

가전제품 최신 동향

냉장고 에어컨 세탁기, TV 등으로 대변되는 가전제품은 일상생활을 편하게 만들어주는 장점을 가지고 있는 반면 가정에서 가장 많은 전기를 소모하는 기기들로 구성되어 있어 전력 소비의 주범이기도 하다. 최근 몇 년간 가전제품 보급 현황 및 환경 변화에 대해 살펴보고 변화에 따라 연구되고 있는 기술들에 대해 소개하고자 한다.

1. 서론

최근 들어 출산율의 저하와 1인 가정의 증가 등 사회 전반에 걸쳐 다양한 변화가 일어나고 있으며 이로 인해 가전제품의 용량이나 보급 면에서도 변화가 일어나고 있다.

본 기고에서는 가전제품의 보급률 및 소비전력, 규제 동향 그리고 재료비 네 가지의 관점에서 동향을 살펴본 다음 이러한 추세에 대응하기 위한 기술개발의 동향을 살펴봄으로써 인해 앞으로 가전제품의 전력 전자의 기술 방향에 대해 대비할 수 있는 기반이 되었으면 한다.

였으나 1인 가구의 증가로 인해 2013년부터 평균 보급률이 감소하는 추세를 보이고 있다. 세탁기와 냉장고의 경우는 가구당 보급률이 포화 상태를 보이고 있으며 김치 냉장고의 경우 2000년부터 2013년까지 연 평균 5.77%의 보급 증가율을 보이고 있고 에어컨의 경우에는 2000년부터 2013년 까지 연 평균 3.77%의 보급 증가율을 나타내었다.

결론적으로 국가 전체에서 보았을 때 김치 냉장고 및 에어컨의 보급률이 상대적으로 높아짐에 따라 보급에 따른 전력 소비가 늘어나는 결과를 가져오게 된다.

2. 가전제품의 연도별 보급률 및 소비전력, 재료비 동향

2.1 가전제품의 연도별 보급률

국내에서 사용하는 대표적인 가전제품으로는 TV, 냉장고, 세탁기, 에어컨이 있다. 이 제품의 연도 별 보급률은 그림 1에 나타내었다. 이 자료는 전력거래소에서 발간한 “가전기기 보급률 및 가정용전력 소비행태 조사^[1]”를 사용하였으며 2013년 이후에는 발간되지 않았기 때문에 2018~2019년의 보급률 중 에어컨에 대한 부분은 [2]의 자료를 나머지 가전제품의 경우는 연도별 평균 보급률 변동에 따른 선형 보간법에 따른 추산치를 사용하였다. TV의 경우 100%가 넘는 보급률을 보

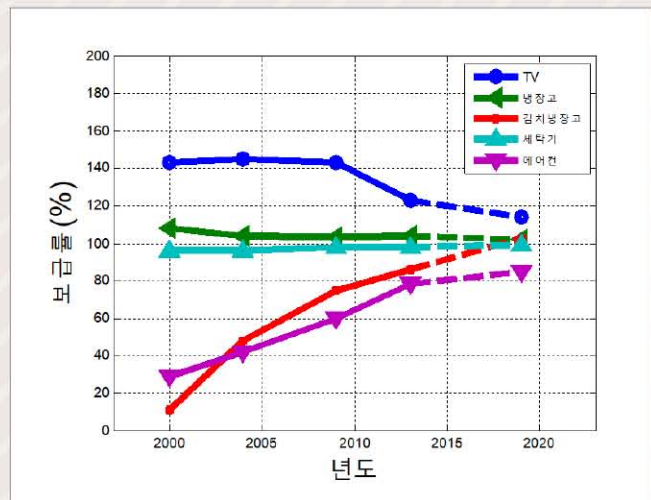


그림 1 연도별 가전제품 보급률

2.2 가전제품의 중대형화로 인한 소비 전력의 증가

한 가정에서 사용되는 제품의 중대형화도 지속적으로 진행되고 있다. 2000년 및 2011년에서 가장 보편적으로 사용되는 크기 및 소비 전력은 “가전기기 보급률 및 가정용전력 소비행태 조사⁸⁾”의 데이터를 사용하였으며 2019년의 경우 종합쇼핑몰 기준 인기 모델/판매점이 많은 모델을 기준으로 삼았다⁹⁾.

TV의 경우 브라운관에서 LCD로 바뀌면서 화면 크기가 계속해서 증가하고 있다. 25~29형과 40형의 소비 전력이 비슷한 이유는 브라운관에서 LCD로 바뀌면서 화면 크기가 늘어났지만 LCD자체의 저 전력 특성으로 인해 소비 전력이 비슷하게 나타난 것이고 LCD의 크기가 늘어남에 따라 소비 전력의 증가가 지속적으로 이루어지고 있다.

냉장고와 김치 냉장고의 경우 평균 크기는 지속적으로 늘어나고 있는 상황이지만 소비전력은 거의 비슷한 수준으로 유지되고 있다. 이는 인버터 제품의 보급이 확산되고 에너지 규제에 대응하는 단열재 등 소재 기술이 같이 발달되어 적용되기 때문이다.

세탁기의 경우는 용량은 지속적으로 늘어나면서 소비 전력 또한 비례하여 늘어나는 추세인데 최근 대용량 세탁기가 보급됨으로 인해 소비 전력의 증가도 급격히 늘어난 결과를 보여주고 있다. 추가로 건조 기능이 포함되면 소비 전력은 더 늘어나게 된다.

에어컨의 경우 벽걸이 위주의 소형 제품에서 스탠드형의 중대형 제품의 보급이 늘어나면서 소비 전력 또한 비례하여 늘어나고 있는 추세이다.

그림 1과 표 1의 내용을 종합하여 보면 국가 전체의 관점에서 보았을 경우 한 가정에 사용되는 소비 전력은 보급률×보편적 소비전력의 형태로 나타나게 된다. 이를 표 2에 표시하였다.

표 2에 의하면 TV와 냉장고의 경우는 한 가정당 소비 전력의 변화가 그리 크지 않지만 김치 냉장고, 세탁기, 에어컨의 경우는 보급률도 늘어나고 1대당 소비 전력도 같이 늘어났

표 2 한 가정당 가전제품 소비전력

항목	2000년	2011년	2019년
TV	191.5W	181.3W	201.1W
냉장고	42.7W	39.8W	41.4W
김치냉장고	2.29W	14.6W	16.9W
세탁기	149.4W	241.4W	415.5W
에어컨	262.8W	1049.8W	1725.5W

기 때문에 2000년 대비 2019년을 비교하면 김치 냉장고의 경우는 739%, 세탁기의 경우는 278%, 에어컨의 경우는 656%의 소비전력 증가 추세를 보이게 된다. 제품의 대형화 추세 및 보급률의 증가에 따라 제품 개발의 입장에서는 소비 전력의 지속적인 증가에 따른 대비가 필요한 상황이다.

2.3 에너지 규제의 강화

세계 각국의 에너지 규제가 강화되면서 에너지 라벨링에 대한 기준 또한 강화되고 있다. 유럽의 경우 기존에 A+++와 A++, A+ 등으로 사용되던 상위 에너지 라벨링 기준이 2019년 1월을 기준으로 A~G 등급으로 단순화 되었다¹⁰⁾. 유럽의 경우 ErP(Energy-related Products Directive) 지침에 따라 설계 요구 사항에 만족하지 못하는 제품의 경우 시장 진입이 금지되는 경우도 있어 제품별로 대응이 필요하다¹¹⁾.

국내의 경우도 2018년 10월 효율 등급 기준이 강화되었다. 등급의 정규분포를 바탕으로 1등급이 10% 2등급이 20% 3등급이 40% 4등급이 20% 5등급이 10%가 되도록 효율 기준을 강화하였다¹²⁾. 이로 인해 그림 2와 같이 전기 냉난방기의 경우 2등급 효율 기준이 4.30에서 4.52로 5%가 증가하였고 최저 효율 기준의 경우 기준이 2.20에서 3.10으로 41%가 증가하였다¹³⁾.

표 1 가전제품의 보편적 크기 및 1대당 소비전력

항목	2000년 평균 크기/소비전력	2011년 평균 크기/소비전력	2019년 평균 크기/소비전력
TV	25~29형 / 133.9W	40형 / 136.3W	75형 / 176.8W
냉장고	400~499l / 42.3W	600~699l / 38.5W	821l / 40.5W
김치냉장고	99l이하 / 20.8W	210l / 18.1W	327l / 16.5W
세탁기	6.6kg~7.5kg / 155.6W	9.6~10.5kg / 246.3W	14Kg / 420W
에어컨	5~10형 / 906.1W	11~15형 / 1521.5W	24형 / 2030W

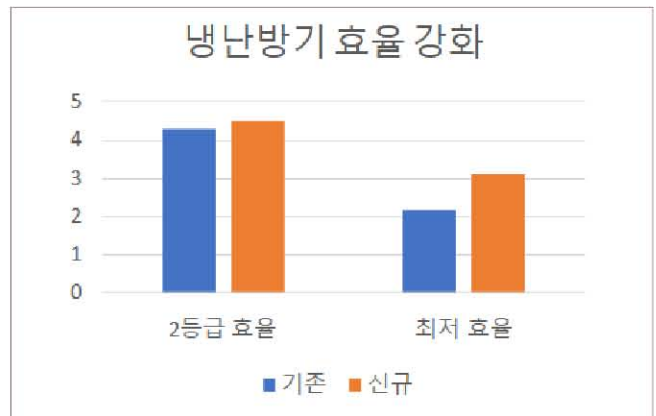


그림 2 냉난방기 효율 기준 수치 강화(2018년)

이러한 규제 강화에 대응하기 위해 지속적인 에너지 효율의 개선이 요구되고 있으며 냉장고의 경우 1L당 소비되는 연간 소비전력량의 개선 정도는 13년 동안 60% 정도가 개선되었고 에어컨의 경우는 냉방 효율이 13년간 21%의 개선이 있었으며 세탁기의 경우 1k당 소비전력량이 5년간 21%가 개선되었다⁹⁾.

에너지 규제에 지속적으로 대응하기 위해서는 제품마다 편차가 있기는 하지만 연간 1.5%~2%정도의 에너지 개선이 필요한 상태이다.

2.4 전력 반도체 및 금속 가격 추세

가전제품의 전력전자를 구성하는 주요 부품은 IGBT(Insulated gate bipolar transistor) 또는 MOSFET(MOS field-effect transistor)으로 구성되는 전력 반도체 모듈(IPM-Intelligent Power Module) 그리고 제어를 위한 MCU(Micro Controller Unit) 그리고 모터 등으로 이루어져 있다. 이 중 전력 반도체 모듈과 MCU의 경우 가전회사에 납품되는 가격은 외부에 공개되어 있지는 않지만 해마다 가격이 낮아지고 있는 추세이다. 전력 반도체의 경우 기존 IGBT나 MOSFET이외에 GaN 및 SiC와 같은 Wide Band Gap 전력반도체의 도입이 검토되고 있으며 MCU의 경우 고정 소수점 연산에서 부동소수점 연산이 지원되는 등의 다기능 고성능 제품이 소개되고 있는 추세이다. 이와 더불어 모터를 구성하는 재료 중에 가장 중요한 것이 권선을 구성하고 있는 구리 및 알루미늄이다. 그림 3은 런던 금속 거래소에 거래된 구리와 알루미늄의 1톤당 가격이다¹⁰⁾.

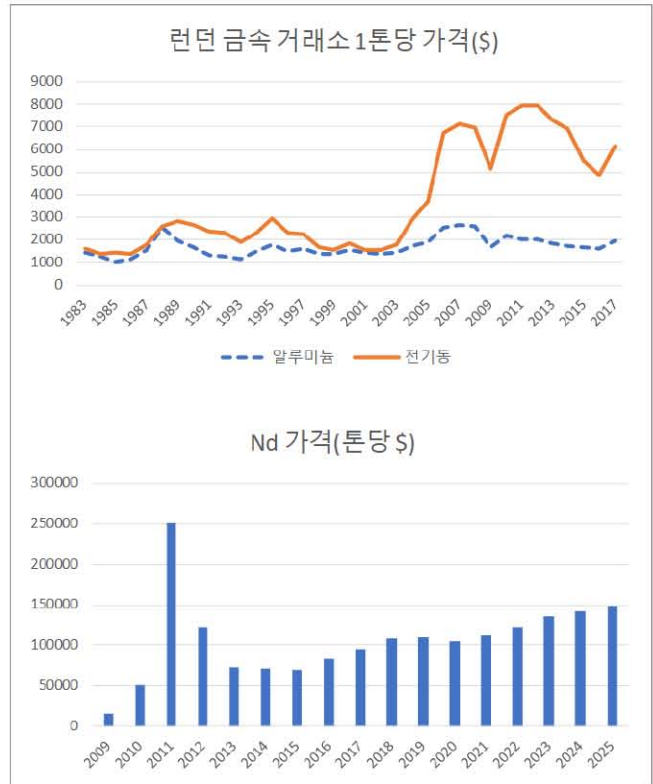


그림 3 구리와 알루미늄, 네오디뮴의 가격 추이

2006년을 기점으로 구리의 가격이 급격히 상승하여 알루미늄과 비교했을 때 6~7배 이상의 가격차가 형성되었다. 이로 인해 기존에 모터의 권선 재료도 구리에서 알루미늄으로 바꾸어 설계되는 추세를 보이고 있지만 알루미늄의 경우 전도

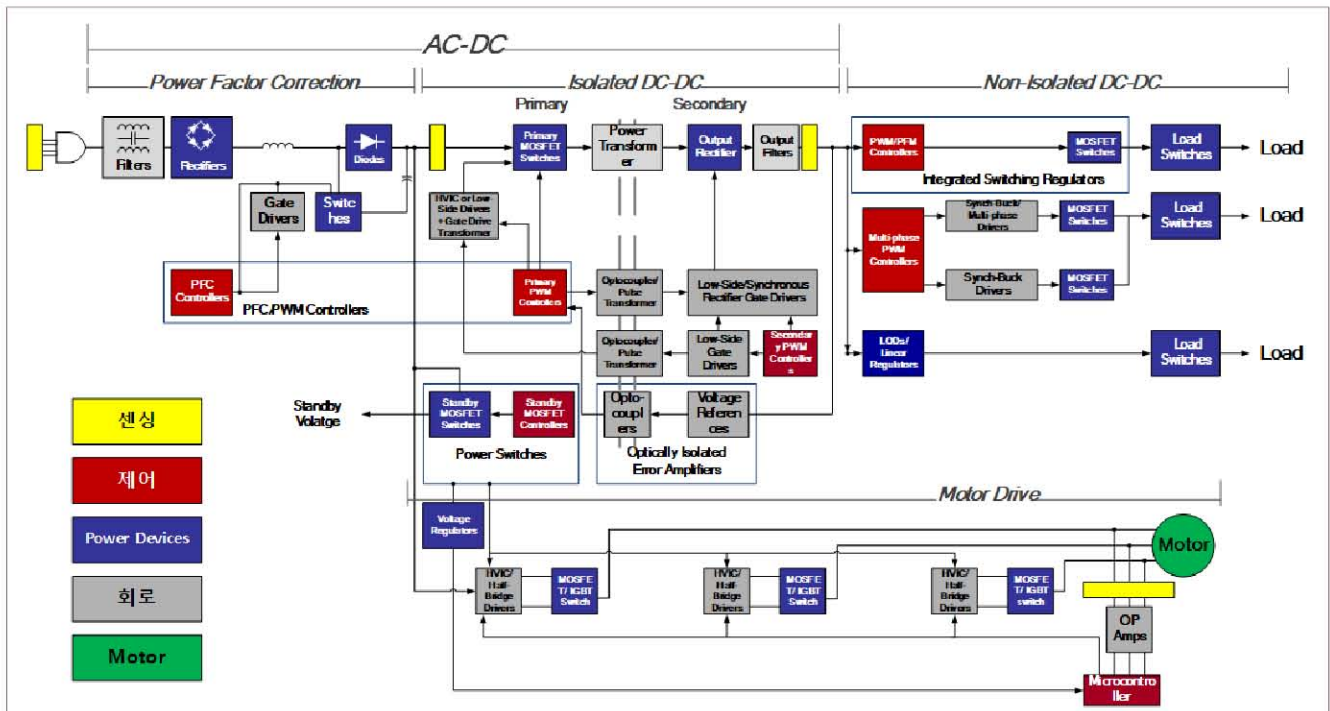


그림 4 가전제품의 전력 전자 블록도

도가 3.77×10^5 (S/cm)로 구리의 5.98×10^5 (S/m)보다 낮아 모터 설계를 할 때 동손의 원인으로 작용하며 전체 효율도 낮아지게 된다.

알루미늄과 구리가 적용된 모터 모델이 혼용되어 사용될 경우 모터 모델에 따라 모터 제어 프로그램을 다르게 사용해야 되는 문제점이 있어 이를 극복하는 파라미터 자동 추종 기술의 도입도 필요하다.

또한 모터를 구성하는 네오디뮴의 가격역시 중요한 요소이다. 2011년 급격한 가격 상승이 있었으며 2019년 이후의 예상 가격도 상승추세에 있어 이를 대비하는 기술이 필요하다.

3. 가전제품 전력전자 기술 개발 방향

앞에서 살펴본 바와 같이 가전제품의 보급률 및 크기/용량의 증가에 따른 소비 전력의 증가, 에너지 규제 강화, 금속 가격 최신 동향을 통해 가전제품의 전력 전자 기술은 두 가지 방향의 기술 개발이 필요하다.

- 1) 효율 증대 기술 : 소비 전력 증가, 규제 강화 대응
- 2) 재료비 절감 기술 : 제품 경쟁력 강화 대응

이 두 가지 관점에서 각 관점별 전력 전자의 최신 기술 동향을 보도록 하겠다.

3.1 효율 증대 관련 전력전자 동향

그림 4는 TV, 냉장고, 세탁기, 에어컨 등 가전제품을 구성하는 전력전자 블록도이다. 단계별로는 PFC(Power Factor Correction), AC-DC, DC-DC, 인버터, 모터 등으로 구성되어 있으며 기능적인 구분으로는 센싱, 제어, 전력반도체, 회로, 모터로 구성되어 있다.

TV를 제외한 냉장고, 세탁기, 에어컨의 경우 전력 반도체와 모터에서 손실의 대부분이 발생한다. 따라서 이를 줄일 수 있는 기술 동향에 대해 소개한다.

3.1.1 Wide Band Gap 전력 반도체 동향

SiC(Silicon Carbide)와 GaN(Gallium Nitride)으로 대변되는 Wide Band Gap을 사용할 경우 스위칭 손실이 적어진다 는 장점을 가지게 된다. 예를 들어 Rohm(社)의 1200V, 300A 의 Full SiC 파워 모듈 BSM300D12P2E001과, 동일한 성능을 가지는 IGBT의 비교할 경우 PWM 인버터 구동 시 손실 시뮬레이션 결과는 그림 5와 같이 PWM 주파수 5KHz에서는 약 22% 그리고 30KHz에서는 약 60%의 손실 저감을 이룰 수 있다¹¹⁾.

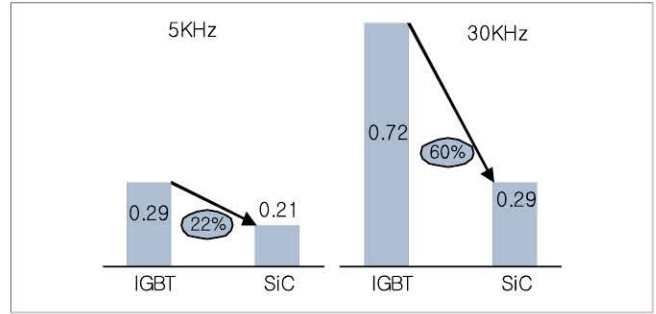


그림 5 SiC 손실 저감률

하지만 가전제품에서는 SiC와 GaN이 사용되지 못하고 있다. 2010년에 마쯔시다에서 SiC-SBD를 이용한 에어컨 실외기가 일부 출시되었으나 그 뒤로는 찾아보기 어려운 이유는 바로 가격이 기존 IGBT나 MOSFET에 비해 비싸기 때문이다. 또한 GaN의 경우 안정된 동작을 위해 게이트 드라이브에 마이너스 전원을 넣어야 되는 경우도 있어 전원부의 부담이 늘어나는 경우도 있다.

하지만 Wide Band Gap 전력 반도체의 가격이 계속 떨어지고 있어 기존 전력 반도체와 가격 차이가 20~30% 이내의 범위까지 오면 도입이 가속화 될 것으로 예상된다. 참고로 에너지 규제 강화에 따라 도입 시기가 좀 더 앞당겨질 수 있기 때문에 이에 대한 대비가 필요하다.

현재에도 전기자동차의 경우 무게와 효율을 둘 다 올릴 수 있기 때문에 Wide Band Gap 전력반도체의 도입이 우선적으로 검토되고 있다. 또한 스위칭 손실이 상대적으로 적기 때문에 고주파를 사용할 수 있어 인덕터 및 커패시터의 용량을 획기적으로 줄일 수 있어 어댑터 등에 사용이 점차 늘어나고 있는 추세이다. 그림 6은 GaN을 사용한 어댑터의 크기를 상대적으로 비교한 것이며 크기는 약 30% 무게는 약 40% 체적은 약 19% 정도 감소한 수치를 가지고 있다¹²⁾.

3.1.2 모터 손실 저감 기술 동향

모터 손실 저감과 관련된 가전기기는 주로 세탁기이다. 세탁기의 경우 세탁과 탈수의 회전 속도 차가 크기 때문에 낮은 회전수와 높은 회전수에서 고르게 효율을 가지는 모터의 설계

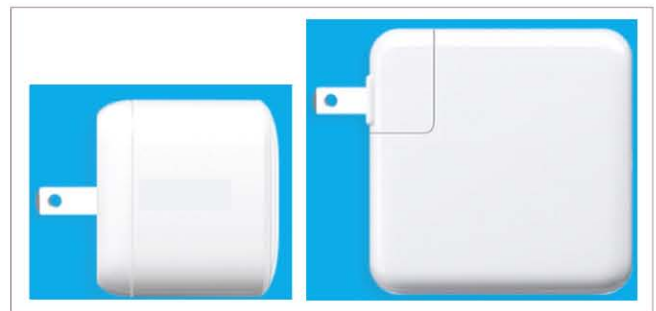


그림 6 GaN을 사용한 어댑터 크기 비교

가 필수적이다. 이러한 특성은 전기자동차와도 공통적으로 사용되기 때문에 이 분야에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

기본적으로 정출력 영역 및 약자속 영역에 대응하기 위해 모터의 자속을 가변시켜 고속까지 대응하는 기술이 대부분이며 사마륨-코발트(Sm-Co)성분으로 이루어진 가변자력 영구자석을 삽입하여 축 방향 자화코일로 자속을 가변시키는 방법이 제안되었고 고정자의 권선을 저회전시에는 모든 권선에, 고회전시에는 일부 권선에 전류를 흐르게 하는 권선교체 방식이 제안되어 일부 제품에 사용되고 있다¹³⁾.

이외에도 axial gap을 가변 하여 효율을 올리는 방식도 제안되고 있다.

3.2 재료비 저감 관련 전력전자 동향

3.2.1 콘덴서 용량 저감 기술

그림 4의 가전제품 전력전자 블록도에서 모터를 제외한 회로부에서 가장 큰 재료비 비중을 차지하는 것은 IPM 및 DC 링크부에 존재하는 콘덴서이다. 콘덴서의 용량을 줄일 경우 그림 7과 같이 DC 링크 전압의 리플 성분이 증가하여 제어에 안 좋은 영향을 미칠 뿐만 아니라 모터의 최대 속도 및 최대 출력이 감소하는 영향을 가져오게 된다. 이러한 단점을 보완하고자 제어적인 방법 및 회로적인 방법을 이용해 보완하는 기술이 도입되고 있다. 자세한 내용은 본 학회지 특집원고의 다른 편에서 자세히 다룰 예정이다.

3.2.2 센서리스 제어 기술

인버터를 제어하는 MCU의 성능이 향상되고 모터의 위치센서가 상대적으로 고가이기 때문에 위치센서를 제거하고 모터의 상전류를 측정하여 제어하는 센서리스 기술의 적용은 이미 많은 부분에 적용되어 있다.

더불어 상전류 측정을 할 때 전류 센서를 쓰는 방식 및 셉트 저항을 이용해서 측정하는 방법 중 재료비를 더욱 더 줄이기 위해 셉트 저항을 이용하는 방법을 많이 사용 중이며 셉트 저항을 줄여서 제어하는 방식도 도입되고 있는 추세이다.

3.2.3 2모터 동시구동 기술

최근 들어 에어컨의 경우 1개의 실외기에 2개 이상의 실내기가 사용되는 멀티 시스템의 보급이 늘어나고 있다. 또한 시스템 에어컨과 같이 대용량의 압축기에는 2개 이상의 압축기

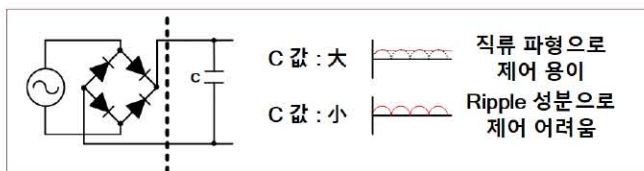


그림 7 콘덴서 용량 저감시 DC 링크 전압의 문제점

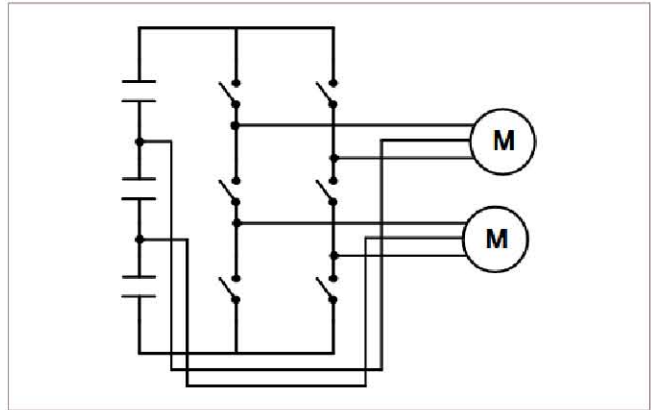


그림 8 1개의 인버터로 2모터를 구동하는 Topology

가 동시에 구동되는 경우가 많아 2개의 모터를 동시에 구동하는 기술의 개발이 필요하다. 전류 다이오드의 경우나 DC 링크 콘덴서를 공유하는 기술은 보편적으로 도입되고 있는 추세이고 1개의 인버터를 가지고 2개의 모터를 구동하는 기술들이 연구되고 있다. 그림 8은 DC 링크 전압을 분배하여 2개의 모터를 구동하는 방식의 예이다¹⁴⁾. 이러한 방식들은 DC 링크의 최대 전압을 사용할 수 없거나 최대 출력이 떨어지는 단점들을 지니고 있고 대용량 IPM의 가격이 고가이기 때문에 실제 사용되는 경우는 그리 많지 않지만 대용량 IPM의 가격이 떨어지고 용량이 증가하는 추세에 맞추어 도입될 가능성이 있고 전기자동차에 In Wheel 제어가 도입되면 관련 기술의 개발 및 도입이 더욱 더 활발해질 것으로 예측된다.

3.2.4 영구자석 저감 기술

모터를 구성하는 IPMSM(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor)의 영구 자석 재료로 가장 많이 사용되는 네오디뮴의 경우 2011년에 가격이 급격히 증가하였으며 향후 가격이 오를 것으로 예상되어 이를 대처할 수 있는 기술 개발이 진행되고 있다. 네오디뮴을 사용하지 않는 릴럭턴스 전동기의 경우 IPMSM에 비해 성능이 떨어지기 때문에 IPMSM의 영구자석의 양을 줄이는 기술 개발 위주로 도입되고 있으며 그림 9와 같이 보조 배리어를 사용해 자속을 최적

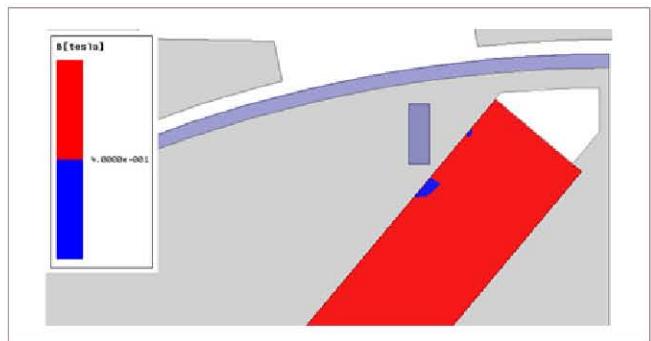


그림 9 보조 배리어로 IPMSM의 자석 양을 줄이는 설계기법의 예

화 시켜 영구자석 감자를 줄임으로써 자석 양을 줄이는 기법 등이 단기적으로 도입되고 있는 추세이다.

술들도 있지만 큰 흐름에서 전력 전자 분야의 기술 개발 방향에 대한 방향성을 살펴볼 수 있는 기회라 생각된다. 앞으로의 기술 개발을 위해 가전 업체 및 대학교, 정부, 연구소 등에서도 서로 협력하여 경쟁력 있는 미래 가전을 만들 수 있는 밑바탕이 되었으면 한다. ■■

4. 결론

본 논문에서는 가전제품의 보급률 및 소비전력, 규제 동향 그리고 재료비의 최신 동향을 살펴보았고 이를 바탕으로 효율을 증대시키기는 전력전자 기술 및 재료비를 절감할 수 있는 전력 전자 기술에 대해 살펴보았다. 지면상 소개하지 못한 기

본 논문은 연구재단의 “다수 모터제어 인버터의 리플전류 저감 제어시스템 (과제번호: 2018R1C1B5029866)” 과제로 수행되었음.

참고/문헌

- [1] 전력거래소, 2013년 가전기기 보급률 및 가정용 전력 소비행태 조사, pp. 15, 2013.
- [2] 유진투자증권, 2018년 뉴라이프 가전의 시대, pp. 28. 2018, https://www.eugenefn.com/common/files/amil/20171127_B4520_kyoungkt_72.pdf.
- [3] 전력거래소, 2013년 가전기기 보급률 및 가정용 전력 소비행태 조사, pp. 54-57, pp. 84-86, 2013.
- [4] 다나와 인터넷 사이트, http://prod.danawa.com/list/?cate=1022811&15main_10_02, http://prod.danawa.com/list/?cate=102110&logger_kw=ca_list_more, <http://prod.danawa.com/list/?cate=10334602>, <http://prod.danawa.com/info/?pcode=8831486&cate=102206>, http://prod.danawa.com/list/?cate=1022644&logger_kw=ca_list_more.
- [5] 배순영, EU 가전제품 에너지 라벨링 제도 강화 동향 및 시사점, pp. 3-4, 2018.
- [6] 강은철, “가스보일러 핵심부품 개발된다,” 냉난방공조 신재생 녹색건축 전문저널 kharn, 2016, <http://www.kharn.kr/news>.
- [7] 유강열, 에어컨 등 에너지 효율등급 기준 강화 추진, 에너지 수요관리과, 2017, http://www.motie.go.kr/motiee/presse/press2/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=159445&bbs_cd_n=81.
- [8] 뉴스핌, “에너지효율 1등급 에어컨 없다”...전기로는 그대로, 2019, <http://www.newspim.com/news/view/20190513000976>.
- [9] 전민희, 수요관리, 제2의 생산, 에너지 경제, 2011년, <http://www.ekn.kr/news/article.html?no=68408>.
- [10] 조달청, 주요비철금속가격동향, 2019, http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1378, <https://www.statista.com/statistics/450152/global-reo-neodymium-oxide-price-forecast/>.
- [11] Tech Web, SiC 파워디바이스, 2019, <https://micro.rohm.com/kr/techweb/knowledge/sic/s-sic/05-s-sic/7138>.
- [12] 오민준, USB 충전기 앞으로 GaN(질화갈륨)이 대세, The Gear, 2019, <http://www.thegear.kr/news/articleView.html?idxno=20050>.
- [13] 교육과학기술부, “전기자동차의 주요 요소기술 개발동향, 배터리 전기자동차의 기술동향 II,” <http://smtfocus.co.kr/article/print.asp?idx=303>.
- [14] M. Shibata and N. Hoshi, “Novel inverter topologies for two-wheel drive electric vehicles with two permanent magnet synchronous motors,” in 2007 European Conference on Power Electronics and Applications 2007.

박현수(朴賢洙) 경일대 전기공학과 조교수

1970년 8월 2일생. 1993년 연세대 공과대학 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2017년 성균관대 전기전자컴퓨터공학과 졸업(공학). 1995년~2017년 삼성전자 수석연구원. 2017년~현재 경일대 전기공학과 조교수.

