

주상변압기 고압권선의 서지응답 특성

Electrical Characteristics of Insulation Paper for Distribution Transformers

송일근* 정종욱 이병성 이재봉 김상준 오재형
(I.K. Song* J.W. Jung B.S. Lee J.B. Lee S.J Kim, J.H. Oh)

Abstract

This paper presents an experimental study of the surge response characteristics for the primary winding of a pole transformer and ultimately aims at devising countermeasures against the surge in operating transformer.

After applying the impulse voltage to the primary of the 30 kVA pole transformer with single bushing, the voltage waveforms were measured at each tap lead and compared with one another.

As a result, the voltage peak of the surge propagating in the primary was decreased in magnitude at a constant rate and somewhat delayed compared to the peak of the applied surge as the tap leads were getting closer to the grounding terminal, The voltage measured at the secondary was not delayed in time, different from that at the primary, and it was about 1/6 according to the turn ratio.

Key Words : surge response characteristics, primary winding, pole transformer, turn ratio

1. 서 론

2001년 12월 현재 전국에 가설·운영되고 있는 주상변압기는 약 140만여 대에 이르며, 이 중 약 10%에 해당하는 변압기가 각종 서지에 의해 해마다 소손·교체되고 있다[1]. 서지에 의한 소손양상은 주로 붓심의 파괴 및 고압권선 단선 등의 형태로 나타난다고 추정되지만, 정확한 사고 메커니즘을 파악하는 것은 매우 복잡한 문제이다. 일반적으로 국내에서 알려진 서지의 침입경로는 변압기 1차측에 설치된 피뢰기의 보호실패로 인해 주상변압기의 고압붓심을 경유하는 서지가 주류를 이룬다고 추정되고 있으며, 이러한 서지는 고압권선의 외곽층에서 단선이 발생하는 것이 보통이다. 그러나 2001년 한해 전력연구원

에 고장분석 의뢰된 100여대의 주상변압기를 해체·분석한 결과, 고압권선의 중간층 및 내곽층에서 단선이 발생하는 경우도 다수 관찰되었다. 이들의 대부분은 층간 절연불량이나, 외부로부터 수분 또는 이물이 혼입된 경우로 판정되었으나, 몇 건의 경우는 특별한 원인없이 고장이 발생한 경우도 발견되었다. 이 경우의 고장원인은 서지에 의한 것일 가능성이 있음에도 불구하고 서지에 의한 사고는 고압권선 외곽층의 단선사고로 이어진다는 고정관념에 의해 정확한 사고 원인을 밝히기 어려웠으며, 이는 지금까지 서지에 대한 주상변압기의 동적응답 특성연구가 전력용 변압기에 비해 미흡하였기 때문이라고 생각된다.

따라서, 본 논문에서는 서지에 의한 주상변압기 고압권선의 사고 메커니즘을 규명하고 대비책을 강구하기 위한 일환으로 주상변압기 고압권선에 서지를 인가한 후, 시간에 따른 응답특성을 관찰하고자 한다.

* 한전 전력연구원 전력계통연구실 배전기술센터
(305-380, 대전시 유성구 문지동 103-16)

Fax : 042-865-5804

E-mail : iksong@kepri.re.kr

2. 실험

2.1 장비사양

본 실험에 사용한 주상변압기는 충격전압 발생장치의 전압인가한도를 고려하여 실주상변압기의 10% 인 정격전압을 갖는 변압기를 사용하였다. 실험에 사용한 주상변압기의 사양은 표 1에 나타내었다.

표 1. 실험용 주상변압기의 사양

정격용량	정격전압	정격전류	% 임피던스
30 kVA	1,320 V	22.72 A	3.78 % / 75 °C

주상변압기의 고압권선에 서지를 인가하기 위해 충격전압 발생장치를 사용하였으며, 사양을 표 2에 나타내었다.

표 2. 충격전압 발생장치의 사양

최대 발생전압	최대 발생전류	전압 파동/파미강
20 kV _{peak}	20 kA _{peak}	1.2×50 μs

또한, 인가된 서지전압 및 고압권선의 각 탭을 진행하는 충격전압을 측정장비의 입력레벨로 낮추기 위해 고전압 프로브를 사용하였으며, 표 3에 그 사양을 나타내었다.

표 3. 고전압 프로브의 사양

제작사	모델명	측정가능전압	분압비
Tektronix	P6015A	20 kV _{dc} / 40 kV _{pulse}	1,000:1

2.2 실험장치 구성 및 방법

본 실험에서는 주상변압기 고압권선을 진행하는 서지전압을 측정하기 위해 그림 2와 같은 회로를 구성하였다.

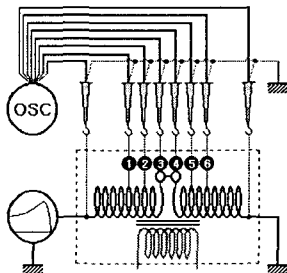
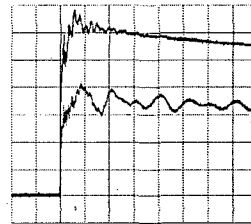


그림 1. 주상변압기 고압권선 탭리드에서의 전압파형 측정을 위한 장치구성

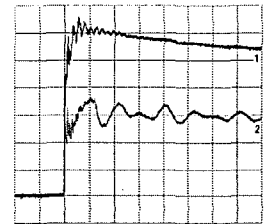
그림 1에서 보인 바와 같이, 주상변압기 고압권선의 최대 권선비를 얻고자 tap을 ③-④번 위치에 고정시켰다. 또한, 고압권선의 붓싱단자는 충격전압 발생장치의 출력단에 접속하고, 접지단자는 충격전압 발생장치의 접지단자와 함께 접지시켰다. 또한, 전압 파형을 측정하기 위해 고전압 프로브를 서지인가점, 접지단자 및 각 탭리드에 접속하고, 고전압 프로브의 접지단자를 일괄 접속하여 접지시켰다. 세팅 후, 고압 붓싱단자에 정격전압의 10배에 달하는 13.2 kV_{peak}의 표준충격전압을 인가한 후, 서지 인가점, 접지단자 및 각 탭리드에서의 전압파형을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

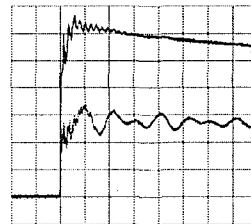
서지인가시 주상변압기 고압권선의 각 탭리드를 진행하는 전압파형을 측정하여 그림 2에 나타내었다.



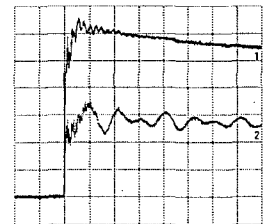
(a) 1번 탭리드



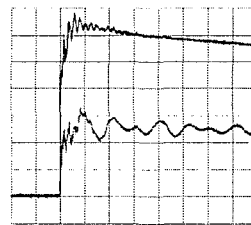
(b) 2번 탭리드



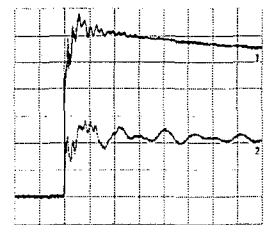
(c) 3번 탭리드



(d) 4번 탭리드



(e) 5번 탭리드



(f) 6번 탭리드

그림 2. 고압권선 각 탭리드에서의 전압파형(1:인가전압, 2:탭리드 전압, 2 μs/div_x, 2 kV/div_y)

그림 2에 보인 바와 같이, 고압권선의 각 탭리드에서 측정된 서지전압파형의 피크치는 서지인가점으로 부터 멀어질수록 일정한 비율로 감소하였다. 탭리드 단자에서 측정된 파형의 피크치는 인가서지의 피크치보다 약간 지연된 채 서서히 진동감쇠하였다. 이는 접지된 단자에서 측정된 전압파형이 그림 3과 같이 진동감쇠하는 사실로 미루어 접지로 인한 반사파의 영향을 받았기 때문이라고 생각된다.

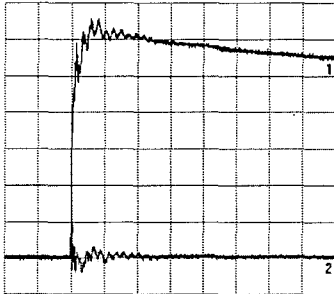
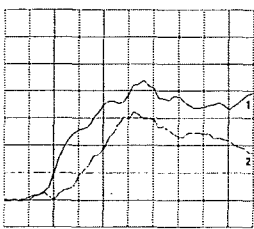
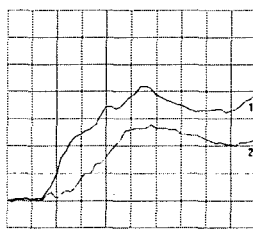


그림 3. 고압권선 접지측 단자에서의 전압파형(1:인가 전압, 2:탭리드 전압, 2 $\mu\text{s}/\text{div}_x$, 2 kV/ div_y)

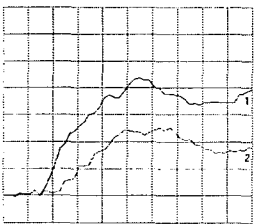
한편, 모든 탭리드에서의 전압파형끼리는 매우 유사한 형태를 나타낸 채, 각 파형간의 시간지연은 관찰되지 않았다. 이는 각 탭리드간 고압권선의 길이가 서지의 진행속도에 비해 시간 차이를 관찰할 수 없을 만큼 짧기 때문이라고 생각된다. 따라서, 본 실험에서는 전압파형의 시작부분을 보다 면밀히 관찰하기 위해 모든 탭리드에서 측정된 파형의 타임 디비전을 10 ns로 하여 그림 4에 나타내었다.



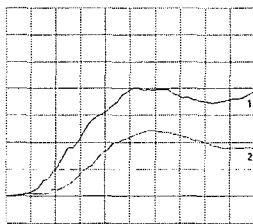
(a) 1번 탭리드



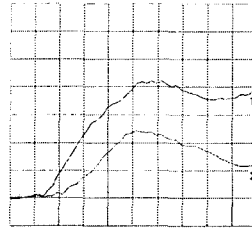
(b) 2번 탭리드



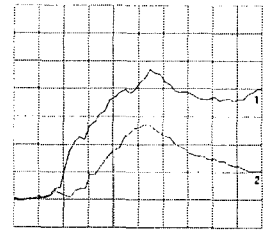
(c) 3번 탭리드



(d) 4번 탭리드



(e) 5번 탭리드



(f) 6번 탭리드

그림 4. 인가서지와 고압권선 각 탭리드 측정전압간 시간지연(1:인가전압, 2:탭리드 전압, 10 ns/ div_x , 2 kV/ div_y)

그림 4에 보인 바와 같이, 인가서지와 고압권선의 각 탭리드에서 측정된 전압파형간에는 시간지연이 발생하는 것을 관찰하였으며, 이 시간의 지연은 약 6~8 ns 정도인 것으로 판명되었다. 이 시간의 지연은 서지가 진행파라는 점에서 고압권선의 각 탭리드를 통과하는 서지의 시간차 또는 변압기를 구성하는 코일, 철심, 유전체 등의 L, C 에 의한 것으로 가정할 수 있다. 이와 같은 가정은 측정전압의 크기 및 시간의 지연이 고압권선의 길이 및 측정위치에 따라 달라졌던 점으로 미루어 추정가능하며, 이 시간의 지연을 측정하면 아래의 식 (1)을 사용함으로써 변압기 내 절연시스템의 유전율을 측정할 수 있을 것으로 생각된다[2].

$$\epsilon = \left(\frac{c}{v_s} \right)^2 \quad (1)$$

또한, 본 실험에서는 고압권선에 서지가 인가되었을 경우, 저압측에 유기되는 전압파형을 측정하였으며, 이를 그림 5에 나타내었다.

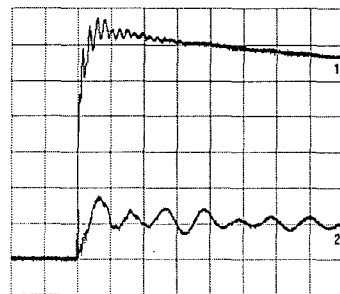


그림 5. 고압권선 서지침입시 저압권선에 유기되는 전압파형(1:인가전압, 2:탭리드 전압, 2 $\mu\text{s}/\text{div}_x$, 2 kV/ div_y)

그림 5에 보인 바와 같이, 저압권선에서 측정된 전압파형은 고압권선의 각 탭리드에서 측정된 전압과는 달리, 피크치의 시간지연 현상을 관찰할 수 없었으며, 전압의 피크치는 인가된 전압의 피크치보다 약 6배정도 감소함으로써, 실험용 주상변압기의 경우 변압기 구성품 및 자기회로의 영향으로 인한 지연효과는 거의 없이 주상변압기의 권선비에 따라 변압되었음을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 일단접지 주상변압기 고압권선에 충격전압을 인가한 후, 모든 탭리드에서의 전압파형을 측정·비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 고압권선의 각 탭리드에서 측정된 파형의 피크치는 접지측에 가까울수록 감소하였으며, 최초 피크치가 인가서지의 피크치보다는 약간 지연된 채 접지로 인한 반사파의 영향을 받아 서서히 진동감쇠하였다.
- (2) 모든 탭리드에서 측정된 서지전압파형은 매우 유사하였으며, 각 탭리드간 고압권선의 길이차에 비해 시간 차이를 관찰할 수 없을 만큼 짧음으로 인해 각 전압파형간 시간지연은 관찰되지 않았다.
- (3) 모든 탭리드에서 측정된 파형을 10[ns]의 타임 디비전으로 분석한 결과, 인가서지와 고압권선의 각 탭리드에서 측정된 전압파형간에는 서지 진행시의 각 탭리드 점의 통과시간차 또는 변압기 구성품인 코일, 철심, 유전체 등에 의한 L, C 때문으로 추정되는 약 6~8 ns 정도의 시간지연이 발생된 것을 관찰하였다.
- (4) 저압권선에서 측정된 전압파형은 고압권선의 각 탭리드에서 측정된 전압과는 달리, 최초 피크치가 지연되는 현상을 나타내지 않았으며, 전압의 피크치는 권수비에 따라 인가된 전압의 피크치보다 약 6배 정도 감소하였다.

본 논문에서는 고압권선을 진행하는 피크값의 시간에 따른 변화 및 각 탭리드에서의 파형 등을 관찰하였다. 본 논문의 결과는 주상변압기 고압권선에 침입한 서지의 동특성을 파악하는데 기초적인 자료로써 활용할 수 있을 것이며, 추후 저압측으로 침입한

서지가 고압권선에 미치는 영향 등을 검토하는데도 도움이 될 것으로 생각된다.

[참고문헌]

- [1]. Aldo Amancio etc., "Reliability analyses and calculation for distribution transformers", IEEE T&D conference, pp.901~906, 1999
- [2]. Linden W.Pierce etc., "A thermal model for optimized distribution and small power transformer design", IEEE T&D conference, pp.925~929, 1999
- [3]. S. Fujita, N. Hosokawa and Y. Shibuya, "Experimental Investigation of High Frequency Voltage Oscillation in Transformer Windings", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, No. 4, pp. 1201-1207, October 1998
- [4]. 송일근외, 주상변압기 단락특성 개선에 관한 연구, 중간보고서, 전력연구원, 2001