



系統運用 및 保護 技術

백 영 기*, 문 영 현**

(*한전 전력연구원 전력연구실 실장, **연세대 공대 전기공학과 교수)

1. 序 論

電力系統의 특징은 생명체와 같이 상태가 늘 변화하는 것이며 그 변화가 매우 非線形的인 점이다. 앞으로의 상태를 어느 정도 豫測할 수도 있지만 전혀 예측할 수 없는 상태에 도달하기도 한다. 스스로 사고를 일으키기도 하고 외부로부터 기인되어 不安定해지기도 한다. 따라서 그때 그때에 알맞은 운용기술이 필요하다. 手動전화기와 주판을 사용하여 급전지령을 하던 시절부터 대형 컴퓨터로 자동화된 給電시설을 이용하는 오늘날에 이르기까지, 계통의 규모가 커지고 복잡해짐에 따라 필요한 기술과 그의 정도가 다양해지고 高度化되어 왔으며 앞으로도 더욱 발전된 기술들이 要求될 것으로 전망된다. 發電豫備力이 부족할 때에나 送變電設備容量이 부족한 때에도 문제없이 電力供給을 유지해 온 경험도 많았고, 때로는 뜻하지 않은 설비의 誤動作에 의해 작고 큰 정전을 초래한 경우도 있었다. 그러나 지금까지 우리 나라 전력계통에서는 수요예측 및 계통계획으로부터 설치·운전에 이르기까지 해당 기술들을 적절하게 활용하여 왔다고 평가받을 수 있을 것이다. 문제는 지금까지의 技術과 經驗을 어떻게 잘 계승시키고 새로운 과학기술들을 도입하여 발전시켜 나가느냐 하는 것이다. 우리의 전력계통 규모가 세계적으로도 몇째 안가는 규모이고 장래에는 국제간 전력계통의 連繫가 이루어질 전망이 큰 만큼 이때에 우리가 계통운용기술을 선도할 수 있도록, 이 분야의 기술발전이 한층더 힘을 모을 때이다.

최근 전력계통운용에 있어서 최대 관심사는 지난 7월 2일 발생했던 美西部지역 정전사고일 것이다. 이 사고는 記錄의인 무더위로 부하가 크게 증가한 상태에서 와이오밍주 짐 브리저(Jim Bridger)발전소와 아이다호주의 키포트 변전소간의 345KV송전선에 발생한 短絡事故가 연쇄적으로 파급되어 WSCC (Western System Coordinating Council)에서 공급하는 17개주 중에서 15개주에 공급장치가 발생한 大停電事故로서 최신 전력시스템에서도 대정전사고에 대한 경계를 늦출 수 없음을 보임으로써 전력사업 관계자들에게 경종을 울렸다. 最新 장비와 기술을 갖춘 미국등 선진국에서도 이러한 사고가 언제든지 일어날 수 있음을 보여준 사례이다.

韓電系統은 1961年 發電容量 367MW에서 1995年 기준 32,184MW로 약 90배에 이르는 고속 성장을 이룩하여 세계적인 大規模 전력시스템을 보유하게 되었다. 한전계통은 최근의 수요급성장과 더불어 엄청나게 커졌으며 설비면에서나 전력판매량으로 보나 세계에서 몇번째가는 규모로 성장했다. 미서부 광역정전사고와 같이 최신 설비를 갖춘 계통에서도 대규모 정전사고가 발생할 수 있다. 전력공급의 안전성확보는 식량문제와 같이 국가적안보차원에서 다루어져야 한다. 이는 설비면에서나 기술면에서나 결코 외국에 의존할 수 없는 분야이므로 정부당국과 한전의 특별한 관심이 있어야 할 것이다. 우리는 그 간의 運用經驗과 技術을 바탕으로 앞으로의 문제점과 기술발전 方向을 재조명하여 보완책을 강구해야 하겠다. 또한 우리 나라의 전력시스템은 어떤 運用技術이 절실하고, 만약 보완책이 필요하다면 어떤 조치를 취해야 하겠는가 등이 현재 우리의 産學·研이 가져야 할 주요 관심사가 아닐 수 없다.

본 고에서는 전기학회 창립50周年을 맞아 지난 50년간 電力系統運用·保護分野의 發展推移와 앞으로의 과제를 정리해 보고 우리 나라 전력계통에 대한 當面 과제와 정책방향을 제시함으로써 앞에서 언급한 美西部 광역 정전사고와 같은 大停電事故 방지와 앞으로의 전력기술발전이 조금이나마 보탬이 될 수 있길 기대해 본다.

2. 系統運用 技術의 變遷過程

2.1 系統運用·解析技術의 變遷

전력계통은 Edison이 전력회사를 설립하여 최초로 配電시스템을 갖춘 이후 점차 규모가 큰 시스템으로 성장하여 왔다. 2차대전 이후 산업의 급속한 성장과 더불어 電力需要 또한 급속히 증가하였고 60년경에 비로소 地域間 연계가 시작되어 현재와 같은 대규모 시스템 모습을 갖추게 되었다. 중전 지역분할 시스템에서는 소규모 전력을 공급하였고 개개의 發電機 制御 정도의 기술수준에 머물러 있었기 때문에 전력계통 運用技術도 短絡사고시의 고장전류 계산에 의한 系統保護 정도로서 그 수준이 일천하였다고 할 수 있다. 그러나 60년대에 들어서는

표 1. 電力技術의 發展推移

		기술발전 추이	주변 상황	우리나라
60년	전반	○ 계통연계 및 전력수요 증가	○ 미국 동부 중부, Canada등지에서 수 차례에 걸친 대규모 정전사고	
	후반	○ 컴퓨터 도입시기		
70년	전반	○ 조류계산기법 개발	○ 73.1차 oil shock	○ Network analyzer도입
	후반	○ 컴퓨터 시뮬레이션 기술 발달 ○ 전산시스템의 on-line적용시도 ○ 상정사고해석에 의한 신뢰도제어 ○ SCADA도입 계통 On-line 적용 ○ 상태추정기법 개발	○ 77.9 Florida전압 붕괴사고	○ 77 중전기연구소 발족 (현 KERI) ○ 79.6 real time dispatcher 도입
80년	전반	○ 안정도해석 기법 개발	○ 80.2차 oil shock	
	후반	○ EMS, 전압붕괴현상 발견 ○ 안정도해석기법 연구 활성화 ○ SVC개념도입 ○ Expert System 개념 도입 ○ 전압안정도 연구활성화 ○ 계통Simulator도입 ○ Fuzzy기법 도입	○ 82 4차에 걸친Florida전압붕괴사고 ○ 85.5 남부 Florida전압 붕괴사고 ○ 87.7 동경전압붕괴사고 ○ 87.8 서부Tennessee전압붕괴사고	○ 80 SCADA도입 시작 ○ 83 한전연구원 개원 ○ 87 SCADA시스템완성 ○ 88 EMS도입
90년	전반	○ DSM개념도입	○ 93 걸프전	○ 91 KODAS 개발 착수
	후반	○ ANN(인공 신경회로망)기법도입 ○ 오픈system에 의한 신EMS기법도입 ○ FACTS 도입 시도 ○ Inter area long term oscillation등 계통 안정화기법 개발(PSS 적용 활성화) ○ 전압 안정도 제어기법 개발 ○ On-line TSC기법 개발 ○ 통합 안정도 개념 도입	○ 96.7 미서부 대정전사고	○ 95 현대중공업 (신)EMS 개발 착수 ○ 95. FACTS 연구개시 ○ 2002 계통simulator 도입 ○ 2002 신EMS 도입예정

미국동부, 중부 및 캐나다 일부 등 北中美지역에서 수차례에 걸쳐 대규모 停電事故를 겪었으며 이러한 停電事故와 더불어 계통운용 기술이 발달되었다고 할 수 있다. 표1은 初創期 대규모 정전사고의 周邊事件과 國內·外 기술발전 推移를 정리한 것이다.

이에 따라 60년대 후반부터 Gauss-Seidel법, Newton-Rapson법, 분할법 등의 電力潮流 계산기법이 개발되기 시작하였다. 또한 이 때에 컴퓨터기술이 발달되면서 電算시스템이 전력계통운용에 도입되었다. 70년대로 접어들면서 전산시스템의 빠른 계산속도에 힘입어 經濟給電, 계통시뮬레이션 기술이 발달하였고 상정사고 해석에 의한 信賴度 制御가 on-line 적용될 수 있는 수준에 이르렀다. 70년 후반에는 SCADA시스템의 도입으로 계통의 real time 제어가 가능하게 되었으며 不良 데이터에 대한 우려 때문에 狀態推定技法 연구가 유행이 되기도 했다. 80년대에는 표 1에서 보는 바와 같이 전력계통운용에 신기술이 대거 도입되었으며 이 시기에 특기할 점은 電壓崩壞현상이 발견되었다는 것이다. 전압붕괴현상이 발생할 수 있음을 러시아 학자 Venikov에 의하여 1975년 제기되었으나 당시에는 별 관심을 끌지 못했다. 그러나, 80년에 들면서 유럽, 미국에서 原因 모를 사고를 수차 겪고 난 후에서야 전압붕괴현상의 실체를 비로소 인식하게 되었으며 東京電力의 전압붕괴사고 이후 전력분야의 최대 關心 事로 부상되었다.

지난 7월 美서부 광역 정전 사고에서도 최초의 시발 사고에 대한 원인이 아직 명확히 밝혀지지 않은 상태로 繼電器 오동작으로 추측하는 견해도 있으나 필자의 견해

로 전압 안정도에 관계될 확률이 높다고 본다. 그 이유는 같은 線路에서 똑같은 유형의 사고가 7월 2일, 3일과 8월에 수차례 반복적으로 발생했기 때문이다. 계전기 誤動作은 반복적 사고가 날 확률이 거의 없으며 전압붕괴현상은 붕괴직전까지 아무런 사고징후를 찾아볼 수 없는 특징이 있다. 또한 需要管理概念(DSM)과 전문가 시스템, Fuzzy 기법, ANN 등의 새로운 기법이 도입되어 계통운용에 많은 변화를 주었다. 80년 후반 잦은 계통사고와 계통 不安定으로 90년에는 long-term oscillation, inter-area oscillation 등이 전압안정도와 더불어 주요과제로 부상되었고 PSS, SVC 등을 통한 系統安定化技法에 관한 연구가 활발히 이루어졌다. 또한 computer system의 발달과 전압안정도와 on-line 과도안정도확보의 필요성에 따라 새로운 EMS 시스템 개발이 시도되어 開放形 EMS도입이 추진되고 있다. 개방형 EMS의 특징은 다수의 computer를 network로 연결하여 EMS작업을 분산 처리할 수 있도록 함으로써 시스템 管理와 응용 S/W관리가 간편하고 상호 중복 기능을 갖추게 함으로써 전산시스템 信賴性を 提高시킬 수 있다는 점이다. 또한 전력전자 기술의 개발과 더불어 직렬 콘덴서를 선로에 투입함으로써 선로 容量을 증대시키는 FACTS 송전방식의 도입이 연구되고 있으며 현장 실증 시험 단계에 있다. 한편 90년도 후반에 活性化될 것으로 예상되는 연구분야로는 on-line 계통 안정성 확보 방안으로 전압안정도 제어, on-line 過渡 안정도 확보 방안, 電壓 및 電力角 안정도 등 여러 가지 관련 安定度를 통합한 統合안정도 개념 도입, 系統動搖 억제를 위한 계통안정화 기법 등이

표 2. 系統運用 統計值 比較

구분	한국	미국	일본
공급지장출(LOLP)	0.7일(목표 0.5일)	0.1일(기준)	0.3일(기준)
주파수 오차(Hz)	±0.1(98.6%)	±0.1(99.9%)	±0.1(99.0%)
전압 오차(%)	2.5(98.8%)	2.0(99.9%)	2.0(99.9%)

註) 괄호안의 숫자는 유지실적을 표시한 숫자임.

될 것으로 보인다.

우리 나라의 전력계통 운용기술은 79년 自動給電시스템 도입을 계기로 하여 본격적으로 발전되었다고 볼 수 있으며 80년부터 단계적으로 SCADA시스템을 도입하였고 이어 88년에 日本 도시바로부터 EMS를 도입하여 운용해 오고 있다. 우리 나라 계통 역시 많은 사고를 겪어 왔으나 70년 이전의 정전사고는 계통기술면이나 시설면에서 별의미를 갖지 못하며 비교적 現代인 시설을 갖추고 난 뒤, 전국 규모의 큰 사고는 다행히 별로 없었다는 것이 특징이다. 이것은 계통운용을 잘 해 왔다는 평가도 가능하지만 한편으로는 表2에 주어진 계통운용 통계 數值로부터 짐작할 수 있듯이 정전사고 예방 등 전기의 고품질화에 대한 연구노력이 필요하고 선진국 수준을 따라가기 위해서는 국내 계통에 대한 송전망 補強 및 시설 補完이 필수적이라 할 수 있다.

韓電 계통은 80년대말부터 수요가 급격히 증가하여 발전, 송전시설이 매우 부족한 상황으로 계통 전체의 운용여건이 어려워지고 있으며, 특히 送電施設은 발전설비에 비하여 열악한 상태에서 운전되고 있다. 계통 運用을 위하여 보완해야 할 설비로 우선 계통망 확충이 급선무이며, 다음으로는 전압 제어 및 전압안정도 확보를 위한 無效電力 공급설비 확충, 계통안정화 장치의 보급 등을 들 수 있다. 한편 국내의 계통운전기술은 경험면에서 보면 상당한 수준에 와 있으나 기술개발에 소극적이었던 관계로 技術基盤이 매우 취약하다. 계통운용 관련 核心기술로서는 운용해석S/W, SCADA 및 EMS 제어, 계통 simulator등을 들 수 있다. 그러나 國內에서는 이러한 핵심기술 개발에 대한 전략 부재로 과거 몇안되는 연구 성과물조차 계승 발전시키지 못하여 가시적 기술 축적이 거의 없는 실정이며 이에 대해서는 산·학·연의 모든 관련자들이 반성이 따라야 할 것으로 생각된다. 그간 EMS개발이 국내에서는 외면 당해 왔으나 지난 95년부터 現代重工業이 Canada의 Ontario Hydro와 共同으로 개방시스템을 도입한 신 EMS개발에 착수해 귀추가 주목되고 있으며 이것이 성공한다면 국내에서 계통운용기술 개발을 위한 새로운 전기를 맞게 될 것으로 보인다. 또한 한편에서는 756kV送電線 건설과 때를 맞추어 신 EMS도입을 추진하고 있으며 2002년에 계통투입을 목표로 하고 있다. 한편, 2002년 계통 시뮬레이터 도입이 추진되고 있으며 이것은 계통운전 信賴度 향상에 크게 이바지할 것으로 기대된다.

2.2 系統保護技術의 變遷

전력계통과 이를 구성하는 각종 電力機器, 설비 등의 고

장 및 사고 발생시 이를 검출하여 보호하는 기술 즉, 系統保護기술은 전력계통의 안정운용을 위한 최후의 보루로 비유할 수 있는 기술이다. 작게는 가정집의 전기 인입측에 사용하는 퓨즈(fuse)나 누전차단기 및 소규모 전동기의 열동형계전기(thermal relay)로 부터, 配電線路上의 리크로자(recloser), 공장이나 초고압 변전소, 대용량 발전소등에서 사용되는 각종 보호계전기(protective relay)등 매우 多様하며 이들의 세부 책무와 구성기술은 겉보기와는 다르게 단순하지만은 않으며 이를 뒷받침하는 하드웨어와 소프트웨어는 복잡한 綜合技術로서 하나의 特異한 기술적 장르를 이루고 있다. 이들 보호계전장치의 역할은 기기 및 설비의 손상을 최소화하고 관련된 人畜사고를 방지할 뿐 아니라, 고장의 과급이 전계통으로 擴大됨을 방지하여 궁극적으로는 계통의 안정운전과 전력공급을 도모하는 것이라 할 수 있다. 전력계통이 구성되면서 부터 必須不可分の으로 수반되어 사용되어온 이 기술은 주어지는 조건과 역할의 속성상 보수적이며 개혁과 리스크에 대하여 신중한 자세로 확대, 발전되어 왔다고 할 수 있다. 그러나 最近에 송전선의 초고압화, 발전기의 대용량 集中化등으로 이들을 위한 보호요구 조건이 보다 엄격하게 높아지고 있을 뿐 아니라 日常生活 전반에서 전기의 용도가 고도화되어 갈수록 보호계전장치의 誤動作은 더욱 용납되지 않고 있다. 한편, 컴퓨터기술과 정보 전송기술의 발달에 힘입어 이른바 디지털보호계전기(digital relay)가 實用化 되었고 이를 바탕으로 머지않은 將來에 知能的인 보호장치의 개발과 운용이 가능해지는 時代가 예측되기도 한다. 최근의 보호계전기술은 從來의 단위설비 보호개념에서 보다 進歩되어 전체계통 보호개념으로 擴大되고 있을 뿐 아니라 제어, 감시등 다 기능과 통합(integration)되는 추세에까지 이르고 있다. 지금까지도 보호기술은 그의 賁務를 다하기 위해 고속화, 고감도화, 고기능화, 고신뢰화를 目標로 끊임없이 발전되어 왔으며 앞으로도 이와 같은 목표를 달성하기 위하여 부단한 努力이 요구되고 있다.

保護繼電器로 구별하여 명명된 세계최초의 하드웨어는 1901년 미국의 WH社와 GE社에서 개발한 플런저(plunger)형 과전류계전기(OCR)이다. 그 후 1914년 같은 회사에서 유도형의 過電流계전기를 개발하였으며 전력계통이 점차 확대되면서 방향성 또는 선택성을 가지는 계전기가 필요하게 됨에 따라 1930 - 40年代에 유도환형, 유도원통형 계전기가 개발되어 실용화되었고 이때부터 方向性 과전류계전기나 距離계전기를 모체로 한 보호계전방식이 loop화된 고전압 송전계통 보호에 적용되기 始作하였다. 한편 전자기술이 보호계전기에 도입된 것은 1950년대 진공관을 활용한 것으로부터 시작되었으나 진공관이 갖는 결점 때문에 극히 제한적으로 사용되었고 半導體의 도입과 동시에 자취를 감추게 되었다. 트랜지스터형계전기는 그 자체의 우수한 성능으로 1960년대 초부터 실용화되기 始作하여 1960년대 말경 全靜止形(full solid-state)이 개

발됨과 동시에 본격적으로 적용되었다. 그러나 과학기술의 발달과 더불어 보호계전분야도 발전을 거듭하여 1969년에는 디지털形 보호계전기의 가능성이 입증되었으며, 1972년경부터 부분적으로 적용되기 시작하였다. 그러나 당시는 미니컴시대로 實用性이 적었으며, 1974년경부터 마이크로프로세서의 應用이 시작되어 실증시험 과정을 거쳐 80년대초부터 實用化가 확대되었으며 1985년경부터는 각국의 전력계통에서 本格的으로 적용되어 지고 있다. 초기 실용화 단계에서는 아날로그와의 複合形이 많이 적용되었으나 80년대 後半期부터는 완전 연산형 디지털계전기가 적용되고 있다. 디지털계전기는 그것이 가지는 속성상 계통보호 요구조건들을 쉽사리 수용할 수 있는 가능성과 잠재력을 가지고 있으며, 본격 實用化된 후에도 많은 변화를 보이고 있다. 국내에서는 유도형 전자기계식계전기(OCR류)가 1974년부터 개발되어 實用化되었고 정지형 보호계전기(OCR급)가 80년대 중반부터 개발되었으나 전동기 보호용 외에는 品質과 信賴性 문제로 크게 확대 사용되지는 못하였다. 디지털계전기는 1985년부터 韓電이 中心이 되어 연구개발에 착수하여 22.9kV 배전선 고저항지락검출용 디지털계전기, 154kV급 송전선 보호용 디지털 距離계전기, 변전소의 綜合 保護·制御시스템을 위한 각종 보호계전기 및 제어용 하드웨어를 계속 개발하였는데, 22.9kV급은 商品化 개발을 완료하여 형식시험을 거쳐 현장 實證試驗 단계에 있으며, 기타는 商品化를 위한 준비 및 제2차 연구과정 중에 있다.

保護繼電器들을 조합하여 보호방식을 구성하는 보호배전반 제작분야는 1974년 22.9kV급을 시작으로 154kV, 345kV급까지 확대되어 왔으나 154kV급 이상은 주계전기 요소들이 외국으로부터 輸入하여 조립하는 단계에 있다. 하드웨어의 主體는 주로 전자기계형을 사용하였으며, 1976년 韓電의 345kV 초고압 송전계통운용과 더불어 아날로그 半導體素子를 이용한 靜止形을 적용하여 왔는데 1990년부터는 디지털형을 導入하기 시작하여 最近부터는 신설되는 송전선의 경우 모두 디지털형을 사용하고 있어 디지털형 보호계전시대에 이르렀다. 最初의 보호계전기인 과전류계전기에 의해 구현된 過電流繼電方式은 현재도 널리 적용되고 있으며, 그 후의 보호방식의 발달은 1920년대의 방향비교방식, 1930년대의 距離계전방식, 1940년대의 방향비교방식, 1950년대의 位相比較방식, 1960년대의 표시선계전방식과 전송차단방식, 1970년대의 FM 전송전류차동방식, 1980년대의 PCM 傳送電流差動方式의 개발적용을 대표적으로 꼽을 수 있다. 이들 보호방식은 實用化된 후에도 많은 사항이 修正, 補完되어 왔으며, 계통사고의 대부분은 송전선에서 발생되므로 특히 送電線保護를 강화하게 되었고 通信기술의 발달로 선로양단의 정보에 의해 고속차단이 가능한 방향비교방식, 위상비교방식, 전송차단방식, 전송전류차동방식 등이 선로의 主保護로 사용되었고 後備保護로는 단계한시 거리계전방식이 유일하게 꾸준히 사용되고 있다. 전력수요의 증가와 電源團地의 원격 집중화에 따라 장거리 초고

압송전이 필요하게 됨에 따라 이들 중요 선로의 보호계전방식은 보호실패를 막기 위하여 主·後備보호를 이중으로 하는 보호계전방식이 운용되고 있다. 最近에는 디지털繼電器 및 디지털통신이 가능해짐에 따라 선로양단의 전류를 서로 교신하여 비교하는 PCM 전류차동방식이 개발 사용되고 있으며 信賴性이 높은 方式으로 평가받고 있다. 디지털계전기의 소프트웨어도 짧은 역사이지만 많은 發展이 있었는데, 各種 保護方式의 알고리즘 개발, 리얼타임 OS 채용, 고급언어의 사용 등을 들 수 있다. 國內에서 보호계전방식의 발달은 한전계통에서의 적용한 사례가 代表的인 것이라 할 수 있는데 하드웨어 자체가 국내에서 생산되지 않으므로 처음에는 先進國의 方式을 모방하거나 메이커에서 제시하는 방식을 표준으로 삼아 적용하게 되었다. 본격적인 현대식 보호계전방식이 사용된 것은 1968년 한전의 154kV계통 중성점접지방식을 직접접지방식으로 전환하면서부터 비롯되었고 당시 최신의 거리계전기와 전력선반송 방향비교방식을 導入하여 계통보호에 의한 고속차단시대를 이루었으며 최근까지 이 방식이 우리 나라 계통보호의 주종을 이루고 있었으나 요즘에는 PCM 전송전류차동방식의 성능이 우수하여 92년부터 345kV 계통에 적용하기 시작한 후 앞으로는 대부분 이 방식으로 전환될 전망이다. 이와 같은 방식적용 과정에서 國內에서도 많은 운용경험을 통하여 보호방식들의 장·단점을 깊이 있게 알게되었고 여러 가지 개선을 이루기도 하여 保護方式에 대한 기술적 수준은 國際的으로도 상당한 수준에 있음이 인정되기도 하였다.

3. 系統運用 技術의 發展方向과 未來

3.1 系統運用 解析技術의 展望

우리 나라 電力系統은 최근의 수요급성장과 더불어 규모가 엄청나게 커졌으며 설비면에서나 전력판매량으로 보나 세계에서 몇번째가는 規模로 성장했다. 앞에서 언급한 美서부 광역정전사고와 같이 최신 설비를 갖춘 계통에서도 대규모 停電사고가 발생할 수 있다. 전력공급의 안전성확보는 식량 문제와 같이 國家的 安保次元에서 다루어져야 한다. 설비면에서나 기술면에서 결코 외국에 依存할 수 없는 분야이므로 정부당국과 전력회사의 특별한 관심이 있길 바라며 당면과제와 문제점을 짚어 보고자 한다. 우리 나라 전력계통은 취약하기 이무말 할 수 없다. 주요간선의 경우 어느 선로가 고장나도 電力을 유통하기 위한 대안이 없는 상황이며 곧 바로 負荷遮斷이 따라야만 사고 과급을 막을 수 있다. 급격한 부하증가에 발전소만 건설하였지 그에 상응하는 계통 보강이 이루어지지 못했기 때문이다. 외국의 경우는 부하차단은 최후의 수단이며 전력유통을 위한 시스템 조치가 자동적으로 이루어진다. 따라서 대부분의 단일 사고는 供給支障 없이 극복될 수 있으며 드물게는 이에 실패하여 대규모 정

전사태를 빚는 수가 있다. 그러나, 우리 나라는 부하차단을 상용수단으로 쓰지 않고는 系統運轉이 불가능한 상태이며 금년9월초의 포항지역 정전사고가 단전이 예이다. 과거 70년대 후반에 보편화된 계통신뢰도 확보조치 안된 상황으로서 선진국의 계통운전기준을 적용할 엄두조차 내지 못하고 있다. 때문에 매년 여름이면 계통운전에 비상이 걸린다. 일반인들은 電力豫備率에 관심이 쏠리지만 계통운용 관련자들의 관심의 초점은 언제나 系統安定性에 있다. 한전계통은 구조적으로 언제나 대규모 停電事故의 위협에 노출되어 있는 것이다.

현대적인 系統運用 개념으로 보면 부하차단을 상용수단으로 쓸 수밖에 없는 한전 계통운용은 수준미달이다. 그러나, 구조적으로 매우 취약한 한전계통에 대한 과거 운전실적은 경이적이라고 할 수 있다. 해마다 대규모 정전사고의 위협이 도사리고 있었음에도 불구하고 큰 사고 없이 5~6년간을 무사히 넘겼다. 처음 몇 해 동안은 운이 좋았다고 보았으나 지금의 시점에서는 우리 나라 계통운전 기술에 대한 평가가 달라져야 한다고 생각된다. 비록 부하차단을 사용할지라도 사고시 위기 극복을 위한 기술이 매우 발달해 있으며, 취약한 系統運轉을 통하여 외국에는 얻을 수 없는 운전경험과 운전데이터가 충분히 축적되었다고 생각된다. 이것은 매우 귀중한 자료이며 앞으로 귀중한 자산이 될 수도 있다. 선진국에서의 계통운전기준은 너무 엄격하여 대부분의 개발도상국에서는 그 적용을 엄두조차 낼 수 없다. 이들 나라에서는 산업수준이나 문화적인 면에서 일부 도시를 제외하고는 약간의 停電이 별 문제가 되지 않으며 현재 韓電에서와 같은 系統運轉方式을 도입한다면 막대한 액수의 설비투자비를 절감할 수 있을 것이다. 따라서 한국형 EMS를 개발한다면, 중국, 동남아, 중동, 동구라과 등에 쉽게 접근할 수 있을 것으로 생각된다.

우리 나라 系統運轉技術에는 위에서 언급한 바와 같이 장점도 많지만 적지 않은 문제점을 안고 있다. 경험과 자료는 충분히 축적되어 있지만 이것을 체계화하여 객관적인 기준을 제시하지 못하고 있다. 선진국 기준과의 결차를 의식해서 내부적으로는 어떤 기준을 가지고 있으면서도 대외적으로 공개하지 않았는지도 모른다. 그러나, 필자가 느끼기에는 객관적 기준을 마련하기 위한 노력을 거의 찾아 볼 수 없는 것 같아서 안타까운 심정이다. 系統運轉基準은 대외적인 협의 없이 전력회사 단독으로 마련해서는 설득력이 없다. 우리 나라의 계통운전기술은 상당한 수준에 와있다. 주어진 여건 때문에 생긴 저조한 기록을 굳이 감출려고 할 필요는 없다고 본다. 이제 자신감을 갖고 자료공개도 하고 系統運轉基準 마련을 위해 學界, 産業界와 공동의 노력을 기울여야 할 것이다. 계통운용 분야의 또 다른 문제점으로는 基礎技術에 대한 기반이 매우 취약하다는 점이다. 전력계통운용기술은 전력관련기술 중에서도 가장 핵심되는 기술이며, SCADA, EMS, 계통 simulator등 첨단 장비 개발과 직결되어 있

다. 그러나 언제부터인가 실용화 연구를 강조하면서 계통운용기초기술에 대한 연구투자가 거의 끊어지다시피 되었고, 차기 EMS 시스템 또한 외국에서 도입해야 할 상황에 이르렀다. 이것은 세계 굴지의 규모를 갖춘 한전으로서의 수치스러운 일이라 아니할 수 없다. 매출액의 3%에 해당하는 研究開發費 중 극히 일부라도 제대로 쓰였다면 이러한 수치는 면할 수 있었으리라. 核心技術 확보차원에서나 전력안보 측면에서나 R&D 투자 제1순위는 EMS개발이 되어야 함은 너무나도 당연한 일이다.

아직도 국내분위기는 核心技術에 대한 대외 의존 성향이 너무나 높다. SCADA 시스템은 전력계통에 도입된지 10년이 훨씬 더 지났다. 요즘 SCADA가 일반 공장에 도입되어 안 쓰이는 곳이 없을 정도가 되었다. SCADA에 필요한 기술은 매우 간단하다. 효과적인 data관리를 위한 데이터베이스와 사용자와의 연계를 위한 MMI가 핵심이 되며 데이터 취득을 위한 통신시스템 연계는 그야말로 기초기술에 해당한다. 그러나, 아직도 국내에 공급되는 SCADA시스템은 내용적으로 거의 모두가 외국 프로그램을 내장하고 있는 실정이다. 산업용뿐만 아니라 배전용, 전철용 SCADA가 동일 기술을 요하는 것임에도 불구하고 SCADA기본기술에 대한 실질적인 개발의지를 찾아볼 수 없다. 이것은 국내 분위기가 新技術開發에 얼마나 소극적인가를 단적으로 보여주는 예이다. EMS시스템의 경우에도 국내의 적극적인 개발의지가 크게 부족하며 이것은 국내 전력계의 문제점이라고 해도 될 만큼 중요한 문제이다. 차기 EMS를 외국에서 도입하는 수지에 가까운 일을 추진하면서도 차차기 EMS에 대한 고려는 전혀 없다. 핵심 신기술의 하나인 계통 시뮬레이터 도입에 있어서도 외국에 대한 기술 의존 성향이 높긴 마찬가지다. 명목상은 국내개발로 되어 있으나 설계에서부터 제작까지 국내 기술진의 참여가 거의 없어 국내 기술 축적과는 거리가 먼 것으로 보인다. 차차기 EMS와 차기 계통 Simulator를 국내 제품으로 설치할 수 있도록 하기 위해서 국내의 분위기를 일신할 수 있는 신기술 개발정책이 필요하며 지금부터 장기적인 開發計劃을 수립하여 추진해 나가야 할 것으로 생각된다.

3.2 系統保護技術의 展望

系統保護技術도 그 동안 內, 外的 여건에 의하여 꾸준히 發展되어 왔는데, 앞으로도 전력계통의 복잡화, 거대화, 새로운 전력설비의 登場 및 전력계통 이상현상의 다양화 등과 같은 조건변화에 따라 保護繼電器에 요구되는 기술적수준이 높아지고 보호기술에 부과되는 責務도 더욱 무거워질 전망이다. 즉 보호계전기의 고성능화, 고기능화, 고신뢰화, 및 無補修(maintenance free)化등이 요구되며, 이러한 要求條件을 充足시키기 위해서는 계전기의 하드웨어와 소프트웨어 양면이 공히 발전되어 나가야 할 것이다. 이러한 새로운 方向의 계통보호를 구현하기

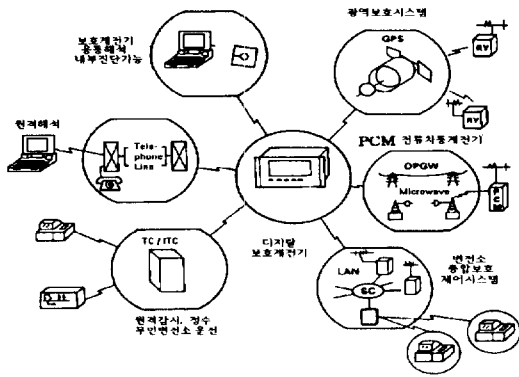


그림 1. 디지털 보호기술의 적용방향

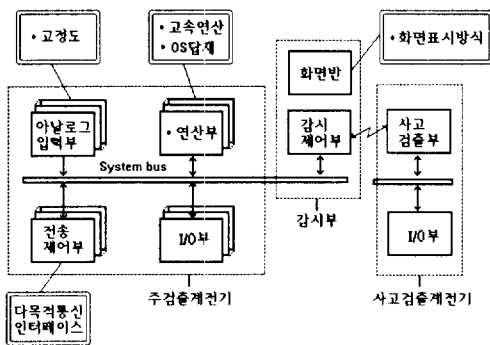


그림 2. 새로운 디지털계전기 내부 구성도

위한 要素기술로는 계통고장현상 해석기술, 마이크로 프로세서 응용 技術, 온라인 실시간소프트웨어 기술과 새로운 센서를 이용한 정보취득 및 정보처리 기술 등이 보다 더 차원높게 활용될 것으로 기대된다. 위와 같이 앞으로의 指向목표와 이를 뒷받침할 수 있는 素材기술들을 전망해 볼 때 향후의 보호계전기 기술 발전방향은 다음과 같은 豫測을 가능케 한다.

● 앞으로의 전력계통이나 機器 설비의 운용은 고도 정보화 사회에 적합한 시스템으로 轉換되는 것이 불가피할 것이고 이에 대하여 保護繼電기 기술은 컴퓨터, 마이크로프로세서, 정보전송 및 소프트웨어 기술을 충분히 활용하는 다음과 같은 방향으로 전개될 것이다. 즉, 모든 보호계전시스템의 디지털화, 운용, 유지보수의 자동화, 원격화 및 사용자 便宜性(user friendly) 강화, 전력설비 보호감시·제어기능들의 한시스템으로의 통합(integrate)화, 보호계전방식에서의 전력계통상태 고려기능 강화, 인공지능기술이 적용된 知能形 계전기의 활용 등이다. 이와 같은 미래 시스템의 한 구성례를 보면 그림 1과 같다.

● 各種 보호방식을 개선할 수 있는 새로운 알고리즘이 개발되고, 新 보호방식이 창출될 것으로 생각된다. 특히 고장현상으로 부터 나타나는 특징구분에 의한 패턴認識 技法을 적용한 보호방식이 기대되며 송전선 보호에서는 고도화되는 정보통신기술에 힘입어 다수의 遠隔정보를 최대한 이용하여 고장점을 정확히 알아낼 정도의 고정도 보호계

전방식이 가능해질 것이며 實時間 온라인 정보통신에 의해 일개 지역계통 또는 광역계통을 대상으로 하는 새로운 보호계전방식의 창출이 기대된다. 아울러 在來式방식들도 많은 발전을 이루어 송전선의 過渡특성분석에 의한 고속거리계전방식이나, 역상거리계전방식, L,R 직접연산방식과 지능형 logic을 연합한 高性能의 방향거리계전방식 등이 등장하여 대용량 송전계통보호에 이용될 전망이다. 피보호계통이나 설비의 상태변화에 대응하여 보호방식 및 계전기의 整定值들을 최적의 상태로 스스로 판단하여 조절해 주는 이른 바 知能의인 보호계전시스템의 구축, 운용이 가능하게 될 것이다.

● 保護계전기 하드웨어 기술은 종래의 아날로그 기술을 벗어나 디지털기술, 정보통신기술을 기본으로 새로운 半導體 소자등 신기술과 光CT, 光PT, 光센서 및 光通信등 주변기술을 활용하고 인공지능 및 지식공학을 적용시킨 기술로 전개되어 變電所의 완전 디지털화를 이루어 중앙의 전력계통제어 및 정보처리시스템과 연계, 협조되어 電力綜合自動化시스템의 한 구성요소로 운용될 것이다. 특히, 현재 사용중인 디지털 보호계전기의 차세대 하드웨어의 새로운 접근방향은 multi-processor 방식의 繼承, 시스템확장성의 고도화, 점검출, 사고검출, 감시제어부의 분리에 의한 기능의 分散處理로서 유연성과 신뢰성을 강화하는 방향으로 나갈 전망이다. 그림 2는 차세대 디지털계전기 구성의 한 사례이다.

보호계전장치에서 앞으로 해결해야 할 主要 과제중의 하나는 보호계전장치들의 信賴度를 높이는 것이다. 전력계통보호계전기에서 가장 중요시되는 要求조건이 신뢰성이기 때문이다. 특히 보호계전기는 정상시에는 동작하지 않고 단지 대기상태로만 있어 평소에 異常有無 확인이 어려우며 결국 不良여부가 계통사고 발생과 더불어 나타나게 되어있어 예방보수가 어려운 구조적인 문제점이 있다. 따라서, 언제 발생할 지도 모르는 하드웨어에의 결함에 대하여 지금은 常時감시 자동진단 등에 의하여 어느 정도 해결되지만 自動診斷에 의하여 不良이 판정되었다 하여도 補修완료시까지의 피보호설비에 대하여 無保護운전기간으로 되어 이때 계통사고가 발생될 경우 큰 문제로 된다. 이런 것에 대하여 앞으로는 결함이 발생되어도 기능에는 支障이 없는 결함극복형 계전장치가 요구된다. 이것은 하드웨어와 소프트웨어가 연합하여 缺陷有無를 확인하고 이에 대처하는 設計기법으로 가능할 것으로 전망된다. 이렇게된 경우에는 缺陷이 발생되어도 보호기능은 항상 발휘되어 無보호기간이 발생되지 않는 고신뢰성보호가 가능하게 될 것이다.

4. 앞으로의 정책방향제시

전력계통 운용기술은 빠른 속도로 발전하고 있다. 컴퓨터 시스템의 발전과 새로운 계통해석기 술의 개발이 그 발전 배경이 된다. 계통운용 관련 시스템 등은 거의 10년 간격으로 새로운 概念이 도입되어 개선된 시스템이 개발되고 있으며 이것은 계통운용 기술의 발전과 밀접한 관계를 갖는다. 80년대 들어 電壓 安定度에 관심이 집중되면

서 전압안정도 해석기법의 개발이 요구되었고 또한 계통 動搖 등을 효과적으로 제어하기 위하여 계통안정도에 대한 on-line 解析의 필요성이 점차 높아져 가고 있다. 이에 따라 앞으로는 實時間 과도안정도 제어(TSC; Transient Stability Control), 계통안정화 기법, 實時間 전압안정도 제어 등 계통안정도 관련분야에 많은 발전이 예상된다. 새로운 개념의 송전기술이라 할 수 있는 FACTS의 실용화에 관한 연구와 開放形 EMS와 관련하여 객체지향기법을 도입한 관계형 Data Base구축에 관한 연구가 활발해 질 것으로 보인다. 또한 계통 simulator기술은 산업시스템에 대한 컴퓨터기술 응용의 대표적인 예로써 일반산업과 많은 연관성을 갖는 첨단기술로서 앞으로 SCADA시스템과 마찬가지로 산업계로 퍼져나갈 수 있는 충분한 가능성을 갖고 있다. 특히 安定度 분야에서는 실시간 안정도 해석에 앞으로 많은 관심이 집중될 것으로 예상된다. 또한 전압 안정도 확보가 현대 계통운용에서 초미의 관심사가 될 것이며 전력계통 특성상 電壓 및 電力 安定度 등 관련 안정도해법을 통합하여 해석하는 統合안정도 개념에 의한 접근방안이 활발히 연구될 것으로 보인다. 많은 전력회사에서 어려움을 겪고 있는 長期 계통동요 문제를 근본적으로 극복하기 위해서는 發電機 댐핑을 효과적으로 증가시킬 수 있는 새로운 概念의 制御방법이 도입되어야 할 것으로 생각된다. 앞으로 국제적인 연구 추세를 쫓아가면서 國內 계통운용 技術水準을 향상시키기 위해서는 계통운용에 대한 신기술도입을 보다 적극적으로

로 추진해야만 한다. 전술한 바와 같이 국내의 系統運用 技術은 상당한 수준에 올라와 있다. 이것을 활용하기 위한 체계적 전략을 수립하고 韓國形EMS를 개발하는 등 앞으로 국가적인 전략산업으로도 충분히 발전시킬 수 있다고 본다. 한국인의 장점인 우수한 두뇌와 선진국에 비해 값싼 고급인력 확보가 유리한 점을 감안하면 이 분야는 국제적 비교 우위를 확보할 수 있는 최적의 분야로서 앞으로 국가 전략산업으로 충분히 성장시킬 수 있을 것으로 생각된다.

우리 나라 기업들은 過去 Turn-key방식에 너무 익숙해져 있는 것이 사실이다. 現在 기술개발이 부진한 것도 상당부분이 이에 연유한다고 생각된다. Turn-key방식은 과거한때 한국경제에 많은 기여를 했으나 이제 산업구조가 바뀐 만큼 사고방식도 바뀌어야 한다. 앞으로의 次期 EMS와 계통 simulator도입에서 과거와 같이 Turn-key 방식의 도입이 추진되어서는 안될 것이다. 최소한 부분 참여가 실질적으로 이루어져야 하며, 次次期 EMS 뿐 아니라 外國에 의존성이 높은 소프트웨어 등에 대해서는 國內開發 및 製作을 위한 장기적 포석이 지금부터 이루어져야만 할 것이다. 현재 R&D자금에 어느 정도 확보되어 있는 상황인 만큼 적극적인 개발정책이 추진되어야 하며 국내 여건을 분석하여 국제적인 비교우위 분야에 대한 장기적인 집중 투자 전략이 이루어져야만 新기술 개발이 가능할 것으로 보며 이것이 전력산업을 育成하는 방안이 될 것이다.

저 자 소 개



백영기(白榮基)

1942년 2월 9일생. 1965년 2월 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1970년 1월 한전에 입사후 전력설비현장시험 및 전력기술 연구에 7년간 종사하고, 송변전 현장 실무에 2년 근무. 1980년 발송배전 기술사 취득. 계통보호기술 계획 및 운용업무에 17여년 근무. 현재 한전 전력연구원 전력계통연구실 실장(처장급)으로 재직중



문영현(文永鉉)

1952년 3월 11일생. 1975년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1978년 동 대학원 졸업(석사). 1978년~1979년 한국전기통신연구소 연구원. 1979년~1983년 미국 Oregon주립대학(공박). 현재 연세대 공대 전기공학과 교수