

# 부하의 전압특성을 고려한 모선별 전력품질 지표 및 가격 산정기법

論 文  
52A-4-4

## Power Quality Index and Cost based on Load-Voltage Characteristics

李 根 準\*  
(Geun-Joon LEE)

**Abstracts**-In front of the opening of electric distribution market in 2004, it is indispensable to have a proper estimation of power quality index and power quality cost calculation mechanism which are indispensable to stabilize highly industrialized society and to vitalize the investment for electric power system. However, there were not enough measures to reflect the voltage characteristics such as voltage sags and interruptions which make electric load in unstable operation. This paper suggests power quality index and power quality cost which translate various kinds of voltage records into bus load drop index(BLDI) and bus power quality cost(BPQC) based on aggregated load CBEMA curve. A sample calculation result shows that this method can produce the acceptable power quality index and costs for utilities and customers requirements.

**Key Words** : Power Quality Index, Power Quality Cost, CBEMA Curve, Voltage Sag, Electric Market

### 1. 서 론

전력품질은 전력공급신뢰도와 전압개념을 포함하는 용어로써 전력품질에 대한 수용가 측의 요구가 고도화되면서 중요한 이슈로 대두되고 있다. 특히 전력시장에서의 진입을 계획하고 있는 우리나라에서는, 시장체제하에서 수용가의 다양한 전력요구에 부응할 수 있는 적절한 품질의 전력을 공급해야 하는 문제에 직면해 있다. 전력 거래시 쌍방이 합의할 수 있는 전력품질의 기준을 제시하고 이에 의한 계약 및 보상을 하는 것은 필연적 과정이지만, 전력 품질을 객관적으로 평가할 수 있는 지표를 완전히 정량화하는 것은 용이하지 않다[1].

본 논문에서는 수용가와 전력회사간의 전력품질 문제로서 가장 빈번히 관심의 대상이 되는 정전 및 저전압(voltage sag)이 수용가 부하의 탈락을 초래하는 과정을 CBEMA 전력허용곡선을 활용함으로써 각 모선에 대한 모선부하탈락지표(Bus Load Drop Index) 및 모선전력품질가격(Bus Power Quality Cost)을 구하는 방법을 제시하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 CBEMA 전력 만족 곡선

전력허용곡선은 배전 전압의 변동 크기와 지속시간을 부하가 허용할 수 있는 한계범위를 정한 것이다. 그림 1은 CBEMA (Computer Business Equipment Manufacturers Association)

곡선으로서 지금은 ITIC(Informational Technology Industry Council) 곡선(그림 2)으로 대체되었지만 전력의 만족도를 가장 잘 표현한 곡선으로 알려져 있다. 수직축은 정격값에서 전압의 편차를, 수평축은 외란의 기간을 시간의 로그 눈금으로 나타낸 것인데 이를 선형값으로 나타내거나 cycle로 표시하는 것도 가능하다. 단시간 외란, 즉 순간 정전 등은 CBEMA 곡선의 왼쪽 축에 가까우며, 정상상태의 외란, 즉 상시 저전압 등은 오른쪽으로 거의 수평축  $\Delta V=0$  에 근접되어 있다.

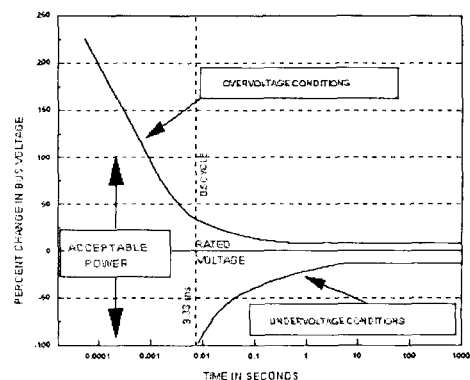


그림 1 CBEMA 전력만족곡선  
Fig. 1 CBEMA power acceptability curve

그림 1과 2에서 허용가능한 운전범위는 과전압은 위쪽 곡선한계까지, 저전압은 아래쪽 곡선의 한계까지이다. 전력만족곡선 상에서 과전압 영역은 중요하지만 일반적으로 순간적인 저전압 사건의 영향이 매우 많이 관측되기 때문에 보통 전압

\* 正 會 員 : 忠北科學大學 電氣에너지시스템學科 助教授 · 工博  
接受日字 : 2002年 11月 14日  
最終完了 : 2003年 2月 11日

처짐(voltage sag)에 상대적으로 관심이 집중되고 있으며, 이 논문에서도 초점을 여기에 맞추기로 한다.

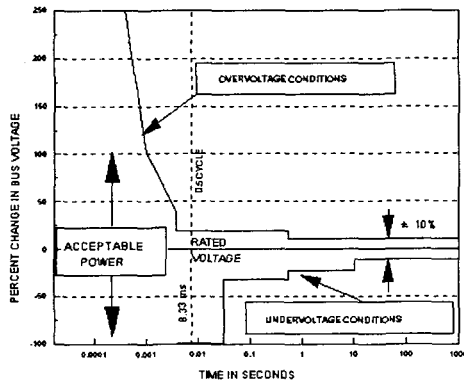


그림 2 ITIC 전력허용 곡선  
Fig. 2 ITIC power acceptability curve

CBEMA 곡선은 원래 주 컴퓨터에 대한 운전경험에 의해 개발된 것이다. Kyei, Heydt 등은 최근 부하의 허용가능 운전 영역을 결정하기 위해 DC 전압기준을 쓸 경우에 대해 연구하였는데, 거의 CBEMA 곡선과 비슷한 결과를 얻었다[2]. 'DC 전압기준'이란 것은 정류기 부하의 출력전압이 87% 이상을 유지하는지를 만족성의 전체적인 판단기준으로 한 것을 말한다. 만약 이 판별기준을 두개의 극점을 갖는 한개의 DC 회로 필터를 가진 공통 단상브리지 정류기(또는 평형부하를 가진 3상 Graetz 브릿지 운전)에 적용한다면 DC 출력전압은 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$V_{dc}(t) = V_{end} + 0.288e^{-1.06t} + (0.712 - V_{end})e^{-23.7t} \quad (1)$$

예컨대 전압 기준을 위에서 말한 바대로 라고 두면,  $V_{dc}$ 는 식 (1)에서  $V_{dc}=0.87$ 일때  $T$ 에서 허용불가능이 되므로,  $t=T$ 때의 의 해는

$$V_{end} = \frac{0.87 - 0.288e^{-1.06T} - 0.712e^{-23.7T}}{1 - e^{-23.7T}} \quad (2)$$

로 되며 이 값이 CBEMA 곡선의 저전압 한계를 나타내게 된다.

부하 형태의 변화, 판별기준 혹은 기준값이 변하면 해당 전력만족도도 달라지게 된다[2-3]. 예를 들면, 회전부하의 경우 어떤 값 이하로 속도가 떨어져서는 안되는 속도 기준이 있게 된다. 속도기준을 적용하는 경우 전력만족곡선은 CBEMA 곡선에서 얻은 모양과 매우 유사한 일반적인 형태를 갖게 되는 결과를 얻었다. 또한 AC 마그네틱 릴레이에 대해서도 조사하였는데 유사한 전력만족곡선을 얻었다[4]. 일반적으로 다양한 부하가 있는 모션에서는 다양한 부하유형과 동특성들이 연계되어 있다. 각각의 형식에 따른 부하 만족 곡선을 중첩하면 그림 3과 같은 곡선을 얻게된다. 그림에서 안쪽 영역은 전력만족영역이다. 실제 데이터를 가지고 실험한 바에 의하면 그 안쪽 영역이 그림 1의 CBEMA 곡선과 매우 유사하다는 걸 잘 알 수 있다.

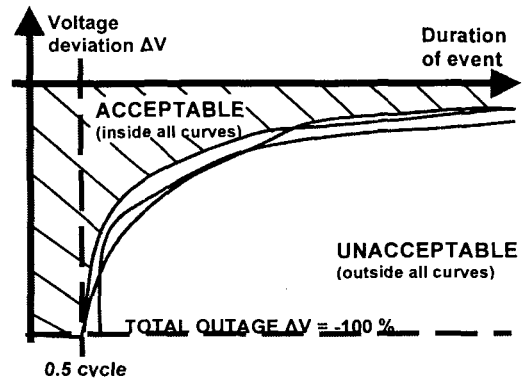


그림 3 여러 가지 전력 허용곡선의 중첩결과  
Fig. 3 Power acceptability curves of electric devices

모든 곡선의 안쪽에 있는 영역은 허용가능하며, 모든 곡선의 바깥쪽 영역은 허용불가능하다. 그리고 여러 가지 곡선들의 안쪽에 있는 영역은 부분적으로는 허용가능하나, 다른 부하에게는 허용이 불가능한 영역이 된다.

이상의 논한 사건은 저전압 사건들이 발생한 상황을 파형상의 한 지점(point-on-wave)으로 나타낸 경우이며, 다양한 부하시에 발생할 수 있는 실제적인 세부 상황을 언급한 것은 아니다. 파의 한지점(point-on-wave)이란 실험적인 슬어로서 Collins, Morgan, Mansoor[5-8] 등이 논하였다. 최악의 상황을 고려할 경우는 가장 큰 외란을 발생하는 파의 한점을 쓰게 되며, 복잡한 3상, 즉 sag를 유발하는 3상 사고의 유형은 2극 동특성을 갖고 있는 정류기에 전원을 공급할 때 불평형 삼상 고장의 효과에 의해 해석될 수 있다[7].

## 2.2. IEEE 표준 1159

IEEE 표준 1159[9]에서는 전력시스템 사건의 특징과 전형적인 범주를 설정해 두었다. 표 1과 표 2는 IEEE 1159에서 정한 용어와 사건을 시간과 전압변동크기로 분류한 것이다.

어떤 모션 부하의 특성들을 조합한 CBEMA 곡선이 존재하는 경우, 이 곳건과 IEEE 1159의 전압변동 구분기준을 서로 조합하면 전압변동 사건들이 모션부하의 탈락에 주는 영향을 체계적으로 고려할 수 있다. 예를들면 긴 기간을 갖는 정상상태의 전압 sag는 그림 4의 경우 오른쪽 끝에 나타나며, instantaneous, momentary, temporary sag들은 CBEMA 곡선상의 왼쪽 또는 중간부의 각각 적절한 시간대에 배치되게 된다. IEEE 1159, IEEE 1250, IEEE 859 등의 3가지 IEEE 표준들[9-11]도 그림 4에 함께 나타내었다.

표 1 단기간 전압변동의 기간(IEEE 1159, 60Hz ms)  
Table 1 short-term voltage variation period(ms in 60Hz)

변화의유형	단기간 변동의 범위		
	Instantaneous	Momentary	Temporary
차단		8.33-3000	3000-60000
sag	8.33-500	500-3000	3000-60000
Swell	8.33-500	500-3000	3000-60000

표 2 단기간 변화에 대한 전압의 크기 분류(p.u.)  
Table 2 short-term voltage variation magnitude(p.u.)

변화의 유형	단기간 변동의 범위		
	Instantaneous	Momentary	Temporary
차단		< 0.1	<0.1
sag	0.1-0.9	0.1-0.9	0.1-0.9
Swell	1.1-1.8	1.1-1.4	1.1-1.2

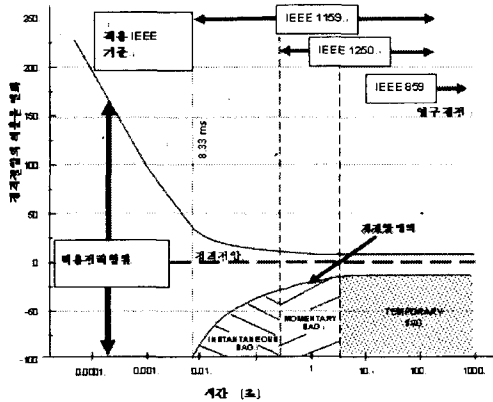


그림 4 CBEMA 곡선으로 모아본 IEEE 1159의 sag 기간  
Fig. 4 Integration of IEEE standards and CBEMA curve

2.3. 전력품질 지표와 전력품질 비용

복잡한 현상을 정량화하고 비교하는 경우 자주 지표를 사용하게 되는데, 어떤 경우는 이 방식이 정보의 손실을 줄이면서 복잡성을 완화하는데 도움을 주지만, 필요한 정보를 제대로 잡아내지 못하여 정보의 유실을 가져오는 경우도 있다.

현재 전력회사에서 전력품질을 대표하는 지표로는 다음과 같은 것들이 대표적이다.

표 3 전력품질 지표  
Table 3 Power quality indices

지표	약자	정의	적용
시스템평균 차단빈도지표	SAIFI	순간차단에 대해 (총순간차단수)/(총피관측전송지점수) 지속차단에 대해 (총지속차단수)/(총피관측전송지점수)	서비스중단을 횟수, 기간, 가혹한 정도로 영향을 평가하는데 적용
시스템 평균 차단기간지표	SAIDI	(총차단기간)/(총피관측지점수)	
시스템 평균 복구 지표	SARI	(모든 정전의 총기간)/(총지속차단의 수)	
전송점 비신뢰도지표	DPUI	(총 미공급에너지MW-min)/(시스템 침투부하 MW)	에너지 차단에 의한 전력품질의 영향 평가
시스템 평균RMS 변화빈도지표	SARFI %V	(변화에 대해 rms<%V를 겪은 수용가수)/(총 수용가수)	전압 sag를 평가하는 방법
수용가 평균 차단기간지표	CAIDI	SAIDI/SAIFI	수용가 평균정전기간

표 3의 사건 계수 지표들은 계측과 상호비교에 편리한 장점이 있으므로 일부 전력회사에서는 전력품질의 목표를 이들로 설정한다. 그렇지만, 사건 계수 전력품질 지표들은 부하 탈락에 대한 지표들과 동일하지 않다. 특정 부하의 형식과 동특성에 맞추어 CBEMA 곡선을 선정하고 이를 전원의 전압특성과 결합시키면 부하 생존 여부를 판별할 수 있다.

이 점을 이용하여 전압 sag와 부하 특성을 고려한 새로운 전력품질 지표를 제시하기로 한다. 위에서 예로든 지표들과 같이 단순하고 직접적인 계수 제시에만 그치는 것이 아니라 비용과 가혹도 정보를 얻는 것, 나아가 추가적으로 계측이 필요하지 않으면서, 데이터 처리만으로 새로운 지표를 얻는 것을 목표로 한다.

2.3.1 전압 외란 평가-전원측

이전의 지표들은 전원의 차단이 발생한 경우를 지표화하는데 비중을 두었는데 이는 전압에 민감한 부하들이 전압 sag의 효과에 의해 탈락할 위험성을 정량적으로 평가할 수 없는 단점이 있었다. 이 논문에서는 전원전압의 부하에 대한 영향의 정도를 이상전압크기와 지속시간들이 부하 탈락을 일으키는 개념에 입각하여 공급전압 품질을 정량화 할 전력품질 지표를 제안한다. 일련의 전압외란 측정치들은 그림 4 CBEMA 곡선에서 한 점으로 표시된다. 이 점들은 각각 소속된 기간 별로 그룹화될 수 있으며, 이 개념은 부하 특성 및 보호 장치의 설계에 요긴하게 활용된다.

전압 외란 I의 에너지 충격 평가

어떤 임의의 전압외란  $\Delta V_i$ 가 부하에 주는 에너지 영향은 다음 식 (3)로 표현할 수 있다.

$$W_i = \int (\Delta V_i)^2 dt \tag{3}$$

만약 외란의 시간구분 그룹갯수를 m, 각 그룹내의 전압외란 event 횟수를  $n_k$  라고 하면 각 그룹 k에 대한 평균 에너지 영향은 다음과 같이 된다.

$$E(k) = \frac{(\sum W_i)}{n_k} \tag{4}$$

$i = 1,2,3,\dots,n_k$  (IEEE 1159에 정의된 계급에 의해 그룹 k로 분류된 시퀀스)

여기서  $E(k)$ 는 각 기간에 있어 연결된 부하에 대한 차단과 sag의 횟수에 대하여 전압 sag의 평균적인 영향을 나타낸다. 에너지  $E(k)$ 와  $n_k$ 는 각 기간에 대해 전력품질 지표로 정의될 수 있으며, 특정 모선에 대한 전압 서비스의 평균 경향을 설정하는데 유용하므로 계약시 수용가와 전력회사간의 전력품질 상태에 대한 기초자료로서 사용될 수 있다. IEEE 1159에 따라 전압 외란의 전력품질 지표를 고려해보면 표 4과 같다.

표 4 전압외란의 전력품질 지표(전원측)

Table 4 Power quality index based on voltage disturbance (source side)

IEEE 1159에 따른 기간	$E(k), n_k$
instantaneous	$E_1, n_1$
Momentary	$E_2, n_2$
Temporary	$E_3, n_3$
Sustained	$E_4, n_4$

그렇지만, 전압 외란이 부하에 주는 충격은 이들 부하들이 전압 sag에 대한 취약성에 의존하므로 또다른 문제가 된다. 외란 즉 저전압 조건에 의한 부하 탈락의 영향을 계산하는 것은 주어진 부하에 대해 CBEMA 곡선을 사용하는 것이 유효하다[2].

2.3.2 전압외란에 대한 부하의 취약성 체킹

모선에 여러 가지 형태의 부하가 연결된 경우, 전원전압의 sag 크기와 지속시간에 대한 감도로서 부하들을 분류할 수 있다. 분류된 각 기기의 CBEMA 곡선은 특성통계적인 처리를 하면 대표적인 CBEMA 곡선을 얻을 수 있다. 전압 외란 데이터와 각 기기에 대한 CBEMA 곡선에서 각 기간 급에 대한 부하 차단 회수를 얻을 수 있다. 그림 5은 대표적인 3가지 부하, 전자 장비, 인버터와 회전기에 대한 CBEMA곡선의 예이다. 그림 5의 각 영역은 만족할 수 없는 각 운전 영역에서 부하가 차단되는 전압 변동 지역을 나타낸다. 전압의 차단 영역은 표준 전압의 약 10%에 해당될 뿐이지만, 만약 어떤 전압 외란의 지점이 영역 c2에 있다면 전자 장비, 인버터, 모터가 함께 탈락된다. 이런 정보를 가지면, 수용가의 평균 부하 탈락회수를 계산할 수 있다.

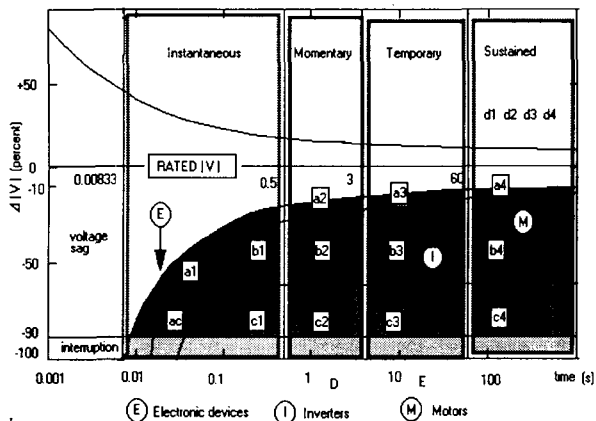


그림 5 복합 부하 모선에서 sag와 차단에 의한 부하 차단영역  
Fig. 5 Load drop areas considering various kinds of CBEMA curve

3. 수용가에서 본 전력품질 지표 계산의 예

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.

3.1 수용가 측에서의 모선 부하 탈락 지표(BLDI) 계산의 예

표 5와 같은 총 전력에 대한 부하구성 원도우와 표 6과 같은 전압기록을 가진 수용가를 생각해보자. 각 시간 영역동안 등가 부하 탈락 지표는 다음과 같다.

$$\text{모선부하 탈락지표 (BLDI)} = \sum_{k=1}^m LDZ(k) \quad (5)$$

$$LDZ(k) = \sum_{i=1}^{n_k} P(w_i) \times \text{탈락부하비율}(LDP_i) \quad (6)$$

단  $w_i$  : 이상전압영역상 한점의 에너지값

$P(w_i)$  : 에너지 영역에서의 부하탈락 확률

부하 탈락의 확률을 각 불허용 영역에서 1로 가정하면

$$BLDI(i) = \text{각 영역 } N_i \text{에서의 사건 수} \times \text{부하 탈락 비율} (\rho_{Li}) \quad (7)$$

Table 5 example of load window

표 5 부하 구성 원도우의 예

부하유형	전자제품	전력변환기	전동기	저항부하
백분율	50%	10%	20%	20%

표 6 그림 5의 전압 sag와 차단 회수기록

Table 6 Voltage records for Fig. 5

IEEE 1159 구분	a1-a4	b1-b4	c1-c4	a-c	10%>V	Total
Instantaneous	2	3	3	1	3	12
Momentary	2	3	1	0	2	8
Temporary	1	2	1	0	2	6
Sustained	0	2	0	0	2	4
Total	5	10	5	1	9	30

표 5와 6를 식 (3)-(7)에 적용하면 BLDI는 표 7과 같이 산출된다.

표 7 등가 부하 탈락 횟수 (회)

Table 7 equivalent load drop frequency

IEEE 1159 class	BLDI(k)	각 기간중 사건횟수
Instantaneous	8.9	12
Momentary	5.6	8
Temporary	4.5	6
Sustained	3.2	4
Total	22.2	30

이 부하 탈락 회수는 수용가 측에서 부하의 탈락 비율을 표시하는 전력품질 인덱스로서 정의될 수 있으며, 주어진 모선에서 전력품질 원가를 계산하는데 유용하다. 표 7에서 BLDI는 각 사건에 가혹도 가중치에 기초한 등가회수사건 이라는 것이 중요하다.

3.2 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[12, 13], 그 대표적인 비용은 표 8과 같다. 부하에 적절한 데이터들은 각 산업체의 특성에 적합하도록 연구개발 될 필요가 있다.

표 8 전력 차단 평균 비용

Table 8 Average power interruption cost

시간구분	평균단가 (US \$ / kW) [12]
Instantaneous	0.078
Momentary	0.176
Temporary	1.22
Sustained	3.63

표 8의 자료들을 표 7의 모선부하탈락횟수와 조합하여 계산한 결과 모선 전력품질 가격(BPQC : Bus Power Quality Cost)을 얻을 수 있다.

$$BPQC = \sum_{k=1}^m C_k \times BLDI(k) \quad (8)$$

$C_k$  는 IEEE 1159 급에서 분류된 계급의 평균 차단 비용 (표 8)이며, 그 결과 BPQC는 18.78US\$/kW로 계산되었다.

4. 실계통 적용에의 확장

전력시스템에서 수용가들은 자주 주거용, 상업용 소산업용, 대산업용으로 분류된다. 총 부하전력 P[kW]인 모선에서 수용가들의 구성비가 표 9와 같이 주어졌다고 하자.

표 9 모선에 접속된 수용가 구성비

Table 9 Load composition data for a load bus

수용가 유형	주거용	상업용	소산업용	대산업용
[%]	$U_r$	$U_c$	$U_{s1}$	$U_{s2}$

또 각 유형의 수용가들의 부하 구성은 전형적인 부하 구성 윈도우로 나타낼 수 있다고 하자. 이들 데이터와 가중 CBEMA 곡선을 가지고 있다면, 매 모선별로 BLDI와 BPQC 를 산출할 수 있다. 그림 7은 이 계산 과정을 도식화한 것이다.

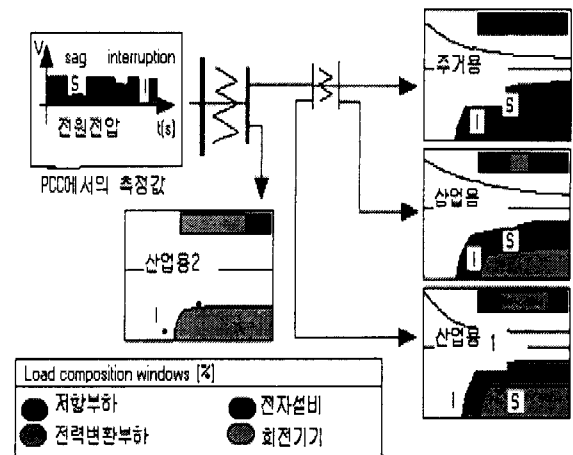


그림 6 전력품질 지표와 가격 계산 개념도

Fig. 6 Conceptual Diagram of BLDI and BPQC calculation

아래는 계산 방법의 요약이다.

1. 각 부하 모형에 대한 CBEMA 곡선을 설정한다.
2. 식 (3)을 써서 각 전력품질 현상이 부하 유형에 주는 통계적 부분을 찾는다.
3. 가중 CBEMA 곡선을 구성한다.
4. CBEMA 곡선의 시간 축을 IEEE 1159의 정의에 따라 instantaneous, momentary, Temporary, Sustained 고 장으로 분류한다.
5. 기록된 전력품질(어떤 기간중의 RMS 전압으로 모니터링된 값)을 CBEMA 곡선으로 처리하고 부하의 탈락에 대응하는 유효부분들을 찾아낸다.
6. BLDI(부하 모형이나 형식에 대한 탈락 부하의 비율)를 평가하고 이에 대응하는 차단 비용을 곱하여 BPQC를 계산한다.

5. 결론

본 논문에서는 전원의 차단 및 전압변동에 따른 전력품질을 평가하는 지표를 에너지 개념에 의해 제안하는 한편, 전원의 이상현상이 부하의 차단에 주는 영향을 실질적으로 평가

하고자 CBEMA 곡선과 전압기록, 정전 가격 이력에 기초한 모선 전력품질 지표 BLDI와 모선전력품질가격 BPQC를 제안하였다.

전원의 품질은 각 정전시간대별로 평균일탈 에너지값과 횡수로 나타낼 수 있으며, 각 기간의 에너지 충격의 평균값은 외란 에너지 레벨을 나타낸다. 이 에너지 레벨은 특정 모선에 대한 보호기기 또는 보상장치의 설계에 활용성이 높다.

전원의 이상은 부하의 종류와 특성에 따라 부하탈락으로 이어지는 것이 달라지므로 이를 CBEMA 곡선을 이용하여 판별하였는데 그 결과 전압 sag가 부하탈락에 주는 영향을 고려한 데이터(BLDC 및 BPQC)를 얻을 수 있었다. 이 개념을 확장하여 각모선별로 부하구성비와 부하구성원도우 및 시간대별 차단가격이 주어지는 경우 이를 연산처리하여 각 모선별로 등가부하탈락지표 및 전력품질가격을 산출할 수 있음을 보였다.

이 방법은 새로운 측정기기가 필요없으며, 실용화하기 쉽다. 또한 간단한 사건 계수를 이용하여 부하의 조건을 고려한 전압외란의 비용과 차단 가혹도가 포착된다는 점이다. 이들 지표들은 전력시스템 계획과 운용 및 중요한 리베이트 정책에 필요한 가격 정보를 줄 수 있다.

**감사의 글**

이 연구는 산업자원부 및 기초전력공학공동연구소 프로그램으로 지원된 것이며 이에 감사를 드립니다.

**참 고 문 헌**

[1] G. Heydt, W. Jewell, "Pitfalls of power quality indices," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 132, pp. 570-578.

[2] J. Kyei, R. Ayyanar, G. Heydt, R. Thallam, J. Blevins, "The design of power acceptability curves," IEEE Transactions on Power Delivery, accepted for publication, 2002.

[3] J. Kyei, G. T. Heydt, R. Ayyanar, J. Blevins, R. Thallam, "Power acceptability curves for rotating machine loads," 2001 North American Power Symposium, October, 2001, College Station, TX, pp. 120 - 123.

[4] John G. Kyei, "Analysis and design of power acceptability curves for industrial loads," MSEE Thesis, Arizona State University, Tempe, AZ, December 2001

[5] E. Collins, R. Morgan, "A three phase sag generator for testing industrial equipment," IEEE Transactions on Power Delivery, v. 11, No. 1, January, 1996, pp. 526 - 532.

[6] D. Koval, "Computer performance degradation due to their susceptibility to power supply disturbances," Conference Record, IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, October 1989, v. 2, pp. 1754 - 1760.

[7] M. Bollen, L. Zhang, "Analysis of voltage tolerance of AC adjustable-speed drives for three-phase balanced and unbalanced sags," IEEE Transactions on Industry Applications, v. 36, No. 3, May-June 2000, pp. 904 -910.

[8] E. Collins, A. Mansoor, "Effects of voltage sags on AC motor drives," Proceedings of the IEEE Technical Conference on the Textile, Fiber and Film Industry, 1997, pp. 9 - 16.

[9] IEEE Standard 1159-1995, "IEEE recommended practice for monitoring electric power quality," IEEE, Piscataway NJ, November 1995.

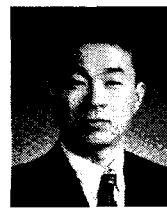
[10] IEEE Standard 1250-1995, "IEEE guide for service to equipment sensitive to momentary voltage disturbances," Piscataway NJ, 28 June 1995.

[11] IEEE Standard 859-1987, "IEEE standard terms for reporting and analyzing outage occurrences and outage states of electrical transmission facilities," Piscataway NJ, 17 February 1988.

[12] G. Tollefson, R. Billinton, G. Wacker, E. Chan, J. Aweya, "A Canadian customer survey to assess power system reliability worth," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, No. 1, February 1994, pp. 443-450.

[13] M. J. Sullivan, T. Vardell, "interruption cost, customer satisfaction and expectations for service reliability," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No. 2, May 1996, pp. 989-995.

**저 자 소 개**



**이근준(李根準)**

1957년 9월 4일생. 1981년 울산공대 전기공학과 졸업. 1985년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 울산대 전기공학과 졸업(공학박). 1976-1998 한전전력연구원 선임연구원. 1988년-1989년 미국 University of Texas at Arlington 에너지시스템 연구소 연구원. 2001년-2002년 미국 Arizona State University PSERC 교환교수. IEEE Senior member, 발송배전기술사. 현재 충북과학대학 전기과 교수. 주요관심분야는 전력계통 안정도, FACTS, 전력품질평가시스템  
Tel : 043-730-6321, 016-466-3726, Fax : 043-730-6329  
E-mail: gilee@ctech.ac.kr, roundyou@hotmail.com