

의료분야 종사자를 위한 ICRP-60 권고치의 특징과 중요내용

류성렬·지영훈

원자력병원 치료방사선과

1. 서 론

방사선 방어의 기본원칙과 안전기준에 대한 연구 및 방향 설정 등은 ICRP를 중심으로 여러기관 및 연구자들에 의해 오랜기간 검토되고 제시되어 왔다. 그 변천과정은 방사선의 생물학적 영향에 대한 인식의 전환이 중요한 역할을 하게 된 것이지만 원폭 피해자들의 장기적 관찰 결과 새로운 정보의 축적에 기인한 바 크다고 할 수 있다. 또 한가지 ICRP-60 권고의 특징은 개념의 재정립과 용어의 재정리를 들 수 있다. ICRP권고의 주안점은 인체의 방사선 노출에 대한 위험도를 근간으로 하고 있기 때문에 의료분야 종사자 뿐만 아니라 인체 방사선 피폭에 대한 의학적 영

향에 관한 보다 현실적이고 합리적인 해석이 필요하다고 사료된다.

저자들은 ICRP-60 권고의 특징을 의료적 측면에서 분석하여 그 특징을 검토해 보고자 한다. 그러나 현실적이고 합리적인 판단에 있어서 단순한 수치에 의한 정량적인 기준이나 개념의 물리적 설정을 적용하는데에 일정하게 정해진 틀이 존재하기가 어렵다.

2. 중요 차이점

우선 ICRP-60 권고, ICRP-26 권고 및 원자력법령과의 중요 차이점을 표 1에 개략적으로 나타내었다.

표 1. ICRP-60, ICRP-26 및 원자력법령의 중요 차이

구 분	ICRP-60	ICRP-26	원자력법령
선 량 관 계	등가선량	선량당량	피폭선량
	유효선량	실효선량당량	피폭선량
	방사선가중치	선질계수	선질계수
	조직가중치	조직가중치	-

구 분		ICRP-60	ICRP-26	원자력법령
영 향 관 계		결정적영향 확률계수 손해(비치사암)	비확률적영향 리스크계수 손해	장해
방어 기본 틀		방사선방호체계 • 정당화 • 최적화 • 선량한도 (년간섭취한도)	선량제한체계 • 정당화 • 최적화 • 선량한도 (년간섭취한도)	허용선량 • — • — • 최대허용선량 (최대허용농도)
전신에 대한 선량한도	직 업 상	년간 평균 20mSv — —	년간 50mSv — —	년간 50mSv 3개월간 30mSv 직접선량 50(N-18)mSv
	일 반	년간 1mSv	년간 5mSv	년간 5mSv

3. 생물학적 영향

방사선의 생물학적 영향은 결정적 영향과 확률적 영향으로 구분된다. 결정적 영향이란 적은 선량에서는 생물학적 손상이 매우 미약하고 손상이 발생하더라도 시간이 경과함에 따라 손상으로부터 회복이 일어남으로 임상적으로 의의있는 피해가 발생할 확률이 거의 없으며 어떤 정도 이상의 방사선량에 의해서만 임상적 증세 또는 가시적 손상이 나타나고 이때의 선량을 발단치라 한다. 따라서 발단치 이상의 선량에서는 임상적 방사선손상의 발생확률이 급하게 증가하며 피해의 심각성도 선량에 따라 증가한다. 결정적 영향에 의한 임상적 또는 가시적 손상이란 신체의 구성 기관이나 조직의 기능 상실로 나타난다. 종래에는 이러한 영향을 비확률적 영향이라고 불렀다. 표 2에는 이러한 결정적 영향들에 대한 발단치를 나타내었다.

표 2. 결정적 영향에 관한 발단치

장기/ 조직	영향	급성피폭	만성피폭
고환	일시적 불임	0.15Gy	0.4Gy/y
	영구불임	3.5~6Gy	2.0Gy/y
난소	영구 불임	2.5~6Gy	0.2Gy/y
수정체	백내장 저LET	5(2~10)Gy	>0.15Gy/y
	고LET	0.6~5Gy	
	수정체 혼탁	0.5~2Gy	>0.1Gy/y
조혈장기	기능저하	0.5Gy	>0.4Gy/y
태아	기형발생	0.1Gy	
	중증 정신-발달 지체	0.12~0.2Gy<	

확률적 영향이란 피해의 확률이 선량의 증가에 따라 비례적으로 커지는 것을 말하며 매우 적은 선량에서도 피해의 확률이 존재하는 것을 말한다. 따라서 결정적 영향에서와

같은 발달치는 존재하지 않는다. 그러나 피해의 심도는 선량의 많고 적음에 관계없이 동일하다. 확률적 영향의 종류에는 방사선에 의한 발암 또는 생식세포의 비치명적 손상에 의한 유전적 영향이 있다. 종래의 유전적 영향은 제2세대까지만 고려하였으나 신 권고에서는 모든 세대에서의 영향을 대상으로 한다. 확률적 영향의 명목발생확률계수를 표 3에 나타내었다.

표 3. 확률적영향의 명목발생확률(10^{-2}Sv^{-1})

피폭집단	치사암	비치사암	심각한 유전적 영향	계
성인 작업자	4.0	0.8	0.8	5.6
전체 인구집단	5.0	1.0	1.3	7.3

태아피폭에 관한 사항은 ICRP-26까지 선연적 의미의 언급만 되어 있었으나 ICRP-60에는 구체적으로 명시가 되어 있으며, 태아에 대한 방사선 피폭의 영향은 임신기간중의 피폭시기가 중요하다. 태아의 세포수가 적고 그 특성이 아직 분화되지 않았을 때는 착상실패나 태아사망을 유발하기가 쉽다. 임신 후 첫 3주간의 피폭은 결정적 또는 확률적 영향을 일으키지 않는 것으로 되어 있으며, 임신 3주 후로부터는 기형이나 지능저하 같은 결정적 영향과 암의 발생확률을 증가시키는 확률적 영향을 유발할 수 있다.

4. 방사선물리학적 개념

ICRP에서는 방사선방어에 사용되는 물리량들을 선량계측량이라고 부르며 기본적인 선량계측량으로는 흡수선량(D), 등가선량(H) 및 유효선량(E)이 있다. 흡수선량의 단위는 Joule/kg이고 명칭은 그레이(Gy)이다. 여기에서 흡수선량은 조직이나 기관전체의 평균선

량의 의미로 사용한다.

확률적 영향의 발생확률과 선량과의 관계(선량-반응관계)가 제한된 영역의 선량 범위에서 무난한 선형성(L model)을 갖고 있기 때문에 평균흡수선량은 확률적 영향이 발생할 확률의 지표로서 사용된다. 그러나 결정적 영향에 대해서는 선량-반응관계가 비선형(LQ model)이므로 선량이 조직이나 기관에 매우 균일하게 분포되지 않는 한 평균흡수선량은 결정적 영향과 직접 관계되지 않는다.

장기나 조직의 확률적 영향이 발생할 확률은 흡수선량이 같다 할지라도 방사선의 종류와 에너지에 따라 달라지게 된다. 이러한 방사선의 질에 대한 의존성을 고려하기 위해 방사선의 질과 관련있는 인자를 선량에 대한 가중치로 사용하며, 가중된 선량을 등가선량이라 한다. 등가선량의 단위는 Joule/kg이고 명칭은 시버트(Sv)이다. 종래에는 가중치로 선형에너지전이(LET)에 근거한 선질계수 Q를 사용하였으나 신 권고에서는 선질계수 Q 대신에 확률적 영향에 관한 생물학적 효과비(RBE)를 고려한 방사선가중치(W_R)를 사용한다. 방사선가중치를 표 4에 나타내었다.

표 4. 방사선가중치(W_R)

광자	전에너지	1
전자, μ 중간자	전에너지	1
중성자	에너지 < 10keV	5
	10keV ~ 100keV	10
	> 100keV ~ 2MeV	20
	> 2MeV ~ 20MeV	10
	> 20MeV	5
양성자(되튬 양성자 제외)	> 2MeV	5
α 입자, 핵분열편, 중 원자핵		20

확률적 영향의 발생확률과 등가선량과의 관계는 방사선에 피폭된 기관이나 조직에 따라 다르다. 따라서 전신이 피폭되었을 때 나타나는 총 확률적 영향의 발생확률과 선량이 좋은 상관관계를 갖게 하기 위해서 등가선량에 기관이나 조직 각각에 대한 선량에 따른 영향의 상대적 기여도를 가중시켜 합산하는 방법을 사용한다. 이러한 상대적 기여도를 조직 가중치(W_T)라 부르며 조직 가중치의 합은 1이다(표 5). 전신의 모든 기관과 조직에서의 가중등가선량의 합을 유효선량(E)이라 한다. 유효선량의 단위는 Joule/kg이고 명칭은 시버트(Sv)이다. 유효선량은 피폭이 전신에 균일하든지 불 균일하든지 간에 전신에 균일하게 피폭되었을 때의 확률적 영향의 발생확률과 연관지을 수가 있으며 종전의 실효선량당량에 해당한다.

표 5. 조직가중치(W_T)

W_T	0.2	0.12	0.05	0.01
장기·조직	생식선	결장 폐 적색골수 위	방광 유선 간 식도 갑상선 나머지 장기·조직	골표면 피부

5. 행위와 개입에 대한 방사선 방어

방사선방어의 주된 목적은 방사선 피폭을 유발하는 유익한 행동들을 부당하게 제한하지 않으면서 인간에 대한 적절한 방어의 기준을 제공하는 것이다. 따라서 선량을 발단치 이하로 유지함으로써 결정적 영향의 발생을 방지하고 확률적 영향의 발생을 감소시키기 위해 방사선방어체계의 준수를 권고하고 있다.

ICRP는 피폭의 관점에서 인간활동을 행위와 개입의 둘로 구분한다. 행위는 개인의 피폭량이나 피폭되는 사람의 수를 증가시킴으로써 전체피폭을 증가시키는 활동을 말하는 것으로 방사선진단, 치료 및 선원관리와 같은 의료분야에서 이루어지는 대부분의 활동이 이에 해당한다. 개입은 피폭원의 제거나 피폭되는 사람의 수를 감소시킴으로써 전체피폭을 감소시키는 활동으로 대량의 방사선 누출이나 방사성 오염 등과 같은 사고 발생시 취해지는 피폭원의 제거 또는 대피 등과 같은 조치가 이에 해당한다. ICRP는 이들 각각의 인간활동에 대하여 방사선방어체계를 권고하고 있다. 이러한 개념은 ICRP-9이전에는 없었던 것으로 ICRP-26에서 처음으로 선량제한체계로서 도입되었으나 행위만을 대상으로 구성되어 있었다.

행위에 대한 방사선방어 체계는 다음과 같은 일반원칙을 기반으로 하여 이루어지고 있다. (1) 방사선 피폭에 관련된 행위는 그것이 피폭된 개인이나 사회에 끼치는 손해를 보상하는데 충분한 이익을 제공할 수 없으면 채택되어서는 안된다(행위의 정당화). (2) 어떤 행위를 하는 중에 모든 특정한 피폭원에 의한 개인선량의 크기, 피폭되는 사람의 수 및 피폭될 가능성은 모든 경제적 및 사회적 인자들을 고려하여 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지되어야 한다(방호의 최적화). (3) 모든 관련된 행위들로 인한 개인 피폭은 선량한도를 만족하여야 한다(개인선량한도).

개입에 대한 방사선 방어의 체계는 다음의 일반원칙에 근거하고 있다. (1) 개입은 해로움보다 이로움이 반드시 커야 한다. (2) 개입의 형태, 규모 및 기간은 방사선 손해의 감소에 따른 이익에서 개입으로 인한 손해를 뺀 순이익이 최대화하도록 최적화 되어야 한다. 개입의 경우에는 선량한도가 적용되지 않는다.

6. 피폭의 종류

피폭의 종류에는 직업상 피폭, 의료상 피폭 및 공중 피폭이 있다. ICRP는 직업상 피폭을 관리자의 책임이라고 볼 수 있는 작업 중에 받은 피폭으로 제한한다. 그러나 우주비행 등 몇몇 경우들에 대해서는 자연방사선원에 의한 피폭을 직업상 피폭의 일부로서 포함시켜야 한다고 권고한다. 의료분야 종사자가 진료를 하기 위하여 받은 피폭은 직업상 피폭이며 의료상 피폭과는 구분된다.

의료분야 종사자의 직업상 피폭에서 진단, 치료 또는 선원관리와 같은 어떤 특정 행위에 대한 방어의 최적화는 선량제한치(특정 선원으로부터 양호하게 관리된 작업에서 받게 되는 개인선량의 상한치)를 설정하여 개인의 피폭선량이 선량제한치를 넘지 않도록 방호방법을 선택하는 것이다. 선량제한치는 선량한도와 같거나 적은 값을 갖는다. 대부분의 국가에서는 선량한도를 법정한도로 규정하고 있다. 직업상 선량한도에는 작업시의 경미한 사고와 판단 잘못 그리고 보수 및 사용 폐지에 의한 피폭도 포함된다.

ICRP-60권고가 이전의 권고와 다른 가장

중요한 특징중의 하나는 선량한도를 대폭 낮추었다는 점이다. 대표적으로 직업상 피폭의 전신에 대한 유효선량한도를 살펴보면 ICRP-26까지는 연간 50mSv로 규정하였으나 ICRP-60에서는 어떠한 일년도 50mSv를 초과하지 않는 조건에서 5년간의 평균치가 연간 20mSv로 규정하고 있다. 또한 어떤 관리기간 내에 작업자의 피폭의 선량한도를 초과했다 할지라도 의학적 권고가 반영되었다면 이후의 피폭에 특별한 제한을 가할 필요는 없다고 권고한다. ICRP-60 및 ICRP-26의 직업상 선량한도와 원자력법령의 종사자에 대한 허용피폭선량에 대한 값의 차이를 표 6에 요약하였다. ICRP-26부터는 종전의 3개월 한도 및 축적 선량당량한도의 개념을 폐지하였다. 내부피폭의 경우는 연간섭취한도(ALI)가 주어져 있는데, 이는 20mSv의 예약유효선량에 기초를 두고 있다. 직업종사자가 여성일 때 임신하지 않은 여성의 직업상 피폭의 기준은 남성의 경우와 동일하다. 다만 임신이 확인되면 잔여 임신기간동안 임신부의 하복부 표면에 대한 보조적인 등가선량 한도를 2mSv로 설정하고 방사성 핵종의 흡입을 ALI의 1/20로 제한하도록 하고 있다.

표 6. 직업상 선량한도비교(연간)

구 분	ICRP-60	ICRP-26	원자력법령	
			연 간	3개월간
유효선량한도(전신)	5년간 평균이 연간 20mSv (연간 50mSv초과 안됨)	50mSv	50mSv	30mSv
등가선량한도				
1. 수정체	150mSv	150mSv	50mSv	30mSv
2. 피부	500mSv	500mSv	300mSv	150mSv
3. 손, 발	500mSv	500mSv	750mSv	400mSv
4. 기타 단일 장기	—	500mSv	150mSv	80mSv

* ICRP-60, ICRP-26은 3개월간 선량한도 폐지

의료상 피폭은 환자 자신의 진단 또는 치료의 목적으로 받는 피폭과 진단 또는 치료 중인 환자를 보호하고 돕기 위하여 알면서도 자진하여 받는 피폭으로 정의하고 있다. 이중 환자 보호자에 관한 사항은 ICRP-60에서 새롭게 정의된 개념으로 종래에는 보호자의 피폭은 공중피폭으로 취급되어 진단 및 치료에 많은 어려움이 있었다. 그러나 다른 사람의 진단이나 치료시 누설 방사선에 의한 피폭은 의료상 피폭에 포함되지 않는다.

의료상 피폭의 정당화에 있어서 환자피폭은 자신의 직접적인 이득을 위한 것이지만 종사자 및 일반인에 대한 피폭을 야기하므로 의료상 피폭뿐만 아니라 의료 종사자의 직업상 피폭 및 공중피폭 심지어는 잠재피폭 등을 포함한 모든 피폭상황에 대한 고려가 있어야 한다. 그러나 정확한 임상 판단에 의해 필요하다면 보다 높은 피폭선량이 허용될 수 있도록 융통성이 부여되어야 한다. 따라서 의료행위가 앞에서 언급한 바와 같이 정당화되고 최적화 되었다면 환자가 받는 선량은 의료목적에 대하여 가능한 낮은 수준을 유지하게 될 것이다. 따라서 그 이상으로 선량 수준을 낮추는 것은 의료 목적을 달성할 수 없게 되어 환자의 손해로 나타난다. 그러므로 의료상 피폭에는 선량한도를 적용하지 않는다.

가임 여성환자의 경우 임신에 대한 확실한 임상학적 판단이 없을 때에는 임신 가능성이 있는 여성의 복부에 피폭을 유발할 수 있는 진단이나 치료의 절차는 반드시 방지되어야 한다. 임신 가능성에 대한 자료는 그 여성 환자 스스로에게서 얻는 것이어야 한다. 따라서 가임 여성에 대한 의료 행위에서 임신 여부 확인의 중요성이 지적되고 있다. 가장 최근에 예정된 월경이 없었고 다른 자료가 없는 상

황이라면, 그 여성은 임신중이라고 여겨져야 한다.

공중피폭은 직업상 피폭과 의료상 피폭 이외의 피폭을 말한다. 의료기관에서는 방사선 종사자가 아닌 일반직원, 방사선 진단 및 치료 중인 환자를 제외한 일반 환자와 그들의 보호자가 받는 피폭이 이에 해당된다. 공중피폭에 대한 관리는 최적화 절차 및 선량제한치의 이용에 의해 달성된다. 공중피폭의 적용에 있어서 어떤 집단이 피폭원에 의해 가장 높게 피폭 당하였을 경우에 그 집단을 임계 집단이라 하며 선량제한치는 이 임계집단의 평균선량에 적용하여야 한다. 의료기관에 있어서 임계집단의 선정은 일시적으로 상주하는 환자나 환자 보호자 보다는 일반 직원을 대상으로 하는 것이 타당할 것으로 사료된다. ICRP-60은 공중피폭에 대한 전신선량한도로 연간 1mSv를 권고하고 있다.

7. 결 론

ICRP 60 신권고의 내용중 특히 의료분야 종사자에게 중요한 사항은 직업상 피폭 및 공중 피폭의 대폭적인 하향조정, 환자 보호자에 대한 의료상 피폭의 적용 및 태아 피폭에 대한 구체적 명시 등을 들 수 있다. 그외 용어의 재정립, 선질계수 대신 방사선가중치 사용, 선량제한치 및 잠재선량의 도입 등이 종전의 ICRP 권고와 다른 차이점이라 할 수 있다. 현재 우리나라에서는 ICRP-9에 근간을 두고 있는 원자력법령에 ICRP-60 신권고 내용의 1998년 도입을 목표로 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다. 따라서 의료분야에서도 새로운 개념의 방사선방어체계의 도입에 따른 대책을 검토할 때가 되었다.