

# Townsend 放電領域의 불꽃電壓에 미치는 陰極表面狀態의 影響

論 文
28-1-5

## The Influence of the Cathode Surface State on the Spark Voltage in the Townsend Discharge Domain

白 龍 鉉\*  
(Yong Hyun Paek)

### Abstract

There are a great number of papers on the Townsend discharge in gases, and many of them are concerned with the effect of the cathode. It has been regarded that there are two kinds of effect of the electrodes, especially of the cathode; (a) the effect caused by the difference of the cathode material and (b) the effect by the change of the cathode surface state even in the same material. Both of them may change the secondary coefficient following after the change of the work function, and the latter may further change the primary ionization coefficient as foreign atoms on the surface may be desorbed in sparks to decrease the purity of the gas.

Thus the two effects must be investigated independently to study the roles of the cathode in gas discharges.

In this report the effect of the cathode material on the sparking voltage is described. The experiment is also carried out under the condition that the description of impurities from the cathode be negligible.

From these the new correlativity between the work function of the cathode and the sparking voltage is obtained. In addition, the interesting character of the minimum point of the Paschen's curve can be found.

### 1. 序 論

低氣壓氣中放電의 연구는 放電電流의 定常的인 空間 成長 또는 過渡的인 時間成長의 關係이나, 그 이론 해석을 통해서 많이 행해져 왔다.

특히 放電現象에 미치는 二次電離機構의 연구에 關係하여 各種 가스 및 음극재료의 二次電離係數의 측정 또는 그 原因이 되는 陽 ion, 勵起分子, 光子를 각각 分離시키는 연구가 종래부터 행해져 왔는데, 電極材料의 種類 電極表面의 汚損이나 酸化의 상태가 氣中放電에 어떠한 영향을 미치는가에 관해서는 적극적으로 해

명한 것이 없고 겨우 Jones<sup>1)</sup> 등이 陰極表面의 酸化層에 대해서 또 Jacobs,<sup>2)</sup> Bolotin<sup>3)</sup> 등이 陰極面의 일 函數의 증가와 最小불꽃電壓의 상승이 비교적 단순한 관계로 표현된다는 것을 각각 보고하고 있을 뿐이다.

최근 Nakamura, Mori<sup>4)</sup> 등은 陰極面부터의 불순물 가스의 放出이 무시된다는 조건하에 알곤, 질소가스 중 에서 불꽃과괴실험을 하여 불꽃放電을 되돌이 하였을 때, 이에 수반하는 불꽃전압의 변화는 陰極表面의 일 函數 변화에 起因하고 일 函數의 증가가 2次電離係數를 감소시켜 그 결과, 불꽃전압이 상승된다는 것을 밝혔다.

일반적으로 電極은 放電氣體中에 존재하기 때문에 電極材料 固有의 특성이거나 그 表面吸着가스층의 특성을 가미한 성질을 갖는다고 생각된다. 따라서 電極, 특히

\*正會員 : 仁荷大工大電氣工學科教授 · 工博(當學會調查理事)  
接受日字 : 1978年 11月 30日

陰極에 있어서의 放電效果는 二次電離作用을 하는 직접적 효과와 ion 등의 충격으로 電極表面層에서 遊離된 가스분자가 방전가스중에 불순물가스로서 混入되는 소위 간접적 효과의 두가지 現象이 생각된다.

그러므로 氣中放電에서 陰極表面에 있어서의 역할을 연구하려면, 상술한 직접적 효과와 간접적 효과를 분리시켜 論議할 필요가 있다고 생각된다.

본연구에 있어서는 陰極表面의 직접적 효과를 고찰하기 위하여 각 실험에 있어서 불꽃放電時에 이온(ion)衝擊을 최소로 줄이고 陰極에서 방전가스중에 混入되는 불순물가스가 무시되는 조건하에서 네온(Neon) 및 헬륨(Helium)의 불꽃전압을 측정하였다.

이때 (1) 常溫에서 음극재료의 종류를 변화시켰을 때 (2) 그 表面狀態를 변화시켰을 때, (3) 전극을 300°C 및 600°C로 가열시킨 다음 酸化를 시켰을 때의 각각의 경우에 대하여 극소점 부근의 팻센(Paschen)곡선을 측정하였다.

그 결과, 불꽃전압의 변화는 음극표면의 일函數 변화에 起因된다는 것과 일函數의 증가는 二次電離係數를 감소시키고 따라서 불꽃전압이 상승된다는 것을 알았다.

또 Jacobs나 Bolotin 등이 일函數가 낮은 금속에 대하여 팻센(Paschen) 곡선의 極小點으로부터 얻어지는 음극재료의 일函數와 최소불꽃전압( $V_{min}$ ), 二次電離係數( $\gamma_{min}$ ) 간의 相關關係를 각각 측정하여 곡선을 얻었는데 비하여 본연구에서는 일函數가 보다 높은 금속에 대하여 위의 相關關係를 각각 측정하여 곡선을 얻었다. 그 결과 곡선은 前者등이 구한 측정치로부터 예상되는 곡선과 일치하였다.

### 2. 實驗裝置 및 方法

그림 1, 2는 실험장치의 사진이고 그림 3은 가스取扱系統을 표시하였다.

放電槽의 排氣는 油回轉펌프(pump)와 油擴散펌프로 대략 배기시킨 후, 放電槽의 내부 및 외부에 加熱히터를 作動시켜 약 200°C로 수십시간 가열시킨 다음 getter 이온펌프(getter ion pump) 및 사부리메이션펌프(Sublimation Pump)에 의해서 到達眞空度  $1 \times 10^{-8}$  Torr 이하의 超眞空을 실현시킬 수가 있었고, 이 操作으로 리이크(leak) 速度는  $1 \times 10^{-8}$  Torr/min 이하로 억제시킬 수가 있었다.

음극, 양극의 基板은 모두 外徑 50mm인 니켈(Nickel) 製이고 거의 로고우스키(Rogowski) 형상을 갖는다. 兩電極은 軸方向으로 외부에서 각각 15cm 구동시킬수 있는 구조로 되어 있다. 또 이 兩電極을 蒸着시키기위

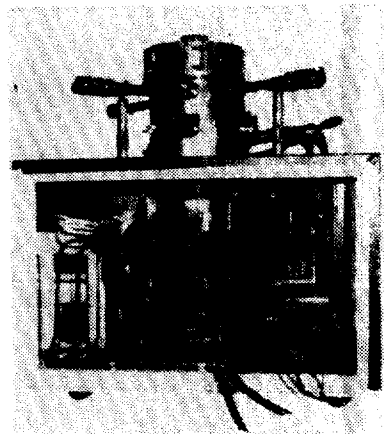


그림 1. 실험장치(측면사진)  
Fig. 1. The experimental apparatus.(photo)

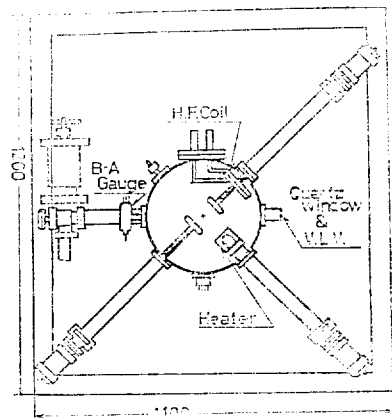
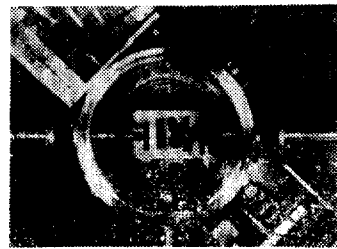


그림 2. 실험장치(상면)  
Fig. 2. The experimental apparatus

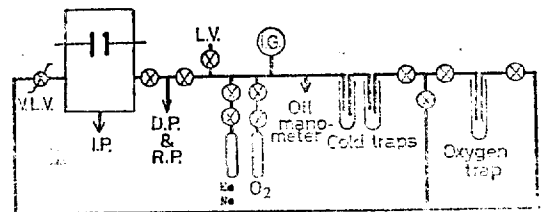


그림 3. 가스취급제통  
Fig. 3. The schematic diagram of the gas-handling system.

한 蒸着用電極은 兩電極과 동일한 평면상에 있고 그림 2에 표시하는 바와 같이 放電電極의 중심선에 수직으로 외부에서 구동시킬 수 있는 구조로 되어 있다.

실험에 있어서는 음극, 양극을 蒸着시키기 전에 먼저 試料金屬을 벤젠(benzene), 아세톤(acetone) 등으로 洗滌, 脫脂시키고 이어서 弗化水素으로 처리시킨 후에 事前에 가열시켜 가스를 蒸着用電極히터에 裝填시킨다. 이렇게 함으로써, 蒸着中の 眞空度の 저하를 방지시켰다.

放電電極蒸着은 음극, 양극 중간에 蒸着用電極을 이동시킬 수 있는 배치로 蒸着을 행하며 蒸着薄膜의 두께는 放電電極을 가열시켜도, 떨어지지 않을 정도의 두께(약 3,000Å)로 蒸着시켰다. 蒸着시킨 다음에는 蒸着用電極은 방전 시킬때 放電系에 영향을 미치지 않는 위치까지 이동시켜 둔다.

蒸着에 사용한 試料金屬은 니켈(순도 98%), 금(순도 99.5%), 은(순도 99.9%)과 동(순도 99.9%)이다.

蒸着된 電極의 표면상태는 표면의 吸着酸素層 또는 酸化層으로 표시하여, 그 指標 S로서 다음과 같은 量

$$S = (\text{酸素壓力}) \times (\text{酸素에 노출시키는 시간}) \times (\text{電極溫度})$$

을 사용하였다. 이때 電極加熱은 고주파코일로 가열시키고, 電極溫度는 熱電對(Chromel-Alumel)를 써서 측정하였다.

또한 指標 S는  $(5 \times 10^{-4} \text{Torr}) \times (10 \text{min}) \times (20^\circ\text{C})$  부터  $(1.2 \text{Torr}) \times (30 \text{min}) \times (630^\circ\text{C})$  까지 취하였다.

위와같이 電極을 表面酸化시킨 다음에는 酸素를 다시  $1 \times 10^{-8}$  이하까지 排氣시켜 殘留된 酸素로 하여금 試料氣體에 汚染이 전혀 안되도록 한후에 실험을 행한다.

실험에 사용한 가스는 순도 99.99%인 헬륨과 네온이고, 가스는 액체공기를 사용한 冷却트랩(trap)과 빨간색 가열한 無酸化銀網으로 된 酸素트랩(trap)을 통해서 放電槽에 도입시킨다. 또 가스압력은 DC-705를 사용한 오일마노미터(cilmanometer)로 측정하였고 본실험에서는 氣體의 압력을 헬륨 4.02Torr(약  $10^\circ\text{C}$ ), 네온 2.19Torr(약  $10^\circ\text{C}$ )로 일정히 하였다(그림 3).

불꽃방전전압의 측정은 (1) 불꽃방전을 반복시키므로써 생기는 방전공간의 영향을 방지하기 위해서, 측정 반복시간 간격을 2분으로 하였고, (2) 불꽃방전으로 음극표면 상태의 변화를 적지하기 위하여, 放電空際에 병렬로 사이라트론(thyratron)을 사용한 다이버터(diverter) 회로를 접속시켜 放電電荷量을 극덕 억제시켰다.

이 操作으로 1회의 불꽃방전으로 放電空際을 흐르는 全電荷量을  $10^{-6}\text{C}$  정도로 制御시킬 수가 있었다. 그러

므로 이 電荷가 전부 이온(ion)이고, 이 이온이 음극에서 같은 수의 吸着分子를 방전공간에 遊離시킨다고 가정하여도 방전공간내의 기체분자수에 대한 불순물 분자수는  $10^{-8}$  정도이므로 음극표면의 吸着酸素分子가 방전공간으로 유리되는 量은 무시된다고 생각된다.

電壓印加는 時定數가 큰 積分回路를 사용하였기 때문에 극히 서서히 전압이 상승하므로 전압상승속도로 인해서 생기는 불꽃전압의 不均等現象은 무시된다고 생각된다. 불꽃방전전압은 5회측정의 평균치로 나타냈는데 그림 4에 例示한바와같이 불꽃전압의 不均等과 經時變化는 대단히 적었다.

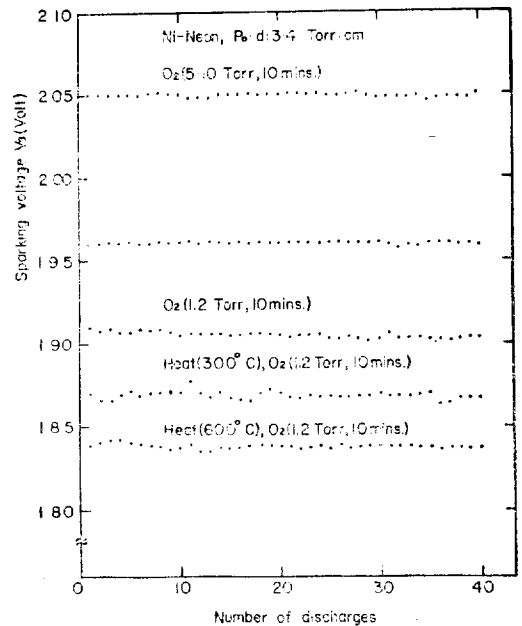


그림 4. 靜破壊電壓의 經時變化의 例  
( $N_1$ -Neon,  $P_0 \cdot d$ : 3.4 Torr.cm)

Fig. 4. An example of the variation of the sparking voltage in repeating)

### 3. 實驗結果

불꽃전압의 측정은 前節에서 기술한 방법, 즉 電壓印加는 時定數가 큰 積分回路( $\tau \approx 50 \text{sec}$ )를 사용하였고 電極間의 전압이 갑자기 떨어지는 직전의 전압을 불꽃전압으로 취하였다.

그런데 Nakamura, Mori<sup>(4)</sup> 등은 이와 똑같은 장치를 사용한 별개의 실험에서 陰極照射(初期電子를 供給하기 위하여 紫外線陰極蒸着膜에 照射)시의 불꽃전압, 陰極非照射시의 불꽃전압 및 自續開始電壓(照射를 중단해도 陰極電流가 零으로 되돌아가지 않는 最小電極電壓)인데, 이때 陰極前面에 극히 미약한 發光이 보인

다)의 새값을 팻선曲線의 最小點 右側과 左側에서  $P_0 \times d$  조건에서 비교하였더니, 어느것이나 0.2V 이내에서 일치하였고 어느 값을 採用하여도 팻선曲線에는 큰 영향을 받지 않는다는 것을 보고하고 있다. 따라서, 本實驗에서도 특별히 陰極을 照射시키는 방법을 쓰지 않았다.

또, 本實驗에서는 로고우스키(Rogowski)形 電極을 사용하였고, 또한 일정전압하에서 측정하였으므로 低  $P_0 \times d$  領域의 불꽃파괴에 있어서는, 불꽃이 電極周邊部の 弱電界 부분에서 발생하는 현상은 없었다.

(1) 電極材料의 影響

蒸着電極表面이 깨끗하다고 생각되는 상태에서 측정 한 Ne와 He의 팻선曲線을 電極의 蒸着金屬을 파라미터(Parameter)로 하여 그림 5,6에 표시하였다. Ne, He 모두 불꽃전압은 전극의 蒸着金屬의 일函數 증가에 수반하여 증대하고, 또 팻선曲線의 極小點은 右方向으로 이동하는 것을 알 수 있다.

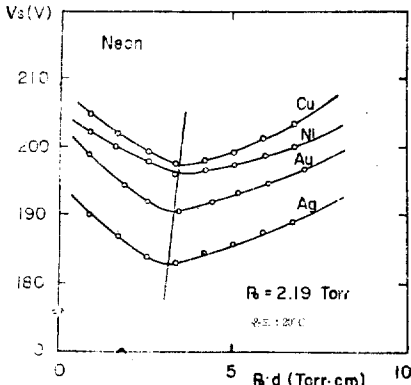


그림 5. Ne의 極小點 부근의 팻선曲線  
Fig. 5. Paschen's curve of Ne with various cathode materials

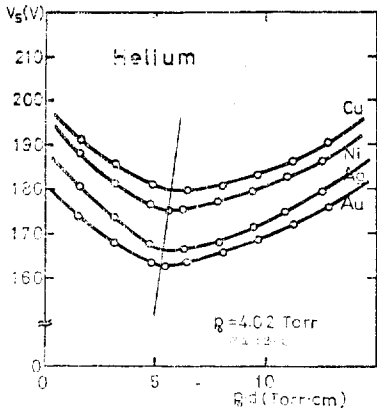


그림 6. He의 極小點부근의 팻선曲線  
Fig. 6. Paschen's curve of He with various cathode materials

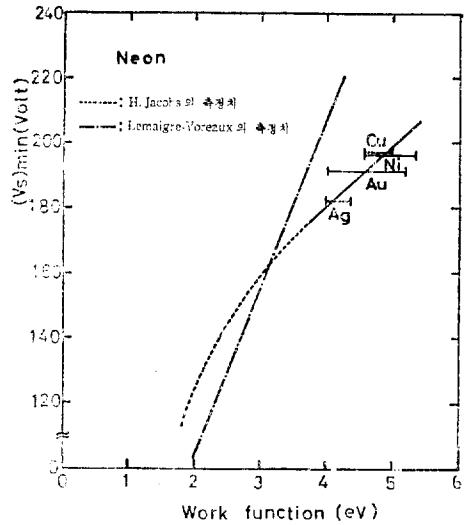


그림 7. 陰極의 일函數와 最小불꽃電壓과의 關係  
Fig. 7. The relation between the minimum sparking voltage and the cathode work function

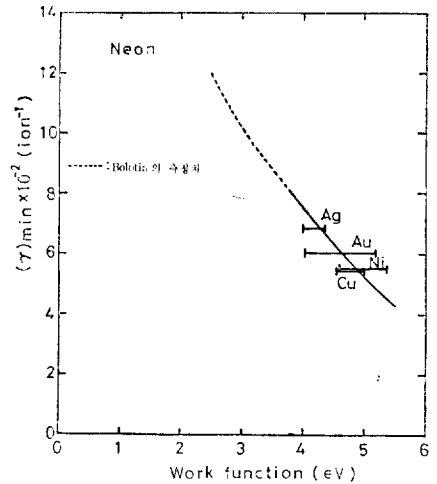


그림 8. 最小불꽃電壓에 의한 二次電離係數  $(\gamma)_{min}$ 와 陰極의 일函數와의 關係  
Fig. 8. The relation between the cathode work function and the secondary ionization coefficient at the minimum sparking voltage

Ne에 대한 실험결과(그림 5)를 그 最小불꽃電壓( $V_s$ )<sub>min</sub>과 陰極蒸着金屬의 일函數의 관계로 바꾸어서 곡선으로 표시한 것이 그림 7이다. 本實驗에 있어서는 실제의 일函數의 측정은 하지 않았지만, 최근의 믿을 수 있다고 생각되는 他者<sup>(5)</sup>의 측정치를 사용하였다. 그래도 측정치에는 상당한 차가 있었고 橫實線으로 그 범위를 표시하였다. 또 그림 7에 Ne에 대하여 Jacobs<sup>(6)(7)</sup>.

등이 일函數가 낮은 금속에서 측정된 측정결과를 點線으로, 또 Lemaigre-Voreaux<sup>(8)</sup> 등의 측정 결과를 點鎖線으로 각각 표시하였는데, 이 그림에서 본실험의 결과는 Jacobs 등의 측정치로부터 예상되는 곡선과 일치하는 것을 알 수 있다.

다음 그림 7의 最小불꽃電壓值로 後述하려는 불꽃의 自續條件式 (6), (9)를 써서 2次電離係數( $r$ )<sub>min</sub>를 계산하여 陰極金屬의 일函數와 二次電離係數( $r$ )<sub>min</sub>와의 관계를 구한 것이 그림 8이다.

그 결과 ( $r$ )<sub>min</sub>와 일函數와의 관계는 비교적 단순한 관계라는 것을 추측할 수가 있고 또한 Bolotin<sup>(9)</sup> 등의 측정치로부터 예상되는 곡선과 일치하는 것을 알 수 있다.

(2) 陰極面上的 酸素의 影響

일반적으로 깨끗한 금속표면을 酸素에 노출시키면, 최초로 單原子層 程度의 酸素가 금속표면에 物理吸着하고, 점차 素酸의 吸着層을 증가시키는 동시에 化學吸着으로 진행되어 최종적으로는, 금속표면에 酸化層이 형성된다.

이 금속표면의 변화를 제 2절에서 기술한 방법, 즉 陰極蒸着表面을 노출시키는 酸素壓力)×(酸素에 노출시키는 시간)×(電極溫度)로 定量化시켜 Ne, He의 불꽃 전압을 측정하여 팻선曲線을 측정된 결과가 그림 9부터 그림 16까지이다.

微量의 酸素導入은 B-A 게이지(gauge)로 감시하면서, Variable leak valve로 행하였다.

그림 9부터 그림 12까지의 He의 결과로 알 수 있는 것은 陰極이 Au, Ag의 경우에 있어서, 微量의 酸素가 陰極面上에 있는 상태에서는 팻선曲線은 깨끗한 금속의 그것과 거의 변함이 없지만 吸着酸素量이 증가함에 따라서 팻선曲線은 깨끗한 면의 그것보다 상승한다. 그러나

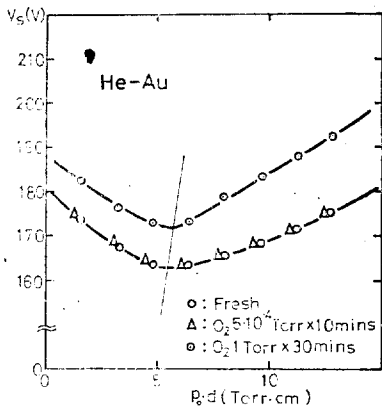


그림 9. 表面狀態에 의한 팻선曲線의 變化(He-Au)  
Fig. 9. The effect of the cathode surface state on the Paschen's curve (He-Au)

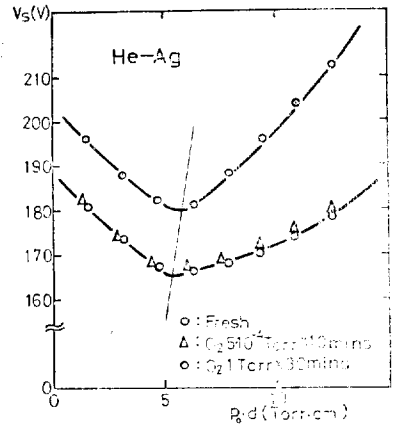


그림 10. 表面狀態에 의한 팻선曲線의 變化(He-Ag)  
Fig. 10. The effect of the cathode surface state on the Paschen's curve(He-Ag)

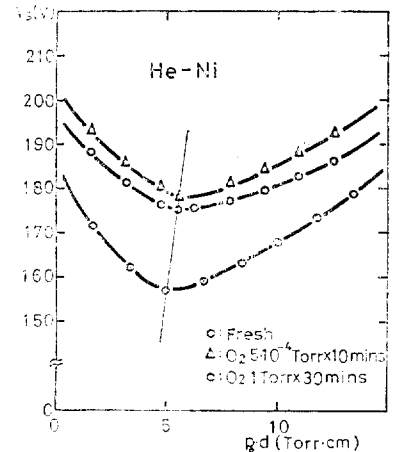


그림 11. 表面狀態에 의한 팻선曲線의 變化(He-Ni)  
Fig. 11. The effect of the cathode surface state on the Paschen's curve(He-Ni).

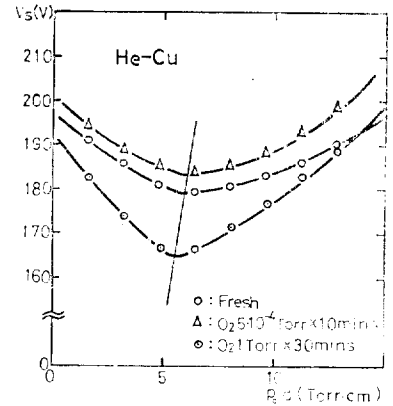


그림 12. 表面狀態에 의한 팻선曲線의 變化(He-Cu)  
Fig. 12. The effect of the cathode surface state on the Paschen's curve(He-Cu).

음극면이 Ni, Cu 경우에 있어서는 陰極面上에 극히 微量의 酸素가 존재하는 상태에서도 불꽃전압은 크게 영향을 받는다. 즉 음극면을 10<sup>-4</sup>Torr 정도의 酸素에 노출시키기만 하여도 불꽃전압은 처음의 깨끗한 상태 보다 상승하고 좀더 산소량을 증가시키면 불꽃전압은 극대치를 넘어 하강한다.

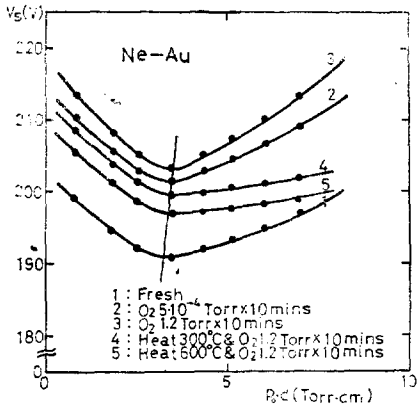


그림 13. 表面狀態에 의한 팻센曲線의 變化(Ne-Au)  
Fig. 13. The effect of the cathode surface state on the Paschen's curve (Ne-Au).

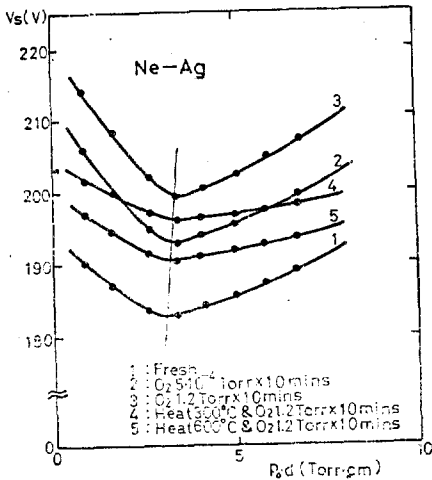


그림 14. 表面狀態에 의한 팻센曲線의 變化(Ne-Ag)  
Fig. 14. The effect of the cathode surface state on the Paschen's curve(Ne-Ag.)

그림 13에서 그림 16까지의 Ne 가스중의 실험결과에 대해서도 He중의 실험결과와 거의 같은 경향을 표시하는 것을 알 수 있다.

다음에 음극표면 상태를 log<sub>10</sub>[酸素壓力(Torr)×(酸素에 노출시키는 시간(min))]으로 定量化시켜 표면상태의 변화에 따르는 Ne, He 가스중의 各種 陰極(Au, A

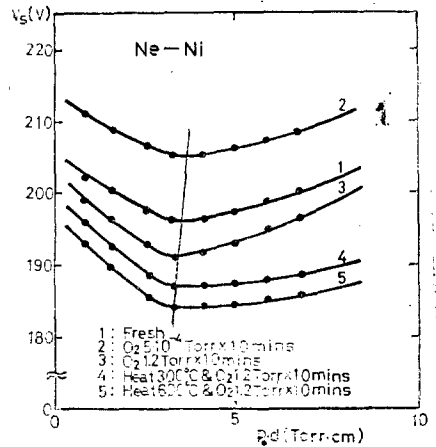


그림 15. 表面狀態에 의한 팻센曲線의 變化(Ne-Ni)  
Fig. 15. The effect of the cathode surface state on the Paschen's curve(Ne-Ni).

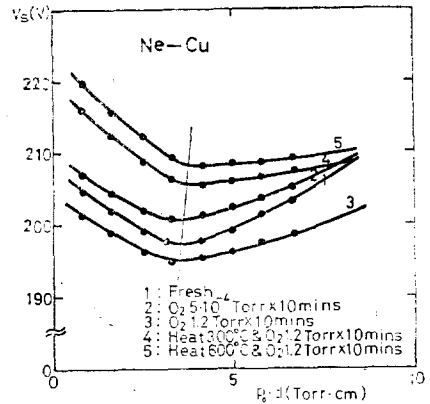


그림 16. 表面狀態에 의한 팻센曲線의 變化(Ne-Cu)  
Fig. 16. The effect of the cathode surface state on the Paschen's curve(Ne-Cu))

g, Ni, Cu)의 최소불꽃전압의 변화를 대시 그린 것이 그림 17인데 최소불꽃전압의 변화는 금속표면의 酸素 吸着부터 酸化에 이르기까지의 일函數의 변화<sup>10), 11)</sup>를 연상시킨다.

(3) 陰極의 加熱의 影響

전술한 방법으로 전극을 여러 압력의 산소에 노출시켜 酸化시킨 후, 또다시 전극을 300°C 및 600°C로 가열시키면서 1.2 Torr의 산소중에서 10분간 노출, 酸化시킨 경우의 네온의 팻센曲線을 그림 18, 그림 19에 표시하였다.

팻센曲線은 前項에서 가열시키지 않고 酸化시킨 경우보다도, 曲率이 큰 곡선이 되는 경향을 표시하고 불꽃전압의 陰極金屬依存性은 300°C와 600°C로 가열한

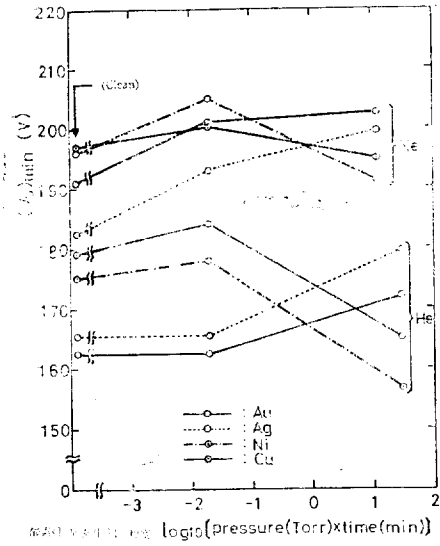


그림 17. 表面狀態에 의한 最小불꽃電壓의 變化  
**Fig. 17.** The effect of the cathode surface state on the minimum sparking voltage

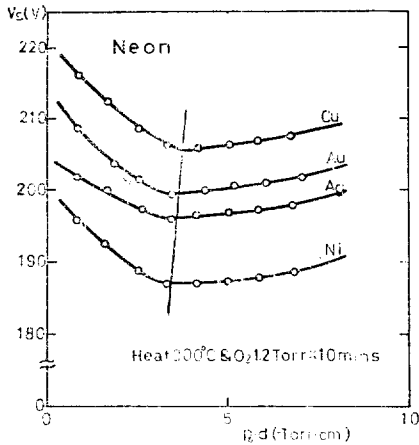


그림 18. 加熱에 의한 表面狀態의 放電曲線의 變化(Ne)  
**Fig. 18.** The effect of the heating cathode surface state on the Paschen's curve(Ne)

雙方 모두 거의 같은 경향을 표시하는 것을 알 수 있다.

이 모양을  $(V_d)_{min}$ 에 대하여 그림 20에 표시하였다. 여기서 左端은 常溫(약 20°C)에서 酸化시킨 음극을 표시하고 中間은 300°C, 右端은 600°C로 加熱하여 酸化시킨 경우에 각각 대응한다.

그림에서 금, 은, 니켈은 加熱前에 이미 충분히 음

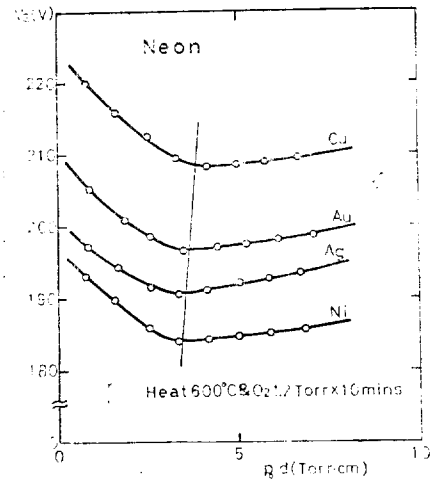


그림 19. 加熱에 의한 表面狀態의 放電曲線의 變化(Ne)  
**Fig. 19.** The effect of the heating cathode surface state on the Paschen's curve(Ne)

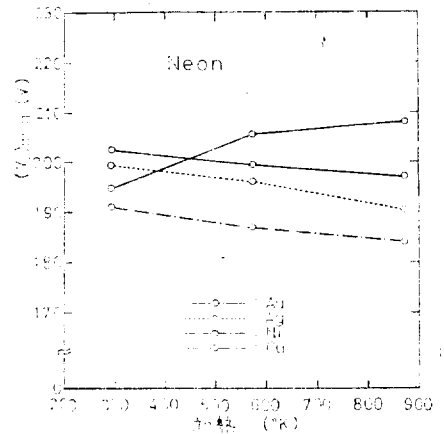


그림 20. 加熱에 의한 表面狀態의 最小 불꽃電壓의 變化(Ne)  
**Fig. 20.** The effect of the heating cathode surface state on the minimum sparking voltage(Ne)

극표면이 酸化皮膜으로 덮여져 있어, 그 이상 加熱시켜 酸素에 노출시켜도 酸化皮膜을 두껍게 할 뿐이고, 그러나 불꽃전압은 前보다도 낮아진다는 것을 의미한다. 사실 전극표면의 金屬光澤도 加熱前後에 있어서 금, 은, 니켈은 각각 AuO(黃色), Ag<sub>2</sub>O(黑色), NiO(灰綠色)이고 變化가 없다. 그러나 銅의 경우는 加熱에 의해서 불꽃전압은 점차 상승한다. 金屬光澤도 加熱前에 赤色이었던 것이 加熱에 의해서 黑褐色으로 變化된 것

을 볼 수 있었다.

(4) 팻센曲線의 極小點의 變位

지금까지 설명한 바와같이 팻센曲線은 同一가스 中에서는 음극면 상태의 변화에 따라서 변화하고 일函數의 增減에 따라 팻센曲線의 極小點은 右上方 또는 左下方으로 이동한다.

이와같은 특성을 명확히 하기 위하여 최소불꽃전압  $(V_s)_{min}$ 의 값과 이에 대응하는  $(pd)_{min}$ 의 값으로 표현한 것이 그림 21이다. 이 그림에는 Ne, He와 Nakamura, Mori<sup>9</sup> 등의 Ar 결과도 동시에 표시하였는데, 그 特性은 原點을 통하는 直線

$$(V_s)_{min} = B'(pd)_{min} \quad (1)$$

으로 표시할 수가 있고, 그 傾斜  $B'$ 의 값은 가스의 종류에 따라서 다르고 Ne에 대해서는 56.2V/cm·Torr He에 대해서는 32.0V/cm·Torr의 값이 그림 21에서 얻어진다.

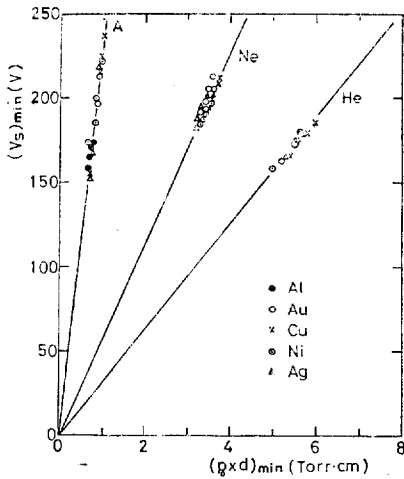


그림 21.  $(V_s)_{min}$ 와  $(pd)_{min}$ 의 關係  
Fig. 21. The relation between  $(V_s)_{min}$  and  $(pd)_{min}$ .

4. 實驗結果에 對한 考察

(1) 팻센曲線의 極小點에 對하여

일반적으로 氣中 불꽃파괴에 있어서 Townsend의 自續條件이 만족하고 있는지 없는지는 흥미있는 문제이다.

氣體의 一次電離係數  $\alpha/p$ 는 팻센曲線의 極小點 부근의  $E/p$  領域에 있어서는 다음 실험식

$$\alpha/p = A \cdot \exp\left(-\frac{Bp}{E}\right) \quad (2)$$

으로 표현된다. 단, Ne에 대해서는  $30 < E/p < 100$  (V/cm·Torr), He에 대해서는  $30 < E/p < 50$  (V/cm·Torr)이다. 前節의 실험결과 그림 5, 6, 9~16, 18, 19에

서 Ne, He 모두 그 極小點은 위의  $E/p$  범위 내에 있다는 것을 알 수 있다.

그러면 Townsend의 自續條件式

$$\gamma[\exp(ad) - 1] = 1 \quad (3)$$

과 식 (2)에서 불꽃전압  $V_s$ 는  $pd$ 의 함수이고

$$V_s = \frac{Bpd}{\ln(Apd) - \ln\left(\frac{1}{\gamma} + 1\right)} \quad (4)$$

로 표현된다. 그러므로 식 (4)의 極值  $(pd)_{min}$ 와 極值  $(V_s)_{min}$ 를 식 (4)에서  $pd$ 에 대하여 微分해서 구해보면

$$(V_s)_{min} = B \cdot (pd)_{min} \quad (5)$$

$$(pd)_{min} = \frac{2.72}{A} \ln\left(\frac{1}{\gamma} + 1\right) \quad (6)$$

가 된다. 여기서 A, B는 기체의 종류에 따라 定해지는 정수이고 測定者에 따라서 다소 차이가 있지만 일반적으로 다음의 값이 채용되고 있다.

즉, Ne에 대해서는

$$A = 2.37 (\text{Torr} \cdot \text{cm})^{-1}, B = 58.2 (\text{V/cm} \cdot \text{Torr}) \quad (7a)$$

He에 대해서는

$$A = 2.3 (\text{Torr} \cdot \text{cm})^{-1}, B = 34.3 (\text{V/cm} \cdot \text{Torr}) \quad (7b)$$

그런데 前節에서 팻센曲線의 極小點의 變位值로부터  $(V_s)_{min}$ 와  $(pd)_{min}$ 는

$$(V_s)_{min} = B'(pd)_{min} \quad (1)$$

인 관계였고 Ne에 대해서는

$$B' = 56.2 (\text{V/cm} \cdot \text{Torr}) \quad (8a)$$

He에 대해서는

$$B' = 32.0 (\text{V/cm} \cdot \text{Torr}) \quad (8b)$$

인 값을 실험결과와의 해석으로 구하였다.

여기서 식(1)과 식(5)를 비교해 보면 兩者 모두 原點을 통하는 직선식이고 또한 식 (1)의  $B'$ 와 식 (5)의  $B$ 의 값은 거의 일치되는 것을 알 수 있다. 즉식 (7a)의  $B=58.2$ 와 식(8a)의  $B'=56.2$ 는 거의 같고 식 (7b)의  $B=34.3$ 과 식 (8b)의  $B'=32.0$ 은 거의 같다 따라서 식 (2)가 팻센曲線의 極小點 부근  $E/P_0$  영역에서 만족되는 것으로 보아 종래부터 인정되고 있는 Townsend의 自續條件式 (3)이 Ne 및 He의 최소불꽃전압을 갖는 불꽃조건으로서 실제로 적용된다는 결론을 얻을 수 있다.

(2) 酸化에 의한 表面狀態와 불꽃電壓의 變化

일반적으로 금속표면에 산소가 닿으면 그것은 즉시 解離하여 酸素原子가 되고 100%인 附着率로 吸着되어 全 energy를 극소로 하기 위해서 原子의 移動, 再配列을 촉진시켜, 前과는 다른 構造配列로 안정을 취하려 한다. 또 금속표면의 일函數에 비하여 酸素의 陰性度



가 크기때문에 어떤 형식으로든가 酸素가 吸着하던 金屬側에서 酸素側으로 電子가 이동하여 吸着層은 負로 금속측은 正으로(이러한 경우 電離電壓은 일函數보다 크다) 帶電된 2重層을 형성하여 표면의 일函數가 증가되어 電子放出이 방해된다고 생각된다. 또한 酸素의 압력이 증가하면 산소는 금속내부에 침투되고 한편 표면에 가장 가까운 산소는 일부가 금속과 결합하여 酸化物을 형성한다. 그리고 가열되면 한층 더 酸化가 촉진되어 표면전체가 酸化皮膜으로 덮여지게 된다고 생각된다.

따라서 前述한 금, 은의 경우에 있어서 최초로 微量의 酸素에 노출시켰을 경우 酸化物을 만들지 않고 吸着뿐이고 또한 吸着量이 대단히 적기 때문에 일函數는 그다지 변화하지 않는다. 따라서 二次電離係數  $\gamma$ 도 변화가 없다. 이것을 多量の 酸素에 노출시켰을 경우 吸着量이 늘어나 2重層이 형성되어(酸化까지는 이루지 않음) 표면의 일函數는 증가하여 電子放出이 방해되므로  $\gamma$ 는 적어진다. 따라서 불꽃전압은 전보다도 높아진다고 생각된다.

그러나 니켈, 동은의 경우는 微量의 산소에 노출시키기만 해도 吸着量이 증가되어 2重層이 형성되고(酸化까지는 이루지 않음) 표면의 일函數는 증가되어 電子放出이 방해되므로  $\gamma$ 는 적어진다. 따라서 불꽃전압은 깨끗한 표면보다도 높아진다.

이것을 多量の 酸素에 노출시켰을 경우, 酸素는 금속 내부까지 침투되며 금속과 結合해서 酸化物을 형성하여 일函數는 감소하고 酸化物의 일函數는 깨끗한 표면의 일函數보다 일반적으로 적다) 電子放出이 容易해져서 二次電離係數  $\gamma$ 는 커진다. 따라서 불꽃전압은 전보다도 낮아진다고 생각된다.

이것을 300°C로 가열시키고 酸素에 노출시키면 Au, Ag, Ni에 있어서는 한층 더 酸化가 촉진되어서 酸化皮膜이 생기고 二次電子放出은 容易해져서 불꽃전압은 전보다도 더 낮아진다. 이것을 또다시 600°C로 가열하였을 경우는 酸化皮膜이 두꺼워질 뿐이고 前과 똑같은 해석이 된다. 事實 加熱前後에 있어서 금속광택의 변화는 없었다. 그러나 동은의 경우는 가열에 의하여 전의 금속과는 반대로 불꽃전압은 상승하지만 온도가 상승함으로써 불꽃전압의 상승은 완만하다. 한편 금속광택은 가열에 의하여 赤色에서 黑褐色으로 변화하고 있다. 이것으로 미루어 보아 酸化物의 상태가 변화되어 이로 인하여 二次電子放出을 곤란케 하고 따라서 불꽃전압은 상승한다고 생각된다.

### (3) 일函數와 Townsend의 二次電離係數에 대하여

二次電離作用( $\gamma$ 작용)이 이온(ion), 勵起分子, 光子 등의 효과가 集積된 것 즉,

$$\gamma = \gamma_i + \gamma_p + \gamma_m \quad (9)$$

단,  $\gamma_i$ ; 陽 ion의 음극층물에 의한 二次電離作用

$\gamma_p$ ; 光子에 의한 음극에서의 二次電離作用

$\gamma_m$ ; 勵起分子 또는 勵起原子에 의한 二次電離作用

로 생각되므로 일函數와 Townsend의 二次電離係數間의 定量的 이론은 아직도 확립되어 있지 않은 것이 현상인데, 본연구에서 최소불꽃전압의 음극재료 依存性 및 음극표면상태 依存性의 실험결과로 일函數 변화에 따르는 二次電離係數의 定性的 변화가 確認되었다고 생각된다(그림 8)

그러나 이러한 결과로, 즉시 음극의 일函數가 二次電離係數를 지배한다고 결론을 낼 수는 없지만 二次電離係數에는 음극의 일函數에 의존하는 결과가 있고, 그의존성은 비교적 單調하다는 것을 알았다. 또 酸素吸着에서 酸化에 이르기까지의 금속표면상태의 변화에 대한 二次電子放出係數의 변화는 Hagstrum<sup>12)</sup>, McLerran<sup>13)</sup>, Weissler<sup>14)</sup> 등의 결과와 定性的으로 일치하지만 吸着層 또는 酸化層이 二次電子放出作用에 미치는 영향에 관한 機構에 대해서는 아직도 定性的 설명에 그치고 있다.

## 5. 結 論

불꽃방전중의 ion충격을 최소로 시키고 음극에서 방전가스중에 불순물의 遊離가 무시된다는 조건하에서 Ne 및 He의 불꽃전압을 측정하여 음극재료의 종류 및 그 표면의 酸化의 정도를 변화시켰을 경우의 極小點부근의 冢선曲線을 구하였다. 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 금, 은을 微量의 酸素에 노출시켰을때 吸着뿐이고 酸化物을 만들지 않고 니켈, 동에 있어서는 微量의 酸素에 노출시키기만 해도 酸化物을 만든다.

(2) 음극재료와 표면상태를 Parameter로 하여, 각각의 경우에 대하여 일函數를 변화시켰을 때 어느 경우나 冢선曲線의 極小點에 미치는 二次電離係數의 효과는 같다는 것을 알았다. 이것으로 二次電離係數가 일函數에 의존한다는 것이 확실해졌다.

(3) Jacobs와 Bolotin은 일函數가 낮은 금속에 대하여  $(V_c)_{min}$ ,  $(T)_{min}$ 와 일함수간의 相關關係를 각각 구하였는데 비하여 본연구에 있어서는 보다 높은 금속에 대하여 그의존성을 각각 구하였다. 그 결과 前者들의 측정치로부터 예상되는 곡선과 일치하였다.

(4) 음극의 일函數를 변화시켜 冢선曲線을 구하였는데 그 極小點이 Townsend의 이론에 의해서 變位되는 것으로 보아 極小點에 있어서는 Townsend의 自積條件이 만족된다는 것이 確認되었다. 이것은 Ar, He가

스 중에서도 마찬가지이다.

끝으로 本研究는 文教部 政策研究課題研究費(1977年  
로 이루어졌음을 附言함.

參 考 文 獻

- (1) F. Llewellyn Jones, et al: Proc. Phys. Soc. B  
No. 64, 397(1951)
- (2) H. Jacobs, et al: J. Appl. Phys. 18, 199(1947)  
: Phys. Ren. 74, 163(1949)
- (3) V.B. Bolotin: I.V.U.Z. Fizika No. 10, 92(1968)
- (4) 中村, 森: 日本電氣學會論文誌 47-A, 357(1972-A)
- (5) 日本化學會編: 化學便覽(基礎編)p. 1021(1970)  
J.C. Riviere: Proc. Phys. Soc.(London) B70,  
676(1957)  
F. Baumann: Z. Physik 158, 607(1960)  
D.E. Eastman: Phys. Ren. B 2, 1(1970)  
B.G. Baker, et al: Surface Sci(Netherland)24,  
2, 572(1971)
- (6) H. Jacobs, A.P. LaRocque: J. Appl Phys.18,  
199(1947)
- (7) H. Jacobs, A.P. LaRocque: Phys. Ren. 74, 1  
63(1948)
- (8) Pierre Lemaigre-Voreaux: Soc Franc. des  
Elec Ser. 8, Vol. 2, No. 18
- (9) V.B. Bolotin: I.V.U.Z. Fizika No. 10, 92(196-  
8)
- (10) H.E. Fransworth, et al: J. Appl, Phys. 32, 1  
933(1961)
- (11) 日本電氣學會: 放電 Handbook(1974)
- (12) H.D. Hagstrum: Phys. Ren. 96, 325(1954)  
Y. Takeishi, H.D. Hagstrum: ibid. 137, 2A,  
A641(1963)
- (13) D.A. Me Lennan: ibid, 148, 218(1966)
- (14) W.C. Walker, N. Wainfan, G.L. Weissler: J.  
Appl. Phys Vol. 26, No. 11
- (15) 武藤俊之助: 界面現象·格子缺陷, 共立出版(1969)
- (16) 伏見康治: 量子統計力學, 共立出版(1971)