

紫外線測定에 의한 트리거트론始動特性的 解明

○*高 光哲 *石井 彰三 **張 龍茂 **姜 衡富
*東京工業大學 **漢陽大學校

Elucidation of triggering characteristics for a trigatron spark gap by measuring UV light

*K.C.Ko *S.Ishii **Y.M.Chang **H.B.Kang
*Tokyo Institute of Technology **Hanyang Univ.

Abstracts

Triggering characteristics of a trigatron spark gap have been studied by measuring self-emission UV light. By combining the measurement of the UV light with that of the trigger gap voltage and the main discharge current, we distinguished clearly the differences between the trigatron operations in which the main discharge occurs after the trigger discharge in the case of same polarity between the trigger pin and the main electrode at the opposite side, and the main gap breakdown takes place before the formation of the trigger spark in the case of different polarity. We show the observation of UV radiation with the other electromagnetic measurements is a simple and reliable scheme to investigate the triggering properties of the trigatron spark gaps.

1. 結論

트리거트론은 한쪽 주電極의 軸上에, 一般적으로 트리거핀이라고 하는 金屬電極을 主電極과 絶緣한 狀態로 挿入한 세箇의 電極으로 構成된 構造의 스위치이며, 다른 스위치素子에 비해 構造가 簡單하고, 또 相對적으로 낮은 트리거電壓 펄스로 始動할 수 있는 등의 特徵을 갖고 있다. 1940年代 初期에 레이다의 高出力變調器의 스위치로서 開發된 以後[1], 數十 kA程度의 大電流를 ns級으로 投入할 수 있는 스위치로서, 約 半世紀 지난 지금도 펄스 파워實驗에 있어서 一般적으로 널리 使用되고 있다. 現在까지도 트리거트론에 代身하는 高速이면서 大容量의 스위치素子로 實用化되어 있는 것은 없는데, 始動遲延時間과 jitter時間이 더욱 짧은 트리거트론을 設計하기 위해서는, 트리거트론의 始動機構가 밝혀져야 하며 또한 turn-on 特性을 測定할 수 있는 簡單한 方法도 開發되어야만 한다. 트리거트론의 主電極 사이에 絶緣破壞를 誘發시켜, 아아크의 導通狀態에 이르기까지의 始動機構에 대해서는 從來부터 많은 研究가 行해져 왔으며, 다음과 같은 두가지 機構에 의해 트리거트론이 動作한다고 議論해 왔다; 1) 트리거핀이 挿入되어 있는 主電極 (以下, 트리거付主電極이라고 함) 과 트리거電極 사이에 스파이크가 일어나, 이로 인해 主電極 사이에 아아크柱가 形成되는 것과[2-4] 2) 트리거핀과 트리거付主電極과의 사이에 스파이크가 發生하기 前에 트리거電極 先端 周圍의 電界歪曲에 의해 스트리머가 形成되어, 이에 의해 主電極 사이에 絶緣破壞가 일어난다고[5-8] 하는 두가지의 생각이다. 이러한 始動機構에 關한 研究는 高速度카메라 혹은 可視光의 強度測定등을 利用한 實驗에 根據를 두고 행해진 것으로, 電極間端子電壓, 스위치電流는 물론 放電에 의해 生기는 紫外線을 測定해 議論한 例는 없다.

最近의 다른 研究에 있어서는 放電時 發生하는 可視光만을 光學的으로 測定해 後者の 機構로 結論을 낸 報告도 있으나[9], 本 研究에서는 펄스放電의 初期段階에 紫外線이 發生하는 것에[10] 着目해, 紫外線強度 및 放射時間을, 同時에 測定한 트리거付主電極과 트리거電極 사이의 端子電壓 (以下, 트리거갭電壓이라고 함) 및 主電極間 放電電流를 比較하여, 트리거트론의 始動機構를 定量的으로 解明했다.

2. 實驗裝置 및 測定

實驗回路的 概略圖는 그림 1. 과 같다. 이 回路는 試驗트리거트론 S1 과 트리거펄스 電壓發生器로 構成되어 있으며, 로고스키코일 RC와 電壓分壓器 VD의 測定系도 나타나 있다. 두 主電極은 銅과 텅스텐의 合金으로 되어 있고, 트리거트론은 空氣중에서 動作시키며 主電極間距離는 調整할 수 있다. 트리거付主電極은 直徑이 27mm의 圓筒形이며 接地되어 있고, 트리거電極과 마주보는 다른 하나의 主電極 (以下, 對向主電極이라고 함)의 直徑은 45mm로 曲率을 가진 形狀을 하고 있다. 트리거電極은 外徑 7mm의 圓筒形 알루미늄 絶緣物로 絶緣되어 있으며 트리거電極, 알루미늄 絶緣物, 트리거付主電極은 같은 平面上에 位置해 있다. 트리거트론의 主電極은 약 30kV까지 充電할 수 있는 4000pF의 세라믹콘덴서에 接續되어 있으며, 트리거펄스電壓은 自動車用 접화 플러그를 使用한 갭스위치 S2 를 通해 充電된 2000pF의 세라믹콘덴서를 放電 시킴으로써 얻어진다. 抵抗R은 트리거放電電流를 制限하기 위한 것이며, 트리거電壓 펄스를 위한 充電電壓은 -15kV ~ +15kV의 範圍이다. 트리거펄스電壓과 對向主電極과의 極性を 考慮하면, 트리거트론은 네가지의 極性關係를 가지고 動作될 수 있다. 트리거갭電壓은 容量性電壓分壓器[11]로 測定했으며, 로고스키코일은 主電極 사이의 放電電流를 測定하는데 使用한다. 트리거트론에서 發生하는 紫外線의 強度는 紫外線專用 光電子倍增管 (Hamamatsu R1 657) 을 使用해 測定하는데, 이 光電子倍增管의 分光感度는 紫外線領域인 160 ~ 320 nm의 範圍이다. 트리거펄스電壓, 主電極間 印加電壓, 極性關係, 抵抗值R을 變化시키어 가면서 實驗했다.

3. 實驗結果 및 考察

本 實驗에서 얻어진 主電極間 電流, 트리거갭電壓, 트리거트론으로부터 放射되는 紫外線의 時間的 關係가 그림 2. 에 나타나 있다. 여기서 主電極 사이에 印加하는 電壓과 트리거電壓은 各各 14kV와

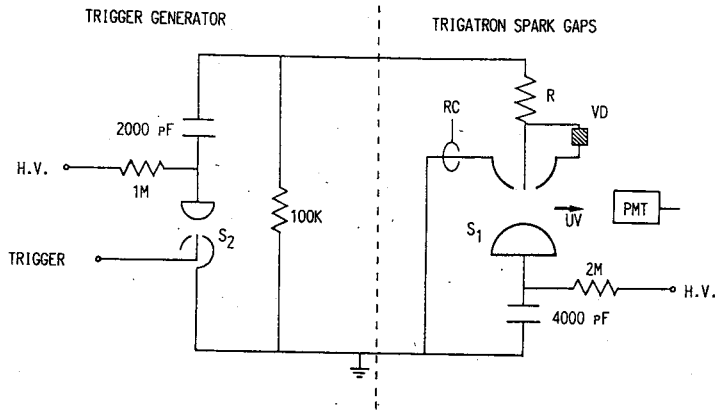


그림 1. 實驗回路的 概略圖

10kV이며, 主電極間距離는 5 mm이다. 極性關係를 簡單히 나타내기 위해, 例를 들어 (+, -)로 表示하면, 첫번째의 符號는 트리거電極의 極性이 正임을, 두번째의 符號는 對向主電極의 極性이 負임을 나타낸다.

그림 2.(c)는 主電極 사이에 電壓을 印加하지 않은 狀態에서 트리거電壓펄스를 投入했을 경우 트리거갭에서 發生하는 紫外線과 트리거갭電壓의 波形을 나타낸 것으로, 強度가 낮은 紫外線펄스가 얻어진다. 그림 2.(a),(b)는 主電極 사이에 電壓을 印加한 後 트리거電壓을 投入한 경우이며, 緒論에서 論한 두가지 始動機構를 나타낸 것으로, 그림 2.(c)와 比較할 때, 極性關係가 (+, +)인 경우,

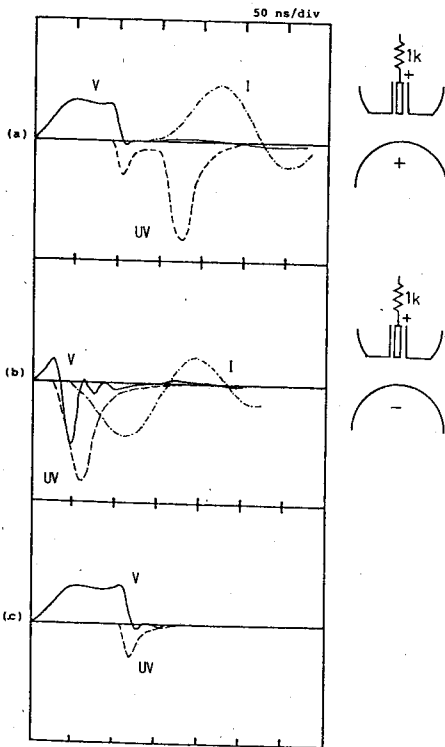


그림 2. 主電極間電流, 트리거갭電壓, 放射紫外線의 時間的關係

트리거갭에서 스파이크가 일어난 後 主電極 사이에 放電이 일어난다. 그러나 極性關係가 (+, -)인 경우, 빠른 始動特性이 얻어지는데, 트리거갭에서 스파이크가 일어나기 30ns 前에 強度가 큰 紫外線이 發生하는 것을 알 수 있다.

그림 3.은 네가지의 極性關係에 대한 紫外線과 트리거갭電壓의 波形을 나타낸 것으로, 하나의 極性關係에 대해 처음은 트리거放電만을, 두번째는 主放電 때 얻어진 波形을 重疊한 것이다. 그림 3.(a)는 (+, +)로, 弱한 紫外線이 發生한 데 이어 強한 紫外線이 發生한다. 紫外線의 強度 및 發生時間 그리고 트리거갭電壓의 時間的 變化가 트리거放電 때와 一致하기 때문에, 첫번째 發生한 紫外線은 主放電電流가 上昇하기 始作할 때 發生한 것이 明白하다. 主電極 사이의 絶緣破壞는 트리거放電이 일어난 다음 約50ns 後에 생기며, 全體의 印放電의 遲延時間은 約200 ns이다. 그림 3.(d)는 (-, -)로, 이들 波形으로는 始動機構를 定義하기는 어렵지만, 放電初期의 갯터를 考慮하면, 主放電은 트리거放電이 일어난 後 생기는 것을 알 수 있다. 따라서 트리거펄스電壓의 極性이 對向主電極의 極性和 같은 경우, 主電極 사이의 絶緣破壞는 트리거放電이 일어난 後에 發生된다는 것을 알 수 있다.

그림 3.(b),(c)는 極性關係가 各各 (+, -), (-, +)로, 그림 3.(a),(d)와 그 始動特性이 다르다. 트리거갭電壓이 變化하기 始作할 때 強한 紫外線이 發生하며, 그 發生時間은 트리거放電만 일어난 경우와 (+, +), (-, -) 極性關係를 가진 경우에 비해 빠른 것을 알 수 있다. 그림 3.(b)에서 正의 트리거갭電壓은 피크值에 到達하기 前에 減少하며, 그 極性이 바뀐다. 이는 트리거電極과 對向主電極 사이에 스트리머의 進展 때문이며, 트리거電極과 對向主電極이 스트리머에 의해 電氣적으로 連絡될 때 트리거갭電壓은 主電極과 같은 電位를 갖는다. 電壓이 零으로 떨어질 때 導電性 아아크柱가 形成된다.

똑 같은 始動機構를 負트리거 動作에서도 볼 수 있는데, 主放電電流와 트리거갭電壓의 時間的變化가 그림 4.에 나타나 있다. 負의 트리거갭電壓이 極性を 바꿀 때, 스트리머進展에 의한 작은 量의 電流가 主電極 사이에 흐르기 始作한다. 스트리머가 導電性 아아크로 發展하기 때문에 電壓極性이 다시 바뀔 때 主放電電流는 瞬間적으로 上昇하기 始作한다.

이들 時間的關係를 紫外線放射와 함께 測定하면 始動遲延時間등과 같은 트리거트론의 turn-on 特性을 쉽게 觀測할 수 있다. 그림 5.는 自發電壓의 63%인 $\pm 10kV$ 를 主電極 사이에 印加했을 경우, 트

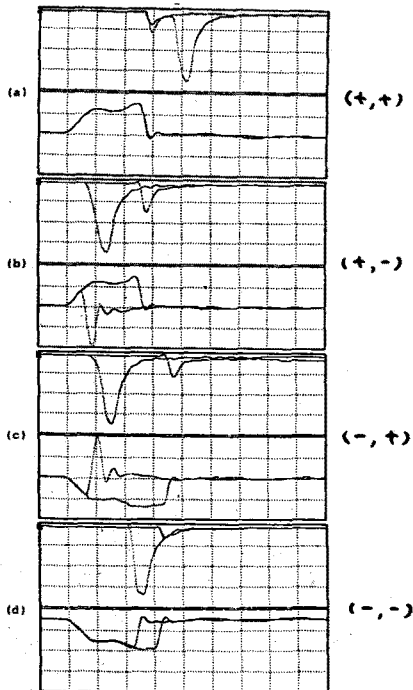


그림 3. 네가지 極性에 대한 紫外線과 트리거갭電壓의 波形

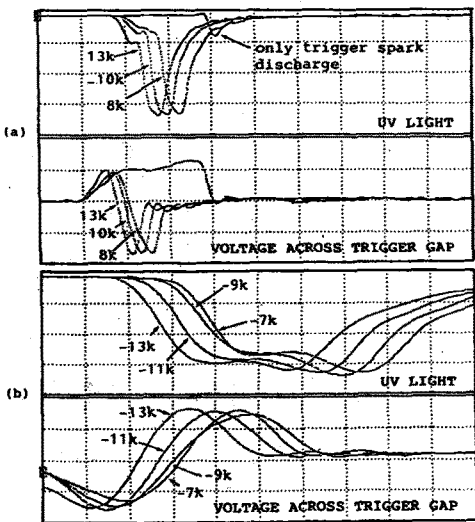


그림 5. 트리거電壓에 대한 始動遲延時間

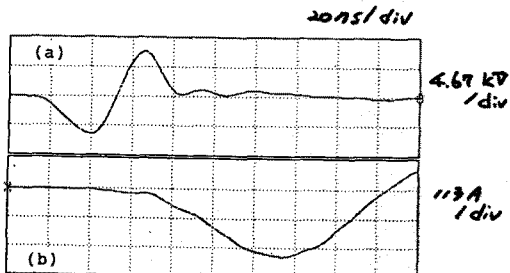


그림 4. 트리거電壓과 主放電電流의 波形

리거電壓值에 의해 始動遲延時間이 變化하는 것을 나타낸다. 光電子倍增管을 포함한 紫外線測定系의 信號傳送遲延을 較正하면, 極性關係가 (+, -)인 경우 8 ~ 13kV까지의 트리거電壓에 대해 始動遲延時間은 80 ~ 57ns이었다. 빠른 turn-on 特性을 얻기 위해서는 트리거電極에 直列로 接續된 抵抗 R이 클수록 좋다.

4. 結論

지금까지의 트리거트론에 대한 始動機構의 研究는, 트리거트론으로부터 發生되는 可視光을 高速度 카메라 등으로 測定함으로써 行해져 왔다. 本研究는 이와는 다른 觀點에서 펄스放電의 初期段階에 스파이크로부터 發生하는 紫外線에 着目했다. 트리거電壓 및 主放電電流와 함께 紫外線을 測定 比較함으로써 트리거트론의 動作에는 다음과 같은 相異가 있음을 確實하게 區別했다. 트리거電極과 對向主電極의 關係가 同極性일 경우, 트리거放電後에 主放電이 일어나며, 異極性일 경우, 트리거갭에 스파이크가 形成되기 前에 主放電이 일어난다. 따라서 다른 電磁氣的인 測定과 함께 紫外線을 測定하는 方法은, 트리거트론의 始動特性을 調査하는데 있어서 簡單하며 信賴할 수 있는 것이다. 펄스放電의 初期에 紫外線이 發生한다는 特性을 利用하면, 아직까지 알려지지 않은 放電特性을 發見할 수 있을 것으로 期待된다.

【參考文獻】

- [1] J.D.Craggs, M.E.Haine and J.M.Meek: Proc.Inst.Electr.Eng. 93A(1946)963
- [2] A.M.Sletten and T.J.Lewis: ibid.104C(1957)54
- [3] T.E.Broadbent: Brit.J.Appl.Phys. 8(1957)37
- [4] T.E.Broadbent and A.H.Shlash: ibid. 14(1963)687
- [5] P.I.Shkuropat: Sov. Phys.Tech.Phys. 14(1970)943
- [6] Y.Yoshida and K.Sugita: J.Phys.Soc.Jpn. 38(1975)1229
- [7] M.R.Wages, G.Schaefer, K.H.Schoenbach and P.F.Williams: 5th IEEE Int. Pulsed Power Conf. (1985)414
- [8] G.S.Korshunov and M.T.Pichugina: Sov.Phys.Tech.Phys. 32(1987)481
- [9] F.E.Peterkin and P.F.Williams: Appl.Phys.Lett. 53(1988)182
- [10] K.C.Ko, S.Nakagawa, Y.Hoshina, M.Fukuta and S.Ishii: Jpn.J.Appl.Phys. 27(1988)865
- [11] S.Ishii, A.Horide, M.Fukuta, K.Furuhashi and I.Hayashi: Jpn.J.Appl.Phys. 24(1985)114