

## 핵연료주기 시설에서의 핵물질 자체방호성 평가

고원일, 고변성, 장홍래, 이용덕, 이광석  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150  
 nwiko@kaeri.re.kr

### 1. 서론

핵물질의 자체방호성(self-protection)은 핵확산저항성 평가에 있어서 가장 중요한 요건중의 하나이다. 핵물질의 고유 방사선량은 전용자의 인체에 심각한 영향을 주기 때문에 전용자가 IAEA 혹은 시설 운영자의 인지없이 물리적으로 핵물질을 훔치는 행위를 방해하기 때문이다. 그림 1은 방사선량과 인체의 영향관계를 나타낸 것이다. 약 250rem/hr 이상에서는 2시간내에 구토증상이 발생하며 30일내에 50%가 사망하는 것으로 알려져 있다[1].

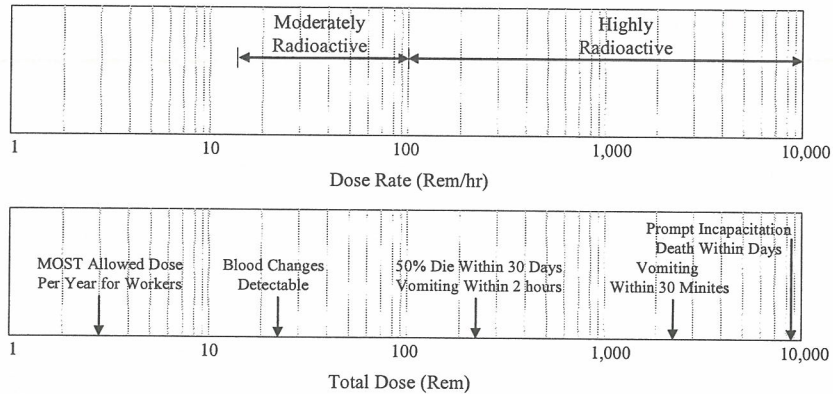


그림 1. 방사선량과 인체영향과의 관계

IAEA는 상기한 방사선의 인체영향과 핵물질을 훔치는데 걸리는 시간을 고려하여 핵물질의 자체방호성의 기준을 정하였는데, 전용 핵물질의 중간부분에서 1m 떨어진 거리에서의 선량이 100rem/hr 이상이어야 한다고 규정하고 있다[2]. 또한, DOE에서는 전용 핵물질의 중간부분에서 1m 떨어진 거리에서의 선량이 15rem/hr 이상인 경우 전용의 위험의 증대한 감소(significant reduction), 그리고 100rem/hr인 경우 전용 자체를 배제시킬 수 있다고 기술하고 있다[3].

### 2. 방사선량 계산을 위한 가정

여러 가지 핵연료주기 시설에서 가장 민감한 시설은 플루토늄을 포함하고 있는 사용후핵연료 처리 시설이다. 이러한 시설에는 파이로 건식처리시설, 듀픽핵연료 제조시설, 습식재처리시설, MOX 제조시설 등이 있다. 또한, 이 시설들은 중량계수(bulk-handling) 시설이기 때문에 IAEA 안전조치 관점에서 매우 중요하게 다뤄지고 있다. 본 연구에서는 파이로 건식처리시설에서 금속전환 잉곳과 전해제련을 통하여 나오는 TRU 금속잉곳을 평가대상으로 선정하였다. 파이로 핵물질의 선량을 타 핵연료주기와 비교하기 위하여 듀픽핵연료 제조시설에서의 듀픽핵연료 다발, 습식재처리시설에서의 PuO<sub>2</sub> 파우더, 신MOX 핵연료, 그리고 PWR 사용후핵연료 집합체 및 CANDU 사용후핵연료 다발을 선정하여 비교하였다. 그림 2는 본 연구에서 선량을 평가하기 위한 기하학적 구조와 적용된 source 밀도를 나타내고 있다.

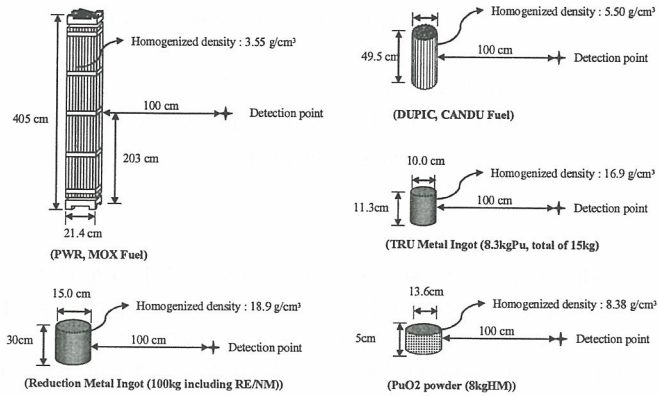


그림 2. 선량계산을 위한 기하학적 구조

### 3. 자체방호성 평가 결과 및 토론

선량 평가를 위하여 Microshiled 7.0 버전을 이용하였다. 중성자에 기인한 선량은 미미하기 때문에 감마선량만 고려하였다. 그림 3은 여러 가지 핵물질에서의 방사선량 평가결과를 나타내고 있다. PWR 사용후핵연료의 경우 IAEA 기준치를 훨씬 초과하는 1,140 rem/hr를 나타내고 있으나, 신듀픽핵연료와 CANDU 사용후핵연료에서는 기준치를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 한편, 습식재처리시설의 PuO<sub>2</sub>와 MOX 제조시설에서 나오는 신MOX 핵연료의 경우는 선량이 매우 미미한 것으로 나타나고 있다. 한편, 파이로 시설에서는 TRU 잉곳의 경우 기준치(100 rem/hr)를 만족하나, 금속전환잉곳은 약 15rem/hr를 보이는 것으로 나타났다.

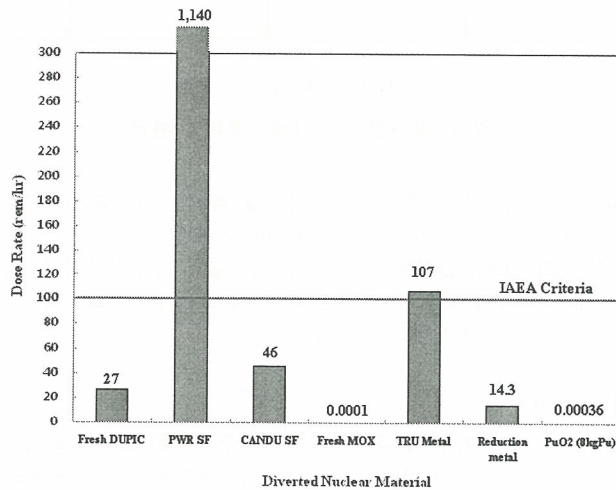


그림 3. 다양한 핵물질에서의 선량평가 결과

- [1] W.I.Ko et. al., "Proliferation Resistance of the Lithium Reduction Process", Proceedings of the Korean Nuclear Society Spring Meeting, Kwangju, Korea, May 2002
- [2] IAEA, The Physical Protection of Nuclear Material. INFCIRC/Rev.3 (1993)
- [3] US DOE, Guide for the Implementation of DOE Order 5633.3b, Control and Accountability of Nuclear Materials.