

# PSCAD를 이용한 전력용 변압기 모델링과 과도 해석

## Power Transformer Modeling and Transient Analysis using PSCAD

박철원\*  
(Chul-Won Park)

**Abstract** - Current differential protection relaying with second harmonic restraint is the main protection for large capacity power transformer. PSCAD simulation program is widely used for modeling of dynamic varying transients phenomena. This paper deals with a power transformer model and transients analysis using PSCAD software to develop IED for power transformer. Simulation was carried out using a three phase 40MVA, 154/22.9kV, 60Hz, two-winding transformer with Y-Y connection used in actual fields. The paper analyzed transformer magnetizing inrush, external fault, and internal fault conditions with this model in the time domain. In addition, we performed an analysis in the frequency domain using FFT during several conditions.

**Key Words** : Current differential protection, FFT, Internal fault, Magnetizing inrush, PSCAD, Transients phenomena

### 1. 서 론

변압기는 전력계통에서 중요한 요소 중의 하나이다. 변압기의 내부사고는 변압기 권선의 선간단락 및 층간단락, 권선과 철심간의 절연과피에 따라 지락사고, 고저압 권선의 혼축, 권선의 단선 등으로 분류될 수 있다. 과부하, 과전압에서의 운전, 고/저주파수에서의 운전, 변압기의 외부사고 및 기계적인 결함 등이 변압기 사고의 원인이 된다. 변압기의 외부사고는 정상상태에서 적은 양이지만 차동전류가 발생하고 통과전류에는 직류성분이 포함된다.

대용량인 전력용 변압기의 보호에는 차동전류에 근거하여 내부사고를 검출하는 보호기법이 주보호로 적용되고 있다. 그런데 전력용 변압기의 차동보호에는 선로, 발전기 등의 차동보호와 다른 독특한 문제인 여자돌입과 과여자 현상이 존재하기 때문에 내부사고의 경우와 식별하여 계전기 오동작을 방지하는 선택성이 요구된다. 이에 고조파의 비율을 고려한 비율차동계전기법이 널리 사용되고 있다. 즉, 여자돌입현상은 2고조파 억제 기능으로, 과여자는 5고조파의 억제기능으로, CT 포화나 CT를 포함한 변압기 1차 및 2차측의 특성차 등은 비율차동요소로 대비하게 된다. 그러므로 변압기의 사고해석과 변압기의 보호 알고리즘 개발 및 성능 시험을 위해서 변압기의 모델링과 과도해석이 필요하다[1, 2].

국내의 관련된 연구로 [2]에서는 차동전류 보호계전용 변압기 특성 분석을 위해, EMTP의 BCTRAN과 HYSDAT가 각각 내부사고와 포화모델에 사용되었다. [3]은 EMTP를 이용하여 고온 초전도 변압기의 특성을 분석하기 위하여 컴포

넌트 모델링 방법을 제안하였고, [4]는 ATP를 사용하여 Scott변압기의 모델링과 이를 통한 단락 및 지락사고의 해석사례를 소개하였다. [5]는 345kV 변압기 보호용 디지털 보호계전기의 성능 검증을 위한 계통 모델링과 보호계전기의 동특성 시험을 언급하였고, [6]은 남제주 T/P의 주변압기 시험데이터를 활용하여 EMTP-RV를 통하여 고조파를 분석하였다. [7]은 A T/P의 주변압기의 가압시 여자돌입전류에 의한 전력품질의 영향을 분석하였고, [8]은 ATP와 ATPDraw를 이용하여 변압기를 모델링하였다.

해외의 연구로 [9]는 수식적인 모델을 통하여 차동보호에 적용이 가능한 변압기 모델링을 제시하였고, [10]은 과도해석을 위하여 전력용 변압기의 탭 권선 모델링 방법을 제안하였다. [11]은 ATP/EMTP 시뮬레이션을 통하여 여자돌입 계산을 위한 변압기 모델링과 [12]는 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용하여 전력용 변압기의 차동보호 모델링을 수행하였다. [13]은 단자 측정 기반 모델링 기법을 사용하여 단상 배전 변압기의 내부 권선 사고와 온라인 검출을 제시하였고, [14]는 저주파수 과도해석을 위하여 duality derived 변압기 모델을 개발하였다. 최근의 [15]는 전자과도해석 연구를 위한 FPGA용 실시간 비선형 전력용 변압기 모델을 개발하였다.

한편, 제어전략이나 새로운 보호알고리즘 연구를 위해서 MATLAB/Simulink 시뮬레이션 도구를 활용하는 것이 가능하다. 특히, 전자계해석 및 계통의 동적 모델링은 ATP 소프트웨어 보다는 GUI가 용이하며 다양한 라이브러리가 제공되는 PSCAD 소프트웨어를 사용하는 것이 편리하다[16].

본 논문에서는 PSCAD 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 전력용 변압기 모델을 개발한 후, 과도현상 해석을 기술하였다. A사 로부터 실 계통에서 운영되는 3상 40MVA 154/22.9kV 인 전력용 변압기를 대상으로 시뮬레이션을 수행하였다. 또 정상상태, 여자돌입상태 및 고장상태에서의 시간영역 해석과 주파수 영역 해석을 논하였다.

\* Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Gangneung-Wonju National University, Korea

E-mail : cwpark1@gwnu.ac.kr

접수일자 : 2016년 5월 13일

수정일자 : 2016년 5월 23일

최종완료 : 2016년 5월 27일

## 2. PSCAD를 이용한 전력용 변압기 계통 모델링

### 2.1 PSCAD를 이용한 전력용 변압기 모델링

본 논문에서는 A사로부터 수집한 변압기 사양서의 변압기 데이터를 토대로 PSCAD에 의한 변압기 계통 모델링과 사고 및 과도상태 시뮬레이션을 수행하였다. 대상 변압기는 Y-Y결선 변압기로서 전압은 154/22.9kV이고, 변압기 용량은 40/45MVA, 변압기 1차측 CT비는 2400/5, 변압기 2차측 CT비는 16000/5 이었다.

그림 1은 PSCAD에 의한 변압기를 포함한 전력계통 모델로서, BUS1은 전원측, BUS2는 부하측에 연결되는 2BUS 계통이다. 그림 1과 같이, 변압기 계통을 중심으로 그래프 부분, 계전기 부분, 고장 종류 시뮬레이션 부분 및 고장 발생부분으로 구성하였다. 표 1은 전압원과 변압기 데이터를 나타내는 PSCAD의 입력대화상자이며, 표 2은 전압원 및 A사로부터 수집한 변압기의 데이터이다.

표 1 PSCAD의 입력대화 상자

Table 1 Input dialog box of PSCAD

(a) 3상 전압원 데이터

Source Name	Brandon Equiv.
Source Impedance Type	R-R/L
Source Control	Fixed
Base MVA (3-phase)	40 [MVA]
Base Voltage(L-L, RMS)	154 [kV]
Base Frequency	60 [Hz]
Voltage Input Time Constant	0.05 [sec]
Zero Seq. differs from Positive Seq.	Yes
Impedance Data Format	RRL Values
External Phase Input Unit	Radians
Graphics Display	Single line view
Specified Parameters	Behind the Source Imp.

(b) 3상 2권선 변압기 데이터(구성)

Source Name	T32
3 Phase Transformer MVA	40 [MVA]
Base operation frequency	60 [Hz]
Winding #1 Type	Y
Winding #2 Type	Y
Delta Lags or Leads Y	Lags
Positive sequence leakage reactance	0.109923 [p.u.]
Ideal Transformer Model	Yes
No load losses	0.0009 [p.u.]
Copper losses	0.004125 [p.u.]
Tap changer on winding	None
Graphics Display	Single line (circles)
Display Details?	Yes

(c) 3상 2권선 변압기 데이터(포화)

Saturation Enabled	Yes
Saturation Placed on Winding	#1
Air core reactance	0.109923 [p.u.]
Inrush decay time constant	5 [sec]
Knee voltage	1.25 [p.u.]
Time to release flux clipping	0 [sec]
Magnetizing current	0.7 [%]

그림 2는 1차측 3상전류의 PSCAD에 내장된 FFT 블록이다. 그림 2와 같이, CT를 통과한 전류는 FFT 블록을 통해 기본파, 2고조파 및 5고조파의 크기와 위상각을 추출하게 된다.

그림 3은 A상에 대한 PSCAD의 이중 기울기 차동계전기(dual slope differential relay)이다. 그림 3과 같이, 입력된 기본파, 2고조파 및 5고조파의 크기와 위상각은 비율차동 알고리즘을 통해 차 전류와 바이어스 전류(억제 전류)를 계산한 후, 변압기의 고장일 경우 트립신호를 발생하게 된다.

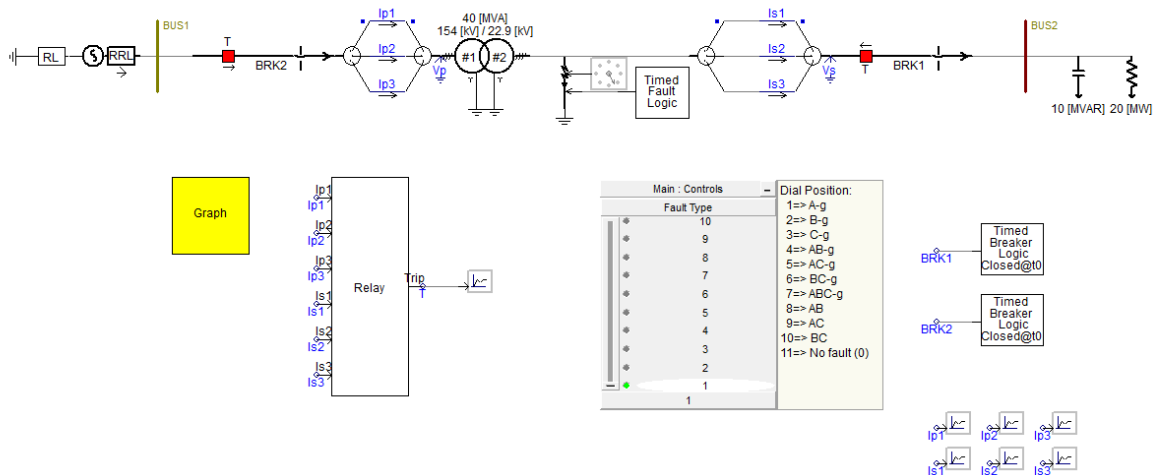


그림 1 PSCAD에 의한 변압기 계통 모델

Fig. 1 Transformer system model of PSCAD

표 2 전압원 및 변압기 데이터

Table 2 Source and transformer data

Source Data	Volume	40 MVA
	Voltage	154 kV
	R0	1.1108 Ω
	R1	0.5590 Ω
	L0	20.758 mH
	L1	10.379 mH
Transformer Data	Volume	40/45 MVA
	Voltage tap	154/22.9 kV
	Winding type	Y-Y
	No load losses	0.0009 pu
	Copper losses	0.004125 pu
	Positive sequence leakage reactance	0.109923 pu

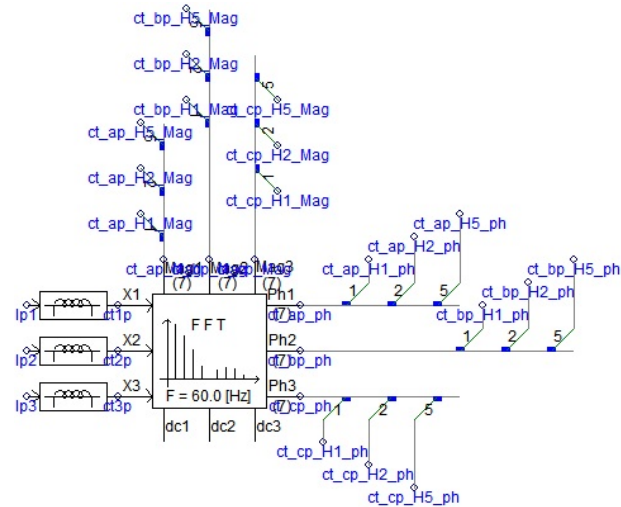


그림 2 PSCAD의 FFT 블록 (1차측)  
Fig. 2 FFT block of PSCAD (primary side)

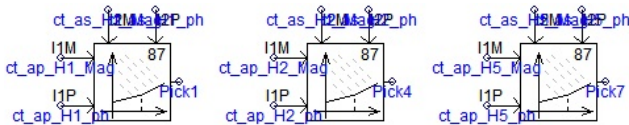


그림 3 A상 PSCAD의 이중 기울기 차동계전기  
Fig. 3 Dual slope differential relay of PSCAD in A phase

그림 4는 A상에 관한 과전류 검출 블록이다. 그림 4와 같이, 여자돌입시 기본파에 대한 2고조파 성분의 비율을 계산하여 비율차동계전기의 오동작을 방지하게 된다.

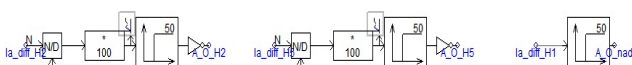


그림 4 A상 PSCAD의 과전류 검출 블록  
Fig. 4 Over-current detection block of PSCAD in A phase

### 3. PSCAD를 이용한 전력용 변압기 과도 해석

#### 3.1 정상상태

그림 5는 정상상태의 3상전류이다. 그림 5로부터, 가압후 약 0.15[sec]이후에 안정화 된 1차측 전류는 0.149[kA]가 되고, 2차측 전류는 1.008[kA]가 되는 것을 알 수 있다. 1차측 전류는  $\frac{40[MVA] \times 10^3}{\sqrt{3} \times 154[kV]}$  로, 2차측 전류는  $\frac{40[MVA] \times 10^3}{\sqrt{3} \times 22.9[kV]}$  로 각각 계산되기 때문에 정상상태의 모델링이 잘 되었음을 알 수 있다.

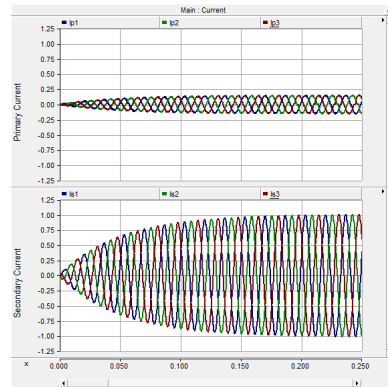


그림 5 정상상태의 3상전류  
Fig. 5 Three phase current during steady state

그림 6은 정상상태의 차 전류와 바이어스 전류이다. 그림 6으로부터, 차 전류는  $I_{diff} = |I_1 + I_2|$ 로 계산되어 0.441[A]가 되고, 바이어스 전류는  $I_{bias} = (|I_1| + |I_2|)/2$ 로 계산되어 0.221[A]가 되어, 비율차동특성곡선에 의하여 변압기의 내부사고를 판정하게 된다.

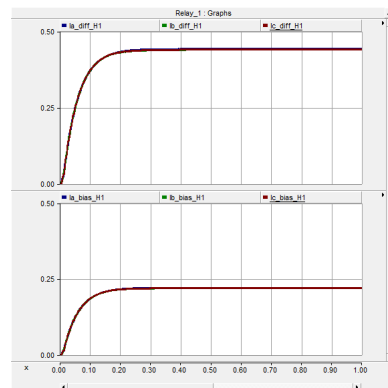


그림 6 정상상태의 차 전류와 바이어스 전류  
Fig. 6 Differential current and bias current during steady state

그림 7은 정상상태에서 CT를 통과한 1차측의 기본파, 2고조파 및 5고조파의 크기이다. 그림 7과 같이 A상의 기본파는 약 0.218[A], A상의 2고조파 및 5고조파는 각각

0.014[A], 0.008[A]가 되는 것을 알 수 있다. 즉, 정상상태에서 기본파는 많이 함유되고 고조파성분은 미량임을 알 수 있었다.

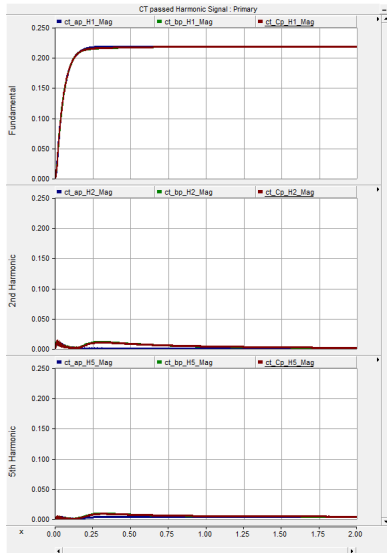


그림 7 정상상태의 CT를 통과한 1차측 전류신호  
 Fig. 7 Primary current signal and through CT during steady state

### 3.2 여자돌입상태

그림 8은 여자돌입상태의 3상전류이다. 그림 8로부터, 2차측이 무부하 상태에서 1차측에서 0.5[sec]에 가압한 결과, 1차측에는 과도한 크기의 비대칭전류가 흐르는 반면에 2차측에는 미소한 전류가 흐르는 것을 알 수 있다. 3상 여자돌입 전류는 초기 가압한 위상에 따라 그 크기 및 직류오프셋성분의 함유량이 상이하게 되는 것을 확인할 수 있었다.

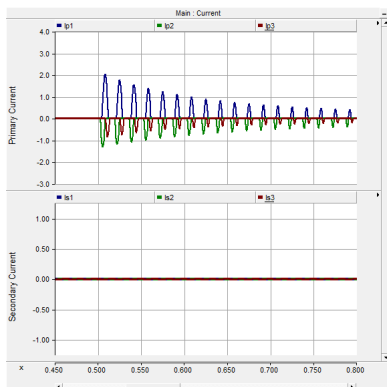


그림 8 여자돌입상태의 3상전류  
 Fig. 8 Three phase current during inrush condition

그림 9는 차 전류와 바이어스 전류이다. 그림 9와 같이, 가압직후 그 크기가 증대하는 것을 알 수 있다.

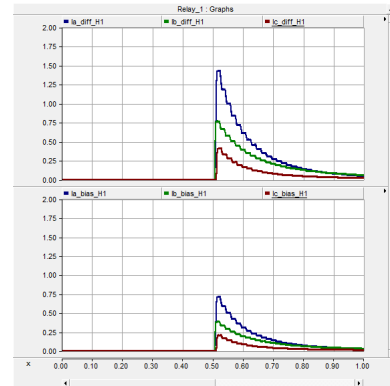


그림 9 여자돌입상태의 차 전류와 바이어스 전류  
 Fig. 9 Differential current and bias current during inrush condition

그림 10은 CT를 통과한 1차측의 기본파, 2고조파 및 5고조파 신호이다. 그림 10과 같이, 가압에 의한 여자돌입의 경우, 2고조파 성분이 5고조파 성분보다 더 많이 함유하는 것을 알 수 있다.

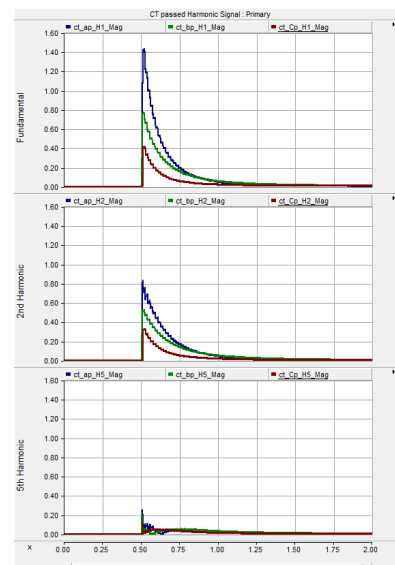
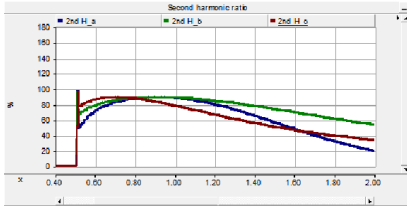


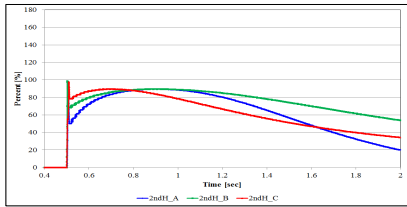
그림 10 여자돌입상태의 CT를 통과한 1차측 전류신호  
 Fig. 10 Primary current signal and through CT during inrush condition

그림 11은 PSCAD와 C 프로그램에 의한 차 전류의 기본파에 대한 2고조파의 비율이다. 여자돌입 직후에는 기본파에 대한 2고조파의 비율이 90% 정도 되다가 시간이 지남에 따라 감소되나, 최소한 20% 이상이 되는 것을 알 수 있다. 즉, 그림 11로부터, 여자돌입직후, 기본파에 대한 2고조파의 비율이 상승하다가 20%이상으로 수렴하는 것을 알 수 있다.

그림 12는 PSCAD와 C 프로그램에 의한 차 전류의 기본파에 대한 5고조파의 비율이다. 여자돌입 직후에는 기본파에 대한 5고조파의 비율이 60% 정도 되다가 시간이 지남에 따라 감소되나, 최소한 45% 이상이 되는 것을 알 수 있다.

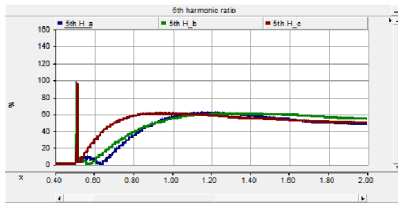


(a) PSCAD의 결과

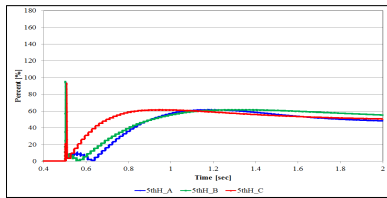


(b) C 프로그램의 결과

그림 11 여자돌입상태의 기본파에 대한 2고조파 비율  
Fig. 11 Ratio 2<sup>nd</sup> harmonic to fundamental frequency component during inrush condition



(a) PSCAD의 결과



(b) C 프로그램의 결과

그림 12 여자돌입상태의 기본파에 대한 5고조파 비율  
Fig. 12 Ratio 5<sup>th</sup> harmonic to fundamental frequency component during inrush condition

### 3.3 A상 지락사고

그림 13은 A상 지락사고시의 3상전류이다. 고장발생시각은 0.5[sec]이다. 그림 13과 같이, 고장시각인 0.5[sec] 직후, 1차측 A상의 전류는 2.734[kA]로 증가하는 것을 알 수 있으며, 2차측 A상의 전류는 16.506[kA]로 감소되는 것을 알 수 있다.

그림 14는 PSCAD와 C 프로그램에 의한 A상 지락사고시 차 전류의 기본파에 대한 2고조파의 비율이다. A상 지락사고 직후에 순간적으로 고조파의 크기가 70%로 상승하다가 감소하며 건전상은 크게 변동하지 않는 것을 알 수 있다.

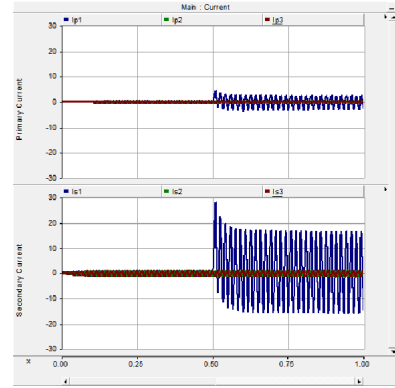
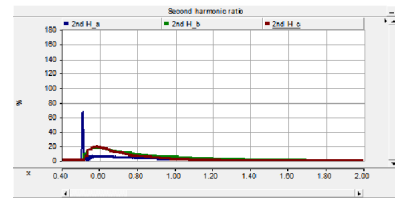
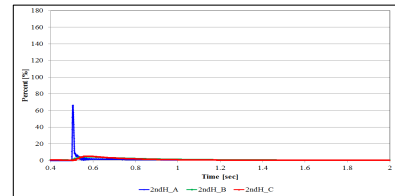


그림 13 A상 지락사고시의 3상전류  
Fig. 13 Three phase current during A phase to ground fault

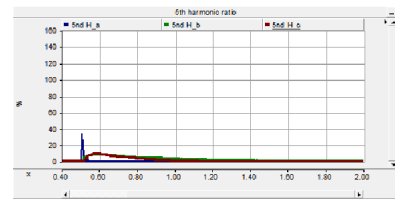


(a) PSCAD의 결과

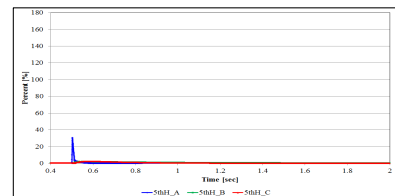


(b) C 프로그램의 결과

그림 14 A상 지락사고시 기본파에 대한 2고조파 비율  
Fig. 14 Ratio 2<sup>nd</sup> harmonic to fundamental frequency component during A phase to ground fault



(a) PSCAD의 결과



(b) C 프로그램의 결과

그림 15 A상 지락사고시 기본파에 대한 5고조파 비율  
Fig. 15 Ratio 5<sup>th</sup> harmonic to fundamental frequency component during A phase to ground fault

그림 15는 PSCAD와 C 프로그램에 의한 A상 지락사고시 차 전류의 기본파에 대한 5고조파의 비율이다. A상 지락사고 직후에 순간적으로 고조파의 크기가 30%로 상승하다가 감소하며 건전상은 크게 변동하지 않는 것을 알 수 있다.

### 3.4 AB상 지락사고

그림 16은 AB상 지락사고시의 3상전류이다. 고장발생시각은 0.5[sec]이다. 그림 16과 같이, 고장시각인 0.5[sec] 직후, 1차측 A상과 B상의 전류는 2.895[kA]로 증가하는 것을 알 수 있으며, 2차측 A상과 B상의 전류는 16.659[kA]가 되는 것을 알 수 있다.

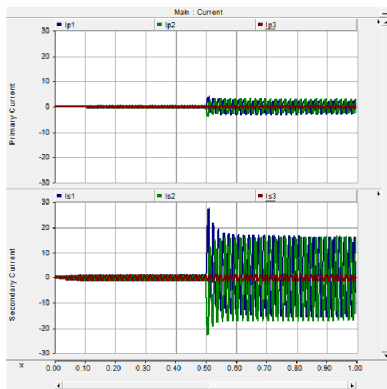


그림 16 AB상 지락사고시 3상전류  
Fig. 16 Three phase current during AB phase to ground fault

그림 17은 PSCAD와 C 프로그램에 의한 AB상 지락사고시 차 전류의 기본파에 대한 2고조파의 비율이다. AB상 지락사고 직후에 순간적으로 고조파의 크기가 70%로 상승하다가 감소하며 건전상은 크게 변동하지 않는 것을 알 수 있다.

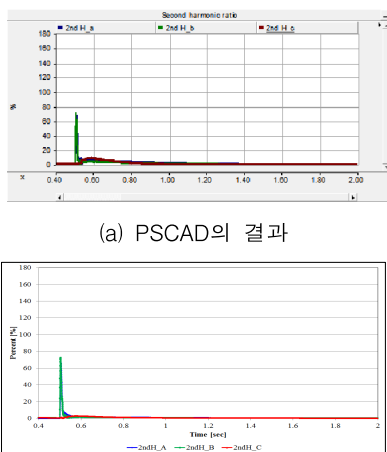
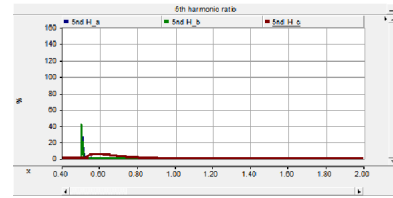
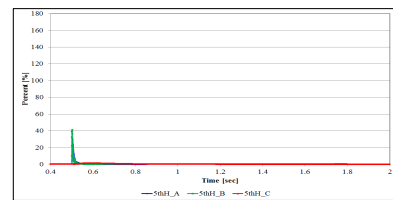


그림 17 AB상 지락사고시 기본파에 대한 2고조파 비율  
Fig. 17 Ratio 2<sup>nd</sup> harmonic to fundamental frequency component during AB phase to ground fault

그림 18은 PSCAD와 C 프로그램에 의한 AB상 지락사고시 차 전류의 기본파에 대한 5고조파의 비율이다. AB상 지락사고 직후에 순간적으로 고조파의 크기가 40%로 상승하다가 감소하며 건전상은 크게 변동하지 않는 것을 알 수 있다.



(a) PSCAD의 결과



(b) C 프로그램의 결과

그림 18 AB상 지락사고시 기본파에 대한 5고조파 비율  
Fig. 18 Ratio 5<sup>th</sup> harmonic to fundamental frequency component during AB phase to ground fault

### 3.5 AC상 단락사고

그림 19는 AC상 단락사고시의 3상전류이다. 고장발생시각은 0.5[sec]이다. 그림 19와 같이 고장시각인 0.5[sec] 직후, 1차측 A상과 C상의 전류는 2.362[kA]로 증가하는 것을 알 수 있으며, 2차측 A상과 C상의 전류는 14.741[kA]가 되는 것을 알 수 있다. 즉, A상과 C상의 전류의 크기는 유사하고 부호는 반대가 되는 것을 알 수 있다.

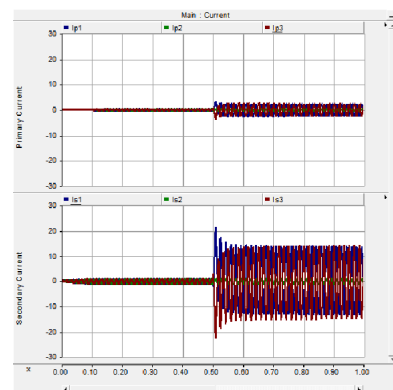
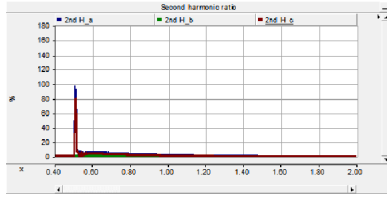
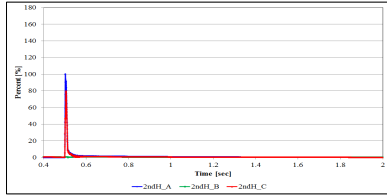


그림 19 AC상 단락사고시의 3상전류  
Fig. 19 Three phase current during AC phase to short fault

그림 20은 PSCAD와 C 프로그램에 의한 AC상 단락사고시 차 전류의 기본파에 대한 2고조파의 비율이다. AC상 단락사고 직후에 순간적으로 고조파의 크기가 100% 까지 상승하다가 감소하는 것을 알 수 있다.



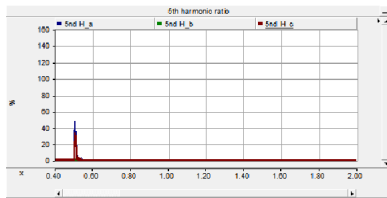
(a) PSCAD의 결과



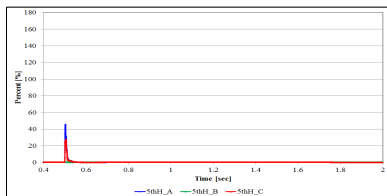
(b) C 프로그램의 결과

**그림 20** AC상 단락사고시 기본파에 대한 2고조파 비율  
**Fig. 20** Ratio 2<sup>nd</sup> harmonic to fundamental frequency component during AC phase short fault

그림 21은 PSCAD와 C 프로그램에 의한 AC상 단락사고시 차 전류의 기본파에 대한 5고조파의 비율이다. AC상 단락사고 직후에 순간적으로 고조파의 크기가 50% 까지 상승하다가 감소하는 것을 알 수 있다.



(a) PSCAD의 결과



(b) C 프로그램의 결과

**그림 21** AC상 단락사고시 기본파에 대한 5고조파 비율  
**Fig. 21** Ratio 5<sup>th</sup> harmonic to fundamental frequency component during AC phase short fault

시간 영역에서의 검토 결과, A상 지락고장시 1차측 전류는 16.41pu, 2차측 전류는 16.31pu까지 증가하였으며 AB상 지락고장시 1차측 A상전류는 19.16pu, 1차측 B상전류는 19.10pu, 2차측 A상전류는 16.04pu, 2차측 B상전류는 16.48pu로 증가하였고, AC상 단락고장시 1차측 A상전류는 15.65pu, 1차측 C상전류는 15.73pu, 2차측 A상전류는 13.61pu, 2차측 C상전류는 14.58pu로 증가하였다. 주파수 영역에서의 검토 결과, 여자돌입시 2고조파 비율의 최대값은 62.3%이며, 최소값은 0.5%이었고, A상 지락사고직후 2고조파 비율의 최대값은 66.4%이며 최소값은 0%, 5고조파 비율의 최대값은 34.4%, 최소값은 0%이었다. 또한, AB상 지락사고 직후 2고조파 비율의 최대값은 72.9%이며 최소값은 0.5%, 5고조파 비율의 최대값은 42.1%, 최소값은 0%이었으며, AC상 단락사고직후 2고조파 비율의 최대값은 97.7%이며 최소값은 0%, 5고조파 비율의 최대값은 48.2%, 최소값은 0%로 나타났다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 PSCAD를 이용하여 변압기 계통 모델링을 수행하였으며 정상상태, 여자돌입 및 여러 가지 고장상태를 시뮬레이션한 후, 시간 영역에서 크기를 검토하였다. 또 PSCAD의 FFT 블록과 C 프로그램을 이용하여 기본파 2고조파 및 5조파를 추출 한 후, 기본파에 대한 2고조파 비율과 기본파에 대한 5고조파의 비율을 기술함으로 주파수 영역에서의 과도상태를 수행하였다. 분석 결과, 여자돌입시 2고조파는 가압시의 위상에 따라 그 크기가 상이하게 되며 고장시에는 2고조파의 크기가 적게 함유하는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 2고조파 함유 비율이 여자돌입에 의한 트립 오동작을 억제하는 데 사용될 수 있음을 알 수 있었다.

#### Acknowledgement

This work was supported by KIEE(2015), which is funded by ENTEC Co., Ltd.).

#### References

- [1] Patrick Bastard, Pierre Bertrand, Michel Meunier, "A Transformer Model for Winding Fault Studies", IEEE Trans. on PD., Vol.9, No.2, pp. 690~699, 1994. 4.
- [2] M.C. Kim, S.H. Kang, S.J. Lee, K.H. Kim, I.D. Kim., "Analysis of Transformer Characteristics for Current Differential Protective Relaying", KIEE Summer Conference, pp. 671~673, 1996. 7.
- [3] C.H. Lim, M.W. Park, I.K. Yu, "Modeling of Superconducting Transformer using PSCAD/EMTDC", KIEE Spring Conference, pp. 37~39, 2003. 4.
- [4] S.D. Cho "Scott Transformer Modeling for EMTP", 2005 KIEE Summer Conference, pp. 387~389, 2005. 7.
- [5] K.B. Kwon, C.H. Kim, "Dynamic Performance Test of Power Transformer Protective Relaying using 345kV Transformer Modeling of PSCAD/RTDC", KIEE Summer Conference, pp. 120~123, 2005. 7.
- [6] H.C. Seo, S.M. Yeo, C.H. Kim, Y.S. Lyu, B.S. Cho, "Modeling of Transformer Inrush Current on JEJU Power System using EMTP", KIEE PES Autumn Conference, pp. 95~97, 2007. 11.

- [7] H.C. Seo, S.M. Yeo, C.H. Kim, Y.S. Lyu, B.S. Cho, "An alysis of Power Quality by Transformer Inrush Current", Trans. KIEE, Vol. 57, No. 6, pp. 932~937, 2008. 6.
- [8] K.M. Lee, S.Y. Kim, S.Y. Lee, Y.Y. Park, C.W. Park, "A Study on Transformer Modeling", KIEE Power Engineering Society Autumn Conference, pp. 116~122, 2015. 10.
- [9] A. Guzman, Daqing Hou, S. E. Zocholl, "TRANSFORMER MODELING AS APPLIED TO DIFFERENTIAL PROTECTION", Electrical and Computer Engineering Canadian Conference, Vol. 1, pp. 108~114, 1996.
- [10] Mobammad S. Naderi, M. Vakilian, "A Method for Modeling Power Transformer Tap Winding", Conference Record of the 2004 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Indianapolis, pp. 34~37, 2004. 9.
- [11] Nicola Chiesa, Bruce A. Mork, Hans Kristian Høidalen, "Transformer Model for Inrush Current Calculations : Simulations, Measurements and Sensitivity Analysis", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 25, No. 4, pp. 2599~2608, 2010. 10.
- [12] Flavio B. Costa, "Modeling Differential Protections of Power Transformers and Their Testing Using PSCAD/EMTDC Software", International Journal of Systems Applications, Engineering & Development, Issue 3, Volume 7, pp. 139~147, 2013.
- [13] Shantanav Bhowmick and Subhasis Nandi, "Online Detection of an Interturn Winding Fault in Single-Phase Distribution Transformers Using a Terminal Measurement-Based Modeling Technique", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 30, No. 2, pp. 1007~1015, 2015. 4.
- [14] S. Jazebi, F. de León, et al., "Duality Derived Transformer Models for Low-Frequency Electromagnetic Transients-Part II:Complementary Modeling Guidelines", IEEE Trans. on Power Delivery, 2016.
- [15] Jiadai Liu, Venkata Dinavahi, "Detailed Magnetic Equivalent Circuit Based Real-Time Nonlinear Power Transformer Model on FPGA for Electromagnetic Transient Studies", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 63, No. 2, pp. 1191~1202, 2016. 2.
- [16] K.M. Lee, S.C. Soon, Y.Y. Park, C.W. Park, "A Comparative Study of Percentage Differential Relaying for Transformer Protection", ICEE 2016, 2016. 7.(proposed)

## 저 자 소 개



### 박철원 (朴 哲 圓)

1961년 8월 13일생. 1988년 성균관대학교 전기공학과 졸업, 1996년 성균관대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박), 1989년~1993년 금성산전연구소 주임연구원, 1993년~1996년 프로컴시스템 기술연구소 선임연구원, 1993년~1997년 성균관대학교

전기전자 및 컴퓨터공학부 강사, 1997년~2007년 국립강릉원주대학교 전기공학과 전임강사, 조교수, 부교수, 2007년~현재 국립강릉원주대학교 전기공학과 정교수, 2011년~현재 대한전기학회 전력기술부문회 이사, 2012년~2014년 대한전기학회 논문지 P권 편집위원장. 현재 한국조명전기설비학회 논문지 편집위원, 대한전기학회 평의원, 전력기술부문회 전력계통 보호 및 자동화 연구회 위원장.

Lab : 033-760-8786

Fax : 033-760-8781

E-mail : cwpark1@gwnu.ac.kr