

신경회로망과 유한요소법을 이용한 지상1차방식 선형유도 전동기의 동특성해석

임달호, 박승찬, 원성홍 *장석명
 *한양대학교 전기공학과 *충남대학교 전기공학과

Dynamic Characteristics Analysis by Neural Network and FEM in Moving Secondary Type LIM

D.H.Im, S.C.Park, D.J.Park, S.H.Won *S.M.Jang
 *Dept. of Elec. Eng., Hanyang Univ., *Dept. of Elec. Eng., Chungnam Univ.

Abstract

- In the moving secondary type linear induction motor(LIM), because the secondary don't get continual thrust, it is difficult to analyze the dynamic characteristics. So we have resolved this problem by using the neural network.

1. 서 론

자동반송장치에서 캐리어 구동용으로 사용되는 지상1차방식 선형유도 전동기는 1차축과 2차축이 모두 짧은 구조로 되어있다. 따라서 캐리어가 이동하는 동안 2차축이 연속적인 추력을 받지 못하고 1,2차축이 겹친 구간에서만 추력을 받으며, 1차축 사이의 구간에서는 관성주행을 한다. [1] 또한 1차축과 2차축의 상대적인 위치에 따라 발생추력이 다르기 때문에 속도, 가속도등의 동특성해석이 매우 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위하여 유한요소법을 이용하여 얻은 데이터를 학습한 신경회로망의 출력값을 운동방정식에 적용하여 캐리어의 동특성해석을 한다. [2]

그림1.은 해석대상인 지상1차방식 선형유도전동기와 그 개략적인 속도특성이다.

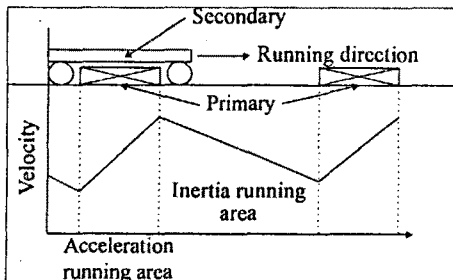


그림 1. 해석모델
 Fig 1. The analysis model

2. 유한요소법을 이용한 추력계산

선형유도전동기로부터 발생하는 추력값을 얻기 위하여 유한요소법을 이용한다. 해석영역에서의 지배방정식은 다음과 같다.

$$\frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial^2 A_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_z}{\partial y^2} \right) = -J_z + \sigma(j\omega A_z + v_x \frac{\partial A_z}{\partial x}) \quad (1)$$

여기서 σ 와 v_x 는 각각 2차축의 도전을 및 이동속도이며, μ 는 전원각주파수이다. 식(1)의 해를 구하기 위해서 Galerkin법으로 정식화하면 식(2)를 얻을 수 있다.

$$\sum_{i=1}^n A_i \int_s \left\{ \frac{1}{\mu} \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{1}{\mu} \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} + j\omega \sigma N_i N_j + \sigma v_x N_i \frac{\partial N_j}{\partial x} \right\} dx dy \quad (2)$$

$$= \int_s J N_j dx dy \quad (j=1,2,\dots,n)$$

여기서, n 은 절점수, N_j 는 보간함수이다. 또한, 각 상에 관한 회로방정식을 구하면 다음과 같다.

$$\frac{d\phi_f}{dt} + R_f i_f + L_o \frac{di_f}{dt} = V_f \quad (3)$$

여기서, f 는 각 상을 나타내며, R 과 L_o 는 각 상의 저항과 1차 권선의 코일End부분의 누설인덕턴스이다. 위 식들로부터 자기벡터포텐셜과 각 상의 전류를 미지수로 하는 계 방정식을 구하면

$$\begin{bmatrix} H & M \\ Q & Z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (A) \\ (I) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (0) \\ (V) \end{bmatrix} \quad (4)$$

이다.

또한, 추력은 다음 식으로 주어지는 Maxwell 응력 법을 이용하여 계산하였다. 이 때의 적분경로는 2차측 표면만을 취한다.

$$F(d,s) = \int \frac{h}{2\mu_0} \{ (B_x^2 - B_y^2)n_x + 2n_y B_x B_y \} dl \quad (5)$$

여기서, d 는 2차측의 위치, s 는 슬립, h 는 1차 철심의 적층폭을 나타낸다.

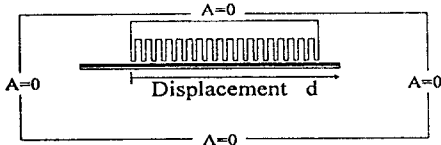


그림 2. 유한요소해석모델
Fig 2. Finite element analysis model



그림 3. 해석모델의 자속분포도
Fig 3. Flux lines of the model

3. 신경회로망을 이용한 추력추정

유한요소법에 의해 얻어진 데이터를 학습한 임의의 위치, 슬립, 주파수에 대한 추력을 얻기 위하여 3층의 은닉층을 가지는 신경회로망을 구성한다. 여기서 입력은 2차측의 변위(d) 및 슬립(s), 주파수(f)이고, 추력은 추력($F(d,s,f)$)이다.

신경회로망을 학습하기 위한 알고리즘은 Backpropagation을 사용하였으며, 일반화된 델타법을 적용하였다. [3]

그림 4. 는 신경회로망 모델이며, 그림 5. 는 변위에 따른 그 출력값이다. 이 그림에서 \times 표시는 FEM 계산치를 나타낸다.

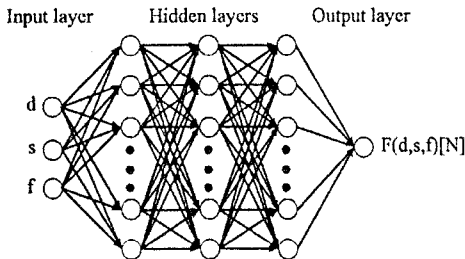


그림 4. 신경회로망 모델
Fig 4. The neural network model

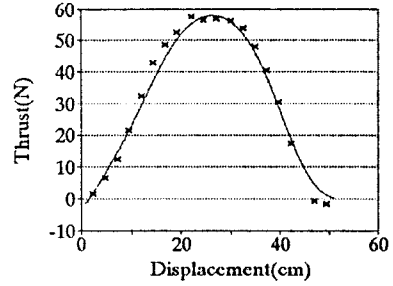


그림 5. 신경회로망 출력값
Fig 5. Neural network output

4. 동특성해석

동특성해석을 위하여 다음의 운동방정식을 적용한다.

$$\frac{dv}{dt} = (F(d,s,f) - F_d(v))/M \quad (6)$$

$$F_d(v) = \alpha v^2 + \beta v + \gamma \quad (7)$$

여기서, v 는 캐리어의 이동속도, $F_d(v)$ 는 운동마찰력, M 은 캐리어의 중량이다. 속도에 따른 2차곡선의 형태로 나타나는 마찰력을 구하기 위하여 본 논문에서는 실험에 의한 방법을 사용하였으며 각각의 계수값은 $\alpha=0.08$, $\beta=0.162$, $\gamma=0.376$ 이다. 식(6)과 식(7)로부터, 가속도(dv/dt)가 계산되고, 이 값에 시간증가분(Δt)을 곱해서 속도의 증가분(Δv)을 얻어낸다.

5. 해석결과

그림 6. 은 하나의 모터에 관한 캐리어의 주행속도 시뮬레이션과 실험치를 비교한 그래프이며, 실험치는 \times 로 나타나 있다. 그림 7. 은 3m간격으로 배치된 여러개의 모터에 관한 속도 시뮬레이션이다. 이 시뮬레이션과 실험에서, 전압대 주파수 비(V/f)는 2 이며, 캐리어의 중량은 4.5kg이다.

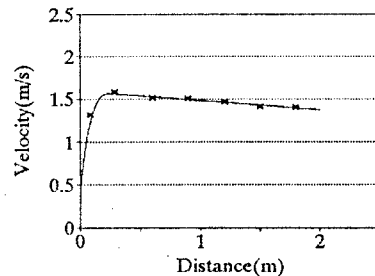


그림 6. 단일 모터에 관한 속도특성
Fig 6. Characteristics for one motor

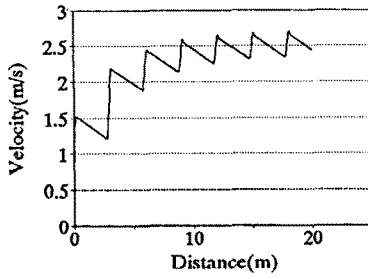


그림 7. 여러개의 모터에 관한 속도특성
Fig 7. Characteristics for several motors

6. 결 론

전 절에서 보였듯이 신경회로망에 의한 지상1차 방식 선형유도 전동기의 속도 시뮬레이션 결과는 실험치와 잘 일치하였으며, 본 논문에서 제시한 방법은 캐리어의 속도제어를 위한 동특성해석에 매우 유용함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Shigco Takagi, Shuji Kanda, LIM Control System for Magnetically Levitated Carrier System in Super Clean Rooms, IEEJ, MAG-87-49, pp.71-79
2. 임달호, 박승찬, 원성홍, "신경회로망을 이용한 지상1차 방식 선형유도전동기의 추력 추정", 대한전기학회 추계학술대회논문집(1993) pp.63-65
3. Paul J. Werbos, Backpropagation through time : What it does and how to do it, *Proc of IEEE: Special Issue on Neural Network*, vol. 78, no. 10, Oct. 1990

* 이 연구는 한국과학재단 연구비 지원에 의한 일부 결과임.
(과제번호 92-47-00-02)