

# Study on the Institutional Control Period Through the Post-drilling Scenario Of Near Surface Disposal Facility for Low and Intermediate-Level Radioactive Waste

## 중·저준위 방사성폐기물 천층처분시설에서 시추 후 거주시나리오 평가를 통한 폐쇄 후 제도적 관리기간 연구

Sung-Wook Hong\*, Jin-Baek Park, and Jung-Hyun Yoon

Korea Radioactive waste Agency, 111 Daedeok-Daero 989, Yuseong-Gu, Daejeon, Korea

홍성욱\*, 박진백, 윤정현

한국원자력환경공단, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

(Received October 2, 2013 / Revised November 11, 2013 / Approved November 18, 2013)

The public's access to the disposal facilities should be restricted during the institutional control period. Even after the institutional control period, disposal facilities should be designed to protect radiologically against inadvertent human intruders. This study is to assess the effective dose equivalent to the inadvertent intruder after the institutional control period through the GENII. The disposal unit was allocated with different kind of radioactive waste and the effects of the radiation dose to inadvertent intruder were evaluated in accordance with the institutional control period. As a result, even though there is no institutional control period, all were satisfied with the regulatory guide, except for the disposal unit with only spent filter. However, the disposal unit with only spent filter was satisfied with the regulatory guide after the institutional control period of 300 years. But the disposal unit with spent filter mixed with dry active waste could shorten the institutional control period. So the institutional control period can be reduced through the mixing the other waste with spent filter in disposal unit. Therefore, establishing an appropriate plan for the disposal unit with spent filter and other radioactive waste will be effective for radiological safety and reduction of the institutional control period, rather than increasing the institutional control period and spending costs for the maintenance and conservation for the disposal unit with only spent filter.

**Keywords:** Human intrusion assessment, Near surface disposal, GENII, Post-drilling scenario, Waste emplacement, Institutional control period

처분시설은 폐쇄 후 제도적 관리기간 동안에는 처분 부지로의 일반인의 접근을 제한하며 제도적 관리기간 이후에는 부주의한 인간침입 시에도 처분시설로 인한 방사선적 영향으로부터 침입자를 보호하도록 설계 되어야 한다. 본 논문에서는 처분시설이 부주의한 침입자에 미칠 수 있는 방사선적 영향을 GENII 프로그램을 사용하여 평가해보았다. 처분고별 적치되는 방사성폐기물의 종류를 달리하여 평가하고 제도적 관리기간 설정에 따른 침입자에 대한 영향도 분석하였다. 평가결과 제도적 관리기간을 두지 않아도 폐필터가 적치된 처분고를 제외하고 모두 성능 목표치를 만족하였다. 하지만 폐필터를 적치한 처분고의 경우 인간침입 평가결과 제도적 관리기간 300년이 되어야 성능목표를 만족할 수 있었다. 폐필터와 함께 잡고체 폐기물을 혼합하여 적치하는 경우 제도적 관리기간을 줄일 수 있었으며, 폐필터는 다른 폐기물과 함께 적치하여 제도적 관리기간을 줄이는 것이 필요하다. 폐기물 적치시 방사능을 고려하여 처분고 적치방안을 적절히 수립하는 것이 국부적인 방사능의 최대값을 줄일 수 있어 방사선적 안전성을 확보하며 제도적 관리기간을 단축할 수 있어 바람직하다.

**중심단어:** 천층처분, 인간침입평가, GENII, 시추 후 거주시나리오, 폐기물 적치, 핵종재고량, 제도적 관리기간

\*Corresponding Author.

Sung-Wook Hong, Korea Radioactive waste Agency, E-mail: heart@korad.or.kr, Tel: +82-42-601-5324

## 1. 서론

방사성폐기물이라 함은 원자력안전법에서 “방사성폐기물이란 방사성물질 또는 그에 따라 오염된 물질로서 폐기의 대상이 되는 물질(사용후핵연료를 포함한다)을 말한다.”라고 정의하고 있다[1]. 원자력안전법 시행령에서 “고준위 방사성폐기물이란 방사성폐기물 중 그 방사능 농도 및 열발생률이 「원자력안전위원회의 설치 및 운영에 관한 법률」 제 3조에 따른 원자력안전위원회가 정하는 값 이상인 방사성폐기물을 말하고, 중·저준위 방사성폐기물이란 고준위 방사성폐기물 외의 방사성폐기물을 말한다.”라고 정의하고 있다[2]. “중·저준위 방사성폐기물 처분시설”이란 중·저준위 방사성폐기물을 영구적으로 처분하기 위한 시설 및 관련 부대시설을 말한다[3].

정부는 2004년 12월 제253차 원자력위원회를 열고 중·저준위 방사성폐기물 처분시설의 우선 건설 추진, 부지 확보 절차의 민주성과 투명성 제고, 유치지역의 우선 건설 추진, 유치지역 지원의 법제화 등을 의결하였다. 이에 따라 2005년 11월 예비안전성 평가와 주민투표 등의 절차를 거쳐 경주가 최종 후보부지로 선정되었다. 그리고 2006년 1월 경상북도 경주시 양북면 봉길리 일대를 전원개발사업 예정구역으로 지정 고시하였으며, 같은 해 6월 처분방식전정위원회는 1단계 10만 드럼(총 80만 드럼) 규모의 동굴처분 방식을 결정하였다[4].

중·저준위 방폐장은 크게 천층처분과 동굴처분 방식으로 구분된다. “천층처분”이란 지표면과 가까이 천연 방벽 또는 공학적 방벽으로 폐기물을 처분하는 것(동굴처분을 포함한다)을 말한다. [5] “동굴처분”이란 암반 내 또는 지표면 하의 동굴에 천연 방벽 또는 공학적 방벽으로 폐기물을 처분하는 것을 말한다[5].

경북 경주에 동굴처분 방식으로 건설 중인 방폐장 1단계 시설 외에 2단계 시설은 천층처분 방식으로 건설될 전망이다[6]. 2단계 시설은 천층처분 방식을 채택하는 것으로 내부적으로 방침을 정하고 내년부터 4년간 일당 12만5천 드럼 규모의 2단계 사업을 추진하고 4차례에 걸쳐 50만 드럼 규모의 천층시설을 건설한다는 계획이다[6]. 천층처분시설의 방사성폐기물 처분 개념도는 Fig. 1과 같다[7].

“인간침입”이란 처분시설의 방사성폐기물 격리성능에

영향을 미쳐 방사선피폭을 야기할 수 있는 모든 인위적인 활동을 총칭한다[8].

인간침입 관련한 연구개발 현황을 살펴보면 다음과 같다. Park[9-10]은 천층처분시설의 처분제한치 설정을 위한 성능평가 방법론을 개발하였다. Park[9-10]은 설정된 천층처분 시스템과 기준 인간침입시나리오들에 대한 평가도구 GENII 프로그램을 이용한 결정론적 평가결과 및 결정론적 평가방법에서 발생하는 평가주요변수에 대한 불확실성을 평가하기 위한 확률론적 방법을 이용한 확률론적 평가를 함께 수행하였다. Park[9-10]은 핵종 별 처분제한치 결과를 중·저준위 처분시설을 운영하고 있는 외국의 처분제한치와 비교를 통하여 천층처분시설의 핵종처분 제한치 설정 방법론을 제시하였다.

처분시설은 처분된 방사성폐기물과 인간과의 접촉을 제한하기 위한 보수활동 등을 포함하는 관리가 계속되는 일정한 기간인 “제도적 관리기간”이 필요하다[8]. 적절한 제도적 관리기간을 설정하여 처분시설의 폐쇄 후, 장기적 안전성을 저해할 수 있는 환경의 변화에 대비하여 방사능누출을 방지하기 위한 처분시설의 보수, 관리활동 및 환경감시 등을 수행한다[8]. 처분시설의 제도적 관리기간 이후 인간침입에 따른 방사선 영향은 일반인에 대한 선량한도(1 mSv) 이하로 제한되어야 하며 합리적으로 가능한 한 낮추도록 설계되어야 한

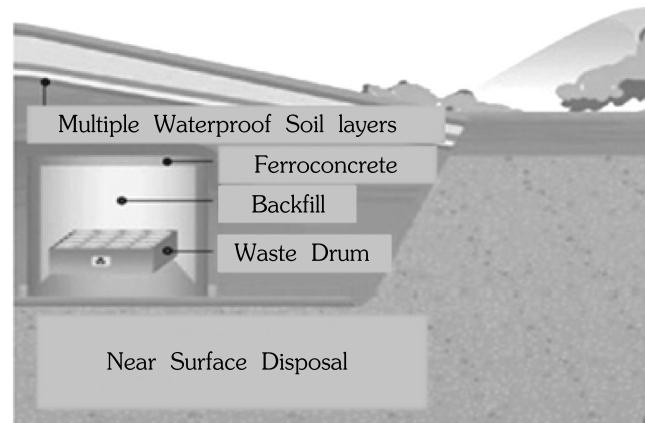


Fig. 1. Near Surface Disposal Concept.

다[8]. 본 논문에서는 제도적 관리기간에 따른 천층처분시설의 인간침입 성능평가를 수행하였다.

천층처분시설의 인간침입 성능평가에 사용된 전산코드는 동굴처분시설의 인간침입 평가시 사용한 GENII[11]이며, 방사성폐기물이 흙, 지하수, 지표수 등을 통해 인간에게 미칠 수 있는 영향에 대해 가능한 보수적인 입력자료를 통해 결정론적 평가를 수행하였다.

본 논문에서는 건설 예정인 2단계 처분시설인 천층처분시설의 인간침입 평가를 하고자 한다. 처분고에 적치되는 방사성폐기물을 단일 종류로 설정 후 제도적 관리기간 100년에 대해 평가하며, 또한 제도적 관리기간 설정에 따른 각 처분고별 부주의한 침입자에 대한 영향도 분석하고자 한다. 이후 폐기물을 단일 종류가 아닌 혼합된 적치 방안으로 구성하여 이에 따른 제도적 관리기간의 적절성을 인간침입 측면에서 평가 하고자 한다.

## 2. 시나리오 선정 및 입력자료

### 2.1 GENII 코드 개요

GENII[11] 전산코드는 토양, 대기, 물 등 다양한 피폭경로로부터 직접 피폭, 음식물 섭취, 흡입, 지표면 혹은 지상에서 대기로 누출로 인한 피폭을 다룰 수 있으며, 선원항 모델, 지하수 유동 및 이동모델, 지표수 이동 모델, 대기 중 이동 모델, 먹이사슬 및 선량 계산 모델로 구성되어있다[9-10].

선원항 모델은 시간에 따라 처분시설 외부로 누출되는 핵종의 양을 계산하는 모델이며, 침투수에 의한 공학적 방벽 파손, 고화체 용기의 시간에 따른 파손 증가, 파손된 면적으로부터 침출에 의한 시설 내 핵종이동, 주변 매질에 의한 근거리 이동 등과 같은 누출 경로를 평가한다[9-10].

지하수 유동 및 이동 모델은 보통 정상 조건에서 가장 중요한 이동 경로로, 유동의 경우에는 Darcy 법칙을, 이동의 경우에는 이류, 분산 방정식을 고려해서 설정한다. 지표수 이동 모델은 핵종의 분포-이류, 확산, 난류 혼합, 침전물과 상호작용, 방사성 붕괴 등을 포함하고, 사용 모델로는 주로 구획 모델과 이류, 확산 방정식을 사용한다[9-10].

대기 중 이동 모델은 부주의한 침입자에 의한 건설 및 경작 시나리오에서 중요하게 고려되며, 일반적으로 Gaussian-Plume 모델을 사용한다. 먹이사슬 및 선량 계산 모델에서 먹이사슬 모델은 주변 매개체의 핵종 농도를 기준으로 인간에

게 섭취되는 방사성 농도와 양을 추정한다[9-10]. GENII 평가 개념도는 Fig. 2와 같다[10].

### 2.2 시나리오 선정

시나리오는 안전성평가에서 방사성폐기물의 누출과 이동 그리고 궁극적으로 방사선영향을 추정하기 위해 사용되는 조건들의 가정된 세트를 말한다[8].

인간침입 시나리오는 시추 시나리오, 도로건설 시나리오, 시추 후 거주 시나리오, 농장 시나리오 등이 있다[10]. 언급된 각 시나리오에 대해 알아보기로 한다.

시추 시나리오는 지하수 개발을 목적으로 우물 또는 광산을 개발하기 위해 부주의한 침입자가 처분시설을 관통하여 시추를 한다는 시나리오의 개념이다. 시추를 통해 처분된 폐기물이 지표로 이동되어 토양과 섞이게 되고, 지표로 이동된 오염물질을 통해 작업자에 대한 방사선 피폭이 일어나게 된다[9]. 시추시나리오 평가 개념도는 Fig. 3과 같다[10].

도로건설 시나리오는 부주의한 침입자가 처분시설 상부에 도로를 건설한다는 시나리오의 개념이다. 이때 처분 부지 내의 가장 긴 거리를 가로질러 도로가 건설된다고 가정하며, 이 시나리오는 대규모의 도로건설뿐만 아니라 작은 규모의 수로건설이나 건물건설을 포함한다. 작업자는 도로 건설 기간 동안 흡입과 오염된 토양으로부터 방사선 피폭이 일어나게 된다. 도로건설시 굴착 깊이는 2.5~3 m에 해당된다고 보았다[10]. 도로건설 시나리오 개념도는 Fig. 4와 같다[10].

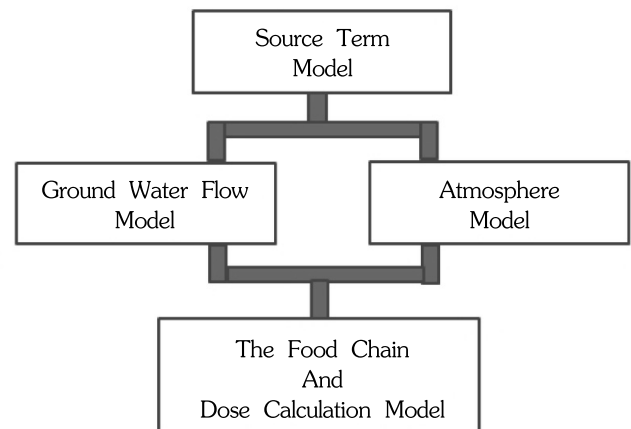


Fig. 2. GENII Evaluation Concept.

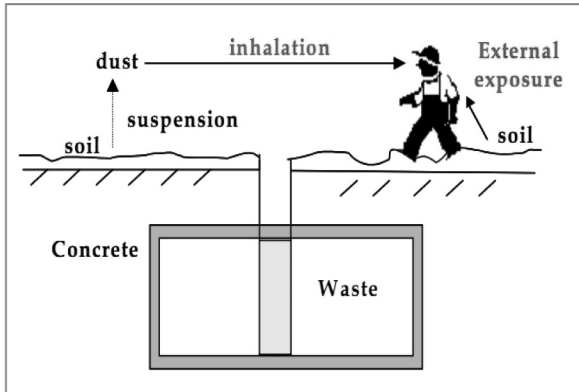


Fig. 3. Near Surface Disposal Human Intrusion Scenario Assessment Concept : Drilling Scenario.

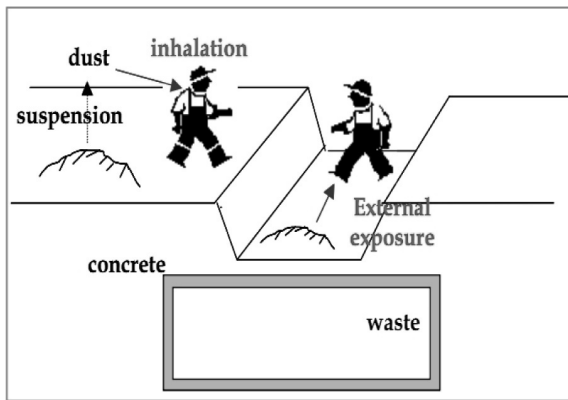


Fig. 4. Near Surface Disposal Human Intrusion Scenario Assessment Concept : Road Construction Scenario.

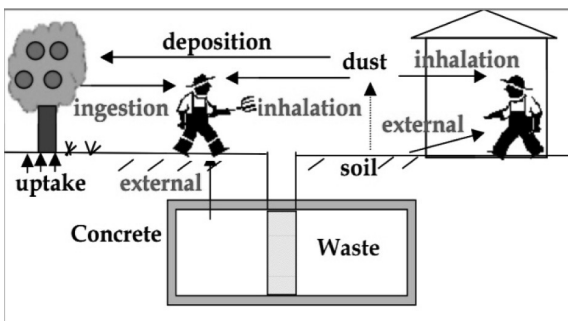


Fig. 5. Near Surface Disposal Human Intrusion Scenario Assessment Concept : Post-drilling Scenario.

시추 후 거주 시나리오는 제도적 관리기간 이후 자원의 개발 또는 지질 조사의 목적으로 처분시설의 존재를 알지 못하는 자가 시추한 시추공이 처분고를 관통하고 시추 작업으로 방사성폐기물이 시추한 코어의 직경과 폐기물 처분고 내의 높이만큼의 폐기물양이 원계지역에서의 핵종이동이 일어나지 않고 직접 생태계로 유출이 되는 시나리오이다. 유출된 양에 따라 시추부지 내에서 장기간 거주를 목적으로 하는 주민에게 방사선 피폭이 발생한다. 시추 작업시에 폐기물과 섞여 오염된 토양이 지표에 유포되어 먼지형태로 공기중에 부유하게 되고 인간의 호흡에 의한 피폭이 발생하며, 시추 작업 시 방사성폐기물에 오염된 토양으로 농작물을 정원이나 농지에 경작하여 섭취하거나 이 작물을 먹고 자란 가축들을 다시 인간이 섭취함으로써 먹이사슬에 의한 피폭이 발생하는 시나리오이다[10]. 시추 후 거주시나리오 개념도는 Fig. 5 와 같다[10].

농장 시나리오는 제도적 관리기간 이후 처분시설의 인위적인 침투는 일어나지 않으며 뿌리식물이 처분시설을 관통한다는 가정이다. 농장 운영을 위해 곡물재배, 가축사육과 관련 음식(고기, 우유, 달걀 등)의 섭취가 이루어지며 실외에서 오염된 공기의 흡입과 직접피폭이 일어난다. 가축 사육이 가능할 정도로 넓은 20,000 m<sup>2</sup>의 지역의 생태계를 가정하며 섭취하는 채소 및 과일의 25%와 고기, 우유와 달걀은 전량이 지역에서 얻어진 음식을 섭취한다고 가정한다[10]. 농장시나리오 개념도는 Fig. 6과 같다[10].

인간침입 시나리오 중 폐기물 처분 깊이 및 처분시설 유

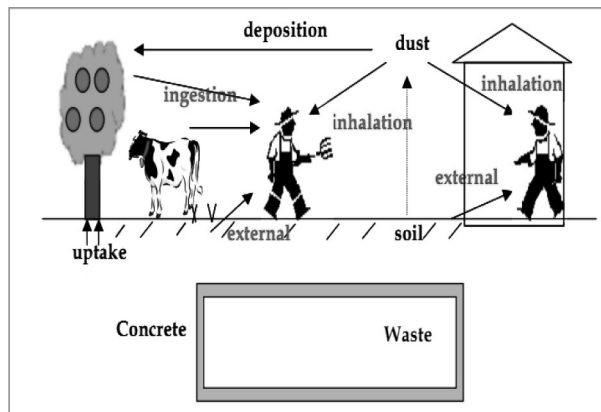


Fig. 6. Near Surface Disposal Human Intrusion Scenario Assessment Concept : Farming Scenario.

형과 상관없이 적용 가능한 시나리오는 시추 시나리오 및 시추 후 거주 시나리오이다. 본 논문에서는 두 시나리오 중 시추 후 거주 시나리오가 시추 시나리오보다 더 보수적인 평가가 가능하므로 천층처분시설에 대한 부주의한 인간침입 시나리오로 설정하여 방사선적 영향을 평가하였다[12-13].

### 2.3 평가 입력자료

처분된 방사성폐기물과 인간과의 접촉을 제한하기 위한 보수활동 등을 포함하는 관리가 계속되는 제도적 관리기간 [8은 중·저준위 방사성폐기물 처분시설 안전성분석보고서에 제시된 100년으로 설정하고[14] 처분고별 핵종재고량은 중·저준위 방사성폐기물 인도 규정의 농도 규명대상인 14개 핵종을 대상으로 평가하였다[15].

시추 작업 시 지표로 이동된 폐기물은 지표토양에 희석되어 지표토양을 오염시키며, 이 지역에 거주하는 주민들에게 직간접적인 피폭선원의 역할을 하게 된다. 오염된 공기의 흡입에 의한 피폭과 지표토양으로부터의 직접피폭 그리고 오염된 토양에서 농작물을 경작하여 섭취하는 오염된 음식물의 섭취에 의한 내부피폭을 피폭경로로 들 수 있다. 시추를 통해 지표로 이동된 토양에 희석된 폐기물은 2,500 m<sup>2</sup>의 지역에 분포되어 있으며, 고려된 오염 지역은 가축의 사육을 고려할 정도로 크지 않다. 또한 농작물에서 섭취는 근채류, 엽채류, 과일류에 대해 고려하였다[14].

천층처분 시추 후 거주 시나리오에 대한 폐기물로부터

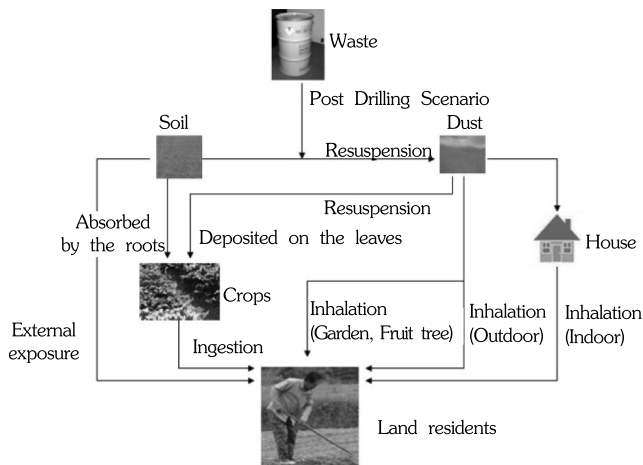


Fig. 7. Near Surface Disposal Post Drilling Scenario : Exposure Pathway Concept.

피폭경로까지 고려한 개념도는 Fig. 7과 같다. 시추 작업 시 폐기물과 지표가 섞여 토양이 오염되게 된다. 부지 거주자가 만든 정원이나 농지의 경작물의 뿌리는 오염된 토양으로부터 방사성 물질을 흡수한다. 이러한 농작물을 섭취하게 되어 내부피폭이 발생하게 된다. 또한 오염된 토양에서 근처에 있을 때 외부피폭이 발생한다. 오염된 토양이 먼지 형태로 공기중에 부유되어 농작물의 잎에 침적되어 이러한 농작물을 섭취하므로 내부피폭이 발생되거나 외부활동시 이 먼지를 흡입함으로써 내부피폭이 발생된다. 또한 오염된 토양으로부터 부유된 먼지가 주택으로 들어가게 되며 실내에서 이 먼지를 흡입하여 내부피폭이 발생하게 된다. 천층처분시설의 시추 후 거주 시나리오 피폭 경로 모델은 Fig. 7과 같다.

현재 설계 고려 중인 처분고 구조물 현황은 Fig. 8과 같다[16].

200 L 용기 기준으로는 층별로 누수방지 및 안전성을 위하여 갈라진 틈등에 충전재를 주입하는 그라우팅을 10 cm로 실시하고 9단 정치를 하는 경우 한 단에 710개가 들어가며, 처분고당 6,390개를 적치할 수 있다[16]. 현재 2단계 처분시설에 대한 적치방안은 정해진 것이 없으므로 저자가 직접 정치계획을 설정하여 평가하여 보았다. 정치계획은 Table 1과 같다.

적치 방안에 대한 적절성을 판단하기 위하여 처분고마다 각각 다른 폐기물 종류를 넣어 어느 폐기물이 인간침입 평가결과에 민감하게 반응하는지 살펴보았다.

1단계 처분시설용 핵종재고량 평가 결과[17]를 활용하여

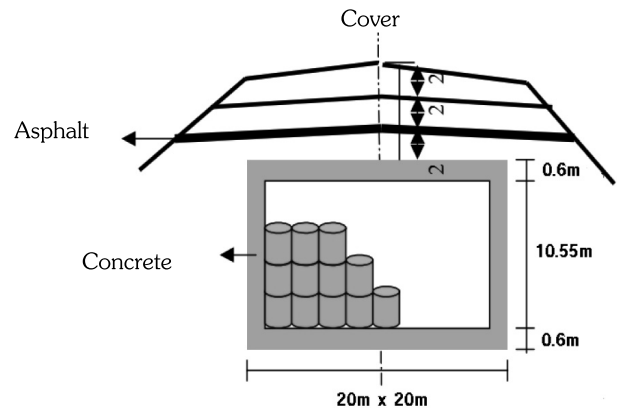


Fig. 8. Near Surface Disposal Facility Concept.

저자가 직접 산출한 처분고별 방사성 핵종 농도는 Table 2와 같다.

지표로 이동된 폐기물이 가정된 지역에 골고루 뿌려질 때, 그 두께인 토양재분배인자(manual redistribution factor) 값은 처분고 내부 폐기물이 시추 시에 지표면으로 이동된 폐기물이 지표 토양에 섞여서 2,500 m<sup>2</sup>의 면적에 퍼져 있다고

설정하였다[13].

광공업에서 시추조사를 통하여 시료를 획득시 Core Drilling에 의한 방법을 이용한다. 이 때 Drilling에 사용되는 Core 종류별 Core 절삭면적과 채취단면적비는 Table 3과 같다[18]. 국내외 암반시추에 적용되는 탐사 목적으로 사용되는 Core 직경이 가장 큰 HQ 또는 PQ를 사용한다고 고려하

Table 1. Emplacement Plan per Disposal Unit

Disposal Unit	Waste Type	Emplacement Plan
1	Spent Resin	3834 Cement Containers(200ℓ) 2556 Dry Containers(200ℓ)
2	Waste Concentrate	5049 Cement Containers(200ℓ) 1341 Solidification Containers(200ℓ)
3	Spent Filter	5304 Concrete Lining Containers(200ℓ) 1086 Heavy-Water Reactor Concrete Lining Containers (200ℓ)
4	Dry Active Waste	6007 General Containers(200ℓ) 383 Heavy-Water Reactor General Containers (200ℓ)

Table 2. Radioactivity Concentration per Disposal Unit (Unit :Ci/m<sup>3</sup>)

Nuclide	Disposal Unit 1 [Spent Resin]	Disposal Unit 2 [Waste Concentrate]	Disposal Unit 3 [Spent Filter]	Disposal Unit 4 [Dry Active Waste]
<sup>3</sup> H	4.2E-03	2.9E+ 00	4.4E-01	2.4E-01
<sup>14</sup> C	3.1E-02	2.7E-02	2.8E-01	2.1E-04
<sup>55</sup> Fe	1.2E+ 00	2.7E-01	6.2E+ 01	4.8E-03
<sup>58</sup> Co	4.4E-01	7.0E-02	3.3E-01	3.9E-03
<sup>60</sup> Co	1.2E+ 00	5.7E-02	4.2E+ 00	1.8E-03
<sup>59</sup> Ni	3.6E-02	3.5E-03	2.7E-02	2.4E-03
<sup>63</sup> Ni	8.6E-01	3.8E-01	1.1E+ 00	1.0E-02
<sup>90</sup> Sr	6.9E-05	1.3E-04	4.1E-02	6.9E-06
<sup>94</sup> Nb	3.0E-06	2.3E-05	1.3E-04	3.6E-06
<sup>99</sup> Tc	1.3E-05	9.4E-04	2.2E-03	1.3E-06
<sup>129</sup> I	1.2E-08	1.5E-07	1.3E-05	3.0E-08
<sup>137</sup> Cs	8.6E-02	1.5E-02	3.0E-01	6.9E-05
<sup>144</sup> Ce	4.4E-04	1.5E-04	5.6E-03	1.2E-05
Total Alpha	2.8E-05	2.7E-05	9.4E-04	3.4E-05
Total	3.96E+ 00	3.72E+ 00	6.85E+ 01	2.64E-01

여 시추 시 직경 10 cm의 시추공을 사용하는 것으로 가정하였으며[14], 처분고에서의 폐기물의 높이는 9.35 m이다[16]. 직경 10 cm의 시추공으로 처분고내 폐기물 두께가 9.35 m로 시추시 총 폐기물 부피는 0.07343 m<sup>3</sup>이며 이를 2,500 m<sup>2</sup>의 면적에 골고루 퍼져있다고 보면 토양재분배인자(MRF) 0.07343 / 2,500=2.94E-05 이다. 처분고를 0.6 m 두께의 콘크리트가 둘러싸고 있으며 상부에는 6 m의 덮개가 둘러 쌓여있으며[16] 처분고 폐쇄 후 100년 동안 2 m의 상부토양이 소실되어 4 m의 두께가 적용된다고 보았다[10].

오염된 지표 토양으로부터 발생하는 외부피폭시간은 실내에서는 4,380시간을 실외에서는 1,800시간을 가정하였다 [13]. 실외피폭은 차폐 없이 발생하며, 실내에서는 주택에 의한 차폐를 고려하여 차폐효과를 0.33으로 가정하였다[13]. 오염된 공기와 오염된 지표 토양으로부터 발생할 수 있는 주민들의 거주 시 외부피폭은 실외에서 연간 1,800시간과 실내에서 연간 4,380시간에 차폐를 고려하여 연간 3,245시간 (1800 hr/yr + 0.33X4380 hr/yr) 동안 일어나는 것으로 보았다[13].

연간 흡입에 의한 피폭은 주어진 오염먼지의 농도와 흡입 시간을 고려하여 설정하였다. 먼지의 흡입계수(g/m<sup>3</sup>)는 대기 중 오염된 먼지의 농도로 정의된다. 농작물 관련 일을 하면서 연간 100시간 동안 5x10<sup>-4</sup> g/m<sup>3</sup>의 흡입을 하며[13], 일상적인 외부활동으로 연간 1,700시간 동안 1x10<sup>-4</sup> g/m<sup>3</sup>의 먼지를 흡입하고[13], 실내에서 연간 4,380시간 동안 5x10<sup>-5</sup> g/m<sup>3</sup>의 먼지를 흡입한다[13]. 농작물 일, 일상적인 외부활동, 실내에서 흡입을 모두 고려하면 연간 4,390시간 동안 1x10<sup>-4</sup> g/m<sup>3</sup>의 먼지를 흡입하는 것과 동일하다. 즉, 연간 4,390시간 동안 1x10<sup>-4</sup> g/m<sup>3</sup>로 오염된 공기를 흡입하는 것으로 설정하였다[13-14].

Table 3. Cutting area and Sampling Area Ratio about Core (Unit : mm<sup>2</sup>)

Item	Core Diameter (mm)	Core cross sectional areas	Cutting area	Sampling Area Ratio (%)
PQ	84.93	5662.29	6142.63	47.79
HQ	63.5	3165.32	4438.58	42.63
NQ	47.62	1780.12	2732.59	39.45
NQ-2	50.7	2001.95	2510.76	44.36
BQ	36.51	1046.39	1772.08	37.13

엽채, 근채, 과일류의 농작물 섭취율은 한국수력원자력, 신월성 1,2호기 운영허가용 방사선환경영향평가서(2011)의 최대값을 보수적으로 적용하여 농작물 섭취량은 연간 132.9 kg(엽채류), 87.1 kg(뿌리작물), 176.5 kg(과일)을 섭취한다고 보았다[19].

위에서 언급된 각종 입력 파라미터에 대해 Table 4에 정리하였다.

### 3. 시추 후 거주 시나리오에 대한 인간침입 평가

앞서 언급한 입력자료를 가지고 시추 후 거주 시나리오에 대한 침입자 영향 평가를 GENII 코드를 가지고 수행하였다. 처분고별 핵종재고량과 처분고 특성을 고려하여 제도적 관리기간 100년 후에 시추 후 거주가 발생한다고 평가하였다.

Table 5는 제도적 관리기간이 100년 일 때 처분고별 개인 최대 피폭선량을 나타내었다.

처분고 3을 제외하고 모든 처분고가 성능목표치인 1 mSv/yr를 만족하였다. 폐필터가 적치된 처분고 3에서 가장

Table 4. Input Parameters

Fraction of roots in upper soil	0.99
Fraction of roots in deep soil	0.01
Manual Redistribution Factor	2.94E-05
Core Diameter	10 cm
Waste Height	9.35m
Vault depth	0.6m
Upper Cover depth of Vault	6m
Annual Radiation Exposure Hour of Inhalation	4,390 hr
Inhalation Mass Loading factor	1E-4g/m <sup>3</sup>
Plume External Radiation Exposure hour	3,245 hr
Contaminated Soil External Radiation Exposure hour	3,245 hr
Ingestion - green vegetable	132.9kg
Ingestion - Root Crops	87.1kg
Ingestion - Fruit	176.5kg

높은 개인최대 피폭선량을 나타내며 잡고체의 경우 다른 처분고에 비해 상대적으로 낮은 개인최대 피폭선량을 나타내었다. 처분고별 초기 방사성 핵종 농도가 폐필터가 가장 높았으며 잡고체의 경우는 초기 방사성 핵종 농도가 가장 낮았으므로 초기 방사성 핵종 농도에 따라 이러한 결과가 나타났음을 알 수 있다. 처분고 3가 다른 처분고에 비해 초기 방사성 핵종 농도가 약 20~260배 차이가 나기 때문이다. 폐필터가 포함된 처분고 3에 대해서는 제도적 관리기간의 변경 혹은 폐필터 폐기물을 다른 폐기물과 함께 적치 하는 것을 고려해야 한다.

#### 4. 제도적 관리기간에 따른 인간침입 영향 평가

제도적 관리기간 없이 폐쇄 후 바로 인간침입이 이루어진 경우 개인최대피폭선량에 대해 평가해보았다. 그 결과는 Table 6과 같다. 처분고 3을 제외하고 폐쇄 후 제도적 관리

Table 5. Effective Dose Equivalent per Disposal Unit (Institutional Control Period 100 Year)

Disposal Unit	Waste Type	Effective Dose Equivalent (mSv/yr)	Regulatory Guide (1.0 mSv/yr)
1	Spent Resin	1.03E-01	Satisfied
2	Waste Concentrate	4.43E-01	Satisfied
3	Spent Filter	2.24E+00	Unsatisfied
4	Dry Active Waste	1.99E-03	Satisfied

Table 6. Effective Dose Equivalent per Disposal Unit (Institutional Control Period 0 Year)

Disposal Unit	Waste Type	Effective Dose Equivalent (mSv/yr)	Regulatory Guide (1.0 mSv/yr)
1	Spent Resin	3.69E-01	Satisfied
2	Waste Concentrate	5.39E-01	Satisfied
3	Spent Filter	1.40E+01	Unsatisfied
4	Dry Active Waste	4.96E-03	Satisfied

기간 없이 인간침입이 이루어져도 성능목표치인 1 mSv를 만족하였다.

처분고 3에 대해서는 위 결과에서 알 수 있듯이 제도적 관리기간 100년 뿐만 아니라 0년, 즉 제도적 관리기간을 설정하지 않은 경우에도 만족하지 않음을 알 수 있다. 따라서 처분고 3에 대해서 제도적 관리기간을 얼마나 설정해야 하는지 살펴보고자 한다. 각각의 설정된 제도적 관리기간이 끝난 후 바로 인간침입이 이루어진다고 보았다. Table 7의 결과를 보면 제도적 관리기간 250년까지 성능목표치를 불만족하였다. 하지만 제도적 관리기간 300년부터는 비로소 성능 목표치를 만족하는 것을 알 수 있었다.

처분고 3의 결과를 제외하고는 제도적 관리기간을 길게 가져갈 필요가 없었다. 하지만 처분고 3에 대한 결과를 고려해 볼 때 폐필터가 포함된 처분고의 경우는 제도적 관리기간을 300년 이상 가져가야만 했다. 제도적 관리기간 동안에는 방사능누출을 방지하기 위한 처분시설의 보수, 관리활동 및 환경감시 등을 수행해야 하므로 이에 따른 경제적 비용이 수반되게 된다. 따라서 300년 까지 제도적 관리기간을 늘리기 보다는 폐기물 적치시 폐필터가 포함된 폐기물은 다른 종류의 폐기물과 함께 두어 가능한 제도적 관리기간을 줄이는 것이 적절하다고 판단된다.

Table 7. Effective Dose Equivalent Disposal Unit 3 (Spent Filter)

Institutional Control Period (year)	Effective Dose Equivalent (mSv/yr)	Regulatory Guide (1.0 mSv/yr)
0	1.40E+01	Unsatisfied
50	5.12E+00	Unsatisfied
100	2.24E+00	Unsatisfied
150	1.38E+00	Unsatisfied
200	1.12E+00	Unsatisfied
250	1.02E+00	Unsatisfied
300	9.93E-01	Satisfied
350	9.80E-01	Satisfied
400	9.73E-01	Satisfied
450	9.69E-01	Satisfied
500	9.66E-01	Satisfied



Table 8. Emplacement Plan Considering Evaluation Result

Disposal Unit	Waste Type	Emplacement Plan
5	Spent Filter + Dry Active Waste	1700 Concrete Lining Containers(200ℓ) 300 Heavy-Water Reactor Concrete Lining Containers(200ℓ) 4190 General Containers(200ℓ) 200 Heavy-Water Reactor General Containers(200ℓ)

## 5. 혼합된 적치 방안의 구성 및 이에 따른 제도적 관리기간의 적절성 분석

처분고 3는 인간침입 평가결과 가장 높은 개인최대피폭선량을 나타내고 처분고 4는 가장 낮은 개인최대피폭선량을 나타낸다. 이를 바탕으로 처분고 3의 폐기물인 폐필터와 같이 혼합할 폐기물은 처분고 4에 있는 잡고체를 설정하였다. 폐필터의 드럼 수를 약 1/3로 줄이고 나머지 드럼수는 잡고체 폐기물로 처분고 5로 구성하였다. 혼합된 적치방안은

Table 8과 같다. 이에 따른 핵종별 농도는 Table 9와 같다.

처분고 5의 인간침입 평가결과 제도적 관리기간을 72년을 하였을 때 1.01 mSv, 73년으로 하였을 때 9.91E-01 mSv의 결과를 나타내었다. 73년이면 인간침입에 대한 성능 목표치를 만족함을 알 수 있었다. 앞서 처분고 3의 제도적 관리기간이 300년이나 필요한 것과는 대조적이다. 폐필터 폐기물만 적치 하는 것보다 다른 폐기물과 함께 적치하는 것이 제도적 관리기간을 단축시킬 수 있어 유지보수 비용 절감 측면에서 바람직하다.

Table 9. Radioactivity Concentration per Mixed Disposal Unit (Unit : Ci/m<sup>3</sup>)

Nuclide	Disposal Unit 5 [Spent Filter + Dry Active Waste]
<sup>3</sup> H	2.6E-01
<sup>14</sup> C	8.7E-02
<sup>55</sup> Fe	1.7E+01
<sup>58</sup> Co	1.0E-01
<sup>60</sup> Co	1.2E+00
<sup>59</sup> Ni	9.3E-03
<sup>63</sup> Ni	3.7E-01
<sup>90</sup> Sr	1.2E-02
<sup>94</sup> Nb	4.1E-05
<sup>99</sup> Tc	6.8E-04
<sup>129</sup> I	4.0E-06
<sup>137</sup> Cs	8.7E-02
<sup>144</sup> Ce	1.8E-03
Total Alpha	3.0E-04
Total	1.94E+01

## 6. 결론

경주시 양북면 봉길리 일대 2단계 처분시설로 예정되어 있는 친층처분시설의 인간침입 평가를 수행하였다. 여러 가지 시나리오 중 폐기물 처분깊이 및 처분시설 유형과 상관없이 적용이 가능한 시추 후 거주시나리오에 대해서 평가하였다. 국내 발전소별 폐기물에 대한 핵종재고량 평가 결과를 가지고 처분고별 핵종재고량을 산정하였다. 또한 처분고별로 각각의 폐기물만 적치하여 이에 따른 영향을 살펴보고자 하였다. 제도적 관리기간을 두지 않아도 폐필터가 적치된 처분고 3를 제외하고 모두 성능 목표치를 만족하였다. 하지만 폐필터를 적치한 처분고 3에서는 현재 안전성분석보고서에 제시되어 있는 제도적 관리기간 100년도 만족시키지 못하였다. 처분고 3에 대한 제도적 관리기간에 대한 인간침입 평가결과 300년이 되어야 비로소 성능목표치를 만족할 수 있었다. 하지만 폐필터와 잡고체를 함께 적치시 제도적 관리기간이 73년만 되어도 성능 목표치를 만족함을 알 수 있었다. 폐필터는 다른 폐기물과 함께 적치하여 제도적 관리기간을 줄이는 것이 필요하다. 폐기물 적치시 방사능을 고려하여 처분고 적치방안을 적절히 수립하는 것이 국부적인 방사능의 최대값을 줄일 수 있어 방사선적 안전성을 확보하며 제도적 관리기간을 단축할 수 있어 바람직하다.

## REFERENCES

- [1] Nuclear Safety Act No. 11715 Article 2 (Definitions), NSSC (2011).
- [2] Enforcement Decree of the Nuclear Safety Act, No 23248, Article 2 (Definitions), NSSC (2011).
- [3] Supporting Law for the Region that has Low and Intermediate-Level Radioactive Waste Disposal Facility, Ministry of Trade, Industry and Energy (2011).
- [4] Ministry of Education and Science Technology, a white book of nuclear, pp. 215-216 (2010).
- [5] Notice of NSSC, No. 2012-50, Technical Standards for the Location of Low- and Intermediate-Level Radioactive Waste Disposal Facilities (2012).
- [6] "KORAD 2nd Disposal Facility is Near Surface Type", YONHAPNEWS, 2010. 10. 21, <http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=101&oid=001&aid=0004719195>
- [7] "Export Both Nuclear Power Plant And Technology Managing Radioactive Waste", EDAILY 2010.11.16, <http://www.edaily.co.kr/news/NewsRead.edy?newsid=02240246593166376&SCD=&DCD=A00105>
- [8] Notice of NSSC, No 2012-55, "Radiological Protection Criteria for Long-term Safety on Low- and Intermediate-Level Radioactive Waste Disposal" (2012).
- [9] J.B. Park, J.W. Park, E.Y. Lee, and C.L. Kim, "Statistical Approach For Derivation of Quantitative Acceptance Criteria For Radioactive Wastes To Near Surface Disposal Facility", J. of Korean Nuclear Society, 35(5), pp.387-398 (2003).
- [10] J.B. Park, S.M. Park, J.W. Park, E.Y. Lee, C.G. Lee, and C.L. Kim, "Quantitative Acceptance Criteria For Radioactive Wastes To Near Surface Disposal Facility", KHNP, Technical Report, TR.01NC03.C2003.2.
- [11] B. A. Napier, R.A. Peloquin, D. L. Streng, and J. V. Ramsdell, "GENII-The Hanford Experimental Radiation Dosimetry Software System, Volume 1: Conceptual Representation", PNL-6584 Vol. 1 (1988).
- [12] W. E. Kennedy and R. A. Peloquin, "Intruder Scenarios for Specific Low-Level Radioactive Waste Classification" DOE/LLW-71T.4 (1998).
- [13] R. L. Aaberg, W. E. Kenenedy, and V. W. Thomas, "Definition of Intrusion Scenarios and Example Concentration Ranges for the Disposal of Near-surface Waste at the Hanford Site" PNL-631 (1990).
- [14] KORAD, "Low and Intermediate-Level Radioactive Disposal Facility Safety Analysis Report" (2010).
- [15] Notice of NSSC, No 2012-55, "Acceptance Criteria for Low- and Intermediate-Level Radioactive Waste" (2013).
- [16] KORAD, "Low and Intermediate-Level Radioactive 2nd Disposal Facility Construction of the Basic Design Report" (2013).
- [17] KORAD, "1st Disposal Facility Waste Inventory Revaluation Report (Revision 2)"(2013).
- [18] Drilling Survey Planning Institute of the Editorial Board, "Comparative Analysis of Core Drilling and Drilling Investigations in the R / C Drilling. Journal of drilling survey" (2006).
- [19] KHNP, "Sinwolsung 1,2 Unit Radiation Environmental Impact Assessment for Operating Permit" (2011)