

분산전원의 배전계통연계 자동판정 알고리즘 개발에 관한 연구

論 文

56-11-6

A Study on the Evaluation Algorithm of Distribution Systems Interconnected with Dispersed Generations

盧大錫[†] · 金在彦^{*}
(Dae-Seok Rho · Jae-Eon Kim)

Abstract - This paper deals with the optimal evaluation algorithms for voltage regulation in the case where new dispersed generations(DG) are operated in distribution systems. It is very difficult and complicated to handle the interconnection issues for proper voltage managements, because professional skills and enormous amounts of data for the evaluations are required. The typical evaluation algorithms mainly depending on human ability and quality of data acquired, inevitably cause the different results for the same issue, so unfair and subjective evaluations are unavoidable. In order to overcome these problems, the paper proposes reasonable and general algorithms based on the standard model system and proper criterion, which offers the fair and objective evaluations in any case. The proposed algorithms are divided by two main themes. One is an optimal algorithm for the voltage control of multiple voltage regulators in order to deliver suitable voltage to as many customers as possible, and the other is a proper evaluation algorithm for the voltage management at normal and emergency conditions. The results from a case study show that the proposed methods can be a practical tool for the voltage management in distribution systems including dispersed sources.

Key Words : 배전계통, 분산전원, 전압조정, 계통연계, 평가 알고리즘

1. 서 론

최근 우리나라에서는 분산전원의 도입 시, 배전계통에 끼치는 영향과 문제점에 대한 구체적인 분석과 평가 없이, 분산전원의 배전계통 도입과 운용이 이루어지고 있어서, 배전계통의 전압관리나 전력품질 등의 계통 운용상의 문제점이 야기될 가능성이 높아지고 있다. 또한, 대규모 분산전원의 단지가 연계되는 배전계통에서는 이들 문제점으로 인하여 일반 수용가의 민원이 일어날 소지가 높아지고 있다. 일반적으로 분산전원이 계통에 연계되는 경우, 공급신뢰도 및 전력품질의 면에서 다른 수용가에 악영향을 끼치지 않도록 기술요건의 검토를 실시하여야 하는 데, 이들에 대한 검토는 지금까지 배전계통과 분산전원에 대한 전문가만이 수행할 수 있다. 또한, 전문가라 할지라도 구체적인 분석과 평가를 위해서는 각종 데이터의 수집이나 전문적인 S/W의 사용법을 숙지해야 하는 한계성이 존재한다[1]-[3]. 따라서 본 논문에서는 분산전원이 배전계통에 연계되는 경우, 계통연계 기술요건 가이드라인 및 기술지침에 근거하여, 비전문가라도 쉽게 사용할 수 있는 종합적인 분산전원의 배전계통 연계용 평가시스템을 개발하였다.

본 논문에서 개발한 계통연계평가 알고리즘은 크게 4가지

의 특징을 가지고 있다. 첫 번째로는 배전계통이나 분산전원의 비전문가라도 분산전원의 도입에 대한 동일한 평가와 분석결과를 산출할 수 있는 표준 계통과 판정 알고리즘을 제시하였다. 이것은 기존의 평가방법이 평가자의 개인 능력과 취득할 수 있는 자료에 따라 상이한 평가와 결과를 산출하는데 비하여 분산전원 도입에 따른 공평한 평가를 내릴 수 있다는 큰 장점을 가질 수 있다. 두 번째로는 역 조류를 고려할 수 있는 전압강하계산 알고리즘을 제시하여, 4상한만을 이용한 기존의 계산식의 단점을 보완하여, 분산전원 연계지점을 기준으로 역률과 조류방향에 따른 전압강하뿐만 아니라 전압상승도 계산할 수 있게 하여 계산 정도를 향상시켰다. 세 번째로는 분산전원이 연계되기 전의 배전계통 상태를 해석할 수 있을 뿐만 아니라, 연계 전의 배전계통이 적절하지 못한 경우 이에 대한 대책을 제시할 수 있으며, 또한 분산전원이 연계된 배전계통의 상태를 해석할 수 있으며, 연계 후의 배전계통이 문제가 있는 경우에 이에 대한 대책을 제시할 수 있어서 발생 가능한 4종의 계통상태를 모두 해석 및 평가를 수행할 수 있다.

2. 분산전원이 연계된 배전계통의 모델링

그림 1과 같이 22.9KV 방사상 배전계통에서는, 수용가 전압이 보통 배전용변전소의 전압조정장치(ULTC)에 의하여 우선적으로 조정되고, 고압 배전선로 상에 설치되어 있는 선로전압조정장치(SVR)에 의해서 보조적으로 조정되고 있다 [2]. 여기에 분산전원이 고압 및 저압배전선에 연계되면, 분산전원의 역 조류와 운용상태(기동 및 탈락)를 고려한 배전

[†] 교신저자, 正會員 : 韓國技術教育大 電氣工學科 副教授 · 工博
E-mail : dsrho@kut.ac.kr

^{*} 正會員 : 忠北大 電電컴工學部 중전기기 미래기술개발
연구센터 副教授 · 工博

接受日字 : 2007年 8月 7日

最終完了 : 2007年 10月 5日

계통 전압조정 및 관리가 요구된다. 따라서 이들 분산전원을 고려한 해석 알고리즘과 연계의 적합여부를 평가하는 알고리즘이 필요하다.

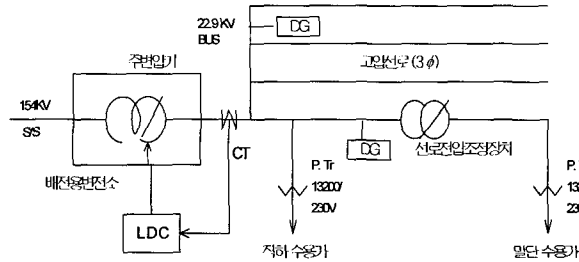


그림 1 분산전원이 연계된 배전계통의 전압조정개념
Fig. 1 Concepts for the voltage regulation at distribution systems

2.1 고압배전선의 모델링

그림 2와 같이 배전선을 주요 포인트(전선종류 변경 점, 분기 선로 접속점, 전압조정장치 설치지점 등)로 분할한 배전선을 "구간" 이라고 하며, 이것을 단위로 고압배전선의 부하를 모델링한다. 이 그림에서와 같이, 고압과 저압의 최대부하의 전류추정 값을 구간 단위로 합계하여 구간 부하를 산정하고, 각 구간 부하의 총화(추정 값) i_{SUM} 와 송출전류(계측 값) i_{SS} 를 일치시키기 위하여, 식 (1)에 의하여 송출전류를 배분하여 전압강하계산에 이용하는 구간 부하를 산출한다.

$$I_{(n)} = i_{(n)} \times \frac{i_{SS}}{i_{SUM}} \quad (1)$$

여기서, $I_{(n)}$: n구간의 최종 전류, $i_{(n)}$: n구간의 추정전류, i_{SS} : 송출전류, i_{SUM} : 각 구간의 추정전류의 총합

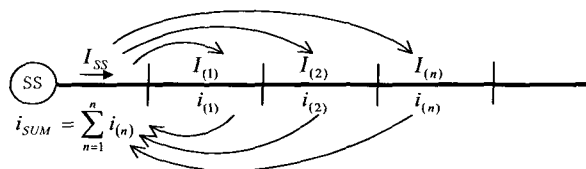


그림 2 고압배전선의 구간부하 모델링
Fig. 2 Load modeling of primary feeder

상기의 $I_{(n)}$ 을 이용하여 각 구간의 유입 및 유출 전류를 산출한다. 여기서 구간 부하를 정확하게 산정하기 위하여 고압수용가는 계약전력을 기준으로 이용률에 따른 계수를 고려하여 구간 내 kW 부하를 직접 합산하고, 저압수용가의 경우에는 주상변압기의 용량(kWh)을 기준으로 역률 및 이용률 계수를 곱하여 kW로 환산한 후에 동일 구간 내의 고압수용가 부하와 합산하도록 한다.

2.2 역 조류 대응형의 전압강하 계산식

(1) 종래의 전압강하 계산식의 개념[4]

종래 배전계통의 조류는 그림 3과 같이 전원 측에서 부하 측으로의 단 방향으로 가정하여 제4상한 만을 고려한 전압강하를 계산해도 큰 문제점이 없었다. 그러나 역 조류가 발생하는 분산전원이 연계되는 경우, 조류 방향(유효전력의 방향)과 무효전력을 적절하게 반영해서 전압강하뿐만 아니라 전압상승도 계산할 필요가 생기게 되었다. 따라서 본 연구에서는 부하전류(I)를 유효전류 분(I_p)과 무효전류 분(I_q)으로 분해하고, 조류의 방향과 역률을 고려하여 4개의 상한을 모두 고려한 전압강하 계산을 수행하는 알고리즘을 개발하였다.

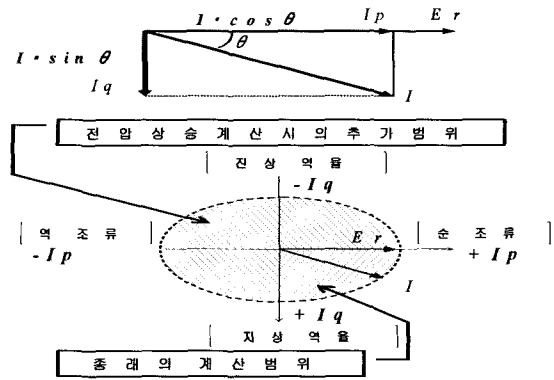


그림 3 종래의 전압강하 계산 범위
Fig. 3 Existing voltage profile calculation

(2) 제안한 전압강하 계산식의 개념

그림 4와 같이 제3상한은 순 조류와 지상 역률이 존재하지 않으며, 역 조류와 진상 역률만을 고려하여 계산할 수 있는 영역이다. 따라서 전압강하는 없고 전압상승만 존재 가능한 영역이다. 한편 제1상한은 역 조류와 지상역률이 존재하지 않으며, 순 조류와 진상역률만을 고려하여 계산하는 영역이다. 따라서 전압상승과 전압강하가 모두 존재 가능한 영역이다. 즉 진상역률의 크기에 따라 전압상승이나 전압강하가 모두 나타날 수 있다. 마찬가지로 제2상한도 전압상승이나 전압강하가 모두 나타날 수 있다.

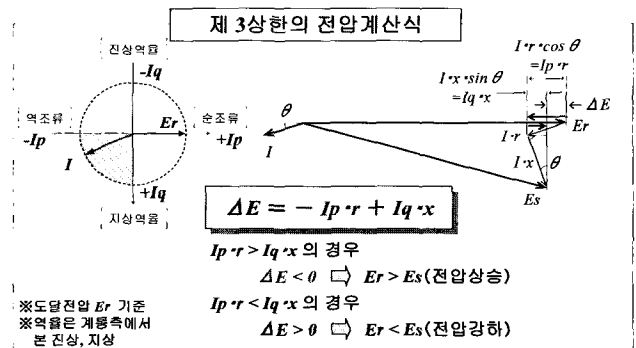


그림 4 제3상한의 전압강하 계산식
Fig. 4 Voltage profile calculation of 3rd Quadratic

(3) 부하분포를 고려한 전압강하 계산식의 도출

상기의 4개의 상한에 관한 전압강하 식들을 바탕으로 평등 부하분포와 말단 집중 부하분포를 동시에 고려하고, 각 구간에서의 유출전류와 유입전류를 개별적으로 고려하면 식 (2)와 같이 역 조류를 고려한 전압강하 계산식을 구할 수 있다.

$$\Delta V_{(n)} = k \cdot \left\{ \frac{I_{Sp(n)} + I_{Rp(n)}}{2} \cdot r_{(n)} + \frac{I_{Sq(n)} + I_{Rq(n)}}{2} \cdot x_{(n)} \right\} \quad (2)$$

여기서, $I_{Sp}(n)$: n 구간의 유입 유효전류, $I_{Rp}(n)$: n 구간의 유출 유효전류, $I_{Sq}(n)$: n 구간의 유입 an호전류, $I_{Rq}(n)$: n 구간의 유출 무효전류, k : 비례상수, r : 구간 저항, x : 구간 리액턴스

본 논문에서 제시한 역 조류를 고려한 전압강하 계산식은 종래의 부하산정 기법을 그대로 이용할 수 있으므로 기존의 전압계산 수법과 크게 바뀌지 않아서 실용적이고 업무에의 적용에도 용이하다. 고압 배전선에서 모든 구간의 부하(P, Q)를 계측할 수 없기 때문에, 송전계통에서 이용되고 있는 조류계산의 적용은 곤란한 상황이다(부하 P, Q의 지정 불능). 또한, 배전선은 수치상으로 공장이 짧아서 손실 전력도 작으므로, 근사 계산식만으로도 충분한 정도를 얻을 수 있고, 일반적인 기술지침이 모두 간략 전압강하 계산 방법에 근거하고 있으므로 실득성이 있고 알기 쉬운 장점이 있다.

3. 분산전원이 연계된 배전계통의 최적전압조정방안

3.1 최적 전압보상율

LDC 방식에 의한 송출전압 결정문제는 각 수용가의 전압이 합리적인 분포가 되도록 전압조정요소(등가임피던스, 부하중심점 전압)를 구하는 것으로, 이 요소는 배전계통의 등가적인 전압강하 특성을 나타낸다. 즉, 먼저 시간에 따라 변화하는 이상적인 최적 송출전압(최적 전압보상율)을 결정하고, 이것과 총 부하전류와의 상관관계를 통계적인 기법을 이용하여 최적 전압조정요소를 구한다^[4]. 일반적으로 배전용변전소 ULTC와 고압배전선로의 전압조정은 그림 1과 같다. 그러나 각각 다른 부하특성을 가진 피더나 부하 군들을 동시에 고려하여 전압조정을 한다는 것은 어려운 일이다. 따라서 가장 가혹한 조건이 되는 고압배전선로의 특정 지점들을 선택하여, 이 지점의 수용가 전압을 허용범위 이내로 유지시켜, 다른 피더의 수용가 전압도 적정범위 내로 유지시키는 개념을 이용한다.

송출전압의 결정문제는 그림 5와 같이 선택되어진 가장 가혹한 조건의 피더의 특정 지점(최대와 최소 전압 수용가)을 표준전압(220V)의 근방에 유지시키도록 최적 전압보상율을 구하는 것이 된다. 이 문제는 다음식과 같이, 등가적으로 배전용변전소 주변압기(M.tr) 측의 직하 수용가 전압과 규정 전압의 상한치(233V), 하한치(207V)와의 차의 제곱을 최소화시키는 문제로 정식화시킬 수 있다.

$$\text{Min } J(t) = \{ V1_{\text{max}}(t) - V1(t) \cdot X_{\text{mtr}} / R_{\text{mtr}} \}^2 + \{ V1(t) \cdot X_{\text{mtr}} / R_{\text{mtr}} - V1_{\text{min}}(t) \}^2 \quad (3)$$

$$\text{Subj.to, } V1_{\text{max}}(t) = V_{\text{max}} \quad (4)$$

$$V1_{\text{min}}(t) = V_{\text{min}} \cdot V1(t) / V2(t) \quad (5)$$

여기서, t : 시간대, V1(t), V2(t) : ULTC 직하 및 말단의 수용가전압, V1max(t), V1min(t) : ULTC 직하로 환산된 규정 전압의 상, 하한치, Vmax, Vmin : 규정전압의 상한치, 하한치, Rmtr : ULTC의 전압보상율, Xmtr : ULTC의 최적 전압보상율

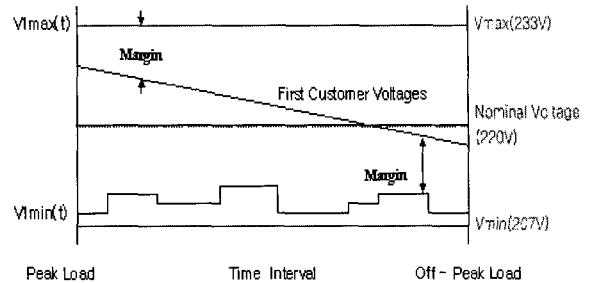


그림 5 최적 전압조정방안의 개념
Fig. 5 Concept for the Optimal Voltage Regulation

여기에서는 상기 문제의 간략화와 계산의 오차를 피하기 위하여, 배전용변전소 직하와 말단의 수용가전압이 고압배전선로의 전압강하에 의하여 비례적으로 변화한다는 사실에 주목하여, 말단의 수용가전압의 변동특성을 등가적으로 배전용변전소 직하의 값으로 환산하였다. 즉, 식 (4)와 (5)는 선로 전압조정장치 직하 지점에서 바라본 새로운 규정전압의 상, 하한치를 나타낸 것으로, 상한치는 전압변동에 관계없이 일정하지만, 하한치는 직하에서 말단까지의 전압강하에 의하여, 시간과 함께 변화하는 특성을 가지고 있다. 따라서 식 (3)의 최소화 조건(dJ / dXmtr = 0)에 의하여, 각 시간대의 최적 전압보상율은 다음식과 같이 구해진다.

$$X_{\text{mtr}} = R_{\text{mtr}} \cdot \{V1_{\text{max}}(t) - V1_{\text{min}}(t)\}^2 / 2V1(t) \quad (6)$$

3.2 최적 전압조정요소

배전용변전소의 이상적인 최적 송출전압과 총 부하전류와의 상관관계는 그림 6과 같이 시간과 함께 변화하는 비선형적인 상관관계 특성을 가지고 있다. 그러나 LDC의 전압조정 요소는 한번 정해지면 일정기간 같은 값으로 운용되기 때문에, 최적 송출전압은 식 (7)과 같이 근사식으로 나타낼 수 있다. 따라서 전압조정요소의 결정문제는 이상적인 최적송출전압분포의 편차를 최소화하도록 식 (7)의 계수를 구하는 문제로 되어 최소자승법에 의해 식 (8)과 같이 정식화할 수 있다.

$$V_{\text{opt}}(t) = V_{\text{ce}} + Z_{\text{eq}} \cdot I_{\text{to}}(t) \quad (7)$$

$$\text{Min } q = \sum_{t=1}^T \{ V_{\text{opt}}(t) - (V_{\text{ce}} + Z_{\text{eq}} \cdot I_{\text{to}}(t)) \}^2 \quad (8)$$

여기서, T : 전체 시간대, Vopt(t) : Xmtr에 의한 최적 송출전압, Vce : 부하중심점의 전압, Zeq : 등가임피던스, Ito(t) : ULTC를 통과하는 총 부하전류

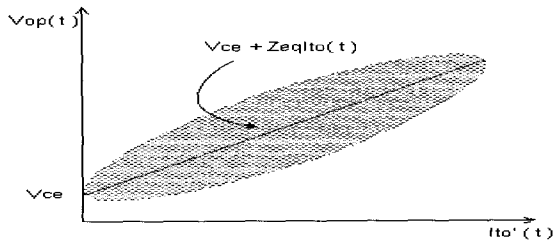


그림 6 전압조정요소의 상관관계
Fig. 6 Distribution characteristics of sending voltage

식 (8)을 최소화($\partial q / \partial Zeq + \partial q / \partial Vce = 0$)하여, 전체 고찰기간의 최적 전압조정요소(Zeq, Vce)를 구하면 다음식과 같다.

$$Zeq = \left\{ \sum_{t=1}^T Ito(t) \cdot \sum_{t=1}^T Vop(t) - T \cdot \sum_{t=1}^T Ito(t) \cdot Vop(t) \right\} / \left(\left(\sum_{t=1}^T Ito(t) \right)^2 - T \cdot \sum_{t=1}^T (Ito(t))^2 \right) \quad (9)$$

$$Vce = \left\{ \sum_{t=1}^T Ito(t) \cdot Vop(t) - Zeq \cdot \sum_{t=1}^T (Ito(t)) \right\} / T \quad (10)$$

3.3 다수 전압조정장치의 최적 협조방안

방사상 배전계통에서, 선로전압조정장치(SVR)는 전압강하를 보상하기 위하여 장거리 고압피더에 직렬로 연결되어 운용된다. 이러한 경우, 수용가 전압은 배전용변전소 ULTC에 의해서 우선 조정되고, 다음에 고압 배전선로 상의 선로전압 조정장치에 의해서 조정된다. 그러나 배전용변전소 ULTC의 전압보상은 배전용변전소 측뿐만 아니라 선로 전압조정장치 측의 수용가 전압에도 영향을 준다. 그러므로 가능한 많은 수용가에게 적절한 전압을 공급하기 위해서는 배전용변전소 ULTC와 선로전압조정장치 사이에 상호협조를 이루며 합리적으로 전압보상을 분담하도록 해야 하므로 상호간의 최적 전압조정방안이 요구된다. 이제, 배전용변전소 ULTC와 선로전압조정장치의 조정에 의해서 어떻게 수용가 전압 분포를 규정전압에 가깝도록 유지하느냐가 문제이다. 앞 절의 배전용변전소 측의 수용가 전압 조건에 관계된 방정식을 고려하여 식 (11)~(16)과 같이 목적함수를 확장할 수 있다. 즉 선로전압조정장치의 직하전압 $V3(t)$ 는 배전용변전소에서 공급하는 고압배전선로와 선로전압조정장치의 내부 전압강하 분을 고려하여 식 (14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Vdrop(t) = \left\{ V1(t) \cdot Ptap1 - V3(t) \cdot Ptap3 \cdot Vtap / (Vn \cdot Rvr) \right\} \quad (11)$$

$$V3(t) = \left\{ V1(t) \cdot Ptap1 - Vdrop(t) \right\} \cdot Vn \cdot Rvr / (Vtap \cdot Ptap3) \quad (12)$$

$$V3X(t) = \left\{ (V3(t) \cdot Xvr / Rvr) - V1(t) \cdot Ptap \cdot (Xmtr / Rmtr - 1) \cdot Xvr \cdot Vn / Vtap \right\} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \text{Min } J(t) = & \left\{ V1max(t) - V1(t) \cdot Xmtr / Rmtr \right\}^2 \\ & + \left\{ V1(t) \cdot Xmtr / Rmtr - V1min(t) \right\}^2 \\ & + \left\{ V3max(t) - V3(t) \cdot Xvr / Rvr - V1(t) \cdot Xvr \cdot (Xmtr / Rmtr - 1) \cdot Ptap \cdot Vn / Vtap \right\}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & + \left\{ V3(t) \cdot Xvr / Rvr + V1(t) \cdot Xvr \cdot (Xmtr / Rmtr - 1) \cdot Ptap \cdot Vn / Vtap - V3min(t) \right\}^2 \\ & + k(Xmtr - Xvr)^2 \end{aligned} \quad (14)$$

$$\text{Subj.to, } V3max(t) = Vmax \quad (15)$$

$$V3min(t) = Vmin \cdot V3(t) / V4(t) \quad (16)$$

여기서, $Vdrop(t)$: 고압배전선로와 SVR의 내부 전압강하, $V1(t), V2(t)$: ULTC 직하, 말단의 수용가전압, $V3(t), V4(t)$: SVR 직하, 말단의 수용가전압, $V3max(t)$: SVR 직하로 환산된 허용 전압의 상한치, $V3min(t)$: SVR 직하로 환산된 허용 전압의 하한치, $V3X(t)$: 최적 전압보상율이 적용된 $V3(t)$, $Rmtr, Xmtr$: ULTC의 전압보상율, 최적 전압보상율, Rvr, Xvr : SVR의 전압보상율, 최적 전압보상율, $Vn, Vtap$: SVR의 정격전압, SVR의 탭전압, $Ptap1$: ULTC 직하의 주상변압기 탭전압, $Ptap3$: SVR 직하의 주상변압기 탭전압, $Ptap$: 주상변압기 탭 비율($Ptap1/Ptap3$), K : 무계상수

이 목적함수는 배전용변전소와 선로전압조정장치 측의 직하 수용가 전압이 상, 하한치로부터 최대 여유를 가지고 그것들의 값이 규정전압에 근접하게 유지되는 것을 의미한다. 식 (14)에서 첫 번째와 두 번째 항목은 배전용변전소 측 수용가 전압이 배전용변전소 ULTC만의 조정에 의해서 적당한 전압을 유지함을 나타내며, 세 번째와 네 번째 항목은 선로전압조정장치 측의 수용가 전압이 선로전압조정장치의 조정에 의해 적당한 전압을 유지함을 나타낸다. 이 항목은 식 (10)의 배전용변전소에서 공급하는 고압배전선로와 선로전압 조정장치 측의 내부 전압강하 분을 고려한 직하 수용가 전압 관계로부터 유도된다. 다섯 번째 항목은 탭 변화 횟수를 줄이기 위한 배전용변전소와 선로전압조정장치 사이의 조정 레벨이다. 식 (12)에서 K 는 전압조정장치 간의 협조를 요구하는 정도에 따라 정하는 상수로서 전압 레벨을 감안하여 정한다. 따라서 목적함수 식 (14)가 최소가 되기 위한 조건은 다음식과 같다.

$$\nabla J = \begin{pmatrix} \partial J / \partial Xmtr \\ \partial J / \partial Xvr \end{pmatrix} = 0 \quad (17)$$

여기서, ∇J : $Xmtr$ 과 Xvr 에 대한 J 의 편미분 구배벡터

식 (17)의 행렬 요소는 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} \partial J / \partial Xmtr = & \left\{ 2.0 \cdot V1(t) / Rmtr \cdot (2.0 \cdot V1(t) \cdot Xmtr / Rmtr - V1max(t) - V1min(t)) \right\} + \\ & \left\{ 2.0 \cdot V1(t) \cdot Xvr \cdot Vn / (Rmtr \cdot Vtap) \cdot (2.0 \cdot V1(t) \cdot (Xmtr / Rmtr - 1.0) \cdot Xvr \cdot Vn / Vtap + 2.0 \cdot V3(t) \cdot Xvr / Rvr - V3max(t) - V3min(t)) \right\} + \\ & \left\{ 2 \cdot K \cdot (Xmtr - Xvr) \right\} \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \partial J / \partial Xvr = & \left\{ 2.0 \cdot (V3(t) / Rvr + V1(t) \cdot (Xmtr / Rmtr - 1.0) \cdot (Vn / Vtap)) \cdot (2.0 \cdot Xvr \cdot V1(t) \cdot (Vn / Vtap) \cdot (Xmtr / Rmtr - 1.0) - V3max(t) - V3min(t) + 2.0 \cdot V3(t) \cdot Xvr / Rvr) \right\} + \\ & \left\{ 2 \cdot K \cdot (Xvr - Xmtr) \right\} \end{aligned} \quad (19)$$

반복 계산하는 알고리즘은 다음식과 같다.

$$\begin{pmatrix} X_{mr} \\ X_{vr} \end{pmatrix}^{(K+1)} = \begin{pmatrix} X_{mr} \\ X_{vr} \end{pmatrix}^{(K)} + (B^{(K)})^{-1} \cdot (\nabla J) \quad (20)$$

따라서, 상기 목적함수 식 (17)의 최소화 조건에 의하여, 각 시간대의 최적 전압보상율이 구해진다. 식 (17)의 비선형 목적함수의 최소화 문제는 반복법이 일반적으로 사용되는데 적당한 초기값을 제공함에 의해 최적 해에 수렴한다. 본 논문은 quasi-Newton법을 사용하였고, 최적해 산정 과정은 그림 5의 Flowchart와 같다.

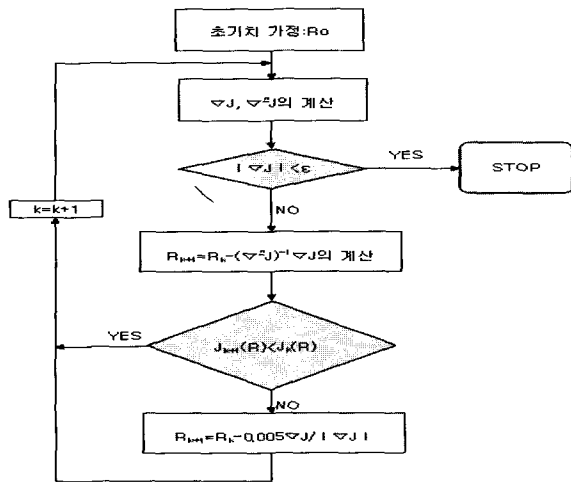


그림 7 최적 전압보상을 산정을 위한 플로우차트
Fig. 7 Flowchart for optimal compensation rates

4. 분산전원의 배전계통연계 평가 알고리즘

분산전원이 배전계통에 연계되는 경우, 도입 적부의 판단은 평가하는 사람이나 자료에 따라 달라질 수 있다. 이를 개선하기 위하여 본 연구에서는 주어진 입력데이터와 대상 계통에 대하여 누구나 동일한 판단 결과를 얻을 수 있는 표준 계통에 근거한 평가기준을 개발하였다. 이 기준은 크게 정상 운전시의 상시 전압변동과 비상운전 시(기동과 탈락, 사고 등)의 순시 전압변동으로 나누어진다.

4.1 상시 전압변동 평가 알고리즘

분산전원의 출력이 배전계통으로 방출되는 역 조류가 발생하는 경우, 고압배전선에 있어서 평상시의 허용전압 변동폭에 대한 개념은 그림 8과 같고, 이것을 식으로 나타내면 다음과 같다.

- (가) 저압 측의 허용전압 변동 폭 = 236V - 221V = 15V
- (나) 저압 측의 주상변압기의 탭 운용 폭 = 600V x (230V / 12,600V) = 10.96V

- (다) 허용 변동 폭 = (15V - 10.96V) / 2 = 2.02V
- (라) 정상시의 고압 측 전압변동 허용범위 = 2.02V x (12,600V / 230V) = 111V

여기서, 111V는 고압배전선 측의 상시의 전압변동 허용폭으로 분산전원이 도입되는 경우, 이 값 이내에 전압변동폭을 유지하면 연계 피더의 모든 수용가가 허용 전압범위 내에 유지될 수 있다는 것을 의미한다. 이 값은 정상상태에 있어서 분산전원 연계 시에 적합여부를 판단하는 기준 값으로 매우 중요한 수치이다. 이 값을 초과하면 분산전원 연계가 부적합하다는 결과를 나타낸다.

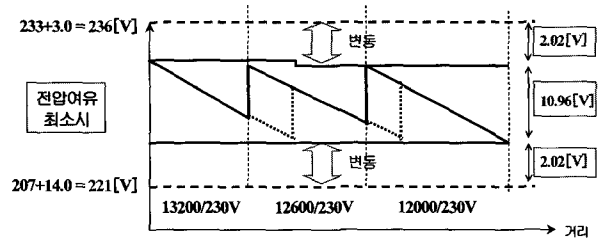


그림 8 상시전압변동 허용 기준
Fig. 8 Voltage criteria for normal operations

그림 8에서 점선으로 표시된 저압 측(수용가)의 허용전압 범위는 전력회사의 전압관리 지침을 근거로 하여 수용가의 허용전압(±6%, 207V ~ 233V)을 주상변압기 2차 측 직하전압으로 환산한 것이다. 여기서, 221V는 207V에 14V(주상변압기 자체전압 강하 분 + 저압선 전압강하 분 + 인입선 전압강하 분)를 합산한 값으로, 저압 측의 전체 전압강하 한도를 약 7% 정도(전압관리지침은 8%로서 부동률을 고려한 값과 동일함)로 고려한 것이다. 이것은 주상변압기 2차 측에서 221V 정도를 유지하면 저압선의 최 말단의 수용가의 전압이 하한치를 벗어나지 않음을 의미한다. 또한, 236V는 233V에 3V(주상변압기 자체전압 강하 분 + 인입선 전압강하 분)를 더한 값으로, 저압 측 전압강하 한도로 1.5%정도를 고려한 값이다. 이것은 주상변압기 2차 측에서 236V 정도를 유지하면 직하에 존재하는 어떠한 수용가의 전압도 상한치를 벗어나지 않음을 의미한다. 예를 들어, 전력회사 전압관리지침상의 주상변압기 직하의 한도치인 4%를 기준으로 하게 되면, 233V+8V = 241V가 된다. 이 경우, 인입선의 길이가 짧거나 주상변압기의 내부 전압강하가 작게 되어, 약 3V의 전압강하만 일어나는 최악의 상태가 발생하면 수용가전압은 허용전압 상한치를 벗어나게 된다. 따라서 본 논문에서 제시한 한도치 1.5%는 최악의 경우를 상정한 값이다. 한편, 주상변압기 탭 운용 폭인 600V는 주상변압기의 탭 운용 가능영역에서 산출된 값(고압선 피크 기준의 5%)에 근거하여 가중치(여유분)를 두어 도출한 값이다.

4.2 순시 전압변동 평가 알고리즘

분산전원이 기동하거나 탈락하는 경우, 고압배전선에 있어서 비상시의 허용전압 변동 폭에 대한 개념은 그림 9와 같고, 이것을 식으로 나타내면 다음과 같다.

- (가) 저압 측의 허용전압 변동 폭 = 236V - 221V = 15V
- (나) 저압 측의 주상변압기 탭 운용 폭 = 600V x (230V/12,600V) = 10.96V
- (다) 나머지 허용 변동 폭 = (15V-10.96V)/2 = 2.02V
- (라) 정상시의 고압 측 전압변동 허용범위 = 2.02V x (12,600V / 230V) = 111V
- (마) 저압 측 기기동작 최소전압 = 220V x 8% = 202 [V] (2% : 옥내 전압강하)
- (바) 저압 측 허용전압 변동 폭= 207V - 202V = 5V
- (사) 고압 측 허용전압 환산전압 = 5V x (12,600/230) = 274V
- (아) 비상시의 고압 측 전압변동 허용 범위 = 111V + 274V = 385V (1.8%)

여기서, 385V는 배전계통에 연계되어 운용 중인 분산전원이 기동하거나 탈락하는 과도적(비상시)인 경우에 대한 고압 배전선 측의 전압변동 허용 폭이다. 즉, 분산전원의 연계 시에 이 값 이내에 전압변동 폭을 유지하면 연계 피더의 모든 수용가에게 허용 전압을 유지할 수 있다는 것을 의미한다. 이 값은 분산전원의 기동이나 탈락 등의 비상시에 연계 적합 여부를 판단하는 기준이 되는 매우 중요한 수치이다. 그림 9는 이에 대한 개념을 나타낸 것이다.

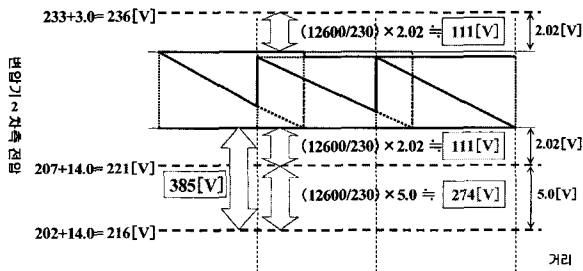


그림 9 순시전압변동 허용 기준
Fig. 9 Voltage criteria for emergency operations

그림 9에서 385V는 정상시의 허용변동 폭(111V)에 기기 동작 최소 전압 치(274V)를 더한 값으로 후자는 정격전압(220V)의 약 8%를 고려하였다. 이것은 건물 옥내의 전압강하분이 약 2%이므로 기기동작 최소 전압변동분의 10%에서 뺀 값이다. 이것은 2초 이내의 순시적(기동, 탈락 등)인 기간 동안에는 10%의 전압강하분에도 수용가 기기가 동작을 할 수 있다는 점에서 착안한 것이다.

5. 시뮬레이션 및 결과 분석

5.1 최적 전압조정방안

배전용변전소의 ULTC와 선로전압조정장치의 최적 협조 알고리즘을 분산전원이 도입된 모델 배전계통에 대하여 시뮬레이션을 수행한다. 각 기법의 유효성을 비교하기 위해 두 가지 방법을 사용하여 평가한다. 하나는 평가지표를 이용하고, 다른 하나는 ULTC와 SVR의 탭 동작횟수를 비교한다.

(1) 평가지표의 정의

배전계통 내의 수용가 전압의 양부는 각 수용가 전압이 표준전압에 어느 정도 가깝게 유지되는가를 산정함으로써, 평가할 수 있다. 즉, 평가지표(PI : Performance Index)는 전체 고찰시간대에 대하여 전체 대상노드의 수용가 전압과 표준전압과의 편차의 제곱 합으로 나타낼 수 있다.

$$PI = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \{V1(t,k) - Vstd\}^2 + \{Vstd - V2(t,k)\}^2 \quad (21)$$

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

상기의 지표는 배전계통에 있어서 전체 수용가의 전압분포 특성의 수준을 평가하는 것으로, 평가지표가 작으면 작을수록 수용가 전압특성이 양호하다는 것을 나타낸다. 따라서 각 전압조정 기법에 의한 평가지표 값을 비교함으로써, 그 기법자체의 좋고 나쁨도 평가할 수 있다.

(2) ULTC의 Tap 총 동작횟수의 정의

배전용변전소 ULTC와 선로전압조정장치의 탭 동작은 기계적인 동작을 수행하여 수명에 큰 영향을 미치기 때문에 가능하다면 탭 동작횟수가 적을수록 유리하다. 현재 주류로 되고 있는 배전용변전소 ULTC와 선로전압조정장치는 17개 탭이며, 탭 간격은 1.25%(±10% 전압보상)가 표준이고 불감대폭은 50%를 기준으로 한다. 여기서는 지연시간은 고려하지 않고, 초기 탭 위치를 기준 탭(9번 탭, 22900V)으로 하고 배전용변전소 ULTC와 선로전압조정장치의 탭 동작횟수를 각 기법에 따라 비교하여 그 기법의 우수성을 평가한다. 탭 위치 결정은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$Tap \ Position = (V_{send} - V_n) / (T_{int} \times V_n) + T_s \quad (22)$$

여기서, V_{send} : 최적 전압보상율에 의한 송출전압, V_n : 표준전압(22,900V), T_s : 기준 탭 번호(9), T_{int} : 탭 간격(1.25%)

(3) 시뮬레이션에 사용된 송출전압 조정방식

- ① 방식1 (LDC+Fixed(SVR) Method) : 배전용변전소의 송출전압은 LDC 방식으로 조정하고 선로전압조정장치의 송출전압은 22,900V로 고정시켜 송출하는 방식
- ② 방식2 (LDC+Programmed(SVR) Method) : 변전소의 송출전압은 LDC 방식으로 조정하고 선로전압조정장치의 송출전압은 프로그램 방식으로 조정하는 방식
- ③ 방식3 (LDC+LDC(SVR) Method) : 배전용변전소와 선로전압조정장치의 송출전압을 각각 독립적으로 LDC 방식으로 조정하는 방식
- ④ 방식4 (Proposed Method) : 본 연구 제안 방식으로서 배전용변전소와 선로전압조정장치의 송출전압을 상호 협조하여 운용하는 방식

(4) 모델계통과 제 조건

① 모델계통은 그림 10과 같으며, 고압배전선로의 구간데이터는 표 1과 같다.

② 배전용변전소의 일 부하 패턴은 그림 11과 같이 45MW의 피크부하를 기준으로 오프 피크 부하는 1~8시간대, 피크부하는 9~16시간대, 미들 부하는 17~24시간대로 한다.

③ 역률은 0.9를 적용한다.

④ 저압 측의 전압강하 배분은 주상변압기와 인입선, 저압선로의 최대 전압강하를 각각 4V, 4V, 8V로 상정한다.

⑤ 고압배전선로의 전압강하를 계산하기 위하여, 가우스 사이델법(Gauss-Seidel Method)을 이용한 조류계산법을 이용한다.

⑥ 선로전압조정장치의 설치 지점은 그림 10의 10번 지점으로 상정하였으며, 운용패턴은 위의 방식 4가지를 비교한다.

⑦ 분산전원의 도입량은 2가지 경우로 가정한다. 먼저 피크부하의 5%로 7, 8, 9 노드에 각각 750(Kw) 공급하는 경우와 피크부하의 10%로 1500(Kw) 공급하는 경우를 상정한다.

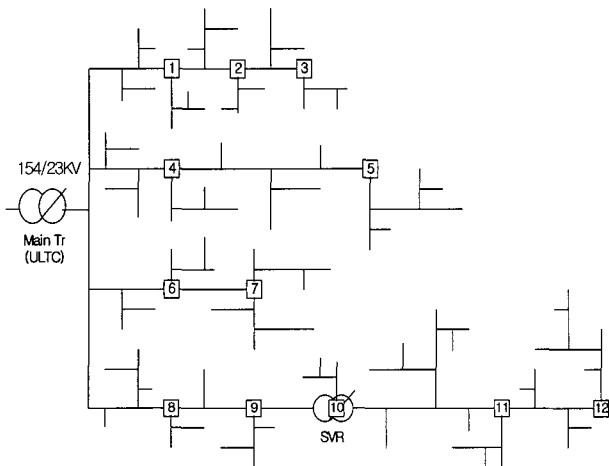


그림 10 모델 배전계통 (22.9kV)
Fig. 10 Model distribution systems (22.9kV)

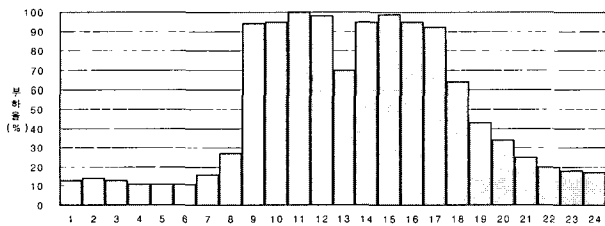


그림 11 모델계통의 일부하 곡선
Fig. 11 Daily load curve of main transformer

표 1 모델계통 구간데이터

Table 1 Section data for primary feeders

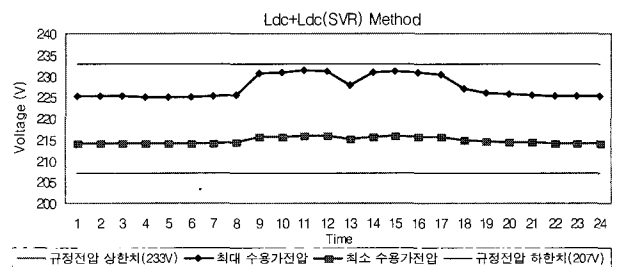
피더 번호	구간 번호	구간		선로정수		구장 (km)	주상변압기형	부하 (%)	DG 용량 (KW)
		From	To	R (Ω/km)	X (Ω/km)				
1	1	0	1	0.182	0.391	2.0	22900/230	5%	0
	2	1	2	0.182	0.391	2.0	22900/230	10%	0
	3	2	3	0.182	0.391	5.0	22900/230	10%	0
2	4	0	4	0.182	0.391	5.0	22900/230	10%	0
	5	4	5	0.304	0.440	10.0	21800/230	15%	0
3	6	0	6	0.182	0.391	4.0	22900/230	15%	0
	7	6	7	0.182	0.391	4.0	22900/230	10%	750
4	8	0	8	0.182	0.391	3.0	22900/230	5%	750
	9	8	9	0.182	0.391	5.0	22900/230	5%	750
	10	9	10	0.182	0.391	5.0	22900/230	5%	0
	11	10	11	0.304	0.440	10.0	21800/230	5%	0
	12	11	12	0.304	0.440	5.0	21800/230	5%	0

(5) 시뮬레이션 결과

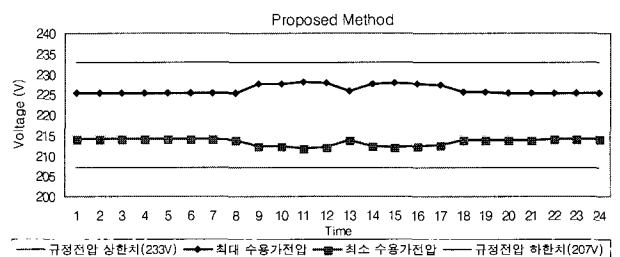
분산형전원이 도입된 배전계통에서 배전용변전소 ULTC와 선로전압조정장치에 대해 기존의 전압조정방안과 본 연구에서 제안한 방안에 대한 평가지수를 비교한다. 상기의 4가지 전압조정 방안을 비교해 본 결과, 본 연구에서 제안한 배전용변전소 ULTC와 선로 전압조정장치를 상호 협조하여 운용하는 최적 전압조정 알고리즘을 이용한 방식 4가 가장 우수함을 확인할 수 있었다.

(a) 분산전원이 도입되지 않는 경우

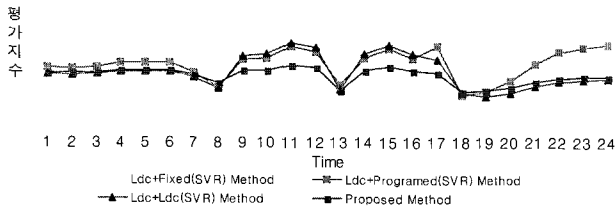
분산형전원이 도입되지 않은 모델계통에 대하여, 그림 12(a)는 배전용변전소 ULTC와 선로전압조정장치가 독립적으로 운용하는 기법(방식 3)에 의한 전압분포이고, (b)는 제안한 기법(방식 4)에 의한 전압분포이며, (c)는 각 기법(방식1~방식 4)의 평가지표를 보여준다. 제안한 방법에 의한 전압분포가 규정전압에 더 가깝게 유지되고, 평가지표도 더욱 우수함을 알 수 있다.



(a)



(b)

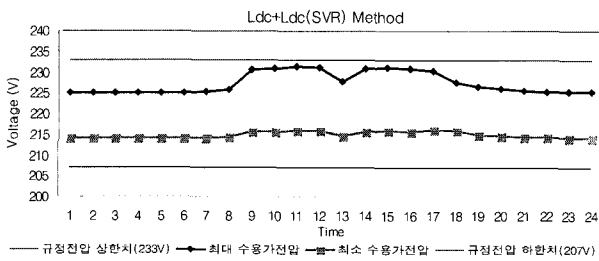


(c)

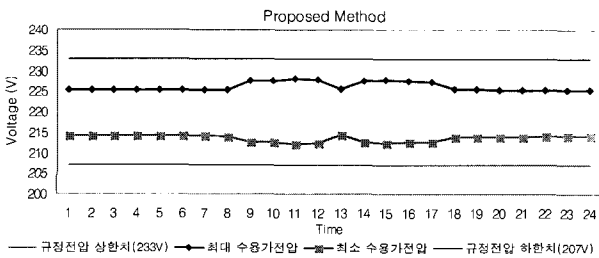
그림 12 각 방식의 수용가 전압특성 및 평가지표
Fig. 12 Customer voltage characteristic and PI

(b) 분산전원이 도입된 경우(피크부하의 10%)

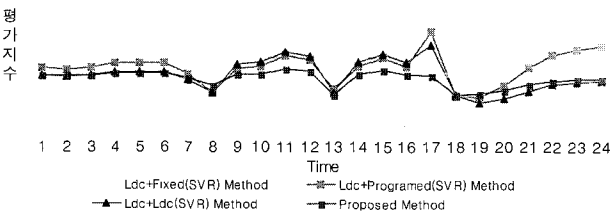
분산전원이 9~16시간대에 7, 8, 9 노드에서 각각 1,500Kw씩 방전하는 모델계통에 대하여, 그림 13 (a)는 배전용변전소 ULTC와 선로전압조정장치가 독립적으로 운영하는 기법(방식 3)에 의한 전압분포이고, (b)는 제안한 기법(방식 4)에 의한 전압분포이며, (c)는 각 기법(방식1~방식 4)의 평가지표를 보여준다. 제안한 방법에 의한 전압분포가 규정전압에 더 가깝게 유지되고, 평가지표도 더욱 우수함을 알 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 13 각 방식의 수용가 전압특성 및 평가지표
Fig. 13 Customer voltage characteristic and performance index

(6) 시뮬레이션 분석 및 평가

분산전원의 공급형태에 따른 각 기법의 평가지수를 비교해 보면 표 2와 같다. 배전용변전소 ULTC와 선로 전압조정장치를 상호 협조하여 운영하는 경우가 가장 우수하며, 분산형전원이 도입되어도 전체적으로 규정전압에 가깝게 유지됨을 알 수 있다.

표 2 각 방식의 평가지표 합계 비교

Table 2 Comparison of performance index by all mode

DG 도입량	DG 공급형태	Ldc+ Fixed Method	Ldc+ Programed Method	Ldc+Ldc Method	Proposed Method
2,250 kW	zero	16331.3	12559.5	10953.3	10064.4
	방전	16205.0	12433.1	10826.9	10040.4
	총방전	16234.6	12462.7	10856.5	9988.3
4,500 kW	zero	16331.3	12559.5	10953.3	10064.4
	방전	16111.9	12340.0	10733.8	9982.3
	총방전	16305.3	12533.4	10927.2	9891.0

또한, 각 기법의 ULTC 탭 총 동작횟수는 표 3과 같다. 배전용변전소 ULTC와 선로 전압조정장치를 상호 협조하여 운영하는 경우와 기존 기법들을 비교해 보면, 배전용변전소 ULTC 탭 총 동작횟수는 약간의 변동만 있으나 선로전압조정장치 탭 총 동작횟수는 현격히 감소됨을 알 수 있다. 그리고 그림 14의 각 방식에 다른 시간대별 탭 위치를 보면 배전용변전소 ULTC와 선로 전압조정장치 간의 협조가 잘 되고 있음을 확인할 수 있다.

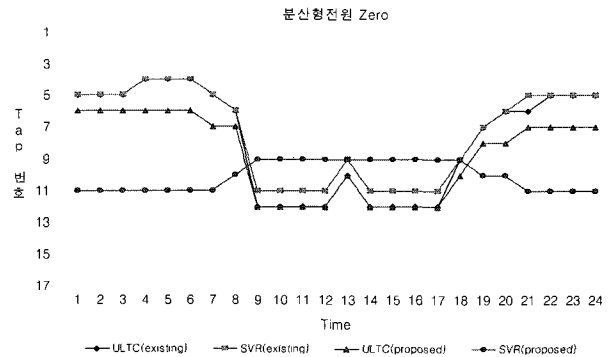


그림 14 각 방식의 시간대별 탭 위치

Fig. 14 Tap position of voltage regulators at each method

5.2 계통연계 평가 알고리즘

(1) 모델계통 및 입력데이터

축약 전의 실제 모델 배전계통은 그림 15와 표 3과 같이 28개의 노드를 가진 간선과 총 18개의 노드를 가진 5개의 분기선으로 구성된다. 간선의 총 공장은 26.678km이고, 전선 종별은 ALOC160mm², CV250mm² 등 4종으로 구성된다. 계산의 편이성과 시뮬레이션 시간을 줄이기 위하여 축약되는 배전계통은 프로그램 내부에서 자동적으로 생성되는데, 그림 16과 같이 11개의 노드를 가진 간선으로 축약된다. 계통 축약의 원칙은 고압선종의 변경이나 분기선, 개폐기 등의 존재여부에 의하여 결정된다.

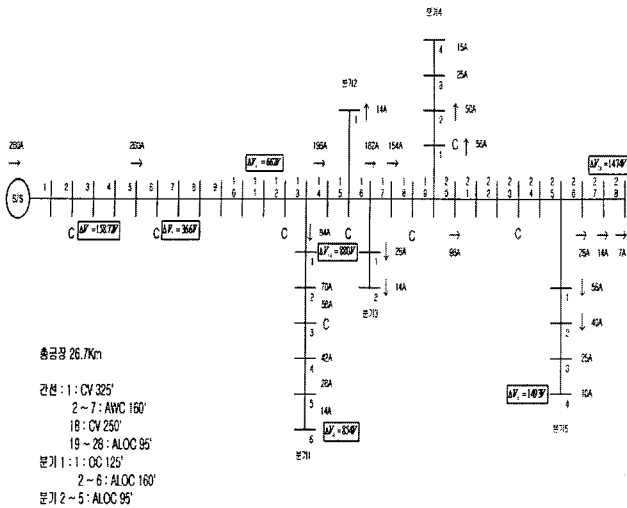


그림 15 22.9kV 모델 배전계통
 Fig. 15 Model distribution system (22.9kV)

표 3 모델 배전계통의 구간 데이터
 Table 3 Section data for primary feeders

구간 No.	분기 No.	절연종별	구간 C D	구간 공장	유입전류 (Is)	유출전류 (Ir)
1		CV	325	0.205	280.0	280.0
2		ALOC	165	1.321	280.0	280.0
3		ALOC	165	0.317	280.0	280.0
4		ALOC	165	0.166	280.0	280.0
5		ALOC	165	0.783	280.0	280.0
6		ALOC	165	1.110	280.0	280.0
7		ALOC	165	0.159	280.0	280.0
8		ALOC	165	0.547	280.0	280.0
9		ALOC	165	1.071	280.0	280.0
10		ALOC	165	1.300	280.0	280.0
11		ALOC	165	0.238	280.0	280.0
12		ALOC	165	0.257	280.0	280.0
13	1	ALOC	165	0.774	280.0	196.0
14		ALOC	165	2.031	196.0	196.0
15	2	ALOC	165	1.141	196.0	182.0
16	3	ALOC	165	1.156	182.0	154.0
17		ALOC	165	2.689	154.0	154.0
18		CV	250	0.317	154.0	154.0
19	4	ALOC	95	0.758	154.0	98.0
20		ALOC	95	0.324	98.0	98.0
21		ALOC	95	1.162	98.0	98.0
22		ALOC	95	2.060	98.0	84.0
23		ALOC	95	1.342	22.0	84.0
24		ALOC	95	0.356	84.0	84.0
25	5	ALOC	95	2.017	84.0	28.0
26		ALOC	95	0.540	28.0	14.0
27		ALOC	95	1.287	14.0	7.0
28		ALOC	95	1.250	7.0	0.0

(2) 시뮬레이션 결과 및 평가

마이크로소프트사의 엑셀(Excel)을 이용하여 개발한 평가 시스템의 프로그램은 총 46개의 시트를 기본 메뉴로 하여 서로 간에 연계하여 각종 계산을 수행할 수 있도록 하였다. 또한, 이 시트들을 효율적으로 관리하거나 연계 계산을 수행할 수 있도록 VBA(Visual Basic Application)를 이용하여 총 11개의 모듈 및 88개의 서브 모듈을 개발하였다. 그림 17은 평가시스템의 메뉴 화면이다.

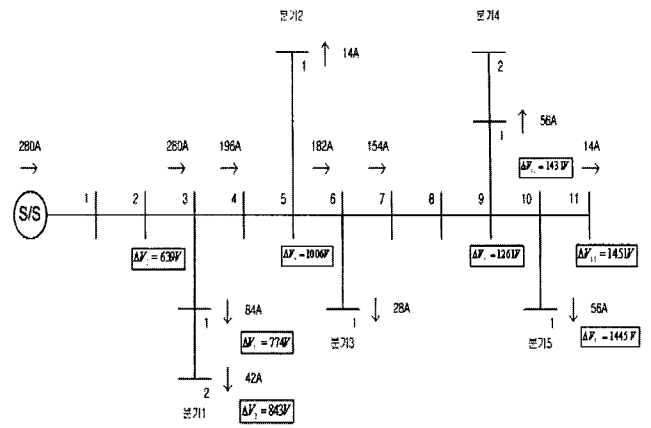


그림 16 22.9kV 모델 배전계통 (축약 후)
 Fig. 16 Simplified distribution system (22.9kV)

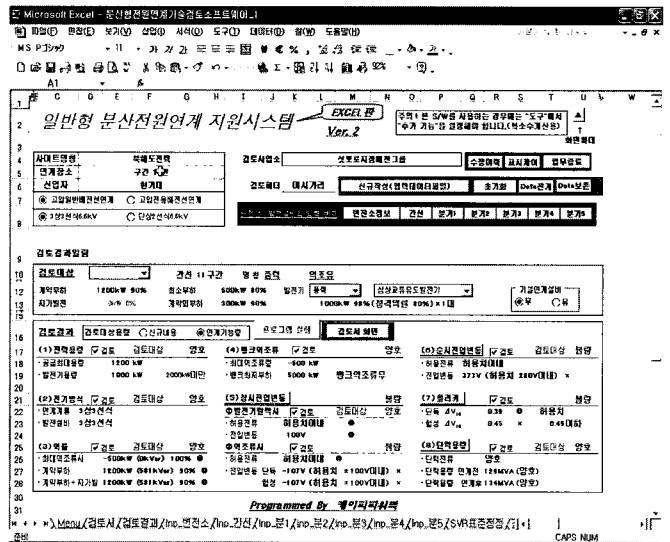


그림 17 평가시스템의 메인 화면
 Fig. 17 Main menu of evaluation system

그림 17은 정상상태 시의 구간별 전압강하 및 주상변압기 탭 운용 지역뿐만 아니라 발전기 탈락시의 구간별 전압변동 및 연계가능 적합여부 판정결과를 출력한다. 또한, 유도발전기 기동시의 구간별 전압변동 및 연계가능 적합여부 판정결과와 역 조류 발생량에 의한 구간별 전압변동 및 연계가능 적합여부 판정결과를 상세하게 출력할 수 있다. 한편, 표 4는 그림 16의 모델 배전계통의 11번 노드에 1MW 용량의 유도발전기 형식의 풍력발전기가 도입되는 경우를 상정한다. 이때 계통으로 흘러나가는 역 조류량이 분산전원 출력의 50%인 경우(5MW)에는 분산전원 연계 시에 아무런 문제가 발생하지 않지만, 90%(9MW) 이상의 역조류가 계통에 방출되면 역 조류에 의한 고압선의 전압변동이 한계치(111V)를 초과하게 된다. 따라서 다른 수용가의 전압을 허용치를 벗어나게 할 가능성이 있으므로 본 평가시스템은 “분산전원의 연계 불가능”이라는 판정을 내리게 된다. 마찬가지로 9번과 10번 노드에서도 상기와 동일한 결과를 얻을 수 있다. 따라서 본 논문에서 개발한 평가시스템은 “연계 불가능”이라는 판정을 사전에 제시하여, 분산전원 도입 초기단계부터 도입 용량을 줄

이든가, 도입 장소를 다른 위치(1번 - 8번 노드)에 설치해야 한다는 평가와 대책을 제시해 준다. 이와 같이 본 평가시스템의 사전 검토에 의하여 분산전원 설치자와 운용자는 도입 후에 발생하는 문제점을 사전에 미리 예방할 수 있을 뿐만 아니라 설계 변경이나 출력감소 등에 의한 경제적인 이익도 얻을 수 있게 된다.

표 4 역 조류의 양을 파라미터로 분석한 경우

Table 4 Results for parameter of reverse power flow

평가 항목	Case I		Case II		Case III		비고 (연계 기준)		
	대책 전	대책 후	대책 전	대책 후	대책 전	대책 후			
역률 (역 조류)	불량 (-500kW, 578kVar, 65%)	양호 (-500kW, 0kVar, 100%)	불량 (-300kW, 728kVar, 38%)	양호 (-300kW, 0kVar, 100%)	불량 (-700kW, 428kVar, 85%)	양호 (-700kW, 100kVar, 99%)	지상, 90%이상		
상시 전압 변동	역 조류	양호 (80V)	양호 (80V)	불량 (-78V)	양호 (152V)	양호 (-47V)	양호 (15V)	양호 (-81V)	111V 미만
	발전기 탈락	양호 (86V)	양호 (86V)	양호 (86V)	양호 (86V)	양호 (86V)	양호 (86V)	양호 (86V)	
순시전압 변동(기동/사고시)	불량 (515V)	불량 (515V)	불량 (515V)	불량 (515V)	불량 (515V)	불량 (515V)	불량 (515V)	385V 미만	
플리커 (500kW)	양호 (0.29)	양호 (0.29)	양호 (0.29)	양호 (0.29)	양호 (0.29)	양호 (0.29)	양호 (0.29)	0.45V 미만	
단락용량 (연계 후)	양호 (503MVA)	양호 (503MVA)	양호 (503MVA)	양호 (503MVA)	양호 (503MVA)	양호 (503MVA)	양호 (503MVA)	1000MVA 미만	
연계적합 여부	연계불가능	연계불가능 (기동전류 억제 필요)	연계불가능	연계불가능 (기동전류 억제 필요)	연계불가능	연계불가능 (기동전류 억제 필요)	연계불가능		

(주) Case I : 11번 노드에 1MW의 풍력이 도입되어, 역 조류가 50%, 계약 외 부하전력 30%인 경우, Case II : 11번 노드에 1MW의 풍력이 도입되어, 역 조류가 30%, 계약 외 부하전력 30%인 경우, Case III : 11번 노드에 1MW의 풍력이 도입되어, 역 조류가 70%, 계약 외 부하전력 30%인 경우

표 5는 분산전원의 도입 용량을 변화시켜 분석한 결과이다. 분산전원의 용량이 1MW와 0.8MW의 경우에는 분산전원의 도입에 의하여 역률문제와 순시전압변동에서 문제가 발생하여 계통연계가 불가능한 것으로 판정되었다. 역률 문제의 경우 적절한 역률보상장치를 설치하여 역률을 보상하면 문제를 해결할 수 있다. 또한, 분산전원 용량을 0.6MW 정도로 줄여서, 기동 전류의 크기를 작게 하면 기준 값을 넘지 않는다. 따라서 분산전원이 선로 말단에 연계되는 경우 용량은 0.6MW 이내로 하고, 적절한 용량을 갖는 역률보상장치를 설치하여야 특별한 문제가 없이 연계할 수 있음을 알 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서 제안한 계통연계 기술평가 알고리즘은 분산전원을 배전계통에 연계하는 경우 발생할 수 있는 기술적인 문제를 편리하고 손쉽게 해결할 수 있는 것이다. 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

표 5 분산전원 도입용량을 파라미터로 한 경우

Table 5 Results for parameter of DG capacity

평가 항목	Case I		Case II		Case III		비고 (연계 기준)	
	대책 전	대책 후	대책 전	대책 후	대책 전	대책 후		
역률 (역 조류)	불량 (-500kW, 578kVar, 65%)	양호 (-500kW, 0kVar, 100%)	불량 (-300kW, 537kVar, 49%)	양호 (-300kW, 0kVar, 100%)	불량 (-100kW, 497kVar, 20%)	양호 (-100kW, 0kVar, 100%)	지상, 90%이상	
상시 전압 변동	역 조류	양호 (80V)	양호 (80V)	양호 (100V)	양호 (-47V)	불량 (120V)	양호 (-16V)	111V 미만
	발전기 탈락	양호 (86V)	양호 (86V)	양호 (86V)	양호 (86V)	양호 (86V)	양호 (86V)	
순시전압 변동(기동/사고시)	불량 (534V)	불량 (534V)	불량 (412V)	불량 (412V)	양호 (309V)	양호 (309V)	385V 미만	
플리커 (500kW)	양호 (0.29)	양호 (0.29)	양호 (0.29)	양호 (0.29)	양호 (0.29)	양호 (0.29)	0.45V 미만	
단락용량 (연계 후)	양호 (503MVA)	양호 (503MVA)	양호 (503MVA)	양호 (503MVA)	양호 (503MVA)	양호 (503MVA)	1000MVA A 미만	
연계적합 여부	연계불가능	연계불가능 (기동 전류억제 필요)	연계불가능	연계불가능 (기동 전류억제 필요)	연계불가능	연계불가능		

(주) Case I : 11번 구간에 1 MW의 풍력이 도입되어, 역 조류가 50%, 계약 외 부하전력 30%인 경우, Case II : 11번 구간에 0.8 MW의 풍력이 도입되어, 역 조류가 50%, 계약 외 부하전력 30%인 경우, Case III : 11번 구간에 0.6 MW의 풍력이 도입되어 역 조류가 50%, 계약 외 부하전력 30%인 경우

(1) 배전계통의 최적 전압조정을 위해, 배전용변전소 ULTC와 선로 전압조정장치를 협조 운용하는 최적 전압조정 알고리즘을 제시하였다. 배전계통의 최적 전압조정을 위해 제안된 기법이 기존의 기법에 비해 평가지수가 우수하여 규정전압에 더 가깝게 유지됨을 알 수 있었고, 양질의 수송가 전압 공급에 도움이 됨을 확인하였다. 또한, 전압조정장치 탭 동작횟수를 비교한 결과, 제안된 기법이 ULTC 탭 동작횟수를 약간 감소시키고 선로전압조정장치의 탭 동작횟수를 현격히 감소시킴을 확인하였다. 또한 시간대별 탭 위치변동 폭도 더 완만함을 확인하였다.

(2) 본 논문에서 개발한 평가시스템은 배전계통이나 분산전원을 잘 모르는 비전문가라 할지라도 분산전원의 도입에 대한 평가와 분석 결과를 산출할 수 있는 표준 계통과 판정 알고리즘을 근거로 한 시스템이다. 즉, 정상 시에 분산전원의 도입에 의한 전압변동이 고압선에서 111V 이내로 유지하고, 비상(기동 시나 탈락 시)시에는 385V를 유지하면 수송가의 전압을 항상 허용전압 이내로 유지할 수 있다는 알고리즘을 제시하였다. 이것은 기존의 평가방법이 평가자의 개인 능력과 취득할 수 있는 자료에 따라 상이한 평가와 결과를 산출하는데 비하여, 분산전원 도입에 따른 공평한 평가를 내릴 수 있다는 큰 장점을 가진다.

(3) 기존의 4상한만 이용한 간략 전압강하계산식의 단점을 보완하여, 역 조류를 고려할 수 있는 전압강하 계산 알고리즘을 제시하였다. 분산전원 연계지점에서 역률과 조류방향에

따라 4개의 상한을 이용하여 전압강하와 전압상승을 계산할 수 있도록 알고리즘을 개발하여 계산 정도를 향상시켰다.

(4) 본 논문에서 개발한 평가시스템의 사전 검토에 의하여, 분산전원 설치자와 운용자는 도입 후에 발생하는 문제점을 사전에 미리 예방할 수 있을 뿐만 아니라 설계 변경이나 출력감소 등에 의한 경제적인 메리트도 얻을 수 있다. 따라서 본 논문에서 개발한 평가시스템은 분산전원을 제조하는 메이커나 운용하는 전기사업자의 업무의 효율성을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 수용가의 전력품질 향상에도 기여할 수 있다고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] “분산전원 계통연계가이드라인”, JEC4201, 일본, 2002.4
- [2] “풍력발전 계통연계 기술지침 및 연계선로 운영기준 제정에 관한 연구”, 한전 전력연구원, 2004
- [3] “배전전압관리 개선에 관한 연구”, 한전 전력연구원, 2003.10
- [4] “배전전압관리 매뉴얼”, 일본 북해도전력, 2003.1
- [5] “태양광발전의 배전계통 연계 알고리즘 개발에 관한 연구”, 2005 한국산학기술학회, 춘계 학술발표논문집, 노 대석 외 3인, 2005.5
- [6] “분산형전원 배전계통 연계 평가시스템 알고리즘 개발”, 2005 한국산학기술학회, 춘계 학술발표논문집, 노 대석 외 3인, 2005.5
- [7] “분산형전원 계통연계 기술평가시스템 알고리즘에 관한 연구”, 대한전기학회 대전지부 워크샵, 노 대석 외 2인, 2005. 6.15
- [8] “태양광발전의 계통연계 기술지원시스템 개발”, 대한전기학회, 하계학술논문집, 노 대석 외 3인, 2005.7.18
- [9] Daeseok Rho, Eunmi Lee, “A study on the Optimal Operation of Line Voltage Regulator(SVR) on Distribution Feeders”, IFAC 논문집 III권, 2003
- [10] Daeseok Rho, Horiyuki Kita, Kenichi Nishiya and Hasegawa Jun, “Voltage Regulation Methods Based on an Extended Approach and Neural Networks for Distribution System interconnected with DSG systems”, 일본전기학회지B, 117권 3호, 1997년3월

저 자 소 개



노 대 석 (盧 大 錫)

1962년 2월 21일생. 1985년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 3월 일본 북해도대학교 전기공학과 졸업(공학박). 1987년~1998년 한국전기연구소 선임연구원 근무. 1999~현재 한국기술교육대학교 정보기술공학부 전기전공 부교수.

Tel : 041-560-1167
Fax : 041-564-3261
E-mail : dsrho@kut.ac.kr



김 재 언 (金 在 彦)

1959년 7월 17일생. 1982년 한양대 공대 전기공학과 졸업, 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1984년3월1일~1998년8월31일 한국전기연구소 근무. 1996년 일본 교토대 전기공학과 졸업(공학박). 배전계통운용, MW급 전지전력저장시스템 설계 및 운용, 분산전원 계통연계 해석 및 운용, 복합에너지시스템, 자율분산배전계통, 전력품질 해석 및 진단, Custom Power Devices 등의 연구분야에 종사. 1998 ~ 현재, 충북대학교 전전컴공학부 부교수.

Tel : 043-261-2423
E-mail : jekim@chungbuk.ac.kr