

# 무효전력 보상을 포함하는 새로운 회전형 변압기 계통 연계 시스템

## New VFT Grid-Connection System Including Reactive Power Compensation

오 정 식\*, 박 태 식\*, 김 성 환\*, 곽 노 홍\*, 박 장 현\*

Jeong-Sik Oh\*, Tae-Sik Park\*, Sung-Hwan Kim\*, No-Hong Kwak\*, Jang-Hyun Park\*

### Abstract

The back-to-back HVDC asynchronous grid interconnect technology has problems of high harmonic generation, high cost, and low scalability. To solve this problem, research on asynchronous grid interconnect technology using VFT is actively being conducted. However, the reactive power due to the inductance component of the VFT is generated, and the problem of additional installation of the reactive power compensating facility is inevitably generated. Therefore, in this paper, we aim to solve the reactive power compensation problem of existing VFT by designing rectifier AC-DC converter, which is an essential element of the asynchronous grid connection system using VFT, to compensate reactive power as well as active power supply. The performance was verified through simulation.

### 요 약

Back-to Back HVDC 방식을 사용한 비동기 계통연계 기술은 고조파 발생, 높은 비용 및 낮은 확장성의 문제를 가지고 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위하여 회전형 변압기를 이용한 비동기 계통 연계 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 회전형 변압기의 인덕턴스 성분으로 인한 무효전력이 발생되고 별도의 무효전력 보상설비의 추가 설치에 대한 문제가 필연적으로 발생된다. 따라서 본 논문에서는 회전형 변압기를 사용한 비동기 계통 연계 시스템의 필수요소인 정류용 AC-DC 컨버터를 유효전력 공급뿐만 아니라 무효전력을 보상할 수 있도록 설계함으로써 기존의 회전형 변압기의 무효전력 보상 문제를 해결하고자 하며, 제안된 방식은 시뮬레이션을 통해 성능을 검증하였다.

*Key words* : Grid-Connection, VFT, AC-DC Conversion, Reactive Power, WRIM

\* Dept. of Electrical and control Engineering,  
Mokpo National University

★ Corresponding author

E-mail : ferdinet105@naver.com, Tel : 061-450-2465

※ Acknowledgment

This research was supported by Korea Electric Power Corporation(Grant number : R18XA06-60).

Manuscript received Mar. 8, 2019; revised Mar. 16, 2019; accepted Mar. 25, 2019.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

전기 기술이 고도화되면서 산업뿐만 아니라 일반 가정에서도 다양한 전기 에너지원 제품 사용이 증가하며 전력소요량이 급증하였다. 급증하는 전력소요량을 충족시키기 위해서는 발전설비들의 신설이 필수적으로 요구되지만 최근 파리기후변화협약에 의한 신재생에너지원 증가, 정부의 탈원전 정책 등의 제한사항에 의해서 근본적인 전력공급 문제 해소에 큰 어려움을 겪고 있다. 전력공급량 증대에 관한 다양한 연구가 국내에서 진행되어 왔으나 기

술적, 경제적 한계로 인하여 괄목할만한 성과를 이루지 못하였다. 그 중에서 국가 간 계통연계를 통해 전력을 주고받는 슈퍼그리드에 관한 연구가 주목할 만하다.

그러나 국가 간 계통연계는 정격 전압 및 주파수 등이 서로 다르기 때문에 AC 전력을 DC 전력으로 변환하였다가 다시 AC 전력으로 변환하는 Back-to-Back 방식의 비동기 계통연계 기술을 사용하여야 한다. Back-to-Back 방식은 비동기 계통연계가 가능하다는 장점이 있으나 전력전자 설비를 사용함으로써 고조파 발생, 용량에 따라 크기가 비례하여 증가하는 컨버터 스테이션의 크기와 초기 설치 비용이 가장 큰 제한사항으로 여겨지고 있다[1].

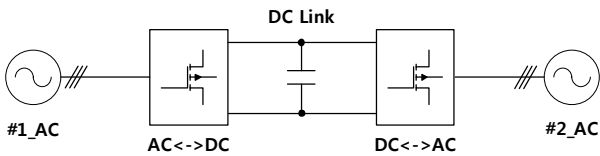


Fig. 1. Grid-Connection using Back-to-Back Method.  
그림 1. Back-to-Back 방식을 통한 계통 연계

2000년 대 후반부터 ABB, Siemens 등에서 회전형 변압기(Variable Frequency Transformer, VFT)를 이용한 비동기 계통연계에 대한 다양한 연구를 진행하였으며 실제 미국-캐나다 간, 미국-멕시코 간 계통연계의 실증단지가 건설되어 운영되고 있다[4]. 회전형 변압기는 권선형 유도전동기 형태로 구성되어 있어 로터 권선과 스테이터 권선에 각각 송전 계통과 수전 계통이 연결되어 계통 간 정격전압 및 주파수의 차이만큼 로터를 회전하여 연계를 수행한다. 뿐만 아니라 회전형 변압기의 로터의 회전 방향 및 로터의 위치에 따라 원하는 주파수로의 가변 및 양방향 전력 전송이 가능하다는 장점을 보유하고 있다.

그러나, 회전형 변압기는 Back-to-Back 방식에 비해 회전기기를 사용하기 때문에 위상 차이에 의한 무효전력이 필연적으로 발생하게 된다[5]. 정류기 및 인버터를 사용하는 Back-to-Back 방식은 고조파 함유에 따른 주파수 왜곡이 필연적으로 발생하므로 스테이션에 주파수 왜곡을 해소하기 위한 필터가 필수적으로 설치되어야 한다면, 회전형 변압기는 무효전력 발생이 필연적이므로 무효전력 보상장치의 설치가 필수적이다. 국내 계통의 부하

는 대체적으로 유도성 부하가 많기 때문에 TSC, 캐패시터 뱅크 등의 용량성 무효전력 보상장치가 많이 설치되어 있으나, 회전형 변압기에서 발생하는 무효전력은 전력 전송의 방향 및 위상 차이에 의해 발생하므로 유도성, 용량성 무효전력 모두를 해소할 수 있는 무효전력 보상장치가 필요하며, 가장 효율적인 솔루션으로 유도성, 용량성 무효전력이 모두 보상이 가능한 AC-DC 시스템을 이용한 무효전력 보상설비의 사용을 제안하는 바이다.

본 논문에서 제안된 방식은 회전형 변압기를 사용한 비동기 계통 연계 시스템의 필수요소인 정류용 AC-DC 컨버터를 유효전력 공급뿐만 아니라 무효전력을 보상할 수 있도록 설계함으로써 기존의 회전형 변압기의 무효전력 보상 문제를 해결하고자 하며, 제안된 방식은 시뮬레이션을 통해 성능을 검증하였다.

II. 회전형 변압기의 기본 구조 및 동작원리

1. 회전형 변압기의 구조 및 특징

회전형 변압기의 기본 구조는 권선형 유도전동기가 매우 유사한 형태를 가지고 있다. 스테이터의 권선에는 송전 측 계통이 연결되고 로터의 권선에는 수전 측 계통이 연결된다. 로터의 회전축은 드라이브 모터와 연결되어 드라이브 모터의 회전에 따라 로터가 함께 회전함으로써 송전 측과 수전 측의 비동기계통 연계를 가능케 한다[2].

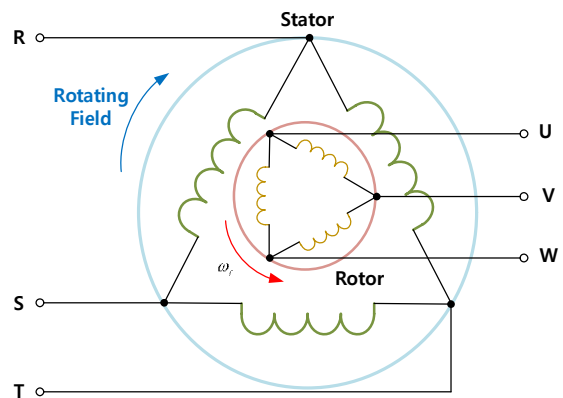


Fig. 2. Configuration and Principles of VFT.  
그림 2. 회전형 변압기의 구성 및 원리

그림 2는 회전형 변압기 2차 측의 속도 및 위상 제어의 원리를 설명하고 있다. 60Hz의 3상 전원이

회전형 변압기의 스테이터에 연결된 상태에서 드라이브 모터를  $\omega_r$ 의 속도로 회전하여 로터 권선에 연결된 2차 측의 속도와 위상을 제어함으로써 비동기계통 연계가 가능하도록 한다. 로터 권선에 출력되는 전력은 스테이터에 인가된 전력과 로터의 회전속도 및 회전방향에 상대적이므로, 스테이터의 회전자계와 같은 방향으로 로터를 회전시킨다면 출력의 주파수는 감소하게 되고 반대 방향으로 로터를 회전시킨다면 출력의 주파수는 증가하게 된다[3].

회전형 변압기를 기존의 Back-to-Back 방식과 비교해보면 회전형 변압기는 동기기로 이루어져 있기 때문에 고조파발생이 없고, 관성에 의해 부하의 급격한 변화와 각종 계통 사고에도 유연한 대처가 가능하며, 병렬 설치를 통해 용량 확장에도 용이하다는 장점을 보유하고 있다. 그러나, 스테이터와 로터에 무효전력이 발생하게 되어 계통의 무효전력을 증가시키는 단점이 존재한다.

### 2. 회전형 변압기의 유효 및 무효전력

회전형 변압기의 스테이터 전압 및 로터 전압을 각각  $V_s, V_r$ 이라고 하고 합성 리액턴스를  $X_{sr}$ , 스테이터와 로터의 위상각, 로터와 로터 권선의 위상각을  $\theta_s, \theta_r, \theta$ 라고 했을 때, 스테이터에서 로터까지의 회전형 변압기에 의한 전력  $P_{VFT}$ 에 대하여 다음과 같은 수식을 얻을 수 있다.

$$P_{VFT} = \frac{V_s V_r}{X_{sr}} \sin(\theta_s - (\theta_r + \theta)) = \frac{V_s V_r}{X_{sr}} \sin \theta_{net} \quad (1)$$

여기서,  $\theta_{net} = \theta_s - (\theta_r + \theta)$ 이며 스테이터에 대한 로터 권선의 역률이므로 안정적인 전력 전달을 위해  $90^\circ$  또는  $-90^\circ$ 를 초과하지 않아야 한다.

그림 3은 2개의 비동기 계통을 회전형 변압기로 연계하고 있는 개요도를 보여주고 있으며, 회전형 변압기를 통해 각 계통에 전달되는 유효 및 무효전력은  $P_s, P_r$ 과  $Q_s, Q_r$ 로 표현할 수 있다. 또한, Controller System을 통해 발생하는 기계적인 힘을  $P_D$ 라고 했을 때, 유효전력과의 관계식을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_D = P_s + P_r \quad (2)$$

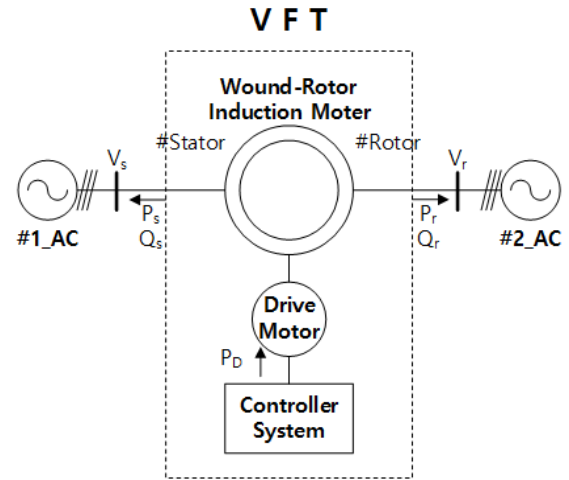


Fig. 3. Asynchronous Grid-Connection using VFT.  
그림 3. 회전형 변압기에 의한 비동기계통 연계

회전형 변압기는 전력용 변압기와 동일한 물리법칙을 따르고 있기 때문에 스테이터와 로터 사이 Ampere turn이 균형을 이뤄야하므로, 스테이터와 로터의 권선비와 전류를 각각  $N_s, N_r, I_s, I_r$ 이라고 한다면 다음의 관계식이 성립되어야 한다.

$$N_s I_s = -N_r I_r \quad (3)$$

또한, 전력용 변압기에서 스테이터와 로터의 자속은 동일할지라도 권선비와 순시 주파수는 계통마다 다르기 때문에 다음의 수식이 성립됨을 알 수 있다.

$$V_s = N_s f_s \Psi_\alpha, \quad V_r = N_r f_r \Psi_\alpha \quad (4)$$

$$\frac{V_r}{N_r} = \frac{V_s f_r}{N_s f_s}$$

여기서,  $V_s, V_r$ 은 각각 스테이터와 로터의 전압을 나타내고  $f_s, f_r$ 은 스테이터와 로터 측의 주파수,  $\Psi_\alpha$ 는 회전형 변압기의 자속을 나타낸다. 정상 상태에서 회전형 변압기의 로터 권선과 스테이터 권선 간의 주파수는 스테이터의 주파수와 로터의 주파수의 차이  $f_{rm}$ 으로 표현할 수 있고, 이를 통해 Drive Motor의 속도  $\omega_m$ 으로 치환할 수 있다.

$$f_{rm} = f_s - f_r, \quad \omega_m = f_{rm} \frac{120}{N} \quad (5)$$

권선비, 주파수 등의 수식들을 정리하면 Controller System에 의한 기계적인 힘과 스테이터를 통해 전달되는 전력  $P_s$ 에 대한 관계식을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_D &= P_s + P_r = V_s I_s + V_r I_r \\
 &= V_s I_s - \left( N_r \frac{V_s}{N_s} \frac{f_r}{f_s} \right) \left( N_s \frac{I_s}{N_r} \right) \\
 &= V_s I_s \left( 1 - \frac{f_r}{f_s} \right) = P_s \left( 1 - \frac{f_r}{f_s} \right)
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

여기서,  $I_s, I_r$ 은 스테이터와 로터의 전류이다. 최종적으로 Controller System에서의 토크  $T_D$ 는 수식 (6)에서도 알 수 있듯이 스테이터의 전류에 영향을 받으며, 그에 따른 관계식은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 T_D &= \frac{P_D}{f_{rm}} = V_s I_s \frac{((f_s - f_r)/f_s)}{f_s - f_r} \\
 &= V_s \frac{I_s}{f_s} = N_s f_s \Psi_\alpha \frac{I_s}{f_s} = N_s I_s \Psi_\alpha
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

회전형 변압기에서 발생하는 무효전력은 크게 자화 리액턴스에 의한 무효전력  $Q_m$ 과 스테이터와 로터의 누설 리액턴스에 의한 무효전력  $Q_l = Q_{ls} + Q_{lr}$ 로 이루어진다. 회전형 변압기에서 발생하는 무효전력에 대한 수식을 정리하면 다음과 같다.

$$Q_{VFT} = Q_m + Q_l \tag{8}$$

그러나 일반적으로 회전형 변압기를 사용할 때 Weak Grid를 로터 측에 연결하기 때문에 본 논문에서 제안하는 AC-DC시스템과의 연계를 통해 보

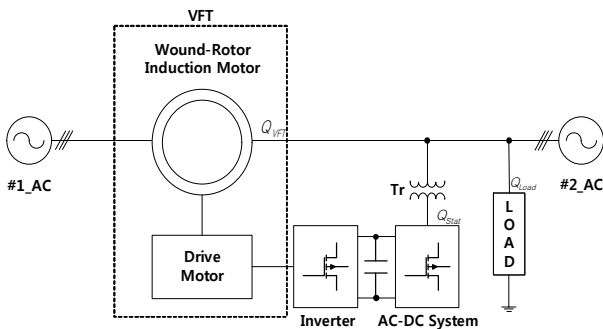


Fig. 4. Overview of Asynchronous Grid-Connection using VFT and AC-DC System.

그림 4. 회전형 변압기와 AC-DC시스템을 이용한 비동기 계통 연계 개요도

상하고자 하는 무효전력은 스테이터 측의 무효전력을 무시할 수 있다. 즉, 무효전력 보상 측면에서 고려해야하는 무효전력은 회전형 변압기에서 발생하는 전체 무효전력  $Q_{VFT}$ 에서 스테이터 측의 무효전력  $Q_s$ 을 제외한 양이다.

### III. 제안된 무효전력 보상 기능을 갖는 새로운 회전형 변압기 계통 연계 시스템

#### 1. 제안된 회전형 변압기 계통 연계 시스템의 구성

그림 4는 회전형 변압기와 AC-DC 시스템을 이용하여 서로 다른 정격주파수 및 위상 차이를 지닌 비동기계통 간 연계에 대한 개요도이다. 서론에서 기술한 바와 같이 비동기계통 연계를 위해 회전형 변압기를 사용할 경우 무효전력이 발생하게 되고, 이를 보상하기 위해 기존의 AC-DC 시스템을 이용한 무효전력 보상설비를 연결한 형태를 보이고 있다.

스테이터와 로터의 권선이 각 계통에 연결되어 있고 로터 측이 Drive Motor와 연결되어 있으며 인버터를 통해 Drive Motor를 회전시켜 회전형 변압기의 속도 및 위상제어를 실시한다. 부하 및 회전형 변압기에 의해 발생하는 무효전력은 AC-DC 시스템을 통해 보상하는데, Drive Motor를 구동하기 위한 DC Link를 AC-DC 시스템이 공유하여 사용하게 된다. DC Link의 전압은 AC-DC 시스템의 DC Link 전압 제어를 통해 정전압을 유지한다.

#### 2. 계통 연계를 위한 회전형 변압기 제어기 설계

회전형 변압기를 사용하여 비동기계통 간 연계하기 위해서는 1차, 2차 측 사이의 주파수 차이만큼 Drive Motor의 회전속도를 통해 제어하여야 한다. 회전형 변압기의 속도 제어기는 크게 전류 제어와 속도 제어로 구성되어 있으며, 회전형 변압기 속도 제어기의 구조는 그림 5와 같이 나타낼 수 있다.

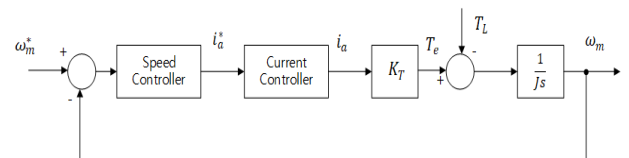


Fig. 5. Structure of VFT Speed Controller. 그림 5. 회전형 변압기 속도 제어기의 구조

회전형 변압기의 실제 속도  $\omega_m$  과 기준 속도  $\omega_m^*$  을 비교하게 되고, 속도 제어와 전류 제어, 토크 상수  $K_T$  및 기계적 관성  $J$ 를 통과하여 전기적 토크  $T_e$ 를 얻을 수 있게 된다. 최종적으로 회전형 변압기의 기계적 관성을 통해 원하는 속도로 제어할 수 있게 된다. 회전형 변압기의 속도제어기 설계에는 PI 제어기를 사용하였으며, 그림 5를 기준으로 PI 속도 제어기의 전달함수  $G_{pi}(s)$ 를 다음과 같이 정의할 수 있게 된다.

$$G_{pi}(s) = K_{ps} + \frac{K_{is}}{s} \quad (9)$$

여기서,  $K_{ps}$ 와  $K_{is}$ 는 각각 PI 속도 제어기의 비례 이득과 적분 이득을 의미하며, 수식 (9)를 바탕으로 개회로 전달함수  $G_s^0(s)$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$G_s^0(s) = \left( K_{ps} + \frac{K_{is}}{s} \right) \frac{\omega_{cc}}{s + \omega_{cc}} \frac{K_T}{Js} \quad (10)$$

전류 제어의 대역폭  $\omega_{cc}$ 를 속도 제어의 대역폭  $\omega_{cs}$ 보다 5배 이상 크게 선정한다면 전류 제어가 속도 제어에 영향을 미치지 않으며 속도 제어의 응답성 및 안정성이 향상된다. 또한, 전류 제어의 이득  $\frac{\omega_{cc}}{s + \omega_{cc}} \approx 1$ 이 되어 개회로 전달함수를 간략화 할 수 있다. PI 제어기의 절점 주파수  $\omega_{pi}$ 를  $\omega_{cs}$ 보다 1/5 미만으로 작게 선정하면,  $\omega_{cs}$  부근의 각 주파수에서 PI 제어기의 전달함수는 다음 수식과 같이 표현할 수 있다.

$$G_{pi}(s) = K_{ps} + \frac{K_{is}}{s} \approx K_{ps} \quad (11)$$

위의 내용들을 종합하여 수식 (10)에 대입하면  $\omega_{cs}$  부근에서 PI 속도 제어기의 개회로 전달함수는 최종적으로 다음과 같이 간략화 할 수 있다.

$$G_s^0(s) \approx K_{ps} \frac{K_T}{Js} \quad (12)$$

수식 (12)로부터 속도 제어기의 주파수 대역폭을  $\omega_{cs}$ 로 하기 위해서는  $\omega_{cs}$ 에서 전달함수의 이득 크기를  $|G_s^0(j\omega_{cs})| = 1$ 으로 하여야 한다. 이러한 조

건을 바탕으로 비례 이득  $K_{ps}$ 와 적분 이득  $K_{is}$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} K_{ps} &= \frac{J\omega_{cs}}{K_T} \\ K_{is} &= K_{ps}\omega_{cs} = \frac{J\omega_{cs}^2}{5K_T} \end{aligned} \quad (13)$$

### 3. 제안된 회전형 변압기 계통 연계 시스템 무효전력 보상 방법

가. 제안된 계통 연계 시스템의 AC-DC 시스템  
 기존의 AC-DC 시스템을 활용한 무효전력 보상은 DC Link의 직류 전압을 인버터를 사용하여 원하는 양의 무효전력을 발생시킴으로서 부하 측으로 공급하게 된다.

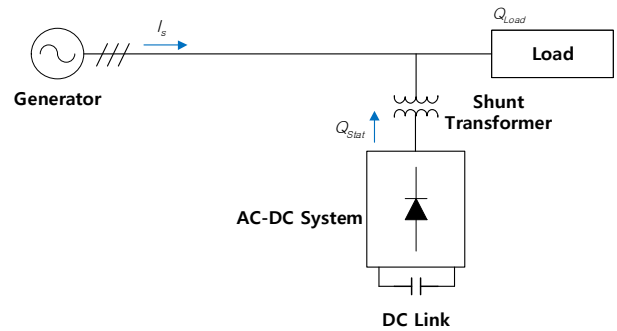


Fig. 6. Equivalent Circuit of AC-DC System and Transmission System.

그림 6. AC-DC시스템과 송전계통의 등가회로

그림 6은 AC-DC시스템을 이용한 무효전력 보상을 수행하는 송전계통의 등가회로를 나타낸다. 일반적으로 AC-DC시스템을 통한 무효전력 보상은 계통에서 부하 측에 연결되므로, 이 때 부하에서의 무효전력은 0이 되어야 한다. 따라서 AC-DC 시스템을 이용하여 무효전력을 보상하기 위해서는 부하의 무효전력을 측정하여 보상해야할 무효전력을 계산하는 것이 매우 중요하며, 제어기 설계를 통해 부하의 무효전력을 0으로 유지하기 위한 지속적인 AC-DC시스템의 운전이 필수적이다.

#### 나. AC-DC시스템의 무효전력 보상

무효전력 보상은 계통에 흐르는 전류의 위상을 변화함으로써 전압과의 위상 차이를 줄이고 역률을 개선하는 목적을 가지고 있다. 그림 6과 같이 계통에 병렬로 연결되어 필요한 보상 량의 주입 전류

를 DC Link로부터 생산하여 계통에 공급함으로써 무효전력 보상을 수행한다. 그림 7은 무효전력 보상을 통한 역률 개선 기능을 수행하는 AC-DC시스템의 벡터도를 도시한 것이다.

부하전류를  $I_L$ , 부하전류의 실수부를  $I_R$ , 부하전류의 허수부를  $I_X$ 로 가정한다면 부하전류와 부하 임피던스와의 관계식을 다음과 같이 도출할 수 있다.

$$I_L = I_R + jI_X \tag{14}$$

유도성 부하에 의해 계통에 지상전류에 의해  $I_L$  만큼 발생하고 있을 때, ①지점으로 보상하기 위해서는 ①' 만큼  $I_F$ 를 주입해야한다. 즉, 전압  $V$ 와 부하전류  $I_L$ 의 위상 차이가 크면 클수록 보상을 위해 주입해줘야 하는 전류  $I_F$ 의 크기가 증가하게 된다.

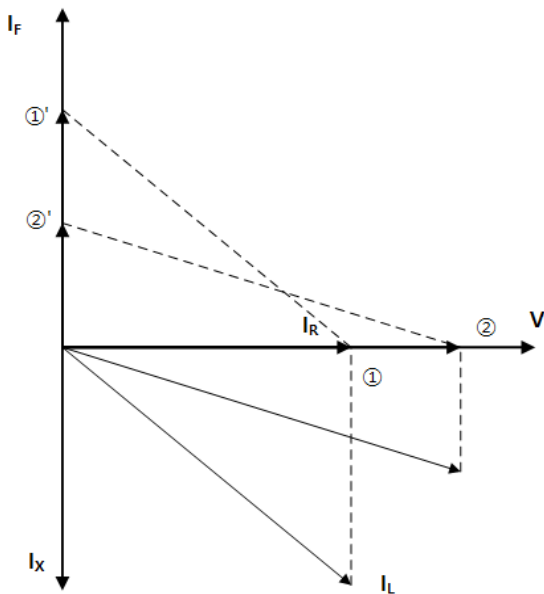


Fig. 7. Vector Diagram of Reactive Power Compensation.  
그림 7. 무효전력 보상의 벡터도

일반적인 송전계통에서의 무효전력 발생량은 부하의 전압과 전류를 통해서 쉽게 계산이 가능하지만, 무효전력 보상 역시 부하 측에서 발생한 양만큼만 보상하면 된다. 그러나 회전형 변압기가 계통에 연결된다면 회전형 변압기에서 발생하는 무효전력 역시 고려하여 계산해야 한다.

일반적인 계통에서 부하 측 전압, 전류  $V_L, I_L$ 과 부하 측 무효전력  $Q_L$ 의 관계식은 다음과 같다.

$$V_L I_L = S_L = P_L + jQ_L \tag{15}$$

앞서 기술한 바와 같이 계통과 연결된 회전형 변압기에서 발생하는 무효전력을  $Q_{VFT}$ 라고 하였을 때, 최종적으로 AC-DC시스템에서 보상해야하는 무효전력  $Q_{comp}$ 은 다음 수식과 같이 표현할 수 있다.

$$Q_{comp} = -((Q_{VFT} - Q_s) + Q_{Load}) \tag{16}$$

#### IV. 모의시험

제안하는 무효전력 보상을 포함하는 새로운 회전형 변압기 계통 연계 시스템의 동작 및 성능을 검증하기 위해 순시 모의시험 성능이 우수한 Matlab Simulink를 사용하였으며, 시뮬레이션에 사용된 파라미터는 표 1과 같고 시뮬레이션의 모델은 그림 8과 같이 구현하였다.

Table 1. Simulation Parameters.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Parameters	Value
#1 & #2_Voltage (V)	380
Nominal Power (VA)	10,000
#1_Frequency (Hz)	60
#2_Frequency (Hz)	40
DC Link_Voltage (V)	800
Load_Active Power (W)	10,000

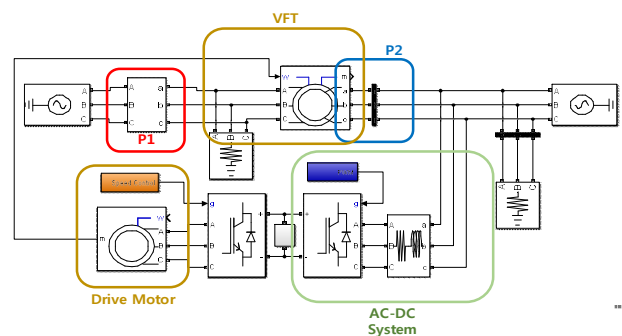


Fig. 8. Simulation Model of VFT and STATCOM.

그림 8. 회전형 변압기와 STATCOM 시뮬레이션 모델

60Hz와 40Hz의 다른 정격 주파수를 사용하고 있는 2개의 비동기 계통을 회전형 변압기를 통해 비동기계통 연계를 수행하였고, AC-DC시스템을 통해 발생하는 무효전력을 보상하였다. 이 때, 제 1계통의 P1 지점과 제 2계통의 P2 지점의 전압과 전류를 측정하여 비동기 계통의 정격 주파수를 맞춰주

는지, AC-DC시스템이 동작하지 않을 때와 동작하였을 때의 무효전력량을 비교하였다. 그림 9는 회전형 변압기를 동작한 상태와 동작하지 않은 상태에서의 P1 지점과 P2 지점의 주파수를 비교한 결과이다. (a)의 결과처럼 회전형 변압기를 사용하지 않아 비동기계통 연계가 되지 않았을 때는 정격 주파수가 서로 다른 것을 확인할 수 있으며, 회전형 변압기를 동작한 상태인 (b)에서는 회전형 변압기에 의한 위상 차이가 발생하였으나 주파수가 일치하는 것을 확인할 수 있다.

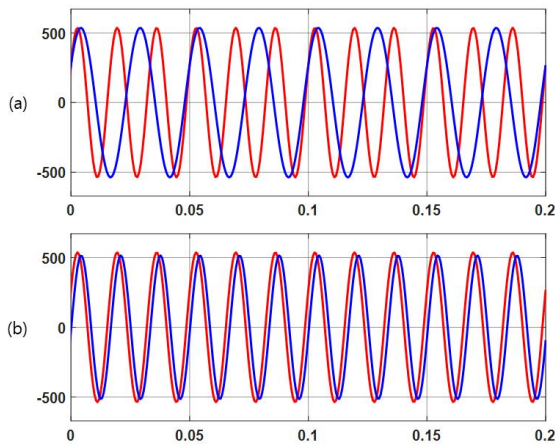


Fig. 9. Frequency Compare Result  
(a) Without VFT, (b) With VFT.

그림 9. 주파수 비교 결과 (a) 회전형 변압기 미동작, (b) 회전형 변압기 동작

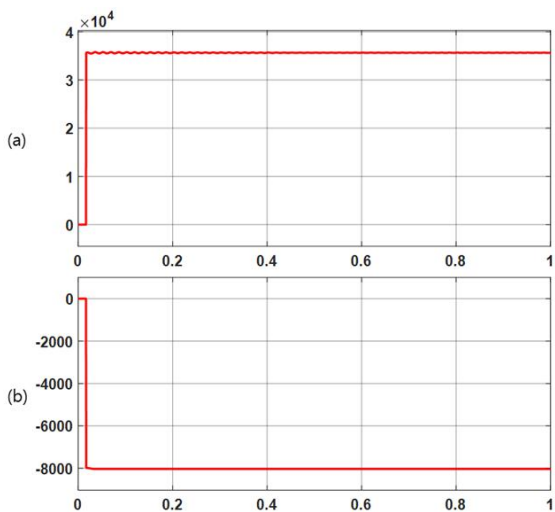


Fig. 10. Simulation Result without AC-DC System  
(a) P1's Reactive Power, (b) P2's Reactive Power  
그림 10. 시뮬레이션 결과(AC-DC시스템 미동작).  
(a) P1 지점의 무효전력, (b) P2 지점의 무효전력

그림 10은 회전형 변압기를 사용하여 비동기계통 연계를 수행한 상태에서 AC-DC시스템을 동작시키지 않았을 때의 P1 지점과 P2 지점의 무효전력 발생량을 나타낸다. 앞서 정리한 바와 같이 계통 및 회전형 변압기에서 무효전력 발생이 발생하고 있음을 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있다. 또한, 그림 11은 AC-DC시스템을 동작하였을 때의 시뮬레이션 결과를 나타내는데, 부하가 연결되어 있는 P2 지점의 무효전력이 0에 가까운 결과를 나타냄을 확인할 수 있었다.

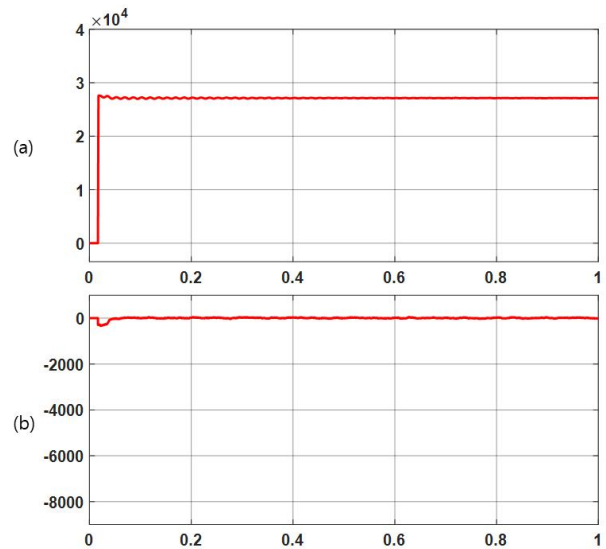


Fig. 11. Simulation Result with AC-DC System  
(a) P1's Reactive Power, (b) P2's Reactive Power  
그림 11. 시뮬레이션 결과(AC-DC시스템 동작).  
(a) P1 지점의 무효전력, (b) P2 지점의 무효전력

## V. 결론

본 논문에서는 무효전력 보상을 포함하는 새로운 회전형 변압기 계통 연계 시스템을 제안하였다. 회전형 변압기라는 비동기계통 연계 방안을 통해 전력 공급량에 관한 문제를 해결함과 동시에 부하 및 회전형 변압기에서 발생하는 무효전력을 기존의 AC-DC시스템을 사용하여 보상하는 방식에 연구를 진행하였으며, Matlab Simulink를 통해 제안하는 방안의 성능을 검증하였다. 회전형 변압기의 사용과 기존의 AC-DC시스템을 이용한 무효전력 보상의 연계 방안은 새로운 전력공급량 확보의 기술로서 가능성을 지니고 있음을 확인하였다.

## References

- [1] B. Bagen, D. Jacobson, "Evaluation of the Performance of Back-to-Back HVDC Converter and Variable Frequency Transformer for Power Flow Control in a Weak Interconnection," *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2017. DOI: 10.1109/PES.2007.385809
- [2] Farhad Ilahi Bakhsh, "VFT Application for Asynchronous Power Transfer," *ACEEE Int.J.on Control System and instrumentation*, Vol.4, No.1, 2013.
- [3] Ahemed Hossam El Din, "A MATLAB /SIMULINK Model to study the performance of the VFT for the interconnection of Weak and Strong AC Grids," *2011 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC)*, pp.1635-1640, 2011.  
DOI: 10.1109/IEMDC.2011.5994607
- [4] Elizabeth R. "First Multi-Channel VFT Application - The Linden Project," *IEEE PES T&D 2010*, 2010.  
DOI: 10.1109/TDC.2010.5484379
- [5] Richard J Piwko, "Variable Frequency Transformer - FACTS Technology for Asynchronous Power Transfer," *2005/2006 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition*, 2006.  
DOI: 10.1109/TDC.2006.1668728

## BIOGRAPHY

### Jeong-Sik Oh (Member)



2016 : BS degree in Electrical Engineering, Mokpo National University.  
2018 : MS degree in Electrical Engineering, Mokpo National University.  
2018~Present : PhD course in Electrical Engineering, Mokpo National University.

### Tae-Sik Park (Member)



1994 : BS degree in Electrical Engineering, Korea University.  
1996 : MS degree in Electrical Engineering, Korea University.  
2000 : PhD degree in Electrical Engineering, Korea University.

2000~2005 : Senior Engineer, Samsung Electronics.  
2005~2013 : Administrative Official, Korea Intellectual Property Office.  
2013~Present : Professor, Dept. Electrical and Control Engineering, Mokpo National University.

### Tae-Sik Park (Member)



1991 : BS degree in Electrical Engineering, Korea University.  
1995 : MS degree in Electrical Engineering, Korea University.  
1998 : PhD degree in Electrical Engineering, Korea University.

1999~Present : Professor, Dept. Electrical and Control Engineering, Mokpo National University.

### No-Hong Kwak (Member)



1978 : BS degree in Electrical Engineering, Yonsei University.  
1980 : MS degree in Electrical Engineering, Yonsei University.  
1990 : PhD degree in Electrical Engineering, Yonsei University.

1977~2012 : Senior Researcher, KEPRI.  
2013~Present : Professor, Dept. Electrical and Control Engineering, Mokpo National University.

### Jang-Hyun Park (Member)



1995 : BS degree in Electrical Engineering, Korea University.  
1997 : MS degree in Electrical Engineering, Korea University.  
2002 : PhD degree in Electrical Engineering, Korea University.

2013~Present : Professor, Dept. Electrical and Control Engineering, Mokpo National University.