

The Assessment of Exposure Dose of Radiation Workers for Decommissioning Waste in the Radioactive Waste Inspection Building of Low and Intermediate-Level Radioactive Waste Disposal Facility

경주 중·저준위방사성폐기물 처분시설의 방폐물검사건물에서 해체 방사성폐기물 대상 방사선작업종사자의 피폭선량 평가 및 작업조건 도출

Rin-Ah Kim*, Ho-Seog Dho, Tae-Man Kim, and Chun-Hyung Cho
Korea Radioactive Waste Agency, 174, Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Republic of Korea

김린아*, 도호석, 김태만, 조천형
한국원자력환경공단, 대전광역시 유성구 가정로 174

(Received May 29, 2020 / Revised July 10, 2020 / Approved August 11, 2020)

The Korea Radioactive Waste Agency plans to expand the storage capacity of radioactive waste by constructing a radioactive waste inspecting building to solve the problem of the lack of inspection space and drum-handling space in the radioactive waste receipt and storage building for the first-stage disposal facility. In this study, the exposure doses of radiation workers that handle new disposal containers for decommissioning waste in the storage areas of the radioactive waste inspecting building were calculated using the Monte Carlo N-particle transport code. The annual collective dose was calculated as a total of 84.8 man-mSv for 304 new disposal containers and an estimated annual 306 working hours for the radiation work. When the 304 new disposal containers (small/medium type) were stored in the storage areas, it was found that 25 radiation workers should be involved in acceptance/disposal inspection, and the estimated exposure dose per worker was calculated as an average annual value of 3.39 mSv. When the radiation workers handle the small containers in high-radiation dose areas, the small containers should be shielded further by increasing the concrete liner thickness to improve the work efficiency and radiation safety of the radiation workers. The results of this study will be useful in establishing the optimal radiation working conditions for radiation workers using the source term and characteristics of decommissioning waste based on actual measurements.

Keywords: Low and intermediate-level radioactive waste, Decommissioning waste, Package/disposal container, Radioactive waste inspecting building, Radiation worker, Exposure dose

*Corresponding Author.

Rin-Ah Kim, Korea Radioactive Waste Agency, E-mail: krina26@korad.or.kr, Tel: +82-42-601-5357

ORCID

Rin-Ah Kim
Tae-Man Kim

<http://orcid.org/0000-0002-7873-5811>
<http://orcid.org/0000-0002-1566-8842>

Ho-Seog Dho
Chun-Hyung Cho

<http://orcid.org/0000-0001-9635-3932>
<http://orcid.org/0000-0001-5258-6646>

한국원자력환경공단은 처분시설 내 1단계 인수·저장구역의 인수검사 공간 및 드럼 취급 공간 부족에 대한 문제를 해결하기 위하여 방폐물검사건물을 건설하여 저장·처리능력을 확충할 예정이다. 본 연구에서는 MCNP 코드를 이용하여 방폐물검사 건물 내 저장구역에서 취급하는 해체 방사성폐기물 대상 신형처분용기를 대상으로 작업종사자의 피폭선량을 평가하였다. 평가결과, 시설 내 저장 가능한 최대 용기 개수(304개)와 방사선작업에 대한 연간 예상 작업시간(약 306시간)에 대하여 연간 집단선량은 총 84.8 man-mSv로 계산되었다. 시설 내 총 304개의 신형처분용기(소형/중형 타입)가 저장 완료된 시점에서 인수검사, 처분검사를 위한 작업종사자의 투입인력은 총 25명, 작업종사자 당 예상피폭선량은 연평균 3.39 mSv로 산출되었다. 소형용기 취급 시 작업종사자의 고방사선량 작업에 따른 작업효율과 방사선적 안전성 확보를 위해서는 콘크리트 라이너의 두께를 증가시키는 추가적인 차폐가 필요할 것으로 평가되었다. 향후 본 연구를 바탕으로 실측기반의 해체폐기물의 선원항과 특성을 활용하여 방사선작업 당 작업시간 및 투입인력을 산출함으로써 작업종사자의 최적의 방사선작업조건을 도출할 수 있을 것으로 사료된다.

중심단어: 중·저준위방사성폐기물, 원전해체 방사성폐기물, 포장/처분용기, 방폐물검사건물, 방사선작업종사자, 피폭선량

1. 서론

경주 중·저준위방사성폐기물 처분시설에서는 2015년부터 방사성폐기물 10만 드럼 처분용량의 1단계 동굴처분시설이 운영 중이며, 12.5만 드럼을 처분하기 위한 2단계 표층처분시설 공사가 진행 중이다. 향후 원전 해체 방사성폐기물의 발생과 1, 2단계 처분시설이 동시 운영됨에 따라 처분시설에 반입되는 방사성폐기물의 인수량이 대폭 증가할 것이다. 방사성폐기물 관리시설인 인수저장건물은 발생자로부터 인수한 방사성폐기물을 최종 처분하기 이전 임시저장, 검사 등의 기능을 수행하는 처분시설의 필수 부속 공간이다. 현재 경주 처분시설은 1단계 7,000드럼(200 L 기준) 저장 용량의 인수·저장 공간을 운영하고 있으나, 방사성폐기물의 관리 수량이 현재의 약 2배일 때를 대비한 공간 확보가 필요하다. 따라서 한국원자력환경공단(이하 ‘공단’)에서는 2단계 처분시설 운영 시점에 10,000드럼 저장 용량의 방폐물검사건물을 신축하여 저장·처리 능력을 확대하고자 한다[1]. 인수저장건물의 운영자는 운영 중 작업종사자와 일반 대중에 미치는 방사선량을 규제한도 이내로 유지하고 ALARA 지침을 만족하기 위해 적절한 방사선방호를 해야 한다[2].

본 연구에서는 건설 예정인 방폐물검사건물 내 저장구역에서 취급하는 해체 방사성폐기물 대상 신형처분용기가 저장되는 상황을 가정하여 작업종사자의 피폭선량을 평가하였다. 작업종사자의 방사선적 안전성 확보를 위하여 방사선작업



Fig. 1. Air view of the radioactive waste inspecting building.

당 작업시간 및 투입인력을 산출함으로써 작업종사자에 대한 최적의 방사선작업 조건을 도출하고자 한다.

2. 본론

2.1 방폐물검사건물

Fig. 1은 경주 처분시설의 기존 인수저장건물과 건설 예정인 방폐물검사건물의 조감도이다. 공단은 방사성폐기물과 관련하여 인수, 인수검사, 처분검사, 처분용기 포장 공정과 같은 주요 방사선 작업을 수행한다. 인수저장건물은 인수, 저장, 처분적합성 검사를 수행하는 공간으로 각 기능을 수행하기 위한 적절한 공간이 마련되어야 한다. 운반차량의

Table 1. Main radiation work and detailed work items

| Work | Detailed work items | Time (min/drum) |
|-----------------------|---|-----------------|
| Receipt | Unloading and loading of the transport containers | 10 |
| | Moving and opening of the transport containers | 10 |
| | Draw off the drums from the transport containers | 20 |
| | Visual inspection | 5 |
| Acceptance inspection | Acceptance inspection | - |
| | Loading of the drums to the palette (4 drums/palette) | 5 |
| | 4-stage loading of the palette | 10 |
| Disposal inspection | Moving of the drums (4 drums/palette) | 5 |
| | Visual and sample inspection | 5 |
| | 2-stage loading of the palette | 5 |
| | Loading of the drums in the disposal containers | 50 |
| Disposal | Loading of the disposal containers to truck | 15 |
| | Moving of the disposal containers | 10 |
| | Silo disposal | 25 |

인수저장건물 진입 및 출차, 운반용기 개폐, 운반용기에서 방사성폐기물 드럼 인출 및 하역, 빈 운반용기 임시저장 및 반출, 방사성폐기물 임시저장, 인수검사, 처분검사, 처분용기 장입, 처분용기 적재 및 보관 등 운영절차 순서에 따라 방사선 작업을 수행한다[3]. 공단에서는 이러한 운영절차에 따라 세부작업에 대한 투입인력과 작업시간을 산출하고 매년 방사선안전관리계획을 수립하여 작업종사자의 피폭선량을 관리한다. 작업종사자의 법적 선량한도(연간 50 mSv를 넘지 않는 범위 내에서 5년간 100 mSv)에서 평균피폭선량한도인 20 mSv·y⁻¹ 초과를 방지하기 위하여 공단에서는 처분시설 운영을 위한 자체관리선량을 설정하여 관리 중이다. 현재 공단 자체관리선량의 기준은 4 mSv·y⁻¹ (5년간 20 mSv) 이하이다 [4]. Table 1은 현재 공단에서 수행하는 방사선작업에 대한 작업종사자의 피폭선량 관리를 위한 세부 작업항목과 작업시간을 보여준다. 매년 인수 및 처분 계획과 작업 내용에 따라 작업종사자가 취급하는 용기 개수로 연간 예상 작업시간을 산출 한 후, 작업종사자의 예상피폭선량을 도출한다[5,6].

본 연구에서는 방폐물검사건물 내 방사선관리구역인 저장구역에서만 작업을 고려하였다. 따라서 Table 1의 주요

방사선작업 중 인수검사와 처분검사를 선정하였으며 지게차, 취급 용기에 대한 결속장치와 짐게용구(그리퍼)의 체결, 고정, 분해 등의 작업을 포함하여 작업종사자가 근접하여 수행하는 방사선 작업에 대한 선량평가를 수행하였다[7,8]. Table 1의 작업시간은 200 L 드럼 기준이며 신규 개발 중인 대형 처분용기에 대한 작업시간은 현재 사용 중인 IP2 운반용기의 취급 소요시간인 10분/용기를 적용하였다.

2.2 해체 방사성폐기물 대상 처분용기 및 선원향

현재 1단계 처분시설에서 사용되고 있는 처분용기는 200 L 드럼 16개, 320 L 드럼 9개를 한꺼번에 담을 수 있는 사각 콘크리트 두 종류와 HIC 원형 콘크리트 용기 한 종류로 세가지 종류만 보유하고 있다. 그러나 실제 1, 2단계 처분시설 운영 시 처분대상은 원전 운영 방사성폐기물뿐만 아니라 해체 방사성폐기물도 고려해야 한다. 처분대상 용기로는 320 L, 폴리에틸렌용기, HIC용기, 울진 C1/C2/C4형 콘크리트용기, 고리원형 콘크리트용기, 고리4-Pack 콘크리트용기, PC-HIC용기 등이 있다[9]. 현재 2단계 처분시설은 200 L 낱 드럼으로 처분

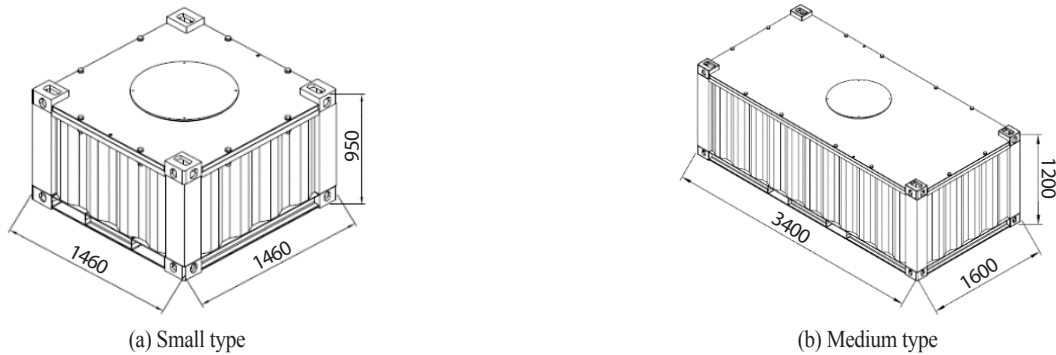


Fig. 2. Concept of disposal containers.

Table 2. Disposal container targeted for decommissioning radioactive waste

| Type | Size (mm) | Contents | Specific radioactivity (Max. Bq·g ⁻¹) | Radioactivity (Max. Bq) | Use |
|--------|----------------|----------|---|-------------------------|--------------------------------|
| Small | 1460×1460×950 | RV/RVI | 6.20×10 ³ | 7.19×10 ¹⁰ | Packaging, disposal |
| Medium | 1600×3400×1200 | Metal | 7.94×10 ² | 2.70×10 ¹⁰ | Packaging, transport, disposal |

정치 개념이 수립되어 별도의 처분용기가 없기 때문에 공단에서는 다양한 형상을 가지는 해체 방사성폐기물의 특성과 처분 시설의 특성, 운영 편이성 및 처분안전성을 고려하여 해체 방사성폐기물 대상 신규 처분용기를 개발 중이다.

본 연구에서는 ‘원전 해체 방사성폐기물 포장, 운반, 처분용기 개발’ 기술개발과제에서 개발 중인 해체 방사성폐기물 대상 소형처분용기(안) 중 소형사이즈, 중형사이즈 두 종류의 용기(Fig. 2)를 선정하였다[10]. 소형용기는 발생 수량은 작지만 2단계 처분시설 내 처분하는 용기 중 선원량의 세기가 가장 큰 RV/RVI 폐기물 대상 포장/처분 겸용용기이며, 중형용기는 발생 수량이 가장 많을 것으로 예상하는 금속폐기물 대상 포장/운반/처분 겸용용기다. Table 2에서 소형용기와 중형용기에 대한 상세내용이 나타나 있다.

소형용기는 상하 17 mm, 측면 4 mm 두께의 금속용기로 콘크리트 라이너 49 mm 차폐가 적용되었다. 포장물의 허용 설계중량은 15 ton으로 RV/RVI 폐기물을 용기 내 100% 적재했을 때 포장물은 13.3 ton으로 설계중량을 만족한다. 또한 허용 설계중량이 35 ton인 중형용기는 6 mm 두께의 금속용기이다. 금속폐기물을 100% 적재했을 때, 포장물의 허용

설계중량 35 ton을 초과하기 때문에 허용 설계중량에 맞춰 콘크리트 그라우팅된 금속폐기물을 용기 내 100% 적재하였다.

방사선원량은 방사능특성평가 자료 분석으로 도출해야 하지만 현재 해체 방사성폐기물의 정확한 방사선원량 도출이 어렵기 때문에 소형처분용기에 적재 가능한 최대 방사선량이 적용되었다. 이때 처분용기 외부 방사선량을 관점에서 작업 종사자의 피폭선량 평가 시 고려되는 방사성핵종은 감마선 방출 핵종으로 인수검사 시 확인되어야 할 14가지 필수 핵종 중 외부 방사선량률에 미치는 영향이 극미한 베타선 방출 핵종과 감마선을 방출하는 자핵종에 의한 방사선적 영향은 고려하지 않았다. 따라서 금속폐기물을 구성하는 방사성핵종(⁵⁴Mn, ⁵⁹Fe, ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs) 중 감마선 방출 핵종인 ⁶⁰Co만 존재하는 상황을 가정하였다. ⁶⁰Co은 1회 붕괴 시 1.172 MeV와 1.332 MeV의 두 가지 에너지 감마선을 100% 방출하며 이를 고려하여 내용물의 총 감마선량을 적용하였다. 소형용기는 포장/처분 겸용용기로 포장물 인수기준인 표면방사선량률이 10 mSv·h⁻¹ 이하를 만족하는 ⁶⁰Co의 최대 비방사능인 6.20×10³ Bq·g⁻¹, 내용물의 중량 11.6 ton으로 총 감마선량은 7.19×10¹⁰ Bq으로 계산된다. 중형용기는 포장/운반/처분용기를 겸용하는

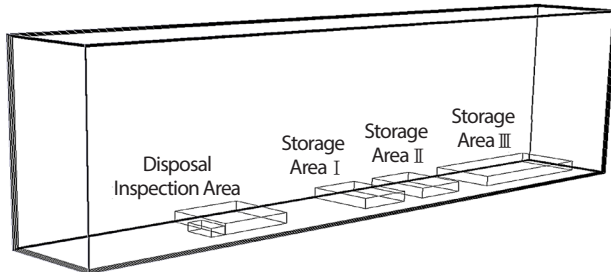


Fig. 3. MCNP modeling of the radioactive waste inspecting building.

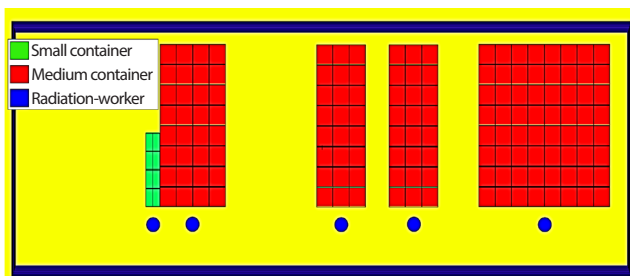


Fig. 4. Plan view of the placement of disposal container in the radioactive waste inspecting building.

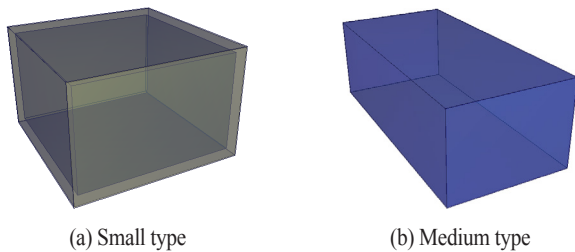


Fig. 5. MCNP modeling of disposal containers.

Table 3. Max. Capacity of containers in the radiation management area of the radioactive waste inspecting building

| Location | Type of container | Array | Total capacity |
|------------------|-------------------|-------|----------------|
| Inspection area | Small type | 4×2×2 | 16 |
| | Medium type | 8×4×2 | 64 |
| Storage area I | Medium type | 8×3×2 | 48 |
| Storage area II | Medium type | 8×3×2 | 48 |
| Storage area III | Medium type | 8×8×2 | 128 |
| Total | | | 304 |

용기로 운반물 외부표면에서의 방사선량률인 $2 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$ 를 만족하는 ^{60}Co 의 최대 비방사능 $4.40 \times 10^2 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$, 내용물 중량 34 ton으로 총 감마선량 $2.70 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 이 적용되었다.

2.3 해체 방사성폐기물 대상 작업종사자 피폭 선량 계산

2.3.1 MCNP 코드 모델링

본 연구에서는 방폐물검사건물 내부 포장물을 임시저장하는 저장구역에서 피폭선량률 평가에 주로 사용되는 몬테카를로 전산해석방법인 MCNP6(ver1.0) 코드를 이용하였다 [11]. 방폐물검사건물은 강수로부터 포장물을 보호할 수 있도록 지붕이 있는 콘크리트 구조물로서 벽체는 0.83 m 두께의 일반콘크리트로 모사하였다[12]. Fig. 3와 같이 저장구역은 1개의 처분검사구역과 저장고 II으로 분류된다. 용기와 건물의 벽체 이외에 구조물(크레인, 지게차 등)은 모델링에서 제외되었다. Table 3 및 Fig. 3~4와 같이 각 저장구역에는 설계도면에 따라 저장 가능한 신형처분용기를 최대한 배치하였고, 총 304개의 용기가 가득 차 있다고 가정하였다. 방폐물검사건물에서 고려한 각 저장구역에서의 해체 방사성 폐기물 대상 신규처분용기 배치와 작업종사자의 측정위치는 Fig. 4와 같으며, 각 저장구역별 모든 용기의 저장 완료시점에서 작업종사자의 피폭선량 평가를 수행하였다. 선량평가 지점은 각 저장구역에서 처분용기 표면으로부터 30 cm 떨어진 위치, 작업종사자의 피폭 방사선량을 판독하기 위하여 착용하는 개인선량계의 착용 위치 지점과 같이 약 100 cm 높이에서 F4 tally (Volume detector)로 계산하였다.

처분용기 2종에 대한 모델링은 Fig. 5와 같다. 해석결과는 MCNP 코드의 통계적 점검결과에서 제시하는 5% 미만의 상대오차를 확인하여 계산결과의 신뢰성을 확인하였다[13]. 선속-선량률 환산인자는 ICRP 74를 적용하였다.

2.3.2 MCNP 코드 계산결과

MCNP6(ver1.0) 코드를 이용하여 방폐물검사건물 내 저장구역에서 총 304개의 신형처분용기 저장완료시점에서의 작업종사자의 피폭선량을 계산하였다. Table 4에서 작업종사자의 피폭선량률을 확인할 수 있다. 처분검사구역에서 RV/RVI용 소형용기로 인한 피폭선량이 $1.94 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$ 로 가장 높은 값이며, 취급하는 용기 개수가 가장 작은 중형용기를

Table 4. The calculation result of the exposure dose rate (mSv·h⁻¹) in the waste storage area of the radioactive waste inspecting building

| Location | Type of container | Exposure dose rate (mSv·h ⁻¹) |
|------------------|-------------------|---|
| Inspection area | Small type | 1.94 |
| | Medium type | 0.21 |
| Storage area I | Medium type | 0.11 |
| Storage area II | Medium type | 0.11 |
| Storage area III | Medium type | 0.21 |

Table 5. The calculation result of work time per detailed work items

| Work | Detailed work items | Time (min/container) | Total time (h) | | | | |
|-----------------------|--|----------------------|------------------------------------|-------------|----------------|-----------------|------------------|
| | | | Inspection area | | Storage area I | Storage area II | Storage area III |
| | | | Small type | Medium type | Medium type | Medium type | Medium type |
| Acceptance inspection | Moving and opening of the transport containers | 10 | 1.3 (transport containers 8 ea) | 10.7 | 8 | 8 | 21.3 |
| | Draw off the package/disposal containers from the transport containers | 20 | 2.7 (transport containers 8 ea) | - | - | - | - |
| | Visual inspection | 10 | 2.7 | 10.7 | 8 | 8 | 21.3 |
| | Acceptance inspection | - | - | - | - | - | - |
| | 2-stage loading | 10 | 2.7 | 10.7 | 8 | 8 | 21.3 |
| | Moving of the empty container | - | - | - | - | - | - |
| | Subtotal | | 9.4 | 32.1 | 24 | 24 | 63.9 |
| Disposal inspection | Moving of the containers | 10 | 2.7 | 10.7 | 8 | 8 | 21.3 |
| | Visual and sample inspection | 10 | 2.7 | 10.7 | 8 | 8 | 21.3 |
| | 2-stage loading | 10 | 2.7 | 10.7 | 8 | 8 | 21.3 |
| | Subtotal | | 8.1 | 32.1 | 24 | 24 | 63.9 |
| | Total | | 17.5 | 64.2 | 48 | 48 | 127.8 |

저장한 저장고 I, 저장고 II에서 0.11 mSv·h⁻¹로 가장 낮은 피폭선량률을 보인다. 해석결과 피폭선량률은 저장구역별 적재된 용기 배열과 취급 용기의 개수에 영향을 받는다. 처분검사구역, 저장고 I, II, III에서의 용기의 전체 면적을 방사선원향으로 본다면 각 433.95 m³, 325.07 m³, 325.07 m³, 869.48 m³이며 작업종사자는 적재된 용기의 가로방향에서 정 중앙에 위치한다고 가정하였다. 특히 중형용기 대상 가로 길이가 8열로 적재된 저장고 III에서 피폭선량이 가장 크며,

가로길이가 3열로 적재된 저장고 I, II에서 작업종사자는 가장 적은 피폭을 받았다. 해석결과는 MCNP 코드의 통계적 점검결과에서 제시하는 상대오차 5% 미만의 값으로 계산결과 의 신뢰성을 확인하였다[13].

Table 5는 신형처분용기 304개에 대한 저장구역 당 세부 작업항목 당 작업시간을 산출한 결과이다. 인수검사와 처분검사에 대한 연간 총 작업시간은 약 305.5시간으로 산출되었다. 처분검사구역에서 소형용기 16개(소형용기용

Table 6. The calculation result of work input per year and personal exposure dose (mSv·y⁻¹)

| Work | Detailed work items | Exposure dose (mSv·y ⁻¹) | | | | | Group (man·mSv) | Number of workers | Person (mSv) |
|-----------------------|--|--------------------------------------|-------------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------------|--------------|
| | | Inspection area | | Storage area I | Storage area II | Storage area III | | | |
| | | small type | Medium type | Medium type | Medium type | Medium type | | | |
| Acceptance inspection | Moving and opening of the transport containers | 2.52 | 2.25 | 0.88 | 0.88 | 4.47 | 11 | 3 | 3.67 |
| | Draw off the package/disposal containers from the transport containers | 5.24 | - | - | - | - | 5.24 | 2 | 2.62 |
| | Visual inspection | 5.24 | 2.25 | 0.88 | 0.88 | 4.47 | 13.72 | 4 | 3.43 |
| | Acceptance inspection | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 2-stage loading | 5.24 | 2.25 | 0.88 | 0.88 | 4.47 | 13.72 | 4 | 3.43 |
| | Moving of the empty container | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Subtotal | 18.24 | 6.74 | 2.64 | 2.64 | 13.42 | 43.68 | 13 | - |
| Disposal inspection | Moving of the containers | 5.24 | 2.25 | 0.88 | 0.88 | 4.47 | 13.72 | 4 | 3.43 |
| | Visual and sample inspection | 5.24 | 2.25 | 0.88 | 0.88 | 4.47 | 13.72 | 4 | 3.43 |
| | 2-stage loading | 5.24 | 2.25 | 0.88 | 0.88 | 4.47 | 13.72 | 4 | 3.43 |
| | Subtotal | 15.71 | 6.74 | 2.64 | 2.64 | 13.42 | 41.15 | 12 | - |
| | Total | 33.95 | 13.48 | 5.28 | 5.28 | 26.84 | 84.83 | 25 | 3.39 |

운반용기8개), 중형용기 64개에 대한 연간 총 작업시간은 약 81.7시간이다. 저장고 I는 48개의 중형용기가 저장되며, 연간 총 작업시간은 약 48시간으로 계산되었다. 저장고 II는 저장고 I과 동일하다. 저장고 III에서 중형용기 128개에 대한 연간 총 작업시간은 약 127.8시간으로 계산되었다.

Table 6는 Table 4과 Table 5로부터 작업종사자의 피폭선량률과 세부항목별 작업시간 결과로부터 세부항목에 대한 작업종사자 투입인력과 연간 예상 피폭선량을 산출한 결과이다. 각 세부항목에 대한 연간 집단선량률은 총 84.83 man·mSv이다.

이러한 계산결과는 집단선량으로 작업종사자 개인에 대한 관리선량 초과를 방지하기 위해서는 공단 자체 관리선량인 4 mSv·y⁻¹ 이하를 만족하도록 작업 투입인원을 계산해야 한다. 해체 방사성폐기물 대상 방사선 작업에 대하여 자체관리선량을 만족하는 투입인원은 총 25명이며, 이때 작업종사자는 평균 3.39 mSv·y⁻¹ 를 피폭 받는다. 현재 운영 중인 인수저장건물에서는 방사성폐기물 취급을 위한 투입인원은

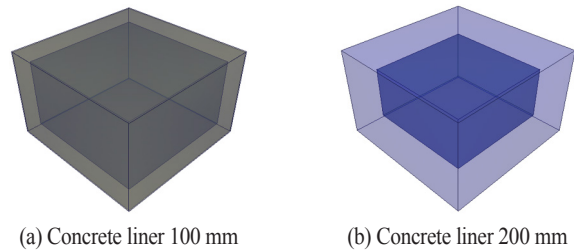


Fig. 6. MCNP modeling of the small container according to the thickness of the concrete liner.

총 18명이다. 해체 방사성폐기물 대상 방사선 작업은 기존 운영 방사성폐기물 대상 작업에 비해 투입인력이 1.4배의 추가 인력이 필요함을 알 수 있다.

그러나 처분검사구역에서 소형용기 표면으로부터 피폭선량률은 1.9 mSv·h⁻¹로 방사선관리구역2의 선량률 기준인 1 mSv·h⁻¹를 넘는다. 따라서 기본 콘크리트 라이너 49 mm인 소형용기의 콘크리트 라이너를 100 mm, 200 mm로 증가시켜 추가 피폭선량을 산출해보았다. Fig. 6과 같이 콘크리트

Table 7. Exposure dose rate ($\text{mSv}\cdot\text{h}^{-1}$) according to the thickness of the concrete liner of the small container in the inspection area

| Location | Concrete liner (mm) | Exposure dose rate ($\text{mSv}\cdot\text{h}^{-1}$) |
|-----------------|---------------------|---|
| Inspection area | 49 | 1.94 |
| | 100 | 0.25 |
| | 200 | 0.038 |

Table 8. Exposure dose ($\text{man}\cdot\text{mSv}\cdot\text{y}^{-1}$) according to the thickness of the concrete liner of the small container in the inspection area

| Work | Concrete liner (mm) | Exposure dose rate ($\text{mSv}\cdot\text{y}^{-1}$) | | | | | | Total ($\text{man}\cdot\text{mSv}$) | |
|---------------------|---------------------|---|-----------------------|-------------------|-----------------|---------------------|------------------------------|---------------------------------------|-------|
| | | Moving and opening | Acceptance inspection | | | Disposal inspection | | | |
| | | | Withdrawn | Visual inspection | 2-stage loading | Moving | Visual and sample inspection | 2-stage loading | |
| concrete liner (mm) | 49 | 2.52 | 5.24 | 5.24 | 5.24 | 5.24 | 5.24 | 5.24 | 33.95 |
| | 100 | 0.33 | 0.68 | 0.68 | 0.68 | 0.68 | 0.68 | 0.68 | 4.38 |
| | 200 | 0.05 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.67 |

라이너 100 mm, 200 mm의 소형용기는 기본 소형용기와 상하 17 mm, 측면 4 mm 두께의 금속용기인 것은 동일하다. 하지만 콘크리트 라이너의 두께가 증가로 소형용기의 허용 설계중량 15 ton 이내를 만족하기 위해서 내용물의 적재 가능한 무게가 기본 49 mm일때 11.6 ton에서 100 mm 두께의 용기 내용물은 8.7 ton, 200 mm 두께의 용기 내용물은 4.4 ton으로 감소한다. 소형용기의 대상 내용물인 RV/RVI 폐기물의 ^{60}Co 의 최대 비방사능 또한 $6.20 \times 10^3 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ 을 적용하였다.

처분검사구역에서의 소형용기의 차폐두께에 따른 피폭선량을 계산한 결과, Table 7과 같이 차폐두께 100 mm, 200 mm 소형용기 모두 방사선관리구역2 기준인 $1 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$ 이하를 만족하였다. 또한 이 결과를 이용하여 Table 8에서 모든 저장구역에서의 연간 피폭선량을 계산해보았을 때, 투입인력이 동일하다고 가정한다면 작업종사자의 연간 최대 피폭선량은 각 2.21 mSv, 2.06 mSv로 기존 결과보다 작업종사자의 피폭선량을 크게 낮출 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 처분시설에 건설 예정인 방폐물검사건물의 저장구역에서 해체 방사성폐기물 대상 신형처분용기

인수/저장될 경우를 가정하여 작업종사자에 대한 피폭선량을 평가하였다. 신형처분용기인 소형용기(포장/처분 겸용)와 중형용기(포장/운반/처분 겸용)의 방사선원향은 용기 내 적재 가능한 폐기물의 최대 방사선량을 적용하였고 저장구역 내 저장 가능한 최대 용기 개수(총 304개)를 적용하여 평가하였다. 매년 인수처분계획 따라 인수저장건물에서 취급하는 포장물의 개수가 달라지기 때문에 작업시간의 변동 가능성은 크다. 선량평가 결과, 저장구역에서 세부작업 항목별 작업종사자의 연간 피폭선량은 모두 평균피폭선량한도인 연간 20 mSv를 초과하지 않았으나 작업종사자의 피폭선량 최소화를 위하여 공단 자체관리선량인 연간 4 mSv를 만족하는 세부작업 당 투입인력을 계산하였다. 인수검사, 처분검사를 위한 작업투입인력은 총 25명으로 작업종사자의 예상피폭선량은 연평균 3.39 mSv으로 산출되었다. 이때, 소형용기에 대한 작업종사자의 고방사선량 작업에 따른 작업효율과 안전성 확보를 위해서는 소형용기 내부에 콘크리트 라이너의 두께를 증가시키는 추가적인 차폐가 필요할 것으로 평가되었다.

공단에서는 현재까지 비교적 낮은 선량의 잡고체 폐기물을 인수/처분하였으며 시설, 용기, 작업조건에 대하여 개별적인 선량평가를 수행해왔다. 본 연구에서는 해체 방사성 폐기물을 대상으로 다양한 형태의 신규처분용기, 작업조건,

저장시설 규격을 복합적 요소로 작업종사자에 대한 피폭선량평가를 수행함으로써 중·저준위방폐물 처분시설에서 해체 방사성폐기물에 대한 방사선 안전관리를 수립할 경우 체계적인 방호활동 조건을 제시할 수 있다. 향후 본 연구를 바탕으로 실측기반의 해체 방사성폐기물의 선원항과 특성을 활용하여 방사선작업 당 작업시간 및 투입인력을 산출함으로써 최적의 방사선작업조건을 도출한다면 해체 방사성폐기물의 안전하고 효율적인 인수/처분공정 수립이 가능할 것으로 사료된다.

Acknowledgment

This research was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP), (No. 20181510300870).

REFERENCES

- [1] Korea Radioactive Waste Agency, General Design Criteria for the radwaste inspecting building, 92-101, KORAD-TR-2016-11 (2016).
- [2] Nuclear Safety and Security Commission, Guidelines for the Operation of Low and Intermediate-Level Radioactive Waste Disposal Facilities, NSSC Notice No. 2016-26 (2016).
- [3] Korea Radioactive Waste Agency, Safety Analysis Report for Low and Intermediate Level Radioactive Waste Disposal Facility, 8559-8560 (2016).
- [4] Korea Radioactive Waste Agency, the Operating Procedure of Low and Intermediate Level Radioactive Waste Disposal Facilities – Management of Radiation Exposure Dose, Notice No. LILW-Operation-Radiation-041 (2010).
- [5] Korea Radioactive Waste Agency, the Operating Procedure of Low and Intermediate Level Radioactive Waste Disposal Facilities – Operating of As Low As Reasonably Achievable (ALARA), No. LILW-Operation-Radiation-075 (2019).
- [6] Nuclear Safety and Security Commission, Standards for Radiation Protection, etc., NSSC Notice No.2019-10 (2019).
- [7] Korea Radioactive Waste Agency, the Operating Procedure of Low and Intermediate Level Radioactive Waste Disposal Facilities – Acceptance of Radioactive Waste, Notice No. LILW-Operation-Radiation-027 (2020).
- [8] Korea Radioactive Waste Agency, the Operating Procedure of Low and Intermediate Level Radioactive Waste Disposal Facilities – Acceptance Inspection of Radioactive Waste, Notice No. LILW-Operation-Radiation-028 (2018).
- [9] Korea Radioactive Waste Agency, Safety Analysis Report for 2st Phase Low and Intermediate-Level Waste Disposal Facility on the Construction Phase, 4969-4971 (2016).
- [10] Korea Radioactive Waste Agency, Annual report of Development of Waste Package, Transportation and Disposal Containers for Decommissioning Wastes of Nuclear Power Plant (2019).
- [11] Los Alamos National Laboratory, MCNP6 Users Manual – Code Version 1.0, 15-40, LA-CP-13-00634 (2013).
- [12] OAK Ridge National Laboratory, SCALE Code System, 1561-1562, ORNL/TM-2005-39 (2016).
- [13] Los Alamos National Laboratory, RSICC Computer Code Collection MCNP6.1/MCNP5, MCNPX, 97-99, CCC-810 (2013).