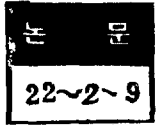


Plasma Jet 의 同軸平行 磁界에 의한 영향에 관한 研究 (1)



A Study on the Influence of Coaxial Parallel Magnetic Field upon Plasma Jet

전 춘 생*
(Choon Saing Jhoun)

Abstract

The aim of this study was to investigate the behaviors of plasma jet under coaxial magnetic field in parallel with it for controlling optical characteristics and input power of plasma jet without impurity and instability of arc plasma column.

Because the discharge characteristics of plasma jet were so distinctively different according to the existence or non-existence of magnetic field, the input power, luminous intensity of plasma jet and thermal efficiency were comparatively studied in respect of such variables as arc current, gap of electrode, quantity of argon flow, magnetic flux density, diameter and length of nozzle, with the use of several materials which were different in diameter and length of nozzle.

The results were as follows;

- 1) The voltage tends to show a drooping characteristic at low current and then rises gradually. The luminous intensity of plasma jet increases exponentially with arc current.
- 2) Arc voltage increases and luminous intensity tends to decrease gradually as gap of electrode increases.
- 3) Arc voltage and luminous intensity increase in accordance with the quantity of argon flow.
- 4) At first step, arc voltage increases to maximum value with the growth of flux density and then tends to show a gradual decrease.
Luminous intensity decreases with the growth flux density.
- 5) Arc voltage decreases as the constriction length of nozzle increases, maximum decrease is shown at the constriction length of 20 (mm) and it increases beyond that value.
The luminous intensity decreases as the constriction length grows.
- 6) Arc voltage and luminous intensity increase with the growth of diameters of nozzle.
- 7) Thermal efficiency has values between 50% and 75%, being influenced by arc current, the quantity of argon flow, flux density, the length of electrode gap and the constriction length of nozzle.

1. 序 論

plasma jet 發生裝置는 原理的으로 比較的 簡單하여 여러 應用分野를 開拓하고 있지만 그 特性은 構造面에서 arc 柱의 安定化의 方式, 兩電極의 材質 및 形狀,

* 정회원 : 인하대학교 공과대학 교수

裝置 各部의 冷却能力과 動作上으로는 作動 gas의 種類, 流量 및 流入方式, 電極間隙, arc 電流, 電源回路, 制御系統에 의하여 決定된다. 그러므로 裝置 設計上の 諸問題와 動作 特性의 解析, jet plasma의 制御等은 이와 같은 諸變數의 影響은 柱의 舉動, flame energy의 損失, 電極現象 등에 密接한 關連이

있으므로 極히 複雜하게 되어 아직도 充分한 解明이 되어 있지 않다.

특히 plasma jet의 電極現象에는 多數의 變數가 關與하게 되어 裝置의 特性面에 여러가지로 큰 影響을 미친다. 電極現象은 主로 電極의 모양 및 材質, 陰極點과 陽極點의 發生狀態, 그리고 그 運動等에도 依存한다고 볼 수 있다. 電極 現象은 電極 表面의 損傷과 連關되어 電極 壽命과 plasma 流의 汚染度에도 깊은 關係가 있다는 것을 推察할 수 있다. 그러므로 plasma jet의 陽極點을 nozzle 電極壁 表面에서 高速度로 移動시키면 한 點에 對한 入力を 減少시킬 수 있어 電極 損傷을 防止할 뿐만 아니라 arc도 安定化시킬 수 있게 된다. 이에 對한 方法으로 作動 gas를 渦流狀으로 裝置에 流入시키거나 gas 流入과 併用하여 plasma jet와 同軸方向으로 外部磁界를 印加하는 경우가 있다. 그런데 一般의 渦流狀 gas 流入 方法을 採用하고 있으며 arc 端의 電極 表面에 對한 附着力에 對抗하여 陽極點을 回轉시켜 滿足할 만한 成果를 얻으려 強力한 渦流 成分이 存在하여야 한다.

그러므로 많은 流量이 使用되는데 流量이 增大하면 gas 流에 亂流現象이 發生하여 plasma jet 特性에 惡影響을 주게 되므로 必然의 限度가 있게 된다. 利用 目的에 따라 여러가지 作動 gas를 使用하고 있는데 특히 Λ , He, Ne 등과 같은 稀有 gas 일때는 國內의 市價가 높아 實用時에는 經濟的으로 相當히 不利하게 된다. 그러나 適當한 gas 流量을 注入시키고 適한 磁界를 印加하여 이 作用으로 陽極點을 回轉시키면 作動 gas의 消耗量을 最大限 抑制시키고, 간단하게 入力 制御 및 arc의 安定을 改善시킬 수 있을 것이다. 筆者는 plasma jet에 대한 基礎資料를 얻기 爲하여 小容量非移動式 plasma jet 裝置를 試作하고 여기에 作動 gas 渦流狀 流入과 gas 流入을 併用하는 磁界印加의 두 方式을 利用하여 arc plasma가 安全하고 汚染이 없이 入力, 光學 및 熱의 特性을 制御한 目的으로 實驗中에 있는데 以下報告는 여기서 얻은 結果를 比較 檢討한 것이다.

本 論文에서는 電氣의 特性과 光學 및 熱의 特性의 一部를 考察한 것이며 특히 大氣壓下에서 磁界 印加時의 諸特性에 대해서는 아직도 學者들의 詳細한 研究報告가 없어 이 分野에 關心을 갖는 分들에게 本 資料가 多少 도움이 될 것으로 믿는다. 電源裝置의 容量不足으로 大電流에 對한 結果를 얻지 못하였지만 장차 이에 대한 實驗도 實行할까 한다.

2. 方法

그림 1-(a)는 實驗裝置이며 (b)는 實驗裝置에 대한

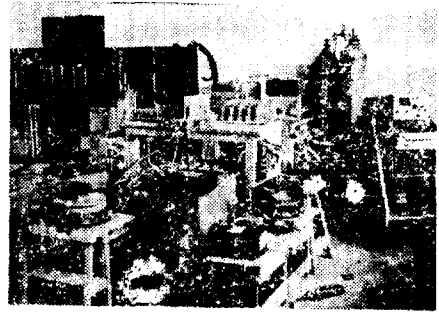


그림 1-a. 實驗裝置圖
Fig. 1-a. Experimental apparatus.

系統圖를 나타낸 것이다. 主放電 回路의 直流 回路는 施設容量 三相 220(V), 200(A)의 交流를 整流하는 實効定格 出力 400(V), 200(A)의 silicon rectifier를 使用하였다. 電源電壓은 argon, 窒素 등의 作動 gas를 使用할 경우에 起動에는 支障이 없다. 또 適當한 垂下 特性을 줄 수 있게끔 電流容量 200(A)의 可飽和 reactor를 使用하였다. 이 可飽和 reactor의 制御 捲線에 0~8(A) 範圍의 直流流을 可變의 으로 흘러주면 이에 따라 plasma jet의 直流電流도 最大 200(A)까지 連續的으로 變化시킬 수 있다. plasma jet의 安定을 爲하여 rectifier 出力 電壓의 脈動率을 1%程度로 制限시키려고 L型 filter를 使用하였다. 起動裝置로서는 筆者의 前報告書에서 記述한 바와 같이 高周波를 發生할 수 있는 水銀 gap 放電을 利用한 發振裝置를 使用하였고 主放電 回路에 高周波 高電壓을 供給 目的으로 高周波 變壓器를 使用하였는데 이것은 變壓器 磁素網板을 棒狀으로 成層한 鐵心위에다 200(A) 程度를 흘릴 수 있는 銅管을 감아 油入한 單捲 變壓器이다.

冷却水 系統은 그림 1-(b)의 系統圖에서 보는 바와 같이 上下部 두 個의 水槽가 있으며 上部水槽에서 流量調節 cock→流量計→溫度計를 거쳐 torch의 nozzle 陽極部 arc chamber 및 tungsten 陰極 支持部를 通하여 溫度計→下部水槽로 流入하도록 하였는데 上部水槽와 下部水槽間에는 pump의 揚水裝置가 있다. 이 3個所를 通하는 流量은 2~8 l/min 程度이다.

plasma jet의 熱損失은 특히 nozzle 電極部에서 많으며 速히 이것을 放散치 않으면 裝置의 破損이 생기게 되는데 本 裝置에서는 argon의 作動 gas를 使用할때 arc 入力 1~5kw의 範圍에서는 nozzle 冷却水의 溫度上昇이 5°C 以下로 制限시킬 수가 있었다. 磁界 coil은 電流容量 40(A) 綿被覆 coil을 700회로 空心 solenoid 形으로 감은 것이며 直徑 22cm, 높이 30cm 程度가 된다.

磁界의 變動을 極小化시키기 爲하여 L形 filter를

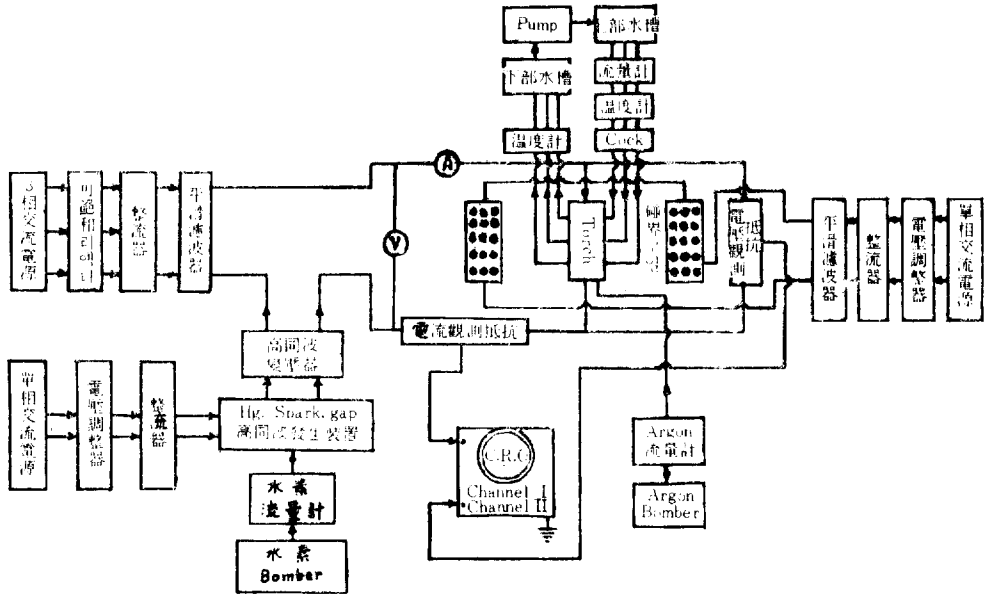


그림 1-b. 實驗裝置의 系統圖
Fig. 1-b. Experimental system diagram.

使用하여 脈動率 1%以下로 制限하였다. 作動 gas 로서 argon을 使用하였는데 이것은 日本에서 輸入한 것이며 純度는 99.99%가 되며 bomber에서 流量計 (Victro meter)를 거쳐 torch에 流入하게끔 하였다. 試作한 plasma torch는 非移行式이고 gas 渦流集束形이며 그림 2-(a), (b)와 같다.

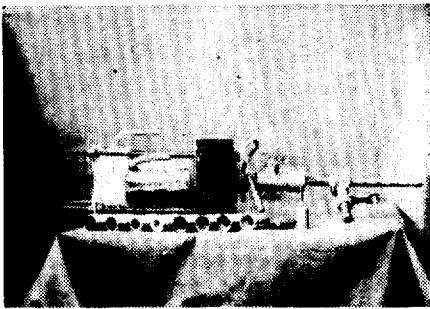


그림 2-a. Plasma jet의 torch
Fig. 2-a. Plasma jet torch

Tungsten 電極棒(曲率半徑 1.67mm, 直徑 4mm)의 陰極과 水冷部의 中心에 直徑 4mm인 圓筒狀內部에 나사를 닫고 表面이 나사로 되어 있는 nozzle 電極이 끼여지게끔하여 陽極部를 構成시켰다. arc chamber는 2重 銅管으로 되어있고 兩端에 絶緣物을 사이에 두고 兩極을 包圍하고 있으며 이 2重銅管 사이에는 冷却水가 通하며 兩電極間의 圓筒狀 空間內에 arc의 安定 및 集束을 늘이기 爲하여 陰極部에 있는 細管을 通하여 前述한 argon 旋回氣流을 流入 시켰다. 電極間隙을 나

사로 構成되어 있는 陰極의 調節部에서 陰極을 左右로 移動시켜 調節하고 vernior caliper로 測定 하겠끔 하였다. arc 電壓, arc 電流의 測定은 plasma jet 裝置를 起動시키고 放電 回路의 電源側에 있는 可飽和 reactor의 制御捲線에 흐르는 電流를 可變시켜 arc 電流를 變化시키고 分流器를 着用한 直流 電流計로, 이에 對應하는 電壓値는 直流 電壓計(日本 YEW社製 0~30V)로 各各 測定하였다. argon 流量의 變化 値도 argon bomber 다음에 設置한 流量計로 測定하였고, 單位는 cfh(ft³/h)로 나타낸다. jet flame의 길이는 寫眞攝影(Cannon camera)하든가 또는 filter를 통한 實測 結果에서 얻은 것이다.

光度는 flame의 同軸方向에 對하여 測定하였는데 視感度 filter가 着用되어 있는 光電池 照度計를 使用하였으며 nozzle 出口에서 25cm~75cm 거리에 受光面이 正對面하게 設置하였다. flame 光度의 增加에 따라 測定範圍가 클때는 照度計에 붙어 있는 切換 switch로 倍率 filter가 있는 受光面을 使用하였다. 照도와 거리의 關係에서 flame의 光度를 測定할 수 있었다.

磁束變化는 磁束 coil에 流入하는 電流와 nozzle 出口의 磁束密度와의 關係를 미리 磁束計(日本 SSIL社製)를 使用하여 曲線으로 그려놓고 電源整流器 바로 뒤에 있는 電壓調整器로 變化시켰다. arc 電壓波形的 觀測은 抵抗分壓器를 torch의 兩電極間에 接續하고 分壓된 信號를 probe를 通하여 oscilloscope(美國 Te-tronix社, type 531A)의 入力側에 보내어 이에 나타 난 現像을 寫眞攝影하여 調査하였다. plasma jet의

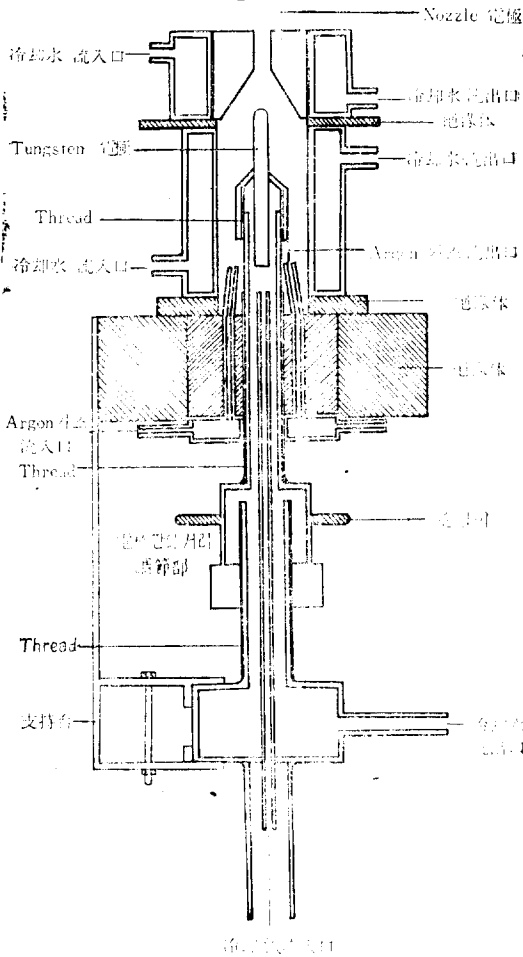


그림 2-b. Plasma jet torch 의 sketch
Fig. 2-b. Sketch of plasma jet torch.

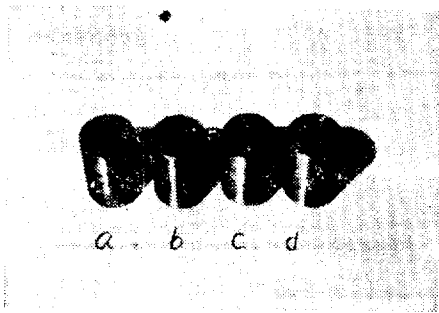


그림 2-c. 各種 nozzle 電極
Fig. 2-c. Various nozzle electrode

熱効率は 動作中の 이 裝置의 入力과 冷却水 損失에서 大體의인 값을 求할 수 있었다.

即, 熱効率을 η 라 하면

$$\eta = 1 - \frac{\text{熱損失}}{\text{裝置入力}}$$

熱損失을 W_1 라고 하면

$$W_1 = JCQ(T_2 - T_1) / \Delta t \quad (W)$$

또 裝置의 入力을 W_2 라고 하면

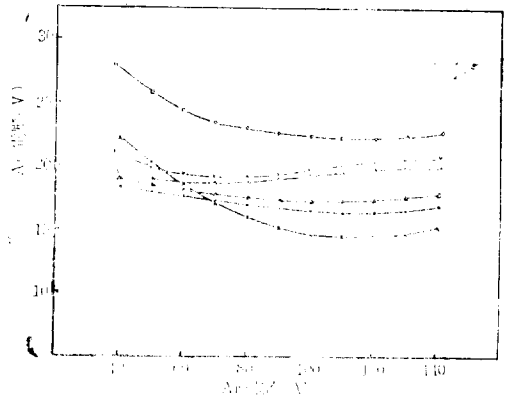
$$W_2 = Va \times Ia \quad (W)$$

但 J는 熱의 實當量 (=4.186 J/cal)

C는 冷却水 比熱(≈1 cal/g°C), Q는 冷却水 流量(g), T_1 는 冷却水 流入口 溫度(°C), T_2 는 冷却水 流出口 溫度(°C), Δt 는 動作時間(sec), V_a 는 arc 電壓(V), I_a 는 arc 電流(A)이다. 그런데 W_1 는 nozzle 電極部, arc chamber 部 그리고 tungsten 陰極部의 冷却水 損失이다.

3. 實驗結果 및 考察

(1) 電壓—電流 特性



nozzle 徑 5(mm) 電極間隙 5(mm)

(1) argon 流量 70(cfh)

磁束密度 0(Wb/m²) ×—×

" 0.05 " ·—·

" 0.1 " △—△

(2) argon 流量 140(cfh)

磁束密度 0(Wb/m²) ○—○

" 0.05 " ∇—∇

" 0.1 " ▲—▲

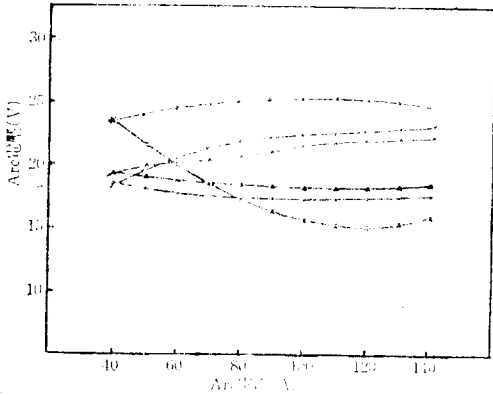
그림 3-a. Arc 電壓과 arc 電流 關係曲線

Fig. 3-a. Arc voltage-arc current.

그림 3-(a), (b), (c)는 徑 5(mm), 7(mm), 10(mm)의 nozzle 陽極에 對한 arc 電流와 arc 電壓과의 關係를 나타낸 曲線이다.

그림에서 보는 바와같이 nozzle 電極의 徑이 클수록 同一한 電流值에 對하여 arc 電壓은 높아진다.

磁束密度 0(Wb/m²)에서는 argon 流量이 큰 쪽이 arc 電壓이 크며 約 10(V) 가까운 差를 나타내는데 曲線은 100(A)까지 顯著的한 垂下特性을 나타내지만 이



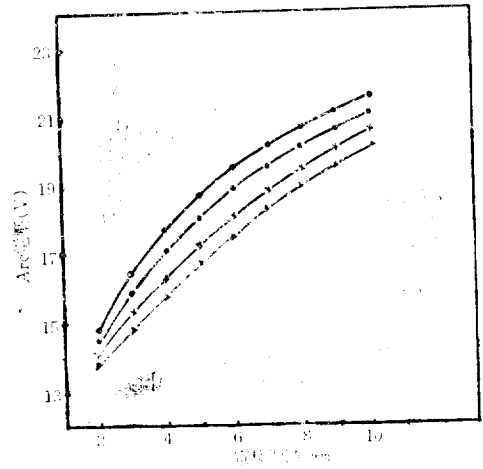
nozzle 徑 7(mm) 電極間隙 5(mm)
 (1) argon 流量 70(cfh)
 磁束密度 0(Wb/m²) ×—×
 " 0.05 " ·—·
 " 0.1 " △—△
 (2) argon 流量 140(cfh)
 磁束密度 0(Wb/m²) ○—○
 " 0.05 " ∇—∇
 " 0.1 " ∧—∧

그림 3-b. Arc 電壓과 arc 電流 關係曲線
 Fig. 3-b Arc voltage-arc current.

上的 電流에 對해서는 電壓變動을 判明한 수 없으며 水平特性에 接近한다. 이것은 流量增加에 따라 arc 柱의 狹窄作用이 強해지는데 原因이 있다고 考察된다. 磁束密度가 0.05, 0.1(Wb/m²)로 增加하면 電流值 全般에 걸쳐 1~2(V) 程度의 電壓差를 두고 電壓이 變하고 있는데 電流增加에 따라 極히 緩慢하게 上昇하고 있으며 그 上昇率은 nozzle 徑이 적을수록 크다.

이것은 같은 流量에 對하여 徑이 적을수록 gas의 速度가 커지고 또 磁束에 의한 arc 柱의 狹窄作用이 大電流에서 지속되 나다만 알 수 있다. 그런데 argon 流量이 많을때 磁束密度가 적은 경우의 電壓이 높아지는데 이것은 磁界에 의한 陽極點의 擴大, ion 및 電子의 電位作用 또는 nozzle 電極內壁의 熱場場에 原因이 있지 않나 推察할 수 있으며 今後의 研究課題로 남겨 두기로 한다.

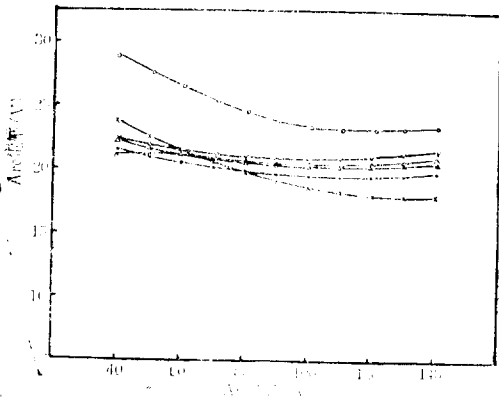
(2) 電壓—電極間隙 特性



nozzle 徑 5(mm) arc 電流 100(A)
 (1) 磁束密度 0.05(Wb/m²)
 argon 流量 60(cfh) ·—·
 " 130 " ○—○
 (2) 磁束密度 0.1(Wb/m²)
 argon 流量 60(cfh) △—△
 " 130 " ×—×

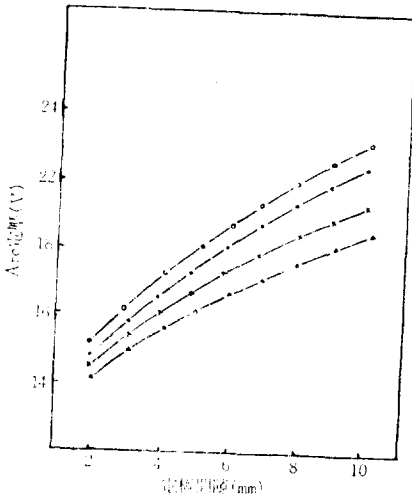
그림 4-a. Arc 電壓과 電極間隙 關係曲線
 Fig. 4-a. Arc voltage-length of gap.

그림 4-(a), (b)는 徑이 各各 5(mm), 10(mm)의 nozzle 陽極에 對한 電極間隙과 arc plasma 電壓과의 關係를 나타내는 曲線이다. 同一한 條件下에서 電極間隙이 커짐에 따라 電壓은 上昇하고 電極間隙 8(mm)의 變化에 對하여 電壓은 6(V) 程度의 差를 이루고 있다. 電極間隙이 적을수록 電壓 上昇率이 커지고 있는데 이것은 電極間隙이 짧으면 陽極點이 nozzle 出口 近處에 形成되어 nozzle 에 의한 拘束效果, gas 流에 의한 冷



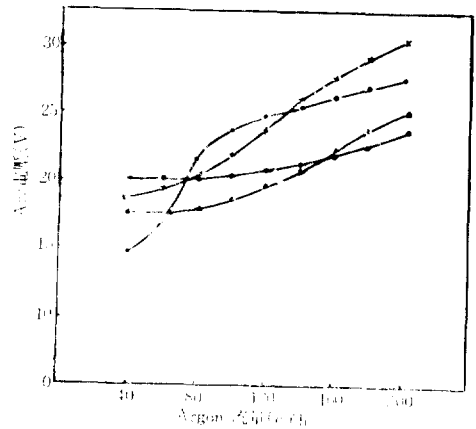
nozzle 徑 10(mm) 電極間隙 5(mm)
 (1) argon 流量 70(cfh)
 磁束密度 0(Wb/m²) ×—×
 " 0.05 " ·—·
 " 0.1 " △—△
 (2) argon 流量 140(cfh)
 磁束密度 0(Wb/m²) ○—○
 " 0.05 " ∇—∇
 " 0.1 " ∧—∧

그림 3-c. Arc 電壓과 arc 電流 關係曲線
 Fig. 3-c. Arc voltage-arc current.



nozzle 徑 7(mm) arc 電流 100(A)
 (1) 磁束密度 0.05 (Wb/m^2)
 argon 流量 60(cfh) · — ·
 " 130 " ○ — ○
 (2) 磁束密度 0.1 (Wb/m^2)
 argon 流量 60(cfh) △ — △
 " 130 " × — ×

그림 4-b. Arc 電壓과 電極間隙 關係曲線
 Fig. 4-b. Arc voltage-length of gap.



nozzle 徑 5(mm) arc 電流 80(A)
 (1) 電極間隙 5(mm)
 磁束密度 0 (Wb/m^2) × — ×
 " 0.05 " ○ — ○
 (2) 電極間隙 3(mm)
 磁束密度 0 (Wb/m^2) · — ·
 " 0.05 " △ — △

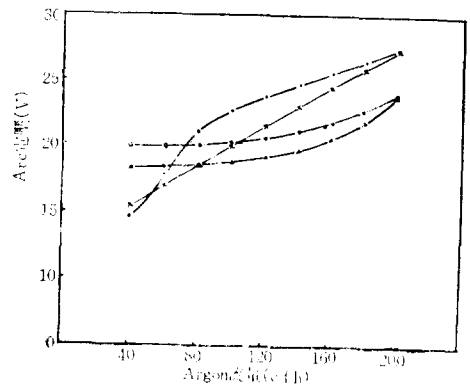
그림 5-a. Arc 電壓과 argon 流量 關係曲線
 Fig. 5-a. Arc voltage-quantity of argon flow

却效果가 심하게 나타나는데 基因한다고 볼 수 있다.
 流量이 커지면 同一한 電極間隙에 對하여 電壓이 높고 磁束密度가 커지면 오히려 낮아지고 電壓上昇率도 적어지고 있다.

(3) 電壓-流量 特性

그림 5-(a), (b)는 徑이 5(mm), 7(mm)의 nozzle 電極에 對한 arc 電壓과 argon 流量과의 關係를 나타내는 曲線이다.

그림 (a)를 보면 電極間隙 5(mm)에서 磁束密度 0 (Wb/m^2)일 때 argon 流量이 커지면 arc 電壓이 增加하는데 그 上昇率은 거의 直線的이지만 磁束密度 0.05 (Wb/m^2)에서는 上昇率은 極이 적으며 120(cfh)까지 水平特性을 나타낸다. 그리고 約 80(cfh) 近處에서 두 曲線은 交叉하여 約 20(V)의 電壓值를 나타내며 同一한 argon 流量에 對한 電壓值가 反轉하고 있음을 알 수 있다. 電極間隙 3(mm)와 磁束密度 0 (Wb/m^2)에서는 80(cfh)의 流量이전의 값에서는 電壓上昇이 急激하지만 이 以後부터 緩慢하게 直線狀으로 높아지고 또 磁束密度 0.05 (Wb/m^2)일 때는 電壓은 50(cfh) 流量值에서는 最小值를 이루고 서서히 增加하는 傾向이 있으며 두 曲線은 60(cfh)의 流量에서 交叉하며 最小值의 電壓이 17.5(V)를 이루고 있다. 그림 (b)는 그림



nozzle 徑 7(mm) arc 電流 80(A)
 (1) 電極間隙 5(mm)
 磁束密度 0 × — ×
 " 0.05 " ○ — ○
 (2) 電極間隙 3(mm)
 磁束密度 0 · — ·
 " 0.05 " △ — △

그림 5-b. Arc 電壓과 argon 流量 關係曲線
 Fig. 5-b. Arc voltage-quantity of argon flow.

(a)와 近似한 曲線을 갖이며 電極間隙 5(mm)일 때 磁束密度 $0(Wb/m^2)$ 와 $0.05(Wb/m^2)$ 의 두 曲線의 交叉는 流量 105(cfh)되는 곳에서 이루어지고, 電極間隙 3(mm)일 때는 磁束密度 $0(Wb/m^2)$ 와 $0.05(Wb/m^2)$ 의 두 曲線은 流量 65(cfh)인 곳에서 交叉하고 있다.

徑 7(mm)의 nozzle 電極에서는 交叉點의 位置는 電極間隙이 3(mm)일 때 徑 5(mm) nozzle 電極의 경우와 거의 같은 流量을 가지며 電極間隙 5(mm)에서는 流量이 많은 100(cfh)로 移動하였다.

이것은 同一한 流量에 對하여 nozzle 內의 gas 速度가 低下하여 流量變化에 대한 arc 電壓이 全般的으로 減少한데 原因이 있다고 본다.

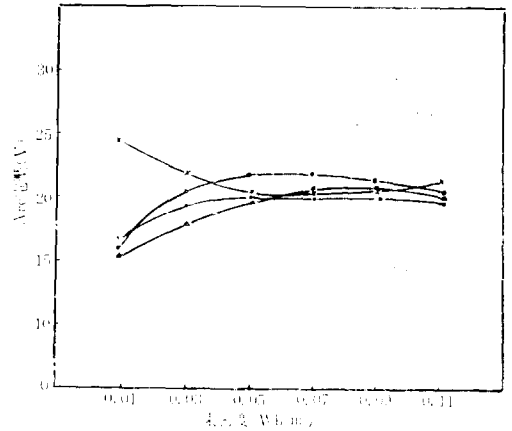
arc 電壓은 argon 流量增大에 따라 上昇하고 있으며 同一한 流量에 對하여 磁界를 가한 경우가 電壓이 下降하고 있다. argon 流量이 커지면 陽極點이 nozzle 內壁 깊숙히 移動하여 arc 柱가 伸長하는 理由도 있지만 이 效果는 적으며 主로 流量增加에 따라 thermal pinch 效果가 커서 arc 柱의 外周部의 導電度가 低下하여 arc plasma 中心部에서의 狹窄作用이 發生하기 때문이라고 생각할 수 있다. 이 結果에서 特別히 關心事가 되는 것은 同一한 nozzle 徑에 對하여 相異한 條件下인데도 不拘하고 特性曲線이 서로 交叉한다는 點인데 이것은 動作條件의 多樣的인 選擇性을 말하며 實用時에 操業種類, 裝置操作容易性 또는 經濟性等 여러 目的에 따라서 同一한 裝置에서 가장 便利한 條件을 擇할수가 있다는 것이다.

(4) 電壓-磁束密度 特性

그림 6은 徑이 7(mm), 10(mm) nozzle 電極에서 arc plasma 電壓과 磁束密度와의 關係를 나타내는 曲線이다.

徑 7(mm)의 nozzle 電極에서는 argon 流量 70(cfh)일 때 磁束密度가 커짐에 따라 電壓은 上昇하기 始作하며 $0.6(Wb/m^2)$ 되는 곳에서 極大值인 22(V) 程度의 값을 이루고 서서히 下降한다. 그러나 argon 流量 140(cfh)에서는 磁束密度가 增大함에 따라 arc 電壓은 垂下特性을 나타내며 $0.06(Wb/m^2)$ 가 되는 곳에서 極小值 20(V)를 갖는다. 두 曲線은 두 點에서 交叉하며 磁束密度가 $0.035(Wb/m^2)$ 와 $0.1(Wb/m^2)$ 인 곳인데 여기서 電壓值가 反轉하게 된다.

徑이 10(mm)의 nozzle 電極에서는 流量이 70(cfh), 140(cfh)일 때 두 曲線을 比較하면 後者의 경우가 前者보다 電壓上昇率이 크며 磁束密度 $0.09(Wb/m^2)$ 일 때 各各 21(V), 19(V)의 極大電壓值가 되고 緩漫하게 減少하는 傾向을 나타낸다. $0.05(Wb/m^2)$ 의 磁束密度에서 두 曲線은 變하고 이때의 電壓은 20(V) 程度가 된다.



Arc 電流 80(A)
 (1) nozzle 徑 7(mm)
 電極間隙 4(mm)
 argon 流量 70(cfh) ○—○
 " 140 " ×—×
 (2) nozzle 徑 10(mm)
 電極間隙이 4(mm)
 argon 流量 70(cfh) ·—·
 " 140 " △—△

그림 6. Arc 電壓과 磁束密度 關係曲線
 Fig. 6. Arc Voltage-magnetic flux density

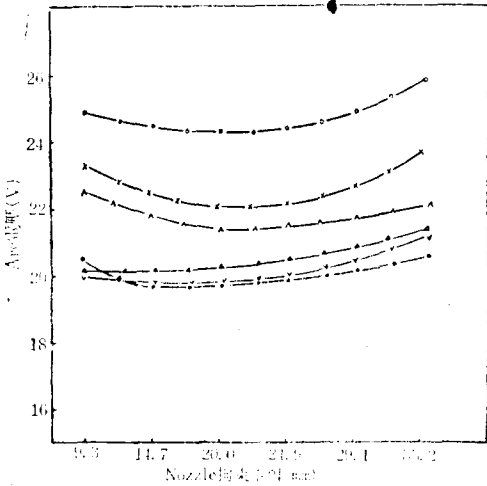
一般的으로 磁束密度의 增大에 따라 $0.05 \sim 0.09(Wb/m^2)$ 範圍에서 電壓은 極大值을 이루고 이것보다 적은 磁束密度에서는 gas 流와 마찬가지로 磁界에 의하여 arc plasma 柱의 狹窄作用이 나타나게 됨을 알 수 있다. 그러나 磁束密度가 이 範圍를 넘어 增大하면 arc 柱와 陽極點이 膨脹作用과 陽極이 熱效果에 의하여 電壓의 低下하지 않나 생각된다.

plasma jet 裝置의 入力增大을 試圖할 경우에 磁界強度에 限度가 있다는 것을 留意할 必要가 있다.

⑤ 電壓-nozzle 拘束길이 特性

그림 7은 徑이 10(mm)의 nozzle 陽極에서 arc plasma 電壓과 nozzle 拘束길이와의 關係를 나타내는 曲線이다.

argon 流量이 40(cfh)일 때 磁束密度 $0(Wb/m^2)$ 에서 nozzle 拘束길이 全體에 걸쳐 電壓이 가장 높으며 14~15(V) 程度의 差가 생긴다. 特性은 極小 電壓值를 갖는 曲線을 나타내며 nozzle 拘束길이 20(mm)되는 곳에서 24.5(V)의 極小電壓值를 갖는다. 同一한 argon 流量에 있어 磁束密度 $0 \rightarrow 0.1 \rightarrow 0.05(Wb/m^2)$ 의 順位에 따라 arc 電壓이 低下되고 있으며 流量 40(cfh)



nozzle 徑 10(mm)
 電極間隙 5(mm)
 arc 電流 80(A)
 (1) argon 流量 40(cfh)
 磁束密度 0(Wb/m²) ×——×
 " 0.05 " ·——·
 " 0.1 " △——△
 (2) argon 流量 80(cfh)
 磁束密度 0(Wb/m²) ○——○
 " 0.05 " √——√
 " 0.1 " ^——^

그림 7. Arc 電壓과 nozzle 拘束길이 關係曲線
 Fig. 7. Arc voltage-constriction length of nozzle.

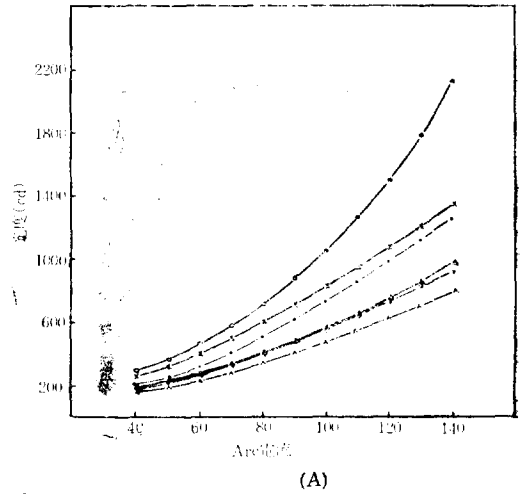
일 때 磁束密度 0.05, 0.1(Wb/m²)에 該當하는 曲線과 流量 80(cfh)일 때 磁束密度 0.05(Wb/m²)에 對應하는 3個曲線은 nozzle 길이 14.7(mm) 以上에서 거의 同一한 勾配를 가지고 直線的으로 上昇하고 있다.

이와 같이 arc 電壓이 一般的으로 nozzle 拘束 길이 가 增大함에 따라 上昇하는 理由는 冷却된 nozzle 壁에 의하여 arc plasma 柱가 狹窄作用을 받는데 있다고 推測된다.

(6) Jet flame 光度—電流 特性

그림 8은 徑이 各各 10(mm), 7(mm), 5(mm)의 nozzle 電極에 對하여 plasma jet 의 flame 의 光度와 arc 電流와의 關係를 나타내는 曲線이다.

arc 電流의 增加에 따라 光度는 거의 指數函數的으로 늘어서 가고 있고, nozzle 徑이 큰 것일수록 光度도 增加하고 있으며 磁界를 가하면 減少하고 있음을 알수가 있다. nozzle 徑이 큰 電極을 使用할때 光度가 높아지는 것은 陽極點이 nozzle 壁內面 깊은 곳에 形成



電極間隙 5(mm)
 argon 流量 70(cfh)
 (1) 磁束密度 0(Wb/m²)
 nozzle 徑 10(mm) ○——○
 " 7 " ×——×
 " 5 " △——△
 (2) 磁束密度 0.05(Wb/m²)
 nozzle 徑 10(mm) ·——·
 " 7 " √——√
 " 5 " ^——^

그림 8. 光度와 arc 電流 關係曲線
 Fig. 8. Luminous intensity-arc current.

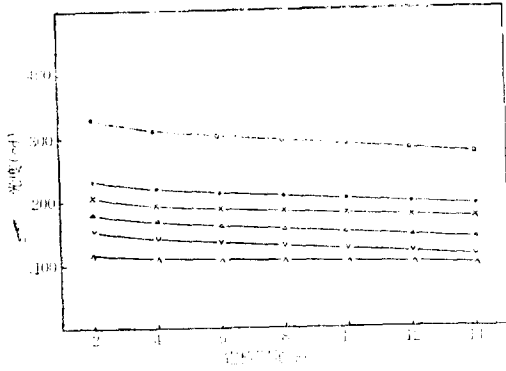
되어 arc plasma 柱의 集束이 強해지는데 있고 arc 電流가 增加하면 光度가 높아지는 것은 arc plasma 柱의 入力이 커지는데 原因이 있다고 볼 수 있다.

(7) Jet flame 光度—電極間隙 特性

그림 9는 徑의 各各 10(mm), 7(mm), 5(mm)의 陽電極에 對하여 jet flame 의 光度와 電極間隙과의 關係를 나타내는 曲線이다. 電極間隙이 커짐에 따라 光度는 減少하였는데 電極間隙 6(mm) 이하에서는 그 減少率이 크지만, 이 以上에서는 거의 光度의 變化가 없고 水平特性을 나타낸다. 電極間隙의 arc plasma 의 安全을 防害치 않는 範圍에서 適當히 격개 하면 陽極點이 形成되는 位置가 nozzle 電極의 內面이 되고 同一한 入力에 對하여 arc current 도 크게되어 flame 의 energy 集中度도 上昇하여 flame 光度에 影響을 준다고 推測할 수 있다.

(8) Jet flame 光度—流量 特性

그림 10은 徑이 各各 10(mm), 7(mm), 5(mm)의 nozzle 電極에 對하여 jet flame 의 光度와 流量과의 關係를 나타내는 曲線이다.



- argon 流量 50(cfh)
arc 電流 60(A)
- (1) nozzle 徑 10(mm)
磁束密度 0(Wb/m²) ○—○
" 0.05 " ×—×
 - (2) nozzle 徑 7(mm)
磁束密度 0(Wb/m²) ·—·
" 0.05 " △—△
 - (3) nozzle 徑 5(mm)
磁束密度 0(Wb/m²) ∇—∇
" 0.05 " ▲—▲

그림 9. 光度와 電極間隙 關係曲線
Fig. 9. Luminous intensity-length of gap.

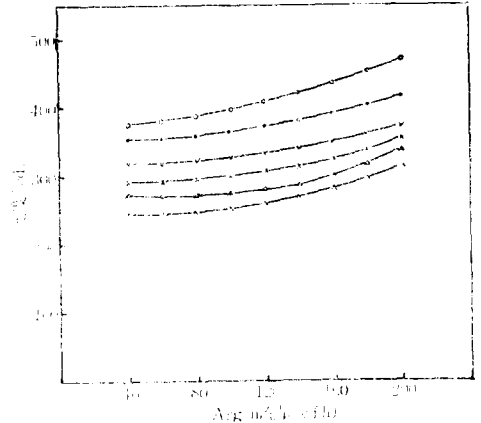
nozzle 電極의 徑이 클수록 同一한 流量에 대한 光度가 크고, 流量이 增加함에 따라 역시 光度가 上昇되었는데 그 上昇率은 極히 적다. nozzle 이 크면 陽極點이 nozzle 內壁에 形成되어 arc plasma 柱의 集束이 強해지고, 또 流量이 增加하면 gas의 冷却으로 arc 柱가 狹窄되기 때문에 光度가 높아진다고 볼 수 있다.

그러나 本 實驗에서는 밝히지 못했지만 入力增大의 手段으로 arc 電壓을 올리기 爲하여 어느 限界를 넘으면 冷 gas가 混入하여 光度가 減少하게 될 것이다.

(9) Jet flame 光度—磁束密度 特性

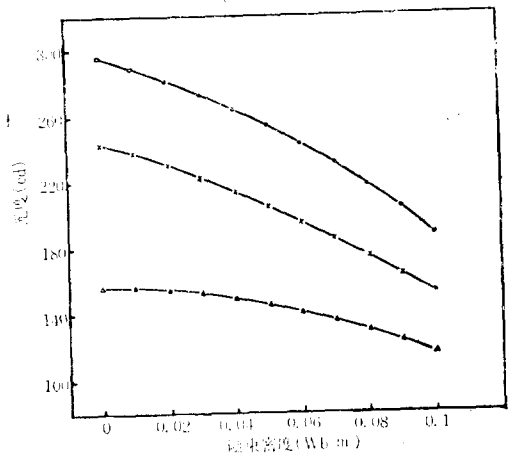
그림 11은 nozzle 徑이 10(mm), 7(mm), 5(mm)의 電極에 대하여 磁束密度와 jet flame 光度와의 關係를 나타내는 曲線이다. 磁束密度가 커지면 光度가 減少하고 있는데 減少率은 徑 10(mm), 7(mm), 5(mm)의 曲線順으로 적어져 가고 있다.

즉, 磁束密度의 작은 變化에 대하여 光度變化가 nozzle 徑 10(mm)에서 가장 심하다는 것이다. (4)에서 言及한 것과 같이 磁束密度가 커져 臨界點을 經過한 後의 arc 電壓, 즉 入力이 減少하는데 原因이 있다고 볼 수 있다.



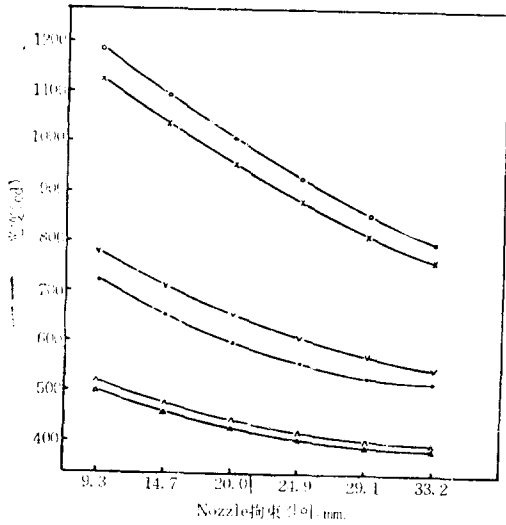
- 電極間隙 3(mm)
arc 電流 60(A)
- (1) nozzle 徑 10(mm)
磁束密度 0(Wb/m²) ○—○
" 0.05 " ×—×
 - (2) nozzle 徑 7(mm)
磁束密度 0(Wb/m²) ·—·
" 0.05 " △—△
 - (3) nozzle 徑 5(mm)
磁束密度 0(Wb/m²) ∇—∇
" 0.05 " ▲—▲

그림 10. 光度와 argon 流量 關係曲線
Fig. 10. Luminous intensity-quantity of argon flow.



- 電極間隙 3(mm)
argon 流量 50(cfh)
arc 電流 60(A)
- nozzle 徑 10(mm) ○—○
 - " 7 " ×—×
 - " 5 " △—△

그림 11. 光度와 磁束密度 關係曲線
Fig. 11. Luminous intensity-magnetic flux density.



- nozzle 徑 10(mm)
電極間隙 5(mm)
arc 電流 80(A)
- (1) argon 流量 40(cfh)
磁束密度 0(Wb/m^2) ×—×
" 0.05 " ·—·
" 0.1 " △—△
- (2) argon 流量 80(cfh)
磁束密度 0(Wb/m^2) ○—○
" 0.05 " ∨—∨
" 0.1 " ∧—∧

그림 12. 光度와 nozzle 拘束길이 關係曲線
Fig. 12. Luminous intensity-constriction length of nozzle

(10) Jet flame 光度—nozzle 拘束길이 特性

그림 12는 nozzle 徑 10(mm) 電極에 대하여 nozzle 拘束길이와 光度와의 關係를 나타내는 曲線이다.

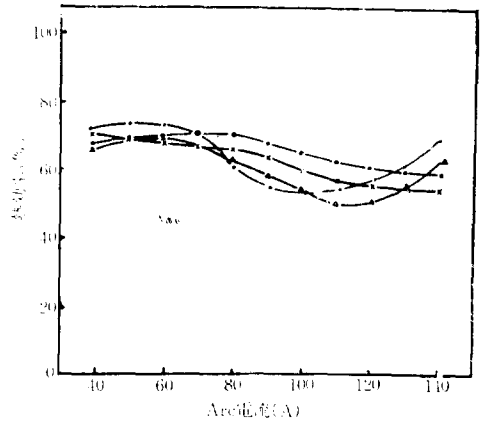
nozzle 拘束길이가 커짐에 따라 光度는 減少하는데 磁束密度的 增加에 따라 減少率이 작아져 가고 있다.

argon 流量 40(cfh), 80(cfh)에 있어 磁束密度가 0.05, 0.1(Wb/m^2)로 變할때 各變化에 對應하는 二 曲線들이 서로 近接하고 3個의 群을 이루고 있는것이 興味롭다.

光度의 大幅的 變化는 磁束密度로 하고 精密變化는 流量으로 調節하는 것이 좋은 方法이라고 생각된다.

(11) 熱效率—電流 特性

그림 13은 nozzle 徑 5(mm)에 대하여 arc 電流와 熱效率 關係를 調査한 曲線이다. 磁界가 없는 경우에는 電流의 增大에 따라 效率는 上昇하여 電流 80(A)에서 極大值인 70(%)를 가지고 여기서 서서히 減少해 가고



- nozzle 徑 5(mm)
電極間隙 5(mm)
- (1) 磁束密度 0(Wb/m^2)
argon 流量 30(cfh) ×—×
" 60 " ○—○
- (2) 磁束密度 0.1(Wb/m^2)
argon 流量 30(cfh) ·—·
" 60 " △—△

그림 13. 熱效率과 arc 電流 關係曲線
Fig. 13. Thermal efficiency-arc current.

있다. 流量의 60(cfh)일 때는 50(A) 以下の 電流에서 效率가 낮은 便이나 이보다 큰 電流에서는 높은 값을 繼續維持하고 있다.

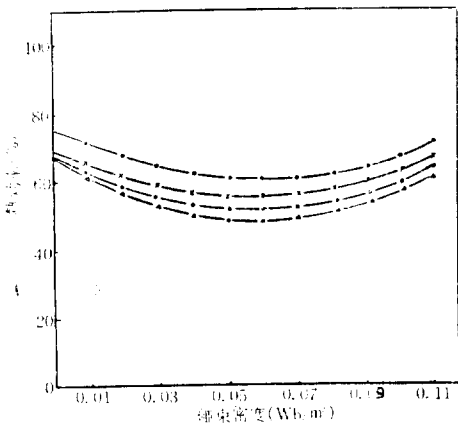
磁界를 가할 때는 80~100(A) 近處에서 流量의 60(cfh)일 때 效率가 4~5(%) 程度 크지만 其他의 電流 範圍에서는 流量이 30(cfh)인 쪽의 效率가 좋아진다. 또 이 경우에 熱效率 曲線의 極大, 極小의 二 값을 갖으며 極大值은 40~60(A) 範圍에서, 極小值은 90~110(A) 範圍에서 생긴다.

磁界를 가할 때에는 上述한 바와 같이 電流值에 따라 效率의 臨界值가 있음을 알 수 있다.

argon gas 流量이 增加하면 效率가 上昇하는데 이것은 流量의 適當한 增大에 의하여 arc plasma 柱의 thermal pinch 效果가 커서 溫度가 上昇하고, arc chamber 壁이나 nozzle 壁에 대한 熱遮斷 效果도 좋게 되어 plasma 周圍의 熱絶緣도 하고, 또 gas 流에 의한 陽極點의 分散移動도 效果的으로 이루어져 nozzle 電極에 대한 入力密度도 減少하는데 原因이 있다고 본다.

(12) 熱效率—磁束密度 特性

그림 14는 nozzle 徑 5(mm) 電極에 대한 磁束密度와 熱效率 關係를 나타내는 曲線이다.



nozzle 徑 5(mm)
 argon 流量 60(cfh)
 arc 電流 100(A)

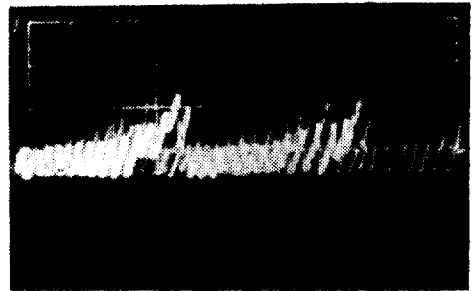
- (1) nozzle 拘束길이 34.8(mm)
 電極間隙 5(mm) ×—×
- " 14(mm) ○—○
- (2) nozzle 拘束길이 22.8(mm)
 電極間隙 5(mm) ·—·
- " 10(mm) △—△

그림 14. 熱效率와 磁束密度 關係曲線

Fig. 14. Thermal efficiency—magnetic flux density.

磁束密度的 增加에 따라 熱效率는 減少하여 0.07 (Wb/m^2)에서 極小值를 갖이며 이 以上의 變化에서는 增加하는 傾向이 있다. 따라서 磁界에는 臨界值가 있으며 이값 以上의 磁界를 가하면 效率뿐만 아니라 入力도 增大시킬 수가 있다.

電極間隙이 커지면 熱效率이 적어지는 데 이것은 陽極點이 nozzle 入口에 發生하여 arc chamber 內에 nozzle 入口에서의 熱損失이 커지는데 原因이 있다고 본다.



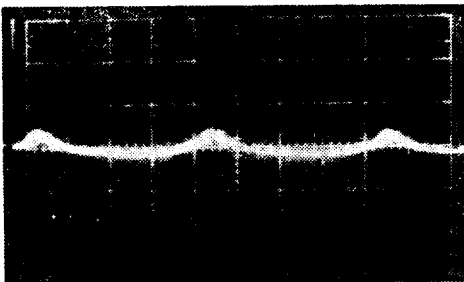
15-b

Nozzle 徑 7(mm)
 電極間隙 3(mm)
 磁束密度 0(Wb/m^2)
 argon 流量 120(cfh)
 arc 電流 50(A)



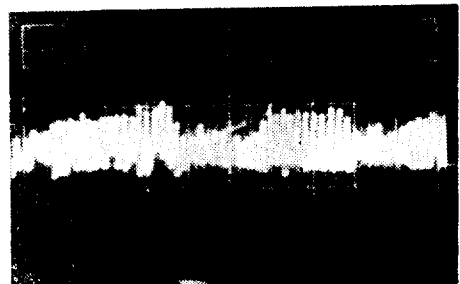
15-c

nozzle 徑 7(mm)
 電極間隙 3(mm)
 磁束密度 0.1(Wb/m^2)
 argon 流量 60(cfh)
 arc 電流 50(A)



15-a

nozzle 徑 7(mm)
 電極間隙 3(mm)
 磁束密度 0(Wb/m^2)
 argon 流量 60(cfh)
 arc 電流 50(A)



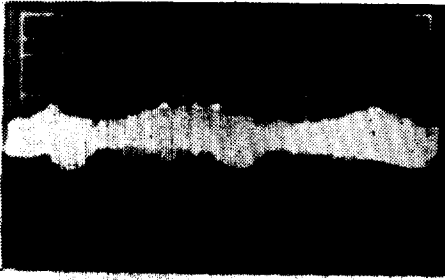
15-d

nozzle 徑 7(mm)
 電極間隙 3(mm)
 磁束密度 0(Wb/m^2)
 argon 流量 120(cfh)
 arc 電流 100(A)



15-e

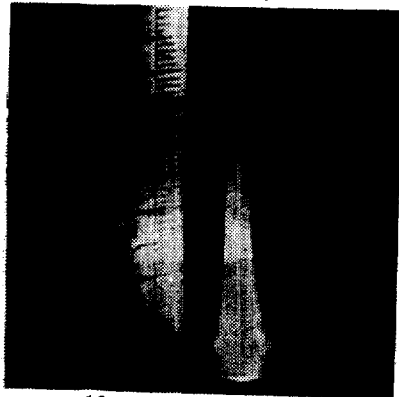
nozzle 徑 7(mm)
 電極間隙 3(mm)
 磁束密度 0.05(Wb/m²)
 argon 流量 120(cf_h)
 arc 電流 100(A)



15-f

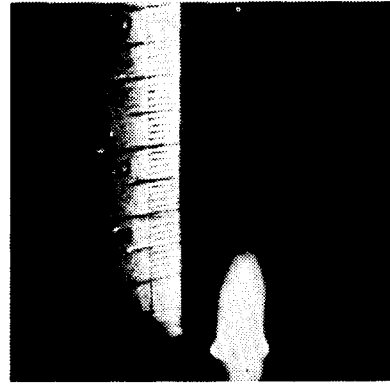
nozzle 徑 7(mm)
 電極間隙 3(mm)
 磁束密度 0.1(Wb/m²)
 argon 流量 120(cf_h)
 arc 電流 100(A)

그림 15. 電壓波形的 變化 [time/div : 2.5(ms)
 volt/div : 0.5(V)]
 Fig. 15. Variety of voltage wave form.



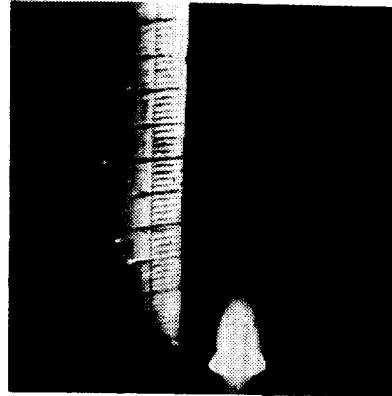
16-a

nozzle 徑 7(mm)
 電極間隙 3(mm)
 磁束密度 0(Wb/m²)
 argon 流量 70(cf_h)
 arc 電流 50(A)



16-b

nozzle 徑 7(mm)
 電極間隙 3(mm)
 磁束密度 0.05(Wb/m²)
 argon 流量 70(cf_h)
 arc 電流 50(A)



16-c

nozzle 徑 7(mm)
 電極間隙 3(mm)
 磁束密度 0.1(Wb/m²)
 argon 流量 70(cf_h)
 arc 電流 50(A)

그림 16. Jet flame의 變化狀態
 Fig. 16. Variety of jet flame.

그림 15는 plasma jet에 磁界를 가하고 磁束密度와 流量을 變化시켰을때의 電壓波형을 比較한 사진이며 周波數와 振幅의 變化狀態를 알 수 있다.

그림 16은 磁界에 의한 flame의 形狀變化에 대한 사진이다.

4. 結 論

plasma jet에 同軸 平行磁界를 가할때 그의 特性은 plasma jet 電壓, 電流, 電極間隙, gas 流量, 磁束密度, nozzle 徑口, nozzle 拘束길이 等에 의하여 多樣하게 나타나는데 磁界를 가하지 않는 경우에 대하여 極

히 對照의이며 材料加工 分野等に 利用할때 汚染이 없고 入力 및 光度調節이 arc 安定을 害침이 없이 圓滑하게 履行될 수 있다고 본다.

前記한 實驗結果에서 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

(1) plasma jet의 電壓과 flame 光度—電流特性

低電流에서는 垂下特性이 되고 漸次的으로 上昇하는 傾向을 나타낸다. 그리고 jet flame 光度는 電流와 더불어 거의 指數函數的으로 上昇한다.

(2) 電壓과 flame 光度—電極間隙 特性

電壓을 壓極間隙이 길어짐에 따라 上昇하고, 또 flame 光度는 電極間隙의 增加에 의하여 緩漫하게 減少하는 傾向이 있다.

(3) 電壓과 flame 光度—argon 流量特性

電壓과 flame 光度는 argon 流量과 더불어 上昇한다.

(4) 電壓과 flame 光度—磁束密度特性

電壓은 처음에는 磁束密度가 커짐에 따라 增加하다가 極大值를 이루고 서서히 減少하는 傾向이 있다.

(5) 電壓과 flame 光度—nozzle 拘束길이 特性

電壓은 nozzle 拘束길이 길어짐에 따라 20(mm)까지는 減少하고 그 以上の 값에서는 曲線을 이루게 된다. flame 光度는 nozzle 拘束 길이가 길어짐에 따라 減少한다.

(6) 電壓과 flame 光度—nozzle 口徑 特性

nozzle 口徑이 커짐에 따라 電壓과 flame 光度는 增加한다.

(7) 熱效率—arc 電流 및 磁束密度 特性

熱效率은 50%에서 75%까지의 값을 갖으며 電流, 流量, 磁束密度, 電極間隙 그리고 nozzle 拘束 길이에

의하여 영향을 받는다.

本 報告書는 仁荷大學校 附設 産業科學 研究所에서 支給된 研究費에 의하여 이루어진 結果이며 研究所 當局과 實驗中 寢食을 잊으면서 苦生한 助手 金鎭山, 韓宇燮, 丘亨完, 姜基洪, 徐贊雨, 諸君들에게 深甚한 謝意를 表하는 바이다.

참고 문헌

(1) App. R.L., Millur, D.R.; Heat Flow in Argon Arc Welding, British Weld. J., 2, 475 (1955)

(2) Finkelburg, W, Segal, S.M.; The Potential Field in and Around a Gas Discharge, and Its Influence on the Discharge Mechanism, Phys. Rev. 83, 582(1951)

(3) A. Von Engel; Ionized Gases, Oxford at the Claren Don Press, 1967

(4) Cobine, J.D., Burger, E.E.; Analysis of Electrode Phenomena in the High Current Arc, J. Appl. Phys., 26, 895 (1955)

(5) A.B. Cambel; Plasma Physics and Magnetofluid Mechanics, McGraw-Hill (1963)

(6) L. Spitzer, Jr; Physics of Fully Ionized Gases, Interscience Publisher (1962)

(7) James Dillon Cobine; Gaseous Conductor, Dovor Publication Inc, New York

(8) J.G. Linhart; plasma Physics, North-Holland and Pub. Co., Amsterdam (1960)