

영광지역 특성자료를 적용한 매립 자체처분 피폭선량 평가

Dose assessment applied with the specific data of Young-gwang area for clearance by landfill

임용규, 이지훈, 양호연, 신상운
원자력환경기술원

요 약

매립은 원자력이용시설에서 발생된 비오염폐기물 또는 오염도가 미미한 폐기물의 규제해제 방법으로 가장 폭넓게 적용될 수 있는 대안으로, 본 연구에서는 영광원자력발전소의 매립장을 대상 지역으로 작업자 및 거주자가 받을 수 있는 피폭선량을 평가하였으며, 구해진 선량을 토대로 규제해제 선량기준치인 $10 \mu\text{Sv}/\text{y}$ 를 만족시키는 핵종별 규제해제농도를 설정하였다. 연령군을 고려한 피폭선량평가 결과 매립층 상부에 거주하는 거주자의 경우 연간 $1.02 \mu\text{Sv}$, 매립부지에서 작업하는 작업자의 경우는 연간 $0.471 \mu\text{Sv}$ 의 피폭선량을 나타내었다. 또한 규제해제농도는 핵종별로 $1.33 \times 10^{-1} \text{ Bq/g}$ 에서 $2.85 \times 10^2 \text{ Bq/g}$ 으로 계산되었다.

Abstract

Landfill is an widely applied alternative for clearance of non-contaminated waste or slightly contaminated waste generated from nuclear facilities. In this study, exposure dose is estimated for a worker and a resident at the landfill area in Young-gwang nuclear power plant. Based on evaluated dose, clearance concentrations of each radionuclide are determined for dose criteria of $10 \mu\text{Sv}/\text{y}$. The results of age-dependent dose are $1.02 \mu\text{Sv}$ per year for resident and $0.471 \mu\text{Sv}$ per year for worker. Clearance concentrations for each radionuclide are evaluated from $1.33 \times 10^{-1} \text{ Bq}$ per gram to $2.85 \times 10^2 \text{ Bq}$ per gram.

서 론

발전소에서 발생된 잡고체 폐기물중에서 처분제한치 미만의 방사성폐기물은 법적 절차에 따라 재활용, 매립 등의 산업폐기물로 처리가 가능하다. 이러한 잡고체폐기물의 매립 자체처분을 위한 시나리오와 그에 따른 예상 피폭선량 평가 프로그램이 다양하게 개발되고 있다. 그 중에서도 RESRAD 프로그램은 EPA가 부지 복구 관련 법안 작성시 사용하였으며 DOE의 Order 5400.5에 따라 개발된 것으로 NRC의 사용 승인을 받아 현재 원자력시설 해체부지 또는 매립에 의한 자체 처분시 규제해제 요건의 만족여부를 입증하는데 유용하게 활용되고 있다. 그러나 RESRAD(매립) 코드는 ICRP Pub. 26 선량개념을 근거로 한 선량환산인자를 적용하고 있으므로 국내법 개정

에 따른 ICRP Pub. 60의 선량개념을 적용하기 위해서는 이를 ICRP Pub. 68과 72의 선량환산인자로 대체하여야 한다. 또한 코드내 입력인자는 미국의 환경자료로써 국내의 실정에 맞지 않고 과피폭의 우려가 있으므로 환경관련인자를 국내 실정에 적합하도록 수정할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 발전용원자로로부터 규제해제된 방사성폐기물의 매립[2]에 따른 피폭선량평가를 위해, 영광 원자력발전소내 매립장을 규제해제대상 매립지역으로 하여, 도출된 입력변수를 사용한 작업자 및 지역주민에 대한 피폭선량평가를 수행하였다. 또한, 이 결과를 토대로 핵종별 규제해제농도를 도출하는 연구를 수행하였다.

재료와 방법

고려대상 핵종의 선정

RESRAD 코드는 92개 핵종 및 53개의 자핵종을 포함하여 총 145개 핵종을 대상 핵종으로 선정하고 있으나 본 연구에서는 지금까지 발전용원자로 운영자가 신청한 자체처분 대상 폐기물에서 검출된 사례가 있는 핵종(32개 핵종)을 우선적으로 선정하였다. 또한 반감기가 긴 핵종은 장기간에 걸쳐 지속적으로 자체처분 하는 경우 규제에서 제외된 핵종의 수량이 누적되어 미래의 특정 시점에서는 집단선량이 자체처분 선량기준을 초과할 가능성을 배제할 수 없으므로 장기간 평가의 불확실성과 생태계 방사능 준위가 장기간 지속될 수 있는 핵종은 제외하였다. 따라서 300년이 경과된 후 초기 방사능의 약 1/1,000 수준으로 감소되는 핵종(즉, 반감기 30년 이하의 핵종)을 자체처분 허용농도 도출을 위한 대상 핵종으로 고려하였다. 또한 반감기가 길고 붕괴 당 방출되는 베타선 및 감마선 방출 자핵종이 많은 알파선 방출핵종과 일정기간 저장을 통하여 방사능을 검출하한 미만으로 저감할 수 있는 단 반감기 핵종도 고려 대상에서 제외하였다. 위에서 언급한 핵종선정 기준에 따라 분류된 8개 핵종과 실제 고체폐기물의 존재비가 높거나 방사선학적 중요성이 큰 ^{55}Fe , ^{63}Ni , ^{14}C 및 ^{90}Sr 을 추가로 고려하여 총 12개의 핵종을 고려대상 핵종으로 선정하였다.

Table 1. Radionuclides according to dose assessment for clearance

번호	핵종	번호	핵종	번호	핵종
1	^3H	5	^{60}Co	9	^{125}Sb
2	^{14}C	6	^{63}N	10	^{134}Cs
3	^{54}Mn	7	^{65}Zn	11	^{137}Cs
4	^{55}Fe	8	^{90}Sr	12	^{144}Ce

피폭시나리오 및 피폭경로

피폭시나리오는 피폭위치에서 받게 되는 피폭 정도와 오염지역으로부터의 방사능 방출로 영향을 받을 수 있는 인간행위의 형태로써 많은 시나리오가 존재할 수 있다. 부지내 인간에 미치는 환경영향 평가의 기본 시나리오는 발생된 방사성물질을 매립하기 위해 폐기물을 취급 및 운반하는 과정에서 작업자가 받게 되는 작업자 피폭 시나리오와 매립장의 제도적 관리기간이 종료된 후 매립장 상부에 거주하는 거주자가 받는 거주자 시나리오로 분류할 수 있으며 각 시나리오별 피폭경로는 table 2와 같다.

Table 2. Exposure pathway by Scenario in RESRAD program

시나리오 피폭경로	거주자	작업자
External exposure	○	○
Inhalation of dust	○	○
Radon inhalation	×	×
Ingestion of plant foods	○	×
Ingestion of meat	○	×
Ingestion of milk	○	×
Ingestion of fish	○	×
Ingestion of soil	○	○
Ingestion of water	○	×

내부선량환산인자

매립에 의한 피폭 시나리오는 작업자 시나리오와 거주자 시나리오로 분류하였으므로 작업자와 일반인에 대해 각기 다른 선량환산인자를 적용하여야 한다. ICRP Pub. 66[3]의 평가모델에서 작업자에 대해서는 5 μm 의 AMAD(Activity Median Aerodynamic Diameter: 공기 동역학적 방사능 지름) 값을, 일반인에 대해서는 1 μm 의 AMAD 값을 적용하도록 권고하고 있다. 그러므로 작업자에 대해서는 ICRP Pub. 68[4]의 5 μm 의 AMAD 값과 RESRAD 코드 내에서 권장하는 핵종별 화학적 형태의 선량환산인자 값을 적용하였으며 일반인에 대해서는 ICRP Pub. 72[5]의 1 μm AMAD 값과 RESRAD 코드 내에서 권장하는 핵종별 화학적 형태의 선량환산인자 값을 적용하여 작업자 및 일반인에 대한 내부선량환산인자를 구하였다.

주요 입력인자

섭생 자료

음식물 섭취량 조사는 보건복지부에서 발행한 「2001년도 국민영양조사 보고서」 [6]에 수록된 우리나라 국민들의 각 식품에 대한 섭취량을 참조하였다. 식품군중 육상식품은 과일, 채소, 곡류, 육류, 우유 및 유제품이며 해산식품은 어류, 연체·갑각류 및 해조류로 각각 분류하여 개인 섭취량을 조사하였다. 그런데 이들 자료는 ICRP Pub. 66에서 제시하고 있는 6개연령군, 즉 3개월(~1세미만), 1세(1세이상~3세미만), 5세(3세이상~7세미만), 10세(7세이상~12세미만), 15세(12세이상~17세미만), 성인(17세이상)으로 구분되어 있지 않기 때문에 이 자료를 수정할 필요가 있다. 따라서 한국인 영양권장량에서 지시하고 있는 “소비단위계수”를 사용하여 각 연령군에 맞는 섭취량을 산정하였다.

Table 3. Consumer unit factor by age-dependent

연령군	3개월	1세	5세	10세	15세	성인
소비단위계수	0.30	0.57	0.67	0.93	1.10	1.00

Table 4. Intakes of food by age-dependent

(unit : kg/y)

연령군 \ 섭취량	곡류,과일, 뿌리채소	엽채류	육류	우유	어류	연체·갑 각류	해조류
3개월	0	0	0	366.4	0	0	0
1세	97.1	35.2	14	14	7.8	3.5	1.8
5세	114.1	41.4	16.5	16.4	9.2	4.1	2.1
10세	158.4	57.4	22.9	22.7	12.7	5.7	2.9
15세	187.3	67.9	27.1	26.8	15.1	6.7	3.43
성인	170.3	61.71	24.6	24.4	13.7	6.1	3.12

환경자료

환경자료에는 절대습도, 강수량, 풍속 등이 있는데 본 연구에서는 영광지역을 대상지역으로 선정하였기에 영광지역의 최근 5년간 평균 강수량, 풍속과 농작물생장기간(4월~9월) 동안의 최근 5년간 평균절대습도 자료를 사용하였다. 도출된 환경자료는 강수량 1.35 m/y, 풍속 3.24 m/s, 절대습도 13.4 g/cm³으로 조사되었다.

평가방법

총 12개의 핵종에 대하여 각각 1Bq/g의 농도를 적용하여 매립에 의한 자체치분 평가를 수행하였다. 연령군을 고려한 피폭선량을 평가하기 위하여 각 연령군별로 피폭선량을 구한 후, 영광군의 연령별 인구비율을 곱함으로써 각 핵종에 대한 연령군별 개인 피폭선량을 산정하였으며, 구해진 연령군별 피폭선량을 더함으로써 연령군을 고려한 집단 피폭선량을 평가하였다.

각 연령군별 피폭선량과 인구비율을 고려한 피폭선량 평가결과를 그래프 상으로 비교함으로써 자체치분 매립에 대한 피폭선량 평가방법의 타당성을 입증하였으며 규제해체 선량제한치[7]인 10 μSv/y을 만족시키는 핵종별 농도를 Bq/g으로 환산하여 규제해체농도를 설정하였다.

결과 및 고찰

피폭선량평가 결과

RESRAD 전산코드를 사용하여 계산된 연령군별 총 선량에 인구비율을 곱한 후 각 연령별 선량을 합산하여 총 선량을 계산하였다.

Table 5. Results of exposure dose for a worker and a resident

	3개월	1세	5세	10세	15세	성인	거주자	작업자
총선량 (mrem/y)	1.29×10^{-2}	1.26×10^{-1}	9.62×10^{-2}	1.64×10^{-1}	2.55×10^{-1}	8.63×10^{-2}	1.02×10^{-1}	4.71×10^{-2}

Table 6. Population and population rate by age-dependent in Young-gwang area (unit : person)

연령군	3개월	1세	5세	10세	15세	성인	합계
인구수	558	1,401	3,244	4,062	3,935	53,855	67,055
인구비율	0.01	0.02	0.05	0.06	0.06	0.80	1.00

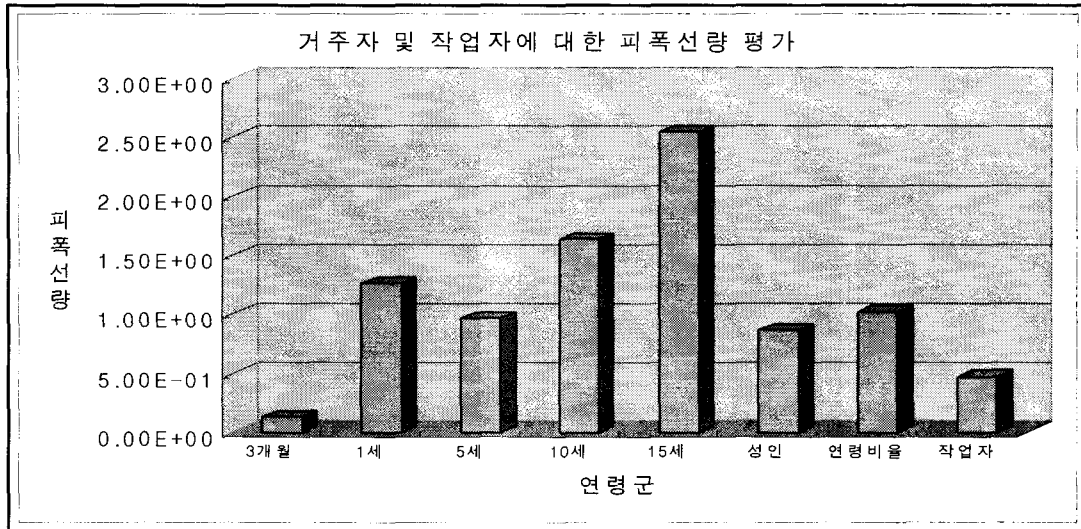


Fig 1. Results of exposure dose for a worker and a resident by age-dependent
 Table 7. Results of exposure dose for a worker and a resident by exposure pathway

피폭경로	3개월	1세	5세	10세	15세	성인	거주자	작업자
Ground	6.11×10^{-4}	6.11×10^{-4}	6.11×10^{-4}	6.11×10^{-4}	6.11×10^{-4}	6.11×10^{-4}	6.11×10^{-4}	4.71×10^{-2}
Inhalation	0.00×10^0	0.00×10^0	0.00×10^0	0.00×10^0	0.00×10^0	0.00×10^0	0.00×10^0	4.72×10^{-7}
Plant	0.00×10^0	1.24×10^{-1}	9.45×10^{-2}	1.62×10^{-1}	2.52×10^{-1}	8.46×10^{-2}	9.97×10^{-2}	0.00×10^0
Meat	0.00×10^0	8.21×10^{-4}	6.35×10^{-4}	1.04×10^{-3}	1.60×10^{-3}	5.99×10^{-4}	6.86×10^{-4}	0.00×10^0
Milk	1.22×10^{-2}	1.59×10^{-4}	1.22×10^{-4}	2.04×10^{-4}	3.16×10^{-4}	1.20×10^{-4}	2.59×10^{-4}	0.00×10^0
Soil	0.00×10^0	0.00×10^0	0.00×10^0	0.00×10^0	0.00×10^0	0.00×10^0	0.00×10^0	2.63×10^{-8}
Water	6.63×10^{-5}	9.98×10^{-5}	8.45×10^{-5}	6.37×10^{-5}	4.77×10^{-5}	5.88×10^{-5}	6.06×10^{-5}	0.00×10^0
Fish	0.00×10^0	3.66×10^{-4}	2.67×10^{-4}	2.97×10^{-4}	2.50×10^{-4}	2.32×10^{-4}	2.39×10^{-4}	0.00×10^0

피폭선량평가 결과 연령군을 고려한 매립층 상부에 거주하는 거주자의 경우 1.02 $\mu\text{Sv/y}$, 매립장에서 작업하는 작업자의 경우에는 0.471 $\mu\text{Sv/y}$ 의 총 선량을 나타내었다. 작업자에 대한 피폭은 대부분 토양으로부터의 직접피폭에 의한 것으로 사료되며 매립층상부에 거주하는 거주자에 대한 피폭은 대부분 음식물 섭취에 의한 피폭인 것으로 사료된다. 특히 매립층상부에서 자란 곡류 및 채소, 과일의 섭취에 의한 피폭이 주를 이루었다. 또한 본 연구는 연령군을 고려한 선량환산인자를 적용하였기에 선량환산인자에 의한 기여분도 무시할 수 없으리라 사료된다.

규제해제 농도 도출

규제해제 선량제한치인 10 $\mu\text{Sv/y}$ 을 만족시키는 핵종별 농도를 Bq/g으로 환산하여 규제해제 농도를 설정하였다.

Table 8. Clearance concentrations on radionuclides for landfill Scenario

핵종	폐쇄후 거주자 유효선량	폐쇄후 거주자 규제해제농도	매립작업자 유효선량	매립작업자 규제해제농도	규제해제 기준농도	규제해제 기준농도
단위	[mSv/y]	[pCi/g]	[mSv/y]	[pCi/g]	[pCi/g]	[Bq/g]
¹⁴ C	3.19×10^{-4}	3.14×10^1	1.26×10^{-9}	7.94×10^6	3.14×10^1	1.16×10^0
¹⁴⁴ Ce	3.16×10^{-6}	3.16×10^3	2.53×10^{-6}	3.95×10^3	3.16×10^3	1.17×10^2
⁶⁰ Co	1.34×10^{-4}	7.46×10^1	2.45×10^{-4}	4.08×10^1	4.08×10^1	1.51×10^0
¹³⁴ Cs	7.90×10^{-5}	1.27×10^2	9.95×10^{-5}	1.00×10^2	1.00×10^2	3.70×10^0
¹³⁷ Cs	6.22×10^{-5}	1.61×10^2	4.03×10^{-5}	1.78×10^2	1.61×10^2	5.96×10^0
⁵⁵ Fe	1.30×10^{-7}	7.69×10^4	2.95×10^{-12}	3.39×10^9	7.69×10^4	2.85×10^2
³ H	9.52×10^{-6}	1.05×10^3	3.42×10^{-9}	2.42×10^5	1.05×10^3	3.89×10^1
⁵⁴ Mn	3.96×10^{-5}	2.53×10^2	4.73×10^{-5}	2.11×10^2	2.11×10^2	7.81×10^0
⁶³ Ni	2.57×10^{-6}	3.89×10^3	1.62×10^{-12}	6.17×10^9	3.89×10^3	1.44×10^2
¹²⁵ Sb	1.20×10^{-4}	8.33×10^1	1.42×10^{-5}	7.04×10^2	8.33×10^1	3.08×10^0
⁹⁰ Sr	2.78×10^{-3}	3.60×10^0	1.79×10^{-7}	5.59×10^4	3.60×10^0	1.33×10^{-1}
⁶⁵ Zn	4.34×10^{-4}	2.30×10^1	2.21×10^{-5}	4.53×10^2	2.30×10^1	8.50×10^{-1}

¹⁴C, ¹³⁷Cs, ⁵⁵Fe, ³H, ⁶³Ni, ¹²⁵Sb 및 ⁹⁰Sr의 경우에는 폐쇄후 거주자 시나리오에서 예상되는 피폭 방사선량이 매립작업자 시나리오에 비하여 상대적으로 큰 것으로 평가되었으며, 주로감마선을 방출하는 핵종(⁶⁰Co, ¹³⁴Cs, ⁵⁴Mn)은 매립작업자에 대한 선량기여분이 폐쇄후 거주자 시나리오에 비해 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 또한, ¹⁴⁴Ce, ⁶⁵Zn 핵종은 작업자와 거주자에 대하여 유사한 값을 보였다.

결론

영광지역의 특성자료를 적용하여 매립에 따른 피폭선량평가 결과 매립장에서 작업하는 작업자의 경우 연간 0.471 μSv, 매립층상부에 거주하는 거주자의 경우는 연간 1.02 μSv의 피폭선량을 보였으며 주요 피폭경로는 토양으로부터의 직접피폭과 음식물 섭취로 인한 피폭으로 평가되었다. 이 결과를 토대로 선량제한치인 10 μSv/y을 만족시키는 핵종별 규제해제농도는 1.33×10⁻¹ Bq/g(⁹⁰Sr)에서 2.85×10² Bq/g(⁵⁵Fe)의 농도범위임을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] 노병환외 15, “방사성폐기물 규제해제 요건 개발”, 원자력안전기술원, KINS/RR-144, (2002).
- [2] 과학기술부고시 제 2001-30호, “방사성폐기물 자체처분에 관한 기준”, (2001).
- [3] ICRP Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. Publication 66(Oxford, Pergamon Press), (1994).
- [4] International Commission on Radiological Protection,, “Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers”, ICRP Publication 68, Annals of the ICRP (1994).
- [5] International Commission on Radiological Protection, “Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides”, ICRP Publication 72, Annals of the ICRP (1995).
- [6] 보건복지부, “국민영양조사결과 보고서”, (2001).
- [7] 원자력법 시행규칙 제86조(2001.7.25. 과학기술부령 제29호).