합리적 부지재이용기준 제정을 위한 기술적 검토

손욱*, 윤석본, 김정주
한국수력원자력㈜, 대전광역시 유성구 유성대로 1312번길 70
*wooksohn@khnp.co.kr

1. 서론

해체가 완료된 원전에서 부지의 규제해제 기준이 되는 부지재이용기준에 관한 고시가 올해 제정을 목표로 현재 검토되고 있다. 이에 본 연구에서는 합리적인 부지재이용기준 설정을 위해 필요한 기술적 배경을 제공하기 위해, 국제방호기구 권고사항, 비용편익분석 및 수용 가능한 리스크 등의 3가지 측면에서 부지재이용기준을 검토하였다.

2. 본론

2.1 국제방호기구 권고사항

2.1.1 선량한도 및 선량제약치

ICRP 2007년 권고는 방호 접근방식을 기존의 행위와 개입의 과정기반에서 계획피폭상황, 비상피폭상황 및 기존피폭상황 등의 상황기반으로 변경하면서 해체를 계획피폭상황으로 분류하였다. 계획피폭상황에서, 개인에 대한 일반인 선량한도(Dose Limit)의 적용 및 단일 선원에 대한 선량제약치(Dose Constraint) 설정을 통한 피폭의 최적화가 권고되고 있다. 또한 해당 권고는, 복수 선원의 존재 가능성을 고려하면서 개인의 실제 선량이 선량한도(1 mSv/yr)를 초과하지 않도록 선량제약치를 설정해야 한다고 권고하고 있다. ICRP가 정의한 선원에 해체가 완료된 부지 내 잔류방사능도 포함되므로, 부지재이용기준은 잔류방사능이란 하나의 선원에 대해 설정된 선량제약치로 간주될 수 있다.

2.1.2 선량제약치로서의 부지재이용기준

상기에서처럼, ICRP 2007년 권고에서는 선량제약치 설정의 필요성에 대해서는 언급하고 있지만 개별 선원에 대한 구체적인 선량제약치 값은 권고하고 있지 않다. 다만, ICRP는 비공식적으로 하나의 선원에 대한 선량제약치는 선량한도(1 mSv/yr)의 분율(Fraction)로 설정되어야 한다고 하면서 선량제약치를 선량한도의 30%인 0.3 mSv/yr로 설정할 것을 제안하였다[1]. IAEA도 부지재이용기준을 선량제약치로 간주하면서,

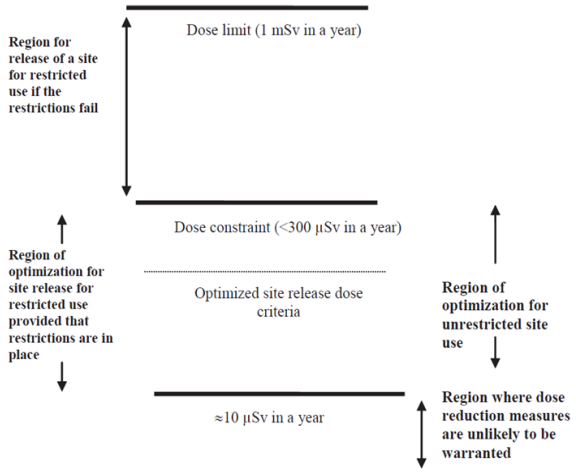

Fig. 1. Recommended Range for Site Release Criteria after Decommissioning by IAEA.

그 상한값으로 0.3 mSv/yr를 권고하고 있다(Fig. 1)[2].

미국 NRC는, 미국 EPA가 주장하는 부지재이용기준(0.15 mSv/yr)을 선량한도(1 mSv/yr)의 약 1/7에 해당하는 지나치게 낮은(보수적인) 분율로 평가하였다. 대신에, 합리적인 분율(1/4)에 해당하는 0.25 mSv/yr로 부지재이용기준을 설정하고 이 값 하에서 ALARA 조치를 취할 것을 규제화하였다[3].

2.2 비용편익분석

2.2.1 비용편익분석 방법[3]

NRC는 비용편익분석에서 PWR을 포함한 4개의 참조시설에 대해 0.1, 0.6, 0.25, 0.15 및 0.03 mSv/yr 등의 부지재이용기준을 적용하여 해체할 때 예상되는 위해도 및 비용을 종합적으로 평가하였다. 위해도는 다양한 해체시나리오를 적용하여 구조물(콘크리트) 및 토양을 해체할 때 예상되는 방사선피폭에 의한 사망률과 해체작업 중 일반사고에 의한 사망률로 구분하여 평가하였다. 비용은 부지재이용기준 변화에 가장 민감한 해체작업(방사선학적 특성조사, 토양/건물의 제염, 철거, 폐기물 처분 및 최종방사선조사)에 소요되는 비용만 고려하여 평가하였다.

2.2.2 비용편익분석 결과

비용편익분석 결과, 0.25 mSv/yr 이하에서 비용편익비율이 토양의 경우는 감소하는 경향을 보인 반면, 구조물(콘크리트)의 경우는 토양의 비해 증가하는 경향을 보였다. 그러나 NRC는 일반적으로 부지재이용기준을 0.25 mSv/yr 이하로 설정할 비용편익 측면에서의 근거를 확인하지 못하였다.

2.2.3 수용 가능한 리스크

일본에서는 10^{-6}~10^{-5}의 평생 사망률이 수용 가능한 리스크로 받아들여지고 있으며, 영국에서는 일반인이 수용 가능한 리스크의 최대값으로 연간 사망률 10^{-6}이 제안되었다. 미국의 경우는, EPA는 10^{-6}~10^{-4}를 수용 가능한 평생 암발생 리스크 수준으로 보았으며, NRC는 무시 가능한 추가적인 리스크를 백그라운드 리스크의 0.1%로 정하였다[4]. 이들 리스크는 모두 약 10^{-6}~10^{-5}/lifetime 수준의 리스크에 해당되므로, 허용 가능한 리스크의 상한치를 10^{-5}/ lifetime으로 정하는 것이 타당할 것으로 판단되었다.

리스크 계수($5x10^{-2}$/Sv)를 이용하고 80 년의 기간을 가정하였을 경우의 0.15 및 0.25 mSv/yr 선량에 의한 평생 암 사망률은 각각 $6x10^{-4}$ 및 $1x10^{-3}$로, 두 선량 모두 앞에서 언급한 수용 가능한 리스크보다 높게 나타났다. 그러나 부지내 잔류방사능이 해체 완료 후 방사성 붕괴 및 풍화(Weathering) 등에 의해 줄어들게 되으로, 보다 실제적인 리스크를 평가하기 위해서는 이러한 효과를 고려해야 한다. 예로, 부지에 Cs-137 (반감기 약 30.17 년)만 존재할 경우 0.15 mSv/yr 및 0.25 mSv/yr 선량에 의한 평생 암사망률은 당초의 값들에서 $2.74x10^{-4}$ 및 $4.57x10^{-3}$로 각각 약 50% 줄어들게 된다. 또 다른 예로, 부지에 Co-60(반감기 약 5.3 년)만 존재할 경우에는 $5.70x10^{-5}$ 및 $9.51x10^{-5}$로 각각 약 90% 줄게 된다. 또한 일본 원자력안전위원회는 풍화작용에 의해 Cs-137 피폭에 의한 암사망률이 약 1/10까지 줄어들 수 있다고 보고하였다[5]. 따라서 방사성 붕괴 및 풍화의 두 효과를 고려하고 동시에 ALARA의 원칙을 적용하게 되면, 실제 해체 완료 후에 부지에 거주하는 일반인이 받게 되는 선량은 상기에서 언급한 리스크 목표인 10^{-5}/lifetime 수준으로 유지할 수 있음을 알 수 있다.

3. 결론

해체 완료 후의 부지의 잔류방사능에 의한 개인의 위해도 관점에서만 보면 부지재이용기준을 가능한 한 낮추어 설정하는 것이 좋을 수 있으나 이는 ICRP에서 권고하는 ALARA 원칙에 부합되지 않는다. 반대로 해체 용이성만을 고려하여 무작정 높게 설정하면 부지를 규제에서 해제하는 목적을 달성할 수 없게 된다. 따라서 이번 연구에서는 기술적 측면에서 합리적인 부지재이용기준 설정이 가능한지를 확인하는 것을 목표로 하였으며, 이를 위해 국제방호기구 권고사항, 비용편익분석 및 수용 가능한 리스크 측면에서 부지재이용기준을 검토하였다. 검토 결과, 부지재이용기준을 일반인 선량한도의 25~30% 수준에 해당하는 0.25~0.3 mSv/yr로 설정하는 것이 합리적이라고 판단하였다. 그러나 현재 국내 운영 원전 부지에 대한 규제제한치가 0.25 mSv/yr인 점을 고려하여 [6], 이와의 규제 일관성 유지를 위해 국내 부지재이용기준을 0.25 mSv/yr로 설정하는 것이 적절하다고 판단하였다.

4. 참고문헌

[1] NRC, “Briefing by ICRP/NCRP on the Principles of Radiological Protection and Their Application to Setting Limits an Constraints for the Public from Radiation Sources - Public Meeting” (1995).

[2] IAEA, “Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices”, Safety Guide No. WS-G-5.1 (2006).

[3] NRC, "Generic Environmental Impact Statement in Support of Rulemaking on Radiological Criteria for License Termination of NRC-Licensed Nuclear Facilities", NUREG-1496, Vol.1 (1997).

[4] JNES, “Study on Site Release Criteria for Nuclear Facilities”, JNES-RE-2013-2038 (2014).

[5] 原子力安全委員会, “‘現在の空間線量から将来を予測する考え方について’に関する助言(回答)” (2011).

[6] 원자력안전위원회, “방사선방호 등에 관한 기준 제16조(환경상의 위해방지)”, 원안위고시 제 2014-34호 (2014).