

# 250km/h급 강체전차선로 시스템 개발을 위한 R-BAR 특성 고찰

## A Study on Characteristics of Overhead Rigid Conductor System for Developing the High-speed System up to 250km/h

배 상 준<sup>†</sup> · 장 광 동\* · 이 기 원\*\* · 박 윤 철\*\*\*  
(Sang-Joon Bae · Kwang-Dong Jang · Ki-Won Lee · Youn-Cheol Park)

**Abstract** - An overhead rigid conductor system is mainly applied to the subway and recently studies on the rigid system have been conducted for applications such as tunnels of high-speed line and speed improvement of a conventional lines up to 250km/h. Power feeding performance which is the most important in a rigid system can be measured by contact force and characteristics of this contact force are related to the shape and material of the R-BAR. In this paper, we analyze the measurements of contact force, current heating temperature, impedance of a rigid conductor which was developed in Korea, after that we compare static characteristics of home and abroad rigid conductors which have various shapes and materials.

**Key Words** : Rigid catenary, R-BAR, Rigid conductor, Temperature rise test, R-BAR Self impedance

### 1. 서 론

강체전차선로는 터널 단면적을 줄일 수 있어서 터널공사비를 절감할 수 있고, 구조가 간단하여 유지보수에 장점이 있다. 이러한 장점 때문에 강체전차선로는 도시철도 지하구간 및 간선철도 터널 구간에 주로 적용되어 왔으나, 카테너리 전차선로에 비해 속도향상에는 한계가 있었다.

강체전차선로의 속도 한계를 극복하기 위해, 해외에서는 강체전차선 R-BAR(이하 R-BAR)의 단면 형상, 지지 간격, 열차 속도에 따른 열차 집전 성능에 대해서 지속적으로 연구가 진행되어 왔으며 [1],[2],[3],[4], 국내에서는 AC구간에 도입된 R-BAR에 대해서 DC 구간에서 적용된 강체전차선 T-BAR (이하 T-BAR)와의 특성을 비교하는 연구가 진행되었다.[5]

국내 AC구간에 도입된 강체전차선로는 스페인, 스위스, 프랑스 등의 해외 제조사 제품으로, 최근 국내에서는 기존 노후화 노선의 고속화, 장대터널의 확대, GTX 등 신규 고속 노선의 건설로 고속용 강체전차선로의 국산화 개발의 필요성이 증가하고 있으며, 전차선의 고정 뿐 만아니라 급전선의 기능도 겸하고 있는 R-BAR의 통전 특성, 정적 및 동적 거동 특성은 열차의 집전 성능에 직접적인 영향을 주고 있어서, 고속용 강체전차선로의 개발

을 위해서는 이러한 특성들에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 고속용 강체전차선로 개발을 위한 기초 연구의 일환으로, 최근 국산화 개발된 중저속용 강체전차선로의 열차 집전 특성 분석, R-BAR의 통전 전류에 따른 온도 상승 특성 측정, 전압 강하와 관련 있는 임피던스를 분석하였고, 실제 노선에 포설하여 주행 중 팬터그래프에서의 접촉력, 집전 전압 및 전류의 변동 특성을 분석하였다. 추가로 해외 제조사들이 개발한 R-BAR의 형상과 재질에 따른 기계적, 전기적 특성을 비교 분석하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 전류통전 온도 상승 시험

##### 2.1.1 시험 개요

강체전차선로에서 열차 팬터그래프에 직접적으로 전기를 공급하는 부분은 R-BAR와 전차선이며, 알루미늄 압출재인 R-BAR의 Cu 환산 단면적은 20℃에서 도전율 IACS 51%, 단면적2,200mm<sup>2</sup> 기준으로 110mm<sup>2</sup> 전차선대비 10.5배이다. 이와 같이 단면적차이로 인해서 강체전차선로에서의 전차선과 R-BAR의 전류분포는 90% 이상 전류가 R-BAR를 통해서 통전되는 것으로 볼 수 있다. 본 연구를 위한 전류통전 온도 상승 시험은 전차선을 삽입하지 않고, 밀폐된 공간에서 시행하였으며, 이는 바람에 의한 냉각과 전차선에 의한 전류 분배를 고려하지 않았으므로, 시험 환경은 실제 사용 환경보다 더 열악한 환경임을 알 수 있다.

† Corresponding LS Cable&System Ltd., R&D Center, Korea.  
E-mail: sjbae@lscns.com

\* LS Cable&System Ltd., R&D Center, Korea.

\*\* Korea Railroad Research Institute, Korea.

\*\*\* Korea Rail Network Authority, Korea.

Received : January 02, 2015; Accepted : February 23, 2015

### 2.1.2 시험 장치 구성

강제전차선로는 통산 12m 길이의 R-BAR를 연결금구를 이용하여 상호 연결한다. 연결된 R-BAR의 전류 통전 성능을 평가하기 위해, 길이 1.5m R-BAR 2개를 연결금구를 이용하여 상호 연결하고, 단상전원의 입출력단을 연결금구로 연결된 길이 3m의 R-BAR 양단에 Fig. 1과 같이 접속하였다. 인가부와 접속부에서의 온도 측정을 위해 각각의 위치에 열전대를 부착하고, 전류를 2,000A, 2,500A, 4,000A, 5,000A를 인가하면서 온도를 측정하였다.

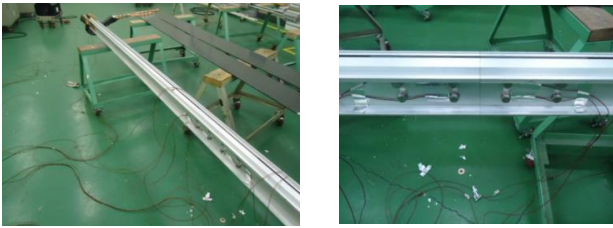


Fig. 1 Temperature rising test configuration

### 2.1.3 시험결과

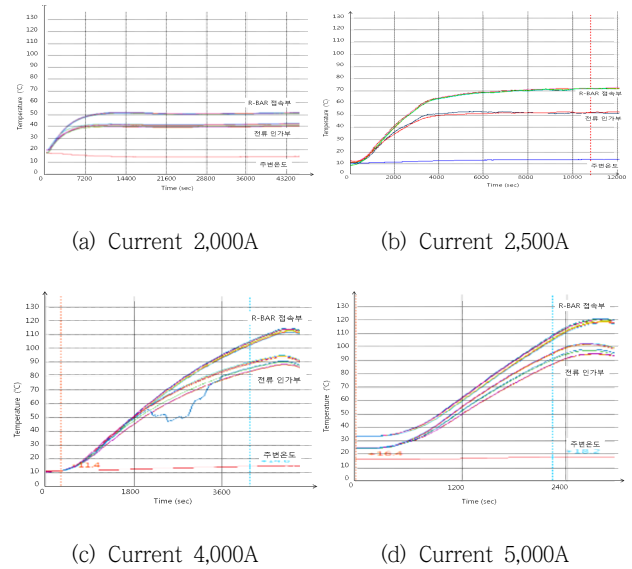
전류통전 온도 상승 시험은 IEC62271-1를 참조하여 분석하였다. IEC62271-1에서는 1시간 동안 1K 이하의 온도 변화가 있을 때, 온도가 포화된 것으로 판단하며, 이에 따라 2,000A와 2,500A 통전 후 온도는 Fig.2와 같이 정상 포화되었음을 확인할 수 있다. 정상 포화됐을 때의 최대 상승 온도는 각각 37K와 59K이었다.

일반적으로 알루미늄 도체는 100°C에서 연화가 시작되며, Aluminum Electrical Conductors Handbook에 따르면 100°C에서 500시간이 지나면 강도가 5% 저하된다고 알려져 있다. IEC62271-1에서는 볼트 조립되는 알루미늄 합금의 온도를 최대 90°C, 온도 상승은 주변 온도가 40°C를 넘지 않는 조건에서 최대 50K로 제한하고 있다. 시험 후 알루미늄의 연화를 최소화하고, 대전류에 의한 온도 상승 특성을 살펴보기 위해 온도 상승 시험 시 최대 온도 상승을 90K로 설정하여 시험을 진행하였으며, 4,000A와 5,000A 통전 후 각각 64분, 37분 후 최대 설정 온도에 도달하여 시험을 중단하였다.

온도 상승량은 전류의 제곱에 비례하고, 전차선 110SQ 기준으로 10%의 전류가 전차선에 나누어 흐른다고 가정했을 때, 전차선을 끼우지 않은 상태와 끼운 상태의 온도 상승값은 약 1.2배 차이가 발생된다. 전차선을 끼운 실제 사용 조건에서 IEC62271-1에 따라 최대 온도 상승을 50K라고 했을 때, 전차선을 끼우지 않고 R-BAR만으로 전류 통전 시험을 했을 경우, 최대 온도 상승 온도를 전차선을 끼웠을 때보다 1.2배 높은 60K로 제한하여 시험하였다.

전류 통전 온도 상승 시험 결과, 2,000A와 2,500A에서는 온도 상승 최대값이 60K 이하로 상시 사용이 가능하며, 4,000A와 5,000A에서는 각각 42분, 25분 후 온도 상승값이 60K가 된 것

을 확인할 수 있었다.



Current [A]	Room Temp. [°C]	Inlet Temp. [°C]	Joint Temp. [°C]	Max. Temp. Rise [K]	Remark
2,000	15.0	40.8	51.9	36.9	Saturation
2,500	13.8	52.8	72.8	59.0	Saturation
4,000	14.6	90.3	104.8	90.2	After 64 minutes
5,000	18.2	95.4	108.5	90.3	After 37 minutes

Fig. 2 Temperature rising test results

## 2.2 R-BAR의 임피던스 계산

### 2.2.1 개요

전차선로의 설계 및 특성을 정의하는데 중요한 요소 중 하나가 임피던스이다. 교류 전차선로의 전압강하를 계산할 때 전차선로는 대지 귀선으로 자기 임피던스와 각 전선 상호간에 생기는 상호 임피던스를 고려하여야 하며, 교류 전차선로 회로의 임피던스는 일반 3상 송전선과 다른 귀선이 레일을 따라 대지에 접속되는 1선 접지 불평형 회로이다. 지표상 가선된 전선의 대지 귀로 자기 임피던스( $Z_s$ )는 내부 임피던스 ( $Z_i$ )와 외부 임피던스 ( $Z_o$ )의 합으로 구해지며, Carson-Pallaczek의 외부 임피던스 및 상호 임피던스 산출 공식에 의해 다음과 같이 계산할 수 있다.[6]

$$Z_i = R + j\omega L \quad (\Omega/\text{km})$$

$$R = \frac{1}{58} \times \frac{100}{C} \times \frac{1000}{S} \times \{1 + \alpha(T - 20)\} \quad (\Omega/\text{km})$$

$$L = \frac{1}{2} \times \mu_s \times 10^{-4} \quad (\Omega/\text{km})$$

$$Z_0 = \left\{ \omega \times \left( \frac{\pi}{2} - \frac{4X}{3\sqrt{2}} \right) + j\omega \left( 4.605 \times \ln \frac{4h}{r \times X} + \frac{4X}{3\sqrt{2}} - 0.1544 \right) \right\} \times 10^{-4} \quad (\Omega/\text{km})$$

$$X = 4\pi h \sqrt{20\sigma f} \times 10^{-4} \quad (\Omega/\text{km})$$

$$Z_M = \left[ \omega \left\{ \frac{\pi}{2} - \frac{4X'}{3\sqrt{2}} (h - h_r) \right\} + j\omega \left\{ 2 \ln \frac{2}{X' \sqrt{b^2 + (h - h_r)^2}} - 0.15544 + \frac{4X'}{3\sqrt{2}} (h + h_r) \right\} \right] \times 10^{-4} \quad (\Omega/\text{km})$$

$$X' = 2\pi \sqrt{20\sigma f} \times 10^{-4} \quad (\Omega/\text{km})$$

여기서, R: 저항(Ω/km), C: 도전율(%), S: 도체 단면적(mm<sup>2</sup>), T: 주변 온도(°C), α: 저항온도계수, L: 인덕턴스(H), μs: 비투자율, r: 도체 반경(m), f: 주파수 (Hz), h: 지표에서 R-BAR까지의 높이(m), σ: 대지도전율(S/m), hr: 레일의 높이가 hr, b : R-BAR와의 수평거리

### 2.2.2 임피던스 계산

터널에 설치되는 R-BAR 및 레일의 특성 인자는 Table 1 과 같다.

Table. 1 Characteristics of R-BAR & Rail

R-BAR		Rail	
Material	Al Alloy 6063	Material	60 kg/m
Conductivity @20°C	51%	Resistance (Ω/km)	0.0126
Cross sectional area	2,200 mm <sup>2</sup>	Earth conductivity (S/m)	0.01
Thermal resistance coefficient	0.00429	h <sub>r</sub> (m)	0.6
Aluminum relative permeability	1	b (m)	0.55
Radius (m)	0.0265		
h (m)	5.562		

이를 통해 임피던스를 계산하면 아래와 같다.

- ① R-BAR 의 자기 임피던스
- 내부 임피던스  $Z_i = 0.0154 + j 0.0189$  [Ω/km]
- 외부 임피던스  $Z_o = 0.0584 + j 1.8101$  [Ω/km]
- 자기 임피던스  $Z = Z_i + Z_o = 0.0739 + j 0.8021$  [Ω/km]

- ② R-BAR 와 레일간의 상호 임피던스
- 상호 임피던스  $Z_M = 0.05883 + j 0.3878$  [Ω/km]

## 2.3 강제전차선로의 집전 성능 분석

### 2.3.1 집전성능 측정 개요

전차선로의 집전성능 측정은 EN50317 에 따르면, 전차선과 팬터그래프간의 접촉력을 측정하는 방법과 이선 아크량을 측정하는 방법이 있으며, 국내 개발된 R-BAR의 집전성능을 확인하기 위하여 팬터그래프에 힘 센서 및 가속도 센서 등을 구성하여 팬터그래프와 전차선간의 접촉력을 측정하였다. 측정에 사용된 센서 및 장비 등의 신뢰성은 EN50317에 따라 교정하여 오측정에 따른 결과를 최소화하였다. 국내에 도입된 외산 강제전차선로에 대한 집전성능 데이터가 없는 관계로 측정된 데이터의 비교는 불가하였다.

국산화된 강제전차선로의 집전성능 평가를 위해 교정된 싱글 암 팬터그래프와 집전성능 측정장치를 철도차량에 설치하여 설치 구간에서 70km/h ~ 90km/h 속도로 운행하면서 강제전차선로구간 접촉력 측정을 수행하였다. 최대 속도는 해당 시험선의 선로 제한속도에 따라 최대 90km/h 속도로 시험 운행하였다.

### 2.3.2 접촉력 측정 절차

접촉력 측정은 R-BAR가 설치된 대불선 터널구간에서 수행되었으며, 전체 터널구간 중 200m 구간에 국산화된 R-BAR가 설치되었다. 국내의 계절변화에 따른 온도변화, 환경적 변화에 따른 내구성 검증과 800R 곡률반경 적용 등의 조건을 반영하여 설치 개소를 선정하였으며, 상세 설치 개소는 아래와 같다.

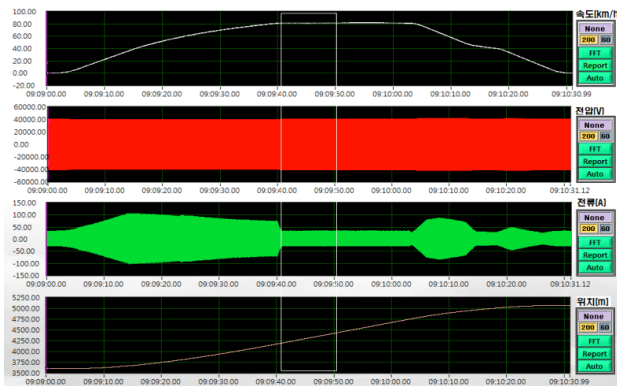
- 대불선 총연장: 12km
- 전차선 공급전압: AC 25kV
- 교량구간: 7개소 3,783m
- 터널구간: 1개소 2,462m(단선)
- 선로 최고속도: 90km/h

정적 압상력은 국내 및 EN에서 정의하고 있는 철도차량 판도 그래프 정적 압상력 기준인 60N으로 설정하였으며, 속도에 따른 접촉력은 70km/h 와 90km/h 에서 각각 측정하였고, 집전 전압/전류는 80km/h 에서 측정하였다.

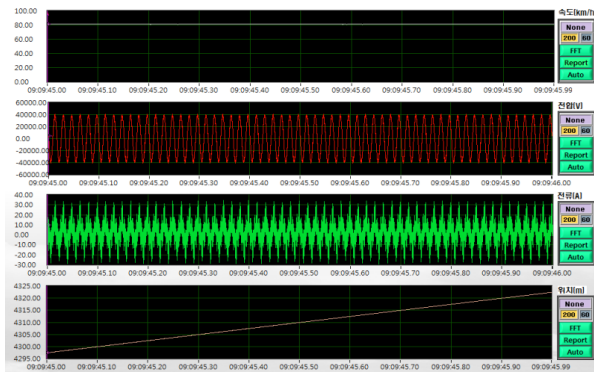
### 2.3.3 측정 결과

철도차량이 R-BAR가 설치된 구간에서 설정속도에 도달이 가능하도록 사전시험을 통해 출발지점을 선정하였으며, 일관성 있는 측정이 가능하도록 하였다. Fig.3 (a) 는 속도 변화에 따른 집전 전류와 전압 파형을 측정된 그래프이고, (b) 는 속도 변동 없이 80km/h 로 정속 주행할 때의 집전 전류와 전압 파형을 측정된 그래프로, 철도차량이 운행할 때 팬터그래프를 통하여 정상적으로 전압과 전류가 집전되는 것을 확인할 수 있다.

접촉력의 판단 기준은 EN50119에서 제시한 최소 접촉력인  $F_m - 3\sigma$  ( $F_m$  : 평균 접촉력,  $\sigma$ :접촉력 표준편차)를 적용하였으며,



(a) Voltage and current wave at variable speed



(b) Voltage and current wave at constant speed (80km/h)

**Fig. 3** Analysis of current collection performance using voltage and current wave

철도차량의 속도를 70km/h와 90km/h로 정속 주행할 때의 접촉력 측정결과 및 최소 접촉력은 Table 2와 같다. 통계적 최소 접촉력이 0 이하일 때 이선이 발생한다고 할 수 있으며, 측정결과 모두 양의 값을 나타내고 있어서 속도 90km/h에서도 이선은 발생되지 않는 것을 확인할 수 있다.

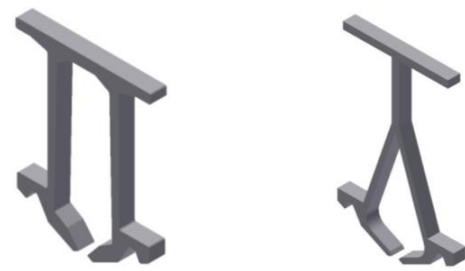
**Table. 2** Contact force

Average speed [km/h]	F <sub>m</sub> [N]	3σ [N]	F <sub>m</sub> -3σ [N]
68.9	75.1	62.2	12.9
70.3	73.3	64.2	9.2
89.4	79.0	75.9	3.1
89.0	78.2	70.5	7.8

## 2.4 R-BAR 특성 비교

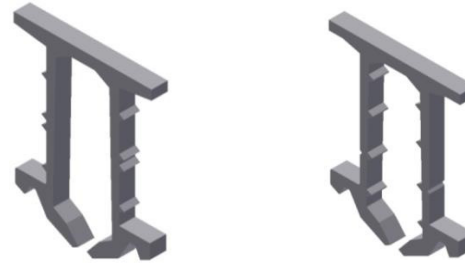
### 2.4.1 형상 특성

국내/외에서 사용되는 대표적인 R-BAR 형상을 입수하여 치수를 측정 한 후 3D 형상설계 툴을 활용하여 형상을 모델링 한 결과는 Fig. 4 와 같다. 특히 (c) 와 (d) 는 각각 설계속도



(a) Domestic (~120km/h)

(b) Spain (~140km/h)



(c) Germany (~200km/h)

(d) Swiss (~250km/h)

**Fig. 4** R-BAR Shape

**Table. 3** Shape properties

Property	Domestic (~120km/h)	Spain (~140km/h)	Germany (~200km/h)	Swiss (~250km/h)
Material	A6063-T6	A6060-T6	A6101-T6	A6063-T6
Tensile strength [MPa]	205	170	221	205
Tensile yield strength [MPa]	170	140	193	170
Modulus of elasticity[GPa]	69	66	69	69
Height [mm]	110	150	110	110
Area [mm <sup>2</sup> ]	2222	2280	2298	2281
Vertical moment of area I <sub>VER</sub> [mm <sup>4</sup> ]	116 x10 <sup>4</sup>	115 x10 <sup>4</sup>	121 x10 <sup>4</sup>	117 x10 <sup>4</sup>
Horizontal moment of area I <sub>HOR</sub> [mm <sup>4</sup> ]	334 x10 <sup>4</sup>	635 x10 <sup>4</sup>	340 x10 <sup>4</sup>	338 x10 <sup>4</sup>
Rigidity E* I [N.mm <sup>2</sup> ]	23.1 x10 <sup>10</sup>	41.9 x10 <sup>10</sup>	23.5 x10 <sup>10</sup>	23.3 x10 <sup>10</sup>

200km/h 와 250km/h 에서 사용 가능한 제품이다. 철도차량의 급전성능에 관련 있는 R-BAR 형상은 재료의 탄성계수와 더불어 강성(rigidity)과 밀접한 관련이 있는 2차 단면 모멘트를 결정하며, 강성이 커질수록 자중에 의한 처짐량도 작아진다. Fig. 4 의 형상에 대한 2차 단면 모멘트 및 강성은 Table 3 과 같으며, 국

산화 개발된 R-BAR 의 2차 단면 모멘트와 250km/h급 고속용 R-BAR 의 2차 단면 모멘트의 차이는 1.2% 정도로 처짐량 감소에 의한 속도 향상은 미미할 것으로 판단된다. 2차 단면 모멘트는 현재 스페인 마드리드에서 사용 중인 (b) 구조가 가장 큰 것을 알 수 있다.

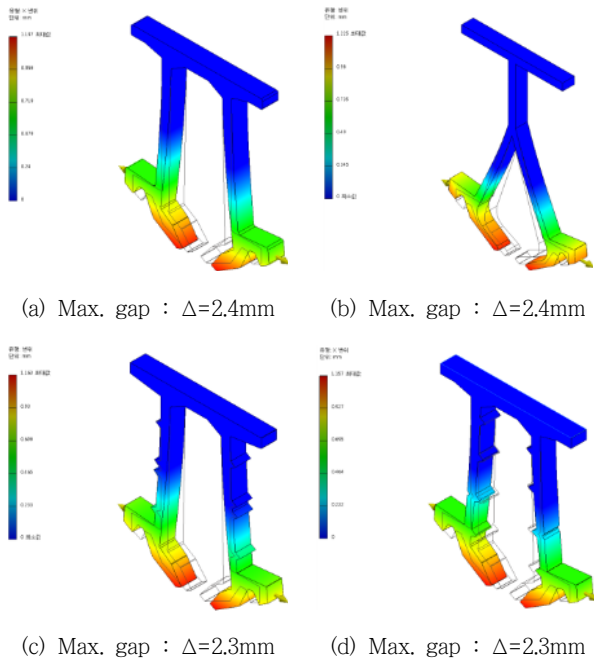


Fig. 5 R-BAR gap analysis

동일한 재료(A6063)를 적용하고, 상단부를 고정시킨 후 전차선을 삽입하기 위해 R-BAR 양쪽을 50N의 힘으로 벌렸을 경우에 부리 간격을 3D 모델링 및 해석이 가능한 Autodesk사의 Product Design Suit를 이용하여 해석한 결과는 Fig.5와 같다.

형상이 다른 모든 R-BAR의 부리 간격 벌어짐은 2.3 ~ 2.4mm 수준으로 유사하며, R-BAR내 삽입된 전차선을 고정하기 위한 그림력 또한 형상별로 유사할 것으로 예상된다.

2.4.2 재질 특성

국내/외 사용하는 R-BAR는 열처리를 통해 강도 확보가 가능

Table. 4 Aluminum alloy properties

Property	A6063-T6	A6005-T5	A6060-T6	A6106-T6	A6101-T6
Tensile strength [MPa]	205	260	170	235	221
Tensile yield strength [MPa]	170	215	140	210	193
Modulus of elasticity [GPa]	69	69	66	69	69
Electrical resistivity [ohm-cm]	0.0000033	0.0000035	0.0000031	0.0000035	0.0000030

하고, 내식성도 보유하고 있는 Al-Mg-Si계 합금 (A6000계열 알루미늄)을 주로 사용하고 있으며, 합금의 특성은 Table 4와 같다.

정적 및 동적 특성에 영향을 미치는 탄성계수의 경우는 A6000계열 알루미늄들은 대부분 동일하지만, 소성 변형 및 재료의 파괴와 관련 있는 인장강도와 항복강도는 열처리 조건 및 알루미늄에 섞여 있는 불순물의 종류 및 양에 따라 합금 소재별 차이가 있고, 전기저항 또한 합금에 포함된 불순물의 종류 및 양, 열처리 조건에 따른 금속 조직의 형태에 따라 상이하다.

3. 결 론

본 논문에서는 국내에서 개발된 강제전차선(R-BAR)의 전류 통전에 따른 온도 상승 특성, 임피던스 예측, 집전성능 시험 결과를 분석하였으며, 국내/외에서 사용 중인 R-BAR의 형상, 재질에 따른 특성을 상호 비교 분석하였다.

전류 통전에 따른 온도 상승 시험을 통해, 기존 중저속용 강제전차선 R-BAR는 전류 통전 용량 2500A 수준에서는 안정적으로 사용할 수 있을 것으로 판단되나, 고속용 강제전차선 R-BAR에서 요구하는 전류 통전 용량이 2500A 수준을 상회할 경우, 단면적의 증가 혹은 도전율이 더 높은 재료의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

국내에서 개발한 강제전차선로 시스템은 최고속도 90km/h까지 양호한 집전성능을 보이는 것을 시험을 통하여 확인하였다, 속도 증가에 따른 최소 접촉력의 감소는 강제전차선 시스템에 의한 영향과 시험 철도차량 주변 공기 유동에 의한 영향이 복합적으로 작용한 것으로 판단되며, 입출구에서의 공력에 의한 영향도가 감소된 터널의 중간 지점에서의 속도에 따른 최소 접촉력은 입출구 지점에서의 결과보다 더 양호할 것으로 예상된다.

강제전차선로 시스템을 구성하는 R-BAR 형상에 대한 특성을 비교하여 보았을 때, R-BAR 형상에 따라 전차선을 고정하는 그림력에는 변화가 없으며, 다른 시스템과의 조립성 및 R-BAR 상호 연결 시 발생할 수 있는 오차 감소가 강제전차선 R-BAR 형상을 설계할 때 더 중요한 요소로 판단된다. 그러므로, 250km/h급 고속용 강제전차선 R-BAR에 대한 국내 고유 형상을 설계할 때는 이러한 점들을 고려하여 설계해야 할 것이다.

강제전차선 R-BAR 재질은 전류통전 성능과 관련 있는 도전율과 변형과 관련 있는 인장 특성을 고려할 때, A6101과 A6063이 가장 적합한 것으로 판단되며, 형상이 복잡하여 정밀한 압출 형상 구현이 필요할 경우, 압출성이 가장 좋은 A6063이 고속용 R-BAR 재질로 적합할 것으로 판단된다. 향후 250km/h급에 사용될 강제전차선 R-BAR 형상 및 추가 요구 특성에 따라 A6101과 A6063 재질을 선택적으로 적용하고, 열처리 조건을 최적화하여 요구되는 인장 특성의 구현이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2014년 국토교통부 철도기술연구사업, 철도 핵심 부품/장치 기술개발 2단계 연구단 과제의 제2세부 과제인 250km/h급 강제전차선로 개발의 일환으로 수행된 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

References

- [1] C. Vera, J. Paulin, B. Suarez, P. Rodriguez (2005) Improved design of an overhead rail current conductor for application in underground lines, 8th International Conference on Maintenance & Renewal of Permanent Way: Power & Signaling; Structures & Earthworks, London, U.K., pp. 29-30.
- [2] Mak, Man Kit (2012) Adoption of Overhead Rigid Conductor Rail System in MTR Extensions, Journal of International Council on Electrical Engineering, 2(4), pp. 463-466.
- [3] J. Paulin, J.D.Sanz, A.Garcia, C.Vera, Development of New High-Performance Overhead Conductor Rail Using Simulation Models, and their Validation through Field Testing.
- [4] C.Vera, B.Suarez, J.Paulin, P. Rodriguez (2006) Simulation model for the study of overhead rail current collector systems dynamics, focused on the design of new conductor rail, Vehicle System Dynamics, 44, pp. 595-614
- [5] Yim, Geum-Kwang, Chang, Sang-Hoon, Kim, Wang-Gon (2003), Analysis of overhead rigid conductor line for the subway tunnel section
- [6] BS EN50119: 2009, Railway application - Fixed installations - Electric traction overhead contact lines
- [7] Yangsu Kim, Haechul Yoo, Electric Railway Engineering Textbook, pp. 225-229
- [8] Minkyu Kim, Minseok Kim, Daehwan Kim, Jongwoo Lee (2010), A Study on the Impedance Calculation by using Equivalent Model in Catenary System, International Journal of Railway, Vol.3, No.2 pp.46-53

저 자 소 개



**배 상 준(Sang-Joon Bae)**

1997년 KAIST 기계공학과 졸업(공학석사),  
현재 LS전선(주) 수석연구원



**장 광 동(Kwang-Dong Jang)**

2007년 충북대 제어계측공과 졸업(공학석사),  
현재 LS전선(주) 선임연구원



**이 기 원(Ki-Won Lee)**

1997년 RIT(미) 기계공학과 졸업(공학석사),  
2009년 성균관대 기계공학과 졸업(공학박사),  
현재 한국철도기술연구원 책임연구원



**박 윤 철(Youn-Cheol Park)**

1995년 동의대 전기공학과 졸업(공학사),  
현재 한국철도시설공단 KR연구원 선임연구원