

SRM의 가전 적용 사례

임 준 영

(LG전자 Digital Appliance 연구소 책임연구원)

1. 서론

SRM이 산업용에 상품화 적용된 사례는 유럽, 미국을 중심으로 콘베어용, 트랙션용, 송풍기용 등 많은 사례가 있으며 이는 투자비가 작은 잇점을 안고 다품종 소량생산 측면에서 돋보이기 때문이다. 그러나 가전용으로서의 적용은 매우 드물고 미국 Emerson사에서 상품화한 드림세탁기용이 1997년에 있을 정도로 SRM은 초기 진입단계이다. 국내로 보면 자사에서 2000년부터 에어컨용 blower motor로서 적용되었으며 현재 에어컨, 건조기, 청소기에 적용되었거나 곧 적용될 예정이다.

가전은 특성상 적용 될 경우 수량이 매우 많은 특징을 가지고 있으며 이로 인해 가격에 대한 압박도 매우 심한 편이다. 또한 가전용은 산업용에 비해 소음에 대한 규제가 엄격해서 SRM의 가장 큰 약점이라 볼 수 있는 부분에 바로 부딪혀 있다.

가전에서 현재까지 주류를 이루고 있는 모터는 단상 유도기이다. 단상 유도기는 소음 및 구동부의 간편성, 가격 측면에서 우수하여 지난 수십년간 최고의 자리를 누려 왔다.

최근에 들어서면서 소비자는 좀더 고품질의 제품을 원하고 있으며 이것은 부품측면에서 기본적으로 고효율, 넓은 가변속 범위, compact한 모터를 필요로 하게 되고 유도기로서는 한계에 이른 상황이다. 이에 편승하여 일본을 시발점으로 BLDCM이 채용되었고, 국내에서도 일부 BLDCM을 적용한 제품이 출시되고 있다.

SRM은 BLDCM에 비교하면 성능상 약간 뒤지지만 모터 및 인버터부의 가격에 대한 큰 장점이 있으므로 성능/가격에 대한 지표로 보면 경쟁력이 충분하다.

SRM의 또 하나의 특징으로는 BLDCM이나 유도기 인버터와는 달리 권선에 uni-polar current가 흐르기 때문에 다양하게 inverter topology를 구현할 수 있다는 것이다. 이것은 가격과 성능의 적절한 타협점을 찾아낼 수 있는 장점으로 작

용하는 반면 개발측면에서는 자유도를 증가시키는 기술적 어려움과 소자개발 업체측면에서는 모듈등을 통한 일반화가 힘들다는 어려움이 있다.

2. 청소기 적용 SRM

가전제품 중에 가장 모터 자체의 소음이 문제가 안 되는 제품이 청소기라 할 수 있으며 이는 팬 소음이 전체 소음을 지배하는 구조이기 때문이다.

이러한 측면에서는 청소기의 SRM적용은 적절하다고 볼 수 있다. 또한 회전자 권선이 없어 벨런싱이 좋든지 온도특성 측면에서 강인한 점과 초고속회전에 견고하다든지 하는 점도 SRM의 청소기 적용시 장점이다.

한편 기존의 청소기 모터는 정류자 모터가 사용되고 있으며 이는 트라이엑을 사용하여 위상제어으로써 가변속을 하는 방식이므로 가격이 매우 저렴하다.

청소기는 약 4만rpm 정도의 매우 고속운전을 하며 입력도 약 2kW정도를 다루는 비교적 high power system이다. 이러한 고출력의 SRM인버터로 인한 청소기의 가격 상승은 적용 측면에서 매우 장애가 되는 요소이다. 특히 인버터에서는 고속구동특성에 의한 감자전류의 시간문제로 상당 2개의 파

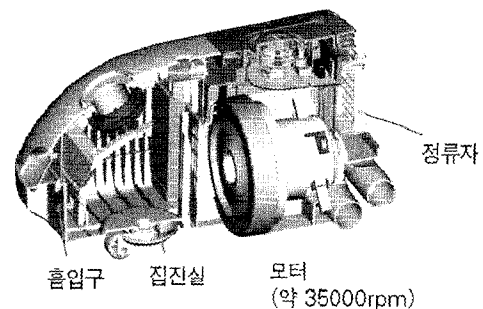


그림 1. 청소기의 구조

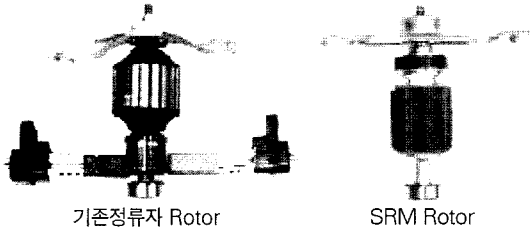


그림 2. 청소기용 회전자의 비교

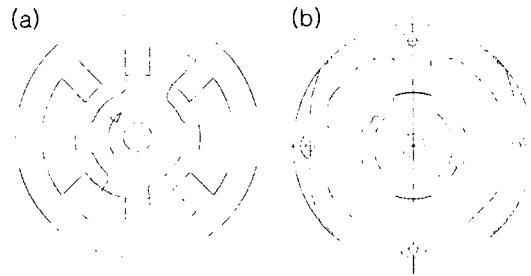


그림 4. 2상 SRM의 구조

워소자로 구성된 asymmetric 방식의 topology가 불가피하게 필요하게 된다.

SRM이나 BLDCM과 같은 인버터 타입의 모터를 청소기에 적용했을 때의 장점은 기존 정류자모터에서 기계적인 브러쉬 마모에 의해 발생하는 탄소분진 문제가 완전히 해결되고, 또한 수명이 기존의 3배 이상이 되어 반 영구적이라는 점이다. 기존 모터에서 회전자 권선의 온도 분포가 매우 높아 흡입력을 높인데 제한을 가져 왔으나 SRM은 이러한 부분이 없어 매우 유리하다.

그림 3은 3상 SRM의 구조이다. 기존 정류자모터는 위상제어에 의해 속도제어를 하기 때문에 제어부의 가격이 차지하는 부분이 적으나 6개의 파워소자를 사용하는 3상 SRM은 기존의 구동부의 가격대비 2~3배가 된다. 시장측면에서 high-end의 매우 좁은 시장에 기대는 상황이 되는 것이다.

따라서 인버터의 소자를 줄이는 topology연구에 대한 SRM 부분의 연구는 매우 중요하다.

미국의 Tridelta사에서 staggered 형상의 rotor(그림 4-a)나 Ametek에서 2상 SRM(그림 4-b)에 대한 개발이 완료된 상태이다.

2상은 정해진 방향으로 self starting을 할 수 있는 최소한의 상수의 SRM이다. 2상 SRM은 기동토크가 크지 않고 일방향 회전부하에 적절하여 팬용에 이용되고 있다. 토크리플 성분이 커서 저소음용으로서의 적용에는 곤란하다.

청소기는 매우 고속으로 회전하기 때문에 회전자의 관성이 모터에서 발생하는 토크리플성분에 대해 low pass filter역할

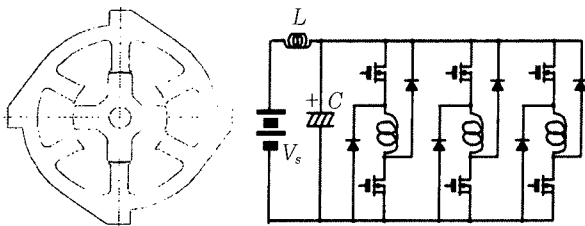


그림 3. 3상 SRM의 구조

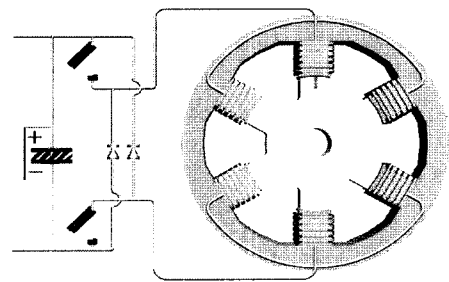


그림 5. 단상 SRM의 구조

을 한다. 따라서 모터의 토크리플 자체는 큰 문제가 되지 않는 시스템이다. 또한 세탁기나 콤프레사부하와는 달리 정지 마찰이 매우 작은 시스템이다.

앞에 설명한 3상 SRM의 적용은 가격 측면에서 부담이 크므로 시스템의 특성상 단상 SRM의 적용대상으로 고려해 볼 만하다. 단상 SRM은 3상에 비해 소자의 개수가 1/3으로 대폭 줄어들고 이를 구동하기 위한 드라이브도 매우 간편하게 구성된다.

따라서 적용 측면에서 단상 SRM은 청소기용으로 매우 적당한 제품이다. 기술적인 과제로는 초기기동부분이 있겠으나 정지마찰이 작은 청소기부하의 특성을 이용하여 적절한 보조장치 및 알고리즘을 이용하면 적절한 해결 방법을 찾을 수 있다.

유럽을 시작으로 가전제품의 고조파 규제가 실시되었고 인버터 제품에서 낮은 power factor 문제를 해결해야 하는 기술적 과제가 있으며 청소기의 특성상 무게와 부피가 작게 이를 해결해야 한다. Power factor는 청소기에서 규제대응문제만이 아니라 코드릴의 발열문제를 해결해야하는 부분과 직결되어 있다.

3. 팬 적용 SRM

가전에서의 팬구동용은 에어컨 실내외기, 냉장고팬, 의류건조기 등이 있으며 냉장고의 경우 2와트 정도에서 에어컨의 경우 0.5마력 정도급 범위에 속한다.

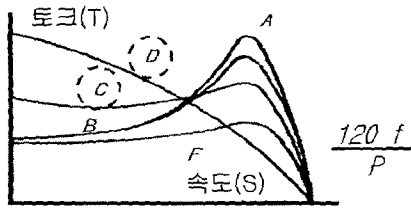


그림 6. 유도기 타입별 Torque-Speed 특성

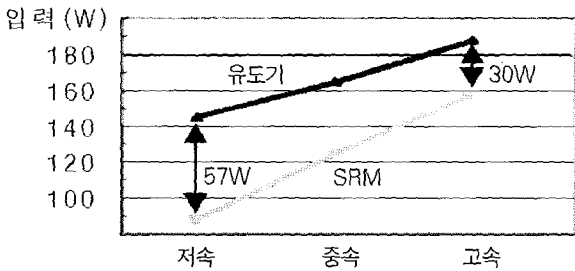


그림 7. SRM과 유도기의 팬 소비전력비교

에어컨용 팬구동용으로 역시 유도기가 대부분 사용되고 있다. 에어컨에서 실외기는 속도제어가 필요 없는 정속형이 사용되고 있으며 실내기용으로는 3단 또는 4단의 속도조절이 필요하게 된다.

따라서 SRM은 가변속 특징으로 우선 적용측면에서 실내기용이 적당하다고 할 수 있다.

기존 유도기에서 속도제어를 위해서는 탭방식 또는 트라이역방식의 위상제어방식이며 그림6과 같이 가변속의 확장을 위해서 회전자의 전기적 저항을 크게 한 C 또는 D type의 유도기가 사용된다.

따라서 효율 측면에서 실내기용으로서의 기존 유도기는 효율이 35-45%의 낮은 것이 된다. 특히 slip량이 커지는 낮은 속도영역에서는 10%도 되지 않는 경우가 많다.

그러나 컴프레샤 소비전력에 비하면 이 양 자체가 작기 때문에 무시하면서 지내 온 것도 사실이다. 그러나 최근 에너지 규제조치 등의 소비전력에 대한 인식이 높아지고 또한 컴프레샤 모터자체의 효율이 포화되었다는 상황과 함께 이 부분에 대한 관심도가 높아졌다.

그림 7의 기존 유도기와의 팬속도에 따른 소비전력의 비교를 보면 상당량의 energy saving이 되고 있음을 알 수 있다.

모터생산 측면에서 살펴보면 각국의 사용주파수 및 사용전압이 다르므로 유도기의 경우 무수히 많은 모델이 발생되나 SRM의 경우 주파수 및 전압에 대해 유연성이 있어 모델의 단순화에 기여할 수 있다.

이러한 환경하에서 소비자 및 생산자 모두 SRM의 연구는 필요한 부분이라 인식하나 기술적 과제로는 역시 소음에 대

한 부분이다. 유도기에서도 저속운전시 전원주파수에 해당하는 slip소음이 발생하며 일반적으로 익숙한 소음이나 SRM의 경우 적절한 구조 및 제어로써 소음을 최소화하는 경우에도 익숙하지 않은 고주파 소음을 피하기는 매우 어렵다.

소음, 진동 측면에서 6/4구조 및 12/8구조의 비교는 매우 중요하다. 6/4구조는 입력저감 측면에서 유리한 반면 12/8구조는 소음, 진동측면에서 매우 유리하다.

입력 측면에서 살펴보면 각각의 구조에 대한 입력의 차이는 약10%정도로 6/4구조가 12/8구조에 비해 입력이 저감된다. 권선저항에 대한 인덕턴스비율 측면에서 6/4구조가 유리하기 때문이다.

반면 소음 측면에서 스위치 꺼짐시 고정자 변형에 의해 일어나는 진동을 살펴보면 그림 8과 같이 12/8구조의 진동량이 매우 적음을 알 수 있다. 결국 소음/진동 측면에서 12/8구조의 선정을 피하기는 어렵게 된다.

그림 9는 자사개발 에어컨팬용 12/8구조의 SRM및 구동부이다. 일반적인 인버터에 비교해보면 SRM의 구동부는 upper side소자와 lower side소자가 동기되는 특징을 이용해서 HVIC를 제거해서 회로부가 매우 간단하게 구성되어 있다.

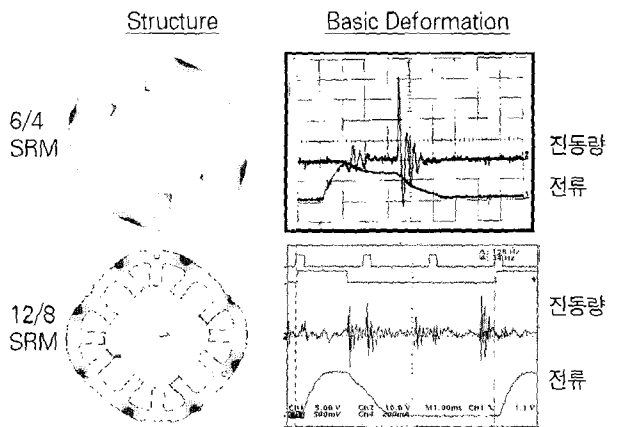


그림 8. 구조별 고정자의 진동형상 및 진동량 비교

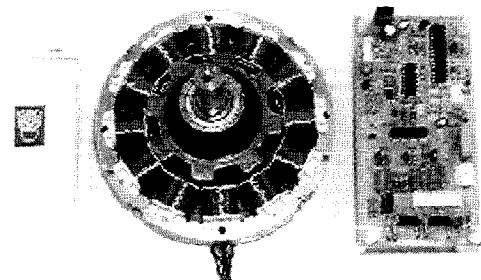


그림 9. 모터부 및 인버터부

이외에도 의류건조기용의 팬부하로서 SRM 적용연구는 기존 유도기 대비 덕트의 유로저항에 의한 건조시간의 편차를 줄이는 동시에 건조시간 단축에 상당히 기여하는 결과를 가져오기도 하였다. 냉장고 팬용으로는 직경50mm이하의 수와트정도의 급인데 이 정도의 작은 용량에서는 경쟁력이 없다고 판단된다.

4. 세탁기 적용 SRM

오랫동안 세탁기의 구동모터로서 역시 유도기가 사용되어 왔으나 이는 가변속 범위가 좁아 세탁조건과 탈수조건의 넓은 변속을 해결하기 위해 그림 10과 같이 기계적인 기어 및 벨트시스템이 필요하게 되고 이를 가변속 모터로 대체하여 mechanism을 간단히 하는 직접구동방식이 97년도에 출시되었다. 이러한 용도로 사용될 모터의 후보로서 BLDCM, SRM 등을 들 수 있다.

적용된 예는 직접구동방식은 아니지만 그림 12에 미국 Emerson사에서 제작하고 Maytag세탁기에 적용한 드럼세탁기용을 들 수 있고 가변속 범위는 약 30배 정도이다.

직접구동세탁기의 시스템의 특성상 모터는 그림 11과 같은 고평토크의 팬케익타입의 형태이고 이는 모터의 기계적 강성이 매우 약해지는 약점을 가지고 있다. 결국 운전시 그림 8의 고정자의 변형에 의한 소음이 SRM에서 큰 기술적 과제로 남게 된다.

직접구동방식모터의 필요한 조건 중에 세탁과 탈수의 넓은 가변속 범위를 coverage해야 하는 측면에서는 BLDCM대비 장점이 있다. 이는 back-emf측면에서 고려해보면 BLDCM은 전압 type이지만 SRM은 전류 type이기 때문이다. 따라서 탈수와 같이 고속이 되면서 세탁시에 비해 토크가 매우 적게 걸리는 시스템에서 SRM은 넓은 가변속 범위를 쉽게 구현 할 수 있는 장점이 있다.

결과적으로 SRM의 세탁기의 적용은 팬 케익 type의 구조에서 고정자의 변형에 대한 소음, 진동 문제를 해결해야 한다.

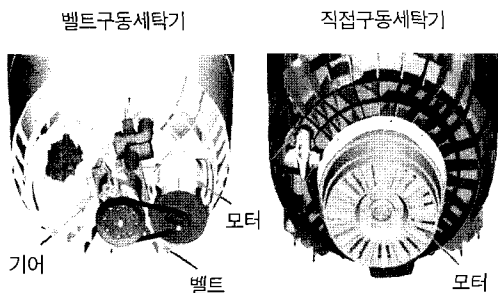


그림 10. 세탁기의 구동방식비교

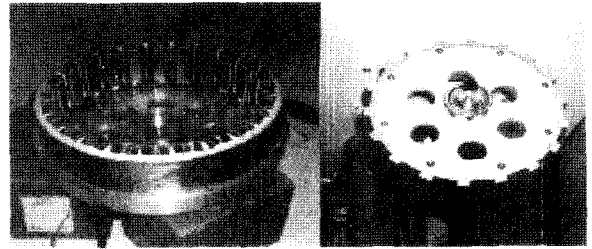


그림 11. 세탁기용 직접구동 SRM

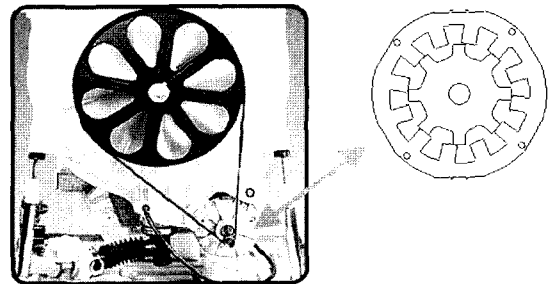


그림 12. 드럼 세탁기용 SRM-Emerson사

5. 컴프레샤 적용 SRM

에어컨이나 냉장고의 핵심부품인 컴프레샤의 SRM적용의 장점은 고효율 및 가변속에 의한 가변용량이다. 고효율 및 가변용량은 개별적으로 energy saving에 기여하는 바도 크지만 냉난방이 가능하다는 또 다른 장점도 가지고 있다. 이를 위해 BLDCM이 사용되고 있으나 기존 단상유도기 정속형 대비 적지 않은 가격부담을 초래한다. 따라서 저가격형의 가변용량에 대응하기 위한 개발은 의미를 가지고 있으나 컴프레샤 내부는 고온(120℃정도)으로 동작하기 때문에 회전자 위치검출 센서를 사용할 수 없는 조건이기도 하다.

결국 SRM을 컴프레샤에 적용을 위해서는 센서리스 구동이 반드시 필요한 조건이다. BLDCM과는 달리 회전자를 회전시킬 때 active back-emf가 발생하지 않으며 이로 인한 센서리스구동의 기술적 과제가 있다.

물론 SRM의 센서리스구동은 기술적으로 가능한 일이고 많은 논문들도 발표되고 있으나 실제로 상업적 가치를 가지는 기술은 가전 측면에서는 없다고 볼 수 있다. 센서리스구동을 위한 회생이 매우 크기 때문이다.

SRM구동회로 자체가 unipolar방식이기 때문에 회전자 위치검출이 zero-crossing측정이 아닌 절대값의 인덕턴스를 측정해야 하는 기본원리에 매달리고 있으며 이는 생산시에 일어나는 편차문제를 감당하기 힘들고 정확한 위치검출을 위해

서는 매우 고속의 샘플링이 필요하기 때문이다.

모터자체로만 보면 기존의 유도기모터에 비해 기동토크가 크고 효율측면에서 3%정도의 상승 효과를 기대할 수는 있으며 전기료 측면에서는 20%정도의 개선효과를 기대할 수 있다.

결국 적용측면에서 효과는 기대할 수 있으나 기술적인 측면에서 경쟁력 있는 센서리스방법에 대한 연구가 따라주어야 한다.


6. 결 론

전기료가 적게드는 에어컨, 위생적인 고효입력의 청소기, 고풍량의 blower등 가전제품에 대한 소비자의 요구조건을 만족시키기 위하여 좀더 고성능의 모터는 과거 어느 때 보다 필요를 느끼고 있다. 이에 대응하여 가전용으로서의 SRM은 점차 확대되는 추세이지만 기술적 보완이 되어야 할 부분도 상당히 남아있는 실정이다.

첫째, 소음측면에서 더욱 개선이 이루어 져야 하며 이것은

생산이 쉽게 이루어 질 수 있는 구조적인 측면의 개선이 주로 뒷받침되어야 하고 적절한 알고리즘이 병행되어야 한다.

둘째, 회로부를 더욱 간단히 할 수 있는 용도적 개발이 따라주어야 한다. 청소기 같이 토크리플이 커도 되는 시스템에 단상 SRM을 적용하는 것과 같은 맥락의 측면이다.

셋째, 경쟁력 있는 센서리스 구동방법이 개발되어야 한다. 기존의 모터대비 센서는 모터의 경쟁력 및 용도적 측면에서 제한이 많이 따르게 된다. 

〈저 자 소 개〉



임준영

1961년생. 1988년~1990년 한국과학기술원 생산공학과 졸업(석사). 1990년~1991년 중소기업진흥공단 자동화지도실. 1991년~현재 LG 전자 Digital Appliance 연구소 책임연구원.