

태양광발전의 배전계통 연계 알고리즘 개발에 관한 연구

박재호, 노대석, 오용택, 홍상은*
한국기술교육대학교(케이피파워텍), 순천향대학교*
e-mail: rusipal666@kut.ac.kr, dsrho@kut.ac.kr

Development of Interconnection Algorithm for PV Systems in Distribution System

Jae-Ho Park, Dae-Seok Rho, Yong-Taek Oh, Sangeun Hong
Koera University of Technology and Education(Kp PowerTec)

요 약

본 논문에서는 정해진 형태의 정보를 입력하면 태양광, 풍력 등의 분산형전원의 도입 및 운용에 대한 각종 정보를 상세하고 전문적(설계나 감리, 운전자 등)인 측면에서 제공받을 수 있는 시스템의 알고리즘을 개발하고자 한다. 구체적으로는 분산형전원의 계통연계 시에 발생할 수 있는 정상, 비정상(사고), 전력품질에 대한 9개의 항목으로 전력용량, 전기방식, 역률, 뱅크 역조류, 상시전압변동, 순시전압변동, 플리커, 단락용량, 연계가능용량 등이며, 분산형전원의 배전계통에의 연계 적합 여부를 종합적으로 판단하는 시스템이다.

1. 서 론

태양광발전, 풍력발전 등과 같은 신·재생에너지전원은 기존의 전원에 비하여 소규모 전원인 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 배전선로

에 집중적으로 도입되는 경우 발생이 예상되는 문제점을 검토, 분석할 수 있는 배전계통 연계해석 프로그램의 개발이 요구되고 있다.

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.

3 시스템의 기술검토항목 평가 알고리즘

3.1 전력용량 : 수전전력의 용량이나 계통연계 발전설비의 출력용량 중 큰 것으로 하며, 연계선로의 전압을 결정한다.

표 1. 연계 검토 항목과 내용

검토항목	검토내용
전력용량	전력용량(발전설비출력 및 수전계약전력 중 큰 것)이 원칙적으로 3 MW 미만일 것
전기방식	발전설비와 연계하는 계통의 전기방식은 동일할 것
역률	수전점의 역률을 산출하여, 적정치(85%이상, 지상역률)를 유지할 것
뱅크역조류	최대 역조류량을 산출하여, 뱅크 역조류가 발생하지 않을 것
상시전압변동	발전기 탈락시 및 역조류 발생시의 계통상태를 산출하여, 적정전압을 이탈 하지 않고, 또한 전선의 허용전류를 초과하지 않을 것
순시전압변동	발전기 병렬시 계통상태를 산출하여, 적정전압을 이탈하지 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, 타 수용가나 전력회사의 차단 용량을 초과하지 않을 것
연계가능용량	상기 검토항목에서 연계불가로 된 경우, 연계가능용량과 필요한 대책 등을 산출함.

- 저압연계 : 50kW 미만
- 22.9kV 연계 : 2,000kW 미만
- 22.9kV 전용선 연계 : 2,000kW 이상에서 10,000kW 미만
- 154kV 연계 : 10,000kW 이상

3.2 뱅크 역조류 : 배전용변전소 뱅크(60MVA)의 역조류를 허용하지 않는다.

- 역조류 유무 판정 : 발전설비의 최대 역조류량이 뱅크의 최저부하보다 크게 되면 역조류가 발생한다.
- 풍력발전기 최대출력 산정 : 메이커의 제출자료 이용
- 뱅크의 최저부하 산출 : 전력회사 실적치(시간대별 부하패턴) 이용

3.3 전기방식 : 발전설비의 전기방식은 연계 계통의 전기방식과 동일해야 한다.

- 저압 : 단상 2선식, 단상 3선식, 삼상 3선식, 삼상 4선식
- 고압 : 단상 2선식, 삼상 3선식, 삼상 4선식

3.4 역률 : 계통 측에서 바라 본 값으로 일정치를 유지하도록 한다.

- 수전점의 역률을 85% 이상, 지상을 원칙으로 한다.

- 저압연계 : 역조류 유무, 발전설비의 역률(95%), 전압상승 대책 유무, 역변환장치유무
- 고압연계 : 역조류 유무, 발전설비의 역률(95%), 전압상승 대책 유무

3.5 상시 전압변동 : 일반부하의 공급검토와 마찬가지로 계통의 전압에 대하여 검토한다. 역조류의 유무와 발전 설비의 원동기(내연기관/자연에너지) 특성에 따라 검토할 필요가 있다.

(가) 연계조건 : 계통내의 저압 수용가 도달전압이 규정치(±6%)를 벗어나지 않을 것

- “전압관리”의 운용조건을 만족할 것을 연계조건으로 함.

- “고압전압강하치”, “주상변압기탭 운용가능지역”, “전압변동치” 계산법을 판단 기준으로 함.

(나) 검토항목

- 역조류 없는 경우 : 전압부하계산(통상 부하검토)

- 역조류 있는 경우 : 전압부하계산(통상 부하검토)과 발전기출력에 의한 전압변동계산

(다) 검토 포인트

- 허용전류 : 변전소OCR, 배전선, 기기(개폐기, SVR)의 허용치를 초과하지 않을 것.

- 전압강하 : 종합시스템에서 행하며, 판정은 “고압전압강하(최대허용전압강하산출,)” 및 “주상변압기탭 운용지역”을 기준으로 함. 전 부하설비 공급 시 규정치를 유지할 수 없는 경우 부하제한이나 배전선증강공사 실시

- 전압변동(역조류시) : 발전기탈락에 의한 전압강하 검토이외에 역조류에 의한 배전선 전류치의 감소에 의한 전압 상승으로 저압 수용가의 상한치를 벗어나는가를 검토해야 함.

- 부하설비 공급 시 전압강하계산
- 연계점 전압변동 계산
- SVR 선로 연계시의 전압변동 제한치
- 역률별 연계가능 용량 계산

3.6 순시 전압변동 : 컴퓨터, OA기기, 산업용로봇 등 정보기기는 “정격전압의 10% 이상의 순시 전압저하”의 경우에 기기정지 등의 영향을 받는 경우가 있다. 또한, 순시전압 변동의 대상이 되는 “지속

시간"은 2초까지로 하고, 이 이상 지속되는 변동은 상시 변동으로 한다. 연계되는 발전기의 종류(타력식 인버터와 유도발전기의 여자 돌입전류)에 따라 기동 시에 "순시전압변동"을 일으키는 경우도 있으므로 다른 수용가에 영향을 미치지 않도록 한다.

(가) 연계조건 :

- 고압전압 변동 폭(280V) : 기기정지의 염려가 없는 최저전압(92V)을 유지하기 위한 허용전압 변동폭의 고압 환산치 산정

- 2초 이내 대상

(나) 검토항목

- 고압전압 변동 폭(ΔV) : 전압변동율(ϵ) 계산은 변동 폭이 280V이면 확실히 10% 이내이므로 필요치 않음.

(다) 검토 포인트

- 자력식 인버터 : "자동적으로 동기를 취하는 기능"이 있으면 일반적으로 검토 불필요

- 타력식 인버터 : "돌입전류 시험데이터"나 "해석데이터"를 제출받아 검토

- 동기발전기 : 계동권선(난조방지) + 자동동기검정장치를 시설하므로 검토 불필요

- 유도발전기 : "구속리액턴스"를 제조업체로부터 제출받아 검토한다.

억제 대책으로 "한류리액터"나 싸이리스터를 사용한 "소프트스타트방식"을 적용하는 경우에는 이들 억제효과를 고려한 검토가 필요하다. 일반적으로 억제대책후의 "기동전류치"를 제출받아 검토한다.

3.7 전압 플리커 : 풍력발전을 연계하는 경우, 출력 변동에 따른 전압 플리커가 발생한다. 또한, 빈번한 병해열(10회 이상/1분 정도)도 플리커의 원인이 되는 경우도 있다. 운전플로우 등에 의하여 "기동, 해열"의 타이밍에 대한 확인도 필요하다.

(가) 연계조건 :

- 기존 전압 플리커와의 합성치가 ΔV_{10} = 0.45 이하

(나) 검토항목

- 출력변동에 따른 전압 변동 ΔV 및 ΔV_{10}

(다) 검토 포인트

- 발전기 정격출력 및 역률에 의한 "변동출력 및

변동주기"를 상정하여 검토한다.

일본에서는 정격출력의 30-50%정도의 출력변동이 실측되고 있는데, 최악의 경우를 상정하여 "변동출력 = 정격출력"으로 검토한다.

3.8 단락용량 : 발전설비 연계 후의 단락용량은 150MVA 이하로 한다. (연계 전의 단락용량이 100MVA 이하인 경우에는 100MVA를 상한으로 하고 발전기에 단락전류를 제한하는 장치의 대책을 세운다)

(가) 검토 포인트

- 역변환장치로 공급하는 단락전류는 역변환장치 자체의 과전류 제한 치에 의하여 제한되고, 일반적으로 그 값은 정격전류의 1.1 - 1.5배이다.

- 단락용량계산에 이용되는 리액턴스는 유도발전기의 경우 구속리액턴스, 동기 발전기의 경우 초기 과도 리액턴스로 한다.

- 단락 보호 협조의 검토에서는 차단기의 동작 시간이 초기과도 시정수보다도 큰 경우에는 과도 리액턴스의 값으로도 가능하다.

- 동일 피더 내에 복수개의 발전설비가 있는 경우, 그들로부터의 단락전류도 고려한다.

- 기설 수용가 단락전류(케이בל 외) 조사는 실시하지 않는 것으로 한다.

4. 평가 시스템의 구축 및 분석

4.1 평가시스템의 구축

본 연구에서는 태양광을 포함하여 분산형전원을 제작하거나 시공하는 업체나 일반 사용자(분산형전원을 잘 모르는 비전문가 포함)들이 손쉽게 접근하여 배전계통에 연계하는 분산형전원의 연계시의 적합 여부를 판단하는 지원 시스템을 제작하였다. 구체적으로는 3개의 기능으로 구성된다. 첫째는 언제 어디서나 접근 가능하도록 인터넷상에 전용서브를 설치하는 것이고, 둘째는 전용서브 상에 지원시스템을 등록할 수 있는 전용 홈페이지를 제작하는 것이며, 셋째는 분산형전원의 배전계통 연계시의 적합 여부를 판단하는 S/W를 제작하는 것이다. 따라서 이 시스템은 인터넷을 통하여 지원 시스템의 홈페이지에 방문하여, 제공된 각종 S/W를 다운로드 받아, 누구나 손쉽게 연계 적합여부를 평가할 수 있는 시스템이다. 여기에서는 앞에서 제시된 기술검토항목 평가 알고리즘을 이용하여 Microsoft Excel, Macre와 Visual Basic을 이용하여 제작한 시스템은 그림 1과 같다.

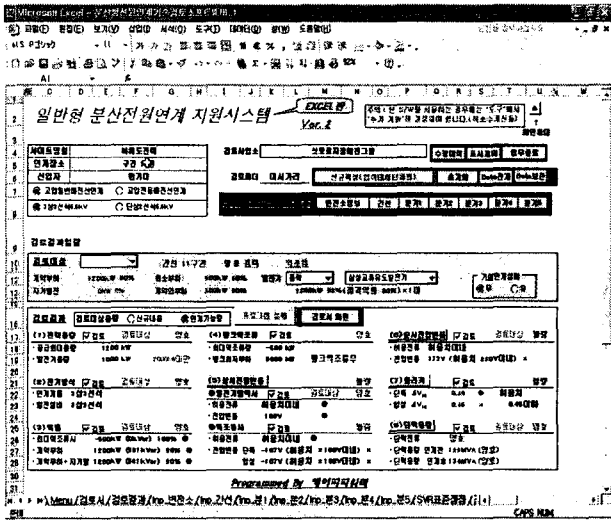
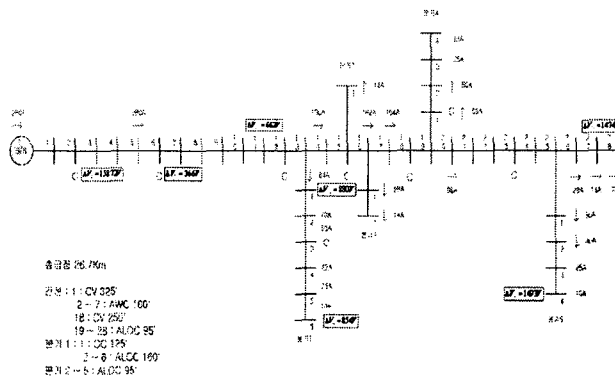


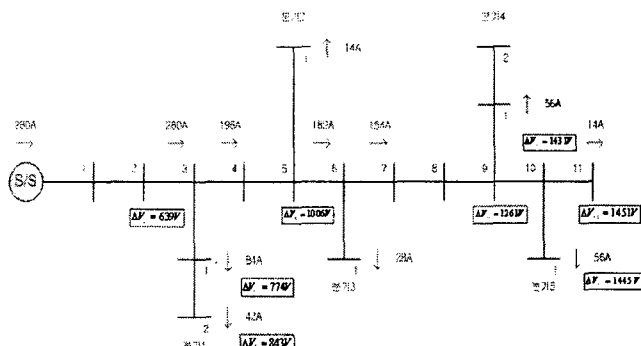
그림 1. 평가시스템의 메뉴화면도

4.2 평가시스템의 분석

(1) 22.9kV 고압배전선로의 모델 계통은 다음과 같다. 그림 2와 같이 28개 노드의 간선과 5개의 분기선을 가지며, 간선의 총 공장은 26.678km이다.



(a) 축약전 계통



(b) 축약 후 계통

그림 2. 모델 배전계통(22.9kV)

(2) 상기의 모델계통을 이용하여 1,000kW의 풍력발전을 간선 11구간(축약계통)에 연계한 경우의 검토결과를 그림 3과 같다.

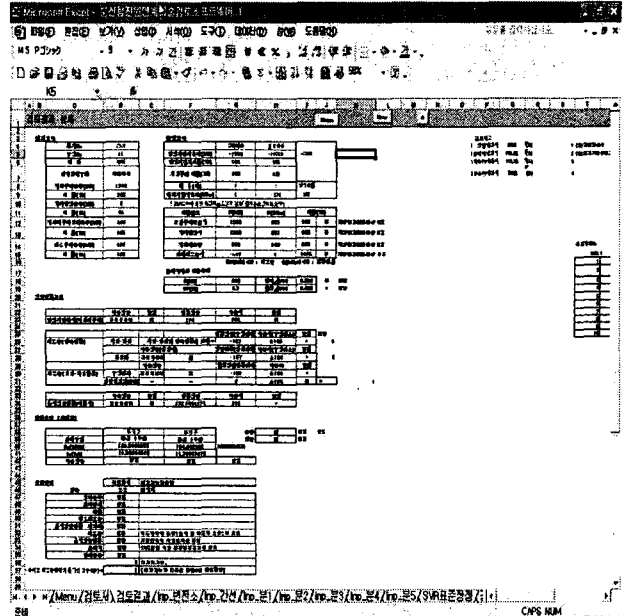


그림 3. 평가시스템의 검토결과 화면도

5. 결론

본 논문에서 개발한 평가시스템은 태양광발전, 풍력발전 등의 분산형전원을 배전계통에 도입하는 경우, 배전계통에 미치는 영향분석 및 대책 등을 검토할 수 있다. 따라서 분산형전원을 제조하는 업체나 시공, 감리하는 업체뿐만 아니라 배전계통 운영자에게 분산형전원의 계획 및 관리, 운용 업무에 효율적으로 활용할 수 있다고 기대된다.

<참고문헌>

- [1] 풍력발전 계통연계 기술지침 및 연계선로 운영 기준 제정에 관한 연구, 한전 전력연구원, 2004
- [2] 배전전압관리 개선에 관한 연구, 한전 전력연구원, 2003.10
- [3] 배전전압관리 매뉴얼, 일본 북해도전력, 2003.1