

연료 펌프용 브러시 정류자 특성 측정에 관한 연구

이인제, 이덕형, 홍선기
호서대학교 시스템제어공학과

A Study on Measurement of brush-commutator Characteristics of Fuel Pumps

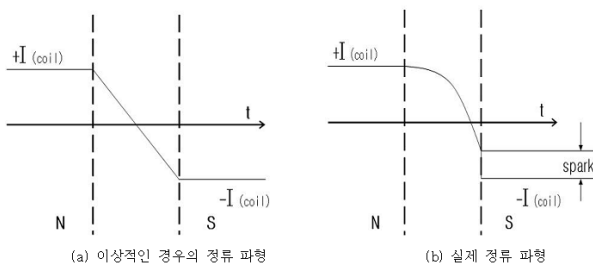
In-Jea Lee, Duck-Hyoung Lee, Sun-Ki Hong
Department of System Control Engineering Hoseo University

Abstract - 본 논문은 자동차 연료 펌프의 수명을 결정짓는 연료펌프용 DC모터의 브러시-정류자간의 전압, 전류 특성을 분석하는 것이다. 기존의 DC모터 실험으로는 정류자와 브러시 표면 상태 확인이 어렵고 코일 전류 파형 및 브러시-정류자간 전압 강압 파형이 측정 불가능했다. 그리고 모터의 L값을 변화 시킬 수 없기 때문에 다양한 조건의 실험이 불가 하였다. 이러한 단점을 보완하여 브러시-정류자간 전압 파형을 측정을 하기 위해 시뮬레이터를 개발하는 것이 본 논문의 주제이다.

1. 서 론

자동차 성능과 수명이 날로 증가함에 따라 점점 자동차 부품들도 점차 보수가 필요 없도록(maintenance free) 높은 수명을 요구하고 있다. 이 중, 자동차에서 연료 펌프는 연료 탱크 내의 펌프 모터의 수명과 동일하다고 볼 수 있다. 또한 펌프 모터의 수명은 모터 내의 브러시와 정류자의 성능 유지 시간에 의존한다. 본 연구에서는 연료탱크에서 사용되는 연료공급용 펌프에 사용되는 DC 모터 브러시-정류자 간의 특성 시험 및 분석에 관한 것이다. DC 모터는 정류자와 브러시가 존재하며 정류자와 브러시는 전기자 단자 전압의 극성을 일정하게 만드는 기계적인 정류기 역할을 하여 전기자 전류가 만드는 기자력의 방향을 공간적으로 일정하게 한다. 그렇기 때문에 같은 극의 아래를 통과하는 모든 도체의 전류 방향이 일정해진다. 전류가 흐르는 코일이 브러시를 지날 때에 전류의 방향이 바뀌는데 <그림 1>의 (a)에서는 이상적으로 코일의 전류가 직선적으로 변하는 것을 보여주고 있다. 하지만 실제 직류기의 정류는 두 가지의 원인으로 직선적이지 못하다. 첫 번째는 정류가 발생하고 있는 코일에 인덕턴스가 존재해서 전류의 직선적 변화를 방해한다. 두 번째는 정류 중의 리액턴스 전압이다. 정류가 발생하는 코일은 극의 중간 지역에 위치한다. 그런데 전기자 권선 전류에 의한 전기자 반작용 기자력은 q축 방향으로 기자력을 발생해서 극의 중간 지역에 자속을 발생시킨다. 이 때문에 코일이 이 지역을 통과할 때 코일에 전압이 유기고, 이러한 리액턴스 전압은 코일의 전류 변화를 방해한다.

이 두 가지 원인 때문에 코일이 브러시를 벗어 날 때에도 정상적으로 정류가 끝나지 못하여 <그림 1>의 (b)와 같은 전류가 최종치로 급격히 변하게 되어 불꽃(spark)이 발생하게 되며, 이로 인해 브러시와 정류자의 수명이 감소하면서 모터의 수명도 함께 감소하게 된다. 이에 대한 최적의 조건을 찾기 위해 각 상황별로 실험을 하여 상황별 아크전압 데이터를 수집한다.

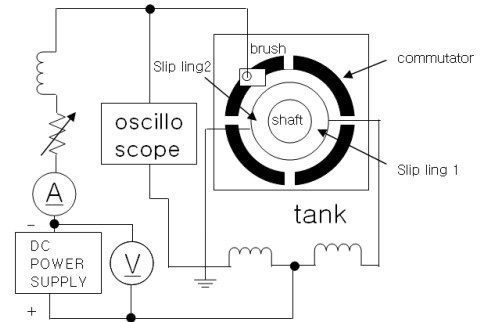


<그림 1> 이상적 정류 파형과 실제 정류 파형

2. 본 론

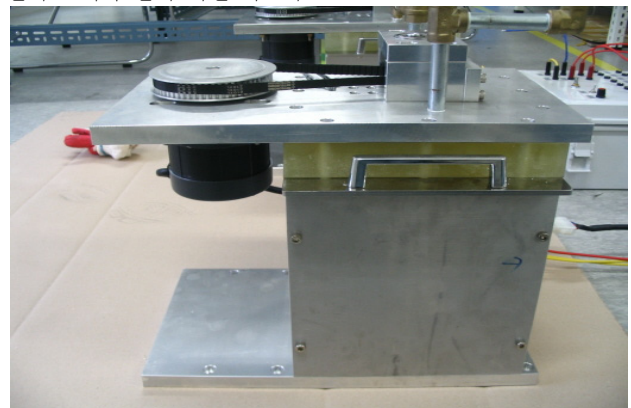
2.1 시뮬레이터 설계

<그림 2>의 구성도를 바탕으로 시뮬레이터를 설계하였다. 그림은 정류자와 브러시, 슬립링으로써 연료 탱크 안에 들어가는 부분이다. 실제 정류자-브러시 구간으로써 쉽게 정류자와 브러시를 교체 할 수 있다.



<그림 2> 시뮬레이터 구성도

<그림 3>은 시뮬레이터의 외형으로써 BLDC 모터가 외부에 있고 타이밍 벨트를 연결하여 정류자 축을 회전 시켜 정류자를 실제 모터와 같이 회전 시킨다.



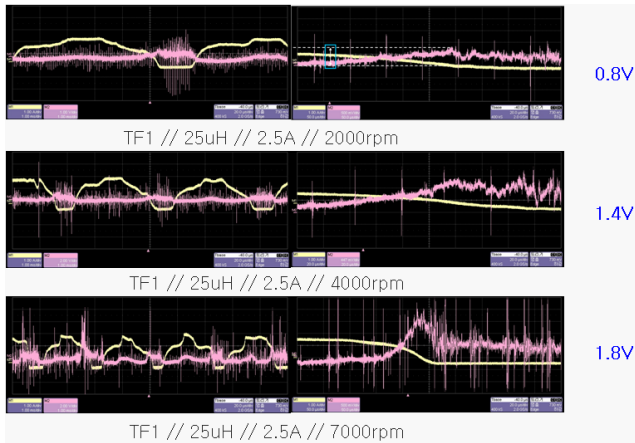
<그림 3> 시뮬레이터의 외형

외부 컨트롤 박스에 내장 되어 있는 가변 인덕터의 L 값을 시뮬레이터로 공급을 해줄 수 있다. 외부 컨트롤 박스는 시뮬레이터와 연결되어 실제 정류자와 브러시의 아크 전압과 전기자 전류를 측정 할 수 있다. 이 컨트롤 박스는 5.2uH부터 25uH까지 인덕터 값 가변이 가능하고 9000rpm까지 속도 제어가 가능하다.

2.2 파형 실험

2.2.1 속도에 따른 파형 실험

<그림 4>는 연료는 가솔린, L값은 25uH, 전류는 2.5A의 조건에서 속도를 2000, 4000, 7000RPM으로 변화시켰을 때의 측정 파형이다. <그림4>의 파형과 같이 속도가 높을수록 아크 전압이 더 발생 하였다.



<그림 4> 속도에 따른 아크 전압 변화

속도가 빠를수록 아크 전압이 더 큰 이유는 <식 1>에서 해석할 수 있다.

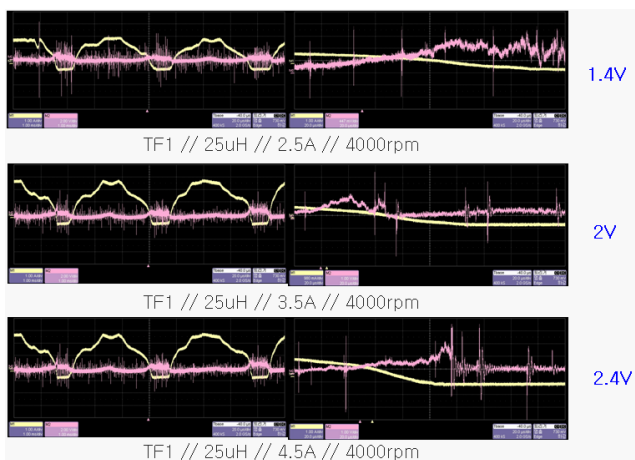
$$V_{arc} = L_e \frac{di_c}{dt} \quad (1)$$

브러시가 공극을 지나갈 때 속도가 빠를수록 정류자면 간의 공극을 지나가는 시간 감소한다. 이 경우 위의 수식에서 전류의 변화율이 커지게 되므로, 아크전압은 상승하게 된다.

반대로 회전 속도가 느려진다면 공극을 지나가는 시간이 증가, 즉 전류의 변화율이 감소한다. 따라서 t의 값이 증가하므로 분모가 커져 아크전압의 값은 작아진다.

2.2.2 전류에 따른 파형 실험

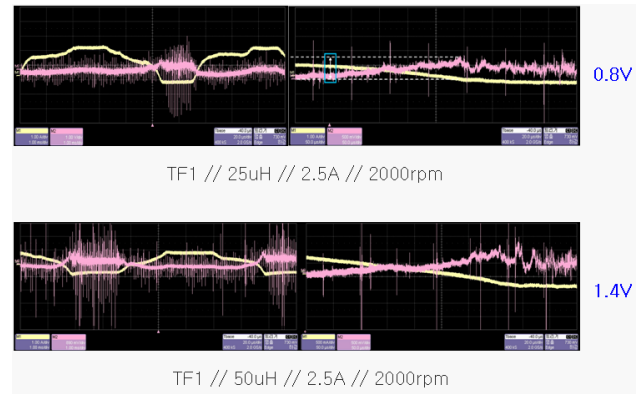
<그림 5>는 연료는 가솔린, L값은 25uH, 속도는 4000RPM으로 고정시키고 전류만 각각 2.5A, 3.5A, 4.5A 일 때의 측정 파형이다. 그림과 같이 전류가 더 높을수록 아크 전압이 더 발생 하였다.



<그림 5> 전류에 따른 아크 전압 변화

2.2.3 인덕터에 따른 파형 실험

<그림 6>은 연료는 가솔린, 전류 2.5A, 속도는 2000RPM으로 고정시키고 L 값을 25uH와 50uH 로 가변 시켰을 때의 측정 파형이다. <그림 6>의 파형과 같이 L값이 높을수록 아크 전압이 더 발생한다.



<그림 11> 인덕에 따른 아크 전압 변화

3. 결론

실험 결과 L값의 크기에 따라 아크 전압이 다르게 발생하는 것을 볼 수 있었다. 또한 전류와 속도에 따라서도 아크 전압이 다르게 발생 했다.

시뮬레이터 제작 결과 실험과 같이 다양한 L값으로 가변하여 실험을 할 수 있고 정류자와 브러시를 쉽게 교체 할 수 있어 다양한 조건에서의 실험을 빠르게 진행 할 수 있으며 쉽고 빠른 데이터 수집이 가능하다. 또한 정류자 표면상태 확인이 편리하며 정류자-브러시간의 전압 강압 측정이 가능하다.

이 실험은 실제 자동차 연료 펌프 제작 시 모터 조건에 맞는 수명을 고려한 최적의 정류자-브러시 조합을 찾는 데 많은 기여를 할 것으로 기대 된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Koichiro Sawa and Nobuhiro Shimoda "A Study of Commutation Arcs of DC Motors for Automotive Fuel Pumps" APRIL 1992, IEEE
- [2] Taro Yamamoto, Kazuo Bekki, and Koichiro Sawa "A Study on Brush Wear Under Commutation Arcs in Gasoline", SEPTEMBER 1996, IEEE
- [3] Masaki Takaoka, Koichiro Sawa, "An Influence of Commutation Arc in Gasoline on Brush Wear and Commutator", 2000
- [4] Masaki Takaoka, Koichiro Sawa "An Influence of Commutation Arc in Gasoline on Brush Wear and Commutator", SEPTEMBER 2001, IEEE
- [5] Takashi Shigemori, Koichiro Sawa " Characteristics of Carbon and Copper Flat Commutator on DC Motor for Automotive Fuel Pump", 2004
- [6] Takashi Shigemori, Koichiro Sawa, "Characteristics of Carbon Flat Commutator for High-Inductance DC Motor Driving Automotive Fuel Pump"
- [7] Koichiro SAWA, Takashi Shigemori, "Characteristics of Carbon Flat Commutator with Condenser for Arc Quenching", 2006