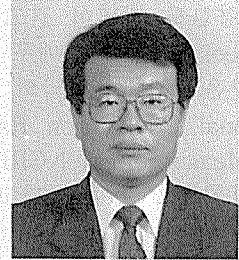


방사선 방호개념과 기준의 변천

- Evolution of the Radiation Protection
Concept and Standards -



이 재 기
한양대학교 원자력공학과 교수

1. 방사선방호 개념의 변모

한 세기 전인 1895년 11월 렌트젠에 의해 X선의 존재가 발견되었고 2개월 뒤인 1896년 2월에는 베크렐이 우라늄 화합물이 X선과 유사한 형광작용에 관여함을 발견하여 방사성물질도 알려지게 되었다. 이에 따라 방사선은 신비의 광선 X선을 중심으로 여러 분야에서 다양하게 이용하려는 시도가 확산되었다. 초기에는 방사선의 위해를 인식하지 못한 상태였으므로 X선은 무방비 상태로 사용되었고 그 결과로 방사선 연구자나 주된 이용자였던 의료진에게서 하나 둘씩 장애가 나타날 수 밖에 없었다. 1896년 3월호 Nature지에 이미 X선에 의한 상해에 관한 보고가 실리기 시작했다[1].

방사선이 보건상 미치는 영향이 명백해져 자연히 방사선 피폭을 제한할 필요성이 제기되기 시작했다. 영국의 Rollins는 1902년에 X선에 의한 상해가 피부에 국한되지 않고 깊은 조직까지 영향을 받게됨을 동물실험을 결과를 통해 인지하였다. 이를 바탕으로 그는

X선관에 대한 차폐의 이용을 제안하기도 했다. 이와 같이 금세기초부터 방사선 취급에서 어떤 안전수칙의 필요성을 인식되었으나 지식이 충분하지 않았던 관계로 1920년대에 이르러서야 방호를 위한 본격적 노력이 가시화되었다. 이제 이러한 노력은 연구자 개인적인 단계를 벗어나 국가적 또는 국제적 차원에서 발전되었다. 1920년 9월에는 미국렌트젠학회(X-ray Society)가 X선 방호에 관한 위원회를 구성했고 1921년에는 '영국 X선 및 라듐 방호위원회'가 발족했다. 1925년에는 국제방사선단위측정위원회(International Commission On Radiation Unit and Measurement; ICRU)의 전신인 국제X선단위위원회(International X-Ray Unit Committee; IXRUC)가 창설되었으며, 이어 1928년에는 국제방사선방어위원회(International Commission on Radiological Protection; ICRP)의 전신인 국제X선 라듐방어위원회(International X-ray and Radium Protection Commission; IXRPC)가 창설되었다[2].

이 시기에 최초로 Mutscheller와 Sievert에 의해 선량한도의 개념으로 연간 방사선

피폭량을 홍반발생 발단선량값(threshold erythema dose; TED)의 1/10(혹은 월간 1/100)을 권고하였다. 1934년에는 ICRP에서 첫 선량한도 개념이 권고 되었는데 그 값은 1 R/week에 달하는 매우 높은 준위였다. 또한 같은 해에 미국의 방사선방어위원회(National Council on Radiation Protection and Measurement; NCRP)는 ICRP 권고치의 절반인 0.5 R/week을 권고하였다[1].

기본적으로 이 정도의 방호기준이 일본인의 원폭피폭으로 대규모의 대량 방사선 피폭자 집단이 발생하고 이에대한 후속 방사선 영향연구의 결과물이 집적된 1950년 이전까지 유효하였다. 이 시기의 방사선 방호의 관점은 급성, 필연적 인과관계에 있는 결정적 영향(예: 피부의 홍반, 궤양, 사망등)에 한정되어 있었고 방호는 용인가능한 위험(tolerable risk)에 개념적 근거를 두고 있었다. 즉, 방사선이 때로는 치명적이기도 하지만 그 위험이 사회적으로 용인될 수 있는 범위에 있는 것인가가 판단의 중심이 되는 것이다. 비록 방사선이 위험요소이기는 하지만 일상적인 경우 어느정도의 주의만 기울이지 않는다면 치명적인 급성영향이 방지될 수 있는 것으로 간주하였기 때문이다.

1950년을 전후하여 급성영향의 발단선량 존재가 인정되고 영향별로 그 수준이 규명되기 시작하면서 선량한도는 0.3 R/week로 약간 하향 조정되었으며 방호의 개념도 “용인가능”으로부터 “최대허용”의 개념으로 전환되어 최대허용선량(Maximum Permissible Dose; MPD)의 개념이 도입되었다. 즉, 주요 신체부위의 급성영향 발단선량을 근거로할 때 1주일에 0.3 R이 허용할 수 있는 최대피폭이라는 판단이었다. 방사선의 위험이 구체적인 과학적 근거를 갖게된 이때를 같이하여

방호철학과 기준을 주도하는 국제X선라듐방호위원회(IXRPC)도 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection; ICRP)로 개편, 강화되었다.

원폭피해자 발생 10년이 되는 1955년경에는 방사선피폭이 지발성, 확률적 속성을 갖는 영향의 위험도 수반함을 인식하기에 이르렀는데 이 인식은 방호 기본개념의 전환을 요구하는 것이었다. 즉, 결정적 급성영향의 관점에서는 일정 수준의 발단선량이 존재하므로 길지않은 일정기간 동안 개인의 피폭선량이 이 발단선량보다 낮으면 영향의 발생을 방지할 수 있다고 보기 때문에 방호의 개념이 직선적이고 단순했다. 그러나 확률적 영향에는 그러한 발단선량의 존재가 인정되지 않고 위험이 선량에 비례한다고 보기 때문에 절대 안전이 있을 수 없으며 인간의 수명기간까지 연장되는 장기간에 걸친 위험이 분산되기 때문에 방호에서 고려할 시간대가 대단히 길어진다는 어려움을 동반하게 된다. 따라서 방호의 개념이 단순한 “최대허용”만으로는 불충분하여 “가능한 최소수준(to the lowest possible level)”으로 수정되었다. 이에 따라 최대허용선량¹⁾도 0.1 R/week에 해당하되 관리기간을 연장시킨 5 rem/y로 수정되었다.²⁾

1959년에 ICRP는 지금까지의 입장을 종합적으로 정리하여 ICRP 권고의 형태로 방호의 개념과 기준을 ICRP publication 1[3]로 간행하였다. 여기서 ICRP는 과거의 “가능한 최소수준”이라는 표현이 리스크 0을 의미하는 것으로 오인될 수 있음을 고려하여 그 표현을 “현실적 최소(As Low As Practicable; ALAP)”로 수정하였는데 이것이 오늘날 개념으로 “방호의 최적화”를 천명한 첫 공식 입장이다. 그러나 이 표현도 1965년 개정된

1) 방호개념의 수정에도 불구하고 “최대허용선량”이란 용어는 1977년 ICRP 권고 개편시까지 계속 사용되었다.
 2) rem 단위가 R을 대치하여 사람의 피폭에 대해 사용되고 있다. rem은 roentgen equivalent to man의 약호이다.

ICRP 권고[4]에서는 “달성가능한 최소(As Low As Readily Achievable)”로 수정되었다. 1966년 다시 수정된 ICRP 권고[5]에서는 달성가능한 조건에 “경제적, 사회적 인자의 고려”를 명시하였다.

1973년에 발표된 ICRP publication 22[6]에서는 “readily”를 “reasonably”로 수정하였고 이어서 1977년 개편된 권고 ICRP 26[7]에서 “As Low As Reasonably Achievable (ALARA)”, 즉 “합리적으로 달성가능한 범위에서 최소”라는 방사선 방호 최적화의 개념을 정립하였다. 다시말해서 방사선 방호를 포함하는 위험관리에서 방호노력을 증대시키면 위험의 감소가 예상되더라도 위험감소의 정도가 투입된 방호비용에 비하여 충분하지 못하다면 이는 합리적인 노력으로 볼 수 없으므로 경제적, 사회적 인자를 고려하여³⁾ 합리적인 범위까지의 방호가 정당하다는 관점이다.

위험의 존재를 알면서 이의 감축 내지는 해소를 위해 노력하지 않는 것은 비윤리적이라고 주장할 수도 있으나 이는 어떠한 경우에도 우리는 다양한 위험에 노출되고 있으며 사회가 위험의 감축을 위해 투자할 수 있는 재원에는 한계가 있음을 인식한다면 특정 위험요소에 지나치게 집착하여 이의 감축에 과도한 노력을 쏟는 것은 다른 한편의 위험에 대해 소홀해짐을 의미하므로 결국은 그 사회의 총위험이 증가하게 된다는 사실을 무시하고 있는 것이다.⁴⁾

1990년에 전면 개편된 권고 ICRP 60[8]은 대체로 ICRP 26의 기본 방호개념이 계승되었으나 방호의 기준이나 방호체계의 틀에서는 보다 확장된 접근을 하고 있다.

위에서 살펴본 바와 같이 방사선 방호의 기본 개념은 방사선의 위험에 대한 우리의

지식이 발전함에 따라 지속적으로 변모해왔고 영향발현의 발단선량이 없는 것으로 가정하고 있는 확률적 영향 관리의 목적을 위해 합리성을 기본 정신으로 삼고있다. 합리성은 개념적으로는 지극히 찬양받을 수 있는 정신이지만 방호의 실제에서는 합리성의 판단에 어려움이 동반되는 것도 사실이다. 즉, 무엇이 합리적인가라는 판단에는 ICRP가 천명하고 있듯이 단순한 관련 비용이라던가 일차적 이득 뿐만 아니라 폭넓은 의미의 사회적, 경제적 인자 - 예를들면 방사선 피폭으로 인한 심리적 부담이나 사회적 반발, 적절한 방호를 받는다고 생각할 때의 안도감 등-까지 포함해야 하는 데 이런 요소들이 때로는 판단근거로 사용할 만큼 정량적이지 못한 경우도 있기 때문이다. 또 판단에는 어떤 형태로든 관련된 개인이나 사회 특유의 가치관이 반영되기 마련인데 그 가치관의 보편타당성 여부에도 문제의 소지는 있다. 결론적으로 방사선 방호의 기본 개념은 초기의 단순 허용선량 만족에서 출발하여 이제는 매우 철학적인 경지에까지 이르고 있어 그만큼 방호의 전문성을 요구하고 있는 추세이다.

2. 방호의 목표

방사선방호의 목표를 이해하기 위해서는 방사선 영향에 대한 고찰이 필요하다. ICRP 26 이전에는 인체의 방사선피폭으로 인한 영향을 발생시기에 따라서는 급성과 지발성으로 구분하였고 발생 개체에 따라서는 신체적 영향(somatic effect)과 유전적 영향(genetic effect)으로 구분하였으나 이제는 이러한 분류보다 결정적(deterministic)이나 확률적(stochastic)이냐의 구분이 더욱 중요

3) ICRP 22(4)에서는 경제적, 사회적 인자에 추가하여 윤리적 고려까지 확대시켰다.

4) 가령 우리나라의 교통사고 사망 위험은 외국에 비해 상당히 높으며 실질적으로 매년 1만명 이상이 사망하고 있는데 이러한 현실적 위험요소보다 위험이 있는지 없는지도 불분명한 저선량 방사선 피폭의 방호에 더 많은 노력을 쏟는다면 이는 사회적 인자를 적절히 반영하지 못하는 결과가 된다.

한 의미를 갖는다. 결정적 영향과 확률적 영향의 특성을 표1에 대비하여 요약하였다.

결정적 영향이란 피폭으로 인한 세포사 또는 어떤 급성반응에 근거를 두는 영향으로서 사멸하는 세포의 비율이 피폭선량에 비례하여 증가하여 일정한 한계를 넘게되면 임상적으로 의미있는 증상이 발현된다고 보는 영향이다. 발현한 증상의 심각도는 당연히 선량에 비례할 것이다. 한편 동일한 선량을 받더라도 피폭기간이 연장될 경우에는 생체가 소실되는 세포를 보충할 수 있는 기회가 주어지기 때문에 심각도는 줄어들게 되고 경우에 따라서는 증상이 인지되지 아니할 수도 있게된다. 즉, 결정적 영향이란 영향의 정도가 선량에 비례하며 일정 수준의 발단선량이 존재하고 급성, 대량피폭에서 현저한 영향이다. 특히 원인이 되는 방사선 피폭과 결과로 나타나는 증상 사이에는 약간의 개인차이는 있을 수 있지만, 필연적인 인과관계를 구성하는 영향이다. 또, 결정적 영향의 임상적 증상은 방사선이 아닌 원인에 의한 영향과 구분이 가능하다.

반면 확률적 영향이란 세포의 사멸이 아닌 돌연변이로부터 기인하는 영향으로서 영향이 확률적 인과관계에 따르므로 발생확률이 선량에 비례하게 된다. 따라서 이 경우에는 발단선량의 개념이 없으며 작은 선량에서도 그 선량의 크기에 비례하는 만큼의 위험이 따른다. 이 부류의 영향은 세포사멸과 같은 즉발적인 과정에 의한 것이 아니라 돌연변이된 세포가 세포유전을 거치는 과정에서 최종 단계의 영향으로 발전하는 것이므로 영향의 발현에 긴 시간이 필요하다. 일단 발현한 영향의 심각도는 선량과는 직접 관계되지 아니하며 증상의 특이성이 없어 다른 원인에 의해서도 발생할 수 있는 종류의 질환이 된다. 대표적인 확률적 영향은 체세포의 변이로 인한 발암과 생식세포의 변이로 인한 유전결함이다.

결정적 영향과 확률적 영향의 기전과 특성이 이렇게 다르기 때문에 방사선 방호의

목표도 두 영향에 대해 동일하게 설정할 수가 없다. ICRP가 밝히고 있는 방호의 목표를 간추려 쓰면 다음과 같다. 즉, '방사선 방호의 목표는 유익한 방사선의 사용을 부당하게 제한하지 않으면서 이용에 수반되는 방사선 피폭으로 인한 결정적영향을 방지하고 확률적영향의 위험을 경제적, 사회적 인자를 고려하여 최소로 하는 것'이다.

표 1. 결정적 영향과 확률적 영향의 특성비교

결정적영향 (Deterministic effect)	확률적 영향 (Stochastic effect)
-급성 고선량 피폭으로 인한 세포사 또는 급성반응에서 기인하는 영향 -피폭과 영향 발현의 인과관계가 필연적임 -증상의 심각도는 선량에 비례 -일정 선량 이하에서는 영향의 정도가 임상학적으로 중요하지 않은 발단선량존재 -급성이며 증상의 특이성 있음 -선량을 발단치 이하로 유지하면 방지 가능 -사고 피폭이나 치료방사선 분야에서 관심 -예: 홍반, 백내장, 혈액상 변화, 치사, 불임	-세포의 돌연변이와 세포 유전의 결과로 발생가능한 영향 -영향의 발현을 우연성이 지배함 -영향의 발생확률이 선량에 비례 -발단선량이 없이 선량에 비례하는 위험이 있는 것으로 가정 -지발성이며 타원인 영향과 구분 불가 -합리적 범위에서 발병위험을 최소화 -일상 저선량 피폭에서 관심 영향 영향 -예: 암, 백혈병, 유전결함

이와 같은 방호목표는 결정적영향은 발단선량이 존재할 뿐만 아니라 그 값이 일상 방사선 취급에서는 피폭하기 어려운 정도로 높기 때문에, 적절한 관리를 통해 발단선량을 초과하는 피폭을 방지할 수 있는데 반하여 확률적영향은 저선량에서도 선량에 비례하는 위험이 동반된다는 특성에 근거한다. 방사선을 사용하는 한 피폭을 영(0)으로 만드는 것은 현실적으로 어렵기 때문에 합리적인 범위에서 위해와 이득의 균형을 모색할 수 밖에 없는 것이다. 여기서 강조할 점이 있는데 저선량에서도 확률적 위험이 존재한다는 것은 과학적인 직접 증거에 의하여 도출된 것이 아니라 일본 원폭피해 생존

자로 대표되는 고선량 피폭집단에서의 역학적 귀결에서부터 유추된 것이며 신중한 입장에서 고선량에서의 선량-위험의 관계가 저선량에까지 외삽될 것으로 “가정”한 것이라는 사실이다.

3. 방호의 체계

방사선방호의 목표를 달성하기 위해서는 방호의 근간이 되는 개념적 체계가 필요하다. 현재 ICRP가 수립한 방호체계는 (1)피폭의 정당화(Justification), (2)방호의 최적화(Optimization), (3)개인선량/위험 한도(Dose limit)의 3단계로 구성된다.

피폭의 정당화란 방사선을 사용하는 행위는 그로부터 얻는 이득이 그 사용에 수반되는 비용보다 우월하여 순이득이 발생할 수 있는 경우에 한하여 정당함이 인정된다는 것이다. 이는 경제적 관점 뿐만 아니라 윤리적 관점에서도 당연한 원리이다. 여기서 이득이라 함은 단순한 국부적 재화의 이득 뿐만 아니라 사회적 풍요나 개인의 만족감까지 포함하는 것이 원칙이다. 마찬가지로 비용 측면에서도 비용에 계상할 것은 단순 직접비용 뿐만 아니라 피폭으로 인한 위험, 심리적 불안, 사회적 마찰까지를 포함하는 광범위한 것이다. 그러나 정당화 실제에서는 사회적이거나 심리적인 요소들은 금전으로 정량화하기 어려운 것도 사실이므로 특수한 경우를 제외하고는 이러한 요소들은 고려하지 않고 판단한다. 여기에는 이러한 정성적 요소들이 비용과 이득 양측에 존재하므로 상쇄효과가 있어 이들의 배제가 정당화의 본질을 흐트리지는 않을 것이라는 배려가 깔려있다. 일반적으로 방사선을 이용하는 행위는 그 행위로부터 얻는 이득이 상당하기 때문에 대체로 비용에 비해 우월하므로 정당화에는 어려움이 없다. 이미 행하여지고 있는 보편적인 방사선의료에 대해서는 새삼 정당성 여부를 판단하지 않고도 정당화된 행위로 간주하더라도 무방하다.

정당화된 행위에 대해서도 그로 인한 피폭자 수, 피폭선량, 피폭으로 인한 위험을 합리적인 범위에서 최소(ALARA)로 한다는 것이 방호의 최적화이다. 주어진 행위로 인한 피폭은 방호비용을 증가시킨다면 감소될 것은 분명하나 재화의 효용은 체감하므로 결국 소량의 피폭절감을 위해 엄청난 비용의 투입이 요구될 것이다. 작은 것을 얻기 위한 무리한 투자요구는 수용될 수 없으므로 자연히 경제적 고려를 통한 합리적 방호의 원리가 도입된다. 이는 주어진 행위와 관련한 비용을 극소화함으로써 그 행위로부터 얻는 이득을 극대화한다는 개념과도 일치하는 것이다.

오늘날의 방사선방호의 핵심 개념은 바로 ALARA로 단축되어 불리는 이 최적화이다. 과거의 방호개념이 결정론적 판단법에 근거하여 선량한도를 초과하지 않음을 중시하였던 것과는 달리 방호의 최적화는 저선량에서도 존재하는 것으로 가정하는 확률적 ‘위험의 합리적 관리’가 바로 방사선방호의 기본 정신이 되고 있는 것이다. 최적화를 위해서는 방호 방안의 설정, 그 방안에 관련된 인자의 정량화, 정량화된 방호방안의 비교판단 등 때로는 매우 복잡한 과정이 수반되는데 이에 대해서는 보다 상세한 설명자료들 [9-15]이 있다.

비록 행위가 정당화되고 방호가 최적화되었더라도 그 행위의 실행에서는 또다른 문제가 야기될 수 있는데 바로 관련된 개인의 피폭이 불합리하게 편중하는 문제이다. 최적화는 집단선량을 근거로하기 때문에 그 집단선량을 구성하는 개인의 피폭분포까지 고려하지는 않는다. 집단선량이 충분히 감축된 경우에도 그중의 일부 개인은 많은 선량을 피폭하여 용인하지 못할 정도의 위험에 처할 수도 있기 때문에 이를 방지하기 위해서는 개인이 피폭하는 선량에 어떤 한도를 설정할 필요가 있다. 이 목적으로 ICRP가 권고하는 기준이 곧 개인 선량/위험 한도이다. 윤리적 관점에서 보면 선량한도란 개인간

불평등을 제한하는 틀 역할을 하는 것이다.

개인 선량한도의 준위는 ICRP가 방사선 기인치사암 위험 자료와 현대 사회가 수용할 수 있을 것으로 보는 위험도를 근거로 설정하여 권고하고 있다. 표2에 ICRP 60에서 제시한 선량한도를 보였다. 선량한도를 결정하는 개념도 변천한다. 과거에는 방사선 피폭으로 인한 암치사와 피폭자의 2대 후손까지 발생할 수 있는 심각한 유전결함 위험이 방사선을 사용하지 않으면서 비교적 안전한 산업으로 인정되는 직종에서의 위험과 같은 수준으로 설정한다는 개념이었다. 그러나 ICRP 60에서는 치사위험(또는 이에 준하는 심각한 유전결함)만 고려하는 것이 적절하지 않고, 비교하는 타산업에 안전 성취가 있으며, 특정 직종을 선정하는 것이 곤란하다는 이유로 타산업과 비교의 개념을 버리고 방사선 자체의 위험이 사회가 수용할 수 있는 범위에 들도록 선량한도를 설정한다는 개념으로 바꾸었다. 예를들면 취업연령인 18세부터 정년인 65세까지 매년 20mSv의 율로 피폭한다고 가정할 때 그 사람의 생애 위험이 용인되는 수준으로 보는 연간 1/1000보다 낮을 것이라는 판단에서 직업상 피폭의 유효선량 한도로 5년간 100mSv 즉, 연평균 20mSv로 설정한 것이다.

표 2. ICRP 60에서 권고한 선량한도

	직업상 피폭	일반인의 피폭
확률적 영향 관리목적 유효선량한도	5년간 100mSv 범위에서 연간 50mSv	연간 1mSv
결정적 영향 방지목적 등가선량한도		
수정체	연간 150mSv	연간 15mSv
피부	연간 500mSv	연간 50mSv
손,발	연간 150mSv	-

표2에서 확률적영향 관리목적의 유효선량 한도란 확률적영향인 암위험이 신체 부위별

로 다른 사실을 반영하여 평가하는 유효선량(effective dose)이 표의 값을 넘지않아야 한다는 것이다. 결정적영향 방지목적의 등가 선량 한도는 특수한 조직에서 그 조직의 선량은 유효선량의 계산에 반영되지 않거나 미미하게 반영되는 경우 확률적영향 관리를 위한 유효선량한도만으로는 이러한 특정 조직의 결정적영향 발단선량을 초과할 우려가 있는 조직인 수정체, 피부, 손 및 발에 한하여 별도로 등가선량한도를 규정하고 있다.

일반인의 선량한도가 직업상 피폭자에 비해 1/20 또는 1/10로 낮은 데에는 몇가지 이유가 있다. 즉, 일반인이 생활환경 중에서 노출되기를 감수할 수 있는 위험준위와 직업인이 직업상 노출되는 것이 용인되는 위험준위가 각각 연간 1/1000과 1/10000으로서 차이가 있으며 직업상피폭자는 소수인데 반해 일반인은 다수이므로 작은 개인선량도 집단선량 규모로는 크다는 특성이 고려될 수 있다. 또 일반인 집단에는 상대적으로 방사선에 민감한 그룹인 유아, 소아가 포함된다. 그밖에도 직업인은 자의적 피폭인데 반해 일반인은 자의에 반한 피폭이라는 점도 배려되는 것이다.

의료상 피폭에서는 선량한도는 적용하지 않는다. 그 이유는 위와 같은 선량한도가 적용될 경우 진료의 목적달성에 심각한 제약을 받을 우려가 있을 뿐만 아니라 이 경우에는 피폭을 유발하는 행위로 인한 이득이 전적으로 환자 또는 피검자 자신에 귀속된다는 특성이 인정되기 때문이다.

그러나 임신가능한 여성이나 임신이 확인된 여성의 경우에는 의료상 피폭도 문제가 된다. 즉, 임신한 여성이 방사선 진료를 받는 경우 임부 본인은 의료상 피폭으로 간주되지만 태아는 제3자이므로 개념상 의료상 피폭에 포함되지 않기 때문에 태아에 대해서는 일반인의 선량한도 개념이 적용되어야 한다는 점이다. 따라서 태아의 피폭을 연간 1mSv(실제로는 임신 확인시점부터 출산까지의 기간동안) 이하로 제한하기 위해서는

특별한 필요성이 인정되지 않는한 임신한 여성의 하복부가 노출되는 방사선 진료행위는 제한되어야 한다. 임부의 생명을 위협하는 등 특별한 정황이 인정되는 경우에도 태아의 피폭으로 인한 위험을 충분히 고지하여야 함은 물론 그 정당성에 대하여 병원의 윤리위원회와 같은 기구에서 신중한 검토가 있어야 한다.

4. ICRP 60 선량한도 하향 배경

ICRP가 최근 권고에서 그 선량한도 권고치를 ICRP 26에 비해 40%라는 낮은 수준까지 낮추게 된 데에는 위에서 언급한 선량한도 설정개념의 변경 외에도 다음과 같은 몇가지 다른 이유가 있다[8].

1) 방사선역학 데이터베이스의 수정

ICRP 26은 1970년대 초기까지의 고선량 고선량률에 피폭된 다양한 집단, 특히 일본 원폭피해 생존자에 대한 역학조사자료를 바탕으로한 반면에 ICRP 60은 1980년대 중반까지 역학자료를 근거로 하고 있는 것이다. 이 15년 정도의 차이는 원폭피해자의 경우 고령화에 따라 암사망자가 증가하였기 때문에 역학자료 데이터베이스에 괄목할만한 수정을 초래했다.

2) 원폭피해생존자 선량평가의 수정

비교적 고선량을 피폭한 것으로 추정되는 약 9만명의 일본인 원폭생존자 1세대에 대한 과거의 선량평가 결과에서도 상당한 오차가 있음이 밝혀졌다. 즉 과거의 예상 피폭선량은 1965년도에 완료된 Tentative Dose (T65D)의 연구결과에 근거를 두었다. 그러나 NCRP Task Group(1981)과 Lawrence Livermore Laboratory의 과학자들에 의해 T65D의 상당한 문제점(원폭위력 평가 방법, 방사선수송평가, 피폭시 환경조건 고려 등)들이 제기됨에 따라 선량의 재평가가 이루어졌고 그 결과가 1986년에 Dosimetry System (DS86)으로 발표되었다. 재평가 결과는 대체로 과거의 평가가 선량을 과대평가 즉, 방사선 위험을

과소평가한 것으로 나타났다.

3) 위험도 투사 모델의 선택의 차이

역학조사 대상이 된 원폭피해자의 경우 제1세대도 아직 60% 정도가 아직 생존하고 있으므로 방사선피폭으로 인한 생명의 위험을 평가하기 위해서는 이들 생존자의 발암치사를 이미 사망한 피폭자의 자료로부터 시간적으로 미래에 대해 투사해야하는 과정이 필요하다. 이 목적의 예측모델에는 두가지가 사용된다. 곱하기모델(Multiplicative model)은 방사선피폭으로 인한 암 위험이 일반적으로, 나이가 증가함에 따라 높아지는 자연발생적 암 위험에 비례하여 커진다고 가정하는 모델이다. 이러한 연령에 대한 의존성 때문에 곱하기모델은 위험도의 증가가 일정하다는 더하기모델(Additive model)보다 고연령에서 방사선피폭에 의한 위험을 높게 평가한다. 이로 인하여 더하기모델을 선호한 ICRP26에 비하여 백혈병을 제외하고는 곱하기모델을 채택한 ICRP60에서 방사선에 의한 위험이 높게 평가되었다.

5. ICRP 60 이후의 동향

1990년 신권고 발표에 따라 이미 일부 국가는 새로운 선량한도를 국가의 규제체계에 반영하였다. 캐나다, 영국, 스웨덴, 스위스 등이 그 예이다. 국제원자력기구도 세계보건기구, 국제노동기구 등 관련 국제기구들과 공동으로 '기본안전기준(Basic Safety Standards; BSS)[15]' 개정에 착수하여 현재 잠정기준을 출판하고 있다. 이 개정기준에는 ICRP 60의 선량한도 및 방호체계가 전면 반영되고 있다. 따라서 시차는 있겠지만 결국은 ICRP 60 신권고를 각국이 수용하여 제도화할 것이다. 우리나라도 이전 권고인 ICRP 26을 제도에 공식 반영하는 기회를 놓친 것을 거울삼아 ICRP 60의 반영에는 규제당국이 적극성을 보이고 있다. 현재 새로운 방호체계를 대체로 반영한 규정 개정시안[16]이 준비되어 관련된 전문가 및 기관의 의견을 수렴하는 과정에

있으므로 빠르면 1997년 정도에 규정이 개정되고 1년 정도의 경과조치를 거쳐 1998년 경에 전면 시행될 수 있을 것으로 판단된다.

한편으로는 ICRP 60 이후에도 방사선방호 체계는 ICRP 60의 후속조치 또는 발전된 개념의 출현 등 그 변모를 그치지 않고 있다. 선에너지전달(LET)과 선질계수의 상관관계의 수정에 따른 고LET 방사선의 선량환산인자의 수정이 ICRP 51[17]의 개정판으로 준비중이며 평균적 선질계수를 방사선가중치(Radiation Weighting Factor)로 수정하고 ICRU의 실용량[18]을 도입함에 따른 선량률측정기 및 개인선량계 고정절차의 수정이 이루어지며 방사성핵종의 섭취에 따른 내부피폭 모델의 수정에 따른 선량환산인자도 수정이 이루어지고 있다. 특히 방사성핵종의 흡입에 따르는 내부피폭선량과 관련해서는 선량한도의 변경으로 연간섭취한도(ALI)나 유도공기농도(DAC)의 값이 ICRP 30[19]에서 ICRP 61[20]로 수정된 후 다시 폐피폭 모델이 과거의 ICRP 30 모델과 사뭇 다른 ICRP 66[21] 모델로 수정됨에 따라 그 값이 수정되었다[22]. 내부피폭에 관한 새로운 접근에서는 흡입입자의 크기에 따라 다른 환산인자를 적용하므로 공기오염감시나 작업자 흡입감시에 한층 어려움이 예상된다. 또 선량환산인자도 단일 표준인에 대한 값에서 발전하여 연령에 따른 체격 및 생리 차이를 반영하고 있다[23].

과거의 흐름에서 보았듯이 선량한도 값도 현재의 권고치가 얼마나 오랫동안 유효하게 될지는 모른다. 또다른 요인이 있어 한도가 더욱 하향할 가능성도 없다고는 할 수 없으며 반대로 다시 상향 조정될 가능성도 배제하지 못한다. 근래 미국 보건물리학회[24]에서 활발히 논의되고 있듯이 확률적 영향의 선형-무발단 가정의 불합리성에 대한 과학적 근거 또는 한 발 더 나아가 저선량에서 유의한 효과(Hormesis)에 대한 충분한 과학적 근거가 집적된다면 선량제한 또는 방호 체계에 커다란 변혁이 초래될 수도 있기 때

문이다. 그러나 위험요소에 불확실함이 존재할 때에는 보다 신중할 수 밖에 없음을 감안한다면 선량한도의 상향과 같은 변화는 가까운 장래에 쉽게 도래할 것으로 기대되지 않는다.

참고 문헌

1. A. Brodsky, R. Kathren and C. Willis, "History of the medical use of radiation: regulatory and voluntary standards of protection", Health Physics, 69(5), 783-823(1995).
2. A. Brodsky ed., CRC Handbook of Radiation Measurement and Protection, CRC Press, Boca Raton(1978).
3. ICRP, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP publication 1, Pergamon press(1958).
4. ICRP, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP publication 6, Pergamon press(1965).
5. ICRP, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP publication 9, Pergamon press(1966).
6. ICRP, Implications of Commission Recommendations that Doses be Kept as Low as Readily Achievable, ICRP publication 22, Pergamon press(1973).
7. ICRP, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP publication 26, Pergamon press(1977).
8. ICRP, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP publication 60, Pergamon press(1990).
9. ICRP, Cost-benefit Analysis in the

- Optimization of Radiation Protection, ICRP publication 37, Pergamon press(1983).
10. CRP, Optimization and Decision-making in Radiological Protection, ICRP publication 55, Pergamon press(1989).
 11. 조건우, "ALARA란 무엇인가?", 동위원소회보, 10(2), 14-17(1995).
 12. 이재기, "방호최적화의 절차와 기법", 동위원소회보, 10(2), 18-25(1995).
 13. 하정우, "방사선방호의 최적화 개념과 그 역사적 및 철학적 배경", 동위원소회보, 10(2), 26-32(1995).
 14. 송명재, "ALARA와 원자력발전소", 동위원소회보, 10(2), 33-35(1995).
 15. IAEA, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety series No. 115-I, Interim ed., IAEA(1994).
 16. 이재기 등, ICRP 신권고 도입을 위한 기반조성 연구, 한국원자력안전기술원, KINS/HR-123(1995).
 17. ICRP, Data for Use in Protection against External Radiation, ICRP publication 51, Pergamon press(1988).
 18. ICRU, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry, ICRU Report 51, ICRU, Bethesda(1993).
 19. ICRP, Limits for Intake of Radionuclides by Workers, ICRP publication 30, Pergamon press(1983).
 20. ICRP, Recommendations of the ICRP, ICRP publication 61, Pergamon press(1991).
 21. ICRP, Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, ICRP publication 66, Pergamon press(1994).
 22. ICRP, Dose Coefficients for Intake of Radionuclides by Workers, ICRP publication 68, Pergamon press(1994).
 23. ICRP, Age-Dependent Doses to Member of the Public from Intake of Radionuclides, Part 1, ICRP publication 56(1990), Part 2, ICRP publication 67(1993), Part 3, ICRP publication 69(1995).
 24. R. Kathren et al., "Special issue: radiation dose-response model", Health Physics Society's Newsletter, 23(6), 3-16(1995).

