

# 冷陰極을 이용한 Plasma電子 Beam의 電氣的 入力特性 (II)

論 文
27~6~1

——冷陰極의 形狀 및 치수의 影響——

## A Study on the Electric Characteristics of Plasma Electron Beam Produced by Cold Cathode

——The Effects of Cold Cathode Shape and Dimension——

田 春 生\* 金 相 賢\*\* 李 輔 鎬\*\*\*  
(Choon Saing Jhoun, Sang Hyun Kim, Bo Ho Lee)

### Abstract

This paper investigates on the electric input characteristics of plasma electron beam in H<sub>2</sub> gas chamber with various pressures, effected by the shape and dimension of hollow screen cathode during electron beam is formed. The result are as follows:

- (1) Electron beam is formed in the region of positive resistance on the characteristic curve which shows the relation between the voltage and current of electron beam, independent of the shape and dimension of hollow screen cathode.
- (2) At a given electron beam current, electron beam voltage increases with the decreases of hollow screen cathode length and screen mesh number of it.
- (3) At a given electron beam current, electron beam voltage increases with the diameters of hollow screen cathode and electron beam hole of it.

### 1. 序 論

電子 beam이 物質과 衝突하면 透過 散亂現象이 일어나서 에너지의 一部은 吸收되어 그 物質의 溫度는 上昇한다.

이 電子 beam 加熱을 積極的으로 物質加工에 利用한 것이 電子 beam 加工, 溶接, 溶解, 蒸着裝置이다. 今日에는 電子 beam 加速電壓을 上昇시키고 또 beam

徑도 可能的 限 작게하여 高電力密度에 依存하는 精密 電子 beam 加工機까지 出現하여 重要한 産業機械中의 하나가 되었다.

熱陰極을 利用한 電子 beam에 比하여 plasma電子 beam源은 前 報告書<sup>1)</sup>에서도 言及한 것과 같이 여러가지 長點을 갖고 있지만 電子 beam이 形成되는 電壓-電流特性의 領域이 限定되어 있다.

그러므로 廣範圍하게 強力한 電子 beam을 發生시켜 制御하는 것이 當面한 課題인 것이다. 本研究에서 이것을 究明하고 實用化시키는데 注力하여 이미 前報에서는 電子 beam의 電氣的 入力 特性에 대한 放電氣體의 影響을 提示하였고 本報에서는 繼續하여 中空 screen陰極(以下 seceen陰極이라함) 치수와 形狀에

---

\* 正會員 : 仁荷工大教授 : 工博(當學會編修委員)  
 \*\* 正會員 : 仁荷大學校 大學院  
 \*\*\* 正會員 : 崇田大學校 電氣科 副教授  
 接受日字 : 1978年 8月25日

의한 效果를 調査한 資料이며 本裝置의 設計에 많은 도움이 있을 것으로 생각한다.

## 2. 實 驗

### 2-1 裝置 및 方法

本研究에 使用한 實驗 裝置는 plasma 電子 beam發生部, 眞空排氣部 및 高壓直流電源部로 成立되어 있으며 이에 대한 構成圖와 beam電壓, 電流 및 眞空度の 測定은 前報告書<sup>9)</sup>에 詳述한 것과 同一한 方法을 취하였다.

### 2-2 screen陰極 試料의 製作

本 實驗과 같은 低出力 電子 beam에서는 陰極의 溫度가 300°C未滿이 되므로 試料의 材料는 鐵板과 鐵 screen을 利用하였다. 鐵板은 잘 研磨한 두께 1(mm), 3.5(mm), 5(mm)의 것을 鐵 screen은 0.3(mm)의 細線으로 된 mesh數 10, 20, 60의 것을 썼다.

그림 1 같이 上下 兩圓板의 모서리에서 中心쪽으로 1(mm) 들어간 位置에 細孔을 뚫어 圓圈에 screen

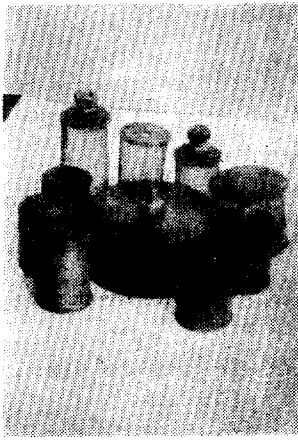


그림 1. 中空 網狀 陰極  
Fig 1. Hollow screen cathodes

을 매어 붙이게끔 하였고 下面鐵圓板 中心에는 圓形의 電子 beam의 放出孔을 만들었다.

完成된 screen陰極의 構造는 그림 2와 같으며 試料로서 전극길이  $L$ 이 18(mm), 37(mm), 74(mm), 電極直徑  $D$ 가 30(mm), 60(mm), 75(mm)이고 또 電子 beam의 放出孔의 直徑  $d$ 가 2(mm), 6(mm), 9(mm)가 되는 것들을 각각 製作하였고 側面의 screen도 前述한 여러가지 mesh數의 것을 利用하였다.

### 3. 結果 및 考察

電子 beam이 加工點에 주는 에너지량은 電子의 加

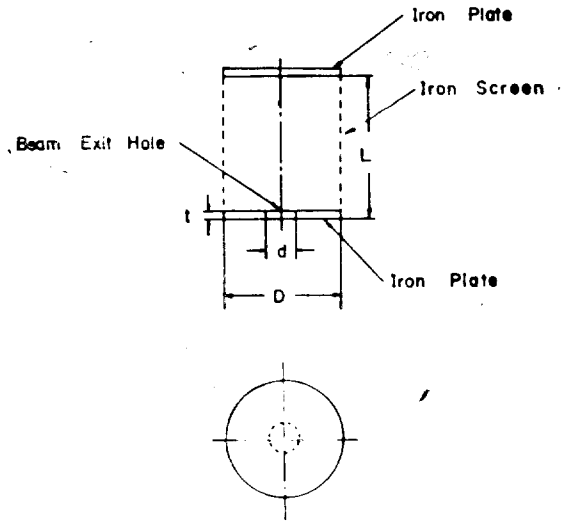


그림 2. 中空 網狀 陰極의 크기  
Fig 2. Dimension of hollow screen cathodes

速電壓을  $V(V)$ , 電子電流을  $I(A)$ 라고 하면  $VI(W)$ 이다. 加工點에 있어서의 電子 beam의 斷面積을  $A(cm^2)$ 라고 하면 에너지 密度  $W$ 는

$$W = VI/A (W/cm^2) \quad (1)$$

이다.

또 電子의 侵透의 깊이  $S$ 는 加速電壓 5~100(kV)의 範圍에서 다음 式과 같이 된다.

$$S = 2.1 \times 10^{-12} \frac{V^2}{\rho} (cm) \quad (2)$$

$V$ : 加速電壓(V)  
 $\rho$ : 物質의 密度( $g/cm^3$ )

上式에서 보는바와 같이 電子 beam의 에너지 密度나 電子의 侵透의 깊이는 電子 beam 電壓 즉 加速電壓에 直接的인 關係가 있으므로 本實驗을 電子 beam의 電氣的 入力 特性에 미치는 screen陰極의 形狀 및 치수의 影響에 대하여 調査한 것이다.

#### 3-1 screen mesh數의 影響

그림 3은 放電室內의  $H_2$ 가스의 眞空도가  $1 \times 10^{-2}$  torr이고 길이 37(mm) 두께 1(mm)의 下部 鐵圓板의 直徑이 30(mm), 電子 beam 放出孔의 直徑이 6(mm)인 screen 陰極에 있어 screen mesh數를 變化시켰을 때의 電子 beam의 電壓과 電流關係를 나타낸 曲線이다

이 曲線은 電子 beam이 發生되는 領域에서 測定한 값인데 正特性을 나타내고 있다. mesh數가 적을수록 電氣的 入力는 增加하고 있는데 非線形的인 變化를 하고 있다.

plasma陰極이 發生하는 適當한 가스壓力이 되면 paschen의 法則에 따라 陽極과의 사이에 생기는 電氣

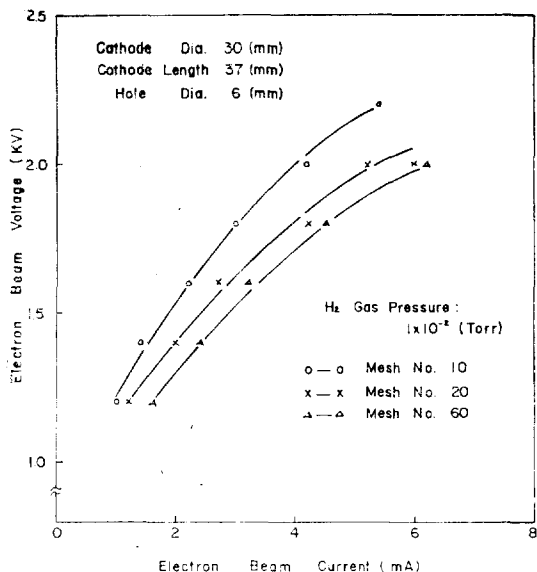


그림 3. 電子비임電壓  $V_s$ —電子비임電流

Fig 3. Electron beam voltage  $V_s$ , electron beam current

力線部分에서 自續放電이 일어난다. screen 陰極의 中心部를 통하는 電氣力線이 가장 길게 되게끔 設計하였으므로 自續放電은 中心部에 集束하고 screen 陰極의 空胴에 plasma 電子 beam이 形成하게 되는 것이다.

plasma beam의 動作中에는 放電에 의하여 高速의 陽 ion이 放出孔을 經由 screen極內에 流入하여 screen과의 衝突에 의하여 二次電子를 放出한다. 이 二次電子가 다시 電離作用을 하여 空胴內의 plasma 密度를 增加시키고 screen電極과 target間에 印加한 電壓에 의하여 電子는 加速되어 電子流을 이룬다고 볼수 있다. 그러므로 screen mesh數가 적어지면 陽 ion과의 衝突面積이 減少되어 二次電子의 放出量이 줄어므로 同一한 印加電壓에 대한 電子 beam電流가 低下된다고 생각할 수 있다.

### 3-2 screen陰極의 길이와 電極下部圓板 크기의 影響

그림 4는 陰極下部圓板의 直徑이 30(mm), screen mesh數가 20, 電子放出孔의 直徑이 6(mm)인 screen 電極에 있어 그 길이를 變化시켰을 때의 高壓—電流 特性曲線을 나타낸 것이다. 放電室內의 H<sub>2</sub>가스壓은 역시 1 × 10<sup>-2</sup>torr이다.

電極의 길이가 짧아지면 同一한 電流에 대한 電壓은 增加해 가고 있으며 그 짧아지는 限界가 어느 範圍를

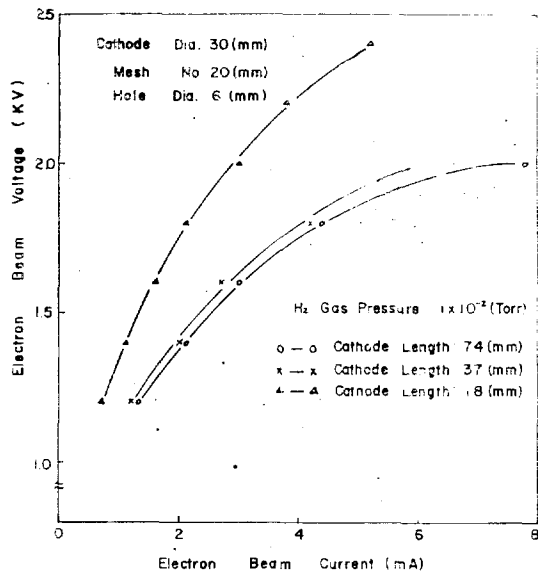


그림 4. 電子비임電壓  $V_s$ —電子비임電流

Fig 4. Electron beam voltage  $V_s$ , electron beam current

넘으면 電壓의 上昇率이 急激히 커져감을 알 수 있다 74(mm)와 37(mm)의 길이에 대한 特性曲線은 低電流에서 거의 一致하고 있으며 이보다 電流가 커지면 약 각의 偏倚가 생기게 된다.

電氣入力を 增加 시킬려면 電極이 變形되지 않는 溫度範圍內에서 電極의 길이를 짧게 할 必要가 있다고 생각한다.

그림 5는 電極의 길이가 37(mm) 電子 beam放出孔이 6(mm), screen mesh數가 20인 screen 電極에서 下部圓板의 直徑을 變化시켰을 때의 電氣의 特性을 나타낸 結果이다. 電流의 增加에 따라 電氣의 入力에 점점 差가 커져감을 알 수 있다. 위의 두 曲線을 比較하면 電極길이에 대한 電氣的 入力の 增加率이 電極下部의 圓板의 直徑에 대한 比率보다 큰 것으로 보아 小容量 電子 beam에서 入力を 높으려면 電極길이를 變化시키는 것이 보다 効果的인 方法이라고 생각할 수 있다. 電極의 길이가 짧아지면 screen 電極의 空胴에 形成하는 安定한 自續放電의 領域에서 陽 ion의 screen과의 衝突面積이 減少하고 또 二次電子가 空胴內를 走行하는 사이에 그 길이가 짧으므로 充分한 電離에너지를 電界에서 얻을 수가 없어 空胴의 plasma密度가 적어지게 될 것이다.

따라서 두 原因에 의하여 電氣의 入力は 陰極의 길이

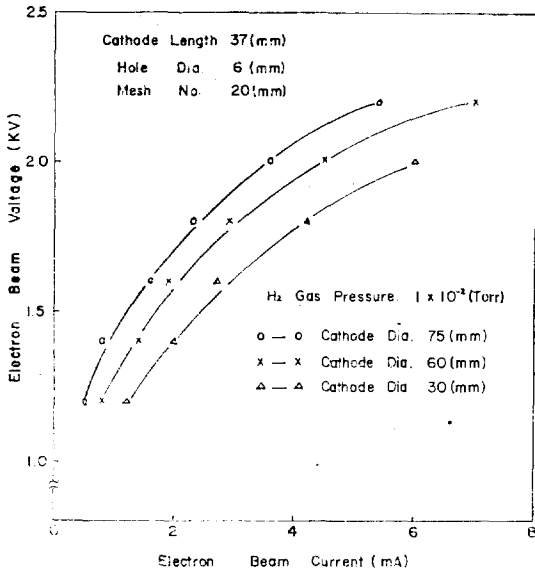


그림 5. 電子비임電壓  $V_s$ —電子비임電流  
Fig 5. Electron beam voltage  $V_s$  electron beam current

가 減少한다고 볼 수 있다. 한편 screen電極의 直徑이 커지면 電氣的 入力이 上昇함을 다음과 같이 推定할 수 있다. 즉 直徑이 커지면 beam放出孔과 screen 間에 分布된 電氣力線이 相當히 크게 灣曲된다. 즉 圓板에 平行한 電界成分이 늘어나고 이에 대하여 垂直한 成分은 相對的으로 적어진다.

그러므로 電界中에서 얻는 電子에너지는 적어지고 空胴에서의 電子의 衝突電離 確率이 減少된다. 따라서 陰流의 空胴에서의 plasma密度가 低下하여 同一한 電壓에 대한 電流는 必然的으로 적어지게 된다고 볼 수 있다.

以上の 두 結果에서와 같이 screen電極의 形狀과 치수가 달라지면 電氣的 入力도 變하는 것은 다음과 같이 glow放電에 관한 諸量에서도 推定할 수가 있다. 低氣壓 가스中의 放電開始條件 즉 自續放電條件은 다음 式과 같다.

$$\gamma_i(e^{\alpha l} - 1) = 1 \quad (3)$$

여기서  $\alpha$ : Townsend의 第一電離係數

$l$ : 電流間 거리

$\gamma_i$ : ion衝突에 의한 二次電子放出係數

$\alpha l$ 은 다음 式으로 表示된다.

$$\alpha l = A(P l)^{\frac{2}{3}} e^{-\frac{B}{P l}} \quad (4)$$

여기서  $P$ : 가스壓

$V$ : 電極間 電壓

$A, B$ : 가스의 種類에 의한 定數

또 plasma 電子 beam의 源泉이 되는 plasma陰極은 Paschen의 曲線中에서  $\frac{d(V_s)}{d(pl)} < 0$ 의 領域에서의 自續放電現象에 의하여 形成되고 있는 것이다.

여기서  $V_s$ 는 放電開始電壓이다. 電極의 形狀 및 치수가 달라지면 實効的인 電極間거리  $l$ 가 變하는데 이에 대하여 가스壓  $p$ 가 一定하므로 上記한 電子 beam의 形成을 위한 自續放電條件이 역시 變한다. 그러므로 電子 beam의 電氣的 特性에도 變動이 뒤따르게 된다고 推定할 수 있다.

### 3-3 電子 beam 放出孔의 크기의 影響

그림 6은 電極길이 37(mm), 直徑이 30(mm) screen mesh數 20인 電極에서 電子 beam 放出孔의 直徑을

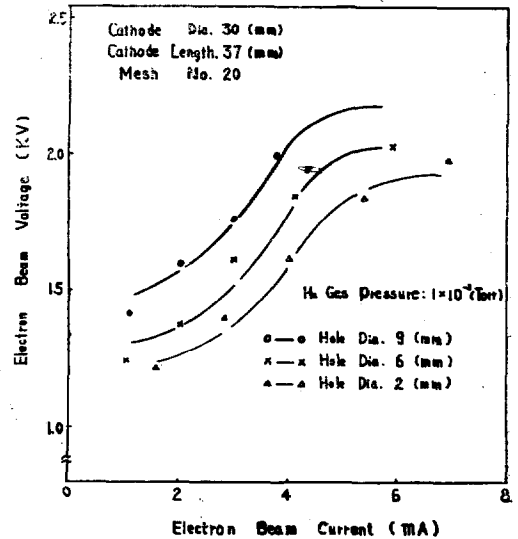


그림 6. 電子비임電壓  $V_s$ —電子비임電流  
Fig 6. Electron beam voltage  $V_s$  electron beam current

變化시켜 測測의 電壓—電流特性을 나타낸 것이다.

放出孔의 直徑이 커짐에 따라 電氣的 入力은 增大하고 있으며 거의 直徑의 크기에 比例하고 있다. 그러나 增加率은 그림에서 電流值가 4(mA)程度에서 가장 큰 것으로 미루어 보아 電氣的 入力의 增大을 위한 beam 放出孔의 直徑에는 最適值가 存在한다고 볼 수 있다. beam放出孔에 대한 電子 beam의 電氣的 特性 變化는 다음과 같이 考察할 수 있다. screen陰極과 target 間의 長이가 가이 兩電極의 크기에 比하여 크고 또 陰極의 直徑이 적은 경우에는 電氣力線의 分布는 가는 直

線狀이 되고 이 線上에 自續放電이 생기後 電子 beam 이 形成된다고 생각할 수 있다. 電子 beam의 進行途 上에 있는 氣體分子가 電離되어 陽 ion이 생기는데 이것은 比較的 質量이 크고 能動度도 적으므로 線狀의 正電荷 配列이 이루어진다. 이리하여 電子가 이에 吸引당하여 電子 beam을 만들게 된다. 이 電子beam은 擴散치 않고 集束된다고 볼 수 있다. 그런데 電子 beam의 放出孔이 커지면 兩電極間에 생기는 電氣力線의 分布는 直線狀에서 벗어나 넓게 퍼지게 된다. 그러므로 電子 beam의 斷面積도 커지고 自然히 中性粒子의 混入하여 電子 beam의 導電率도 적어지고 같은 電流을 通하는데 要하는 電壓은 높아지게 된다. 이것은 前述한 放電開始條件에 의해서도 考察할 수 있다. 즉 陰極下面의 電子 beam放出孔의 直徑이 커지면 電氣力線의 長이가 짧아져 實効的인 電極間 거리  $l$ 가 적어진다 고 볼 수 있다. 그러나 가스壓  $P$ 가 一定하므로 Paschen의 曲線에서 같은 電流值에 대한 電壓值가 높아지게 된다. 陰極 下部 圓板의 두께에 대한 電氣的 特性 變化를 調査한 바 別다른 變化가 없음을 確認하였다. 이것은 Morley가 提示한 陰極 設計 條件式<sup>7)</sup>과는 同 順되는 結果라고 볼 수 있다.

#### 4. 結 論

以上の 結果에서 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 電子 beam은 一定한 放電가스壓  $1 \times 10^{-2}$  torr에서 電極의 形狀 및 치수에 관계없이 電壓—電流 特性이 正인 領域에서 發生한다.

(2) screen陰極의 長이와 screen mesh의 數가 적어짐에 따라 一定 電子 beam電流에 대한 電子 beam電壓이 上昇한다.

(3) screen陰極의 直徑과 電子 beam 放出孔의 直徑이 커짐에 따라 一定한 電子 beam電流에 대한 電子 beam電壓이 增大한다.

즉 使用 目的에 따라 電子 beam의 出力을 增大시킬려면 screen陰極의 치수와 形狀을 適切하게 設計하여야 할 것이다.

#### 參 考 文 獻

- 1) 岡田實, 荒田吉明: プラズマ工學 日刊工業新聞社 pp. 461—512 (1965)
- 2) 菅田榮治: 電子イオン ビーム 핸드ブック 日本學術振興會 第 132 委員會 p. 64
- 3) L.M. Lidsky and S.D. Rothleder, D.J. Rose and S. Yoshikawa: "Highly Ionized Hollow Cathode Discharge." J.A. phys 33, (1962) 2490
- 4) J.R. Pierce: "Theory and Design of Electron Beam" D. Van Norstand Company, Ind. Prinston (1954)
- 5) 平野克巳, 間島和夫: プラズマ フォーカス. 電氣學會論文誌, 51—A70 pp. 543—550 (1976)
- 6) Hiroshi Hamada and Masazumi Teada: Characteristics of Plasma Electron Gun Using Electron Beam Mode Discharge Phenomena", Appl Phys (Japan), Vol. 41 No. 3. p. 238 (1972)
- 7) J.R. Morley: Proceedings of the Electron Beam Symposium Sin Annual Meeting, 66 (1964)
- 8) A. Von Engel: Ionized Gases (OXFORD) pp. 282—286 (1965)
- 9) 田春生: 冷陰極을 이용한 plasma 電子 Beam의 電氣的 入力特性(I)" 大韓電氣學會誌 27—3—2 (1978) pp. 36—42