

PSCAD/EMTDC를 이용한 연료전지와 태양광 발전 계통연계형 시뮬레이션

이상훈, 김새로, 최병진, 장훈, 박영훈, 손광명
동의대학교

Simulation of Grid-connected Fuel Cells and PV Power Generation using PSCAD/EMTDC

Sang-Hun Lee, Sae-Ro Kim, Byeong-Jin Choi, Hun Jang, Young-Hun Park, Kwang-Myoung Son
Dong-Eui University

Abstract - 각각의 분산전원 시스템은 등가회로를 이용하여 수학적으로 모델링하고, 이를 결합하여 제어 가능한 하이브리드 시스템을 모델링하였다. 시뮬레이션과 실험 결과로부터, 분산 전원의 출력을 안정적으로 운영 할 수 있고, 효율적으로 부하관리를 할 수 있어 계통 운영을 여유롭게 할 수 있었다. 이러한 연구는 출력 변동으로 인해 마이크로 그리드 내 설치가 어려운 제어 불가능한 전원인 태양광 발전의 설치용량 확대를 가져올 수 있을 것이다.

1. 서 론

태양광발전은 태양의 복사에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 시스템으로 가동부분이나 열기관이 없어 수명이 길고 다른 발전방식에 비해 운전과 유지보수가 용이하며 모듈로 구성하기 때문에 수요나 지형에 맞게 설계할 수 있다.

계통연계형 태양광발전시스템은 발전전력이 없는 밤에는 계통으로부터 전력을 공급받을 수 있기 때문에 독립형보다는 계통연계형 태양광발전시스템이 안정적이고 상용전력의 부하분담효과에 어느 정도 실효를 거둘 것으로 전망된다. 그러나 이런 계통연계형 발전시스템은 그 원천이 계통에 있으므로 실질적으로 계통(상용전력)에 문제가 발생할 경우 부하에 전력을 공급하지 못하는 문제점이 있다.

따라서, 본 논문의 목적은 첫째, 분산전원의 종류 및 특징을 파악해 보았다.

둘째, 전력품질 문제의 종류에 대해 정의하고, 계통연계를 고려했을 때 분산전원의 전력품질요소인 외란(Sag, flicker)을 과도 해석프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 만든 분산전원모델이 연계된 계통에서 모의하였다. 이러한 과정을 통하여 분산전원의 계통연계시 전력품질에 관한 문제를 고찰하여 보았다.

2. 분산전원의 종류 및 특징

2.1 태양광발전(Photovoltaics)

태양광 발전은 무한정의 태양광에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 기술로서 연료비가 들지 않고 대기오염이나 폐기물 발생이 없으며, 발전부위가 반도체소자이고 제어부가 전자부품으로 이루어져 기계적인 진동과 소음이 적고, 태양전지 소자의 수명도 최소 20년 이상으로 길며, 또한 발전시스템을 자동화시키기에 용이하여 운전 및 유지관리 비용을 최소화 할 수 있다는 장점을 갖는다. 지금까지 해외에서는 많은 실증사업과 보급이 이루어졌으며, 그 결과 최근에는 전체적인 비용과 설치장소를 줄이기 위해 태양전지 모듈을 빌딩 및 주택의 조립부품으로 건물과 일체화 시키는데 관심이 집중되고 있으며 또한 변환 효율을 높이는 연구가 진행중이다. 이러한 태양전지 특성을 모델링 하기위하여 다양한 등가모델이 연구되어 왔다. 본 논문에서는 그림 2.1과 같이 직렬저항, 다이오드 및 전류원으로 구성되는 등가회로를 이용한다.

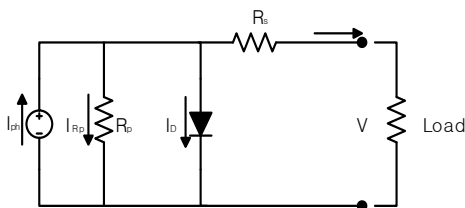


그림 2.1 태양전지 등가회로

직렬저항, 다이오드 및 전류원은 PSCAD/EMTDC 프로그램에서 제공하지만, 다이오드의 경우 비선형 모델을 제공하고 있지 않기 때문에 등가회로를 위해서 수식관계식으로 정의하고, 이를

통해서 모델링을 구성한다. 식(1)은 태양전지 등가회로의 관계식을 나타낸다.

$$I = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_{sat} \left(e^{\frac{V + IR_s}{nV_t}} - 1 \right) \quad (1)$$

태양전지의 한 개의 셀의 경우, 태양광 발전시스템을 분산전원으로 사용하기 위해서는 단지전압 및 출력이 매우 작기 때문에 일반적으로 여러 셀을 직·병렬 연결하여 태양전지 모듈을 구성한다. 이 태양전지 모듈을 기본 단위로 하여서 설계하고자 하는 분산전원 시스템의 설치 용량에 맞추도록 직·병렬 연결하여 태양전지 시스템을 구성한다.

따라서 태양전지 시스템을 구성하기 위해서는 모듈의 직렬 연결 개수 N_s 와 병렬 연결 개수 N_p 를 설치 용량에 맞게 정의해야 된다. 식(2)은 직·병렬 연결 개수를 고려한 태양전지 시스템 전압이다.

$$N_s V = n N_s V_t \cdot \ln \left(\frac{N_p I_{ph} - I}{N_p I_{sat}} + 1 \right) - IR_s \quad (2)$$

그림 2.2는 계통연계형 PV인버터의 구성으로 PV모듈로부터 받은 전력을 인버터를 거쳐 교류가 되어 스위칭에 의한 고조파성분의 계통방출을 막기 위해 필터를 거치게 된다. 이러한 50kW급 단상 태양광 시스템의 구성으로서 이 모델링에는 과도 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 사용하였다.

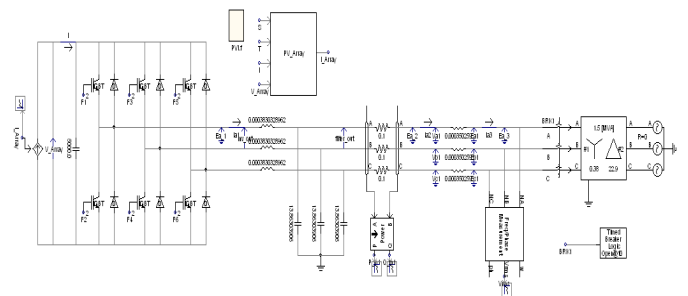


그림 2.2 태양광 발전 시스템

2.2 연료전지 발전(Fuel Cell)

연료전지는 반응물의 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 발전 장치이며, 연료가스나 산화성가스등을 각각 양·음극에 연속적으로 공급함으로써 계속하여 전기를 얻게 되고 이론적으로는 연료가스와 산화성 가스를 공급하면 무한한 전기를 얻을 수 있으므로 에너지 변환기로서 의미가 강하다. 또한 종래의 산업용 자가용 발전과는 달리 용량이 수십kW에서 수 MW급까지 다양하고, 개인주택 및 학교등의 소규모 수용가에서부터 자가용 고압수용가에 이르기까지 다양하게 도입될 가능성이 높다.

연료전지는 기본적인 구성이 전해질/촉매 전극/반응가스의 계면에서 반응이 일어남으로 이들 계면이 연료전지의 성능에 영향을 미치게 되고 이는 내부 전압강하와 임피던스 변화를 가져온다. 이러한 연료전지 특성을 모델링 하기 위하여 등가모델이 필요하다. 본 논문에서는 그림 2.3과 같이 활성화손실(activation losses), 저항손실(ohmic losses), 농도손실(concentration losses)

들로 구성되는 연료전지 등가회로를 이용하였다.

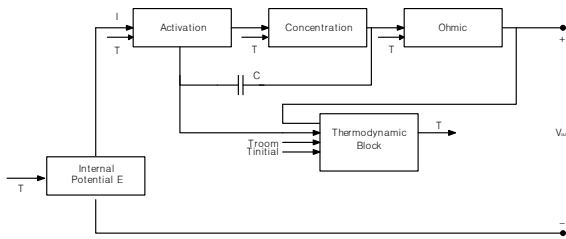


그림 2.3 연료전지 등가회로

연료전지 셀의 전압(V_{cell})은 단자전압(E_{cell})에서 각각의 활성화 손실, 저항손실, 농도손실들의 전압강하를 뺀 부분이다. 셀 전압은 아래 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{cell} = E_{cell} - V_{act,cell} - V_{ohm,cell} - V_{conc,cell} \quad (3)$$

연료전지의 한 개의 셀의 경우, 연료전지 발전시스템을 분산전원으로 사용하기 위해서는 단자전압 및 출력이 매우 작기 때문에 일반적으로 여러 셀을 직·병렬 연결하여 태양전지 모듈을 구성한다. 이 연료전지 모듈을 기본 단위로 하여서 설계하고자 하는 분산전원 시스템의 설치 용량에 맞도록 직·병렬 연결하여 연료전지 시스템을 구성한다.

연료전지 시스템을 구성하기 위해서는 모듈의 직렬 연결 개수 N_s 와 병렬연결 개수 N_p 를 설치 용량에 맞게 정의해야 된다. 식(4)은 직·병렬연결 개수를 고려한 연료전지 시스템 전압이다.

$$V_{out} = N_s V_{cell} = E - V_{act} - V_{ohm} - V_{conc} \quad (4)$$

모델링한 연료전지의 구성과 사양은 다음의 그림 2.4와 같다.

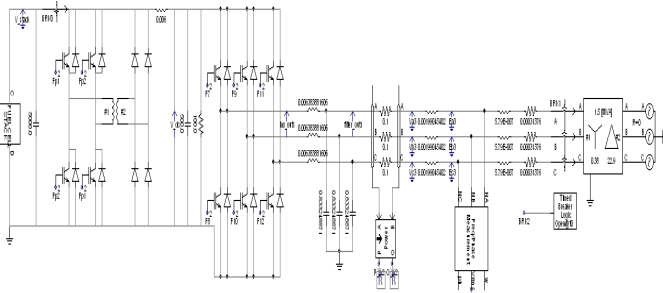


그림 2.4 연료전지 발전시스템

2.3 계통연계 모의 및 결과고찰

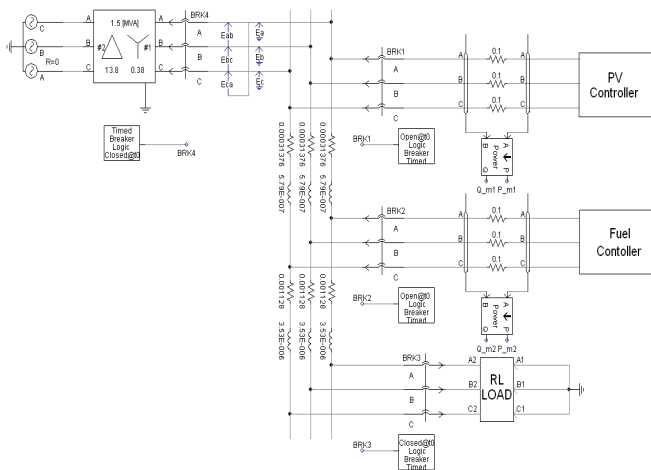


그림 2.5 계통과 연계된 태양전지와 연료전지

다음 그림 2.6, 그림 2.7 에서는 각 발전기의 용량에 맞는 전력을 확인해 볼 수 있고, 0.3초 후 PV 시스템에서 차단, 그리고 0.5초 후에 차단 해제 했을 때 PV시스템의 인버터 제어가 잘 동작되고 있음을 알 수 있다. 그림 2.8에서는 계통연결시 순간전압을 확인해 볼 수 있다.

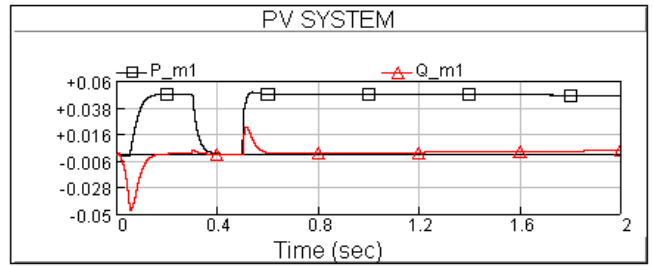


그림 2.6 태양광발전기 설비 출력

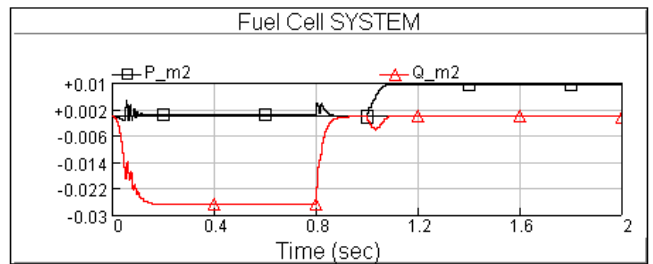


그림 2.7 연료전지 설비 출력

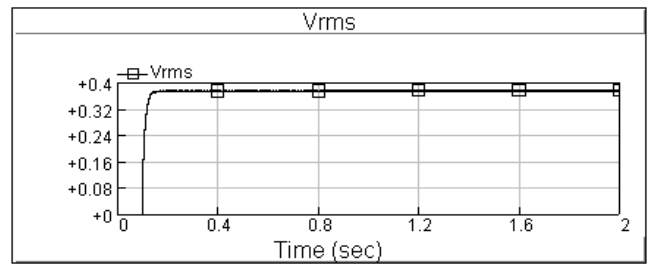


그림 2.8 태양광-연료전지 계통연결시 순간전압

3. 결 론

본 논문에서는 대표적인 분산전원인 태양광발전, 연료전지 발전설비를 전력계통에 연계시켜 그 특성을 모의, 분석할 수 있도록 전력계통 과도모의해석 프로그램인 PSCAD/ EMTDC를 사용하여 현재 사용하고 있는 태양광, 연료전지 그리고 연계계통을 고려하여 구성하였고, 이 분산전원 모델이 유효한지 보이기 위하여 각각의 출력과형을 보였다. 그리고 이 분산전원 모델을 전원 용량에 따라 알맞은 배전계통모델에 연계시켜 모의함으로써 연계된 계통과 분산전원 구내에서의 전력품질을 분석 하였다. 그리고 연계계통내 보호계전시스템등과 같은 분산전원 관련된 전반적인 연구분야에 유용하게 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김승기, 전진홍, 김응상, "PSCAD/EMTDC를 이용한 계통연계형 태양광발전시스템의 모델링 및 모의 해석", 대한전기학회 논문 54A-3-1, 2005
- [2] L Zhang, A Al-Amoudi, Yunfei Bai, "Real-time maximum power point tracking for grid-connected photovoltaic systems," Power Electronics and Variable Speed Drives, 2000. Conference Publication N. No. 475, September 2000.
- [3] M. Tanrioven, and M. S. Alam, "Modeling, Control, and Power Quality Evaluation of a PEM Fuel Cell-Based Power Supply System for Residential Use," IEEE International Conference on Control and Automation, vol. 43 no. 6. pp. 1499-1506. Nov.-dec. 2007