

도시철도차량의 성능 향상을 위한 점착특성 기법에 관한 연구

김영춘^{1*}, 전지용²

A Study on the adhesion characteristic technique for improvement performance of urban rolling stock.

Young-Choon Kim^{1*} and Ji-Yong Chun²

요 약 전기철도차량의 성능특성을 향상시키기 위한 효과적인 방법중의 하나는 바퀴와 레일사이의 점착성능을 향상시키는 것이다. 점착특성을 연구하기 위해서 실제 차량을 등가 모델링한 점착시스템을 제작하였다. 이 시스템은 다양한 점착 파라미터를 변화시켜 바퀴와 레일사이의 점착력을 바꿀 수 있도록 제작되었다. 이 논문은 공전속도를 제어하는 기능을 추가하여 점착성능을 향상시키는 연구이다.

Abstract It is one of the most effective methods for improving the performance of electric railway vehicles to make better the wheel-rail adhesion characteristics. To study adhesion characteristic 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. In this paper, for improving adhesion performance shows actually control methods.

Key Words : Vector control, rolling stock, traction motor, adhesion control

1. 서 론

인버터의 응용은 유도전동기의 제어에 있어서 강력한 토크의 제어특성을 갖는 벡터제어는 자기소호능력을 갖는 소자들의 개발과 더불어 그 응용분야^{[1][2][3]}를 확대시키고 있으며 전기철도분야에 있어서 벡터제어방식을 전동차의 구동에 적용했을 때 향상시킬 수 있는 기능은 다음과 같이 열거할 수 있다.^[5]

- (1) 차륜으로부터 레일에 전달되는 토크 정밀도의 향상.
- (2) 토크의 빠른 응답성에 의한 차륜의 공전·활주시의 재점착 제어기능의 향상.
- (3) 차량정지에 이르기까지 회생 브레이크의 적용등이며 토크의 정밀성은 차량의 가감속특성과 공전·재점착 제어의 성능을 좌우하므로 철도차량에 있어서 벡터 제어의 효과는 크다고 할 수 있다.

전동차의 재점착특성은 열차의 성능을 평가하는데 중

요한 것이다. 재점착특성은 공전속도에 비례하는 토크의 저하를 1차 지연필터에 의하여 전동기의 토크를 감소시킴으로써 얻어지는 것으로 알려져 있다^{[6][7]}. 재점착은 빠르고 정확한 공전의 검지와 공전에 따라 적절하게 토크를 제어하여 점착력을 향상시키는 기술이며

- (1) 공전을 검지한 후 재점착기능을 분리하여 제어.
- (2) creep영역에서 연속적인 속도검지와 이에 따르는 토크를 제어하는 방법이 알려져 있고 두 가지의 방법에 대하여 지속적인 연구가 진행되고 있으며 공전이 검지되면 전동기의 토크를 감소시키는 방법들이다.^{[8][9][10][11]}

본 연구는 견인전동기와 같이 광범위한 속도제어범위를 갖는 유도전동기의 구동에 벡터제어를 도입하고 등가의 실험장치에 의하여 점착제어에 관한 실험을 하였다.

인버터는 전력반도체소자가 낮은 변조율부터 180도 구간을 연속통전하는 범위까지 사용하는 PWM변조방향을 응용하였다. 저속영역에서 토크의 맥동과 전류파형에 영향을 주는 데드타임에 대한 보상은 낮은 스위칭 주파수를 사용하고 순시전류를 제어하는 루프를 두어 좋은 보상결과를 얻었다. 전동기의 구동실험에 있어서는 정지

¹공주대학교 공과대학 기계자동차공학부

²아주자동차대학 자동차제열

*교신저자: 김영춘(yckim59@kongju.ac.kr)

할 때까지 회생제동이 가능함을 확인하였으며 벡터제어가 갖는 효과적인 결과를 확인하였다.

재접착제어에 있어서는 일반적으로 사용되는 공전속도의 1차지연에 의한 토크의 감소방법을 사용하고, 공전속도에 비례하여 토크를 낮추는 속도제어루프를 첨가하였다. 1차 지연만을 사용하여 토크를 감소시키는 방법과 비교하여 속도제어 루프가 추가되었을 때, 같은 조건에서 공전속도의 크기가 감소하고 가속도가 커짐이 관찰되었으며 접착특성을 향상시킬 수 있는 방법임을 실험으로 확인하였다.

2. 견인전동기의 구동

벡터제어는 슬립주파수형의 간접벡터방법을 적용한다. 차량에 적용하는 인버터는 180도 통전상태인 과변조에서도 사용되어야 한다. 이 때에는 전압의 위상과 주파수만을 가변할 수 있으므로 일반적으로 적용되는 전류제어형보다는 전압형의 적용을 하도록 한다. 견인전동기는 그림 1의 방법에 의하여 구동하였다. 그림 1과 같이 설정토크와 자속에 의한 전류와 슬립을 설정하고 검출된 전동기의 속도와 함께 전압벡터를 계산한다. 계산된 두 축의 전압은 PWM변조를 위하여 극좌표의 벡터로 변환하며 전류의 진동을 억제하고 파형의 보상을 위하여 전류제한 루프를 둔다. 또 전압벡터는 극좌표에 의한 벡터로 변환하여 PWM의 과변조를 하였으며 벡터의 크기에

의하여 자속을 설정하는 방법을 사용하였다.

인버터의 변조는 광범위한 속도제어를 하기 위하여 과변조의 범위에서도 사용하여야 하므로 PWM인버터에 있어서 전력용 반도체 소자가 전기각으로 180[도]를 연속하여 통전해야 하는 범위까지 구동하는 변조방법을 필요로 한다. PWM 변조에 대하여 180[도]를 연속통전해야 하는 이 조건은 변조율을 $r=1$ 로 하고 그림 1과 같이 자속제어기에 의하여 변조율에 제한을 하는 방법을 사용하였다.

벡터의 표현에서 동기속도로 회전하는 직각좌표로 연산된 전압벡터를 극좌표에 의한 형식으로 변환하고 $r < 1$ 의 영역에서는 r 에 비례하여 전압을 출력하는 특성을 갖도록 변조기를 설계한다. 극좌표로 표현한 전압벡터의 크기는 변조율에 관계하므로 전력반도체 소자가 180[도]를 연속 통전하는 최소의 벡터가 있게 된다. 이 경우가 $r=1$ 의 상태이며 자속제어기는 전동기의 전압벡터가 이 최소의 크기일 때를 기준으로 하는 비례 적분제어기를 사용하였다. 변조율이 $r < 1$ 의 영역에 있어서 전동기의 전압벡터에 대하여 그림 1에 대한 자속의 제어와 귀환은 정격 자속이 되도록 인버터의 선형동작 영역에서는 자속제어가 포화하도록 한다.

벡터연산은 자속벡터를 기준축으로 하여 1차전압을 연산하는 일반적인 방법을 사용하였으며 전동기의 설정 토크와 자속에 의하여 벡터연산에 필요한 자속성분의 전류와 토크성분의 전류 및 슬립을 설정한다. 또 토크전류의 오차에 의한 슬립을 보상하는 슬립제어를 한다.

인버터는 견인전동기가 역행시에는 On, 타행시에는

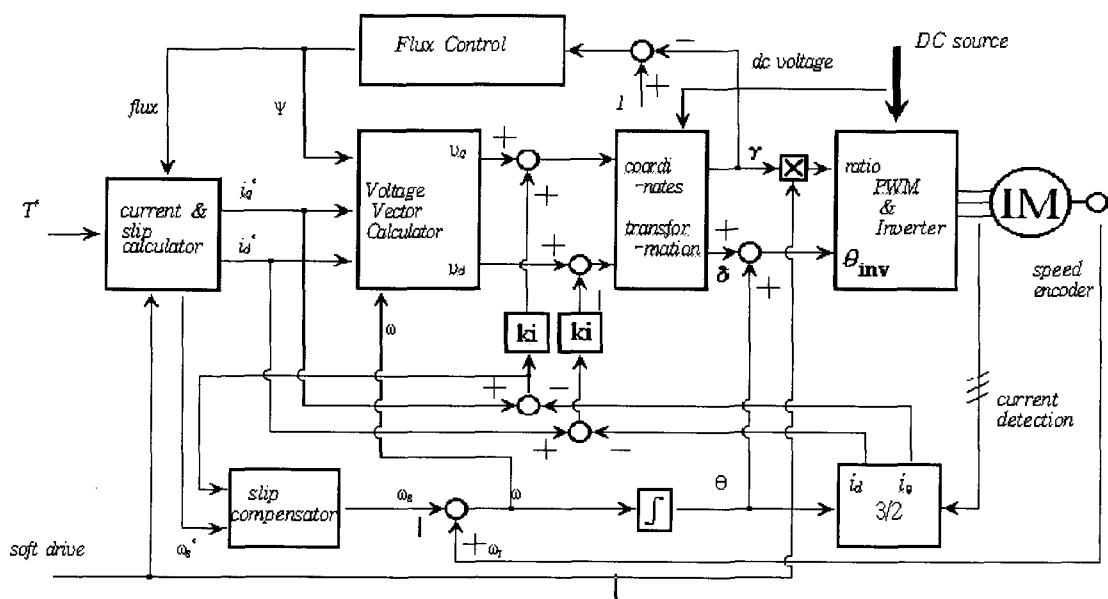


그림 1. 견인전동기의 벡터제어

Off상태로 동작하게 되며 역행과 제동을 빈번하게 반복하게 된다. 이 때에 소프트 운전의 기능이 필요하며 변조율의 변화로 이 동작을 하도록 한다. 유도전동기의 토크는 일정 슬립주파수에서 단자전압의 제곱에 비례하는 특성을 갖고 있다. 따라서 운전중의 전동기의 단자전압만을 낮추면 토크는 제곱에 비례하여 감소하므로 전류는 전압에 비례하여 감소하게 된다. 이 원리를 적용하여 변조율의 변화에 의한 소프트 운전의 기능을 추가한다.

PWM변조기는 180[도]를 연속하여 통전하는 경우에 전압벡터의 크기는 조절이 불가능하므로 위상조절에 의한 제어를 하여야 한다. 이 상태에서는 캐리어파와 변조파가 동기되어 변조를 하게 되므로 연산된 전압벡터의 위상과 인버터의 위상이 일치하도록 주파수를 제어하는 방법을 사용한다.

3. 점착시스템

점착시스템에 대하여는 문헌[6]을 참조하였으며 그의 이론적 배경은 다음과 같다.

3.1 점착계수

공전발생시의 점착계수에 대하여 다음과 같은 가정을 사용한다.

- 점착계수는 공전발생전이 가장 높다. (μ_v)
- 점착계수는 공전의 발생과 동시에 어느정도 저하한다. ($\Delta\mu$)
- 점착계수는 공전속도에 대하여 비례하여 감소한다. ($-\rho \cdot v_s$)

이들 결과를 근거로 식(1)과 그림 2와 같은 간단한 근사 모델을 적용한다.

$$\mu_s = \mu_v - \Delta\mu - \rho \cdot v_s \tag{1}$$

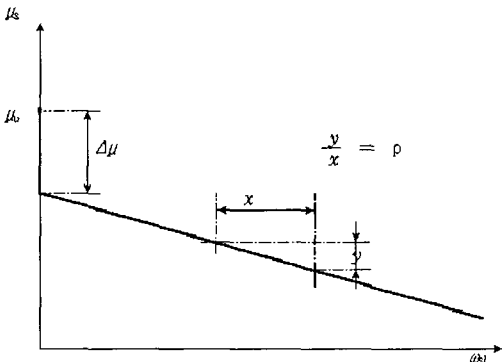


그림 2. 점착계수

또한 공전속도와 전동기의 토크에 대한 운동방정식은 식(2)와 같이 표현된다.

$$\frac{dv_s}{dt} = \frac{1}{\tau_m} v_s + \frac{\Delta\mu}{\rho\tau_m} + \frac{r}{J}(T - T_0) \tag{2}$$

여기에서,

v_s : 공전속도[m/s](차륜과 레일의 상대속도)

J : 차륜축의 합성 관성모멘트[Nm · s²/rad]

τ_m : ($J/r^2g\rho W$) 차륜의 기계적시정수

r : 차륜반경[m]

T : 차륜의 원주 토크[Nm]

T_0 : (rgu_vW) 공전직전의 토크이다.

3.2 재점착특성

차륜의 재점착은 차륜의 운동방정식에서 공전속도 v_s 를 0으로 함으로써 얻을 수 있다. 재점착을 위하여 공전속도를 검출하여 식(2)에 대한 토크를 제어하는 경우 공전속도 v_s 에 비례하는 제어량으로 차륜의 토크를 감소시키는 방법은 재점착을 얻을 수 없다고 알려져 있다. 재점착을 얻기위하여 사용되고 있는 방법으로는 토크를 감소시키는 제어량을 전기적시정수 τ_e 에 상당하는 일차 지연을 도입한다.

공전속도는 검출이 가능한 것으로 가정하고 주전동기의 토크를 공전속도 v_s 에 대하여 τ_e 의 시간지연을 갖는 토크의 제어량을 제어하여 점착시스템이 v_s 를 0으로 하는 응답을 얻게하는 점착특성을 얻는다. 응답특성은 v_s 에 대한 1차지연의 시정수 τ_e 와 궤환이득의 2가지에 의하여 변화하며 재점착의 존재여부를 판단하여 그 크기를 정한다.

4. 점착제어

식(2)의 공전속도에 대한 1차지연을 갖는 토크의 제어는 지연의 정도, 궤환이득 및 점착시스템의 조건에 따라 여러응답을 보일 수 있으나 재점착을 이루는 조건은 공전이 발생한 시점을 기준으로 공전속도가 0이 되는 조건의 유무로 재점착을 판단할 수 있다.

본 연구에서는 두가지의 토크제어를 사용하였으며 우선 재점착을 얻기 위하여 식(3)과 같은 1차지연을 갖는 토크의 제어기능을 사용한다. 이것은 재점착을 위하여 알려진 일반적인 방법이며 비례상수 K와 시정수 τ_e 의 적절한 선정으로 재점착의 특성을 갖도록 한다.

$$T_1 + \tau_e \frac{dT_1}{dt} = -K v_s \quad (3)$$

$$T_2 = -K_s v_s \quad (4)$$

$$T - T_0 = T_1 + T_2 \quad (5)$$

다음의 제어기능은 식(4)와 같이 공전속도를 제어하는 루프를 첨가하여 재점착특성의 개선을 기대한다. 근본적으로 공전속도에 비례한 토크의 감소는 공전속도의 크기를 제어하게 된다.

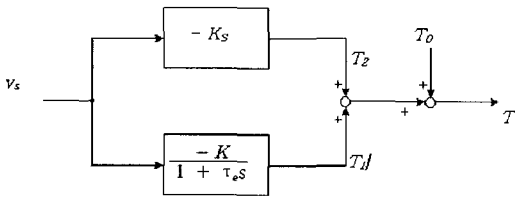


그림 3. 토크의 제어

본 연구에서 사용한 제어방법은 식(3)과 식(4)에 의한 토크를 제어하며 식(5)와 같이 하여 식(2)에 귀환한다. 견인전동기의 토크를 공전속도의 제어와 1차지연에 의하여 제한된 토크제어 방법은 그림 3에 나타내었다.

제한한 제어방법으로 점착제어를 할 경우 점착시스템은 식(2), 식(3), 식(4) 및 식(5)에 의하여 식(6)과 같은 점착시스템의 방정식으로 변형된다.

$$\tau_m \tau_e \frac{d^2 v_s}{dt^2} + (\tau_m - \tau_e + \frac{K_s r}{J} \tau_m \tau_e) \frac{d v_s}{dt} + (\frac{K + K_s}{J} \tau_m - 1) v_s = \frac{\Delta U}{\rho} \quad (6)$$

식(6)의 응답에 대하여

$$\frac{(K + K_s) r}{J} \tau_m - 1 \leq 0 \quad (7)$$

의 경우에는 재점착의 기회가 부여되지 않는 조건이며 궤환이득이 클 수록 전동차의 재점착의 기회가 있다는 것을 뜻한다. $K_s = 0$ 일 때 1차지연만에 의한 재점착방법이므로 속도궤환루프는 재점착성을 갖는다고 볼 수 있다.

$$\tau_m - \tau_e + \frac{K_s r}{J} \tau_m \tau_e \quad (8)$$

이것은 (+), (-) 및 0 에서도 재점착하는 조건이 있지만 기계적 시정수와 전기적 시정수의 대소관계도 재점착 성

능의 중요한 요소임을 나타내고 있다. 또 (-) 일때에 비해서 (+)의 경우가 재점착 영역이 작게 된다. $K_s = 0$ 일 때 식(8)에 대하여 τ_e 의 선택으로 재점착성능을 결정하므로 토크의 1차지연의 선정이 매우 중요하다. 그러나 속도 제어루프의 이득 K_s 는 1차지연과 함께 점착시스템의 응답에 관여하고 있다.

재점착시스템은 공전속도의 1차지연과 지연시정수 이외에 속도궤환이득을 함께 고려해서 토크를 제어하는 제어계를 설계하여 적용하므로써 개선된 재점착성을 기대할 수 있다.

5. 실험장치

실제차량의 경우 5M5T이고 만차의 경우 540[ton]의 중량을 갖고 구동축의 차륜이 860[mm]라고 할 때 견인전동기 1대당의 관성은 전동기축으로 환산했을 때 대략 100[Nm · s²/rad]이 된다[12]. 실험장치의 경우 감속기어비와 축소율을 고려하여 차량에 해당하는 등가 관성체는 70[Nm · s²/rad]의 관성을 갖도록 하였다. 차륜관성은 차량의 관성과 30 : 1의 비율로 정하였다.

실험장치는 견인전동기(200kW) 1대에 대하여 150분의 1로 축소된 등가의 장치로 설계되었다. 전동기는 산업용의 유도전동기를 사용하였다. 차륜과 레일은 차륜 자체의 관성을 가지고 있으며 레일과 미끄러지는 운동을 하는 시스템이다. 실제와 등가인 실험장치는 차륜관성체와 전동기축과의 사이에 차륜관성이 있고 미끄러짐을 갖는 장치가 되어야 한다. 실험장치는 그림 4와 같은 구조로 하였고 전자클러치의 사용가능한 상대속도가 500[rpm] 이내이기 때문에 차륜관성과 클러치사이에 10 : 1의 감속비를 갖는 감속기어를 사용하였다.

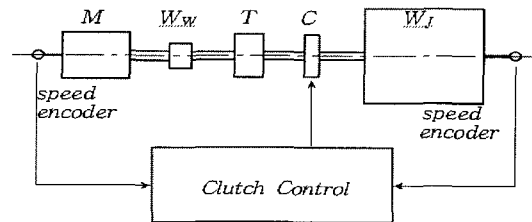


그림 4. 등가장치

그림 4의 장치에서 M은 구동전동기, W_w 은 등가 차륜 관성체, T는 토크 검출기, C는 클러치 및 W_f 는 등가 차량 관성체이다. 등가장치는 앞에서 제시된 바와 같은 축소된 크기로 하였으며 관성체와 전동기의 속도에 의하여 공전

속도가 검지되고 이 속도에 의하여 점착제어를 할 때 전자클러치의 전달토크는 그림 2와 같이 되도록 클러치를 제어한다.

제작된 실험장치에 대하여 전동기축으로 환산된 관성체와 슬립속도에 관한 운동방정식은 식(1)의 모델을 적용하여 식(9)와 같이 표현했을 때

$$J \frac{d\omega_{sl}}{dt} = T - K_w(\mu_v - \Delta\mu - \rho\omega_{sl}) \quad (9)$$

식(9)에서 ω_{sl} 은 전동기축으로 환산된 클러치의 슬립 속도이며 식(9)의 우변 제2항은 비례계수 K_w 를 갖는 관성부하에 대한 클러치의 토크전달이 된다. 슬립이 발생하기 직전 관성체로 전달되는 토크와 등가장치에 대한 기계적시정수를 도입하여 식(2)와 같은 형태인 식(12)로 표현한다.

$$T_0 = K_w \mu_v \quad (10)$$

$$\tau_m = \frac{J}{K_w \rho} \quad (11)$$

$$\frac{d\omega_{sl}}{dt} = \frac{1}{\tau_m} \omega_{sl} + \frac{\Delta\mu}{\tau_m} + \frac{1}{J} (T - T_0) \quad (12)$$

실험장치의 경우 클러치에서 미끄러짐이 발생하는 토크는 실험적으로 8[Nm]로 측정되었다. 점착계수를 백분율로 표현했을 때 ($\mu_v = 1$ [pu]), 실험장치에 대한 등가인 점착계수를 정하면 기계적 시정수는 식(10)과 식(11)에 의하여 계산되어진다.

실험에 있어서 그림 2의 특성을 갖는 점착계수의 효과를 얻을 수 있도록 클러치를 제어한다. 실험장치가 식(12)와 같이 회전속도에 의하여 표현되었으므로 그림 2에서 슬립속도를 회전슬립[rad/sec]으로 하고 임의의 계수 값을 선정한다. 실험에서는 실험장치의 축소율과 기계적 시정수를 고려하여 ρ 를 0.143, $\Delta\mu$ 를 0.2로 했을 때, 제작된 실험장치의 τ_m 은 0.2[sec]로 계산되며 이를 토대로 하여 실험하였다.

6. 실험

그림 1의 벡터제어에서 전동기는 정수선정이 되어야 한다. 본 연구에서는 전압을 기준으로 하여 전압강하율을 사용한 연산을 하였으며 자속과 유기기전력, 전류와 슬립 및 권선저항과 전류의 궤환율들을 실험에 의하여 이들의 비율을 선정하였다. 제어 프로그램은 이들의 값을 변경하여 실험할 수 있도록 하였다. 정수선정을 위한 실험에 있

어서 요구되는 전압의 크기가 되도록 자속과 유기기전력의 비율을 정하고 전류와 슬립 및 토크의 비례관계를 선정한다. 저속에서 저항강하율과 전류궤환의 이득을 정하며 반복적인 실험을 통하여 전류의 크기와 파형 및 토크를 관찰하여 전동기의 정수에 관련한 비율을 정하였다.

6.1 구동실험

전자클러치는 최대의 토크를 전달하도록 하여 실험하고 그림 5은 역행과 타행을 반복할 때이며 그림 6은 제동할 때의 측정결과이다.

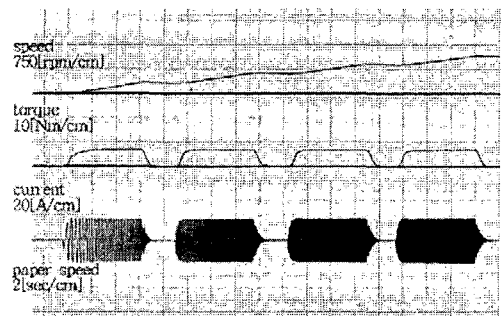


그림 5. 역행과 타행운전

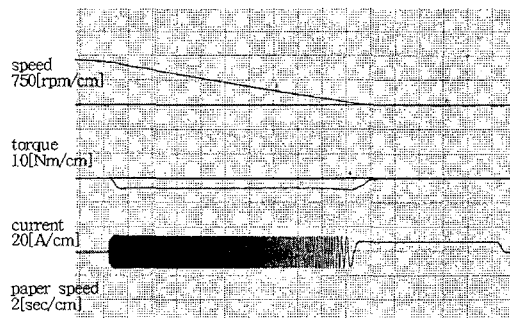


그림 6. 제동운전

벡터제어의 적용은 토크의 효과적인 제어 이외에도 제동하는 경우 정지의 순간까지 회생제동을 이용할 수 있다는 특징이 있다. 슬립제어방식의 구동에 있어서 저속에서 회생제동이 곤란하여 8[Hz]부근에서 전기적 제동을 중지해야만 했지만 벡터제어는 그림 6에서 확인되는 것처럼 정지에 이르기까지 제동이 가능함을 보이고 있다.

그림 5는 전동차의 운전에서 빈번하게 사용되고 있는 역행과 타행운전에 대한 실험결과이다. 그림 6은 제동시의 전동기의 전류와 제동토크를 측정하는 것이다. 실험에 있어서 전자클러치의 전달토크가 한계점부근에서 운전되기 때문에 구동토크를 낮추어 실험을 하였다.

6.2 점착제어

공전속도를 궤환하여 얻어지는 효과를 관찰하기 위하여 우선 1차 지연필터에 의하여 실험하였으며 그림 7과 같은 응답이 측정되었다. 지연필터의 시정수를 임의로 하여 τ_d 를 2[sec]로 하였으며 필터의 이득 K 를 조절하여 실험을 하였다. 필터의 이득이 커질수록 슬립속도의 크기가 작아짐을 관찰되었고 토크의 감소량이 커짐을 볼 수 있었다. 효과적인 재점착제어는 공전속도의 크기도 제어방법의 성능을 평가하는 한가지 요소이나, 토크의 감소량은 가속성능을 좌우하는 매우 중요한 요소로 관찰되었다. 그림 7의 경우에는 K 를 0.3으로 했을 때 이며 전동기의 토크가 거의 0인 점까지 낮아지고 있으며 토크의 진동이 크게 나타나고 있다.

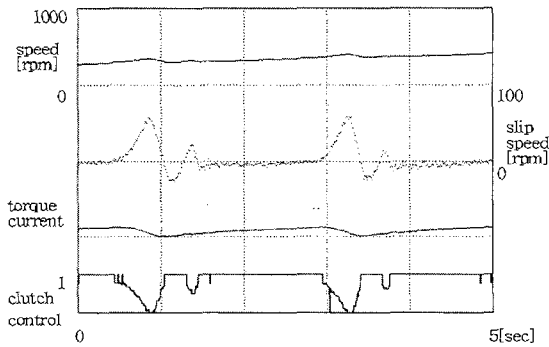


그림 7 $K=0.3$ 일 때의 실험

본 연구에서는 공전속도의 크기를 낮추기 위하여 제한한 공전 궤환루프를 첨가한다.

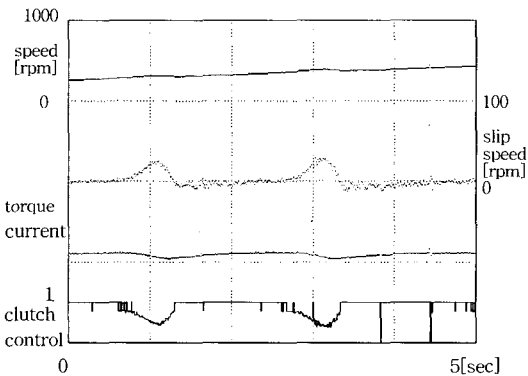


그림 8. $K_s=0.01$ 일 때의 실험

그림 8, 그림 9 및 그림 10은 그림 7의 조건에서 공전속도를 궤환한 경우이며 궤환이득이 각각 0.01, 0.02, 0.03인 경우의 응답이다. 적은 량의 궤환으로 공전속도의

크기가 감소하고 토크의 감소가 현저하게 개선되었음을 볼 수 있다. 실험결과로는 그림 9의 경우가 가장 좋은 응답을 보이고 있으며 가속력도 가장 큰 것으로 나타나고 있다.

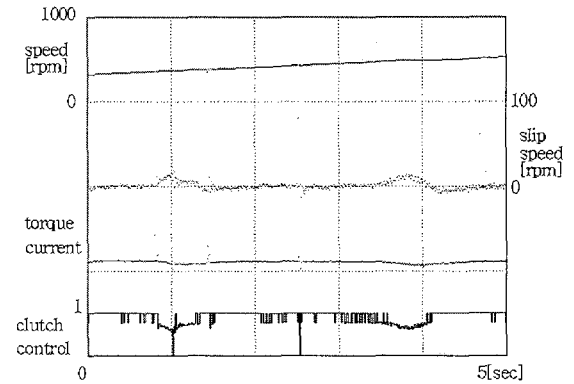


그림 9. $K_s=0.02$ 일 때의 실험

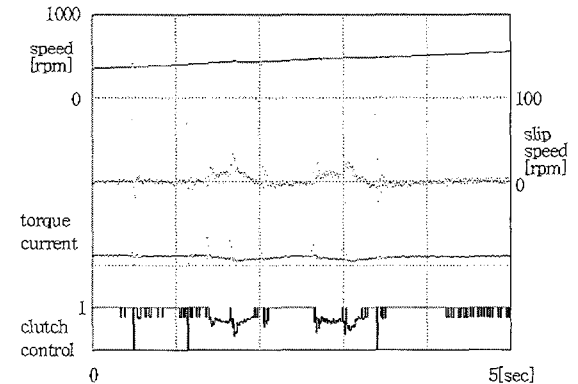


그림 10. $K_s=0.03$ 일 때의 실험

공전속도를 궤환한 점착제어는 개선된 특성을 보이고 있으나 궤환이득은 실험을 통한 조절이 필요함을 고찰할 수 있었다. 또 전자클러치의 동특성은 언급되지 않았으므로 실제차량의 조건과 얼마나 접근하는가 하는 것이 중요한 요소라 할 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 동기영역에 있어서 연산된 전압벡터가 인버터의 출력전압과 항상 위상이 일치하도록 위상보정이 행해지는 PWM변조방법을 사용하였다. 전력반도체소자가 180도 구간을 연속하여 통전하는 과변조영역에서는

벡터제어의 요소가 주파수와 위상뿐이므로 이때를 고려하여 PWM방법을 극좌표에 의한 변조방법을 채택하였으며, 벡터제어의 적용에 있어서 데드타임에 의한 영향을 보상하기 위해 제어기의 불안정성을 수반하지 않도록 별도의 보상없이 전류 궤환루프에 의한 보상을 하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 점착시스템은 전동기-등가차륜-클러치-관성체로 이루어지는 차륜과 레일의 등가장치를 제작하고 실험하였으며 전류의 진동을 억제하기 위한 전류궤환루프는 저속영역에서의 데드타임에 의한 영향을 안정하게 보상하였으며 제안된 제어방법은 견인시스템에 대한 벡터제어의 적용이 가능한 제어방법임을 실험을 통하여 입증하였다.
- (2) 제안된 시험법을 통해 공전을 검지하고 이 공전량을 1차 지연필터를 사용하여 토크를 감소시키는 일반적인 방법에 공전속도를 직접 제어하는 제어루프를 병행하여 새로운 제어법을 제시하였으며, 토크를 공전속도에 비례하여 제어하는 요소는 공전속도의 크기를 감소시키고 점착력을 향상시켜 가속을 크게 함이 실험을 통하여 입증하였다
- (3) 점착특성을 향상시키기 위하여 사용되는 재점착제어의 기술은 차량의 성능을 높이는 매우 중요한 기술이므로, 이에 대하여 앞으로 실제차량의 견인시스템에 대한 직접적인 시도가 절실하며 더욱 실제적인 점착특성을 향상시키고 개선하는 방향으로 연구가 지속되어야 한다.

참고문헌

- [1] M. Koyama, et. al., "Microprocessor - based Vector Control System for Induction Motor Drives with Rotor Time Constant Identification Function.", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. IA-22, No.3, pp.453-459, 1986.
- [2] H. Sugimoto, et. al., "Secondary Resistance Identification of an Induction Motor Applied Model Reference Adaptive System and Its Characteristics.", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. IA-23, No.2, pp.296-303, 1987.
- [3] H. Sugimoto, et. al., "A High Performance Induction Motor Drive System.", IECON'84 Proc. Vol.2, pp.833-838, 1984.
- [4] B. K. Bose, "Power Electronics and AC Drives", prentice-Hall, pp.33-40, pp.48-52, pp.140-143, pp.264-276, 1986.

- [5] 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.
- [6] 交通・電氣鐵道技術委員會, "鐵道車輛における粘着制御技術", 日本電氣學會技術報告, 第673号, pp.3~51, 1998.
- [7] 渡邊朝紀 外 1人 "電氣車の再粘着特性の改善 (トルク制御に再粘着性付加)", 日本電氣學會全國大會 pp. 8-187~8-188, 1991.
- [8] 中澤英樹 外 1人, "新方式空轉再粘着制御", 日本電氣學會全國大會, pp.8-204~8-205, 1992.
- [9] 渡邊朝紀 外 1人 "電氣車の再粘着特性に關する基礎的考察", 日本電氣學會全國大會, pp.8-206~8-207, 1992.
- [10] 渡邊朝紀 外 3人 "滑走制御の一改善法", 日本電氣學會全國大會, pp.8-210~8-211, 1992.
- [11] 四方進 外 2人 "フエッジ制御を用いた滑走再粘着制御", 日本電氣學會全國大會, pp.8-212~8-213, 1992.

김영춘(Young-Choon Kim)

[정회원]



- 1987년 2월 : 대전공업대학교 전기공학과 (공학사)
- 1989년 8월 : 명지대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 명지대학교 전기공학과(공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차 부교수

<관심분야>

전기자동차전력변환, 전장제어, 하이브리드자동차,.....

전지용(Ji-Yong Chun)

[정회원]



- 1986년 명지대 공대 전기공학과 졸업
- 1988년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사)
- 1995년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 아주자동차대학(구 대천대학) 자동차차계열 부교수

<관심분야>

전기자동차 연료전지