

방사성 오염부지의 규제해제 및 최종 제염목표를 위한 기준 침적밀도 도출

도태관, 김민준, 권오현, 이진오, 김광표*
경희대학교, 경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732
*kpkim@khu.ac.kr

1. 서론

2011년 3월 후쿠시마 원전사고가 발생하여 다량의 방사성물질들이 환경으로 방출되었으며, 일본 동북부 지역에 광역의 방사성 오염부지가 발생하였다. 이에 일본 정부에서는 피난민들의 조속한 귀환을 위하여 제염실시구역을 구분하여 활발한 제염작업을 수행하고 있다.

일본 환경성에 따르면 제염특별지역의 경우 피난지시 해제 기준은 연간 20 mSv이며, 장기적인 제염목표는 연간 1 mSv 이하로 오염을 축소하는 것이다. 하지만 상기 기준을 만족하는 오염 부지 내 방사성물질의 구체적인 침적밀도가 도출되지 않았다.

이에 따라 본 연구에서는 원전사고 이후 방사성오염부지에 대한 규제해제 및 최종 제염목표 기준 침적밀도를 평가하였다. 기준 침적밀도는 사고유래 방사성물질인 Cs-134 및 Cs-137 핵종에 대하여 도출하였다.

2. 본론

2.1 재료 및 방법

2.1.1 계산 모델

방사성 오염부지에 대한 기준 침적밀도는 체르노빌 원전사고 이후 개발된 식을 사용하여 계산하였다. 체르노빌 평가 모델은 사고 이후 유도된 실험적 자료를 기반으로 하여 도출된 모델로 계산식은 다음과 같다.

$$\dot{E}_t = r(t) A_{Cs137} \sum_m \left(\frac{A_m}{A_{Cs137}} \right) \exp(-\lambda_m t) e_{m,j} \sum_j f_j(t) p_{i,j}$$

위 식의 $r(t)$ 는 감쇠함수로 토양 내 방사성 핵종의 수직 이동을 설명하는 함수이며, A_m 은 방사성핵종 m 의 토양 침적밀도 (kBq/m^2), λ_m 은 방사성핵종 m 의 붕괴상수 (t^{-1}), $e_{m,j}$ 유효선량을 환산인자 (nSv/h per kBq/m^2), $f_i(t)$ 는 지역인자로 지역 특성

에 따른 선량을 보정을 실시하며, p_{ij} 는 i 그룹의 j 지역에서의 실내외 거주비율이다.

2.1.2 규제해제를 위한 기준 침적밀도 평가

본 연구에서는 사고유래 방사성물질인 Cs-134 및 Cs-137 핵종을 대상으로 일본현지의 피난지시 해제기준인 연간 20 mSv 및 최종 제염목표인 연간 1 mSv에 대한 기준 침적밀도를 계산하였다. 규제해제 및 최종 제염목표를 위한 기준 침적밀도 평가시 방사성 오염부지로 인한 외부피폭을 고려하였으며, 원전 사고 발생 후 시간경과에 따른 기준 침적밀도를 도출하였다.

일본 환경성에서는 후쿠시마 원전사고 초기 Cs-134와 Cs-137 핵종의 침적밀도 비율을 1:1로 제시하였다. 이에 따라 본 연구에서는 사고 초기의 침적밀도 비율을 1:1로 가정하였다. 보수적 평가를 위하여 실외 체류시간이 가장 높은 농부를 피폭대상으로 선정하였다. 일본 원자력연구개발기구에서는 2012년 2월부터 2013년 2월까지 1년간 방사성 오염부지 내 농업인 단체를 대상으로 실외체류시간을 조사하였으며, 본 연구에서는 상기 통계자료 중 95%에 해당하는 실외체류 시간을 사용하였다. Table 1에 일본 원자력연구개발기구에서 조사한 단체별 실외 체류시간 통계자료를 나타내었다. 일본 원자력연구개발기구의 조사에 의하면, 농업인은 실외에서 50% 실내에서 50% 생활하는 것으로 조사되었다.

Table 1. Outdoor occupancy time of groups

	Outdoor occupancy time of groups (hr)			
	City hall	Construction	Farmer	Old man
AM ¹⁾	0.86	7.6	6.9	2.0
GM ²⁾	0.52	7.1	6.2	1.7
50%	0.80	7.2	6.6	2.0
95%	2.00	11.0	12.0	3.3

1) Arithmetic mean
2) Geometric mean

지역인자 결정을 위해 일본 통계청 자료를 사용하여 일본의 주거형태를 조사하였다. 일본의 주거형태별 점유율은 단독주택(55%), 다세대주택(42%), 연립주택(3%) 순으로 나타났으며, 이 중 주거형태 점유율이 가장 높은 단독주택은 약 90%가 목조건물로 구성하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 일본의 대표적인 주거형태를 목조건물로 선정하였으며, 목조건물에 지역인자를 적용하였다.

2.2 결과 및 고찰

Table 1에 원전사고 발생 후 선량기준을 만족시키는 침적밀도를 시간에 따라 나타내었다. 20 mSv를 만족시키는 침적밀도는 Cs-134의 경우 약 140~900 kBq/m², Cs-137의 경우 약 1200~3400 kBq/m²로 나타났다. 1 mSv를 만족시키는 침적밀도는 Cs-134의 경우 약 5~45 kBq/m², Cs-137의 경우 약 60~170 kBq/m²로 나타났다.

Table 2. Deposition density satisfying dose criterion at radioactive contaminated areas after Fukushima NPP accident

Time after the accident	Deposition density satisfying 20 mSv (kBq/m ²)		Deposition density satisfying 1 mSv (kBq/m ²)	
	Cs-134	Cs-137	Cs-134	Cs-137
Right after	1048	1048	52	52
1 year	871	1202	44	60
3 years	674	1756	34	88
5 years	475	2296	24	115
7 years	345	3126	17	156
10 years	144	3347	7	167

규제해제와 최종 제염목표를 만족시키기를 위한 Cs-134의 침적밀도는 시간에 따라 감소하였다. 이는 Cs-134의 경우 반감기가 2.06 년으로 시간이 경과함에 따라 감소되어 매우 적은 양이 토양 내 존재하기 때문이다. 이와 달리, Cs-137의 침적밀도는 시간에 따라 증가하였다. 시간에 경과함에 따라 비교적 반감기가 긴 Cs-137가 주요 피폭 인자가 된다. 하지만 피폭 방사선량에 대한 Cs-137의 기여도는 방출되는 감마선의 에너지와 방출률 차이로 인하여 Cs-134에 비해 낮다. 따라서 규제해제와 최종 제염목표를 만족시키기 위해서는 Cs-134에 비해 더 높은 침적밀도가 요구되며, 이로 인하여 시간에 따라 규제해제를 위한 Cs-137의 침적밀도가 증가하였다.

규제해제를 위한 기준 침적밀도는 방사성세슘의 방사성붕괴 이외에 날씨로 인한 풍화침식 및 방사성핵종의 토양 내 침투 현상과 같은 환경거동에 의해서도 영향을 받는다. 방사성붕괴만을 고려했을 때 예측되는 기준 침적밀도에 대하여 방사성 붕괴 및 환경적 요인으로 인한 예측되는 기준 침적밀도를 비교한 결과, 규제해제와 최종 제염목표를 만족시키는 침적밀도는 약 20% 증가하는 경향을 보였다.

3. 결론

본 연구에서는 Cs-134 및 Cs-137 핵종을 대상으로 일본현지의 피난지시 해제기준인 연간 20 mSv 및 최종 제염목표인 연간 1 mSv에 대한 기준 침적밀도를 계산하였다. 본 연구의 결과는 방사성 오염 토양의 안전성을 판단하기 위한 자료로 활용될 것이다.

4. 감사의 글

본 연구는 한국에너지기술평가원의 에너지기술개발사업 (No.20141510101630)의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

5. 참고문헌

- [1] JAEA. Development of Deterministic Approach to Assess Doses to the public from external exposure in area contaminated by the Fukushima Daiichi NPP accident; 2014.
- [2] P. Jacob and I. Likhtarev. Pathway analysis and dose distribution; 1996.
- [3] UNSCEAR. Report of the United Scientific Committee on the effects of atomic radiation to the general assembly. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; VOLUME I Scientific Annex A; 2014.