

권선 단선 고장 DC 모터의 진단

양철오*, 표연준**, 김준영*, 박규남*, 송명현*
 순천대학교*, (주)현대콘트롤전기**

Diagnosis for Winding Open Fault of DC Motor

Chul-Oh Yang, Yeon-Jun Pyo, Jun-Young Kim, Kyu-Nam Park, Myung-Hyun Song
 Suncheon National University, Hyundai Control Electric

Abstract - In this study, an algorithm for diagnosis of dc motor with winding open fault is suggested. A dc motor used in this paper, is consisted of a permanent magnet field stator, double 16-turn series winding rotating armature with 12-slot, brush and 12-commutator, etc.

A current signal of dc motor which has brushes and commutators was considered for fault diagnosis. By commutation, this current signal shows different wave form according to the fault condition of the motor. In this study, operation of the data was easily through simplification of the current signal by the signal processing. Computation method is presented reference value(C_{dv}) for diagnosis of winding open fault and verified through experiments that can be diagnosed using the reference value(C_{dv}).

1. 서 론

DC 모터는 그 적용이 쉽고 가격에 비해 성능이 좋기 때문에 광범위하게 사용되고있다. DC 모터의 고장으로 인해 전류의 변화가 불규칙하게 나타나는 되면 진동, 마모, 과열, 소음 등이 발생하며 이는 모터 수명 감소의 원인뿐만 아니라 모터의 정지에 따른 시스템 정지의 결과로 이어질 수 있다. 이러한 사고를 사전에 방지하기 위해 DC 모터의 조기 고장 검출에 대한 연구의 필요성이 대두되었다.

전류 신호 분석을 통한 고장 진단은 AC 유도모터의 고장 진단에 대한 연구가 주를 이루었지만, 최근 전류 신호 분석을 이용한 DC 모터 고장 진단 분야로 확장되어 여러 가지 연구가 수행되고 있다[1]. DC 모터의 고장 진단에 대한 연구에는 인공 신경망 및 퍼지 논리 기법 등을 이용한 방법이 적용되었다[2-5]. 이러한 진단 방법들은 DC 모터의 모델링에 의한 수학적이고 통계적인 접근 방법으로, 정적 모터의 시뮬레이션적인 접근에는 매우 우수한 성능을 가지나 실제 운전 시 발생할 수 있는 노이즈나 예상치 못한 현상에 대한 고려가 되지 않아 실제 운전 시 진단 기법을 적용하기는 쉽지 않다.

이로 인해 DC 모터의 정류전류 파형의 해석을 이용한 진단에 대한 연구가 수행되었다[6-7]. 그리고 DC 모터 고장 진단을 위한 전류신호 해석에서는 DC 모터의 정류 작용에 의한 정류 파형 분석을 통해 여러 가지 고장 상태에 따른 전류 신호를 분석하였다[8]. 이러한 전류 신호 분석에 대한 연구에서는 정상 모터와 고장 모터의 전류 신호의 차이를 통해 고장 진단이 가능함을 제시했을 뿐, 구체적인 진단 방법은 제시되지 않았다.

본 연구에서는 이러한 연구 결과를 바탕으로 권선 단선 고장 모터의 진단을 위한 구체적인 신호처리 및 진단 기준값 연산 방법을 제시하고 실험을 통해 제안한 방법의 적용 가능성을 확인하였다.

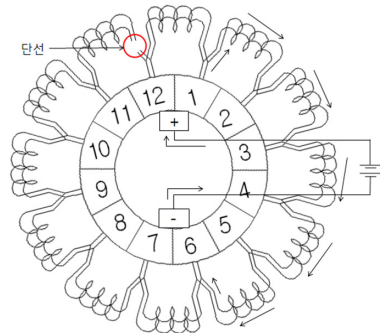
2. 본 론

2.1 권선 단선 DC 모터 전류 신호의 특성

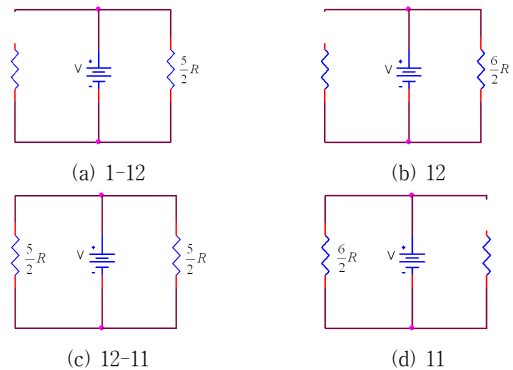
본 연구의 실험에 사용된 DC 모터는 12개의 정류자편과 12개의 슬롯을 가지는 구조로 되어 있으며, 5개의 슬롯을 중심으로 16턴의 권선 그룹이 2층권을 형성하여 중권으로 정류자편에 접속된다[8].

그림 2.1은 전기자 권선에 단선 고장이 발생했을 때 전기자 전류의 흐름을 보여준다. 권선 단선으로 인해 그림과 같이 브러시 접촉면의 좌측으로 흐르는 전류의 흐름이 차단되므로 우측 루프에서만 전류가 흐르게 된다. 그림 2.2는 그림 2.1의 상태에서 회전자가 시계방향으로 회전함에 따른 등가 저항의 변화를 나타낸 것이다. 그림 아래의 숫자는 회전자의 위치에 따라 양극의 브러시와 접촉하는 정류자편의 번호를 의미한다. 정류자편 11과 12 사이의 권선에 단선이 발생하였으므로 정류자편 11, 12 사이에 브러시가 접촉하면 그림 2.2의 (c)와 같은 등가저항을 가지게 된

다. 브러시가 권선 단선이 일어나지 않은 정류자편과 접촉하여 회전할 경우에 회전자 권선의 등가저항은 그림 2.2의 (a), (b) 상태를 반복한다.



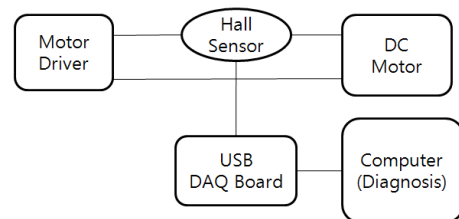
<그림 2.1> 전기자 권선이 단선된 고장 모터의 전류 흐름



<그림 2.2> 권선 단선 모터의 회전자 회전에 따른 등가저항 변화

2.2 실험 장치 구성

그림 2.3은 DC 모터 실험장치 구성도이다. 전원부에서 모터로 입력되는 전류신호는 홀 센서에 의해 전압신호로 출력된다. 홀 센서의 출력 전압 신호는 DAQ Board에 의해 디지털 값으로 변환된다. 컴퓨터는 디지털 값을 수집하고 실제 전류로 환산하여 분석 및 저장하는 역할을 한다. 그리고 모터 드라이버의 출력 전압 파형은 주기는 10[ms]이고 주기 점유율은 90[%]인 24[V] 전압 신호가 출력된다. 따라서 모터 구동 드라이버로 구동되는 모터의 진단을 위해서는 모터 드라이버의 전원 신호에 의한 전류 파형의 변화를 고려해야한다.



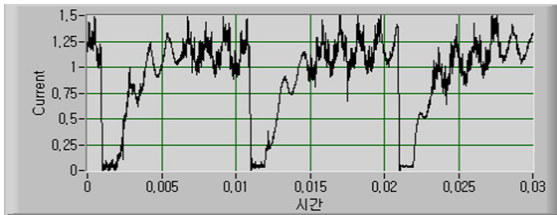
<그림 2.3> DC 모터 진단 시스템의 하드웨어 구성도

2.3 실험 결과 및 검토

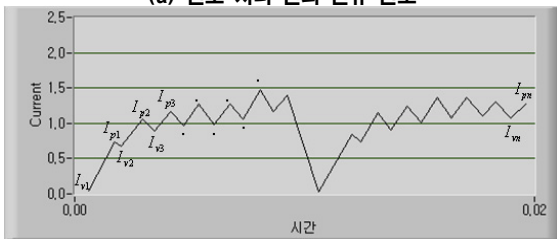
2.3.1 신호 처리

DC 전동기의 구동 드라이버는 10[ms] 주기를 갖는 전원 전압을 출력하므로 홀 센서를 통해 측정된 DC 모터의 전류 신호는 그림 2.6의 (a) 그래프와 같이 10[ms]에 한 번씩 0[A]가 된다. 그리고 홀 센서의 출력 전압 신호에는 고주파 노이즈가 포함 되어 있다.

그림 2.4의 (a)와 같은 전류신호를 1000[Hz]의 차단 주파수를 갖는 1차 저역통과 필터를 통해 고주파 성분을 제거하였다. 그리고 DC 모터의 고장 상태에 따른 전류 신호의 특성을 수치화하기 위해 데이터의 간소화가 필요하다. 따라서 모터 드라이버 전원 신호의 두 주기(20ms)동안의 전류 신호 데이터 샘플링하고, 상·하위 피크점 추출을 통해 약 24개의 배열 데이터로 그림 2.4의 (b)와 같이 전류 파형의 모양을 재생하였다. 여기서 상위 피크점 배열과 하위 피크점 배열은 각각 (peak: I_{pn} , valley: I_{vn})으로 정의하였다[8].



(a) 신호 처리 전의 전류 신호

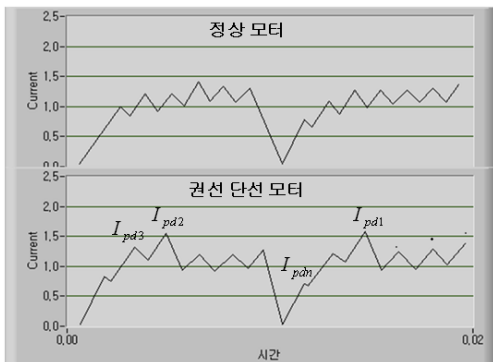


(b) 신호처리 후의 전류 신호

〈그림 2.4〉 신호처리 과정 전·후의 전류 신호 비교

2.3.2 권선 단선 고장 모터 진단

권선 단선 고장 모터는, 단선이 발생한 부분의 정류자편과 음극 또는 양극의 브러시가 접촉할 때 전기가 저항이 작아 다른 접촉면에서 접촉할 때 보다 더 큰 피크가 발생한다. 그림 2.5는 정상 모터와 단선 고장 모터의 전류 신호를 비교한 그래프이다. 정상 모터의 전류 신호에서는 회전자 1회전 하는 동안 정상 모터의 전류 신호의 피크는 고르게 나타나 것을 확인할 수 있다. 반면에 권선 단선 모터의 전류 신호에서는 회전자 1회전 하는 동안 다른 피크에 비해 큰 피크가 두 번 발생하는 것을 보여준다. 이러한 단선 고장 모터 전류 신호의 특징을 수치적으로 연산하여 그 값을 진단의 기준값으로 하여 단선 고장을 진단할 수 있다.



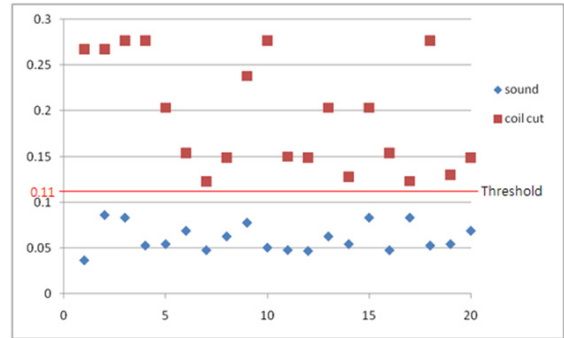
〈그림 2.5〉 정상 모터와 단선고장 모터의 전류 신호 비교

단선 고장을 진단하기 위해 DC 모터가 1회전 하는 동안에 추출된 피크값의 크기를 이용하여 권선 단선 고장 진단의 기준값을 수치적으로 연산 하였다. 회전자 1회전하는 동안 전류 신호의 피크값을 추출하여 식 (2.1)과 같이 두 번째로 큰 피크값과, 세 번째부터 여덟 번째 까지의 피크값의 평균의 차를 이용해 단선 고장 진단의 문턱값(C_{dv})을 연산하였다.

$$C_{dv} = I_{pd2} - \left(\frac{\sum_{n=3}^8 I_{pdn}}{6} \right) \quad (2.1)$$

여기서, I_{pdn} 은 내림차순으로 정렬된 peak값 배열,

그림 2.6은 정상 모터와 단선 고장 모터의 전류 신호를 수집하여 제시한 방법을 통해 신호 처리 후 식 (2.1)을 이용해 단선 고장 진단의 기준값(C_{dv})을 연산하여 정상 모터와 단선 모터의 C_{dv} 를 비교한 결과 그래프이다. 정상 모터의 C_{dv} 값은 20회 실험 모두 0.1[A] 이하에서 생성되는 반면, 권선 단선 고장 모터의 C_{dv} 값은 20회 모두 0.11[A] 이상에서 생성되므로 문턱값 0.11[A]을 기준으로 정상 모터와 권선 단선 모터의 구분이 가능함을 확인할 수 있다.



〈그림 2.6〉 단선 고장 진단의 문턱값 설정

3. 결 론

본 연구에서는 단선 고장 모터의 진단 방법에 대한 연구를 위해 정상 및 단선 고장 모터의 전류 신호 수집 및 연산을 위한 실험 장치를 구성하여 실험하였다. 실험을 통해 수집된 정상 모터와 단선 고장 모터의 전류 신호는 필터링 및 특징점 추출 등의 신호처리를 통해 데이터를 간소화함으로써 약 24개의 배열 데이터로 전류 파형의 모양을 재생하였다. 이 신호처리 과정을 통해 얻어진 전류 신호를 이용해 DC 모터의 권선 단선 고장 진단 방법에 대한 연구를 수행하였다.

권선 단선 고장 진단을 위해 진단 기준값(C_{dv})을 수치적으로 연산하는 방법을 제시하고, 그 방법으로 연산한 C_{dv} 값을 연산하여 비교한 결과, 정상 모터와 단선 고장 모터의 C_{dv} 값의 차이가 명확하므로 제시한 방법을 이용해 DC 모터의 권선 단선 고장 진단이 가능함을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] David L. McKinnon, "Online Fault Analysis of DC Motor", PdMA Corporation Domestic Articles, <http://www.pdma.com/pdMA-articles.php>, 2007.
- [2] 이기상, 최낙원, 임제형, 이정동, "인공 신경망을 이용한 분권 전동기의 고장 진단," 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 21~31, 1994
- [3] Y. Selaimia, H.A. Abbassi, A. Loudjani, "Multi Neural Network Based Approach for Fault Detection and Diagnosis of A DC Motor," Journal of Engineering and Applied Sciences, pp. 143~148, 2006
- [4] Luis J. de Miguel, L. Felipe Blazquez, "Fuzzy logic-based Decision-making for fault diagnosis in a DC motor," Engineering Applications of Artificial Intelligence, pp. 423~450, 2005
- [5] Dominik Fussel, Peter Balle, "Combining Neuro-Fuzzy and Machine Learning for Fault Diagnosis of a DC Motor," Proceedings of the American Control Conference Albuquerque, New Mexico, June 1997
- [6] 장강문, 안중환, "DC 모터의 정류전류 파형 검사 시스템 개발," 한국정밀공학회 99년 춘계학술대회 논문집, pp. 149~153, 1999. 5
- [7] O.F. Bay, R. Bayir, "Kohonen Network Based Fault Diagnosis and Condition Monitoring of Pre-Engaged Starter Motors," International Journal of Automotive Technology, Vol. 6, No. 4, pp. 341~350, 2005.
- [8] 양철오, 김형진, "DC 모터의 고장 진단을 위한 전류 신호 해석," 대한전기학회 광주·전남지회 추계학술대회 논문집, pp. 79~84, 2009. 11.