

# 電力系統 保護繼電技術의 現況과 展望

白 榮 基\*

(\*韓電 系統保護 首席專門員)

## 1. 序 言

電力系統保護技術은 電力系統과 이를 構成하는 각종 電力機器, 設備 등의 故障 및 事故 發生시 이를 檢出하여 保護하는 技術이라고 요약되지만, 그 세부 責務와 構成技術은 단순하지만은 않다. 電力系統의 保護裝置로는 가정집의 전기 인입측에 使用하는 퓨즈(Fuse)나 漏電遮斷器로부터 소규모 電動機의 熱動形繼電器(Thermal Relay), 配電線路상의 리크로자(Recloser), 工場이나 變電所, 發電所등에 적용되는 각종 保護繼電器(Protective Relay)등 매우 多樣하며, 이를 뒷받침하는 하드웨어와 소프트웨어는 복잡하고 綜合技術의이라서 하나의 特異한 技術 장르를 이루고 있다. 電氣가 發明된 후 必須不可分의으로 隋伴되어 使用되어온 이 技術은 그 技術屬性상 保守의이며 改革과 리스크에 대하여 신중한 자세로 擴大, 發展되어 왔다고 할수있다. 그러나 最近에 超高壓 系統이 도입되면서 被保護設備의 構成과 特徵이 複雜 多樣해져 그 保護要求條件이 보다 엄격하게 높아지고 있을뿐 아니라 한편으로 컴퓨터 技術과 高度의 情報傳送技術이 도입되어 이른바 디지털保護繼電器(Digital Relay)가 실용화 되었고 이를 바탕으로 머지않은 將來에 人工知能的인 保護裝置의 開發과 運用의 時代가 豫測되고있다.

여기서는 系統保護 非專門家들에게의 技術 소개 측면에서 각종 保護裝置중에서 核心裝置인 保護繼電器를 中心으로 그 意義와 構成, 그동안의 技術變遷過程, 國內外的 현재의 技術狀況과 앞으로의 展望 및 課題에 대하여 기술코자한다.

## 2. 電力系統 保護技術의 意義와 構成

### 2.1 保護繼電技術의 意義

保護繼電裝置의 役割은 被保護 電力系統이나 機器設備에 短絡이나 地絡故障發生시 신속히 檢出하여 健全系統으로부터 分離 遮斷하르로서

- 故障發生 機器, 設備의 損傷을 最少化하고
- 故障과 關聯된 人畜事故를 防止할 뿐아니라 社會保安에 寄與하고
- 故障의 波及이 全系統으로 擴大함을 防止하여
- 系統의 安定運轉을 도모하는 것이라 할 수 있다.

最近의 保護繼電技術은 종래의 單位設備 保護概念에서 보다 進歩되어 전체系統 保護概念으로 擴大되고 있을뿐 아니라 制御등 기타 機能과의 連結도 조심스럽게 추진되고 있다.

또한 保護繼電技術에의 要求條件도

- 電氣使用에 대한 社會의 要求條件 深化
- 이에 대응하기위한 電力系統設備의 複雜 多樣化
- 電力系統 特性의 變化로
- 保護繼電技術의 高度化 [高速化, 高感度化, 高機能化, 高信賴化] 추세에 있다.

保護繼電技術의 이와같은 役割과 任務를 효율적으로 수행하기 위해서는

- 被保護系統이나 設備의 特性 分析技術과
- 이에 最適의 保護方式을 設計 適用하는 技術
- 設計된 保護方式을 하드웨어로 製作하는 技術
- 製作된 保護裝置를 信賴性 있게 施工, 維持補修, 運用하는 技術
- 保護繼電器의 役割과 關聯이 있는 遮斷器, 變

成器類, 制御電源, 通信設備 등의 關聯設備應用 技術 등이 綜合的으로 뒷받침되어야 한다.

### 2.2 保護繼電技術의 構成

保護繼電技術은 크게 두가지로 나누어 생각할 수 있다.

그 하나는

◦ 소프트웨어(Soft Ware)의인 면에서의 技術 즉 被保護設備나 系統에서 發生 가능한 모든 種類의 事故나 異常狀態를 어떠한 原理로 檢出하여 保護할 것인가 하는 이른바 각종 保護繼電方式에 對한 構成 技術이라고 할 수 있다.

그리고 다른 한가지 技術은

◦ 하드웨어(Hard Ware)적인 면의 技術이라고 할 수 있는데 위의 소프트웨어적인 技術 즉 각종 保護繼電方式을 어떠한 實體로 構成하여 裝置화 할 것인가 하는데 對한 技術이다. 이것은 대개 保護繼電器(또는 保護裝置) 그 裝置 自體를 意味한다.

保護繼電技術이란 위의 두가지 側面的 技術을 通稱하여 말하는데 두가지 側面的 技術이 公히 아래와 같은 要素를 基本적으로 要求하고 있으며 또 最大限으로 反映하고 있다. 즉

- 信賴性(Reliability)
- 動作速度(Speed)
- 選擇性>Selectivity)
- 動作感度(Sensitivity)
- 單純性(Simplicity)
- 經濟性(Economy)

이상의 保護繼電技術 構成(또는 設計, 製作)상의 要求條件이 얼마나 充實히 效果의으로 反映되었느냐에 따라 그 시스템의 優劣을 가늠 할 수 있다.

保護繼電技術의 細部 構成內容에 대하여 보다 具體的으로 살펴보면 우선 소프트웨어인 技術의 경우 크게 세가지로 다시 分類할 수 있는 데,

1) 被保護設備別로 適用되는 保護繼電方式이라 할 수 있다. 많은 種類가 있지만 몇가지 例를 들면 다음과 같은 것이 있다.

- 發電機 保護繼電方式
- 送電線 保護繼電方式
- 變壓器 保護繼電方式
- 系統安定化 保護繼電方式 등 被保護設備(系統) 別로 保護目的을 가지고 構成되는 보다 廣意的으로

通稱되는 保護繼電方式을 말한다.

2) 事故檢出原理 또는 動作原理 側面的 保護繼電方式이다. 例를들면 送電線을 保護對象으로 하고 있는 保護繼電方式을 그 保護原理에 따라 分類해보면 現在 涉及가지가 넘는데 각각이 特徵과 特性을 가지고 있다. 이와같이 保護原理 側面에서 分類해 볼때 現在 開發되어 適用되고 있는 保護繼電方式만도 수백종에 달하리라고 생각된다.

이런 관점에서 例를 들어보면

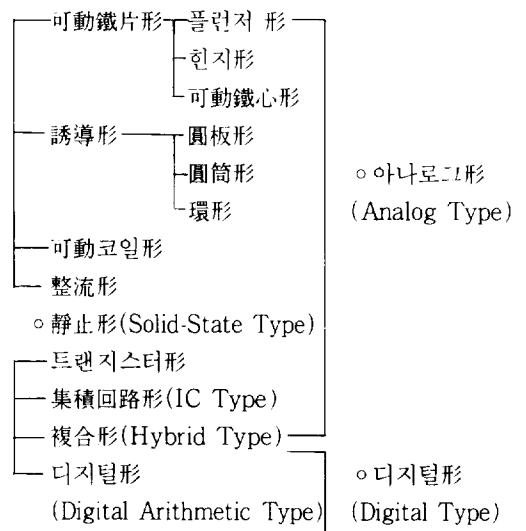
- 過電流繼電方式
- 過電壓繼電方式
- 距離繼電方式
- 方向比較方式
- 逆相分比較方式 등을 들 수 있다.

3) 保護繼電器 自體의 動作과 關聯되는 소프트웨어적인 技術이다. 즉 例를 들어보면 繼電器의 整定, 動作表示器는 어떻게 實行하는 것이 보다 效率的인가에 對한 方法論的인 것과 또 디지털 繼電器의 운영 소프트웨어(Operating System) 응용 소프트웨어(Application Software) 등을 들 수 있다.

保護繼電技術의 하드웨어적인 技術은 現在 適用되고 있는 것을 中心으로 分析해 볼때 그렇게 多樣하지는 않고 아래표와 같이 比較的 單純하게 整理할 수 있다.

保護繼電裝置 實體가 어떠한 動作原理로, 또 어떠한 構成部品으로 構成製作된 것이냐에 따른 分類다.

#### ◦ 電磁機械形(Electro Magnetic Type)



### 2.3 保護繼電技術의 調和와 業務 連繫性

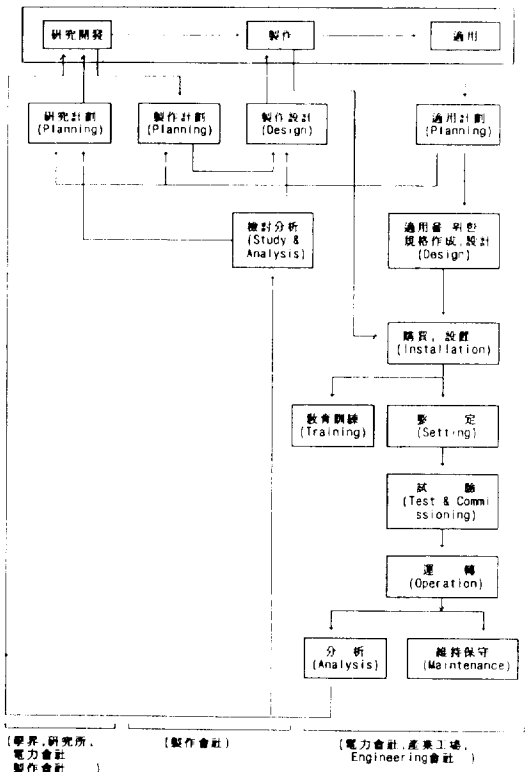
保護繼電技術은 發電端에서 負荷末端까지의 모든 電氣設備와 系統에 빠짐없이 適用되는 것으로서 綜合技術的인 것이라 할 수 있다.

이러한 綜合技術的인 保護繼電技術이 하나의 完成品으로 實用化되기까지의 過程 즉 하나의 保護繼電器(裝置)가 實系統에 適用되기까지의 細部業務와 關聯 業務組織을 分析해 보면 다음과 같다.

우선 保護繼電技術을 業務管掌 機能別로 나뉘보면 크게 세가지 分野로 나눌 수 있다.

分 野 別	關 聯 組 織
○ 保護繼電技術의 研究開發	○ 研究所, 學界, 保護繼電器 製作會社, 電力會社
○ 保護繼電技術의 製品化 (保護繼電 裝置의 製作)	○ 保護繼電器 製作會社 ○ 配電盤 製作會社
○ 保護繼電技術의 適用	○ 產業界 (電力會社, 產業用 工場, 一般需用家) ○ 엔지니어링 會社

保護繼電技術의 이러한 세가지의 主된 業務機能이 어떠한 調和를 가지고 運營되고 있는지를 그 業務흐름圖를 中心으로 分析해보면 다음과 같다.



위의 業務흐름圖와 같이 保護繼電技術은 세分野 (研究開發, 製作, 適用)의 機能이 서로 連繫되면서 마치 三脚과 같은 關係를 가지고 있기 때문에 서로 均衡을 맞추어 機能的으로 協助해야만 發展을 期待할 수 있게 된다.

## 3. 保護繼電技術의 變遷과 現況

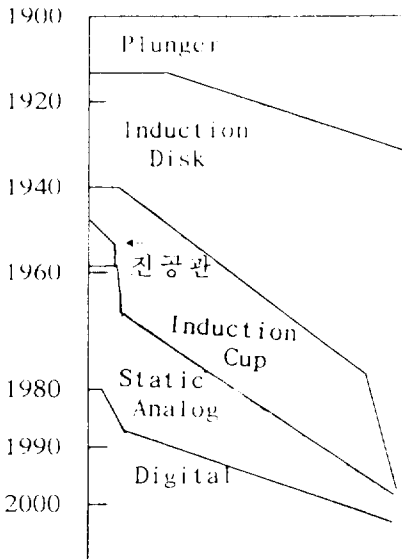
### 3.1 하드웨어技術의 變遷과 現況

#### 3.1.1 世界的인 趨勢와 現況

保護繼電技術의 하드웨어分野의 世界的인 變遷過程을 簡略하게 살펴보면 電力系統保護에 保護繼電器가 最初로 使用된 것은 1901년 美國의 WH社와 GE社에서 플린지形 過電流繼電器를 開發하여 適用한 것이었다. 그 후 1914년 역시 美國에서 誘導形의 過電流繼電器를 開發하였으며 電力系統이 점차 擴大되면서 1930~40年代에 誘導環形, 誘導圓筒形 등이 實用化되었다.

이때부터 方向繼電器나 距離繼電器를 모체로 한 保護繼電方式이 高電壓의 送電系統保護에 適用되기 始作하였다. 한편 電子技術이 保護繼電器에 導入되기 始作한것은 1950年代 지능관을 活用한 것인데 진공관이 갖는 결점때문에 극히 制限적으로 使用되었으며 더욱이 트랜지스터의 導入과 同時에 자취를 감추게되었다. 트랜지스터形繼電器(最初의 靜止形繼電器: Solid-State Relay)는 그 自體의 優秀한 性能으로 1960年代 초부터 실용화 되기 시작하여 1960년대 말경 全靜止形(Full Solid-state)이 開發됨과 同時에 本格的으로 適用되었다. 그러나 보호 계진기술분야도 끊임없이 연구, 개발되어 1969년에 드디어 從來의 아나로그形에 대하여 革新的인 디지털形의 保護繼電技術이 發表되었으며 1972년부터 一部 適用되기 始作하였다. 그러나 當時는 미니컴 時代로 실용성이 적었으며 1974년경 마이크로 프로 세스의 응용과 동시에 本格化되었으나 實證試驗의 過程을 거쳐 1980年代부터 實用化되기 始作하였다.

이어서 1985년경부터는 世界各國의 電力會社에서 本格的으로 適用되기 始作하였는데 初期 實用화 段階에서는 아나로그와의 複合形이 많이 適用되었으나 80年代後半期부터는 完全 演算形 디지털繼電器가 適用되고 있으며 90年代에 들어와서는 디지털



(綜合)

		< CPU >		
1980	4Bit	Single	Bipolar	
1985	16Bit	Multi	MOS	
1990	32Bit			
1995				

(Digital)

그림 1. 하드웨어의 技術變遷

繼電器 中心으로 發展하고 있다.

디지털繼電器는 系統保護 要求條件에 副應할 수 있는 無限한 可能性과 潛在力을 가지고 있으며 본격實用化 된지 불과 15년여에 그림 1과 같이 高性能 高機能化 되고있다.

### 3.1.2 國內의 技術現況

國內에서의 保護繼電器 하드웨어의 開發, 製作現況을 보면 誘導形 電磁機械式繼電器(OCR類)가 1974年 부터 開發되어 實用化되었고 靜止形 保護繼電器(OCR級)가 1986년에 開發되었으나 品質과 性能의 信賴性 문제로 크게 확대 사용되지는 못하였다. 디지털繼電器는 1988年 부터 韓電이 中心이 되어 研究開發에 着手하여 22.9kV 配電線 高抵抗地絡檢出用 디지털 繼電器, 154kV級 送電線 保護用 디지털 距離繼電器, 變電所의 綜合 保護制御시스템을 위한 각종 保護繼電器 및 制御用 하드웨어를 계속 開發하였는데, 22.9kv級은 商品化 開發을 完了하여 形式試驗中('94.3)이며, 기타는 商品化를 위한 第2次 研究過程中心으로 '94. '95년에 완료 예정이다. 保護繼電器 配電盤의 製作은 1974年 22.9kv級을 시작으로 1982~1986년에 걸쳐 154kv, 345kv級까지 확대되어 왔으나 154kv級 이상은 重要 부품(主繼

電器等)을 外國 技術提携社로부터 輸入 組立하고 있는 실정이다. 하드웨어 技術의 國內適用은, 1975年까지는 대체로 電磁機械形(E-M TYPE)를 使用하였으며, 1976年 345KV 系統 導入과 同時 半靜止形, 1978年 경부터 全靜止形을 계속 適用하여 왔는데 1990년부터는 디지털形을 導入하기 시작하였으며 1995年 이후는 154KV級 이상은 전부(新設, 交替分)디지털形을 사용 예정이다.

### 3.2 소프트웨어 技術의 現況

#### 3.2.1 世界的인 趨勢

電力系統에 適用되어 온 모든 保護繼電方式을 전부 記述하기에는 紙面이 허락치 않기 때문에, 가장 核心이 되는 送配電 保護繼電方式의 變遷과 現況을 先進國 實例를 中心으로 살펴보면, 1901年 保護繼電器의 탄생과 더불어 最初로 사용되었던 過電流繼電方式은 現在도 널리 適用되고 있으며, 그 후 1920年代의 方向過電流方式, 1930년대의 距離繼電方式, 1940年代의 方向比較方式, 1950年代의 位相比較方式, 1960年代의 表示線繼電方式과 轉送遮斷方式, 1970年代의 FM 傳送電流 差動方式, 1980年代의 PCM 傳送電流差動方式의 開發適用을 대표적

으로 꼽을 수 있다. 이들 保護方式은 開發된 후 各 各 많은 事項이 改善, 補完되어 왔는데, 이들 중 現在 先進國의 超高壓系統에 사용되고 있는 方式으로는 主保護로 方向比較方式, 表示線繼電方式, 轉送遮斷方式, Zone Extention 方式, 傳送電流差動方式等이고 後備保護로는 段階限時 距離繼電方式이 유일하게 꾸준히 사용되고 있다. 最近에 디지털繼電器의 出現과 함께 이들 모든 方式이 디지털로 製作되고 있는데, PCM 電流差動方式이 가장 信賴性 있는 方式으로 대두되고 있다.

디지털 繼電器의 소프트웨어도 짧은 역사이지만 많은 發展이 있었는데, 各種 保護方式의 알고리즘 開發, 리얼타임 OS 채용, 高級言語의 사용등을 들 수 있다.

### 3.2.2 國內의 現況

國內의 소프트웨어 適用技術은 韓電의 系統에 適用한 것이 代表的인 것이라 할 수 있는데 自體開發은 거의 없고 先進國의 方式을 導入한 것인데, 1968年 한진 154KV 系統의 直接接地方式 轉換과 더불어 先進國의 適用技術을 本格的으로 사용하기 시작하였다. 그 後 계속해서 先進國들이 適用했던 方式을 5~15年 뒤져 사용하고 있으나, 位相比較方式은 적용치 않았으며, 最新의 PCM 傳送電流差動方式은 지난 92년부터 345KV 系統에 適用하고 있다.

## 4. 保護繼電技術의 發展方向과 未來

系統保護技術의 變遷過程에서 分析해 본 것과 같이 이 分野의 技術도 그동안 內, 外的 要求에 의하여 꾸준히 發展되어 왔는데, 今後에도

- 한층 複雜化, 巨大化하는 電力系統과
- 大型 電力設備의 絕緣向上에 따른 小形化 趨勢
- 電力系統 現象의 多樣化 및 異常現象發生 등과 같은 外的 環境의 變化에 따라, 保護繼電技術에 부과되는 責務가 점점 무거워지고 있다.

이러한 環境變化는 保護繼電技術의 目標을

- 보다 高性能, 高機能化
- 高信賴化 즉 動作信賴度 (方式面에서)와 固有信賴度(하드 및 소프트웨어 면에서)의 向上
- 補修, 點檢, 運用의 省力化

- 設備運用面에서의 經濟性 向上

등의 方向으로 指向시키고 있는게 사실이다. 이러한 要求條件을 充足시키기 위해서는 保護繼電技術의 兩面인 하드와 소프트웨어 側面이 공히 對應해 나가야 하겠지만, 80年代初 以後에 適用되기 始作한 디지털 技術을 응용한 保護繼電技術이 이러한 方向에 합치되고 있다.

이러한 새로운 方向의 保護繼電技術에 基本이 되는 技術은 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- 電力系統을 高度로 精確하게 分析, 解析할 수 있는 技術이다. 즉 系統運用 및 保護上의 問題點을 發掘하여 對策안을 提示할 수 있고, 系統保護繼電裝置의 設計, 試驗, 檢證, 運轉等 모든 段階에서의 科學的인 뒷받침을 할 수 있는 系統解析技術(가능하면 ON-LINE Real Time으로 隨行할 수 있는 技術)

- 마이크로 프로세서를 主體로 한 디지털 技術
- 光센서, 光傳送을 포함하는 高度의 檢出 및 情報傳送技術이라고 할 수 있다.

위와 같은 系統保護技術의 今後 指向目標과 이를 뒷받침하는 技術들을 綜合해 볼 때 今後의 保護繼電技術 發展方向은 다음과 같은 예측을 가능케 한다.

### 4.1 未來 保護繼電裝置의 運用方向

앞으로의 電力系統이나 機器, 設備의 運用은 高度 情報化社會에 適合한 系統으로 轉換되는 것이 不可避할 것으로 사료된다. 이것은 保護繼電技術을 컴퓨터나 情報傳送技術의 百퍼센트 活用하는 技術의 方向으로 引導하게 될 것이다. 따라서 앞으로의 保護繼電技術의 主體는 “디지털 繼電技術”을 中心으로 해서 展開될 것이 分明하다. 그 方向의 概要를 정리해 보면

- 모든 保護繼電裝置는 디지털화 되며
- 運用, 維持補修가 自動化, 遠隔化 될 수 있는 Main-Machine Interface可能(User Friendly System 構築)
- 大規模 系統(廣域시스템, 遠方 情報시스템)의 構築이 가능하고, 기존의 監視制御系統(SCADA)이나 給電시스템(EMS) 등과의 接續可能
- 知識工學이 應用되는 保護시스템의 構成 및 運用체제 構築可能

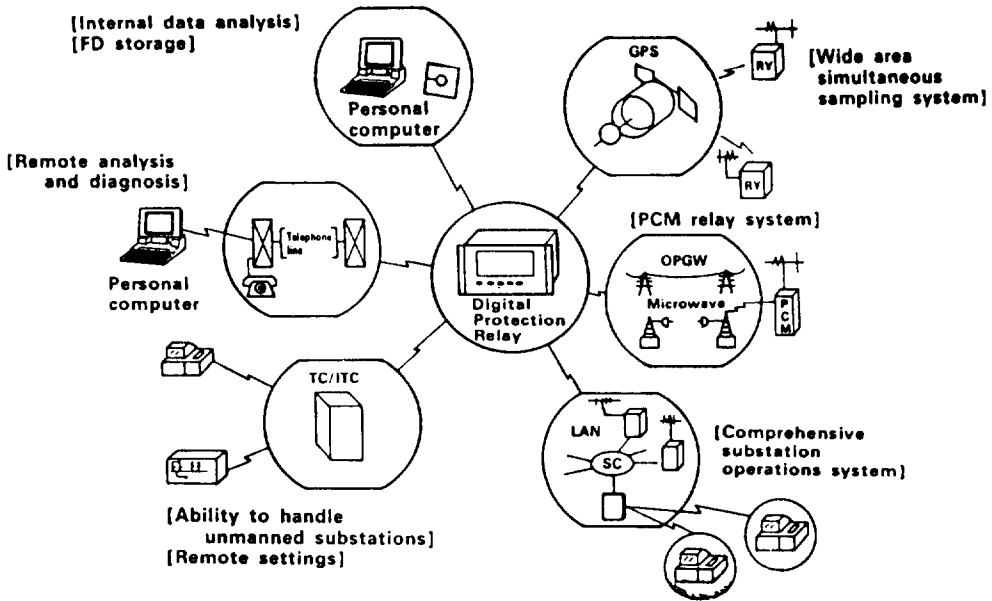


그림 2. 未來의 保護繼電시스템(例)

未來시스템의 한 構成例를 보면 그림 2와 같다.

#### 4.2 소프트웨어인 技術의 發展方向

##### (1) 새로운 保護繼電方式의 創出

디지털 技術의 導入과 더불어 各種 保護方式을 改善할 수 있는 새로운 알고리즘이 開發되어, 新 保護方式이 創出될 것으로 생각된다. 送電線 保護를 中心으로 例를 들어보면 80年代의 傳送電流差動方式과 같이 90年代에는 傳送波(Travelling Wave)를 利用한 距離繼電方式이나 差動繼電方式, 逆相距離繼電方式, L,R 直接演算方式등의 實用化가 展望된다.

##### (2) 既存 保護方式의 性能補完

既存 保護繼電方式 性能上的 未備點을 補完하는 研究開發, 예를 들면 距離繼電器의 폴라(Polar) 特性改善에 의한 誤不動作 防止, 高抵抗 地絡故障 檢出 感度向上, 波形 認識시스템 適用에 의한 距離繼電器의 判別力 向上, 既存 디지털繼電器의 알고리즘 補完으로 誤差, 周波數 特性向上등의 例를 들 수 있다.

##### (3) 適應性 保護시스템(Adaptive Relaying System) 實用化

最近에 널리 研究 紹介되고 있는 Adaptive Relaying 즉 被保護系統이나 設備의 狀態變化에 對應

하여 保護方式 및 保護繼電器의 整定值등 모든 保護機能을 最適의 狀態로 臨機應變式으로 調節가능한 이름 바 知能的인 保護繼電시스템의 構築, 運用이 가능하게 될 것이다. 이 시스템은 最近에 送電線 保護, 系統安定化 保護, 負荷遮斷 및 自動復舊등의 部門에서 實用化 추세에 있다.

##### (4) 디지털 繼電器 自體 소프트웨어의 補強

디지털 繼電器 自體의 소프트웨어가 하드웨어 發展에 副應하여 高級言語가 適用되고, 標準化, 製作의 自動化, 모듈化, Visual化, Real Time化등 알고리즘이 高度化되고, 소프트웨어가 高機能, 高信賴度化 되어 品質向上에 크게 기여할 것이다.

#### 4.3 하드웨어 技術의 發展方向

##### (1) “디지털 繼電技術” 中心의 發展

保護繼電器 하드웨어 技術은 從來의 아날로그 技術을 벗어나 디지털 技術, 情報通信技術을 基本으로 새로운 半導體 素子등 新技術과 光CT, 光PT, 光센서 및 光通信등 周邊技術을 活用하고 知識工學을 連繫시키는 技術로 展開되어 變電所의 完全 디지털化로 誘導하고 周圍의 制御 및 情報處理시스템과 接續, 協助하게 될 것이다.

##### (2) 디지털繼電器 하드웨어의 高度化

次世代 디지털 繼電器의 基本構成은 Multi-

Processor 방식의 繼承, 시스템 擴張性의 高度化, 主檢出, 事故檢出, 監視制御部의 分離等 機能의 分散處理 및 柔軟性을 갖는 시스템의 方向으로 나갈 것으로 展望된다. 이와 같은 시스템 構成의 高度化를 위해서는,

◦ 高分解能力을 가진 A/D 變換, 샘플링 周波數의 高速化, 디지털 필터의 採用 등 아나로그 入力部의 高度化

◦ RISC형 32 Bit Micro-Processor 이상의 高度演算施行, 소프트웨어의 協助에 의한 하드웨어와 응용소프트웨어 分離 등에 의거 保護演算處理能力의 高度化

◦ 繼電器 內部の 自動監視, 整定, 表示, 制御機能을 他機能과 獨立 構成하고 運用操作의 便易性을 갖는 Human Interface의 革新등이 이루어 질 것이다.

### (3) 保護繼電器의 高信賴度化

保護繼電器의 誤, 不動作은 하드웨어에 緣由되는 것이 대부분인데 디지털繼電器의 信賴度 向上對策으로

◦ 常時監視 및 自動點檢의 適正化로 檢索중 設備停止나 障礙 對應에의 改善이 이루어지고 故障部分의 明確化와 Visual化가 되며

◦ 하드웨어의 部品을 Gate Array, Hybrid IC, 高集積素子등을 導入하여 대폭 줄이고 하드웨어로 構成된 機能의 一部를 소프트웨어로 代替시켜 시스템의 固有信賴度 向上을 도모시킬것으로 예상되는데,

이러한 概念은 기존의 아나로그 繼電器 運用에도 信賴度 向上 次元에서 導入될 것으로 전망된다.

## 5. 結 言

앞에서 言及한 것과 같이 保護繼電技術에는 소프트웨어와 하드 兩面에 存在하는데 그 바탕知識과 技術이 相異하여 兩面이 分擔, 協助하면서 發展되어왔다.

電力工學을 中心으로하는 소프트웨어技術과 制御計測, 通信工學을 中心으로하는 하드웨어技術이 共助, 同參해야 技術發展이 가능한데 先進國들의 경우 이 兩面의 技術을 잘 調和시켜 가면서 90年代들어 保護繼電技術의 核心으로 자리잡아가는 “디지털繼電技術”을 꾸준히 發展, Level-Up시키고 있다.

國內에서도 電力會社, 學界등에서의 保護繼電方式 適用技術의 研究開發과 學界, 製作會社, 研究所 등에서 하드웨어技術 研究開發에 參與하고, 이 分野의 人力養成 및 實質적이고 效率적인 產學協同 研究가 이루어질 수 있다면 技術自立에 한발짝 다가설 수 있으리라고 思料된다. 電氣技術者들의 關心과 系統保護技術 專門從事者들의 奮發이 促求된다.



### 백영기(白榮基)

1942년 2월 9일생. 1965년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 전기기술사(발송배전). 1970년 부터 한국전력공사 계통보호분야의 계획 시험연구 등 실무에 종사. 현재 한국전력공사 전력계통호수석전문원(處長).