

변위측정용 LVDT의 개선에 관한 연구

박 영 태, 권 성 원, 강 전 흥

Study on Improvement of a LVDT for Displacement Measurements

Y. T. Park, S. W. Kwon, J. H. Gang

요 약

LVDT는 독립적으로 움직일 수 있는 코어의 변위에 비례하여 전기적 출력을 나타내는 전기기계적 트랜스듀서이다. 기존의 일반적 LVDT는 구조적으로 측정범위에 대해 크기의 비가 작은 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 개선하기 위하여, 새로운 형태의 LVDT를 제안하였고 동일한 치수와 코어를 가진 두가지 형태의 LVDT에 대하여 FEM 해석을 통하여 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션한 결과를 토대로 이들을 제작하여 그 특성을 비교하였으며 시험결과 측정범위 ± 5 mm 에서 일반 LVDT는 ± 3 %의 선형도를 나타내었으며, 본 연구에서 제안한 LVDT는 ± 0.5 %의 선형특성을 나타내었다. 따라서 이론적 결과와 실험적 결과를 통하여 기존의 LVDT보다 제안된 LVDT의 특성이 우수함을 확인할 수 있었다.

Abstract

A LVDT is an electromechanical transducer that produces an electrical output proportional to the displacement of separate movable core. A conventional LVDT in construction has a disadvantage which the measurement range to the length ratio is small. This paper proposed a new type LVDT, which improved methodes of construction. The proposed LVDT and a conventional LVDT with the same dimension are simulated by FEM. In the process of the simulation and construction, the performance of two type LVDTs are evaluated. Linearity error of a conventional LVDT was ± 3 % in measuring range of ± 5 mm and linearity error of the proposed LVDT was ± 0.5 % in the same range. It was evident from the theoretical relationships and the experimental results that the proposed LVDT has been better performance than a conventional type.

1. 서론

계측, 감시, 기록, 제어를 목적으로 하는 공학과 산업분야에서 트랜스듀서는 매우 중요한 역할을 하고 있다. 트랜스듀서는 여러 형태의 다른 환경에서 계측장

치로 사용되어진다. 특히 전자기적 특성 변화를 이용하는 트랜스듀서는 전자기 차폐와 계측대상의 구조적 형태에 적절히 적용함에 따라 환경변화에 대한 영향을 적게 받으면서 특성이 우수한 트랜스듀서로 사용이 가능하며 이러한 형태의 트랜스듀서는 대부분 변위(displacement)측정을 기본으로 하고 있다.

자기적 변위트랜스듀서는 기능적으로 4가지로 구분되어진다. 입력의 기계적 변환, 기계적 변환을 자기적 변환으로 바꾸는 센서, 센서에서 감지되어진 신호를 전기적 신호로 변환하는 신호변환, 신호변환에 의하여 기

계적 입력변위에 대응된 전기량의 표시장치 등으로 이루어진다. 기계적 입력변위를 자기적 변환으로 바꾸는 센서는 입력변위 변화에 대하여 여러가지 자기적 소자 변환방식을 사용한다. 자기적 소자변환방식을 사용하는 센서는 사용되는 대상, 피측정체의 형태, 구조적 기능 등에 따라 달라진다.

기계적 입력변환을 코일이나, 코일을 사용한 시스템의 자기적 변환으로 동작시키는 변위트랜스듀서는 크게 두 가지로 분류한다. 첫째, 기계적 변위에 따라 push-pull 형태로 연결된 두 코일들 사이의 자속쇄교(flux linkage)의 변화를 일으키게 하는 트랜스듀서로 "가변 인덕턴스, 가변 자기저항, 혹은 가변 퍼미언스 트랜스듀서"라고 부른다. 둘째, 기계적 입력변위가 1차 코일과 2차코일 사이에서 발생하는 자속의 변화, 즉 상호인덕턴스를 변화시키는 트랜스듀서로서, 이러한 형태에 속하는 트랜스듀서를 LVDT(Linear Variable Differential Transformer : 차동변환기)라고 한다.

피측정물의 변위를 기계적 변화로 감지하여 나타내는 LVDT는 상호인덕턴스 변화를 이용하는 대표적 변위트랜스듀서이며 기계적, 전기적으로 분리되어 움직일 수 있는 코어(core)의 변위에 비례하여 전기적 출력이 발생된다.

가장 간단한 형태로써 LVDT는 1930년대 부터 일반산업에 부분적으로 활용되기 시작하였지만[1] 측정대상에 대한 효과적인 응용과 설계에 대한 기술이 부족하여 상품화하는데 많은 시간이 걸렸다. 그러나 오늘날 잘 개선된 LVDT는 수 내지 수십 마이크로미터 까지 변위를 직접 측정할 수 있으며 위치, 온도, 진동, 가속도, 압력, 힘, 레벨, 유속 등과 같은 물리적 양을 측정하는데 사용되고 있다[2-7]. 또 극한 주위환경에서도 재현성과 정확도가 우수하기 때문에 군수산업과 항공산업 분야의 트랜스듀서로 활용되고 있다. 그러나 Atkinson과 Hynes에 의해 현대의 일반적 모델이 된 LVDT[8-13]는 구동체인 코어가 중심에서 멀어질수록 선형도가 악화되며 이러한 것을 개선하기 위하여 구조의 치수가 커져야 하고 코어의 길이도 길어져, 측정범위가 작은 영역에서 사용되는 LVDT인 경우 측정범위에 비해 구조가 커지는 비효율적인 문제점을 지니고 있다. 본 연구에서 비효율적인 구조를 개선하기 위하여 새로운 형태의 LVDT를 제안하고 동일한 치수와 코어를 가진 일반적인 형태의 LVDT와 함께 FEM(Finite Element Method) 해석을 통하여 시뮬레이션하

였다. 그리고 시뮬레이션한 결과를 토대로 이들을 제작하여 그 특성을 비교하였으며 시험결과 측정범위 ± 5 mm 에서 일반 LVDT는 ± 3 %의 선형도를 나타내었으며, 본 연구에서 제안한 LVDT는 ± 0.5 %의 우수한 선형특성을 나타내었다.

II. LVDT의 동작원리와 제안된 LVDT

LVDT는 상호인덕턴스 변화를 이용하는 트랜스듀서이며 기계적, 전기적으로 분리되어 움직이게 할 수 있는 코어의 변위에 비례하여 전기적 출력이 발생된다.

Atkinson과 Hynes에 의한 가장 간단한 형태이면서 현대의 일반적 모델이 된 LVDT[8]는 그림 1(a)와 같이 코일을 감는 보빈과 기계적 변위를 감지하는 코어, 코어를 지지해 주는 지지봉, 외부에서 발생하는 자기적 간섭과 1차와 2차코일 사이에 발생하기 쉬운 와전류를 제거하기 위한 차폐케이스, 그리고 기계적 변위를 전기적 신호로 바꾸어 주는 코일로 구성된다. 전기적 절연이 우수한 원통형의 보빈은 코일을 감을 수 있게 3부분으로 나누어지며 중간 부분에 신호 발생전원을 공급하는 1차코일(primary coil)을 감고 1차측으로 부터 동일한 간격을 유지하면서 대칭적으로 동일한 모양을 가진 2차코일(secondary coil)을 감아서 외부적으로 반대 방향으로 직렬 연결되어 있다. 자성체코어의 운동은 각각의 2차코일에서 발생하는 여기전압을 일으키게 하는 1차와 2차코일의 상호인덕턴스를 변화게 한다. 그림 1(b)는 코어의 기계적 변위와 1, 2차코일에 대한 간단한 전기회로를 나타내었다. 만약 코어가 2차코일 중간에 위치한다면 각각의 2차에 유기되는 기전력은 동일하고 180° 의 위상을 유지하기 때문에 출력은 영(zero)이 된다. 그런데 코어가 움직여서 중간을 벗어 난다면 한편의 2차와 1차 사이의 상호인덕턴스는 다른 쪽 2차와의 사이에 발생하는 상호인덕턴스보다 크게되어 서로 직렬로 연결되어 있는 2차 출력단자에서 차동전압(differential voltage)이 발생된다.

코어와 코일 사이에는 실질적인 마찰이 없으며, 코어와 보빈 사이의 마찰에 의한 미소한 마모는 출력에 영향을 주지 않는다. 또 코어의 크기가 작고 마찰이 적으므로 동적측정(dynamic measurement)에 대하여 응답특성을 높일 수 있고 기계적 과부하에 의한 영향이 없다.

그러나 이러한 LVDT는 코어가 양쪽 끝으로 이동할

수록 선형도가 악화된다. 이것은 LVDT 양단에서 발생하는 누설자속과 코어의 자화가 균일하지 못하고 자속밀도가 감소되므로 발생하는 일반적인 현상이다. 이러한 영향을 피하기 위하여 측정범위에 비해 LVDT 자체를 길게 설계하게 되며 동시에 코어의 크기도 길어지게 된다. 그리고 코어의 최대변위는 LVDT 안으로 한정되며 코어가 밖으로 나오면 선형측정이 불가능하게 된다.

그러나 이러한 문제를 개선하기 위하여 구조적으로 새로운 형태의 LVDT를 그림 1(c)에 나타내었다. 제안된 LVDT의 1차코일은 일반적인 LVDT의 1차코일 보다 적게 감는 대신 2차코일을 두 부분으로 나누어 안쪽은 많이 감고 바깥은 적게 감아 다른쪽 2차코일 부분과 같이 대칭이 되도록 하였다. 이렇게 하는 이유는 코어가 이동하면 이동하는 방향의 2차코일에서 발생하는 인덕턴스 변화는 증가하고 반대방향의 2차코일

에서 발생하는 인덕턴스 변화는 감소하는데, 감소하는 쪽은 코어가 바깥쪽으로 이동함에 따라 크게 증가하게 된다. 반대로 코어가 진행하는 쪽 2차코일의 인덕턴스는 코어가 점점 LVDT의 끝으로 진행함에 따라 누설 인덕턴스와 코어의 자화에 의한 영향 때문에 전체적으로 적게 증가하게 된다. 그리고 코어가 계속 진행되어 LVDT 몸체 밖으로 나와도 2차측의 증가하는 쪽과 감소하는 쪽이 서로 보완 관계를 가지게 하므로써 코어의 변위에 비례하여 선형적인 출력특성을 가진다.

III. LVDT의 이론적 해석과 설계

Atkinson과 Hynes는 1차코일에 의해 발생하는 자속 분포를 가정함에 의해 간단한 모델을 개발하였다. 그림 1(a)에 나타낸 바와 같이 선형적으로 변하는 1차코일 지역을 통과하여 코어의 양쪽 바깥 부분의 자속 분포는 제로(0)로 하고 다른 두 지역은 일정한 상태로 가정하였다. 그러므로 이 모델은 코어 양단의 끝으로 부터 누설되는 자속을 무시하였고 차폐케이스에 의한 자속분포의 변형 또한 무시하였다. 그 결과 출력회로전압 $e = |e_1 - e_2|$ 로 해석되며

$$e = \mu_0 i \omega \beta_1 x (1 - \frac{x^2}{\beta_2}) \quad (1)$$

로 나타내었다. 여기서 β_1 과 β_2 는 LVDT의 형상과 라메타에 의하여 주어지는 함수를 나타내며 ω 는 1차코일에 공급되는 주파수, i 는 1차코일에 공급되는 전류, μ_0 는 자유공간에서의 투자율을 나타낸다.

그런데 이러한 해석모델에서 코어의 양쪽 끝 부분의 누설자속과 자기차폐 케이스 근처의 자속분포 변형을 무시하고 해석하기 때문에 정확도가 많이 떨어진다. 이러한 문제를 개선하기 위하여 F.Abdullah는 LVDT 내부의 형상적인 치수에 따라 명확한 자속분포를 해석하기 위한 field 모델을 개발하였다[10]. 이 field 모델은 자기차폐 영역 안의 1차코일에서 발생하는 자속과 코어가 움직임에 따라 발생하는 자속으로 구성된다. 인덕턴스와 같은 정보는 자속분포로부터 얻어지고, 이 자속분포에 의해 LVDT의 성능이 결정된다. 자속분포는 경계조건을 가진 Maxwell 방정식의 수치해석으로부터 얻어지며 전류밀도는 형상과 재료의 특성으로 부터 얻어진다.

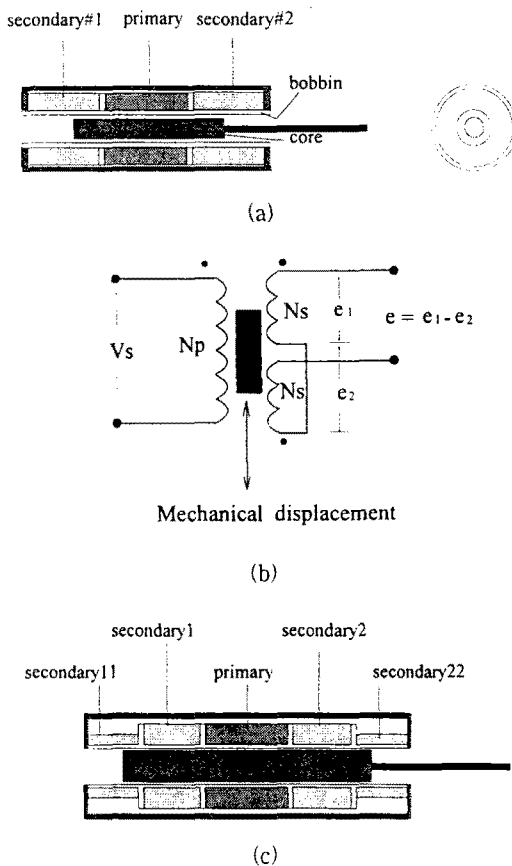


그림 1. LVDT의 구조와 동작원리
Fig. 1 The structure and principle of LVDT

변위전류를 무시한 Maxwell 방정식은

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (3)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (4)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (5)$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (6)$$

만약 μ 가 어떤 영역에서 균일하고 일정하다면 식(2)는 아래와 같이 된다

$$\nabla \times \vec{B} = \mu \vec{J} \quad (7)$$

이러한 가정과 함께 LVDT의 자속분포를 시뮬레이션함으로써 제작을 위한 설계 파라메터를 얻을 수 있다.

그림 2(a)와 (b)는 현재 사용되고 있는 일반적인 LVDT와 본 연구에서 제안된 LVDT를 FEM해석을 통하여 시뮬레이션하기 위한 것이다. LVDT가 축을 따라 대칭이므로 그림과 같이 원통좌표로 정의할 수 있다. 이 대칭좌표를 사용하면 식(7)은 r, z 상의 2차원 방정식으로 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial B_r(r, z)}{\partial z} - \frac{\partial B_z(r, z)}{\partial r} = \mu J_\theta(r, z) \quad (8)$$

벡터포텐셜 \vec{A} 를 사용함에 의해서 중심(0, z)과 반경 r를 통과하는 자속 Φ 를 표현할 수 있다. 벡터포텐셜 \vec{A} 는 다음과 같이 정의된다.

$$\nabla \times \vec{A} = \vec{B} \quad (9)$$

$$\nabla \cdot \vec{A} = 0 \quad (10)$$

Stoke의 이론을 적용하면

$$\Phi(r, z) = 2\pi r A_\theta(r, z) \quad (11)$$

으로 쓸 수 있으며 식(8)은 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} - \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} = -2\pi r \mu J_\theta \quad (12)$$

적절한 경계조건을 가진 미분 방정식(12)의 해는 LVDT 모든 위치에서의 자속 $\Phi(r, z)$ 를 얻는다. 이 미분방정식은 변위전류와 와전류를 무시하고 있으며 코어표면과 자기차폐 케이스는 투자율이 매우 높기 때문에 이들 표면에서의 경계조건은

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0 \quad (13)$$

으로 나타낸다. 여기서 n 방향은 고투자율의 표면에서 안으로 향하는 법선 방향이다. 따라서 z축을 따라서 경계조건은 $\Phi = 0$ 이 되며 $J_\theta = \frac{NI}{A}$ 이다. 여기서 N은 코일 권선 수, A는 (r,z)평면에서 코일의 면적을 나타낸다.

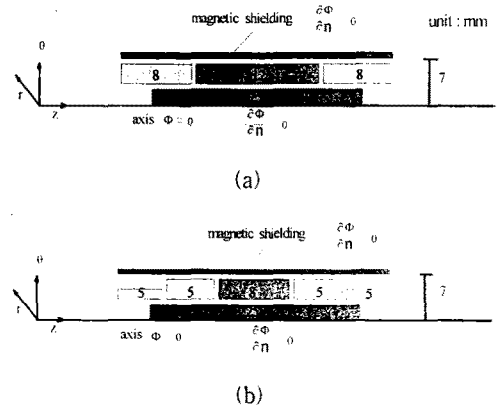


그림 2. (a) 일반적인 LVDT의 해석모델, (b) 제안된 LVDT의 해석모델

Fig. 2. (a)Analytical model of general LVDT, (b) Analytical model of the proposed LVDT

1차코일에 공급되는 전류 i와 가동체 코어에 의해 발생하는 자속 Φ 는 가동체 코어의 변위에 따라 1차코일 양쪽에 있는 2차코일을 통과하여 이들의 인덕턴스를 변화시킨다. 이때 2차코일에 발생하는 인덕턴스는 1차코일에 흐르는 전류가 흐를 때 자장으로 저장되는 자기에너지 U와 관계가 있다.

$$U = \frac{1}{2} \int_V \vec{B} \cdot \vec{H} dV \quad (14)$$

식(14)에서 인덕턴스를 계산하기 위하여

$$U_a = \frac{1}{2} L_a i^2, \quad U_b = \frac{1}{2} L_b i^2 \quad (15)$$

의 관계식을 사용하는데 여기서 U_a 와 U_b 는 각각의 2차 코일에 저장되는 자기에너지를 나타내고 L_a 와 L_b 는 각각의 인덕턴스를 나타낸다. 그리고 2차코일의 인덕턴스 L_a 와 L_b 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$L_a = \frac{2U_a}{i^2}, \quad L_b = \frac{2U_b}{i^2} \quad (16)$$

따라서 LVDT 2차의 출력 인덕턴스의 변화는 $L = L_a - L_b$ 로 나타내어져 가동코어의 위치가 LVDT 중간에 위치할 때 출력은 나타나지 않는다.

그림 2에 나타낸 치수는 원통형 보빈에 감겨 있는 코일들과 코어의 축방향 길이를 나타내었으며 단위는 mm이다.

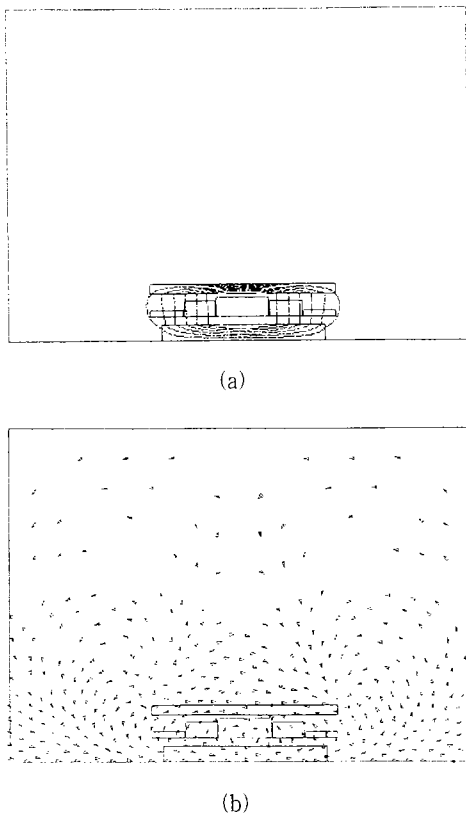
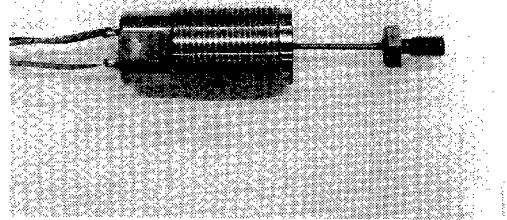


그림 3. (a) 제안된 LVDT의 자속분포 (b)자속방향
Fig. 3. (a)Flux distribution of the proposed LVDT, (b)Arrow plot of the flux

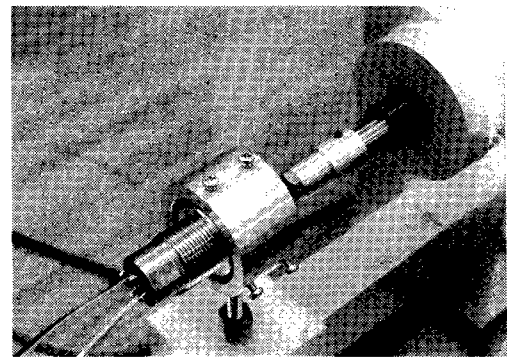
그림 3은 제안된 LVDT의 경우, 코어가 중간 위치에 있을 때 FEM 해석에 의한 자속 분포와 자속방향을 나타내었다.

IV. LVDT의 제작과 특성시험

시뮬레이션 결과에 의해 LVDT를 제작하고 특성을 시험하였다. 그림 4(a)는 제작된 LVDT를 나타내었고 그림 4(b)는 특성시험을 위한 시스템을 나타내었다.



(a)



(b)

그림 4. (a)제안된 LVDT, (b) 시험장치

Fig. 4. (a)The proposed LVDT (b)Testing system

LVDT는 보빈, 코어 그리고 외부원통으로 구성되어 있다. 코일을 감는 보빈은 강도를 높이기 위하여 스테인레스를 사용하여 제작하였다. 보빈의 안쪽은 코어가 삽입되어 왕복운동을 하기 때문에 마찰에 의한 마모를 줄일 수 있게 표면을 매끄럽게 하였다. 또 외부의 습기와 부식환경, 온도 등을 고려하여 내부는 수지로 몰딩하였다.

LVDT의 외부는 길이 35 mm, 직경 16 mm, 코어의 길이 25 mm, 직경 4.7 mm로 제작하였다. 외부 원통은 순철을 가공하였으며 코어는 철-니켈의 합금을 가공한 후 수소 분위기에서 열처리하였다. 코어의 끝에는 비자성체의 지지봉이 연결되어 있어서 외부의 기계적 변위에 대해 외부와의 자기적 경로를 차단하면서 코어가 변위되도록 하였다. 제안된 LVDT인 경우 1차 코일은 2800회, 2차코일의 안쪽은 1200회, 바깥쪽은 450회를 각각 감았으며 직경 0.09 mm의 코일을 사용하였다.

그림 5는 일반 LVDT와 제안된 LVDT의 FEM 해석을 통한 이론적 결과와 실험을 통한 결과를 비교하여 나타내었다. 해석은 코어의 변위를 한 방향으로만 변화시켜 가면서 실행하였다. FEM 해석은 코어의 변위에 따라 2차측코일을 쇠교하는 자속을 구하고 이 자속에 의한 자기에너지를 통하여 인덕턴스를 계산한다. 이때 코어의 각 변위지점에서 계산된 인덕턴스를 최대 인덕턴스 값으로 나누어 그림 5의 종축에 per unit의 단위로 나타내었다. 마찬가지로 실험을 통하여 얻어진 출력전압도 최대출력전압으로 나누어 per unit의 단위로 표시하였다.

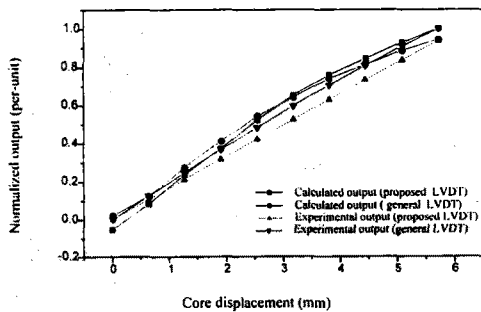


그림 5. 이론적 결과와 실험적 결과의 비교

Fig. 5. Comparison of results between theoretical output and experimental output

해석을 통하여 얻은 결과와 실험을 통하여 얻은 결과는 대체로 비슷한 출력 경향을 나타내었으나 실제와 차이가 나타남을 알 수 있었다. 이론적 해석과 실험적 결과가 차이가 나는 이유는 여러 가지로 생각할 수 있다. 먼저 FEM 해석에는 정자계(magnetostatic)로 해석하는 데 실제 동작에는 교류를 공급하여 시험하므로 해석과 실험은 다른 조건이라고 생각된다. 또 해석에

서 출력은 외부와 연결된 측정기기의 입력임피던스, 측정 부하 등을 고려하지 않으므로해서 발생하는 차이, 그리고 코일 사이에 발생하는 캐패시턴스의 영향, 와전류 영향의 무시 등을 생각할 수 있다.

해석에 의하여 나타난 결과를 살펴보면 제안된 LVDT가 일반 LVDT보다 선형도가 우수함을 알 수 있다. 그러나 코어의 변위가 2.5~3.5 mm 사이에서 부터 이들 출력의 선형도가 악화되는 경향을 보이고 있으며 일반 LVDT인 경우 더 악화되고 있다. 이것은 이 변위지점에서 부터 코어가 LVDT몸체 밖으로 나오므로 코어끝의 누설자속이 증가되기 때문이다. 또 코어가 왼쪽의 2차코일 중 바깥코일 부분을 통과할 때 2차코일 사이의 절연 갭 부분의 해석이 사각형 모양의 코어에서 발생하는 자속으로 해석되어져, 코어 모서리 부분에서의 균일하지 못한 누설영향을 받은 것으로 생각된다. 이러한 영향은 다른 어떤 영향보다 커서 이론적 해석결과가 실험적 결과 보다 출력특성이 악화된 결과라고 생각된다.

실제 실험에서 사용되어진 코어는 이러한 모서리 부분에서의 영향을 고려하여 끝 부분을 둥그스름하게 처리하였다. 이러한 결과는 실험을 통하여 확인할 수 있었다. 실험결과는 해석을 통하여 얻어진 결과보다 더 우수한 선형도를 나타내었으며 제안된 LVDT인 경우 측정범위 안에서 매우 직선적인 결과를 얻을 수 있었다.

그림 6은 실험을 통하여 얻어진 LVDT들의 출력을 나타내었다. 코어를 제로(0)지점에서 부터 양방향으로 변위시켜 출력된 전압을 디지털 전압계로 읽은 것이다. 시험에 사용되어진 공급전압은 26 Vrms, 400 Hz이며 제로 지점에서 발생하는 영전압(null voltage)은 모두 10 mV 미만이었으며 제안된 LVDT의 경우 감도는

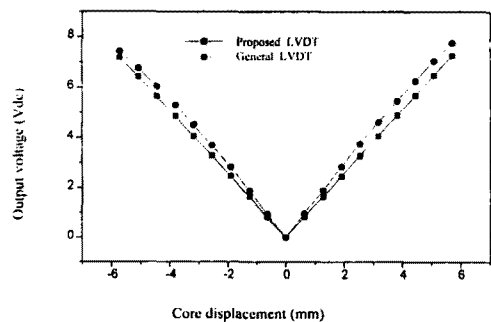


그림 6. 제작된 LVDT의 출력전압

Fig. 6. Output voltage of the constructed LVDTs

48/mV/mm/V를 나타내었으며 감도는 출력전압(mV)/변위(mm)/입력전압(V)로 정의한다. 이 LVDT는 일반적인 용도에도 사용할 수 있으나 특별히 군수산업에 활용하기 위하여 설계되었기 때문에 크기가 작고 측정범위가 넓으며 고정 주파수와 고정 전압에 동작되도록 하였다.

실험을 통하여 얻어진 출력의 선형도를 그림 7에 나타내었다. 코어의 변위범위 ±5 mm에서 제안된 LVDT와 일반 LVDT의 출력 선형도를 나타내었다. 제안된 LVDT인 경우 ±0.5 %의 선형도를 나타내었으나 일반 LVDT인 경우 ±3 %의 특성을 나타내었다. 따라서 본연구에서 제안한 LVDT는 동일한 크기의 일반 LVDT보다 우수함을 나타내었다. 다만 일반 LVDT의 권선방법보다 까다롭고 코일을 감을 때 특별한 기술이 필요하다.

LVDT의 선형도 E(x)는 AS 1514(1980), 혹은 BS 5233(1975)에 의해 다음과 같이 정의 한다.

$$E(x) = \frac{V(x) - V(x)'}{V_{max}} \times 100\% \quad (17)$$

V(x)는 코어가 x 지점에 위치할 때의 출력을 나타내고 V(x)'는 최소자승법에 의하여 x지점에서 얻어진 출력값을 나타낸다. 그리고 V_{max}는 최대 출력을 나타낸다.

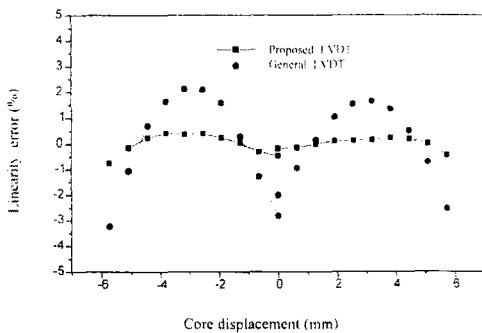


그림 7. 제작된 LVDT의 선형도 비교

Fig. 7. Comparison of linearity error between constructed LVDTs

제안된 LVDT의 온도특성을 측정하기 위하여 -30℃에서부터 70℃까지 변화시키면서 입력전압의 변화

와 출력전압의 변화를 측정하고 그림 8에 그 변화를 나타내었다. 20℃에서 측정된 값을 중심으로 각각의 온도에서 측정된 값을 비교하여 백분율로 나타내었다. 온도변화와 동시에 습도의 변화도 중요하므로 실험의 편리를 도모하기 위하여 습도는 50% RH로 고정하고 온도를 변화 시켰다. 실험결과 변환상수 편위는 0.02%/℃의 온도 특성을 나타내었는데 일반 LVDT가 요구하는 온도특성을 충분히 만족하고 있다.

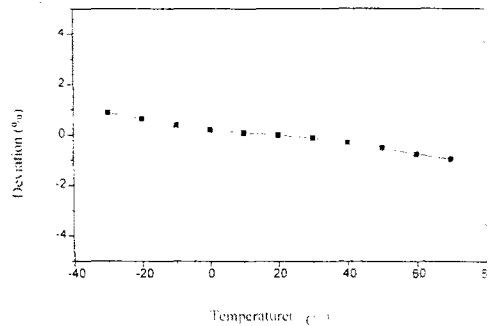


그림 8. 온도변화에 의한 영향

Fig. 8 Effect for temperature variation

V. 결론

오늘날 잘 개선된 LVDT는 수 마이크로 미터에서 수십 마이크로미터 까지 변위를 직접 측정할 수 있으며 온도, 진동, 가속도, 압력, 힘, 레벨, 유속 등과 같은 물리적 양을 측정하는데 사용되고 있다. Atkinson과 Hynes에 의해 현대의 일반적 모델이 된 LVDT는 구동체인 코어가 중심에서 멀어질수록 선형도가 악화되며 이러한 것을 개선하기 위하여 구조의 치수가 커져야하고 코어의 길이도 길어져, 측정범위가 작은 영역에서 사용되는 LVDT인 경우 측정범위에 비해 구조가 커지는 비효율적인 크기를 가지게 된다.

본 연구에서 비효율적인 구조를 개선하기 위하여 새로운 형태의 LVDT를 제안하고 동일한 치수와 코어를 가진 일반적인 형태의 LVDT와 함께 FEM 해석을 통하여 시뮬레이션하였다. 그리고 시뮬레이션한 결과를 토대로 이들을 제작하여 그 특성을 비교하였으며 시험 결과 측정범위±5 mm에서 일반 LVDT는 ±3%의 선형도를 나타내었으며, 본 연구에서 제안한 LVDT는 ±0.5%의 우수한 선형특성을 나타내었다.

참고문헌

- [1] H. Schaevitz, "The linear variable differential transformer", SESA, Vol. No.2, 1946
- [2] Y. Kano, S. Hasebe and C. Huang, "New type LVDT position transducer", IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-38, pp.407-409, 1989
- [3] S. C. Saxena and S. B. L. Seksena, "Inductive ratio transducer instrumentation system for displacement measurement", Meas. Sci. Technol. 1, pp.475-480, 1990
- [4] K. S. Norton, "Handbook of transducers for electronic measuring systems", Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, 1968
- [5] K. S. Lion, "Instrumentation in scientific research", New York McGRAW- HILL, pp.44-56, 1962
- [6] K. Ara, "A differential transformer with temperature and excitation-independent output", IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-21, pp.249-255, 1972
- [7] Wouterse, "Inductive position transducer with transverse excitation", Technisches Messen 54, No.1, pp.15-19, 1987
- [8] P. E. Atkinson & R. W. Hynes, "Analysis and design of a linear differential transformer", Elliot Journal 2, pp.144-149, 1954
- [9] H. K. P. Neubert, "Instrument transducer — An introduction to their performance and design", Clarendon Press, Oxford, pp.163-222, 1975
- [10] F. Abdullah, L. Finkelstein and M. M. Rahman, "The application of mathematical models in the evaluation and design of electromechanical instrument transducers", Instrument System Center, the city University, London, 1976
- [11] S. C. Saxena and S. B. L. Seksena, "A self-compensated smart LVDT transducer", IEEE. IM. Vol38, No.3, pp.748-753, 1989
- [12] T. Meydan and G. W. Healey, "Linear variable differential transformer(LVDT): linear displacement transducer utilizing ferromagnetic amorphous metallic glass ribbons", Sensor and Actuators A, 32, pp.582-587, 1992
- [13] Y. T. Park, et al, "Study on a linear variable differential transformer for precision measurement", Kor. Appl. Phys, 2(4), pp.347-351, 1989

 著 者 紹 介

박 영 태

『센서학회지제4권 제3호』 논문95-4-3-01, p.8 참조.
 현재 한국표준과학연구원 전자기연구부 선임연구원

권 성 원

『센서학회지제1권 제1호』 논문92-09, p.77 참조.
 현재 한국표준과학연구원 전자기연구부 책임기술원



강 전 홍

1963년 2월 8일생, 1988년 대전
 공업대학 전기공학과 졸업(학사),
 1996년 대전산업대학교 대학원 전
 기공학과 재학중, 현재 한국표준
 과학연구원 전자기연구부 전기그룹
 근무, 주관심분야 : 센서활용, 박막
 재료 특성연구