

PT 철공진을 고려한 150kV GIS Dead Bus의 잔류전압 평가연구

김수남, 김익모, 백병산, 권중록, 김학주, 박근수
현대중공업(주)

A Study on Evaluation of Residual Voltage during the Dead Bus Condition in 150kV GIS Concerned with PT Ferroresonance

Soo-Nam Kim, Ik-Mo Kim, Byung-San Baek, Joong-Lok Kwon, Hak-Joo Kim, Kewn-Soo Park
Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

Abstract - 본 연구는 GIS 변전소 내 Dead Bus의 잔류전압 평가에 관한 것이다. 차단기 개방시 발생된 잔류전압이 철공진 현상에 의한 것임을 증명하고 원활한 CB의 재투입을 위해 사선모선의 전압조건 설정시 공진 과전압을 고려하여 재설정 하였다. 철공진 현상을 모의하기 위해 PSCAD/EMTDC를 이용하여 적절한 PT 모델링 방안을 제시하였고 이를 PT 철공진 측정시험결과와 비교 검증하였다. 또한, 제안된 PT 모델과 다양한 GIS 모선 운영에 따른 계통회로를 구성하여 사선모선의 잔류전압을 계산하였다.

1. 서 론

최근 150kV GIS Bus 차단기의 투입 전 동기화 검증 과정에서 사선 모선에 상당히 큰 잔류전압이 검출 되어 CB 재투입 불능 현상이 발생되었다. 이러한 잔류전압은 철공진현상에 의한 것으로 포화특성을 가진 변압기 혹은 전압 변성기(PT: Potential Transformer)가 계통 커패시턴스와 공진을 일으켜 발생된다[1,2]. 철공진 현상을 유발하기 위해서는 유도성 전압변성기인 PT회로의 인덕턴스와 모선의 정전용량이 공진조건을 만족하여야 하는데 대부분의 변전소의 경우 정상운전시 모선의 정전용량이 변성기 혹은 변압기의 인덕턴스에 비해 상대적으로 작아서 크게 문제가 되지 않았다. 그러나, GIS(Gas Insulated Switchgear)에서는 정전용량이 상대적으로 크기 때문에 철공진에 의해 발생된 이상전압이 보호계전기가 오부동작하는 원인이 되기도 한다[3,4]. 특히, 유도성 전압변성기인 PT가 차단기 후단의 변전소 모선에 연결되어 있는 경우에는 차단기 극간에 TRV(Transient Recovery Voltage)방지용으로 설치된 극간 커패시턴스와 Busbar와 대지간 커패시턴스와의 공진으로 인해, 차단기가 개방되면 개방시점에 커패시턴스에 존재하는 DC 전압이 PT의 철심을 포화시켜 장시간 동안 사선모선에 공진 과전압을 충전시키게 된다[5]. 그러므로, 원활한 CB의 재투입을 실시하고자 한다면 사선모선의 잔류전압의 상한치에 대한 조건을 공진 과전압을 고려하여 설정하여야 하며, 과도한 잔류전압이 발생되면 적절한 철공진 억제방안이 도모되어야 할 것이다. 그러나, PT의 포화특성과 인덕턴스는 설치된 제품마다 그 특성이 다르고, GIS 운영 방법에 따라 변전소내의 정전용량의 값들이 다르므로 이를 계산하기 위해서는 PT의 적절한 모델링이 필요하고, 변전소의 운전 시나리오에 따라 사선모선의 전압조건을 설정하여야 한다.

따라서, 본 논문은 유도성 변성기가 설치된 특정 Site를 대상으로 설치된 PT의 포화특성을 모델링 하고 이를 PT의 철공진 시험결과와 비교 검증하였다. 또한, 차단기가 개방된 이후에 차단기 극간 커패시턴스와 모선의 대지간 커패시턴스와의 합으로 이루어진 계통 커패시턴스와 PT의 인덕턴스와의 철공진에 의한 잔류전압을 계통해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모의함으로써 모선 차단기 재투입시 사선 모선의 잔류전압을 계산하였다.

2. 본 론

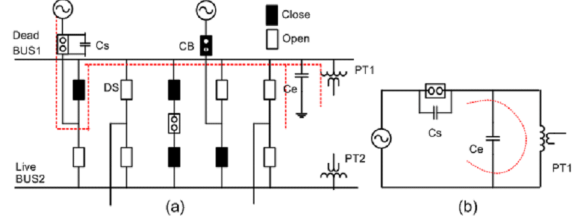
2.1 변전소 PT 철공진 발생회로

GIS 변전소의 모선구성이 그림 1(a)와 같을 경우, 사선모선의 회로는 그림 1(b)와 같이 형성된다. 이 때, 유도성 전압변성기의 인덕턴스와 계통 커패시턴스 사이의 공진현상으로 인해 사선모선의 공진과전압이 발생하게 되고, 차단기 재투입이 실패하게 되므로 모선의 잔류전압을 사전에 계산하여 Dead condition 설정에 반영해야 한다.

2.1.1 PT의 포화특성 Modeling

PSCAD/EMTDC상에서 PT의 포화특성을 적용하기 위해서 변압기 모델의 i-Φ 특성곡선인 Saturation curve를 150kV PT사양에 적합하도록 변형하여 모델링 하였다. PT의 2차측과 3차측 용량은 설계사양인 200VA로 설정하고 포화곡선은 표 1과 그림 2(a)와 같이 설정하였다. 그림 2(b)는 GIS의 극간 커패시턴스(Cs)와 모선의 대지간 커패시턴스(Ce)

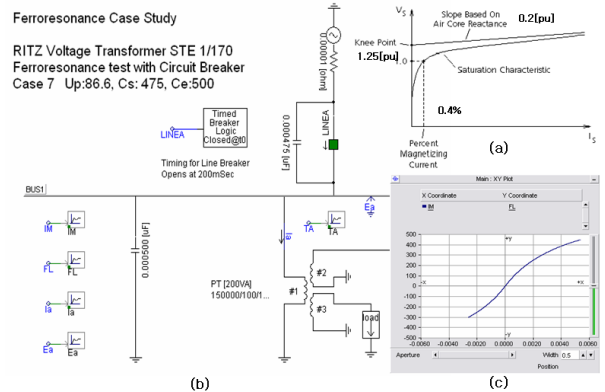
를 PT와 직병렬로 연결하여 실제 GIS의 모선 PT를 구현한 PSCAD/EMTDC Draft 화면이다. 그림 2(c)는 PT의 포화특성 모델링 결과로서 전류와 자속특성을 보여준다.



〈그림 1〉 GIS 변전소 PT 철공진 발생회로

〈표 1〉 PT 포화특성 Parameter(PSCAD/EMTDC)

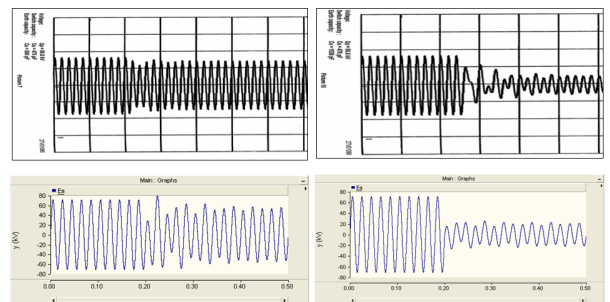
parameters	Value	Unit
Air Core Reactance	0.2	[pu]
Knee Voltage	1.25	[pu]
Magnetizing Current	0.4	[%]



〈그림 2〉 PT 포화특성 모델링(PSCAD/EMTDC)

2.1.2 측정시험과 모의결과 비교

PT의 철공진 특성을 확인하기 위해 차단기 극간 커패시턴스(Cs)와 모선의 대지 커패시턴스(Ce)의 값을 달리하여 전체 54개의 Case에 대해 과전압 측정시험을 실시하였다.



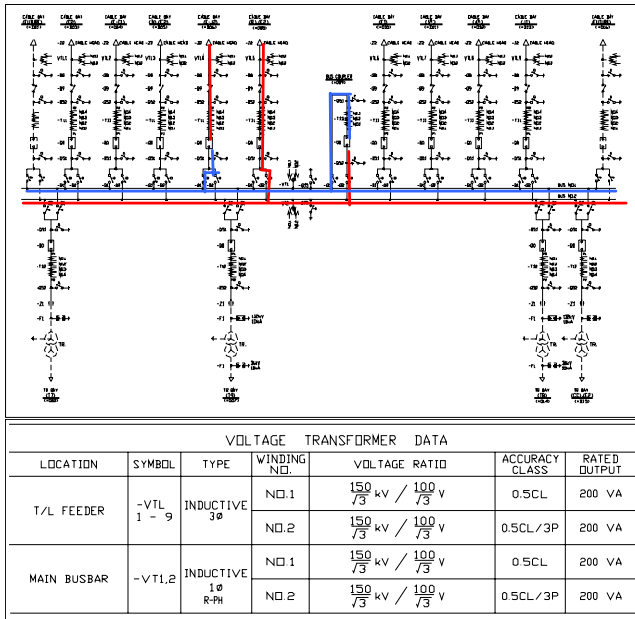
(a) Case 7 [Up:86.6kV, Cs:475pF, Ce:500pF] (b) Case 10[Up:86.6kV, Cs:475pF, Ce:1536pF]

〈그림 3〉 PT 공진 측정시험과 모의 결과 비교

그림 3(a)와 (b)는 각각 Case 7번과 Case 10번의 측정시험의 결과를 제안된 모델링의 모의결과와 비교한 것으로서 제안된 모델이 적절하게 동작함을 입증하였다. 그림 3의 상단 전압파형은 측정시험 결과이고, 하단은 PSCAD/EMTDC 모의 결과이다.

2.2 150kV GIS 변전소 Dead Bus 잔류전압

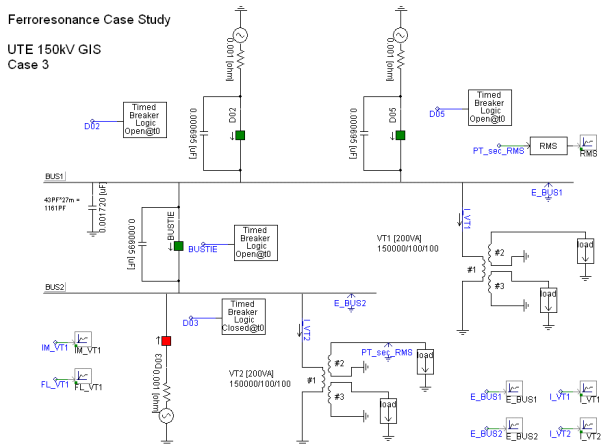
변전소의 모선은 두 개의 병행 모선과 다수의 Feeder로 구성되어 있고 각각의 Feeder와 두 모선사이에는 차단기가 설치되어 있는 것이 일반적이다. 따라서, 계통 커패시턴스는 각 Feeder의 전압원과 Open 상태의 차단기들로 구성된 회로를 형성해서 모의하여야 한다. 그림 4는 사례 연구 150kV GIS 변전소의 Dead bus 상황으로 모선차단기와 1개의 Feeder로부터 전압이 차단기 극간 커패시턴스를 통해 사선모선으로 유입되고 있는 경우이다. 이 경우 극간 커패시턴스의 직류전압이 Bus1의 PT의 철심을 포화시키며 공진 과전압을 발생시키게 된다.



〈그림 4〉 해외 150kV GIS 변전소 운전 예(case 2)

2.2.1 PSCAD/EMTDC를 이용한 150kV GIS 변전소 모의

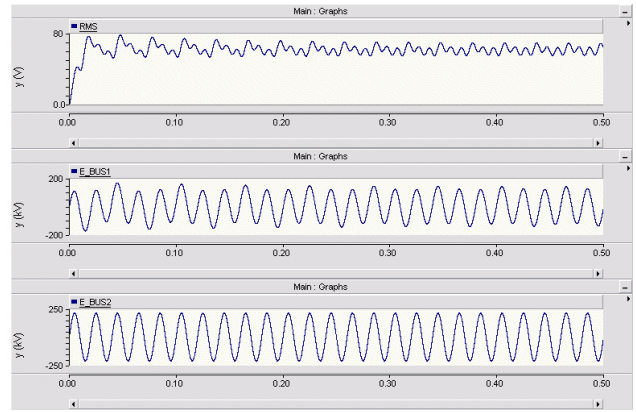
철공진에 의한 잔류전압을 계산하기 위해 GIS 변전소의 운전상황을 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모의하였다(그림 5). 설치된 PT의 철공진 특성이 반영된 포화특성 데이터를 사용하였으며 표 2와 같이 기존의 차단기 투입 실패사례의 데이터를 이용하여 6개의 Case 별로 잔류전압을 계산하였다. 본 논문에서는 현장 데이터인 차단기 극간 커패시턴스는 695[pF], 대지와 모선간의 커패시턴스는 43[pF/m]로 설정하여 계통 커패시턴스를 계산하였다.



〈그림 5〉 사선 모선의 잔류전압 계산 PSCAD Draft 화면

2.2.2 Simulation Result

그림 6은 해당 사이트의 채투입 실패에 대한 사례 연구 중 표 2의 Case 3에 대한 결과로서 사선모선의 PT 2차측 전압이 66V에 이르는 것을 확인 하였다. 즉, 사선모선임에도 불구하고 활선모선의 60~70% 전압이 철공진에 의하여 발생하고 있음을 알 수 있다.



〈그림 6〉 철공진에 의한 잔류전압 모의결과 (Bus1의 RMS전압, Bus1 전압, Bus2 전압)

표 2는 제안된 방법으로 150kV GIS 모선의 잔류전압을 계산한 결과이다. 해당 사이트의 Dead Bus 상한치가 40V임을 감안할 때, 차단기 채투입이 불가능 함을 알 수있다. 따라서, 사례별로 계산결과를 바탕으로 사선모선의 설정치를 기존 설정값에 30~50% 이상 상향조정하여 채투입이 가능하도록 하였다.

〈표 2〉 UTE 150kV GIS 동작 시나리오별 잔류전압 계산결과

Case	차단기 극간 Cs [pF]	대지와 모선사이 Cs [pF]	모선 길이 [m]	잔류 전압 (RMS)	차단기 Open 상태
1	695	1720	40	34	Busbar CB open
2	1390	1720	40	52	Busbar CB & 1 T/L CB open
3	2085	1720	40	66	Busbar CB & 2 T/L CB open
4	695	1161	27	49	Busbar CB open
5	1390	1161	27	65	Busbar CB & 1 T/L CB open
6	2085	1161	27	73	Busbar CB & 2 T/L CB open

3. 결 론

본 연구는 GIS 변전소 내 사선모선의 잔류전압 평가에 관한 것이다. 원활한 CB의 채투입을 위해 사선모선의 전압조건을 PT의 포화에 따른 공진 과전압을 고려하여 재설정 하였다. 철공진 현상을 모의하기 위해 적절한 PT 모델링 방안을 제시하였고 이를 PT 철공진 측정시험결과와 비교 검증하였다. 제안된 PT 모델을 이용하여, 차단기 개방시 변전소내 계통의 커패시턴스와 공진과전압을 모의함으로써 사선모선의 Dead Condition 전압상한치를 계산할 수 있었다.

본 연구의 결과물은 해외 150kV GIS 변전소에 적용되어 사선모선의 전압 조건을 재설정하는데 활용되었으며 향후 철공진에 의한 과도한 잔류전압 억제 방안에 대한 연구가 병행되어야 할 것으로 사료된다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] Marjan Popov and Enrique Acha, "Overvoltages due to Switching Off an Unloaded Transformer with a Vacuum Circuit Breaker", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 14, No. 4, p1317-1326, October, 1999
- [2] M. R. Iravani, "Modeling and Analysis Guidelines for Slow Transients-Part III: The Study of Ferroresonance", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 15, No.1, p255-265, January, 2000
- [3] C. P. Cheng and Shihe Chen, "Simulation of Resonance Over-voltage during Energization of High Voltage Power Network", *Proceedings of International Conference on Power Systems Transient(IPST)*, 2003
- [4] S. Nishiwaki, T.Nakamura and Y. Miyazaki, "A Special Ferro-resonance Phenomena on 3-phase 66kV VT-generation of 20Hz zero sequence continuous voltage", *Proceedings of International Conference on Power Systems Transient(IPST)*, 2007
- [5] "GIS 변전소 유도성 전압변성기의 철공진 방지대책", 한국전력공사, 2006