

차세대 고속전철시스템 주요기술 특성 분석

Analysis for Main Properties of basic characteristic of HEMU-400x

박춘수* 최성훈** 한인수** 김상수** 이태형** 김기환**

Park, Choonsoo Choi, Sunghoon Han, Insoo Kim Sangsoo Lee, Taehyung Kim, Kiwhan

ABSTRACT

High-speed railway is important transportation in the world because it has a lot of merits like as very comfortable, environmental benefits, energy savings, etc. The increase of demand for high-speed railway influence to develop of new high-speed trains. Many countries introduced new high-speed train in the market and it meets to the market's needs. They adopt new technology and systems like that active suspension, synchronous permanent magnetic motor, distributed drive system, aero acoustics, etc. In Korea, the project for R&D of new high-speed train is launched in 2007. We need analysis for main properties of new high-speed train(HEMU-400x). This paper presents the comparisons, analyzed characteristics of main properties like as traction system and braking system. In this analysis, we can know our technical position in the world and what is important to focus on the development. It is very useful to develop a next generation high-speed train in Korea.

1. 서 론

국내 고속철도기술의 향상과 해외 경쟁력 확보 등을 위해 시속 400km 급 동력분산형 고속전철시스템을 개발하는 기술개발사업을 한국철도기술연구원을 중심으로 2007년부터 진행하고 있다. 지난 1996년부터 개발된 한국형 고속열차는 동력 집중식, 연결(연접, 관절)대차 방식으로 개발되어, 호남·전라선에 투입되는 KTX-II 고속열차로 계약되었으며, 금년 말 영업운행을 눈앞에 두고 있다.

국토부에선 한국형 고속열차의 개발과 해외 고속철도 선진국의 기술개발 방향 등을 종합하여 철도 부흥기에 대응할 수 있는 국내 고속철도기술의 확보가 필요하다는 인식하에 동력분산식의 고속열차를 개발하는 사업을 2008년 7월에 착수하였다. 이 사업에서 개발하는 고속전철시스템은 동력분산식, 독립대차 방식을 채택하여 개발이 진행되고 있기 때문에, 개발되는 주요 시스템 관점에서, 기존에 개발된 한국형 고속열차시스템과는 판이한 차이를 보이고 있다. 주요 기기가 상하에 배치되고 동력차가 전체에 분산배치 되는 등 많은 기술적인 부분이 상이하기 때문에, 주요시스템의 개발목표 설정을 위해서는 기술적 특성 분석이 선행될 필요가 있다.

본 논문에서는 개발중인 차세대 고속전철시스템의 주요시스템 및 기술적 특성인자에 대해, 차세대 고속철도사업에서 검토되어 설정된 주요 기술목표들에 대해 철도선진국의 고속전철시스템들과 비교하여 우리 기술의 현주소를 파악하고 향후 전개되는 기술개발과정에 고려사항으로 삼고자 한다. 특히, 추진 및 제동시스템을 중심으로 개발하려는 시스템의 기술적 특성과 다른 고속열차의 특성을 비교하고자 한다. 현재 세계적으로 최선의 고속전철시스템은 프랑스의 AGV, 독일의 VELARO, 일본의 FASTECH 등이 대표적이라 할 수 있는데, 이러한 최선의 고속전철시스템과 차세대고속철도기술개발사업에서 개발하는 고속열차시스템의 기술적 특성들을 수치적으로 비교하는 것은 매우 의미있는 과정이라 할 수 있을 것이다.

* 한국철도기술연구원, 차세대고속철도사업단, 정회원

E-mail : cspark@krti.re.kr

TEL : (031) 460-5621 FAX : (031)460-5649

** 한국철도기술연구원, 차세대고속철도사업단

2. 차세대 고속철도기술개발사업[1]

2.1 사업 추진체계와 일정

차세대 고속철도기술개발사업은 국토해양부가 주관부처, 한국건설교통기술평가원이 전문기관을 담당하며 한국철도기술연구원이 사업총괄을 수행하는 사업단 형태의 연구개발사업으로, 총 사업기간은 6년으로 2007년 7월에 시작하여 2013년 7월에 종료한다. 총 투입 연구비는 정부출연금 692억원, 민간부담금 279.1억원으로 총 971.1억원으로 계획되어 있다. 전체기간을 3단계로 구분하여 1단계에는 시스템 설계, 2단계에는 시스템 제작, 3단계에는 시스템시험으로 추진된다. 전체사업을 구성하는 주요 기술분야는 4개의 분야로 시스템엔지니어링 기술개발, 기반기술개발, 분산형 차량 기술개발, 선로구축물 유지보수 기술이다.

2.2 연구개발 목표 및 내용

차세대고속철도기술개발사업에서는 최고시험속도 400km/h(영업속도 350km/h) 동력분산식 고속열차(HEMU-400X, Highspeed Electric Multiple Unit-400km/h eXperiment) 개발을 목표로 하고 있다. 특히, 최초 차량개발부터 최종 시운전평가(10만km)를 One-Set 계획으로 추진하여 개발기간 단축 및 사업비를 절감하는 한편 고속열차 선진국들의 개발 추세에 조속하게 부응하려 하고 있다. 동력분산식은 동력집중식에 비하여 에너지 효율성과 유지관리 편리성은 물론 수송수요에 따라 차량편성을 용이하게 변경할 수 있는 장점이 있으며, 뛰어난 가감속 성능으로 여행시간을 단축할 수 있고 축중을 낮출 수 있어 선로의 부담을 작게 하여 시설물의 유지보수 비용을 감소시킬 수 있다.

세부 개발 내용으로는 6량 편성의 시제열차를 개발하여 10만km 시운전을 통한 성능검증과 신뢰성 확인, 소형 경량 주변압기, 유도전동기와 영구자석 동기전동기를 병행하는 추진시스템을 독자적으로 개발하여 400km/h급 고속열차의 주행성능을 보장하는 한편, IT 기반 승객 편의장치와 터널 통과시 실내 기압 조절, 자동회전식으로 안장 조절 기능이 있는 좌석, 인간공학적 공간 디자인과 실내공간 증대, 기존 고속열차와 동일한 수준의 객실 소음 차폐로 승객의 편의성을 향상하는 등의 목표로 개발이 추진된다. 아울러 안전성 향상을 위해 국가가 철도안전법에서 제시하는 성능항목을 모두 만족하는 동시에 지능형 안전모니터링 시스템과 GPS와 대차진동 감시장치를 이용한 안전운행지원 시스템을 개발할 계획이다. 또한 유럽 시장 진출을 위해 유럽 규격에 적합하도록 차량을 설계/제작하고 국내의 다양한 철도 신호방식인 ATS/ATC/ATP 통합 신호시스템도 개발된다. 이외에도 공력 최소화를 위한 전두부를 순수 국내 기술로 개발하고 경량화를 위해 차체를 경량 복합재료 또는 알루미늄을 사용하여 설계하고, 고성능 제동시스템, 고속 능동형 현가 대차, 저소음 판토틀라프, 차세대 차상컴퓨터 제어장치, 최적 소형 보조전원장치, 고용량 소형 배터리장치를 개발할 예정이다.

Fig. 1 과 Fig. 2는 이 사업에서 개발될 고속열차의 편성을 보여주고 있으며, 향후 운영편성은 8량을 기본으로 10량(8M2T), 12(10M2T)량 등 수요에 따른 편성이 가능하도록 하였으며, 시제편성은 운영편성의 성능 및 기능을 확인하기 위해 6량(5M1T)으로 개발하고 있다.

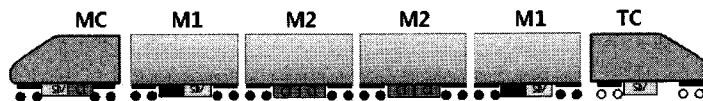


Fig. 2 Test Train Configuration

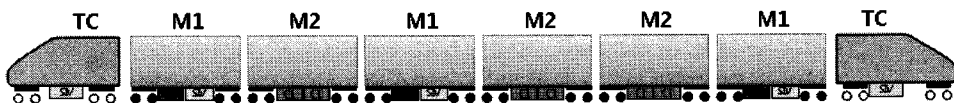


Fig. 3 Future Commercial Train Configuration(8-trais, 10-trains)

3. 기술적 특성분석

3.1 추진력

고속열차의 추진력은 주행저항을 초과하는 힘으로, 열차가 목표로 하는 최고속도에 도달할 수 있도록 하는 힘으로 볼 수 있으며, 저속열차보다 고속열차의 추진력이 상대적으로 매우 크다. 또한, 고속열차시스템의 추진력을 선정할 때는 열차의 중량 및 형상에 따른 주행 저항력에 대해서도 고려하여야 한다. Table. 1은 주요 고속열차의 편성 및 관련 기술항목을 보여주고 있다. 이를 바탕으로 여러 각도에서 추진력을 비교해 보고자 한다.

Table. 1 Technical Datas of High-Speed Trains

| Technical Data | KTX-II | HEMU | Velaro E | AGV | FASTECH |
|---------------------|-----------|----------|----------------------|--------------------|-------------------------|
| Formation | 2P+8T | 6M+2T | 4M+4T | 6M+6T (11-cars) | 6M+2T |
| Length (m) | 201 | 192 | 200.32 | 190 | 205 |
| Weight (ton) | 434 | 416 | 415 | 408 | 368 |
| Width/Height (m) | 2.97/3.73 | 3.1/3.7 | 2.95/3.89 | 2.9/3.8 | 3.38/3.65 |
| Axle Load (ton) | 17 | 13 | 13(Mean), 16(Max) | 17 | 11.5(Mean) 12.5(Max) |
| Carbody | AL Alloy | AL Alloy | AL Alloy | Al+Composit | AL Alloy |
| Top Speed (Km/h) | 300 | 350 | 350 (360) | 360 | 320/360 |
| Power (MW) | 8.8 | 9.84 | 8.8 | 8.64 | 8.6 |

- ※ 주 1. HEMU : 차세대고속철도기술개발사업으로 개발중인 고속열차의 약칭
 2. Velaro E : ICE3 기반으로 독일의 Simense사에서 스페인에 납품한 고속열차
 3. AGV : TGV 기반으로 프랑스의 Alstom사가 개발한 차세대 고속열차
 4. FASTECH : 일본의 동일본 철도(주)에서 시험열차로 개발한 고속열차

3.1.1. 열차 중량당 총출력 비교

Table 2는 열차 총중량 대비 출력을 계산한 값을 보여주고 있다. 표에서 볼 수 있듯이 전체적으로 20-24 KW/Ton 범주에 있으며, 일본의 신간선 고속열차가 AGV보다 큼을 알 수 있다. 그러나 이러한 중량대비 출력은 운행속도와 연관을 갖고 있기 때문에 이에 대한 검토가 필요하다. Fig. 3과 Fig. 4는 일본의 신간선 고속열차와 프랑스 TGV의 운행속도별 중량대비 출력을 보여주고 있다. 이 그림에서 신간선 열차가 동일한 운행속도에서 TGV보다 약간 높은 값을 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 운행자의 운행 패턴에 따른 특성을 보여주고 있음을 알 수 있다. 즉, 중량대비 출력이 높다는 것은 가속도를 높게 가져갈 수 있음을 알 수 있고, 이는 신간선 열차가 보다 높은 가속성능을 가지고 있다고 볼 수 있다. 또 다른 면으로는 낮은 중량으로 고효율을 낼 수 있도록 기술개발이 진행되고 있음을 Table 2와 Fig. 3-4를 통해 알 수 있다.

Table. 2 Comparison Power based on Weight

| Technical Data | KTX-II | HEMU | Velaro_E | AGV | FASTECH |
|--------------------------|--------|-------|----------|-------|---------|
| Power/Weight (KW/Ton) | 20.28 | 23.65 | 21.21 | 21.18 | 23.37 |

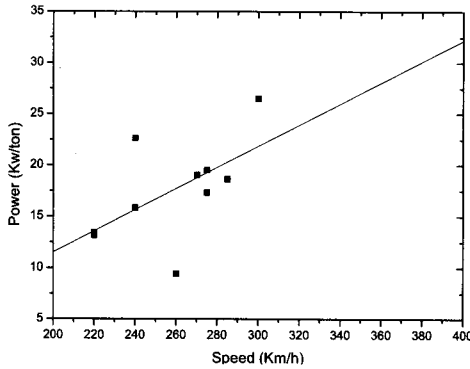


Fig. 4 Power of Shinkansen Train

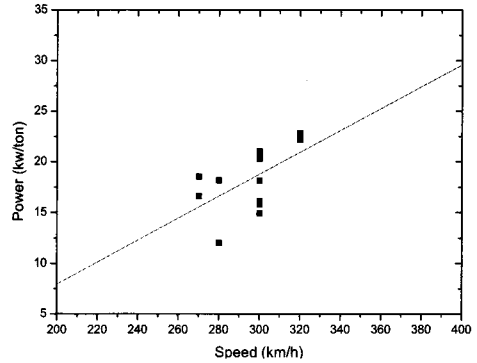


Fig. 5 Power of TGV Train

3.1.2. 열차 체적당 총출력 비교

Table 3은 열차의 출력을 열차 전체 부피로 나눈 값을 보여주고 있다. 여기서 열차의 부피는 단순히 폭과 높이 및 길이를 곱한 값으로 순수한 단면적과는 약간의 차이가 있을 수 있으나, 전체적인 경향을 보는 관점에서는 무리가 없을 것으로 본다. 이 결과로 부터는 일본의 "FASTECH" 열차와 "Velaro E" 열차가 보다 최적의 설계임을 알 수 있다.

Table. 3 Comparison Power based on Volume

| Technical Data | KTX-II | HEMU | Velaro_E | AGV | FASTECH |
|--------------------------------------|--------|------|----------|------|---------|
| Power/Volume (KW/m ³) | 3.95 | 4.47 | 3.83 | 4.64 | 3.40 |

3.1.3. 열차별 견인력관련 비교

고속열차의 속도별 견인력은 그 열차시스템의 추진특성을 볼 수 있는 중요한 결과이다. Fig. 5는 KTX-II, FASTECH, ICE 등 고속열차의 속도별 견인력을 보여주고 있다. 이 그래프의 데이터는 공개된 자료에 기반을 두고 그렸기 때문에 정확한 값과는 약간의 차이가 있을 수 있다. 이 그래프에서 보면 독일의 고속열차는 저속에서 높은 견인력을 내고 있으며, 고속영역에서는 상대적으로 낮은 특성을 보이고 있다. 차세대 고속철도기술개발사업에서 개발하는 HEMU의 경우는 독일과 일본의 중간 정도의 특성을 보임을 알 수 있다. Fig. 6은 견인력과 속도를 곱한 열차의 총출력을 열차의 총중량으로 나눈 값을 속도별로 그린 것이다. Fig. 7은 열차의 총 출력을 총 중량으로 나누어 속도별 가속도 그림이다. Fig. 8은 Velaro E를 기준으로 중량당 출력을 그린 그림이다.

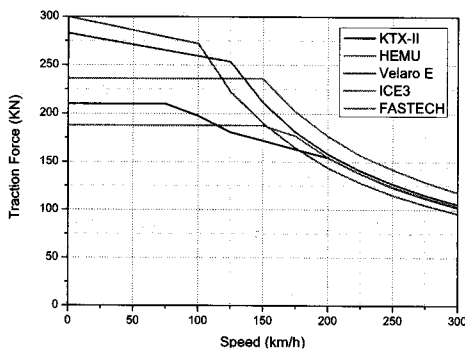


Fig. 6 Tractive Effort Diagram

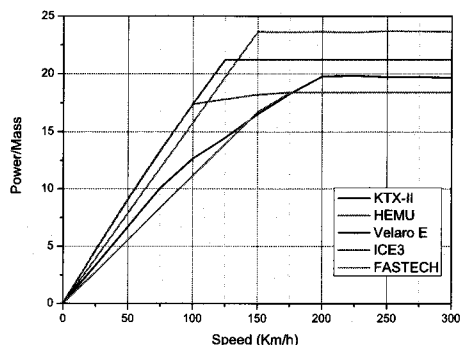


Fig. 7 Power Diagram based on Mass

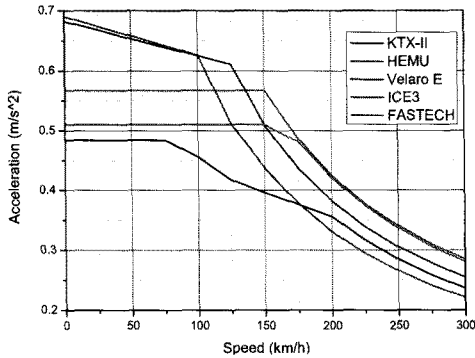


Fig. 8 Acceleration Diagram

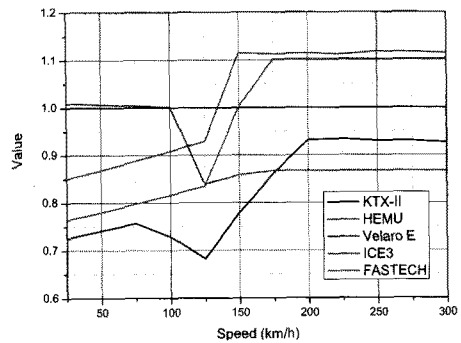


Fig. 9 Power Comparison Diagram

3.2 제동력

고속열차의 제동력은 기계제동, 전기제동 및 와전류제동으로 구분할 수 있다. 일반적으로 기계제동은 부수차에 디스크제동, 동력차에 휠디스크 제동을 사용하고 있으며, 전기제동은 회생제동과 저항제동으로 구분할 수 있다. 와전류제동은 독일 ICE에 채택하여 사용하고 있으나, 다른 나라에서는 사용하지 않고 있다. 와전류제동은 휠과 레일의 접촉범위에 국한되지 않고 사용할 수 있어 장점이 있으나, 선로 시스템 등에 영향을 줄 수 있어, 독일을 제외한 다른 나라에서 채택을 주저하고 있다.

제동력의 선정은 열차의 운행속도와 각 나라의 운행에 대한 규정에 따라야 한다. 유럽의 통합 규정인 TSI(Technical Specification for Interoperability)[2]에 따르면, 제동시스템 설계시의 기준이 되는 감속도를 Table. 4 이상으로 하도록 하고 있으며, 제동거리는 Table. 5를 만족하도록 하고 있다.

Table. 4 Braking Performance (Minimum deceleration, TSI)

| Train Speed (km/h) | 350-300 | 300-230 | 230-170 | 170-0 |
|------------------------------|---------|---------|---------|-------|
| Emergency(m/s ²) | 0.75 | 0.90 | 1.05 | 1.2 |

Table. 5 Maximum Stopping Distance (TSI)

| Train Speed (km/h) | 350-0 | 300-0 | 250-0 | 200-0 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| Emergency(m) | 5360 | 3650 | 2430 | 1500 |

Table. 6 Braking Performance (Minimum deceleration, Shinkansen)

| Train Speed (km/h) | 230- | 160-230 | 110-160 | 70-110 | 70-0 |
|------------------------------|------|---------|---------|--------|------|
| Emergency(m/s ²) | 0.42 | 0.53 | 0.69 | 0.86 | 0.94 |

Table. 7 Braking Performance (design deceleration, HEMU)

| Train Speed (km/h) | 230-300 | 160-230 | 110-160 | 70-110 | 70-0 |
|------------------------------|---------|---------|---------|--------|------|
| Emergency(m/s ²) | 0.44 | 0.53 | 0.69 | 0.86 | 1.11 |

HEMU의 제동력은 국내 철도안전규격인 철도안전법을 만족하는 시속 300km에서 0에 이르는 제동거리 3300m를 만족하도록 개발하고 있다. Table. 4와 6의 감속도를 기준으로 제동거리를 계산하여 보

면, TSI 기준에서는 시속 300km에 0에 이르는 제동거리는 3441m이며, 신간선의 경우는 6818m이다. 그러나 신간선에서는 통상적으로 4000m를 비상제동거리 기준으로 사용하고 있다. 유럽에서는 회생제동이 불가능한 비상상황에서도 제동성능을 확보할 수 있도록 전기제동에 회생과 저항제동을 포함하고 있으나, 최근의 신간선 고속열차에는 저항제동기능이 없다. HEMU에서는 유럽의 방식과 동일하게 저항제동을 설치하여 회생제동이 불가능한 비상상황에서도 제동성능이 발휘되도록 개발하고 있다.

3.3 축중

고속열차의 최대 축중은 동력장치의 집중과 분산에 따른 중량문제로 집중식과 분산식이 크게 다르다. 일반적으로 집중식은 동력차의 축중이 크기 때문에 최대 축중이 크며, 상대적으로 분산식은 동력장치를 분산하여 배치하기 때문에 최대 축중이 작다. 고속열차의 축중은 선로 등의 시설물에 직접적인 영향을 주기 때문에 축중을 낮추는 것이 중요하며, 고속을 내기 위해서는 레일과 차륜의 점착계수와 축중의 곱으로 결정되는 점착견인력이 높아야하므로 이를 위해 무작정 낮추는 것은 바람직하지 않다. Table. 8은 주요 고속열차의 축중과 열차길이당의 하중을 보여주고 있다. 연접대차 방식인 KTX-II 및 AGV가 상대적으로 큰 편이며, 일본의 FASTECH이 가장 낮다. 또한, 길이당 중량도 전반적으로 분산식이 낮으며, 일본의 N700계와 같은 다른 고속열차에서도 이 값은 2.0이하를 보이고 있다.

Table. 8 Comparison Mass/Length

| Technical Data | KTX-II | HEMU | Velaro_E | AGV | FASTECH |
|---------------------|--------|------|----------------------|------|-------------------------|
| Mass/length (ton/m) | 2.16 | 2.17 | 2.07 | 2.15 | 1.80 |
| Axle Load (ton) | 17 | 13 | 13(Mean), 16(Max) | 17 | 11.5(Mean) 12.5(Max) |

3.4 전장품

동력분산식의 경우에는 추진 및 제동을 위한 전장품이 분산배치되어 있으므로 이들 전장품의 무게를 줄이는 노력이 축중을 낮추는 결과로 이어진다. Table. 9-11은 TGV 및 신간선의 모터 및 변압기의 중량 대비 용량을 보여주고 있으며, 기술개발 결과를 보여주기도 하고 있다.

Table. 9 Comparison of TGV Motors

| Train | TGV Paris-Sud-est | TGV Atlantique | TGV POS | AGV |
|---------------|-------------------|----------------|---------|------|
| Power (KW) | 535 | 1130 | 1160 | 800 |
| Mass (Kg) | 1560 | 1525 | 1350 | 768 |
| Ratio (Kg/KW) | 2.96 | 1.35 | 1.16 | 0.96 |

Table. 10 Comparison of Shinkansen Main-Transformer (50Hz)[3]

| Train | 200 | 400 | E2, E3 | E4 |
|----------------|------|------|--------|------|
| Capacity (KVA) | 2350 | 1900 | 2875 | 4150 |
| Ratio (Kg/KVA) | 1.32 | 1.57 | 1.06 | 0.83 |

Table. 11 Comparison of Shinkansen Main-Transformer (60Hz)[3]

| Train | 0 | 100 | 300 | 500 | 700 |
|----------------|------|------|------|------|------|
| Capacity (KVA) | 1650 | 2500 | 2900 | 5400 | 4160 |
| Ratio (Kg/KVA) | 2.04 | 1.01 | 1.06 | 0.74 | 0.74 |

4. 결 론

국내의 고속철도기술의 완성과 세계 고속철도 선진국과의 기술경쟁을 위해 추진되고 있는 차세대 고속철도기술개발사업에서 개발하는 고속열차는 최선의 기술개발 동향을 반영하여 추진하고 있다. 본 논문에서는 이러한 개발기술의 특징을 추진 및 제동성능 위주로 살펴보았다

추진성능은 나타난 지표로서는 다른 고속철도 선진국에 비하여 뒤떨어지지 않는 것으로 분석되었으며, 제동성능은 우리나라의 규정이 엄격하여 그 기준을 맞추기 위해서는 성능 입장에서는 고속철도 선진국에 결코 뒤지지 않을 것으로 보인다. 그러나 이러한 결과는 외형적인 성능을 보여주는 것으로 실질적으로는 성능대비 경량화 정도, 효율의 증가, 전력소모량 및 제어성능의 우수성 등이 갖추어져야 세계적인 기술수준을 확보하였다고 말할 수 있을 것이다. 그러나, 이러한 실질적인 비교는 이 논문에서 고려하지 못하였다. 차세대 고속열차(HEMU)는 설계 및 시제품 제작단계에 있어 그러한 비교를 위한 자료가 아직 만들어지지 않았기 때문이다. 따라서 실질적인 기술 수준을 보기 위한 비교 작업은 다음의 과제로 남겨둘 수밖에 없다.

한 국가의 고속철도기술이 다른 나라와 어깨를 견줄 수 있으려면 외형적인 성능뿐 아니라, 동일 용량의 중량, 크기, 전력소모 등 실질적인 성능이 중요하다. 따라서 차세대 고속철도기술개발사업에서 개발되는 고속열차의 주요 장치 및 부품은 이러한 고성능/고효율 장치로 개발되어야 세계와 경쟁하고 우리 열차가 해외로 진출할 수 있을 것이다. 기술은 날로 발전하며, 늘 새로운 것은 없다. 고속열차의 기술개발도 끝은 없어 보인다. 오늘의 새로운 기술은 내일 낡은 기술로 이어진다. 따라서 부단한 기술의 개발만이 도태되지 않고 세계 고속열차 시장의 경쟁에서 우리나라가 살아나갈 수 있는 방법이다.

후기

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(과제번호 07차세대고속철도A01)에 의해 수행되었습니다

참고문헌

1. 이태형 등, “최고시험속도 400km/h 동력분산식 차세대 고속열차 개발”, 한국철도기술, Vol. 23, 2009
2. Interoperability of the Trans-European High Speed Rail System, “Technical Specification for Interoperability(TSI) Rolling Stock Sub-system”, 2008
3. Kenichi Nakamura, et, “The technical Trend of Traction Transformer”, 三菱電氣技報, Vol79, No12, 2005
4. 알스톰 홈페이지 (<http://www.alstom.com>)
5. 지멘스 홈페이지 (<http://www.siemens.com>)
6. 박춘수 등, “세계 고속열차 기술개발 동향과 시사점 ”, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 2008