

## 최소한의 홀센서를 이용한 BLDC모터 위치 정보 습득 방법과 활용에 관한 연구

임종석\*, 김인건\*, 원준희\*, 조수연\*\*, 이 주\*  
 한양대학교 전기공학과\*, 자동차부품연구원\*\*

### Studies on the BLDC motor control method and application using the minimum Hall sensors.

Jong suk Lim\*, In-Gun Kim\*, Jun-Hui Won\*, Su-Yeon Cho\*\*, Ju Lee\*  
 Hanyang University\*, Korea Automotive Technology Institute\*\*

**Abstract** - 속도의 가변이 많지 않은 모터 application에서는 백터 제어보다 홀센서를 사용한 BLDC제어를 주로 사용하고 있다. 하지만 기본적으로 홀센서의 기구적인 취약점으로 인하여 BLDC 제어에 문제점이 발생하는 현상을 확인할 수 있다. 본 논문에서는 기존의 BLDC전동기 구동에 필요한 3개의 홀센서를 이용한 전동기 구동방식에서 하나의 홀센서를 이용하여 회전자의 위치를 추정하는 방법에 대해 제안하였다. 이러한 방식을 통해 홀센서의 취약 부분인 열에 의해 손상되는 경우나 기구적으로 위치오차를 가지고 있는 경우에도 정상적으로 위치정보를 습득할 수 있도록 하여 정상적인 BLDC제어를 할 수 있도록 하는 방안을 제안하였다.

#### 1. 서 론

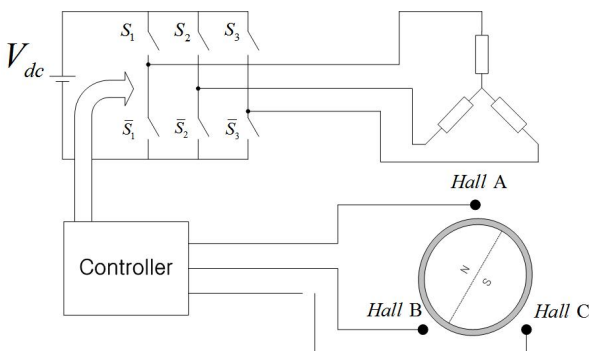
일반적으로 3상 브러시리스 직류 전동기 (BLDC, Brushless DC Motor)는 구조가 간단하여 소형화나 박형화 등이 가능하고, 큰 토크를 낼 수 있으며, 고출력밀도 및 고효율 등의 장점들로 인하여 산업분야에서 많이 사용하고 있다.[5][6]

BLDC 전동기는 정확한 속도 및 토크 제어를 위해 반드시 회전자의 속도뿐만 아니라 회전자의 위치정보가 반드시 필요하다. 따라서 회전자의 자극 위치를 검출하는 센서와 그 센서 신호를 이용하여 상전류 값을 전환하도록 하는 변환 회로가 필수적으로 요구된다. 대표적으로 회전자의 위치 및 속도 정보는 엔코더, 레졸버 및 홀센서와 같은 위치 센서를 전동기에 부착시켜 얻을 수 있다. 물론 엔코더와 레졸버는 높은 분해능을 갖지만 시스템의 가격 상승과 부피가 증가하는 단점을 가지고 있다.[2] 반면 홀센서의 경우 가격이 저렴하고 전동기 내부에 설치되어 공간적 제약이 크게 받지 않지만 열에 약하고 기구적으로 각 상의 홀센서들이 이상적으로 120°의 전기각 간격으로 설치되지 않았을 경우 정확한 위치 정보를 얻을 수 없다는 단점을 가지고 있다.[1] 본 논문에서는 위치 정보 습득 방법을 제안하여 최소한의 홀센서를 사용하더라도 정상적인 위치정보를 습득함으로써 홀센서의 취약점에 대한 대응책을 제안하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 홀 센서를 이용한 기본적인 BLDC구동

일반적으로 3개의 홀센서를 이용하는 BLDC 제어 알고리즘은 [그림 1]과 같이 홀센서에서 회전자의 위치정보를 피드백 받아 제어기를 통해 PWM 스위칭을 하여 BLDC 전동기에 다시 전류를 인가하여 상 전환을 시켜주는 방법을 가지고 있다.

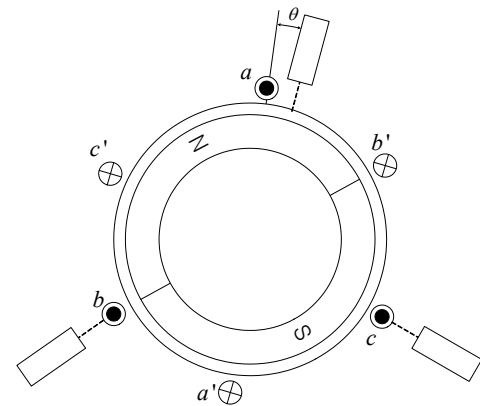


<그림 1> 3개의 홀센서를 이용한 BLDC제어

##### 2.2 홀 센서의 취약점으로 인해 발생하는 문제점

일반적으로 전기적으로 60°의 분해능을 가진 3개의 홀센서를 이용하여 회전자 N, S극의 절대적인 위치를 입력받아 BLDC 전동기의 각 터미널에 전류를 흘려주어 상 전환을 시켜주어야 한다. 하지만 열에 취약하고 기구적으로 120°간격을 정확하게 일치시키기 어려운 홀센서의 단점으로 인해 정확한 회전자의 위치 정보를 얻지 못하게 된 상태로 BLDC 전동기를 제어할 경우, 위치 오차를 가지는 전류를 모터에 인가하게 되어 토크 맥동이 상승하고 평균 토크의 크기가 감소하게 된다. 기존의 이러한 홀센서의 기구적 배치로 인한 문제점을 홀센서 위치 오차 보상 알고리즘을 이용하는 방법, 외삽법과 평균 필터를 이용하는 방법 등을 이용해 해결하는 방법이 이미 많은 논문에서 소개 되어 왔다. 이러한 알고리즘 및 보상 방법은 연산량이 많거나 복잡한 제어를 해야 하거나 구조가 복잡해지는 단점을 가지게 된다.

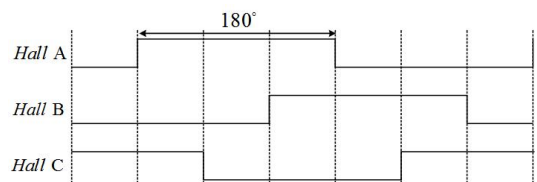
본 논문은 홀센서를 이용한 새로운 위치 정보 획득 방법을 소개하고 이 방법을 이용하여 얻은 위치 정보를 가지고 홀센서의 취약점에 대한 대응책을 제시하도록 한다.



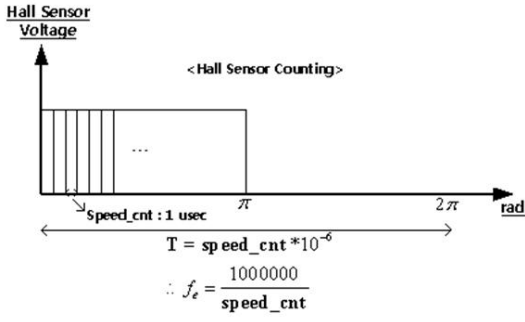
<그림 2> 설치 오차를 갖는 홀센서

##### 2.3 홀 센서를 이용한 위치 정보 획득

기본적으로 홀센서는 회전자의 N, S를 판별하여 0과 1로 위치정보를 제공한다. 이해를 돕기 위해 [그림 3]과 [그림 4]는 홀센서에서 위치 정보를 1과 0의 형태로 나타내는 것을 보여준다.[3],[4] 반주기동안 홀센서에서 N극을 1로 출력하여 위치 정보를 제공하고 나머지 반주기는 S극을 0으로 출력하여 위치 정보를 제공하는 것을 알 수 있다. 이러한 디지털 신호를 DSP(TMS320F28335)의 GPIO 포트를 사용하여 센싱을 한다. 홀센서에서 1의 값이 출력되는 동안 1마이크로 단위로 센싱을 하게 되어 홀센서에서 1의 값이 뜨고 그 다음 1의 값이 다시 뜨게 되는 한 주기의 시간동안 몇 번의 센싱이 되었는지를 알 수 있게 되어 결국 홀센서 한 주기 2π 동안 발생한 총 counting 수를 이용하여 전기각 주파수를 구할 수 있다.



<그림 3> 3개의 홀센서에서 N, S를 판별하여 출력하는 디지털 신호



<그림 4> 홀 센서 출력 전압 counting

회전자의 위치  $\theta_E$  는 회전자의 초기위치  $\theta_e$  와 각속도  $w$  로 나타낼 수 있다.

$$\theta_E = \theta_e + wt \quad (1)$$

여기서  $w$  는  $2\pi f$  로 나타낼 수 있다.

한편 속도 rpm은 극수  $P$  와 주파수  $f$  로 나타낼 수 있다.

$$rpm = \frac{120f_c}{P} \quad (2)$$

따라서 속도에 따른 회전자의 위치 정보를 다음과 같은 수식을 통해 관찰할 수 있게 된다.

$$\theta_E = \theta_e + (2\pi f_c t) \quad (3)$$

이러한 방법으로 하나의 홀 센서를 이용해서 회전자의 기계적으로 360°의 위치 정보를 속도가 변함에 따라 시간과의 함수로 나타낼 수 있게 된다.

## 2.4 위치정보 센싱 방법의 활용

앞에서 소개한 홀센서의 위치정보 습득을 위한 센싱 방법을 이용하면 홀센서의 취약점인 열에 약함과 기구적으로 틀어지게 배치된 홀센서로 인해 잘못된 지령으로 인한 토크 맥동 및 평균 토크 저감되는 현상을 방지할 수 있는 대안 책을 제시할 수 있다.

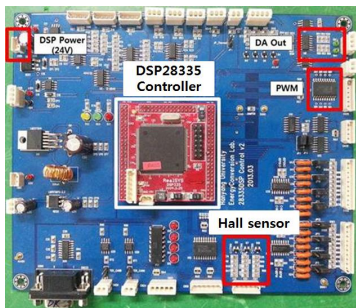
기본적으로 3개의 홀센서를 사용하는 구동 법에서 한상 이상이 문제가 발생하였을 시 정상적으로 작동하는 나머지 홀센서를 이용하여 회전자의 위치 360°를 전부 파악이 가능하므로 잘못된 지령으로 인한 토크 맥동 및 평균 토크 저감 현상을 방지할 수 있다.

## 3. 실험

### 3.1 3개의 홀센서 중 설치오차를 갖는 하나의 홀센서

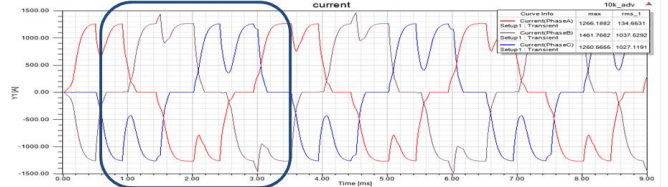
제한한 홀센서의 위치정보 습득을 위한 센싱 방법을 이용하여 3개의 홀센서중 하나의 홀센서가 정확하게 120°의 간격으로 배치되지 않은 경우를 예로 실험을 진행하였다.

이 실험에는 고성능 MCU계열인 DSP(TMS320F28335)를 사용하였다. 홀 센서 counting을 속도에 대한 함수로 지정하여 counting 시간을 1msec로 지정하였다. 홀센서 한 주기 동안 총 counting 시간을 이용하여 전기각 주파수를 구하였고 식(3)을 이용하여 구한 위치정보를 이용하여 BLDC 제어를 하였다.

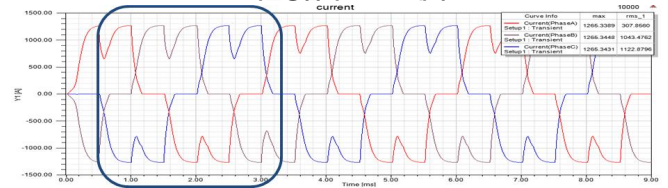


<그림 5> TMS320F28335를 이용한 범용 모터 드라이브 보드

다음 [그림6]에서 a는 홀센서의 취약점의 한 예로 기구적으로 120° 간격이 일치되지 않은 홀센서의 위치정보를 받아 BLDC 제어를 한 경우의 전류 파형을 나타낸 그림이고, b는 손상이나 배치가 잘못되지 않은 나머지 홀센서를 위치정보 습득 방법을 이용하여 위치정보를 습득하고 이를 이용해 BLDC 제어를 하게 되었을 때의 전류 파형을 보여준다. 또한 이러한 전류가 모터에 인가됨으로 인해 발생하는 토크 맥동 및 평균 토크 저감 현상을 방지할 수 있음을 [그림7]의 a, b를 통하여 확인할 수 있었다.

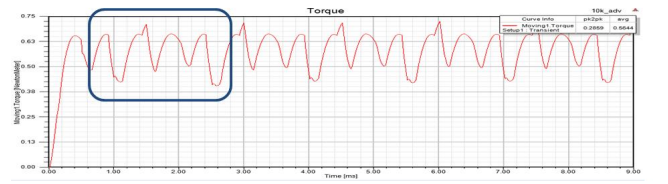


(a) 기존방법의 BLDC제어

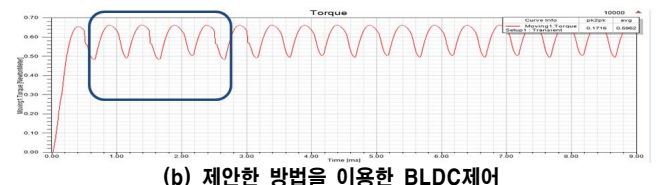


(b) 제안한 방법을 통한 BLDC제어

<그림 6> 홀센서 이상 시 위치정보 습득에 따른 BLDC 제어 전류파형



(a) 기존방법의 BLDC제어



(b) 제안한 방법을 이용한 BLDC제어

<그림 7> 홀센서 이상 시 위치정보 습득에 따른 BLDC 제어 토크 파형

## 4. 결 론

본 논문은 DSP(TMS320F28335)를 이용하여 홀센서가 설치된 BLDC 전동기의 위치정보를 파악 하는 방법을 제안 하였다. 제안한 방법을 이용하여 홀센서의 설치 오차 및 홀센서의 고장으로 인해 발생하는 토크 맥동의 증가 및 평균 토크 감소를 방지할 대안 책으로 제시하였다. 제안한 방법은 구현이 간단하고 위치 오차나 기구적 손상을 보상하기 위한 추가적인 하드웨어가 요구되지 않는다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 박제욱, "역기전력 추정법을 이용한 브러시리스 직류 전동기의 홀센서 상전류 전환시점 보상 방법", 전력전자학회 논문지, 17, 246-251, 2012.06
- [2] 김현철, "단상 BLDC 전동기의 홀센서 위치에 따른 Peak 전류 최소화 에 대한 연구", 2012 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, 283-286, 2012.04
- [3] N. Samoylenko, Qiang Han, Jatskevich J, "Dynamic Performance of Brushless DC motors With Unbalanced Hall Sensors", Energy Conversion, IEEE Transactions on, Vol. 23, pp.752-763, 2008.09
- [4] Tashakori A, Ektesabi M, "A simple fault tolerant control system for Hall Effect sensors failure of BLDC motor", Industrial Electronics and Applications IEEE conference on, Vol. 10, pp.1011-1016, 2013,
- [5] T. J. E. Miller, "Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives," Oxford, 1989
- [6] J. R. Hendershot and T, J, E, Miller, "Design of Brushless Permanent-Magnet Motors," Oxford, 1994