

# 도시철도차량 차륜슬립 문제 해결에 관한 연구

## A study on solution of bogie wheel slip problem

조동식†                      정상범\*                      조성원\*                      손영진\*\*  
Dong-Sik Jo                Sang-Beom Jeong                Sung-Won Cho                Young-Jin Son

### ABSTRACT

Line 2 is being operated in 10 cities and it composed the amount of rolling stock combination. Line 2 rails have more curved than straight rails. So, wheels and rails were damaged. Accidents or delays caused many social problems. so it is important that wheel and rail are efficiently managed. Here, find out the cause of wheel-slip characteristics and workarounds were studying. Chapter 1 Background and Purpose. Chapter 2 about wheel slip problem and seek way improving adhesiveness. Chapter 3 Conclusion.

### 1.서론

도시철도차량이란 도시교통권역에서 운행하는 철도차량과 수도권전철처럼 2개 이상의 시 도에 걸쳐 운행되는 철도차량을 말한다. 특히나 도시철도는 단거리 수송을 목적으로 하므로 량당 수송인원도 많고 러시아워에는 승객유동도 많아진다.

현재 운행중인 2호선 도시철도차량은 10량 1편성으로 구성되어 있는데 2호선 순환선은 직선레일 보단 곡선레일이 많아서 차륜과 레일에 손상, 마모 현상 및 여러 가지 문제점이 도출 되고 있다.

여기서 2010년3월10일에 일어나던 영등포구청역에서 당산역으로가던 VVVF제어 열차가 당산역 도착 200m지점에서 안전운행(배차시간 조정)을 위해 서행중 약4도 경사의 레일에서 차륜슬립이 일어나 갑자기 열차가 운행하지 못하는 사건이 발생되었다. 이날 날씨는 폭설로 인하여 많은 승객이 탑승한 상태 있었고 선로에는 많은 눈이 있었다고 한다. 이처럼 슬립으로 인한 사고 또는 지연은 사회적 문제로 발전하고 또한 정위치 정차를 저해하는 요소중의 하나이다.

지금까지 우리나라는 도로위주의 개발 정책을 펼쳤고 그로인하여 타 선진국에 비해서 철도 및 지하철의 발전이 상대적으로 늦어지고 있다. 따라서 타 교통수단과의 경쟁력을 향상시키기 위해서는 효율적인 차량과 선로의 관리가 필요할뿐만 아니라 승객들의 불편을 해소하기 위한 슬립 및 슬라이드문제를 해결할 수 있는 연구가 필요하다. 이에 본 논문에서는 주간제어를 통한 VVVF 차량의 차륜슬립 원인을 알아보고 해결방법을 모색코자 연구하였다.

### 2.본론

#### 2-1 VVVF 전동차 인버터의 역할

전동차의 인버터는 제어회로의 전자장치의 마이크로프로세서에서 전동차의 운전정보를 수집, 논리, 연산처리 하여 PWM값에 따른 전력반도체(GTO, IGBT, IPM)의 Gate의 ON, OFF 시기를 제어함으로써 직류전원을 교류로 변환하고, 또한 교류 전력을 직류로 변환하는 장치이다.

전동기의 토크 즉 회전력을 가감하기 위해 전압을 제어하고, 전동기의 속도를 즉 회전수를 가감하기 위해 주파수 제어를 한다. 전동차의 역행 및 제동상태를 제어하기 위해서는 슬립주파수를 제어하

† 비회원, 서울산업대학교, 철도차량공학과, 서울메트로 신정승무사업소  
E-mail : leview@seoulmetro.co.kr  
TEL : (02)6110-6268 FAX : (02)6110-6269  
\* 비회원, 서울산업대학교, 철도차량공학과, 학생  
\*\* 회원, 서울산업대학교, 자동차공학과 교수

고, 전진, 후진을 제어하기 위해서는 3상 출력의 상순열을 제어하여 전동차를 운전한다. 그러므로 저항 제어차량이나, 초파제어 차량에서 사용하던 전, 후진 및 역행, 제동용 접촉기를 사용하여, 주회로 결선을 바꾸지 않고도 운전실의 주간제어기로서 만으로도 견인전동기를 제어 가능하게 되었다.

## 2-2 VVVF 전동차에 사용되는 유도전동기의 회전력과 토크

### (1) 회전력

$$N = \frac{120 \times f}{p} (1 - s) [rpm]$$

N : 전동기의 회전 속도

P : 극수

f : 주파수

s : 전동기의 슬립

위의 식에서와 같이 유도전동기의 회전력은 주파수에 따라 달라짐을 알 수 있다

### (2) 토크

유도 전동기는 1차측(고정자)으로부터 2차측(회전자)으로 전자유도에 의해 전력을 전송하고, 이 전력을 동력으로 변환하는 전동기로서 이때, 회전자에 발생하는 토크는 다음 식으로 정해진다.

$$T = K \times \Phi \times IR$$

$K_1$  : 비례상수

$\Phi$  : 자속

IR : 회전자 전류

$\Phi$ 는 전동기의 자속으로 다음과 같은 관계가 있다.

$$\Phi = K_2 \times \frac{V}{f}$$

$K_2$  : 비례상수

V : 1차 여자전압

f : 주파수

전원 주파수 f와 회전 주파수  $f_M$  사이에는 다음의 관계가 있다.

$$f = f_M \pm f_s$$

$f_s$  : 슬립 주파수

(역행시 :  $+f_s$ , 회생제동시 :  $-f_s$ )

회전자 (2차) 전류 IR은 자속  $\Phi$ 와 슬립 주파수  $f_s$ 에 비례한다.

$$IR = K_3 \times \Phi \times f_s$$

$K_3$  : 비례상수

따라서 토크는 다음의 식으로 표시될 수 있다.

$$T = K_0 \left( \frac{V}{f} \right)^2 \times f_s$$

$K_0$  : 비례상수

위 식에서와 같이 유도 전동기의 토크를 차량용 주 전동기로서 최적으로 제어하기 위해서는 전원전압 V와 전원 주파수 f를 제어함으로써 전동차의 출력을 제어할 수 있는 것이다.

### 2-3 주간제어기

주(역행) 핸들, 역전기, 데드맨 스위치, 차동 변압기 및 캠 접촉기 등으로 구성되어 있다. 주 핸들은 역행시 1에서 4 노치까지 연속적으로 동작되며, 역전기는 OFF, 전진(F), 후진(R)의 3모드가 있다. 데드맨 동작으로 역행상태에서 주 핸들이 석방되면 비상제동 계전기가 OFF 되며 이때, 역행회로는 분리되고 5초 후 비상제동이 체결된다. 주 핸들의 조작에 의하여 차동 변압기의 출력이 변화하도록 되어 있으며 출력신호가 PWM 발생기에 입력된다.

### 2-4 PWM 발생기

PWM 발생기 회로는 주간제어기 회로의 주(역행) 핸들의 핸들각도에 대하여 차동변압기에 의해 노치(1N ~ 4N)에 비례한 출력전압을 공급한다. 이 차동변압기 출력이 PWM발생기에 입력되고, 입력전압을 증폭한 후 변조파형과 톱니파를 비교함으로써 입력의 차동변압기 출력에 비례한 펄스 Duty로 변환된다.

### 2-5 슬립의 원인 분석

슬립이란 출발이나 가속시 인장력이 차량의 점착력보다 클 때에 생기는 것으로 레일위에서 차량이 공회전하는 현상이다.

슬립현상이 가장 많이 발생하는 구간은 초기제동, 상구배지역에서의 역행 초기에 가장 많이 일어나고 있는데 철도는 차량과 레일의 재질이 스틸로 되어 있어서 마찰계수가 낮다. 이는 차량과 레일에서 작용하는 저항을 적게하는 장점이 있으나 반대로 마찰력이 작아짐으로 인하여 레일위가 습윤해 졌을때 레일과 차량사이의 점착력을 저하시키는 요인이 된다.

현재 이러한 현상을 해결하기 위해서는 다음과 같은 여러 가지 방법이 사용된다.

- (1) 차량담면에 모래를 뿌려 점착계수를 크게 한다.
- (2) 공전검출장치 설치한다. 차량의 회전속도가 급격히 상승하는 것, 또는 타 차량에 비하여 특정차량의 회전속도가 큰 것 등을 검출하는 장치를 취부하면 공전을 검출하여 회전력을 줄일수 있다.
- (3) 무게(축이 받는 무게)의 변동을 적게한다.
- (4) 무게에 따라 미리 인장력을 제어한다.
- (5) 회전력을 크게 감소시키는 방법으로 공전이 작을 동안 재점착 하도록 한다.

하지만 위에서 열거한 방법들은 대부분 철도차량에서 쓰이고 실제로 도시철도차량을 운행함에 있어서 슬립을 방지하기 위한 기계적, 구조적 방법이 없는것이 실정이다.

### 2-6 VVVF 도시철도 차량에서 주간제어기를 이용한 슬립제어

대부분의 기관사가 정지상태에서 출발시에 주간제어기를 충분한 시간을 갖지 않고 바로 4스텝으로 변경하는 경향이 있다. 이것은 건조한 상태에서는 문제가 되지 않지만 레일위가 습윤한 상태에서는 4스텝의 큰 회전력으로 인해 레일과 차량의 점착 시간이 짧아지고 이로 인하여 슬립이 생기는 원인을 제공할 수 있다.

우천시엔 운행하는 VVVF 전동차를 조사해본 결과 정지상태에서 1,2스텝으로 동작시엔 슬립현상이 발생하지 않았고 2스텝에서 3스텝으로 변환과정에서 과도한 슬립현상이 발생하였다. 슬립의 원인을 분석하기 위해 각 스텝별 출력을 TCMS모니터를 통하여 확인해 보았다.

- 1스텝 32%-210A
- 2스텝 55%-390A
- 3스텝 77%-520A

#### 4스텝 100%-770A

레일위가 평상시와 같이 건조할 경우는 레일과 차륜의 마찰력으로 인하여 스텝간 이동시 회전력과 토크를 제어할 수 있지만 우천시나 설천시에는 마찰력이 급격히 감소하여 열차의 충분한 속도가나지 않은 상태에서 스텝 변경할 경우 과도한 출력으로 인하여 슬립현상이 발생하는 것을 알 수 있다.

#### 2-4 실제 적용시

경력 기관사들의 협조에 의하여 2스텝에서 50km/h 정도의 충분한 출력을 얻은 후 3스텝변경을 하였을 경우 슬립현상이 완화 되는 것을 알 수 있었다. 하지만 평상시와 같이 건조한 상태에서는 역간이동이 2분 정도 였으나 슬립완화를 위해 저속도 주행을 했을 경우에는 기존보다 40초 정도의 딜레이가 생기는 것을 알 수 있었다.

### 3. 결론

본 논문에서는 VVVF전동차의 출력이 주파수와 전압의 제어를 통하여 이루어 진다는 점에서 착안하여 구간제어기의 제어를 통한 슬립현상을 방지방법을 연구해 보았고 그 결과는 다음과 같다.

[1] 우천시나 설천시에 구간제어기를 충분한 속도를 얻은 후에 변경한다면 슬립현상을 완화 할 수 있으나 기관사의 주관적 판단에 의해서 속도를 제어하는것 보다는 향후 체계적 연구를 통하여 일정한 데이터를 얻은 후에 이것을 규정화할 필요성이 있다.

#### 참고문헌

1. 서울메트로 전동차 제어.