

Loss Analysis of Three Phase Induction Motor Connected to Single Phase Source

金 度 進[†] · 左 宗 根^{*}
(Do-Jin Kim · Chong-Keun Jwa)

Abstract - This paper analyzes the losses of a Steinmetz connection three-phase induction motor which is supplied by a single-phase source. The T-type equivalent circuit which is taken no-load losses into account is used to determine phase converter capacitive reactances at starting and rated speed by using the condition of the minimum voltage unbalance. The starting and the operating capacitor are replaced at the slip of the same voltage unbalance factor points which are depicted using two capacitive reactances. The operation characteristics are investigated by comparing with those of three-phase balanced operation to find the feasibility of single-phase operation. To analyze the losses of this motor, the output power decrease factor(OPDF), the loss ratio(LR), the no load loss ratio(NLLR), the copper loss ratio(CLR), the stator copper loss ratio(SCLR), and the rotor copper loss ratio(RCLR) are defined and simulated in the whole slip range. The simulated results show that OPDF is maintained almost uniformly, LR is low at low speed and high at high speed, CLR is higher than NLLR, but CLR varies concavely and NLLR varies convexly at high speed, SCLR is low at low speed and high at high speed, but SCLR varies convexly at high speed, and RCLR is nearly opposite to SCLR.

Key Words : Single Phase Operation, Induction Motor, T-Type Equivalent Circuit, Loss Analysis

1. 서 론

3상 유도전동기는 대칭 3상 전압으로 운전되는 것이 정상이지만 부득이 단상전원만으로 공급되는 장소이거나, 3상 운전 중 1상이 결상되는 등의 돌발 상황이 발생하는 경우, 이에 대처하여 단상전원만으로 전압 불평형률을 최소화하여 기동 및 운전토크를 얻어서 3상 유도전동기를 운전하는 경우가 있다.

단상전원에 의해서 3상 유도전동기를 운전할 때 최소의 불평형 전압으로 기동과 운전에 필요한 토크를 얻어 출력을 발생시키기 위한 스타인메츠결선 유도전동기에서는 전원 상에 대하여 앞선 상의 권선단자에 한 개의 커패시터 상변환기를 접속하여 사용하게 된다. 이렇게 단상전원에 의한 불평형 운전을 하는 경우 불평형 전압에 의한 기기의 동작특성 평가가 매우 복잡하게 된다. 고정자 권선전류에서의 영상분과 역상분의 발생으로 인해 이러한 성분들이 미치는 영향은 고정자 권선에 의한 회전자권선의 전압유도, 회전자의 권선전류 그리고 전자기 토크 등에 좋지 않은 영향이 나타나게 된다.

이에 따라, 이 전동기에 대한 연구로 Brown과 Jha[1]는 기동시의 특성을 해석적인 방법으로, Daniels와 Pelly[2]는

궤적도에 의한 도식적인 방법으로 분석하였다. Murthy 등 [3]은 과도특성을 순시치 대칭좌표법을 이용하여 고정자 결선이 와이와 델타의 경우에 대해서 모델링하여 분석하였고, 특정슬립에서 전압 불평형률이 최소가 되는 조건으로 상변환기의 용량성 리액턴스를 구하는 방법을 제시하였다. Oliveira[4]는 전압 불평형률이 0이 되는 슬립과 용량성 리액턴스를 구하는 방법을 보고하였다. Isawi와 Adem[5]은 단상인버터에 의해 운전할 때의 과도 특성을 해석하였다. 또한, 김과 좌는 전압 불평형률이 0이 되는 조건에 의한 용량성 리액턴스로 와이결선 전동기의 특성분석[6], 델타결선에서의 용량성 리액턴스의 세가지 결정방법의 비교[7], 두가지 스타인메츠결선에서의 권선전류 분석[8], 그리고 스타인메츠결선에서 기동과 정격속도에서의 용량성 리액턴스에 의한 특성분석[9] 등을 보고하였다.

이 결선에 의한 자기여자 발전기의 연구로 Bhattacharya와 Woodward[10]는 최대출력을 얻기 위한 방법을, Chan[11]은 스타인메츠결선에서의 운전특성을 보고하였고, Chan과 Lai[12]는 자기여자를 위한 커패시턴스 결정방법을 제시하였다.

그러나 이 전동기들의 연구에서는 모두 무부하 손실이 직접 반영되지 않은 IEEE 권장 등가회로[13]를 사용하여 제반특성을 해석하고 있으며 손실에 대한 분석은 되어 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 단상운전 전동기의 손실분석을 위하여 운전특성 계산시 무부하손실이 계산에 직접 반영될 수 있는 T형 등가회로[14], [15]에 의한 특성계산의 필요성을

[†] 교신저자, 正會員 : 濟州大學校 電氣工學科 博士課程
E-mail: hl4hmx@lycos.co.kr

^{*} 正會員 : 濟州大學校 電氣電子工學部 教授 · 工博
接受日字 : 2008年 4月 2日
最終完了 : 2008年 5月 15日

IEEE 권장 등가회로에 의한 3상 평형운전시의 토크특성과 비교하여 확인한다. 그리고 T형 등가회로를 이용하여 기동과 정격운전속도에서 전압 불평형을 최소화조건에 의해서 구한 두개의 상변환기 용량성 리액턴스로 전압 불평형을 계산하여 두 곡선의 교점에서 기동용과 운전용 용량성 리액턴스를 교체해서 운전특성을 계산하여 3상 평형운전시의 결과와 비교하여 분석하고 운전가능성을 검토한다. 또한 3상 평형운전에 대한 단상운전의 비의 값으로 출력 감소율, 손실비, 그리고 단상운전시 전 손실에 대한 비의 값으로 무부하손비, 동손비, 고정자 동손비, 회전자 동손비를 정의하여 제반손실을 시뮬레이션하여 분석하고자 한다.

2. 해석이론

아래 그림 1은 델타결선 3상 유도전동기를 전원 상에 대하여 앞선 상의 권선단자에 커패시터 상변환기를 접속한 스타인메츠결선을 보인다

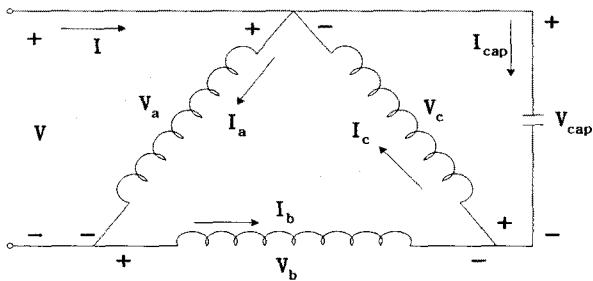


그림 1 단상전원에 접속된 델타결선 3상유도전동기에 대한 스타인메츠결선

Fig. 1 Steinmetz connection for delta connection three-phase induction motor connected to single-phase source

여기서 V 는 입력전압, I 는 입력전류, V_a, V_b, V_c 는 상전압, I_a, I_b, I_c 는 상전류, 그리고 V_{cap} 과 I_{cap} 은 각각 커패시터의 전압과 전류이다.

불평형 상태를 해석하기 위한 전력불변 대칭성분 변환 행렬을 나타내면

$$[C] = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

이 되고, 여기서 변환연산자 $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ 이다.

3상 변수 f_a, f_b, f_c 와 대칭성분 f_z, f_p, f_n 사이의 관계는 아래와 같다.

$$[f]_{abc} = [C][f]_{zpn} \quad (2)$$

여기서,

$$[f]_{abc} = [f_a \ f_b \ f_c]^t \quad (3)$$

$$[f]_{zpn} = [f_z \ f_p \ f_n]^t \quad (4)$$

이고, f_a, f_b, f_c 는 각각 a상, b상, c상 변수이고, f_z, f_p, f_n 은 각각 영상분, 정상분, 그리고 역상분 변수이다.

그림 1의 델타회로에 대한 회로방정식을 세우면

$$V_a = V \quad (5)$$

$$V_{cap} = -V_c = Z_{cap} I_{cap} \quad (6)$$

$$I_{cap} = I_c - I_b \quad (7)$$

여기서 $Z_{cap} (= -jx_c)$ 는 커패시터의 임피던스이다.

이 식들을 사용하여 대칭분 전압과 전류를 대칭성분 변환 행렬을 이용하여 구한다. 델타결선이므로 대칭분 중 영상분은 없고 정상분 전압 V_p 와 역상분 전압 V_n 은

$$V_p = Z_p I_p \quad (8)$$

$$V_n = Z_n I_n \quad (9)$$

이고, 여기서 Z 와 I 는 임피던스와 전류를, 첨자 p 와 n 은 정상분과 역상분을 나타낸다.

회로방정식과 변환행렬을 이용하여 정리하면

$$V_p + V_n = \sqrt{3} V \quad (10)$$

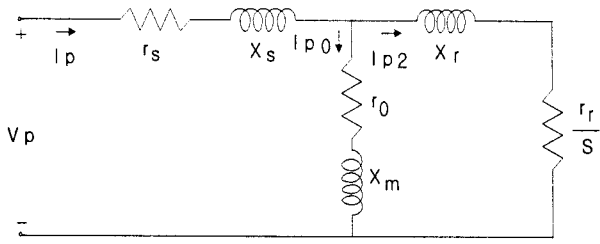
$$-[a - (a^2 - a) \frac{Z_{cap}}{Z_p}] V_p - [a^2 + (a^2 - a) \frac{Z_{cap}}{Z_n}] V_n = 0 \quad (11)$$

이 된다. 식(10)과 식(11)을 정상분 전압 V_p 와 역상분 전압 V_n 에 대하여 풀면 아래 식과 같다.

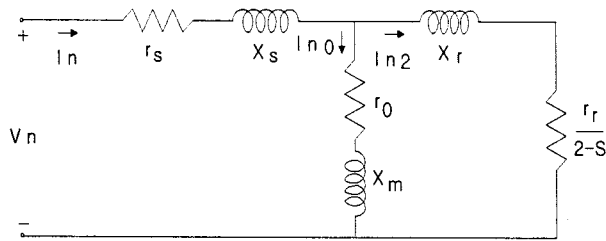
$$V_p = \frac{\sqrt{3} \left(\frac{a^2}{a^2 - a} + \frac{Z_{cap}}{Z_n} \right) V}{1 + \frac{Z_{cap}}{Z_p} + \frac{Z_{cap}}{Z_n}} \quad (12)$$

$$V_n = \frac{-\sqrt{3} \left(\frac{a}{a^2 - a} - \frac{Z_{cap}}{Z_p} \right) V}{1 + \frac{Z_{cap}}{Z_p} + \frac{Z_{cap}}{Z_n}} \quad (13)$$

무부하 손실을 고려한 정상분 등가회로와 역상분 등가 회로를 아래 그림에 보인다.



(a) Positive equivalent circuit



(b) Negative equivalent circuit

그림 2 무부하 손실을 고려한 상당 등가회로 모델

Fig. 2 Per phase equivalent circuit models considered no load loss

그림 2의 등가회로로부터 정상분 임피던스와 역상분 임피던스는

$$Z_p = r_s + jx_s + \frac{(r_0 + jx_m) \cdot (\frac{r_r}{s} + jx_r)}{r_0 + \frac{r_r}{s} + j(x_m + x_r)} \quad (14)$$

$$Z_n = r_s + jx_s + \frac{(r_0 + jx_m) \cdot (\frac{r_r}{2-s} + jx_r)}{r_0 + \frac{r_r}{2-s} + j(x_m + x_r)} \quad (15)$$

이고, 식(12)와 식(13)으로부터 전압 불평형률[16]은 다음과 같다.

$$VUF = \frac{|V_n|}{|V_p|} \quad (16)$$

단상운전시 전압 불평형률을 줄여 운전하기 위한 상변환기 커패시터의 용량성 리액턴스 x_c 를 결정하기 위한 방법으로 식(16)을 사용하여 특정속도에서 전압 불평형률이 최소가 되는 조건식을 이용한다.

$$\frac{d}{dx_c} (|V_n|/|V_p|) = 0 \quad (17)$$

단상운전시 손실을 분석하기 위해 3상 평형운전시의 값을 기준으로 하여 사용된 출력 감소율(OPDF, output power decrease factor), 손실비(LR, loss ratio)는 다음의 식으로 정의한다.

$$\text{출력감소율} = \frac{\text{단상운전시 출력}}{\text{3상 평형운전시 출력}} \quad (18)$$

$$\text{손실비} = \frac{\text{단상운전시 총 손실}}{\text{3상 평형운전시 총 손실}} \quad (19)$$

단상운전시 총 손실을 기준으로 하여 무부하손비(NLLR, no load loss ratio), 동손비(CLR, copper loss ratio), 고정자 동손비(SCLR, stator copper loss ratio), 그리고 회전자 동손비(RCLR, rotor copper loss ratio)를 다음식으로 정의한다.

$$\text{무부하손비} = \frac{\text{단상운전시 무부하손실}}{\text{단상운전시 총 손실}} \quad (20)$$

$$\text{동손비} = \frac{\text{단상운전시 총 동손실}}{\text{단상운전시 총 손실}} \quad (21)$$

$$\text{고정자 동손비} = \frac{\text{단상운전시 고정자 동손실}}{\text{단상운전시 총 손실}} \quad (22)$$

$$\text{회전자 동손비} = \frac{\text{단상운전시 회전자 동손실}}{\text{단상운전시 총 손실}} \quad (23)$$

식(17)의 조건식을 이용하여 특정속도에서의 용량성 리액턴스를 구하고 이를 이용하여 전 슬립범위에 대한 제반 운전 특성을 계산하여 3상 평형운전시와 비교하고, 손실분석을 위한 정의식들을 이용하여 분석한다.

3. 해석결과 및 분석

본 연구에 사용된 전동기는 Lab Volt 사의 정격전압 208/120 [V], 전류 1.3 [A], 출력 175 [W], 주파수 60 [Hz], 회전수 1500 [rpm] 인 4극의 3상 권선형 유도전동기이다.

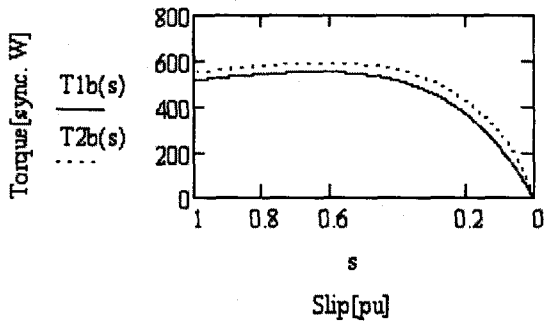
이 전동기의 등가회로 정수로 제작회사에서 제공한 IEEE 권장 T형 등가회로와 측정에 의하여 무부하손실을 고려한 T형 등가회로 정수를 표 1에 정리한다.

표 1 등가회로 정수

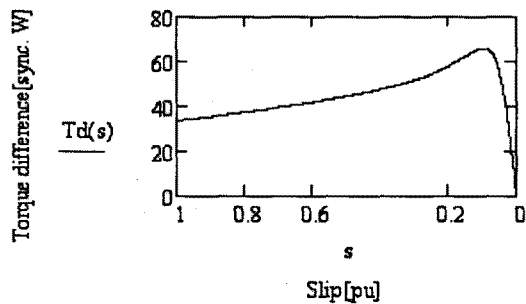
Table 1 Equivalent circuit parameters

Parameter[Ω]	Manufacturer's	Measured
r_s	12.5	12.07
X_s	8.8	10.17
r_r	14.9	14.82
X_r	8.8	10.59
r_0	-	5.92
X_m	180	142.56

표 1의 두가지 등가회로 정수를 사용하여 3상 평형운전시의 토크특성과 두 정수에 의한 토크 차이의 속도에 따른 변화를 시뮬레이션하여 그림 3에 보였고, 그림에서 T1b와 T2b는 각각 측정정수와 제작회사에서 제공한 정수에 의한 토크이고, Td는 T2b와 T1b의 토크차를 나타낸다.



(a) Characteristics computed by measured and manufacturer's data



(b) Torque difference from fig. 3 (a)

그림 3 3상 평형운전시의 속도-토크특성
Fig. 3 Speed-torque characteristics under three phase balance operation

그림 3에서 보듯이 T1b와 T2b의 차가 최소 1.464[sync · W]에서 최대 65.835[sync · W]까지 변화하고 있으며 기동시에 33.649[sync · W], 정격속도에서 60.884[sync · W]의 차를 보이고 있으므로 손실에 대한 분석을 위해서는 무부하손실이 특성 계산에 직접 반영될 수 있는 T형 등가회로를 사용하는 것이 바람직하다.

표 2 최소 전압 불평형률 조건에 의한 x_c 와 C
Table 2 x_c and C computed by minimum voltage unbalance condition

slip	s=1 (at starting)	s=0.167 (at rated speed)
x_c & C		
x_c [Ω]	18.821	54.389
C [μF]	141.008	48.794

특성을 분석하기 위하여 최소 전압 불평형률 조건으로 기동시와 정격속도시의 x_c 값을 초기 추측값($x_c = 15\Omega$)을 적용하여 각각 구하고 이 값을 사용해서 기동용 커패시터는 기동시(s=1)에, 운전용 커패시터는 전압 불평형률이 같은 슬립인 s=0.45에서 교체하여 특성을 계산하였다. 이 때 계산한 상변환기로 사용된 커패시터의 용량성 리액턴스와 커패시턴스를 표 2에 보인다.

표 1의 측정정수와 표 2의 x_c 값을 사용하여 단상전원을 인가하였을 때의 단상운전 특성과 손실을 시뮬레이션하여 분석한다. 이하의 그림에서 특성을 표시하는 문자 뒤의 첨자 b는 평형운전을, u는 단상운전을 나타낸다.

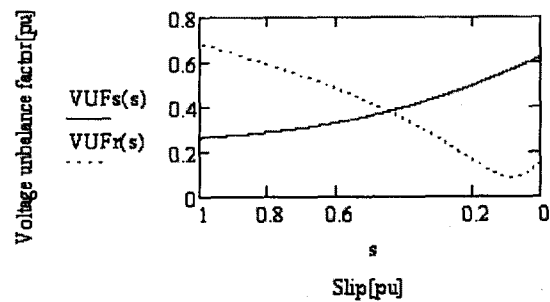


그림 4 전압 불평형률의 변화
Fig. 4 Variation of voltage unbalance factor

그림 4는 전압 불평형률의 변화로 기동시 x_c 에 의한 VUFs(s)와 정격속도시 x_c 에 의한 VUFr(s)의 슬립에 따른 변화를 보이고 있다. 그림에서 슬립 0.45[pu]에서 두 곡선이 교차하고 있으며 전압 불평형률이 0.379[pu]이므로 x_c 를 이 슬립에서 교체하여 운전함으로써 이 전압 불평형률 이하의 값으로 운전할 수 있음을 알 수 있다.

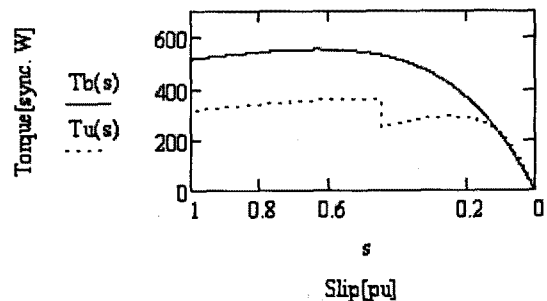


그림 5 토크특성
Fig. 5 Torque characteristics

토크특성을 그림 5에 보인다. 단상운전일 때 기동토크는 312.624[sync · W]로 평형운전일 때의 512.882[sync · W]보다 200.258[sync · W]차이를 보이긴 하지만 정격속도에서는 단상운전일 때와 3상 평형운전일 때가 각각 271.639[sync · W], 321.592[sync · W]로 대략 50[sync · W]정도의 다소 작은 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다.

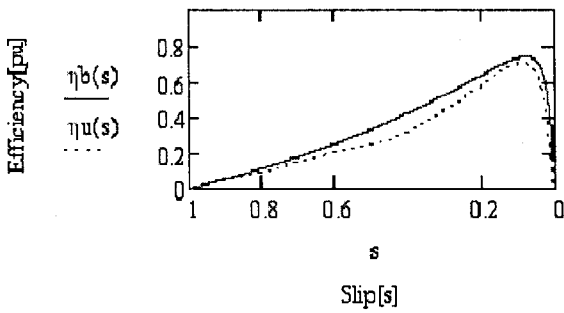


그림 6 효율특성
Fig. 6 Efficiency characteristics

효율특성을 그림 6에 보인다. 효율특성은 평형운전일 때와 단상운전일 때의 차이가 운전용 커패시터 교체 슬립점인 $s=0.45$ 에서 대략 $0.1[pu]$ 정도의 차이가 있고 전체속도범위에서 비슷한 특성을 나타내고 있으며, 정격속도에서 평형운전시 $0.671[pu]$ 이고 단상운전시 $0.628[pu]$ 이다.

이상에서 보듯이 기동토크는 작지만 효율은 크게 감소하지 않으므로 단상운전이 가능함을 알 수 있다.

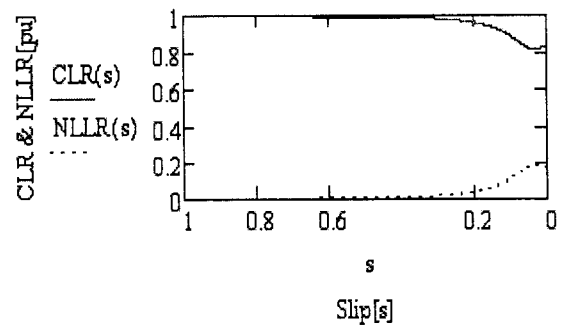
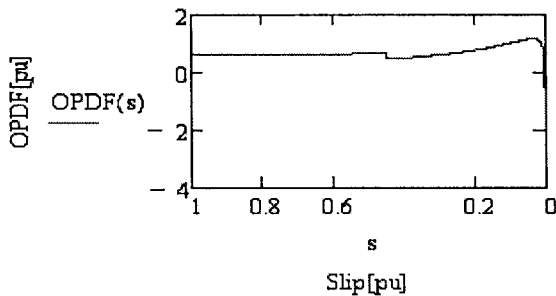
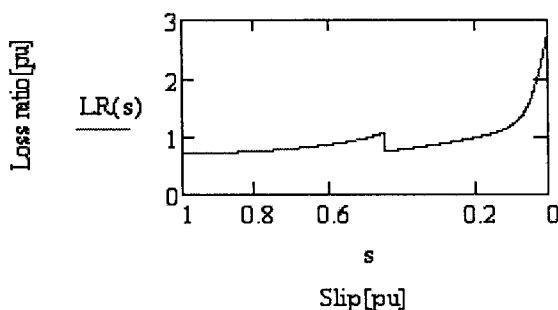


그림 8 무부하손비와 동손비의 변화
Fig. 8 Variation of no load loss ratio and copper loss ratio

그림 8에 무부하손비와 동손비의 변화를 보인다. 무부하손비는 저속에서 낮고 고속에서 위로 불룩한 변화를 하고 있으며 기동시 $0.003[pu]$ 이며 정격속도에서 $0.054[pu]$ 로 높아지고 있다. 동손비는 저속에서 높고 고속에서 아래로 불룩한 변화를 하고 있으며 기동시 $0.997[pu]$ 이고 정격속도에서 $0.946[pu]$ 로 낮아지고 있다.



(a) Output power decrease factor



(b) Loss ratio

그림 7 출력 감소율과 손실비의 변화
Fig. 7 Variation of output power decrease factor and loss ratio

출력 감소율은 그림 7 (a)에 보인다. 그림에서 보듯이 거의 일정한 변화를 하고 있으며 정격속도에서 $0.851[pu]$ 로 유지되고 있다. 손실비는 그림 7 (b)와 같으며 기동시 $0.7[pu]$ 이고 정격속도에서 $1.028[pu]$ 로 저속에서 평형운전시보다 손실이 적고 고속에서는 커지고 있음을 알 수 있다.

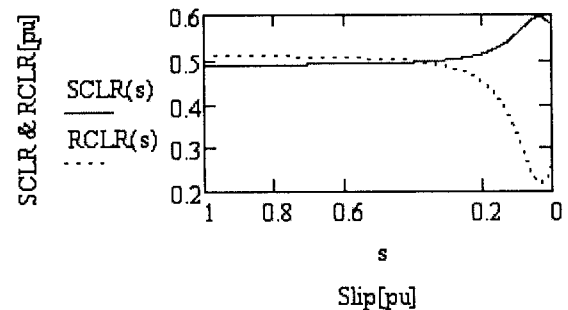


그림 9 고정자 동손비와 회전자 동손비의 변화
Fig. 9 Variation of stator copper loss ratio and rotor copper loss ratio

고정자 동손비와 회전자 동손비의 변화를 그림 9에 보인다. 고정자 동손비는 저속에서 낮고 고속에서 위로 불룩한 변화를 하고 있으며 기동시 $0.487[pu]$ 이며 정격속도시 $0.522[pu]$ 로 변하고 있다. 회전자 동손비는 저속에서 높고 고속에서 아래로 불룩하게 고정자 동손비보다 크게 변화하고 있으며 기동시 $0.522[pu]$ 이고 정격속도시 $0.424[pu]$ 로 변하고 있다.

이상에서 알 수 있듯이 손실분석을 위해서는 무부하손실이 계산에 직접 반영될 수 있는 T형 등가회로를 사용하는 것이 바람직하고 단상운전을 위한 용량성 리액턴스도 기동시와 정격속도시에서 전압 불평형을 최소조건을 사용하여 구한 두개로 기동용과 운전용으로 하여 전압 불평형률이 같게 되는 슬립에서 교체함으로써 운전효율 높일 수 있음을 알았다.

또한, 출력 감소율도 거의 일정하게 유지되고, 손실비는 저속에서 낮고 고속에서 높아지고 있다. 무부하손비 보다 동손비가 더 높으며 고속에서 동손비가 감소하고 무부하손비는 증가하며, 고정자 동손비는 저속에서 낮고 고속에서 높아지고 위로 불룩하게 변화하며, 회전자 동손비는 저속에서 높고 고속에서 낮아지고

좀 더 아래로 불룩하게 변화하고 있음을 알 수 있었다.

4. 결 론

단상전원에 의해서 운전되는 전원 상에 대하여 앞선 상의 권선단자에 상변환기로 하나의 커패시터가 접속된 스타인메츠결선 유도전동기의 운전시 전 슬립범위에서의 손실을 시뮬레이션하여 분석하였다. 분석에 앞서 무부하손실이 직접 계산에 반영될 수 있는 T형 등가회로 사용의 타당성을 검토하였다. 이 T형 등가회로를 사용하여 상변환기의 용량성 리액턴스는 기동용으로 기동시에서, 운전용으로 정격속도에서 각각 전압 불평형률이 최소 되는 조건에서 구하고 각각의 전압 불평형률을 계산하여 전압 불평형률이 같아지는 슬립에서 교체하여 토크와 효율특성을 구하고 평형운전시의 특성과 비교하여 분석한 결과 단상운전의 가능성을 확인하였다. 그리고 출력 감소율, 손실비, 무부하손비, 동손비, 고정자 동손비 그리고 회전자 동손비를 정의하여 손실을 분석하였다.

분석결과, 출력 감소율은 전 슬립범위에서 거의 일정하게 유지되고, 손실비는 저속에서 낮고 고속에서 높아지고 있었다. 무부하손비 보다 동손비가 더 높으며 고속에서 상반된 변화를 하고, 고정자 동손비는 저속에서 낮고 고속에서 높아지고 위로 불룩하게 변화하며, 회전자 동손비는 저속에서 높고 고속에서 낮아지고 좀 더 아래로 불룩하게 변화하고 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] J. E. Brawn and C. S. Jha, The starting of a 3-phase induction motor connected to a single-phase supply system, IEE proc., 106, pt.A, No.26, pp.183-190, 1959.
 [2] A. R. Daniels and B. R. Pelly, A locus diagram to determine the complete starting performance of a 3-phase induction motor connected to a single-phase supply, IEE Proc., Pt.C, No.15, pp.244-249, 1962.
 [3] S. S. Murthy, G. J. Berg, B. Singh, C. S. Jha, and B. P. Singh, Transient analysis of a three phase induction motor with single phase supply, IEEE Trans. PAS, Vol.PAS-102, No.1, pp.28-37, 1983.
 [4] S. E. M. Oliveira, Operation of three-phase induction motors connected to one-phase supply, IEEE Trans. EC, Vol.5, No.4, pp.713-718, 1990.
 [5] S. J. Al-Isawi and A. A. Adem, Dynamic and transient behaviour of a three phase induction motor supplied by one phase inverter, universities power engineering conference, UPEC 2004, 39th International, pp.533-537, 2004.
 [6] 김도진, 좌종근, 단상전원에 접속된 3상 유도전동기의 운전 특성분석(I), 제주대학교 첨단기술 연구소 논문집, 제17권 1호, pp.45-51, 2006.
 [7] 김도진, 좌종근, 스타인메츠결선에서 커패시턴스의 결정, 제주대학교 첨단기술 연구소 논문집, 제17권 2호, pp.57-60, 2006.
 [8] 김도진, 강상수, 좌종근, 스타인메츠결선 유도전동기에

대한 권선전류 분석, 전기학회 제주지부 합동 학술발표회 논문집, 제22집, pp.54-57, 2007.
 [9] 김도진, 좌종근, 단상전원에 접속된 3상 유도전동기의 운전 특성분석(II), 제주대학교 첨단기술 연구소 논문집, 제18권, pp.7-11, 2007.
 [10] J. L. Bhattacharya and J. L. Woodward, Excitation balancing of a self-excited induction generator for maximum power output, IEE Proc., Vol.135, Pt.C, No.2, 1988.
 [11] T. F. Chan, Performance analysis of a three phase induction generator self-excited with a single capacitance, IEEE Trans. EC, Vol.14, No.4, pp.894-900, 1999.
 [12] T. F. Chan and L. L. Lai, Capacitance requirements of a three-phase induction generator self-excited with a single capacitance and supplying a single-phase load, IEEE Trans. EC, Vol.17, No.1, pp.90-94, 2002.
 [13] P. C. Sen, Principles of Electric Machines and Power Electronics, John Wiley & Sons, p.227, 1997.
 [14] T. H. Barton and V. Ahmad, The measurement of induction motor stray loss and its effect on performance, IEE Proc., 105C, pp.69-75, 1957.
 [15] 한국공업규격, 3상 유도전동기의 특성 산정방법, KSC 4201, 1986.
 [16] P. G. Kini, R. C. Basal, and R. S. Aithal, A Novel Approach Toward Interpretation and Application of Voltage Unbalance Factor, IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.54, No.4, pp.2315-2322, 2007.

저 자 소 개



김도진 (金度進)

1973년 4월 9일생. 1999년 제주대학교 전기 공학과 졸업. 2003년 동 대학원 전기 공학과 졸업(석사). 2004~현재 동 대학원 박사과정.
 E-mail : hl4hmx@lycos.co.kr



좌종근 (左宗根)

1970년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1976년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1983~1984 Purdue Univ. visiting scholar. 1979~현재 제주대학교 전기전자 공학부 교수.
 Tel : 064) 754-3671
 Fax : 064) 756-5281
 E-mail : keunjc@cheju.ac.kr