

초고압 절연시험을 위한 4.2MV 충격전압발생장치의 구축방안 검토

이정기^o, 신영준^o, 허종철^{*}, 문인욱^{*}, 김맹현^{*}, 강영식^{*}
 한국전기연구원 신뢰성평가센터^o, 시험평가부^{*}

A preliminary study on the construction of 4.2MV IVG for the UHV dielectric test

J.G. Lee, Y.J. Shin, J.C. Heo, I.W. Moon, M.H. Kim, Y.S. Kang
 Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - This paper, as a preliminary study, presents the important consideration in laboratory planning and designing 4.2MV impulse voltage generator(IVG), which enable to test and evaluate the UHV dielectric performance of power electric apparatus up to 765kV-class. To fix and confirm the kinds of loads and their capacities to be tested by KERI hereafter, wide investigation and an analysis of test objects, especially heavy electric apparatus of Korea, according to their ratings and test voltages have been conducted. With the special consideration concerning other matters in designing of 4.2MV IVG have been described with the practical examples and references.

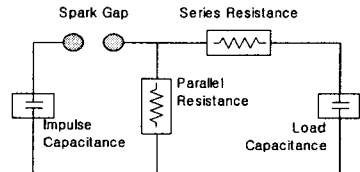


그림 1. 충격전압발생장치의 등가회로

이때 회로의 시정수 $R_S \cdot C_L$ 는 그림 2의 T_1 으로 표시한 파형의 파두시간을 결정하게 된다. 또한, 커패시터 C_L 과 C_L 는 회로에 서로 병렬로 접속되어 있으며 파미저항 R_P 에 의해 병렬로 방전되므로, 이때의 시정수 $R_P \cdot (C_1 + C_L)$ 는 충격전압 파형의 파미시간 T_2 를 결정하게 된다.

발생된 충격전압의 파형은 IEC 60060-1의 규정을 만족하여야 하는데, 다양한 부하범위(커패시턴스 및 인덕턴스)를 갖는 시험대상 전력기에 대하여 규격에 부합하도록 충격전압의 파형을 발생시키기 위해서는 단단회로로 구성되어 있는 충격전압발생장치의 stage 구성의 변경을 통한 C_L 의 변화외에 회로구성 소자값 등의 변화가 필요하다. 특히 파두 및 파미저항값의 변화를 통한 파형조정이 가장 용이한 기본적인 방법이다.

1. 서 론

전기에너지의 발생과 수송 및 안전한 사용을 가능하게 하는 GIS, Tr, 케이블, 애자금구장치 등 각종 전력기는 안전성과 신뢰성에 대한 성능검증이 국내의 규격 및 규정에 의해 필수적으로 요구되고 있다. 뇌격에 의한 전력계통에서의 뇌서어지나 회로개폐시 발생하는 개폐서어지에 대한 전력기의 절연성능을 평가하기 위해서는 이러한 과도 서어지를 인공적으로 모의할 수 있는 충격전압발생장치가 필요하다.

그러므로, 절연성능평가를 위한 초고압 충격전압발생장치를 구축하기 위해서 본 논문에서는 먼저 IEC 등 관련 국제규격을 검토하고, 우리나라에서 생산되어 사용되고 있는 충전기기 제품을 주요 대상으로 하여 그 종류 및 용량 등을 조사하여 분석함으로써 시험대상 전력기의 부하범위를 특정하였다. 또한, 설치장소인 한국전기연구원 초고압시험동의 크기에 대한 시험전압과의 절연협조 사항을 검토하고, 이를 바탕으로 하여 충격전압발생장치의 정격과 특성을 확정하고, 시험설비의 구성방안 등 기타 설비구축에 필요한 사항을 기술한다.

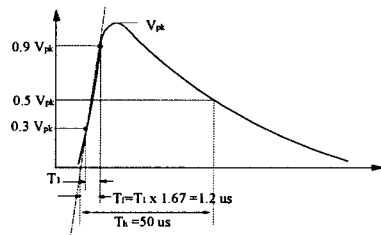


그림 2. 표준 뇌충격전압 파형(1.2/50μs)

2. 본 론

2.1 동작원리 및 관련 규격 검토

2.1.1 기본회로 및 동작원리

각종 전력기에 대한 충격전압시험은 1923년 Marx에 의해 제안된 충격전압 발생회로를 이용하여 이루어지고 있다. 그림 1에 나타난 것처럼 시험대상 전력기를 순수한 용량성 부하로 가정하면, 충격전압발생장치에 의해 발생하는 파형은 자기 다른 시정수를 갖는 이중시수합수로 표현할 수 있다.

그림 1의 회로에서, 충격전압발생장치의 커패시터 C_1 가 충전전압 V 로 충전되면 스파크갭 SG 가 동작하여 부하 커패시터 C_L 이 파두저항 R_S 에 의해 충전되며 C_L 에 의해 충전되게 된다.

2.1.2 관련 규격 검토

본 설비를 사용하여 수행할 각종 시험에 대한 IEC 및 ANSI 등 관련 규격과 개정동향을 조사하여 LI 및 SI의 최대 시험전압을 표 1에 나타내었다.

표 1. 765kV급 전력기에 대한 충격전압시험 최대치

구 분	LI (kVp)	SI (kVp)	비 고
변압기	2050(Full) 2255(Chop)	1700	ANSI/IEEE
GIS	2100	1425 ⁽¹⁾ 2420 ⁽²⁾	550kV-class 1760kV ⁽²⁾
애자 및 금구장치	2400 ⁽³⁾	1300 ⁽³⁾	
	3240 ⁽⁴⁾	1650 ⁽⁴⁾	

주) (1) to ground, (2) between phases,
 (3) withstand voltage, (4) flashover voltage

따라서 표 1과 같이 GIS, 변압기 및 애자급구장치 등 765kV급 전력기기에 대한 절연성능을 평가하기 위해 충격전압발생장치의 최대 출력전압은 뇌충격전압의 경우 최소 3500kV 이상이어야 하고, 개폐충격전압에 대해서는 최소한 1800kV 이상의 출력전압이 필요하다. 그리고, GIS의 상간 개폐충격 시험전압이 2420kV이지만 사용 가능성이 적어 본 논문에서는 고려사항에서 배제하였다.

2.2 설계시 고려사항

2.2.1 시스템 구성방안

초고압 절연성능 평가를 위한 충격전압발생장치의 전체적인 구성을 그림 3에 나타내었다. 충격전압 시험설비의 주 구성요소로서 충격전압발생장치(1)를 비롯한 충격전압 발생부(1,7), 충격전압발생장치의 전원공급과 충전을 담당하는 전원부(2,3), 발생된 충격전압의 출력파형 및 전압 등의 데이터 수신, 송신 및 저장·분석하는 측정기록부(5,6,9), 그리고 시스템을 구성하는 각 부분을 전체적으로 제어하는 기능의 제어부(4)로 구성된다. 시스템의 원활한 운영과 유지보수 및 측정의 신뢰성 확보를 위한 사항(8,10,11,12)도 고려하였다.

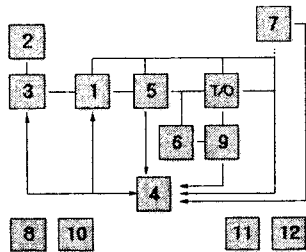


그림 3. 충격전압시험설비의 구성

여기서,

- 1: 충격전압발생장치 2: 절연변압기
 - 3: 충전장치 4: 제어장치
 - 5: 분압기 6: 기록 및 분석장치
 - 7: 급전과 충격전압 발생회로
 - 8: 이동장치 9: 분류기
 - 10: 예비부품 11: 측정·분석장치 교정설비
 - 12: 기타 제어 및 측정에 필요한 부속장치
- T/O: Test Object

2.2.2 설치공간에 대한 절연협조 검토

충격전압발생장치가 설치될 초고압시험동의 크기는 54.9m(W)×33m(L)×25.6m(H)로써 현재 구형 충격전압시험설비, 상용주파시험설비, 부분방전 및 RIV 시험설비, 주수시험설비, 직류전압시험설비 등이 설치되어 있으며, 시험동의 개략적인 도면을 그림 4에 나타내었다.

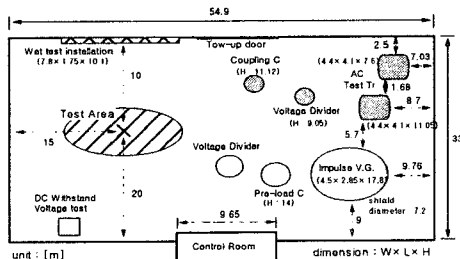


그림 4. 충격전압발생장치가 설치될 시험동의 개략도

충격전압발생장치와 인접한 물체간의 절연상태를 확보하기 위해 필요한 최소 이격거리는 전압의 종류와 크기

및 주변환경 등에 의해 결정된다. 특히, 개폐충격전압에 대한 소요 이격거리는 충격전압발생장치의 상부 전극(Top electrode)을 사용함으로써 상당히 감소시킬 수 있으며, 감소정도는 전극의 구조 및 설계방식에 따라 달라지게 된다. 상부전극을 가능한 최소화하면서 동시에 전개완화효과를 증가시킬 수 있도록 설계하는 것이 바람직하며, 세계적으로 충격전압발생장치의 설계·제작에 대한 기술력을 인정받고 있는 대표적인 업체들로부터 각 사별 기술 데이터를 입수하여 소요 이격거리를 검토하였으며, 대표적인 전력기기에 대한 시험전압별 절연확보에 필요한 최소 이격거리의 예를 표 2에 나타내었다.

표 2. 각종 전력기기에 대한 시험전압별 소요 이격거리

구분	LI (withstand)		LI (flashover)		SI (withstand)		SI (flashover)	
	V ⁽¹⁾	C ⁽²⁾	V	C	V	C	V	C
550kV GIS	1550	2.5	-	-	1760 ⁽³⁾	7	-	-
765kV GIS	2100	3.5	-	-	1425 ⁽⁴⁾	6	-	-
765kV 급구류	2400	4.0	3240	5.5	1300	5	1650	8

주) (1) voltage[kV], (2) clearance[m], (3) between phases, (4) to ground

전술한 바와 같이 관련 규격에서 규정하고 있는 충격전압시험에 필요한 출력전압과 이에 대한 소요 이격거리와의 관계를 도식적으로 그림 5에 나타내었다. 일반적으로 절연확보를 위한 소요 이격거리는 최대 시험전압을 사용할 경우에 충격전압발생장치의 상부전극을 기준으로 산출된다. 따라서, 설치공간의 활용성을 최대화하기 위해서는 시험전압별 이격거리에 대한 검토가 필수적이며, 그림 3의 8항에 표시한 이동장치(Air cushion)의 장착 및 사용을 통해 시험동내에서의 수평적 절연 이격거리 확보를 통한 충격전압시험설비의 운영범위를 확장시킬 수 있다.

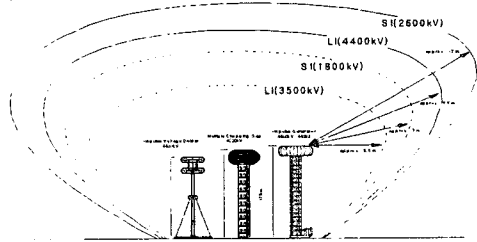


그림 5. 시험전압과 소요 이격거리와의 관계도

이상에서 설치공간의 크기, 시험대상 전력기기, 각 제조사별 충격전압발생장치의 크기 및 시험전압 등 절연협조 사항을 검토한 결과, 충격전압발생장치의 높이는 대략 4.0MV급이 16m이며, 평균적으로 0.8m/0.2MV로 높이가 증가하고 있다. 따라서, 4.8MV급 및 4.6MV급 충격전압발생장치는 높이가 각각 19.2m 및 18.4m로 본 장치가 설치될 시험동의 천장까지 1800kV 개폐충격전압시험에 필요한 7m 이상의 충분한 이격거리가 확보되지 않으므로, 4.4MV급 이하의 장치를 선정하는 것이 타당하다.

2.2.3 시험대상 부하

본 충격전압발생장치를 사용하여 절연성능을 평가할 대상은 765kV급까지의 전력기기이며, 본 논문에서는 우리나라에서 생산되어 사용되고 있는 중전기기에 대하여 그 종류, 부하범위 및 시험전압을 조사하였다. 조사 결과를 요약하면 부하의 종류별로 대략 표 3과 같으나, 본 데이터는 분압기 및 표류정전용량을 고려하지 않았기 때문에 실제 적용시에는 다소 차이가 있을 수 있다.

표 3. 시험대상 부하의 종류 및 범위에 대한 조사결과

기기명	부하 범위
GIS	0.5 ~ 5.5 nF
애자 및 금구류	0.5 nF 이하
케이블	4 ~ 9.4 nF
변압기 (고압측 권선)	3.9 ~ 5.4 nF, 0.19 ~ 0.83 H, 7 ~ 20 %Z
Shunt reactor (고압측 권선)	0.73 nF ~ 4.1 nF, 0.047 ~ 3.15 H

2.2.4 충격전압발생장치의 출력전압

충격전압발생장치의 출력은 시험대상 기기가 연결된 상태에서 설비로부터 피시험품에 인가되는 실제 시험전압을 의미하며, 2.2.3항에 기술한 부하를 대상으로 관련 규격에 적합한 시험이 가능해야 한다. 따라서, 본 충격전압발생장치의 출력전압은 상기의 시험대상 부하에 대하여 정·부극성 공히 최소한 다음의 값을 만족하도록 설계하였다.

- LI ≥ 3800 kV(for insulator), 2500 kV(for GIS, Tr.)
- SI ≥ 2200 kV(for GIS, insulator, Tr.)
- 급준파 전압 ≥ 2500 kV/μs(for insulator)

2.2.5 주요 구성요소

(1) Impulse capacitor

Impulse capacitor는 충격전압발생장치의 특성을 직접적으로 결정하는 가장 중요한 요소이므로, 커패시터의 정격전압, 에너지, 커패시턴스 등의 최적 사양설계를 통해 IVG의 성능을 향상시켜야 한다. 또한, 무엇보다도 커패시터의 충방전 특성을 나타내는 voltage reversal에 대한 기대수명을 특정해야 하므로, 기존 설비의 설계치와 제작사별 데이터를 검토하여 그 결과를 표 4에 나타내었다.

표 4. 제안된 Impulse capacitors의 설계사양

Voltage reversal(%)	기대수명	비고
0%	3,200,000 이상	- 정격전압 : 100kV
10%	2,000,000 이상	- 정격전압의 100% 충전상태
20%	1,200,000 이상	

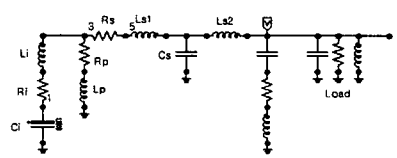
(2) 파형조정용 구성요소

2.1항의 동작원리에서 기술한 바와 같이 충격전압발생장치의 출력파형은 회로의 소자값을 바꾸므로써 조절할 수 있다. 따라서, 다양한 시험부하에 대해 관련 규격에 부합하도록 시험파형을 발생시키기 위해서는 파형 조정용 저항 등의 회로구성 소자에 대한 고찰이 필요하다. 제작사에 따라 충격전압발생장치의 내부 인덕턴스 및 시스템 파라미터가 다르므로 일괄적인 적용은 다소 무리가 있으나, 그림 6의 (a)와 같이 충격전압발생장치의 모의회로를 구성하고 제작사별 고유 데이터와 부하용량 및 시험전압 등을 적용하여 최대한 근사하게 분석한 결과, 뇌충격전압과 개폐충격전압 발생회로 구성을 위해 각 단별로 소요되는 파두 조정용 저항(series resistor)과 파미 조정용 저항(parallel resistor)의 종류는 각각 최소한 다음과 같아야 다양한 부하에 대한 대처가 가능한 것으로 나타났다.

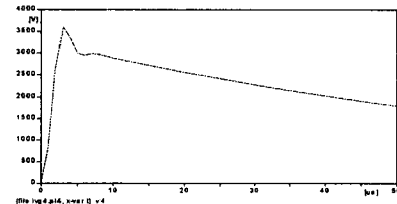
- LI series/parallel resistor : 2종/4종 이상
- SI series/parallel resistor : 4종/2종 이상

2.2.6 시스템 설계방안

지금까지 관련 규격에 부합된 초고압 충격전압시험의



(a) IVG 모의회로도



(b) LI 모의출력 파형의 예(GIS, 5.5nF)

그림 6. 충격전압발생장치 모의회로 및 출력파형의 예

수행을 위해 충격전압발생장치 설계시의 주요 고려사항에 대해 기술하였다. 관련 사항을 다각적으로 검토한 결과, 최대 출력전압, 에너지, 단수 및 외형크기 등 본 충격전압발생장치의 특성을 확정할 수 있었으며, 그 결과를 표 5에 나타내었다.

표 5. 제안된 충격전압발생장치의 정격 및 주요 사양

구분	정격 및 주요 사양
total charging voltage	4.2MV
max. output voltages (with loads)	≥ 3800kV(LI for insulator) ≥ 2200kV(SI) ≥ 2500kV/μs(SFI)
total energy	420kJ
full charging time	< 40sec
dimension	< 4.5m(W)×4.5m(L)×16.5m(H)

3. 결 론

본 논문에서는 초고압 절연시험설비의 성능개선작업 일환으로 계획한 UHV 충격전압발생장치 구축을 위한 사전검토 작업으로써 우리나라의 중전기기 제품을 주요 대상으로 하여 그 종류·용량 및 시험전압 등을 조사하고, 이를 바탕으로 하여 충격전압 시험설비의 구성과 정격을 확정하였으며, 기타 설비구축에 필요한 사항을 기술하였다. 본 논문을 통해 확정된 IVG의 설계사양에 따라 한국전기연구원의 초고압 절연시험설비가 새로이 구축될 것이며, 이를 활용하여 향후 국내외의 관련분야 연구시험활동에 기여하고자 한다.

[참고 문헌]

- [1] IEC 60060-1(1989) : High Voltage Test Techniques, Part 1 : General definitions and Test Requirement
- [2] Nils H.C, High voltage laboratory planning, Haefely, 1986
- [3] J. Wolf, A new solution for the extension of the load range of impulse generator, 10th ISH, 1997
- [4] W. schufft, W. schurader, A new marx generator for the simulation of lightning impulse voltages and currents, 8th ISH, 1993
- [5] IEC 60076-3(2000) : Power transformers, Part 3 : Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air
- [6] ANSI/IEEE C57.12.90(1996) : Standard test code for liquid-immersed distribution, power, and regulating transformers
- [7] Haefely AG website, www.haefely.com
- [8] Highvolt Pruftechnik Dresden GmbH website, www.highvolt.de
- [9] Passoni & Villa website, www.passoni-villa.com