

집중권 방식을 이용한 단상 유도전동기의 설계

차현록, *백승훈, 윤철호, 강창석, *김광헌
한국생산기술연구원 *전남대학교 전기공학과

Design of Single Phase Induction Motor using Concentration Winding

H. L. Cha, *S. H. Baek, C. S. Kang, C. H. Yun, *K. H. Kim,

Korea Institute of Industrial Technology *Chonnam nation university Electrical Eng Dept

Abstract - 단상 AC 콘덴서 유도전동기(분포권 방식 적용)는 소형 가전제품의 송풍용 모터로 활용되고 있는데, 이 전동기의 가장 큰 장점은 가격이 저렴하다는 것이다. 현재는 제조 원가가 싼 동남아시아에서 공급하고 있는 형편이다. 이로 인해 종래 모터와 비교해서 동일 특성을 가지고 원가 절감을 할 수 있는 집중권 방식의 AC 콘덴서 유도 전동기의 개발이 필요하다. 집중권 방식은 기존 분포권 방식에 비해 제조 공정이 간단하고 Coil-Ending 길이가 짧아 재료비의 저감을 가져올 수 있다. 집중권 방식의 문제인 고조파 문제 해결을 위해 Skew의 도입을 검토하고 슬롯 형상 등을 고려하여 설계한 후 유한요소기법을 이용한 시변 자장 해석 기법을 이용하여 해석해 보았다.

1. 서 론

단상 AC 콘덴서 모터(분포권 방식 적용)는 거의 모든 소형 가전제품의 송풍용 모터로써 가장 많은 주류를 이루고 있다. 저출력 모터로써 비교적 고효율, 고역률의 특성을 지니고, 사용하기 쉽고, 속도변환이 비교적 자유로우며, 유지 보수가 간단하다는 장점이 있지만 그 중 가장 결정적인 장점은 가격이 낮다는 점이다. 기존의 분포권 형태의 AC 유도 전동기는 코일 Ending 부분이 길어 동손 발생의 우려가 있고 재료비의 상승을 가져오고, Forming, 인력이 1개 Line 10명 이 필요하며, Tool의 Inserting, Lacing 등의 과정이 필수이고 제조 잦은 파손으로 유지 보수비가 높은 등의 제조 공정이 까다롭다. 또한 코일 End 부위가 커 Set 공간 활용률이 떨어지는 단점이 있다. 그러나 신규 집중권 방식의 AC 유도 전동기는 아래 그림에서 보는 것과 같이 코일 End가 기존 대비 60%로 줄어 동손이 저감되고, 고효율화 할 수 있고, 분포권 방식의 위 과정이 불필요하고, 생산시의 필요 인원이 기존의 40% 수준이고, 유지 보수비가 거의 들지 않는 등의 제조 공정이 단순해지는 장점을 가지고 있다. 아래 Table 1은 공정비교표 이다.

비교	공정 비교	
분포권	투입 Inserting 포밍 절연지투입 Inserting 결선 포밍 레이싱 포밍	14 단계
집중권	투입 Insulator winding 결선	4 단계

Table 1 공정 비교표

2. 본 론

2.1 기존 단상 유도 전동기와 집중권 단상 유도 전동기의 비교

2.1.1 자속 흐름 비교

아래 그림에서와 같이 자속의 흐름을 비교해 보면 집중권 방식에서 요크 사이에 자속의 집중이 있음을 볼 수 있다. 그 결과 회전자계 형성에 어려움이 있다.

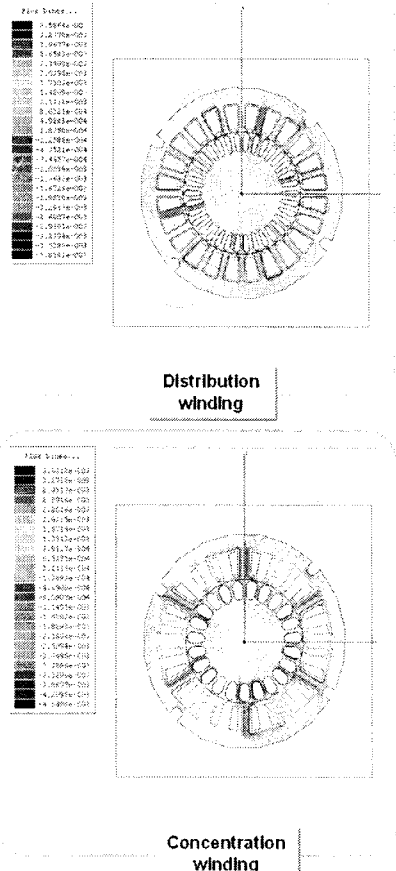
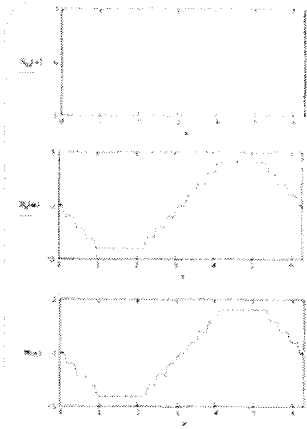


Figure 1 자속 흐름 비교

2.1.2 EMF 파형 비교

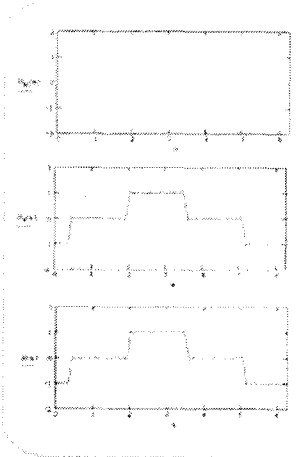
위와 같이 집중권 방식으로 할 경우, 분포권 방식의 모터보다 많은 이점이 있다. 하지만, 집중권으로 할 경우에는 아래 그림에서 보는 것과 같이 자속 파형이 구형과 적으로 형성하여 고조파 영향이 우려 된다. (a)는 기존

유도전동기의 역기전력 파형을 나타내고(b)는 집중권 모터의 역기전력 파형을 나타낸다.



(a) 기존 유도 전동기

자속 파형이 정현파적임



(b) 집중권 방식 유도 전동기

자속 파형이 구형파적임
고조파 영향우려

Figure. 2 기존 유도전동기와 집중권 방식의 유도 전동기의 역기전력 파형 비교

2.1.3 고조파 자속의 영향

모터는 전압 왜형에 민감하다. 왜형 전압이 모터에 인가되면 더 높은 주파수가 모터의 고정자(Stator)에 주입되며, 이것은 권선에서의 고조파 전류를 발생하며 아래와 같은 문제를 일으킨다.

첫째로 높은 주파수의 전류는 와전류 손실 (Eddy - Current Loss)에 기인한 권선내의 높은 동작 온도를 야기한다. 이러한 높은 온도는 RMS 전류 레벨에 의존하지 않고, 모터는 전부하가 아니라도 과열 현상이 생기게 된다.

둘째로, 왜형 고조파 전압은 단상 및 3상 모터에서 과도한 진동(Vibration)을 일으킨다. 이 진동에 의해 정상보다 높은 베어링 마모가 생기며 또한 모터 축(Shaft)의 안정성에도 영향을 끼친다. 3상 시스템에서 제5고조파의 존재는 특히 모터에 손상을 주는데 이는 역회전을 야기하여 모터가 거꾸로 돌아가도록 작용하기도 한다. 또한 원활한 회전자계 형성에 어려움이 있다. Fig. 2의 그림은 비동기 토크 발생으로 인해 초기 기동에 대한 요구를 만족하지 못하는 것을 나타낸 그림이다.

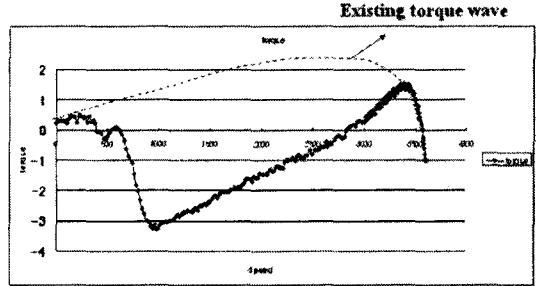


Figure. 3 고조파에 의한 토크 특성 파형

2.2 집중권 방식의 문제점 해결 및 형상 설계

2.2.1 Skew Angle 도입

자속 고조파는 집중권으로 권선을 Winding함에 따라 자속의 집중이 발생되고 집중된 자속은 구형파의 형태로 저차 고조파를 많이 함유 하게 된다. 따라서 로터 측에 Skew를 형성함으로써 집중된 자속을 분포케 하여 고조파를 저감 할 수 있게 된다. Skew angle 변경을 통한 고조파 저감 진행 계획은 아래 그림과 같다.

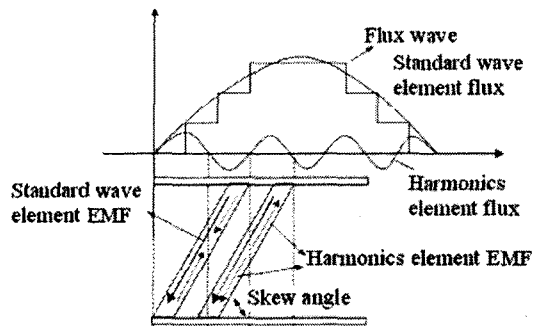


Figure. 4 skew angle에 의한 고조파 상쇄 원리

고조파 성분을 제거하려면 위의 그림과 같이 Skew Angle을 조정하여 고조파 성분을 서로 상쇄시켜 기본파 성분만 남고 고조파 성분은 상쇄되어 고조파에 의한 역토크 발생을 억제 시킨다.

아래 그림에서처럼 Skew Angle이 크면 클수록 토크의 생성에 유리해지는걸 알 수 있다.

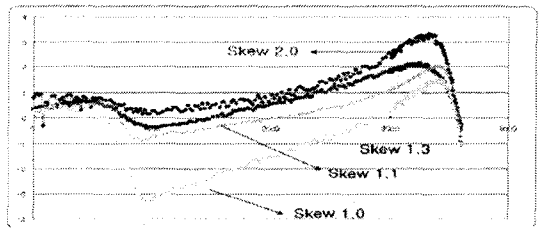


Figure. 5 skew angle에 따른 토크 특성 변화

2.2.2 Over-Lap 권선법 도입

일반적으로 유도기에는 주권선과 보조권선으로 이루어 지는데 집중권 권선으로 Winding을 진행할 경우 각기 권선의 자속의 중첩이 없어 자속의 집중화가 더욱 심화 되게 된다. 이로 인해 더욱더 큰 자속 고조파가 발생하게 되고, 토크(운전) 특성 및 효율 특성이 낮아지게 된다. 주

권선과 보조권선의 자속 중첩(reiteration)이 일어날 수 있는 형태에 대해서 검토해 보았을 때 아래와 같은 정현파 특성을 가지게 되고 토크 특성의 향상을 가져 왔다.

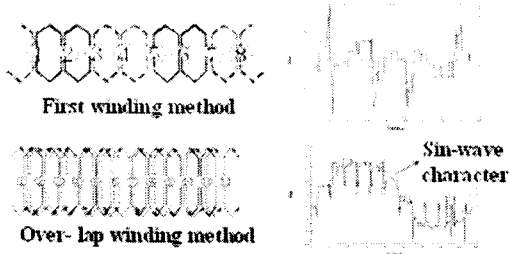


Figure. 5 기존 권선과 Over Lap한 권선의 MMF 형상을 비교

제시한 권선 방법에 임의의선경과 권선비 및 전장물 (일 반 분포권으로부터 유추)을 취부하고, Dynamometer 를 통해서 초기의 임의로 설계한 모터의 특성을 파악한다. 역상분 전류를 줄이기 위해서 Sub축 턴 수를 늘려서 권선비를 증가시킨다. Rotor의 End-ring이 크기가 너무 크면 초기 기동이 약하므로 End-ring의 크기를 변경해준다. line과 Main 및 Sub전류로부터 위상각을 구해서 콘덴서의 용량 재설정하고, 현재의 위상각을 파악하여 콘덴서의 크기를 변경 시켜 준다. 특성 변경을 반복 실시 하여 최적 권선 사양을 결정하고, 목표 특성이 나타나도록 반복 하여 사양을 변경하며 설계한다.

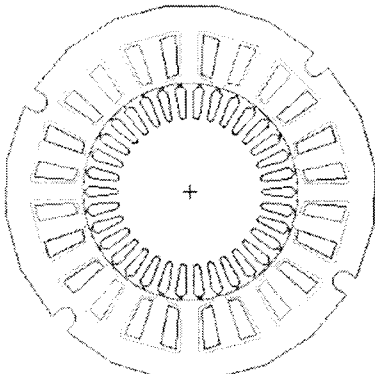


Figure. 6 초기 형상 설계

등가회로법에 의해 기존의 분포권 시의 모터 형상에 기초하여 초기 Basic 형상 설계를 진행해 보았는데 아래의 Fig. 7에서처럼 설계 목표치 토크인 0.23Nm에 비해 상당히 낮게 나왔다.

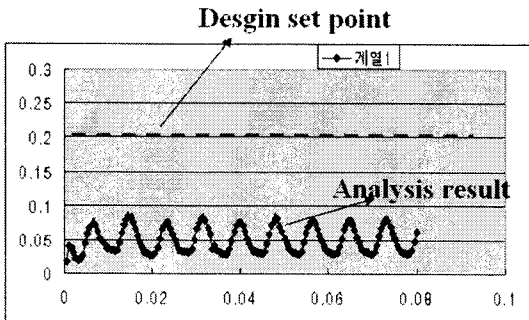


Figure. 7 초기 형상 설계에 의한 토크 파형

위의 해석 결과를 토대로 먼저 Rotor Slot의 개수를 변화하여 토크의 변화를 지켜보았는데 개수의 변화가 토크의 증가에 미치는 영향이 미미한 걸 알 수 있었다.

Rotor slot개수	Unit	Torque
18	N/m	진동할 뿐 토크생성 없음
23	N/m	0.17
27	N/m	0.16

Table. 2 Rotor Slot 개수의 변화에 따른 토크

다른 쪽의 접근을 해보았는데 권선 사양을 변화 시켜서 토크의 변화를 지켜보았는데 아래 권선 사양의 변경으로 저항을 증가(Main, Sub 모두 증가)시켜보니 토크의 증가를 가져올 수 있었다. 하지만 설계 목표치에는 미달하였다.

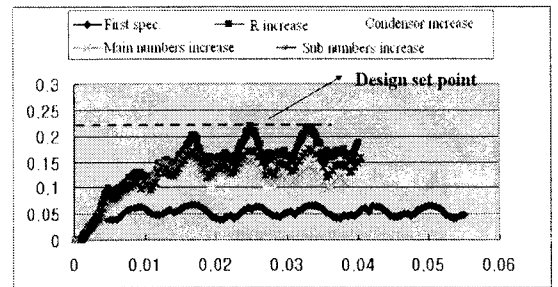
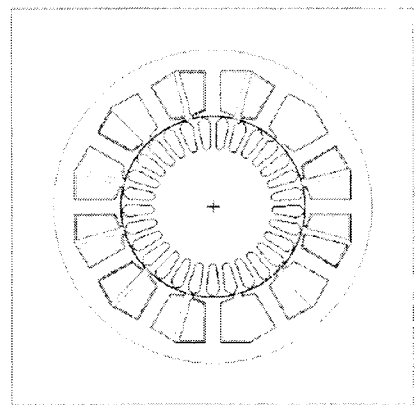


Figure. 8 저항 증가에 따른 토크 파형

Rotor Slot 형상의 다양한 변형 그 다음 Rotor Slot의 형상을 다양하게 변화시켜서 토크와 전류의 변화를 관찰하였다. Slot의 형태에 따라 토크의 변화가 심한걸 알 수 있다. 여기서 최적의 Rotor 슬롯을 선택하였다. 전류밀도의 분포가 높은 곳이 해석 결과 슬롯의 좁은 끝부분에 나타나므로 그곳을 중점적으로 변화를 시켜 보았는데, 그 부분을 길게 하였고 그 결과 토크가 별 차이 없었고, 끝부분의 폭을 늘려서 토크의 변화를 관찰하였는데 토크의 크기는 일정한데 토크 리플은 감소함을 알 수 있었다. 그 외에도 여러 가지로 변화를 주어서 해석하여 보았다. 그 중에서 가장 나은 결과를 가져온 Rotor Slot 형상을 선정하였다. 위의 결과를 토대로 설계 후 유한요소법을 이용한 시변 자장 해석 기법으로 특성 해석을 하여 보았다.



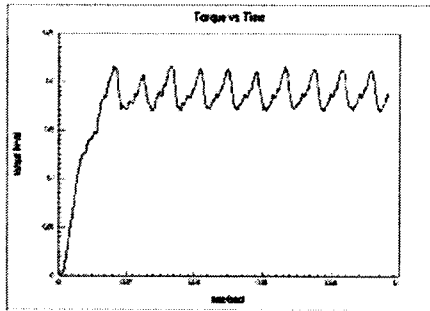
(a)

3. 결 론

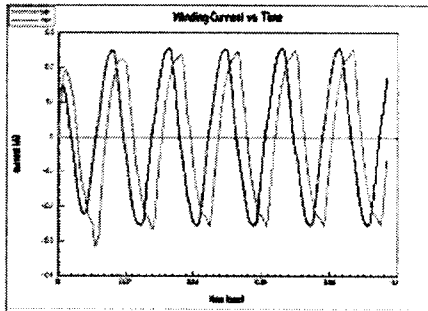
집중권 방식을 적용하였을 때 분포권 대비 제조 공정의 단순화와 재료비의 저감의 효과가 나타남을 보였다. 그러나 집중권 방식을 적용 시에 나타나는 고조파에 의한 자속의 집중과 비 토크의 발생이 나타나는데, 이를 해결하기 위하여 Skew Angle의 도입과 Over-Lap 권선법의 도입 그리고, 여러 가지 형상의 변화를 통해 이를 극복할 수 있는 방안을 마련하였다. 그래서 분포권 대비 특성이 비슷한 집중권 방식의 AC 유도전동기를 설계하였다. 단상 AC모터의 집중권 적용 기술 개발로 말미암아 에너지 절약 및 역률 개선을 통한 발전 부하 저감에 큰 도움이 될 것이다. 또한 이러한 신규 형태의 집중권 선형 AC 모터가 개발됨으로 금형, 권선기, 사출 등 주변에 기술적 과급효과가 매우 커 여타 산업을 리드 할 것이다. 저출력 Fan 용 기준 AC 모터는 아시아권 국가의 저임금을 바탕으로 한 초저가격으로 경쟁력을 상실하고 국가 전반에 걸쳐 큰 위협적 요인으로 작용 되었는데 본 기술을 적용 하며 기존 대비 원가측면에서 20 ~ 40% 이상 비용 절감이 실현될 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] "A Study of Methods to Measure The Parameters of Single Phase Induction Motors", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 10, No. 2 June 1995
- [2] "Design Analysis of Capacitor-Start, Capacitor-Run Single-Phase Induction Motors", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 5, No. 2 June 1990
- [3] "Harmonic Losses of Single-Phase Induction Motors under Nonsinusoidal Voltages", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 11, No. 2 June 1996
- [4] "Optimization of Single-Phase Induction Motor Design Part 1 : Formulation of The Optimization Technique", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 3, No. 2 June 1988
- [5] "Performance Analysis of A Single Phase Induction Motor under Eccentric Conditions," IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, New Orleans, Louisiana, October 5-9, 1997
- [6] Stephen Williamson, Russell C. Healey and Jerry D. Lloyd, "Rotor Cage Anomalies and Unbalanced Magnetic Pull in Single-Phase Induction Motors. Part 1. Analysis"
- [7] 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, Nov./Dec. 2003, pp. 1696-1703
- [8] Kent R. Davey, "Analytic Analysis of Single- and Three-Phase Induction Motors", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 34, No. 5 September 1998
- [9] 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
- [10] Stephen Williamson, Fellow, IEEE, and A. C. Simith, "A Unified Approach to The Analysis of Single-Phase Induction Motors", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 35, No. 4 July/August 1999



(b) 토크



(c) 전류

Figure. 9 (a) 최종 형상 설계도면 (b),(c) 과도해석 결과

2.3 실험 결과

평가항목 (주요성능 Spec1)	단위	분포권 (기준)	집중권 (개발품)
Input	W	66	73/(60)
Output	W	21.3	23.2
효율	%	32	31.6
Starttorque	Nm	0.197	0.180
Max.torque	Nm	0.268	0.284
회전수	rpm	780	780
재료비		100%	70%

Table. 3 해석 결과

아래 그림은 본 논문을 통해 제작된 모터 시제품의 그림이다.

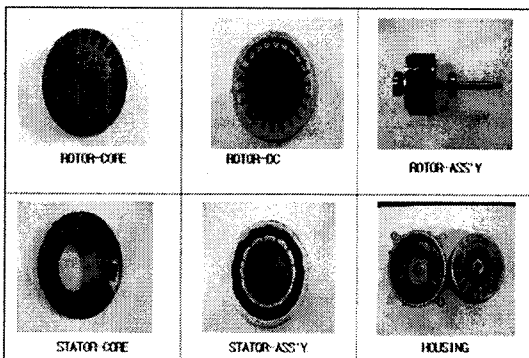


Figure. 10 집중권 방식의 AC 유도전동기 시제품