

# 권선형유도발전기의 CVCF발전을 위한 2차여자제어법에 관한 연구

## A Study on the 2nd Excitation for CVCF Generation of Doubly-fed Induction Generator

安 珍 雨\* · 黃 煥 文\*\*  
(Jin-Woo Ahn · Young-Moon Hwang)

**Abstract** - This paper deals with the control strategy for the constant voltage, constant frequency (CVCF) generation of doubly - fed induction generator. Since induction machine is a nonlinear and multivariable one, the influential factors for CVCF generation of induction generator are the magnitude of output voltage, load current and its power factor, slip of the machine, etc. To get appropriate control scheme and study the effect of its parameters, the control equation of induction machine is derived and tested. The simulation and test results show that suggested equation and control system are very useful strategy for the CVCF control of induction generator.

### 1. 서 론

풍력, 소수력, 조력등과 같이 일정한 회전속도를 유지하기 어려운 동력원에서 전기적 에너지를 얻는 장치로 유도발전기가 그 효용성을 인정받고 있다. 유도기의 발전기로서의 동작은 유지보수가 간단하고 별도의 여자시스템을 부과하지 않아도 되어 자립형으로 구성이 가능하기 때문이다.

그러나 유도기는 근본적으로 비선형다변수함수이며 전압, 주파수 및 무효전력의 제어능력이 없

기 때문에 여자에 필요한 여자전류를 연결된 계통에서 공급받아야 하며, 정주파수, 정전압이 요구되는 상용전원으로서의 조건을 만족시키기 위해서는 복잡한 제어과정을 거쳐야 하고, 신뢰성 및 실용성의 측면에서도 검토의 여지가 많이 남아있는 실정이다. [1, 2, 3]

유도기의 발전기로서의 동작은 타여식과 자여식으로 나뉜다. 타여식은 계통과 연결되어 있는 경우로, 전동기로 동작하고 있는 유도기를 외력으로 동기속도 이상으로 회전시키면 슬립은 음의 값이 되고 기계적 입력은 전기적 출력으로 변한다. 이때 여자전류는 전원에서 공급되므로 전원없이 는 발전기로 동작할 수 없음을 알 수 있다. 이에비해 자여식은 전원과 독립되어 운전하는 방식으로, 농

\*正 會 員 : 巨濟專門大 電氣科 助教授  
\*\*正 會 員 : 釜山大 工大 電氣工學科 教授 · 工博  
接受日字 : 1991年 1月 10日  
1次修正 : 1991年 6月 21日

형 유도기에 공진현상을 이용하는 방식과 권선형 유도기에 회전자 여자방식의 케환회로를 구성하는 방식이 있다. 타어식 유도 발전기의 단자에 콘덴서를 부착하면 역률이 개선된다. 이때 콘덴서 값을 증가시키면 유도발전기의 무부하 여자 용량보다 커져 콘덴서에서 생기는 무효전력에 의해 발전기가 자기여자하여 발전기를 계통에서 분리시켜도 전압은 발생하므로 자여자 발전기로 동작시킬 수 있다. 이것은 유도기의 자화리액턴스와 외부에 연결된 콘덴서의 공진현상으로도 설명할 수 있다. 즉, 계통에서 공급되어야 할 여자전류를 0이 되도록 하는 동작점에서 운전되는 것을 의미하며, 전력의 수수와 여자가 전기자를 통해 동시에 일어나야 하는 농형의 경우는 이러한 특정조건을 충족시키기가 매우 어렵다.

그러므로 이 경우 출력전압과 주파수는 회전자의 회전속도, 콘덴서의 용량 및 여자회로의 포화 특성에 따라 변동하고, 출력전압을 바로 상용전원으로 사용하기에는 부적합하며 이를 전력변환장치로 재조정해야하는 번거로움이 생긴다. 권선형 유도기의 경우는 복수입출력이므로 여자의 조절이 보다 쉽다. 권선형유도기에 케환회로를 구성하고 여자전력을 조정하면 속도 및 역률을 조정할 수 있다. 즉 무부하로 운전하는 유도전동기의 회전자에 유기전압과 동상의 전압을 가하면 두 전압의 평행점에서 운전한다. 이때 외부에서 기계력을 가하여 회전수를 올리면 유도발전기로 동작한다. 또 여자전압의 위상을 조정하면 역률도 조정할 수 있다.

이상에는 유도기를 상용발전기로 동작시키는 과정을 보면 기계적 원동력에 의해 회전하는 회전자(계자)는 전원의 주파수(동기속도)보다 늦든지 빠르든지 할 것이다. 늦은 경우는 회전방향과 같게, 빠른 경우는 회전방향과 반대되게, 계자에 슬립주파수의 전류를 흘려주면 동기기와 마찬가지로 전기적으로는 동기속도로 회전하는 계자가 된다. 그러므로 전기자 권선에는 회전자계의 속도에 비례하는 전압이 발생 할 것이다. 이때 계자에 인가한 전압의 크기와 슬립주파수, 부하의 크기와 역률, 공극자속의 포화의 정도에 따라 출력 전압의 크기가 변할 것이다. 즉, 유도발전기의 경우, 동기속도로 회전하는 회전자제를 발생시키기 위해서는 계자의 회전속도와 동기속도와와의 차인 슬립주파수 전압을 인가해야 한다. 그러므로 회전자회로의 임피던스가 회전자의 회전속도에 따라 변하게 되고, 여자상태를 제어하기 위해서는 즉, 출력전압을 제어하기 위해서는 슬립을 고려한 여자전압을 제어

에 인가해야 한다. 또한 부하가 인가되면 전기자 전류에 의한 전기자 전압강화분도 보상해야 할 것이다. 이와 같이 유도발전기의 제어는 많은 조건에 따라 출력전압이 바뀌므로 상용으로 사용하기에는 부적절하다고 알려져 있으나 여자상태를 일위적으로 제어할 수 있는 여자조건식을 구할 수 있다면 유도발전기를 보다 효과적으로 제어하여 상용발전기로 사용할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 유도발전기의 원리를 검토하여 이를 일반화된 원리로 설명하였다. 또한 발전기의 제어를 위해 유도기를 벡터 표현법으로 나타내고 이 방정식을 토대로 일정 전압, 일정 주파수 발전을 위해 유도기를 벡터 표현법으로 나타내고 이 방정식을 토대로 일정 전압, 일정 주파수 발전을 위한 여자조건식을 이용하여 유도발전기의 정상상태 특성을 해석하였다.

## 2. 권선형 유도발전기의 제어 방정식

유도기가 전동기 또는 발전기로 동작하는 것은 에너지의 흐름이 변하는 것이지 기계의 특성이나 등가회로가 변하는 것은 아니다. 그러므로 일반적으로 이용되는 유도기의 표현식을 이용하여 제어 방정식을 유도해야 할 것이다.

해석을 단순화하기 위해, 고정자 및 회전자의 권선은 대칭으로 분포되어 있고 그러므로 MMF의 분포가 정현적이라 가정한다. 또 철손과 슬롯의 단부효과도 무시한다. 전력변환장치를 사용하는 경우 전력변환장치의 출력과 정류작용으로 인한 과도상태에 포함된 고조파성분은 무시하고 해석을 행한다. 일반적으로 고정자측을 기준으로한 권선형 유도기의 쇄교자속은 식(1)과 (2)로 표현된다.

$$\bar{\Phi}_s = L_s \bar{i}_s + M \bar{i}_r e^{j\omega t} \tag{1}$$

$$\bar{\Phi}_r e^{j\omega t} = M \bar{i}_s + L_r \bar{i}_r e^{j\omega t} \tag{2}$$

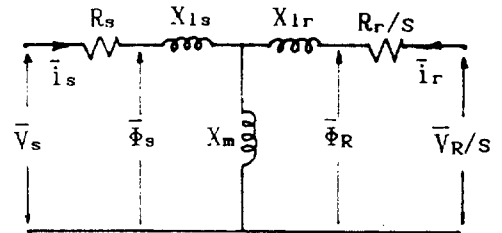


그림 1 유도기의 등가회로  
Fig. 1 Equivalent circuit of induction machine

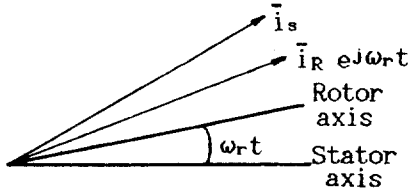


그림 2 고정자축을 기준한 전류벡터  
Fig. 2 Current vector in stator coordinate

여기서

- $\bar{\phi}_s$  : 고정자 총 쇄교자속
- $\bar{\phi}_r$  : 회전자 총 쇄교자속
- $L_s$  : 고정자 자기 인덕턴스
- $L_r$  : 회전자 자기 인덕턴스
- $M$  : 상호 인덕턴스
- $\omega_r$  : 회전자 각 속도
- $\bar{i}_s$  : 고정자 전류벡터
- $\bar{i}_r$  : 회전자 전류벡터

이다.

그러므로 유도기의 전압방정식은 다음과 같이 된다.

$$\bar{V}_s = R_s \bar{i}_s + L_s \frac{d}{dt} \bar{i}_s + M \frac{d}{dt} (\bar{i}_r e^{j\omega_r t}) \quad (3)$$

$$\bar{V}_r = R_r \bar{i}_r + L_r \frac{d}{dt} \bar{i}_r + M \frac{d}{dt} (\bar{i}_s e^{-j\omega_r t}) \quad (4)$$

여기서

- $\bar{V}_s$  : 고정자 전압벡터
- $\bar{V}_r$  : 회전자 전압벡터
- $R_s$  : 고정자 저항
- $R_r$  : 회전자 저항

이다.

유도발전기는 무부하 상태에서나 부하 상태에서도 항상 일정한 단자전압을 유지해야 한다. 이 전압을  $V_s$ 라 한다. 회전자 여자전압은 두 성분으로 나눌 수 있다. 무부하일때 일정 고정자단자전압을 위한 회전자 여자전압  $\bar{V}_{r0}$ 와 부하상태에서 일정 고정자전압을 유지하기 위한 부가적인 회전자 여자전압  $\bar{V}_{RE}$ 로 나눌 수 있다.

이 전압에 의한 전류를  $\bar{i}_{r0}$ 와  $\bar{i}_{RE}$ 라 한다.

즉,

$$\bar{V}_r = \bar{V}_{r0} + \bar{V}_{RE} \quad (5)$$

$$\bar{i}_r = \bar{i}_{r0} + \bar{i}_{RE} \quad (6)$$

이다. 이상의 조건을 이용하여 유도기의 CVCF발전을 위한 제어조건을 유도해보면,

i) 무부하 조건

발전기의 출력단에 부하가 연결되지 않으면 부하전류가 흐르지 않는다. 즉,  $i_s=0$ 인 경우이다. 이 조건을 식(3)과 식(4)에 대입하면

$$\bar{V}_s = M \frac{d}{dt} (\bar{i}_{r0} e^{j\omega_r t}) \quad (7)$$

$$\bar{V}_{r0} = R_r \bar{i}_{r0} + L_r \frac{d}{dt} \bar{i}_{r0} \quad (8)$$

와 같이 된다.

ii) 부하조건

발전기의 출력단에 부하가 연결되면  $i_s \neq 0$ 인 경우이다. 즉, 식(3)과 (4)에서

$$\bar{V}_s = R_s \bar{i}_s + L_s \frac{d}{dt} \bar{i}_s + M \frac{d}{dt} \bar{i}_{RE} e^{j\omega_r t} \quad (9)$$

$$\bar{V}_r = R_r \bar{i}_r + L_r \frac{d}{dt} \bar{i}_r + M \frac{d}{dt} (\bar{i}_s e^{-j\omega_r t}) \quad (10)$$

식(9)와 (10)으로 쓸 수 있고 식(7)과 (8)의 조건을 대입하면

$$0 = R_s \bar{i}_s + L_s \frac{d}{dt} \bar{i}_s + M \frac{d}{dt} (\bar{i}_{RE} e^{j\omega_r t}) \quad (11)$$

$$\bar{V}_{RE} = R_r \bar{i}_{RE} + L_r \frac{d}{dt} \bar{i}_{RE} + M \frac{d}{dt} (\bar{i}_s e^{-j\omega_r t}) \quad (12)$$

와 같이 된다.  $\bar{V}_{r0}$ 는 식(13)과 같이 쓸 수 있으므로

$$\bar{V}_{r0} = V_{r0} e^{j\omega_s t} \text{라 하면} \quad (13)$$

여기서 S : 슬립

$\omega_s$  : 고정자 전압의 각속도

이 값을 식(8)에 대입하면  $\bar{i}_{r0}$ 를 구할 수 있다.

$$V_{r0} e^{j\omega_s t} = R_r \bar{i}_{r0} + L_r \frac{d}{dt} \bar{i}_{r0} \quad (14)$$

$$\bar{i}_{r0} = (V_{r0} / |Z_r|) e^{j(\omega_s t - \theta_r)} \quad (15)$$

여기서

$$|Z_r| = \sqrt{R_r^2 + (sX_r)^2} \quad (16)$$

$$\theta_r = \tan^{-1}(sX_r / R_r) \quad (17)$$

이다.  $\bar{V}_s$ 를 구하기 위해 식(15)를 식(7)에 대입하면

$$\bar{V}_s = M \frac{d}{dt} [V_{r0} / |Z_r| e^{j(\omega_s t - \theta_r + \omega_r t)}] \quad (18)$$

$$= (X_m / |Z_r|) V_{r0} e^{j(\omega_s t - \theta_r + \pi/2)}$$

$\bar{V}_s$ 는 식(18)과 같이 된다. 여기서  $X_m$ 은  $\omega_s \cdot L$ 으로 자화리액턴스이다. 이 식에서 고정전압  $\bar{V}_s$ 는 일정한 주파수  $\omega_s$ 를 가짐을 알 수 있다. 그러

나 그 크기 ( $X_m/|Z_R|$ )  $V_R$ 을 살펴보면  $X_m$ 과  $Z_R$ 은 슬립과 자화리액턴스의 포화에 따라 그 크기가 변하게 된다. 그러므로 상용발전기의 조건이 되기 위해서는  $V_R$ 값을 조정해야 할 것이다. 즉 여자전압  $\bar{V}_R$ 의 크기는

$$V_R = V_s |Z_R| / X_m \quad (19)$$

와 같이 되어야 한다.

즉,

$$\bar{V}_{R0} = (V_s |Z_R| / X_m) e^{js\omega t} \quad (20)$$

$$\bar{i}_{R0} = (V_R / X_m) e^{j(s\omega t - \theta_r)} \quad (21)$$

$$\bar{V}_s = V_s e^{j(\omega t - \theta_r + \pi/2)} \quad (22)$$

로 표시된다.

$\bar{V}_s$ 는 일정하기 때문에 고정자전류는 부하에 따라 변한다. 연결된 부하가 지상역률이면,

$$\bar{V}_s = R_L \bar{i}_s + L_L \frac{d}{dt} \bar{i}_s \quad (23)$$

에 식 (22)를 대입하면

$$V_s e^{j(\omega t - \theta_r + \pi/2)} = R_L \bar{i}_s + L_L \frac{d}{dt} \bar{i}_s \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \bar{i}_s &= (V_s / |Z_L|) e^{j(\omega t - \theta_r - \theta_L + \pi/2)} \\ &= I_s e^{j(\omega t - \theta_r - \theta_L + \pi/2)} \end{aligned} \quad (25)$$

여기서

$$|Z_L| = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \quad (26)$$

$$\theta_L = \tan^{-1}(X_L / R_L) \quad (27)$$

이다. 식 (11)로 부터  $\bar{i}_{RE}$ 를 구하면

$$\bar{i}_{RE} = (|Z_s| / X_m) \cdot I_s \cdot e^{j(s\omega t - \theta_r - \theta_s + \theta_s)} \quad (28)$$

여기서

$$|Z_s| = \sqrt{R_s^2 + X_s^2} \quad (29)$$

$$\theta_s = \tan^{-1}(X_s / R_s) \quad (30)$$

식 (28)과 같이 된다. 식 (25), (28)을 식 (12)에 대입하여  $\bar{V}_{RE}$ 를 구해보면

$$\begin{aligned} \bar{V}_{RE} &= (|Z_s| |Z_R| / X_m) \cdot I_s \cdot e^{j(s\omega t - \theta_L + \theta_s)} \\ &\quad + s \cdot X_m \cdot I_s \cdot e^{j(s\omega t \theta_r - \theta_L - \pi)} \end{aligned} \quad (31)$$

식 (31)과 같이 된다. 그러므로 이상에서  $\bar{i}_R$ 과  $\bar{V}_R$ 은

$$\begin{aligned} \bar{i}_R &= \bar{i}_{R0} + \bar{i}_{RE} \\ &= (V_s / X_m) e^{j(s\omega t - \theta_r)} + (|Z_s| / X_m) \\ &\quad I_s e^{j(s\omega t - \theta_r - \theta_L + \theta_s)} \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} \bar{V}_R &= \bar{V}_{R0} + \bar{V}_{RE} \\ &= (|Z_R| / X_m) V_s \cdot e^{js\omega t} + (|Z_s| |Z_R| / X_m) I_s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\cdot e^{j(s\omega t - \theta_L + \theta_s)} + s \cdot X_m I_s \\ &\cdot e^{j(s\omega t - \theta_r - \theta_L - \pi)} \end{aligned} \quad (33)$$

와 같이 된다. 결국 권선형 유도발전기의 여자조건식 (32), (33)은 부하에 무관하게 항상 일정한 단자전압을 유지하기 위한 전류 또는 전압의 주파수와 크기 및 위상을 나타낸다. 여자전류식 (32)를 검토해보면 첫째항은 무부하시의 전압형성조건으로 그 크기는  $V_s / X_m$ 으로 정해지는데  $X_m$ 은  $V_s$ 의 함수이므로  $X_m$ 과  $V_s$ 의 비선형적 특성이 이값의 크기에 큰 영향을 준다. 둘째항은 부하시 일정 전압을 유지하기 위한 항으로 그 크기가 부하전류에 비례한다. 여자전류의 주파수는 슬립주파수로 나타나는 것은 당연하며 위상각은 고정자 및 회전자 시정수에 따라 변하는데 이는 여자전류의 주파수가 슬립에 따라 변하기 때문이다. 동기기의 경우 직류를 인가하기 때문에 시정수의 영향을 받지 않는 것과 비교하면 제어가 복잡하다.

### 3. 정상상태 특성해석

앞 절에서 제안한 유도발전기의 CVCF 여자조건을 이용하여 정상상태 특성을 검토하기 위해 전산기시물레이션을 행했다. 실행순서는 그림 3에 나타내었다.

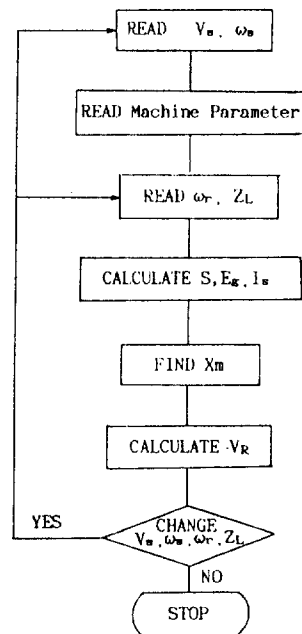
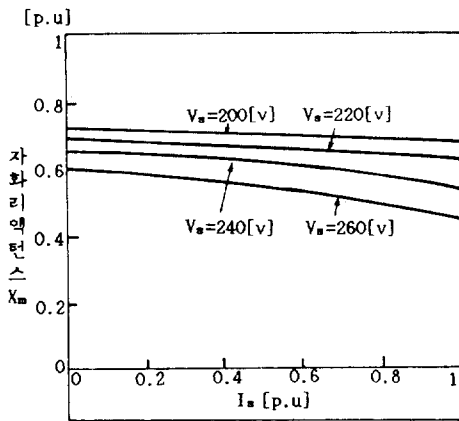


그림 3 시물레이션 흐름도  
Fig. 3 Simulation flow chart

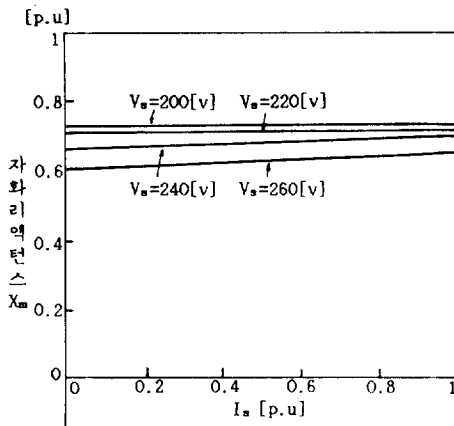
발전기 출력 전압  $V_s$ 의 크기와 주파수  $\omega_s$ 를 설정하고 유도기의 정수값을 정한다. 원동기의 회전 속도  $\omega_r$ 와 부하  $Z_L$ 이 정해지면 슬립  $S$ 와 부하전류  $I_s$ 가 계산되고, 등가회로를 이용하면 공극전압  $E_g$ 를 계산할 수 있다. 이 값에서 자화리액턴스  $X_m$ 를 구할 수 있으며  $X_m$ 이 구해지면 앞절에서 구한  $V_R$ 을 계산하게 되며, 설정값  $V_s$ ,  $\omega_s$ 나  $\omega_r$ ,  $Z_L$ 을 변화시키면서 정상상태 특성을 검토한다. 시뮬레이션에 사용한 기기의 정수와 자화리액턴스 곡선은 부록 1에 있다.

**3.1 부하에 따른 자화리액턴스의 변화**

유도기가 전동기로 동작하는 경우는 고정자누설



**그림 4** 부하에 따른 여자리액턴스(역률 0.6Lead)  
**Fig. 4** Magnetizing reactance due to load change ( $pf=0.6Lead$ )

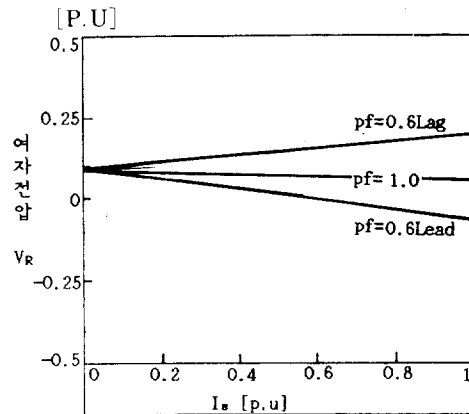


**그림 5** 부하에 따른 자화리액턴스(역률 0.6Lag)  
**Fig. 5** Magnetizing reactance due to load change ( $pf=0.6Lag$ )

임피던스의 영향으로 공극전압이 단자전압보다 항상 낮게 된다. 그러나 발전기로 동작하는 경우는 일위적으로 정할 수 없으며 부하의 특성에 따라 달라진다. 즉, 지상역률의 부하가 연결된 경우는 부하의 증가에 따라 공극전압이 단자전압보다 높으나, 진상역률의 부하가 연결되면 오히려 공극전압이 낮아진다. 자화리액턴스의 크기는 공극전압-자화리액턴스의 관계에서 구할 수 있으며, 그림 4와 5는 부하에 따른 자화리액턴스를 나타낸 것으로 출력전압이 높을 수록 부하가 클 수록, 부하의 역률이 낮을 수록(지상역률인 경우) 자화리액턴스의 포화는 심화된다.

**3.2 부하와 슬립에 따른 여자전압의 변화**

부하와 슬립에 따른 여자전압이 크기를 계산한 것이 그림 6과 7이다. 그림 6에서 지상역률의 부하일때는 부하가 증가함에 따라 여자전압이 비례하여 증가하나 진상역률일때는 오히려 감소하는데 이는 동기기의 합성곡선(Compound Curve)과 유사한 특성이다. 그러나 동기와는 달리 유도기에서는 여자전압의 크기뿐만 아니라 극성도 부하의 특성에 따라 변한다. 즉, 진상역률의 부하인 경우는 여자전압이 음이 되는 구간이 생기는데 이것은 유도발전기가 필요로 하는 무효전력을 부하측에서 충분히 공급하기 때문에 전력흐름의 방향이 바뀌는 경우이다. 그림 7에서 슬립이 작을수록 여자전압이 작은 것은 슬립이 전압 증폭률로 작용하기 때문이다. 또한, 슬립이 커지면 여자전압이 과도하게 커지므로 실용구간을 설정할 필요가 있을 것이다.



**그림 6** 부하에 따른 여자전압(슬립 0.1)  
**Fig. 6** Excitation voltage due to load change (slip =0.1)

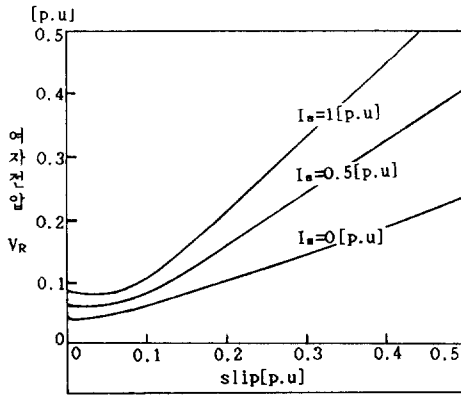


그림 7 슬립에 따른 여자전압(역률=0.8Lag)  
 Fig. 7 Excitation voltage due to slip change ( $pf=0.8Lag$ )

3.3 슬립에 따른 위상각의 변화

슬립에 따른 여자전압의 위상각을 출력전압을 기준으로 나타낸 것이 그림 8이다. 유도발전기는 동기발전기와 달리 슬립이 있어 이것은 전압의 크기 뿐만 아니라 위상각에도 영향을 미친다. 즉 여자전압이 교류이므로 여자전압의 주파수에 따라 여자회로의 시정수가 변하므로 부하각도 변하게 된다. 부하의 역률에 따른 무효전력의 공급양도 위상각에 영향을 미친다. 여기서 위상각이 양이면 여자전압이 뒤지는 경우를 의미한다. 유도발전기가 공급해야 할 무효전력량은 부하의 크기에 따라 크게 변하지 않았으므로 역률과 슬립에 따른 영향이 훨씬 크게 된다.

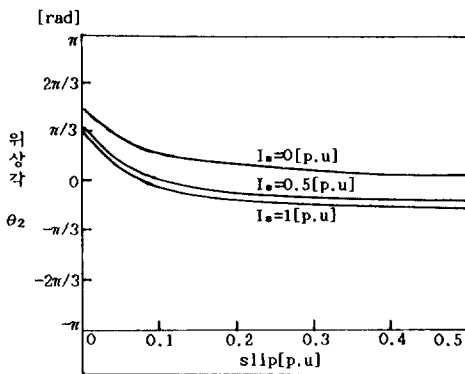


그림 8 슬립에 따른 위상각(역률 0.6Lag)  
 Fig. 8 Phase angle due to slip change ( $pf=0.6Lag$ )

3.4 기계정수의 변화에 따른 출력전압의 변화

유도발전기의 일정전압, 일정주파수제어에서 주파수제어루우프는 비교적 간단하나 일정전압제어루우프는 다변수, 비선형의 특성을 가짐을 알았다. 특히 유도발전기의 정수는 상수 또는 공극전압의 함수로만 주어져 있으며, 온도등으로 인한 정수의 변화도 고려하지 않았다. 그러나 기계정수의 변화도 출력전압에 영향을 미치므로 기계의 정수값이 10% 변했을 때 출력전압의 영향을 살펴보았다. 그림 9은 여자리액턴스의 변화가 출력전압에 미치는 영향을 살펴본 것이다. 지상역률인 경우는 부하가 커질수록 자화리액턴스의 변화에 따

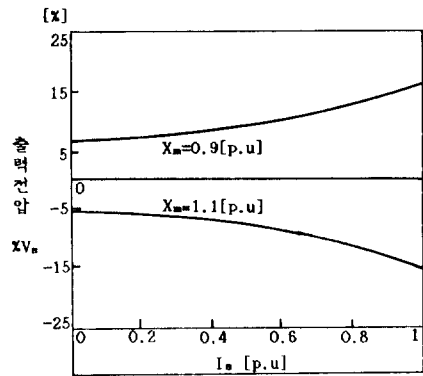


그림 9 자화리액턴스 변화가 출력전압에 미치는 영향  
 Fig. 9 Output voltage's variation due to magnetizing reactance's variation

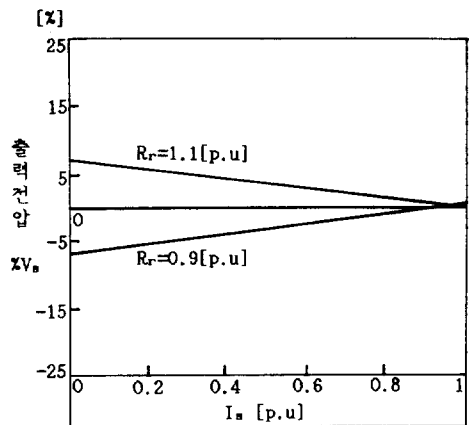


그림 10 회전자저항의 변화가 출력전압에 미치는 영향  
 Fig. 10 Output voltage's variation due to rotor resistance's variation

른 영향이 커지나 역률이 1 이거나 진상인 경우는 부하에 무관하게 일정한 오차를 유지한다. 이것은 기기가 자화리액턴스의 포화점 부근에서 동작시키도록 설계되어 있는데 지상인 경우 더욱 포화영역에서 동작하므로 출력전압의 변화가 크게 된다.

그러나 진상인 경우는 부하가 커짐에 따라 오히려 포화의 범위를 벗어나 오차는 거의 일정해진다. 그러므로 이 영향을 줄이려면 발전기의 설계 사양을 전동기와는 다르게 할 필요가 있다. 회전자 저항의 변화에 따른 영향은 그림 10에 나타내었는데 회전자저항은 부하가 적을 수록 영향이 커지는 데 이는 이 값이 무부하여자전압 항에서는 주영향요소로 작용하나 부하여자전압에서는 그 영향이 적어지기 때문이다. 그의 고정자 저항이나 고정자 및 회전자 누설 리액턴스의 변화는 출력전압에 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있었다.

#### 4. 실험 및 결과

유도기의 발전방식에는 자여식과 타여식이 있다. 전원과 독립되어 발전할 수 있는 자여식이 보다 바람직한 방식이나, 본 연구에서는 여자조건식을 제안하고 이의 타당성을 검토하는 범위로 한정하였으므로 여자전원을 외부에서 공급하는 타여식을 채택하여 실험을 행했다.

앞 절에서 제안한 일정전압 일정주파수발전을 위한 여자식을 연산하는 제어시스템을 그림 11과 같이 구성하였다. 연산부는 복잡한 식의 연산을 위해 마이크로프로세서를 이용하였으며 전력변환부는 PWM인버터를 사용하였다. 설정된 출력전압  $V_s^*$ 와 주파수  $\omega_s^*$  부하의 상에 따라 공극전압을 계산하여 자화리액턴스  $X_m$ 의 값을 얻는다. 여기서 사용한 기기의 정수와 자화리액턴스 특성은 부록 1에 있다. 유도발전기의 각 정수값과 검출된 전기량인 출력전압  $V_s$ , 부하전류  $I_s$ , 회전속도  $\omega_r$ 를 이용하여 여자전류값  $I_{RO}$ 와  $I_{RE}$ 를 연산하고 이를 축 및 상변환하여 전력변환기로 보낸다.

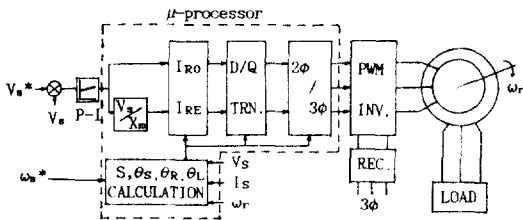


그림 11 유도발전기 제어시스템  
Fig. 11 Induction generator control system

그림 12의 (a)는 필터가 없을 시 발전기의 출력 전압과 전류파형, (b)는  $L=2mH, C=9\mu F$ 의 필터를 발전기 출력단자에 삽입하였을 때의 출력전압과 전류파형을 보인 것이다. 또한, 그림 13는

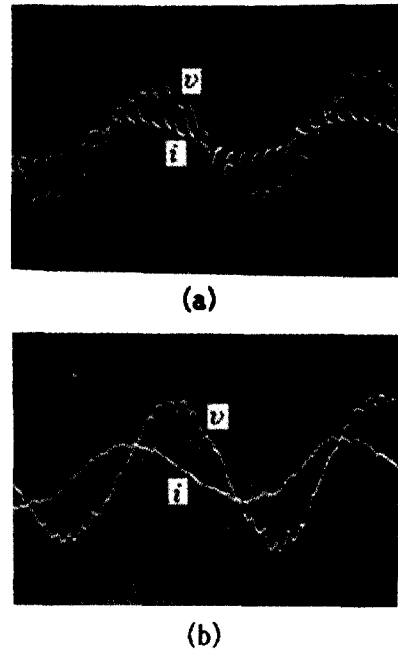


그림 12 출력전압과 전류파형 (100V/Div, 5A/Div, 3ms/Div)  
(a) 필터 없을시  
(b) L-C 필터 사용시 ( $L=2mH, C=9\mu F$ )  
Fig. 12 Output voltage and current (100V/Div, 5 A/Div, 3ms/Div)  
(a) without filter  
(b) with L-C filter ( $L=2mH, C=9\mu F$ )

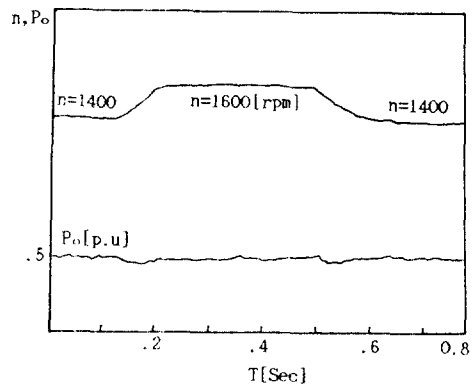


그림 13 속도변화에 따른 출력의 변화  
Fig. 13 Output variation due to speed change

속도변화시 출력의 변화를 살펴본 것으로 속도변화에 다소 영향을 받음을 알수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 유도발전기 CVCF발전을 위한 2차여자제어법을 제안하였다. 제안한 여자조건식을 이용하여 정상상태특성과 기기정수의 변화에 따른 영향을 검토하였으며, 또한 제어시스템을 구성하여 이론의 타당성을 보였다.

제어시 자화리액턴스와 회전자저항값의 정확한 산정이 요구되었으며 특히 자화리액턴스의 포화로 인한 영향을 완화하기 위해 기기의 실제사양을 변경할 필요가 있다. 즉, 발전기에서는 전동기와는 다른 기준으로 자기회도를 설계해야 할 것이다.

앞으로 자여자시스템을 구성하는 것과 과도특성을 해석하여 안정도 측면을 고려해야 할 것이다.

부록 1. 유도기의 상수

3상 4극, 1.1[kw], 220[V], 5[A]  
 $R_s=1.48[\Omega], R_r=3.02[\Omega],$   
 $X_{ls}=X_{lr}=3.27[\Omega]$   
 $X_m=C_4E_g^4+C_3E_g^3+C_2E_g^2+C_1E_g+C_0[\Omega]$   
 $E_g \geq 70[V]$   
 $X_m=37.1 \quad E_g < 70[V]$

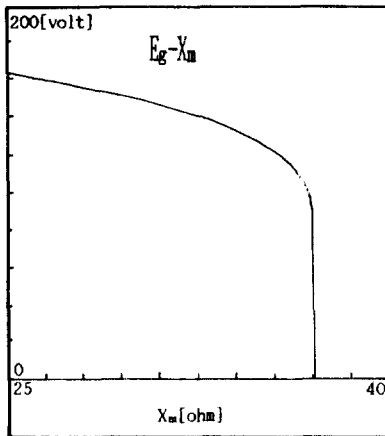


그림 14 자화리액턴스 곡선  
 Fig. 14 Magnetizing reactance curve

단,  $C_4=-3.63 \times 10^{-8}, C_3=-4.9 \times 10^{-6},$   
 $C_2=2.50 \times 10^{-3}$   
 $C_1=-2.34 \times 10^{-1}, C_0=43.8$

참 고 문 헌

- [1] J.E. Barkle, R.W. Ferguson, "Induction Generator Theory and Application" AIEE. Feb. pp. 12~19, 1954
- [2] R.E. Bedford, "The Synchronous double-fed Induction Machine." AIEE. Feb. pp. 1456~1491, 1957
- [3] M. Riaz, "Energy-Conversion Properties of Induction Machine in Variable-speed Constant-frequency Generation System." AIEE. Trans. Mar. pp. 25~30, 1959
- [4] F.J. Brady, "A Mathematical Model for the Doubly-fed Wound Rotor Generator." IEEE PAS-103, No. 4, pp. 798~802, 1984.
- [5] W. Leonhard, "Control of AC-machines with the Help of Microelectronics." IEEE. Micro-computer Control of Power Electronics and Drives. pp. 33~356, 1987
- [6] S.S. Murthy, O.P. Malik. A.K. Tandon, "Analysis of Self-exited Induction Generator." IEEE Proc. Vol. 129 No. 6, 260~265, 1982
- [7] G. Raina, O.P. Malik, "Wind Energy Conversion Using a Self-exited Induction Generator." IEEE PAS-102, pp. 3933~3936, 1983
- [8] J.A. Melkebeck, D.W. Novotny, "Steady State Modelling of Regeneration and Self-excitation in Induction Machines." IEEE PAS-102, pp. 2725~2733, 1983
- [9] L. Ouazene, G. Mcpherson, "Analysis of Isolated Induction Generator. IEEE PAS-102, No. 8, Aug. pp. 2793~2798, 1983
- [10] T. Irida, S. Takta, R. Ueda, "Dynamic Performance of Self-exited Induction Generator with Voltage Controller." IEEE. IA. Vol. 2, pp. 508~513, 1980
- [11] 안진우, 황영문, "권선형 유도발전기 CVCF를 위한 2차여자 제어법에 관한 연구(II)", 대한전기학회 추계 학술대회 논문집 pp. 45~48, 1990