

압분공정에 외부 자장을 이용한 모터코어용 연자성체의 성능향상

차현록, 윤철호, 정태욱, 이규석, 김경수*, 전승규**
 한국생산기술연구원, *전남대학교, **호남대학교**

Magnetic Properties of Soft magnetic composite using external flux injection method

Hyun Rok Cha, Cheol Ho Yun, Tea Uk Jung, Kyu Seok Lee, Kyung Su Kim*
 Korea Institute of industrial technology, *Chonnam National University

Abstract - 본 연구는 연자성체를 이용한 모터의 성능 향상을 위해서 모터 코어에 자장을 인가하여 성형 하는 방법을 제안 하고 특성에 대한 고찰을 실시하였다. 연자성체의 모터 코어의 성형중에 자장을 인가하여 분말의 배열을 자속의 이동이 쉬운 방향으로 배열하도록 하여 자속 손실을 최소화 하고자 하였다. 본 연구에서는 이를 위해서 자장을 인가하기 위한 자장 금형의 설계시 고려사항 및 자장 인가 전후의 연자성체의 자기적 특성에 대해 고찰하였다.

외부자장 인가법의 개념은 그림 2와 같다.

자장 금형의 설계 시 고려되어야 할 사항으로는 외부자장이 충분히 금형 내부의 분말까지 영향을 미칠 수 있는 자기적 특성이 고려되어야 하고 기계적으로도 충분한 강도를 낼 수 있어야 한다.

1. 서 론

최근 연자성체를 이용하여 경량(light weight) 소형 액츄에이터에 적용시키고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이는 기존의 전기 강판(silicon steel)을 이용했을 때보다 연자성체를 이용 시 3차원적 자속(flux)을 활용할 수 있어 경량, 소형화 할 수 있는 장점이 있기 때문이다. 그러나 아직까지 기존의 전기 강판을 능가할만한 철손특성을 얻지 못하고 있는 실정이다. 따라서 향후 증대 되는 고효율화의 요구와, 자동차등과 같은 한정된 자원을 이용하는 부분에 이러한 연자성체를 사용하기 위해서는 손실(철손)의 저감이 절실히 요구된다. 본 논문에서는 철손을 저감 하기 위해서 연자성체를 성형(fabrication) 하는 과정에서 압분 금형(compaction mold) 외부에 외부 자장(external flux)을 인가하는 기법 (external flux injection method, EFIM)을 제안 하였다. 외부자장을 인가하여 줌으로써 자기저항(reluctance)이 최소화 되는 상태로 상호 분말이 정렬 되어 압분 되게 된다. 기존의 경우 불규칙한 방향으로 분말(composite)들이 압분 되는데 반해 제안된 방법의 경우 에너지 변환(Energy conversion)을 일으키는데 용이한 방향으로 자장을 걸어 자기저항을 최소화 한 상태이므로 에너지 변환 과정에서 손실을 최소화 할 수 있게 된다.

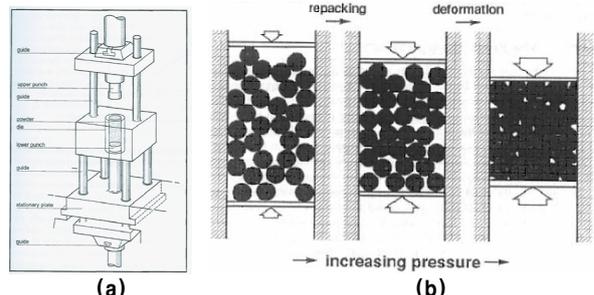
따라서 기존 자장을 인가하지 않았을 때 대비 자장을 인가하여 자기적으로 안정화를 만든 후 압분 시킨 연자성체 코어를 이용 하였을 때 훨씬 낮은 철손을 얻을 수 있었다. 이러한 특성을 고찰하기 위해서 본 논문에서는 외부에서 자장을 인가할 수 있는 구조의 압분 금형을 설계하였고, 자장의 인가 성능을 극대화하기 위해서 FEM (finite element method)을 이용하여 최적 자료 구조(magnetic circuit)를 설계 하였다. 특히 압분 금형은 매우 높은 압력에서 성형(formation) 되기 때문에 금형의 강도를 고려해야 했다. 이에 반해 자속이 압분 되는 분말까지 전달 되기 위해서는 충분히 전달될 수 있도록 금형의 두께를 최적화 하고 이에 적합한 재질 선정이 필연적으로 요청 되었다. 따라서 구조해석(structure analysis) 과 전자계 해석(electro magnetic analysis) 을 통해서 구조적 안정성(stability)과 자기적 특성을 고려한 금형 설계를 실시하였다.

본 논문에서는 Fe-P계열의 분말(Powder)만을 이용하여 수분사법(wet spread method) 로 제조된 분말을 이용하여 압분 코어를 제작 하였다. 본 연구에서는 자장을 인가하여 자기적으로 안정화 된 상태에서 즉 자기저항이 상대적으로 낮게 분말끼리 성형될 수 있게 한 방법을 제안하여 자기적 특성(철손, 투자율(permeability, 최대자속밀도 max flux density) 등에 대해서 고찰 하였다

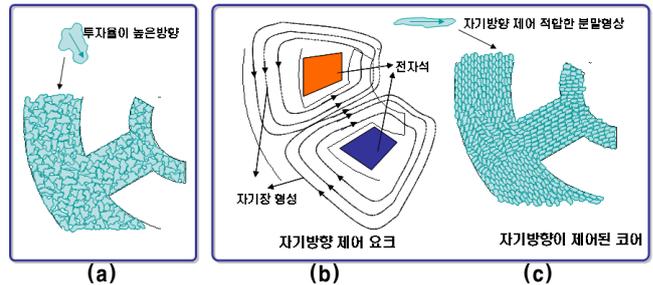
2. 본 론

2.1 외부자장인가법(EFIM)

연자성체를 이용한 모터 코어의 제작은 그림1에서 보는 바와 같이 압분(Compaction)이라는 공정을 거쳐서 제작 된다. 이때 연자성체 분말은 매우 무질서하게 배열 되게 된다. 본 논문에서 제안된 외부자장인가법(EFIM)은 상기의 압분 공정에 자장을 인가하여 무질서하게 배열되는 입자를 자기적으로 안정된 배열을 갖도록 고안되어졌다. 본 논문에서는 복잡한 모터 코어의 자기적 특성을 고찰하기 전에 사각형태의 시편 금형을 만들어 자장인가 전후의 자기적 특성에 대해서 고찰하였다. 제안된



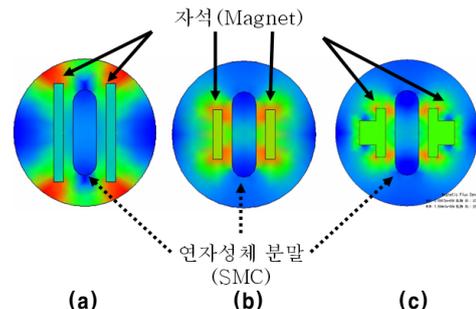
<그림 1> 압분 Process (a) Press 도식, (b) 압분과정



<그림 2> 제안된 외부자장 인가법

(a) 기존 방법 (b)외부자장인가법의 개념 (c) 외부자장인가후성형체

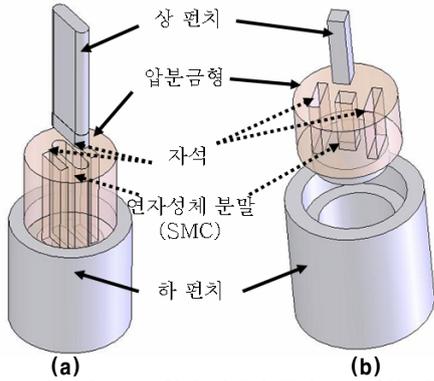
금형 설계시 자기적 특성의 고려는 분말에 자장을 인가하여 내부에 자장을 인가하는 방법은 코일을 이용하여 전기적으로 자속을 인가하는 방법과 영구자석을 이용하여 자장을 인가하는 방법 2가지를 선택할 수 있는데 본 논문에서는 자석을 이용하여 자장을 인가하는 방법에 대하여 고찰하였다. 그림3 에서 보는 바와 같이 3가지 형태에 대해서 각각 외부에서 자장을 인가 시 압분체 내부의 자속 벡터가 동일한 방향으로 유지되며, 분말 상호의 결합력을 최대화 할 수 있도록 내부의 자장이 가장 높게 형성 될 수 있는 구조에 대해서 검토 하였다. 검토 결과 그림3 (b) 사양이 내부에서 가장 높은 자속 밀도를 내며, 제작에도 용이할 것으로 판단되어 그림 3 (b)의 형태로 제작 하였다.



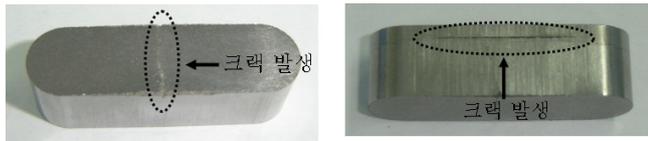
<그림 3> 금형의 자기적 특성을 고려한 설계

(a) 자장인가부 Long (b) 자장인가부 Shot (c) 중간부분 자력 High

금형의 기계적 특성 고려 사항은 다음과 같았다. 첫째로 압분 시 고압에 견딜 수 있는 기계적 강도가 필요로 되었으며, 두 번째로 고려된 사항은 압분체의 성형 후 성형 후 변형이 발생되지 않을 구조로 설계되어야 한다는 점이다. 구조해석(Structure Analysis)을 통해서 충분한 강도가 고려될 수 있도록 위치에 따른 구조 설계를 실시하였다. 해석 결과 금형내부로 외부자장이 충분히 인가될 수 있는 있으면서도 적절한 강도를 가질 수 있는 금형을 그림4 (a)와 같이 설계 하였다. 그러나 금형 성형 후 그림5와 같이 파괴강도는 넘지 않으나 미세한 금형 변화에 의해서 압분 후 변형이 발생되어 제품을 취출 시 그림5와 같이 제품의 파괴현상이 발생하였다. 이는 기계적 특성을 설계 시 미량의 변형이 발생할지라도 제품 취출 시에 파괴를 일으킬 수 있으므로 변형이 최소화될 수 있는 구조의 설계가 요청됨을 알 수 있었다. 따라서 변형이 최소화될 수 있도록 그림 4(b)와 같이 설계변형을 실시하여 금형 변경 후에도 제품의 파괴 없이 안정된 제품을 얻을 수 있었다.



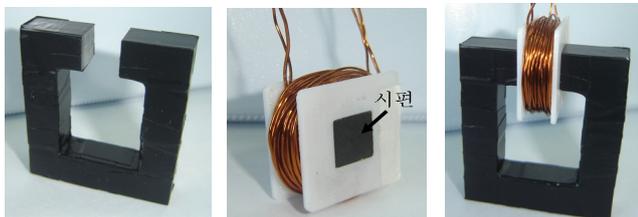
<그림 4> 금형의 기계적 특성을 고려한 설계
(a) 1차설계, (b) 변형을 고려한 설계



<그림 5> 1차설계된 금형으로 제작된 자성체의 변형

2.2 실험 방법

압분 조건은 700MPa의 가압 조건에서 압분 하였으며, 사용된 재료는 Hogans사의 SMC500에 윤활제 KE가 첨가된 제품으로 압분하였다. 압분 후 500도에서 1시간동안 열처리 후 자기적 특성을 평가 하였다. 자장인가 전후의 특성을 비교 하였고, 재료의 성분에 따른 특성을 분석 하기 위해서 SMC500KE와 SMC550KE를 각각 비교 하여 실험을 실시 하였다. 자기적 특성을 평가하기 위하여 그림6 (a)과 같은 연자성체의 특성 평가 Probe를 제작 하였다. 그림에서 보듯이 연자성체의 특성만을 측정하기 위하여 그림6 (b) 과 같이 연자성체의 Size에 맞도록 서치코일을 제작하였다. 이는 서치코일을 감는 방법에 따라 달라지는 air effect를 최소화 하기위해서 제안 되어 졌다.

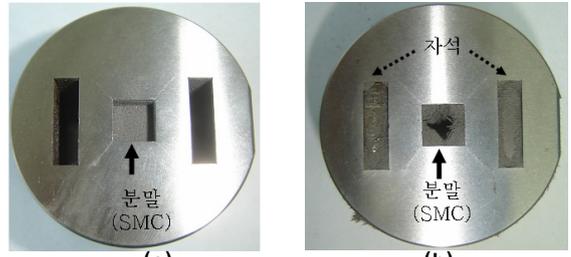


<그림 6> 1차설계된 금형으로 제작된 자성체의 변형
(a) 연자성체의 평가 Probe, (b) 서치코일, (c) 실제 측정을 위한 준비

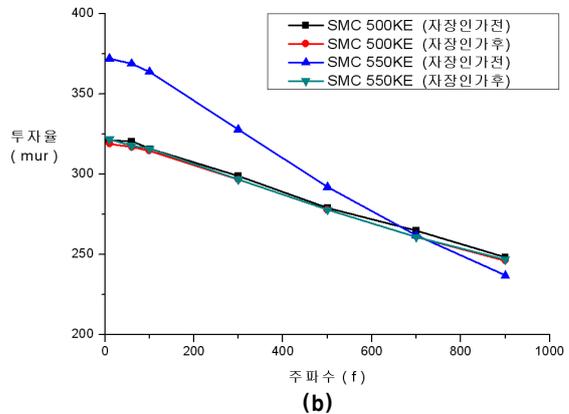
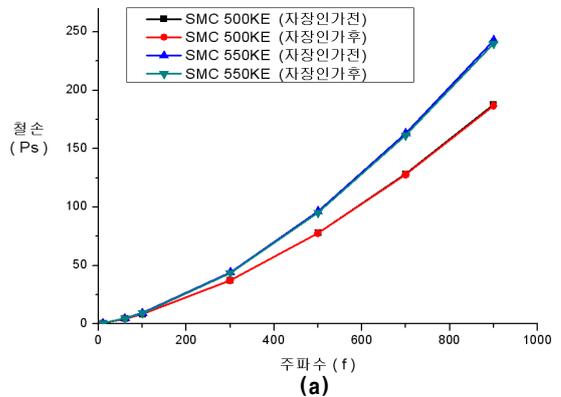
2.3 실험 결과

그림7는 압분 금형 내에서 자장 인가 전후의 분말의 상태를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 자장을 인가 시 인가전에 비해 훨씬 더 배열성이 좋아지는 것을 알 수 있었다. 그림8은 자장인가 전후의 자기적 특성을 비교한 그래프이다. 그림8. a는 주파수에 따른 철손의 변화를 나타낸 그래프이다. 그림에서 보듯이 SMC500, SMC550의 경우 철손의 변화는

거의 유의차가 없는 수준인 것을 알 수 있었다. 그러나 그림 8 b에서 보듯이 투자율의 경우 SMC500에서는 거의 유의차가 발생되지 않았으나 SMC550의 경우 에서는 투자율이 높아지는 것을 알 수 있었다. 이는 외부 자장에 의해서 분말입자가 상대적으로 낮은 퍼미언스를 갖는 방향으로 정렬 되기 때문으로 유추될 수 있다. 이는 외부자장을 인가시에 외부자장을 인가하기 전보다 재료에 따라서 투자율이 증대됨을 반증해주고 있다.



<그림 7> 압분금형내 자장인가 전후 사진
(a) 자장 인가 전 (b) 자장 인가 후



<그림 8> 자장인가 전후 특성 비교

3. 결 론

본 논문에서는 압분 공정에 외부자장을 인가하여 자장 분말의 자기적으로 안정된 상태에서 압분될 수 있도록 하는 외부자장인가법을 제안하였다. 실험결과 SMC500KE의 경우 외부자장 인가 전후 자기적 특성은 거의 동등 하였으나 SMC550KE의 경우 투자율이 증대 됨을 알 수 있었다. 이는 동등의 자계 강도에서 높은 자속 밀도를 형성 할 수 있어 향후 출력 향상에 기여 할 수 있으리라 예상된다. 또한 추가적인 재료에 외부자장 인가법을 적용할 경우 추가적인 자기적 특성의 개선이 예상된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Goran Nrod ,Patricia Jasson, "Roadmap to new motor topologies" in Proc 2005 Motor & Drive System 2005, pp 1(8)~8(8)
- [2] Suzuki "A development of small motor for automobile: Techno Frontier symposium 2004. sesion D pp. D3-3-1 ~ D3-3-9
- [3] L.Hultman, Anderson & A.G jack "The SMC Technology from idea to eality", 2003 SAE World confernece, Detroit, March 2003