

테이블 방법을 이용한 절대위치 검출기에 대한 개선된 위상 오차 보상

An Improved Phase Error Compensation for an Absolute Position Detector using Table Method

안 기 호, 김 시 현, 양 윤 기, 이 창 수*
 (Ki-Ho Ahn¹, See-Hyun Kim¹, Yoon-Gi Yang¹, and Chang-Su Lee¹)
¹The University of Suwon

Abstract: Existing error compensation method of industrial electronic absolute displacement detector only depends on skilled engineers. This paper proposes a new table method in order to automatize error compensation. An waveform changes according to the parallel resistance for each pole were tabularized and four waveforms were superimposed to minimize total phase error. These process was verified using simulink. As a result of applying proposed method to the real sensor, peak to peak error was reduced from 3.428° to 0.879°. In this case, compensation resistance is 4.7kΩ in B pole and 20kΩ in C pole. This compensation rate is comparable to skilled engineers, and it takes 0.8 second which is far shorter than 15 minutes when expert does.

Keywords: RVDT (Rotary Variable Differential Transformer), absolute rotary encoder, mutual inductance

1. 서론

제철, 제강을 비롯한 산업현장에서 사용하는 산업용설비들은 점점 다양해지고 있다. 이에 따라 공장자동화가 급속히 진행되면서 고정밀도와 강한 내구성을 만족시키는 장비들의 수요가 증가하고 있다. 본 논문에서 연구한 RVDT 센서는 프레스와 같은 회전기기의 절대위치를 감지하고 정해진 회전각에서 위치정보를 발생하는 장비이다.

기존의 기계식 방법은 위치 정보를 기계적인 캠을 사용한다. 기계적인 캠을 사용함으로써 약한 내구도, 정확한 위치 설정의 어려움, 긴 장비설정 시간, 각도 조정과 스위치의 교환이 용이하지 못하다는 문제점이 발생한다. 하지만 전자기적 방법을 사용한 트랜스듀서는 자기적 특성 변화를 이용하는 방법으로 외부에서 간섭을 일으킬 수 있는 전자기파에 대해 독립적으로 작동한다. 이렇게 되면 상대적인 누적 오차 문제가 발생하지 않으며, 장비를 켤 때마다 원점을 설정해야하는 과정을 생략할 수 있다.

이런 자기적 변위 트랜스듀서는 직선으로 움직이는 기계적 변화에 대응하는 직선형 가변 차동 변압기(LVDT: Linear Variable Differential Transformer)와 회전하는 기계적 변화에 대응하는 회전형 가변 차동 변압기(RVDT: Rotary Variable Differential Transformer)로 나뉜다. RVDT는 장비의 절대 위치를 검출하는 트랜스듀서로 회전하는 변압기의 원리를 이용하는 센서이다[1-6].

RVDT는 회전각도 측정이 가능하도록 고안된 센서이다. 그림 1과 같이 자성체로 이루어진 편심 rotor와 4개의 극으로 이루어진 stator로 구성되어 있다. 4개의 극에는 1차 코일과 2차코일이 감겨져 있는데 1차 코일에는 정현파와 여현파가 인가된다. 한쪽 극에 치우치도록 고안된 편심 rotor가 회전함에 따라 2차 코일에 유도되는 상호 인덕턴스의 변화로 변위 측정이 가능해진다. 그러나 구조적으로 90°씩 떨어져 있는 2차 코일의 인덕턴스가 코일의 회전수, 지름 등이 균일하지 않고 편심 rotor가 정확한 위치에 놓이지 않는 등 생산 오차와 1차 코일에 인가되는 정현파들이 일정하지 않아 회전에 따른 오차가 발생한다.

기존의 위상 오차 보상방법[7,8]은 오차파형을 관찰하여 오차의 첨두간 값을 최소화하기 위한 병렬저항의 위치를 경험적으로 알아내기 때문에 반복 수행이 필요하며 시간이

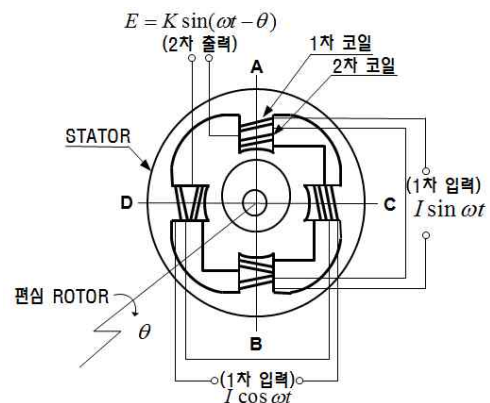


그림 1. RVDT센서의 구조.
 Fig. 1. The structure of RVDT.

* 책임저자(Corresponding Author)
 논문접수: 2010. 5. 7., 수정: 2010. 7. 9., 채택확정: 2010. 7. 16.
 안기호, 이창수: 수원대학교 전자공학과
 (zealguy@suwon.ac.kr/cslee@suwon.ac.kr)
 김시현, 양윤기: 수원대학교 정보통신공학과
 (seehyun@suwon.ac.kr/ygyang@suwon.ac.kr)

오래 걸리는 단점이 있다. 이를 개선하고자 [9]은 오차파형을 측정하고 네 극에 삽입가능한 모든 보상 저항을 사용해 연산을 한 후 최대의 보상을 보이는 저항을 선택하였다. 하지만 이 방법은 보상저항을 찾기 위해 삽입 가능한 모든 저항에 대해 연산하므로 시간이 오래 걸려서 실시간 처리가 어렵기 때문에 현장에 적용할 수 없었다.

본 논문에서는 위의 두 가지 방법의 단점을 극복하고자 각 극에 대한 병렬저항의 집합에 따른 위상오차를 테이블화하고 이어서 오차파형을 중첩하여 테이블 내에서 오차의 첨두값을 최소화하는 병렬저항의 조합을 찾아내었다. 이때 소요되는 연산시간도 획기적으로 단축하였다.

구체적으로 제안된 테이블 방법은 각 극의 저항 변화에 따른 출력파형을 테이블로 작성하고, 입력된 오차파형과 비교해 최적의 보상저항을 찾아내는 방법이다. 이의 검증을 위하여 모의실험으로 사용가능함을 확인하였고, 이를 실제 RVDT 센서에 적용해 병렬저항을 알아내었고 실시간으로 처리하였다.

II 장은 RVDT의 기본적인 동작원리, III 장에서는 오차 보상의 자동화를 위하여 모의실험으로 테이블 방법의 사용가능함을 확인하였다. IV 장에서는 실제 센서에 대하여 제시된 위상오차방법을 적용하여 위상오차를 보상하였고, 이의 효율성을 확인하였다. V 장에서는 논문의 결론을 다루었다.

II. RVDT의 기본 동작원리

RVDT는 상호인덕턴스 변화를 이용하는 트랜스듀서이며 전기적으로 분리되어 회전하는 편심 rotor에 의해서 자기적 변화가 발생하고, 그 양에 비례해 2차 코일에 인가되는 전기적 출력이 변화된다. RVDT의 구조는 4개의 극이 서로 대치되는 극에 음 위상이 순차적으로 연결된 코일이다. $I\sin\omega t$ 와 $I\cos\omega t$ 의 교류전류가 1차 코일에 입력 될 때, 자기장은 신호를 갖는 rotor와 일치하는 각 극에 모두 생성된다. 즉, 그림 1에서 $I\sin\omega t$ 와 $I\cos\omega t$ 의 교류가 1차 코일의 각 극에 대해 입력될 때 자기저항은 편심 rotor와의 격차 또는 rotor의 톱니가 겹쳐지는 영역의 연속적인 변화에 따라 변화한다. 각 극에 흐르는 자속밀도의 변화에 의해 2차 코일은 전압 $K\sin(\omega t - \theta)$ 이 유기되어 $I\sin\omega t$ 와의 위상차 θ 에 의해 0°에서 360°까지 회전각을 출력한다. 2차 코일 유기전압 E 는 (1)에 의해 유도된다[10].

$$\begin{aligned}
 E &= (e_1 - e_2) - (e_3 - e_4) \\
 &= \omega L_0(1 + a \cos\theta) I \sin\omega t - \omega L_0(1 - a \cos\theta) I \sin\omega t \\
 &\quad - \omega L_0(1 + a \sin\theta) I \cos\omega t + \omega L_0(1 - a \sin\theta) I \cos\omega t \\
 &= K \sin(\omega t - \theta)
 \end{aligned} \tag{1}$$

- e_i : i-극의 2차코일 유기전압,
- L_0 : 기준 인덕턴스,
- a : 각 극의 인덕턴스 변화계수,
- θ : rotor의 기계적인 회전각,
- I : 1차코일의 여기 전류 크기,
- ω : 1차코일의 여기 전기 각속도,
- K : $a\omega L_0 I$.

편심 rotor가 정방향으로 회전하는 이상적인 경우라면 출력정현파와 입력정현파의 위상차는 편심 rotor가 회전한 거리만큼 발생한다. 하지만 실제 RVDT 센서 네 극에 위치한 코일의 인덕턴스 값이 일치하지 않고 편심 rotor의 회전에 의해 출력파형은 이상적인 파형과 오차를 보인다. 또 다른 오차의 발생이유로 편심 rotor의 축이 틀어지거나 흔들리게 되는 경우 각 극의 상호인덕턴스 변화가 불규칙해 오차 보정이 불가능하다[11].

III. 위상 오차 분석 모의실험

이상적인 경우 출력정현파는 편심 rotor의 변화에 따라서 위상차가 발생하지만 실제 출력파형은 II장에서 말했던 오차의 요인들에 의해 오차를 가진다. A극의 인덕턴스 L_1 이 다른 극의 인덕턴스 L_0 보다 큰 경우 공식 (1)은 (2)와 같이 수정된다.

$$\begin{aligned}
 E &= (e_1 - e_2) - (e_3 - e_4) \\
 &= K \sin(\omega t - \theta) + K_1(1 + a \cos\theta) \sin\omega t
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 &K_1(1 + a \cos\theta) \sin\omega t \\
 &= \frac{K_1 a}{2} (\sin(\omega t + \theta) + \sin(\omega t - \theta)) + K_1 \sin\omega t
 \end{aligned} \tag{3}$$

여기서 K_1 은 $\omega(L_1 - L_0)I$ 이다. (2)의 두 번째 항 $K_1(1 + a \cos\theta) \sin\omega t$ 은 오차 항으로서 정리하면 (3)과 같고, 이식에서 나타내고 있는 것은 각 극의 인덕턴스 차이가 클수록 큰 오차 값을 가지게 된다는 것이다. 0°에서는 위상 오차가 없고, 또한 180°에서는 $K_1(1 + a)$ 가 K 보다 작으므로 오차 변수는 상쇄되어 위상 오차가 발생하지 않는다. 위의 두 경우를 제외하고 다른 영역에서는 (3)의 3개의 정현파에 의해 위상 오차가 발생하게 된다.

그림 2는 모의실험을 위한 simulink 회로이다[12]. 입력으로 정현파와 여현파를 인가한 후 R_L 양단의 출력 파형을 측정한다. 여기서 측정된 입력정현파와 출력정현파의 위상차는 회전변위를 나타낸다.

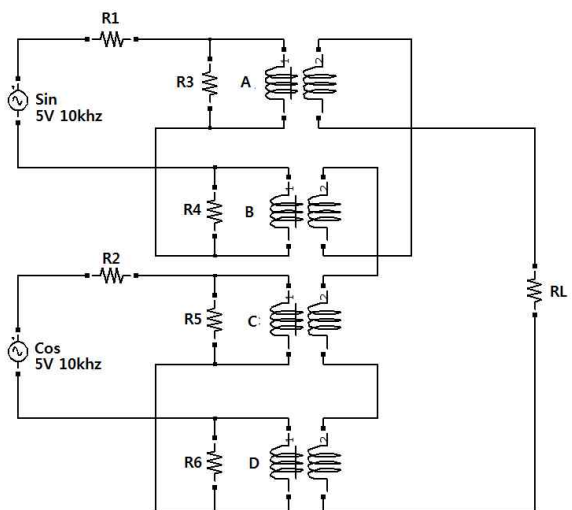


그림 2. RVDT 회로도.
Fig. 2. The equivalent circuit of RVDT.

$$M_A = (0.75 + (\cos(\theta/180 \cdot 3.14) \cdot 0.25)) \cdot \alpha_A$$

$$M_B = (0.75 + (\cos((\theta/180 \cdot 3.14) + 3.14) \cdot 0.25)) \cdot \alpha_B$$

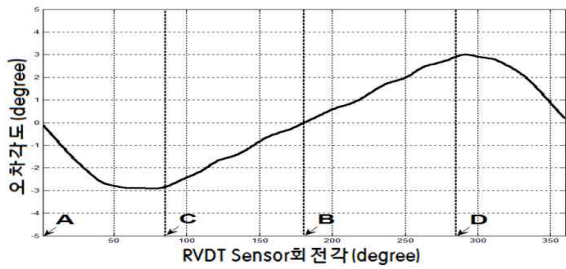
$$M_C = (0.75 + (\sin(\theta/180 \cdot 3.14) \cdot 0.25)) \cdot \alpha_C$$

$$M_D = (0.75 + (\sin((\theta/180 \cdot 3.14) + 3.14) \cdot 0.25)) \cdot \alpha_D$$

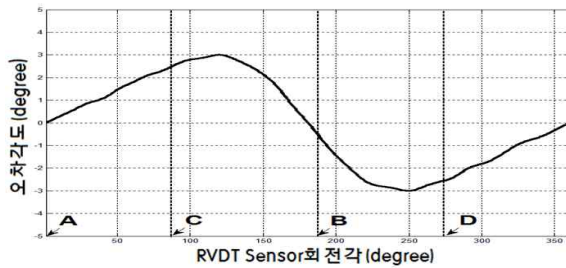
θ : 10도 간격의 회전각 (degree) (4)

(4)는 편심 rotor의 회전을 각 극의 상호인덕턴스 M_A, M_B, M_C, M_D 로 모델링한 식이다. 상호인덕턴스의 변화가 없는 이상적인 회로의 출력파형은 $\alpha_A = \alpha_B = \alpha_C = \alpha_D$ 일 때 이며 본 실험에서는 0.9로 두었다.

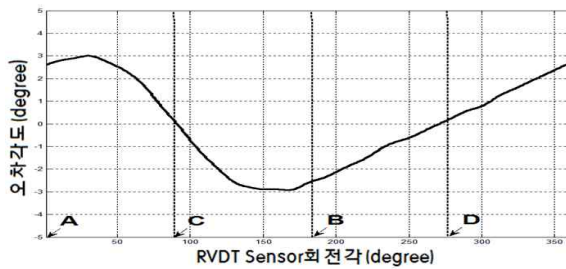
그림 3은 이상적인 경우에 대하여 위상 오차를 인위적으로 생성하기 위하여 상호 인덕턴스의 파라미터의 변화를



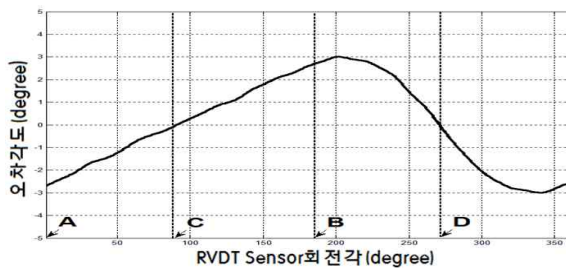
(a) When reference inductance of pole A is small than others.



(b) When reference inductance of pole B is small than others.



(c) When reference inductance of pole C is small than others.



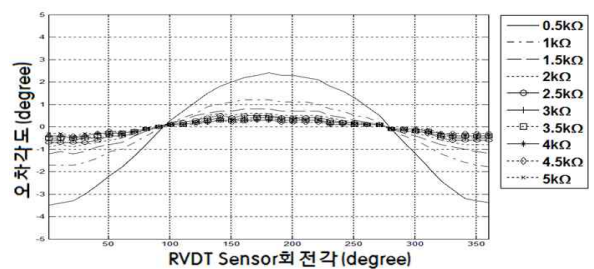
(d) When reference inductance of pole D is small than others.

그림 3. 기준 인덕턴스 차이에 따른 오차 (모의실험).
Fig. 3. Phase error according to the reference inductance differences (simulation).

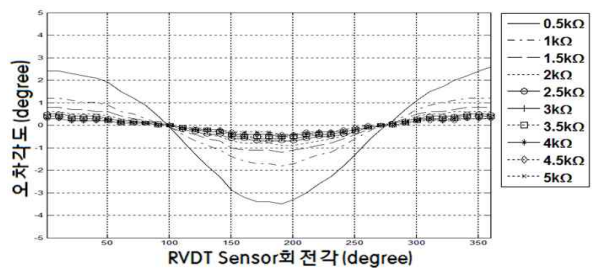
준 것이다. 그림 3(a)는 $\alpha_A = 0.8, \alpha_B = \alpha_C = \alpha_D = 0.9$ 일 때의 오차파형을 나타낸 것이다. 즉, A극의 상호 인덕턴스가 기준 인덕턴스보다 작은 경우이고, (b), (c), (d)는 각각 상호 인덕턴스 값이 기준 인덕턴스보다 작은 경우에 해당한다. 이를 통하여 RVDT 센서의 오차파형을 실제의 경우와 유사하게 모델링할 수 있음을 나타낸다.

RVDT는 회전변위를 측정하는 센서로 A극은 0°, B극은 180°, C극은 90°, D극은 270°라는 고유한 물리적 위치를 가진다. 각 극의 물리적 위치를 기준으로 +70°에선 음의 최대 위상오차가, -70°에선 양의 최대 오차가 발생된다.

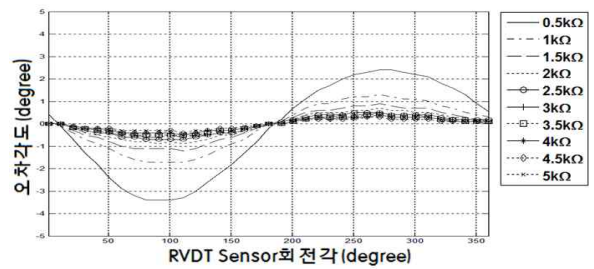
그림 4는 각 극에 다수의 병렬저항을 연결 시 변화하는 오차파형을 나타낸 것으로 테이블 생성하기 위한 모의실험



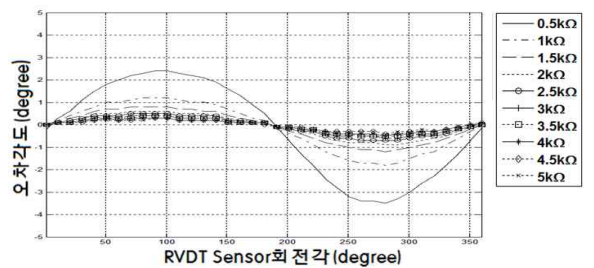
(a) Parallel resistance connected to pole A.



(b) Parallel resistance connected to pole B.



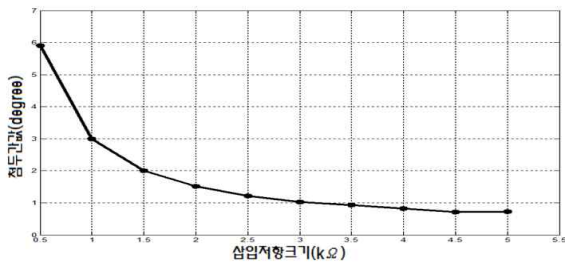
(c) Parallel resistance connected to pole C.



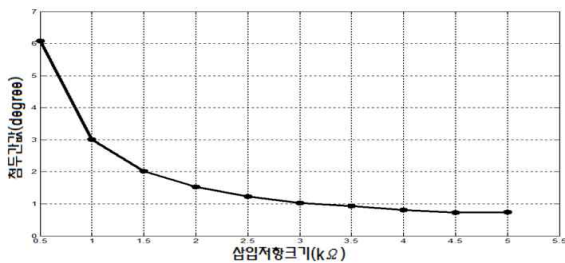
(d) Parallel resistance connected to pole D.

그림 4. 각 극에 병렬저항 연결 시 오차보상 곡선 (모의실험).
Fig. 4. Compensation curves according to parallel resistance (simulation).

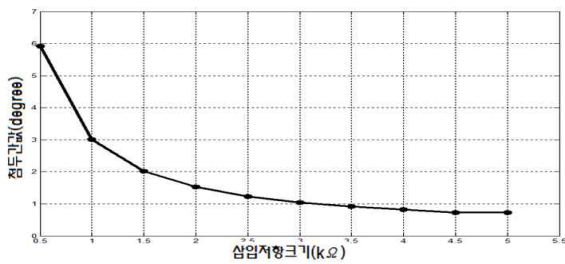
이다. 즉, 이상적인 RVDT 센서 회로의 각 극에 0.5kΩ에서 5kΩ까지 병렬저항을 0.5kΩ씩 증가시키면서 출력파형을 측정 한 것이다. 병렬저항 삽입에 따른 출력 변화를 분석하면 A극은 그림 4(a)와 같이 자신의 고유 위치에서 음의 오차 값, 180° 떨어진 정반대의 위치에서는 양의 오차값이 나타난다. B극의 경우는 자신의 고유 위치에서 음의 오차값을, 정반대에선 양의 오차값을 나타낸다. C극과 D극 또한 자신의 고유 위치에서 음의 오차값을, 정반대의 위치에서 양의 오차값이 나타남을 알 수 있다. 그림 5는 센서의 1회전 시 각 극에 10개의 병렬저항을 바꿔가며 측정한 위상오차의 침두간 값의 변화를 나타낸다. 가로축이 삽입저항, 세로축이 침두간 값이다. 작은 저항이 사용 될 경우 오차의 침두



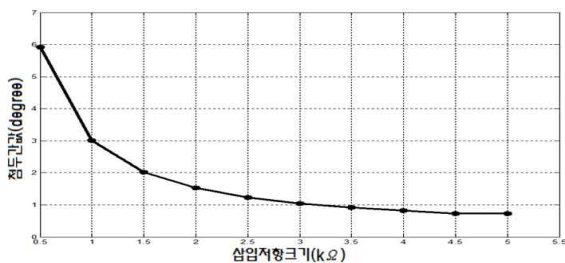
(a) When parallel resistance of pole A is changed.



(b) When parallel resistance of pole B is changed.



(c) When parallel resistance of pole C is changed.



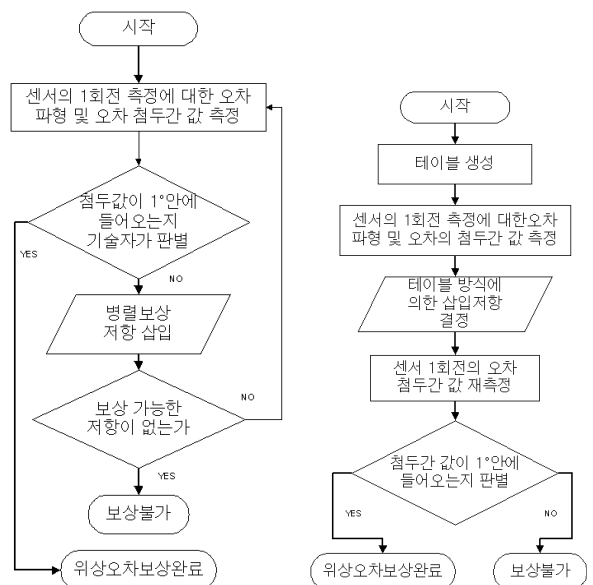
(d) When parallel resistance of pole D is changed.

그림 5. 병렬저항에 따른 침두간 값 변화 (모의실험).
Fig. 5. Peak to peak change according to parallel resistance (simulation).

간 값이 커져서 큰 오차 보상이 가능함을 알 수 있다. 그림 6은 본 논문에서 제시하는 테이블 방법의 위상 오차 보상 알고리즘을 나타낸 것이다. 센서의 1회전 시 주어지는 오차파형에 대하여 기존 방법과 제안된 방법을 비교 하였다. 그림 6(a)와 같이 기존 방법은 순력자가 여러 저항을 삽입하여 오차 측정 후 침두간 값이 보상한도(1°)에 들어오는지를 반복적으로 수행한다. 그러나 그림 6(b)의 제안된 방법은 각 극에 삽입 가능한 모든 보상저항을 삽입하여 오차파형을 생성하고, 보상저항을 삽입하지 않은 출력파형과의 차를 구해 보상저항삽입에 따른 오차파형을 얻을 수 있다. 이 결과를 이용해 테이블을 구성하고 각 오차 파형의 중첩을 통하여 전 구간의 오차를 최소화하는 최적의 병렬 저항의 조합을 찾는 방법이다. 이후 오차파형을 측정 한 후 연산시간을 줄이기 위하여 8192개의 오차 데이터를 256개의 데이터로 다운 샘플링 한다. 이어서 위에서 구한 테이블로부터 각 극의 개별적인 최적의 보상저항의 조합을 찾아내는 것이다. 보상한도(1°) 내에 들어오는 병렬저항의 조합이 테이블 안에 존재하지 않을 경우 보상이 불가능함을 알려준다. 제안한 보상방법은 일단 테이블이 생성되면 오차측정에 걸리는 시간이 매우 짧다.

그림 7은 제안된 테이블 방법의 모의실험을 통하여 보상된 오차파형을 보인다. 긴 점선은 보상하고자 하는 오차파형을 나타낸 것으로 이의 최고값과 최저값은 +2.9128°와 -3.0315°이고, 침두간 값은 5.9443°이다. 이를 테이블 방법에 적용하여 구한 최적의 병렬 보상저항은 B극은 4kΩ, C극은 4.5kΩ, D극은 0.5kΩ이고 이에 대한 테이블 방법의 예측 오차파형은 점선으로 나타내었다. 실선은 테이블 방법으로 구한 네 개의 병렬 보상저항을 중첩하여 구한 최종적으로 보상된 오차파형이다.

그림 7에서 테이블 방법의 보상파형(점선)과 중첩에 의



(a) Existing compensation method. (b) Table based compensation method.

그림 6. 오차보상 순서도.
Fig. 6. A flow chart for an error compensation.

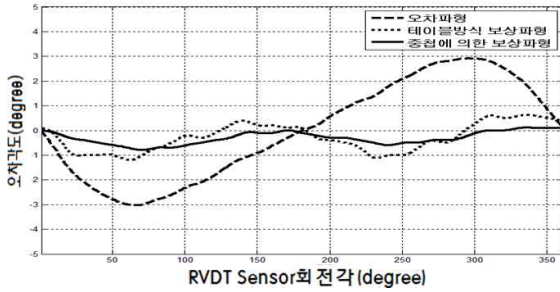


그림 7. 테이블 방법을 이용한 오차보상 파형 (모의실험).
Fig. 7. Compensation waveform using table method (simulation).

표 1. 보정전후의 오차비교 (모의실험).

Table 1. Error comparison before and after compensation (simulation).

	최고값	최저값	첨두간 값
오차(보상전)	+2.9128°	-3.0315°	5.9443°
테이블방법	+0.6239°	-1.2005°	1.8244°
오차(보상후)	+0.1119°	-0.8°	0.9119°

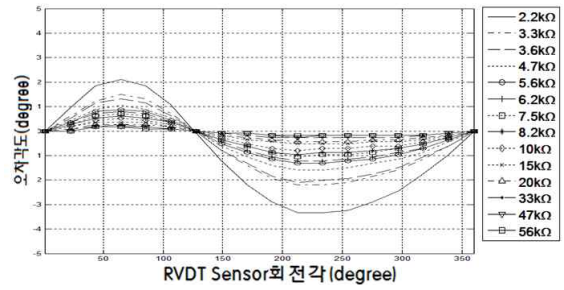
한 보상파형(실선)이 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 각 극에 개별적으로 삽입한 저항의 변화에 따라 테이블을 생성하였으므로 모의실험에 병렬저항을 동시에 적용하여 측정된 출력파형과는 차이가 있을 수 밖에 없다. 이러한 차이가 존재함에도 불구하고 제안된 테이블 방법이 사용 가능한 이유는 개별 저항에 따른 테이블 방법에 의해 예측되는 보상파형과 중첩에 의한 보상파형의 차이가 크지 않기 때문이다.

표 1은 그림 7을 수치화한 것으로, 첨두간 값이 5.9443°인 보상 전 오차파형에 대하여, 테이블 방법에 의해서 예측되는 첨두간 값은 1.8244°이고, 중첩했을 때의 첨두간 값은 0.9119°이다. 최종적으로 84.6%의 보상률을 보인다. 결과적으로 제시한 테이블 방법을 사용하여 보상한도(1°) 이내로 오차를 보상할 수 있었다.

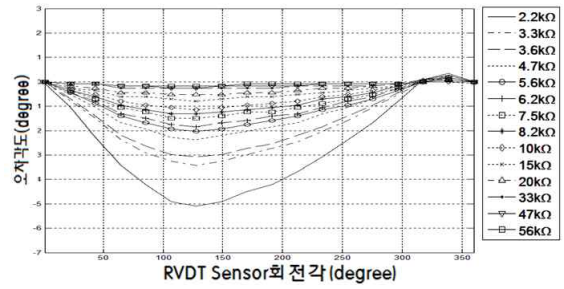
IV. RVDT 실제센서의 오차보상

본 절에서는 앞절에서 제시된 테이블 방법의 오차보상을 실제 RVDT 센서에 적용하고자 한다.

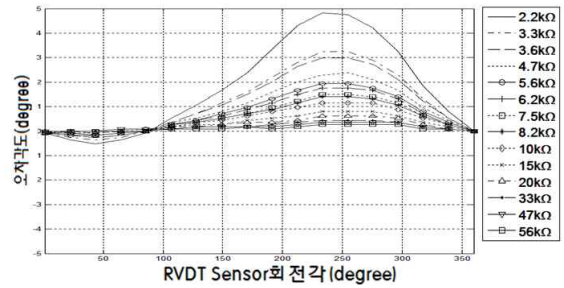
그림 8은 실제 센서에서 병렬 보상저항에 따른 출력의 변화를 나타낸 파형이다. 모의실험의 경우 센서 회전의 시작이 항상 A극을 원점으로 진행되지만 실제 센서는 엔코더와 센서를 비교해 원점을 결정해 센서의 회전을 시작한다. 모의실험과 실제실험 결과를 대조함으로써 각 극의 양의 오차와 음의 오차가 발생하는 부분이 다르게 나타나고 있다. 모의실험에선 물리적인 극의 위치에서 음의 오차를 정반대에서 양의 오차를 가지는 것을 확인하였다. 실제실험 결과를 분석하면 A극의 경우 75°에서 음의 오차, 230°에서 양의 오차 값을 가지고, B극은 150°에서 양의 오차, 330°에서 음의 오차 값을 가진다. C극은 230°에서 음의 오차, 45°에서 양의 오차 값을 가지고, D극은 140°에서 음의 오차, 320°에서 양의 오차 값을 나타낸다. 이는 모의실험과 최대 오차 발생 위치는 다르지만 음의 오차와 양의 오차 간 간



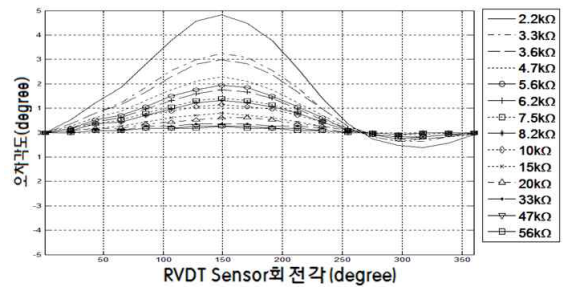
(a) Parallel resistance connected to pole A.



(b) Parallel resistance connected to pole B.



(c) Parallel resistance connected to pole C.



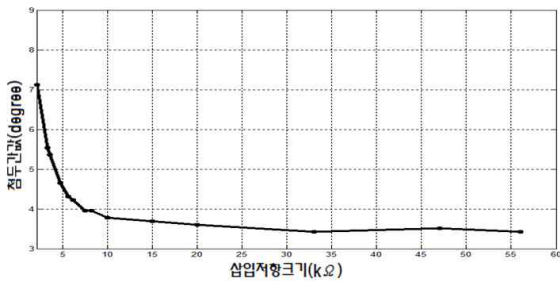
(d) Parallel resistance connected to pole D.

그림 8. 각 극에 병렬저항 연결 시 오차보상 곡선 (실제센서).

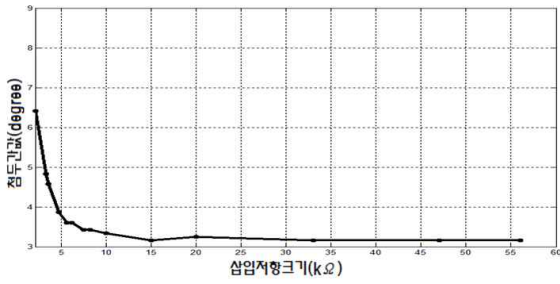
Fig. 8. Compensation curves according to parallel resistance (real sensor).

격이 180° 이루는 것은 실제실험과 모의실험이 일치한다.

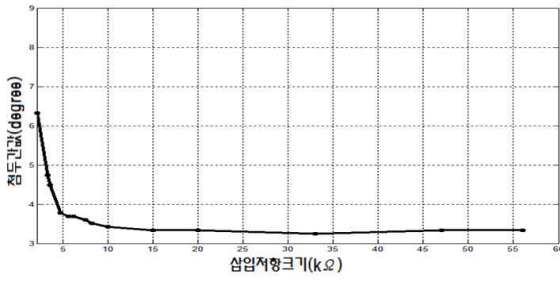
그림 9는 III 장의 모의실험처럼 실제센서에 대한 병렬 저항 삽입 시 오차의 첨두간 값을 구한 것이다. 모의실험과 같이 작은 병렬저항을 삽입하였을 1차 코일에 인가되는 전류가 감소하고 따라서 상호 인덕턴스의 변화가 발생하고, 다른 극의 1차 코일에는 흐르는 전류가 증가하여서 변화의 폭이 커지는 것을 확인할 수 있다. 첨두간 값의 변화에 있어 특정 저항의 크기를 넘어선 후부터 저항 값이 변해도 첨두간 값의 변화가 일어나지 않는 것을 확인할 수 있다.



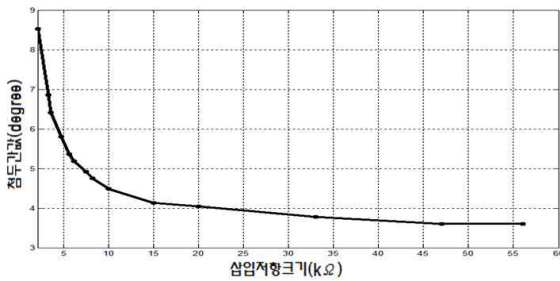
(a) When parallel resistance of pole A is changed.



(b) When parallel resistance of pole B is changed.



(c) When parallel resistance of pole C is changed.



(d) When parallel resistance of pole D is changed.

그림 9. 병렬저항에 따른 첨두간 값 변화 (실제센서).

Fig. 9. Peak to peak change according to parallel resistance (real sensor).

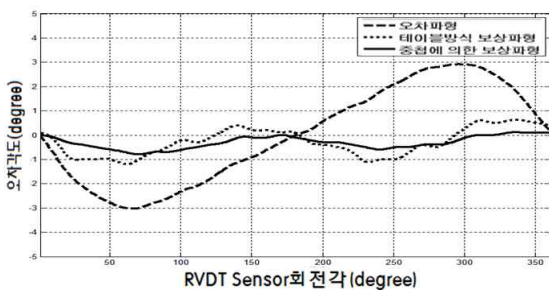


그림 10. 테이블 방법을 이용한 오차보상 파형 (실제센서).

Fig. 10. Compensation waveform using table method (real sensor).

표 2. 보정전후의 오차비교 (실제센서).

Table 2. Error comparison before and after compensation (real sensor).

	최고값	최소값	첨두간 값
오차(보상전)	+3.12°	-0.3080°	3.428°
테이블방법	+0.6511°	-0.2112°	0.8623°
오차(보상후)	+0.3960°	-0.3960°	0.879°

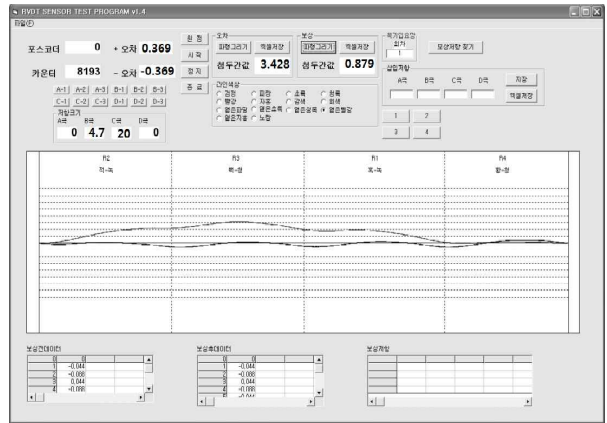


그림 11. 실제 측정 프로그램.

Fig. 11. Real measurement program.

그림 10은 그림 6(b)에 제시된 오차 보상 알고리즘에 따라 주어진 오차 파형(원+실선)에 대하여 테이블 방식의 결과 파형(실선)과 실제 센서에 적용한 보상 파형(사각형+점선)을 구한 것이다. 그림의 최고값, 최저값, 첨두간 값은 표 2에 기술하였다. 표 2를 보면 오차파형의 첨두간 값이 3.428°에서 0.879°로 74.4% 성능의 개선을 보임을 알 수 있다. 오차파형을 보상하기 위해 테이블 방법을 사용해 찾은 보상 저항값은 B극에 4.7kΩ, C극에 20kΩ을 삽입하고, A극과 D극에는 삽입하지 않는다. 이는 각 극을 기준으로 사용 가능한 저항에 의한 출력파형의 변화를 조합해 테이블을 생성해 실제센서의 출력파형과는 약간의 차이가 발생한다. 하지만 그림에서 보듯이 테이블 방법과 실제 보상파형이 거의 일치하고 있음이 확인 되므로, 제안된 방법이 실제 보상에 사용 가능함을 확인하였다.

제안된 테이블 방법을 이용하여 실제 GUI 프로그램으로 구현한 것을 그림 11에 나타내었다. 이는 그림 10과 동일한 결과를 얻었음을 알 수 있으며 보정시간을 단축할 수 있다. 현재 테이블 방법을 사용한 보상방법을 위의 실제측정프로그램을 가지고 현장에 사용 중이다.

V. 결론

RVDT 동작원리의 분석을 통해 오차발생 원인을 분석하고 고속의 테이블 방법을 적용한 오차 보상 방법을 구현하였다. 이 방법은 보상이 가능한 오차와 불가능한 오차를 구별할 수 있으며, 각 극의 인덕턴스의 차이로 모델링하였다. 오차보상은 제안된 테이블 방법에서 자동적으로 찾은 각 극의 병렬 보상저항의 삽입으로 해결된다.

실험결과는 RVDT센서의 처음 오차는 최고값 +3.12°, 최

소값 -0.3080° 로 침두간 값은 3.428° 였다. 본 논문에서 제안한 테이블 방법을 사용해 보상 저항을 찾으면 B극에 $4.7k\Omega$, C극에는 $20k\Omega$ 를 삽입하는 경우이다. 이를 실제 센서에 삽입해서 측정된 결과는 최고값 $+0.3960^\circ$, 최소값 -0.3960° 로 침두간 값은 0.879° 으로 보상되는 결과를 측정하였다. 이는 숙련된 기술자와 동일한 보상률인 74.4%를 보이고, 보상시간 또한 평균 15분에서 0.8초로 단축하였다.

향후의 연구방향은 본 논문에서 제안한 테이블 방법의 신뢰성 향상과 실제생산과정에 적용, 다회전 RVDT센서의 보상에 테이블방법의 적용에 대해서 연구하고자 한다.

참고문헌

- [1] 박영태, 권성원, 강진홍, “변위측정용 LVDT의 개선에 관한 연구,” *센서학회지*, 제5권 제3호, pp. 1-8, 1996.
- [2] 전지혜, 신동윤, 양윤기, 이창수, “레졸버 기반의 절대위치 검출 센서 제어기의 FPGA 구현,” *Proc. of Control, Automation, and Systems Symposium CASS-2007*, pp. 354-359, 부산대학교, May 2007.
- [3] ABSOCODER Technical Guide, NSD Corp. 2003.
- [4] 전지혜, 신동윤, 양윤기, 황진권, 이창수, “레졸버 기반의 절대위치 검출 센서 제어기의 FPGA 구현,” *제어·자동화·시스템공학회 논문지*, 제13권 제10호, pp. 970-977, Oct. 2007.
- [5] A Discussion of Encoder Technology's Converter and Impedance Detector Technology, *Encoder Technology Corp.* 2000.
- [6] R. Pallas-Areny and J. G. Webster, *Sensor and Signal Conditioning*. Wiley, New York, 1991.
- [7] 신동윤, 이창수, “회전형 절대위치 검출기의 오차 해석에 관한 연구,” *Proc. of Control, Automation, and Systems Symposium CASS-2006*, 경기도, 한국, pp. 338-343, Jun. 2006.
- [8] 신동윤, 양윤기, 이창수, “절대 변위 측정용 RVDT의 오차 보상,” *제어·자동화·시스템공학회 논문지*, 제12권 제7호, pp. 658-665, 2006.
- [9] 안기호, 이창수, “절대위치 검출 센서의 위상 오차 보상 방법의 개선,” *Proc. of Control, Automation, and Systems Symposium CASS-2009*, 부산, 한국, pp. 995-999, Sep. 2009.
- [10] F. Yassa and S. Garvericks, “Multichannel digital demodulator for LVDT/RVDT position sensors,” *IEEE*

J.Solid-State Circuits, vol. 25, pp. 441-445, Apr. 1990.

- [11] D.-Y. Shin, “Implementation of RVDT sensor and its controller for an absolute position detection,” A graduation thesis of The University of SUWON, 2006.
- [12] M. Nuruzzaman, “Electric circuit fundamentals in MATLAB and SIMULINK,” *BOOKSURGE*. 2007.



안 기 호

2009년 수원대 전자공학과 졸업. 2009년 동 대학원 석사과정. 관심분야는 제어계측, 영상처리.



김 시 현

1990년 서울대학교 제어계측공학과 졸업. 1992년 동 대학원석사. 1996년 동 대학원 박사. 현재 수원대학교 정보통신공학과 전임강사. 관심분야는 디지털 통신, 멀티미디어 신호처리, 반도체 설계.



양 윤 기

1989년 서울대학교 제어계측공학과 졸업. 1991년 동 대학원석사. 1996년 동 대학원 박사. 현재 수원대학교 정보통신공학과 부교수. 관심분야는 통신시스템, 신호처리 이론, 컴퓨터 시스템.



이 창 수

1985년 서울대학교 제어계측공학과 졸업. 1987년 동 대학원석사. 1997년 동 대학원 박사. 현재 수원대학교 전자공학과 부교수. 관심분야는 영상처리, OCT, 통신 시스템, 웨이블릿 응용, 검사.