

스마트 배전시스템의 최적 전압조정 방안에 관한 연구

허상운*, 박오성*, 이범태*, 노대석*

*한국기술교육대학교

e-mail: dsrho@kut.ac.kr

A Study on the Optimal Voltage Regulation Method of Smart Distribution System

Sangwn Heo*, Oseong Park*, Beomtae Lee*, Daeseok Rho*

*Korea University of Technology and Education

요 약

언제, 어디서나 컴퓨터 사용과 통신이 가능한 유비쿼터스 환경의 구축과 개발은 부존자원이 부족한 우리나라의 산업 전략에 부합하며 현재 우리나라가 보유한 정보통신 관련기술의 우위를 바탕으로 성장할 가능성이 큰 분야로써 정부가 미래의 10대 성장 동력으로 선정한 분야의 한가지 이다. 배전시스템에서의 이 분야 기술 개발의 핵심내용은 유비쿼터스 기술을 활용한 고 신뢰도의 배전계통 운용 및 높은 수준의 전기품질 관리체제 구축 그리고 이를 통한 관련 산업 즉, 전력거래, 전력시장 유지 및 운영을 위한 핵심 세부 콘텐츠와 부가서비스의 창출을 위한 기반 인프라의 개발 및 구축에 있는데, 이 기반기술의 중심에 배전시스템이 있으므로 이를 고 신뢰, 고품질 기반의 시스템으로 지능화하는 것이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 태양광, 풍력 등의 분산전원이 계통에 연계되는 장래의 스마트배전시스템에 대하여, 기존의 배전계통의 전압조정방안과 비교, 분석하여 기술적인 적합여부를 종합적으로 평가하고자 한다.

1. 서 론

가까운 장래 설비가격의 하락에 따른 수용가 측의 소규모 분산전원(소형열병합, 태양광, 풍력, 연료전지 등)과 분산형 전력저장장치(2차전지, SMES, 플라이휠, 압축공기, 슈퍼커패시터 등)의 도입과 운용이 예상되는데, 이 경우 현재의 상시개방형 배전계통에서는 고장 시와 복구 시에 전력조류의 방향을 알 수 없게 되는 등의 이유로 계통보호와 제어가 복잡하게 되어, 대처하기 어려운 상황이 발생할 수 있다. 장래(규제완화 후)에는 수용가가 최소의 비용으로 전력구입 방법을 생각하고, 전력공급자측은 경쟁하에서 자사의 이익을 최대로 하는 방법을 추구할 것이다. 이것은 공급자 측과 수용가 측 상호간의 정보교환에 의하여 이루어 질수 있으며, 이를 위한 강력한 정보네트워크가 요구되는 것은 필수적이다. 이 정보네트워크는 배전계통의 조작·제어·보호와 수용가 측의 제어에 이용되며, 단순히 전력정보전송에만 그치는 것이 아니라, 홈오토메이션 등의 수용가 정보 서어비스까지도 연결될 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 가까운 장래에 도입이 예상되는

여러 장치와 기술을 이용하여, 계통구성을 유연하게 바꾸면서, 높은 신뢰성의 전력을 효율적으로 수송할 수 있고, 또한 수용가의 다양한 요구에 대응할 수 있는 새로운 전기에너지 유통시스템(스마트배전시스템)의 기본개념을 제시하고, 기존의 배전계통의 전압조정방안과 비교, 분석하여 그 유용성을 확인한다.

2. 스마트배전시스템의 기본 개념

그림 1과 같이 스마트 배전시스템은 다품질 전력 공급(멀티메뉴 서비스)을 실현하기 위하여 수용가 근처에 현재의 배전선의 한 구간에 상당하는 것으로서, 복수개의 고압배전선으로부터 수전할 수 있는 “스마트 지능제어센터(Smart Power Control Center, Small Grid)” 를 설치하는 것이다. 이 지능제어센터는 빌딩의 옥상이나 지하 등의 공간에 설치되며, 내부에서는 다양한 품질의 전력을 만들뿐만 아니라, 정지형 개폐기에 의한 고압 측과 저압측 배전선의 유연한 접속변경이 가능하다. 이 시스템은 지능센터의 변압기에서 멀티메뉴방식으로 저압측 배전선에 전력을 공급하는 방식을 취하며, 또한 고압배전선을

지능센터내의 정지형 개폐기에 의하여 접속 변경할 수 있으므로, 각 지능센터내의 전력공급과 바이패스 등을 자유롭게 할 수 있다. 정보통신망(광케이블)으로 연결된 지능센터는 자기지역의 제어뿐만 아니라, 각종 수용가의 정보서비스를 위한 정보처리 및 정보교환 센터로서의 역할도 담당한다. 지능센터내의 개폐기와 장치의 조작 및 수용가측 제어 등은 중앙 제어센터(한전 지점이나 지사)에 설치된 제어용계산기와 배전용변전소, 지능센터, 수용가의 소규모 계산기의 연계에 의하여 글로벌한 관점에서 수행된다. 물론, 동시에 이들 계산기의 연계에 의한 보호·제어도 수행될 수 있다. 이들 용도에 사용되는 데이터는 운용·보수·맵핑·요금계산 등 전력유통시스템의 관리·운용·제어를 통합한 데이터베이스에 의해 일원적인 관리로 수행된다. 또한, 고압배전선과 스마트제어센터의 보호를 위하여 필요한 개소에 고장검출용장치가 설치되며, 상시 정보를 필요한 개소에 통신한다. 고장 시에는 인접한 개질센터의 정보를 참고로 하여, 부하를 정전시키지 않고 자율적으로 최적한 계통구성이 되도록 고장구간을 제외시킨다. 지능센터 내부에는 분산형 전원과 전력저장장치가 설치되며, 평상시에는 부하평준화 등의 에너지절약 기능을 수행하며, 사고 시에는 공급의 신뢰성 향상 설비로서 이용된다.

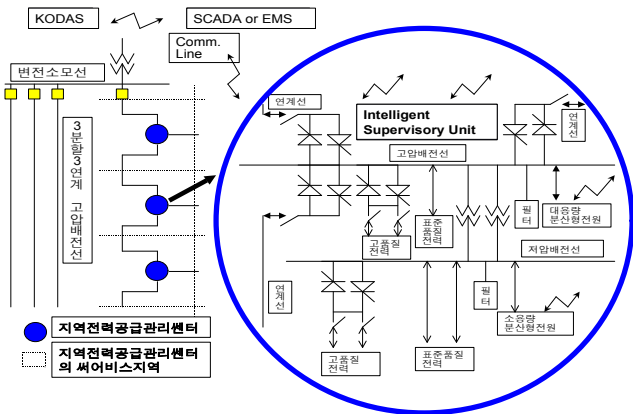
접속될 것이 예상되고 있다. 이와 같이, 수용가에 밀접한 관계에 있는 배전계통은 전력계통 가운데에서도 사회변화에 가장 민감한 부분에 위치하고 있으므로, 현시대의 동향을 정확히 파악하고 요청에 부응하는 설비형성과 기술개발을 하는 것이 중요하다. 즉, 배전계통은 전력의 안정공급이라는 기본적인 역할뿐만 아니라, 수용가의 다양한 요구에 대응하지 않으면 안 되는 어려운 상황에 처해있다. 그러나, 현재의 배전계통 설비구성과 운용수법으로서는 끊임없이 변화하는 상황에 대처하여, 각종 문제점을 해결하기에는 한계점을 가지고 있다^[1].

본 연구에서는 유연하게 계통구성을 변화시킬 수 있고, 수용가에 멀티메뉴 서비스를 제공할 수 있으며, 각종 설비의 고효율운전을 가능하게 하는 고유연·고신뢰·고효율 전기에너지 유통시스템(스마트 배전시스템)의 모델을 제안하여, 기존계통에의 도입 적용에 대한 구체적인 방안을 제시한다. 특히, 배전계통의 전압관리 측면에서 스마트배전시스템의 운용과 기존 운용수법을 비교·평가하는 수법을 제시하여, 스마트배전시스템의 운용효과를 정량적으로 평가한다.

3. 스마트배전시스템과 기존 배전계통의 전압조정방안 비교분석

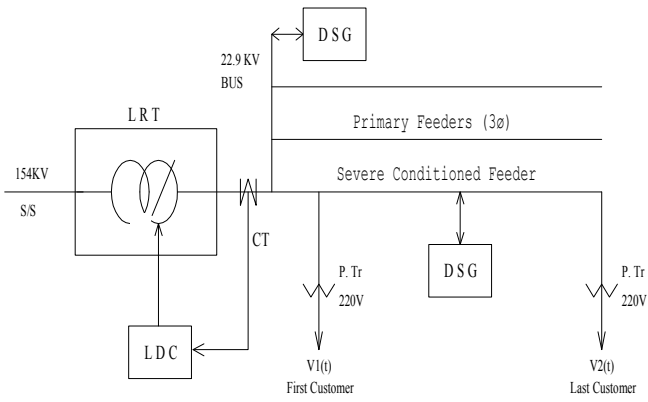
3.1 기존의 전압조정방안

일반적으로 배전용변전소의 송출전압은 그림 2와 같이 부하시 탭절환변압기(LRT : Load-Ratio Transformer)에 의하여 5~6개의 피더를 일괄하여 조정하고 있다. 그러나, 각각 다른 부하특성을 가진 피더를 동시에 고려하여 전압조정을 한다는 것은 어렵고, 배전계통 내에 분산전원(분산형 전력저장시스템 포함)이 도입·운용되는 경우에는 더욱더 복잡하게 된다. 여기서는 기존의 최적 전압조정방안으로서 참고문헌 [1], [2]에서 나타난 바와 같이, 분산전원(DSG)의 운용특성을 고려하기 위하여, 분산전원의 운용에 의하여 가장 가혹한 조건이 되는 피더를 선택하여, 이 피더의 수용가 전압을 허용범위 이내로 유지시켜, 다른 피더의 수용가전압도 적정범위 내로 유지시키는 개념을 이용한다.



[그림 1] 스마트 배전시스템의 구성도

최근, 정보·통신 산업의 발전 및 생활수준의 향상에 따라 일상생활의 전기 의존도 및 양질의 전력공급에 대한 수용가 측의 요구가 증가하고 있으며, 또한 전력사업의 규제완화 및 지구규모의 환경문제 등에 대한 영향으로 소규모 분산전원(분산형 전력저장시스템 포함)이 배전계통을 중심으로 많은 수용가에



[그림 2] 기존의 전압조정 개념도

3.2 스마트배전시스템의 전압조정방안

스마트배전시스템은 앞에서 언급한 바와 같이, 전력유통의 중간적인 장치인 전력개질센터를 고압선로 중간에 일정한격으로 설치하여, 적절하게 정지형개폐기를 ON/OFF 제어함으로써, 전력개질센터 간의 전력유통을 협조시켜, 고압선로의 전압분포를 최적으로 유지시키는 것이 가능하다. 또한, 전력개질센터 내부에 설치된 분산형전원의 적절한 운용에 의하여, 각각의 전력개질센터가 담당하는 지역의 수용가의 부하변동을 억제시켜, 저압측의 전압분포도 합리적으로 유지시키는 것이 가능하다.

이와 같이, 전력개질센터의 적절한 운용에 의하여, 고압선로와 저압선로의 양측의 전압을 협조적으로 조정하여, 수용가의 전압분포특성을 향상시키는 것이 가능하다. 전력개질센터 내의 분산형전원의 운용 방식으로서 전력개질센터의 부하를 완전히 평준화시키는 것으로서 경제성을 우선으로 하는 운용방법과 전력개질센터 내부의 1, 2차측 전압을 일정하게 유지시키는 전압안정화 운용방법이 고려될 수 있다.

(1) 부하평준화 운용방식(스마트배전시스템 I) : 분산형전원의 유효전력운전에 의하여, 전력개질센터 내의 부하변동을 항상 일정하게 유지시켜, 배전용변전소의 송출전압(고압측의 전압분포)의 조정을 단조롭게 하여, 수용가의 전압분포 개선을 목표로 한다.

(2) 전압안정화 운용방식(스마트배전시스템 II) : 분산형전원의 무효전력운전에 의하여, 저압측만의 부하변동에 대하여, 전력개질센터 내부의 2차측 모선전압을 일정하게 유지시키도록 한다. 이것에 의해 고압측의 전압분포 및 계통구성의 변화에 대한 영향을 최소화시켜, 이상적인 수용가전압을 달성시키는

것을 목표로 한다.

4. 시뮬레이션 분석

4.1 평가지표 정의

배전계통 내의 분산형전원의 도입·운용에 의한 수용가전압의 양부는 각 수용가 전압이 표준전압에 어느 정도 가깝게 유지되는 가를 산정함으로써, 평가할 수 있다. 즉, 평가지표(PI:Performance Index)는 전체 고찰시간대에 대하여, 전체 대상노드의 수용가 전압과 표준전압과의 편차의 제곱함으로써, 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$PI = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \{V1(t,k) - V_{std}\}^2 + \{V_{std} - V2(t,k)\}^2$$

여기서, T : 전체 고찰기간, K : 노드의 총수, V_{std} : 표준전압 (220V), V1(k,t) : 각 노드직하의 수용가전압, V2(k,t) : 각 노드말단의 수용가전압

상기의 평가지표는 배전계통에 있어서 전체 수용가의 전압분포특성의 수준을 평가하는 것으로, 지표의 값이 작으면 작을수록 수용가 전압특성이 양호하다는 것을 나타낸다. 따라서, 각 전압조정 수법에 의한 평가지표 값을 비교함으로써, 그 수법자체의 좋고 나쁨도 평가할 수 있다.

4.2 모델계통

여기서는 다음과 같은 모델계통과 시뮬레이션 조건을 상정하여 기존 배전계통과 스마트배전시스템의 운용효과를 비겨·평가하였다.

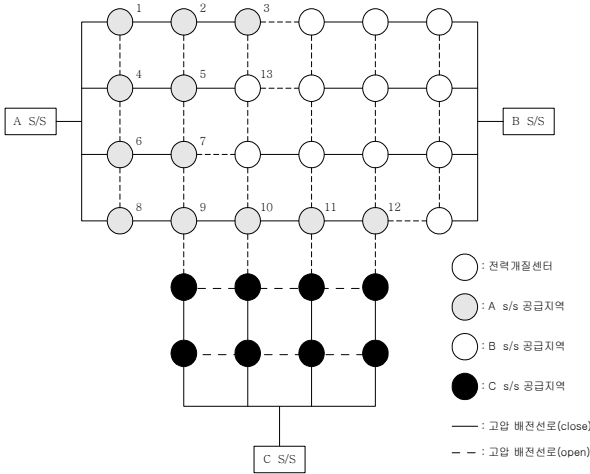
(1) 분산형전원을 포함한 모델 배전계통 및 구간 부하는 그림 3과 표 1과 같다.

(2) 배전용변전소의 LRT의 일부하 패턴은 45 MVA의 피크부하를 기준으로 100%~20%의 부하변동 특성을 가진다. 피크부하는 1~8시간대, 미들 부하는 9~16시간대, 오프 피크부하는 17~24시간대로 한다.

(3) 주상변압기의 탭 변경점은 피크부하시의 전압강하가 5%이상인 지점을 기준으로 선정하며, 1차측은 14,400V, 13,800V, 13,200V, 12,600V, 12,000V의 5가지 탭을 사용하며, 2차측은 115V(230V)를 기준으로

로 한다.

(4) 저압선로에 있어서, 주상변압기와 인입선, 저압선로의 최대 전압강하는 각각 4V, 4V, 8V로 상정한다.



[그림 3] 모델 배전계통

[표 1] 고압배전선로 구간데이터

Feeder Number	Section Number	Node Number		Impedance		Length (km)	Pole Tr. Tap	Load(%)
		From	To	R(Ω /km)	X(Ω /km)			
1	1	0	1	0.182	0.391	2.0	22900/230	5%
	2	1	2	0.182	0.391	2.0	22900/230	10%
	3	2	3	0.182	0.391	5.0	22900/230	10%
2	4	0	4	0.182	0.391	5.0	22900/230	10%
	5	4	5	0.304	0.440	10.0	21400/230	15%
3	6	0	6	0.182	0.391	4.0	22900/230	15%
	7	6	7	0.182	0.391	4.0	22900/230	10%
4	8	0	8	0.182	0.391	3.0	22900/230	5%
	9	8	9	0.182	0.391	5.0	22900/230	5%
	10	9	10	0.182	0.391	5.0	22900/230	5%
	11	10	11	0.304	0.440	10.0	21400/230	5%
	12	11	12	0.304	0.440	5.0	21400/230	5%

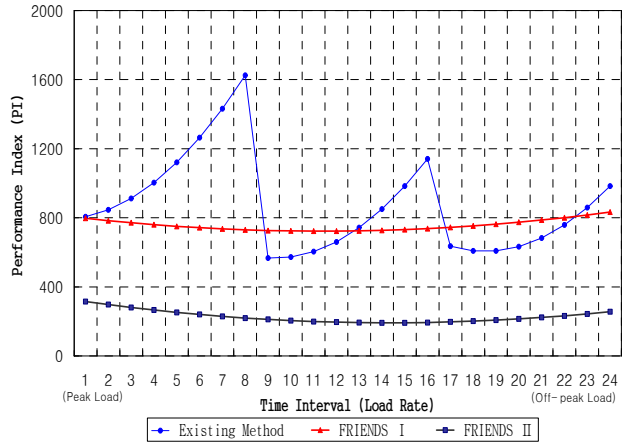
4.3 시뮬레이션 결과

그림 3과 표 1의 22.9kV 모델계통을 대상으로 시뮬레이션을 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

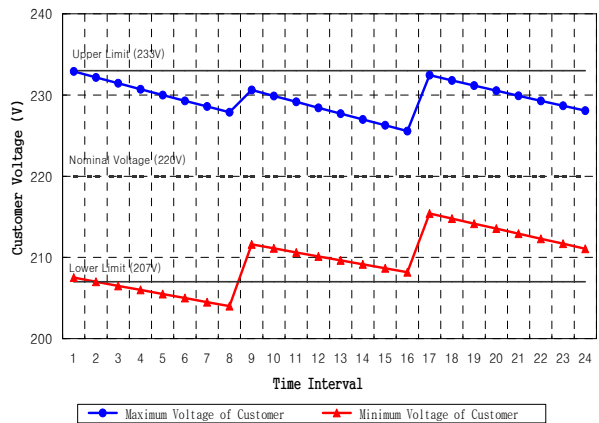
(1) 기존 배전계통의 최적 운용방식(종래수법)에 의한 수용가전압의 분포특성은 그림 4에서와 같이, 분산형전원의 운용패턴에 의존성이 강한 것을 알 수 있다. 즉, 기존의 배전계통에서는 불특정 다수의 분산형전원이 도입·운용되면, 협조적인 제어가 매우 어렵다는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 5와 같이 종래 수법에서는 수용가 전압이 허용전압을 벗어나

는 경우가 종종 발생되고 있음을 알 수 있다.

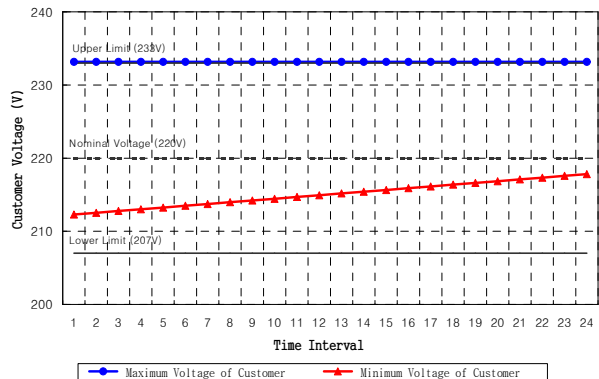
(2) 스마트 배전시스템 운용방식(부하평준화와 전압안정화 방식)에서는 그림 6과 7에서 나타낸 바와 같이, 각 스마트제어센터에서 협조적으로 고·저압 측의 전압이 제어되고, 합리적으로 유지됨으로서, 필연적으로 전압특성이 양호하게 되는 것을 확인할 수 있다.



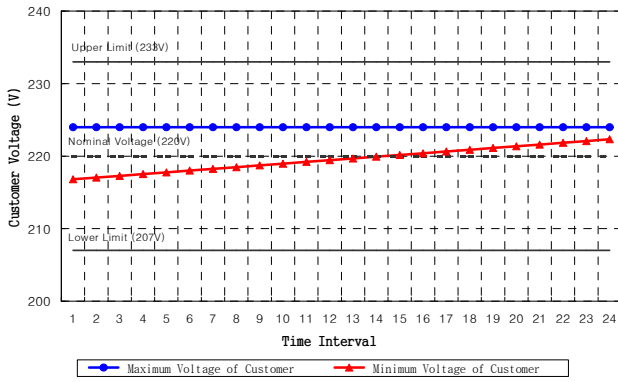
[그림 4] 각 수법의 평가지표 비교



[그림 5] 기존계통에 의한 수용가전압 특성



[그림 6] 스마트 배전방식(I)에 의한 수용가전압



[그림 7] 스마트 배전방식(II)에 의한 수용가전압

5. 결 론

본 연구에서는 차세대 배전계통의 하나로 간주되고 있는 스마트 배전시스템의 기본개념과 실계통의 적용방안을 소개하였으며, 스마트배전시스템의 운용에 의한 수용가 전압에의 영향에 대하여 기초적인 검토를 수행하여 제안모델에 대한 유효성을 확인하였다. 앞으로는 구체적인 스마트제어센터의 규모와 구성방법, 운용방법에 대한 검토를 수행하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] 노 대석 : “배전계통에 있어서 전압변동이 일반 수용가에 미치는 영향에 대한 분석”, 한국산학기술학회, 추계학술회 논문집, 2008. 11.

[2] G. Kjolle and Kjell Sand, ‘REL RAD - An Analytical Approach for Distribution System Reliability Assessment,’ IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, April 1992, pp. 809-814.

[3] R. Brown, S. Gupta, S.S Venkata, R.D. Christie, and R.Fletcher, ‘Distribution System Reliability Assessment Using Hierarchical Markov Modeling,’ IEEE PES Winter Meeting, Altimore, MD, January, 2006.