

무효전력 기술연구 현황 및 중요성

원운아, 김남경, 차준민
대전대학교

The present state of reactive technology research and importance

Yun Ah Won, Nam kyung kim, Jun-Min Cha
Daejin University

Abstract - 에너지 손실 절감과 효과적인 에너지 사용 및 안정적인 전력계통 운영을 위한 전력계통 운용 전략을 알아보았다. 그리고 선진국의 무효전력운영 현황과 국내 계통운영 보조서비스정책의 비교를 통해 우리나라의 경우는 단일 계통으로 구성되어 있기 때문에, 미국의 경우에 비하여 무효전력 종합 관리 시스템의 구축 및 운영을 보다 쉽게 구현할 수 있을 것으로 생각된다. 미국의 경우와 같이 지속적이며 실질적인 시험과 분석을 통하여 체계적이며 정기적인 무효전력 제어 및 감시체계가 구축되어야 할 것으로 판단된다.

1. 서 론

세계 선진국들은 투자와 연구를 통해 효과적인 무효전력제어와 에너지 손실 절감이 실현되었다. 하지만 우리나라는 아직 이 연구가 활발히 이루어지지 않고 있어 앞으로의 에너지 손실 절감과 효과적인 에너지 사용 및 안정적인 전력계통 운영을 위해서는 지속적인 무효전력제어를 위한 전력계통운영의 연구가 필요하다. 이에 본 연구에서는 무효전력제어를 위한 전력계통 운용 기본 전략 및 선진국들의 무효전력운영 현황을 알아보고 국내 계통운영 보조서비스 정책 파악을 통해 무효전력서비스의 중요성에 대해 살펴보았다.

2. 본 론

2. 무효전력제어를 위한 전력계통 운용 기본 전략

2.1 무효전력의 의미

전력계통에서 대규모, 대단위 전력공급을 위하여 사용되고 있는 교류 송배전 방식에서는 유효전력의 전송 및 분배시 필연적으로 무효전력의 흐름이 따르게 된다. '무효전력'의 발생은 교류계통만이 갖는 특성으로 '유효전력'이라고 칭하는 실질적인 에너지 전송에는 아무런 기여를 하지 못하며 단지 전력수송에 따르는 손실을 증가시키고 각종 전력수송설비의 효율을 저하시키는 등 전력수송의 입장에서 부정적인 영향을 미치는 요소이다. 무효전력은 송배전 선로 및 각종 부하설비에서 발생하며 또한 최근 급격히 발전하고 있는 전력전자구동 설비 등 전력부하의 비선형적 특성으로 인하여 발생하는 무효전력의 비중도 점차 주목해야 할 만큼 증가하고 있다. 이러한 무효전력의 발생은 전력공급을 위한 전력수송설비나 부하설비 운전에서 수반되는 필연적인 것으로서, 실제로 근원적인 발생억제는 불가능에 가까우며, 다만 유효, 무효전력의 적절한 제어와 전력에너지 수송효율의 관건이 된다.

적절한 무효전력제어에 의하여 기대할 수 있는 에너지 절감효과는 비록 비용 면에서는 큰 값이 아니지만 전국 규모의 모든 부하에 대한 영향을 생각한다면 그 절감량은 방대한 것이다. 이러한 효과의 비중은 지급이나 가까운 장래와 같이 전력계통이 대규모, 고밀도화 하고 부하밀도가 높으며 냉방기나 고정밀 절단기 등 무효전력에 민감한 부하의 이용이 급증함으로 인해 무효전력의 불균형이 심화되는 상황에서는 더욱 심각하게 된다. 따라서 효과적인 무효전력 제어대책의 개발에 관한 연구와 이를 통한 에너지 절감대책의 연구는 국가적으로 매우 중요한 과제 중의 하나이며 전력사용 환경의 변화에 맞추어 장기적인 전략에 따라 꾸준히 연구되어야 할 과제이다.

2.2 무효전력 제어를 위한 기본 운영전략

전력계통에서는 무효전력으로 인하여 계통 외란이 유발되기도 하고 유발된 외란이 연장되거나 또는 새로운 외란이 추가될 수도 있다. 무효전력의 이러한 영향에 효과적으로 대처하기 위해서는 무효전력에 대한 기본적인 운영전략이 수립되어 있어야 한다. 미국의 북미전력신뢰도위원회(North American Electric Reliability Council : NERC)도 무효전력의 역할과 그 영향의 중요성에 대하여 오랫동안 주목하여 왔으며 무효전력에 관련한 기본적인 운영 전략을 마련하고 있다. 일반적으로 타당성이 인정되고 있는 기본 운영전략은 다음과 같다.

o 전압제어(Voltage Control)

단위 전력계통이나 제어영역은 안정도의 상이한 영역이내에서 계통전압과 연계선 전압을 유지할 수 있도록 적당한 수준의 용량성 및 유도성 무효전력원을 운용해야 하며, 무효전력 발전 계획의 수립, 송전 및 회로 절체, 부하차단 등은 이러한 수준을 유지하기 위한 수단이 된다. 따라서 단위 전력계통이나 제어영역은 어떤 임의의 상황이 발생하였을 때 그 계통이나 제어영역의 전압을 보상할 수 있도록, 적절한 무효전력원의 예비량을 가져야만 한다.

o 무효전력 예비력(Reactive Power Reserve)

단위 제어영역은 돌발적인 상황에 대하여 전압을 유지할 수 있도록, 적절한 예비력뿐만 아니라 무효전력 요구량에 대한 공급능력을 갖추어야 한다. 이러한 공급능력에는 연계송전선로의 무효전력 필요량에 대한 그 제어영역의 부담분도 포함된다. 이러한 예비력은 돌발사고 시 적당한 시간 이내에 효과적으로 투입할 수 있도록 전기적으로 적당한 위치에 있어야 한다. 제어영역간에는 계통연계 안정도(interconnection security)에 합당한 수준에서 무효전력 조류와 송전선 전압을 유지할 수 있도록 전압제어 설비의 운용에 있어서 협조가 이루어져야 한다.

o 송전계통운영(Transmission Operation)

단위 계통 간, 제어영역 간, 전력풀(power pool) 간, 그리고 지역(region) 간 송전계통 운영은 협조가 이루어져야만 한다. 여기에는 전력설비의 운전정지, 전압 수준, 유효 및 무효전력 조류의 감시, 그리고 2개 이상의 전력계통에 영향을 줄 수 있는 개폐동작 등에 대한 협조도 포함된다.

o 연계선 주요변수의 감시

단위 계통과 제어영역은 전기적인 계통의 강도를 나타내는 내부 및 외부 계통 변수들(유효 및 무효전력 조류, 주파수, 전압, 위상각 등)을 항상 감시해야 한다. 계통 운전원이 이러한 목적을 달성할 수 있도록 알맞은 설비 또는 장비를 갖추어야 한다. 정상 및 비상시 계통 운용시에 운용전략 입장에서 중요한 개소에서 항상 감시가 가능하도록 알맞은 측정영역과 신뢰도를 갖는 측정 수단이 구비되어 있어야 한다. 이에 대한 내용은 NERC에서 제정한 운전지침 #6'전압과 무효전력제어(Voltage and Reactive control)'에 상세히 나와 있다. 여기에는 다음 3가지 즉, 운용계획, 온라인 운전, 운전제에 대한 검토 등을 중점적으로 무효전력량의 적당한 균형을 유지하기 위한 지침 등이 마련되어 있다. 우리나라에서도 이에 상응하는 합리적인 지침이 마련되어야 할 것이다. 다음은 이 세 가지 지침에 대해 알아본다.

2.3 운용계획(Operational Planning)

- 단위 계통은 자신 내부의 송전 및 부하의 무효전력 필요량을 공급해야 할 뿐만 아니라 전력의 유입 및 유출과 연계 송전선로에 관련된 무효전력 요구량에 대한 부담능력도 구비해야 한다.
- 계통운전원은 이용 가능한 모든 발전 및 송전 무효전력원에 대하여 인지하고 있어야 한다.
- 계통운전원은 전 계통에 대한 계통의 무효전력 한계 및 허용 가능한 전압편차를 알고 있어야 한다.
- 계통 전압의 크기, 변압기의 탭 설정값, 무효전력의 조류, 그리고 회전기형 및 정적 송전 무효전력원의 상태를 계통운전원이 용이하게 감시할 수 있도록 알맞은 시각적 또는 청각적인 표시 장치를 갖춘 충분한 데이터 취득장치를 구비해야 한다.
- 계통운전원은 무효전력원이 불충분할 경우에 발생할 수 있는 전압붕괴 현상을 예방하기 위하여 필요한 조치, 즉 부하절체 등의 적절한 조치를 인지하고 있어야 하며, 이러한 조치를 취할 수 있는 권한이 주어져야 한다.
- 발전기 및 송전계통에서 발생할 수 있는 돌발사고에 기인하는 추가적인 무효전력 필요량을 결정할 수 있도록 수시로 전력 조류계산 및 안정도에 관한 검토를 수행해야 한다.
- 바람직하지 않은 무효전력 조류 상황이 발생하지 않도록 사전에 설

정된 전압크기와 무효전력 제어장비의 설정값, 그리고 송전선로 구성의 변화 등에 대하여는 인접 계통과 협조가 이루어져야 한다.

- 전력의 전송 또는 교환 한계 등은 온도정격 및 인장도 한계뿐만 아니라 전압과 무효전력 제약을 반영해야 한다.
- 계통운영원이 모든 정상상태 운전 및 상정사고 운전에 대하여 계획된 전압을 유지할 수 있도록 무효전력원에 대한 계획이 수립되어 있어야 한다.
- 주요 송전선로는 경부하 기간 동안 운전상태에 있도록 최대한 모든 조치를 취해야 한다. 전압제어를 위하여 주요 송전선로를 정지시키는 것은 모든 무효전력 제어 장비를 최대한 이용한 다음 면밀한 검토를 통하여 계통의 신뢰도가 허용 가능한 수준이하로 떨어지지 않을 것이라는 확신이 있는 경우에 한한다.
- 부하 부담을 줄이기 위하여 전압을 낮추는 조치는 2차 송전계통 및 배전계통에서만 실시해야 한다.

2.4 온라인 운전(On-line Operations)

- 발전기와 동기조상기 상의 자동전압조정기와 전력계통안정화장치(stabilizer)는 가능한 최대한의 범위까지 동작할 수 있도록 유지해야 한다. 이것은 발전기나 송전에서 갑작스런 변화에 대한 적절한 전압 응답과 안정도를 보장하기 위한 것이다.
- 계통운전을 사전에 조정된 전압 수준으로부터의 편차와 예상되는 무효전력 조류를 체계적으로 감시해야 하며 필요하다면 보정조치를 취해야 한다.
- 보정조치는 내부의 발전기나 송전설비에 허용 가능한 수준 이상의 전압 스트레치가 부과되지 않도록 하여야 한다. 또한 인접 계통에 과도한 전압부담이나 무효전력 부담을 부과하지 않도록 하여야 한다. 보정조치는 경해된 한계 내에 있도록 하기 위하여 부하차단을 필요로 할 수도 있다.
- 인접 계통 내의 무효전력 조류나 전압에 중요한 영향을 끼칠지도 모르는 어떤 조치를 취할 경우에는 그 내용을 반드시 인접계통에게 알려야 한다.

2.5 계통운영에 대한 재검(Operational Review)

- 정기적으로 그리고 비정상적인 운전기간 동안에는 실태조사를 반드시 실시하여, 전압과 무효전력의 지평을 추종하기 위한 분석을 수행해야 한다.
- 계통계획 담당자와 정기적인 재검을 실시하여 전압과 무효전력 계통운영으로 추종할 수 있는 여유를 감안한 장기계획이 수립되도록 하여야 한다.

3. 미국의 무효전력

전력계통 운용전략은 효과적인 무효전력제어와 에너지 손실 절감을 위하여 효과적으로 이행되어야 한다. 미국의 경우 위와 같은 운용전략을 이행하기 위하여 많은 투자와 함께 국가적인 공동노력이 오래 전부터 이루어지고 있다. 전부는 아니지만 여러 NERC 위원회는 위원회 내의 단위 전력계통이나 제어영역에 대하여 더욱 세분화된 책임을 부과한 지침들을 더욱 상세하게 정하였다. 예로서 서부계통협의회(Western Systems Coordinating Council : WSCC)의 일부인 NWPP(Northwest Power Pool)는 NERC의 정책과 지침들에 전적으로 동의하고 있으며, NWPP 단일 운용 시스템에 NERC 정책과 지침들을 '개인화'(personalize)하도록 책무에 대하여 직접적이면서도 명료한 규정을 사용하였다. 책무에 대한 이러한 규정으로 인하여 무효 전력 공급설비의 운전과 협조가 향상되었으며, 따라서 송전계통 전압변화율의 감소, 최적의 계통안정도 수준, 최적의 송전계통 전압보상, 최소의 계통 유효 및 무효 전력 손실, 인접 계통간의 최소한의 간섭 등으로부터 최대의 이익이 가능하게 되었다.

NWPP의 경우 다수의 장거리 EHV 송전선로가 다른 여러 전력회사에 퍼져있기 때문에 협조문제에 관하여 특별히 고려해야 할 점이 있다. 무효전력 제어는 오랫동안 일상적인 것이었다. 전압 수준에 대한 협조와 관련하여 한 가지 고려해야 할 사항은 경부하시 전압이 중부하시 부하 전압보다 3% 작게 되도록 경부하 조건과 중부하 조건사이의 전압을 보상하는 것이다. 이렇게 보상하면 경부하 조건 동안 전압을 제어하기 위하여 2차 송전계통 또는 배전계통 수준에서 필요로 하는 무효전력의 양이 감소하는 경향이 있다. 중부하에서 경부하, 주중에서 주말로 바뀌는 계획된 탭 변환의 경우 아주 큰 보상량이 필요하다. 비록 이러한 특수한 협조가 일반적인 지침으로 보이지만, 때로는 계통 조건을 바꾸는 것은 그러한 협조를 비실용적으로 만들 수 있다. 예를 들면, 만약 송전선로가 경부하 기간 동안에 중부하가 걸렸다면 경부하 전압을 중부하 전압보다 낮게 하기 위한 보상은 부적절하게 된다. NWPP에서는 일년에 한번 VAR 협조 검사를 실시한다. 이 검사는 계통의 "정지-동작"시험이며 이에 따라 겨울 동안 2시간을 분석한다. 100kV 이상의 모든 회로와 100kV 아래 회로 중 일부를 선택하여 전압과 VAR 값을 취득한다. 시험은 하루에 1시간씩 조사하는 방법으로 1월중 연속된 2일 동안 시행한다. 미리

선정한 월요일에는 최고 부하 조건에서의 계통을 포착하기 위하여 18:00시에 측정한다. 그 다음날인 화요일에는, 경부하 조건에서의 계통을 포착하기 위하여 4:00시에 측정한다. 시험하기 전에 각 전력회사에 통보하여 시험 날짜가 지나고 난 후에 각 전력회사가 연계하고 있는 인접한 회사와 MW, MVAR 측정값을 상호 비교 검사한다. 모든 자료가 확인되면, 그 자료는 NWPP 협조그룹(Coordinating Group)으로 보내져서 최종적인 유용성 검사와 함께 균형을 위한 조정(balancing)이 이루어진다. 다음 이 자료는 전력풀 전체의 것을 모아 종합한다. 분석과정에서 NERC, WSCC, NWPP 기준과 비교하여 각개 전력계통의 성능(performance)에 대하여 일반적인 비판과 그 계통에 특유한 비판이 이루어진다. 분석결과, 비판내용 및 모든 시험데이터를 보고서로 정리하여, 모든 전력회사에 참고하도록 배포하고 있는 상황이다.

4. 우리나라 계통운영 보조서비스

4.1 우리나라 보조서비스의 종류

현재 우리나라에서는 계통운영 보조서비스에서는 무효전력서비스를 관리하고 있지 않고 아래의 보조서비스만을 운영하고 있다.

• 주파수추종서비스

운영부서가 운영발전계획 수립시 주파수추종 예비력의 적정 확보여부를 검토하고 시장운영시스템을 이용하여 실시간으로 확보, 급전자동화설비의 예비력 계산결과를 활용하여 주파수추종예비력의 적정 확보여부를 실시간으로 감시한다. 실시간 운영에 있어 주파수추종 예비력이 부족할 경우에는 발전기 상향운전을 해제하거나 발전기를 추가 기동하여 주파수추종 예비력을 확보해야 한다. 단, 계통수요의 변화추이상 불필요하다고 판단되는 경우는 제외한다.

• 자동발전제어서비스

운영부서가 시장운영시스템을 이용하여 실시간으로 자동발전제어 예비력을 확보하고 급전자동화설비를 이용하여 실시간으로 제어, 급전자동화설비의 예비력 계산결과를 활용하여 자동발전제어 예비력의 적정 확보여부를 실시간으로 감시한다. 실시간 운영에 있어 자동발전제어 예비력이 부족할 경우에는 발전기 상향운전을 확보해야 한다. 단, 계통수요의 변화추이상 불필요하다고 판단되는 경우는 제외한다.

• 예비력서비스

예비력 발전기는 기동형태별(열간, 온간, 냉간) 기동시간을 고려하여 지정하여 한다. 단, 발전계획시스템(RSC)에서 기동형태별 기동시간을 반영할 수 있기 전까지는 열간기동 시간을 기준으로 예비력 발전을 지정할 수 있다. 발전기 불시정지 또는 수요예측오차 등으로 전력공급이 부족한 경우에는 지정된 예비력 발전기를 우선 기동하여야 한다. 단, 계통주파수 급변시에는 예외적으로 운영할 수 있다. 운영부서가 급전자동화설비의 예비력 화면을 이용하여 예비력의 적정 확보여부를 실시간으로 감시하여야 한다.

• 자체기동서비스

자체기동 지정부서는 지정조건을 시장운영규칙에 따라 자체기동발전기를 선정한다. 또한 지정절차는 자체기동 지정부서가 발전사업자가 제출한 현장조작절차서를 검토하여 접수후 20일 이내에 승인여부를 통보하고 1개월 이내에 인증시험을 시행하며 인증시험 합격일로부터 5일 이내에 자체기동발전기 지정내역을 정산관련 부서에 통보하고 있는 실정이다.

결론

무효전력 제어를 효과적으로 달성하기 위한 기본적인 전력계통 운용 전략이 무엇인가에 대하여 미국사례에 대해 살펴보았다. 전력계통에서는 무효전력으로 인하여 계통 외란이 유발되기도 하고 유발된 외란이 연장되거나 또는 새로운 외란이 추가될 수도 있다. 무효전력의 이러한 영향에 효과적으로 대처하기 위해서는 무효전력에 대한 기본적인 운영전략이 수립되어 있어야 한다. 미국의 북미전력신뢰도위원회는 무효전력의 역할과 그 영향의 중요성을 이미 오래 전에 인지하여 무효전력에 관련된 기본적인 운영 전략을 마련하여 시행해 오고 있으며 지속적인 검토 및 분석을 통하여 수시로 강화하고 있다. 우리 나라의 경우는 수많은 전력회사가 복잡하게 연계되어 있는 미국의 경우와는 달리 단일 계통으로 구성되어 있기 때문에, 미국의 경우에 비하여 무효전력 종합 관리 시스템의 구축 및 운영을 보다 쉽게 구현할 수 있을 것으로 생각된다. 한국 전력의 EMS 등을 이용한 무효전력 감시관리가 현재 이루어지고 있으며 앞으로 많은 발전이 있겠지만, 미국의 경우와 같이 지속적이며 실질적인 시험과 분석을 통하여 체계적이며 정기적인 무효전력 제어 및 감시체계가 구축되어야 할 것으로 판단된다.

[참고문헌]

- [1] 신중민, "무효전력제어에 의한 에너지 절감방안 연구", 1998
- [2] 한국전력거래소 <http://www.kpx.or.kr/>
- [3] "IEEE power & energy magazine" 18~31page, anuary/february 2009