

고속직류전동기의 특성연구

*김 현철, *공 영경, **황 영문, ***송 중현, ***황 재경
 *국방과학연구소 **부산대학교 ***성일산업(주)

A Study on the Characteristic of a High Speed DC Motor

*Hyun-Chel Kim, *Yeong-Kyung Kong, **Young-Moon Hwang,
 ***Jong-Hyun Song, ***Jae-Kyung Hwang
 *Agency for Defense Development
 **Dep. of Electrical Engineering, Busan National University
 ***Sung Il Industrial Co., Ltd.

Abstract

This report describes the high speed DC motor (8,000 rpm) that we have designed, manufactured and tested. DC motor is the best drive system in electric-mechanical energy conversion.

The design concept for high speed and high energy density to DC motor is to maximize Ampere-conductor in armature and to maximize flux density in armature teeth, armature core, pole, yoke using flux path.

1. 서론

전기-기계에너지변환을 하는 데 가장 효과적인 구동시스템은 직류전동기로서, Field exciting mechanism과 에너지전달기구인 Armature reaction 기구가 직각으로 유지되어 있어서 에너지변환이 가장 우수할 뿐만 아니라 속도-토크 특성이 가장 우수하다.

직류전동기는 에너지 변환율이 우수하므로 고밀도 에너지변환이 가능하다. 더욱이 단시간 정격의 정동력 기구에서 기구내의 전자적인 특성을 극대화하기가 용이하다. 즉 자속밀도의 극대화와 Ampere-Conductor의 극대화이다.

고속직류전동기의 고에너지 밀도화시킴과 동시에 고속회시킬 목적으로 고속직류전동기 개발을 시작하였다. 먼저 설계에 있어서 주안점을 고에너지 밀도화와 고속에 두었다. 고에너지 밀도화에 대한 설계로서 Ampere-Conductor의 극대화가 되도록 하며, 더불어 전기자권선, 계자권선, 브러쉬, 정류자 등의 허용전류밀도를 순시개념으로 높게 설계하며, 온도상승에 대비하여 권선등의 절연지도를 내열성을 갖춘 F종이상의 절연지를 채택하며, 극부적인 온도상승이 안되도록 설계했다. 또한 자속밀도를 최대한 높게 설계하기 위해 전기자 치, 전기자 계철, 주자극 계철, 주자극, 공극등의 자속밀도를 가능한 한 높게 설계하도록 하였다. 고속에 대한 설계의 주안점으로 브러쉬와 정류자등의 열 및 과도한 극부손실이 없도록 했으며, 정류자에 접촉된 브러쉬를 통해 선형적 정류를 얻도록 정류설계를 하였다. 정류장치의 설계로서는 본 전동기에서는 보극을 사용한 설계를 행하였다. 정류중 고속운전으

로 인해 단락된 전기자권선에 발생하는 큰 리액턴스 전압을 상쇄시킬 목적으로 보극을 사용했으며, 낮은 리액턴스 전압이 발생되도록 설계하였다.

본 전동기는 출력 60Hp, 입력 전압 175 V dc, 회전수 8,000rpm의 고에너지밀도화 및 고속설계에 의해 제작을 했으며, 시험을 행하였다.

2. 고속직류전동기의 설계

2-1. 설계 개념

직류전동기의 유기전압공식은 다음과 같다.

$$E = \frac{\phi P N n}{a \cdot 60 \cdot 10^8} \dots \dots \dots (1)$$

- φ : 극당 자속
- P : 극수
- N : 전기자의 쏘도체수
- n : 회전수
- a : 병렬 회로수

여기서 유기전압, 회전수, 극수등이 정해지면 변경가능한 것은 전기자의 전도체수 N와 극당 자속인 φ가 된다.

전도체수 설정은 극당 자속 φ의 설정에 의해 정해지게 된다. 정해진 전도체수는 슬롯, 정류자면, 정류대등의 설계에 따라 재조정 되어지며, Ampere-Conductor설정의 기준이 된다. 극당 자속은 설정후 전기자 치, 전기자 계철, 주자극, 주자극 계철등의 치수에 따른 자속밀도등에 따라 재조정되어 진다.

$$C = \frac{D_a^2 L}{Kw/n} \dots \dots \dots (2)$$

- C : 출력상수
- Da : 전기자 직경
- L : 전기자 길이
- Kw : 전동기 출력
- n : 전동기 회전수

위 식은 전동기의 출력상수 식으로서, 본 전동기는 고에너지 밀도화 개념으로 전기자 직경 Da와

전기자 길이 L를 줄여 소형화 및 고밀도화 시키려 한다. 소형화, 고밀도화시키기 위해서는 부득히 공극자속밀도를 증가시킨 비율만큼 Da와 L를 줄이게 될 때 그 비율만큼 Ampere-Conductor의 값은 증가하게 된다. 이 출력상수의 값은 같은 출력이나 같은 속도의 기계라 할지라도 그 값은 다르다. 그 값은 결국 공극자속밀도 및 Ampere-Conductor의 값에 따라 결정되어 진다.

본 전동기는 고에너지 밀도화 설계목적에 따라 전도체수 및 극당 자속을 최대화시키는 개념으로 설계했다. 단, 개발초기 단계이므로 직류전동기의 고속에 대한 핵심기술인 정류에서 나쁜 원인인 열(heating) 및 리액턴스 전압을 어느 정도는 감소시켜야 하기 때문에 전도체수 및 자속밀도를 최대로 가지 않고 적당히 크게 잡았다. 그래도 이는 일반 전동기 설계보다는 고에너지 밀도화 설계가 크게 잡혀 있다.

2-2. 설계

본 전동기는 기동시 큰 기동토크를 낼 수 있어야 하며, 운전시 부하에 대한 속도변화가 적은 토크-속도특성이 갖추어 져야 한다. 즉 기동시에는 직렬여자특성으로, 운전중에는 병렬여자특성을 갖는 복권전동기로서 설계를 했다. 직류복권전동기에 대한 식과 그림은 아래와 같다.

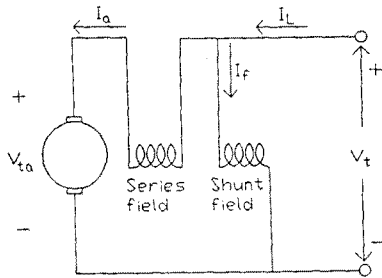


그림 1. 직류 복권 전동기

$$V_a = E_a + I_a R_a \dots\dots\dots (3)$$

$$V_t = E_a + I_a (R_a + R_f) \dots\dots\dots (4)$$

$$I_L = I_a + I_f \dots\dots\dots (5)$$

고속직류전동기의 설계 사양은 다음과 같다.

- 출력 : 60 Hp
- 여자방식 : 복권, 자여자
- 입력전압 : 175 V d.c
- 회전수 : 8,000rpm
- 극수 : 4

주요 설계 데이터는 아래와 같다.

No.	항 목	설계 값
전기자		
1	외경	140mm
2	내경	50mm
3	철심길이	120mm
4	슬롯수	26EA
5	슬롯당 권수	3 t/c
6	권선 방법	중권(Lap Winding)
7	권선 치수	φ2.2 x 2 reel
8	Skew	0.3 slot
정류자 및 브러쉬		
1	정류자 외경	110mm
2	정류자 편수	78 EA
3	브러쉬 치수	10 x 25 x 30
4	극당 브러쉬	2EA
주자극		
1	극호	70mm
2	철심 길이	120mm
3	철심 폭	50mm
4	공극	1mm
5	극당 분권 권수	680 t/c
6	분권 권선 치수	φ0.6 x 1 reel
7	극당 직권 권수	5 t/c
8	직권 권선 치수	φ1.8 x 6 reel
보 극		
1	철심길이	120mm
2	극당 권수	6 t/c
3	권선 치수	φ1.8 x 12 reel
4	공극	3mm

3. 시험내용 및 결과

제작된 전동기로서 행한 시험은 아래와 같다.

- 1) 무부하 시험
- 2) 부하별 시험
- 3) 전부하 시험
- 4) 중성점조정 시험
- 5) 보극강도시험 및 보극갭 조정시험
- 6) 복권도조정 시험
- 7) 계자가변 시험(타여자방식)
- 8) 브러쉬재질 교환시험
- 9) 브러쉬홀더 변경적용 시험(reaction type, trailing type)
- 10) 정격시험 및 주자극 갭 조정시험

제작된 전동기의 사진과 시험결과는 아래와 같다.

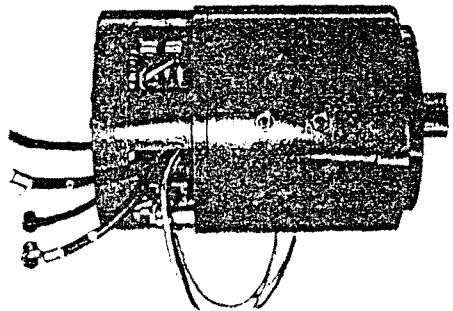


그림 2. 제작된 고속직류전동기

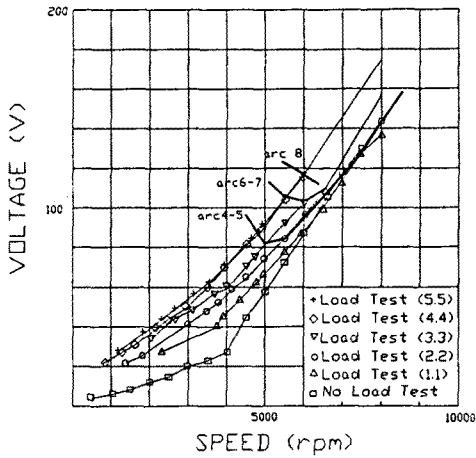


그림 3. 부하별 시험에 따른 아아크 특성

4. 결론

본 고속직류전동기의 고속운전에 대한 특성은

- 1) 무부하시 8,000rpm에서는 아아크 5-6호,
 - 2) 반부하시 8,000rpm에서는 아아크 7-8호,
 - 3) 전부하시 아아크관계상 6,000rpm까지 운전가능
- 결과적으로, 정류장치의 전기적 설계 및 기계적 설계의 보다 안정적 설계가 요구되며, 적정 브러쉬 선정, 브러쉬압, 브러쉬치수, 편심, 진동등 여러가지 요소들도 같이 수정 보완하면 8,000rpm운전이 가능하리라 본다.

5. 참고문헌

[1] J.H. KUHLMANN, "Design of Electric Apparatus, section 1"
 [2] RAGNAR HOLM, "Electric contacts"
 [3] A.E. Fitzgerald 외 2명, "Electric Machinery"
 [4] 부산대학교 황영문교수의 위탁연구보고서, "소형 고성능 직류전동기의 설계 및 특성(1)"