가속도 변화에 따른 슬립/슬라이드 발생의 상관관계에 관한 연구

A study on correlation between generation of slip/slide by change of acceleration

박남규* 이희선**

Park, Nam-Kyu Lee, Hee-Sun

ABSTRACT

This test is performed to reduce slip/slide which are generated from VVVF inverter. when the adhesive force between wheel and rail is not ensured, slip/slide are mainly originated. In this paper, we carried out real test adopting acceleration changes to find optimized method minimizing the amount of generation of slip/slide. Through this real test, we obtained optimum result on reducing slip/slide and especially focused on decrease in slip. This method is currently applied to real train.

1. 서 론

VVVF(Variable Voltage Variable Frequency) 인버터는 열차의 견인력을 발생시키는 중요한 장치 중 하나이다. 이 인버터가 정상적인 역할을 하기위해서는 원하는 토크를 발생 시켜 열차를 구동시켜야 하는데, 레일의 상황, 인버터 제어의 방법 등에 따라 정상적인 동작을 하지 못하는 경우가 발생하고 있는 것이 현실이다. 그 중의 대표적인 현상이 슬립(Slip)과 슬라이드(Slide) 현상이다. 철도 차량에 있어서 주행하고 있는 차륜에 속도 변화를 위한 토크가 가해지면, 점착력은 차륜의 슬립(차량과 차륜의 속도차)이 증가함에 따라 커지고, 어떤 슬립에서 포화한다. 그 후는 점착력이 감소하여 가, 감속을 하기 위한 차륜의 토크는 슬립이 급격히 커지는 상태의 영역으로 이행하여 구동 시에는 공전(Slip), 제동 시에는 활주(Slide)라고 하는 상태로 된다.[1] 이러한 열차 제동 시 제동력에 의해 차륜과 레일 간의 미끄럼 발생 정도가 심하게 발생되고, 역행 시에는 견인력으로 인해 미끄럼이 발생하는 문제가 발생되어 기계적 손상, 소음 등이 발생되고 있다.[2]

슬립 현상은 열차가 역행 시 휠과 레일간의 마찰력 부족으로 인해 휠(Wheel)이 미끄러지는 현상 즉, 공전을 말하고, 슬라이드 현상은 제동 시 발생하는 활주를 말한다. 슬립현상이 발생되면 정상적인 토크를 얻을 수 없게 되어, 열차의 출력 저하를 발생하는 문제가 발생되고 있다.

이와 함께 슬라이드현상은 열차가 제동 시에 발생되어 차륜이 순간적으로 끌리면서 휠에 찰상을 일으키는 문제가 있어 이를 제어하는 방법이 요구된다. 슬립과 슬라이드는 열차의 인버터에서 슬립/슬라이드 발생되는 시점에서의 제어가 이루어지는데, 열차가 운행되는 본선 도유기에 의한 레일 위의 기름 도포량, 습기의 정도, 전철기 등 레일과 실제의 상황 조건 및 환경에 따라 발생 회수의 빈도가 결정된다.

* 대전도시철도공사, 차량운영팀, 비회원
E-mail : portfolio007@naver.com
TEL : (042)539-3666 FAX : (042)539-3559

** 대전도시철도공사, 차량운영팀, 비회원
E-mail : tcms007@nate.com
TEL : (042)539-3666 FAX : (042)539-3559

하지만 이러한 상황을 고려한 상태에서 인버터 자체에서 이루어질 수 있는 제어 방법에 대한 시험 결과를 다루었다.

본 연구는 열차운행 시 VVVF 인버터에서 발생되는 현상 중 특히, 가속시의 슬립 발생을 최소화하는 최적화 된 방법을 찾는데 초점을 두었고, 실제 운행 중인 열차에 적용한 시험을 통해서 슬립/슬라이드 발생의 최소화를 얻기 위해 수행되어졌다. 그리고 시험 방법은 인버터의 가속도 수치를 변화시킴으로써 열차가 최초 출발시의 가속도의 기울기를 변화 시켜 슬립발생이 가장 적게 발생되는 최적의 조건을 찾아 현재 열차에 적용하였다.

2. 본 론

2.1 시험 방법

슬립/슬라이드 발생을 줄이기 위한 시험은 VVVF 인버터의 가속도를 제어하는 MASTER CARD의 ROM에 각기 다른 가속도 값을 적용 시켜가면서 열차에서 나타는 가속, 감속 특성을 Recorder와 열차 운행기록기, 고장기록을 이용하여 실시간으로 데이터를 획득하는 방법을 이용하였다.

우선 각기 다른 가속도 값을 적용한 MASTER CARD의 ROM에 대한 속도 그래프 데이터를 통해 인버터 기준 가속도 3.0 km/h/s와 감속도 3.5km/h/s가 발생되는 데이터의 고장기록 발생 회수를 비교하는 방식을 수행하였다. 시험은 같은 열차에서 각기 다른 값에 대한 데이터 획득 방법으로 수행하였으며, 사용된 장비는 Memory Recorder와 VVVF 인버터 Rack에 SDM Card를 삽입하여 가선전압, 가선전류, U상전류, Notch 명령, 속도 그래프를 얻을 수 있었으며, 이 속도 그래프를 통해서 열차 출발 시의 가속도와 제동 시의 감속도를 판별하는 방법과 병행하여 열차 시운전 기록기의 데이터 값을 동시에 비교하여, 원하는 가속도와 감속도를 판별하였다. 동시에 고장기록발생 횟수를 비교하여 실제 열차 운행 시 발생되는 슬립/ 슬라이드의 최적의 가속도 프로그램을 선정하는 방법으로 접근하였다.

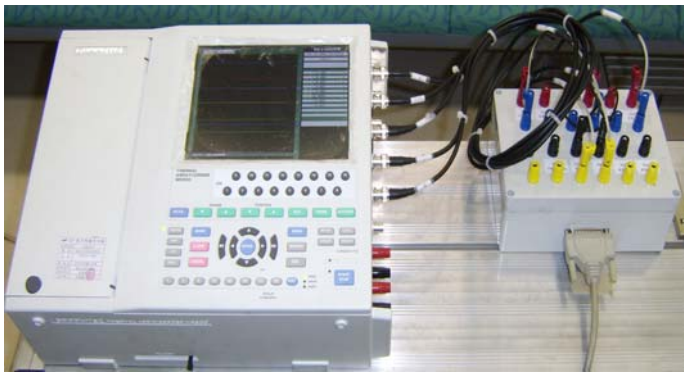

그림 1 가감속도 측정용 레코더

그림1은 열차운행 시 열차의 특성을 기록할 수 있는 측정용 레코더다. 이 레코더를 이용하여 각기 다른 가속도 값을 적용한 상태에서의 기준 가속도와 감속도를 확인할 수 있었다.

이번에 우리가 시험한 각기 다른 가속도 값에 대한 시험 버전은 현재 대전 도시철도공사의 현 차량에 적용되어 있는 인버터 Master card ROM 버전인 MAS30과 시험버전인 2.76, 2.88, 2.93, Mas31 총 5개 버전을 이용하여 결과를 도출해 냈다. 각기 다른 버전에 대한 가, 감속도 그래프 측정 방법은 열차가 최고속도까지 도달한 후 만제동(Full service braking)을 체결하여 속도 그래프를 얻는 방법을 이용하였다.

2.2 시험 결과

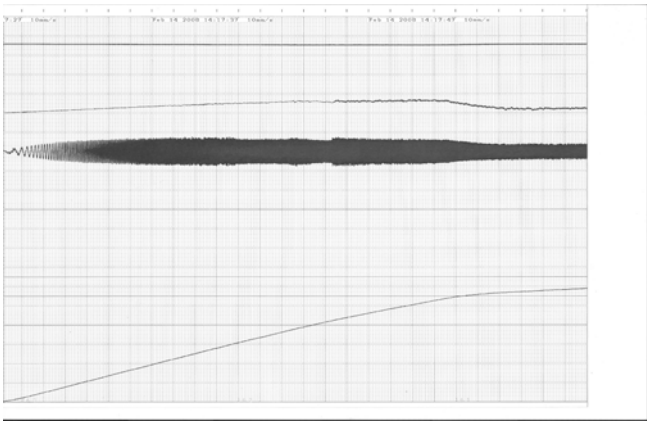

그림 2 가감속도 측정 결과(Ver. 2.76)

우선 이 시험은 열차 출발 시 발생되는 슬립 발생에 주안점을 두고 접근하여 감속도에 대한 언급은 하지 않았다. 그림 2는 Ver. 2.76의 가, 감속도 그래프이다. 그림에서 맨 아래 쪽 선이 속도 그래프를 나타낸다. 이 그래프에서 열차 가속 시 5 km/h에서 35 km/h까지를 측정하여 기준 가속도인 3.0 km/h/s의 기준에 부합하지 못하는 결과를 나타냈다. 이 시험에서의 가속도는 2.83 km/h/s로 우리가 얻고자 하는 기준을 충족하지 못하였다.

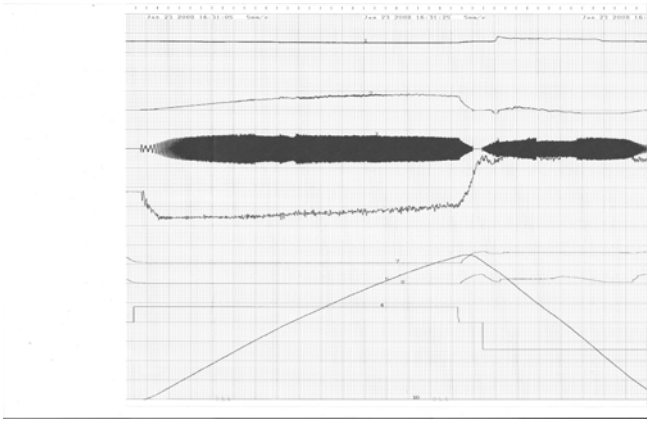

그림 3 가감속도 측정 결과(Ver. Mas31)

그림 3은 동일 조건에서 실시한 Ver. Mas31의 가, 감속도 그래프이다. 이 속도 그래프에서의 가속도는 3.06 km/h/s를 기록하여 열차 운행 기준에 부합하는 결과를 보여주고 있다. 또한 이 버전을 적용한 현차의 슬립/슬라이드 발생 추이 현황 또한 기존 버전보다 현저하게 슬립/슬라이드가 발생되는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 그림 4는 Ver. 2.88의 가, 감속도 그래프를 보여준다. 이 속도 그래프에서의 가속도는 3.13 km/h/s를 기록하여 열차 운행 기준에 부합하는 결과를 보여주고 있다. 하지만 이 버전을 적용한 현차의 슬립/슬라이드 발생 횟수는 Ver. Mas31 보다 많은 슬립/슬라이드 발생 결과를 나타냈고, 열차 가속시의 열차의 떨림 현상이 발생하는 문제점을 보였다.

그림 5와 그림 6은 각각 Ver. 2.93과 이전 현차에 적용되었던 Ver. MAS30의 가, 감속도 그래프 특성을 보여주고 있다.

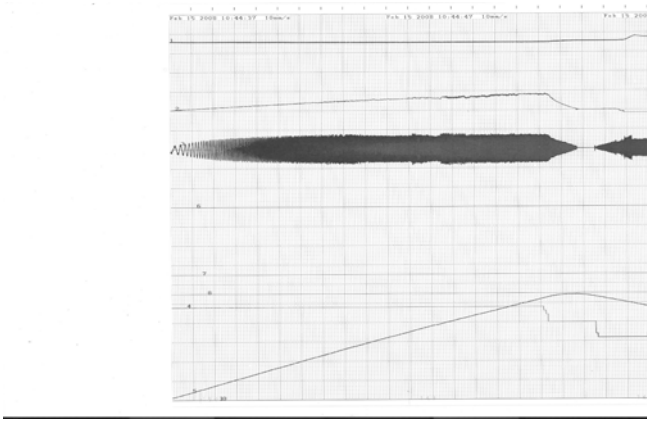

그림 4 가감속도 측정 결과(Ver. 2.88)

그림 5 속도 그래프에서의 가속도는 3.09 km/h/s를 기록하여 열차 운행 기준에 부합하는 결과를 보여주고 있다. 하지만 역시 앞에서의 결과와 같이 현차에서의 시험 적용 시 발생된 슬립/슬라이드의 횟수가 많은 결과를 보였다.

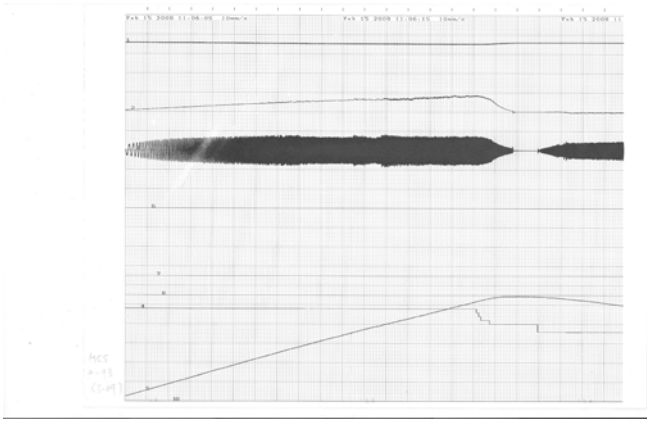

그림 5 가감속도 측정 결과(Ver. 2.93)

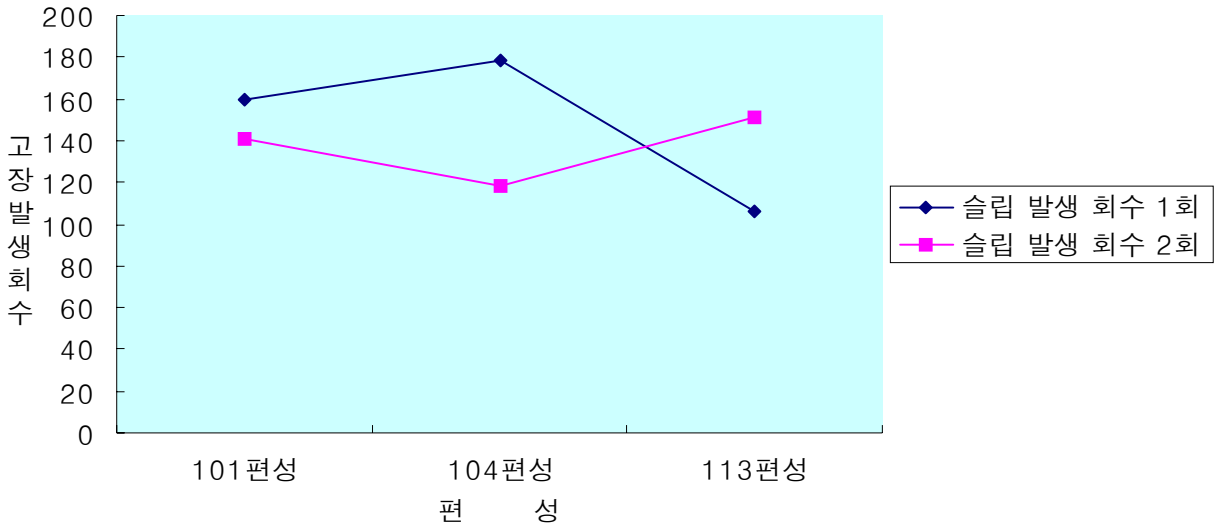

그림 6 Mas31 적용 전 슬립/슬라이드 발생 회수

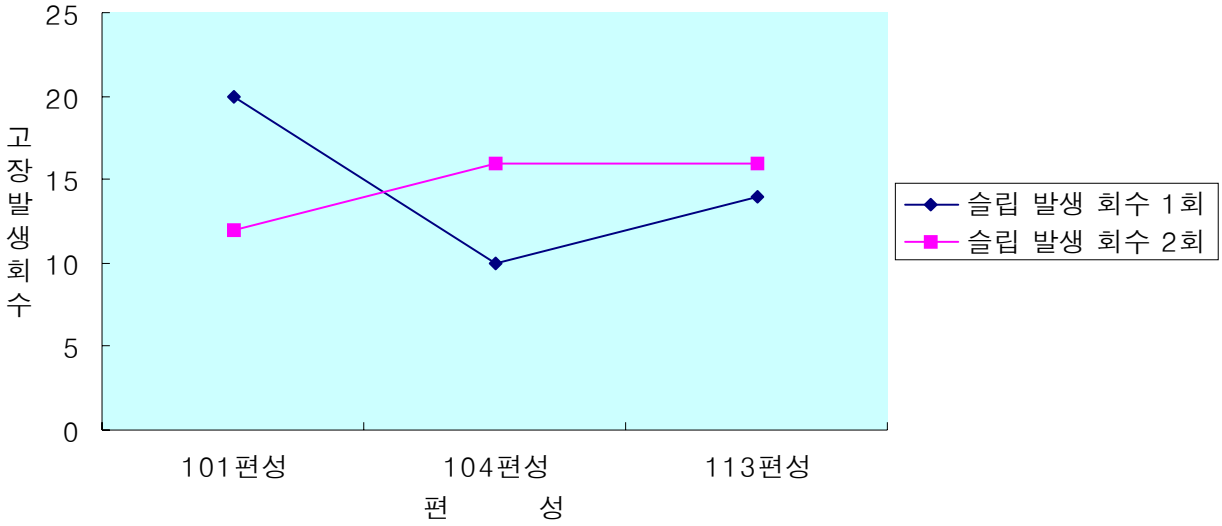

그림 7 Mas31 적용 후 슬립/슬라이드 발생 회수

이리하여 우리가 찾고자하는 가장 적은 슬립/슬라이드 발생을 보인 Ver. Mas31을 선정하여 현차에 직접 적용하여 고장 발생 추이를 분석한 결과 가장 적은 슬립/슬라이드 발생 횟수를 기록하여 전 편성에 적용하는 결과를 얻을 수 있었다. 그림 6과 7은 기존의 버전에서 발생된 슬립/슬라이드 발생 현황과 새로운 버전을 적용한 후의 슬립/슬라이드의 발생 현황을 확인하기위해서 슬립/슬라이드 발생회수가 많이 발생되었던 몇 개 편성을 샘플 추출하여 발생 추이를 확인해본 결과이다. 이 결과에서 보이듯이 새로운 프로그램 버전을 적용 후 슬립/슬라이드 발생이 줄어든 결과를 얻을 수 있었다.

3. 결 론

이 시험을 통하여 열차 가속 시 발생하는 VVVF 인버터의 슬립/슬라이드 발생을 줄이기 위해 가속도 값을 변화 시켜 기동 시 발생되는 슬립 발생을 줄일 수 있는 결과를 얻을 수 있었다. 우리가 시험한 버전 중에서 Ver. Mas31에서 가장 적은 슬립/슬라이드 발생 결과를 얻을 수 있었고, 이 결과를 바탕으로 현재 열차에 적용이 되어 있으며, 기존 버전인 MAS30에서의 발생되는 양 보다 현저히 저감된 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 이 결과는 열차의 가속 및 감속 시 열차에 미치는 영향의 최소화와 운전 승차감, 슬립/슬라이드 발생의 최소화를 통한 인버터 출력의 정상적인 기능 수행 및 휠 과 레일의 마모 등 차량 성능 이외의 운행 설비에 대한 기능 향상을 얻을 수 있는 결과를 얻을 수 있을 것이다.

참고 문헌

1. 한영재 "고속전철 추진 및 전기제동 시스템의 고장진단과 성능평가" 2004, 박사학위 논문 2.3.2 pp.24
2. 하관용, 김희식 "가속도/감속도 변화율에 따른 레일 마모 현상에 관한 연구" 2007, 철도학회 논문집 제10권 5호 pp.607-612