

## 방사선을 리용한 배선체두께측정의 한가지 방법

리광민, 정경수

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《배수리와 함께 정비를 정상적으로 하여야 합니다. 고기배들을 제때에 잘 정비하여 아무때나 출항할수 있고 안전한 항해를 보장할수 있게 하여야 합니다.》

배의 운영과 수리에서 배선체두께측정은 매우 중요한 문제로 제기된다.

현재 비파괴적방법으로서 초음파에 의한 두께측정방법이 적용되고있다. 그러나 초음파에 의한 두께측정방법은 측정정확도가 낮고 측정할 때마다 탐측액을 측정대상에 발라주어야 하므로 원가가 높으며 두께측정에서 신속성을 보장하지 못하고있다.

본문에서는 방사선역산란에 의한 두께측정방법을 제안하고 실험을 통하여 그 효과성을 검증하였다.

### 1. 방사선을 리용한 선체두께측정원리

$\gamma$  선이 측정대상에서 한번 또는 여러번 산란하여 방사선원천이 있는쪽으로 되돌아나 오는 현상을 방사선의 역산란 또는 반사라고 한다.  $\gamma$  선의 역산란특성가운데서 중요한것은 그것의 에너지분포와 각분포이므로 우선 이것들을 논의한다.

이제 다음과 같이 역산란선을 측정한다고 하자.(그림 1)

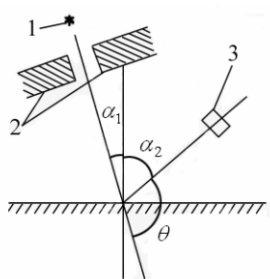


그림 1에서  $\alpha_1$ 은 입사각,  $\alpha_2$ 는 반사각,  $\theta$ 는 산란각이다.

원천 S로부터 나오는  $\gamma$  선흐름이 원자번호가  $z$ 이고 두께가  $d$ 인 산란체에 들어올 때 산란체에서 나오는 산란선의 에너지는 산란체와 산란각에 따라 약간 변한다.[1] 즉

$$E_s = \frac{E_i}{1 + \frac{E_i}{m_0 c^2} (1 - \cos \theta)} \quad (1)$$

그림 1. 역산란선검출과정

1-방사선원천, 2-시준기,  
3-검출기

그러나 산란각이  $120^\circ \sim 180^\circ$  근방에서 산란선의 에너지는 유사하다.(표 1)

따라서 산란체의 종류와 두께에 무관계하게 일정한 에너지 위치에 역산란봉우리가 생긴다.

$^{60}\text{Co}$ 의  $\gamma$  선이 철(Fe)에서 역산란될 때 그것의 에너지스펙트르를 보면  $200\text{keV}$  근방에서의 큰 봉우리가 생기는데 이것이 1회산란선이며  $130 \sim 160\text{keV}$  근방에 놓인 작은 봉우리는 2회산란선이다.

또한 70~80keV근방에 놓인 세번째 봉우리는 일반적으로 다중산란선이라고 한다.

1회산란선과 다중산란선의 상대세기는 반사각  $\alpha_2$ , 산란체의 두께  $d$ 에 관계된다. 따라서 역산란되는 1회산란선의 상대세기를 측정하여 선체의 두께를 비파괴적으로 측정할수 있다.

방사선이 선체의 주요성분인 철에서 역산란될 때 선체의 두께가 일정한 값에 이르면 역산란선의 세기는 포화에 도달한다. 철을 선체로 할 때 포화에 도달하는 두께는 방사성동위원소  $^{137}\text{Cs}$ 에 대하여 40mm이고  $^{60}\text{Co}$ 에 대하여 80mm이다.

선체에서 포화두께가 존재하는것은 두께가 증가하는데 따라 다중산란선의 비중이 커지며 동시에 선체내에서의 흡수도 커져서 두 과정이 평형에 도달하기때문이다.

여기로부터 우리는 선체에서 산란되는 방사선의 세기가 선체의 두께에 따라 지수함수적으로 증가하는 현상에 기초하여 선체의 두께를 측정하는 한가지 방법을 제안한다.

우선 방사선원천에서 반사되어나오는 역산란선의 세기를 측정한다. 즉 산란체에  $\gamma$  선을 수직으로 입사시키고 수직으로 반사되어나오는 1회산란선의 세기를 측정하는데 그것은 1회산란선이 대상의 두께에 따라 세기가 크게 변하기때문이다.

이때 선체에서 역산란되는 방사선의 세기는 다음의 식에 의하여 표시할수 있다.

$$n_s(d) = n_{s_0} (1 - e^{-kd}) \quad (2)$$

여기서  $k$ 는 입사선, 산란선의 약화결수에 관계되는 량,  $n_{s_0}$ 은 포화두께에서의 산란세기,  $n_s(d)$ 는 두께에 따르는 산란세기,  $d$ 는 측정두께이다.

다음 처리회로에서는 미분선별기를 리용하여 200keV근방에 놓이는 1회산란선을 기록하는데 이를 위해 처리기에서는 방사선진폭의 윗턱, 아래턱을 설정하고 계수를 진행한다.

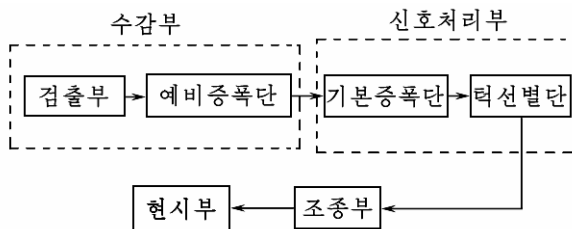


그림 2. 방사선선체두께측정장치구성도

표 1.  $\theta = 120 \sim 180^\circ$  일 때 산란선의 에네르기

$\theta / (^\circ)$	에네르기/MeV	
	$^{137}\text{Cs}(0.662\text{MeV})$	$^{60}\text{Co}(1.25\text{MeV})$
180	0.184 2	0.212 1
170	0.185 2	0.213 5
160	0.188 4	0.217 5
150	0.193 5	0.224 6
140	0.201 2	0.235 0
120	0.212 5	0.240 1

신호처리부에서는 예비증폭된 신호를 1V이상으로 증폭하고 1회산란선에 대응하는 신호들만을 얻기 위한 턱선별회로를 구성하여 이 신호들만을 계수하도록 하였다.

방사선선체두께측정장치의 구성도는 그림 2와 같다.

## 2. 선체두께측정장치의 특성평가

두께가 각이한 10개의 시편에 대한 측정계수값과 그것에 따라 계산된 측정결과는 표 2와 같다.

표 2의 계수값자료는 한 시편에 대하여 10번 측정한 역산란계수값의 평균값이다.

표 2. 두께측정자료

두께/mm	계수값/개	측정값/mm	오차/%
0	0	0	0
5.8	3 450	5.68	1.9
11.6	5 876	11.33	2.3
17.4	7 829	16.91	2.8
23.2	9 453	23.81	2.5
49.0	12 234	47.91	2.2
64.8	13 563	66.42	2.5
80.6	14 567	78.75	2.3
90.1	14 580	92.94	3.1
100.0	14 580	102.27	2.3

이 두께측정장치로 측정할수 있는 선체의 두께는 어떤 방사성동위원소를 리용하는가에 따라 달라지는데  $^{60}\text{Co}$ 원천을 리용하는 경우 80mm까지의 선체두께를 2.2%의 정확도로 측정할수 있다.

### 맺는말

각이한 선체의 두께를 측정할수 있는 방사선두께측정장치를 설계제작하고 그 특성을 평가하였다.

### 참고문헌

- [1] B. A. Almayahi; Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 8, 389, 2015.

주체106(2017)년 7월 5일 원고접수

## A Method of the Hull Thickness Measurement using the Radiation

*Ri Kwang Min, Jong Kyong Su*

We described about the radiation thickness measurement device of a hull thickness using  $\gamma$ -ray and then estimated the characteristics of it.

Key words: hull thickness measurement, radiation