

특집 : 최근의 전동기 기술

프리미엄급 고효율 유도전동기 기술동향

한 필 완, 전 연 도, 구 대 현
(한국전기연구원 메카트로닉스연구그룹)

1. 서 론

최근 배럴당 60달러가 넘는 초고유가 시대로 접어들면서 화석에너지 자원의 한계에 대한 인식, 이산화탄소 과다 방출에 의한 지구 온난화 문제가 심각히 대두되고, 2005년 2월 16일 온실가스 배출 저감을 위한 교토의정서가 발효됨으로써 에너지 소비규모가 세계 10위인 국내의 경우 향후 에너지 자원의 효율적 사용에 대한 종합적이고 체계적인 정책 준비가 절실한 실정이다⁽¹⁾.

이러한 배경에서 우리나라에서 생산되는 총 전력의 40% 이상을 차지하고 있는 유도전동기의 고효율화는 반드시 필요하다고 볼 수 있으며⁽²⁾, 이에 따라 본 논문에서는 최근 에너지 절약을 위해 주목 받고 있는 프리미엄급 고효율 유도

전동기의 특징 및 국내외 기술동향을 소개한다.

먼저, 고효율 유도전동기는 일반 유도전동기의 발생 손실을 저감시킨 것으로 적은 소비전력으로 에너지를 절약하고, 운전비용이 낮아서 단기간에 초기 설비투자 비용회수가 가능하고, 온도상승이 크지 않아 전동기 수명을 연장시킬 수 있다.

국내에는 미국의 'EPAAct(1992)', 캐나다의 'EEAct(1992)'가 제정된 직후, 1992년 12월 KS C 4202에 고효율 삼상유도전동기 효율기준을 신설(50HP이하)하였고, 1997년 8월 최대용량범위(200kW이하)를 확대하였다. 고효율 기준이 정해져 10년이 지난 지금 전동기의 철심재질의 향상과 전동기 설계기술의 향상으로, 보다 높은 효율의 전동기 제작이 가능해졌다. NEMA(미국 전기기기협회)에서는 고효율기준을 더 강화하여 프리미엄급 고효율 유도전동기 규격을 제정하여 보급확대를 계획하고 있으며, 그림 1에서 볼 수 있듯이 프리미엄 고효율 전동기 효율은 일반 고효율 전동기보다 4~5% 높다.

본 논문에서는 이러한 배경을 바탕으로 프리미엄급 유도전동기의 특징 및 국내외 기술동향을 소개한다.

2. 유도전동기의 손실과 고효율 기술

유도전동기의 효율을 향상시키기 위해서는 무엇보다도 손실에 대한 정확한 분석과 그것을 저감시키는 것이 중요하다. 손실은 크게 나누어 동손, 철손, 표류부하손, 기계손으로 구성된다⁽³⁾. 그림 2는 유도전동기의 손실 분류, 구조 및 각 손실 비율을 나타낸 예이다. 동손은 도체에 전류가 흐름으로써 발생하는 줄열이며 동손을 저감시키기 위해서는 도체 저항의 저감이 최대 포인트가 된다. 철손은 적층된 전기

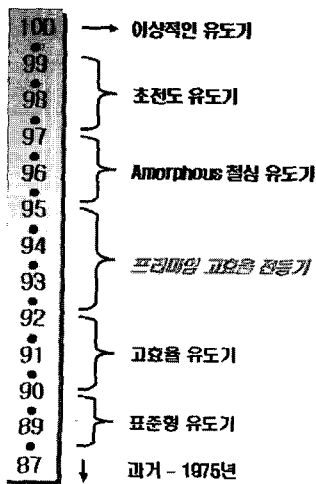


그림 1 유도전동기의 효율 비교 (삼상 20HP 기준)

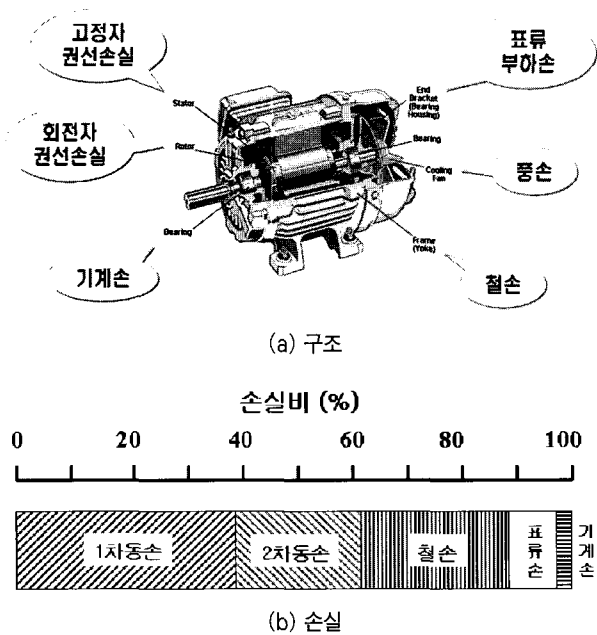


그림 2 유도기의 구조와 손실 (3.7kW 4P 200V 범용 일반 유도기 예)

강판에 외부에서 회전자계가 인가되어 발생하는 손실로서 와전류 손실과 히스테리시스 손실로 이루어져 있다. 철손을 줄이기 위해서는 철손이 작은 전기강판을 사용하거나 가공 후의 강판을 열처리하는 방법이 있다. 표류손은 전동기 총 입력 에너지에서 출력 및 1차 2차 동손, 철손, 기계손을 뺀 나머지 손실로서 부하시의 고조파 동손, 고조파 자속에 의한 철손 등이 복합적으로 작용하여 아직 명확히 규명되고 있지는 않다. 기계손은 전동기 운전 중의 베어링 마찰손, 냉각팬의 풍손 등에 의해 발생하는 손실로서 전동기 냉각팬 지름을 작게 하거나 적정 베어링 선정 및 윤활유 사용 등으로 손실을 저감할 수 있다. 따라서, 고효율 유도전동기는 손실을 저감하는 설계 및 해석기술을 바탕으로 이루어 질 수 있으며 새로운 재료 및 최적설계가 뒷받침 되어야 보다 좋은 고효율 전동기를 만들 수 있다.

3. 프리미엄 유도전동기 기술

유도전동기는 수십 년간 장기간에 걸쳐 그 성능이 개선 보완되어 왔다. 현재까지의 고효율 전동기보다 한 단계 더 높은 프리미엄급 고효율 유도전동기 개발에 있어서 설계기술, 해석기술, 재료기술, 생산기술 및 시험평가기술 등은 주요 기반기술이라고 할 수 있다. 특히 프리미엄급 고효율전동기 개발을 위해서는 저 손실 강판 및 동다이캐스팅 회전자 등의 새로운 재료기술 도입이 필수적이다. 특히, 동다이

캐스팅 회전자를 적용한 유도전동기의 경우 고정자는 그대로 두고 회전자 재질만 기존 알루미늄에서 동으로 바꾸었을 경우, 알루미늄 회전자에 비하여 동 회전자는 손실을 약 40%가량 줄일 수가 있으며, 전체 효율은 평균적으로 3.5[%] 향상되기 때문에 많은 에너지 절감효과를 얻을 수 있다. 또한 회전자 동손이 낮기 때문에 회전자 발열이 줄어들어 알루미늄 다이캐스팅 유도전동기 보다 약 5[°C] 정도 온도가 낮으므로 전동기 수명을 연장시킬 수 있고 사용자 입장에서는 전동기의 교체비용과 교체주기가 줄어들어 기업운용에 많은 도움을 얻을 수 있다. 그리고 동 다이캐스팅 유도전동기의 경우, 기존 알루미늄 전동기와 비교해 볼 때 전동기의 크기를 대폭 줄일 수가 있어 재료비의 경감효과도 얻을 수 있다.

3.1 국내 기술 현황

3.1.1 설계기술

자기회로법을 이용한 설계를 시행하거나 상용 해석 프로그램을 많이 이용하고 있으나 유도전동기의 특성을 고려한 전용 프로그램이 전무하다. 유도전동기는 전기, 전자, 제어, 기계분야가 결합되어 상호 복합적으로 작용하므로 프리미엄급 고효율 유도전동기의 설계를 위해서는 전자기적 특성을 결정하는 맥스웰 방정식과 구동회로 방정식 그리고 회전체의 동역학적 거동을 결정하는 운동방정식이 결합된 복합계를 해석하는 방법이 필요하다.

3.1.2 해석기술

근래 들어 컴퓨터의 성능이 향상되고 메모리가 증가하면서 CAE (Cad Aided Engineering)기반의 전자계 해석 기술이 주목받고 있다. 전자계 해석기술은 해석모델의 복잡한 형상 및 재료의 비선형성 등의 처리가 비교적 쉬운 유한요소법을 이용한 2차원 해석이 주류를 이루고 있으며, 정자계, 시변자계를 비롯해서 회로방정식을 결합한 과도현상 해석 등이 가능한 수준에 이르렀다. 또한 그림 3과 같이 열이나 진동 해석 등을 전자장 해석과 결합한 연성문제 해석도 활발히 연구되고 있는 실정이다. 그러나 해석 대상이 오버행, 스큐 등의 비대칭 구조를 가지는 경우 또는 축방향 공극을 가지는 회전기나 코일 단부의 영향이 기기에는 2차원 해석이 곤란할 뿐 만 아니라 해의 정밀도를 충분히 보장할 수 없으므로 3차원 해석이 필수적이다. 3차원 해석의 경우 최근 코일 단부를 고려할 수 있는 3차원 유한요소법과 회로방정식을 결합한 연성 문제해석이 수행되어 다양한 기기의 해석에 적용되고 있고 회전자의 이동을 고려하여 운동방정식과 결합한 동특성 해석까지도 가능한 수준으로 발전되었으나 여전히 모델링 과정이 복잡하고 계산시간이 많이 소요되는 등 해결해야 할 많은 과제들이 남아있다. 프리미엄급 고

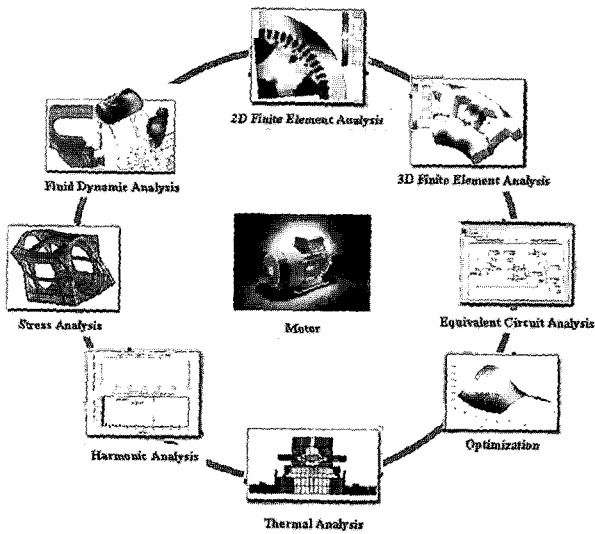


그림 3 전동기해석 연계도

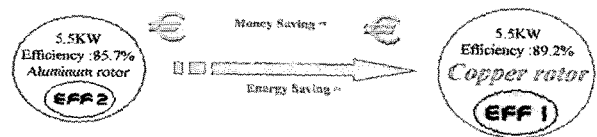
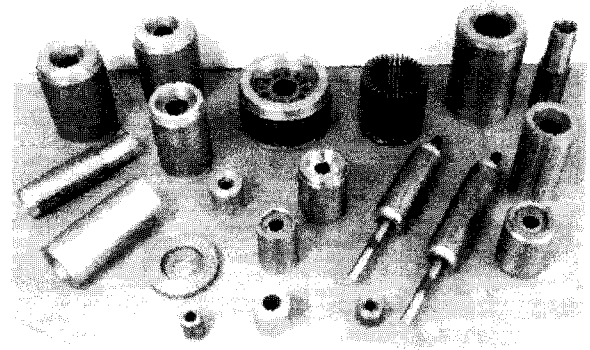


그림 4 유럽 F사의 동다이캐스팅 상용화 제품

효율 유도전동기의 경우 효율을 높이기 위해서는 정확한 손실 해석이 필수적이다.

3.1.3 재료기술

일반적으로 유도전동기는 많은 종류의 재질로 구성되어 있으며 손실을 저감하고 효율을 극대화시킨 프리미엄급 고효율 유도전동기를 개발하기 위해서는 저손실의 전기강판 및 동다이캐스팅 회전자 등이 주요 재료기술이라 할 수 있다. 동다이캐스팅 회전자의 경우 알루미늄(660℃)에 비해 녹는점이 상당히 높은 약 1083℃이므로 금형재질 자체의 고열에 의한 열적 피로로 다이의 표면에 미세한 균열이 가는 등 상용화에 큰 기술적 어려움을 가지고 있어 국내에서는 연구 개발사례가 전무하나 현재 한국전기연구원에서 이에 대한 기초연구를 2005년에 진행하였고, 프리미엄급 유도전동기 개발을 목표로 산·학·연 공동연구를 통해 2008년도까지 2마력급 동다이캐스팅 유도전동기를 개발할 계획에 있다.

3.1.4 생산기술

코어 편칭, 금형기술, 가공기술 등은 전동기의 성능에 큰 영향을 주는 기술이며 특히, 철손을 저감할 수 있는 열처리 기술의 경우 조건에 따라 많은 철손 저감의 차이를 보이고 있고 공정 규격화에 의한 표준 데이터 확보에 많은 시간과 노력이 소모되어 이에 대한 종합적이고 체계적인 연구가 필요하다. 또한 조립기술의 경우 고정자 코일의 점적을 향상을 위한 기술은 제품의 성능 및 생산성 향상을 위해 반드시 필요하며 이를 위해 기본적인 소재 및 부품의 가공 수준을

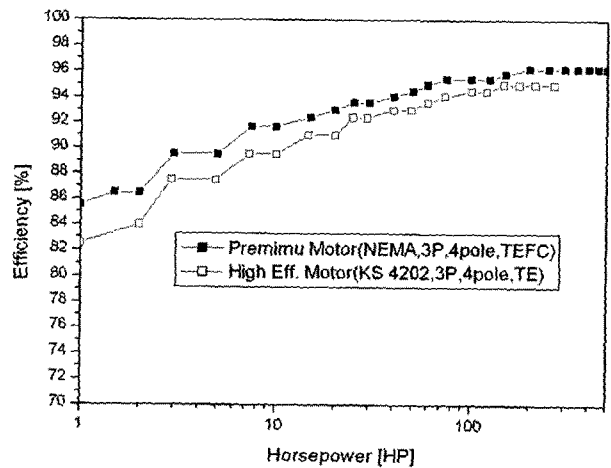


그림 5 프리미엄 전동기(NEMA)와 고효율 전동기(KS 4202)의 효율 비교(3상)

선진국 수준으로 보완할 필요가 있다.

3.2 국외 기술 현황

3.2.1 유럽

European Commission이 만들어져 주로, 전동기, 컴프레서, 팬, 펌프 등 시스템을 중심으로 에너지 효율을 향상시키기 위해 Motor Challenge라는 프로그램을 자발적으로 시행하고 있으며, 이에 따라 프랑스, 독일, 이탈리아 등에서 동다이캐스팅 전동기의 개발에 대한 국제공동연구가 이루어지고 있다. 특히, 그림 4에서와 같이 F사에서는 동 다이캐스팅을 이용한 유도기 개발을 성공하여 현재 상용화하고 있다.

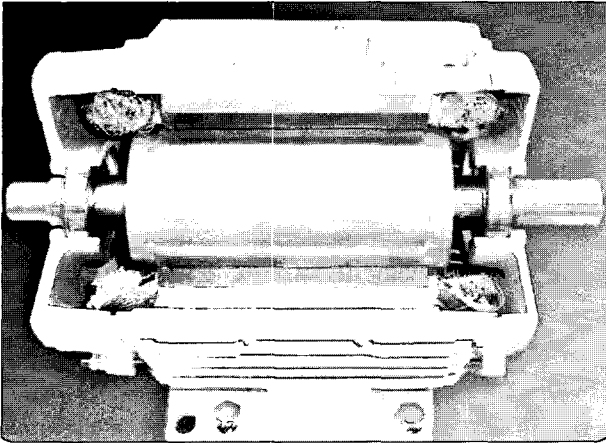



그림 6 CDA의 동다이캐스팅 유도전동기 단면

3.2.2 미국

90년대 초반 에너지성 주도로 에너지정책법(EPA)을 제정 시행하여 200HP 이하 대부분의 유도전동기를 대상으로 고효율 전동기의 사용을 의무화하고 있고, NEMA(미국 전기기기 협회)에서는 그림 5와 같이 고효율 전동기의 기준보다 4~5%정도 더 높은 효율의 프리미엄급 고효율 전동기 규격을 제정하여 향후 프리미엄급 전동기의 보급 확대를 계획하고 있으며, 이와 병행하여 CDA(Copper Development Association: 미국 동산업 협회)에서 국가적 차원에서 산·학·연 공동연구로 동 다이캐스팅 유도전동기의 손실과 효율 등에 대하여 많은 실험과 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근에는 제조원가 측면에서도 동다이캐스팅유도기가 일반 알루미늄 유도전동기에 비해 유리하다는 분석 결과까지 나와 있다^[4].

4. 결 론

이상으로 프리미엄 고효율 유도전동기의 필요성 및 국내외 기술 동향을 살펴본 바와 같이 프리미엄급 고효율 전동기를 개발하기 위해서는 근본적으로 손실을 저감하는 설계 및 해석기술을 바탕으로 하여 재료와 최적설계 및 생산기술이 뒷받침 되어야 한다. 국내의 경우 그동안 설계 및 해석 등의 기반기술이 상당한 발전하였으나, 프리미엄급 고효율을 달성하기 위해서는 동다이캐스팅 유도전동기와 같은 새로운 재료의 적용 기술 및 3차원 해석을 통한 보다 정확한 손실해석이 필요하다. 국외의 경우 프리미엄급 고효율 달성하기위한 연구가 유럽과 미국 등지에서 대부분 동다이캐스팅 유도전동기 개발을 통해 이루어지고 있으며 현재 상품화하고 있는 실정이다. 이에 따라 우리나라도 선진국의

기술개발에 뒤떨어지지 않도록 동다이캐스팅기술을 비롯한 기반 기술을 빠른 시일 내에 확보하여야 할 것이다. 

참 고 문 헌

- [1] 고효율 전동기의 최저효율제 시행방안 기초연구에 관한 최종보고서, 에너지관리공단, 2004.
- [2] 산업부문의 고효율유도전동기 보급실태 조사 및 활성화 방안 연구, 에너지경제연구원, 2003.
- [3] 일본전기학회 기술보고 967호, 유도기와 동기기의 손실평가기술, 2004.
- [4] "Copper Motor Rotor", Copper Development Association Inc. Editors: J. Cowie, Vol. 5, Issue 3, August 2005.
- [5] F. Brush, J. G. Cowie, D. T. Peters, and D. J. Van Son, "Die-Cast Copper Motor Rotors: Motor Test Results, Copper Compared to Aluminum" Energy Efficiency in Motor Driven Systems, Editors: F. Parasiliti, P. Bertoldi, Springer, 2004, pp.136-143.
- [6] IEC 60034-2, "Methods for Determining Losses and Efficiency of Rotating Electrical Machinery from Test" 1972.
- [7] B. Renier, K. Hameyer and R. Belmans, "Comparison of Standards for Determining Efficiency of Three Phase Induction Motors," IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 14, No. 3, pp. 512-517, 1999.
- [8] N. K. Ghai, "IEC and NEMA Standards for Large Squirrel Cage Induction Motors-A Comparison," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 14, No. 3, pp. 545-552, 1999.
- [9] KS 일반용 저압 3상 유도전동기 (KSC 4202)

〈 저 자 소 개 〉



한필완(韓必完)

1975년 9월 15일생. 1998년 한양대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년~2005년 LG전자 DA사업본부 선임연구원. 2005년 10월~현재 한국전기연구원 메카트로닉스연구그룹 연구원.



전연도(全衍度)

1970년 3월 4일생. 1996년 한양대 공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2001년~2003년 일본학술진흥회 외국인특별 연구원. 현재 한국전기연구원 메카트로닉스연구

그룹 선임연구원.



구대현(具大鉉)

1963년 9월 21일생. 1989년 한양대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동아대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 한국전기연구원 메카트로닉스연구그룹 책임연구원.