

도시형 자기부상열차용 집전시스템에 대한 실험적 연구(1)

이종민, 김봉섭, 정현갑  
한국기계연구원

An Experimental Study on the Pantograph and Contact-Line System for Urban Transit Maglev Vehicle(1)

Jong Min Lee, Bong Seop Kim, Hyun Kap Chung  
Korea Institute of Machinery & Materials

**Abstract** - This paper presents the results of an experimental study for the pantograph brush used to contact-line system in UTM-01(Urban Transit Maglev Vehicle). The contact resistance and the power collect capability are measured by the alloyed copper and the carbon brush. Measured results are considered to performance improvement for the pantograph.

1 서론

현재 한국기계연구원과 현대정공(주)가 공동으로 개발하고 있는 도시형 자기부상열차는 차량 1량당 24개의 부상용 전자석과 6대의 추진용 선형유도전동기로 구성되어 있으며, 이들에 소요되는 전력은 2MW(전압: 직류 1500V, 전류 1330A) 정도이다. 차량에의 전원공급은 고가체도로 된 시험선로 중 girder beam의 양측면에 설치된 강체가선을 통하여 전류가 차량에 설치되어 있는 판토크랩을 통하여 집전된다.

일반 전동차의 경우 판토크랩과 전차선 사이에 순간이선이 발생해도 차량이 주행레일 상면의 철차륜에 의하여 지지하고 있으므로 차량의 연속적인 주행이 가능하지만, 자기부상열차의 경우에는 전자석의 부상력 상실로 인한 자유낙하현상이 발생하므로 자기부상열차시스템에서는 battery backup장치를 탑재하여 이선의 발생에 대비하여야 함은 물론, 이선이 발생치 않도록 강체가선을 설치하고 판토크랩을 제작·설치해야 한다.

본 연구의 목적은 자기부상열차가 고속으로 주행시(110 km/hr) 강체가선과 판토크랩 사이에 순간이선도 발생하지 않고 집전을 가능토록 하며, 판토크랩 집전판의 마모를 최소화할 수 있는 새로운 형상의 판토크랩을 설계·제작하는데에 필요한 기본자료들을 도출하는데에 있다. 현재 한국기계연구원내에 기설치된 강체가선에 대하여 차량의 고속주행시 강체가선과 차량 판토크랩의 이선현상에 대한 이론적해석과 시험기에서의 시험 및 설치를 이용한 이선을 측정시험을 실시할 계획으로 있으며, 이러한 일련의 해석과 시험을 수행하기 이전에 선행되어야 할 연구가 판토크랩 집전판으로서 사용되는 재료의 집전능력을 파악하는 것이므로, 동합금과 탄소혼합체 2종류의 집전판 재료에 대한 접촉력 대 접촉저항변화와 통전능력변화에 대한 시험을 수행하였다.

2 집전판 재료의 전기적 특성시험

2.1 접촉저항 측정시험

집전판의 재질변화에 따른 접촉저항을 측정하기 위해서 그림 1과 같은 4-T(Terminal) Method를 사용하였다. 접촉저항 측정시험에는 현재 자기부상열차 주행시험시에 채택하고 있는 동합금재질의 집전판과 탄소혼합체 재질의 집전판 2종을 사용하였다. 동합금재질인 경우에는 주행시험에 사용된 적이 없는 집전판의 접촉면을 사포로 다듬질한 것과 주행시험에 사용하여 마모가 된 집전판을 다듬질하지 않은 상태로 시험하였다.

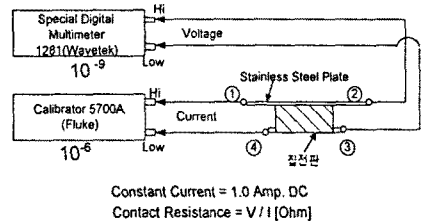


그림 1 4-T Method를 사용한 접촉저항측정법

탄소혼합체의 경우에는 신품을 다듬질하지 않고 제작된 상태로 시험하였다. 시험선로상에 설치된 강체가선과 동일한 조건을 만족시키기 위하여 그림 2와 같이 집전판과 접촉되는 부분에 1.2t stainless steel plate를 사용하였으며, 1 kgf 단위로 작용하중을 변화시켜가며 3종의 집전판에 대하여 접촉저항의 변화를 측정하였다.

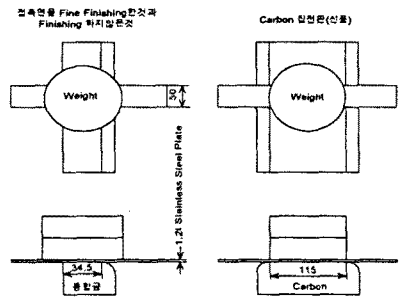


그림 2. 집전판과 가선 사이의 접촉저항 측정방법

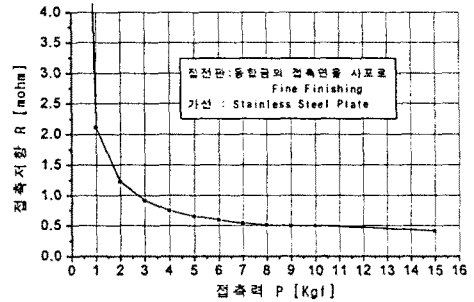


그림 3. 동합금재질 집전판의 접촉면을 사포로 다듬질하여 접촉저항을 측정된 결과

그림 3은 주행시험에 사용되지 않은 동합금재질의 집전판에서 가선과의 접촉면을 사포로 다듬질하여 접촉저항을 측정된 결과를 제시하고 있다. 현재 자기부상열차 주행시험시 사용되는 판토크랩의 압상력은 8 kgf 이고, 가선의 설치상태를 이상적인 정현파로서 가정하면 진폭이 0 인 위치에서의 접촉력과 압상력은 같다. 접촉력이 8 kgf 일때의 접촉저항 R은 0.512 mΩ으로 아주 미소함을 알 수 있다.

강체가선에서 진폭이 0인 위치에 판토크립이 위치해 있다고 가정하면 접촉력과 압상력이 같으므로, 접촉력이 8 kgf의 경우에 사용전류 1330 A에 대한 집전판에서의 전체 전압강하량은 접촉저항 R (8.528 mΩ)에 의한 전압강하량이 DC 2.84 V이고, 가선상에서의 최대 전압강하량과 DC Power Supply 전압강하량의 합이 DC 117 V이므로 전체 119.84 V의 전압강하가 발생한다. 공급전압이 직류 1500 V일 때 전압의 최대 허용변동폭은 통상 공급전압의 10%이므로 DC 150 V까지 전압강하가 허용되므로 판토크립 1조만을 사용해도 차량에 필요한 전력을 공급하는 것이 가능하다고 판단된다. 접촉력이 8 kgf이고 사용전류가 1330 A일 때 집전판에서의 전압강하는 접촉저항 R (0.09389 Ω)에 의한 전압강하량이 DC 62.44 V이고, 가선상에서의 최대 전압강하량과 DC Power Supply 전압강하량의 합이 DC 117 V이므로 전체 179.44 V의 전압강하가 발생한다. 따라서 DC 150 V까지 전압강하가 허용되는 시험선로상의 강체가선에 대하여 탄소혼합체 집전판이 장착된 판토크립 1조만을 사용하는 것은 부적합하며, 판토크립 2조를 차량에 설치하여 전력을 공급하는 것이 타당하다고 판단된다.

현재 주행시험중인 자기부상열차에 주로 사용되는 판토크립은 동합금재질의 집전판으로 판토크립 1조에 2개의 집전판이 장착되어 있으며, 집전판 1개에는 집전을 위하여 2조각의 동합금과 윤활역할을 수행하는 1조각의 탄소혼합체가 삽입되어 있다. 그러나 동합금의 경우 접촉력에 의한 마모량이 크므로 강체가선의 이음매 부분 등에서 차량의 고속주행시 판토크립이 파손되기도 한다. 이에 마모량이 적고 집전역할과 윤활역할을 동시에 수행할 수 있는 탄소혼합체 집전판을 제작하여 실차의 주행시험에 적용하였으며, 본 연구를 통하여 접촉저항을 측정함으로써 그림 4와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

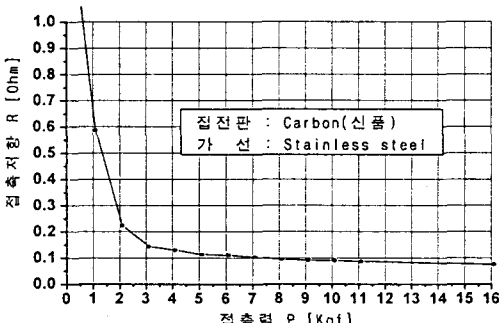


그림4. 신규 제작한 탄소혼합체 재질 집전판의 접촉저항을 측정된 결과

2.2 통전능력 계측시험

집전판의 접촉력과 재질변화에 따른 통전능력 계측시험의 측정장치를 사진 1과 같이 구성되었고, 측정장치에 대한 구성도를 그림 5에 도시하였다.

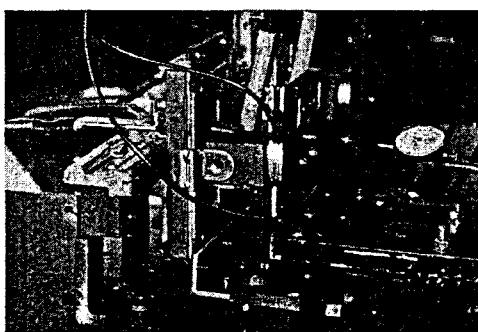


사진 1 통전능력 계측시험 측정장치

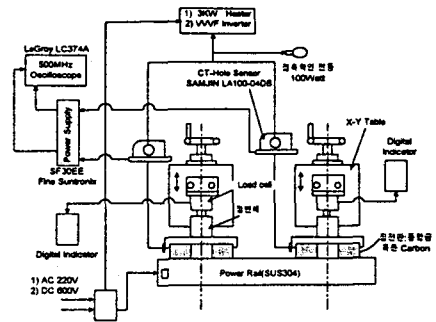


그림 5 통전능력 계측시험 측정장치 구성도

통전능력 계측시험시 집전판은 동합금과 탄소혼합체 재질을 사용하였다. 전력소비 부하로서 교류 220 V일때는 3kw 전열기와 100w 전구를 사용하였고, 직류 600 V일때에는 2.85N형 선형유도전동기를 사용하였다. 접촉력 계측을 위해서 200 kgf 압축형 loadcell을 사용하였고, 전류변화를 측정하기 위하여 ct-hole sensor를 사용하였다. 강체가선은 자기부상열차용 시험선로에 설치되어 있는 power bar를 사용하였다.

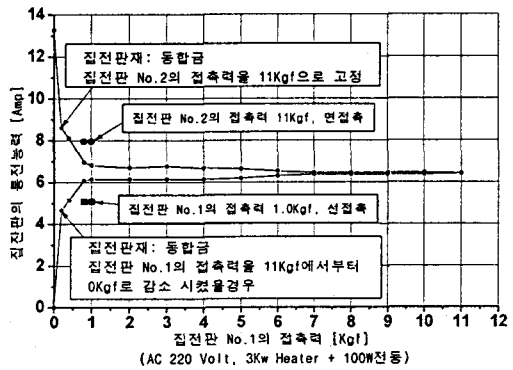


그림6. 교류전원 공급시 동합금재질 집전판 사이의 접촉력변화에 따른 통전능력 계측결과

그림 6은 동합금재질의 집전판을 사용하여 집전판 No.2의 접촉력을 11 kgf로 고정하고, No.1의 접촉력을 11 kgf부터 0 kgf까지 감소시켜가며 교류전원에 대한 통전량변화를 측정된 결과이다. No.1이 접촉하지 않을 경우 No.2의 통전량은 13.3 A이지만, No.1의 접촉력이 커질수록 No.1의 통전량이 점차로 커짐을 알 수 있다. No.1의 접촉력이 7 kgf에서 No.1과 No.2의 통전량이 거의 일치하며, 이는 접촉력의 차가 4 kgf 이내일 경우에는 통전량이 거의 동일함을 나타낸다.

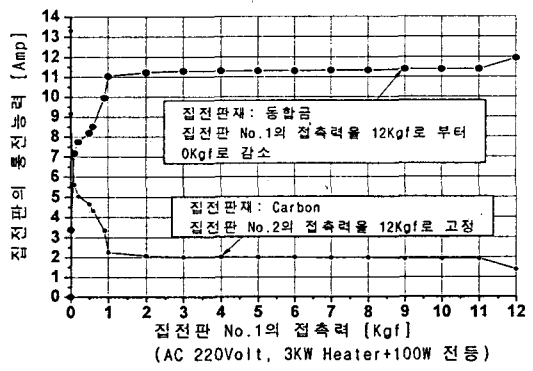


그림7. 교류전원 공급시 동합금과 탄소혼합체 재질 집전판 사이의 접촉력변화에 따른 통전능력 계측결과

그림 7은 동합금재질과 탄소혼합체 집전판 사이의 접촉력 변화에 따른 통전능력 계측결과를 나타내고 있다. 탄소혼합체 집전판의 접촉력을 12 kgf 로 고정하고, 동합금 집전판의 접촉력을 12 kgf 부터 0 kgf 까지 감소시켜가며 교류전원에 대한 통전량변화를 측정하였으며, 동합금재질 집전판의 접촉력이 1 kgf 이상이면 접촉저항의 차이에 의하여 전체 통전량의 80 % 이상이 통전됨을 알 수 있다.

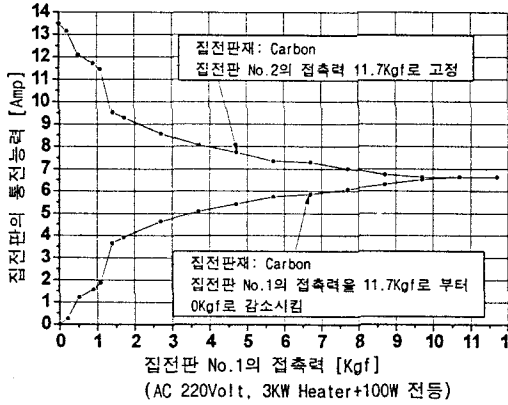


그림8. 교류전원 공급시 탄소혼합체재질 집전판 사이의 접촉력변화에 따른 통전능력 계측결과

그림 8은 탄소혼합체재질의 집전판을 사용하여 집전판 No.2의 접촉력을 11.7 kgf 로 고정하고, No.1의 접촉력을 11.7 kgf 부터 0 kgf 까지 감소시켜가며 교류전원에 대한 통전량변화를 측정 한 결과이다. No.1이 접촉하지 않았을 경우 No.2의 통전량은 13.5A 이지만, No.1의 접촉력이 커질수록 No.1의 통전량이 점차로 커져, No.1의 접촉력이 9.7 kgf에서 No.1과 No.2의 통전량이 거의 일치됨을 알 수 있으며, 이는 탄소혼합체 재질의 경우 접촉력의 차가 2kgf 이내일 경우에는 통전량이 거의 동일함을 나타낸다.

그림 9는 동합금재질의 집전판을 사용하여 집전판 No.1의 접촉력을 10.8 kgf 로 고정하고, No.2의 접촉력을 0 kgf 부터 10.8 kgf 까지 증가시켜가며 직류전원에 대한 통전량변화를 측정 한 결과이다. No.2가 접촉하지 않을 경우 No.1의 통전량은 0.75 V 정도이지만, No.2의 접촉력이 커질수록 No.2의 통전량이 점차로 커짐을 알 수 있다. No.2의 접촉력이 5.2 kgf에서 No.1과 No.2의 통전량이 거의 일치하며, 이는 접촉력의 차가 5.6 kgf 이내일 경우에는 통전량이 거의 동일함을 나타낸다.

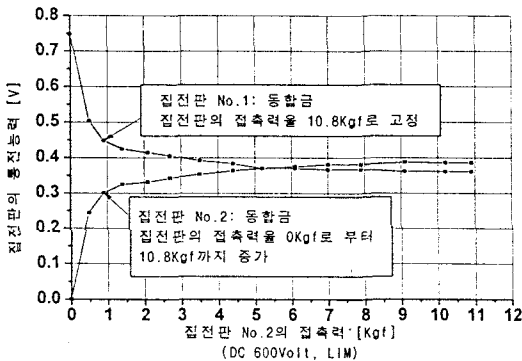


그림9. 직류전원 공급시 동합금재질 집전판 사이의 접촉력변화에 따른 통전능력 계측결과

그림 10은 동합금재질과 탄소혼합체 집전판 사이의 접촉력 변화에 따른 통전능력 계측결과를 나타내고 있다. 탄소혼합체 집전판의 접촉력을 10.4 kgf 로 고정하고, 동합금 집전판의 접촉력을 10.4 kgf 부터 0 kgf 까지 감소시켜가며 직류전원에 대한 통전량변화를 측정했으며, 동합금재질 집전판

의 접촉력이 3 kgf 이상이면 접촉저항의 차이에 의하여 전체 통전량의 90 % 이상이 통전됨을 알 수 있다.

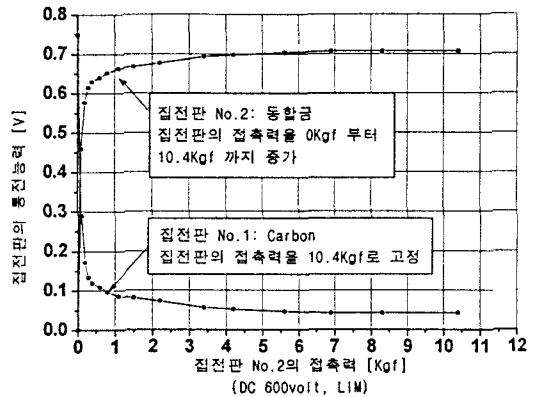


그림10. 직류전원 공급시 동합금과 탄소혼합체 재질 집전판 사이의 접촉력변화에 따른 통전능력 계측결과

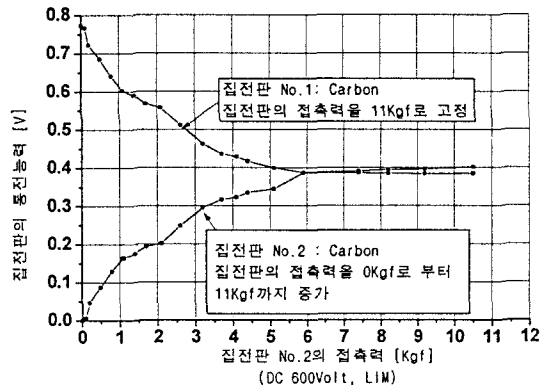


그림11. 직류전원 공급시 탄소혼합체재질 집전판 사이의 접촉력변화에 따른 통전능력 계측결과

그림 11은 탄소혼합체재질의 집전판을 사용하여 집전판 No.1의 접촉력을 11 kgf 로 고정하고, No.2의 접촉력을 0 kgf 부터 11 kgf 까지 증가시켜가며 직류전원에 대한 통전량변화를 측정 한 결과이다. No.2가 접촉하지 않을 경우 No.1의 통전량은 0.775 V 정도이지만, No.2의 접촉력이 커질수록 No.2의 통전량이 점차로 커짐을 알 수 있다. No.2의 접촉력이 5.9 kgf에서 No.1과 No.2의 통전량이 거의 일치하며, 이는 접촉력의 차가 5.1 kgf 이내일 경우에는 통전량이 거의 동일함을 나타낸다.

### 3. 결 론

자기부상열차용 판토품의 개선제작시 집전판의 재질은 동합금이나 탄소혼합체 중 어느 재질을 사용해도 차량에서 필요한 전원공급량을 만족시킬 수 있었으나, 탄소혼합체재질인 경우에는 차량당 2조의 판토품을 설치해야 함을 알 수 있었다. 판토품의 압상력을 8 kgf 정도로 설정했을 때 강체가선의 설치정도는 차량의 고속주행시 (110 km/hr)에 판토품과 강체가선 사이의 접촉력이 5 ~ 11 kgf 범위 사이에서 변화하도록 진폭과 주기를 설정해야, 차량주행에 적당한 통전능력을 갖출 수 있음을 알 수 있다.

### 참 고 문 헌

[1] 大浦 泰 外, "電車線とパソタグラフの特性", 鐵道總合技術研究所編