

AHP를 이용한 실시간 전력품질 평가기법

이 범^{*†}

Real-Time Power Quality Evaluation by using Analytic Hierarchy Process

Buhm Lee^{**}

요 약

본 연구에서는 소비자의 부하를 반영하여 실시간 전력품질을 평가할 수 있도록 하는 방법을 개발하였다. 이를 위하여 전력품질 상태를 [Ideal], [Measured], [Acceptable]로 분류하고, Ideal AHP를 사용하여 측정값이 어느 정도인지를 평가할 수 있도록 하였으며, 소비자 부하특성을 반영할 수 있도록 부하를 저항부하, 전동기 부하, 전자제품부하로 분류하고 부하의 특성을 반영한 전력품질을 평가할 수 있도록 하였다. 향후, 1:1 행렬과 관련한 심도 있는 연구를 진행하고, 연간단위의 전력품질과 통합하여 종합적인 전력품질 평가를 할 계획이다.

ABSTRACT

This study presents a Real-Time Power Quality (:PQ) Evaluation methodology that reflects customer's load characteristics. Author determined PQ as [Ideal], [Measured], [Acceptable], and evaluated measured PQ between Ideal and Acceptable by using Ideal AHP. Author determined Load as Resistance, Electric Motor, and Electronics, and evaluated PQ reflect Load characteristics. As future studies, author has plan to study 1:1 matrix and overall PQ evaluation including year-based PQ.

키워드

Power Quality, Evaluation, AHP, Ideal AHP, Overall Evaluation
전력 품질, 평가, AHP, Ideal AHP, 종합 평가

1. 서 론

우리나라의 경제발전과 함께 전력규모는 계속 커지고 있으며, 태양광 및 풍력 등 전원 또한 다양화 하고 있고, 전력의 품질 역시 새로운 문제로 대두되고 있다. 이와 별도로 플랜트와 같은 대형 수용가는 자가발전설비를 확충하는 등 전원에 대한 투자를 지속하여 전력품질을 확보하기 위해 노력하고 있다.

전력계통에 연결되어 있는 부하점의 특성을 살펴보면,

대부분의 부하는 1개의 부하점으로 부터 전력을 공급받고 있으며, 정전에 대비하기 위해 별도의 선로를 갖고 있으나 운전 시에는 1개의 부하점으로 부터 전력을 공급받는 것이 일반적이다. 따라서 부하에 공급되는 전력의 품질은 당해 부하점의 전력품질에 의존하는 것이 일반적이다.

부하점의 전력품질로는 전압, 주파수, 고조파, 정전 등을 들 수 있는데, 실시간으로 평가되는 전력품질인 전압, 주파수, 고조파 등과 연간으로 평가되는 전력품질인 신뢰도 등으로 나눌 수 있다. 실시간으로 평가되는 전압과

* 전남대학교 전기및반도체공학부(buhmlee@jnu.ac.kr) • Received : Dec. 06, 2021, Revised : Jan. 11, 2022, Accepted : Feb. 17, 2022

† 교 신 저 자 : 전남대학교 전기및반도체공학부 • Dept. of Electrical and Semiconductor Eng. Chonnam National Univ.

• 접 수 일 : 2021. 12. 06

† Corresponding Author : Buhm Lee

• 수정완료일 : 2022. 01. 11

• 게재확정일 : 2022. 02. 17

주파수는 IEEE Std. 1159[1]를 사용하여 평가하고 있으며, 고조파는 IEEE Std. 519[2]를 사용하여 평가하고 있다. 년간으로 평가되는 신뢰도는 IEEE Std. 1366[3]에 의해서 평가하고 있다. 추가하여 Roy Billinton 등에 의해 신뢰도를 확률론적 방법으로 예측할 수 있는 방법[4]이 개발되어 사용되고 있다. 이 외에도 전압 Sag/Swell과 같이 순간적인 전압강하나 전압상승을 평가하는 방법[5]이 연구되고 있다.

이들 평가기준은 개별 항목에 대한 전력의 품질을 평가할 수 있으나, 이들 전력품질이 소비자에게 어느 정도로 만족감을 주는지 파악하기 힘든 문제점이 있다. 예를 들어 전력품질이 완벽한 경우와 약간 저하되는 경우를 비교해 보면, 소비자가 전력품질의 차이를 느끼기 힘든 반면 약간의 전력 품질을 높이기 위해서는 많은 비용을 수반할 수밖에 없기 때문에 전력품질이 완벽하기 보다는 약간 저하된 되는 상태로 운영하는 것이 보다 합리적이라고 할 수 있다. 반면 전력품질이 많이 낮아져서 소비자가 불편을 느끼는 경우에는 다소 비용을 수반하더라도 품질개선을 하는 것이 보다 합리적이라 할 수 있다.

또한 부하도 큰 영향을 미치는데, 전열부하와 같은 부하는 전력품질에 둔감하여 다소 전력품질이 저하되더라도 실용상 문제가 없는 반면, 전동기부하는 속도 및 진동 등의 문제가 발생할 수 있고, 전자제품 등의 부하는 부하에 따라 심각한 동작이 발생할 수 있다. 따라서 부하의 특성을 반영하여 전력 품질을 평가할 필요가 있다.

이를 해결하기 위하여 Analytic Hierarchy Process(AHP)[6]를 도입하여 수용가가 현실적으로 체감할 수 있는 지표를 제시하는 방법이 개발되어 왔다. 구체적으로 AHP를 사용하여 여러 대체안을 구성하고 이들 대체안이 어느 정도 우수한지를 결정하는 방법으로 전력품질의 평가를 하는 방법에 대한 연구[7]가 있어 왔으며, 이를 개선하여 절대값으로 전력 품질을 평가하는 방법에 대한 연구[8]가 이루어져 왔다. 이들 연구는 전력품질 중 신뢰도에 집중되어 있어 전력품질 중 년간 단위의 전력 품질을 평가하는 것에 집중되어 있다고 할 수 있다.

본 연구에서는 실시간 전력품질에 해당하는 부하점의 전압, 주파수, 고조파를 소비자의 눈높이에 맞추어서 평가할 수 있도록 하는 방법을 개발하였다. 이의 방법으로 실시간 전력품질인 전압, 주파수, 고조파에 대하여 이들 각각의 이상적인 전력 품질을 [Ideal]로, 받아들일 수 있는 최소한의 전력 품질을 [Acceptable]로, 실제 전력 품질을 [Measured]로

측정값을 사용하여 3가지 대체안을 갖는 모델을 구성하였다. 또한, 부하의 특성을 반영하기 위해 저항부하, 전동기부하, 전자제품부하로 분류하고 이들의 영향 정도로 1:1행렬을 구성하여 부하의 예민함을 기반으로 평가 기준을 정하는 방법으로 전력 품질을 평가할 수 있도록 하였다.

제안된 방법을 사용하면 실시간 전력 품질을 소비자의 눈높이에 맞추어 평가할 수 있게 되며, 추후 연간 단위의 전력 품질 평가와 통합하여 종합적인 전력 품질을 평가할 계획이다.

II. 전력 품질의 표시

2.1 부하점에서의 전력 품질

대부분의 부하는 특정 부하점으로부터 전력을 공급받게 되는데, 전력의 품질[9,10]은 실시간으로 평가되는 항목과 년간으로 평가되는 항목이 있다.

(1) 실시간으로 평가되는 전력 품질

실시간으로 평가되는 전력 품질로는 전압, 주파수, 고조파 등을 들 수 있으며, 전압은 V[Volt], 주파수는 f[Hz]로, 고조파는 50배 까지의 스펙트럼으로 표시되며 이를 종합화한 THD[%]로 표시가 가능하다. 전압과 주파수는 IEEE Std. 1159[1]에 의해, 고조파는 IEEE Std. 519[2]에 의해 정의되고 있다.

(2) 년간으로 평가되는 전력 품질

연간으로 평가되는 전력 품질로는 신뢰도 등을 들 수 있으며, 신뢰도는 연간 정전빈도 λ [fr/yr]와 연간 정전시간 r [min/yr]이 있다. 또한 신뢰도는 부하의 크기 및 갯수에 따라 다양한 지수가 있으며, IEEE Std. 1366[3]에 의해 정의되고 있다. 그 외에도 전압 Sag/Swell 이 IEEE P1564[5]에 의해 연구되고 있다.

2.2 전력 품질 평가의 문제점

(1) 부하의 특성에 따른 문제

부하점에 연결되어 있는 부하는 저항부하와 같이 전압, 주파수, 고조파에 둔감한 부하가 있는 반면, 형광등과 같이 일정 전압 이하가 되면 작동하지 않는 부하도 있고, 특히 전동기와 같은 부하는 전압과 주파수에 따라 동작 특성이 크게 달라지기도 한다.

이와 같이 부하에 따라 특성이 다르기에 전압, 주파수, 고조파 등은 일반적인 표시방법임에도 불구하고 부하특성을 반영하지 못하는 문제점이 있다.

(2) 부하의 종류

부하점에 연결되어 있는 부하의 특성을 반영하기 위해서는 부하의 종류를 분류할 필요가 있는데, 크게 다음과 같이 3종류로 분류하였다.

- ① 저항 관련 부하
- ② 전동기 관련 부하
- ③ 전자제품 등 부하

III. AHP를 사용한 전력품질 평가

3.1 Analytic Hierarchy Process(:AHP)

다양한 대체안(Alternative)에 대해 다양한 평가기준(Criteria)를 사용하여 경쟁력을 평가하는 방법으로 AHP[7,11]가 개발되었으며, 구조는 그림 1과 같다.

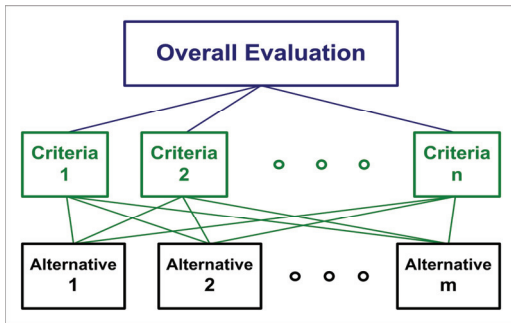


그림 1. AHP 모델
Fig. 1 Analytic hierarchy process model

3.2 Ideal AHP

AHP로 평가를 하기 위해서는 여러 가지 대체안을 구성하고 이를 종합적으로 평가하여야 하는데, 대체안의 구성에 따라 다른 평가가 이루어지기 때문에, 평가대상을 [Ideal], [Measured], [Acceptable]의 3가지 상태로 분류하고, 실제의 값인 [Measured]가 [Ideal]과 [Acceptable]의 어느 위치에 놓이는지를 평가하는

Ideal AHP[8]가 연구되어 왔으며, 그림 2와 같다.

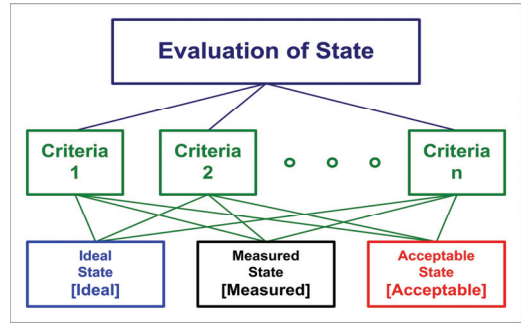


그림 2. Ideal AHP
Fig. 2 Ideal AHP

IV. 실시간으로 평가되는 전력품질 평가

4.1 Ideal AHP에 의한 전력품질 항목별 평가모델

본 연구에서는 전력품질의 항목별 평가를 위해 [Ideal]과 [Acceptable]의 2가지 상태를 기준으로 [Measured] 상태를 평가할 수 있는 모델을 도입하고, 평가기준을 저항부하, 전동기부하, 전자제품부하를 종합적으로 평가할 수 있는 모델을 개발하였으며, 이를 그림 3에 나타내었다.

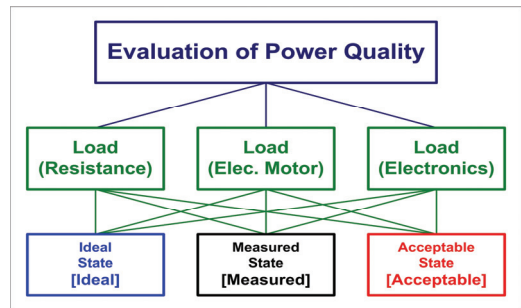


그림 3. 전력품질 대응 Ideal AHP
Fig. 3 Ideal AHP for power quality

AHP는 다양한 평가대상을 다양한 평가기준으로 평가하여 우선순위를 구하거나 가중치를 구하는 데 사용되어 온 방법인데, 이를 실시간 전력품질 평가에 적합한 방법으로 새로이 개발하여 평가결과로서 어느 정도의 전력품질이 공급되고 있는지 또한 어느 부하점이 취약한지를 파악하고 보강할 수 있도록 한 것이다. 그림 3의 모델의 1:1 행렬을 표 1과 표 2에 나타내었다.

표 1. 1:1 행렬(하부)
Table 1. 1:1 Matrix(Lower)

	Load (Resistance)	Load (Elec. Motor)	Load (Electronics)
Load (Resistance)	1.000	1/a	1/b
Load (Elec. Motor)	a	1.000	1/c
Load (Electronics)	b	c	1.000

표 2. 1:1 행렬(상부)
Table 2. 1:1 Matrix(Upper)

	Load (Resistance)	Load (Elec. Motor)	Load (Electronics)
Power Quality	d	e	f

표 1의 1:1 행렬은 하부 행렬로 중요도 a,b,c를 부하점 별 특성에 따라 반영하고 있으며, 표 2의 상부행렬은 부하의 종류에 대한 중요도 d,e,f로 반영하고 있다. 이들 중요도에 대해서는 추후 연구를 통해 지속할 예정이다.

(1) 전압

전압의 [Ideal]은 정격전압인 1.0[PU]로 정하였다. 전기사업법 시행규칙 별표 3에 220[V]에서는 ±13[V], 380[V]에서는 ±38[V]로 명시되어 있는 점을 감안하면 최대 10%라고 볼 수 있으나, IEEE Std.1159[1]에서 전동기제어에 문제가 발생하는 전압으로 0.7-0.8[PU]를 보고 있는 점을 감안하여 [Acceptable]을 0.7[PU]와 1.3[PU]로 정하였다. 전압의 평가모델을 그림 4에 나타내었다.

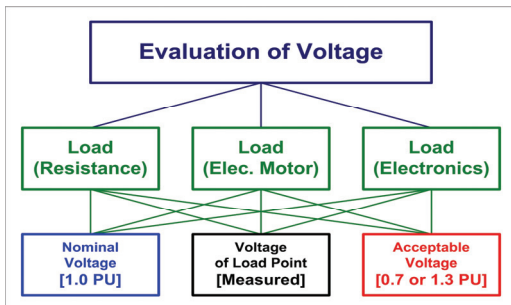


그림 4. 전압의 평가
Fig. 4 Evaluation of voltage

(2) 주파수

주파수의 [Ideal]은 정주파수인 60.0[Hz]로 정하였다. 전기사업법 시행규칙 별표 3에 ±0.2[Hz]로 명시하고 있으나, 우리나라에서 발생한 915 정전에서 주파수가 59.45[Hz]까지 낮아진 점을 감안하여 [Acceptable]을 59[Hz]와 61[Hz]로 정하였다. 주파수의 평가모델을 그림 5에 나타내었다.

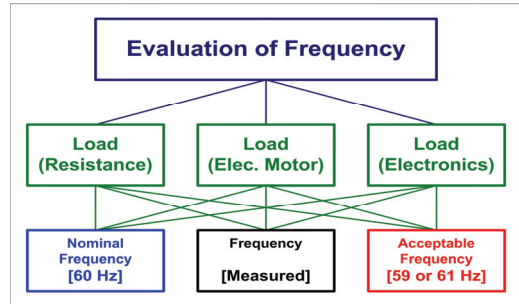


그림 5. 주파수의 평가
Fig. 5 Evaluation of frequency

(3) 고조파

고조파의 [Ideal]은 고조파가 없는 상태인 0.0[PU]로 정하였고, [Acceptable]은 각 국가별로 다른 기준을 적용하고 있으나 대체로 수% 정도이다. 다만 UPS나 형광램프안정기에는 30%까지도 허용하고 있는 현실을 감안하여 0.3[PU]로 정하였다. 고조파의 평가모델을 그림 6에 나타내었다.

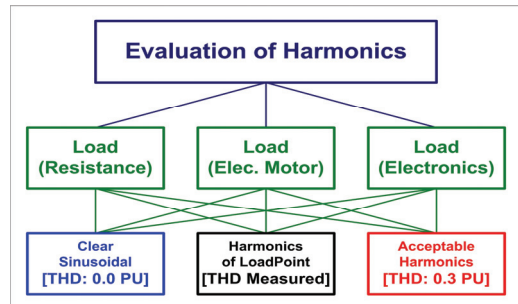


그림 6. 고조파의 평가
Fig. 6 Evaluation of harmonics

4.2 종합적인 전력품질 평가 모델

전압, 고조파, 주파수로 개개 항목의 전력품질을 평가할 수 있으나, 이를 종합화한 전력품질을 평가할 필요가 있다. 따라서 그림 7과 같이 개개 항목의 전력품질을 종합화할 수 있는 모델을 제시하였으며, 그림 7

의 평가모델의 1:1 행렬은 표 3과 같다.

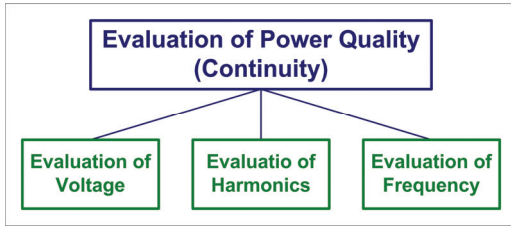


그림 7. 전력품질의 평가(실시간)
Fig. 7 Evaluation of power quality(continuity)

표 3. 1:1 행렬
Table 3. 1:1 Matrix

	Voltage	Harmonics	Frequency
Power Quality	g	h	i

4.3 전력품질의 계산 방법

본 평가모델을 계산하기 위해서는 다음과 같은 방법으로 계산한다.

(1) [Ideal]과 [Acceptable]의 중요도 곡선

AHP는 [Ideal]과 [Acceptable] 사이의 중요도를 정하기 위해 중요도 곡선을 구성할 수 있다. 선형으로 구성하기 보다는 전기사업법 시행규칙 또는 IEEE Std.에서 정하고 있는 기준치 내에서는 완만하게 적용하고 이를 넘는 부분은 상대적으로 크게 구성하는 방법을 제안한다.

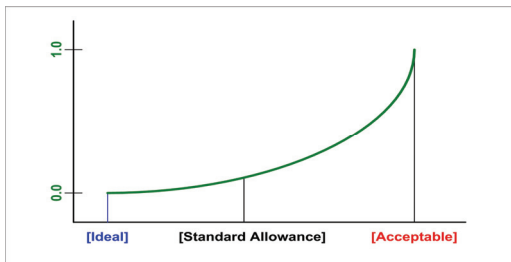


그림 8. 전력품질의 중요도 곡선
Fig. 8 Importance curve for power quality

(2) 전압, 고조파, 주파수의 하위 1:1 모델

개개 항목의 품질평가를 위해서는 저항부하 대비 전동기부하의 상호간의 중요도(가중치 a), 저항부하

대비 전자제품부하의 상호간의 중요도(가중치 b), 전동기부하 대비 전자제품부하의 상호간의 중요도(가중치 c)를 정하며, 이들 가중치는 부하의 특성을 반영하여 적용한다.

(3) 전압, 고조파, 주파수의 상위 1:1 모델

개개 항목의 저항부하의 중요도(가중치 d), 전동기부하의 중요도(가중치 e), 전자제품부하의 중요도(가중치 f)를 정하여, 이들 가중치를 사용하여 개개 항목별 전력품질이 어느 정도인지 평가한다.

(4) 종합 전력품질 평가의 1:1 모델

종합적인 전력 품질을 평가하기 위해서 전압의 중요도(가중치 g), 고조파의 중요도(가중치 h), 주파수의 중요도(가중치 i)를 정하여, 이들 가중치를 사용하여 개개 항목별 전력품질이 어느 정도인지 평가한다.

(5) 가중치의 결정

가중치 a-i를 어떻게 결정하는가에 따라 전력품질의 소비자에 대한 특성을 반영하는 정도가 결정된다. 이 가중치는 그림 8과 같이 이상적인 상태에서 각종 법규로 정하고 있는 상태까지는 완만하게 적용하고, 이를 초과하는 경우는 지수형의 가중치를 적용하도록 하는데, 이와 관련하여서는 추후 연구를 통해 지속적으로 발표할 예정이다.

V. 결 론

본 연구에서는 Ideal AHP를 사용하여 수용가의 체감에 부합하는 실시간 전력 품질을 평가하는 방법을 개발하였다.

(1) 이상적인 전력 품질 상태인 [Ideal]과 최소한의 전력 품질 상태인 [Acceptable]로 결정하고, 실제 측정 전력 품질을 [Measured]로 정하여 실제 전력 품질이 [Ideal]과 [Acceptable] 사이에 어느 정도인지를 평가할 수 있도록 하였다.

(2) 실시간으로 적용되는 전력 품질인 전압, 주파수, 고조파 각각에 대해 수용가의 부하에 적합한 전력 품질을 평가할 수 있고, 이를 종합하여 하나의 값으로 평가할 수 있는 Ideal AHP 모델을 개발하였으며, AHP 모델의 가중치를 정하기 위해 필요한 1:1 모델을 구성하였다.

(3) 추후, 부하별 특성을 반영할 수 있는 1:1 모델의 계수들을 개발할 예정이며, 연간으로 평가 가능한 전력 품질인 신뢰도와 전압 Sag/Swell을 포함하는 Ideal AHP 모델을 개발할 예정이다.

- 본 연구는 2021년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 [S3108015]
- This work was supported by the Technology development Program(S3108015) funded by the Ministry of SMEs and Startups(MSS, Korea)

References

- [1] IEEE Std. 1159, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality," *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 1995.
- [2] IEEE Std. 519, "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems," *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 1992.
- [3] IEEE Std. 1366, "IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices," *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2001.
- [4] R. Billinton and R. Allan, "Reliability Evaluation of Power Systems," New York: Springer, 1984.
- [5] M. Bollen, D. Sabin, and R. Thallam, "Voltage-Sag Indices - Recent Developments in IEEE P1564 Task Force," *CIGRE/IEEE PES International Symposium Quality and Security of Electric Power Delivery Systems*, Montreal, Canada, 2003, pp. 34-41.
- [6] T. Satty, "The Analytic Network Process," Pittsburgh: RWS Publications, 1996.
- [7] B. Lee, C. Choi, N. Choi, K. Kim, Y. Kim, S. Choi, and S. Meliopoulos, "Distribution System Evaluation Algorithm Using Analytic Hierarchy Process," *Lecture Notes in Artificial Intelligence 4031*, Berlin, Germany, 2006, pp. 177-186.
- [8] B. Lee, D. Sohn, and K. Kim, "Development of Power Quality Index using Ideal Analytic Hierarchy Process," *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 376, 2016, pp. 783-793
- [9] B. Lee, N. Choi, and K. Kim, "Power Interruption Cost Calculation based on Value-based Methodology," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 2, 2021, pp. 293-300.
- [10] Y. Ko, "Design Methodology of the Bus Configuration and Protection Coordination Basic Logics of Power Substation Using EMTP-RV," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 6, 2019, pp. 1129-1138.
- [11] D. Kim, J. Na, and C. Park, "A Study on the Ranking Strategy for the Product Improvement of the K1 Series Tank and the K2 Tank using AHP, Scoring Model, and TOPSIS," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 5, 2021, pp. 899-908.

저자 소개

이범(Buhm Lee)



1995년 ~ 현재 전남대학교 교수

1981년 고려대학교 전기공학과 졸업(공학사)
 1989년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
 1995년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)