

견인력 및 점착력 특성 분석을 통한 전동차 최대 가속도 규격 선정에 관한 연구

김정태^{*}, 김무선¹, 고경준², 장동욱¹

¹한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부, ²한국철도기술연구원 미래전략센터

The Study on the Standardization of the Maximum Acceleration of the Electric Multiple Unit through the Analysis of the Traction and the Adhesion Characteristics

Jungtai Kim^{*}, Moo Sun Kim¹, Kyeongjun Ko², Dong Uk Jang¹

¹Metropolitan Transportation Research Center, Korea Railroad Research Institute

²Future Strategy Center, Korea Railroad Research Institute

요약 도시철도의 표정속도를 증가시키기 위한 여러 가지 방법 중 가속도를 높이는 방법이 있다. 전동기의 견인력을 높이면 일정 목표 수준까지는 가속도를 향상시킬 수 있으나 점착력 제한 등으로 어느 수준 이상에서는 슬립이 발생하여 목표 가속도를 낼 수 없게 된다. 주행저항도 목표 가속도 선정 시 고려해야 할 요소이다. 견인력과 점착력 및 주행저항은 속도에 따라 변하는 함수이므로 가속도 규격을 선정하기 위해서는 속도에 따른 견인력, 점착력, 주행저항 등의 변화에 대한 분석이 필요하다. 본 연구에서는 차세대전동차를 대상으로 하였는데 이 전동차의 경우 전동부가 유선형이고 ICIM 방식의 모터제어를 수행하므로 기존의 주행저항 수식과 점착력 수식을 적용하는 것은 적합하지 않다. 따라서, 본 연구에서는 견인력과 점착력 수식으로부터 가속도 제한을 구하고 실제 시험 결과와 비교하여 대상 전동차에 맞는 점착력 수식을 도출한다. 이를 바탕으로 차세대전동차의 M카, T카 편성을 변경할 경우 수치적으로 가능한 최대 가속도 규격을 도출한다. 이렇게 이론적 한계를 제시함으로써 실제 가속도 규격 선정 시 도움이 될 수 있도록 한다.

Abstract The raise of the acceleration can be one of possible methods to increase the scheduled speed of the metropolitan railway system. It is possible to raise the acceleration to the some point by increasing the traction power of the motor. However, there is a limit of the acceleration because the traction power over some level related to the adhesion causes a slip, which prevents from accomplishing the target acceleration. The running resistance is also an important factor to consider. Both the adhesion and the running resistance as well as the traction power vary according to the velocity. Therefore, the standardization of the acceleration needs the analysis of these factors as a function of velocity. In this study, we focus on the advanced urban transit unit(AUTS) for the standardization. We derive a novel equation of the adhesion suitable for the AUTS by investigation of the traction and adhesion equation as well as the experiment data. And finally we propose the standard of the acceleration based on this analysis.

Keywords : Acceleration, Adhesion, Electric Multiple Unit, Running Resistance, Traction

1. 서론

도시철도의 표정속도를 증가시키기 위하여 여러 가지

방법이 제안되었는데, 이 중 전동차의 가감속도를 증가시키는 것은 특히 역간 거리가 짧은 노선에서 효과적인 방법이다[1]. 그런데 가속도의 경우 이를 증가시키기 위

본 논문은 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jungtai Kim(Korea Railroad Research Institute)

Tel: +82-31-460-5722 email: jtkim@krii.re.kr

Received October 8, 2015

Revised November 4, 2015

Accepted November 6, 2015

Published November 30, 2015

해서는 전동기의 용량을 증대시키거나 M카의 비중을 높여야 한다. 그러나 가속도를 일정 수준 이상으로 높이고자 하면 차륜과 레일 사이에 미끄러짐이 발생하여 목표한 바를 달성할 수 없게 된다. 차륜의 회전이 레일 위를 미끄러지지 않고 열차를 가속하는데 사용될 수 있도록 하는 힘이 점착력이며[2] 최대 가속도는 점착력을 초과하지 않는 범위에서 달성할 수 있다. 주행저항 또한 최대 가속도 규격 선정에서 고려해야 할 중요한 요소이다. 가속도에 대한 여러 가지 요소가 많은 관계로 이에 관하여 많은 연구가 이루어졌다. Jeon[3]은 전기기관차를 대상으로 가속도 규격 분석과 시험을 통해 견인 특성을 도출하고 시험결과와 비교하였으며 Kim[4]은 한국형 고속열차 HSR-350X를 대상으로 가감속도를 이용하여 견인력 및 제동력을 추정하였다. 위 두 연구[3,4]는 동력집중식 전기기관차를 대상으로 한 것이며 이밖에 동력분산식 전동차인 초고속열차 HEMU-430X를 대상으로 중량에 따른 가속도 변화를 도출하고 시험한 연구[5]도 있다.

동력분산식 전동차의 경우 전동기의 용량 증대 없이 편성 중 M카의 비중을 높여서 가속도를 증대시킬 수 있다는 장점이 있다. 그러나 이렇게 견인력을 증가시키더라도 이를 포함하여 점착력, 주행저항은 속도에 따라 변하는 값이므로 최대 가속도 규격을 선정하기 위해서는 이들의 속도에 따른 변화를 분석하여야 한다. 또한, 점착력을 계산할 때 기준이 되는 점착계수는 여러 가지 시험 등으로 얻은 경험적인 추세곡선이므로 대상이 되는 전동차에 적합한 점착계수 수식을 얻기 위해서는 해당 시험과 부합하도록 조정이 필요하다.

본 연구에서는 속도 변화에 따른 점착력, 주행 저항, 견인력 변화를 분석하고 여러 시험 데이터를 바탕으로 적합한 수치를 도출하며 속도에 따른 가속도를 시뮬레이션 한다. 이를 통해 전동차 편성 변경에 따른 최대 가속도 규격을 선정하여 제시한다.

2. 대상 전동차 특성

대상이 되는 전동차는 현재 제작이 완료되고 현재 실험 피팅시험 중인 차세대전동차(AUTS, Advanced Urban Transit System)이다. 본 연구에서는 차세대전동차의 편성을 변경하여 고성능 전동차를 구현하는 것을 가정하였다. 이 절에서는 차세대 전동차의 가속도와 관련된 특성

Table 1. Train formation and weight for the AUTS

Car Number	1	2	3	4	5	6
Weight(ton)	42.153	37.829	40.463	32.806	37.829	41.990
Category(M/T)	M	T	M	T	T	M

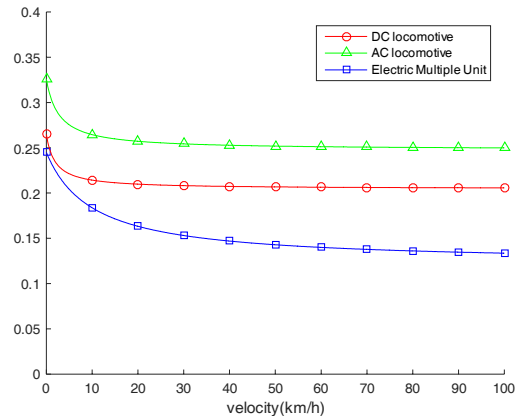


Fig. 1. The adhesion coefficient of various train models as a function of velocity

인 점착계수, 주행저항을 기술하며 이를 사용하여 도출한 가속도 선정 수식을 제시한다.

2.1 고성능 전동차 개요

차세대전동차는 동력분산식이며 기동성과 승무원 및 승객 편의성을 향상시킨 전동차로서 유선형 전두부 및 1C1M (1 controller 1 motor)방식의직접구동전동기를 사용하여 주행저항을 감소시키고 출력을 증대시켰다[6]. 따라서, 기존 전동차의 최대 가속도 3.0km/h/s 보다 향상된 3.3km/h/s의 최대 가속도 성능 규격을 만족시킨다. 차세대전동차는 총 6량 편성에 3M3T(3 motors, 3 trailers)로 구성되어 있는데 본 연구에서는 표정속도 향상을 위해 M카(motor car)의 비중을 늘려 구성하는 방안을 고려한다. 가속도와 점착력을 구하기 위해서는 차량 별 중량을 알아야 하는데 Table 1에 차세대전동차의 편성과 차량 별 공차 중량을 정리하였다.

2.2 점착계수

가속도 규격 선정을 위해 가장 중요한 요소 중 하나는 점착계수이다. 이는 레일과 차륜 접촉면 간의 마찰 계수로서 레일면의 상태(건조, 습윤, 결빙 등) 등에 따라서 달라진다[7,8]. 그러나 레일면의 상태를 일괄적으로 나타

내는 것은 불가능하므로 일반적으로 열차와 레일의 특성에 따른 대표값으로 제시된다. 이 중 특히 운전계획 등을 위해 수식으로 예측하여 사용하는 점착계수를 계획점착계수라고 한다[9]. 이는 속도에 대한 함수로 제시되는데 열차의 종류와 시험 환경에 따라 다음과 같은 계획점착계수 식이 제시되었으며[10] 이에 대한 추세를 Fig. 1에 나타내었다.

$$\text{직류기관차} : \mu = 0.265 \cdot \frac{1 + 0.403 \cdot v}{1 + 0.522 \cdot v} \quad (1)$$

$$\text{교류기관차} : \mu = 0.326 \cdot \frac{1 + 0.279 \cdot v}{1 + 0.367 \cdot v} \quad (2)$$

$$\text{전동차} : \mu = 0.245 \cdot \frac{1 + 0.050 \cdot v}{1 + 0.100 \cdot v} \quad (3)$$

여기서 v 는 속도(km/h)이다. 본 연구에서는 차세대전동차를 대상으로 하였으므로 (3)을 적용하는 것을 검토해 볼 수 있으나 차세대전동차의 경우 점착력을 증가시키기 위한 여러 기술들이 적용되었으므로 이를 그대로 적용할 수는 없다. 따라서 시험결과를 바탕으로 (3)에서 일부 계수를 수정하여 적합한 수식을 도출한 후 적용한다.

2.3 주행저항

주행저항은 열차가 직선 평탄구간을 달릴 때의 저항으로 차륜과 레일 사이의 마찰력, 차체의 공기저항 등에 의해 발생하는 저항이다[12]. 이 또한 열차 종류 및 주행 환경에 따라 달라지나 일반적으로 다음과 같이 속도에 대한 이차 함수의 식을 사용한다[10].

$$R_C = 1.82 + 0.0359 \cdot v + 0.000745 \cdot v^2 \quad (4)$$

식 (4)는 Davis에 의해 제안되었으며 각 항의 계수는 여러 시험을 거쳐 회귀분석을 통해 얻은 값이다[13]. 차세대 전동차의 경우 유선형 전두부 형상을 통해 공기 저항을 감소시키고 기존 전동차의 1C4M 방식과는 달리 1C1M 방식을 사용하므로 마찰저항 또한 감소되어 (4)와는 다른 주행저항 추세를 나타낸다. 시험결과를 통해 (4)에서 구한 주행저항 보다 약 50~70% 절감된 값이 측정됨을 확인하였으며 이를 사용하여 회귀분석으로 도출한 식은 다음과 같다[14].

$$R_A = 0.96 + 0.010056 \cdot v + 0.0001546 \cdot v^2 \quad (5)$$

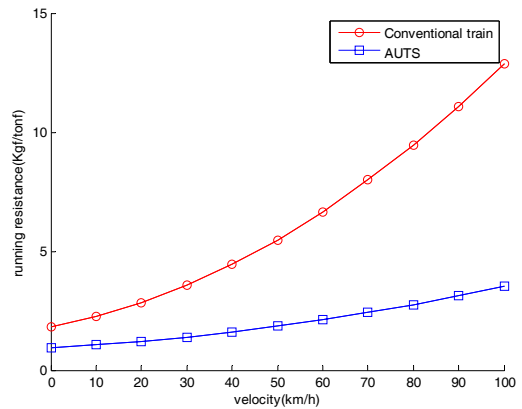


Fig. 2. The running resistance of conventional train and AUTS as a function of velocity

식 (4)과 (5)에 대하여 각각 속도에 따른 주행저항을 Fig. 2에 나타내었다. 여기서, 1C4M은 하나의 제어기로 4개의 전동기를 제어하는 방식이고 1C1M은 하나의 제어기로 1개의 전동기를 제어하는 개별제어방식이다. 전동기의 부하에 따라 적절한 제어가 가능하므로 주행저항이 동일한 속도에서 1C4M에 비해 낮게 나온다. 주행저항력은 $R_A \times M$ (M : 차량 중량)이 된다.

2.4 요구 견인력과 점착력

전동차를 가속하기 위해서는 가속도와 차량중량에 비례한 힘을 가해야 한다. 이를 요구 견인력(F_{te} , 단위 kgf)이라 하며 다음과 같이 나타낼 수 있다[15,16].

$$F_{te} = 28.35(M_f + 0.14M_m + 0.06M_t) \cdot a + R_A \cdot M_f \quad (6)$$

여기서, M_f 는 차량 총중량이고 M_m 은 공차 중량 중 M카의 중량, M_t 는 공차 중량 중 T카의 중량이다(중량의 단위는 ton). 28.35는 단위 환산에 의해 발생하는 계수이고 0.14 및 0.06은 차륜 회전 등에 있어서 관성 저항으로 인해 초과로 요구되는 힘을 보정하기 위한 계수이다. 차량 총중량 M_f 는 시험 시의 차량 상태에 따라 달라지는데 공차 시험의 경우 M_f 는 M_m 과 M_t 의 합과 같으며 만차 시험의 경우에는 위 값에 승객 중량 M_p 를 더한 값이다. M_p 의 경우 시험규격에 의해 각 차량 당 20ton의 무게가 더해진다[16].

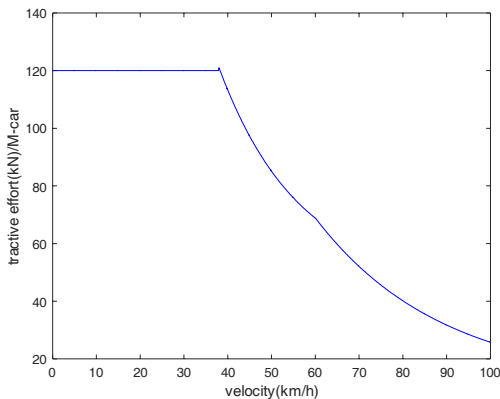


Fig. 3. The tractive effort of a M-car (AUTS)

점착력은 다음과 같이 정의 된다[10].

$$F_{mv} = (M_m + M_{mp}) \cdot \mu \tag{7}$$

여기서, M_{mp} 는 M카에 타고 있는 승객의 중량(ton)이다.

2.5 최대 가속도 수식

전동차 설계 단계에서 가속도 규격으로부터 요구 견인력이 정해지며 이에 따라 전동기의 용량이 결정된다. 또한 이 견인력은 점착력을 초과하지 않는 범위에 있어야 한다. 이밖에 손실 등을 고려하여 마진을 추가하여야 한다. 따라서, 최대 가속도 규격은 전동기 용량과 점착력 두 가지에 의해 제한되며 이 중 작은 값을 갖는다. 먼저 전동기 용량에 의해 제한되는 가속도는 식 (6)에 의해 다음과 같이 정의된다.

$$a_{maxt} = \frac{(F_{te} - R_A \cdot M_f)}{28.35(M_f + 0.14M_m + 0.06M_t)} \tag{8}$$

즉, 식 (8)은 주어진 견인력 F_{te} 에 대하여 낼 수 있는 최대한의 가속도를 나타낸다. 이 때 전동기의 견인력은 속도에 따라 다른 값을 나타내는데 차세대전동차 전동기의 경우 Fig. 3에 보인 바와 같이 약 38km/h이하에서는 일정한 값을 나타내다가 속도가 증가함에 따라 감소하는 특성을 보인다[14]. Fig. 3에서는 M카 1량 당 낼 수 있는 견인력을 kN 단위로 보인 것이므로 식 (8)에 적용하기 위해서는 다음 식을 이용하여 차량 전체의 힘을 kgf 단위로 구해야 한다.

$$F_{te} (kgf) = \frac{1000}{9.8} \cdot F_{te} (kN) \cdot N_M \tag{9}$$

여기서, N_M 은 M카의 수이다. 마찬가지로 점착력에 의해 제한되는 가속도는 식 (6)과 (7)로부터

$$a_{maxa} = \frac{(F_{mv} - R_A \cdot M_f)}{28.35(M_f + 0.14M_m + 0.06M_t)} \cdot 1.05 \tag{10}$$

와 같이 나타낼 수 있다. 이 때 마진은 5%로 설정하였다. 가속도 시험은 공차일 때와 만차일 때로 나누어서 하게 되는데 점착력의 경우 만차일 때 더 커지므로 a_{maxa} 의 경우 만차일 때 더 큰 값이 나오며 이와 반대로 공차일 때에는 차량 중량이 작아져 a_{maxt} 의 경우 공차일 때 큰 값이 나온다.

3. 최대 가속도 규격 선정

이 절에서는 앞에서 제시한 최대 가속도 수식과 실제 차세대 전동차의 시험결과를 비교하여 조정된 점착계수 수식을 도출한다. 이를 사용하여 차세대 전동차의 편성에서 M카의 비율을 증가시켜 가속도가 증가된 고성능 전동차를 구현하고자 할 때 수치적으로 가능한 최대 가속도를 구한다.

3.1 점착계수 조정

여기에서는 전동차의 점착계수에 관한 수식 (3)에 대하여 차세대전동차 시험 결과와 비교하여 적합하도록 계수를 조정하도록 한다. 차세대전동차의 경우 1C1M 전동기 제어와 재점착 제어기능을 통해 점착계수가 더 높아진다[14,17,18]. 시험결과에 따르면 최대 가속도는 공차 시 3.41km/h/s, 만차 시 3.33km/h/s이다[14]. 이 시험 결과는 가속도 시험 절차에 따라 전동기가 최대 견인력을 내도록 하고 열차의 속도가 0km/h에서 35km/h 가 될 때까지의 시간을 측정하여 평균 가속도를 구하여 나온 것이다[14,16]. 다음은 이 조건에서 수식에 의한 가속도를 구하기 위해 공차일 때와 만차일 때 각각 견인력과 점착력에 의해 제한되는 최대 가속도를 식 (8)과 (10)을 사용하여 구하고 이를 Table 2에 나타내었다. Table 2에

Table 2. Calculated value of the acceleration limit of AUTS by adhesion and traction force(the conventional adhesion coefficient equation was used)

Test Case	Empty Car	Full Load
Acceleration Limit by Adhesion(km/h/s)	2.8364	2.8537
Acceleration Limit by Traction Force(km/h/s)	5.0284	3.4145

기술된 값은 속도를 변화시켜가면서 가속도 제한을 도출한 후 이의 평균값을 구한 것이다. 시험결과와 비교해보면 두 경우 모두 점착력에 의해 제한되는 최대 가속도가 시험결과보다 작게 나왔음을 알 수 있으며, 이를 통해 차세대전동차의 점착력 향상 확인이 가능하다. 견인력의 경우 만차에서는 시험결과와 수식에 의한 결과가 거의 부합한다(2% 오차). 따라서 만차 일 때는 가속도 제한이 견인력에 의해 발생한다고 유추할 수 있다. 이와 반대로 점착력에 의한 가속도 제한은 공차 일 때 발생한다. 그러므로 점착계수 수식 (3)의 조정은 공차 시험 시의 가속도 3.41km/h/s를 기준으로 수행하며 이를 통해 다음과 같이 약 20% 증가된 수식을 얻을 수 있다.

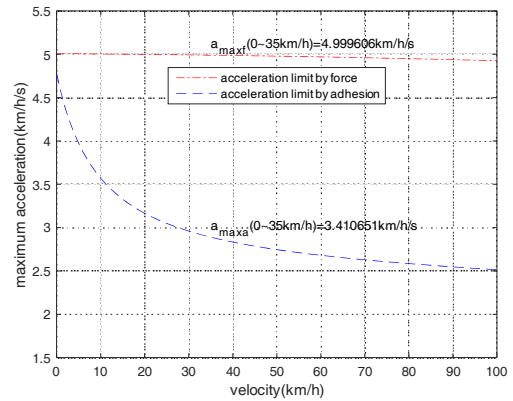
$$\text{차세대전동차} : \mu = 0.295 \cdot \frac{1 + 0.050 \cdot v}{1 + 0.100 \cdot v} \quad (11)$$

식 (11)을 대입하여 공차일 때와 만차일 때 각각 구한 속도에 따른 가속도를 Fig. 4에 나타내었다. 이 수식을 사용하여 최대 가속도를 구하면 공차 일 때와 만차일 때 각각 3.41km/h/s, 3.39km/h/s로 시험결과와 부합하는 값이 나온다.

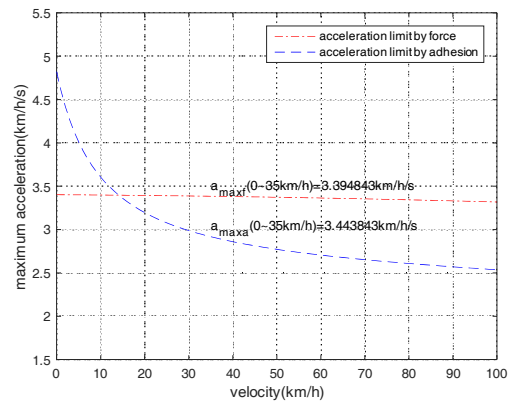
3.2 편성 별 최대 가속도

앞에서 구한 점착계수 수식을 적용하고 견인력과 점착력에 의해 제한되는 최대 가속도를 구하여 편성 별 최대 가속도 규격을 선정하였다. 현재 3M3T로 구성되어 있는 차세대전동차의 편성을 변경하여 M카의 비중을 늘려 고성능전동차를 제작할 경우 가속도 최대값에 대하여 알아본다.

앞에서 도출한 수식을 가지고 시뮬레이션을 수행하여 최대 가속도를 구할 수 있으며 이 값은 견인력에 의한 제한값과 점착력에 의해 제한되는 값 중 작은 값이다. 이 값과 이를 바탕으로 선정한 가속도 규격을 Table 3에 나타내었다. 현재 개발된 기본 편성인 6량 1편성을 기준으로



(a)



(b)

Fig. 4. The maximum acceleration of AUTS derived from the proposed adhesion coefficient equation ((a) empty car, (b) full load)

Table 3. Train formation and the maximum acceleration specification for the high performance train

Train Formation	6 cars			10 cars		
	6M	5M1T	4M2T	10M	9M1T	8M2T
a_{maxa} @Empty Car (km/h/s)	6.202	5.248	4.251	6.202	5.631	5.045
a_{maxt} @Full load (km/h/s)	6.429	5.431	4.389	6.452	5.852	5.230
Specification (km/h/s)	6.0	5.0	4.0	6.0	5.4	4.8

로 M카의 비중을 늘린 경우와 우리나라 전동차 중 가장 큰 편성인 10량 1편성을 기준으로 M카의 비중을 늘린 경우 모두에 대하여 값을 구하였다. 차량 편성 전체를 M카로 할 경우 견인력 및 점착력으로 구한 값으로는 6.0km/h/s이상의 가속도를 얻을 수 있으나 실제 제작 시에는 지크 제한 및 승차감 등을 고려하여 규격을 선정해

야 한다. 또한, 가속도 규격 선정 시 약 0.2km/h/s 마진을 고려하였는데 마진가지로 전동차 설계 및 제작 시 가격 및 유지보수성 등을 고려하여 적절한 열차 편성과 가속도를 선정하여야 한다.

4. 결론

본 연구에서는 차세대 전동차를 대상으로 편성을 변경하여 고성능 전동차를 구현하고자 할 때 가능한 최대 가속도 값과 규격을 제시하였다. 이를 위해 먼저 점착력, 주행저항 및 견인력 등 관련된 변수를 파악하고 이들과 최대가속도와와의 관계를 수식으로 나타내었다. 다음엔 이 수식으로 도출한 최대가속도와 시험결과를 비교하여 위의 변수 중 점착계수에 관한 수식을 차세대 전동차에 맞게 조정하였다. 차세대 전동차의 경우 ICIM의 향상된 방식으로 차륜을 제어하므로 기존 전동차보다 점착력이 높게 나타난다. 마지막으로 조정된 점착계수 수식을 사용하여 차세대 전동차의 M카와 T카의 수를 조정하여 편성할 경우 가능한 최대가속도 규격을 도출하였다. 가속도 시험 절차 상 측정되는 가속도는 평균 가속도이므로 측정결과와 비교하기 위해서는 속도에 따른 최대가속도 변화를 계속 추적해가면서 평균을 내어 도출해야 한다. 이를 위해 각 변수 별로 적절한 수식을 세우고 속도 변화에 따른 시뮬레이션을 수행함으로써 이론적으로 알맞은 값을 얻을 수 있었다. 실제 규격은 가격 등 다양한 요소를 고려해서 정해야 하지만 본 연구에서 제시한 이론적 한계는 규격을 선정하는데 도움이 될 것이다.

References

- [1] M.S. Kim, J. Kim, T. Kim, S.S. Park, and et al., "Study of the metropolitan rapid transport system to minimize sidetrack construction", Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 16, No. 5, pp. 402-409, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2013.16.5.402>
- [2] S.K. Lee, "A study on optimal design of traction motor power for urban transit", Master Degree Thesis, Hanyang University. 2010.
- [3] H.J. Jeon, C.H. Kim, and J.H. Lim, "Test and traction characteristic of electric locomotives", Proceedings of the Conference of the Korean Society for Railway, Jeju, pp. 40-47, 2007.
- [4] Y. Kim, S. Kim, K. Kim, and J. Mok, "Study on the Deduction of Traction/Braking Forces for the Train from Acceleration/Deceleration", Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 9, No. 6, pp. 682-688, 2006.
- [5] D. Choi, C.S. Jeon, H. Cho, H.K. Oh, and S. Kim, "The relationship between train weight and acceleration for the Korea's next generation electric multiple unit train", Proceedings of the Conference of the Korean Society for Railway, Daegu, pp. 470-474, 2013.
- [6] J.S. Hong, G.D. Kim, C.M. Lee, J.U. Won, A.H. Lee, and C.W. Sung, "Performance tests result and consideration for AUTS(Advanced Urban Transit System)", Proceedings of the Conference of the Korean Society for Railway, Hoengseong, pp. 1092-1096, 2011.
- [7] S.H. Hwang and G.H. Shin, "Test for Adhesion Coefficient using small-scale wheel and rail rig", Proceedings of the Conference of the Korean Society for Railway, Mokpo, pp. 1552-1556, 2012.
- [8] Mechanic word compilation council, "Mechanical Engineering Word Dictionary", Sungandang, Seoul, 2009.
- [9] Electrical railroad compilation council, "Electrical railroad handbook", Koronasha, Tokyo, 2007.
- [10] N.W. Baek, B.S. Lee, S.H. Lee and B.B. Kang, "Railroad train system engineering", GoldenBell, Seoul, 2012.
- [11] M. Miyamoto, "Illustrated science and rail", Kodansha, Tokyo, 2006
- [12] N.W. Baeg and S.J. Lee, "Railroad Dictionary", Golden Bell, Seoul, 2007.
- [13] C. Park, S. Kim, K. Kim, and Y. Kim, "Discussion about measuring methods of resistance to motion for railway vehicle", Proceedings of the Conference of the Korean Society for Railway, Jeju, pp. 2782-2787, 2009.
- [14] G.D. Kim, "Final report of the development project for the advanced urban transit system technologies", Korea Railroad Research Institute, Construction & transportation R&D report, Korea Railroad Research Institute, Uiwang, 2011.
- [15] Y.J. Son, M.S. Song, H.S. Lee, and S.W. Hwang, "New edition - railroad train engineering", Gumibook, Seoul, 2011.
- [16] S.W. Yang, et al., "Design guideline for the urban electric train", Korail Research Institute, A study on the design specification for the train, 2012.
- [17] J.M. Lee, H.M. Lee, G.D. Kim, and A.S. No, "Development and testing of next generation electric vehicle propulsion system", Proceedings of the Summer Conference of the Korean Institute of Electrical Engineers, Yongpyeong, pp. 20-22, 2011.
- [18] W.S. Kim, Y.S. Kim, and S.K. Sul, "Improvement of re-adhesion control performance using estimation of maximum adhesive force", Proceedings of the Summer Conference of the Korean Institute of Electrical Engineers, Incheon, pp. 163-167, 1998.

김 정 태(Jungtai Kim)

[정회원]



- 1999년 2월 : 서울대학교 공과대학 전기공학부 (공학석사)
- 2011년 8월 : KAIST 공과대학 전기및전자공학과 (공학박사)
- 1999년 2월 ~ 2012년 7월 : LIG 넥스원 수석연구원
- 2012년 8월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

열차제어, 신호처리, 임베디드시스템

장 동 욱(Dong Uk Jang)

[정회원]



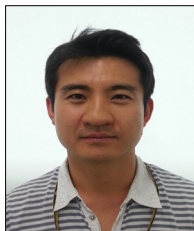
- 1998년 2월 : 충북대학교 공과대학 전기공학과 (공학사)
- 2000년 2월 : 충북대학교 공과대학 원 전기공학과 (공학석사)
- 2000년 8월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

고전압공학, 열화진단, 급전계통

김 무 선(Moo Sun Kim)

[정회원]



- 2002년 2월 : 서울대학교 공과대학 기계항공공학부 (공학석사)
- 2008년 2월 : 서울대학교 공과대학 기계항공공학부 (공학박사)
- 2008년 7월 ~ 2012년 8월 : 현대자동차 남양연구소 책임연구원
- 2012년 8월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

복합재, 재료구조, 최적화

고 경 준(Kyeongjun Ko)

[정회원]



- 2006년 2월 : 서울대학교 공과대학 전기공학부 (공학사)
- 2012년 8월 : 서울대학교 공과대학 전기컴퓨터공학부 (공학박사)
- 2013년 9월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

통신공학, 빅데이터