

離隔距離가 큰 電極에서의 空氣絶緣의 衝擊電壓特性 實證試驗

조연옥, 이형호, 최병주, 최영욱
한국전기연구소 고전압연구소

Full Scale Dielectric Tests for the Impulse Voltages
of Large Air Spacings

Yun-Ok Cho, Hyeong-Ho Lee, Byoung-Ju Choi, Young-Wook Choi
Korea Electrotechnology Research Institute, High Voltage Lab.

1. 序 論

電力系統은 常用周波電壓, 一時的 過度電壓 等の 電壓 스트레스를 받고 있으며, 安定되고 信賴性 있는 電氣를 供給하기 위해서는 이들 過電壓 스트레스를 견디어 내도록 設計되어야 한다. 그 中에서 雷 서어지 및 開閉서어지에 對한 絶緣設計는 대단히 重要하다.

衝擊電壓에 對한 空氣의 絶緣強度는 電力系統의 絶緣設計의 基本이 된다. 絶緣 離隔距離가 큰 空氣 中의 電極에 衝擊電壓을 印加할때의 放電現象에 對한 研究는 지금까지 많이 進行되어 왔다. 이러한 研究의 目的은 空氣絶緣構造의 衝擊서어지에 對한 絶緣強度를 正確하게 決定 하는데 있다. 電力系統의 絶緣은 크게 外部 絶緣과 内部 絶緣으로 나눌 수 있다. 外部絶緣은 바람, 비 등의 大氣條件으로 부터 露出된 모든 形態의 絶緣을 말하며, 공기 및 에자의 표면등은 외부絶緣의 代表적인 예이다. 内部絶緣은 大氣條件으로 부터 보호된 모든형태의 絶緣을 말하며, 變壓器의 액체絶緣 및 차단기의 가스絶緣은 그 예이다.

本 研究에서는 電力系統의 絶緣중 가장 많이 사용되는 空氣絶緣에 對하여 考察하였다. 特히, 離隔距離가 큰 공기絶緣에 着眼을 두었으며, 공기絶緣의 物理的 現象에 집중하기 보다는 衝擊電壓에 對한 空氣絶緣破壞 試驗 및 分析에 着점을 두고 實證試驗을 실시, 그 結果를 관련研究結果와 비교 분석하였다.

模擬기술은 系統의 合理的인 絶緣設計의 근거를 산출하기 위하여 꾸준히 발전되어 왔으며, 系統의 電壓이 上昇함에 따라 계속 進展될 研究 부분이다. 離隔距離가 큰 전극에서의 空氣의 絶緣特性시험을 위한 시험전극은 대기간 시험전극과 상간 시험전극으로 나눌 수 있다.

本 研究에서는 이격거리가 큰 전극에서의 충격전압에 대한 공기절연의 實證試驗을 위해 棒-平板, 棒-棒電極을 다양한 形狀으로 제작하여 각 形狀에 따른 閃絡특성을 분석할 수 있도록 하였다. 그 結果로서 345KV 수준까지의 전력系統의 絶緣設計에 應用될 수 있는 棒-平板, 棒-棒的 對地間 試驗電極의 적절한 形狀을 유도할 수 있었다. 본 연구를 위하여 제작한 시험전극의 形狀 및 배치도는 그림 1과 같다.

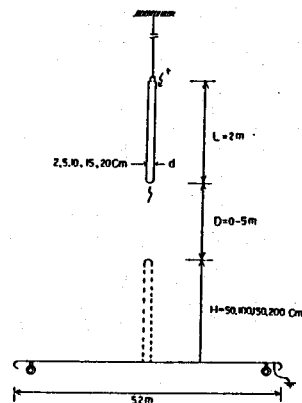


그림 1. 시험에 사용한 전극의 形狀
Fig. 1. Electrode Configuration used in the tests

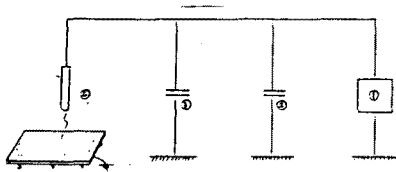
2. 空氣絶緣強度試驗

2.1 試驗電極

高電壓 系統에서 空氣의 絶緣特性을 파악하기 위한 實質的인 方法으로 지금까지 閃絡부위를 模擬한 적절한 電極을 사용하여 왔다. 電極

2.2 試驗電壓 및 試驗回路

본 試驗에서 사용한 試驗電壓은 電力系統에 침입하는 雷 서어지를 模倣한 雷 衝擊 電壓 (1.2/53 μ s)과 차단기 및 단로기등의 閉閉 조작시에 발생하는 閉閉 서어지를 模倣한 閉閉衝擊 電壓 (250/2500 μ s)이며, 正極성이 負極性 보다도 더 가혹한 閃絡特性을 가지고 있기 때문에 正極性으로 선택하였다. 試驗回路는 그림2와 같다.



- ① 충격전압 발생기 4000KV
- ② 부하 커패시터 1000pF ± 10%
- ③ 코일기 500pF, 500 Ω , 전계 4000KV
- ④ 시료 (棒-평판, 봉-봉)

그림 2. 試驗回路
Fig. 2. Test circuit

2.3 試驗方法

電力系統 및 기기의 相間·對地間 최적絶緣 離隔距離 및 耐電壓 산정시 50% 閃絡 電壓은 대단히 重要하므로, 이의 측정에 중점을 둔다. 50% 閃絡電壓은 수회에 걸친 예비試驗으로 破壞電壓을 기각 추정할 후 IEC 60에 규정된 승강법에 의하여 실시한다. 각 試驗조건 마다 40회 이상 電壓을 인가하여 각각의 閃絡여부와 그때의 電壓을 측정 한다.

본 研究에서는 다음과 같은 試驗을 실시하였다.

- (1) 棒-平板 電極에서의 50% 雷衝擊 및 閉閉 衝擊 閃絡電壓 試驗
- (2) 棒-棒 電極에서의 50% 雷衝擊 및 閉閉 衝擊 閃絡電壓 試驗
- (3) 棒-平板 電極에서의 棒電極의 直徑에 대한 50% 閃絡電壓 試驗
- (4) 棒-棒 電極에서의 接地측 電極의 지상고 에 대한 50% 閃絡電壓 試驗

3. 試驗結果 및 考察

3.1 電極間 離隔距離에 대한 50% 閃絡電壓 特性

正極性 雷 衝擊電壓을 棒-平板電極에 인가하였을 경우의 電極間 離隔距離에 대한 50% 閃絡電壓은 그림 3과 같다.

Lightning impulse Test Results(R-P)

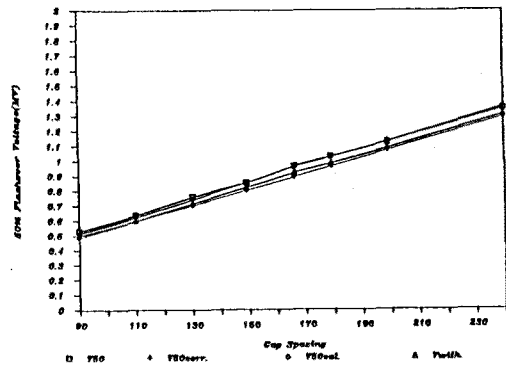


그림 3. 棒-平板 電極의 離隔距離에 대한 50% 雷 衝擊閃絡電壓

Fig 3. 50% Flashover voltage versus the gap of rod-plane electrode, with positive lightning impulse voltage.

그림 3에서 V50은 閃絡電壓의 측정치이며, V50 corr.은 표준대기 조건으로 환산한 50% 설락 電壓이다. V50cal은 實驗式에 따라 계산한 50% 閃絡電壓이다.[7]

$$V50=5.4d \quad (d=50-350\text{cm}) \quad (1)$$

본 시험에서 측정된 설락전압과 실험식 (1)에 따라 계산한 50% 閃絡電壓을 비교 하여 본 結果 최대 8% 이내의 오차가 발생하였으나 이는 인정할 수 있는 수치이다. 따라서, 棒-平板電極에 正極性 雷衝擊 電壓을 인가할 경우 50% 설락 電壓은 다음과 같은 일반식으로 나타낼 수 있다.

$$V50=Es \cdot d \quad (2)$$

식(2)에서, V50은 50% 閃絡電壓[KV], Es는 50% 설락 확률에서의 電界強度[KV/m], 그리고 d는 電極間 離隔距離[m]이다.

그러므로, 棒-平板 電極의 雷 衝擊電壓에 대한 50% 閃絡電壓은 電極間 離隔距離에 비례함을 알 수 있다.

그림 3에 나타난 耐電壓(Vwith)은 관련식에 따라 계산한 결과이다. [7,8]

$$Vwith.= V50(1-1.3\sigma) \quad (3)$$

식(3)에서, σ 는 표준 편차로서 雷 衝擊電壓에서는 0.03, 閉閉 衝擊電壓에서는 0.06으로 주어진다.[7,8]

正極性 雷 衝擊電壓을 棒-棒 電極에 인가하였을

경우의 50% 閃絡電壓은 그림4와 같다.

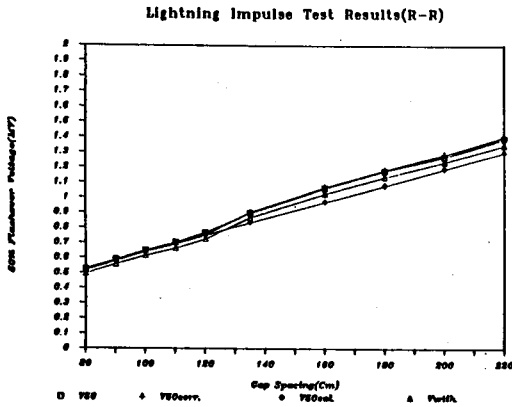


그림 4. 棒-棒 電極의 電極間 離隔距離에 대한 50% 雷 衝擊電壓

Fig 4. 50% Flashover voltage versus the gap of rod-rod electrode, with positive lightning impulse voltage.

棒-棒 電極의 正極性 雷 衝擊 電壓에 대한 50% 閃絡電壓의 實驗式은 식(4)와 같다.[7]

$$V50=90+5.5d \quad (d=50-350\text{cm}) \quad (4)$$

식(4)에 따라 계산한 계산치와 본 試驗의 실측치와는 거의 일치하고 있다. 따라서, 棒-棒 電極의 50% 閃絡電壓은 棒-平板 電極의 경우와 같이 電極間 離隔距離에 비례하는 특성을 가지고 있으며, 棒-棒 電極 쪽이 棒-平板 電極보다 50% 閃絡電壓이 높다.

閉閉 衝擊電壓을 棒-平板 및 棒-棒 電極에 인가 하였을 경우의 50% 閃絡電壓을 나타내면 그림 5 및 그림 6과 같다.

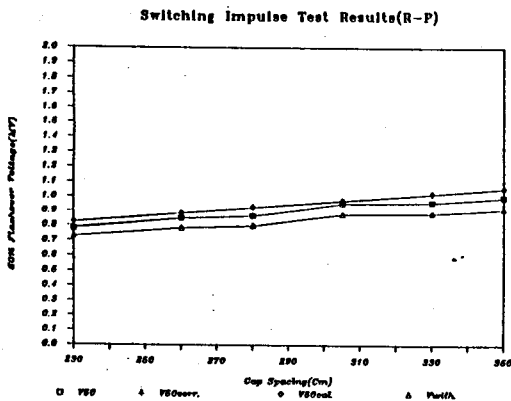


그림 5. 棒-平板 電極의 電極間 離隔距離에 대한 50% 閉閉 衝擊電壓

Fig 5. 50% Flashover voltage versus the gap of rod-plane electrode, with positive switching impulse voltage.

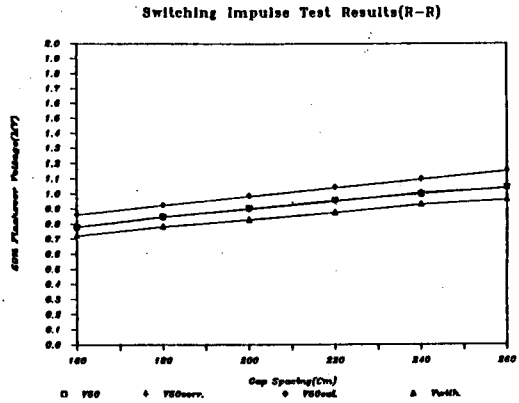


그림 6. 棒-棒 電極의 電極間 離隔距離에 대한 50% 閉閉 衝擊電壓

Fig 6. 50% Flashover voltage versus the gap of rod-rod electrode, with positive switching impulse voltage.

관련 研究結果에 의하면, 閉閉 衝擊電壓의 50% 閃絡電壓의 實驗式은 식(5,6)과 같다.[7]

$$V50=K \cdot V50_{rod-plane} \quad (5)$$

$$V50_{rod-plane}=500 \cdot d \quad (6)$$

식(5)의 K는 갭인자(Gap Factor)로서, 棒-棒 電極에서 하부 接地電極의 높이가 3m 일때 1.3을 적용시킨다.[1,7]

식(5)과 식(6)에 의하여 계산한 結果와 본 試驗의 실측치와는 10% 이내의 오차가 발생 하였으나 인정할 수 있는 結果이다.

그림5와 그림6에서는 電極間 離隔距離의 변화 범위가 비교적 크지 않기 때문에 포화하는 경향은 두드러지게 나타나지는 않으나 포화하는 특성을 나타낸다.

試驗電極에 正極性 雷 衝擊 및 閉閉 衝擊電壓을 인가 하였을 경우의 電極間 離隔距離에 대한 50% 閃絡電壓을 종합하여 나타내면 그림 7과 같다.

그림 7로 부터, 棒-平板 電極의 50% 衝擊 閃絡電壓은 棒-棒 電極의 閃絡電壓 보다 낮으며, 또한 동일 試驗電極에서는 50% 閉閉 衝擊 閃絡電壓이 50% 雷 衝擊 閃絡電壓 보다 낮다. 이 현상은 電極間 離隔距離가 클수록 심한 것을 알 수 있다.

L.I & S.I Test Results

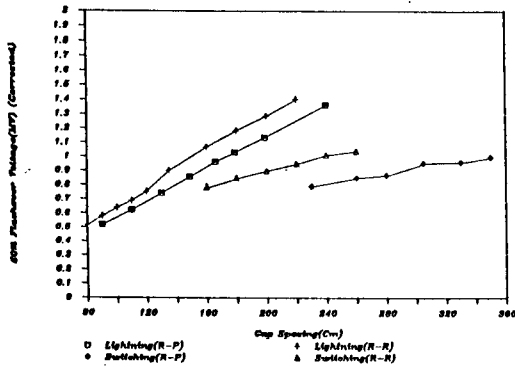


그림 7. 試驗電極의 50% 衝擊閃絡電壓
Fig 7. 50% Flashover voltage versus the gap of testing electrodes.

3.2 50% 閃絡電壓에 미치는 電極直徑의 영향

棒-平板 電極에서 棒 電極의 直徑의 變化가 50% 閃絡電壓에 미치는 영향을 조사 하기 위하여 電極 直徑을 變化시켜가면서 試驗한 結果를 그림 8 에 나타내었다.

Lightning & Switching Impulse Test
50% Flashover Voltage (Rod-Plane)

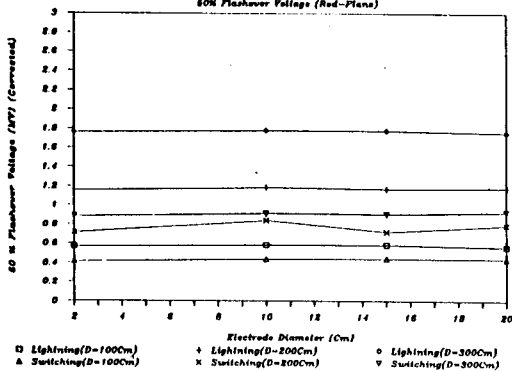


그림 8. 電極直徑에 대한 50% 閃絡電壓
Fig. 8. 50% Breakdown voltage versus the diameter of rod-plane electrode

그림 8에서 인가한 試驗電壓은 0.9/45.5 μ s의 雷 衝擊電壓과 245/2715 μ s의 閉閉衝擊電壓이다. 그림 8로부터 棒 電極의 直徑이 變化해도 50% 閃絡電壓은 약간씩은 變化하지만 거의 일정하다고 볼수 있다.

3.3 棒-棒 電極의 50% 閃絡電壓에 미치는 代지의 영향

棒-棒電極에서 하부電極의 높이가 50% 閃絡電壓에 미치는 영향을 조사하였다. 試驗電壓은 0.9/45.5 μ s의 雷 衝擊電壓과 245/2715 μ s의 閉閉 衝擊電壓이다. 接地電極의 높이와 電極間 離隔距離에 대한 50% 閃絡電壓은 그림 9와 같다.

Lightning & Switching Impulse Test

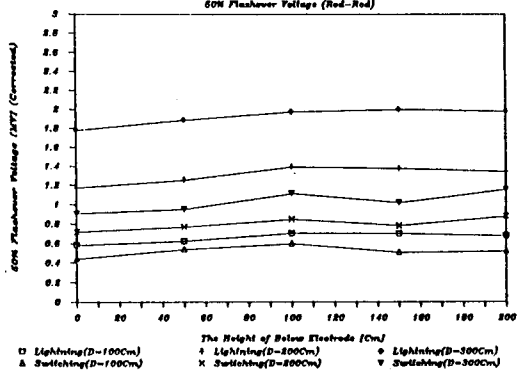


그림 9. 接地電極의 높이와 電極間 離隔距離에 대한 50% 閃絡電壓
Fig. 9. 50% Breakdown voltage versus the height of earthed electrode and gap spacings

그림 9에서 50% 閃絡電壓은 접지전극의 높이에 따라 약간씩 증가함을 알 수 있고 이는 棒-平板 電極의 閃絡特性이 점차적으로 棒-棒 電極의 閃絡特性으로 變化되어 가는것을 보여준다.

4. 結 論

離隔距離가 큰 電極에서의 공기절연의 衝擊電壓 實驗試驗을 통하여 다음의 結論을 얻었다.

1. 전력계통의 구조물을 模擬한 棒-平板電極 및 棒-棒電極의 50% 衝擊閃絡電壓을 구하였으며 이는 관련 研究結果와 類似하였다.
2. 전력계통의 구조물을 模擬한 대규모 試驗電極을 設計 製作하였다. 그 結果로서 345KV 수준 까지의 系統의 絶緣設計에 응용 될 수 있는 棒-平板, 棒-棒의 對地間 試驗電極의 적절한 形狀을 誘導 할 수 있었다.
3. 電極間 離隔距離에 대한 50% 閃絡電壓 特性을 分析하였다.
4. 棒-平板電極에서 棒電極의 直徑이 2-20Cm 인 범 위에서는 50% 衝擊閃絡電壓은 一定하였다.
5. 棒-棒電極에서 接地電極의 높이가 50-200 Cm인 범 위에서는 50% 衝擊閃絡電壓은 增加하는 경향을 나타낸다.

參 考 文 獻

- [1] L.Paris, A.Taschini(Italy), K.H.Schneider, K.H.Weck(Germany), "Phase-to-phase and phase-to-ground air clearances in substations", ELECTRA No. 29, 1973, pp 29-44
- [2] Mr.V.Palva, Task Force 33.03.03, "Switching Impulse Test procedure for phase-to-phase air insulation" ELECTRA No. 30, 1973, pp 55-59
- [3] K.H.Schneider and K.H.Weck, "Parameters influencing the gap Factor", ELECTRA No. 35, July 1974, pp 25-48
- [4] Laurence E.Kline, "Corona Cloud Model Predictions of Switching Surge Flashover Voltages vs. Electrode Geometry", IEEE PAS-94, No. 5, 1975, pp 1518-1523
- [5] R.Cortina, E.Garbagnati, A.Pigini, G.Sartorio, L.Thione, "Switching Impulse Strength of phase-to-Earth UHV External Insulation", Research at the 1000KV Project, IEEE PAS-104, No. 11, pp 3161-3168
- [6] IEC Pub. 60., "High Voltage Test Techniques".
- [7] J.M.Meek and J.D.Craggs, "Electrical Breakdown of Gases", John Wiley & Sons, 1978, pp 608-653
- [8] IEC pub. 71, "Insulation Coordination"
- [9] Klaus Ragaller, Surges in High-Voltage Networks, PLENUM PRESS, pp 165-206
- [10] Toshio Suzuki and Kunihiro Miyake, "Experimental Study of Breakdown Voltage-Time Characteristics of Large Air Gaps with Lightning Impulses", IEEE PAS-96, No. 1, (January/February, 1977), pp 227-233
- [11] Luigi Paris, Rosario Cortina, "Switching and Lightning Impulses Discharge Characteristics of Large Air Gaps and Long Insulation Strings", IEEE PAS-87, No. 4, (April, 1968), pp 947-957