

3상 유도전동기의 고효율을 위한 손실 저감 방법의 연구

김지형, 장익상, 김기찬, 고성철, 안준선, 전연도*, 이주
 한양대학교 전기공학과, *한국전기연구원

The Research of the loss reduction for High Efficiency in the Three Phase Induction Motor

Ji Hyoung Kim, Ik Sang Jang, Ki Chan Kim, Sung-Chul Go, Joon Seon Ahn, Yon Do Chun*, Ju Lee
 Department of Electrical Engineering, Hanyang University
 *Mechatronics Research Group, Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - In this paper, the analysis of some possibilities for increasing the induction motor efficiency is reported. This approach does not require a complete redesign of new laminations with a consistent cost in terms of investments. This paper shows the efficiency of the rectangular core types according to core-cutting-degree and compares the efficiency of the rectangular core types with the round core types. In particular, for obtaining an increase in efficiency, increase of the core axial length has been taken into consideration. The paper shows the results obtained by the finite element method(FEM) and IEEE Std. 112-96 Method B and analyzes the results to get a high efficiency for the induction motor.

1. 서 론

고효율의 지속과 에너지 자원 한계에 대한 위기가 고조됨으로써 어느 때와는 다르게 에너지 절약에 대한 관심이 지속적으로 증가하고 있다. 따라서 전동기의 고효율화는 미래에 해결해야 할 과제가 아니라 현실점에서 해결해야 할 문제이다. 현재 3상 유도 전동기는 전 산업계에서 가장 많이 사용되고 있는 전동기이다. 따라서 3상 유도 전동기의 효율을 높이기 위한 연구가 필요한 상황이다.

본 논문에서는 효율을 높이기 위한 방법으로 높은 비용을 투자하여 전동기를 완전히 재설계하는 것이 아니라 기존에 만들어진 회전자와 고정자 코어를 사용하여 전동기 일부분의 설계만을 변경하는 방법의 연구를 진행 하였다. 우선 사각 타입의 유도 전동기와 원형타입의 전동기의 해석결과와 시험결과를 비교 분석하고, 기존의 사각 타입 전동기에서 더 높은 효율을 얻을 수 있는 설계에 대해서 연구했다. 사각 타입의 해석결과에서 손실 증가의 원인을 분석하고 실제 모델을 제작하여 손실 분리 시험을 통해 손실을 파악하였다. 원형 타입의 전동기도 제작하여 손실 분리 시험을 통해 기존의 사각 타입 모델과의 손실을 비교 분석하였다.

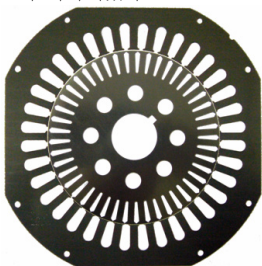
또한 원형 타입의 전동기의 적층을 늘려서 효율을 높이는 방법을 적용했다.[1] 적층길이를 증가시킨 전동기의 특징을 살펴보고, 해석을 통해 기존의 전동기와 효율특성을 비교하였다.

해석 연구는 유한요소법(FEM)을 사용하였고, 손실분리 시험은 IEEE Std.112-96 Method B[2]를 이용하였다.

2. 사각 타입 전동기 모델의 손실 저감

2.1 기존 사각타입 전동기 모델

본 논문에서 해석 및 시험한 기존 사각타입 전동기 모델과 치수를 그림 1에 나타내었다.

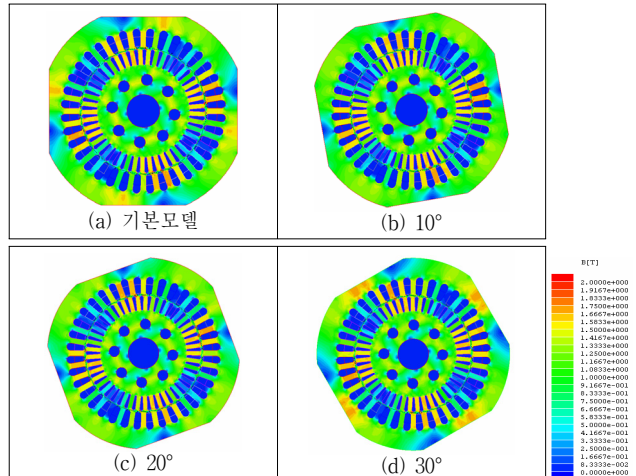


항 목	계 원	
	슬롯수	36 EA
고정자	슬롯당 도체수	42 EA
	권선	8/9 단결권
	회전자	슬롯수
	극 수	4 pole
	외 경	139.3 mm
일 반	정격 출력	5.5 kW
	정격 속도	1769 rpm
	정격 토크	30 Nm
	적 층	110 mm

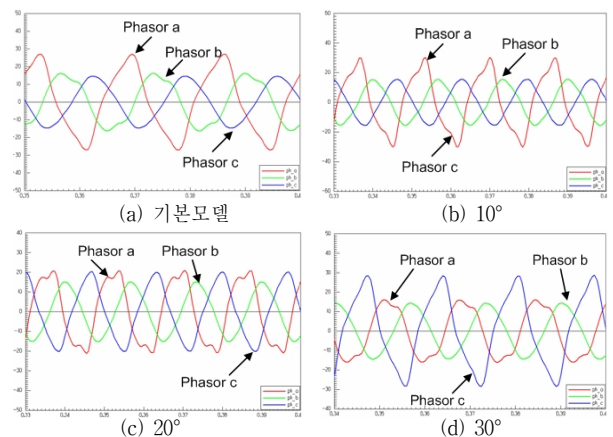
〈그림 1〉 기존 사각타입 전동기 모델과 사양

2.1.1 사각타입 전동기와 원형타입 전동기 해석 결과

사각타입 기본 모델의 FEM해석 결과는 그림 2(a)에 나타냈다. 그림 2(a)에서 기본 모델의 경우 잘린 단면에 자속밀도의 포화 현상을 확인할 수 있다. 기본 모델의 경우에서 포화현상을 줄이고자 절단부위를 그림 (b), (c), (d)와 같이 각각 10°, 20°, 30° 돌려서 해석해 보았다. 해석을 통해 얻어진 효율과 전류는 표1과 그림 3에서 볼 수 있다.



〈그림 2〉 기존 사각타입 전동기와 원형 타입 전동기의 해석 결과



〈그림 3〉 각 모델의 전류 파형

〈표 1〉 각 모델의 전류 및 효율

모델	전류(A)			효율(%)
	A 상	B 상	C 상	
기본모델	17.65	11.64	10.05	90.21
10°	27.45	10.52	10.59	88.65
20°	15.11	11.72	13.29	90.56
30°	11.69	10.00	18.18	90.52

표1에서 보는 바와 같이 자속 밀도의 포화로 인한 3상 전류의 크기에 불평등이 일어나고 이로 인해 효율의 감소를 확인할 수 있다. 그림 (c)의 경우 자속 밀도의 포화 현상이 가장 적게 일어나고, 각 모델 중에서 높은 효율 특성을 나타낸다. 그 이유는 자속 밀도가 가장 작은 부분을 중앙으로 기준해서 절단했기 때문에 다른 부위의 자속 밀도 포화에 가장 작은 영향을 미쳤기 때문이다. 하지만 결과에서 볼 수 있듯이 사각의 경우는 전류의 불평등으로 원형 타입의 전동기와 비교했을 때 원형타입의 전동기에서 더 높은 효율을 얻을 수 있다.

2.1.2 사각타입 전동기와 원형타입 전동기의 손실 분리

3상 유도전동기의 손실은 크게 고정자동손, 회전자동손, 철손, 기계손(마찰손+풍손), 표류부하손으로 구분할 수 있다. 손실 분리 시험을 통해서 위의 손실을 구할 수 있으며, 시험은 크게 무부하 시험과 부하시험으로 구성된다. 부하시험은 다이내모를 이용해서 실시했으며, 손실 분리 시험은 IEEE Std.112-96 Method B[2]을 바탕으로 진행하였다.

손실 분리 시험을 통해서 전체의 손실에서 각 손실이 차지하는 양을 확인할 수 있고, 효율을 상승시키기 위해서 어떤 설계를 바꿔야 하는지 파악할 수 있다. 위의 FEM해석 결과를 바탕으로 손실 분리 시험을 행하였다.

FEM결과와 마찬가지로 원형모델이 사각모델 보다 높은 효율을 나타냈다. 또한 FEM결과와 같이 3상 전류에서의 불평등을 확인할 수 있었다. 위에서 얻어진 결과와 해석을 통해서 얻어진 결과를 비교해서 표 2에 나타내었다.

〈표 2〉 FEM과 손실 분리 시험 결과

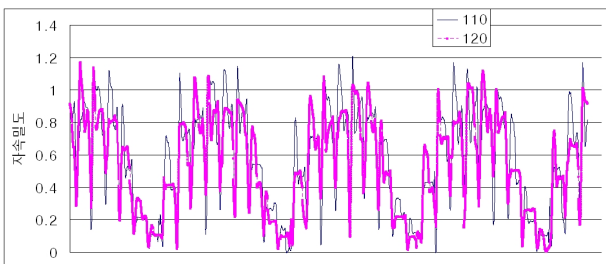
모델	사각모델		원형모델	
	해석	손실분리	해석	손실분리
토크	30.27	29.7	30.01	30.6
입력	6006.684	6346	5919.95	6300
전류	13.37	10.81	12.12	11.74
속도	1768.41	1771	1780.05	1765.9
선간전압	380	380.1	380	380.2
고정자동손	287.82	201.59	245.28	178.2
회전자동손	100.89	93.475	100.24	115.4
철손	66.51	338.1	58.80	160.2
마찰손+풍손	42(가정)	61	42(가정)	48
표류부하손	57(가정)	139.70	57(가정)	133
출력	5418.4557	5508.12	5436.03	5670
효율	90.21	86.79	91.82	89.9

해석결과와 시험결과 사이에서 효율의 차이는 해석 결과에는 표류부하손과 마찰손, 풍손을 가정했기 때문이다. 하지만 철손의 경우를 보면 손실분리 시험의 결과에서 차이가 많이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 특히 사각모델의 경우 철손에서 많은 차이를 보인다. 철손 증가의 원인으로서는 고정자와 회전자 코어의 강판 재질에서 문제를 찾을 수 있다. 따라서 원형의 경우는 고정자와 회전자 코어의 재질을 변경해서 제작하고, 다시 손실 분리를 실행했다. 또한 철손증가의 원인으로 제조 과정상 고정자와 회전자 적층 시 문제가 발생했다고 생각할 수 있고, 이것은 제조 시에 적층 코어에 가해진 스트레스와 회전자와 고정자 표면의 불균일성에서 찾을 수 있으며, 열처리와 같은 방법을 통해서 이 문제를 해결할 수 있다.[2][3] 원형의 경우 철손과 표류부하손에서 해석 결과와 차이를 나타내지만, 사각모델의 경우와 같이 철손에서 많은 차이를 보이지는 않는다.

3. 원형타입 전동기 모델의 손실 저감

3.1 원형타입 전동기 모델의 적층길이 증가

코어의 적층을 늘리는 것은 높은 효율을 얻을 수 있는 간단한 방법이다. 이러한 방법은 기존에 사용했던 원형타입의 회전자와 고정자 적층을 그대로 사용할 수 있는 장점이 있다. 회사의 입장에서 보았을 때, 적층 길이를 늘린 전동기가 기존 전동기의 프레임 크기에 적합하도록 설계해야 기존의 프레임에 그대로 사용할 수 있다. 모터의 적층을 늘리는 것에서 가장 중요시 고려해야 할 것은 적층길이 길어진 전동기에서 정격파워가 줄어들어서 설계되었는지 여부를 파악하는 것이다. 즉, 적층길이 길어진 전동기 공극에서의 자속밀도와 전류 밀도가 기존의 전동기와 비교해서 줄어들었는지를 고려하는 것이다. 게다가 적층길이의 증가는 회전자의 권선 턴수 설계를 다시 변경해야 한다.



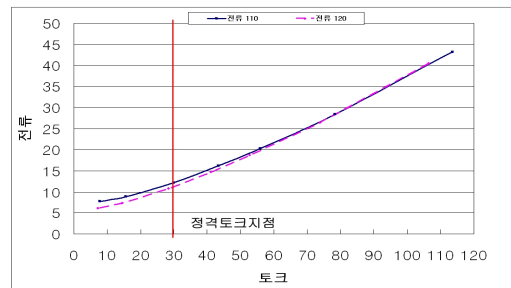
〈그림 4〉 공극자속 밀도의 비교

또한 회사의 입장에서 보았을 때 적층길이의 증가는 기존 전동기에 비해서 약간의 비용증가를 가지고 온다.[1] 본 논문에서는 적층의 길이

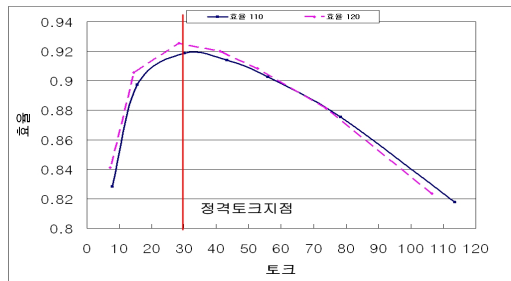
를 기존의 프레임 크기에 맞춰서 증가시켰으며, 권선은 공극의 자속 밀도와 전류밀도를 고려해서 설계하였다. 표3에 기존의 110mm원형타입 전동기의 권선사양, 120mm원형타입전동기의 권선사양을 나타냈고 그림 4에서는 FEM으로 해석한 공극에서의 자속 밀도를 비교했다.

〈표 3〉 모델에 따른 권선 설계 사양

모델	슬롯당 도체수	병렬회로수	선경	턴수
110 mm	42	2	0.88*3	252
120 mm	40	2	0.72*5	240



〈그림 5〉 토크에 따른 전류 비교



〈그림 6〉 토크에 따른 효율 비교

그림4에서 알 수 있듯이, 공극에서의 자속밀도는 거의 차이가 없다. 따라서 권선이 잘 설계된 것을 확인할 수 있다. 두 개의 모델을 FEM을 통해서 해석을 해서 효율을 구해보았다. 그림5는 토크에 따른 전류 그래프 정격토크지점에서 적층길이를 증가시킨 전동기가 기존의 원형 전동기보다 작은 전류 값을 가진다. 따라서 손실이 줄어들어 효율의 증가를 보였다. 그림 6에는 토크에 따른 효율을 비교한 그래프를 나타냈다.

4. 결 론

3상 유도전동기에서 회전자 요크를 사각으로 자르는 각도에 따른 전류 크기의 불평등이 발생하는 것을 확인할 수 있었고, 이러한 현상으로 인해서 효율이 감소하는 것을 유한요소법으로 확인했다. 사각타입 전동기를 제작하고 손실분리 시험을 통해 손실을 파악하고 원인을 분석하여 높은 효율의 원형모델 전동기로 다시 제작하였다. 또한 적층의 길이를 증가시킨 모델의 경우가 기존의 원형타입의 전동기보다 높은 효율을 얻을 수 있다는 것을 FEM해석 결과를 통해서 검증했다.

이후의 연구로 더 높은 효율을 얻기 위해서 최적화된 적층의 길이를 연구해야 하겠고, 적층길이 길어진 전동기를 실제 제작하여 손실 분리 시험을 통해 손실을 연구해야 하겠다.

감사의 글

본 논문은 에너지관리공단에서 시행한 프리미엄급 고효율 단상 유도 전동기 설계/해석 사업으로 수행되었음. 과제번호(2005-01-0031-3-010)

[참 고 문 헌]

- [1] Aldo Boglietti, Andrea Cavagnino, Luca Ferraris, Mario Lazzari and Giorgio Luparia, "No Toolong Cost Process for Induction Motors Energy Efficiency Improvements", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 41, NO.3, 808~816, MAY/JUNE 2005
- [2] IEEE Power Engineering Society, "IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators", IEEE Std. 112. 2004
- [3] John Malinowski, Jim McCormick, and Kevin Dunn, "Advances in Construction Techniques of AC Induction Motors: Preparation for Super-Premium Efficiency Levels", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 40, NO. 6, 1665~1670 NOVEMBER/DECEMBER 2004