

## 아르곤 이온살의 특성에 관한 연구

申 熙 明  
(物理教育科)

### 要 約

本 論文은 電子雲에 의하여 생겨나는 強力한 空間電場을 利用하여, 아르곤 이온살을 加速시키고, 아르곤 이온의 最高에너지를 測定하므로써, 이온 集團加速法에 의하여 얻어지는 아르곤 이온살의 性質을 研究한 論文이다.

空間에서 아르곤 이온살을 얻는 方法으로는 直徑 4 mm 텅스텐 陰極과 中央에 直徑 12 mm의 孔이 있는 스테인레스 鋼 陽極 사이에서 發生하는 電子束에 아르곤 氣體를 注入시켜서 이들이 이온化되는 方法을 使用하였다.<sup>1)</sup>

아르곤 이온의 最高 에너지 測定方法으로는 이온 檢出器의 間隔을 30 cm, 60 cm, 90 cm로 變化시켜가면서, 그 間隔에서의 飛程時間을 測定하는 飛跡距離 測定方法<sup>2)</sup>을 使用하였다.

研究의 結果로는 最高 에너지를 가지는 이온의 速度는 90 cm 進行하는 동안에는 一定한 값 0.1c 였으며, 에너지는 약 4.5 MeV/amu을 얻었다.

이 研究는 1983年度 文教部 學術研究 助成費에 의하여 研究된 것이다.

### 第一章 序 論

이온 集團加速法은 強力한 空間電場에 의하여 이온이 加速되는 方法이다. 이 때 생겨나는 空間電場의 세기는 電子束을 發生시키기 위하여 二極管에 걸어진 電壓을 使用하여 이온을 直接 加速시킬때 생기는 電場의 세기의 약 100배가 된다. 따라서 이온 集團加速法은 廉價하고 簡便하게 이온을 加速시키는 方法으로 脚光을 받으면서 많은 研究가 進行되고 있다.

理論적으로 強力한 電子束에 의하여 이온이 集團加速되리라고 생각한 사람은 Budker와 Veksler이며, 이들은 1956年 高에너지 加速裝置協議會가 Geneva에서 열렸을 때 이를 發表하였다. 그러나 그 當時에는 相對論的 電子束을 얻지 못하였으므로 實驗을 할 수 없었다. 그後, 1960年 中葉에 와서 高電流 高電壓을 얻을 수 있는 裝置가 開發되어 이에 對한 研究가 活潑하게 進行되기 시작하였다.

처음에는 磁場에 의하여 갇힌 電子環을 使用하여 이온을 加速하는 方法을 擇하였다. 그러나 여러 곳에서 研究한 結果에 의하면 이 方法에는 問題點이 많이 생겼다. 卽 電子環 自體가 不安全하여, 이것을 다루기 어려우며, 따라서 이온 加速은 생각과 같이 되지 않는다는 것이다.<sup>3)</sup>

그러나 Graybill와 Uglum<sup>4)</sup>는 水素氣體와 窒素氣體에 電子束을 直接 注入하므로써 電子束의 에너지보담 2~3배 더 큰 에너지의 이온을 얻었다.

眞空 속에서의 이온 集團加速은 相對論的 電子束 發生 二極管의 極 近處에 있는 플라즈마에 의하여 일어난다. 이 方法에 의한 研究가 進行되면서 二極管의 형태가 變化되어 지금에 使用하는 Luce型 二極管으로 發展하게 되었다.

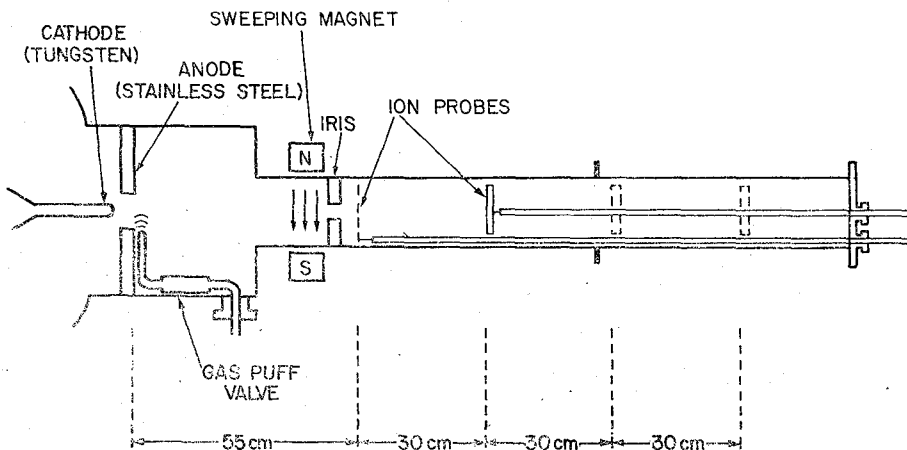
이온 集團加速法을 使用하여 Destler와 Reiser는 여러가지 이온을 加速하였다.<sup>5,6,7)</sup> 그러나 이들 實驗에서는 이온 檢出器의 位置를 固定시키므로써 空間電場의 어떤 一定한 곳에서 的 加速現象을 測定하여 이온의 에너지를 計算하였다.

本 研究에서는 이온 檢出器의 間隔을 變化시키므로써, 이온살이 進行하면서 어떠한 變化를 받는가 하는 것을 實驗으로 보인 것이다.

## 第二章 實驗裝置 및 實驗方法

### I. 實驗裝置

本 研究에 使用한 實驗裝置는 Marx高壓 펄스 發生裝置로서, 出力電壓은 0.25 MV이며, 電流는 30 kA, 펄스 길이는 60 ns이다.<sup>1)</sup> 이 裝置에는 Luce型 二極管을 使用하고 있으며, 이것으로부터 線型 電子束을 얻을 수 있게 되어 있다.



〈그림 1〉 Luce二極管과 이온加速傳播管

二極管의 陰極으로는 直徑 4 mm인 텅스텐 막대를 使用하고 陽極으로는 스테인레스 板을 使用하고 있다. 이 陽極의 中央에는 12 mm의 구멍이 있으며, 陰極에서 나온 電子束은 이 구멍을 通하여 이온살 加速傳播管 속으로 進入할 수 있게 되어 있다.

本 研究를 위하여 이온살 加速傳播管의 길이를 길게하였다. <그림 1>에서 보는 것과 같이 直徑 10.16 cm 길이 70 cm인 補助 傳播管을 연결하였다. 이로써 이온 檢出器의 位置를 30 cm, 60 cm, 90 cm로 變化시킬 수 있게 하였다.

이온을 얻기 위하여 氣體를 注入하는 裝置로는 高速氣體注入밸브<sup>2)</sup>를 使用하였으며, 이것은 <그림 1>에서 보는 것과 같이 陽極의 뒷쪽에 설치하였다. 여기서 噴出되는 아르곤 氣體는 二極管에서 發生된 電子束과 만나서 프라즈마를 形成하게 된다. 그리고 계속 注入되는 電子束에 의하여 加速되는 것이다.

傳播管에는 이온을 加速시킨 電子雲과 이온이 共存하여 있게 되므로, 이온살을 檢出하기 위하여는 電子雲을 除去시키지 않으면 안된다. 이를 위하여 傳播管 入口에 永久磁石을 놓아서 電子束의 經路를 휘게 한다. 이에 使用한 永久磁石은 0.1 tesla의 것으로서 磁極의 間隔은 11.5 cm이다.

이온 檢出器는 直徑 7.6 cm인 環을 구리網으로 짜서 製作하였으며, 이들은 모두 同軸導線으로 연결되어 있으며, 임피던스는  $50\Omega$ 이다.

이온 檢出器에서 檢出된 이온 信號는 오질로스코우프(Giwatsu SS-5711)에 入力되어 寫眞으로 記錄되게 된다.

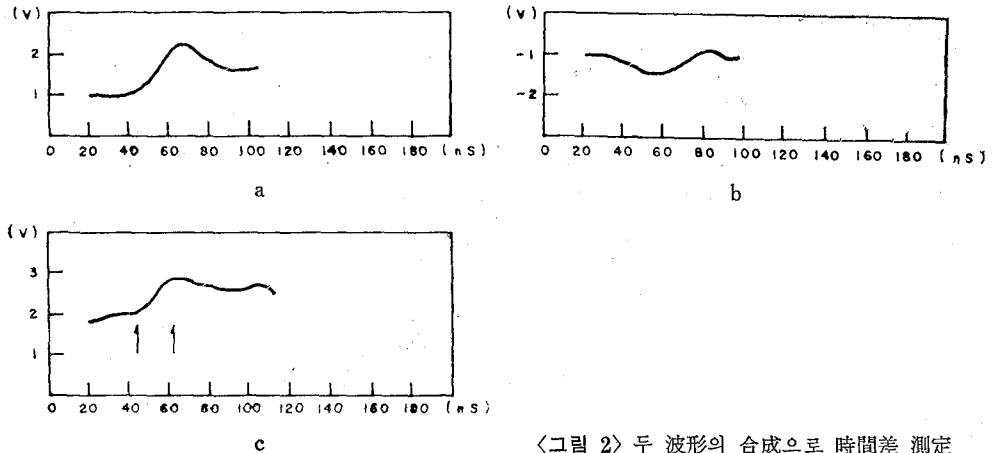
## II. 實驗方法

Marx 高壓 펄스 發生裝置에 內藏되어 있는 12個의 蓄電器에 22 kV의 電壓으로 充電시킨 다음, 放電시키면 처음에 竝列로 연결되었던 蓄電器가 放電과 同時에 直列로 연결되면서 0.25 MV의 出力電壓을 二極管의 陰極에 加하게 된다. 陰極에서 放出된 電子束은 陽極을 지나면서 氣體와 충돌하여 이온살을 만들게 된다.

電子束에 의하여 加速된 이온들은 電子와 함께 傳播管 속을 進行하다가 陽極으로부터 약 10 cm되는 곳에 있는 0.1 tesla의 磁場 속을 지나면서 質量이 작은 電子는 모두 빛나가 버리고 質量이 큰 아르곤 이온만이 傳播管 속을 進行하게 된다.

이온 檢出器의 間隔은 앞의 檢出器를 固定시키고 뒷쪽의 檢出器의 位置를 옮겨서 이들의 間隔이 처음에는 30 cm, 다음에 60 cm, 끝으로 90 cm가 되도록 한다.

速度가 제일 큰 이온이 두 檢出器의 間隔을 지나가는데 所要되는 時間은 檢出器에서 얻는 信號로서 알 수 있다. 即 앞쪽 檢出器의 信號가 시작하는 점에서 뒷쪽 檢出器의 信號가 시작하는 점까지의 時間을 測定하면 된다. 이를 위하여는 두 개의 信號를 同時에 따로 記錄하는 方法도 있으나, 두 개의 信號를 合成하여 그 波形의 變化로부터 時間差를 測定하



〈그림 2〉 두 波形的 合成으로 時間差 測定

는 方法도 있다. 〈그림 2〉는 두개의 波를 合成하여 하나의 波形으로 만들어 그것으로부터 各 波의 시작점을 차차내는 방법을 나타낸 것이다. 그림 a는 檢出器의 間隔을 60 cm로 하였을 때, 앞쪽의 檢出器에서 얻은 이온電流의 信號이며, 그림 b는 뒷쪽 檢出器에서 얻은 信號를 符號로 바꾸어서 負의 信號로하여 오실로스코프의 入力으로한 것이다. 그림 c는 앞에서 얻은 正의 符號의 信號와 뒤에서 얻은 負의 符號의 信號를 合成 形態를 나타낸 것이다.

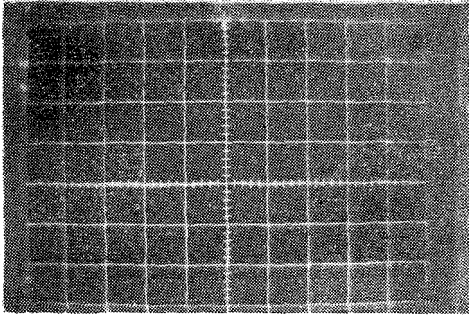
그림 c에서 알 수 있는 것과 같이 正의 信號에 負의 信號가 加하여지는 순간에 正의 信號의 波形이 變하게 된다. 따라서 앞의 信號의 시작점과 波形이 變化하기 시작하는 點 사이의 時間을 測定하면, 이것이 곧 이온이 60 cm 사이를 지나가는데 所要된 時間이 되는 것이다. 本 研究에서 이 方法을 使用하였으며, 〈그림 2〉의 그래프는 〈그림 4〉의 寫眞을 알기 쉽게 하기 위하여 그려 놓은 것이다.

### 第三章 結果 및 分析

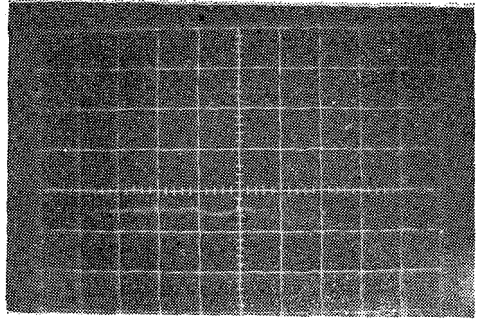
#### I. 檢出器 間隔 30 cm

〈그림 3〉는 檢出器의 間隔을 30 cm로 하였을 때의 信號를 記錄한 寫眞과 이를 알기 쉽게 하기 위하여 그래프로 그려 놓은 것이다. 그림 a는 앞의 信號이며, 그림 b는 뒤의 信號를 符號로 바꾸어서 入力시킨 것이다. 그리고 그림 c가 合成波形이고 그림 d가 이것을 그래프로 그린 것이다.

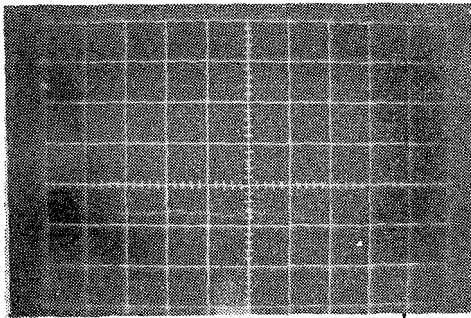
이 記錄에 의하면 가장 빠른 이온이 30 cm의 間隔을 移動하는데 所要되는 時間은 10 ns임을 알 수 있다.



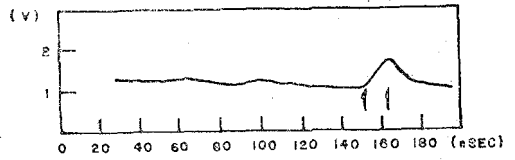
a



b

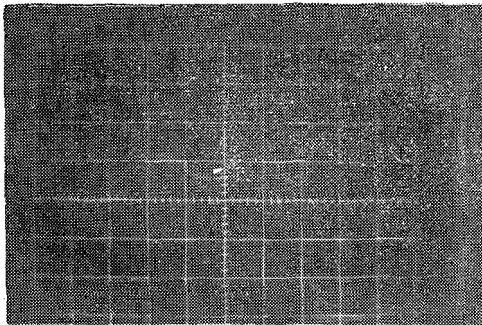


c

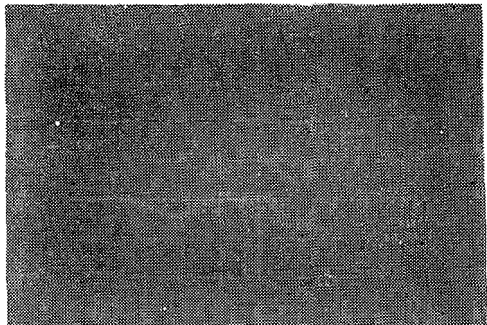


d

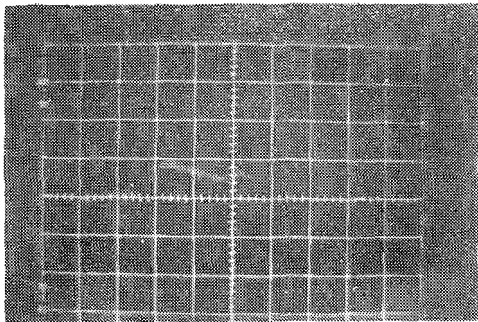
<그림 3> 檢出器의 間隔 30 cm인 경우



a



b



c

<그림 4> 檢出器 間隔 60 cm인 경우

## II. 檢出器 間隔 60 cm

〈그림 4〉는 檢出器 間隔을 60 cm로 하고 어든 信號이다. 그림 a는 앞의 信號이고 그림 b는 뒤의 信號를 符號를 바꾸어서 記錄한 것이다. 그림 c는 이들을 合成한 波形이다. 〈그림 4〉의 內容을 알기 쉽게 하기 위하여 그래프로 表示한 것이 〈그림 2〉이며, 이것은 波의 合成法을 설명할 때 利用되었다.

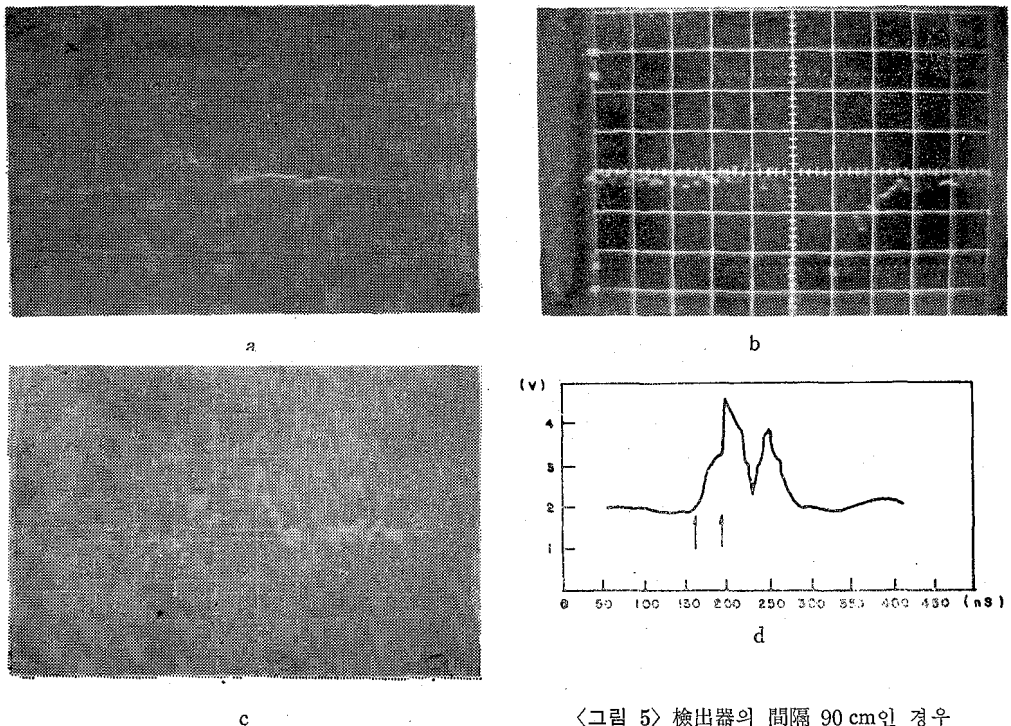
이 記錄에 의하면 가장 빠른 이온이 60 cm를 通過하는데 所要되는 時間은 20 ns임을 알 수 있다.

## III. 檢出器 間隔 90 cm

〈그림 5〉는 檢出器의 間隔을 90 cm로 하고, 위에서와 같은 方法으로 信號를 記錄한 것이다.

이에 의하면 가장 빠른 이온이 90 cm의 間隔을 지나가는 데에는 30 ns의 時間이 所要됨을 알 수 있다.

以上の 實驗의 結果를 종합하면 가장 빠른 아르곤의 이온이 30 cm의 間隔을 지나가는 데에는 10 ns의 시간이 所要됨을 알 수 있다. 따라서 아르곤 이온의 最高 에너지는 다음과 같이 計算된다.



〈그림 5〉 檢出器의 間隔 90 cm인 경우

거리  $d=30\text{ cm}$ 를 지나간 시간  $\Delta t=10\text{ ns}$ 이므로, 아르곤 이온의 속도  $V_p$ 는

$$V_p = \frac{d}{\Delta t}$$

$$= 3 \times 10^7 \text{ (m/s)}$$

이다. 이것을 光速  $c$ 로 나타내면  $0.1c$ 이다. 따라서 아르곤 이온의 最大 에너지  $E$ 는 다음과 같다.

$$\bar{E} = \frac{1}{2} M V^2$$

$$= 178 \text{ (MeV)}$$

따라서 核子 하나는  $4.45\text{ MeV}$ 의 에너지를 가지고 있는 셈이 된다.

#### 第四章 結 論

이 研究에서 얻은 結果를 綜合하면 다음과 같다.

- 1) 아르곤 이온은 傳播管의 길이  $90\text{ cm}$  정도까지는 進行速度的 變化가 없이 進行됨을 알 수 있다.
- 2) 傳播管 속에서의 아르곤 이온의 進行速度는  $0.1c$ 이다. 즉  $30\text{ cm}$ 의 間隔을 通過하는데  $10\text{ ns}$ 가 所要된다.
- 3) 이 速度로 이온의 에너지를 計算하면  $E=178\text{ MeV}$ 임을 알 수 있다.
- 4) 이 結果는 이온 集團加速 方法이 매우 경제적인 이온 加速方法이라는 것을 알 수 있다.

#### 參 考 文 獻

- 1) 신희명 外, *New Physics*, **18**, (1978, 한국물리학회).
- 2) 이형락 外, 서울大學校 師大論叢, **26**, 1983.
- 3) C.L. Olson and U. Schumacher, *Collective Ion Acceleration*, edited by G. Hehler (Springer: New York, 1979), Vol. 84.
- 4) Graybill and J. Uglum, *J. Appl. phys.* **41**, 236 (1970).
- 5) W.W. Destler, L. Floyd, and M. Reiser, *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **26**, (June 1979).
- 6) W.W. Destler, L. Floyd, and M. Reiser, *Phys. Rev. Lett.* **44**, No. 2, #70 (1980).
- 7) L.E. Floyd, W.W. Destler, M. Reiser, and H. Shin, *J. Appl. Phys.* **52**(2), (Feb. 1981).
- 8) N. Rostoker and M. Reiser, *Collective Methods of Acceleration* (Harwood Academic

- Publisher, New York 1979).
- 9) R. Adler, J.A. Nation and V. Serlin, *Phys. Fluids*, 24(2), 347 (1981).
- 10) 김영주 외, 서울대학교 師範大學論叢 24, 1982.
- 11) R.H. Huddleston and S.L. Leonard, *Plasma Diagnostic Techniques* (Academic Press. New York, 1965).

## Study on the Characteristics of Argon Ion Beam

Shin Hee Myung

### Abstract

The collective acceleration of argon ions is experimentally investigated. The ion peak energies of about 5 MeV/nucleon has been achieved using a 0.25 MeV, 30 kA, 60 ns electron beam pulse. Ion energies have been measured using time-of-flight at the variant distance.