

## Beta 放射線源을 이용한 靜電氣 除去法에 對한 考察

## (A Study on the Elimination of Static Electricity by use of Beta Radiation Source)

林 瑑 圭\* · 魯 聖 基\*\*

(Yong Kyu Lim · Seung Gy Ro)

## ABSTRACT

This experiment is based on "the feasible improvement studies for an eliminating device of the static electricity which applies the ionizing effect of beta radiation."

In order to accomplish this object, the following problems were necessarily considered to investigate and to determine. The efficiency of the elimination of static electricity was determined by means of measuring the ion current between electrically charged plates with micro-ammeter. The effects of various factors, i.e., the distance between charged plate and radiation source, the activity of radiation source, the electric potential and the area of the charged plate, the shape of the source housing, the lining of backscattering material (Pb) on the source housing surface and blowing of ionized air, on the static electricity eliminating efficiency were studied.

The beta radiation sources used in this experiment were  $S^{35}$  and  $Sr^{90}-Y^{90}$ .

It was revealed that ion current increased with source activity, the electric potential and area of the plates, the lead (Pb) lining on the surface of the source housing and the velocity of the ionized air blowing. As one could expect the  $S^{35}$  was more effective to increase the ion current since it is known to be a higher specific ionization source than  $Sr^{90}-Y^{90}$ .

The detailed result and performance of the eliminating device of the static electricity are described here.

## 1. 緒 論

紡織 製紙 印刷工業 其他 여러 産業分野에서 工程 過程中 絶緣性 物體가 서로 摩擦하게 될 때 發生되는 不必要한 靜電氣를 放射線의 電離作用을 利用하여 除去하는 方法에 關한 研究가 近年에 와서 活潑하게 行하여 지고 있으

\* \*\* 原子力研究所 保健物理室

Health Physics Division

Atomic Energy Research Institute

며 그에 依한 除電裝置도 여러가지 形態로 發展<sup>(1-11)</sup>되어 오고 있다. 特히 放射線의 人體에 對한 障害을 막고 效果的인 除電을 爲한 解決策의 하나로 ion 送風裝置<sup>3,4)</sup> 등이 提案되고 있으나 이런 것등에 關한 內容이 詳細하지 못하여 本人들은 이런 裝置를 製作 檢討하므로써 그 效率性을 알았다.

## 2. 裝置 및 內容

## 1) 高電壓 裝置

本 裝置는 zero에서 20 KV 까지 連續的으로 調節 可能한 metallic rectifier를 使用한 doubler circuit를 利用한 것이다. 이 回路 全體는 絶緣油 속에 들어 있으며 過電壓 過電流等에 對하여 保護를 받을 수 있는 安全裝置가 되어 있다. 한편 實驗 途中 高電壓源의 고장때문에 rate-meter (Baird Atomic Co., Model 432 A)의 高電壓源이 電極 電壓으로 使用되었다.

## 2) 電 極

電極(그림 1)은 bakelite 및 lucite의 絶緣體에 依하여 支持되어 있으며 corona 放電에 依한 loss를 防止하기 爲하여 모서리를 둥글게 만든 10cm×20cm와 20cm×22.5cm 크기의 Cu板(두께 1mm)으로 되어 있다.

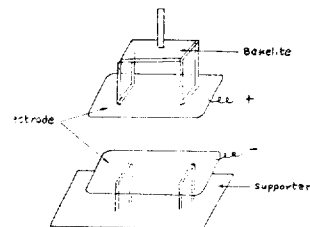


그림 1. 電 極  
(Fig 1. Electrode)

## 3) 放射線源의 形態

그림 2와 같이 beta 放射線源(以下 beta 線源이라 함)  $S^{35}$ 를 Cu板 위에 바르고 放射性 物質에 依한 汚染을 防止하기 爲하여 polyethylene sheet로 싸 다음 陰電極板 위에 놓는다. 또 그림 3에서와 같이 半圓筒形의 Cu板 內面에 0.1 mm 두께의 鉛 coating을 한 다음 放射線源을 그위에 발랐다. 이때 鉛 coating을 한 것은 後放 散亂에



그림 2.  
(Fig. 2.)

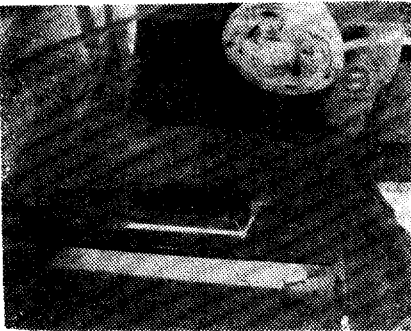


그림 3.  
(Fig. 3.)

對한 效果를 크게 하기 爲한 것이었다.

4) Ion 送風裝置

本裝置는 20 cm×30 cm×50 cm 크기의 기동형 bakelite (두께 0.5 cm) 箱子로 되어 있으며 여기에서 發生된 ion 雙은 fan 에 의하여 電極板 사이로 불어주게 되어있다 (그림 4 및 그림 5 參照). 이 때 fan-motor 의 入力電壓을 變化시키므로서 風速을 調節하였으며 모든 點에서 送風速度를 一定하게 하기 爲하여 fan 바로 앞에 filter (W&R Balston LTD, No. 4)를 使用하였다. 送風速度는 anemometer 에 의하여 測定하였다.

5) 實驗室內 溫濕度 調節

溫濕度 變化에 의한 影響을 적게 하기 爲하여 電極板 가까이 250 W 赤外線 lamp 를 켜고 室內의 溫度는 5 KW air condition 裝置로서 20°C 內外로 維持하는 한편 2臺의 濕度 調節 裝置로서 相對濕度를 50% 內外로 調節하였다.

6) 實驗裝置 周圍의 放射線 防護

電極板 周圍는 放射性 物質에 의한 汚染을 防止하기 爲하여 polyethylene sheet 를 깔고 測定하는 場所 周圍는 1 cm 두께의 lucite 로 차폐하였다. 그리고 radiation monitor 를 動作시키므로서 測定時 radiation level 을 繼續 監視하도록 하였다. 實驗裝置 및 그 block diagram 은 그림 4 및 그림 5 와 같다.



그림 4. 實驗 裝置  
(Fig. 4. Apparatus)

- |                        |                 |
|------------------------|-----------------|
| 1. Electrode(Cu plate) | 2. High voltage |
| 3. Micro-ammeter       | 4. Ion blower   |
| 5. Radiation source    | 6. Motor        |
| 7. Fan                 | 8. Filter       |

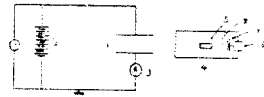


그림 5. 이온 blower 와 測定 系統의 接續圖  
(Fig. 5. Schematic diagram of ion blower & measuring system)

3. 方 法

本 實驗에서는 主로 TRIGA Mark-II 原子爐에서 生産된 S<sup>35</sup> 와 美國에서 購入한 Sr<sup>90</sup>-Y<sup>90</sup>-10mc (1 cm×5cm plane source) beta 線源(이 밖에 F<sup>32</sup>, U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> alpha source 등을 使用하였으나 滿足한 結果를 얻지 못하였다)을 利用하여 最適 除電 距離 및 除電 能力에 있어서 放射線源 種類 線源強度 電極板 面積 source housing에 對한 影響을 D.C. micro-volt-ammeter (Hewlett Packard co., Model 425 A)에 依하여 F. Palmeri et al<sup>1)</sup>과 同一한 測定方法으로 觀察하였으며 또 ion 送風에 對한 影響은 20 cm×30 cm×50 cm 크기의 bakelite 箱子속에 Sr<sup>90</sup>-Y<sup>90</sup>-10mc 를 기동 軸에 平衡으로 놓고 20 cm×22.5 cm 크기의 電極板 間 距離를 15 cm 로 固定하고 電極板 反對쪽에 fan 를 裝置하여 bakelite 箱子속에서 發生된 ion 을 電極板쪽으로 불어주면서 그 送風의 세기와 電極板과 ion 發生面과의 距離에 따라 電流變化를 觀察하였다. 또 除電率은 6V D.C. input 에 對하여 20,000 V 半整流波가 나오는 Power Pack (Oak, MFG, Co.)로서 F. Palmeri et al<sup>1)</sup>의 測定方法을 使用하였다.

4. 結 果

電極에 一定한 高電壓을 걸어주고 放射線源과 電極間의 距離를 變化시키면서 線源強度 Sr<sup>90</sup>-Y<sup>90</sup>-10 mc 와 S<sup>35</sup>-13.4 mc (10 cm×20 cm Cu 平面 또는 凹內面에 均一하게 바른 plane source)에 對하여 ion 電流 變化를 測定한 結果 그림 6 및 그림 7 과 같은 graph 를 얻었다. 여기에서 電極 電壓이 2 KV 이고 電極板面積이 10 cm×20 cm 일 때 beta 最大 energy 가 2.18 Mev 인 Sr<sup>90</sup>-Y<sup>90</sup>

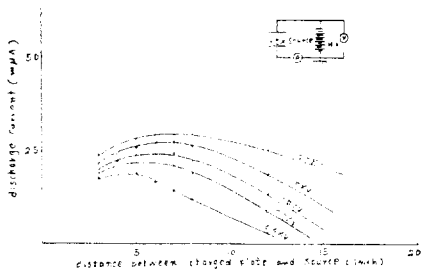


그림 6. Sr<sup>90</sup>-Y<sup>90</sup>-10 mc 인 경우 放電電流에 對한 여러 가지 高電壓의 效果  
(Fig. 6. Effect of various high voltage on discharge current in case of Sr<sup>90</sup>-Y<sup>90</sup>-10 mc)

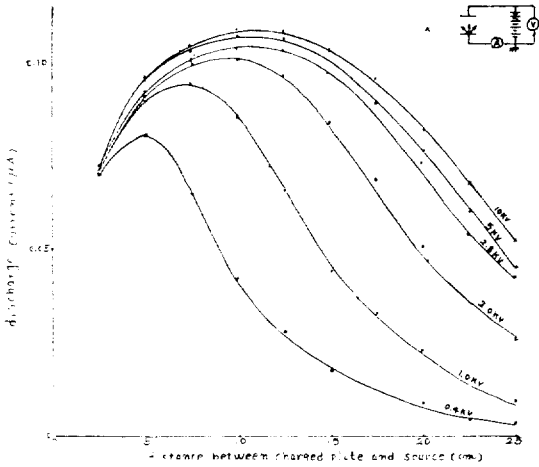


그림 7. S<sup>35</sup>-13.4 mc 인 경우 放電電流에 對한 여러 가지 高電壓의 效果  
(Fig. 7. Effect of various high voltage on discharge current in case of S<sup>35</sup>-13.4 mc)

과 0.167 Mev 인 S<sup>35</sup>에 依한 ion 電流 變化를 比較하여 보면 表 1 과 같다. 한편 線源強度 電極板 面積 및 source

表 1. Discharge Current, Sr<sup>90</sup>-Y<sup>90</sup> & S<sup>35</sup>

Source Content	Maximum Discharge Current	
	μA	μA/mc
10mc Sr <sup>90</sup> -Y <sup>90</sup>	0.0029	0.00029
13.4 mc S <sup>35</sup>	0.101	0.00753

2 KV on charged plate

表 2. Effect of Source Housing on Discharge Rate

Source Housing	Plate charge (μA)		Discharge time (Seconds)	Discharge Rate (μA/sec)	μA/sec/mc
	Original	Final			
9 mc S <sup>35</sup> with Lead scatterer	-0.0285	-0.0002	108	0.000263	0.0000292
9 mc S <sup>35</sup> without Lead scatterer	-0.0460	-0.0002	180	0.000254	0.0000283

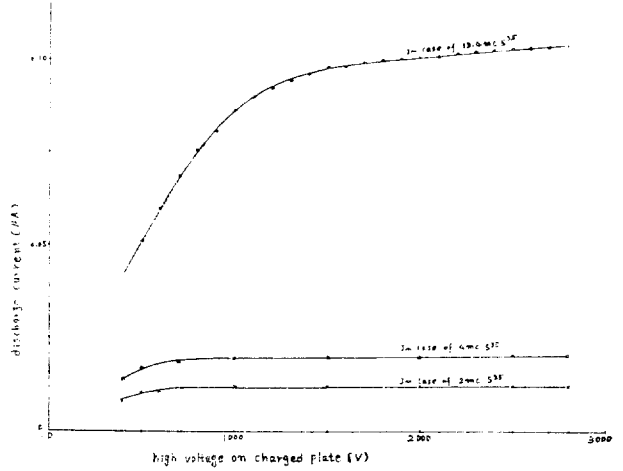


그림 8. 放電電流에 對한 여러가지 放射能度의 效果  
(Fig. 8. Effect of various source activity on discharge current)

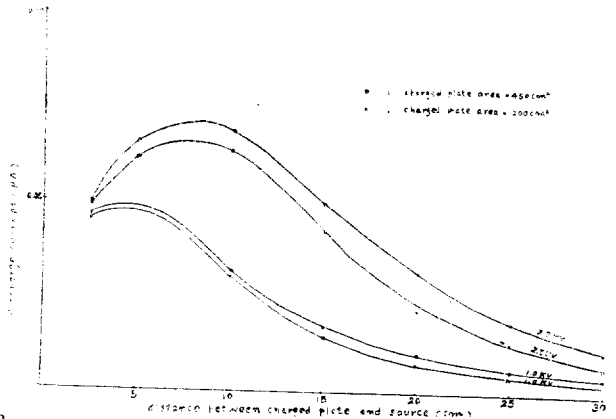


그림 9. S<sup>35</sup>-9 mc 인 경우 放電電流에 對한 充電된 陽極面積의 效果  
(Fig. 9. Effect of charged plate area on discharge current in case of S<sup>35</sup>-9 mc)

housing에 對한 ion 電流變化를 보면 그림 8, 9, 10, 11과 같으며 source housing에 對한 除電率 및 除電效果를 보면 表 2, 3과 같다.

또 ion 送風裝置를 使用하여 送風의 速度에 따라 ion 電流 變化를 圖示하면 그림 12 및 13과 같다.

表 3. Effect of Lead Backscatterer on Discharge Current

Distance Source to Charged Plate (cm)	Discharge Current in $\mu A$		% increa
	Non Lead Backscatterer	Lead Backscatterer	
5.0	0.0605	0.0660	9.10
10.0	0.0645	0.0690	6.98
15.0	0.0480	0.0500	4.17
20.0	0.0310	0.0320	3.23
25.0	0.0185	0.0190	2.71
30.0	0.0112	0.0115	2.68

$S^{35}-9 mc$   
2.5 KV on charged plate

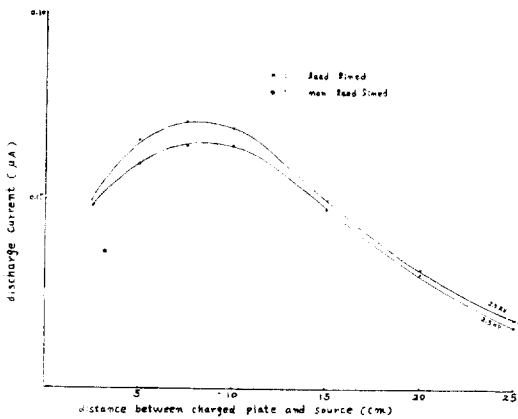


그림 10.  $S^{35}-9 mc$  인 경우 放電電流에 對한 鉛 backscatter 의 效果  
(Fig. 10. Effect of lead backscatter on discharge current in case of  $S^{35}-9 mc$ )

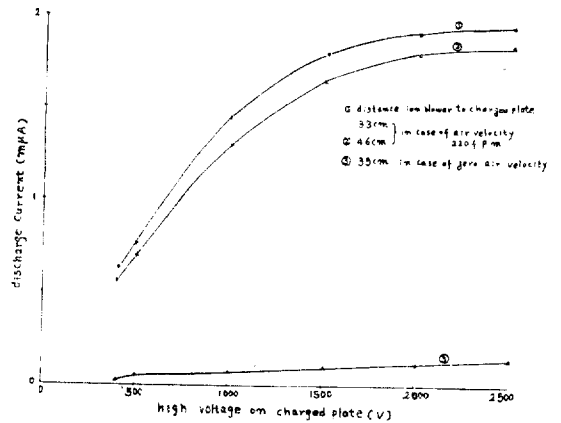


그림 12.  $S^{790}-Y^{90}-10$  인 경우 放電電流에 對한 送風速度의 效果  
(Fig. 12 Effect of air velocity on discharge current in case of  $S^{790}-Y^{90}-10 mc$ )

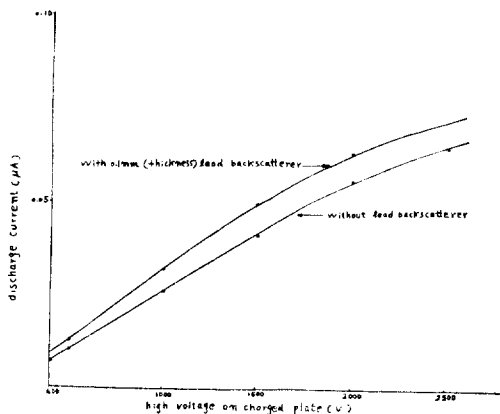


그림 11.  $S^{35}-9 mc$  인 경우 放電電流에 對한 鉛被 또는 非鉛被의 效果  
(Fig. 11. Effect of lead lined or none lead lined on discharge current in case of  $S^{35}-9 mc$ )

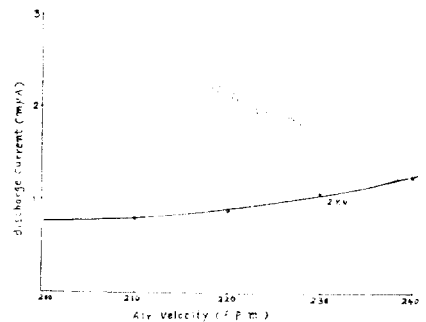


그림 13.  $S^{790}-Y^{90}-10 mc$  인 경우 送風速度의 效果, 荷電된 陽極과 ion blower 사이 距離 39.5 cm 이고 電極板 사이 距離 15 cm 이다  
(Fig. 13. Effect of air velocity in case of  $S^{790}-Y^{90}-10 mc$ . 39.5 cm distance charged plate and ion blower 15 cm distance between electric plates)

5. 考 察

그림 6 과 그림 7에서 다같이 電極 電壓이 增加함에 따라 ion 電流가 增加하며 線源과 電極間的 距離가 變化함에 따라 ion 電流는 차츰 增加하다가 어느 距離에 가서는 最大值에 到達한 후 점차 減少함을 볼 수 있다. 이때 最大值의 ion 電流를 나타내는 距離를 最適 除電距離 그 電流를 最大 除電電流라 생각할 수 있으며 高電壓 增加에 따라 最適 除電距離도 增加함을 알 수 있는데 이것은 加藤正夫 등의 實驗結果와 잘 一致하고 있다. 또 表 1에서  $Sr^{90}-Y^{90}$ 의 경우 最大 除電電流는 電極電壓이 2KV 일 때  $mc$ 當 0.00029  $\mu A$  인데 비해  $S^{35}$ 의 경우는 0.00753  $\mu A$  이다. 이와 같은 差는 比電離能<sup>(7)</sup>의 影響이라 고 보며 比電離能은 energy의 函數로서 表示된다.

W. J. Price에 依하면 空氣中에서 여러 放射線의 specific energy loss는 그림 14와 같다고 한다. 여기에서 energy가 增加함에 따라 모든 線源의 比電離能은 減少함을 알 수 있으며 除電用 線源으로는 beta 線源에

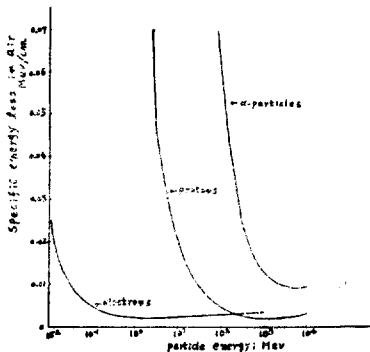


그림 14. 에너지 函數로서 空氣中에 여러가지 微粒子の 比에너지 損失  
(Fig. 14. Specific energy loss of varous particles in air as a Beiser, Rev Mod. phip)

비하여 alpha 線源이나 proton 線源이 훨씬 좋을 수 있다. 그러나 alpha 線源은 取扱하기 困難한 不便이 있으며 proton 線源은 인기가 힘들므로 다같이 除電用 放射線源으로는 適當치 못하다고 본다. 다만 alpha 線源에 對하여는 source packing 問題만 解決된다면 가장 效果的인 除電用 線源이 될 수 있을 것이라고 믿어진다. 한편 表 1에 依하면 low energy beta 線源을 除電用으로 選擇함이 좋을 것이라 믿어지나 energy가 너무 낮을 때는 그들이 일으킬 수 있는 電離電流가 적어질 것이므로 좋지 않으리라 생각된다. 따라서 너무 energy가 높거나 낮지 않은 中程度의 energy를 가진 放射毒性이 적고 半減期가 긴 beta 線源을 除電用으로 擇함이 좋으리라 思慮된다. 어떤 energy를 갖는 beta 放射線源이 標準狀態 (760mmHg, 0°C)下 乾燥한 空氣中에서 일으킬 수 있는 最大 ion 電流는 다음과 같은 式으로 表示할 수 있다.  
最大 ion 電流를  $I_{max}$ 라 하면

$$I_{max} = \frac{C \times 3.7 \times 10^{10} \times \frac{1}{3} E_{max} \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}}{32.5} \text{ [A]} \dots\dots\dots(1)$$

여기서

C: activity of beta radiation source

$3.7 \times 10^{10}$ : number of beta particles/sec/c

$\frac{1}{3} E_{max} \times 10^6$ : average energy of beta ray in ev

$1.6 \times 10^{-19}$ : coulombs/sec/electron

32.5: average energy in ev/ion pair in air

線源條件이 plane 으로 되었다고 하면 式 (1)은 다음과 같이 된다.

$$I_{\frac{1}{2}max} = \frac{\frac{1}{2} C \times 3.7 \times 10^{10} \times \frac{1}{3} E_{max} \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}}{32.5} \text{ [A]} \dots\dots\dots(2)$$

여기에서  $\frac{1}{2}$ 은 plane source 이므로 總放射能의 半단이 電離를 일으킨다는 것을 뜻한다. 그림 8에서  $S^{35}$  2mc, 4mc, 13.4mc에 對한 각각의 ion 電流 變化는 그들의 線源強度에 比例함을 알 수 있다. 그러므로 實際 工程中에 發生되는 靜電氣의 程度에 따라 그 除電을 爲한 線源強度를 決定할 수 있을 것이다. 그림 9에서 電極板面積이 10cm×20cm에 비하여 20cm×22.5cm의 경우 ion 電流는 增加함을 볼 수 있으며 이것은 F. Palmeri et al<sup>(1)</sup>의 實驗結果와 잘 一致하고 있다. 그림 10과 그림 11에서 0.1mm Pb coating을 한 10cm×20cm Cu板上에  $S^{35}-9mc$ 를 均一하게 바른 경우와 Pb coating을 하지 않은 同一面積의 Cu板上에 바른 경우 ion 電流는 前者가 後者에 비하여 增加함을 알 수 있으며 이는 放射線의 backscattering<sup>(7)</sup>影響이라 보며 source housing에 있어서 Pb backscattering material을 使用하는 것이 效果的이라고 믿어진다. 그림 12에서 ion 發生函과 電極板間的 距離가 增加할수록 ion 電流는 減少하며 送風에 依한 效果는 그것이 없을 때 보다 있을 때에 훨씬 큼을 알 수 있다. 또 그림 13에서는 送風의 速度增加에 따라 ion 電流가 增加함을 알 수 있으며 이것은 送風의 세기가 增加함에 따라 ion의 再結合<sup>(5-7)</sup>에 依한 損失이 적어지기 때문이라고 본다.

Ion 發生函 內에서 放射線의 電離作用에 依하여 生成된 電子나 ion은 電界 其他 外的 條件이 없다면 自由로히 運動할 것이다. 이때 어느 一定한 方向의 vector를 送風에 依하여 이들에게 주게 되면 그 vector 方向으로 加速을 받게 될 것이다. 그러나 그 加速에 依하여 새로운 ion을 만들만한 充分한 energy를 얻지 못한다고 하면 ion 發生函 內에서 發生된 ion이나 電子는 移動하는 동안 diffusion이나 recombination 및 attachment에 依한 損失만이 일어날 것이다. 여기에서 diffusion이나 attachment에 依한 損失을 無視한다면 다음과 같은 式으로 ion의 變化率을 表示할 수 있을 것이다.

$$\frac{dn}{dt} = -\alpha n_+ n_+^{(5-7)} \dots (3)$$

$n_- = n_+ = n$  라고 假定하면 式(3)은

$$\frac{dn}{dt} = -\alpha n^2 \dots (4)$$

와 같이 되며

式(4)의 解를 求하면

$$\frac{1}{n} = \alpha t + c \dots (5) \text{로 된다.}$$

여기서  $c$ : constant

$t=0$  일 때  $n=n_0$  라 하면  $c = \frac{1}{n_0}$  이 되며 式(5)는 다음과 같이 된다.<sup>13</sup>

$$n = \frac{n_0}{1 + \alpha n_0 t} = \frac{1}{\frac{1}{n_0} + \alpha \frac{d}{v}} \dots (6)$$

여기서

$n$ : ion density at time  $t$

$n_0$ : ion density at time  $t=0$

$d$ : distance ion blower to electrode

$v$ : velocity of the ionized air

$\alpha$ : recombination coefficient,

$1.71 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{s}$  for air

式(6)에서 分母의 처음  $\left(\frac{1}{n_0}\right)$  term이  $\alpha \frac{d}{v}$  term에 비하여 無視될 수 있다면 送風速度에 따라 ion 電流는 增加한다는 것을 알 수 있다. 이로서 ion 發生兩을 遠距離에 裝置하고 그 ion 發生兩 周圍만 shielding을 充分히 한다면 作業人에게 全然 放射線의 障害를 주지않고 效果的으로 靜電氣를 除去할 수 있을 것이라고 믿어진다.

### 6. 結 論

本人들은  $S_{90}-Y_{90}$  및  $S_{35}$ 의 beta 線源을 利用하여 放射線의 電離作用에 依한 靜電氣 除去 實驗을 行한 結果 다음과 같이 結論한다.

1. Ion 電流는 放射線源強度, 電極電壓, 電極板面積에

따라 增加한다.

2. Pb backscattering material 을 source housing 構造物質로 使用하였을 때 ion 電流는 增加한다.

3. Ion 送風에 依한 靜電氣 除去가 可能하다.

4. 比電離能이 큰 放射線源일수록 ion 電流는 增加한다.

(1965年 8月 4日 接受)

### 參 考 文 獻

1. F. Palmeri, Jr., H.P. Copeland and J.G. Mac Hutchin. "Final Report on Development of Krypton-85 Static Elimination Equipment to U.S.A.E.C.," NYO-2490, United States Radium Corporation Engineering Division, Bloomsburg, Pennsylvania, Jan., 1960.
2. K. Nishioka, "An Application of Beta Rays for the Elimination of Electrostatic charge on Textile Materials" AEC-tr-4482, Proceeding of the second Japan conference on Radioisotopes, Feb. 1958, pp. 51, U.S.A.E.C. May 1961.
3. K. Ljunggren. "An Ion Blower for the Elimination of Static Electricity." Inter Jour. Appl. Radiation and Isotopes, 2. pp. 105-109 1957.
4. 加藤正夫, 三輪博秀, 武谷清照, 池田朔次, 應用操作編Ⅱ "靜電除去器" アイソトープ 實驗技術 第3集, pp. 127, 南江堂, 東京 (1960).
5. Bruno B. Rossi and Hans H. Staub. "Ionization Chambers and Counters," Vol. 2, pp. 1~71, Mcgraw-Hill Book Co., Inc., New York. 1949.
6. 原田常雄, 小川匡一, 小川一行共著 "放電管", 電子工學講座 pp. 1~76, オーム社 東京 (1956).
7. William J. Price, "Nuclear Radiation Detection," pp. 1~114, Mcgraw-Hill Book Co., Inc., New York. 1958.