

고효율 산업용 모터

유도전동기(이하 "모터"라 한다)는 기본 원리가 19세기말에 발명된 이래 100년 이상의 역사를 갖고 있으며 그 동안 제조업의 기간동력으로 성장하여 왔고, 재료의 진보(코어, 전선, 절연 등)와 설계기술·해석기술·제조기술의 개발로 각 특성의 향상, 소형·경량화, 고성능화가 도모되어 왔다. 그러나 최근의 지구온난화를 포함한 환경보호와 화석에너지 고갈위험감으로 에너지절약 움직임이 가속화되고 있어, 모터에 대해서도 고효율화의 요구가 높아지고 있다.

미국이나 캐나다에서는 규격이나 법률에 의한 모터의 효율규제가 실시되어, 특히 1997년 10월 24일에 시행된 미국에너지정책법(EPAAct)은 미국 국내에서 제조·판매 또는 해외로부터 수입되는 모터단체(單體)나 기계에 조립되어 있는 모터도 미국에너지정책법에서 규정하고 있는 효율기준치를 충족하지 못할 경우에는 벌칙이 부과되는 엄격한 실정이다. 일본에서는 종래 고효율모터의 효율기준치는 일본전기공업회 기술자료 제137호(省에너지를 위한 전동기의 선정과 운용)에 따르고 있었으나 미국에너지정책법을 기초로 새로히 일본공업규격(JIS C 4212)이 2000년 7월에 제정되었다.

미쓰비시(三菱)電機는 일본의 JIS 규격과 EPAAct법 양쪽의 효율기준치를 만족하는 고효율모터를 시리즈화하고 또한 미국에너지성의 적합증명번호(CC넘버)를 일본 국내 메이커로서는 처음으로 취득하였기에 다음에 고효율모터와 모터의 고효율화 기술에 대하여 소개한다.

1. 머리말

모터의 역사는 약 100년 전에 기본원리가 발명된 이래 중후(重厚)하고 장대(長大)한 시대를 시작으로 20세기 후반 경박단소화(輕薄短小化)로 바로 소형·경량화(省 자원화)의 역사였다. 모터는 전기에너지를 기계에너지로 변환하는 장치로서 에너지의 변환효율이 높고 또한 구조도 간소·견고하기 때문에 20세기 산업계의 원동력으로 서 지탱하여 왔다. 오늘날에는 가정용에서부터 산업용의 여러 용도에 구동원으로 널리 보급되어 있는데 최근에 에너지절약·고효율화의 수요가 가속되고 있어 3상모터에 대해서도 에너지절약 요구가 높아지고 있다.

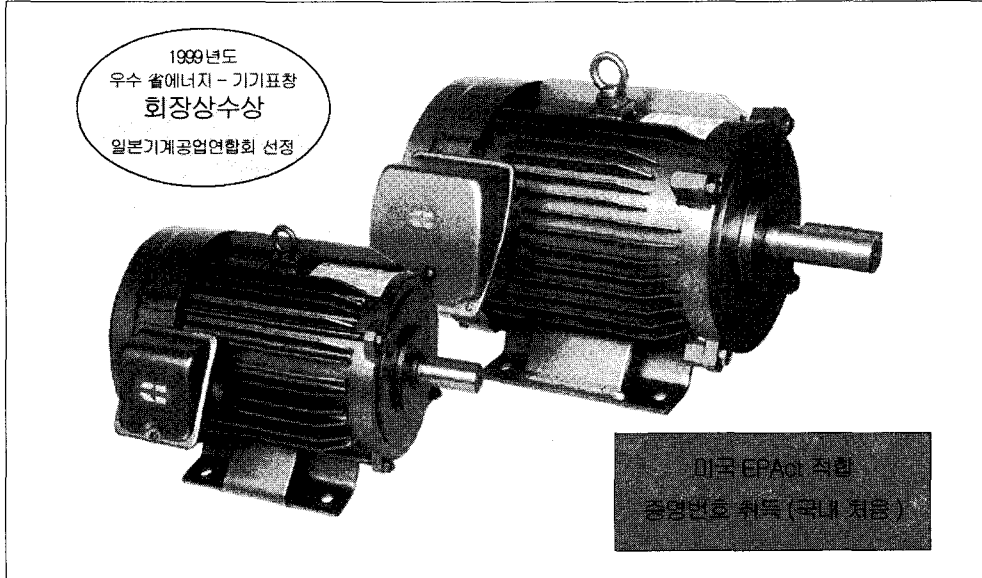
다음에 고효율화의 동향과 현황, 기술, 제품화 및 앞으로의 기술과제에 대하여 소개한다.

2. 3상모터의 동향

가. 3상모터의 소형화·경량화

미쓰비시電機 모터의 역사는 1908년의 미쓰비시 合資會社 新戶造船所시대에 박람회에서 100HP모터 출품에서 시작하여, 기본원리는 변하지 않았으나 설계기술을 비롯하여 냉각기술·재료기술·제조기술 등의 진보에 따라 모터도 크게 발전하여 소형·경량화를 달성하였다.

소형·경량화를 JIS규격과 관련지어 보면 '51년 제정 JIS C 4201에서는 A종 절연, '65년 제정 JIS C 4210에서는 E종 절연, '83년 개정된 JIS C 4210에서는 E, B, F종 절연이 채용되어 절연계급의 변경에 맞추어 동일모터 사이즈에 드는 출력이 증가되어 왔다. 예를 들면 그림 1에 표시하는 것과 같이 개방형의 250프레임의 4극에서는



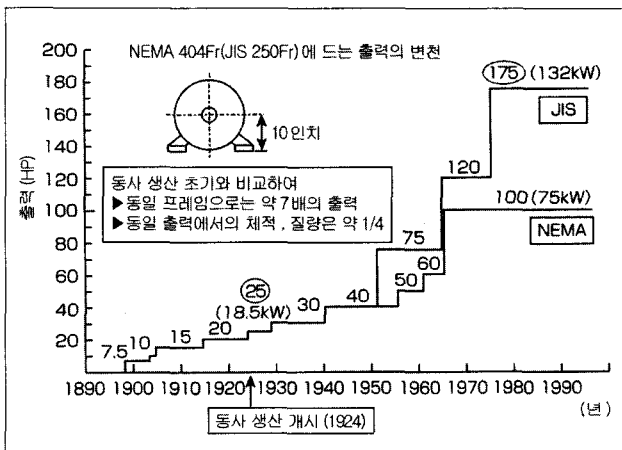
〈고성능·에너지모터 “수퍼라인에코시리즈”〉

동사 독자적인 강판프레임의 사용과 철저한 저손실 설계로 업계 톱클래스의 고효율·에너지저감을 실현한 고효율 모터이다. 일본기계공업연합회 공모 1999년도 우수에너지 기기표창에서 회장상을 수상하였고, 2001년 9월 25일에 미국에너지성의 적합증명번호(CC번호)를 일본 국내의 모터 메이커로는 처음으로 취득하였다.

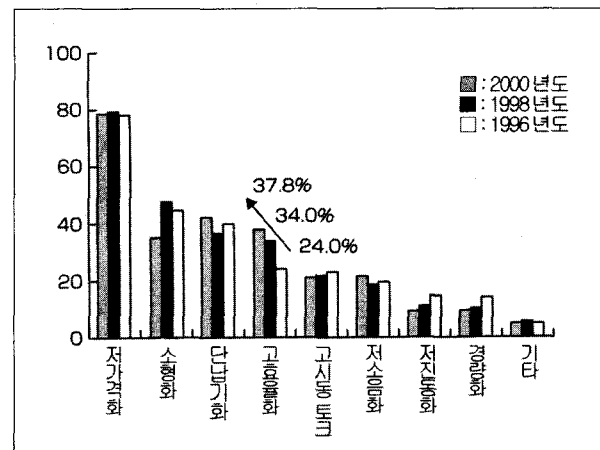
25HP(18.5kW)에서 175HP(132kW)로 약 7배로 되어 동일 출력으로 비교하면 체적·질량은 약 1/4까지 되었다.

나. 사용자 動向조사

그림 2는 일본전기공업회(JEMA)가 '96년부터 2000년도에 실시한 모터에 대한 사용자의 요망에 관한 조사



〈그림 1〉 소형화의 역사



〈그림 2〉 사용자 동향 조사

결과이며, 각 요망사항에 대해서 어디에 중점을 두어야 하는지를 1위, 2위, 3위로 우선순위를 정리한 결과이다. 이 조사결과에서는 저가격화에 대한 요망이 가장 크고 단(短)납기화·고효율화·소형화·저소음화 순으로 되어 있다. 모터의 특성면에서는 고효율화의 요망이 높이고 고효율화에의 요망은 '96년도, '98년도, 2000년도로 조사를 거듭할수록 증가하고 있음을 알 수 있다.

다. 省에너지화의 규제

최근에 지구온난화대책(CO₂ 배출량의 삭감)으로 대 표되는 범지구적인 에너지절약 정책이 추진되고 있다. 일 본 국내에서는 「에너지사용 합리화에 관한 법률」의 개 정과 경제산업성의 신(新)스킴에 의한 省에 너지 관리 강화 지정업종의 지정 등 규제가 강 화되고 ISO 14001 취득공장 증가에 따른 에 너지 사용의 합리화계획 추진 등 에너지소비 가 적은 기기에 대한 니즈가 급속히 증가하고 있다. 이것은 공장에서 사용되는 전력량의 70%는 모터에서 소비되고 있다고 하며 모터 의 고효율화는 전력소비량의 삭감에 큰 효과 가 있기 때문이다. 이와 같은 배경에서 각국에 서는 고효율모터에 관한 법제화도 추진하고 있다.

성(省)에너지화의 대처가 앞서 있는 미국 이나 캐나다에서는 이미 법제화되어 있고 특 히 미국에서는 고효율모터의 사용을 의무화한 에너지정책법(EPAAct: Energy Policy Act of 1992)이 '97년 10월부터 발효되어, 예외를 제외하고는 고효율모터 이외의 모터의 판매· 사용이 규제되고 있다. 또한 2002년 6월 이후 에 해당 모터는 미국에너지성에 적합증명번호 (CC넘버)를 신청한 모터여야 하며, 모터 본

체의 명판에 적합증명번호의 표시가 의무화되어 있다. 유 럽에서도 법제화가 검토되고 있으며 일본에서는 고효율 모터의 JIS규격(JIS C 4212)이 2000년 7월에 제정되어 규격이 정비되었다.

3. 미쓰비시電機의 대응

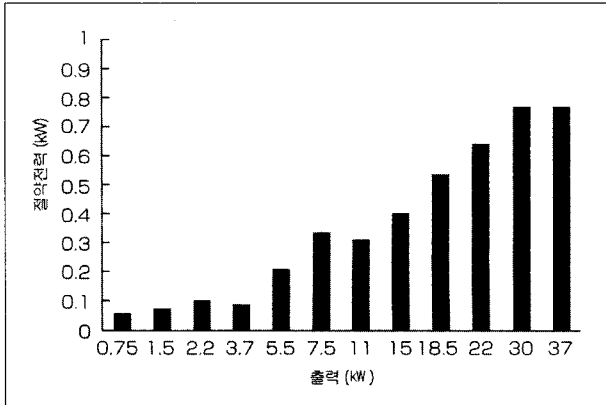
가. 高效率모터의 제품개요

(1) 기준·규격

고효율모터로서 각 효율 기준치를 4극에서 비교하면 표 1과 같으며 미국 EPAAct와 일본 JIS규격의 60Hz의

〈표 1〉 효율기준치 비교(전폐외선형, 0.2~55kW, 4극)

효율기준	일본 JEMA (기술자료책 135호)		미국 EPAAct	일본 JIS 규격 (JIS C 4212)		
	전 압	주 파 수	주 파 수	주 파 수	주 파 수	
	200V	200, 220V	230V	200V	220V	
	50Hz	60Hz	60Hz	50Hz	60Hz	
출 력 (kW)	0.2	72.6	75.4	—	72.0	74.0
	0.4	77.5	80.0	—	76.0	78.0
	0.75	81.4	83.2	82.5	80.5	82.5
	1.5	84.4	85.8	84.0	82.5	84.0
	2.2	86.6	87.6	87.5	85.5	87.0
	3.7	88.4	89.2	87.5	86.0	87.5
	5.5	89.8	90.3	89.5	88.5	89.5
	7.5	90.8	91.0	89.5	88.5	89.5
	11	91.6	91.8	91.0	90.2	91.0
	15	92.2	92.2	91.0	90.6	91.0
	18.5	92.6	92.6	92.4	91.7	92.4
	22	93.0	92.8	92.4	91.7	92.4
	30	93.3	93.0	93.0	92.4	93.0
	37	93.5	93.2	93.0	92.4	93.0
45	—	—	93.6	92.7	93.0	
55	—	—	94.1	93.3	93.6	
효율시험법	JIS C 4207(3상 유도전 동기의 특성 산정법)의 원 선도법		IEEE Std 112 Method B의 실부하법	JIS C 4212의 실부하 법(브레이크 또는 동력 계법)		



〈그림 3〉 수퍼라인 에코시리즈의 절약전력

기준치는 거의 동등하다. 이것들과 일본 JEMA 기준치를 비교하면 수치상으로는 JEMA 기준치가 높은 값으로 되어 있으나 효율의 시험·산정법 차이에 의한 것으로 실질적으로는 EPAAct와 JIS 쪽이 JEMA보다도 높은 효율기준이라 해도 된다. 수퍼라인 에코시리즈는 이들 효율기준치를 모두 만족하고 있다.

(2) 수퍼라인 에코시리즈의 시리즈화 범위

- 외피구조 : 전폐외선형
- 틀번호 : 63M~225S 프레임
- 극수 : 2, 4, 6P
- 출력 : 0.2~55kW

(3) 수퍼라인 에코시리즈의 특징

(가) 일본 JIS 기준치와 미국 EPAAct 기준치의 양쪽 기준치를 만족하는 업계 톱클래스의 고효율·성에너지 모터이다. 1999년도 일본기계공업연합회의 「우수에너지기기 표창에서 회장상」을 수상하였고 2001년 9월 25일 미국에너지성의 적합증명번호 「CC0012A」를 국내 모터메이커로서는 처음으로 취득하였다.

(나) 동사 제작의 인버터 “FR-A500”에 의한 애드밴스트 벡터제어 운전으로 1:10의 정토크 연속운전이 가능하다.

(다) 내환경성을 강화하여 표준사양으로 습도 100% RH(단, 결로가 없을 것), 열대처리, 주위온도 -30~40℃에 대응하며 축수의 장기 메인テナンス리화를 실현하였다(동사비 : 축수 그리스의 계산수명 2배 이상, 내크리프 성능 약 4배).

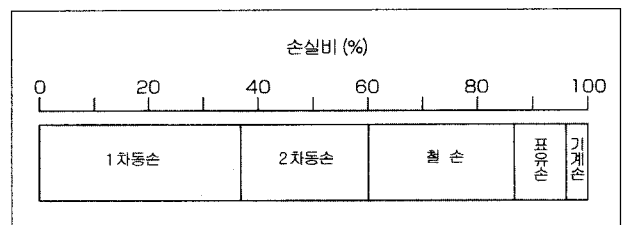
(라) 동사 표준모터보다 평균 3dB(A) 조용한 저소음으로 진동은 V10 또는 V15의 저진동이다.

(마) 표준모터와 동일한 설치 치수이다.

이상과 같이 범용효율의 모터와 치환이 가능하고 적은 손실로 필요한 동력을 얻을 수 있는 모터이기 때문에 장시간 사용하는 설비일수록 큰 절전효과를 얻을 수 있다(그림 3 참조).

나. 업계 톱클래스의 고효율화 기술

3상모터의 손실은 1차동손, 2차동손, 철손, 기계손, 표유손으로 대별되며 각 손실은 전폐외선형 3.7kW 4P인 경우 그림 4에 표시하는 비율을 점하고 있다. JIS 및 EPAAct의 효율기준치를 만족하는 모터는 이들의 손실합계를 표준모터보다 20~30% 저감할 필요가 있다. 이 수퍼라인 에코시리즈에서는 다음과 같은 기술로 저손실·고효율화를 실현하다.



〈그림 4〉 범용모터의 손실 예 (전폐외선형, 3.7kW, 4P, 200V, 50Hz의 경우)

(1) 1차·2차 동손의 저감

동손은 도체에 전류가 흐름으로써 발생하는 I^2R 손 (I = 전류, R = 저항)이다. 따라서 동손을 저감시키는데는 전류나 또는 저항치의 저감이 필요한데, 전류는 모터 출력이 같으면 거의 같음으로 저항 저감이 포인트가 된다. 이 모터에서는 ① 전선의 권수감소와 도체의 단면적 증가, ② 권선방식의 변경에 의한 코일엔드길이의 단축, ③ 로터스롯형상의 최적화에 의한 2차 도체의 단면적 증가, ④ 엔드링 단면적 증가 등에 의하여 도체 저항의 저감을 도모하였다.

또한 저철손·고자속밀도 철심재의 채용이나 강판프레임의 투자성을 고려한 전기설계와 자계해석 결과, 종래의 고효율모터와 스테이터 사이즈를 동등 또는 소형화하고 또는 권선저항의 저감을 도모하였다(동사 표준모터와의 손실비 : 10~30% 저감).

(2) 철손 저감

철손은 무방향성 전자장관을 적층한 스테이터철심에 회전자계를 가함으로써 발생하는 손실(히스테리시스손, 와전류손)이다. 이 모터에서는 고자속밀도·저철손 특성을 개발 채용하여 철손의 저감을 도모하고 전기부품의 콤팩트화로 소형이고 효율이 높은 모터를 실현하였다(동철손비 : 20~40% 저감).

(3) 표유부하손의 저감

표유손은 “모터 입력에서 모터출력, 1차동손, 2차동손, 철손, 기계손을 뺀 것”으로 정의되며, 주된 것은 부하시의 고조파동손 고조파자속에 의한 철손, 적층철심간의 절연부족에 의한 도통손, 로터의 스롯절연 부족에 의한 바간(間)의 와전류손 등이 있으며 이들의 복합적인 손실이다.

이 모터에서는 해석과 실기(實機)에 의한 검증을 기초로 ① 스테이터·로터의 구구조합의 최적화, ② 스테이

터·로터간의 갭길이, 로터의 스큐량, 로터스롯의 브리지 두께 등 자기회로에서의 정수의 최적화에 의하여 표유손의 저감을 도모하였다(0.75~3.7kW 당사비 : 표유손 약 50% 감소).

(4) 기계손의 저감

기계손은 모터 운전중의 축수의 마찰손, 외선팬의 풍손 등에 의하여 발생하는 손실이다. 이 모터에서는 마찰손이 적은 그리스의 개발·채용과 당사 표준모터와 비교해 풍손이 적은 팬의 채용으로 기계손의 저손실화를 도모하였다.

4. 앞으로 고효율모터의 과제

앞으로 시장니즈를 고려하면 에너지변환기로서 모터의 수요는 기계의 다이렉트드라이브화와 아울러 지금까지 이상으로 높아지고 또한 운전시의 성(省)에너지뿐만 아니라 소재에서 생산·유통·운전·유지보수·폐기까지의 전 라이프사이클의 환경부하 저감을 고려한 환경배려형 제품의 탈피에 대한 요구도 높아질 것으로 생각된다. 현재 일본에서 고효율모터의 보급률은 수 % 정도 밖에 안된다. 이것은 고효율모터의 가격이 범용모터에 비하여 20~30% 높은 것에 기인하고 있어 현재의 고효율모터에 부과된 과제는 보다 더 고효율화함과 동시에 저코스트·저가격인 제품개발에 있다고 생각할 수 있다.

(1) 동손의 저감

1차동손을 지금보다 저감하기 위해서는 스테이터 스롯내의 전선 점유밀도를 더욱 높이고 코일엔드로 불리는 코일의 스롯에 장착되지 않는 부분의 길이를 더욱 짧게 할 수 있는 권선기술의 개발이 필요하다. 이것들은 집중권방식(卷方式)에서는 신권선기술이 다수 개발되어 크게 진

보되고 있는데 앞으로는 3상모터의 분포권에 적합한 새로운 권선의 성형·삽입기술이 개발되고 실용화되어 1차 동손의 저감이 더욱 진전될 것으로 생각된다.

2차동손의 저하는 스롯 단면적의 증가와 도체 재료의 저고유저항화에의 대처가 필요하며 알루미늄다이캐스트(鑄)도체대신에 소(巢)가 적고 밀도가 높은 도체를 얻을 수 있는 알루미늄용탕(溶湯)단조기술(鍛造技術), 고유저항치가 낮은 동에 의한 다이캐스트·용탕단조기술의 적용을 들 수 있다.

현재 농형로터에 자석을 장착하여 동기운전이 가능한 유도기도 개발되어 3상모터에 비해 높은 운전효율을 실현하고 있는 것도 있으나, 가격이 높고 시동할 수 있는 부하관성모멘트가 3상모터에 비하여 적다는 등 과제를 남겨두고 있다.

(2) 표유부하손

모터의 손실중 약 10%를 점하는 표유부하손은 모터 부하에 따라 증가하는 손실로 지금까지는 정량적인 해석이 곤란하였다. 그것은 기본과성분만을 고려하여 부하에 따라 증가하는 고주파성분 해석을 정량적으로 시행하는 것이 어려웠기 때문이다. 최근 자계해석기술의 진보로 이 고조파 손실을 고조파철손과 고조파동손으로 분리하여 스테이터, 로터나갭 등에서 발생하는 손실을 거의 정확하게 해석할 수 있게 되었다. 이것과 고정도의 손실측정기술을 병용함으로써 표유부하손의 정량적인 값을 해석과 실기에 의한 검증에 의하여 얻을 수 있게 되었으며 지금까지 경험적 방법이 주체였던 표유부하손의 저감이 크게 진전되고 있어 저코스트화에 기여할 것으로 생각된다.

(3) 기 타

모터로서의 고효율화 이외의 과제는 모터의 생산공정에서의 성에너지·성자원화 그리고 환경오염물질을 전

폐·삭감한 생산방법, 리사이클과 폐기를 고려한 제품설계 등을 들 수 있다.

모터는 철·동·알루미늄과 소량의 유기재료로 구성되어 있으며 통상 모터의 수명은 적은 양의 유기재인 절연물의 수명으로 결정되어 버린다. 또 기계적인 수명인 축수수명은 축수의 교환을 실시함으로써 연명이 가능하다. 따라서 모터로서는 절연·전선의 장수명화, 메인터너스의 용이화, 폐기시의 리사이클과 분별이 용이한 구조설계·재료선택이 전 라이프사이클에서의 환경부하를 저감하는 방법일 것이다.

5. 맺음말

이상 3상모터에서의 성(省)에너지·고효율화의 동향과 당사의 고효율모터의 제품·기술을 소개하였다. 본문에서 기술한 바와 같이 규격화·법제화의 동향으로 모터에 대한 고효율화를 포함한 고성능화가 요구되고 있기 때문에 3상모터 외에 IPM모터, 리락턴스모터, DC브러시레스모터 등 새로운 방식으로 보다 고효율화와 소형화를 겨냥한 제품도 실용화되어 있다. 그러나 일부의 용도 이외에서는 견고하고 값이 싸며 상용전원에서 손쉽게 사용할 수 있는 등 사용의 용이성에서 앞으로도 3상모터는 구동원의 주력을 담당해 갈 것으로 생각한다. 산업용모터의 공급메이커로서 보다 고성능으로 또한 고효율의 3상모터를 추구하여 에너지 절약을 위해 공헌하고자 한다.

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