

## 슬롯리스 구형직류모터에 사용되는 구형(球形)영구자석의 착자방법 및 착자구조에 관한 이론적 연구

김 인 구\*

\*충북대학교

## A theoretical study of design and Analysis of magnet-structure for a slotless spherical PMDC-mini motor

In-Ku Kim\*

\*Chungbuk National University

**Abstract** - 일반적으로 PMDC모터에 사용되는 자석은 가격과 재질에 따라서 여러 가지로 분류할 수 있다. 그러나 착자방법에는 등방향과 방사형 착자로 나눌 수 있고 용도에 따라서 다극으로 착자할 수 있다. 하지만 그 기본적인 구조에는 원통형, 판형, 육면체형으로 분류할 수 있는데 구형, 반구형 또는 구형 shell에 관한 한 아직까지 소개된 문헌이 빈약하다. 본 논문에서는 슬롯리스 구형직류모터에 사용될 반구형 shell 형태의 영구자석의 착자기 구조와 착자방법에 대한 가능성을 찾아보고 이론적으로 증명하고자 한다.

### 1. 서 론

가전기기의 발달과 반도체 및 자동제어기술의 발달에 따라서 전기에너지를 기계에너지로 변화하는 중요한 하나의 요소로서 DC-Motors의 수요는 현저한 발달을 하였다. 더구나 반도체기술의 발달은 Brushless Motor 뿐만 아니라 회전자의 위치를 검출하는 Sensor 없는 DC-Motor의 출현을 가능케 하였고 이로 인한 현대 기기에서는 없어서는 안될 자리를 구축해 나가고 있고 가정에서 사용되는 모터가 최소한 20-50개이고 의료기기와 자동차에 내장되는 모터의 수 또한 꾸준히 증가를 해왔다. 아울러 그 구조에서도 많은 변화가 있었으니 점점 더 소형화되면서도 출력에서 떨어지지 않는 모터들이 속속 개발되고 있다. 그리고 BLDC 모터는 브러시용 전동기에 비해서 브러시와 정류자를 갖고 있지 않으므로 효율이 높고 소음이 없으며 수명이 훨씬 더 길다. [1]

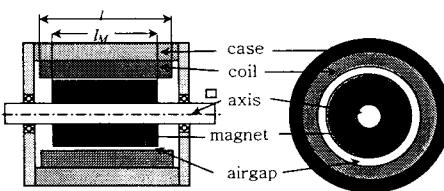


그림 1 : 내부 회전자 모터의 일반적 구조

Fig.1 : Construction of interior general BLDC-Motor  
일반적으로 모터의 구조는 cylinder 형태로 그림 1.1과 같다. 또한 interior motor인 경우에는 그 구조상 coil의 길이가 항상 자석의 길이(active length)보다 길게 제작이 될 수밖에 없고 이로 인하여 동손(copperloss)이

증가함과 동시에 효율이 떨어진다.

이 논문의 중점은 이 cylinder 형태의 구조를 구형(球形)으로 제작함으로서 불필요한 코일부분(end winding)없이 효율을 증대할 수 있는 구형(球形) 구조인 모터를 위해서 제작하는 반구형 영구자석의 착자방법에 대한 이론적 검증을 위한 데 두었다. 여기서는 내부 회전자가 2극 고정자석으로 구성된 구조의 모터를 위한 고정자석에 대해서 살펴보기로 한다.

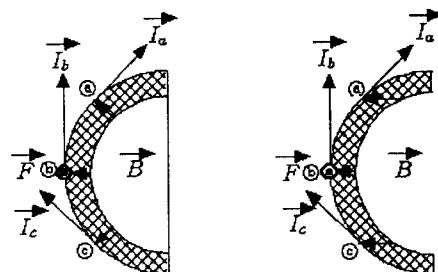
### 2. DC 모터의 기본이론

전기적 에너지를 기계적인 운동에너지로 바꾸는 데는 일반적으로 다음과 같은 원리가 적용된다. 자기장(B)내에 수직으로 서 있는 길이  $l$ 인 coil에 전류  $i$  [A]가 흐를 때 이 coil에 작용하는 힘  $F$ 는 아래와 같다. [2]

$$\vec{F} = i \cdot \left( \vec{l} \times \vec{B} \right) [\text{Nm}] \quad (1)$$

### 3. 구형모터 권선에 작용하는 힘

자기장내의 전선에 작용하는 힘은 식 1과 같이 표기할 수 있으며, 같은 방법으로 구형 모터 권선에 흐르는 전류의 방향과 작용하는 힘과 자기장을 벡터로 표시하면 그림2와 같다.



A) Radially oriented      B) Diametrical oriented

그림 2 : 자기장내의 전선에 작용하는 힘

Fig.2:Force on a conductor element in magnetic field

## 4.2 Diametral 그리고 Radial 착자

### 3.1 Radial 착자된 모터

이 그림 A)에 따르면 권선에 작용하는 전류벡터  $\vec{I}$ 는 중심에서 같은 거리에 위치한 ④점과 ⑤점에서 접선 방향으로 향하게 되고 플레밍의 원순법칙에 따라 ⑥점에서 작용하는 힘  $\vec{F}$ 의 방향은 지면에서 수직으로 나오는 방향으로 작용하게 된다. 또한 ④점과 ⑤점에서 전류벡터  $\vec{I}_a$  와  $\vec{I}_c$  를 합하게 되면 ⑥점에서의 전류벡터  $\vec{I}_b$  와 같은 방향이 된다. 같은 방법으로  $\vec{B}$  벡터도 합하게 되면 ⑥점에서의  $\vec{B}$  벡터와 같은 방향이 되고, 도선에 작용하는 힘은 ⑥점에서와 같이 지면에서 수직으로 나오는 방향으로 작용하게 된다.

### 3.2 Diametrical 착자된 모터

이 그림 2. B)에 따르면 권선에 작용하는 전류벡터는 중심에서 같은 거리에 위치한 ④점과 ⑤점에서 접선 방향으로 향하게 되고 Radial 착자된 경우 A와 같이 플레밍의 원순법칙에 따라 ⑥점에서 작용하는 힘의 방향은 지면에서 수직으로 나오는 방향으로 작용하게 된다. 또한 중심에서 같은 거리에 위치한 ④점과 ⑤점에서 전류벡터  $\vec{I}_a$  와  $\vec{I}_c$  를 합하게 되면

⑥점에서의 전류벡터와 같은 방향이 된다. 여기서  $\vec{B}$  벡터는 3.1의 경우와는 다르게 ④, ⑤, ⑥ 모든 위치에서 동일하다(등방향성).

3.1절과 3.2절에서 알 수 있는 것 같이 구형모터에서의 회전력은 영구자석이 radial 착자 이거나 diametrical 착자 이든 방법에 관계없이 지면 앞으로 나오게 되며 구형일 경우에 전체의 회전력은 전류의 방향에 따라서 좌 또는 우측으로 향하게 된다.

## 4. 착자

### 4.1 지배 방정식

영구자석에 의한 지배 방정식은 전자기 현상의 기본법칙들을 적용하여 유도하고 자속밀도  $\vec{B}$  와 벡터포텐셜

$\vec{A}$  와의 관계는 다음 2식과 같다.[4]

$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A} \quad (2)$$

또한 자속 밀도  $\vec{B}$ , 자화 벡터  $\vec{M}$ , 그리고 자계의 세기는 다음 식 3과 같다.

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \vec{M} = \mu_0 \mu_r \vec{H} \quad (3)$$

일반적인 영구자석의 착자 방법으로는 성형시 자장율 인가하는 이방성 착자와 성형시에 자장을 인가하지 않는 등방성 착자로 나눌 수 있으며 이방화를 통하여 원하는 자화배열을 이를 수 있을 뿐 아니라 전체적인 자화의 세기는 이방화 시 그 세기가 증가한다. 금형구조에 따라서 아래 그림 3과 같이 여러 형태로 착자 할 수 있다.

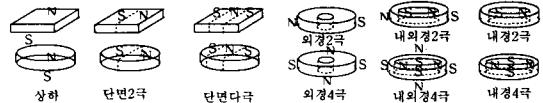


그림 3A :일반적인 착자  
Fig.3A: General magnetization



그림 3B : 특수 착자  
Fig.3B: Special magnetization

## 4.3 구형모터를 위한 Diametrical, Radial 착자

### 4.3.1 Diametrical 착자

그림 3의 A)에서와 같은 Diametrical 착자에는 기존의 방법대로의 착자요크를 사용하여 착자를 할 수 있다. 즉 구형 또는 반구형 magnet를 지금까지의 magnet 위치에 대치하면 될 것이다. 아래에 그림 4에서 금형 구조의 한 예를 제시 하였다.[5]

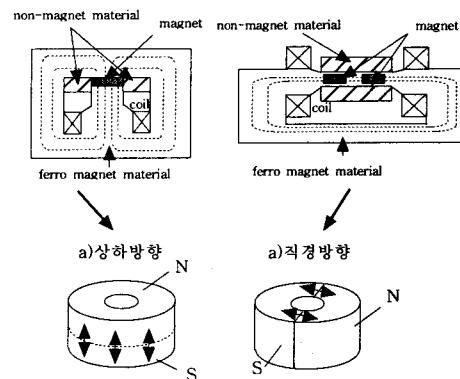


그림 4 : 착자 금형의 구조  
Fig.4: Structure of magnetization

### 4.3.2 Radial 착자

반구형 shell 형태의 영구자석의 착자는 착자요크 구조 상 쉽지 않다. 그래서 다음과 같은 모양의 금형 구조를 고안해 보았다. 그림 5A에서 반구형 shell magnet를 위한 금형 구조의 단면도를 소개하였고 여기에서 윗 부분은 반구형으로 하였다. 그림 5B는 반구형 shell을 위한 것이고 그림 5C는 구형 shell을 위한 구조를 3차원구조로 소개하였다.

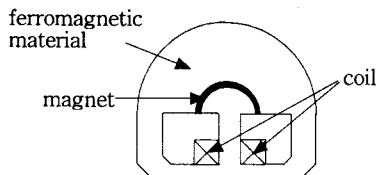


그림 5A : 반구형 shell magnet의 금형구조(단면도)  
Fig.5A: a mold for a half spherical shell magnet

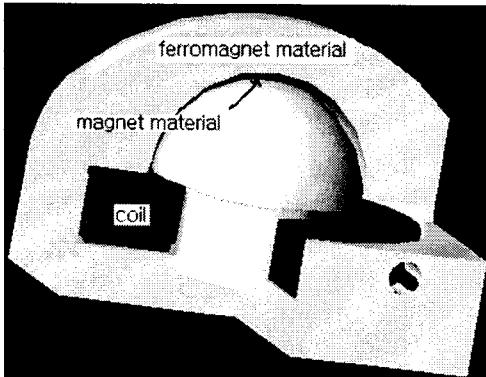


그림 5B : 반구형 shell magnet의 금형구조  
Fig.5B: a mold of half spherical shell magnet

아래의 그림 5C는 그림 5B의 것을 두 개 포개 놓은 것과 같고 동시에 두 개의 반구형 shell을 찍자 하기 위한 것이다.

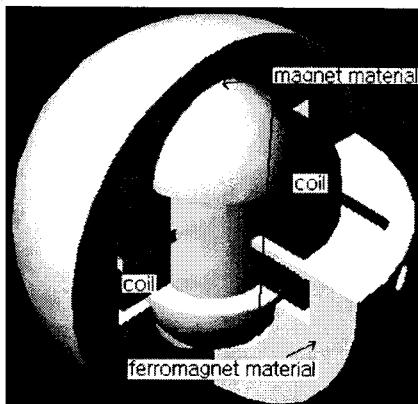


그림 5C : 구형 shell magnet의 금형구조  
Fig.5C: a mold of spherical shell magnet

## 5. Simulation

시뮬레이션 프로그램으로 Quick field을 사용하여 위와 같은 구조로서 시도해 보았고 Flux distribution은 아래 그림에서 볼 수 있는 것 같이 방사형으로 퍼져나감을 알 수 있었다.(그림6 과 그림7) 또한 중심부의 non-magnet material의 구조에 따라서 그의 분포도 다름을 알 수 있을 뿐만 아니라 이 자속 분포는 빛에서의 볼록렌즈와 같은 작용을 할 수 있는 것으로 나타났다.(그림 7) 즉 magnet의 N극이나 S극을 집중시킬 수 있는 것을 알 수 있었다.[3] 프로그램의 제한 상 2차원 구조로 시도하

였음을 밝혀둔다.

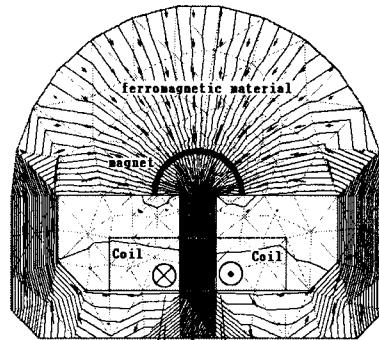


그림 6 : 금형 구조(A)에서의 자력선의 분포  
Fig.6:Flux distribution by the mold(A) of half spherical shell

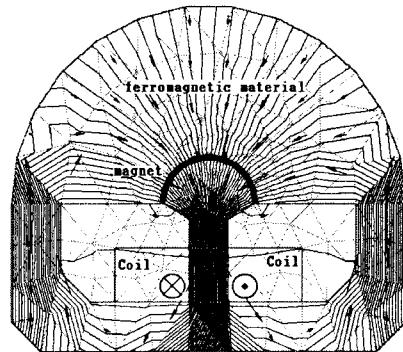


그림 7 : 금형 구조(B)에서의 자력선의 분포  
Fig.7:Flux distribution by the mold(B) of half spherical shell

## 6. 결 론

End-winding이 없는 구형모터는 그 구조상 이미 그것 을 포함한 모터보다 효율이 높은 것은 자명한 사실이다. 본 논문에서는 방사선방향(Radial) 또는 자극중심 축방향(Diametrical)으로 착작 된 영구자석 회전자를 갖는 구형모터가 가능함을 밝혔다. 또한 그 착작 요크 제작을 위한 구조를 제시하였고 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 밝힐 수 있었다. 그리고 영구자석의 N극 또는 S극을 한 점에 집중할 수 있음을 확인 할 수 있었다. 향후 본 논문에서 제시한 방법으로 슬롯이 없는 구형모터의 제작에 유용하게 적용될 것으로 판단되어 진다.

## 7. 참고문헌

- [1] Karl Vogt: "Berechnung elektrischer Maschinen", Weinheim; New York; Basel; Cambridge; Tokyo: VCH, 1996.
- [2] Koch, J. und Ruschmeyer, K.: "Permanentmagnetisch erregte Gleichstrommotoren", Broschuere der Valvo UB 2.Auflage, Hamburg, 1986.
- [3] Kim, In-Ku : "Beitrag zur sensorlosen Ansteuerung von Gleichstrom-Kleinst-Motoren". Mensch&Buch Verlag, Berlin 2000.
- [4] 大川光吉: "페라이트자석회전기의설계". 元種株譯  
동일출판사.2001년
- [5] 장홍순외3인: "스위칭위치에 따른 2상 BLDC 모터의 특성변화" KIEE, 49B, No. 10, OCT, 2000