

154kV 변전소 전압제어시스템에 대한 연구

정광호, 최승일, 송재원, 김종우, 윤병주
(주) 비츠로시스

A study on voltage control system for 154kV substation

Kwang-ho Jung, Seung-il Choi, Jae-won Song, Jong-woo Kim, Byung-ju Yun
VITZROSYS Co.,Ltd R&D Institute

Abstract - 본 논문에서는 Shunt capacitor와 OLTC가 함께 설치된 154kV 변전소에서 송출전압을 고려한 두 기기의 협조제어 시스템에 대해 연구하고자 한다. Shunt Capacitor는 전압제어뿐 아니라 외란이 발생할 경우 안정도 제어에 매우 유용한 중요 기기이다. 그러나 비상시 안정도 제어에 참여하기 위해서는 평상운전 시 적절한 운전여유를 확보하고 있어야 한다. 또한 Shunt capacitor와 OLTC의 특성과 상호작용을 고찰하여 Shunt Capacitor의 무효전력 보상 여유를 유지하고 전압의 변동을 방지하면 OLTC의 탭동작을 최소화하여 고장의 요소를 방지하는 협조제어를 제안 한다.

1. 서 론

오늘날 급속한 산업 발전 및 생활 수준 향상에 따라 전력 수요도 매우 크게 증가하고 있으며 전기, 전자 제품의 사용이 증대됨에 따라 일상 생활에서 전기 의존도가 점점 높아져서 양질의 전력을 수용가에 공급할 필요성이 갈수록 증대되고 있다. 그래서 전력시스템에서의 안정적인 전력 공급은 늘 중대한 관심사이고 수많은 연구가 진행되고 있는 실정이다. 그러나 현재에도 전압안정성에 대한 문제는 복잡하고 다양한 해석이 있으며 여러 가지 면에서 논의가 계속되고 있다.

특히 오늘날의 전압, 무효 전력 제어는 단순히 전압 조정에 대해서만 생각하는 것이 아니고, 계통 내 무효 전력원의 효율적인 협조 운용으로 계통 운용 비용의 최소화까지 포함한 이른바 종합적인 계통 운용의 실현을 목표로 하는데 그 특징이 있다.

배전계통에서 무효전력과 전압을 제어하는 것은 시스템 운영상 매우 중요한 것이다. 전압 편차와 시스템 손실은 무효전력과 전압 제어 장치의 절절한 조합으로 줄일 수 있다. 현재, 배전 계통의 다양한 운영 목적을 달성하기 위해 AVR, OLTC, SC와 같은 3가지 종류의 조정기를 사용한다. AVR은 배전 변전소에서 OLTC를 가진 변압기의 동작을 통해 주변압기 2차 측 모션 전압을 조정하기 위해 보통 설치된다. OLTC가 있는 변압기의 주목적은 미리 정해진 deadband사이에서 변압기의 저압 측 전압을 유지하는 것이다. 본래 AVR은 전압 강하를 보상하기 위해 설계되었다. 그러므로 AVR은 저압 측 부하에 따라서 OLTC 탭 값이 변동한다.

SC는 배전계통에서 무효전력을 제공하기 위해 설치된다. 변전소 이차 측에 설치되기도 하고 피더에 연결되기도 한다. SC는 허용하는 범위 내에서 전력 손실을 최소화하고 피더 전압을 유지하기 위해 사용된다.

최근 연구 동향은 배전 계통의 피더에 설치된 커패시터의 제어를 위해 dynamic programming을 이용하였고[1], 최적화 문제를 변전소 레벨과 피더 레벨의 두 개로 분리하여 다이내믹 프로그래밍과 퍼지 로직 알고리즘을 이용하였고[2], 유전자 알고리즘을 이용한 시간 구간 방법(time-interval base control method)이 제시된 연구[3]가

있었다. OLTC와 다른 전압 제어기기들의 협조 제어방법에 대한 논문들은 다음과 같다[4-8].

전압 제어는 곧 무효 전력을 제어한 것인데, 무효 전력 조류는 유효 전류 조류와는 달리 송전선 등을 흐를 때 생기는 무효 전력 손실이 크기 때문에 무효 전력 제어를 실시하더라도 제어 지점과 아주 가까운 근방에서만 효과가 있다는 것이 특징이다. 이 때문에 전압 제어에서는 미리 전력 계통의 구성과 함께 각종 전압 제어기기를 적당히 배치하고 이들의 협조를 취해 가면서 전압 제어를 종합적으로 실시해 나가야만 한다. 이 때문에 변전소의 SC를 한 BANK 투입했을 때 또는 변압기 탭을 한 탭 움직였을 때에 계통 각 지점의 전압, 무효전력 조류가 어떻게 변화하는지 알아 둘 필요가 있다.

본 논문은 154kV 변전소에서 송출 전압을 적정 전압 범위 내에서 효율적으로 제어하기 위해 변압기OLTC와 SC의 협조 제어 운전 알고리즘을 제안한다. 제안된 협조 제어 알고리즘은 보안법과 실시간 조류계산을 이용하여 배전용 변전소의 OLTC 변압기 탭 값과 SC의 온, 오프 동작을 제어하는 방식이며, 배전용 변전소의 계통 데이터를 이용하여 제안한 알고리즘의 유효성을 검증하였다.

2. 본 론

2.1 전력계통 전압유지기준

전압조정목표는 정상 운전 시 전력계통에서 유지하여야 할 전압 목표치를 말한다. 345kV 계통의 전압조정목표는 353kV(336~360kV)이며, 산업자원부장관과의 전력계통 안정성 검토 결과에 따라 전압조정목표는 변경될 수 있다. 154kV 계통은 부하수준 및 계통 구성 상황에 따라 중부하시와 경부하시에 차를 두는 것을 원칙으로 하고 부하대별 전압조정 목표는 표 1과 같다. 그리고 배전용 변전소는 표 2와 같이 배전선 인출단의 전압을 기준으로 중부하시는 최대계통운전 전압으로 하고 경부하시에는 배전선의 선로전압강하를 고려하여 중부하시와 경부하시의 부하비율에 따라 결정한다. 154kV 변전소 전압유지범위는 계통의 정상치 최대, 최소전압을 154±10%(139kV-169kV)로 유지하여야 하며, 중부하 및 경부하 등 부하대별로 최대, 최소 전압 유지범위를 달리 할 수 있다.

경부하시	160±4kV
중부하시	157±4kV
첨두부하시	156±4kV

표 1. 154kV 변전소 전압조정 목표

경부하시	22.0kV
중부하시	22.9kV
첨두부하시	23.9kV

표 2. 배전용 변전소 전압조정 목표

2.2 변압기 OLTC의 제어특성 및 모델

변압기 부하시 탭 절환기(OLTC)의 자동제어 시스템의 일반적인 블록 다이어그램은 그림 1과 같고[9], 기본 요소들은 부하시 탭절환기를 가진 변압기, dead band, time delay, AVR, CT, PT 이고, 탭 절환 장치와 모터 구동장치는 한 스텝씩 동작하는 구조이고, 동작시간은 10초 이내로 소요된다. 자동전압 조정기의 입력요소는 dead band와 time delay로 구성되어 있다. 각 요소는 조정이 가능하며, 불감대의 조정 범위는 0.6~6% 정도이고, 지연시간은 조정범위는 10~180 초 정도이며, 이것은 순시 전압 변동에 의한 빈번한 탭 절환을 방지하기 위한 목적으로 사용되며 계통 조건에 따라서 적절한 값으로 조정 가능하다.

일반적인 OLTC 동작원리는 그림 2과 같이 전압편차가 불감대 경계값 보다 크면 카운터가 작동하기 시작하고, 지연시간 이내에 전압편차가 불감대 경계값 보다 작아지면 카운터는 초기화되고 지연시간 이상 동안 전압편차가 유지되면 탭을 동작시킨다. 이러한 OLTC 제어 시스템이 가지고 있는 특징은 불감대를 가지는 불연속제어와 순시 전압변동에 따른 빈번한 탭 동작을 방지하기 위해 시간 지연 요소를 가지고 있다는 것이다.

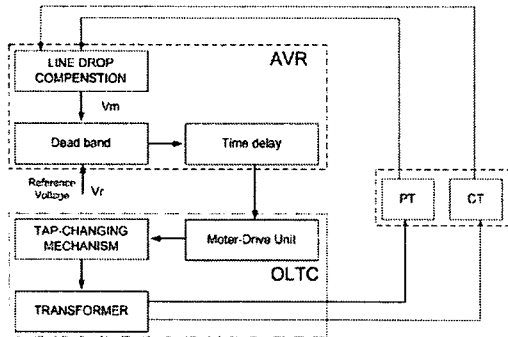


그림 1

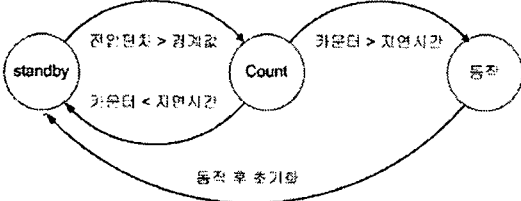


그림 2

OLTC 제어의 목표는 송출전압을 규정 전압 범위 내에서 동작횟수를 최소화 하는 것이다.

2.3 SC의 제어특성 및 모델

일반적인 SC는 계통의 무효전력 수요를 적정 수준으로 조정하기 위해 배전용 변전소에 설치한다. SC가 동작함에 따라 배전용 변전소 2차 측 저압 선로의 무효전력 및 전압에 변화를 주게 되어 무효전력 및 전압을 보상하게 된다. SC의 제어방식으로 가장 널리 쓰이는 방식은 배전용 변전소 2차 측의 무효전력 수요를 측정하여 일정 수준이상 또는 이하가 되면 SC를 투입, 개방하는 방식이 적용된다.

2.4 전압 협조 제어시스템

본 논문에서 제안하는 전압 제어 시스템은 그림 3과 같이 6개 agent를 이용하여 그림 4와 같이 전압 제어를 한다. 각각의 agent는 서로 통신을 통해 필요한 정보를 공유함으로써 그 기능을 수행한다.

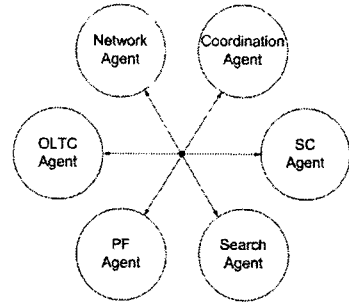


그림 3

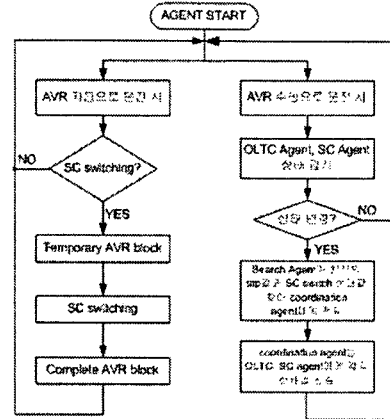


그림 4

2.4.1 Network Agent

Network Agent는 가장 먼저 변전소에서 가능한 모든 계통 구성을 조합하여 조류계산에 필요한 raw를 생성하고, 스위치들의 on-off 상태 변경 시 그 상태에 맞는 raw 파일을 PF Agent, Search Agent에게 보낸다. 그림 5는 network agent의 flow char 이다.

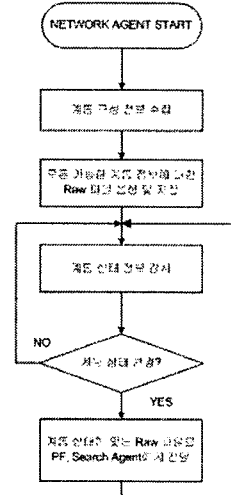


그림 5

2.4.2 OLTC Agent

OLTC Agent는 변압기 OLTC 탭 값과 송출전압을 감시하고, AVR를 blocking 하는 기능을 가지고 그림 6은 OLTC Agent flow chart이다

2.4.3 SC Agent

SC Agent는 shunt capacitor bank의 스위치를

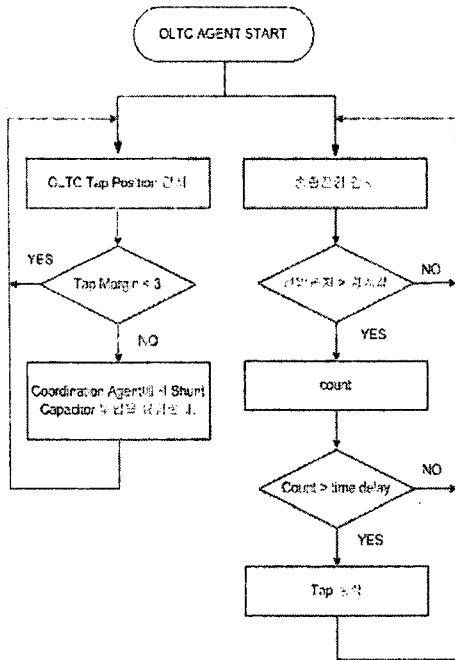


그림 6

on-off 제어 및 감시하는 기능과 무효전력량을 감시하는 기능을 가지고, 그림 7은 SC Agent flow chart 이다.

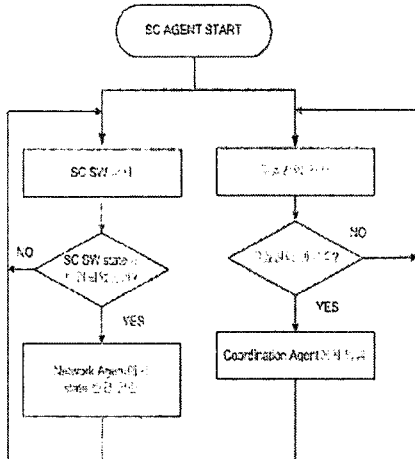


그림 7

2.4.4 PF Agent

이 에이전트는 2가지 기능이 있다. 첫 번째 기능은 오프라인 기능으로 Network agent에게서 받은 가능한 모든 정보를 가지고 예측 부하에 대해 조류계산을 하는 기능과 두 번째 기능은 실시간으로 네트워크 에이전트에게서 받은 raw 파일을 부하의 $\pm 5\%$ 내에 대해 조류계산을 하여 전압과 무효전력 결과값을 Search agent에게 보내준다. 조류계산 Newton-Raphson Method을 이용하여 계산한다.

2.4.5 Search Agent

Search Agent는 PF agent가 보내준 정보에서 변동되는 부하에 가장 최적의 OLTC tap 값과 SC 용량값을 찾아 Coordination Agent에게 그 정보를 보내준다.

2.4.6 Coordination Agent

Coordination Agent는 Search Agent에게서 받은 정보를 가지고 OLTC Agent와 SC Agent에게 제어 신호를 보낸다. 여기서 중요한 것은 SC가 투입시 OLTC가 불필요한 동작을 피하기 위해, 먼저 OLTC Agent에게 AVR을 일시적으로 blocking 하라는 명령을 내리고, 그 이후 SC 스위치를 투입하라는 명령을 내린 후 스위치의 상태값이 변경되었다는 정보를 SC agent에게 받으면 OLTC Agent에게 blocking 해제 명령을 보낸다.

3. 결 론

본 논문에서는 154kV 변전소에서 송출전압을 적정값으로 유지하기 위해 변압기 OLTC Tap값과 SC를 제어하는 시스템을 소개하였다. OLTC와 SC와 같이 불감대와 시간지연을 갖는 기기들의 협조제어는 새로운 관점의 제어기법이 필요하게 된다. 본 논문에서는 에이전트 시스템을 도입하여 각각의 에이전트를 통해 협조 제어를 하였고, 제안된 제어 시스템을 검증하기 위하여 예제 계통도를 통해 테스트 하여 시스템의 타당성을 증명하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Y. Y. Hsu and H. C. Kuo, "Dispatch of capacitors on distribution system using dynamic programming," IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., vol. 140, no. 6, pp. 433-438, Nov. 1993
- [2] Y. Liu and X. Qui, "Optimal reactive power and voltage control for radial distribution system," Proc. IEEE PES Summer Meeting, Seattle, WA, no. 1, pp. 85-90, July 2000
- [3] Z. Hu, X. Wang, H. Chen, and G. Taylor, "Volt/VAR control in distribution systems using a time-interval based approach," IEE Proc. Gener. Transm., Distrib., vol. 150, no. 5, pp. 548-554, Sep. 2003
- [4] S. Corsi, P. Marannino, N. Losignore, G. Moreschini, and G. Piccini, "Coordination between the reactive power scheduling function and the hierarchical voltage control of the EHV ENEL system," IEEE Trans. Power Syst., vol. 10, no. 2, pp. 686-694, May 1995
- [5] J. J. Paserba, D. J. Leonard, N. W. Miller, S. T. Naumann, M. G. Lauby, and F. P. Sener, "Coordination of a distribution level continuously controller compensation with existing substation equipment for long term VAR management," IEEE Trans. Power Deliv., vol. 7, no. 2, pp. 1034-1040, April 1994
- [6] K. M. Son, K. S. Moon, S. K. Lee, and J. K. Park, "Coordination of an SVC with a ULTC reserving compensation on margin for emergency control," IEEE Trans Power Deliv., vol. 15, no. 4, pp. 1193-1198, Oct. 2000.
- [7] G. W. Kim and K. Y. Lee, "Coordination control of ULTC transformer and STATCOM based on an artificial neural network," IEEE Trans. Power Syst., vol. 20, no. 2, pp. 580-586, May 2005.
- [8] B. Kasztenny, E. rosolowski, J. Izykowski, M. M. Shar, and B. Hillstrom, "Fuzzy logic controller for on-load transformer tap changer," IEEE Trans. Power Deliv., vol. 13, no. 1, pp. 164-170, Jan. 1998
- [9] M. S. Calovic, "Modeling and analysis of under-load tap-changing transformer control systems," IEEE Trans. Power App. Syst., vol. 103, no. 7, pp. 1909-1915, Jul. 1984