

## 자성웨이 국산화 개발 및 그 적용에 관한 연구

최종구<sup>0</sup>, 강이국, 배병춘, 홍성일  
이천전기공업(주)

A Study on Developing the Magnetic Wedge Material and its Application

Jong-Koo Choi, Yi-Kuk Kang, Byeong-Choon Bae, Sung-Il Hong  
LEECHUN ELECTRIC MFG. CO.,LTD.

### Abstracts

To apply Magnetic wedges to the motor, comparing with not applying, shows its performance change of efficiency increase, reduction of temperature rise, harmonics, and magnetic noise. The motor specification and test condition are 37kW-4P-380V-60Hz, squirrel-cage, three phase induction motor with semiclosed type slots. The result of load test to compare with nonmagnetic wedges showed 1.5% increment of efficiency at 100% load and 8.0°C decrement of temperature rise at stator coil.

And for developing the magnetic wedge material, its manufacturing process was setting and TG-DTA, optical microscope, SEM, bending strength and permeability were investigated into the material made of through the process.

### 1. 서론

우리나라 전기에너지의 소비량중 약 80%가 동력용, 약 20%는 조명용으로 구성되어 있고, 동력용의 80%정도가 전동력 분야에 집중되는 점을 감안할 때 이 전동력 분야에서 90%를 점유하고 있는 유도전동기중 70%가 3상 유도전동기가 차지하고 있다. 따라서 3상유도전동기의 고효율화는 국가적인 과제이며, 이를 위해 자성웨지의 이용, 코일 엔드길이 축소, 고급규소강판 적용, 슬롯절연등의 적용으로 달성하고 있다. 이중 자성웨이와 관련된 것을 알아보면, 유도전동기는 공극길이 작기 때문에 회전자 표면에서의 공극자속은 고정자의 치부에서 밀리고 고정자 슬롯 부분에서 소하게 되는 경향이 현저하게 된다. 공극 자속의 맥동은 회전자 표면손을 발생시켜 회전자바에 대해 고조파 동손을 발생시킨다. 특히 이 자속맥동이 큰 경우에는 전자소음의 발생요인이 되는 것도 있다. 자성웨이와 고급규소강판을 적용하여 동일용량에 비교하여 철손의 1/2를 줄였으며, 자성웨이만을 적용하여 철손의 1/4~1/3을 줄였을 정도

로 그 필요성이 대두되고 있다[1]. 이와같이 자성웨지를 이용하면 동손, 철손 및 공극자속의 맥동을 저감시켜 고효율화와 저소음화[2]를 실현할 수 있다. 그러나 자성웨지가 투자율이 높으면 맥동의 감소에 큰 효과가 있으나 투자율이 높을수록 누설리액턴스 증가에 의한 영향이 크게되어 특히 기동 토오크의 저하가 크게 되기 때문에 일반적으로 비투자율이 5~20정도의 것이 주로 사용된다. 또한 효율에 0.5~2%상승과 권선의 온도를 10~20°C까지 저하한 실적을 발표하는 점에서 자성웨지가 비자성웨이와 비교하여 동일한 기계적 강성을 갖고, 슬롯내에서 자기회로의 형성으로 인하여 권선을 고정시키는 역할에 약영향을 줄 수 있는 전자기의 기계적인 용력하에 있음을 충분히 설계시 검토하고 합침처리시켜 채용한다면 자성웨지의 적용은 삼상유도전동기의 고효율화로 성에너지에 일익을 담당할 것으로 판단된다[3]. 본 연구에서는 이러한 자성웨지의 국산화를 위해 철분과 에폭시 수지를 혼합하여 이를 Silane 처리된 유리섬유에 날장씩 제작후 적용하고, 이를 다시 가열과 가압을 행하여 자성웨지의 원판을 제작하였다. 이 원판의 기계적 특성과 자기적 특성을 알아보았다. 이런 적용된 원판을 슬릿팅하여 다이아몬드 휠이 부착된 가공기로 고정자 슬롯에 역형상인 웨지를 정밀하게 가공하였다. 그후 전동기제작 공정등으로 인한 전동기특성치 오차를 줄이기 위해 동일한 전동기(37kW-4P-380V-60Hz)를 실무시험으로 먼저 자성웨지가 없는 상태에서 행하고, 다시 자성웨지를 삽입을 행하여 효율, 고정자 권선에서의 온도상승치를 비교하였다.

### 2. 실험방법

#### 2.1 자성웨이 구성물질

자성웨지는 자성유전재료(magnetodielectric material)로써 복합재료로 표현된다. 표1은 자성웨지를 구성하고 있는 요소의 목표조성의 중량비이다.

Table 1. Weight percent of chemical elements composed of magnetic wedge

	Fe	Resin	Glass fiber
wt %	75	18	7

본 실험에서 사용한 철분은 장방형으로 평균입도 장축 145 μm 단축 20μm인 순철을 사용하였다. 그림1은 사용한 철분말의 입도분석결과이다. 레진은 노블락타입의 에폭시이며, 유리섬유는 18가닥/인치의 밀도인 것을 사용하였다.

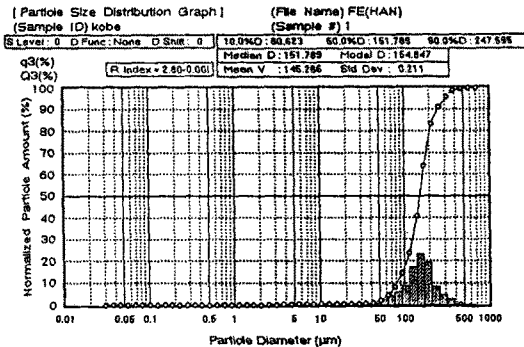


Fig. 1 the result of particle distribution of iron powers

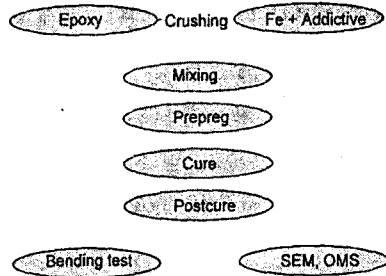
### 2.2 제작공정 및 특성시험

철분말과 수지와의 계면접착력을 좋게 하기 위하여 철분말에 silan agent를 첨가하여 spex mill에서 30분간 진식혼합하고, 에폭시는 수지와 경화제로 구성되어있으며 경화속도가 빠르기 때문에 경화촉진제를 첨가하였다. 이 에폭시 수지를 믹서에서 분쇄한 후 철분표면을 실란처리한 철분과 혼합하여 4분씩 3회 spex mill에서 혼합한 후 silan처리된 유리섬유위에 적정량을 도포하여 열가압성형기에서 온도 120℃에서 4MPa의 압력을 가하면서 30초간 성형하여 preprg상태를 만든다. 이렇게 제작된 preprg를 다시 원하는 두께만큼 2~4mm(4~8장)을 적정한 후 150℃온도에서 2시간 동안 후경화 반응시켜 제작하여 완료한다. 표2는 자성웨지의 제작공정을 나타내고 있다. 제작공정을 통해 얻어진 원판에서 시편을 채취하여 Ar분위기 중에서 승온온도 20℃/min, 800℃까지의 중량변화를 TG-DTA시험으로 행하고, 철분 분포도와 수지의 유리섬유 접착성을 관찰하기위해 광학현미경, SEM으로 관찰하였고, 기계적성질은 ASTM규격에 따라 Instron사 시험기로 곡강도를 시험하고, 자기적성질은 시편을 직경 6mm의 원형으로 가공하여 VSM의 홀더에 고정시키고 5000 Oe까지의 M-H곡선을 얻은후 2kOe에서 투자율시험을 행하였다. 외산과 비교하였다.

### 2.3 전동기의 적용방법

자성웨지원판을 직사각형태로 슬릿팅한후에 다이아몬드휠을 통과하도록 하여 고정자 슬롯모양으로 가공하였다. 이를 전동기에 적용하며, 또한 전동기에 대한 자성웨지의 효과를 알아보기 위해 자성웨지를 제거하고 실부하 시험 행하여 비교하였다.

Table 2. Manufacturing process of magnetic wedge



## 3. 결과

### 3.1 TG-DTA 결과

그림2에서 TG는 온도가 올라감에 따라서 중량이 감소하다가 다시 중량이 증가하는 경향을 볼 수 있다. 이는 Ar분위기를 사용하였지만 자성웨지에 포함되어 있는 에폭시가 온도가 올라감에 따라 에폭시가 타면서 에폭시를 구성하고 있는 C,H,O 등이 가스상으로 분해되고 이때 산소와 철분말이 반응하여 산화되 중량이 증가하는 것으로 생각된다. 시제품인 자성웨지의 TG곡선은 외산B과 경향이 유사하고 DTA결과에는 외산D시편의 경향과 유사하게 나왔다. 300℃까지는 특성에 거의 변화가 없는 것으로 판단된다.

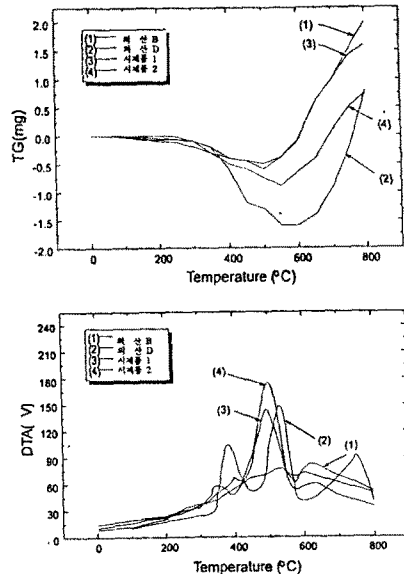


Fig.2 TG-DTA Curve

### 3.2 미세조직관찰

그림3은 자성웨지내에서 철의 분산도, 가공의 잔존도 등을 알아보기 위해 광학현미경으로 관찰한 사진이다. 그림4는 유리섬유에 수지의 함침성 정도를 알아보기 위해 SEM사진이다. 시제품은 외산정도의 기공잔존량을 보이고 있으며, 또한 SEM 사진을 보면 유리섬유에 수지가 우수하게 함침되어 있음을 알 수 있다. 이는 제작공정중 후경화 공정과정

을 충분히 거쳤음을 의미하며 이로부터 웨지가 받는 힘을 유리섬유가 흡수하는 역할을 행하는데 있어 우수한 결론을 나타낼 수 있음을 알 수 있다. 자성웨지의 상대밀도는 3.1~3.5정도로 이는 이븐밀도 6.7의 약50~60%이다. 이 상대밀도는 기공의 양에도 영향을 받기 때문에 제작공정시 매우 주의를 요하는 항목이며, 철분의 밀도가 상대적으로 크기 때문에 상대밀도의 증가는 수지의 함침성의 증가분보다 철분의 양을 증가로 상승분이 커진다. 이는 투자율에 영향을 주는 철분의 양을 조절함으로써 자성웨지의 자기적 특성을 변화시킬 수 있을 것으로 판단된다.

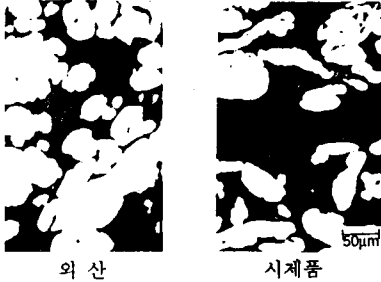


Fig. 3 Optical microscope photo of magnetic wedge



Fig. 4 SEM photo of fracture plane of magnetic wedge

### 3.3 굽힘강도 측정 및 투자율 측정

그림5는 두께에 따른 굽힘강도를 나타낸 것이다. 화살표 130MPa는 시제품 제작시 목표로 설정한 값으로 두께 2mm와 3mm에서는 만족하는 결과를 얻었으나 4mm에서는 약간 미달되었다. 이는 외산과 시제품의 유리섬유의 밀도(위사와 경사)에 있다. 외산은 위사와 경사 똑같이 21가닥/inch이고, 시제품에 사용된 것은 18가닥/inch이다. 따라서 자성웨지에 기계적인 특성에 가장 영향을 주는 유리섬유의 사양에 보완으로 두께4mm이상에서도 130MPa 기준을 달성할 수 있을 것으로 사료된다.

그림6은 외산과 시제품과의 비교한 M-H곡선이다.

$$\mu = \frac{B}{H}, \quad B = H + 4\pi M$$

여기서 B는 자기유도(emu/cm<sup>2</sup>)이고 M은 자기장의 세기(Oe)이다. 2kOe에서 측정된 값은 표3에 나타났다. 또한 시제품1보다 유리섬유를 2배 증가한 시제품2가 약간 적은 투자율 값을 나타내고 있으며, 투자율 값을 조절하는 것이 가능함을 알 수 있다.

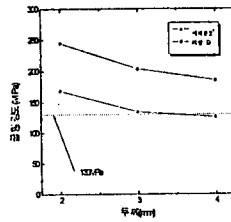


Fig 5. Bending strength curve

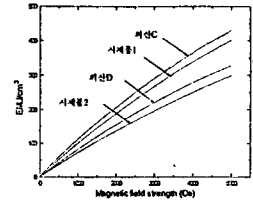


Fig 6. M-H curve

Table 3. Permeability of magnetic wedge to compare self-manufacturing product with foreign at 2kOe

항목	외산 C	외산 D	시제품 1	시제품 2
투자율	2.3	1.98	2.19	1.86

### 3.4 효율 및 온도변화

Table 4. Performance test of motors (37kW-4P) with magnetic wedge and nonmagnetic wedge

항목	자성웨지	비자성웨지	향상경도
부하75% 효율%	92.4	91.2	1.2
부하100% 효율%	92.2	90.7	1.5
상승온도(K)	60.8	68.8	8.0

### 4. 결론

자성웨지에 관련된 제작의 공정을 파악하고 기계적, 자기적특성을 알아보았으며, 외산과 손색이 없는 자성웨지를 제작하였다. 또한 일반적으로 고압 4극이상(개방형 슬롯)에서 자성웨지의 효과가 클것으로 판단되지만, 반폐슬롯에도 그효과가 있음을 알 수 있었다. 따라서 자성웨지 재료에 대한 국산화 및 그 적용으로 성에너지에 일익을 담당한 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. Paul Diamant, "THE HIGH EFFICIENCY INDUCTION MACHINE OF THE 1980'S" PART ONE, IEEE Trans. Power Apparatus and System, VOL. PAS-100, NO.12, DECEMBER 1981, pp4965-4968
2. M. Watanabe, etc, "MAGNETICALLY ANISOTROPIC SLOT WEDGES FOR ROTATING MACHINES" IEEE Trans. on Magnetics, VOL.26, NO.2, pp.407-410, MARCH 1990
3. A. Kuznetsov and A. G. Lazarev, "Investiation of Mechanical Stresses in a Magnetic Wedge" Elektrotehnika, Vol.57, No.7, pp 38-41, 1986
4. 홍성일의 2인, "자성웨지를 이용한 유도전동기의 특성에 관한 연구" 하계학술대회 논문집(B) pp 607-611, 1992.7.

본과제는 통상산업부에서 시행한 에너지기술개발사업의 일부이다