

조립형 블록코일을 이용한 슬롯리스 전동기 특성 연구

이승현*, 원성홍**, 이주*
한양대학교*, 동양미래대학교**

Study on Characteristics of Slotless Motor Using Assembly Block Coil

Seung-Heon Lee*, Sun-Hong Won**, Lee Ju*
Hanyang University*, DongyangMirae University**

Abstract - 기존 슬롯리스 전동기는 고출력밀도화 및 고정밀화가 가능하여 로봇산업에 사용되고 있으며, 코일을 감을 수 있는 치가 존재하지 않아 공심 권선을 만들기 어렵고 여러 단계의 공정을 거쳐 제작하기 때문에 고가의 장치들과 큰 비용이 소요되는 단점이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 새로운 고정자 권선 구조를 가진 조립형 블록코일을 적용한 슬롯리스 전동기를 소개하고 무부하, 온도, 출력 시험 결과를 설명하고자 한다.

1. 서 론

로봇 기술의 산업적 중요성을 대변하듯 세계 로봇시장은 '20년 429 억불, '25년 669억불 수준으로 연평균 9% 이상의 성장을 지속할 것으로 예측되고 있다^[1]. 또한, 국내 로봇시장의 경우 2007년 이후 연평균 19% 이상의 지속적인 성장을 나타내고 있으며, 비중 면에서는 제조업용 로봇시장의 비중이 제일 크고 성장률 측면에서는 전문서비스용 로봇이 제일 높은 상황이다^[2].

로봇 기술은 다양한 요소기술들의 집합으로 이루어지는 시스템 기술로서 로봇부품인 전동기 기술 또한 기반기술이자 핵심기술이라 할 수 있고 전동기의 구성 요소로는 속도, 힘·토크 제어가 가능한 정밀모터(서보모터)가 필수적이다. 정밀급 서보모터 세계 시장 1위 업체는 스위스의 맥슨(MAXON)이며 로봇용 전동기를 생산하는 국내업체들도 맥슨모터를 수입하고 있다.

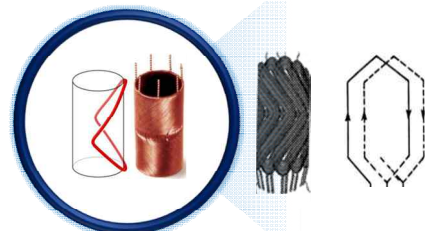
이러한 맥슨모터의 대표적인 모델은 슬롯리스 전동기이다. 최근 중량당 출력인 비출력이나 부피당 출력인 출력 밀도를 높이는 것이 매우 중요한 문제가 되어가고 있는데, 이를 극복하기 위한 방안으로 슬롯과 치가 없는 슬롯리스 구조의 모터가 주목받고 있다^[4]. 슬롯리스 구조는 공극에 퍼미언스가 균일하여 코깁토크 없이 매우 일정한 토크를 보유하고 있고 소음 및 진동 측면에서 우수하여 초정밀 로봇용 전동기로 유리하다. 그리고 철심의 사용량이 대폭 감소하기 때문에 철손이 작아 효율을 높일 수 있는 장점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 전동기 시장을 독점하고 있는 대표적인 슬롯리스 전동기를 대체할 수 있는 기술인 조립형 블록코일을 소개하고 특성을 비교해본다. 또한 새로운 권선구조 방식은 수지물 사용하여 열변형에 문제가 없는지 검증해 보았다.

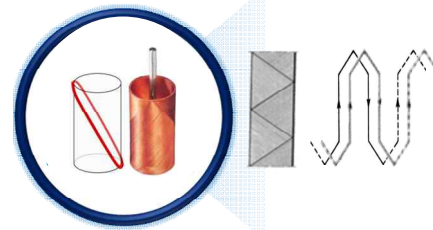
2. 본 론

2.1 기존 슬롯리스 전동기 권선방식 분석

일반적으로 슬롯리스 전동기는 코일을 감을 수 있는 슬롯과 치가 없기 때문에 코일을 마름모꼴 혹은 삼각파형으로 넓게 펼쳐 감은 뒤 이를 원통형으로 다시 감는 방식으로 공심권선을 제작한다. 이런 방식으로 전동기를 제조하는 대표적인 형태가 그림 1과 같은 스위스의 Maxon사에서 특허를 보유하고 있는 슬롯리스 전동기이며 이와 유사한 방식으로서 그림 1과 같은 독일의 Faulhaber사에서 사용하는 삼각파형으로 권선을 시행하는 방법도 있는데, 권선시행의 측면에서 보면 두 방식 다 분포권의 형태를 가지며, 2층권 이상의 구조로 형성된다는 공통점이 있다^[3].



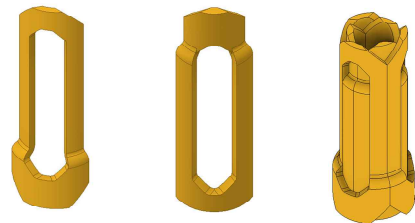
<그림 1> Maxon 권선방식 특허



Faulhaber
<그림 2> Faulhaber 권선방식 특허

2.1.1 새로운 고정자 권선구조 방식인 조립형 블록코일 소개

기존 슬롯리스 전동기의 코일은 철심에 감기지 않는 공심권선 방식으로 코일자체 형태만으로 고정자에 결합되기 때문에 제작성이 어려워 고가의 전동기로 분류되어진다. 따라서 새로운 고정자 권선구조 방식인 조립형 블록코일 기술로 블록화 된 코일을 서로 결합하여 단순하게 조립으로 슬롯리스 전동기 내부에 공심 권선 방식 제작 방식의 문제점을 해소할 수 있는 기술이다. 새로운 방식의 권선은 회전자가 존재하는 영역에서 1층권을 형성하여 자기적이 공극을 줄일 수 있게 하는 효과가 있다.

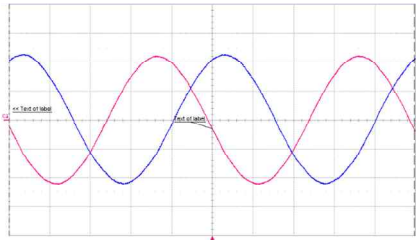


<그림 3> 새로운 고정자 권선구조 방식 조립형 블록코일

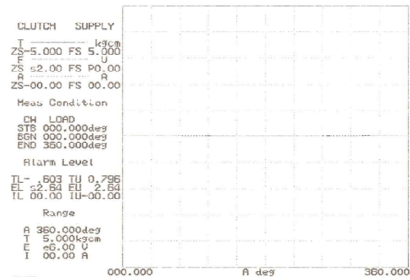
2.1.2 정현파 역기전력을 가진 조립형 블록코일

조립형 블록코일 적용한 슬롯리스 전동기 역기전력 파형, 코깁토크, 데이터가 그림 4, 그림5, 표 1에 나타나있다. 기존 전동기에서 스류를 주거나 분포권 등을 시행하면 역기전력을 정현파에 가깝게 만드는 것은 가능하나 고조파를 거의 완전히 없애기는 힘들다. 반면에 슬롯리스 전동기의 역기전력 파형이 정현파에 근접하는 것을 표 1의 THD 0.43% 결과로 확인할 수 있고 코깁

토크가 없다는 것을 그림 5의 결과로 확인 할 수 있다.



<그림 4> 조립형 블록코일 적용한 슬롯리스 전동기 역기전력



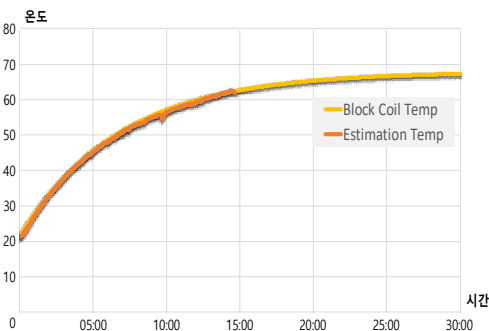
<그림 5> 조립형 블록코일 적용한 슬롯리스 전동기 역기전력

<표 1> 조립형 블록코일 적용한 슬롯리스 전동기 데이터

	데이터	단위
역기전력	11.07	V_{MAX}
	7.73	V_{RMS}
주파수	100	Hz
코깁토크	0	Nm
선간역기전력 THD	0.43	%

2.1.3 연속운전으로 온도시험이 가능한 조립형 블록코일

야스카와 다이아노메타를 이용해 200W 정격에서 30분간 연속 운전 시험한 결과가 그림 6에 나타나있다. 수지물의 열변형은 75 ~ 87°C이며, 코일을 물딩하기 때문에 열 방출에 유리하지 않을 것이라 판단되어 온도시험을 정격운전에서 30분간 시험을 진행하였고 연속운전인 필요하지 않은 서보모터 입에도 불구하고 조립형 블록코일 슬롯리스 전동기는 30분간 70°C이하에서 연속 동작 하였다.



<그림 6> 조립형 블록코일 온도시험 그래프

2.2 대표적인 슬롯리스 전동기와 제안한 전동기 사양 비교

그림 3과 같이 기존 슬롯리스 전동기와 제안한 기술의 사양을 비교해 보았다. 제안한 조립형 블록코일은 아직 공정 프로세스가 최적화 되지 않는 상태라 충분히 여유 공차를 주고 설계 되었다.

기존 슬롯리스 전동기는 분포권형태의 권선방식이고 조립형 블록코일은 집중권 권선구조이기 때문에 서로 극수가 상이하다. 그리고 조립형 블록코일 전동기의 저항값은 약 30% 상승하였고

무게는 약 17%로 감소하였다.



기존 슬롯리스 전동기



조립형블록코일

<그림 7> 대표적인 슬롯리스 전동기와 제안한 전동기

<표 1> 대표적인 슬롯리스 전동기와 제안한 전동기 사양

	기존 슬롯리스 전동기	조립형 블록코일	단위
상수	3	3	Phase
극수	2	4	Pole
턴수	-	15	Turn
선간저항	0.336	0.44	Ω
선간인덕턴스	149	145	μH
무게	937.9	780.7	g

2.2.1 대표적인 슬롯리스 전동기와 제안한 전동기 효율 비교

표 1에 기존 슬롯리스 전동기와 조립형 블록코일 슬롯리스 전동기의 동일 출력에서 효율을 비교한 결과가 나타나있다. 기존 슬롯리스 전동기와 제안한 전동기의 동일 출력에서 동등 수준 효율을 확인 할 수 있었다.

<표 1> 기존 VS 제안한 슬롯리스 전동기 출력 데이터

	기존 슬롯리스 전동기		조립형 블록코일		단위
출력	213	250	213	250	W
토크	0.2		0.2		Nm
속도	10,000	12,000	10,000	12,000	rpm
효율	84.9	86.4	85.0	84.4	%

3. 결 론

국내 기술로 개발된 조립형 블록코일에 대한 소개와 온도시험 통해 정격에서 30분간 연속운전이 가능함을 확인하였다. 그리고 기존 200W급 슬롯리스 전동기와 제안한 기술을 적용한 슬롯리스 전동기의 특성을 비교해 보았고 동등 수준의 특성을 확인 할 수 있었다.

따라서 조립형 블록코일을 적용한 슬롯리스 전동기를 제작하여 다양한 어플리케이션에 적용 가능하도록 개발하면 국내 전동기 산업발전을 도모 할 수 있을 것이라 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] World Robotics Industrial Robots 2015, International Federation of Robotics (IFR), 2015.
- [2] 2014 로봇산업 실태조사 결과보고서, 한국로봇산업진흥원, 2015. 08.
- [3] 원성홍, 이주 (2018). 새로운 권선구조를 적용한 슬롯리스 모터의 개발. 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 11-13.
- [4] 서정무, 김주환, 류세현. (2008). 슬롯리스 BLDC 모터의 권선방식에 따른 특성 연구. 대한전기학회 학술대회 논문집, 32-34.
- [5] 강규홍, 이주민, 홍정표, 김규탁. (2000). 해석적인 방법에 의한 슬롯리스형 영구자석 동기전동기의 특성해석. 한국생산제조학회 학술발표대회 논문집, 720-725.