

유도전하 충전장치용 펠렛체인의 설계

고승국
물리학과

〈요약〉

정전압가속기에서 일상적으로 사용하는 전하운반용 펠렛의 개선을 위해서 새로이 설계 제작하였다. 실험에서 제작한 구조는 각 펠렛의 연결부분을 단순화 시켜서 파손의 취약점을 제거하였다. 이 펠렛체인을 직경 25 cm인 폴리를 이용하여 1200rpm으로 회전시키고 인덕터와 펠렛간의 간격을 6.5mm로 하여 작동시험을 한 결과 유도전압에 따른 발생전류는 $0.87 \mu\text{A}/\text{KV}$ 로 측정되었다.

Design of the Pellet Chain for Inductive Charging System

Ko, Seung-Kook
Department of Physics

〈Abstract〉

Pellet chain and charge induction components which are used for charge carrying in electrostatic accelerators have been newly designed and manufactured. The structure for connecting parts of the pellet is simplified; therefore the possibility of the breakage can be lowered.

When the pellet chain is driven 1200rpm by the pulley with 25-cm diameter and the gap between inductor and pellet is 6.5mm, the experimental value of current produced by carrying charges is $0.87 \mu\text{A}/\text{KV}$.

I. 서론

정전압발생장치에서 유도전하를 포집하기 위해서는 음이온원을 접지축에서 인가하여 양이온으로 대전된 고진압 전극 내부에서 전자들을 떼어내는 stripper를 설치함으로써 가속에너지를 배가시킬수 있고 여러종류의 이온원을 다양하게 활용할 수 있어서 현재에도 끊임없이 장치의 성능 개발이 시도되고 있다.^{1,2)}

초기의 충전방식은 제작이 간편하고 수백 μA 이상의 유도전류를 운반할 수 있는 절연벨트를 사용하였으나, 이는 충전시 가압된 절연기체하에서 균일한

코로나 발생의 어려움과 방전시 절연기체의 분해, 먼지발생, 마찰열에 의한 재질변화등의 문제점들로 인하여 그 한계성을 나타내었다.³⁾ 이에 따라 Michael들은 유도형 충전장치를 고안하였고, 1960년대 후반부터 Herb를 중심으로한 NEC(National Electrostatic Corporation)에서는 펠렛트론(pelletron)을 개발하여 이들을 응용한 형태들이 영국의 Daresbury Lab. 과 HVEC(High Voltage Engineering Coporation)등에서 계속 개선되고 있다.^{4,5)}

이 유도 충전장치는 전압, 전류의 ripple이 적고 펠렛체인의 금속 펠렛이 sparkgap으로 작용하여 내부 절연체를 보호하여 정전압 안정도가 높다는 것이 장점

으로 되어 있다. 그런데 한개의 펠렛은 몇개의 부품으로 되어 있고 이들은 연결핀으로 체인을 이루기 때문에 가동시 체인의 torsional stress에 의해 고이거나 고속의 작동에서는 진동을 유발하고 심한 경우 파손되기도 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 실험에서는 각 펠렛의 연결부분을 단순화하였고 연결핀의 취약점을 제거할 수 있도록 설계 재작하였다. 새로이 제작한 전하온반용 펠렛체인의 성능을 파악하기 위해서 시험작동을 하여 그 특성을 분석하였다.

II. 원리

유도충전장치의 일반적 원리는 그림1과 같이 원통형 도체를 절연체로 연결한 하나의 펠렛이 모여서 체인을 이루며 이것이 유도전류를 운반한다. 무한궤도인 펠렛체인이 풀리를 떠나는 부분에 U자형 인더터를 설치하고 이곳에 운반하고 사하는 전하와 반대극성을 갖는 전압을 인가하면 인더터와 풀리와의 사이에 정전장이 형성되므로 펠렛표면에는 반대극성의 전하가 정전유도된다. 펠렛이 풀리를 떠날 때도 전장은 계속 유지되면서 유도되있던 전하는 펠렛에 계속 남아 있으므로 이 전하는 구동전동기의 회전에 의해 고전압전극으로 운반된다. 인더터 I_1 에 $+V$ 의 전압을 인가하면 펠렛에 양전하가 유도되고 인더터의 전장영역을 벗어난 후에는 전하는 펠렛표면에 분산된다. 떠날 때 펠렛과 풀리사이의 코로나 방전에 의한 전하 손실을 막기 위해서는 인더터의 길이를 충분히 길게하고 유전성을 높여주며 펠렛이 풀리를 떠난 다음에도 계속 전장이 형성되도록 유지시키야 한다.

인더터들의 기하학적 크기와 체인을 구성하고 있는 각 펠렛이 동일하다면 체인이 상승할 때 전하들은 보조풀리 P_3 의 전압이 $+V$ 가 될 때까지 풀리에 유입되어 인더터 I_1 전압을 $+V$ 로 유지하게 된다.

고전압 전극의 전위가 ϕ 라면 같은 방법으로 보조풀리 P_4 와 인더터 I_6 는 $\phi + V$ 의 전위로 유지된다. 위쪽으로 이동하는 양전하는 상부풀리 P_2 로 풀러들어가며 충전전류 배가용 인더터 (charging current doubling inductor) I_5 는 $\phi + V$ 전위로 유지되면서 음전하를 아래쪽의 펠렛에 유도시켜주므로 이에 대응된 양전하는 고전압전극으로 흐르게 된다. 이로써 가속에너지를 두배이상 얻을 수 있는 방법이 되며, 인더터 I_4 와 I_5 은 펠렛이 상하부 풀리에 닿기 전 코로나 방전에 의한 급격한 전하 전달을 막고 풀리를 방진으로부터 보호해주기 위한 장치이다.

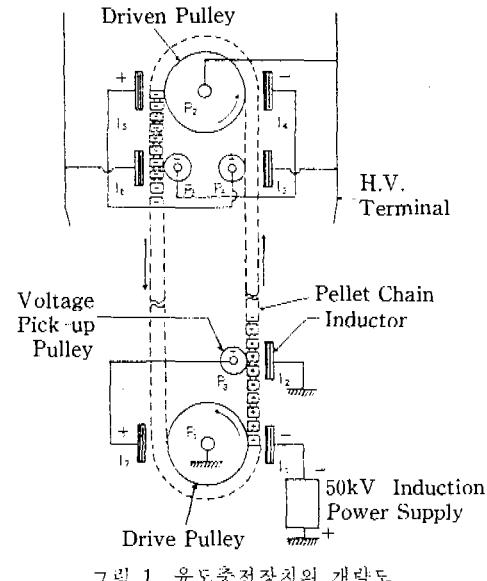


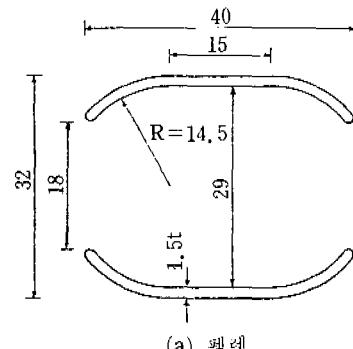
그림 1. 유도충전장치의 개략도

III. 실험장치설계

펠렛체인의 설계에서는 안전성과 내구성 및 전기적 문제점들을 고려하여 최대 운전전압이 하에서 펠렛을 따라 방전이 일어나지 않도록 하는 것과 절연체를 통하여 누설전류를 줄이는 것에 주안점을 두었다.

금속펠렛은 직경 32mm의 스텐레스304관을 사용하고 절연연결봉은 기계적 강도와 전기적 절연강도가 우수한 나이론봉을 이용하여 그림2와 같이 설계, 제작하였다.

구동 풀리의 테는 높은 인장강도($770\sim980\text{kg/cm}^2$)와 충격흡수성(탄성율 : $24,500\sim31,500\text{kg/cm}^2$)이 높은 M, C, Nylon으로 펠렛과 접촉되는 흡 부분에는 스텐레스선을 풀리우레탄에 보울딩하여 가공함으로써 운전시 마모도 줄이고 진동도 흡수할 수 있도록 하였다.



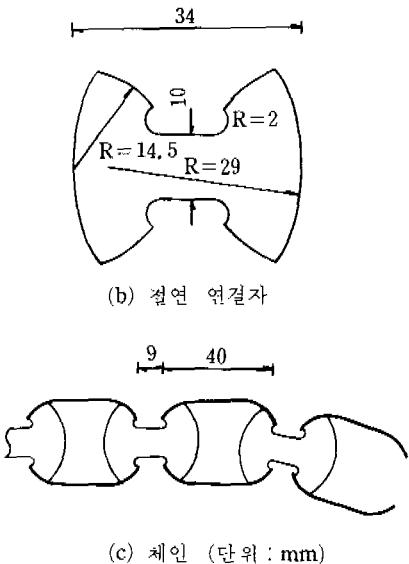


그림 2. 세탁한 금속 펠렛의 사양

펠렛체인이 회전할 때 발생하는 총전전류 I는 펠렛당 성전유도되는 전하량 Q Coulomb과 단위시간당 폴리를 떠나는 펠렛의 주기 f rps의 곱으로 쓸 수 있으므로,

$$I = Qf$$

로 표현된다. 그런데 펠렛당 유도되는 전하량은 펠렛의 외경이 r , 인덕터의 내경이 R , 길이가 l 및 인가전압이 V 일 때 인덕터가 펠렛의 반정도를 감싸고 있다고 가정하고 가장자리의 전장효과를 무시하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{Q}{V} = \frac{\pi \epsilon l}{\ln(R/r)}$$

여기서 ϵ 은 유전상수이고 인덕터의 내경 50mm, 펠렛의 외경 32mm, 길이를 40mm의 실계치를 이용하면 유도되는 전하량은 2.5×10^{-9} coul/KV이다.

구동모터의 폴리 직경을 25cm, 부하시 최대 회전수 1200rpm을 이용하면 전속도는 15.7m/sec가 되어 f 는 320rps가 되므로 총전전류는 인가전압 1KV 당 $5 \mu\text{A}$ 정도가 된다.

인덕터는 내경 50mm, 두께 3mm의 구리판을 U자형으로 성형한 후 Ni로 도금을 하여 길이를 105mm로 하였으며 펠렛과 인덕터사이의 간격은 6~10mm로 조절할 수 있도록 하여 전기용량 변화에 따른 유도전하의 총전 효율이 최대가 되는 곳을 실험할 수 있도록 하였다.

IV. 실험

그림 2와 같이 설계 제작한 전하운반용 펠렛체인의 성능시험을 위해서 실험장치는 직경 25cm의 폴리를 사용하고 그 주변에는 인덕터를 설치하여 전하를 공급하였다. 시험 작동시 폴리의 회전속도는 1200rpm으로 하였고 체인의 장력은 약 15kg·중이었다.

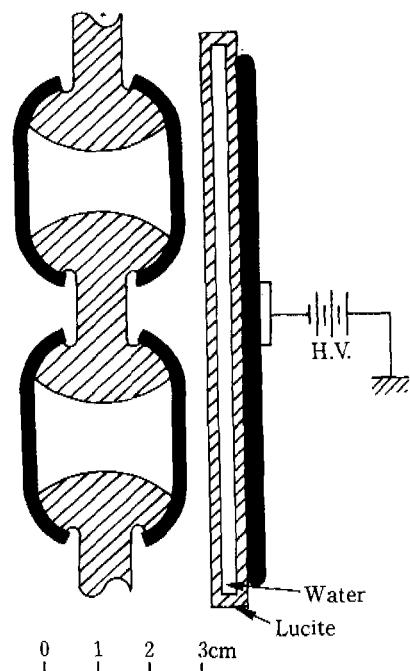


그림 3. 인덕터의 구성

인덕터는 펠렛에서 유도되는 전하량을 증대시키기 위해서 그림 3과 같이 구성하여 유전물질을 삽입하였다. 이 경우 두 전극사이에서의 전기용량을 YHP4342 Q-meter로 측정한 결과는 3pF로 유전물질이 없었을 때의 2pF 보다 증가되었다.

인덕터에 음의 고전압을 인가하고 전하수집기에서 포집되는 전류를 측정한 결과는 그림 4와 같이 유도되어 인덕터 극간 간격이 6.5mm일 때 총전전류는 최대 $0.87 \mu\text{A}/\text{KV}$ 로 나타났다. 이때 대기중의 온도는 18°C, 습도는 70%이었고 고로나 방전 개시 전압은 13KV로 측정되었다.

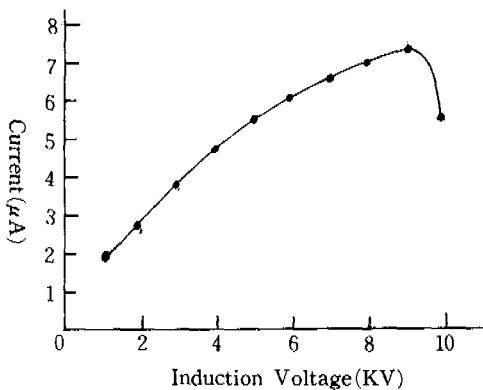


그림 4. 유도전압에 대한 충전 전류

V. 결 론

인덕터와 펠레사이에 유전물질을 삽입하여 전기용량

을 증가시키므로서 유도전하의 양을 보완해 주었고, 직경 25cm의 플리가 1200rpm으로 회전하고 인덕터의 전기용량이 3pF인 경우 유도되는 전류는 대기중에서 $0.87 \mu\text{A}/\text{KV}$ 로 계산치의 90%에 달하고 있다.

참 고 문 헌

- 1) J.G.Trump, R.J.Van de Graff, J.Appl. Phys., Vol 8, p.602(1937)
- 2) J.C.Obelin, M.Letournel and G.Heng, Nucl Instr. & Meth., Vol.184, p.61(1981)
- 3) I.Michael, E.D.Berners et al., Rev. Sci. Instrm Vol.30, No.10, p.855(1959)
- 4) R.G.Herb, Nucl. Instr. & Meth., Vol.122, p 235(1974)
- 5) S.J.Skorka, Nucl. Instr. & Meth., Vol.146, p 67(1977)