

분산전원이 연계된 복합배전계통에 신규분산전원연계시 신규분산전원 도입량에 관한 연구

정승복 김재철 문종필 최준호
송실대학교

The Study for Allowable Capacity of New Distributed Generation for Composite Distribution System Interconnected Distributed Generation

Jung Seung Bock Kim Jae Chul Moon Jong Fil Choi Jun Ho
Soongsil University

Abstract - Recently, power requirement has been increasing. But the large generation unit is hardly installed because of economic and environment problem. Therefore, the concern for DG(distributed generation) is growing. Present, allowable interconnection capacity of DG for composite distributed generation is studied. In this paper, it is studied that the new interconnection capacity of DG for composite distribution system interconnected DG. We study new allowable interconnection capacity by power factor and placement. We study SERV(sending end reference voltage) variation and allowable interconnection capacity interconnected new DG.

있고 G1, G2의 분산전원이 연계된 배전계통이다. 모델배전계통의 기준용량 및 기준전압은 40[MVA], 22.9[kV]이고 모델배전계통의 파라메타는 표1에 나타내었다.

1. 서 론

최근 산업이 발달하고 생활수준향상으로 인한 전력수요량은 지속적으로 성장하고 있으나 환경오염, 부지확보 등의 어려움으로 인해서 원자력 발전같은 대형 발전설비의 확충이 어려운 편이다. 따라서 상대적으로 가격이 싸고 환경 오염의 위험이 덜한 소형열병합, 전지전력저장 시스템, 태양열, 풍력같은 분산전원의 도입이 적극적으로 검토되고 있다. 기존의 배전계통에서 전압조정방식은 ULTC에 의한 LDC방식에 의해서 적절한 전압이 수용가에 공급된다. 하지만 중부하 선로의 경우 분산전원 연계시 이로 인하여 전원측에서는 경부하 선로로 인식하게 되어 피더에 공급하는 전압을 낮추게 된다. 이 경우 분산전원이 연계되지 않는 피더는 낮은 전압이 공급되어 피해를 입을 수 있다[1]. 이러한 문제들을 해결하기 위해서 적절한 분산전원의 도입량을 결정하는 많은 연구들이 수행되었다.

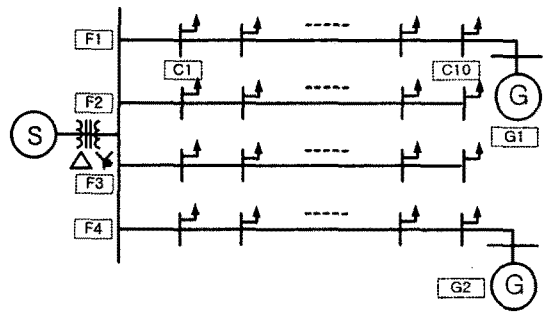


그림 1. 모델배전계통

그러나 기존의 연구들은 다수의 분산전원 연계에 대해서는 연구되지 않았었다. 따라서 본 논문에서는 기존의 분산전원이 연계된 배전계통에 신규 분산전원 연계시 배전계통에 미치는 영향을 알아보고 역률과 위치에 따른 신규 분산전원 도입량에 관한 연구를 수행하였다. 신규 분산전원 연계시 송출기준전압 변동분을 유도하고 송출 기준전압의 변동분과 전압조정여유분을 이용하여 분산전원도입량을 평가하였다.

표 1. 모델배전계통의 파라메타

피더	수	4	
	노드수	10	
	노드간 거리	1[km]	
	노드당 중부하	1[MVA], 지상역률 0.9	
	노드당 경부하	0.25[MVA], 지상역률 0.9	
전압강하	중부하	주상변압기	2 [V]
		저압배전선	평균 4[V], 최대 8[V]
	경부하	주상변압기	0.5 [V]
		저압배전선	1 [V]
수용가 허용전압 상한치(V_{max})~ 하한치(V_{min})	1.06 [p.u.] ~ 0.94 [p.u.]		
변전소 주변압기	임피던스	0.004 + j 0.15 [p.u.]	
	정격용량	45/60 [MVA]	
	전압조정범위	± 10 [%]	
	총 탭수	17	
	전압불감대(db)	0.0125/0.02 [p.u.]	
분산전원	G1	5(MVA), 지상역률0.9	

2. 본 론

2.1 선로전압 강하 보상(LDC) 방식

LDC 전압조정방식은 배전계통에서 가상의 부하중심점의 전압을 정하고 이를 일정하게 유지하게 하는 전압조정방식이다. 부하의 변동을 파악하여 배전선의 전압강하를 고려하여 ULTC 변압기의 탭을 조정하여 배전계통에 전압 및 무효전력의 흐름을 제어하는 방식이다[1].

2.2 모델배전계통

그림의 모델배전계통은 ULTC변압기와 각각 10개의 부하점을 가지고 있는 피더 F1, F2, F3, F4로 구성되어

2.3 송출기준전압(SERV)

송출기준전압 (V_r)는 다음과 같이 주어진다[2].

- 중부하시 송출기준전압

$$V_{rmax} = \frac{D_h}{2} + (\bar{i} + \bar{u} + V_i)K \quad (1)$$

- 경부하시 송출기준전압

$$V_{rmin} = \frac{D_h}{2 * k} + \left\{ \frac{1}{k} (\bar{i} + \bar{u}) + V_i \right\} K \quad (2)$$

D_h : 고압배전선 말단까지의 최대전압강하

k : I_{max}/I_{min}

I_{max} : 중부하시 부하전류

I_{min} : 경부하시 부하전류

\bar{i} : 중부하시 주상변압기 평균전압강하

\bar{u} : 중부하시 저압배전선의 평균전압강하

K : 주상변압기 권수비

V_i : 적정전압 기준치

표2. 분산전원 F1, C10연계시 송출기준전압, 부하전류

	송출기준전압	부하전류
중부하	$V_{rmax} = 1.044$ p.u.	$I_{max} = 0.897$ p.u.
경부하	$V_{rmin} = 1.010$ p.u.	$I_{min} = 0.205$ p.u.

LDC 내부의 송출전압을 조정하기 위한 등가 임피던스 $R + jX$, 기준전압 V_0 를 구하면 다음과 같다.

$$R = \frac{(V_{rmax} - V_{rmin}) \cos \theta_{max}}{\sqrt{3}(I_{max} - I_{min})} \quad (3)$$

$$X = \frac{(V_{rmax} - V_{rmin}) \sin \theta_{max}}{\sqrt{3}(I_{max} - I_{min})} \quad (4)$$

$$V_0 = \frac{(I_{max} V_{rmin} - I_{min} V_{rmax})}{(I_{max} - I_{min})} \quad (5)$$

이 때 송출기준전압은

$$V_r = (R \cos \theta + X \sin \theta) * I + V_0 \quad (6)$$

이고 여기서 I는 부하전류이다.

2.4 전압변동 시뮬레이션

그림 2와 3은 분산전원 비연계시 배전시스템의 전압변동 및 피더 F1의 10번 노드 C10에 2[MVA], 역률 0.9 분산전원을 연계했을 경우 전압 변동을 시뮬레이션한 결과이다. 분산전원이 연계되지 않았을 경우 4개의 피더 모두 동일한 전압 변동을 나타내었으나 분산전원이 연계되었을 경우 연계 피더의 경우 비연계 피더에 비해서 분산전원의 공급영향에 따라 전압이 피더 말단에서 감소되지 않음을 알 수 있다.

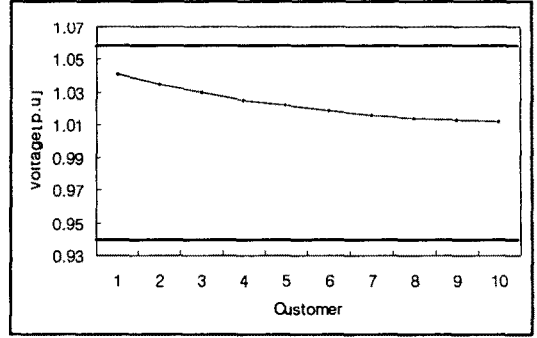


그림 2. 분산전원 비연계시 수용가 전압 변동

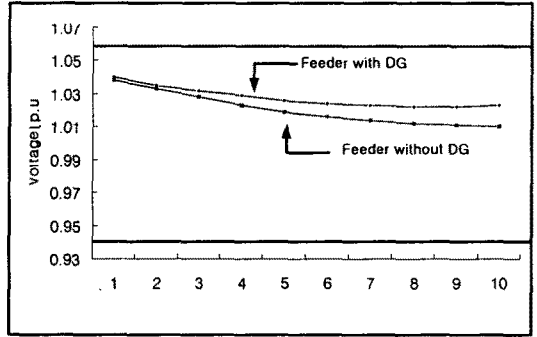


그림 3. 분산전원 연계시 수용가 전압 변동

2.5 전압조정 여유도

전압조정측면에서 분산전원의 도입량을 평가하기 위해서 전압조정가능 여유분에 대한 기준지표가 필요하다. 이러한 기준지표로서 다음 식(7)과 같은 송출전압을 고려한 배전시스템의 전압조정에 대한 여유도를 정의했다[1].

$$V_{fr} = \frac{(V_{max} - V_{min}) - (V_{cmax} - V_{cmin})}{2} - db \quad (7)$$

$V_{cmax} = MAX(F(V_r))$

$V_{cmin} = MIN(F(V_r))$

V_{max} : 수용가 허용전압 상한치

V_{min} : 수용가 허용전압 하한치

V_{cmax} : 수용가 최고전압

V_{cmin} : 수용가 최저전압

db : 전압불감대

$MAX(X)$: X의 최고값 함수

$MIN(X)$: X의 최저값 함수

$F(X)$: 조류계산 함수

X : 입력값

다음 표3은 분산전원 F1, C10에 5[MVA], 지상역률 0.9의 분산전원을 연계했을 때 분산전원 비연계피더의 전압조정 여유도를 나타낸 것이다. 거리가 멀어질수록 전압조정 여유도가 감소함을 알 수 있다.

표3. 분산전원 비연계피더의 피더길이 및 전압 불감대에 따른 전압조정 여유도

피더길이	전압조정 여유도	
	db = 0.0125[p.u.]	db = 0.02[p.u.]
1[km]	0.0295	0.0220
2[km]	0.0265	0.0190
3[km]	0.0235	0.0160
4[km]	0.0210	0.0135
5[km]	0.0190	0.0115
6[km]	0.0170	0.0095
7[km]	0.0155	0.0080
8[km]	0.0140	0.0065
9[km]	0.0130	0.0055
10[km]	0.0125	0.0050

2.6 송출기준전압 변동분

연계된 분산전원의 역조류에 따라 부하전류가 변하고 이와 동시에 송출기준전압도 변하게 된다. 따라서 연계된 분산전원의 배전계통 도입량을 평가를 위해서는 송출기준전압변동분을 고려해야 한다.

$$\Delta V_r = V_r - V_{r,g} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \Delta V_r &= Z_{eq} * (I - \Delta I) \\ &= Z_{eq} * I_g = Z_{eq} * \frac{S_g}{V_g} \\ &\approx Z_{eq} * S_g \end{aligned} \quad (8)$$

송출기준전압변동분은 식(9)에 나타나 있다.

$$\Delta V_r = (R_{eq} \cos \theta_g + X_{eq} \sin \theta_g) |S_g| \quad (9)$$

I_g, S_g, V_g, θ_g : 분산전원의 전류, 복소전력, 전압, 위상각

다음 그림 4는 분산전원의 용량, 역률에 따른 송출기준전압 변동분을 나타내었다. 분산전원의 용량이 클수록 역률이 좋을수록 송출기준전압변동분이 커짐을 알 수 있다.

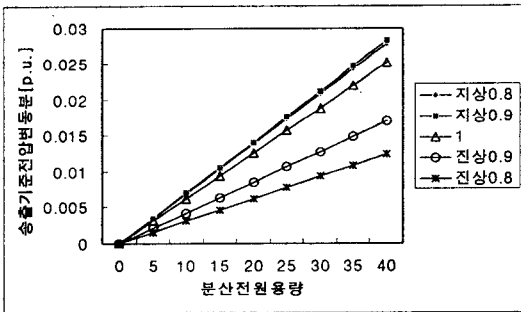


그림 4. 분산전원 용량,역률에 따른 송출기준전압변동분

2.7 모델배전계통의 신규 분산전원 도입량 평가

[1]에서 분산전원의 도입량은 식 (9)와 같은 송출기준전압변동분과 전압조정 여유도의 관계로서 구할 수 있

다.

$$\Delta V_r = \text{MIN}(V_{r'}) \quad (10)$$

분산전원 도입량은 식(11)과 같다[1].

$$S_{gmax} = \frac{\text{MIN}(V_{r'})}{R_{eq} \cos \theta_g + X_{eq} \sin \theta_g} \quad (11)$$

다음 그림 6은 (11)식에 의한 5[MVA], 지상역률 0.9의 분산전원이 연계된 모델배전계통의 거리에 따른 신규분산전원 도입용량을 시뮬레이션 한 것이다. 예를 들어 지상역률 0.9의 분산전원을 10[km]지점에 연계한다면 7.18[MVA]의 모델배전계통에 도입할 수 있는 최대 허용도입량이다.

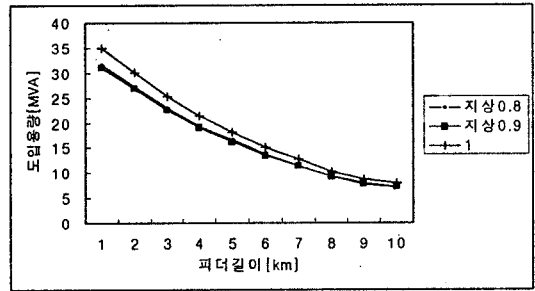


그림 5. 분산전원 역률과 연계거리에 따른 도입용량

3. 결 론

본 논문에서는 피더 4개에 각각 10개의 부하점을 가지고 모델배전계통에 신규 분산전원 도입량에 관한 연구를 하였다. F1, C10에 5[MVA], 지상역률 0.9의 분산전원이 연계된 모델배전계통에 신규 분산전원을 연계시 분산전원의 용량과 역률에 따른 송출기준전압변동분을 살펴 보았다. 그리고 전압조정측면에서 분산전원 비연계피더의 전압조정여유도를 살펴보고 전압조정여유도와 송출기준전압변동분을 이용하여 신규분산전원 도입량에 관한 연구를 하였다.

향후 실배전계통에 대한 분산전원 실제 도입량에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 기초전력공학공동연구소의 01-중-04 사업의 연구비에 의하여 연구되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] 최준호, 김재철, "전압조정 측면에서 본 소형 열병합발전 배전계통 도입량 평가", 대한전기학회, Vol. 48A, No. 9, 9월 1999.
- [2] Jae-eon Kim et al. "Impacts of dispersed storage and generation on the sending-end voltage in a distributed substation and a method of determining their introduction limits", ICEE 95, pp. 89-92, 1995
- [3] 김재연, 김용상, "배전계통에 연계가능한 소형열병합발전설비의 도입한계량 결정방법", 소형열병합 기술세미나 논문집, pp. 35-45, 1998
- [4] M.S. Calvoic, "Modeling and analysis of under-load tap-changing transformer control systems", IEEE trans. on Power apparatus and systems, Vol.PAS-103, No 7, July 1984