

송전계통 고저항 지락사고 보호기술 현황 및 개발전망

° 이 종 범°
원광대

김 일 동°
한전 기술연구원

Present State and Development Prospect on the Protective Relaying Under High Resistance Earth Faults in Transmission Systems

Jong-Beom Lee°
Wonkwang University

Il-Dong Kim°
KEPCO Research Center

Abstract

This paper describes the present state and development prospect on the protective relaying under high resistance earth faults in transmission systems. Especially it is difficult to detect the fault accompanied with high resistance contrary to low resistance. In the complicated power system if the detection is failed, power failure will be occurred in large area. New technology with respect to such a problem must be developed. This paper introduces research and development trend in home and abroad.

1. 서 론

전력계통의 구성이 점점 대형화 복잡화되고 초고압화 되어감에 따라 이에 따른 보호시스템의 구성도 매우 복잡해져 가고 있다. 계통의 어느 한 부분에서 사고가 발생할 때 일차적 책임을 가진 보호계전기가 사고검출을 하지 못하면 보호협조가 깨어지기 쉽고 사고파급범위가 매우 커질 수 밖에 없다.

이러한 관점에서 관련 전문가들은 보호시스템의 사고검출 및 사고차단 동작이 신뢰성 있게 이루어질 수 있도록 각기 시스템의 보호 목적에 따라 다양한 연구개발이 국내외에서 진행되어 많은 발전을 거듭해 왔다.

그럼에도 불구하고 사고현상도 다양해져 종전에는 중요하지 않았거나 검출대상에는 없었던 사고현상들이 새롭게 등장되어 이에 대처할 수 있는 보호계전기술의 필요성과 함께 끊임없는 연구개발이 촉구되고 있다.

예로서 송전선로에 수목이나 대형 크레인 및 산불 등의 접촉 또는 근접에 의한 고저항 미소전류의 지락사고가 발생한 경우 이에 따른 보호능력이 만족스럽지 못해 이러한 고저항 지락사고를 검출할 수 있는 효과적인 방법이 필요한 실정이다.

아울러 복잡한 계통에서는 여러 종류의 보호계전기가 사용되기 마련이며 각 계전기마다 특성이 달라 일반적인 사고현상에 대한 계전기간의 보호협조는 잘 이루어 지도록 되어 있을지라도 고저항 지락사고와 같은 특수영역의 사고에 대하여는 보호협조마저 깨어지기 쉬어 이를 사고에 대한 보호협조

방안도 함께 연구해야 한다.

따라서 본고에서는 고저항 지락사고가 송전선로에서 발생하였을 경우 이에 대한 검출기법과 보호협조방안에 대한 현시점에서의 연구현황과 향후 개발전망에 대해 소개하고자 한다.

2. 국내현황

현재 국내 전력계통의 송전선 보호에는 최근에 건설된 송전선의 경우 대부분 최신 디지털 보호계전기가 사용되고 있고, 그 밖에 대부분의 송전계통에는 전자기계식(Electro-mechanical Type) 방향비교방식 계전기가 사용되고 있으며 일부 송전선에는 Solid State형 아날로그 계전기가 사용되고 있다. 그런데 이들 계전기의 대부분은 외국제품이며 국산이라 하여도 핵심 동작요소는 거의 외국제품이다. 국산개발 디지털 계전기는 실용화 준비단계에 있어 아직 실제통 적용은 되지 않고 있으나 곧 실계통에 사용될 전망이다.

최신 송전선 보호용 디지털 계전기는 주 보호로서 고신뢰성 광통신을 이용한 PCM(Pulse Coded Modulation) 방식 전류차동계전기가 채용되고 있어 각 상별로 송전단 전류와 수신단 전류의 순시차를 비교하여 차전류가 일정 비율 이상인 경우 차단하는 방식으로서 고저항 검출능력이 다른 방식보다는 앞서는 방식이라 할 수 있다. 그러나 모든 송전선의 후비보호 계전기와 대부분의 주 보호용 보호계전기는 방향성 거리계전기(Directional Distance Relay)로서 고저항 지락사고시 검출 능력이 비교적 낮은 편이다. 더욱이 송전망이 복잡해지면 송전구간의 평균길이가 짧아져 결국 동작대상 구간이 단축되므로 거리계전기의 동작감도를 낮추어서 운용해야 하는바 계통구조적으로도 고저항 검출능력이 낮은 상태에서 운전되는 셈이다.

이 가운데 대규모 변전소 계통에서는 병렬운전하는 변압기 Bank 수가 많고 모선에 연결된 송전선의 수가 많아 평상시 공급신뢰도는 높이 유지되지만 어떤 사고시 보호가 실패할 경우에는 과급동작으로 정전범위가 넓어질 우려가 있어 유사시 부담이 크게 되어 건실한 보호시스템이 필요해진다. 아울러 이렇게 복잡한 계통에는 서비스 종류도 다양하게 어울려 있고 특히 보호계전방식 종류가 다양하게 연결되어 있어 이들 간의 보호협조를 이루기 위한 효과적이고 정확한 기법이 필요한 실정이다.

한편 이 분야에 대한 국내의 연구개발현황은 풍부하지는 못하나 필요에 따라 몇 가지 연구된 사례가 있다.

고저항 사고검출에 대하여는 송전선이 아닌 22.9kV 다중접지 배전선로에 관한 연구실적이다. 즉 배전선로에 절연전선을 사용함에 따라 전선이 끊어지는 경우 또는 취부 부위의 절연체에 부분적인 절연파괴 등으로 인한 소규모 아크사고에 대비하여 이를 검출하기 위한 연구가 추진되었다. 여기서는 여러번의 실증시험 결과에 따라 고장전류를 나타나는 현상인 우수고조파(Even Order Harmonics) 성분에 의해 사고를 검출하는 기법이 연구개발되어(1987) 성능의 우수함이 입증되었으며, 국내 및 국제특허를 획득한바 있고 곧实用화 될 예정이다. 이 연구는 배전계통에서의 연구였지만 아크를 수반한 고저항 사고라는 점에서 송전계통으로의 확대 및 진전이 많을 것으로 평가된다.

보호협조에 관한 것은 계통이 복잡해짐에 따라 수계산에 의한 보호협조가 곤란해 지므로 전문가 시스템 형태의 전산프로그램을 개발하여 계전기 자료와 전력계통 설비자료를 입력하면 여러가지 경우에 대한 고장계산을 시행한 후 이에 대한 전류, 전압정보에 의해 보호협조 여부를 Check할 수 있는 기법이 개발된바 있다. 그러나 이 기법에서는 고저항 지락사고를 포함한 특수형태의 사고보다는 일반사고에 중점을 두어 개발된 것이어서 특수사고에 대한 고려를 추가할 필요가 있다.

3. 국외현황

신진 외국에서는 대규모 전력계통을 구성하여 운용하고 있음에 따라 자체 계통의 문제를 해결하기 위해 각자의 계통구조에 적합한 최적보호방식의 연구를 채택하고 있으며, 계통구성 조건과 다양한 고장형태에 대한 적절한 보호계전방식을 적용하고 있는 등 계통보호기술 개발에 대한 연구개발투자를 지속적으로 전개하고 있다.

이 분야의 연구현황을 보면 Y.Q. Xia 등은 Multi-terminal 시스템에서 고저항 지락사고가 발생했을 경우 시뮬레이션을 통해 다양하게 해석하고 그 결과에 근거하여 적절한 거리계전 시스템을 구성하였다고 발표하고 있다.

송전선로에서 거리계전기는 어떤 지락사고라도 계전기 설치점에서 사고점까지의 거리를 정확히 측정해야 하는데 사고점에 저항이 있을 경우, 특히 고저항의 경우에는 측정오차가 많이 발생하게 되기 때문에 이 문제는 심각한 사태로 전진될 우려가 있다. 그래서 이들은 마이크로 프로세서를 근거로 하여 새로운 기술을 찾고 보호범위를 정확히 수행하고 이를 확인하기 위해 세계의 전원으로 구성되어 있는 계통에서 고장 위치와 고저항 등 여러가지 조건의 변화에 따라 다양하게 시뮬레이션을 실시하였고 Proto type 보호설비를 개발하여 실시간 시험으로 타당성과 효용성을 입증하였다.

그림 1은 이들이 시뮬레이션을 위해 대상으로 삼았던 시스템의 구조중 하나를 보이고 있는 것이다. 시스템 1,2,3은 외부계통으로 등가화 시켰으며 고장점 I'의 위치를 0~100%, 고장저항 값을 0~500Ω 사이에서 변화시켜 가면서 이에 따른 측정 임피던스의 영역을 구하였다.

계전기 위치에서 본 임피던스는 계통조건에 따라 유도되었는데 특히 고장전 부하와 외부 시스템의 임피던스, 선로 임피던스 및 고장위치와 고장 저항치에 따라 좌우된다고 한다. 따라서 이중 고장전 부하와 고장위치 및 고장저항 값 등의

변화를 주어 시뮬레이션 하였다.

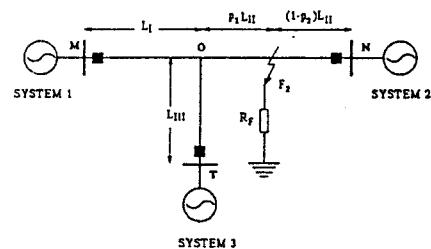


그림 1. 선로 L_{II}에서의 지락사고 예

한 예로 그림 2는 그림 1과 같은 조건에서 지락사고가 발생한 경우 고장위치의 변경과 R_f를 0~500Ω까지 변경시킨 경우 얻은 R-X 평면도이다.

한편, TDU(Trip Decision Unit)라는 장치를 설계하여 시험하였다. 즉 측정된 임피던스 영역에 따라 TDU가 동작되는 것이 다르며, 정해진 어떤 논리에 근거하여 동작하고 안하고를 결정하도록 하고 있다. 이 때 필요한 정보는 EMS에 저장된 데이터와 SCADA와의 연계에 의해 얻어지고 있다. 물론 집중 L-C 선로모델에서 시뮬레이션이 이루어졌는데 Shunt Capacitance를 무시해도 계전기가 정확히 동작을 한다는 결과를 보여주었다.

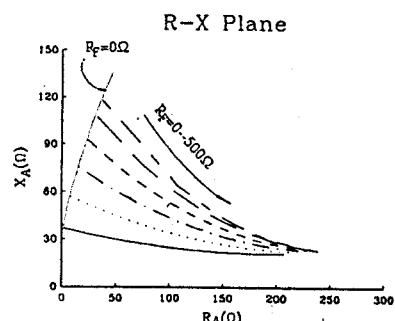


그림 2. R-X 평면도

한편 A.T.Johns 등은 고저항 지락사고 시뮬레이션 대상은 영국의 400kV 2회선 송전선로 100km를 이용하였다. 이들도 마찬가지로 시뮬레이션 기법은 고장전의 계통운전조건과 고장저항 값을 적절히 변화시켜 가면서 측정 임피던스의 변화가 어떻게 달라지며 고장저항 값의 변화에도 고장거리가 얼마나 정확히 측정되는지를 파악하였다. 조류의 크기도 전부하와 무부하의 경우를 고려하였고 전부하의 방향도 정방향과 반대방향을 모두 고려하였다. 시뮬레이션은 세가지를 가정하여 수행하였는데 첫째 계전기 설치점에서 원격에 있는 전원의 영상 임피던스를 0으로 처리한 경우와 Local과 Remote의 전원 임피던스를 동일하게 하고 세번째는 고장전류와 Local 영상전류를 동상으로 처리한 경우를 고려하였다. 이중 고장점까지의 거리가 정확하게 계산되는 경우는 세번째로서 시뮬레이션中最 좋은 결과를 얻었다고 한다.

또한 G.W. Swift 등은 신경회로망을 이용하여 고저항 지락사고를 검출하는 기법을 제시하였다. 특히 고저항 지락사고에서 Dry, Wet Soil과 아크로, 컴퓨터, 형광등 부하에 고장

이 발생하였을 경우 이 때 발생하는 전류에 의해 생기는 부하전류를 채플링하여 검출하며 특히 고저항 지락사고와 유사한 부하를 분류할 수 있다고 한다. 패턴은 전류의 과형을 이용하였으며 신경회로망은 BP법을 이용하였다. 이 연구는 물론 배전용으로 사용할 수 있도록 연구한 것이지만 송전선로의 고저항 지락사고 검출에 효과적으로 적용할 수 있는 기법으로 평가할 수 있다.

한편, M. Fikri 등은 고장이 발생하였을 경우 Remote 전원으로부터 반대로 유입해 들어오는 전류때문에 임피던스에 큰 측정오차가 발생하게 되는데 이것을 예측하여 정확한 고장점을 찾는 보호 알고리즘을 개발하였다. 예측을 하기 위해 먼저 Remote 전원 임피던스의 추정치가 통신선로를 통해 계전기에 전달된다. 그리고 알고리즘의 타당성을 검증하기 위해 고장이 발생한 이후 발전기 리액턴스를 동기 리액턴스에서 과도 리액턴스로 급격히 변화시킨 상태에서 여러 종류의 고장을 고려하여 시뮬레이션을 실시하였다. 특히 사례연구에서는 정격치의 30% 정도 발전기의 리액턴스를 변화시켜도 고장점 위치에는 변화가 없었다고 한다.

D.C.Yu 등은 고임피던스 및 저임피던스 검출방법을 제안하였다. 검출방법은 고저항 지락사고시 흐르는 전류의 여러 특성들에 근거한 방법으로서 고장전류의 크기, 제3, 제5고조파 전류크기, 제3고조파 전류위상, 제5고조파 전류위상, 제3고조파 전류와 기본파 전압과의 위상차, 역상 고장전류들이 있다. 또한 평균 영상전류, 평균 부하전류도 고려되었다. EMTP에서 모델링하여 검출하였는데 이 방법은 송전계통과 배전계통 모두 적용할 수 있는 기법으로 여겨진다. 특히 저임피던스 및 고임피던스 고장을 검출하기 위해 별도로 장치를 만들 수도 있지만 접속시켜 하나의 장치를 만들었다.

R.E.Wilson은 EMTP를 이용하여 거리계전기를 모델링하였다. 실제 계전기에 디지털로 발생된 과형을 적용시켜 얻은 실험실에서의 결과와 시뮬레이션 결과와를 비교하는 연구를 하였다. 디지털 계전기의 컴퓨터 모델링은 EMTP의 TACS 모델 Version에서 이루어졌고, 입력 필터, A/D 변환기, 고조파 검출기, 마이크로 프로세서의 측정원리를 모델링 되었다. 대상은 BPA의 115kV 240km 장거리 송전선로를 대상으로 삼았으며 고장종류는 계전기와 계전기의 수치모델에 동시에 적용시켰다.

4. 개발전망

전력계통이 대형화되고 다양한 계통운용방식이 적용됨에 따라 복잡하게 연계된 송전계통에서의 고저항 미소전류 지락사고로부터 대전류 지락사고에 이르기까지의 사고를 정확하고도 신뢰성있게 검출, 처리할 수 있는 가변적이고도 적응성 있는 보호계전기술이 필요한 시점이다. 여기서는 특히 저저항 지락사고와는 달리 전체사고의 20%를 점유하고 있는 고저항 지락사고는 검출이 어려워 보호능력의 상실시 계통의 과금효과는 상당히 크므로 해외에서는 이미 이에 대해 나름대로의 연구개발을 수행하고 있으나 국내에서는 사고검출기능과 계통조건의 다양성에 대처할 수 있는 적용능력의 취약함이 드러나고 있는데 앞으로는 이러한 종류의 사고에 대한 보호능력의 확보를 위해 신기술이나 기존기술의 구체적인 검토를 통한 보완연구개발로 상당한 수준까지 가능할 것으로 전망되어 이에 대한 보다 체계적인 연구가 뒷바침 되어야 할 것으로 사료된다.

이와 함께 국내 계통특성을 고려한 국내의 기존보호방식 및 계전기 정정기법 등이 계속 필요한 실정에 있으므로 외국의 연구사례와 더불어 국내 계통에서의 고저항 지락사고에 의한 미소전류의 사고현상에 대해 실계통 모의 시험을 포함한 다양한 고장현상을 시뮬레이션하고 전력계통의 운전방식에 따른 구조적 특성을 파악하여야 한다. 그리고 사고 발생시 계통보호계전기의 용동분석이나 타종 계전기 사이의 감도협조기법연구 등도考慮해 수반되어야 하며, 이와 같은 종합적 연구개발의 노력을 통해 고저항 지락사고시 송전계통의 최적 보호방안이 수립될 것으로 전망된다.

특히 최근에는 전력계통 고장현상을 시뮬레이션 할 수 있는 EMTP, EMTDC 및 RTDS(Real Time Digital Simulator)등의 Tool이 국내에도 많이 보급되어 있어 대학 및 기업체에서 이에 대한 연구검토가 활발히 진행될 수 있게 되어서 앞으로 사고현상 해석 및 대책연구의 진전에 밝은 전망을 보여주고 있다.

5. 결 론

지금까지 고저항 지락사고가 송전계통에서 발생했을 경우 검출하는 기술에 대한 연구를 소개하였다. 그러나 대체적으로는 실계통에서 실증시험을 해야 할 과제가 아직 남아있다. 외국과 마찬가지로 동일한 고저항 지락사고로부터 계통의 피해를 보는 우리나라로서는 특히 보호능력의 상실에 따른 광역사고를 방지하기 위해서는 보다 체계적이고 다양한 상태에서의 연구가 있어야 할 것으로 사료된다,

참 고 문 헌

- [1] Y.Q.Xia, et al., "High-Resistance Faults on a Multi-terminal Line:-Analysis, Simulated Studies and an Adaptive Distance Relaying Scheme", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.9, No.1, Jan. 1994.
- [2] G.W.Swift, et al., "Detection of high Impedance Arcing Faults Using a Multi-Layer Perception", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.7, No.4, Oct. 1992.
- [3] M.Fikri, et al., "new Algorithm for distance Protection of High Voltage Transmission Lines", IEE Proc. Vol. 135, Pt. C., No. 5, Sep. 1998.
- [4] D.C.You, et al., "An Adaptive High and Low Impedance Fault Detection", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.9, NO.4, Oct. 1994.
- [5] A.T.Johns, et al., "Performance of Adaptive Distance Protection Under High Resistance Earth Faults", CIGRE 34-203, 1992.
- [6] R.E.Wilson, et al., "EMTP Transient Modeling of a Distance Relay and a Comparison with EMTP Laboratory Testing", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.8, NO.3, July, 1993.
- [7] 한전 기술연구원, "다중접지 배전선로 보호계전방식 개선에 관한 연구", 1987.
- [8] 한전 기술연구원, "보호계전기 협조 프로그램 개발에 관한 연구", 1990.