

순간전압강하 경제적 손실 평가 연구

박종일*, 송영원*, 박창현*, 장길수**
부경대학교*, 고려대학교**

A Study on Financial Loss Assessment of Voltage Sags

Jomg-II Park*, Youngwon Song*, Chang-Hyun Park*, Gilsoo Jang**
Pukyong National University*, Korea University**

Abstract - This paper addresses the assessment of voltage sag costs based on the stochastic prediction of voltage sags. When voltage sags below a certain voltage threshold occur at sensitive industrial process, the industrial customer will experience financial damage. In order to mitigate voltage sag costs and devise efficient solutions to mitigate damage, a study on the financial loss assessment of voltage sags is basically needed. In order to assess the voltage sag costs, the expected sag frequency at a sensitive load point should be calculated by using the concept of the area of vulnerability and historical fault statistics. Then, financial loss due to voltage sags can be obtained by multiplying the expected sag frequency by the cost per sag event.

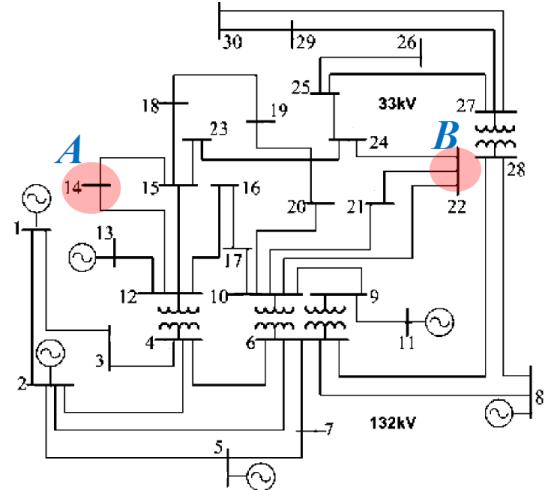
1. 서 론

전력계통에서의 순간전압강하로 인한 대형 산업단지의 경제적 손실 사례가 종종 보고되고 있다. EPRI 보고서에 따르면 이벤트성 전력품질 문제 중 순간전압강하가 약 60[%]를 차지한다고 한다. 민감 부하의 사용이 계속적으로 증가할 것으로 예상되는 만큼 순간전압강하 문제에 대한 효과적인 대책 수립이 절실히 요구된다. 순간전압강하의 원인은 전력계통에서의 사고, 과부하, 큰 전동기의 기동 등으로 알려져 있으며 일반적으로 계통에서의 사고로 인한 순간전압강하가 폭이 가장 크며 넓은 지역에 문제를 야기한다[1]. 따라서 계통에서의 사고로 인한 순간전압강하가 가장 큰 관심사가 되고 있다. 순간전압강하에 대한 다양한 대책들이 소개되어 있으나 개별 부하 특성 및 전체 시스템을 고려한 효율적인 대책수립을 위해서는 기본적으로 순간전압강하 평가가 선행되어야 한다. 뿐만 아니라 경제성을 고려한 대책 수립을 위해서는 순간전압강하로 인한 경제적 손실 평가도 이루어져야 한다. 본 논문은 순간전압강하 평가 방법 중 할선법을 이용한 취약지역(area of vulnerability)기반의 시뮬레이션 방법[2]을 적용하는 경제적 손실 평가방법을 소개한다. 이 평가방법은 특정 부하단에서 예상되는 순간전압강하 발생횟수를 추산하고 해당 부하단에서의 과거 경제적 손실데이터를 이용하여 연평균 예상 손실을 추산하는 것이다 [3]. 여기서 취약지역은 주어진 한계전압 이하의 사고 전압을 야기하는 계통내 사고 위치들의 집합이며 [4] 일반적으로 한계전압은 민감 부하가 오동작 없이 견뎌낼 수 있는 최소 전압크기로 정의된다. 본 논문에서는 모의 계통에 대한 순간전압강하 평가와 함께 과거 손실 테이터를 이용한 연평균 예상 손실을 추산한다.

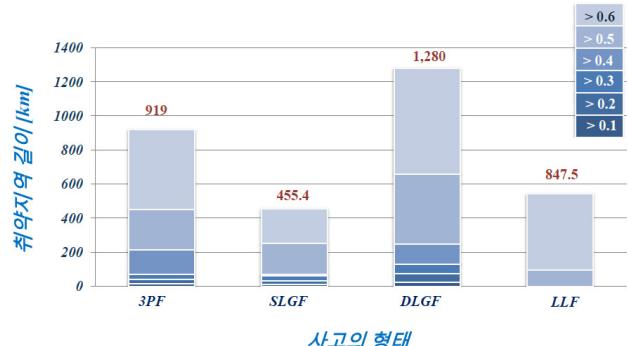
2. 본 론

2.1 순간전압강하 발생횟수 평가

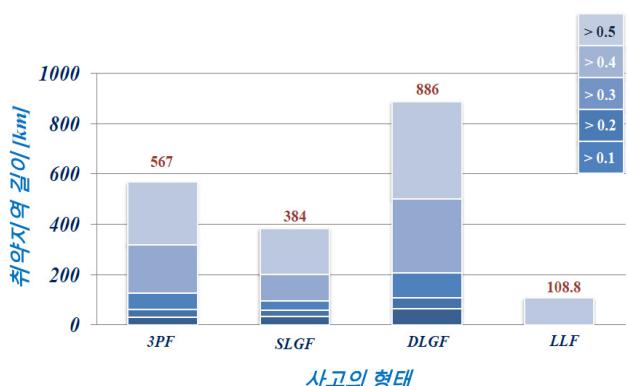
순간전압강하 발생횟수를 추산하기 위해서 정확한 취약지역의 계산과 계통의 사고율 데이터가 필요하다. 본 논문에서는 참고문헌[2]에 수행한 모의계통(IEEE-30 bus system)과 모선 및 선로의 사고율 데이터를 바탕으로 순간전압강하 손실 평가를 수행하였다. 먼저 모의계통의 총 연평균 순간전압강하 발생횟수를 추산하기 위해 1선지락사고(SLGF), 선간단락사고(LLF), 2선지락사고(DLGF), 3상사고(3PF)의 각 사고 형태에 대한 취약지역을 계산하였다. 또한 계산된 취약지역과 계통 선로 및 모선의 사고율을 이용하여 민감 부하모선에서의 연평균 순간전압강하 발생횟수를 추산하였다. 보다 자세한 방법과 절차는 참고문헌 [2]에 소개되어 있다. 모의계통에서 민감부하모선은 14번 모선과 22번 모선으로 가정하였으며, 각각의 한계전압은 0.6[p.u]와 0.5[p.u]로 가정하였다. 또한 사고전 계통의 모든 모선의 전압은 1.0[p.u]로 가정하였다. 그림 1은 모의 계통인 IEEE-30모선 계통과 민감부하모선을 나타내고 있다[5].



〈그림 1〉 모의 계통도 및 민감부하모선



(a) 14번 모선에 대한 취약지역



(b) 22번 모선에 대한 취약지역
〈그림 2〉 각 민감부하모선에서의 취약지역길이

그림 2는 각 사고의 형태별 a, b, c상에 대한 취약지역의 합을 나타내었다. 계산된 취약지역과 모선 및 선로의 사고율로부터 각 사고형태 및 함께 전압에 따른 순간전압강하 평가 결과를 표1에 정리하였다. 각 사고별 추산결과의 합을 통해 총 연평균 발생횟수를 추산한다.

〈표 1〉 각 민감부하모션의 사고 형태별 순간전압강하 발생횟수

한계 전압 [pu]	순간전압강하 발생횟수 (회)							
	민감부하 A				민감부하 B			
	3PF	SLGF	DLGF	LLF	3PF	SLGF	DLGF	LLF
0.6	0.97	9.62	4.08	0.73				
0.5	0.47	5.42	2.09	0.14	0.6	7.7	2.82	0.16
0.4	0.23	1.62	0.82	0.00	0.34	4.04	1.6	0.00
0.3	0.08	1.39	0.43	0.00	0.14	1.94	0.7	0.00
0.2	0.05	0.79	0.25	0.00	0.07	1.19	0.37	0.00
0.1	0.02	0.32	0.1	0.00	0.04	0.67	0.24	0.00

2.2 순간전압강하 경제적 손실평가

본 연구에서는 특정 부하단에서의 순간전압강하로 인한 경제적 손실 평가를 위해 단일 이벤트 발생에 따른 경제적 손실 데이터 확보가 가능하다는 것을 가정하였다. 이러한 손실 데이터와 해당 부하단에서의 순간전압강하 연평균 발생 횟수 추산 결과를 이용하여 손실을 추산하게 된다. 표 2는 두 민감부하모션에 대해 가정한 손실 비용을 나타내고 있다. 순간전압강하로 인한 연평균 손실비용은 단일 이벤트에 따른 손실비용과 순간전압강하 발생횟수 추산결과의 곱으로 추산되게 된다.

〈표 2〉 부하에 따른 순간전압강하 손실비용

범 주		순간전압강하로 인한 평균 손실비용 (만원/event)	
부하모션	설 비	최 소	최 대
14번	철강업/중공업 (Steel/heavy mfg.)	36,601	54,902
22번	반도체제조 (Semiconductor mfg.)	198,692	596,076

순간전압강하 발생횟수에 따른 연평균 예상 손실비용 계산식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

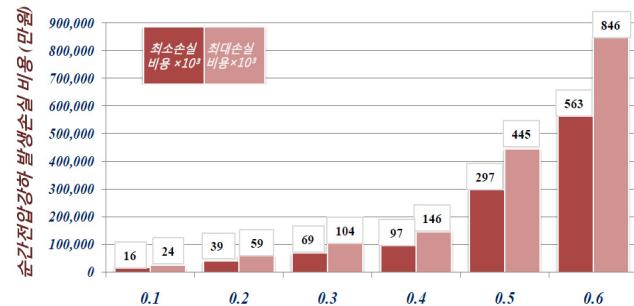
$$ESC_{year} [\text{원}/\text{year}] = CE[\text{원}/\text{faults}] \times TESF_{year} [\text{sags}/\text{year}] \quad (1)$$

여기서, ESC_{year} : 연평균 손실비용 (Expected Sag Cost)

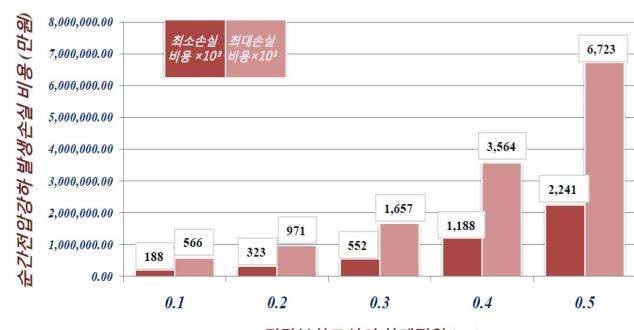
CE : 1회당 sag 발생비용 (Cost per Events)

$TESF_{year}$: 연 평균 순간전압강하 총 발생횟수

순간전압강하 발생 횟수 추산결과와 손실 데이터를 이용하여 민감부하단 A와 B에 대한 각 한계전압별 연평균 손실 추산 결과를 그림3에 도식화 하였다. 발생횟수 추산결과 민감부하 A는 B보다 순간전압강하를 더 많이 경험할 것으로 추산되었다. 하지만, 경제적 손실 추산 결과에 따르면 민감부하 A는 최소 563,655만원에서 최대 845,491만원이 발생할 것으로 추산되었지만 B는 최소 2,241,246만원에서 최대 6,723,737만원의 손실이 예상되었다. 경제적 손실비용은 발생횟수와 단일 이벤트에 따른 손실비용에 많이 의존하는 것을 알 수 있다. 발생횟수 결과만을 고려할 때는 부하 A에 대한 대책이 우선이나 경제적 손실까지 고려했을 때는 민감부하 B에 대한 대책 우선되어야 함을 알 수 있다.



(a) 민감 부하A의 최대, 최소 손실비용



(b) 민감 부하B의 최대, 최소 손실비용
〈그림 3〉 각 민감부하모션에서의 순간전압강하 손실비용

3. 결 론

본 논문은 순간전압강하로 인한 특정 부하단에서의 경제적 손실 추산을 위해 순간전압강하 평가 방법과 과거 손실의 통계적 데이터를 이용하였다. 전력계통에서의 사고 발생은 아주 랜덤한 이벤트로 이로 인한 순간전압강하 또한 정확한 예측이나 평가는 어렵다. 그러나 과거 오랜 기간 동안의 사고 이력 및 손실 이력 등의 통계적 데이터가 존재할 때 어느 정도 장기 예측이 가능하다. 순간전압강하 발생횟수에 대한 평가뿐 아니라 순간전압강하로 인한 경제적 손실비용 예측을 통해 경제성을 고려한 최적 수용가 위치선정 및 대책 수립 등도 가능하다. 순간전압강하로 인한 경제적 손실평가의 신뢰도를 높이기 위해서는 정확한 손실데이터가 필요하며 또한 정확한 취약지역의 계산과 발생횟수 추산이 필요하다. 향후 보다 정확한 손실 평가를 위해서는 수용가 부하의 구성 및 다양한 손실 요소들에 대한 고려가 필요할 것이다.

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

(No. 20101020300580).

참 고 문 헌

- [1] M. H. J. Bollen, Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions, ser. IEEE Power Eng. Ser. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2000.
- [2] C. H. Park and G. Jang, “Stochastic estimation of voltage sags in a large meshed network,” IEEE Trans. Power Del., vol. 22, no. 3, pp. 1655 - 1664, Jul. 2007.
- [3] T. Thasananutariya and S. Chatratana, and R. N. Allan, “Stochastic prediction of voltage sags in an industrial estate,” Industry Applications Conference Record of the 2005, Vol.2, Iss., 2-6, 2005.
- [4] G. Olguin, “Voltage dip (sag) estimation in power systems based on stochastic assessment and optimal monitoring,” Ph.D. dissertation, Dept. Energy Environ., Div. Electr. Power Eng., Chalmers Univ. Technol., Goteborg, Sweden, 2005.
- [5] IEEE 30-bus test case, [Online]. Available: http://www.eewashington.edu/research/pstca/pf30/pg_tca30bus.htm.