

부하의 전압특성을 고려한 모션별 전력품질 지표 및 가격 산정기법

이근준
충북과학기술대학 전기에너지시스템과

G.T. Heydt
ECE, Arizona State Univ.

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

Geun-Joon LEE
EE, Chungbuk Science & Technology College

G.T. Heydt
EE, Arizona State Univ.

Abstract - 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 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(LDI) and power quality cost(LDC) which translate various kinds of voltage records into load drop index and cost 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.

는 전압의 변화와 지속시간을 좌표에 표시함으로써 기기에 허용될 수 있는 전압의 품질을 표시한 곡선이다. 순간 저전압 event에 대한 관심의 초점은 'sag'의 깊이와 기간이다. 그림 1은 CBEMA(Computer Business Equipment Manufacturers Association) 곡선으로서 지금은 ITIC(Informational Technology Industry Council) 곡선으로 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 외란은 CBEMA 곡선의 왼쪽 측에 가까우며, 정상상태의 외란은 오른쪽으로 거의 수평축 $\nabla V=0$ 에 근접되어 있다. 최근의 ITIC 곡선은 그림 2와 같다.

1. 서론

전력품질은 전력공급신뢰도와 전압개념을 지칭하는 용어로서 수용가 측의 전력에 대한 정밀성 요구가 증대되면서 중요한 이슈로 대두되고 있다. 특히 전력시장에서의 진입을 계획하고 있는 우리나라에서는 시장체제하에서 수용가의 다양한 전력요구에 적절한 품질을 보장하는 전력을 공급해야하는 문제에 직면해 있으므로 쌍방이 합의할 수 있는 전력품질을 제시하고 이에의한 제약 및 보상을 하는 것은 필연적 과정이지만, 전력품질의 객관적 평가를 수행할 수 있는 지표를 완전히 정량화하는 것은 어렵고 복잡한 설계목표이다. 참고문헌 [1]은 여러 가지 전력품질 지표와 그들의 장단점을 논하여 놓았다.

본 연구에서는 수용가와 전력회사간의 전력품질 문제로서 가장 빈번히 관심의 대상이 되는 정전 및 저전압(voltage sag)을 대상으로 이에 의한 수용가 부하의 탈락이 초래되는가에 관심을 두어 CBEMA 전력허용곡선을 활용하여 각 모션에 대한 부하탈락지표(Load Drop Index) 및 부하탈락 가격(Load Drop Cost)를 구하는 방법을 제시하였다.

2. 본론

2.1 전력 만족 곡선

CBEMA 전력만족곡선은 컴퓨터 부하에 허용될 수 있

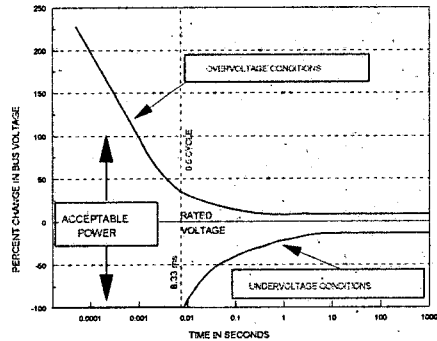


그림 1. CBEMA 전력만족곡선

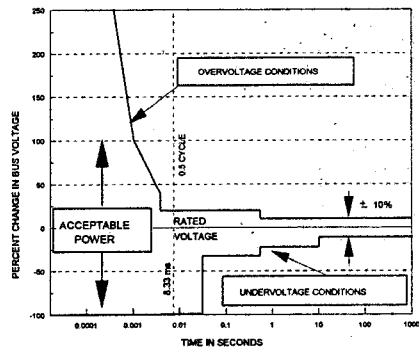


그림 2. ITIC 전력허용 곡선

그림 1과 2에서 허용가능한 운전범위는 과전압은 위쪽 곡선한계까지, 저전압은 아래쪽 곡선의 한계까지이다. 비록 전력만족곡선의 과전압 영역이 중요하지만 순간적인 저전압 사건의 영향이 매우 많이 관측되기 때문에 전압치짐(voltage sag)에 특별한 관심을 보이는 것이 일반적이며, 이 논문에서도 초점을 여기에 맞추기로 한다.

CBEMA 곡선은 원래 main frame computer에 대한 운전경험에 의해 개발된 것으로 생각된다. Kyei, Ayyanar, Heydt, Tallam, Bleven[2]등은 최근 만약 누군가 허용가능 운전영역을 결정하기 위해 DC 전압기준을 쓴다면 어떻게 될 것인가에 대해 관심을 두었는데 거의 CBEMA 곡선과 비슷한 결과를 얻었다. 'DC전압 기준'이란 것은 정류기 부하의 출력전압이 87%이상을 유지하는지를 만족성의 전체적인 판단기준으로 한 것을 말한다[2]. 만약 이 판별기준이 두개의 극점을 갖는 한 개의 DC 회로 필터를 가진 공통 단상브리지 정류기(또는 평형부하를 가진 3상 Graetz 브릿지 운전)에 적용된다면 DC 출력전압으로 다음을 얻을 수 있다.

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

예결대 전압 기준이 위에서 말한 바대로 $V_{dc} \geq 0.87$ 라고 두자. Vdc 가 벗어난 값이 식 (1)에서 $V_{dc}=0.87$ 일때 T에서 허용불가능이 된다. 이 수식에서 $t=T$ 때의 V_{end} 의 해는

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

이것이 CBEMA 곡선의 저전압 값의 한계를 나타내는 공식이다.

다른 부하의 형태나 판별기준 혹은 표준값에 따라 전력 만족도가 달라지는 것은 자연스러운 일이다. 예를 들면, 회전부하는 어떤 값 이하로 속도가 떨어저서는 안되는 속도 기준이 있을 것이다. 참고문헌 [2-3]은 이 경우에 대해 연구하였다. 재미있는 현상은 속도 기준을 적용하면 전력 만족도 곡선은 CBEMA 곡선에서 얻은 모양과 매우 유사한 일반적인 형태를 갖는다는 것이다. Kyeisms 또한 AC 마그네틱 릴레이에 대한 force standard 에 대해서도 논하였다[4]. 여기서도 전력 허용 곡선은 CBEMA 곡선과 유사한 결과를 보였다. 부하는 다양한 개별적 부하형식과 동특성을 갖는 집합체이다. 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.

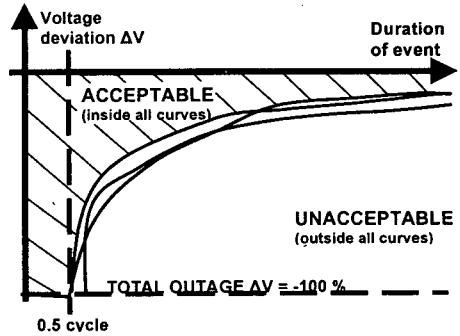


그림 3. 여러 가지 전력 허용곡선의 중첩결과

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.

앞에서 논한 것들은 저전압 사건들이 발생하는 지점에서의 파형상의 한점, 그리고 여러 가지 삼상의 세부사항들과 같은 실제적인 것을 언급하는 것은 아니다. 파의 한 지점(point-on-wave)은 실험적인 술어로서 Collins, Morgan, Mansoor[5-6]등이 논하였다. 가장 나쁜 경우의 관점에서는 가장 큰 외란을 발생하는 파의 한점이 쓰이게 된다. 복잡한 3상(즉 sag를 유발하는 3상 사고의 유형)은 2극 dynamics를 갖고 있는 정류기에 전원을 공급할 때 불평형 삼상 고장의 효과에 대한 의미로서 해석될 수 있다[4].

2.2 IEEE 표준 1159

IEEE 표준 1159[9]는 전력시스템 사건의 특성과 전형적인 범주를 설정해 두었다. 표 1은 IEEE 1159에서 설명하고 있는 술어와 사건의 기간 분류이다. 실제 표준은 이들 기간을 cycle 로 나타낸다. 표 2는 사건의 가혹한 정도를 전압의 크기로 나타낸 것이다.

표 1. 단기간 전압변동의 기간 (IEEE 1159, 기간은 60Hz 시스템에서 milliseconds)

| 변화의 유형 | 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.)

| 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 |

통상의 CBEMA 곡선 또는 특정한 부하에서 얻은 유사 CBEMA 곡선을 전압 IEEE 1159의 sag의 정의에 따라 조합하는 것이 가능하다. 그림 5는 이전의 CBEMA 곡선을 사용해서 이것이 성립됨을 보인 것이다. 긴 주기의 저전압들은 지속적인 사건, 예를 들면 정상상태로 그림 4의 오른쪽 끝에 나타난다. Instantaneous, momentary, temporary sag들은 CBEMA 곡선상의 각각 적절한 시간대에 배정될 수 있다. IEEE 1159, IEEE 1250, IEEE 859의 3가지 IEEE 표준들을 그림 4에서 외란의 기간과 함께 그 범위를 나타내었다[9-11].

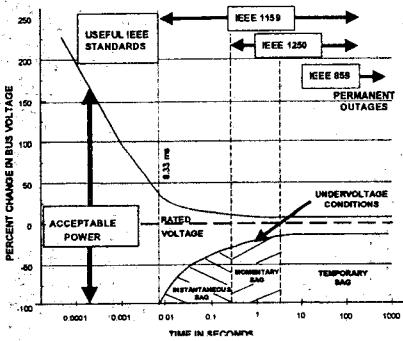


그림 5. CBEMA 곡선으로 모아본 IEEE 1159의 sag 기간

2.3 전력품질 지표와 전력품질 비용

엔지니어들은 복잡한 현상들을 정량화하기 위해 자주 지표에 의존한다. 어떤 경우에는 이 방식이 정보의 손실을 줄이면서 복잡성을 완화하는데 도움을 주지만, 또다른 경우에는 지표들이 필요한 정보를 제대로 잡아내지 못하여 정보의 유실을 가져오는 경우도 있다. 전력품질은 자주 SAIFI(System Average Interruption Frequency Index)나 SAIDI(System Average Interruption Duration Index), 그리고 SARFI(System Average RMS (variation) Frequency Index Voltage Threshold)등과 같은 사건 회수에 의해 정량화된다.

순간적인 차단 (momentary interruption)에 대해서는

$$SAIFI = \frac{\text{총 순간차단의 횟수}}{\text{총 관측되는 전송점의 수}}$$

지속적인 차단에 대해서는

$$SAIFI = \frac{\text{지속적인 차단 횟수}}{\text{총 관측되는 전송점의 수}}$$

일반적인 외란에 대해서는

$$SAIDI = (\text{모든 차단기간의 총합}) / (\text{총 관측된 전송점의 수})$$

$$- SARFI\%V = (\text{rms}\%V \text{인 } i\text{번째 변화를 겪은 수용가 수의 합}) / (\text{총 수용가 수})$$

사건 계수 지표들은 계측과 상호비교에 편리한 장점이 있다. 일부 전력회사들은 전력품질의 목표를 사건 계수 지표에 의해 설정한다. 그렇지만, 사건 계수 전력품질 지표들은 쉽게 부하 탈락의 데이터로 변환되지 못한다. 특정 부하의 형식과 동특성에 맞추어 잘 설계된 유사 CBEMA 곡선은 부하 응답과 부하 생존을 판별할 수 있는 장점이 있다.

이 점에서 전압 sag와 부하 특성을 고려한 새로운 전력품질 지표에 관심을 가져보자. 그 목표는 위에서 보인 지표들과 같은 단순하고 직접적인 계수에만 그치는 것이 아니라 비용과 가혹도 정보를 얻는 것에 둔다. 나아가 추가적으로 계측이 필요하지 않으면서, 데이터 처리만으로 새로운 지표를 얻을 수 있어야 한다.

2.3.1 전압 외란 평가

이전의 지표들은 차단 횟수를 나타내는데 유리하였다. 그렇지만 전압에 민감한 부하들의 전압 처짐의 효과에 의해 탈락할 위험성을 정량적으로 평가하는데는 어려움이 있었다. 이 논문에서는 영향의 정도를 고려하여 전압 품질의 각 기간들이 영향을 주는 개념에 입각하여 공급 전압 품질을 정량화 할 전력품질 지표를 제안한다. 일련의 전압외란 측정치들은 그림 5의 CBEMA 곡선에서 한 점으로 표시된다. 이 점들은 공통 외란 기간에 의해 그룹화된다. 이 개념은 부하 특성과 보호 장치의 설계에 중요한 것이다. 만약 m 그룹의 외란 기간이 있고 각 그룹은 n_k 점의 전압 외란 기록이 있다고 하면 각 외란에 대한 에너지 영향은 다음과 같이 된다.

2.3.2 전압 외란 의 에너지 총격

$$W_i = \int (\Delta V_i)^2 dt \quad \text{for All } i \quad (2)$$

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

기간 k에 대한 각 에너지 외란의 평균값

$$E(k) = \frac{(\sum W_i)}{n_k} \quad (3)$$

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, 계약서 수용가와 전력회사 간의 전력품질 상태에 대한 기초자료로서 사용될 수 있다. IEEE 1159에 따라 전압 외란의 전력품질 지표를

고려해보면 표 3과 같다. 이들 지표들은 특정 모선에 대한 전압 서비스의 평균 경향을 설정하는데 유용하다. 그렇지만, 전압 외란이 부하에 주는 충격은 이들 부하들이 전압 sag에 대한 취약성에 의존하므로 또다른 문제가 된다. 외란에 의해 부하 탈락될 영향을 계산하는 것, 즉 저전압 조건 때문에 부하가 탈락할 가능성을 계산하기 위해, 주어진 부하에 대해 CBEMA 곡선을 사용하는 것이 유효하다. 참고 문헌 [2]는 이것을 어떻게 처리하는가를 보여준다.

표 3. 외란을 분류하는 표시

| | |
|------------------|-------------|
| 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 |

2.3.3 전압외란에 대한 부하의 취약성 체킹

여러 가지 형태의 부하를 가지고 있는 모선에 대하여, 전압 sag와 기간에 대한 감도로서 부하들을 분류하는 것이 가능하다. 각 부하의 분류유형에 따라 작성된 CBEMA 곡선은 통계적인 결과를 조합함으로써 작성 가능하다. 전압 외란 데이터와 CBEMA 곡선을 가지면, 각 기간 급에 따른 부하 차단 회수를 얻을 수 있다. 그림 6은 대표적인 3가지 부하, 전자 장비, 인버터와 회전기에 대한 CBEMA곡선의 예이다. 그림 6의 각 영역은 만족할 수 없는 각 운전 영역에서 부하가 차단되는 전압 sag 지역을 나타낸다. 전압의 차단 영역은 표준 전압의 약 10%에 해당될 뿐이다. 만약 어떤 전압 외란의 지점이 영역 c2에 있다면 전자 장비, 인버터, 모터가 함께 탈락된다. 이런 정보를 가지면, 수용가의 평균 부하 탈락회수를 계산하는 것이 가능하다.

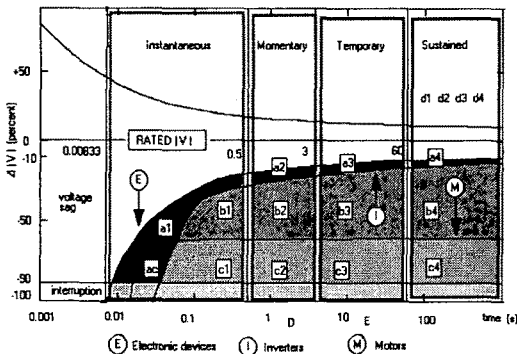


그림 6. 복합적인 부하 모선에서 sag와 차단에 의한 부하 차단지역

2.4 수용가에서 본 전력품질 지표 계산의 예

가격과 외란의 가혹한 정도에 기반한 전력품질 지표를 연구해보는 것은 유용하다. 이를 위해 평균 부하 탈락 지표와 평균 부하탈락 비용이라는 새로운 2개의 지표를 연구하였다.

2.4.1 평균 부하 탈락 지표(LDI) 계산

표 4와 같이 총 전력과 부하 구성에 대한 윈도우를 가지고 있으면서, 특정 기간동안 CBEMA 곡선상에서 전압 기록을 표 5와 같이 갖고 있는 수용가를 생각해보자. 각 시간 급동안 등가 부하 탈락 지표는 다음과 같다.

모선 평균 부하 탈락 지표 (LDI)

$$= \sum (\text{각기간 계급동안 CBEMA 곡선상에서의 부하탈락}) \quad (4)$$

$$LDI(i) = \sum (\text{탈락확률} \times W_i \times \text{탈락부하 비율}(L_i)) \quad (5)$$

부하 탈락의 확률을 각 불러용 영역에서 1로 가정하면 $LDI(i) = \sum \text{각 영역 } N_i \text{에서의 사건 수} \times \text{부하 탈락 비율}(L_i)$

(6)

표 4. 부하 구성 윈도우의 예

| Load type | Electronic L_e | Inverter L_i | Motor L_m | Resistive L_r |
|-----------|------------------|----------------|-------------|-----------------|
| Percent | 50% | 10% | 20% | 20% |

표 5. 그림 6의 전압 sag와 차단 회수기록

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

표 4와 5를 식 3-5에 적용하면 LDI는 표 6과 같이 산출된다.

표 6. 등가 부하 탈락 횟수 (회)

| IEEE 1159 class | LDI(k) | Events in each duration class |
|-----------------|--------|-------------------------------|
| 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 있다. 이 LDI는 주어진 모션에서 전력품질 원가를 계산하는데 유용하다. 표 6에서 LDI는 각 사건에 가혹도 가중치에 기초한 등가 회수사건라는 것이 중요하다. 이 방법으로 등가 부하탈락횟수가 계산된다.

2.4.2 전력품질의 가격(LDC)

IEEE 1159 의 각 계급에 대한 LDI의 값을 가지면, 각 수용가에 대한 전력품질 가격을 계산하는 것이 가능하다. 일련의 차단 비용에 대한 연구들이 참고문헌 [12],[13]에 제시되어 있다. 대표적인 미 달러로 환산된 비용들은 표 7에 제시되었다. 지역과 그지역의 내력과 일치하는 적절한 데이터를 사용하는 것은 I가능하며, 표 7은 한 예이다.

표 6. 등가 부하탈락횟수 (회)

| IEEE 1159 class | LDI(k) | Events in each duration class |
|-----------------|--------|-------------------------------|
| Instantaneous | 8.9 | 12 |
| Momentary | 5.6 | 8 |
| Temporary | 4.5 | 6 |
| Sustained | 3.2 | 4 |
| Total | 22.2 | 30 |

표 7. 전력 차단 평균 비용

| IEEE 1159 class | Average cost (US \$ / kW) [12] |
|-----------------|--------------------------------|
| Instantaneous | 0.078 |
| Momentary | 0.176 |
| Temporary | 1.22 |
| Sustained | 3.63 |

표 7의 자료들은 평균 부하 탈락가격(LDC: Average Load Drop Cost)으로 표현되는 부하 탈락에 대한 총 전력품질 가격을 얻기 위해 사용되었다.

$$LDC = \sum C_i \times LDI(i) \quad (7)$$

C_i 는 IEEE 1159 급에서 분류된 계급의 평균 차단 비용이다. 이 예에서 LDC는 18.78US\$/kW로 계산되었다.

2.5 실계통 적용에의 확장

전력시스템에서 수용가들은 자주 주거용, 상업용, 소산업용, 대산업용으로 분류된다. 어떤 모션에 대한 수용가의 구성데이터와 총 부하전력 P를 가진 부하가 있다면, 이

는 표 8과 같이 주어질 것이다. 각 형식의 수용가들은 전형적인 부하 구성 원도우로 나타낼 수 있다. 이들 데이터와 가중 CBEMA 곡선을 가지고 부하 탈락 전력품질 지표와 가격을 매 모션별로 산출하는 것이 가능하다. 그림 7은 LDI와 LDC에 대한 계산 과정을 나타낸 것이다.

표 8. 수용가 구성비

| Type | Residential | commercial | Industrial 1 | Industrial 2 |
|------|-------------|------------|--------------|--------------|
| [%] | pr | pc | $Pi1$ | $Pi2$ |

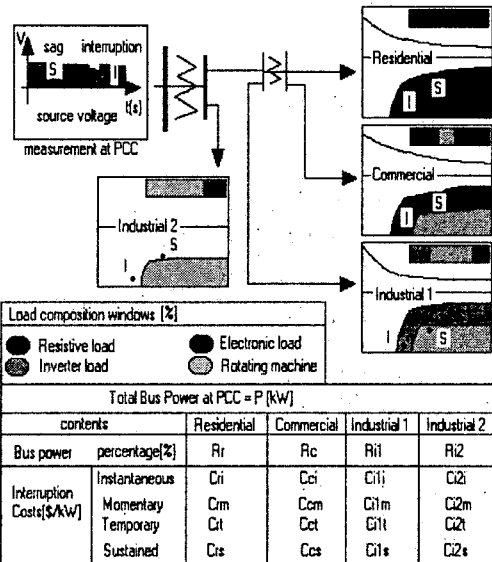


그림 7. CBEMA 곡선과 차단비에 근거한 전력품질 지표와 가격 계산 개념도

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 고장으로 분류한다.
5. 기록된 전력품질(어떤 기간중의 RMS 전압으로 모니터링된 값)을 CBEMA 곡선으로 처리하고 부하의 탈락에 대응하는 유효부분들을 찾아낸다.
6. LDI와 LDC(부하 모형이나 형식에 대한 탈락 부하의 비율)을 평가하고 이에 대응하는 차단 비용을 곱한다.

3. 결론

이 연구는 CBEMA 곡선과 전압기록, 정전 가격 이력에 기초한 전력품질 지표 LDI와 LDC를 제안하였다. 특정한 모션 부하에 대해 전압 sag와 차단을 나타낼 수 있는 지표들은 부하탈락지표(LDI)와 비용(LDC)이다. 이들 지표들은 수용가 구성비 데이터, 부하 구성정보, 그리고 CBEMA 곡선과 cost 데이터의 이력에 의해 계산될 수 있다. 이 방법은 새로운 측정기기가 필요없으며, 실용화하기 쉽다. 간단한 사건 계수에 대한 장점은 비용과 차단 가혹도가 포착된다는 점이다. 이들 지표들은 전력시스템 계획과 운용 및 중요한 리베이트 정책에도 가격 정보를 줄 수 있다.

각 기간의 에너지 총계의 평균값은 외란 에너지 레벨을 나타낸다. 이 에너지 레벨은 특정 모션에 대한 보호기기 또는 보상장치의 설계에 활용성이 높다.

[참고문헌]

- [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.

이 연구는 산업자원부 및 기초전력공학공동연구소 프로그램으로 지원된 것이며 이에 감사드립니다.