

특집 : 가전에서의 모터 및 제어기술 동향

공조 분야의 모터 제어 및 전력전자 기술

오재윤*, 김창범**

(LG전자 *CTO AE연구소 수석연구원, **AE본부 제어연구소 수석연구원)

LG전자는 Global 공조 회사로서 고효율, 고성능의 에어컨 개발을 위해 지속적인 R&D를 투자하고 있으며 모터와 컴프의 자체 생산능력을 보유하여 독자적인 인버터 기술을 확립해가고 있다. 공조분야는 Cycle 기술과 함께 모터 및 컴프레서, 그리고 모터 제어, 인버터와 같은 전력전자 기술이 융합되고 품질, 효율, 가격 경쟁력이라는 3가지 조건을 모두 확보해야만 하는 기술 중심의 시장이다. 본 논문에서는 이러한 공조 분야의 최신 기술의 방향과 핵심 기술에 대해 소개하고자 한다.

1. 서론

화석 연료의 부족으로부터 시작된 전 세계적인 에너지 절감의 요구와 규제 강화는 신재생에너지에 대한 연구뿐 아니라 기존의 전력소비제품들의 급격한 효율 향상을 요구하고 있다. 유럽의 경우 2013년부터 ErP라는 새로운 규제로 일정 효율 이하 제품의 판매 금지를 강화하게 될 것이며 이전의 정격 조건 효율에서 실부하 효율, IPLV와 같은 부분 부하 효율 경쟁을 요구하고 있다. 또한 경쟁국가로서 중국의 경우 다양한 정부 시책으로 급격한 인버터 에어컨 시장의 확대가 이루어지고 있으며 이와 함께 중국내 업체들의 성장이 규모나 기술 면에서 두드러지고 있다.

2011년 그린에너지 전략로드맵⁽¹⁾에 따르면 최근 세계 공조 시장 규모는 약 724억\$이며 히트펌프가 약 30% 이상으로 급격히 증가하고 있다. 점차 공조시장이 냉장 + 공조 + 냉동

일원화의 시스템과 같이 기존 가정용에서 벗어나 상업용으로 변화하고 있음을 알 수 있다.

현재 세계 공조시장은 아직까지 일본 업체들이 전세계 시장의 60%를 차지하고 있으며 중국 업체들도 급격하게 성장하고 있는 중이다. 이러한 경쟁시장에서 지속적인 성장을 위해서는 차별화 기술의 내재화를 통한 경쟁력의 확보가 필수적이며 모터 제어 및 전력전자 기술과 같은 핵심 부품 기술이 그 중심이 될 것이다.

2. 에어컨의 소개

LG전자는 1968년 에어컨 생산을 시작하여 가정용에서 상업용, 칠러에 이르기까지 종합 공조 회사로서의 다양한 용량대의 제품군을 구성하고 있다.

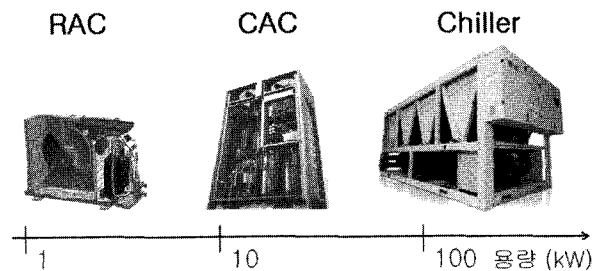


그림 1 공조용 에어컨의 용량대

2.1 에어컨 시스템의 구성

에어컨은 Cycle로 표현되는 Thermo Fluid 기술과 Compressor, Motor로 대표되는 기계, 전기기기의 기술, 그리고 전력전자의 다양한 기술들이 합쳐져 이루어져 있다. 사용되는 모터와 제어 역시 실내,외기 Fan-용, Compressor용과 같이 다양한 조건과 특성을 요구하게 되는데 본 논문에서는 주로 실외기와 관련된 모터 제어와 전력전자 기술을 소개하고자 한다.

2.2 에어컨 규제

2011년 5월에 발표된 ErP 등급에 대한 최종 Draft에 의하면 향후 2014년 까지 MEPS(Minimum Energy Performance Standards)에 따라 일정 효율 이하의 제품에 대한 규제가 지속 강화된다. 또한 이는 실사용조건에서의 에너지 사용량에 대한 규제로서 이전의 정격 위주의 효율 측정이 아닌 사용 시간에 가중치를 둔 부분 부하 효율의 강조가 된다. 따라서 이후 인버터 시장의 확대와 함께 모터의 가변속 범위, 대기전력 등 전반적인 공조 기술의 진보를 요청하게 될

것이다.

또한 공조분야는 다른 가전제품과 달리 지역에 따라 고조파 규제를 받게 된다. 따라서 Power Factor Correction과 같은 Converter 기술이 적용되고 있으며 용량대에 따라 Partial Switching 이나 Full Switching과 같은 다양한 Converter Topology등이 사용되고 있다.

3. 공조용 모터 제어 및 전력전자 기술

3.1 모터 제어

공조용 모터 제어의 가장 큰 특징은 Compressor 구동을 위한 센서리스 제어이다. 팬모터나 다른 제품군들과는 달리 고온, 고압의 운전 조건은 위치 센서의 취부를 불가능하게 만들며 또한 부하 조건이 팬이나 청소기, 세탁기 등과는 다르게 사이클의 형성에 따라 정토크 영역에 해당하는 구간이 상당히 넓게 존재하게 되며 고속 구간에서도 정파워 영역에 해당하지 않는 경우가 많다.

3.1.1 Compressor용 센서리스 제어

각사마다 다양한 종류의 센서리스 알고리즘을 사용하고 있으며 이에 대한 분석은 사실상 어려운 부분이 많다. 다만 최근에 많이 논의되고 있는 알고리즘으로는 전류 모델 기반 센서리스 알고리즘⁽²⁾과 확장 EMF 기반 센서리스 알고리즘⁽³⁾을 예로 들 수 있겠으며 이외에도 정밀도 및 안정성 향상을 위한 신호 주입 방식도 검토될 수 있다. 그러나 공조 분야에서의 제어는 그 부하 특성에 따른 Application이 매우 중요한 분야이며 하기와 특성들에 대한 이해가 필요하다.

1) 차압 기동 혹은 기동 특성의 향상

- 사이클 구성에 따라 기동 조건이 다양할 수 있으므로 기동 성능에 대한 확보가 매우 중요하며 신호 주입 방식이 가장 유력한 방식이지만 소음 및 손실을 야기하게 된다. 최근에는 신호 주입시 소음에 대한 연구도 진행되고 있다.⁽⁴⁾

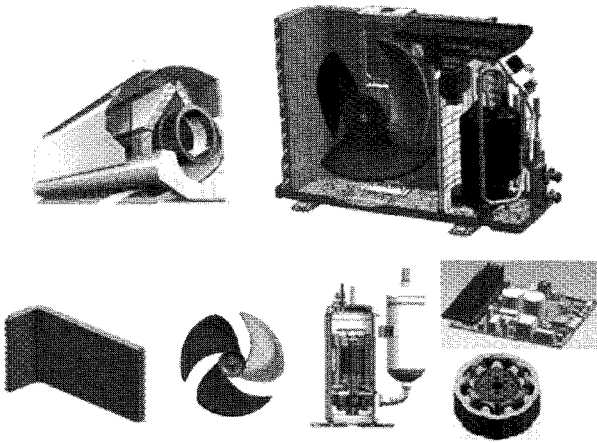


그림 2 에어컨의 주요 구성 및 부품 (열교환기, Fan류, Compressor, Controller, Motor)

| | | SEER/SCOP | | |
|--|------|-----------|-------|------------------------------|
| | A+++ | 8.5 | 5.1 | |
| | A++ | 6.1 | 4.6 | |
| | A+ | 5.6 | 4.0 | |
| | A | 5.1 | 3.4 | Banned in Jan. '14 (4.6/3.8) |
| | B | 4.6 | 3.1 | |
| | C | 4.1 | 2.8 | Banned in Jan. '13 (3.6/3.4) |
| | D~ | 4.1 > | 2.8 > | |

| | EER | COP |
|----|-------|-------|
| A | > 3.2 | > 3.6 |
| B | 3.0 | 3.4 |
| C | 2.8 | 3.2 |
| D~ | 2.8 > | 3.2 > |

그림 3 에너지 규제의 강화

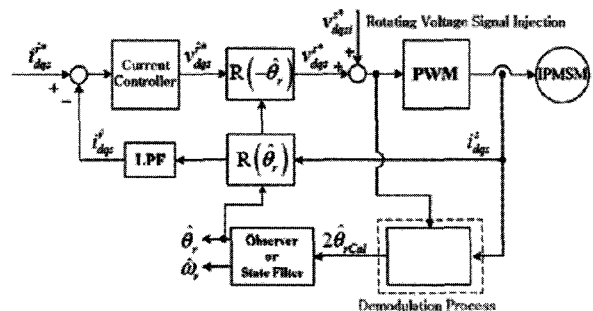


그림 4 1 신호 주입 방식 Block

2) 고속 운전 영역의 확장

- 에어컨에서의 고속 구간은 주로 난방 능력 및 저온 성능과 연계되어 있으나 고속 운전을 위해서는 기계적인 신뢰성 외에도 제어 측면의 이슈도 있다. 우선 에어컨의 경우 대다수 업체들이 3~4kHz의 스위칭 주파수를 사용하고 있으므로 고속으로 갈수록 Resolution의 저하와 시지연의 영향도가 커지게 된다.⁽⁵⁾

단적인 예로 4극 모터의 경우 전기적으로 300Hz 구동시 4kHz PWM 한주기는 전기적으로 27도에 해당하게 되며 시지연등의 영향이 상당히 커질 수 밖에 없다. 자사의 경우에도 다양한 보상등을 통하여 센서리스 운전 범위에서는 세계적인 수준을 확보하고 있다.

또한 최대 운전 범위에 맞춘 모터 설계의 경우에는 전류가 증가하는 단점이 있게 된다. 따라서 주로 약계자 영역에서의 운전이 빈번하게 되며 이에 따른 인가 전압의 왜곡과 위치 오차의 증가등에 강인한 제어 기술이 필요하다. 최근 부분 부하의 중요성이 강조되며 점차 저속 구간에 유리한 모터가 설계됨에 따라 약계자 영역은 증가하게 되는 추세이며 이에 대한 기술적 접근이 필요하다.

3) 저속 운전 영역의 확장

다른 또 한 범주의 중요한 기술은 저속 구간 센서리스 제어이다. 최근 부분 부하 효율의 중요성이 강조됨에 따라 운전시의 최소 소전차가 중요한 지표중에 하나가 되었으며 실제 에

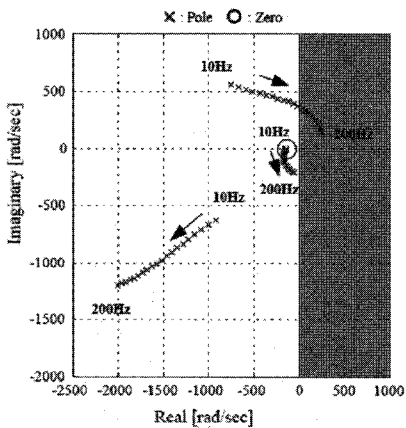
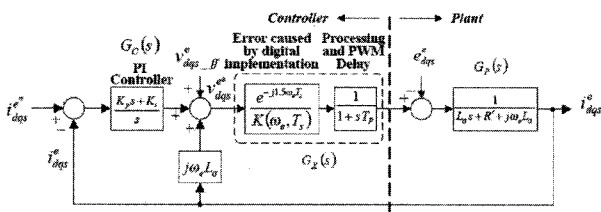


그림 5 시지연 영향도 (제어 Block, root locus)

어컨 성능상의 효과 여부에 대한 이견이 있을 수 있으나 안정적인 저속 운전 범위의 확장은 필수적인 조건이 되어가고 있다. 그러나 넓은 가변속 범위의 요구에 따른 모터 설계 방향의 변화는 저속에서의 전압 오차등을 상대적으로 크게 만들 수 있으므로 Dead Time 보상이나 오차에 강인한 알고리즘과 같은 대책이 필요하게 된다.

4) 기타 품질 확보를 위한 노력

- 센서리스 제어의 특성상 Parameter의 변동이나 Gain tuning등의 신뢰성을 확보하기 위해서는 Parameter Estimation이나 Self Tuning과 같은 기법들이 필요하게 되며 현재 산업용 범용 인버터 분야에서 적용되고 있는 다양한 기법들도 점차 공조용으로 흡수될 것으로 보인다. 또한 이산화에 의한 오차, 전류 및 전압 검출시의 지연등에 따른 미세한 오차들에 대한 관리도 반드시 필요할 것으로 사료된다.

3.1.2 토크 제어

에어컨에 사용되는 Compressor는 압축부 구조에 따라 Single Rotary, Twin Rotary, Scroll Compressor등의 종류가 존재하며 각각의 부하 특성 및 진동 특성이 다르게 된다. 그 중 Single Rotary Compressor의 경우 편심 부하에 의한 진동이 저속에서 매우 커지게 되며 이를 줄이기 위한 제어가 필수적이게 된다.

각 사마다 다양한 방식의 토크 제어 방식을 취하고 있으나

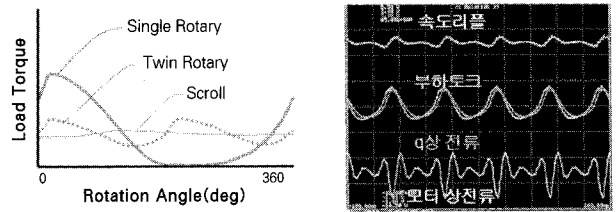


그림 6 Torque Control (Load Profile, 파형, 제어 Block)

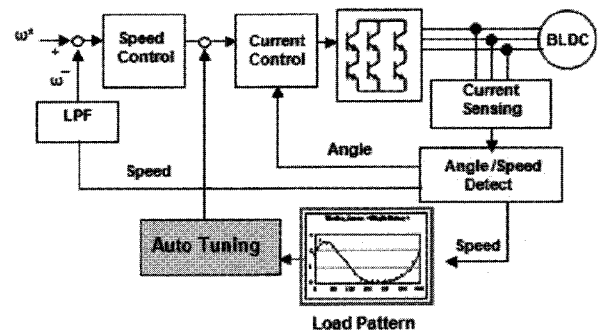


그림 7 전류 검출 방식 (3 Shunt, 1 Shunt)

기본적으로는 발생하는 Load에 보상하는 방식으로 속도 리플을 저감하는 제어이며 Load를 관측하는 방식 또한 점차 패턴 방식에서 관측기를 사용하는 방식으로 변화가고 있다.

3.1.3 전류 검출

모델 기반의 알고리즘 특성상 검출되는 신호의 정확성이 매우 중요하다. 전류 검출을 위한 방식은 전류센서로부터 3 Shunt 저항 방식, 1 Shunt 저항 방식으로 지속적으로 발전되어 왔으며 이와 함께 신호가 검출되지 않는 특정 구간에 대한 보상 Logic도 발전해왔다. 최근 자사나 일본의 경우 1 Shunt 방식이 보편화되어 있다.

3.1.4 Fan Motor 제어

에어컨에서는 열교환을 일으키기 위해 Fan이 사용된다. 실외팬 기준으로 염기형 에어컨에는 단상 유도 모터, 고효율용 에어컨에는 BLDC 모터가 사용되며 점차 드라이브 내장형에서 직접 구동형으로, 센서 타입에서 센서리스 타입으로 변경되어 가고 있다. 각 업체별로 실외팬 구동 방식은 전략적으로 다양하게 선택하고 있다.

3.2 전력전자

모터 제어와 함께 손실 저감을 위한 다양한 방법들이 시도되고 있다. 스위칭 손실을 줄이기 위한 PWM 방식들이나 신규 소자의 적용, 고효율 Topology 선정 등 다양한 시도들을 소개하고자 한다.

3.2.1 PWM 방식

일반적으로 사용되는 Space Vector PWM 외에도 스위칭 손실을 줄일 수 있는 Discontinuous PWM이 주로 일본 업체를 중심으로 널리 사용되고 있다. 이 경우 일반적으로 인버터의 스위칭 손실을 30% 저감이 가능하다지만 전류 리플 증가에 따른 소음에 주의해야만 한다.

3.2.2 Power Device

SiC나 GaN과 같은 새로운 소자의 검토는 Device 업체 중심으로 적극적으로 제안되고 있다. 최근 Mitsubishi는 SiC Diode가 내장된 IPM을 적용하여 에어컨 제품을 출시하였고 Toshiba의 경우에는 2007년부터 SPS라는 독자적인 구동회로를 갖는 MOSFET과 IGBT의 Hybrid Module을 적용하여

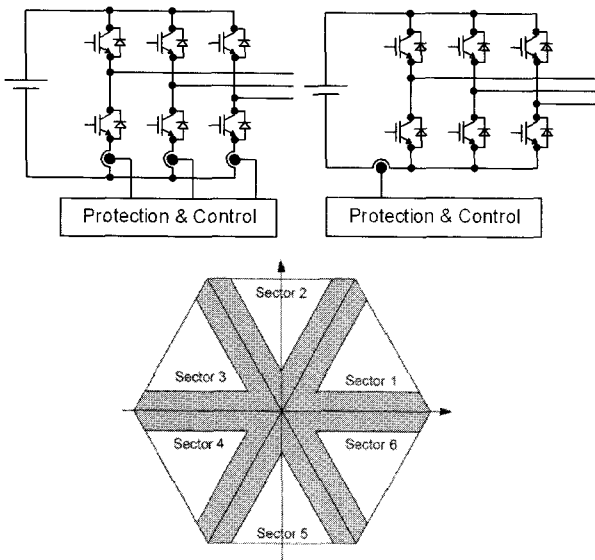


그림 8 1 Shunt 방식의 불검출 구간

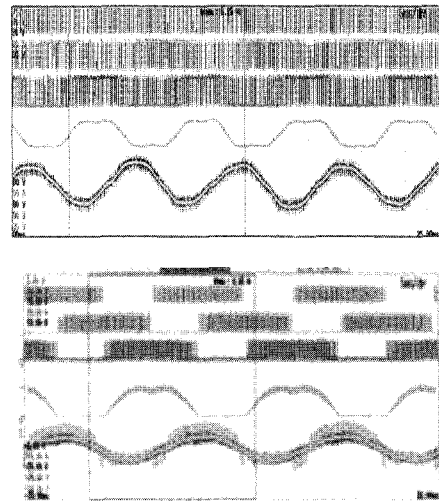


그림 10 PWM 방식의 비교 (SVPWM, DPWM)

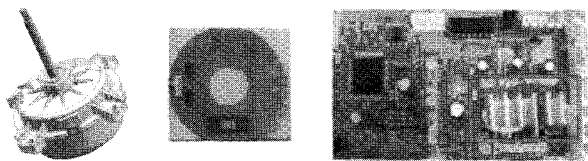


그림 9 실외팬 구동부 (내장형, 외장형)

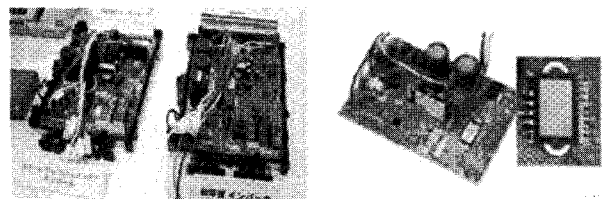


그림 11 신규 Device 활용 (Toshiba, Mitsubishi)

왔다. 아직까지는 두가지 방식 모두 가격 부담을 증가시키는 방안이지만 이후에도 지속적으로 고효율 소자 적용을 위한 노력은 반드시 필요하다.

4. 결론

본 논문에서는 공조분야의 시장 환경과 그 핵심 기술인 모터 제어와 전력전자 분야의 방향과 업체들의 기술적 노력에 대해 간단하게 기술하였다. 제품이 되기 위한 신뢰성, 품질이라는 더 큰 분야가 아직 논해지지 않았으나 다른 어느 분야보다 급격하게 기술적인 경쟁이 심하게 일어나는 분야임이 분명하다.

여러 기술 분야가 융합되어 하나의 제품이 되는 혼치 않은 분야이면서 가정용 에어컨에서 시작해서 공조용 설비로까지 그 범주를 넓혀가는 중이다. 기술적으로 효율이나 신뢰성을 확보하면서 끊임없는 가격 경쟁을 하기 위하여 생산 품질까지 모든 부분에 대한 연구가 지속적으로 필요하다.

정통적인 강자인 일본 업체와 급격하게 성장하는 중국 업체들과의 경쟁에서 생존하기 위하여 LG전자도 대학교, 부품 업체 등과 지속적으로 긴밀한 협조를 이루어나갈 것이고 핵심 기술을 통한 차별화를 위하여 전력전자 분야 R&D 인원의 확충에 그 어느 때보다 노력을 하고 있다. 또한 새로운 기술과 부품의 빠른 적용을 통한 기술 리더십 확보를 위해 많은 시도를 하고 있는 중이다. ■

참고 문헌

- [1] 그린에너지 전략로드맵 Ebook, 한국에너지평가연구원, 2011
- [2] Nobuyuki Matsui, "Sensorless Salient-Pole PM

Synchronous Motor Drives in All Speed Ranges", IEE Japan, Vol. 120-D, No. 2, 2000.

- [3] Morimoto, S., "Sensorless control strategy for salient-pole PMSM based on extended EMF in rotating reference frame", Industry Applications, IEEE, Vol. 38, pp.1054-1061, 2002.
- [4] Sungmin Kim, "PWM Switching Frequency Signal Injection Sensorless Method in IPMSM", IEEE Energy Conversion Congress & Exposition, 2011.
- [5] Bon-Ho Bae, Seung-Ki Sul, "A Compensation Method for Time Delay of Full Digital Synchronous Frame Current Regulator of PWM ac Drives", Industry Applications, IEEE, Vol. 39, pp802-810, 2003.

〈필자 소개〉

오재윤(吳在胤)

1971년생. 1994년 연세대 공과대학 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년~현재 LG전자 CTO AE 연구소 수석연구원.



김창범(金昌範)

1965년생. 1991년 경북대 공과대학 전기공학과 졸업. 2003년 부산대 대학원 지능기계시스템 졸업(석사). 1991년~현재 LG전자 AE본부 제어연구소 수석 연구원. 경북대 대학원 제어시스템 박사과정 중.

