

부하의 전압특성을 고려한 전력품질 가격산정 기법의 모의계통 응용

이근준*, 강구택
충북과학기술대학*, (주)그린넵파워

An Application Result of the Power-Quality Price Evaluation Method Considering Voltage Characteristic of Load

Geun-Joon Lee*, Ku-Taek Kang
Chungbuk Provincial University of Science & Technology*, Green Network Power Corporation

Abstract -전력시장의 본격적인 개방을 앞두고 전력품질의 평가와 적절한 가격의 반영 매커니즘은 고도한 산업구조를 뒷받침하면서 전력시스템에 대한 투자 활성화를 위해 꼭 필요한 것이다. 본 연구에서는 부하의 전압이 변동할 때 부하가 허용할 수 있는 전압의 특성을 나타낸 전력 허용성 곡선(CBEMA)을 이용하여 모션 부하들에 대한 전력 품질을 지표화 하는 한편, 이를 가격으로 환산하는 방법을 제안한다.본 연구의 장점은 각 모션에 설치된 부하의 종류 및 구성비를 기초로 부하모형을 산출하고 모션에 대표가 되는 전력품질곡선을 작성하므로, 각 모션별 전력품질 지표 및 비용의 산출이 가능하며, 이를 기초로 전력계통 문제해석시 품질비용의 취급이 가능하다는 점이다. 본 논문은 부하-전압특성을 전력허용곡선에 의해 도출하고 각 모션별 대표 전력허용곡선을 산출한 다음 이를 모형계통에 적용함으로써 전력품질가격산정기법의 적용을 가능케하였다.

고려할 수 있다.

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

| 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.)
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 |

1. 서 론

전력품질은 전력공급신뢰도와 전압개념을 포함하는 용어로서 전력품질에 대한 수용가 측의 요구가 고도화되면서 중요한 이슈로 대두되고 있다. 전력 거래를 위해 전력 품질을 객관적으로 평가할 수 있는 정량적 지표에 대한 연구는 아직 충분하지 않다[1].

본 논문에서는 수용가와 전력회사의 전력품질 문제로서 가장 빈번한 관심의 대상이 되는 정전 및 저전압(voltage sag)이 수용가 부하의 탈락을 초래하는 과정을 전력허용곡선을 활용하여 제시함과 동시에 이를 각 모션의 전압에 대한 전력품질지표 및 가격지표로 제시하였다. 또한 그 결과를 모의계통에 적용하여 계통고장 통계에 대한 품질지표산출을 시도함으로써 향후 전력시장화된 계통에서의 모션품질가격을 산출하는 방안을 보였다.

2. 본 론

2.1. IEEE 표준 1159과 전력허용곡선

표 1과 표 2는 IEEE 1159에서 정한 용어와 사건을 시간과 전압변동크기로 분류한 것이다. 어떤 모션 부하의 특성들을 조합한 전력만족곡선이 존재하면, 이 사건과 IEEE 1159의 전압변동 구분기준을 서로 조합하여 전압변동 사건들이 모션부하의 탈락에 주는 영향을 체계적으로

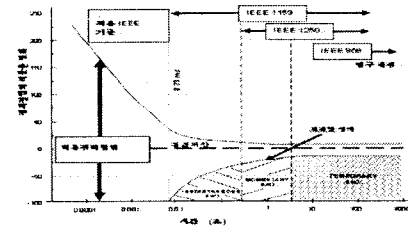


그림 1 CBEMA 곡선과 IEEE 1159 sag 기간
Fig. 4 IEEE standard 1159 and CBEMA curve

2.2. 전력품질 지표와 전력품질 비용

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 모션 부하 탈락 지표와 모션평균 전력품질비용이라는 새로운 2개의 지표를 연구하였다. 이근준,GT.IIeydt는 부하의 CBEMA 전력허용곡선을 사용하여 전원전압의 특성변화에 따른 부하탈락 여부를 판별하는 방법과 관련지표들을 제시하였다.

2.2.1 수용가 측에서의 모션 부하 탈락 지표(BLDI)

전력에 대한 부하구성 윈도우와 전압기록이 주어진 경우 각 시간 영역동안 등가 부하 탈락 지표는 다음과 같다.

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

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

단 u_i : 이상전압영역상 한점의 에너지값

$P(u_i)$: 에너지 영역에서의 부하탈락 확률

부하 탈락의 확률을 각 불허용 영역에서 1로 가정하면

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

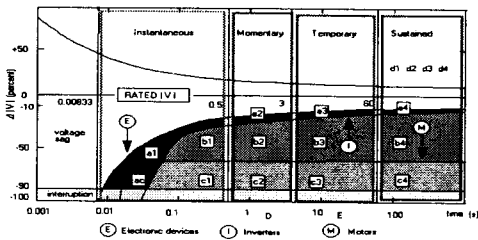


그림 2 복합 부하 모션에서 sag와 차단에 의한 부하 차단영역
Fig.2 Load drop areas considering various kinds of CBEMA curve

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[12, 13], 그 대표적인 비용은 표 8과 같다.

표 3 전력 차단 평균 비용

Table 3. Average power interruption cost

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

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

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

3. 사례연구

3.1 모션에 대한 전압품질과 부하탈락모형

전력시스템에서 수용가들은 자주 주거용, 상업용, 소산업용, 대산업용으로 분류된다. 총 부하전력 P[kW]인 모션에서 수용가들의 구성비가 표 4와 같이 주어졌다고 하자.

표 4 모션에 접속된 수용가 구성비

Table 4. Load composition data for a load bus

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

또 각 유형의 수용가들의 부하 구성은 전형적인 부하 구성윈도우로 나타낼 수 있다고 하자. 이들 데이터와 각종 CBEMA 전력허용곡선을 가지고 있다면, 매 모션별로 BLDI와 BPQC를 산출할 수 있다.

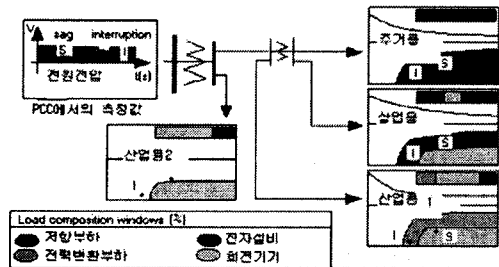


그림 3 전력품질 지표와 가격 계산 개념도

Fig. 3 conceptual Diagram of BLDI and BPQC calculation

3.2. 계통에 대한 적용

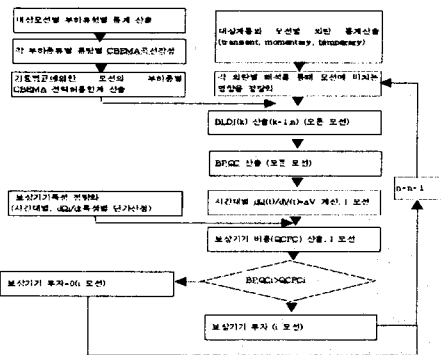


그림 4 전력계통에 대한 품질의 측정과 보상기기의 적용절차

Fig 4 procedure of Power quality compensation

이상의 방법으로 산출한 모션별 품질지표인 BLDI와 BPQC를 전력계통에서 적용하기 위한 과정은 그림 4와 같다. 시간대에 유효한 품질 보상기기들은 다음과 같다.

표 5 품질보상기기의 특성

Table 5. Power quality compensator characteristics

| 적용시간구분 | 보상기기 | 가격 |
|---------------|--------------------------------|----|
| Instantaneous | DVR, DSTATCON, SMES, BASS, UPS | 고 |
| Momentary | SVC, SC | 중 |
| Temporary | Switched Cap, OLTC | 저 |
| Sustained | 비상발전기 | 저 |

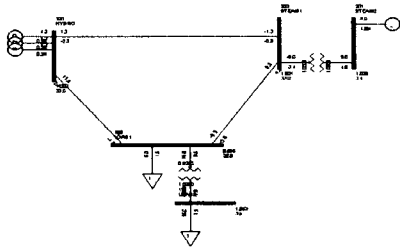


그림 5 적용 모의계통

적용계통은 그림5의 5모선 계통으로 하였다.

표 6 모의계통의 모선부하

| 모선부하 | 모터부하[MW] | 변환기 부하 |
|------|----------|--------|
| 150 | 0.3 | 0 |
| 151 | 0 | 0.6 |

위 계통에서 부하모선인 150, 151모선의 부하에 대한 종합 CBEMA 곡선의 특성한계식이 다음과 같이 주어진다 고 하자.

$$V_{end_{150}} = 0.575 - 0.425e^{-1800T} - 0.57e^{-2.931T} \quad (5)$$

$$V_{end_{151}} = 0.87 - 0.288e^{-1.06T} - 0.712e^{-23.7T} \quad (6)$$

IEEE1159의 각 시간 범위에 있는 전압의란들에 대한 부하탈락확률은 평가기간 중 해당모선의 전압이 탈락범위에 있을 확률로 주어진다. 각 모선의 고장데이터는 다음과 같이 가정하였다.

표7. 모의계통에 작용한 고장기록

| 모선번호 | 순간회복 | 재페로1회성공 | 재페로2회성공 | 영구고장 | |
|------|------|---------|---------|------|----|
| 100 | 3LG | 10 | 60 | 20 | 10 |
| 150 | 3LG | 10 | 60 | 20 | 10 |
| 151 | 3LG | 10 | 60 | 20 | 10 |
| 200 | 3LG | 10 | 60 | 20 | 10 |
| 201 | 3LG | 10 | 60 | 20 | 10 |

각 case에 대해 고장계산을 수행한 결과는 다음과 같다.

표 8. 모의계통 고장계산결과

| 고장모선 | 모선 전압[pu] | | | | |
|------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| | 100 | 150 | 151 | 200 | 201 |
| 100 | 0.068 | 0.079 | 0.067 | 0.100 | 0.390 |
| 150 | 0.077 | 0.037 | 0.030 | 0.075 | 0.374 |
| 151 | 0.230 | 0.195 | 0.029 | 0.229 | 0.483 |
| 200 | 0.074 | 0.052 | 0.043 | 0.036 | 0.346 |
| 201 | 0.095 | 0.067 | 0.038 | 0.173 | 0.030 |

고장계산 결과 대부분의 전압이 interruption 영역에 존재하며, sag의 범위(0.1-0.9pu)에 드는 고장은 부하모선 151에서 고장이 발생하였을 경우 150모선의 전압뿐이었다. 재페로 2회 실패 이후의 전압을 계산한 결과 0.9이하로 저하되는 값은 없었다. 또, 모선고장에 의한 모선전압의 변동시간은 그림6과 같이 계통보호 시퀀스에 따라 달라지므로 이를 고려하면 각 모선의 대한 시간영향을 고려할 수 있게 된다.

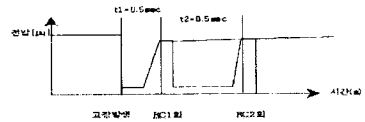
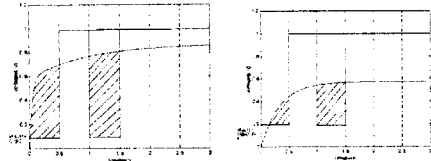


그림 6 계전기동작 시퀀스



(a) 150모선 (a) 151모선
그림 7 전력허용곡선상의 부하탈락영역

따라서 고장에 대해 순간회복을 제외하고는 모든 고장에 대하여 각 모선의 전압저하가 다음 영역 아래에 있으므로 부하가 탈락하게 되는 현상을 가져오게 된다. 그러므로 각 시간에 대한 BLDI(i)는

표 9 모선의 BLDI 의 값

| 모선번호 | Instant(건) | moment(건) | temp(건) | sustain(건) |
|------|------------|-----------|---------|------------|
| 150 | 0 | 0 | 0 | 90 |
| 151 | 0 | 0 | 0 | 90 |

이며, 이 모선에 대한 BPQC는

표 11 모선의 BPQC

| 모선번호 | BPQC [S] |
|------|----------|
| 150 | 98,100 |
| 151 | 196,200 |

로 산출된다.

4. 결 론

전력산업 발달로 인하여 전력품질에 대한 관심이 높아지고 있으며, sag에 의한 전압품질저하는 산업체의 중요한 관심사라 할 수 있다. 본 논문에서는 전력허용곡선과 외란 기록에 의해 모선별 전력품질지표와 품질가격을 계산하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 전력품질지표의 산출을 위해서는 각 부하종류에 대한 전력허용곡선의 산출이 중요하다.
2. 공급전력의 품질을 측정은 전력공급지점에 인가되는 전압의 값을 측정가능하여야 한다. 이때 보호제어장치 및 보상장치의 특성도 함께 고려되어야 한다
3. 모의 고장에 의한 전력품질지표를 계산한 결과, 순간고장에는 피해가 없으나, 재페로에 대한 이익은 없었다. 이는 부하특성이 0.5초이내의 짧은 시간내의 정전이라도 부하가 탈락한 이후 재페로되기 때문이다.

[참 고 문 헌]

[1] 이근준, "부하의 전압특성을 고려한 모선별 전력품질 지표 및 가격산정기법", 대한전기학회 논문지 52A-4-4, 2003년 4월, pp213-218
 [2] "Analysis and design of power acceptability curves for industrial loads", John Key, Master thesis of ASU, December, 2001