

## 영구자석 자기력의 기계적 에너지 이용에 관한 유용성 고찰

### Proposal for the New Regeneration Energy Made by Converting Magnetic Force into Mechanical Energy

신현준(Hyun-Joon Shin)<sup>†</sup>, 김정엽(Jung-Yup Kim), 박병직(Byong-Jik Park), 이수각(Su-Gak Lee)  
한국건설기술연구원 화재안전연구소

Korea Institute of Construction Technology, Koyang, 10223, Korea

(Received August 6, 2015; revision received March 23, 2016; Accepted: April 1, 2016)

**Abstract** Currently, identifying a new carbon-free energy resource is important in order to resolve the global warming problem. Along the same line, this paper studied how to convert magnetic force into mechanical force and a new basic mechanism of converting magnetic force into mechanical force was identified. Long-term reliability test, around 15 million times, was also conducted at  $-1^{\circ}\text{C} \sim 27^{\circ}\text{C}$  to evaluate the durability of magnetic force. As a result, tests showed that the deviation of the mechanical force was within 0.8% of the initial force, and the relation between repulsive force ( $P$ ) and ambient temperature ( $T$ ) was formulated in a linear equation  $P = -0.175T + 78.945$ .

**Key words** Permanent magnet(영구자석), Magnetic force(자기력), Carbon-free(무탄소), Energy conversion(에너지 변환)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: [hjshin@kict.re.kr](mailto:hjshin@kict.re.kr)

#### 기호설명

$D$  : 이격거리[mm]  
 $F$  : 자기력[N]  
 $FP$  : 고정판  
 $M$  : 영구자석  
 $MP$  : 가동판  
 $N, S$  : 자극  
 $P$  : 외부공급 힘  
 $SP$  : 이동판  
 $T$  : 절대온도[K]  
 $W$  : 일에너지[N · m]

#### 하첨자

$R$  : 척력  
 $T$  : 인력  
 $1$  : 초기상태  
 $2$  : 최종상태

#### 1. 서 론

지구온난화 문제가 국제적인 문제로 부각되면서 그동안 고도산업사회의 근간이 되었던 화석 에너지를 대체하기 위한 새로운 자원개발 및 IT를 기반으로 하는

에너지 효율향상 기술이 급속도로 발전하고 있다.

이러한 환경변화는 향후 산업사회의 고도화에 따라 건축물에서 사용하는 열에너지원에도 커다란 변화가 있을 것으로 예측된다. 즉, 기존의 석유 등 액체연료, LNG 등 기체연료로부터 보다 사용이 편리한 전기 에너지로의 전환이 불가피할 것으로 판단된다.

에너지원의 전환은 최근 국제적인 공통관심사로 대두되고 있는 지구온난화 문제 해결을 위한 대안으로 부각되고 있어 향후 산업 활동 및 국가 간의 무역에도 커다란 영향을 미칠 것으로 예상된다. 당장 초기 단계지만 탄소배출권 할당제, 탄소배출권 거래제도(CDM) 등이 본격적으로 시행되고 있으며, 생산제품에 대한 탄소배출량 표시 등 새로운 규제가 검토되고 있다.

국내외적으로 진행되고 있는 이러한 에너지의 수급 변화는 당장에는 시장에 커다란 혼란을 초래할 수도 있겠지만, 장기적으로 보면 새로운 산업이 형성되는 계기가 될 수도 있다. 즉, 발전단계에서부터 지구온난화에 영향을 미치는 환경오염물질의 배출이 없는 청정발전기술(carbon-free)은 이에 대한 일례가 될 수 있는데, 오래전부터 기술개발이 진행되어 온 각종 신재생에너지 발전기술은 대표적인 예가 될 수 있다.

현재, 연료공급 없이 발전이 가능한 신재생에너지 자원으로서 태양광, 수력, 풍력 등이 있으나 이들은 자

연조건에 크게 의존되고, 부존량이 지역적으로 편차가 심하며, 효율이 낮고, 투자비가 높아 아직까지 상시 전력공급용으로 보급하기에는 한계가 있다. 이러한 관점에서 전력공급의 안정성, 에너지원의 항구성 및 환경친화성을 확보할 수 있는 새로운 에너지자원의 발굴 및 기술 확보가 필요하다.

본 고는 상기에서 기술한 바와 같은 청정에너지의 미래 수요에 대응하기 위한 새로운 에너지원으로서 영구자석이 보유한 자기력을 기계적 에너지원으로서의 이용 가능성을 파악하기 위한 것이다. 영구자석의 극의 대향상태에 따라 발생하는 자기력인 척력과 인력을 발전기 등 원동기의 구동력으로 활용할 수 있는지의 가능 여부를 파악하기 위하여 배치에 따른 상호간의 관계를 규명하고, 이들의 지속성에 대하여 고찰하고자 한다.

## 2. 자기력 에너지의 자원화 기술동향

인류가 자기현상을 발견한 것은 BC 6세기경이며, 일상생활에 본격적으로 이용된 것은 11세기 이후로 알려지고 있다. 초기의 나침반으로부터 현대의 발전기·전동기 등 산업기계, 녹음기·컴퓨터 등 음성 및 화상 기록장치, 통신기, 자기부상열차 등에 이르기까지 자기현상의 이용은 과학발달 특히, 전자산업의 발달역사와 같이 한다고 말할 수 있으며, 주로 정적인 상태의 고유기능을 이용하는 것이 주류를 이루어 왔다.

국내의 영구자석 산업은 1960~1970년대에 호황을 누렸으나, 환경문제와 원석확보의 어려움, 중국의 전략산업화 정책과 겹치면서 사양화되기 시작하여 현재는 완전히 붕괴된 상태이며, 국내 소요량의 거의 전량을 중국으로부터 수입에 의존하고 있다.

자기력을 기계적 에너지원으로 이용하기 위한 시도는 주로 발전기 구동을 위한 운전동력 공급측면에서 이루어져 왔다. 특히, 극의 배치상태에 따라 자연스럽게 흡인력(이하 “인력”이라함)과 배척력(이하 “척력”이라함)이 발생하는 현상에 착안하고, 이러한 작용이 연속적으로 발생하도록 적절히 배열하면 상호간에 작용하는 자기력만으로도 연속적인 운전이 가능하다는 영구운동 개념으로 접근함으로써 상용화에는 대부분 실패하였다.

실제로 자기력을 원동기 구동용 일 에너지원으로 공급하여 에너지 생산에 성공한 사례가 없기 때문에 이와 유사한 개념으로 등록된 특허와 논문의 현황을 조사·분석하였다.

현재, 자기력을 구동력으로 이용하는 기술내용으로 국내에 등록된 특허는 약 100여건이 되는 것으로 검색되고 있다. 이들의 내용을 분석해보면 대부분 인력과 척력이 차례로 발생하는 구조로 배열하여 자석들 상호간에 밀고 당기는 기능을 반복적으로 수행하도록 함으로

서 구동에 필요한 동력을 얻을 수 있다는 개념으로 구성되어 있다. 이에 관한 대표적인 특허로서는 Hong,<sup>(1)</sup> Maeng,<sup>(2)</sup> Lim<sup>(3)</sup>이 있으며, 엔진에 적용한 특허로서는 Hyundai Moters,<sup>(4)</sup> Lim<sup>(5)</sup>가 있다.

논문의 경우 본 고와 같이 자기력을 기계적 에너지로 이용하는 내용의 논문은 검색되지 않고 있으나 충격흡수장치에 이용하는 논문으로서 Seo et al.,<sup>(6)</sup> Min et al.,<sup>(7)</sup> Ikeda and Yano<sup>(8)</sup>이 있다.

영구자석이 전자 및 자동차 산업에서 차지하는 비중이 점점 높아지면서 소재개발을 중심으로 연구가 진행되고 있다, 이와 관련된 대표적인 연구로서는 산업통상자원부에서 지원하고 있는 “80 kW급 전기 자동차 구동 시스템용 희토류 저감형 고효율 자성소재 개발”이 있다. 본 연구는 고가의 중희토류(Dy, Tb 등)를 합금에 첨가하지 않고 계면에 분포시킴으로서 그 사용량을 줄임과 동시에 고보자력을 갖는 Nd계 영구자석 소재를 저비용으로 제조하는 것이 핵심내용이다.

## 3. 자기력의 기계적 에너지 활용 타당성

전술한 바와 같이 영구자석이 갖는 N, S극의 대향구조에 따라 발생하는 인력과 척력을 원동기의 동력원으로 이용하기 위한 시도는 오래전부터 수 없이 많이 진행되어 왔으나, 대부분 외부로부터 에너지를 공급하지 않고서도 운전이 가능하다는 영구운동의 개념으로 접근하였다. 이는 에너지 보존의 법칙(열역학의 제1법칙)에 반하는 비합리적인 논리를 적용한 영구운동의 실현을 목표로 제시함으로써, 이를 뒷받침할 수 있는 이론적인 근거 마련과 실제운전에 실패하였다. 따라서 자기력의 유효이용 타당성을 확보하기 위해서는 향후 선행기술들에 대한 모순점을 심층적으로 분석하고, 이를 극복할 수 있는 유용한 방안을 도출할 필요가 있다.

영구자석의 극을 대향시킬 때 상호간에 발생하는 자기력인 인력과 척력은 기계적 힘이며, 이는 기계적 일 에너지 발생용 힘으로 이용할 수 있음을 의미하는 것이다. 이들이 기계적 에너지원으로서의 유용성을 확보하기 위해서는 힘(인력과 척력) 발생의 연속성과 지속성을 보유하고 있어야 하며, 운전을 위해 인위적으로 외부에서 공급해야 하는 구동에너지 량에 비하여 영구자석 상호간에서 발생하는 배척력에 의해 발생하는 일에너지의 양이 상대적으로 높아야 한다. 이러한 관점에서 이들의 상관관계를 파악하기 위한 개념을 다음에 정리한다.

### 3.1 자기력 발생구조

원동기의 구동력으로 활용되는 자기력은 척력으로써 이는 내연기관의 폭발력에 해당한다. 척력을 발생

하도록 하기 위해서는 척력이 발생하는 위치까지 이동시키는데 필요한 일에너지지를 외부에서 공급해 주어야 하며, 이때 가해진 일에너지지는 이동거리와 이때의 척력의 적으로 표기되는 일에너지로 저장되는 구조로 되어 있다. 이를 그림으로 표기하면 다음 Fig. 1과 같다.

Fig. 1에서와 같이 고정판 FP와 가동판 MP에 각각 영구자석의 동일극이 상호 대향하도록 설치하고, MP에 외력  $P_1$ 을 가하면 이들 영구자석 상호간에는 척력  $F_{R1}$ 이 발생하고, 이들이 힘의 평형  $F_{R1} = P_1$ 이 이루어지는 지점에서 정지하게 되며, 이때의 이격거리는  $D_1$ 이다. 이러한 상태에서 다시 MP에 외력  $P_2$ 를 가하면 역시 이에 대응하는 척력  $F_{R2}$ 가 발생하고, 상호간에 힘의 평형상태  $F_{R2} = P_2$ 가 되는 지점에서 정지하며, 이때의 이격거리는  $D_2$ 가 된다.

이상에서 언급한 것을 종합하면, 가동판 MP에 외력을 가하면 이에 대응하여 척력이 발생하고, 이들 상호간에 힘의 평형이 이루어지는 지점에서 정지하게 된다는 것으로 정리된다.

이들의 힘의 평형관계에 이동거리를 고려한 일에너지 관계로 표현하면, 외부에서 공급한 일에너지  $W$ 는 척력발생에 필요한 일에너지로 저장된 것이라 할 수 있으며, 이는 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$WD_1D_2 = \int P_2(D_1-D_2) \quad (1)$$

이러한 상태에서 다시 외부에서 가한 힘  $P_2$ 를 초기 힘  $P_1$ 으로 하면 척력에 의해 이동판은 원래의 위치로 복귀한다.

자기력을 구동력으로 활용하기 위한 유용성을 확보하기 위해서는 전술한 바와 같이 외부에서 공급한 일에너지량에 비해 척력에 의해 발생한 일에너지량이 훨씬 커지도록 하여야 한다. 이때, 이동거리가 동일하다고 가정할 경우 인위적으로 가하는 힘을 최소화 하도록 하여야 한다. 즉, 동일한 거리를 이동시키기 위해서 필요한 힘을 인위적인 힘과 자연적인 힘으로 구분하여 가하되, 인위적인 힘을 최소화 하는 것이다.

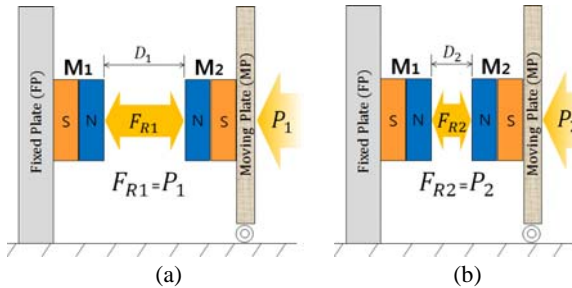


Fig. 1 Conversion concept of the magnetic force into mechanical energy.

이중 자연적인 힘으로서 영구자석을 상반된 극끼리 대향하였을 때 상호간에 발생하는 인력은 그 대안이 될 수 있다.

Fig. 2는 척력을 발생시키기 위해 영구자석의 인력을 이용하는 구조의 개념을 나타낸 것이다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 이동판 SP와 고정판 FP의 중앙에는 척력  $F_R$ 이 발생하도록 영구자석 MS, MF를 배치하고, 이를 중심으로 동일한 거리에 인력  $F_T$  발생용 영구자석 MS<sub>1</sub>과 MM<sub>1</sub>, MS<sub>2</sub>와 MM<sub>2</sub>를 SP, FP와 MP에 각각 배치한다. 이는 척력  $F_R$ 을 발생시키는데 영구자석의 인력  $F_T$ 를 이용하기 위한 것으로 이때 척력에 비해 인력의 합이 약간 커다란 힘의 준평형상태로 구성한다.

Fig. 2(a)는 외부로부터 MP에 힘  $P_1$ 을 가하였을 때 발생하는 인력  $F_T$ 에 의하여 SP가 끌려와 MS와 MF의 이격거리  $D_1$ 에 해당하는 척력  $F_{R1}$ 이 상호간에 작용하면서 힘의 평형상태를 이루고 있는 것을 나타낸 것이다. 한편, MP와 FGP, MP 사이에 동일한 규격의 압축스프링을 설치하였다고 가정하면  $P_1$ 은 스프링에  $-F_{TR1}$ 의 크기로 반력이 저장되며, 이들 상호간에 작용 하는 힘의 평형관계는  $F_{R1} = 2F_T$ ,  $P_1 = 3F_{TR1}$ 로 나타낼 수 있다.

Fig. 2(b)는 MP에  $F_{R1}$ 보다 커다란 힘  $P_2$ 를 가하여  $2F_T$ 가  $F_{R1}$ 보다 크게 작용하는 위치까지 이동시키면, 그 이후에는 외부일 없이 MP는 인력과 척력 상호간에 힘의 평형이 되는 위치  $D_2$ 로 이동하여 척력  $F_{R2}$ 가 발생한 상태에서 정지하게 된다. 이때, MP와 FGP 사이에 설치한 스프링에는 반력  $-F_{TR2}$ 이 작용하면서 이들 상호간에도 힘의 평형상태를 유지한다.

이에 대한 힘의 평형관계식은 식(2), 식(3)와 동일한 형태로 나타낼 수 있다.

이와 같이 힘의 평형이 이루어진 상태에서 MP에  $P_2$ 와 반대방향으로 외력  $P_3$ 를 가하여 FR과 FT 상호간의

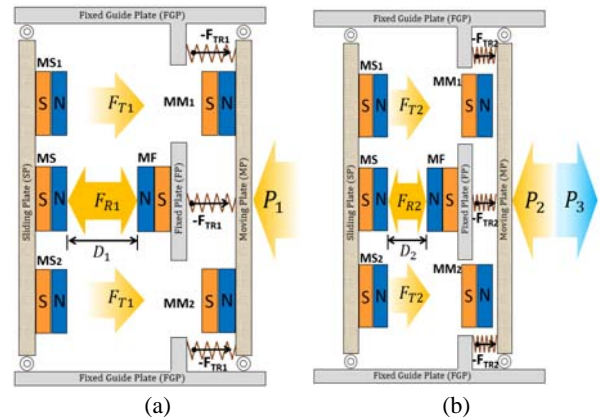


Fig. 2 Conception of the mechanism for using the magnetic force.

힘의 평형 상태가 붕괴되면서 척력에 의하여 MP는 원래 위치로 이동하게 된다. 즉, 이러한 구조는 척력을 발생시키기 위하여 인력을 이용하며, 힘의 준평형 상태에서 외력을 순간적으로 가하므로써 작동에 필요한 외부 에너지 공급량을 최소화 할 수 있음을 알 수 있다. 이상으로부터 배척력  $F_{R2}$ 와  $P_3$ 의 상호간에는  $F_{R2} \gg P_3$ 이 성립하여 외부로부터 인가된 힘보다 커다란 척력이 발생되어 에너지 변환장치의 운전을 위한 유용한 에너지 원으로 이용할 수 있음을 의미하는 것이다.  $F_R$ 이 에너지원으로서의 유용성을 확보하기 위해서는 자기력의 지속성과 내구성, 인위적으로 공급해야 하는 일에너지량의 최소화가 필요하다.

본 고에서는 영구자석 자기력의 기계적 에너지원으로서의 유용성 파악을 위해 자기력 발생의 지속성과 내구성 확보에 대하여 수행한 시험결과를 제시한다.

### 3.2 영구자석의 자기력 내구성평가

#### 3.2.1 실험개요

자기력을 기계적 에너지로 변환하고, 이를 원동기 등 동력발생 장치의 운전용 구동력으로 이용에 대한 타당성을 평가하기 위해서는 자기력의 내구성과 상호간의 이격거리에 대한 자기력의 변화관계를 파악해야 한다.

전술한 바와 같이 영구자석은 급격한 온도변화나 충격을 가하지 않고, 주변 환경을 일정한 조건으로 유지하는 정적상태에서는 거의 반영구적으로 자기력을 보유하는 것으로 알려지고 있다. 그러나 수회~수십 회/초 이하의 짧은 주기로 연속하여 자기력을 기계적 에너지로 변환하는 동적상태에 대한 내구성을 평가한 실험 자료는 거의 전무한 상태이다. 이러한 현황을 고려하여 영구자석이 연속적으로 척력을 발생하였을 경우에 대한 자기력의 내구성을 확인하는 실험이 필요하다. 또한, 대향하고 있는 영구자석 사이에 발생하는 힘과 이격거리와의 상호관계를 파악하는 것은 자기력의 이용에 매우 중요하다. 일반적으로 대향하고 있는 영구자석 상호간에 발생하는 힘은 각 영구자석의 자속밀도에 비례하고, 거리의 제곱에 반비례하는 것으로 알려져 있으나 영구자석의 조합개수, 이격거리 상호간에

작용하는 힘을 정확히 산정할 수 있는 계산식은 아직까지 정립되어 있지 않다. 따라서 현재로서는 이용하고자 하는 자석을 선정한 후 이들의 상호관계를 직접 실험적으로 파악해야 한다.

이러한 관점에서 영구자석을 선택하고, 이들 조합조건 각각에 대해 작용하는 자기력의 크기를 실험적으로 파악한 결과를 제시한다.

#### 3.2.2 실험장치 제작

영구자석 자기력의 내구성 시험을 위해 Fig. 3과 같은 내구성 평가실험 장치와 실험에 사용할 영구자석의 시료를 제작하였다. 실험 장치는 시중에서 판매되는 10 kN급의 에어프레소로서 스트로크 200 mm를 보유하고 있다. 실험대상 영구자석은 시중에서 일반용으로 판매되고 있는 것으로 직경 50 mm, 두께 40 mm, N35 등급의 네오디뮴(Nd) 자석이다.

다음 Fig. 3은 시험을 위해 설치한 영구자석과 로드셀의 모습 및 상호간에 척력이 작용하고 있는 시험과정의 상태를 나타낸 것이다. 이때 영구자석은 자기력의 차폐를 위하여 탄소함유량 0.3% 미만의 연철로 제작한 홀더에 삽입하여 고정하였다.

한편, 동일한 중심축 상에서 대향하고 있는 2개의 영구자석 사이에 발생하는 척력과 이격거리의 상호관계를 파악하기 위하여 Fig. 4와 같은 시험 장치를 제작하였다. 시험 장치에는 로드셀 및 인디케이터, 이격거리 측정용 레이저 거리측정기, 영구자석 설치용 고정홀더, 영구자석 설치용 이동홀더, 거리조정 휠, 전원공급 장치로 구성되어있다.

자기력 측정 장치에 사용된 로드셀의 측정가능 흡인력은 10 kN이며, 측정 가능한 행정거리는 500 mm이다. 자기력의 영향을 최소화하기 위하여 몸체는 두랄루민을 사용하였으며, 주요제원은 Table 1과 같다.

한편, 영구자석의 조합개수에 대한 자기력의 상관성을 파악하기 위해 1개~3개를 삽입할 수 있는 홀더를 다수 제작하였다.

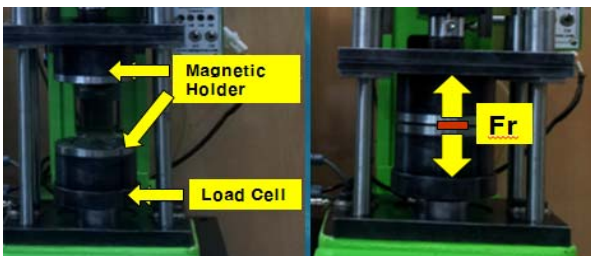


Fig. 3 Device to measure the repulsion force.

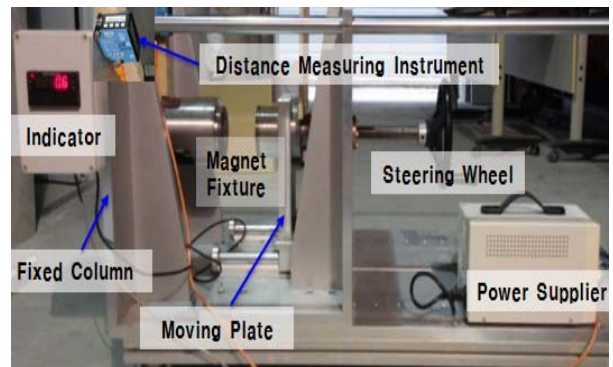


Fig. 4 Measuring device of magnetic force.

Table 1 Specification of measuring device of magnetic force

Classification	Specification
Max. Measuring Capacity	10 kN
Max. Measuring Distance	500 mm
Materials	Duralumin
Max. Diameter of Magnetic Holder Shank	50 mm

3.2.3 실험 조건 및 방법

에너지 변환장치는 상온운전을 원칙으로 하고 있음을 감안하여 실험은 냉난방 시설이 갖추어지지 않은 자연 상태의 실내 상온에서 약 2년에 걸쳐 수행하였다.

내구성 평가실험을 수행하는 동안의 실내온도는 -10.5℃ ~ 27℃ 범위를 나타내었다. 스트로크 60 mm, 1회 왕복 사이클 주기는 2초로 조정하였으며, 사이클 회수는 실험 장치의 최대범위 100만회를 기준으로 하였다. 현재까지 총 16차에 걸쳐 약 1,500만회 정도를 실시하였다.

이격거리에 대한 척력의 상호관계를 파악하기 위한 시험은 영구자석의 조합을 최대 3개로 하여 1개 : 1개 ~ 3개 : 3개로 총 6종으로 구성하였다. 상호간의 이격거리는 0~100 mm 범위 내에서 약 2 mm 간격으로 측정하였다.

3.3 실험 결과

3.3.1 자기력의 내구성 평가실험 결과

Fig.5는 100만회의 왕복운전을 1사이클로 하는 공압 프레스를 이용하여 16사이클, 약 1,500만 회에 걸친 운전을 통해 나타난 척력의 측정결과를 나타낸 것이다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 실험기간 동안 척력은 725 N~783 N을 나타내어 변화폭은 최소값을 기준으로 약 8% 내외로 나타났다.

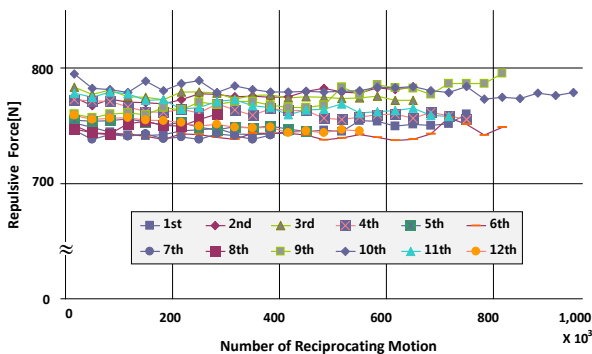


Fig. 5 Effect of repeating actions on the repulsive force.

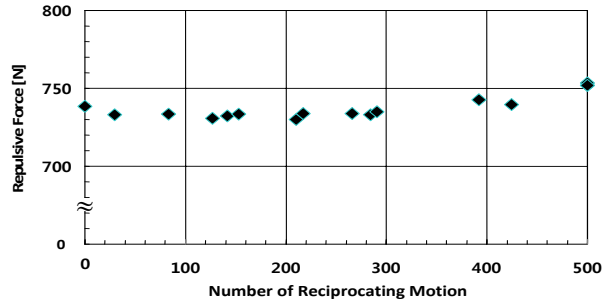


Fig. 6 Stability of magnetic force on the long time and continuous action of repulsive force.

실험에서 나타난 척력의 차이에 대해서 분석해보면, 고온에서 감소된 척력은 온도가 낮아지면 다시 원상태로 회복되는 현상에 비추어 볼 때 영구적으로 자기력이 감소했다라고 하기 보다는 온도에 따른 영향임을 확인할 수 있었다.

한편, 장시간 척력을 유지시켰을 경우에 대하여 내구성을 파악하기 위한 시험을 수행하였다. 상온에서 척력이 발생한 상태를 5초 동안 유지한 후 순간적으로 제거하는 방법으로 약 50만회에 걸쳐 실험을 수행하였다.

Fig. 6은 이에 대한 결과를 정리하여 나타낸 것으로, 약 730±40 N의 범위를 유지하였다.

3.3.2 척력과 이격거리의 상관성

자기력의 구동력 이용에 대한 유용성을 판단하기 위해서는 척력과 이격거리 상관관계를 규명하고, 이를 구현하는 장치의 구조를 결정하기 위해서는 영구자석의 조합에 관한 기초자료의 정립이 필요하다.

이러한 관점에서 영구자석의 조합과 이격거리 상호간의 상관성을 평가하기 위하여 상기에서 설명한 Fig. 4의 자기력 측정 장치를 사용하여 실험을 수행하였다.

다음 Table 2는 직경 50 mm, 길이 40 mm, N35인 Nd 영구자석을 홀더에 설치한 조합표이다. 향후 상용화 시에 대두될 수 있는 중량과 구조적인 한계를 고려하여 최대 3개를 조합하는 것으로 하였다. 실험에 사

Table 2 Combination of permanent magnet to measure the dependence of repulsive force and distance

Combination Number	1	2	3
1	N S   S N	N S   S N S N	N S   S N S N S N
2	S N S N	S N S N	S N S N   S N S N S N
3	S N S N S N	S N S N S N	



Fig. 7 Features of the inserted magnet into holder.

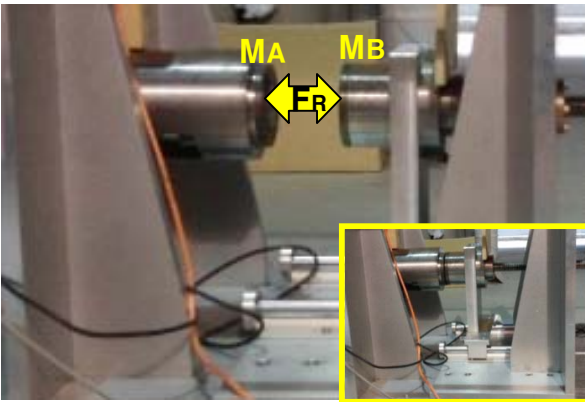


Fig. 8 Measuring features of the repulsive force on the magnet-to-magnet distance.

용한 영구자석을 고정된 홀더는 탄소함유량 0.3% 이하의 연철을 사용하였다.

Fig. 7은 상기의 Table 2에 제시한 조합에 의해 제작이 완성된 모습으로 영구자석이 홀더에 삽입되어 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 영구자석 시험체를 조합하여 이격거리에 대응하는 척력을 Fig. 4의 측정장치를 이용하여 측정 예를 나타낸 것이다. 그림에서 MA와 MB는 측정대상 영구자석으로 동일 극이 상호대향 하여 척력 FR이 상호간에 발생하고 있는 상태를 나타낸 것이고, 우측하단의 작은 그림은 대향면이 완전히 밀착된 상태를 나타낸 것이다.

### 3.3.3 영구자석 조합에 대한 척력과 이격거리 상관성

상기에서 언급한 Fig. 4의 측정 장치를 이용하여 Table 2에 의한 영구자석의 조합에 대한 이격거리별 척력의 측정결과를 정리하면 Fig. 9와 같다.

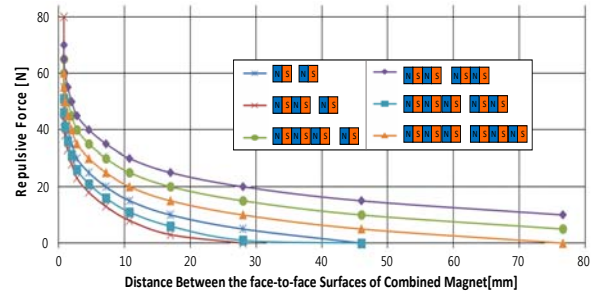


Fig. 9 Repulsive force according to the combined number and separated distance of magnets.

상기 Fig. 9를 통하여 영구자석의 개수조합과 척력 상호간에서 특별한 상관성을 발견할 수 없다. 즉, 상호대향하는 조합개수별 척력을 크기순으로 나타내면 2 : 2 > 3 : 1 > 3 : 3 > 1 : 1 > 3 : 2 > 2 : 1로서 이들 상호간의 관계를 일률적으로 정립하기 곤란하다.

이러한 현상이 본 실험에서 사용한 규격에 국한된 것인지 여부에 대해서는 보다 다양한 크기의 영구자석을 대상으로 상세한 시험이 필요하지만 아직까지 이러한 상호관계를 규명한 자료는 없는 것으로 파악되고 있다. 따라서 영구자석의 무게, 부피, 단면적 등 형상과 척력의 상관관계를 규명할 필요가 있다.

현재로서는 사용하고자 하는 영구자석을 선정할 후 이들의 상호관계를 실험을 통하여 규명한 후 적절한 조합을 도출하는 방법 이외에는 이론적으로 규명할 방법이 없어 장기적인 연구가 필요하다.

### 3.3.4 온도와 척력의 상관성

영구자석의 자기력을 기계적 에너지로 이용하기 위해서 파악해야 할 또 다른 중요한 요소는 온도에 대한 상관성을 파악하는 것이다. 즉, 일반적으로 영구자석은 저온에서 커다란 자기력을 유지하고, 온도가 상승할수록 저하되는 것으로 알려지고 있다. 따라서 정상적인 운전을 위한 온도제어 범위를 규명하기 위해서 작동온도와 자기력의 상호관계를 파악할 필요가 있다.

상기 Fig. 5에 나타낸 결과에 대한 실험온도 조건은 -10.5℃ ~ 27℃로서 이때의 척력 변화율은 최소값을 기준으로 8% 내외임을 설명하였다.

Fig. 5의 측정 자료를 이용하여 온도와 척력의 관계를 나타내면 Fig. 10과 같다.

Fig. 10은 상온에서 측정한 데이터를 이용하여 온도(T)에 대한 척력(P)의 관계를 나타낸 것으로 척력은 온도에 대하여 거의 1차원적으로 변하는 것을 알 수 있으며, 이로부터 이들의 상관관계를 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$P = -0.175T + 78.945 \quad (2)$$

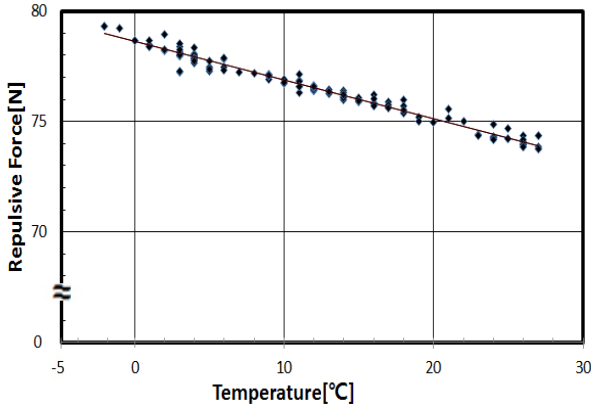


Fig. 10 The effect of ambient temperature on repulsive force.

이러한 상관성으로부터 온도가 상승할수록 자기력은 저하된다고 알려진 것과 일치하고 있음을 확인할 수 있다.

#### 4. 결 론

영구자석의 극의 대향방법에 따라 발생하는 인력과 척력을 기계적 에너지로 변환하고, 이를 원동기의 구동력으로 이용하기 위한 유용성을 평가하기 위해 직경 50 mm, 높이 40 mm의 Nd35의 영구자석을 이용하여 수행한 실험결과를 분석한 본고의 결론을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 주변온도  $-10.5^{\circ}\text{C} \sim 27^{\circ}\text{C}$ 의 온도조건에서 약 1,500 만회의 반복실험을 통해 척력이 725 N~783 N의 분포를 보임으로서 최소값 기준 약 8%의 변화를 보였다. 이는 정상적인 운전 조건에서 영구자석의 자기력은 기계적 에너지원으로 안정적으로 활용할 수 있음을 확인한 것으로서 새로운 신재생 에너지 원을 확보가능성을 보여준 것이다.
- (2) 고온 조건에 대한 척력의 특성을 평가하기 위하여  $14^{\circ}\text{C} \sim 49^{\circ}\text{C}$ 의 온도 조건에서 시험을 수행한 결과  $40^{\circ}\text{C}$ 이상의 고온 영역에서 척력이 크게 저하하였으며, 감소한 척력은 온도를 낮추어도 원상으로 회복되지 않았다. 이러한 현상으로부터 영구자석의 작동온도는  $30^{\circ}\text{C}$  이하로 유지할 필요가 있음을 확인하였다.
- (3) 척력이 연속적으로 작용할 경우에 대한 자기력의

- 내구성을 평가하였다. 약 120시간의 지속적인 척력 발생 조건에서도 원상태로 복귀됨을 확인하여 척력 유지의 안정성을 확보하고 있음을 확인하였다.
- (4) 대향하는 영구자석의 조합수를 1개~3개로 변화시켜 이격거리와 척력의 상관성에 대하여 검토한 결과 특별한 상관관계를 규명할 수 없었다. 자기력을 기계적에너지로 이용하고자 할 경우에는 선택한 영구자석을 기준으로 조합특성시험을 개별적으로 수행하여 사용조건을 파악하는 것이 합리적이다.

#### 후 기

본 연구는 국토교통부 첨단도시개발사업의 일환으로 국토교통과학기술진흥원이 관리하고 있는 『자기력을 이용한 5 kW급 무탄소 전력공급 기술개발』의 지원으로 이루어진 것으로서 이에 감사를 드립니다.

#### References

1. Hong, K. Y., 2007, Power Generation Apparatus and Method Using Permanent Magnets, Pat. No. 1007405600000.
2. Maeng, T. S., 2006, Power Generating Apparatus Used Permanent Magnet, Pat. No. 1005439610000.
3. Lim, C. K., 2009, Linear Power System Using Magnets, Pat. No. 1009077230000.
4. Hyundai Motors, 2001, Engine using of a permanent Magnet, Pat. No. 1002928570000.
5. Lim, J. H., Engine by Using an Electromagnet Piston, Pat. No. 1008369390000.
6. Seo, S. K., Lee, S. H., Park, J. H., and Taesa, J., 2005, New suction mechanism using permanent magnet, Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. A29, No. 12, pp. 1645-1652.
7. Min, H. J., Lim, H. J., Kim, B. K., and Kim, S. H., 2002, Design and performance evaluation of impact type actuator using magnetic force, Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. A26, No. 7, pp. 1438-1445.
8. Ikeda, K. and Yano, T., 1991, Fundamental study of a scanning-type suction cups, Advanced Robotics, Vol. 5, No. 3, pp. 309-330.