

고저항 지락사고 해석을 위한 아크 파형 모델링에 관한 연구

문성철**
원광대학교

이종범*
원광대학교

A Study on Modeling of Arcing Wave for Analysis of High Impedance Fault

Sung-Chall. Moon**
Wonkwang University

Jong-Beom. Lee*
Wonkwang University

Abstract - Recently high impedance fault(HIF), which includes arcing wave, has often occurred in power system. Some papers related to arcing phenomena and its modeling have been published. However the proposed methods show much different form in compare with actual arc wave under HIF. It is not so available to use to analyze HIF because of such problem. This paper proposes the new arcing wave model, which is nearly similar to actual arcing wave, developed using PSCAD/EMTDC. The arcing waves obtained from arcing model that applied in actual power system are compared with some actual arcing wave gained from the field test and show the availability to application of relay test.

해석 프로그램인 PSACD/EMTDC를 이용하여 기존에 모델들이 가지고 있던 공통적인 문제점인 다양한 아크사고에 대응하지 못하는 단점을 해결하는 모델을 개발하여 제시하였다. 또한 본 논문에서 제시한 PSCAD/EMTDC에서 모델링한 각종 아크 모델을 사용하여 실제통에서 고저항 지락사고를 발생시켜 여러 경우에서의 사고전류 파형을 구현하였다. 이러한 아크사고전류 파형을 고저항 지락사고가 발생된 실제통에서 직접 모델링하여 여러 형태로 구현한 다음 이를 검출할 수 있는 계전기의 보호능력을 시험하는데 사용한다면 아크를 동반한 고저항 지락사고를 검출할 수 있는 각종 계전기의 보호능력을 검증 및 우열 판정에 유용하게 사용될 것으로 사료된다.

1. 서론

최근 전력수요의 급증으로 인하여 전력계통의 구성이 점점 대형화, 복잡화 되어짐에 따라 전력계통의 보호시스템도 이에 부응하기 위하여 더욱 고도의 보호기능과 신뢰성이 요구되고 있다. 이런 가운데 국내외적으로 전력계통에 고저항 지락사고(High Impedance Fault : HIF)가 발생하여 계통보호에 어려움을 주어 계통의 광역정전을 발생시키는 경우가 발생되고 있어 이에 대한 보호방안에 대해 현장의 기술자들이 많은 관심을 갖고 있다. 이에 따라 고저항 사고에 대한 보호방안과 특히 아크현상을 재현하는 것은 고저항 지락사고의 보호를 위해 우선적으로 해결하여야 할 매우 중요한 부분이라고 할 수 있다. 이를 위해 많은 연구가 국내외적으로 진행되고 있는데[1]-[3], 그 중에서도 고저항 사고시 발생하는 아크의 현상을 실제에 접근하도록 규명하거나 재현하기 위해 발표된 논문으로서 A. E. Emanuel 이론에 토대를 두고 최근에 발표된 EMTP의 적용을 위해 제안된 Buchholz 모델과 기존에 PACAD/EMTDC를 이용하여 국내에서 발표되었던 모델인 비선형 전압제어 저항소자를 결합한 New Arc HIF 모델과 최근 국내에서 EMTP를 이용한 고저항 아크모델 등을 들 수 있다 [4]-[6]. 그러나 국내외에서 지금까지 발표된 아크모델을 보면 공통적으로 가지고 있는 문제점이 실제의 사고 파형에 근접하는 다양한 아크사고모델을 수립하지 못하고 기본적인 아크현상으로서 시간에 관계없이 일정하거나 증가하는 정도에 불과하다는 점이다. 따라서 기존에 발표된 논문의 결과를 토대로 실제 고저항 사고를 해석한다면 현장의 실제사고와 다소 거리가 있는 결과를 얻게 될 수밖에 없는 경우가 발생하게 된다.

이에 따라 본 논문에서는 전력계통에서의 고저항 지락사고시 발생하는 아크현상을 파악하고 모델링하며 이 아크 파형을 계전기 시험을 위한 고장재현이나 해석 및 검출 알고리즘 개발에 다양하게 사용되도록 하기 위해서 현재 전력계통 모의에 많이 사용되어지고 있는 과도현상

2. 고저항 아크사고의 특징

전력계통에서 고저항 지락사고가 생기면 대부분의 경우가 아크를 동반한 상태에서 초기에는 고저항 미소전류로부터 시작하여 저저항을 거쳐 완전지락에 이르러 큰 고장전류가 흐르는 것으로 나타나 있다. 따라서 계통에서의 고저항 지락사고는 비선형 전압과 전류를 유발시키는 요인이 된다. 이러한 아크사고전류의 특징은 매우 작은 전류가 아크의 모양으로 흐르다가 고장의 조건에 따라 갑자기 증가하거나 서서히 증가하며 때로는 증감을 반복하는 매우 다양하고 랜덤한 형태를 지니고 있다. 실제로 아크를 동반한 고저항 지락사고를 발생시켜 이로부터 취득한 그림 1과 그림 2를 보면 그와 같은 현상을 쉽게 알 수 있다. 그림 1은 캐나다 Manitoba대학에서 발표한 것으로 배전계통에서의 고저항 지락사고시 취득한 아크전류이며, 그림 2는 최근 전력연구원에서 시험한 22.9 kV급의 고저항 지락사고시 얻은 파형의 초기부분을 보이고 있다. 그 이외에도 다양한 아크파형을 보였다.

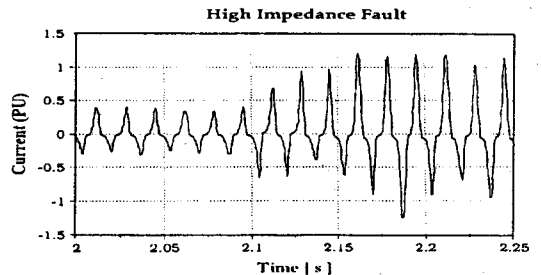


그림 1. 고저항 지락사고 전류의 특성

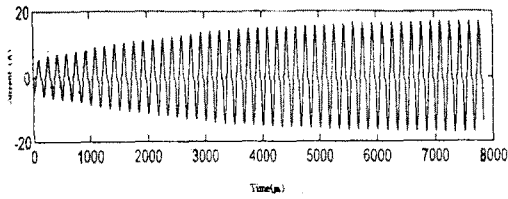


그림 3 인공 고저항 지락사고 현상시험에서 나타난 전류파형

3. 아크모델

지금까지 밝혀진 실계통 시험으로부터 얻은 아크전류 파형을 보면 기존에 발표되었던 Buchholz 모델과 비선형 전압제어소자를 결합한 형태의 New Arc HIF 모델 등과 비교하여 볼 때 전류가 영의 값에 머무르는 시간이 있다는 아크전류 자체의 특징을 구현한 것 이외에는 아크전류 최대치의 불규칙한 시간적 변동은 전혀 고려되지 못한 것이 사실이다. 따라서 본 논문에서는 실제의 고저항 지락사고시 발생될 수 있는 다양한 아크 파형을 모델링하여 구현하는 기법을 제안하였다.

이러한 방법은 PSCAD/EMTDC 내에서 그림 3과 같이 모델링 하였고 이를 통해 아크 파형을 구현하였다. 본 논문에서는 Buchholz가 제시한 아크모델에 그림 3과 같이 여러 가지 비선형 기능을 갖고 있는 비선형 전압제어 소자 E를 직렬로 연결하여 모델링함으로써 사용자가 원하는 아크 파형을 어렵지 않게 구현할 수 있도록 하는 "HIF Arcing 모델"을 제안 하였다.

따라서 이러한 아크사고가 발생할 경우에서 만일 계전기를 시험하거나 사고의 해석을 원할 경우에는 본 논문에서 제안한 아크모델을 사고점에 연결하여 시뮬레이션함으로써 다양한 아크 파형을 얻을 수가 있다. 즉 기존의 Buchholz 모델이 DC 전압원의 크기를 조절하여 전류의 크기가 조절할 수 있게 되는 기능과 결합하여 E의 기능으로서 비선형 전압제어소자의 전압원에 입력되는 전압을 증가시키는 입력 값과 감소시키는 입력 값을 가진 파형을 스위칭 소자를 이용하여 실제 파형에서의 진폭의 증감현상과 동일하게 해줌으로써 아크전류 파형의 형태 및 크기를 시간적으로 유연하게 구현할 수 있도록 하는 것이다. 여기에 사용된 스위칭 소자는 PSCAD/EMTDC 내에서 일반적인 흐름을 바꾸어 주는 목적으로 사용되는 스위칭 소자로서 두 종류의 흐름 중 어느 하나를 즉시 개방하거나 또는 흐름을 바꾸게 할 수 있도록 사용된다.

표 1 은 본 논문에서 제시한 HIF Arcing 모델에서 아크사고전류의 파형을 구현하기 위해 비선형 전압제어소자에서 변화시킬 수 있는 주요대상들을 나열한 것이다. 한편 그림 4는 제안한 그림 3과 같은 HIF Arcing 모델을 이용하여 그림 1과 같은 실계통 시험으로부터 얻은 아크전류와 거의 유사하게 구현된 파형을 보이고 있다.

표 1. 아크파형 모의시의 변화요인

구분	변화 요인
여러개의 스위칭 소자들	① 각각의 기본입력 파형의 Maximum과 Minimum output의 크기
	② 각각의 2차 제어 함수의 Gain 값과 Damping 비율
사용할 때	③ 각각의 스위칭 소자 입력주파수 크기
	④ 각각의 입력 파형들의 배열순서

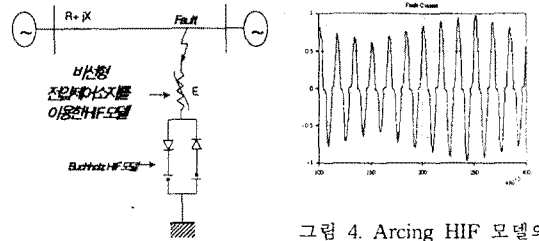


그림 4. Arcing HIF 모델의 사고전류 파형

그림 3. Arcing HIF 모델

4. 모델계통의 모의

4.1 모델계통

서울지역의 일부 실계통인 GA S/S - SU S/S 구간을 모델계통으로 선정하여 두 모선사이의 70%지점에서 0°의 고저항 지락사고를 상정하는 것을 기본으로 모의했으며, 그림 5는 이때의 모델계통과 아크모델을 보여주고

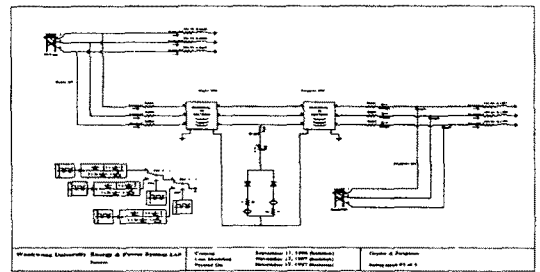


그림 5. PSCAD/EMTDC 내에서의 모델계통과 아크모델 있다.

4.2 모델계통의 사고모의 결과

본 논문에서 제시한 모델은 여러 가지 다양한 변화요인을 가지고 있어 다양한 아크를 동반한 실계통 고저항 사고시의 아크모델에 적절히 대처할 수 있는 것을 보여주기 위해서 표1의 변화요인들을 가지고 조합을 만든 것들에서 대표적인 몇 가지를 PSCAD/EMTDC 내의 모델계통에서 모의한 결과를 나타낸 것이다.

사고모의 결과를 비교검토하기 위하여 그림 4의 Arcing HIF 모델의 사고 전류 파형을 기본 파형으로 택하였을 때의 변화요인을 기준 값으로 임의로 선택한 후, 이러한 기준 값을 변화시킴에 따른 다양한 아크현상을 구현할 수 있음을 보여주어 본 논문에서 제시한 모델의 타당성을 검증하였다.

그림 6과 그림 7은 1개의 스위칭 소자를 사용할 경우에서 다른 변화요인을 고정시켜놓고 단지 스위칭 입력주파수의 크기에 따라 변화하는 아크 파형을 모의한 결과를 나타낸 것이다. 그림 6은 1개의 스위칭 소자를 사용할 때의 기본입력 파형의 Max 값과 Min 값을 변화시켜서 모의한 것들 중에서 대표적인 Max 값의 변화시 나타난 사고전류 파형을 나타낸 것이고, 그림 7은 동일한 조건하에서 2차 제어함수의 Gain 값을 변화시켜서 모의한 것이며, 그림 8은 역시 동일한 조건에서 스위칭의 입력주파수 크기를 변화시켜 모의한 것이다. 여기서 말하는 동일한 조건이란 앞에서 언급했던 그림 4의 사고전류 파형을 구현할 때의 변화요인을 기준으로 할 때 각각의 변화요인을 변화시켰을 때 다른 변화요인은 같은 값으로

지정해 놓은 것이기 때문에 이외에도 수많은 사고전류 파형을 구현할 수 있는 이점을 말하는 것이다.

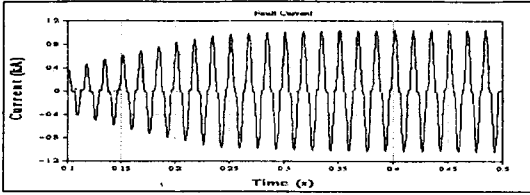


그림 6. 기본입력 파형의 Max 값을 변화시킨 경우의 사고전류

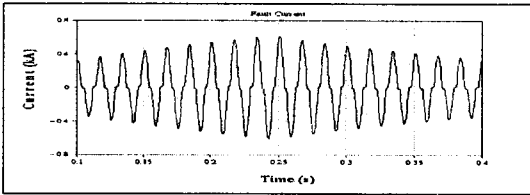


그림 7. 제어함수의 Gain 값을 변화시킨 경우의 사고전류

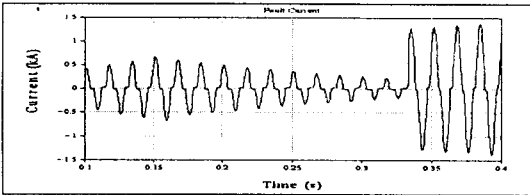


그림 8. 스위칭 소자의 입력 주파수를 변화시킨 경우의 사고전류

또한 그림 9는 2개의 스위칭 소자를 이용할 때의 Max 값의 변화와 2차 제어함수의 Gain 값을 동시에 변화시켰을 때의 사고전류 파형이고, 그림 10은 동일한 조건에서 스위칭의 입력주파수를 변화시켜서 모의한 것이며, 그림 11은 기본입력 파형의 Max값과 2차 제어함수의 Gain값, 그리고 스위칭의 입력주파수 크기를 변화시켜서 모의한 것이다

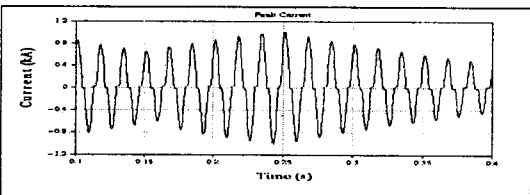


그림 9. 기본입력 파형의 Max 값을 변화시킨 경우의 사고전류

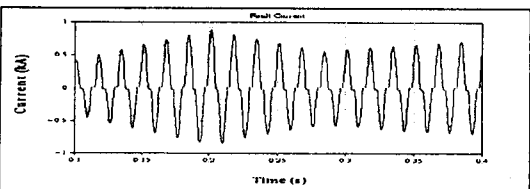


그림 10. 스위칭의 입력주파수를 변화시킨 경우의 사고전류

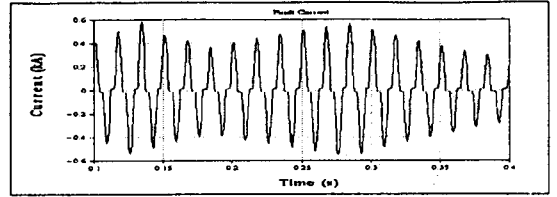


그림 11. Max 값과 Gain 값 및 스위칭의 입력주파수 크기를 변화시킨 경우의 사고전류

5. 결 론

본 논문에서는 기존에 발표되었던 아크모델들의 문제점을 보완하여 전력계통에서의 고저항 지락사고 대책을 수립하기 위해 필요한 실제 사고 파형의 모델링을 구현하기 위해 실제 파형과 매우 유사하도록 하는 아크모델을 제안하였다. 본 논문에서의 연구결과와 향후 연구방향을 종합하여 기술하면 아래와 같다.

- (1) PSCAD/EMTDC내에서 구현한 Arcing HIF모델은 비선형 전압제어 소자에 다양한 비선형 전압을 부가하여 각종 사고를 모의하기 위한 다양한 아크 파형을 구현할 수 있어 실제현상보다 접근하는 아크모델을 수립하였다.
- (2) 모델계통에서 구현한 여러종류의 아크 파형 어떤 실제계통에도 적용하여 구현할 수 있도록 하였다.
- (3) 제안한 아크모델로부터 구현된 아크 파형은 RTPS를 사용하여 계전기를 시험하는데 유용하게 이용될 수 있다.
- (4) 실제의 고저항 지락사고는 다양한 원인과 조건에 의해 그 양상이 달라진다. 따라서 조건과 원인에 따른 아크 현상에 대해서 보다 많은 연구가 수반되어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] A. F. Sultan, G. W. Swift, D. J. Fedirchuk, "Detection of High Impedance Arcing Faults using A Multi-layer Perceptron", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, No. 4, Oct. 1992.
- [2] B. M. Aucoin and R. H. Jones, "High Impedance Fault Detection Implementation Issues" IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11, No. 1, Jan. 1996.
- [3] 이종범, 김일동, "송전계통 고저항 지락사고 보호기술 현황 및 개발전망". 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 640-642, 1994.7
- [4] 박성훈, 이종범의 5인 "송전계통에서 EMTDC를 이용한 고저항 지락사고 특성분석에 관한 연구" 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.103-106, 1996.11
- [5] V. L. Buchholz, et al., "High Impedance Fault Detection Device Tester" IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11, No. 1, Jan. 1996.
- [6] 김철환, 채중병, 변성현, 한경남 "EMTP를 이용한 고저항 아크 사고의 모의" 대한전기학회 논문집 pp.1450-1453, 1997.10
- [7] 김일동, 한경남 "특고압계통 인공 고저항 지락고장 현장 시험 및 분석" 전력계통보호기술연구논문집 pp.32-42, 1997.11
- [8] Manitoba HVDC Research Centre, "EMTDC Custom Models Manual"