

Tape-Casting법을 이용한 고효율 유도 전동기용 자성웨지의 제조기술 개발

이 용 호

홍익대학교 금속재료공학과

Development of Magentic Wedges for Inductions Motors via
Tape Casting Process

Yong Ho Lee

Dept. of Metallurgical Eng. and Materials Science
Hongik University, Seoul, Korea

Abstract

본 연구에서는 기존의 자성 웨지의 제조 공정을 대체하여 제조 공정이 단순하고, 그의 정밀성이 우수한 tape casting-lamination법에 의한 자성 웨지의 제조 공정의 적용 가능성에 대한 연구를 수행하였다. 철 분말과 에폭시 slurry는 우수한 tape casting 특성을 보여주었으며, 이렇게 얻어진 green tape과 유리 섬유를 적층하여 자성 웨지를 얻었다. 이러한 과정을 거쳐서 얻어진 제품의 품질 특성을 평가한 결과, 기존의 제조 공정으로 얻어진 제품에 비하여 품질의 균일성이 우수하며, 제조 공정을 혁신적으로 단축하는 것이 가능한 것을 보여주고 있다.

1. 서론

유도 전동기의 효율을 저하시키는 요인으로는 일반 전동기에서 발생하는 철손, 동손과 함께 고정자의 간극에서 발생하는 자장 밀도의 변화에 의하여 발생하는 표면손, 맥동손, 고주파토크손등이 있다. 이와같은 고정자 간극에서 발생하는 손실은 간극내의 자장 밀도를 균일하게 유지시킴

으로써 감소시킬 수 있는데, 이를 위하여 고정자의 슬롯에 자성 웨지를 삽입하여 사용하고 있다.

자성 웨지란 철분말을 충전재로 사용하는 에폭시 기지 복합 재료로서, 재료내의 철 분말이 자성체로서 역할을 하여 슬롯내의 자장을 균일하게 하는 역할을 한다. 이 자성재료의 기계적 강도를 확보하기 위하여 유리 섬유가 첨가되는 것이 일반적인데, 이것은 자성 웨지의 열팽창을 조절에 의한 칫수의 안정성을 높이고, 사용 조건에서의 강도를 부여하기 위함이다. 이러한 자성 웨지는 유리 섬유로 제조된 cloth상에 에폭시와 철 분말 혼합체를 교대로 적층한 후, 이들을 고온으로 가열한 후, 가압에 의한 lamination법에 의하여 제조되고 있다. 이와같은 전통적인 제조 방법은 다음의 몇 가지 문제점이 있다. 첫 번째로는 에폭시와 철 분말의 혼합시 불균일 혼합이 발생하는 점이다. 철 분말과 에폭시 분말은 그의 밀도차이가 크기 때문에, 균일한 혼합이 어렵다. 이에따라서 철 분말과 에폭시 분말의 편석이 발생하게 되고, 제조된 자성 웨지의 기계적, 물리적 특성이 불균일을 초래할 가능성이 있다. 다음으로는 철과 에폭시 혼합 분말을 유리 섬유 cloth상에 적층하여야 하는데, 그의 적층 두께를 조절의 조절이 곤란한 단점이 있다.

즉 두께의 조절이 수동적인 방법에 의하여 이루어지기 때문에 적층된 층의 두께 편차가 많이 발생하는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 tape casting법을 이용한 자성 웨지의 제조 방법을 개발하고자 하였다. 즉 에폭시와 철 분말을 slurry상태로 혼합한 후, 이를 tape casting법으로 green tape를 제조하고, 이를 유리 섬유 cloth와 적층하여 자성 웨지를 제조하는 방법이다. tape casting법으로 green tape를 제조하게 되면 두께의 분포가 +/- 2% 이내로 조절하는 것이 가능하기 때문에, 매우 정밀한 두께를 가진 철-에폭시 층을 제조하는 것이 가능한 장점이 있다. 또한 slurry상태에서 철 분말과 에폭시를 혼합하는 경우에는 분산제와 바인더 함량의 조절에 의한 균일한 분포를 가진 혼합체를 얻는 것이 가능한 장점이 있다.

2. 본 론

1. 자성 웨지 제작 공정

현재 알려진 웨지의 성분을 토대로 그림1과 같은 tape casting 및 green tape의 lamination 공정을 이용하여 자성웨지를 제작하였다.

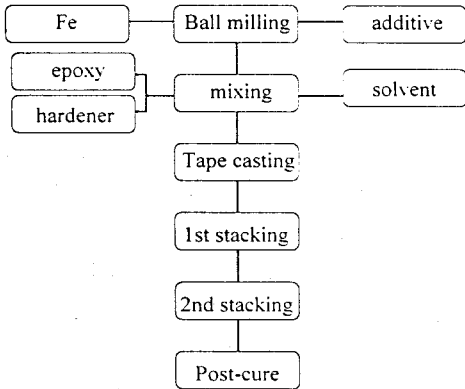


그림 1 자성웨지 제작 공정

즉 tape casting에 의해 green tape을 제조하고 이를 유리섬유와 교대로 적층하였다.

2. 원료의 준비

본 자성웨지의 제작에 사용된 철분말은 평균입도 -325mesh의 구형분말이다. 철분말과 수

지와의 계면 접착력을 좋게 하기 위해 철분말에 silan agent를 첨가하고 ball mill에서 zirconia ball을 milling media로 이용하여 5시간동안 습식혼합 후 건조시켰다. 에폭시는 자성웨지의 사용온도인 150℃부근에서 보다 안정적인 것으로 알려진 비스페놀A형의 YD-128을 사용했다. 적절한 점도 특성을 가진 slurry를 제조하기 위하여 solvent를 사용하였다. 유리섬유는 일반용, 전기용으로 널리 사용되어지는 E-glass로 이루어진 직조된 mat 형태(18가닥/inch)의 제품을 사용하였다. tape casting을 위한 slurry는 균일한 혼합을 위해 condition mixer에서 고속으로 2분간 2회의 혼합후 기계적 stirring을 저속으로 2분간 1회 실시하였고 이를 5회반복 실시 하였다. 실험에 사용된 조성은 표1과 같다

	Fe	Epoxy	Hardener	solvent	glass clothe
무게 (g)	78	20	6	8	-
비고	-325 mesh	YD-128	G-0331	MEK	E-glass

표 1 slurry 조성

3. tape casting 및 건조

대량생산이 가능하고 균일한 품질을 얻을 수 있는 장점을 가진 tape casting은 본 실험실에서 보유하고 있는 tape caster를 사용하였다. double doctor blade를 이용하여 300 μ m 두께의 green sheet를 제조하였고 대기중에서 12시간 건조후에 평균두께 약 180 μ m(두께편차 \pm 4 μ m)의 green tape을 제작하여 적정크기로 절단후 사용하였다. 본 실험에서 사용된 tape caster는 그림2에 나타내었다.

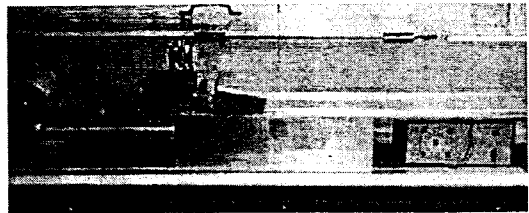


그림 2 Tape caster

4. 자성 웨지 제작

green tape과 유리섬유를 일정비율로 번갈아 적층한 후 온도 80℃에서 3MPa의 압력을 가하면서 10분간 성형하여 1차 적층을 실시하였다. 그림3은 1, 2차 적층시 사용한 열가압성형기 이다.



그림 3 열가압 성형기

이렇게 제조된 1차적층물을 원하는 두께만큼 4~6장 적층하고 140℃에서 4MPa의 압력을 10분간 가하여 2차 적층을 실시한 후 150℃에서 2시간동안 후경화를 실시하였다. Green tape과 유리섬유의 비율을 변화시켜 sample을 구분하였고 표2에 나타내었다. 이때의 비율은 무게비 이다.

5. 특성 평가

제작된 자성웨지의 기계적, 물리적 특성을 알아보기 위해 자성웨지의 인장시험과 투자율 측정 및 SEM, 광학현미경으로 미세조직을 관찰하였다. 제작된 자성웨지의 인장시험을 위해 표점거리 5mm의 인장시편을 가공하였다. 투자율 측정을 위해서 시편을 직경 20mm의 코어 형태로 가공하여 권선을 감고 주파수 2kHz, B_m은 250G에서 측정하였다.

	sample #1	sample #2	sample #3
green tape	68.5	86.7	91.6
glass fiber	31.5	13.3	8.4

표 2 glass fiber ratio 변화에 따른 sample 구분

<실험 결과>

1. 단면 미세조직

그림4에 sample#1에 대한 단면 관찰 사진을 나타내었다. 사진에서 볼 수 있듯이, 원래의 철분말은 구형의 분말을 사용하였음에도 불구하고, elongated 형상의 분말이 얻어지는 것을 볼 수 있다.

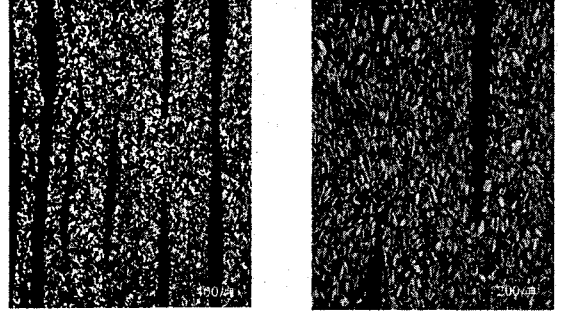


그림 4 sample #1의 단면 광학 관찰 사진

이러한 현상은 철 분말과 에폭시 기지간의 결합 강도를 증가시키기 위하여 첨가제를 혼합시키는 ball mill 과정에서 분말이 소성변형을 일으키기 때문으로 판단된다. 분말의 형상이 이와같이 elongated되면, 저항이 증가하여, 자성 왜지내에서 와류에 의한 손실을 감소시키는 것으로 보고되고 있다. 이들 에폭시와 철 분말은 stacking 과정에서 유리 섬유 사이에 함침되는데, 함침 상태도 기존의 제조 공정으로 얻어진 제품보다 우수한 상태임을 관찰 할 수 있었다.

2. 인장시험

각각의 sample에 대한 인장시험 결과는 그림5와 6에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 glass fiber의 비율이 많아질수록 인장강도값이 증가하는 것을 알 수 있었다. 특히 sample #1의 경우 인장강도의 목표로 했던 80MPa를 훨씬 상회하였다. 또한 연신율에 있어서도 glass fiber의 비율이 많아짐에 따라 증가하고 있음을 확인할 수 있었다. sample #1에서 파괴 직전에 보이는 stress의 감소현상은 수지와 철분말간의 결합 부위에서 파괴가 시작되기 때문으로 보인다. 그러나 파괴가 일부 진행되던 수지를 충분히 함유된 유리섬유와 수지간의 결합에 의해 다시 holding하는 것으로 판단되어진다.

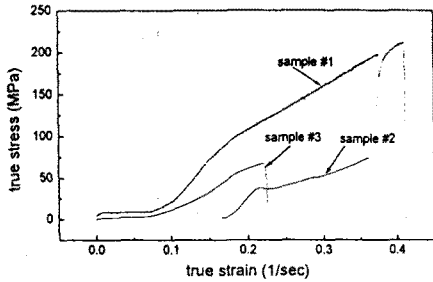


그림 5 sample별 strain-stress curve

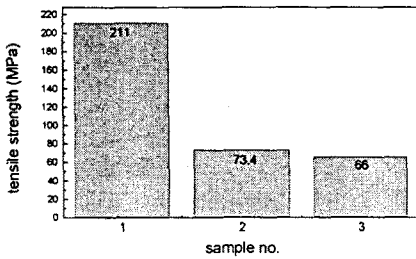


그림 6 sample별 인장강도

3. 파단면 관찰

인장시험후 파단면에 대해 SEM으로 관찰한 결과 그림7에서 보듯이 수지와 철분말의 결합부에서 파괴가 일어난 것으로 보인다. 파단면에서 관찰되어지는 구형의 홈들은 에폭시의 파괴후 철분말이 빠져나간 부분으로 예상되어진다.

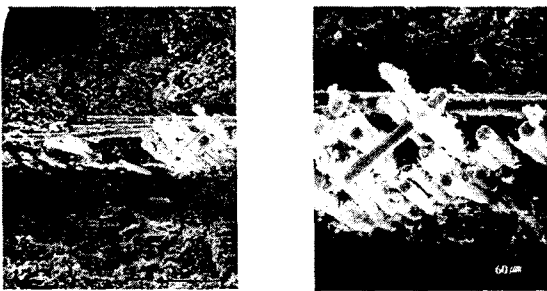


그림 7 파단면의 SEM 사진

또한 위의 그림에서 알수 있듯이 glass fiber의 비율이 많아짐에 따라 연신율이 증가하고 있다. 이는 glass fiber가 복합재료에서 강도를 유지하여주는 역할을 충분히 하고 있다고 판단된다. 즉, 수지와 금속 분말간의 접착 부분이 상대적으로 적어짐에도 불구하고 유리섬유에 의한 강화 효과

가 증가되어 연신율이 증가하고 있다. 그러나 유리 섬유 양이 많아질수록 소성영역이 거의 없어졌음이 관찰되어지고 있다.

4. 투자율 측정

자성웨지의 물리적 특성을 알아보기 위해 투자율을 측정하였다. 그 결과는 그림8에 나타내었다.

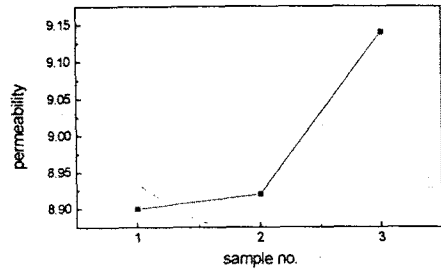


그림 8 sample별 투자율

자성웨지에 요구되는 투자율은 일반적으로 낮은 값을 요구하고 있으며 이번에 제작된 sample 모두의 경우에 있어서 목표값인 10이하의 값을 나타내었다. 그리고 유리섬유의 양이 증가할수록 투자율이 감소하고 있음을 관찰할 수 있었다.

3. 결론

대량 생산이 가능하고, 균일한 품질을 얻을 가능성이 있는 공정인 green tape을 이용한 자성 웨지의 제조 공정에 관한 연구를 수행하였다. 현재까지의 연구 결과는 이들 제조시 필요한 요소 공정을 최적화하는데 주안점을 두어서 연구가 진행되었고, 이러한 과정을 거쳐서 얻어진 제품의 품질 특성을 평가한 결과, 기존의 제조 공정으로 얻어진 제품에 비하여 품질의 균일성이 우수하며, 제조 공정을 혁신적으로 단축하는 것이 가능한 것을 보여주고 있다.