

**초음파 성형법을 이용한 연자성 분말 적용 모터 코어의 성형**

남형욱\*, 김광현\*, 이성호\*\*, 차현록\*\*, 김경수\*\*  
전남대\*, 한국생산기술연구원\*\*

**Fabricated Compaction by Ultrasonic Vibration of SMC Motor Core**

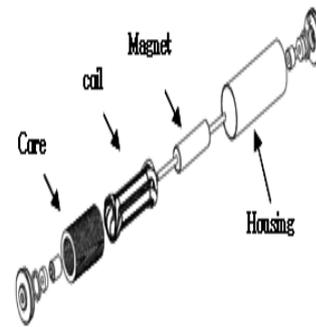
Hyoung-Uk Nam\*, Kwang-Heon Kim\*, Sung-Ho Lee\*\*, Hyun-Rok Cha\*\*, Kyoung-Su Kim\*\*  
Chonnam University\*, KITECH\*\*

**1. 서 론**

최근 연자성 분말(Soft Magnetic Composite)코어를 사용한 변압기와 다양한 종류의 모터들이 자성 및 전기 산업에 종사하는 연구자들의 큰 관심을 끌고 있다. SMC는 자성을 띤 철 분말입자에 전기적으로 절연된 절연막으로 둘러 싸여 있는 물질이다. 이런 구조적 특성으로 인해 기존 실리콘 스틸 코어보다 자유로운 형상으로 모터 코어를 제작할 수 있게 되어 작고 가벼운 모터를 설계할 수 있는 장점이 있다. 또한 적층 방식 코어 보다 높은 주파수에서 적은 손실이 일어나는 데 이것은 작은 분말입자 마다 절연막을 가짐으로서 와류손이 분말 내부에서만 생성되기 때문에 매우 작은 와류손이 발생한다.

일반적으로 SMC는 절연막을 유지하면서 성형을 하기 위해 압분 과정으로 코어를 제작한다. 하지만 압분공정을 거친 SMC는 내부의 기공의 영향으로 기존 실리콘 스틸에 비해 자기적 특성과 기계적 특성이 낮아지게 된다. 이러한 문제 해결을 위해 가압력을 높이는 방법을 사용하게 되지만, 가압력이 너무 높아 진다면 금형과 분말 사이에 마찰이 늘어나게 되고, 이로 인해 금형의 파손 및 제작된 SMC 시료의 제거가 어렵게 되는 문제점이 발생하게 되는데, 이러한 문제점을 해결하기 위해 초음파 진동을 적용하였다. 이 본문에서는 SMC 모터 코어를 압분 과정에 초음파 진동을 가해 제작 하였으며 이에 따른 코어의 자기적 특성과 전기적 특성을 조사 하였다.

실험에 쓰일 모터는 일반적으로 사용되고 있는 모터중 고속 모터를 선택해 코어 부분을 SMC로 제작하였으며 그림 2는 테스트할 모터의 구조에 대해 나타낸 것이다.

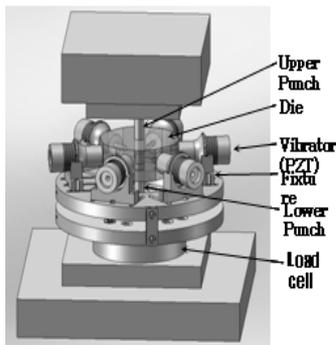


**<그림 2> SMC 적용 모터 구조**

**2. 본 론**

**2.1.1 초음파 진동 금형 및 모터 구성**

이 실험을 위해 그림1과 같이 초음파 진동 실험이 가능한 금형을 구성 하였다. 초음파 진동 프레스의 구조를 보자면 먼저 상단과 하단의 펀치를 이용해 가압하는 구조로 구성 되어 있으며 금형의 초음파 인가 다이 부분은 20Khz 주파수의 파장으로 중진동 하며 프레스 구조는 유압으로 압력을 가하는 형식으로 구성 되어 있다. 진동 다이의 구성을 보자면 진동을 가하는 6개의 압전세라믹(PZT) 타입의 변환기가 바디에 볼트로 결합되어 있으며 1kw의 고속 바이폴라 앰프로 구동된다.



**<그림 1> 초음파 진동 실험 금형 구조**

SMC분말은 SMC550KE, 550, 500(Höganäs AB을)을 각각 사용하였으며 이 SMC들은 압분 공정으로 100 ~ 400Mpa 까지 일반 가압 및 초음파 진동 가압 후 열처리를 하였다. 열처리는 절연막의 파괴를 막기 위해 열처리 온도를 4℃ ~ 500℃까지 점진적으로 증가시켰으며 열처리 후 코어를 1시간 동안 공기 중에 노출시켜 표면 온도를 감소시켰다.

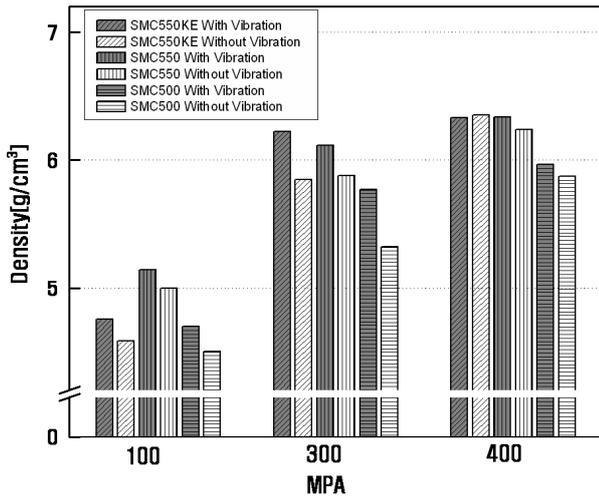
SMC 코어로 제작되어진 모터는 모터 성능 측정기(WB-100)에 의해 성능분석 하였으며 자기적 성능 분석은 철손 분석기(MPG100D)를 사용 하였다.

**2.1.2 실험 결과**

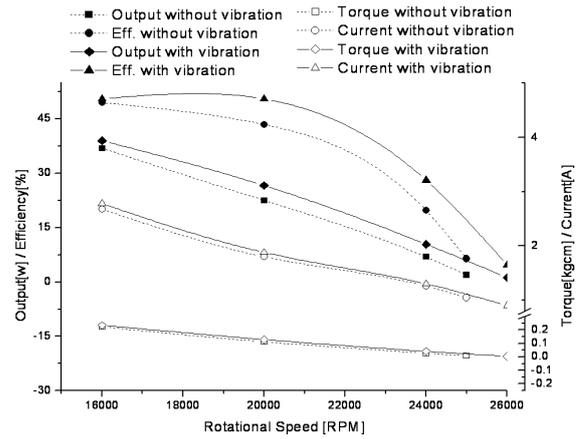
그림3에서는 100Mpa, 300Mpa, 400Mpa로 가압 했을 때 일반 단순 압분 방식과 초음파 진동을 사용한 압분 방식에 대한 결과를 확인 할 수 있으며 초음파 진동을 이용해 압분을 했을 경우 누르는 압력이 높아 질수록 차이가 적어지지만 전체적인 밀도가 증가 한 것을 볼 수 있다. 특히 SMC550에서 300Mpa로 초음파 진동 가압을 했을 경우 밀도가 5.5g/cm<sup>3</sup>이며 일반 압분 공정으로 압분 했을 경우 밀도평균이 5.2g/cm<sup>3</sup> 로서 초음파 진동을 사용했을 경우에 일반 압분 공정보다 밀도 차이가 확연히 크다는 것을 볼 수 있다.

그림 4는 주파수에 따른 초음파 진동 유·무의 철손 그래프를 보여주는 것으로서 저주파에서는 큰 차이를 보이지 않지만 코어에 가하는 주파수를 높이면 그에 따른 철손 도 증가하게 되어 히스테리시스 손실 및 많은 와전류 손실이 발생하게 된다. 하지만 그래프에서 보듯이 SMC코어에 초음파 진동을 가하게 되면 전체적으로 초음파를 가하지 않은 코어보다 철손이 줄어드는 것을 확인 할 수 있다.

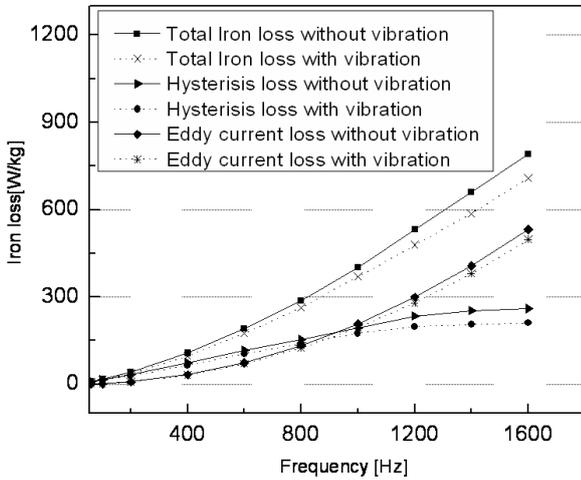
일반적으로 히스테리시스 손실은 손실을 일으키는 부분에 더 많은 응력을 가하면 손실을 개선시킬 수 있다. 이 사실은 손실을 일으키는 부분에 초음파 진동을 인가해 가압하게 되면, 그 진동으로 인해 SMC분말들이 진동을 해서 비인가 상태보다 쉽게 결합하게 되므로 기공들이 더 작아지게 된다. 그렇기 때문에 작아진 기공부위 만큼 더 큰 압력을 받을 수 있으므로 그에 따른 손실을 억제 할 수 있다고 가정할 수 있다.



〈그림 3〉 압력별 초음파 진동 인가 및 비인가에 따른 밀도 특성



〈그림 6〉 초음파 진동 인가 및 비인가 모터 성능 평가결과



〈그림 4〉 주파수별 초음파 진동 인가 및 비인가에 따른 철손 분석

그림 5는 SMC 코어를 적용한 시작품 모터 사진이다. 그림 6은 SMC 코어를 적용한 모터의 동력을 인가한 것으로서 SMC코어에 초음파 인가 및 비인가에 따른 성능 결과 이다.



(a): Motor Ass'y (b): Core Ass'y  
〈그림 5〉 SMC적용 모터 코어 시작품 사진

이 결과들은 모터의 성능을 명확하게 보여주는 자료로서, 결과 그래프가 보여 주듯이 초음파 진동을 인가한 모터의 토크가 비인가 모터 보다 크다는 것을 나타내고 있다. 그리고 출력 역시 초음파를 인가한 모터가 더 크다는 것을 확인 할 수 있다. 또한 초음파를 인가한 모터의 성능은 24,000rpm 이하에서 초음파를 인가하지 않은 모터보다 9%나 더 높은 효율을 보이고 있어 초음파 가압방법의 효과를 나타내 주고 있다.

### 3. 결 론

본문에서 조사한 초음파 진동을 이용한 가압 방법은 모터의 자성 특성을 개선시키기 위해 도입되었다. 초음파 진동 인가시 2~5%의 밀도를 증가 시킬 수 있었으며 또한 자성 특성 개선 효과를 확인 했으며 기존 가압 방법보다 모터의 효율을 9% 증대시키는 결과를 확인할 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] H. Shokrollahi and K. Janghorban, "J. Mater. Processing.", Tech , (2007).
- [2] Jiromaru Tsujino and Haruo Suzuki, "Jpn. J. Appl. Phys.", 31, pp 290-293, (1992)