

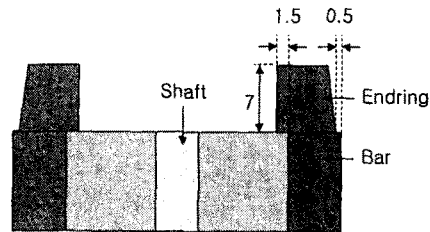
집중권 방식 단상 유도기의 진동 및 소음 특성 개선

채영기, 정태욱, 윤철호, 차현복, 김형모, 김정철
한국생산기술연구원

Improvement for Vibration and Noise Characteristics of Single Phase Induction Motor using Concentrated Winding

M. G. Chae, T. U. Jung, C. H. Yun, H. R. Cha, H. M. Kim, J. C. Kim
Korae Institute of Industrial Technology

Abstract - 우리는 이전 논문을 통해 Air blower용 모터에서 널리 사용되고 있는 단상 유도기를 기존의 분포 권선 방식에서 벗어나 집중 권선 방식을 사용하여 설계한 결과 생산 공정의 단계를 줄이고 많은 생산 비용을 줄일 수 있었다. 또한 집중 권선형에서 발생할 수 있는 고조파 문제를 로터의 skew와 overlap 권선 방식을 이용하여 해결 할 수 있음을 증명하였다. 그러나 이러한 이점에도 불구하고 시제품의 특성을 측정할 결과 집중 권선형 모터의 자계 불균형 때문에 기존 분포권 모터에 비해 소음과 진동 특성이 좋지 않은 결과를 보였다. 이에 본 논문에서는 소음과 진동 특성을 고려하여 기존의 기동 및 정격 토크 특성을 유지하면서 토크 리플을 저감할 수 있는 방법을 로터의 Skew 각도 영향, 권선 사양 및 스테이터 및 로터 형상 등을 고려하여 새롭게 설계하였고 그 결과를 제시하였다.



〈그림 1〉 변경된 Endring 형상

1. 서 론

거의 모든 소형 가전제품의 주류를 이루고 있는 단상 인덕션 모터는 저출력 모터로써 비교적 고효율, 고역률의 특성을 지니고 사용하기 쉽고, 속도 변환이 비교적 자유로우며, 유지 보수가 간단하며, 특히 가격이 낮다는 가장 큰 장점을 가지고 있다. 그러나 최근 중국의 값싼 노동력과 모터의 재료비 상승 폭을 감안해 볼 때 재료비의 절감이 절대적으로 필요하다. 인덕션 모터에서는 주로 분포권 방식의 권선 방법을 사용하나 우리는 인덕션 모터에 집중권 방식의 권선 방식을 사용하여 기존 방식의 모터와 유사한 성능을 나타내면서 재료비를 획기적으로 절감할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 일반적으로 모터에 있어서 진동 및 소음이 큰 문제가 되는데 이는 주로 고정자에 작용하는 전자기적인 힘이 주요 원인이 된다. 이전 논문에서 제시한 모델도 집중권 방식을 채택함으로써 인덕션 모터가 집중권으로 토크 리플이 커지며 이는 모터의 진동 및 소음 특성을 나쁘게 만든다. 그 동안 기동시 특성에 초점을 맞추어 설계해 왔다면 본 논문에서는 기동시의 특성을 유지하면서 부하시의 특성 향상을 위해 skew 각도와 권선사양, 엔드링의 형상을 여러 가지로 검토하여 최적의 사양으로 설계하였다.

2. 본 론

2.1 집중권 방식의 문제점

기존의 단상 유도 전동기와 비교해 보았을 때 집중권 방식의 단상 유도 전동기는 다음과 같은 가장 큰 문제점이 있다.

첫째, 자속의 흐름을 비교해 보았을 때 집중권 방식은 요크 사이에 자속이 집중되어 회전자계 형성에 어려움이 있다. 이러한 회전자계의 불균형으로 인하여 토크 발생이 어렵게 되고 심한 진동으로 인해 소음이 커지게 된다.

둘째, 역기전력 파형을 비교해 보았을 때 집중권 방식은 자속 파형이 구형파적으로 형성되어 고조파 자속의 영향이 커진다. 이것은 와전류 손실(eddy current loss)에 기인한 권선내의 높은 동작 온도를 야기하여 과열 현상을 생기게 하며, 이 왜형 고조파 전압으로 인한 진동 때문에 베어링 마모가 심해지며 모터 축(Shaft)의 안정성에도 영향을 끼친다. 또한 비동기 토크 발생으로 인해 초기 기동에 어려움을 발생시킬 수도 있다.

2.2 집중권 단상유도기의 특성 개선을 위한 설계 및 실험

위와 같은 문제점의 해결과 현재 시작품의 특성 개선을 위해서 다음과 같이 크게 skew angle의 영향, 권선 사양, Stator 및 Rotor의 형상 설계 변경을 고려하였다.

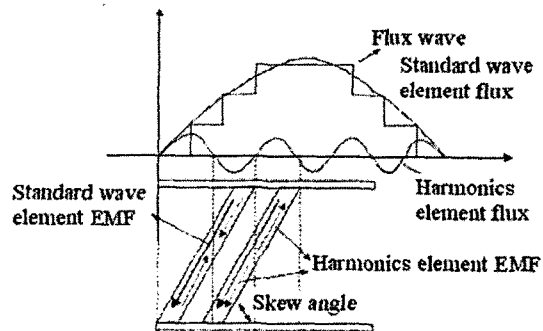
2.2.1 토크 특성 향상을 위한 모델의 형상 변경

기존의 해석결과 기동 토크치는 비교적 만족할 만한 결과를 보였으나 부하시 토크치가 낮게 나와서 stator 및 rotor 코어 형상은 그대로 유지하면서 2차 저항을 여러 가지로 변화시켜서 해석을 실시하였고 그 결과를 토대로 2차 시작품 보완설계/제작 시 그림 1과 같이 Endring의 형상을 변경하였다.

2.2.2 Rotor의 skew angle 영향 검토

집중권 방식으로 권선을 함에 따라 자속의 집중이 발생되고 집중된 자속은 구형파의 형태로 저차 고조파를 많이 함유하게 되므로 rotor측에 skew를 형성함으로써 그림 2와 같이 고조파 성분을 서로 상쇄시켜 기본파 성분만 남겨서 고조파에 의한 역토크 발생을 억제시킬 수 있다.

먼저 skew의 영향을 검토하기 위해 rotor 모델을 slice화 하고 2차원 모델로 근사화하여 유한요소법을 이용해 해석을 수행하였으나 실제 모델의 특성과는 많은 차이를 보임을 알 수 있었다. 그래서 상당히 많은 시간이 소요되기는 하나 실제로 skew의 영향을 정확하게 파악하기 위해서 3차원 전자기장 해석을 수행함(진행중)과 동시에 몇 가지 모델을 제작하여 실험적인 방법을 병행하여 검토하였다.



〈그림 2〉 skew angle에 의한 고조파 상쇄 원리

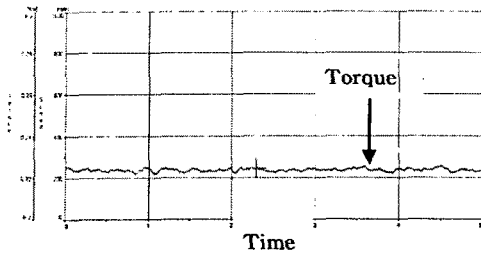
skew angle은 아래와 같이 0°, 15°, 23°, 30°, 37°의 다섯 가지 모델을 기준으로 검토하였고 실측 결과는 표 1과 같다(23°, 37°의 경우 측정 조건이 조금 달라서 3가지 결과만 제시하였음).

〈표 1〉 skew angle별 특성 비교

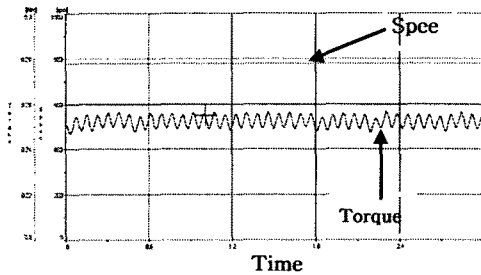
	개발 목표	1차 시작품	개선된 모델		
			0°	15°	30°
기동토크 (Nm)	0.197	0.158	0.126	0.179	0.222
최대토크 (Nm)	0.268	0.253	0.311	0.299	0.277
효율(%)	35.5	27.7	33.4	32.8	32.3

현재 설계된 형상을 기준으로 skew angle의 영향을 분석해 보았을 때 skew angle이 커질수록 기동토크는 커지는 반면 부하시의 토크 및 효율은 저하되는 것을 알 수 있었고, 여러 가지 변수들을 고려하여 종합해 보면 skew angle이 큰 경우 분포권 대비 전체적인 성능을 만족함을 알 수 있었다.

그리고 skew angle이 토크의 크기에는 영향을 미쳤으나 토크 리플에는 영향이 거의 없었고 개선된 모델이 이전 시작품에 비해 토크 리플이 현저히 줄어들었으며, 그림 3에 실제 개선된 모델의 부하시 토크 리플의 정도를 나타내었다.



(a) 기동시 토크 리플



(b) 부하시 토크 리플

〈그림 3〉 개선된 모델의 기동시(a) 및 부하시(b) 토크 리플

2.2.3 토크 특성 향상을 위한 권선 사양 설계

Endring의 형상 변화로 인한 2차 저항의 감소는 기동 및 최대 토크가 감소하는 결과를 가져왔다. 그래서 본 논문에서는 이전 토크 특성을 유지할 수 있도록 여러 가지 권선 사양을 설정하여 해석을 수행하였으며 여기서 skew의 영향은 고려하지 않았다.

먼저 원가에 가장 큰 영향을 미치는 코일의 양을 줄이기 위해 sub축을 고정된 상태로 main축의 턴 수를 줄이는 방향으로 해석을 수행하였다. 그 결과 토크 특성은 비교적 만족할 만한 결과를 보였으나 main축의 전류가 많이 상승하였다. 그래서 main 축의 턴 수를 고정하고 sub축의 턴 수를 늘리는 방향으로 해석을 수행하였다. 그 결과 비교적 토크 특성을 유지하면서 전류 특성도 만족할 만한 결과를 나타내었다.

표 2에 권선사양별 토크 및 전류 특성을 나타내었다.

〈표 2〉 권선사양별 토크 및 전류 특성 (토크 : Nm, 전류 : A)

권선사양		기동시			부하시		
main	sub	토크	main 전류	sub 전류	토크	main 전류	sub 전류
3000	4500	0.157062	0.652513	0.188942	0.393323	0.560414	0.203946
3500	4500	0.144623	0.489646	0.189201	0.354701	0.396421	0.19643
4000	4500	0.134584	0.389782	0.189619	0.32018	0.29425	0.19264
4250	4500	0.125871	0.343241	0.192744	0.302765	0.256182	0.192
4500	4500	0.12396	0.310152	0.190212	0.287779	0.227072	0.191313
4500	5400	0.146116	0.309802	0.189746	0.277663	0.233082	0.198468
4500	5850	0.152017	0.309699	0.187134	0.26534	0.243795	0.19694
4500	6300	0.154415	0.30918	0.182026	0.232912	0.257709	0.189418

2.3 소음 측정 결과

위에서 설계한 개선된 모델을 가지고 직접 소음 측정을 실시하였다. 측정은 무부하 상태에서 실시하였으며 측정 결과는 표 3 및 그림 4와 같다. 측정 결과 1차 시작품에 비해 현저하게 소음이 줄어들었으며 실제 분포권 모델의 소음과 비슷한 수준을 나타내었다.

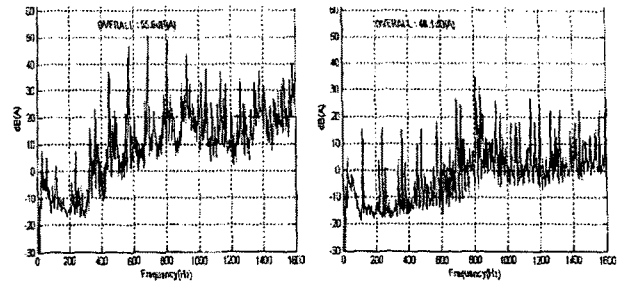
〈표 3〉 소음 측정 데이터

	분포권 모델	1차 시작품	개선된 모델
소음(dB)	41.5	55.6	41.0

2.4 최종 형상 설계

위에서 검토한 내용을 종합하여 설계한 집중권 방식의 단상 유도전동기

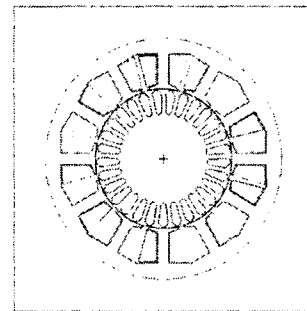
의 형상은 그림 5와 같으며 코일 선경을 약간 줄이고 원가 대비 권선 사양을 1:1.1(main:sub)정도로 했을 때 기동 및 부하시 토크, 전류, 효율이 목표치에 근접했으며 토크 리플은 현저히 줄어들었다.



(a) 1차 시작품

(b) 개선된 모델

〈그림 4〉 소음 측정 결과



〈그림 5〉 형상 설계 도면

3. 결 론

집중권 방식을 적용하였을 때의 가장 큰 장점은 기존 분포권 대비 제조공정이 단순해지고 재료비가 크게 절감된다. 그러나 고조파로 인한 자속의 집중과 비토크의 발생은 모터의 성능을 떨어뜨리고 특히 소음이 크고 진동을 유발시켰다.

위와 같은 문제점을 해결하고자 skew angle 도입, stator 및 rotor의 형상 변경, 권선 사양 등 여러 가지 변수들을 고려하였다. 그 결과 기존 분포권 방식의 단상 유도기와 비슷한 성능을 가지는 유도기를 설계하였다. 앞서 설계한 모델과 비교하여도 토크 리플을 크게 줄이는 등 큰 성과가 있었으며 최적 형상 설계를 통해 자속의 불균형으로 인한 소음을 줄여 기존 분포권 모델과 비슷한 수준을 나타내었다.

단 현재 수치는 무부하 상태이기 때문에 Set 취부시 소음 특성까지 해결된다면 현재 분포권 방식의 유도기는 집중권 방식으로 대체될 것이며 본 기술을 적용하여 기존 대비 원가 측면에서 20~40% 이상의 비용 절감으로 현재 급상승하고 있는 재료비와 아시아권 국가들의 저임금을 바탕으로 한 공세에 경쟁력을 잃어가고 있는 국내 모터 산업이 활성화 될 수 있을 것으로 판단된다.

〈참고 문헌〉

- [1] 백승훈, 김광현, 조훈희, 차현록, 윤철호, "집중권 방식의 단상 AC 유도도전동기 토크 특성 개선", 전력전자학회 추계학술대회 논문집, pp. 186-188, 2005
- [2] Stephen Williamson, Russell C. Healey and Jerry D. Lloyd, "Rotor Cage Anomalies and Unbalanced Magnetic Pull in Single-Phase Induction Motors. Part 1. Analysis"
- [3] Y.G. Guo, J.G. Zhu, P.A. Watterson, and W. Wu, "Comparative Study of 3D Flux Electrical Machines with Soft Magnetic Composite Core", IEEE Trans. Industry Applications, Vol. 39, No. 6, pp. 1696-1703, Nov/Dec. 2003
- [4] Kent R. Davey, "Analytic Analysis of Single- and Three-Phase Induction Motors", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 34, No. 5 September 1998
- [5] Stephen D. Umans, fellow, IEEE, "Steady-State, Lumped-Parameter Model for Capacitor-Run, Single-Phase Induction Motors", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 32, No. 1, January/February 1996
- [6] Stephen Williamson, Fellow, IEEE, and A. C. Smith, "A Unified Approach to The Analysis of Single-Phase Induction Motors", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 35, No. 4 July/August 1999