

BLDC 구동을 위한 단일 옵토 카플러에 의한 저가형 위치센서에 관한 연구

The study on Low-cost Position Sensor by a Single Opto-coupler for BLDC Drive

권순재* · 김영수***†
Soon-Jae Kwon* and Young-Su Kim**

(Received 12 January 2016, Revision received 5 June 2016, Accepted 7 June 2016)

Abstract: Energy consumption rapidly increases with industrial development. therefore an interest in the efficiency of various power converters is increasing. Especially, the field of high-efficiency small motors widely distributed for industrial and family use is considered a very important field in terms of efficient energy usage, and accordingly, in the field of small electric equipment, the use of BLDC that allows high-efficiency drive in an inductor gradually increases. However, for the BLDC drive, information on the position of the rotor is essential. Both methods using a magnetic encoder and an optical encoder to detect the information on the position of the rotor obtain the information by three position sensitive devices, and if any one of these position sensitive devices fails to function, no positional information can be obtained, so there is a limitation in implementing a position sensor with high reliability. In the paper, proposes a new type of encoder that can obtain the positional information on the position of the rotor using a single position sensor in order to overcome the issues that it has to use numerous signal flows and that the reliability is reduced for the acquisition of positional information generated by using multiple position detectors. The encoder in the proposed method replaced the function of generating positional information from multiple sensors with the shape of the encoder plate and the capture function of MICOM. In order to verify the validity of the position detection technique by the proposed encoder, a prototype was produced, and an experiment using the capture function of DSP was conducted through this.

Key Words : Encoder, BLDC drive, Position sensor, Opto-coupler

1. 서 론

산업 발달로 인하여 에너지 사용이 급증하고 있으며, 이로 인한 지구온난화가 심각한 문제로

대두되고 있다. 이러한 지구온난화의 주범인 CO₂ 발생량 억제를 위한 교토 기후 협약 이후 주요 선진국들은 각종 전력변환장치의 효율에 대한 관심이 고조되고 있다. 특히 산업 및 가정용에 광범위

*** 김영수(교신저자) : 한국승강기대학교 승강기공학부
E-mail : klc1208@klc.ac.kr, Tel : 055-949-2287

*권순재 : 부경대학교 기계자동차공학과

*** Young-Su Kim(corresponding author) : Department of Lift Engineering, Korea Lift College.
E-mail : klc1208@klc.ac.kr, Tel : 055-949-2287

*Soon-Jae Kwon : Department of Mechanical & Automatic Engineering, Pukyong National University.

하게 보급된 소형 전동기의 고효율화는 에너지의 효율적인 사용측면에서 매우 중요한 분야로 인식되고 있으며, 이로 인하여 소형전기 분야에서는 유도기에서 고효율 구동이 가능한 BLDC의 사용이 점차적으로 증가하고 있다.¹⁻⁵⁾ 그러나 BLDC가 구동을 위해서는 회전자의 위치정보가 필수적이다. 회전자 위치 정보를 검출하기 위해서는 자기식 엔코더(Magnetic encoder)와 광학식 엔코더(Optical encoder)의 사용이 일반적이다. 일반적으로 자기식 엔코더는 낮은 분해능을 갖지만 주위 환경에 영향을 덜 받고 수명이 긴 장점이 있으며, 광학식 엔코더는 먼지나 외부환경에 영향을 받지 않고 분해능이 용이한 장점과 고가인 단점이 있다.⁶⁻¹⁰⁾ 일반적으로 로터리(rotary) 자기식 엔코더는 동일 원주 상에 전기각 120°차를 갖는 3개의 자기검출기를 설치하고, 회전자의 위치에 따라 120°위상차를 갖는 신호를 검출하여 60° 분해능을 갖는 회전자 위치각 정보를 검출한다. 반면 로터리(rotary) 광학식 엔코더는 동일 원주 상에 수 많은 슬릿을 두고, 외부에 발광부에서 발생하는 빛을 전기적 위상차가 90°를 갖는 2개의 수광부와 회전자의 절대 위치점 정보를 갖는 1개의 수광부를 두고 고정도의 위치 정보를 검출한다. 이러한 방식은 모두 3개의 위치검출소자에 의한 회전자 위치 정보를 취득하는 방식으로 이들 위치 검출 소자 중에서 1개만이라도 오동작할 경우 위치 정보 취득은 불가능하여 신뢰성이 높은 위치 센서구현에는 그 한계가 있다.

본 논문에서는 이러한 다수의 위치 검출기를 사용함으로써 발생하는 위치정보 취득을 위한 다수의 신호선 사용 및 신뢰성 저감을 극복하기 위해 1개의 위치센서를 사용하여 회전자의 위치정보를 취득할 수 있는 새로운 타입의 엔코더를 제안한다. 제안된 방식의 엔코더는 다수의 센서에 의한 위치 정보발생 기능을 엔코더 판의 형상과 마이컴의 Capture 기능으로 대체하였다. 제안된 엔코더에 의한 위치 검출기법의 타당성을 검증하기 위해 프로토타입을 제작하고, 이를 이용하여 DSP의 Capture 기능을 사용하여 실험을 통해 검증하였다.

2. 단일센서를 이용한 엔코더

2.1 기존 엔코더

Fig. 1은 120° 구동형 BLDC 시스템을 나타내고 있고, Fig. 2는 BLDC의 위치에 따른 역기전력 및 홀센서의 신호를 나타내고 있다. BLDC 구동을 위해서는 회전자의 위치와 동기된 전류를 전동기 스테이터(Stator)에 인가하여야 한다. 이를 위해 동일 원주 상에 전기각 120° 차를 갖는 3개의 자기검출기를 설치하고 3개의 자기센서인 홀센서는 회전자의 위치에 따라 Fig. 2에서 보는 바와 같이 Ha, Hb, Hc 신호를 발생한다. 각 신호는 그림에서 보는 바와 같이 120° 위상차를 갖는 구형파로 각 상태 60° 간격마다 바뀌게 된다. 각 센서의 변화점에서 전동기 전류를 단속하여 Ia, Ib, Ic를 인가하면 각 상의 역기전력과 전류의 곱은 항상 양의 파워가 되어 전동기를 회전시키게 된다.

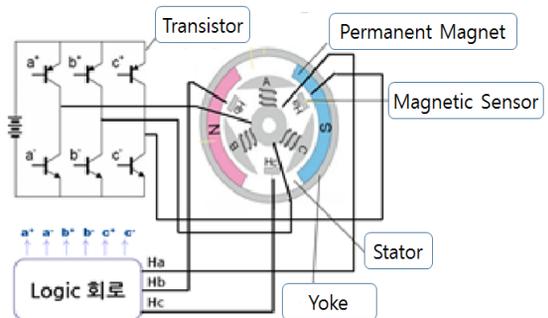


Fig. 1 BLDC driver system by Hall Sensor

이 방식에서 Ha의 신호는 역기전력 E_a 가 평탄한 부분에서 발생하도록 기계적으로 정확히 취부하여야 하며, 3개의 홀센서는 120° 위상차를 갖도록 기계적으로 정확히 취부하여야 한다. 만일 3개의 홀센서가 정확히 120° 위상차를 갖지 않는 경우 맥동토크가 발생하여 고속회전 시 진동의 주 원인이 된다.^{6,7)} 특히 3개의 홀센서 중 1개라도 오동작을 하면 전동기를 구동할 수가 없다.

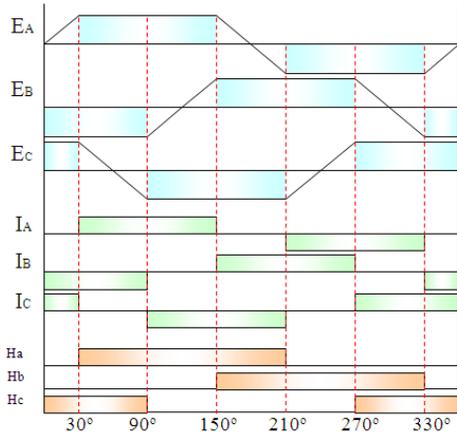


Fig. 2 Time chart BLDC driver by Hall Sensor

광학식 엔코더의 슬릿인 회절격자는 홈(groove)이나 구멍(aperture) 등이 주기적으로 배열되어 파의 위상이나 진폭에 주기적인 변화를 일으키게 하는 광학장치이다. 이 같은 회절격자는 투과형(transmitting type)과 반사형(reflecting type)으로 분류할 수 있고, 투과형 격자는 일반적으로 홀로그래픽 기법(holographic method)을 이용하여 제작되며, 반사형은 회절격자는 광학적으로 편평한 유리 위에 코팅된 알루미늄 박막에 금을 그어 만든다. 광학식 엔코더는 투광용 광원, 수광소자, 슬릿이 있는 회전 디스크의 3가지로 구성되어 있으며, 회전 디스크를 투광용 광원과 수광소자의 중간에 넣어서 회전시키면 회전각에 비례한 펄스 출력을 얻는다.

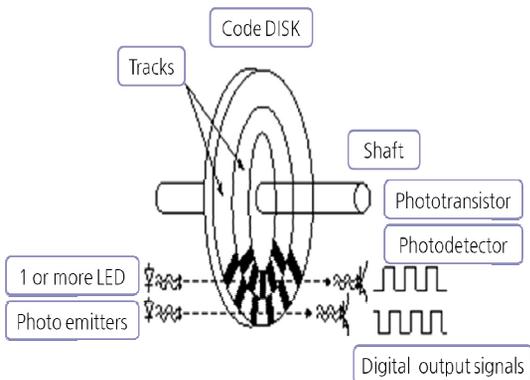


Fig. 3 The structure of optical encoder

Fig. 3은 고정도를 갖는 광학식 엔코더의 구조를 나타내고 있다. 발광체로부터 투사된 광선은 회전 디스크의 슬릿과 고정 슬릿 판의 슬릿을 통과하여 수광소자에서 검출된다. 이때 발광소자에서 발생하는 빛이 슬릿에 통과하면서 회절현상의 영향을 최소화하기 위해 Fig. 3에서와 같이 두 개의 슬릿을 사용하여 하나는 고정된 외함에 다른 하나는 회전판에 부착하여 사용한다.

두 개의 수광소자에 의해 검출된 신호를 일반적으로 A, B상으로 정의되며, A, B상 신호로부터 엔코더의 분해능을 최대한 높이기 위해 4체배 회로를 사용하여 위치검출용 카운터에 입력하게 된다. 엔코더의 A, B상 신호와 4체배 회로의 원리는 Fig. 4에 나타나 있다.

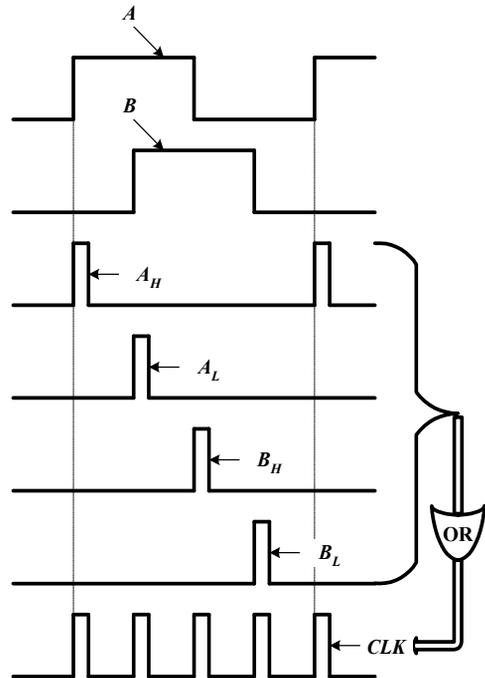


Fig. 4 Phase signal of encoder and 4 divisions

Fig. 4에서 A_H , A_L , B_H , B_L 는 A, B상 신호의 상승 및 하강 에지신호를 나타내고, CLK는 각 에지신호를 논리합의 신호를 나타내고 있다. CLK는 위치를 나타내기 위한 카운터의 클럭으로 사용되며, A상의 전기각 90° 간격으로 CLK의 한 주기가 나타나므로 4체배 회로가 된다. 따라서 엔코더의

회전판이 1회전 당 슬릿수의 4배의 카운터 값을 취할 수 있다. 위 방식은 기계적 취부의 정확도 문제는 극복할 수 있으며, 고 분해능의 위치정보를 검출할 수 있는 장점이 있으나, 위에서 언급한 자기식 엔코더에 비하여 고가이며, 3개의 수광소자 중 1개라도 오동작을 하면 전동기를 구동할 수가 없다.

2.2 제안된 새로운 엔코더

Fig. 5는 제안된 엔코더 원판의 원판 구조를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 60° 간격으로 다른 패턴을 각인하여 각 영역을 구분하였다. Fig. 5를 회전판 구조에서 각도가 0°인 위치에 포토카플러 발광부와 수광부가 취부되어 있으며, 회전자가 정속도로 회전하는 경우, 1회전을 기준으로 포토카플러의 출력은 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 포토카플러의 출력은 60° 간격의 주기를 갖는 6개의 다른 패턴이 나타나며, 각 영역은 편의상 m_0 에서 m_5 까지 총 6개의 모드로 구별할 수 있다. 각 모드의 패턴 특성을 보면 총 4개의 신호유지 시간으로 구성되어 있다. 이중 T_s 인 High영역과 T_s 인 Low영역이 모든 영역에서 존재하고, 나머지 2영역은 그 값이 영역별로 다르게 나타난다.

이 두 영역 정보에 의해 회전자의 방향과 위치 정보를 판단한다. Fig. 7은 Fig. 6에서 m_2 에서 m_3 까지의 파형이다.

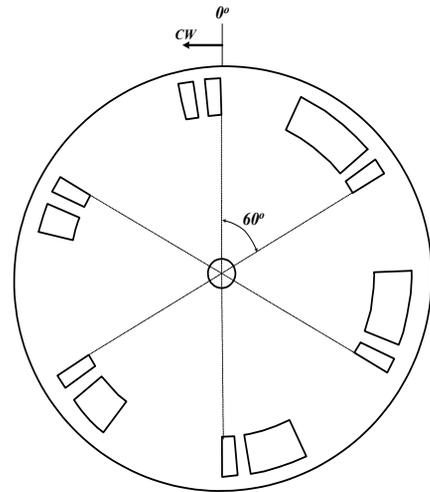


Fig. 5 The structure of disk proposed encoder

전동기가 정회전(CW)하는 경우 파형의 유지시간이 A, B, C, D, E, F, G, H순으로 검출되고, 전동기가 역회전(CCW)하는 경우 파형의 유지시간이 H, G, F, E, D, C, B, A순으로 검출된다.

이 경우 전동기의 회전방향에 관계없이 A, B와 E, F는 같은 값을 갖는다.

즉 순차적으로 입력되는 두 값이 같은 경우 모드의 변환을 나타내는 인덱스 신호로 사용한다.

인덱스 신호 이후에 검출되는 신호 즉 정회전 시 C와 D 또는 F와 G신호 역회전 시 G와 F 또는 D와 C신호를 사용하여 전동기의 회전방향과 회전자의 위치를 파악한다. 만일 인덱스 신호(Cap₁과

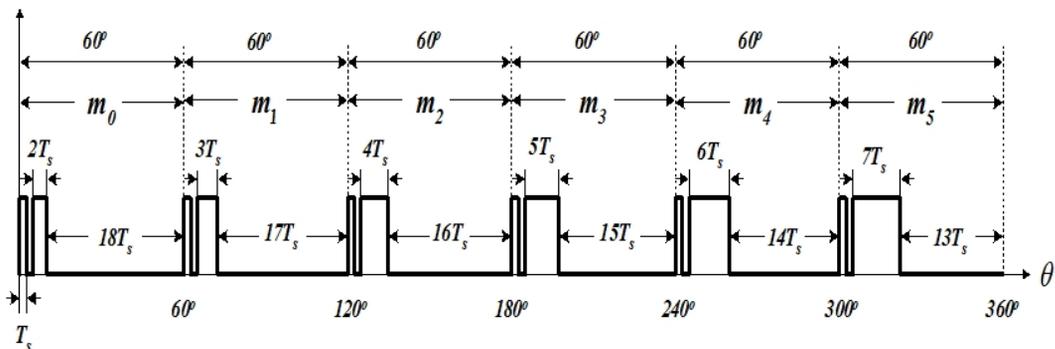


Fig. 6 Signal output of photocoupler according to position

Cap₂) 이후에 입력되는 연속의 두 신호를 Cap₃, Cap₄라 가정하면 전동기의 회전방향은 Cap₃가 Cap₄보다 작은 경우 정방향이며 큰 경우는 역방향으로 판단한다. 또한 회전자의 위치는 Cap₃와 Cap₄의 비는 식 (1)로 정의된 값에 의해 결정된다.

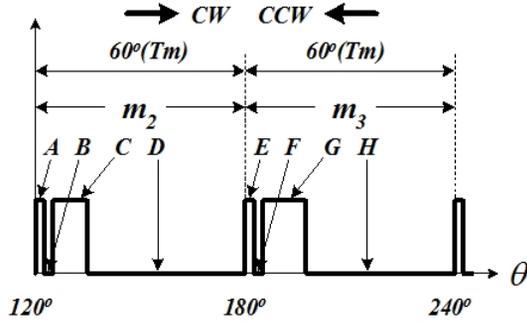


Fig. 7 Detail signal of disk proposed encoder

$$k = \frac{Cap_3}{Cap_4} \quad (1)$$

회전자 위치에 따른 그 값은 Table 1과 같다. 전동기의 속도(ω_r)는 모드가 유지시간(T_m)에 의해 계산할 수 있으며, 값은 아래와 같다.

$$T_m = Cap_1 + Cap_2 + Cap_3 + Cap_4 \quad (2)$$

$$\omega_r = 10 \frac{1}{T_m} [rpm] \quad (3)$$

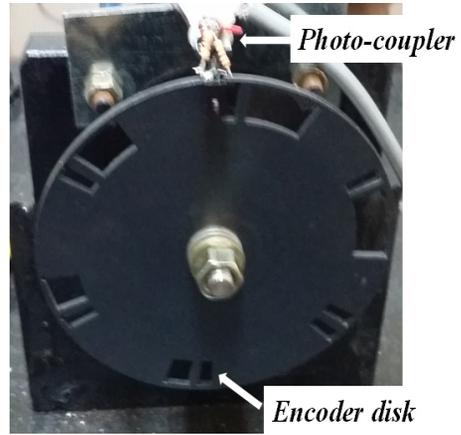
Table 1 k value according to rotor position

CW		CCW	
position	k	position	k
m0	9.0	m0	0.1
m1	5.67	m1	0.17
m2	4.0	m2	0.25
m3	3.0	m3	0.33
m4	2.3	m4	0.42
m5	1.9	m5	0.54

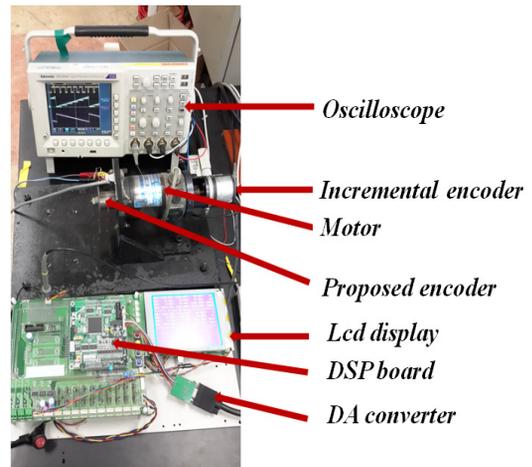
3. 시스템 구성 및 실험 결과

3.1 시스템 구성

Fig. 8은 제안된 엔코더의 타당성을 검증하기 위한 프로토타입 시스템이다. Fig. 8(a)는 제안된 엔코더 취부 사진이며, 그 성능을 확인하기 위해 기존의 1024펄스 타입의 증가형 엔코더를 사용하였고 제어보드는 TI사의 DSP(TMS320F335)를 사용하여 제안된 엔코더의 위치정보와 기존엔코더의 위치정보를 16-Bit DA컨버터를 통하여 아날로그로 출력하여 오실로스코프로 관측하였다.



(a) Proposed encoder

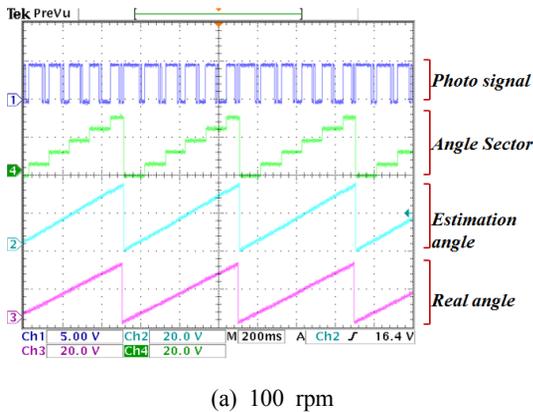


(b) Prototype system

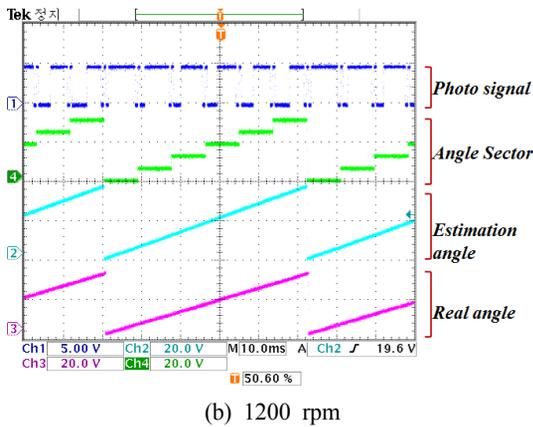
Fig. 8 Prototype system

3.2 실험 결과

Fig. 9는 전동기 속도를 100 rpm 및 1200 rpm으로 구동시 포터커플러 출력, 위치 모드, 제안된 엔코더에 의한 위치정보 및 기존의 고정도 증가형 엔코더의 위치정보를 나타내고 있다. Fig. 9(a)는 100 rpm에서의 파형이고 위치 추종오차는 6° 이내를 유지함을 알 수 있었는데, 이는 위치 오차 2% 이내임을 알 수 있다. 100 rpm 이하에서는 전동기의 회전자 위치에 따른 속도변동으로 위치 추정이 불안한 것으로 나타났다.



(a) 100 rpm



(b) 1200 rpm

Fig. 9 Encoder characteristic

Fig. 9(b)는 1200 rpm에서의 파형이며 위치 추종오차는 2.5° 이내를 유지함을 알 수 있었는데, 이는 위치 오차 1% 이내임을 알 수 있다. 이는 전동기의 속도가 고속으로 감으로 속도변동이 적어 그 추종 특성이 양호한 것으로 나타났다.

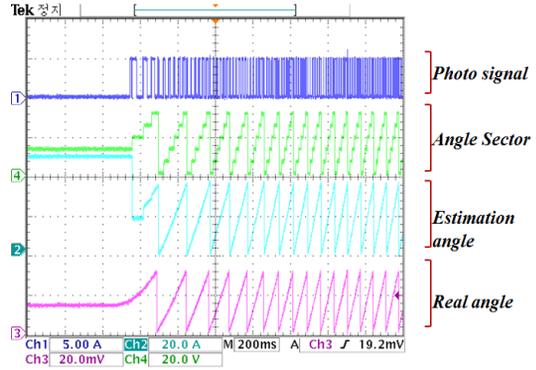
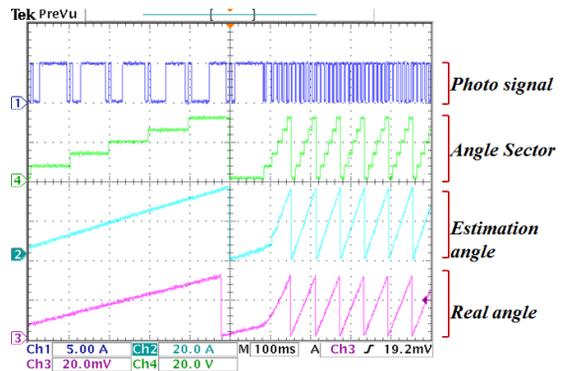
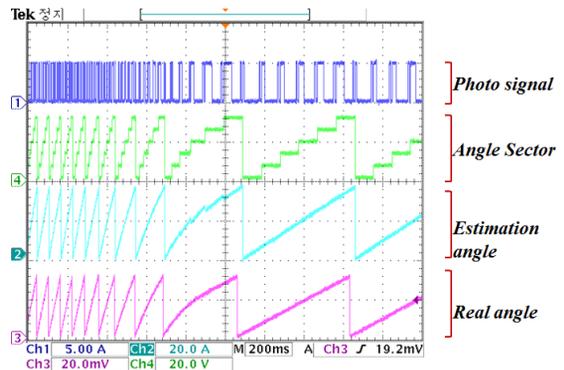


Fig. 10 Starting characteristic



(a) 100 rpm -> 1200 rpm



(b) 1200 rpm -> 100 rpm

Fig. 11 Speed regulation characteristic

Fig. 11은 전동기 속도가 100 rpm에서 1200 rpm으로 변동할 경우 및 1200 rpm에서 100 rpm으로 변동할 경우의 포터커플러 출력, 위치 모드, 제안된 엔코더에 의한 위치정보 및 기존 엔코더의 위치정보를 나타내고 있다. Fig. 11(a)는 전동기 속도

가 가속할 경우의 파형으로 위치 추종 특성은 속도 변동이 시작된 속도 급가속영역인 M_0 영역에서는 최대 12°의 위치 오차가 발생하였으나 다음 모드에서는 양호한 위치 추종특성을 보임을 알 수 있다. Fig. 11(b)는 전동기 속도가 감속할 경우의 파형으로, 위치 추종 특성은 속도 변동이 시작된 속도 급가속영역인 M_3 영역에서는 최대 13°의 위치 오차가 발생하였으나 다음 모드에서는 양호한 위치 추종특성을 보임을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 팬 모터와 같은 소형 BLDC 구동 시 위치센서에 대한 경제적 부담과 다수의 위치 검출기를 사용함으로써 발생하는 위치정보 취득을 위한 다수의 신호선 사용 및 신뢰성 저감을 극복하기 위해 1개의 위치센서를 사용하여 회전자 위치정보를 취득할 수 있는 새로운 타입의 엔코더를 제안하였으며, 그 타당성을 검증하기 위한 실험 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 전동기 속도가 100 rpm 이상의 영역에서는 위치 추종오차가 최대 2% 이내에서 양호하게 추종함을 알 수 있었다.

2. 기존 엔코더와 비교한 결과 60° 단위의 위치 검출은 에러 없이 양호하게 검출됨을 알 수 있었으며, 이는 자기식 엔코더를 이용한 3상 홀센서 방식에 동일한 특성으로 구동됨을 알 수 있었다.

3. 속도변동이 3500 rpm/sec 이내에서는 최대 위치오차가 3.3% 이내가 됨을 알 수 있었다.

이상의 결론으로부터 본 엔코더는 팬 전동기용 BLDC와 같은 급속한 속도변동이 요구되지 않는 전동기 구동시스템에 적용할 경우 센서의 위치 취득의 정확도 문제를 해결할 수 있으며, 경제적 장점을 가질 뿐만 아니라 신뢰성 증대에 기여할 것으로 사료된다.

후 기

본 논문은 부경대학교 자율창의 학술연구비(2015년)에 의하여 연구되었으며 지원에 감사드립니다.

References

1. J. Shao, 2006, "An Improved Microcontroller-Based Sensorless Brushless DC (BLDC) Motor Drive for Automotive Applications", IEEE Transfer on Ind Appl, Vol. 42, No. 5, pp. 1216-1221.
2. R. Krishnan, 2010, "Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives", CRC Press.
3. Y. S. Chen and Z. Q. Zhu, 2007, "Investigation of Magnetic Drag Torque in Permanent Magnet Brushless Motors", IEEE Transfer on Magn, Vol. 43, No. 6, June.
4. Industrial Environment Research Report for Small Motor, 2002, KETI.
5. P. Pillay and R. Krishnan, 1991, "Application Characteristics of Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motors for Servo Drives", IEEE Transfer on Ind Appl, Vol. 27, No. 5, pp. 086-996.
6. S. H. Lee, T. Velinsky, 2004, "Improved velocity estimation for low-speed and transient regimes using low-resolution encoders", IEEE Trans. Mechatronics, Vol. 9, No. 3, pp. 553-560.
7. J. H. Hwang, C. S. Chung, 2012, "DSP Implementation of a Sinusoidal Encoder using linear Hall Sensor", KIEE, Vol. 61, No. 2, pp. 298-302.
8. C. F. Lepple, 2004, "Implementation of a High-speed Sinusoidal Encoder Interpolation System", Blacksburg, Virginia, Master of Science in Electrical Engineering, Jan.
9. L. Kovudhikulrungsri, 2006, "Precise speed estimation from a low-resolution encoder by dual-sampling-rate observer", IEEE/ASME Transfer on Mechatronics, Vol. 11, No. 6, pp. 661-670.
10. Petrella, R. Tursini, M. Peretti, L. Zigliotto, M, 2007, "Speed Measurement Algorithms for Low-Resolution Incremental Encoder Equipped Drives: a Comparative Analysis", Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP), pp. 780-787.