

**분산전원 배전계통연계 기술검토 시스템 개발**

윤기갑\*, 채우규\*, 김상준\*, 박창호\*, 정원욱\*  
\*전력연구원

**The Development of Analysis System for Distributed Generation Interconnected to The Distribution System**

Gi-gab Yoon\*, Woo-kyu Chae\*, Sang-joon Kim\*, Chang-ho Park\*, Won-wook Jung\*  
\*Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - 태양광 발전, 풍력발전 등과 같은 신재생에너지 전원은 주로 수용가에 가까운 배전계통에 연계되어 운영되고 있다. 이들이 도입된 배전계통은 기존의 단방향 공급형태와는 달리 부하와 전원이 혼재되어 운용되고 있으며 양방향 전력공급의 형태로 되기 때문에 전력품질 및 보호협조 측면에서 배전계통에 연계시 복잡한 기술적인 검토가 요구되고 있다. 현재의 경우 수작업이나 EMTDC Tool에 의해 기술검토가 이루어지고 있으나 신뢰성, 정확성, 객관성의 측면에서 다소 미흡한 것이 사실이다. 따라서 한국전력 공사에서 운영하고 있는 신배전정보시스템(NDIS)를 이용하여 8가지 검토항목인 전력용량, 전기방식, 역률, 병크역조류, 상시·순시 전압변동, 플리커, 단락용량, 연계가능 용량을 객관적으로 검토할 수 있는 시스템을 개발하였다.

**1. 서 론**

태양광발전, 풍력발전 등과 같은 신·재생에너지전원은 기존의 전원에 비하여 소규모 전원으로 관계로 주로 수용가에 가까운 배전계통에 도입되어지고 있으며, 그 특성상 배전계통과 연결된 상태에서 운전함으로써 보다 안정된 전력의 확보 및 전력설비의 효율적인 활용, 자원의 효율적인 활용 등의 이점을 얻을 수 있다. 한편, 태양광과 풍력 등의 자연에너지를 이용한 신·재생에너지전원은 일정한 출력을 내는 기존의 전원보다 기후나 온도, 지형적인 영향을 많이 받는 간헐적인 전원이므로, 이들이 도입된 배전계통은 기존의 단 방향 공급형태의 배전계통과는 달리 부하와 전원이 혼재되어 운용되는 형태로 되기 때문에 배전계통의 전압품질에도 좋지 않은 영향을 미치는 것이 자명하다. 따라서, 분산형전원이 도입된 배전계통은 기존의 부하만이 존재하는 배전계통과는 달리, 부하와 전원이 혼재되어 운용되는 형태로 되기 때문에 풍력단지과 같은 대규모의 발전설비가 한 배전선로에 집중적으로 도입되는 경우 예상되는 문제점을 검토, 분석해야 한다. 본 논문에서는 전력연구원에서 개발한 분산전원 배전계통연계 기술검토 시스템의 주요 알고리즘 및 기능에 대하여 기술하였다.

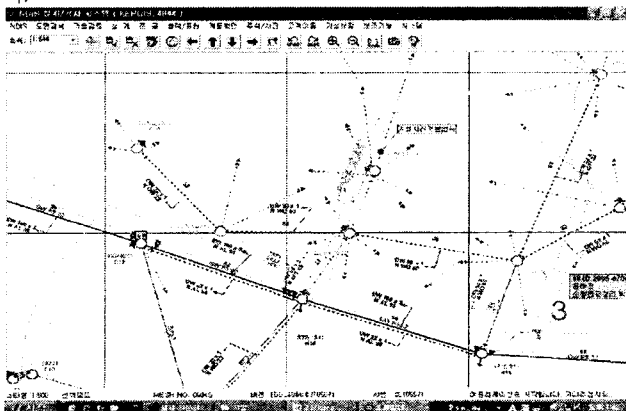
**2. 본 론**

**2.1 분산전원 배전계통연계 기술검토 시스템의 주요 알고리즘**

본 절에서는 분산전원 배전계통연계 기술검토 시스템에서 사용된 각종 데이터(GIS정보, 배전선로 데이터 등)를 보유하고 있는 한국전력공사의 NDIS(신배전정보시스템) 및 시스템에서 사용한 주요 알고리즘에 대하여 기술하였다.

**2.1.1 NDIS를 활용한 배전설비 데이터 취득**

NDIS는 그림1과 같이 GIS정보를 이용하여 지형도와 배전설비를 컴퓨터 화면에 표시하고, 배전선로 설계 및 배전설비 관리를 쉽게 할 수 있도록 제작한 한전의 배전정보 시스템이다. 또한, 공사 설계에서 완료까지의 공정을 리얼타임으로 관리할 수 있으며, 공사데이터를 기초로 설비데이터를 자동으로 갱신할 수 있으며, 설비데이터를 특정포맷의 전자파일로 출력할 수 있다.



**<그림 1> 한국전력공사의 NDIS(신배전정보 시스템)**

NDIS의 정보를 이용하여 분산전원의 위치를 정확하게 관리하고 파악할 수 있다. 현재는 NDIS의 데이터를 추출 및 가공하여 이용하고 있으나 향후 프로그램의 완성도가 높아지고 활용성이 높아진다면 NDIS상에서 운용이 가능하도록 할 예정이다.

**2.1.2 배전계통의 전압강하 계산**

일반적으로 알려진 전압강하 계산식은 다음과 같다.

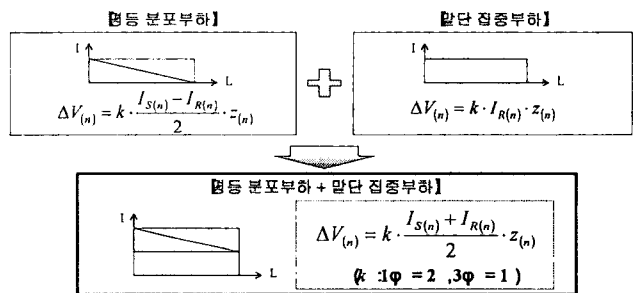
$$\Delta V \approx k \cdot I \cdot Z \quad \text{[수식.1]}$$

(k: 1φ=2, 3φ=1)

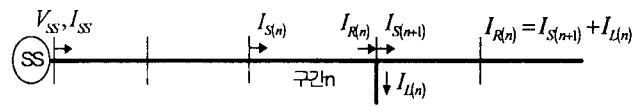
본 시스템에서는 [수식.1]을 바탕으로 부하분포에 따른 전압강하 정확도를 향상하기 위하여, 그림2와 같이 평등 부하분포와 말단집중 부하분포를 동시에 고려하고, 그림3과 같이 구간의 유출전류와 유입전류를 고려하면 [수식.2]와 같은 일반적인 전압강하 계산식을 구할 수 있다.

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

$I_{Sp(n)}$ : n 구간의 유입 유효전류,  $I_{Rp(n)}$ : n 구간의 유출 유효전류,  
 $I_{Sq(n)}$ : n 구간의 유입 무효전류,  $I_{Rq(n)}$ : n 구간의 유출 무효전류



**<그림 2> 부하분포를 고려한 전압강하 계산식**



**<그림 3> n구간의 전류 분포**

**2.1.3 상시전압변동 평가기준**

분산형전원의 출력이 배전계통으로 흘러나가는 역조류가 발생하는 경우, 배전계통의 상시전압변동 폭을 구하면 다음과 같다.

- ① 허용 변동폭 = 236V - 221V = 15V
- ② 주상변압기 탭 운용 폭 = 600V x (230V / 12600V) = 10.96V
- ③ 나머지 허용 변동폭 = (15V - 10.96V) / 2 = 2.02V
- ④ 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.

**2.1.4 순시전압변동 평가기준**

분산형전원이 기동하거나 탈락하는 경우, 배전계통에 미치는 순시(2초) 허용전압 변동 폭을 구하면 다음과 같다.

- ① 허용 변동 폭 = 236V - 221V = 15V
- ② 주상변압기 탭운용 폭 = 600V x (230V / 12600V) = 10.96V
- ③ 나머지 허용 변동 폭 = (15V - 10.96V) / 2 = 2.02V

- ④ 상시전압변동 시 허용범위 =  $2.02V \times (12600V / 230V) = 111V$
- ⑤ 기기동작 최소전압 =  $220V \times 8\% = 202 [V]$  (2% : 육내 전압강하 분)
- ⑥ 저압 측 허용전압 =  $207V - 202V = 5V$
- ⑦ 고압 측 환산전압 =  $5V \times (12600/230) = 274V$
- ⑧ 순시전압변동 시 허용 범위 =  $111V + 274V = 385V$  (1.8%)

여기서 385V는 배전계통에 연계되어 운용 중인 분산전원이 기동하거나 탈락하는 과도적인 경우에 대한 고압배전선 측의 전압변동 허용 폭이다. 즉, 분산전원의 연계 시에 이 값 이내에 전압변동 폭을 유지하면 연계 피더의 모든 수용가에게 적절한 전압을 유지할 수 있다는 것을 의미한다.

### 2.2 시스템의 주요 특징

분산형전원 계통연계 기술요건 가이드라인 등에 근거해, 표1과 같은 고압 배전선 연계에 관한 기술요건 8개 항목에 대한 검토를 실시한다(계전기 관계는 제외함). 만약, 검토 결과가 불량인 경우에는 해당 연계지점의 연계가능 용량 및 전압 변동 대책용의 무효전력보상장치(SVC등)의 필요 용량을 산출하여 필요한 대책을 제시한다.

분산전원 배전계통연계 기술검토 시스템은 다음과 같이 크게 4가지의 주요 특징을 가지고 있다.

#### 2.2.1 편리한 계통연계 검토

배전계통이나 분산전원의 비전문가라도 분산전원의 도입에 대한 동일한 평가와 분석결과를 산출할 수 있는 표준 계통과 판정 알고리즘을 근거로 한 S/W라는 점이다. 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 있다는 점이다.

#### 2.2.2 역조류 검토

분산형전원이 설치된 지점에서는 항상 역조류가 발생할 가능성이 있다. 따라서 역조류를 고려할 수 있는 전압강하 계산 알고리즘이 필요하다. 본 시스템은 기존의 4상한만 이용한 간략 전압강하계산식의 단점을 보완하여, 분산전원 연계지점을 기준으로 역률과 조류방향에 따른 전압강하와 전압상승을 계산하여 정확도를 향상시켰다.

#### 2.2.3 4가지 계통상태에 대한 분석

본 연구에서 개발한 시스템은 4가지의 계통상태에 대한 분석과 평가를 수행할 수 있다는 점이다. 즉, 분산전원이 연계되기 전의 배전계통 상태를 해석할 수 있고, 분산전원 연계 전의 배전계통이 적절하지 못한 경우 이에 대한 대책을 제시할 수 있으며, 또한 분산전원이 연계된 배전계통의 상태를 해석할 수 있으며, 연계된 후의 배전계통이 문제가 있는 경우에 이에 대한 대책을 제시할 수 있어서 발생 가능한 4종의 계통상태를 모두 해석 및 평가를 수행할 수 있다는 점이 우수한 점이다.

#### 2.2.4 NDIS를 활용한 검토 작업의 효율성 제공

한전의 배전계통 설비 DB인 NDIS의 데이터를 활용하여 본 시스템의 평가 및 분석 기능을 수행할 수 있어서 입력 작업의 효율화 및 평가 작업의 편의성을 제공한 시스템이다.

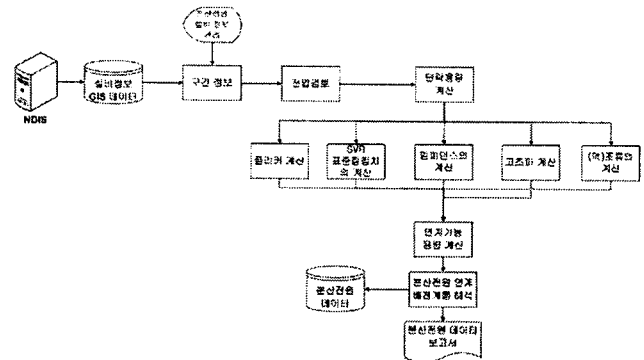
<표 1> 분산전원 계통연계 검토항목

항목	검 토 내 용
전력용량	전력용량(발전설비출력 및 수전계약전력 중 큰 것)이 원칙적으로 3MW 미만일 것
전기방식	발전설비와 연계하는 계통의 전기방식은 동일할 것
역률	수전점의 역률을 산출하여, 적정치(85%이상, 지상역률)를 유지할 것
뱅크 역조류	최대 역조류량을 산출하여, 뱅크 역조류가 발생하지 않을 것
상시 전압변동	발전기 탈락시 및 역조류 발생시의 계통상태를 산출하여, 적정전압을 이탈하지 않고, 또한 전선의 허용전류를 초과하지 않을 것
순시 전압변동	발전기 병입분리시 계통상태를 산출하여, 적정전압을 이탈하지 않고, 또한 전선의 허용전류를 초과하지 않을 것
플리커	발전설비의 출력변동 및 빈번한 병입분리에 따른 플리커를 산출하여, 한도 치(0.45% 이하) 이내에 있을 것
단락용량	발전설비 연계후의 단락용량을 산출하여, 타 수용가나 전력회사의 차단용량을 초과하지 않을 것
연계가능용량	상기 검토항목에서 연계불가로 된 경우, 연계가능용량과 필요한 대책 등을 산출함.

### 2.3 시스템의 적용 절차

본 시스템은 배전종합시스템(NDIS)이 보유한 배전설비데이터를 자동적으로 연계하여, 설비데이터의 입력 작업을 대폭적으로 향상시켰으며, 검토 작업은 계통도상의 심벌 조작과 각종 제한의 수치입력으로 실시하여 시각적

분산전원 배전계통연계해석 프로그램



<그림 4> 시스템 흐름도

으로 알기 쉬운 시스템으로 구성하였다. 이하에 풍력발전설비가 배전선에 연계되는 경우의 검토 예를 나타낸다.

#### 2.3.1 배전선 데이터의 입력

먼저, 배전종합시스템이 보유한 배전설비데이터 가운데, 검토대상 피더의 필요한 구간정보데이터(전선종별, 규격, 정류 등)를 출력한다. 이 데이터는 한전 내 LAN을 경유하여 개인용(사내) PC로 연결되어, 평가시스템의 입력파일인 구간정보 데이터로 입력된다. 다음에 본 시스템을 기동하여 구간정보 데이터를 읽어 들이면, 검토 대상 피더의 계통도가 자동으로 표시되거나(전문가용), 입력화면(일반용)으로 자동 연결된다.

#### 2.3.2 분산형전원의 등록

먼저, 신설되는 분산형전원에 대하여 필요한 검토 항목을 설정하고, 신설되는 분산형전원의 설비를 심벌 조작으로 배치하거나(전문가용), 각 설비의 제한을 대화 식으로 등록한다(일반용). 신설되는 분산형전원 이외에 기설 분산형전원의 등록도 가능하도록 한다(대수 제한 없음). 또한, 구간정보데이터의 표시 및 배전설비의 변경(전선교체, SVR 신설 및 철거)도 가능하도록 한다. 설정 내역으로는 검토항목 및 발전기 제한, 송압용변압기, 사이터밍과 구내전선 제한, 부하용량 등이다.

#### 2.3.3 검토결과 확인

평가시스템의 메인 메뉴화면에서 계산실행 키를 누르면 각 검토항목의 계산을 일괄적으로 실행된다. 또한 검토 결과 표시키를 누르면 계통도(전문가용)와 검토결과 일람표(일반용)를 표시한다. 불량개소가 있는 경우, 계통도상에 적색으로 표시되거나(전문가용), 결과일람표에서 적색(일반용)으로 나타난다. 검토 결과에 분산전원 연계 시에 부적합한 사항이 존재하는 “불량”이 있는 경우에는 연계가능용량을 산출하고 수치와 그래프로 자동적으로 표시된다.

#### 2.3.4 검토결과 출력

검토 결과를 엑셀 파일로 출력하고, 검토결과 일람표와 계산서를 표시한다. 계통연계 기술검토서 내역으로는 신청내용, 연계 배전계통, 9개 항목 검토결과 내용, 연계가능용량 등이다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 한국전력공사의 NDIS를 이용하여 분산전원이 배전계통에 연계될 수 있는지를 분석하는 ‘분산전원 배전계통연계 기술검토 시스템’의 주요 알고리즘 및 그 기능에 대하여 소개하였다.

이 시스템은 향후 ‘분산전원 계통연계 기술기준’의 변경에 따라 연계 가능여부를 검토할 수 있도록 할 예정이며 한국전력공사의 각 사업소에서 분산전원 도입에 따른 검토 업무의 효율성 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 산업자원부, “분산전원 배전계통연계 해석 프로그램 개발”, 1차년도 중간보고서, 2005
- [2] 산업자원부, “배전전압관리 개선에 관한 연구”, 최종보고서, 2003