

## Study on Organic Binder for Anisotropic Rare-Earth Bonded Magnets

Jeong-Sub Heo\*, Yeon-Hwa Cho, Sung-Cheol Nam, and Ji-Kyeong Kim  
UGS Corp., Changwon 630-724, Korea

Jung-Goo Lee and Ji-Hoon Yu  
Korea Institute of Materials Science, Changwon 642-831, Korea

(Received 20 May 2014, Received in final form 17 June 2014, Accepted 17 June 2014)

Anisotropic bonded magnet is composed of magnetic powder and organic binder. organic binder in bonded magnet, serves to orientation of the powder. organic binder is composed of polymer resin, lubricant, hardener and coupling agent, etc.in this study, selection of the various components to producing an organic binder and by adjusting the composition ratio and concentrate, apply to bonded magnet for producing an organic binder that suitable for magnetic powder. so evaluation of magnetic properties and mechanical properties, the organic binder ratio and component was confirmed to suitable for bonded magnet.

**Keywords :** NdFeB bonded magnet, Organic binder, Thermoplastic resin

## 이방성 희토류 본드자석용 유기 바인더에 관한 연구

허정섭\* · 조연화 · 남성철 · 김지경  
유지스, 경남 창원시 마산회원구 내서읍 광려천남로 59번지, 630-724

이정구 · 유지훈  
한국기계연구원 부설 재료연구소, 경남 창원시 성산구 창원대로 797, 642-831

(2014년 5월 20일 받음, 2014년 6월 17일 최종수정본 받음, 2014년 6월 17일 게재확정)

이방성 희토류 본드자석은 자성분말과 유기 바인더로 구성되며 본드자석 내에서 유기 바인더는 분말의 배향을 유리하게 하는 역할을 한다. 유기 바인더는 고분자 수지, 활제, 경화제, 커플링제 등으로 구성되며 자성분말에 적합한 유기 바인더를 제조하기 위해 본 연구에서는 다양한 성분을 선정하여 유기 바인더를 제조하였고 구성비 및 첨가량을 조절하여 이를 본드자석에 적용하였다. 특성평가를 통해 자기특성 및 기계적 특성을 측정하였고 이로부터 본드자석에 적합한 유기 바인더의 성분 및 비율을 확인하였다.

**주제어 :** NdFeB 본드 자석, 유기 바인더, 열가소성 수지

### I. 서 론

희토류 본드자석은 자성분말 및 유기 바인더로 구성된 자석으로 일반 소결자석에 비해 자기특성이 떨어지나 치수정밀도가 우수하고 원하는 형태로의 가공이 용이한 장점을 가지고 있다[1]. 이러한 본드자석은 최근 자동차용 모터, 전전자 동차 등의 자동차 분야에서 그 쓰임새가 확대되고 있으나 본

드자석용 유기 바인더는 자성분말에 혼합된 상태로 전량 해외에서 수입되어 쓰이고 있는 실정이다[1, 2]. 희토류 본드자석용 유기 바인더는 수지 및 경화제, 커플링제 등으로 구성되며[3] 유기 바인더 구성의 대부분은 수지로 이루어진다. 보편적으로 유기 바인더용 수지는 에폭시, 우레탄, 멜라민계 등의 수지들이 적용되며 이 수지는 크게 열가소성 및 열경화성으로 구분되어진다. 가교가 일어나지 않아 경화공정이 필요하지 않은 열가소성 수지와는 달리 열경화성 수지는 공정에서 별도의 경화 과정을 거치며 필요에 따라 경화제, 경화촉진제 등이 추가적으로 첨가된다. 이는 열가소성 수지에 비해 제조

© The Korean Magnetics Society. All rights reserved.  
\*Corresponding author: Tel: +82-55-221-1216,  
Fax: +82-55-221-1217, e-mail: ugsceo@naver.com

공정에 있어 시간과 비용의 손실이 크다.

본드자석 제조 시에 성형 온도는 유기 바인더의 용융온도에서 성형하며 이 때 용융점에 도달한 유기 바인더는 액체상태가 되어 흐름성을 가지게 된다. 이는 자장 성형 시에 분말 배향에 유리하게 작용하며 자성분말간의 빈틈을 채워 주어 밀도를 향상시키며 가공성이 좋아져 분말정렬도 및 치수정밀도가 우수하게 된다[4]. 자성분말 자체의 자기특성이 우수하더라도 본드자석을 제조하는 과정에서 고밀도화 및 고이방화를 실현하지 못한다면 분말 자체의 특성을 구현할 수 없으므로 이에 있어 유기 바인더의 적합 성분 및 최적의 비율을 선정하는 것이 관건이다. 이러한 이점을 극대화하고 고밀도 및 고이방화를 실현하기 위해 본 연구에서는 이방성 희토류 자성분말에 적합한 유기 바인더 성분들을 선정하여 이를 다양한 조성비로 유기 바인더를 제조하였다. 그런 다음 자성분말에 다양한 혼합비 및 혼합 방법으로 혼합하여 얻어진 컴파운드로 본드자석을 제조하였으며 제조된 이방성 본드자석의 미세구조 관찰로 분말간의 빈틈을 유기 바인더 성분이 채워주는 것을 확인하였다. 또한 기계적 특성 및 자기적 특성 평가로부터 본드자석에 적합한 유기 바인더의 성분 및 비율을 확인하였다.

## II. 실험방법

HDDR(수소화/Hydrogenation-상분해/Disproportionation-수소방출/Desorption-재결합/Recombination)공법으로 제조된 약 30 μm의 입도를 갖는 이방성 희토류 NdFeB계 자성분말을 준비하였다. 자성분말 기준으로 유기 바인더 성분들을 선정하여 혼합하였다. 유기 바인더 혼합물은 Table I에 게재하였다. 유기 바인더 성분들은 10 wt%의 농도로 아세톤 용매에 용해시켜 자성분말에 자성분말 기준으로 1~5 wt% 범위로 혼합하였으며 혼합을 마친 뒤 70 °C의 건조오븐에서 1시간 동안 충분히 건조시켜 잔류하고 있는 아세톤 용매를 휘발시킴으로써 컴파운드를 완성하였다. 자장성형기에 컴파운드를 장입하고 2 T의 인가자장, 10 ton/cm<sup>2</sup>의 압력, 유기 바인더-1, 2의 경우 190 °C의 성형온도, 유기 바인더-3, 4의 경우 80 °C의 성형온도에서 압축성형하여 이방성 본드자석을 제조하였다. Table I의 유기 바인더-3, 4의 경우 열경화성 수지인 에폭시 수지가

**Table I.** Components of organic binder.

No.	Components
1	Methyl Cellulose, Silane Coupling Agent, Glycerin, Oil
2	Methyl Cellulose, Silane Coupling Agent
3	Epoxy Resin, Silane Coupling Agent, Amine Hardner
4	Epoxy Resin, Silane Coupling Agent, Amine Hardner, Zinc Stearate Lubricant

첨가되었기 때문에 시편 성형 후 150 °C의 온도에서 30분 동안 열경화시켜 최종적으로 이방성 본드자석을 제조하였다.

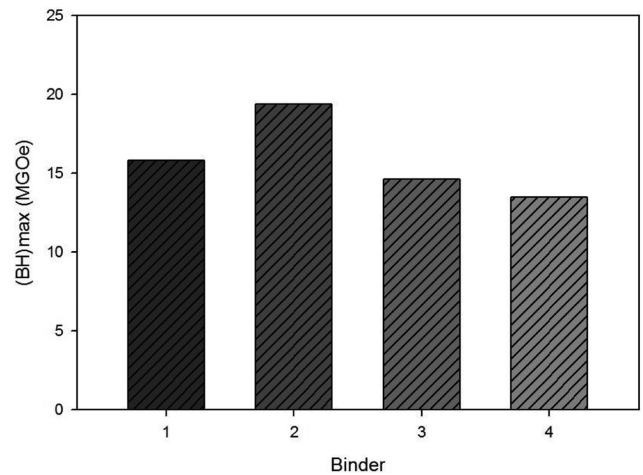
제조된 이방성 본드자석을 B-H tracer을 이용하여 자기특성을 확인하였으며 기계적 특성을 평가하기 위해 압축강도 및 유기 바인더와 자성분말을 혼합한 컴파운드의 경시효과를 보기 위해 30일 동안 하루 간격으로 밀도를 측정하였다. 또한 주사전자현미경(SEM)을 통해 미세구조를 확인하였다.

## III. 결과 및 고찰

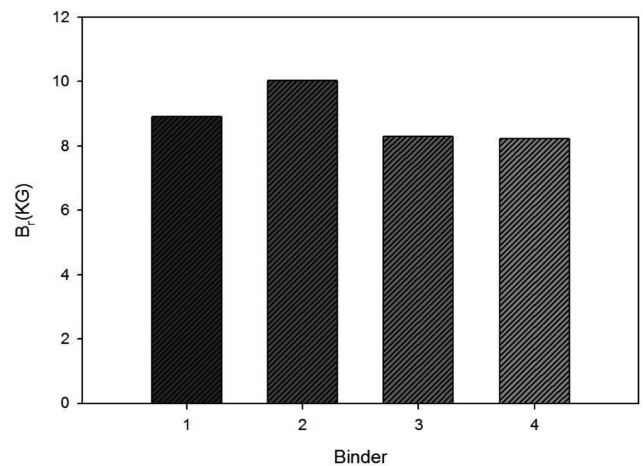
### 1. 본드자석의 자기적 특성

유기 바인더 혼합물의 종류에 따른 자기적 특성을 고찰하기 위해서 종류별로 제조한 시편의 자기적 특성을 측정하여 최대자기에너지적((BH)<sub>max</sub>) 및 잔류자속밀도(B<sub>r</sub>) 값을 확인하였으며 이를 Fig. 1 및 Fig. 2에 나타내었다.

유기 바인더-2 혼합물이 가장 높은 최대자기에너지적



**Fig. 1.** Magnetic energy product of bonded magnets.



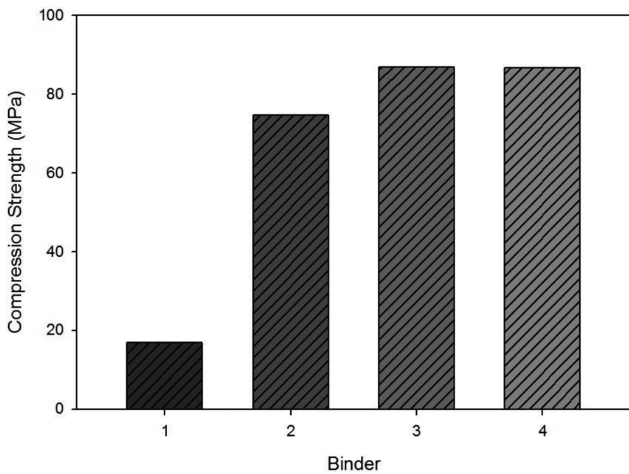
**Fig. 2.** Residual flux density of bonded magnets.

((BH)<sub>max</sub>)값인 19.39 MGOe를 갖는 것을 확인할 수 있었으며 열가소성 수지를 적용한 유기 바인더-1, 2가 열경화성 수지를 적용한 유기 바인더-3, 4보다 높은 특성을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 유기 바인더-2로 제조된 시편의 이방화율을 측정 한 결과 분말정렬도가 94.5 %의 높은 값을 갖는 것을 확인할 수 있었다. 본드자석의 잔류자속밀도 역시 유기 바인더-2가 가장 우수한 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 자기적 특성을 기준으로 보았을 때 열경화성 수지를 적용한 유기 바인더-3, 4보다 열가소성 수지를 적용한 유기 바인더-1, 2가 더 유리함을 확인할 수 있었다.

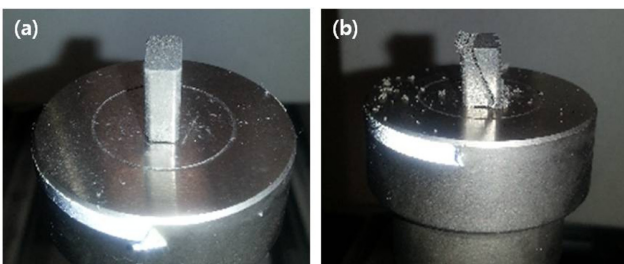
**2. 본드자석의 기계적 특성**

유기 바인더 혼합물의 종류에 따른 기계적 특성을 고찰하기 위해서 Fig. 4와 같이 종류별로 제조한 시편의 압축강도를 측정하였다. 시편의 압축강도는 Fig. 2에 나타내었다.

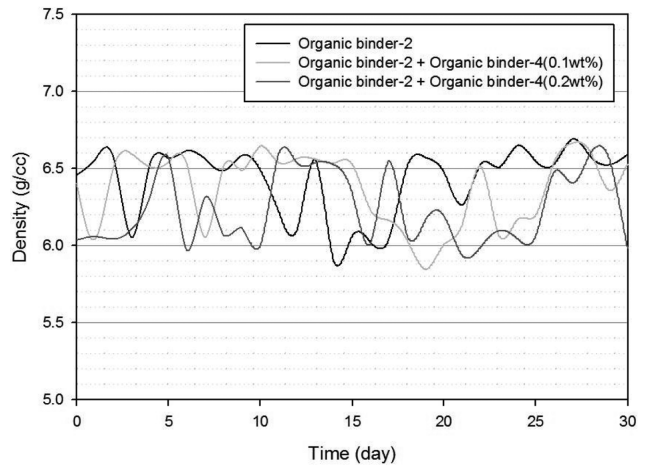
Fig. 2에서 바인더 종류별 압축강도는 유기 바인더-3을 첨가한 시편이 86.9 MPa로 가장 높은 값을 보였고 유기 바인더-4도 이와 비슷한 86.7 MPa의 값을 확인할 수 있었다. 그 뒤를 이어서 유기 바인더-2를 첨가하여 제조한 시편은 74.7 MPa로 유기 바인더-3, 4를 첨가한 시편의 강도에는 미



**Fig. 3.** Compression Strength of bonded magnets.



**Fig. 4.** (Color online) Compression test (a) before compression test sample, (b) after compression test sample.



**Fig. 5.** Aging effects of density of bonded magnet.

치지 못하나 그에 못지않게 우수한 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 Fig. 2에서 열경화성 수지를 적용한 유기 바인더가 열가소성 수지를 적용한 유기 바인더보다 더 우수한 강도를 가지는 것을 확인할 수 있었다.

압축강도로부터 열경화성 수지의 성능에는 미치지 못하나 그와 유사한 성능을 보이면서 우수한 밀도를 갖는 것을 확인한 열가소성 수지를 적용한 유기 바인더-2 및 유기 바인더-2와 3의 혼합물을 이용하여 제조된 시편의 밀도와 밀도의 경시효과를 확인하기 위해 30일 동안의 밀도 변화를 측정하였다. 전체적으로 밀도의 변화 경향은 보이지 않았으며 대략적으로 6.0~6.6 g/cc의 범위 내에서 밀도 값이 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 유기 바인더-2를 자성분말 기준 1 wt% 넣었을 때 30일 동안의 밀도 평균은 6.43 g/cc로 유기 바인더-4를 자성분말 기준 0.1 wt%, 0.2 wt%를 첨가한 각각 시편의 밀도 6.37 g/cc, 6.23 g/cc보다 높으며 유기 바인더-4의 첨가량이 증가할 수록 밀도의 값이 감소하는 경향을 보이는 것을 확인하였다.

**3. 분말 및 제조된 본드자석의 미세구조 관찰**

출발물질인 자성분말 및 제조된 본드자석의 미세구조를 주사전자현미경(SEM)을 통해 확인하였다.

Fig. 3의 제조된 시편의 미세구조 파단면 주사전자현미경(SEM) 사진을 보았을 때, 자성분말간의 빈 틈 사이에 유기 바인더로 보이는 물질이 위치하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 유기 바인더로 보이는 성분에서 보이는 표면이 울퉁불퉁한 것으로 보아 자성분말이 떨어져 나간 것으로 볼 수 있으며 이로부터 유기 바인더가 자성분말 간에 존재하여 유동성을 부여하여 분말배향에 유리하게 작용함과 동시에 분말을 잡아주는 결합제 역할을 하는 것을 확인할 수 있었다.

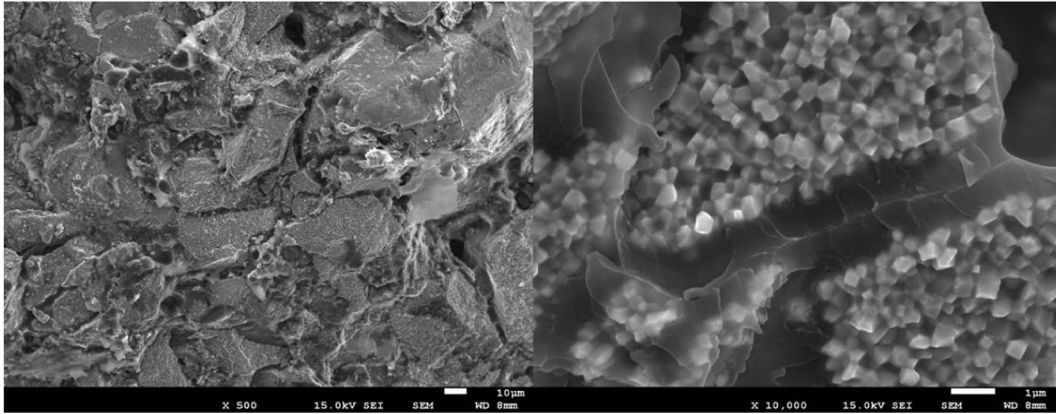


Fig. 6. Fracture surface microstructure of bonded magnet.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 이방성 희토류 본드자석에 적합한 유기 바인더 성분 및 비율을 선정하기 위해 다양한 구성으로 유기 바인더를 제조하였으며 이로부터 제조된 이방성 본드자석 시편의 특성평가를 통해 성능을 확인하였다. 유기 바인더-2는 열가소성 수지를 주성분으로 하여 제조 공정에 있어서 열경화 과정을 거치지 않아 비용이나 시간적인 부분에서 이점을 가진다. 그러나 열경화성 수지를 첨가하여 제조된 시편과 압축강도를 비교했을 때 그에 미치지 못하지만 유사한 수치를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 또한 열경화성 수지를 첨가하였을 때 보다 높은 밀도를 보이는 것을 확인할 수 있었으며 자기적 특성이 가장 우수함을 확인할 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 중소기업청 주관 2013년 창업성장기술개발의 연구비 지원에 의한 것입니다.

#### References

- [1] H. J. Kim and S. M Kim, J. KIEEME **22**, 109 (2012).
- [2] J. P. Yang, J. KIEEME **21**, 147 (2011).
- [3] T. S. Cho and W. Y. Jeong, J. Kor. Polymer. Soc. **26**, 98 (2002).
- [4] Y. B. Kim, W. S. Jeong, and W. Y. Jeong, J. KIEEME **9**, 71 (1999).