

## 한국전기연구원 횡자속 전동기 연구그룹 소개

■ 강도현, 장정환, 김지원, 정시욱, 이지영, 이인재, 차도령  
/ 한국전기연구원 산업전기연구단 횡자속 전동기 연구그룹

### 1. 서 론

횡자속 전동기는 자속의 흐름이 이동자의 이동 방향에 대해 횡방향이 되도록 구성된 전동기이다. 이는 극간격의 크기를 작게 설계할 수 있기 때문에 높은 출력 밀도를 얻을 수 있으며, 기존의 종자속 전동기에 존재하는 오버행이 없는 링 형태의 권선으로 동력의 양을 줄일 수 있어 효율을 높일 수 있을 뿐만 아니라 전동기의 체적을 줄일 수 있는 구조를 가지고 있다.[1] 따라서, 횡자속 전동기는 높은 출력과 효율 특성으로 인해 전동기 중량이 적게 요구되는 전기자동차, 철도관련 차량, 자기부상 열차와 같은 교통수단의 추진 장치로 매우 적합하다[2].

한국전기연구원의 횡자속전동기 연구그룹은 이러한 횡자속 전동기를 연구, 개발하여 관련기술을 가진 및 산업시스템 응용 분야에 지원하기 위해서 만들어졌다. 한국전기연구원에서 전동기 응용 시스템을 연구, 개발하는 메카트로닉스 그룹을 모태로 2006년도 1월부터 독립된 그룹을 형성한 횡자속 전동기 연구그룹은 1년이 지난 현재 전자기기 설계 및 해석, 소음/진동, 구동 드라이버 및 제어 등의 분야에 대해 7명의 연구원으로 구성되어 횡자속 전동기와 관련된 과제들을 수행하고 있다.

본고에서는 횡자속 전동기 연구그룹에서 진행하고

있는 연구과제의 대상인 영구자석 여자 횡자속 전동기를 중심으로 그 원리와 응용형태를 살펴보고, 현재까지 개발되어 있는 횡자속 전동기를 소개하고자한다.

### 2. 횡자속 전동기 기본 개념

전동기는 이동자의 진행방향에 대한 자속흐름 방향에 따라 종자속과 횡자속 전동기로 나눌 수 있고, 이를 선형 전동기에서는 그림1과 그림2와 같이 비교할 수 있다. 종자속 선형 전동기는 그림 1에서와 같이 기존의 선형유도기 또는 선형 동기기를 포함하는 것으로, 자속의 진행방향과 전동기의 이동 방향은 평행하며, 전류의 이동방향과 전동기의 진행방향이 수직인 경우를 지칭한다. 이에 비해 횡자속 선형 전동기는 그림 2에서 보는 바와 같이 자속의 진행방향과 전동기의 이동 방향은 수직이고, 전류의 이동방향과 전동기의 진행방향은 평행하게 된다. 회전형 전동기에 대해서는 선형 운동이 회전운동으로 바뀌는 것 외에는, 종자속전동기와 횡자속 전동기의 구분은 선형기에서와 동일하다.

종자속 전동기에서와 같이 횡자속 전동기에서도 유도기와 동기기 타입이 있으나 고출력용으로는 영구자석을 사용하는 동기기 타입이 유리하므로, 한국전기연구원의 횡자속 전동기 연구그룹에서는 동기기 타입의 횡자속 전동기에 대해서만 연구를 진행하고 있다.

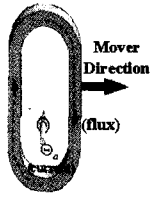
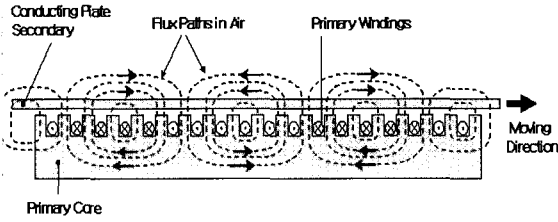


그림 1 종자속 전동기의 기본 형상

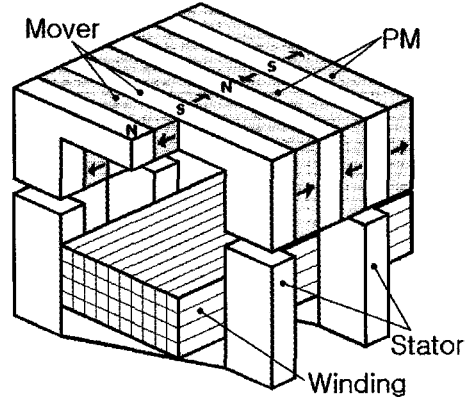


그림 3 영구자석 여자 횡자속 전동기 형상

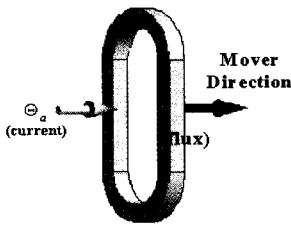
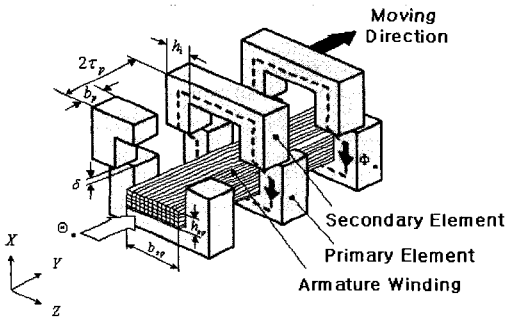


그림 2 횡자속 전동기의 기본 형상

### 3. 영구자석여자 횡자속 전동기

동기기 타입 중 영구자석 여자 횡자속 전동기는 그림 2와 같은 릴럭턴스형 횡자속 전동기의 고정자 혹은 이동자에 영구자석을 매입한 형태로서, 영구자석에 의한 자기력과 이동자와 고정자의 자로 구조상 발생하는 릴럭턴스력의 결합으로 단위 체적 당 높은 출력과 높은 효율을 얻을 수 있다.

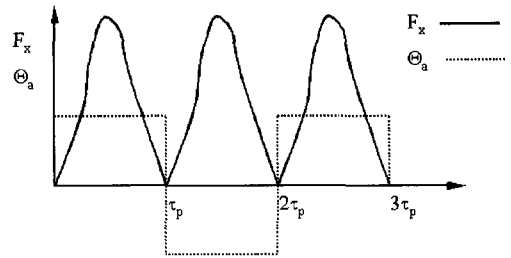


그림 4 영구자석 여자 횡자속 전동기의 이동자 위치에 따른 기자력 ( $\theta_a$ )-발생 추력( $F_x$ )

그림 3의 형상에서 이동자의 영구자석은 자속을 일정한 방향으로 발생시키도록 교대로 설치되며, 일정한 방향으로 추진력을 얻기 위해 권선이 있는 고정자 철심은 양측 극면에서  $\tau_p$ 만큼 엇갈리게 설계되었다. 물론 권선을 이동자에 설치하여도 무방하다.

동기기 타입의 횡자속 전동기의 힘 발생 원리는 릴럭턴스 전동기의 원리와 같다. 권선 전류에 의한 기자력이  $\theta_a$  [AT]일 때, 자속이 발생하여 자기저항이 최소화되는 방향으로, 즉 고정자와 이동자의 치가 일치할 때까지 힘을 발생시키게 된다. 이 때, 이동자의 위치에 따른 기자력·발생추력은 그림 4와 같다. 일정한 방향으로 힘을 발생시키기 위해서는,  $0 \leq x \leq \tau_p$  구간에서는 고정자의 자속이 영구자석의 자속방향과 같은 방향이 되도록 전류를 인가하고,  $\tau_p \leq x \leq 2\tau_p$  구간에서는 반대 방향의 전류를 흘려야 된다.

#### 4. 횡자속 전동기의 응용

지금까지 횡자속 전동기에 대한 기본 구조 및 힘 발생 원리를 살펴보았다. 여기에서는 횡자속 전동기를 적용할 수 있는 대표적인 3가지 응용형태와 이의 향후 적용 가능한 응용분야에 대해서 소개한다.

먼저 Ropeless 승강기에 선형전동기를 응용하는 경우, 기존의 승강기에 사용되는 rope, 추 등 직선운동으로 변환하기 위한 기계적 장치를 사용하지 않고 직접 직선운동을 하므로 승강기의 구조를 간략화할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 승강기에 이동자가 설치되고 가이드레일부분에 고정자가 설치되어야하므로 부하로 작용하는 이동자의 경량화와 고효율이 요구된다. 영구자석 여자 횡자속 선형전동기는 이에 대해 매우 적합한 구조이다. Ropeless 승강기 구동용으로 설

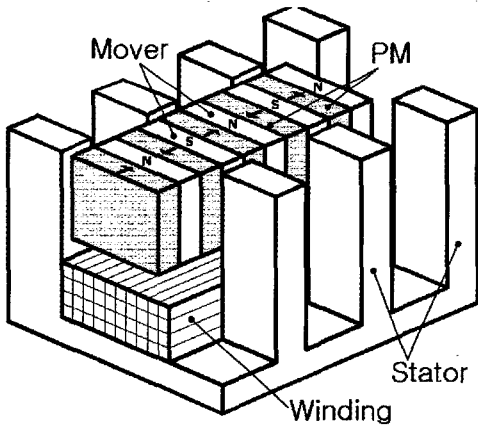


그림 5 Long primary 횡자속 전동기 기본 형상

계된 영구자석여자 횡자속 선형 전동기의 형상은 그림 5와 같다. 이 횡자속 선형전동기의 이동자 무게는 같은 공극 크기에서 영구자석여자 선형 동기전동기의 1/3정도 밖에 되지 않는다. 따라서 Ropeless 승강기용 영구자석여자 횡자속 선형전동기와 영구자석여자 선형 동기전동기[5]의 무게당 추력비를 비교하면 그림 6에서 보는 것과 같이 전동기 전체(이동자+고정자)무게당 추력비와 이동자 무게당 추력비는 영구자석여자 횡자속 선형전동기가 각각 약 4.1배, 약 2.5배 정도 되는 것으로 보고되고 있다.[6]

그림 7은 Short primary 횡자속 전동기 기본 형상으로 길이가 짧은 1차측(이동자)에 영구자석과 권선이 설치되고, 길이가 긴 2차측에 철심이 설치되므로 재료비가 적게 요구된다. 그림 8과 그림 9는 본 기술을 적용하여 상업화에 완료한 예이다. 그림 8은 LCD 공정 장치에서 LCD glass를 수송하는 장치에 사용되고 있는 예이며, 그림 9는 직선 운동에만 한정되었던 선형전동기의 기술을 길이가 짧은 1차측에 권선이 설치되었다는 이

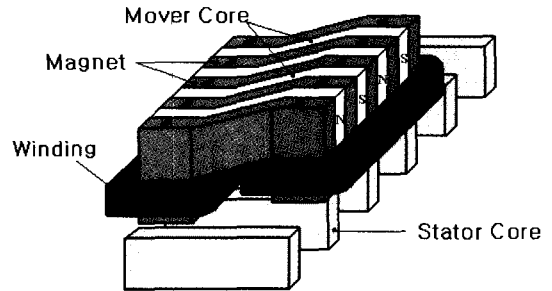


그림 7 Short primary 횡자속 전동기 기본 형상 [7]

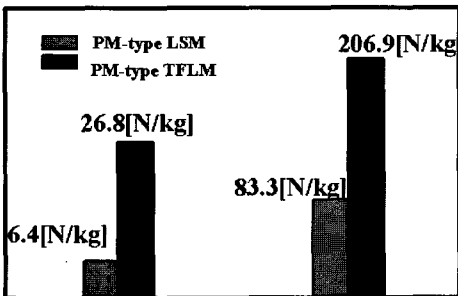


그림 6 무게당 추력비의 비교

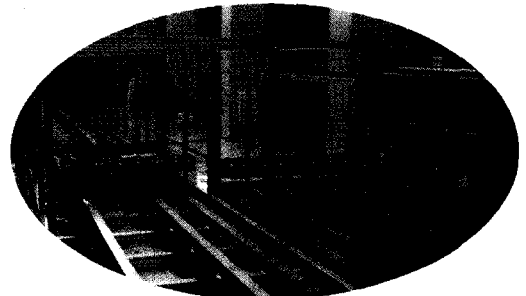


그림 8 Short primary 횡자속 전동기의 직선부 적용 (자료제공 : (주) 신성이엔지)

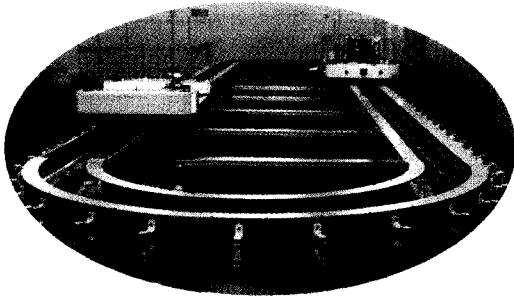


그림 9 Short primary 횡자속 전동기의 곡선부 적용(자료제공 : (주) 신성이엔지)

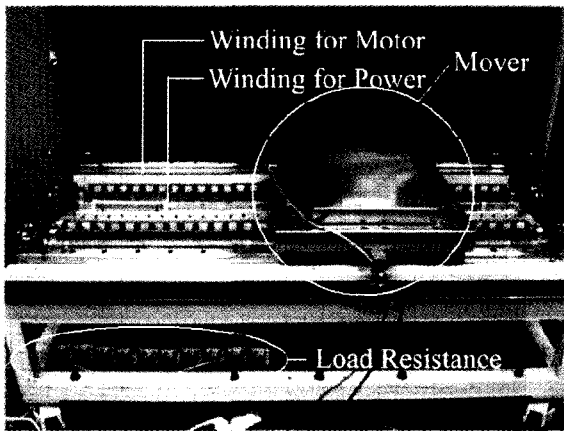


그림 10 추진 및 전원공급 가능 횡자속 전동기[9]



(a) Dynamo TEST Set

(b) TFRM



(c) Stator of TFRM

(d) Rotor of TFRM

그림 11 Direct-drive용으로 개발되고 있는 영구자석 여자 횡자속 회전형 전동기 (TFRM : Transverse Flux Rotary Motor)

점을 이용하여 곡선 운동에까지 적용시킨 것이다.

그림 10은 추진 및 전원공급 가능한 횡자속 전동기로 접촉식 전원공급의 문제점을 모두 해결할 수 있고, 또한 기존의 시스템의 구조를 그대로 이용하면서 간단히 이동자의 한 부분에 길이가 긴 철심을 설치하고 거기에 코일을 감는 것만으로도 비접촉 전원공급이 가능하기 때문에 기존의 영구자석 여자 횡자속형 선형 전동기 시스템에 비접촉 전원공급장치를 추가하기가 쉽고 비용도 적게 든다.

이상의 3가지 대표적인 개발사례 외에도, 횡자속 전동기 연구그룹에서는 횡자속 선형기와 회전기를 응용할 새로운 분야를 개척하기위해 지속적인 연구를 진행하고 있다.

향후 응용분야의 한 예로 철도차량에 선형 횡자속 전동기를 적용시키는 것을 고려해 볼 수 있다. 일반 재래식 차량에 비하면 기어 없이 직접 구동되어 기계적 부품을 줄일 수 있기 때문에 경량화가 가능하다. 또한 추진과 제동 시 마쿠의 마찰계수에 영향을 받지 않으므로 가속과 감속 성능이 좋고, 지하철에 적용할 경우 터널의 면적을 50% 정도 감소시킬 수 있으며, 건설비를 30% 이상 경감시킬 수 있는 장점이 있다(11).

앞서 설명한 short primary 횡자속 선형전동기의 경우에는 CLEAN형 반송/보관 시스템을 국내의 유력한 LCD메이커 생산라인에 적용하여 청정실에서 사용가능함을 인정받았으므로, 향후 반도체 등과 같이 고도의 청정도를 요구하는 공정에서 자기부상과 같은 비접촉 GUIDE장치와 결합 할 경우 근원적인 분진의 발생을 억제함으로써 ZERO Class청정도 관련 기술로 확대 보급 할 수 있는 가능성이 있다.

횡자속 선형 전동기에 비해 아직 개발단계인 횡자속 회전기는 저속 고토크 Direct-drive용으로 적용할 계획이다. 현재는 그림 11에서 보는 바와 같이 다극착자된 외전형의 전동기로 설계, 제작되어 기저속도 300rpm에서 1마력급 특성을 나타내고 있으나, 향후 5년 이내에는 지속적인 연구로 인해 향상된 설계/제작 기술을 바탕으로 속도 3000rpm 미만대역에서 최대 1000Nm 부하운전까지 가능한 전동기를 개발할 것을 목표로 하고 있다. 저속 고토크 Direct-drive용 횡자속 회전기에

대한 세부적인 응용분야는 세탁기 구동용 전동기, 자동차 구동용 In-wheel 전동기 등을 고려해 볼 수 있다.

## 5. 결 론

본고에서는 한국전기연구원의 횡자속 전동기 연구 그룹에서 진행되고 있는 주요 개발 사례를 중심으로 그룹을 소개하였다.

응용 예에서 볼 수 있듯이 한국전기연구원의 횡자속 전동기 연구그룹에서는 저속 고추력(고토크) 및 고효율 특성으로 대표되는 영구자석여자 횡자속 전동기에 대한 기술을 산업현장에 지원하기위해서 단순한 이론 전달에만 그치지 않고, 전동기를 제작하고 상용화 하는 단계까지 노력을 기울이고 있다. 또한 많은 논문과 특허로 기술을 보호하면서 동시에 국내외적 홍보활동을 하고 있으며, 2006년 9월에는 제 1회 횡자속 전동기 학회 (International Conference on Transverse Flux Machines)를 개최하기도 하였다.

영구자석형 횡자속 전동기가 산업현장에서 진정으로 필요한 기술로 완성되기까지 횡자속 전동기 연구 그룹원들은 계속해서 노력할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. Weh, H. : Permanentmagneterregte Synchronmaschinen hoher Kraftdichte nach dem Transversalflu  $\beta$  konzept. etzArchiv Bd. 10 (1988), H.5, S.143-149
2. Weh, H : Linear Electromagnetic Drives in Traffic Systems and Industry. The First International Symposium on Linear Drive for Industry Applications, Nagasaki(Japan), 1995
3. Z. Jajtic. : Vortriebskraftoptimierung bei der elektrisch erregten Transversalflu  $\beta$  maschine. Dissertation, TU Braunschweig 1993.
4. D. H. Kang : Increasing of Thrust Force in Transverse Flux Machine by PM screen -IEEE Transactions on Magnetics Vol. 41, No. 5 May 2005
5. “리아모터による垂直輸送システム實・研究”, 財團法人 エンジニアリング振興協會 地下開發利用研究センター, 1992.
6. “선형 고출력 추진시스템 개발”, 연구보고서, 과학기술부, 1998.
7. “영구자석여자 횡자속 선형전동기 이용 수평 및 수직 이송장치”, 특허등록번호 제 0454656호 2004년 10월19일. 강도현, 김종무.
8. Junghwan Jang ,Dohyun Kang ,Jiyoung Lee , Jungpyo Hong :Development of transverse flux linear motor with permanent-magnet excitation for direct drive application IEEE Transactions on Magnetics Vol.41, No. 5 May 2005
9. “비접촉 전원공급장치 및 영구자석 여자 횡자속형 선형전동기 결합 시스템” 특허번호 제 0440391호 2004년 7월 5일. 강도현 김종무.
10. “영구자석 여자 횡자속 선형 전동기” 특허출원번호 10-2005-0132803 (2005년 12월 29일) 강도현, 김지원, 장정환.
11. D.H. Kang Y.H. Chun H. W도 : Analysis and optimal design of transverse flux linear motor with PM excitation for railway traction IEE Proc. Electric, Power Appl, Vol. 150, No 4. July 2003.
12. 김봉섭, 정현갑, 조홍제 : 선형유도전동기의 동특성에 대한 실험적 연구(II), '97 대한전기학회 하계 학술대회 논문집 A, p57 ~ 63, 대한전기학회, 1997.
13. 김봉섭, 정현갑, 조홍제 : 도시형 자기부상열차 추진용 선형유도전동기의 동특성에 대한 실험적 연구(IV), '98 대한전기학회 하계학술대회 논문집A, p152 ~ 154, 대한전기학회, 1998
14. D. H. Kang , H. Weh : Design of an integrated propulsion, guidance and levitation system by magnetically excited transverse flux linear motor (TFM-LM) IEEE Transaction on energy conversion Vol. 19, No. 3. Sep. 2004