

부분 자기 차폐된 마그네트 휠의 선형구동기로의 응용

심기본[†] · 박준규* · 이상현** · 정광석***

Linear Actuator using Magnetic Shield of Rotating Magnet Wheel

Ki Bon Shim, Jun Kyu Park, Sang Heon Lee and Kwang Suk Jung

Key Words : Conductor Transfer(전도체 반송), Linear Induction Motor(선형유도모터), Magnetic Shield(자기차폐), Magnet Wheel(마그네트 휠)

Abstract

As known generally, when permanent magnets whose poles are upward and downward in order, arranged into the circumferential direction rotate under the conducting plate, the rotating force acts on the plate as well as the repulsive force. If the magnetic field by the magnet wheel(the above rotating permanent magnets) is partially shielded, the magnet wheel over open region can be a linear induction motor. The distinct feature from induction motor is that the traveling magnet field is produced by the moving permanent magnet instead of ac current. Furthermore, a variation of the open region changes the direction of the thrust force. In this paper, we introduce a concept of the linear actuator using the magnet wheel. Under the above shielding condition, a few simulation results and its verification from a simple test setup are described.

1. 서 론

아래의 원판 등에서 보는 바와 같이 영구자석과 전도판 사이에 회전 운동이 발생하면 전도판에는 반발 부상력과 함께 회전 운동 방향으로 항력에 의한 토션이 발생한다. 이를 응용한 것이 마그네트 휠(Magnet wheel) 혹은 자기차륜으로서 일반적으로는 Fig. 1(a)와 같이 원주방향으로 순차적으로 정렬된, 이웃하는 극성이 서로 다른 영구자석 배열을(이외에도 다양한 조합이 가능하다) 전도판 위에서 고속으로 회전시켜 자기력을 발생시킨다. 이러한 마그네트 휠은 다상 코일 유도 방식과 유사한 동전기(electrodynamic) 효과를 이용하지만 상대적으로 힘의 밀도가 대단히 크기 때문에 단순히 부상력만을 얻는데⁽¹⁾ 그치지 않고 추력 발생 원리를 도입하여 반송대차 혹은 자기부상 열차의 부상

/추진용 통합 구동기 등으로의 응용 가능성이 모색되어왔다.^(2,3) 본 논문에서는 이러한 마그네트 휠의 강한 자기장을 부분 차폐하여 절개된 선형 추력을 얻고 동시에 추력 방향 조절이 가능한 선형 구동기를 소개한다.

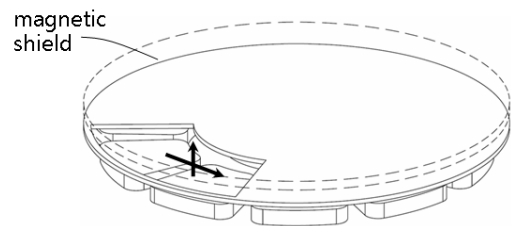
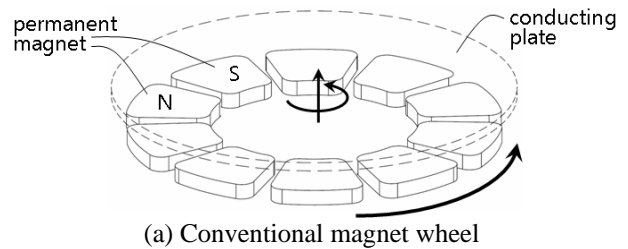


Fig. 1 Concept diagram of linear actuation using magnetic wheel

[†] 충주대학교 기계공학과 대학원
E-mail : ultraparia@naver.com
TEL : (043)841-5745 FAX : (043)841-5120
* 충주대학교 기계공학과 대학원
** 안동대학교 기계공학부
*** 충주대학교 기계공학과

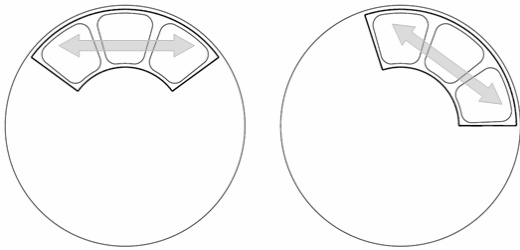


Fig. 2 Variation of thrust force direction by magnetic shield sheet

2. 마그네트 휠 방식의 선형 구동기

2.1 기본 개념

Fig. 1(a)에 묘사된 형태의 마그네트 휠은 엄밀하게 분류하면, axial-gap 유도 모터의 힘 발생구조를 갖는다. 단지, 유도기의 회전 이동 자기장(traveling field)을 영구자석의 기계적인 운동으로 대체하는 점이 다를 뿐이다. 따라서 원주 방향으로 접선 방향의 힘이 유기되어 전체적으로 강한 견인력을 만들어 내는 것을 알 수 있다. 이러한 마그네트 휠에 Fig. 1(b)와 같이 영구자석에 의해 전도판에 자기 결합되는 강한 자기장을 부분적으로 자기 차폐 시키면 결국 개방 영역 내에서 상, 하단 자기 요소는 결국 선형 마그네트 휠의 형태를 갖는 것으로 귀결될 수 있는데, 따라서 그림과 같은 구조는 강한 추력과 부상력을 만들어 내는, 선형 유도 모터와 동일한 자기력 구조를 갖는다.

2.2 추력 방향의 전환 의미

전술한 부분 자기 차폐된 마그네트 휠은 개방 영역을 전환하여 그 추력 방향을 용이하게 바꿀 수 있는데 간단한 사례를 Fig. 2에 나타내었다. 서론에 잠시 언급한 바와 같이 마그네트 휠의 강한 부상력과 추력을 동시에 이용하기 위해 다양한 방법이 제안되었는데 대표적으로, 휠을 대향 전도판에 대해 경사지게 하여 부상력을 벡터적으로 부분 분할하여 이용한 예가 있고⁽⁴⁾, 영구자석을 Halbach 배열 형태로 놓고 휠을 자동차 바퀴처럼 회전시켜 추력을 얻는 예⁽³⁾가 있었다. 또한 전도판의 경계에 마그네트 휠을 걸쳐 놓아 모서리 효과에 의해 발생하는 항력(drag force)을 이용하여 추력, 안내력을 발생시키는 사례^(2,5)도 있었으나 본 논문에서 묘사된 것과 같이 회전력을 직접 추력으로 변형시켜 이용한 경우는 없으며 영구 자석 회전에 의해 발생하는 회전력은 단지 부수적으로 발생되는, 이후 발생되는 토션을 대칭 배치에 의해 가급적 억제하고자 하였다. 그러나 후술하는 바와 같이 마그네트 휠에서 발생하는 회전력은 부상력 대비 적지

않은 크기를 갖기 때문에 이러한 회전력의 적절한 이용은 물리적으로 의미 있는 것으로 판단된다.

3. 시뮬레이션 및 시험 결과

전술한 선형 구동기의 자기력 크기를 정량화하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 부분 절개된 자기 차폐판의 에지 부분에서의 자기 현상이 고속으로 회전하는 영구자석의 기계적 거동으로 인해 대단히 복잡하기 때문에 상용 툴인 Maxwell 을 이용하여 수행하였다. 본 장에서는 상기 툴을 이용한 모의시험 및 간략한 실험 결과를 소개한다.

전산 모의시험에 이용된 원형 단면의 영구자석(NdFe30; R20×H10mm)은 6 극으로 구성되어있으며, 자기장 개방 영역은 120 도인데 Fig. 2 와 같은 부채꼴 형상을 갖는다. 따라서 선형 추력으로 환산하면 2 극만이 전도판과 자기 결합되는 구조이다. 3000rpm 으로 회전하는 마그네트 휠에 대한 자기력 과도 응답(transient response) 선도를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 x 축은 개방 영역의 접선 방향 축을 나타내며 따라서 y 축으로의 힘은 거의 0에 가까운 것을 알 수 있다. 결과를 통해 특징지어질 수 있는 현상들은, 우선 해당 rpm 에서 추력이 반발 부상력 크기의 50%에 달하는 것과 부상력의 AC 진폭 대비 추력의 진폭은 대단히 미세하다는 것이다. 따라서 이러한 마그네트 휠의 선형 추력은 크기나 과도 응답 패턴 등에서 볼 수 있듯이 동일 사이즈의 유도기보다 활용도가 더욱 크다는 것을 알 수 있다. 자기 차폐되어 전도판에 유기된 와전류 패턴 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 전술한 바와 같이 개방 영역 내에서만 자기 결합이 이루어지기 때문에 선형 구동기와 거의 유사한 전류 발생 형태를 보임을 알 수 있다.

모의시험과 동일한 구조를 갖는 자기력 측정 시스템을 Fig. 5에 나타내었다. 대상 시스템의 성능

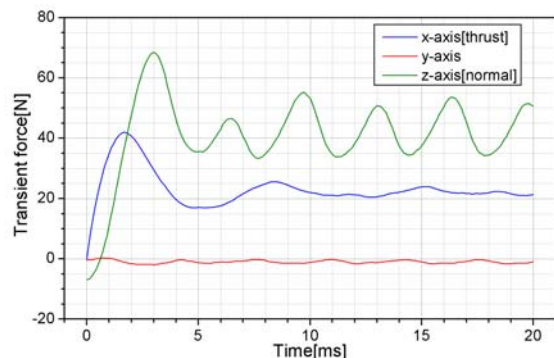


Fig. 3 Variation of magnetic forces acting on conducting sheet

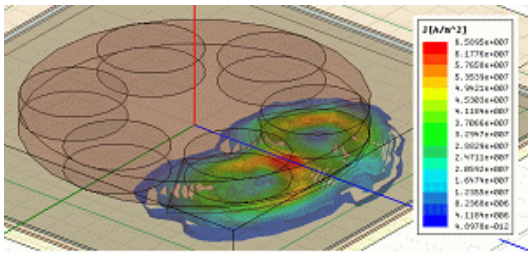


Fig. 4 Current density induced in conducting sheet

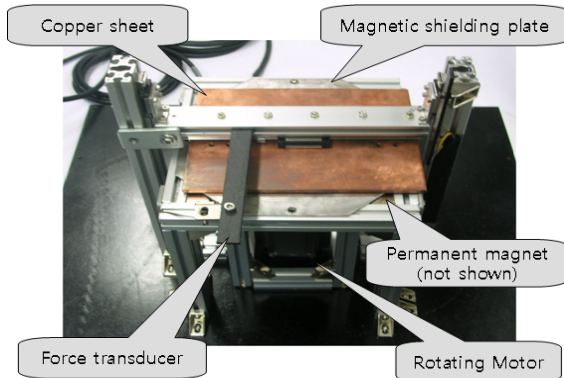


Fig. 5 Test facility of magnet wheel with magnetic shielding plate

에 관련된 다양한 제 변수 중에서 실험적으로 검증이 용이한 휠 회전 속도 대비 추력, 반발 부상력을 측정하였다. 각각의 회전 속도에서 시평균된 모의시험 값과 측정된 자기력의 비교 선도를 Fig. 6에 나타내었는데 두 결과 모두 유사한 경향을 보임을 알 수 있다. 특히 대상 모델은 추력의 경우 1200rpm 이상에서는 특정 값으로 수렴해 감을 알 수 있다.

4. 결론

마그네트 휠을 부분적으로 자기 차폐하여 선형 추력을 얻는 방법을 소개하였다. 마그네트 휠의 회전력을 부분 절개하여 얻어진 추력 밀도는 동일한 크기의 유도기 대비 상당히 크고 과도 응답 특성 역시 우수한 것을 확인하였다. 특히 이러한 자기 차폐 영역을 변형시키면 추력 방향을 용이하게 조절할 수 있기 때문에 다양한 반송 시스템에 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 본 논문에서는 제안된 선형 구동기의 개념에 기초한 모델을 대상으로 전산 모의시험 결과를 소개하고 발생 자기력을 실험적으로 검증하였다.

저자들은 현재 이러한 개념의 구동 메커니즘을 이용한 전도체 반송 시스템을 연구하고 있다. 전술한 바와 같이 차폐판을 회전시켜 임의로 추력 방향을 조절할 수 있는 특성을 이용하면 전도판의

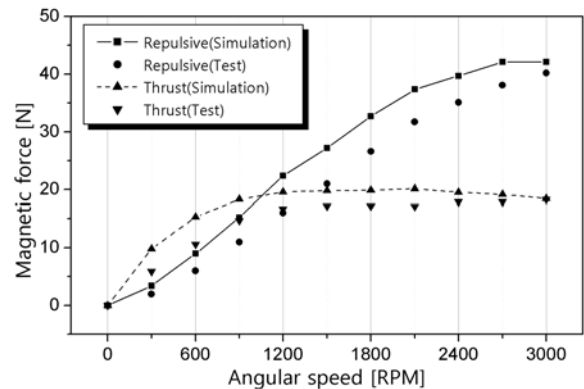


Fig. 6 Comparison of magnetic forces; test vs. simulation

방향 전환을 용이하게 할 수 있을 것으로 판단된다. 기존 마그네트 휠을 이용한 응용 사례에서 추력과 부상력은 강하게 연동되어있기 때문에 추력을 줄이기 위해서는 부상력 역시 휠의 회전 속도를 줄여 감소시켜야 했다. 그러나 추력 방향 전환 특성은 대칭 구조에서는 벡터 합에 의해 동적 평형시킬 수 있기 때문에 부상력에의 영향없이 추력 크기를 조절할 수 있게 해준다. 향후 더욱 연구되어야 할 부분이다.

후기

이 논문은 2008년 정부재원(교육과학기술부 학술연구조성사업비)으로 학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2008-314-D00018).

참고문헌

- (1) Park, J. H. and Baek, Y. S., 2004, "Parametric design of the levitation mechanism for maglev planar transportation vehicle," *IEEE Trans. on Magnetics*, Vol. 40, No. 4, pp. 3069~3071.
- (2) Fujii, N. and Chida, M., 1997, "Three dimensional force of magnet wheel with revolving permanent magnets," *IEEE Trans. on Magnetics*, Vol. 33, No. 5, pp. 4221~4223.
- (3) Bird, J. and Lipo, T. A., 2003, "An electrodynamic wheel : an integrated propulsion and levitation machine," *Proc. of IEEE*, pp. 1410~1416.
- (4) Fujii, N., Ogawa, T. and Matsumoto, T., 1996, "Revolving magnets wheels with permanent magnets," *Electrical Engineering in Japan*, Vol. 116, No. 1, pp. 106~118.
- (5) Fujii, N., Nonaka, S. and Hayashi, G., 1999, "Design of magnet wheel integrated own drive," *IEEE Trans. on Magnetics*, Vol. 35, No. 5, pp. 4013~4015.