

계통운영 분야 필요기술 분석 및 수요조사

최상열¹, 김형중², 차재상³, 정용수⁴, 오창수⁵
인덕대학¹, (주)오산에너지², 서경대학교³, 한국전력거래소⁴

Analysis and Examination for Needed Technology In Power System Operation Field

S.Y. Choi¹, H.J. Kim², J.S. Cha³, U.S. Jung⁴, C.S. Oh⁵
Induk Institute of Technology¹, Osan Energy Co. Ltd.², seogyong University³, Korea Power Exchange⁴

Abstract - 전력계통 운영은 크게 전력 수급조정 및 계통 안정운영으로 대별되며 이러한 업무를 전문적으로 수행하는 운영조직은 한국전력거래소의 계통운영 부문 조직, 한국전력공사의 송·변전 설비 운영 및 지역별 계통운용 조직과 각 발전회사의 발전소 운전 요원으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 전력거래소의 계통운영 부문에서 현재의 업무를 수행하는데 필요한 기술을 조사하여 이를 체계적으로 분류하여 각각의 기술에 대한 특징 및 기술 개발 현황 등을 파악하였다.

송전선이 주로 이용되고 있으나, 제주도와 같이 해저 Cable의 전환 또는 안정성 문제가 예상되는 경우 직류 송전 방식이 이용된다.

2.1.5 발전기 경제부하 배분

발전기의 경제부하배분은 발전기의 출력, 효율 및 소내 소비율 특성 데이터를 사용하여 각 발전기 출력에 대응한 연료 소비량을 계산한 후 소내 소비전력량과 송전 손실을 고려한 중분연료비 특성을 구해서 각 발전기의 중분연료기비가 같도록 경제부하 배분량을 산출한다.

1. 서 론

계통운영 기술은 우선 전력 수급조정, 전력계통해석, 전력계통안정운영, 전력 계통 보호 및 계통운용 자동화 기술로 나눌 수 있으며, 전력계통 수급 조정은 계획과 실시간 제어로, 전력계통해석은 응용 부분과 안정도 해석으로, 전력계통 안정운영은 공급신뢰도, 계통제어, 실시간 제어로 분류하고 이를 다시 36개의 단위 기술로 분류하였다.

2.1.6 부하 - 주파수 제어

부하주파수제어를 위한 발전기 분담범위는 부하의 변동 특성 외에 경제성이 영향을 받는 주기 범위, 주파수의 허용 편차, 조정용 발전소 용량, 각 제어 장치의 능력, 조속기의 정비사항까지 감안하여 신중히 결정해야 한다.

2. 본 론

2.1 전력수급 조정

전력수급조정은 시시각각 변동하는 전력 수요에 따라 전력공급을 항상 균형을 유지함으로써, 가장 경제적이고 안정적인 양질의 전력을 공급하는 전력계통 운영의 기본적인 책무이다.

2.1.1 전력수요예측

안정적인 전력계통 운영에 있어서 전력수요예측이 정확도는 경제성에 큰 영향을 주기 때문에 예측이 정확할수록 좋으나 전력수요에 영향을 주는 요소가 다양하고 광범위하므로 많은 요소를 전부 적용하기란 한계가 있다.

2.1.2 발전계획

대량의 전력은 저장할 수 없으므로 항상 수요와 공급을 일치시키기 위해서는 시시각각 변동하는 전력수요에 대응하여 공급을 조정해야 한다. 따라서, 운전중인 발전기의 부하배분계획을 수립하여 발전기별 기동정지비용과 연료비용을 합해 운전유지비용이 최소화되도록 전력계통 안정 운영과의 상호 조화를 이루어야 한다.

2.1.3 수·화력 운영

수력발전은 화력발전소 연료비를 최소로 할 뿐 만 아니라, 댐의 고유의 기능인 홍수조절과 용수공급 등을 만족시켜야 함으로 수력운영계획 수립은 정확한 출수예측을 통해 댐의 여러 가지 고려사항을 통해 제한된 수자원을 합리적으로 사용하고 발전 운영 계획도 필요하다.

2.1.4 연계 계통 운영

광역 연계계통 구성은 동일 주파수 지역의 경우 교류

2.1.7 수급 운영 평가

급전운영에 연계된 발전설비에 관한 연료, 발전량 그리고 전력수요량과 송·변전설비의 통계를 비교 평가하여 급전운영 통계를 작성하고, 운전 및 보수비를 모두 계산하여 발전비용을 작성하여 경제적 운전의 정확도 및 신뢰성 그리고 안정성 등을 검토하여 수급운영을 평가하며 이는 보다 경제적 운영을 위한 자료로 사용한다.

2.2 전력계통 해석

전력계통 해석은 최적의 전력계통 계획, 설계 및 운영을 위해, 초기 단계부터 평가, 계통의 장래성, 계통의 신뢰성, 안정성 및 경제성 등을 조사하기 위한 기술 검토 작업이며 크게 계통해석 응용 기술과 전력계통 안정도 기술로 나누어진다.

2.2.1 계통해석 기법 개선

전력계통의 지락고장 또는 단락 고장시 시 고장 전류와 전압을 계산하기 위한 대칭 좌표법을 사용하고 과도 안정도 해석을 위한 비선형 시간영역 해석 방법과 직접법, 정태안정도 계산을 위한 선형 미분방정식을 이용하게 된다. 그리고 보다 좋은 결과를 가지기 위한 해석기법의 개선이 필요하다.

2.2.2 계통 축약 및 모의

방사계통의 모선을 먼저 제거 하고 다음에 계통의 동특성에 전혀 영향을 미치지 않는 주요한 345kV 모선을 제외하고 루프 계통의 모선 및 선로를 등가적인 부하로 대체하여 축약한다. 그리고 모의 계통의 규모가 커져 추가적인 축약이 필요한 경우 비교적 계통에 영향이 적은 154kV 모선 및 선로를 중심으로 추가적인 축약을 시행한다.

2.2.3 계통 특성 모델링

발전기와 부하의 동적 특성 모델링과 발전기, HV-DC Link 및 정지기, 무효전력 보상기 등의 제어기 모델링 그리고 Fast Turbine Valving, 연속 또는 불연속 여자계통 제어, Dynamic Braking, 발전전력과 부하전력의 소비, 캐패시터나 리액터의 스위칭 및 reclosing 등의 안정도를 위한 모델링, 임피던스, 지향성 과전류 기전기구의 보호 계전기의 동작 모델링을 실시한다.

2.2.4 Simulator 개발 응용

조류, 정태, 과도, 동태 안전도, 전압안정성 등의 한계현상의 파악과 자기포화현상 등 비선형 현상의 모델화, 전력전자 기기의 운전특성 및 고조파 영향의 분석, 축전동 현상의 해석 그리고 동태현상 해석, SVC, SMES, HVDC의 영향 분석을 위해 Simulator를 개발하여 응용한다.

2.2.5 과도 안정도

수치해석 방법으로 계통의 비선형 미분방정식 및 대수 방정식을 풀어서 계통변수의 시간에 대한 응답을 구한다. 그리고 직접법은 계통의 미분방정식을 풀지 않고 안정도를 판별하는 방법이다. 최근 직접법에 대한 많은 연구가 이루어져 종전에 불가능하다고 생각되던 요인들이 해결되고 있다.

2.2.6 동태안정도

고유치 해석은 시간축에서의 상태변수 동특성을 파악할 수는 없으나 안정도 마진을 알 수 있고 고유벡터(Eigenvector)와 기여율(Participation Factor)을 이용하면 불안정 주요 상태변수를 찾을 수 있다.

2.2.7 계통 동요

저주파 진동의 분류는 크게 한지역의 발전기가 나머지 계통에 대하여 진동하는 것이며 이때의 동요 주파수는 1.0Hz - 2.0Hz 사이로 발전기의 동요 방정식의 고유 주파수와 비슷한 지역 모드(Local Modes)와 한지역의 발전기들이 다른 지역의 발전기들과 약 180도의 위상차를 가지고 진동하는 것이며 동요 주파수는 0.1 - 0.8Hz로 지역 주파수 보다 작은 광역 모드(Inter-area Modes) 그리고 발전기의 여자 시스템, 조속기, HVDC 컨버터, 그리고 SVC 와 같은 제어기가 제대로 튜닝되지 않아서 나타나는 제어 모드(Control Modes)로 분리된다.

2.2.8 전압안정도

정적 접근법은 계통이 정상상태에 도달하였을 경우 전압안정도를 다루는 문제로 기존의 조류계산을 바탕으로 조류계산의 해가 존재하는가를 판별하는 방법이다. 동적 접근법 발전기, 여자기, SVC, ULTC, 부하의 동적특성을 고려하여 전압안정도를 다루는 문제로 계통요소를 상태 공간에서 해석하거나 주파수 공간에서 해석한다.

2.3 전력 계통 안정문제

전력계통의 확대와 전원구성이 변화로 전력계통의 고전압화, 송전선의 다도체화 및 터빈의 속도제어를 위한 고속 조속기 채용과 전압안정을 위한 조속용 AVR 채용 그리고 사고과급확대 방지를 위한 SSC 등의 계통안정화 장치를 채용하고 있다.

2.3.1 계통신뢰도 평가

확률론적 평가방법은 공급지장확률(Loss of Load Expectation)로 일간 침투부하가 가용 발전용량을 초과하는 연간일수의 기대치를 평가 한다. 그리고 공급지장 전력량(Expected Energy Not Supplied)로 연간 수급지장전력량의 기대치 평가 한다. 또한 공급지장 빈도(Loss of Load Frequency)로 연간 정전의 빈도 기대치 평가 한다.

2.3.2 광역정전 예방

고장과급방지를 위하여 개폐기를 조밀하게 설치하는 한편, 부분적인 고장을 스스로 검출하여 고장구간을 자동적으로 분리시키는 자동구간 개폐기를 설치한다. 이를 통해 설비사고를 미연에 방지하기 위하여 과학화된 설비진단 장비의 적극 활용으로 노후설비를 적기에 색출 교체하여 고장발생 원인을 사전에 제거한다.

2.3.4 Black Start

시송전 방식은 전계통을 여러 계통으로 분할하여 각 계통을 복구하고, 연계 선로를 통해서 순차적으로 동기화 시키며, 각 분할된 계통에는 외부전원이 없는 상태에서 발전소 자체기동이 가능한 소용량 수력이나 복합화력이 포함되어 있어야 한다.

2.3.5 계통조작

전력계통은 대연계 계통으로서 운전되지만 개개의 계통은 각각의 독립적인 운용 체계를 가지고 있고, 각각의 계통에는 다수의 발전소·변전소·개폐소 등이 있다. 계통 운용에서는 전체적 입장에서 각 전력설비의 협조를 이루기 위해 일련의 설비를 서로 유기적으로 운용하기 위한 기술이 필요하다.

2.3.6 예방제어

- 탈조 예방제어
- 주파수 이상 예방제어
- 전압이상 예방제어
- 설비과부하 예방제어

2.3.7 긴급제어

- 탈조 긴급제어
- 주파수 이상 긴급제어
- 전압 이상 긴급제어
- 설비과부하 긴급제어

2.3.8 복구제어

- 탈조 복구제어
- 주파수 이상 복구제어
- 전압 이상 복구제어
- 설비 과부하 복구제어

2.3.9 실계통 모의 훈련

실계통속에서 일어날 수 있는 사고와 복구에 대한 현실적인 시나리오를 어떻게 실계통 모의 훈련에 적용할 것인가가 관건이며 또한 실계통과 거의 동일한 모의 계통에서 훈련을 실시하도록 함으로써 훈련결과를 객관적이고 정확하게 평가할 수 있는 기술과 기준이 필요 하다.

2.3.10 전력계통 감시

전력계통 감시 시스템은 전력계통을 안정적으로 운영하는 중추적인 시스템이며 고장 검출 및 고장 위치 확인이 언제나 실시간으로 데이터 전송 오류 없이 이루어져야 한다.

2.3.11 전압-무효전력 제어

전압·무효전력 제어는 계통 각 지점의 전압·무효전력 조류 상황, 각 조상설비의 동작 상황까지 함께 고려한 일관성 있는 제어를 실시해야 소정의 목적을 이룰 수 있다. 특히 현대의 전압·무효전력 제어는 단순히 전압 조정에만 국한되지 않고 계통 내 무효 전력원의 효율적인 협조 운용으로 계통 운용 비용의 최소화까지 포함하는 종합적인 계통운용의 실현을 목표로 추진되고 있다.

2.3.12 상태추정

상태추정 연산에는 선로의 임피던스, 변압기 탭의 위치 등과 같은 파라미터 데이터와 모선 전압, 모선 전력, 조

류 전력 등에 대한 실시간 측정데이터가 필요하다. 따라서 현재 계통의 상태를 정확하게 추정하는 데에는 파라미터 데이터와 측정 데이터의 정확도가 관건이다.

2.3.13 최적조류계산

최적조류계산은 근사화 과정에 의한 오차발생, 막대한 계산시간 필요, 최적해로의 수렴 보장 어려움 등의 문제가 있으며 계산시간 및 기억용량의 부담과 수렴성 문제 등의 어려운 문제가 있다. 그리고 전력계통이 요구하는 부하와 시스템 파라미터로 구성된 제약함수를 만족하도록 목적함수를 최적화하여 전력계통의 제어변수를 제어하는 비선형문제로 Gradient방법과 선형계획법, 순차적 2차계획법, Newton 방법, P-Q분할법과 내점법(Interior Point Algorithm) 등 여러 가지 방법들이 적용되고 있다.

2.3.14 상정고장 해석

계통에서는 다양한 상정사고가 존재하므로 제한된 시간 내에 가능한 많은 수의 상정사고가 고려될 수 있도록 계산시간 단축을 위해 상정사고 중 계통에 미치는 영향이 큰 순서를 미리 결정하여 비선형 전력 방정식을 선형 모델로 근사화해 계산하는 직류조류계산을 적용한다.

2.4 전력 계통 보호

전력계통은 다양한 여러 발전소와 변전소 그리고 송전·배전 설비가 서로 복잡하게 연계되어 있는 설비이므로 전력계통의 어느 한 지점에서 사고가 발생할 경우 신속하게 사고 지점을 계통으로부터 분리시켜 전력계통의 안정성과 신뢰성을 유지해야 한다.

2.4.1 전력계통 고장 분석

발전설비의 고장인 경우 3상회로의 불평형 문제를 평형 문제로 변환시켜 계산하기 위해 대칭 좌표법을 사용한다. 그리고 송전선로의 고장인 경우 발전설비로 등가화시켜 대칭 좌표법을 적용하여 계산 하며, 차단기 단락 용량결정은 차단기 용량은 3상 단락 전류 기준으로 결정한다.

2.4.2 보호계전기 설정

순간적인 철탑과 전선 간의 아크 1선 지락에 대하여 아크가 꺼질 무렵(20 사이클 전후)에 재폐로하는 재폐로 방식의 계전기를 설치하여 송전용량 감소를 방지하고 송전 계통의 과도 안정도 유지하는 데 필요한 한도 내의 동작 시한을 갖도록 계전기 셋팅을 조절해야 한다.

2.4.3 사고파급 방지 장치

최신의 전력계통 안정화 제어기술이 도입됨에 따라 과거에는 경험하지 못했던 다른 양상의 사고가 전력계통에서 발생되고 있다. 따라서 과거와는 다른 양상 파급 방지 S/W와 하드웨어를 설계하여야 한다.

2.5 계통운용 자동화

전력계통 운용이 점차 고도의 기술을 요구하므로 급진 제어소에 설치되는 컴퓨터시스템도 많은 자료를 빠른 시간에 정확하게 처리가 가능하도록 노력하고 있다.

2.5.1 시스템 기능 설계

수급제어 시스템의 구성 및 Hardware 설비사양, 정보 전송, On-line 처리 업무의 상호관계, 시스템의 입출력 정보 및 취득 기록되는 정보, Monitoring과 Alarm 시스템의 정상 운전 감시와 시스템이나 계통 사고 시 경보와 메시지 표현 방법, 시스템의 신뢰성 및 대책, Hardware Back-up 및 기능상실시 Back-up 방법 고려

EMS 장치 자체 이상 발생시 Alarm과 메시지 전달, 전송망계 고장 시 대책(통신회선, Data Link, 전송장치 등), 시스템 신뢰성과 대책(H/W back-up, 설비자체 고

신뢰화, Program Back-up화, 변경용이, 장애진단기능)

2.5.2 응용소프트웨어 개발

전력계통 grid의 성공적이고 신뢰성 있는 운전 및 제어는 자료의 취득, 통신, 계산, 제어 및 시장 운영시스템분야의 양질의 S/W engineering의 의존도가 점점 증대하고 있다.

향상된 응용 소프트웨어를 개발하기 위해서는 우리나라 계통 특성을 충분히 반영하기위한 Network Analysis가 수행되어 저야 하고 또한 on-line 상태에서 정보 해킹이나 바이러스의 노출로부터 data를 보호하는 Security기능이 포함되어 있어야 한다.

2.5.3 설비 유지·보수

사전 주기적 점검으로 장애여부를 진단하고 또한 설비 자체적으로 고장 시, 운전원이 고장을 인지하고 조치할 수 있도록 Alarm을 갖고 있어야 하며 설비의 상태를 실시간시스템으로 감시하고 고장 시 또는 설비 유지가 필요할 경우 자동으로 조치를 취하는 시스템과 고장이상 경향관리, 최적보전과 운전관리, 데이터 관리가 필요하다.

2.5.4 DB 관리

시간이 흐를수록 데이터량이 폭주하여 주기적으로 백업을 하지 않으면 데이터베이스의 속도를 저하시킨다. 그리고 지진이나 화재와 같은 사고에 대비하여 백업된 데이터를 메인 컴퓨터와 분리시켜 다른 건물에 보관하여야 한다.

취득 데이터의 정밀도 향상을 위한 데이터 tuning 기술이 필요하다.

2.5.5 정보통신(IT : Information Technology) 시스템

전력선 방송 기술은 잠음문제와 임펄스 정합 등의 기술적인 문제로 주로 음성통신수단으로만 사용되어 왔으나 최근 잠음제거 기술의 발달로 저속 전력선 방송 기술을 이용한 데이터 통신이 시도중이며, 광통신을 이용한 통신은 잠음 없이 많은 데이터를 송수신 가능하나 대규모의 정보전송 장치가 요구되어 가격이 고가이다.

3. 결 론

본 연구는 우리나라 전력계통의 지속적인 성장 발전과 현재 진행 중인 전력산업구조개편의 성공적인 이행을 위하여 관련기술 수준의 향상 및 체계적인 기술 경영전략을 수립하고, 계통운영 종사자들의 업무능력을 향상하여 전문 인력으로 양성하여, 안정적이고 효율적인 계통운용을 수행하도록 함으로써, 선진 외국에서 발생하는 광역 정전 유사사고를 효과적으로 예방하고자 하였다. 이를 위하여 첫째, 전력거래소의 계통운영 부문에서 현재의 업무를 수행하는데 필요한 36개의 기술을 조사하여 이를 체계적으로 분류하고 각각의 기술에 대한 특징 및 기술 개발 현황 등을 파악하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 전력계통의 해석 및 운용, 송길영, 동일출판사
- [2] 신편 전력계통공학, 송길영, 동일출판사
- [3] 업무편람, 한국전력거래소 계통운용처
- [4] 전력시장운영시행규칙, 한국전력거래소
- [5] 전력 계통 계획 수립기준에 관한 연구(최종보고서), 한국전력공사 계통 해석실, 2001.8
- [6] 전력수급계획 및 운용해석 종합시스템 개발에 관한연구(최종보고서), 한국전력공사 전력연구원, 1998.12
- [7] 전력계통 안정을 위한 효율적인 급전지시체계 확립에 관한 연구, 한국전력거래소, 2004.6