2005년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2005. 7. 18~20

분산형전원 계통연계 기술검토 평가 S/W 개발에 관한 연구

박재호, 강민관, 노대석, 오용택, 홍상은*
한국기술교육대학교(케이피파워텍), 순천향대학교*

A study on the Development of Evaluation S/W in Distribution Systems Interconnected with Dispersed Generations

Jae-Ho Park, Min-Kwan Kang, Dae-Seok Rho, Yong-Taek Oh, Sang-Eun Hong*
Koera University of Technology and Education, SuncheonHyang University*

Abstract - 국가차원의 신 재생에너지 활성화 방안에 따라 지자체 등의 분산형전원 시설계획이 점차 증가하고 있으나, 아직 우리나라에는 분산형전원의 계통연계에 대한 체계적인 기술지침이 초기 단계에 있거나 제정 중에 있어서, 계통연계와 관련하여 발전사업자와 전력회사간의 이해가 상충되는 등 문제점이 발생되고 있다. 현재 분산형전원 단지의 도입계획은 비교적 많은 반면에 이에 대한 해석방법과 기술적인 평가방안이 구체적으로 제시되어 있지 않아, 설치자(시도 및 지자체)와 각 배전지사에서 많은 혼돈과 어려움을 겪고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 태양광, 풍력 등의 분산형전원이 배전계통에 도입되는 경우, 기술적인 평가 알고리즘을 제시하고자 한다.

1. 서 론

일본의 전력회사에서는 최근 풍력발전이나 온 사이트형 분산형전원이 배전선에 연계하는 경우, 필요한 기술요건을 만족하는가를 단시간에 검토할 수 있는 시스템을 개발하여 도입하였다고 소개하고 있다(일본 전기신문 7월 26일자). 이미 국외에서는 분산형전원의 계통연계 가이드라인을 제정하여 시행하고 있으며, 배전계통의 도입에 대한 원활한 업무를 수행하기 위하여 분산형전원에 대하여 비전문가인 담당자라도 용이하게 평가할 수 있는 새로운 시스템을 개발하여 사용하고 있다. 이 시스템의 특징은 담당자가 PC에서 전주번호로 구간을 지정하면 그 구간의 계통도가 표시되고, 신설되는 분산형전원의 위치와 출력을 입력하면 필요한 기술검토사항의 계산을 바로 구할 수 있으며, 검토결과가 불량이면 적색으로 표시되고 연계가능용량도 산출되는 시스템이다. 한편, 우리나라에서는 분산형전원의 도입 시 배전계통에 끼치는 영향과 문제점에 대한 분석이 없이, 전원의 건설에 대한 기본 설계가 이루어지고 있어 배전계통의 전력품질, 보호협조 등의 운용상의 문제점이 야기될 가능성이 높으며, 각 배전지사에 있는 계통운영 관리자의 운용상의 고충문제가 부각될 것으로 예상된다. 또한, 해당 배전지사에서는 전력품질 등의 측면에서 일반수용가에 미치는 영향을 우려하고 있어, 대규모 분산형전원의 단지가 연계된 배전계통의 일반수용가의 민원이 발생될 소지가 있다. 따라서 본 논문에서는 태양광, 풍력 등의 분산형전원의 배전계통 연계시의 기술검토에 대한 평가 알고리즘을 개발하고자 한다.

2. 분산형전원 계통연계 가이드라인

분산형전원이 배전계통에 연계되는 경우, 계통연계 기술요건 가이드라인 및 기술지침에 근거하여, 연계에 의한 공급 신뢰도 및 전력 품질의 면에서 다른 수용가에 악 영향을 끼치지 않도록 표 1과 같은 기술요건의 검토를 실시한다.

표 1. 연계 검토항목과 내용

검토항목	검토내용
전력용량	전력용량(발전설비출력 및 수전계약전력 중 큰 것)이 원칙적으로 3 MW 미만일 것
전기방식	발전설비와 연계하는 계통의 전기방식은 동일할 것
역율	수전점의 역률을 산출하여, 적정치(85%이상, 지상역률)를 유지할 것
뱅크 역조류	최대 역조류량을 산출하여, 뱅크 역조류가 발생하지 않을 것
상시전압변동	발전기 탈락시 및 역조류 발생시의 계통상태를 산출하여, 적정전압을 일탈 하지 않고, 또한 전선의 허용전류를 초과하지 않을 것
순시전압변동	발전기 병해열시 계통상태를 산출하여, 적정전압을 일탈하지 않고, 또한 전선의 허용전류를 초과하지 않을 것
플리커	발전설비의 출력변동 및 빈번한 병, 해열에 따른 플리커를 산출하여, 한도치 (0.45% 이하) 이내에 있을 것
단락용량	발전설비 연계후의 단락용량을 산출하여, 타수용가나 전력회사의 차단 용량을 초과하지 않을 것
연계가능용량	상기 검토항목에서 연계불가로 된 경우, 연계가능용량과 필요한 대책 등을 산출함.

3. 분산형전원의 배전계통 해석 알고리즘

방사상 배전계통에서, 수용가 전압은 그림 1과 같이 배전용변전소의 ULTC에 의해서 우선 조정되고 다음에 고압 배전선로 상의 선로전압조정장치에 의해서 조정된다. 여기에 분산형전원이 연계되면 역조류를 고려한 배전계통 전압 해석 알고리즘이 요구된다.

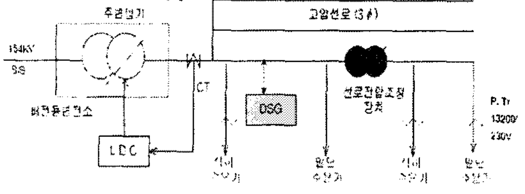

그림 1. 분산형전원이 도입된 배전계통 개념도

3.1 고압배전선의 부하상정

배전선을 주요 포인트(전선 경종 변경점, 분기 선로 접속점, 전압조정기 설치지 점 등)로 분할된 배전선을 "구간" 이라고 하며, 이것을 단위로 고압배전선의 부하를 상정한다. 그림 2와 같이, 고압, 저압의 최대부하의 전류

추정 값을 구간 단위로 합계하여 구간 부하를 산정하고, 각 구간 부하의 총화(추정 값)와 송출전류(계측 값)을 일치시키기 위하여 아래 식에 의해 송출전류를 배분하여 전압강하계산에 이용하는 구간 부하를 산출한다.

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

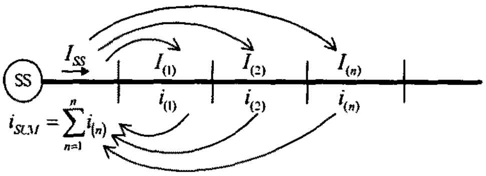

그림 2. 고압배전선의 구간 부하 상정 개념도

3.2 역조류 대응형 전압강하 계산식

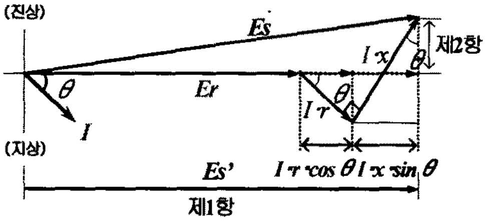

그림 3. 일반적인 전압강하 계산식

그림 3의 벡터도와 같이 일반적인 전압강하 계산식은 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$Es = \sqrt{\underbrace{\{Er + I(r\cdot\cos\theta + x\cdot\sin\theta)\}^2}_{\text{제1항}} + \underbrace{\{I(x\cdot\cos\theta - r\cdot\sin\theta)\}^2}_{\text{제2항}}}$$

상기의 식에서 2항은 1항에 비하여 적으므로 다음과 같이 간략 식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta V \doteqdot k \cdot I \cdot z$$
$$(k : 1\phi = 2\ ,\ 3\phi = 1)$$

상기의 식을 바탕으로 그림 4와 같이 평등부하분포와 말단집중부하분포를 고려하여 구간의 유출전류와 유입전류를 대입하면 다음 식을 얻을 수 있다.

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

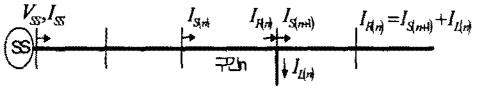

그림 4. n 구간의 전류분포

분산형전원은 역조류를 계통으로 방출하므로 그림 5와 같이 역률과 조류의 형태에 따라 각 상한의 전압강하 계산식이 구해질 수 있다. 기존의 전압강하계산식은 제4상한의 전압강하만이 존재하였지만, 역률과 조류의 형태에 따라 전압상승도 발생할 수 있다.

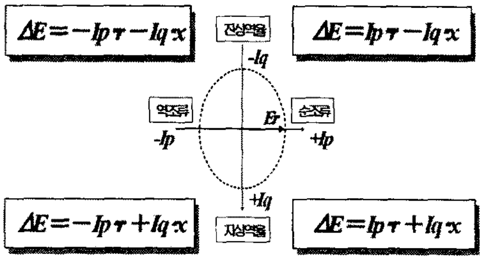

그림 5. 각 상한의 전압강하계산식

3.3 표준계통에 근거한 평가기준 채택

분산형전원이 배전계통에 연계되는 경우, 도입 적부의 판단은 평가하는 사람이나 자료에 따라 달라질 수 있다. 이를 방지하기 위하여 본 연구에서는 누구나 동일한 판단 결과를 얻을 수 있는 표준계통에 근거한 평가기준을 제시한다.

3.3.1 상시전압변동 평가기준

분산형전원의 역조류가 발생하는 경우, 배전계통의 상시 허용전압 변동폭을 구하면 다음과 같다.(그림 6 참조)

(가) 허용 변동폭 = 236V - 221V = 15V
(나) 주상변압기 탭 운용 폭 = 600V x (230V / 12600V) = 10.96V
(다) 나머지 허용 변동폭 = (15V - 10.96V) / 2 = 2.02V
(라) 상시전압변동시 허용범위 = 2.02V x (12600V / 230V) = 111V

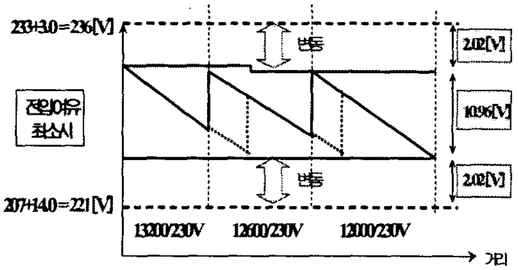

그림 6. 상시전압변동 허용 기준

3.3.2 순시전압변동 평가기준

분산형전원이 기동하거나 탈락하는 경우, 배전계통의 순시 허용전압 변동폭을 구하면 다음과 같다.(그림 7 참조)

(가) 허용 변동폭 = 236V - 221V = 15V
(나) 주상변압기 탭운용 폭 = 600V x (230V/ 12600V) = 10.96V
(다) 나머지 허용 변동폭 = (15V-10.96V)/2 = 2.02V
(라) 상시전압변동시 허용범위 = 2.02V x (12600V / 230V) = 111V
(마) 기기동작 최소전압 = 220V × 8% ≒ 202 [V] (2% : 옥내 전압강하 고려분)
(바) 저압측 허용전압 = 207V - 202V = 5V
(사) 고압측 환산전압 = 5V x (12600/230) = 274V

(아) 순시전압변동시 허용 범위 = 111V + 274V = 385V (1.8%)

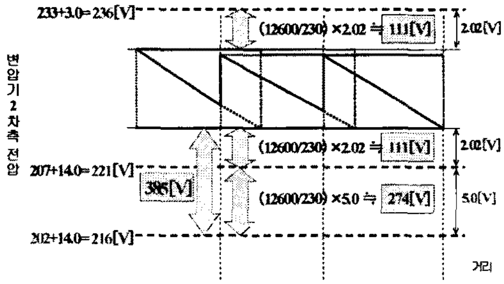

그림 7. 순시전압변동 허용 기준

3.4 단락용량 평가 방안

발전설비의 연계에 의한 배전계통의 단락용량은 다음과 같이 구할 수 있다.

(가) 사이트 내 설비의 %임피던스를 산출한다.
(나) 사이트내의 합성%임피던스를 그림 8의 등가회로로부터 산출한다.
(다) 배전선의 각 구간의 %임피던스를 산출한다.
(라) 상위계의 %임피던스를 산출한다.
(마) 단락점을 그림 9와 같이 계통 내에서 비켜놓아, 각 단락점에 있어서의 합성 %임피던스를 계산한다.
(바) 각 구간의 단락전류와 단락용량을 다음 식과 같이 구한다.

- 단락전류 : $I_S = \dfrac{100}{\%Z \times \sqrt{3} \times 22.9} \times 100[KA]$
- 단락용량 : $P_S = I_S \times \sqrt{3} \times 22.9[MVA]$

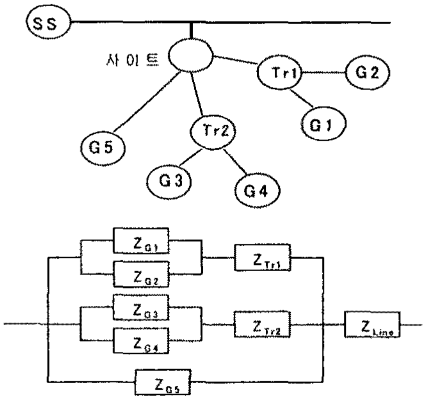

그림 8. 분산형전원 연계 계통의 임피던스 맵

4. 평가시스템 구축

본 연구에서는 그림 10과 같이 분산형전원의 배전계통 연계시의 적합여부를 판단하는 S/W를 제작하였다. 여기에서는 앞에서 제시한 알고리즘을 이용하여 Microsoft Excel, Macro와 Visual Basic을 이용하여 시스템을 제작하였다.

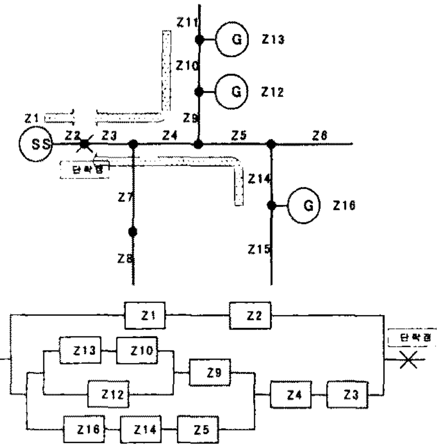

그림 9. 단락시 계통내의 등가회로

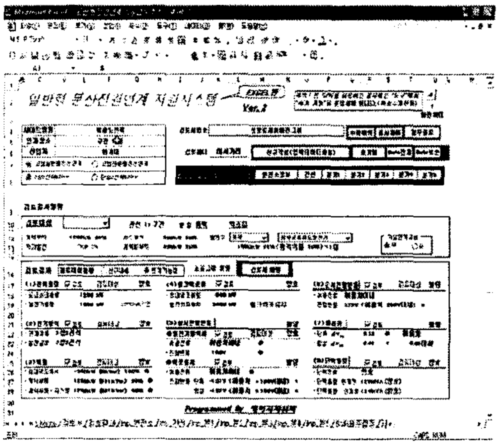

그림 10. 평가 S/W의 메인화면

5. 결 론

본 논문에서 제안한 알고리즘을 바탕으로 제작한 분산형전원 기술평가시스템은 분산형전원을 배전계통에 연계하는 경우 발생할 수 있는 기술적인 문제를 편리하고 손쉽게 해결할 수 있는 것이다. 따라서 분산형전원을 제조하는 업체나 시공, 감리하는 업체뿐만 아니라 배전계통 운용자에게 분산형전원의 계획 및 관리, 운용 업무에 효율적으로 활용할 수 있다고 기대된다.

< 참고문헌 >

[1] "분산형전원 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