

자속검출법에 의한 유도형 리니어모터의 성능 온·라인 모니터링 시스템 구현

장석명, 이성호, 장건우, 이성래*, 박영태**
 충남대학교 (주)우영* 한국표준과학연구원**

LIMs Performance On-Line Monitoring System
 by Measuring Airgap Flux from Search Coil

S.M. Jang, S.H. Lee, K.W. Chang Y.T. Park*
 Chungnam Nat'l Univ. KRISS*

Abstract - The LIMs performance on-line monitoring system is proposed by using LabVIEW software and A/D board. The on-line monitoring system set-up can measure input voltage, current, power, power factor, electromagnetic thrust, and efficiency etc. This paper reports data on LIM performance measured by the proposed on-line monitoring system.

1. 서 론

유도형 리니어 모터(Linear Induction Motor : 이하 LIM) 성능에 관한 실시간 데이터 수집 및 처리를 위하여, LabVIEW 상용 소프트웨어와 A/D 보드로 구현된 On-Line 모니터링 시스템을 적용할 수 있다. 이러한 시스템으로부터 On-Line 모니터링 된 LIM 성능에 관한 측정결과를 설계 및 해석 결과와 비교, 검토하여 설계 및 해석의 재방영은 물론 정밀 제어에 응용된다. LIM 성능에 관한 동특성 자료 중, 중요한 요소인 추력은 주로 엔코더등의 속도센서를 이용하여 가속도 $a[m/sec^2]$ 를 구한 후, 회전자의 질량 $M[kg]$ 을 곱하는 $F=Ma$ 를 이용하여 모니터링 하였다. 그런데 이러한 방식 외에, 속도센서 없이 단지 공극자속을 직접 측정하거나, 또는 간접적으로 공극자속을 계산 추정함으로써 전자기적 추력에 관한 모니터링을 할 수 있다[1][2].

LIM은 기하학적인 형상으로 인해 회전형 유도기와 비교하여 서치코일을 시행하기가 용이하므로, 서치코일에 의해 검출된 공극쇄교자속과 1차측 입력전류를 변수로 하는 추력식을 d,q축 등가회로부터 유도하여, LIM 추력을 실시간으로 모니터링 할 수 있다.

본 논문에서는 1차측 상권선 시행방식과 동일한 방식으로 서치코일을 감아 공극쇄교자속을 측정하여, 이로부터 전자기적 추력을 실시간 모니터링 하였다. 또한 CT와 PT를 포함하는 하드웨어 장치를 구성하여, 전압과 전류를 A/D 보드 입력 가능 전압 범위로 한 후, 입력전류, 전압, 전력, 역률에 관한 전기량을 실시간으로 측정하고, 모니터링 된 결과를 제시하였다.

2. 실시간 추력 및 전기량 모니터링

2.1 실시간 추력 모니터링

1차측 입력전류와 서치코일에서 측정되는 자속으로부터 실시간 추력을 모니터링 하기 위하여, d,q축 변환에 의한 추력식을 유도한다.

1) 자속검출

LIM의 3상 권선시행 방식과 동일한 방법으로 서치코일을 감았으며, 그림 1은 한 상에 대한 서치코일만을 도시한 것이다. 서치코일에 유도된 전압으로부터 식 (1)과 같이 각 상에 대한 공극자속을 산출할 수 있다.

$$\lambda_{abc} = N\phi_{abc} = - \int e_{abc}(t) dt \quad (1)$$

여기서 λ_{abc} 는 쇄교자속, N 은 서치코일의 턴수, ϕ_{abc} 는 자속, $e_{abc}(t)$ 는 서치코일에 유도된 전압이다.

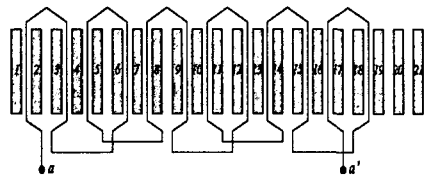


그림 1 LIM에 시행한 서치코일 분포 및 결선도

2) 전자기적 추력 모니터링

검출된 공극쇄교자속과 1차측 전류에 대한 d,q축 변환을 변수로 하는 LIM 추력 특성식은 서치코일을 포함하는 d,q축 등가회로부터 식 (2)와 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} F_x &= \frac{3}{2} \frac{\pi}{\tau} L_m (i_{qs} i_{dr}' - i_{ds} i_{qr}') \\ &= \frac{3}{2} \frac{\pi}{\tau} (L_m i_{qs} i_{dr}' + L_m i_{ds} i_{qs}' - L_m i_{qs} i_{ds}' - L_m i_{ds} i_{qr}') \\ &= \frac{3}{2} \frac{\pi}{\tau} [L_m (i_{dr}' + i_{ds}') i_{qs} - L_m (i_{qs} + i_{qr}') i_{ds}] \\ &= \frac{3}{2} \frac{\pi}{\tau} [\lambda_{dm} i_{qs} - \lambda_{qm} i_{ds}] \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 τ 는 LIM의 극간격, λ_{dm} , λ_{qm} 은 d,q축 공극쇄교자속을 각각 나타낸다. 또한 식 (2)을 바탕으로 하는 동특성 방정식은 식 (3)과 같다.

$$M a = F_x - F_l \quad (3)$$

여기서 M 은 그림 4와 같은 시험기의 2차측 wheel의 등가질량, a 는 가속도, F_l 은 부하추력을 나타낸다.

그림 3은 식 (2)로 표현되는 추력 특성식에 의해 실시간 추력에 대한 자료를 획득하여 모니터링 하기 위한 시스템 블럭선도이다.

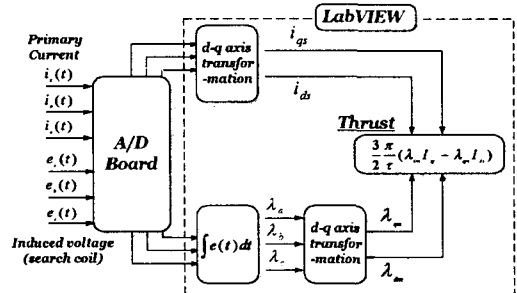


그림 3 실시간 추력 모니터링을 위한 블럭선도

2.2 전기량 모니터링

CT와 PT를 거쳐 A/D 보드에 입력된 전압, 전류의 순시 신호들은 디지털 신호로 변환된 후, 소프트웨어적으로 처리하여 실효치로 연산된다. 이 경우 전압과 전류의 순시적인 아날로그 신호에 대한 실효치는 식 (4)에 의해 연산되어진다.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V^2(i)} \quad (4)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I^2(i)}$$

여기서 n 은 1주기동안 샘플링 된 데이터의 수이다. 식 (4)로부터 산출되는 전압, 전류 실효치로부터 2전력 계법에 의해 식 (5)로 3상의 전력을 모니터링할 수 있다.

$$P = P_1 + P_2 = \sqrt{3} VI \cos \theta \quad (5)$$

또한 역률은 측정된 P_1 과 P_2 의 전력으로부터 식 (6)과 같이 구할 수 있다.

$$pf = \cos \theta = \frac{P_1 + P_2}{2\sqrt{P_1^2 + P_2^2} - P_1 P_2} \quad (6)$$

효율은 식 (2)를 통해 연산되는 추력과 식 (5)로부터 구해지는 3상 총 입력전력으로부터 식 (7)과 같이 산출한다.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{F_x v}{P_1 + P_2} \quad (7)$$

3. 성능 모니터링 시스템

3.1 시험기

LIM의 특성시험을 위해서는 연속 운전을 해야 하므로, 무한 연속 운동이 가능한 그림 4와 같은 아크형 LIM의 시험장치를 제작하여 특성시험을 하였다. 즉, LIM의 1차축을 아크형으로 구성하여 고정시키고 2차축을 원판으로 구성하여 연속 회전을 할 수 있도록 하였다.

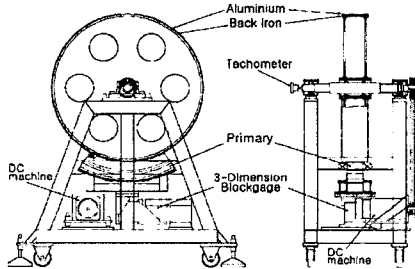


그림 4 Arch-Type LIM 시험기

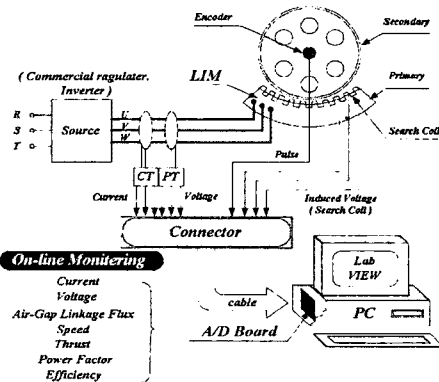


그림 5 LIM 성능 모니터링 시스템의 전체 블럭도

3.2 모니터링 시스템

그림 5는 LIM 성능에 관한 제한적인 자료를 모니터링 하기 위해 구성된 전체적인 시스템 블럭도이다. 1차측 입력 전류, 전압, 전력, 역률 특성 등에 관한 전기량과 추력, 속도, 효율 등을 측정하는 것으로 구분될 수 있다.

전자기적 추력은 그림 3의 과정을 통해 실시간 모니터링 된다. 또한 아날로그 전압, 전류가 CT, PT를 거쳐 A/D 보드에 입력되고, 디지털화 되어 식 (4)~식 (7)에 의해 전기량에 관한 데이터가 수집되고, 실시간으로 모니터링 된다.

4. 온·라인 모니터링 결과

그림 10은 인버터 60[Hz]운전시, 제안된 시스템으로 실시간 모니터링 된 입력전류, 전압, 전력, 역률 및 추력, 효율 등을 모두 한 화면에서 도시하도록 구성된 패널이다.

4.1 추력 모니터링 결과

(1) 상용전원 운전

그림 6은 60[Hz] 상용전원에서 모니터링 된 추력특성이다. $F=Ma$ 로 측정된 추력과 식 (3)으로부터 산출되는 전자기적 추력사이 에 차이를 보임을 알 수 있다. 이는 $F=Ma$ 로 산출되는 추력은 정상상태에서 가속도 a 가 작아 되므로 추력은 작아 된다. 그러나 동적인 상태에서 전자기적인 추력은 식 (4)와 같이 표현되므로, $F=Ma$ 와 비교하여 무부하 운전시에도, 정상상태에서 기계적인 손실만큼에 해당하는 차이를 보이기 때문으로 사료된다.

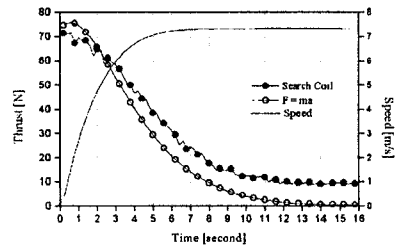


그림 6 상용전원에서의 모니터링 된 추력

(2) 인버터 전원 운전

그림 7은 인버터로 LIM을 운전하였을 경우, 기동시 로드셀로 측정된 추력과 제안된 모니터링 시스템에 의해 측정된 추력을 비교한 것이다. 10[Hz]로 LIM을 운전하였을 경우, 가장 큰 차이를 보이는데, 이는 저속운전시 즉, 저주파수 출력 영역에서 시간고조파가 많이 함유되므로 추력특성 (2)에서 서치코일에 의해 검출되는 공극채교자속이 전자기적 노이즈의 영향을 받기 때문으로 사료된다.

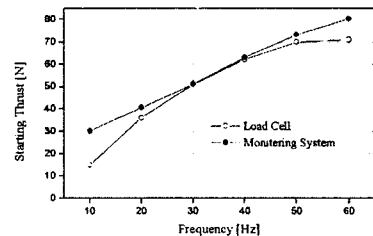


그림 7 인버터 운전시, 로드셀과 제안된 모니터링 시스템으로 측정되는 LIM 기동추력 비교

그림 8은 인버터 출력 주파수 60[Hz]에서 그림 5로 구

된 모니터링 시스템으로 측정된 무부하 상태에서의 추력 특성이다.

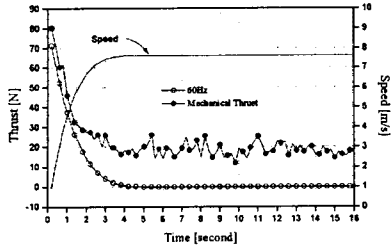
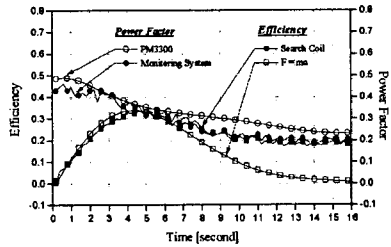
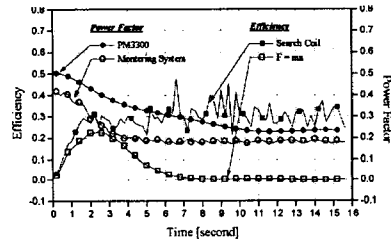


그림 8 인버터 60[Hz]운전시 모니터링 된 추력



(a) 상용전원에서에서의 역률과 효율



(b) 인버터 전원에서에서의 역률과 효율

그림 9 역률과 효율 특성

4.2 역률, 효율 모니터링 결과

그림 9는 식 (6)과 식 (7)에 의해 60[Hz] 상용전원과 인버터 전원 각각의 운전시, 모니터링된 역률과 효율 특성을 각각 나타낸다. 기동시에서 정상상태로 갈수록 유효전력이 감소하므로, 정상상태로 갈수록 역률은 나빠진다. 또한 모니터링 결과를 Voltech사의 전력분석기 (PM3300)의 측정결과와 비교, 검증하였다.

효율은 식 (7)에서 기계적인 출력산출을 $F=Ma$ 로 모니터링 되는 추력으로 하였을 경우와 식 (2)에 의해 모니터링 되는 전자기적 추력으로 하였을 경우, 각각에 대하여 도시한 것이다. 정상상태에서 $F=Ma$ 로 모니터링 되는 추력은 가속도 a 가 짝이 되므로 효율은 짝이 된다. 그러나 전자기적인 추력은 무부하 운전시에도, 정상 상태에서 요구되는 기계적인 손실만큼에 해당하는 부하 추력에 의해 효율은 짝이 되지 않는다.

6. 결론

LabVIEW 상용 소프트웨어와 A/D 보드를 이용한 LIM 성능 On-Line 모니터링 시스템을 제안하고 구현 하였으며, 이로써 실시간 측정된 입력전류, 전압, 전력, 역률 및 추력, 효율 등, 제반적인 LIM 성능에 관한 모니터링 자료들을 제시하였다.

본 논문에서 제안된 모니터링 시스템으로 수집되는 LIM 동특성에 대한 실시간 모니터링 결과들은 설계 및 해석 결과와 비교, 검토할 경우와 LIM 직접추력제어 등에 중요한 참고가 될 수 있으리라 사료된다.

(참고 문헌)

- [1] D.W.Novotny and T.A.Lipo, "Vector Control and Dynamics of AC Drives", 1997
- [2] Peter Vas, "Parameter Estimation, Condition Monitoring, and Diagnosis of Electrical Machines", 1993
- [3] Donald S. Zinger, "A Direct Field-Oriented Controller for Induction Motor Drives Using Tapped Stator Windings", IEEE Trans. on Power Electron., vol 5. No. 4. pp. 446-453,1990
- [4] Donald R. Zrudsky and James M. Pichler, "Virtual Instrument for Instantaneous Power Measurements", IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, vol.41. No. 528-533, 1992
- [5] 이성래, "유도형 리니어 모터의 특성모니터링 시스템 구현", 석사학위논문, 2000

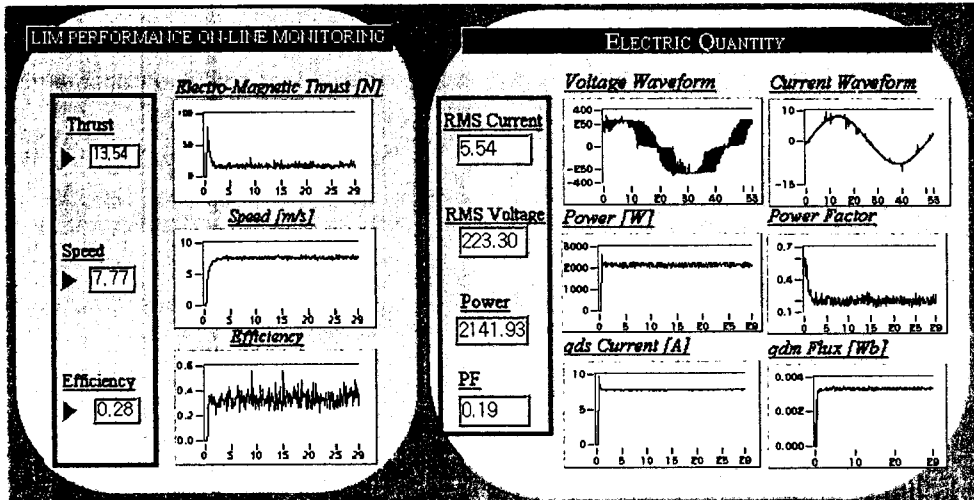


그림 10 인버터 60[Hz]운전시, LIM 성능에 관한 실시간 모니터링 된 결과들이 도시되도록 구성한 판넬