

이용률을 고려한 콘덴서 구동형 단상 유도전동기의 최적효율 계산

김 양 호 · 김 영 선* · 최 성 재**

단국대학교 전기공학과 · 성균관대학교 정보통신공학부* · 경원대학교 전자공학과**

Optimum Efficiency Calculation of Capacitor Run Type Single Phase Induction Motor considering Utilization Rate

Yang-Ho Kim · Young-Sun Kim* · Sung-Jai Choi**

Department of Electrical Eng., Dankook Univ., School of Information and Communication Eng., Sungkyunkwan University*

Department of Electronic Eng., Kyungwon University**

Abstract - This paper represents technique of optimum efficiency calculation for condenser run type single phase induction motor considering utilization rate. The material cost and loss expense are major factor of proposed algorithm. The simulation results are compared with experimental ones. And they are agreement with each other.

1. 서 론

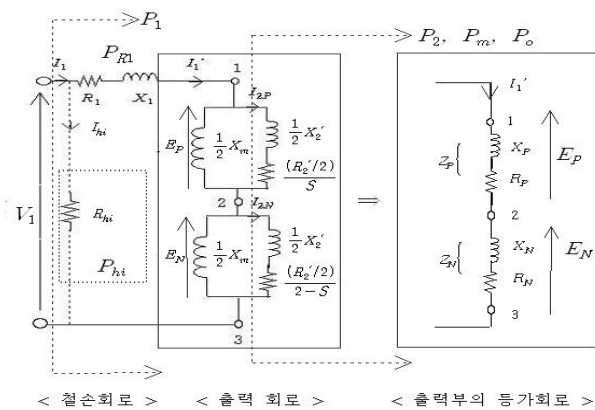
단상유도전동기는 상용화된 전원을 변환장치 없이 직접 사용할 수 있어 가전제품 전 분야의 동력원으로 널리 사용되고 있다. 그 중 콘덴서 구동형 단상유도전동기는 보조권선에 콘덴서를 결합한 구조로써 주권선과 보조권선의 기자력차에 의해 평형 다상기와는 달리 불평형 타원 자계가 형성된다. 따라서 등가회로의 구성은 회전자계설을 바탕으로 불평형 상태를 각각의 대칭분으로 분해하여 해석하는 대칭좌표계법을 이용한다[1-3].

본 연구에서는 실측을 통하여 전동기 등가회로 정수를 구하고 단상유도전동기의 손실전력 비용과 재료비용과의 관계를 고려하여 이용률 변화에 대한 최적효율을 산정하는 방법을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 콘덴서 구동형 단상유도전동기의 등가회로

본 논문에서는 콘덴서 구동형 단상유도전동기의 주권선 부분만을 취하여 순 단상유도전동기의 정상상태로 가정하고, 전동기의 크기가 커질 때 여자 인덕턴스의 크기도 비례하며, 다른 정수들은 변화가 없다는 전제하에 제한한 기법을 적용하기로 한다. 철손 저항을 입력측으로 이동하여 등가회로를 도식하면 다음 그림 1과 같다[4].



<그림 1> 단상 유도전동기의 등가 회로

2.2 이상적 단상유도전동기의 최대효율

그림 1의 단상유도전동기의 등가회로에서 출력부만을 추출하고 이상(ideal)화 정상분과 역상분 저항만을 고려하여 단상유도전동기의 이론적 최대효율을 구하기로 한다. 이상적 등가회로로부터 전류를 구하면 식 (1)과 같다.

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{V}{\frac{R_2}{S} + \frac{R_2}{2-S}} \quad (1)$$

입력전력 P_i 는 $P_i = V I (\cos\theta = 1)$ 이며, 기계적 손실을 무시하면 출력전력은 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} P_o &= T_o(1-S) = (T_m - T_i)(1-S) \\ &= T_m(1-S) = P_m(1-S) \\ &= \frac{V^2 S(2-S)(1-S)^2}{2R_2} \end{aligned} \quad (2)$$

그러므로 단상 유도전동기의 이상적 최대효율 η_{ideal} 은 식 (3)과 같다.

$$\eta_{ideal} = \frac{P_o}{P_i} = \frac{V^2 S(2-S)(1-S)^2}{V^2 S(2-S)} = (1-S)^2 \quad (3)$$

3. 이용률에 대한 최적효율 산정 기법

단상 유도전동기의 이용률에 대한 효율 산정기법을 제안하면 다음과 같다. 여자 리액턴스와 효율의 관계로부터 재료비용과 손실전력 비용의 합을 T 라 할 때 정격 출력 전동기에서 효율과 손실전력은 다음과 같다.

$$\eta = P_o / (P_o + P_L) \quad (4)$$

$$P_L = \left(\frac{1-\eta}{\eta} \right) P_o = L \cdot P_o \quad (5)$$

손실율을 이용하면 요구출력으로부터 손실전력을 구할 수 있으며, 재료비용과 손실전력 비용이 포함된 합은 다음과 같다.

$$T = \alpha \cdot X_m + \beta \cdot P_L \quad (6)$$

여기서, α : 재료비 계수 β : 전동기 이용계수

식 (6)에 식 (5)를 대입하면

$$T = \alpha \cdot X_m + \beta L \cdot P_o \quad (7)$$

전동기의 이용계수 β 에 포함되는 이용률은 연간 이용시간에 대한 총 시간(약 8,700시간)과의 비율로 전동기의 평균 이용률을 약 0.3 [p.u] 를 기준으로 하였을 때, 식 (8)에서 비용합의 최소값을 구하기 위해 dX_m 에 대한 손실전력 비용의 합의 변화율이 0인 값을 구하면

$$dT/dX_m = \alpha + d(\beta L \cdot P_o)/dX_m \quad (8a)$$

$$-\alpha = (\beta P_o) dL/dX_m \quad (8b)$$

$$\frac{\alpha}{\beta} = -(dL/dX_m) P_o \quad (8c)$$

이다. 위 식 (8c)에서 우항은 단상유도전동기로부터 얻어 낼 수 있다. 또한 이용계수 안에 포함된 전동기 이용률 U_m 이라두면 $\beta = \beta_h U_m$ 이고, 임의의 출력 전동기에 대한 손실율을 L_h 로 두면 식 (8c)는

$$\frac{\alpha_h}{\beta_h} = - \left(\frac{L_h}{X_m} \right) \cdot P_o \cdot U_m \quad (9)$$

여기서, α_h / β_h : 재료비용과 손실전력 비용의 기준값

L_h : 손실율 P_o : 요구출력 X_m : 여자 리액턴스

전동기 이용률 U_m 을 0.5 [p.u] 라 할 때, 단상유도전동기 기준효율 (KS)을 49[%] 인 1/4 마력 단상유도전동기의 여자 리액턴스를 전동기로 부터 구하고 재료비용과 손실전력 비용의 기준값을 γ_h^{ref} 라 두면 식 (9)으로부터

$$\gamma_h^{ref} = \left(\frac{\eta-1}{\eta}\right) \left(\frac{P_o}{X_m}\right) U_m \quad (10)$$

이다. 이와 같은 관계를 고려하여 구해진 손실율 기준값 L_h 로부터 이용률에 대한 요구 출력 h 에 대한 최적 효율을 구하면 식 (11)이다.

$$\eta_h = \frac{1}{1 - \left(\frac{X_m}{P_o}\right) \left(\frac{\alpha_h}{\beta_h}\right) \left(\frac{1}{U_m}\right)} \quad (11)$$

여기서, α_h / β_h 는 음수이므로 식 (11)의 분모 부분을 정리하면

$$\eta_h = \frac{1}{1 + \frac{\Delta}{U_m}} \quad (12)$$

이다. 여기서,

$$\Delta = \left(\frac{X_m \gamma_h^{ref}}{P_o}\right)$$

으로 얻어지며, 식 (12)와 같이 Δ 가 고정이라면 이용률 U_m 이 커질수록 효율은 높아짐을 알 수 있다.

4. 적용사례 연구

4.1 전동기의 등가회로 정수 도출 실험

제안한 최적효율 산정기법에 적용하기 위한 등가회로 정수는 참고문헌 [2]~[5]의 실측치와의 비교치를 참고 하였으며, 주어진 실측값을 참고문헌 [5]의 방법으로 단상유도전동기 등가회로 정수를 구하면 다음과 같다.

표 1 단상유도전동기 등가회로 정수

구분 정수 용량	고정자[Ω]		회전자[Ω]		리액턴스 X_m [Ω]
	R_1	X_1	R_2	X_2	
1/4 마력	3.95	3.9499	5.7774	7.8997	58.1524
1/4 마력	3.48	5.316	5.873	9.215	41.993

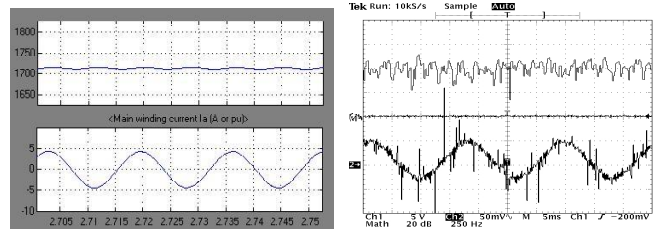
표 1의 결과를 제안한 산정 기법에 적용하여 효율 기준값 (49 [%])로부터 전동기의 이용률에 대하여 0.5[p.u]에서 1.0[p.u] 까지 증가시킨 후 구한 결과를 제시하였다.

4.2 단상유도전동기 등가회로 정수에 대한 시험 결과

실측값을 단상유도전동기 등가회로 정수에 대하여 시뮬레이션한 결과와 실험결과를 비교하여 나타내었다. 시뮬레이션은 MatLab. V7.1로 시행하였으며, 이 결과를 실험치와 비교하기 위하여 1/4마력 단상유도전동기(S.M ELECTRIC Motor)에 대하여 실험을 시행하였다.

표 2 시험용 단상유도전동기 제반사항

항 목	치 수	항 목	치 수
정격출력	0.21 KW, 1/4 마력	극수	4
전 압	220 V	기동방식	컨덴서 기동형
전 류	2.8 A	회전수	1710 rpm
효 율	49 %	주파수	60 Hz

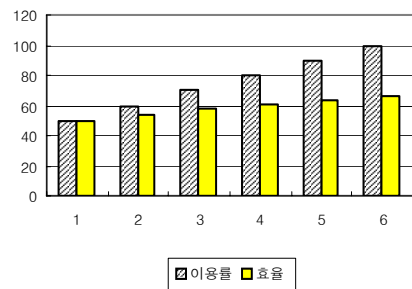


<그림 2> 콘덴서 기동 SIM에 대한 주권선 전류 파형

그림 2와 같이 실험 후 시뮬레이션 결과 주권선 전류의 파형은 일치하며, 회전수도 사양에 비교적 일치하므로 구해진 단상 유도전동기의 회로 정수값으로 채택하기로 한다.

4.3 이용률 변동에 대한 최적효율 산정 결과

단상유도전동기의 측정 시험결과 얻은 데이터를 제안한 이용률에 대한 최적 효율 산정 기법으로 계산하여 결과를 살펴보면 그림 3과 같다.



<그림 3> 단상유도전동기 이용률과 효율 (1/4마력)

그림 3의 결과를 보면 단상 유도전동기(1/4마력) 컨덴서 기동형의 경우에 이용률이 높아질수록 효율은 증가하였으며, 그 증가율은 이용률이 증가함에 따라 둔화되며 재료비용과 손실전력 비용의 상대적 변화율에 따라 변화됨을 알 수 있다.

5. 결론

전동기의 운전에 따른 손실전력비를 줄이기 위해서 효율을 높이면 전동기의 크기가 크게 되어 재료량이 많이 소요되므로 제작비가 증가하게 된다. 이와 같이 재료비와 손실전력비는 반비례 관계를 가지는 반면에 이용률이 높아지면 전력손실 비용이 줄어들게 되므로 전동기 효율과는 비례하는 특성을 가진다.

따라서 상기와 같은 전동기 이용률이 손실 전력비용 감소와 이에 따른 재료비와의 관계를 고려하여 단상유도전동기의 평균수명에 대해 최적의 효율을 산정하는 최적 효율 산정 기법을 1/4마력에 대하여 실험으로 정수를 구하고 제시하였다.

제안한 기법을 적용한 결과 전동기의 이용률이 높은 장소나 현장에서 전동기는 고효율 성능을 확보하여야만 주어진 제반 조건에서 손실전력 비용을 최소화할 수 있다는 결론을 얻었으며, 단상유도전동기의 재료비용과 손실전력비용의 상대적 변화에 따라 최적 효율은 다소 변화하며, 추후 이와 유사한 전동기에 대해 좀 더 정량적이고 다양한 변수를 고려한 최적효율에 대해 접근함으로써 날로 높아져가는 에너지 비용과 재료 비용의 변화에 대한 대처가 필요할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 강규홍, 하경호, 홍정표, 김규택, 정승규, “ 등가회로법과 수치해석의 결합에 의한 콘덴서 구동형 단상 유도전동기의 회로정수 산정 및 특성 해석”, 전기학회논문지, Vol. 49B, No.11, 2000
- [2] 원종수, “콘덴서 런 단상유도전동기의 설계적 고찰 보조권선 및 콘덴서 용량치의 선정”, 전기학회지, Vol. 31, No. 2, 1982
- [3] 오궁렬, “순단상유도전동기의 등가회로와 도식적 특성산정법 및 정수결정에 의한 특성산정법”, 전기학회지, Vol. 22, No. 1, 1973
- [4] 천희영 외, 전기기계, 치정문화사, pp.333- 471, 1971
- [5] E. R. Collins, Jr., P. B. Boyd, “Improved Methods for Determining the Equivalent Circuit Parameters for Single-Phase Induction Motor Models”, IEEE Trans. pp. 390-395, 1993
- [6] 박수강, 백형래, “원칩 마이컴을 이용한 단상유도전동기의 주권선 제어에 관한 연구”, 전기학회 논문지, Vol. 49-B, No. 1, 2000