

# 가변자속전동기 개요

김 병 택 / 군산대학교  
 이 성 호 / 한국생산기술연구원  
 조 주 희 / 전자부품연구원  
 최 장 영 / 충남대학교

## - 가변자속전동기 필요성

최근 우리나라의 개인 소득이 선진국 수준에 근접함에 따라 생활 편의성을 향상시키는 다양한 가전제품이 경쟁적으로 출시되고 있으며, 이로 인해 가정의 전력소비량이 급증하고 있다. 이미 가정용 전력은 산업용과 더불어 커다란 수요대상이 되었으며 특히 계절과 관계없는 전력 수급난의 원인이 되는 실정이다. 이 같은 장기적인 전력문제의 해소와 차세대 성장 동력으로 일컫는 녹색에너지정책의 성공적 수행을 위해서는 에너지 소비의 효율화 방안이 절실하다. 이를 위하여 전 세계는 최지효율제 등과 같은 정부차원의 정책을 통해 가전기기의 고효율화를 강력하게 시행하고 있다.

대부분의 가전기기는 동력시스템으로 전력의 대부분이 구동 전동기에서 소모된다. 따라서 제품의 고효율화는 궁극적으로 고효율 전동기의 적용으로 귀결된다. 고효율 정책에 부합하기 위해 제조업체는 고가(high-end) 제품에 대해 효율이 높은 BL(brushless)-DC/AC 전동기를 우선적으로 적용하고 점진적으로 저가(low-end) 제품까지 확장하는 정책을 시행하고 있어 향후 대부분의 가전기기의 전동기를 BL-DC/AC전동기로 대체할 추세이다.

BL-DC/AC 전동기가 기존 유도전동기에 비해 높은 효율을 갖는 이유는 영구자석이 계자역할을 하기 때문에 회전

자에서 손실이 거의 없기 때문이다. 반면 가변속 운전시 BL-DC/AC 전동기의 단점은 자석의 자속량을 제어할 수 없기 때문에 높은 운전 속도를 확보하기 힘들다는 것이다. BL-DC/AC 전동기를 고속운전하기 위해서는 일반적으로 감자전류를 공급함으로써 유효 자속량을 감소시키는 방법인 약계자 제어를 사용한다. 그러나 지속적인 감자전류의 공급은 동손을 증가시키므로 전동기 효율을 저감하는 원인이 되며, 특히 운전 속도의 범위가 넓을수록 효율 악화는 심각해진다.

이 같은 이유로 영구자석 전동기를 사용할 때, 광범위한 속도영역에서 고효율을 기대하기 어렵다. 이를 해결하기 위한 차세대 전동기의 개발 필요성이 대두되어 왔으며, 그림 1에 제시된 가변자속형 전동기는 2000년대 초반에 학계에서 최초로 제안된 전동기로서 운전속도에 따라 영구자석의 실제 착자량을 조절하는 기능을 가진다. 즉 감자전류의 공급 없이, 저속에서는 자석을 실제로 충분히 착자시키고, 반대로 고속에서는 자석을 원하는 만큼 감자시켜 자속량을 변화시킨다. 따라서 그림 2와 같이 저속에서는 큰 자속량을 이용하여 고효율, 고토크 운전이 가능하고, 고속에서는 반대로 감자전류 없이 적은 자속량을 이용하므로 동손저감에 의한 고효율 운전이 가능하다.

가변자속형 고효율 전동기의 개발, 적용은 최근 일본에서 세탁기를 대상으로 시작되었다. 실제로 운전속도 범위

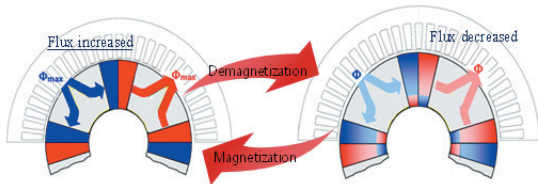


그림 1 가변자속 전동기의 기본 구조 및 동작원리

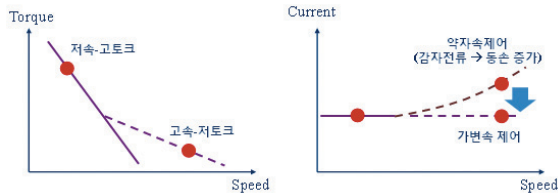


그림 2 가변자속 전동기의 토크 및 전류 특성

가 가장 넓은 가전기기는 세탁기로서 세탁과 탈수시의 속도범위가 1:30이상으로 매우 큰 가변속 성능을 요구할 뿐 아니라, 현재 저속운전 효율이 40% 정도의 대표적인 저효율 기기이다. 특히 BL-DC/AC 전동기 적용방식의 드럼세탁기는 90년대 후반에 도입된 이후 선풍적으로 보급되었으며, 현재에도 사용자의 요구에 따라 제조업체는 더 높은 세탁중량, 즉 더 큰 소비전력의 제품을 개발 중이므로 효율개선이 시급한 기기이다.

고속, 고효율 운전이 요구되는 또 하나의 가전기기로서 에어컨을 들 수 있다. 에어컨의 경우는 가전기기 중 주요 전력 소비제품으로서 '11년 기준 보급률이 61%에서 13년 78%로 28%나 급증하는 추세를 보이고 있다.(한국전력 거래소) 특히 최근 냉, 난방이 동시 가능한 냉난방형 에어컨에 대한 선호도가 높아지고 있는데, 난방운전은 기존 냉방전용기 용량의 열교환기를 사용하는 경우, 100~120Hz 이상의 고속 운전영역이 요구된다. 이 같은 고속운전 구현을 위해서는 약자속 운전이 필수적이며 저효율의 원인이 되므로 고속영역에서의 효율개선을 위한 방안이 필요하다.

이상과 같은 이유로 가전기기의 구동원으로 차세대 전동기의 개발이 시급하며, 그 대안으로서 가변자속형 전동기가 적합하다고 볼 수 있다. 가전기기에 적용 가능한 신 개념의 가변자

속형 전동기의 개발을 위하여 1)가변 자속기능을 고려한 자기회로 및 구조 설계기술, 2)자석의 착·탈자를 위한 회로설계 및 가변자속 운전시 고효율운전을 위한 제어기술, 3)가변자속에 용이한 자성소재의 개발, 4)신기술인 가변자속 전동기시스템의 생산기술과 성능, 신뢰성을 평가하는 기술이 요구된다.

개발에 요구되는 각각의 요소기술은 가전기기에 국한된 것이 아니라 가변속 운전이 요구되는 모든 시스템에 적용 가능하다. 즉, 향후 국가적 미래 핵심 산업분야가 될 것으로 기대되는 전기자동차와 풍력발전기 등에서 요구하는 기술과도 밀접한 관계가 있으므로 기술 파급효과가 클 것으로 예상된다.

### - 가변자속 전동기 구조 및 동작원리

가변자속전동기의 구조는 자기회로 구성에 따라, 다양하게 가능하며, 본 지에서는 대표적인 4가지 타입에 대해 다루고자 한다.

#### 가) Flux switching PM(FSPM) type 전동기

그림 3은 가변자속형 FSPM 전동기의 동작원리를 나타낸다. FSPM 전동기의 영구자석은 고정자 코어 사이에 삽입 되어있으며, 고정자는 돌극 구조를 가진다. 계자권선은 영구자석을 감싸듯 감겨있으며, 전기자 권선을 그 위를 교차하여 감는다.

영구자석으로부터 발생하는 자속은 그림 3 (a)와 같으며, 그림 3 (b)와 같이 계자권선에 전류를 흘림으로써 공극에 전달되는 자속량을 증가 또는 감소시킬 수 있다. 따라서 저속운전 시 계자권선에 전류를 흘려 공극의 자속을 증가 시켜 동일 전류인가 시 고출력 운전이 가능하다. 또한

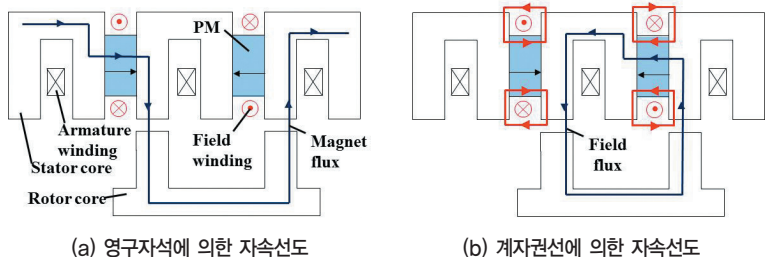


그림 3 FSPM 전동기의 가변자속운전

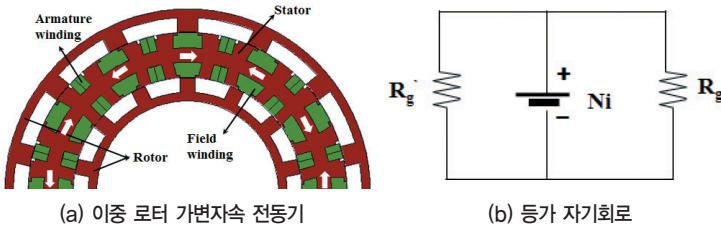


그림 4 개선된 전동기 구조 및 등가 자기회로

에 회전자가 추가로 있는 구조이다. 그림 4 (b)는 개선된 전동기의 등가자기 회로를 나타내며 고정자 내측에 회전자를 추가함으로써 자기저항이 병렬로 연결되므로 동일한 기자력 인가 시 공극자속은 약 2배 증가 또는 동일한 공극자속 발생 시 요구되는 기자력을 반으로 감소시킬 수 있다.

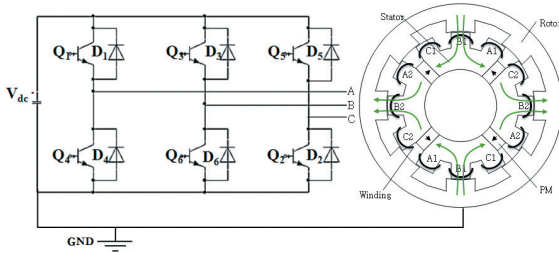


그림 5 가변자속형 DSPM 구조 및 착감자 원리

그림 4의 전동기는 자속원이 계자전류이므로 자속가변이 용이하고 영구자석을 사용하지 않으므로 감자나 온도 문제에 이점이 있으나 포화에 민감하고 전동기의 손실에 계자의 동손이 추가로 발생하여 효율이 비교적 낮다는 단점이 있다.

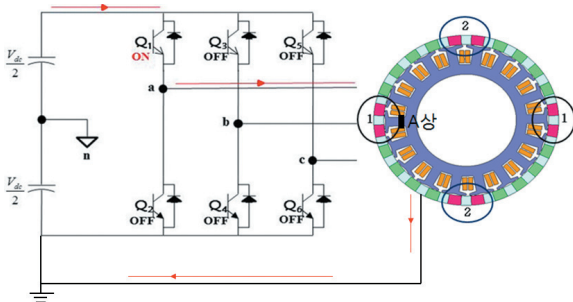


그림 6 알니코자석의 위치와 감자시 외부회로

나) Doubly salient PM(DSPM) type 전동기

기존의 DSPM 전동기를 세탁기용 전동기로 적용하기 위하여 외전형으로 변경하였고, 형상은 그림 5와 같다.

DSPM 전동기는 영구자석으로부터 나오는 자속의 대부분이 전기자 권선에 통과하는 구조를 갖고 있다. 이런 구조적 특성을 역으로 이용하여, 그림 5와 같이 영구자석에서 나오는 자속과 반대방향으로 큰 자속을 만드는 전류를 전기자 권선에 인가하면 영구자석을 착자 또는 감자시킬 수 있다.

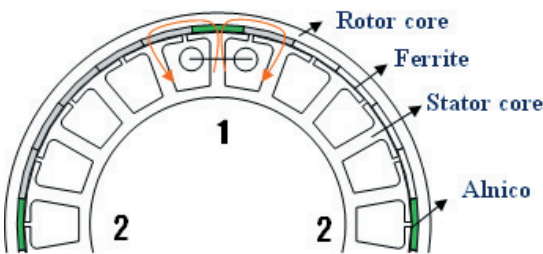


그림 7 가변자속형 SPM 동기전동기 구조

다) Spoke PM type 전동기

외전형 spoke PM 구조의 전동기는 감자를 시키기 위하여 페라이트 자석과 알니코자석의 보자력의 차이를 이용하여 2종 재질의 영구자석을 사용하였다. 전체 영구자석 중 알니코 자석만 착·감자시켜 가변속 운전을 하기 때문에 착, 감자시 역기전력의 3상평형이 되는 알니코의 위치를 선정하였다. 그림 6에 가변자속형 전동기의 형상과 외부회로를 나타내었다.

고속운전 시 전류를 역으로 흘림으로써 약계자 제어를 하여 전기자 전류를 감소시켜 효율 향상이 가능하다.

가변자속 운전시 요구되는 기자력을 줄이고 가변자속 폭을 증가시키기 위한 최종모델과 등가 자기회로를 그림 4에 나타내었다.

그림 4 (a) 전동기는 그림 3 (b)의 구조에서 고정자 내측

그림 6의 1번과 2번은 알니코 자석의 위치를 나타낸다. 24극 18슬롯의 구조상 한 번에 알니코 자석을 착·감자시키는 것은 불가능하므로 2번에 걸쳐서 착·감자를 하게 된다. 착·감자 과정은 먼저 회전자의 1번을 A상의 위치에 배열하고, 감자 또는 착자 전류를 흘린다. 같은 방법으로 회전자의 2번을 A상에 정렬하여 알니코자석을 착자 또는 감자시킨다.

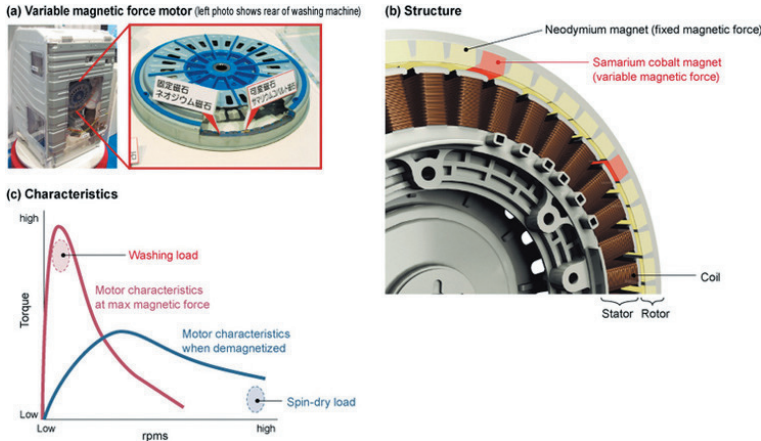


그림 8 도시바 홈어플라이언스의 가변자속형 전동기 개발 사례

라) SPM type 전동기

가변자속형 SPM type 전동기는 기존의 전동기와 동일한 형상을 가지며 spoke PM 전동기와 동일한 가변자속 원리를 가진다. 전동기의 기본구조는 그림 7과 같다.

전동기의 고정자는 돌극 집중권구조를 가지며, 회전자는 외전형 SPM Type으로 자속을 가변하기 위하여 투자율이 높은 페라이트 20개와 보자력이 낮은 AlNiCo 4개를 사용하였다. 투자율이 낮은 AlNiCo 자석은 착/감자가 용이하고, 3상 역기전력이 평형이 되는 위치에 배치되었다.

착/감자의 과정은 그림 7의 1번에 위치한 영구자석들을 U상에 정렬시켜 U상에 착/감자 전류를 흘린 후 2번에 위치한 영구자석들을 동일한 위치에 이동하여 착/감자 전류를 흘린다.

- 가변자속 전동기 대표적 실 적용사례

가변자속형 전동기를 적용하여 제품을 출시한 사례로 도시바 홈어플라이언스를 들 수 있다. 2010년 도시바는 우수한 세탁능력과 에너지절감 효과를 갖는 드럼형 세탁 건조기(TW-8000/9000)를 출시했으며 ACTIVE S-DD 전동기(Variable-magnetic-force motor)를 적용하여 세탁시나 건조시에 최적화된 운전특성을 만족하도록 하였다.

도시바 홈어플라이언스는 그림 8과 같이 코어 내부에 영구자석을 삽입한 구조인 IPM (Interior Permanent Magnet) 전동기를 채택하고 있으며, 48개의 자석을 배치

한 회전자 구성 자석 중 6개의 사마륨 코발트 자석을 감자하거나 착자하는 방식으로 저속 회전시에는 고투크가 발생되도록 착자하고, 고속 회전시에는 감자하여 역기전력 발생을 억제함으로써 회전수를 높이는 구조의 양산 제품을 출시하였다.

가변자속형 전동기 적용으로 운전 효율을 개선하여 전력 소비는 16% 저감시키고, 저속 회전시의 세탁 토크를 20% 향상시켰으며 탈수 회전수 40% 향상으로 고속 모드에서 전력 소비를 저감하였다고 발표한 바 있다.

참고문헌

- [1] “에너지절약 통계 핸드북”, 에너지관리공단, 2010
- [2] “녹색 가전의 미래 진화 방향”, LG Business Insight, 2009. 5
- [3] “2009 최고 에너지효율 가전제품 발표”, 지식경제부 보도자료, 2009. 12. 30
- [4] “주요 가전제품 전기요금 한눈에”, 지식경제부 보도자료, 2010. 1. 5
- [5] “그린IT산업 경쟁력 제고를 위한 전자정보통신 기기 에너지 효율 정책 연구”, 정보통신정책개발지원사업, 2009. 12
- [6] “7월부터 가전제품에 이산화탄소 배출량 표시”, 지식경제부 보도자료, 2009. 2. 19
- [7] “냉장고, 세탁기 등 주요 가전제품 에너지소비효율 등급기준 대폭 상향 조정”, 지식경제부 보도자료, 2010. 6. 16
- [8] T. M. Jahns, “Flux weakening regime operation of an IPM synchronous motor drive,” IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. IA-23, pp. 681-689, July/Aug. 1987.
- [9] Wen L. Soong and Nesimi Ertugrul, “Field-Weakening Performance of Interior Permanent-Magnet Motors,” IEEE Trans. on Industry Application, vol 38, pp. 1251~1258, 2002.
- [10] Eckart Nipp, “Alternative to field weakening of



- Surface Mounted Permanent-Magnet Motors for Variable-speed Drives,” 30th IAS Annual Meeting, IAS '95, vol.1, pp.191~198, 1995.
- [11] V. Ostovic, “Memory Motors - a New Class of Controllable Flux PM Machines for a True Wide Speed Operation,” Industry Applications Conference, 2001. Thirty-Sixth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2001 IEEE (Volume:4 ), 2577 - 2584 vol.4, Sept. 30 2001-Oct. 4 2001
- [12] V. Ostovic, “Pole-changing Permanent-Magnet Machines,” IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.38, pp 1493~1499, 2002.
- [13] Kazuto Sakai, Kazuaki Yuki, Yutaka hashiba, Norio Takahashi, and Kazuya Yasui, “ Principle of the Variable-Magnetic-Force Memory Motor,” Nov. 2009.
- [14] Akio Toba, Akihiro Daikoku, “Recent Technical Trends in Variable Flux Motors,” Power Electronics Conference (IPEC-Hiroshima 2014 - ECCE-ASIA), 2014 International, 18-21 May 2014, 2011 - 2018
- [15] Wei Hua, “Novel Hybrid Excitation Flux-Switching Motor for Hybrid Vehicles,” IEEE Trans. on Mag. vol. 45, no. 10, pp. 4728~4731, 2009
- [16] Y. Liao and T. A. Lipo, “Sizing and optimal design of doubly salient permanent magnet motors,” in Proc. Int. Conf. Electronic Machines and Drives, London, U.K., 1993, pp. 452-456
- [17] Y. Liao, F. Liang, and T. A. Lipo, “A novel permanent magnet motor with doubly salient structure,” IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 31, pp. 1069-1078, Sept./Oct. 1995.
- [18] Ming Cheng, K. T. Chau, “Design and Analysis of a New Doubly Salient Permanent Magnet Motor,” IEEE Trans. on Mag. vol 37, no. 4, pp. 3012~3020, 2001
- [19] F. Vial, F. Joly, E. Nevalainen, M. Sagawa, K. T. Park, “Improvement of coercivity of sintered NdFeB permanent magnets by heat treatment,” Proceedings of the Joint European Magnetic Symposia (JEMS'01), Volumes 242-245, Part 2, Pages 1329-1334, April 2002.