

뇌임펄스전압파형의 개선에 관한 실험적 고찰

이정기, 김민규, 정주영, 김익수, 최익순, 문인욱, 강영식  
한국전기연구원

A experimental study on the improvement of lightning impulse voltage waveforms

J.G. Lee, M.K. kim, J.Y. Jeong, I.S. Kim, I.S. Choi, I.W. Moon, Y.S. Kang  
Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract** - In this paper, there have been brief review about 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 improve and reinforce the test ability of the IVG and itself against test object being tested by KERI hereafter, wide investigation and an analysis for a solution, especially overshoot compensation method. With the special consideration about those matters in settling down the 4.2MV IVG have been described with the experimental approaching.

압, 에너지, IVG의 stages 및 외형크기 등이 설계·제작되었고, 본 설비의 주요 부분을 그림1에 나타내었다.

표 1. IVG의 정격 및 주요 사양

구 분	정격 및 주요 사양
total charging voltage	4.2MV
max. output voltages (with loads)	3800kV(LI for insulator) 2200kV(SI) 2500kV/ $\mu$ s(SFI)
total energy	420kj
full charging time	40sec 이하
dimension	4.5m(W) $\times$ 4.5m(L) $\times$ 16.5m(H)

1. 서 론

충전기에 대한 초고압 절연시험설비의 성능개선작업 일환으로 추진된 한국전기연구원 UHV 충격전압발생장치(Impulse Voltage Generator)의 구축이 최근 완료되어 전기에너지의 발생과 수송 및 안전한 사용을 가능하게 하는 GIS, Tr, 케이블, 애자금구장치 등의 전기적 안전성과 신뢰성에 대한 성능평가에 크게 활용되고 있다. 공인시험기관 및 인증기관으로서 국내외에서 생산되는 다양한 종류와 부하범위를 갖는 충전기기 제품에 대하여 적절한 시험평가업무를 수행하기 위해서는 관련 국제규격의 제개정 활동에 적극적으로 참여하여 평가기준의 동향에 유연히 대처해야 하며, 소요 시험설비의 확보를 통해 시험전원, 인가파형 및 시험조건 등 관련 규격에 부합한 시험이 될 수 있도록 시험회로를 구성하여야 한다.

초고압 전력기기의 절연성능평가를 위한 시험회로는 평가대상 기기의 부하특성에 따라 그 구성방법이 크게 달라질 수 있으며, 부하의 범위에 따라 Overshoot 보상회로 또는 Glaninger circuit 등 별도의 회로구성소자에 대한 필요성이 제기될 수 있다. 본 논문에서는 먼저 IEC 등 관련 국제규격을 검토하고, 본 IVG의 기본적인 출력특성을 기술하였으며, 특히, 용량성 부하에 대한 뇌임펄스전압시험시 인가파형의 개선을 위한 제안사항과 대책을 실험적으로 고찰하였다.

2. 본 론

2.1 IVG 정격 및 주요 사양

초고압 절연시험을 위해 전기연구원에 새로이 구축된 IVG의 정격 및 주요 사양을 표 1에 나타내었다. 관련 규격에 부합하여 초고압 뇌임펄스전압, 개폐임펄스전압 시험 및 급준파충격전압시험이 가능하도록 최대 출력전

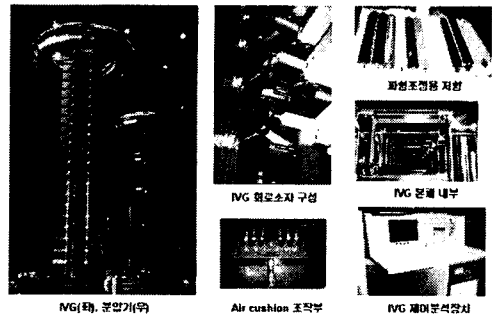


그림 1. 충격전압시험설비(IVG)의 주요 구성요소

2.2 IVG 출력특성

2.2.1 무부하특성

본 IVG로부터 발생하는 순수 충격전압의 크기와 파형의 만족도를 파악하기 위해 IVG와 분압기, 측정제어장치 등으로만 무부하 시험회로를 구성하여 IVG의 출력을 측정한 결과, 뇌임펄스전압(LI)의 경우 정극성 및 부극성 공히 4100 kV 이상이 발생되었으며, 그림 2에 무부하시의 LI 출력파형을 나타내었다.

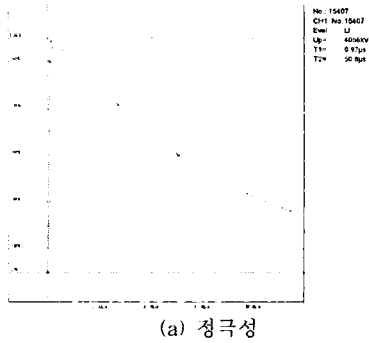
2.2.2 부하시험

피시험품(부하)의 종류 및 범위를 고려한 IVG의 성능평가를 위해 본 충격전압시험설비에 다양한 실부하를 삽입하여 부하별 시험전압과 부하의 크기에 따른 IVG의 직렬회로구성방안 및 출력특성 등을 조사한 결과, 설계사양을 만족하였다. 그림 3에 154 kV급 폴리머애자에 대한 뇌임펄스전압파형의 예를 나타내었다.

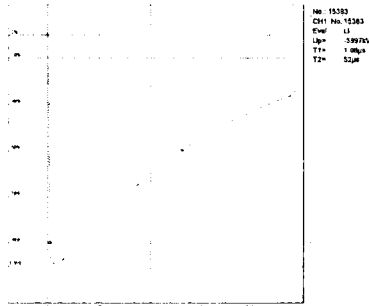
2.3 용량성 부하시험

2.3.1 관련 규격 검토

본 설비를 사용하여 수행할 각종 시험에 대한 IEC 및 ANSI 등 관련 규격의 주요내용을 표 2에 나타내었다.

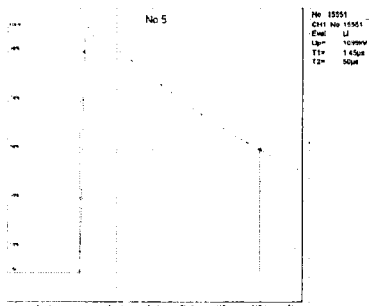


(a) 정극성

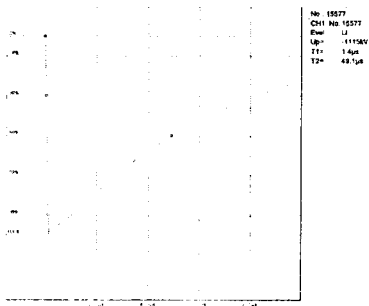


(b) 부극성

그림 2. 뇌임펄스전압 출력파형(무부하)



(a) 정극성



(b) 부극성

그림 3. 뇌임펄스전압 출력파형(송전용 애자)

데, 765 kV급 전력기기에 대한 절연성능을 평가하기 위한 충격전압발생장치의 최대 출력전압은 뇌임펄스전압의 경우 최소 3500 kV 이상이어야 함을 알 수 있다. 또한, GIS 등 비교적 큰 값의 정전용량(2.5 nF 이상)을 갖는

Capacitive load에 대한 뇌임펄스전압시험시 관련 규격에서 정하는 Overshoot 허용치(5% 이하)를 만족시키도록 출력파형을 일부 개선하기 위해서는 파라미터 변경의 한계가 있는 IVG의 Impulse capacitance 및 분압기(damped RC divider)와의 다른 출력파형조성용 소자를 이용하여야 한다.

표 2. 765kV급 전력기기에 대한 관련 규격

구분	LI (kVp)	SI (kVp)	비고
변압기	2050(Full) 2255(Chop)	1700	ANSI/IEEE
GIS	2100	1425 <sup>(1)</sup> 2420 <sup>(2)</sup>	550kV-class 1760kV <sup>(2)</sup>
애자 및 급구장치	2400 <sup>(3)</sup>	1300 <sup>(3)</sup>	
	3240 <sup>(4)</sup>	1650 <sup>(4)</sup>	

주1) (1) to ground, (2) between phases,

(3) withstand voltage, (4) flashover voltage

주2) Overshoot 허용치 < 5%

### 2.3.2 Overshoot

본 설비를 사용하여 800 kV GIS의 절연성능을 평가하고자 그림4와 같이 IVG, GIS 및 측정용 분압기를 결선하여 뇌임펄스전압시험을 수행하였다. IVG와 GIS간 거리는 15 m이며, 평가대상 GIS는 CB, DS, Bushing 및 기타 GIB류로 구성되어 약 2.5 nF의 부하용량과 길이 15.6 m, 높이 13.5 m의 구조를 갖고 있다. IVG의 stage를 1P13S로 구성하고, 파두 및 파미저항을 각각 10 Ω과 66 Ω으로 결선한 후의 IVG 출력파형을 그림 5에 나타내었다. 결과에서 보이듯이 용량성 부하시험시 overshoot가 발생되어 파형의 개선이 일부 필요한 것으로 판단되었다. 시험전압에 대한 절연거리확보 측면을 고려하여 IVG와 GIS간의 이격거리 조정(쿠우프의 축소)은 개선대책에서 제외됨이 바람직하다.



그림 4. 800 kV GIS에 대한 뇌임펄스전압시험

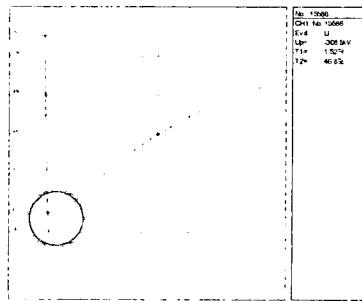


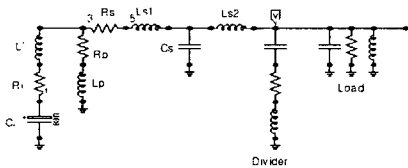
그림 5. LI 파형의 Overshoot 발생예(800 kV GIS)

## 2.4 뇌임펄스전압파형의 개선

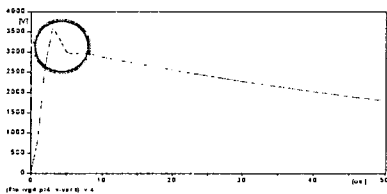
### 2.4.1 파형개선 방안

본 IVG는 1923년 Marx에 의해 제안된 충격전압 발생

회로를 이용한 것이며, 각기 다른 시정수를 갖는 이중지수 함수로 표현된 출력파형은 다단회로로 구성되어 있는 IVG의 stage 구성변경을 통한 IVG 자체의 Impulse capacitance 변화외에 파두 및 파미저항값의 변화 및 시험회로상의 인덕턴스 증감 등을 통해 조정되게 된다. 따라서, 다양한 시험부하에 대해 규격에 따른 시험파형을 발생시키기 위해서는 파형 조정용 저항 등의 회로구성 소자에 대한 고찰이 필요하다. 그림 6의 (a)와 같이 IVG의 모의회로를 구성하고, 부하용량 및 시험전압 등을 적용하여 내부 및 표류 인덕턴스와 시스템 파라미터를 추정분석한 결과, 큰 값의 용량성 부하에 대한 뇌임펄스전압파형의 개선을 위해서는 외부삼입형태로서 약 200 Ω의 제동저항과 약 10 Ω이하의 파두조정용 저항이 필요한 것으로 분석되었다.



(a) IVG 모의회로도



(b) LI 모의출력 파형예(GIS, 5.5nF)

그림 6. IVG 모의회로 및 출력파형예

### 2.4.2 개선안 적용

용량성 부하에 대한 뇌임펄스전압파형의 개선대책으로서 피형태의 저항체를 병렬로 연결하여 결선에 따라 150 ~ 600 Ω의 가변범위를 갖는 외부 제동저항을 제작·적용하였고, 파두조정을 위해 12 Ω의 저항을 추가로 사용하여 IVG의 단별 최소 파두저항치를 기존의 10 Ω에서 5.8 Ω까지로 조정의 폭을 대폭 확대시키는 방안을 채택하였다. 그림 7에 개선안으로 적용한 외부삼입용 제동저항의 구조와 결선방법을 나타내었다.

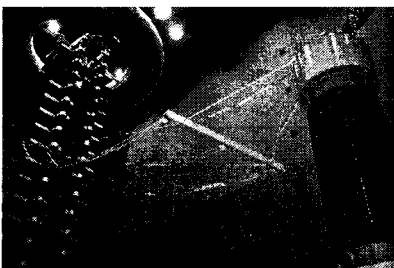


그림 7. 적용된 외부 제동저항(150 ~ 600 Ω)

시험부하는 2 nF과 0.5 nF을 병렬로 연결한 상태에서 외부 제동저항과 파두저항은 각각 200 Ω, 5.8 Ω이 삽입(IP13S)되었으며, 기타 시험조건은 상기 2.3.2항의 조건과 동일하였다.

본 논문에서 제안한 파형의 개선안을 적용한 결과 그림 8에 나타난 바와 같이 용량성 부하에 대한 LI시험시 Overshoot를 효과적으로 제어할 수 있었으나, 파형조정용 소자의 적절한 변화와 조합을 통한 시험회로 구성 및 기술적 대처능력 향상에 보다 심도있는 검토와 노력이 요망된다.

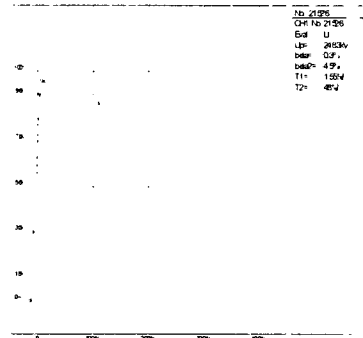


그림 8. 개선안 적용후의 뇌임펄스전압파형(2.5nF)

### 3. 결 론

본 논문에서는 초고압 절연시험설비의 성능개선작업의 일환으로 구축된 UHV IVG의 뇌임펄스전압파형의 개선에 관한 방안제시 및 실험결과에 대하여 기술하였다. 개선된 뇌임펄스전압파형을 비롯하여 무부하시나 여러 가지 실제 부하에 대한 본 IVG는 기본적인 특성과 IEC 등 관련규격에서 정한 시험파형의 만족도 등은 매우 우수한 것으로 평가되었으며, 설계요구사항을 만족하고 있다. 한국전기연구원은 공인시험기관으로서 앞으로 보다 다양한 종류 및 부하범위를 갖는 전력기기 성능평가시험의 수행이 예상되므로, 향후의 다양한 부하에 대한 시험능력의 확보와 관련분야 연구개발에 본 설비를 효과적으로 활용하기 위해서 시스템 구성요소의 개선과 시험기술의 개발을 통해 이러한 요구에 대처해야 할 것이며, 이를 통해 본 IVG를 이용한 초고압 절연시험능력이 극대화되어 향후 국내외의 관련분야 연구시험활동에 더욱 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 C.57.12.90(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