

원뿔형 탱크의 액면 측정실험
Measurement of Water Level in a Cone-type Tank

정종은, 문병수, 김용균, 홍석봉, 김장열, 김정복

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

원뿔형 탱크, $2mCi$ ^{60}Co 방사성 동위원소와 선원용기, 용기 위치 제어기, 봉형 플라스틱 섬광검출기로 구성되는 액면 측정용 모의실험장치를 제작하였다. 물로 채워진 탱크 액면의 각 위치에서 20초간의 측정실험을 수행한 결과 경사높이가 36cm 이상에서는 $\pm 1mm$ 이내의 정밀도로 액면 측정이 가능한 것으로 나타났으며, 높이가 28cm 이상 34cm 이하의 범위에서는 $\pm 2mm$ 이내의 정밀도로 측정이 가능하고 18cm 이하의 높이에서는 오차가 커서 불감영역으로 간주되었다.

Abstract

We fabricated an experimental apparatus for liquid level measurement, which consists of a vertical cone type tank, $2mCi$ - ^{60}Co source and container, a container height controller, and a cylindrical plastic scintillator. The experiment to measure various levels was performed for 20 seconds at each water level. The result of experiment shows that accuracy of measurement is $\leq \pm 1mm$ at the level range of more than 36cm, and $\leq \pm 2mm$ at the level range between 28cm and 34cm. The level range less than 18cm was considered as a dead range because of the large error.

1장. 서 론

19세기 말 방사선의 발견이래 인류는 방사선을 평화적으로 이용하기 위하여 경주하여 왔으며, 현재에는 거의 대부분의 산업분야에서 폭 넓게 응용되고 있다. 방사선을 이용한 계측기 기술은 원자력 이용기술 중에서 가장 수요가 많은 분야라 할 수 있으며, 현재 전 세계적으로 사용되고 있는 방사선 계측기들은 수 십 만개에 달하고 있다[1]. 그러나 국내의 산업현장에서 사용되는 방사선 및 방사성동위원소 이용기술과 장비는 대부분이 수입에 의존하고 있으며, 기술 선진국들의 높은 기술장벽과 무한 경쟁시대에서 국제 경쟁력을 확보하기 위해서는 이에 대한 연구와 산업화 기술개발이 시급히 요청된다[2].

이에 따라 본 연구는 원자력연구개발사업의 '방사선 계측 및 이용장비 개발' 과제의 일환으로 수행되는 것으로서 액면측정기 개발을 위한 기초 데이터 생산을 위해 수행되었다. 2장 본문에서는 본 실험을 위해 제작한 물탱크, 선원용기, 선원이동장치에 대해 기술하고, 3장에서는 방사선원에

의한 수위를 측정된 실험결과 검토하고 4장에서 결론을 맺는다.

2장. 본 론

가. 방사선에 의한 액면 측정 원리

방사선에 의한 액면 측정은 방사선 중 투과력이 제일 강한 감마선을 측정하려는 용기 밖에서 조사하여 용기 내부의 내용물을 투과하는 감마선의 흡수량을 선원 반대편에 설치한 센서로 검출함으로써 내용물의 높이를 지시하거나 경보해 주는 원리로 동작한다[3][4].

검출 원리에 대한 관계식은 다음 식(1)로 표현된다[5].

$$I = I_0 e^{-\mu t} \quad \dots \quad (1)$$

여기서, I : 투과되어 나온 방사선의 세기

I_0 : 투과전 방사선의 세기

μ : 물체의 방사선 흡수계수

t : 피측정물체의 두께

나. 실험장치

산업현장에서 사용되고 있는 것과 같은 형태의 원뿔형의 물탱크, 선원용기, 선원 이동장치를 제작하였으며 (그림 1) 사용된 검출기는 광증배관과 전치증폭기가 내장된 직경 10cm 길이 80cm 크기의 봉형 플라스틱 섬광검출기를 사용하였으며, 방사선원은 $2mCi$ ^{60}Co 을 사용하였다.



그림 1. 액면 측정용 모의실험장치

(1) 물탱크

1.5mm 두께의 스테인레스 철판으로 되어 있으며 실린더 부분과 원뿔형 부분으로 구분된다. 실린더 부분은 직경이 60cm, 높이가 50cm이고, 원뿔형 부분은 수평과 60도 각을 이루도록 구성되어 있으며, 꼭지점 부분에 직경 6cm의 파이프 관과 밸브를 설치하여 배수시 사용하도록 설계하였다.

(2) 선원용기

$2\text{mCi } ^{60}\text{Co}$ 밀봉선원을 저장하거나 액면 측정을 위해 사용되는 용기로서 수직 45도 각도의 빔포트(Beam port)를 설치하였으며 빔포트에 15도 또는 20도의 plug를 삽입하여 빔 방출각도를 조절할 수 있도록 구성하였다. 용기의 내부는 납차폐체로 채워져 있고 외부는 스테인레스스틸로 구성되며, 선원은 2중 캡슐을 사용하여 밀봉용접되어 있다. 차폐체 두께는 용기 표면에서의 선량율이 1mR/hr 이하가 되도록 설계되었으며, 용기는 원통형으로 되어 있고 직경이 228mm 높이가 256mm 규격이고 무게는 약 120kg 이다.

(3) 선원 이동장치

선원으로부터의 방사선이 매질을 통과하여 반대편에 설치된 검출기에 효과적으로 입사하도록 선원의 위치를 상하로 조절하기 위한 장치로, 선원용기 받침대, 모터, 조절기로 구성된다.

선원용기 받침대는 선원용기 밑판의 구멍과 일치시켜 고정시킬 수 있도록 하였으며, 최대 200kg 까지 하중을 견딜 수 있도록 하였다.

모터는 0.5마력의 힘으로 기어를 통해 4rpm의 속도로 볼스크류 샤프트를 돌려 선원받침대를 상하로 이동시킬 수 있도록 하였으며, 받침대의 1분당 이송거리는 40mm이다.

조절기는 전면에 전원버튼, UP 버튼, DOWN 버튼, STOP 버튼, 전압미터가 설치되어 있으며, 내부에는 변압기, 주전원개폐기, 휴즈가 설치되어 있다.

(4) 검출기

직경 10cm, 길이 80cm의 스테인레스 봉관에 플라스틱 섬광체, 광증배관, 전치증폭기, 증폭기가 일체형으로 되어 있으며, 외부에서 DC 15V 전압을 공급하면 동작하도록 되어 있다. 검출기는 탱크의 원뿔 부분의 경사면에 근접시켜 설치한다.

3장. 실험 및 결과

가. 실험장비 및 측정조건

검출기로부터의 아나로그 신호를 계수하기 위한 장비로 측정의 신뢰성을 높이기 위하여 실험조건을 다르게 하여 실험을 수행하였으며, 각각의 측정조건은 다음과 같다.

(1) 실험조건 #1

계수기 모델 : Bicron 사의 Labtech

측정시간 : 30초

선원의 빔 각도 : 45도

입력신호 설정치 : 1.0V

(2) 실험조건 #2

계수기 모델 : ULS 사의 3000

측정시간 : 20초

선원의 빔 각도 : 45도
 입력신호 설정치 : 2.0V

나. 실험방법

탱크의 실린더 부분과 원뿔 부분의 경계까지 물을 채워 넣은 다음 선원의 창을 검출기 방향에 일치시키고 높이는 탱크의 경계부분에 고정시켜 놓고 액면을 일정 간격으로 배수시키면서 각 위치마다 설정된 측정시간(20초 및 30초) 동안 계수기로 측정한다.

다. 측정 데이터

표 1과 표2는 실험조건 #1과 #2에서 측정한 액면의 위치에 따른 계수값을 각각 나타낸다. 여기서 경사높이(h')는 원뿔 부분의 경사면을 측정한 값이고, 수직높이(h)와의 관계는 $h = \frac{\sqrt{3}}{2} h'$ 이고 부피(v)와는 $v = \frac{\sqrt{3}}{24} \pi h'^3$ 의 관계에 있다.

표 3은 실험조건 #1에서 임의의 액면에 대해 6초간과 30초간 측정한 계수값을 나타낸다.

표 3. 임의의 액면에서 6초와 30초간의 계수값

경사높이[cm]	계수값/6초	5x(6초간의 계수값)	계수값/30초
56.8	43,053	215,265	215,207
51.2	76,410	382,050	384,107
44.6	113,078	565,390	564,156
37.3	140,676	703,380	704,988
31.4	156,402	782,010	783,106

그림 2와 그림 3은 표 1의 데이터를 근거로 원뿔 탱크의 액면에 따른 감마선의 계수값과 흡수량과의 관계를 각각 도시한 것이다. 여기서 선원용기, 공기층, 탱크벽에서의 흡수량과 전자회로에서의 오차는 일정한 것으로 가정한다. 그림 4와 그림 5는 표 2의 데이터를 근거로 원뿔 탱크의 액면에 따른 감마선의 계수값과 흡수량과의 관계를 각각 도시한 것이다

라. 결과 및 고찰

표1과 표 2에서 임의의 높이와 인접한 높이 사이에서 측정 가능한 정밀도는 다음 식

$$\text{측정가능 정밀도} = \text{액면의 차} \div \frac{\text{임의의 액면(a)에서의 계수값} - \text{인접한 액면(b)에서의 계수값}}{\text{액면(a)에서의 표준편차} + \text{액면(b)에서의 표준편차}}$$

으로 계산되며, 표 1에서 액면이 38cm 이상에서는 정밀도가 ±1mm 이내로, 액면이 28cm 이상 37cm 이하에서는 정밀도가 ±1.7mm 이내인 것으로 측정되었으며, 표 2에서는 액면이 36cm 이상에서는 정밀도가 ±1mm 이내로 액면이 28cm 이상 34cm 이하에서는 정밀도가 ±2mm 이내인 것으로 측정되었다. 표 1과 표 2의 데이터에서 측정조건이 조금 다르더라도 거의 비슷한 측정결과를 확인할 수 있었으며, 표 2에서 액면이 20cm 이상 26cm 이하의 범위에서 정밀도가 ±6.3mm 이내

로 나타났고 18cm 이하에서는 오차가 너무 커서 데이터로서의 가치가 없는 것으로 확인되었다.

그림 2, 3, 4, 5에서 액면이 낮은 범위와 액면의 높은 부분(여기서는 실린더 부분과 원뿔 부분의 경계 부분)에서 곡선의 왜곡이 확인되었으며, 액면측정장치로서의 사용가능 영역이 정해지는 것을 알 수 있다. 이것은 검출기의 유효측정영역이 탱크의 전체 범위를 커버할 수 있도록 구성한다면 개선될 수 있으리라 본다.

표 3은 실험조건 #1에서 임의의 액면에 대해 6초와 30초간 측정한 값으로서 6초간 측정한 값을 5배 곱한 값이 30초간 측정한 값의 95% 신뢰값 범위에 속하므로 적절한 선원 및 측정 계통을 선정하면 빠른 속도의 액면 측정이 가능한 것으로 판단된다.

4장. 결론

방사선을 이용한 액면측정 실험을 위해 원뿔형 물탱크, 2mCi ^{60}Co 방사선원과 선원용기, 선원위치 조절장치를 제작 구성하였으며, 봉형 플라스틱 섬광검출기를 사용하여 액면측정 실험을 수행하였다.

실험결과 액면 높이가 36cm 이상에서는 정밀도가 $\pm 1\text{mm}$ 이내로 측정이 가능한 것으로 나타났으며, 높이가 28cm 이상 34cm 이하의 범위에서는 $\pm 2\text{mm}$ 이하의 정밀도로 측정이 가능한 것으로 나타났고 18cm 이하의 범위에서는 오차가 너무 크게 나타나 데이터로서의 가치가 없는 것으로 나타났다. 또한 본 실험에서는 측정시간을 30초로 선정하였으나 6초간의 측정값이 30초 측정값의 오차범위에 속하므로 성능이 우수한 계수기와 검출기를 사용한다면 좀더 빠른 측정이 가능할 것으로 보인다.

본 실험에 사용한 자재들은 광증배관을 제외한 대부분의 부품이 국내에서 제작 가능하므로 현재 산업체에서 사용되고 있는 방사선 이용 액면계기들은 국산화가 가능한 것으로 사료된다.

*본 연구는 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었다.

참고문헌

1. IAEA, RCA/UNDP 5th Training-Demonstration Workshop on the Use of Nucleonic Control System in Paper Industry, SIAM Kraft Paper Mill, Thailand, 1986.
2. 문병수 외, 방사선 이용 계측장비 기술개발 현황, KAERI/AR-523/99.
3. Glenn F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, John Wiley & Sons Inc., 2nd Ed., 1989.
4. <http://www.berthold-us.com>, Level Measure.
5. S. Rozsa, Nuclear Measurements in Industry, Elsevier, 1989.

표 1. 실험조건 #1에 의한 액면의 위치에 따른 계수값

경사높이 h' [cm]	수직높이 h [cm]	계수값	표준편차	부피 v [cm ³]	측정가능정밀도 [mm]
60(full)	51.962	142,183	377	48,972.586	
59	51.095	154,746	393	46,564.539	0.3
58	50.229	181,658	426	44,236.754	
57	49.363	210,231	459	41,987.871	0.3
56	48.497	238,507	488	39,816.523	
55	47.631	266,537	516	37,721.359	0.4
54	46.765	295,918	544	35,701.016	
53	45.899	326,676	572	33,754.125	0.4
52	45.033	355,730	596	31,879.338	
51	44.167	386,933	622	30,075.289	0.4
50	43.301	416,577	645	28,340.615	
49	42.435	442,845	665	26,673.961	0.5
48	41.569	470,081	686	25,073.963	
47	40.703	497,048	705	23,539.262	0.6
46	39.837	521,716	722	22,068.498	
45	38.971	549,079	741	20,660.309	0.7
44	38.105	570,636	755	19,313.336	
43	37.239	594,406	771	18,026.219	0.7
42	36.373	617,439	786	16,797.596	
41	35.507	637,030	798	15,626.108	0.7
40	34.641	658,932	812	14,510.396	
39	33.775	675,979	822	13,449.096	0.9
38	32.909	694,544	833	12,440.851	
37	32.043	710,243	843	11,484.297	1.1
36	31.177	725,164	852	10,578.078	
35	30.311	740,857	861	9,720.831	1.3
34	29.445	754,703	869	8,911.196	
33	28.579	767,099	876	8,147.813	1.4
32	27.713	778,641	882	7,429.322	
31	26.847	790,348	889	6,754.362	1.7
30	25.981	800,346	894	6,121.573	
29	25.115	808,238	899	5,529.594	1.7
28	24.249	818,197	905	4,977.065	

표 2. 실험조건 #2에 의한 액면의 위치에 따른 계수값

경사높이 [cm]	수직높이 [cm]	계수값	표준편차	측정가능 정밀도 [mm]
60	51,962	106497	326	0.2
58	50,229	149356	386	
56	48,497	230305	480	
54	46,765	315875	562	0.3
52	45,033	397199	630	
50	43,301	472873	688	0.4
48	41,569	539776	735	
46	39,837	605393	778	0.6
44	38,105	662755	814	
42	36,373	717143	847	0.7
40	34,641	766664	876	
38	32,909	809172	900	1.0
36	31,177	846939	920	
34	29,445	877780	937	1.4
32	27,713	904692	951	
30	25,981	928199	963	2.0
28	24,249	947129	973	
26	22,517	961455	981	3.9
24	20,785	971452	986	
22	19,053	978607	989	6.3
20	17,321	984908	992	
18	15,588	987608	994	
16	13,856	986776	993	
14	12,124	987487	994	
12	10,392	989622	995	
10	8,660	989638	995	
8	6,928	989619	995	
6	5,196	990363	995	
4	3,464	991263	996	

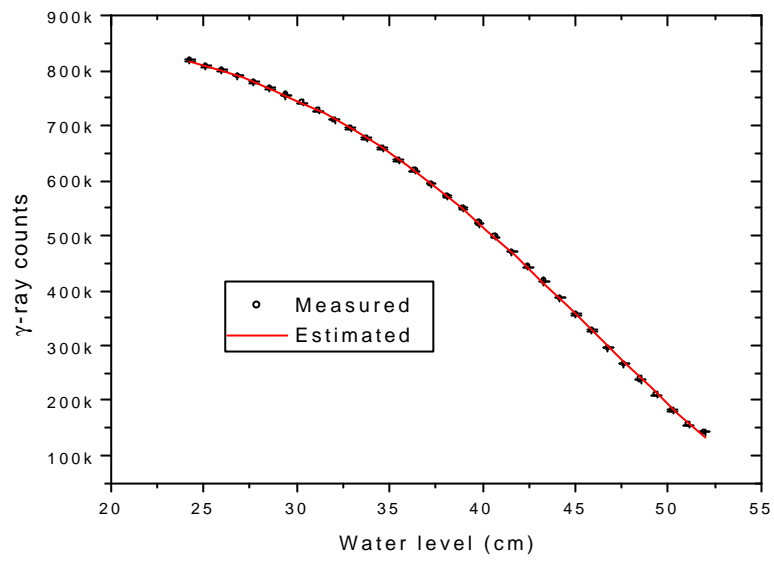


그림 2. 액면에 따른 검출 감마선 수

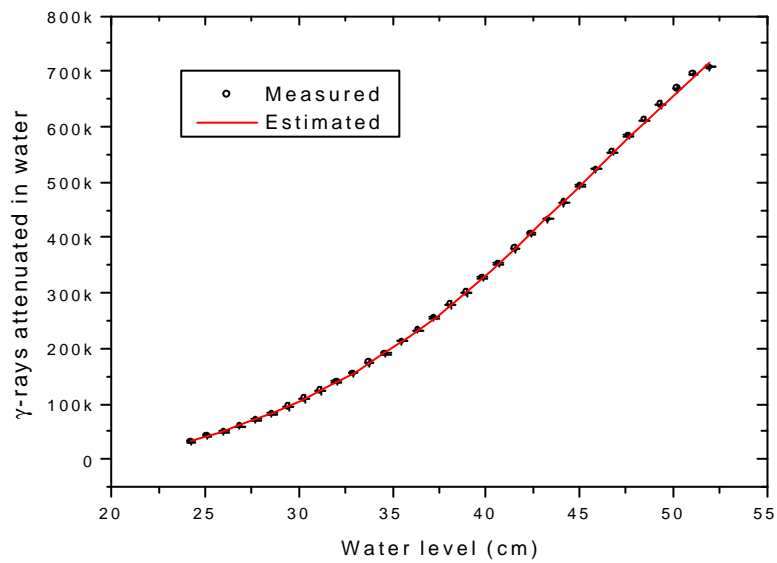


그림 3. 액면에 따른 흡수 감마선 수

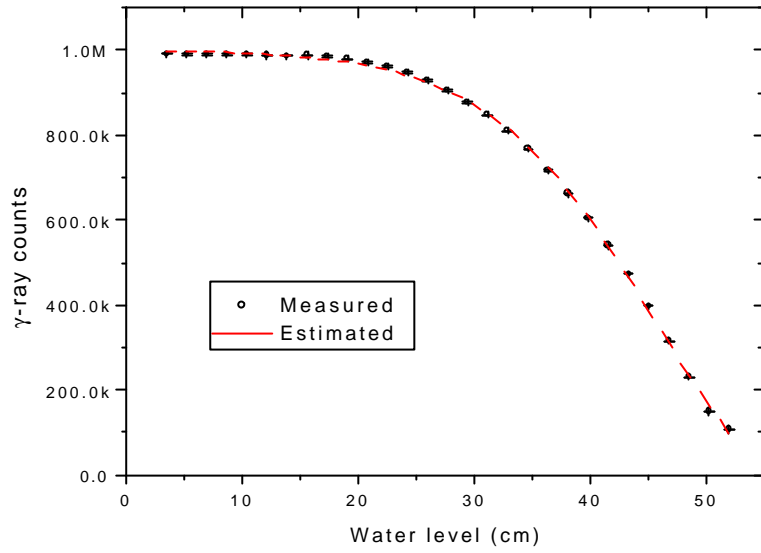


그림 4. 액면에 따른 측정 감마선 수

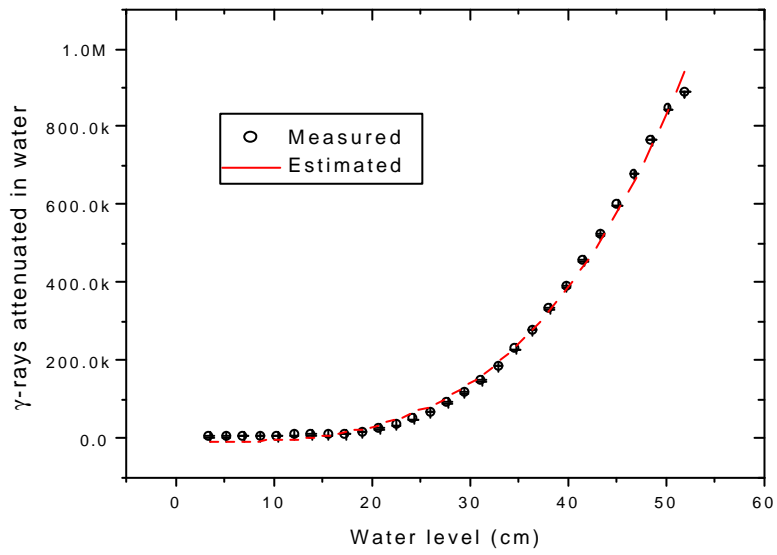


그림 5. 액면에 따른 흡수 감마선 수