

반전직류전동기(Counter Rotating DC Motor, CRDCM)의 특성 연구

김 현철, *공 영경, **공 관식,
*국방과학연구소 **부산대학교

A Study on the Characteristics of a Counter Rotating DC Motor

Hyun-Chel Kim, *Yeong-Kyung Kong, **Gwan-Sik Kong,
*Agency for Defence Development
**Dep. of Electrical Engineering, Pusan University

Abstract

This report describes CRDCM(Counter Rotating DC Motor) that we have designed, manufactured and tested. CRDCM have two rotating rotors:one is a outer rotor as field set, another is a inner rotor as armature set. One of the most difficult problem is an elimination of the centrifugal force acting on brush when outer rotor is rotated. We solved a problem for centrifugal force of commutation brush by compensation set of counter mass through trial and error. It was verified the performance of motor at present.

1. 서론

전동기의 축을 지나 연결된 부하가 2자유도의 시계방향 및 반시계방향의 서로 반전(Counter Rotating)하는 회전체 부하라고 한다면, 이 부하를 구동하기 위해서는 그림 1의 a)와 같이 전동기 대전동기방식이 있고, b)와 같이 전동기에 CRG(Counter Rotating Gear)기어를 사용하는 방식이 있고, c)와 같이 전동기의 고정자부분이 회전자와 반대방향으로 회전하여 b)의 전동기와 CRG의 기능을 같이 갖게끔 하는 방식이 있다. c)와 같이 외부회전자(Outer Rotor)는 고정자로, 내부회전자(Inner Rotor)를 회전자로 해서 서로 반전하여 구동되는 전동기를 반전전동기(CRM : Counter Rotating DC Motor)라고 한다.

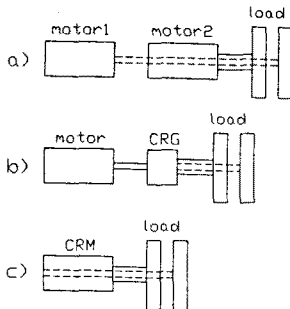


그림 1. 2자유도의 반전 부하와 전동기 구성도

국내에서는 이 반전전동기의 특성 및 설계연구에 관한 실적이나 제작기술을 보유한 기관이 전혀 없으며, 관련 기술을 보유한 선진외국으로 부터의 기술이 전도 매우 어려워져 국내 자체 개발이 필요로 하여 국내개발을 하게 되었다.

본 전동기는 직류 직권전동기로서 내부회전자는 전기자세트이고 외부회전자는 계자세트로 구성되며, 내부회전자와 외부회전자가 각각 1900rpm으로 반전하는 108hp급의 직류 직권전동기이다.

본 전동기의 특징은 사용목적, 가격, 생산성, 효율등을 고려하고 있는 일반 범용전동기와 달리 단시간 정격의 전동기로서 설계기준을 주어진 공간, 사용시간, 단시간 수명등을 고려하여 대폭 수정하여 적용하였으며, 불필요한 장치와 재질을 변경하여 전동기의 체적을 가능한 줄였다. 이렇게 하여 출력 대 중량비, 즉 에너지 밀도를 일반전동기의 약 3-5배 정도의 고에너지 밀도화시켜 설계/제작하였으며, 현재 성능시험 및 일부하 적용시험까지 완료하였다.

2. 본론

2.1 설계 개념

반전직류전동기는 그림 2와 같이 radial gap 방식과 axial gap 방식이 있다. 본 반전직류전동기는 radial gap 방식이다.

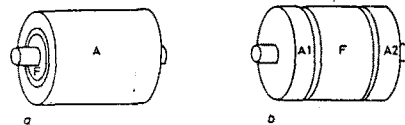


그림 2. 반전전동기
a : radial gap CRM, b : axial gap CRM

전기자가 회전하는 일반 직류전동기는 계자세트가 고정된 상태에서 전자에너지변환에 의하여 전기자세트만 회전하게 되어 있으며, 반면 계자세트는 전기자세트와 반대로 반회전방향으로 움직일려는 크기는 같고 방향이 반대인 힘의 작용이 존재하게 된다. 반전직류전동기는 프레임부분인 계자세트를 고정시키지 않기 때문에 내부회전자와 외부회전자가 서로 반전하여 회전을 하게 된다. 동적 상태(Dynamic state)에서는 서로 반전하는 내부회전자 및 외부회전자가 관성의 차이에 의해 각각의 회전속도 및 토크가 균형을

이후기 전까지는 다른 크기로 나타나지만 정상상태 (Steady state)에 이르러서는 내부회전자 및 외부회전자의 회전속도 및 토크가 서로 균형을 이루게 된다.

반전직류전동기의 내부회전자인 전기자 (Armature) 세트에는 정류자가 있으며, 외부회전자인 계자(Field) 세트에는 정류장치인 브러쉬홀더, 브러쉬와 브러쉬압을 조정해 주는 스프링력으로 브러쉬 원심력보상기가 있다. 반전하는 구조이므로 직류기의 경우 정류 (Commutation) 문제가 가장 심각하게 거론된다. 계자세트가 회전을 하기 때문에 외부회전자에 있는 브러쉬가 일반전동기에 없었던 원심력 작용을 받게 된다.

일반 직류전동기에는 브러쉬압을 스프링에 의해 적정압을 유지하여 원활한 정류를 행한다. 그러나 반전직류전동기는 계자세트인 외부회전자가 회전을 하고 있기 때문에 고정되어 있지 않는 브러쉬에 원심력이 작용하여 밖으로 이탈하려 한다. 브러쉬는 회전속도의 제곱에 비례하므로 속도가 올라갈수록 그 영향이 커지게 된다. 속도에 따른 브러쉬원심력을 보상해 주기 위해 그림 3과 같이 원심력이 작용하는 브러쉬 중앙에 대한 상대 중량(Counter mass)를 갖도록 하여 브러쉬 중앙에 대한 원심력 보상을 해 주도록 하여 정류문제를 해결하였다.

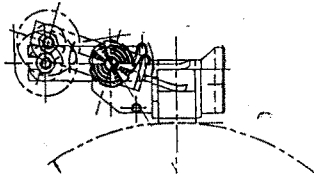


그림 3. 브러쉬 원심력 보상기

2.2 정류특성 개선

정류불량 현상으로는 브러쉬와 정류자간의 아아크 및 열이 발생되며, 브러쉬가 파손되며, 정류자 면은 거칠어 진다.

정류불량의 원인으로는 전기적, 기계적원인으로 나눌수 있으며, 전기적 원인으로는

- 1) 브러쉬와 정류자간의 높은 전류밀도
- 2) 고속회전으로 인한 짧은 정류시간
- 3) 정류자와 브러쉬간의 단락코일의 낮은 접촉저항
- 4) 단락코일의 큰 리액턴스
- 5) 정류자와 전기자코일간의 응집불량에 의한 불균일한 접촉저항

기계적 원인으로는

- 1) 브러쉬홀더의 스프링 압력
- 2) 브러쉬 및 브러쉬홀더의 진동
- 3) 정류자의 진동
- 4) 고속 회전속도 등으로 나눌수 있다.

전기적 개선으로서는

- 1) 다중의 브러쉬 특성시험후 적정 브러쉬 선정
- 2) 전기자 리액턴스의 감소 설계
- 3) 정류자와 전기자간의 접촉저항의 균일 응집
- 4) 보극 기자력 조정에 의한 적정 공극 조절

기계적 개선으로서는

- 1) 회전에 의한 원심력보상기에 의한 브러쉬 스프링 압력 조정
- 2) 브러쉬홀더 개선

3) 진동 최소화를 위한 회전자의 편심 조정 등의 개선에 의해 불량한 정류문제를 해결하였다.

2.3 설계 내용

반전직류전동기의 설계, 제작시 중점들 중 사항은 다음과 같다.

- 1) 양호한 정류특성을 위한 설계
- 2) 체적, 중량감소를 위한 절연을 허용은도 한계까지의 최적설계
- 3) 재질변경, 구조설계를 통한 중량감소

본 전동기의 주요 사양은 다음과 같다.

| | |
|---------|--------------------------|
| 출력 | 81 Kw (108 Hp) |
| 회전수 | 1900 rpm (rel. 3800 rpm) |
| 입력 전압 | 210 VDC |
| 극수 | 4 극 |
| 여자 방식 | 직권 (series) |
| 정류 보상장치 | 보극 (interpole) |
| 효율 | 85% |

주요 설계 데이터는 아래와 같다.

| No. | 항목 | 설계치 |
|-----|-----------|-----------------------|
| | 전기자 | |
| 1 | 외경 | 240 mm |
| 2 | 내경 | 120 mm |
| 3 | 철심길이 | 120 mm |
| 4 | 슬롯수 | 46 EA |
| 5 | 권선방법 | LAP Winding |
| | 정류자 및 브러쉬 | |
| 6 | 정류자 외경 | 190 mm |
| 7 | 정류자 편수 | 138 EA |
| 8 | 브러쉬 치수 | 16x25 mm ² |
| 9 | 극당 브러쉬 | 2 EA |
| | 주자극 | |
| 10 | 극호 | 120 mm |
| 11 | 철심길이 | 120 mm |
| 12 | 철심폭 | 60 mm |
| 13 | 공극 | 1.5 mm |
| 14 | 극당 직권 권선수 | 10 turn |
| | 보극 | |
| 15 | 철심 길이 | 120 mm |
| 16 | 극당 권선수 | 10 turn |
| 17 | 공극 | 3 mm |
| | 프레임 | |
| 18 | 길이 | 400 mm |
| 19 | 직경 | 368 mm |

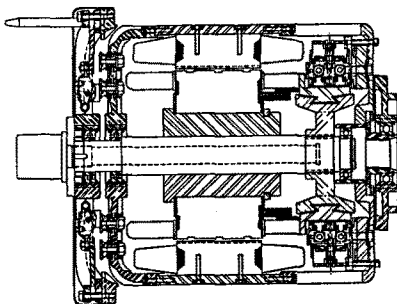


그림 4. CRDCM 도면

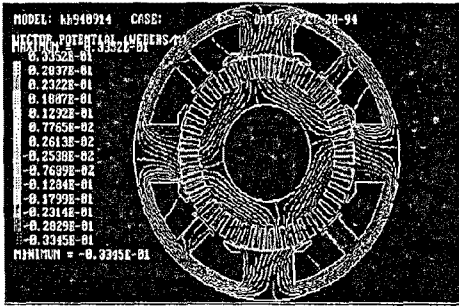


그림 5. 보석이 없는 CRDCM의 Vector Potential

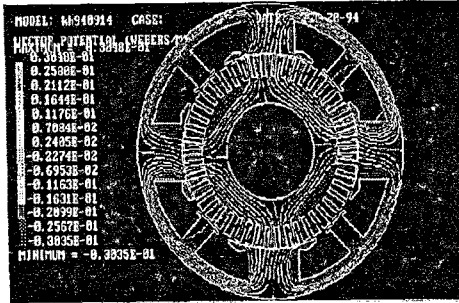


그림 6. 보석을 갖는 CRDCM의 Vector Potential

2.4 실험 결과

그림 7은 2자유도를 갖는 부하를 전부하 시험을 행한 데이터로서 전전압 기동 행하였다. RPM1과 RPM2의 속도차이는 부하의 차이에 기인한다.

RPM1 : Outer Rotor

RPM2 : Inner Rotor

Pro_Voltage : 인가전압

Pro_Current : 전류

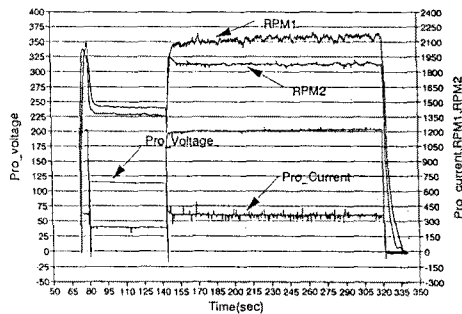


그림 7. CRDCM의 부하 시험

3. 결론

일반직류기와는 그 특성이 상이한 반전직류전동기 국내개발을 위한 자체연구를 통하여 확보된 기술을 토대로 설계, 시제 및 시험을 수행, 국내개발을 완료하였다.

- 1) 반전직류전동기의 정류특성불량으로 인한 아이크의 과대 발생원인은 복잡하고 어려운 문제이며 해석, 설계, 제작, 시험등의 과정을 반복하여 해결하였으며, 특히 반전직류전동기에만 나타나는 원심력이 작용되어 발생하는 정류장애를 브러쉬 원심력보상기에 의해 완전히 해결하였다.
- 2) 전동기의 구조, 재질, 제작부문에 있어 전동기 증량감소를 위한 설계를 행하여 증량을 최소화되도록 하였다.
- 3) 출력/증량비를 증가시키기 위하여 내부의 허용은 도상승까지 설계검토하여 전체체적을 최소화하도록 하였다.
- 4) 기본성능시험과 더불어 전동기의 사용환경조건에 맞는 특수환경시험을 실시하여 전동기의 성능과 내구성을 입증하였다.

4. 참고문헌

- [1] W. J. Bonwick, M. E. : 'Synchronous machines with contrarotating armatures', IEE Proceedings, vol.132, Pt. B, No. 4, July 1985
- [2] J. Pleszar: 'Twin-armature rotary-linear induction motor', IEE Proc., vol.130, Pt. B, No. 3, May 1983
- [3] A. E. Fitzgerald 'Electric machinery', 5th edition
- [4] John H. Kuhlmann 'Design of Electrical Apparatus'