

## 신재생에너지전원(태양광, 풍력)의 저압배전계통연계 자동평가시스템 개발

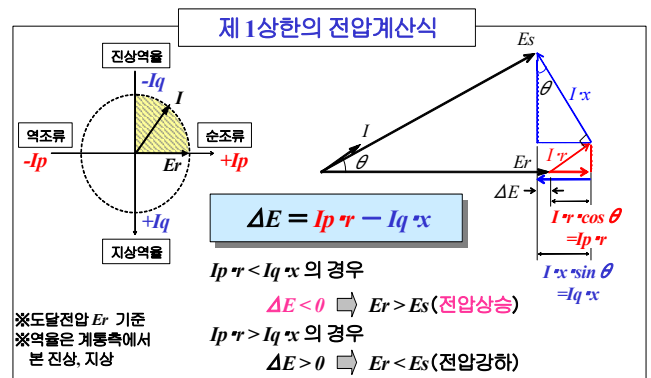
노 대석, 김 효진\*, 김 대식\*, 원 성호\*  
한국기술교육대, 한국전기공사협회

### Development of Automatic Evaluation System for Interconnection of Renewable Power Sources in Distribution Systems

Dae-Seok Rho, Hyo-Jin Kim\*, Dae-Sik Kim\*, Sung-Ho Won\*  
Korea University of Technology and Education, KECA\*

**Abstract** - 산업자원부에서는 국가에너지사업의 정책으로 지역 에너지사업 및 신·재생에너지 시범보급사업을 수행하고 있으며, 이에 따라 대규모 신재생에너지전원(태양광, 풍력, 열병합 등) 단지가 활발하게 조성되고 있는 상황이다. 그러나 신재생에너지전원의 설치자 측에서는 설비비용의 절감을 이유로 일반배전선로(고압 및 저압배전선로)에 직접적인 연계를 요구하고 있으나, 한편 측에서는 계통운용의 어려움으로 인하여 까다로운 계통연계 지침(가이드라인)을 정하여, 한전 측과 전기사업자(전기공사업자 및 발전 사업업자)간의 이해가 상충되는 부분이 발생하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 신재생에너지전원의 발전업자와 전기공사업자의 측면에서는 효율적인 공사 및 시공을 위하여, 배전계통 연계와 관련된 복잡한 기술적인 계통연계 지침을 일일이 해석하지 않더라도, 연계 적합여부를 손쉽게 자동적으로 판단해주는 평가시스템을 개발하였다.

여기서,  $I_{sp}(n)$  : n 구간의 유입 유효전류,  $I_{rp}(n)$  : n 구간의 유출 유효전류,  $I_{sq}(n)$  : n 구간의 유입 an효전류,  $I_{rq}(n)$  : n 구간의 유출 무효전류, k : 비례상수, r : 구간 저항, x : 구간 리액턴스



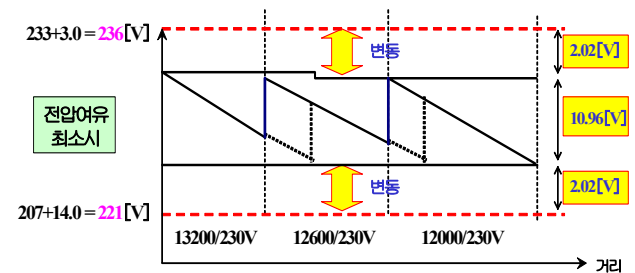
〈그림 1〉 제 1 상한의 전압강하 계산식

### 3. 고/저압배전선로의 전압변동 평가 알고리즘

분산전원이 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. 신재생에너지전원의 출력이 배전계통으로 흘러나가는 역 조류가 발생하는 경우, 배전계통의 정상시의 허용전압 변동 폭을 구하면 다음과 같다.

- (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

여기서 111V는 고압배전선 측의 상시의 전압변동 허용 폭으로 분산전원이 도입되는 경우 이 값 내에 전압변동 폭을 유지하면 연계 피더의 모든 수용가에게 적절한 전압을 유지할 수 있다는 것을 의미한다. 이 값은 분산전원 연계 시에 연계 적합여부를 판단하는 기준이 되는 매우 중요한 수치이다. [그림 2]는 이에 대한 개념도를 나타낸 것이다.



〈그림 2〉 정상시 전압변동 허용 기준 (저압측 기준)

### 1. 서 론

최근, 신재생에너지전원의 발전사업자 및 공사업체들은 배전계통에 태양광발전기를 시공할 때, 계통연계에 따른 기술적 항목(연계방식, 용량, 역조류 전압변동, 순시 전압변동, 고조파, 보호협조 등)에 대한 상세한 검토 없이 연계공사를 추진하여, 많은 문제점에 부딪히고 있는 실정이다. 이들 복잡한 기술적 고려사항을 정확하게 파악하기 위해서, 한전에서 정한 계통연계기술지침과 관련 해설서 등을 모두 이해해야 하는데, 발전사업자나 시공업자가 수권의 분량을 모두 해석하고 이해하기에는 어려운 점이 있다. 따라서 신재생에너지전원의 설치 공사 후에 많은 문제점이 유발되고 있는 실정이다. 예를 들어, 충남 천안 목천의 한 해비태트 마을에서는 단일 저압선로에 태양광이 30대가 도입되어, 다른 수용가에게 전압상승을 유발하는 문제점이 발생한 사례가 보고되고 있다. 따라서 본 연구에서는 신재생에너지전원(이하 분산전원)의 배전계통 연계시에 예상되는 기술적인 문제점을 자동적으로 검토, 분석할 수 있는 배전계통연계 적합여부 자동평가시스템을 개발하였다.

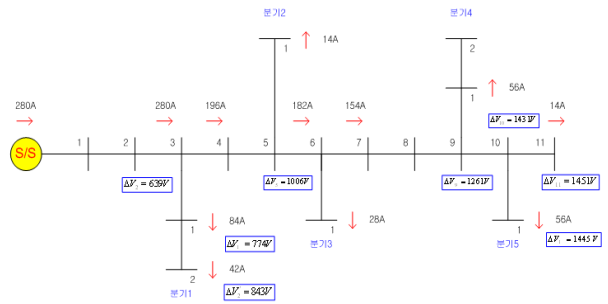
### 2. 역조류 대응형 전압강하계산 알고리즘

종래, 배전계통의 조류는 전원 측에서 부하 측으로의 단 방향 으로 가정하여 전압강하를 계산해도 큰 문제점이 없었다. 그러나, 역 조류를 발생하는 분산전원이 연계되는 경우, 조류 방향(유효전력의 방향)과 무효전력을 적절하게 반영해서 전압강하뿐만 아니라 전압상승도 계산할 필요가 있게 되었다. 따라서 본 연구에서는 부하전류( $I$ )를 유효전류 분( $I_p$ )과 무효전류 분( $I_q$ )으로 분해하고, 조류의 방향과 역류를 고려하여 4개의 상한에 대한 적절한 전압강하 계산을 수행하는 알고리즘을 개발하였다. [그림 1]과 같이 역 조류와 지상역류가 존재하지 않으며, 순 조류와 전상 역류만을 고려하여 계산하는 영역이다. 따라서 전압상승과 전압강하가 모두 존재 가능한 영역이다. 즉 전상역류의 크기에 따라 전압상승이나 전압강하가 모두 나타날 수 있다.

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

$$\Delta V_{(n)} = k \cdot \left\{ \frac{I_{Sp}(n) + I_{Rp}(n)}{2} \cdot r_{(n)} + \frac{I_{Sq}(n) + I_{Rq}(n)}{2} \cdot x_{(n)} \right\} \quad (1)$$

이 그림에서 점선으로 표시된 수용가의 허용전압 범위는 다음과 같은 절차에 의하여 산정된 값이다. 즉, 전압관리 지침에서 수용가 허용전압(±6%, 207V - 233V)을 주상변압기 2차측 직하 전압으로 환산한 것이다. 먼저 221V는 207V에 14V(주상변압기 자체전압 강하분 + 저압선 전압강하분 + 인입선 전압강하분)를 더한 값으로 저압 측의 전체 전압강하분을 약 7% 정도로 고려하였다. 이것은 주상변압기 2차측에서 221V 정도를 유지하면 저압선 최 말단의 수용가의 전압도 하한치를 벗어나지 않음을 의미한다. 또한, 236V는 233V에 3V(주상변압기 자체전압 강하분 + 인입선 전압강하분)를 더한 값으로 저압측 전압강하로 1.5% 정도를 고려한 값이다. 이것은 주상변압기 2차측에서 236V 정도를 유지하면 가장 직하에 존재하는 수용가의 전압도 상한치를 벗어나지 않음을 의미한다. 한편, 주상변압기 탭 운용폭 600V는 주상변압기의 탭 운용 가능영역에서 산출된 값(615V)에 근거하여 가중치(여유분)를 두어 산정한 값이다.



〈그림 4〉 22.9kV 모델 배전계통

4. 신재생에너지전원의 계통연계 자동평가시스템의 구축

마이크로소프트사의 엑셀(Excel)을 이용하여 개발한 평가 시스템의 프로그램은 총 50개의 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 14개의 모듈 및 92개의 서브 모듈을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 평가시스템의 분석 프로그램은 다음과 같은 기능을 가지도록 설계하였다.

- 사용하기 편리한 MMI 기능 도입
- 알고리즘의 프로그램 코딩 및 디버깅 기능
- Visual Basic과 Excel의 Macro를 이용한 S/W 제작
- 사용자 S/W 수정 기능

그림 3은 본 연구에서 제작한 자동 평가시스템의 메뉴 화면을 나타낸 것이다.

분산전원의 배전계통 연계 기술평가 자동시스템

EXCEL 판  
Ver. 2.0



〈그림 3〉 자동평가시스템의 메인 메뉴 화면

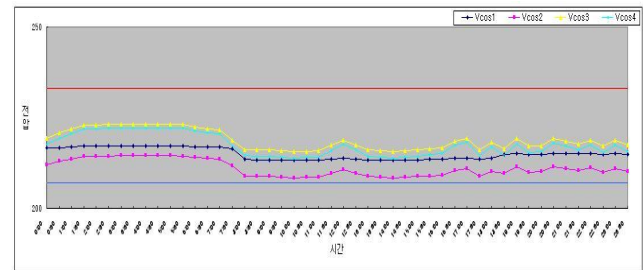
5. 시뮬레이션 해석 및 결과 분석

그림 4는 모델 배전계통이고, 표 1은 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. 한편, 그림 5는 분산전원이 도입된 경우의 수용가의 전압분포를 나타낸 것으로 적절한 분포를 나타냄을 알 수 있다.

〈표 1〉 분산전원 도입용량을 파라미터로 해석한 경우

평가 항목	Case I		Case II		Case III		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
	역 조류 (80V)	양호 (-78V)	양호 (100V)	양호 (-47V)	불량 (120V)	양호 (-16V)	
상시 전압 변동	발진 (86V)	양호 (86V)	양호 (86V)	양호 (86V)	양호 (86V)	양호 (86V)	111V 미만
	발락	양호 (86V)	양호 (86V)	양호 (86V)	양호 (86V)	양호 (86V)	
순시전압 변동(기동)	불량 (534V)	불량 (534V)	불량 (412V)	불량 (412V)	양호 (309V)	양호 (309V)	385V 미만
	단락용량 (연계 후)	양호 (503MVA)	양호 (503MVA)	양호 (503MVA)	양호 (503MVA)	양호 (503MVA)	
연계적합 여부	연계불가능	연계불가능	연계불가능	연계불가능	연계불가능	연계가능	

(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



〈그림 5〉 11번 구간의 말단 수용가의 전압분포

6. 결 론

본 논문에서 개발한 평가시스템의 사전 검토에 의하여, 분산전원 설치 공사업체와 제조업자는 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 설치사업자의 업무 효율성을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 수용가의 전력품질 향상에 크게 기여할 수 있다고 기대된다.

본 논문은 한국전기공학회사의 연구비지원사업(KECA-2007-03)에 의하여 수행되었음.

[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 매뉴얼”, 일본 북해도전력, 2005.1