

분리된 차폐코일을 이용한 센서 없는 BLDC 강구의 가속 장치 개발

정병태*

요약

강구를 가속시킬 수 있는 분리된 차폐코일(SSC)의 구조를 분석하고 강구에 주는 가속 원인의 자계를 계산하여 간단한 실험을 통하여 결과를 확인하여 이론적 수식이 타당함을 보인다. 분리된 차폐 코일의 차폐물질을 철지(iron sheet)로 할 경우 차폐되지 않은 경우와 비교 하여 실제 측정하여 차폐계수를 구하고 수식에 정의 한다. SSC를 이용한 센서 없고 부러쉬가 없는 직류(BLDC) 펄스로 강구의 가속 제어가 가능함을 보이는 것이 목표이다.

The Development of the Acceleration Device of the Exited BLDC Ferromagnetic Ball without the Sensor Using the Separated Shielding Coil

Byung-Tae Chung*

ABSTRACT

The structure of separated shielding coil(SSC) is analyze and it goes, the magnetic field of the center cause is calculated and the result is confirmed through the simple experiment. In case of considering the materials for shielding of the separated shielding coil as the iron sheet it compares with the case which is not shielded and it measures actually and the shielding factor is found and we define to the numerical formula. It is the object that it is seen like the brush less direct current (BLDC) pulse there is no sensor using SSC and without the brush that acceleration control of the ferromagnetic ball is possible.

Key Words : Ferromagnetic Ball, Separated Shielding Coil, Acceleration , Iron Sheet, Half Coil

* 인천대학교 컴퓨터공학부(✉ btchung@incheon.ac.kr)

· 제1저자(First Author) : 정병태 · 교신저자(Correspondent Author) : 정병태
· 접수일(2011년 3월 18일), 수정일(1차 : 2011년 4월 15일), 게재확정일(2011년 4월 20일)

1. 서론

국내외에서 전계, 자계를 이용한 강구의 가속방법은 강구(Ferromagnetic Ball) 자체에 전류를 자계와 직각으로 흘려 가속하는 방법과 자화된 강구에 대한 여자코일 앞에 센서를 두어 강구를 가속시키는 방법으로 레일 건 등에서 소개되고 있다. 자계를 이용한 자성체[1]의 기초적인 가속방법은 선형 모터[2], 게임기 등에서 응용되고 게임기 등에서 응용되고 있다. 본 논문에서는 분리된 차폐코일(SSC)로 자계만 응용하는 센서 없는 강구의 가속장치를 개발한다. 개발되는 코일 내 자성체가 강구일 경우 쌍극자화코일 즉 일명 가이드코일(Guide Coil)로 강구를 자화시키면 단극[3],[4]이 고정된다. 강구의 단극을 분리된 차폐코일(SSC)로 제어하기 위하여 그 수직구조의 코일을 강구 상하로 수평으로 배치한다. 상하 수평으로 배치된 SSC는 강구에 대해 반발력으로 작용한다. 일반 솔레노이드 코일은 반발력 또는 흡인력을 이용하기 위해서 제어 장치[4]가 복잡하고 센서에 의한 지연이 있다. SSC에 개방제어인 직류 펄스를 링 카운터를 통하여 가하면 강구는 SSC의 수평 각도와 여자 되는 펄스의 주파수에 따라 제어되고 가속된다. SSC의 구조는 사각 솔레노이드 구조의 코일 중 한 면만 제외하고 3면이 철지로 차폐된 구조이다.

II. 강구의 가속코일

2.1 BLDC 모터의 가속코일

BLDC 모터에서 예로 영구자석에 대한 필드코일로 가속 시 여자회로는 코일 전에 센서가 있거나 없는 경우가 있다. 코일 근처에 센서가 있는 경우가 일반적이거나 없는 경우에는 회전 시 코일의 역기전압이나 역기전류 또는 인덕턴스의 변화를 제어 회로에서 센서하여 회전시키는 방법을 쓴다. 이 코일구조는 영구 자

석과 마주보게 설계되고 코일 자계를 강화하기 위한 코어를 쓰며 센서 없이 코일 자체를 차폐하여 쓰지 않으며 반드시 여자 되는 코일의 변화를 감지하는 방식으로 제어한다. 이러한 기존 방법으로 강구를 가속하려면 가속 코일을 수평으로 배치하고 가속 코일 앞에 있는 센서에 의한 응답시간의 지연이 일어나며 센서에 대한 제어회로가 필요하다. 강구를 초가속(약 10만 RPM이상) 시키려면 센서에 대한 시간지연이 문제가 되므로 센서가 없고 제어회로에 코일의 변화에 센서가 없는 개방회로로 구성되는 강구의 가속 코일이 요구된다. 본 논문에서는 부라쉬가 없고 센서가 전혀 없는 개방회로를 쓰는 코일 구조를 개발하는 것이 목표이다.

2.2 분리된 차폐코일(SSC)의 설계

센서 없고 자계나 인덕턴스의 변화를 감지하지 않는 순수한 코일만의 가속 코일을 설계하기 위해서 그림1.의 Maxwell 3D 프로그램으로 분석한 반 코일 굴곡 외부 영역의 자계[3]를 살펴보면, 상하 단면전류가 같은 크기 같은 방향으로 흐를 때 중앙부분은 자계가 0이고 코일의외부 굴곡 안쪽은 자계의 상하 방향이 각각 다르며 자계의 크기는 같고 굴곡 안쪽부분에 미약하지만 자계가 분명 존재한다.

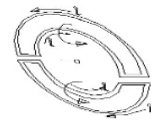


그림1. 반코일 외부영역의 자계 시뮬레이션
Fig.1 The magnetic field simulation of the half coil outside region

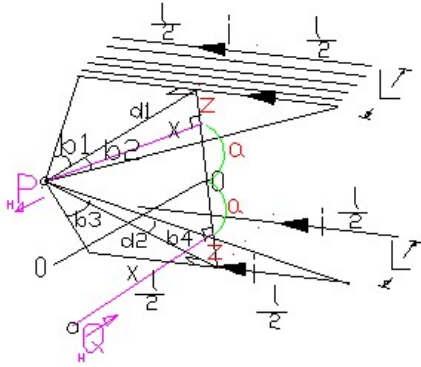


그림 2. 상하 직선코일에 대한 자계 P, Q
Fig. 2 The magnetic field P, Q about up and down linear coil

만일 직선코일이 상하로 있어서 같은 방향으로 같은 전류가 그림 2처럼 화살표 방향으로 흐른다면 코일로부터 나오는 자계 H^P , H^Q 는 화살표 방향으로 흐르고 중앙 자계 $H^0=0$ 이다.

이 관계를 수식으로 구하기 위하여 상부 코일 한 개에 대한 P점의 자계[6]는 식(1)과 같다.

$$d1 = \sqrt{x^2 + z^2},$$

$$\sin b1 = \frac{\frac{l}{2}}{\sqrt{(\frac{l}{2})^2 + d1^2}} = \sin b2$$

$$H_1^P = \frac{i(\sin b1 + \sin b2)}{4\pi d1} \quad (1)$$

하부 코일 한 개에 대한 점Q의 자계는 $H_1^Q = -H_1^P$ 이다. 상부 코일의 길이 L이고 N개에 대한 P점의 자계는 전류 Sheet 개념[7]에 의해서 $d_1 \neq 0, d_2 \neq 0$ 경우 식(2)와 같다.

$$H_N^P = \int_{-x}^L \frac{Ni(\sin b1 + \sin b2)z}{L4\pi d_1^2} dx \quad (2)$$

$$H_Q^P = - \int_{-x}^L \frac{Ni(\sin b3 + \sin b4)(2a + z)}{L4\pi d_2^2} dx \quad (3)$$

하부 코일에 대한 P점의 자계는 식 (3)과 같다.

따라서 점 P의 총 자계는 $H_T^P = H_N^P + H_Q^P$ 이며 여기서 H_N^P 는 상부코일에 의한 P점의 자계이며 H_Q^P 는 하부코일에 의한 P점의 자계이다. 이와 같이 Q점의 총 자계는 $H_T^Q = H_N^Q + H_Q^Q$ 이며 L이 길면 자계는 감소한다. 그림 2.에서 상부 하부 코일은 차폐되지 않은 코일이므로 강구와 직접 작용하는 코일 부분이다. 상기 수식에 의해서 강구가 m으로 자화 되어 있을 경우 상부 코일이 강구의 N극에 작용 되므로 강구에 작용되는 힘은 $F = mH_T^P$ 이고 S 극에 작용하는 힘은 $F = mH_T^Q$ 이다.

2.3 분리된 차폐코일(SSC)의 구조와 자계의 측정

그림 3은 반코일[8],삼각코일의 차폐한 코일과 차폐되지 않은 코일 종류이며 표 1은 각각 자계의 측정 표이다.



그림 3. 반코일, 삼각코일의 차폐
Fig. 3 The half- coil and shielding of the triangle coil

이것들 코일 중앙에 강구가 N, S로 자화 되어 있을 경우 강구를 밀려나가게 한다. 그림3.의 3각 코일에서 상부코일은 바로 아래 중앙에서 가우스 미터로 측정 하고 하부 코일은 바로 위 중앙에서 측정 한 결과 비 차폐시보다 차폐 코일이 약 1.3배 Gauss가 높다. 따라서 차폐 계수 k는 표 1에 의해 대략 1.3으로 하여 H_T^P 에 곱하여 쓰면 된다. 이 표 1은 0.5mm 철지로 3겹으로 싼 측정치이다.

표 1. 코일에 따른 자속 밀도의 값
Table 1. Magnetic flux density by the coil

조건	코일 Gauss	차 폐 시 Gauss	비 차 폐 시 Gauss	전류, 전압
3 각 코 일 0.3 mm Φ 600 회	13	10		11V0.5A
반코일(HC) 1mm Φ 50회	50	47		7V3A
4각코일 0.5 mm Φ 200회	35	30		11V3A

측정 표는 표 1에서 사각 SSC는 그림 4와 같이 구조 된 것으로 상판은 0.5mm의 시중에서 고무 철이라는 철지(iron sheet)로 3겹씩 싸서 차폐 하는 과정이다. 차폐되지 않은 한 면인 코일의 세워진 수평구조 와 차폐하여 분리된 3면 코일간의 자계를 비교 측정은 표 1과 같고 자계 측정치에 의한 개략적인 계수 k를 결정 하면 $k \approx 1.16$ 이 된다.

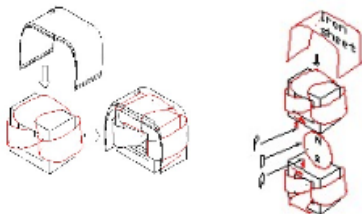


그림 4. 사각코일의 차폐방법 및 배치
Fig. 4 The shielding method of the square coil and arrangement

III. 강구를 자화 하기위한 가이드 코일의 구조와 SSC의 여자회로 및 조합구조

강구가 들어갈 플라스틱 파이프 표면위에 코일을 그림 5와 같이 가이드 코일(GC) 감으면 파이프 내에 있는 강구는 상하 N, S로 자화되어 파이프 내에 자석구가 있는 것처럼 된다. 또 강구의 자화를 증가시키기 위하여 Si철판 코어를 그림과 같이 코일 밖에 두면 양 코어 상측은 S극이 되고 파이프 내 강구는 N극이 된다.

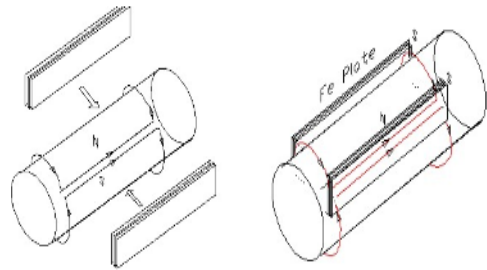


그림 5. 가이드코일(GC)와 자계 증가용 철 코어
Fig. 5 GC and iron core for increasing magnetic field

그림 6은 GC내에 있는 강구에 대한 SSC의 배열구조이다. 강구 상하로 SSC가 그림과 같이 파이프 상하 쌍으로 수평적인 연속 배열이 있고 GC의 전류를 화살 표방향으로 흘리면 강구는 상하로 N, S극으로 자화 된다. 그때 한 쌍의 상하 SSC에 좌에서 우로 전류를 같은 방향으로 흘리면 SSC내에 있는 강구는 힘 F를 받아 반 발 된다.

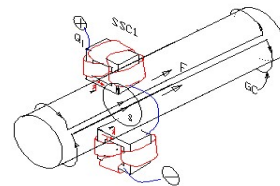


그림 6. GC 와 SSC구조
Fig. 6 GC and SSC structure

이러한 SSC 코일이 그림 7과 같은 링 카운터[9]에 의해서 순차 적으로 코일이 여자 되면 GC 내에 있는 강구는 센서 없는 펄스자계로 F방향으로 반발 된다. 또한 SSC의 수평 각도를 주면 각도 주는 방향으로 가속 힘의 방향을 제어 할 수 있다.

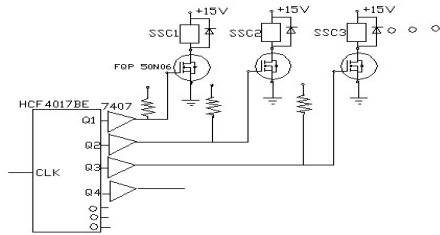


그림 7. SSC 여자회로

Fig. 7 The SSC magnetic field exiting circuit

강구가 여러 개 있을 경우도 GC내에서 같은 극을 가지고 서로 붙지 않는다. 실험에 사용된 강구는 20mm Φ 이며 SSC 코일은 6개 배치했으며 SSC 한개는 0.5mm Φ 코일로 200번 썩 감고 3면 분리 차폐철지는 3 겹 감았다. GC는 1mm Φ 코일로 100번 감았다. 강구가 기동하기 위해서는 SSC에는 3A 이상이 흘러야 코일 바로 밑이 30Gauss 정도 되고 GC에는 4A 이상 흘러야 강구가 50Gauss 정도 되며 링 카운터의 순차 펄스는 10Hz까지 강구가 잘 동기 되어 동작 되었고 그 이상의 주파수에서는 코일의 응답 특성으로 정지 하였다. 그림 8은 강구를 가속 할 수 있는 장치와 IC 4017 10진 링 카운터 중 6개만 출력을 하여 60V 50A FET 로 SSC를 구동 하였다.



그림 8. SSC와 GC에 의한 강구의 가속 장치 및 여자 회로보드

Fig.8 The accelerating device of the ssc and steel ball and field circuit board

IV. 결 론

기존 BLDC 모터의 가속 코일 방법은 센서가 직접 적이든 간접적이든 반드시 있어야 하고 여자 코일의 특성상 흡인력과 반발력을 이용하여 제어가 복잡하며 센서에 의한 응답 지연이 있고 또한 강구의 수평 운동 각도를 제어하기 힘들다.

본 논문에서는 초전도 코일과 초 가속 코일을 염두에 둔 단극가속 코일의 설계를 위해서 기존 센서 있는 코일로부터 탈피하여 센서로 인한 응답지연이 없고 강구의 수평 운동을 용이 하게 제어 할 수 있는 순수한 가속코일만을 가지고 강구를 가속 시킬 수 있는 코일 설계를 목표로 하였다.

이 코일의 설계는 그림1.의 반코일 외부영역을 이용하는 것 보다 표1.에 의해서 SSC가 더 자계가 강함을 알 수 있으며 수식과 구조의 측정 및 실험 장치를 통하여 확인하였으나 SSC의 특성상 코어가 없으므로 전력 소모가 큰 것이 단점이다. 강구를 높은 가속을 갖도록 하려면 강구가 공간에서 마찰 없이 이동되어야 하며 강구의 자화정도가 1000 Gauss 이상인 영구자석 볼(PMB) 과 같이 자화 되도록 하면 가속이 크게 될 것이 예상된다. 강구를 공간에 고정 하는 문제는 자기부상의 원리를 함께 연구하여야 한다. 강구의 초 가속 문제는 강구의 속도에 링 카운터의 주파수를 동기 시키고 GC 전류와 SSC 전류를 크게 하며 강구에 큐리 온도 이하가 되도록 냉각시켜야 한다. 강구의 가속 장치는 응용에 게임기계, 베어링 제조공장, 로봇[10] 구동용 자성 유체펌프[11] 등 자계가속으로 회전 에너지 보존 응용에도 유효 하다.

참고문헌

[1] Robert c. o'handley, "Modern Magnetic Materials Principles and Applications", John Wiley & Sons, pp17-20, 2000.

- [2] ong Rak Lee, "Motor Application Circuits 101 for Mechatronics," Korean Edition Copyright, SEWHA, pp. 50, 1994
- [3] 정병태, "단극 자기 제어를 위한 반코일 외부 영역의 설계", 한국지식정보기술학회 추계학술대회 논문집 제5권 제2호, pp11-14, 2010.11.
- [4] Byung Tae Chung, "The study of the Electro Magnetic Acceleration and Deceleration system of the Ferromagnetic Ball using the Monopole Coil Structure", INTERNATIONAL JOURNAL OF KIMICS, VOL. 8, NO. 1, pp95-98, 2010.2
- [5] 이상호, "Fundamental Training for Maxwell 2D Version 13", ANSYS inc. 엔시스 아이엔시, pp24-60, 2010.10
- [6] Joseph A. Edminister, "Schaum's outline of theory and problems of electromagnetics 2/ed" McGraw-Hill, INC, pp155-165, 1993.
- [7] David K.Cheng, "Field and Wave Electromagnetics", ADDISON WESLEY PUBLISHING COMPANY pp234-236, 1989
- [8] B.T. Chung, "A study on the computer simulation function model and application system of the vertical force by the vertical current using the half coil configuration", Journal of the Korea Computer Industry Education Society, pp 115-120, 2008, 8
- [9] Thomas L. Floyd, "Digital Fundamentals ", KOREAN language edition published by PEARSON EDUCATION KOREA LTD and ITC, Copyright © pp535-536, 2009
- [10] Phillip John Mckerrow, "Introduction to Robotics", Addison-Wesley Publishing company, Inc. pp71-72, 1991
- [11] 민의홍, 고재귀, "Magnetic Fluid 의 전자기적 특성 연구", 한국재료학회지 Vol.14. No.9, pp659-663, 2004.9

저자소개



정병태(Byung Tae Chung)

1975년 광운대학교 전자 공학과(공학학사)

1975-1978 남미산업, 경남기업

(전자 개발, 전계시공)

1978-'81년 고려대학교 대학원 전자공학과

(공학석사)

1996-'98년 한양대학교 대학원 전자통신과

(박사과정 수료)

1982-2010년 인천전문대학 전자과 및

컴퓨터정보과 교수

2010년~현재 인천대학교 컴퓨터공학부 교수

* 관심분야: 정보 융합 전기 시스템, 동 역학 시스템

감사의 글

이 논문은 인천대학교 2010년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.