

대용량 연료전지발전시스템의 계통외란방지알고리즘에 관한 연구

김기영¹, 오용택¹, 김병기¹, 강민관¹, 노대석^{*}
¹한국기술교육대학교 전기전자통신공학부, ²포스코에너지(주)

A Study on the Countermeasure Algorithm for Power System Disturbance in Large Scale Fuel Cell Generation System

Gi-Young Kim¹, Yong-Taek Oh¹, Byung-Ki Kim¹, Min-Kwan Kang², Dae-Seok Rho^{1*},

¹Division of Electrical, Electronics & Communication, Korea University of Technology and Education,
²POSCO Energy Ltd.

요약 최근 환경오염원의 배출이 적고, 에너지 효율이 높은 연료전지에 대한 관심이 높아지고 있으며, 특히 고온동작 연료 전지의 경우 대용량 연료전지발전시스템(FCGS, Fuel Cell Generation System)으로 전력계통에 연계되고 있다. 그러나 대용량 FCGS는 계통의 각종외란(불평형전류, 고조파, 서지 등)에 의하여 보호기기의 오동작, 제어소자의 소손현상 및 제어신호 헛팅 현상이 발생하여 이에 대한 대책이 요구되고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 전력분석장비를 이용하여 대용량 FCGS에서 발생하는 실 계통 문제점을 분석하고, PSCAD/EMTDC, ETAP, P-SIM 소프트웨어를 이용하여, FCGS설비 및 FCGS의 접지계통과 불평형전류, 고조파, 서지와 같은 계통외란현상의 모델링을 수행하였다. 또한, 각 계통외란에 대한 방지대책을 수립하기 위하여, 불평형전류를 줄이기 위한 중성점접지저항기(NGR, Neutral Ground Resister)운용알고리즘, 고조파를 기준 범위 이내로 줄이기 위한 고조파필터 설계알고리즘, 서지로부터 설비를 보호하기 위한 SPD(Surge Protective Device) 운용알고리즘, 적절한 접지계통을 적용하기 위한 접지계통 운용알고리즘을 제안하였다. 이를 검증하기 위하여 상기에서 제시한 모델링을 이용하여, FCGS의 주요 장애요인들을 모의한 결과, 본 논문에서 제안된 대용량 FCGS의 계통외란방지알고리즘의 유용성을 확인하였다.

Abstract Recently, fuel cell with high energy efficiency and low CO2 emission is energetically interconnected with power system. Especially, FCGS(Fuel Cell Generation System) which usually operates at high temperature, is being developed and installed in the form of large scale system. However, it is reported that power system disturbances related to surge, harmonic and EMI have caused several problems such as malfunction of protection device and damage of control device in the large scale FCGS. In order to solve these problems, this paper presents a modeling of operation characteristics of FCGS by PSCAD/EMTDC, ETAP, P-SIM software. And also, this paper proposes countermeasure algorithms to prevent power system disturbances. From the simulation results, it is confirmed that the proposed algorithm is useful method for the stable operation of large scale FCGS.

Keywords : Fuel Cell Generation System, Harmonic, Power System Disturbance, Surge

1. 서론

신재생에너지 공급 의무화제도(RPS, Renewable

Portfolio Standard)에 따라 다양한 신재생에너지원들이 계통에 도입되고 있다[1]. 그러나 보급이 활발히 이루어지고 있는 태양광과 풍력은 지리적인 제약사항이 있어

본 논문은 2013년도 한국기술교육대학교 교수해외 파견연구비 지원에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Dae-Seok Rho(Korea University of Technology and Education)

Tel: +82-10-2306-2213 email: dsrho@koreatech.ac.kr

Received April 28, 2015

Revised (1st July 17, 2015, 2nd July 30, 2015)

Accepted August 6, 2015

Published August 31, 2015

RPS 제도를 만족시키는 것이 쉽지 않은 실정이다. 이에 따라 최근 환경오염원 배출이 적고, 에너지 효율이 높은 연료전지에 대한 관심이 높아지고 있으며, 특히, 2.8[MW]급의 용융탄산염연료전지(MCFC : Molten Carbonate Fuel Cell)가 상용화되어 발전회사를 중심으로 계통에 보급되고 있다[2].

그러나 이러한 연료전지는 600℃ 이상에서 운전하기 때문에 열·기계적 스트레스에 노출되어 있으며, 출력변동 및 제어가 어려우므로 다른 신재생에너지원들과 달리, 민감하고 정밀한 제어소자들을 필요로 한다. 또한 대용량 연료전지발전시스템(FCGS, Fuel Cell Generation System)은 2~3MW급 FCGS 수십 개가 연결되어 발전단지를 구성하므로, 내부계통의 사고나 과도상태에 따라 인접한 기기에 영향을 미칠 수 있다. 현재 대용량 FCGS에서 가장 많이 보고되고 있는 운용상의 문제점은 보호기기 오동작과 제어소자손손, 제어신호 헛팅현상 등이 있으며, 이로 인하여 공급지장 및 유지보수비용이 발생하여 대책이 시급한 실정이다. 그러나 이러한 문제점을 해결하기 위한 관련 규격이나 기술지침들은 아직 대용량 FCGS의 특성을 반영하지 못하고 있으므로, 정상상태 및 과도상태에서 발생하는 운용상의 장애요인을 분석하여 이에 대한 대응방안을 제시할 필요성이 있다.

따라서 본 논문에서는 기존 발전시스템의 계통연계기준 및 전기설비기준을 바탕으로 대용량 FCGS의 운용사례를 분석하고, 실 계통에서 운용중인 FCGS를 대상으로 전력품질 문제점을 해석하였다[3]. 이를 바탕으로 대용량 FCGS가 계통에 연계되어 운용되는 경우, 서지, 고조파, 부하불평형 등 각종 계통외란에 의하여 발생하는 문제점을 해결하는 알고리즘을 제시하였다. 또한, PSCAD/EMTDC, P-SIM, ETAP 소프트웨어를 이용하여 대용량 FCGS와 계통외란현상을 모델링하고, 시뮬레이션을 수행한 결과 제안된 알고리즘의 유용성을 확인할 수 있었다.

2. 대용량 연료전지발전시스템의 실 계통 문제점 분석

일반적으로 대용량 FCGS는 Fig. 1과 같이 약 3[MW]급의 FCGS 여러 대를 모선에 연결하는 구성으로 이루어지며, 각 FCGS는 사고 시 설비를 계통으로부터 분리

하기 위하여 주변압기와 연계되는 지점에 차단기(TB, Tie Breaker)를 설치한다. 이때 대용량 발전단지는 그 용량에 따라서 20[MW] 이하는 22.9kV 계통에 연계되며, 그 이상은 154kV 계통에 연계된다[4].

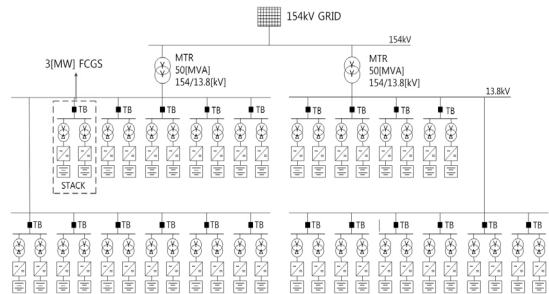


Fig. 1. Basic structure of large scale FCGS

한편, 각 FCGS는 설치단계에서 TB강제동작시험을 시행하고 있으나, 시험 중 정상운전중인 FCGS의 TB도 함께 개방되는 보호기기 오동작현상이 발생하였다. 원인을 분석한 결과, TB동작 순간 지락과전류보호계전기(OCGR, Over Current Ground Relay)가 설정 값 이상의 과전류를 검출하여, TB가 개방되었음을 확인하였다. 또한, 실 계통에서 운용중인 대용량 FCGS는 다수의 소자손손현상과, 제어기기의 통신데이터 값이 급변하여 운전이 정지되는 통신데이터 헛팅현상이 발생하였다. 소자손손 원인으로는 고조파에 의한 열적손상과 서지에 의한 절연과파, 불평형전류에 의한 영상전류의 영향 등이 있으며, 통신데이터 헛팅현상은 EMI에 의한 통신간섭이 그 원인으로 분석된다. 따라서 이러한 계통외란현상을 확인하기 위하여 전력분석을 수행한 결과, 실 계통에서 운용중인 대용량 FCGS에서 기준치 이상의 고조파, 서지 그리고 EMI 현상이 발생하고 있음을 확인하였다[5-7]. 또한, 대용량 FCGS는 등전위 통합접지방식을 채택하고 있는데, 이러한 접지방식은 지락사고 시 인체보호에는 적합하지만 저압부와 고압부, 교류부와 직류부가 서로 연결통로를 공유하므로, 고조파, 서지, EMI와 같은 계통외란에 취약한 것으로 알려져 있다.

3. 연료전지발전시스템의 모델링

대용량 FCGS의 실 계통 문제점 분석을 통하여 서지, 고조파, 불평형전류 등의 계통외란이 보호기기 오동작과

소자소손을 일으킬 수 있는 가능성을 확인하였다. 따라서 이러한 각 계통의란이 설비에 미치는 영향을 분석하기 위하여, PSCAD/EMTDC, ETAP 그리고 P-SIM 소프트웨어를 이용하여 대용량 FCGS와 각 계통의란현상을 모델링하였다.

3.1 배전계통 및 FCGS 모델링

FCGS가 계통에 연계되어 운전하기 위해서는 TB강 제동작시험을 실시해야 하는데, 이때 부근에서 정상운전 중인 FCGS의 TB가 개방되는 보호기기동작현상이 자주 발생하고 있다. 따라서 본 논문에서는 PSCAD/EMTDC를 이용하여 정상운전 중인 FCGS 1기와 시험대상 FCGS 1기를 포함하여, 총 2기로 구성된 연료전지 발전단지를 Fig. 2.와 같이 모델링하였다. 구체적으로 계통연계를 위한 주변압기(45[MVA], 154/13.8[kV], Y-Y결선) 1대와 0.5[km] 공장의 13.8[kV] 고압선로, TB 2대, 연계용변압기(2[MVA], 13.8/0.48[kV], Y- Δ 결선) 4대, 1.4[MVA] 용량의 PCS 4대로 구성하였다.

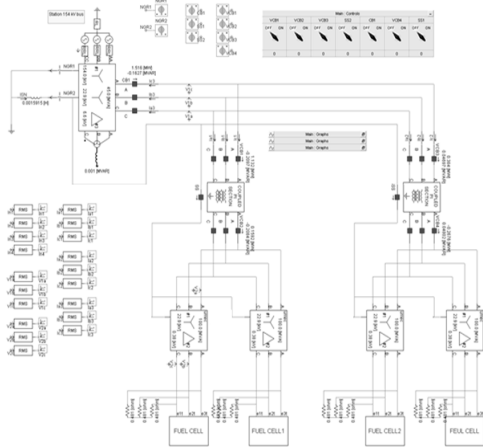


Fig. 2. FCGS modeling

여기서, 하나의 FCGS는 1.4[MW] 용량의 연료전지 2개로 구성되며, 각 연료전지는 1.4[MVA] 용량의 PCS를 통하여 계통에 연계된다. 또한, 각 연료전지에서 발전된 전력을 계통에 연계하기 위한 연계용변압기는 연료전지 용량을 고려하여 2[MVA]로 구성하였으며, 연료전지 측을 델타결선, 계통 측을 와이결선으로 모델링하였다.

3.2 고조파 모델링

FCGS의 고조파발생과 고조파 필터의 저감 특성을 분석하기 위하여, 전력전자소프트웨어인 P-SIM프로그램을 이용하여 고조파를 발생시키는 비선형부하와 고조파 필터 모델링을 수행하였다. 해당 모델링은 Fig. 3과 같이 좌측의 고조파필터와 우측의 비선형부하로 구성되어 있다.

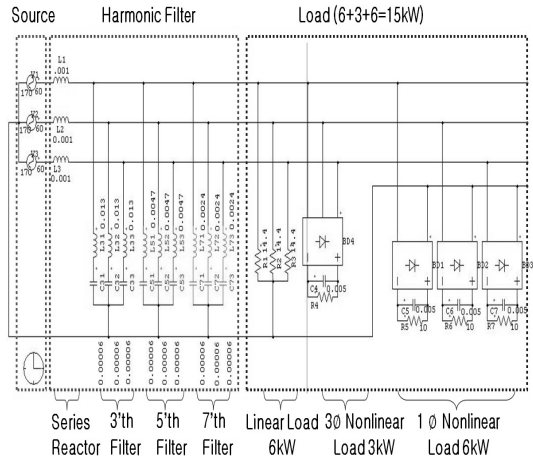


Fig. 3. Harmonic modeling

여기서, 고조파발생을 모의하기 위한 3상 비선형부하는 6kW, 단상 비선형부하는 1kW, 그리고 선형부하는 6kW로 모델링하였다. 한편, 고조파필터는 특정차수의 고조파를 감소시킬 수 있도록 R, L, C로 구성된 단일동조필터로 구성하였으며, 고조파 함유량이 많은 3, 5, 7고조파에 대한 필터를 모델링하였다.

3.3 서지 모델링

대용량 FCGS의 서지특성을 PSCAD/EMTDC로 모의하기 위하여, 서지발생기와 SPD(Surge Protective Device)의 모델링을 수행하였다. 여기서, 서지는 선로 또는 회로를 따라 급속히 증가하고 서서히 감소하는 특성을 지닌 전기적 전류, 전압과파형을 의미한다. 본 논문에서는 가장 심각한 피해를 끼치는 낙뢰서지를 대상으로 서지발생기를 모델링하였으며, Fig. 4.와 같이 구성하였다. 일반적으로 낙뢰로 유입되는 서지 전압은 파두장이 1.2 μ s이고 파미장이 50 μ s인 전압 파형이며, 서지 전류는 파두장이 8 μ s이고 파미장이 20 μ s인 전류 파형을 의미한다[8].

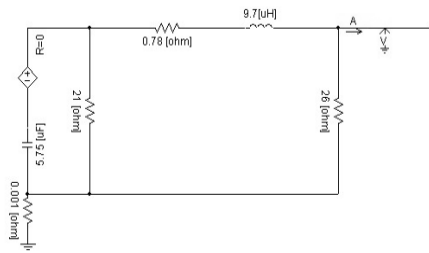


Fig. 4. Surge combination wave modeling

한편, SPD 모델링은 일반적으로 알려진 IEEE 모델을 대상으로 Fig. 5와 같이 구성하였다. 해당 모델은 IEEE 3.4.11에서 제시한 주파수 의존형 모델로서 병렬로 연결된 금속산화물 서지 어레스터(MOSA, Metal Oxide Surge Arrester) A_0 , A_1 과 R-L필터 등으로 구성되어 있다[9]. 이러한 SPD는 정상상태에서는 높은 임피던스를 갖게 되고, 서지유입 시에는 낮은 임피던스를 갖는 특성에 의하여 서지 에너지 크기를 감소시키는 역할을 수행하며, 각 파라미터 계산은 식(1)과 같다.

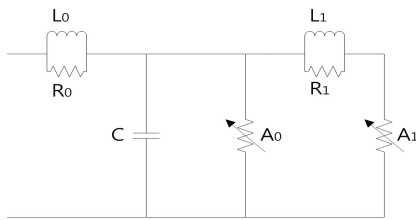


Fig. 5. IEEE SPD model

$$\begin{aligned} L_1 &= (15d)/n[\mu H], & L_0 &= (0.2d)/n[\mu H] \\ R_1 &= (65d)/n[\Omega], & R_0 &= (100d)/n[\Omega] \\ C &= (100n)/d[pF] \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, d : SPD의 세로 길이
 n : SPD의 병렬 개수

3.4 접지계통 모델링

통합접지계통이 대용량 FCGS에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 실 계통에서 운용중인 대용량 FCGS의 접지계통을 Fig. 6과 같이 상용소프트웨어인 ETAP으로 모델링하였다. 구체적으로 접지망 포설면적은 19,080 $[m^2]$ 이며, 대지저항은 약 350 $[\Omega \cdot m]$ 로 적용하였다. 또한 표토층은 자갈로서 단위길이당 저항값은 5000 $[\Omega \cdot m]$ 로 적용되었으며, 기타 주요 파라미터는 Table. 1과 같다.

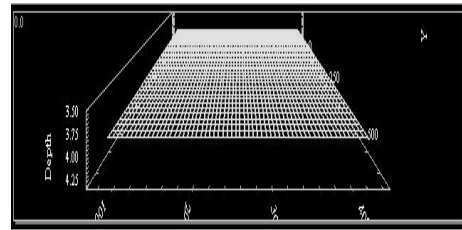


Fig. 6. Grounding system modeling

Table 1. Parameters of grounding system modeling

Conductor and Size	Annealed Copper, 120 $[mm^2]$
Ground Fault Current	25 $[kA]$
Depth of Surface	0.15 $[m]$
Fault Duration	1 $[sec]$

4. 대용량 연료전지발전시스템의 계통외란 방지알고리즘

대용량 FCGS에서 자주 보고되고 있는 보호기기의 오동작과 소자소손, 데이터 헌팅 문제 등을 해결하기 위하여, 전기설비기준과 분산전원 계통연계기준을 바탕으로 대용량 FCGS의 계통외란 방지 알고리즘을 제안한다.

4.1 보호기기 운용알고리즘

대용량 FCGS에서 발생하는 보호기기 오동작은 부하 불평형과 차단기 트립 시 발생하는 불평형전류로 인하여 발생한다. 따라서 본 논문에서는 중성점접지저항기(NGR, Neutral Ground Resistor)를 도입하여 불평형전류를 제한하는 NGR 운용알고리즘을 Fig. 7과 같이 제안하였다. 일반적으로 NGR 도입은 상위계통과 연계선로의 임피던스를 고려하여 연계용변압기의 유효접지범위 내에서 용량을 산정한다[10]. NGR 용량이 산정되면, 이를 추가한 임피던스도를 작성하고 FCGS 연계선로에 대한 지락전류(I_n)를 상위계통의 사고전류(I_s)부터 전류 분배법칙을 이용하여 계산한다. 이때 산정된 I_n 은 정격전류의 30[%]를 초과하지 않아야 하며, 사고시 건전상 전압은 사고전 전압의 1.3배 이내이어야 한다.

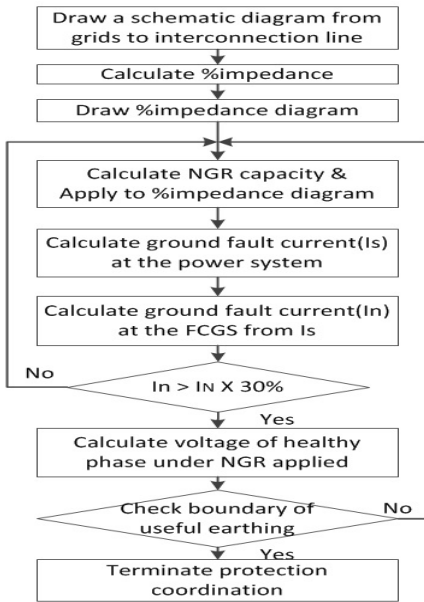


Fig. 7. NGR Operation algorithm

한편, TB강제동작시험 중 발생하는 불평형전류를 보호계전기 설정값 이하로 제한하기 위한 NGR 용량은 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$I_0 = \frac{3 \times 100}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \times I_n \leq I_{set} \quad (2)$$

여기서, Z_1 : 정상분 임피던스, Z_2 : 역상분 임피던스, Z_0 : 영상분 임피던스, Z_f : NGR 값
 I_{set} : OCGR 설정 전류

실 계통에서 운용중인 FCGS의 OCGR 설정값을 확인하여, 불평형전류를 그 이하로 줄일 수 있도록 NGR 용량을 산정하면 보호기기의 오동작을 방지할 수 있다.

4.2 고조파필터 설계알고리즘

전력분석결과 실 계통에서 운용중인 FCGS에서 기준치 이상의 고조파가 발생함을 확인하였다. 따라서 본 논문에서는 FCGS의 특성과 운전조건을 고려하여 특정 차수의 고조파를 감소시킬 수 있는 고조파필터 설계 알고리즘을 제안한다. Fig. 8은 제안된 고조파 필터 설계 알고리즘으로서 먼저 각 상의 기본파와 고조파의 전류 값을 측정 후, 스펙트럼 분석에 의하여 해당 차수의 고조파 비율[%]을 계산하여야 한다. 여기서 I_N 은 각 차수 고

조파 전류이며, I_1 은 기본파 부하전류이다. 만약 해당 차수의 고조파 전류가 제한 기준(IEEE 1547, 각 차수 고조파 3%)을 초과한다면, 해당 차수 고조파에 대한 동조 필터의 L, C 값을 산정한다. 하지만, 분석된 해당 고조파 전류가 제한 기준 이하일 경우, 다음 차수($n+2$) 고조파의 비율을 계산하여, 제한 기준과 비교하는 과정을 반복한다.

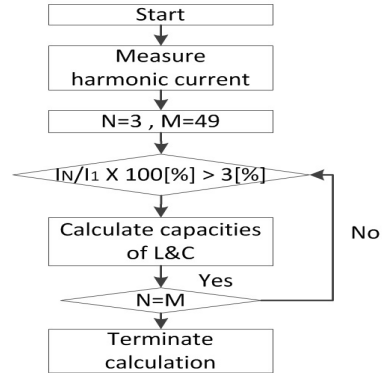


Fig. 8. Harmonic filter design algorithm for FCGS

필터는 R, L, C로 구성되어 L과 C의 직렬공진을 이용하는 단일동조필터로서, 단일동조필터의 입피던스 (Z_{th})는 식 (3)과 같으며, 해당 차수 고조파를 저감시키기 위한 동조 필터의 L값은 식 (4)와 같이 계산할 수 있다.

$$Z_{th} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) [\Omega] \quad (3)$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C} [H] \quad (4)$$

4.3 SPD 운용알고리즘

실 계통에서 운용중인 FCGS와 같이, 전기설비의 접지계통과 건축물의 피뢰설비 및 통신설비들의 접지극을 공용하는 경우, 서지로부터 전기설비를 보호하기 위하여 SPD의 설치가 요구되고 있다. 여기서 SPD라 함은 과도 전압을 제한하는 것을 목적으로 하는 장치이다. Fig. 9는 적절한 SPD를 선정하고 운용할 수 있는 SPD 운용알고리즘을 나타내며, 보호 가능한 에너지 크기와 파장의 길이에 따라 SPD의 등급을 선정해야 한다. 여기서 SPD의 등급은 Class1, 2, 3 혹은 타입 I, II, III로 구분하고 있다.

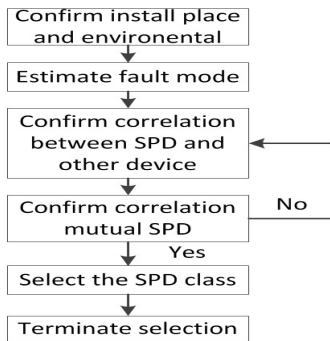


Fig. 9. SPD operation algorithm

구체적으로, Fig.10과 같이 설비의 전원 인입구와 같이 서지의 영향이 큰 곳은 Class1급 SPD를 적용하고, 부하 말단으로 갈수록 보호등급이 낮은 Class2, 3급을 선정하도록 한다. 다음 단계로 고장모드 추정에서는 SPD에 흐르는 최대방전전류를 고려해야 하며, 퓨즈 혹은 보호계전기와 같은 보호장치와의 동작협조 및 서지협조를 검토해야 한다.

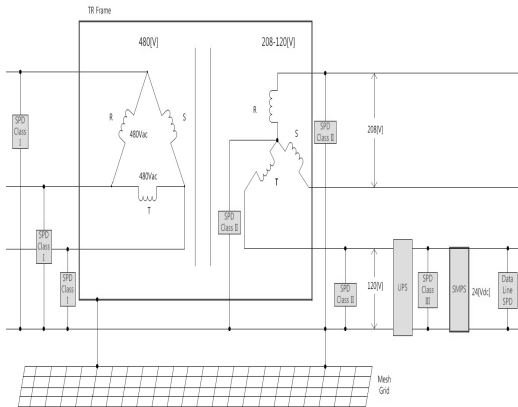


Fig. 10. SPD arrangement

4.4 접지계통 운용알고리즘

실 계통에서 운용 중인 FCGS는 민감하고 복잡한 제어소자를 필요로 하는 반면, 통합접지방식을 채택하고 있어 고압부와 저압부, 직류부와 교류부가 접지망이라는 연결통로를 서로 공유하고 있는 실정이다. 따라서 이러한 특성을 고려하여 접지망 설계 시 인체뿐만 아니라 기기에 미치는 영향도 최소화하는 접지계통 운용알고리즘을 Fig. 11.과 같이 제안한다[11].

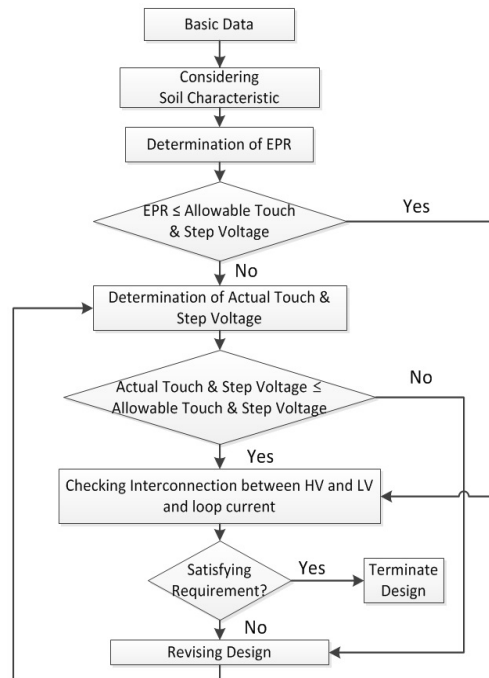


Fig. 11. Operation algorithm for grounding system

여기서, 고압계통의 지락고장에 의한 저압설비의 소손이나 절연파괴가 우려되는 통합접지시스템은 지락고장전류 및 지속시간을 바탕으로 요구되는 최소의 접지시스템을 선정 한 후, 토양특성을 고려하는 단계로 넘어가게 된다. 이를 통해, 접지시스템으로 흐르는 고장전류를 산정하여 시스템에서 요구되는 최대접지전위상승(EPR, Earth Potential Rising)을 구하고, 이 값과 허용접촉전압과 보폭전압을 비교하여 허용한계를 만족하는지 판단해야 한다.

여기서, EPR은 식 (5)와 같이 접지저항(R_g)과 접지망 유입전류(I_g)의 곱으로 나타낼 수 있으며, 각각의 항목은 식 (6)을 이용하여 산정할 수 있다.

$$EPR = I_g \times R_g \quad (5)$$

$$I_g = C_p \times D_f \times \beta \times I_f \quad (6)$$

$$R_g = \rho \times \left[\frac{1}{L_t} + \frac{1}{\sqrt{20 \times A}} \times \left(1 + \frac{1}{1 + h \times \sqrt{20/A}} \right) \right]$$

여기서, C_p : 계통확장계수, D_f : 비대칭분에 대한 교정계수

β : EPR 전류분류계수, I_f : 1선 지락전류

ρ : 대지고유저항, L_t : 접지도체 총 길이
 A : 접지도체포설면적, h : 접지선 매설깊이

한편, 허용접촉전압과 보폭전압을 구하기 위하여, 먼저, 감소계수 C_s 를 식 (7)과 같이 산정한다.

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \times (1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2h_s + 0.09} \quad (7)$$

여기서, ρ_s : 표토층 저항률, h_s : 표토층 두께

따라서, 산정된 C_s 를 이용하여 허용접촉전압 및 보폭 전압을 계산하면 식 (8), (9)와 같다.

$$E_{touch} = (1000 + 1.5 \times C_s \times \rho_s) \times \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (8)$$

$$E_{step} = (1000 + 6 \times C_s \times \rho_s) \times \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (9)$$

여기서, t_s : 고장지속시간

5. 시뮬레이션 결과 및 분석

5.1 보호협조 특성분석

대용량 FCGS의 TB 강제동작시험 중에 발생하는 보호기기도동작 특성을 분석하기 위하여, PSCAD/EMTDC를 이용하여 시뮬레이션 수행하였다. 여기에서는 한대의 FCGS에서 TB를 강제 개방하는 경우, 고압선로에서 발생하는 영상전류의 크기를 분석하였다. Fig. 12와 같이 TB 강제 개방시 중성선에서 30.7[A]의 불평형 전류가 발생하여, OCGR의 설정값(30[A])을 상회하여, 보호기기의 오동작이 충분히 발생할 가능성이 있음을 확인하였다.

한편, 제안된 알고리즘으로 산정된 NGR 용량을 모델링에 적용한 시뮬레이션 결과는 Fig. 12와 같다. 즉, 산정된 NGR 용량(0.53[H]) 투입 후, 측정된 불평형 전류가 약 30.07[A]에서 14.7[A]로 감소함을 확인하였다. 결과적으로, NGR을 설치하여 중성선 전류를 OCGR 정정값 이하로 낮춰 보호기기의 오동작을 방지할 수 있음을 확인하였다.

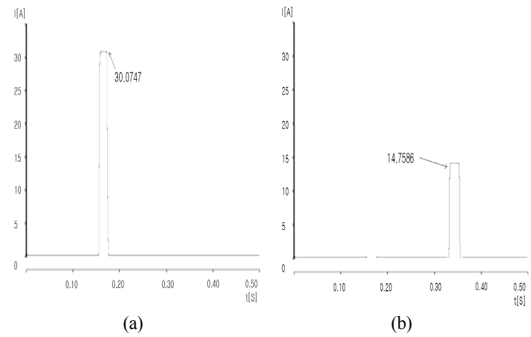


Fig. 12. Neutral phase current
 (a) Without NGR (b) With NGR

5.2 고조파 특성 분석

P-SIM을 이용한 대용량 FCGS의 고조파 특성을 분석하기 위하여, 비선형부하로 3차, 5차, 7차 고조파를 생성하여, 제안된 평가알고리즘에서 산정된 고조파 필터를 모델링에 적용한 후, 고조파 전류를 분석하였다. 시뮬레이션 결과, Fig. 13과 같이 각 차수별 고조파 함유율이 필터 투입 후 거의 제거되어 제안된 알고리즘의 유용성을 확인할 수 있었다.

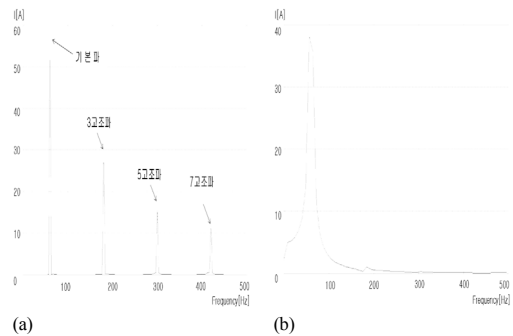


Fig. 13. Harmonic simulation result
 (a) Without filter (b) With filter

5.3 서지특성 분석

FCGS의 시공 및 운용 중 발생하는 소자소손의 주요 원인인 서지특성을 분석하기 위하여, PSCAD /EMTDC를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 3.3절에서 수행한 서지발생기 모델링으로 2kV/1kA 서지를 발생시키고, ClassI급의 SPD를 적용한 후 잔류전압을 분석하는 것이다. Fig. 14는 서지 파형인가 시, SPD가 차단하고 남은 잔류 전압을 나타낸다. 시뮬레이션 결과, 잔류전압이

700[V]~800[V]로 서지전압이 절반 이하로 감소되었고, 이는 IEC 1643-12에서 규정한 최대서지잔류전압 1,200[V] 이하를 만족하고 있음을 확인할 수 있었다[8].

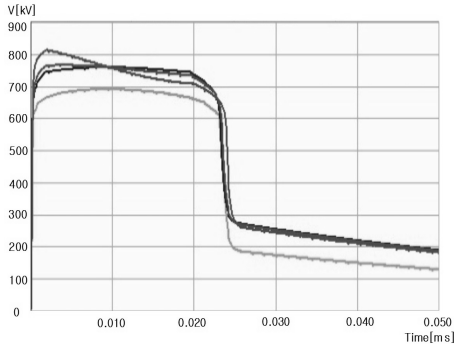


Fig. 14. Surge impulse voltage with SPD

5.4 접지계통 특성분석

ETAP을 이용하여 실 계통에서 운용중인 대용량 FCGS의 접지망을 시뮬레이션하여, 접지에 대한 영향을 분석하였다. 시뮬레이션 조건은 주위온도가 40[°C]인 상황에서, 접지망 내에 체중 70[kg] 사람이 서있을 때 지락이 발생할 경우 접촉전압과 보폭전압을 산정하는 것이다. 시뮬레이션을 수행한 결과, Fig. 15와 같이 접촉전압과 보폭전압이 131.3[A], 95.8[A]로 나타나, IEEE 80 기준(1,066[A], 3,796[A])을 만족시키고 있음을 확인하였다[11].

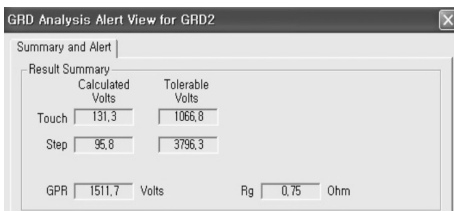


Fig. 15. Simulation result for grounding system modeling

6. 결론

본 논문에서는 대용량 FCGS를 계통에서 운용할 때 발생하는 문제점을 분석하고, 이를 해결하기 위하여 대용량 FCGS의 계통외란 방지알고리즘을 제안하였다. 또한 전력분석 소프트웨어를 이용한 모델링과 시뮬레이션 분석을 통하여, 제안된 알고리즘의 유용성을 확인하였으

며, 이를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 보호기기도동작 방지를 위해 제안된 NGR 운용알고리즘의 유용성을 확인하기 위하여, PSCAD/EMTDC를 통해 보호기기의 오동작 현상을 모의한 결과, 적정 NGR 투입으로 인하여 불평형 전류가 30.7[A]에서 약 15[A] 정도로 감소되어 보호기기의 오동작 현상을 방지할 수 있음을 확인하였다.
- (2) 고조파필터 설계알고리즘의 유용성을 확인하기 위하여, P-SIM을 통해 고조파발생과 고조파필터를 모의한 결과 필터 적용 후 종합고조파함유량이 2.7% 이하까지 개선됨을 확인하였다.
- (3) SPD 운용알고리즘의 유용성을 확인하기 위하여, PSCAD/EMTDC를 통해 2[kV]의 서지와 SPD를 모의한 결과 서지발생이 800[V] 이하로 줄었으며, IEC 61643에서 제시하는 최대서지잔류전압 1,200[V] 기준을 만족함을 확인하였다.
- (4) 실 계통에서 운용중인 FCGS의 접지망을 ETAP을 이용하여 모의한 결과 접촉전압과 보폭전압이 131.3[A], 95.8[A]로, IEEE 80 기준(1,066[A], 3,796[A])을 만족시키고 있음을 확인하였다.

References

- [1] "Renewable Portfolio Standard Management and Operational Guidelines", Ministry of Knowledge Economy, March, 2013.
- [2] "2.8 Megawatts DFC3000 Specifications" [Internet]. : Fuel Cell Energy, Available From: <http://www.fuelcellenergy.com/products-services/products/2-8-mw-dfc3000/> (accessed March, 25, 2015)
- [3] "IEEE Recommended Practice for the Transfer of Power Quality Data", IEEE Std 1159.3, IEEE Standards Coordinating Committee22, Jan., 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/IEEESTD.2004.94416>
- [4] "Guideline for Interconnection of Distributed Generation System in Distribution System", KEPCO, June, 2012.
- [5] "IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems", IEEE 1547, Standards Coordinating Committee21, July, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/IEEESTD.2003.94285>
- [6] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, H. Wayne Beaty, "Electrical Power Systems Quality ", McGraw Hill, 2004.

- [7] "Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 4 : Testing and Measuring Techniques. Section 15 : Flicker meter-Functional and Design Specifications", IEC 61000-4-15, Feb., 2003.
- [8] "Low-voltage surge protective devices-Part 12 : Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems-Selection and application principles", IEC 61643-12, Feb., 2002.
- [9] "Modelling of metal oxide surge arresters", IEEE Working group 3.4.11, IEEE Trans. Power Delivery 7(1), 1992.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/61.108922>
- [10] Dae-seok Rho, "Countermeasure on bi-directional protective device coordination of smart grid connected to new energy generation", The world of electric, vol 5 No 9, pp. 39-43, 2010.
- [11] "IEEE guide for safety in AC substation grounding", IEEE 80, 2000.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/IEEESTD.2000.91902>

김 기 영(Gi-Young Kim)

[정회원]



- 2011년 8월 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 전기공학전공 (공학사)
- 2015년 8월 : 한국기술교육대학교 대학원 전기공학전공 공학석사

<관심분야>

연료전지, ESS, 신재생에너지

오 용 택(Yong-Taek Oh)

[정회원]



- 1982년 8월 : 연세대학교대학원 전기공학과 전기자동제어 (공학석사)
- 1987년 8월 : 동대학원 전기공학과 전력계통 (공학박사)
- 1987년 10월 ~ 1991년 2월 : 한국 전력 정보처리처 기획과장
- 1991년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>

전력계통 설비 운용, 계획, 설계

강 민 관(Min-Kwan Kang)

[정회원]



- 2007년 2월 : 한국기술교육대학교 대학원 전기전자공학과 (공학석사)
- 2007년 4월 ~ 2010년 5월 : 포스코 ICT연구소 책임연구원
- 2010년 5월 ~ 현재 : 포스코에너지 연료전지 사업실

<관심분야>

전력계통, 연료전지 이상 진단

김 병 기(Byung-Ki Kim)

[준회원]



- 2012년 2월 : 한국기술교육대학교 대학원 전기전자통신공학부 전기공학전공 (공학석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 동대학원 전기전자통신공학과 전기공학전공 박사과정 수료

<관심분야>

배전계통 운용, 신재생에너지, 스마트그리드, 품질해석

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[종신회원]



- 1987년 2월 : 고려대학교대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교대학원 전기공학과 (공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국 전기연구소 연구원/선임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>

전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석