

배전 선로에서 고장 위치에 따른 영향 분석

김민석, 임경섭, 성노규, 여상민, 김철환
성균관대학교

The analysis of the effects for the various fault location on the distribution lines

Min-Seok Kim, Kyong-Sub Lim, No-Kyu Seong, Sang-Min Yeo, Chul-Hwan Kim
SungKyungKwan University

Abstract - 현대 사회에서의 배전은 단순히 전력 공급에서 그치는 것이 아니라, 우수한 전력 품질을 지닌 전기를 공급해 주는 것에 큰 의미를 두고 있다. 배전 선로에서 고장이 발생할 경우 서로 유기적인 연관성 및 부하의 밀집도가 큰 배전계통의 특성상 전력품질저하 및 고장파급효과가 매우 크다. 전력품질은 일정한 주파수 및 전류, 전압 등을 기반으로 하며 고장에 의해 이러한 요소들이 영향을 받아 전력품질 저하의 원인이 된다. 따라서 배전계통에서의 고장에 의한 영향을 자세히 분석하기 위해 EMTP(ElectroMagnetic Transients Program)를 이용하여 고장을 모의하고 결과를 분석하였다. 다양한 유형의 조건을 모의하기 위해 계통의 여러 위치에서 1선지락 고장을 모의하였고, 각 고장 지점에 따라 다양한 위치에서 전압과 전류를 측정하여 고장의 파급효과를 측정하여 고장 발생 시 전압과 전류의 관계 및 거리에 따른 고장파급효과를 분석하였다.

1. 서 론

현재 우리가 살고 있는 21세기는 디지털 경제 사회이다. 실생활이나 산업 현장 어느 곳을 가더라도 디지털 기기가 사용되지 않는 곳이 없을 정도로 디지털 기기들은 현재의 우리와 밀접한 관계가 있다. 만약 이러한 기기들의 전력을 공급해주는 시스템에 문제가 생긴다면 우리 사회에 막대한 손상을 입히게 될 것이다. 배전 선로에서의 고장은 고품질 전력의 원활한 공급을 방해하는 주요 요소이다. 고장이 발생할 경우에 과도한 고장 전류가 흐르고, 이상 전압이 발생하거나 위상이 변동되어 전력 설비에 큰 손상을 끼치게 된다. 특히 초고압 송·변전 설비나 대용량 발전기로 파급이 연계되어 진전될 경우에는 전력계통 붕괴의 위험까지 생기게 된다[1]. 배전 계통에서 고장이 발생할 경우에 대규모의 정전사태 뿐만 아니라 인명피해 및 설비손상 등으로 이어질 수 있다[2]. 이러한 이유로 고장에 의한 배전계통의 영향을 분석하는 것은 필수적이다. 또한 영향 분석으로 인한 최적의 대책을 모색하는 것은 전력계통에 종사하는 기술자들에게 큰 과제 중 하나이다. 여러 종류의 고장 중에서 가장 빈번히 발생하는 고장은 1선지락 고장으로 전체 고장의 80~90%에 달한다. 따라서 본 논문에서는 1선지락 고장이 배전 선로 전체에 어떤 영향을 미치는지 분석하였다.

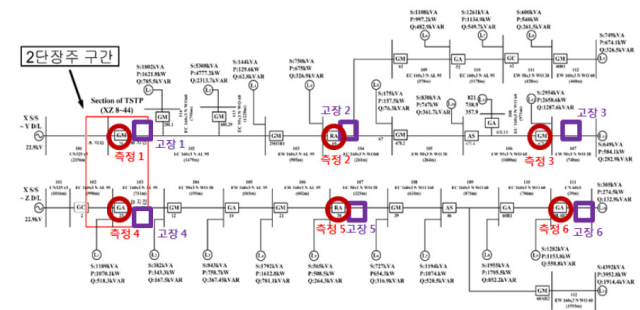
2. 고장의 원인 및 종류

배전 선로는 구조물이 외부에 노출되어 있고 계통이 방대하여 고장이 발생하기 쉬운데 고장이 발생하는 원인에는 여러 가지가 있다. 첫째, 수목 접촉, 가지 등의 조류에 의한 접촉과 같은 외물 접촉에 의해 고장이 발생한다. 둘째, 차량 충돌 등과 같은 일반인의 과실에 의해 고장이 발생한다. 셋째, 자연열화, 비, 바람, 낙뢰, 태풍 등에 의한 자연현상으로 고장이 발생한다. 넷째, 객설비에 의한 타사고 파급으로 고장이 발생한다. 이 중에서 자연현상과 외물 접촉에 의한 고장이 전체의 약 70%정도로 높은 비중을 차지한다[3]. 고장의 종류를 지속시간에 따라 분류하면 순간고장과 일시고장으로 나눌 수 있다. 순간고장은 고장의 지속시간이 5분 미만인 고장으로 배전선로 고장의 약 98%를 차지하고 일시고장은 지속시간이 5분 이상 되는 고장이다. 고장을 발생 형태에 따라 분류하면 지락고장과 단락고장으로 나누어진다. 지락고장은 배전선로 고장의 대부분을 차지하며 1선지락, 2선지락, 3선지락 고장이 있다. 단락고장은 선로와 선로 사이의 단락으로 발생하는 고장이다. 이 중에서 가장 자주 발생하는 1선지락 고장이란 전선의 3선 중 1선이 대지와 대지임피던스를 가지고 접촉되는 현상이다. 지락이 발생했을 때, 접지가 아니므로 전선과 대지 사이에 임피던스가 존재하여 아크(불꽃)가 발생하는 등 이상 전압이 발생하게 된다[4].

3. 모의 및 결과

3.1 모의 계통

배전 계통에서 고장의 위치에 따른 선로에서의 전압 및 전류 특성을 확인하기 위하여 다음 그림 1의 배전 선로에서 모의하였다. 그림 1의 배전계통은 전원 근처에 1.5km 길이의 중성선 공유구간을 포함하는 2단 장주구간이 있다.



〈그림 1〉 배전 계통 단선도

모의한 계통은 상단과 하단으로 나누어지며 평형상태인 최대 전압 22.9kV의 전압을 같은 변전소로부터 공급받는다. 상단에서 전압원으로 부터 가장 거리가 먼 부하까지의 거리는 7.067km이고, 하단에서 전압원으로 부터 가장 거리가 먼 부하까지의 거리는 8.392km이다. 상단에 13개, 하단에 11개, 총 24개의 부하가 계통에 연결되어 있다. 계통의 왼쪽 부분을 보면 2단 장주 구간을 통해 중성선을 공유하고 있다. 이를 통해 상단 혹은 하단에서의 고장이 상대단의 전압 및 전류에 영향을 미치게 된다.

3.2 모의 조건

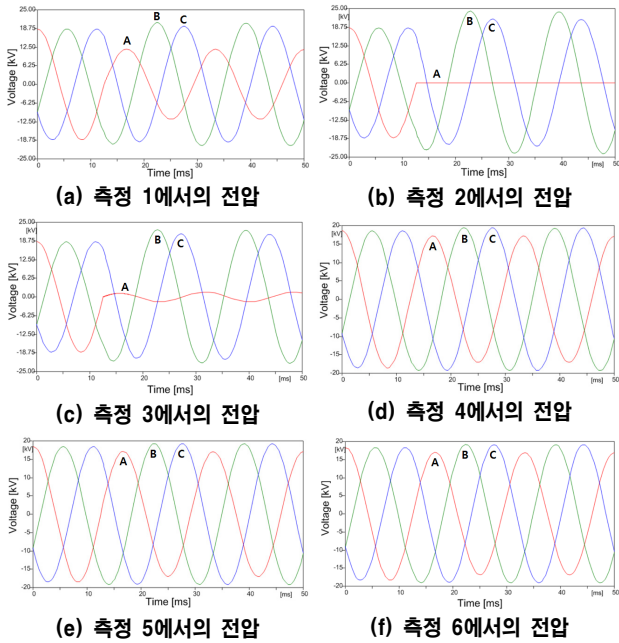
고장 발생 위치 및 측정위치는 그림 1에 나타나있다. 여러 가지 모의 조건을 간단하게 다음 표 1에 나타내었다.

〈표 1〉 고장 및 측정 조건

고장	전원과의 거리	측정	전원과의 거리	공통조건
고장 1	상단 1.456km	측정 1	상단 1.456km	고장 발생 : 0.0125[s] 샘플링 간격 : 1[ms] 전원 주파수 : 60[Hz] 고장 종류 : 1선 지락
고장 2	상단 3.840km	측정 2	상단 3.840km	
고장 3	상단 5.965km	측정 3	상단 5.965km	
고장 4	하단 2.717km	측정 4	하단 2.717km	
고장 5	하단 4.504km	측정 5	하단 4.504km	
고장 6	하단 6.799km	측정 6	하단 6.799km	

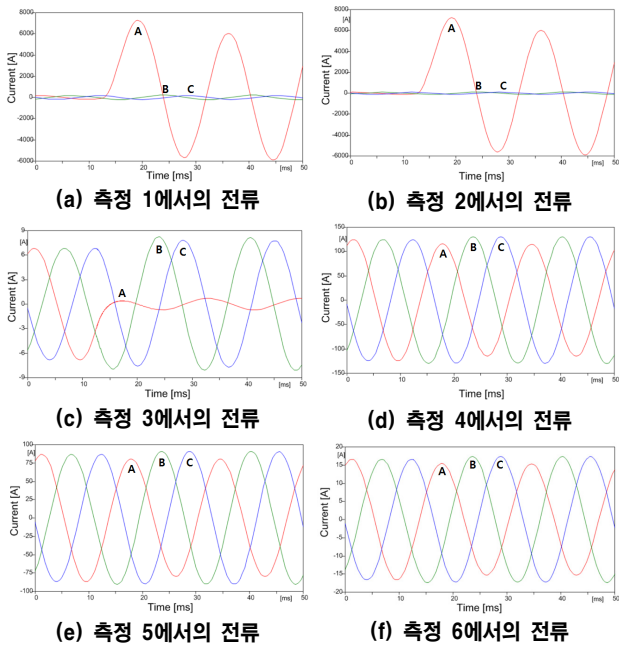
3.3 모의 결과

다음 그림 2의 (a)~(f)는 고장 2가 발생한 경우, 6개의 측정점에서 전압을 측정할 것이다. 고장이 발생한 지점을 측정할 그림 2 (b)를 보면 정확히 0.0125[s]의 시간에 A상의 전압이 0으로 떨어지고 나머지 B상과 C상의 전압은 swell이 발생하여 조금씩 상승함을 볼 수 있다. 또 그림 2 (c)는 고장 발생 지점 이후의 전압을 측정할 것이다. 전압강하로 인해 A상의 전압이 고장 전의 전압에 비하여 8.84%의 낮은 비율로 떨어졌다. 원래는 앞단에서 발생한 지락고장에 의하여 전압이 0V로 나타나야 하지만, B, C상에서의 전압에 의해 작은 전압이 나타났음을 알 수 있다. 그림 2 (d)~(f)는 하단에서의 전압 파형들이다. 2단 장주 구간의 영향으로 고장 발생 전에 비해 미세한 전압의 변화가 생김을 볼 수 있다.



〈그림 2〉 고장 2 발생 시 측정점에 따른 전압

다음 그림 3 (a)~(f)는 고장 2를 발생시킨 후, 6개 지점에서의 전류 파형이다. 그림 3의 (b)를 보면 고장 발생 시점인 0.0125[s] 이후에 A상의 전류가 최대 7217.5[A]까지 상승하여 굉장히 큰 고장전류가 발생함을 확인할 수 있다. 그림 3 (c)를 보면 고장 발생점에서 매우 큰 고장 전류가 빠져나가 측정 점에서 전류는 고장 전의 전류에 비해 10.27%의 낮은 비율로 흐르는 것을 확인할 수 있다. 그림 3 (d)~(f)는 하단에서의 전류 파형들이다. 2단 장주 구간의 영향으로 고장 발생 전에 비해 미세한 전류 변화가 생김을 볼 수 있다.



〈그림 3〉 고장 2 발생 시 측정점에 따른 전류

다음 표 2에 고장 1 ~ 고장 6에 대한 각 측정지점에서의 고장 전과 고장 후에 달라진 A상의 전압 비율을 정리하여 나타내었고, 다음 표 3에 고장 1에서 고장 6까지 각 측정지점에서 고장 전과 고장 후에 달라진 A상의 전류 비율을 정리하여 나타내었다. 변화 비율은 다음의 식을 통하여 계산되었다.

$$\text{전압(전류)의 변화 비율} = \frac{\text{고장 발생 후 전압(전류)의 최대값}}{\text{고장 발생 전 전압(전류)의 최대값}} \times 100$$

(단위: %)

〈표 2〉 고장 발생 후 A상 전압의 변화 비율(%)

	측정 1	측정 2	측정 3	측정 4	측정 5	측정 6
고장 1	0.00	3.56	5.34	76.60	78.05	79.84
고장 2	63.85	0.00	8.84	92.71	92.75	92.73
고장 3	75.96	36.31	0.00	95.65	95.44	95.14
고장 4	86.53	88.75	90.00	0.00	2.62	5.69
고장 5	92.81	93.62	94.06	45.03	0.00	9.89
고장 6	95.44	95.57	95.64	62.41	35.31	0.00

〈표 3〉 고장 발생 후 A상 전류의 변화 비율(%)

	측정 1	측정 2	측정 3	측정 4	측정 5	측정 6
고장 1	10813.59	4.73	5.62	78.79	79.44	79.71
고장 2	4012.43	7498.47	10.27	92.71	92.71	92.70
고장 3	2712.68	5042.96	70918.61	95.30	95.21	95.17
고장 4	89.61	89.47	90.09	7903.07	5.36	5.83
고장 5	93.91	93.87	94.08	4520.79	6168.54	10.34
고장 6	95.63	95.64	95.66	3115.74	4240.11	26292.77

모의실험을 해 본 결과, 고장이 일어난 A상의 전압은 전압원으로부터 고장 발생점까지 일정하게 감소하여 고장점에서 0이 되고, 이후에는 B, C상 전압의 영향으로 소량의 유도전압이 나타나는 것을 알 수 있다. B상과 C상의 전압은 고장 발생점까지 소폭으로 증가하다가 고장 점 이후에 조금씩 감소하였다. 고장이 일어난 A상의 전류는 전압원으로부터 고장 발생점까지 매우 큰 전류가 발생하였고, 이후에는 B, C상 전류의 영향으로 소량의 유도전류가 흐르는 것을 알 수 있다. B상과 C상의 전류는 고장 점까지 조금씩 상승하다 이후에 조금씩 감소하는 모습을 볼 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 실제 배전 선로에서 1선지락 고장의 영향에 대해 알아보기 위하여 모의실험을 하였고, 결과는 다음의 4가지로 요약된다.

- ① 고장 발생점과 가까워질수록 고장이 일어난 상의 전압은 감소하고 고장 발생점에서의 전압은 0이 된다.
- ② 고장전류는 거의 일정한 값으로 흐르지만 전압원에서 고장 발생점에 가까이 갈수록 고장 전 전류에 대한 비율은 증가하고 고장 발생점 이후에는 낮은 비율의 전류가 흐른다.
- ③ 고장 발생점이 전압원과 거리가 가까울수록 전류의 최대값이 더 큰 고장 전류가 발생한다.
- ④ 고장이 일어나지 않은 선에서도 2단 장주에 의해 중성선을 공유한 상대 단에서 고장이 일어나면 어느 정도 전압과 전류값에 변화가 있다. 2단 장주 구간과 가까운 곳에서 고장이 발생할수록 영향을 크게 받는다.

전력 품질의 향상을 위해서는 고장으로부터 계통의 보호가 필수적이다. 본 논문에서 관찰된 고장의 특성을 이해하고 적절한 보호 계통 설비를 개발해 적용시킨다면 향상된 품질의 전력을 공급하는데 도움이 될 수 있을 것이라 생각된다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] 남재경, “고장 사고시 전류의 흐름과 보호 계전기의 회로 점검 방법”, 조명·전기설비 학회지, 제16권 제3호, pp.46-53, 2002
- [2] 정호성, 신명철, “배전선로의 고장유형 판별을 위한 적응형 퍼지추론 시스템”, 퍼지 및 지능시스템학회 논문지, vol.11 No.2, pp.101-108, 2001
- [3] 이희태, 김재철, 문종필, 박창호, “신뢰도 평가를 위한 배전계통 설비 기기 고장률 분석”, 한국조명·전기설비 학술대회논문집, pp.370-373, 2004
- [4] 대한전기학회, “최신배전시스템 공학”, (주)북스힐, pp.327, 2006