

등가회로법에 의한 커패시터 구동 단상 유도전동기의 특성해석

논 문
60P-4-10

Characteristic Analysis of Capacitor Run Single-Phase Induction Motor by Equivalent Circuit Method

좌 종 근* · 김 호 민** · 김 도 진†
(Chong-Keun Jwa · Ho-Min Kim · Do-Jin Kim)

Abstract - This paper proposes a straightforward method of analyzing the operation characteristics for the capacitor run single-phase induction motor from the traditional equivalent circuit based on the revolving field theory. The proposed method consists of five procedures as follows: mechanical loss segregation, iron loss segregation and calculation of the equivalent circuit parameters, recalculation of parameters of the main winding side, calculation of the auxiliary winding magnetizing reactance and effective turn ratio, and analyzing the operation characteristics for this motor. When the characteristics are analyzed, the segregated mechanical and iron losses are considered as a loss resistance across input terminals of the equivalent circuit for the analysis. The validity of the proposed method is verified from the comparison between the computed results and the experimental ones for the operation characteristics.

Key Words : Capacitor Run Single Phase Induction Motor, Equivalent Circuit, No-Load Losses

1. 서 론

특정한 용도에 맞게 설계된 많은 종류의 단상 유도전동기가 가전기나 휴대용 공구 등에 사용되고 있다. 이 가운데 커패시터 구동 단상 유도전동기는 운전중에도 주권선은 물론 커패시터가 직렬로 접속된 보조권선이 전원에서 분리되지 않는 2상 전동기이다. 이 전동기는 소음, 진동 그리고 기동토크가 비교적 적고 역률이 높으므로 이런 특징이 요구되는 경우에 널리 이용되고 있다[1].

이에 따라, 이 전동기의 효율적인 운전에 관심이 모아지고 설계와 제어뿐만 아니라 정도 높은 특성해석도 모색되고 있다. 운전특성 해석을 위한 이론적 모델로 교차자계설, 회전자계설 그리고 대칭성분에 의한 대칭좌표법에 의한 등가회로가 개발되어 필요에 따라 적절히 수정되어 적용되고 있다.

대칭좌표법에 의한 연구로 Miyake[2]는 커패시터 구동 단상유도전동기의 설계와 제어를 BASIC 프로그램으로 수행할 수 있도록 하였고, 윤과 홍[3]은 해석결과에 많은 영향을 미치는 여자리액턴스를 전 슬립범위에서 정확하게 산정하는 방법을 제시하였다. 강 등[4]은 등가회로법과 유한요소 해석을 결합하여 회로정수를 산정하고 특성을 해석하였으며, 김 등[5]은 손실분리 방법으로 정수추정에 의한 회로정수법과 IEEE Std. 114를 사용한 결과를 분석하여 수정된 IEEE Std. 114를 제안하였다. 회전자계설에 의한 연구로 Collins와

Boyd[6]는 철손분을 포함시키는 3개의 등가회로를 제시하고 정·역방향 자계회로의 여자리액턴스와 병렬로 철손분 저항을 포함시킬 때 가장 좋은 결과가 얻어짐을 보였고, Zahedi와 Vaez-Zadeh[7]는 철손분 저항을 고려한 경우와 그렇지 않은 경우의 등가회로에서 부하와 전원주파수 변화에 따른 특성을 조사하였고, 좌와 김[8]은 무부하손실을 고려한 등가회로를 구성하여 회로정수를 단계적으로 산정하는 방법을 제안하였다. 대칭좌표법, 회전자계설 그리고 교차자계설을 모두 적용한 연구에서 Rasmussen과 Miller[9]는 모든 등가회로에 철손분 저항을 고려하여 해석한 결과와 실험결과를 비교하여 교차자계설과 회전자계설에 의한 결과가 더 좋음을 보였다.

한편, 등가회로 정수를 산정하기 위해서 측정자료 [5], [6], [7], [8], 측정자료와 설계자료 [2], [3], [4] 그리고 제작사 자료[10]를 사용하고 있다. 산정과정 중에 고려할 점으로 전동기 종류에 따른 손실의 분리, 철손의 반영여부 그리고 여자리액턴스와 회전자저항의 슬립 의존성 등이 있으며 필요에 따라 적절하게 산정하고 있으나 복잡한 과정을 거치고 있다.

본 연구에서는 이러한 점들을 고려하여 단순화한 방법을 제안하고 전동기 특성을 능률적으로 해석하고자 한다. 이를 위하여 회전자계설에 의한 철손이 반영되지 않은 전통적 등가회로 정수를 다음의 과정으로 산정하여 해석한다.

- 1) 주권선 측의 무부하 시험자료로부터 외삽법에 의하여 기계손을 분리한다.
- 2) 주권선 측의 철손을 고려한 무부하조건 등가회로와 회전자 정지조건 등가회로에서 회로정수와 철손을 분리한다.
- 3) 주권선 측의 철손을 고려하지 않은 무부하 등가회로와 여자회로를 고려한 회전자 정지조건 등가회로에서 2)의 정수를 초기값으로 하여 회로정수를 재계산하여 정도를 높인다.
- 4) 보조권선 측의 회전자 정지조건과 3)의 정수를 사용하여

* 중신회원 : 제주대학교 전기공학과 교수 · 공박
** 정 회 원 : 제주대학교 전기공학과 조교수 · 공박
† 교신저자, 정회원 : 제주대학교 전기공학과 강사 · 공박
E-mail: hl4hmx@lycos.co.kr

접수일자 : 2011년 8월 30일
최종완료 : 2011년 10월 13일

보조권선의 누설리액턴스를 결정하고 보조권선과 주권선의 실효권수비를 구한다.

5) 산정된 회로정수와 실효권수비를 사용하여 부하변화에 따른 운전특성을 계산한다.

5)의 과정으로 운전특성 계산시 1)과 2)의 과정에서 분리된 기계손과 철손을 대표하는 저항이 전동기의 입력단자에 병렬로 접속된 것으로 하여 출력계산시 회전자 출력에서 이 손실들을 빼는 것을 생략할 수 있게 하였다.

제안한 방법의 타당성을 공시전동기의 등가회로에 의한 운전특성의 계산값과 부하시험에 의한 실험값을 비교하여 검토한 결과 모든 특성값에서 비교적 잘 일치함을 확인하여 입증하였다.

그러므로, 제안한 등가회로법은 보조권선이 운전 중에 분리되지 않는 각종 단상 유도전동기의 운전특성 해석에 비교적 정도 높은 방법으로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

2. 등가회로와 운전특성

커패시터 기동 단상 유도전동기에서는 보조권선이 운전 중에 시종 남아있고 2상 유도전동기로 운전한다. 2회전자계설에 의한 커패시터 구동 단상 유도전동기에 대한 등가회로가 그림 1과 같이 유도될 수 있다[11].

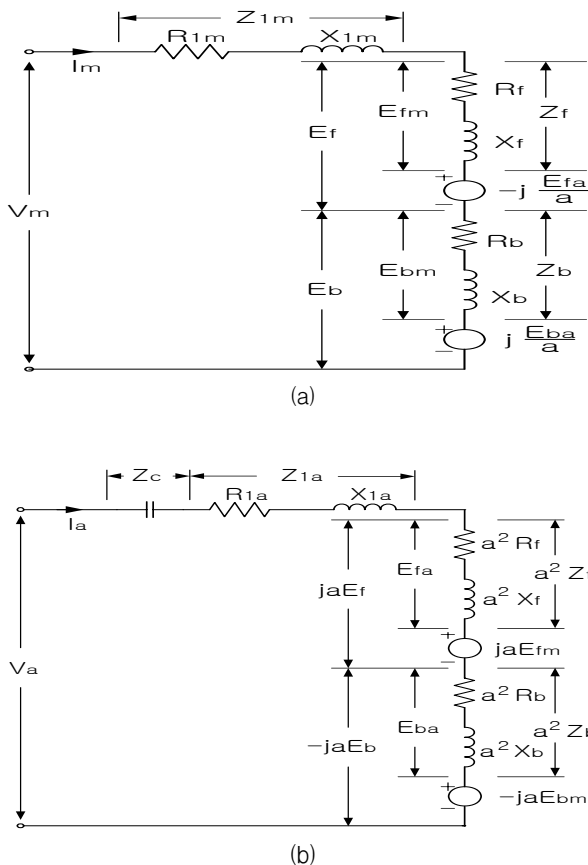


그림 1 커패시터 구동 유도전동기의 등가회로, $a = N_a/N_m$, (a) 주권선, (b) 보조권선

Fig. 1 Equivalent circuit of the capacitor run motor, $a = N_a/N_m$, (a) Main winding, (b) Auxiliary winding

이 등가회로에서 V_m, V_a 는 각각 주권선(아래첨자 m)과 보조권선(아래첨자 a)의 입력전압이고, I_m, I_a 는 각각의 입력 전류, $Z_{1m}(=R_{1m}+jX_{1m}), Z_{1a}(=R_{1a}+jX_{1a})$ 는 각각의 고정자 권선(아래첨자 1)의 임피던스, $Z_c(=-jX_c)$ 는 보조권선에 직렬로 접속한 커패시터의 임피던스이며 a 는 실효권수비로 보조권선과 주권선의 실효권선수 N_a 와 N_m 의 비로 주어진다.

주권선의 정방향과 역방향 임피던스 Z_f 와 Z_b 는 각각

$$Z_f = \frac{1}{\frac{1}{j0.5X_m} + \frac{1}{\frac{0.5R_2}{s} + j0.5X_2}} \quad (1)$$

$$Z_b = \frac{1}{\frac{1}{j0.5X_m} + \frac{1}{\frac{0.5R_2}{2-s} + j0.5X_2}} \quad (2)$$

이고, 여기서 X_m 은 여자리액턴스, R_2 와 X_2 는 각각 고정자측으로 환산한 회전자 권선(아래첨자 2)의 저항과 누설리액턴스이고 s 는 슬립이다.

주권선의 정방향과 역방향의 전압 E_f 와 E_b 는 각각

$$E_f = E_{fm} - j \frac{E_{fa}}{a} \quad (3)$$

$$E_b = E_{bm} + j \frac{E_{ba}}{a} \quad (4)$$

이고, 여기서 E_{fm} 과 E_{bm} 은 각각 주권선의 정방향과 역방향 회전자계에 의해 유도된 정방향 유도전압과 역방향 유도전압이며 E_{fa} 와 E_{ba} 는 각각 보조권선의 유도전압으로 다음과 같다.

$$E_{fm} = Z_f I_m \quad (5)$$

$$E_{bm} = Z_b I_m \quad (6)$$

$$E_{fa} = a^2 Z_f I_a \quad (7)$$

$$E_{ba} = a^2 Z_b I_a \quad (8)$$

2.1 등가회로 정수와 실효권수비의 산정

그림 1의 커패시터 구동 단상 유도전동기의 등가회로에 의하여 전동기의 특성을 해석하기 위해서 주권선과 보조권선의 등가회로 정수와 두 권선 사이의 실효권수비가 산정되어야 한다. 본 연구에서는 주권선과 보조권선의 단상권선의 등가회로를 기계손과 철손분이 분리된 그림 2의 등가회로를 사용하여 회로정수들을 산정한다.

등가회로에서 V_1, I_1 은 각각 입력전압과 전류, E_f, E_b 는 각각 회전자계의 정방향과 역방향 성분에 의한 유도전압,

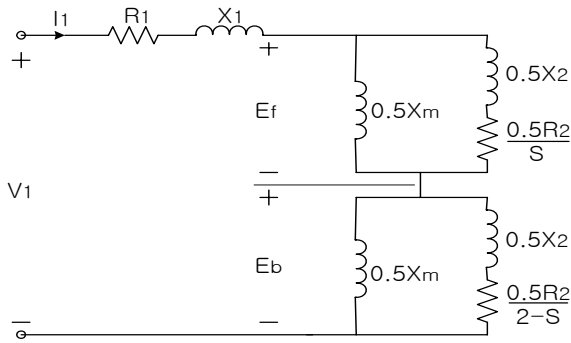


그림 2 단상 유도전동기의 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuit of single-phase induction motor

R_1, X_1 은 각각 고정자 권선의 저항과 리액턴스, X_m 은 자화 리액턴스, R_2, X_2 는 각각 고정자 권선측으로 환산한 회전자 권선의 저항과 리액턴스이고 S 는 슬립이다.

2.1.1 등가회로 정수산정을 위한 시험

그림 2의 등가회로에 의하여 주권선과 보조권선의 등가회로 정수를 산정하기 위해서는 3가지 시험, 즉 무부하시험, 회전자 정지시험 그리고 고정자 권선저항 측정이 필요하다.

무부하시험은 주권선만을 대상으로 시험하고 전기동력계를 축에 접속하지 않을 때와 접속할 때, 정격전압의 120[%]에서부터 전압을 단계적으로 낮추면서 회전수가 거의 일정하게 유지될 때까지 전압, 전류, 전력 그리고 회전수를 측정한다.

회전자 정지시험은 주권선과 보조권선에 대하여 독립적으로 시험하고 권선의 정격전류를 유지한 상태에서 전압, 전류 그리고 전력을 측정한다.

주권선과 보조권선의 저항은 직류에 의한 전압강하법이나 저항측정기에 의하여 측정한다.

2.1.2 등가회로 정수산정

먼저 기계손 P_M 을 전기동력계 접속하지 않은 상태에서부터 측정된 주권선의 무부하시험에서 측정된 전력을 종축에, 전압을 횡축으로 그린 전력, 전압곡선에서 같은 경향으로 변화를 주어 전압이 0이 될 때의 전력축의 값을 외삽법으로 구한다.

다음으로 철손 P_c 를 분리하기 위하여 그림 2의 주권선 등가회로에서 무부하($s=0$) 임피던스 Z_0 (철손분 저항 R_c 를 고정자 권선과 직렬로 고려)와 회전자 정지($s=1$) 임피던스 Z_s 는

$$Z_0 = (R_{1m} + R_c) + jX_{1m} + 0.25R_2 + j(0.5X_m + 0.5X_2) \quad (9)$$

$$Z_s = R_{1m} + jX_{m1} + R_2 + jX_2 \quad (10)$$

으로 구한다.

정격 무부하전압을 V_0 , 이때의 전류와 전력을 각각 I_0, P_0 그리고 정격 회전자 정지시 전류를 I_s , 이때의 전압과 전력을 각각 V_s 와 P_s 라하면

$$\frac{V_0}{I_0} = |Z_0| \quad (11)$$

$$P_0 - P_M = Re(Z_0) I_0^2 \quad (12)$$

$$\frac{V_s}{I_s} = |Z_s| \quad (13)$$

$$P_s = Re(Z_s) I_s^2 \quad (14)$$

이 된다.
식(13)과 (14)로부터

$$R_2 = \frac{P_s - R_{1m} I_s^2}{I_s^2} \quad (15)$$

$$X_{1m} + X_2 = \left[\left(\frac{V_s}{I_s} \right)^2 - (R_{1m} + R_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

이 얻어지고

$$X_{1m} = X_2 = \frac{X_{1m} + X_2}{2} \quad (17)$$

으로 계산한다.

이상의 결과와 식(11)로부터

$$X_m = \frac{1}{0.5} \left[\left(\frac{V_0}{I_0} \right)^2 - (R_{1m} + R_c + 0.25R_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - X_{1m} - 0.5X_2 \quad (18)$$

가 된다.

무부하시의 고정자권선과 회전자 권선의 동손을 각각 P_{sl}, P_{rl} 이라면 P_c 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_c = P_0 - P_{sl} - P_{rl} - P_M \quad (19)$$

여기서, $P_{sl} = R_{1m} I_0^2, P_{rl} = 0.25R_2 I_0^2$ 이다.

기계손과 철손이 분리된 그림 2의 주권선 등가회로 정수를 구하기 위하여 무부하와 회전자 정지시의 임피던스를 수정하면

$$Z_0 = R_{1m} + jX_{1m} + 0.25R_2 + j(0.5X_m + 0.5X_2) \quad (20)$$

$$Z_s = R_{1m} + jX_{1m} + 2[j0.5X_m // (0.5R_2 + j0.5X_2)] \quad (21)$$

이 되고, 여기서 //는 병렬합성을 의미한다.

위에서 구한 P_M, P_c 와 R_{1m}, X_{1m}, X_m, R_2 그리고 X_2 를 초기값으로 하여 위의 조건을 고려한 다음과 같은 비선형 연립방정식을 세우고 이들로부터 회로정수 R_{1m}, X_{1m}, X_m, R_2 그리고 X_2 를 구한다.

$$f_1(x) = X_{1m} - X_2 = 0 \quad (22)$$

$$f_2(x) = \frac{V_0}{I_0} - |Z_0| = 0 \quad (23)$$

$$f_3(x) = P_0 - P_M - P_c - Re(Z_0)I_0^2 = 0 \quad (24)$$

$$f_4(x) = \frac{V_s}{I_s} - |Z_s| = 0 \quad (25)$$

$$f_5(x) = P_s - Re(Z_s)I_s^2 = 0 \quad (26)$$

여기서, $(x) = (R_{1m}, X_{1m}, X_m, R_2, X_2)$ 이다.

또한, 보조권선의 회로정수도 그림 2의 등가회로에서 회전자 정지(s=1)의 임피던스 Z_{sa} , 시험값인 V_{sa} 와 I_{sa} 그리고 축정저항 R_{1a} 를 사용하여 다음식으로 구한다.

$$Z_{sa} = R_{1a} + jX_{1a} + 2[j0.5X_m / (0.5R_2 + 0.5X_2)] \quad (27)$$

$$\frac{V_{sa}}{I_{sa}} = |Z_{sa}| \quad (28)$$

식(28)의 $|Z_{sa}|$ 에서 X_m , R_2 그리고 X_2 는 주권선의 값과 같으므로 X_{1a} 를 쉽게 구할 수 있다.

실효권수비 a 는 주권선과 보조권선의 누설리액턴스가 실효권선수 N_m 과 N_a 의 제곱에 비례하므로 다음식으로 구할 수 있다.

$$a = \frac{N_a}{N_m} = \left(\frac{X_{1a}}{X_{1m}}\right)^2 \quad (29)$$

2.2 운전특성

그림 1의 주권선과 보조권선의 등가회로에 KVL을 적용하면

$$V_m = (Z_{1m} + Z_f + Z_0)I_m - j\left(\frac{E_{fa}}{a} - \frac{E_{ba}}{a}\right) \quad (30)$$

$$V_a = (Z_c + Z_{1a} + a^2Z_f + a^2Z_0)I_a + j(aE_{fm} - aE_{bm}) \quad (31)$$

이 되고, 식(30)에 식(7), (8)을 대입하고 식(31)에 식(5), (6)을 대입하여 정리하면

$$V_m = Z_{11}I_m + Z_{12}I_a \quad (32)$$

$$V_a = Z_{21}I_m + Z_{22}I_a \quad (33)$$

이 된다.

이들 식에서

$$Z_{11} = Z_{1m} + Z_f + Z_0 \quad (34)$$

$$Z_{12} = -ja(Z_f - Z_0) \quad (35)$$

$$Z_{21} = ja(Z_f - Z_0) \quad (36)$$

$$Z_{22} = Z_c + Z_{1a} + a^2(Z_f + Z_0) \quad (37)$$

이며, 운전시에는 $V_m = V_a$ 이고 식(32), (33)에서 I_m 과 I_a 가 구해진다.

또한, 기계손과 철손 즉, 무부하손실을 대표하는 저항 R_0 를 전동기 단자에 병렬로 접속된 것으로 입력측에서 이 손실을 고려하면 출력계산시 출력에서 무부하손실을 뺄 필요가 없게 된다. R_0 에 흐르는 무부하손실 전류 I_0 은

$$I_0 = \frac{V_m}{R_0} = \frac{V_m I_l}{R_0 I_l} = \frac{P_c + P_M}{V_m} \quad (38)$$

이 되므로, 전동기 입력전류 I_{in} 은

$$I_{in} = I_m + I_a + I_0 \quad (39)$$

이 된다. 전압을 기준으로 할 때 입력역률 Pf 는

$$Pf = \frac{Re(I_{in})}{|I_{in}|} \quad (40)$$

로 구할 수 있고 입력전력 P_{in} 은

$$P_{in} = V_m |I_{in}| Pf \quad (41)$$

가 된다.

토크를 구하기 위하여 정방향과 역방향 회전자계에 의한 정방향과 역방향 공극전력을 P_{gf} 와 P_{gb} 라 하면

$$P_{gf} = Re(E_f I_m^* + ja E_f I_a^*) \quad (42)$$

$$P_{gb} = Re(E_b I_m^* - ja E_b I_a^*) \quad (43)$$

으로 구하고, 토크 T 는

$$T = \frac{1}{\omega_s} (P_{gf} - P_{gb}) \quad (44)$$

가 된다.

여기서, *는 공액복소수를, ω_s 는 동기 각속도를 표시한다.

출력 P_{out} 은 기계손과 철손을 입력단자 측에서 고려하였기 때문에

$$P_{out} = T \omega_s (1 - s) \quad (45)$$

으로 구하고, 효율 η 는

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (46)$$

으로 구할 수 있다.

3. 운전특성 해석결과 및 분석

본 연구에 사용한 공시전동기는 정격전압 120[V], 전류 2.8[A], 주파수 60[Hz], 회전수 1715[rpm], 출력 1/4[HP] 그리

고 보조권선에 직렬 접속된 커패시터의 커패시턴스 30[μF]인 4극의 Lab Volt사의 커패시터 구동 단상 유도전동기이다.

이 전동기의 기계손과 철손이 분리된 등가회로에 의하여 해석하기 위해서 기계손을 외삽법, 즉 측정에 의해 주어진 주변의 자료를 이용하여 자료범위 밖의 값을 추정하는 방법으로 새로운 값을 추정하는데에 전체자료 분포를 고려하는 Mathcad의 Predict 함수를 사용하여 구하고, 철손은 무부하와 회전자 정지시의 조건을 이용한 등가회로를 구성하고 무부하 등가회로의 고정자 임피던스와 직렬로 철손분 저항을 고려하여 분리하였다.

등가회로 정수산정을 위한 주권선 무부하시험, 주권선과 보조권선 회전자 정지시험 그리고 주권선과 보조권선 저항 측정시험 결과와 분리된 기계손과 철손을 표 1에 보였다.

표 1 등가회로 산정을 위한 시험결과와 분리된 무부하손

Table 1 Test results for determination of equivalent circuit parameters and segregated no load losses

시험	측정치	
무부하, 주권선	V_0	120 [V]
	I_0	2.31 [A]
	P_0	67.2 [W]
회전자 정지, 주권선과 보조권선	V_s	51.3 [V]
	I_s	3 [A]
	P_s	102 [W]
	V_{sa}	46.7 [V]
	I_{sa}	3 [A]
저항, 주권선과 보조권선	R_{1m}	6.8 [Ω]
	R_{1a}	6.3 [Ω]
기계손	P_M	10.159 [W]
철손	P_c	14.708 [W]

이 표의 측정값과 분리된 기계손과 철손을 사용하여 2장에서 제시한 방법에 의하여 구한 등가회로 정수를 표 2에, 그리고 실효권수비를 표 3에 보인다.

표 2 제안한 방법으로 산정된 등가회로 정수

Table 2 Equivalent circuit parameters determined by proposed method

등가회로 정수 [Ω]			
R_{1m}	6.8	X_{1m}	6.737
R_{1a}	6.3	X_{1a}	5.366
R_2	4.533	X_2	6.737
X_m	82.465		

표 3 실효권수비, a

Table 3 Effective turn ratio, a

제작자 자료	제안한 방법
$a = \frac{N_a}{N_m} = \frac{82}{91} = 0.901$	$a = \left(\frac{X_{1a}}{X_{1m}} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{5.366}{6.737} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.892$

표 3에서 보듯이 실효권수비는 제작회사의 자료를 기준으로 했을 때의 상대오차는 -1[%]이하로 상당히 정확도가 높음을 알 수 있다.

표 4 입력전류(I_{in}), 입력역률(Pf) 그리고 입력전력(P_{in})의 비교

Table 4 Comparison of input current(I_{in}), input power factor(Pf) and input power(P_{in})

속도 [rpm]	실험값			계산값		
	I_{in} [A]	Pf [pu]	P_{in} [W]	I_{in} [A]	Pf [pu]	P_{in} [W]
1780	1.34	0.95	140	1.154	0.993	137.445
1776	1.37	0.95	158	1.240	0.994	142.827
1770	1.51	0.95	173	1.366	0.995	163.125
1763	1.64	0.96	188	1.510	0.995	180.538
1757	1.74	0.98	205	1.630	0.997	195.074
1750	1.81	0.98	219	1.766	0.998	211.564
1741	2.00	0.99	237	1.935	0.999	232.004
1731	2.14	0.99	254	2.114	1.0	253.694
1725	2.28	0.99	274	2.218	1.0	266.189
1712	2.48	0.99	296	2.434	1.0	291.927
1696	2.70	0.99	320	2.681	0.998	321.143
1690	2.83	0.99	332	2.769	0.997	331.417
1668	3.12	0.99	368	3.071	0.993	366.059
1650	3.36	0.98	399	3.294	0.989	391.076
1632	3.60	0.99	426	3.499	0.984	413.364

표 5 토크(T), 출력전력(P_{out}) 그리고 효율(η)의 비

Table 5 Comparison of torque(T), output power(P_{out}) and efficiency(η)

속도 [rpm]	실험값			계산값		
	T [Nm]	P_{out} [W]	η [pu]	T [Nm]	P_{out} [W]	η [pu]
1780	0.311	57.971	0.414	0.329	61.262	0.446
1776	0.411	76.439	0.484	0.394	73.335	0.496
1770	0.511	94.716	0.547	0.489	90.632	0.556
1763	0.611	112.803	0.600	0.594	109.599	0.607
1757	0.711	130.819	0.638	0.679	124.842	0.640
1750	0.811	148.624	0.679	0.772	141.477	0.669
1741	0.911	166.091	0.701	0.884	161.110	0.694
1731	1.011	183.264	0.722	0.997	180.719	0.712
1725	1.111	200.663	0.732	1.060	191.427	0.719
1712	1.211	217.108	0.733	1.183	212.073	0.726
1669	1.311	232.840	0.728	1.312	233.080	0.726
1690	1.411	249.714	0.752	1.355	239.816	0.724
1668	1.511	263.930	0.717	1.487	259.798	0.710
1650	1.611	278.361	0.698	1.570	271.344	0.694
1632	1.711	292.414	0.686	1.634	279.296	0.676

등가회로법에 의한 특성해석 방법의 타당성을 검토하기 위하여 정격전압, 정격주파수의 전원이 인가된 공시전동기를 0.2[KW]급 Lab Volt 사의 전기동력계에 의하여 측정가능한 범위내에서 부하시험한 결과와 표 2의 등가회로 정수와 표 3의 실효권수비를 사용하여 전동기 운전특성을 계산한 결과를 표 4와 표 5에 나타냈고 이것을 그림 3에서 그림 8까지 보였다.

전기동력계를 사용하여 토크를 측정할 때 측정값을 보정하여야 하므로 IEEE Std. 114[12]를 수정한 방법[8]으로 측정값에 더할 토크의 보정값 $T_{\omega} = 0.311[N \cdot m]$ 를 얻었다.

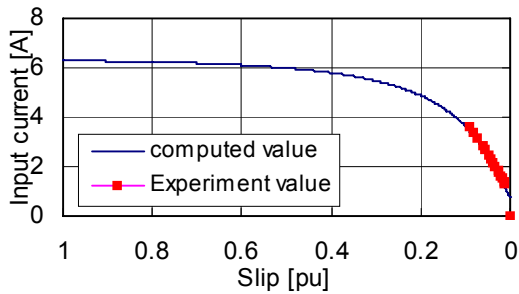


그림 3 속도에 대한 입력전류 특성
Fig. 3 Input current characteristic with respect to speed

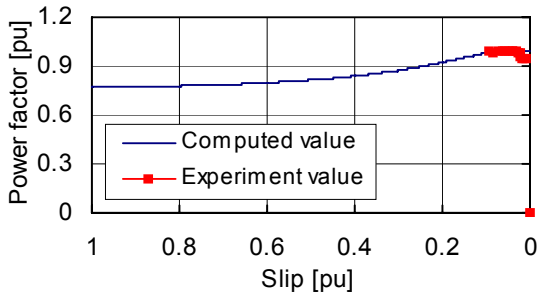


그림 4 속도에 대한 입력역률 특성
Fig. 4 Input power factor characteristic with respect to speed

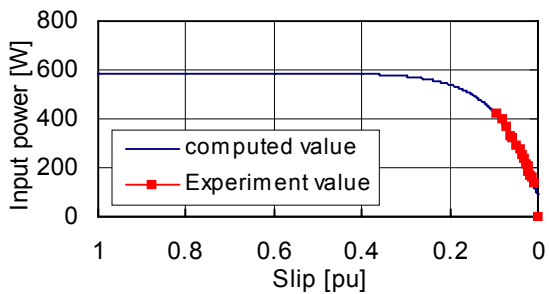


그림 5 속도에 대한 입력전력 특성
Fig. 5 Input power characteristic with respect to speed

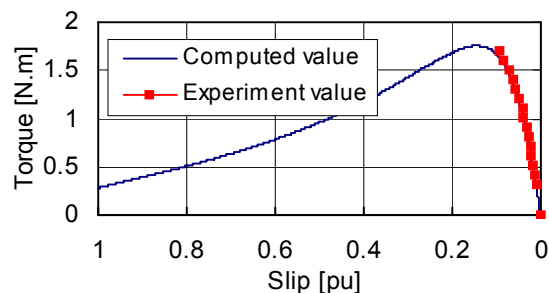


그림 6 속도에 대한 토크특성
Fig. 6 Torque characteristic with respect to speed

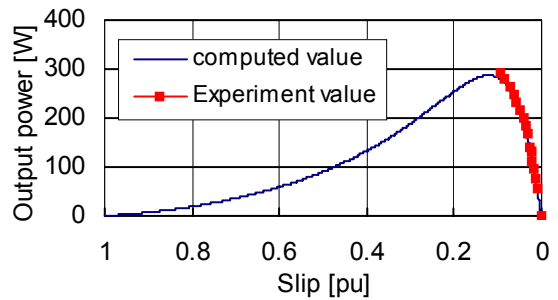


그림 7 속도에 대한 출력전력 특성
Fig. 7 Output power characteristic with respect to speed

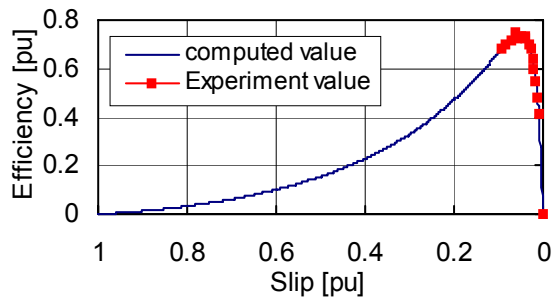


그림 8 속도에 대한 효율특성
Fig. 8 Efficiency characteristic with respect to speed

표 4와 표 5의 실험값과 계산값 사이의 상대오차를 실험값을 기준으로 하여 계산한 결과 평균상대오차는 입력전류에서 4.442[%], 입력역률에서 1.625[%], 입력전력에서 2.576[%], 토크와 출력전력에서 3.349[%] 그리고 효율에서 1.784[%]로 모든 특성에서 공학적으로 허용되는 5[%] 미만으로 나타났다.

또한, 그림 3에서 그림 8까지의 결과에서 보듯이 실험값과 계산값 사이의 관계가 모든 특성에서 같은 경향으로 비교적 잘 일치하고 있다.

따라서, 제안한 등가회로법에 의한 특성해석 방법은 보조권선이 운전 중에 분리되지 않는 분상형 단상 유도전동기의 운전 특성을 적절한 오차범위 내에서 해석할 수 있음을 알 수 있고, 해석방법의 적용성과 타당성을 알 수 있다.

4. 결 론

회전자계설에 의한 등가회로에 의하여 커패시터 구동 단상 유도전동기의 운전특성을 해석하였다. 이를 위하여 철손이 고려되지 않은 전통적 등가회로의 회로정수를 산정하여 해석하기 위해 주권선측에서 기계손의 분리, 등가회로 정수의 산정과 철손의 분리, 등가회로의 재산정, 보조권선측에서 누설 리액턴스의 산정과 실효권수비 계산 그리고 산정된 등가회로 정수와 실효권수비에 의한 특성계산의 과정을 제시하였다. 특성계산의 과정에서는 분리된 기계손과 철손을 대표하는 저항을 전동기 입력단자에 병렬로 접속하여 출력계산시 회전자 출력에서 이 손실을 빼는 것을 생략하였다.

제안한 등가회로법에 의한 해석방법의 타당성을 검토하기 위하여 공시전동기에 대하여 전기동력계에 의한 부하시험의

결과와 등가회로법에 의한 계산결과를 비교하여 두 값이 비교적 잘 일치함을 확인하여 입증하였다.

따라서, 이 방법은 보조권선이 기동시에만 접속되는 분상형 단상 유도전동기의 보조권선이 접속되어 운전되는 동안의 특성해석이나 운전 중에 보조권선이 접속된 상태로 운전되는 영구 분상형 단상 유도전동기의 특성해석 방법의 하나로 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Theodore Wildi, Electrical Machines, Drives and Power Systems, Prentice-Hall, pp. 377-392, 1991.
- [2] 三宅 博, 小形ACモータの設計と制御, 総合電子出版社, pp. 17-29, 1984.
- [3] 윤상백, 홍정표, "콘덴서 구동형 단상 유도전동기의 등가회로 구성 및 특성해석", 전기학회 논문지, Vol. 45, No. 9, pp. 1247-1254, 1996. 9.
- [4] 강규홍, 하경호, 홍정표, 김규탁, 정승규, "등가회로법과 수치해석의 결합에 의한 콘덴서 구동형 단상 유도전동기의 회로정수 산정 및 특성해석", 전기학회논문지, Vol. 49B, No. 11, pp. 720-729, 2000. 11.
- [5] 김광수, 김기찬, 이성구, 고성철, 전연도, 이철규, 이주, "커패시터 구동형 단상 유도전동기의 손실분리에 대한 연구", 전기학회 논문지, Vol. 57, No. 9, pp. 1546-1551, 2008. 9.
- [6] E. R. Collins, Jr. and P. B. Boyd, "Improved Methods for Determining the Equivalent Circuit Parameters for Single-Phase Induction Motor Models", IAS Annual meeting, Vol. 1, pp. 390-397, Oct. 1993.
- [7] B. Zahedi, S. Vaez-Zadeh, "Analysis of Electrical Loss in Single Phase Induction Motors", Electric Machines and Drive Conference, IEMDC '07, Vol. 2, pp.1621-1625, May 2007.
- [8] 좌종근, 김도진, "단상 유도전동기의 무부하손실을 고려한 등가회로 정수의 결정", 전기학회 논문지, Vol. 59P, No. 4, pp. 358-363, 2010. 12.
- [9] C. B. Rasmussen and T. J. E. Miller, "Revolving Field Polygon Technique for Performance Prediction of Single-Phase Induction Motor", IEEE Trans. on IA, Vol. 39, No. 4, pp. 1300-1306, Sep. 2003.
- [10] M, H, Hague, "Determination of NEMA Design Induction Motor Parameters from Manufacturer Data", IEEE Trans. on EC, Vol. 23, No. 4, pp. 997-1004, Dec. 2008.
- [11] P. C. Sen, Principles of Electric Machines and Power Electronics, John Wiley & Sons Inc., pp. 403-406, 1997.
- [12] IEEE Standards 114, IEEE Standard Test Procedure for Single-Phase Induction Motors, Industry Application Society, pp. 5-28, May 2002.

저 자 소 개



좌 종 근 (左 宗 根)

1970년 성균관대학교 전기공학과 졸업, 1976년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사), 1983년~1984년 Purdue univ. visiting scholar, 1979년~ 현재 제주대학교 전기공학과 교수

Tel : 064) 754-3671

Fax : 064) 756-5281

E-mail : keunjc@jejunu.ac.kr



김 호 민 (金 鎬 民)

1970년 8월 23일 생, 2002년 연세대학교 전기전자공학과 졸업(박사), 2002년~2004년 M.I.T Francis Bitter Magnet Lab. Post-Doctoral Research Associate, 2004년~2006년 LG산전(주) 전력연구원 선임연구원, 2006~2011년 한국전기연구원 초전도 연구센터 선임연구원, 현재 제주대학교 전기공학과 조교수

Tel : 064) 754-3677

Fax : 064) 756-5281

E-mail : hmkim@jejunu.ac.kr



김 도 진 (金 度 進)

1973년 4월 9일 생, 1999년 제주대학교 전기공학과 졸업, 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2009년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사), 2008년~현재 제주대학교 전기공학과 강사

Tel : 064) 754-3670

Fax : 064) 756-5281

E-mail : hl4hmx@lycos.co.kr