

회전속도 변화에 따른 유도기 무효전력 계산

김종겸*, 박영진*, 김일중**, 김영국[§]
 강릉원주대*, 호서대**, K-Water[§]

Voltage & power of condenser by series connection of condenser-reactor under the voltage unbalance

Jong-Gyeum Kim*, Young-Jeen Park*, Il-Jung Kim**, Sung-Hun Kim***, Young-Guk Kim[§]
 Gangneung-wonju Univ*, Ho-seo Univ**, Kong-ju Univ***, K-Water

Abstract - 3상 유도기는 동기속도 이하에서 운전할 경우 전동기로 동작하지만, 동기속도 이상의 운전할 경우 발전기 동작이 가능하여 소수력과 같이 소용량의 설비에 종종 적용하고 있다. 전동기로 사용할 경우 대부분 부하가 일정하기 때문에 문제가 되지 않지만, 발전기로 사용할 경우 부하 변동에 따라 회전수가 달라져 발생전압의 변화가 높은 편이고, 회전자계를 발생하기 위해 필요한 무효전력도 전동기와 발전기로 사용할 경우 공급 포 인트가 달라진다.

본 연구에서는 유도기를 전동기로 사용하는 경우와 발전기로 사용하는 경우 회전속도 변화에 따라 회전자계를 발생시키는 필요한 자화전류와 무효전력을 일반적으로 규정하고 있는 범위에 들어가는지를 계산을 통해 확인하였다.

1. 서 론

유도전동기는 산업현장에서 구동력 전원으로 가장 널리 사용되는 있다. 또한 유도전동기는 필요에 따라 소수력과 같은 설비에는 회전속도를 동기속도 이상으로 운전할 경우 발전기로도 사용이 가능하다.

발전기는 전동기와 달리 동기 속도 이상에서 운전하므로 제작상에서 특성이 고려된 설계 제작이 이루어져야 하지만, 수요가 많지 않아 전동기를 그래도 발전기로 사용하는 경우가 종종 사용되는 경우가 있다. 이와 같은 상황에서 전동기를 발전기로 사용할 경우 부하의 변동에 따라 발전기 출력전압을 일정하기 유지하기 위해 회전수를 달리하여 운전하여야 한다.

회전속도를 동기속도 이상 또는 이하가 되도록 하는데 슬립이 존재한다. 전동기의 고정자에 전원을 공급하여 고정자가 동기속도로 유지하기 위해서는 자화전류가 필요하다.

유도기는 회전자계를 발생하기 위해 자화전류가 필요하다. 이 자화전류는 여자전류로서 전동기의 출력으로 변환되는 유효전력 외 무효전력이 필요하다.

본 연구에서는 전동기와 발전기로 운전하는 경우 슬립의 변화에 따라 회전자계를 발생시키는데 필요한 자화전류의 크기를 계산하고, 무효전력과의 관계를 해석하였다.

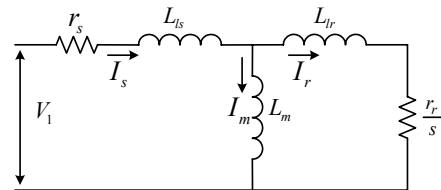
2. 자화전류와 전력

2.1 자화전류

그림 1은 유도기의 단상 등가회로를 나타낸 것이다. 유도전동기의 경우 고정자에 인가된 전류에 의해 회전자계를 발생하기 위해 자화전류가 필요하고 출력은 회전자 전류가 그 몫을 담당하게 된다[1-5]. 같은 정격의 기기라도 슬립에 따라 고정자에 인가되는 전력과 고정자에서 발생하는 전력에는 차이가 존재한다. 따라서 고정자와 회전자 전류의 변화에 따라 자화전류도 약간의 변화가 존재한다.

유도기의 경우 부하가 증가함에 따라 고정자 전류가 증가하므로 전압강하가 발생한다. 그림 1에서 고정자 전압강하를 뺀 전동기의 자화전압을 V_m 이라고 할 경우 자화전류는 다음과 같다.

$$I_m = \frac{V_m}{j\omega L_m} [A] \tag{1}$$



<그림 1> 유도기 등가회로

자화전류는 기기 파라미터를 알 경우 슬립의 변화에 따라 계산이 가능하다. 이 전류로부터 무효전력을 얻을 수 있다.

2.2 전력

회전자계를 발생시키는데 필요한 전력은 무효전력성분이고, 출력으로 변화되는 성분은 손실을 제외하고는 유효전력성분이 담당한다.

3상 유도기의 유효 및 무효전력은 피상전력(S)으로부터 각각 식 (2) 및 (3)으로 구할 수 있다.

$$P = Re(S) \tag{2}$$

$$Q = Im(S) \tag{3}$$

식 (2)에서의 유효전력의 부호가 (+)일 경우 기계적인 출력으로 전달되는 것을 의미하지만, 부하가 (-)가 되는 것은 발전기 단자에서 전력이 전동기와 달리 고정자를 통해 부하에 전력을 공급하는 것으로서 전동기와 반대되는 개념으로 유출되는 것을 의미하고, 식 (3)의 무효전력의 부호는 (+)가 되는 것은 고정자 단자로 전력이 공급되는 것을 의미한다.

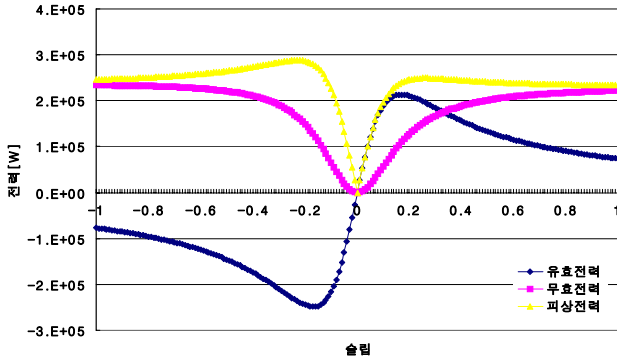
3. 시뮬레이션

해석에 사용된 유도기의 사양은 표 1과 같다. 이 유도기를 슬립의 변화에 따라 자화전류 및 전력의 변화를 해석하였다.

<표 1> 유도기 사양

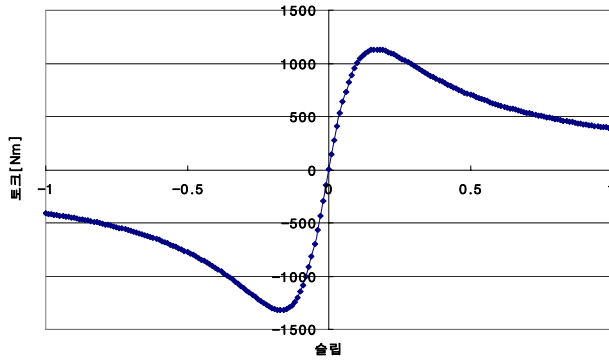
| parameter | 380[V], 4p, 100HP |
|-------------------------------------|-------------------|
| stator resistance, r_s | 0.024136[Ω] |
| rotor resistance, r_r | 0.048039[Ω] |
| stator leakage inductance, L_{ls} | 0.000389[H] |
| rotor leakage inductance, L_{lr} | 0.000389[H] |
| mutual inductance, L_m | 0.007813[H] |
| power factor | 0.8 |
| efficiency | 0.95 |
| slip | 3% |

그림 2는 발전기와 전동기로 운전할 경우에서 슬립에 따른 전력변화를 나타낸 것이다. 전동기로 운전할 경우 유효전력(◇)은 정(+)값을 나타내지만, 발전기로 운전할 경우 출력전력인 유효전력(◇)은 전동기와 반대로 부(-)값을 나타내고 있다. 회전자계를 발생하는데 필요한 무효전력(□)은 전동기로 운전하는 경우보다 발전기로 운전하는 경우 더 높은 값을 나타냄을 알 수 있다. 유도기에서 필요한 피상전력(Δ)의 경우 전동기로 운전하는 영역에서보다 발전기로 운전하는 영역에서 더 높은 값이 필요함을 알 수 있다.



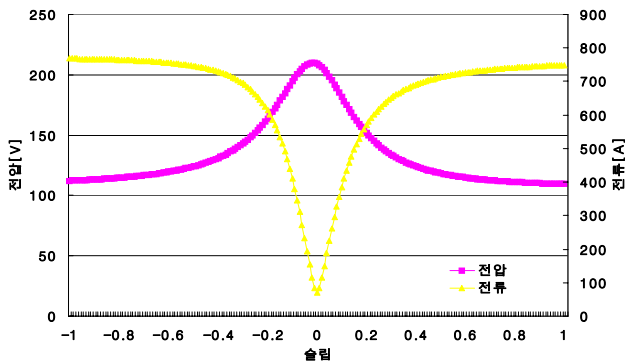
〈그림 2〉 유효전력, 무효전력, 피상전력

다음 그림 3은 전동기와 발전기로 운전 가능한 영역에서의 토크 특성을 나타낸 것이다. 전동기의 정동토크와 발전기의 push-over 토크값은 서로 다르다. 그러나 실제 운전할 수 있는 낮은 슬립값에서의 값에는 큰 차이가 없다.



〈그림 3〉 토크

다음 그림 4는 발전기와 전동기로 운전할 경우 전압 및 전류의 관계를 나타낸 것이다. 운전시 전류값은 기동시 또는 제동 영역에 가까운 영역보다 낮은 값을 유지함을 알 수 있다. 전류의 크기는 전동기로 운전하는 경우보다 발전기로 운전하는 경우에서 약간 높으며, 전압의 경우도 발전기와 마찬가지로 정격속도 가까운 영역에서 약간 높은 값을 나타낸다.



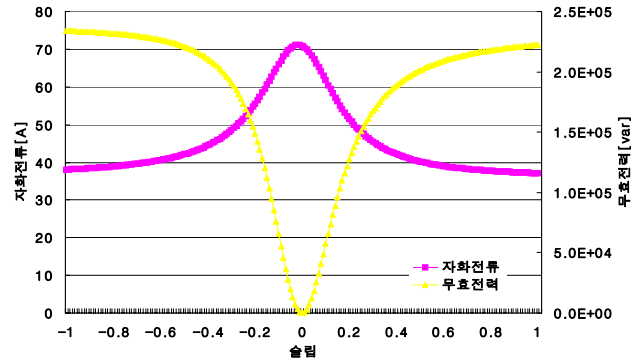
〈그림 4〉 전압 및 전류

기동시의 높은 전류에 비해 전압은 낮지만, 정격운전영역에 가까워질수록 반대로 전압은 높고, 전류는 낮은 비율이 됨을 알 수 있다.

자화전류는 실제로 전동기의 출력에는 관여하지 않지만, 회전하는데 필요한 자속을 발생시키는데 필요한 역할을 하는 것으로서 전동기를 여자시키는데 필요한 자화전류는 정격 전부하 전류의 20~60% 범위이다 [?].

그림 4는 전동기 및 발전기로 운전하는 영역에서의 자화전류와 무효전력의 관계를 나타낸 것이다. 발전기로 운전할 경우의

자화전류 및 무효전력이 전동기로 운전할 경우보다 약간 높은 값을 나타내고 있다. 전동기의 경우 기동시 자화전류는 낮지만, 정격운전에 가까운 영역에서는 전류가 증가하지만 무효전력도 전류의 변화와 반대로 정격운전에서는 낮은 값을 필요로 한다.



〈그림 5〉 자화전류 및 무효전력

여기서 슬립이 $\pm 3\%$ 운전시에는 자화전류는 정격전류의 46%로 일반적으로 규정하고 있는 허용 범위내에서 운전함을 확인할 수 있다. 그러나 슬립의 $\pm 1\%$ 에서는 84%로서 허용범위를 초과하게 된다.

커패시터는 유도성 부하인 전동기의 역률을 95%까지 향상시키는데 필요한 요소로서 자화전류의 80%까지 공급하고 있다. 여기서는 약 68%로써 일반적으로 규정하고 있는 허용범위 이내에 들어감을 확인하였다. 그러나 역률을 좀 더 높이기 위해 사용되는 커패시터가 과여자될 경우 커패시터에 역효과를 초래할 수도 있다.

4. 결론

본 연구에서는 유도전동기를 유도발전기로 운전할 경우 자화전류 및 전력의 변화를 해석하였다. 해석결과 전동기로 운전할 경우보다 발전기로 운전할 경우 자화전류 및 무효전력은 값이 약간 높게 나타남을 확인할 수 있었다.

[참고 문헌]

- [1] Charles I. Hubert, "Electric Machines-Theory, Operation, Applications, Adjustment and Control", Prentice Haul, 2002
- [2] Theodore Wild I, "Electrical Machines, Drives, and Power Systems", Prentice Haul, 2002
- [3] M. Godoy Simoes & Felix A. Farret, "Renewable Energy Systems-Design and Analysis with Induction Generators", CRC Press, 2004
- [4] 김종겸 외 3인, "불평형 전압 운전시 유도전동기의 동작특성 해석", 대한전기학회 논문지, Vol.53B, No.6, pp.372-379, 2004. 06
- [5] 김종겸, "불평형 부하 운전시 3상 유도발전기 특성 해석", 대한전기학회 논문지, Vol.56P, No.3, pp.123-128, 2007. 09