

불평형 전압 인가시 유도전동기 전류 불평형을 계산

김종겸*, 박영진*, 이은웅**, 정종호**, 조현길**, 이종한**, 이동주**
원주대학*, 충남대학**

Calculation of Current Unbalance Factor for Induction Motor under the Unbalanced Voltages

Kim Jong-Gyeum*, Park Young-Jeen*, Eee Eun-Woong**, Jeong Jong-Ho**, Cho Hyun-Gil**, Lee Jong-Hwan**, Lee Dong-Ju**
Wonju National College*, Chungnam National Univ**

Abstract - The current unbalance occurs in an induction motor with the supply of unbalanced voltage. Existence of a current unbalance occurs by various problems at the time of driving by in crease of the noise not to mention output decrease of a motor by increase of a loss.

We confirmed how current unbalance occurred by a voltage unbalance because a slip came to change by the driving situation of a subordinate as for the induction motor. We confirmed that case t o run to a low slip in a ratio of the same voltage unbalance rate brought a high current unbalance rate.

1. 서 론

전기품질의 향상은 기기의 신뢰성 회복을 위해 매우 중요하다. 전기품질의 가장 큰 몫을 차지하는 부분이 전압품질이다. 전압품질의 변화는 전원측 및 부하측에서 발생할 수 있지만 주로 사용하는 부하에 의해 발생하는 현상이 많은 편이다.

수용가의 사용부하는 선형부하에서 전력변환장치와 같은 비선형 부하가 증가하고 있어 전압품질의 변화에 매우 민감하게 반응할 수 있다. 민감한 부하에 전압변동은 시스템의 오동작이나 정확성을 떨어뜨릴 수 있다[1].

우리나라 저압 수용가는 단상 및 3상 부하에 동시에 전원공급이 가능한 3상 4선식 전원공급방식을 많이 사용하고 있다. 이 방식은 변압기 탭크수를 줄일 수 있지만, 선로에 연결된 부하의 전류값이 다를 경우 전압 불평형을 발생시킬 수 있다[1,2].

간선에 연결된 부하는 설계시 일정한 비율로 분배하여 전류 불평형을 최소화시키지만, 부하의 운전변화에 따라 전류값이 달라질 수 있고, 유도전동기와 같은 부하는 전압불평형에 따라 전류값의 변화로 토크 특성이 불안정해진다[2].

본 연구에서는 전압의 변화에 따라 유도전동기의 고정자에 흐르는 전류 변화를 분석하고, 토크값에 어떤 특성변화를 가지는지 확인하였다.

2. 전압 및 전류 불평형을

전압 불평형은 식 1과 같이 정상분(V_1)에 대해 역상분(V_2) 또는 영상분(V_0)의 비율로서 정의하고 있다. 역상분 전압은 대개 회로 내 흐르는 불평형된 부하의 역상분 전류에 의해 주로 발생한다. 영상분을 전압 불평형을 산정에 고려할 경우에는 반드시 3상이 대칭이어야 한다.

$$VUF_1 = \frac{V_2}{V_1} \quad (1)$$

일정기간동안의 전압 불평형을 찾아내기 위해서는 각 상의 선간전압의 크기만으로 계산이 가능한 식 2와 같은 관계식을 이용한다. 식 2는 각 상의 선간전압만 알 경우 전압 불평형을 쉽게 구할 수 있으므로 가장 널리 이용하고 있다[1,2,4].

$$VUF_2 = \sqrt{\frac{1 + \sqrt{3 - 6\gamma}}{1 + \sqrt{3 - 6\gamma}}} \quad (2)$$

식 2에서 γ 는 다음과 같다.

$$\gamma = \frac{|V_{ab}|^4 + |V_{bc}|^4 + |V_{ca}|^4}{(|V_{ab}|^2 + |V_{bc}|^2 + |V_{ca}|^2)^2}$$

식 2는 측정된 전압값을 대칭좌표법에 의한 해석이 필요하지만 식 2의 경우 측정된 값을 현장에서 바로 결과를 알 수 있기 때문에 편리하며, 식 1과 동일한 결과를 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서도 측정된 결과의 분석에는 식 2와 같은 방법으로 진행하였다.

전류 불평형은 각상에 흐르는 전류를 식 3과 같이 구하면 쉽게 찾아낼 수 있다.

$$CUF = \frac{A - \sqrt{3A^2 - 6B}}{\sqrt{6B - 2A^2}} \quad (3)$$

식 3에서 A와 B는 다음과 같다.

$$A = I_a^2 + I_b^2 + I_c^2, \quad B = I_a^4 + I_b^4 + I_c^4$$

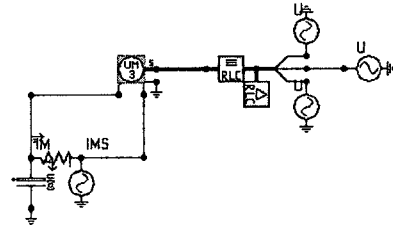
3. 시뮬레이션 및 분석

유도전동기는 현장에서 널리 사용되는 동력부하로서 부하의 효율적인 속도제어를 하고 있다. 부하운전상황에 따라 슬립이 변동할 때 전압 불평형이 연계될 경우 어떤 특성변화를 나타내는지 확인하기 위해 전자계과도해석프로그램(EMTP)을 이용하였다. 표 1은 본 연구에서 사용한 유도전동기의 파라미터를 나타낸 것이다.

<표 1> 유도전동기 사양

parameter	220[V], 4p, 3HP 60%
stator resistance, r_s	0.816[Ω]
rotor resistance, r_r	0.435[Ω]
stator leakage inductance, L_{ls}	0.002[H]
rotor leakage inductance, L_{lr}	0.002[H]
mutual inductance, L_m	0.0603[H]
Inertia moment, J	0.089[kg·m ²]
Friction coefficient, B	0.0089[Nm·s]

그림 1은 본 연구에 적용된 해석모델을 나타낸 것으로서 전압 불평형의 변화를 나타내기 위해 전압원은 상별로 따라 사용하였다.



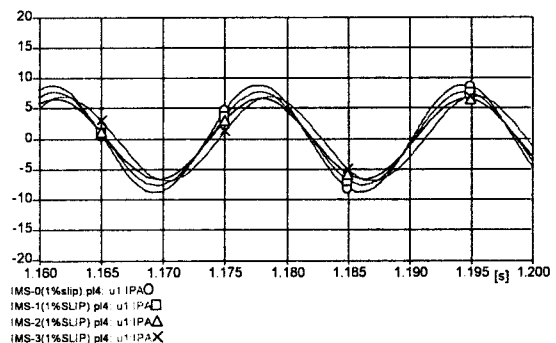
<그림 1> 해석 모델

표 2는 그림 1과 같은 계통에 인가되는 전압의 불평형의 크기를 나타낸 것으로서 3상 대칭성분으로 산정하여 계산한 것이다.

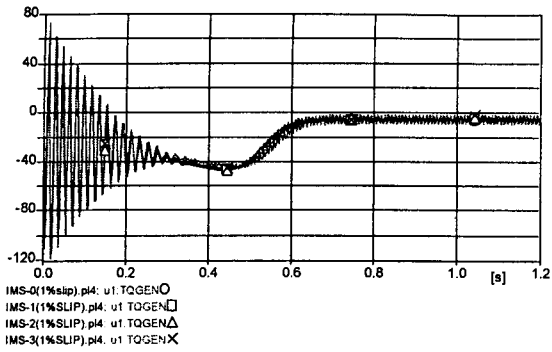
<표 2> 전압크기에 따른 불평형률의 비교

V_a	V_b	V_c	VUF[%]
127.0∠0°	127.0∠240°	127.0∠120°	0
122.0∠0°	125.0∠240°	126.2∠120°	1
119.92∠0°	126.80∠240°	127.90∠120°	2
117.0∠0°	119.5∠240°	129.0∠120°	3

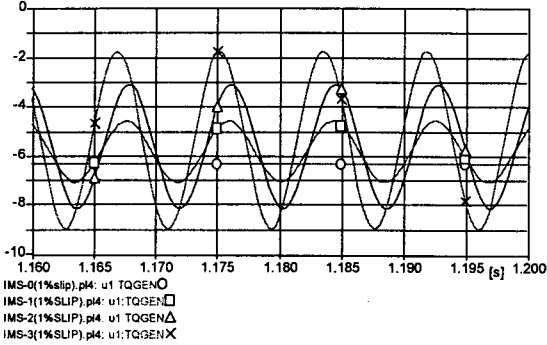
그림 2는 1% 슬립 운전시 전압 불평형률에 따른 유도전동기 전류 및 토크의 변화를 나타낸 것이다.



1% 슬립시 전압 불평형률 변화에 고정자 한상 전류



(a) 1% 슬립에서 전압 불평형을 변화에 따른 토크

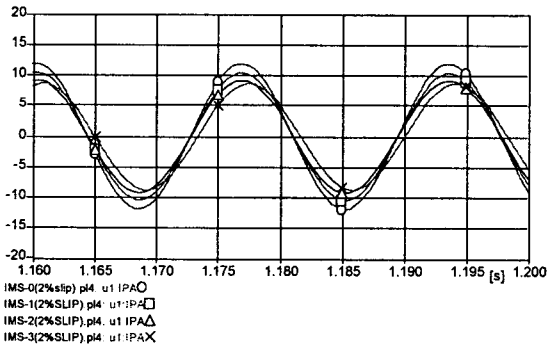


(b) 그림 (a)의 정상상태 토크 곡선

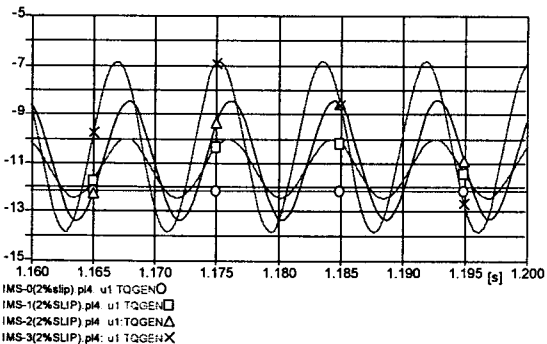
<그림2> 1% 슬립 운전시 전압불평형에 따른 전류/토크 곡선

그림 2에서와 같이 전압불평형율이 높아질 경우 토크 맥동이 증가하여 소음은 물론 베어링의 마모를 높일 수 있다.

그림 3과 4는 슬립을 2와 3%로 설정하고서 전압 불평형율을 변화시킨 경우에 대한 전류 및 토크특성 변화를 나타낸 것이다. 같은 슬립에서 전압불평형율의 증가시 전류파형에서 약간의 고조파 성분이 존재하고 있으며, 전류값에도 약간의 크기증가를 확인할 수 있다. 따라서 토크값도 함께 증가함을 확인할 수 있다. 같은 전압불평형율에 대해 슬립의 변동시 토크값은 증가하지만 토크 맥동의 크기는 변화가 없음을 확인할 수 있다.

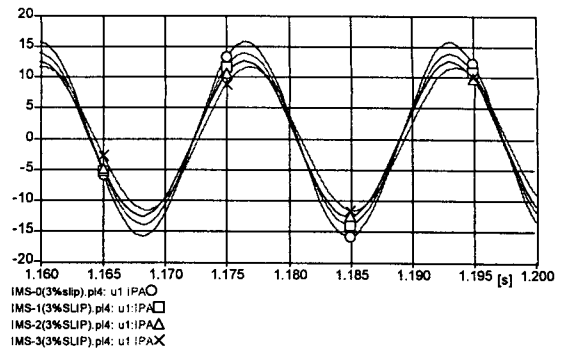


(a) 2% 슬립시 전압 불평형을 변화에 고정자 한상 전류

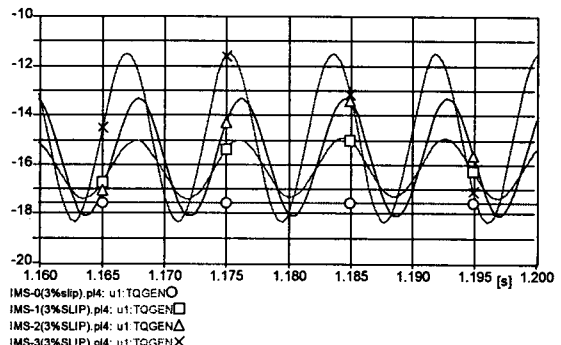


(b) 정상상태 토크 곡선

<그림3> 2% 슬립 운전시 전압불평형에 따른 전류/토크 곡선



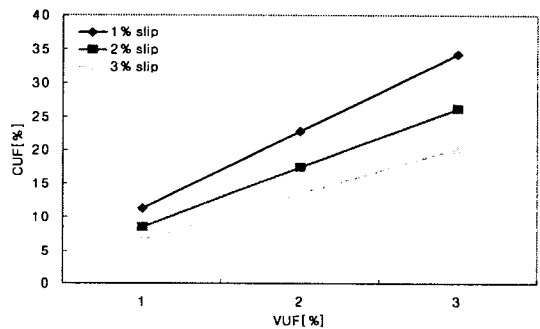
(a) 3% 슬립시 전압 불평형을 변화에 고정자 한상 전류



(b) 정상상태 토크 곡선

<그림4> 3% 슬립 운전시 전압불평형에 따른 전류/토크 곡선

그림 5는 슬립과 전압불평형율의 변화시 전류불평형율은 그림 2-4와 같은 전류값의 최대값을 찾아 식 (3)으로 계산하여 분석한 결과이다.



<그림 5> 전압 불평형율에 따른 전류 불평형율

그림 5에서와 같이 전압 불평형율이 증가함에 따라 전류 불평형율은 선형적으로 증가한다. 슬립의 변화시 전류 불평형율은 높은 슬립보다는 낮은 슬립 운전시 전류 불평형율이 높다는 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

전압 불평형율이 높아짐에 따라 전류 불평형율은 선형적인 증가를 나타내고, 동일 전압 불평형율에서 슬립이 낮은 쪽이 높은 전류 불평형율을 발생함을 확인하였다. 또한 동일 전압 불평형율 조건에서 슬립의 증가시 토크의 크기는 높아지나 맥동성분의 크기는 일정함도 확인할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김종겸, 박영진, 이은웅, "3상 4선식 수용가의 전압불평형율 측정 분석", 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회, pp.43-47, 2004. 5
- [2] 김종겸, 박영진, 정중호, 이은웅, "불평형 전압운전시 유도전동기의 동작특성 해석", 대한전기학회 논문지(B), 제53권 6호, pp.372-379, 2004. 6