

高效率 모터

최근 들어서는 지구환경보호와 에너지자원 고갈의 위기감 속에 에너지절약기기의 니즈가 급속하게 가속화되고 있다. 산업분야에서의 에너지절약기기로서는 고효율모터나 인버터가 사용되고 있는데 아직 이들 기기의 보급률은 낮은 실정이다. 점차 에너지절약기기에 대한 관심이 높아가는 가운데, 한편 산업용전력 사용량의 약 70%를 모터가 차지하고 있다고 알려지고 있으며 모터 유닛의 손실 삭감으로 큰 에너지절약효과를 기대할 수 있기 때문에 3상모터의 고효율화 요구와 인버터구동에 의한 에너지절약니즈가 급속히 퍼지고 있다.

3상모터의 에너지절약 니즈에는 위험지구(폭발성 분위기) 안에서 사용되는 용도도 많아 이와 같은 위험장소에서 사용되는 방폭전기기기에서는 1993년의 국제규격(IEC 규격)에 정합(整合)된 신JIS 방폭규격의 발행으로 종전의 일본 독자적인 방폭 규격은 폐지되고 이 새로운 JIS 방폭규격에의 통합 움직임이 있었다.

미쓰비시電機는 이와 같은 동향에 대응하기 위하여 고성능·에너지절약 모터 “수퍼라인 에코시리즈”로서 고효율 시리즈, 인버터구동 전용토크 시리즈, 신JIS방폭규격대응 안전증(安全證) 방폭형 시리즈를 제품화하였다.

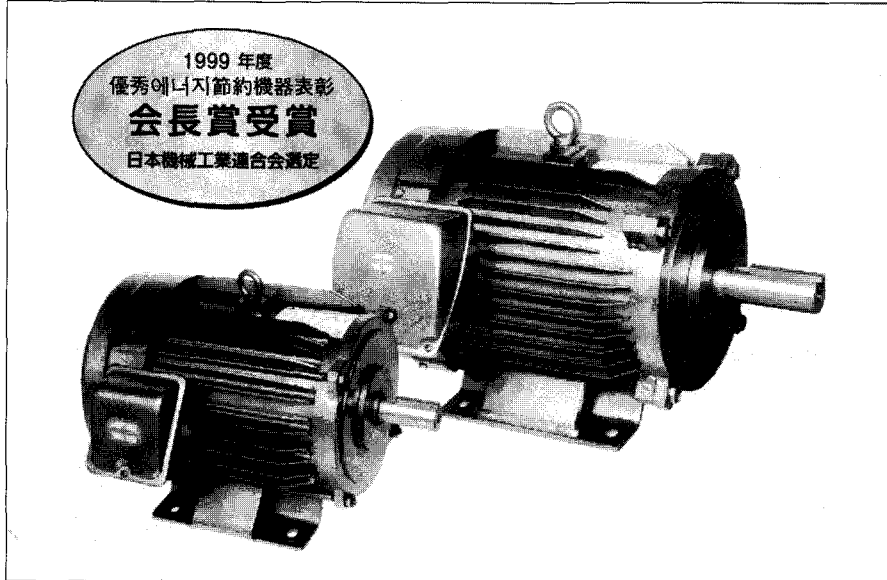
수퍼라인 에코시리즈는 동사 독자의 강판프레임을 사용하여 철저한 저손실설계의 채택으로 업계 톱클래스의 고효율·에너지절약을 실현하였다. 인버터구동에 최적한 특성, 내환경성의 강화와 베어링의 장수명화에 의한 장기(長期) 메인テナンス프리화 및 저소음·저진동화를 실현한 고성능모터이다.

1. 머리말

최근의 지구환경보호와 에너지자원 고갈의 위기감에서 이산화탄소의 주발생원인 전력에너지 사용량의 억제가 요구되고 있어, 에너지절약기기에 대한 니즈가 급속히 가속화되고 있다. 산업분야에서는 전력사용량의 약 70%를 모터가 차지하고 있다고 하며 모터 유닛의 손실 삭감으로 커다란 에너지절약효과를 기대할 수 있기 때문에 3상모터의 고효율화 요구와 인버터구동에 의한 에너지절약니

즈가 급속히 확산되고 있다. 또 3상모터의 에너지절약 니즈에는 방폭성분위기 속에서 사용되는 용도도 많아 이와 같은 위험장소에서 사용되는 방폭전기기기에서는 종전의 일본 독자적인 방폭규격이 폐지되고 1993년에 발행된 국제규격(IEC규격)에 정합(整合)된 신JIS방폭규격에 통합되는 움직임이 있었다.

미쓰비시電機는 이와 같은 동향에 대응하기 위하여 고성능·에너지절약 모터 “수퍼라인 에코시리즈”를 제품화하였는 바 그 내용을 소개한다.



〈고성능·에너지節約 모터 “수퍼라인 에코시리즈”〉

동사의 독자적인 강판프레임의 사용과 철저한 저손실설계의 채용으로 업계 톱클래스의 고효율·에너지節約을 실현한 고효율 모터이다. 인버터 구동에 최적한 특성, 내환경성의 강화와 베어링의 장수명화 및 저소음·저진동화를 실현한 고성능 모터이다.

또한 이상과 같은 우수한 특성과 성능이 높이 평가되어 일본기계공업연합회공모 1999년도 우수 에너지 절약 기기 표창 회장상을 수상하였다.

2. 제품개요

고성능·에너지 절약 모터 “수퍼라인 에코시리즈”의 시리즈화 범위와 특징을 표 1에 표시한다.

이 모터는 동사 독자적인 강판프레임의 사용과 권선·슬롯의 설계최적화, 고자속밀도·저철손 철심재의 개발·채용, 슬롯조합의 최적화 등에 의하여 철저한 손실저감을 기하여 업계톱클래스의 고효율·에너지 절약, 인버터구동에 최적한 특성 및 저소음·저진동화를 실현하였다. 또한 고성능바니시의 개발·채용, 베어링그리스, 베어링하우징재료의 개량 등으로 내환경성의 강화와 베어링의 장수명화를 실현하였다.

3. 업계톱클래스의 고효율화 실현

가. 고효율모터의 효율기준치

고효율모터 보급의 선진국인 미국에서는 고효율모터의 사용을 의무화한 「미국에너지정책법」(EPA)이 1997년 10월 24일부터 시행되었다. 이 법률에서는 규정된 효율기준치(이하 “미국EPA 기준치”라 한다)를 만족하지 않는 모터에 대해서는 미국내에서의 판매·사용이 금지되어 있다.

한편 일본에서는 1982년에 제정된 日本電機工業會(JEMA) 기술자료 제137호 중에 고효율모터의 효율기준치(이하 “일본 국내 JEMA 기준치”라 한다)가 규정

〈표 1〉 수퍼라인 에코시리즈의 시리즈화 범위와 특징

시리즈	출력·극수	형 번호	각 시리즈의 특징	공통특징
고효율시리즈 SF-HR형	0.2~55kW 2, 4P 0.2~45kW 6P	63M-225S	<ul style="list-style-type: none"> • 업계 톱클래스의 고효율·에너지절약 • 일본 JEMA, 일본 JIS 규격 및 미국 EAct의 모든 효율기준치를 만족시킨 업계 톱클래스의 고효율모터 • 인버터 구동에 최적한 특성 • 1:10(6~60Hz)의 정토크 연속운전 가능 • 저소음·저진동 • 동사표준모터보다 더 평균 3db(A) 조용한 저소음 설계. 진동은 V10 또는 V15의 저진동 	<ul style="list-style-type: none"> • 내환경성의 강화 • 절연성능의 향상으로 표준사양에서 습도 100% RH, 열대분위기에 대응 가능
인버터구동전용 정토크시리즈 SF-HRCA형	0.2~55kW 2, 4P 0.2~45kW 6P	63M~225S	<ul style="list-style-type: none"> • 인버터 구동에 최적한 특성 • 1:20(3~60Hz)의 정토크 연속운전이 가능 	
신JIS 방폭규격에 의거 안전증 방폭형 시리즈 AF-SHR형	0.2~15kW 2, 4, 6P	63M~180M (4P는 160L까지)	<ul style="list-style-type: none"> • 고효율 특성 • 종래시리즈에 비하여 발생손실을 약 20% 저감시킨 고효율 특성의 안전증방폭형 모터 • 폭발성 분위기의 사용범위 확대 • 1종위험장소(종래는 내압방폭형이 필요)에서 사용가능 • 안전성의 향상 • 외피구조의 강화에 의하여 모터내의 물이나 분진의 침입과 풍로(風路)내의 이물질 침입을 방지 	<ul style="list-style-type: none"> • 장수명화 • 베어링의 장수명화를 실현하여 장기 메인テナンス 프리화가 가능(동사비 : 계산수명 약 2.5배)

되어 있었으나 미국의 동향에 맞추어 고효율모터의 새로운 JIS규격 「고효율 저압 3상능형 유도전동기 JIS C 4212」가 2000년 7월에 제정되었다.

이들의 효율기준치를 4극의 것으로 비교하면 표 2와 같다. 효율시험법이 다르기 때문에 원선도법의 일본 JEMA 기준치에 대하여 실측법의 미국 EAct 기준치와 일본 JIS규격기준치는 낮은 치(값)로 되어 있다. 또한 230V/60Hz의 미국 EAct 기준치와 220V/60Hz의 일본 JIS규격기준치는 거의 같은 값이다.

나. 고효율화 기술

3상모터의 발생손실은 1차 및 2차동손, 철손, 표유(漂遊)부하손, 기계손으로 대별된다. 이 모터는 효율을 향상시키기 위하여 다음과 같은 손실저감기술에 의하여 3상모터의 합계 손실을 표준모터에 대하여 20~30% 저감을 실현하였다.

〈표 2〉 효율기준치 비교(전폐외선형: 0.2~55kW 4P)

단위 : %

효율기준	국내JEMA (기술자료 제137호)	미 국 EAct	국내JIS 규격 (JIS C 4212)
전 압	220V	200, 220V	230V
주 파 수	50Hz	60Hz	60Hz
출 력 (kW)	0.2	72.6	75.4
	0.4	77.5	80.0
	0.75	81.4	83.2
	1.5	84.4	85.8
	2.2	86.6	87.6
	3.7	88.4	89.2
	5.5	89.8	90.3
	7.5	90.8	91.0
	11	91.6	91.8
	15	92.2	92.2
	18.5	92.6	92.6
	22	93.0	92.8
	30	93.3	93.0
	37	93.5	93.2
	45	-	-
55	-	-	94.1
효율시험법	JIS C 4207(3상유도 전동기의 특성산정법)의 원선도법	IEEE Std 112 Method B의 일부하법	JIS C 4212의 일부 하법(브레이크법 또는 동력계법)

(1) 1차 및 2차 銅損의 低減

동손은 도체에 전류가 흐름으로써 발생하는 I^2R 손 (I = 전류, R = 저항)이다. 따라서 동손을 저감시키는 데는 도체저항의 저감이 최대포인트가 된다. 1차동손의 저감을 위해서는 전선의 권수 감소와 단면적의 증가, 권선 피치를 단축하는 권선방식의 채용에 의한 전선길이와 코일엔드길이의 단축을 시행하고, 2차동손의 저감은 로터 슬롯형상의 변경에 의한 2차도체의 단면적 증가와 엔드링의 단면적을 증가시킴으로써 도체저항의 저감을 도모하였다(동사표준모터와의 동손비 : 10~30% 저감).

(2) 鐵損의 低減

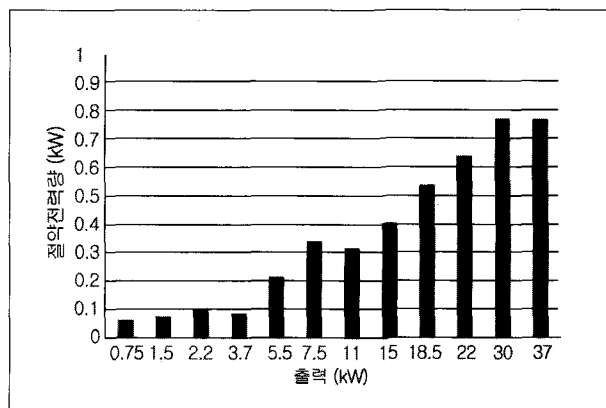
철손은 전자강판을 적층한 스테이터철심에 회전자계를 가함으로써 발생하는 히스테리손(損)과 와전류손(渦電流損)이다. 이 모터에서는 고자속밀도·저철손특성 재료의 개발과 채용으로 철손의 저감을 도모하여 소형으로 효율이 높은 모터를 실현하였다(철손비 : 20~40% 저감).

(3) 漂遊負荷損의 低減

표유부하손은 {모터입력-(출력+ 1차 및 2차동손+ 철손+ 기계손)}으로 정의되며, 주된 것은 부하시의 고조파 동손, 고조파자속에 의한 철손, 적층철심간의 절연부족에 의한 도통손(導通損), 로터슬롯의 절연부족에 의한 바(Bar) 사이의 와전류손 등이 있으며, 이것들이 복합된 손실이다. 오늘날에도 이들 요인의 대부분은 아직 충분히 해명되어 있지 않으나 이 모터에서는 실기(實機)에 의한 검증을 기초로 스테이터와 로터의 구수비(溝數比)의 최적화, 스테이터 로터 간의 갭길이, 로터슬롯의 브리지 두께 등의 개선으로 표유부하손의 저감을 도모하였다(표유부하손비 : 약 50% 저감).

(4) 機械損의 低減

기계손은 모터 운전중의 베어링의 마찰손, 냉각팬의 풍



〈그림 1〉 수퍼라인 에코시리즈의 절약전력량 (200V 50Hz 100% 부하시의 경우)

손(風損) 등에 의해 발생하는 손실이다. 이 모터에서는 마찰손실이 적은 신(新)그리스의 개발·채용과, 표준모터에 비하여 풍손이 적은 팬의 채용 등으로 기계손의 저감을 도모하였다.

(5) 에너지節約 효과

이상의 손실저감기술의 채용으로 고효율시리즈에서는 일본 JEMA기준치, 일본 JIS규격기준치 및 미국 EPAAct 기준치 모두를 만족하는 업계톱클래스의 고효율·에너지절약 모터를 실현하였다. 그림 1에 4극을 대표 예로서 표준모터에 대한 수퍼라인 에코시리즈의 절약전력량을 나타내었다. 이와 같이 수퍼라인 에코시리즈를 사용함으로써 전력소비량의 삭감을 기할 수 있으며 특히 연속운전시의 에너지절약에 큰 효과를 얻을 수 있다.

4. 인버터 驅動特性的의 향상

가. 인버터驅動的의 확대

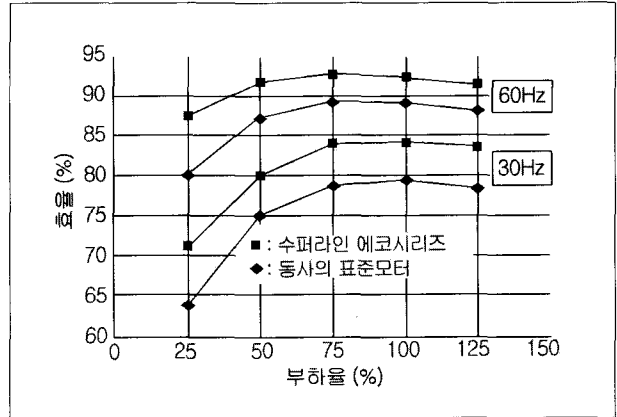
인버터운전은 모터의 회전속도를 바꿈으로써 축동력(軸動力) 그 자체를 감소시켜 에너지절약을 실현할 수

있다. 특히 유체기계와 같은 2승저감부하를 저회전속도로 운전하는 경우에는 축동력이 회전속도의 3승에 비례하여 저감되기 때문에 에너지절약효과가 커 인버터구동 수요가 많아지고 있다. 또 3상모터의 인버터 장착률은 모터 대수의 10~15% 정도로 추정되고 있는데 에너지소비의 삭감과 함께 기계의 성능향상 등도 기할 수 있어 장착률은 해마다 증가하고 있다. 따라서 이와 같은 인버터구동의 확대에 대응하기 위하여 인버터구동에 최적한 특성을 갖는 3상모터를 제품화하였다.

나. 高效率모터의 인버터驅動化

3상모터를 인버터구동하였을 때의 특성은 상용전원 구동시와 달라, 일반적으로 인버터구동시의 경우가 손실은 증가한다. 이것은 인버터전원에 포함되는 고조파성분의 영향으로 상용전원에 비해 동손과 철손이 증가하기 때문이다. 이 손실증가분을 저감시키는 방법로서는 인버터로 모터의 여자전류를 최적하게 제어하는 방식과, 고효율모터와 같이 모터자신의 발생손실을 저감시키는 방법이 있다. 그래서 이 모터에서는 종래의 고효율모터에 비하여 적은 전류로 필요한 자속을 얻을 수 있고, 또한 기본주파수만이 아니라 고주파영역에서도 손실이 낮은 철심재료의 개발과 채용으로 인버터구동시의 손실저감을 도모하였다.

그림 2에 슈퍼라인 에코시리즈(고효율시리즈)와 표준모터를 인버터구동하였을 때의 효율을 비교하여 나타내었다. 이 결과에서 양쪽 모터 모두 부하율의 변화와 주파수의 저하에 따라 효율은 거의 같은 경향으로 변화하는 것을 알 수 있다. 따라서 인버터구동인 경우에 있어서도 표준모터를 슈퍼라인 에코시리즈로 치환함으로써 부하율과 주파수의 변화에도 불구하고 고효율화에 의한 효율차만큼의 에너지절약을 실현할 수 있다.



〈그림 2〉 인버터 구동시의 효율화 비교(22kW 4P의 경우)

다. 定토크 연속운전범위의 확대

3상모터를 인버터로 구동하였을 때의 온도상승은 상용전원 구동시와 비교하여 전술한 손실증가분에 의해 높아진다. 또 고효율모터로 대표되는 전폐외선형(全閉外扇形)모터에서는 정토크부하 등에서 모터를 가변속제어하는 경우 속도저하와 함께 냉각능력이 저하하기 때문에 온도상승치가 더욱 높아진다.

그래서 고효율시리즈 SF-HR형에서는 전술한 손실저감기술에 더하여 동사제품 FR-A500 인버터와의 정수조합(定數組合)의 최적화로 1:10(6~60Hz)의 정토크 연속운전을 가능케 하였다. 또 인버터구동전용 정토크시리즈 SF-HRCA형에서는 정토크부하에서 더욱 광범위한 변속운전을 가능케 한 특성을 실현하여 1:20(3~60Hz)의 정토크 연속운전을 가능토록 하였다.

5. 高效率特性的의 安全増防爆形모터

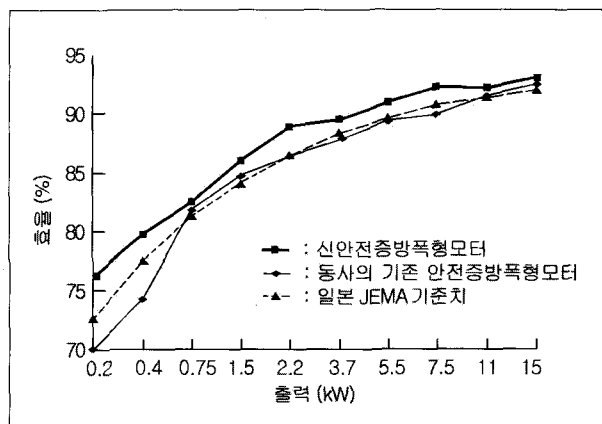
가. 新JIS 防爆規格

위험장소에서 사용되는 전기기기는 방폭지침, JIS방폭규격에 적합하고 또한 厚生労働省의 방폭검정에 합격할

필요가 있다. 그러나 이들 종래의 규격류는 일본의 독자적인 체계였기 때문에 외국과의 호환성이 없어, 해외메이커, 상사가 방폭전기기를 일본에 수출할 때 장벽이 되어 왔다. 그래서 이를 해결하기 위해 국제규격(IEC 규격)에 정합(Match)한 신JIS 방폭규격이 1993년에 발행되었으며 이에 따라 종래의 일본독자의 방폭규격은 폐지되고 신JIS방폭규격에 통합되는 움직임이 있었다. 동사 역시 종래의 JIS방폭규격에 의거한 안전증방폭형 모터를 시리즈화하고 있었으나 위험장소에서 사용하는 모터로서 저렴하고 고효율인 모터가 요구되고 있어, 이와 같은 동향에 응하기 위하여 국제적으로 호환성이 있는 신JIS방폭규격에 의거한 안전증방폭형 모터의 시리즈를 새로 제품화하였다.

나. 위험장소에서의 에너지節約

화학플랜트나 약품공장 등의 위험장소에서는 연속운전 중에 부하기계의 고장 등 뜻하지 않은 사태로 모터의 회전자가 구속(拘束)되면 모터의 온도가 급격히 상승하여 주위의 폭발성가스를 발화시킬 위험이 있다. 그래서 이와 같은 장소에서 사용되는 모터는 폭발성가스의 발화를 방지하기 위하여 구속시의 보호목적으로 허용구속시간을 정해 구속시와 연속운전시의 온도상승의 합계를 표준모터보다 낮게 억제한 안전증방폭형 모터를 사용하고 있다. 이와 같이 안전증방폭형 모터는 안전성 확보를 주목적으로 사용되고 있었으나, 방폭전기기를 사용하고 있는 유저에서도 에너지 절약 니즈가 높아져 고효율화가 요구되고 있다. 그래서 고효율시리즈 SF-HR형의 설계를 모체로 하여 고효율특성의 안전증방폭형 모터를 개발하여 고효율화를 도모함으로써 종래의 안전증방폭시리즈에 비하여 발생손실의 20% 저감을 실현하였다. 그림 3에 4극을 대표예로서 신안전증방폭형 모터, 동사의 중전안전증방폭형 모터의 효율치와 일본JEMA기준치를 비교하여 표



(그림 3) 안전증방폭형모터의 효율 비교 (200V 50Hz 원선도치)

시하였다.

6. 맺음말

이상 3상모터에 대한 동향과 고성능·에너지절약 모터 “수퍼라인 에코시리즈”의 고효율·고성능화 기술의 일단을 소개하였는데, 일본에서는 2000년 7월에 고효율모터의 JIS규격이 제정되고 미국에너지정책법(EPA)의 최종규칙이 1999년 11월부터 적용됨으로써 차후 더욱더 고효율모터의 수요가 증가할 것으로 생각된다. 따라서 앞으로도 보다 더 고효율인 3상모터를 추구하여 에너지절약 및 이용합리화에 공헌하고자 한다. ■

이 원고는 일본 三菱電機技報에서 번역, 전제한 것입니다. 본고의 저작권은 三菱電機(株)에 있고 번역책임은 대한전기협회에 있습니다.