

가공배전용 주상변압기의 뇌과전압 전달특성 실증

류희석*, 김대경*, 남기영*, 이재덕*, 박상만**, 정동학***

* 한국전기연구원, ** 전력연구원, *** 일렉트로 컨설팅

Field Tests on the Transfer of Lightning Overvoltages through Pole Transformer

Hee-Suk Ryou*, Dae-Kyung Kim*, Kee-Young Nam*, Jae-Duck Lee*, Sang-Man Park**, Dong-Hak Jung***

* KERI, ** KEPRI, *** Electro Consulting

Abstract - 가공배전계통의 주상변압기에는 직격뢰나 유도뢰에 의해 고압측이나 저압측으로부터 뇌과전압이 침입할 수 있고, 이러한 경우 침입단은 물론, 상대단에도 과전압이 나타날 수 있어, 주상변압기 자체와 고압 및 저압계통에 영향을 미치게 되므로, 주상변압기의 뇌과전압 전달특성을 파악하는 것은 절연설계와 절연협조에 있어 매우 중요한 자료가 된다.

본 논문에서는 실제 선로와 같은 구성과 규모의 실증 배전선로에서, 주상변압기에 임펄스전압이 침입한 경우의 변압기 양단에 나타나는 과전압에 대한 실증결과의 예를 소개하였다.

1. 서 론

가공배전선로에는 직격뢰나 유도뢰에 의해 뇌과전압이 발생할 수 있고, 이렇게 침입한 뇌과전압은 주상변압기를 통하여 서로 상대단으로도 전달될 수 있으므로, 침입단은 물론 상대단으로의 뇌과전압의 전달 특성을 파악하는 것은 변압기 자체는 물론, 고·저압측 선로의 절연이나 절연설계에 있어 매우 중요하다.

상용주파수의 전압은 권선비에 따라 고압측 및 저압측 전압이 결정되지만, 임펄스전압이 침입한 경우는, 매우 높은 주파수 성분의 영향으로, 권선비와는 관계없이 고압측과 저압측간의 정전용량 결합에 의해 전압의 전달이 이루어지므로, 고·저압 권선의 구조, 고압측과 저압측간의 권선간의 거리 및 결합 특성, 권선과 외함간의 결합 특성, 매질 등에 따라 전달특성이 결정된다.

본 논문에서는 실제의 선로와 동일한 구성의 선로에 실제의 주상변압기를 설치한 채, 각각 고압측과 저압측에서 임펄스전압을 인가하여 상대단에서의 발생전압을 측정하였다.

2. 임펄스전압 전달 실증^{II}

2.1 실증시스템 구성

고창 배전실증시험장내의 실규모 실증 선로, 실제 주상변압기, 임펄스전류 발생기(고압측), 실험실용 임펄스전압 발생기(저압측) 등을 활용하였으며, 임펄스전압의 측정을 위하여 Divider, 고압용 Probe, Scope 등을 이용하였다.

선로의 구성은 가능한 한 실제의 상황이 잘 반영될 수 있도록 하기 위하여, 고압측의 한쪽 방향은 측정점으로부터 3경간에서 개방하고, 다른 쪽은 건설된 선로의 길이가 모두 나타나도록 약 2km의 길이로 하였고, 저압측은, 저압측 임펄스 침입 모의는 2경간(약 100m)으로, 고압측으로부터의 임펄스 전달 모의를 위해서는 4경간(약 200m)으로 함으로써 주상변압기로부터 수용가까지의 실제 선로 길이가 반영되도록 하였으며, 저압측의 말단은 개방상태로 두어 임펄스전압의 반사가 크게 나타나도록 함으로써 가장 가혹한 조건이 되도록 하였다.

저압선로는 선로 구성 여건, 시험의 편의 및 안전을 고려하여 수평으로 배열하였으며, 수직배열과 별 차이는 없을 것으로 사료된다.

2.1.1 시스템 구성

- 피시험 주상변압기
 - 전압 : 22.9kV/220V
 - 용량 : 30kVA(단상)
 - 형태 : 유입자냉
- 임펄스 발생장치
 - 고압측 : 임펄스전류 발생기(ICG : Highvolt)
 - 저압측 : 실험실용 임펄스발생기
- 저압측 피뢰기
 - 연속 운전전압 : 280V
 - 제한전압 : 1.2kV
 - 공칭방전전류 : 10kA
- 선로
 - 고압측 : 실선로와 동일 규모 및 구성
 - 저압측 : 실선로와 동일(단, 수평배열)
- 전압 측정센서
 - 고압측 : Divider(Hipotronics)
 - 저압측 : Probe(Tek 6015A)
- Scope
 - 고압측 : YEW 1740D
 - 저압측 : Tek 3014B

2.1.2 실증회로 구성

(1) 특고압측 임펄스 침입
 특고압측(22.9kV)으로부터의 뇌과전압 침입은 그림1과 같은 회로상태에서 상도체에 임펄스전류발생기(ICG)로부터 임펄스전류를 직접 주입함으로써 임펄스전압을 발생시켜 모의하였다. 저압선로의 길이는 4경간으로 하여 말단은 개방하였으며, 각부의 전압은 고압측 및 저압측의 주입상과 인접상에서 동시에 측정하여 비교하였다.

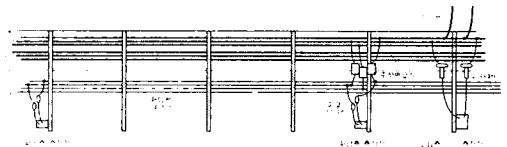


그림1 특고압측 임펄스전압 침입 모의 회로

(2) 저압측 임펄스 침입

저압측(220V)으로부터의 뇌과전압 침입은 그림2와 같이 회로를 구성하여 실험실용 임펄스전압발생기의 출력 전압을 저압선로의 말단에 인가하여 모의하였다. 저압선로의 길이는 2경간으로 하였고, 저압선로의 말단은 개방하였으며, 전압은 고압측 및 저압측의 주입상과 인접상에서 동시에 측정하여 비교하였다.

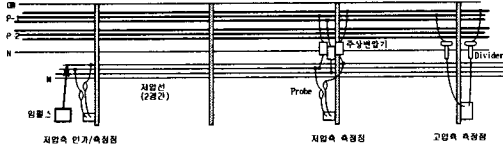


그림2 저압측 임펄스전압 침입 모의 회로

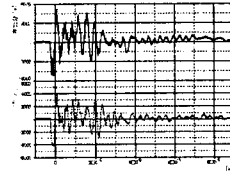


그림13 저압선로측 전압-㉔(말단)

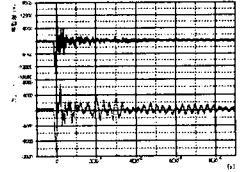


그림14 저압선로측 전압-㉕(말단)

2.2 실증

2.2.1 고압측에서 임펄스를 주입한 경우

그림1처럼 시험회로를 구성하고, 고압측 상도체에 2단계(1.5kA[㉔] 및 3kA[㉕])의 임펄스전류를 주입하여 고압측 및 저압측 각부의 전압을 측정하였다. 어느 경우에도 고압측에는 피뢰기를 설치하지 않았으며, 저압측에는 변압기와 선로 말단에 피뢰기를 설치한 경우를 포함하여 모의하였다.

(1) 저압측에 피뢰기를 설치하지 않은 경우
저압측에 피뢰기를 설치하지 않은 경우의 모의 결과는 그림 3-8과 같았다.

(3) 저압측 말단에 피뢰기를 설치한 경우
저압선로의 말단에 저압피뢰기를 설치한 경우의 모의 결과는 그림 15-20과 같았다.

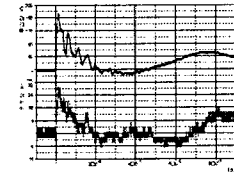


그림3 고압측 인가전압-㉔

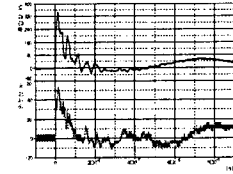


그림4 고압측 인가전압-㉕

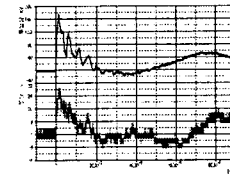


그림15 고압측 인가전압-㉔

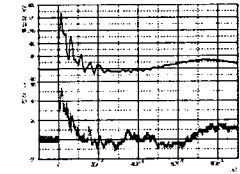


그림16 고압측 인가전압-㉕

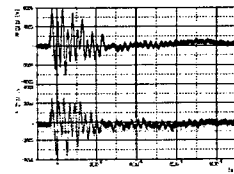


그림5 변압기 저압단자측 전압-㉔

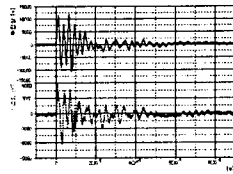


그림6 변압기 저압단자측 전압-㉕

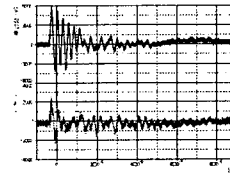


그림17 변압기 저압단자측 전압-㉔

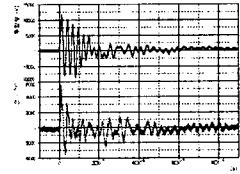


그림18 변압기 저압단자측 전압-㉕

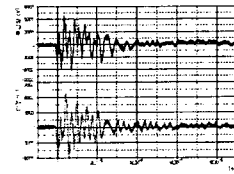


그림7 저압선로측 전압-㉔(말단)

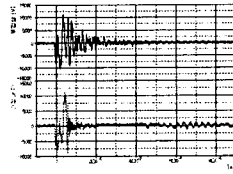


그림8 저압선로측 전압-㉕(말단)

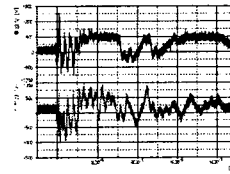


그림19 저압선로측 전압-㉔(말단)

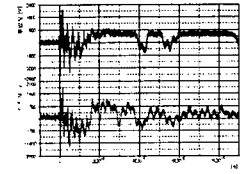


그림20 저압선로측 전압-㉕(말단)

(2) 저압측 변압기단에 피뢰기를 설치한 경우
변압기의 저압측 단자에 저압피뢰기를 설치한 경우의 모의 결과를 그림 9-14에 나타냈다.

(4) 저압측 변압기단과 말단에 피뢰기를 설치한 경우
변압기의 저압측 단자와 선로의 말단에 저압피뢰기를 설치한 경우의 모의 결과는 그림 21-26과 같았다.

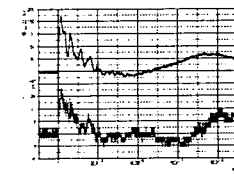


그림9 고압측 인가전압-㉔

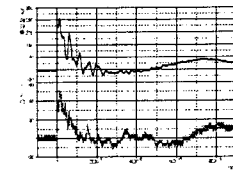


그림10 고압측 인가전압-㉕

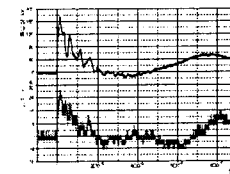


그림21 고압측 인가전압-㉔

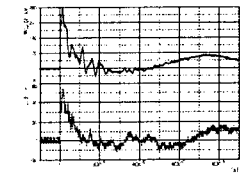


그림22 고압측 인가전압-㉕

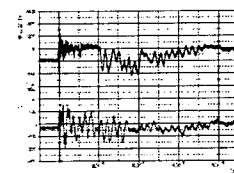


그림11 변압기 저압단자측 전압-㉔

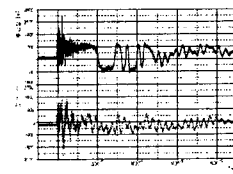


그림12 변압기 저압단자측 전압-㉕

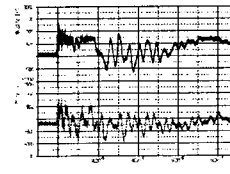


그림23 변압기 저압단자측 전압-㉔

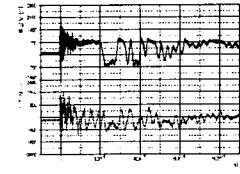


그림24 변압기 저압단자측 전압-㉕

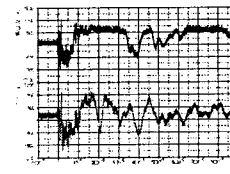


그림25 저압선로측 전압-㉔(말단)

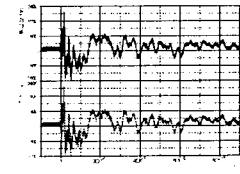


그림26 저압선로측 전압-㉕(말단)

2.2.2 저압측에서 임펄스를 주입한 경우

그림2처럼 시험회로를 구성하고, 저압측 상도체에 2단계(약 2kV[①] 및 5kV[②])의 임펄스전압을 인가하여 저압측 및 고압측의 전압을 측정하였다. 고압측에는 피뢰기를 설치하지 않았으며, 저압측 변압기에 피뢰기를 설치한 경우를 포함하였다.

(1) 저압측에 피뢰기를 설치하지 않은 경우

저압측에 피뢰기를 설치하지 않은 경우의 모의 결과는 그림 27~32와 같았다.

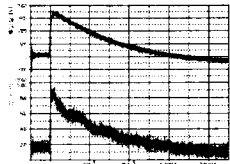


그림27 저압측 인가전압-①(말단)

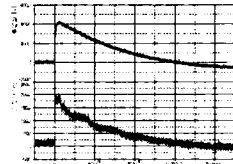


그림28 저압측 인가전압-②(말단)

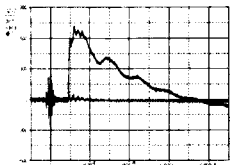


그림29 변압기 저압단자측 전압-①

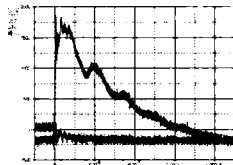


그림30 변압기 저압단자측 전압-②

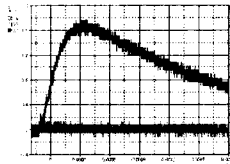


그림31 고압측 전압-①

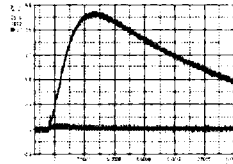


그림32 고압측 전압-②

(2) 저압측 변압기단에 피뢰기를 설치한 경우

변압기의 저압측 단자에 저압피뢰기를 설치한 경우의 모의 결과는 그림 33~38과 같았다.

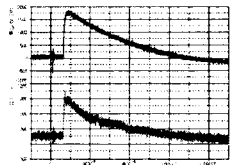


그림33 저압측 인가전압-①(말단)

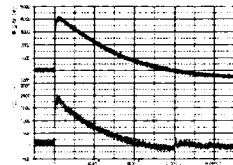


그림34 저압측 인가전압-②(말단)

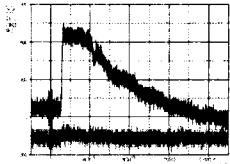


그림35 변압기 저압단자측 전압-①

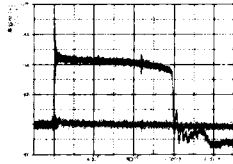


그림36 변압기 저압단자측 전압-②

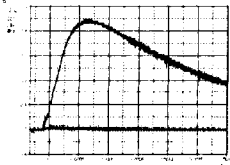


그림37 고압측 전압-①

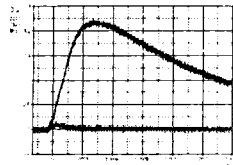


그림38 고압측 전압-②

2.3 실증 결과

(1) 고압측에서의 현상

• 고압측에서 임펄스를 주입한 경우 고압측에 나타나는 전압의 앞부분이 톱니의 형태를 보이는 것은 고압측의 개방단(3경간 이격지점)에서의 반사의 영향 때문인 것으로 사료된다[2].

• 임펄스 주입상에 비해 건전상의 전압은 15~18% 정도로 낮게 나타났다.

(2) 고압측으로부터 저압측으로의 임펄스 전달

• 고압측으로부터 저압측으로 전달된 전압의 성분은 주로 고주파의 진동 성분으로 이루어지고 있으며, 마치 고역통과필터(High-Pass Filter)처럼 작용하였다.

• 고압측으로부터 전달된 전압의 크기는 개략 1/29 정도로, 상용주파전압의 경우의 전압의 비 1/60보다 훨씬 크게 나타났는데, 이는 1차 권선 및 2차 권선간의 고주파에 대한 정전·전자적 결합특성이 상용주파 권선비와는 크게 다른 때문인 것으로 사료된다.

• 저압측으로의 전달 전압에 있어, 임펄스 주입상에 비해 건전상에는 약 50% 정도 발생했으나, 개방단에서는 크기에 큰 차이가 없는 것으로 미루어, 저압선로의 임펄스전압의 크기가 큰 경우는 작은 경우에 비해 진행중의 감쇠나 절연파괴에 의한 누설이 큰 것으로 사료된다.

(3) 저압측으로부터 고압측으로의 임펄스 전달

• 고압측으로부터 저압측으로의 전달과는 반대로, 주로 저주파 성분이 전달됨으로써, 저역통과 필터(Low-Pass Filter)처럼 작용하여, 파두장이 개략 300 μ s 정도로 저압측 임펄스의 파두장에 비하면 매우 완만해졌다.

• 전달된 전압의 크기는 개략 저압측 파고치의 2~3배 정도의 값으로, 고·저압 권선간의 권수비 60에 비해 훨씬 작은 값으로 나타났다.

저압측에서의 감쇠나 대지누설 등을 고려하면 저압측으로 침입한 임펄스에 의해 고압측 권선이나 선로의 절연이 손상받을 가능성은 매우 작을 것으로 사료된다.

(4) 저압피뢰기의 영향

• 저압피뢰기를 변압기 저압단자측과 선로의 말단에 설치하는 것이 가장 효과적인 것으로 나타났다.

• 한 군데에만 저압피뢰기를 설치하는 경우라면, 대체적으로 변압기측에 설치하는 것에 비해 선로의 말단에 설치하는 것이 더 효과적인 것으로 나타났는데, 이는 말단에서의 반사의 영향을 줄이기 때문인 것으로 사료된다.

• 저압피뢰기가 변압기단에 설치된 경우는, 비록 크지는 않더라도, 고압측으로부터 침입하여 고압측에 나타나는 임펄스전압을 감쇠시키는 역할을 하는 것으로 나타났다.

3. 결 론

• 고압측으로부터 임펄스가 침입한 경우, 저압측으로는 고주파성분이 주로 전달되었다.

• 저압측으로부터 침입한 임펄스가 고압측으로 전달될 때는 저주파성분이 주로 전달되었다.

• 저압피뢰기를 설치함으로써 저압측의 임펄스전압을 현저히 줄일 수 있었으며, 선로 말단 피뢰기의 역할이 변압기측 피뢰기의 역할보다 더 효과적이었다.

• 위의 결과들은 특별한 경우에 대한 예이지만, 모의시스템이 실제와 거의 동일하기 때문에 일반적인 경향을 나타내고 있는 것으로 볼 수 있다.

[참 고 문 헌]

[1] 전력연구원, '배전시험설비 구축 및 내뢰설비 시설효과 분석 실증연구', 2003

[2] A.P.Sakis Meliopoulos, 'Power System Grounding and Transients', Marcel Dekker, Inc. 1988