

한국형 신형전기기관차 개발

Development of KNR electric locomotive

전훈종* , 박만수** , 박두만***

Jeon, Hoon-Jong Park, Man-Su Park, Du-Man

Abstract

The electric locomotive make a development by using as a trial petition way on the basis of finding for several years in 1996 and the electric locomotive in KNR railway electrification section of AC25KV 60Hz, can couple with passenger train of 700 ton doing running possibility from evenness to maximum running speed 140Km/h , Specially, propulsion equipment operates three phase AC motor that behaves axle control by VVVF inverter and affords higher axle per tractive effort as behaving control by SIBAS32 that up-to-date technology is integrated. Also, new style electric locomotive is designed so that can run in -35 ~ 45 climatic condition.

1. 서론

현재 철도청의 전철화 계획은 경제적인 사정으로 인하여 다소 지연되는 경향은 있으나, 현재까지는 전철화 구간이 중앙선, 태백선 그리고 최근에 전철화된 영동선등이 전부이나 궁극적으로는 주요노선의 대부분은 전철화 될 예정이므로 전철화 시대 수요에 대비한 철도청의 새로운 전기기관차의 필요성이 대두 되었고, 또한 산업선 구간에서 지난 1972 년부터 도입되어 운용중인 8000 대 전기기관차의 수명 도래로 인하여 많은 유지보수 비용이 문제점으로 대두되어 이를 대체할 전기기관차가 필요하게 되었다.

이러한 점에서 신형전기기관차는 여객열차는 물론 화물열차의 견인에도 사용 할 수 있는 다목적용 기관차로서 독일에서 운용중인 BR152를 모델로 한국실정에 맞도록 개발 되었다.

[그림 1]은 신형전기기관차의 주요기기에 대한 배치도를 나타내고 있다.

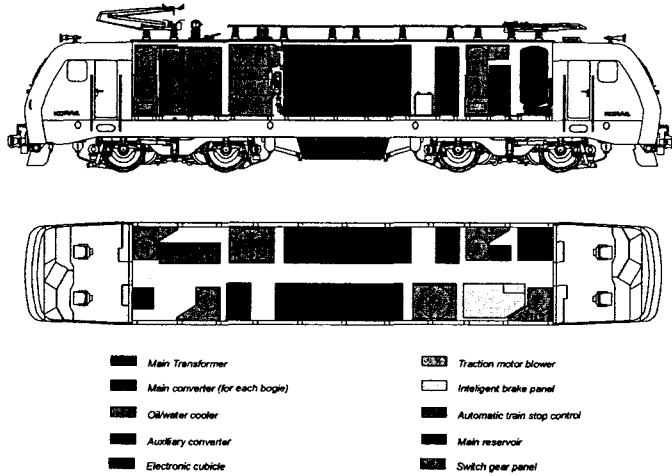
특정적으로 신형전기기관차는 언더프레임 하단 정중앙에 주변압기가 설치되고 이를 중심으로 4개의 축전지함과 8개의 모래함이 대칭적으로 배치되어 있다.

* ROTEM㈜ 중앙연구소, 제품설계 2 팀, 주임연구원, 공학석사, 031-460-1568, hunjong@rotem.co.kr

** ROTEM㈜ 중앙연구소, 제품설계 2 팀장, 수석연구원, 공학석사, 031-460-1560, pms@rotem.co.kr

*** ROTEM㈜ 중앙연구소, 제품설계 2 팀, 책임연구원, 공학석사, 031-460-1563, pdm@rotem.co.kr

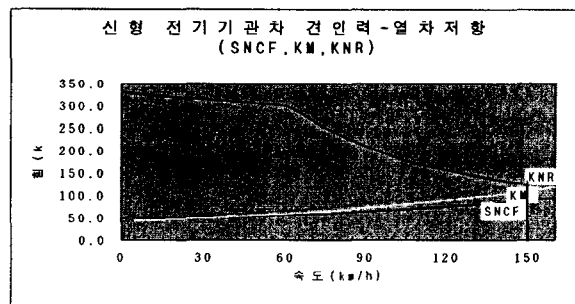
또한 기계실 내부는 운전실간의 통로 및 배선/배관이 정중앙에 위치하고 주변환기, 냉각타워, 보조인버터 및 주전동기 송풍기가 대칭으로 배치되어 있고, 제동함, 보조제어함, 전자제어함 및 ATS함등이 표시와 같이 배치되어 있으며, 기관차의 중량을 맞추기 위한 조정용 중량함이 설치 되어 있다.



[그림 1. 주요기기배치도]

2. 신형전기기관차의 특징 및 기술사양

신형전기기관차는 62.4Km/h부터 150Km/h까지의 속도 범위에서 연속정격이 5200KW로서 62.4Km/h에서 300KN의 견인력을 낼 수 있다. 이 성능은 24.5KV에서 29.5KV 전압범위에서 보증된다. 신형전기기관차는 700톤의 여객열차를 견인하고 140Km/h의 속도로 주행 할 수 있으며, 화차는 1.25%의 경사구간에서 1100톤을 견인 할 수 있다.



[그림 2. 견인력-열차저항 선도]

신형전기기관차의 또다른 특징은 광범위한 범위(19KV~ 27.KV)에서 역율이 0.99이상이며, 이런 높은 역율로 인하여 방해전류에 의한 전원 공급 시스템의 영향을 최소화 할 수 있다. 교류 추진 시스템의 전력 전자 기술은 ICE 구동차에 적용되었던 최신의 GTO 기술이 채택되어 있고, 가장 먼저 고려되어야 할 사항인 유지보수 및 교환시 많은 장점을 가지고 있는 수냉각기가 결합된 모듈러 구조의 상 모듈이 인버

터에 사용된다.

물론 신형전기기관차 제어 시스템은 이미 성능이 입증된 SIBAS32 시스템을 사용하여 제어는 물론 기관차 지원기능 및 검수기능을 지원하게 된다.

비상제동을 포함한 모든 제동시에는 전기제동을 우선 작용시켜서 기계적인 마모가 최소가 되도록 고려하였으며, 제동시 발생하는 전력은 시스템에 회생된다.

출발시 최적의 점착계수는 개별 인버터에 의한 각축 제어를 통해서 얻어지며, 각축제어는 신형전기기관차의 커다란 특징중에 하나로서 이런 배열의 특징 때문에 출발시 각 축에서 생성되는 견인력의 균형이 이루어지게 된다. 통상 견인 및 제동시에는 축중의 이동현상이 있는데 축중의 변화는 견인력의 차이로 나타나기 때문에 이를 고려한 축단위 제어를 행하고, 활주방지 또한 각축 단위로 제어되므로 다른 제어 방식에 비하여 높은 견인력을 낼 수 있다.

현대적 설계의 운전실은 모든 주위온도에 대하여 냉난방이 가능하며, 실내의 외관이 미려하고, 공간이 매우 넓어 쾌적한 승무 환경을 제공한다. 또한 운전실은 외기와 철저히 차단되고 실내압력은 외부압력에 영향받지 않도록 설계되어 있다.

참고로 표1에는 신형전기기관차의 주요 제원이 표시되어 있다.

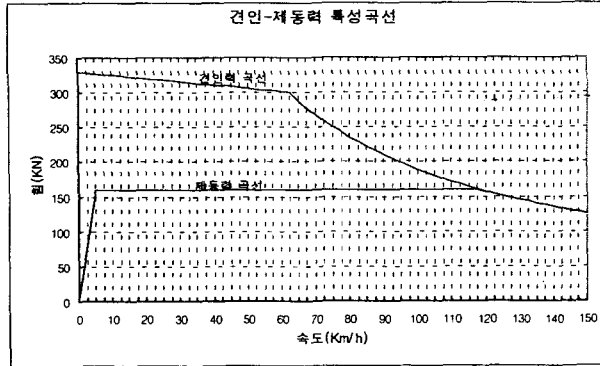
휠 배열	
전기 시스템	
궤간	
연결기면간 거리	
대차중심간 거리/축간 거리	
연속정격	
최고속도	
출발견인력	
전기제동	
공기제동	
견인전동기	
용도	

[표 1. 주요제원]

3. 기관차 성능

3.1 기관차 출력

신형 전기기관차는 Bo-Bo 형인 4 개의 축 배치를 하고 있으며, 중량은 88 ton 으로 축당 22 ton 의 하중을 받고 있다. 연속 정격 출력은 62.4~150 km/h 의 속도범위에서 5200 kW 이다. 기관차의 최대출발 견인력은 330 kN (점착계수 $\mu=0.382$ 가 확보될 경우) 이고 62.4 km/h 까지 300 kN 으로 선형적으로 감소하며 그 이상의 속도에서는 특성곡선에 따라 변화한다.



[그림 3. 속도에 따른 견인/ 제동력 곡선]

3.2 비상운전

신형 전기기관차에는 2대의 주변환기가 탑재되고, 각각의 주변환기에는 2대의 인버터가 링크단을 공유하며 연결되어 견인전동기 1대와 연결되어 있으므로 1개의 견인전동기가 고장시 75%, 2개의 견인전동기가 고장시 50%의 출력을 낼 수 있다. 따라서 운행중인 열차를 종착역까지 계속 감속 운행하거나 근처의 역까지 운행하여 대피할 수 있는 충분한 출력 여유가 있다.

3.3 전기 제동력(회생 제동력)

기관차의 전기 제동력은 (기관차 중량 88 ton, 점착계수 $\mu=0.19$ 의 경우) 160 kN으로 5 ~ 117 km/h의 속도범위에서 일정하며, 그 이상의 속도에서는 특성곡선을 따르고, 5 km/h 이하의 속도에서는 전기제동력이 거의 없다.

따라서 전기 제동력은 신형 전기기관차의 거의 모든 운행 속도범위에 대하여 일정한 전기 제동력을 확보할 수 있어 공기제동 체결로 인한 제동부품의 마모를 최소화 할 수 있다.

3.4 공기 제동력

기관차에는 제동거리(화차 110Km/h에서 600m, 객차 150Km/h에서 1000m 이하)에 맞는 제동성능을 확보하기 위하여 Wheel Mounted Disc Brake장치가 취부되며 최대 92.48 kN의 제동력을 발생한다. 이때 최대 평균 감속도는 3.45 km/h/s이며 최대 평균 감속도를 유지하기 위해서는 차륜과 레일 사이의 점착계수 $\mu=0.11$ 를 필요로 한다.

Disc 제동장치에서 Disc와 Pad사이의 평균 마찰계수 $\mu=0.35$ 로 계산한다.

4. 견인성능

4.1 기관차의 견인성능

신형전기기관차의 특성곡선에 따른 실제운행시의 운용을 다음의 각 경우

- ▶ 기관차(88 t) + 객차(700 t)
- ▶ 기관차(88 t) + 화차(1088 t)
- ▶ 기관차 2량(88×2 t) + 화차(1088 t)

에 대하여 평탄선, 5%, 10%, 20% 및 30% 구배에 대한 이튼균형속도를 시뮬레이션을 통해 확인한다.

4.2 열차 저항 공식

열차 저항 공식은 운용주체마다 적용하는 공식이 다르다. 본 시뮬레이션에서는 주행저항은 SNCF 공식을 사용하고 기타저항은 철도청속도정수사정규정에 따라서 적용한다. 참고로 철도청에서 사용하는 공식을 소개하면 아래와 같다.

▶주행 저항 [속도정수사정규정 제21조]

$$\text{전기기관차} : R_t(kN) = \left(1.30 + \frac{29}{G_t} + 0.03 \cdot V + \frac{0.0024 \cdot A \cdot V^2}{w \cdot N}\right) \cdot G_t \cdot \frac{9.81}{1000}$$

$$\text{객차} : R_p(kN) = (1.5 + 0.012 \cdot V + 0.0004 \cdot V^2) \cdot G_p \cdot \frac{9.81}{1000}$$

$$\text{화차} : R_f(kN) = (1.0 + 0.012 \cdot V + 0.0004 \cdot V^2) \cdot G_f \cdot \frac{9.81}{1000}$$

▶구배저항 [속도정수사정규정 제22조]

구배저항 $R_g(\text{kgf}) = g \cdot W$ (g :구배(%), W :차량중량(ton))으로 계산한다.

$$R_g(kN) = g \cdot W \cdot \frac{9.8}{1000}$$

▶출발저항 [속도정수사정규정 제20조]

출발저항 $R_s(\text{kgf})$ 는 기관차 5 kgf/ton, 객차 3 kgf/ton, 화차 5 kgf/ton으로 계산한다.

▶기타

열차의 운행시 고려하여야 할 저항은 상기의 저항 이외에 곡선저항 및 터널저항등이 있으나 본 시뮬레이션에서는 계산상 고려하지 않는다.

4.3 점착계수

철도청 속도정수사정규정 제13조에서 사용하고 있는 속도별 평균점착계수는 다음과 같다.

$$\mu = 0.326 \times (1 + 0.279V) / (1 + 0.367V) \quad \text{여기서 } V = [\text{Km/h}]$$

그러나 상기의 철도청 공식은 일정속도 이후에는 계산된 평균 점착계수가 속도에 대하여 거의 불변이어서 저속운전일 경우에는 적용에 무리가 없으나, 고속영역에서는 실제평균 점착계수와는 상당한 차이를 보이므로 본 시뮬레이션에서는 다음의 점착 계수식을 사용 하였다.

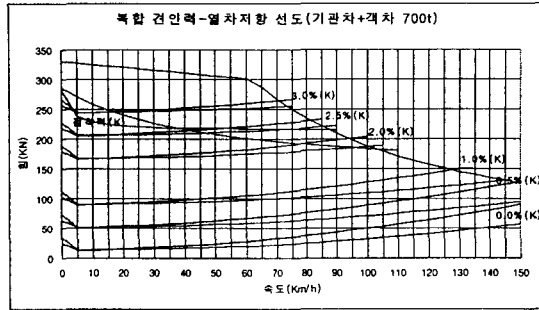
$$\mu = 0.161 + 7.5 / (44 + V) \quad \text{여기서 } V = [\text{Km/h}]$$

5. 견인 특성곡선, 점착력 곡선 및 열차저항

5.1 기관차(88 t) + 객차(700 t) 견인시

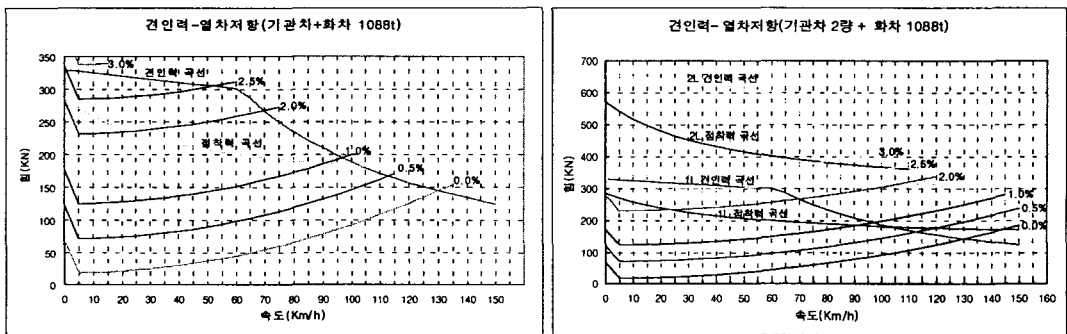
향후 철도청에서 운행될 수 있는 객차의 최대중량을 새마을 객차 14량 편성을 상정하고 승객중량은 최

대 200%를 고려하여 이를 견인중량으로 계산함.



[그림 4. 철도청/SNCF 공식에 따른 주행저항 값]

5.2 기관차(88 t) + 화차(1088 t) 견인시



[그림 5 화차 1088ton 견인시 구배별 주행 저항값]

6. 결론

본 한국형 전기기관차는 설계에서부터 시험완료까지 약 5년여 간에 걸쳐 수행되어 왔으며, 또한 객차 뿐만아니라 화차도 견인 할 수 있는 다목적 용도의 전기기관차로서 상기의 시뮬레이션을 통하여 성능을 입증 시켰을 뿐만아니라 실제 객/화차 견인을 통하여 우리나라 환경에 적응되었는지를 실험을 통해 입증 하였다.

또한 향후 대부분의 선로가 전철화 진행 되는 중대한 현시점에 있어 개발/운용에 입증된 신형전기기관차를 한국형 신형 전기기관차에 계속 투입/생산이 필요하다고 하겠다.

참고문헌

1. Electric Locomotives for Korea National Railroad(1999), Elektrische Bahnen, 독일
2. 철도 속도정수사정 기준규정(1981), KNR