

# 減衰波 高周波電壓의 先行放電을 利用한 Plasma Jet의 電氣的 起動特性에 對한 實驗的 研究

논문  
21~4~4

## The Experimental Research on the Electrical Characteristics for the Ignition of Plasma Jet Using the Advance Discharge of High Frequency Voltage with Attenuation

전 춘 생\*  
(Choon Saing Jhoun)

### Abstract

This paper discusses the characteristics about the ignition of D.C. main discharge in a plasma jet generator, manufactured for trial as non-transferred type, when the electrical energy appropriate to the ignition is supplied to the gap between the electrodes by using advance discharge of attenuating high frequency voltage generated by a high frequency oscillator with mercury spark gap.

These characteristics are under the influences of

- (a) the length of mercury gap in high frequency oscillator and the quantity of hydrogen flow supplied to it,
- (b) the condenser capacity of the high frequency oscillator circuit,
- (c) the length of plasma jet torch in D.C. main discharge circuit and the quantity of argon flow supplied to it,
- (d) the circuit constants of D.C. main discharge circuit.

The results for these characteristics, obtained by this research, are considered to be helpful to the designs for the ignition of a plasma jet as well as the welding arc stabilizer by high frequency discharge and the high frequency arc welder.

### 1. 緒 論

plasma jet의 發生裝置는 棒狀의 水冷 陰極(Tungsten 또는 Thorium 混合 Tungsten 등의 非消耗性 金屬)과 有孔의 水冷 陽極(nozzle 電極)으로 構成되어 있고 이 두개의 電極間의 圓筒狀 空間內에 外部에서 稀有 氣體인 argon 以外에 水素 또는 窒素 gas를 流入시키면 이때 兩 電極間에 생긴 arc plasma는 安定 狀態가 되어 nozzle의 小孔에서 外部로 噴出하는 裝置이다<sup>1)2)</sup>. 이 裝置는 小形의 것이라도 쉽게 2~3萬度의 高溫度를 얻을 수 있으므로 高融點의 耐熱性 金屬, 非金屬 材料의 溶解, 高速度 溶斷, 溶塗裝,

表面研磨 또 高溫 特殊加工等に 利用될 뿐만 아니라 高溫 및 光化學反應, 高純度 材料의 精裝, 單結晶 및 人工 鑛物의 合成에도 有用하다<sup>3)</sup>.

이 裝置의 起動은 大氣壓에서 하게 되어 困難하므로 通常 高周波 放電을 利用하는 일이 많다. 그러나 起動時에 兩極이 모두 冷却狀態에 있게 되므로 熱電子 放出이나 電界電子 放出도 容易하지 않다. 따라서 이때는 高周波 放電의 點火 energy도 크고 또 點火能力도 強하여야 하므로 內燃機關에서 使用하는 plug間에 放電을 일으키게 하는 點火 coil方式으로는 充分한 energy를 供給하기가 困難하다<sup>4)</sup>.

普通 高周波 高電壓을 發生하는 方法으로서 電子管 發振器 或은 電極板을 利用하여 放電路를 細分한 gap을 갖는 불꽃 發振器를 利用하는 일이 많다. 그러나 前

\* 정회원 : 인하대학교 공과대학 전기공학과 교수

者は 製作費가 高價이고 起動 目的에 對해서 耐久性이나 堅固性이 不足하다. 또 後者는 發振器의 構成이 簡單하고 取扱하기가 쉽지만 gap 길이의 調節이 容易하지 않으며 周圍條件에 따라 放電 狀態의 變化가 크다는 缺點이 있다.

本 研究에서는 이러한 諸 缺點을 補充하기 爲해서 水銀水素 放電 gap을 利用한 減衰 高周波 發振器로 起動시키는 方法을 擇하였고 이 回路內의 gap條件과 回路定數의 變化에 따르는 高周波 放電特性과 直流 主放電 起動特性을 實驗에 依하여 究明하였다.

이는 高周波併用 arc의 安定化裝置 및 高周波 溶接機器의 設計<sup>5)</sup> 등에 多少 參考가 될 것이다.

2. 實驗裝置 및 方法

그림 1은 本 實驗에 使用한 裝置의 回路圖이다 그림에서 下部는 主放電을 誘發시키는데 必要한 高周波發振回路인데 condenser  $C_1$ , 高周波 變壓器  $T$ 의 一次側 coil의 inductance  $L_1$ , 抵抗  $r_1$  및 水銀 放電 gap로 形成되어 있다.

直流電壓 4kV로 condenser  $C_2$ 를 充電시킬 때 이 電壓이 放電 gap의 破壞電壓에 到達하면 gap는



그림 1-a. 실험장치도  
Fig. 1-a. Experimental apparatus

放電을 일으켜 短絡狀態가 되어 發振한다. 振動 energy는 回路抵抗  $r_1$ 에서 消費되어 점차로 減衰하며 그 電壓 波形은 그림 4와 같다. 이때 約 250kHz의 減衰高周波 電壓이 發生하며 이것을 高周波 變壓器  $T$ 로 昇壓하여 上部의 直流 主放電 回路의 gap  $G$ 에서 放電케 한다.

이 變壓器는 棒狀鐵心에다 捲線하여 油入한 것이며 2次側 捲線의 inductance는  $L_{1M}=65mH$ 이다. 水銀水素 gap chamber의 構造는 그림 2에 表示한 바와 같이 두께가 5mm되는 硝子容器的 上部에 鐵電極(曲率半徑; 2mm, 直徑; 6mm)을 두고, 下部에는 mercury pool을 두어 電極으로 使用하였다. 上部의 두께에 硝

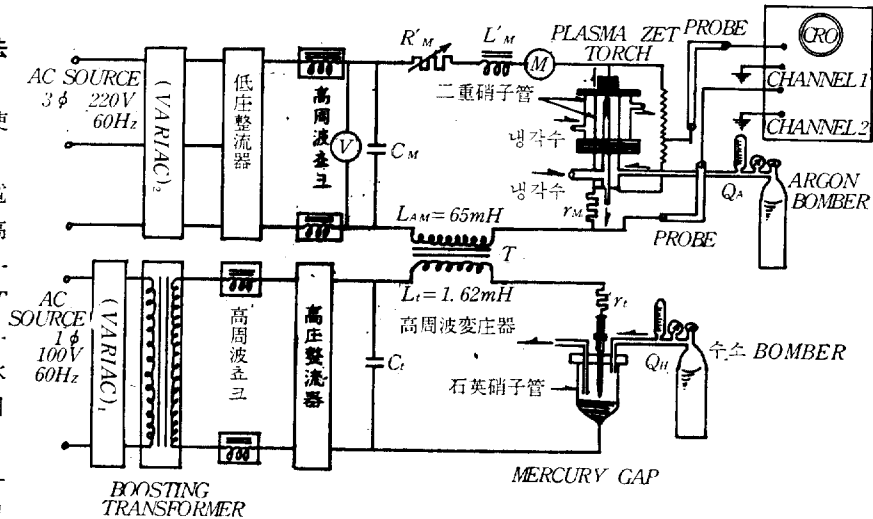


그림 1-b. 실험장치 회로도  
Fig. 1-b. Experimental detail circuit

子管을 두어 bomber에서 나오는 水素를 한쪽에서 chamber內에 流入시키고 다른 한쪽에서 排出케한다.

이때 水素流量은 水素 bomber에 裝置된 流量計로 調節하고 水銀 gap의 길이는 鐵 電極棒의 上部에 接續된 micrometer로서 變化시켰다.

그림 1의 上部 回路는 主直流放電 回路이며 可變 直流電源으로 主放電 油入 condenser  $C_2$ 을 0~500V까지 充電할 수 있다.

主放電 gap  $G$ 에서 前記한 高周波 放電이 일어나면 主回路의 抵抗, inductance를 通하여 直流 主放電이 形成된다. 主放電 回路의 抵抗은  $r_M$ , 無誘導 可變抵抗  $R'_M$ 이고 그의 inductance는  $L_{1M}$ 以外에 棒狀鐵心에다 直徑이 서로 다른 圓筒形 coil을 끼워서 段狀變化를 시킬 수 있는  $L'_M$ 으로 되어 있다.

後述하는 說明을 簡素化하기 爲하여 主放電 回路에서  $L'_M+L_{1M}=L_M$ ,  $R'_M+r_M=R_M$ 로 表示하였다.

Plasma jet의 torch部는 그림 3과 같이 tungsten 電極棒(曲率半徑; 1.67mm, 直徑; 4mm)인 陰

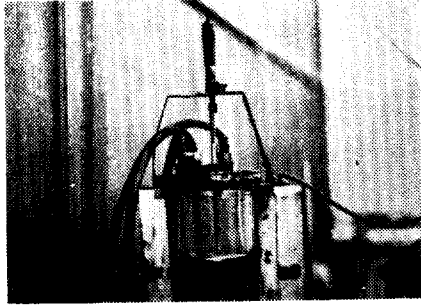


그림 2—a. 水銀放電 gap의 장치도  
Fig. 2—a. mercury gap

極과 銅 圓盤위의 nozzle 電極인 陽極으로 構成되어 있으며 두께 3mm의 二重 石英 硝子管이 兩 電極間을 包圍하고 있다. 이 硝子管 사이에는 nozzle 電極을 冷却시키기 위한 冷却水가 通하고 있으며 두 電極間의 圓筒狀 空間內에 直流 主放電 arc의 安定化를 爲하여 外部에서 argon 旋回 氣流를 流入시키고 있다. 主放電 gap의 長이는 나사로 陰極部를 左右로 移動시켜서 調節하며 argon의 流量은 bomber에 裝置된 流量計로 測定된다. 이때 그 範圍는 0~15l/min이다.

主放電 gap G에 있어서의 高周波 放電과 直流 主放電의 電壓, 電流波形 分析 및 最大値의 決定은 抵抗分

壓器 또는 容量 分壓器를 torch의 兩 電極間에 接續하고 分壓된 信號는 probe를 通하여 cathode ray oscilloscope의 入力側에 보내어 나타난 現象을 調査하였다.

그림 1의 實驗 回路에서 高周波 發振 回路의 condenser 充電用 直流電源의 出力 電壓은 高壓 整流器 앞의(VARIAC)<sub>1</sub>으로 調整하고 主放電 回路에 使用한 直流 電源의 出力 電壓은 低壓 整流器 앞에 있는(VARIAC)<sub>2</sub>로 한다.

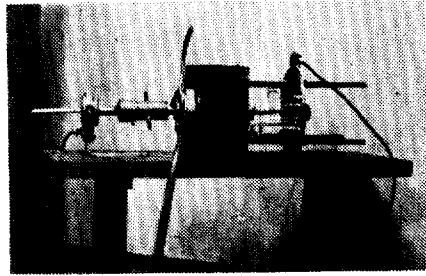


그림 3—a. Plasma jet의 torch 도  
Fig. 3—a. Plasma jet torch

直流 主放電 最低電壓은 다음과 같이 하여 決定하였다.

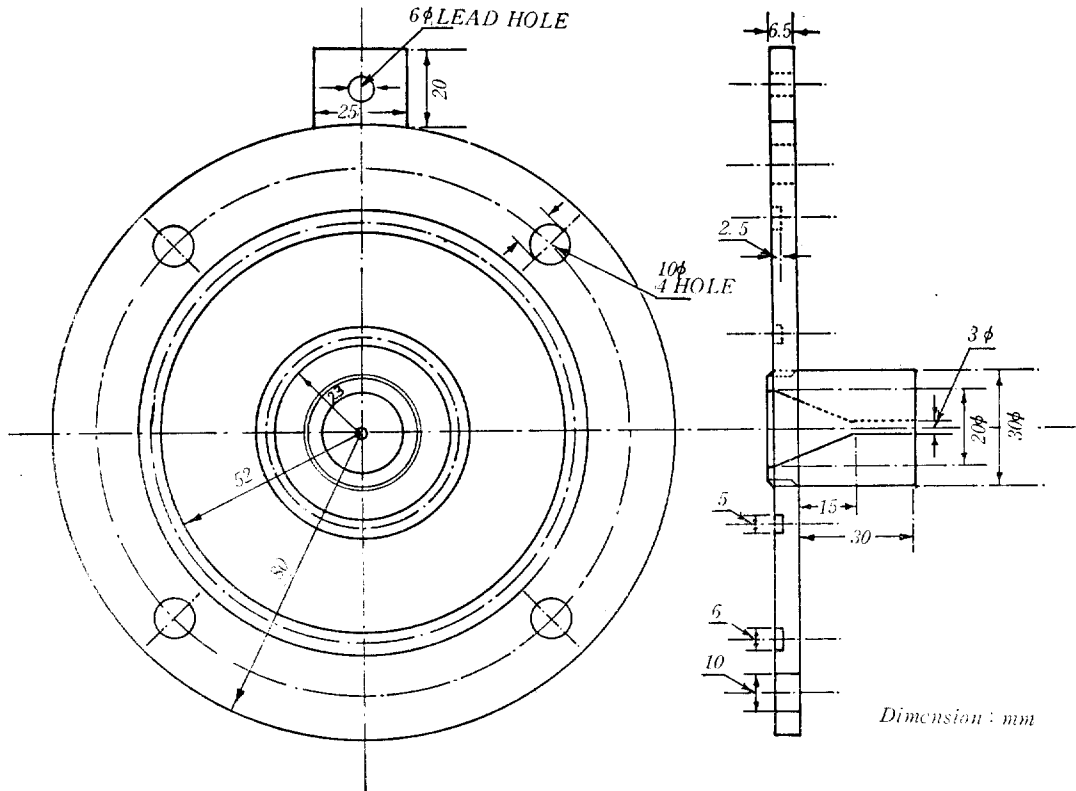


그림 3—b. Torch의 陽極部  
Fig. 3—b. Torch anode

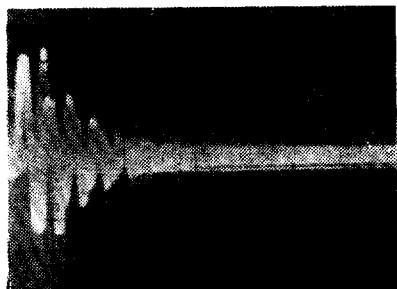
于先 (VARIAC)<sub>1</sub>을 調整하여 主放電 gap G에 高周波 放電을 先行시키고 (VARIAC)<sub>2</sub>로 直流 出力 電壓을 높여  $C_M$ 의 充電 電壓을 增加시켜 간다. 充電 電壓  $V_M$ 가 어떤 값에 到達하면 突然 靑白色의 빛과 큰 騒音을 내면서  $C_M$ 에 充電되었던 電荷가  $R_M$  및  $L_M$ 을

通하여 gap G에서 直流 主放電이 된다.

이때  $C_M$ 의 端子 電壓이 下降하기 始作하는데 이 瞬間의 電壓은  $C_M$  端子에 接續한 直流 電壓計  $V$ 의 指示로 읽을 수 있다. 高周波 放電이 先行되어 直流 主放電이 起動되는데 必要한  $C_M$ 의 兩端의 最低 電壓을  $V_{MC}$ 라고 하면 그 값은 主放電 gap G에 있어서의 直流 arc 電壓보다 크고 高周波 發振 回路의 回路定數 및 gap 條件에 依하여 變하게 된다.

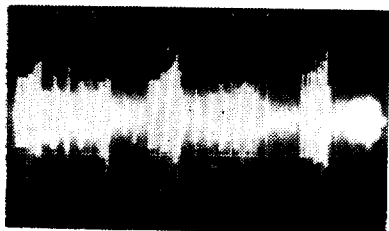
$V_{MC}$ 에 미치는 高周波 特性으로는 高周波 電壓波 形 및 主放電 gap G에 供給하는 高周波 energy를 들 수 있는데 波 形은 減衰 高周波가 되게끔 發振 回路定數를 定하고 水銀 chamber 內에 對立시킨 鐵棒과 水銀面의 兩極으로 되어 있는 gap의 길이  $l_i$ 와 여기에 流入시킨 水素 流量  $Q_H$ , 高周波 發振 回路의 condenser 容量  $C_i$ 의 變化로 調査하였다.

그리고 高周波 變壓器  $T$ 를 通하여 主放電 回路에 들어온 高周波 energy는 이 回路의 回路定數인 condenser 容量  $C_M$ , 抵抗  $R_M$ , inductance  $L_M$  등의 變化에 依하여 主放電 gap이 그의 energy를 供給함에 있어 制限을 받게 된다. 따라서  $V_{MC}$ 의 主放電 回路定數의 變化에 對한 影響도 觀測하였다. 主放電 gap의 條件으로는 兩 電極의 幾何學的 形態, 表面狀態, 이에 流入한 氣體의 種類, 流速 및 壓力 등이 있지만 本 研究에 있어서는 一定한 形態의 電極을 使用하여 大氣壓下에 있어서의 Argon 氣體에 對한 影響만을 調査하였다. 特히 電極 表面의 酸化 및 放電 痕蹟에 의한  $V_{MC}$ 의 變化를 最小 限度로 抑制하기 爲하여 每回 實驗마다 水銀 gap와 主放電 gap의 電極 表面을 깨끗이 닦기도 하고 電極을 交替하기도 하였다.



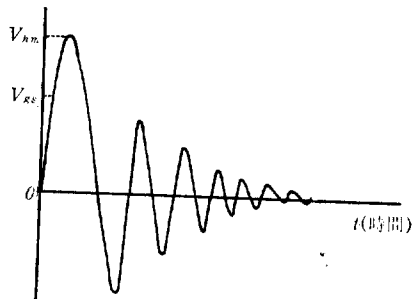
4-a

Q 縱軸 : 4970V/Div      橫軸 : 5μsec/Div  
 $C_i = 0.026\mu F$        $R_M = 1000\Omega$   
 $l_i = 3mm$        $L_M = 267mH$   
 $r_i = 5\Omega$        $l_m = 4mm$   
 $Q_H = 2l/min$        $C_M = 39\mu F$   
 $Q_A = 1l/min$



4-b

縱軸 : 5130V/Div      橫軸 : 2msec/Div  
 $C_i = 0.026\mu F$        $R_M = 220\Omega$   
 $l_i = 5mm$        $L_M = 385.4mH$   
 $Q_H = 2l/min$        $l_m = 4mm$   
 $C_M = 39\mu F$



4-c

그림 4. 高周波電壓波 形  
 Fig. 4. Attenuating high frequency voltage wave form

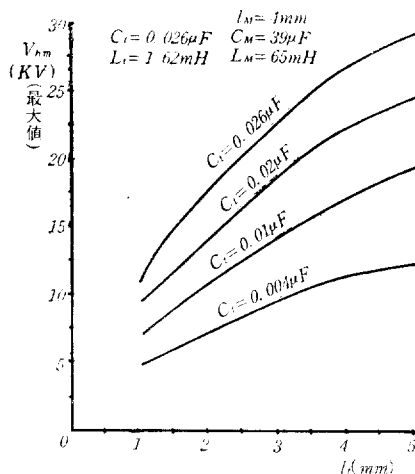


그림 5. 減衰高周波電壓의 最大値와 水銀 gap 길이와의 關係  
 Fig. 5. Maximum value of high frequency voltage—length of mercury gap

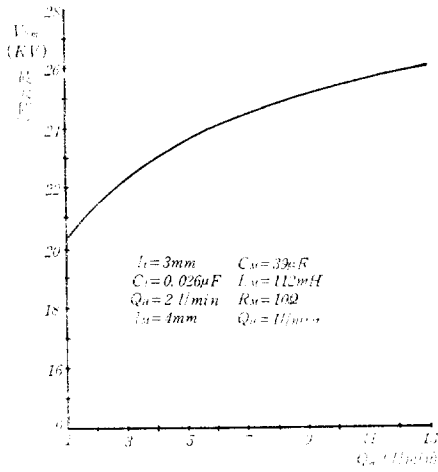


그림 6. 減衰高周波電壓의 水素流量과의 關係  
 Fig. 6. High frequency voltage—quantity of hydrogen flow

### 3. 實驗 結果 및 考察

#### 3-1. 高周波 放電特性

減衰 高周波 發振 回路에서 얻은 高周波 電壓은 變壓器 T에서 昇壓시켜  $C_M$ 의 充電電壓  $V_M$ 이 零일 때 主放電 gap G에 나타나는 電壓波形  $V_h$ 를 抵抗分壓法을 利用하여 CRO로 觀測하였다.

$V_h$ 의 最大値  $V_{hm}$ 의 값이 gap G의 放電 開始電壓

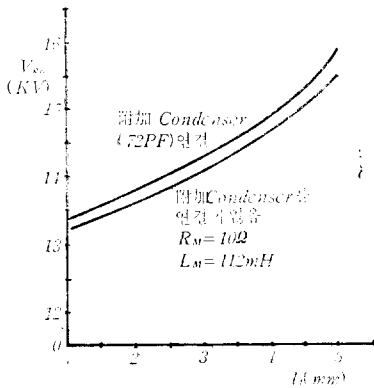


그림 7. 高周波 放電開始電壓과 水銀 gap 길이와의 關係  
 Fig. 7. High frequency discharge starting voltage—length of mercury gap

$V_{gs}$  보다 큰 경우에는 가령 4(b)의 S點에서 主放電 電極間의 氣體는 불 破壞에 到達하게 됨을 確認할 수 있다.

(1)  $V_{hm}$ 의 값은 水銀 gap의 길이  $l_1$  및 condenser 容量  $C_1$ 의 增大에 따라 그림 5와 같이 上昇하게 됨을 알 수 있다.

(2)  $V_{hm}$ 와 水素의 流量  $Q_H$ 와의 關係는 그림 6과 같은데  $Q_H$ 의 增加에 따라  $V_{hm}$ 은 緩慢하게 上昇한다. 이때 水素는 空氣, 窒素 argon, 水銀氣體等에 比較하여 同一한 電流에서 陽光柱의 電位傾도가 比較的 높다. 即 陽光柱의 高溫에 依하여 分子狀의 水素가 原子狀으로 解離하고 또 이것이 陽光柱의 外周로 容易하게 擴散되어 가므로 陽光柱에서 熱損失에 相當하는 解離 energy를 供給하여야 하므로 電位傾도가 높아진다<sup>(6)(7)(8)</sup>.

또  $Q_H$ 의 增加에 依하여 電極面이 冷却 狀態가 되어 陰極에서의 電子放出은 強電界에 依存하여야 하므로 自然히 充電 電壓이 높고 이에 따라  $V_{hm}$ 의 값도 크게 된다고 생각할 수 있다.

(3) argon 流量 1 l/min을 供給한 主放電 gap G에서의 高周波 放電 開始電壓  $V_{gs}$ 와 水銀 gap의 길이  $l_1$ 와의 關係를 나타낸 것이 그림 7인데  $l_1$ 가 길어짐에 따라  $V_{gs}$ 는 繼續 上昇하고 gap G에 並列로 72 pF의 小容量 condenser를 連結하였을 때 (torch 兩極面間의 靜電 容量은 極間距離 4mm일때 16pF이다)의  $V_{gs}$ 의 값은 前者의 曲線보다 높게 된다.

이것은 高周波가 이 部分에서 by-pass 되는때 基因한다고 볼 수 있다.

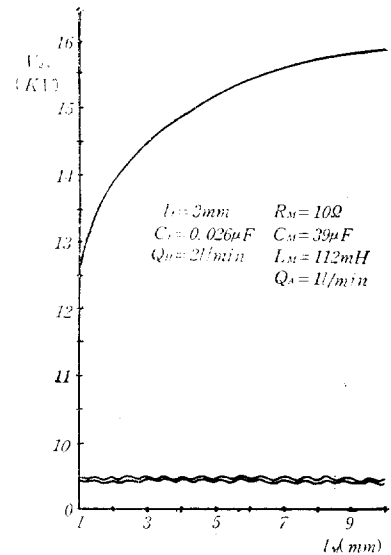


그림 8. 高周波 放電開始電壓과 主放電 gap 길이와의 關係  
 Fig. 8. High frequency discharge starting voltage—length of main gap

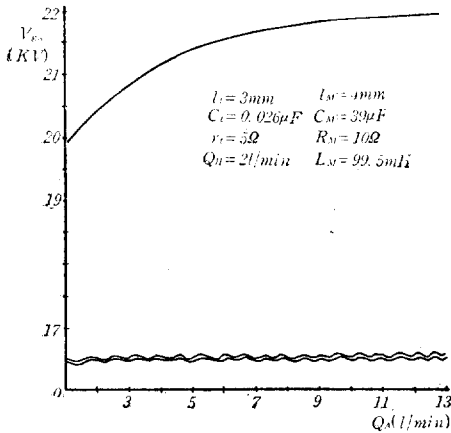


그림 9. 高周波 放電開始電壓과 argon 流量과의 關係  
 Fig. 9. High frequency discharge starting voltage—quantity of argon flow

(4) 流量 1l/min의 argon 이 流入하는 主放電 gap G에서의 高周波 放電時 電壓  $V_{gs}$ 와 gap G의 길이  $l_M$ 과의 關係를 나타내는 曲線은 그림 8과 같으며  $l_M$ 이 길어짐에 따라  $V_{gs}$ 는 上昇하는 傾向이 있으며  $l_M$ 가 3mm 以下에서는 直線的으로 變하지만 그 以上에서는 緩慢하게 昇壓하고 있다.

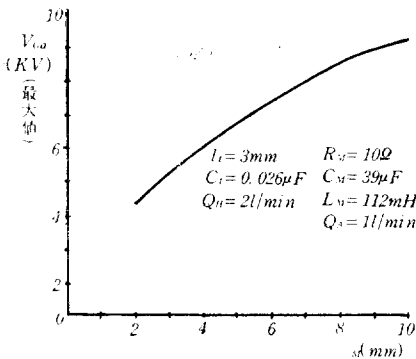


그림 10. 高周波 放電電壓의 最大値와 主放電 gap 길이와의 關係  
 Fig. 10. Maxi. value of high frequency discharge voltage—length of main discharge gap

(5) 그림 9는 高周波 放電 開始電壓(最大置)  $V_{gs}$ 와 gap에 流入한 argon 流量과의 關係를 나타내는 曲線인데 5 l/min의 流量까지는 電壓 上昇率이 3/10kV/l 程度이지만 이 以上에서는 겨우 1/16kV/l가 되어 飽和狀態를 이루게 된다.

(6) 主放電 gap G에 流量 1l/min의 Argon 이 흐를때 高周波 放電電壓  $V_{gs}$ 와 gap G의 길이  $l_M$ 과의 關係를 나타낸 것이 그림 10인데  $l_M$ 가 길어짐에 따라  $V_{gs}$ 는 直線的으로 變化하며 이의 電位傾도는 約 3/5 kV/mm가 된다.

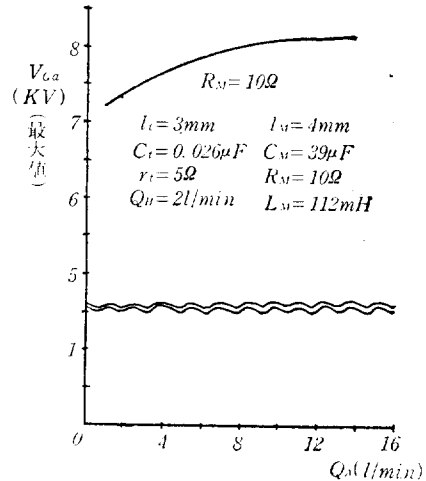


그림 11. 高周波 放電電壓과 argon 流量과의 關係  
 Fig. 11. High frequency discharge voltage—quantity of argon flow

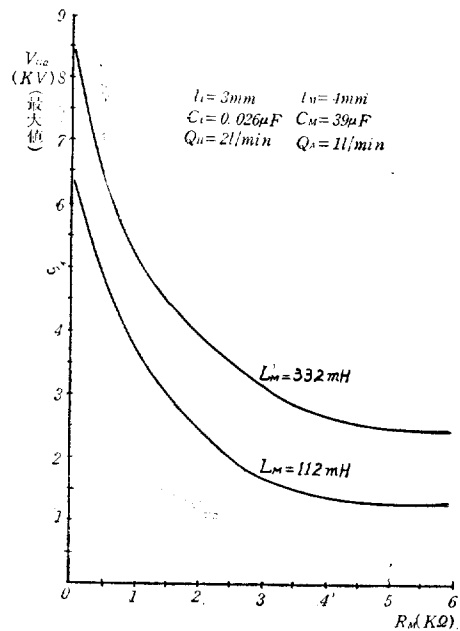


그림 12. 高周波 放電電壓과 回路抵抗 및 inductance와의 關係  
 Fig. 12. High frequency discharge voltage—circuit resistance, inductance

(7) 主放電 gap G의 高周波 放電電壓  $V_{ea}$ 와 argon 流量  $Q_A$ 와의 關係를 나타낸 것이 그림 11인데 流量 6 l/min까지는 3/5kV/l 정도의 句配를 갖고  $V_{ea}$ ,  $Q_A$ 와 더불어 增大해간다. 이것은 Argon 流量의 增加에 따라 兩極의 冷却作用과 gap에 生成되었던 ion이 argon 流量에 의하여 分散作用이 심한데 原因이 있다고 볼 수 있다<sup>5)8)</sup>.

(8) 流量 1 l/min의 argon이 流入할 때 gap G의 高周波 放電電壓  $V_{ea}$ 와 主放電 回路의 回路定數, 抵抗  $R_M$ , inductance  $L_M$  값과의 關係曲線은 그림 12에 表示하였는데  $V_{ea}$ 는  $R_M$ 의 값이 커짐에 따라 雙曲線狀으로 減少하고 同一한  $R_M$ 에 對하여  $L_M$ 가 增加함에 따라 높아져 간다.

이것은  $R_M$  및  $L_M$ 의 兩端子의 電壓 降下가 크게되어 가는데 原因이 있다고 본다.

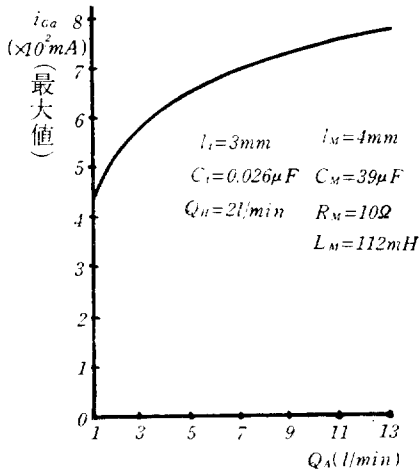


그림 13. 高周波 放電電流와 argon 流量과의 關係  
Fig. 13. High frequency discharge current—quantity of argon flow

(9) 放電 gap G의 高周波 放電電流  $i_{ea}$ 와의 gap G에 流入시킨 argon 流量  $Q_A$ 와의 關係曲線이 그림 13인데 上記의  $V_{ea}$ 와 마찬가지로  $i_{ea}$ 도  $Q_A$ 와 더불어 增加하며 대체로 Argon 流量의 13배 정도의 變化에 對하여  $i_{ea}$ 는 約 2배의 增加를 나타내고 있다.

(10) 그림 14는 主放電 gap G의 高周波 放電電壓  $V_{ea}$ 와  $i_{ea}$ 와의 關係를 表示하는데  $V_{ea}$ 의 增加에 따라  $i_{ea}$ 도 거의 1/4kV/100mA의 句配를 가지고 直線의 으로 增大하고 있는데 이것은 低周波 放電時의 電壓—電流 特性이 負極性을 나타내는 것과 對照的으로 正特性을 나타내고 있다<sup>7)8)</sup>.

(11) 그림 15는 主放電 gap G에서의 放電 energy를 推定하기 위하여 主放電 回路의 condenser  $C_M$ 의 充電用 直流電源 바로 앞에 20Ω의 無誘導 抵抗을 넣

고 여기서 얻은 信號는 probe를 통하여 CRO의 入力 側에 넣고 여기에 나타난 波形 分析에서 高周波 放電電壓  $V_{ea}$ 와 高周波 放電이 發生한 후 直流 主放電 開

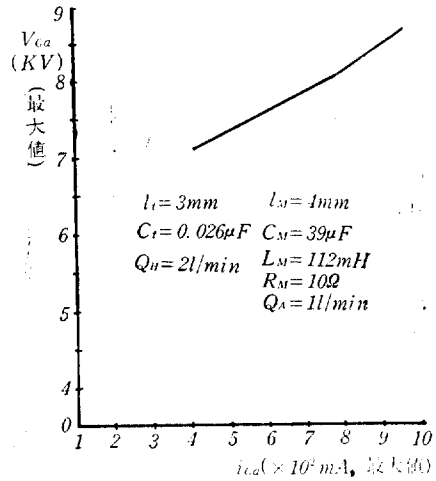


그림 14. 高周波 放電電壓과 電流와의 關係  
Fig. 14. High frequency discharge voltage—its current

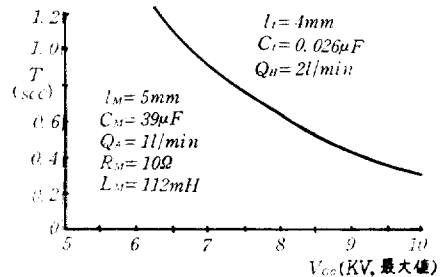
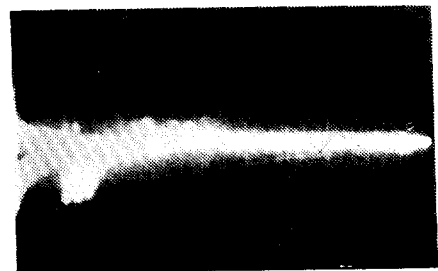


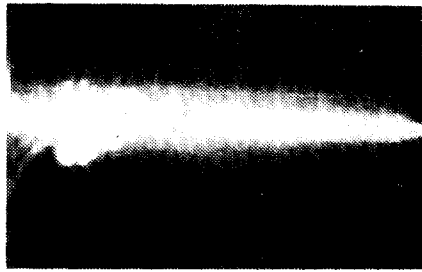
그림 15. 高周波 放電의 開始에서 主放電이 點火될 때까지의 時間  
Fig. 15. Ignition of D.C main discharge

始까지의 時間을 測定한 것이다. 이 曲線을 보면  $V_{ea}$ 의 增加에 따라 放電 時間이 減少하는 傾向이 있는데,  $V_{ea}$ 가 3kV의 變化에 따라 約 0.5sec 정도의 時間差가 생기는 것을 알 수 있다.

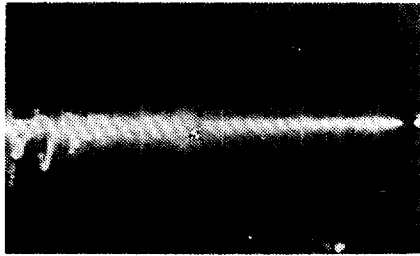
高周波 放電 持續時間 동안 gap G에서의 高周波 energy는 陰極點을 形成하여 二次 電子放出을 旺盛케 하여 直流 主放電을 助成한다고 생각된다<sup>6)9)</sup>.



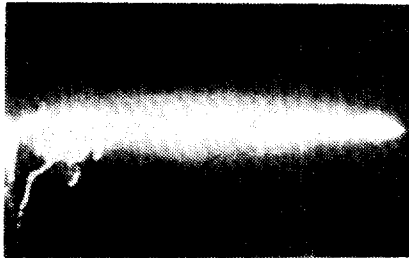
(a)



(b)



(c)



(d)

縱軸 : 3,0360V/Div      橫軸 : 50 $\mu$ sec/Div  
 $C_t = 0.026\mu F$        $C_M = 39\mu F$   
 $l_A = 3mm$        $l_M = 4mm$   
 $Q_u = 2l/min$        $Q_A = 1l/min$   
                           $L_M = 65mH$

그림 (a), (b) : 직류전원 0V 일때의 AC 파형  
 그림 (c), (d) : 직류전원 100V 일때의 AC 파형  
 그림 16. argon 流量에 대한 高周波 波形變化

Fig. 16. Variation of high frequency wave from by argon flow

(12) 그림 16 은 高周波 放電 電壓波形的 主放電 gap G 에 流入하는 argon 의 增大에 따른 變化 狀態를 나타낸 것인데 流量이 많아짐에 따라 波形이 점차로 不規則하게 變한다.

3-2. 直 流 主 放 電 特 性

本 實 驗 에 서 의 觀 測 에 依 하 면 直 流 主 放 電 形 式 은 arc 와 glow 放 電 이 었 다.

高周波 放電에 뒤이어 直 流 主 放 電이 發 生 되 려 면 高周波 放電에 依 하여 主 放 電 gap G 에 存 在 하 는 空 間 電 荷 가 消 滅 하 기 이 전 에 主 放 電 condenser  $C_M$  에 充 電 되어 있 는 energy 가 放 電 되어 Arc 의 陰 極 點 形 成 에 必 要 한 energy 가 陰 極 에 供 給 되어 야 한 다<sup>8)</sup>. 그 리

고 이 려 放 電이 arc 이 든 glow 이 든 關 係 없 이 이 들 을 維 持 시 키 려 면 이 에 必 要 한 電 力 을 繼 續 供 給 시 키 야 한 다. 이 때 문 에  $C_M$  의 端 子 電 壓 은 主 放 電 gap 에 대 한 energy 供 給 에 制 限 을 주 는 主 放 電 回 路 의 抵 抗  $R_M$  및 inductance  $L_M$  가 클 수 록 gap G 의 長 이  $l_M$  가 길 어 질 수 록 그 리 고 gap G 에 流 入 하 는 argon 流 量  $Q_A$  가 많 을 수 록 (陰 極 의 冷 却 作 用 과 極 間 電 荷 의 分 散 作 用 이 많 다) 直 流 主 放 電 最 低 電 壓  $V_{Mc}$  는 높 아 야 한 다 고 生 각 된 다.

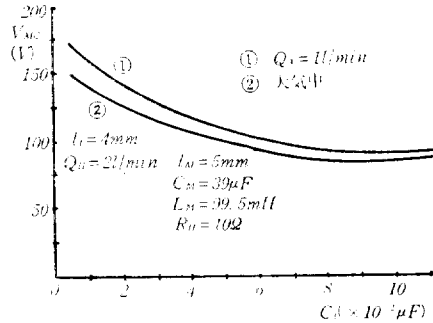


그림 17. 直 流 主 放 電 最 低 電 壓 과 高 周 波 發 振 回 路 의 condenser 容 量 과 의 關 係

Fig. 17. Mini. Value of D.C. main discharge voltage—contenser capacity of high frequency oscillating circuit

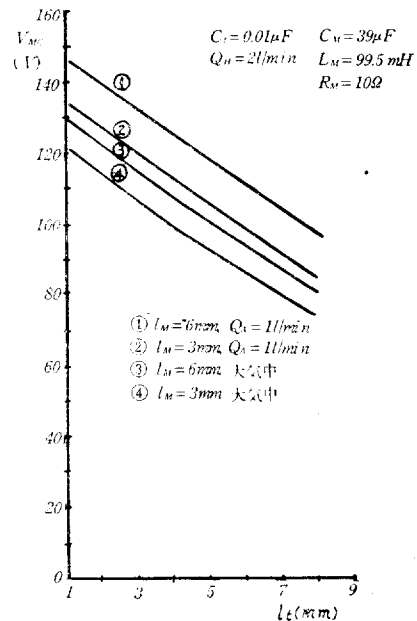


그림 18. 直 流 主 放 電 最 低 電 壓 과 水 銀 gap 長 이 와 의 關 係

Fig. 18. Mini. value of D.C. main discharge voltage—length of mercury gap



다음에 이들 關係에 對한 結果를 提示하였는데 다음 (5)의 境遇 以外에는 gap G에 流入시킨 argon 流量을 1 l/min로 固定시켰다.

(1) 直流 主放電 最低電壓  $V_{MC}$ 와 減衰 高周波 回路의 condenser  $C_1$  容量의 變化 關係를 나타내는 曲線은 그림 17과 같으며  $C_1$ 의 容量이 커짐에 따라  $V_{MC}$ 는 減少하는 傾向이 있다. 0.05 $\mu$ F 以下에서는 減少率이 크지만 이 이상에서는  $V_{MC}$ 의 變化는 거의 없다. 그리고 gap G가 大氣中에 露出되어 있는 경우와 同一한  $C_1$ 의 값에 對하여 argon이 流入하는 경우에 比하여  $V_{MC}$ 가 減少하는 傾向이 있는데 그 差는 極히 작다고 볼 수 있다. 이것은 그림 5에서 본것과 같이  $C_1$ 가 커짐에 따라  $V_{Am}$ 가 높아져 主放電 gap G에 供給하는 energy가 많아 되어  $V_{MC}$ 가 減少한다고 생각할 수 있다.

(2) 그림 18은 直流 主放電 最低電壓  $V_{MC}$ 와 高周波 發振回路의 水銀 gap의 길이  $l_1$ 와의 關係 曲線인데  $l_1$ 가 길어짐에 따라  $V_{MC}$ 는 減少하며 主放電 gap G의 길이  $l_M$ 이 길어짐에 따라 上昇하는 傾向이 있다. 그림 5에서 判明된 것과 같이  $l_1$ 가 길어질수록  $V_{Am}$ 가 높아져 gap G에 供給되는 energy가 增加하기 때문에  $V_{MC}$ 가 減少한다고 볼 수 있다.

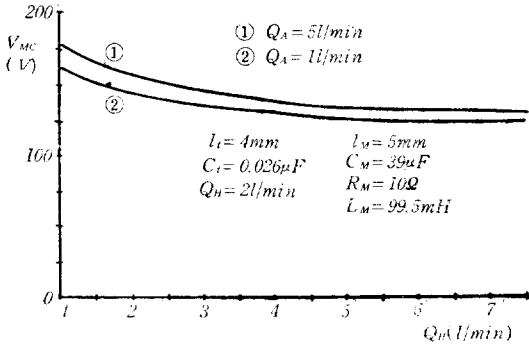


그림 19. 直流主放電最低電壓과 水素流量과의 關係  
Fig. 19. Mini. value of D.C. main discharge voltage—quantity of hydrogen flow

(3) 直流 主放電 最低電壓  $V_{MC}$ 와 高周波 發振回路의 水銀 gap에 流入시킨 水素 流量  $Q_H$ 와의 關係 曲線은 그림 19와 같다.  $Q_H$ 가 커짐에 따라  $V_{MC}$ 는 下降하는 傾向이 있으며  $Q_H=4$  l/min 以下에서는 減少率이 크고 그 以上에서는 그 比率이 極히 작다. 이것도 역시 前述한 3—1의 (1), (2)의 경우와 同一하게 判定할 수가 있다. 그리고 gap G에 流入하는 argon 流量  $Q_A$ 의 增加에 의해서도  $V_{MC}$ 가 上昇하고 있다.

(4) 그림 20은 直流主放電 最低電壓  $V_{MC}$ 와 主放電 gap G의 길이  $l_M$ 과의 變化를 表示하는 曲線을 나타

낸 그림인데 豫測한 것과 같이  $V_{MC}$ 는  $l_M$ 가 커짐에 따라 上昇하고 있는데 大體的으로 直線的인 變化를 나타내며 그 變化率은 9V/mm 程度이다. 그리고 同一한  $l_M$ 에 對하여 大氣中보다 argon를 流入시킬때, 또 argon 流量이 커짐에 따라  $V_{MC}$ 가 높아지는 事實은 이 曲線에서도 判別할 수가 있다.

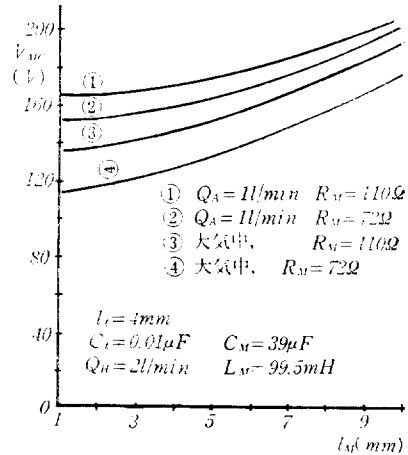


그림 20. 直流主放電 最低電壓과 主放電 gap 길이와의 關係

Fig. 20. Mini. value of D.C. main discharge voltage—quantity of hydrogen flow

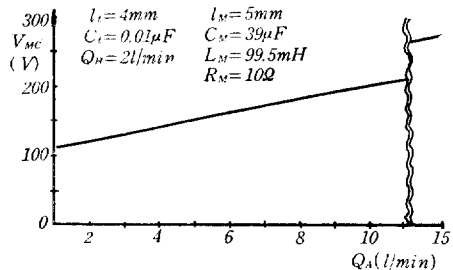


그림 21. 直流主放電 最低電壓과 argon 流量과의 關係

Fig. 21. Mini. value of D.C. main discharge voltage—quantity of argon flow

(5) 直流主放電 最低電壓  $V_{MC}$ 와 主放電 gap G에 供給한 argon 流量  $Q_A$ 와의 關係 曲線이 그림 21인데  $V_{MC}$ 의 變化率은 8V/l이며 直線的으로 上昇하고 있다. argon 流量의 增大에 따라 陰極이 冷却되고 高周波 放電에 依하여 gap G에 生成되었던 ion이 argon 氣流에 의하여 分散하기 때문에  $V_{MC}$ 가 높아진다고 볼 수 있다. 여기서는  $R_M=10\Omega$ ,  $L=99.5$  mH 인 경우의 結果만 表示되어 있지만  $R_M$  및  $L_M$ 가 커짐에 따라  $V_{MC}$ 가 上昇함을 豫測할 수가 있다. 그림 11, 13에 圖示한 것과 같이  $Q_A$ 의 커짐에 따라 直流主放電을 發生시키는데 要하는  $V_{so}$  및  $i_{so}$  모두가 增加하여 gap G에서

소비되는 energy도 增大하게 됨을 알 수 있다.

(6) 그림 22는 直流主放電 最低電壓  $V_{MC}$ 와 主放電回路的 condenser  $C_M$  容量을 變化시켰을 때의 關係曲線으로  $50\mu F$  이하의 容量에서는 그 變化가 極히 劇으며 gap G에 argon을 流入하는 경우가 靜止狀態의 大氣中보다  $V_{MC}$ 가 높아짐을 알 수 있고  $I_M$ 가 적어짐에 따라 그 영향이 크다.  $50\mu F$  이상에서는 그 差가 거의 없다.

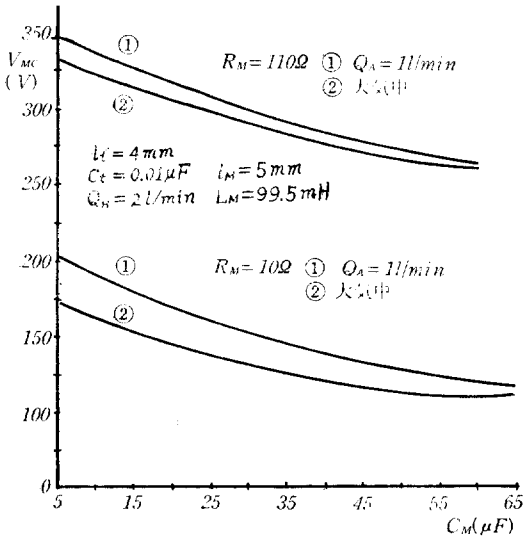


그림 22. 直流主放電 最低電壓과 主放電回路 condenser 容量과의 關係

Fig. 22. Mini. value of D.C main discharge voltage—quantity of argon flow

(7) 그림 23은 直流主放電 最低電壓  $V_{MC}$ 와 主放電回路 抵抗  $R_M$  과의 變化曲線인데 역시  $R_M$  및  $L_M$  과 더불어  $V_{MC}$ 가 增大하고 있으며  $R_M$ 가 커짐에 따라  $L_M$ 에 의한 變化는 점점 接近하여 그 差는 매우 적게 된다.

(8) 直流放電波形的 波高值  $I_M$ 와 主放電 gap G에 流入하는 argon 流量  $Q_A$ 와의 關係는 그림 24에 圖示하였는데 argon 流量이 많아짐에 따라 電流波高値는 低下하고 放電回路抵抗  $R_M$ 가 커짐에 따라 減少하고 있는데 同一한  $R_M$ 에 比하여  $L_M$ 가 增加하면 減少率이 더욱 커진다. 이것은  $L_M$ 가 커지면 電流가 最大値에 到達하기까지의 時間이 길어 argon 氣流에 대한 影響을 많이 받기 때문이라고 생각할 수 있다. 同一한  $Q_A$ 에 대하여 主放電回路抵抗  $R_M$ 이 적을수록 減少率은 커지고 또  $R_M$ 이 클 때는 主放電回路 inductance의 影響은 점점 적어지는 것을 알 수 있다.

(9) 그림 25는 主放電 gap G에 condenser  $C_p$ (容量  $72pF$ )를 附加하였을 때의 直流放電最低電壓  $V_{MC}$ 와

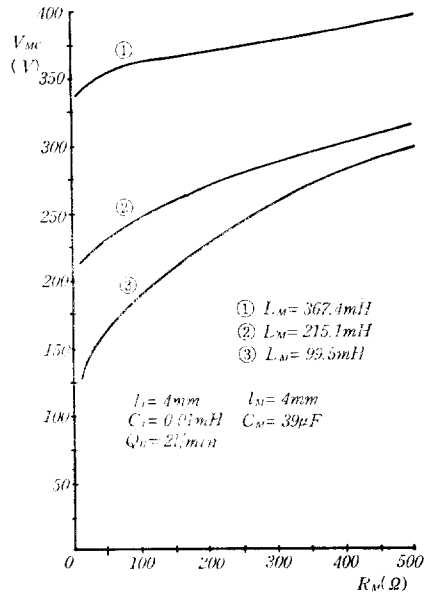


그림 23. 直流主放電 最低電壓과 主放電回路 抵抗과의 關係

Fig. 23. Mini. value of D.C main discharge voltage—resistance of main discharge circuit.

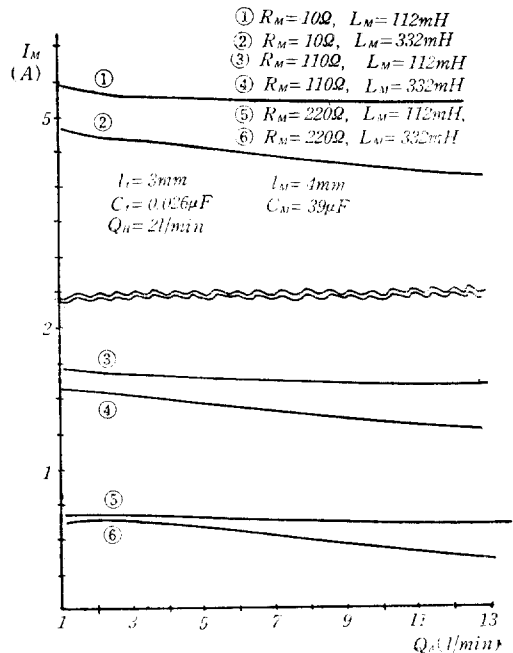


그림 24. 直流主放電電流 波高値와 argon 流量과의 關係

Fig. 24. Peak value of D.C main discharge current—quantity of argon flow.

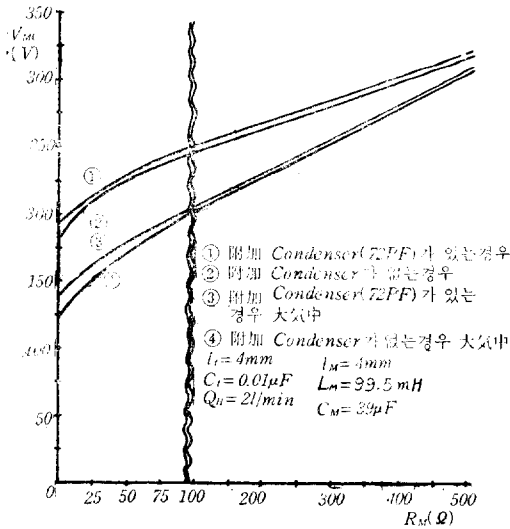


그림 25. 主放電 gap에 condenser를 附加할때 直流 主放電最低電壓과 主放電回路 抵抗과의 관계

Fig. 25. Mini. value of D.C main discharge when added condenser to main discharge gap—resistance of main discharge circuit

主放電回路抵抗  $R_M$  과의 關係를 나타낸 것인데 附加 condenser가 없는 경우에 比하여 同一한  $R_M$  에서  $V_{MC}$  가 上昇함을 알 수 있다. 이것은 高周波가  $C_p$  를 bypass하여 gap G에는 充分한 高周波 energy가 消耗치 않기 때문이라고 생각할 수 있다. 그런데 여기서 72pF의 condenser를 附加한 理由는 直流主放電을 起動할때 高壓이 통하므로 高壓電線을 使用하는데 이 電線은 100pF 정도의 靜電容량을 갖는 shielded cable을 使用하는 일이 많으므로 이에 대한  $V_{MC}$ 의 變化를 알 必要가 생기기 때문이다.

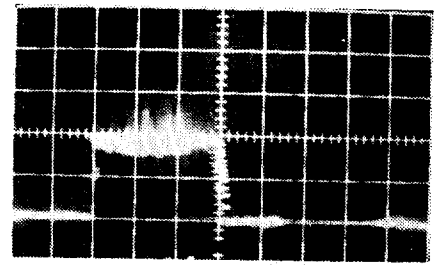
實驗에 使用한 것은 送信機器用 空氣可變 condenser이다.

(10) 그림 26은 直流放電電流波形的 主放電 gap G에 流入한 argon 流量의 增加에 對한 外觀變化狀態를 나타낸 것인데 argon 流量이 增加하면 直流放電電流가 減少해지는 것을 알 수 있다.

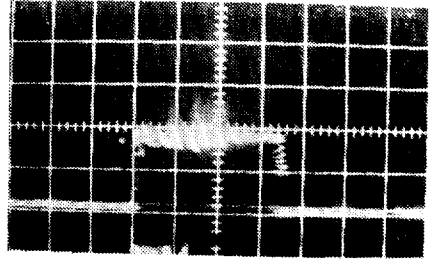
(11) 그림 27은 argon 流量을 10 l/min로 保持하고 主放電回路의 抵抗을 變化시켜 燭臺의 plasma jet의 불을 外觀의 變化를 撮影한 그림이다.

#### 4. 結 論

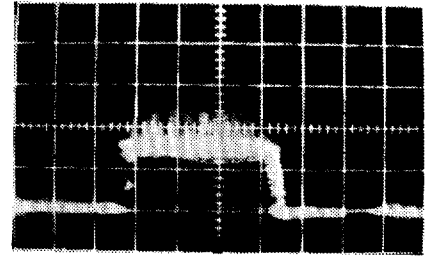
減衰高周波의 先行放電을 利用하여 plasma jet 發生裝置의 直流主放電을 起動시킬 때의 諸 特性은 高周波 發振回路 및 直流主放電回路의 回路定數, 水銀



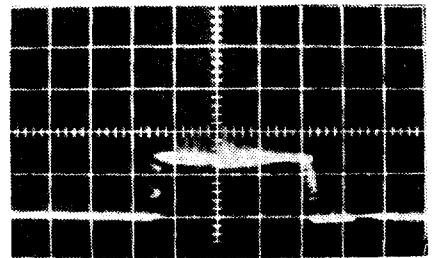
(a)



(b)



(c)



(d)

직류전압 350V, 횡축 0.5sec/Div

$l_i = 3mm$ ,  $l_M = 4mm$ ,  $C_i 0.026\mu F$

$C_M = 30\mu F$ ,  $Q_M = 2l/min$ ,  $Q_A = 1l/min$

(a) 종축 0.9A/Div (c) 종축 0.9A/Div

$L_M = 112mH$      $R_M = 110\Omega$

$R_M = 110\Omega$      $L_M = 112mH$

(b) 종축 0.45A/Div (d) 종축 0.45A/Div

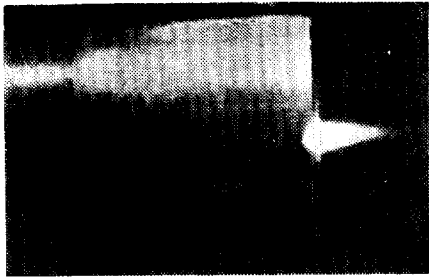
$R_M = 220\Omega$      $R_M = 220\Omega$

$L_M = 332mH$      $L_M = 332mH$

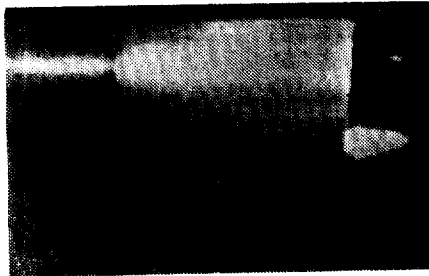
그림 26. 直流 主放電 電流의 argon 流量에 의한 變化

Fig. 26. Variation of D.C main discharge current wave form by quantity of argon flow.

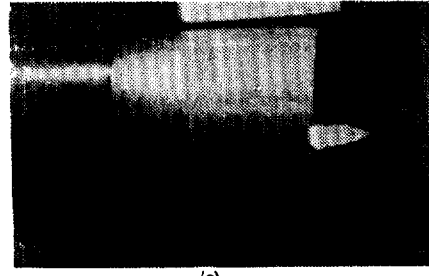
gap 및 主放電 gap의 길이, 그리고 이들 gap에 流



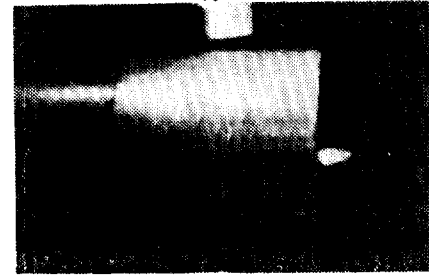
(a)



(b)



(c)



(d)

- |   |                      |
|---|----------------------|
| (a) $R_M=220\Omega$   | (c) $R_M=500\Omega$  |
| (b) $R_M=1000\Omega$  | (d) $R_M=2000\Omega$ |
| 각류전압 400V<br>$C_i=0.026\mu F$<br>$l_A=4mm$<br>$Q_M=2l/min$<br>$C_M=39\mu F$ |                      |
| $l_M=5mm$<br>$L_M=99.5mH$<br>$Q_A=10l/min$                                  |                      |

그림 27. 直流 主放電 불꽃 형태의 回路抵抗에 대한 변화

Fig. 27. Variation of D.C main discharge flame form by resistance of main discharge circuit.

입한 水素 및 argon 流量 등의 影響을 받게 된다. 이와 같은 影響을 實驗에 依하여 調査하였는데 이 結果를 要約하면 다음과 같다.

1) 高周波電壓의 最大値는 高周波發振回路中の condenser 容量, 水銀 gap의 길이, 그리고 이에 供給한 水素流量 등의 增加에 따라 높아진다.

2) 高周波先行 放電開始電壓은 主放電回路의 抵抗, inductance, 主放電 gap의 길이, argon 流量의 增加에 따라 上昇한다.

3) 高周波 放電電壓 및 電流는 正特性의 關係를 갖으며 主放電 回路의 回路定數, 主放電 gap의 길이 및 이에 流入하는 argon 流量의 增加에 따라 上昇한다.

4) 主放電起動時間은 高周波 主放電 電壓의 增加에 따라 短縮된다.

5) 主放電 gap에 並列로 condenser를 附加하면 高周波 放電 開始電壓이 높아진다. 直流 主放電 最低電壓은

6) 直流 主放電 回路의 抵抗, inductance, 主放電 gap의 길이 및 argon 流量의 增加에 따라 높아진다.

7) 主放電 回路에는 condenser 容量이 커짐에 따라 減少하는 傾向이 있다.

8) 主放電 gap에 附加 condenser를 接續하면 높아진다.

9) 水銀 gap에 供給한 水素의 流量을 增加시키면 減少한다.

10) 主放電 gap에 流入시킨 argon 流量의 增加에 따라 直流放電電流가 減少한다.

本 報告書는 仁荷大學校 附設 産業科學研究所에서 支給하는 研究助成費에 依하여 이루어진 研究結果로서 大學當局과 實驗中에 晝夜勞苦를 아끼지 않았던 助手 李承七·李彥鍾·金鎮山 諸君에게 甚深한 謝意를 表하는 바이다.

참 고 문 헌

- (1) Wulf B. Kunkel: Plasma Physics in Theory, McGraw-Mill Book Co., Ltd., 1966.
- (2) Robert G. Jahn: Physics of Electric Propulsion, McGraw-Hill Co., Ltd., 1968.
- (3) 岡田實, 荒田吉明: Plasma 工學, 日本 日刊工業新聞社, 1965.
- (4) 安藤弘平, 長各川光雄: 溶接 Arc 現象, 日本 産報發行, 1967.
- (5) 日本電熱工學委員會編: 工業電氣加熱, 日本電氣書院, 1968.
- (6) A. Von Engel: Ionized Gases, Oxford at the Claren Don Press, 1967.
- (7) 日本電氣學會編: 放電 Hand book.
- (8) James Dillon Cobine: Gaseous Conductor, Dover Publication Inc., New York.
- (9) W.G. Dow: Fundamental of Engineering Electronics, Jhon Wiley & Sons Inc., New York