

준위치제어를 통한 영구자석형 리니어동기모터의 초기자극위치 추정알고리즘

김태웅, 민완기*, 최재호**
 경상대학교, *조선이공대학 **충북대학교

Initial Pole Position Estimation Algorithm for PM-LSM by Pseudo-Position Control

Tae-Woong Kim, Wan-Ki Min*, Jae-Ho Choi**

GyeongSang National University, *ChoSun College of Science and Technology, **ChungBuk National University

ABSTRACT

This paper proposes the algorithm for the initial pole-position estimation of a surface PM-LSM, which is carried out under the pseudo-position control without a pole sensor and is insensitive to the motor parameters. This algorithm is based on the principle that the initial pole-position is calculated by the reverse trigonometric-function using the two reference currents, which are informed from the speed controller. The effectiveness of the proposed algorithm is confirmed by the arithmetical analysis and the experiment. IPP is well estimated within a satisfied moving-distance and a shorter estimation taken-time even if large disturbance such as cogging and friction are existed.

1. 서론

영구자석형 동기모터(회전모터 및 리니어모터)를 제어하기 위해서는 초기자극위치(IPP; Initial Pole Position)의 정보가 반드시 필요하며 일반적으로 폴센서로 검출하여 얻어진 초기자극위치의 정보를 근거로 하여 영구자석형 동기모터(PMSM)가 지령에 따라 움직이도록 제어한다. 초기자극위치의 정보를 얻기 위해서 폴센서를 사용하는 것은 비용상승과 함께 설치장소 등의 문제점이 생긴다. 특히 리니어모터의 경우에는 폴센서를 사용하지 않고 제어하는 경우가 많기 때문에 폴센서레스제어가 필요하다.^[1]

SPMSM의 IPP 추정방법에 있어서 최근에 주목 받고 있는 자기포화에 의한 추정방법은 고정자철심의 종류(core형 및 coreless형)에 의존하기 때문에 적용할 수 없는 경우도 있다. 기존방법에서는 개루프 혹은 토크제어모드에서 추정하기 때문에 코깅토크와 같은 외란이 크게 존재하는 분야에서는 추정하는 도중에 이동량이 많아지며 또한 추정에 대한

정밀도가 떨어지는 문제점이 있다.

상기의 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 준위치제어기능을 가진 페루프제어모드에서 표면영구자석동기모터의 초기자극위치를 추정할 수 있는 알고리즘을 제안하고 최적의 준위치제어기능을 가진 속도지령패턴으로 수치해석 및 실험을 통해 제안한 알고리즘의 유효성을 검증한다.

2. 초기자극위치추정원리

그림 1에서 보여 주듯이 2개의 d-q좌표계를 가정하여 한 개의 좌표계는 제어축 좌표계(가상좌표계), 다른 한 개의 좌표계는 모터축 좌표계(실제좌표계)라고 칭하자. 예를 들어 리니어모터의 초기자극위치가 제어축 좌표계에 놓여 있으며 또한 모터축 좌표계의 d축방향으로 향한다고 한다면 본 그림에서 보여준 실제의 IPP는 임의의 제어축 좌표계의 d축으로부터 임의각도만큼 떨어져 있게 된다. 실제 IPP를 검출하기 위해서는 전용 폴센서가 필요하지만 검출속도와 2개의 지령전류를 이용함으로써 IPP를 간단히 계산할 수 있다.

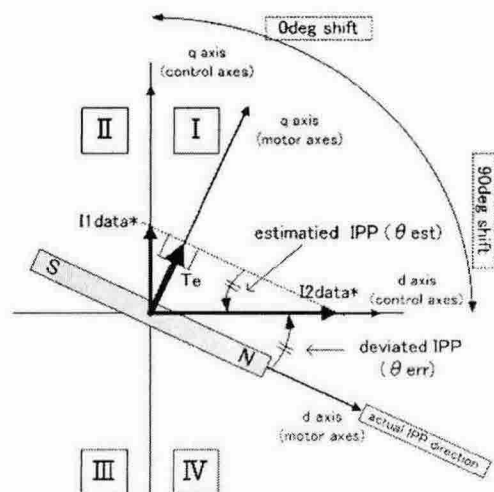


그림 1 제어축 좌표계에서 IPP의 임의위치에 대한 추정방법

「일정한 자속의 조건하에 초기자극위치의 편차각과 관계없이 리니어모터를 지령속도에 따라 제어하기 위해서는 동일한 推力(thrust)이 필요하다.」라고 하는 기본개념을 통해 초기자극위치를 추정할 수 있다. 속도제어시스템에서 IPP를 추정하기 위해서 추력성분인 2개의 지령전류가 필요하고 한 개의 지령전류는 제1지령속도구간에서 얻어지며 다른 한 개의 지령전류는 제2지령속도구간에서 얻어진다. 2개의 지령전류는 추력성분전류(유효전류)와 자속성분전류(무효전류)를 포함하고 있으며 IPP의 편차각 θ_{err} 에 따라 추력성분전류와 자속성분전류가 결정된다. 손실추력은 무효전류에 기인하며 발생추력은 유효전류에 기인한다. 지령추력이 일정하게 인가되었을 때 편차각이 0인 경우에는 지령추력과 동일한 추력이 발생하지만 편차각이 커진다면 손실추력이 증가하여 발생추력과 손실추력은 식(1)과 식(2)로부터 각각 구해진다. 마지막으로 편차각이 90도가 되면 손실추력이 지령추력과 동일해지고 발생추력은 0이 된다.

$$T_e = T^* \times \cos(\theta_{err}) \quad (1)$$

$$T_{loss} = T^* - T_e \times \cos(\theta_{err}) \quad (2)$$

여기서, T_e 는 발생추력, T_{loss} 는 손실추력이고 지령추력 T^* 은 발생추력과 손실추력의 합이다.

전류제어기에 제공하는 위치정보는 식(3)으로부터 구해지고 식(3)과 구간모드(제1, 제2지령속도구간)를 선택하는 기능을 포함하고 있다.

$$\theta_{ref} = \theta_{fb} - \theta_{shift} + \theta_{cmp} \quad (3)$$

여기서 θ_{ref} 는 위치정보, θ_{fb} 는 검출위치, θ_{shift} 는 제1, 2시프트위치(0도 혹은 90도 선택), θ_{cmp} 는 추정 IPP($=\theta_{offset} + \theta_{est}$), θ_{offset} 는 디폴트위치를 나타낸다.

실제속도는 다음과 같은 운동방정식으로부터 얻어진다.

$$\omega = F(T_e, T_L, D) \quad (4)$$

여기서, $F()$ 는 속도함수, T_e 는 발생추력, T_L 는 부하추력, D 는 댐핑상수, ω 는 속도를 나타낸다.

지령속도와 동일한 속도를 얻어내기 위해서 제1지령속도구간에서 필요로 하는 추력은 식(5)에서, 제2지령속도구간에서 필요한 추력은 식(6)에서 얻어진다.

$$T_e = K_T \times I_{1data}^* \times \cos(\theta_{err}) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} T_e &= K_T \times I_{2data}^* \times \cos(\theta_{err} - 90^\circ) \\ &= K_T \times I_{2data}^* \times \sin(\theta_{err}) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, K_T 는 추력정수, I_{1data}^* 는 제1지령속도구간에서 구한 추력성분지령전류를 제1지령전류데이터라

고, I_{2data}^* 는 제2지령속도구간에서 구한 추력성분지령전류를 제2지령전류데이터라고 한다.

제1, 2의 지령속도구간에서 각각 필요로 하는 추력(모터를 동일한 속도로 제어하기 위해 필요로 하는 추력)은 동일해야하기 때문에 식(5)와 식(6)은 식(7)로 다시 표현할 수 있다.

$$I_{1data}^* \times \cos(\theta_{err}) = I_{2data}^* \times \sin(\theta_{err}) \quad (7)$$

식(7)의 관계로부터 초기자극위치의 편차각 θ_{err} 을 계산할 수 있다. 따라서 리니어모터의 실제 IPP는 식(8)을 이용하여 추정할 수 있다.

$$\theta_{est} = \theta_{err} = \tan^{-1} \left(\frac{I_{1data}^*}{I_{2data}^*} \right) \quad (8)$$

3. 수치해석 및 실험

3.1 시스템구성

그림 2와 같이 실험시스템을 구성하여 본 논문에서 제안한 알고리즘에 대한 검증실험을 수행하였다. 실험용 PM-LSM은 정격추력이 2000N, 정격전류가 20A_{rms}, 정격속도가 1.5m/s, 리니어스케일의 분해능은 1 μ m, 폴피치는 45mm, 가동자 질량은 56kg, 부하질량은 120kg, 폴센서는 설치하지 않았다.

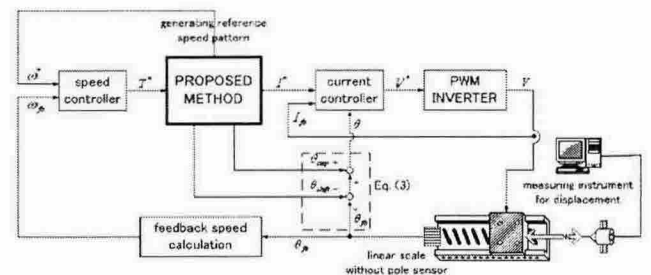


그림 2 전체적인 실험시스템의 블록선도

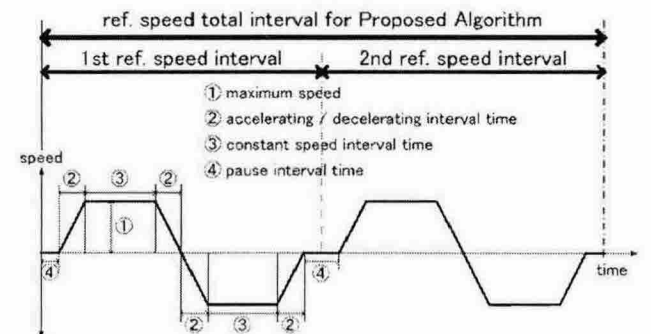


그림 3 지령속도패턴 (대형파)

3.2 준위치제어기능을 가진 지령속도패턴

그림 4의 지령속도패턴은 1) 최대지령속도, 2) 가

감속구간시간, 3) 일정속도구간시간, 4) 정지구간시간을 임의로 설정함으로써 삼각파, 구형파, 대형파, 영속도로 변경할 수 있다. 본 논문에서는 IPP를 추정하는 도중에 가동자의 이동량이 최소화시키고 또한 추정정밀도를 향상시키기 위해 삼각파형태의 지령속도패턴을 사용하였다. 본 그림에 있어서 지령속도는 제1지령속도구간과 제2지령속도구간으로 구성되어 있고 각 구간의 마지막에는 가동자의 위치가 원래위치로 돌아오도록 하여 본 지령속도패턴은 준위치제어기능을 가지게 된다.

3.3 수치해석

IPP가 그림 1에서 보여준 제4상한의 어느 위치에 놓여있어도 리니어모터가 동일한 지령속도에 따라 움직이기 위해서는 동일한 추력이 필요하다. IPP의 편차각이 0도, 45도, 90도인 경우에 수치해석을 통해 구한 제1, 제2지령전류데이터는 그림 4와 같은 관계를 보여주며 이들 전류데이터를 이용하여 IPP의 편차각을 구할 수 있다.

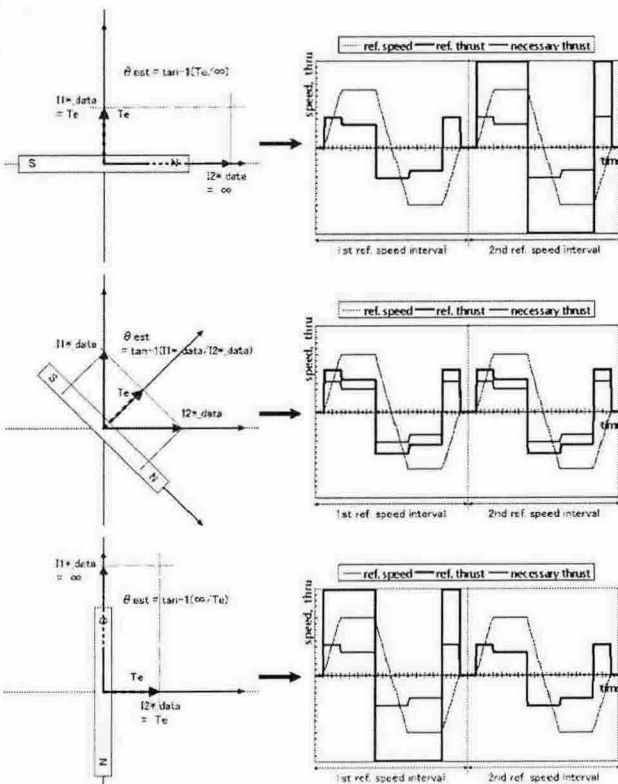


그림 4 임의의 편차각에 따른 제1과 제2지령전류와의 관계; (상) $\theta_{err}=0^\circ$, (중) $\theta_{err}=45^\circ$, (하) $\theta_{err}=90^\circ$

3.4 실험결과 및 검토

본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용하여 전부하 및 무부하의 조건에서 수행한 결과, 전부하 및 무부하조건에서의 추정평균오차는 각각 0.33mm(2.64도에 해당)와 0.31mm(2.51도)이고, 추정중의 평균

이동량은 각각 0.16mm(1.28도)와 0.19mm(1.52도)이다. 그리고 그림 5에서 보여주듯이 IPP의 추정오차가 $\pm 0.875mm$ (7도)이내이기 때문에 추정정밀도가 매우 높음을 알 수 있다.

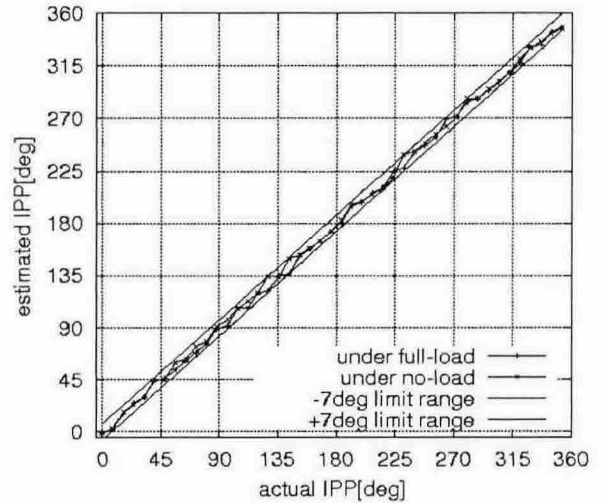


그림 5 전부하 및 무부하조건에서의 실험결과

4. 마무리

본 논문에서는 표면영구자석리니어동기모터의 초기자극위치추정에 관한 알고리즘을 제안하여 수치해석 및 실험을 통해 유효성을 검증하였다.

준위치제어의 페루프제어모드에서 2개의 동일속도패턴에서 구한 2개의 지령전류(제1, 제2지령전류)를 이용하여 역삼각함수(\tan^{-1})로 IPP를 높은 정밀도로 추정할 수 있다. 또한 영구자석리니어동기모터의 고정자철심의 종류(core형 및 coreless형)와 관계없이 본 알고리즘이 적용할 수 있기 때문에 기존방법보다 폭 넓게 적용가능하리라고 판단된다.

모터에 커다란 외란이 인가되더라도 상기의 결과와 같이 좋은 결과를 얻을 수 있는 주된 이유는 본 알고리즘이 준위치제어기능을 가진 속도제어모드로 동작하며 모터가 설정된 지령속도에 따라 제어되기 때문이다. 본 알고리즘은 회전모터에도 적용가능하며 추후에 이에 대한 실험결과를 제시하고자 한다.

본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 기초전력연구원(과제번호:R2005-B-109)주관으로 수행된 과제임.

참고 문헌

- [1] T.W Kim, "Initial Pole Position Estimation of Surface PM-LSM," JPE, vol.1, no.1, pp.1-8, April 2001.