

레졸버 회전자 형상의 변압비에 따른 각도 오차율 분석

이용복*, 박동진*, 유석현*, 김기찬*
한밭대학교*

Analysis of Angle Error according to Voltage Ratio of Rotor Shape of Resolver

Yong-Bok Lee*, Dong-Jin Park*, Seok-Hyun Yu*, Ki-Chan Kim*
Hanbat University*

Abstract - 전동기의 위치센서로 Variable Reluctance(VR) 레졸버의 구동 방식은 1차 권선에 여자신호가 인가될과 동시에 2차 권선 Cos, Sin의 유기된 기전력을 발생시키며, RDC(Resolver-to-Digital Converter)를 이용함으로써 위치 신호를 출력한다. 위치센서로서의 레졸버는 전동기 회전자의 정확한 위치를 정밀하게 측정하는 것이 중요하다. 그러나 다양한 외란으로 인해 위치 정보의 오차가 발생하며 레졸버 설계시 회전자 형상에 따라 오차가 다르게 나타난다.

본 논문은 레졸버의 설계 및 특성 해석을 용이하게 하기 위해 Visual Basic tool을 이용하여 자동화 설계 및 특성 해석 프로그램을 구성하였다. 또한 프로그램을 이용하여 레졸버 회전자 형상 변화에 따른 인덕턴스 변화로 유기된 전압의 크기변화와 그에 따른 위치 오차율을 분석하였다.

1. 서 론

전동기를 제어하기 위해서는 모터에 대한 위치정보를 정확히 알아야 한다. 전동기의 위치센서는 레졸버와 엔코더가 주로 사용된다. 레졸버는 엔코더에 비해 HEV / EV 전반적으로 사용되는 위치측정 센서로서 간단한 구조로 이루어져있고, 정확한 위치정보를 나타낼 뿐만 아니라, 열과 노이즈와 같은 환경적인 측면에서 장점을 가지기 때문에 많은 산업에 응용되고 있다. 또한 엔코더를 사용하면 전동기가 정지시 회전자의 위치 측정이 불가능하지만, 레졸버는 전동기가 정지시에도 회전자의 위치를 측정할 수 있다. 이러한 이유로 레졸버에 대한 연구가 국내에서도 활발하게 진행되고 있는 추세이다. 그러므로 레졸버의 설계 및 특성 해석을 단축시키기 위해 Visual Basic tool을 이용하여 자동화 설계 프로그램을 구축하였다.

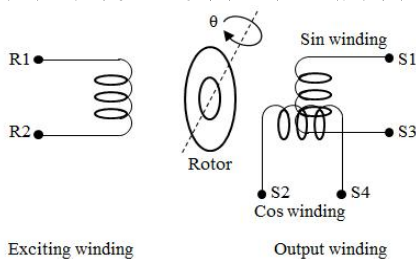
레졸버의 구조는 회전형 변압기로 구성되어 있으며, 여자신호가 1차 권선에 인가되면 2차 권선 Cos, Sin의 유기된 기전력이 발생한다. 2차 권선은 90° 위상차를 갖는 두 개의 권선으로 구성되어있으며 두 개의 파형의 크기와 위상차를 RDC 알고리즘을 이용하여 회전자의 위치를 파악하는 시스템이다. 위치 센서로서 가장 중요한 점은 회전자의 정확한 위치 정보를 얻어야한다. 위치에 대한 오차율이 커진다는 의미는 기계의 오작동으로 인해 생명까지 위협할 수 있다[1],[2].

레졸버의 위치정보 오류는 여러 가지가 존재하고 있지만 그 중 레졸버 회전자 형상에 대해 2차권선 Cos, Sin 두 파형의 크기가 변하거나 위상차를 분석하였다. 본 모델을 3가지의 회전자 형상을 FEM을 통해 위치신호를 비교하였다[3]. FEM모델 자동화 설계 프로그램을 구축하고, 이를 이용해 모델을 선정하여 각 모델에 유기된 전압의 비율과 오차율을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 레졸버의 원리

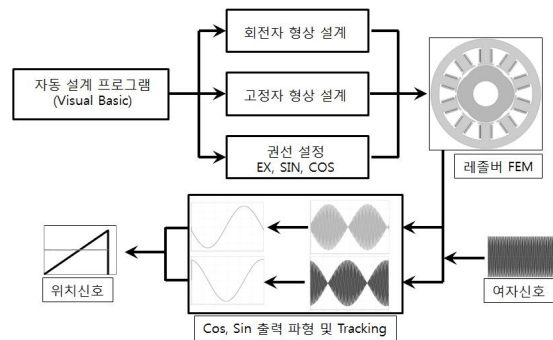
전동기의 핵심부품 중 하나인 레졸버는 전동기의 회전자가 회전함에 따라 1차 권선에 여자신호를 인가해 줌으로써 2차 권선에서 Cos, Sin의 정형적인 유기 기전력 파형을 발생시키는 회전 변압기이다.



<그림 1> 레졸버 내부 구성

2.2 레졸버 설계 프로그램 구성

Visual Basic tool을 이용하여 레졸버 FEM 형상 설계에 범위를 3개로 나누었다. 회전자의 외경 치수, 내경 치수, 극수를 입력하면 자동적으로 설계가 된다. 이어서 고정자 또한 외경 치수, 내경 치수, 티스 치수의 값을 입력하면 고정자가 설계가 된다. 마지막으로 권선설정을 함으로써 레졸버 FEM 형상 설계가 완료된다. 여자신호의 입력을 통해 수식 (1) 및 (2)를 이용하여 Cos, Sin 출력 파형을 얻을 수 있으며, 식 (3) 및 (4)를 이용하여 Tracking RDC 알고리즘을 통한 각도정보 θ 가 포함된 파형을 얻을 수 있다. 또한 변조된 신호에 각(ϕ)을 곱하여 신호를 복조함으로써 회전자의 위치에 대한 각도정보(θ)를 알 수 있다. 식 (5)에 의해서 $\theta - \phi = 0$ 이 되는 지점을 추적함으로써 회전자의 위치를 알아낼 수 있게 된다.



<그림 2> 레졸버 자동화 설계 프로그램 구성

$$S1 - S3 = E_0 \sin(\omega t) \times \sin\theta \quad (1)$$

$$S2 - S4 = E_0 \sin(\omega t) \times \cos\theta \quad (2)$$

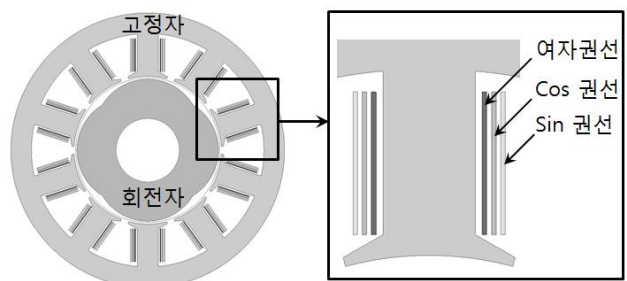
$$E_0 \sin\omega t \times \sin\theta \times \cos\phi \quad (3)$$

$$E_0 \sin\omega t \times \cos\theta \times \sin\theta \quad (4)$$

$$E_0 \sin\omega t \times (\sin\theta \times \cos\phi - \cos\phi \times \sin\theta) \quad (5)$$

$$= E_0 \sin\omega t \times (\sin\theta - \phi)$$

2.3 레졸버의 권선 설명



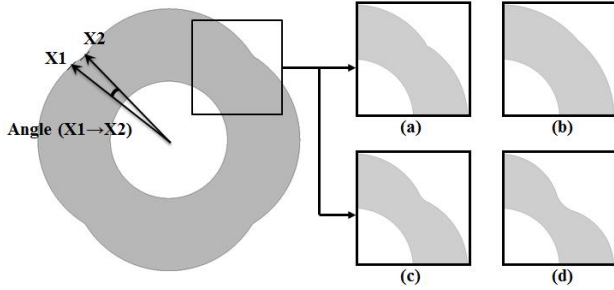
<그림 3> 레졸버 FEM 형상 설계

그림 3은 레졸버 자동화 설계된 FEM 형상을 보여준다. 레졸버는 전동기와 같이 고정자와 회전자로 나누어지며 티스에는 여자권선, Cos 권선 및 Sin 권선이 감긴다. Cos 및 Sin 권선은 위치신호를 파악하기 위한 복조신호를 발생시키기 위하여 티스마다 턴 수를 다르게 감는다.

3.1 레졸버의 회전자 형상 변화에 따른 모델 설명

그림 4는 레졸버의 회전자 형상에 따른 모델을 선정하기 위해 3가지의 변수(X1, X2, Angle)에 따른 로터 형상을 나타낸다. X1과 X2는 외경의 길이를 나타내며 Angle(X1→X2)은 X1과 X2의 사이각을 나타낸다. 표 1은 3가지 변수들에 대한 값을 나타낸다.

변수를 이용하여 레졸버 회전자 형상을 4가지로 설계하였다. 레졸버 회전자 형상이 변함으로 인덕턴스 값이 달라진다. 달라지는 인덕턴스 값에 따른 유기된 전압의 변압비에 대해 분석하였다.



〈그림 4〉 변수에 따른 회전자 모델 선정

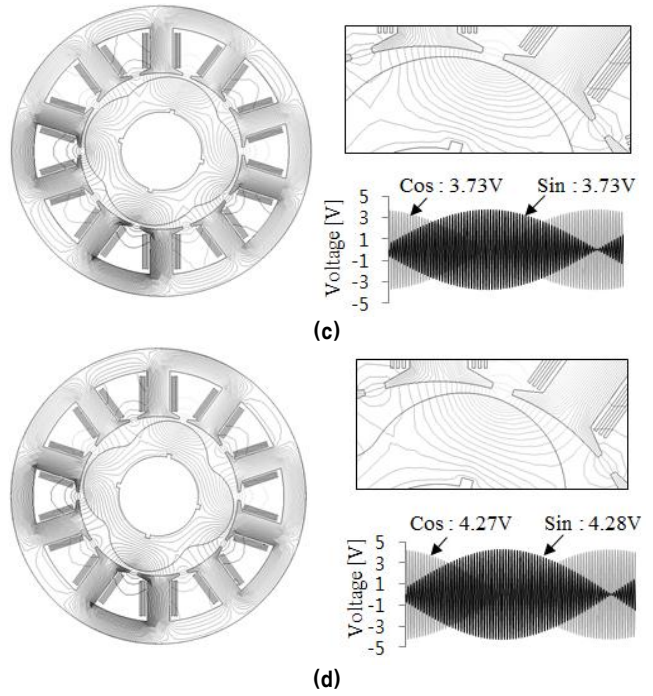
〈표 1〉 각 변수에 따른 회전자의 4가지 모델

Parameter	(a)	(b)	(c)	(d)	unit
X1	12.31	13	11.7	11	mm
X2	12.19	12.98	11.5	10.5	mm
Angle	2	1	4	8	deg

3.2 로터 형상에 따른 변압비 해석

표 1의 변수에 따라 4가지 모델을 해석하였다. 그림 5는 회전자 형상의 변화에 따라 자속선도와 유기된 전압의 파형을 나타낸다. 4가지 회전자 형상에 따라 자속선도가 달라지는 양상을 각각의 모델의 그림에서 알 수 있다. 여자권선으로 발생된 자속이 회전자를 통해 다른 권선으로 쇄교하면서 자속의 크기가 달라진다.

4가지 모델의 여자권선 입력 조건은 동일하지만, 유기된 전압의 크기는 각각 다름을 알 수 있다. VR 레졸버의 유기된 전압의 크기는 권선의 턴 수와 영향이 있기 때문에 중요한 요소 중 하나이다. 출력 파형의 전압이 높은 만큼 턴 수를 적게 가져갈 수 있기 때문에 제어기 허용 용량 및 제작에 유리한 이점이 있다. 그림 4-(d) 모델의 유기된 전압의 크기가 가장 큰 것을 확인할 수 있다.



〈그림 5〉 4가지 모델의 자속선도와 유기된 기전력 파형

〈표 2〉 각 모델에 따른 각도 오차율과 유기된 전압의 최대값

Parameter	(a)	(b)	(c)	(d)	unit
Angle Error	1.08	2.02	0.8	1.06	deg
Voltage	3.01	1.62	3.73	4.28	V

표 2는 각 모델의 각도 오차율과 전압의 최대값을 나타내고 있다. 왜곡이 가장 큰 (d)모델의 전압비가 가장 높기 때문에 제어와 제작에 유리하지만, 오차율은 (c)모델보다 떨어진다. 회전자의 왜곡이 큰 형상일수록 유기된 전압의 크기는 크지만, 지나친 왜곡률은 오차율을 떨어뜨려 정밀도에 영향을 미치게 된다. 레졸버는 각도 오차에 대한 정밀도가 가장 중요한 요소이기 때문에 (c)의 모델이 최적화 된 모델임을 확인할 수 있다.

3. 결 론

레졸버는 전동기의 회전자 위치정보를 정확히 알아내는 것이 중요하다. 하지만 다양한 위치정보에 대한 외란이 존재하며, 레졸버 설계 형상 또한 중요한 요소이다.

본 논문에서는 전기자동차에 사용되는 레졸버의 회전자 형상에 따라 변화하는 위치신호의 오차율을 분석하였다. 레졸버 설계를 보다 용이하게 하기 위하여 Visual Basic tool을 이용해 자동화 설계 프로그램을 구축하였으며, 이 프로그램을 이용해 레졸버의 회전자를 4x-8극을 기준으로 4가지의 회전자 형상을 설계 하였다. 회전자 형상에 따라 자속의 자로가 변함으로 인해 여자신호로 인한 Cos, Sin권선에 유기된 전압의 크기가 변함을 확인 할 수 있었다. 동일한 전류를 인가 시 회전자 형상에 따라 출력신호의 크기가 크다면 제작하는 과정에서 단가절감의 이점을 갖는다. 또한 각도 오차율을 비교하여 회전자의 형태를 최적화시킴으로써 신뢰성과 경제적인 이점을 갖는다.

【참 고 문 헌】

- [1] L. Shao, Z. Tang, K. Maki, H. Funato, J. Moore, and G. Saikalis, "Integrated simulation and analysis of resolver subsystem for HEV electric drive," IEEE conf. vehicle power and propulsion, Harbin, China, pp. 1 - 5, Sep. 2008.
- [2] L. Sun, "Analysis and improvement on the structure of variable reluctance resolvers," IEEE Trans. Magn., vol. 44, no. 8, pp. 2002 - 2008, Aug. 2008.
- [3] B. Akin, S. B. Ozturk, H. A. Toliyat, and M. Rayner, "DSP-based sensorless electric motor fault diagnosis tools for electric and hybrid electric vehicle powertrain applications," IEEE Trans. Vehicular Tech., vol. 58, no. 5, pp. 2150 - 2159, Nov., 2009.