

모선 가격을 적용하고 있는 전력시스템에 전력품질보상제도가 계통계획에 주는 영향

이근준* 정성원** 강구택*** 김재현**
 *충북과학대학 **순천대학교 ***그린넷파워(주)

System planning effect of Power Quality compensation in nodal cost electric market

Geunjoon LEE* Sungwon Jung** Kutag Kang***, Jaehyun Gim**
 *Chungbuk Provincial college, **Sunchun University, ***GreennetPower Co.

Abstract - 본 논문은 모선가격을 적용하는 계통에서 전력품질기준을 초과한 수용가에 대한 보상을 하는 것이 계통계획상의 의사결정에 어떠한 영향을 주는가에 대한 시험 연구 결과이다. 우리나라는 산업의 고도화에 따라 전력에 대한 산업의 의존 비율이 대폭 증가하였을 뿐만 아니라, 전력품질에 대한 산업체의 요구조건도 과거에 비해 매우 높아졌다. 그러나 현행 계통계획과 전력요금제에는 이러한 사회적 변화를 반영할 품질에 대한 요소가 포함되어 있지 않으며, 이에 대한 적절한 대비가 되지 않음으로 인한 사회적 비용은 제대로 평가되지 못하고 있다. 본 논문에서는 수용가에 대한 전력요금에 모선별로 할당되는 경우에 각 모선의 전력품질이 측정가능하고 이를 보상비용화할 수 있다고 가정하는 경우, 이를 계통계획에 반영하였을 때 예상되는 효과와 모의계통을 통하여 시산해보고 그 결과를 토의한 것이다. 그 결과, 전력품질의 비용을 반영한 경우, 전력요금은 상승하지만 전체 비용을 최소화하는 요소설비에 투자하는 방법을 선택함으로써 총괄비용을 감소시키는 효과를 거둘 수 있다.

샘플 계통에 대한 각 모선의 nodal cost는 표 1과 같이 산출되었다.

<표 1> 샘플계통에 대한 모선별 가격

Bus Data								
Bus #	Voltage		Generation		Load		Lambda(\$/MVA-hr)	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVAR)	P(MW)	Q (MVAR)	P	Q
1	1.050	0.000	90.14	18.02	-	-	24.831	-
2	1.050	5.323	134.32	6.58	-	-	24.034	-
3	1.040	3.509	94.21	-15.38	-	-	24.081	-
4	1.041	-2.722	-	-	-	-	24.832	0.022
5	1.016	-5.109	-	-	125.00	50.00	25.108	0.167
6	1.030	-4.398	-	-	90.00	30.00	25.104	0.063
7	1.049	0.953	-	-	-	-	24.036	0.034
8	1.038	-1.359	-	-	100.00	35.00	24.280	0.065
9	1.050	0.611	-	-	-	-	24.081	-
Total:			318.67	9.22	315.00	115.00		

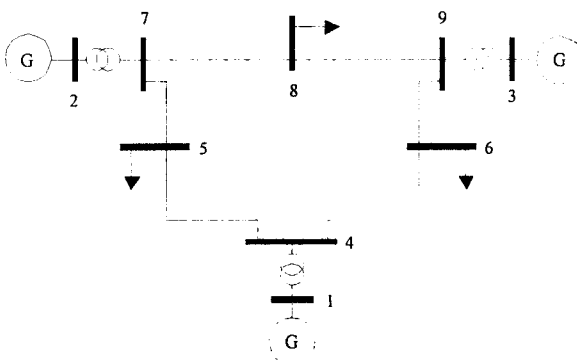
1. 서 론

전력품질은 종래에는 전압, 주파수, 무정전을 포함하는 포괄적 개념으로써 사용되었지만 디지털산업 사회로 진입함과 더불어 전력공급신뢰도와 순간전압저하 및 상승, 고조파 및 플리커 등의 다양한 현상에 의해 수용 측에 피해가 증대되면서 주로 피해가 큰 전압 현상들에 대해 중점적으로 연구가 진행되어 왔다. 더구나 전력시장이 지속적으로 진행되면서 전력설비에 대한 투자가 병행되지 않음으로써 대 소 정전에 의한 전력품질 저하에 대한 우려가 높아지고 있으며, 특히 우리나라의 경우 디지털반도체 산업 및 프로세스 산업이 차지하는 비중이 높아 순간정전에 의한 수용가의 피해가 큰 사회의 문제로 대두되고 있다.

그러나 우리나라의 경우 현행 전력회사와 수용가 간의 전력수급계약은 최대계약전력과 사용전력량 만에 의해 결정되고 있으며, 전력품질의 성분이 반영되지 않음으로써 정전피해에 대한 적절한 보상 대책 및 이를 극복하기 위한 설비투자의 방안에 대한 사회적 합의는 이루어지지 못하고 있다. 본 논문에서는 샘플 계통에서 전력설비의 운전이 최적조류계산에 의해 최적으로 수행되고 있는 상황을 가정하고 모선가격[\$/MVAH]을 산정한 다음, 각 모선에 연결된 부하들이 계통상에서 년중 발생하는 고장에 의해 탈락되는 피해비용을 산출하여 이들 비용에 대한 전력설비의 투자효과를 분석함으로써 전력품질요소를 고려한 설비계획의 방안을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 최적조류계산에 의한 모선가격의 산정



<그림 2> IEEE 9 모선 샘플 계통
 <fig 1> IEEE 9 bus system

2.2 수용가측 모선부하 탈락에 의한 전력품질 가격 결정

같은 외란이라도 수용가 부하 특성과 종류에 따라 정전 유발 및 품질저하에 따른 품질 비용이 달라지므로 가격과 외란의 가혹한 정도에 기반한 전력품질 지표를 연구해볼 필요가 있다. 이를 위해 모선 부하 탈락 지표와 모선평균 전력품질비용이라는 새로운 2개의 지표를 연구하였다. 이근준, G.T. Heydt는 부하의 CBEMA 전력허용곡선을 사용하여 전원전압의 특성변화에 따른 부하탈락여부를 판별하는 방법과 관련지표들을 제시하였다.

2.2.1 수용가 측에서의 모선 부하 탈락 지표(BLDI)

전력에 대한 부하구성 원도우와 전압기록이 주어진 경우 각 시간영역동안 등가 부하 탈락 지표는 다음과 같다.[1]

$$\text{모선부하 탈락지표 (BLDI)} = \sum_{k=1}^m LDZ(k) \quad (1)$$

$$LDZ(k) = \sum_{i=1}^n P(w_i) \times \text{탈락부하비용}(LDP_i) \quad (2)$$

단 w_i : 이상전압영역상 한점의 에너지값

$P(w_i)$: 에너지 영역에서의 부하탈락 확률

부하 탈락의 확률을 각 허용 영역에서 1로 가정하면

$$BLDI(i) = \text{각 영역 } N_i \text{에서의 사건 수} \times \text{부하 탈락 비용} (\rho_{Li}) \quad (3)$$

2.2.2 전력품질의 가격

IEEE 1159 의 각 시간계급에 대해 BLDI 값을 알면, 각 수용가에 대한 전력품질 가격을 계산할 수 있다. Billington, Sullivan 등은 부하차단의 시간 및 업종별로 차단비용을 연구하였으며, 그 대표적인 비용은 표 3과 같다.

<표 3> 전력 차단 평균 비용

<Table 3> Average power interruption cost

시간구분	평균단가 (US \$ / kW)
Instantaneous	0.078
Momentary	0.176
Temporary	1.22
Sustained	3.63

표 3의 자료들을 BLDI의 모선부하탈락횟수와 조합하여 계산한 결과 모선 전력품질 가격(BPQC : Bus Power Quality Cost)을 얻을 수 있다.

$$BPQC = \sum_{k=1}^m C_k \times BLDI(k) \quad (4)$$

2.2.3 샘플계통의 모선별 전력품질의 가격 산정

2.2.3.1 모선별 수용구성비

부하모선인 5, 6, 8번 모선의 수용 구성비를 다음과 같이 가정하였다.

<표 3> 모선의 부하구성비
<table 3> load composition data of load buses

모선번호	주거용 [%]	상업용 [%]	소산업용 [%]	대산업용 [%]	소비전력 (MW)
5				100	125
6		100			90
8	100				100

2.2.3.2 수용별 부하종류

또한 각 수용가유형에 따른 부하의 구성비는 다음과 같이 가정하였다.

<표 4> 수용가 유형별 부하 구성비
<table 4> customer load windows

	전등 [%]	전동기 [%]	변환기 [%]	계
주거용	100			100
상업용			100	100
소산업용		50	50	100
대산업용		100		100

2.2.3.3 부하의 전압특성

각 부하의 전압에 대한 특성은 다음과 같다고 가정한다.

$$\text{전등: } V_{end_{150}} = 0.87 - 0.288e^{-1.06T} - 0.712e^{-23.7T} \quad (5)$$

$$\text{모터: } V_{end_{150}} = 0.575 - 0.425e^{-1800T} - 0.57e^{-2.931T} \quad (6)$$

$$\text{변환기: } V_{end_{150}} = 0.87 - 0.288e^{-1.06T} - 0.712e^{-23.7T} \quad (7)$$

2.2.3.4 각 모선별 고장기록

각 선로에 고장을 발생시켜 모선의 전압변화를 조사하였다. 계산의 편의상 선로의 인접 모선에 고장이 발생한 것으로 가정하여 계산하였으며, 고장통계는 다음과 같다.

2.2.3.5 모의계통 고장계산결과

<표 5> 모의계통에 작용한 고장기록
<table 5> Fault records on sample system

모선번호	순간회복	재폐로1회성공[0.5초]	영구고장	
1	3LG	20	70	10
2	3LG	20	70	10
3	3LG	20	70	10
4	3LG	20	70	10
5	3LG	20	70	10
6	3LG	20	70	10
7	3LG	20	70	10
8	3LG	20	70	10
9	3LG	20	70	10

모의계통에 대해 각 모선의 3상 단락고장계산 결과는 다음과 같다. 고장점의 리액턴스는 0.1pu로 하였다.

순간고장시 각 모선의 전압값

<표 6> 순간고장시 각 모선의 전압값
<table 6> bus voltages during 3 phase instaneous fault

모선NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	0.8427	0.8245	0.8462	0.6936	0.4489	0.7254	0.7331	0.7577	0.7965
6	0.8462	0.8740	0.7847	0.7006	0.7340	0.4352	0.8083	0.7677	0.7152
8	0.9094	0.7627	0.7358	0.8236	0.7568	0.7592	0.6390	0.4502	0.6504

영구고장시 모선의 전압값

각 선로의 영구고장시 모선전압은 계통계획시 저전압이 발생하지 않는 조건으로 설계되었다고 가정한다.

2.2.3.6 각 모선별 부하탈락지표 및 전력품질가격지표의 계산 이상의 자료에 의해 각 부하 모선별로 계산된 BLDI 및 BPQC는 다음과 같다.

<표 7> 모선별 부하탈락지표 및 전력품질가격지표
<table 7> BLDI and BPQC of each bus

모선 NO	한계전압 (t=0.5초)	BLDI (회)	전력차단비용 (\$/kw)	부하전력 [kW]	BPQC [M\$/year]
5	0.7	180회	0.078	125000	1.755
6	0.7	180회	0.078	90,000	1.264
8	0.47	90회	0.078	100,000	1.404

2.2.4. 전압 새그의 전력품질을 포함한 각모선별 비용

이상의 자료에 의해 각 부하 모선별로 계산된 BLDI 및 BPQC는 다음과 같다.

<표 8> 전력품질비용을 포함한 모선총합비용
<table 8> nodal cost containing voltage sag cost

모선NO	모선전력가격[M\$/year]	BPQC[M\$/year]	total[M\$/year]	증분비
5	27.493	1.755	29.248	1.064
6	19.792	1.264	21.056	1.064
8	21.269	0.702	21.971	1.033

3. 결 론

전력계통에 작용하는 외란이 순간전압을 유발하고 이로 인한 각 부하의 부하들이 어떤 영향을 받는가를 고장계산에 의해 순간전압강하를 계산하고, 부하의 특성을 load window 와 load composition data를 이용하여 계산하는 방법을 모의계통에 대해 적용해 계산해 보고 정전가격의 평균값을 반영하여 그 영향을 시산해 보았다.

그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고장이 각 모선전압에 미치는 영향과 부하의 전압에 대한 민감성에 따라 각 모선의 모선가격이 전력품질의 변화에 따라 변동하였다. 고장시 상대적으로 순간전압강하에 덜 민감한 부하를 갖고 강인하게 설계된 8번 모선의 증분비가 상대적으로 낮았다.

2. 계통 각 요소의 보장에 소요되는 비용을 내용연수동안의 보장 전후 순간전압강하를 고려한 모선의 연간 총비용의 차를 비교하면 보상의 타당성을 구할 수 있다. 이는 다음 논문의 속제로 남겨 두었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이근준 "부하의 전압특성을 고려한 모선의 전력품질 지표 및 가격산정 기법", 대한 전기학회 논문지 52A-4-4, 2003년 4월, pp213-218
- [2] 이근준 외 1 "부하의 전압특성을 고려한 전력품질가격 산정기법의 모의 계통 응용", 2005 대한전기학회 추계학술대회 논문집
- [3] G.J.LEE, G.T.Heydt, "A Power Quality Index based on Equipment Sensitivity, Cost, and Network Vulnerability", IEEE Trans. on Power Delive ry, Vol.19, No.3, July 2004. pp 1504-1510