

특집 : 가전에서의 모터 및 제어기술 동향

# 세탁기의 모터 제어 기술

김 현 배

(삼성전자 생활가전사업부 수석연구원)

세탁기(Washing Machine)에 적용된 전력전자 및 전동기 제어기술을 소개하고자 한다. 간략한 세탁기 역사부터 시스템 구성, 모터 제어, 응용 및 차세대 기술까지 언급한다. 전력전자 분야에서 연구되고 있는 기술이 가정에서 사용되는 제품에 어떻게 활용되는지 이해를 돕고 특히 제품 경쟁력을 높이기 위한 원가, 성능 및 양산에 필요한 기술을 설명하려고 한다.

## 1. 서론

세탁기가 없었던 시절 우리 어머님들이 한 겨울 찬물에서 방망이를 두들기시며 빨래하시던 모습을 회상하면 세탁기야말로 여성을 가사 노동으로부터 해방에 기여한 인류 역사상 혁신 제품이라고 생각합니다. 오늘날 대부분 모든 가정에서 세탁기가 보급되어 사용하고 있지만 70년대 후반까지 만해도 찾아보기 힘든 제품이었습니다. 세탁기 역사를 살펴보면 가혹한 노동인 세탁을 손쉽게 하기 위해 빨래방망이, 빨래판 등의 도구가 사용되었으며 목재 수동세탁기(그림 1)에서 현재

전기 세탁기로 진화하였다. 세계 최초 전기 세탁기는 1908년 미국 Hurley Machine사에서 개발하여 'Thor' 브랜드로 판매되었다.<sup>[1]</sup>

전력전자 기술의 발달로 1991년 미쓰비시 전기에 의해 인버터 제어 모터가 탑재된 세탁기가 출시되었다. Brushless dc(BLDC) 모터가 교반날개(세탁봉)에 직접 연결되어 소음과 진동을 줄일 수 있었다. 세탁기의 부하 특성으로 세탁 저속 회전 중 고토오크가 요구되고 탈수 운전 시에는 저토크, 고속회전이 필요하다. 저속과 고속 상반되는 특성을 만족하기 위해 outer rotor방식의 direct drive(DD) BLDC 모터가 개발되었다. Rotor와 stator의 형상을 최적화하여 저속에서 고속까지 필요한 토크, 효율 및 소형화를 달성하였다. DD 구동 방식은 모터 회전수가 belt drive에 비해 낮으므로 소음 측면에서 유리하다(그림 2). 근래 모터 정음화 기술 발달로 belt drive 모터에서도 소음을 저감할 수 있었다. 드럼세탁기 용량, 효율 및 소음을 고려하여 구동방식을 결정한다.

우리나라에서는 1969년 처음으로 세탁기를 생산하기 시작하여 그 역사는 비교적 짧지만 연구원의 각고의 노력으로 국

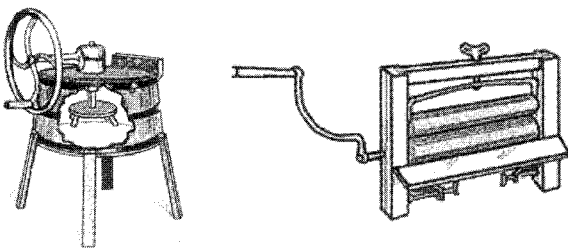
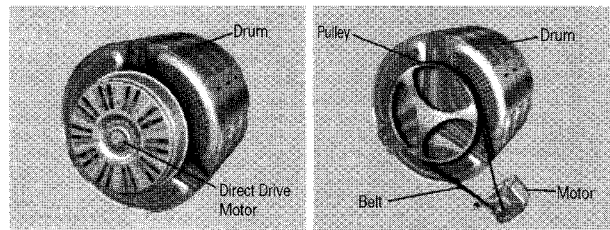


그림 1 수동 세탁기, 탈수기



Direct Drive

Belt Drive

그림 2 구동 방식

내에서 개발된 인버터 세탁기가 미주, 구주 및 해외에서 맹위를 떨치고 있다. 세탁기에 탑재된 전력전자를 기반의 모터 드라이브 기술을 소개하고자 한다.

## 2. 모터 드라이브

친환경이 화두가 되며 산업계 전반적으로 고효율화가 추진하고 있다. 세탁기 역시 에너지 저감을 위해 연구 개발을 하고 있다. 드럼 세탁기의 경우 전체 전력사용량 중 60%는 물 가열에 사용하고 나머지 40%는 드럼 구동에 소비한다. 인버터와 영구자석모터(Permanent Magnet Synchronous Motor)를 통해 드럼을 구동한다. 드럼세탁기를 예로 시스템 구성과 모터 제어 기술에 대해 공유하려 한다.

### 2.1 시스템 구성

드럼세탁기는 세탁조, 세탁조 내의 회전하는 드럼, 드럼을 구동하는 모터, 세탁물 편심에 의해 발생하는 진동저감하는 현가장치 및 건조기로 이루어져 있다 (그림 3). DD outer

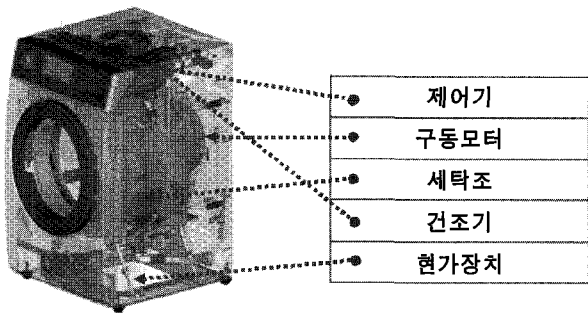


그림 3 드럼세탁기 구성도

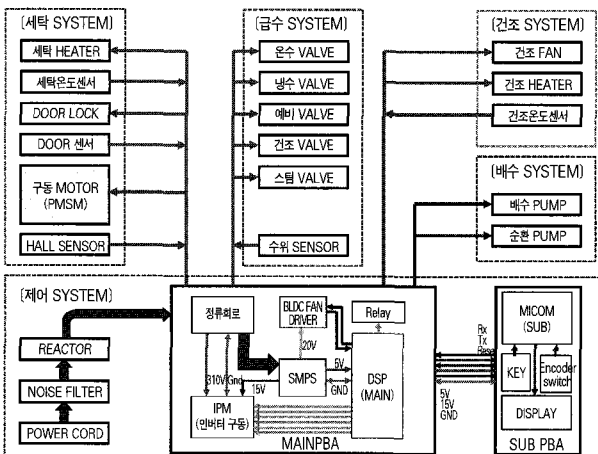


그림 4 드럼세탁기 계통도

rotor PMSM은 드럼과 직결되어 인버터에 의해 제어된다.

드럼세탁기 계통도를 살펴보면, 세탁, 급수, 배수, 건조, 제어부로 구성된다(그림 4). Main PBA에 전장구동부, 센싱부 및 인버터가 있으며 DSP를 통해 통합 제어 된다. 반도체 기술의 발달로 DSP의 재료비 낮아져 가전에 확대 적용되고 있는 추세이다. 인버터에서 발생하는 전압과 측정 전류 및 위치를 신호를 기반으로 PMSM 모터를 구동하여 세탁 및 탈수를 수행한다.

### 2.2 부하 및 모터

기본 행정은 세탁, 행균, 탈수로 구성되며 드럼을 회전하여 물과 세제를 옷감에 혼합하고 포 낙차 발생하여 세탁을 수행한다. 물과 빨래가 있는 드럼을 50rpm까지 가속하고 낙차를 발생하기 위해 고토크를 필요하며 탈수 중 최대 1300rpm까지 상승하고 원심력을 이용해 빨래에서 물을 분리해 낸다 (그림 5). 세탁에서 빨래의 낙차로 인한 부하 변동이 크며 불규칙하다. 탈수에서는 관성회전에 필요한 토크만 필요하기

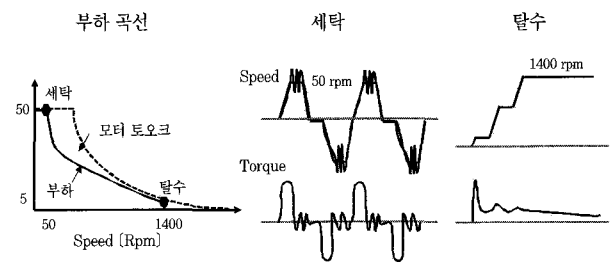


그림 5 세탁/탈수 부하

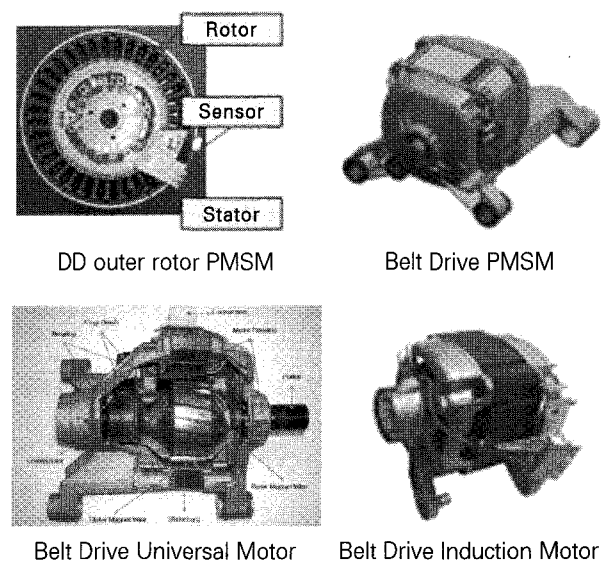


그림 6 세탁기 모터

에 세탁 대비 부하가 매우 작지만 회전할 수 있는 한계 모터 속도까지 운전하게 된다. 운전영역이 저속과 고속 극단적으로 분리되어 있어 모터 설계 및 제어에 어려움이 따른다.

드림 구동 방식은 두가지 직결형(direct drive)과 벨트형(belt drive)이 있다. Belt drive 방식은 모터와 드림을 감속비(11.8:1)를 갖는 벨트로 연결되므로 DD에 비해 높은 회전수 구동되게 된다. 구동 방식에 따라 다양한 모터가 사용되며 DD 방식에 PMSM과 belt drive 방식에는 PMSM, 유도기, 유니버설 모터가 적용된다(그림 6).

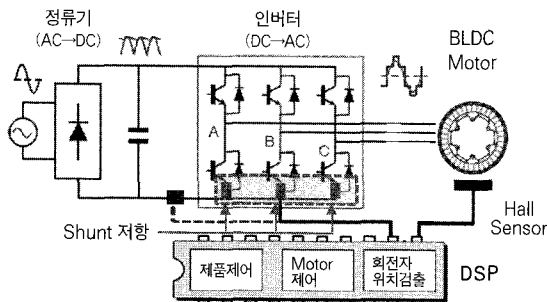


그림 7 모터 제어기

표 1 인버터 제어기 사양

Type	Voltage Source Inverter
AC Input Voltage	92.4 ~ 275 Vrms
Max. Power	500W @1200rpm
Max. Torque	50N.m @30rpm
Switching Freq.	16kHz
Position Sensor	2 Hall Sensors
Current Sensor	1~3 Shunt Resistors

### 2.3 모터 제어

인버터를 활용한 모터 제어는 효율과 속도 가변 등의 장점을 가지고 있어 생활가전 제품에 널리 쓰이고 있다. 일반적인 인버터 구조를 사용하며 교류를 직류 변환하고 콘덴서를 통해 평활한 후 6 switch 전력모듈(IPM)를 통해 교류를 발생하여 모터를 제어한다. 단상 교류 전압이 110V과 220V인 지역에 판매되고 있는 제품은 110V의 경우 배전압 회로를 통해 전압을 상승시킨다. Dc-link 전압 기반의 voltage source inverter(VSI)가 사용되며 모터의 홀센서로부터 90도 분해능의 위치 신호와 선트저항을 통해 전류 신호를 피드백 받는다. DSP에 벡터 제어 알고리즘 탑재하여 모터를 제어한다(그림 7). 전류 센싱 없이 정현파 형태로 전압을 가변하여 제어하는 모델도 있다. 고효율과 저소음을 달성하기 위해 스위칭 손실이 적은 pulse-width-modulation(PWM) 기법과 저분해능 홀센서의 위치 신호를 입력으로 위치/속도를 추정하는 기술이 요구된다. 재료비를 절감하기 위해 낮은 파위를 갖는 모터에서 고속 회전을 하기 위한 선트 저항의 전류센싱과 연동된 과변조(Over-modulation PWM) 기술이 필요하다.

### 2.4 센서리스 제어

원가 혁신을 위해 다양한 기술이 개발되고 있으며 모터 구동부 관련 센서리스 제어가 관심을 받고 있다. 세탁기 모터의 위치 센싱 목적의 2개의 홀센서가 사용되고 90도 분해능을 가진다. 센서 삭제하기 위해 모터 모델을 활용하여 위치를 추정하는 기술이 사용된다(그림 8). 세탁물이 뭉치는 것을 방지하기 위해 정/역 교반을 수행하는데 1회 세탁 시 모터 기동 횟수가 약 300회에 이른다. 기동에 있어 안정적인 제어가 뒷받침되어야 하며 초기 위치와 저속 위치 추정 기술<sup>(2)</sup>이 핵심이다. 극저속 추정에 고주파 주입 방법<sup>(3)</sup>이 있지만 DD 모터가 대기 중 노출되어 있어 고주파 주입 시 소음이 밖으로 전

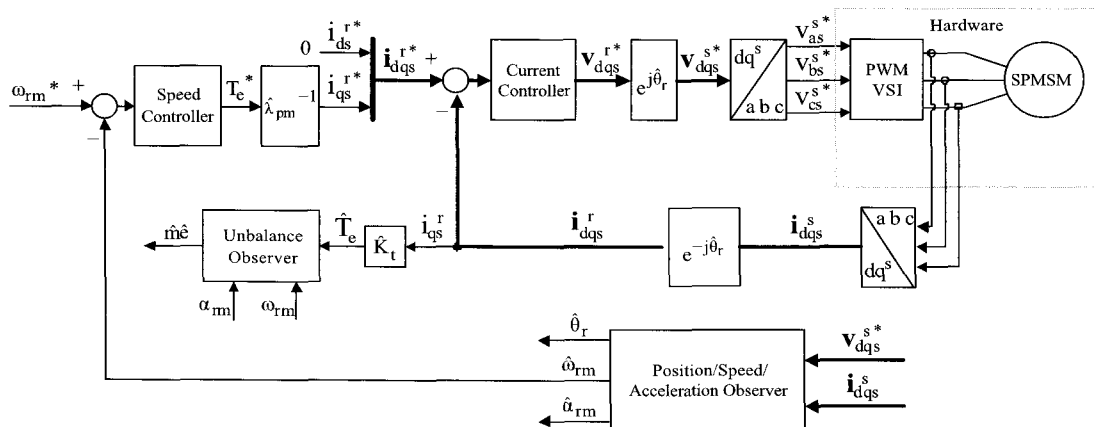


그림 8 센서리스 제어 블록도

달되어 사용되고 있지 않다.

전류 센싱 수단으로 current transducer(CT)나 셉트 저항 있으며 인버터 low-side switch에 3개의 셉트 저항을 사용하여 전류를 측정한다. 셉트 저항 갯수를 줄이려고 dc-link의 셉트저항 1개로 전류를 복원하는 기술이 활용 가능하다. 단일 전류 센서와 스위칭 상태 정보를 가지고 전류 복원 시 섹터 전환 구간에서 불감 영역이 발생한다. 이런 영역에서 전류를 센싱하기 위해 전압 벡터를 변경하여 소음 발생되는데 이를 저감하기 위한 harmonic 제어 기술<sup>[4]</sup>이 개발되고 있다(그림 9). 스위칭 주파수 16kHz이며 한 주기가 62.5usec이다. 짧은 스위칭 주기 내에 전류 복원하기 위해서는 간단히 연산할 수 있는 알고리즘이 요구된다. 수학적 기법을 활용하여 빠른 시간 내에 연산을 완료할 수 있다.

### 2.5 응용 기술

홍미롭게도 세탁기의 모터는 구동기능과 센서로 활용된다. 탈수 고속 회전 시 세탁물 편심에 의해 원심력이 발생되고 진동이 급증되므로 이를 감지하고 제어해야 한다. 모터 제어

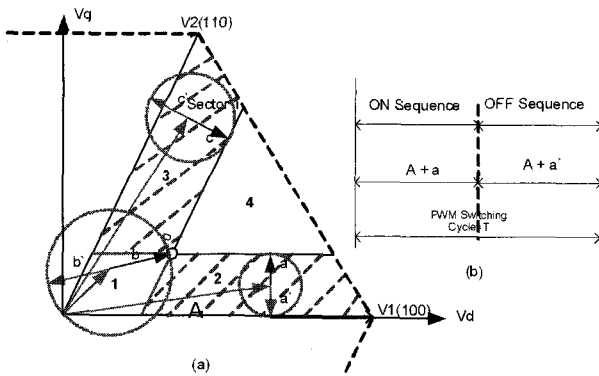


그림 9 단일 전류센서 활용한 전류 복원

정보와 회전계 모델링(그림 10)을 토대로 관측기(observer) 기술을 적용하여 편심을 실시간으로 추정한다. 세탁물 무게에 따라 물사용량, 시간 및 드럼회전 방법이 결정된다. 회전 관성을 이용하여 똑똑하게 세탁물 무게를 추정한다.

## 3. 차세대 제어 기술

파워 손실을 저감하는 스위칭 소자의 개발로 전력 변환 기술이 비약적인 발전 예상하며 향후 가전에 적용될 기술을 예측해본다.

### 3.1 컨버터

국내 출시되고 있는 세탁기 최대용량은 19kg이며 과거 대비 두배 가까이 용량이 증가하였다. 용량에 비례하여 부하가 증가되므로 현재 사용하고 있는 모터와 인버터 기술로 저속 세탁과 고속 탈수에서 드럼 구동하기에 제약이 따른다. 세탁기 모터의 경우 공간 제약 있어 모터 설계에 따라 저속과 고속 토오크를 동시 개선하는데 어려움이 있다. 컨버터 기술을 활용한 모터에 공급할 있는 전압을 높이게 되면 고속 토오크를 확보 가능하며 부수적으로 역률 보상 기능을 수행할 수 있다(그림 11). 그러나 저속 영역에서 파워 손실에 의해 효율 저하가 발생한다.

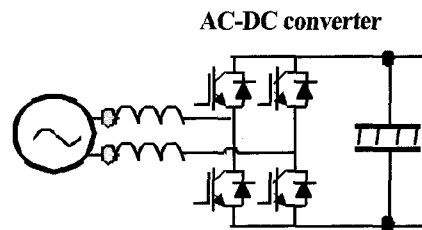


그림 11 컨버터

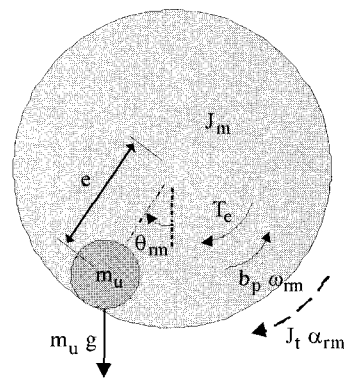
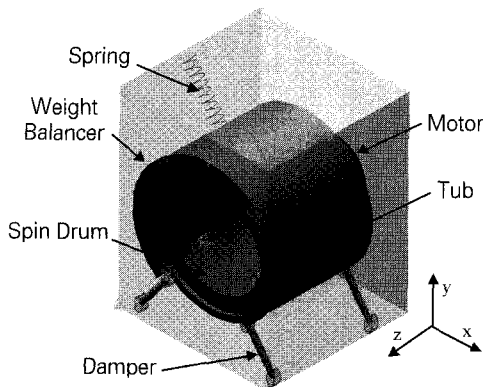


그림 10 회전계 모델링

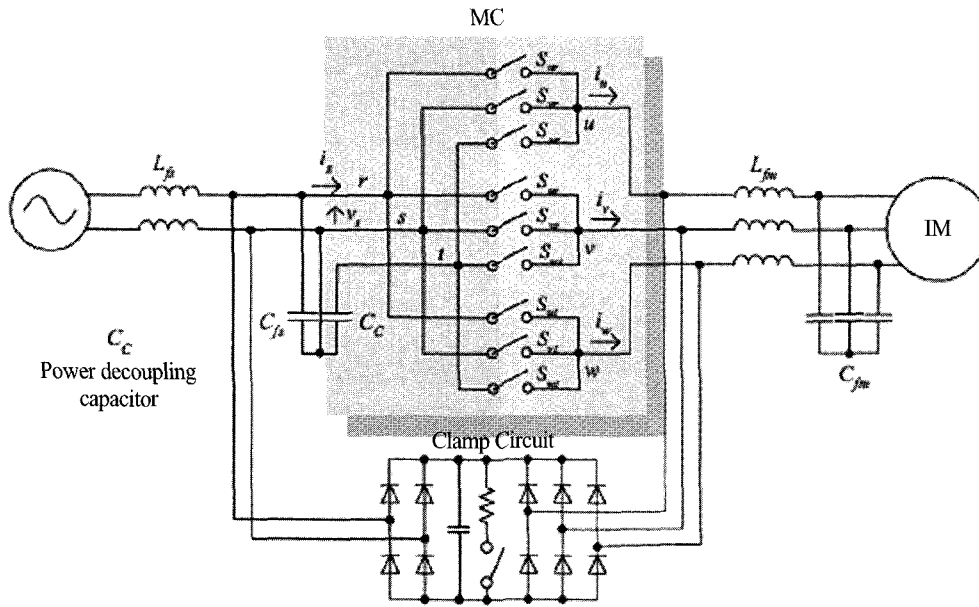


그림 12 단상 Matrix 컨버터<sup>5)</sup>

### 3.2 AC to AC

VSI에 dc-link capacitor가 사용되는데 공간을 차지하고 회로 신뢰성에 영향을 준다. AC를 AC로 직접 변환하는 기술을 적용하면 capacitor를 삭제 가능하다. 산업계에서 삼상 Matrix Converter 상용화되었고 단상의 경우 가전제품에 적용된 사례는 있지만 재료비, 성능 및 신뢰성 등의 개선이 필요하다(그림 12).

### 4. 결론

대학원에서 전력전자를 공부하고 삼성전자에 입사 후 제품을 개발하며 실전을 통해 배운 기술과 경험을 소개 하였다. 향후 모터 제어 관련 필요한 기술도 살펴 보았다. 파워 소자의 발전으로 전력변환에 있어 혁신적인 전환점 가져올 것을 예측한다. 일등만이 살아남는 글로벌 경쟁 환경에서 삼성전자는 최소 재료비로 최대 성능을 구현하고 소비자가 만족하는 제품 개발하려고 노력하고 있다. 다른 분야에서 가전의 재료비 절감 기술이 활용되리라 생각된다.

본 논문이 전력전자를 연구하는 후배들에게 흥미를 주고 동종 업계 연구원에게 조금이나마 도움이 되기를 바란다. 또한 전력전자 분야의 발전이 있기를 기대한다. ☞

### 참고 문헌

[1] Ohnishi Masayuki, "전기 세탁기 100년 역사", 2008

[2] H. Kim, S. Yi, N. Kim, R.D. Lorenz, "Using low resolution position sensors in bumpless position/speed estimation methods for low cost PMSM drives," IEE-IAS, Vol. 4, pp. 2518-2525, 2005.

[3] H. Kim, S. Yi, N. Kim, R.D. Lorenz. "Carrier signal injection based sensorless control methods for IPM synchronous machine drives," IEE-IAS, Vol. 2, pp. 977-984, 2004.

[4] H. Ryu, H. Yoo, J. Ha, "Carrier-based signal injection method for harmonic suppression in PWM Inverter using single Dc-link current Sensor," IECON Conf., pp. 2700-2705, 2006.

[5] M. Saito, N. Matsui, "A single-to three-phase matrix converter for a vector-controlled induction Motor," IEEE-IAS, pp. 1-6, 5-9 Oct. 2008.

### 〈 필 자 소 개 〉



#### 김현배(金鉉培)

1971년 2월 24일생. 1996년 군산대 공과대학 기계설계과 졸업. 2004년 위스콘신 대학원 (Wempec) 기계공학과 졸업(공학). 2004년~ 현재 삼성전자 생활가전사업부 수석연구원.