

## 전압 강하 협조 그래프(VSCC)를 이용한 수용가 모선 가격 계산

정성원\*, 이현철\*\*, 이근준\*\*\*, 김재현\*  
순천대\*, 그린넷파워(주)\*\*, 충북과학대학\*\*\*

## Customer Nodal Cost Calculation using Voltage Sag Coordination Charts

Sungwon Jeong\*, Hyunchul Lee\*\*, Geunjoon Lee, Jaehyeon Gim  
Sunchon National University\*, GreenNetPower\*\*, Chungbuk Provincial college\*\*\*

**Abstract** – In this paper, supposed that can measure power quality of bus and can calculate this cost in case electric charges about customer are imposed by each bus. When reflected this in system planning, expected cost proposed following method through sample system.

We calculated the nodal cost by OPF(optimal power flow) in system and the drop numbers that happen during year of loads utilizing VSCC. Also calculated BPQC using the disruption numbers. As a result, calculated bus total cost including power quality cost through case study.

### 1. 서 론

현재 국내의 전력품질은 세계 최고의 수준으로 알려져 있으나, 한국전력공사의 송배전설비 고장 내역[1]을 보면 2007년 한해 정전이 156회, 순간전압 강하가 406회 발생하였다. 특히 지난 2007년 8~9월 발생한 삼성전자 반도체 기흥 공장, 삼성 탕정 LCD 공장 정전 사고 및 하이닉스 반도체의 순간정전 사고로 인한 경제적 손실로 전력 품질 비용에 대한 관심이 고조되고 있다.

국내의 경우 현행 전력회사와 수용가 간의 전력수급계약은 최대계약 전력과 사용전력량으로 결정되고 있다. 또한 전력품질의 성분이 반영되지 않음으로써 정전피해에 대한 적절한 보상 대책 및 이를 극복하기 위한 설비투자의 방안에 대한 사회적 합의는 이루어지지 못하고 있다. 따라서 전력 거래를 위해 전력품질을 객관적으로 평가할 수 있는 정량적 지표에 대한 연구가 매우 필요하다고 하겠다.

본 논문에서는 샘플 계통에서 전력설비의 운전이 최적조류계산에 의해 최적으로 수행되고 있는 상황을 가정하여 모선가격[\$/MVAR-hr]을 산정하고, 전압강하 협조 그래프(VSCC: Voltage Sag Coordination Charts)를 이용하여 순간전압강하에 의한 부하의 고장 횟수를 계산하였다[2,3]. 그리고 각 모선에 연결된 부하들이 계통상에서 연중 발생하는 고장에 의해 탈락되는 피해비용을 산출하여 향후 전력시장에서 계통의 모선품질가격을 산출하는 방안을 제안하였다.

### 2. 전력 품질

#### 2.1 전력 품질 가격

전력 품질 가격을 계산하기 위하여 식(1)의 모선 전력품질 가격 [4](BPQC: Bus Power Quality Cost)와 모선부하 탈락지표(BLDI: Bus Load Drop Index)를 이용하였으며, 이 중 BLDI는 VSCC를 이용하여 종정지 횟수를 계산하였다.

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

여기서,  $C_k$ 는 IEEE 1159 규제에서 분류된 계급[5]의 평균 차단 비용으로 본 논문에서는 순간전압강하만을 고려하였기 때문에 전력차단 평균비용은 참고문헌[4]에서 0.078[\$/kW]를 선택하였다.

#### 2.2 전압강하 협조 그래프

VSCC는 SSPC(Supply Sag Performance Contours)와 ITI curve를 이용한 것으로 순간전압강하에 의한 기기의 종정지 횟수를 계산할 수 있다. SSPC(Supply Sag Performance Chart)는 특정 지역 또는 전력 사업소에서 연간 발생되는 순간전압강하의 수를 그래프로 나타낸 것이고, ITI 곡선은 순간전압강하에 의한 기기의 응답 특성을 나타낸다.

먼저, SSPC를 구하기 위해서는 특정 지역의 모니터링을 통하여 연간 발생되는 Sag의 크기와 기간에 따른 순간전압강하의 수에 대한 자료를 파악하여야 한다. 그러나 현재 국내의 순간전압강하의 수에 대한 모니터링 자료를 구할 수 없어 규격에서 제공되어 있는 예제 데이터를 이용하였다.

표 1은 연간 발생되는 순간전압강하의 수를 나타내는 데이터의 예이

고, 표 2는 표 1의 데이터에서 각각에 해당되는 순간전압강하의 수와 동일하거나 이보다 더 심한 크기와 기간을 갖는 순간전압강하의 총 합계를 나타낸다. 이 표를 이용하여 SSPC를 구할 수 있으며, 이때 각각의 선은 연간 발생하는 순간전압강하의 수를 나타낸다.

#### <표 1> 순간전압강하 데이터의 예

Magnitude	Time in seconds				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	≥0.8
>80~90%	1	1	1	1	1
>70~80%	1	1	1	1	1
>60~70%	1	1	1	1	1
>50~60%	1	1	1	1	1
>40~50%	1	1	1	1	1
>30~40%	1	1	1	1	1
>20~30%	1	1	1	1	1
>10~20%	1	1	1	1	1
0~10%	1	1	1	1	1

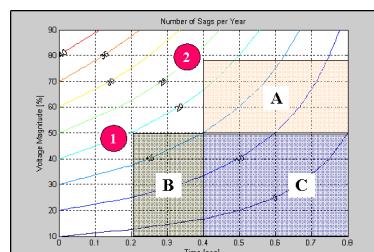
#### <표 2> 크기와 기간이 동일하거나 더 심한 이벤트의 합계

Magnitude	Time in seconds				
	0.0	0.2	0.4	0.6	≥0.8
90%	45	36	27	18	9
80%	40	32	24	16	8
70%	35	28	21	14	7
60%	30	24	18	12	6
50%	25	20	15	10	5
40%	20	16	12	8	4
30%	15	12	9	6	3
20%	10	8	6	4	2
10%	5	4	3	2	1

그림 1은 ITI 곡선의 예와 SSPC를 나타낸 것이다. 포인트 1은 지역 B와 C로 구성되어 있고 총 정지 횟수는 20이다. 포인트 2는 지역 A와 C로 구성되어 있고 Sag의 수는 24이다. 여기서 지역 C는 중첩되는 부분이고, 결과적으로 정지되는 총 횟수는 29가 되며, 일반화된 식으로 나타내면 식(2)와 같다.

$$N_T = X_1 + X_2 - Y_1 \quad (2)$$

여기서,  $N_T$ 는 기기가 정지하는 총 횟수이고,  $X_1$ 과  $X_2$ 는 Contour 선과 ITI 곡선이 만나는 점이며,  $Y_1$ 은  $X_1$ 과  $X_2$ 에 의한 구역이 서로 중첩되는 부분과 만나는 점이다.



<그림 1> Supply sag performance contours와 ITI 곡선

### 3. 사례 연구

샘플 계통은 그림 2와 같이 IEEE 9모선 계통을 이용하였다. 9모선은 3대의 발전기, 9개의 송전선로 및 3개의 변압기로 구성되어 있으며, 총 부수는 315[MW]이다.

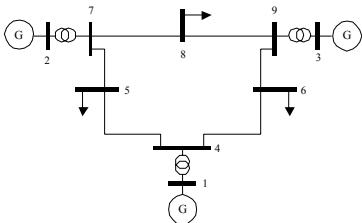


그림 2) IEEE 9모션 샘플 계통

### 3.1 모션 가격 선정

샘플계통의 nodal cost는 최적조류계산을 이용하였으며 그 결과는 표 3과 같이 산출되었다.

표 3) 샘플계통에 대한 모션 가격

Bus Data						
Bus #	Voltage Mag(pu)	Ang(deg)	Generation P (MW)	Q (MVAR)	Load P (MW)	Q (MVAR)
1	1.050	0.000	98.41	18.02	-	-
2	1.050	5.322	134.32	6.58	-	-
3	1.040	3.509	94.21	-15.38	-	-
4	1.011	-2.722	-	-	-	-
5	1.016	-5.109	-	-	125.00	50.00
6	1.038	-6.398	-	-	90.00	30.00
7	1.049	0.953	-	-	-	-
8	1.038	-1.359	-	-	100.00	35.00
9	1.050	0.611	-	-	-	-
Total:	318.67	9.22	315.00	115.00		

연간 모션전력 가격은 식(3)과 같다.

$$\text{모션전력가격} = \lambda \times P_{\text{Load}} \times 8760 \quad (3)$$

여기서,  $\lambda$ :모션 가격을 결정하는 Lagrange 계수

### 3.2 부하구성비

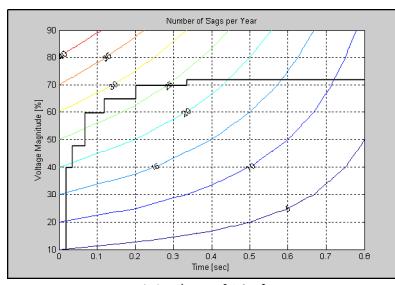
모선별 전력품질의 가격 산정을 하기 위해 부하모선인 5, 6, 8번의 부하 구성비는 표 4와 같이 가정하였다.

표 4 부하 모션의 부하구성비

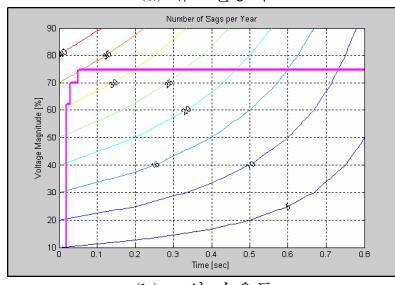
모선 번호	PC-power supply 주거용[%]	고압수은등 상업용[%]	유도전동기 대산업용[%]	소비전력 [MW]
5	-	-	100	125
6	-	100	-	90
8	100	-	-	100

### 3.3 총 정지 횟수

그림 4는 연간 발생되는 총 정지 횟수를 구하기 위한 전압강하 협조 그래프(VSCC)를 나타내며, 표 5는 각 기기들의 총 정지 횟수를 나타낸다. 그림에서 ITI 곡선은 참고문헌 6의 CBEMA 곡선을 이용하여 변환한 곡선이다.



(a) 유도전동기



(b) 고압 수은등

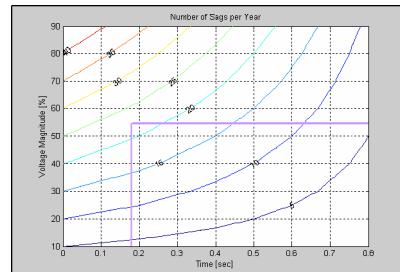


그림 4) 각 기기들의 전압강하 협조 그래프(VSCC)

표 5) 각 기기들의 총 정지 횟수

Load	X <sub>n</sub>	Y <sub>n</sub>	총 정지 횟수
유도전동기	24.28, 28.71, 28, 23.20, 19.67	19.33, 22.4, 26.5, 26, 23.33	34.02
고압수은등	30.63, 33.95, 35.63	30.31, 33.25	36.65
SMPS	22.55	-	22.55

표 5에서 고압수은등은 총 정지 횟수가 36.65회로 Sag에 가장 취약한 기기이고, SMPS가 가장 강인하게 설계된 것으로 나타났다.

### 3.4 모션 총합 비용

이상의 자료들을 이용하여 각 부하 모션별로 계산된 BLDI와 BPQC는 표 6과 같으며, 각 모션총합비용은 표 7과 같다.

표 7에서 증분비는 상대적으로 순간전압강하에 덜 민감한 부하를 갖고 강인하게 설계된 8번 모션이 상대적으로 낮았다. 결과적으로 고장이 각 모션전압에 미치는 영향과 부하의 전압에 대한 민감성에 따라 각 모션의 모션가격이 전력품질의 변화에 따라 변동함을 알 수 있다.

표 6) 모션별 부하탈락지표 및 전력품질가격지표

모션NO	BLDI(회)	전력차단비용 [\$/kw]	부하전력 [kW]	BPQC [M\$/year]
5	34.02	0.078	125,000	0.33
6	36.65	0.078	90,000	0.26
8	22.55	0.078	100,000	0.18

표 7) 전력품질비용을 포함한 모션총합비용

모션 NO	모션전력가격 [M\$/year]	BPQC [M\$/year]	total [M\$/year]	증분비
5	27.493	0.33	27.823	1.012
6	19.792	0.26	20.052	1.013
8	21.269	0.18	21.449	1.008

## 4. 결 론

SSPC와 ITI 곡선을 이용한 전압강하 협조 그래프(VSCC)로 연중 발생하는 기기의 고장 횟수를 계산하였고, 사례 연구를 통해 모션전력품질가격(BPQC)을 반영한 모션품질가격을 산출하였다.

그 결과 고장이 각 모션전압에 미치는 영향과 부하의 전압에 대한 민감성에 따라 각 모션의 모션가격이 전력품질의 변화에 따라 변동하였다.

따라서 본 논문에서 제시된 모션품질가격을 산출하는 방법을 이용하여 향후 전력시장화된 계통에서 전력수급계약의 정량적 지표로 활용이 가능할 것이다.

## [참 고 문 헌]

- 한국전력공사, “www.kepco.co.kr”, 송변전설비 고장 내역 안내
- IEEE Std. 1346-1998, IEEE Recommended Practice for Evaluating Electric Power System Compatibility with Electric Process Equipment
- 김철환, 김재철, 장길수외 21명, “순간전압품질이 포함된 신뢰도 평가를 통한 배전계통의 최적 설계시뮬레이터 개발”, 산업자원부 연구 보고서, 2005.8
- 정성원, 박인덕, 김재현, 이근준, “전력품질을 고려한 수용가 모션 가격 계산”, 한국조명전기설비학회 논문지, Vol. 21, NO. 3, Mar. 2007, pp. 82-87
- IEEE Std. 1159-1995, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Quality, Approved June 1995
- 이근준, 김재현, 정성원, 이현철외 3명, 전압 품질이 저압 전기기기 운전한계에 미치는 특성연구, 산업자원부 연구보고서, 2008.1