

EMTP를 이용한 유도 원판형 과전류 계전기 모델링

성노규*, 여상민*, 이상봉*, 김철환*, 정창수**
성균관대학교*, 한국전력공사**

The Modeling of Induction Disc Type OverCurrent Relay using EMTP

No-Kyu Seong*, Sang-Min Yeo*, Sang-Bong Rhee*, Chul-Hwan Kim*, Chang-Soo Jung**
Sungkyunkwan University*, Korea Electric Power Corporation**

Abstract - 본 논문은 배전계통에서 사용되고 있는 유도 원판형 과전류 계전기를 EMTP(ElectroMagnetic Transients Program)을 이용하여 모델링 하였다. EMTP 내의 TACS 소자는 동적 응답 특성을 모델링할 수 있는 소자로 유도 원판형 계전기의 동적 응답 특성을 모델링하는데 사용되었다. 계전기의 순시동작 및 한시동작 특성은 한국전력공사 과전류 계전기 표준규격에 근거하여 모델링하였으며, 순시동작 및 한시동작(반한시, 강반한시) 특성을 모두 모델링하였다. 또한 한국전력공사 실 배전계통에 투입하여 고장 발생 시 계전기 동작을 관찰함으로써 모델링한 계전기의 동작을 검증하였다.

1. 서 론

전력계통은 수많은 발전소, 변전소 및 송배전 선로 등의 요소를 포함하는 매우 복잡한 구조로 되어 있다. 이러한 전력계통은 일정한 전압과 주파수를 가져야 하고, 수요에 맞는 전력을 공급하도록 신뢰성 있게 운영되어야 한다. 그러나 고객의 의사에 따라 항상 변동하는 전력 수요와 자연 상태에서의 고장은 전압, 주파수 등에 영향을 미쳐 신뢰성 있는 전력의 공급을 어렵게 만든다. 특히 계통에서 고장이 발생할 경우, 고장 지점에서는 매우 큰 전류가 발생하여 인명 피해나 수많은 재산 피해는 물론 대규모 정전을 유발할 수 있다[1].

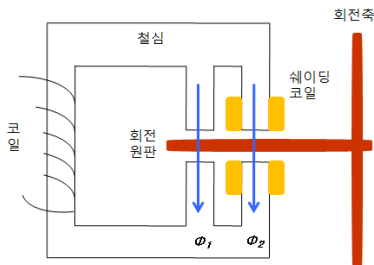
보호계전기(Protective Relay)는 이와 같은 비정상적인 계통 조건을 검출하고 가능한 한 신속하게 반응하여 계통을 정상상태로 되돌리는 역할을 한다. 보호계전기는 고장이 발생하게 되면, 가능한 빨리 동작해야 하며, 고장이 발생한 지역을 선택적으로 계통과 분리시켜야 한다. 또한 오동작이나 부동작이 없이 신뢰성 있게 동작해야 한다[1,2].

본 논문에서 모델링한 유도 원판형 과전류 계전기는 전류와 자속간의 전자기적 상호작용에 의해 발생하는 힘에 의해 동작하며, 이 힘은 고장 전류의 크기와 주파수에 영향을 받는다. 따라서 본 논문에서는 배전계통에서의 유도 원판형 과전류 계전기의 정확한 동작을 분석하기 위하여 EMTP를 이용해 전류에 대한 토크 식을 구현함으로써 유도 원판형 계전기를 모델링하였다[3].

2. 유도 원판형 계전기

2.1 유도 원판형 계전기의 동작 원리

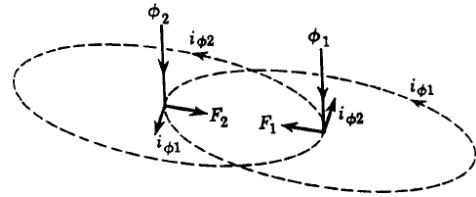
유도 원판형 계전기는 교류 전용의 계전기로서, 동작 원리는 이동자계에 의하여 도체에 발생하는 와전류(Eddy Current)간의 상호 작용으로 도체 원판이 회전함으로써 접점시키는 방식이다. 다음 그림 1은 유도 원판형 계전기의 단면도이다.



<그림 1> 유도 원판형 계전기의 단면도

일반적으로 비자성의 도체(대부분 알루미늄)로 원판 상에 2개의 자속을 작용시켜서 그 전자 유도력으로 회전체가 움직인다. 다음 그림 2는 회전력(토크) 발생의 원리로서 한 개의 도체에 2개의 교류자속 ϕ_1 , ϕ_2 가 작용하는 것을 나타내며, 다음은 원판에 발생하는 토크에 대한 식을 나

타낸다[4].



<그림 2> 유도 원판형 계전기의 토크 발생 원리

유기전력은 다음 식 (1)로 표현된다.

$$E_m = \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

$\Phi_1 = \phi_1 \sin \omega t$, $\Phi_2 = \phi_2 \sin(\omega t - \theta)$ 로 가정하면, 식 (1)은 다음 식 (2), (3)과 같다.

$$E_{1m} = \frac{d\Phi_1}{dt} = \frac{d\phi_1 \sin \omega t}{dt} = \omega \phi_1 \cos \omega t \quad (2)$$

$$E_{2m} = \frac{d\Phi_2}{dt} = \frac{d\phi_2 \sin(\omega t - \theta)}{dt} = \omega \phi_2 \cos(\omega t - \theta) \quad (3)$$

전류 $i_{\phi 1}$ 과 $i_{\phi 2}$ 는 식 (2), (3)에 비례하므로 다음 식 (4), (5)로 쓸 수 있다.

$$i_{\phi 1} \propto \omega \phi_1 \cos \omega t \quad (4)$$

$$i_{\phi 2} \propto \omega \phi_2 \cos(\omega t - \theta) \quad (5)$$

회전력(토크)은 F_1 과 F_2 의 차에 의해 발생하므로 다음 식 (6)으로 표현된다.

$$T = (F_1 - F_2) \propto (\Phi_1 i_{\phi 2} - \Phi_2 i_{\phi 1}) \quad (6)$$

식 (6)에 위 식들을 대입하여 정리하면 식 (7)을 얻으며,

$$T \propto \omega \Phi_1 \Phi_2 \cos \omega t [\sin \omega t \cos(\omega t - \theta) - \sin(\omega t - \theta) \cos \omega t] \quad (7)$$

식 (7)을 삼각함수 공식에 의해 정리하면 다음의 토크식 (8)을 얻을 수 있다.

$$T = \omega \Phi_1 \Phi_2 \sin \theta \quad (8)$$

여기서,

ω : 교류자속의 주파수, Φ_1 : 교류자속, Φ_2 : 교류자속
 θ : Φ_1 , Φ_2 의 위상차

2.2 유도 원판형 계전기 모델링

본 논문에서는 한국전력공사의 과전류 계전기 표준규격을 기준으로 보호계전기를 모델링하였으며, EMTP/MODELS와 EMTP/TACS를 이용하였다[5]. 순시요소는 3 cycles 내에 동작하도록 구성하였으며, 한시요소는 세부적으로 강반한시와 반한시 특성으로 구분되어 구성하였다. 다음 식 (9)는 한시요소에서의 계전기 동작시간 계산식이다.

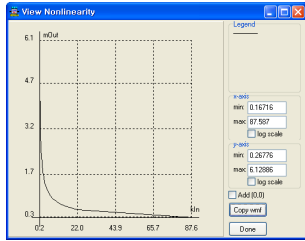
$$t = \left[\frac{k}{\left[\frac{G}{G_0} \right]^a - 1} + C \right] \frac{t_p}{10} \quad (9)$$

여기서,

G : 고장전류, G_b : 정정치, tp : 시간 정정치, a : 특성곡선지수
 k, C : 계전기 특성값

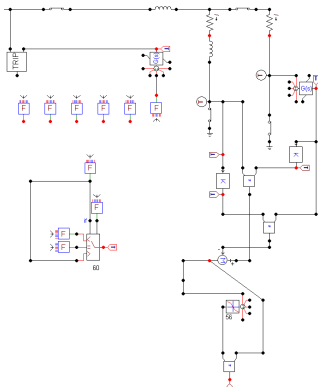
- 강반한시의 경우 : $k = 39.85$, $a = 1.95$, $C = 1.084$
- 반 한 시의 경우 : $k = 0.11$, $a = 0.02$, $C = 0.42$

계전기의 입력 전류와 토크는 비선형 관계에 있으므로, 둘 사이의 비례상수를 정해주기 위하여 TACS56 소자를 이용하여 둘 사이의 관계를 정립하였다. 다음 그림 3은 TACS56 소자의 비례상수 곡선을 나타낸다.



〈그림 3〉 TACS56 소자를 이용한 비선형 특성 곡선

다음 그림 4는 EMTP로 모델링한 계전기의 회로도이다.



〈그림 4〉 EMTP로 모델링한 계전기 회로도

3. 모의 및 결과

3.1 모델 계통 및 모의 조건

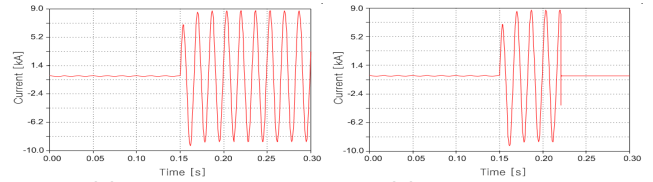
본 논문에서는 2장에서와 같이 구현, 적용된 보호계전기 모델링의 동작 검증에 위하여 참고문헌 [6]의 실 배전계통을 이용하였고 다음 표 1에서 제시된 선로 고장을 모의하였다. 고저항 고장을 발생하기 위하여 CASE 6,7에서는 고장저항 100[Ω]을 적용하였으며, 아크 특성은 고려하지 않았다.

〈표 1〉 고장 종류

CASE	고장 종류	공통 모의 조건
CASE 1	A상 1선지락 고장	모의시간 : 0.3 [s] 고장저항 : 0.001 [Ω] 고장발생시간 : 0.15 [s]
CASE 2	AB상 2선지락 고장	
CASE 3	AB상 선간단락 고장	
CASE 4	3상 단락고장	
CASE 5	A상 1선지락 0° 고장	
CASE 6	A상 1선 지락 (강반한시)	모의시간 : 5 [s]
CASE 7	A상 1선 지락 (반한시)	고장저항 : 100 [Ω]

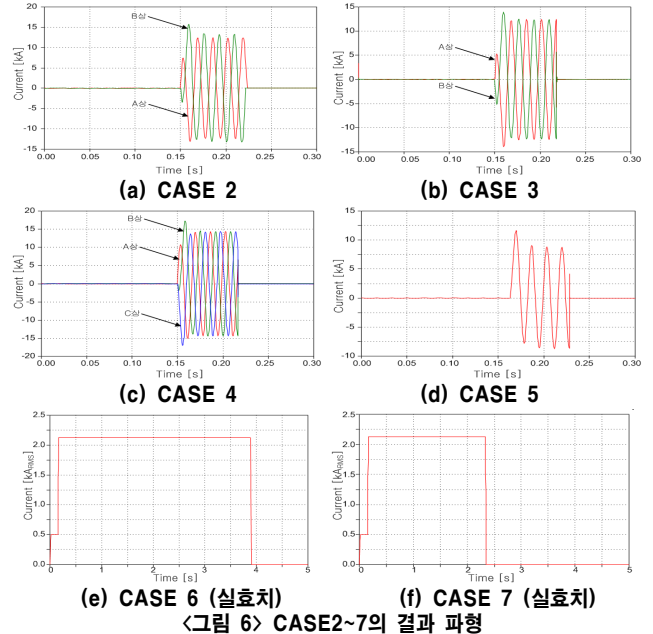
3.2 모의 결과

다음 그림 5는 CASE 1의 계전기 투입 전 전류 파형과 계전기 투입 후 전류 파형을 나타낸다. 그림 5(a)의 전류 파형은 고장 발생 후 최대 피크값이 약 8[kA]를 넘어 건전구간과의 신속한 분리가 필요하다. 위의 그림 5(b)의 경우는 고장 발생 후 계전기가 트립 신호를 생성하여 약 4 주기 후 차단기가 트립되고 건전구간과 분리되었음을 확인할 수 있다.



(a) 계전기 투입 전 (b) 계전기 투입 후
 〈그림 5〉 CASE 1 고장시 계통에 흐르는 전류 파형

다음 그림 6은 표 1에서 제시된 고장에 대한 결과 파형이다.



〈그림 6〉 CASE2~7의 결과 파형

CASE 2~5의 경우 계통에 고장 발생으로 인하여, 큰 전류가 흐르게 되고, 이에 따라 계전기가 순시 동작하였다. CASE 6, 7과 같은 고저항 1선 지락 사고의 경우 계전기의 순시 설정치보다는 낮고, 한시 설정치보다는 높은 전류가 계전기에 일정 시간 이상 유입 되었으며, CASE 6의 경우 3.8851[s], CASE 7의 경우 2.3356[s] 시간 지연 이후에 계전기가 트립 신호를 생성하였다.

모델링한 계전기는 본 논문에서 제시한 고장 외에도 여러 다른 조건의 고장에 대해 정상 동작 하였으며, 고장구간과 건전구간을 분리함으로써 계통의 안정화를 가져옴을 확인하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 EMTP/MODELS와 EMTP/TACS를 이용하여 유도 원관형 과전류 계전기를 모델링하였고, 실 배전계통을 이용하여 계전기 동작을 검증하여 모델링의 적절성을 확인하였다. 본 논문에서 제시된 과전류 계전기모델을 사용하여 향후 고조파로 인한 보호계전기 오동작 등 보호계전기 동작에 대한 분석을 위하여 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2007-2-055)주관으로 수행된 과제임

[참 고 문 헌]

- [1] 대한전기학회, “최신 배전시스템 공학”, 북스힐, 2006.
- [2] Stanley H. Horowitz, Arun G. Phadke, “Power System Relaying”, Research studies press, 1992.
- [3] Alternative Transients program Rule Book - ATP Salford Version of EMTP VOLUME 1, 1987.
- [4] 한국전력공사 보호계전기 실무 I. 83-390.01.
- [5] 한국전력공사 표준 규격, ES 155-007.
- [6] 성노규, 이명희, 이유진, 박건우, 이상봉, 김철환, “EMTP를 이용한 3상 converter의 접촉각 변화에 따른 실 계통 영향 분석”, 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp142-144, 2007. 11.