

변류기 2차측 개방 보호장치 개발 및 특성

최상원^{*} · 송기찬^{*}

한국산업안전공단 산업안전보건연구원 · *삼성계측제어(주)
(2007. 4. 3. 접수 / 2007. 8. 8. 채택)

Development and Characteristics of Detector for Open of Current Transformer Secondary Terminal

Sang-Won Choi^{*} · Ki-Chan Song^{*}

Occupational Safety & Health Research Institute, KOSHA

*SMInstruments Co., Ltd

(Received April 3, 2007 / Accepted August 8, 2007)

Abstract : Instrument transformers are a safe measurement device designed to measure high voltage and large current. A current transformer(CT) is a type of instrument transformer designed to provide a current in its secondary winding proportional to the current flowing in its primary. It is commonly used in metering and protective relaying in the electrical power industry where it facilitates the safe measurement of large current. But, care must be taken that the secondary of a current transformer is not disconnected from its load while current is flowing in the primary, as this will produce a dangerously high voltage across the open secondary, and may permanently affect the accuracy of the transformer. Especially, industrial disaster such as an electric shock and/or a burn accident occurs occasionally by disregard of warning or attention. In this paper, we developed the detector for open of current transformer secondary terminal, and which was tested by the Korea Electrotechnology Research Institute. Test results show that Current Transformer secondary Open Detector(CTOD) interrupted within one second electronically when the 2nd terminal of current transformer opened.

Key Words : instrument transformer, current transformer, Current Transformer secondary Open Detector(CTOD)

1. 서 론

교류 고전압 회로의 전압과 전류 등을 측정하려고 하는 경우 전압계나 전류계를 직접 회로에 접속하지 않고 계기용 변압기를 통해서 연결한다. 이렇게 하면 측정관계의 비용이 절약될 뿐만 아니라 계기 회로를 선로전압으로부터 절연하므로 위험이 적다.

이러한 변압기를 계기용 변성기(Instrument Transformer)라 하며, 전압 측정을 위한 계기용 변압기(Potential Transformer), 전류 측정을 위한 계기용 변류기(Current Transformer; 이하 CT라 한다)가 있다¹⁻³⁾.

특히, CT는 특성상 2차측을 개방할 때에는 아주 큰 전압이 유기된다. 그렇기 때문에 CT를 점검, 보수 및 교체시에는 2차측을 단락시키고 작업을 실시

하여야 한다. 그러나 이러한 주의사항을 무시하거나 주의하지 않아 CT 2차측에 의한 감전, 화상 사고 등 산업재해가 종종발생하고 있다⁴⁾.

본 논문에서는 CT 2차측 개방으로 인한 사고로 인적, 물적 피해가 빈번히 발생하기 때문에 이를 근본적으로 예방하기 위한 보호기술 및 안전장치의 개발이 국내외적으로 절실하게 요구되고 있어 이를 개발하여 실험적으로 그 성능을 입증하고자 하였다.

2. CT의 원리 및 개방보호장치의 설계 기준

2.1. CT 회로도 및 접속방법

Fig. 1은 CT의 회로도 및 접속방법을 나타낸 것이다¹⁾.

변압기의 1차 및 2차 전류를 I_1 , I_2 라고, 권수를 w_1 , w_2 라 하면 식 (1)과 같이 된다. 그러므로 2차

^{*} To whom correspondence should be addressed.
swchoi@kosha.net

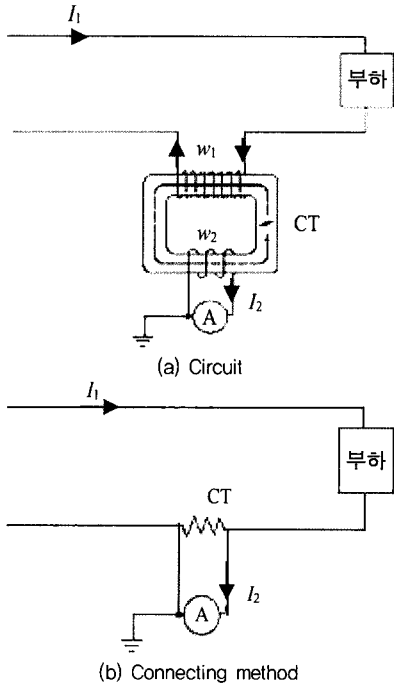


Fig. 1. Circuit and connecting method of current transformer.

전류를 보통 전류계로 측정하면 1차 전류를 알 수 있다.

$$I_1 = \frac{w_2}{w_1} I_2 \quad (1)$$

CT의 2차 전류는 5A가 표준이고 용량은 12.5VA에서 200VA 정도까지이다.

2.2. CT 2차측 개방시의 위험성

Fig. 2는 CT의 등가회로를 나타낸 것이다.

Fig. 2의 등가회로로부터 1차 전류(I_p), 2차 유도전류(I_s), 여자리액턴스 전류(I_M) 및 2차 유도전압(V_s)은 식 (2)~(5)와 같이 구할 수 있다.

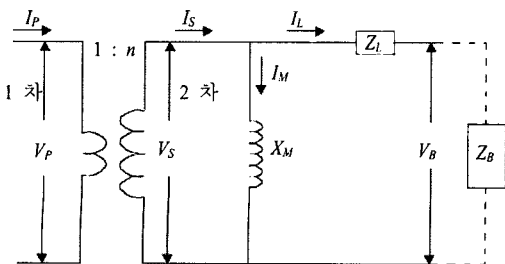


Fig. 2. Equivalent circuit of current transformer.

$$I_p = n \cdot (I_M + I_L) \quad (I_M = \text{여자전류}, I_L = \text{부하전류}) \quad (2)$$

$$I_s = \frac{I_p}{n} = I_M + I_L \quad (3)$$

$$I_M = \frac{V_s}{X_M} \quad (X_M = \text{여자리액턴스}) \quad (4)$$

$$V_s = V_p + I_L \cdot Z_L \quad (Z_L = \text{부하임피던스}) \quad (5)$$

만일 2차 회로를 사용 중에 열면 1차 전류가 전부 勵磁전류로 되어 2차 권선에 매우 높은 전압이 유기되어 절연을 파괴하고, 소손될 염려가 있다^{5,7)}. 만일 전류계가 고장이 나서 2차 회로를 열 필요가 있을 때에는 반드시 2차 회로를 단락해 놓은 다음에 전류계를 빼내도록 해야 한다.

CT 2차가 개방되면 2차에 흐르는 전류가 없으므로 2차 자속이 없어져서 1차 자속을 상쇄시키지 못하므로 1차 전류 모두가 여자전류로 작용한다.

1차 전류가 모두 여자전류로 되면 CT 철심은 포화되며, $\frac{d\phi}{dt}$ 가 매우 크기 때문에 식 (6)과 같은 큰 유기전압(e)이 유도된다.

$$e = n \frac{d\phi}{dt} \quad (n = \text{권선수}) \quad (6)$$

그러나 이 전압은 연속적인 정현파가 아닌 임펄스 형태의 파형으로 된다.

2.3. CT 개방보호장치의 설계 기준

CT 개방보호장치의 설계 기준은 CT 2차측 개방을 감지하여 회로를 자동으로 단락시키고, 2차 회로의 상시 감시 및 접속 부위 이상 유무 등을 관리자가 쉽게 인지할 수 있어야 한다. 또한, 사고가 빈번하게 발생하는 아래와 같은 장소에 CT 2차측 개방 보호 장치를 설치하여, 접속불량 및 2차측 개방으로 인한 사고를 사전에 방지하도록 하였다.

- 산업현장에서 CT 단자함 내의 단자 접속불량
- 2차 케이블 중간의 접속개소가 있는 경우의 접속개소 불량
- 수배전반 이면 및 전면의 CT 단자 접속불량
- 2차 회로에 배선되어 있는 각종 기기의 내부, 외부 접속불량

세부 기술적 설계 기준은 다음과 같이 하였다.

- CT 2차측에 직접 연결할 수 있을 것(병렬 연결 구조)
- CT 2차측 개방을 상시 감시하고, 개방시 회로를 자동으로 단락시킬 수 있을 것
- CT 2차측 회로를 상시 감시하고, 그 이상 유무를 원격에서 확인이 가능할 것
- 동작전압, 동작시간에 대한 수정 기능이 있고, 또한 과전류 계전기와 동작 협조가 가능할 것
- 접속이 불량해지거나 개방이 되면, 단락용 접점 의해 자동으로 2차 회로를 단락시킬 수 있을 것
- 신호용 접점을 이용한 경보회로를 구성하여, 이상 발생시 관리자에게 즉시 경보메시지를 전달할 수 있을 것
- 표시기능을 LED로 하여 관리자가 쉽게 육안으로 동작 상태를 확인할 수 있을 것

3. CT 개방보호장치의 특징

3.1. CT 개방보호장치 외형 및 사양

Fig. 3은 CT 개방보호장치의 개발품(Current Transformer secondary Open Detector; 이하 CTOD라 한다)의 외형을 나타낸 것이며, Fig. 4는 내부회로의 구성도를 나타낸 것이다. 또한, Table 1은 개발품의 사양을 나타낸 것이다.

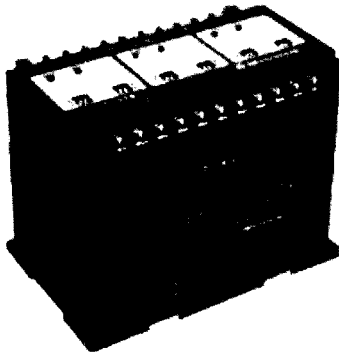


Fig. 3. Out view of the CTOD.

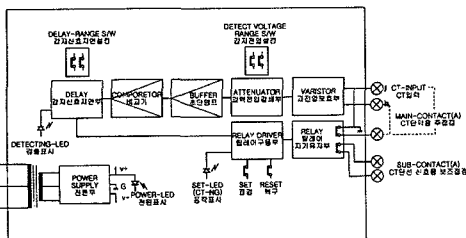


Fig. 4. Block schematic diagram of the CTOD.

Table 1. Specifications of the CTOD

항목	사양
정격 전압	AC 120V(연속), AC 999V(30분)
보조 전원	AC 110/220V(±10% 이내) (AC/DC 90~260V)
주파수	60Hz(허용오차 ±5% 이내)
동작 전압	AC 30V, 60V, 90V, 120V(허용오차 ±5% 이내)
동작 시간	1sec, 2sec, 3sec, 4sec(허용오차 ±5% 이내)
접점 용량	폐로(AC 250V, 15A, 0.5sec), 개로(AC 250V, 5A)
소비 전력	상시 (2VA 이내), 동작시 (3VA 이내)
감지 회로	상시 (6MΩ 이상), 동작시 (0.1Ω 이하)
절연 저항	DC 500V에서 10MΩ 이상
내전압	전기회로 일괄 대기시간 AC 2kV 1분간 이상 없을 것
외형	W 143mm × L 92mm × H 108mm
무게	약 600g

3.2. CTOD의 특징

CTOD는 부하 운전중에 수배전반 내의 변류기 2차회로 접속불량에 의한 임피던스 증가로 과전류 영역에서 보호계전기가 부작동하거나 완전개방에 따른 CT 소손(폭발) 사고로 정전사태 및 인체화상, 감전을 예방할 수 있다.

특히, CTOD는 반도체를 사용한 정지형으로 전기 선로가 통전 중에 CT 2차측 회로의 계기류, 계전기류, 계량기 및 기타 변환기기 등의 내부 또는 접속부의 접속이 느슨해지거나 또는 완전개방이 되면 개방전압을 감지하여 CT 2차측을 지정시간 내에 자동적으로 폐로시킴으로서, CT의 소손 및 인체로의 사고예방은 물론 경보를 통하여 운전자가 원격에서 사고확대를 예방하는 조치를 신속하게 취할 수 있으며, 아울러 무인회로 운전 중인 전기시설물(전기실)에서도 원격에서 감시가 가능하다는 특징을 가지고 있다. 주요 특징은 다음과 같다.

- (1) 동작표시 LED가 요소별로 표시하여 줌으로 사고점검이 용이하다.
- (2) 정지형 제품으로 진동 및 충격에 강하고 반영구적이다.
- (3) 입력부에 과입력보호 및 서지 보호회로가 있어 오동작을 방지할 수 있다.
- (4) 사용자가 동작전압을 설정할 수 있도록 되어 있어, 전동기 등의 기동전류에 의한 오동작 방지 및 과부하, 단락사고 등에서 보호계전기와 동작시간 협조가 가능하다.
- (5) 접점구조는 CT 2차측 폐로용과 신호용이 별도로 되어 있다.

아울러 CTOD는 다음과 같은 효과가 기대된다.

- (1) 변류기 2차측 개방에 따른 인체로의 화상 및 감전사고 예방
- (2) 변류기 2차 회로 접속불량 감소 방지로 과급되는 CT의 과열 및 소손(폭발) 사고 예방
- (3) 변류기 2차 회로 접속불량 감소를 자동으로 확인
- (4) 변류기 2차 회로 접속불량과 개방상태를 상시 감시하여 과전류 계전기의 정상동작 또는 계기류의 정상적 여부 계측
- (5) 변류기 2차 회로 접속불량과 개방의 조사 및 감시업무 간소화

3.3. CTOD의 결선도

CTOD는 2차회로 개방사고시 자동으로 CT 2차측을 단락하고자 하는 경우의 접속방법은 Fig. 5와 같이 결선된다.

3.4. 계통과의 접속

CTOD는 Fig. 6과 같이 계통에 접속된다.

[CTT-3 접속회로]

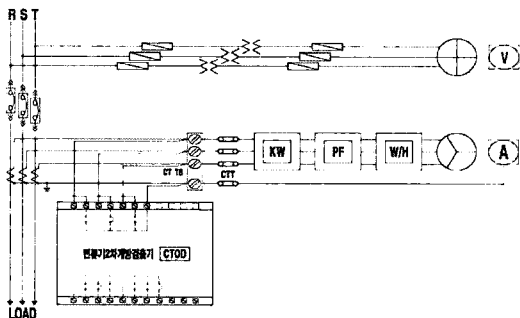


Fig. 5. Connection diagram between CT and the CTOD.

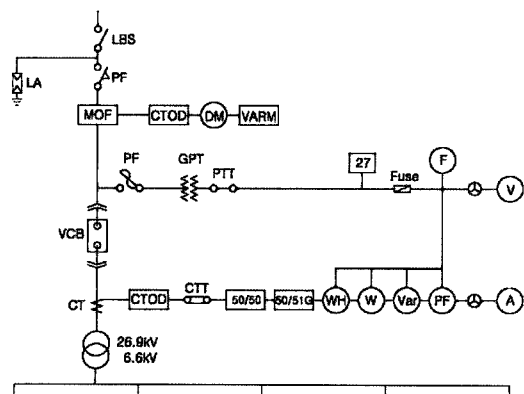


Fig. 6. Connection diagram between power line and the CTOD.

4. 성능 실험결과 및 고찰

4.1. 단락시간 실험장치의 구성

이번에 개발된 CTOD를 국가공인시험기관인 한국전기연구원에 의뢰하여 그 성능을 입증하고자 하였다. 실험장치의 구성은 Fig. 7과 같으며, Fig. 8은 실험장치 구성 사진이다. Fig. 7과 같이 변류기 2차 개방 검출기의 전압 검출단자를 변류기(1200A : 5A)의 2차 단자에 병렬로 연결하고, 대전류 발생기를 이용하여 1200A를 흘린 상태에서 변류기 개방 스위치를 개방하였을 때 설정된 시간 이내에 검출기가 감지하여 변류기 2차 단자를 닫혀 주는지 확인하였다.

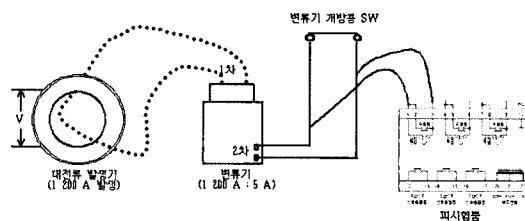


Fig. 7. Experimental setup for the interrupting time of the CTOD.

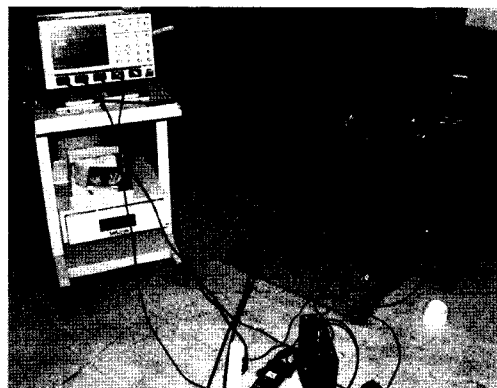


Fig. 8. Test view of the interrupting time of the CTOD.

4.2. 기타 주요 성능 실험

CTOD의 가장 중요한 성능은 규정된 시간 내에 CT의 2차측을 안전하게 보호해 주어야 함은 물론 그 외에도 사용 환경, 인체로의 위험 방지 및 전기 자기파에 대한 오동작 등의 방지를 위하여 아래와 같은 기타 주요 실험을 실시하였다⁸⁻¹²⁾.

- 동작특성 시험
- 절연저항 시험
- 상용주파내전압 시험
- 뇌임펄스내전압 시험
- 온도상승 시험
- 과부하내량 시험
- 내구성 시험
- 부담 및 회로저항 시험

- 온도성능 시험
- 진동 및 충격 시험
- 제어전원 이상 시험
- 1MHz Burst 내성 시험
- 무선주파 전도내성 시험
- 무선주파 방사내성 시험
- Surge 내성 시험
- EFT Burst 내성 시험
- 정전기 시험

Fig. 9는 1MHz Burst, Surge 및 EFT Burst 내성실험을 실시한 사진을 나타낸 것이다.

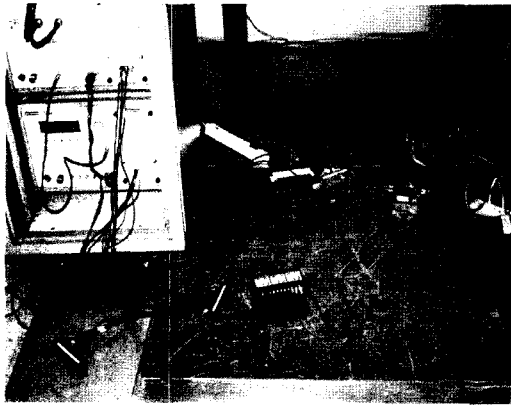


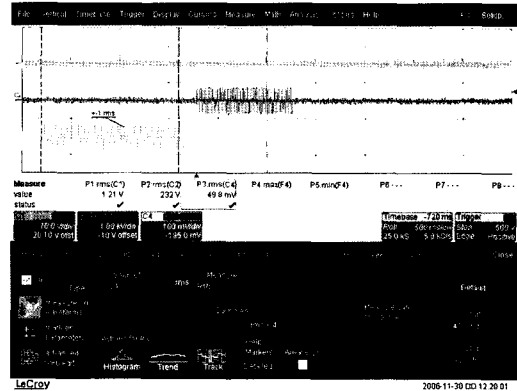
Fig. 9. Test view of the burst and surge of the CTOD.

4.3. 실험 결과

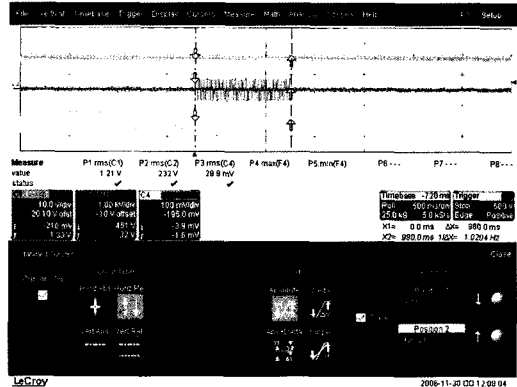
개조실험에서 2차 개방된 변류기가 규정된 차단 시간(1s, 2s, 3s, 4s) 이내에 Close되었다(Table 2 및 Fig. 10 참조). 그 외 주요 실험항목도 관련 시험기준을 만족하였다¹³⁾.

Table 2. Interrupting time of the CTOD

정정치		입력전압 (V)		동작시간 실험 (s)			오차 (%)		
동작치	동작시간	허용오차 (%)	A상	B상	C상	A상	B상	C상	
최소 (30V)	1 s	39 ±5	0.9831	0.9867	0.9707	-1.69	-1.33	-2.93	
		45 ±5	0.9828	0.9867	0.9702	-1.72	-1.33	-2.98	
		60 ±5	0.9820	0.9859	0.9696	-1.80	-1.41	-3.04	
	2 s	39 ±5	1.9659	1.9642	1.9356	-1.71	-1.79	-3.22	
		45 ±5	1.9656	1.9635	1.9347	-1.72	-1.83	-3.27	
		60 ±5	1.9651	1.9637	1.9343	-1.75	-1.82	-3.29	
	3 s	39 ±5	2.9295	2.9605	2.8897	-2.35	-1.32	-3.68	
		45 ±5	2.9293	2.9540	2.8895	-2.36	-1.53	-3.68	
		60 ±5	2.9298	2.9544	2.8933	-2.34	-1.52	-3.56	
	4 s	39 ±5	3.9124	3.9302	3.8572	-2.19	-1.75	-3.57	
		45 ±5	3.9117	3.9292	3.8529	-2.21	-1.77	-3.68	
		60 ±5	3.9092	3.9306	3.8537	-2.27	-1.74	-3.66	



C1 : 대전류 발생기 2차(1 210A)
 C2 : 변류기 Open 시 2차 단자전압 (232V)
 C4 : 변류기 Close 시 2차 전류(5A)
 (a) Voltage and current waveforms



2차 개방 시간 : 980ms
 (b) Interrupting time

Fig. 10. Oscilloscope traces of the voltage/current waveforms and Interrupting time of the CTOD.

4.4. 고찰

CTOD의 성능 실험 결과로부터 다음과 같은 것들을 확인할 수 있었다.

- (1) CT의 2차측의 개방에 따른 인체로의 위험성을 낮추기 위해서는 CTOD에서 가능한 한 빠른 시간 내에 개방상태를 확인하여 2차측을 단락시키는 것이 좋으나, CTOD의 2차측에 접속되는 전력계, 계전기 등과의 보호협조를 위해서는 일정 시간의 지연시간이 필요하다.
- (2) CTOD가 전기자기파의 간섭 및 내성을 구비하여 CT의 접촉불량 등으로부터 발생하는 전기자기파에 의해서도 정전 등 전력계통에 지장을 초래하지 않아야 한다.
- (3) CTOD의 감지회로의 성능으로서 CT의 2차측이 개방되었을 때에는 인체로의 감전위험성

(통전전류 및 통전시간)을 고려하여 가능한 한 임피던스는 크게 하고, CT가 정상 동작시에는 회로의 전압강하를 방지하기 위하여 그 임피던스를 작게 하면 할수록 좋다.

4) CT의 접촉불량 등으로부터 발생하는 전기자기파에 의해서도 정전 등 전력계통에 지장을 초래하지 않도록 CTOD에 전기자기파의 간섭에 대한 내성을 구비하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 CT 2차측 개방으로 인한 사고로 인적, 물적 피해가 빈번히 발생하기 때문에 이를 근원적으로 예방하기 위한 보호기술 및 안전장치의 개발이 국내외적으로 절실하게 요구되고 있어 이를 개발하여 실험적으로 그 성능을 입증하고자 하였다.

그 결과 CTOD는 규정된 기술기준을 잘 만족한다고 입증되었으며, 실험을 통한 CTOD의 주요 결과는 아래와 같다.

1) CTOD는 입력전압(39V, 45V, 60V) $\pm 5\%$ 이내에서 규정된 차단시간(1s, 2s, 3s, 4s) -4% 이내에서 CT의 2차측이 개방되었을 때 각 상이 원활하게 차단되었다.

2) 계전기 등과의 보호협조를 고려하여 CTOD에서 지연시간을 선택적으로 조정할 수 있는 기능을 갖도록 하였으나 CT 2차측의 개방에 따른 인체로의 위험성을 낮추기 위해서는 1s 이내의 차단시간이 효과적이라고 판단된다.

3) CTOD의 감지회로의 입력임피던스는 인체로의 감전위험성을 감안하여 정상시에는 $6M\Omega$ 이상으로 하였으며, 또한 CT 2차측 개방시에는 회로의 전압강하를 고려하여 0.1Ω 이하로 임피던스를 선택하였다.

참고문헌

- 1) 이윤중, 신편전기기계, 동명사, pp. 155~160, 1991.
- 2) Institution of Electrical Engineers, Power System Protection, pp. 38~39, ISBN 0-8529-6834-5.
- 3) Guile, A. & Paterson, W., Electrical Power Systems Volume One, pp. 330~331. ISBN 0-0802-1729-X.
- 4) 중대재해사례(전기), 월간산업안전, 1999.10.
- 5) Alternating Current Machines, 5th edition.
- 6) Heathcote. J & P, Transformer Book, 12th edition, pp. 2~3.
- 7) Calvert, James, Inside Transformers, University of Denver, Retrieved on 2007.
- 8) EN 61010-1 : 2001(2nd Edition)
- 9) EN 61000-3-2 : 2000.
- 10) EN 61000-3-3 : 1995+A1 : 2001.
- 11) EN 61000-6-2 : 2001.
- 12) EN 61000-6-4 : 2001 class A
- 13) 한국전기연구원 시험성적서, 2005TSO1127, 2005.6.