

배전계통에서 차단기 개폐 시점에 따른 과전압 크기 분석

김진현, 성노규, 여상민, 김철환
성균관대학교

The analysis of overvoltage according to the various switching time of circuit breaker in distribution system

Jin-Hyun Kim, No-Kyu Seong, Sang-Min Yeo, Chul-Hwan Kim
Sungkyunkwan University

Abstract - 최근 배전계통은 통신기술을 접목한 스마트 그리드로 발전하면서 복잡한 네트워크를 이루고 있다. 이러한 영향으로 계통에서 발생하는 과도현상들 또한 복잡해짐에 따라 이에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 배전계통에서 차단기가 동작할 때 전원과 부하 사이의 거리에 따라 부하에서 발생하는 과전압 크기와 차단기 개폐 시점에 따라 부하에서 발생하는 과전압 크기를 EMTP(Electro Magnetic Transients Program)를 사용하여 모의하고 그 영향을 분석하였다.

1. 서 론

전력계통에서 발생하는 개폐서지는 차단기를 투입할 때 발생하는 투입서지와 개방할 때 발생하는 차단서지로 분류된다. 이와 같은 차단기 개폐 현상에 의하여 발생하는 과전압은 전기적 외란에 민감한 부하에 악영향을 주게 되고 또한 그 크기에 따라 지중배전케이블에 절연열화의 원인이 될 뿐만 아니라 더 나아가서는 케이블 절연과피의 원인이 되어 정전사고를 유발시키기도 한다. 또한 기기의 과손뿐만 아니라 기기의 오동작을 유발시키기도 한다[1,2]. 이에 따라 배전계통에서 차단기 개폐 동작 시 발생하는 과전압의 영향을 줄이고 그에 대한 대책 수립을 위하여 과전압에 대한 다양한 분석이 필요하다. 특히 특고압 계통의 경우 개폐서지가 자주 나타나기 때문에 이러한 시스템을 실생활에 구성하고 예측하기 위해서는 다방면의 노력이 필요하다[1]. 본 논문에서는 차단기 개폐 시점을 변화시켰을 때 과전압 측정 위치를 변화시켰을 때 부하에서 발생하는 과전압 크기와 추이를 분석하였다.

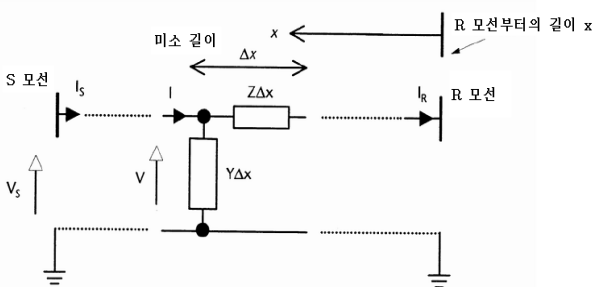
2. 개폐서지

2.1 개폐서지

서지는 정상 크기보다 매우 짧은 시간 동안 지속되는 과도 전압 혹은 과도 전류이다. 차단기 개폐 시 회로 상태의 급변에 의한 진행과가 선로 단에서 왕복 반사하는 것에 의해 발생한다. 시스템 파라미터 및 네트워크 구성에 따라 크게 변화한다. 차단기 특성 및 개폐 동작이 발생하는 순간에 크게 의존한다. 차단기의 개폐 동작으로 발생하는 개폐서지는 민감한 부하가 보편화 되면서 개폐서지 해석의 필요성이 증가하고 있다. 전선로의 차단기를 개폐할 때 발생하는 이상전압은 선로의 급격한 변화를 주고 경우에 따라 큰 이상 전압이 될 때도 있는데 일반적으로 회로를 투입할 때 개방할 때보다, 또 큰 부하를 걸고 있는 회로를 개폐할 때보다 무부하시의 회로를 개방하는 경우에 더 높은 과전압을 발생시킨다[3,4].

2.2 진행과

다음 그림 1은 분포정수 선로 모델의 구성요소를 나타낸 것이다.



〈그림 1〉 분포정수 선로 모델의 구성요소 부분

그림 1로부터 전압과 전류는 미분방정식 해를 통하여 다음 식 (1), 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$v(x,t) = f_1(x-\gamma t) + f_2(x+\gamma t) \tag{1}$$

$$i(x,t) = \frac{1}{Z_c} f_1(x-\gamma t) - \frac{1}{Z_c} f_2(x+\gamma t) \tag{2}$$

여기서, 전파속도와 특성임피던스는 다음 식 (3), 식 (4)와 같이 정의한다. 일반적인 가공선로의 전파속도는 빛의 속도인 3×10^5 km/s이다.

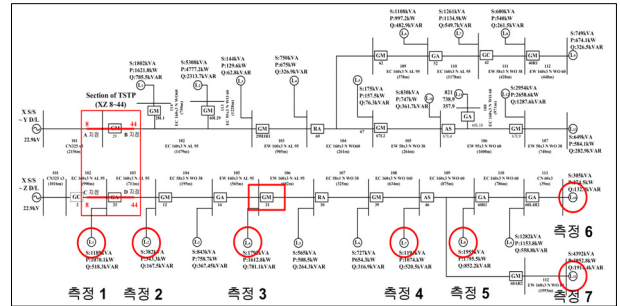
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{ZY}} \quad : \text{전파속도} \tag{3}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \quad : \text{특성임피던스} \tag{4}$$

3. 모의 사례 연구

3.1 모의 계통

본 논문을 수행하기 위해 다음 그림 2와 같은 22.9kV 배전계통을 EMTP/ATPDraw를 이용하여 모의 계통을 구성하였다. 그림 2의 배전계통은 그림에 표시된 바와 같이 중성선을 공유하는 2단 장주 부분 및 1단 장주 부분으로 구성되어 있고 다양한 부하로 연결되어 있다. 상단의 13개소 부하는 약 17[MVA]의 용량을 가지며 하단의 11개소 부하는 약 14[MVA]의 용량을 가진다[5].



〈그림 2〉 모의 계통

3.2 모의 조건

본 논문을 수행하기 위해 모의 조건을 다음 표 1에 정리하였다. 차단기 투입 시와 개방 시에 발생하는 과전압의 차이를 알아보기 위해 다음 표 1과 같이 나누었다.

〈표 1〉 모의 조건

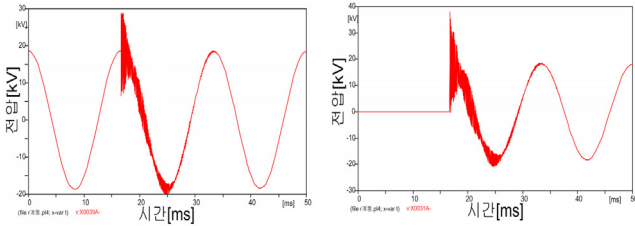
차단기	case	개폐 시점[sec]	공통 조건
투입 시	case 1	0.012498(0°)	측정상 : A상 총 모의시간 : 50 [ms] 전원 전압 : 18697 [V] 전원 주파수 : 60 [Hz]
	case 2	0.013886(30°)	
	case 3	0.015275(60°)	
	case 4	0.016664(90°)	
개방 시	case 5	0.012498(0°)	
	case 6	0.013886(30°)	
	case 7	0.015275(60°)	
	case 8	0.016664(90°)	

3.3 모의 결과

3.3.1 차단기 투입 시

다음 그림 3, 4는 case 4에 대하여 측정 3 및 측정 7에서의 전압파형이다. 차단기 투입으로 인한 진행과에 의하여 과전압이 발생한 것을 알

수 있다. 그림 3, 4로부터 차단기 투입 시에는 차단기 좌측단과 우측단 부하에서 발생하는 과전압 파형은 유사한 것을 확인할 수 있다.



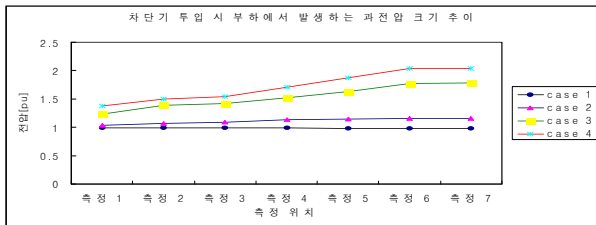
〈그림 3〉 측정 3에서의 전압파형 〈그림 4〉 측정 7에서의 전압파형

다음 표 2는 부하에서 측정된 과전압을 per unit 단위로 나타낸 것이다. 괄호 안은 전원과 부하 사이의 거리를 나타낸다. case 1의 경우 과전압이 거의 발생하지 않았다. 선로의 전압 강하로 인해 부하에서 측정된 전압이 전원 전압보다 작기 때문이다. case 4의 경우에 가장 큰 과전압이 발생하였고 이때 전원측에서 가장 가까운 측정 1 부하에서 가장 작은 과전압이 발생하였고 전원측에서 가장 먼 측정 7부하에서 가장 큰 과전압이 발생하였다. 진행과 이론에 의해 임피던스로 종료되는 선로의 경우 말단의 전압 V 는 식 $V = \frac{2Z}{Z+Z_0} V_i$ 로부터 구할 수 있다. 여기서, V_i 는 입력전압, Z 는 부하 임피던스, Z_0 는 서지 임피던스이다. 측정 7에 대한 선로 부분의 서지 임피던스는 362.5Ω 이며, 부하 임피던스는 397.6Ω 이므로, 위의 식을 측정 7에 적용하여 말단의 전압을 계산하면, $V = \frac{2 \times 397.6}{397.6 + 362.5} V_i = 1.046 V_i$ 로 계산되며, 선로 앞단의 전압 V_i 보다 1.046배 크며, 선로 말단으로 갈수록 서지 전압은 커짐을 알 수 있다. 표 2에서 제시한 모의 결과의 경우 차단기 투입 지점으로부터 선로 말단으로 갈수록 과전압의 최대 크기가 증가함을 알 수 있으며 이는 앞서 언급한 진행과의 특징에 의해 나타나는 영향임을 알 수 있다.

〈표 2〉 차단기 투입 시 부하에서 발생하는 과전압 크기 (단위 : [pu])

측정 위치	case 1	case 2	case 3	case 4
측정 1(1.261km)	0.989	1.035	1.233	1.378
측정 2(2.717km)	0.991	1.071	1.388	1.496
측정 3(3.477km)	0.996	1.094	1.418	1.544
측정 4(5.138km)	0.986	1.132	1.517	1.712
측정 5(6.013km)	0.984	1.144	1.634	1.872
측정 6(7.624km)	0.983	1.155	1.777	2.037
측정 7(8.392km)	0.981	1.159	1.781	2.039

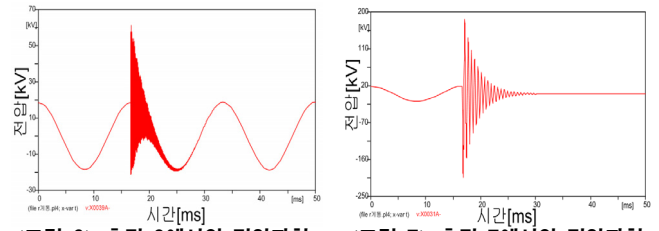
다음 그림 5는 표 2의 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 그림 5로부터 전원측에서 거리가 먼 부하(측정위치)에서 과전압이 더 크게 발생하였고, 투입시점(case)이 peak치에 가까울수록 과전압이 더 크게 발생한 것을 확인할 수 있다. 또한 차단기 투입 시 차단기 좌측단과 우측단 부하에서 발생하는 과전압은 큰 차이가 없다. 동작하는 차단기는 측정 3 부하와 측정 4 부하 사이에 있다.



〈그림 5〉 차단기 투입 시 부하에서 발생하는 과전압 크기 추이

3.3.2 차단기 개방 시

그림 2에서 작은 사각형 박스로 표시된 차단기를 case 8일 때 개방하였을 경우 차단기 좌측단 측정 3 부하에서는 전압이 계속 인가되고 있기 때문에 발생한 과전압 파형은 다음 그림 6과 같다. 차단기 우측단 측정 7 부하에서는 인가된 전원이 무전압 상태로 되면서 발생한 과전압 파형이 차단기 좌측단 부하에서 발생한 과전압 파형과 현저하게 다른 것을 다음 그림 7로부터 확인할 수 있다. 전압이 바로 0 [V]이 되지 않고 서서히 줄어드는 것을 확인할 수 있다.



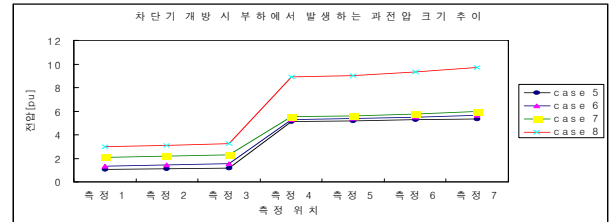
〈그림 6〉 측정 3에서의 전압파형 〈그림 7〉 측정 7에서의 전압파형

다음 표 3은 부하에서 측정된 과전압을 per unit 단위로 나타낸 것이다. case 5일 때 가장 작은 과전압이 발생하였고 case 8일 때 가장 큰 과전압이 발생하였다. 전원에서 가장 가까운 측정 1 부하에서 가장 작은 과전압이 발생하였고 전원에서 가장 먼 측정 7 부하에서 가장 큰 과전압이 발생하였다. 이는 차단기 투입시와 동일한 원인, 즉 진행과의 전과 특성에 의한 것임을 알 수 있다. 또한, 그림 6, 7 및 표 3에서와 같이 차단기 투입 시보다 차단기 개방 시에 부하에서 훨씬 큰 과전압이 발생하였다.

〈표 3〉 차단기 개방 시 부하에서 발생하는 과전압 크기 (단위 : [pu])

측정 위치	case 5	case 6	case 7	case 8
측정 1(1.261km)	1.086	1.332	2.106	2.998
측정 2(2.717km)	1.143	1.424	2.168	3.080
측정 3(3.477km)	1.172	1.566	2.301	3.274
측정 4(5.138km)	5.101	5.265	5.543	8.902
측정 5(6.013km)	5.159	5.379	5.592	9.008
측정 6(7.624km)	5.263	5.488	5.745	9.310
측정 7(8.392km)	5.307	5.680	5.967	9.688

다음 그림 8은 표 3의 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 그림 8로부터 전원측에서 거리가 먼 부하(측정위치)에서 과전압이 더 크게 발생하였고, 개방시점(case)이 peak치에 가까울수록 과전압이 더 크게 발생한 것을 확인할 수 있다.



〈그림 8〉 차단기 개방 시 부하에서 발생하는 과전압 크기 추이

4. 결 론

본 논문에서는 차단기 개폐 시 발생하는 과전압을 분석하였다. 차단기 개폐 시점과 전원과 부하사이의 거리를 변화시키며 그에 따라 부하에서 발생하는 과전압의 크기와 추이를 모의, 분석하였다. EMT/ATPDraw를 이용하여 모의해본 결과, 개폐 시점이 peak치에 가까울수록 부하에서 과전압이 더 크게 발생하였다. 또한 전원측에서 거리가 먼 부하일수록 과전압이 더 크게 발생하였다. 배전계통에 있어 이 모든 조건들을 고려하여 이로 인한 영향을 최소화하기 위한 대책이 필요하다[2,5].

감사의 글

본 논문은 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] 한국전기연구원, “전력계통 과전압 발생원인”, pp. 93~142, 2004.
- [2] 이장근, 이종범, “혼합배전계통에서 EMT/ATPDraw를 이용한 개폐서지 해석에 관한 연구”, 2005년도 대한전기학회 논문집, pp. 175~177, 2005.7.
- [3] 임수민, 여상민, 김철환, “EMTP를 이용한 개폐서지 분석 및 선로 모델의 영향”, 2007년도 대한전기학회 논문집, pp.1940~1941, 2007.7.
- [4] Allan Greenwood, “Electrical Transients In Power System”, pp.37~57, 1991.
- [5] 임경섭, 여상민, 서훈철, 성노규, 김철환, “배전계통에서 개폐로 동작으로 인한 개폐서지 영향 분석”, 2008년도 대한전기학회 논문집, 2008.11.