

전력기기 예방진단 기술을 위한 저전압 충격시험

곽희토* 김재철* 권태원** 윤용범** 손진근(☎) 윤지용*
 * 송실대학교 ** 한국 전력 기술 연구원

Low Voltage Impulse Test for Power Electric Instrument Precaution Diagnosis Techniques

Hee-Ro Kwak Jae-Chul Kim Jin-Geun Son Ji-Yong Yun (Soong Sil UNIV.)
 Tae-Won kwan Young-Beum Yoon (Research Center KEPCO)

ABSTRACT

In this paper, response characteristics by applying impulse into transformer windings in order to precaution diagnosis of power electric instrument are studied.

A sample oilless transformer, an aging transformer and a good transformer are selected for models. The experimented results show that for testing the windings distortion and impedance change of transformer the LVI method are suitable. Also, variation characteristic of output waveforms at time and frequency domain in order to efficient analysis is discussed. The results response that waveforms at frequency domain is very higher resolution at time domain.

1. 서론

전력 수요의 증가에 따라 전력계통의 중요한 요소인 전력용 변압기는 대용량화 추세와 더불어 다량 설치되고 있다. 이러한 전력용 변압기의 고장시에는 정전범위가 광범위 해지고 경제적, 사회적, 심리적으로 막대한 영향을 초래하기 때문에 고신뢰성의 전력계통 운용이 요구된다. 따라서 전력계통의 고신뢰도 운용을 위한 전력용 변압기 사고 예방 진단 기술은 더욱 중요한 위치를 차지하게 되었으며 세계 각국에서도 지속적인 연구와 관련 기기 예방 진단 기술이 활발히 진행되고 있다. (1)(2)(3)(4)

전력용 변압기는 선로의 단락 또는 지락시, 고장전류에 의하여 변압기내 기계적, 전기적 영향으로 권선의 변형등 구조물의 변형을 초래한다. 이러한 권선의 이상적 변형은 권선층간의 전체 임피던스 값을 변화시키게 되며 이의 변형에 대하여서는 Terminal 전류 파형에 잘 나타나어 주는 LVI(Low Voltage Impulse) 시험법(5)(6)이 많이 추천된다. 이 시험법은 세계적으로 공인된 측정법으로써 ANSI(American National Standards Institute) C-57에 규격화(7)되어 있으며 권선의 손상이 적고 실제로 사고없이 단지 권선 변형만 있는 경우에도 잘 감지할 수 있는 민감성이 뛰어난 것으로 알려져 있다.

거의 모든 사고 변압기에는 권선층간에 Capacitance 및 Inductance의 변화가 발생하는 데 이러한 변압기의 권선에 저전압 충격 펄스를 인가하여 펄스에 대한 전류 응답 파형을 보면 진폭과 위상의 차이가 발생한다. 이러한 변화파형의 해석은 대개 경험상으로 하며 변압기 권선의 Type, Coils의 Interconnection과 도체길이 등의 해석에 도움이 된다.

따라서 본 연구에서는 단락시험시나 운전시에 권선변형 유무를 판별하기 위해 모의 전식 변압기와 장기간 운전 경험이 있는 노화된 변압기, 품질이 양호한 변압기를 모델로 선정하여 수차례 저전압 임펄스를 인가하여 응답 파형의 차이점을 비교 관측한다. 또한 본 연구에서는 효과적인 파형분석을 위하여 출력파형의 변화를 시간영역과 주파수영역에서의 관측을 병행한다. 이때의 결과 파형은 디지털 메모리 스크로프와 분해도가 좋은 Spectrum Analyzer를 사용하여 변압기 예방진단의 기초자료를 작성하였다. (9)

2. 실험장치의 구성

저전압 임펄스 시험장치의 개략도는 그림1과 같으며 RSG(Recurrent Surge Generator), 디지털 메모리 스크로프, Spectrum Analyzer로 구성하였다. (9) 저전압(0~500[V])임펄스 발생기에서 생성된 임펄스를 변압기의 권선에 인가한후 그 응답파형의 진폭 및 위상의 변화를 관측하기 위하여 고주파수의 정격 300[MHz] 디지털 오실로스코프를 사용하였으며, 보다 효과적인 파형해석을 위하여 고속처리 및 분해도가 높은 100[KHz]~1500[MHz]의 Spectrum Analyzer를 이용해 주파수 영역에서의 전압이득 관계를 FFT(Fast Fourier Transformation)분석한다.

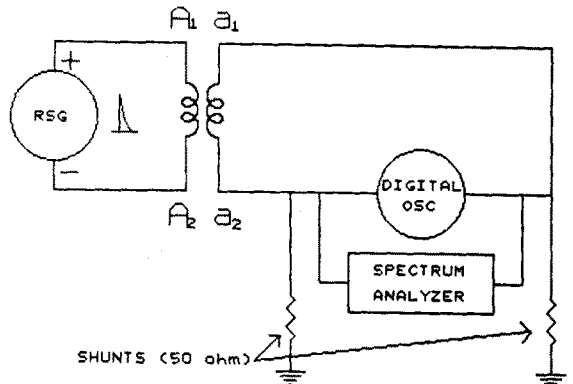


그림 1. Low Voltage Impulse Test의 개략도

본 실험에서는 권선의 미세한 파형의 변형들도 해석에 유용한 자료가 될 수 있으므로 RSG의 임펄스를 시험 번압기에 인가하여 수신 신호를 알 수 있게하는 신호 전달시스템에 만전을 기하였다. 특히 측정용 케이블 및 RSG케이블간의 Cross-Coupling, Starry Lead Capacitance등에서 오는 영향과 외부적인 PICKUP을 줄이기 위하여 Shield를 갖는 동축케이블(Coaxial Cable)을 사용하였으며 신호 및 기록 케이블은 Reflection을 최소화 하기위해 그들의 특성 임피던스에서 단말 처리 하였다. 그리고 기록상의 변화와 혼선을 피하며 측정 감도를 높이기 위하여 Coaxial Ground Cage를 번압기 부싱 주위에 설치하였다. 이것은 부싱 터미널에 대한 임펄스 발생기와 Shunt의 저(低)인덕턴스 연결을 허용하게 한다.

충격 전압에 의한 전류파형 측정법은 주파수 응답특성 측정법과 같은 원리에서 착안한 것이며, 저전압 임펄스의 입력 파형은 ANSI C-57 98~1986에서 (7) Factory Impulse를 제시하였고, 본 실험에서는 1971년 Southern California Edison Co.에서 실시한 (8) 입력파형을 기본모델로 선정하여 모의 전식 번압기와 장기간 운용했던 노화된 번압기, 그리고 정상적인 번압기의 권선에 LVI시험을 적용한다.

3. 실험결과 및 고찰

본 LVI실험에서 임펄스 입력의 기준모델은 그림2와 같으며 이의 기준임펄스입력 파형으로 본 실험의 모든 대상에 적용한다.

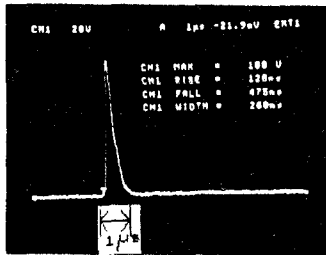


그림 2. 기준 임펄스 입력 파형

여기서의 임펄스 전압의 크기는 100[V]로 하였으며, 이때 임펄스 전압의 상승시간은 128[nS], 상승지점의 폭지점에서 하강에 이르는 순간 까지의 시간은 260[nS], 하강시간은 475[nS]이다. 또한 파형의 가로축은 시간영역을 나타내고 세로축은 전압을 나타내며, 한 눈금당 각각 1[μS/div], 20 [V/div]이다.

3-1. 모의 전식 번압기의 LVI시험결과 및 고찰

본 LVI실험에서의 실험대상은 자체 제작한 1[KVA]용량의 모의 전식 번압기이며, 실험은 권선의 비율을 100[%]~90[%]까지 각각 2%씩 변형시키면서 6단계로 분할하였다. 여기서 권선의 비율이 100%라 함은 모의 전식 번압기의 기준템에 대한 L 성분비가 0.370[H]이며, 템을 한단계씩 변화하여 마지막 비율 90% (0.310[H])까지 변형을 기키면서 시험을 행하였다. 이때의 LVI 응답파형은 그림3에서 그림5까지 표시하였고 응답파형의 스펙트럼 분석 결과파형은 그림 6부터 그림 11과 같이 나타내었다.

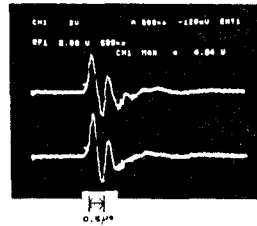


그림 3. L성분 90[%](위) 및 92[%](아래) 경우의 LVI 파형

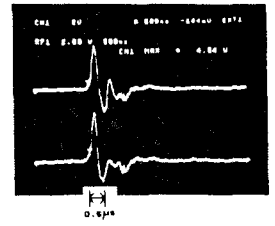


그림 4. L성분 94[%](위) 및 96[%](아래) 경우의 LVI 파형

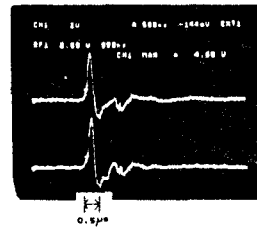


그림 5. L성분 98[%](위) 및 100[%](아래) 경우의 LVI 파형

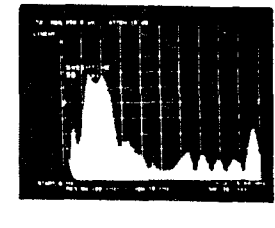


그림 6. L성분 98[%]경우의 스펙트럼 결과 파형

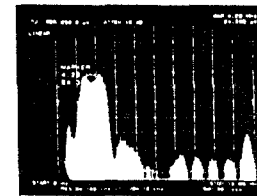


그림 7. L성분 92[%]경우의 스펙트럼 결과 파형

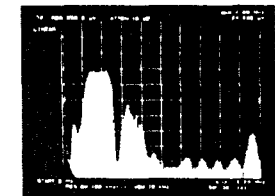


그림 8. L성분 94[%]경우의 스펙트럼 결과 파형

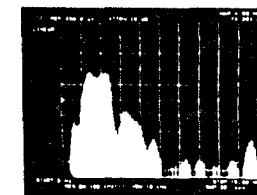


그림 9. L성분 96[%]경우의 스펙트럼 결과 파형

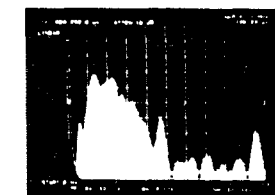


그림 10. L성분 98[%]경우의 스펙트럼 결과 파형

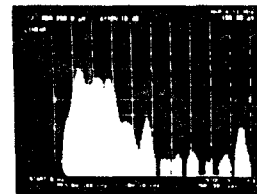


그림 11. L성분 100[%]경우의 스펙트럼 결과 파형

본 실험의 모의전식 번압기 LVI시험의 측정에 대한 시간영역에서의 스코프 시간축을 모두 500[nS]의 대역에서 실시하였고, 전압의 division은 2[V]로 선택하여 측정하였다. 이때 기준치인 L성분 100[%] (즉 0.370[H])에서 부터 L값을 많이

변화시킨 90[Hz](즉 0.310[H])일때 까지의 응답의 최고치 전압은 4.68[V]에서 부터 4.004[V]까지 나타난다. 이것은 인덕턴스 값이 커짐에 따라 응답파형의 전압값도 커진다는 사실을 알수 있고, 또한 응답 파형의 한주기는 L값이 클수록 진동(Oscillation)을 많이 함을 관측할 수 있다.

아울러 이의 응답 파형을 주파수 영역에서 스펙트럼 분석하면 분해도가 더욱 높아져 관측에 더 유리하게 된다. 이때의 주파수 영역에서의 전체 Span은 0[MHz]에서 15[MHz]까지이다. L성분이 90[Hz]일때 (0.31[H])의 한주기는 0.585 [μs]로 나타나므로 주파수는 1.71[MHz]가 된다. 위의 스펙트럼 파형은 전체영역이 15[MHz]이므로 그림에 나타난 1 Step은 1.5[MHz]를 나타낸다. 세로축의 전압은 전체 Reference가 250[μV]이므로 1 Step은 25[μV]를 나타낸다. 위의 이러한 관계로 부터 주파수 영역에서 진폭 및 위상의 변화를 추이해 보면, 그림 6에서 처럼 전압레벨이 100[μV]이상 나타난 영역은 1.7[MHz] 대역에서 부터 3.3[MHz]대역까지 즉 1.6[MHz]의 Bandwidth 동안에 나타남을 볼 수 있다. 마찬가지로 L의 값을 한스텝 한스텝 높일때마다 전압의 진폭 및 Bandwidth는 점점 늘어나며, 최종 단계인 그림11에서는 4.5[MHz]의 대역폭으로 늘어나는 경향을 추이할 수 있다. 이것은 또한 75[μV]이상의 전압에 대한 대역폭도 현저히 넓어진다는 사실을 알 수 있다. 따라서 LVI응답 파형의 분석을 통하여 시간에 대한 응답 및 주파수에 대한 응답은 L성분이 커질수록 전압성분도 그에 비례한다는 것을 비교 관측 할 수 있다.

3-2. 노화된 변압기의 LVI시험결과 및 고찰

본 실험에서 적용된 시험 변압기에는 장기간 운전으로 노화되어 반납된 변압기를 대상으로 고압권선속과 저압권선속, 단상 및 3상 변압기를 각각 시험하였으며(9) 그중 본 연구에서는 표1과 같이 구분하여 LVI시험에 적용하였다.

표 1. 노화된 변압기의 주 사양표

구분	용량 [KVA]	형	1차전압 [V]	2차전압 [V]	1차전류 [A]	2차전류 [A]	제작일
# 1 변압기	30	단상 외철형	12600	460 / 230	2.38	6.5 / 13.0	82.3
# 2 변압기	30	단상 외철형	12600	460 / 230	24	65 / 130	82.3
# 3 변압기	1000	3상 (Δ-Δ)	21000	6900 / 3450	83.6	167.2	73.4
# 4 변압기	1000	3상 (Δ-Δ)	21000	6900 / 3450	83.6	167.2	73.4

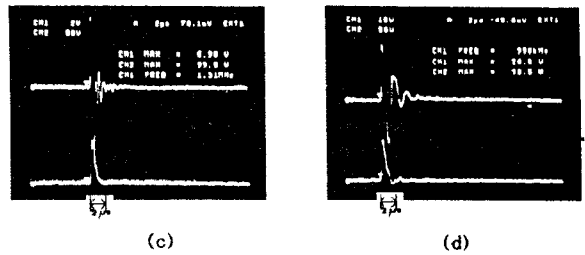


그림 12. #1변압기, #2변압기에서 고압권선속의 LVI 파형(a),(c) 및 저압권선속의 LVI파형(b),(d)

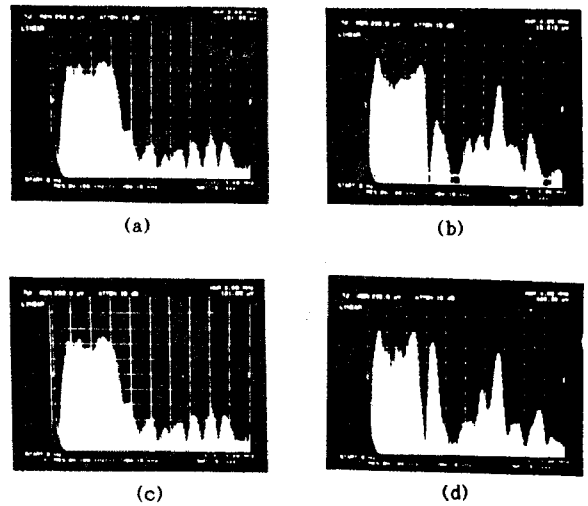


그림 13. #1변압기, #2변압기에서 고압권선속의 스펙트럼 결과파형(a),(c) 및 저압권선속의 스펙트럼 결과파형(b),(d)

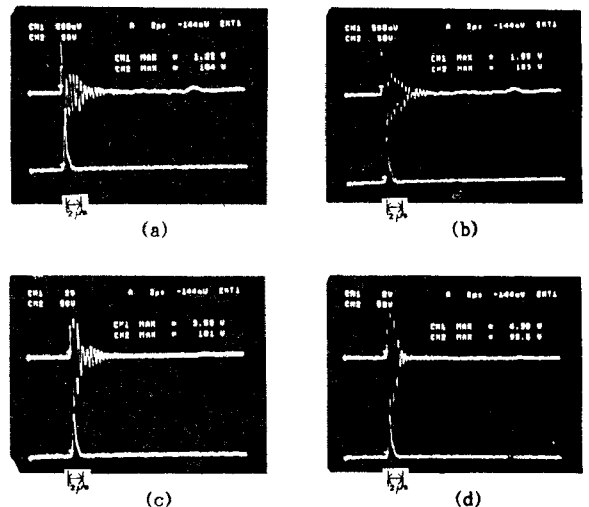
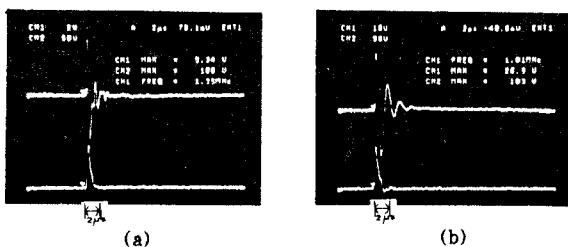


그림 14. #3변압기, #4변압기에서 u-v상의 LVI파형(a),(c) 및 v-w상의 LVI파형(b),(d)



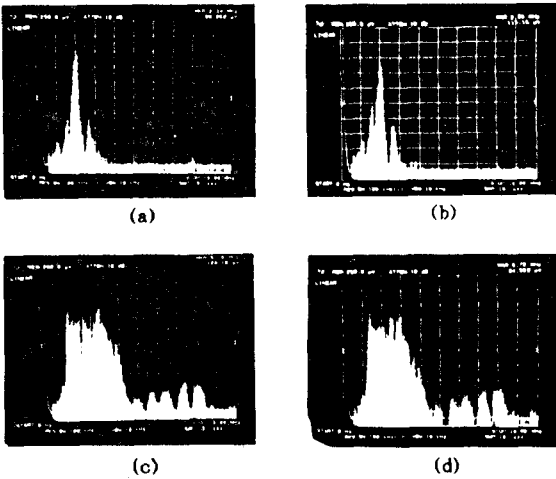


그림 15. #3번압기, #4번압기에서 u-v상의 스펙트럼 결과파형(a), (c) 및 v-w상의 스펙트럼 결과파형(b), (d)

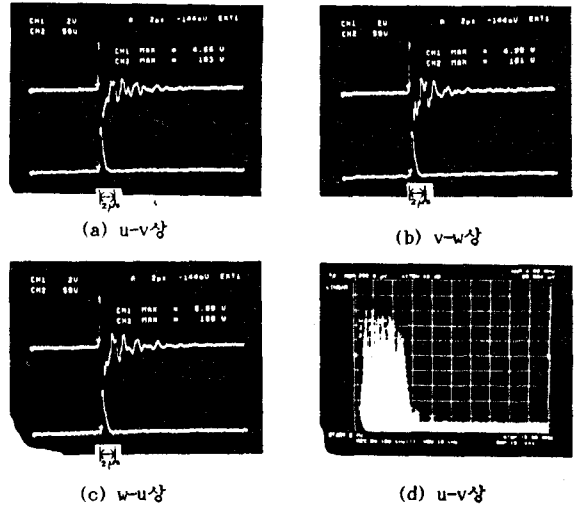


그림 16. #5번압기의 LVI 파형(a), (b), (c) 및 스펙트럼 결과 파형(d), (e), (f)

본 실험에 있어서의 임펄스 입력파형은 부하의 변형에 관계하지 않도록 그림2와 같이 항상 일치시켜 앞 절에서와 같은 동일한 실험방법으로 행하였으며 이의 결과파형은 그림12에서부터 그림15까지 나타내었다. 그림12와 그림14에서의 시간영역 응답파형은 두 대의 변압기에 대한 구별 또는 권선속도에 대한 차이점의 구별이 난해하다. 그러나 그림13에서의 주파수 영역 응답파형은 고압권선속((a), (c))이 저압권선속((b), (d))보다 높은 전압레벨의 넓은 Bandwidth를 가지며, 저압권선속((b), (d))에서는 Dominant한 파형을 볼 수 있다.

또한 그림15에서는 두 변압기에 대한 응답파형 구별이 확실히 관측됨을 알 수 있으며 이는 두 변압기 중 어느하나가 권선의 변화가 약간 있었음을 판단할 수 있으며, 아울러 고압권선속과 저압권선속의 권선 비율은 거의 비슷함을 추이할 수 있다. 따라서 LVI시험의 응답파형은 시간영역에서 보다는 주파수영역에서 관측하는 것이 훨씬 유리하며 분해도가 높음을 판단할 수 있다.

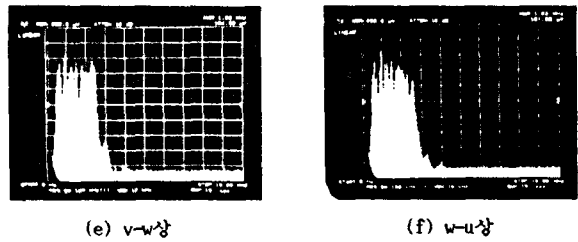


그림 17. #6번압기의 LVI파형(a), (b), (c) 및 스펙트럼 결과 파형(d), (e), (f)

3-3. 정상변압기의 LVI시험결과 및 고찰

본 실험에 사용한 정상변압기는 변압기 보급소에서 시험에 합격판정을 받은 후 한번도 가동하지 않은 변압기를 선정하였고 그 주 사양표는 표2와 같다.

표 2. 정상변압기의 주 사양표

구분	용량 [KVA]	형	1차전압	2차전압	전류 [A]	제작일
#5 변압기	450	3상 (Δ-Y)	21800	380 / 220	11.9 / 683	91.3
#6 변압기	800	3상 (Δ-Y)	21800	480	21.8 / 962.2	91.2

그림 17은 #6번압기를 각 상별로 구분하여 LVI 응답파형 및 스펙트럼 결과파형을 나타내고 있다. 위의 파형을 스펙트럼 결과 파형에서 보면 그림16의 #5번압기보다 용량이 크므로 높은 전압레벨이 넓은 Bandwidth를 차지하며, 각 상에 대한 차이점은 #5의 정상 변압기와 마찬가지로 찾아볼 수 없다. 만일 어떤 상에서의 결과 파형이 다른 상과 비교하여 커다란 차이점이 발생한다면 변압기의 해체 조사없이도 권선에 대한 변형이 있음을 판단하리라 생각된다.

4. 결론

전력용 변압기의 권선에 임펄스를 인가한 후 그 응답파형의 고찰로서 권선의 내부 이상 유무를 판별하기 위해서는 수 차례의 실험을 통한 자료를 필요로하며 이를 토대로 일정 기준치를 마련해야 한다.

본 연구에서는 LVI 응답 파형을 시간영역에서와 주파수영역에서 동시에 분석하였으며 주파수영역에서의 응답이 월신 분해도가 높아 권선의 변형 유무 판별에 유리함을 입증시켜 주었다. 아울러 변압기의 인덕턴스 성분에 따라 응답 파형의 변화는 시정수의 관계와 비례하여 나타남을 알 수 있고 정상 변압기보다는 장기간 운전경험이 있는 노화된 변압기의 권선에서 파형변형이 나타났으며 이를 바탕으로 변압기의 해체없이 내부 변형 유무를 판단할 수 있으리라 생각된다.

따라서 본 연구에서는 적합한 모델의 선정과 응답파형에 대한 충분한 연구 검토가 있다면 전력기기 예방진단 기술을 확립하는데 한층 더 접근하리라 생각된다. 그리고 향후의 변압기 고장진단 기술로는 관측에 의한 파형분석 보다는 A/D변환 기법등을 이용한 data처리 방법이 우수할것으로 사료된다.

참고문헌

- (1) D. A. Gillies, L. E. Humbard and E. J. Rogers, "Progress report-low voltage impulse testing of transformers", Doble Eng. Co., Transformer, 37AIC70, pp901-912, 1970
- (2) E. J. Rogers, L. E. Humbard and D. A. Gillies, "Instrumentation technique for low voltage impulse testing of power transformers", IEEE, PES, T535-PWR, pp1281-1292, 1971
- (3) E. J. Rogers, D. A. Gillies and L. E. Humbard, "Experience with low voltage impulse testing of power transformer", Doble Eng. Co., Transformer, 36AIC69, pp301-308, 1969
- (4) G. H. Kaufmann, "Impulse testing of distribution transformers under load", IEEE, PAS, Vol. 96, No. 5, pp1583-1595, 1977
- (5) A. G. Richenbacher, "Frequency domain analysis of responses from low voltage impulse testing of power transformers", Doble Eng. Co., transformers, 43AIC76, pp201-210, 1976
- (6) F.A. Chagas, "Response errors of impulse test circuits", IEEE, PAS, Vol. 103, No. 11, pp3277-3285, 1984
- (7) "IEEE guide for short-circuit testing of distribution and power transformer", ANSI/IEEE C57. 12. 90-1980
- (8) C. E. Phillips, "Short-circuit testing of medium power transformers by southern california edison company: part 2-low voltage impulse measurements", IEEE, PES Summer meeting, T 73 400-9, pp542-553, 1973
- (9) "전력기기 예방 진단 기술 연구 (관리과제)", 한국 전력공사 기술 연구원, 1991.3