

배전계통에 있어서 분산전원 연계 판정 시뮬레이션 결과 분석에 관한 연구

강 민관, 박 재호, 노 대석, 오 용택
한국기술교육대학교 (케이피파워텍)

The Analysis of the interconnection Simulation Result for Dispersed Sources in Distribution Systems

Minkwan Kang, Jaeho Park, Daeseok Rho, Yongtaek Oh
Korea University of Technology and Education (Kp Power Tec)

Abstract - 국가차원의 신·재생에너지 활성화 방안에 따라 지자체 등의 분산전원 시설계획이 점차 증가하고 있으나, 아직 우리나라에서는 분산전원의 배전계통 연계에 대한 체계적인 기술지침이 초기 단계에 있거나 제정 중에 있어서, 계통 연계와 관련하여 발전사업자와 전력회사간의 이해가 상충되는 등 문제점이 발생되고 있다. 또한, 대규모 분산전원 단지의 도입이 이루어지고 있으나, 이에 대한 기술적인 평가방안이나 해석 방법이 구체적으로 제시되어 있지 않아, 설치차(사도 및 지자체)와 운전자(한전의 배전지사/지점)들은 많은 혼돈과 어려움을 겪고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 태양광, 풍력 등의 분산전원이 배전계통에 도입되는 경우, 연계에 대한 기술적인 적합여부를 종합적으로 평가 할 수 있도록 분산전원 연계 판정 시뮬레이션 시스템을 연구하였다. 즉, 구체적으로는 전력용량, 전기방식, 역률, बैं크 역 조류, 상시전압변동, 순시전압변동, 플리커, 단락용량, 연계가용용량 등이며, 이들 항목을 계통연계 가이드라인과 평가 알고리즘에 의하여 연계 적합 여부를 판단해 주는 시스템이다.

1. 서 론

최근 신 에너지전원의 도입 시 배전계통에 끼치는 영향과 문제점에 대한 조사와 분석이 없이 분산전원의 건설에 대한 기본 설계가 이루어지고 있어, 신 에너지전원이 연계되는 배전계통의 전력품질, 보호협조 등의 운용상의 문제점이 야기될 가능성이 매우 높다. 또한, 신 에너지전원에 대한 비전문가인 각 배전지사의 계통운영 관리자들의 운용상의 고충 문제가 심각하게 부각될 것으로 예상된다. 한편, 풍력과 같은 대규모 신 에너지전원의 단지가 연계된 배전계통의 일반수용가의 민원이 발생될 소지가 있다, 따라서 신 에너지전원의 배전계통 연계 시, 기술 판정 프로그램의 개발이 필수적이다. 본 논문에서는 분산전원의 배전계통 연계 시에 중요한 기술적인 사항 중의 하나인 연계시 판정 시뮬레이션 결과 분석에 대한 평가 알고리즘을 제시하고자 한다. 분산전원의 연계 적정여부에 대한 특성을 파악하기 위하여, 분산전원의 설치지점을 파라메타로 분석한다. 여기서는 분산전원의 설치지점을 고압배전선로의 최말단과 중간말단, 최말단과, 말단 분기선, 중간 분기선의 5가지 경우에 대하여 영향을 평가를 했으나 최말단과, 중간지점에 대해서만 나타내었다.

2. 본 론

2.1 시뮬레이션 입력 데이터구성

2.1.1 배전 계통 입력 데이터

간선의 총 공장이 26.7km이고, 28개의 노드와 5개의 분기선을 가진 중장거리 선로를 프로그램의 내부에서 정해진 물(선종변경, 분기선유무, SVR 유무 등)에 의하여 그림 1과 같이 11개의 노드를 가진 축약계통으로 자동적으로 변경된다. 이 변경된 계통에서 도입되는 분산전원의 데이터가 입력된다.

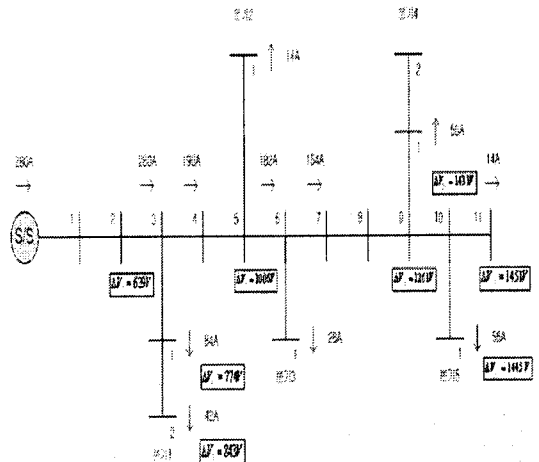


그림 1. 모델 배전 계통 (축약 계통)

2.1.2 분산전원 입력데이터

- (1) 분산전원의 배전계통 연계 가능용량을 판단하기 위하여, 분산전원의 발전기 정격용량, 전기방식, बैं크 역 조류, 역률, 상시전압변동, 순시전압변동, 플리커, 단락용량의 영향을 고려하여 평가한다.
- (2) 8개 항목의 연계가능여부를 검토하기 위하여 표 1과 같이 관련 데이터를 입력한다.
- (3) 전력용량이나 전기방식, बैं크 역 조류 등은 분산전원의 도입용량이 1MW 정도로 작기 때문에 별다른 문제점이 발생되지 않는다. 다만, 수 MW 이상의 분산전원이 도입되는 경우에는 세세한 검토가 필요하다.

표 1. 분산전원 연계판정 시뮬레이션 입력데이터

평가 항목	입력 데이터 상세 내역	참고
전력용량	분산전원 발전기 정격용량 (1200KW, 역률 90)	출력용량 변화 (1, 0.8, 0.6 MW)
전기방식	3상 4선식	-
뱅크 역 조류	변전소 최소 부하용량 (10MW) 역 조류 양(최소부하용량)과 비교	-
역률 (역조류)	최소부하용량 (500KW, 역률 80)	최소부하용량 변화 (정격용량의 30 - 70)
상시전압변동 (기동 사고 시)	역 조류	최소부하용량 (500KW, 역률 80)
	발전기 탈락	계약 외 부하용량 (300KW, 역률 90)
순시전압변동 (기동 사고 시)	기동전류 (발전기 정격용량 150) (42A, 역률 15)	기동전류 변화 (정격용량의 80 - 120)
플리커	발전기 출력변동 (500KW, 역률 70)	출력변동 변화 (정격용량의 50 - 90)
단락용량	연계 T2 용량 (2000KW, 5 T) 발전기 정격용량 (1200KW) 발전기 정격전압 (6.000V) 유도기 파도리액턴스 (15 T)	

2.2 시뮬레이션 결과 및 분석

분산전원의 연계 적정여부에 대한 특성을 파악하기 위하여, 분산전원의 설치지점을 파라메타로 분석한다. 여기서는 분산전원의 설치지점을 고압배전선로의 최말단과 중간 말단, 중간지점, 말단분기선, 중간분기선의 5가지 경우에 대하여 영향을 평가를 하였으나 최종말단과 중간지점의 경우만 나타내었다.

2.2.1 분산전원이 선로의 최 말단 지점에 설치된 경우

1) 분산전원 도입량을 파라메타로 분석한 경우
분산전원의 도입량을 변화시켜 시뮬레이션을 수행한 결과, 분산전원의 용량이 1 MW, 0.8 MW의 경우에는 분산전원의 도입에 의하여 역률 문제(지상이고 90%이상 조건)와 순시전압변동(발전기 기동 시)에서 문제점이 발생하여 계통연계가 불가능한 것으로 판정된다. 다만, 역률 문제는 65%와 49%로 연계조건을 위반하지만, 그림 2과 같이 578KVAR과 537KVAR, 그림3과 같이 497KVAR 용량의 역률 보상장치(콘덴서)를 설치하면, 역률이 보상되어 문제점이 해결된다.

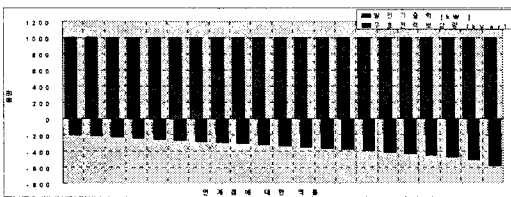


그림2 11번 구간 1.0 MW 분산전원 도입 시 도입가능용량

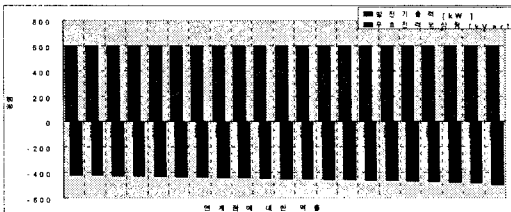


그림3 11번 구간 0.6MW 분산전원 도입 시 도입가능용량

표 2. 11번 구간 분산전원 도입 시 연계판정 시뮬레이션 분석

평가 항목	Case I		Case II		Case III		비교 연계기준	
	대래 전	대래 후	대래 전	대래 후	대래 전	대래 후		
전력용량	양호 1,200kW	양호 1,200kW	양호 1,200kW	양호 1,200kW	양호 1,200kW	양호 1,200kW	2,000kW 미만	
전기방식	양호 3상4선식	양호 3상4선식	양호 3상4선식	양호 3상4선식	양호 3상4선식	양호 3상4선식	동일방식 3상4선식	
뱅크 역조류	양호 -500kW	양호 500kW	양호 -300kW	양호 -300kW	양호 -100kW	양호 -100kW	10MW 미만	
역률 (역 조류)	불량 (-500k W, 578k Var, 65%)	양호 (300k W, 0kV ar, 100%)	불량 (-300k W, 537k Var, 49%)	양호 (-300k W, 0kV ar, 100%)	불량 (-100k W, 497k Var, 20%)	양호 (-100k W, 0kV ar, 100%)	지상이고 90%이상	
상시전압 변동	역 조류	양호 (80V)	양호 (-78V)	양호 (100V)	양호 (-47V)	양호 (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 (500kW변동, 역률 70%)	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 (804.2M VA)	양호 (804.2M VA)	양호 (804.2M VA)	양호 (804.2M VA)	양호 (804.2M VA)	양호 (804.2M VA)	1000MVA 미만	
연계적합여부	연계 불가능	연계 불가능	연계 불가능	연계 불가능	연계 가능	연계 가능		

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

2) 역조류의 양을 파라메타로 분석한 경우

역 조류의 양을 분산전원 정격의 30% - 70%로 변화시켜 분석할 경우에는 분산전원의 역 조류 양이 감소할수록 역 조류에 의한 상시전압변동이 증가하여 문제점을 야기하며 이것은 역 조류의 역률이 줄어들어 선로의 전압변동을 증가시키기 때문이다. 한편 역 조류 양이 증가할수록 역 조류에 의한 문제점이 해결된다.

3) 발전기 탈락 양을 파라메타로 분석한 경우

발전기 탈락 양을 분산전원 정격의 30% - 50%로 변화시켜 분석할 경우 분산전원의 탈락 양, 즉 계약 외 부하전력이 증가할수록 발전기 탈락에 의한 배전계통으로부터의 공급 전류가 증가하여 배전선로의 전압변동이 커져서 문제점을 야기 시키는 것을 알 수 있다. 여기서는 분산전원의 탈락 양이 정격용량의 40% 이상이 되면 115V 이상이 되어 한도치를 초과한다.

4) 발전기 출력변동 양을 파라메타로 분석한 경우

발전기 출력변동을 분산전원 정격의 50% - 90%로 변화시켜 플리커의 특성을 분석한 경우 출력변동이 증가할수록 플리커의 값이 증가하여 문제점을 야기할 수 있다.

2.2.2 분산전원이 선로의 중간 지점에 설치된 경우

1) 분산전원 도입량을 파라메타로 분석한 경우

표3과 같이 분산전원의 도입 용량이 1 MW와 1.1 MW인 경우에는 역 조류와 발전기 탈락에 의한 상시전압변동과 분산전원 발전기 기동시에 일어나는 순시전압변동에서 문제점이 발생하지 않아 "연계가능"이라고 판정된다. 다만, 도입 용량이 1.2 MW를 상회하는 경우에는 기동전류에 의한 전압변동(403V)이 385V를 초과하게 되어 "연계불가능"이 된다. 따라서 선로 중

간지점인 9번 구간에 분산전원을 설치하기 위해서는 용량을 1.1 MW 이내로 도입하고 역률보상장치를 설치하기만 하면, 제반 연계조건을 만족하여 분산전원의 도입이 가능하다는 것을 알 수 있다.

표 3. 9번 구간 분산전원 도입 시 연계편정 시뮬레이션 분석

평가항목	Case I		Case II		Case III		비교 연계기준
	대책 전	대책 후	대책 전	대책 후	대책 전	대책 후	
전력용량	양호 1,200kW	양호 1,200kW	양호 1,200kW	양호 1,200kW	양호 1,200kW	양호 1,200kW	2,000kW 미만
전기방식	양호 3상4선식	양호 3상4선식	양호 3상4선식	양호 3상4선식	양호 3상4선식	양호 3상4선식	동일방식 3상4선식
뱅크 역조류	양호 -500kW	양호 -500kW	양호 -600kW	양호 -600kW	양호 -100kW	양호 -500kW	10MW 미만
역률 (역 조류)	불량 (-500k W, 578kVar, 65%)	양호 (-500k W, 0kVa r, 100%)	불량 (-600k W, 598kVar, 71%)	양호 (-600k W, 0kVa r, 100%)	불량 (-700k W, 619V ar, 75%)	양호 (-700k W, 0kVa r, 100%)	지상 이고 90%이상
상시전압 편중	역 조류 양호 (57V)	양호 (-44V)	양호 (52V)	양호 (-52V)	양호 (47V)	양호 (-61V)	111V 미만
	발전기 탈락	양호 (52V)	양호 (52V)	양호 (52V)	양호 (52V)	양호 (52V)	
순시전압변동 (기동/사고시)	양호 (336V)	양호 (336V)	양호 (369V)	양호 (369V)	불량 (403)	불량 (403V)	385V 미만
퓨리커 (500kW 변동, 역률 70%)	양호 (0.25)	양호 (0.25)	양호 (0.25)	양호 (0.25)	양호 (0.25)	양호 (0.25)	0.45V 미만
단락용량 (연계 후)	양호 (805.0M VA)	양호 (805.0M VA)	양호 (805.0M VA)	양호 (805.0M VA)	양호 (805.0M VA)	양호 (805.0M VA)	1000MVA 미만
고조파	-	-	-	-	-	-	-
연계제한 여부	연계 불가능	연계가 능	연계 불가능	연계가 능	연계 불가능	연계 불가능	-

Case I: 9번 구간에 1 MW의 용량이 도입되어, 역 조류가 50%, 계약 외 부하전력 30%인 경우)

Case II: 9번 구간에 1.1 MW의 용량이 도입되어, 역 조류가 50%, 계약 외 부하전력 30%인 경우)

Case III: 9번 구간에 1.2 MW의 용량이 도입되어, 역 조류가 50%, 계약 외 부하전력 30%인 경우)

2) 역조류의 양을 파라메타로 분석한 경우

여기서는 전 항의 최 말단 지점과 달리, 역 조류에 의한 전압변동이 거의 영향을 받지 않으며, 이것은 전 항과 마찬가지로 분산전원의 설치지점이 배전용변전소에 가까워질수록 선로의 전압변동이 상대적으로 감소하기 때문이다.

3) 발전기 탈락 양을 파라메타로 분석한 경우

이 지점 또한 분산전원의 탈락 양이 거의 영향을 끼치지 않는다. 최 말단지점에서는 분산전원의 탈락 양이 각각 정격용량의 40% 이상과 50%이상이면 한도치를 초과하여 문제점이 발생하였지만, 선로 중간지점에서는 정격용량의 50% 정도가 되어도 문제점이 발생하지 않는다. 다만, 발전기의 탈락 양이 더 이상 증가하게 되면 전압변동의 한도치를 초과하여 문제점이 야기될 수 있음을 알 수 있다. 이것은 분산전원의 설치지점이 배전용변전소에 가까워질수록 선로의 전압변동이 줄어들기 때문에 일어난 현상이다.

3. 결 론

본 논문에서 실시한 연계 평가 시뮬레이션은 태양광발전, 풍력발전 등의 분산형 전원을 배전계통에 도입하는 경우, 배전계통에 미치는 영향분석 및 대책 등을 검토할 수 있다. 따라서 분산형 전원을 제조하는 업체나 시공, 관리하는 업체뿐만 아니라 배전계통 운용자에게 분산형전원의 효율적으로 활용할 수 있다고 기대된다.

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] “분산형전원 계통연계 기술평가시스템 알고리즘에 관한 연구”, 대한전기학회 대전지부 워크샵, 노 대석 외 2인, 2005. 6.15
- [6] “배전계통에 있어서 분산전원의 고조파 평가 알고리즘에 관한 연구” 대한전기학회 하계 학술발표논문집, 노 대석 외 3인, 2006.7