

특집 : 홈어플라이언스 제품의 기술동향

세탁기의 기술개발 동향

김 동 원, 조 관 열

(LG전자 디지털 어플라이언스 연구소 책임연구원)

1. 머리말

일상 생활에서 많이 사용되는 가전 제품 중에서 세탁기는 국내에서의 보급률이 약 95%를 초과할 정도로 성숙기를 지나고 있는 제품이라고 할 수 있다.¹⁾ 세탁은 가사 노동 중에서 가장 어려운 일의 하나로서 이것을 기계화 하고자 하는 시도가 18세기부터 있어 왔다. 그 결과 20세기 초에 모터에 의해 구동되는 전기세탁기가 개발되었으나 가정용 세탁기가 본격적으로 보급되기 시작한 것은 제 2차 세계대전 이후부터이다.²⁾ 국내에서도 1966년에 처음으로 세탁기를 생산하여 1980년대 이후에 보급률이 급속히 증가하여 현재는 거의 모든 가정에서 사용할 정도이다.

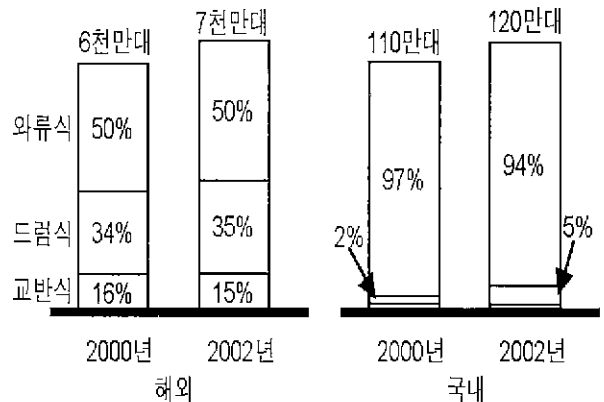
전 세계적으로 널리 보급되어 있는 세탁기의 종류는 세탁 방식에 따라서 크게 세 가지로 나눌 수 있지만, 세탁기의 외형으로는 세탁과 탈수를 위하여 회전하는 축의 방향에 따라 수평축(horizontal axis)과 수직축(vertical axis) 방식 두 가지로 나눌 수 있다. 수평축 방식의 세탁기에는 유럽 등지에서 많이 사용되는 드럼식(drum type)이 있고, 수직축 방식에는 국내와 일본 등 아시아 지역에서 많이 사용되는 渦流식(pulsator type) 세탁기와 미주 지역에서 주류를 이루고 있는 攪拌식(agitator type) 세탁기가 있다.

최근의 세탁기의 기술 개발 동향은 세탁 방식에서는 큰 변화가 이루어지지 않고 있으며, 최근에 환경문제가 대두되면서 물과 소비전력 등 에너지를 줄일 수 있는 기술과 소비자의 사용성 측면에서 소음과 진동을 저감할 수 있는 기술에 대한 연구는 활발하다.

2. 세탁기의 시장 현황

현재 전세계의 세탁기 시장은 전술한 바와 같이 와류식과

표 1 해외/국내 세탁기 시장 규모



교반식, 그리고 드럼식 세탁기가 각 대륙별로 주류를 이루고 있으며, 표 1에서와 같이 2000년 현재 전세계 세탁기의 수요는 약 6천만대이며 2002년에는 약 7천만대에 이를 것으로 예상되고 있다. 교반식 세탁기가 주류를 이루고 있는 미국시장 내에서는 최근 들어 에너지 규제의 강도가 강해지면서 드럼식 세탁기의 공급 및 수요가 계속 늘어가고 있다.

국내시장의 수요는 2000년 현재 약 110만대이며, 2002년에는 약 120만대를 초과할 것으로 예상된다. 국내에서는 거의 모든 세탁기가 와류식 세탁기이며 드럼식이나 교반식은 많이 사용되지 않고 있지만, 드럼식은 에너지 절약에 강점을 가지고 있기 때문에 그 수요는 차츰 늘어날 것으로 예상되고 있다. 그러나 국내에서는 와류식 세탁기가 소비자들의 세탁기 구입 기준 중에서 중요한 것 중의 하나인 용량이 상대적으로 크다는 장점을 가지고 있기 때문에 향후 몇 년간은 계속 주류를 이룰 것으로 예상되고 있다.

3. 세탁기의 Type별 구성 및 동작 원리

세탁기는 그림 1과 같이 세탁방식에 따라서 와류식과 교반식, 드럼식으로 크게 세 가지로 나눌 수 있다.

와류식 세탁기는 세탁조의 하부에 회전날개 즉 펄세이터(pulsator)가 있고 모터의 정역회전을 이용하여 일정시간 간격을 두고 펄세이터의 회전방향을 바꾸어 와류를 형성시켜 세탁을 수행하는 구조이다. 와류식 세탁기는 구조가 간단하고, 고장이 적으며, 가격이 저렴할 뿐만 아니라 비교적 좋은



(a) 와류식



(b) 교반식



(c) 드럼식

그림 1 방식별 구조

세탁력을 나타내는 장점을 가지고 있다. 그러나 수류가 너무 강하여 섬유의 손상이 크고, 세탁 중에 옷이 서로 꼬여 세탁이 불균일하게 되는 단점이 있다.

교반식 세탁기는 세탁조의 중앙에 날개가 붙어 있는 큰 교반봉(agitator)을 기구적으로 좌우반전 시키면서 세탁을 수행한다. 교반식 세탁기는 한번에 많은 세탁을 할 수 있고, 섬유의 손상이 비교적 적은 장점이 있지만, 세탁시간이 길고 기구가 복잡하여 가격이 비쌀 뿐만 아니라 고장이 많은 단점이 있다.

드럼식 세탁기는 회전하는 세탁조의 벽면에 날개가 붙어 있어서 원통(drum)의 회전에 따라 세탁물을 끌어 올렸다가 떨어지는 기계력을 이용하여 세탁을 하는 구조이다. 드럼식 세탁기는 옷감의 손상이 거의 없고 사용되는 물의 양이 상대적으로 매우 적지만, 제작비가 비싸고 세탁용량이 작으면서 세탁시간이 길며 와류식이나 교반식에 비하여 세탁력이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 세탁력이 떨어지는 단점을 보완하기 위하여 대부분의 드럼식 세탁기는 온수를 사용할 수 있도록 기열장치를 갖추고 있다

4. 세탁기의 기술개발 동향

최근의 세탁기 기술 개발의 동향은 각 세탁방식에서 가지고 있는 단점들을 보완하기 위한 방향의 연구가 많이 이루어지고 있다.

미국에서는 드럼식 세탁기의 단점인 용량을 교반식 세탁기 정도의 용량으로 크게 하면서 교반식 세탁기에 비해 물 사용량을 크게 줄인 드럼식 세탁기를 Maytag 등에서 출시하고 있다. 또한 Whirlpool과 Sears에서도 펄세이터가 회전만 하는 것이 아니라 상하로 움직이면서 옷감을 위아래로 움직이게 하여 세탁하는 Calypso라는 새로운 방식의 물 절약형 세탁기를 개발하여 Kenmore 브랜드로 올해 출시 하였다.¹³⁾

와류식 세탁기의 제조업체에서도 단점인 물과 소비전력 등 에너지를 줄이기 위한 연구와 옷감의 손상을 줄이기 위한 연구에 총력을 기울이고 있다. 세탁기의 펄세이터(pulsator), 교반봉(agitator)을 구동하는 모터에는 단상 유도전동기(induction motor)가 주로 사용되고 있으며 세탁 및 탈수시의 양방향, 단방향 회전 및 모터속도를 조정하는 기구장치(mechanical transmission)에 의해 세탁시는 약 100 ~ 200rpm, 탈수시는 약 600 ~ 800rpm의 속도로 구동한다. 기구장치가 결정되면 각 세탁 및 탈수시의 속도는 가변하기 어렵기 때문에 섬세한 의류세탁 및 고속탈수가 어렵게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 기구장치는 그대로 사용하고 단상 유도기에 위상제어를 적용하여 세탁 및 탈수의 속도를 가변하는 세탁기가 출시된 바 있다.

그러나 최근에는 다양한 의류세탁, 물 및 전기의 에너지저

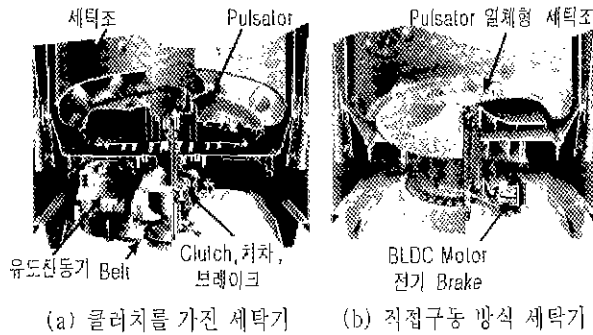


그림 2 종래 세탁기와 DD세탁기의 구조

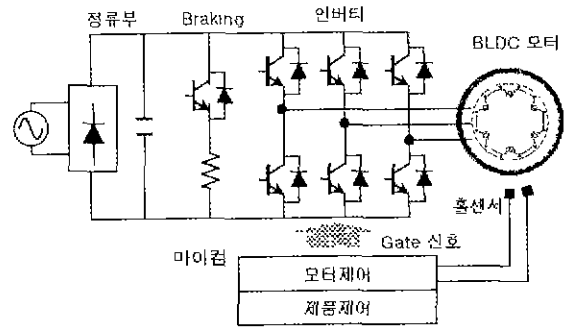


그림 3 인버터 구동시스템

감을 위하여 가변속 운전이 가능한 인버터(inverter)적용이 증가하고 있다. 또한 인버터를 사용함으로써 세탁 및 탈수시 모터의 속도제어가 용이해짐에 따라 기존의 속도변환용 기구장치를 제거하고 모터와 빨래판을 직접 연결하여 구동하는 직접구동(direct drive) 장치의 적용이 확대되고 있다. 인버터용 모터는 효율 및 제어특성이 유리한 BLDC 모터가 주로 사용되고 있다. 그림 2에 유도전동기와 클러치 (clutch) 등을 사용한 세탁기와 BLDC 모터를 세탁축에 직결하는 직접 구동방식 세탁기의 구조를 비교하였다.

드럼식 세탁기에서도 이전에는 유니버설 모터(universal motor)가 주로 사용되었으나 소음과 에너지를 줄이기 위한 목적으로 BLDC 모터의 사용이 계속 늘어가면서 주로 사용되고 있던 벨트와 풀리를 없애고 BLDC 모터를 세탁조의 회전축에 직결하는 직접구동 방식의 드럼세탁기도 출시되고 있다.

세탁기에 사용되는 BLDC 모터는 세탁시의 저속, 고토크 및 탈수시의 고속, 저토크의 운전 특성을 가지므로 모터의 극수는 48극 또는 24극을 사용하고 있다. 그림 3은 BLDC 모터의 구동시스템을 나타낸다

BLDC 모터는 주로 3상이 사용되며 회전자의 위치검출을 위해 2개 또는 3개의 홀센서(hall sensor)를 사용한다. 제어기(controller)는 정류회로, 인버터, 모터의 속도제어 및 다양한 세탁, 탈수알고리즘 구현을 위한 마이컴, 세탁 또는 탈수시의 급속정지를 위한 브레이킹(braking) 회로로 구성된다.

그림 4는 정/역 회전시 모터의 회전속도, 회전자 위치신호 및 모터 한 상의 전류 파형을 나타낸다. 기존에는 제어가 간단한 구형파 전류방식(120도 통전)을 사용하였으나 최근 소음저감을 위하여 정현파 전류방식(180도 통전)을 적용하고 있다. 세탁기 소음저감을 위해서는 모터의 소음, 진동에 대한 고려는 필수적이며 특히 직접구동 방식 세탁기의 경우 기존의 동력전달 시스템과는 달리 별도의 감속장치 없이 모터가 직접 세탁기를 구동하기 때문에 BLDC 모터의 전자기 가진력의 증대에 따라 세탁기 시스템의 소음에 영향을 주게 된다

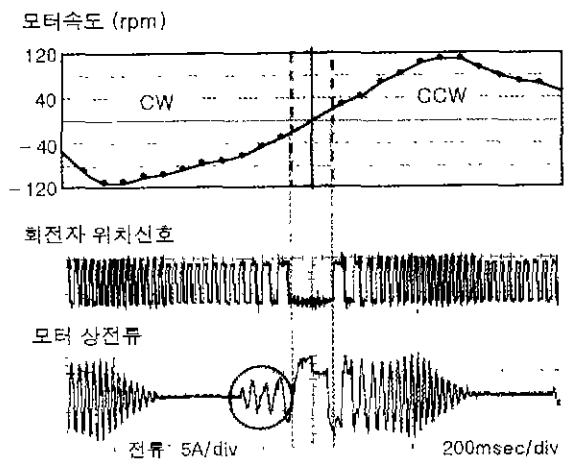
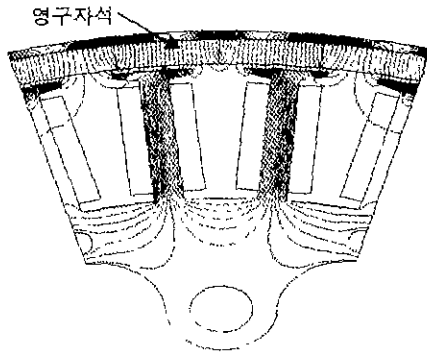


그림 4 세탁시 정/역 회전속도 및 전류파형

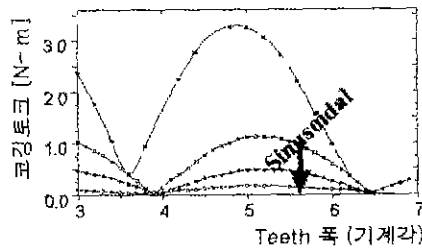
BLDC 모터의 전자기 가진력은 전류의 왜곡에 의한 토크 리플 성분, 전류와는 관계가 없으나 자기저항의 차에 의해 발생하는 코깅 토크 성분, 그리고 PWM 스위칭에 의한 가진 성분 등이 주소음원이 되는데 그림 5(a)의 유한요소 해석 결과에 나타난 바와 같이 주요 전자기 가진원인 코깅 토크를 줄이기 위해서는 영구자석의 자화상태를 정현파 형태로 가져가거나 그림 5(b)에 나타난 바와 같이 적절한 고정자 티스(leath)의 폭을 선정함으로써 코깅 토크를 줄일 수 있다. 또한 그림 5(c)에 나타난 바와 같이 코깅 토크의 선형성을 이용하여 하나의 고정자 내에 코깅 토크 파형이 180도의 위상차를 갖는 2개의 티스 폭을 구성하여 코깅 토크를 서로 상쇄시켜서 줄이기도 한다.¹⁰⁾

세탁기의 인버터 적용시 최대 문제점은 인버터용 모터 및 회로부의 재료비 상승이다. 이러한 재료비 저감을 위해서는 기구부의 최적설계 및 부하저감으로 모터와 기구부의 매칭(matching)에 의한 모터의 재료비 저감, 새로운 인버터 토폴로지(topology) 개발, 브레이킹 저항삭제, 홀센서 삭제에 의

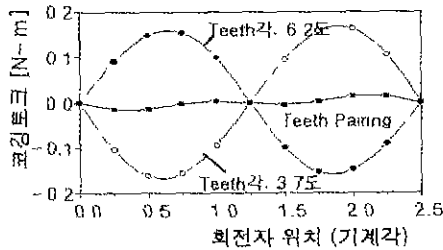
5. 맷음말



(a) 자속선 분포



(b) Teeth폭에 따른 코깅토크



(c) 회전자 위치별 코깅토크

그림 5 Teeth폭 및 회전자위치별 코깅토크

한 센서리스(Sensorless) 운전등의 다양한 방법들이 적용될 것으로 예상된다. 또한 모터제어 성능향상을 통한 제품의 소비전력 저감, 부하량 등의 감지 정밀도를 향상시키기 위해 DSP(Digital Signal Processor)의 적용도 확대될 것으로 예상된다. 최근 인터넷을 통한 세탁기 제어에 대한 연구도 활발히 진행중이나 인터넷 적용시 소비자에 대한 기여(benefit) 발굴이 필요하다.

최근에 전세계적으로 환경문제가 대두되면서 세탁기에서의 물 사용량, 소비전력량 등의 에너지 저감이 전세계 세탁기 제조회사들의 가장 중요한 기술개발 방향으로 자리잡고 있다. 앞 절에서 보았듯이 전세계적으로 물 사용량 저감을 위해서 각 사의 세탁방식에 다른 세탁방식을 접목하거나 새로운 방식을 개발하는 등의 노력을 기울이고 있다. 또한 소비전력과 소음의 저감을 위해서 고가의 BLDC 모터를 채용하는 것이 일반적인 추세로 자리잡고 있다.

결론적으로 최근 세탁기에서의 기술 개발 동향은 세탁 성능은 기존 이상을 유지하면서 에너지 절약을 위한 새로운 방식의 세탁기 개발에 대한 연구, 종래의 유도전동기와 기구장치를 새로운 고효율, 저가격, 저소음 모터로 대체 시키는 연구에 총력을 기울이고 있다. 세탁기에서의 이러한 연구 추세는 향후 몇 년간 계속 이어질 것으로 예상되고 있다.

참고 문헌

- [1] 산업자원부, 1998년 산업자원부 백서, 1998.
- [2] 김성운, 세제와 세탁의 과학, 교문사, 1987.
- [3] 서울경제신문, Popular Science, September 2000, pp 33.
- [4] T. Shigeya and N. Kazuo, "Motors and inverters for home appliances." Toshiba Review, vol. 55, no. 4, pp. 25~27, 2000.

〈저 자 소 개〉



김동원(金東源)

1967년 1월 10일 생. 1989년 한양대 기계공학과 졸업(학사) 1991년 한국과학기술원 기계공학과 졸업(석사) 1996년 동 대학원 졸업(공학박사) 1996 ~ 현재 LG전자(주) 디지털 어플라이언스 연구소 책임연구원.



조관열(趙官烈)

1963년 2월 20일 생. 1986년 서울대 전기공학과 졸업(학사) 1988년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 졸업(공학박사) 1993 ~ 현재 LG전자(주) 디지털 어플라이언스 연구소 책임연구원. 당 학회 편집위원