

## 방사선 피폭에 의한 한국인의 생애 암위험도 평가

김한나 · 정미선\* · 진영우  
한국수력원자력(주) 방사선보건연구원  
\*E-mail: mjeong@khnp.co.kr

중심어 (keyword) : 생애 암위험도, 불확실성, 기여율, 암발생률, 암사망률

### 서론

개인이나 인구집단이 방사선에 피폭된 후 전 생애 동안 암이 발생하거나 암으로 사망할 위험도는 일반적으로 생애 암위험도(Lifetime Attributable Risk, LAR)로 평가된다. 대표적인 예로 체르노빌 사고 후 주변주민과 사고복구 종사자에 대해 예측된 생애 암위험도[1]와 미국 등 국가에서 원전 주변주민이나 원전종사자의 건강영향 기준으로 활용하기 위해 예측한 해당 국민의 생애 암위험도 등이 있다[2]. 우리나라에서는 BEIR V 모형에 근거하여 암사망에 대한 한국인의 생애 암위험도가 예측되었다[3,4].

생애 암위험도의 추정에는 모형의 통계적 불확실성, 모집단 전이오차, 선량-선량률효과 오차 등 많은 불확실성 요소가 존재한다. 따라서 생애 암위험도는 추정치와 함께 이러한 불확실성을 반영한 신뢰구간이 함께 평가되어야 한다. 이 연구에서는 최근에 발표된 BEIR VII 모형에 근거하여 암발생과 암사망에 대해 방사선 피폭에 따른 한국인의 생애 암위험도와 그 불확실성 분포를 평가하였다. 또한 세 가지 피폭 시나리오를 가정하고, 한국과 미국, 일본의 국가별 생애 암위험도를 비교하였다.

### 재료 및 방법

연령  $e$ 에 선량  $D$ 로 방사선에 피폭된 사람의 생애 암위험도는

$$LAR(D,e) = \sum_{a=e+L}^{100} \{M(D,e,a) \times S(a) / S(e)\}$$

를 이용하여 평가하였다. 방사선 피폭 후 암발생까지의 잠재기간  $L$ 은 고형암 5년, 백혈병 2년으로 가정하

였으며, 연령  $a$ 에서의 생존확률  $S(a)$ 는 한국인의 생명표 자료[5]를 이용하였다. 초과위험도  $M(D,e,a)$ 는 BEIR VII 보고서에서 제시한 모형식을 이용하여 산출하였으며, 위험도를 한국인에 전이하기 위해서 상대 초과위험도(Excess Relative Risk)와 절대초과위험도(Excess Absolute Risk)를 결합한 모형을 이용하였다. 전이모형의 결합계수로는 상대위험 전이모형 기준으로 폐암 0.3, 갑상선암 1, 유방암 0, 나머지 암 0.7을 이용하였다. 또한 한국인의 기저암발생률[6]과 기저암사망률[5], 연령별 인구분포[7]가 이용되었다. 이와 같이 산출된 생애 암위험도에 대해 최종적으로 백혈병은 1, 나머지 암은 1.5를 이용하여 선량-선량률 효과(Dose and Dose-Rate Effectiveness Factor, DDREF)에 대한 보정을 실시하였다.

생애 암위험도(LAR)의 불확실성 분포는 델타방법을 이용하여 로그-정규분포로부터 유도되었다. 모형의 추정에 따른 회귀계수의 통계적 불확실성, 전이모형의 선택에 따른 불확실성, DDREF의 불확실성을 반영한 분산을 구하였고, 이를 이용하여 생애 암위험도(LAR)의 95% 신뢰구간을 계산하였다.

생애 암위험도의 국가별 비교를 위하여, 혼합된 연령의 인구집단이 0.1 Gy의 방사선에 단일 피폭된 경우, 개인이 전 생애 동안 매년 1 mGy의 방사선에 만성적으로 피폭된 경우, 개인이 20-60세까지 매년 10 mGy의 방사선에 직업적으로 피폭된 경우의 세 가지 피폭 시나리오를 가정하였다. 혼합된 연령의 인구집단 피폭에 대해 해당 모집단에서 피폭 시 연령의 인구비율을 가중하였고, 개인의 생애 만성 피폭은 피폭 시 연령의 생존율을 가중하였다. 또한 개인의 직업적 피폭은 종사시작 연령 20세에 생존 조건

하에 각 연령의 조건부 생존확률을 가중하였다.

## 결과 및 고찰

10만 명의 한국인이 0.1 Gy의 방사선에 단일 피폭된 경우 암발생과 암사망에 대해 생애 암위험도를 평가한 결과([표1] 참조), 고형암의 경우 남성은 방사선 피폭으로 인해 966명(95% CI: 469, 1989)의 초과 암발생이 예측되었다. 기저 암발생자는 43,254명으로 방사선피폭으로 인한 기여율(Attributable Fraction, AF)은 2.2%였다. 여성은 1,104명(95% CI: 536, 2274)의 초과 암발생이 예측되었다. 백혈병의 경우, 남성은 66명(95% CI: 15, 288), 여성은 48명(95% CI: 12, 200)의 초과 암발생이 예측되었다. 암사망의 경우는 남녀 모두 암발생보다 약간 높은 기여율로 생애 암위험도가 예측되었다.

[표 1] 0.1 Gy 방사선 피폭에 의한 한국인의 생애 암발생과 암사망 위험도(LAR) 예측치 (단위:10만 명)

	성별	암유형	생애 기저 암발생(사망)	생애 초과	기여율 (AF)
				암발생(사망) 예측치 및 95% 신뢰구간	
암발생	남	고형암	43,254	966 (469, 1989)	2.2%
		백혈병	381	66 (15, 288)	14.8%
	여	고형암	23,975	1,104 (536, 2274)	4.4%
		백혈병	266	48 (12, 200)	15.3%
암사망	남	고형암	22,941	682 (267, 1740)	2.9%
		백혈병	352	66 (16, 267)	15.8%
	여	고형암	12,358	828 (393, 1745)	6.3%
		백혈병	242	46 (12, 171)	16.0%

한국인 개인이 0.1 Gy의 방사선에 단일 피폭되었을 때, 남성은 50세 이전에 피폭된 경우 위암의 생애 암발생 위험도가 가장 높았으며, 50세 이후는 폐암의 생애 암위험도가 가장 높게 증가하였다. 여성은 30세 이전에 피폭되었을 때 유방암 발생의 생애 위험도가 가장 컸으며, 30세 이후는 폐암과 위암의 위험도가 높게 나타났다. 여성 갑상선암은 10세 이전에 방사선에 피폭된 경우 유방암 다음으로 큰 생애 암위험도의 증가를 보였다. 암사망의 경우, 남성은 폐암과 대장암에서, 여성은 폐암과 유방암에서 생애 암위험도가 높게 나타났다. 여성 유방암의 위험도는 40세 이후에 방사선에 피폭된 경우 급속히 낮아졌다.

혼합된 피폭 연령의 인구집단이 0.1 Gy의 방사선에

단일 피폭되었다고 가정하고 한국인, 미국인, 일본인에 대해 생애 암위험도를 평가하면, 남성, 여성 공통적으로 고형암 발생은 미국에서, 고형암 사망은 한국에서 높은 생애 암위험도를 보였다. 백혈병은 미국에서 높은 생애 암발생과 암사망 위험도가 나타났다. 암종류별 양상을 살펴보면, 남성 암발생은 한국은 위암, 미국과 일본은 대장암에서 높은 위험도를 보였으며, 암사망은 세 국가 모두 폐암에서 가장 높은 위험도를 보였다. 여성의 암발생과 암사망 위험도는 세 국가 모두 유방암과 폐암에서 위험도가 높았다.

개인이 전 생애 동안 1 mGy/yr의 방사선에 피폭된 경우와 20-60세까지 매년 10 mGy/yr의 방사선에 직업적으로 피폭된 경우, 남성은 일본, 여성은 미국에서 가장 높은 고형암 발생 위험도가 예측되었다. 고형암 사망의 경우, 남성은 한국, 여성은 일본에서 위험도가 높았다. 백혈병의 경우, 암발생과 사망 모두 미국에서 가장 높은 생애 암위험도를 보였다.

## 결론

이 연구에서 제시된 한국인의 방사선 피폭에 의한 생애 암발생과 암사망 위험도는 향후 원전 주변주민이나 원전종사자의 생애 암위험도 평가에 활용될 수 있을 것이다. 또한 한국인 고유의 방사선 암위험도 모형이 개발되고 기저자료가 지속적으로 보완되면 보다 정확한 한국인의 생애 암위험도 평가가 가능할 것이다.

## 참고문헌

1. Cardis et al., Estimated long term health effects of the Chernobyl accident. Proceedings of an International Conference, Vienna (1996).
2. NRC(National Research Council), Health risks from exposures to low levels of ionizing radiation: BEIR VII-Phase 2 (2005).
3. 황원태 등, BEIR V 방법을 이용한 한국인의 방사선에 의한 암사망 예측, 대한방사선방어학회지 (1996).
4. 장시영 등, 한국인의 초과 방사선 암위험도 평가에 근거한 국내원전의 안전목표치 설정 방법론, 대한방사선방어학회지 (1999).
5. 통계청, 생명표와 사망원인통계 (2007).
6. 보건복지부, 1999-2001년 암발생 통계 (2005).
7. 통계청, 인구센서스자료 (2005).