

## 방사선차폐용합금속고무의 제조와 그 특성

김일심, 최명신, 박철순

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《첨단과학기술분야에서 세계적경쟁력을 가진 기술들을 개발하기 위한 투쟁을 힘있게 벌려야 합니다.》(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 39페이지)

오늘 방사선차폐재료의 연구개발은 원자력에 대한 기초연구와 응용에서 중요한 의의를 가진다.

방사선차폐용합금속고무제조에서는 금속연가루, 산화연을 비롯하여 스테아린산연 등 여러가지 연화합물을 리용하고있으며 일부 금속아연과 류산바리움을 리용하기도 한다.[3]

합금속고무의 방사선차폐 및 재료력학적특성은 그속에 들어있는 중금속물질에 의하여 결정된다.[2]

우리는 산화연과 산화유프람을 주성분으로 하는 합금속고무를 그 밀도가  $4.8\text{g/cm}^3$ 되게 판형태로 제조하고 그것의 방사선차폐특성에 대하여 분석하였다.

### 1. 합금속방사선차폐고무의 제조

$\gamma$ 선차폐를 위한 합금속고무제조의 원료로는 천연고무와 합성고무, 산화연과 산화유프람, 적당한 량의 아연과 류황, 파라핀, 스테아린산, 촉진제 및 방지제 등을 리용하였다.

제조에서는 천연고무의 질량몹을 1이라고 할 때 합성고무는 1.09, 산화연과 산화유프람은 각각 27.3, 아연화는 0.21 되게 하였다. 이때 산화연과 산화유프람의 합량(질량)은 80%, 수소합량은 8~10%이다.

합금속방사선차폐고무의 제조에서는 먼저 원료를 잘 배합하여야 한다.

원료배합은 쓸림비가 1 : 1.2인 중공롤기에서 하였다.

중공롤기의 앞롤과 뒤롤의 온도는 각각 50, 40°C로, 두 롤사이의 간격은 1.5mm로 조절하였다.

일정한 크기로 절단한 천연고무를 넣고 겹면이 고르로와질 때까지 가소화한다. 그리고 여기에 역시 같은 크기로 절단한 합성고무를 넣고 4min동안 가소화하면서 잘 섞었다. 가소화한 고무를 이긴 다음 거기에 가류촉진제, 스테아린산, 파라핀, 네오존을 넣고 2min동안 잘 섞는다.

다음 산화연과 산화유프람, 아연화, 탄산칼슘을 첨가하고 혼합한 다음 류황을 분산시킨다.

원료배합에서는 천연고무와 합성고무의 배합비를 80 : 20정도로 하고 산화방지제량은 보통고무에 비하여 5배 높이었다. 그리고 가류촉진제를 충분히 섞었다. 이와 같은 공정을 거쳐 판으로 뽑아서 8h동안 방치시켰다가 다시 롤기를 통과시킨다. 이렇게 만든 고무판을 두

께 3mm 되게 압연한다. 압연할 때 압연롤들의 쓸림비는 1 : 1, 앞롤과 뒤롤의 온도는 각각 80, 70℃ 정도로 하였다.

다음 고무판들사이에 곱돌가루를 바르고 110℃ 되는 2중증기가마에 넣어서 1h동안 가류시켰다.

이와 같은 공정을 거쳐 만든 합금속방사선차폐고무판의 역학적특성은 세기한계 2MPa, 연신률 400%이다.

## 2. 합금속방사선차폐고무의 방사선차폐특성

제조한 방사선차폐고무의 방사선차폐특성을 선량측정방법으로 결정하고 계산결과와 비교하였다.

$^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 선원천은 점원천으로 볼수 있으며 원천으로부터 일정한 거리에서 선량은 다음과 같다.[1]

$$D = k \cdot \frac{Q}{R^2} \cdot t \quad (1)$$

여기서  $R$ 는 원천으로부터의 거리,  $Q$ 는 원천의 방사능,  $t$ 는 쪼임시간이고  $k$ 는 감마상수이다. 일정한 물질로 원천을 차폐할 때 선량은

$$D = D_0 e^{-\mu d} B \quad (2)$$

로 작아진다. 여기서  $\mu$ 는 선흡수계수,  $d$ 는 차폐물질의 두께이고  $B$ 는 산란 $\gamma$ 선과 관련한 상수,  $D_0$ 는 차폐물질이 없을 때의 선량이다.[5]

그러므로 주어진 위치의 선량을 허용값아래로 낮추는데 필요한 차폐층의 두께는 다음의 조건을 만족시킨다.

$$D_{\text{허}} > \frac{kQ}{R^2} \cdot t \cdot e^{-\mu d} \cdot B \quad (3)$$

이로부터 차폐층의 두께는

$$d > \frac{\ln\left(\frac{kQ}{R^2}\right) \cdot t + \ln \frac{1}{D_{\text{허}}} + \ln B}{\mu} \quad (4)$$

와 같다.

먼저 제작한 합금속방사선차폐고무의 선흡수계수를 흡수법으로 결정하였다.[4]

합금속방사선차폐고무의 두께에 따르는 선량률변화는 그림 1과 같다.

실험결과로부터 선흡수계수는  $^{60}\text{Co}$ 원천의 평균에너지 1.25MeV에 대하여  $\mu=0.26\text{cm}^{-1}$

이고 질량흡수계수는  $\frac{\mu}{\rho}=0.6\text{cm}^2/\text{g}$  이다.

재료들의 방사선차폐특성을 평가할 때 다른 물질과 비교하기 위하여 등가두께를 받아들인다.

두 물질의 등가두께는  $\mu_1 d_1 = \mu_2 d_2$ ,

$d_2 = \frac{\mu_1}{\mu_2} d_1$ 로부터 두 물질의 선흡수계수비에

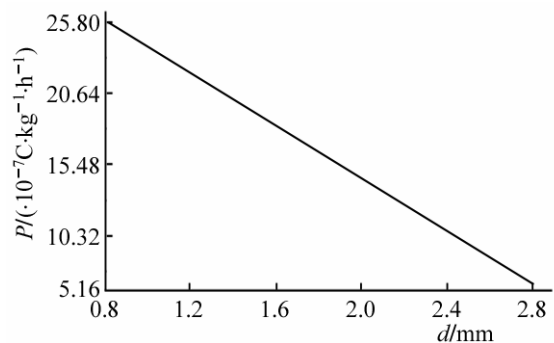


그림 1. 두께에 따르는 선량률변화

의하여 결정된다. 여기서  $d_1$ 과  $d_2$ 는 같은 차폐물을 가지는 두 물질의 두께이다.

그런데 물질의 두께가 증가할 때  $\gamma$ 선의 산란에 의하여 그것의 에너기가 변하므로 흡수결수도 달라진다. 따라서 등가두께는 물질의 두께에 따라 변한다. 실험적으로 측정 한 등가두께관계는 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는바와 같이 합금속고무의 두께( $d_1$ )와 그것과 등가인 연두께( $d_2$ )사이에는

$$d_1 = 0.4d_2 + 0.1 \quad (5)$$

의 관계가 성립된다.

$^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 선원천의 방사능이 11.1MBq일 때 원천으로부터 각각 10, 20cm 떨어진 위치에서 합금속방사선차폐물의 두께에 따르는 선량변화는 그림 3과 같다. 이때 쏘임시간은 6h로 하였다.

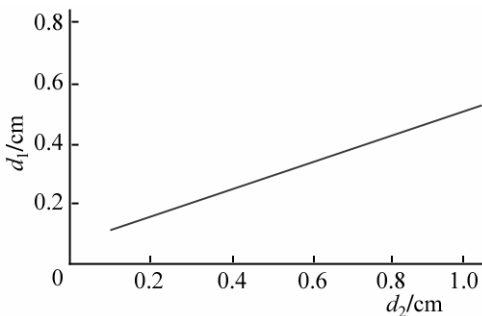


그림 2. 합금속방사선차폐고무와 연의 등가두께관계

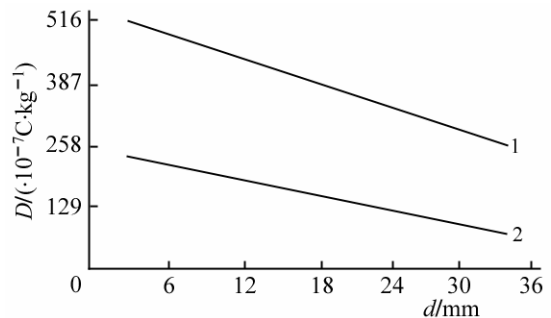


그림 3. 두께에 따르는 선량변화  
1, 2는 원천으로부터의 거리가 각각 10, 20cm일 때

따라서 이 원천으로부터 20cm 거리에 있을 때 허용선량이하로 되는 차폐물질의 두께는 4.5cm정도이다.

식 (4)를 리용하여  $k=3.5 \cdot 10^{-5} \text{cm}^2 \cdot \text{s}$ ,  $R=1$ ,  $B=1$ 로 놓고 두께를 계산하여보면 4.95cm정도이다. 실험값과 차이나는것은 선량계의 기구오차와 원천을 리상적인 점원천으로 볼수 없는것과 관련된 다. 합금속방사선차폐고무의 두께 4.5cm는 연두께 1.9cm에 대응된다.

쏘임시간 6h, 원천으로부터 거리가 20cm일 때 원천의 방사능에 따르는 필요한 차폐층의 두께는 표와 같다.

표. 원천의 방사능에 따르는 차폐층의 두께

원천방사능/MBq	차폐층두께/cm
3.7	1.0
11.1	4.5
18.5	7.1
37.0	9.7

## 맺는 말

밀도가  $4.8 \text{g/cm}^3$ 인 합금속방사선차폐고무를 제작하고 그 차폐특성을 분석하였다. 차폐효과의 견지에서 보면 합금속방사선차폐고무의 두께 4.5cm는 연두께 1.9cm와 등가이다.

그러므로  $\gamma$ 선을 비롯하여 X선,  $\alpha$ 선,  $\beta$ 선차폐에 효과적으로 쓸수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 최광철; 방사선량 및 방어, 김일성종합대학출판사, 267, 주체99(2010).
- [2] 윤명; 무기화학의 기초, 김일성종합대학출판사, 524, 주체103(2014).
- [3] 리혜순; 유기합성화학, 김일성종합대학출판사, 227, 주체104(2015).
- [4] G. Thoreson; Annals of Nuclear Energy, 36, 26, 2009.
- [5] Kanwaldeep Singh et al.; Applied Radiation and Isotopes, 95, 174, 2015.

주체106(2017)년 3월 5일 원고접수

### **Manufacturing the Intermetallic Compound Radiation Shielding Rubber and Its Characteristics**

*Kim Il Sim, Choe Myong Sin and Pak Chol Sun*

We manufactured the intermetallic compound radiation shielding rubber the density of which is  $4.8\text{g/cm}^3$ .

The intermetallic compound radiation shielding rubber of which the thickness is 4.5cm is equivalent with lead of which the thickness is 1.9cm. Thus we can use it effectually for shielding X-ray,  $\alpha$ -ray and  $\beta$ -ray including  $\gamma$ -ray.

Key words:  $\gamma$ -ray shielding, intermetallic compound, radiation shielding rubber