

부하변동을 고려한 선형유도전동기의 동특성 분석

*전삼석 *박찬원 **임병옥

강원대학교 전기공학과* 한국전기전자연구원**

Analysis of the Dynamic characteristics of Linear Induction Motor considering the variation of loads

*Sam-Suk Chun, *Chan-Won Park, Byung-Ok Lim

*Dept. of Electrical Eng. Kangwon National University. **K.E.T.I.

Abstract – A Linear Induction Motor that generates the direct thrust directly, is widely used for the operation system of electrified railroad, elevator system, conveyor system, and so on. There are two analysis methods of linear induction motor characteristics. One is the electrical magnetic analyzing, the other is analyzing equivalent circuit. The electrical magnetic analyzing method has available advantages to consider the physical condition. The equivalent circuit analyzing method has the elementary method in the system of vector control and over shoot situation.

In this paper, It is used the dynamic characteristic analyzing method that can calculate efficiently the end effect by using equivalent circuit method in the operating linear induction motor system modeling and doing simulation of output characteristics of vector controller.

1. 서 론

운송수단과 같은 대형시스템은 물론 컴퓨터의 드라이버 헤드, 위치제어 시스템 등에서의 정밀소형장치까지 소변위 왕복운동용 추진시스템을 요구하는 분야는 날로 확대되고 있다. 선형유도전동기는 회전형 기기와 달리 직접 직선 추력을 발생시키는 전동기로써 직선운동을 하는 자기부상열차, 경전철, 엘리베이터, 수평·수직 자동반송장치의 구동원으로 사용될 뿐만 아니라 FA 및 OA 기기 등의 구동장치로 널리 이용되고 있다.

선형유도전동기는 구조상으로 1차축이 이동할 때 1 차축 입구 단과 연속적으로 만나는 2 차축 권선은 1차축에서 발생한 자계에 의해 영향을 받게되며, 입구단에서 흐르는 2차 전류는 공극에서 형성되는 자속을 방해하는 경향이 있다. 즉 입구 단에서 발생하는 자속 밀도는 중간지점에서 발생하는 자속밀도보다 매우 작다. 또한 1차축에는 2차축 권선이 연속적으로 떠나는 출구 단이 있으며, 1차축이 출구 단을 떠난 후에도 자속을 유지하기 위하여 2차축 권선에서 2차축 권선에서 전류가 계속 흐르게 된다. 이 전류에 의해 저항순설이 증가하는 단부효과가 발생한다. 또한 1 차축과 2 차축 사이에서 발생하는 수직력은 종방향 단부효과와 횡방향 단부효과와 함께 회전기에서는 발생하지 않는 특성을 지니고 있다. 그러므로 선형유도전동기를 정확히 해석하기 위해서는 이들 현상들이 모두 명확하게 고려되어야 한다.

동가회로 해석법은 특성 해석에 소요되는 시간을 단축시키는 장점을 가지고 있으나 모든 물리량이 대칭이고 각 상이 정현적이라는 가정을 전제한 방법이기 때문에 전기·자기적으로 비대칭이고 단부효과의 영향이 운동 상태에 따라 변화하는 선형유도전동기에 그대로 적용하기가 곤란하다.

최근에 발달한 유한요소법과 같은 수치해석 방법을 사

용함으로써 선형유도전동기의 단부효과를 포함시킨 특성 해석은 어느 정도 파악할 수 있게 되었으나 이를 직접 제어시스템과 결합하여 사용하기 위해서는 순시적으로 변화하는 전원에 대한 모델링과 해석 영역의 이동에 따른 변화를 빠른 시간 내에 모의할 수 있는 해석 기법이 또한 요구된다.

본 논문에서는 운동상태에 따라 이동자의 속도와 질이에 따른 단부효과의 영향을 포함한 부하 가변시에도 정속을 유지하는 벡터제어 알고리즘을 구현하여 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 선형유도전동기 벡터제어 이론

빠른 응답특성을 갖는 제어를 위하여 선형유도전동기의 1차축 이동자의 전류를 자속각을 기준으로 하여 자속성분 전류와 추력성분 전류를 분리시켜 제어하는 것을 자속기준제어 또는 벡터제어라고 한다.

이때 자속성분 전류는 자속기준 벡터와 일치시키며 추력성분 전류는 기준자속 벡터와 직교하도록 제어한다. 이를 성분은 동기좌표에서 각각 d축과 q축 성분으로 나타낸다.

자속기준제어는 기준자속의 종류에 따라 1차축 이동자 자속기준제어, 공극 자속기준제어 및 2차축 도체판 자속기준제어로 구분되며, 자속기준제어를 수행하기 위해 발생하기 위한 자속의 회전각을 알아내는 방법에 따라 직접벡터제어와 간접벡터제어로 구분된다.

직접 벡터제어는 관측기를 이용하여 추정된 자속으로부터 식 (2-1)과 같이 자속의 회전각을 구하는 방법이다.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\lambda_q^s}{\lambda_d^s} \right) \quad (2-1)$$

자속추정 방법은 전동기 파라미터와 전압, 전류 및 속도와 같은 변수로부터 자속을 간접적으로 추정하는 방법으로 선형유도전동기의 전압 및 전류모델을 이용한 자속추정법과 선형유도전동기의 상태방정식을 이용하여 설계되는 관측기를 적용하는 방법 등이 있다.

그림 2-8은 자속추정을 위한 페루프 상태관측기의 기본구조를 나타낸 것으로 개루프 추정법과는 달리 과도상태나 파라미터의 변화에 의해 추정된 변수에 오차가 발생하는 경우 이를 이득행렬을 거쳐 관측기의 입력으로 캐后悔시키므로 추정값이 실제값으로 수렴되도록 오차를 수정한다.

간접 벡터제어 방식은 토오크 전류와 자속 전류로부터 슬립 각속도를 추정하고 2차축 도체 각속도를 합하여 자속각을 계산하고 이로부터 좌표변환에 필요한 단위벡터를 발생시키는 방법이다. 간접 벡터제어방식은 자속으로부터 고속영역까지 운전이 가능하며 시스템의 구성이 간단하다. 그러나 전동기의 1차축 이동자 시정수 등

파라미터의 변동의 영향을 크게 받으므로 파라미터의 변동 시 벡터제어가 상실될 수 있다.

3. 시뮬레이션 및 결과 고찰

a. 일정부하 인가시 정속도 제어

그림 3-1은 부하 인가 시 기준속도 $\pm 2[m/s]$ 에서 동적특성을 나타낸 것으로 그림 3-1(a)의 기준속도에 대한 그림 3-1(b)의 모터속도가 정지상태에서 정상상태에 도달 시간이 0.5 [sec]이며 역방향에서 정방향으로의 정상상태 도달시간은 2.8 [sec]로 나타나고 있다. 그림 3-1(c)의 추력 출력특성은 정지상태에서 증가하여 정상상태에서 일정하게 유지되며 역방향에서 정방향으로 전환되는 시점에서 최대 추력을 발생함을 알 수 있다.

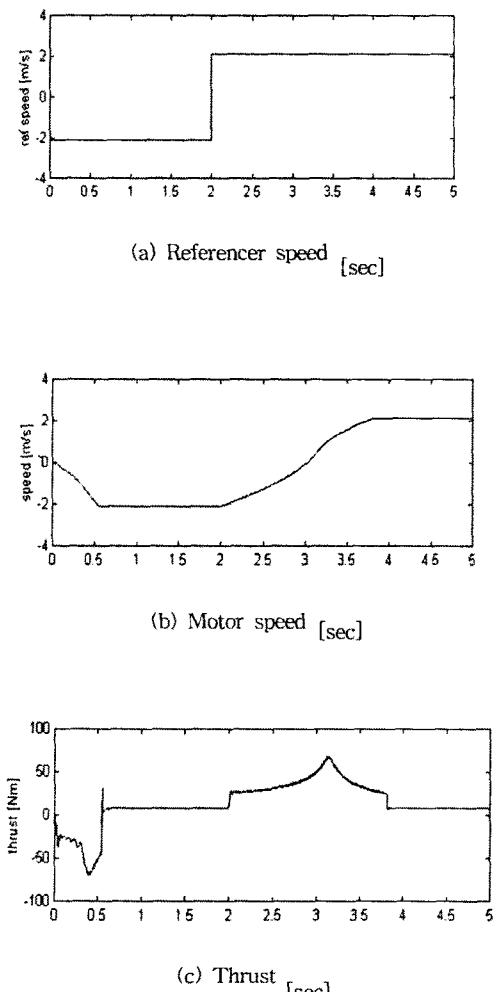


Fig. 3-1 Dynamic characteristics of full load at reference speed ± 2 [m/s]

b. 부하 가변시 정속도 제어

가변 부하조건은 1[sec]에서 4[sec] 동안만 부하를 인가하고 나머지 구간에 대해서는 무부하 설정조건과 동일

하게 설정하였다. 그림 3-2는 부하 가변시 기준속도 $\pm 2[m/s]$ 에서 동적특성을 나타낸 것으로 부하가변 구간에 대한 설정은 1[sec]부터 4[sec]까지 부하를 인가하고 나머지 구간에 대해서는 무부하로 설정하였다. 그림 3-2(a)의 기준속도에 대해 그림 3-2(b)의 모터 속도 출력력에서 정지상태에서는 역방향 정상상태 도달시간이 무부하일 때의 조건과 같은 0.7[sec]이고 역방향에서 정방향 응답시간은 부하인가 조건과 같은 1.8[sec]로 나타나고 있다. 그림 3-2(c)의 추력 출력특성은 역방향에서 정방향으로 전환되는 점에서 최대 추력을 발생하며 부하를 인가할 때와 무부하일 때의 추력의 차이가 나타남을 알 수 있다.

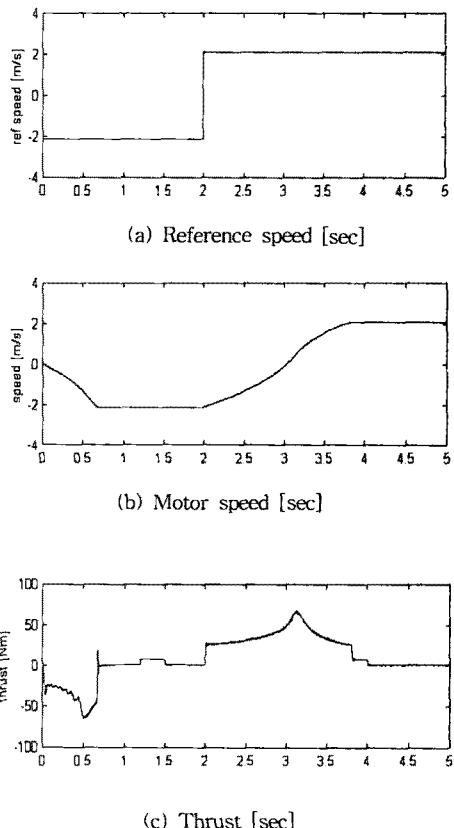


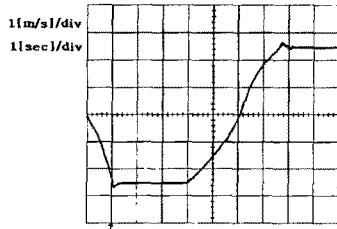
Fig. 3-2 Dynamic characteristics of variation load at reference speed ± 2 [m/s]

4. 실험결과

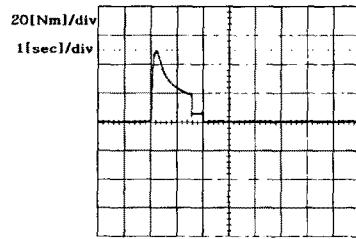
a. 부하 인가시

그림 4-1는 부하 인가시 기준속도 ± 2.5 [m/s]에서 동적특성을 나타낸 것으로 기준속도 ± 2.5 [m/s]에 대하여 그림 4-1 (a)의 모터 출력속도가 정지상태에서 정상 응답속도는 1.4[sec]이며 역방향에서 정방향 정상응답시간은 4[sec]로 나타났다. 정상상태 도달 후 속도가 일정하게 유지됨을 볼 수 있으며 약간의 오버슈트가 발생하는 것은 모터의 관성의 영향으로 사료된다.

그림 4-1 (b)의 추력 출력특성에서와 같이 정지상태에서 정상상태에 도달할 때까지 점진적으로 증가하여 0으로 되며 역방향에서 정방향으로 전환되는 시점에서 최대 추력이 발생함을 알 수 있다.

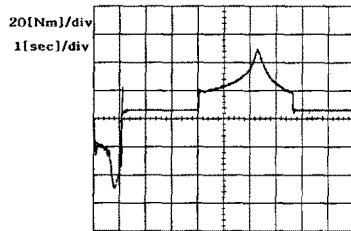


(a) speed



(b) thrust

Fig. 4-2 Dynamic characteristics of variation load at reference speed 2.5 [m/s]



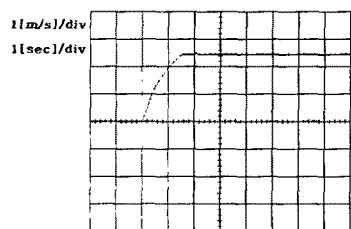
(b) thrust

Fig. 4-1 Dynamic characteristics of full load at reference speed ±2.5 [m/s]

b. 부하 가변시

그림 4-2는 부하 가변시 기준속도 2.5 [m/s]에서의 동적특성을 나타낸 것으로 기준속도 2.5 [m/s]에 대하여 그림 4-2 (a)의 모터 출력속도가 정지상태에서 정상 응답속도는 1.5[sec]이며 정지상태 도달후 속도가 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 부하의 가변구간으로는 구동 후 2 [sec]이후에 부하를 제거하였다.

그림 4-2 (b)의 추력 출력특성은 정지상태 기준시호 발생시에 최대 추력이 발생하며 정지상태에 도달할 때까지 점진적으로 감소하여 0으로 됨을 알 수 있다.



(a) speed

5. 결 론

본 논문에서는 선형유도전동기의 순시 속도에서의 1, 2차 상대 위치이동으로 나타나는 동 특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

일정부하 및 부하가변 시 기준속도에 대한 출력속도는 상승, 하강 이동자가 기준 속도로 추종하기까지의 과도 시간과 일치하였고 자속이 변함에 따라 출력을 안정됨을 알 수 있었으며, 부하 인가 시 약간의 감속 후 정상속도로 회복되었다. 따라서 제어 특성이 양호하게 유지됨을 알 수 있었다.

또한 가변부하 및 전부하에서의 동적특성은 정지상태에서 정상상태에 도달하는 속도의 출력이 모두 비슷한 시간에서 정상상태에 도달 후 안정된 속도출력을 내었고 제어기의 보상회로를 통해 속도출력에 속응하기 위한 채환값으로 변환되어 안정된 출력을 얻을 수 있었다.

그러나 대용량의 선형유도전동기를 실제 적용하는데 있어서는 향후 안정도를 보다 보완한 제어기의 구현이 이뤄져야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Lim, B.O.“Speed Control Characteristics of Linear Induction Motor for Wireless Elevation System”, thesis for a doctor, pp.48-58,67-70, 2004
- [2] B. I. Kwon, K. I. Woo, S. Kim “ Finite element analysis of direct thrust controlled linear induction motor ”, IEEE Trans. Vol.35, No.3, pp.1306-1309, 1999
- [3] J. H. Sung, K. G. Nam “ A new approach to vector control for a linear induction motor considering end effects ”, IEEE Trans. pp.2284-2289, 1999
- [4] S. Kim, K. I. Woo, B. I. Kwon “ Implementation of indirect field oriented control of linear induction motor using voltage source inverter ”, ICEE’99, pp. 263-266, 1999
- [5] Ludvik Kurnin, Gorazd Stumberger, Drago Dolinar “ Modeling and control of a linear induction motor ”, ISIE’99, pp. 963-967, 1999