

희토류 자원분쟁과 NdFeB계 이방성 본드자석 개발동향

김효준* · 김상면

자화전자, 충북 청원군 북이면 현암리 7-6, 363-922

(2012년 6월 7일 받음, 2012년 6월 25일 수정본 받음, 2012년 6월 25일 게재확정)

지난 5년간 NdFeB계 이방성 본드자석은 25 MGOe의 높은 자기특성을 강점으로 기존 페라이트 영구자석을 갈음하면서 모터의 경량화라는 새로운 패러다임을 주도했고 자동차용과 전동공구용 모터산업분야에서 두드러진 약진을 보였다. 또한 차체중량감소를 통한 연비향상이라는 자동차산업의 기술동향에 정확히 초점을 두고 기존모터의 50% 경량화라는 새로운 변혁을 이끌어 냈다. 그러나 2010년 7월에 중국이 희토류원소의 수출규제를 발표함에 따라 2011년 희토류 원자재는 또 한 차례의 폭등을 기록하였고 그 여파는 전방 수요산업에 심각한 충격으로 던져지고 있다. 각 희토류 주요 소비국들은 자원 확보, 희토류 최소사용부품개발 및 희토류 대체 신기술개발 강화에 총력을 다하는 모습이다. 이러한 환경적 변화가 이방성 본드자석 분야에는 중희토류 원소인 Dy의 사용량을 줄이면서 보자력을 향상시키고자하는 기술적 도전을 유발하였고 모터고속화 응용분야에 탐색을 시도하게 하였다. 본 글에서는 희토류 자원문제에 대한 각국 희토류자석산업의 대응과 NdFeB 이방성 본드자석으로 대표되는 Aichi Steel사의 MAGFINE 자성분말에 대해 최근의 개발 동향 및 응용분야에 대해 소개하고자 한다.

주제어 : 희토류, 이방성, 본드자석, NdFeB, 모터 경량화

I. 21세기, 자원분쟁의 새로운 서막

세계 희토류 생산량의 95% 이상을 점유하고 있는 중국이 생산 및 수출을 규제하는 조치를 강화하는데 대해 미국, 일본, 유럽연합(EU)이 세계무역기구(WTO)에 제소하는 등 희토류 자석을 둘러싼 사업 환경이 크게 요동치고 있다. 중국과 희토류는 어느덧 합성명사로 각인되었고, ‘센카쿠열도(중국명 다오위다오·釣魚島)’ 분쟁에서 단 한 번의 희토류 카드로 중국의 자원 무기화 정책은 세계를 경악케 했다. 중국정부는 2011년 12월 발표한 1차 희토류 수출 쿼터량 10,546톤에 이어 지난 5월 17일 올해 2차 희토류 수출쿼터 물량으로 10,680톤을 추가한다고 발표했다. 금번 희토류 수출자격심사를 통과하지 못한 20개 기업에게 유보된 쿼터 3,924톤을 합하면 25,150톤(전체의 80%)이며, 이를 연간으로 환산할 경우 31,438톤으로 2011년 쿼터량 30,246톤과 비슷한 수준이다. 하

지만 중국의 희토류 과거 수출실적은 배정된 쿼터대비 2010년 77%, 2011년 56%에 그치고 있음을 볼 때 올해의 수급 또한 중국 내수 시장의 환경변화에 맞춰 전략적으로 변화될 공산이 크다. Table I에 최근 3년간 중국의 희토류 수출 쿼터와 실적을 나타내었다. 하이브리드카와 EV, 인공위성 등에 들어가는 Dy를 포함한 중희토류(M/HRE)는 다른 희토류보다 중국 의존도가 높는데 지난해 15,738톤 배정이었으나 올해는 이미 4,000톤으로 못을 박았다. 2012년 수출쿼터 배정에서는 처음으로 중희토류와 경희토류 수출량까지 세분하고 그 각각의 총량에는 합금성분까지 포함시켜서 엄격히 통제하고 있다. 경희토류는 호주와 미국에서 채광이 시작됐지만 Dy는 중국에서 99% 생산되고 있기 때문에 앞으로 중국 정부의 Dy 수출 규제가 하이브리드카와 EV 시장에 미치는 영향은 적지 않을 것으로 전망된다. Fig. 1에 2010년 4월말부터 2012년 5월초까지 희토류 자석에 사용되는 Tb, Dy 및 Nd-metal 가

Table I. Export quotas for the Chinese rare-earth industry.

Sub-group	2009		2010		2011	
	LRE (ton)	M/HRE (ton)	LRE (ton)	M/HRE (ton)	LRE (ton)	M/HRE (ton)
Chinese-owned	15,043	18,257	16,304	6,208	10,762	12,221
Chinese/Non-Chinese JV	6,685	10,160	5,978	1,768	3,746	3,517
Sub-Total	21,728	28,417	22,282	7,976	14,508	15,738
TOTAL		50,145		30,258		30,246
Actual exports		57 %		77 %		56 %

Source: Chinese Ministry of Commerce

*Tel: (043) 210-7211, E-mail: hjkim2@jahwa.co.kr

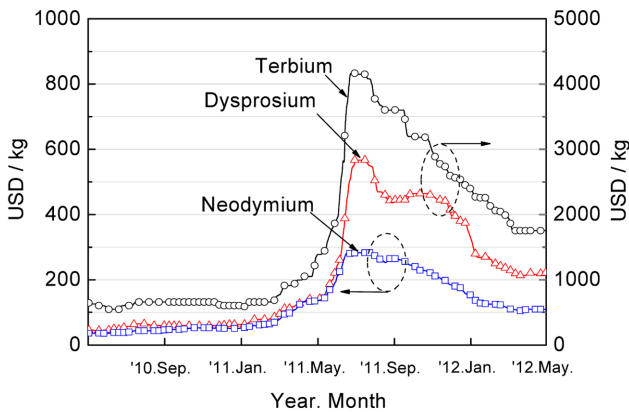


Fig. 1. (Color online) Charts for domestic rare metals price in china.

격 동향을 정리하였다. 2011년 5월 시작된 큰 폭의 가격 상승 이후 2012년 1월 이후 평균적으로 꾸준한 가격 하락 추이를 나타내고 있다. 최근 중국을 제외한 아시아 지역, 북미, 호주 등에서 희토류 개발에 나서면서 공급처의 다양화가 추진되고 있고 상당량의 희토류 적용제품이 페라이트 및 사마륨 등의 대체제로 변화된 것이 가격 하락의 원인으로 보인다. 그러나 현재 중국에 대한 희토류 의존도는 절대적이며, 미국 에너지부는 이를 해소하는데 최소 5년 이상이 걸릴 것으로 예측하고 있다[1].

II. 희토류 주소비국의 대응전략

1. 자원개발

희토류 주요 소비국을 중심으로 대체 물질 개발, 희토류 광산 확보, 제련시설 확충에 나서는 모습이 가속화되고 있다. 각국의 정부, 기업 및 연구자들은 Fig. 2에 나타난 희토류 가채매장지역을 중심으로 광산투자와 부품 및 자성재료 기술개발을 통해 대책마련을 강구해 나가고 있다. 2012년 4월 30일 현재, Table II에 나타난 바와 같이 전 세계 36개의 희토류

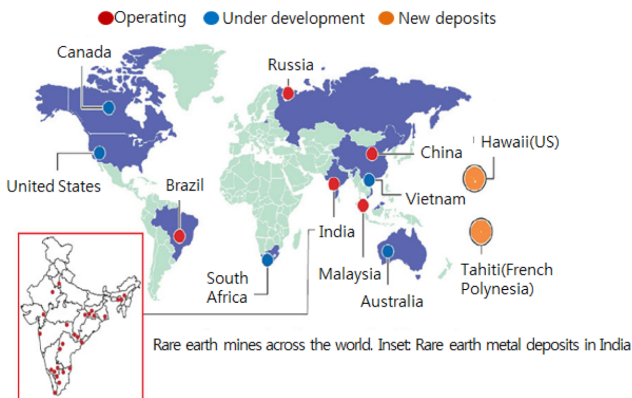


Fig. 2. (Color online) Rare earth mines across the world.

Table II. Rare-earth projects currently underway around the world.

Location		Location	
Araxá	BRA	Montviel	CAN
Bear Lodge	USA	Mount Weld CLD	AUS
Bokan	USA	Mount Weld Duncan	AUS
Buckton	CAN	Mountain Pass	USA
Çanakli I	TUR	Nechalacho	CAN
Clay-Howells	CAN	Ngualla	TZA
Cummins Range	AUS	Niobec	CAN
Dubbo Zirconia	AUS	Nolans Bore	AUS
Eco Ridge	CAN	Norra Kärr	SWE
Eldor	CAN	Sarfartoq	GRL
Foxtrot	CAN	Steenkampskraal	ZAF
Hastings	AUS	Strange Lake	CAN
Hoidas Lake	CAN	Tantalus	MDG
Kangankunde	MWI	Two Tom	CAN
Kipawa	CAN	Wigu Hill	TZA
Kutessay II	KGZ	Xiluvo	MOZ
Kvanefjeld	GRL	Zandkopsdrift	ZAF
La Paz	USA	Zone 2	GRL

광산개발 프로젝트가 가동 중이며 13개국, 33개 기업들이 희토류 자원 확보를 위해 참여하고 있다. 국내의 경우도 한국광물자원공사가 Zandkopsdrift(Northern cape, South Africa) 희토류 광산개발에 투자해 향후 전략광물 및 신전략 자원 확보에 나서고 있다.

2. 희토류 최소사용 부품개발

자원수급의 문제를 극복하기위한 부품개발과 기술측면에서 일본기업들의 대책마련도 두드러지고 있다. 히타치(日立)제작소는 희토류를 사용하지 않는 산업용 11 kW 중형모터를 개발해 공개했다. 히타치가 개발한 모터는 자석에 희토류를 사용하지 않고, 핵심 부품인 철심에 직접 개발한 비결정(amorphous) 금속 소재를 채용해 에너지효율 93%의 모터 개발했다고 보도했다. 미쓰비시(三菱) 전기는 희토류를 쓰지 않는 하이브리드카와 전기자동차용 모터개발에 성공했다고 발표하고 희토류가 없는 영구 자석을 개발한 TDK도 2014년에는 이를 사용한 제품의 상용화를 추진하겠다고 밝히고 있다.

3. 희토류 저감기술

미래의 첨단산업 발전의 토대가 되는 핵심 희토류소재를 안정적으로 공급하기 위해 현재 일본에서는 희토류 저감형 자석의 연구개발이 국가차원에서 종합적으로 이루어지고 있다. 이들 과제의 기술적 전개 단계는 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 첫째, 보자력을 향상시킬 목적으로 투입해오던 고가의 Dy를 포함에 투입하는 대신 입계 확산처리를 통해 희토소재를 감소시키는 연구[2-5]와 둘째, 최종 소결자석에서의 결정크기의 극미세화를 통해 단자구에 근접한 결정크기를 갖게 함으로

써 보자력을 향상시키고자하는 연구가 수행되고 있다[6, 7].

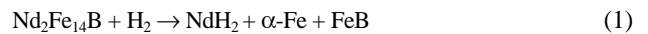
III. NdFeB계 이방성 본드 자석

자석재료는 1900년 초부터 시작하여 지금까지 매우 다양한 영구자석이 상용화 되었다. Fig. 3에 상용화된 알리코, 페라이트, SmCo, NdFeB 소결, NdFeB 등방성 본드 및 NdFeB 이방성 본드자석의 감자곡선을 나타내었다. 이 가운데 가장 최근에 개발된 자석은 HDDR(Hydrogenation-Decomposition-Desorption-Recombination) 법으로 제조한 분말을 이용한 NdFeB 이방성 본드자석이다. 종래의 초급냉법으로만 가능하다고 생각되어왔던 Nd-Fe-B 화합물의 미세 결정구조를 단순히 수소 중에서 열처리하는 것으로 제조가 가능하다는 것이 1989년 일본의 Takeshita 연구진에 의하여 보고되었고[8] 이후 지속된 연구결과 수소화 단계를 지나 분해 초기 단계에서의 낮은 수소압력으로 분해 반응의 속도를 조절함으로써 재결합된 결정립이 모 결정립의 결정방향을 유지하도록 하는 기술이 개발되어 이방성 NdFeB 자성분말을 얻는 유용한 방법

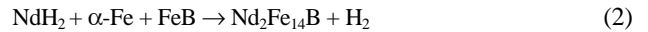
이 되었다[9-11]. 이 방법은 종래의 GM사에서만 공급되던 급냉법의 분말에 비해 이방성을 부여할 수 있어서 잔류자속밀도와 자기에너지적이 비약적으로 향상된다고 하는 점에서 주목을 이끌었다. 개발에 성공 후 1990년 초 Neome사 및 Magnequench사가 양산을 시작하였으나, 당시 분말의 대량 생산시 특성 불균일이 발생하고 상대적으로 조대한 분말을 자장 중에 성형하여 본드자석으로 제조하는 자장 성형기술이 안정적으로 개발되지 못한 상황이어서 상용화 되지 못하였다. 그 후 2000년대에 접어들면서 일본의 Aichi Steel사에서 대량생산이 가능한 d-HDDR 이라는 분말제조 공정에 성공하여 MAGFINE이라는 상품명으로 NdFeB 이방성 분말이 상용화 되었다. 실제 활용에 있어서는 Fig. 4와 같이 Toyota, Bosch 등 해외 선진의 모터업체에서 새로운 이방성 본드자석을 채택해 고성능, 고효율의 모터가 출시되어 자동차용 모터산업에 새로운 시장을 개척하고 있으며 이를 탑재한 자동차의 경쟁력을 한층 높여 놓았다.

1. HDDR법

Nd-Fe-B 자석중의 강자성체인 $Nd_2Fe_{14}B$ 상은, 약 650 °C 이상의 온도, 약 1 기압의 수소 분위기에서 수소를 흡수해서



의 상변화를 일으켜, 3종류의 상으로 분해한다. 그 분해한 상태에서 탈수소를 행하면,



의 가역적인 상변화에 의해, 재차 $Nd_2Fe_{14}B$ 상이 생성된다. 이 반응만으로 보면 단순한 가역반응으로 보이지만, 중요한 점은 반응종료 시점에서의 결정은 0.1 μm 정도의 대단히 미세하고 결정방위가 갖추어진 $Nd_2Fe_{14}B$ 상 결정입자로 되어 큰 H_c 와 함께 이방성도 나타내지는 것이다. 이러한 자기이방성의 형성 요인에 대하여 초기에는 첨가원소 Co와 Ga이 $Nd_2Fe_{14}B$ 상의

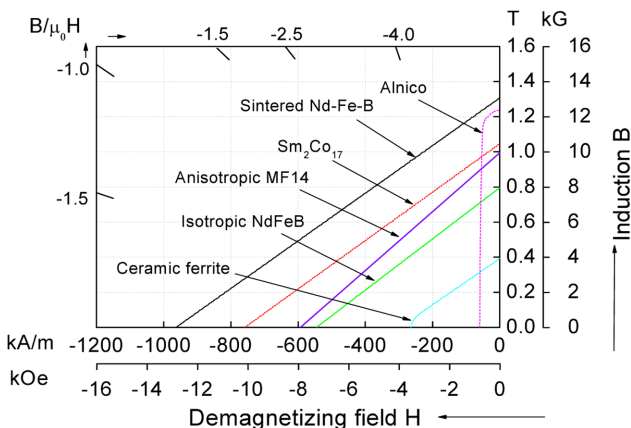


Fig. 3. (Color online) B-H curves for common commercially available permanent magnet materials.

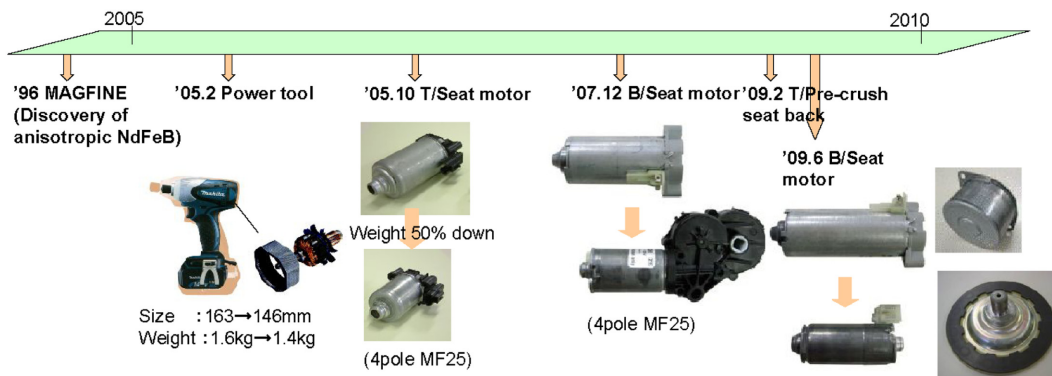


Fig. 4. (Color online) NdFeB anisotropic bonded magnet (MAGFINE) and its application to Motors.

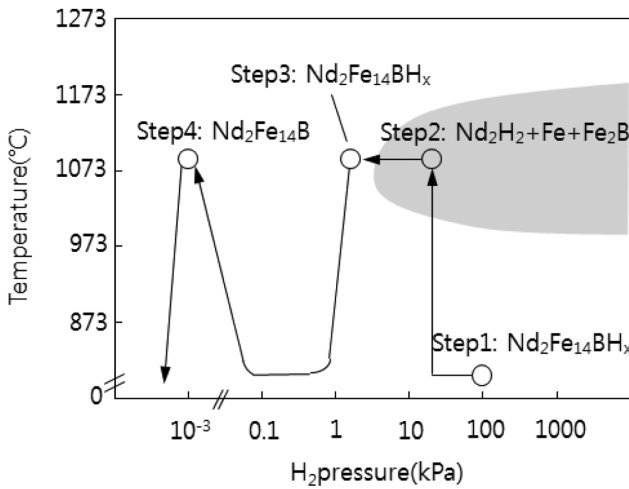


Fig. 5. The d-HDDR process in the $Nd_2Fe_{14}B$ -H phase diagram.

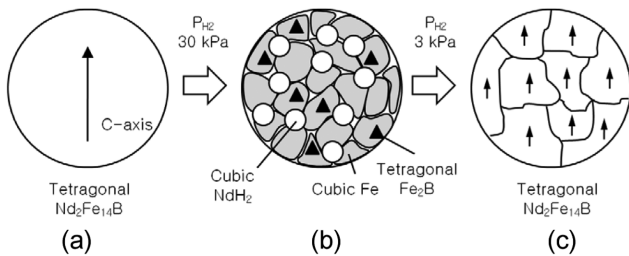


Fig. 6. Schematic structural changes with Fe_2B as the hypothetical orientation memory site: (a) before d-HDDR, (b) disproportionated structure with aligned Fe_2B and (c) fine grained, textured material after d-HDDR.

분해를 억제해 분해되지 않고 잔류하고 있는 $Nd_2Fe_{14}B$ 입자들이 초기결정방향을 기억하고 있다가 탈수소 및 재결합 반응에서 재결정에 중요한 역할로 작용한다고 이해되었다[12]. 이후 2000년에 Aichi Steel사의 C. Mishima 등은 수소화 단계 이후 분해 초기 단계에서의 낮은 수소압력을 도입함으로써 분해 반응의 속도를 조절하여 재결합된 결정립이 모 결정립의 결정배향을 유지하도록 하는 d-HDDR 법을 보고하였다. 상분해 후 정방정 Fe_2B 상이 정방정 $Nd_2Fe_{14}B$ 를 촉발시키고 Fe_2B 결정이 상변화 과정에서 $Nd_2Fe_{14}B$ 의 결정방위를 유지한다고 보고한 이 주장은 2001년에 Co를 첨가하지 않은 합금으로 최대에너지적이 320 kJ/m^3 (40 MGOe) 이상인 이방성분말의 제작이 가능하다고 보고됨으로써 재확인 되었다[13]. Fig. 5는 d-HDDR 공정을 4단계로 구분하여 처리온도 및 수소압력, 그리고 Nd-Fe-B 합금의 상변화 과정을 모식적으로 나타낸 것이다. Fig. 6에서는 d-HDDR 처리과정과 반응전후의 결정구조 변화에 대한 모식도를 각각 도시하여 나타내었다.

2. 확산처리에 의한 보자력 향상과 자분의 코팅

일반적으로 자석의 내열성의 척도인 보자력을 향상시키기

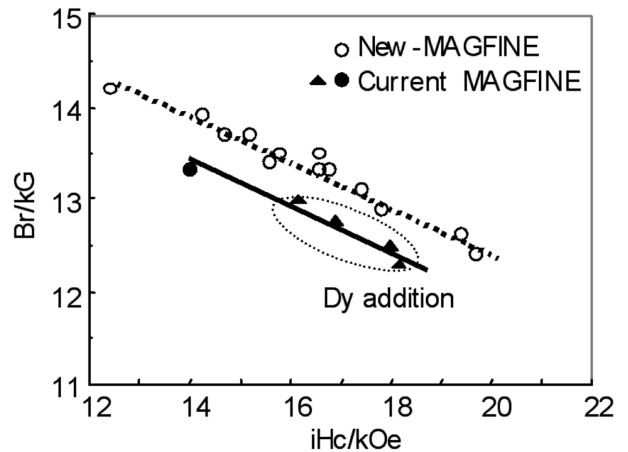


Fig. 7. Relationship of iH_c and Br values for New-MAGFINE and current MAGFINE.

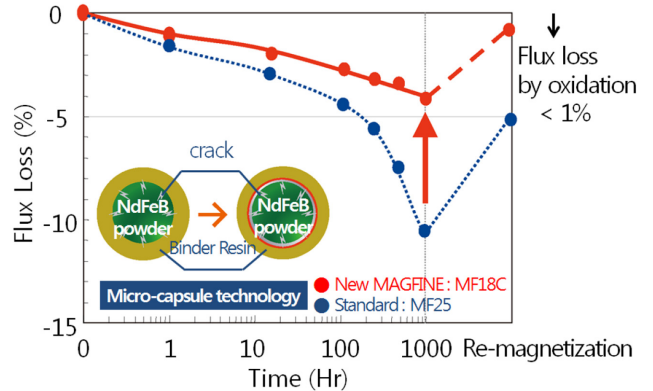


Fig. 8. (Color online) Improvement of reliability by prevention of oxidation.

위해 Nd계 합금에 고가인 Dy를 다량 첨가해야만 한다. Dy를 NdFeB alloy에 첨가하여 d-HDDR법을 이용하는 경우 Nd와 Dy의 수소 반응력이 다르기 때문에 이방성과 보자력을 모두 향상시키기는 어려운 점이 따른다. 또 다른 한 가지 방법은 d-HDDR 처리된 이방성분말에 Dy 분말을 혼합하여 분말표면에 확산 처리하는 방법인데 보자력의 향상은 있었지만 여전히 Dy의 가격적인 문제는 상용화에 걸림돌이 되었다. 2010년 Aichi Steel사의 Y. Honkura 연구팀은 Dy 대신 Nd-Cu-Al를 분말에 확산시키는 방법으로 Fig. 7에 나타난 바와 같이 보자력 향상의 결과를 얻었고 결국 약 30%의 재료비용 가격경쟁력을 갖추게 되었다[14]. 더욱이 Nd-Cu-Al의 분말표면 확산의 결과는 Fig. 8과 같이 얇은 표면 코팅층을 형성함으로써 분말의 산화가능성을 낮추어 고온에서의 비가역 열감자 특성이 30% 이상 향상되는 결과를 가져왔다. 따라서 그간 차량 실내용으로 제한적이던 적용분야는 150 °C 내열성이 필요한 전장용 모터로 확대가 가능할 전망이다.

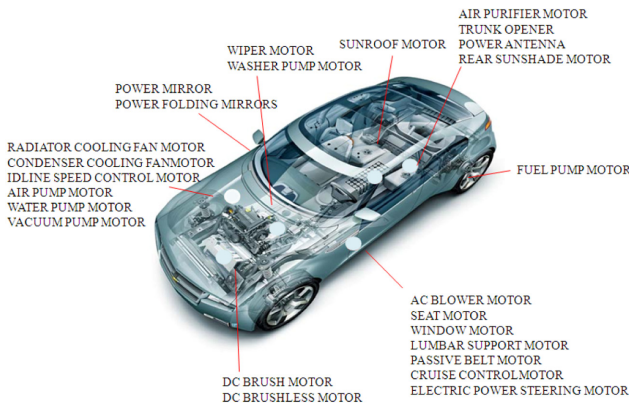


Fig. 9. (Color online) Small DC brush motors for automobile.

IV. 이방성 본드자석의 응용분야

1. 자동차용 소형모터

연비 향상 기술은 크게 엔진구동계 효율 향상, 주행저항 감소, 경량화로 구분되는데 이 가운데 경량화를 통한 연비 향상이 가장 효과적이라고 평가된다. Fig. 9에 자동차에 장착되는 다양한 소형모터를 나타내었다. 자동차 한 대당 50~60개, 고급차에서는 100개가 넘는 모터가 장착되고 있으며 현재 세계 수요량은 약 20억 개에 달한다. 중기적으로는 2030년 차세대 자동차인 그린카의 점유율은 30~40%로 예측됨에 따라 모터의 고출력, 고효율 및 경량화 기술개발은 당연한 기술적 과제다. 지금까지 자동차 산업분야에서는 모터의 제조단계에 특히 중점을 두어 자기성능 대비 가격이 저렴한 소결페라이트 ((BH)_{max} = 4.0 MGOe) 자석을 채택해 왔다. 그러나 영구자석의 잔류자속밀도(B_r) 및 최대에너지적((BH)_{max})이 상대적으로 낮기 때문에 종래 모터의 획기적인 소형화와 효율향상을 기대하기는 어렵다. 희토류 영구자석의 채택이 재료비의 상승 원인으로 지적될 수 있으나, 종래 페라이트의 2.5배에 달하는 이방성 Nd 본드자석의 잔류자속밀도의 상승은 구리, 적층코아, Pole housing 등 모터를 구성하는 기타 부품들의 부피와 가격을 절감하는 효과가 있고 시스템 전체를 경량화 할 수 있는 파급효과가 기대되기 때문에 세계의 완성차 업체들은 종래의 영구자석 보다 강력한 NdFeB 이방성 영구자석의 실용화를 요청하기 시작했으며 향후 그 수요가 증가할 것으로 전망된다.

2. 충전 전동공구용 모터

전동공구는 주 수요처가 건설업, 일반기계 제조업, 조선업 등으로 시장이 편중되어있는 편이고, 조선 및 건축경기에 따라 수요의 변화가 있으나 최근 리모델링 산업이 급진장되면서 신규시장으로 형성되고 있다. Fig. 10은 세계 전동공구 시장 규모를 보여주고 있다.

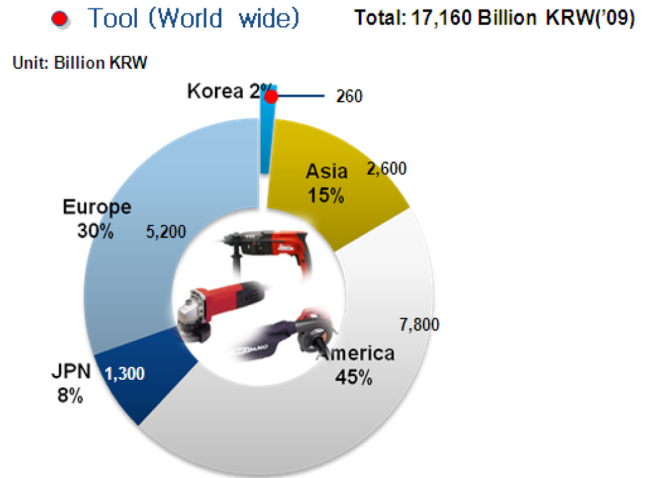


Fig. 10. (Color online) Global market for electric power tools.

그 가운데 충전용 전동공구는 Li-ion 제품 시장의 빠른 성장과 DIY 시장 확대에 따라 DIY set 제품이 활성화됨으로써 고출력 충전 공구 수요가 확대되고 있다. 특히 산업현장에서 수요 되는 Professional 등급의 충전 전동공구는 저전력 소모, 경량화 등이 제품의 경쟁력으로 인식되고 있다. 2005년 일본의 Makita사가 NdFeB 본드자석으로 경량화에 성공하면서 충전용 전동공구의 패러다임을 주도하고 있다.

3. 모터의 고속화를 통한 경량화

이방성 본드자석을 사용한 또 다른 경량화의 제안은 모터의 고속화이다. 모터의 출력(P)은 모터의 속도(N)와 토크(T)에 비례하는 관계식

$$P = NT \tag{3}$$

으로 나타난다. 즉 모터의 토크는 모터의 체적에 비례하는데 모터의 체적을 줄이고 모터의 속도를 증가시켜 최종 모터의

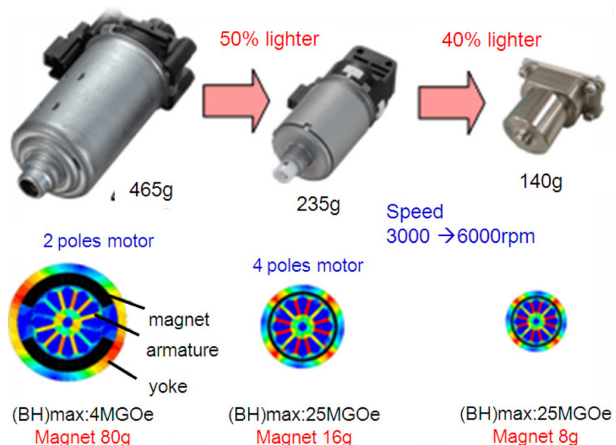


Fig. 11. (Color online) Weight reduction of power seat motor by using anisotropic bonded magnet and increasing motor speed.

Table III. Characteristics of NdFeB permanent magnets.

	B_r (T)	iH_c (MA/m)	$(BH)_{max}$ (KJ/m ³)	σ (S/m)
Bonded anisotropic	1.0	1.120	168	2.9E3
Bonded isotropic	0.71	0.758	80	2.9E3
Sintered anisotropic	1.42	1.273	1099	7.0E5

출력은 그대로 유지하는 방법으로 감속기를 사용하는 모터의 경우에는 효과적으로 경량화를 도모할 수 있다. Fig. 11에 자동차용 Seat slide motor의 단계별 경량화를 나타내었다.

일반적으로 모터의 고속화는 회전자기 주파수의 증가로 고정자와 회전자 슬롯간 자기회로의 Reluctance 변화가 발생한다. 이로 인하여 금속계 영구자석에서는 자속밀도 분포변화가 발생하고 이로 인한 공간고조파의 영향으로 자석에서 와류손실(P_e)이 발생하게 된다. Table III에 NdFeB계 영구자석의 일반적 자기특성과 전기적 특성을 나타내었다. NdFeB 소결 자석의 도전율은 등방성과 이방성 본드형 자석의 도전율을 2.9×10^3 S/m보다 230배 높은 7.0×10^5 S/m로, 그 차이가 크다. 와류손실을 포함한 전기기기에서 철손(P_i)은 다음과 같다.

$$P_i = P_h + P_e \quad (4)$$

$$P_h = k_h f B_m^n \text{ (W/kg)} \quad (n = 1.6 \sim 2) \quad (5)$$

여기서, k_h 는 재료에 의해 결정되는 히스테리시스손실 상수, f 는 주파수, B_m 는 최대 자속밀도를 나타낸다.

전기기기용 영구자석은 B-H 감자곡선의 2상환에서 동작점이 이루어지는데 Knee point 이상의 동작구간에서 루프는 아주 가늘기 때문에 직선적이다. 따라서 모터의 동작점 변화에 따른 Minor loop의 면적은 무시할 정도이기 때문에 모터에서 영구자석의 히스테리시스손실은 관심영역에서 제외된다. 한편, 와류 손실은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_e = k_e \sigma f^2 d^2 B_m^2 \text{ (W/kg)} \quad (6)$$

여기서, k_e 는 재료에 의해 결정되는 와류손 상수, σ 는 유기 기전력 파형률, d 는 자기장이 가해지는 직각방향의 재료두께를 나타낸다. 금속계 자성체는 유도된 자속에 의해 다시 역으로 철심 내에 교류전압이 유기되며 와전류에 의해 손실되는 에너지 P_e 는 자성체의 도전율, 자성체의 두께 등에 영향을 받는다. 따라서 NdFeB 소결자석은 NdFeB 본드자석에 비하여 도전율이 현저히 높기 때문에 P_e 에 대한 대책 설계가 필요한 것이다. 최근 Geared type의 풍력발전기기, HEV 및 EV의 차량구동용 모터에 사용되는 NdFeB의 소결자석도 이러한 이유 때문에 영구자석을 분할 적층해 대책을 강구하고 있다. Table IV는 EV용 구동모터의 열 분포 해석결과의 예

Table IV. (Color online) Comparison of heat distribution between solid magnet and 1/14 segmentalized NdFeB sintered magnet for EV motor.

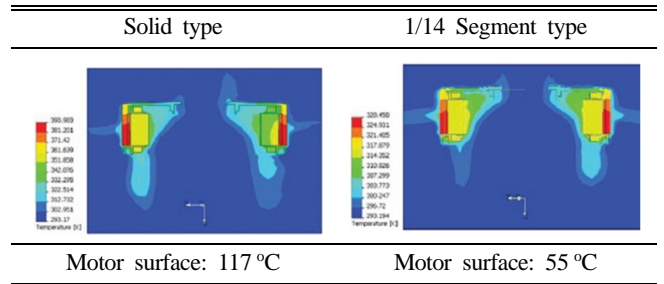





Table V. (Color online) Technical trend on EV traction motor.

	Prius (2000)	PriusII (2004)	Rx 400H (2010)
HEV Motor			
Max Pout (kW)	33	50	60
Max Torque (N · m)	305	400	207
Max Speed (RPM)	3,000	6,000	12,400
Voltage (V)	300	500	650

로서 NdFeB 영구자석을 14개의 segment으로 나누어 절연한 것과 일체형으로 사용한 경우를 비교해 나타내었다.

HEV용 자동차시장에서 모터의 고속도화는 도요타의 경우가 고출력화와 고속도화의 추세를 분명히 보여주고 있는데 Table V와 같이 초기 모델인 Prius의 경우 구동모터의 최대 출력은 33 kW, 최대 토크 305 Nm, 최대 속도 3,000 rpm이었으나 최근의 모터속도는 12,400 rpm으로 고속화되고 있으며 혼다 등 각 사의 모터도 일관되게 고출력화, 고전압화, 고속화 등의 방향으로 개발을 추진하고 있다. 앞서 설명한 바와 같이 모터의 부피증가 없이 고출력화는 모터의 회전속도를 높임으로써 출력향상에 도달 할 수 있게 하는데 이때 회전자계에 주파수의 증가에 따른 와류손의 대책은 도전율이 낮고 자기특성이 우수한 NdFeB 이방성 본드자석이 대안이 될 수 있을 것으로 전망해 일본에서는 이에 대한 연구가 진행되고 있다.

V. 맺음말

NdFeB 영구자석 가운데 가장 최근에 와셔야 상업화가 이루어진 이방성 NdFeB 본드자석은 25 MGOe의 높은 자기특성을 발현하고 있다. 특히 시장진입 초기부터 자동차용 소형

모터의 경량화라는 새로운 패러다임을 주도했고 자동차용과 전동공구용 모터산업분야에서 두드러진 약진을 보였다. 2011년 유래 없는 희토류 영구자석의 가격 폭등은 NdFeB 이방성 본드자석의 시장 확대에 장애가 되기도 하였으나 또 다른 한편으로는 이러한 환경적 변화가 탈 Dy, 신뢰성 향상이라는 새로운 기술발전의 동기를 가져다주기도 하였다. 이 분야의 본격적인 국내연구 개발은 2008년부터 시작된 소재원천기술 개발사업인데 아직까지는 선진국과의 기술적 격차가 크다. 지난 4월 지경부에서는 희토류 자원 재활용 · 소재화 기술개발과 영구자석 생산을 위한 전주기 R&D를 추진한다는 계획을 발표하였다. 이를 계기로 관련기술 연구자들이 모여 희토류 영구자석 산업전반에 걸쳐서 선진국과의 기술격차를 줄일 수 있는 계기를 마련할 수 있기를 바란다.

감사의 글

이 연구는 2011년도 지식경제부 부품소재기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] G. P. Hatch, Technology Metals Research: Critical Rare Earths (2011).
 [2] M. Komuro, Y. Satsu, and H. Suzuki, IEEE Trans. Magn. **46**,

- 3831 (2010).
 [3] H. Nakamura, K. Hirota, M. Shima, T. Minowa, and M. Honshima, IEEE Trans. Magn. **41**, 3844 (2005).
 [4] T. Hidaka, C. Ishizaka, and M. Hosako, Proc. 21th Int. Workshop on REPM and Their Applications 100 (2010).
 [5] W. F. Li, T. Ohkubo, K. Hono, and M. Sagawa, J. Magn. Magn. Mater. **321**, 1100 (2009).
 [6] O. Gutfleisch, M. Verdier, and I. R. Harris, J. Alloy. Compd. 196 (1993).
 [7] B. Chen, X. Liu, R. Chen, S. Guo, C. Yan, D. Lee, and A. Yan, J. Appl. Phys. 111 (2012).
 [8] T. Takeshita and R. Nakayama, Proc. 10th Int. Workshop on REPM and Their Applications 551 (1989).
 [9] T. Takeshita and Nakayama, Proc. 12th Int. Workshop on REPM and Their Applications 670 (1992).
 [10] I. R. Harris, Proc. 12th Int. Workshop on REPM and Their Applications 347 (1992).
 [11] C. Mishima, N. Hamada, H. Mitarai, and Y. Honkura, Proc 16th Int. Workshop on REPM and Their Applications 873 (2000).
 [12] W. F. Miao, J. Ding, P. G. McCormick, and R. Street, J. Appl. Phys. **79**, 2079 (1996).
 [13] C. Mishima, N. Hamada, H. Mitarai, and Y. Honkura, IEEE Trans. Magn. **37**, 2467 (2001).
 [14] C. Mishima, K. Noguchi, M. Yamazaki, H. Matsuoka, H. Mitarai, and Y. Honkura, 1st Int. Electric Drives Production Conference 181 (2011).

Rare Earth Dispute and Trend in Development of NdFeB Anisotropic Bonded Magnets

H. J. Kim* and S. M. Kim

R&D Center of Jahwa Electronics Co. Ltd., Chungbuk 363-922, Korea

(Received 7 June 2012, Received in final form 25 June 2012, Accepted 25 June 2012)

NdFeB anisotropy bonded magnet has proposed a new paradigm of weight reduction of small motors by replacing the conventional ferrite permanent magnets with its high magnetic property of 25 MGOe during last five years. It has also advanced by leaps and bounds in the field of motor industry for automobiles and electric power tools. And it has led a new innovation of fifty percent weight lightening compared to its current motors by correctly focusing on fuel performance improvement through weight lightening that automobile industry chased. There was, however, another price skyrocketing in 2011 after China had announced its export regulation in rare earth materials in July, 2010. And this price change has an extensive impact on the industries that consume rare earth magnets. This environmental change has caused technical challenge to improve the performance by using least amount of rare earth elements in NdFeB anisotropy bonded magnets, and led to make a new technical approach to a new applied field. In this article, we will show how each nation deals with this industrial issue, and introduce development trend and application of anisotropic NdFeB bonded magnets, so-called MAGFINE made by Aichi Steel Corp.

Keywords : rare earth, anisotropic, bonded magnet, NdFeB, weight reduction, motor