

분말압분 조건 개선에 따른 모터 코어용 연자성체의 특성 향상

차현록, 이규석, 윤철호, 정태욱, 김형모, 김정철  
한국생산기술연구원

Characteristic improvement of soft magnetic composite by improving compaction condition

Hyun Rok Cha, Kyu Seok Lee, Cheol Ho Yun, Ta Euk Jung, Hyung Mo Kim, Jeong Cheol Kim  
Korea Institute of Industrial Technology

**Abstract** - 연자성 복합재료는 기존의 철판 대비 기계적, 자기적 특성 떨어지는 것이 사실 이었다. 본 연구에서는 이러한 문제점 개선을 위해서 저점도 윤활제 적용을 통한 빼기 압력 저감 방안을 도출하였다. 연자성체의 고강도화, 우수한 자기적 특성을 얻기 위해서 높은 압력의 성형이 필수적인데 높은 압력으로 성형시 빼기 압력이 높아져서 금형이 파손 되는 등 문제점으로 인해 우수한 특성을 얻을 수 없었다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 저 점도액체 윤활제, 고점도 액체 윤활제, 고체 윤활제 3가지의 윤활제 특성을 검토 하였다. 또한 저점도 액체 윤활제 적용을 통해서 기존 대비 강도 10%, 철손 10%, 빼기 압력 30%를 저감 하였다.

1. 서 론

최근 연자성체를 이용하여 모터 코어에 적용코자 하는 연구가 많이 진행되고 있어 무엇 보다도 그의 실용화에 많은 관심이 증대 되고 있다. 연자성체는 순철 분말에 절연 코팅을 실시한 복합체(Composite)로써 기존의 전기 강판 대비 3차원적 형상이 가능하므로 자기 활용율이 높고, 잉여로 버려지는 재료의 부분이 없어 친환경적이며, 이론적으로 와전류의 형성이 어려운 구조이므로 와전류 손실이 적어 고주파로 움직이는 기기에서는 고 효율화 할 수 있는 장점을 지니는 재료 이다.

그럼에도 불구하고 현재 연자성체를 실증화 하는데 가장 큰 문제점으로 대두 되는 것이 강도 특성이다. 연자성체는 자기적 특성 때문에 압분 공정을 거치서 제작되므로 제조 특성상 고강도를 이루기가 어렵다.[1] 따라서 고속 운전시 낮은 강도로 신뢰성에 문제가 발생할 수 있으며, 제조시에도 쉽게 파괴되어 제품의 제조시 불량률의 우려가 높다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 다양한 방법들이 시도 되고 있는데, 분말과 분말 입자를 결합하기 위해서 Binder를 사용 하는 방법이 대표적인 방법이다.[2] 이 방법은 분말과 분말 사이를 서로 결합할 수 있으므로 기존대비 고강도를 실현 할 수 있는 장점을 지닌다. 반면에 밀도가 낮아져 자기적 특성이 상대적으로 낮아지는 단점이 있었다.[2]

따라서 본 연구는 연자성체의 실용화에 가장 큰 난제인 강도 특성을 개선코자 하였으며, 이를 연자성체의 강도 및 자기적 특성에 영향을 주는 인자를 규명 코자 하였으며, 최적 제어 방법을 통해 강도 향상 및 자기적 특성 개선을 이루고자 하였다.

2. 본 론

2.1 연자성체의 강도특성에 영향을 미치는 인자

연자성체의 강도 특성에 영향을 주는 인자분석을 실시 하였으며 그 중 열처리 온도, 윤활제의 첨가량, 가압 하중이 강도 특성에 큰 영향을 줄을 알 수 있었다. 그림 1 은 열처리온도에 따른 강도 특성을 보여 주고 있다. 그

림1에서 보듯이 열처리 온도가 높을수록 강도 특성이 증가됨을 알 수 있었다. 그러나 500℃이상의 고온으로 가면서 강도 특성이 떨어짐을 알 수 있었다. 그림2는 분말 윤활제의 첨가량에 따른 강도 특성을 보였다. 분말 윤활제의 양은 0 ~ 3Wt%까지 증가 시키면서 강도특성을 분석 하였다. 분석 결과 윤활제의 첨가량이 0.8Wt%까지는 일정한 강도를 유지 하다가 그 보다 높은 분말 윤활제를 첨가시 급격히 강도가 저하됨을 알 수 있었다.

그림3은 가압력과 강도 특성이다. 그림3에서 보듯이 가압력이 높을수록 높은 강도 특성을 나타내는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 700Mpa, 800Mpa, 900Mpa압력으로 각각 가압 하였을 때의 특성을 분석 하였다. 가압력이 높을수록 강도 특성은 향상되었다. 따라서 강도의 향상을 위해서는 적절한 열처리 온도와 적절한 분말 윤활제 량의 첨가 그리고 가압력을 높이는 것이 필요로 됨을 알 수 있었다. 그러나 열처리 조건 확립과 윤활제량 조절에 의한 강도 향상은 그림1, 2에서 보듯 일정한 최적값이 존재 하게 된다.

따라서 현재 보다 높은 강도 특성을 구현 하기 위해서는 가압력을 높이는 방법이 유일임을 알 수 있었으며, 본 논문에서는 가압력을 높일 수 있는 방법과 가압력이 다른 특성에 미치는 영향을 분석 하였다.

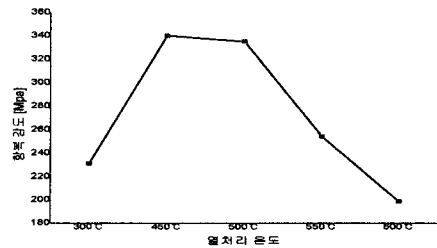


그림 1 열처리 온도와 강도특성 상관관계

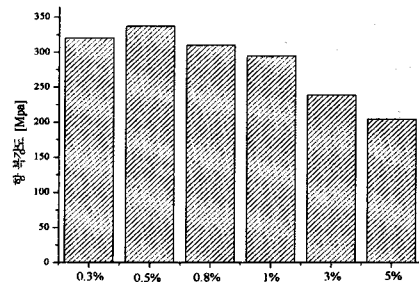


그림 2 분말윤활제첨가량과 항복강도 특성

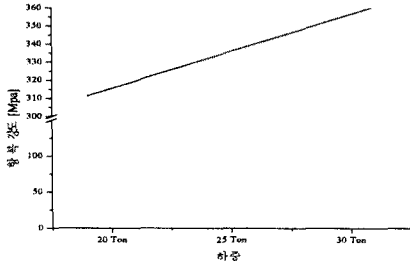


그림 3 강도와 가압 하중 특성 비교

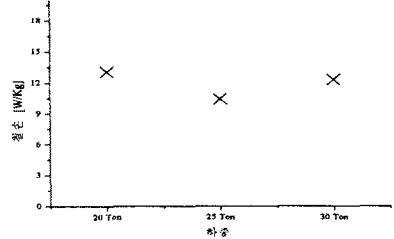


그림 5 가압력 과 철손 특성

## 2.2 가압력의 영향 분석

그림3에서 강도는 가압하중이 증대됨에 따라 높아짐을 알 수 있었다. 계속하여 가압력(하중)이 증대됨에 따른 특성에 대해서 고찰하면 다음과 같았다. 그림4는 가압력과 밀도의 특성을 고찰한 그림이다. 그림에서 보듯이 가압력이 높아 질수록 밀도가 증대 되는 것을 알 수 있다. 높은 힘으로 가압하여 성형 할수록 밀도가 높아 짐을 알 수 있었다. 그림5는 가압력과 철손 특성을 고찰한 그림이다. 그림에서 보듯이 가압력이 높아지면 철손 또한 감소 됨을 알 수 있었다. 따라서 가압력이 높아지면 기계적인 강도 특성이 증가 될 뿐만 아니라 자기적 특성인 철손 또한 좋아 짐을 알 수 있었다. 따라서 가압력을 높여서 성형을 실시하면 기계적, 자기적 성질이 모두 상승 되므로 연자성체의 특성향상에 큰 효과가 있음을 알 수 있었다. 그러나 그림 6에서 보는 바와 같이 가압력이 증가됨에 따라서 빼기 압력이 증가 되는 것을 되는 것을 알 수 있다. 빼기 압력은 성형후 빼질때 걸리는 압력을 의미 하는 것으로써 빼기 압력이 높은 경우 금형 파괴로 이어 지기 때문에 빼기 압력이 높다는 것은 작업이 불가능하다는 것을 의미 한다. 따라서 고강도와 자기적 특성 개선을 위해서 가압력을 높여 특성을 개선하였다 할지라도 빼기 압력이 높아지면 실용화 할 수 없기 때문에 실제 제품생산에 적용 할 수 없게 된다. 따라서 가압력을 높이기 위해서는 빼기 압력 저감이 반드시 필요로 되어 진게 된다. 그림 7은 실제로 제품에 양산되는 압분 성형체의 금형전개도 이다. 그림에서 보듯이 금형의 다이와 펀치를 분리시에 A부위와 같은 지점에 대단히 큰힘이 걸리게 된다. 이러한 큰 힘은 금형의 파손으로 이어지게 된다. 더욱이 연자성체를 이용하여 모터 코어를 제작시 그림 8에서 보는 바와 같이 펀치의 형상이 그림8(a)와 같은 형상을 가질 수밖에 없다. 이는 그림8(b)에서 보는 것과 같이 모터에서 갖는 Teeth부위가 존재하기 때문에 생기는 피할 수 없는 형상이다. 따라서 그림8(a)와 같이 작은 턱이 생기는 형상을 피할 수밖에 없다. 그런데 이러한 턱부분에 높아진 빼기 압력이 걸리게 된다. 따라서 금형 구조상 취약한 구조를 가질 수밖에 없는 모터 코어에 적용하기 위해서는 빼기 압력을 저감해야 가압력을 높일 수 있게 된다. 따라서 연자성체를 모터코어에 적용하기 위해서는 가압력 저감이 필요로 되어 진다.

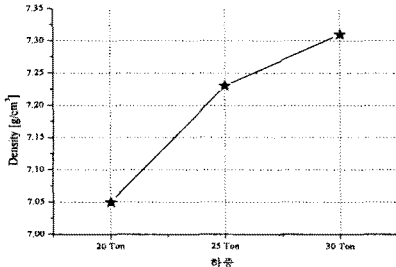


그림 4 밀도와 가압 하중 특성

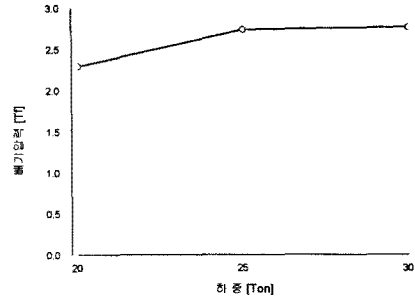


그림 6 가압력 과 빼기 압력의 관계

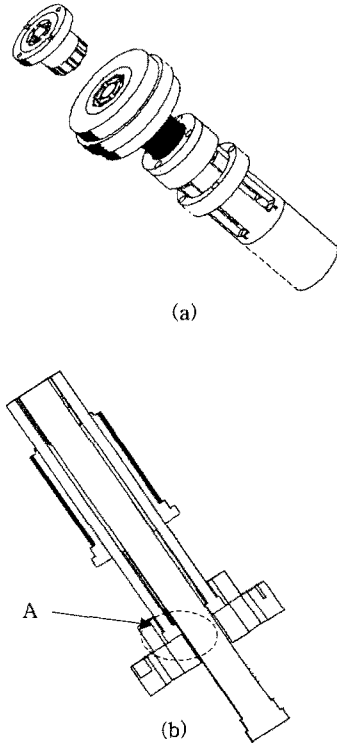


그림 7 연자성체의 금형 구조  
(a)구성도, (b)단면도

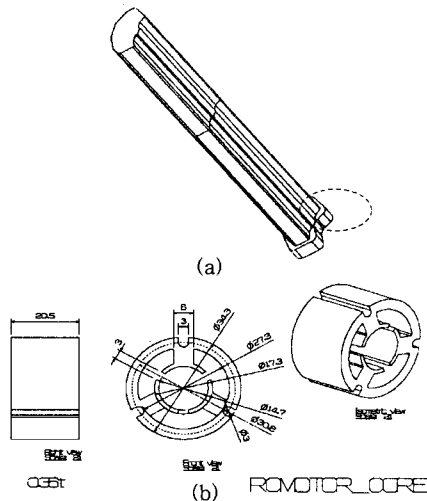


그림 8 취약부분 펀치 및 형성 배경  
(a) 취약 부분 펀치 (b) 모터의 일반적 형상

### 2.3 금형 윤활제 적용을 통한 빼기 압력 저감

빼기 압력 저감은 높은 가압력을 보장 하고 높은 가압력은 기계적 강도 특성과 낮은 철손 특성을 보장 하기 때문에 빼기 압력 저감은 매우 중요한 의미를 갖는다 하겠다. 따라서 본 논문에서는 빼기 압력 저감을 위해서 일반적으로 사용되는 분말 윤활제 이외에 금형 윤활제를 이용하여 빼기 압력 저감 방안에 대해서 고찰 하였다. 고찰된 윤활제는 고체 윤활제와 액체 윤활제의 적용을 검토 하였으며 액체 윤활제는 저점도 윤활제와 고점도 윤활제를 검토 하였다. 검토 결과 고체 윤활제는 입자 Size가 커서 작업성이 매우 좋지 않고 금형 벽면에 엉겨 붙어 다이와 펀치에 끼어 윤활 작용을 전혀 하지 못해 고려에서 제외하고 액체 윤활제의 특성만을 검토 하였다. 그림 9는 고점도 액체 윤활제(Si-spray)와 저점도 액체 윤활제(WD40) 그리고 윤활제를 전혀 사용하지 않았을 때의 빼기 압력에 대해서 고찰한 결과 이다. 그림에서 보듯이 저점도의 액체 윤활제(WD40)을 적용할 경우 가압력에 상관없이 빼기 압력이 낮아짐을 알 수 있었다. 그러나 고점도 액체 윤활제를 적용할 경우(Si-spray)를 적용할 경우는 빼기 압력의 저감이 거의 없는 것으로 나타났다. 이를 볼 때 저점도 액체 윤활제는 빼기 압력 저감에 매우 큰 효과가 있음을 알 수 있었다. 그림 10은 동일 빼기 조건 즉 현재 윤활제를 적용하지 않고 금형의 손상이 없는 수준에서의 철손값을 의미 한다. 구체적으로 윤활제(無) : 20 Ton, Si-spray : 20 Ton, WD40 : 30Ton으로 가압했을 때 의 철손값을 비교 한 것이다. 이는 동일한 빼기 조건이라는 점에서 동등한 시각으로 비교한 것이다. 이때 철손 특성을 보면 윤활제를 적용하지 않았을 때 보다 저점도 액체 윤활제를 적용하였을 때 낮은 철손 특성을 지남을 알 수 있다. 표1은 동일 빼기조건에서 강도와 철손특성을 같이 비교한 결과 이다.

표에서 보듯이 저점도 액체 윤활제 적용 전후에 빼기 압력은 3.2Ton → 2.0 Ton으로 대폭 저감됨을 알 수 있었고, 동일 빼기 압력 (2.0Ton)이하의 빼기 압력을 얻을 수 있는 성형 조건에서 비교한 결과 액체 윤활제를 적용하여 철손 특성을 낮춘 경우는 윤활제를 적용 하지 않았을 때 12.5W/kg에서 저점도 액체 윤활제를 통한 빼기 압력 저감을 통해서 10.825W/kg으로 대폭 저감 할 수 있었다. 뿐만 아니라 강도 특성 역시 윤활제를 적용하지 않았을 때 314MPa에서 335MPa로 약 5%이상의 강도가

증대 되었다. 이를 통해서 볼 때 절적할 금형 윤활제 적용을 통해서 빼기 압력을 대폭적으로 저감 할 수 있었으며 이를 통해서 가압력 상승을 이룰수 있었고, 높아진 가압력은 다시 기계적 강도 특성을 상승시켰고, 낮은 철손 특성을 얻을 수 있게 하였음을 실증 하였다.

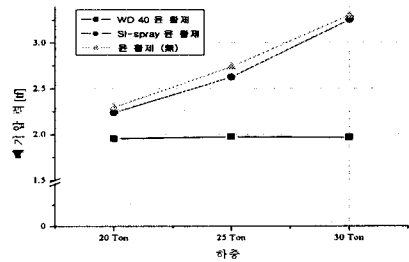


그림 9 윤활제별 가압력과 빼기 압력 특성

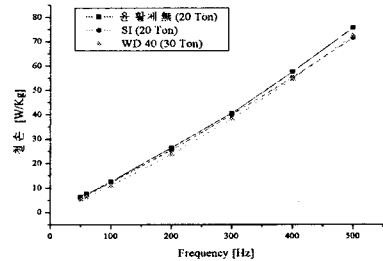


그림 10 윤활제에 따른 철손 특성 비교

가압 압력 (Pa)	빼기 압력 (Ton)			
	윤활제 사용 안함	액체 윤활제 WD-40	액체 윤활제 Si spray	고체 윤활제
가압 압력 (Mpa)	980	980	980	-
빼기 압력 (Ton)	3.2	2.0	3.05	-
동일 빼기 압력 조건	철손 12.5	10.825	12.5	-
강도	314	335	315	-

표 1 동등 빼기 조건에서의 특성 비교

### 3. 결 론

본 논문은 연자성체의 강도에 영향을 미치는 인자가 열처리 조건, 분말윤활제의 함량, 가압력에 의해서 결정되어지는 것을 보였으며 특히 가압력에 의한 강도 특성이 기계적, 자기적 특성향상에 매우 중요한 인자임을 밝혔다. 또한 이러한 가압력을 높이기 위해서는 빼기 압력 저감이 필수적이며 이를 위해서 고체 윤활제와 고점도 액체 윤활제, 저점도 액체 윤활제의 빼기 압력 특성에 대해서 각각 고찰 하였으며, 저점도 액체 윤활제에서 빼기 압력 저감에 탁월한 효과가 있음을 알 수 있었다. 따라서 연자성체를 이용한 모터 코어 제작에 있어서 금형의 취약형태는 피할 수 없는 전제 조건인데 이러한 취약 형태에서도 높은 강도를 낼 수 있는 빼기 압력 저감 방안을 마련 할 수 있는 방향으로 연구가 활발히 이루어져야 할 수 있을 것으로 사료 된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Gran Nrod, Patricia Jansson, "Roadmap to new motor topologies" in Proc 2005 Motor & Drive Systems 2005, pp 1(8) ~ 8(8)
- [2] Suzuki " A development of small motor for automobile"

Techno Frontier symposium 2004. pp. D3-3- ~ D3-3-9