23	18	15	15	15	14	12	11	10	10	10	10	8	8	7	7	6	6
		Show Values >= 1 and <= 30	W01-A06C4: Telephone and data transmissi	T01-C03C: Digital computers -> Input/output	X23-A05: Electric railways and signalling -	Q21-A12: Railways -> Railway track arra	W01-A06B5A: Telephone and data transmi	W05-D08E: Alarms, signalling, telemetry a	X23-B04E: Electric railways and signalling	T01-J07D1: Digital computers -> Data proc	W05-D07D: Alarms, signalling, telemetry a	T01-N02B3B: Digital computers -> Internet	W05-D06F: Alarms, signalling, telemetry a	T01-N01D: Digital computers -> Internet a	W01-A03B: Telephone and data transmissi	W01-A06C2: Electric railways and signalling	X23-B02C: Electric railways and signalling	W01-A06A: Telephone and data transmissi	X23-B05C: Electric railways and signalling	X23-A02C: Electric railways and signalling	X23-B: Electric railways and signalling ->	T01-C07C3: Digital computers -> Input/out
		Cooccurrence # of Records	10	3	3	1	9	6	2	4	6	4	4	4	3	5	1	1	4	1	4	2
			10	3	3	1	9	6	2	4	6	4	4	4	3	5	1	1	4	1	4	2
1	30	W01-A06C4: Telephone and data transmissi	10	3	3	1	9	6	2	4	6	4	4	4	3	5	1	1	4	1	4	2
2	25	T01-C03C: Digital computers -> Input/output	10	3	3	1	9	6	2	4	6	4	4	4	3	5	1	1	4	1	4	2
3	23	X23-A05: Electric railways and signalling -	3	3	3	1	5	4	4	5	4	2	1	1	1	2	5	3	1			
4	18	Q21-A12: Railways -> Railway track arra	10	3	3	1	9	6	2	4	6	4	4	4	3	5	1	1	4	1	4	2
5	15	W01-A06B5A: Telephone and data transmi	9	6	1	1	9	1	2	7	4	9	2	2	2	1	4	1	2			
6	15	W05-D08E: Alarms, signalling, telemetry a	7	6	5	9	15	4	4	11	6	10	3	2	2	1	4	1	2	1		
7	15	X23-B04E: Electric railways and signalling	3	2	4	1	4	15	4	4	4	3	2	2	2	1	2	2	3	1		
8	14	T01-J07D1: Digital computers -> Data proc	6	4	4	2	4	4	14	3	2	2	2	3	2	2	2	2				
9	14	W05-D07D: Alarms, signalling, telemetry a	7	5	5	7	11	4	3	14	6	8	4	2	2	3	1	1	2	1		
10	12	T01-N02B2B: Digital computers -> Internet	4	4	4	4	6	4	2	6	12	4	3	3	3	1	4	2	1	1	2	
11	11	W05-D06F: Alarms, signalling, telemetry a	8	5	2	9	10	3	2	8	4	11	3	2	2	1	4	1	2			
12	10	T01-N01D: Digital computers -> Internet a	7	4	1	2	3	2	2	4	3	3	10	3	2	3	1	2	3			
13	10	W01-A03B: Telephone and data transmissi	4	3	1	2	2	2	2	3	2	3	10	10	1	2	1	2	1			
14	10	W01-A06G2: Telephone and data transmissi	4	3	1	2	2	2	2	3	2	3	10	10	1	2	1	2	1			
15	10	X23-B02C: Electric railways and signalling	3	3	2	1	1	1	3	2	1	1	2	1	10	1	1	1	2			
16	8	W01-A06A: Telephone and data transmissi	4	5		4	4	2	2	3	4	3	2	2	1	8	1	1	1			
17	8	X23-B05C: Electric railways and signalling	2	1		1	1	2	2	1	2	1			1	8			2			
18	7	X23-A02G: Electric railways and signalling	1	5		1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7	1				
19	7	X23-B: Electric railways and signalling ->	4	4	3	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	7					
20	6	T01-C07C3: Digital computers -> Input/out	1	2	1	1	1	2	1	2	3	1	1	2	1	2						

그림 2.1.31 TDA Co-occurrence matrix (DWPI MANUAL CODES 비교)

○ TDA(Thomson Data Analyzer) Co-occurrence matrix를 통한 기술 분포를 살펴보면, 특허가 많이 나타나는 곳(적색 박스 교차점)을 기술개발이 활발하게 이루어지는 집중기술 영역으로 볼 수 있으며, 빈칸으로 표시되는 곳을 공백기술 부분으로 판단할 수 있음.

- 이 중, 신호제어 및 측정을 위한 변환기기 (Transmission systems for measurement or control signals_W05)분야와 관계가 많은 영역을 좀 더 세밀하게 살펴보면, 철도차량 신호기기 관련기술(W05-D07D)(적색 박스 표시)과 모니터링 기술(W05-D08E)(적색 박스 표시)관련 특허 11건이 상대적으로 연구가 가장 집중되는 영역으로 판단할 수 있음.
- 그 외의 공백분야 및 건수가 작은 분야는 상대적으로 연구가 부족한 분야로 볼 수 있음.

(10-2) 특허 출원인별 연계성 분석

< 지표 설명 >	
TDA Cross-correlation matrix는 특허 다출원인 간 상관관계를 Matrix* 형태로 나타낸 것으로, 출원건수가 많은 출원인 특허를 중심으로 상호 연계하여 개발되는 기술영역의 핵심기업을 제시하는 분석이 가능함	
* Matrix 분석 : x축과 y축에 특허 다출원인을 두고, 각 기술영역별 피어슨 상관관계수 기재 (-1에 가까울수록 반비례, 1에 가까울수록 정비례 관계, 0은 상호 무관)	

Reset	Patent Assignees (Best Available) CI		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Patent Assignees (Best Available) (Cleaned)	# Records	# Records	22	10	9	7	6	6	6	5	5	5	4	4	4	3	3
		Show Values >= 0.00 and <= 1.00	KOREA RAILROAD RES INST	ZH TETSUDO SOGO GIJUTSU KENKYU	HITACHI LTD	CHINA RAILWAY NO 4 SURVEY&DESIGN	HIGASHI NIPPON RYOKYAKU TETSUDO K	KAWASAKI HEAVY IND LTD	UNIV BEIJING JIAOTONG	CHEN L	NISHINIPPON RYOKYAKU TETSUDO KK	TOKAI RYOKYAKU TETSUDO KK	MITSUBISHI HEAVY IND LTD	NIPPON SHARYO SEIZO KK	UNIV SOUTHWEST CHINA JIAOTONG	FUJITSU LTD	KOBE STEEL LTD
		Cross-Correlation Crossed With: Patent Assignees (Cleaned - No Individuals) # of Records Pearson's r															
1	22	KOREA RAILROAD RES INST	-0.013	-0.010	-0.016	-0.016	-0.015	-0.010	-0.010	-0.022	-0.016	-0.024	-0.010	-0.012	-0.010	-0.014	-0.014
2	10	ZH TETSUDO SOGO GIJUTSU KENKYUSHO	-0.013	-0.009	-0.016	0.225	0.016	-0.009	-0.009	0.451	-0.015	0.059	-0.009	-0.011	-0.009	-0.013	-0.013
3	9	HITACHI LTD	-0.010	-0.009	-0.011	-0.011	-0.010	-0.007	-0.007	-0.015	-0.011	-0.016	-0.007	-0.008	-0.007	-0.009	-0.009
4	7	CHINA RAILWAY NO 4 SURVEY&DESIGN	-0.016	-0.016	-0.011	-0.019	-0.017	-0.011	-0.011	-0.025	-0.019	-0.028	-0.011	-0.014	-0.011	-0.016	-0.016
5	6	HIGASHI NIPPON RYOKYAKU TETSUDO K	-0.016	0.225	-0.011	-0.019	0.544	-0.011	-0.011	0.024	0.083	-0.028	-0.011	-0.014	-0.011	-0.016	-0.016
6	6	KAWASAKI HEAVY IND LTD	-0.015	0.016	-0.010	-0.017	0.544	-0.010	-0.010	-0.022	0.530	-0.025	-0.010	-0.012	-0.010	0.202	0.202
7	6	UNIV BEIJING JIAOTONG	-0.010	-0.009	-0.007	-0.011	-0.010	-0.007	-0.007	-0.015	-0.011	-0.016	-0.007	-0.008	-0.007	-0.009	-0.009
8	5	CHEN L	-0.010	-0.009	-0.007	-0.011	-0.010	-0.007	-0.007	-0.015	-0.011	-0.016	-0.007	-0.008	-0.007	-0.009	-0.009
9	5	NISHINIPPON RYOKYAKU TETSUDO KK	-0.022	0.451	-0.015	-0.025	0.024	-0.022	-0.015	-0.015	0.000	-0.024	0.768	-0.015	-0.018	-0.015	-0.021
10	5	TOKAI RYOKYAKU TETSUDO KK	-0.016	-0.015	-0.011	-0.019	0.083	0.530	-0.011	-0.011	-0.024	0.000	-0.027	-0.011	-0.016	-0.011	-0.011
11	4	MITSUBISHI HEAVY IND LTD	-0.024	0.059	-0.016	-0.028	-0.028	-0.025	-0.016	-0.016	0.768	-0.027	0.000	-0.016	-0.020	-0.016	-0.023
12	4	NIPPON SHARYO SEIZO KK	-0.010	-0.009	-0.007	-0.011	-0.011	-0.010	-0.007	-0.007	-0.015	-0.011	-0.016	-0.008	-0.008	-0.007	-0.009
13	4	UNIV SOUTHWEST CHINA JIAOTONG	-0.012	-0.011	-0.008	-0.014	-0.014	-0.012	-0.008	-0.008	-0.018	-0.013	-0.020	-0.008	-0.008	-0.011	-0.011
14	3	FUJITSU LTD	-0.010	-0.009	-0.007	-0.011	-0.011	-0.010	-0.007	-0.007	-0.015	-0.011	-0.016	-0.007	-0.008	-0.009	-0.009
15	3	KOBE STEEL LTD	-0.014	-0.013	-0.009	-0.016	-0.016	0.202	-0.009	-0.009	-0.021	0.951	-0.023	-0.009	-0.011	-0.009	-0.009

그림 2.1.32 TDA Cross-correlation matrix

- TDA(Thomson Data Analyzer) Cross-correlation matrix를 통한 기술 분포를 살펴보면, 특허출원 건수(Records)가 많은 출원인 TOP 15 中, 상관관계가 0.5 이상으로 높은 기업은 상호 연계하여 핵심적으로 해당기술을 선도하는 기업영역으로 볼 수 있음.
- KOBE STEEL LTD와 TOKAI RYOKYAKU TETSUDO KK가 서로 상관관계가 0.917로 가장 높은 것으로 분석되며, 양사 간에 기술경쟁관계가 가장 밀접하게 연계됨을 판단할 수 있고 MITSUBISHI HEAVEY IND LTD와 NISHINIPPON RYOKYAKU TETSUDO KK가 상관관계 0.766으로 두 번째로 기술경쟁관계가 가장 밀접하게 연계됨을 파악할 수 있음.
- 향후 상호 연계성이 높은 분야를 고려하여, 핵심기업의 경쟁기술 관계를 파악할 필요가 있음.

4. 분석결과에 따른 시사점

가. 논문분석 결론

- 터널 미기압과 저감 후드 분야 논문 추이를 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 159건의 관련 논문이 발표되고 있으며, 일부 증감이 있지만 대체적으로 1990년대 후반부터 증가하는 추세를 나타내고 있어 최근 철도선전국을 중심으로 관심이 높아지고 있는 분야로 판단할 수 있음.
- 철도 터널 미기압과 기술(A기술) 분야의 논문이 많이 발표되고 있으며, 저널별로는 ACADEMIC PRESS LTD ELSEVIER SCIENCE LTD, PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD, LSEVIER SCI LTD, PROFESSIONAL ENGINEERING PUBLISHING LTD 등 유럽, 미국의 저널에서 많은 논문이 발표되고 있음.
- 국가별로 보면, 유럽의 기관에서 많이 발표(40%)되고 있으며, 한국도 약간의 논문 실적이 발표(8%)되고 있는 상황으로 관련 분야 연구 노력이 필요한 상황임.
- 이 분야에서는 Howe, MS 교수(미국 Boston Univ)가 21건으로 가장 많이 발표한 것으로 나타나고 있음. 이 분야 최다 연구기관은 미국 Boston Univ가 24건, 일본의 RTRI(Railway Technology Research Institute)가 8건의 논문을 발표하였으며, 미국 Boston Univ가 관련 분야 논문을 많이 발표하고 있어 해당분야를 선도하고 있음을 알 수 있음.

나. 특허분석 결론

- 터널 미기압과 저감 후드 분야의 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 231건

의 관련 유효특허가 출원되고 있으며, 중국이 37%(85건)로 최다이며, 일본, 한국, 미국, 유럽의 순으로 출원되고 있음. 우리나라는 2006년 이후 출원 특허가 전체 특허의 60% 이상을 차지하는 등 최근 관련 분야 관심이 증가하고 있음이고 보여짐.

- 세부 기술별로 보면, 철도터널 미기압과 저감기술(A기술)과 원격 모니터링기술(B기술) 분야 특허가 50%씩 동일하게 나타나고 있음. 특허를 많이 출원한 상위 5 출원인(Top 5 Assignee)을 살펴 보면, 한국의 KRRI, 일본의 HITACHI, RTRI, 중국의 북경교통대 등이 많은 출원을 하고 있으며, 이 분야 다 출원인들은 일본의 HITACHI를 제외하고 대부분 자국 특허에 국한되어 출원한 것을 통해, 국제 기술 경쟁이 가속화하지는 않은 것으로 보여짐.
- 출원국가별 세부기술 특허분포를 살펴보면, 일본, 한국이 철도터널 미기압과 저감기술(A기술) 분야 특허가 많이 나타나고 있음. 원격 모니터링(B기술) 분야는 중국이 가장 많은 특허를 출원하고 있는 것으로 나타나고 있으며, 출원건수가 가장 많은 것을 볼 때 이 분야 강점을 보유하고 있는 것으로 보여짐.
- 지수 분석을 통해 국가별 경쟁력을 비교해보면, 해외 특허 시장확보력을 의미하는 시장 확보지수(PFI)는 해외 출원 Family Patent가 많은 유럽이 높게 나타나고 있으며, 원천/핵심 특허 보유와 관련이 높은 인용도지수(CPP) 및 영향력지수(PII) 및 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서는 미국이 가장 높은 경쟁력을 나타내고 있음. 이를 통해 볼 때, 향후 연구를 진행함에 있어 質적으로 가장 우수한 미국 특허를 중심으로 세부 선행기술을 분석하는 것이 필요할 것으로 판단됨.
- 한국의 경우 특허건수, 시장확보력, 인용도 등 기술영향력과 관계된 대부분의 지수에서 낮은 수준을 보이고 있어 향후 관련 분야 기술 확보가 시급히 요구되는 상황임.
- 해외 신흥시장(동남아, 아프리카 등)에서 원천기술의 특허출원이 필요함.
- 유효특허 231건에 대한 Text mining을 통해 핵심 연구영역을 살펴보면, Air/Hood/Inside, Section/Structure/Hole, Node/Network/Sensor 등의 Text가 특허 청구항 등에 많이 나타나고 있어, 해당 분야에 대한 기술 집중도가 높은 것으로 볼 수 있음. 특히 2014년에 출원된 최신 특허들을 보면 Device for accurately positioning railway locomotive, Real-time detection method for high-speed rail, Online monitoring track traffic axle temperature system 등 원격 모니터링(B기술)과 관련된 기술이 최근 추세임을 알 수 있음.