

## GoldSim을 이용한 중저준위 방사성폐기물 천층처분장 기준모델의 핵종누출 평가

김태형, 박경호, 김원직, 박재우

제주대학교, 제주특별자치도 제주시 아라일동 1 제주대학교 에너지공학과

kimth@icjunu.ac.kr

### 1. 서론

GoldSim은 미국 GoldSim Technology Group LLC에 의해 개발, 상용화된 범용 유동 해석 시뮬레이션 패키지로 그래픽 유저 인터페이스(GUI)와 객체지향(Object-oriented) 프로그래밍방식을 사용하기 때문에 손쉽게 유동이 존재하는 시스템을 모사할 수 있다.[1] GoldSim은 기존에 처분 안전성 평가에 광범위하게 사용된 AMBER와는 다르게 처분안전성을 평가함에 있어 지하 핵종 이동 모델과 생태계 모델을 따로 계산할 필요없이 처분고에서 인간생활권까지의 시스템 전체를 하나의 모델로 평가할 수 있다. 이러한 장점으로 인해 GoldSim은 국내외적으로 활용 폭이 확대되고 있으며, 특히 방사성 폐기물 처분 안전성 평가에 널리 사용되고 있는 시뮬레이션 프로그램이다.

본 연구에서는 IAEA에서 천층처분 기준모델인 Vault test case에 대하여 GoldSim을 이용하여 구현하였으며, 처분장 폐쇄후 처분고에서 인간생활권까지의 핵종누출에 대한 평가를 진행하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 고려한 천층처분장 모델

핵종누출 평가를 위해서 IAEA 기준모델 중 Vault case인 South Africa의 Vaalputs에 위치한 천층처분장을 대상으로 하였다. GoldSim의 구현에 필요한 처분고의 제원 및 부지특성에 관한 자료는 IAEA 발간물을 참고하였다.[2] 고려된 기준 처분장은 지표상에 격납건물이 위치하고 근지표층에 폐기물 드럼이 매몰된다. 처분장에는 총 20개의 콘크리트 처분고가 존재하며, 750,000드럼의 폐기물이 처분될 예정이다. 하나의 처분고에는 21.1 m(W) X 83.6 m(L) X 10 m(H) 크기를 가지며 37,500 드럼이 저장된다. Fig.1.은 Vault test case에 대한 처분고의 제원과 폐기물의 저장방식을 보여준다. 콘크리트 처분고에 저장된 방사성폐기물은 장시간 경과 후 지하수에 용해되어 콘크리트 처분고에서 누출되게 된다. 누출된 방사성핵종은 4종

의 불포화대 (Red sand, Brown sand, White kaolinite, Weathered granite)를 거쳐 포화대를 지나 최종적으로 생태계인 우물로 이동하도록 설계하였다. Fig. 2.은 처분장 지층의 구성도를 보여준다.

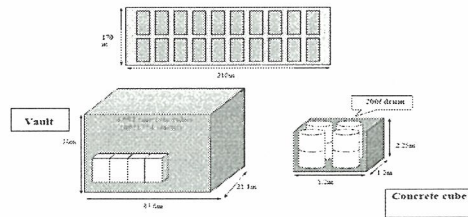


Fig. 1. Proposed waste system dimensions for the Vault test case.

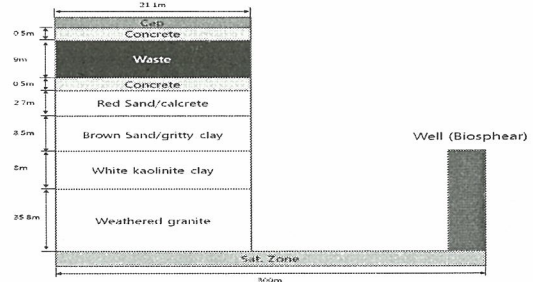


Fig. 2. Computational model for disposal repository

#### 2.2 평가

인공방벽인 처분고는 시설이 폐쇄된 후 500년에 완전 파괴된다는 가정 하에 평가를 수행하였다. 또한, 500년이 경과한 후 외부로부터 처분고 내로 유입되는 물의 침투율은 0.018 m/yr으로 가정하였으며, 분석에 사용된 방사성 핵종은 총 14종으로 방사성 붕괴사슬과 딸핵종의 생성을 고려하여 평가하였다. Table 1.는 GoldSim 구현에 사용된 핵종별 초기재고량이다. 인공방벽으로부터 누출된 핵종은 4종의 각기 다른 불포화대를 통과해 포화대를 지난다. 포화대에서 지하수 유동은 균열을 통한 흐름이며, 본 모델에서는 이러한 균열을 하나의 유동관으로 표현하였다. 이 때, 이

유동관을 통한 지하수량은 1,212 m<sup>3</sup>/yr 이다. 실제로 우물을 통해 유입되는 지하수의 총량이 8,300 m<sup>3</sup>/yr 임을 감안하면, 나머지 7,088 m<sup>3</sup>/yr는 오염되지 않은 지하수량이다. 본 연구에서는 위에서 열거한 여러 가정들을 종합하여 모사에 적용하고 각 영역으로부터 핵종누출을 평가하기 위하여 시간에 따른 핵종누출률(Flux)을 평가하였다.

Table 1. Radionuclides inventory at time of repository closure, and decay chains considered.

Element	Inventory(Bq)	Daughters
<sup>3</sup> H	1.0E+15	
<sup>14</sup> C	1.0E+13	
<sup>59</sup> Ni	2.0E+10	
<sup>63</sup> Ni	1.0E+15	
<sup>90</sup> Sr	1.0E+14	
<sup>99</sup> Tc	3.0E+10	
<sup>129</sup> I	6.0E+09	
<sup>137</sup> Cs	8.0E+15	
<sup>234</sup> U	5.0E+10	<sup>230</sup> Th- <sup>226</sup> Ra- <sup>210</sup> Pb- <sup>210</sup> Po
<sup>238</sup> U	5.0E+10	<sup>234</sup> U- <sup>230</sup> Th- <sup>226</sup> Ra- <sup>210</sup> Pb- <sup>210</sup> Po
<sup>238</sup> Pu	2.0E+10	<sup>234</sup> U- <sup>230</sup> Th- <sup>226</sup> Ra- <sup>210</sup> Pb- <sup>210</sup> Po
<sup>239</sup> Pu	3.0E+10	<sup>235</sup> U- <sup>231</sup> Pa- <sup>227</sup> Ac
<sup>241</sup> Pu	3.0E+10	<sup>241</sup> Am- <sup>237</sup> Np- <sup>233</sup> Pa- <sup>233</sup> U- <sup>229</sup> Th
<sup>241</sup> Am	2.0E+10	<sup>237</sup> Np- <sup>233</sup> Pa- <sup>233</sup> U- <sup>229</sup> Th

### 2.3 결과 및 고찰

GoldSim 에서는 모든 이동 경로에 대해서 핵종누출률을 계산할 수 있으나, 여기에서는 대표적 관심대상인 처분고에서 불포화대로의 핵종 이동과 포화대에서 우물로의 핵종이동에 대한 결과를 제시하였다.

Fig.3.는 처분고로부터 불포화대(red sand)로의 핵종유출률(flux)를 보여준다. 폐쇄 후 500년이 지난 후 방사성핵종이 처분고로부터 빠져나오게 되는데 반감기가 비교적 짧은 <sup>3</sup>H, <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs는 약 2000년경 유출되는 양이 거의 없음을 알 수 있다. 붕괴에 의해 생성된 actinide 딸핵종들이 모핵종에 비해 천천히 장시간 누출됨을 확인할 수 있다. Fig.4.은 포화대에서 우물로의 핵종유입률을 보여준다. <sup>129</sup>I, <sup>99</sup>Tc, <sup>238</sup>U 등과 같은 장수명의 분배계수가 낮은 핵종이 전체 농도를 주도함을 알 수 있다. 처분고에서 불포화대로 누출이 확인됐으나 포화대에서 우물로 유출되지 않은 <sup>237</sup>Np, <sup>239</sup>Pu, <sup>233</sup>Pa 등의 몇몇 핵종들은 타 핵종에 비해 상대적으로 분배계수가 높아서 지층에 잔류한 것으로 보인다.

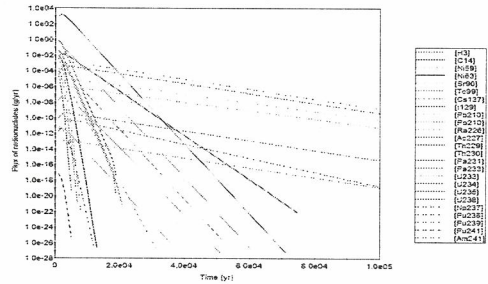


Fig. 3. Flux of radionuclides moving from the repository to the unsaturated zone.

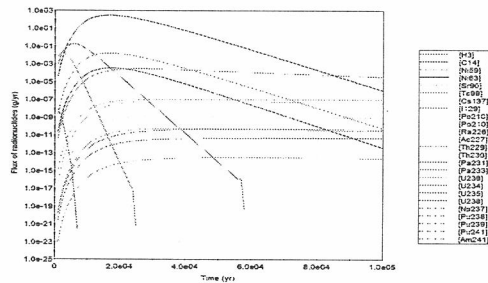


Fig. 4. Flux of radionuclides moving from the saturated zone to the well.

### 3. 결론

본 연구는 IAEA의 천층처분 기준모델 중 Valut case를 모델로 삼아서 GoldSim코드로 방사성 핵종 누출량을 평가하였다. 이를 통해 처분장에서 인간생활권에 이르기까지의 기본 경로 대하여 방사성핵종별로 누출률을 확인하였다. 향후에 처분고로부터 유출된 방사성 핵종이 인간에게 미치는 방사선적 영향을 평가하기 위한 기초 자료로 활용 될 것으로 기대된다.

### 4. 참고문헌

- [1] GoldSim Contaminant Transport Module User's Guide Ver.5, 2009.
- [2] Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities vol.2, IAEA publication, 2004.