

V-3급 저진동 삼상유도전동기 개발

하현성, 허익구, 이인우, 고우식, 김진
 효성중공업

Development of a Low Vibrational Induction Motor, V-3 Class

H.S. Ha, I.K. Hur, I.W. Lee, W.S. Ko, J. Kim
 Hyosung Industries Co., Ltd.

Abstract - In this paper, condition of aluminum die cast and rotor balancing were considered to develop a low vibrational induction motor which is called V3 class. Condition of die cast is more important factor than rotor balancing to reduce motor vibration in low vibrational region.

1. 서론

최근의 산업용 유도전동기 기술은 소형화, 경량화와 더불어 점차 환경에 대한 관심이 고조됨에 따라 저소음화, 저진동화 등의 개발노력이 이루어져왔다. 그 중 고정도, 저진동이 요구되는 정밀급 전동기는 사용자 입장에서 보면 부하기계의 성능향상과 보수 유지의 경감으로 생산성의 향상은 물론 산업의 전반적인 기술과 밀접한 관계를 맺고 있으므로 그 수요는 점점 증가 추세에 있다. 이에 본 연구에서는 정밀 부하기계 특히 고정도의 공작기계 주축용 전동기의 용도에 적합한 저진동 전동기의 개발로 고객의 요구에 부응하고 저진동화를 위한 요소기술의 확립에 이바지하고자 한다.

일반적으로 전동기의 진동원인은 크게 고정자 및 회전자 권선의 불평형, 불평형 자기흡인력, 전압불안정 등의 전기적요인과 회전자의 언밸런스(unbalance), 베어링 결함 등의 기계적요인으로 나누어 볼 수 있다. 본 연구에서는 소형3상 농형유도전동기(TEFC, 7.5HP, 4P, 3 ϕ , 380V)를 시험모델로, 진동측정지지부를 설계하고 진동 인자들의 실험적 고찰을 통한 전진폭 3 μm 이하의 저진동전동기(V3 Class)개발에 대해 논하였다.

2. 본론

전동기의 등급을 구분하는 방법으로서 전동기에서 발생하는 진동의 크기에 따라 구분하면 아래 표1과 같이 나타낼 수 있다. 일반적으로 저진동 전동기라 함은 전동기의 전진폭이 전동기 진동측정방법에 따라 측정하였을 때 그 크기가 5 μm 이하가 되는 전동기를 일컫는다.[1]

표 1 진동등급에 따른 전동기분류

계급	V1	V3	V5	V10	V15	V20	V30
전진폭 (μm)	1	3	5	10	15	20	30
구분	저진동급		중진동급			일반진동급	

2.1 진동발생 요인

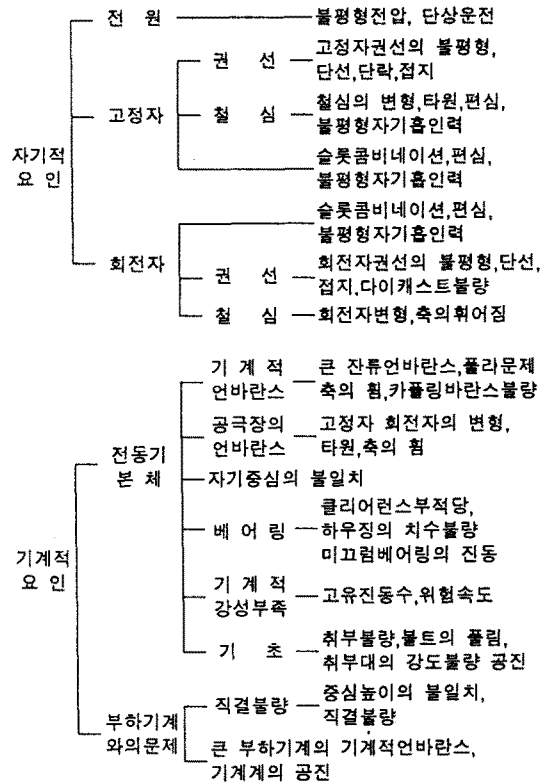
전동기의 진동은 전기적 불평형, 불평형 자기흡인력, 기본파·고조파 자속, 자기중심의 불일치 등의 전자적

요인과 회전자의 불평형, 부하기계와의 정렬불량, 회전자를 지지하고있는 베어링의 강성부족 등에 의한 기계적 요인으로 대별할 수 있다.

전기적 불평형은 Layer, 단선 등의 전동기 고장에 기인되며 불평형전압, 단상운전 등에 의한 것이다. 권선이 불평형한 경우는 불평형 기자력이 생기고 기본파 이외 차수의 기자력에 의해 진동이 발생되며 분수권선에서 각극의 기자력이 불평형한 경우도 동일하다.

표 2는 전동기의 진동발생원인을 요인별로 분류하여 나타낸 것이다.

표 2 진동의 발생요인별 분류



2.2 진동측정

저진동전동기의 진동을 측정하기 위해서는 측정하고자 하는 범위에 있어서 최대진폭의 1/10 이하의 최소치시 눈금을 가지는 진동계기를 선정해야하며, 계기에 따라 주파수 특성과 중량의 영향을 고려해야한다. 전자진동계와 같이 자속의 영향을 받는 계기는 철심 근처를 피하는 것이 좋다.

측정위치는 그림 1과 같이 베어링 하우징 부분에 근접하는 6점을 기준 측정위치로 정한다. Sensor는 축에 수평 혹은 수직방향이 되도록 부착한다. Hood부분을 측정할때는 자칫 Hood박판의 진동치가 지배적일 때가 있으므로 주의를 요한다.(2)(3)(4)

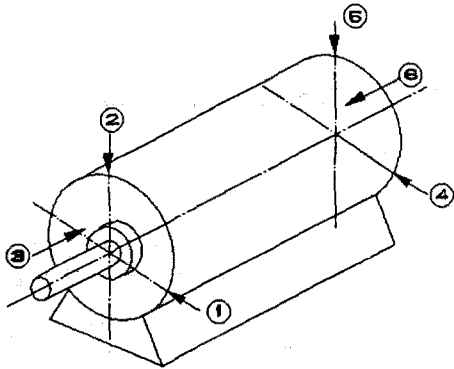


그림 1 진동측정위치

측정의 조건은 정격전압, 정격주파수에서 무부하상태로 측정하며 측정전원의 전압 불평형율은 3% 이내, 왜율은 5% 이내로 한다. 축단 Key 홈자리에는 반드시 1/2 Key를 끼운 후 측정하며 인버터 전원으로 구동할 때는 고조파로 인한 전원의 찌그러짐으로인해 진동이 크게 되므로 정반에 고정하여 진동을 측정한다.

또한 전동기 지지부와와의 공진을 피하기 위하여 탄성체로 지지하는데, 탄성체는 시스템의 상하방향으로의 고유진동수가 전동기 시험속도를 기준으로 적어도 25% 보다도 낮은 탄성체를 선정한다.

아래 표 3은 적절한 탄성체의 선정을 위한 기준이다. 탄성체는 전동기 자체무게에 의하여 적어도 아래의 표에 나타난 값 이상으로 압축되어야하고 전체압축량은 최초 무게의 50%이상 압축되어서는 안된다.(4)

표 3 탄성체의 최소 압축량

전동기 RPM	탄성체의 최소압축량(mm)
900	25.4
1800	6.4
3600	1.6
7200	0.4

저진동 전동기 측정을 위한 지지방식에는 아래의 3가지 방식 중 어떠한 방식을 선정하더라도 무방하나 전동기와 지지부의 시스템 고유진동과 전동기회전에 의한 진동성분이 공진하거나 상호간에 영향을 미치지 않아야 한다는 조건을 전제로 하고 있다.

- A. 스프링으로 매다는 방식.
- B. 스프링으로 지지하는 방식.
- C. 고무 탄성체로 지지하는 방식.

그림 2는 탄성체의 진동수와 진폭의 관계를 나타내는 특성 곡선이다. 감쇄율이 커짐에 따라 공진 정도가 적어지고 신속히 1에 가까워짐을 알 수 있다.(5)

일반적으로 고무탄성체는 스프링에 비하여 감쇄율이 크므로 적절히 선정을 하면 탄성시스템의 고유진동수가 전동기 회전주파수의 1/4 이 조금 넘더라도 충분히 사용할 수 있게된다. NEMA에 따르면 4P(1800rpm) 전동기의 경우 회전주파수는 30Hz이므로 진동 측정을 위한 스프링의 고유진동수는 7.5Hz 이하가 되어야한다. 그러나 시험에 의하면 고유진동수 9Hz 고무의 경우 고유진

동수 5Hz의 스프링과 같은 정도의 응답을 나타내므로 가장 훌륭한 지지방식이라 할수있다.

NEMA MG1-12.07.2에 따라 진동 측정시 Half Key를 사용해야한다. 진동시험시 사용되는 Half Key는 균형작업(Balancing)시와 동일한 Half Key를 사용해야 하며 회전시 테이프로 고정시킨 Key가 전동기에 발생하는 열에 의해 느슨해지면 진동치가 변하므로 단단히 고정시켜야한다.(4)(6)

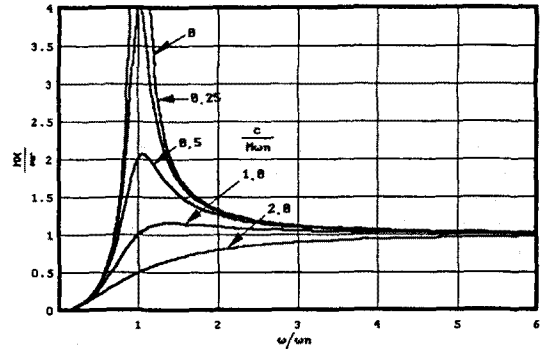


그림 2 감쇄율에 따른 감쇄곡선

2.3 결과 및 고찰

2.3.1 회전자 알루미늄 성형상태

회전자의 알루미늄 성형상태는 전동기 진동에 가장 크게 영향을 미치는 부분으로서 제작 후에는 수정이 불가능하다. 잔류불평형량과 무관하게 회전자 다이캐스트 내부에 기포가 많을수록 그 진동치가 크게 나타났다. 따라서 전동기에서 발생하는 진동은 잔류 불평형량보다 다이캐스트의 성형상태에 더 민감하게 영향을 받음을 알수 있다. 그림 3은 Lot별, 다이캐스팅 다이별 앤드링 절단면의 성형상태를 나타내고 표 4에 이들의 진동치를 나타내었다. 알루미늄 성형상태가 불량하면 균형작업(Balancing)시간이 과다 소요되며 심한 경우 균형작업(Balancing)이 불가능하게 된다.

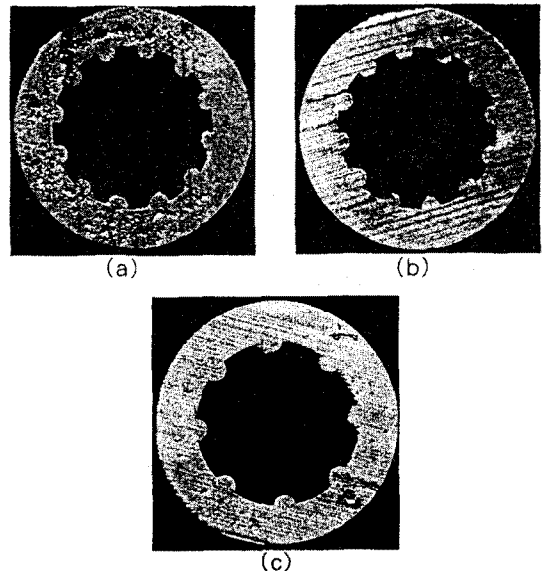


그림 3 회전자 알루미늄의 단면

표 4 회전자 알루미늄성형 상태에 따른 진동치

항 목	구 분		
	(a)	(b)	(c)
1. 진동측정결과	9 μm	3.325 μm	2.35 μm
2. 최종 잔류 불평형량	부하측 95 mg	280 mg 68 mg	450 mg 398 mg

2.3.2 회전자 잔류불평형

회전체의 불평형 증량에 의한 진동은 정적인 것과 동적인 불평형 2가지인데 이들 모두를 포함하는 조합불평형이 대부분이다. 전동기 로터(Rotor)의 주요 질량부분은 양베어링의 거의 중앙에 있고 일정한 형상을 하고 있어 전동기의 균형(balancing)은 다른 기계에 비해 비교적 용이하다. 따라서 중·소형전동기와 같은 강성로터(rigid rotor)는 통상의 양면균형(balancing)으로 그 목적을 달성할 수 있다. 시제품 전동기의 탄성지지 진동 시험시 회전자 잔류불평형에 따른 진동변위의 크기는 아래 표 5와 같다.

표 5 회전자 잔류불평형에 따른 진동치

잔류 불평형량 (g.mm)	진동변위(μm)	비 고
52.4	3.25	동일 Rotor사용
14.2	2.35	

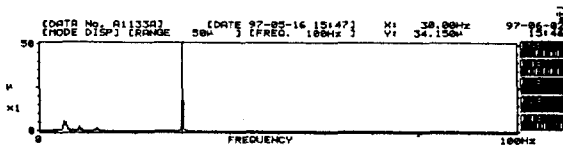
소형 전계형 전동기의 외부 Fan은 보통 Nylon재질로 사출된 Fan을 주로 사용하는데 Fan 자체의 균형작업(Balancing)이 되었다하더라도 회전자와 결합 유무에 따라 전체 불평형이 달라지게 된다.

시험에 의하면 Fan 취부 전후 5g.mm의 불평형이 발생하는 것을 확인할 수 있었으며 이러한 값은 V3급의 저진동전동기 진동에 막대한 영향을 미친다. 따라서 회전자 균형작업(Balancing)시에는 필히 Fan을 취부하여 균형작업(Balancing)을 실시하고 Fan에 의한 잔류 불평형량을 동시에 제거해야 한다.

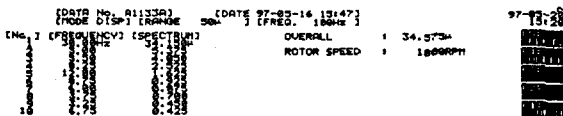
이상과 같은 회전자 잔류불평형실험으로부터 시험모델인 TE 7.5HP 4P 전동기의 경우 Fan을 포함하여 최대잔류불평형량이 G1급 이내이어야 V3급이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

2.3.3 DATA

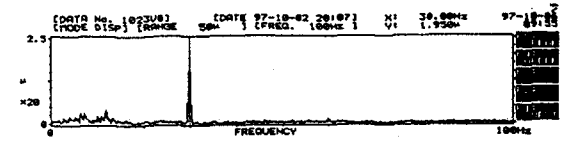
아래 그림 4는 일반전동기와 V3급 저진동전동기의 진동시험을 나타낸 그림이다.



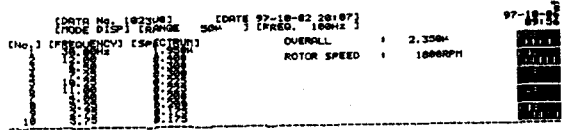
(a) 일반전동기



(b) 일반전동기



(c) V3 저진동전동기



(d) V3 저진동전동기

그림 4 일반전동기와 V3급 저진동전동기 주파수스펙트럼 비교

3. 결 론

일반급 전동기의 진동치(전진폭 38.1 μm 이내)로부터 V3급의 저진동 전동기를 개발하기 위해서는 많은 진동요인들을 고려하여야 하며 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 전동기 진동발생 요인 중 회전자 다이캐스트(Die Cast)의 상태는 진동절감에 가장 크게 영향을 미치는 인자이며 제작후에는 수정이 불가능하므로 다이캐스트 성형작업은 매우 중요하다.
- 2) 전진폭 3 μm 이내의 V3급 저진동을 실현하기 위해서 최대 잔류불평형량은 G1급 이내가 되도록 정밀 균형작업(Balancing)이 요구된다.
- 3) 저진동 전동기의 진동 측정·평가를 위해서는 탄성체를 이용하여 지지부를 설계해야 하며 스프링보다는 고무의 사용이 더 효과적이었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 日本電氣學會 電氣規格調査會標準規格, "誘導機", JEC-37, pp.70-72, 1979
- [2] ISO 2372, "Mechanical vibration of machines with operating speeds from 10 to 200 rev/s - Basis for specifying evaluation standards", 1974
- [3] ISO 2373, "Mechanical vibration of certain rotating electrical machinery with shaft heights between 80 and 400mm - Measurement and evaluation of the vibration severity", 1987
- [4] NEMA Motors and Generators, "Method of Measuring Motor Vibration", MG 1-12.07, 1987
- [5] A.D.Dimarogonas, S.Haddad, "Vibration for Engineers", pp.116-143, 1992
- [6] 本松靖明, "小形誘導電動機の振動", 安川電機, 第27卷, 第101號, pp.38-46, 昭和38年
- [7] 한국공업표준협회, "회전기기의 균형도-강성로터", KS B0612, 1992