

전기기관차 견인특성 및 시험

Test and traction characteristic of Electric Locomotives

전훈중* 김철호** 임재형***
Jeon, Hun Jong Kim, Chul Ho Lim, Jae Hyung

ABSTRACT

New locomotives 8100 & series 8200, based on the BR152 of German railway are suitable for heavy-duty freight traffic as well as for passenger transport.

This electric locomotive had applied by trial petition way and 57 car is operating in mainline and industrial line until now.

As matter of fact, this has a purpose to help designing and manufacturing the new electric locomotive in these day when almost all the line is changing into the electric fire line.

This thesis has a purpose to check whether the actual simulation value properly apply and meet the designing value, comparing the result of the simulation for the performance of developed locomotive with the result of the type test which can be proceed in actual locomotive in korea (evaluating both the design value and the performance of the real locomotive).

1. 서 론

신형전기기관차 8100대, 8200대는 여객열차는 물론 화물열차의 견인에도 사용할 수 있는 다목적용 기관차로서 독일에서 운용중인 BR152를 모델로 한국 실정에 맞도록 개발되었다.

본전기기관차는 시용청원을 통해 국내에 적용/시험되어 현재까지 57량의 전기기관차가 산업선 및 본선에서 운행중에 있다. 근래들어 주요노선이 전철화되고 있는 시점에서 향후 새로운 전기기관차 제작 및 설계시 도움이 되도록 하는데 목적이 있다.

본 논문은 개발된 차량의 성능에 대한 시뮬레이션 결과와 실제차량을 국내 환경에서 특성시험을 통해 얻은 결과를 비교함으로써(설계치 와 실제 제작된 차량의 성능을 평가함으로써)써, 설계치와 얼마만큼 근접되어 제작 되었는지 평가함으로써 실제 시뮬레이션에 적용된 성능 인자들이 적절히 적용되었는지 확인하는데 목적이 있다.

* 전훈중, 일반회원, 로템, 기술연구소

E-mail : hunjong@rotem.co.kr

TEL : (031)460-1382 FAX : (031)460-1789

** 김철호, 회원, 로템, 기술연구소

E-mail : chk@rotem.co.kr

*** 임재형, 비회원, 로템, 기술연구소

E-mail : milim@rotem.co.kr

2. 일반사항

성능

일반적인 **기관차의 성능**은 출발 및 운행시의 최대견인력 및 최대제동력을 속도별로 표시한 견인 특성곡선과 제동 특성곡선으로 대표되는 값으로 특히 운용상에서는 기관차 단독으로는 별 의미가 없고 시스템적 범위 내에서만 유효한 값이다.

시스템적으로 가장 중요한 제한 요소는 가선전압 및 점착계수로서 열차의 성능에 직접적인 영향을 끼치게 된다.

특히 기관차에서의 **견인력**은 $[F = W]$ 의 식에서 표시되는 바와 같이 같은 조건의 점착계수일 경우[= 일정] 단지 기관차의 **중량 W에 비례**하여 결정되는 값이다.

물론 제어방법의 차이로 인하여 사용가능한 점착계수의 범위가 넓어질 수는 있으나, 그 범위가 매우 한정적이므로 기본적으로는 **중량에 비례**하게 된다.

주요기기용량

신형전기기관차의 성능을 위한 주요기기의 정격용량을 개략적으로 요약 정리하면 다음과 같다.

견인전동기당 출력	5200 [KW] / 4 = 1300 [KW]
견인전동기 용량	1300 [KW] / 0.981 = 1325 [KW]
PWM 인버터 출력	$\sqrt{3} \times 2.028 [KV] \times 485 [A] = 1700 [KVA]$
DC링크 용량, 4QC 용량	$2.6 [kv] \times 637 [A] = 1656[KVA]/0.99 = 1670 [KW]$
주변압기 견인권선 용량	$1670 [KW] \times 4 / 0.98 = 6820 [KVA] \Rightarrow 6120[KVA]$
총용량	6306 [KVA]
접지브러쉬	600 A, 4개
주차단기	27.5KV, 60Hz, 1000A, 차단용량 : 16KA
판토타그래프	25KV, 700A(정지시)
피뢰기	30KV, 10KA
보조전원장치	3상, 60Hz, 440V, 80KVA
주공기 압축기	440VAC, 21KW, 10 bar, 2400 ltr/min.
보조공기압축기	110VDC, 860W, 8 bar, 70ltr/min.
축전지	Ni-Cd, 76셀, 102 [Ah]

2.1 기관차 성능

신형 전기기관차는 Bo-Bo 형인 4개의 축 배치를 하고 있으며, 중량은 88 ton으로 축당 22 ton의 하중을 받고 있다. 연속 정격 출력은 62.5~150 km/h의 속도범위에서 5200 kW이다. 기관차의 출발 견인력은 (건조한 레일에서 점착계수 = 0.371의 경우) 320 kN 이고 62.4 km/h까지 300 kN으로 선형적으로 감소하며 그 이상의 속도에서는 특성곡선에 따라 변화한다.

고속영역(최대속도 150 km/h)에서 600 ton 견인시 5.7 cm/s²의 잉여 가속도를 가지므로 열차 운용시 출력에 여유가 있다. (KORAIL 주행저항공식)

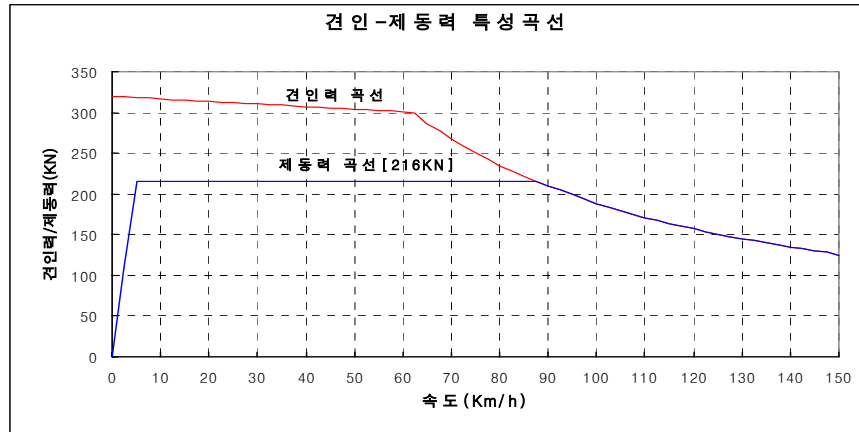


그림 1. 견인력 - 제동력 선도

신형전기기관차의 정격 견인출력 보증범위는 25KV ~ 29.5KV, 정격 제동출력 보증범위는 19KV ~ 29.5 KV의 전압범위이고, 보증범위 이외의 전압조건에서는 [그림2]의 가선전압에 대한 출력곡선에 따라 출력을 조절하게 된다.

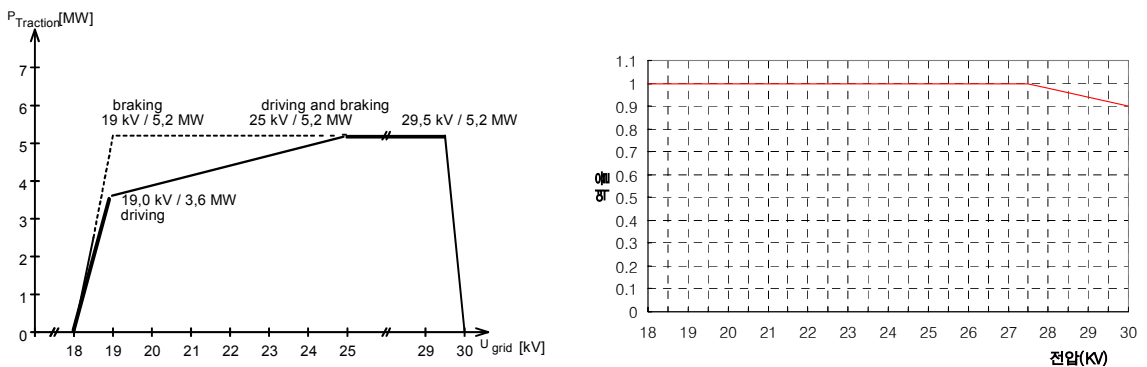


그림2. 전압-출력/역율 선도

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.

전기 제동력(희생 제동력 및 희생제동 소멸속도)

기관차의 전기 제동력은 (기관차 중량 88 ton, 점착계수 =0.25의 경우) 216 kN으로 5 ~ 86.6 km/h의 속도범위에서 일정하고, 그 이상의 속도에서는 특성곡선(그림1)을 따른다. 따라서 전기 제동력은 기관차의 전 운행속도범위에 대하여 제동력을 확보할 수 있다.

또한 5 ~ 0 Km/h까지 전기 제동력을 공기 제동력으로 전이하기 위해 아래와 같이 수행되어진다.

견인제어장치(TCU)는 전기제동 소멸을 제동제어장치(IBP)에 전달 전기 제동력을 BC압 증가에 반하여 0kN으로 감소하도록 조정함으로 부드럽게 정차 할 수 있도록 한다.

공기 제동력

기관차에는 Wheel Mounted Disc Brake장치가취부되며 최대 106.7 kN의 제동력을 발생한다. 이때 최대 평균 감속도는 3.97 km/h/s이며 이때 차륜과 레일 사이의 점착계수 =0.13를 필요로 한다.

Disc 제동장치에서 Disc와 Pad사이의 평균 마찰계수 =0.35라 가정한다.

주차 제동력

기관차에는 **Spring 작용식** 주차제동 장치가 축당 1개씩 취부되어 기관차 단독으로 주차할 경우 차륜과 레일사이의 접촉계수가 0.15일때 최대 40 %의 구배에서도 전동방지가 가능하며, 이때의 안전계수는 약 1.73이다.

2.2 견인성능 및 열차저항

기관차의 견인성능

기관차의 견인성능은 다음의 각 경우

- ▶ 기관차(88 t) + 객차(600 t)
- ▶ 기관차(88 t) + 화차(1100 t)

에 대하여 **평탄선, 5 %, 10 %, 20 %** 구배에 대한 최대속도 및 도달시간 등을 계산한다.

열차 저항 공식(KORAIL)

열차 저항 공식은 각 나라마다 사용하는 공식이 다르다. 독일철도(DB, Krauss Maffei)에서 사용하는 공식, 프랑스 국철(SNCF)에서 사용하는 공식, 철도공사(KORAIL)에서 사용하는 공식 등 여러가지가 있으나 본 계산서에는 철도공사에서 사용하는 공식으로 계산한다.

. 주행 저항

$$\text{전기기관차 : } R_l(kN) = \left(130 + \frac{29}{G_l} + 0.03 \cdot V + \frac{0.0024 \cdot A \cdot V^2}{w \cdot N}\right) \cdot G_l \cdot \frac{9.81}{1000}$$

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

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

. 구배저항

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

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

. 출발저항

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

. 기타

열차의 운행시 고려하여야 할 저항은 상기의 저항 이외에 곡선저항 및 터널 저항등이 있으나 본 검토에서는 계산상 고려하지 않는다.

가속도

가속도 계산시 기관차는 **1.14**, 객화차는 **1.06**의 질량관성 계수를 고려 하였다.

접착계수

철도공사 속도정수사정규정제13조에서 사용하고 있는 속도별 평균접착계수는 다음과 같다.

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

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

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

3. 견인 특성곡선, 열차저항 및 가속도 선도

3.1 기관차(88 t) + 객차(600 t) 견인시

향후 철도공사에서 운행될 수 있는 객차의 최대중량을 새마을 객차 13량 편성을 상정하고 승객중량은 최대 200%를 고려하여 이를 견인중량으로 계산함. 참고로 중량의 계산내역은 표. 1과 같다.

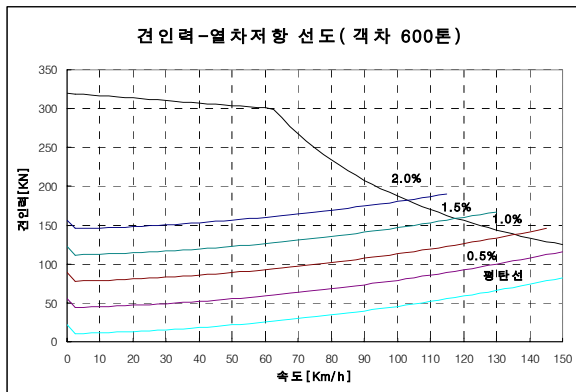


그림 3. 평탄선 및 5 %, 10 %, 20 % 구배에서의 견인성능

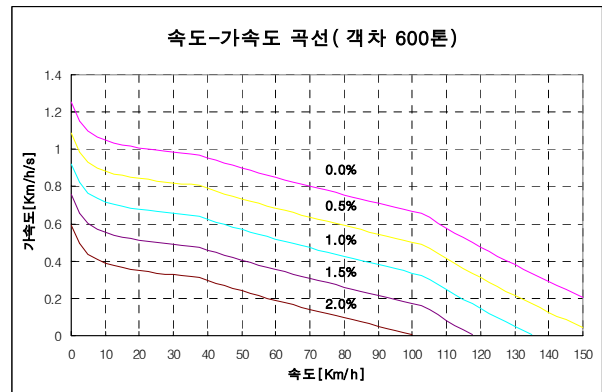


그림 4. 평탄선 및 5 %, 10 %, 20 % 구배에서의 가속도

표1. 객차편성 중량

차종	자중 [Ton]	좌석	편성 [량]	승객중량 [Kg]		만차중량 [Ton]		차종별 총중량 [Ton]	
				100%	200%	100%	200%	100%	200%
태극	38	45	1	2790	5580	40.8	43.6	40.8	43.6
보통B	39	64	9	3968	7936	43	47	387	423
보통C	38	64	2	3968	7936	42	46	84	92
식당	39	56	1	3472	6944	42.5	46	42.5	46
총중량		13량		604.6 [Ton]		철도공사 속도정수사정기준 승객 1인 중량 62 Kg 적용함.			

3.2 기관차(88 t) + 화차(1100 t) 견인시

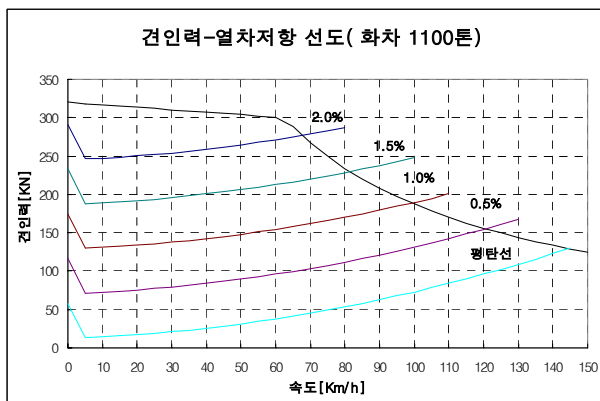


그림 5. 평탄선 및 5 %, 10 %, 20 % 구배에서의 견인성능

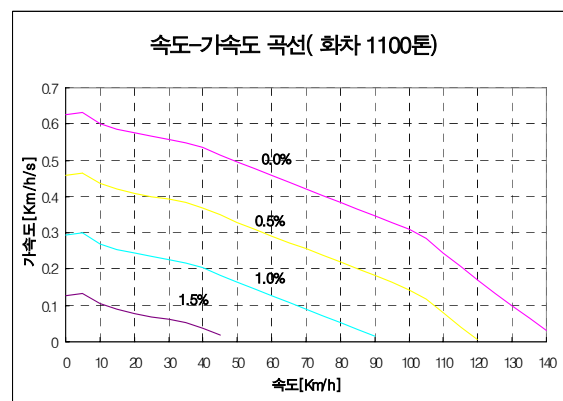


그림 6. 평탄선 및 5 %, 10 %, 15 % 구배에서의 가속도

3.3 구배별 견인정수 시뮬레이션 결과

상기에 적용된 인자를 통해 시뮬레이션 결과 다음과 같은 견인 정수를 얻게 되었다.

표2. 예측되는 견인 정수

속도	평 지	1.0%	1.10%	1.20%	2.50%	3.00%
20	192	34.5	32	31.5	15.5	11.5
40	144	32	30	29.5	14.5	11
60	107	29	27.5	27	14	10.5
80	79	26	25	24.5	13	9
100	58	22	21.5	21	11.5	8.5
120	37	16	15.5	14	8.5	6.5
140	24	11	11.5	10	6	4.5
150	20	10	9.5	8	5	4

4. 기관차 견인력 측정 및 구배별 화차 인출시험

4.1 기관차 견인력 측정

시험 조건 : 무궁화 객차 8량 견인, 시험 방법 : 0 -> 150Km/h -> 비상제동,

시험구간 : 감곡 -> 김재 (직선 - 800m(곡선) - 직선)

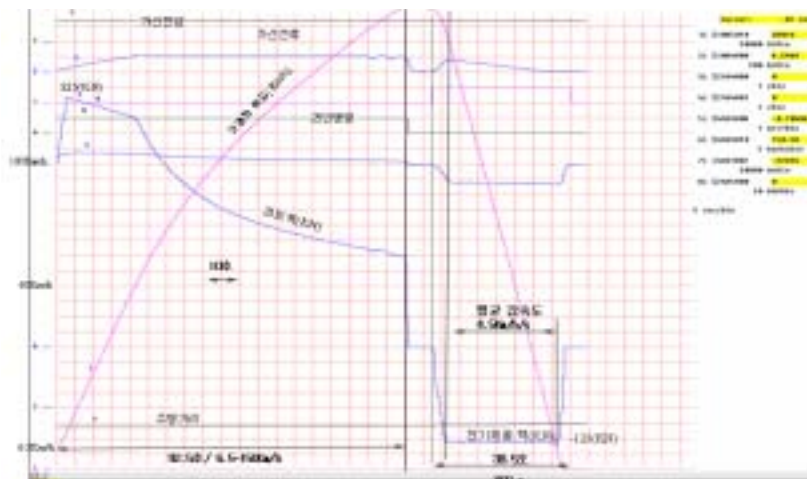


그림7. 8100대 전기기관차 견인_제동력 시험

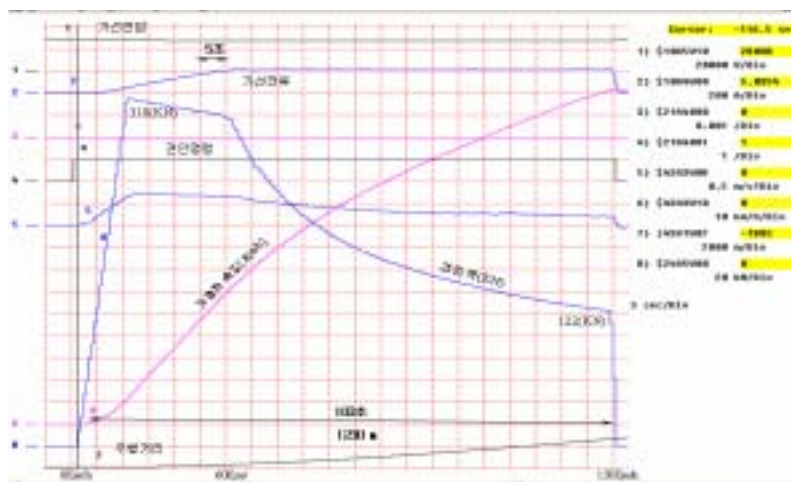


그림8. 8200대 전기기관차 견인력 시험

상기의 시험을 통해 측정된 전기기관차의 견인력이 설계된 견인력과 거의 일치함을 볼 수 있다.

4.2 구배별 화차 견인 시험

본 시험은 각 구배별로 시뮬레이션을 통한 견인량 수와 전기기관차 시험을 통해 얻은 실제 견인량 수를 비교함으로써, 설계 데이터와 얼마만큼 근접되어 설계되었는지 확인하는데 목적이 있으며, 그 시험 결과는 하기와 같다.

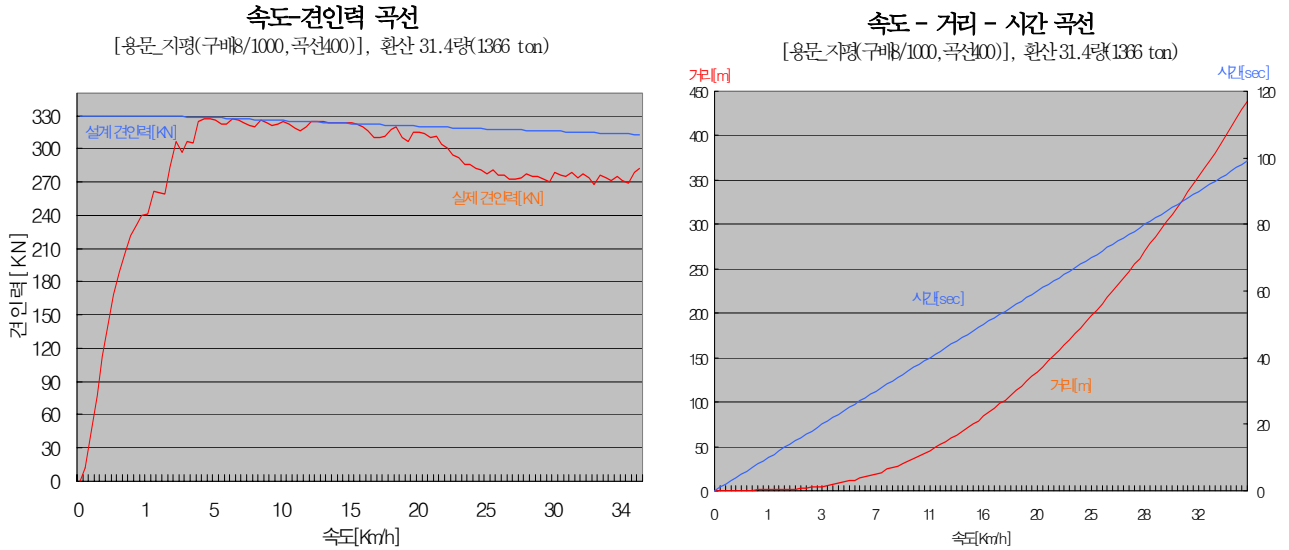


그림9. 견인력 시험(환산 31.4량, 구배 0.8%)

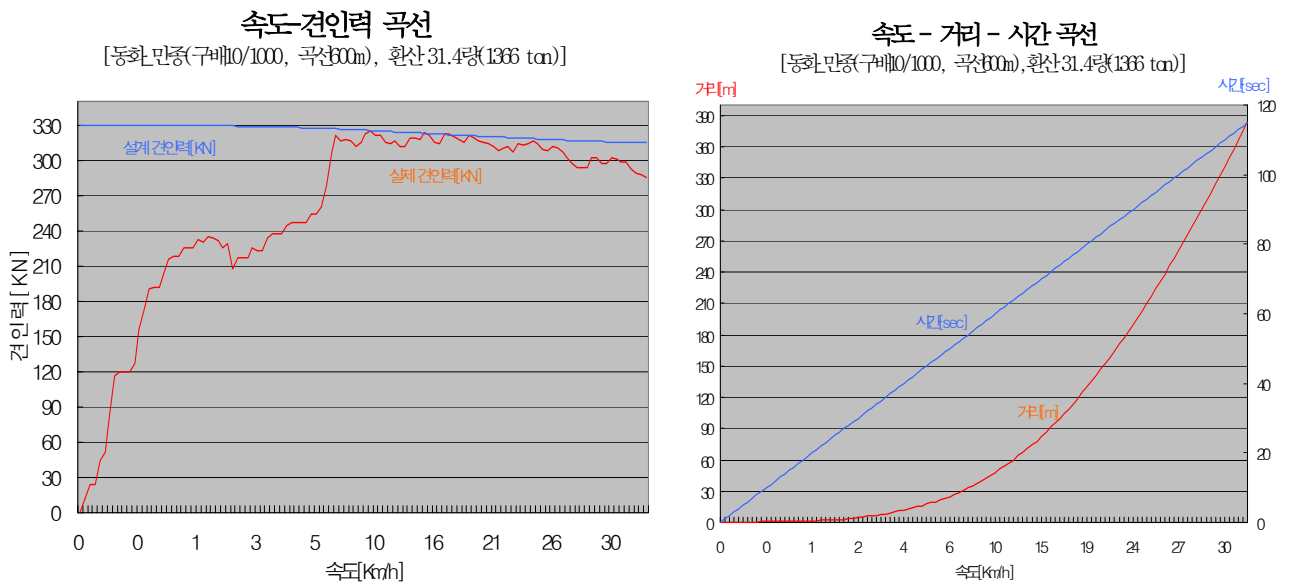


그림10. 견인력 시험(환산 31.4량, 구배 1%)

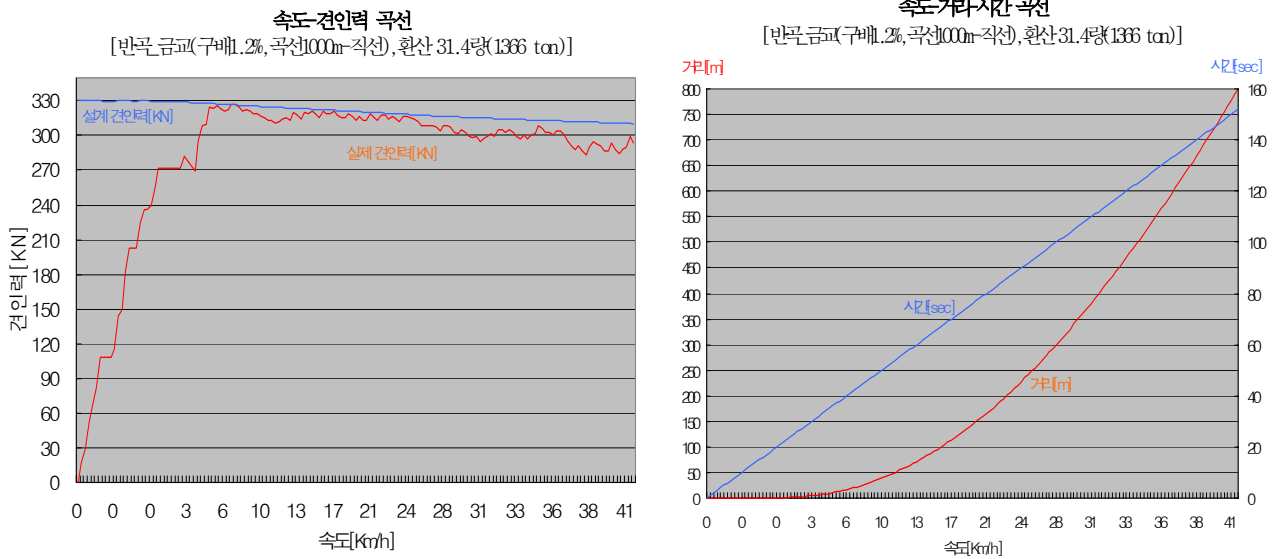


그림 11. 견인력 시험(환산 31.4량, 구배 1.2 %)

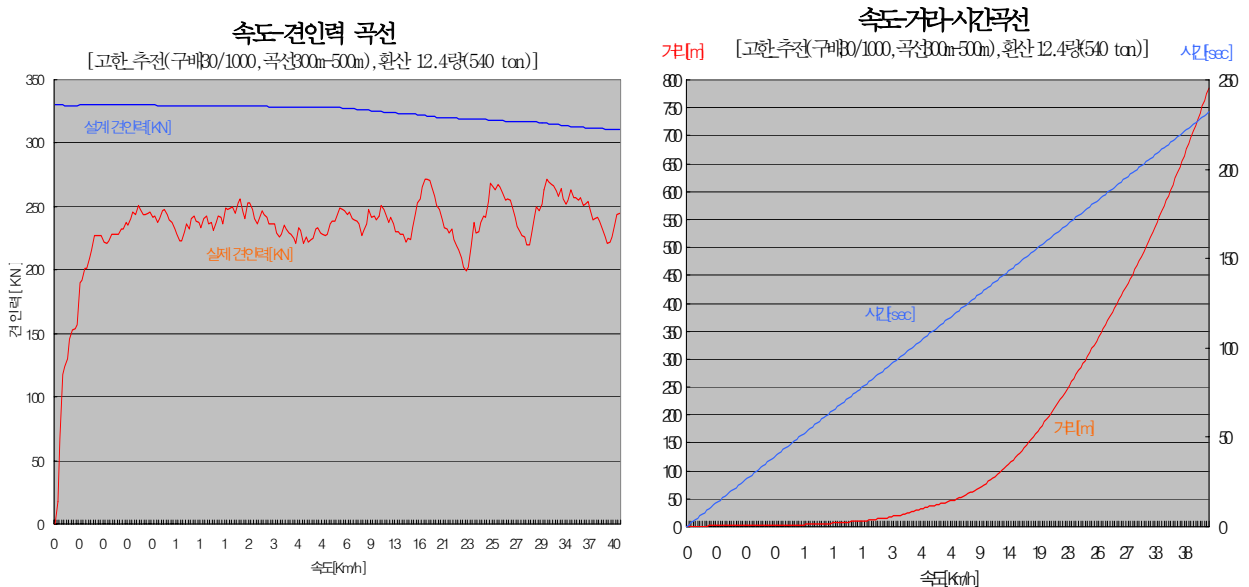


그림 12. 견인력 시험(환산 12.4량, 구배 3 %)

5. 결론

개발된 차량의 성능에 대한 시뮬레이션 결과 와 실제 시험을 통해 얻은 결과를 통해 개발된 차량이 객차 뿐만아니라 화차도 견인 할 수 있는 다목적 용도의 전기기관차로서 우리나라 환경에 적응되었는지를 시험을 통해 입증 하였다.

또한 설계 때 고려된 성능 인자들이 실제 차량과 얼마만큼 차이가 발생했는지를 시험을 통해 알 수 있었으며, 향 후 화물 또는 객차 견인 시 적정한 견인 정수를 결정할 때도 좋은 자료로 사용 할 수 있다.

참고문헌

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