

배전선로 보호를 위한 고저항 사고 검출 룰의 개발

김광호, 정성일, 최성규, 최정환, 황의천, 김남호*, 김응철, 박종근,** 김일동***
*강원대, **서울대, ***한전 전력연구원

Development of HIF Detection Rules for Distribution Line

K.H.Kim, S.I.Chang, S.K.Choi, J.H.Choi, E.C.Hwang, N.H.Kim*, Y.C.Kang, J.K.Park**, I.D.K***
*Kangwon National Univ., **Seoul National Univ., ***KEPRI

Abstract - This paper presents the logic based High Impedance Fault(HIF) detection rules for distribution lines. Due to the characteristics of HIF, which shows low current on relaying points, it is difficult to detect the fault occurred in distribution line by the conventional overcurrent relay(OCR) and/or harmonics relay. The HIF data were generated by using TACS in EMTP. In this paper, The harmonic index is defined as the ratio of harmonic component to fundamental component. The proposed HIF detection rules are obtained by analysing the difference between normal condition and HIF condition.

고로서 전류의 크기만으로 사고를 판별하는 기존의 과전류계전기로는 검출하기가 매우 어렵다. 또한 과전류 계전기의 단점을 보완하기 위해 고저항 사고시 발생하는 고조파를 검출, 분석하여 사고를 판별하는 고조파 계전기가 사용되었으나 최근 사용이 급격하게 늘어난 전력변환기, 아아크로 등과 같은 고조파 발생부하로 인해 정상시에도 항상 배전계통에 고조파가 검출됨에 따라 고조파 계전기가 오동작하는 경우가 발생하고 있다.

배전계통에 있어서 사고의 검출은 전력회사에서 인명피해와 관련이 있기 때문에 대단히 중요한 문제로 다루어 지고 있으며 따라서 다양한 방법들이 사용되고 있으나 전술한 배전계통 고저항 사고의 특성상 어느 한가지로 대표될 수 있는 기술이 개발되어 있지않다. 현재까지는 1980년대 후반에 IEEE와 EPRI에서 제안한 고저항 사고 검출을 위한 기본 조건이 일반적인 지침이 되고 있다. 제안된 기본조건에서는 전술한 이유에서 단순하고, 단일의 파라미터를 사용하는 방법은 좋지않다고 명기하고 있다^[1].

1. 서 론

배전계통은 송전계통과는 달리 건물, 도로 등과 같이 일반 수용가와 밀접하게 구성되어 있기 때문에 송전계통 보호와는 다소 다른 접근방식이 요구된다. 특히 배전선로상에서 사고가 발생했을 경우 송전선로 사고와는 달리 사고로 인하여 낙하한 선로가 일반 건물과 사람에게 쉽게 노출되기 때문에 아아크로 인한 인명 피해, 화재, 설비 손상, 에너지 낭비 및 정전 등이 발생할 수 있다. 따라서 송전선로의 보호는 사고시 정전 등에 의해 전력공급의 차질이 발생하는 것을 최대한 줄이는 것을 목적으로 한다면 배전선로의 보호는 사고에 의한 인명피해를 없도록 하는 방향으로 접근하는 것이 일반적이다.

배전선로는 송전선로와는 달리 저전압, 저전류의 특성을 갖고 있다. 배전선에서 발생하는 가장 일반적인 사고는 선로가 접촉하는 지면의 저항으로 인하여 사고전류가 적게 흐르는 저전류의 고저항 사

본 논문에서는 전술한 배전계통 고저항 사고의 특성을 고려하여 사고를 판단할 수 있는 배전 계통 고저항 사고 검출 룰을 제안한다. 고저항 사고 검출 룰을 추출하기 위해 본 연구에서는 배전 계통에서 일어날 수 있는 다양한 고저항 사고에 대해 EMTP 시뮬레이션을 수행 하였으며 사고는 일반 마른 땅과 모래 땅에 대해 R-L 부하, R-L 및 전력 변환기 부하, R-L 및 아크로 부하로 구성된 배전계통 고저항 사고를 모의하였다. 이를 통해 얻어진 사고 파형을 주파수 분석 하였으며 기본파의 크기와 고조파 성분의 비로 고조파 지수를 정의하여 사고 전후의 기본파, 2-5조파에 대한 고조파 지수의 변화를 분석하여 고저항 사고를 판별할 수 있는 검출 룰을 개발하였다.

2. 배전 계통 사고의 모의

2.1 배전계통 아크 사고의 모델링

본 논문에서는 기존에 실험을 통해서 얻은 아크의 전압, 전류 데이터로부터 EMTP의 TACS를 이용하여 고 저항 아크 사고를 전압 원으로 모델링 하였다⁽²⁾.

2.2 모델 배전 계통

본 연구에서 사용된 모델 배전 계통과 각각 모의점 부하의 종류는 참고문헌 [1]과 동일하게 사용하였다.

2.2.1 R-L 선형 부하

배전선의 전체 길이를 10[km]로 하였고, 전원에서 1 [km]마다 1 [MVA] 씩 총 10[MVA]를 연결하였으며, R-L 부하의 역률은 99%가 되도록 하였다.

2.2.2 아크로 부하

A상에 용량 4[MVA] 인 아크로를 길이 2[km] 말단에 연결하였고, B, C상에는 계통 평형을 위해서 역률 99%인 단상 용량이 4 [MVA]인 R-L부하를 연결하여 총 부하가 12[MVA]가 되도록 하였다.

2.2.3 R-L 및 컨버터 부하

2[km] 배전선 말단에 8[MVA]의 삼상 컨버터 부하 연결하고, 1[km] 지점에 역률 99% 2[MVA]의 R-L부하를 연결하였다.

3. 사고의 분석

위와 같은 계통을 대상으로 R-L부하에 대해서는 1Km와 10Km, 아아크로 부하에 대해서는 0.2Km와 1.8Km, R-L 및 전력변환기 부하에 대해서는 0.2Km, 1.4Km에서 발생하는 고저항 사고를 모의하였다. 또한 선로가 접촉하는 지면의 종류도 모래땅과 마른땅으로 구분하여 모의 하였다. 사고시 일반적으로 기본파의 크기가 보통 2배 이상 증가함을 볼수 있으나 유도전동기, 아아크로 부하의 기동시 이 정도의 부하전류 증가는 일반적으로 나타나는 현상이기 때문에 본 연구에서는 전류의 기본파 크기 외에 고조파 양의 변화분에 대해서 검토하였다.

본 연구에서는 1주기 16샘플의 사고 전류 데이터를 이용하여 매 샘플링 시점에 이전 1주기의 데이터에 대해 FFT를 수행하여 각 고조파 성분을 추출하였다. 또한 부하전류의 크기에 무관하게 고조파 성분의 양을 얻어내기 위해 기본파의 크기에 대한 각 고조파의 비로 정의한 고조파 지수를 사용하여 사고시 고조파 분의 변화를 살펴보았다.

$$\text{고조파지수} = \frac{\text{고조파의 크기}}{\text{기본파의 크기}} \times 100\% \quad (1)$$

	R-L 부하		아크로 부하		R-L, 전력변환기	
	정상	사고	정상	사고	정상	사고
	1Km		0.2Km		0.2Km	
2조파	0	0	10~20	10	0~10	0~10
3조파	0	8~9	25~35	15~25	8	10~15
4조파	0	0	8~18	10	0~10	0~8
5조파	0	3	20~30	5~15	20~25	5~10
	10Km		1.8Km		1.4Km	
2조파	0	0	10~20	10	0~10	0~10
3조파	0	8~9	25~35	15~30	5~7	10~20
4조파	0	0	8~18	10	0~10	0~8
5조파	0	2~3	20~30	20~30	20~25	5~10

표 1 Dry Soil의 경우

아크로 부하, R-L 및 전력변환기 부하의 경우 고조파의 양이 불규칙하게 변화하기 때문에 사고 판별 기준의 추출을 용이하게 하기 위해 매 샘플마다 이전 1주기의 고조파 지수를 평균하여 고조파의 변화를 분석하였다.

마른땅과 모래땅에 대해 각 2~5조파별 분석결과를 요약하면 표 1, 2와 같다. 표에서 볼 수 있듯이 고조파의 변화는 계통 부하의 상태에 따라 매우 다르게 나타남을 알수 있다. 정상시 R-L 부하로 구성된 배전계통의 경우는 고조파가 발생하지 않으나 아아크로 부하, R-L 및 전력변환기 부하의 경우는 정상시에도 많은 고조파가 발생함을 알수 있다. 정상시와 사고시의 가장 큰 변화를 보이는 것은 3조파와 5조파의 고조파 지수로서 계통 부하의 상태에 따라 사고시 감소하거나 증가하는 것을 볼 수 있다. 표에서 나타나듯이 모든 부하에 공통적으로 적용될 수 있는 규칙은 존재하지 않기 때문에 각 사고별 판정 기준을 정하여 이를 조합하여 최종적인 사고 판정을 수행하는 것이 효율적임을 알수 있다.

4. 사고 검출 룰의 개발

4.1 고조파 지수의 단계 분류

3절에서 분석된 결과를 토대로 사고시 나타나는 2~5조파의 특성을 사고 판정 룰로 표현하기 위해

우선적으로 고조파 지수의 크기를 다음과 같이 7 단계로 구분한다.

고조파 지수	단계
0~5%	L1
5~10%	L2
10~15%	L3
15~20%	L4
20~25%	L5
25~30%	L6
30% 이상	L7

4.2 사고 판정 룰의 구성

표 1과 2에서 분석된 결과를 토대로 각 사고 유형에 대해 사고시 발생하는 고조파 지수를 각 조파별로 해당되는 단계로 분류하다. 각 사고에 대해서 분류된 단계로 표현되는 각조파의 조합을 통해서 해당사고를 나타내는 판정 룰을 구성한다. 사고시 2~5조파의 단계별 고조파지수로 표현된 배전계통의 고저항 사고 판별 규칙을 나타내면 다음과 같다.

	2조파	3조파	4조파	5조파
Rule 1	L1	L2	L1	L1
Rule 2	L2	L4	L2	L2
Rule 3	L2	L5	L2	L2
Rule 4	L2	L4	L2	L3
Rule 5	L2	L5	L2	L3
Rule 6	L2	L4	L2	L5
Rule 7	L2	L5	L2	L5
Rule 8	L2	L6	L2	L5
Rule 9	L2	L4	L2	L6
Rule 10	L2	L5	L2	L6
Rule 11	L2	L6	L2	L6
Rule 12	L1	L3	L1	L2
Rule 13	L2	L3	L1	L2
Rule 14	L1	L3	L2	L2
Rule 15	L2	L3	L2	L2
Rule 16	L1	L4	L1	L2
Rule 17	L2	L4	L1	L2
Rule 18	L1	L4	L2	L2
Rule 19	L2	L4	L2	L2
Rule 20	L1	L4	L1	L2

예를 들어 Rule 12의 경우는 다음과 같은 판별 규칙을 표현하는 것으로 표 1에서 R-L, 전력변환기 부하로 구성된 계통상의 0.2Km에서 고저항 사고가 발생했을 때 일반적으로 나타나는 고조파 지수의 하나의 특성을 표현한 것이다. R-L, 전력변환기 부하로 구성된 계통상의 0.2Km에서 발생한 고저항 사고 모의 결과에서 추출된 사고 판별 규칙은 Rule 12~15까지 이다.

예) Rule 12 :

IF (2조파의 고조파지수가 L1) and
 (3조파의 고조파지수가 L3) and
 (4조파의 고조파지수가 L1) and
 (5조파의 고조파지수가 L2)
 THEN 사고 발생

이와 같이 구성된 룰을 통해 매 샘플마다 사고 유무를 판단하게 되며 종합적인 판단은 각 룰에서 판단되는 판정결과를 OR 연산하여 얻어낸다. 또한 계통변화에 따른 과도적인 현상으로 인한 오동작을 방지하기 위해 COUNTER를 사용하여 사고 판단이 1주기 16 샘플 동안 계속될 경우에만 최종적인 고

저항 사고 판별을 하도록 한다.

또한 개발된 고저항 사고 판별 룰의 검증을 위해 사고 판정 룰의 구성시 사용하지 않은 다양한 거리의 사고를 모의하였으며 이에 대한 사고시 2~5조파의 고조파 지수를 분석한 결과 대부분의 사고가 개발된 룰을 통해 사고 판별이 가능함을 확인하였고 판별이 되지 않은 사고에 대해서는 향후 룰의 추가를 통해 사고 판정 룰 베이스의 확장을 진행할 예정이다.

5. 결 론

본 논문에서는 배전계통 고저항 사고의 특성을 고려하고 고저항 사고시 발생하는 2~5조파의 고조파 지수를 분석하여 사고를 판단할 수 있는 배전계통 고저항 사고 검출 룰을 제안하였다. 검출된 룰은 배전 계통의 다양한 구성상에서 발생하는 고저항 사고의 고조파 특성을 반영하여 얻어졌기 때문에 향후 배전선 보호에 적용한다면 계통의 조건, 부하의 상태에 무관하고 계통의 변화에 안정적인 배전선 보호 계전 알고리즘의 구현이 가능하리라 기대된다. 향후에는 개발된 룰의 퍼지 룰베이스화를 통해 지능형 보호 계전 알고리즘의 개발을 추진할 예정이며 고저항 사고 이외의 일반 지락, 단락 사고 및 커패시터 뱅크의 투입, 부하 증가 등에 대해서 사고 유무를 판별할 수 있는 룰의 개발을 추진하고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] R.Patterson, "Signatures and Software Find High-Impedance Faults", IEEE CAPS, Vol 8, No 3, p12-15, 1995
- [2] 강용철 외, "EMTP를 이용한 배전계통의 고저항 사고 모델링", 1997년도 전력계통 연구회 춘계 학술발표회 논문집, pp72-75, 1997년
- [3] B.M. Aucoin, R.J. Jones, "High Impedance Fault Detection Implementation Issues," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.11, No.1, Jan. 1996
- [4] B.D. Russel, R.P.Chinchali, C.J. Kim, "Behaviour of Low Frequency Spectra during Arcing Fault and Switching Events," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.3, No.4, Oct. 1994