

## 견인시스템에 대한 점착특성 시험장치

이사영<sup>U\*</sup>, 오봉환<sup>\*</sup>, 이복구<sup>\*</sup>, 김봉희<sup>\*</sup>, 전지용<sup>\*\*</sup>, 김길동<sup>\*\*\*</sup>, 박현준<sup>\*\*\*</sup>

\*명지전문대학, \*\*대천대학, \*\*\*한국철도기술연구원

### Wheel-Railway Adhesion Characteristics Experiment Machine on Traction System

S.Y.Lee, B.H.Oh, B.K.Lee, B.H.Kim, J.Y.Chun, G.D.Kim, H.J.Park

Myongji College, Daecheon College, KRRI

#### Abstract

It is one of the most effective methods for improving the performance of electric railway vehicles to make better the wheel-railway adhesion characteristics. The purpose of this paper is to develop the equivalent reduction machine to experiment on the adhesion system. The experiment system makes it possible to change the wheel-rail adhesion force with various adhesion parameters, and therewith to test the adhesion control system with the reduction machine in a laboratory.

#### 1. 서론

점착성능은 열차의 성능을 결정하는 주요한 요인이며, 점착성능의 향상은 열차의 성능을 향상시키는 것과 직결된다. 기동과 제동시에 재점착 능력은 가속력과 제동력에 영향을 주게되며, 고속운전과 같은 지속적인 운전때에 레일의 상태 변화에 따른 점착계수의 저하에 대하여는 열차의 고속화를 어렵게 하는 요인이 되고 있으므로 점착력을 향상시키는 제어방법에 대하여도 많은 연구가 진행되고 있다.

점착기술은 공전 또는 활주가 발생하면 이를 검지하여 견인전동기의 토크를 감소시키고 재점착을 하게되면 다시 토크를 회복시키는 방법이 주로 사용되어 왔다. 이 방법에 대하여 점착계수의 저하때에는 공전 또는 활주가 발생하면 재점착을 위하여 토크를 감소시키고, 재점착을 이룬 후 토크의 회복은 또다시 공전 또는 활주를 발생하게 하여 이 동작의

반복이 지속되는 현상을 일으킬 수 있다[1]. 근래에는 미소 슬립 영역에서 연속적인 토크를 제어하는 방법들이 연구되고 있으며, 고속운전 영역에서 점착력을 향상시키는 방법들이 제안되고 있다[1][2].

본 연구는, 점착시스템에 대한 실험이 가능한 등가장치를 개발하는 것이 목적이다. 레일과 차륜의 점착력을 임의적으로 변화시켜서 다양한 점착계수를 갖게 하는 축소 시스템을 구축하여, 대학의 실험실에 있어서도 점착 제어에 관한 실험이 가능하도록 하기 위함이다.

#### 2. 전동기의 구동장치

그림 1은 등가인 견인시스템을 구동하기 위해 사용한 전력변환기이다. 직류전원을 확보하기 위한 정류기와 전동기를 구동하는 인버터 및 전동기로부터 유입하는 회생전력을 처리하는 전압제어 부분으로 구성되어 있다.

##### 2.1 직류전압의 제어

그림 1에서 전동기를 구동하는 경우, 직류전압은 정류기의 평균 전압으로 유지된다. 이때는 전압제어 회로가 동작하지 않도록 한다. 전동기를 제어할 때는 인버터로부터 회생전력이 있으므로 이때는 전압제어 회로를 동작시켜서 회생전력을 방전한다. 제어기의 히스테리시스 특성은 직류필터용 콘덴서와 회생전력량에 의해 정해지는 펄스폭 변조를 하게 하고, 저항을 통한 방전은 회생전력에 의한 직류전압의 상승을 억제한다.

전압제어기의 히스테리시스 특성은 정류기의 출력 전압 보다 높게 설정하여 구동시에는 작동하지 않도록 하고 회생전력이 발생하여 직류전압이 상승하면

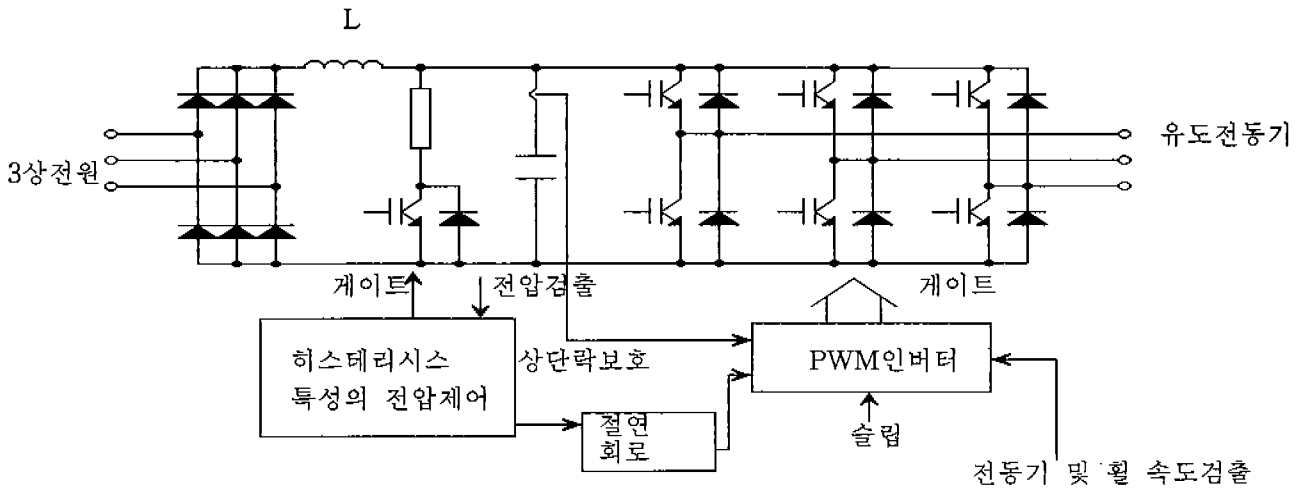


그림 1. 전력변환기  
Fig. 1. Power converter

동작하도록 하였다.

### 2.2 PWM 인버터

그림 1에 있어서, PWM 인버터는 200[Hz]까지 운전이 가능하고, 일반적으로 사용하는 과변조 방법을 이용하여 1펄스 모드까지 변조되도록 하였다. 따라서 변조파와 캐리어파는 비동기 및 동기의 두 변조방법을 모두 사용하였다.

견인시스템에 있어서 공전이 발생하면 재점착을 위해서 전동기의 토크를 1차 지연필터에 의해 감소시키는 전동기의 제어방식이 재점착 제어기술로서 알려져 있다[1]. 본 연구에서도 실험장치에 대하여 이방법에 의한 제어방법을 적용한다. 실험을 위해 V/f 일정 제어를 행하고, 전동기 제어에 대해서는 전형적인 슬립 제어방식에 의해 토크를 제어하는 방법을 이용했다. 이 방법의 사용은 유도전동기가 슬립에 대해서 비례하는 토크 특성을 갖고 있으므로 점착시스템에 있어서 발생하는 슬립속도에 대해서 토크를 감소시키는 특성을 쉽게 얻을 수가 있기 때문이다.

### 3. 점착시스템

점착시스템의 운동방정식을 식(1)에 표시한다.

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} = T - r \cdot g \cdot \mu_s \cdot W \quad (1)$$

여기에서  $J$ :차륜의 관성 모멘트,  $d\theta/dt$ :차륜의 각속도,  $T$ :차륜의 토크,  $r$ :차륜의 반경,  $g$ :중력가속도,

$\mu_s$ :차륜과 레일과의 점착계수,  $W$ :축중량

식(1)에 있어서, 우변의 제1항은 견인 전동기가 부담하는 토크이고, 제2항은 차륜으로부터 레일에 전달되는 점착력이다. 점착시스템은 이들의 차이와 차륜의 관성으로 이루어지는 시스템이므로, 실험장치는 식(1)의 우변 제2항을 가변시키는 구조이라면 점착시스템에 대한 등가인 장치로 된다.

### 4. 실험장치

제어기는 그림 2와 같이 16비트의 정수 DSP를 사용하였으며 퍼스날컴퓨터의 슬롯에 장착하여 프로그램의 변경 및 다운로드가 쉽도록 하였다. 부트메모리에 EEROM을 사용하고 8채널의 AD변환기와 PWM 변조와 출력 및 속도검출을 위한 디지털 입출력에 PLD를 사용하여 구성되어 있다.

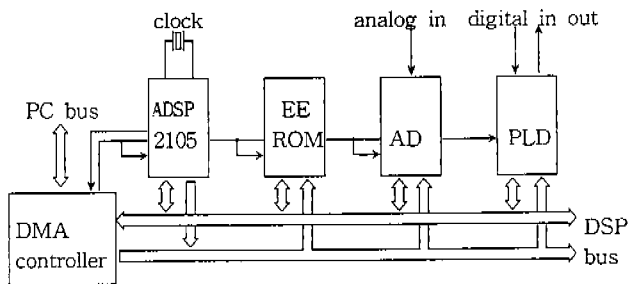


그림 2. 제어기  
Fig. 2. Control circuit.

그림 2의 회로는 DMA전송방식으로 DSP의 버스를 제어하도록 되어 있으며 제어기의 메모리, AD변환기 및 PLD를 PC에서 직접 액세스할 수 있다.

점착력과 슬립과의 관계는 일반적으로 그림 3과 같이 표현된다[1][2]. 어떤 슬립 속도에 있어서 최대 점착력을 갖고 있고, 슬립 속도의 상승과 더불어 점착력이 저하하는 특성으로서 알려져 있다. 점착 제어는 변화하는 최대 점착점을 어떠한 방법으로 찾아서 운전하는가 이고, 이것이 열차의 성능을 좌우하는 큰 요소로 되어 있다.

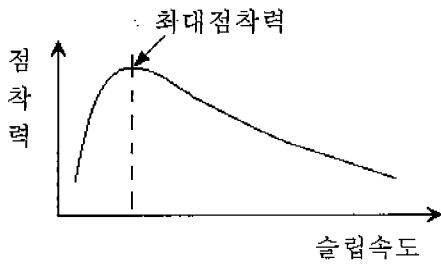


그림 3. 슬립속도와 점착력과의 관계  
Fig. 3. Variation of slip speed vs. adhesion force

점착특성에 관한 실험을 위해서 그림 4와 같은 장치를 고안하였다. 그림 4에 있어서 기어의 사용은 관성체의 속도를 낮추어서 안정성을 확보함과 동시에, 전자 클러치에서 문제로 될 수 있는 차량의 최대 상대 속도를 낮추기 위함이다.

등가 차량 관성체의 속도는 차량의 속도와 같기 때문에 전동기의 회전속도와와의 관계로부터 슬립속도가 얻어진다.

그림 4의 실험장치에 있어서 전자 클러치의 전달 토오크를 가변시켜서 발생하는 슬립속도는 그림 3의 점착력의 변화를 얻을 수가 있고, 여러 가지의 점착력-슬립 속도의 곡선을 얻을 수 있다.

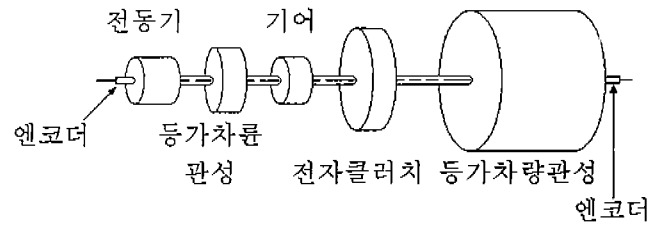


그림 4. 고안한 실험장치  
Fig. 4. Contrived experimental equipment.

그림 4의 장치는 그림 5와 같이 제작되었다. 전동기와 관성체의 속도를 측정하기 위하여 각각에 엔코더를 설치하였다. 전동기의 축 토오크를 측정하기 위한 토오크 검출기, 축소된 등가의 차량관성과 차륜관성체가 있고 장치의 안정성을 확보하기 위한 감속기어가 설치되어 있다. 또 차륜과 레일사이의 슬립효과를 얻기 위한 전자클러치가 설치되어 있다.

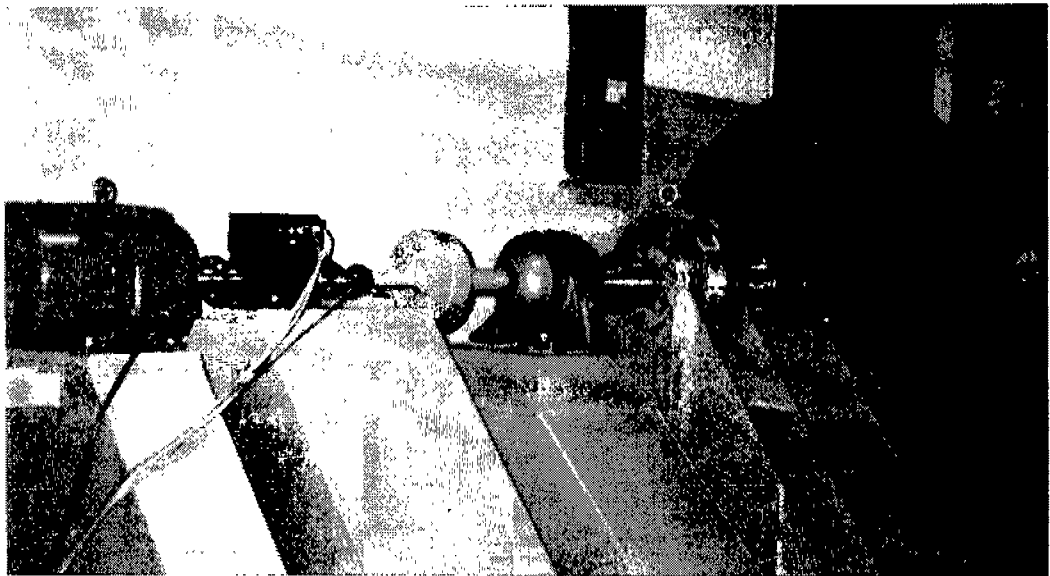


그림 5. 실험장치  
Fig. 5. Experimental equipment.

## 5. 실험결과

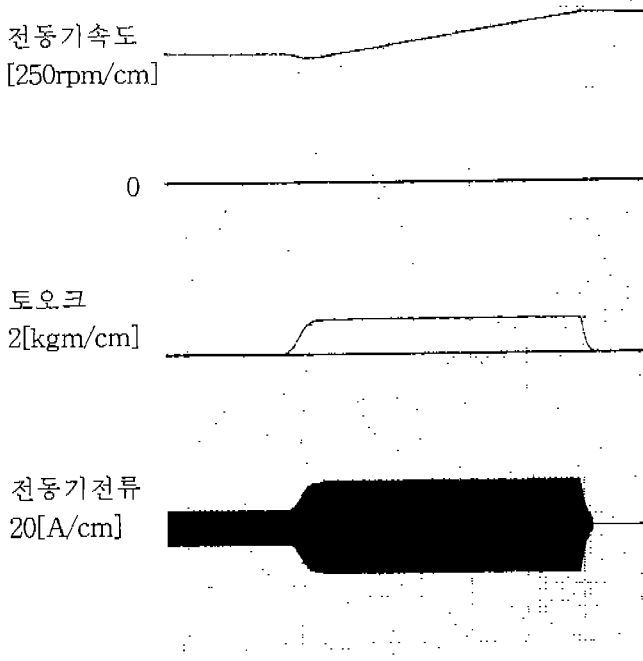


그림 6. 클러치 ON→인버터 OFF  
Fig. 6. Clutch ON→Inverter OFF  
(paper speed 2sec/cm)

클러치의 조작과 인버터의 on-off에 대해서 그림 6 및 그림 7과 같이 측정되었다. 그림 6은 슬립 속도가 발생하지 않은 경우이고, 그림 7은 슬립 속도가 발생했을 때 이것을 검지하여 알려져 있는 점착제어 방법인 1차지연 필터에 의해 토크를 제어했을 때의 결과이다.

슬립속도의 증가에 전동기의 토크가 감소하여 슬립속도에 따르는 토크로 수렴함을 볼 수 있고 관성체여로의 토크 전달이 감소했으므로 가속도도 감소했다. 문헌들에서 제안하는 방법으로 연속적인 토크를 제어하는 결과는 얻었으나 이 수렴하는 특성이 그림 3에서 최대점착력점이 되도록 하고 진동없이 토크를 제어하는 적절한 방법을 도출하고 이에 대한 실험이 앞으로 진행되어야 한다.

## 6. 결론

점착제어에 관한 실험에 있어서, 실제의 차량에 대한 실험은 시간, 장소, 비용 등의 제한된 문제점이 많다. 이것에 대해, 비교적 작은 실험실에 있어서도 실험이 가능한 장치를 고안하였다.

금후, 이 장치를 이용하여 다양한 점착력-슬립 속도의 모델화 및 점착에 관한 실험을 계속할 예정이다.

## 참고문헌

- [1] 交通·電氣鐵道技術委員會, "鐵道車兩における粘着制御技術", 電氣學會 技術報告 第673號, pp.3-51, 1998
- [2] T.Hariyama et.al., "Wheel Slip and Re-adhesion Control by Induction Motor Vector Control for High Speed Shinkansen", JIASC'97, pp.269-272, 1997

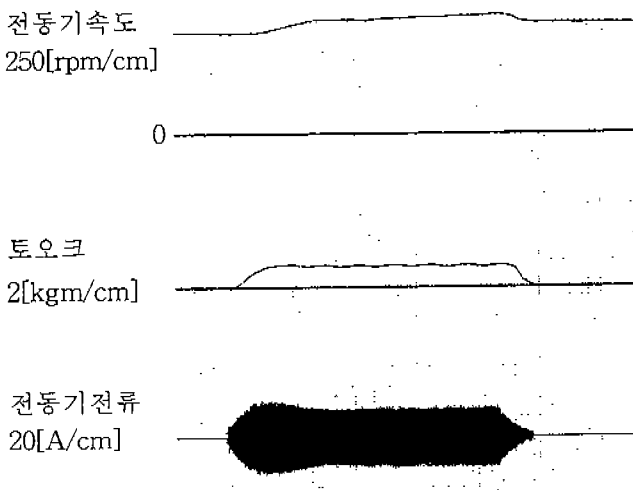


그림 7. 인버터 ON→인버터 OFF  
Fig. 7. Inverter ON→Inverter OFF  
(paper speed 2sec/cm)