

중성자발생장치의 이온원천용중수소발생 및 주입장치에 대한 연구

박종원, 송철욱

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학연구사업과 생산실전을 밀접히 결합시켜야 과학기술도 빨리 발전시키고 과학연구사업에서 이룩한 성과에 기초하여 경제건설도 적극 다그칠수 있습니다.》(《김정일선집》증보판 제15권 492페이지)

핵융합반응이나 런속배기형중성자발생장치들에서는 중성자발생을 위하여 비교적 낮은 에너지대역에서 큰 반응자름면적을 가지는 핵반응들인 $T(d, n)^4\text{He}$, $D(d, n)^3\text{He}$ 을 이용한다. 그러므로 빠른 중성자를 발생시키는데서 이온원천으로서 중수소를 발생시키는 것이 중요한 문제로 나선다. 가속장치와 핵융합장치 등에 대한 개발과 응용에서 이온원천에 대한 연구[1, 2]가 많이 진행되고있다.

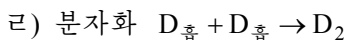
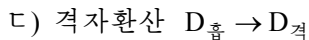
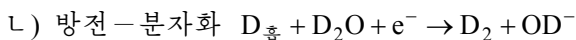
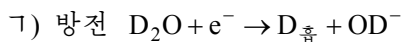
우리는 전기분해흡장-투과법에 의하여 중수소의 제조, 정제 및 압축을 동시에 자동적으로 진행하는 중성자발생장치의 이온원천용중수소주입장치를 설계제작하였다.

1. 방법의 이론적기초

이온원천에 중수소기체를 압축하여 주입하는 경우에 보다 쉬운 방법으로 정제가 잘된 중수소를 주입하는 방법이 확립되어야 한다. 수소와 중수소흡장에 대한 연구[1, 2]는 많이 진행되였다.

1) 수용액전해계의 음극에서 수소흡장과 정제의 가능성

수용액전해계의 음극에서 수소방전물립새는 잘 알려져있다. 알카리성매질이 첨가된 중수에서의 음극반응과정을 네 단계로 특징지을수 있다.



촉매적특성이 좋은 Pd를 음극으로 리용할 때 위의 네가지 반응들의 상대적속도차에 의하여 중수소의 2차적거동에서 차이가 있게 된다. 만일 단계 ㄱ)가 단계 ㄴ) 및 ㄹ)보다 빠르면 D^- 로 결면이 덮여진다. 이런 조건은 음극분극이 클수록 더 쉽게 조성된다. 그리고 단계 ㄷ)가 단계 ㄴ) 및 ㄹ)보다 빠르면 금속내부로 D^- 의 확산이 있게 된다. 즉 빠른 방전, 느린결합물립새로 과정이 진행될 때에는 D^- 의 전극에로의 흡장이 가능하게 된다.

음극으로 수소흡장특성이 매우 좋은 Pd를 리용하는 경우 전기분해흡장된 중수소는

격자간이행을 하면서 전극속으로 쉽게 흡장된다. 흡장된 중수소는 Pd살창(면심립방살창)의 정4면체와 정8면체위치에 들어가게 된다. 그러나 흡장된 중수소들사이 호상섭동과 기타 원인에 의하여 흡장비(Pd : D)는 0.6정도밖에 되지 않는다. 전해계에서 음극분리되는 Pd에 대하여 결면포텐셜분포를 균일하게 하고 특수한 결면처리를 진행하여 흡장비를 0.9까지 도달시킬수 있다.

한편 살창속에 흡장된 중수소는 10^{12}s^{-1} 의 속도로 살창사이이행을 하며 체적내부의 미세한 틈이나 구멍결면에서 다시 재결합되어 분자화된다. 분자화된 수소기체압력은 분극값에 관계된다.

$$p = p_0 \exp(-FU/RT) \quad (1)$$

여기서 F 는 파라데이상수이고 R 는 기체상수, U 는 과전압, p_0 은 $U=0$ 일 때의 압력이다. 이 식은 구멍내부에서 중수소기체압력과 과전압사이의 관계를 보여준다. 즉 결면덮임도가 과전압에 따라 증가할 때에는 Pd확산막을 투과하여 금속의 내부에 흡장되는 중수소의 압력을 식 (1)에 의하여 평가할수 있다. Pd를 음극재질로 하는 경우에는 듀톤방전과정이 상대적으로 빨리 일어나므로 우에서의 논의에 따라 중수소의 흡장이 진행된다고 볼수 있다.

2) 최대한 가능한 중수소의 내부압력

식 (1)에 의하면 분극값을 증가시키는 경우 금속Pd내부공간에서 재결합된 순수한 중수소분자의 압력을 얼마든지 높일수 있다. 제한은 오직 금속조직의 력학적세기뿐이다.

금속조직의 내부구멍이 볼록렌즈모양일 때 금속조직이 파손당하는 림계압력은 다음과 같다.

$$p_{\text{림}} = \left(\frac{16Y\gamma}{3l} \right)^{1/2} \quad (2)$$

여기서 γ 는 결면에에너지, Y 는 양그를, l 은 내부구멍의 최대직경이다. 식 (1)과 (2)로부터 금속조직이 파손당하는 림계압력 $p_{\text{림}}$ 에 대응하는 림계과전압 $U_{\text{림}}$ 은 다음과 같다.

$$U_{\text{림}} = -\frac{RT}{4F} \ln \left(\frac{16Y\gamma}{3l} \right) \quad (3)$$

즉 부의 과전압이 $U_{\text{림}}$ 이상이면 금속조직은 내부수소압력에 의하여 수소붕괴를 당하게 된다.

3) 수소흡장투과성전극재료의 선택

음극이 수용액인 수소방전반응에 대해 촉매적특성이 좋고 수소흡장능력과 투과능이 좋은 대표적재질로는 금속Pd를 들수 있다. 그러나 순수한 Pd는 수소흡장과 탈기에 따르는 α - β 상변환에 대한 재현성이 나쁘고 기계적강도도 세지 못한 결함이 있다. 수소흡장에 따라 Pd의 결정구조는 α 상($a=3.894\text{\AA}$)으로부터 β 상($a=4.025\text{\AA}$)으로 변환되는데 과정의 초기(β 상 5~10%)에 벌써 높은 정도의 미소이지러짐이 생기며 β 상 50%에 이르러서는 결정구조가 보다 급격히 변환된다. 그러므로 순수한 Pd는 흡탈착을 20여주기만 반복하면 결모양이 변화되며 160여주기만 지나면 고온탈기조작에 의해서도 β 상은 완전히 없어지지 않는다. 이러한 원인으로 하여 순수한 Pd는 수소확산막으로 널리 리용하지 않으며 수소확산막으로 리용할 때에는 보통 2원 및 다원계Pd합금으로 리용하고있다.

합금원소로서 금을 리용하면 수소투과도는 약간 감소되며 내부식성과 기계적가공성이 좋아진다. 알루미늄의 경우에는 내부식성과 기계적가공성이 좋아지며 수소투과성에

는 영향을 주지 않는다. 합금원소로서 은을 리용하면 내부식성에는 영향을 주지 않지만 수소투과도는 증가한다.

수소투과도는 은을 15~20%정도 첨가할 때 제일 크다. 그리고 전극과정에서 과전압 특성이 좋으며 전해액은 화학적으로 안정하다.

한편 은을 합금원소로 쓰면 재료의 역학적세기가 훨씬 좋아지는데 순수한 Pd의 경우에 비하여 은을 4% 첨가할 때 1.5배, 12% 첨가할 때 2배, 20%일 때는 2.5배나 증가한다. 또한 Pd-Ag합금은 상변환과정에 대한 재현성도 개선되는데 실제로 Ag가 30%인 합금의 경우에는 수소의 흡탈착을 1 000여주기 반복하여도 500℃에서 소둔하면 β 상이 나타나지 않는다. 결국 Pd-Ag합금은 전기분해과정에 일어나는 수소의 흡장과 정제 및 확산의 견지에서 볼 때 가장 주목되는 재료로 볼수 있다.

2. 물리적인 설계기초실험

그림 1과 같이 전해조를 만들고 중수전기분해기초실험을 진행한 결과 Pd-Ag합금관(음극)에서의 중수소석출은 두가지 방향으로 진행되었다.

밀폐된 Pd-Ag합금관(음극) 전극표면에서 산소와 함께 중수소의 일부가 석출되며 전기분해과정에 쌓인 중수소가 전극속으로 흡장-투과되어 관내부에서 흡장-투과 평형압력을 보장하면서 압축현상을 일으킨다. 즉 전기분해과정에 중수소의 흡장-투과에 의하여 정제와 압축과정이 동시에 진행되었다.

이로부터 다음과 같은 착상을 하게 되었다.

① 압력계대신 Pd-Ag합금관(음극) 러파체가 달린 중수소압축통을 설치하고 중수소를 채운 다음 이온가속장치의 고전압함안에 넣어 고주파방전관과 연결하여 쓰면 편리할것이다.

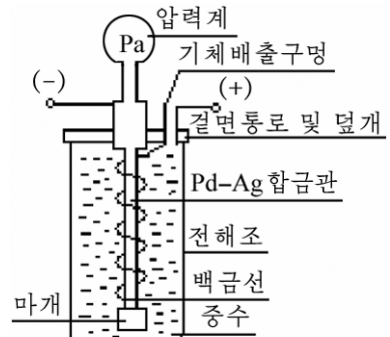


그림 1. 중수소전해조

② 음극결면에서 석출되는 중수소와 양극결면에서 석출되는 산소를 Pd촉매층을 거쳐 다시 중수로 합성하여 회수하면 경제 적일것이다.

3. 전기분해흡장-투과법에 의한 중수소의 제조, 정제, 압축 및 회수장치

중수전기분해에 의한 중수소의 제조, 정제, 압축 및 회수장치는 그림 2와 같다. 전해조를 Mo유리판으로 만들었다. 음극은 한쪽 끝을 은납으로 땜하여 막은 Pd-Ag합금관(직경 4mm, 관벽두께 0.2mm, 길이 15cm, 저항 0.021Ω)으로 이루어졌다. 양극

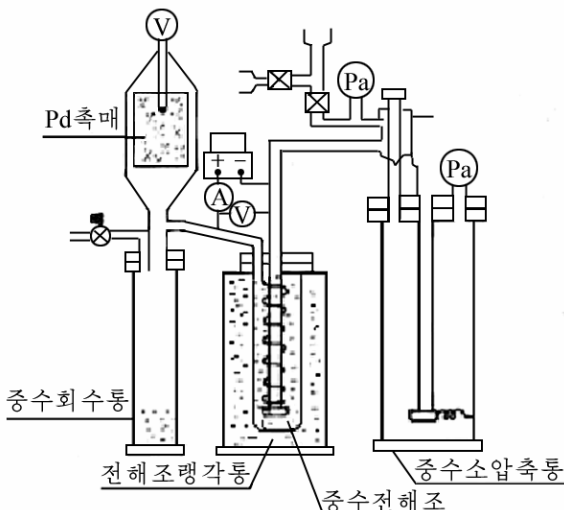


그림 2. 중수전기분해에 의한 중수소의 제조, 정제, 압축 및 회수장치

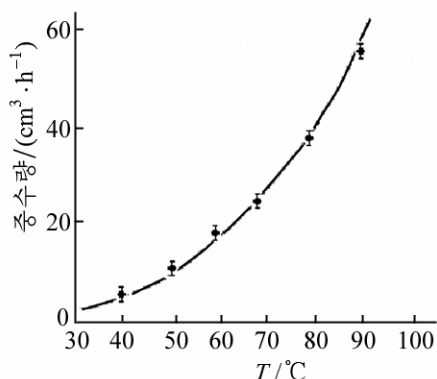


그림 3. Pd-Ag 합금판에서 온도에 따른 중수소투과특성

은 라선형백금선이며 기체배출금속관과 연결되었다. 촉매통과 중수회수통은 불수강재질로 만들었다.

전해조의 음극표면에서 석출된 일부 중수소와 양극에서 석출된 산소는 배출구멍을 통하여 80°C의 Pd 촉매통을 통과하면서 중수를 형성하며 응축된 후 중수회수통에 떨어진다. 미반응산소기체는 유리코크를 통하여 배출된다. 반응할 때 촉매의 온도를 보기 위하여 열전대를 설치하였다.

전해조를 팽각시키기 위하여 팽각용무기성기름과 선풍기를 리용하였다. 전해액은 1g의 탄산리튬을 80mL의 중수에 용해시켜 보장하였으며 전기분해전압은 3.4V, 전류는 300mA로 설정하였다. Pd-Ag합금판

에서 온도에 따른 중수소투과특성은 그림 3과 같다.

맺 는 말

제작된 장치는 구조가 간단하고 조작이 쉬우며 중수소의 정제와 압축을 동시에 그리고 쉽게 진행할수 있으며 Pd-Ag합금관의 가열전류(20~50A)에 의하여 중수소기체의 통과량을 마음대로 조절할수 있다.

또한 Pd촉매를 통하여 중수소를 다시 중수로 회수리용할수 있다. 이 장치를 리용하는 경우 빠른 중성자발생을 위한 중성자발생장치의 이온원천이나 핵융합반응계와 같은 특수한 분야들에서 핵융합수율을 높일수 있다.

참 고 문 헌

- [1] D. P. Fulton et al.; Phys. Plasmas, **23**, 056111, 2016.
- [2] S. Gammino et al.; Rev. Sci. Instrum., **75**, 1637, 2004.

주제108(2019)년 3월 5일 원고접수

Study on a Device for Generation and Injection of Tritium for the Ion Source of Neutron Generation

Pak Jong Won, Song Chol Uk

We have developed a device for generation and injection of deuterium for ion source which can be used for the automatic conduct of manufacture, refinement, compress and collection of deuterium oxide, by means of electrolysis occlusion-transmission method. It has an advantage in some aspects; simple in structure, easy of operation, and simultaneously with refinement and compress.

Key words: neutron generation, ion source