

# 사각 고정자 철심을 가지는 삼상 유도전동기의 고정자 철심 절단 각에 따른 전류 특성 연구

## The Study on Current Characteristic according to Core Cutting Degree in Three-Phase Induction Motor with Rectangular Stator Core

임종빈\*      김승주\*\*      김광수\*\*      이형우\*\*\*      김 솔\*\*\*\*      이 주†  
Im, Jong-Bin      Kim Seung Joo      Kim Kwangsoo      Lee Hyung-Woo      Kim Sol      Lee, Ju

### ABSTRACT

Induction motors widely use in industry because structure is simple and hard and cost is generally cheap and they are easy to control. In recently, because of saving steel, ventilation and benefit of frame fixing, rectangular core type induction motors use in industry more and more. This paper presents current characteristic according to stator core cutting degree in three-phase induction motor (IM) with rectangular stator core. According to stator cutting degree, magnetic saturation and paths of flux are changed. Because of these situations, phase currents are unbalance and are produced harmonic components and they cause decrease of efficiency. We analyze each  $10^\circ$  from  $0^\circ$  to  $30^\circ$  using 2-D finite element analysis (FEA). Optimal stator cutting core degree selection supplies stable currents and efficiency improvement. In this paper, loss separation test was executed by IEEE Std. 112-98 Method B and we compare with the result of loss separation by Simulation using FEM and by Experiment.

### 1. 서 론

전기 에너지의 60% 이상이 전동기로 소비된다. 그 중에 유도 전동기는 구조의 간단함과 견고함,싼 제작, 단가 등으로 인하여 전 산업계에서 가장 많이 사용되고 있는 전동기이다. [1] 그 중 사각 타입의 고정자 철심 유도 전동기는 비용 절감 및 틀 고정성의 편리성의 어점으로 산업계에서 많이 사용하고 있다. 그러나 사각타입에 대한 기준이 없기 때문에 대부분 경험적으로 고정자 철심을 절단하는 실정이다.

이에 본 논문에서는 3상 유도전동기의 고정자 절단 각에 따른 전류 특성을 유한요소해석(FEA)을 통해 연구하였다. 고정자 절단 각에 따라 자기 포화현상이 일어나고 자속의 경로가 바뀌게 된다. 이러한 특성으로 인하여 상 전류들이 불 평형하게 되고 고조파 성분을 일으켜 효율에 안 좋은 영향을 미친다. 또한 IEEE Std. 112-98 Method B에 의한 손실 분리 시험을 수행하였다. [2]

마지막으로 FEA를 통한 시뮬레이션과 IEEE Std 112-98 Method B에 의한 결과 값을 비교하여 검증하였다.

† 책임저자 : 정회원, 한양대학교, 전기공학과, 교수

E-mail : julee@hanyang.ac.kr

TEL : (02)2220-0342 FAX : (02)2295-7111

\* 한양대학교, 전기공학과, 박사과정, 비회원

E-mail :jbim0425@hanyang.ac.kr

TEL : (02)2220-0349 FAX : (02)2295-7111

\*\* 한양대학교, 전기공학과, 박사과정, 비회원

\*\*\* 이형우, 한국철도기술연구원, 초고속열차연구실, 선임연구원, 정회원

\*\*\*\*김 솔, 유한대학, 전기정보과, 교수, 비회원

## 2. 본 문

### 2.1 모델 해석

그림 1은 사각 고정자 타입 3상 유도 전동기의 고정자 기본 모델을 보여준다. 그림 2 (a)는 a상을 기준으로 절단 각이  $0^\circ$  일 때의 자속분포이다. 그림과 같이 고정자에서 절단 단면에서 자속 밀도의 포화를 볼 수 있다. 자속 밀도의 포화현상을 줄이기 위해 절단 각을 그림 2 (a)를 기준으로 반시계 방향으로  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ 틀어 해석하였다. 각 각의 자속밀도 분포는 2 (b)와 (c), (d)에 나타내었다. 자속 분포는 그림 2와 같이 고정자의 절단 각에 따라 변한다. 그림 2에서 보는바와 같이 (a)와 (d)의 요크에서의 자속 밀도분포가 (b)와 (c)에서 보다 높음을 확인할 수 있었다.

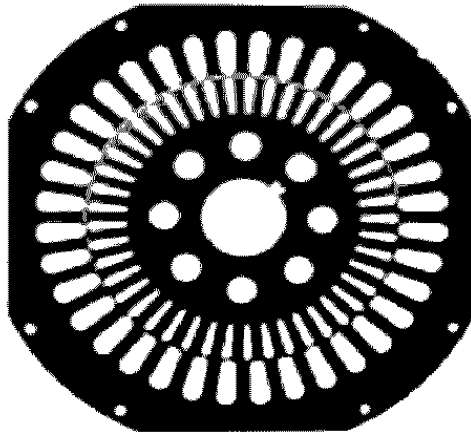


그림 1. 사각 고정자 타입 3상 유도 전동기의 고정자 기본 모델

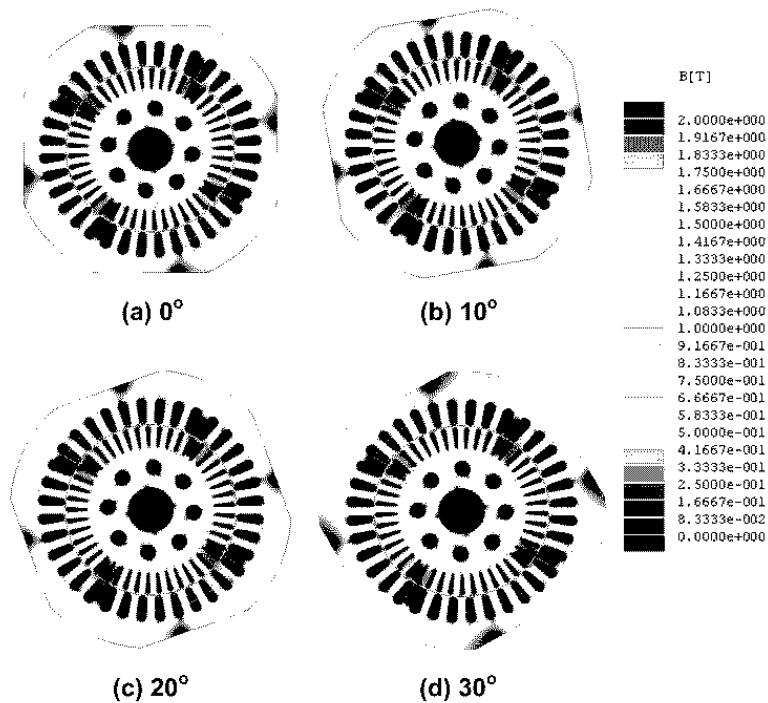


그림 2. FEA를 이용한 고정자 절단 각에 따른 자속 밀도 분포

그림 3은 절단 각에 의한 전류 특성을 나타내었고, 표 2는 각 모델의 각 상의 전류 값과 효율을 나타내

었다. 전류 값은 실효 치로 표시하였다. 그림 3의 (a)와 (b), (d) 같은 경우, 한 상 전류의 크기와 파형이 다른 상과 매우 다름을 볼 수 있다. 반면에, (c) 같은 경우는 각 상의 크기와 파형이 다른 그림에 비해 서로 비슷함을 볼 수 있다. 자속 밀도의 포화 현상으로 인하여 삼상 전류 각 각이 불 평형하게 되고, 이는 효율을 하락을 가져온다. 그림 3 (c)는 해석 모델 중에 자속 밀도의 포화 현상이 가장 적게 일어나고 효율이 가장 높게 나온다. 그 이유는 자속 밀도의 최소 부분의 중심을 기준으로 요크를 절단하였기 때문에 다른 부분의 자속 밀도의 포화 현상에 영향을 적게 받기 때문이다. 그러나 그림 3 (c) 역시도 3상 전류가 불 평형함을 알 수 있다. 이는 사각 타입 고정자 철심의 근본적인 현상이라고 할 수 있다.

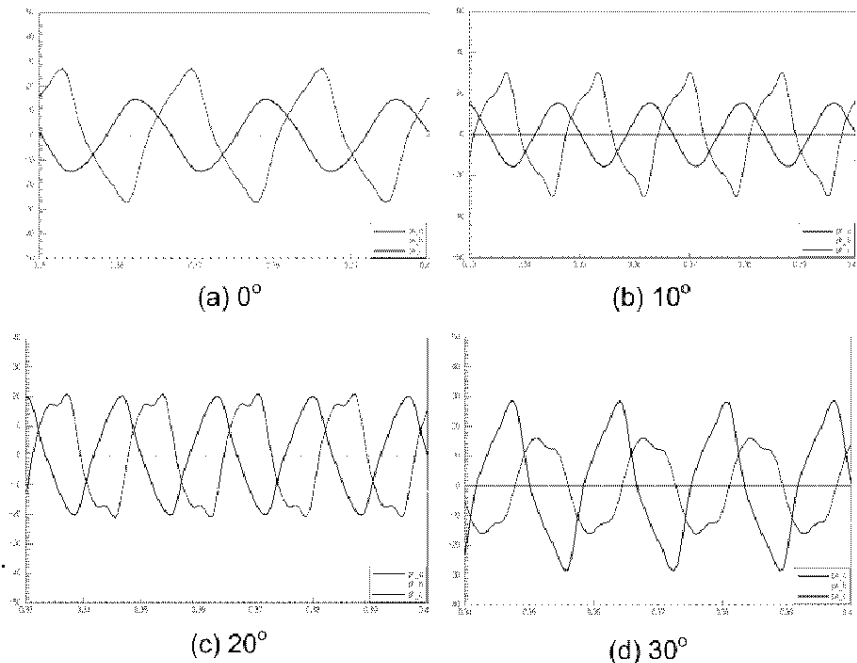


그림 3. FEA를 이용한 고정자 절단 각에 따른 전류특성

그림 4는 절단 각이 20°일 때 실험에 의한 전류 특성을 나타내었다. 해석과 마찬가지로 삼상 각 각의 전류가 불 평형하였지만 두 상의 경우 거의 같음을 알 수 있었다. 그러나 다른 상의 경우에도 약간의 차만이 있음을 알 수 있다.

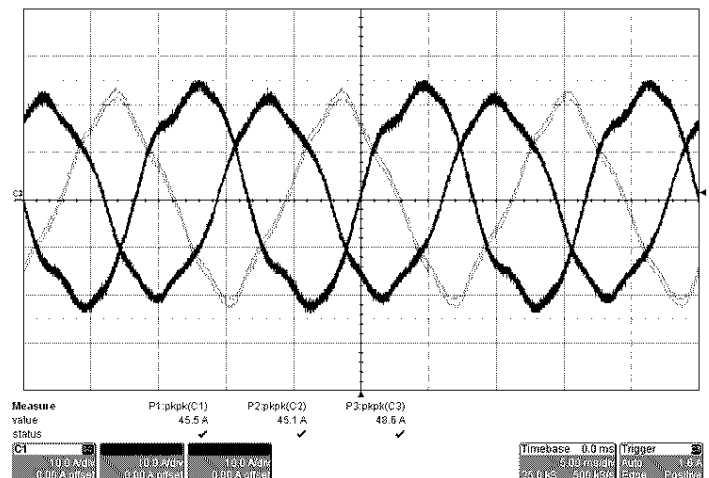


그림 4. 절단 각이 20°일 때의 실험 전류 파형

표 1은 본 논문에 사용된 3상 유도 전동기의 사양서이고, 표 2는 FEA에 의한 각 모델의 각 상 전류의 실효치 값과 효율을 나타내었다.

표 1. 사용된 3상 유도 전동기 사양서

일반	정격 전력 [kW]	5.5
	정격 전압 [V]	380
	정격 속도 [rpm]	1769
	정격 토크 [N·m]	30
	주파수 [Hz]	60
	강판 재질	S12
	스큐	1.2
	적층 길이 [mm]	110
	공극 길이 [mm]	0.4
고정자	슬롯 수	36
	극 당 상 당 슬롯 수	3
	슬롯 당 코일 수	42
	병렬회로 수	2
	코일 피치(단절권)	8/9
	외경 [mm]	230
회전자	극 수	4
	외경 [mm]	140
	권선 결합법	Y 결선

표 2. FEA에 의한 각 모델의 각 상 전류의 실효치 값과 효율

모델	전류 (A)			효율 (%)
	A 상	B 상	C 상	
0°	17.65	11.64	10.05	90.21
10°	17.45	10.52	10.29	88.65
20°	15.11	11.72	13.29	90.56
30°	11.69	10.00	18.18	90.42

## 2.2 손실 분리 시험

3상 유도 전동기의 손실은 간단하게 고정자손, 회전자손, 기계손(마찰손과 풍손), 표류부하손으로 분류한다. 각 각의 손실은 손실 분리 시험을 통해서 구할 수 있다. 손실 부하 시험은 무부하시험과 부하시험으로 구성된다.

손실 분리 시험은 IEEE Std. 112-96 Method B를 따르고, 부하 시험의 경우 다이내모미터를 이용해서 수행한다.

### 1) 고정자손

3상 기기에서 고정자손 고정자손은 식 (1)로서 표현 할 수 있다.

$$\text{고정자손} = 1.5I^2R \quad (1)$$

여기서,  $I$ 는 측정된 선 전류 값이고,  $R$ 은 두 상 사이의 저항 값이다.

### 2) 회전자손

권선형 회전자 기기에서 브러시 접촉 손실을 포함하는 고정자손은 식 (2)에 의해 표시된다.

$$\text{회전자손} = (\text{측정된 고정자 입력 전력} - \text{고정자손} - \text{동손}) \times s \quad (2)$$

여기서,  $s$ 는 슬립이다.

### 3) 마찰손과 풍손

마찰손과 풍손은 입력전력과 전압의 제곱에 관한 곡선에서 3개 이상을 이용하여 선형 보간 해석을 통해서 얻을 수 있다. 마찰손과 풍손은 무부하 상태에서 각 시험전압의 입력 전력으로부터 고정자손을 빼고 입력전력과 전압의 제곱에 관한 곡선을 전압이 0[V]로 확장해서 0점에 만나는 값으로 결정한다.

### 4) 동손

동손은 식 (3)로서 표현된다.

$$\text{동손} = \text{입력전력} - \text{회전자손} - \text{마찰손과 풍손} \quad (3)$$

### 5) 표류부하손

표류부하손은 식 (4)로서 나타낼 수 있다.

$$\text{표류부하손} = \text{총 손실} - \text{회전자손} - \text{고정자손} - \text{동손} - \text{마찰손과 풍손} \quad (4)$$

## 2.2 손실 분리 시험

표 3은 FEA에 의한 결과 값과 손실 분리 시험을 통한 실험치를 보여준다. FEA에서는 표류부하손과 마찰손, 풍손을 가정하였기 때문에 FEA와 시험 사이의 효율에 차이가 난다.

표 3. FEA에 의한 시뮬레이션 값과 손실 분리 시험을 통한 결과

	FEA를 통한 시뮬레이션	손실 분리 시험
토크 [N]	30.27	29.7
입력 전력 [W]	6006.68	6346
전류 [A]	13.37	10.81
속도 [rpm]	1768	1771
선 전압 [V]	380	380.1
고정자손 [W]	287.82	201.59
회전자손 [W]	100.89	93.48
동손 [W]	66.51	338.1
마찰손과 풍손 [W]	42(가정)	61
표류부하손 [W]	57(가정)	139.7
출력 [W]	5434.2	5508.12
효율 [%]	90.56	86.79

### 3. 결 론

FEA를 통해서 사각 고정자 철심을 가지는 3상 유도 전동기의 고정자 철심 절단 각에 따른 전류특성을 확인하였다. 그러나 사각 고정자 철심의 특징으로 인해 각 상 전류가 불 평형하게 된다. 그 중에서 고정자 절단 각이  $20^\circ$ 인 경우에 각 상의 크기와 파형이 다른 각도에 비해 서로 비슷함을 확인할 수 있었다. 그 이유는 자속 밀도의 최소 부분의 중심을 기준으로 요크를 절단하였기 때문에 다른 부분의 자속 밀도의 포화 현상에 영향을 적게 받기 때문으로 판단된다. 또한 손실 분리 시험을 통하여 시험 전동기의 손실들을 정리하고 효율을 구하였다.

#### 참고문헌

1. 박충규 (2001), "전기기기", 청문각
2. IEEE Power Engineering Society (2004), "IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators", IEEE Std. 112"
3. John Malinowski, Jim McCormick, and Kevin Dunn (2004), "Advances in Construction Techniques of AC Induction Motors: Preparation for Super-Premium Efficiency Levels", IEEE TRANSACTION ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 40, NO. 6, 1665~1670