

# 콘덴서형 단상 유도전동기의 설계에 관한 연구

김복기<sup>o</sup>, 박준석<sup>\*\*</sup>, 정태경<sup>\*</sup>  
 \*중앙대학교 전기공학과    \*\*생산기술연구원

## A Study on the Design of Single-Phase Capacitor-Run Induction Motor

Bok Ki Kim<sup>o</sup>, Jun-Suk Park<sup>\*\*</sup>, Tae Kyung Chung<sup>\*</sup>  
 \*Dept. of Electrical Eng. Chung-Ang Univ. \*\*Korea Academy of Industrial Technology

*Abstract*-Capacitor-run motor has a capacitor in series with the auxiliary winding for normal running connections. After the shape of stator and rotor are determined, the motor is designed with variables such as winding distributions or capacitance except punching variables.

In this paper, the winding distribution and the turn ratio was taken as design variables because the winding distribution affects the torque and efficiency. And capacitance was selected as an additional variable. Simulation results show the validity of proposed method.

### 1. 서론

콘덴서형 단상 유도전동기는 단상 유도전동기의 보조권선에 콘덴서를 삽입한 전동기로서 일반 분상 유도전동기에 비해 토오크가 크고, 특히 회전자 구속 토오크가 크다는 장점을 갖고 있다 [1][3].

콘덴서형 단상 유도전동기의 설계 파라미터에는 고정자와 회전자의 재질 및 형상, 고정자 권선의 재질, 도체 직경, 권수, 콘덴서 용량 등이 있는데, 이러한 다수의 파라미터를 조정하여 토오크, 효율, 권선의 전류 밀도 등이 만족하면서 주어진 슬롯 모양에 적당한 권선이 이루어져야 한다. 그런데 단상 유도기에 대한 전반적인 설계 과정 중 권선분포나 콘덴서 용량에 따라 효율, 토오크 등에 바람직하지 않은 영향이 있음을 볼 수 있다[4].

이러한 배경에서 본 논문은 콘덴서형 단상 유도전동기의 설계 기술을 검토하여 전반적인 특성이 만족될 수 있는 전동기를 설계하고자 한다. 본 논문에서는 현재 제조업체에서 생산되는 고정자 및 회전자의 형상을 사용하였으며 기타 파라미터를 조정하여 원하는 특성을 얻고자 하였다.

먼저 권선의 분포에 따라서 출력 토오크가 크게 영향을 받는 점을 확인하여 고정자 권선을 최적화 변수로서 설정하였다. 그리고 설정된 권선 분포로서 해석한 결과를 토대로 콘덴서 용량을 변화시킴으로써 전동기 운전시 출력 및 효율, 속도 등 콘덴서 전동기의 제 특성이 개선되도록 설계할 수 있음을 보여 주고 있다.

### 2. 회전자계이론에 의한 해석

단상유도기는 기동 토오크를 얻기 위하여 보조권선을 사용하는 데, 분상형 전동기나 콘덴서형 전동기의 형태로 사용된다. 분상형 전동기나 콘덴서형 전동기의 보조권선은 주권선과 공간적으로 직교하는 위치를 갖고 두 권선에 인가된 전압은 각각  $V_m$ 과  $V_a$ 로 나타내고 대부분  $V_m = V_a$ 인 경우가 많다. 권선이 직교하면 두 고정자 권선간에는 상호 리액턴스가 생기지 않는다. 그러나 내개의 회전자계 각각에 의한 전압이 고정자 권선에 유기된다. 보조권선의 전류가 주권선의 전류보다 시간적으로 앞서기 때문에 회전은 보조권선으로부터 주권선 방향으로 이루어 진다.

주권선에 의하여 형성된 두 회전자계 성분에 의하여 주권선에 유기된 전압과 보조권선에 의하여 형성된 두 자계성분에 의하여 보조권선에 유기된 전압은 다음과 같다.

$$E_{fm} = I_m Z_f \quad (1)$$

$$E_{bm} = I_m Z_b \quad (2)$$

$$E_{fa} = I_a a^2 Z_f \quad (3)$$

$$E_{ba} = I_a a^2 Z_b \quad (4)$$

여기서  $a$ 는 주권선의 유효 도체수에 대한 보조권선의 유효 도체수이다.

그림 1은 콘덴서형 단상 유도전동기의 등가회로이다.

보조권선의 자계에 의하여 주권선에 유기된 전압과 주권선 자계에 의하여 보조권선에 유기된 전압은 다음과 같다.

$$\frac{-jE_{fa}}{a} = -jaI_a Z_f \quad (5)$$

$$\frac{+jE_{ba}}{a} = +jaI_a Z_b \quad (6)$$

$$+jaE_{fm} = +jaI_m Z_f \quad (7)$$

$$-jaE_{bm} = -jaI_m Z_b \quad (8)$$

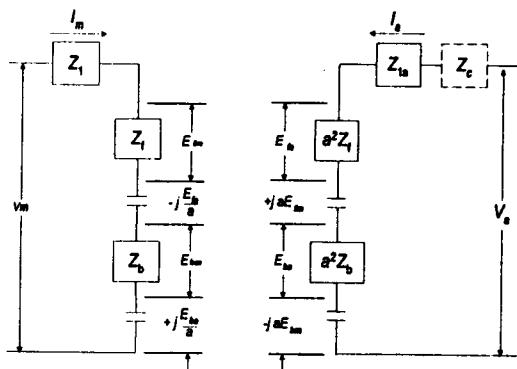


그림 1. 콘덴서형 단상 유도전동기의 등가회로

이 등가회로에 대한 전압방정식은 다음과 같다.

$$V_m = I_m Z_1 + I_m Z_f - jaI_a Z_f + I_m Z_b + jaI_a Z_b \quad (9)$$

$$V_a = I_a Z_{1a} + I_a Z_c = I_a a^2 Z_f + jaI_m Z_f + I_a a^2 Z_b - jaI_m Z_b \quad (10)$$

주권선과 보조권선의 단자 임피던스를 각각  $Z_T$  와  $Z_{Ta}$  라고 하 고 주권선과 보조권선의 전류를 구하면 다음과 같다.

$$I_m = \frac{V_m Z_{Ta} + jV_a a(Z_f - Z_b)}{Z_T Z_{Ta} - a^2(Z_f - Z_b)^2} \quad (11)$$

$$I_a = \frac{V_a Z_T - jV_m a(Z_f - Z_b)}{Z_T Z_{Ta} - a^2(Z_f - Z_b)^2} \quad (12)$$

단상유도기의 토오크 방정식은 정방향과 역방향 자계에 의하여 유기되는 토오크를 각각 구해야 한다.

$$T_f = [I_m^2 + (aI_a)^2 + 2aI_m I_a \sin\phi]R_f \quad (13)$$

$$T_b = [I_m^2 + (aI_a)^2 - 2aI_m I_a \sin\phi]R_b \quad (14)$$

가 되고 발생 토오크는 두식의 차와 같다.

$$T = T_f - T_b \\ = [I_m^2 + (aI_a)^2](R_f - R_b) + (2aI_m I_a \sin\phi)(R_f + R_b) \quad (15)$$

### 3. 설계 및 검토

앞에서 정리된 유도전동기의 설계이론을 토대로 콘덴서형 단상 유도전동기의 특성을 검토하였다. 먼저 전동기의 사용 전압, 극수, 주파수 등과 사용된 고정자와 회전자의 형상에 대한 치수로서 초기 결과를 얻는다. 고정자와 회전자의 CORE에서의 자속밀도와 TEETH의 자속밀도를 검토하여 권선을 설계한다. 또한 공정상의 제약으로 인하여, 도체의 슬롯 점유율은 70%내에서 이루어지도록 한다. 적합한 권선이 설계된 후에는 원하는 토오크, 속도, 효율 등에 적당한 콘덴서 용량을 결정한다.

### 1. 고정자 및 회전자 형상

표 1. 전동기의 기본 치수

전동기		고정자		회전자	
항복	수치	항복	수치	항복	수치
정격전압	220(V)	외경	9.5(Cm)	외경	5.44(Cm)
정격주파수	50(Hz)	내경	5.5(Cm)	슬롯직경	4.555(Cm)
정격출력	120(W)	슬롯수	24	슬롯수	22
공극길이	0.3(mm)	슬롯개구폭	0.2(Cm)	슬롯개구폭	0.08(Cm)
적층두께	0.5(mm)	유효치폭	0.239(Cm)	BAR 면적	0.25(Cm <sup>2</sup> )
		유효치깊이	1.17(Cm)	RING 면적	0.437(Cm <sup>2</sup> )
		계절길이	0.83(Cm)	계절길이	1.79(Cm)
		슬롯단면적	0.56(Cm <sup>2</sup> )	슬롯단면적	0.25(Cm <sup>2</sup> )

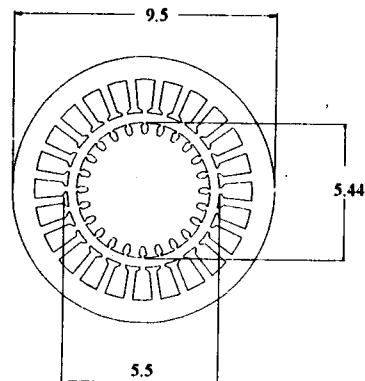


그림 2. 고정자 및 회전자의 형상

### 2. 설계 1

설계모터 1은 220V, 4극, 50Hz 의 콘덴서형 단상 유도전동기에 대하여 설계 하였다. 극당 슬롯수를 6으로 하였고 각 슬롯에 사용되는 도체수와 주권선과 보조권선의 권선분포는 그림 3과 같다.

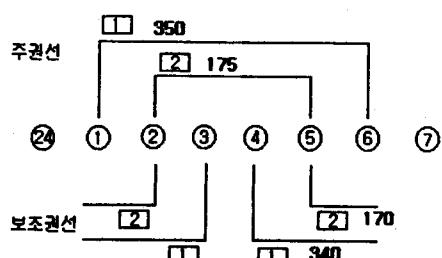


그림 3. 주권선과 보조권선의 분포

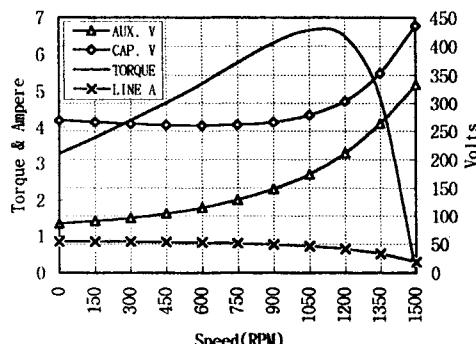


그림 4. 설계모터 1의 토오크-속도 곡선

표 2. 설계모터 1의 설계결과

	모델 1	설계모터 1
총 도체수(main/sub)	4336/4224	4000/4080
콘덴서 용량( $\mu F$ )	3.0	4.5
최대토오크(KgCm)	5.46	6.69
전부하토오크(KgCm)	5.15	5.44
전부하전류(main/sub)	0.370/0.315	0.325/0.480
전부하속도(RPM)	997	1316
무부하전류(A)	0.314	0.319
무부하속도(RPM)	1478	1489.7
콘덴서 전압(V)	328	339.5
효율	47.3	60.5

적절한 권선의 분포로 인한 역방향 토오크의 감소로 인하여 효율이 증대되었으며 최대 토오크, 전부하 토오크, 전부하 속도 등에서 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다.

### 3. 설계 2

설계모터 2는 220V, 6극, 60Hz의 콘덴서형 단상 유도전동기에 대하여 설계하였다. 극당 슬롯수는 4이고 주권선은 1번과 4번 슬롯에, 보조권선은 3번과 6번 슬롯에 감았다.

콘덴서 용량은  $4.5 \mu F$ 이다.

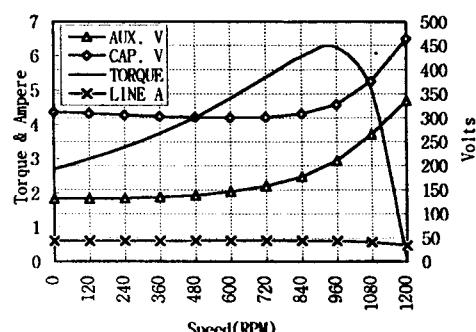


그림 5. 설계모터 2의 토오크-속도 곡선

표 2. 설계 2의 설계결과

	모델 2	설계모터
총 도체수(main/sub)	4488/5088	5292/4752
콘덴서 용량( $\mu F$ )	2.5	4.5
최대토오크(KgCm)	5.6	6.26
전부하토오크(KgCm)	4.44	5.57
전부하전류(main/sub)	0.38/0.34	0.343/0.6
전부하속도(RPM)	1050	1054
무부하전류(A)	0.33	0.479
무부하속도(RPM)	1190	1192
콘덴서 전압(V)	351	362
효율	47.7	48

모델 2의 설계에서는, 극당 4 슬롯을 점유함으로 권선분포를 통하여 특성을 개선할 여지가 감소하였다. 그러나 최대 토오크, 전부하 토오크, 전부하 속도 등에서 주어진 조건을 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.

### 4. 결론

본 논문에서는 고정자 및 회전자자의 외형과 관련된 파라미터를 제외한 설계변수를 설정하여 일정한 출력치를 만족하는 모터를 설계하였다. 먼저 고정자 권선수, 권선분포 및 콘덴서 용량을 설계변수로 정하고, 설계 프로그램으로 해석된 결과를 분석하여 토오크, 속도, 효율 등의 측면에서 만족스런 결과를 얻을 수 있었다. 따라서, 미리 결정된 형상에 대하여 고정자 권선 및 콘덴서 용량을 조정함으로써 다양한 요구에 부응하는 설계가 가능함을 알 수 있다.

### 5. 참고문헌

- [1] Cyril G. Veinott, Theory and Design of Small Induction Motors, McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1959.
- [2] John H. Kuhlmann, Design of Electrical Apparatus, JOHN WILEY & SONS, 1957.
- [3] Joseph E. Martin, Cyril G. Veinott, Fractional and Subfractional Horsepower Electric Motors, McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1986.
- [4] Cyril G. Veinott, How To Design A Metric 1-ph Motors on A Personal Computer, 2nd ed., 1993.