

단상 유도전동기의 무부하손실을 고려한 등가회로 정수의 결정

논 문
59P-4-3

Determination of Parameters of Equivalent Circuit Taking No-Load Losses Into Account for Single-Phase Induction Motors

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

Abstract - This paper proposes a step-by-step method of determining the parameters of equivalent circuit which is considered the no load losses for the single phase induction motor which has the starting winding. This method is comprised of three steps, and the stator resistance which is measured by the method of voltage drop is treated as constant and the stator and the rotor leakage reactances are assumed to be the same in every step. The test results of no load and locked rotor test are used in the 1st and 2nd step, and the ratings of name plate of the motor are needed in the 3rd step. In the 1st step, the traditional equivalent circuit parameters are directly calculated by no load and locked rotor conditions. In the next step, five nonlinear simultaneous equations for five unknown parameters can be set up by no load and locked rotor equivalent circuits. These equations are solved by using the initial parameters obtained by the 1st step parameters. In the final step, three nonlinear simultaneous equations for rotor winding resistance, leakage reactance and no load losses component resistance can be set up by equivalent circuit under the rated operation. Three parameters are solved by using the 2nd step parameters. Thus, equivalent circuit parameters are gradually refined step by step. The validity of the proposed method is evaluated by comparing the computed values obtained by the equivalent circuit parameters with the experimental values of the load test.

Key Words : Single Phase Induction Motor, Determination of Parameters, Equivalent Circuit, No-Load Losses

1. 서 론

단상유도 전동기는 소형전동기로 구조가 간단하고 경제적인 이유로 가정, 사무소, 그리고 공장 등에서 요구되는 부하에 따라 광범위하게 사용되고 있다. 이 전동기는 농형회전자와 단상분포 고정자 권선을 가지며, 단상권선만으로는 기동회전력이 발생되지 않으므로 보조권선을 사용하여 기동할 수 있게 된다[1].

전동기의 회전원리로 고정자 권선의 단상 교번자계를 정방향과 역방향 회전자계성분으로 분해하여 해석하는 2회전자계설과 고정자 권선의 자계와 회전자 권선의 속도 기전력에 의한 교차자계의 합성자계에 의하여 해석하는 교차자계설이 있으나[2] 해석이 용이하고 직관적으로 토크발생 원리를 이해할 수 있는 2회전자계설이 많이 사용되고 있다[3].

이에 따라, 2회전자계설에 기초한 단상유도 전동기의 등가회로를 설계와 해석에 적용하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 오[3]는 고정자와 회전자의 권선리액턴스를 분리하지 않은 등가회로를 제안하고 정수를 무부하시험, 구속시험 그리고 고정자 권선저항 측정만으로 결정하고 해석하였다. Colins와 Boyd[4]는 철손분 저항을 고려한 3가지의 등가회로를 제시

하고 3가지 정수산정시험과 무부하와 구속조건의 등가회로를 사용하여 정수를 결정하고 부하시험에 의하여 회전자 저항값을 보완하는 방법을 보고하였다. 강 등[5]은 커패시터 구동용 전동기를 대상으로 회전자측 회로정수가 회전자 슬롯의 형태에 따라 다르므로 등가회로법과 유한요소해석을 결합하여 정수를 산정하고 특성을 해석하였다. Zahedi와 Vaez-Zadeh[6]는 철손분 저항을 고려한 경우와 그렇지 않은 경우의 등가회로에 의하여 부하와 전원주파수의 변화에 따른 특성을 조사하였다. 김 등[7]은 커패시터 구동용 전동기 손실을 정확하게 산정하기 위하여 회로정수법과 IEEE Std. 114를 사용한 결과를 분석하여 수정된 방법을 제안하였다.

이상의 연구에서 사용한 등가회로 정수를 3가지 정수산정 시험으로 산정하는 경우는 계산식이 복잡해지거나 무부하와 구속조건을 이용하여 회로정수의 일부가 생략되어 오차가 포함될 가능성이 많아지며, 설계자료를 사용하여 유한요소해석을 병용하는 경우는 계산이 복잡하게 된다. 또한, 최근에 Haque[8]는 3상 유도전동기의 제품카탈로그 자료를 이용하여 등가회로 정수를 산정하는 방법을 제안하고 있다.

본 논문에서는 단상 유도전동기에 대한 설계자료나 자세한 제품카탈로그가 주어지는 경우가 별로 없으므로 기동 후 보조권선이 전원에서 분리되는 전동기의 주권선에 대한 무부하 손실을 고려한 등가회로를 구성하여 전동기 명판에 기재된 정격값과 이 값을 기준으로한 무부하시험, 구속시험 그리고 고정자 권선저항 측정에 의한 단계적 정수결정 방법을 제안하였다. 제안한 방법의 적용타당성을 등가회로 정수에 의한 계산값과 공시전동기의 부하시험에 의한 실험값을 비

* 종신회원 : 제주대학교 전기공학과 교수 · 공박
† 교신저자, 정회원 : 제주대학교 전기공학과 강사 · 공박
E-mail: hl4hmx@lycos.co.kr
접수일자 : 2010년 8월 17일
최종완료 : 2010년 10월 7일

교하여 검토한 결과 모든 특성값에서 비교적 잘 일치함을 확인하여 입증하였다.

따라서, 제한한 등가회로 정수의 단계적 결정방법은 구체적인 자료가 없는 각종 유도전동기의 특성을 적절한 오차범위 내에서 예측하고자 할 때 적용이 가능할 것으로 판단된다.

2. 무부하 손실을 고려한 등가회로와 정수결정

2.1 무부하 손실을 고려한 등가회로

보조권선에 의하여 기동되는 단상 유도전동기는 기동 후 동기속도의 약 75[%]가 되면 원심력스위치 등에 의하여 전원선에서 분리되어 주권선 만에 의하여 운전하게 된다. 이런 종류의 단상 유도전동기의 정상상태 해석을 위해서는 주권선에 대한 정밀도가 높은 등가회로가 필요하게 된다.

종래의 전통적인 등가회로에서는 전동기 설계시 상당히 높은 자속밀도에서 운전되도록 설계되어 기계가 자주 포화되고, 이것은 등가회로 정수의 비선형의 원인이 될 수 있었다. 더구나 회전자 저항은 회전자 구조, 회전자 각속도 그리고 전원주파수에 의존하는 변수가 된다. 이런 영향들이 전통적인 등가회로에서 부정확성의 원인이 되지만 오차의 주원인은 철손성분을 고려하지 않은 것이다. 이에 따라, 철손분 저항을 등가회로의 입력단자에 접속하는 경우, 고정자권선의 저항과 리액턴스 바로 다음에 접속하는 경우, 그리고 각 대칭분 자화리액턴스와 병렬로 반씩 접속하는 경우의 등가회로가 검토되어 보고되었다[4].

본 논문에서는 자속밀도와 주파수에 의존하는 철손과 회전속도에 따라 변화하는 마찰손과 풍손의 분리가 쉽지 않으므로 이들 손실의 합인 무부하손실이 회전속도에 관계없이 일정하다. 라는 가정하에, 이 손실을 대표하는 저항이 각 대칭분 자화리액턴스와 병렬로 반씩 접속한 그림1의 등가회로를 사용한다.

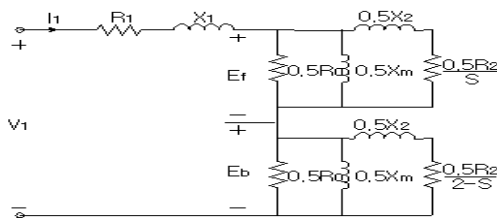


그림 1 단상 유도전동기의 무부하손실을 고려한 등가회로
 Fig. 1 Equivalent circuit taking no-load losses into account for single-phase induction motor

이 등가회로에서 V_1 은 입력전압, I_1 은 주권선 입력전류, E_t 와 E_b 는 각각 회전자계의 정방향과 역방향성분 자계에 의한 유기전압, R_1 과 X_1 은 각각 고정자권선의 저항과 리액턴스, R_0 는 무부하손실 저항, X_m 은 자화리액턴스, S 는 슬립 그리고 R_2 와 X_2 는 각각 고정자 권선측으로 환산한 회전자 권선의 저항과 리액턴스이다.

2.2 등가회로 정수산정을 위한 시험

단상 유도전동기에 대한 설계자료나 제품카탈로그가 없을 때, 전동기의 등가회로 정수를 산정하기 위해서는 전통적인 3가지 시험, 즉 고정자 권선저항 측정, 무부하시험, 그리고

구속시험을 한다. 이를 위해서 기계의 명판에 기재된 정격전압 V_r , 전류 I_r , 출력 P_r , 주파수 f_r 그리고 회전수 N_r 등의 최소한의 정보가 필요하다.

2.2.1 무부하 시험

무부하상태에서 정격주파수의 정격전압으로 전력의 지시값이 안정될 때 까지 운전한 후, 정격의 10[%] 이상의 전압에서부터 단계적으로 전압을 속도가 거의 일정한 범위까지 감소시키면서 각 단계에서의 전압, 전류, 전력 그리고 회전수를 기록한다.

정격전압이 공급될 때 전압을 $V_0=V_r$, 전류를 I_0 그리고 전력을 P_0 라 한다.

2.2.2 구속 시험

회전자를 구속한 상태에서 정격주파수의 정격전류로 10[%] 이상의 전류에서부터 단계적으로 감소시키면서 각 단계에서의 전압, 전류 그리고 전력을 기록한다.

정격전류가 흐를 때의 전류를 $I_s=I_r$, 전압을 V_s 그리고 전력을 P_s 라 한다.

2.2.3 고정자 권선저항 측정시험

전동기가 운전 중인 상태의 온도에서 저항값을 측정하기 위해서 무부하시험과 구속시험을 반복하여 시행한 후, 전압강하법으로 정격값의 직류전류 $I_{DC}=I_r$ 을 고정자 권선에 흘려 전압 V_{DC} 를 측정한다.

2.3 등가회로 정수의 결정

그림 1의 등가회로 정수는 공시전동기의 명판의 정격값과 앞 절의 시험결과를 이용하여 다음과 같이 3단계를 거쳐 결정한다.

2.3.1 1단계

일반적으로 고정자 권선저항 측정은 무부하시험과 구속시험 전에 실시하고 측정시 기계의 주변온도를 측정하여 다음 저항값을 구한 후, 기계의 절연등급이나 운전상태의 권선온도를 알고 저항값을 결정하여 정하는 것이 보통이다. 그러나 앞 절에서와 같은 조건하에서 측정할 경우에는 다음과 같이 R_1 을 계산한다.

$$R_1 = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} \tag{1}$$

여기서, V_{DC} 는 I_{DC} 가 흐를 때의 직류 전압강하이다.

철손분 저항이 무시된 전통적인 등가회로에서 무부하 및 구속조건에서

$$X_0 = \frac{[(V_0 I_0)^2 - P_0^2]^{\frac{1}{2}}}{I_0^2} = X_1 + 0.5X_m + 0.5X_2 \tag{2}$$

$$X_s = \frac{[(V_s I_s)^2 - P_s^2]^{\frac{1}{2}}}{I_s^2} = X_1 + X_2 \tag{3}$$

가 얻어지고, 여기서 X_0 및 X_s 는 각각 무부하 및 구속시 등가

리액턴스이다.

식(3)과 $X_1 = X_2$ 의 가정하에서

$$X_1 = X_2 = \frac{X_s}{2} \quad (4)$$

가 된다.

식(2)와 식(3)에서

$$X_m = 2X_0 - 1.5X_s \quad (5)$$

가 되고, 구속조건에서 구속시 등가저항을 R_s 라 하면

$$R_s = \frac{P_s}{I_s^2} \quad (6)$$

가 되며, R_2 는 다음식으로 계산된다[4].

$$R_2 = (R_s - R_1) \left(\frac{X_2 + X_m}{X_m} \right)^2 \quad (7)$$

2.3.2 2단계

무부하손실을 고려한 그림 1의 등가회로에서 무부하 조건 ($S \approx 0$)과 구속조건($S=1$)하에서의 등가회로는 각각 그림 2와 그림 3과 같다.

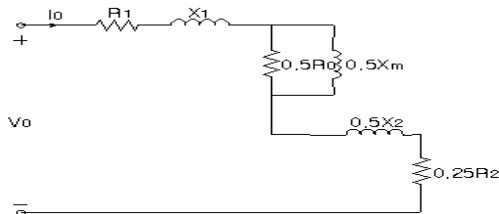


그림 2 무부하 등가회로

Fig. 2 Equivalent circuit at no-load

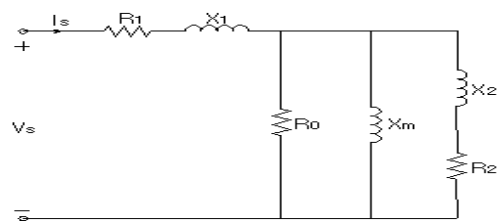


그림 3 회전자구속 등가회로

Fig. 3 Equivalent circuit at locked rotor

그림 2의 등가회로에서 무부하 등가 임피던스 Z_0 는

$$Z_0 = (R_1 + 0.25R_2) + j(X_1 + 0.5X_2) + (0.5R_0 // j0.5X_m) \quad (8)$$

이고, 그림 3의 등가회로에서 회전자 구속시 등가 임피던스 Z_s 는

$$Z_s = R_1 + jX_1 + (R_0 // jX_m // (R_2 + jX_2)) \quad (9)$$

가 되고, 여기서 //기호는 병렬합성을 의미한다.

그림 1의 등가회로에서 미지회로 정수는 6개이므로 6개의 연립방정식을 구성하여 미지회로 정수를 구할 수 있다. 그러나 R_1 의 값을 1단계와 같은 값으로 하고, $X_1 = X_2$ 의 가정을 두면, 식(8)과 식(9)를 이용하여 다음과 같은 5개의 비선형 연립방정식을 세울 수 있다.

$$f_1(x) = X_1 - X_2 = 0 \quad (10)$$

$$f_2(x) = \frac{V_0}{I_0} - |Z_0| = 0 \quad (11)$$

$$f_3(x) = \frac{P_0}{I_0^2} - Re(Z_0) = 0 \quad (12)$$

$$f_4(x) = \frac{V_s}{I_s} - |Z_s| = 0 \quad (13)$$

$$f_5(x) = \frac{P_s}{I_s^2} - Re(Z_s) = 0 \quad (14)$$

여기서, $Re(\)$ 는 ()안의 실수부를 나타내고 (x)는

$$(x) = (R_2, X_1, X_2, R_0, X_m) \quad (15)$$

을 나타낸다.

이 연립방정식들을 풀기 위해서 초기값을 1단계에서 계산한 X_1, X_m, R_2, X_2 의 값을 사용하고 R_0 의 값은 다른 정수값보다 큰 임의값을 사용한다.

2.3.3 3단계

2단계에서 구한 등가회로 정수는 무부하와 구속조건을 이용한 등가회로로부터 얻어지므로 이들 조건에 따른 회로소자의 생략으로 인한 오차를 포함하게 되므로 그림 1의 등가회로를 사용하여 정수를 보완할 필요가 있다.

전동기가 정격운전상태에 있을 때 등가회로에서 정상분 임피던스 Z_f 는

$$Z_f = 0.5R_0 // j0.5X_m // \left(\frac{0.5R_2}{S_r} + j0.5X_2 \right) \quad (16)$$

이고, 역상분 임피던스 Z_b 는

$$Z_b = 0.5R_0 // j0.5X_m // \left(\frac{0.5R_2}{2-S_r} + j0.5X_2 \right) \quad (17)$$

이다.

2회전자계이론에 의한 정회전 및 역회전자계에 의한 공극 전압 E_f 와 E_b 는 각각

$$E_f = Z_f I_f \quad (18)$$

$$E_b = Z_b I_b \quad (19)$$

이 되고, 이에 따른 공극전력 P_{gf} 와 P_{gb} 는 각각

$$P_{gf} = \left(\frac{E_f}{\frac{0.5R_2}{S_r} + j0.5X_2} \right)^2 \frac{0.5R_2}{S_r} \quad (20)$$

$$P_{gb} = \left(\frac{E_0}{\frac{0.5R_2}{2-S_r} + j0.5X_2} \right)^2 \frac{0.5R_2}{2-S_r} \quad (21)$$

가 되며, 회전자 기계적 출력 P_m 은

$$P_m = (P_{gf} - P_{gb})(1 - S_r) \quad (22)$$

이다. 여기서 S_r 은 정격운전시의 슬립이다. 이때의 입력 임피던스 Z_r 은

$$Z_r = R_1 + jX_1 + Z_f + Z_0 \quad (23)$$

가 된다.

회전자회로의 저항과 무부하손실이 전동기의 특성에 크게 영향을 주므로 이것들과 관련된 정수들인 R_0 , R_2 그리고 X_2 의 값을 보완하기 위하여 명판에 기재된 정격값과 위에 표시한 식과 $X_1=X_2$ 의 가정을 두어 3개의 연립방정식을 세우면 다음과 같다.

$$g_1(y) = X_1 - X_2 = 0 \quad (24)$$

$$g_2(y) = \frac{V_r}{I_r} - |Z_r| = 0 \quad (25)$$

$$g_3(y) = P_r - P_m = 0 \quad (26)$$

여기서, (y) 는

$$(y) = (R_0, R_2, X_2) \quad (27)$$

를 나타낸다.

이 연립방정식을 풀기위해서 1단계에서의 R_1 값을, 2단계에서의 X_1 과 X_m 을 고정하고, 2단계에서 구한 R_0 , R_2 , 그리고 X_m 을 초기값으로 하여 정수값을 구한다,

3. 등가회로 정수결정 결과 및 분석

무부하손실을 고려한 등가회로 정수 결정에 사용한 공시 전동기는 정격전압(V_0) 120[V], 전류(I_r) 5[A], 주파수(f_r) 60[Hz], 회전수(N_r) 1715 [rpm], 출력(P_r) 1/4 [HP] 그리고 극수 4극의 Lab Volt사의 커패시터 기동 단상 유도전동기이다.

이 전동기의 등가회로 정수산정을 위한 무부하, 구속 그리고 고정자 권선저항 측정시험 결과를 표 1에 보였다.

표 1 등가회로 정수산정을 위한 시험결과

Table 1 Test results for determination of equivalent circuit parameters

시 험	측 정 치	
무부하	전압, V_0	120 [V]
	전류, I_0	4.39 [A]
	전력, P_0	106 [W]
구속회전자	전압, V_s	45.8 [V]
	전류, I_s	5 [A]
	전력, P_s	148 [W]
권선저항	권선저항, R_1	3.1 [Ω]

이 표의 측정값을 이용하여 철손분 저항이 무시된 등가회로의 정수를 1단계의 식들로부터 구한 회로정수를 표 2에 보인다.

표 2 1단계과정으로 산정된 등가회로 정수

Table 2 Equivalent circuit parameters determined by 1st step procedure

1단계과정으로 산정된 등가회로 정수 [Ω]			
R_1	3.1	X_1	3.495
R_2	3.296	X_2	3.495
R_0	-	X_m	43.067

표 1의 시험결과와 표 2의 정수를 초기값으로 하여 2단계과정으로 구할 때 초기값이 없는 R_0 의 초기값을 X_m 의 값보다 클 것으로 보아 100으로 하여 구한 회로정수를 표 3에 보인다.

표 3 2단계과정으로 산정된 등가회로 정수

Table 3 Equivalent circuit parameters determined by 2nd step procedure

2단계과정으로 산정된 등가회로 정수 [Ω]			
R_1	3.1	X_1	3.546
R_2	3.311	X_2	3.546
R_0	588.71	X_m	43.143

3단계과정으로 정수를 산정하기 위하여 전동기 명판의 정격값과 표 3의 정수를 초기값으로 하여 정격속도에서의 회전자회로 정수와 무부하손실 저항을 구하여 결정된 최종 회로정수를 표 4에 보인다.

2단계와 3단계에서 비선형 연립방정식의 해인 회로정수는 Mathcad의 Levenberg-Marguardt solver에 의해 구한 것이다.

표 4 3단계과정으로 산정된 등가회로 정수

Table 4 Equivalent circuit parameters determined by 3rd step procedure

3단계과정으로 산정된 등가회로 정수 [Ω]			
R_1	3.1	X_1	3.546
R_2	3.397	X_2	3.546
R_0	573.817	X_m	43.143

등가회로 정수결정의 단계적 방법의 타당성을 검토하기 위하여 정격주파수의 정격전압이 인가된 공시전동기를 0.2 [kW]급 Lab Volt사의 전기동력계를 사용하여 부하시험한 결과와 표 4의 최종적으로 결정된 정수를 사용하여 전동기 특성을 계산한 결과를 표 5와 표 6 그리고 그림 4에서 그림 9까지 보였다.

IEEE Std. 114[9]에 의하면 전기동력계로 공시전동기의 토크를 측정하는 경우 측정값을 보정할 필요가 있다. 같은 속도로 무부하운전을 하는 경우 단독운전시 입력(P_b)과 동력계가 연결된 상태에서의 입력(P_a) 사이에 차이가 있고, 그 차이는 동력계에 의한 기계적 손실에 해당되므로 이에 대응하는 토크값을 측정치에 더하도록 되어있다. 본 논문에서는

같은 속도에서의 토크보정값이 상당히 값이 크므로, 같은 전압의 무부하 입력차에 대응하는 토크보정값을 사용하였고 전동기 속도는 단독운전시의 속도를 사용하여 계산하였다. 인가전압은 정격의 ±10[%] 상하에서 5[V]의 간격으로 변화시켜 입력을 측정하고 평균값으로 다음의 식에 의하여 토크보정값($T_w=0.29$ [N·m])을 계산하였다.

$$T_w = \frac{k(P_a - P_b)}{n} \quad (28)$$

여기서, n 은 [rpm]으로 표시된 전동기속도이고 k 는 토크의 단위가 [N·m] 일 때 9.594의 상수이다.

표 5 입력전류(I_1), 입력역률(Pf) 그리고 입력전력(P_m)의 비교
Table 5 Comparison of input current(I_1), input power factor(Pf) and input power(P_m)

속도 [rpm]	실험 값			계산 값		
	I_1 [A]	Pf [pu]	P_m [W]	I_1 [A]	Pf [pu]	P_m [W]
1770	4.38	0.34	181	4.475	0.355	190.529
1764	4.46	0.38	202	4.510	0.383	207.104
1755	4.50	0.41	223	4.574	0.422	231.695
1748	4.55	0.45	243	4.634	0.451	250.576
1742	4.66	0.48	267	4.690	0.474	266.575
1734	4.72	0.51	287	4.774	0.502	287.626
1725	4.85	0.54	312	4.876	0.531	310.903
1718	5.00	0.57	340	4.962	0.552	328.695
1715	5.03	0.57	345	5.000	0.560	336.234
1709	5.10	0.60	362	5.079	0.576	351.152
1703	5.27	0.61	390	5.160	0.591	365.854
1690	5.43	0.64	415	5.343	0.619	396.946
1677	5.50	0.66	437	5.534	0.643	426.965

표 6 토크(T), 출력전력(P_m) 그리고 효율(η)의 비교
Table 6 Comparison of Torque(T), output power(P_m) and efficiency(η)

속도 [rpm]	실험 값			계산 값		
	T [N·m]	P_m [W]	η [pu]	T [N·m]	P_m [W]	η [pu]
1770	0.39	72.288	0.399	0.368	68.177	0.358
1764	0.49	90.516	0.448	0.450	83.051	0.401
1755	0.59	108.432	0.486	0.568	104.393	0.451
1748	0.69	126.305	0.520	0.657	120.195	0.480
1742	0.79	144.113	0.540	0.730	133.190	0.500
1734	0.89	161.610	0.563	0.825	149.738	0.521
1725	0.99	178.835	0.573	0.926	167.308	0.538
1718	1.09	196.100	0.577	1.002	180.222	0.548
1715	1.12	201.146	0.583	1.033	185.559	0.552
1709	1.19	212.970	0.588	1.095	195.883	0.588
1703	1.29	230.056	0.590	1.154	205.746	0.562
1690	1.39	245.997	0.593	1.275	225.581	0.568
1677	1.49	261.666	0.599	1.386	243.395	0.570

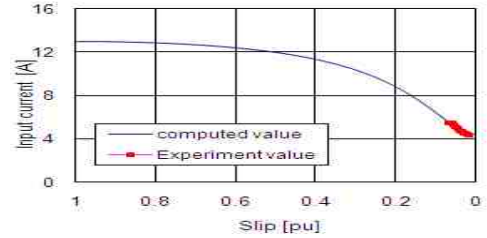


그림 4 입력전류 대 속도특성
Fig. 4 Input current vs speed characteristic

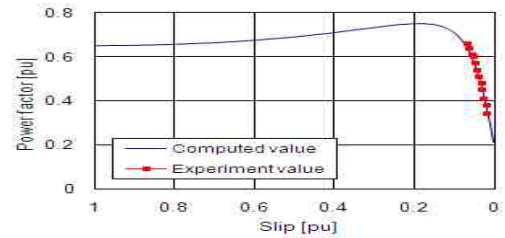


그림 5 입력역률 대 속도특성
Fig. 5 Input power factor vs speed characteristic

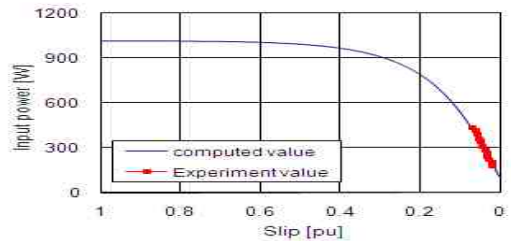


그림 6 입력전력 대 속도특성
Fig. 6 Input power vs speed characteristic

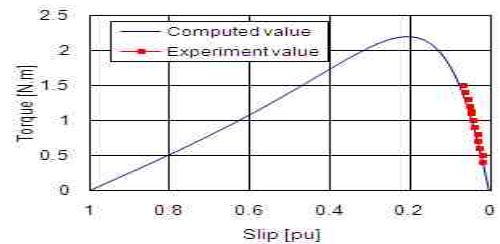


그림 7 토크 대 속도특성
Fig. 7 Torque vs speed characteristic

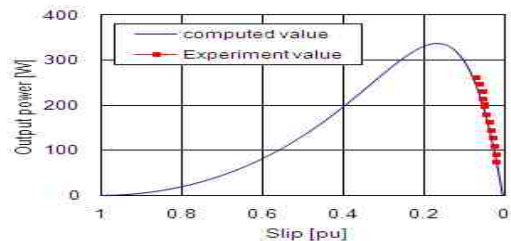


그림 8 출력전력 대 속도특성
Fig. 8 Output power vs speed characteristic

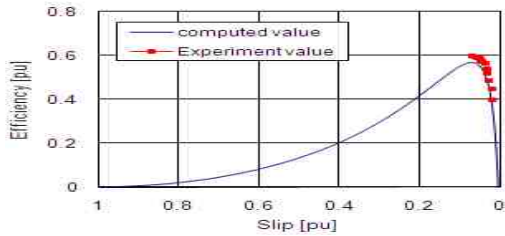


그림 9 효율 대 속도특성
Fig. 9 Efficiency vs speed characteristic

전기동력계에 의하여 측정 가능한 범위에서 실험값과 계산값 사이의 상대오차를 실험값을 기준으로 하여 계산한 결과 평균상대오차는 입력전류에서 1.168 [%], 입력역률에서 2.315 [%], 입력전력에서 2.846 [%], 토크에서 7.176 [%], 출력전력에서 7.198 [%] 그리고 효율에서 6.623 [%]로 나타났다.

또한, 그림 4에서 그림 9까지의 결과에서 보듯이 실험값과 계산값 사이의 관계가 모든 특성값에서 같은 경향으로 비교적 잘 일치하게 나타나고 있다.

따라서, 제안한 등가회로 정수결정방법에 의한 정수는 단상 유도전동기의 특성을 적절한 오차범위에서 계산할 수 있음을 알 수 있고, 방법이 타당함을 알 수 있다.

4. 결 론

단상 유도전동기 가운데 기동 후 보조권선이 전원에서 분리되는 전동기의 주권선에 대한 무부하손실을 고려한 등가회로를 구성하여 등가회로 정수를 단계적으로 산정하는 방법을 제안하여 결정하였다.

이를 위하여, 명판에 기재된 정격값을 기준으로 등가정수 산정을 위한 무부하시험, 구속시험 그리고 고정자 권선저항 측정을 하고, 각 단계에서 정수산정을 할 때 고정자 권선저항을 고정하고 고정자와 회전자의 리액턴스가 같다는 가정을 두었다.

1단계에서는 철손분 저항이 없는 등가회로로부터 정수를 산정하였고, 2단계에서는 무부하손실을 고려한 등가회로의 무부하와 구속조건을 이용한 등가회로에서 정수를 산정하기 위한 5개의 비선형 연립방정식을 세우고 1단계의 정수를 초기값으로 하여 정수를 산정하였다. 3단계에서 명판의 정격값과 정격운전시의 무부하손실을 고려한 등가회로를 이용하여 2단계에서 산정한 정수 가운데 회전자회로의 정수와 무부하손실 저항을 보완하기 위한 3개의 비선형 연립방정식을 세우고 2단계의 정수를 초기값으로 하여 산정한 정수를 최종값으로 결정하였다.

제안한 단계적 등가회로 정수의 결정방법의 타당성을 검토하기 위하여 등가회로 정수에 의한 계산값과 공시전동기를 부하시험한 결과의 실험값을 비교, 검토하여 두 값이 비교적 잘 일치하는 것을 확인하여 방법의 타당성을 입증하였다.

그러므로, 이 방법으로 단상 유도전동기에 대한 설계자료나 제품카탈로그 등의 구체적인 정보가 없을 때, 명판의 최소 정보만으로 등가회로 정수의 정확도를 단계적으로 개선할 수 있다. 또한, 종래의 전통적인 방법이나 정확도를 개선하기 위한 전통적인 부하시험이 따르는 방법에 비하여, 전자보다는 정확도를 더 개선할 수 있으며 후자보다는 덜 복잡한 방법으로 각종 유도전동기에 대한 정수결정의 하나의 방법으로 유효하게 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Paresh C. Sen, Principles of Electric Machines and Power Electronics, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [2] Irving L. Kosow, Electric Machinery and Transformers, Prentice Hall International, Inc., 1991.
- [3] 오궁렬, 순단상 유도전동기의 등가회로와 도식적 특성 산정법 및 정수결정에 의한 특성산정법, 전기학회지, Vol. 22, No. 1, pp.42-51, 1973. 1.
- [4] E. R. Collins, Jr. and P. B. Boyd, Improved Method for Determining the Equivalent Circuit Parameters for Single-Phase Induction Motor Models, IAS Annual meeting, Vol, 1, pp. 390-397, Oct. 1993.
- [5] 강규홍, 하경호, 홍정표, 김규택, 정승규, 등가회로법과 수치해석의 결합에 의한 콘덴서 구동형 단상 유도전동기의 회로정수 산정 및 특성해석, 전기학회논문지, Vol. 49B, No. 11, pp. 720-728, 2000. 11.
- [6] Bijan Zahedi and Sadegh Vaez-Zadeh, Analysis of Electrical Loss in Single Phase Induction Motors, Electric Machines and Drive Conference, IEMDC'07 IEEE International, Vol. 2, pp. 1621-1625, May 2007.
- [7] 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.
- [8] M, H, Haque, Determination of NEMA Design Induction Motor Parameters from Manufacturer Data, IEEE Trans. on EC, Vol. 23, No. 4, pp.997-1004, Dec. 2008.
- [9] IEE Standards 114, IEEE Standard Test Procedure for Single - Phase Induction Motors, Industry Applications Society, 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@cheju.ac.kr



김 도 진 (金度進)

1973년 4월 9일생. 1999년 제주대학교 전기공학과 졸업.
2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).
2009년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사).
2008년~현재 제주대학교 전기공학과 강사
Tel : 064) 742-1298 / Fax : 064) 756-5281
E-mail : hl4hmx@lycos.co.kr