

## 125keV 이온가속기용 고주파이온원천 제작과 그것의 전원체계

렴창록, 송철욱, 배성길

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학연구성과는 그것이 현실에 적용되어 실지 은을 내야 의의가 있지 실험실적연구로 끝나서는 큰 의의가 없습니다. 과학적발명을 실험실적으로 담보하는것도 중요하지만 실천에 적용하여 은을 내게 하는것이 더 중요합니다.》(《김정일선집》 증보판 제12권 366페이지)

현재 가동되고있는 중성자발생장치에서는 자동집초 고주파이온원천을 리용하며 실수률이 높은 중성자발생기들에서는 방전관의 안쪽 또는 바깥쪽에 RF안테나를 설치한 효율적인 RF이온원천을 리용하고있다.[1-4]

이온가속기는 보통 이온묶음전류가 클것을 요구하며 반면에 집초성에 대한 요구가 높지 않다.

론문에서는 125keV 이온가속기에 설치할 인출조건이 개선된 고주파이온원천과 전원체계를 설계제작하고 그 특성을 고찰하였다.

### 1. 고주파이온원천의 제작

고주파이온원천은 중성자발생기와 같은 직접작용가속장치에서 널리 리용된다.

일반적으로 고주파이온원천은 간단한 장치적구조와 동작의 믿음성, 비교적 낮은 출력에서 동작하는 우점을 가지고있다.

이러한 요구를 반영하여 묶음전류가 크면서도 인출조건을 더 개선할수 있는 고주파이온원천을 제작하였다.(그림 1)

이온원천은 고주파방전관과 고주파발생기, 인출극과 집초극으로 되어있다.

고주파방전관은 석영유리로 된 원기둥형이며 방전관의 길이 130mm, 반경 20mm로서 이전에 리용한 장치[1]에 비해 체적으로 4배정도이다. 방전관우에는 고주파전자기마당을 만드는 선륜이 감겨져있다. 이 선륜이 만드는 고주파전자기마당이 방전관에 기체의 이온화를 발생시켜 고리형방전을 일으킨다.

방전관의 윗부분에는 형성된 플라즈마에 정압을 전달하는 도선(양극)이 붙어있고 도선끝을 구모양의 유리로 절연하였다. 이런 경우 양극주위에서의 공간전하층의 영향과 전하재결합효과가 약화된다. 여기에 1~3kV의 전압이 걸린다. 이 전극배치는 인출구멍을 통한 이온의 인출조건을 개선한다. 실험에 의하면 이 양극전압은 기체주입구를 접지로 하는 경우 2.5~3kV이다.

보통 플라즈마와 음극사이의 전위차가 인출전압으로 된다. 이온의 인출로 하여 부로

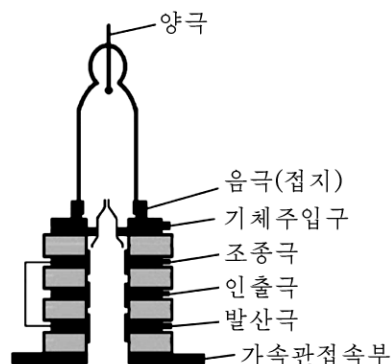


그림 1. 고주파이온원천

대전된 플라즈마의 결면층은 조종극으로부터 배치된다. 이리하여 이온의 방출이 진행되는 표면은 오목한 모양을 가지면서 확대된다. 플라즈마경계의 오목한 형태는 립자뭉음의 초기집초결과 인출되는 전류의 장성을 촉진한다. 이 집초는 가속관내부와 련결되는 작은 구멍을 통하여 인출되는 립자뭉음이 잘 통과하도록 한다.

인출극과 조종극사이의 전기마당에 의하여 양이온들의 가속이 촉진된다. 조종극과 감속극사이의 전기마당에 의해 양이온들은 감속된다. 결국 이온원천의 전극체계는 가속-감속인출체계이다.

조종전압은 인출전압의 10%정도로 취하며 가속관과 접합되는 마지막전극은 음극과 같은 접지상태에 있다.

인출구멍은 가속관과 이온원천사이의 진공도를 보장하며 방전관에서 형성된 이온을 인출하고 이온뭉음을 만들어주는 역할을 한다.

원리적으로는 인출구멍이 크면 인출전류가 커진다. 그러나 인출구멍이 크면 가속관과 방전관사이의 진공도를 보장할수 없으며 가속관의 진공도를 높이면서 인출구멍의 크기를 크게 하면 방전관안의 기체압력이 낮아져 초기방전이 어렵게 된다. 따라서 인출구멍의 크기를 알맞춤하게 하여야 한다. 인출구멍의 직경은

$$D_1 = \sqrt[3]{\frac{D_2^3 P_2 L_1}{P_1 L_2}}$$

에 의하여 결정된다. 여기서  $D_1$ 은 인출구멍의 직경,  $D_2$ 는 가속관의 직경,  $L_1$ 은 인출구멍의 길이,  $L_2$ 는 가속장치길이,  $P_1$ 과  $P_2$ 는 방전관과 가속관안에서의 압력이다. 방전관안의 압력은 가속관의 압력과 기체주입속도 그리고 진공뿔프의 배기속도에 의하여 결정한다.

중수소기체의 주입량과 이온뭉음전류의 크기 그리고 진공도를 고려하면서 인출극의 길이가 인출구멍직경의 4~6배 될 때 가장 좋은 인출특성을 가진다는 실험에 근거하여 인출구멍의 크기를 0.8mm로 선정하였다.

집초극에는 가속전압을 분기하여 +7kV정도 공급한다.

가속관과 이온원천사이의 접합은 후란지를 통하여 진행한다.

제작된 고주파이온원천의 특성량은 다음과 같다.

방전관안의 압력  $(1.2 \sim 3.0) \cdot 10^{-2} \text{Pa}$ , 방전관에 감은 선료에 공급되는 고주파주파수 40MHz, 고주파방전관출력 100W, 기체의 주입량  $0.5 \sim 1.0 \text{cm}^3/\text{h}$ 이다.

## 2. 고주파이온원천의 전원체계제작

고주파이온원천에는 인출전극, 집초전극을 비롯하여 여러 종류의 전원공급이 요구된다.

고주파이온원천용 전원들은 다음과 같은 요구를 만족시켜야 한다.

모든 전원들의 변압기들은 조종단의 600W 자동변압기로 조종되므로 출력이 600W를 초과하지 말아야 한다.

이온원천이 250kV의 고전압이 걸리는 고전압전극함속에 놓이므로 충분한 절연특성을 가져야 한다.

변압기들은 고전압전극함속에 놓이므로 고전압준위를 접지로 고찰하여야 한다.

이러한 요구로부터 이온원천전원들은 절연변압기를 통하여 가속기조종단의 전원과 분리시켰다.

고주파이온원천의 전원체계는 그림 2와 같다.

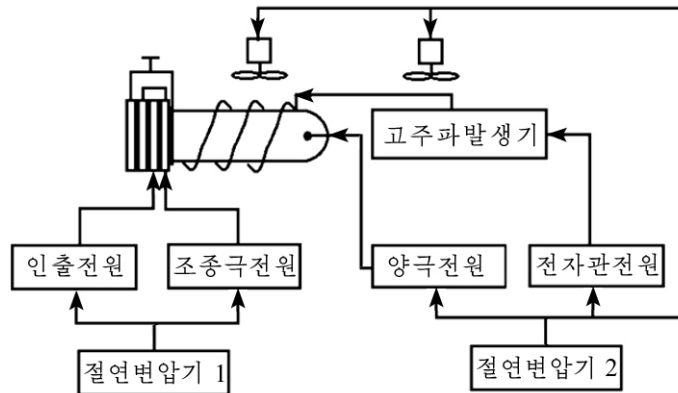


그림 2. 고주파이온원천의 전원체계

그림 2에서 보는바와 같이 제작된 전원체계들의 특성을 보면 고주파방전관과 고주파발생기의 전자관들을 랭각시키기 위한 선풍기전원은 절연변압기 2를 통해 220V 전원에서 공급받는다.

인출전극에 공급되는 +4kV의 고전압은 조종단의 자동변압기에 의해 절연변압기 1을 통해 인출전원에서 공급된다. 이 변압기의 출력은 360W이다.

고주파발진회로의 전자관의 양극전압과 음극전압은 최대 +1.6kV, 약 6.5V의 전자관 음극가열전원에 의하여 공급된다.(변압기출력 180W) 이때 조종단의 자동변압기에 의하여 전자관의 양극전압이 1.2~1.6 kV의 범위를 초과하지 않도록 조종한다.(정격전압 1.25kV)

방전관의 양극에 공급되는 +1~+3kV의 고전압은 조종단의 자동변압기에 의해 절연변압기 2를 통해 공급된다. 이 변압기의 출력은 160W이다.

조종극에 공급되는 -400V의 전압은 조종단의 자동변압기에 의해 절연변압기 1을 통해 400V 전원변압기에서 공급된다. 이 변압기의 출력은 300W이다.

고전압변압기와 절연변압기들은 조종단의 자동변압기에 의하여 컴퓨터로 조종된다.

### 3. 고주파발생기설계제작

중성자발생장치에서 리용되는 고주파이온원천은 무극방전고주파이온원천으로서 물리브덴유리로 된 방전관에 40~100MHz의 고주파마당을 걸어주게 되어있다. 이러한 이온원천이 수백kV의 고전압탐크속에 설치되어있으므로 일반적으로 고주파방전에 필요한 고주파발진을 반도체로 진행하기가 곤란하다. 그러므로 보통 전자관을 리용하여 발진을 진행한다. 발진관 《Г-811》을 리용하여 40MHz고주파발진을 실현하였다. 고주파발진회로는 그림 3과 같다.

그림 3에서  $C_3$ 은 려파콘덴샤이고  $L_1$ 은 고주

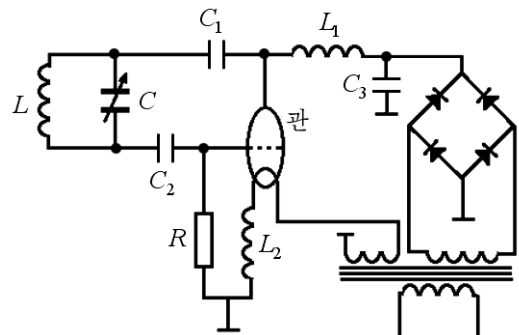


그림 3. 고주파발진회로

파차단선류,  $C_1$ ,  $C_2$ 는 결합콘덴샤,  $L_2$ 는 전자관의 시동, 정지를 지연시키는 지연선류이다. 여기서  $C_1 = 1\text{nF}/5\text{kV}$ ,  $C_2 = 470\text{pF}/5\text{kV}$ ,  $C_3 = 4\mu\text{F}/2\text{kV}$ ,  $L_1$ 의 권회수는 80회이며 유도

도는 0.3mH이다. 또한  $L_2$ 의 권회수는 43회이고 유도도는  $33.25\mu\text{H}$ 이다.

고주파발진회로로는 LC귀환발진회로를 리용하였다. 귀환발진회로는 전력증폭기와  $C_2$ 에 의하여 정귀환결합된다.

진동회로에서  $L$ 은 권회수가 5회이고 유도도는  $0.25\mu\text{H}$ 이며 가변콘덴서  $C$ 의 정격용량은 6.34pF이다. 그러므로 공진주파수는 40MHz이다.

고주파회로의 특성을 보면 출력 115W, 공진주파수 40MHz, 양극전류 125mA, 음극가열전류 약 4A, 양극전압 +1.25kV, 살창전압 -200V이다.

## 맺는 말

중성자발생장치에 리용된 이온원천[1]보다 이온인출조건이 개선된 고주파이온원천을 제작하고 그것을 125keV 이온가속기에 도입하여 이온인출특성을 밝혔다.

## 참고 문헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 59, 12, 69, 주체102(2013).
- [2] B. A. Ludewigt et al.; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B 261, 830, 2007.
- [3] S. I. Radwan et al.; Radiation Physics and Chemistry, 114, 351, 2018.
- [4] M. Klein, D. J. W. Mous; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B 406, 210, 2017.

주체109(2020)년 3월 5일 원고접수

## Making of a High-Frequency Ion Source for an Ion Accelerator with 125keV and Study on its Power Supply System

*Ryom Chang Rok, Song Chol Uk and Pae Song Gil*

We made a new high-frequency ion source and applied it to the ion accelerator with 125keV. Then we cleared up that its condition for ion extraction was improved over the previous ion source used in the neutron generator.

Keywords: high-frequency ion sources, high-frequency discharge