

고효율전동기의 국제표준에 관한 조사분석

황성욱*, 원종률**, 백정명***, 이병하***, 김정훈*
 *홍익대학교, **안양대학교, ***인천대학교

A Survey Study on International Standards of High Efficient Motors

Sungwok Hwang*, Jongryul Won**, Jungmyoung Baek***, Byungha Lee***, Junghoon Kim*
 *Hongik University, **Anyang University, ***Incheon University

Abstract - In this paper, some international standards such as IEC of high efficient motors are analyzed to apply for the estimation of energy saving and CO₂ reduction. These international standards are correspond to Korean Standard (KS), especially KSC4202, KSC4203, KSC4204, KSCIEC60034-2, KSCIEC61972.

1. 서 론

향후 세계의 에너지소비는 세계적인 경제발전에도 따라 증가할 것이 예상된다. 특히 가정 및 산업부문에서의 에너지소비는 고도정보화의 진전, 사회구조와 생활양식의 고도화에 따른 에너지소비의 확대에 의해 높은 신장세를 유지하고 있다. 그 결과 환경문제는 점점 심각화 현상이 나타나고 있다. 이러한 배경으로부터 생활환경의 향상과 지구온난화 방지를 양립시키면서 민생기기의 에너지절약을 한층 추진시키려는 시도가 각국에서 실시되고, 에너지 소비효율에 대하여 일정값을 만족하도록 하는 것을 법적으로 규제하는 기준이 작성되어 있다. 이러한 배경에서 실시하고 있는 에너지 효율관리제도(최저효율기준, 라벨링 제도 등)는 에너지 사용의 증대와 산업의 발달에 따른 다양한 기기들의 개발에 따라 에너지 기기들의 수요가 늘어나고 있는 현실에서 기기의 수요는 감소시키지 않으면서도 에너지를 감소시킬 수 있는 가장 효과적이고 경제적인 수단으로 평가받아 1980년대부터 전 세계적으로 채택되고 있는 제도이다. 1992년 6월의 리우의 환경선언 이후에는 에너지 절약과 더불어 환경오염도 방지할 수 있는 효과적인 수단으로 각광받고 있어 더욱 더 제도의 보급이 늘어나고 있다. 국내에서도 이러한 추세에 부응하고자 1992년 9월 1일부터 에너지이용합리화법 제 17조 및 제 18조 규정에 근거한 '효율관리기자재의 운영에 관한 규정(산업자원부 고시 제2007-70호, 2007.5.25, 13차 개정)을 제정하여 전기냉장고, 전기냉방기, 백열전구, 형광램프, 안정기, 안정기 내장형 램프, 전기세탁기, 가정용 가스보일러 등에 대하여 에너지소비효율등급표시제도 및 최저효율기준, 목표소비효율기준 등을 설정하여 운영하고 있다. 최저효율기준은 저효율제품의 확산방지와 생산업체의 기술개발의 촉진을 높이기 위하여 최소한의 효율기준을 설정하여 관리하는 제도로서 개선되지 않은 제품에 대하여는 발견 즉시 생산자와 판매자에게 유통금지토록 하고 있으며, 목표소비효율은 일정기간 후에 달성해야 할 에너지소비효율 목표치를 말한다. 또한 에너지사용량 또는 소비효율에 따라 115등급으로 구분, 제품에 표시토록 하여 소비자가 손쉽게 고효율 제품을 구입토록 유도하고 있다. 또한 1996년 12월 28일부터 에너지이용합리화법 제 13조에 근거한 '고효율에너지기자재 보급촉진에 관한 규정(산업자원부 고시 제2007-94호(2007.7.23))'을 시행하여 공공기관에서는 고효율기자재를 의무적으로 사용하도록 하고 있다. 현재 지식경제부와 에너지관리공단에서는 에너지절약형 제품의 보급 확대를 위해 에너지소비효율등급 표시제도, 에너지절약 마크제도, 고효율에너지기자재 인증제도, 건물에너지 효율등급 인증제도 등 4가지의 에너지 효율 제도를 운영하고 있다. 현재 에너지소비효율등급 표시 제도를 적용받고 있는 기기는 국내에 유통되고 있는 수입품도 포함되며 20여 개 기기가 있다. 한편, 현재 이러한 고효율기기의 에너지 효율기준에 대한 국내외 기준에 대한 체계적인 분석은 아직 이루어지고 있지 않은 실정인데, 본 논문에서는 전동기를 중심으로 하여 국내외의 표준을 비교 분석하고 효율 향상에 따른 에너지 절감 및 온실가스 배출 저감 효과를 정량적으로 산정하기 위한 연구[1]의 기초자료로 활용한다.

2. 본 론

2.1 고효율전동기 관련 국내의 표준 현황

먼저 우리나라 KS 규격 가운데 전동기와 관련된 것은 총 31개로서 이중 전동기의 효율기준 결정과 밀접한 관련이 있는 것은 KSC4202, KSC4203, KSC4204, KSCIEC60034-2, KSCIEC61972 등이다. 이와 대응하는 국제규격으로는 IEC 60072-1 Ed. 6.0 b, IEC 60034-12 Ed. 2.0 b,

IEC 60034-9 Ed. 3.0 b 등이 있으며, 관련 국제규격은 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> 국내 전동기 KS규격과 관련된 국제규격

ANSI NEMAMG-1, ANSI NEMAMG-1, ANSI NEMAMG-2, ANSI NEMAMG-2, NF C51-120, NF C51-120, BS 2048-61, BS 2048-61, BS 4362-68, BS 4362-68, BS 4999-72, BS 4999-72, BS 5000-80, BS 5000-80, DIN 57530-77, DIN 57530-77, IEC 34-1, IEC 34-1, IEC 34-12, IEC 34-12, IEC 34-9, IEC 34-9, IEC 72, IEC 72
--

분석대상인 규격들 가운데 KSC4202, KSC4203, KSC4204 등은 대응하는 IEC 규격을 수정하여 작성된 것이고, 나머지 KSCIEC60034-2와 KSCIEC61972는 IEC 규격에 부합화한 것이다. 각각의 적용범위는 다음 <표 2>과 같다. 이중에 KSCIEC60034-2는 직류기, 동기기 및 유도기를 모두 포함한 회전기기의 손실과 효율을 결정하는 방법에 관한 것으로서 본 논문에서 중점적으로 분석하는 대상 규격이다.

<표 2> 전동기 관련 주요 KS규격의 적용범위

규격번호	규격명	적용범위
KSC4202	일반용 저압 3상 유도 전동기	이 규격은 냉매 온도 40℃ 이하인 장소에 사용되는 연속 정격, 주파수 60Hz, 전압 600V 이하의 일반용 저압 3상 유도 전동기(이하 전동기라 한다.)에 대하여 규정한다.
KSC4203	일반용 고압 3상 유도 전동기	이 규격은 냉매 온도 40℃ 이하인 장소에서 사용되는 연속 정격, 주파수 60Hz, 전압 6600V 이하의 일반용 고압 3상 유도 전동기(이하 전동기라 한다.)에 대하여 규정한다.
KSC4204	일반용 단상 유도 전동기	이 규격은 냉매 온도 40℃ 이하의 장소에 사용하는 연속 정격, 주파수 60 Hz, 전압 250 V 이하의 일반용 4극 단상 유도 전동기(이하 전동기라 한다.)에 대하여 규정한다.
KSCIEC60034-2	회전기기 - 제2부 : 시험으로 회전기기의 손실과 효율을 결정하는 방법(건인용 전동기는 제외)	이 규격은 IEC 60034-1의 적용 범위 내의 모든 크기의 직류기, 교류 동기기 및 유도기에 적용된다. 하지만 원리는 일반적으로 손실을 결정할 때 다른 방법을 사용하는 회전식 컨버터, 교류 정류자 전동기 및 단상 유도기와 같은 다른 기기에도 적용될 수 있다.
KSCIEC61972	삼상 능형 유도전동기의 손실 및 효율을 결정하는 방법	이 규격은 삼상 능형 유도 전동기에 적용 가능하며 효율 결정을 위한 두 가지 방법을 제시한다.

2.2 회전기기별 손실 비교

회전기기의 효율은 다음 <표 3>의 각각 손실의 합으로 간주되는 총 손실로부터 계산된다. 유도기의 경우 일정손실, 부하손실, 추가부하손실 등으로 구성되며, 일정손실은 기기의 철손, 마찰손, 풍손 등에 의해 발생하고, 부하손실은 기기의 작동에 따라 권선과 브러시에서 발생한다.

<표 3> 회전기기별 손실 종류 비교

회전 기기	직류기	유도기	동기기
일정 손실	a) 실제 철손과 다른 금속부에서의 추가적인 무부하 손실 b) 마찰(베어링과 브러시) 손실 c) 주 환풍기와 기기의 주요 부분을 형성하는 보조기에서 소비된 전력을 포함하는 총 풍손	a) 실제 철손과 다른 금속부에서의 추가적인 무부하 손실 b) 마찰(베어링과 브러시, 동작시 들어올려지지 않는다면) 손실 c) 주 환풍기와 기기의 주요 부분을 형성하는 보조기에서 소비된 전력을 포함하는 총 풍손	a) 실제 철손과 다른 금속부에서의 추가적인 무부하 손실 b) 개별 윤활 시스템에서의 어떠한 손실도 포함하지 않는 마찰(베어링과 브러시)에 의한 손실 c) 주 환풍기와 기기의 주요 부분을 형성하는 보조기에서 소비된 전력을 포함하는 총 풍손
부하 손실	a) 전기자 전류를 운반하는 전자와 권선에서 I^2R 손실 b) 브러시에서 전기적 손실	a) 1차 권선에서 I^2R 손실 b) 2차 권선에서 I^2R 손실 c) 브러시에서 전기적 손실	a) 1차 권선에서 I^2R 손실 b) 시동 혹은 댐핑 권선에서 I^2R 손실
추가 부하 손실	a) 부하에 의한 철손과 도체를 제외한 금속 부로 인한 손실 b) 자속 변동과 정류로 인한 전류에 의해 전자기 도체부에서의 와류손 c) 정류에 의한 브러시에서의 손실	a) 실제 철손 부하와 도체를 제외한 금속 부에서의 손실 b) 전류의 변동에 의한 자속 변화로 인하여 1차측 혹은 2차측 권선 도체부에서의 와전류 손실	a) 실제 철손 부하와 도체를 제외한 금속 부로 인한 손실 b) 주 권선 도체에서의 와전류 손실
여자 손실	a) 섀트 또는 개별적 여자 권선과 여자가감 저항기에서 I^2R 손실 b) 여자기 손실은 완전한 구조를 구성하고 기기를 여자시키는 주축으로부터 유도된 여자기에서의 모든 손실	—	a) 여자 권선과 여자가감 저항기에서의 손실 b) 완전한 단위체를 구성하는, 기기를 여자시키는 목적으로만 사용되는 주축에 의해 기계적으로 구동되는 여자기에서 모든 손실 c) 브러시에서 전기적 손실

2.3 유도기의 효율결정 방법[2]

효율향상 프로그램의 고효율전동기는 유도기에 해당하므로 본 논문에서는 앞서 언급한 회전기기를 가운데 유도기의 효율결정 방법에 관하여 분석한다. 기기의 효율은 다음 사항에서 얻어진 손실의 합으로 간주되는 총 손실로부터 계산된다.

2.3.1 일정 손실

가. 정격 전압에서의 무부하 시험
 <표 3>의 일정손실 a), b), c)의 합은 무부하 상태로 전동기를 동작시킴으로써 결정된다. 기기에는 정격전압과 주파수의 전력이 공급된다. 1차 권선에서의 I^2R 손실만큼 감소한 흡수 전력은 총 손실을 제공한다. 2차 권선에서의 I^2R 손실은 무시한다.

나. 교정된 기기 시험

손실은 땅에 연결이 안 된 상태에서 교정된 전동기로 정격 속도에서 기기를 구동시킴으로써 개별적으로 결정된다. 브러시와 함께, 교정된 전동기에 의해 흡수된 전기력으로부터 추론할 수 있는 기기 축대에서의 흡수된 전력은 <표 3>의 일정손실 b)와 c)에서의 손실의 합을 제시한다. 브러시와 함께 베어링 마찰 손실과 총 권선 손실의 합은 같은 방법으로 얻어진다.

다. 가변 전압에서의 무부하 시험

<표 3>의 일정손실 a)에서 설명된 손실과 b)와 c)에서 설명한 손실의 합은 기기를 정격 주파수와 다른 전압에서 운전시킴으로써 분리된다. 주 권선에서 I^2R 손실보다 작게 흡수된 전력은 전압의 제공에 대해 그려진다. 낮은 포화값에서는 이는 b)와 c)의 손실 합을 제공하기 위해 영(zero)전압으로 추정될 수 있는 직선으로 제시된다. 낮은 전압 값에서 선도상에 그려진 손실은 증가된 슬립으로 증가된 2차 권선 손실로 인하여 높을 수 있다. 직

2.3.2 부하 손실

가. 부하 시험
 <표 3>의 부하손실 a)에서 설명된 손실은 직류 전류를 사용해서 측

정된 그리고 기준 온도로 교정된 즉 권선 저항과 손실이 계산되는 부하에 해당하는 전류로 계산된다. 온-부하 시험을 할 때 부하손실 b)에서 손실을 결정하기 위해 2차 권선 손실은 슬립과 2차 권선으로 전송되는 총 전력의 곱과 같다. 즉 소비 전력은 일정손실 a)의 철손과 부하손실 a)의 주 권선에서의 I^2R 손실만큼 감소한다.

나. 계산값

권선형 전동기에 대해 <표 3>의 부하손실 b)에서의 손실은 직류 전류로 측정된, 그리고 기준 온도로 교정된 저항과 기기의 실제 변압비를 고려한 원선도 혹은 등가 회로로부터 계산된 2차 전류로부터 계산된다. 사용되는 원선도의 형태는 제조자와 사용자 간에 합의되어야 한다. 온-부하 시험을 위해서 c)의 브러시에서의 손실은 직접적으로 측정되지 않고 이들 손실은 브러시에 흐르는 전류와 교정된 전압 강하의 곱으로 얻어진다. 같은 위상의 모든 브러시에서의 전압 강하는 탄소 혹은 흑연 브러시에 대해서 1.0V, 금속-탄소 브러시에 대해서는 0.3V 이어야 한다.

다. 감소된 전압에서의 부하 시험

이 방법은 농형 전동기에 적용 가능하다. 기기의 회전 속도가 일정하게 유지되면서 전압이 감소할 때, 전류는 전압에 대략 비례적으로 감소하고 전력은 전압의 제곱에 대략 비례하여 감소한다. 전압이 정격의 절반값으로 감소할 때, 전류도 약 절반값으로 감소하고 전력은 정격 전압인 경우의 약 1/4로 감소한다. 감소된 전압 U_r 에서 부하가 유도기에 인가될 때, 소비 전력 P_{1r} , 주 1차 전류 슬립 s , 그리고 감소된 전압 U_r 에서의 무부하 전류 I_{or} 과 정격 전압 U_n 에서의 무부하 전류 I_o 가 측정된다. 정격 전압에서 부하의 전류 벡터 I_1 은 벡터선도를 구성함으로써 구해진다. 전류 벡터 I_{1r} 에 다음 비율을 곱하고

$$\frac{\text{정격 전압}}{\text{감소된 전압}} = \frac{U_n}{U_r}$$

벡터를 더하면

$$\Delta I_o = I_o \sin \phi - I_{or} \left(\frac{U_n}{U_r} \right) \sin \phi_{or}$$

이상의 결과 벡터는 아래 소비 전력에 대해 정격 전압 U_n 에서 흐르는 전류를 나타낸다.

$$P_1 = P_{1r} \left(\frac{U_n}{U_r} \right)^2$$

결정된 I_1 , P_1 값과 감소된 전압에서 측정된 슬립 s 로 위의 부하시험에서 제시된 것처럼 온-부하 손실을 계산하는 것은 가능하다.

2.3.3 추가 부하손실

명시되어 있지 않다면 <표 3>의 추가 부하손실 a)와 b)에서 명시된 손실이 1차측 전류의 제곱에 따라 변하고, 전 부하에서 총 값은 전동기인 경우 정격 입력의 0.5%와 발전기인 경우 정격 출력의 0.5% 이상일 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 전동기의 효율 향상에 따른 에너지 절감 및 온실가스 저감 효과를 정량적으로 산정하기 위한 필요한 기초 자료로서 전동기의 손실 및 효율결정 방법에 관련된 국내외 표준을 조사 분석하였다. 향후에는 국내외 표준에서 제시한 효율결정 방법의 문제점을 심화 분석하고 이 문제점을 감안한 효율기준 산정식의 개발이 요청된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2005-7-150) 주관으로 수행된 과제임

[참 고 문 헌]

[1] 산업자원부, 기후변화협약 및 국제표준화를 대비한 국내 주요 전기 기기의 효율기준 마련을 위한 기초 연구 중간보고서, 2007
 [2] 산업자원부 기술표준원, 회전기기-제2부 : 회전기기의 손실 및 효율 측정 방법, KS C IEC 60034-2, 2002
 [3] 산업자원부 기술표준원, 삼상 농형 유도전동기의 손실 및 효율을 결정하는 방법, KS C IEC 61972, 2005
 [4] 국가표준정보포털서비스, standard.ats.go.kr