국내 전력기술의 현황

—전력계통 보호계전기술을 중심으로—

백 영기

(한국전력공사 계통보호 수석전문원)

1. 序 言

電力系統 保護繼電技術은 電力技術의 한 분야로서, 電力系統(設備) 異狀시의 運用과 밀접한 관계가 있는 독특한 技術인데, 일반적으로 保護繼電器(Protective Relay) 로 통칭되기도 한다. 그런데 이 保護繼電技術은 電氣技術의 모든 분야와 관련성이 있는 하나의 綜合技術的인 唯一性을 가지는 것이 또한 그 特徵이라고 할 수 있다. 이러한 保護繼電技術이 현재 우리 국내에서 어떠한 상황에 있는가를 분석·고찰해보는 것은 매우 뜻있는 일이라고 생각된다. 保護繼電技術의 수준을 분석해보기 위해서는 크게 나누어 세가지 측면으로 고찰해 볼 필요가 있는데,

첫째는 保護繼電技術의 研究開發 분야이고

둘째는 保護繼電裝置를 製作하는 技術이며

셋째는 保護繼電技術을 實系統에 適用하는 技術이라고 할 수 있다. 保護繼電技術의 이 세가지 분야는 마치 三脚과 같은 관계를 가지고 있기 때문에 각각 튼튼한 기초를 가지고 균형을 맞추어 발전해 나아가야 기술자립을 할 수 있다는 것을 여러 선진국의 예에서 실감하고 있다. 따라서 본 고찰에서는 이와같은 세가지 분야에서의 현재 우리나라 保護繼電技術의 위치를 조명해보고 발전적인 방향을 기술해 보려고 한다.

2. 電力系統 保護繼電技術의 變遷

保護繼電技術분야의 세계적인 추세를 우리의 현실과 비교해보기 위해서 그동안의 변천과정을 간략하게 살펴보면, 전력계통보호에 保護繼電器가 최초로 사용된 것은 1901년 미국의 WH사와 GE사에서 플런저형 과전류계전기를 개발하여 적용한 것이었다. 그 후 1914년 역시 미국에서 유도형의 과전류계전기를 개발하였으며, 전력계통이 점차 확대되면서 1930~40년대에 誘導還形, 誘導円筒形등이 實用化되었다.

이때부터 方向繼電器나 距離繼電器를 모체로 한 보호계전방식이 고전압의 송전계통보호에 적용되기 시작하였다. 한편 電子技術이 보호계전기에 도입되기 시작한 것은 1950년대 진공관을 활용한 것인데, 진공관이 갖는 결점때문에 극히 제한적으로 사용되었으며 더우기 트랜지스타의 도입과 동시에 자취를 감추게 되었다. 트랜지스형 繼電器(最初의 靜止形 繼電器 : Solid-State Relay)는 그 자체의 우수한 성능으로 1960년대초부터 실용화되기 시작하여 1960년대말경 全靜止形(Full Solid-State)이 개발됨과 동시에 본격적으로 적용되었다. 그러나 保護繼電技術분야도 끊임없이 연구·개발되어 1969년에 드디어 종래의 아나로그형에 대하여 혁신적인 디지틀형의 보호계전기술이 발표되었으며, 1972년경부터 일부 적용되기 시작하였다. 그러나 당시는 미니컴시대로 실용성이 적었으며, 1974년경 마이크로프로세서의 응용과 동시에 본격화되었으나 실증시험의 과정을 거쳐 1980년부터 실용화되기 시작하였다. 이어서 1985년경부터는 세계 각국의 전력회사에서 적용하기 시작하였는데, 이 디지틀 보호계전기술이 장래의 중심된 보호계전기술로 등장할 것으로 사료된다. 보호계전기술의 중요 변천과정을 표로 요약해보면 그림1과 같다.

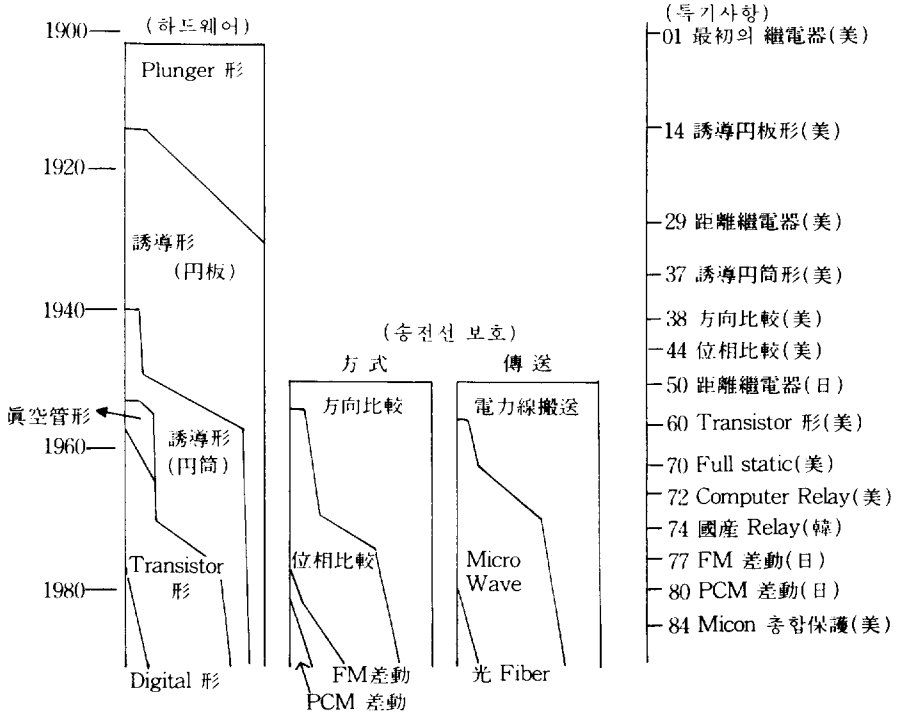

그림1. 보호계전기술의 주요 변천내용

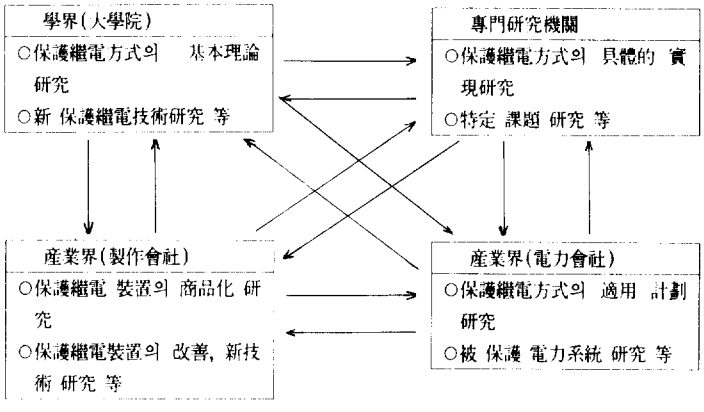

그림2. 선진외국의 계통보호 연구조직 및 기능(예)

3. 國內 保護繼電技術의 研究開發 現況

3.1 研究開發 組織 및 機能

電力系統 保護繼電技術의 연구개발 업무 조직및 기능에 대한 선진외국의 예를 보면 그림2의 구성도와 같이, 學界, 專門研究機關 및 産業界(製作會社와 電力會社)가 상호보완적인 입장에서 균형을 맞추고 있다.

즉 大學院을 중심으로 한 學界에서는 주로 電力系統 保護繼電方式에 대한

○. 기본적인 이론연구(예, 기본 알고리즘의 개발 등)

○. 국부적인 특정한 문제점 개선 연구

○. 전력계통 보호계전방식의 새로운 이론 연구등을 중심으로, 신기술의 가능성 제시 또는 미래의 전문인력 양성 측면에서의 연구가 수행되고 있다.

반면에 專門硏究機關(예, 미국의 EPRI, 일본의 CRIEPI 등)에서는 학계에서의 연구내용과 비슷한 과제들을 수행하나 대체로 실무에의 적용과 직결되는 연구가 많이 진행되고 있다. 즉

○. 전력계통 보호계전방식의 구체적 실현연구

○. 보호계전방식 운용상의 문제점 연구

○. 전력계통보호 관련기술 연구

○. 신 보호기술 등에 관한 연구를 자체적으로 또는 산업계, 학계와 공동으로 추진하고 있다.

한편 산업계에서의 연구도 활발히 진행되고 있는데, 선진국의 경우 보호계전기 제작회사나 전력회사에서는 대부분 자체의 硏究專門組織을 운용하고 있다. 그리고 연구활동범위도 아래와 같이 각각 특수성을 가지고 있다.

保護繼電裝置의 製作會社의 경우는,

○. 보호계전방식의 실현(商品化)에 관한 연구

○. 기존 보호방식의 개선 연구

○. 보호계전장치 구성요소(Software, Hardware) 개발에 관한 연구 등을 중점 수행하고 있으며,

保護繼電裝置의 主 사용자인 電力會社에서는,

○. 보호계전방식의 장·단기 사용 계획 연구

○. 보호계전방식 적용상의 문제점 개선 연구

○. 피보호 전력계통의 특성및 이와 관련된 신 보호기술 연구

○. 보호계전장치의 동작상황 연구등을 자체인력 또는 학계, 전문연구기관 등과 공동으로 수행하고 있는 것으로 나타나고 있다.

3.2 國內 硏究開發 活動狀況

국내의 電力系統保護분야 硏究開發업무 實狀을 보면, 선진외국과는 큰 격차가 있음을 알 수 있다.

우선 學界의 경우, 1980年代 초반까지는 이 분야에 대한 연구활동이 전혀 없었으며, 1983~4년경부터 일부 대학원(成大, 서울大) 석사과정에서 극소수 이 분야 논문을 제출한 것이 효시라고 할 수 있다. 이때의 논문은 주로 당시의 선진국에서 이미 연구가 많이 되었던 이른바 "마이크로프로세서의 保護繼電裝置 응용"이었다. 그 후 1985년에 韓電에서 서울大(생산기술연구소)와 "多重接地 配電線路 保護繼電方式 硏究"라는 과제로 공동연구를 하면서 학계의 본격적인 연구활동이 시작되었다고 할수 있는데, 현재도 "送電線 保護繼電시스템의 알고리즘 개발 연구"가 진행되고 있다. 한편 학계의 이 분야에 대한 연구참여와 관심도를 분석해보면, 외국의 경우도 電氣工學科를 개설하는 모든 大學이 이 분야 연구를 진행하는 것은 아니지만, 우리나라의 경우 電氣工學科(35個校)와 制御計測工學科(2個校)를 개설하는 37校중에서 단지 1~2개교에서만이 이 분야의 연구가 있었다는 것은 아쉬운 점이라 하겠다. 이와같은 현실의 배경에는,

○. 이 분야가 特殊하고 實務的이며 綜合技術的인 면이 있어 쉽게 접근하기가 어렵고,

○. 保護繼電裝置의 製作會社나 電力會社에서의 연구에 대한 동기부여가 미약했던 점을 들 수 있다.

전력계통 전문연구기관으로서는, 현재 韓國電氣硏究所(KERI)를 대표적으로 꼽을수 있는데, 이 분야와 관련된 연구를 최초로 시작한 것은 1983~4년도에 "22^{KV} 地中配電系統의 抵抗接地方式 전환 검토"를 韓電과 공동으로 진행했던 것이라 할 수 있다. 이 후 1988년도에 "電力系統의 同期脫調 保護繼電裝置 적용에 관한 연구"를 韓電과 공동으로 시작하였는데 이것이 본격적인 系統保護분야의 연구활동 개시라고 할 수 있다. 이와같은 활동부진은,

○. 이 연구소(KERI)의 설립역사가 짧고(1976년 발족)

○. 계통보호분야의 전문연구인력 확보의 어려움

○. 학계, 산업계와의 연계성 미흡등을 들 수 있을 것 같다.

다음은 産業界(保護繼電器 製作會社, 電力會社)의 연구활동 분석인데, 국내 제작회사는 다음 章에 기술하는 것과 같이 다수 설립되어 있지만 현재의 연구조직이나 활동은 한마디로 거의 없는 실정이다. 그러나 보호계전장치 사용자인 韓電에서는 1963년 전기시험소의 제1연구실 발족부터 이 분야의 관련연구를 시작하였는데, 본격적인 연구활동이 전개된 것은 1983년 韓電의 技術硏究院이 확대개편되면서 부터라고 할 수 있다. 그 동안 진행되었던 연구과제의 내용을 보면, 1983년 기구 확대개편전에는 대부분의 보호계전기 적용상의 문제점 개선

에 중점을 두었으나, 1983년 기구 확대개편 후에는 保護繼電裝置 사용자인 電力會社 본연의 연구업무외에도 새로운 보호계전기술의 개발이나, 保護繼電方式의 기본이론 연구 등 학계나 전문연구기관에서 담당해야 할 분야까지 수행하고 있는 실정이다.

이상에서 분석해본 것과 같이 국내 保護繼電技術분야의 연구조직이나 활동은 선진국과 비교해 볼때 종합적으로는 극히 부진한 상태이지만, 電力會社 입장에서의 연구활동은 어느 수준에 와 있고, 또 學界와 專門研究機關에서도 시동이 된 상태이므로 製作會社에서만 좀더 활발히 움직여 준다면 국내의 保護繼電技術도 기반을 다져나갈 수 있을것으로 사료된다.

4. 保護繼電裝置의 國內 製作技術 現況

4.1 保護繼電裝置의 製作業體 現況

保護繼電裝置라 함은 일반적으로 個體形의 保護繼電器와 數個이상의 保護繼電器를 조합구성한 保護繼電器配電盤및 이와 관련된 부속장치등을 포괄적으로 말하는 것인데, 대개의 경우는 전자의 두가지만을 포함시키고 있다. 그런데 외국의 경우는 保護繼電器와 保護繼電器配電盤을 동일업체에서 일괄 제작하고 있으나, 우리나라의 경우는 이와는 달리 보호계전기와 보호계전기배전반 제작업체가 각각 별개로 운영되고 있는 실정이다. 즉 보호계전기 배전반업체는 개체형의 보호계전기를 보호계전기 제작업체 또는 외국에서 수입하여 보호계전기배전반을 제작하고 있다. 국내 保護繼電器 제작회사의 현황을 보면, 1974년에 2개사로 시작되었는데, 최근 1~2년사이에 몇개회사가 靜止形을 개발하였으나 韓電의 形式승인을 얻지 못하고 있다. 한편 保護繼電器配電盤 제작회사는, 현재 154[KV]급 이상과 22.9[KV]급(66[KV]포함) 이하로 구분되는데, 154[KV]이상이 8개업체(송전선 보호배전반은 5개)이며, 22.9[KV]급이 하는 약 130개업체(한전납품업체 70개사)로 난립되어 있다.

국내 보호계전장치의 제작역사를 보면, 個體形, 보호계전기의 경우 1974년에 電磁機械形을 국산화하였는데 이것은 미국보다는 거의 60여년, 일본보다는 30여년 뒤진 것이었다. 그 후 전자기계형 보호계전기의 개발종목은 다소 확대되었으나 큰 진전은 없었으며, 겨우 2~3년전부터 정지형의 보호계전기를 개발하였는데 이것도 선진국보다는 약10~15년이 늦다고 할 수 있다. 뿐만아니라 정지형은 아직 일부 산업용 공장에서만 사용되고 있고 전력회사에는 실용치 못하고 있는 실정이다. 개발종목 또한 電力系統設備 보호에 필요한 전 종류는 개발치 못하고, 초기에는 過電流繼電器, 過(低) 電壓繼電器, 選擇地絡繼電器 등 단순한 보호계전기에 불과하였으며, 그 후 변압기보호용 差動繼電器, 배전선용 自動再閉路繼電器등 다소 복잡한 보호계전기는 개발하였지만 송전선보호용의 距離繼電器를 포함한 고기술의 보호계전기는 아직도 개발치 못하고 있다. 위에서 언급한 전자기계형 계전기의 국산화율은 개발초기에는 약 80%였으나, 1981년경 부터 거의 100%(1개부품 제외) 국산화하고 있다. 정지형(아나로그)의 경우에는 국산화 초기부터 거의 100% 국산화하고 있으며, 앞으로 정지형(디지틀)이 개발된다면 초기에 100%의 국산화가 가능하리라고

표 1. 보호계전기 및 보호계전기 배전반 업체현황

(1988년말 현재)

제작회사별 구분	보호계전기		보호계전기 배전반		
	電磁機械形	靜止形	22.9[KV]급이하	154[KV]급	345[KV]급
업체名 및 數	京甫電機 天一電機 *마그나電機	*京甫電機 *大延電子 *三和技研	光明電機外 130個 業體 (韓電 납품 업체 : 70개社)	柳湖電機 日進電機 鮮都電機 金星計電 金星機電 +現代電機 +東一電機 ±曉星重工業	鮮都電機 柳湖電機
비 고	*한전 形式승인 미 취득		+: 모선 보호배전반만을 제작한 업체 ±: 변압기 보호배전반만을 제작한 업체		

예측된다. 그러나 현재 개체형의 보호계전기 제작에 참여하고 있는 업체들의 대부분이 보호계전기의 하드웨어에 대한 기술만을 가지고 외국의 실례를 단순모방하는 단계이며, 보호계전기의 필요성, 적용목적에 근거한 동작원리 측면의 소프트웨어적인 기술은 매우 빈약하기 때문에 폭넓은 제작기술 향상을 위해서는 이 분야의 기술에 대한 참여와 투자가 있어야 되리라고 생각된다. 한편 보호계전기 배전반의 제작실태는 1974년 보호계전기의 국산화를 기반으로 곧바로 22.9^{KV}급이하 보호배전반이 국산화 되었는데, 154^{KV}급은 당초 국산화계획보다 3~4년 늦게 1982~5년에 걸쳐 시행되었으며, 345^{KV}급은 1986년에야 국산화의 과정을 거치게 되었다. 보호계전기 배전반의 제작에서 큰 비중을 차지하는 기술은, 배전반 자체의 제작기술(金型, 板金, 結線 等) 보다는 배전반 자체의 제작에 뒷받침이 되는 기술 즉 보호배전반의 배경이 되는 保護繼電方式을 이해하고 보호배전반의 Sequence를 구성하는 기술과 여기에 사용되는 각종 부품(保護繼電器 등)의 제작기술이라고 할 수 있다. 이 분야 기술의 경우, 22.9^{KV}급 이하는 거의 100% 국산화하였을 뿐 아니라 대체로 어느 수준에 있다고 볼 수 있다. 그러나 154^{KV}급 이상은 아직도 국산화율이 약 20~30% 수준에 머물고 있는 상태로, 대부분의 구성부품(保護繼電器 등)을 외국에서 수입하여 단순조립 단계에 있다고 할 수 있다. 어쨌든 현재시점에서 볼때 국내에서 필요로 하는 보호계전기 배전반은 발전기 보호용을 제외하고는 전량 국내에서 공급하고 있으며 그 현황을 보면 표2와 같다.

표 2. 보호계전기 배전반의 국산화 현황

보호계전기 배전반	국산화 시기
22.9^{KV} 급 이하 배전선용	1975
154^{KV} (66^{KV}급 포함) 전력용 변압기용	1978
154^{KV} 모선용	1982
154^{KV} 송전선용	1985
345^{KV} 모선용	1986
345^{KV} 송전선용	〃
345^{KV} 전력용 변압기용	〃
345^{KV} 차단기 실패 보호용	〃
345^{KV} 재폐로용	〃

5. 國內 電力系統 保護繼電技術의 適用現況

1961년 국내 電力3社가 통합된 이후 현재까지 우리 電力系統 保護繼電技術의 適用사항 중 중요내용을 정리해 보면 표3과 같은데, 1968년 154^{KV}계통의 중성점접지 방식을 직접접지로 전환한 후부터 電力系統의 保護繼電方式 適用에 대한 기틀을 갖춘셈이 된다.

그동안 우리 電力系統에 적용해온 중요 保護繼電技術에 대하여 선진외국의 예와 비교해보면, 1968년도에 154^{KV} 송전선보호에 方向比較方式을 적용한 것은 미국보다는 30년, 일본보다는 20년 뒤진 것이었으며, 1976년 정지형 계전기의 도입 및 1976년 全정지형 계전기의 도입은 미국·일본보다 약 10여년이 뒤진 것이었다. 그러나 1976년 345^{KV}系統 도입과 동시에 적용했던 保護繼電方式은 당시로 봐서는 거의 선진 전력계통과 같은 수준의

표 3. 전력계통 보호계전기술의 중요적용사항

발생年度	被保護設備	保護繼電技術 適用 內容
1961 (3社 통합)	送電線	○154^{KV} : (短絡)→過電流繼電方式, 逆電力 繼電器에 의한 電力 平衡繼電方式 (地絡)→P.C 保護方式
		○66^{KV}, 22^{KV} : 154^{KV} 系統과 類似
〃	配電線	○(3.3^{KV} / 6.6^{KV}) : (短絡)→過電流繼電方式 (地絡)→地絡過電壓繼電方式, 選擇 地絡繼電方式
		○5.7^{KV}Y : (短, 地絡)→過電流繼電方式
1962	送電線	○154^{KV} 短絡 保護로 距離繼電方式(WH, KDAR) 도입
1964	母 線	○66^{KV} 母線保護方式(電壓差動繼電方式 : GE, PVD) 적용→부산T / P
1965	電力系統	○UFR에 의한 Load Shedding 方式 적용(UFR 24대)

1966	配電線	○22.9^{KV}Y, 11.4^{KV}Y : (短, 地絡) 過電流繼電方式)
1968	送電線	○154^{KV} 系統 中性點接地方式 전환(直接接地)
		○154^{KV} : 主, 後備保護 적용(KD)
		(主) → 電力線搬送 方向比較方式
		(後備)→(短) : 段階限時 距離繼電方式
		(地) : 方向地絡 過電流繼電方式
〃	母 線	○154^{KV} 중요 發·變電所母線→電壓 差動 繼電方式 적용(PVD)
1969	送電線	○154^{KV} : Pilot Wire 繼電方式
1976	母 線	○154^{KV}(2중母線) : 母線 분할보호용으로 位相比較繼電方式 적용(TABS)
〃	送電線	○345^{KV} : 2系列 4重保護
		第1系列 : (主) → 電力線搬送 方向比較方式
		(後備)→段階限時 距離繼電方式
		第2系列 : (主)→戰力線搬送 제어언더리치 轉送遮斷方式
		(後備)→段階限時 距離繼電方式(GEC)
	母 線	○345^{KV} (1.5母線) : →電壓 差動繼電方式(GEC)
	遮斷器	○345^{KV} : 失敗 保護 方式(GEC)
1979	送電線	○66^{KV} : Sequential Trip 방식
1983	送電線	○66^{KV}濟州 系統(抵抗接地方式)
		(主) → 電力線 搬送方向比較方式
		(後備)→(短) 距離繼電方式
		(地) 方向地絡過電流 繼電方式
〃	遮斷器	○154^{KV} : 失敗 保護繼電 方式

보호방식이었다. 그런데 1970~80년대 미국과 일본 전력계통의 송전선보호계전방식의 적용내용을 보면, 미국은 方向比較方式에서 位相比較方式으로 혼용해오고 있고, 일본은 方向比較方式에서 位相比較方式으로 다시 傳送電流差動方式으로 전환해가고 있는데 우리는 계속해서 方向比較方式만을 사용하고 있다. 그러나 우리 전력계통의 특징을 고려해볼때 信賴性 위주의 이 보호방식 적용이 결코 바람직 하지 않다고 말할 수는 없다. 한편 保護繼電器의 하드웨어 適用면에서는, 선진국에서는 이미 電磁機械形→靜止形(아나로그)→靜止形(디지틀)의 단계를 1980년대 초반부터 또는 현재 거치고 있는데 우리계통은 아직 정지형(디지틀)을 적용치 않고 1990년을 목표로 하고 있다. 이상과 같이 보호계전기술의 적용측면에서는 현재 선진국의 약5~10년 뒤를 따라가고 있는 셈인데, 선진국에서 실 계통에 적용후 문제점을 보완후에 적용한다는 측면에서 볼때 바람직한 점도 있다고 할 수 있다.

6. 결 언

이상에서 국내 保護繼電技術의 세가지 측면 即 保護繼電技術의 硏究開發, 保護繼電裝置의 製作技術 및 保護繼電技術의 適用分野에 대하여 개략적으로 고찰해 보았는데, 현재의 우리 보호계전기술을 선진국과 비교해 본다면 한마디로 아직은 초보적인 단계로, 국내의 기술자립이나 선진국 수준에 이르기 위해서는 많은 투자와 노력이 요청된다고 할 수 있다. 더우기 국내의 보호계전기술은 위의 세 분야가 균형을 갖지 못한 상태이기 때문에, 장래의 발전을 위해서는 새로운 위상정립이 요망되고 있다.

다시말하면 국내의 보호계전기술 적용분야는 상당한 수준에 와 있지만, 연구개발과 제작기술은 시작단계에 불과해서, 선진외국과는 상반되는 현상이 되어있다. 일반적으로 선진국에서는 학계, 연구기관의 연구개발기술이 제작기술을 선도하고 또 이어서 전력회사의 적용을

유도하는 패턴을 가지고 있는데, 우리의 현실은 이와는 반대로 적용기술이 연구개발과 제작을 유도해 가고있는 실정이다. 우리 국내기술도 바른 위상정립을 위해서,

電力會社에서는,

○. 學界, 專門硏究機關에서 이 분야 연구에 적극 동참토록 동기유발을 위하여, 학술, 실무지식 및 정보의 교류 또는 연구과제 위탁, 공동연구 실시 등 물심양면의 지원을 대폭 확대 투자해야하고,

○. 保護繼電裝置 製作會社의 기술수준 향상을 위하여, 소요되는 모든 보호계전장치는 국산품을 적용하고, 각종 보호계전장치의 표준규격 제정, 축적된 기술의 전수, 기술정보의 교환 등 기술수준이 어느 정도에 이를때까지는 전력회사에서 리드해 나가야 된다고 생각된다.

保護繼電裝置의 製作會社에서는,

○. 전문기술인력, 제작 및 시험설비등에 보다 적극적인 투자를 해야하며,

○. 학계, 전문연구기관과의 협동연구를 실시하고,

○. 국산화가 용이한 정지형의 보호계전장치에 적극 관심을 가지고,

○. 국내 시장규모가 적으므로 점차 외국시장으로 눈을 돌려야 할것으로 생각된다.

學界(專門硏究機關)에서는,

○. 대학원과정의 연구인력을 적극적으로 이 분야에 유도하여 전문인력양성에 많은 관심을 가져 주어야하며,

○. 선진외국의 이 분야에 대한 신기술 정보를 신속히 도입하여 이 분야의 기초연구를 튼튼히 해주고,

○. 전력회사, 보호계전장치 제작회사와의 산학협동연구 또는 기술정보 교환에 적극적인 관심을 가져주어야 하며,

○. 장, 단기 연구정책 수립에 이 분야가 누락없이 반영되도록 노력해 준다면 이 분야 기술발전이 확실해 질것으로 사료된다.