

방사선 영향: 정보와 해석, 그리고 선택



김은희

서울대학교 원자핵공학과 교수

- 서울대학교 원자핵공학과 학사, 석사
- 미국 Texas A&M 대학교 원자핵공학과 박사 (방사선 보건물리 전공)

- 한국원자력연구원 연구원
- 한국원자력의학원 책임연구원
- 서울대학교 원자핵공학과 교수

방사선 영향: 정보

독일의 물리학자인 Wilhelm Conrad Röntgen는 1895년에 “알 수 없는 광선”이라는 뜻의 X-ray를 발견하여 1901년 노벨물리학상 수상자가 되었다. 프랑스 물리학자인 Antoine-Henri Becquerel은 1896년에 우라늄염의 자연방사능(natural radioactivity)을 발견하여 1903년 노벨물리학상을 수상하였는데, 폴란드 출신의 물리학자 Marie Sklodowska와 남편인 프랑스인 물리학자 Pierre Curie는 라듐연구 업적으로 공동수상자가 되었다.

Marie Sklodowska-Curie는 1898년에 우라늄 붕괴로 생성되는 천연방사성핵종을 분리하여 폴로늄과 라듐으로 명명하고 1911년 노벨화학상 수상자가 되었다. Curie 부부의 딸인 Irène Curie는 남편인 Frédéric Joliot와 함께 인공방사성동위원소 합성 연구로 1935년 노

벨화학상을 수상하였다. Becquerel이 피부 홍반(skin erythema)과 궤양(ulceration)을 경험하였고 Pierre Curie가 라듐을 다룬 후 팔에 화상 증상이 있었으며, Marie Curie와 Irene Curie의 사망 원인은 백혈병이었다. 1928년에 International X-ray and Radium Protection Commission이 구성되었는데 이는 현재의 국제방사선방호위원회(ICRP, International Commission on Radiological Protection)의 전신(前身)이다. 당시의 과학자 집단이 방사선을 인체 위해 요소로 인지하였음을 의미한다.

우리는 방사선에너지가 살상(atomic bombing)과 실용(nuclear power plant operation)이라는 극단적으로 다른 목적으로 사용한 사례를 경험하였다. 두 사례의 목적은 달라도, 양성자와 중성자의 수 조합에 따라 안정하기도 불안정하기도 한 핵(nucleus)의 특성과 핵변환(nuclear transformation) 과정에서 에너지가 발생하는 과

학적 현상에 기반한다는 공통점을 갖는다. 발생에 너지의 크기와 에너지 방출의 제어(control) 방식에 차이가 있을 뿐이다. 역설적이게도, 살상 목적의 방사선에너지 사용 사례로부터 방사선에너지 이용의 안전관리 정보가 마련되었고 이것은 방사선에너지 이용 산업 진흥의 토대가 되었다.

일본의 히로시마(1945년 8월 6일)와 나가사키(1945년 8월 9일)에 우라늄핵탄('Little Boy')과 플루토늄핵탄('Fat Man')이 각각 투하되었고 수십만이 사망하였다. 미국과학아카데미(US National Academy of Sciences)는 1947년에 원폭사상자위원회(Atomic Bomb Casualty Commission)를 히로시마에 설치하고 생존자들의 피폭 상황과 건강 상태에 대한 추적 조사를 시작하였다. 원폭사상자(조사)위원회는 미국원자력에너지위원회(US Atomic Energy Commission - 현 US Nuclear Regulatory Commission의 전신)의 재정 지원으로 활동을 하였고, 1975년에 일본이 재정 분담을 시작하면서 방사선영향연구재단(RERF, Radiation Effect Research Foundation)이라는 이름으로 재정비되었다.

방사선의 인체 영향성 정보는, 선량 준위가 확인된 방사선 피폭자의 증상을 관찰할 때 가장 직접적인 정보가 된다. 인체를 실험 대상으로 삼을 수 없으니 사고 상황의 경험자(예, 원폭 생존자)와 피폭 관리하에 방사선 발생 환경에서 작업을 하는 '방사선작업종사자', 진료 과정에서 방사선 피폭이 발생하는 환자들, 방

사능이 높은 지역의 거주자들을 관찰하는 것이 최선의 정보 습득 방법이 된다. 역학연구(epidemiology study)가 이에 해당한다. 역학연구 자료는, 방사선 피폭의 의도성(intention)이 없는 이유로 관찰 가능한 방사선 피폭선량 영역에 불규칙성(irregularity)이 있다. 관심선량영역(does range of interest)에서 피폭방식(pattern of exposure) (예로, 급성-acute 또는 만성-chronic)에 따른 영향성을 관찰하기 위해 동물연구(animal study)와 체외세포(cells in vitro) 연구가 수행되기도 한다. 동물연구와 체외세포연구에서는 각각, 종간 차이(species difference)의 문제와 체내세포(cells in vivo)의 환경(micro-environment) 효과가 배제되는 문제로 관찰 자료가 인체 영향 정보로서 채택되는데 한계가 있으나, 방사선의 생물체 영향 특성을 이해하는데 여전히 중요한 정보가 제공된다.

일본 원폭생존자에 대한 RERF의 조사 자료와 다수 기관에서 확보한 인체 영향 관찰 자료는 미국연구평의회(US National Research Council)가 산하 BEIR위원회(Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation)의 활동의 결과물로서 2006년에 발간한 BEIR VII Report로 보고되었다. BEIR VII Report의 표제인 "Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation"에서 알 수 있듯이, BEIR Committee의 관심 범위는 저준위 방사선 피폭의 영향성이며 X-ray와 gamma-ray로 대표되는 low linear-energy-transfer(LET)

〈표 1〉 100 mSv의 방사선 피폭 시, 미국인 성비(性比)와 연령분포 기준 100,000명 중 암발생자 및 암사망자 예측 통계 (BEIR VII, 2006)

	고형암		백혈병	
	남성	여성	남성	여성
방사선피폭으로 인한 초과 암발생	800 (400-1600)*	1300 (690-2500)	100 (30-300)	70 (20-250)
기저(基底) 암발생	45,500	36,900	830	590
방사선피폭으로 인한 초과 암사망	410 (200-830)	610 (300-1200)	79 (20-220)	50 (10-190)
기저(基底) 암사망	22,100	17,500	710	530

*95% subjective confidence interval

radiation에 의한 피폭에 중점을 두었고 원폭 생존자 자료에서 high-LET 방사선인 중하전(重荷電) 입자와 중성자 피폭에 대해 보정을 하였다. BEIR VII 보고서는, 저준위 방사선 피폭의 대표적인 위해 현상으로서 암발생(cancer incidence)과 암사망(cancer mortality) 통계를 확보하고, 기저(background) 암발생 및 암사망 통계와 비교하여 초과 암발생과 암사망 위해(excess cancer risk) 자료를 제시하였다. 〈표 1〉에 표기된 숫자는 미국인 기준 통계 자료로서, 근간이 되는 원폭생존자 집단과 미국 인구의 성비(性比)와 연령분포가 다른 데 대해 보정된 것이다. 방사선 암위해 정보는, BEIR VII 보고서(2006) 외에 유엔방사선영향과학위원회(UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)와 국제방사선방호위원회(ICRP)가 각각 발간한 UNSCEAR 2006 Report(2008)와 ICRP Publication 103(2007)에서도 확인할 수 있다.

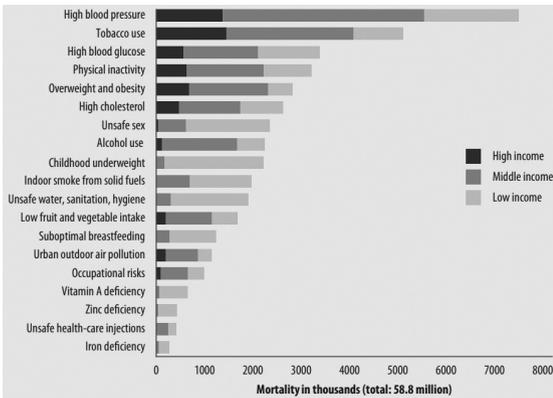
〈표 1〉에 따르면, 여타 원인으로 인한 암사망 대비 100 mSv 피폭에 기인한 생애 고형암 사망

은 남성의 경우 약 1.9% (= 410/22,100), 여성의 경우 약 3.5% (= 610/17,500)에 이른다. 방사선 피폭에 기인하는 암발생과 암사망(통칭하여 암위해-cancer risk) 통계는, 방사선방호(radiation protection) 기술 분야에서 안전관리(safety management)를 실시하는데 필요한 법적 기준을 설정할 때 근거 자료가 된다.

방사선 영향: 해석

ICRP가 권고하는 ‘일반인(the public)’의 방사선 전신 피폭 허용선량은 연간 1 mSv 이다 (ICRP60, 1990). ICRP60에 채용된 방사선 전신 피폭에 따른 암사망 확률은 $5 \times 10^{-2} / \text{Sv}$ 인데, 이는 BEIR VII 보고서가 100 mSv 피폭 후 생애 중 고형암 사망 확률로 제시한 $\sim 5 \times 10^{-3}$ 값에 상응(相應)한다. 암위해 정보가 확보되지 않은 100 mSv 이하의 선량 영역에 대해, ICRP는 암위해에 대한 역치(threshold) 선량은 존재하지 않으며 암위해는 선량값에 선형적으로 비례하여 증가한다는 선형무역치가설(Linear Non-Threshold hypothesis or LNT hypothesis)을

채택하고 있다. ICRP가 1 mSv를 일반인의 연간 전신피폭 선량한도로 권고한 것은, 산업활동 등 방사선 피폭을 유발하는 선택적 행위로 인한 일반인 개인의 추가 생애 암발생 확률을 $(5 \times 10^{-2} / \text{Sv}) \times 1 \text{ mSv} = 5 \times 10^{-5}$ 이하로 제한하도록 권고한 것으로 해석할 수 있다. [그림 1]은, 2004년 당시 총 63억 9600만 세계 인구 중 원인별 사망자 수이다. 2004년 총인구 기준으로 사망률은 $58.8\text{M}/6,396\text{M} = \sim 9.2 \times 10^{-3}$ 이다. 1 mSv의 방사선 피폭으로 인한 생애 초과 암 사망 확률인 5×10^{-5} 은 여타 원인에 의한 사망률의 $\sim 0.54\%$ 에 해당한다 ($= [5 \times 10^{-5}] / [9.2 \times 10^{-3}]$).



[그림 1] 2004년 원인 별 전 세계 사망자 수 (WHO, 2009)

방사선피폭과 관련한 사건이 발생할 때, 방사선안전관리 주관부처(원자력안전위원회)와 잠재적/실체적 피폭자 또는 대변자(시민단체, 변호사 등) 간의 “안전성” 논쟁이 드물지 않게 발생한다. 논쟁 방식은 매번 크게 다르지 않다. “안전하지 않다”며 답변을 요구하고 “기준치(선량한도)를 초과하지 않으니 안전하다”는 말로 대

응한다. 국립국어원의 표준국어대사전에 따르면 “안전”은 “위험이 생기거나 사고가 날 염려가 없음”으로 정의된다. 확장된 의미로 “위험 원인이 있어도 사람이 피해를 받지 않도록 대책이 세워지고 그런 사실이 확인된 상태”이다. ICRP 권고를 기반으로 국내의 방사선안전 규제 행위가 실시되고 있으니, 안전 논쟁 시 방사선 피폭이 발생하지 않았음을 보이든지 피폭의 가능성이 확인된 경우에는 예측되는 피해의 수위와 후속조치의 실시에 대해 설명하는 것이 적절하다. 체계적인 후속 조치가 실시되지 않는다면 안전하지 않은 것이다.

방사선 영향: 선택

ICRP가 권고하는 “선량한도”(dose limit)는 “acceptable risk”에 기반한다. Cambridge dictionary가 정의하는 “risk”는 “the possibility of something bad happening”이다. 원론적으로 risk는 acceptable 하지 않다. 원자력/방사선 산업 활동에 의해 유발되는 risk는, 행위의 가치를 인정하여 accept 하기로 결정한 것으로 보아야 한다(justification). “Tolerable risk”의 한계 고점(upper bound)에 대해 공감대가 형성되면, 그에 기반하여 선량한도(dose limit)가 결정된다(limitation). 선량한도보다 낮은 선량의 피폭이 유발되는 상황에서도 risk 감소를 위한 기술(technology)과 운영(operation) 측면의 최적화 노력이 요구된

다(optimization). 방사선방호의 세 가지 원리인, “justification of practice”(행위의 정당화), “optimization of protection”(방호의 최적화), “limitation of exposure”(피폭의 제한)가 기능하는 방식이다.

ICRP가 1 mSv의 선량한도를 권고한 근간에는, risk를 유발하는 행위의 사회적, 경제적 가치가 인정될 때 5×10^{-5} 확률의 초과 암위해는 감내할 만한 수준이라는 공감대 형성이 있었을 것이다. 방사선피폭 관련 사건에서, 선량한도를 초과하지 않는 상황임에도 “안전하지 않음”을 주장하면서 5×10^{-5} 의 risk를 용납할 수 없다고 하는 이면에는 risk 유발 행위의 가치를 인정하지 않는 입장이 있을 수 있다. 이런 경우 애초에, 5×10^{-5} 의 risk를 안전성 판정의 결정적 정보로 삼아 논쟁하는 것이 무리(無理)일 수 있다. 5×10^{-5} 이상의 risk를 유발함에도 불구하고 자연방사선원을 방사선 안전관리 대상에서 배제(exclusion)한 것과 진료과정에서 발생하는 방

사선피폭에 대한 관리를 면제(exemption)한 것으로, ICRP의 안전관리 논리는 이미 과학의 범주를 넘어 사회적 합의의 영역에 근간을 두고 있음을 알 수 있다.

맺는말

방사선 피폭 환경에서의 risk-taking은 지극히 개인적인 선택의 문제이다. Risk에 대한 tolerance가 개인에 따라 다를 수 있다. 행위의 정당성 판정의 기준이 서로 다를 수도 있다. 최선의 안전 설비, 최선의 안전 관리가 “완벽”이 아닌 “최선”일 뿐인 것에 불안할 수도 있다. 방사선영향 정보에 대한 이해가 부족하다 탓하고 “전문가”의 선택에 동조할 것을 강요하는 것은 무례한 일이다. 현재의 방사선영향 정보는 최신 정보일 뿐 완전한 정보는 아니라는 점에서 더욱 그렇다. **KIF**

참고문헌

- National Research Council. 2006. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII-Phase II.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2008. Effect of ionizing radiation: Volume 1. UNSCEAR 2006 report.
- International Commission on Radiological Protection. 2007. Recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication 103.
- International Commission on Radiological Protection. 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60.
- World Health Organization. 2009. Global health risks : mortality and burden of disease attributable to selected major risks. World Health Organization.