국산 AC 서보모터의 성능평가를 위한 연구

공재향*, 박광호+, 권우철++, 윤준용+++

(논문접수일 2006. 7. 10, 심사완료일 2006. 12. 13)

Study for Performance Evaluations of the AC Servo Motor Made in Korea

Jae Hyang Kong*, Kwang Ho Park+, Woo Chul Kwon++, Joon-yong Yoon+++

Abstract

Items and methods of synchronous type AC servo motor's performance evaluation were researched. Through the research, nine items of performance evaluations were selected from study of IEC standards and domestic technical reports. Using the proposed evaluation items and methods, performance evaluations were carried out into two domestic products and one foreign product for analysis of what results means. The results show that the proposed items of performance evaluations are reasonable and proper for performance evaluations of AC servo motors.

Key Words : AC Servo Motor(AC서보모터), Dynamometer(동력계), Motor Noise(모터소음), EMC(전자파적합성), Motor-Driver Cooling(모터 드라이버 냉각)

1. 서 론

AC 서보모터는 회전속도와 위치제어를 할 수 있는 모터로써 가전용, 사무용, AV기기용, 자동차 전장품 등 우리 생활의 모든 분야에서 사용되고 있으며, 수요도 매년 빠르게 증가하고 있다. AC 서보모터는 크게 동기기형과 유도기형으로 분류할 수 있는데 이중 동기기형 AC 서보모터는 브러시가 없어 보수가 용이하며, 내환경성이 우수하고, 신뢰성이 높아 고속, 고토크에 이용이 가능하며 방열 특성이 좋은 장점을 가지고 있다[1]. 또한 회전정밀도, 증감속 등 위치제어 정밀도가 높은 고효율 모터로써, 주로 산업용 로봇, 공작기계, 산업용 및 일반 산업기계 등에 사용되는 국내시장규모 약1,200억 (2005년 기준) 규모의 핵심 부품이다.

이처럼 최근 들어 급속히 증가하고 있는 AC 서보모터는 그 제품의 양뿐만 아니라 종류도 빠르게 증가하고 있으나 이에 따른 성능평가 방법 및 용어 등이 각 제조사별로 상이하여 표준화 작업이 필요한 실정이다. 이와 관련하여 Seok-Tae Kim 등은 제어용 정밀모터에 대한 국제 동향 및 표준화

* 서울지방중소기업청
+ 산업자원부 기술표준원
++ 교신저자, 한양대학교 대학원 기계공학과 (chuls21@hanyang.ac.kr)
주소: 133-791 서울 성동구 행당동 17
+++ 한양대학교 기계정보경영공학부

동향에 대하여 조사하여 서보모터 등의 소형모터에 대한 시험방법 및 국내 규격의 국제 규격과의 부합화에 대한 연구가 필요함을 보고한바 있다[2,3].

AC 서보모터와 같은 회전기기 분야의 성능 평가를 위한 선행 연구를 살펴보면 Seok-Tae Kim 등이 소형 정밀 모터에 대한 부품표준화 및 신뢰성 평가방법 등에 대한 연구를 통하여 가전용 AC 서보모터에 대한 신뢰성 평가에 대한 연구가 있었으며[2], Young-ki Hong 등은 모터 동력계를 이용한 서보모터의 시험방법을 연구한바 있다[4]. 또한, Chung Sung Kim 등은 동력계를 이용하여 CNC제어기에 사용되는 회전기기의 성능평가 시스템 대하여 연구하였다[5].

AC 서보모터와 관련한 회전기기에 대한 국제 규격으로 IEC 제정 규격은 64종이 있으며[2,6], 국내 KS 제정 규격은 KS C 4002 등 31종이 있으나 KS규격의 경우 대부분이 유도전동기에 대한 내용이다.

본 연구에서는 1990년대에 들어서면서 본격적으로 개발되어져 주로 공작기계와 산업용 로봇 및 일반산업기계 등 10㎾ 이하의 중소용량의 고정밀 제어 분야에 핵심 부품으로 사용되는 영구자석력 동기기형 AC 서보모터에 대한 성능평가를 위한 시험항목의 선정과 시험 방법에 대해 조사 연구하였다.

시험방법에 대한 고찰과 시험 결과에 대한 분석을 위하여 동일 사양의 국산 2개 제품과 외산 1개 제품에 대하여 연구된 방법에 의하여 성능평가를 수행하였으며 아울러 국산 제품과 외산 제품과의 성능을 비교분석하였다.

연구결과는 국내 제조사에 성능평가 방법에 대하여 표준을 제공하고 향후 제품의 신뢰성을 향상시켜 국내 AC 서보모터의 산업경쟁력을 향상시키는데 기여할 것으로 사료된다.

2. 시험 항목 및 방법

현재 국내에서 생산되어 판매되고 있는 AC서보모터의 제품 사양서 및 해외 관련 규격을 조사하여 2.1～2.9까지의 9개 시험 항목을 영구자석력 동기기형 AC 서보모터의 성능평가를 위하여 시험항목으로 선정하였다. 각 항목의 시험방법은 회전기기 분야의 IEC 규격과 국내 연구보고서 및 국내 중소기업의 시험설비 현황 등을 조사하여 영구자석력 동기기형 AC 서보모터에 적합하게 만들어 표준화 하고자 하였다.

2.1 역기전력 시험

역기전력 시험은 일반적으로 각 회전수(rpm)에 따라 역기전력을 측정해서 속도대비 역기전력전압이 정상인지 그리고 설계 지수에 적합하게 유기 되는지를 판단하는 시험이다. 시험모터에 전력을 공급하고 모터가 요구속도에 안정하게 도달하도록 하게 한 후 모터에서 유기되는 전압을 측정한다[2],[6].

2.2 최대전압과 최대속도

본 시험은 모터가 최대인가 전압에서 동작할 수 있고 최대속도에 안전하게 도달하는 것을 확인하는 시험이다[2]. 전류가 피크전류를 넘지 않게 하기 위해 전류 제한 전원공급기로부터 모터에 전압을 인가한 후 모터를 정격속도와 최대속도로 구동시킨다. 그 속도로 동작하면서 인가된 전압의 극성을 바꾸어, 반대 방향으로 최대속도가 되게 한 후, 시험한다[2].

2.3 토크 상수 측정

토크 상수 측정은 모터의 온도변화에 따라 냉시측정과 열시측정으로 나누어서 측정한다.

<냉시측정>

모터의 온도가 주위온도에 거의 일정할 때 권선 저항과 주위온도를 측정하고 기록한다. 만약, 모터가 권계자형이면, 정격 여자전류를 여자 시킨다. 그 후 측정과정에서는 이 정격전류를 유지하여야 한다. 연속적으로 모터의 정격 전기자 전류를 공급한다. 모터에 정격 부하를 인가했을 때의 전기자 전류와 그때의 토크를 측정한다[2].

<열시측정>

권선이 가능한 한 최대의 온도로 상승할 수 있도록 모터에 정격 전류를 공급하고, 열평형상태에 도달할 때까지 이러한 조건을 유지(최소한 열시정수의 3배의 시간 동안)하며 계속적으로 정격 전기자 전류를 공급한다. 모터가 열평형상태에 도달하면 그 때의 정격 전기자 전류와 그때의 토크를 측정한다[2].

2.4 속도-토크 변화율 특성 시험

모터의 운전특성 곡선을 구하기 위하여 속도-토크 변화율 특성 시험을 행한다. 모터가 부하에 따라 0.25, 0.50, 0.75, 1.00배 정격으로 구동되는지 여부와 그 특성을 확인하기 위하여 모터의 속도 변화와 토크를 변화시켜 각각 정격토크, 정격 회전수(rpm)에 도달할 때까지 시험하여 측정한다[6].

2.5 내전압 시험

내전압 시험은 권선과 그 전기기기의 프레임 사이에 인가한다. 이때 철심 및 시험하지 않는 권선은 프레임에 접속

Table 1 내전압시험조건

모터 정격, U $V_{r.m.s}$	시험전압 $V_{r.m.s}$	시험시간 (s)	조 건
≤250	1000	60	A
≥250	1000+2U*	60	A
≤250	1200	1	B
>250	1200+2,4U*	1	B

*최대 정격 전압

하여 둔다. 본 시험은 통상의 사용 상태에서 모든 부품이 조립된 새로운 완성기기에 대하여 실시하고 그 조립공장에서 실시한다. 온도상승시험을 한 경우에는 그 시험의 직후에 내전압 시험을 한다. 인근에 독립된 각상의 코일이 있고 1kV를 넘는 정격전압의 다상 전류의 경우에는 그 시험 전압은 각 상과 프레임 사이에 인가하고, 철심과 다른 상과 시험하고 있지 않는 권선은 프레임에 접속한다. 모든 시험전압을 Table 1의 조건 A에 따라서 1분간 견뎌야한다[2].

2.6 절연 저항 시험

절연저항 시험은 모터의 충전부와 대지간 또는 충전부와 대지간 또는 충전부 상호간에 절연 저항계(megger) 직류 100V, 직류 250V 또는 직류 500V인 것을 사용하며 초소형 모터에서는 일반적으로 100V 절연 저항계를 사용한다. 절연 저항치는 주위 환경조건에 따라 크게 변동되므로 다음의 식과 같이 일반적으로 교류 모터에서는 1MΩ이면 정상이라 판단한다[2].

(1) 일반적으로 사용되는 식

$$\frac{\text{정격전압 } V}{\text{정격출력}[kW \text{ 또는 } kVA]+1000} \ \text{MΩ}$$

(2) 회전속도를 고려해 사용되는 식

$$\frac{\text{정격전압 } V+\frac{1}{3}[\text{매분회전수}]}{\text{정격출력}[kW \text{ 또는 } kVA]+2000} + 0.5 \ \text{MΩ}$$

2.7 소음 시험

측정에는 KS C 1502(보통 소음계)에 적합한 보통 소음계를 사용하고, 주파수 보정은 A특성으로 아래 a), b) 시험방법에 의해 측정한다[2].

a) 수평형 브러시리스의 측정 : 측정위치는 축 중심선을 포함하는 수평면의 축방향 2점과 고정자 틀의 거의 중심에서 축과 직각방향 2점에서 측정한다. 이 경우 소음 측정은 0.5m 거리에서 측정하기가 부적당한 경우, 예를 들면 측정해야 할 소음도와 암소음이 현저히 접근되어 있는 경우에는 마이크로폰 거리를 명기해 두어야 한다. 또한, 마이크로폰은 전동기 자신의 냉각풍의 영향을 받지 않는 곳에 놓는다. 거리를 취하는 방법은 축을 제외하는 전동기 표면에서 측정한다.

b) 수직형 전동기의 측정 : 수직형 전동기인 경우는 고정자 틀의 거의 중심을 지나는 수평면에서 수평형 전동기에 준한다.

2.8 진동 시험

모터를 정격 전압, 정격 주파수에서 무부하 운전했을 경우의 아래 측정조건에 따라 진동을 측정한다[2].

- 측정 조건

1) 설 치

1.1) 중량 400kg 이하 탄성체 위에서 측정하는 것을 원칙으로 하고 정반 위에서 측정도 가능하다.

1.2) 중량 400kg 이상 정반 위에서 측정하는 것을 원칙으로 한다.

2) 공급 전원 사인파형으로 전압의 불균형, 급격한 변동이 적은 것이 바람직하다.

3) 키홈 보정 축 끝 키홈에는 사용하는 키의 절반 두께의 것을 삽입한 상태에서 측정한다.

- 측정법

1) 진동계 진동계는 사용 범위에서 최대 진폭의 0.1㎛이하의 최소 지시 눈금을 갖는 것을 선정한다.

2) 측정 위치 진동의 측정은 가능한 한 각 베어링에 가까운 부분에서 상하 방향, 횡방향 및 축 방향에 대하여 측정한다.

c) 산출법

각 측정값 중 최고값을 전동기의 진동값으로 한다.

2.9 전자파 적합성(EMC) 시험

AC 1,000V 또는 DC 1,500V를 초과하지 않는 정격전압을 갖는 회전기에 적용한다. 전도성 노이즈는 전원케이블에 대해서 주파수 150㎑~30㎒까지 측정한다[2].

측정방법은 시험 기기에서 전원 케이블에 전도해온 노이즈를 0.8m의 거리를 두고 접속해 있는 의사전원 회로망으로 AC 라인의 편(片)라인씩 픽업하여 그 노이즈 레벨을 스펙트럼 분석기 또는 전계강도측정기 등을 사용하여 준피크치 검파로 측정한다[2].

3. 실험 장비 및 시편

시험에 사용된 모터동력계는 독일 Dr. Staiger Mohilo사 장비를 사용하였으며 시험모터의 사양은 Table 2와 같다.

4. 시험 결과

4.1 역기전력 시험

시험 결과는 Table 3과 같다. 모터를 구동하기 위한 역기전력 설계 기준은 드라이브에 인가되는 전압의 크기와 모터의 정격/최고 속도에 따라 달라진다. 따라서 저전압형 또는 고전압형의 모터는 각각의 설계 지수가 다르기 때문에 다소 상이하게 나타날 수 있다. 각 제조사별 제품의 유기전압의 차이는 각 제조회사의 설계지수의 차이로 보여 진다.

Table 2 시험모터의 사양

구 분		국 산		외 산
		A사	B사	
정격출력	kW	0.85	0.85	0.85
정격토크	N·m	5.41	5.41	5.39
순시최대토크	N·m	14.70	16.23	13.80
정격회전속도	rpm	1,500	1,500	1,500
최고 회전속도	rpm	3,000	3,000	3,000

Table 3 역기전력 시험 결과

RPM	Euv	Evw	Ewu	Eavg	비 고
Unit	Vrms	Vrms	Vrms	Vrms	Euv : U, V간의 선간 역기전력
국산-A사					
500	26.69	26.68	26.70	26.69	Eavg : 역기전력 평균값
1,000	53.82	53.67	54.06	53.85	
1,500	80.88	80.83	80.55	80.75	
국산-B사					
500	26.24	26.18	26.20	26.21	Eavg : 역기전력 평균값
1,000	52.70	52.50	52.70	52.63	
1,500	79.00	79.50	79.01	79.17	
외 산					
500	24.93	24.88	24.87	24.89	Eavg : 역기전력 평균값
1,000	50.08	50.04	49.98	50.03	
1,500	75.13	75.02	74.98	75.04	

4.2 최대전압과 최대속도

시험결과는 Table 4와 같다. 모터가 최대인가 전압에서 동작할 수 있고 최대속도에 안전하게 도달하는 것을 확인하는 시험으로, 모든 제품에서 양호한 결과를 얻었다. 이 결과는 각 제조사별로 설계 치에 따라 전동기 구동 특성에 차이가 있으므로 결과로 우열을 평가하는 것은 불가하다.

4.3 토크상수 측정

모터에 정격 부하를 인가했을 때의 전기자 전류와 그때의 토크를 측정하여 Table 5~6 같이 각 제조회사별 비교 결과

Table 4 최대전압과 최대속도 결과

RPM	Vuv	Vvw	Vwu	Vavg	비고
Unit	Vrms	Vrms	Vrms	Vrms	Vuv : U, V 상간의 입력전압
국산-A사					
1,500	93.02	92.22	92.21	92.48	Vavg : 입력 전압 평균값
3,000	120.92	120.42	120.21	120.51	
국산-B사					
1,500	92.02	91.80	91.90	91.91	Vavg : 입력 전압 평균값
3,000	120.03	120.04	120.08	120.05	
외 산					
1,500	88.95	88.31	88.10	88.45	Vavg : 입력 전압 평균값
3,000	115.50	115.30	115.00	115.27	

Table 5 토크상수 측정 결과 - 냉시측정

	인가토크 [Hm]	측정전류 [Arms]	측정온도 [℃]	효율 [%]	토크상수 [Nm/Arms]
국산 A사	5.40	6.37	21.3	90.28	5.40/6.37
국산 B사	5.39	6.70	26.3	90.50	5.39/6.70
외산	5.40	6.60	20.8	86.0	5.40/6.60

Table 6 토크상수 측정 결과 - 열시측정

	인가토크 [Hm]	측정전류 [Arms]	측정온도 [℃]	효율 [%]	토크상수 [Nm/Arms]
국산 A사	5.22	6.32	51.90	90.20	5.22/6.32
국산 B사	5.38	6.50	42.30	90.50	5.38/6.50
외산	4.88	6.30	44.7	86.50	4.88/6.30

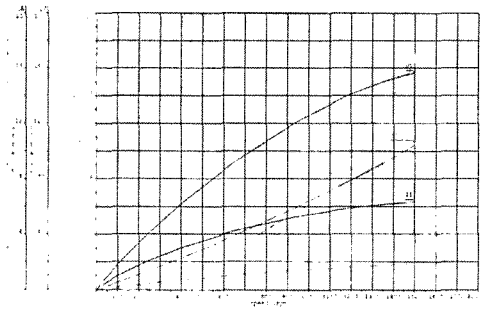

Fig. 1 속도-토크 변화율 특성 - 국산 A사

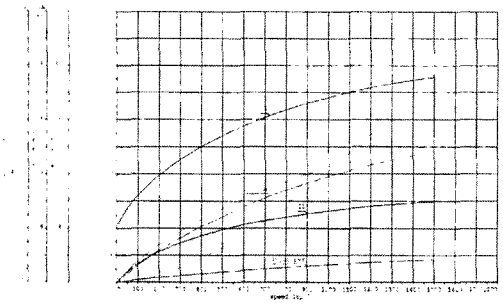

Fig. 2 속도-토크 변화율 특성 - 국산 B사

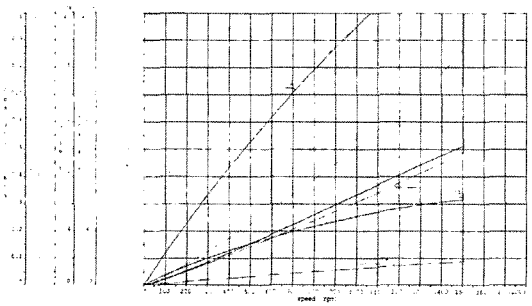

Fig. 3 속도-토크 변화율 특성 - 외산

국산이 외산 보다 효율이 약간 높은 것으로 나타났다.

4.4 속도-토크 변화율 특성

Fig. 1～3과 같이 부하에 따른 토크와 회전속도의 변화율이 외산이 국산에 비하여 안정적으로 나타나 정밀한 제어성을 보였다.

4.5 내전압 시험

모든 시험전압을 AC 1500V를 1분간 인가한 결과 3사 모두 양호한 결과로 나타났다.

4.6 절연 저항 시험

일반적으로 직류 모터에서는 0.5MΩ이상 교류 모터에서는 1MΩ이상이어야 하며, 측정결과 3사 모두 1MΩ이상으로 나타났다.

4.7 소음 시험

소음 시험 결과 Table 7과 같이 국산 제품이 외산 제품에 비해 소음이 다소 높은 것으로 나타났다.

4.8 진동 시험

진동을 측정한 결과 국산 1개사의 제품이 다른 제품보다 진동측정치가 다소 높은 것으로 나타났다. 결과는 Table 8에 나타내었다.

4.9 전자파 적합성(EMC) 시험

Table 9와 Fig. 4～6에서 보는 바와 같이 전자파 적합성(EMC) 측정결과 국산, 외산 동등한 결과를 나타냈다.

Table 7 소음 시험 결과

국산-A사	국산-B사	외산
58.70dB(A)	48.30dB(A)	39.80dB(A)

Table 8 진동 시험 결과

국산-A사	국산-B사	외산
0.37㎛	0.45㎛	0.38㎛

Table 9 EMC 시험 결과

구 분	국산-A사	국산-B사	외산
peak	49.62dBμV	50.55dBμV	50.32dBμV
Average	47.77dBμV	48.25dBμV	47.46dBμV

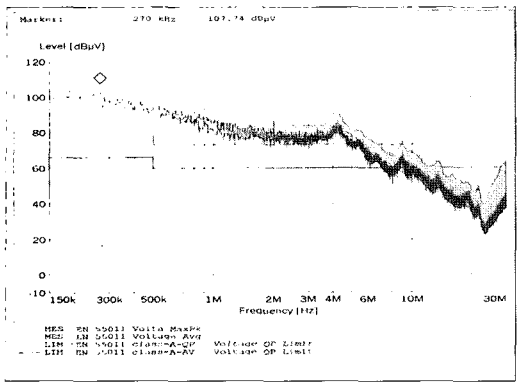

Fig. 4 EMC 결과 - 국산 A사

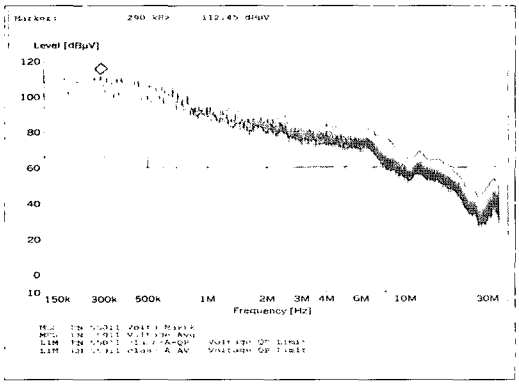

Fig. 5 EMC 결과 - 국산 B사

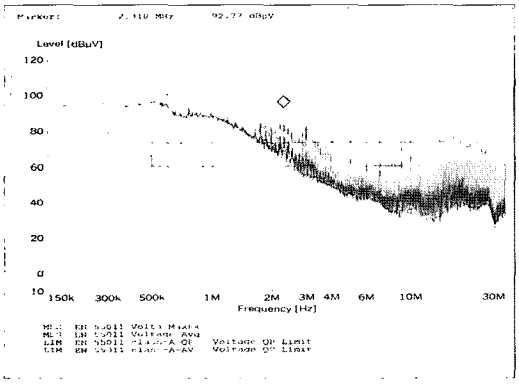

Fig. 6. EMC 결과 - 외산

5. 결 론

영구자석력 동기기형 AC 서보모터의 성능평가를 위한 시험항목과 시험방법에 대해 연구하였으며, 연구된 성능시험에 대하여 국산 2개사와 외산 1개사 제품에 대해 성능 평가를 실시하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 영구자석력 동기기형 AC 서보모터의 성능평가를 위한 시험항목으로 역기전력, 최대전압과 최대속도, 토크상수측정, 속도-토크 변화율 특성 측정, 내전압, 절연저항, 소음, 진동, 전자파 적합성 시험 등 9개 시험항목을 선정하였으며 기존의 각 제조사별로 상이한 시험방법을 표준화 하였다.

(2) 선정된 시험 항목에 대하여 국산 2개사와 외산 1개사 제품에 대하여 성능평가를 실시하여 선정된 방법에 대하여 고찰하였다.

(3) 성능시험결과 전체적으로 국산품과 외산품의 성능 차이는 크지 않았으나 토크상수시험에서 국산 제품이 외산 제품보다 효율이 다소 높게 나왔으며, 속도-토크 변화율 측정 시험과 소음시험 및 전자파 적합성 시험에서는 외산 제품이 국산 제품보다 다소 우위에 있는 것으로 나왔다.

향후 본 연구결과가 국산 AC 서보모터의 성능을 평가하는 방법에 대한 표준의 제시와 함께 국내 생산제품의 기술수준을 높이는데 좋은 자료가 될 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 산업자원부 기술표준원의 2004년도 『산업기기 핵심부품의 경쟁력 평가 사업』에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

(1) Won, C. Y., 2003, "Types and Trends of Permanent Magnet Type AC Servo Motor," *The Proceedings of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol. 17, No. 1, pp. 41~51.

(2) Kim, S. T., 2002, "Standardizations and Development of Reliability Evaluations of the Mini-precision Motors," *Technical Report of Korean Agency for Technology and Standards.*

(3) Kim, S. T., 2004, "Industrial Trend of Precision Motors for control," *Technical Report of Korean Agency for Technology and Standards.*

(4) Hong, Y. K., Jang, J. H., Cho, S. H. and Kim, K.

Y., 1995, "AC Servo Motor/Driver Dynamometer," *Conference of KIEE and IEEK*, pp. 62~65.

(5) Kim, C. S., Lee, C. H., Park, B. G. and Jeong, E. S., 2005, "A Study on CNC Performance Test System using the Dynamometer," *Transactions of Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 14, No. 3, pp. 16~22.

(6) IEC 60034-1 Ed. 11.0 b, 2004, *Rotating electrical machines* - Part 1: Rating and performance, International Electrical Commission