

# 商用 周波數(60Hz) Plasma Jet Torch의 動作特性에 관한 研究

논문  
24-1-6

## A Study on the Operating Characteristics of Commercial Frequency Plasma Jet Torch

田 春 生\* · 鄭 在 雄\*\*  
(Choon Saing Jhoun) · (Chae Ung Cheong)

### Abstract

In order to develop the commercial frequency (60Hz) plasma torch of small capacity for material cutting, welding and other industrial heating, the A.C plasma jet generator of non-transferred type is made domestically and the electrode configurations of plasma torch are composed of two kinds of electrodes W-C and W-Cu, combined by thermal emission and field emission electrode materials.

In this paper, the characteristics of input power, thermal efficiency, electrode consumption, the flame and forms of arc voltage and arc current for A.C plasma torch are investigated in relation to such variables as arc current, argon flow and magnetic field intensity to obtain the basic design data necessary to A.C plasma jet generator.

The result are as follows;

- (1) The input power, thermal efficiency and electrode consumption are influenced greatly by argon flow, magnetic field intensity and nozzle materials.
- (2) A.C arc voltage and current are non-symmetrical, involving D.C Component. Due to this current of D.C Component, transformer core is saturated and a large abnormal current flows into the primary winding coil. In order to prevent this abnormal current flow, a condenser must be connected in series to the main discharge circuit.
- (3) The stability and sharpness of jet flame are improved more in the torch of W-C electrode configuration than in the torch of W-Cu electrode configuration.

### 1. 序 論

D.C 플라즈마 켓트 發生裝置는 高溫 高速의 플라즈

마流를 長時間에 걸쳐 安定하게 噴出시킬수 있다는 點에서 現在에는 材料加工, 宇宙科學 및 플라즈마 物性 研究用等 廣範圍한 應用分野를 갖게 되었다. 그러나 점차 이의 實用範圍가 高溫冶金, 高溫化學反應과 같은 一般工業 領域까지 採用됨에 이르러, 플라즈마 켓트 裝置의 大規模 容量화가 試圖 되었다. 이때 가장 重要

\*正會員 : 仁荷工大教授(工博)

\*\*正會員 : 仁荷工大大學院 在學

한 設計의 基本 要素는 經濟的인 面인 것이다.

直流 플라즈마 장치에는 整流部分이 있으므로 이 設置費用이 渾大할 뿐 아니라 裝置 全體에 對한 效率도 좋지 않아 經濟的으로 다른 燃燒裝置에 比하여 極히 不利하다. 그러므로 過去 4~5年間 研究가 進行되어, J. C. Luxat and L.H. Lees<sup>3)</sup>, J.E. Harry<sup>2)</sup>, W.K. Roots<sup>3)</sup> 등이 商用 周波數(50Hz) 플라즈마 젯트 裝置의 設計를 爲한 基礎資料를 얻는데 많은 貢獻을 하였다. 이들은 거의 共通的으로 大出力用 A.C 플라즈마 젯트를 얻기 위하여 內外電極으로서 冷陰極 材料인 銅을 使用하여 同軸 圓筒 間隙 形態로 配置한 非移動式 플라즈마 토오치를 實驗에 使用하였다. 그리고 內外電極에는 冷却 水を 흐르게 하고 作動개스로서 空氣를 間隙에 流入시 키면서 電極 消耗 防止및 熱効率 向上을 爲하여 橫方 向 外部 定磁界를 印加하고 아아크點을 回轉시키는 方法을 取하였다.

筆者는 小容量의 材料加工用의 經濟的인 A.C 플라즈마 젯트 토오치의 開發을 爲하여 出力 約 2[KW]가 되는 從來의 D.C 플라즈마 젯트 토오치<sup>4)</sup>와 近似한 電極 配置를 가진 非移動式 A.C 플라즈마 토오치를 試作하였다. 動作개스로서 알곤을 使用하여 渦流狀 流入式을 擇하고 아아크點의 驅動을 爲하여 經濟的인 點에서 主放電 아아크回路와 直列인 솔레노이드形으로 감은 코일로 軸方向에 交番磁界를 印加하는 方式을 取하였다. 그리고 移動式 A.C 플라즈마 토오치의 動作 特性도 間接的으로 調查할수 있게끔 內側電極은 熱陰極形 텅스텐棒, 外側電極은 熱陰極形인 炭素와 冷陰極形인 銅을 使用하였다.

本 論文은 上記와 같이 試作한 A.C 플라즈마 裝置를 利用하여 아아크電流, 알곤流量, 磁界의 세기 및 電極材質에 對한 토오치 入力, 熱効率, 電極消耗, 프레임의 形態와 아아크電壓 및 電流波형에 對하여 調查하여 裝置 設計上의 基礎 資料를 얻을수 있었을 뿐 아니라 特別히 材料加工上의 動作特性을 究明하여 토오치의 電極 材質의 選擇에 있어 留意해야할 點과 이에 隨伴되는 技術上의 難點의 解決策을 提示하였다.

### 2. 實驗裝置

實驗裝置는 筆者가 報告한 D.C 플라즈마 젯트 裝置<sup>5), 6)</sup>와 같이 主放電回路, 플라즈마 토오치部, 起動用 高周波回路, 交番磁界 發生 코일, 作動개스 供給部 및 冷却水 供給 循環系統으로 構成되어 있으며 各 部分의 構造는 主放電回路와 交番磁界 發生 코일을 除外하고 다른 部分은 D.C 플라즈마 젯트裝置의 경우와 同一하다.

### 2-1. 交流 主放電回路

그림1은 實驗아아크 主放電 回路이다. 3相 220[V]에서 1相만 330[V]로 昇壓시켜 主放電 電源으로 使用하였으며 出力15[KVA]의 乾式 昇壓 變壓器 2臺를 並列로 運轉하였다. 아아크放電時 發生하는 高周波 交流 成分에 依하여 主變壓器 鐵心の 誘導加熱과 絕緣物에

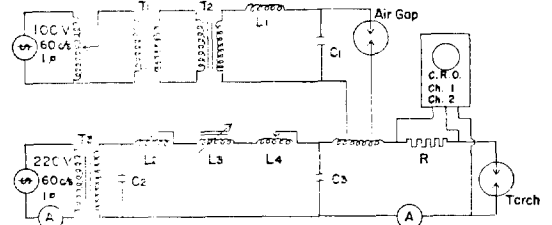


Fig.—1. Experimental arc discharge electric circuit.

### 그림—1 實驗 主放電回路

對한 熱的 絕緣破壞를 防止하기 爲하여 L形 필터를 二次側에 插入하였다. 그림1에서 L<sub>2</sub>, L<sub>4</sub>는 필터用 초오크 코일로서 作用하고 特別히 L<sub>4</sub>는 交番磁界 發生 코일의 役割도 한다. 磁界의 階段狀 變化 즉 L<sub>4</sub>의 變化에 따른 回路의 誘導 리액티브의 變化를 補償하기 爲하여 L<sub>2</sub>도 탭이 設置되어 있다. 그리고 回路의 아아크 電流 調整은 可飽和리액터 L<sub>3</sub>로 하게 되어 있다.

### 2-2. 交番磁界

交番磁界 發生用 솔레노이드는 그림2와 같이 7/2.3, 斷面積 30[mm<sup>2</sup>], 許容電流 140[A]의 비닐絕緣電線을 使用하고 토오치 造成物의 空間的 配置를 考慮하여 內徑 22[cm], 높이 30[cm]의 크기로 180回 감은 것이다. 磁界의 세기를 階段狀으로 變化 시키기 爲하여 30미마다 탭을 設置하였다.

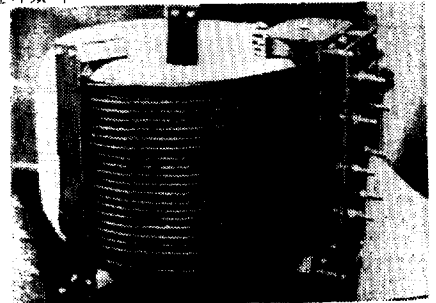


Fig.—2. Magnetic field coil

### 그림—2 磁界 코일

### 2-3 플라즈마 토오치

토오치의 電極配置는 D.C 플라즈마 토오치의 경우와 同一하며 內側 棒電極과 外側의 노오즐 電極으로 되어 있다. 棒電極은 直徑 3[mm]의 텅스텐을 使用하였다. 노오즐 電極은 그림3과 같이 銅과 炭素材質로 되어있고 拘束길이 23[mm], 口徑이 各各 7[mm]와 10[mm]가 되게끔 製作한 것이다.

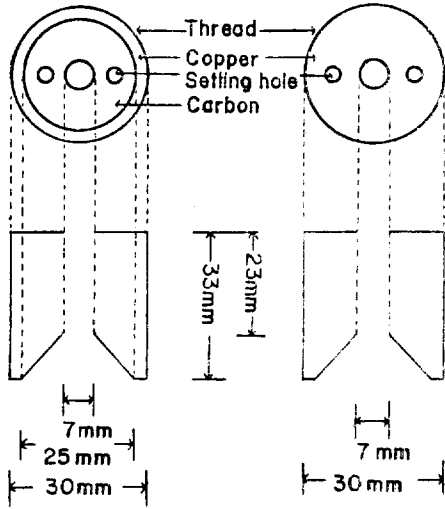


Fig. 3-a Cross-sectional view of nozzle electrodes

그림 3-a 노즐전극 斷面圖

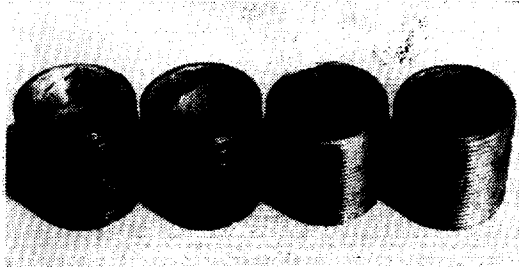


Fig. 3-b Nozzle electrodes

그림 3-b 노즐 전극

노즐전극材質을 銅과 炭素로 한 理由는 銅은 放電特性上 冷陰極形이고 炭素는 熱陰極形이므로 Cu-W, C-W의 電極 構成으로하면 特히 材料加工과같은 實用面에서의 放電特性을 究明할수 있고 또 아아크 放電의 安定度도 可能한 限 向上시키고저 하는데 目的이 있는 것이다. 炭素 노즐 전극은 外側에 나사를 만드는데 工作上 困難하므로 나사를 낸 銅 圓筒에 炭素 노즐을 插入시킨 構造로 製作하였으며 토오치 冷却水 流通部와 잘 接續시킬수 있었다.

### 3. 實驗方法

#### 3-1 아아크 電壓特性

플라즈마 젯트의 入力特性을 調査하기 위하여 아아크 放電電壓을 測定하였다. 아아크 放電電壓에 電極의 熱慣性의 影響을 排除하기 위하여 各 電極部에는 連續的은 冷却水를 供給하고 每回 測定은 10分 間隔으로 하였다. 電壓 測定에는 交流 眞空管 電壓計 (美國 Anton Electronic Co. 製)로, 電流 測定은 可動 鐵片形 交流 電壓計 (誤差範圍 0.5%, YEW社, 日本)를

使用하였다. 그림 13에서 보는 바와 같이 아아크 電壓 및 電流 波形에 直流分이 包含되어 있으므로 오실로스코프上에서 交流分과 直流分을 分離시켜 이 값에서 計算하여 求한 實効値와 위의 計器에서 測定한 값을 比較한 結果 約 數% 程度의 誤差가 있었다. 그러므로 測定結果는 이것을 감안하여 補正整理한 것이다. 磁界의 세기의 變化는 磁界 코일의 匝을 變化시킬때 이에 流入하는 電流値의 變化로 다음과 같이 間接的으로 알 수있게 하였다 즉, 磁界 코일의 各 匝마다 直流을 흘려 코일 中心部의 磁束密度를 磁束計(日本 SSIL社製)로 測定한 後 두 變數 關係를 直角 座標上에 曲線으로 그린다. 이 曲線에서 實効値의 아아크 電流를 읽으므로 交番磁界의 最大値를 알 수 있게 하였다. 알곤 개스는 純度 99.999(%)가 되는 것이며 bombe에 設置한 流量計(Victrometer)로 流量을 調節하며 測定할수 있었다.

#### 3-2 熱效率 測定

플라즈마 젯트의 供給 에너지는 그 一部分이 電極에 있어서의 發生熱과 플라즈마柱에서의 壁面(또는 空間)

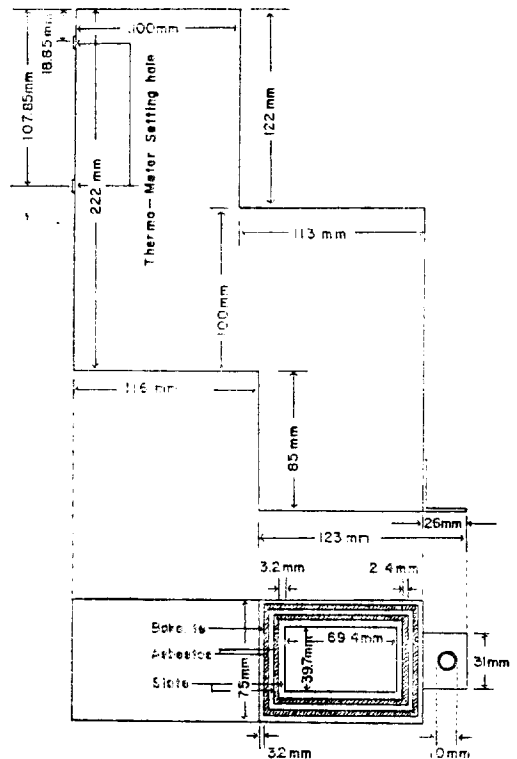


Fig. 4-a Cross-sectional view of touch chimney

그림 4-a 토오치 煙筒의 斷面圖

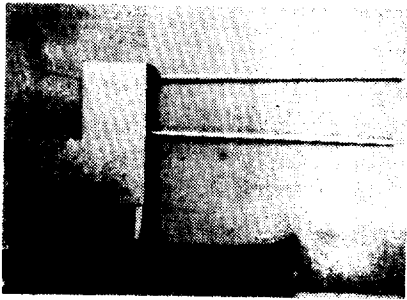


Fig. 4—b Torch chimney

그림 4—b 토오치煙筒

에 대한 傳導, 對流, 放射에 의한 損失熱이 되지만 나머지는 플라즈마 젯트의 有効熱 에너지로서 裝置 外部에 放出된다. 따라서 플라즈마 토오치의 熱損失은 電極 部分과 챔버 部分의 두 部分으로 나누어 생각할 수 있으므로 冷却水에 吸收된 熱量은 冷却水の 流出量과 溫度를 各各 測定하여 決定하고 이것과 플라즈마 젯트의 電氣의 入力과의 關係에서 熱效率의 大略의인 값을 D.C 플라즈마 젯트 토오치의 경우<sup>6), 7)</sup>와 마찬가지로 求하였다.

그리고 노오즐 出口에다 放射 에너지를 막기 위하여 그림 4와 같은 形態의 煙筒을 設置하고 終端部 上下에 挿入한 溫度計(最大 눈금 600°C)로 溫度差를 測定하고 알곤 流量, 알곤 定壓比熱, 알곤 密度에서 出力을 求한 後, 上述한 結果와 比較 檢討하였다.

3-3 노오즐 電極 消耗量 測定

電極 消耗은 電極에서 發生하는 熱에 依하여 表面 全體나 局部가 激烈하게 熱平衡을 爲하여 蒸發 또는 溶融飛散하기 때문이다. 熱效率 測定에서 確認된 바와 같이 棒電極보다 노오즐 電極에서 熱損失이 約 70%程度가 되므로 本實驗에서는 노오즐 電極의 消耗量에 對해서만 調査하였다. 熱慣性에 依한 電極消耗의 影響을 除去하기 爲하여 10分間隔으로 2分間 動作시킨後 直讀 벨런스(Jupiter, S<sub>1</sub>-160D, 10<sup>-6</sup>g 級, 日本製)로 每回 마다의 消耗量을 測定하였다. 그리고 電極 損傷에는 異常 消耗을 막기 위하여 每測定時 샌드 페이퍼로 잘 研磨하였고 또 電極을 置換시킬때 나사部分에서 磨耗되는 量도 그 平均을 取하여 測定值에서 減算하였다. 노오즐電極 內面的 損傷現象은 銅과 炭素材質에 대하여 調査하였는데 顯微鏡(Union 1727, 日本製)으로 100倍 擴大한 後 寫眞撮影하여 觀察하였다.

3-4 젯트 플라즈마와 아아크 電壓, 電流 波形 觀察

알곤 流量과 磁界의 세기에 依한 젯트 플라즈마와 아아크 電壓, 電流 波形變化 狀態는 寫眞撮影과 오실로 스코프(美國 Tetronix Co. Type 531A)에 나타난

現象으로 觀察하였다.

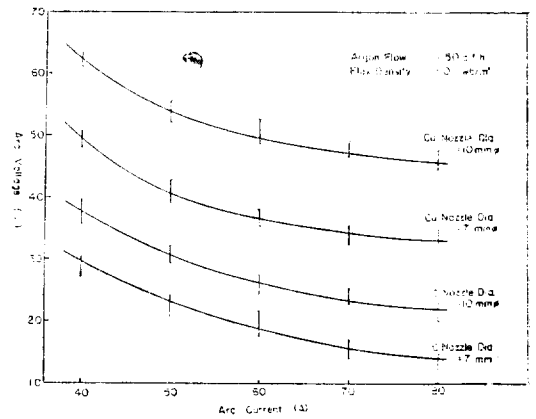


Fig.—5. Arc voltage vs. Arc current

그림—5 아아크電壓과 아아크電流와의 關係

4. 實驗 結果 및 考察

4-1. 아아크 電壓特性

아아크 電壓 및 電流波形은 그림 13에서 보는 바와 같이 同相이므로 토오치의 入力은 實効值로 表示한 아아크 電壓, 電流值의 곱이라고 생각할 수 있다. 그러므로 아아크 電壓特性에서 토오치 入力特性을 알 수 있다. 그림 5는 銅 및 炭素 材質로 製作한 노오즐 電極에 對하여 A.C 플라즈마 젯트의 아아크 電壓特性和 아아크 電流와의 關係를 나타낸 曲線이다. 노오즐 材質에 無關係하게 電流의 增大에 따라 아아크 電壓은 D.C 플라즈마 젯트의 경우의 아아크 電壓과 近似한 垂下特性을 나타내며 같은 材質의 노오즐에서 口徑이 큰쪽이 同一한 電流值에 對한 아아크 電壓이 높다. 또 炭素보다 銅 노오즐 電極 역시 아아크 電壓이 높다. 노오즐 口徑이 크면 노오즐 內面的 아아크點의 形成位置가 노오즐 出口 附近에 있게 되어 아아크柱의 長이가 伸張되므로 아아크 電壓이 커진다고 생각할 수 있다. 同一한 供給 알곤 流量에서 노오즐 口徑이 작을수록 아아크柱에 對한 알곤 개스에 依한 熱 핀치 作用이 커져 아아크 電壓이 上昇될 것으로 推測되지만 本實驗에서 供給한 알곤 流量이 50(c.f.h.)의 적은 量이고 또 口徑의 差도 크지 않으므로 熱 핀치 作用에서 오는 影響이 현저하게 發生치 않는다고 생각된다. 노오즐 電極材質에 依한 아아크 電壓의 差는 다음과 같이 解析할 수 있다. 陰極의 電子放出 方式에 따라 그 材質은 冷陰極形과 熱陰極形 두 種類로 大別된다.<sup>8)</sup> 銅材質은 融點과 沸點이 낮아 熱 電子 放出이 可能한 程度의 高溫度까지 도달할 수가 없고 銅陰極 前面에 陽

이온의 空間電荷가 形成되어 이에 起因하는 高電界 때문에 銅에서 電子가 放出된다고 볼 수 있다.

즉 交流 아아크에서 銅 노오즐이 陰極이 되는 瞬間에는 아아크柱는 冷却되어 있지 않고 充分한 電離度를 維持하고 있으므로 銅의 負電位에 依하여 陽 ion이 吸引되어 電極表面에 陽이온 Sheath를 形成한다. 이리하여 電極間에 加해진 全電壓의 大部分이 이 Sheath에 集中된다. 이 電極間 電壓이 어느 限度를 넘어 (1) 式과 같이 電界의 세기가 커지면 陽이온은 充分히 加速되어서 高에너지로 陰極面에 衝突하고  $\gamma$  作用에 依하여 電子를 끄집어 낼 수 있다. 이때 電子放出 密度는 Schottky의 式<sup>8)</sup>에 依하면

$$j = j_0 \varepsilon^{\frac{4.389\sqrt{E}}{T}} \dots \dots \dots (1)$$

가 된다.

여기서,

- $j_0$  = 外部 電界가 없는 경우의 電子放出密度 [A/cm<sup>2</sup>]
- $E$  = 外部 電界 [V/cm]
- $T$  = 銅 陰極의 絕對溫度

炭素와 텅스텐 材質은 融點과 沸點이 높으므로 熱電子放出에 依해서만 陰極 電子流를 供給할 수 있다. 交流 아아크의 極性이 轉換되어 새로 陰極이 되는 炭素나 텅스텐 電極表面은 아직도 充分한 高溫을 維持하므로 式(2)와 같이 그 자신의 熱電子放出能力에 依하여 아아크放電을 再開할 수 있고 特히 高電壓이 必要없이 安定한 아아크 放電을 維持할 수 있다. 熱電子放出 密度에 대한 Dushman의 式<sup>9)</sup>은 다음과 같다.

$$j = AT^2 e^{-\frac{\phi_0}{kT}} \dots \dots \dots (2)$$

여기서,

- $A$  = 材料에 의한 定數
- $\phi_0$  = 일 函數
- $k$  = Boltzmann 定數
- $T$  = 絕對溫度
- $e$  = 電子의 荷電量

토오치의 電極配置가 W-C, W-Cu의 경우를 比較해보면 W가 陰極이 되는 半波에서는 電極降下에서 오는 差와 Cu 쪽이 C보다 熱傳導率이 크므로 銅 노오즐 쪽의 壁 핀치 효과가 强하여 銅이 陽極일때 아아크 電壓이 높고 또 W가 陽極이되는 半波에서는 C는 熱陰極形 電子放出, Cu는 冷陰極形 電子放出을 하게 되므로 이 半波에서도 陰極이 Cu일 때 아아크 電壓이 높아질 것이다. 結局 W-C, W-Cu의 電極配置에서는 前者의 交流 아아크 電壓이 높아진다고 볼 수 있다.

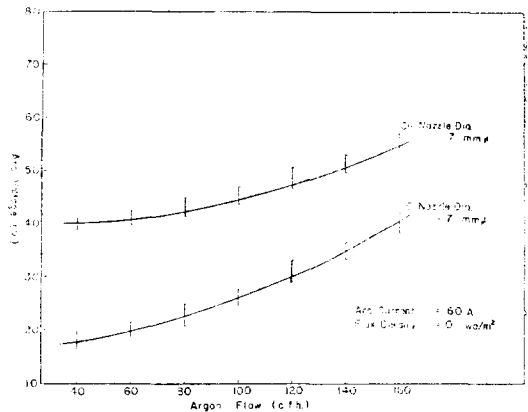


Fig.-6. Arc voltage v.s. Argon flow

그림 -6 아아크 電壓과 알곤 流量과의 關係

그림 6은 아아크 電壓과 아르곤流量과의 關係를 나타낸 曲線이다. 아르곤 流量의 增加에 따라 노오즐의 材質에 關係없이 아아크 電壓이 上昇하고 있는데 이것은 알곤 流量이 커지면 D.C 플라즈마 젯트의 경우와 마찬가지로 아아크점이 노오즐 內壁 깊숙히 形成되고 또 熱핀치 효과가 强해져 아아크柱의 斷面積이 收縮되기 때문이다라고 본다. 그림 7은 아아크 電壓과 磁界密度와

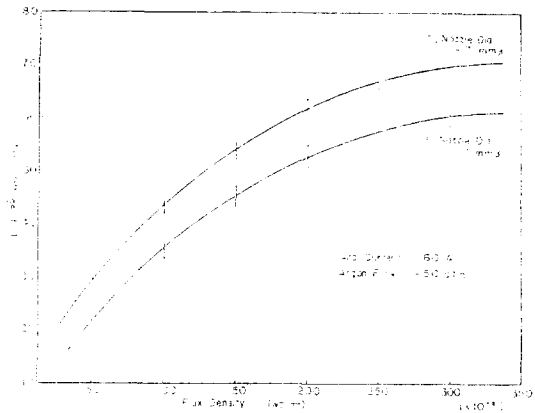


Fig.-7. Arc voltage vs. Flux density

그림 -7 아아크 電壓과 磁束密度와의 關係

의 關係를 調査한 것이다. 磁界의 세기가 커지면 아아크 電壓은 指數函數의으로 增大하며 D.C 플라즈마 아아크 電壓보다 다소 높다. 이것은 다음과 같은 理由라고 생각할 수 있다. 交番 電磁場 內에서의 荷電粒子의 運動은 磁界에 垂直한 平面內에서 長短軸이 周期的 振動인 橢圓을 그리는 旋回運動이다.<sup>10)</sup> 그러므로 이와 같은 電子의 運動으로 因하여 알곤 氣體에 對한 衝突回數가 많아져 電界에서 얻는 에너지가 적으므로 電離作用이 弱안된다. 따라서 同一한 아아크 電流를 얻으려면 電界의 세기 즉 아아크 電壓을 높여야 하는 것이다.

4-2 토오치의 熱効率

그림 8은 炭素및 銅 노오즐을 使用할때 토오치의 熱効率과 알곤流量과의 關係를 調査한 것이다. 알곤流量과 더불어 熱効率は 거의 指數函數의으로 높아지고

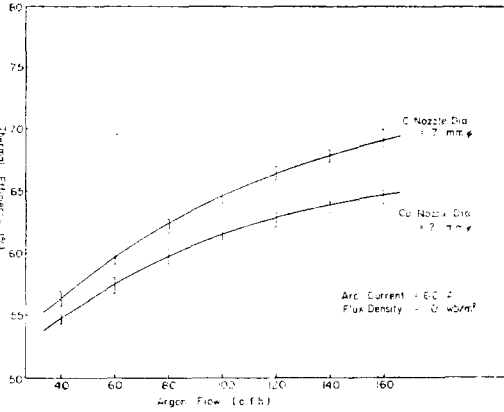


Fig.—8. Thermal efficiency vs. Argon flow  
그림—8 熱効率과 알곤流量과의 關係

있으며 炭素쪽이 銅 노오즐보다 同一한 알곤流量에서 約2%程度가 높다. 이와같이 알곤流量의 增加에 따라 熱効率が 上昇하는 것은 D.C 플라즈마 젯트에서도 指摘한 것과 같이<sup>5)</sup> 아아크 플라즈마柱의 熱핀치 効果가 커져 이의 溫度가 上昇하고 아아크 챔버壁이나 노오즐壁에 대한 熱遮斷效果가 좋아지는데 起因하고 또 노오즐 材質面에서는 炭素노오즐쪽이 熱効率が 다소 높은것은 銅보다 熱傳導率이 적기때문 이라고 생각된다.

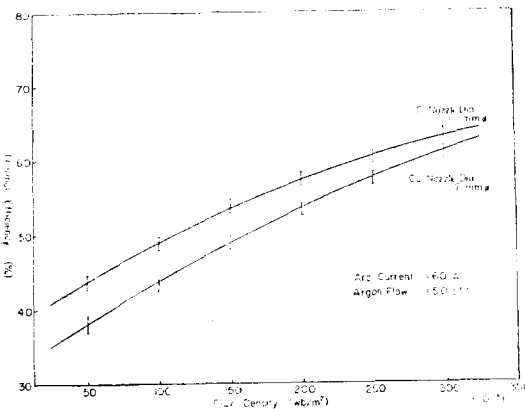


Fig.—9 Thermal efficiency vs. Flux density  
그림—9 熱効率과 磁束密度와의 關係

그림9는 熱効率과 增加 磁界의 세기와의 關係를 나타낸 結果이다. 磁束密度가 增加하면 効率は 점차 上昇하는 傾向을 나타내여 0.035[Wb/m<sup>2</sup>] 以上에서 飽和가 되어 最高効率 75%程度가 될것으로 期待된다. 이와같이 磁界의 세기의 增大에 따라 熱効率が 좋아지는 것은 磁界에 垂直한 方向의 熱傳導率이 磁界의 세기에 依하여 작아지므로 노오즐 電極에서의 熱損失이

줄어들기 때문이다. 즉 熱傳導率  $K_M$ 은 (3)式<sup>10)</sup>에서 보는 바와 같이  $\tau$ 가 一定할때 (氣體分子密度가 一定) 磁界와 더불어  $W_c$ 가 커지므로 감소하게 된다.

$$K_M = \frac{K}{1 + (\omega_c \tau)^2} \dots \dots \dots (3)$$

여기서,

$\tau$  = 繼續되는 2回 衝突間의 時間

$\omega_c$  = 旋回 周波數

$K$  = 無磁界인 경우의 플라즈마 熱傳導率

4-3 노오즐電極 消耗特性

材質에 대한 노오즐電極의 消耗量을 調査한 結果가 그림10, 11이다. 노오즐電極 消耗量은 比消耗量(mg/A.sec)로 表示 하였으며 아아크 電流, 알곤流量및 磁界의 세기를 變數로 하였을 때의 값을 求한 것이다. 토오치의 電極은 W-Cu, W-C의 두가지로 成立되어 있다.

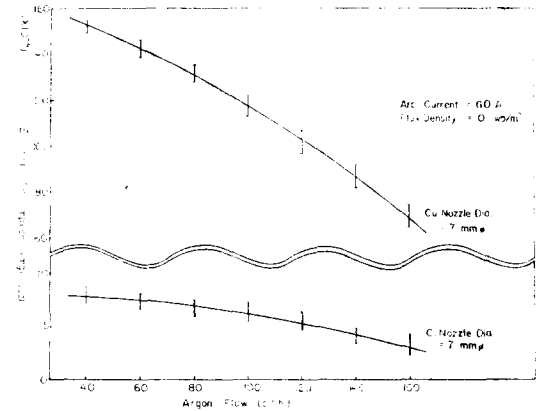


Fig.—10. Electrode consumption vs. Argon flow  
그림—10 電極消耗와 알곤流量과의 關係

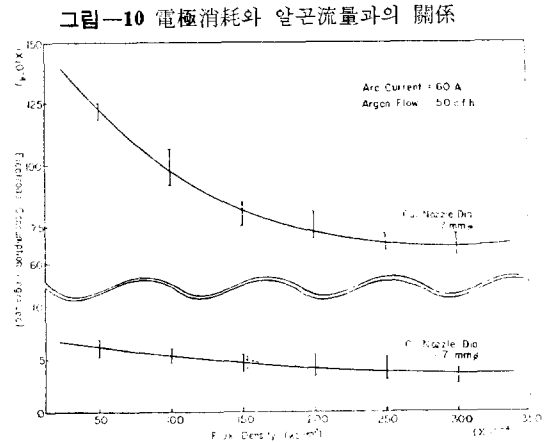


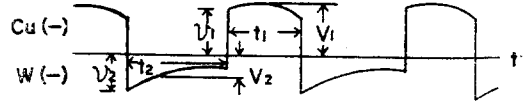
Fig.—11 Electrode consumption vs. Flux density  
그림—11 電極消耗와 磁束密度와의 關係

이와같이 電極材質은 電子放出機構가 다르고 또 電極

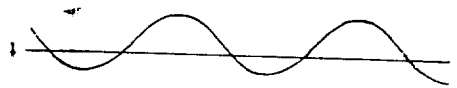
의 形態도 相異하므로 後述하는 바와같이 아아크의 極性效果가 顯著하게 달라 直流分을 包含한 交流가 흐르게 된다. 이 경우 노오즐 電極에 傳達되는 熱에너지는 直流의 正極性和 逆極性일 때의 平均値가 되고 이에 따라 電極 消耗量도 直流의 경우의 平均이 된다고 생각할 수 있다. 그림에서 電極 消耗量은 알곤流量과 磁界의 세기의 增大에 依하여 거의 비슷하게 減少하고 있고 炭素노오즐쪽이 銅보다 적다. 이와같이 알곤流量이 많아지면 電極消耗가 적어지는 것은 알곤 旋回氣流에 依하여 軸에 垂直한 成分이 더욱 커져 아아크點의 移動速度가 빨라지므로 노오즐의 入力 密度가 減少되고 또 노오즐壁에 대한 熱絶緣作用도 점차 좋아지는데 理由가 있다고 본다. 그리고 磁界의 세기가 增加하면 역시 電極消耗量이 적어지는것도 아아크柱에 作用하는 電磁力이 점차 커져 아아크點이 高速度 回轉運動을 하므로 노오즐壁에 대한 入力密度가 減少되고 또 (3)式에서와 같이 플라즈마의 熱傳導率도 적어지기 때문이라고 생각한다. 특히 銅노오즐쪽이 炭素쪽보다 消耗率이 많은데 이것은 材質의 熱傳導率의 面에서 反對의 結果가 나온 것으로 생각되지만 이것은 銅이 炭素보다 溶融點이 낮고 또 銅노오즐이 陰極이 되는 半波에서 아아크 電流가 많고 또 陰極降下가 크므로 陽이온의 높은 運動에너지에 依하여 局部的인 溶融現象이 發生하기 때문이라 본다. 그림 12는 銅과 炭素노오

즐의 局部的 損傷을 顯微鏡으로 100倍 擴大한후 撮影한 것이다. 電極 消耗와 關聯시켜볼때 確實히 銅쪽이 炭素보다 훨씬 損傷이 큰것을 알 수 있다.

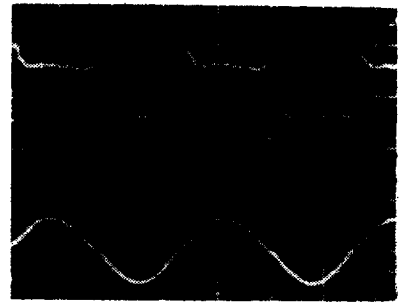
4-4 아아크電壓 및 電流波形과 제트 플레임의 形態  
 그림 13은 A.C 플라즈마 제트에서 아아크 電壓과 電流波形을 오실로스코프上에서 觀察한 것이다.



아아크 電壓



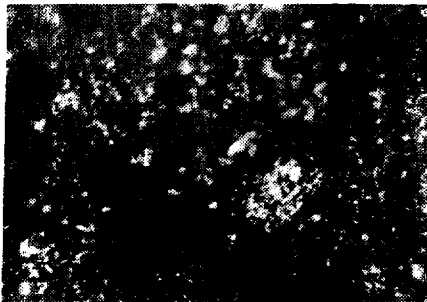
(a) 아아크 電流



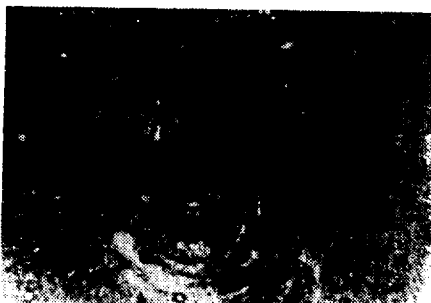
(b)

Carbon-Tungsten  
 Nozzle dia. = 7[m/mφ]  
 Arc current = 60[A]  
 Volt/div. = 50[V]  
 Current/div. = 10[V]  
 Time/div. = 5[ms]

Argon flow (Q) = 50 [c.f.h.]  
 Flux density (B) = 0 [Wb/m<sup>2</sup>]

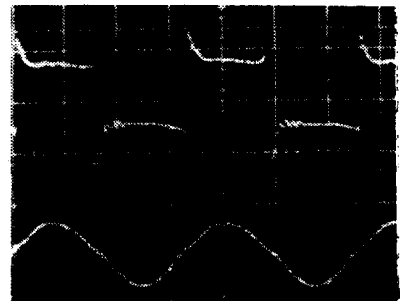


(a) Carbon nozzle



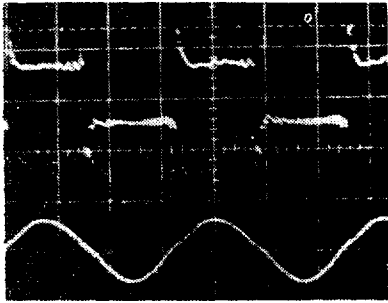
(b) Copper nozzle

Fig. -12 Nozzle erosion  
 그림-12. 노오즐 電極 損傷

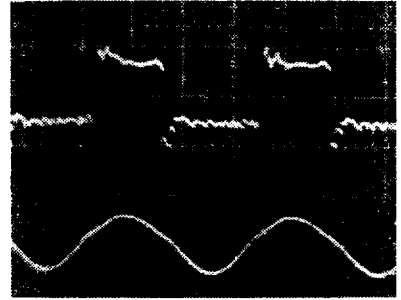


(c)

Q=100 [c.f.h.]  
 B=0 [Wb/m<sup>2</sup>]



(d)  
 $Q=100$  [c.f.h.]  
 $B=0.0325$  [Wb/m<sup>2</sup>]



(g)  
 $Q=100$  [c.f.h.]  
 $B=0.0325$  [Wb/m<sup>2</sup>]

Fig.—13. Wave forms of arc voltage and arc current

그림—13. 아아크 電壓과 電流의 波形

그림에서

(i) 正負 兩半波의 아아크電壓의 不等  $V_1 \neq V_2$

(ii) 兩點孤 尖頭電壓이 不等  $v_1 \neq v_2$

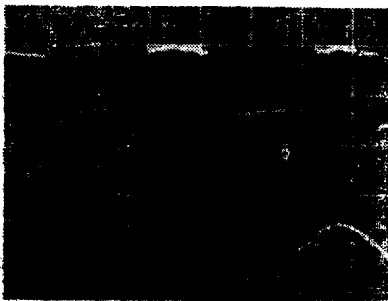
(iii) 正負 兩半波의 電流가 不等  $i_1 \neq i_2$  와 같은 非對稱的인 電壓 電流波形이다. 이것은 兩電極이 材質的으로나 幾何學的으로 對稱이 아니므로 電極의 極性에 따라 電流의 흐름이 難易한데서 招來된 것이다. 그러므로 A.C 플라즈마 켄트에서 點孤時에 正負의 半波에서 아아크電壓이 同一하지 않게되어 아아크 電流는 完全한 交流가 되지 않고 多少의 直流分이 包含하게 된다. 本 實驗에 使用한 電極配置 C—W, Cu—W 에서는 아아크電壓의 非對稱性은 비슷하지만 아아크電流에서는 後者쪽이 前者보다 直流分이 많아 非對稱性이 甚하다. C—W 電極配置에서 非對稱性의 아아크電壓을 갖는 것은 電極形態가 相異하므로 電壓降下가 變化하는데서 생기는 現象이며 Cu—W 電極配置에서의 아아크 電壓 및 電流의 非對稱性은 電極形態가 다른데서 일어나는 理由뿐만 아니라 電子放出 機構가 根本的으로 다른 電極材質 때문이라고 생각된다. 아아크 電壓波形上의 高周波 成分은 아아크點의 移動時에 再點孤 電壓이 發生하는데 이것이 低周波 아아크 電壓에 重疊된 것이므로 알곤流量과 磁束密度가 增加하면 아아크點의 移動이 생기는 것은 電壓波形에서 알 수 있다.

(a) 노오즐材質에 關係없이 陽極點이 陰極點 移動보다 甚하다.

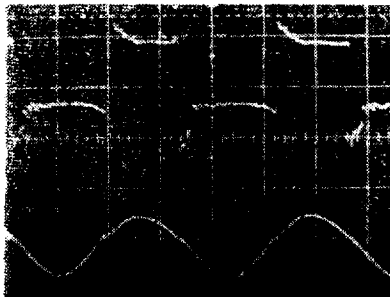
(b) 陽極點의 移動은 노오즐 電極材質에 큰 影響이 없다.

(c) 銅보다 炭素노오즐을 使用할때 陰極點의 移動이 甚하다.

(d) W—Cu 電極配置에서 W—C 電極配置 보다 아아크 電壓 및 電流의 直流分이 많다.



(e)  
 Copper—Tungsten  
 Nozzle dia. = 7[m/m φ]  
 Arc current = 60[A]  
 Volt/div. = 50 [V]  
 Current/div. = 10[V]  
 Time/div. = 5[ms]  
 Argon flow(Q) = 50 [c.f.h.]  
 Flux density (B) = 0 [Wb/m<sup>2</sup>]



(f)  
 $Q=100$  [c.f.h.]  
 $B=0$  [Wb/m<sup>2</sup>]



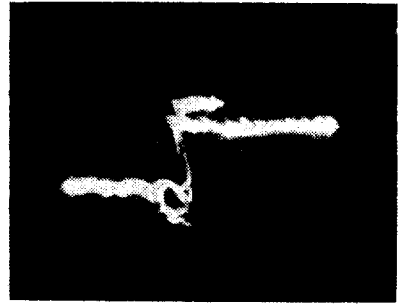
(e) 電壓波形에서  $V_1, V_2$  를 正負半波의 平均아아크 電壓,  $t_1, t_2$  를 半波의 繼續時間이라고 하면 近似的으로  $V_1 t_1 = V_2 t_2$  가 된다.

(f) 再點孤電壓은  $W$  가 陰極일때가 크다.

(g)  $W$  가 陰極이 되는 半波에서 아아크 電流의 繼續 時間이 길고 또 電流值도 크다.

等을 이들 波形에서 確認할 수 있다.

本實驗中 主 變壓器의 一次側에는 變壓比에 關係없이 大電流가 흐르므로 아아크 電流 즉 二次側 電流의 上限值를 80[A]로 하였다. 이와같은 一次 異常電流의 發生은 다음과 같이 說明할 수 있다. 非對稱 아아크에서는 變壓器의 二次出力側에서 直流分 電流가 흐르지만 一次側에서는 定常狀態에서 直流分이 흐르지 않게 된다. 즉 二次 直流分은 一次卷線에 依하여 補償되지 않은채 殘留하여 主鐵心의 磁路를 直流磁化하고 이때 문에 鐵心은 偏極飽和가 된다. 이것이 原因이 되어 一次側에 異常電流가 흐른다고 볼 수 있다. 그림 14는 아아크 電壓과 電流가 波形을 直角座標로 나타낸 오실로스코프상의 現象이다. 알곤流量과 磁界의 세기가 커지면 아아크點 移動時에 發生하는 高周波分이 包含



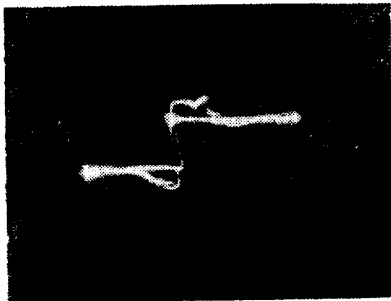
(c)

$Q=100$  [c.f.h.]  
 $B=0.0325$  [Wb/m<sup>2</sup>]

Fig. —14 Hysterisis loop of arc voltage and arc current

그림-14 아아크 電壓과 아아크 電流의 履歷波形

되어 複雜한 履歷現象을 나타내고 있다. 그림15는 A.C 플라즈마 젯트 프레임의 形態를 나타낸 것이다. 알곤流量의 增加에 따라 프레임의 銳利性이 좋아지지만 磁界의 세기가 強해지면 도리어 나빠진다.  $W-C$

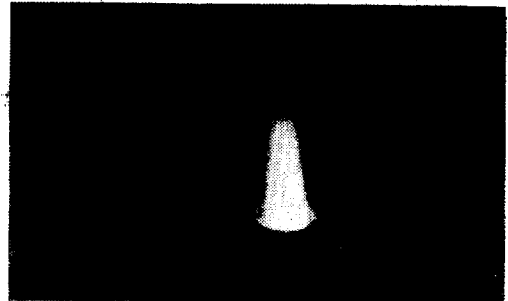


(a)

Carbon-Tungsten  
Nozzle dia.=7[m/mφ]  
Arc current=60[A]  
Argon flow (Q)=50 [c.f.h.]  
Flux density (B)=0 [Wb/m<sup>2</sup>]

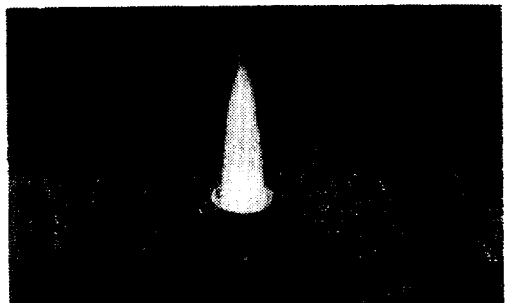


$Q=100$  [c.f.h.]  
 $B=0$  [Wb/m<sup>2</sup>]



(a)

$Q=50$  [c.f.h.]  
 $B=0$  [Wb/m<sup>2</sup>]

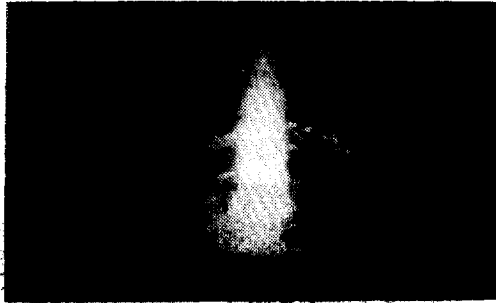


(b)

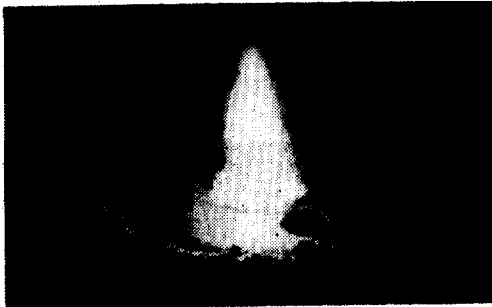
$Q=100$  [c.f.h.]  
 $B=0$  [Wb/m<sup>2</sup>]  
Carbon-Tungsten  
Nozzle dia.=7 [m/mφ]  
Arc current=60[A]  
 $Q$ : Argon flow [c.f.h.]  
 $B$ : Flux density [Wb/m<sup>2</sup>]



(c)  
 $Q=100$  [c.f.h.]  
 $B=0.0325$  [Wb/m<sup>2</sup>]



(d)  
 $Q=50$  [c.f.h.]  
 $B=0$  [Wb/m<sup>2</sup>]



(e)  
 $Q=100$  [c.f.h.]  
 $B=0$  [Wb/m<sup>2</sup>]  
 Copper—Tungsten  
 Nozzle dia. = 7[m/mφ]  
 Arc current = 60[A]  
 $Q=$  Argon flow [c.f.h.]  
 $B=$  Flux density [Wb/m<sup>2</sup>]

의 電極配置에서는 W—Cu의 경우보다 프레임의 安定度 및 銳利性이 좋으며 D.C 플라즈마 젯트 프레임과 비슷한 모양을 가진다.



(f)  
 $Q=100$  [c.f.h.]  
 $B=0.0325$  [Wb/m<sup>2</sup>]  
 Fig.—15 Plasma jet flame  
 그림—15 젯트프레임의 形態

### 5. 結 論

商用 周波數(60Hz)의 플라즈마 젯트에 대한 研究結果를 要約하면 다음과 같다.

1) 플라즈마 젯트의 入力은 아아크 電流, 알곤 流量, 磁界의 세기 및 노오즐 口徑과 더불어 增加시킬수 있고 同一한 條件下에서 D.C 플라즈마 젯트의 入力보다 크다. 또 노오즐 電極의 材質이 銅일때 炭素보다 크다.

2) 플라즈마 젯트 토오치의 熱效率은 알곤 流量과 磁界의 세기와 더불어 指數函數의 形式으로 增加하며 노오즐 電極의 材質이 炭素일 때 銅보다 크다. 本實驗에서 最高 75%를 얻었다.

3) 노오즐 電極의 消耗量은 알곤 流量과 磁界의 세기가 增大하면 減少하며 銅材質이 炭素보다 크다.

4) 아아크 電壓 및 電流는 非對稱性이며 이로인한 直流分 電流에 依하여 主變壓器의 鐵心이 偏極飽和가 되어 一次側에 異常電流가 흐른다. 이를 防止하려면 主放電回路에 直列로 콘덴서를 挿入해야 한다.

5) 젯트 프레임은 아르곤 流量이 많아지면 銳利性이 좋아지지만 磁界가 強해지면 도리어 低下된다. W—C 電極配置에서 프레임의 安定度 및 銳利性은 W—C 電極配置쪽이 W—Cu 電極配置보다 좋으며 거의 D.C 플라즈마 젯트의 경우와 近似한 特性을 갖는다.

本 報告書는 1973年度의 文敎部 研究助成費에 依하여 이루어진 것이다.

### 參 考 文 獻

1) J.C. Luxat and L.H. Lees; "Modeling the Thermal Characteristics of an A.C Plasma Torch."

- IEEE Trans. Industry and General Applications, Vol. IGA-7, No.4, July/August, 1971.
- 2) J.E. Harry; "A Power Frequency Plasma Torch for Industrial Process Heating,"  
IEEE Trans. Industry and General Applications, Vol. IGA-6, No.1, January/February, 1970.
- 3) W.K. Roots and M.A.H. Kadhim; "Measuring the Electro-thermal Efficiency of a 50-Hz Plasma Torch"  
IEEE Trans. Instrn. Meas., Vol., IM-18, Sept. 1962.
- 4) 岡田實, 荒田吉明; Plasma 工學, 日本日刊 工業新聞社, 1967.
- 5) 田春生 "Plasma Jet 의 同軸平行磁界에 의한 영향에 關한 研究(I)", 大韓 電氣學會誌, Vol. 22, No.2, pp.45-57. 1973.
- 6) 田春生; "Plasma Jet 의 同軸平行磁界에 의한 영향에 關한 研究(II)," 大韓 電氣學會誌, Vol. 22, No.5, pp. 19-32, 1973.
- 7) B.Grass, B.Gaycz and K.Milkosy; Plasma Technology ILIFFE Books Ltd, London, 1968.
- 8) J.D Cobine; Gaseous Conductors, Dover Publications Inc., New York, U.S.A. 1958.
- 9) 日本 電氣學會編; 放電 Hand Book, 1958.
- 10) A.B. Cambel; Plasma Physics and Magneto-Fluid Mechanics, McGraw-Hill Book Co, New York, U.S.A. 1963.