

## 바코드 라벨의 방사선 조사시험

### Irradiation Test of Bar Code Label

배상민, 이강무, 손종식, 홍권표,  
한국원자력연구소  
고병령  
한국원자력기술주식회사

#### 요 약

바코드 라벨의 방사선 조사 시험은 방사성폐기물 용기에 부착할 바코드 라벨의 방사선 환경 하에서의 영향을 판단하기 위하여 수행하였다. 중·저준위 방사성 폐기물은 원자력법에 의하면 총 방사능량이 4,000 Bq/g 미만을 말한다. 방사성 폐기물 용기의 외부에 부착할 바코드 라벨이 받게 되는 방사선 조사 선량은 MCNP-4b Computer Code에 의하여 계산하였다. Co-60과 Cs-137 핵종들은 총 방사능에 50% 씩 기여한다고 가정하였다. 용기와 바코드 라벨의 제원에 의하여 실제의 최종 방사선 조사선량을 계산하였다. 바코드 판독기를 이용하여 바코드 라벨의 인식률과 외관점검을 수행한 결과 코팅된 바코드 라벨은 중·저준위 방사성 폐기물 용기에 사용하기에 적합하였다.

#### Abstract

The irradiation test of bar code label tagged on radioactive waste container was done to determine the effect of radiation. Low and medium radioactive waste is that below total activity of 4,000 Bq/g according to the Korean nuclear law. The irradiation amount to radiate bar code label tagged on radioactive waste container was calculated by MCNP-4b computer code. The nuclide such as Co-60 and Cs-137 was assumed to contribute 50% of total activity. Real irradiation amount for bar code label was finally calculated by the dimensions of the container and the bar code label. The identification of post and the physical deflection of irradiated bar code label was tested by the bar code reader. The coated bar code label was suitable to use on low and medium radioactive waste container.

#### 1. 서 론

미국(다수 처분장 Low Track 프로그램), 프랑스(Andra 처분장), 영국(다수 처분장, WITS 프로그램), 체코(Mochovce 처분장) 등의 방사성 폐기물의 처분장에서는 바코드 라벨을 중·저준위 방사성 폐기물 용기에 부착하여 조회와 검사를 수행하고 있다. 바코드 라벨을 중·저준위 방사성 폐기물 용기에 부착하려면 라벨에 대한 중·저준위 방사선에 대한 검증이 필수적이다. 라벨은 일반

종이에서 코팅 라벨까지 여러 종류가 있으나 영하 50도에서 영상 300도까지 견디고 습도에 강한 반영구적인 코팅라벨이 가장 우수한 물리적 성질을 지니고 있다. 그러나 코팅 라벨에 대한 방사선 검증이 이루어지지 않았으므로 중·저준위 방사성 폐기물에 적용하기 위한 바코드 라벨의 방사선 조사 시험을 수행하였다. 원자력법은 중·저준위 방사성 폐기물을 총 방사능량이 4,000 Bq/g 미만으로 정의하고 있다. 따라서 용기 외부에 부착될 라벨이 받게 될 선량은 용기의 표면적 대비 라벨의 표면적으로 계산하여야 한다. 또한 Co-60과 Cs-137 핵종이 총 방사능에 50%씩 기여한다고 가정하였다. 바코드 라벨이 받게 될 선량은 MCNP-4b Computer Code를 이용하였다. 바코드 라벨에 감마선 조사장치를 통해 조사시키기 위하여 조사거치대를 제작하였고 조사거리를 설정한 후 조사 시스템 배치를 하였다. 조사시간은 계산된 선량을 토대로 산출하였으며, 정확한 조사시간은 타이머에 의하여 설정하였다.

## 2. 조사시험

### 2.1 환경

바코드 코팅라벨은 13종으로 크기는 6.5 cm × 2.4 cm, 두께는 0.017 cm이다. 조사실 환경은 국가 교정기관 인정제도운영세칙 별표 5에 규정된 측정분야별 환경기준에 따라 온도는  $23 \pm 2$  °C (온도변화율 : 1.5 °C/h), 습도는 55%RH 이하, 압력은 부압을 유지하였다. 조사를 위한 바코드 라벨 거치대를 그림 1과 같이 제작하였고 조사지점의 조사 빔의 입사방향과 수직이 되도록 하여 그림 2와 같이 거리 이송장치에 부착하였다. 감마선 조사장치에 사용된 선원은 Cs-137이며, 그 특성은 표 1과 같다.

표 1. 선원의 특성.

Nuclide	Cs-137
Mass Difference	-86.9
Type of Decay	$\beta^-$
Half-Life	30.0 y
Major Radiation, Energies(MeV), and Frequency per Disintegration(%)	$\beta^-$ : 1.174max(5%) 0.512max(avg 0.173) (95%) $\nu$ : 0.662 (85%, $^{137m}\text{Ba}$ ), Ba X rays $e^-$ : 0.624, 0.656

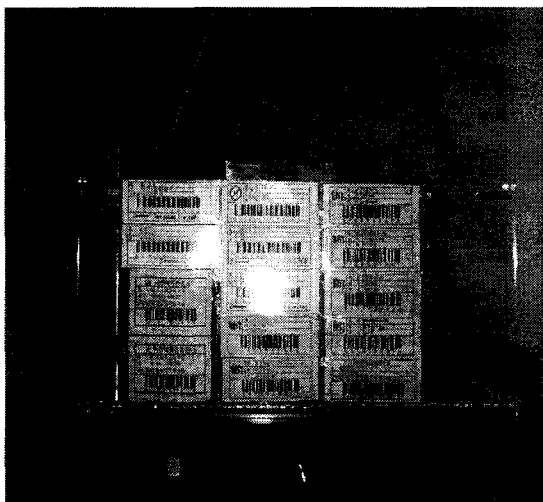


그림 1. 바코드 라벨 거치대.

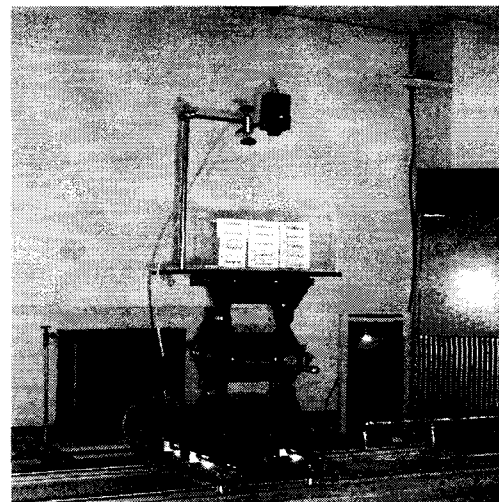


그림 2. 조사 장치.

조사시험에 사용된 기준 감마선 조사장치의 성능은 표2와 같다.

표 2. 감마선 조사장치의 성능.

구 분	성 능
조사범위	0.42 mSv/h ~ 17.33 mSv/h (주변선량당량율)
비임 균질도	유효 빔 크기 범위에서 ± 5% 이하
조사장의 재현성	± 0.6% 이하
산란선 기여도	일차 빔(Primary beam)의 5% 이하
선원이동시간	총 조사시간의 ± 0.1 % 이하

## 2.2 조사시험

조사시험을 위하여 그림 3과 같이 라벨거치대에 부착된 라벨 군의 중심점을 감마 비임의 중심점과 일치시키고 유효 빔 영역이 라벨 전체 군을 포락할 수 있도록 설정하였다.

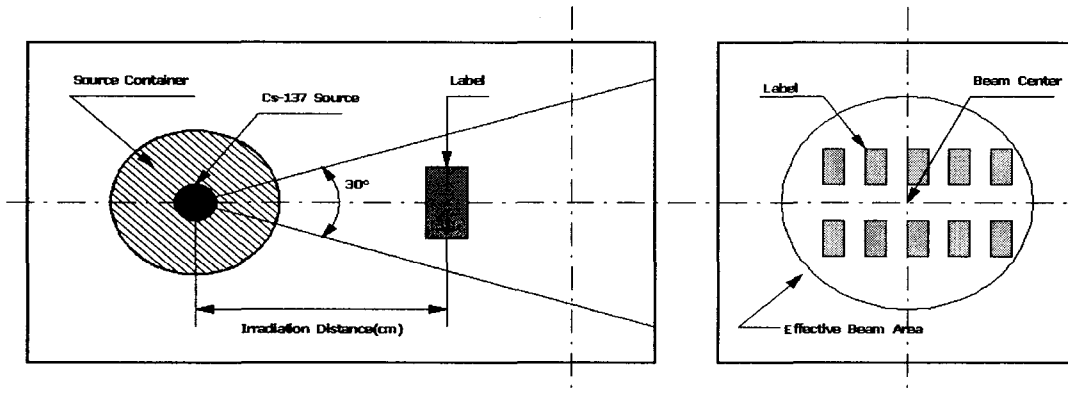


그림 3. 바코드 라벨 조사시험 배치도.

방사선원은 드럼 내부로 가정하면 방사선원의 형태는 실린더 모양의 체적 선원이 된다. 고화체의 부피 ( $V_s$ )는  $200,000 \text{ cm}^3$ 이고, 고화체의 밀도( $\rho_s$ )는  $2.754 \text{ g/cm}^3$ 이므로 고화체의 무게( $M_s$ )는  $550,800 \text{ g}$ 이다.

$$M_s = V_s \times \rho_s = 200,000 \text{ cm}^3 \times 2.754 \text{ g/cm}^3 = 550,800 \text{ g} \text{ -----식 1}$$

따라서, 드럼 내 총 방사능( $A_s$ )은  $2.2032 \times 10^9 \text{ Bq}$ (0.06 Ci)로 계산된다.

$$\begin{aligned} A_s &= M_s \times 4,000 \text{ Bq/g} = 550,800 \text{ g} \times 4,000 \text{ Bq/g} \\ &= 2.2032 \times 10^9 \text{ Bq} = 0.06 \text{ Ci} \text{ -----식 2} \end{aligned}$$

고화체에 포함된 방사성 핵종은 Co-60과 Cs-137로 가정하였으며, 각 핵종은 총 방사능량에 50%씩 기여한다고 가정하였다. 따라서 각 핵종에 의한 방사능량을 각각 0.03 Ci로 가정하였다. 위에서 구한 두 핵종의 방사능량을 이용해서 표 3과 같이 MCNP 계산에서 사용할 Multiplier(M)를 계산하였다.

표 3. MCNP-4b 계산에 사용한 핵종의 방사능량 및 Multiplier.

핵종	방사능 [Ci]	에너지 [MeV]	방출비 [photons/decay]	S <sub>i</sub> [photons/sec]
Co-60	0.03	1.173	1.0	1.1100×10 <sup>9</sup>
		1.332	1.0	1.1100×10 <sup>9</sup>
Cs-137	0.03	0.662	0.85	9.4350×10 <sup>8</sup>
				3.1635×10 <sup>9</sup>

MCNP-4b 계산에서 폐기물 드럼 외부에 부착된 라벨의 부피에 대해 F4 Tally를 사용했으며, 위에서 계산한 광자속( $\phi$ )에 광자속과 방사선량률 전환인자(Photon Flux-to-Dose Rate Conversion Factor)를 적용해서, 등가선량(Dose Equivalent)을 계산하였다.

$$H [mSv/hr] = \phi [photons/cm^2] \times M [photons/sec] \times DCF \left[ \frac{rem/hr}{photons/cm^2sec} \right] \times 10 \left[ \frac{mSv/hr}{rem/hr} \right] \text{-----식 3}$$

여기서,  $\phi$  : 광자속,  $M$  : 승수,  $DCF$  : 광자속과 방사선량 전환인자  
계산 결과 드럼 외부에 부착된 라벨은 앞에서 가정한 조건하에서 시간당 0.0256 mGy의 선량을 흡수한다. 유효 비임 영역과 빔 균질도를 고려하여 조사거리를 300 cm로 고정하였다. 선량률-거리 관계식에서 300 cm 인 경우 공기 커마율은 37.75  $\mu$ Gy/h 이다.

$$\dot{K} = 10^{6.57507} \cdot 300^{-2.01676} \cdot e^{-6.2714 \times 10^{-5} \cdot 90} = 37.75 \mu Gy/h \text{-----식 4}$$

MCNP-4b로 계산된 누적선량(4300.8  $\mu$ Gy)을 조사지점의 선량률(37.75  $\mu$ Gy/h)로 나누어 조사시간을 결정하였다. 실제 조사시간은 113.928 hr로 계산되었지만 보수적 관점에서 120 hr으로 결정하고 표 7에서와 보는 바와 같이 조사시간 계획을 수립했다. 조사시간은 조사장치 제어시스템의 일부인 타이머로서 설정하였다.

### 3. 결 론

조사시험을 마친 라벨의 결과 분석은 크게 판독성 및 육안점검으로 실시하였다. 판독성의 경우 바코드 판독기를 이용해 라벨의 형상에 따른 조사 전·후의 라벨의 바코드 인식률을 확인했고, 육안점검의 경우는 표 4와 같이 조사 전·후 방사선에 의한 외부변형, 즉 뒤틀림, 팽창, 색 변화, 두께 변화 등에 초점을 두어 분석하였다. 바코드 판독기는 CASIO Model DT-900M50E(Serial No. : 508487)를 사용하였다. 판독은 방사성 폐기물 용기의 형상에 따라 곧은 형태와 굴곡진 형태의 라벨로 수행하였다. 조사 전에는 곧은 형태와 굴곡진 형태에서 바코드를 100% 판독하였다. 조사 후에도 곧은 형태와 굴곡진 형태에서 바코드를 100% 판독하였다..

표 4 육안 점검 결과

점검항목 \ 분류	조사 전	조사 후	비고
뒤틀림	없음	없음	육안 확인
팽창	없음	없음	조사 전 : 6.5 × 2.4 cm 조사 후 : 6.5 × 2.4 cm
색 변화	없음	없음	육안 확인
두께 변화	없음	없음	조사 전 : 0.017 cm 조사 후 : 0.017 cm

결과적으로 바코드 관독기를 이용하여 바코드 라벨의 인식률과 외관점검을 수행한 결과 코팅된 바코드 라벨은 중·저준위 방사성 폐기물 용기에 사용하기에 적합하였다.

#### 참 고 문 헌

1. ASTM Standard E 1027 Standard Practice for Exposure of Polymeric Materials to Ionizing Radiation, 1992
2. ISO 4037-1 Part 1 : Radiation characteristics and production methods
3. ISO 4037-2 Part 2 : Dosimetry for radiation protection over the energy ranges 8 keV to 1.3 MeV and 4 MeV to 9 MeV
4. ISO 4037-3 Part 3 : Calibration of area and personal dosimetries and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence
5. KRISS, 측정불확도 표현지침, KRISS-99-070-SP
6. Using bar codes to manage radwaste in a nuclear power facility, CONF-880201, 1988
7. Bar-code automated tracking system, KCP-613-5425, 25p, 1994
8. Labelling of the spent fuel waste package. CONF-920430, 1992
9. Ray Want., Ubiquitous Electronic Tagging, IEEE Concurrency, 1999.