

단상유도전동기의 도체바 개수 변경에 따른 특성해석

류호길, 남 혁, 홍정표, 차현록, 박성우  
 창원대학교, 삼성광주전자

Analysis of Characteristics of a Single-phase Induction Motor  
 by changing of Conductor-bar number

Ho-Gil Ryu, Hyuk Nam, Jung-Pyo Hong, Hyun-Rok Cha, Sung-Woo Park  
 Chang-Won National Univ, Samsung Gwangju Electronics Co.LTD.

**Abstract** - This paper deals with the characteristics of a capacitor-run single-phase induction motor by changing of conductor bar numbers. The Finite Element Method (FEM) is used to analyze the starting characteristics according to the rotor initial starting point about conduction bar and the characteristic analysis at the rated condition is calculated by equivalent circuit based on symmetry coordinate theory. Finally, the analysis results of the analysis models have different conductor bars in their rotor are compared.

1. 서 론

콘덴서 구동형 단상유도전동기(이하 단상유도전동기)는 상용화된 전원을 변환장치 없이 직접 사용할 수 있어 가전제품의 동력원으로 이용되고 있다. 또한, 기동 특성이 우수하며, 인버터와 같은 별도의 변환장치를 사용하지 않기 때문에 인버터형 전동기에 비해 경제성이 우수하다.[1] 이러한 단상유도전동기는 고정자측의 슬롯수와 회전자측의 슬롯수, 즉 도체바 개수의 조합은 양측에서 발생하는 회전자계에 포함된 고조파 성분으로 인하여 전동기의 기동 또는 운전중에 소음을 발생시키며, 기동토크가 회전자 초기 기동 위치에 따라서 큰 변화를 일으키게 된다.[2] 또한, 두 슬롯수의 조합이 부적절할 경우에는 기동이 불가능한 문제를 초래할 수 있다.

본 논문에서는 고정자 및 회전자 슬롯수가 각각 24개, 28개인 135(W)급 단상유도전동기를 대상으로 하여 도체바 개수에 따른 전동기의 구속상태에서의 기동 특성을 분석하였다. 이때, 각 도체바 개수별 전동기의 초기 기동 위치에 따른 기동 특성의 과도 상태를 살펴보기 위하여 유한요소법을 이용하였다. 또한, 도체바의 개수가 정상상태 특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 기동 특성이 우수한 모델을 대상으로 하여 대칭좌표계법을 이용한 등가회로법으로부터 정상상태 특성해석을 수행하였으며 이때 각 모델의 회로정수 변화를 살펴보았다.[3][4]

2. 본 론

2.1 해석이론

회전자 초기 기동 위치에 따른 과도 해석을 수행하기 위하여 전압방정식과 맥스웰 방정식으로부터 지배방정식을 유도하여 유한요소해석을 수행하였다. 한편, 정상상태에서 전동기 특성을 분석하기 위하여 등가회로법을 이용하였다. 여기서, 단상유도전동기는 다상 평형기와는 달리 주권선과 보조권선의 기자력 차에 의한 자기적인 불평형이 발생한다. 따라서, 자기적인 불평형 상태를 해석하기 위해 회전자계설을 바탕으로 하여 불평형 자계를 대칭 성분으로 분해해서 해석하는 대칭좌표계법을 이용하였다.

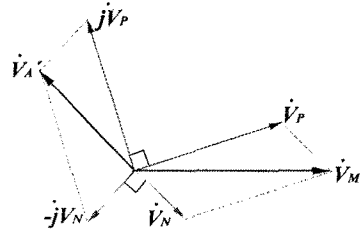


그림 1. 대칭좌표계에 의한 주권선과 보조권선의 전압

그림 1은 대칭좌표계법에 의한 주권선과 보조권선의 전압을 나타낸 것이며, 식(1),(2)는 그림1로부터 주권선과 보조권선전압을 각각 대칭성분으로 표현한 것이다.[2]

$$V_M = V_P + V_N \tag{1}$$

$$V_{A'} = j V_P - j V_N \tag{2}$$

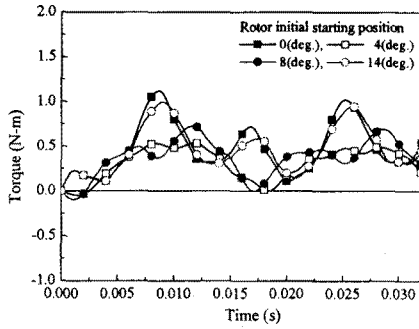
여기서,  $V_M$ 은 주권선 전압,  $V_{A'}$ 은 주권선에 치환된 보조권선 전압,  $V_P, V_N$ 은 각각 정방향, 역방향 전압을 나타낸다.

2.2 해석모델의 형상 및 제원

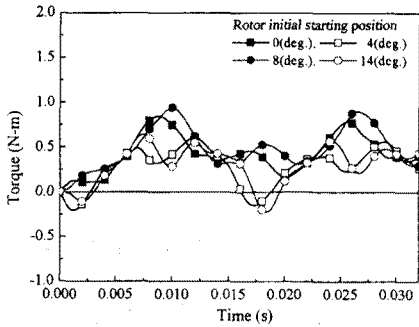
표 1은 해석모델에 대한 개략적인 제원을 나타낸 것이다. 전원 사양은 220(V), 60(Hz), 고정자 슬롯수는 24개이며, 전동기의 정격출력 및 정격 토크는 각각 135(W), 3.74(kgf·cm)이다. 그리고, 전동기에 대한 회전자 도체바 개수에 따른 전동기의 구속시 기동 토크 특성을 분석하기 위한 해석모델을 그림 2에 나타내었다. 여기서, 주권선과 보조권선은 공간적으로 90(deg.)의 위상차를 가지고 배치되어 있으며, 정현적인 공극기자력 확보를 위하여 동심권으로 권선하였다. 회전자의 도체바는 그 개수가 변하더라도 균일한 도체바의 저항 확보를 위하여 전체 도체바의 단면적을 동일하도록 하였다.

표 1 해석모델에 대한 제원

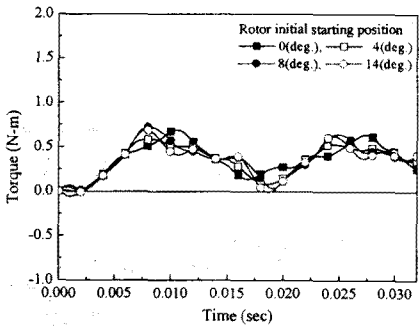
세부항목	치수	단위
인가전압	220	V
극수	2	
주 파 수	60	Hz
커패시터 용량	5	$\mu F$
고정자 슬롯수	24	
공극의 길이	0.29	mm
회전자 외경	60.42	mm
고정자 적층길이	45	mm



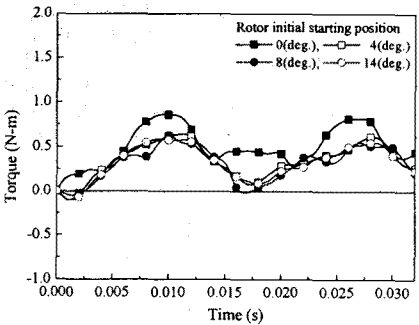
(b) 도체바 30개에 대한 구속토크



(c) 도체바 32개에 대한 구속토크



(d) 도체바 33개에 대한 구속토크



(e) 도체바 34개에 대한 구속토크

그림 3 도체바 개수에 대한 회전자 초기기동위치에 따른 구속토크

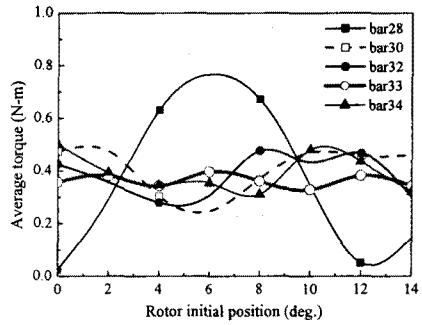


그림 5 구속상태에서의 도체바 개수에 대한 회전자 초기기동위치에 따른 평균토크

표 2 정격출력 135W에 대한 정상상태 특성

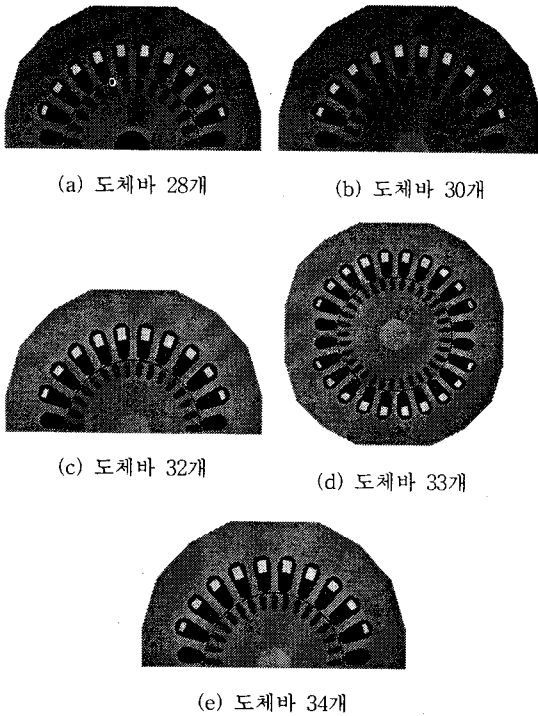
구 분	도체바 개수		
	28개	33개	34개
입 력 (W)	162.58	162.62	162.75
출 력 (W)	134.76	134.87	134.95
토 크(kgf-cm)	3.74	3.74	3.74
효 율 (%)	82.89	82.92	82.90
역 룰	0.965	0.965	0.965
선 전 류 (A)	0.77	0.77	0.77
주권선 전류 (A)	0.76	0.76	0.76
보조권선 전류(A)	0.50	0.50	0.50
최대 토크(kgf-cm)	14.79	15.18	15.21
기동 토크(kgf-cm)	7.61	7.65	7.66
회전속도(rpm)	3514	3515	3515

표 3 정상상태의 회전자 도체바 개수에 따른 회로정수

구분	도체바 개수		
	28개	33개	34개
$R_{m1}$	9.04	9.04	9.04
$X_{m1}$	13.56	13.25	13.20
$R_{a1}$	22.15	22.15	22.15
$X_{a1}$	9.42	9.11	9.06
$R_{m2}$	14.59	14.39	14.45
$X_{m2}$	8.69	7.80	7.67
$X_m$	508.33	508.25	507.46
$R_{lr}$	6841.19	6844.56	6842.86

표 4 정상상태의 회전자 도체바 개수에 따른 누설

구분	도체바 개수		
	28개	33	34
$X_{ssm}$	3.417	3.417	3.417
$X_{ssa}$	2.228	2.228	2.228
$X_{rs}$	4.147	3.566	3.485
$X_{sem}$	6.797	6.797	6.797
$X_{sea}$	3.845	3.845	3.845
$X_{re}$	1.199	1.199	1.199
$X_z$	5.798	5.179	5.077
$X_{sk}$	0.900	0.900	0.899



(a) 도체바 28개 (b) 도체바 30개  
(c) 도체바 32개 (d) 도체바 33개  
(e) 도체바 34개

그림 2 도체바 개수에 따른 해석모델의 형상

### 2.3 해석결과

#### 2.3.1 구속시의 특성해석

그림 3은 그림 2의 도체바의 개수가 각각 28개, 30개, 32개, 33개, 34개인 해석모델에 대하여 전동기의 구속상태에서 초기 회전자 기동 위치각에 따른 구속시 기동 토크 특성을 나타낸 것이다. 이때, 그림 2에서의 고정자 위치에 따른 회전자 위치를 0(deg.)로 하였다.

그림 3(a)의 경우에는 회전자 초기 기동 위치에 따라서 시간에 따른 토크 특성이 다르게 나타나고 있음을 보여주고 있다. 특히, 회전자 초기 기동 위치각 0(deg.)의 경우에는 0.015초 ~ 0.020초 사이에 큰 역토크가 발생하였다. 이와는 달리, 그림 3(d)의 도체바 개수가 33개인 경우에는 어떤 회전자 초기 기동 위치에서도 그 발생 토크가 균일하게 나타났다.

그림 4는 각 해석모델에 대한 회전자 초기 위치각별 평균 구속 토크 특성을 나타낸 것이다. 초기 위치각별 토크 리플은 도체바 개수가 28개일 때가 가장 크게 나타났으며 0(deg.)부근이나 14(deg.)부근에서는 기동이 불가능할 가능성을 보여 준다. 또한, 도체바 개수가 33개일 때에는 어떤 위치에서 기동하더라도 균일한 토크를 발생시킬 수 있음을 알 수 있다. 그 이외의 도체바의 개수를 가지는 전동기는 회전자 초기 기동 위치에 따라서 그 토크 특성이 불균일 할 수 있음을 나타내고 있다.

#### 2.3.2 정상상태에서의 특성해석

구속상태에서의 회전자 초기 위치에 따른 기동 토크 변화를 통하여 평균토크 변화가 가장 심한 회전자 도체바 개수 28개, 평균토크의 변화가 가장 작은 회전자의 도체바 개수 33개와 도체바 개수 33개에 비해 토크변화가 다소 크지만 도체바 32개에 비해 양호한 특성을 가지는 34개에 대하여 등가회로법을 이용한 정상상태 특성해석을 하였으며 그 결과를 표 2에 나타내었다. 정격 출력 135(W)에 대하여 효율, 전류 및 정격회전속도 특성은 거의 변화가 없으나 회전자 도체바의 개수가 증가

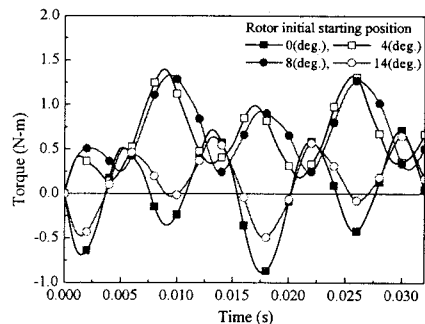
할수록 기동 토크 및 최대 토크가 증가하였다. 회전자 도체바 개수에 따른 집중회로정수를 나타낸 표 3에서 저항성분은 대체적으로 일정한 반면 누설 리액턴스성분은 회전자 도체바 개수가 증가함에 따라 감소하였다. 각 누설리액턴스성분을 분리하여 나타낸 표 4에서 보면 알 수 있듯이 회전자 도체바 개수에 따라서 주권선 및 보조 권선의 슬롯 누설리액턴스  $X_{ssm}$ ,  $X_{ssa}$ , 주권선 및 보조 권선의 엔드코일 누설리액턴스  $X_{sem}$ ,  $X_{sea}$  및 2차측 엔드링의 누설리액턴스  $X_{re}$ 는 거의 변화 없이 나타났다. 그러나, 2차측 슬롯 누설리액턴스  $X_{rs}$  및 지그재그 누설인  $X_z$ 는 회전자 도체바의 개수가 증가함에 따라 감소하였다. 이때, 스큐 누설리액턴스  $X_{sk}$ 는 모두 동일하다고 가정하였다. 따라서, 표 2, 3, 4로부터 도체바의 개수가 증가하면 누설성분의 감소로 인하여 정상상태 효율 특성을 거의 변화가 없으나 기동 토크 및 최대 토크는 증가하여 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 콘덴서 구동형 단상 유도전동기에서 동일한 고정자 슬롯수에 대해 회전자의 도체바 개수 변경에 따른 특성해석을 통하여 도체바 개수가 전동기에 미치는 영향을 살펴보았다. 유한요소법을 통하여 구속상태에서 회전자 초기 기동위치에 따른 구속 토크 특성을 살펴 보았다. 그 결과, 고정자 슬롯수 24개에 대하여 회전자 슬롯수 33개일 때가 회전자 기동 위치에 따른 구속 토크특성이 가장 균일한 분포를 가졌으며 28개인 경우가 가장 변화가 심하게 나타났다. 따라서, 고정자 슬롯수 24개에 대하여 회전자 슬롯수가 33개일 때가 전동기의 기동 특성이 가장 우수함을 알 수 있었다. 또한, 도체바의 개수가 단상유도전동기의 정상상태 특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 등가회로법을 이용하여 정상상태 특성해석을 수행하였다. 그 결과로부터 회전자 도체바 개수가 증가함에 따라 지그재그 누설리액턴스 및 2차측 슬롯누설리액턴스가 감소하였으며 이것은 효율에는 거의 영향을 미치지 않지만 기동 및 최대 토크를 증가시키는 것으로 분석할 수 있었다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 홍정표 외, "유한요소법과 등가회로 해석의 결합에 의한 콘덴서 구동형 단상유도전동기의 특성해석", 대한전기학회 하계학술대회논문집, B, pp.837-839, 2000
- [2] 박민호, "유도기기", 동명사, 1998.
- [3] Cyle G. Veinott, *Theory and Design of Small Induction Motors*, McGRAW-HILL Book Company, Inc., 1959
- [4] 홍정표 외, "단상유도전동기의 특성해석 및 효율향상 설계", 대한전기학회 하계학술대회논문집, B, pp.870-872, 2003



(a) 도체바 28개에 대한 구속토크