

전동기 시스템의 효율 평가 규격 및 규제 현황 연구

A Study on the Efficiency Evaluation Standard and Regulation for Electric Motor Systems

전 희 득* · 박 한 석* · 김 대 경** · 우 경 일*
(Hee-Deuk Jun · Han-Seok Park · Dea-Kyong Kim · Kyung-Il Woo)

Abstract - Electric motor systems account for more than half of all electric systems and the amount of energy consumption of those is almost 70 percent of total energy consumption of electric motor systems in industry. As electric motor systems are very responsible for global electricity savings and environment protection, Many international organizations are supporting standards and policy development processes to improve the efficiency of electric motor systems. Many standards are being developed at technical committee of IEC that has been required in order to support the implementation of efficiency regulations. High efficiency standards and levels for electric motor systems are slowly being introduced and compulsory in many countries. Therefore understanding the international efficiency evaluation standards and the regulation of electric motor systems of each country is important. This paper presents the current status and trends of international evaluation standards and regulations about the efficiency of electric motor systems.

Key Words : Electric motor systems, Efficiency, High efficiency level, Regulation, Standard.

1. 서 론

오늘날 전 세계에 쓰이는 전체 에너지 중 50[%] 이상이 산업 현장에 쓰이고, 산업현장에 쓰이는 전체 에너지 중 약 70[%]는 수많은 전동기 시스템을 구동하기 위해 쓰이고 있다. 경제성장을 도모하기 위해 앞으로도 전동기 시스템 사용량이 꾸준히 증가할 것이며, 그에 따른 에너지 소비량은 2030년까지 오늘날의 두 배 이상이 될 것이라는 전망이 있다. 따라서 각 국가를 비롯한 일반 소비자 등 많은 이해 관계자들은 경제성장을 추구하면서도, 동시에 에너지소비량과 이산화탄소 배출량을 낮춰야 하는 도전과제에 직면하고 있다[1][2].

또한 국제에너지 관리국(IEA, International Energy Agency)은 전 세계 기후변화대응을 위한 에너지수요 전망에 대해 2050년까지 온실가스를 감축하기 위한 기술로써 효율향상(36[%]), 신재생에너지(21[%]), 탄소 포집 및 저장(19[%]), 기타(24[%]) 제시하고 있으나, 대부분의 전문가들은 현재의 기술로써 구현이 가능한 수단은 효율향상 부분이라고 지적하고 있다. 특히 전기 소비가 많은 전동기 시스템의 에너지 효율 향상은 이산화탄소 배

출 감소 및 에너지 절감에 많은 영향이 있다고 하였다[3][4]. 따라서 고효율 전동기 시스템의 시장 확대는 환경 보호 및 에너지 절감 부분에서 더 이상 선택사항이 아니며, 반드시 이루어져야 할 필수사항이 되었다.

고효율 전동기 시스템의 시장 확대를 위한 주요한 조치는 효율 시험 방법, 효율 등급 및 표기와 관련된 국제적으로 부합된 규격과 각 지역의 상황에 맞는 규제에 관계가 있다. 따라서 전 세계적인 시장에서 통용되는 단일 인증을 위한 전자 및 전기기기의 국제인증 감독하는 국제전기위원회(IEC, International Electro-technical Commission)는 국제 효율 시험 방법 및 등급(IE)에 대한 국제적 통일성을 설정하기 위해서 관련 규격을 활발히 개발 중에 있다. 또한 2012년 IECEE와 NEMA는 전동기 에너지 효율에 대한 적합성 평가를 위한 국제적 체재를 구축하는 작업을 시작하였다[5]~[8]. 그리고 IEA는 전동기 에너지 효율 향상의 위해서 현 기술 및 각 국가별 현황을 고려하여 규제가 필요하다고 강력하게 권고하고 있는 상황이다[9]. 그러나 국내의 전동시스템 관련 연구, 제조 및 사용 등의 이해 당사자들은 현재 급변하고 있는 효율 관련 국제 규격 및 규제 현황 파악에 미비한 상황이다. 또한 전동기 시스템의 효율적 이용에 대한 시대적 흐름을 따라가지 못할 경우, 국제적으로 상품의 경쟁력을 상실하여 판매시장을 잃을 수도 있다.

본 연구에서는 이러한 배경을 바탕으로 전동기 시스템의 효율 평가 국제 규격과 규제의 현황 파악 및 동향을 제시하고자 한다. 또한 IEC 국제 규격에 대해서 새롭게 개발된 규격 및 추후 개발 방향과 효율 규제와 관련하여 각 국가의 차이점 및 동향을 연구 분석하고자 한다.

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Pukyong National University, Korea.

E-mail : cogging@pknu.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Pukyong National University, Korea.

** Dept. of Electrical Control Engineering, Sunchon National University, Korea

Received : June 3, 2016; Accepted : August 9, 2016

2. 효율 평가 규격 현황

최근 몇 년간 국제 에너지 효율 규격들은 직결형 유도전동기에 한정되어 발전되어져 왔다. 이러한 규격들은 아직 완성되지 못하였고, 여전히 해결해야 할 문제들이 존재하고 있다. 따라서 국제전기위원회에서는 본 효율 규격들의 지속적인 개정에 대한 년차별 계획을 수립하였다[10]. 지속적인 개정 및 제정을 위한 년차별 주요 계획안은 직결형으로 사용되는 부품으로서의 전동기, 가변 구동기에 의해 사용되는 전동기, 가변 구동기 및 전동기 시스템의 4가지 주요 요소를 포함하고 있다.

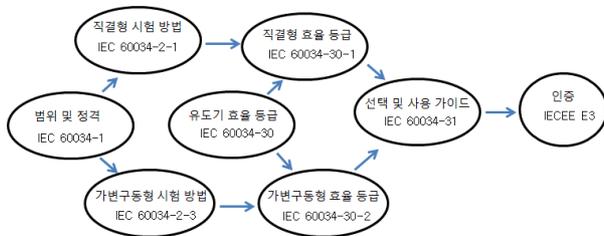


그림 1 전동기 시스템 효율 규격의 구조 및 연관성
 Fig. 1 Framework and link of motor efficiency standards

그림 1은 전동기 시스템 효율 규격의 개정 및 제정을 위한 구조와 각 부분의 연관성을 나타내고 있다. 전동기 기본 규격인 IEC 60034-1로부터 파생된 직결형 전동기에 대한 효율 시험 방법은 2014년 새로운 버전 IEC 60034-2-1로 출간 되었다. 또한 가변 구동형 전동기의 효율 시험 방법은 최근 2013년 초판 IEC 60034-2-3으로 출간되었다. 효율 등급에 대한 규격은 유도기(IEC 60034-30)에 대해서 한정되어 있었으나, 최근 직결형 효율 등급(IEC 60034-30-1) 및 가변 구동형 효율 등급(IEC 60034-30-2)으로 분리된다[11]~[19].

구동 변환기와 전체 드라이브 시스템에 대한 손실 및 효율 규격은 2015년도에 유럽에서 EN 50598-2로 출간 되었다. 본 규격의 에너지 효율 요구사항은 펌프 시스템과 같은 각각의 드라이브 요소에서 전체의 드라이브 구동 기기로 확대 되었다. 또한 본 규격은 제조자로부터 지정된 8개 동작점의 손실 결정을 정의하였다. 사용자는 결정된 부하 특성으로 실제 사용되는 기기의 출력을 및 손실을 결정할 수 있다. 구동 변환기의 등급은 IE 0, IE 1, IE 3로 분류하였고, 드라이브 시스템의 등급은 IES 0, IES 1, IES 2로 분류하였으며 등급이 높을수록 손실은 적어지고, 효율이 높아지는 것을 의미한다[20].

전동기 시스템의 에너지 효율과 관련된 IEC 기술위원회 TC2와 WG 12, 28, 31의 하부조직은 저압 및 고압 유도전동기와 동기전동기 및 영구자석형 전동기 및 DC AC 브러쉬 전동기에 관여하고 있다. 또한 특별 조직 SC22에서는 가변속 드라이브에 의해서 구동되는 전동기에 대해서 관여 하고 있다. 본 규격은 가까운 미래(2017년 예상)에 IEC 61800-9-2로 출판되기 위해서 준비 중에 있다[21]. 이와 같은 새로운 효율 규격을 제정 및 개정 시 기술위원회에서는 그림 2와 같이 시장 현황, 기술적 현황 및

제조자의 중립성을 고려하여 최적의 절충안으로서 합리적인 목표를 제공한다. 각 나라를 대표하는 기술위원들은 객관적이고 정확한 효율 시험방법 규격을 제정하고, 시장 분포와 기술 개발의 현황을 분석하여 에너지 절약을 목표로 효율값 및 등급에 관한 규격을 결정하게 된다.

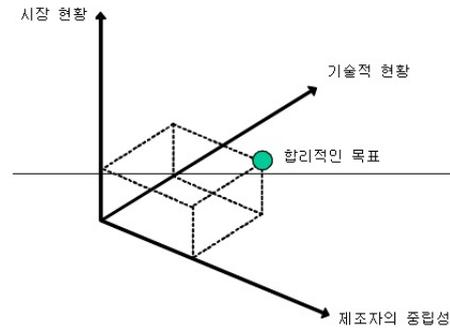


그림 2 효율규격 제정 및 개정 시 고려 사항
 Fig. 2 The consideration factors when revising and establishing the efficiency standards

2.1 전동기 효율 시험 규격

전동기 효율 시험 규격은 크게 단일 속도 전동기와 가변 속도 전동기로 분류 할 수 있다. 단일 전원에 의해 동작되는 단일 속도 전동기에 대한 에너지 효율 시험 규격은 IEC 60034-2-1이고, 컨버터에 동작되는 가변 속도 전동기의 에너지 효율 규격은 시험 규격 IEC 60034-2-3으로 2013년도에 제정되었다.

IEC 60034-2-1(회전기기-2-1부) 시험으로부터 효율 및 손실을 결정하기 위한 시험 방법) 규격은 시험으로부터 전동기의 각각의 손실을 얻어내고, 그 손실로부터 효율을 산출하는 방법들이 명기되어 있다[12]. 각각의 전동기 손실은 고정손과 부하손으로 크게 두 부분으로 나뉘고, 고정손은 철손, 기계손으로 부하손은 고정자손, 회전자손 및 표류부하손으로 나뉘게 된다. 철손은 회전자계가 인가된 철손에 발행하는 히스테리시스손과 와전류손으로 구성된다. 표류부하손은 입력에서 출력 및 위 손실을 뺀 나머지 손실을 의미한다.

기존 IEC 60034-2-1(2007)규격에서는 주위 온도 20[°C]에 75[°C]만큼의 온도를 더한 95[°C] 온도 상승분으로 고정자손, 회전자손을 계산하였고, 표류부하손을 입력의 5[%]로 으로 계산하였다[12]. 새로운 IEC 60034-2-1(2014)규격은 주위 온도 25[°C]로 환산하여 실제 온도 상승 시 그 온도에 맞게 고정자손과 회전자손을 구하고, 표류부하손은 입력에서 출력 및 나머지 손실을 뺀 값으로 하여 정확성과 객관성을 높이고 있다[13].

수정 보완된 IEC 60034-2-1(2014) 규격은 선호되는 시험 방법과 일상 시험 방법으로 구별하여 정의 되어있다[13]. 선호되는 시험방법은 모든 손실 성분을 시험으로 결정하므로 불확도가 작고, 일상 시험 방법은 일부 손실에 대해서 물리적 모형을 토대로 결정하므로 불확도가 크다고 알려져 있다. 따라서 IEC는 전동기의 효율 인증 및 등급을 결정하기 위해서는 선호되는 시험 방법

을 선택하도록 권고하고 있다[13].

IEC 60034-2-1(2014) 규격은 표 1과 같이 주어진 적용 범위에서 선호되는 효율 시험방법에 대해서 3가지로 제시하고 있다. 제시된 2-1-1A 방법은 동력계 혹은 다이나모메터를 이용하여 전기적 입력과 기계적 출력에 의해서 직접적으로 효율을 측정하는 것으로서, 모든 단상기기에 적용된다. 또한 2-1-1B 방법은 동력계 혹은 다이나모메터를 이용하여 부하 변경에 따른 회전력을 측정하여 부가손실을 결정하는 것으로서, 2[MW]급 이하의 삼상 유도전동기에 적용된다. 2-1-1C 방법은 회전력 측정 없이 해당되는 출력에 따른 부가손실을 추정하여 결정하며, 2[MW] 이상의 정격 출력을 갖는 삼상 유도전동기에 적용한다[13].

IEC 60034-2-3(회전기기 2-3부: 컨버터 구동용 유도전동기의 효율 및 손실을 결정하는 방법) 규격은 컨버터 구동에 의한 가변속 전동기 대한 전동기 손실을 결정하기 위한 방법이 규정되어 있다. 이러한 손실은 IEC 60034-2-1의 방법에 의해서 구한 손실에 추가된 것이다[15]. 이 규격에 의해서 결정되는 결과는 컨버터에 의해 구동되는 전동기의 고조파 손실을 비교할 수 있다. 드라이브 시스템(PDS)에서, 전동기와 주파수 컨버터는 각각 다른 공급자에 의해서 제조되어 진다. 또한 개별적인 컨버터 특성(스위칭 주파수, DC 링크 voltage 수준, 자화 전류 등)은 시스템 효율에 영향을 미칠 것이다. 전동기, 주파수 컨버터, 연결 케이블, 출력 filter와 파라미터 설정의 모든 조합에 의한 추가 고조파 전동기 손실을 결정하는 것은 비현실적일수 있다. 그러나 전동기 효율을 결정하는데 대단히 어렵다고 할지라도, 이 규격은 시험하려 하는 기계의 정격과 전압레벨에 의한 제한된 접근을 설명하고 있다. 이 규격의 목적은 비정현 전원 공급으로부터 산출되는 추가 고조파 전동기 손실을 평가하고, 결론적으로 컨버터 구동용 전동기의 효율을 평가하는데 있다.

표 1 유도기의 선호되는 시험 방법

Table 1 Induction machines: preferred testing methods

시험 번호	방법	서술	적용	부하 설비
2-1-1A	직접법	토크 측정	모든 단상기기	전부하 시험을 위한 부하 장치
2-1-1B	손실합산: 부가손 산출	토크측정으로 부가손 결정	정격출력 2 [MW]이하인 삼상유도전동기	전부하의 1.25배 시험을 위한 부하 장치
2-1-1C	손실합산: 부가손 추정	할당된 값으로 부가손 추정	정격출력 2 [MW] 이상인 삼상유도전동기	

2.2 전동기 효율 등급 규격

그림 3과 같이 IEC 60034-30(회전기기 30부: 단일 속도, 삼상유도전동기에 대한 효율 등급) 규격은 2008년도에 초판으로 출간되었으나, 2014년에 IEC 60034-30-1(회전기기 30-1부: 직결형 교류 전동기의 효율 등급)으로 대체 되었다. 또한 아직 출간

되지 되지 않았으나, IEC 60034-30-2(회전기기 30-2부: 가변속도형 교류 전동기의 효율 등급)가 2017년도에 출간될 것으로 예상하고 있다[5][16][17][18].

직결형 교류 전동기의 효율 등급에 대한 기준은 2014년에 제정된 IEC 60034-30-1에 제시되어 있다. 본 IEC 60034-30-1 규격은 전동기의 에너지 효율 등급의 국제적 협의 및 부합화를 제공하고 있으며 저감된 전압으로 기동되는 전동기를 포함하여, 직결 전압으로 동작되는 모든 전동기에 대해서 포함한다. 또한 정격 전압 및 주파수에 관계없이 직입식 영구 자석형 동기 전동기 뿐만 아니라 모든 단상 및 삼상 저전압 유도전동기를 포함한다[17].

그림 4와 같이 IEC 60034-30-1 규격은 정격 출력 0.12[kW]에서 1000[kW]까지의 범위에서 4등급의 효율 수준을 정의 하고 있다. 효율값은 작은 용량은 60[%]에서 79[%] 범위에 있는 반면, 1000[kW] 전동기는 94[%]에서 97[%] 범위로 전동기 용량에 따라 큰 차이를 보이고 있다. 또한 중형 전동기(0.75[kW]~200[kW])에 비해 소형전동기(0.12[kW]~0.75[kW])가 효율 변화가 가파른 특성을 보이고 있다. 그러나 대형전동기(200[kW]~1000[kW])의 효율 값은 변화 없이 거의 같은 값을 유지하고 있다.

본 IEC 60034-30-1 규격에서는 IEC 60034-31(회전기기 31부: 가변 속도형 전동기를 포함하는 효율 전동기의 선택-사용

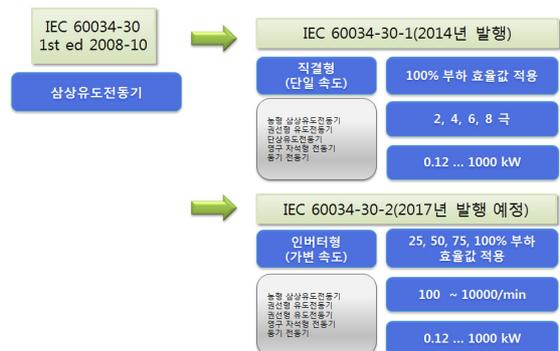


그림 3 에너지 효율 등급 규격 분류

Fig. 3 Energy efficiency classification

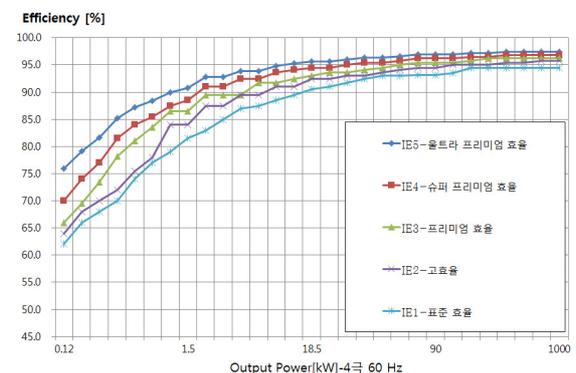


그림 4 전동기의 효율 수준(참조: IEC 60034-30-1, 2014)

Fig. 4 Efficiency Levels for motors(Source: IEC 60034-30-1, 2014)

가이드)의 규격에 정의되었던, IE4 등급이 본 규격에서 새롭게 소개되었다. 또한 새롭게 IE5 등급은 자세하게 정의되지 않았지만, 본 규격의 새로운 버전에 잠재가능성 있는 제품을 위해 새로운 버전 혹은 시리즈에서 나타날 것으로 예상된다. IE5에 대한 효율값은 기존 IE4과 비교해서 20[%]의 손실을 줄이는 값이 될 것이며 IE5등급을 갖는 전동기 기술 및 상업적 판매는 아직 이루어지고 있지 않다[17].

표 2는 IEC 60034-30-1(2014)에 포함된 각종 전동기 유형별 기술에 대한 효율 등급의 잠재성에 관한 정보를 나타낸 것이다. IE 수준과 관련하여 "예"는 현재기술로 효율등급을 달성할 수 있음을 의미 한다. "아니오"는 현재기술로는 효율등급을 달성할 수 없다는 것을 의미한다. "어려움"은 현재 기술로는 에너지 효율 수준을 어느 정도 달성할 수는 있지만 모든 출력 등급에 대해서는 달성할 수 없으며 표준화된 프레임 크기가 초과될 수도 있음을 의미한다. 모든 전동기 기술들이 모든 효율 등급을 달성할 수 있는 것은 아니며, 모든 효율 등급 또는 크기의 전동기들이 경제적으로 타당한 방식으로 작동할 수 있는 것도 아니다. 그러므로 규제기관은 최소 에너지효율 성능 표준(MEPS)을 평가할 때 다음 제약조건을 고려되어야 한다. 표 2의 "예"로 표시된 전동기들은 현재 기술로 간주하므로 법률의 강제 요구사항에서 고려하기에 적합한 것으로 판단된다.

규격 IEC 60034-30-2(회전기 30부: 가변속 교류 전동기의 효율 등급, 2017년도 출간 예정)는 동기 전동기와 같은 가변 전압과 주파수 공급에 의해서 동작되어 고조파 성분에 의한 손실의 발생하는 전동기의 효율등급에 관한 내용으로 곧 출간될 예정이다[18]. IEC 60034-2-3의 시험규격과 관련된 기술적 지침은 유도전동기에 국한 되어 있지만 IEC 60034-30-2 규격에 의한 시

표 2 전동기 기술과 그 에너지 효율 잠재성

Table 2 Motor technologies and their energy efficiency potential

전동기유형/등급		IE1	IE2	IE3	IE4	IE5
3상농형-회전자유도 전동기(ASM)	랜덤권선 (모든 외함, 모든 정격)	예	예	예	어려움	아니오
	성형권선:IP2x (개방형전동기)	예	예	어려움	아니오	아니오
	성형권선: IP4x이상	예	예	예	어려움	아니오
3상권선형-회전자유도전동기		예	예	예	어려움	아니오
단상유도 전동기	기동커패시터	어려움	아니오	아니오	아니오	아니오
	가동커패시터	예	어려움	아니오	아니오	아니오
	기동/가동 커패시터	예	어려움	아니오	아니오	아니오
	분상	어려움	아니오	아니오	아니오	아니오
동기전동기	직입	예	예	예	어려움	아니오
	영구자석형 (LSPM)	예	예	예	어려움	아니오

험방법 2-3-C에서 입출력과 관계된 기술적 지침은 모든 종류의 가변속도 교류 전동기에 적용가능하다. 또한 본 규격은 가변 전압 및 주파수에 공급되어지는 교류 전동기의 에너지 효율 및 손실에 관련된다. 그러나 구동 부하 혹은 주파수 변환기의 효율 및 손실에 대해서는 관여하지 않으며 이러한 손실은 다른 규격인 전원 구동 시스템의 평가에서 고려되고 있다.

2.3 전동기 시스템 규격

전동기 시스템의 에너지 효율과 관련된 IEC 기술위원회에는 TC2와 WG(Working group)의 전문가 조직이 구성되어 있다. TC2는 우리나라를 포함해서 30여 국가가 참여하고, 15여개 국가는 관찰자 역할을 담당하고 있다. 특별 조직인 SC22의 기술 위원들은 2014년부터 가변속 드라이브에 의해서 구동되는 전동기 시스템의 규격 제정에 계속적인 논의를 진행 중에 있다. 본 규격은 IEC 61800-9-2(전력변환기 및 전동기 시스템에 대한 효율 성능 등급)로 국제전기위원회(IEC, International Electro-technical Commission)에 초안제출과 회원국의 투표 단계(CCDV, Draft circulated as committee draft with vote)에 있으며, 2017년도에 출간될 예정이다[21].

그림 5와 같이, 본 규격 IEC 61800-9-2는 IEC 60034-30-1의 직결형 전동기 및 IEC 60034-30-2의 전원 변환기에 의해서 동작되는 전동기에 대해서, 기존의 분류 원칙으로 가변속도 드라이브(컨버터부와 인버터부) 및 전동기 시스템의 에너지 효율 등급의 국제 부합화를 제공한다. 또한 본 규격은 가변속 동작용 동기식 혹은 비동기식 저전압 전동기에 적용되며 정격속도 600~6000[r/min], 입력 정격전압 50/100~1000[V], 기계적 출력 0.12~1000[kW]까지의 단일 컨버터와 전동기 시스템에 대한 에너지 효율 성능 및 등급과 관계한다. 또한 가변 전압 및 주파수에 의해서 공급되는 컨버터와 전동기 시스템의 효율을 분류하고 있다. 그러나 구동부하와 전원공급에서 발생하는 손실은 포함되지 않으며 이러한 손실들은 IEC 61800-9-1에서 다루어질 전체 구동 시스템의 평가에서 포함되어 질 것이다. 본 규격의 목적은 컨버터와 전동 시스템의 에너지 성능의 비교를 위하여 단순하고 명확한 시스템을 구축하는데 있으며 제조자는 제품의 성능 시키고, 사용자는 정보와 투명성을 얻을 수 있고, 입법기관에게 최저 에너지 규정하는데 있다.

2.4 국내 전동기 KS 규격 개정 및 제정

회전기기의 설계 및 성능은 현재 국제 수준에 도달되어 있음

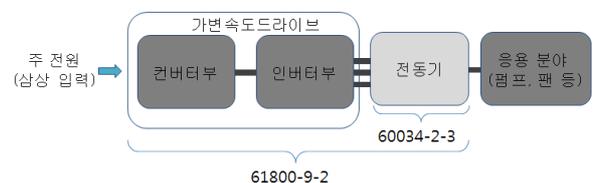


그림 5 전동기 시스템의 구성 및 효율 규격

Fig. 5 Efficiency standard and component of motor systems

나, 관련 표준 기술은 선진국에 비해 떨어지는 것이 사실이다. 전동기와 관련된 규격은 IEC 60034-1을 기본으로 하여 총 63여개이다. 본 규격들을 KS규격과 IEC규격 비교 검토하고, 회전기기 제조업체 및 전문가의 다양한 의견 수렴과정을 거쳐 국가표준규격(KS)의 IEC 부합화 및 제정함으로써, 국내 제조업체의 수출 경쟁력을 강화하여 국가경쟁력을 향상시키는데 활용할 계획이다.

특히 온난화 방지 및 온실가스 저감을 위해서 각종 에너지 절약 정책은 현재 보다 더욱 강화 될 것이다. 이에 따라서 전동의 효율 시험 방법과 등급에 관한 국가 표준이 개정 및 제정 중에 있다. 또한 가변속도 제어기에 대한 높은 에너지 절약의 가능성이 강력하게 요청되고 있고, 전동기와 드라이브(소프트웨어, 하드웨어)가 결합된 새로운 효율 측정 방법의 국가표준규격(KS)이 제정 중에 있다.

3. 효율 규제 현황

전동기 시스템의 효율의 다양한 시험 방법 및 등급에 관한 국제 규격이 만들어짐으로써, 미국 및 유럽을 중심으로 추진되어 온 전동기 효율 규제가 한국, 중국 및 일본 등을 포함 전 세계로 확대되는 추세이다. 2010년도 이후 환경 보호 및 에너지 절감을 위해 국제 에너지 관리국은 최저 효율 기준에 미달하는 제품의 생산과 판매를 금지하는 최저효율제(MEPS: Minimum Energy Performance Standard)를 시행할 것을 각국에 권고했다. 각국의 관심과 IEA의 권고 등으로 현재 많은 나라들이 전동기 효율에 대한 규제를 실시 중이다[22]~[32].

이러한 규제를 제정하기 위해서는 국제 규격, 제조자 전력 설비 및 사용자의 합의 등 여러 요소들이 그림 6과 같이 상호 연계되어야 한다. 특히 국제적으로 합의된 효율 시험 방법 및 등급에 대한 규격이 먼저 제정 되어져야하며 그 후 각 국가에서는 제조자와 사용자의 인식 전환을 통해서 에너지 규제를 자발적 및 비자발적으로 제도를 만들게 된다.

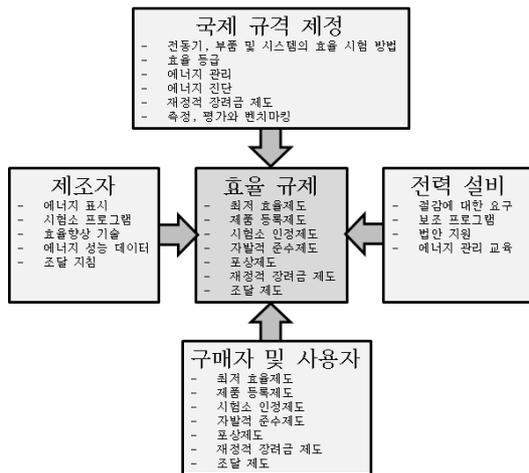


그림 6 에너지 효율 규제의 영향 요소
Fig. 6 Effect element for making Energy Efficiency regulations

3.1 전동기 효율 규제

그림 7과 표 3은 주요 국가의 효율 규제 현황 및 적용 대상을 나타내고 있다. 전 세계적으로 2015년부터 프리미엄(IE3)급으로 효율 규제를 확대하되 대상은 용량에 따라 순차적으로 시행할 예정인 것으로 알려지고 있다. 특히 미국, 캐나다에서는 90년대 초부터 고효율 전동기에 대한 규격 및 법률을 제정하여 최저효율제를 시행해 오고 있으며, 유럽은 자발적 협약에 의해 고효율 기준을 마련하여 전동기 보급 확대를 권장하고 있다. 이외에도 일본, 중국, 브라질, 호주, 캐나다 또한 고효율 기준을 제정하고 권장하고 있는 실정이다[22]~[25].

미국에서는 1997년부터 중형 전동기(0.75~375 [kW])에 대하여 효율 규제를 본격적으로 시작하였으며, 소형 전동기의 에너지 절약 규정에 대한 법안을 최근 발의 하였다. 또한 2010년부터 IE2에서 IE3로 등급을 상향하여 규제를 실시하고 있으며, 2015년도에는 범위를 단상 및 다상 소형 유도전동기(0.18~2.2 [kW])로 확대하였다. 미국의 효율법인 EPCA(Energy Policy and conservation Act)는 소형 전동기를 일반 목적으로 사용되는 교류 및 단일 속도 사용 유도전동기로서 다음 3가지 형식으로 정의하였다.

1. 다상 소형 전동기
2. 콘덴서기동으로 단일 속도로 사용 유도 전동기
3. 콘덴서 기동 및 콘덴서 동작으로 단일 속도로 사용하는 유도 전동기

국명/년도	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
미국		2010년 12월 NEMA Premium IE3 EPAct IE2 0.75 [kW]~(기어모터는 대상에서 제외)							
유럽			2011년 6월 IE2 0.75 [kW]~			2015년 1월 IE 3 0.75 [kW]~		2017년 1월 IE 3 0.75 [kW]~	
한국			2010년 7월 IE2 0.75 [kW]~			2015년 10월 IE3 37 [kW]~	2016년 10월 IE3 200~375 [kW]	2018년 10월 IE3 0.75 [kW]~	
중국			2011년 7월 GB2 GB18613~2006(IE2) 2012년 9월 신GB3 GB18613~2012(IE2)		0.75 [kW]~		2016년 9월 IE3 75 [kW]~	2017년 9월 IE3 0.75 [kW]~	
일본						2015년 4월 IE 3 0.75 [kW]~			
기타									IE3: (2011년) 캐나다, 멕시코(<150 [kW]), (2015년) 스웨덴 IE2: (2009) 브라질, 터키, 오스트리아

그림 7 국가별 효율 규제 현황
Fig. 7 Energy Efficiency regulations to countries

표 3 주요 적용 범위
Table 3 Main application scope of regulations

대상 범위		제외 기종
단일 속도 삼상 유도전동기		- 특수절연 - 선박용 전동기 - 수중 전동기 - 방폭형 전동기 - 특수 환경형 전동기
출력	0.75~375 [kW]	
극수	2, 4, 6, 8극	
전압	1000 [V]이하	
주파수	50, 60 [Hz]	
사용 종류	S1(연속정격)	

유럽 위원회는 유럽시장에서 고효율 전동기의 판매를 증진시키기 위해서 유럽연합에서 판매되는 전동기에 대해서 강제적 법제화를 추진하였다. 최저 효율 요구사항은 위원회 규칙(EC) No 4/2014에서 2, 4, 6급 및 단일속도, 연속정격 및 1000V 이하의 전동기에 대해 다음과 같이 제정 되었다[27][28].

1. 2011년 6월부터, 전동기는 IE2이상의 등급 판매하도록 제정하였다.
2. 2015년 1월부터, 7.5~375 [kW] 출력 범위의 전동기에 대해서 IE3등급 이상이어야 하며 인버터 구동용 전동기에 대해서는 IE2등급 이상에 만족해야한다.
3. 2017년 1월부터, 0.75~375 [kW] 출력 범위의 전동기에 대해서 IE3등급 이상이어야 하며 인버터 구동용 전동기에 대해서는 IE2등급 이상에 만족해야한다.

한국의 경우 효율 규제는 산업자원부의 효율기자재 운영에 관한 규정이 2007년 5월에 고시되었으며, 연도별로 단계적으로 효율규제를 시작하여 2010년 7월에 0.75[kW] 이상부터 200[kW] 이하 용량에서 IE2로 효율규제를 전면적으로 시행해오고 있다. 프리미엄급(IE3) 고효율 전동기는 현재 권장사항으로 효율기준을 제정, 2012년부터 3년 동안 임의 인증 마크를 부여하고 있고, 2015년부터 37~200[kW]까지 단계적으로 강제로 전환되었다. 하지만, 늦어도 2018년 전에는 대상용량 0.75~375[kW] 삼상유도전동기에 대해서 프리미엄(IE3)급 최저효율제를 전면적으로 시행할 것으로 전망된다[29][30].

중국의 효율제도는 2005년도에 공고 된 후, 2008년도에 소형 및 중형 전동기에 대해서 본격적으로 시작하였다. 소형 및 중형 전동기는 중국의 자체 규격인 GB18613에 정의된 요구사항에 만족해야한다. 또한 효율 시험은 IEC규격과 비슷한 GB/T1032(삼상 유도전동기의 시험 방법)에 의해서 실시된다. 다른 나라와 구별되는 사항은 효율 수준이 100[%] 및 75[%] 부하에서 기준에 만족해야한다. 또한 규제 대상으로는 1000[V], 50[Hz]의 전원을 사용하고, 0.75~375[kW], 2~6급의 삼상유도전동기(방폭형도 포함)에 한정되어 있다[31].

일본에서는 경제 산업성으로부터 에너지절약법이 2013년부터 시행하고 있으며, 2015년 4월부터 전동기의 탑 러너(top-runner) 프로그램의 기준 달성이 의무화되었다. 일본의 탑 러너 프로그램은 시장 판매 제품 가운데 가장 높은 에너지효율을 가진 제품을 기준으로 일정기간에 최고 목표에 도달하도록 하는 프로그램으로써, 에너지 소비가 많은 기기의 21 품목 중 전동기도 포함이 되었다[32].

3.2 전동기 시스템에 대한 효율 규제

기존의 단일 전원 및 단일 속도 전동기에 사용되는 기기들이 드라이브를 결합한 전동기 시스템으로 빌딩 자동화, 산업분야, 펌프 및 팬 등을 구동을 위해 교체된다면, 많은 에너지 절감 효과를 이끌어낼 수 있다. 이에 따라서 컨버터 구동용 전동기(IEC 60034-2-3), 가변속도 드라이브(VSD, Variable Speed Drive)의

효율(EN 52800-2)에 대한 시험 방법에 대한 규격들은 환경오염을 줄이기 위한 효율 규제에 초석을 마련한 것으로 판단된다. 그림 8에서 나타난 것처럼, 2015년 1월부터 유럽연합은 직결형 전동기에 대해서는 IE3등급 적용과 가변속도드라이브를 사용전동기는 IE2등급을 적용하는 2원체제로 규칙 4/2014를 제정하였다. 유럽연합은 이러한 규제 강화로 2020년 까지 전력을 135 [Twh]로 절감 할 것으로 예상하고 있다[28].



그림 8 유럽 연합의 전동기 시스템 효율규제
Fig. 8 Motor system efficiency regulation of EU

4. 결 론

최근 각종 환경 및 에너지관련 국제회의에서 온실가스의 배출량을 줄이고 에너지를 절약할 수 있는 가장 빠르고, 적합한 방법이 산업용 기기기의 에너지 효율화라고 언급했다. 이 에너지 효율화를 극대화하기 위해 산업분야에서 전기 소모량이 가장 많은 전동기 및 드라이브로 구동되는 전동기 시스템의 효율화 시장 확대가 중요하다. 이러한 전동시스템의 효율화 및 시장 확대를 위해서, 국제 규격 및 인증 규제들이 활발하게 논의 및 생성되고 있다. 과거에는 각 나라마다 효율 시험규격은 상당히 다른 결과를 도출하였으며 효율 레벨은 간단하게 비교할 수 없었다. 그러나 최근 효율 등급 규격 및 각국의 시험 방법을 일치시키기 위해서, NEMA, CEMEP, IEEE와 다른 국제기구와 함께 IEC를 주축으로 주요 규격 제정 및 개정 통해 국제적인 부합화를 진행하고 있다. 특히 가변속도 제어기에 대한 높은 에너지 절약의 가능성은 강력하게 요청되고 있고, 시스템 효율을 측정하기 위해서 전동기와 결합된 소프트웨어, 하드웨어를 포함한 더 진보된 규격이 제정 중에 있다.

따라서 본 연구에서는 전동기 시스템에 대한 최근의 효율 규격의 개발 및 경향을 분석하고, 효율 규제와 관련하여 각 국가의 등급 및 시행 시기에 대한 차이점 및 동향 등을 연구 분석 하였다. 이에 대한 IEC 국제 규격의 현황 파악 및 각 국가의 규제 파악은 고효율 기기 개발과 수출 촉진을 위해 중요한 요소로 작용할 것이다.

세계무역기구에서 무역 분쟁 없이 국내 전동기 시스템의 원활한 개발과 수출증대를 위하여 국제규격의 분석은 시대적 흐름이며, 국제규격의 제정 및 개정방향을 파악하여 국제규격의 제정 및 개정 단계에서 국내 기술 및 시장 특성이 규격에 정확히 반영될 수 있도록 적극적으로 노력해야 할 것이다. 이에 따라 국내 회전기기 기술위원회는 IEC의 국제 규격 현황 및 규제 회의에 적극 참여하여 관련 기업 및 기관에 정보를 공유함으로써, 전동 시스템의 효율 향상 및 발전에 도모해야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. : 2015R1D1A1A01058314).

References

- [1] A. de Almeida, Ed., Improving the Penetration of Energy-Efficient Motors and Drives. Coimbra, Portugal : Univ. Coimbra, 2000, prepared for the SAVE Programme, European Commission.
- [2] A. De Almeida, F. Ferreira, J. Fong, and P. Fonseca, "EuP Lot 11 Motors, Ecodesign Assessment of Energy Using Products," ISR-Univ. Coimbra, Brussels, Belgium, Final Report for the European Commission, Feb. 2008
- [3] IEA(International Energy Agency), Testing Centres Workshop "Policy Guidelines for Electric Motor Systems-Part2: Toolkit for Policy Makers", 2014
- [4] IEA(International Energy Agency), "Proposed work plan for energy-efficiency policy opportunities for electric motor-driven systems" 2011
- [5] Martin Doppelbauer, "Current Developments in IEC standards for Energy Efficiency of Electric Motors" Eemods 13, 2013.
- [6] www.motorsummit.ch., "EMSA Workshops", 2014
- [7] www.motorsystems.org, "EMSA Webpage", 2016
- [8] Alex Chausovsky: A Global Market Update. In: Proceedings of the 8th International Conference on Energy Efficiency in Motor Driven Systems, 28-30 October 2013
- [9] www.iea.org, "Publications". 2016
- [10] ISR-University of Coimbra, " Eup Lot 30: Electric Motors and Drivers" 2012
- [11] IEC 60034-1 Ed. 12.0b, "Rotating electrical machines - Part 1: Rating and performance", 2010
- [12] IEC 60034-2-1 Ed. 1.0b, "Rotating electrical machines - Part 2-1:Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)", 2007
- [13] IEC 60034-2-1 Ed. 2.0, "Rotating electrical machines - Part 2-1:Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)", 2014
- [14] IEC 60034-2-2 Ed. 1.0b, "Rotating electrical machines - Part 2-2: Specific methods for determining separate losses of large machines from tests - Supplement to IEC 60034-2-1", 2010
- [15] IEC 60034-2-3 TS, "Rotating electrical machines - Part 2-3 : Specific test methods for determining losses and efficiency of converter-fed AC induction motors", 2013
- [16] IEC 60034-30, "Rotating electrical machines - Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE code)", 2008
- [17] IEC 60034-30-1 Ed. 1.0, "Rotating electrical machines - Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code)", 2014
- [18] IEC60034-30-2 TC2, WG31, "Rotating electrical machines - Part 30-2: Efficiency classes of variable speed AC motors (IE-code)", 2/1782/CD, 2015
- [19] IEC/TC 60034-31 Ed. 1.0b, "Rotating electrical machines - Part 31: Selection of energy-efficient motors including variable speed applications - Application guide", 2010
- [20] EN 50598-2 Ed. 1.0, "Ecodesign for power drive systems, motor starters, power electronics and their driven applications - Part 2 : energy efficiency indicators for power drive systems and motor starters", 2015
- [21] IEC 61800 SC2 22G, "Adjustable speed power electrical drive systems: Energy Efficiency of adjustable speed electric power drive systems - Part 9", 22G/277/NP, 2014
- [22] Kyung-II Woo, Han-Seok Park, Hee-Deuk Jun, "A Study on the International Standard and Regulation for Electric Motor and Drivers", KIPE Magazine vol. 63, P. 437-443, 2014
- [23] P. Waide and C. Brunner, "Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor Systems," IEA, 2011.
- [24] Anibal de Almeida, University of Coimbra, "Electric Motor MEPS Guide", 2009
- [25] NISSEI CORPORATION Catalog, "The Regulation Trend of japan and other countries", 2014
- [26] "National Resources Canada - Energy Efficiency Regulations - Electric Motors," [Online]. Available:
- [27] European Commission, Commission Regulation (EC) No 640/2009 of 22 July 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for electric motors, Brussels, 2009
- [28] European Commission, Commission Regulation (EC) No 4/2014 of 6 Jan 2014 amending Regulation (EC) No 640/2009, 2014.
- [29] MKE, KEMCO, "Korea Energy Standards & Labeling", 2011
- [30] MKE, "Minimum Energy Performance Standard ACT", Num. 2015-28, 2015
- [31] Ministry of Economy, Trade and Industry in Japan, "Final Report by Tree-phase Induction Motor Evaluation

Standards Subcommittee, Energy Efficiency Standards Subcommittee of the Advisory Committee for Natural Resources and Energy", 2013

[32] GB 18613-2012 Minimum Allowable Values of Energy Efficiency and the Energy Efficiency Grades for Small and Medium Three-phase Asynchronous Motors, People's Republic of China and the Standardization Administration of China, 2012



우 경 일 (Kyung-II Woo)

1969년 9월 6일생. 1995년 한양대 전기공학과 졸업(공학사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2002년~현재 부경대학교 전기공학과 교수

저 자 소 개



전 희 득 (Hee-Deuk Jun)

1975년 05월 20일생. 2000년 한양대 전기전자공학과 졸업, 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002~2005년 중소기업진흥공단 전동기설계실 연구원. 2005년~현재 한국기계전기전자시험연구원 회전기기센터 선임연구원. 2009년~현재 기술표준원 지정 국제표준화 기구 IEC/TC 2(회전기) 간사. 2013년~현재 부경대학교 전기공학과 박사수료.



박 한 석 (Han-Seok Park)

1955년 3월 23일생. 1981년 중앙대 전기공학과 졸업(공학사). 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1996년 한국해양대학교 전기공학과 졸업(공학박사). 1986년~현재 부경대학교 전기공학과 교수.



김 대 경 (Dea-Kyong Kim)

1972년 9월 27일생. 2001년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전자전기제어계측공학과 졸업(박사). 2001~2005년 삼성전자 가전연구소 선임연구원. 2005~2011년 전자부품연구원디지탈컨버전스 연구센터 센터장. 2011년~현재 순천대학교 전기제어공학과 부교수.