

# 3相4線式 多重接地 配電系統

## 에서의 高抵抗 故障 問題點 (下)

High Impedance Faults on 3 Phase-4 Wire Multi-grounded Distribution Systems.

金 周 鉉

韓國電力(株) 技術研究所 第1研究室長

### 4. 高抵抗 故障保護를 위한 新 繼電方式 研究 동향

美國에서는 약 15年前 架空絶緣電線을 사용하게 되면서부터 高抵抗故障에 관련된 사고현상 분석, 模擬실험연구 등을 통하여 계속 검토되어 왔으나 아직도 우리와 같은 過電流보호 계전 방식을 벗어나지 못하고 있다. 高抵抗 故障保護만을 목적으로 한다면 送電系統에 적용하고 있는 繼電方式, 즉 Pilot繼電方式이나 carrier繼電方式을 이용하여 보호할 수도 있으나 配電系統에 적용하기에는 너무나 큰 경제적 부담이 된다. 따라서 경제적으로 저렴하고 신뢰도가 높은 새로운 繼電方式이 요구되고 있는 것이다.

美國 등지에서 그동안 개발 연구되었던 새로운 繼電方式들을 소개하면 아래와 같다.

#### 1) 比率 接地繼電器(Ratio Ground Relay)

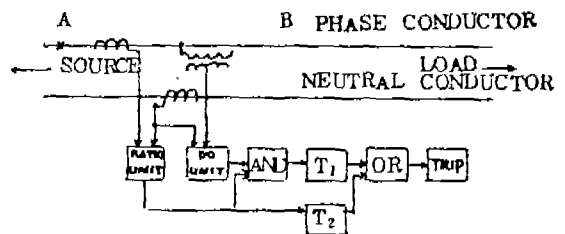
不平衡 電流比에 비례하여 故障檢出 감도가 변하는 繼電方式으로 電流의 크기에는 無關하다.

그림-7에서 零相電流 $I_0$ 와 正相電流 $I_1$ 의 비  $I_0/I_1$ 가 미리 정해진 값(整定值)보다 클 때는

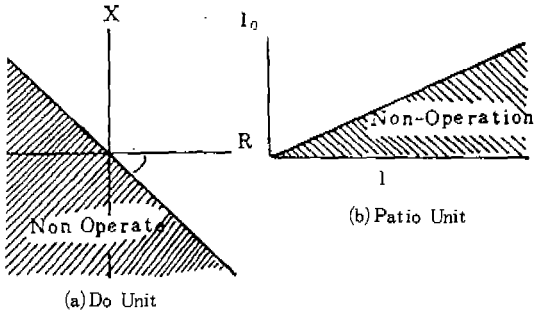
“Ratio Unit”가 檢出하고 “Do Unit”는 負荷側 事故일 때는 時遲延이 적은 타임 “ $T_1$ ”을 동작시켜 곧 遮斷하게 되며 電源側 事故일 때는 時遲延이 많은 “ $T_2$ ”를 통하므로 遮斷이 늦어진다. 그림-8은 “Ratio Unit”와 “Do Unit”의 동작특성을 나타낸 것이다.

#### 2) 低電壓 繼電器(Undervoltage Relay)

線路에 斷線事故가 발생했을 때 故障點 이후 선로는 電壓이 상실된다. 만일 負荷側에  $\Delta$ -Y結線된 용량이 큰 變壓器가 있어서 逆送電되더라도 뚜렷하게 電壓이 降下된 상태로 나타나게 되므로 線路 末端에 設置한 低電壓 繼電器로 低電壓을 檢출하고 적절한 保護 조치가 이루어지도록 通信信號를 보낸다.



〈그림-7〉 比率 接地保護繼電方式



〈그림-8〉比率接地 保護 繼電器의 動作特性

### 3.4) 零相 및 逆相 過電壓 繼電器 (Zero and Negative Sequence Overvoltage Relay)

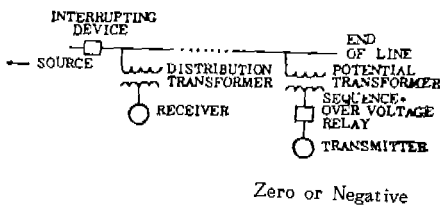
사고가 발생되면 사고점 이후의 線路는 電壓 不平衡으로 零相이나 逆相電壓이 상승하게 된다. 따라서 零相이나 逆相 過電壓 繼電器로 非正常的인 過電壓을 檢出하여 保護 遮斷하는 방식이다. 繼電器의 檢出信號를 電源側으로 送信號할 수 있도록 通信設備도 갖추어야 하는 등 경제적 측면에서 불리한 조건이 따른다.

### 5, 6) 零相 및 逆相 過電流 繼電器 (Zero and Negative Overcurrent Relay)

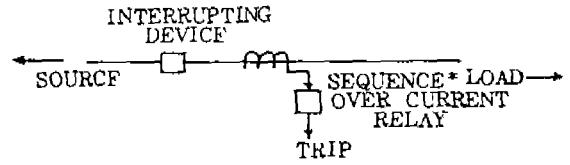
斷線과 같은 事故가 發生되면 事故點 以前 電源側 線路에는 심한 不平衡 電流가 흐르는 경우가 많다. 이러한 비정상적인 不平衡 電流에 의한 零相 및 逆相 過電流를 檢出하여 保護하는 방식이다.

새로운 6 가지 繼電方式 모두가 配電系統의 高임피던스 故障保護에는 종래 繼電方式보다 다소 향상되기는 하였으나 신뢰할 만한 保護方式이라 할 수 없을 정도이다.

전선이 단선된 후 전원 측에서 지락되지 않는 고장의 경우 종래의 繼電方式으로는 전혀 보호



〈그림-9〉零相 및 逆相 過電壓 保護 繼電方式



\* Zero or Negative

〈그림-10〉零相 및 逆相 過電流 保護 繼電方式

될 수 없는 반면에 低電壓 繼電方式이나 逆相 혹은 零相 過電壓 繼電方式의 檢出率は 높다.

그러나 電壓에 의한 檢出方式은 다음과 같은 결점이 있다.

가. 配電線路의 各回線마다 여러개소에 繼電器를 설치하여야 主線路나 分岐線路를 보호할 수 있다.

나. 각종 事故에 대한 신뢰도는 낮다.

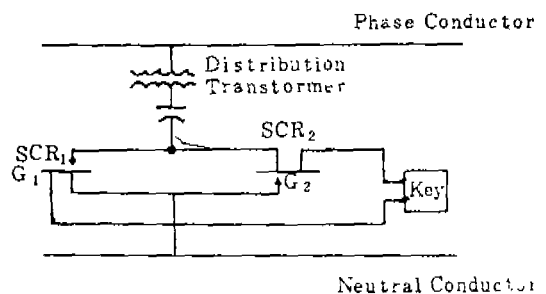
다. 각 繼電器 設置 개소마다 通信설비를 시설하여 保護裝置間에 送·受信 되도록 해야 한다.

라. 線路의 변경, 新·增設에 따라 수시로 재 조정 해야 한다.

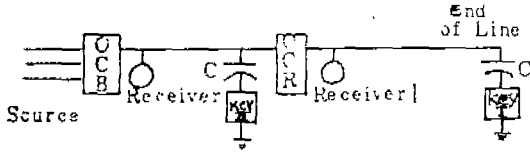
이러한 결점 때문에 많은 투자를 요하는 非經濟的 方式이나 配電系統이 자동화되면 그 통신 설비를 이용할 수 있게 되어 훨씬 경제적으로 적용할 수 있는 효율적인 방식으로 등장 할지도 모른다.

### 7) Subharmonic Current Generator (SCG)

이 장치는 그림-11과 같이 每相別로 콘덴서를 통하여 연결되어 있으며 SCR에 의하여 Key되므로 미리 정해진 Sub-60Hz 電流波를 受



〈그림-11〉Subharmonic Current Generator 繼電方式



〈그림-12〉 SCG 繼電方式에 의한 保護協調 關係

信할 수 없게 되므로 斷線事故임을 판단한다.

그림-12는 線路 중간에 電流波 發生 裝置와 受信裝置를 설치하여 보호구간을 세분화한 보호 협조 關係를 나타내고 있다.

이 繼電方式은 아직 理論的인 研究단계를 벗어나지 못하고 있으며 斷線事故 檢出率은 완전한 100%가 보장된다.

### 8) 高周波 임피던스 감시법에 의한 繼電方式

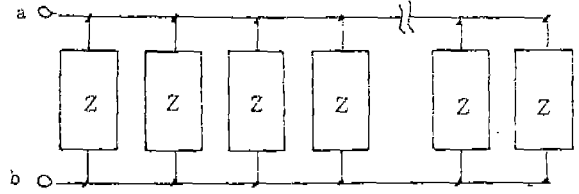
配電線에 高周波 電源을 印加하였을 때 나타나는 임피던스는 商用周波數 60Hz인 경우와 다른 특성으로 나타난다. 高周波 電流를 3相 4線式 配電系統에 注入한 상태에서 電線의 斷線이나 樹木 등의 접촉과 같은 高임피던스 故障로 인하여 高周波分 電壓(線路의 高周波 임피던스에 比例)의 變化를 감시함으로써 故障상태를 檢출할 수 있다.

事故로 인하여 線路側으로 본 高周波 임피던스는 變化되나 負荷變動에 의해서는 變化되지 않는다. 이는 配電用 變壓器의 누설 리액턴스에 의하여 高周波 電流가 2차측 回路로 통과하지 못하기 때문에 2차回路가 1차측으로부터 분리된 것과 같은 현상이 된다.

즉 低周波 대역에서는 負荷變化가 線路側 임피던스 變化를 가져오게 되나 50~100kHz 高周波 대역에서는 配電用 變壓器가 容量性으로 나타나게 되어 콘덴서를 통하여 短絡된 것과 같은 특성이 되므로 1차 配電線路의 事故만을 檢출할 수 있으며 2차측 事故에는 動作하지 않게 된다.

그림-13은 高周波 임피던스 감시법의 원리를 나타낸 것으로 配電線路에 結合回路를 통하여 高周波분의 일정크기 電流를 주입시킨다. 電流의 크기는 一定하므로 電壓의 크기는 線路側 高

〈그림-13〉 高周波 임피던스 監視法에 의한 保護繼電方式



〈그림-14〉 斷線事故時 임피던스 變化

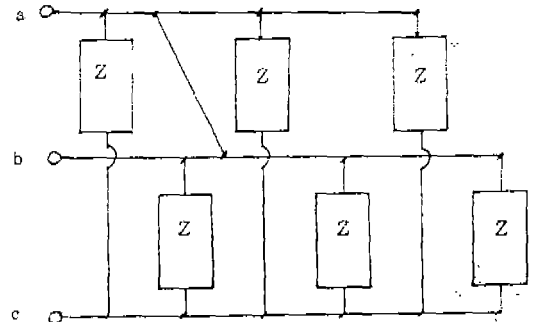
周波 임피던스에 비례하여 나타난다. 이러한 高周波 임피던스는 여러 종류의 事故에 따라 變化된다.

그림-14는 1相이 斷線되어 地絡되지 않는 경우 電源側 端子에 나타나는 임피던스의 變化를 나타낸 것이다. 여기서 "Z"는 柱上變壓器나 線路의 임피던스를 나타낸다.

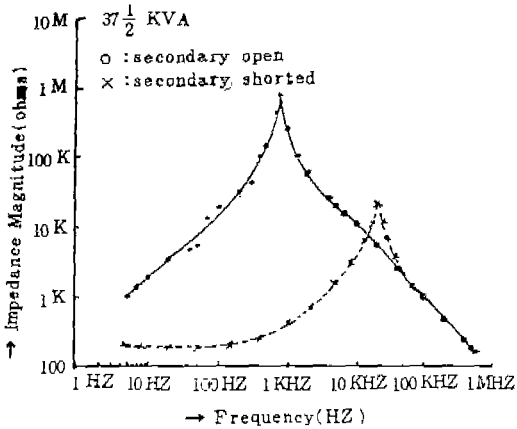
또한 그림-15와 같은 2相短絡事故가 발생하면 各 相別로 電源側에서 본 임피던스의 變化가 나타나게 되어 事故檢출이 가능하다.

配電線路나 配電用 變壓器의 周波數 임피던스 특성을 조사해 보면 線路의 구성형태에 따라 線路定數가 정해지나 變壓器는 높은 周波數에서 捲線間의 靜電容量과 케이스간의 靜電容量의 영향을 많이 받게 된다.

變壓器의 2차측 負荷변화 영향을 고려하여 2차를 開放한 상태(無負荷)와 短絡한 상태(重負荷)로 나누어서 周波數와 임피던스 크기 및 位



〈그림-15〉 2線短絡事故로 인한 임피던스 變化

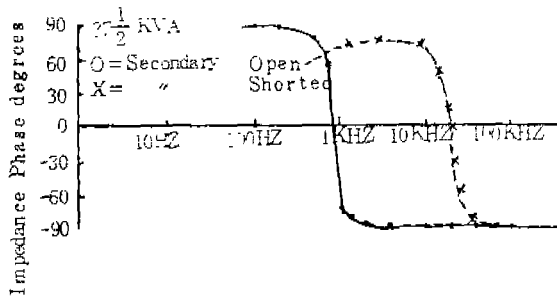


〈그림-16〉 變壓器의 周波數-임피던스 크기變化特  
相變化를 測定한 결과는 그림-16, 17과 같다.

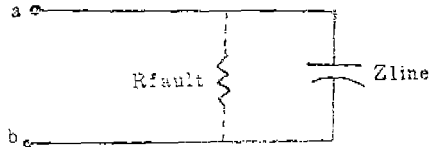
이 특성곡선상에 나타난 바와 같이 周波數 50 ~ 100 kHz 대역에서는 2차측이 短絡된 경우도 開放된 상태와 같이 임피던스의 크기가 거의 같은 크기로 나타났으며 位相은 容量性 성분으로 되어 2차측 負荷變化에 무관함을 보여주고 있다.

線路和 變壓器를 포함한 高周波 임피던스는 容量性으로 나타나며 高임피던스  $Z_{FAULT}$  사고 발생시 그림-18과 같이 나타낼 수 있다. a, b 양 단자에서 본 임피던스의 크기 변화는 적으나 位相 변화가 크게 나타난다. 고로 임피던스의 크기와 位相변화 감시를 병행하면 더욱 효율적인 保護繼電方式으로 발전될 것이다.

이 繼電方式은 경제성이 높고 신뢰도가 높아서 기대되는 繼電方式중의 하나이나 系統에서 발생하는 썩어지 등으로 高周波分을 포함한 異常電壓의 영향, 作業 등으로 改善되어야 할 문제점으로 생각되며 임피던스의 크기와 位相變化를 감시하여 사고를 檢出할 수 있는 繼電器로



〈그림-17〉 變壓器의 周波數-임피던스 位相變化特性



〈그림-18〉 線路의 케퍼시터와 高抵抗 故障

開發됨이 바람직하겠다.

이외에도 非接地 配電系統에서 高抵抗故障 保護를 위한 새로운 繼電方式<sup>(6,7)</sup>이 日本등지에서 연구되고 있으나 非接地 系統을 대상으로 검토하였기 때문에 直接接地 配電系統에 적용하기에는 다소 문제점이 있으므로 소개를 생략한다.

## 5. 結 言

우리나라에서 22.9kV-Y多重接地 配電方式을 導入하여 10餘年間 운영하면서 나타난 問題中에서 비록 枝葉的인 것이 되겠으나 高抵抗(地絡) 故障時 現 保護繼電方式으로는 完璧을 기할 수 없음을 檢討하였다.

특히 최근 絶緣電線의 占有비중이 높아짐에 따라 絶緣電線의 高抵抗故障 發生樣相과 이를 保護할 수 있는 外國의 새로운 繼電方式 研究動向을 소개하였다. 우리는 22.9kV-Y多重接地配電方式을 채택하고 架空絶緣電線을 사용한 경력이 日淺하여 高抵抗故障에 의한 事故統計나 이를 研究檢討한 실적이 전무한 실정으로 지금부터라도 이에 對한 研究檢討가 先行되어야 할 것으로 생각된다. 長期間에 걸쳐서 高抵抗故障의 類形을 分析하는 同時에 필요한 模擬實驗研究도 병행하여 高抵抗故障 特性을 파악하므로써 우리 여건에 맞는 新保護繼電方式 研究에 拍車를 加해야 될 것이다.

高抵抗故障保護가 불가능한 현시점에선 高抵抗故障으로 될 가능성이 큰 架空絶緣電線의 斷線과 같은 事故가 發生되지 않도록 施工과 運用而에서 세심한 주의가 필요하며 斷線된 電線의 地上落下를 防止하는 機械的 補強 方法(絶緣電線의 雷斷線에 對備하여 “補強바인드에 의한 落下防止” 및 “라인스프샤取附” 등) 등이 요청된다.

〈 6 p에 계속〉

posium, plant engineering 全國大會 등이 열려서 engineering과 management의 兩側에서 life cycle cost的인 面에서 經濟性과 設備管理에 對한 報告와 討論이 이루어지고 있다.

한편 省에너지面에서는 1980년에 에너지使用 合理化에 關한 法律이 施行되어 이를 爲한 評價 基準이 定해져 있다. 日本에서는 life cycle cost에서 特別히 運用費에 들어가는 energy cost를 中心으로 現在 實用 段階에 들어가고 있다고 할 수 있다.

## Ⅶ. life cycle cost를 適用할 때의 問題點

life cycle cost의 概念을 實際의 問題에 適用할 때에는 여러가지 問題가 있는데 가장 問題로 되는 것은 經濟的 判斷의 基準 또는 評價方

法이 아직도 確立되어 있지 않은 것으로서 今後 實際로 많은 問題에 適用되고 嵩續됨으로서 確立될 것으로 생각된다.

運用費에서 에너지費와 保全費가 가장 큰 比重을 차지한다.

特別히 큰 plant 또는 連續的인 process가 여러개 있어서 一部分의 故障이 設備全体에 影響을 미치는 경우 또는 保全이 큰 費用이 必要한 경우 등에는 에너지費만이 아니고 그 保全費를 包含하여 全体 費用에서 經濟性을 評價하여야 한다.

위에서 經濟性의 評價基準으로서 2가지 方法을 紹介하였고 또 變壓器와 誘導電動機를 選定하는 例를 說明하였는데 이런 例는 排反的인 여러案 中에서의 選擇으로 된다. 이런 排反的 諸案에서 가장 經濟的인 設備案을 選擇하는 一般的인 方法을 다음에 생각한다.

(다음호에 계속)

(30p에서 계속)

22.9kV-Y多重接地配電方式은 이 配電方式을 運用하면서 나타나는 이러한 枝葉的인 問題點이 하나 하나 해결되므로서 우리나라 電力事業에 크게 기여하는 配電方式으로 定着하게 될 것이다.

### 參 考 文 獻

4. “22~33kV 配電線における 直擊雷および誘導雷サージ의 基本的檢討”, 電力中央研究所, 1968年 8月
5. 李光選, 任化永, 朴龍圭, “22.9kV-Y中性線 多重接地 配電線路의 接地方案”, 靑電研究所報13號, PP211~232, 1979. 8
6. “配電線 雷斷線 檢出裝置의開發” 東京電力株式會社 昭和 53年 3月
7. “GSR를理解するために” 東京電力株式會社 昭和 53年 8月
8. 九州電力 森迫勝彦, “配電線의絶緣化と新しい保護繼電技術”, 電氣計算, PP176~181, 79年 6月
9. “Report of Distribution Conductor Stage Fault Test Held on October 3~4.” 1973. PP & L Internal report.
10. Distribution Fault Interruption Open Conductor Tests, October 20, 1975 PP & L Internal Report.
11. J. Carr, Kitchener, Ontario: “High Impedance and Broken Conductor Fault Detection on Primary Distribution Systems,” Canadian Electrical Association 1979 Spring Meeting, March 26~28, 1979.
12. L. A. Kilar and R. E. Lee; “Improved Reley Schemes for the Detection of Fallen Conductors on Three-Phase, Four-Wire, Distribution Circuits” to be presented at the IEEE/PES 1979 Conference & Exposition on Transmission & Distribution.
13. L. A. Kilar; “High-Impedance Fault Detection”, 1979 Electric Utility Engineering Conference.
14. R. E. Lee & L. A. Kilar; “Summary and Status Report on Research to Detect and De-energize High Impedance Faults on three-Phase, Four-Wire Distribution Circuits”, PP & L, Westing house.
15. H. L. Graham, A. J. Carlson and T. A. Granberg; “Broken-Conductor and High-Impedance Fault Detection by High Frequency Impedance Monitoring”, IEEE PES Winter Meeting, Feb. 3~8, 1980.
16. 中村英夫, 工藤武夫, “配電線의地絡事故と 地絡抵抗”, 電氣評論, P. P. 321~326, 1973. 2