

## 모터 코어용 연자성체의 형상별 특성 분석

이규석, 차현록, 윤철호, 정태욱, 손현택, 전승규  
한국생산기술연구원, 호남대학교

### THE CHARACTERISTIC ANALYSIS OF SOFT MAGNETIC COMPOSITES FOR MOTOR CORE CONSIDERING CORE SHAPE

Kyu-Seok Lee, Hyun-Rok Cha, Cheol-Ho Yun, Tae-Uk Jung, Hyun-Taek Son, Seung Kyu JEON\*  
Korea Institute of industrial technology, Honam University\*

**Abstract** - 연자성 분말의 독특한 특성은 3D 등방성 강자성체이며, 이 때문에 3차원적 자속(flux)을 활용할 수 있어 전기 강판(silicon steel)에 비해 3차원 성형시 유리한 장점을 가지고 있다는 점이다.[1] 따라서 본 논문에서는 연자성 분말 (Soft Magnetic Composites)의 3차원 성형시 각 성형 형태에 따른 압분 시료의 전기적, 기계적 특성에 대한 연구를 하였다. 연자성 분말의 코어 형상을 크게 '□' 형으로 구분하여 압분 코어를 만든 후 압분 코어의 Overhang 각도 및 코어 Teeth의 길이에 따른 파라미터에 변화를 주어 철손 및 경도, 밀도를 측정 하였다. 이 논문에서 우리는 3차원 코어 성형시 전기적, 기계적 특성이 가장 우수한 코어 성형 조건을 연구해 낼 수 있었다.

#### 1. 서 론

SMC 분말은 Fe 분말에 절연이 되어 있어서 와전류 손실을 최소화할 수 있으며, 분말을 압분하여 형상을 만들기 때문에 복잡한 형상을 성형하는데 용이하며, Core 제조시 필요한 분량의 분말을 사용하면 되기 때문에 재료의 손실이 거의 없고, 수명이 완료되면 재생 다시 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있다.[2-3] 이중 복잡한 형상을 성형하는데 용이하다는 이점은 SMC의 가장 큰 장점이라 할 수 있다. 금형 형태에 따라 복잡한 3차원 형상을 쉽게 만들 수 있다는 것은 재료의 손실 방지와 원가 절감의 효과를 가져 올 수 있다는 장점이 있다. 하지만 SMC 압분 코어의 형상은 금형에 따라 마음대로 조절할 수 있지만 금형의 비용이 비싸고, 약간의 코어 형상의 수정을 위해서는 금형을 새로 제작해야 하는 단점이 있기에 어떤 코어 형상에서의 특성이 좋아지는지 비교해 볼 수 있는 방법이 거의 없었다. 따라서 본 논문에서는 SMC 분말을 링타입 3차원 형상인 '□'형을 기준삼아 Overhang각도 및 Teeth의 길이를 조절하여 코어의 형상에 따른 철손 값 및 경도, 밀도를 비교 분석해 보았다. 비록 코어 형상이 직경 30φ로 금형 크기의 제한이 있지만 금형 설계 단계이전에 SMC 코어의 제작시 가장 적절한 코어를 선택하는데 많은 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 2. SMC 분말 코어의 성형 및 특성 측정

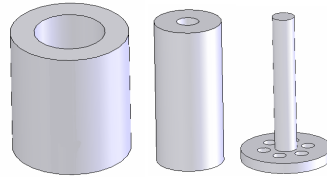
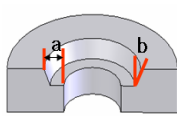
##### 2.1 금형설계

SMC 코어의 Overhang 각도 및 Teeth의 길이에 따른 데이터를 얻기 위해서는 금형 설계가 가장 우선되어야 한다. 본 논문에서 다루기로 한 '□'형의 금형의 경우 Overhagn의 각도, Teeth의 길이별 조건에 맞게 각각 설계가 되어야 하기 때문에 비용 및 시간상의 제약이 요구되었다. 따라서 한개의 금형으로 여러개의 코어형상을 만들어 볼 수 있도록 금형을 제작 할 필요가 있었다. 따라서 STANDARD 금형<그림 2>와 각 코어 형상에 맞는 Optional 금형<그림 3>, Ejection 금형<그림 4>을 만들어 Optional 금형만을 바꾸어 가며 조건에 맞는 코어를 만들 수 있도록 금형을 설계 하였다. 또한 표 1에서 보는 바와 같은 조건으로 Optional 금형을 설계 하였다. 그림 1은 Optional 금형의 단면도이다. 또한 그림 5는 코어를 성형할 때 각 금형들의 조립형태이며 Optional 금형 사이에 분말이 들어가서 코어 성형이 된다.

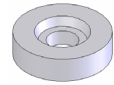
<표 1> Optional 금형 코어의 종류

a[mm]	2mm	3.5mm	5mm
b[deg]	0° 20°	0° 10° 20°	0° 20°

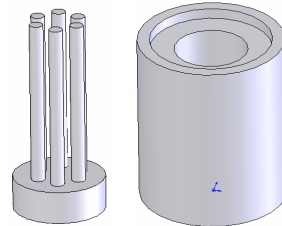
<그림 1> 코어금형 단면도



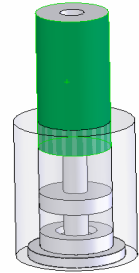
<그림 2> Standard 금형



<그림 3> Optional 금형



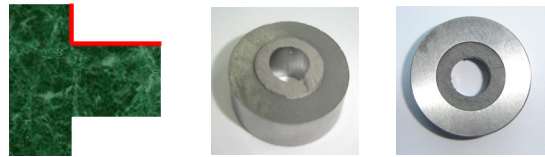
<그림 4> Ejection 금형



<그림 5> 압분시 금형

##### 2.2 SMC COMPACTION

SMC 압분 조건은 700Mpa의 가압 조건에서 압분 하였으며, 사용된 재료는 SMC 500KE를 사용하였다. 동일한 조건하에 각 코어의 특성을 비교하기 위하여, 동일 질량 40g에 동일 압력 700Mpa를 가하여 각 코어를 형상별로 성형을 하였다. 그림 6에서 처럼 코어 성형시 Overhang의 각도가 없는 금형의 경우 압분 후 금형과 압분 시료를 분리 시 코어의 Teeth 부위가 파괴됨을 발견할 수 있었다.



<그림 6> 성형 각도가 없는 경우 시편 형상

그 외 Overhang 각도가 10°, 20°인 압분 코어는 금형과 압분체 간의 이형이 잘 되었으며, 시료 압분 후 500도에서 1시간 동안 열처리를 한 후 경도 및 철손, 밀도를 측정하였다. 또한 각 코어별로 경도 및 철손을 측정해야 하기 때문에 시료를 각각 3개씩 만들어 실험을 실시하였다. 그림 7은 각 성형 코어의 압분 시료이다.

a [mm]	2mm	3.5mm		5mm
b [deg]	20°	10°	20°	20°
시편 사진				

<그림 7> SMC 압분 코어

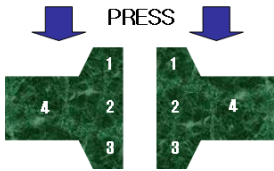
### 2.3 경도 측정 및 결과

경도를 측정하기 위해서 압분 된 시료를 알맞은 크기로 자른 후 Polycoat와 경화제를 섞어 Mounting 작업을 한 다음 1~2시간 정도 굳힌 후 Polishing 작업을 하여 수행하였다. 표면을 평면으로 연마 한 후 Polishing 작업면의 이물질 제거를 위해 비커에 알코올을 넣은 후 시편을 넣고 중탕으로 초음파 세척을 실시, 건조 시킨 후 경도를 측정 하였다. 정확한 경도 측정을 위해 각 부위별 측정을 5회 실시 후 그 데이터에서 가장 높은값과 낮은값을 제외 시킨 후 남은 3회 데이터의 평균값을 산출하여 경도를 측정하였다. 경도는 비커스 경도를 사용하여 측정 하였다.

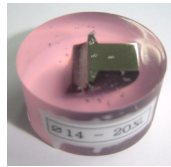
<표 2> 코어 형상별 단면의 경도 데이터

a [mm]	2	3.5	3.5	5
b [deg]	20도	10도	20도	20도
1번	112.46	61.6	56.3	53.46
2번	69.2	63.68	61.6	58.4
3번	100.68	56.38	50.9	49.76
4번	84.04	74.02	83.7	71.76

[단위 : HV]



<그림 8> SMC 코어 형상 단면도



<그림 9> Mounting 작업

표 2는 코어 형상별 단면의 경도 측정 데이터이다. 경도의 특성은 Teeth의 길이(a)가 짧아 질수록, Overhang의 각도(b)가 적을수록 높게 나타남을 알 수 있다. 또한 그림 8에서 나타나듯이 위에서 압력이 가해질 때 위쪽의 경도가 하단의 경도보다 높음을 알 수 있다. 그림 9는 경도 측정시 mounting 작업 후 폴리싱 한 시료의 모습이다.

### 2.3 철손 측정 및 결과

철손을 측정 하기 위해 권선 작업을 실시하였다. 권선 작업은 Primary 20turn, Secondary 60turn으로 Primary 권선 사이에 Secondary 권선이 3turn 씩 위치하도록 권선 작업을 실시한 후 철손을 측정 하였다. 표 3은 철손 측정 데이터를 정리해 놓은 것이다. 각 주파수별로 코어 형상에 따른 철손을 측정 하였다.

<표 3> 코어 형상별 철손 데이터

a [mm]	2	3.5	3.5	5
b [deg]	20도	10도	20도	20도
60Hz	6.91285	7.4525	7.381	7.34
100Hz	12.003	13.164	13.306	13.324
200Hz	26.079	30.1185	32.0315	32.131
300Hz	42.1735	50.52	53.055	58.2215
400Hz	59.604	73.6925	72.3465	77.368
500Hz	79.26	100.37	98.7985	105.815

[단위 : W/Kg]

표에서 보는 바와 같이 Teeth의 길이가 2mm일 경우 철손이 가장 좋으며 주파수가 높아질수록 Teeth의 길이에 비례하게 철손이 증가함을 보여 준다. 또한 Overhang 각도에 따른 데이터만을 비교 했을 때, 10도일때와 20도일때의 철손의 변화량이 거의 없음을 알 수 있다.

### 2.4 밀도 측정 및 결과

SMC 분말 코어의 성형시 가장 중요한 요소중의 하나는 밀도를 높이는 것이다. 동일 시료일때 밀도가 높을수록 철손 및 강도가 향상되는

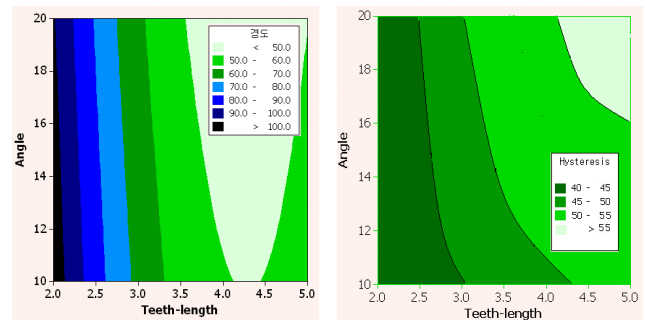
것을 알 수 있다. 따라서 코어 형상별 성형시 압분된 코어들의 밀도를 비교하는것 또한 중요한 실험이라 하겠다. 표 4는 각 성형 형상별 밀도를 측정 한 것이다. 이 실험 결과에서 보는 바와 같이 Teeth의 길이가 길어 짐에 따라 밀도가 조금씩 낮아지는 경향을 볼 수 있다. Overhang의 각도에 의한 밀도의 차는 매우 작음을 알 수 있다.

<표 4> 코어 형상별 밀도 데이터

a [mm]	2	3.5	3.5	5
b [deg]	20도	10도	20도	20도
밀도 [g/cm <sup>3</sup> ]	7.166	7.101	7.009	6.889

### 2.5 실험 결과

그림 10은 경도 및 철손 데이터를 그래프화 한 것이다. Teeth와 Overhang의 각도 조건에서 각각의 철손 및 경도를 보기 쉽게 표현한 것이다. 그림 10과 표 4에서 보는 바와 같이 경도 및 철손, 그리고 밀도는 Teeth의 길이가 작을수록 좋은 경향을 보이는 것을 볼 수 있으며, Overhang의 각도에 의한 데이터값의 변화는 거의 미비하다고 볼 수 있음을 알 수 있다.



<그림 10> 경도 및 철손 분석 데이터

## 3. 결 론

본 논문에서는 '□'형 코어 성형시 Teeth의 길이 및 Overhang의 파라미터를 바꾸어가며 SMC500KE 분말을 성형한 후 각각의 압분 코어의 경도 및 철손, 밀도를 각 시료별로 비교 분석 하였다. 실험 결과 Teeth의 길이가 줄어들수록 경도 및 밀도, 철손의 특성이 향상됨을 알 수 있었고 Overhang의 각도에 의한 특성의 변화는 거의 차이가 없음을 알 수 있었다. 이 연구 결과로 향후 SMC분말을 이용하여 코어 성형시 가장 적절한 성형 형상을 찾아내는데 도움이 되리라 예상된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Lars Hultman, Zhou Ye, "Soft magnetic composites, properties and applications", in Hogan AB, Sweden
- [2] Soft Magnetic Composites from Hogan Metal Powders, " SOMALOY™ 500", Hogan Product Manual, 1997
- [3] Y.G. Guo, J.G. Zhu, Z.W. Lin, J.J. Zhong, "3D Vector magnetic properties of soft magnetic composite material", Journal of Magnetism and Magnetic Materials 302, 511-516. 2006