

방사선이 인체에 미치는 영향

: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

2011. 7. 22

연구경과

연구시작일

2011년 3월 28일

토론회 개최일

2011년 4월 20일 ~ 5월 11일

연구 종료일

2011년 7월 15일

전략기획위원회 심의일

2011년 7월 18일

보고서 최종 수정일

2011년 7월 22일

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

주의

1. 이 보고서는 한국보건의료연구원에서 수행한 연구사업의 결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 인용할 때에는 반드시 한국보건의료연구원에서 시행한 연구사업의 결과임을 밝혀야 합니다.

연구진

위원회

허 대 석
위원장
한국보건의료연구원 원장

이 상 무
위원
한국보건의료연구원 신의료기술평가사업본부 본부장

이 승 속
위원
한국원자력의학원 국가방사선 비상진료센터 센터장

강 건 옥
위원
서울대학교 의과대학 핵의학과 교수

도 경 현
위원
서울아산병원 영상의학과 교수

이 재 성
위원
한국원자력안전원 책임연구원

참여연구원

김 가 은
연구책임자
한국보건의료연구원
연구기획단 근거평가팀 책임연구원

홍 석 원
한국보건의료연구원
연구기획단 연구기획팀 책임연구원

박 동 아
한국보건의료연구원
연구기획단 근거평가팀 책임연구원

김 충 종
한국보건의료연구원
연구기획단 연구기획팀 공중보건의

최 윤 경
한국보건의료연구원
연구기획단 근거평가팀 연구사

최 슬 기
한국보건의료연구원
연구기획단 과제연구원

목차

요약문	
1. 서론	1
1.1. 배경 및 필요성	2
1.2. 목적	3
2. 일반적 사항	5
2.1. 주요개념	6
2.2. 방사선이 인체에 미치는 영향	8
2.3. 방사선 방호의 목표 및 대책	13
3. 연구방법	17
3.1. 현황조사	18
3.2. 문헌조사	18
3.3. 전문가 토론회	18
4. 연구결과	19
4.1. 현황조사	20
4.2. 문헌조사	26
4.3. 전문가 토론회	33
5. 결론 및 제언	39
5.1. 결론	40
5.2. 제언	43
6. 참고문헌	45

표 차례

표 1. 방사선 피폭 선량에 따른 신체적 증상	9
표 2. 방사선의 인체 영향 분류	10
표 3. 방사선 피폭 시 행동 요령 및 대피방법	14
표 4. 후쿠시마 원전사고 이후 국내 대기중 방사성 물질 최대 검출량	20
표 5. 주요 선진국과 한국의 원자력 행정체제 현황	22
표 6. 국가방사선비상진료체계의 기능	24

그림 차례

그림 1. 국가방사능방재체계	23
그림 2. 국가방사선비상진료체계	23

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

요약문

한국보건 의료연구원에서는 ‘방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서’와 관련하여 지난 3개월간 기존 보고서 및 일차문헌 검토, 세 차례의 토론회 등을 통해 다음과 같은 근거를 마련함.

- **현재 상황에서의 방사선이 인체에 미치는 영향에 대한 근거와 국가적 대처 체계**
 - **일본 원전사고가 한국에 미친 영향** : 국내 대기중 검출되는 방사선량은 **1mSv**이하이며, 추가로 피폭될 최대량도 1mSv이하로 추정되므로, 이는 위험이 명확히 입증된 (100mSv이상)수준이 아님.
 - **근거가 불확실한 영역** : 현재 일본 원전사고 사후처리는 계속 진행중이며 1mSv이하의 피폭량이 인체에 미치는 영향에 대한 근거는 아직 충분하지 않으므로 정확한 예측에는 불확실성이 존재함.
 - **현 상황에서의 예방행동** : 현재와 같이 불확실성이 존재하는 상황에서의 ‘부적절한 예방행동’은 불필요한 불안감 및 부작용 등을 유발할 수 있으며 다만, 방사선의 위험을 합리적 범위내에서 가능한 최소화시키는 것이 적절함.
 - **의료용 방사선과의 비교** : 의료용 방사선 피폭은 질병의 진단이나 치료를 목적으로 하므로 절대적 피폭선량은 높은 편이지만 환자가 얻게 되는 진단적 이익이 손해보다 클 때 이루어지기 때문에 원전 사고의 위험과 비교하는 것은 부적절함.
 - **국가적 비상 대처체계** : 사고나 재난발생시 “원자력시설 등의 방호 및 방사능방재대책법” (공포 2003. 5. 15 법률 제6873호, 시행 2004. 2. 16)에 따라 ‘교육과학기술부’에 ‘중앙방사능방재대책본부’를 설치하고, 방사선비상의료지원본부(한국원자력의학원), 원전비상대책본부(한국수력원자력), 지역방사능방재대책본부(지자체), 방사능방

호기기술지원본부(한국원자력안전기술원), 방사선비상진료센터(원자력병원)등의 체계를 구축하고 있음.

- 국제원자력기구(IAEA)등에서는 '원자력에너지의 이용 증진'과 '안전 관리'에 대해 서로 독립된 기관과 조직에서 담당할 것을 권유하고 있으며, 현재 우리나라의 경우 두 기능을 담당하는 행정부서가 '교육과학기술부'로 일원화되어 있으나, 오는 10월 안전관리를 담당할 '원자력안전위원회'를 출범하여 이원화할 예정임.

- 지난 6월 22일, 국회 교육과학기술위원회는 세계적으로 원자력 이용·진흥과 안전규제를 분리하는 추세에 맞춰 '원자력안전위원회' 신설과 관련된 원자력법 개정안, 원자력안전위 설치 및 운영에 관한 법률안, 한국원자력안전기술원법 개정안, 원자력안전법안, 원자력시설 등의 방호 및 방사능 방재대책법 개정안 등 관련 법률 제·개정안을 통과 시켰으며, 29일 본회의에서 승인되었음.

- 이에 10월 출범예정인 '원자력안전위원회'는 대통령직속 합의제 중앙행정기관으로 설치되며 총 7~9명으로 구성됨. 원자력진흥종합계획 등 원자력 진흥업무는 교육과학기술부에 그대로 두고, '원자력안전위원회'에서는 원자로 건설·운영, 방사성동위원소 및 방사선발생장치 폐기 및 운반, 핵연료주기사업 인허가 등 원자력과 관련된 안전규제 업무를 전담하게 되며, 현재 교과부 소속인 한국원자력안전기술원(KINS)과 한국원자력통제기술원이 원자력안전위 산하로 이관될 예정임.

□ 제언

- 현재와 같이 피폭선량이 1mSv이하인 상황에서는 불확실성이 존재하므로 사회적 차원에서의 주기적인 오염여부 모니터링 및 적절한 조치, 지속적인 근거와 정보제공이 필요함.

- 현재 일본에서 수입되는 식품에 대해서만 방사능 오염여부를 검사하고 있으나 향후 일본수입식품 뿐 아니라 국내에서 생산되는 식품에 대한 주기적인 모니터링도 필요하며, 식수에 대한 모니터링 체계 구축도 시급히 이루어져야 할 것임.

- 또한, 주요 관리대상 매체에 대한 방사선 오염 관리기준 설정 및 모니터링 수행 뿐 아니라, 방사선 오염에 의한 건강영향평가(역학조사), 인접국(중국 등) 및 국내 사고에 대

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

비한 대비책 마련, 국제협력 프로그램 추진 등의 대책수립이 필요할 것으로 사료됨.

- 향후 인접국(예: 중국)이나 국내에서 원전사고가 발생할 경우 지금의 상태로는 개인보호 장비, 방사선계측장비, 방호약품 등 뿐 아니라 비상진료기관, 시설, 전담인력, 예산 등이 부족한 상황임. 특히, **응급의료체계와의 유기적인 연계구축 및 제도화가 필요하며 또한, 인간과 자연을 보호하기 위한 법적·제도적 보완 및 전반적 재정비가 필요함.**
 - 최근 국제적인 추세에 맞춰 국내에서도 원자력 발전과 안전규제에 대한 기능을 독립된 기관에서 할수 있도록 안전규제기능을 담당할 대통령 직속의 '원자력안전위원회' 신설관련 법안이 통과되었으며 오는 10월 출범예정으로 있음. 이와같이 '원자력에너지의 이용 증진'과 '안전 관리'는 서로 독립된 기관과 조직이 담당하여 견제기능을 강화하는 것이 적절하다고 판단되며 서로 기능을 잘 발휘할 수 있도록 국가적으로 지원·관리해야 할 것임.
- **의료용 방사선은 질병의 진단이나 치료를 목적으로 하므로 원전 사고의 위험과 비교하는 것은 부적절하나, 불필요하거나 지나친 검사는 자제하는 것이 바람직할 것임.**

1. 서론

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

1.1. 배경 및 필요성

- 2011년 3월 11일, 일본에서 대규모 지진 및 후쿠시마 원전사고가 발생함에 따라, 사고에 따른 인체의 영향에 대해 온 국민이 불안과 혼란에 빠짐.
 - 원전사고로 인해 발생하는 방사성 또는 낙진은 대기를 통해 인근지역으로 퍼지며 이로 인해 방사능에 노출된 인근 주민들의 건강에 영향 받을 수 있음.
 - 한국원자력안전기술원과 기상청에서는 일본 원전사고로 인한 방사성 물질이 국내에 미치는 영향은 없을 것으로 보고한 바 있음(한국원자력안전기술원 안전뉴스, 2011.3.15; 기상청, 2011.3.15).
 - 그러나, 3월 30일 국내 12개 방사능 측정소에서 방사성 세슘과 요오드가 검출되었고, 방사능 비 공포뿐 아니라 일본수입식품, 해산물에서도 기준치를 초과하는 방사성 물질이 검출됨에 따라 국민의 불안과 혼란이 가중됨.
- 현재 일본에서의 상황은 여전히 진행중으로, 방사선이 인체에 미치는 영향과 관련된 객관적이고 신뢰할만한 정보는 부족한 상황이며, 전문가들조차 합의된 목소리를 내지 못하고 있음.
- ‘광우병 사태’와 같이 위험소통(risk communication)이 제대로 이루어지지 않을 경우, 실제로 방사선이 인체에 미치는 영향 그 자체보다 불확실한 상황에 대한 불안과 스트레스로 인해 또 다른 위험이 초래될 가능성이 있음.
- 이에, 일본 원전사고로 인한 방사선이 인체에 미치는 영향에 대한 객관적이며 합의된 정보와 방사선 위험의 올바른 이해, 위험소통의 창구가 필요함.

1.2. 목적

- 일본 원전사고로 인한 방사선이 인체에 미치는 영향에 대해 보건의료적 측면에서의 객관적인 근거를 제시함으로써 정보제공 및 위험소통의 창구를 마련하고자 함.

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

2. 일반적 사항

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

2.1. 주요개념

- **방사선**은 에너지가 높아 불안정한 물질이 안정된 상태를 얻기 위해 방출하는 에너지의 흐름으로 인체에 짝여졌을 경우 영향정도를 측정하는 단위는 **시버트(Sv)**이며, **방사능**은 방사선을 방출하는 능력으로 방사성물질의 원자핵이 단위시간당 붕괴되는 수를 의미하며 측정단위로는 **베크렐(Bq)**을 사용함.
- **방사선 피폭**이란 어떤 물체가 방사선 에너지를 흡수하는 현상으로 피폭 방식에 따라 인체외부에서 피폭되는 **외부피폭**과 흡입, 음식물 섭취 등을 통해 인체 내부조직을 오염시키는 **내부피폭**으로 구분됨.
- 피폭 시간에 따라, 높은 선량으로 단시간 피폭되는 **급성 피폭**과 낮은 선량으로 장기간 피폭되는 **만성피폭**으로 구분되며, 대체로 급성피폭이 만성피폭보다 상대적 위해가 큼.
- 피폭원에 따라, **자연방사선**과 **인공방사선**으로 구분되며, 진단이나 치료 목적으로 사용되는 **의료용 방사선**은 인공방사선에 포함됨(United Nations, 2008). 이 모든 것을 망라하여 **환경방사선**이라 하며 각국의 연평균 유효선량은 1.0~10mSv로 보고됨(UNSCEAR, 2000).
 - **자연 방사선**은 흙, 공기, 물, 채소, 생선, 육류 등 지구상 모든 물질로부터 자연적으로 발생되며, 전 세계적으로 평균 자연방사선량은 약 2.8mSv정도인 것으로 보고되고 있음. 그러나 우라늄 매장량, 해발고도 등 주거위치나 환경여건에 따라 차이가 상당함(브라질 가리바리시: 약 10mSv, 스웨덴: 6mSv, 우리나라: 3.08mSv)(한국원자력문화재단, 2011; The National Academies Press, 2006).
 - **인공방사선**은 의료 방사선, 보안검색장치, 전자제품, 원자력발전소 등 인위적인 행위에 의해 발생되며, 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection, 이하 ICRP)에서는 인체에 해가 없다고 생각하는 범위에서 인공방사선 선량한도를 제한하고 있고 일반인의 경우는 1mSv임(한국원자력안전기술원).

- **의료용 방사선**은 질병의 진단이나 치료 목적으로 발생되며, 흉부 엑스레이(X-ray) 1회 촬영 시 피폭량은 0.1~0.3mSv, CT의 경우 5~10mSv정도, 우리나라 국민의 연평균 의료용 방사선 피폭량은 0.74mSv정도로 보고되고 있음(한국동위원소협회, 2011). 그러나, 의료용 방사선 피폭은 질병의 진단이나 치료를 목적으로 하므로 선량의 높낮이로만 평가할 수는 없으며, 선량이 최적화된 것이라면 더 높은 선량도 감수할 수밖에 없음(한국동위원소협회, 2011).
- 방사선이 공기 및 인체 등으로 들어오면 인체 조직과 상호작용하며, 인체에 미치는 영향의 정도를 나타내는 척도로는 조사선량, 흡수선량, 등가선량, 유효선량 등이 있음.
 - **조사선량(exposure)**은 감마선이나 X선이 공기중에서 이동하면서 이들에 의하여 생성된 양이온 또는 전자에너지의 양을 말함.
 - **흡수선량(absorbed dose)**은 방사선이 매질에 흡수된 에너지의 양으로 단위는 그레이(Gray, Gy)를 사용하고, 매질 1kg에 1줄(J)이 흡수되면 1Gy가 됨.
 - **등가선량(dose equivalent)**은 인체에 미치는 방사선 영향을 나타내는 것으로 방사선의 종류와 에너지에 따라 인체에 미치는 방사선 영향이 각각 다르므로 흡수선량에 방사선 가중치를 고려하게 되며, 표준단위는 시버트(Sievert, Sv)를 사용함.
 - **유효선량(effective dose)**은 인체에 미치는 방사선 영향을 나타내는 것으로 신체의 조직 및 장기에 따라 각각 다르므로 등가선량에 조직가중치를 고려한 것으로, 단위는 등가선량과 동일함.

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

2.2. 방사선이 인체에 미치는 영향

2.2.1. 방사선 핵종에 따른 영향

- 원전사고로 인해 발생하는 방사성 또는 낙진은 대기를 통해 토양이나 해양을 오염시키고 오염된 토양, 해양에서 자란 농수산물에 흡수, 축적된 방사능 물질이 결국 인체에 흡수되어 영향을 미침.
- **요오드, 세슘, 은, 제논, 스트론튬, 플루토늄 등 방사성 핵종에 따라 인체에 미치는 영향은 다르며, 일본 원전사고 후 국내에서는 요오드, 세슘, 은, 제논 등이 검출되고 있음.**
- 방사성 핵종이 붕괴하면서 원자수가 반으로 줄어드는 것을 '반감기'라 하며, 핵분열이나 변환에 의한 물리적 반감기, 신체 대사과정에 의한 생물학적 반감기, 물리적 반감기와 생물학적 반감기 및 인체내 영향을 고려한 **유효반감기**로 구분됨(한국원자력문화재단, 2011).
- **방사성 요오드(I-131)**
 - 기체형태로 존재하며 **흡입하거나 오염된 식품섭취, 지하수 음용, 토양** 등으로 인체에 유입될 수 있음.
 - 물리적 반감기 **8일, 유효반감기 7.6일**(한국원자력문화재단, 2011)
 - 체르노빌 원전사고시(1986년) 방사성 요오드에 오염된 우유섭취로 인해 아동의 갑상선암 발생률이 증가한 바 있음(John P 등, 2011; UN보고서, 2008).
 - 원전사고 이후 국내에서도 미량 검출되었으나 현재(2011.5.30)기준으로 검출되지 않고 있음(한국원자력안전기술원, 2011).
- **방사성 세슘(Cs-137)**
 - 호흡기, 오염된 음식, 음용수에 의해 유입될 수 있고, 위장관을 통해 흡수됨.
 - 물리적 반감기 **30년, 유효반감기 약 108일**(한국원자력문화재단, 2011).
 - 원전사고 이후 국내에서 여전히 극미량 검출되고 있음.
- **방사성 제논(Xe-133)**
 - 불활성 기체 상태로 공기 중에 존재함.

- 흡입하더라도 몸에 흡수되지 않고 호흡으로 빠져나가 **인체에 미치는 영향은 미미함** (John P 등, 2011).
- 물리적 반감기 **5.3일**, 유효반감기 수분(한국원자력문화재단, 2011).
- 원전사고 이후 국내에서 극미량 검출되고 있으나 점차 감소하고 있음.

2.2.2. 방사선 피폭선량에 따른 영향

- 방사선 피폭선량에 따라 500mSv이상시 백혈구 감소, 1,500mSv이상시 방사선 속취, 4,000mSv이상시 피폭집단의 50% 사망 및 조혈계 장애, 5,000mSv이상시 탈모, 7,000mSv이상시 2-3주 이내에 100% 사망함(표 1).

표 1. 방사선 피폭 선량에 따른 신체적 증상

방사선량(mSv)	신체적 증상
500 이상	백혈구 감소
1,500 이상	방사선속취 반치사 선량
4,000 이상	전신조사시 30일 내 50% 사망, 조혈계 장애
5,000 이상	탈모
7,000 이상	전치사 선량 2~3주 이내 100% 사망

(한국원자력문화재단, 2011)

- 같은 인체부위에 피폭된 총 방사선량이 같더라도 발생하는 영향은 선량의 흡수선량률, 선량의 공간분포, 피폭범위, 개인차, 후속치료 등에 따라 달라 질 수 있음.
- 피폭량이 동일하더라도 피폭 시간, 횟수 등에 따라 영향의 정도는 다르며 같은 선량을 1 회 받은 경우가 몇 회로 나누어 받은 경우보다 영향을 많이 받는데, 이는 몸 속에 들어온 방사성 물질이 유효 반감기를 거치면서 소화, 배설되므로 처음에 받은 영향과는 같지 않기 때문임. 다만 유전자 돌연변이, 암 유발에 대한 회복 여부는 불확실함(한국동위원소협회, 2011).

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

2.2.3. 결정론적 영향과 확률론적 영향

- 인체에 방사선이 피폭되면 물리적, 화학적 반응에 의해 DNA가 손상될 수 있으며, 손상정도에 따라 건강에 미치는 영향이 다를 수 있음.
- 방사선이 인체에 미치는 영향은 피폭선량과 발현관계에 따라 크게 '결정론적 영향 (deterministic effects)'과 '확률론적 영향(Stochastic effects)'으로 구분됨(표 2).

표 2. 방사선의 인체 영향 분류

방사선 영향	결정론적 영향	신체적 영향	급성영향	피부반점, 탈모, 백혈구감소, 불임 등
			만성영향	백내장, 태아의 영향 등
	확률론적 영향	유전적 영향	유전적 영향	백혈병, 암
			유전적 영향	대사이상, 연골이상 등

(United Nations, 2008)

- 결정론적 영향 - 방사선 피폭으로 세포사멸 및 임상적 변화가 나타나는 것을 말하며, 문턱 선량을 초과하는 급성피폭시 영향을 미치고, 대표적 예로 급성방사선중후군(Acute Radiation Syndrome, 이하 ARS)이 있음.
 - 피폭선량에 비례하여 영향이 증가하며 구체적 증상은 피폭부위에 따라 피부 홍반, 수종, 궤양, 백내장, 수정체 혼탁, 신체 내부장기의 기능부전 및 부작용 등을 들 수 있음.
 - 전신의 여러 장기가 동시에 피폭될 경우 생명이 위험할 수도 있으며 생식세포 피폭시 일시적 혹은 영구적 불임이 될 수 있음.
- 확률론적 영향 - 방사선에 피폭된 세포가 사멸하지 않고 돌연변이 상태로 생존하는 경우 세포의 이상 증식, 세포 유전과정에 영향을 미치는 것을 말함. 장기간의 시간이 지난 후에 증상이 나타나며 모든 장기에 발생할 가능성이 있고 주로 암과 유전질환이 이에 해당함.
 - 적은 선량에서도 선량에 비례하여 나타난다는 과학적 근거는 없으나, 방사선 방호 목적으로 선량에 비례하여 발생위험이 증가하는 것으로 가정함(문턱선량이 없는 것으로 가정함, no-threshold).

- 낮은 선량에서도 선량에 비례하는 위험이 있는 것으로 가정하므로 방호목표에 따라 위험의 합리적 최소화(as low as reasonably achievabl, ALARA)를 원칙으로 함.
- 영향의 심각도는 암세포의 병리적 특성과 연관있으므로 방사선량과는 무관한 것으로 간주하며, 암 발생 원인이 방사선 외에도 다양하고 원인에 따른 임상적 차이가 분명하지 않아 원인을 규명하기는 쉽지 않음.

2.2.3.1. 결정론적 영향과 문턱선량

- 결정론적 영향은 피폭 후 **수주일**이내 나타나나, 수정체의 혼탁, 백내장, 피부장애등 6개월~수년후에 나타나는 경우도 있음.
- 결정론적 영향의 **문턱선량**은 대체로는 **1Gy**이상으로 보통 방사선작업종사자가 일생동안 받는 선량보다 많은 양임. 따라서 사고와 같은 특별한 경우가 아니면 방사선 피폭에 의한 급성, 결정론적 영향은 예상되지 않음.

2.2.3.2. 확률론적 영향과 위험

- 방사선 피폭에 의해 암과 유전결함의 발생은 확률론적 법칙에 따라 증가하는 것으로 가정함.
- 이는 적은 선량을 받은 사람이 많은 선량을 받은 사람보다 발생 확률은 낮지만 실제로 발병할 수도 있음을 의미함.
- **암**의 경우 다양한 발암원 또는 발암물질이 존재하며 방사선도 그 중 하나로, 미일 공동 연구소인 방사선 영향 연구재단(Radiation Effect Research Foundation, 이하 RERF)의 일본 원폭피해 생존자에 대한 역학 연구 결과에서 방사선이 발암원으로 인정된 바 있음.
- 암 발생 위험은 성별, 피폭 당시 연령, 인구집단의 문화적 차이에 따라서도 다르므로 방사선 피폭과 암 발생의 상관관계에 대한 정량적 평가를 위해서는 성별, 연령, 피폭후

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

경과 시간별 등의 세부 분석이 필요함.

- ICRP가 세계적 평균 인구집단에 대해 평가한 방사선 피폭으로 인한 암 위험계수는 Sv당 약 5.5%(아동 제외, 성인만을 대상으로 할 경우 Sv당 4.1%)로 100mSv를 피폭당한 사람들 10,000명 중 암으로 인한 사망은 일반인의 경우 50~60명, 성인의 경우 40명 내외로 예측하고 있음. 그러나 일반적인 피폭에 따른 암 위험수치는 평균치이므로 동일한 피폭상황이라도 성별, 인체 조직별, 특정집단이나 개인에 따라 다를 수 있으며 확률론적 영향이므로 그 값을 특정 그룹 또는 개인에 적용하는 것은 의미가 없다고 볼 수 있음.
- 유전적 결함도 암과 마찬가지로 확률론적 영향이므로 방사선 피폭에 의한 추가 위험값을 평가하기는 어려움.

2.3. 방사선 방호의 목표 및 대책

- 국제방사선방호위원회(ICRP)가 제시하는 방사선 방호의 목표는 '방사선 피폭으로 인한 결정론적 영향을 방지하고, 확률론적 영향을 합리적인 범위에서 최소로 유지한다'는 것임.
 - 낮은 선량에서의 확률론적 영향 위험 유무는 실질적으로 불확실하지만, 높은 선량에서 선량에 비례하는 만큼 낮은 선량에서도 비례한다(소위 무문턱 모델)고 가정할 경우, 선량을 "0"으로 만들지 않는 한 완전한 위험방지는 불가능하므로 '합리적인 범위에서 최소화'한다는 목표를 설정해 놓고 있음.
 - 반면 결정론적 영향은 상당히 높은 수준의 문턱선량이 존재하며 그 이하에서는 발생하지 않는다고 가정하기 때문에 개인의 피폭선량이 문턱선량보다 낮게 유지되는 한 위험에 대한 방지가 가능한 것으로 가정함.
- ICRP에서 제시하는 방사선 방호목표를 달성하기 위한 3가지 기본원칙은 다음과 같음.
 - **정당화 원칙(justification)** : 방사선 피폭상황의 변화를 초래하는 모든 활동은 손해 또는 위험보다 얻는 이득이 클 경우에만 정당화됨.
 - **최적화 원칙(optimization)** : 방사선 피폭량, 피폭자 수, 피폭 가능성은 경제적, 사회적 인자들을 고려하여 합리적으로 가능한 한 낮게(ALARA) 유지되어야 함.
 - **선량제한 원칙(dose limitation)** : 피폭은 선량제한치 이하로 제한되어야 함. 그러나 의료방사선 피폭에 대해서는 본래 의료목표를 침해할 우려가 있어 선량한도를 적용하지 않음.
- WHO에서는 방사선 방호 대책의 3대 기본 요소로 거리, 시간, 차폐를 제시하고 있음.
 - 방사선의 영향은 거리의 제곱에 반비례하므로 일단 피폭으로부터 멀리 떨어져야 하고,
 - 피폭 시간에 비례하므로 직접피폭시간을 줄여야하며,
 - 물질 투과 시 강도가 감소하기 때문에 적절한 방벽 뒤에 있거나, 방사선 투과율이 낮

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

은 물질로 몸을 가리거나 숨기는 것이 좋음(한국원자력안전기술원, 2011).

- 한국원자력안전기술원에서 제시하는 방사선 피폭시 행동요령 및 대피방법은 다음과 같음 (표 3).

표 3. 방사선 피폭 시 행동 요령 및 대피방법

주요 내용
<ul style="list-style-type: none"> - 방사선은 오감으로 감지가 불가능 하므로 주관적인 판단과 행동은 금물 - 라디오, TV, 민방위 조직 등을 통한 정부의 지시를 전적으로 신뢰하는 것이 중요 - 외출을 삼가고 옥내에 대피하며, 소개(疏開)가 필요한 경우 비상대응요원의 안내에 따를 것 - 비를 맞지 말며, 외출 시는 우산이나 비옷을 휴대할 것 - 우물이나 장독 등은 뚜껑을 덮을 것 - 음식물은 실내로 옮기고, 야외에서는 음식물을 먹지 말 것 - 대응으로 공급된 음식물 또는 오염검사를 한 후 허용된 음식물 이외에는 섭취하지 말 것 - 가축은 축사로 이동하고, 사료는 비닐로 덮을 것 - 야채, 과일 등 채소류는 잘 씻어서 먹을 것 - 집이나 사무실 창문은 닫아서 외부 공기 유입을 최소화 할 것

- 방사선 오염 및 피폭이 의심되는 경우 상황에 따라 적절한 조치가 취해져야 하며, 외부 피폭의 경우 옷을 벗거나 샤워 등을 통하여 외부 오염물질을 제거하고, 내부 피폭의 경우에는 핵종에 따른 적절한 약제를 사용하여 이를 외부로 배출시키거나, 신체에 침착 되는 것을 방지하여 체내 잔류량을 최소화하여야 함(국가방사선비상진료센터, 2011).

- 방사선 방호 의약품으로는 **요오드화칼륨정**(Potassium Iodide, KI, 130mg)과 **프루시안블루 캡슐**(Prussian blue, 500mg) 등이 있음.

- **요오드화칼륨정**은 인체(갑상선)에 방사성 요오드가 축적되는 것을 방지하며 방사성 요오드로 인한 피폭이 100mSv이상인 경우 투약함.

- 100mSv이하에서 남용될 경우 갑상선염, 갑상선종, 갑상선 기능 항진증 등 여러가지 부작용 발생할 수 있음(식품의약품안전청, 2011).

- 우리나라의 경우, 평상시에도 세계보건기구(World Health Organization, 이하 WHO) 권장량($150\mu\text{g}/\text{일}=\text{김}3\text{장}$)보다 20배 많은 요오드를 섭취하고 있으므로

요오드 함유 식품을 더 많이 섭취할 필요가 없으며, 과다섭취 시 오히려 갑상선 기능 저하증을 유발할 수도 있음(한국원자력문화재단, 2011).

- 건강기능식품이나 불법 판매식품에는 방사성 요오드에 대한 예방 및 치료효과가 전혀 없으며 오히려 부작용의 가능성이 있으므로 주의해야 함(한국원자력문화재단, 2011).
- 프루시안 블루캡슐은 방사성세슘에 피폭된 경우 투약하며 위장관계에서 방사성 세슘을 포획하여 대변으로 배출시키는 역할을 함(국가방사선비상진료센터).

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

3. 연구방법

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

3.1. 현황조사

- 현재 상황에서 일본 원전사고가 국내에 미친 영향, 방사선 방호의 목표 및 대책, 국가적 대처방안 등에 대해 검토함.

3.2. 문헌조사

- 방사선이 인체에 미치는 영향에 대한 근거를 평가하기 위해 기존 원전사고 관련 보고서 및 국내외 문헌을 검토함.
- 기존 원전사고와 관련하여 방사선이 인체에 미치는 영향에 대한 근거를 제시한 대표적인 보고서로는 UN 방사선과학위원회의 UNSCEAR 보고서(2008), 미국 과학원의 BEIR VII보고서(2006), WHO의 보고서(2006) 등이 있으며 이를 토대로 원전사고가 건강에 미치는 영향에 대해 검토함.
- 국내외 문헌검토는 한국보건의료연구원 'RAPID'프로그램의 운영방안을 토대로 수행함. PubMed, KoreaMed, KMBASE 등 문헌검색 데이터베이스를 이용하여 간략 검색하고, 원전사고가 건강에 미치는 영향을 검토함.

3.3. 전문가 토론회

- “일본 원전사고로 인한 방사선이 인체에 미치는 영향”에 대한 자문을 위해 핵의학과, 영상 의학과, 예방의학과 전문의, 원자력 전문가 등으로 구성된 토론회를 개최함.

4. 연구결과

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

4.1. 현황조사

4.1.1. 일본 원전사고가 국내에 미친 영향

- 일본 원전사고(3월 11일)이후 국내에서는 대기중 방사성 요오드(**I-131**), 방사성 세슘(**Cs-137,134**), 방사성 제논(**Xe-133**)등이 검출되고 있으며, 한국원자력안전기술원에서 제시한 현재(6월 1일)까지의 최대 검출량은 다음과 같음(표 4).

표 4. 후쿠시마 원전사고 이후 국내 대기중 방사성 물질 최대 검출량

방사성 핵종의 종류	후쿠시마 원전사고 이후 국내 대기중에 검출되는 최대 방사성물질 검출량 (mBq/m ³) (현재 6.1까지)
방사성 요오드 (I-131)	3.12
방사성 세슘 (Cs-137)	0.550
방사성 은 (Ag 110-m)	0.153
방사성 제논 (Xe-133)	0.928
스트론튬 (Sr-90)	-
플루토늄 (Pu-239, 240)	-

- 국내에서 검출된 방사성 물질의 양을 연간피폭선량으로 환산한 값은 1mSv이하로 다음과 같음(연간피폭선량: 지속되는 대기중에 검출된 농도로 1년동안 노출될 경우의 피폭선량).
 - 요오드(I-131) : 3.12mBq/m³, 연간피폭선량으로 환산 시 0.000301mSv
= 일반인의 연간 선량한도(1mSv)의 약 1/3,300
 - 세슘(Cs-137) : 0.550mBq/m³, 연간피폭선량으로 환산 시 0.000284mSv
= 일반인의 연간선량한도(1mSv)의 약 1/3,500
 - 은(Ag 110-m) : 0.153mBq/m³, 연간피폭선량으로 환산 시 0.0000268mSv
= 일반인의 연간선량한도(1mSv)의 약 1/37,000
 - 제논(Xe-133) : 0.928mBq/m³, 연간피폭선량으로 환산 시 0.0000602mSv
= 일반인의 연간선량한도(1mSv)의 약 1/17,000
- 현재 상황에서 원전사고로 인해 추가로 피폭될 수 있는 최대량은 1mSv이하로 추정되며 자연방사선에 의한 피폭량의 1/10,000보다 작음(대한핵의학회, 2011).

- **1mSv이하 피폭량**이 인체에 미치는 영향에 대한 근거 자료는 아직 **충분치 않아** 그 영향에 대한 예측에는 **불확실성**이 존재함.
- 현재와 같이 방사선 피폭량이 **1mSv이하인 불확실성이 존재하는 상황에서는 '부적절한 예방행동'**이 불필요한 불안감 및 부작용 등을 유발할 수 있으며, **득보다 실이 클수 있음.**
- 높은 선량 피폭시 위해요소가 있음을 경시할 수는 없으나, 불확실한 영역에 대한 위험 회피를 위해 과도한 사회적 자원을 낭비하는 것 역시 적절하지 않으며, '광우병 사태'와 같이 과학적, 객관적 근거에 근거하지 않은 사회적 반응이 더 문제가 되는 경우도 있음.
- 이에 방사선위험에 대한 올바른 이해와 **사전예방원칙(Precautionary Principle)과 ALARA원칙(as low as reasonably achievable, 이하 ALARA)** 등에 근거해 합리적인 범위 내에서 위험을 가능한 최소화시키는 것이 적절함.
- 또한, 만약의 사태에 대비하여, '외부피폭'뿐 아니라 식수와 식품 등을 통한 '내부피폭'도 고려해야 하므로 사회적 차원에서의 주기적인 오염여부 모니터링(식수, 식품, 대기, 토양 등) 및 적절한 조치, 지속적인 근거와 정보제공이 필요함. 이에 상응하는 대처는 개인적 판단으로 선택할 수 있음.

4.1.2. 국내·외 대처체계

4.1.2.1. 원자력 안전규제 동향

- 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency, 이하 IAEA)등 국제기 구에서는 기본적으로 '원자력에너지의 이용 증진'과 '안전 관리'에 대해 서로 독립된 기관과 조직에서 담당할 것을 권유하고 있으며 이에 따라, 각 선진국들은 원자력 규제기관을 독립적으로 운영하거나, 독립기관으로 분리시키는 추세임(표 5).
- **IAEA 원자력안전협약 제 8조** : 각 체약 당사자는 규제기관의 기능을 원자력 에너지 이용 또는 증진과 관련된 다른 기관이나 조직의 기능을 효과적으로 분리하도록 적절한 조치를 취하여야 함.

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

- 우리나라의 경우 두 기능을 담당하는 행정부서가 현재는 ‘교육과학기술부’로 일원화되어 있으나, 곧 두 기능을 분리하여 오는 10월 ‘원자력안전위원회’를 출범할 예정임(표 5).
- 지난 6월 22일, 국회 교육과학기술위원회는 세계적으로 원자력 이용·진흥과 안전규제를 분리하는 추세에 맞춰 ‘원자력안전위원회’ 신설과 관련된 원자력법 개정안, 원자력안전위 설치 및 운영에 관한 법률안, 한국원자력안전기술원법 개정안, 원자력안전법안, 원자력시설 등의 방호 및 방사능 방재대책법 개정안 등 관련 법률 제·개정안을 통과시켰으며, 29일 본회의에서 승인되었음.
- 이에 10월 출범예정인 ‘원자력안전위원회’는 대통령직속 합의제 중앙행정기관으로 설치되며 총 7~9명으로 구성됨. 원자력진흥종합계획 등 원자력 진흥업무는 교육과학기술부에 그대로 두고, ‘원자력안전위원회’에서는 원자로 건설·운영, 방사성동위원소 및 방사선발생장치 폐기 및 운반, 핵연료주기사업 인허가 등 원자력과 관련된 안전규제 업무를 전담하게 되며, 현재 교과부 소속인 한국원자력안전기술원(KINS)과 한국원자력통제기술원이 원자력안전위 산하로 이관될 예정임.

표 5. 주요 선진국과 한국의 원자력 행정체제 현황

국가	원자력이용정책	안전규제	원전사업	에너지정책
미국	에너지부 (에너지정책차원)	원자력규제위원회(NRC)	민간 (지역별발전사업자)	에너지부
프랑스	원자력청(CEA)	원자력안전청(ASN)	프랑스원자력공사 (EDF)	경제,재정, 산업부
캐나다	연구개발에 한해 캐나다원자력공사 (AECL)	캐나다원자력안전 위원회(CNSC)	캐나다원자력공사 (AECL)	천연자원부 (NRCan)
러시아	연방원자력청	생태환경기술원자력 감독청	러시아 국영원자력공사	천연자원부
일본	통상산업성(산업용 원전의 이용정책 + 안전규제)		민간 (지역별발전사업자)	통상산업성 (자원에너지청)
	문부과학성(연구용 원자로 이용정책 + 안전규제)			
독일	연방교육연구부 (BMBF)	연방환경자연보호 원자력안전부(BMU)	-	연방경제기술 부(BMWI)
한국(현행)	교육과학기술부		한국수력원자력	지식경제부
한국(향후 10월 이원화 예정)	교육과학기술부	원자력안전위원회	한국수력원자력	지식경제부

4.1.2.2. 국내 대처체계현황

- 현재 우리나라는 “원자력시설 등의 방호 및 방사능방재대책법” (공포 2003. 5. 15 법률 제6873호, 시행 2004. 2. 16)에 따라 방사능 사고나 재난 발생 시 국무 총리실 산하로 교육과학기술부에 ‘중앙방사능방재대책본부’를 설치하고 그 산하에 방사선비상의료지원본부(한국원자력의학원), 원전비상대책본부(한국수력원자력), 지역방사능방재대책본부(지자체), 방사능방호기술지원본부(한국원자력안전기술원), 방사선비상진료센터(원자력병원)등의 국가방사능체계를 구축하고 있음(국가방사선비상진료센터)(그림 1, 그림 2).

그림 1. 국가방사능방재체계



그림 2. 국가방사선비상진료체계



방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

- 국가방사선비상진료센터는 '피폭치료, 방사선 비상진료기관과의 합동 의료구호 활동, 방사선 사고에 관한 자문 및 기술지원, 피폭선량 평가자료 수집, 관련기관에 정보제공 등'의 임무가 있으며 기능은 다음과 같음(표 6).

표 6. 국가방사선비상진료체계의 기능

구분	기능
국가방사선비상진료센터	1. 방사선피폭환자의 응급진료 등 방사선비상진료 2. 방사선비상진료요원 및 구조요원에 대한 교육, 훈련 3. 1차 및 2차 방사선비상진료기관에 대한 지원 4. 방사선비상진료관련 연구 5. 그 밖에 비상진료센터의 장이 방사선비상진료에 필요하다고 인정하는 방사선 비상진료관련 업무
1차 방사선비상진료기관 (9개소)	1. 방사선피폭환자의 응급진료 등 방사선비상진료 2. 방사선피폭환자에 대한 기록보존 및 비상진료센터를 경유하여 교육과학기술부장관에게 보고 3. 필요시 비상진료센터 또는 2차 비상진료기관으로 환자이송 4. 방사선비상진료교육 참여
2차 방사선비상진료기관 (12개소)	1. 방사선피폭환자의 응급진료 등 방사선비상진료 2. 방사선피폭환자에 대한 기록보존 및 비상진료센터를 경유하여 교육과학기술부장관에게 보고 3. 필요시 비상진료센터로 환자이송 4. 방사선비상진료교육 참여

- 현재 전국 2개 방사선 비상진료기관에 400여명의 방사선 비상진료요원이 지정되어 있으며, 방사선 비상진료요원을 비롯한 비상대응장비 및 개인방호장비를 보유하고 있으나, 만약의 사태를 대비할 경우, 국내 원전이 몰려있는 영남지역 인구가 800만명임을 감안할 때 현재 대비체계 및 비축량 등은 상당히 부족한 수준이라 할수 있음.
- 한국원자력안전기술원에서는 환경방사선감시망 체계를 통해 전국 71곳의 방사선량 측정 및 국내 미치는 방사선량에 대한 시뮬레이션을 실시하고 있으며, 홈페이지(<http://iernet.kins.re.kr>)에 환경방사선량률을 실시간으로 제공하고 있음.
- 식품의약품안전청에서는 현재 일본에서 수입되거나 일본을 경유하여 수입되는 농·임산물, 가공식품, 식품첨가물, 건강기능식품에 대해 세슘과 요오드 등 방사능 오염여부 검사를 매 수입 분에 대해 실시하고 있음.

- 그 외, 이번 원전 사고와 관련 방사선영향에 대한 국민들의 불안감이 높아짐에 따라 정부는 국무총리실을 중심으로 외교통상부, 교육과학기술부, 지식경제부, 문화체육관광부, 농림수산식품부, 관세청 등의 관계부처가 참여하는 태스크포스팀(Task Force Team, 이하 TFT)을 꾸려 범정부적 대응에 나선 바 있음.

4.1.2.3. 현 체계의 문제점과 보완할 점

- 현재 국가방사선비상진료체계는 국내에서의 원자력 사고 발생에 대비한 것으로 국제 원자력기구(IAEA)가 만든 국제원자력사고등급(International Nuclear and Radiological Event Scale, INES)을 토대로 마련되어 있음. 그러나, 향후 인접국(예: 중국)이나 국내 원전사고 발생을 대비할 경우 지금의 상태로는 예산, 시설 및 전담 인력 등이 부족한 상황이며 특히, 응급의료체계와의 유기적인 연계 구축에 대한 제도화 마련 등 적극적 대비가 필요함.
- 식품의약품안전청에서는 현재 일본에서 수입되는 농·임산물, 가공식품, 식품첨가물, 건강기능식품에 대해 방사능 오염여부를 검사하고 있으나 향후 일본수입식품 뿐 아니라 국내에서 생산되는 식품에 대한 주기적인 모니터링도 필요하며, 식수에 대한 방사능오염 모니터링 체계 구축도 시급히 이루어져야 할 것임.
- 또한, 주요 관리대상 매체에 대한 방사선 오염 관리기준 설정 및 모니터링 수행 뿐 아니라, 방사선 오염에 의한 건강영향평가(역학조사), 인접국(중국 등) 및 국내 사고에 대비한 대비책 마련, 국제협력 프로그램 추진 등에 대한 대책수립이 필요할 것으로 사료됨.

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

4.2. 문헌조사

4.2.1. 선행 보고서 조사

- 방사선이 인체에 미치는 영향에 대한 보고서는 대표적으로 '유엔 방사선과학위원회의 **UNSCEAR 보고서(2008)**, 미국 과학원의 방사선 영향보고서인 **BEIR VII보고서(2006)**, **WHO의 보고서(2006)** 등이 있으며 인체에 미치는 영향은 다음과 같음.

4.2.1.1. 갑상선암

- UNSCEAR 보고서(2008)에 제시된 Jacob 등(2006)의 연구에서는 체르노빌 사고 후 벨라루스와 우크라이나 등 4개 지역 아동을 대상으로 추적관찰시 갑상선암 발생이 높았으며, 특히 0-5세에 피폭된 경우 10-14세에 피폭된 것보다 5배정도 발생률이 높은 것으로 보고함.
- WHO 보고서(2006)에서 제시된 Ron 등(1995)의 연구에 따르면 어린이 및 청소년기에 방사선에 피폭된 집단에서 갑상선암 발생 위험이 1Gy당 8.7배 높은 것으로 보고되었으며 (OR 8.7(98% CI 3.1-9.7)), 피폭량에 따른 암 발생률 등은 추후 연구가 더 필요한 것으로 보고함.
- Rahu 등(1997)의 연구에서는 체르노빌 사고 복구작업에 참여했던 근로자들의 갑상선암 초과 발생률이 일반인에 비해 7.08배 높은 것으로 보고하였으나(Standardized Incidence Ratios 7.08(95% CI 2.84-14.55)), 용량-반응간의 관계는 근거가 없는 것으로 보고함.

4.2.1.2. 백혈병

- WHO 보고서(2006)에서 제시된 Preston 등(1994)의 히로시마 원폭 생존자들을 대상으로 한 연구에서 백혈병 발생률이 증가한 것으로 보고되었으며, Ivanov 등(1998)의 연구에서는 체르노빌 사고 후 고멜(Gomel)과 모길료프(Mogilev)지역의 백혈병 상

대위험비(RR)가 1.5배로 보고하였고(95% CI 0.63-3.61), 어린이의 급성백혈병 발병률이 1.5배 높은 것으로 보고하였으나 통계적으로 유의하지는 않았음(OR 1.5, 95%CI 0.8-2.6).

- Ivanov 등(2002)의 연구에서는 원전사고 작업장 종사자중 150mGy이상에 피폭된 사람에서 백혈병(non-CLL)의 발병이 2배 증가하였다고 보고함.
- BEIR VII 보고서(2006)에서는 평균적으로 100명중 42명에서 암 발생 가능성이 있으며, 100mSv 선량으로 인해 100명 중 약 1명에서 추가적으로 암(고형암이나 백혈병)이 발생하는 것으로 예측함.
- UNSCEAR 보고서(2008)에서는 직업적인 방사선 피폭으로 백혈병 발생률이 증가하였으며 100mSv 이상시 선형의 용량-반응 관계를 보였으나, 태아 또는 어린이 시기에 피폭된 경우 방사선 피폭과 발생과의 명확한 근거는 없는 것으로 보고함. 또한, 역학적 데이터를 기반으로 추정된 결과 1 Sv피폭시 사망률이 1%로 나타났으며 이보다 낮은 선량에서의 위험률은 피폭량이 적을수록 발병률이 적은 것으로 추정되지만 낮은 통계 검정력, 불확실성, 내부적 불일치 등이 있다고 언급함.

4.2.1.3. 고형암

- WHO 보고서(2006)에 따르면 벨라루스, 러시아 및 우크라이나 사람을 대상으로 연구한 결과 방사선 노출과 고형암 발생의 관계가 명확하지 않으며, 이는 혈액암과 달리 피폭과 질병 발생까지 걸리는 시간이 길기 때문인 것으로 아직 질병이 발현되지 않았을 가능성이 있다고 보고함.
- Ivanov 등(2004)의 연구에서는 원전사고 30 km이내에서 피폭된 55,718명을 대상으로 조사한 결과 대상자의 평균 피폭량은 0.13 Gy(범위 0.001-0.3 Gy)였고, 사고발생 5~15년 후 고형암 발생률은 2.4%(1370/55,718명)인 것으로 보고함(갑상선암 43명 포함).
- UNSCEAR 보고서(2008)에 따르면, 러시아와 우크라이나 피폭지역 복구 작업에 참여한 작업자들을 대상으로 한 연구에서 피폭과 암 발생률에 대한 근거는 혼재되어 있는

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

것으로 보고함.

또한, 체르노빌 사건으로 축적된 방사성 물질에 오염된 사람들에서의 암 발생률, 사망률의 증가와 방사선과의 관련성에 대한 결과를 도출하기에는 방사선 양의 수준이 너무 낮은 것으로 보고함.

4.2.1.4. 기타질환

□ 백내장 등 안과질환

- UNSCEAR 보고서(2008)에 따르면 일부 연구에서 백내장은 상대적으로 저선량의 방사선에 노출된 후 발생하였고 수정체 혼탁후 심한 시력 장애나 백내장으로 진행되는지에 대해서는 추후연구가 필요하다고 언급함.

□ 심혈관계 및 뇌혈관계 질환

- 일본 원폭생존자들을 대상으로 한 Wong 등(1999)의 연구에서 한번에 0~4 Gy로 전신피폭된 경우 피폭량에 비례하여 심혈관계 질환이 14% 증가하는 것으로 보고함.
- UNSCEAR 보고서(2008)에서는 체르노빌 사건으로 인한 방사선 피폭과 심혈관계 및 뇌혈관계 질환 발생률과 사망률에 대한 명확한 관계는 근거가 부족한 것으로 보고함.

□ 생식기계 질환

- WHO 보고서(2006)에 따르면 1~6 Gy는 무정자증 혹은 정액감소증을 일으키고 한번에 1.5~6.5 Gy에 피폭 혹은 분할하여 1.5~12 Gy에 피폭시 일시적 불임이나 임신장애, 한번에 3.2~10Gy에 피폭 혹은 고선량에 계속해서 피폭시 영구적 불임이 나타나는 것으로 보고함(Andrews 등, 1980).
- UNSCEAR(2001) 보고서에서는 방사선의 영향과 선천적 결손증, 태아 기형 증가와의 상관관계는 없는 것으로 보고하였으나, 배아기와 태아기 특히 0~10일 수정기간에는 치명적인 영향을 받는 것으로 보고함(WHO 2006의 재인용).

□ 신경정신계 질환

- WHO 보고서(2006)에서는 체르노빌 사고 당시 피폭된 대상자의 불안이 2배 정도 높은 것으로 나타났고, 원인불명의 신체 질환 등이 3-4배 높게 나타난 것으로 보고하였으며(Havenaar 등, 1997; Allen 등, 1995; Bromet 등, 2002), 우크라이나와 러시아 작업장 근로자를 대상으로 인지장애, 뇌파변화, 정신분열증, 치매, 기질성 뇌기능 장애의 증상이 매우 높게 나타난 것으로 보고함(Loganovsky & Loganovskaja, 2000). 피폭수준에 따라 태아 뇌에 미치는 영향은 근거가 없는 것으로 보고함.

4.2.1.5. 추후 연구방안

- WHO 보고서(2006)에서는 방사선 사고와 관련하여 관리방안 및 추후 연구방향에 대해 다음과 같이 제안함.
 - 고선량에 피폭된 대상자의 추후관리 및 의료적 치료는 지속되어야 하며, 방사선 피폭 대상자의 코호트작성은 지속되어야 함.
 - 건강 생활습관과 영양 증진, 심혈관계 질환 조기 발견과 예방, 정신 건강 향상 등 특화 프로그램이 요구되며, 특히 취약대상(예; 방사성 요오드에 노출된 아동)은 특별한 선별 검사 대상자(예; 갑상선 암 검진)로 고려되어야 함.
 - 1 Gy미만에 노출된 대상에 대한 추적관리 프로그램에 대해서는 필요성 대비 비용-효과성이 재조사되어야 하며, 전문가에 의한 광범위한 조사나 매년 수행하는 혈액 및 소변 검사는 불필요한 것으로 사료됨. 또한, 갑상선암 선별검사도 지속되어야 하지만 비용-효과가 평가되어야 할 것임.
 - 새로운 과학적 기술이나 연구결과들이 잠재적인 방사선 영향을 개선하는데 중요한 역할을 한다면 이러한 연구들은 착수되고 지속되어야 함.
 - 방사선 노출과 관련된 추적관찰 연구는 개인별 방사선 흡수량 측정, 적절한 비교군 선정과 교란변수 등과 함께 수행되어야 함.

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

4.2.2. 일차 문헌조사

4.2.2.1. 국내

- 국내 문헌의 경우 2011년 4월 28일 KoreaMed와 KMBASE에서 ('nuclear accident' or 'radiation accident' or 'radioactive release') 로 간략 검색한 결과 29편 검색되었으며, 방사선이 인체에 미치는 영향과 관련된 문헌은 1편으로 작업장에서의 방사선 영향에 대한 것이었음.
- Jin 등(2010)은 한국 작업장에서의 방사선 피폭 수준 분석 및 관련 사례들을 조사한 결과, 방사선 관련 작업장은 의료분야가 53%로 가장 많았고 원자력 발전소(21.3%), 산업장(17.5%)순이었으며, 개인별 방사선 피폭 수준은 산업장이 1.60mSv로 가장 높았고 의료분야 1.44mSv, 원자력발전소 0.87mSv 순이었음.
- 1972년부터 2009년까지 발생한 방사선 사고 관련 질환으로는 백혈병, 췌장암, 대장암, 다발성 골수종 등이 있었음.

4.2.2.2. 국외

- 국외문헌은 PubMed에서 2011년 4월 25일('Radioactive Hazard Release' OR 'nuclear accident*' OR 'radiation accident*' OR 'radioactive release*')를 검색어로 간략 검색하고 '2006년 이후'(최근 5년 이내 문헌)와 인간을 대상으로 한 연구 등제한 기능을 사용하여 검색한 결과 41편이 검색되었으며 방사선이 인체에 미치는 영향에 관한 문헌은 총 8편이었음.
- 질환별로 구분하면 갑상선암 관련 연구 2편(Zablotska 등, 2011; Tukiendorf 등, 2010), 백혈병 관련 연구 3편(Noshchenko 등, 2010; Kesminiene 등, 2008; Davis 등, 2006), 고형암 발생 관련 연구 1편(Eidemüller 등, 2010)있었고, 그외 방사선이 신생아에 미친 영향(Wertelecki 등, 2010)과 급성방사선증후군의 다양한 임상증상 및 용량-반응 관계에 대해 조사한 연구 (Azizova 등, 2008)가 각 1편씩 있었으며 주요결과는 다음과 같음.

□ 갑상선암

- Zablotska 등(2011)은 체르노빌 사고 당시 벨라루스에 살았던 18세 이하 11,970 명중 0.73%(87/11,970명)에서 갑상선암이 발생하였고, 피폭량 5Gy 미만에서는 Gy당 초과오즈비가 2.15(95% CI 0.81-5.47)로 선형의 용량-반응 관계를 보였다고 보고함. 또한, 사고 당시 5-18세 사이에 피폭된 사람에 비해(5-11세: EOR 1.95(95%CI 0.41-6.17), 12-18세: EOR 1.40(95% CI NE-4.95)) 5세 이전에 피폭된 대상(EOR 4.02(95% CI 0.98-15.07))에서 초과오즈비가 높았으나 통계적으로 유의하지는 않았음($P=0.48$).
- Tukiendorf 등(2010)은 체르노빌 사고로 인해 폴란드에서 최고로 오염이 많이 된 오폴레(Opole) 지역의 갑상선암 발생률에 대해 연구한 결과, 세슘 농도가 높아질수록 갑상선암 발생이 유의하게 증가한 것으로 보고하였고($p<0.025$), 사고 직후 8년간(1987-1994)과 그 이후 8년간(1995-2002) 비교시 두 번째 시기(1995-2002년)에 발병률이 약 두 배 정도 높은 것으로 보고함.

□ 백혈병

- Noshchenko 등(2010)은 체르노빌 사고당시 0-5세였던 아동을 대상으로 1987년부터 1997년까지 백혈병으로 진단받은 246명을 조사한 결과 246명중 급성 림프구성 백혈병이 74.0%(182/246명), 급성 골수구성백혈병이 23.6%(58/246명)였으며, 피폭선량 0-3mGy미만의 경우에 비해 3-10mGy에서 상대위험비가 1.5(95%CI 1.0-2.8, $p=0.2$), 10-100mGy에서 2.1(95%CI 1.2-3.7, $p=0.02$), 100-313mGy에서 4.4(95% CI 1.3-15.1, $p=0.02$)로 보고함.
- Kesminiene 등(2008)은 체르노빌 사고복구 근로자중 악성 혈액 종양 117명을 조사해본 결과 백혈병 59%(69/117명), 비호지킨림프종 29%(34/117명), 기타 악성 혈액종양 12%(14/117명)로 보고하였으며, 대상자의 피폭선량의 중앙값은 13mGy였고, 피폭량 100mGy 당 초과상대위험비(ERR)는 0.60(90% CI -0.02-2.35)로 보고함.

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

- Davis 등(2006)은 체르노빌 사고 당시 오염지역(벨라루스, 러시아, 우크라이나 지역)의 태어나 6세 이하 어린이 중 급성백혈병을 진단받은(1986.4.26-2000.12.31) 421명을 대상으로 조사한 결과 방사선 피폭 수준은 평균 15mGy 미만이었고 피폭량에 따라 발생위험은 1mGy이하에 비해 1-5mGy에서 1.46(95%CI 0.998-2.12), 5mGy 이상에서 2.60(95%CI 1.70-3.96)으로 보고함. Gy당 초과상대위험비는 32.4(95%CI 8.78-84.0, $p=0.003$)로 보고함.

□ 기탁질환

- Wertelecki 등(2010)은 체르노빌 사고로 인한 방사선 피폭지역인 리브니 지역에서 2000-2006년 태어난 신생아 96,438명을 대상으로 기형 발생에 대해 조사한 결과 신경관 장애 발생이 0.3%(298/96,438명)에서 발생하였으며, 신경관장애, 소두증 등이 발생한 것으로 보고함. 또한, 리브니 지역 중 세슘에 가장 많이 오염된 지역 중 하나인 폴리시아 지역과 나머지 지역을 구분하여 신생아 기형에 대해 살펴본 결과, 신경관 장애 발생은 폴리시아 지역에서 신생아 10,000명 중 27.0명 타 지역에서는 18.3명으로 1.46배 높았으며(95% CI 1.13-1.93, $p=0.003$), 소두증은 2.8배 었음을 보고함(95% CI 1.15-6.79, $p=0.02$).
- Azizova 등(2008)은 러시아지역에서 급성 방사선 증후군을 진단받은 59명에 대해 조사해본 결과 임상 증상 및 징후로 식욕부진, 오심, 구토, 두통, 어지러움증, 쇠약감, 비정상적인 통증, 설사, 저혈압, 체온 상승등이 나타났고, 외부 피폭선량 중앙값은 급성방사선증후군 1단계에서 0.5 Gy, 2단계 1.5 Gy, 3단계 3.5 Gy, 4단계 10.8 Gy, 5단계 46.0 Gy이었으며, 구토, 설사, 체온 상승, 빈맥, 저혈압이나 이들의 복합 발생 빈도는 피폭 선량이 증가할수록 높은 것으로 보고함.

4.3. 전문가 토론회

4.3.1. 토론회 진행

4.3.1.1. 1차 토론회 : 의학적 측면에서의 방사선 영향, 어떻게 대처해야 하나?

□ 일본 원전사고가 국내에 미치는 보건의료적 영향 및 대국민 전달방법의 모색방안 논의

- 일시 : 2011년 4월 20일(수) 10:30~11:30
- 진행 : 허대석 원장(한국보건의료연구원)
- 토론참석자 : 이승숙 박사(한국원자력의학원 국가방사선 비상진료센터 센터장), 강건욱 교수(서울대 핵의학과), 이재성 박사(한국원자력안전원), 도경현 교수(아산 병원 영상의학과)
- 주요 내용
 - 일본 원전사고 관련 현재 국내 상황 및 문제점: 보건의료적 측면에서의 신뢰성 있고 합 의된 정보 부족 및 그로 인한 국민의 혼란 가중.
 - 보건의료적 측면에서의 정확하고 객관적인 정보를 토대로 대국민 전달을 위한 방법 논의: 신뢰성 있는 근거 자료 및 전문가의 의견을 토대로 핵심내용(core contents)을 정하고 그에 따른 핵심 정보(core information)를 뽑아 근거안(statements)을 작성하기로 결정함.

4.3.1.2. 2차 토론회 : 의학적 측면에서의 핵심정보 수렴

- 일시 : 2011년 4월 29일(금) 7:00 ~ 8:20
- 진행 : 허대석 원장(한국보건의료연구원)
- 토론참석자 : 이승숙 박사(한국원자력의학원 국가방사선 비상진료센터 센터장), 강건욱 교수(서울대 핵의학과), 이재성 박사(한국원자력안전원), 도경현 교수(아산 병원 영상의학과)
- 주요 내용

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

- 의학적 영향 및 객관적 정보 전달을 위한 핵심 내용 및 정보에 대한 논의
- 다른 견해를 갖고 있는 토론자와의 추가토론 여부 및 참석자 결정

4.3.1.3. 3차 토론회 : 의학적 측면에서의 핵심정보 도출

- 일시 : 2011년 5월 11일(수) 14:00 ~ 16:30
- 진행 : 허대석 원장(한국보건 의료연구원)
- 토론참석자 : 이승숙 박사(한국원자력의학원 국가방사선 비상진료센터 센터장), 강건욱 교수(서울대 핵의학과), 이재성 박사(한국원자력안전원), 도경현 교수(아산 병원 영상의학과), 하미나 교수(단국대 예방의학과)
- 주요 내용
 - 방사선의 의학적 영향에 대한 연구진의 발제 및 토론
 - 핵심 내용 및 정보에 대한 논의
 - 토론을 통해 도출된 내용을 바탕으로 근거평가 보고(안)을 정리하여 관련학회 의견을 수렴하기로 결정.

4.3.2. 관련 학회 의견 조희

- 3차 비공개토론회를 거쳐 도출된 근거(안)에 대해 관련학회 의견을 조희하기로 함. 관련 학회는 토론 참석자들의 자문을 통해 8곳으로 선정함.
 - 일시 : 2011년 6월 10일(금) ~ 7월 1일(금)
 - 진행방법 : 공문 및 메일 발송
 - 의견조희내용 : 토론을 통하여 도출된 근거평가 보고(안)에 대한 관련 학회의견 조희.
 - 대상학회 : 대한의학회, 대한방사선종양학회, 대한영상의학회, 대한예방의학회, 대한핵의학 회, 대한방사선방어학회, 대한방사선과학회, 한국방사선학회
 - 회신학회 : 대한의학회, 대한방사선종양학회, 대한영상의학회, 대한방사선과학회, 한국방사 선학회 이상 총 5개 학회
 - 회신의견 : 근거평가 보고안에 대한 특이사항 없었으나, 일부학회에서 전문가 단체가 연 구자로 참여하지 않은 점에 대해 언급함.

4.3.3. 근거평가 보고안

일본 후쿠시마 원전사고와 관련하여 '방사선이 인체에 미치는 영향'에 대한 근거를 평가하고 4월 20일, 29일, 5월 11일 세 차례 전문가 토론과 자문을 거쳐 마련된 근거평가 보고안은 다음과 같음.

4.3.3.1. 일본 원전사고가 국내에 미친 영향

- 일본 원전사고 후 현재까지 국내 대기중 검출되는 방사성 요오드의 최대 농도는 $3.12\text{mBq}/\text{m}^3$ (0.000301mSv), 방사성 세슘의 경우 $0.550\text{mBq}/\text{m}^3$ (0.000284mSv) 정도로, 현재 상황에서 추가로 피폭될 수 있는 최대 방사선량은 1mSv 이하로 추정됨(한국원자력안전기술원; 대한핵의학회 2011). 이는 피폭시 위험이 명확히 입증되어 있는 100mSv 이상의 수준이 아니었음(Azizova et al 2008; WHO 2006; Andrews et al 1980).
- 우리나라의 경우, 일반인이 자연에서 받는 방사선 피폭량은 연간 3.08mSv 이며, 원자력법 시행령 및 국제 방사선 방호위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)에서 제안하는 일반인의 추가적인 유효선량한도는 연간 1mSv 임.

4.3.3.2. 근거가 불확실한 영역 및 현 상황에서의 대처

- 현재 일본 원전사고 사후처리는 진행중에 있고, 1mSv 이하의 피폭량이 인체에 미치는 영향에 대한 근거 자료는 충분치 않아 정확한 예측에는 불확실성이 존재함.
- 현재와 같은 상황에서 '부적절한 예방행동'은 오히려 불안감, 부작용 등을 유발할 수 있음.
 - 갑상선방호제(KI 130mg)는 방사성 요오드로 인한 피폭이 100mSv 이상인 경우 투약이 추천되나, 100mSv 이하에서 남용할 경우 위장장애, 발진, 갑상선기능 악화 등을 유발함(식품의약품안전청, 2011; 국가방사선비상진료센터).

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

- 우리나라 국민들은 평상시에도 WHO 권장량 10배 이상의 요오드를 대부분 섭취하고 있기 때문에 더 많이 섭취할 필요가 없으며, 과다 섭취시 오히려 갑상선기능저하증을 유발할 수도 있음(한국원자력문화재단, 2011).
 - 건강기능식품이나 불법 판매식품에는 방사성 요오드에 대한 예방 및 치료효과가 전혀 없으며 오히려 부작용의 가능성이 존재하므로 주의가 필요함(한국원자력문화재단, 2011).
- 다만, 불확실성이 존재하므로 사전예방원칙(Precautionary Principle)과 ALARA원칙(as low as reasonably achievable)에 근거하여 위험을 합리적인 범위내에서 가능한 최소화시키는 것이 적절하며, 방사성 낙진으로 인한 피폭시 외부피폭뿐 아니라 식수와 식품 등을 통한 내부피폭도 고려해야 하므로 사회적 차원에서의 주기적인 오염여부에 대한 모니터링(식수, 식품, 대기, 토양 등) 및 적절한 조치가 필요함.
- 또한 국민들이 판단할 수 있는 근거자료에 대한 지속적인 연구와 정보 제공은 필요하며 이에 상응하는 대치는 개인적 판단으로 선택할 수 있음.

4.3.3.3. 의료용 방사선과의 비교

- 의료용 방사선 피폭의 경우 절대적 피폭선량은 높은 편이지만 환자가 얻게 되는 진단적 이익이 손해보다 클 때 이루어지기 때문에 원전 사고의 위험을 방사선 검사나 치료와 비교하는 것은 부적절함.
- 의료용 방사선 피폭은 의료적인 목적으로 질병의 진단 및 치료 과정에서 인위적으로 발생하는 것으로 직업이나 사고로 인해 받게 되는 피폭과는 달리 선량한도(최대한계치)가 없음.
- 의학적 판단에 근거하여 시행되는 방사선검사나 치료시 거부감이나 불안감을 가질 필요는 없으나(ICRP), 불필요하거나 지나친 검사는 자제하는 것이 바람직할 것임.

4.3.3.4. 국가적 대처상황 및 보완사항

- 현재 우리나라는 “원자력시설 등의 방호 및 방사능방재대책법” (공포 2003. 5. 15 법률 제6873호, 시행 2004. 2. 16)에 따라 방사능 사고나 재난 발생시 국무총리실 산하로 교육과학기술부에 ‘중앙방사능방재대책본부’를 설치하고 그 산하에 방사선비상의료지원본부(한국원자력의학원), 원전비상대책본부(한국수력원자력), 지역방사능방재대책본부(지자체), 방사능방호기술지원본부(한국원자력안전기술원), 방사선비상진료센터(원자력병원)등의 체계를 구축하고 있음(국가방사선비상진료센터).
- 한국원자력안전기술원(Korea Institute of Nuclear Safety, KINS)에서는 환경방사선감시망 체계를 통해 전국 곳곳의 방사선량 측정 및 국내 미치는 방사선량에 대한 시뮬레이션을 실시하고 있으며, 홈페이지에 환경방사선량률을 실시간으로 제공하고 있음.
- 식품의약품안전청에서는 현재 일본에서 수입되거나 일본을 경유하여 수입되는 농·임산물, 가공식품, 식품첨가물, 건강기능식품에 대해 3월 19일부터 방사성 세슘과 요오드에 대한 방사능 오염 여부 검사를 매 수입 분에 대해 실시하고 있으나, 향후 일본수입식품 뿐 아니라 국내에서 생산되는 식품에 대한 주기적인 모니터링도 필요하며, 식수에 대한 방사능오염 모니터링 체계 구축도 시급히 이루어져야 할 것임.
- 현행 방사선비상진료체계는 우리나라에서의 원자력사고 발생에 대비한 것으로 국제 원자력 기구(IAEA)가 만든 국제 원자력 사고 등급(International Nuclear and Radiological Event Scale, INES)을 토대로 마련되어 있으나, 예산, 시설 및 전담인력이 부족한 상황이며 특히, 응급의료체계와의 유기적인 연계구축에 대한 제도화가 필요함.
- 또한, 국외 사고로 인한 국내 환경 방사능 오염과 관련하여 인간과 자연을 보호하기 위한 법적 제도적 보완 및 전반적 재정비가 필요함.

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

5. 결론 및 제언

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

5.1. 결론

한국보건 의료 연구원은 일본 후쿠시마 원전사고와 관련하여 현재시점에서 방사선이 인체에 미치는 영향에 대해 평가하고, 다음과 같은 근거를 마련함.

5.1.1. 현재 시점에서의 방사선이 인체에 미치는 영향

- 일본 원전사고이후 국내 대기중 방사성 물질 최대 검출량은 방사성 요오드 $3.12\text{mBq}/\text{m}^3$, 세슘 $0.550\text{mBq}/\text{m}^3$, 은 $0.153\text{mBq}/\text{m}^3$, 제논 $0.928\text{mBq}/\text{m}^3$ 등으로 연간 피폭선량으로 환산시 1mSv 이하로 추정되며, 이는 일반인의 연간 선량한도인 1mSv 의 $1/3,300 \sim 1/37,000$ 수준, 자연방사선에 의한 피폭량(3.08mSv)의 $1/10,000$ 보다 적은 수준임(한국원자력안전기술원 2011. 6.; 대한핵의학회 2011).
- 방사선피폭으로 세포사멸이나 임상적 변화(결정론적 영향)가 발생하려면 문턱선량을 초과하는 급성피폭이 발생해야 하며 문턱선량은 영향받는 장기마다 다르나 최소 100mSv 이상인 것으로 보고되고 있으므로 현재와 같은 1mSv 이하의 상황에서 결정론적 영향을 우려할 필요는 없음.
- 또한, 세포가 사멸되지 않더라도 돌연변이 상태로 생존하거나 이상증식, 유전과정에 영향을 미쳐 장기적으로 영향이 나타나는(확률론적 영향) 암이나 유전질환 등은 저선량에서도 선량에 비례해 나타난다는 명확한 근거는 없어 불확실성이 존재하나 방사선 방호목적으로 문턱선량이 없는 것으로 간주하고 있음(선형-무역치모델(Linear No Threshold Model, LNT)).
- 다음과 같이 문헌에서도 결정론적 영향은 최소 100mSv 이상에서 발생하는 것으로 보고되고 있으며 확률론적 영향의 경우 그 근거가 충분하지 않고 특히 1mSv 이하 상황에서의 영향에 대한 예측에는 불확실성이 존재함(ICRP; UNSCEAR 2008; 한국동위원소협회).

결정론적 영향

- 급성방사선중후군 증상으로 식욕부진, 오심, 구토, 두통, 어지러움증, 쇠약감, 통증, 설사, 저혈압, 체온상승 등이 있었으며, 피폭선량이 증가할수록 높은 것으로 보고됨(Azizova

et al 2008).

- **백내장 등 안과질환, 심혈관계 및 뇌혈관계질환** 등에 대해서는 명확한 근거가 부족한 반면(UNSCEAR 2008; WHO 2006), **신경정신계 질환**(불안, 인지장애, 정신분열, 치매 등) 발생은 매우 높은 것으로 보고됨(Bromet et al 2002; Loganovsky & Loganovskaja 2000; Havenaar et al 1997; Allen et al 1995). 또한, 배아기인 0~10일 수정기간에 피폭시 치명적인 영향을 받으며(ICRP 2003), 방사선 피폭지역에서 태어난 신생아를 대상으로 기형발생 조사시 신경관장애, 소두증 등 발생이 증가한 것으로 보고됨(Wertelecki et al 2010).
- **생식기계 질환**의 경우에는 **최소 1 Sv 이상 피폭시 일시적 불임, 3.2 Sv 이상 피폭시 영구적 불임**이 나타나는 것으로 보고됨(WHO 2006; Andrews et al 1980).

확률론적 영향

- **갑상선 암**의 경우, 피폭집단, 피폭 인근지역 아동, 피폭지역 복구작업에 참여했던 근로자들에서 **갑상선 암 발생률이 높은 것으로 보고되었으나**(Zablotska et al 2011; Tukiendorf et al 2010; Jacob et al 2006; Ron et al 1995; Rahu et al 1997), Tukiendorf 등(2010)은 세슘농도가 높아질수록 갑상선암 발생률이 증가하는 것으로 보고한 반면 대부분의 연구(Ron et al 1995; Rahu et al 1997)에서는 **피폭량에 따른 암 발생률 등에 대해서는 추후연구가 더 필요한 것으로 보고하였음**.
- **백혈병**의 경우, 피폭집단, 피폭 인근지역 주민, 아동, 피폭지역 복구작업에 참여했던 종사자들에서 **백혈병 발병률이 높은 것으로 보고되었으나**(UNSCEAR 2008; Ivanov et al 1998; Preston et al 1994), **100~150mSv 이상에서 선형의 용량-반응관계를 보였음**. 역학적 데이터를 기반으로 추정된 결과 100mSv 이상 피폭시 사망률이 1%로 나타났다. 이보다 낮은 선량에서의 위험률은 피폭량이 적을수록 발병률이 적은 것으로 추정되지만 통계적으로 유의하지 않은 것으로 보고됨. 악성혈액종양중 59%가 백혈병이었음을 보고한 연구(Kesminiene et al 2008)와 원전사고로 인해 발병한 백혈병 환자를 대상으로 조사한 결과 대부분이 급성 림프구성백혈병(74.0%)이었음을 보고한 연구(Noshchenko et al 2010)가 있었으며, **피폭량에 따라 상대위험비가 증가하는 것으로 보고됨**(Noshchenko et al 2010; Davis et al 2006).

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

- **고형암**의 경우, 방사선피폭과 암 발생률에 대한 근거는 혼재되어 있으며, 암 발생률, 사망률의 증가 등과 방사선과의 관련성에 대한 결과를 도출하기에는 방사선 양의 수준이 너무 낮은 것으로 보고함(UNSCEAR 2008).
- 종합하면, 현재 일본 원전사고로 인해 국내에 미치는 방사선 피폭량은 **1mSv**이하로 추정되며, 1mSv이하의 피폭량이 인체에 미치는 영향에 대한 근거는 아직 충분하지 않으므로 정확한 예측에는 불확실성이 존재함.

5.1.2. 의료용 방사선과의 비교

- **의료용 방사선 피폭**은 질병의 진단이나 치료를 목적으로 하므로 절대적 피폭선량은 높은 편이지만 환자가 얻게 되는 진단적 이익이 손해보다 클 때 이루어지기 때문에 원전 사고의 위험과 비교하는 것은 부적절함.

5.1.3. 현재 국가적 대처상황 및 체계

- 현재 국내에서 원전사고나 재난발생시 “원자력시설 등의 방호 및 방사능방재대책법”에 따라 ‘교육과학기술부’에 ‘중앙방사능방재대책본부’를 설치하고, 방사선비상의료지원본부(한국원자력의학원), 원전비상대책본부(한국수력원자력), 지역방사능방재대책본부(지자체), 방사능방호기술지원본부(한국원자력안전기술원), 방사선비상진료센터(원자력병원)등의 체계를 구축하고 있으나, 만약의 사태에 대비할 경우 국내에서나 인근국가(예: 중국)에서의 원전사고 발생시에 대처하기에는 인력, 자원, 체계 등이 부족한 실정임. 특히 응급의료체계와의 유기적인 연계구축에 대한 제도화 마련 등 적극적인 대비가 필요함.
- 또한, 현재는 원자력 이용증진과 안전관리 기능을 담당하는 행정부서가 ‘교육과학기술부’로 일원화되어 있으나, 국제원자력기구(IAEA)의 권유와 같이 오는 **10월 안전관리를 담당할 ‘원자력안전위원회’를 출범하여 이원화할** 예정으로 견제기능을 갖추게 되었음.

5.2. 제언

- 현재 추가로 피폭될 방사선량은 **1mSv이하** 수준으로 추정되며, 이와 같은 상황에서는 피폭시 위험이 명확히 입증된 100mSv이상과는 달리, 피폭량이 인체에 미치는 영향에 대한 근거가 아직 충분하지 않으므로 정확한 예측에는 불확실성이 존재함.
- 불확실성이 존재하는 현 상황에서는 ‘부적절한 예방행동’이 오히려 불필요한 불안감 및 부작용 등을 유발할 수 있음. 다만, 방사선의 위험을 합리적 범위내에서 가능한 최소화시키는 것이 적절하며 외부피폭뿐 아니라 내부피폭도 고려해야하므로 사회적 차원에서 주기적인 오염여부 모니터링(식수, 식품, 대기, 토양 등) 및 적절한 조치, 지속적인 근거와 정보제공은 필요함.
- 현재 우리나라는 “원자력시설 등의 방호 및 방사능방재대책법”에 따라 방사선비상진료체계를 구축하고 있으나, 향후 인접국(예: 중국)이나 국내 원전사고 발생을 대비할 경우 지금의 상태로는 예산, 시설 및 전담 인력 등이 부족한 상황임. 특히, 응급의료체계와의 유기적인 연계 구축에 대한 제도화 마련 등 적극적 대비가 필요하며, 인간과 자연을 보호하기 위한 법적 제도적 보완 및 전반적 재정비가 필요함.
- 현재 일본에서 수입되는 식품에 대해 방사능 오염여부를 검사하고 있으나 향후 일본수입 식품 뿐 아니라 국내에서 생산되는 식품 및 식수에 대한 방사능오염 모니터링 체계 구축도 시급히 이루어져야 할 것임.
- 주요 관리대상 매체에 대한 방사선 오염 관리기준 설정 및 모니터링 수행 뿐 아니라, 방사선 오염에 의한 건강영향평가(역학조사), 인접국(중국 등) 및 국내 사고에 대비한 대비책 마련, 국제협력 프로그램 추진 등에 대한 대책수립이 필요할 것으로 사료됨.
- 국제원자력기구(IAEA)등에서는 ‘원자력에너지의 이용 증진’과 ‘안전 관리’에 대해 서로독립된 기관과 조직에서 담당할 것을 권유하고 있으며, 현재 우리나라의 경우 두 기능을 담당하는 행정부서가 ‘교육과학기술부’로 일원화되어 있으나, 오는 10월 두 기능을 분리하여 ‘원자력안전위원회’를 출범할 예정으로 있음. 이와같이, ‘원자력에너지의 이용 증진’과 ‘안전 관리’는 서로 독립된 기관과 조직이 담당하는 것이 적절하다고 판단됨.

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

- **의료용 방사선 피폭은 질병의 진단이나 치료를 목적으로 하므로 원전 사고의 위험과 비교하는 것은 부적절하나, 불필요하거나 지나친 검사는 자제하는 것이 바람직할 것임.**

6. 참고문헌

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

1. 교육과학기술부 보도자료. 2011.03.30. <http://www.mest.go.kr>
2. 국가 환경 방사선 자동 감시망. <http://iernet.kins.re.kr>
3. 국가방사선비상진료센터. <http://www.nremc.re.kr>
4. 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection). <http://www.icrp.org>
5. 기상청 보도자료. 2011.03.15. <http://web.kma.go.kr>
6. 대한핵의학회. <http://www.ksnm.or.kr>
7. 알기 쉬운 원자력안전 Q&A: 일본 후쿠시마 원전사고에 대한 정확한 이해. 한국원자력문화재단. 2011.
8. 이창기 등. 21세기 원자력 정책발전방향에 관한 연구. 2011. 교육과학기술부
9. 일본 원전 관련 식약청 대응 및 관리 동향. 식품의약품안전청. 2011. <http://www.kfda.go.kr>
10. 한국동위원소협회. <http://ris.ri.or.kr>
11. 한국동위원소협회. 바로알고 바로쓰는 방사선. 2011.
12. 한국원자력안전기술원 안전뉴스. 2011.03.15. <http://www.kins.re.kr>
13. 한국원자력안전기술원. <http://www.kins.re.kr>
14. Allen PT, Romyantseva G. The contribution of social and psychological factors to relative radiation ingestion dose in two Russian towns affected by the Chernobyl NPP accident. Society for Risk Analysis (Europe). 1995.
15. Andrews GA, Hubner KF, Fry SA. Report of 21-year medical follow up of survivors of the Oak Ridge Y-12 accident In: The Medical Basis of Radiation Accident. New York: Elsevier. 1980.
16. Azizova TV, Osovets SV, Day RD, Druzhinina MB, Sumina MV et al. Predictability of Acute Radiation Injury Severity. Health Physics 2008; 94(3):255-263.
17. Bromet EJ, Gluzman S, Schwartz JE, Goldaber D. Somatic symptoms in women 11 years after the Chernobyl accident: prevalence and risk factors. Environmental Health Perspective 2002;110(Suppl4):625-629.
18. Christodouleas JP, Forrest RD, Ainsley CG, Tochner Z, Hahn SM et al. Short-term and long-term health risks of nuclear-power-plant

- accidents. The New England Journal of Medicine. In press 2011.
19. Davis S, Day RW, Kopecky KJ, Mahoney MC, McCarthy PL et al. Childhood leukaemia in Belarus, Russia, and Ukraine following the Chernobyl power station accident: results from an international collaborative population-based case-control study. *International Journal of Epidemiology* 2006;35:386-396.
 20. Eidemüller M, Ostroumova E, Krestinina L, Epiphanova S, Akleyev A et al. Comparison of mortality and incidence solid cancer risk after radiation exposure in the Techa River Cohort. *Radiation and Environmental Biophysics* 2010;49(3):477-490.
 21. Greenpeace. The Chernobyl Catastrophe: Consequences on Human Health. The Institute. 2006.
 22. Havenaar JM, Rummyantzeva GM, VAN D, Poelijoe NW, BOUT J. Long-term mental health effects of the Chernobyl disaster: an epidemiologic survey in two former Soviet regions. *The American journal of psychiatry* 1997;154:1605-1607.
 23. International Commission on Radiological Protection. Biological effects after prenatal irradiation (embryo and fetus). The Institute. 2003.
 24. Ivanov EP, Tolochki GV, Shuvaeva LP, Huvaeva LP, Ivanov VE et al. Infant leukemia in Belarus after the Chernobyl accident. *Radiation and Environmental Biophysics* 1998;37:53-55.
 25. Ivanov VK, Ilyin L, Gorski A, Tukov A, Naumenko R. Radiation and epidemiological analysis for solid cancer incidence among nuclear workers who participated in recovery operations following the accident at the Chernobyl NPP. *Journal of Radiation Research* 2004; 45:41-44.
 26. Ivanov VK. Medical Radiological Effects of the Chernobyl Catastrophe on the Population of Russia: Estimation of Radiation Risks. Moscow: Meditsina. 2002.
 27. Jacob P, Bogdanova TI, Buglova E, Chepurniy M, Demidchik Y et al. Thyroid cancer among Ukrainians and Belarusians who were children or adolescents at the time of the Chernobyl accident. *Journal of*

방사선이 인체에 미치는 영향: 일본 원전사고로 인한 영향의 관점에서

- Radiological Protection 2006;26(1):51-67.
28. Jin YW, Jeong M, Moon K, Jo MH, Kang SK. Ionizing Radiation- induced Diseases in Korea. Journal of Korean Medical Science 2010;25(S-suppl):S70-76.
 29. Kesminiene A, Evrard A, Viktor K. Ivanov VK, Kurtinaitis M et al. Risk of Hematological Malignancies among Chernobyl Liquidators. Radiation Research 2008;170(6):721-735.
 30. Loganovsky KN, Loganovskaja TK. Schizophrenia spectrum disorders in persons exposed to ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident. Schizophrenia Bulletin 2000;26:751-773.
 31. Noshchenko AG, Bondar OY, Drozdova VD. Radiation-induced leukemia among children aged 0-5 years at the time of the Chernobyl accident. International Journal of Cancer 2010;127(2): 412-426.
 32. Preston DL, Kusumi S, Tomonaga M, Izumi S, Ron E et al. Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part III: Leukemia, lymphoma and multiple myeloma, 1950-1987. Radiation Research 1994;137: 68-97.
 33. Preston DL, Shimizu Y, Pierce DA, Suyama A, Maeuchi K. Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950-1997. Radiation Research 2003;160: 381-407.
 34. Rahu M, Tekkel M, Veidebaum T. The Estonian study of Chernobyl cleanup workers: II. Incidence of cancer and mortality. Radiation Research 1997;147:653-657.
 35. Ron E, Lubin JH, Shore RE, Mabuchi K, Modan B et al. Thyroid cancer after exposure to external radiation: a pooled analysis of seven studies. Radiation Research 1995;141:259-277.
 36. The National Academies. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII-Phase 2. The Institute. 2006.
 37. Tukiendorf A, Miszczyk L, McEwan P. Recent epidemiological results of thyroid cancer in the most radiated territory in Poland. Central

- European Journal of Public Health 2010;18(3):157-160.
38. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Health effects due to radiation from the Chernobyl accident: Sources and effects of ionizing radiation. Volume II: Scientific annexes C, D and E. The Institute. 2008.
 39. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Hereditary effects of radiation. The Institute. 2001.
 40. Wertelecki W. Malformations in a chernobyl-impacted region. Pediatrics 2010;125(4):e836-843.
 41. World Health Organization. Report of the International Project for the Health Effects of the Chernobyl Accident. The Institute. 1995.
 42. World Health Organization. Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes. The Institute. 2006.
 43. Wong FL, Yamada M, Sasaki H, Kodama K, Hosoda Y. Effects of radiation on the longitudinal trends of total serum cholesterol levels in the atomic bomb survivors. Radiation Research 1999;151: 736-746.
 44. Zablotska LB, Ron E, Rozhko AV, Hatch M, Polyanskaya ON et al. Thyroid cancer risk in Belarus among children and adolescents exposed to radio-iodine after the Chernobyl accident. British Journal of Cancer 2011;104(1):181-187.

발행일 2011. 7. 22
발행인 허대석
발행처 한국보건의료연구원

이 책은 한국보건의료연구원에 소유권이 있습니다.
한국보건의료연구원의 승인없이 상업적인 목적으로
사용하거나 판매할 수 없습니다.

바코드 입력칸