

순간전압강하 보상을 위한 확률론적 위험도 분석 연구

Probabilistic Method of Risk Assessment in Voltage Sag Mitigation Studies

한 중 훈*, 장 길 수***, 박 창 현**

Jong-Hoon Han*, Gilsoo Jang***, Chang-Hyun Park**

Abstract

Power quality mitigation devices play an important role in lots of industrial segments. Although there were many devices available in the market, the selection of an appropriate device specially for voltage sags and interruptions mitigation has been a challenge in the utility and customer for several years. It usually depends on technical and economic characteristics of the device. Nevertheless, most mitigation method is selected by rule of thumb or empirical method. In this paper, the life cycle cost analysis for the probabilistic risk assesment of voltage sag mitigation method is performed using either the deterministic or probabilistic approach. The difference between a deterministic and a probabilistic cost analysis approach is illustrated with five different case studies. This paper not only provides a comparison of life cycle costing of various devices but it also indirectly shows the possible savings due to the mitigation of voltage sags in the form of a project balance chart.

요 약

전력품질 문제는 다양한 산업분야에서 중요한 역할을 차지한다. 전력품질솔루션 선택의 폭은 점점 다양해지고 있으며, 특히 순간전압강하와 정전에 대한 보상장치를 선정하는 것은 전력회사나 수용가 모두에게 중요한 과제이다. 이것은 기술적인 관점에서 뿐만 아니라 경제적인 관점에서도 같이 고려되어야 하는데 불행히도 지금까지는 주로 경험에 의해 결정되어졌다. 본 논문에서는 순간전압강하 보상장치 선정을 위한 위험도 분석을 확정적 방법과 확률론적 방법으로 수명비용을 계산하여 두 가지 방법의 결과 해석에 대한 차이점을 모의사례를 통하여 비교하고자 한다.

Key words : Custom power devices, power quality, probabilistic analysis, voltage sags

* 高麗大學校 電氣電子電波工學部

(School of Electrical Engineering, Korea University)

** 釜慶大學校 電氣工學部

(Department of Electrical Engineering, Pukyong National University)

★ 교신저자 (Corresponding author)

장길수, 고려대학교 전기전자전파공학부 교수

E-mail : gjang@korea.ac.kr

※ 감사의 글 (Acknowledgment)

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.
(No. 20101020300580)

接受日:2010年 9月 1日, 修正完了日: 2010年 9月 30日

1. 서론

오늘날 산업 전반에 걸쳐 디지털화된 설비가 차지하는 중요성으로 인해 전력품질에 대한 관심이 증대되고 있다. 전력품질 문제가 디지털 설비환경에 미치는 영향을 감안하면 대부분의 국가들이 심각한 전력품질 문제로 인한 생산성 손실을 경험하고 있다. 다양한 전력품질 요소 중에 순간전압강하는 가장 흔히 발생하는 외란으로 대용량 모터를 포함하는 큰 부하가 기동되거나 전력계통의 사고나 순간적인 과부하

로부터 기인한다. 대규모 산업단지 밀집지역에서 인입 지점의 경우 이러한 현상은 일 년에 수차례 발생하며, 설비가 직접 맞물린 단자에서는 이보다 더 빈번하게 발생한다. 순간전압강하 현상은 주로 예측이 불가능한 이벤트에 의해 발생하므로 전력계통에서의 연간 순간전압강하 발생횟수는 매년 다르게 나타난다. 그림 1은 특정 사이트에서 1년간 발생한 순간전압강하의 지속시간, 크기, 발생 빈도를 보여준다[1].

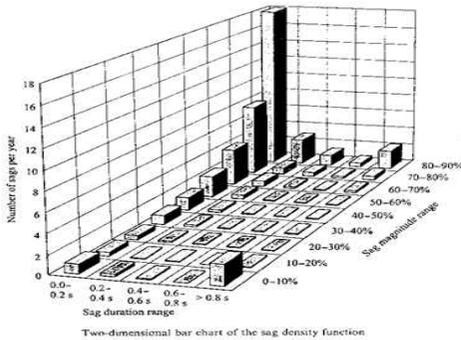


Fig. 1. Voltage sag distribution chart
 그림 1. 순간전압강하 조사 결과

가령, 순간전압강하에 민감한 서버단지의 위치를 결정함에 있어 깨끗하고 신뢰성이 보장되는 전력의 공급은 필수적인 고려사항이기 때문에 그림 1과 같은 순간전압강하 조사 결과에 의거하여 마이크로소프트나 야후의 서버단지의 최적 위치가 선정될 수 있다[1]. 하지만 최적의 위치가 선정되었다고 하더라도 예측하지 못한 순간전압강하 현상이 기대값 이상으로 발생한다면, 이로 인해 야기되는 상업용 및 산업용 수용가의 생산성 손실은 경제적으로 그 피해가 막대하다. 미국 EPRI 보고서에 의하면 전력품질 문제로 인하여 미국 경제는 연간 1억 5천에서 2억 4천US\$ 사이의 비용 손실을 가져올 수 있다고 한다[2]. 작업의 중단으로 인한 회사의 재정적 손실은 시간당 50만US\$에 이르며, 전력품질과 관련한 문제로 미전역의 회사가 입게 되는 손실은 연간 10억US\$에 달할 수 있다. 100ms 미만으로 지속되는 순간전압강하는 산업용설비입장에서 본다면 수분이상 지속되는 순간 정전과 동일한 영향을 주기도 한다. 표 1은 미국 내 다양한 계통의 수용가들이 순간 정전으로 손실을 입게 되는 US/KW 비용을 나타내고 있다[1].

유럽에서는 정전을 포함한 전력품질 문제로 인한 손실 비용은 연간 1500억 유로이고, 유럽 내 산업분야에서 발생하는 전력품질 문제로 인한 손실비용은 매년 100억 유로로 추정하고 있다. 유럽의 다양한 산업분야에서 전력품질 이벤트로 인한 경제적 손실비용은

표 2와 같다[3].

Table 1. The cost of a momentary disruption to various industries in US

표 1. 미국의 순간정전으로 인한 산업별 손실비용

분야	손실비용 (US\$/kW)	
	최소	최대
산업분야		
자동차 제조	5.0	7.5
고무 & 플라스틱	3.0	4.5
섬유	2.0	4.0
제지	1.5	2.5
인쇄(신문)	1.0	2.0
석유화학	3.0	5.0
철강	2.0	4.0
유리	4.0	6.0
광업	2.0	4.0
식품제조	3.0	5.0
의료	5.0	50.0
전기전자	8.0	12.0
반도체 제조	20.0	60.0
상업분야		
정보통신	1.0	10.0
은행, 병원, 공공기관	2.0	3.0
음식점, 호텔	0.5	1.0
상점	0.1	0.5

Table 2. The financial loss per events for various industries in EU

표 2. 전력품질 이벤트로 인한 유럽의 산업분야별 손실비용

산업 분야	이벤트당 경제적 손실비용
반도체 생산	380만 유로
금융 거래	시간당 600만 유로
컴퓨터 센터	7.5만 유로
통신	분당 3만유로
철강 산업	3.5만 유로
유리 산업	2.5만 유로

이처럼 전력품질에 민감한 부하가 점점 증가할수록 전력품질 이벤트로 인한 경제적 손실비용도 커지면서 전력품질문제를 최소화하려는 대책 비용 또한 상대적으로 올라가고 있다. 다행히 전력품질문제를 야기하는 이벤트들을 경감하기 위한 고도의 기술들이 지속 개발되어 왔기 때문에, 전력품질솔루션 선택의 폭은 점점 다양해지고 있다. 순간전압강하를 보상하기 위한 장치로는 무정전전력공급장치(UPS) 및 제어보상

설비의 고속 동작을 위해 전력용 반도체 스위칭 소자를 해당설비에 적용한 정지형 무효전력보상기(STACOM), 동적전압보상기(DVR), 그리고 싸이리스터제어 직렬보상기(TCSC) 등이 제안되고 있다[4, 5]. 하지만 최신의 전력품질보상장치들은 고비용 구조이기 때문에 이에 대한 투자는 신중하게 결정되어야 한다.

지금까지 대부분의 전력 공급자는 분석적 해를 도출하는 것이 가능한 확정적 모델(deterministic model)을 이용하여 전력품질 보상장치의 설치 계획을 수립해 왔다[6]-[8]. 확정적 모델은 이용하기에 편리하다는 장점이 있지만 실제로 발생할 수 있는 변동성과 불확실성을 반영하지 않기 때문에 잘못된 결론으로 이끌 수 있다. 여기서 전력품질문제 개선을 위한 비용을 누가 지불할 것인가에 대한 논쟁이 있을 수 있으나, 전력회사 혹은 수용가 모두가 공통적으로 전력품질 향상을 위한 최적의 솔루션이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 전력회사와 수용가 모두에게 적용 가능한 고가의 순간전압강하 보상장치들을 효과적으로 적용하기 위해 현실에서 발생할 수 있는 불확실성과 변동성을 고려한 확률론적 위험도 평가 방법을 제안하고자 한다.

II. 본론

전력품질 보상장치의 경제성을 정확하게 평가하는 것은 불가능하지만, 전력품질 이벤트와 관련된 비용에 대한 확률적인 성질을 이용한다면 최적의 경제성 분석이 가능하다. 만일 전력품질 보상장치의 비용과 편익에 관련하는 전력품질 이벤트의 발생 회수와 지속시간을 정확하게 알고 있다면 확률적인 분석은 필요하지 않을 것이다. 하지만 실제로 얻을 수 있는 미래의 경제적인 이익은 추정할 수 밖에 없기 때문에 전력품질 보상장치에 대한 미래의 가치를 평가하기 위해서는 미래에 발생할 수 있는 전력품질 관련 데이터의 불확실성을 다루는 평가 방법이 필요하다[9]-[11].

1. 확률론적 위험도 분석방법

확률론적 위험도 분석방법으로 전력품질 데이터를 분석하기 위해서는 데이터의 분포를 신중하게 고려해야 한다. 정확한 확률분포를 선정하는 것은 위험도 분석에 있어서 가장 중요한 요소 중에 하나이다. 입력으로 사용할 전력품질 데이터는 모니터링 장비가 설치된 지역에서 일정 기간 동안 취득할 수 있으며 포아송 분포, 로그 정규분포 혹은 와이블 분포와 같은

확률분포 형태로 표현할 수 있다[12]. 이에 따른 출력 결과도 마찬가지로 단일값이 아닌 확률분포 형태를 지니게 된다. 그림 2와 같이 취득한 데이터는 확률론적인 분석을 통하여 정보화되고 전력회사나 수용가는 충분한 정보에 바탕을 둔 의사결정을 내릴 수 있게 된다.

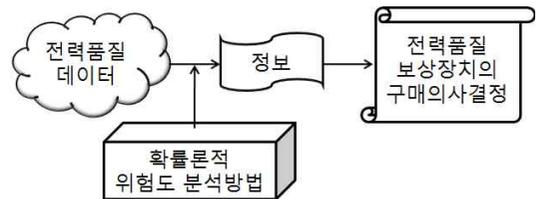


Fig. 2. The process of probabilistic risk assessment

그림 2. 확률론적 위험도 분석과정

본 논문에서 다루고자하는 순간전압강하 보상장치를 구매하고자 할 때 이와 관련된 다양한 비용들이 있는데 빙산의 일각처럼 그중 일부는 쉽게 볼 수 있으나 대부분은 숨겨져 있다[13]. 예를 들면 리서치, 테스트, 설치공사, 운영 및 유지보수 등 기기의 전체 수명 기간 동안 발생하는 추가 비용들이 있기 때문에 장비 구매 의사결정 이전에 장비 구매 후 폐기 혹은 교체 시까지의 전체 사용기간에 대하여 발생할 수 있는 모든 비용과 편익에 대한 수명비용을 고려해야 한다. 여기서 고려하는 거의 모든 비용들은 어느 정도 변동성을 포함하기 때문에 이에 적합한 확률분포로 표현하는 것이 중요하다. 가령, 초기 투자비용, 설치 비용, 유지보수 비용은 기간, 장소, 고객에 따라 다르므로 예상되는 비용에 $\pm x$ 의 편차가 있다고 가정하여 정규분포 형태를 따른다고 할 수 있다. 또한 수명비용을 계산하기 위한 순간전압강하 발생빈도의 변동성은 매우 중요한 요소이다. 이를 표현하기 위한 방법은 여러 가지가 있을 수 있으나 일반적으로 평균 순간전압강하 발생빈도를 이용한 포아송 분포로 해석할 수 있다. 편익 비용은 전력품질 보상장치를 설치하여 전력품질 이벤트 발생빈도를 줄임으로서 발생하는 지장 회피비용에 해당하는데, 다른 비용들과 마찬가지로 순간전압강하로 인한 손실비용의 변동성을 고려해야 한다[14].

본 논문에서는 순간전압강하 보상장치의 수명비용을 분석하기 위해 투자비용의 순현재가치(Net Present Value, NPV) 방법을 이용하고자 한다. NPV는 프로젝트가 원하는 수익률보다 수익이 많을지 적을지를 판단하므로 프로젝트의 수익성이 있을 것인지 위험도 여부를 판단할 수 있다. NPV는 현재의 액면가를 나

타내는 현금 흐름의 순 가치를 반환하기 때문에 돈의 시간에 대한 가치로 인해 현재의 돈이 미래의 돈보다 가치가 높다. NPV는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \left[\frac{Benefits(t) - Cost(t)}{(1+r)^t} \right] \quad (1)$$

Benefits(t): 저감된 전력품질 이벤트로 인한 이익

Cost(t): 연간 총 비용

n: 장비의 전체 수명 (년)

r: 할인율

만일 NPV가 '0'보다 크다면 투자에 대한 수익을 발생시키므로 프로젝트에 대한 투자 결정을 할 수 있다. 여러 가지 프로젝트가 있을 경우에도 각각에 대한 NPV를 비교하여 탁월한 사업적 선택을 내릴 수 있다. 유사한 방법으로 Project balance(PB)는 순익분기점을 제시해주며 표현식은 아래와 같다. PB가 '0'인 시점에서는 초기 투자비용을 회수할 수 있고, '0'보다 크면 추가 수익을 얻을 수 있음을 의미한다.

$$PB(i)_n = PB(i)_{n-1} + A_t \quad (2)$$

$$PB(i)_0 = A_0$$

$$A_t = Benefits(t) - Cost(t)$$

2. 전력품질 향상을 위한 위험도 분석

수용가에서의 발생할 수 있는 전력품질 이벤트의 종류는 다양하고 미리 예측하기 어려운 불확실성을 포함하고 있다. 전력품질 보상장치에 대한 수명비용(life cycle cost)을 분석하기 위해 필요한 독립변수들인 비용과 편익에 대해서도 변동성이 연관되어 있다. 이러한 변동성과 불확실성을 반영하여 수명비용을 평가하기 위한 방법으로 몬테카를로(Monte Carlo) 시뮬레이션이 있다. 몬테카를로 시뮬레이션은 미리 정의한 입력 데이터의 확률분포에 따른 난수 생성을 기반으로 컴퓨터를 이용하여 누적결과에 확률적 모형을 제공하는 통계적 분석기법이다. 최근 소프트웨어의 발달로 반복 계산에 따른 실행 속도 지연이 개선되고 있다. 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 먼저 입력 데이터의 확률 분포를 결정하고 입력데이터는 확률분포 범위 내에서 난수를 랜덤하게 생성한다. 생성된 값은 수명비용 계산 결과에 반영되고 이들 과정을 반복 수행하여 데이터의 불확실성이 반영된 누적결과와 확률분포가 결정된다. 확정모델에 따른 방법과 비교하여 몬테카를로 시뮬레이션의 장점은 비교적 사용이 간단하고 모든 종류의 분포를 적용할 수 있다. 또

한 데이터 사이의 상관관계가 있다고 추정되면 시뮬레이션에 반영할 수 있다[15].

가. 몬테카를로 시뮬레이션의 기본 이론

다음 식 (3)과 같이 다변수 함수가 주어졌다고 하면, 주어진 $x_i, i=1,2,\dots,n$ 에 대하여 y의 값을 계산하는 것은 매우 간단한 일이다.

$$y = g(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3)$$

하지만 x_i 가 정확히 알려져 있지 않고 다만 어떤 공차(tolerance) 한계의 범위 내에 있다는 것만이 규명되었다고 가정하자. 가령 y를 최소값 y_{min} 과 최대값 y_{max} 으로 하는 $x_i, i=1,2,\dots,n$ 값을 찾을 수 있다면, y의 한계를 다음 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$y_{min} \leq y \leq y_{max} \quad (4)$$

y_{min} 과 y_{max} 값은 최악의 경우에 대한 정보를 제공해주기 때문에 중요하다. 하지만 식 (3)을 컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션해보면 더 많은 정보를 알 수 있다. 이를 위해 랜덤 수 발생기를 사용하여 모든 $x_i, i=1,2,\dots,n$ 에 대해 선택하여 y를 계산하고, 또 다른 y값을 얻기 위해 반복하여 얻은 y에 대한 도수와 누적 도수 그래프를 그려보면 식 (3)에 의해 제안된 시스템의 동작반응을 분석할 수 있다. 이 같은 시뮬레이션 기법을 몬테카를로 시뮬레이션 혹은 합성 표본(synthetic sampling)기법이라고 한다. 이 방법의 장점으로는 이론적인 해석이 곤란할 경우에도 유용한 통찰력을 얻어낼 수 있지만, 한 개의 변수의 변화 효과를 연구하기 위해 전체적인 수치해석을 반복해야 한다는 단점이 있다. 그림 3은 몬테카를로 시뮬레이션의 간단한 개념도이다[16].

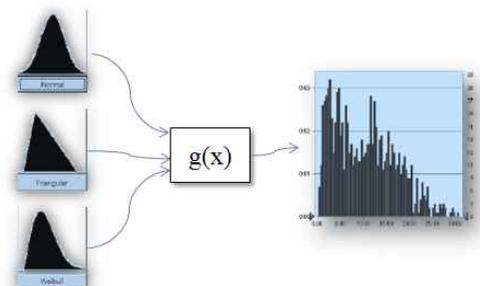


Fig. 3. Monte Carlo simulation concept
그림 3. 몬테카를로 시뮬레이션 개념도

나. 모의 사례

실제 데이터를 이용하기에 앞서 본 논문에서는 가상의 데이터를 이용하여 표 3과 같이 다섯 가지 모의 사례를 통해 확률론적 위험도 분석결과와 유용성을 살펴보고자 한다. 입력변수에 대한 데이터는 참고문헌 [12]의 예제 모델을 참조하였으며, 사례 5에서는 Matlab을 이용하여 몬테카를로 시뮬레이션을 10,000번 반복 수행하였다.

(1) 확정적 방법을 이용한 모의 결과 (사례 1 & 2)

사례 1에서 모든 입력 변수는 단일 값을 갖으며, UPS, Dynamic Sag Corrector(Dysc) 그리고 Static Switch 세 가지 종류의 순간전압강하 보상장치에 대한 NPV 분석을 수행하여 비교한다. 계산의 단순화를 위하여 세 가지 장비들 모두 모든 크기의 순간전압강하를 보상할 수 있고 순간전압강하 지속시간 동안 항상 고장 없이 동작한다고 가정한다. 표 4는 확정적 방법을 이용한 수명비용 분석 결과로 UPS, Dysc, Static Switch에 대한 NPV를 분석한 결과이고, 예상 손익분기점은 그림 4의 그래프를 통해 확인할 수 있다. 이 경우에 순간전압강하 발생 횟수를 줄이기 위한 보상장치의 종류 선정시 NPV 값이 가장 큰 Dysc를 선택하는 것이 경제적 이익을 최대화할 수 있다.

Table 3. Case studies

표 3. 모의 사례

사례	구분	비고
1	· 장비의 고장률 미고려 · 모든 입력 변수는 단일값 · 순간전압강하 전체 보상	확정적 방법
2	· 장비의 고장률 고려 · 모든 입력 변수는 단일값 · 순간전압강하 전체 보상	확정적 방법
3	· 장비의 고장률 미고려 · 순간전압강하 발생빈도에 대해서만 확률분포 고려 · 순간전압강하 전체 보상	확정적 방법 + 확률론적 방법
4	· 장비의 고장률 미고려 · 순간전압강하 발생빈도에 대해서만 확률분포 고려 · 순간전압강하 제한적 보상	확정적 방법 + 확률론적 방법
5	· 장비의 고장률 미고려 · 모든 입력 변수에 대해 확률분포 고려 · 순간전압강하 제한적 보상	확률론적 방법

Table 4. Comparison of NPV analysis in case 1

표 4. 사례 1의 NPV 분석결과 비교

	UPS	Dysc	Static Switch
비용에 대한 현재가치(US\$)	577,217	528,676	615,826
편익에 대한 현재가치(US\$)	2,100,350	2,100,350	2,100,350
NPV(US\$)	1,533,132	1,581,673	1,494,524
손익분기점(년)	2	2	2

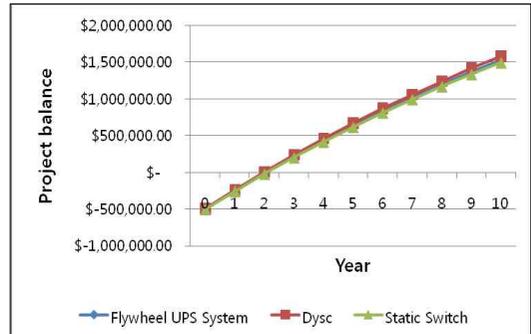


Fig. 4. Project breakeven points in case 1

그림 4. 사례 1의 전력품질 보상장치별 예상 손익분기점

사례 2에서는 사례 1의 경우와 동일한 조건에서 UPS 장비의 고장률이 순간전압강하 지속시간동안에 21.95%라고 가정하여 순간전압강하의 발생빈도가 보상장치의 고장률에 비례하여 증가하게 된다. 사례 1의 결과와 비교해보면 사례 2의 UPS 장비에 대한 NPV 값이 감소했음을 표 5에서 보여준다.

Table 5. Comparison of NPV analysis of UPS in case 1,2

표 5. 사례 1 & 2의 UPS에 대한 NPV 분석결과 비교

	UPS (사례 1)	UPS (사례 2)
비용에 대한 현재가치(US\$)	577,217	528,676
편익에 대한 현재가치(US\$)	2,100,350	1,647,046
NPV(US\$)	1,533,132	1,069,829
손익분기점(년)	2	3

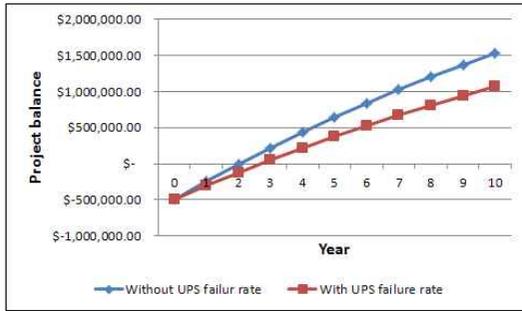


Fig. 5. Project breakeven points of UPS in case 1 & 2
 그림 5. 사례 1 & 2의 UPS에 대한 예상 손익분기점 비교

(2) 확정적 방법과 확률론적 방법이 혼합된 모의 결과 (사례 3 & 4)

사례 3에서는 사례 1에서와 동일한 조건에서 순간전압강하 발생빈도가 95%의 신뢰 구간에서 순간전압강하 발생빈도는 평균 18.22회이고, 상하한값은 각각 25.23, 12.75회인 포아송 분포를 이루고 있다고 가정하였다. 표 6에서는 이에 따른 Dysc 장비에 대한 NPV 결과값의 상하한값을 보여주며, 손익분기점에 대해서도 그림 6과 같이 변동성을 보여 준다. 마찬가지로 다른 장비들도 유사한 결과를 얻게 된다.

하지만 사례 4에서는 Dysc 장비가 보상할 수 있는 범위가 공칭전압의 50%까지 제한되며, 공칭전압의 50% 이하의 크기를 갖는 순간전압강하 발생빈도는 평균 6.58회이고 상하한값이 각각 11.2, 3.5회로 95% 신뢰 구간에 있다고 가정하였다. 이로 인하여 순간전압강하 지장회피비용은 줄어들기 때문에 편익 비용도 감소하게 된다. 그림 7에서는 순간전압강하 보상범위의 제한이 없는 사례 3의 경우와 50%의 제한이 있는 사례 4의 경우에서 Dysc 장비에 대한 예상 손익분기점을 비교하여 보여주고 있다. 사례 4의 경우에 Dysc 장비의 NPV 값은 다른 장비에 비해 큰 값이 아니기 때문에 더 이상 위험도가 작은 솔루션으로 볼 수 없다.

Table 6. NPV analysis of Dysc in case 3

표 6. 사례 3의 Dysc에 대한 NPV 분석결과

	Dysc 하한값	Dysc 중간값	Dysc 상한값
비용에 대한 현재가치(US\$)	528,677	528,677	528,677
편익에 대한 현재가치(US\$)	1,477,940	2,110,350	2,922,291
NPV(US\$)	949,263	1,581,673	2,393,614
손익분기점(년)	3	2	1

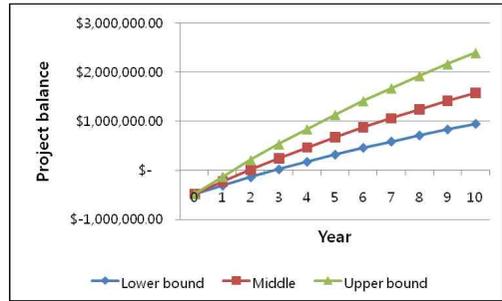


Fig. 6. Project breakeven points of Dysc in case 3
 그림 6. 사례 3의 Dysc에 대한 예상 손익분기점

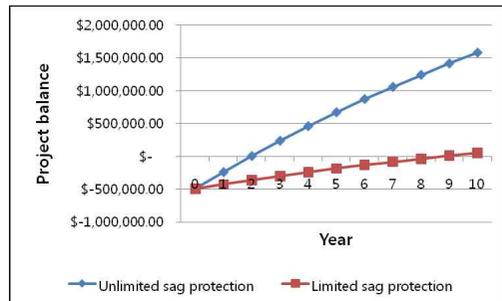


Fig. 7. Project breakeven points of Dysc in case 3 & 4
 그림 7. 사례 3 & 4의 Dysc에 대한 예상 손익분기점

(3) 몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 확률론적 모의 결과 (사례 5)

몬테카를로 시뮬레이션을 위한 입력 변수로 초기비용, 운영비용, 유지비용과 순간전압강하 발생빈도를 정하고 앞서 언급한대로 각각의 입력 변수에 대해서 적합한 확률 분포를 모델링하였다. 반복 계산마다 랜덤하게 선정된 입력 변수로부터 출력값인 NPV를 계산하여 그림 8, 그림 9와 같이 Dysc에 대한 NPV분석 결과를 각각 확률밀도함수와 누적분포함수 형태로 표현하였다. 몬테카를로 시뮬레이션에 의한 수명비용 분석 결과를 살펴보면 Dysc를 설치할 경우 NPV 값이 음수일 가능성, 즉 이익이 발생하지 않을 위험도가 약 46.51%라고 해석할 수 있다.

결론적으로 확정적 방법에 의한 모의 결과는 Dysc를 설치하는 것이 경쟁 장비에 비하여 최대 이익이 발생한다는 단편적인 결과를 제시하지만 확률론적 방법에 의한 모의 결과는 해석하는 주체에 따라 Dysc를 설치하는 것이 최선의 선택이 아닐 수 있다는 가능성을 종합적으로 제시하고 있다. 이와 같이 확률론적인 분석방법을 이용하면 46.51%라는 위험도(53.49% 이익발생 가능성)는 경우에 따라 의사결정에 있어서

부정적인 수치로 해석될 수 있기 때문에 확정적 방법과 다른 결과를 가질 수 있다.

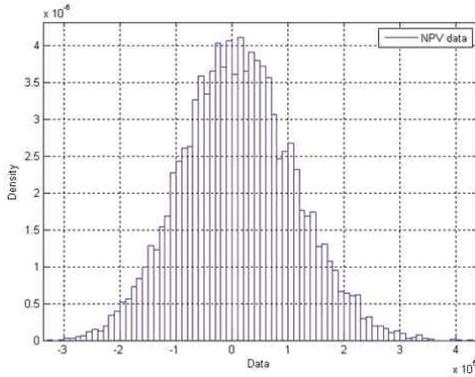


Fig. 8. Probability density function of NPV of Dysc in case 5

그림 8. 사례 5의 Dysc에 대한 NPV 확률밀도함수

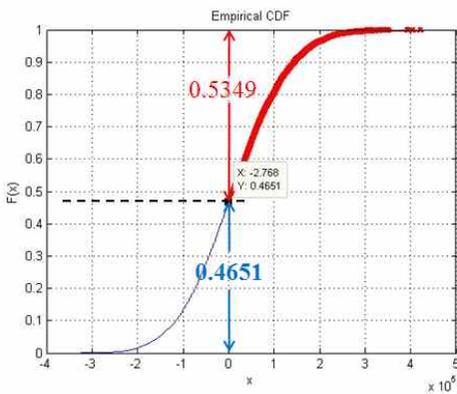


Fig. 9. Cumulative distribution function of NPV of Dysc in case 5

그림 9. 사례 5의 Dysc에 대한 NPV 누적분포함수

III 결론

전력계통의 부하가운데 전력품질에 민감한 전자설비 부하의 증가로 인하여 전력품질에 대한 관심이 점점 높아지고 있는 가운데 전력 공급자와 소비자 모두 전력품질 향상을 위한 선택의 폭이 다양해지고 있다. 특히 순간전압강하는 가장 흔한 외란이면서 전력품질 문제의 최대 이슈이다. 게다가 고가인 순간전압강하 보상장치들이 폭넓게 적용되기 위해서는 현실에서 발생할 수 있는 다양한 불확실성과 변동성을 고려한 위험도 분석방법이 필요하다. 이때 확정적 방법에 의한 위험도 분석은 현실의 불확실성을 반영하지 못하기

때문에 잘못된 결과를 도출할 수 있다. 하지만 본 논문에서 제시하는 몬테카를로 시뮬레이션과 같은 확률론적인 분석방법을 이용하면 변동성과 불확실성을 내포한 결과를 얻을 수 있으므로 상황에 따라 다양한 해석이 가능하기 때문에 보다 현실적인 의사결정 방법으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 향후에는 순간전압강하 보상장치 설치로 인한 기술적인 개선 효과를 개별 사이트에서 순간전압강하 발생빈도의 저감만 보는 것이 아니라 전체 시스템 관점에서 분석하여 경제성 검토가 동시에 이루어질 수 있는 방안을 연구할 예정이다.

참고문헌

- [1] National Energy Technology Laboratory, *Provides power quality for 21st century needs*, Jan. 2007.
- [2] Primen, "The Cost of Power Disturbances to Industrial & Digital Economy Companies," EPRI, Palo Alto, CA, Jun. 2001.
- [3] KEMA consulting, "Benchmarking on PQ desk survey: What PQ levels do different types of customer need?," Jun. 2007.
- [4] M.H.J. Bollen, *Understanding power quality problems: voltage sags and interruptions*. New York: Wiley-IEEE press, 2000.
- [5] 이상훈, "배전계통에서의 전력품질 개선을 위한 순시전압강하 보상 장치," 충북대학교 전기공학과, 2001.
- [6] M. Didden, R. Belmans, W. D'haeseleer, "Cost-Benefit Analysis of Voltage Sag Mitigation Methods in Fiber Extrusion Plants," ETEP, Vol. 13, No. 2, pp.73-77, 2003.
- [7] D. V. Hertem, M. Didden, J. Driesen, and R. Belmans, "Choosing the Correct Mitigation Method Against Voltage Dips and Interruptions: A Customer-Based Approach," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 22, no. 1, Jan. 2007.
- [8] A. K. Goswami, C. P. Gupta, and G. K. Signh, "Assessment of Financial Losses due to Voltage Sags in an Indian Distribution System," IEEE Conf. on Industrial and Information Systems, INDIA, Dec. 2008.
- [9] Jovica. V. Milanovic, and Yan Zhang, "Global Minimization of Financial Losses Due to Voltage Sags With FACTS Based Devices," IEEE Tran. on Power Delivery, Vol. 25, No. 1, Jan. 2010.

[10] Jovica V. Milanovic, and Chandra P. Gupta, "Probabilistic Assessment of Financial Losses due to Interruptions and Voltage Sags-Part I: The Methodology," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 21, No. 2, Apr. 2006.

[11] Jovica V. Milanovic, and Chandra P. Gupta, "Probabilistic Assessment of Financial Losses due to Interruptions and Voltage Sags-Part II: Practical Implementation," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 21, No. 2, Apr. 2006.

[12] A. Maitra, A. Gaikwad, and A. Mansoor, "Probabilistic Model of Risk Assessment of Offering Premium Power Services," EPRI, Palo Alto, CA, March 2003.

[13] B. Vairamohan and M. Howard, "Life Cycle Cost Analysis of Power Quality Mitigation Devices," EPRI, Palo Alto, CA, March 2003

[14] Jong-Hoon Han, Gilsoo Jang, "Probabilistic Life Cycle Cost Analysis of Custom Power Devices for Voltage Sags and Interruptions Mitigation," IEEE T&D Asia, Oct. 2009.

[15] 한중훈, 장길수, "전력품질 향상을 위한 확률론적 위험도 평가 방안," 대한전기학회 하계학술대회, Jul. 2009

[16] 박대철, *확률과 통계*, GS인터비전, 2010.

장길수 (비회원)



1991년 : 고려대학교 전기공학과 졸업 (공학사)
 1994년 : 고려대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
 1997년 : Iowa State University 전기공학과 (공학박사)
 2000년 3월~현재 : 고려대학교 전기전자전파공학부 교수
 <주관심분야> 전력품질, 분산전원, HVDC

박창현 (비회원)



2001년 : 인하대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸업 (공학사)
 2007년 : 고려대학교 대학원 전기공학과 (석박사통합과정)
 2008년 3월~현재 : 부경대학교 전기공학과 교수
 <주관심분야> 전력품질해석, 데이터 시각화

저 자 소 개

한중훈 (비회원)



2003년 : 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업 (공학사)
 2010년 3월~현재 : 고려대학교 대학원 전자전기공학과 (석박사통합과정수료)
 <주관심분야> 전력품질해석