가전용 전동기 국내외 기술동향

이 성 호 / 한국생산기술연구원
김 병 택 / 군산대학교
조 주 희 / 전자부품연구원

– 국외 기술동향

전 세계적으로 가전기기의 구동원으로 고효율 BLDC/AC 전동기 적용이 증가하고 있으며, 에너지 절감을 위한 고효율 구동 전동기 개발을 통한 시장 경쟁력 강화에 주력하고 있다. 또한 가격 경쟁력 확보 및 컴팩트, 고신뢰성 확보를 위한 기술개발을 경쟁적으로 추진하고 있으며, 특히 최근에는 소재 응용기술과 더불어 구동 전동기 기술을 동시에 개발하고 있는 점이 주목해야 하는 추세이다.

세계 가전 시장에서 국내 가전사와 지속적으로 기술 및 시장 경쟁을 하고 있는 일본의 가전업체의 경우는 가전용 구동 전동기 개발을 위한 다양한 기술적 접근과 양산 적용이 이루어지고 있다. 다기능, 저전력, 저소음 등에서 기술 경쟁력 강화를 위한 새로운 자기회로 구조의 전동기를 활발히 개발하고 있으며, 가전기기 전반 및 전기자동차 구동 전동기로의 기술 적용 확대가 추진되고 있다.

히타치 어플라이언스는 그림 1과 같이 구동 전동기의 고정자 권선을 좌우로 2분할하여 좌우의 상을 각각 기계식 릴레이로 연결하여 직렬과 병렬로 권선방식을 전환하는 기술을 적용하고 있으며, 저속 회전에 높은 토크를 요구하는 세탁 시에는 직렬로 연결하고 고속 회전을 필요로 하는 탈수 시에는 병렬로 연결하여 세탁 시의 45rpm에서 토크는 최대 40Nm, 탈수 시의 회전 수 최고 1,700rpm에서 토크는 2Nm의 구동 전동기를 적용하여 탈수 시의 소비전력을 저감시키고 있다. 적용된 전동기는 저속 운전 영역에서는 권선을 직렬로 결선하여 역기전력이 높게 형성되며, 고속 운전 영역에서는 권선의 병렬로 변환함으로써 역기전력이 낮아지게 된다. 따라서 제어기에서는 직렬구조와 병렬구조에 대한 2개의 구분된 파라

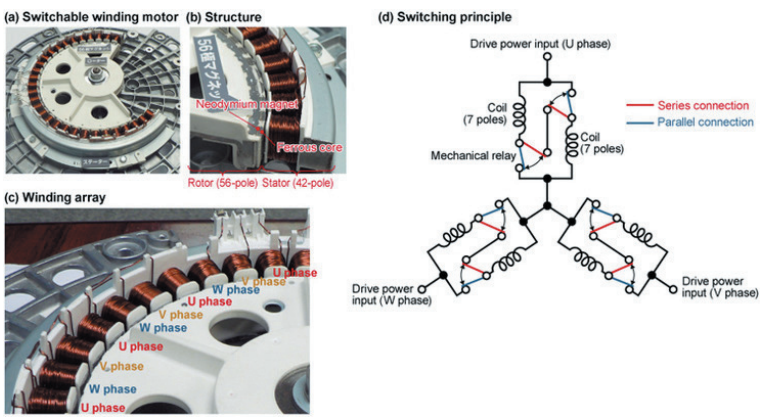

그림 1 히타치 어플라이언스 구동 전동기 구조
(출처 : http://www.ddqcw.com/bbs/thread-38770-1-1.html)

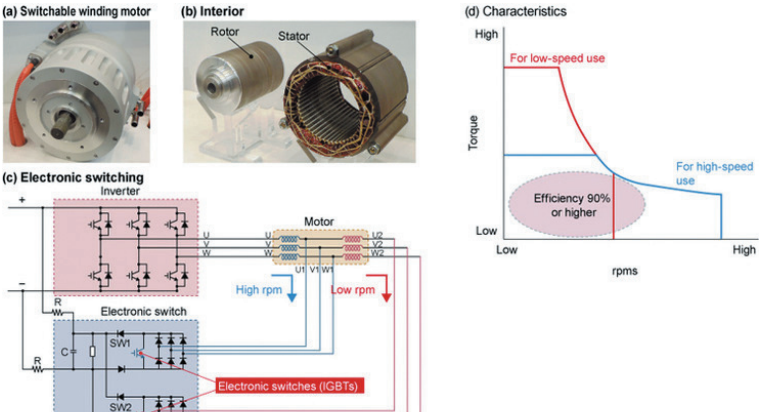

그림 2 야스카와 전기의 구동 전동기 구조
(출처 : http://techon.nikkeibp.co.jp/article/HONSHI/20100420/181993/?SS=imgview&FD=-751788434)

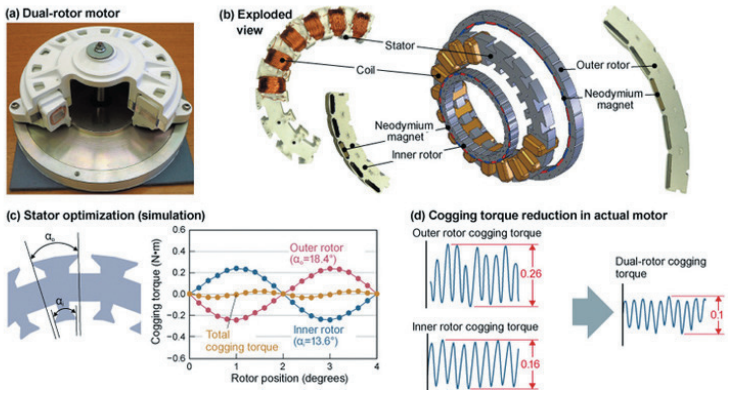

그림 3 파나소닉의 듀얼 로터 방식 구동 전동기 구조
(출처 : http://www.ddqcw.com/bbs/thread-38770-1-1.html)

미터로 전동기를 구동하도록 설계된다[8]. 이때, 각 구조는 세탁모드와 탈수모드에서 별도로 구분되어 동작하므로, 제어기에서는 구분된 동작모드에서 권선 구조에 적합한 전동기 파라미터를 사용하여 최대 토크 운전이 가능하도록 구성된다. 이러한 제어방식에서 고속운전에서는 낮은 역기전력으로 인하여 별도의 약계자 제어를 사용하지 않고도 탈수를 위한 속도영역에서의 운전이 가능하므로 고효율 운전이 이루어지게 된다.

야스카와 전기는 그림 2와 같이 내전형 방식으로 고정자의 권선을 둘로 분할하여 저속 회전시에는 모든 권선에 전류가 흐르고 고속 회전시에는 일부 권선에 전류가 흐르게 하는 구조로, 권선전환을 위해 IGBT를 활용한 전자 스위치를 이용하여 순간적으로 권선전환이 가능한 구조를 적용하고 있으며 최대 회전수를 기존 전동기 대비 4배까지 높일 수 있는 구동 전동기를 개발한 바 있다. 야스카와 전기에서 개발된 전동기는 내전형 전동기 구조를 채택하고 있지만, 기본적인 제어 방식에 있어서의 원리는 히타치 어플라이언스와 동일하며, 접촉형 스위치 대신에 전력반도체소자로 권선을 조절할 수 있도록 되어 있다. 이러한 전동기의 권선 구조를 조절하기 위한 별도의 전력 변환장치가 설계에 반영되었으며, 토크 및 속도 제어의 구현에 있어서는 히타치 어플라이언스와 유사한 제어기법을 적용하고 있다.

파나소닉은 그림 3과 같이 듀얼 로터 방식으로 기존의 내전형 로터 방식 대비 출력 밀도와 최대 회전수를 1.5배 향상시켰으며, 원형 권선방식으로 동손을 저감시키고 고정자의 내외부 형상 설계에 의해 코깅 토크 20% 저감 및 3.3dB 소음 저감을 실현한 구동 전동기 적용 드럼 세탁기를 출시한 바 있다. 파나소닉에서 구현된 듀얼 로터 방식의 전동기의 제작비용이 기존에 비하여 비교적 높다는 점을 제외하고는 동일한 전력변환 장치와 토크 제어방식으로 제어가 가능하다는 장점이 있다. 특히, 외전형 회전자와 내전형 회전자의 코깅을 상쇄하는 설계 기법을 적용하여 저속에서의 낮은 토크 리플로 인한 제어 성능의 개선에서 매우 효과적이다.

또한 최근에는 일본 나가사키 대학에서 희토류 자석의 가격 상승이 지속되고 있어 그림 4와 같이, 자기저항의 변화로 발생하는 릴럭턴스 토크를 활용한 전동기 구조로, 고출력화 및 저소음화가 가능한 듀얼 로터 방식의 하이브리드형 스위치드 릴럭턴스 전동기 개발이 진행 중이다. 이러한 연구 경향은 전동기에 있어 영구자석의 사용을 최소화하고, 특정 국가에 의한 원재료 귀속성을 탈피하기 위한 대안으로 관심이 집중되고 있다.

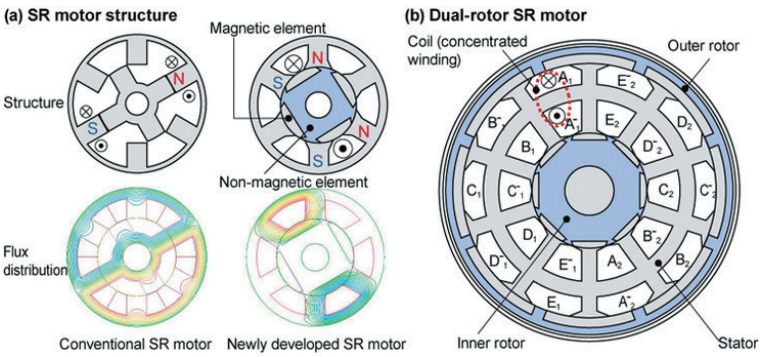

그림 4 나가사키 대학의 듀얼로터 방식 스위치드 릴럭턴스 전동기 구조
(http://www.ddqcw.com/bbs/thread-38770-1-1.html)

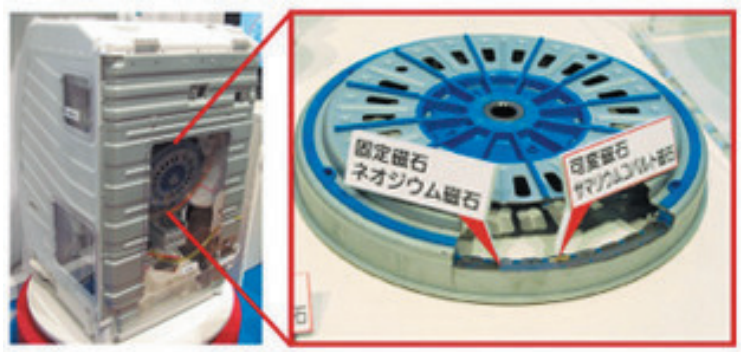

그림 5 도시바 홈어플라이언스의 가변자속형 전동기 구조
(http://www.ddqcw.com/bbs/thread-38770-1-1.html)

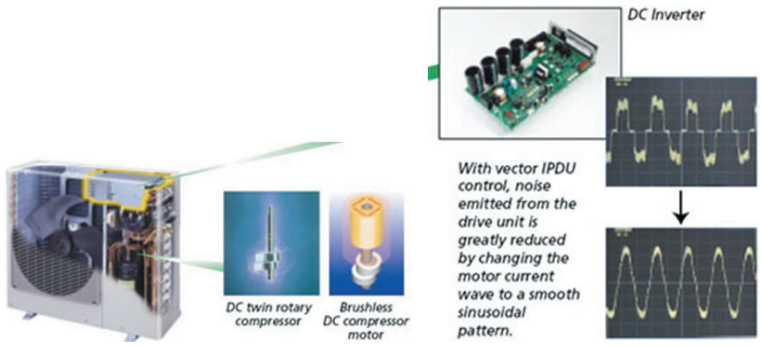

그림 6 도시바의 IPM타입 BL-AC 전동기 및 인버터 적용 사례
(출처 : http://www.apcoaircon.com/dititalinverter.html)

하이브리드형 스위치드 릴럭턴스 전동기는 기존의 스위치드 릴럭턴스 전동기에 비하여 효율이 높고, 센서리스 구동이 간편하며, 저가의 페라이트 자석을 사용할 수 있다는 장점으로 차세대 가전 또는 트랙션용 전동기의 대안으로 고려되고 있다. 이러한 전동기 구조는 선진국에서도 아직 개념 설계 및 상용화의 초기 단계에 있기 때문에 제어 방식에 있어서도 다양한 기법의 연구가 진행 중이며, 비교적 특허 등에서 자유로운 특징이 있다. 또한 회전자와 고정자의 자기회로 구조 설계에 따라 다양한 특성의 전동기 설계가 가능하고, 센서리스 방식에 대한 특허 진입이 가능할 것으로 예상된다.

도시바 홈어플라이언스는 48개의 자석을 배치한 회전자 구성 자석 중 6개의 사마륨 코발트 자석을 감자하거나 착자하는 방식으로 저속 회전시에는 고토크가 발생되도록 착자하고, 고속 회전시에는 감자하여 해당자석에 의한 역기전력 발생을 억제함으로써 회전수를 높이는 신 자기회로 구조의 가변자속형 전동기를 적용한 양산 제품을 출시하였다. 가변자속형 전동기 적용을 통해 2010년 드럼 세탁기 모델의 에너지 소비를 기존 제품 대비 16% 절감시킨 바 있다.

에어컨의 에너지 저감은 인버터화와 BL-AC 전동기의 적용으로 대폭 개선되고 있다. 그림 6과 그림 7과 같이, 도시바 및 다이킨 등은 에어컨 컴프레서에 IPM 타입의 BL-AC 전동기를 적용하고 정현파 제어를 통하여 에너지 효율을 극대화 하고 있다.

상기와 같이 새로운 개념의 전동기를 개발하고자 하는 시도가 활발히 진행됨에 따라 전동기를 구성하고 있는 소재 역시 차세대 전동기에 적합하도록 개발되어야 하는 기술적 요구가 증대되고 있다. 특히, 전동기를 구성하는 자성소재인 영구자석 및 연자성 코어는 전동기 성능 및 효율향상에 중요한 역할을 하는데, 향후 영구자석의 경우는 고성능 희토류자석이 주류를 이룰 것으로 예상되고, 연자성 코어의 경우에는 고포화자화/고효율이 얻어지는 비정질 합금 혹은 초미세결정립합금 등의 적용이 확대될 것으로 판단된다. 최근 이들 자성소재 분야 세계기술을 주

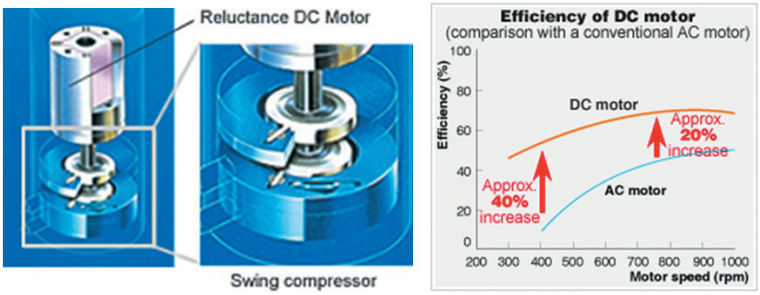

그림 7 다이킨의 IPM타입 BL-AC 전동기 및 인버터 적용 효율향상 사례
(출처 : http://www.atec.ro/echipamente/daikin-mono-split/aer-conditionat-daikin-fvxs35frxs35k_31500.html)

도하고 있는 일본의 개발동향을 살펴보면 정부주도에 의해 산·학·연이 참여하는 희토류저감형 고특성 영구자석 개발 및 하이브리드 분말타입 연자성소재(SMC 연자성 분말소재) 개발에 대한 연구를 집중적으로 진행하고 있고, 중국의 경우에는 풍부한 희토류자원과 저렴한 인건비를 경쟁력으로 하여 주로 중·저가용 자성소재를 생산하고 있으며, 아직 이 분야에 대한 구체적인 기술개발 검토는 진행되지 않은 실정이다.

– 국내 동향 및 전망

국내의 LG전자, 삼성전자, 대우일렉트로닉스 등 가전 3사에서는 그림 8과 같이, 페라이트 자석을 적용한 Single Rotor 방식의 영구자석 표면부착형 BL-AC 전동기를 드럼 세탁기용 구동 전동기로 양산 적용 중에 있다. 구동 전동기의 가격 경쟁력 확보를 위한 기술개발이 집중적으로 추진되어 왔으며, 용량증대 및 고효율화를 위해 네오디뮴을 적용한 구동 전동기 개발이 진행되었으나 부품 가격 상승으로 인해 양산 적용 사례는 미비한 실정이다. 또한 구동 전동기의 에너지 절감 기술 보다는 제어기술, 에코버블, 공기방울 등 세탁효과 향상을 통한 에너지 절감 기술이 현재 주로 적용되고는 있으나, 차세대 고효율 구동 전동기에 대한 대안기술 확보를 위해 지속적인 기술개발이 진행 중이다.

국내 가전제품에 적용되고 있는 전동기는 기존의 다극 외전형 BL-AC 전동기의 형태에서 가격 경쟁력을 높이기 위한 생산기술 방향으로 진행되고 있기 때문에 제어기의 형태는 기존의 제어방식을 적용하고 있다. 저속 운전영역에서는 토크 전류만을 제어하는 최대 토크 제어방식이 적용되고 있으며, 고속 운전영역에서는 약자속 제어를 함으로써 운전 효율이 저하되는 단점을 가지고 있다.

이러한 단점을 극복하기 위해 국내 대학 및 가전사에서는 부하 응용에서의 효율을 개선하기 위한 연구가 일부 진행되고 있다. 전동기의 운전구간에서의 낮은 효율 개선보다는 전체의 운전시간을 감소하기 위하여 세탁기의 경우에는 세탁물의 체적을 예측하여 최적의 운전시간을 결정하거나, 또는 거품 등의 세탁효과를 개선하여 세탁시간을 감소하기 위한 방법의 연구가 진행되고 있다. 이러한 방식의 효율개선 효과는 전동기 자체의 효율 문제로 인하여

그림 8 국내 가전사의 세탁기 구동 전동기 양산 모델
(출처 : http://www.tae-hwa.com/sub/SubPage.asp?MI=090905014
http://www.amotech.co.kr/Chi/KST/ProductView.asp?n=77)

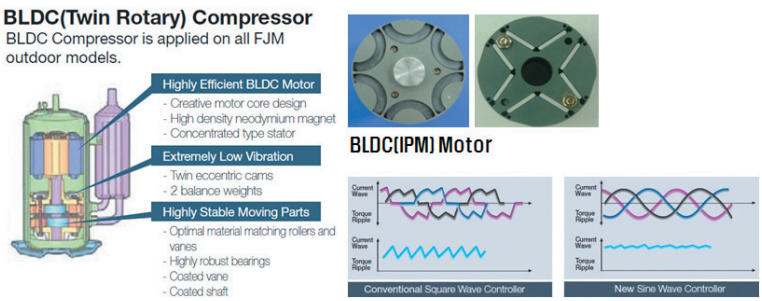

그림 9 IPM 타입 BL-AC 전동기 및 인버터 적용 에어컨 컴프레서
(출처 : http://www.climastudio.sk/produkty/segment-fjm/)

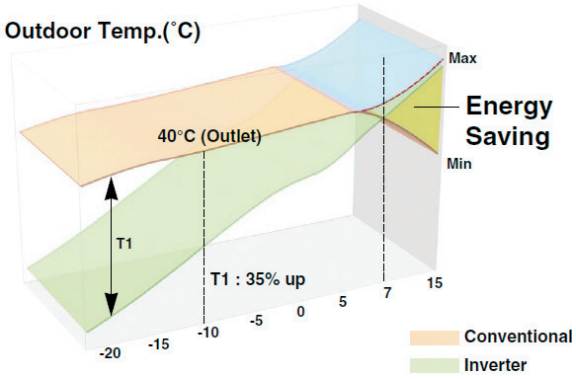

그림 10 인버터 적용 에어컨의 에너지 절감 효과

시스템 효율향상 측면에서 한계를 가지고 있다.

국내 전동 컴프레서 기술은 유도전동기를 내장한 정속형과 그림 9와 같이 프리미엄급 모델을 대상으로 BL-AC 전동기를 채택한 가변속형 컴프레서로 나뉘어져 있는데 에너지 효율이 중요시되면서 BL-AC 전동기를 내장한 가변속형 컴프레서의 적용이 증가하고 있는 추세이다. 따라서 국내의 삼성전자, LG전자, 대우일렉트로닉스 등은 고가의 BL-AC 전동기의 고효율화 및 저가격화를 위한 지속적인 연구개발이 진행 중에 있다. 그림 10은 인버터를 사용한 에어컨의 에너지 절감효과를 가시적으로 보여준다.

국내 일부 대학에서 차세대 고효율 구동원으로 가변자속형 전동기의 설계 및 해석 관련 기초연구가 진행 중에 있으며, 최근 국내 가전사에서 가변자속형 구동 전동기의 가전시스템 적용을 위한 선행 기술 검토가 진행 중에 있다. 국내에서 가변자속형 구동 전동기의 선행 기술은 아직 기초 개념 정립 및 설계 단계에 머물러 있어, 이를 활용한 제어 기법의 연구는 미비한 실정이다.

한편, 자성소재에 대한 국내 연구 및 생산동향을 살펴보면, 그 동안 자화전자, 창성, 성림첨단 등 관련기업에서 자체적으로 자성소재 설계 및 제조기술 확보를 위한 개발을 추진함으로서 희토류자석 및 연자성 분말코어 제조에 대한 기초기술은 확보하고 있다고 판단된다. 반면에, 차세대 구동 전동기의 수요 트랜드에 대응할 신개념의 자성소재개발에 대한 연구는 일부 연구소 및 대학 등의 연구를 통해 연구개념 정립 및 선행연구 단계의 연구개발이 진행되고 있는 수준이다.

참고문헌

[1] "小型モータ世界市場に関する調査結果 2014", Yano Research Institute Ltd, 2014. 6. 9

[2] "Industrial Motors Market: Key Research Findings 2014", Yano Research Institute Ltd, 2014. 6. 20

[3] "BLDC 모터의 시장 기술 보고서", 중소기업청 중소기업진흥공단, 2009. 9

[4] "BLDC 모터 시장동향", 전자부품연구원 전자정보센터, 2010. 6

[5] "소형모터 시장동향". 한국전자정보통신산업진흥회, 2008. 6

[6] "산업경쟁력 조사보고서 최종 보고서", 무역위원회 무역구제 종합DB, 2013.10

[7] "전동기산업 경쟁력조사", 무역위원회 산업연구원, 2013. 10

[8] "소형경량의 초강력 영구자석 릴럭턴스 모터", 조만, Machinert Industry, 2012. 3

[9] "국내/외 최근 가전시장 동향", 전자부품연구원 전자정보센터, 2005. 12

[10] "드럼세탁기 시장동향", 전자부품연구원 전자정보센터, 2010. 10.