

리클로징 시간을 고려한 배전계통 순간전압강하의 수용가측 영향

문종필*, 김재철*, 강봉석*, 윤상윤**
*승실대학교 **LG 산전

Customer's Effects of Momentary Voltage Sag in Power Distribution System Considering Reclosing Interval

Jong-Fil Moon*, Jae-Chul Kim*, Bong-Seok Kang*, Sang-Yun Yun**
*Soongsil University **LG Industrial Systems

Abstract - In this paper, It was evaluated that the customer's effects of momentary voltage sag in power distribution system considering reclosing interval. Above all, power quality problems were discussed widely, various international standards about power quality were compared to each other. after the continuous voltage sag waves of power distribution system on fault were induced, the experimentation about voltage sag for critical load was performed using source simulator. The results of experimentation were displayed as the form of 2 and 3-dimensional CBEMA Curve.

EN 50160에서는 전압이 1~90[%], 이벤트 지속시간이 1분 이하인 전압을 순간전압강하(Voltage Dip)로, IEEE Std. 1159는 전압이 10~90[%], 이벤트 지속시간이 1분 이내의 전압을 순간전압강하(Voltage Sag)로, IEEE Std. 1250에서는 전압이 100[%]보다 작고, 이벤트 지속시간이 수초 이내의 전압을 순간전압강하(Voltage Sag)로 정의하여 각 규격에 따라 다른 범위를 설정하고 있다[3-5].
본 논문에서는 순간전압강하의 범위를 가장 폭넓게 정의한 IEEE Std. 1250을 기준으로 연구를 진행하였으며, 정확한 범위 설정보다는 정상 크기 이하의 전압이 1초 이내로 지속한 경우를 순간전압강하의 범위로 설정하여 수용가측 영향에 대하여 분석하였다.

1. 서 론

최근 마이크로프로세서 및 전력전자 소자를 포함한 외란에 민감한 부하설비의 이용이 증가하고 있으며 이에 따라 전력품질 문제에 대한 인식 및 관심도 증가하고 있는 추세이다[1,2]. 그러나 외국의 경우와는 달리 국내에서는 현재까지 이러한 전력품질 문제에 대한 분석 및 실험결과가 미미한 실정이다. 특히 국내 배전계통은 3상 4선식 다중접지방식의 배전시스템을 적용하고 있기 때문에 전압품질 문제도 국내 실정에 맞추어 체계적으로 정리할 필요가 있다.

본 논문에서는 전력품질 문제에 대한 여러 국제 규격을 비교하였으며, 국내 배전계통에서의 순간전압품질 문제에 대하여 체계적으로 정리하였다. 국내 배전계통에서의 사고는 영구사고보다는 일시사고가 대부분이기 때문에, 보호용으로 리클로저를 채택하고 있다. 따라서 사고시 리클로징 따른 순간전압품질이 심각한 문제이므로 이에 대하여 정리하여 수용가에서 실제로 경험하는 품질문제에 대하여 도출하였다. 여기서 도출된 전압품질 과정을 실제로 전원시뮬레이터를 이용하여 외란에 민감한 부하에 대하여 실험을 하였으며 그 결과를 도출하였다. 또한 연속 순간전압강하에 대하여 3차원 CBEMA 곡선을 제시하였다.

2. 전력품질 문제

전력품질 문제는 크게 전압품질 문제와 주파수품질 문제로 나눌 수가 있으며, 전압품질은 순간전압강하(Sag), 순간정전(Temporary Interruption), 영구정전(Sustained Interruption) 등으로 나눌 수가 있고, 주파수 품질 문제는 고조파, 과도전류 등으로 나눌 수가 있다. 본 논문에서는 전압품질문제만 국한해서 논하기로 한다.

전압품질 문제는 외국의 각 규격마다 용어 및 그 정의가 다른 실정이다. 다음 표 1에 전압품질 문제에 대한 국외의 관련 규격을 비교하여 표시하였다. 이 표에 따르면, 본 논문의 관심의 대상인 순간전압강하 문제에 대하여

표 1. 각 국제 규격의 전력품질 문제 정의 비교

Standard	EN 50160 (=IEC Std)		IEEE Std. 1159-1995		IEEE Std. 1250-1995			
Voltage	~1[%]	~90[%]	~10[%]	~90[%]	0[%]	~99[%]		
Duration	0.5 [cycle]		M.I.		I. I.			
	30 [cycle]		Voltage Sag		Voltage Sag			
	Short Interruption	Voltage Dip	T.I.		M.I.			
							2 [sec]	
			3 [sec]		S.I.		Under voltage	
			1 [min]		Under voltage		S.I.	
	2 [min]							
	3 [min]							
3 [min] ~	L.I.							

M. I. : Momentary Interruption
I. I. : Instantaneous Interruption
T. I. : Temporary Interruption
S. I. : Sustained Interruption
L. I. : Long Interruption

3. 국내 배전계통에서의 순간전압품질

3.1 배전계통의 구성 및 순간전압강하

국내 배전계통은 3상 4선식 중성점 다중접지 방식을 적용하고 있다. 이에 따라 전압품질 문제도 외국의 다른 배전방식과 달리 해석되어야 하며, 여기에서는 고장 발생시 각 수용가에서 어느 정도의 순간전압강하를 경험하는지 정리하였다.

다음 그림 1은 전형적인 국내 배전계통의 구성도를 보여준다.

그림에서, 변전소 윗단을 등가 전원($V_s=1$ [p.u.])으로 가정하면, 모선에서의 전압 V_{bus} 는 다음과 같이 된다.

$$V_{bus} = \frac{Z_L}{Z_S + Z_T + Z_L} \quad (1)$$

여기서, Z_S 는 전원 임피던스, Z_T 는 변압기 임피던스, Z_L 은 선로 임피던스이다.

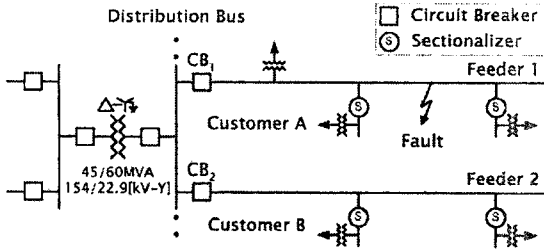


그림 1. 국내 배전계통 구성도

이 때, 피더 1에 완전지락 사고시($Z_f=0$) 사고점으로 유입되는 고장 전류의 증가로 인하여 모선에서의 전압 V_{bus} 는 작아지게 되고, 이 작아진 전압에서부터 고장점까지의 전압분포는 선로의 임피던스를 분포정수회로라 가정하면, 선형으로 작아지게 된다. 따라서 모선부터 고장점까지 분포된 피더 1의 수용가는 $V_{bus}[V]$ 부터 $0[V]$ 까지 다양한 전압품질 문제를 경험하게 된다. 피더 2의 수용가도 V_{bus} 의 값이 작아짐에 따라 수용가 위치에 따라 다양한 전압품질 문제를 경험하게 된다.

3.2 리클로징에 따른 순간전압품질 문제

현재 배전계통에서는 순간고장의 제거 효율을 높이기 위해 CB에 리클로징 기능을 첨가하거나 리클로저를 설치하여, 고장시 순간적으로 고장을 차단한 후 다시 재폐로 함으로써 정전시간을 단축시키고 있다.

그러나 이로 인하여 수용가에서는 영구정전(Sustained Interruption)을 경험하는 수는 감소하지만, 순간전압강하를 경험하는 수는 대략 3배 정도 증가하게 된다. 즉, 리클로저를 2F1D로 운전할 경우, 그에 따른 각 피더에서의 전압파형은 그림 2와 같다. 리클로저를 사용하여 고장을 제거할 경우, 영구사고시 그림과 같이 피더 1에서는 한 번의 영구정전 대신 세 번의 순간전압강하와 두 번의 순간정전을 추가로 경험하게 되며, 피더 2에서는 한 번의 순간전압강하 외에 두 번의 순간전압강하를 추가로 경험하게 된다[3].

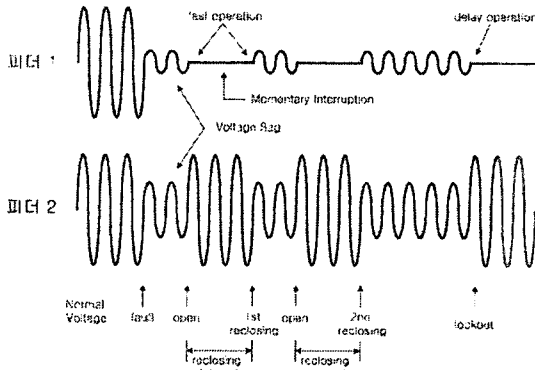


그림 2. 영구사고시 피더에 따른 전압파형

사고가 순간전압강하의 원인중 대부분을 차지하기 때문에 일반적으로 수용가가 느끼는 순간전압강하 문제는 한 번이 아니라 실제로는 1~3번의 순간전압강하를 경험하게 된다. 따라서 본 논문에서는 보다 현실성 있게 단독 순간전압강하 뿐만 아니라, 리클로징 간격(Reclosing Interval)의 변화에 따른 연속적인 순간전압강하에 대한 수용가 영향도 평가하였다. 여기서 연속적인 순간전압강하 인가간격은 첫 번째 리클로징 간격이 통상 0.5 ~ 2[S]이고, 두 번째 리클로징 간격이 2 ~ 15[s] 임을 감안하여, 0 ~ 2[s]로 설정하였으며, 2[s] 이상에서는 연속

적인 순간전압강하가 단독 순간전압강하에 비하여 추가적인 영향이 없는 것으로 가정하였다. 따라서 실험시 연속 순간전압강하는 두 번까지 인가하였다.

4. 순간전압강하 영향 실험

4.1 CBEMA 곡선

초기에 CBEMA 곡선은 미국의 컴퓨터설비제조연합(Computer Business Equipment Manufacturers Association : CBEMA)에 의해 제안된 것으로서 컴퓨터의 전압외란에 대하여 어느 정도를 견딜수 있는가를 나타내는 수단으로 이용되었고 이후 전압변동에 대한 전력 품질을 설명하기 위한 데이터의 표현에 가장 많이 사용되고 있으며, 다음 그림 3과 같다[1,2].

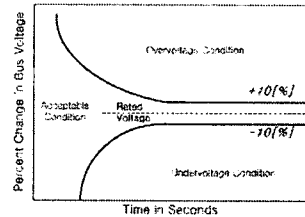


그림 3. 전형적인 CBEMA 곡선

그림 3은 CBEMA 곡선의 전형적인 모습으로 아래쪽 곡선은 전압강하에 대한 설비의 오동작 유무를 나타내고 위쪽 곡선은 전압상승에 의한 설비의 오동작 유무를 나타낸다. 각 곡선의 내부에 해당하는 지속시간의 전압문제가 발생할 경우 설비의 오동작에는 영향이 없음을 나타낸다. 본 논문에서는 순간전압강하와 관련된 아래쪽 곡선에 국한하여 적용하였다.

4.2 실험대상기기 선정 및 오동작 판정

수용가가 사용하는 모든 부하에 대하여 실험을 하기에 현실적으로 불가능하므로, 국내 산업에서 사용되는 기기중 전압품질에 민감한 기기를 IEEE Standard에 근거하여 선정하였다. 그 대상 기기 및 오동작 판정 기준은 다음과 같다.

- (1) PC : Pentium 733[MHz], 220[V], 60[Hz]
오동작 : 재부팅
- (2) 디지털 파워 미터(DPM) : 85~260[V], 60[Hz]
오동작 : 리셋
- (3) 전자개폐기
1) 220[V], 60[Hz] 2종류
2) 110[V], 60[Hz] 1종류
오동작 : 파형취득하여 판정
- (4) 자동전압조정기(AVR)
1) 110[V], 60[Hz] 1종류
2) 220[V], 60[Hz] 1종류
오동작 : 파형취득하여 판정
- (5) 디지털계전기(DPR)
1) 110[V], 60[Hz] 1종류
2) 85~265[V], 60[Hz] 1종류
오동작 : 리셋

4.3 실험 방법

실험은 전원시뮬레이터(SS-AA2000XG)를 이용하여 원하는 크기와 길이를 갖는 전압파형을 각 시료에 인가하여 오동작 유무를 판별하였다. 다음 그림 4는 AVR에 대한 실험 구성도의 예를 나타낸다.

각 시료에 대하여 단독 순간전압강하 및 연속 순간전압강하 실험을 수행하였다. 단독 순간전압강하 실험에서

는 원하는 전압과 지속시간을 갖는 순간전압강하를 한 번만 인가하여 기기에 오동작이 발생하는 값을 기록하였으며, 연속 순간전압강하 실험에서는 리클로징 간격을 고려하여 0.5, 1, 1.5, 2[s]의 간격을 두고 순간전압강하를 두 번 인가하여 기기에 오동작이 발생하는 값을 기록하였다.

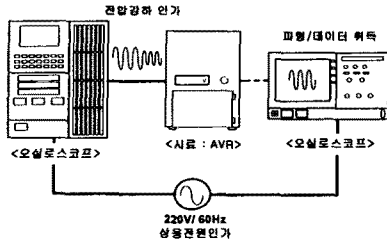
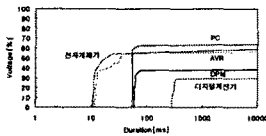


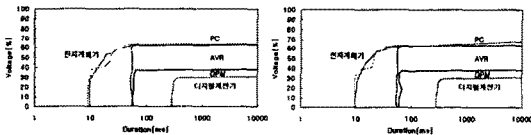
그림 4. 실험 구성도 예(AVR)

4.4 실험 결과

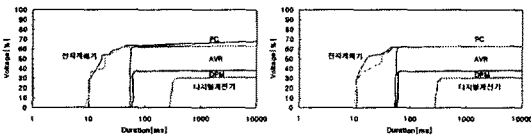
실험은 기기에 변화가 없는 부분에서는 전압 및 지속시간의 분해능을 작게하여 실험하였으며, 변화가 많은 부분은 분해능을 크게하여 더 정확한 결과가 나오도록 하였다. 그림 5는 단독 및 연속 순간전압강하 실험 결과를 CBEMA 곡선을 이용하여 그린 그림이다.



(a) 단독 순간전압강하 실험 결과



(b) 연속 순간전압강하 실험 결과(0.5초, 1.0초 간격)

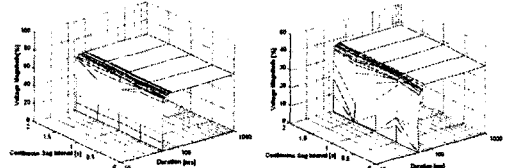


(c) 연속 순간전압강하 실험 결과(1.5초, 2.0초 간격)

그림 5. 실험 결과 1 (2차원 CBEMA 곡선)

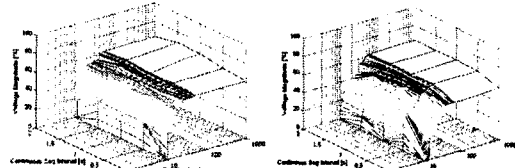
연속실험은 단독실험과 비교하여 전압은 큰 변화가 없으나 지속시간은 다소 차이가 있음을 알 수 있고, 대부분의 시료가 연속전압강하가 일어날 경우 영향을 받지만, 그 중 AVR, 전자개폐기는 다른 시료에 비해 조금 더 민감한 것으로 나타났다. 또한 2초 간격의 연속전압강하 실험은 단독실험 결과와 거의 비슷한 것으로 나타나 리클로징 간격이 2초 이상일 경우에는 한 번의 순간전압강하가 일어난 경우와 마찬가지로 해석할 수 있음을 알 수 있다.

본 논문에서는 또한 각 시료에 대하여 단독, 연속 전압강하에 따른 결과를 비교하기 위하여 3차원 CBEMA 곡선을 제시하였다. 3차원 CBEMA 곡선은 기존의 이벤트 지속시간축과 전압축 외에 연속전압강하 인가 간격축을 추가하여 그린 그림이다. 이 3차원 CBEMA 곡선을 이용하면 한 시료에 대하여 연속전압강하 간격에 따른 영향을 검토할 수 있는 장점이 있다.



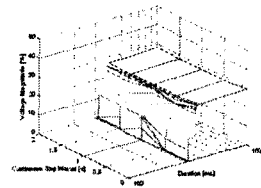
(a) PC

(b) 디지털 파워 미터



(c) 전자개폐기

(d) AVR



(e) 디지털 보호계전기

그림 6. 실험 결과 2 (3차원 CBEMA 곡선)

위 그림에서 보는 바와 같이 각각의 기기들에 대하여 단독 및 연속 순간전압강하에 따른 오동작 여부를 쉽게 알 수 있도록 표시할 수 있다. PC, DPM, 디지털 보호계전기는 연속 순간전압강하에 대한 영향이 적으나, 전자개폐기와 AVR은 연속 효과가 큰 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 논문에서는 수용가 민감기에 대하여 리클로징 간격을 고려하여 연속 순간전압강하 발생시 영향을 검토하였다. 우선 전력품질 문제에 대한 국제 규격을 검토하였고, 국내 배전계통에서 사고시 발생하는 연속 순간전압강하 발생 메카니즘에 대하여 연구하였다. 여기서 얻은 연속 순간전압강하 전압 파형을 이용하여 수용가에서 사용되는 민감한 기기에 대해 실험을 수행하였으며, 그 결과를 2차원 및 3차원 CBEMA 곡선을 이용하여 제시하였다. 본 논문에서 제시된 3차원 그래프는 각각의 기기에 대하여 단독 및 연속 전압강하 발생시 어떤 특성이 있는지를 쉽게 보여줄 수 있는 장점이 있다. 향후 연속 순간전압강하 발생시 기기에 미치는 영향을 정량적으로 평가해야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] R.C.Dugan et al., Electrical Power Systems Quality, McGraw-Hill, 1996.
- [2] 김재철 외, "순간전압강하에 의한 수용가측 영향의 현황 분석", 한국조명·전기설비학회 논문지, 제 12권 4호, 1998년.
- [3] Math H. J. Bollen, "Understanding Power Quality Problems(Voltage Sags and Interruptions", IEEE Press, 2000.
- [4] IEEE Std. 1159-1995, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality
- [5] IEEE Std. 1250-1995, IEEE Guide for Service to Equipment Sensitive to Momentary Voltage Disturbances