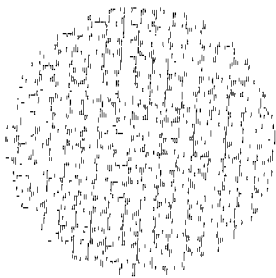


大需用家 電氣事故가 系統에 미치는 影響

Troubles on Power System
Influenced by the Electrical
Faults of Large Scale
Consumer's System



白 榮 基

韓國電力公社 技術研究院
系統保護 責任專門員

1. 序 言

電力系統이라 함은 發電, 送電, 變電, 配電 및 需用家の 負荷系統이 합리적으로 構成되어 어떤 定格과 特性을 가지고, 供給과 消費의 均衡을 유지하는 하나의 살아있는 安定된 시스템이라고 할 수 있다. 때문에 이러한 一体化된 系統의 어떤 部分에서 事故가 발생하게 되면 즉시 나머지의 部分에 影響을 미치게 되어 事故前의 安定된 均衡이 깨어지고 事故를 제거한 다음 새로운 均衡을 유지하게 된다. 그러나 大部分의 電氣 使用者들은 이러한 電力系統의 特性을 理解하지 못하고 電力供給이 圓滑하지 않을 때 마다 供給者인 電力會社의 過失로만 誤解하게 된다. 물론 電力會社 系統의 事故에 依해서 供給支障이 오는 경우도 많지만 사실은 需用家の 事故가 電力會社 系統에 波及되어서 다시 다른 需用家에 影響을 미치는 事故도 상당한 部分을 차지하고 있는 것이 現實이다.

即, 한 需用家에서 事故가 발생되면 이것은 바로 다른 需用家에의 供給支障은 물론 全体 電力系統의 發電量, 電壓, 周波數 等に 影響을 미치게 된다. 이때 需用家の 電力設備 規模(受電電壓이나 容量)와 事故內容 等に 따라서 그 影響의 크기와 程度가 決定된다.

本 考察에서는 이러한 需用家の 事故가 電力系統에 어떠한 影響을 어떻게 미칠 수 있는가를 간략하게 소개하고자 한다. 그런데 전체 需用家の 범위中에서도 電力系統에 보다 큰 影響을 미칠 수 있는 大需用家の 事故를 中心으로 고찰코자 한다. 여기서 大需用家라고 하는 것은 電力會社의 一次 配電電壓 以上の 전압(3.3KV以上)을 直接 3相으로 受電하는 需用家로 限定한다.

2. 需用家 波及事故의 內容

우리 電力系統에서 과거 5年間의 需用家 波及事故 統計를 보면, 韓國電力會社 전체 送·配電 事故의 平均 約 10%를 차지하고 있다.

또 需用家 波及事故를 受電 契約容量 別로 분석해보면 300KW 以下の 小規模 需用家에서 많이 發生되고 있으나 需用戶數를 감안한 發生率은 1000KW 以上の 大規模 需用家가 높은 것으로 나타나고

있다. 한편 受電電壓別로는 22.9KV와 6.6KV로 受電하는 需用家에서 단연 많이 나타나고 있다. 事故原因別로는 自然劣化가 主流를 이루고 있으며 事故設備로는 MOF를 포함하는 變成器類가 높은 것으로 分析되고 있다.

3. 大 需用家 受電 電力系統의 構成 實態

需用家 電氣設備의 構成을 동일한 기능을 가지는 電力會社의 電氣設備 構成과 비교해 보면 매우 多樣하다고 할 수 있다. 이것은 우선 그 基本的인 設置目的이 다를 뿐 아니라, 經濟的인 側面을 고려하는 각도가 相異할 수 있기 때문인 것으로 思料된다. 또 같은 需用家 設備라도 그 規模나 立地條件, 運轉條件 等에 따라 각각 相異하기 때문에 需用家 電力設備 構成의 조합은 무수히 많다.

그런데 大 需用家 受電電力系統의 特性을 規定할 수 있는 構成要素를 크게 區分해 보면,

○受電電壓 (154KV, 66KV, 22.9KV, 6.6KV 3.3KV 등)

○受電線路의 構成 (專用線과 共用線, 單回線과 2重 또는 Loop 構成等)

○系統의 中性點 接地方式 (直接接地 또는 非接地)

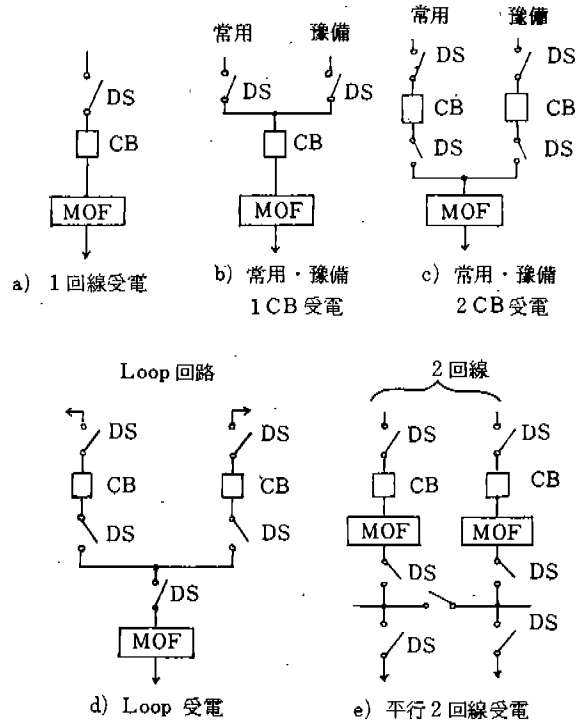
○受電 變壓器의 結線 및 中性點 接地方式 (Δ - Δ , Δ - Δ , Δ - Δ , Δ - Δ 等과 直接接地, 抵抗接地, 非接地 等)

○受電回路의 構成 (需用家 構內 受電側의 차단기, 斷路器 位置에 따른 受電回路의 構成方法(그림 1))

○各種 保護裝置의 設置 (受電線, 受電變壓器, 受電母線 및 其他 設備에의 保護方式 適用 關係(種類 및 設置位置))

○自家用 發電機의 設置 與否 (並列 또는 單獨運轉) 등의 事項이 있다.

電力會社와 需用家의 연락系統 構成은 以上の 여러가지 要素가 各種 需用家의 特性에 따라 多樣하게 그리고 適切히 選擇·構成된다고 할 수 있다. 이러한 要素들의 구성방법에 따라 需用家의 電氣事故가 系統에 미치는 영향의 크기와 범위가 달라진다. 以上の 構成要素들을 고려하여 몇가지의 例를 들어 보면 그림 2, 3 과 같다.



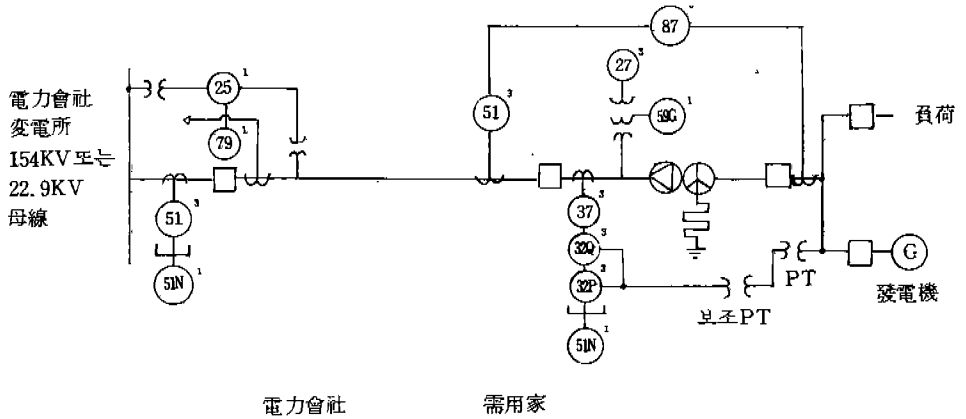
〈그림-1〉 受電回路의 構成法(例)

4. 需用家 電氣事故가 電力系統에 미치는 影響

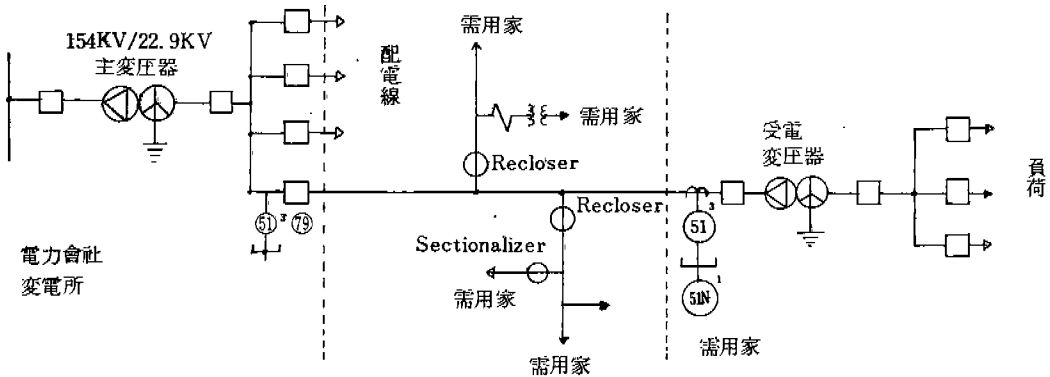
需用家 構內에서 發生될 수 있는 電氣事故의 形態와 種類, 이러한 事故 發生時 電力系統에 일어나는 現象에 대한 理論的 分析 및 系統에 미치는 要素와 影響 等에 對하여 檢討해 본다.

가. 需用家 構內事故의 形態와 種類

需用家 構內에서의 各 個別 設備 即, 受電母線, 受電變壓器 遮斷器, 斷路器, 避雷器, 計量裝置(MOF)나 各種 變成器類 및 2次系統의 母線, 各種遮斷裝置, 케이블, 電動機, 콘덴사, 電氣爐와 같은 負荷設備 等の 各種 電力設備에서 電氣事故는 발생될 수 있으며, 이러한 事故를 그 형태로 보면, 크게 相間의 短絡事故와 相의 地絡事故로 나눌 수 있다. 變壓器의 케이스 間 絶緣破壞, 母線 支持碍子의 후레쉬오바, 避雷器의 破損, 遮斷器의 外函間 絶緣破壞 等과 같은 地絡形態의 事故는 1線地絡, 2線地絡



〈그림-2〉 자家用發電機를 가진 1回線 專用線需用家 受電系統圖(例)



〈그림-3〉 共用線路에 연결된 大需用家 受電系統圖(例)

및 3線地絡事故形態로 發生되고 있다.

또 短絡事故形態로는 變壓器의 相間 絶緣破壞에 의한 短絡, 電動機의 卷線燒損 등에 의하여 發生되는 2相短絡, 3相短絡等を 꼽을 수 있다. 그러나 이러한 事故形態는 電力會社 系統設備에서의 경우와 같이 大部分이 1線地絡形이며, 여기서 다시 2線地絡, 2線短絡, 地絡, 3線短絡·地絡等の 形態로 進展되는 事故로 나타나고 있다. 또 이러한 電氣事故의 發生原因으로는 製作 및 施工不良, 碼子의 汚損, 内部絶緣의 劣化, 異物의 接觸, 雷서지 및 其他 事故의 波及等으로 나타나고 있다.

나. 需用家 事故時 電力會社 系統에 흐르는 故障 電流 分析

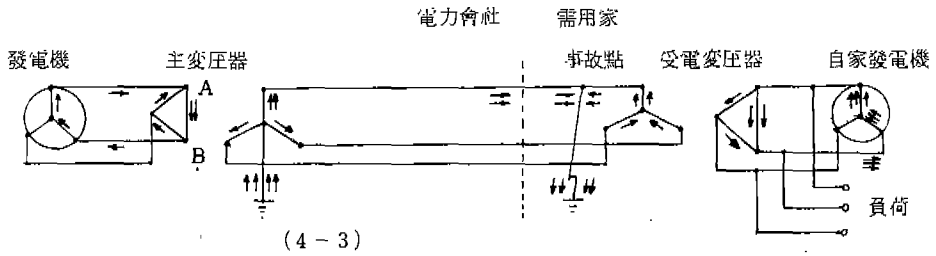
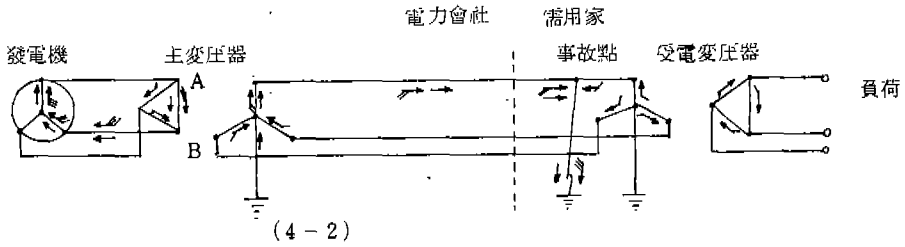
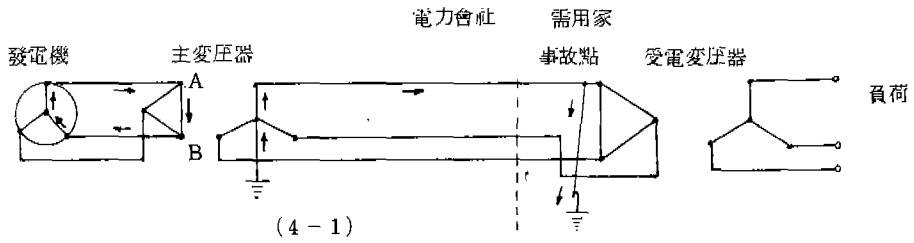
需用家 構内 電力設備은 그 規模에 따라 多樣하지만 대 체로 電力會社와의 責任限界點으로부터 受

電變壓器의 一次를 포함하는 部分(特高壓 또는 高壓)과 受電變壓器 2次에서 부터 負荷設備까지의 部分(高壓 또는 低壓)으로 兩分할 수 있는데 같은 形態의 需用家 構内事故라도 그 事故位置 即, 이러한 두가지 區分中에 어느部分의 事故인가에 따라 電力會社系統에 미치는 影響에는 큰 차이가 있다. 이러한 現象을 故障電流의 흐름으로 分析해 본다.

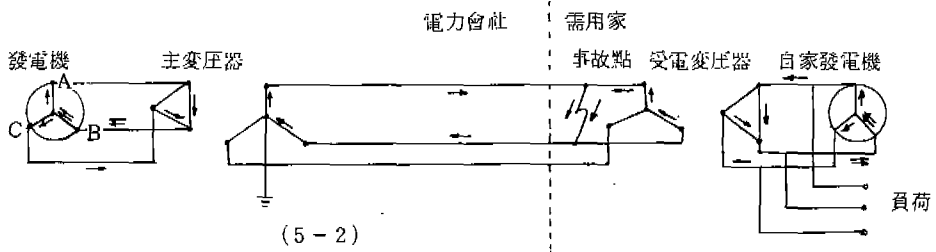
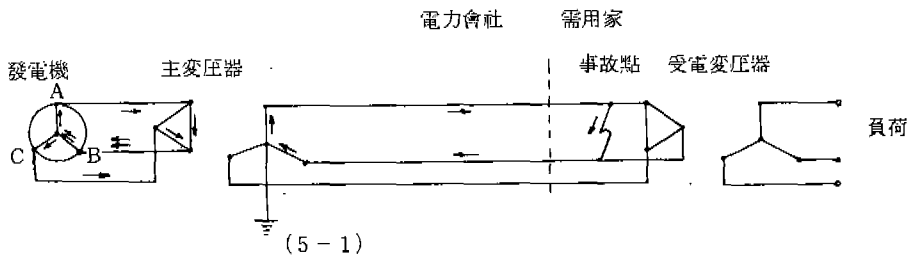
① 需用家 受電 1次部分 事故時의 分析

需用家 受電部分 即, 責任限界點으로부터 受電變壓器 1次를 포함하는 部分의 事故時에 故障電流 分布와 크기에 對하여 몇가지 경우를 例示해보면 다음과 같다(그림 4, 5).

그림에서와 같이 故障電流의 分布는 그때의 系統 構成, 特히 變壓器의 結線과 中性點接地狀態에 따라 크게 달라질 수 있다. 또 故障電流의 크기는 故障點에서 電源側으로 본 임피던스 크기에 逆比例하



〈그림-4〉需用家 構內 1線地絡 事故時の 故障電流 分布圖



〈그림-5〉需用家 構內 2相短絡事故時の 故障電流 分布圖

며 故障點에서 볼 때 兩電源일 경우는 兩側의 임피던스 크기에 逆比로 配分된다. 그림 4, 5에서 볼 때 需用家側으로부터도 故障電流가 흐르는 경우도 있지만, 兩側의 임피던스 크기 차이 때문에 分布上으로는 대부분의 故障電流가 電力會社側에서 흐른다고 할수 있다.

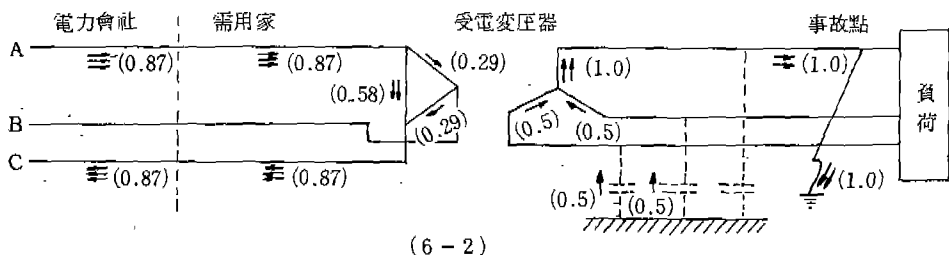
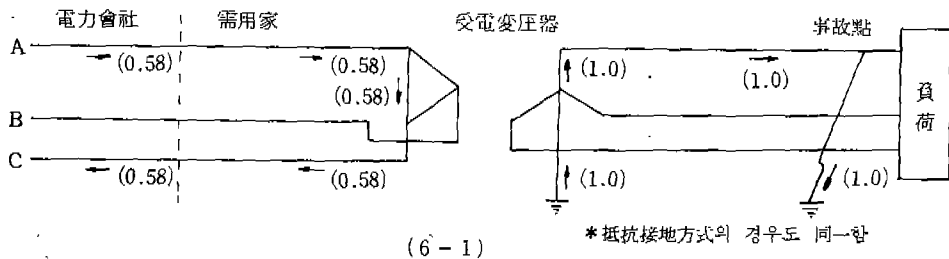
그림 4는 1線地絡 故障의 경우인데, 4-1은 우리 電力系統 22.9KV경우의 代表的인 例이며 4-3은 需用家에서 自家發電機를 가진 경우이다. 만약 22.9KV系統에서 需用家の 受電變壓器 結線을 4-3과 같이 하였다면 需用家에 發電機가 없더라도 需用家로부터 故障電流가 공급되게 된다. 또 다른 配電線 地絡 事故時에도 이 需用家 線路의 地絡 過電流繼電器가 誤動作하여 trips할 수 있게 되므로 各別한 주의가 要望된다. 그림 5는 2相短絡事故의 경우인데 中性點接地 與否와는 無關하며, 5-1의 경우가 22.9KV系統의 代表的인 例라고 할 수 있다.

以上の 예에서는 故障時의 電壓變動에 대하여는 기술치 않았으나 實際的으로는 需用家 事故時 電力會社側의 電壓도 變動하게 된다. 電壓變動은 故障點으로부터 임피던스 크기에 따라 달라지게 되므로 그림으로 表示하기가 複雜하여 여기서는 생략하였다.

② 需用家 受電 2次系統 事故時의 分析

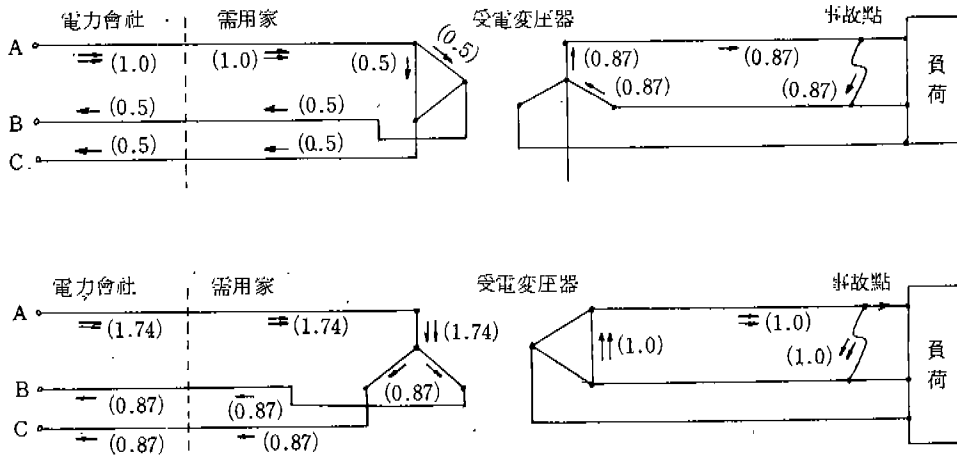
需用家の 受電變壓器 2次로부터 負荷設備까지의 部分에서 事故가 發生하였을 때의 故障電流 分布와 크기에 對하여 例示해보면 그림 6, 7과 같다. 이때 需用家 事故로 因한 電力會社 系統에의 故障電流 흐름은 需用家の 受電變壓器가 하나의 障壁이 된다. 따라서 受電變壓器를 中心으로 하여 故障電流의 흐름을 檢討해 본다.

그림 6은 受電變壓器 2次系統에서 地絡 事故가 發生된 경우인데 一般的으로 電力會社 系統側에 흐르는 電流의 크기는 적은 것으로 나타나고 있다. 여기에 변압기의 실제 변압비로 計算하면 더욱 적게 된다. 即 地絡事故時에는 系統側에 영향을 거의 미치지 않는다고 할 수 있다. 특히 6-2와 같은 非接地 系統에서는 故障點의 故障電流 自体의 크기가 적기 때문에 電力會社 系統에는 負荷電流보다도 훨씬 적은 故障電流가 나타난다. 需用家 構內系統의 中性點接地 方式으로는 抵抗接地方式이 많이 使用되고 있는데 이러한 경우의 故障電流 配分은 直接接地方式과 類似하게 되나 크기는 훨씬 적게 나타난다. 그림 7은 2相 短絡事故의 경우인데 그림에서와 같이 2次系統의 故障電流는 受電變壓器의 실제 變壓比를 考慮하더라도 상당한 몫이 電力會社 系統에 흐르게 됨을 알 수 있다. 即 2次系統 短絡事故時의 故障電流는 電力會社 系統에 영향을 미친다



* () 數値는 變壓器 變壓比를 1:1로 가정한 경우의 故障電流 크기 比較 數値임

(그림-6) 需用家構內 2次 系統 1線地絡 事故時의 故障電流 分布圖



* () 數値는 變壓器 變壓比를 1 : 1 로 가정 한 경우의 故障電流 2 相 比較數價일 크기

〈그림 - 7〉 需用家構內 2 次系統 2 相短絡事故時의 故障電流分佈圖

고 할 수 있다.

다. 需用家 事故가 系統에 미치는 影響

需用家 電氣事故가 系統에 미치는 影響은 連結되는 電力會社 系統 水準과 需用家 電力設備의 構成 및 事故의 形態, 規模等에 따라 달라지는데 影響을 미칠 수 있는 要素를 들어보면 過電流 現象, 電壓降下 및 過電壓 現象, 周波數 變動, 電力動搖, 波及 事故, 停電範圍 擴大 等을 들 수 있다.

① 過電流 現象: 앞 項에서 記述한 故障電流 흐름分析에서 알 수 있는 바와 같이 需用家 受電 1 次 事故電流와 2 次의 短絡事故電流는 連結되는 電力會社의 系統과 設備에 過電流를 흐르게 한다. 대체로 電力會社 設備은 이러한 過電流에 충분한 強度를 갖게끔 設計되어 설치되기는 하지만 만약 需用家의 保護繼電器가 동작하지 못하여 故障除去 時間이 길어지면, 또 이러한 事故의 빈도가 많아지면 電力會社 設備에 적지않은 피해를 줄 수 있다고 생각 된다.

② 電壓降下 및 過電壓 現象: 需用家와 電力會社의 連絡선로가 길지 않는 경우, 22.9KV級 以下の 配電系統에 連結되는 경우, 共用線路에 需用家가 連結되는 경우 等에서는 需用家 受電 1 次의 各種 短絡事故와 地絡事故(中性點 直接接地系統)時에 電源側의 電壓이 경우에 따라서는 심각한 降下現象을 나타낸다. 이러한 電壓降下現象은 保護繼電器에 依거 事故가 정확하게 除去되더라도 除去되기까지의

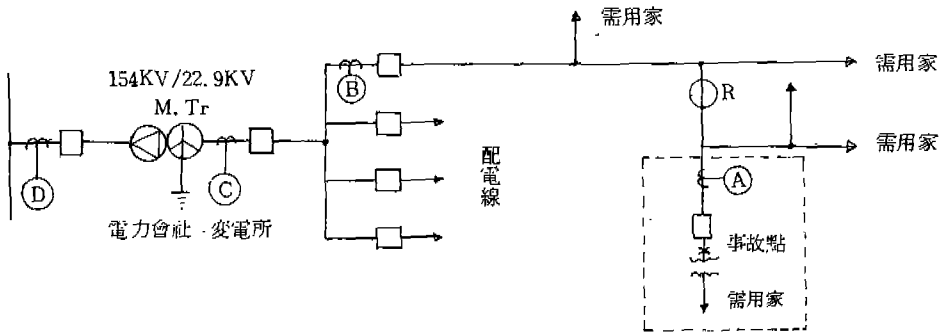
時間동안은 電壓降下現象 即, 瞬間電壓降下가 發生되어 他 需用家에 影響을 미칠 수 있게 된다.

한편 過電壓 現象은 66KV送電線路, 6.6KV, 3.3KV와 같은 非接地 配電系統에 需用家가 연결될 경우, 受電 1 次系統의 1 線地絡 事故時에 過渡的으로 健全相의 對地間 電壓이 높게 올라갈 수 있다.

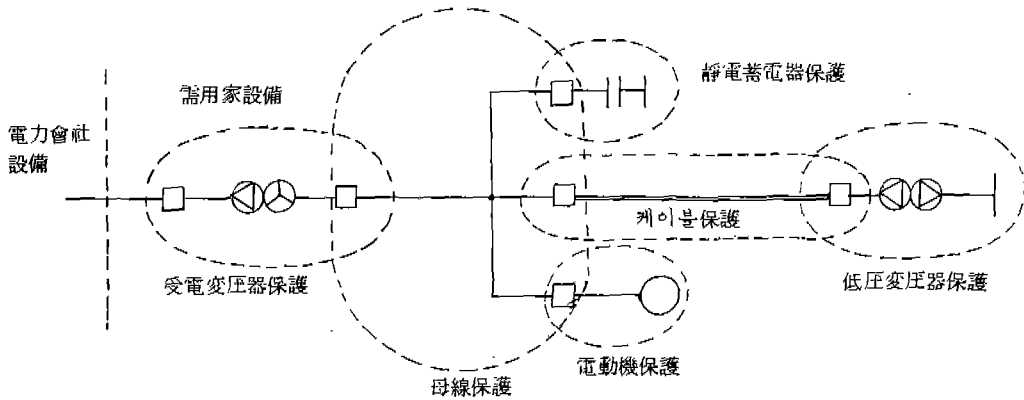
③ 周波數 變動 및 電力動搖: 現在는 전체 電力系統의 容量이 單位 需用家의 容量에 比하여 매우 크기 때문에 대부분의 需用家의 경우 한 需用家의 事故만으로는 系統의 電力動搖나 周波數에 미치는 影響은 거의 무시할 정도라고 할 수 있다. 그러나 需用家의 규모가 큰 경우 即, 浦項製鐵과 같은 規模로 154KV 以上の 제동에 직접 連結되고, 需用家 自體의 發電機 容量이 큰 경우(전체 系統運轉 容量의 約 3%以上), 또는 受電容量이 큰 경우(전체 系統運轉 容量의 約 3%以上)는 需用家 事故時 系統 周波數가 저하됨은 불문이고 電力動搖 및 波及에 依거 大形 事故로 進展될 우려도 있다.

④ 波及事故 및 停電範圍 擴大: 電力系統의 各種 設備에는 발생될 수 있는 사고에 대비하여 각각 적절한 保護繼電裝置를 設置·運轉하고 있다.

불론 需用家 電力設備에도 各個의 設備마다 保護裝置를 適用하고 있다. 그런데 이러한 保護裝置를 設置하지 않거나 또 事故 發生時에 적절하게 동작하지 못하게 되면 사고는 故障電流의 흐름을 따라 電源側으로 점점 擴大·波及된다. 一例를 들어보면 가령 그림 8 과 같은 22.9KV 共用 配電線路에 연결



〈그림-8〉 22.9KV 配電線路 保護裝置配置圖(例)



〈그림-9〉 需用法設備 保護範圍圖(例)

된 한 需用法의 受電變壓器에 사고가 발생한 경우 수용가 자체의 保護繼電器 (A) 가 제대로 動作치 못하였다면 그 後備에 있는 保護裝置 Recloser (R) 가 動作할 것이다. 그렇게 되면 Recloser 前方의 他 需用法는 不意의 停電을 당하게 될 것이다. 만약 Recloser (R) 조차 제대로 動作하지 못하였다면 다시 保護繼電器 (B) 가 動作해서 停電範圍는 더욱 擴大되고 또 이것조차 失敗하면 (C) (D) 로 波及되어 停電範圍와 被害는 엄청나게 擴大될 것이다. 때문에 需用法 電力設備를 包含한 전체 電力系統에서 保護裝置를 適用時는 設置와 運轉에 各別한 주의가 要請된다.

5. 需用法 事故時의 系統에 미치는 影響 減少對策

需用法 構內設備에 電氣事故가 발생할 경우에 系統에 미치는 影響을 앞의 4項에서 要約하였지만,

이러한 影響들을 減少시키기 위해서는 우선 基本的으로 需用法 電力設備의 設計 施工 等の 面에서 철저한 검토와 安定性의 保障이 要求되며, 設備自體의 品質과 이에 대한 保證試驗의 實施 등이 必要할 것으로 思料된다.

部分的인 대책으로는 過電流를 防止하기 위한 直列 Reactor 設置, 瞬間電壓降下에 對備하기 위한 需用法 自體의 定電壓裝置 및 限時繼電器의 附着, 系統動搖에 대비하기 위해서는 需用法와 電力會社 連繫系統 構成의 多回線化 등이 要求될 수 있지만 이상의 여러가지 影響 및 波及停電事故 等に 대한 綜合的인 대책으로는 역시 需用法 電力設備에 대한 保護繼電裝置의 效率인 適用과 運用이라고 할 수 있다. 이러한 側面에서 몇가지를 列舉해 본다.

가. 保護繼電方式의 效率인 適用

需用法 電力設備의 一部分에 사고가 발생시에 事故設備의 피해를 輕減하고 다른 設備에의 波及 防止와 安定運轉을 위해서는 우선 各 個別 設備別로

保護裝置를 適用·設置해야 한다. 그림 9에서와 같이 各 設備別 또는 系統別로 누락없이 保護裝置를 設置하여 故障除去의 選擇性을 갖도록 하되 無保護 範圍가 發生되지 않도록 重疊하여 保護區間을 設定 하며 各個 保護裝置의 動作이 失敗했을 경우 即刻 後備에서 保護裝置가 동작할 수 있도록 고려하여야 한다. 또한 各個別 設備의 保護斷電方式을 選定時 에는 可能한 限 設備의 比重에 맞는 限度에서 動作 感度와 信賴性이 우수한 方式을 採擇하여야 한다.

아울러 保護裝置의 動作과 關聯되는 各種 變成器 類, 制御回路 等의 選定時에도 충분한 검토가 要 求된다.

나. 保護繼電裝置의 徹底한 運用

아무리 優秀한 보호계전방식을 選定하여 適用하였 다 하더라도 保護繼電器의 整定 常時運轉, 保守, 試驗 等의 側面에서 소홀하면 實際事故時 不動作이 나 誤動作할 수 있기 때문에 所期의 成果는 거들수 없게 된다.

때문에 보호繼電裝置를 최초로 設置하였을 때나 또 被 保護設備의 변경이나 增設等이 있을 경우는 반드시 被 保護設備의 各種 故障狀態의 電壓·電流를 計算하여 事故를 가장 合理的으로 제거할 수 있도록 保護繼電裝置의 動作值를 計算·調定하여야 한다. 이렇게 計算된 調定值를 가지고 現場에서 保護繼電裝置의 실제 動作性能을 확인할 수 있는 試驗을 실시한 후 運轉을 시작하여야 한다. 또한 運轉後에는 定期的으로 試驗과 點檢·保守를 實施하여 保護裝置의 誤·不動作을 事前에 예방하는 것이 바람직하다.

다. 電力會社와 需用家와의 緊密한 業務協調 維持
需用家 自體의 電力設備 保護裝置를 최적으로 적

용하였다 하더라도 電力會社側과 보호협조를 하지 않으면 결국 需用家 事故에 電力會社 保護繼電器가 誤動作할 수 있기 때문에 사고의 波及은 일어날 수 있다. 即 需用家 構內 設備 事故時 保護上의 最終的인 後備는 需用家와 직접 연결되는 電力會社의 系統에서 담당해야 하기 때문이다.

따라서 需用家 受電側의 保護繼電裝置의 動作值 決定時는 반드시 電力會社의 管轄 保護繼電器 擔當者와 협의를 한 後에 조정하여야 된다. 다시 말하면 需用家의 末端設備에 사고가 發生時에 제거가 실패되면 그 다음단의 보호장치가 동작되도록 하는 것과 같이 단계적으로 後備에서 보호할 수 있게끔 하는 이른바 “保護協調”가 需用家와 電力會社 사이 에도 원활하게 이루어 지도록 해야한다.

이렇게 保護協調를 갖추어 놓으면 더욱 큰 波及 停電事故로의 擴大는 防止할 수 있게 된다.

6. 結 言

需用家 設備事故가 需用家 自體의 피해는 불문이고 연결되는 電力會社 系統 또는 다른 需用家의 피해로 가지 波及될 수 있다는 것에 대한 간략한 理論的 分析과 이러한 피해·影響의 減少對策을 提示 하였는데 紙面事情으로 細部的이고 具體的인 事項을 소개하지 못하여 유감으로 생각한다.

減少對策으로 記述한 需用家 電氣設備 保護方式에 대해서 各 需用家에서 종전보다 조금만 더 관심을 기울이면 自體設備의 被害輕減은 불문이고 나아가서는 共同的 이익이 될 수 있는는 것을 이 分野 實務者들이 기억할 수 있는 契機가 되기를 기대해 본다.

*

