

폐루프 자속추정기를 이용한 철도차량의 유도 전동기 센서리스 벡터제어

장진혁¹, 황락훈², 조문택^{3*}

Using Closed Loop Flux Estimator The Sensorless Vector Control Of Induction Motor

Jang-Jin Hyog¹, Hun-Lak Hwang² and Taek-Moon Cho^{3*}

요 약 본 논문에서는 유도전동기를 인버터와 같은 전력변환장치를 사용하여 정상상태의 동작특성은 물론 과도특성까지 해석하기 위해서는 유도전동기와 부하를 포함하는 전체 시스템의 정확한 동적 모델링을 이용하여 시스템 방정식으로 표현해야 한다. 또한 최대 견인력 제어를 위해서 속도센서리스벡터제어와 부하 토크 외란 관측기를 통하여 점착력 계수를 추정한다. 이와 같은 시스템의 제어 알고리즘을 구현하기 위하여 철도 모의 장치를 이용하여 제안된 알고리즘을 시뮬레이션과 실험을 통하여 확인하고, 철도 차량의 속도 가감에 따른 공전속도에 대한 점착력의 관계 등 제반 사항을 모의 장치에 의해서 구현하였다.

Abstract Displayed system equationally using accurate dynamic modeling of whole system including induction motor and load to analyze induction motor to normal condition's action characteristic as well as transient characteristic using power converter device such as inverter in this paper. Also, presume adhesive power calculation through speed sensorless vector control and load torque disturbance observer for maximum tractive force control. Confirmed proposed algorithm through simulation and an experiment using railroad experiment equipment to embody control algorithm of such system. With relation of adhesive power about the wage speed by speed addition and subtraction of railway vehicle, embodied all sorts item by experiment equipment.

Key words : transient characteristic, adhesive

1. 서 론

일반적으로 국내외적으로 전동차는 인버터에 의한 유도전동기를 견인전동기로 사용함으로써, 전동차의 향상을 위해서는 철도차량 시스템에서 차량의 경량화는 고속주행을 위한 중요한 요소이다. 차량을 경량화 하는 문제에 있어서 한가지의 과제로 중량의 감소에 따르는 차륜과 레일의 점착력계수의 저하에 관한 문제가 따르게 된다. 이러한 점착력을 향상시키는 방법에는 점착력계수의 절대값을 크게하는 증점착의 방법과 점착력계수를 상한까지 이용하는 2가지의 방법이 알려져 있다.^{[1],[2]}

일반적으로, 철도차량은 레일과 바퀴사이의 마찰력으로서 견인력을 전달한다. 그러므로 점착력 이상의 구동력은 공전(slip)을 발생시킨다. 점착력계수가 갑자기 감소하면 점착력 이상의 구동력으로 공전이 발생한다. 공전이 발생하면, 점착력을 저하시켜 견인능력을 감소시키고, 기계적 손상 및 소음을 유발시킨다. 그러므로 운송 능력의 증대를 위한 가감속 능력 향상 및 고속화를 위해서는, 견인부의 동력발생 성능의 향상과 더불어 공전을 빠르게 감소 제어할 수 있고, 마찰력에 의한 견인력 전달 제한치인 최대 점착력을 충분히 활용할 수 있는 견인력 제어방법이 필요하다.

본 연구는 전기 철도차량의 운송 능력 향상을 위한 제어기에 관한 것으로, 전동차의 견인력은 최대점착력에서 동작하여야 하며, 리플이 작은 안정된 견인력 제어특성을 가져야 한다. 또한 공전속도 발생 크기 및 변동분이 적어야 하며, 시스템 외란에 대해서도 안정

¹한국철도공사

²세명대학교 전기공학과 교수

³대원과학대학 전기전자과 부교수

*교신저자: 조문택(mtcho@mail.daewon.ac.kr)

된 견인력 제어특성을 가져야 한다. 철도차량견인시스템은 마찰력 부하 및 견인력 전달특성의 해석을 통해 차량을 2질량계로 등가화 하여 해석한다. 이 등가 모델로부터 점착력은 견인부에 대해 외란성부하로 취급되어지므로 외란성부하를 상태변수로 하는 부하토크 외란관측기를 구성한다.

그러므로 본 논문에서는 최대 견인력 제어를 위해서 속도센서리스벡터제어와 부하 토크 외란 관측기를 통하여 점착력 계수를 추정한다.

2. 철도차량 견인시스템 모델링

철도 차량의 견인부는 견인전동기, 감속 기어, 축 그리고 바퀴로 이루어져 있다. 바퀴에 전달된 구동력은 점착력에 의해 차체의 견인력으로 전달된다[7].

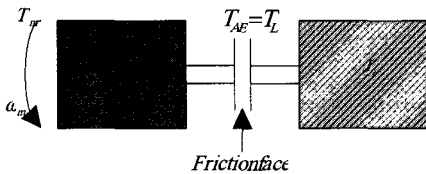


그림 1. 철도차량시스템의 등가모델

철도차량시스템을 모델링하기 위하여 그림 1과 같이 견인부의 구성요소인 견인 전동기, 변속기, 축 그리고 바퀴를 하나의 질량계로 등가화한 J_T 으로 나타내고, 차체는 등가질량계인 J_c 로 나타냈다. 이 때 모든 질량계는 전동기축으로 환산되어진 값으로써, 견인부의 등가관성 J_T 에는 견인력 제어에 필요한 모든 요소들이 작용되고 있다. 그러므로 J_T 에 대한 운동방정식으로 견인력제어를 위한 시스템 방정식을 표현할 수 있다. 전동기토크 T_m 의 발생에 대해 바퀴와 레일 사이의 점착력 T_{AE} 는 J_T 의 외란성 부하 토크 T_L 처럼 취급된다. 그러므로 견인부의 시스템 방정식은 식 (1)과 같이 표현되며, 식 (2)와 같이 점착력에 대한 방정식으로 표현된다.

$$J \cdot \frac{d}{dt} \omega_d = T - T_L \quad (1)$$

$$J \cdot \frac{d}{dt} \omega_d = T - T_{AE} \quad (2)$$

여기서, $F_{AE} = \mu(v_s) \cdot W \cdot g$ 이므로,

$$T_{AE} = \mu(v_s) \cdot W \cdot g \cdot r \text{ 이다.}$$

그러므로 식 (2)를 정리하면, 식 (3)과 같다.

$$J \cdot \frac{d}{dt} \omega_d = T - \mu(v_s) \cdot W \cdot g \cdot r \quad (3)$$

식 (4)은 공전속도로써, 바퀴의 속도에서 차량속도를 뺀 값으로 정의된다.

$$v_s = v_d - v_t \quad (4)$$

식 (5)는 전동차의 운동방정식을 나타낸다.

$$M \cdot \frac{d}{dt} v_t = \mu(v_s) \cdot W \cdot g - F_d(v_t) \quad (5)$$

여기서, v_t 는 전동차의 속도, v_s 는 슬립속도, v_d 는 바퀴의 속도, ω_d 는 바퀴의 선속도, $\mu(v_s)$ 는 레일-바퀴간의 점착력 계수이다. W 는 전동차의 무게, M 은 바퀴에 가해지는 무게, J 는 바퀴의 전체 관성모멘트, T 는 바퀴의 구동토크, $F_d(v_t)$ 는 전동차의 주행저항, g 는 중력가속도, r 은 바퀴의 반지름이다.

바퀴와 전동기 사이의 수식은 식 (6)~(8)과 같이 표현된다. 식(6) ~ (9)를 식 (3)에 대입하면, 식 (3)은 식 (9)와 같이 표현된다.

$$v_d = \omega_d \cdot r \quad (6)$$

$$M_j = J / r^2 \quad (7)$$

$$F_t = T / r \quad (8)$$

$$M_j \cdot \frac{d}{dt} v_d = F_t - \mu(v_s) \cdot W \cdot g \quad (9)$$

바퀴와 전동기 사이의 또 다른 관계식은 식 (10), (11)과 같이 표현한다. 여기서, T_m 은 전동기의 토크, ω_m 은 전동기의 회전각속도, J_m 은 전동기의 관성모멘트, R_g 는 기어비이다.

$$T = T_m \cdot R_g \quad (10)$$

$$\omega_m = R_g \cdot \omega_d \quad (11)$$

식 (1) ~ (11)의 수식으로부터 철도차량시스템의 공전현상에 대한 블록도를 그림 2와 같이 표현한다.

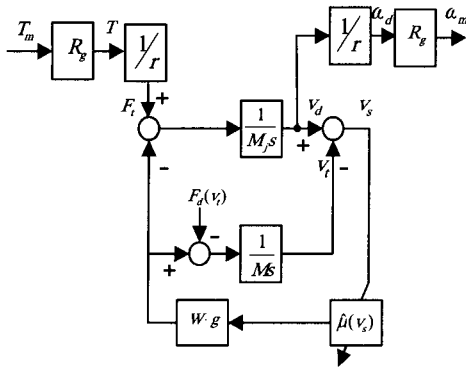


그림 2. 철도차량시스템의 등가모델 블록도

3. 철도차량용 견인전동기의 속도 제어를 위한 센서리스 제어기

견인전동기로 사용되는 유도전동기 속도 센서리스 벡터제어 방식은 고정자 전류와 전압 값에 의해 자속을 추정하고, 전류와 추정 자속 값을 이용하여 회전자 속도를 추정하는 방식이다. 따라서 속도 센서리스 벡터제어 방식의 동작특성을 향상시키기 위해서는 정확한 자속추정이 요구된다.

본 논문에서는 보다 넓은 속도범위에서 정확한 회전자 자속을 추정하기 위해 개선된 자속 추정기를 적용하여 정밀도가 높은 자속추정 알고리즘을 제시하고, 또한 추정된 자속 값을 이용한 회전자 속도 추정기를 구성하여 회전자 속도를 추정하고자 한다.

3.1 전압모델 자속 제어기

전압모델 자속추정 방식은 자속과 역기전력의 직교성을 기초로 순수 적분기 대신 저역통과 필터를 적용하여 비교적 정확하게 고정자 자속값을 구하는 방식이다. 역기전력은 다음 식 (12)와 같이 나타낸다.

$$e_{-dq} = v_{dq}^s - (R_s + \sigma p) i_{dq}^s \quad (12)$$

여기서, 누설계수 $\sigma = L_s - (L_m^2 / L_r)$ 미분연산자 $p = \frac{d}{dt}$

식 (12)을 이용하여 고정자 자속을 구하면 다음과 같다.

$$\lambda_{dq}^s - F = \frac{1}{s + \omega_c} e_{-dq} \quad (13)$$

식 (13)에서 우변은 적분기의 실제 구현에 흔히 사

용되는 저역 통과 필터를 나타내고, 좌변은 고정자 자속이다. 그리고 고정자 누설자속에 대한 성분을 고려하여 전압모델 자속추정기로 회전자 자속을 구하면 다음과 같다.

$$\lambda_{dr-v}^s = \frac{L_r}{L_m} (\lambda_{ds-F}^s - \sigma i_{ds}^s) \quad (14)$$

$$\lambda_{qr-v}^s = \frac{L_r}{L_m} (\lambda_{qs-F}^s - \sigma i_{qs}^s)$$

식 (12), 식 (13), 식 (14)를 이용하여 순수 적분기 대신 저역통과 필터로 구성된 전압모델 자속 제어기 블록도를 그림 3과 같이 나타내었다.

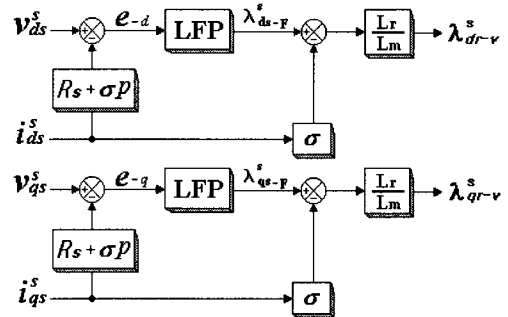


그림 3. 전압모델 자속 제어기

3.2 페루프 자속 크기 보상기

본 논문에서는 보다 넓은 속도범위에서 구동시스템의 동작특성을 향상시키기 위해 페루프 적분방식의 자속 크기를 보상하는 알고리즘을 적용하였다.

페루프 적분방식의 자속 보상기 알고리즘은 식 (13)을 이용하여 식 (15)와 같이 표현된다.

$$Y = \frac{L_r}{L_m} \left(\frac{1}{s + \omega_c} X - \sigma i_{dq}^s \right) + \frac{\omega_c}{s + \omega_c} Y \quad (15)$$

여기서, X는 역기전력 성분으로 입력신호를 나타내고 Y는 추정된 회전자 자속성분으로 출력신호이다. 그리고 ω_c 는 차단 주파수이다. 또한 우변의 첫 번째 항은 저역통과 필터로 구성된 전압모델 자속추정기를 이용하여 추정한 회전자 자속을 나타내고, 두 번째 항은 추정한 회전자 자속의 오차를 보정하는 피드백 신호를 의미한다. 식 (15)에서 차단주파수 ω_c 를 높이

면 드리프트 문제가 해결되며 동시에 피드백 변수 Y를 적절히 조절하면 자속 추정의 정확도가 향상되게 된다.

그림 4는 식 (15)을 사용하여 페루프 적분 방식의 자속 보상기 알고리즘의 구성도를 나타내었다.

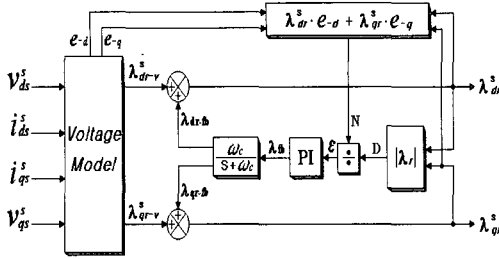


그림 4. 페루프 자속 보상기

페루프 자속 보상기의 기본 알고리즘은 자속과 역기전력의 직교성을 이용하여 제어한다. 오차 신호 ϵ 는 초기값이나 직류 드리프트로 인한 자속추정 오차를 나타내며 식 (16)과 같이 표현할 수 있다.

$$\epsilon = \frac{\vec{\lambda}_{dqr}^s \cdot \vec{e}_{-dq}}{|\lambda_r|} = \frac{(\lambda_{dr}^s \cdot e_{-d} + \lambda_{qr}^s \cdot e_{-q})}{|\lambda_r|} \quad (16)$$

그림 3에서 PI제어기는 오차 신호를 통해 적절한 보상 크기를 결정하는 부분으로 식 (16)에 의해서 다음 식 (17)과 같이 표현된다.

$$\lambda_{fb} = \left(k_p + \frac{k_i}{s} \right) \frac{\lambda_{dr}^s \cdot e_{-d} + \lambda_{qr}^s \cdot e_{-q}}{|\lambda_r|} \quad (17)$$

여기서, k_p 와 k_i 는 PI제어기의 상수이다. 식 (18)는 식 (17)을 이용하여 회전자 자속의 오차를 최종적으로 보정하는 피드백 신호를 나타낸다.

$$\lambda_{dqr-fb} = \frac{\omega_c}{s + \omega_c} \lambda_{fb} \quad (18)$$

식 (18)에 의해서 자속이 변화하는 상황에도 적절한 오차 보상 크기가 자동적으로 결정 되어 추정된 자속이 역기전력과 직교하도록 유지시켜 준다. 그 결과로 전압모델 자속추정기로 인해 발생하는 여러 가지 문제점을 해결하는 한편 추정자속의 오차를 보상하여 회전자 자속추정의 정확도를 높였다. 그림 5의 벡터도는 페루프 자속 보상기의 동작원리를 나타낸다

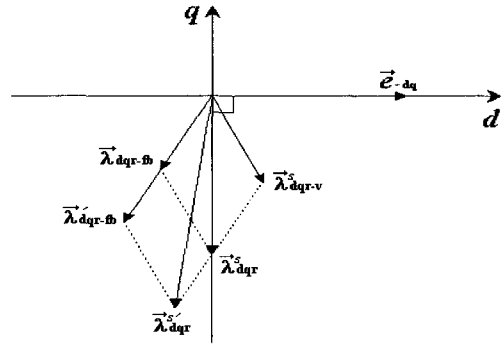


그림 5. 추정자속과 역기전력의 벡터도

3.3 회전자 속도 제어기

유도전동기 속도 센서리스 벡터제어 시스템의 구동을 위해 고정자 전류와 페루프 적분방식의 자속 보상기로 추정된 자속값을 이용하여 회전자 속도는 다음과 같이 얻을 수 있다.

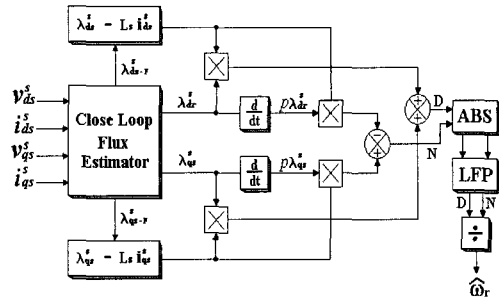


그림 6. 회전자 속도 제어기

$$\hat{\omega}_r = \frac{(\lambda_{ds-F}^s - L_s i_{ds}^s) p \lambda_{qr}^s - (\lambda_{qs-F}^s - L_s i_{qs}^s) p \lambda_{dr}^s}{(\lambda_{ds-F}^s - L_s i_{ds}^s) \lambda_{dr}^s + (\lambda_{qs-F}^s - L_s i_{qs}^s) \lambda_{qr}^s} \quad (19)$$

회전자 속도를 구하기 위한 회전자 속도 추정기를 구성하면 식 (19)에 의해 그림 6과 같이 구성 할 수 있다.

4. 최적 점착력 계수를 이용한 외란 관측기 제어

최적 점착력에서 동작하기위하여 시스템 외란에도 강인한 특성을 가지는 새로운 최적점착력 추정 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 바퀴와 레일사이

의 점착력계수를 순시적으로 추정하여, 여기에 철도차량상수를 이용하여 최적점착력을 추정하여 견인력을 제어하기 때문에 견인부의 구동력을 최적점착력에서 효율적으로 동작시킬 수 있다. 또한 점착력계수 변화에 대해서도 순시적으로 구동력 제어가 되기 때문에 리플이 적은 안정된 견인력을 얻을 수 있다.

4.1 제안된 점착력계수 추정 알고리즘

벡터제어 인버터의 토크 발생 메카니즘은 종래의 DC 모터의 토크 발생 메카니즘과 동일하기 때문에 기계적인 방정식은 전동기의 회전각속도에 대한 일차미분 방정식의 형태로 표현된다. 부하토크 T_L 은 전동기의 부하외란토크이며, 부하토크외란관측기에 의해 추정된다. 다음 식은 일반적인 전동기의 토크방정식을 나타낸다.

$$J_m \frac{d}{dt} \omega_m = T_m - T_L \quad (20)$$

$$J_m \frac{d}{dt} \omega_m = K_T i_T - T_L \quad (21)$$

점착력계수를 추정하기 위하여 부하토크 T_L 을 추정하기 위하여 부하토크외란관측기가 도입되었다. 실제 시스템에서 관측 주기는 T_L 의 변화에 비하여 충분히 짧기 때문에 관측기의 설계를 간소화하기 위해서, 이것은 다음과 같은 가정이 가능하다.

$$\frac{dT_L}{dt} = 0 \quad (22)$$

식 (20)과 식 (22)의 관계로, 다음과 같은 상태방정식을 얻을 수 있다.

$$\dot{x} = \begin{pmatrix} 0 & & -\frac{1}{J_m} \\ & 0 & \\ & \left(\frac{K_T}{J_m} \right) u & \\ 0 & & 0 \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad y = (1 \ 0)x \quad (23)$$

여기에서, $x = (\hat{\omega}_m, T_L)^T$, $u = i_T$, $y = \hat{\omega}_m$ 이다.

상태 방정식에 의해서, 이것은 Gopinath 디자인 방식을 이용하여 최소차원 관측기에 의해 추정될 수 있다.

그림 7은 전동차의 공전현상에 대한 바퀴와 전동기

와의 관계수식과 부하토크외란관측기에 의한 점착력계수의 추정 블록도를 나타낸다.

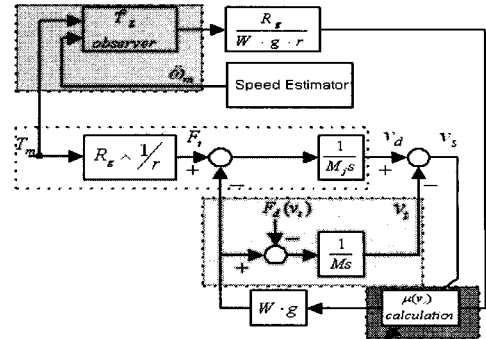


그림 7. 점착력계수의 추정 블록도

5. 견인 전동기에 의한 축소 철도 모의 장치

그림 8은 One Control One Motor 으로 구동되는 축소형 철도모의장치의 전체시스템 블록도를 나타낸다. 축소형 철도모의장치의 전체시스템은 정류기와 인버터로 구성된 전력변환부와 DSP인 TMS320VC33를 이용한 제어부, 전동기와 플라이휠을 이용한 축소형 철도모의장치로 구성되어 있다.

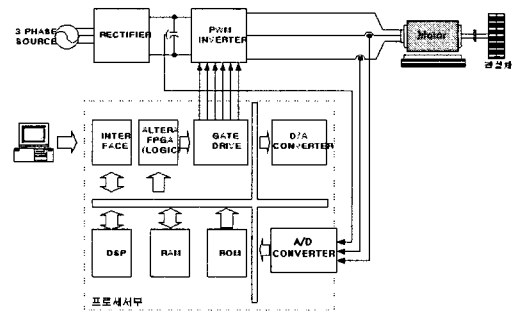


그림 8. 전체시스템 블록도

그림 8은 제안된 알고리즘을 구현하기 위해 사용된 디지털 제어기의 블록 구성도이다. 디지털 제어기는 크게 CPU, 메모리 बैं크, 외부 신호와의 인터페이스부로 구성되어 있으며, 이 모든 블록의 신호제어 및 인버터의 IGBT의 게이팅 신호를 발생하는 로직 처리부로 구성되어 있다.

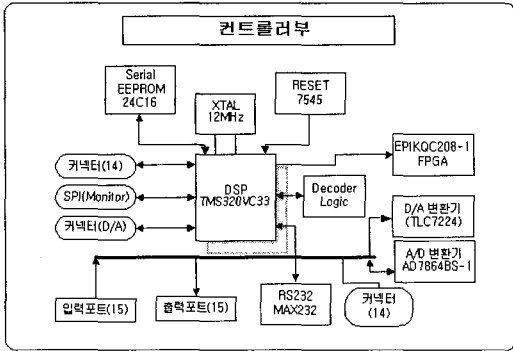


그림 9. 제어기의 블록 구성도

6. 시뮬레이션 및 실험결과

시뮬레이션을 위한 전동차는 1대의 동력차량과 1대의 견인차량으로 구성된 1MIT(1 Motor car 1 Trailer car)로 구성하며, 동력차량은 하나의 대차를 가진다. 즉 하나의 견인부를 가진다. 가변속장치는 380[V]의 입력이며, 스위칭 주파수는 5[kHz]로 하였다. 따라서 전류 제어 주기는 200[usec]가 되나, 공간 전압 벡터 PWM을 사용한 경우에는 인버터의 온, 오프 시간을 각각 계산하기 위해 실제 전류 제어 주기는 100[usec]로 설정된다. 견인전동기로서는 0.75[kW] 유도전동기를 사용한다. 최적공전속도는 0.72[km/h]로 설정하여 점착력 특성을 모델링한다. 시뮬레이션을 위한 전동기의 파라미터는 표 6.1과 같다.

표 6.1 시뮬레이션 파라미터

전동기 파라미터			
출력	0.75[kW]	R_r	0.23[Ω]
정격 전압	380[V]	L_s	50.26[mH]
정격 P	4극, 60[Hz]	L_r	52.103[mH]
정격회전수	1750[RPM]	L_m	50.26[mH]
R_s	0.18[Ω]	J_m	0.30[kg·m ²]

그림 10은 Anti-slip제어를 하지 않은 경우로써, (a) 차량속도, (b)점착력, (c)전동기 상전류, (d)공전속도의 파형을 나타낸다. 초기 기동시, 견인력 요구치의 증가에 대해 추정 점착력도 증가한다. 이 경우, 마찰력이 크기 때문에 크립공전속도는 작게 나타난다. 이러한 견인력 제어 상태에서 4초인 지점에서 바퀴와 레일 사이의 마찰력을 감소시켰다. 그로 인해 바퀴는 비안정적인 공전속도를 가지게 되며, 견인력 제어는 비안

정영역에서 수행된다. 또한, 전동차속도 증가 기울기가 감소하며, 전동기에 유입되는 전류의 양도 감소하게 된다. 그림11은 이 때의 실험파형이다.

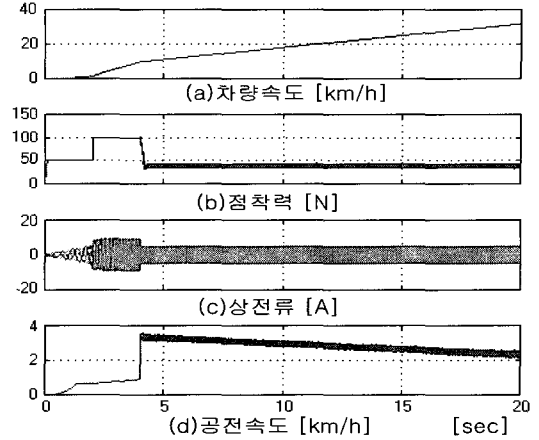


그림 10. 시뮬레이션 파형

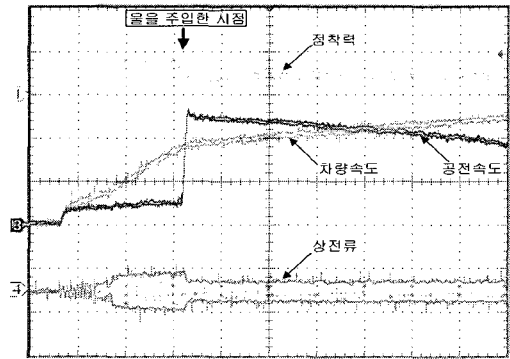


그림 11. 실험 파형

그림 12는 Anti-slip제어를 한 경우로써, (a) 차량속도, (b)점착력, (c)전동기상전류, (d)공전속도의 파형을 나타낸다. 초기 기동시, 견인력 요구치의 증가에 대해 추정 점착력도 증가한다. 이 경우, 마찰력이 크기 때문에 크립공전속도는 작게 나타난다. 이러한 견인력 제어 상태에서 4초인 지점에서 바퀴와 레일 사이의 마찰력을 감소시켰다. 이 경우 추정된 점착력에 의해 구동력이 안정적으로 제어된다. 또한 공전속도는 0.7 [km/h] 정도를 유지하고 있으며, 이는 최적 공전속도와 거의 일치한다. 그러므로 견인력은 최대점착력점에서 제어되고 있고, 최대점착력점에서 전달되는 견인력은 리플없이 매우 안정됨을 추정할 수 있다. 그림 13은 이 때의 실험파형이다.

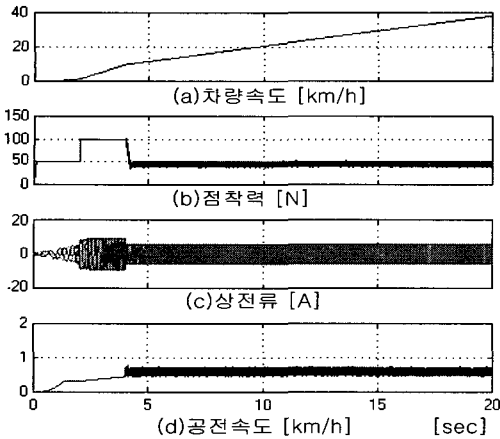


그림 12. 시뮬레이션 파형

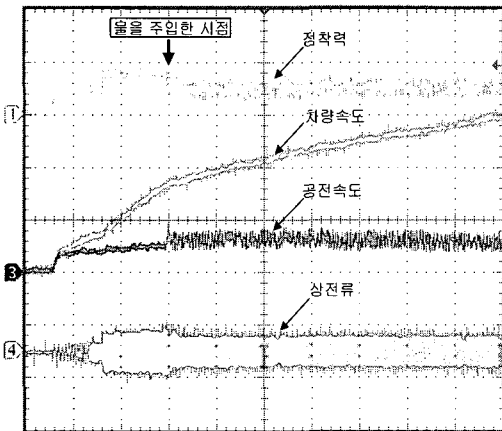


그림 13. 실험 파형

7. 결론

본 논문에서는 최대 견인력 제어를 위해서 속도센서리스백터제어와 부하 토크 외란 관측기를 통하여 점착력 계수를 추정한다. 추정한 점착력 계수의 미분치를 PI 토크 제어하여, 추정한 점착력이 최대점착력에서 유지되도록 전동기를 토크 제어하는 Anti-slip 제어 알고리즘을 제안한다. 또한 본 논문에서 제시한 알고리즘의 효율성과 우수성을 시스템 모델링으로 수행된 시뮬레이션을 통하여 입증하였으며, 차량 시스템의 등가 구성을 가지는 축소형 실험 장치를 통하여 재검증 하였다.

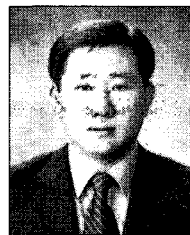
향후, 연구과제로는 실제 철도차량시스템에 제시한 제어기를 적용하기 위해서는 제어기의 안정도에 관한 검토와 실용화 방법에 관한 연구가 필요 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] 홍용기, "철도차량의 점착력에 관한 연구", 고속철도 Symposium 논문집, pp.343~367, 1993
- [2] Hyun-Soo Kim, "A Novel Dead-time Compensation Method using Disturbance Observer," Journal of Power Electronics, Vol.2 No.1, pp.5
- [3] 한국전기연구소, 고속전철의 성능향상을 위한 전기 및 전자 기술 연구, 과학기술처 1차년도 최종보고서, 1991
- [4] Z .Hakan Akpolat, Greg M.Asher. "Dynamic Emulation of Mechanical Loads Using a Vector-Controlled Induction Motor-Generator Set", IEEE, Transactions on industrial electronics. Vol 46. no 2 April 1999
- [5] M. Iwasaki, "Speed Sensorless Field-Oriented Controlled Induction Motor with Load Torque Observer", JIEE Japan, vol. 110-D, no. 8, pp. 721-729, 1990.

장 진 혁(Jin-Hyog Jang)

[정회원]



- 1998년 2월 : 세명대학교 전기공학과 (공학사)
- 2001년 2월 : 세명대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2006년 현재 : 세명대학교 전기공학과 박사과정
- 2006년 현재 : 한국철도공사 충북지사 전기팀 신호차장

<관심분야>
전기 기관차용 변환장치, 유도전동기

황 락 훈(Lak-Hun Hwang)

[정회원]



- 1981년 2월 : 명지대학교 전기공학과 (공학사)
- 1983년 2월 : 명지대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1989년 2월 : 명지대학교 전기공학과 (공학박사)
- 2006년 현재 : 세명대학교 전기공학과 교수

<관심분야>

전력변환장치, 유도전동기 제어

조 문 택(Moon-Taek Cho)

[정회원]



- 1988년 2월 : 명지대학교 전기공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 명지대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1998년 2월 : 명지대학교 전기공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 대원과학대학교 전기전자과 부교수

<관심분야>

전력변환장치, 대체에너지 시스템 해석, 반도체 시뮬레이션