

LVDT 설계를 위한 특성해석

박 영태^{o *}, 신 흥교^{**}, 정 연호^{*}, 장 석명^{*}

^{*}충남대학교, ^{**}경상대학교

The Analysis on the Performance Characteristics for Design of a Linear Variable Differential Transformer (LVDT)

Y.T. Park^{o *}, H.G. Shin^{**}, Y.H. Jeong^{*}, S.M. Jang^{*}

^{*}Chungnam Nat'l Univ., ^{**}Gyeongsang Nat'l Univ.

Abstract

In this paper, the LVDT with compensating secondary coil and secondary current boost circuit is proposed. The LVDT was experiment with a test device, and analyzed with numerical method (FEM). It is shown that the LVDT has a good linearities for the measurement of the displacement and position, etc..

1. 서 론

LVDT는 변위, 압력, 힘, 흐름 등의 물리적인 양을 측정하는데 널리 응용된다. 코일이 설치된 고정자측과 강자성체로 구성된 가동자로 구성된다. 또한, 고정자측의 코일은 공극자속을 발생시킬 여자전류가 흐르는 1 차 코일을 중심으로 양편에 대칭적으로 2 차 코일이 설치된다. 가동자의 강자성체는 변위가 없는 고정자의 코일에 대하여 비대칭적인 위치에 놓이게 된다. 1 차측 코일에 의해 발생된 자속은공극을 건너 가동자의 자성체와 폐회로를 이루며, 다시 고정자 양측의 2 차 코일에서 기전력을 유기시킨다. 변위가 없이 대칭적인 위치에 있는 경우는 양측의 2 차 코일에 유기되는 전압이 같게 되어 전위차가 없게 되며, 비대칭인 위치가 되면 유기전압의 차가 생기게 된다. 이 유기 기전력의 차로 변위 등의 물리적인 양을 측정하게 된다. 이러한 제반 현상을 전자기적인 관점에서 해석하고, 실제 제작, 시험을 하여 비교 분석하였다. 즉, 외부의 기계적 힘에 의하여 움직이는 Core의 변위에 따라 1 차 코일과 2 차 코일사이에 자속변

화를 일으키는 LVDT가 전자장 이론에 의하여 모델화되고 해석되었다. LVDT의 특성은 트랜스듀서의 기하학적 형상, 1 차와 2 차 권선의 배치, 코어의 재질, 공극전류와 주파수의 변동 등에 의해 결정된다. 일반적인 LVDT는 실제 사용되는 선형범위에 비해 코어의 길이를 포함하여 전체의 길이와 무게가 크다. 또한, 전체 치수에 비해 선형구간이 짧다. 본 연구에서는 선형구간을 넓히기 위하여 2 차 코일에 보상코일과 전류증폭회로를 사용한 LVDT를 제안하였으며, 이러한 자료는 FEM에 의한 자속 분포를 통하여 얻을 수 있었다.

2. 새로운 LVDT와 Field Model

2.1 새로운 LVDT

그림 1, 그림 2, 그림 3은 새로 제안되는 LVDT를 나타내고 있다. Core의 변위에 따른 2 차측의 출력신호는 2 차 코일 SC1과 SC2로부터 얻어지는

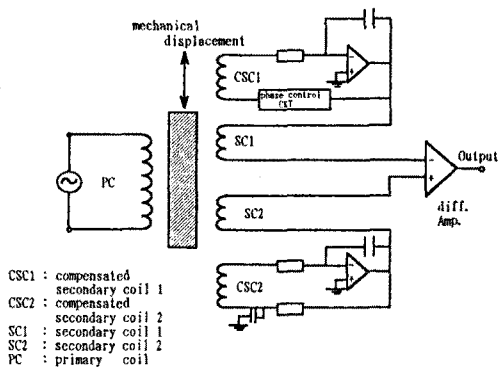


Fig. 1 Schematic representation of the proposed LVDT with current boost circuit

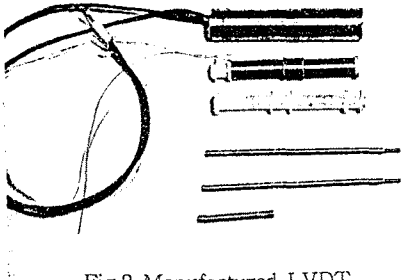


Fig. 2 Manufactured LVDT

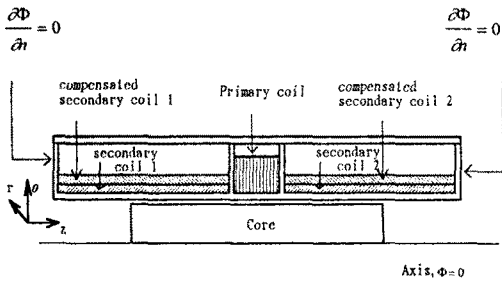


Fig. 3 LVDT as modeled, with the r , z and θ co-ordinate direction

데 이들의 코일은 전류증폭기의 출력에 연결되어 있다. 보상용 2 차 코일 CSC1과 CSC2는 양쪽 2 차 코일 위에 균등히 감겨 있으며, 보상용 2 차 코일에 유도된 전압은 증폭기의 입력단에 연결되어 증폭기를 통하여 증폭된 전류를 2 차 코일에 더해 준다.

2.2 새로운 LVDT 모델

LVDT의 모델은 자속을 발생시키는 1 차 코일과 2 차코일, 그리고 자성체 코어로 구성되어 진다. 제안된 LVDT의 자속분포는 경계조건과 기하학적 형상으로 부터 얻어지는 전류밀도 그리고 재료의 성질로 부터 Maxwell Equation의 수치해석으로 부터 얻었다. LVDT는 그림 3에서 보여주는 것과 같이 원통좌표로 나타낼 수 있으므로 지배 방정식은 다음과 같다.

$$\nabla \times B = \mu J \quad (1)$$

$$\nabla \times A = B \quad (2)$$

$$\nabla \cdot A = 0 \quad (3)$$

해석모델이 대칭이므로, 식 (1)은 (r, z) 평면에서 2차원 방정식으로 고쳐질 수 있다.

$$\frac{\partial B_r(r, z)}{\partial z} - \frac{\partial B_z(r, z)}{\partial r} = \mu(J_{\theta 1} + J_{\theta 2})(r, z) \quad (4)$$

Stokes 정리에 의해서,

$$\phi(r, z) = 2\pi r A_{\theta}(r, z) \quad (5)$$

각 성분형태로 식(2)를 풀어쓰고, 식(5)로 정의되어진 관계를 이용해서, 식(4)는

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} - \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial r} = -2\pi r \mu (J_{\theta 1} + J_{\theta 2}) \quad (6)$$

그림 3에서와 같은 경계조건을 이용하면, 식(6)의 해는 LVDT의 각 부분에서의 자속 $\phi(r, z)$ 를 나타낸다. 또한, 코일의 전류밀도는

$$J_{\theta 1} = \frac{N_1 I_1}{A_1}, \quad J_{\theta 2} = \frac{N_2 I_2}{A_2}$$

여기서,

$$N_1 = \text{1 차 코일의 권선수}$$

$$N_2 = \text{2 차 코일의 권선수}$$

$$A_1 = \text{(r, z) 평면에서 1 차 코일의 면적}$$

$$A_2 = \text{(r, z) 평면에서 2 차 코일의 면적}$$

그림 4와 그림 5는 일반적 LVDT와 새로 제안된 LVDT를 FEM에 의하여 그린 자속 분포로 각각 나타 내었다.

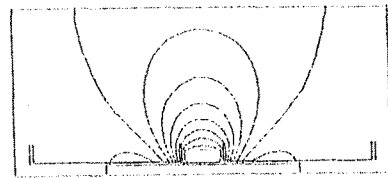


Fig. 4 Flux line plot for general LVDT

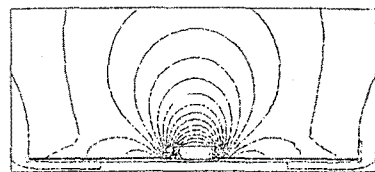


Fig. 5 Flux line plot for proposed LVDT

그림 6은 두 형태의 LVDT 코어 표면에서의 자속

분포를 도표로 나타낸 것이다. 이에 따르면, 2 차 보상코일을 가진 LVDT에서 자속증가를 나타내고 있음을 알 수 있다.

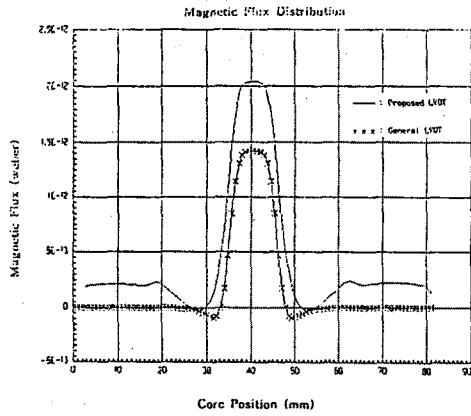


Fig.6 Magnetic flux distribution for general and proposed LVDT

3. 결과와 실험

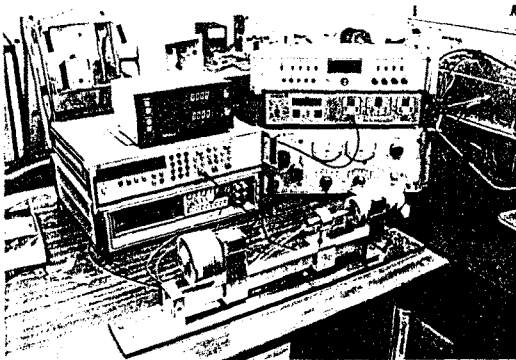


Fig. 7 The Experimental System for Testing of the LVDT

	General LVDT	Proposed LVDT
Core length	47 mm	47 mm
Core diameter	4.7 mm	4.7 mm
Core material	iron	iron
1st winding length	10 mm	10 mm
2nd winding length	2×35 mm	2×35 mm
Number of 1st winding	820	818
Number of 2nd winding	2×3460	2×692
-Compensating winding		2×698
Total length	85 mm	85 mm
Total diameter	10 mm	10 mm

Table 1. Comparison of dimension for general and proposed LVDT at 2 kHz, 1.5 V_{rms}

이들의 특성을 비교 검토하기 위하여 각각을 제작하여 그림 7과 같은 실험장치를 구성하여 실험을 하였다. 즉, LVDT는 동일 재질과 동일 길이의 코어, 같은 1 차 권선 그리고 같은 크기의 공급원으로 실험 되었다. 시험용 공급원은 주파수 2 kHz, 진폭 1.5 V_{rms} 이며, Table 1은 두 형태의 LVDT에 대한 치수를 비교하여 요약한 것이다.

그림 8은 영점(Zero Point)에서부터 코어 변위에 따라 출력되어지는 값을 가지고 최소자승법을 사용하여 비선형도를 나타내었다. 결과로부터 비선형 오차는 제안된 보상권선과 회로를 사용하므로써 많이 개선되었음을 알 수 있다.

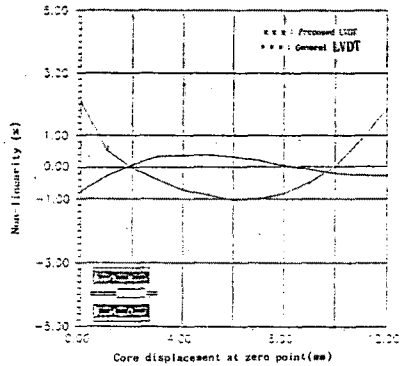


Fig. 8 Non-linearity error for general and proposed LVDT (Experimental Value)

4. 결론

FEM에 의한 자속분포로부터 얻어진 결과를 이용하여 2 차 권선에 보상권선을 설치한 LVDT의 특성을 결정하는 자료를 얻었다. 이로부터 1 차측의 권선방식을 변화시키고, 2 차측 보상권선을 실시하는 새로운 LVDT를 제작하고 실험한 결과, 계측범위를 결정하는 직선성 등의 특성이 일반 LVDT의 특성보다는 매우 양호함을 볼 수 있었다.

참고 문헌

1. P. D. Afkinson and R. W. Hynes, 2, 1954, Elliot Journal
2. F. Abdullah, L. Finkelsstein and M. M. Rahman, Instrument System Center, the City University, London, 1976
3. S. C. Saxena & S. B. L. Seksena, IEEE. IM. Vol. 38, No. 3, 1989
4. Y. T. Park, Kor. Appl. Phys., 2(2), 347-351, 1989