

放射線 防禦基準의 最近動向 및 對應方案

姜 昌 淳

〈서울大學校 原子核工學科 教授〉

원자력발전의 본격적인 도입과 더불어 원자력의 이용이 엄청나게 증가하게 되었고, 동시에 방사성동위원소를 포함한 방사선의 이용이 급증하게 되었다. 이에 따라 수반되는 인간과 자연환경을 위한 방사선방어는 원자력이용과 더불어 고려되는 필수조건이 되었다.

근래에 와서 방사선방어를 위한 권고안 및 기준으로 1977년 국제방사선방어위원회가 ICRP-26을 발표한 후, 최근에는 1990년에 ICRP-60을 발표하였고, 그리고 1991년 5월 21일에는 미연방정부가 방사선방어를 위한 기준 10CFR 20을 30년 만에 개정하여 발표하였다. 10CFR20(1991)의 기준안은 1993년 1월 1일부터 시행할 예정이다.

10CFR20(1991)의 발표는 원자력 산업계에 앞으로 큰 파문을 일으킬 것으로 예상하고 있다. 본 방어기준은 ICRP-26(1977)의 기본개념을 토대로 개정한 것으로서, 현존하는 방사선방어의 기본철학 뿐만 아니라, 프로그램 및 절차 등에 많은 변화를 가져오리라고 믿고, 이에 따른 혼란이 매우 클 것으로 본다. 특히 원자력시설의 운전보수시에 연관되는 방사선방어를 위한 비용의 상당한 증가가 예상되고 이에 대한 업계의 충격이 클 것으로 생각한다. 따

라서 우리는 이에 대한 철저한 검토를 거쳐서, 적절한 대응방안을 미리 강구하여야 할 것이다.

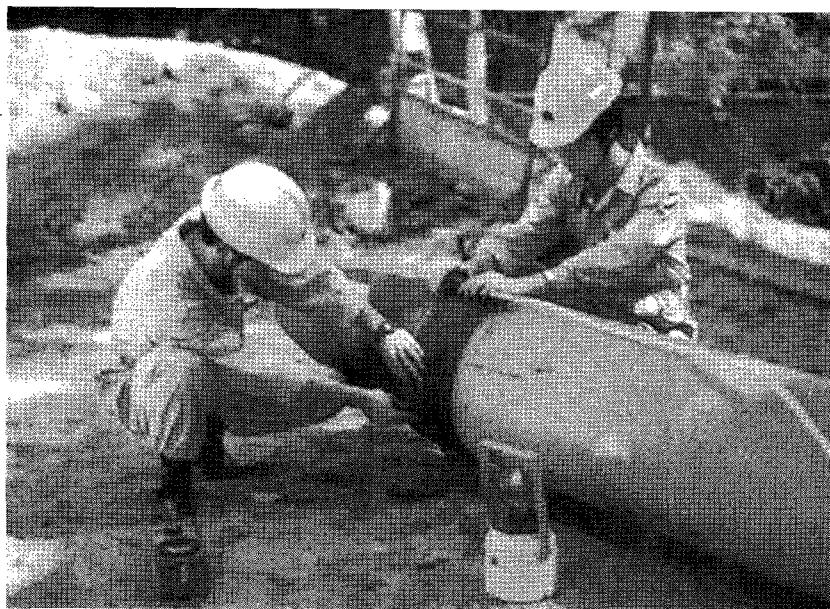
방사선과 관련된 최근 사용되는 용어

방사선

방사선은 물질과 작용하면 이온을 발생시킨다. 따라서 방사선은 원래 “이온화방사선”을 간략히 줄여서 방사선이라 한다. 근래에 와서는 레이저와 마이크로웨이브와 같은 비이온화 방사선도 방사선에 포함시키고 있다. 그러나 원자력을 이용하는 과정에서 발생하는 방사선은 모두 이온화방사선이므로 우리는 방사선방어의 측면에서는 이온화방사선만을 아직도 방사선이라 취급하고 있다.

방사선량 단위

방사선량은 현재까지 많이 사용하고 있는 단위로써 3가지를 사용하고 있다. 그 단위는 피폭선량(R: roentgen), 흡수선량(Gy: gray 혹은 rad), 그리고 선량단량(Sv: sievert 혹은 rem)이다. 3가지의 방사선량의 단위 중 피폭선량은 엑스선 및 감마선에 국한하여 사용되고



있으며, 공기중 이온화의 생성량으로 나타내고 있다. 따라서 방사선량의 크기를 모든 종류의 방사선에 대하여 공통적으로 나타내기 위하여, 피폭선량인 렌트겐의 사용이 차츰 지양되고 있다. 10CFR20(1991)은 물론 ICRP-60(1990)에서도 렌트겐(R)을 사용하지않고 있으며, 조만간에 방사선방어 분야에서 그 사용이 완전히 없어지리라 믿는다. 흡수선량인 Gy 혹은 rad와 선량당량인 Sv 혹은 rem의 단위로 모든 방사선량이 표현될 것이다.

방사선량에 관한 용어-10CFR20(1991)

1) Dose (or radiation dose)-선량 (혹은 방사선량) : 흡수선량, 선량당량, 예탁선량당량, 예탁유효선량당량 등을 통 털어서 일반적으로 나타내는 용어.

2) Absorbed dose-흡수선량 : 이온화방사선이 조사한 물질의 단위 무게당 전해주는 에너지의 량. 단위 : 1gray(그레이)=100rad(레드)

3) Dose equivalent-선량당량 : 주어진 세포에서 흡수선량, 선질계수 및 기타 필요한 보정인자를 모두 곱하여 인체에 미치는 영향을 고려한 선량. 단위 : 1 sievert(씨버트)=100 rem(렘)

4) External dose-외부선량 : 외부의 방사선원으로부터 피폭받은 선량당량.

Deep dose equivalent(Hd) -심층선량당량 : 1cm 안의 세포의 선량당량.

Eye dose equivalent(Hd) -눈선량당량 : 눈 수정체 피폭에만 적용, 0.3cm 세포의 선량당량.

Shallow dose equivalent(Hs) -천층선량당량 : 피부 혹은 수족의 피폭에만 적용, 0.007cm 세포의 선량당량.

5) Internal dose-내부선량 : 인체안에 흡입된 방사성물질에 의하여 받은 선량당량

Committed dose equivalent(Hc.T. H50. T)

-예탁선량당량 : 개인이 방사성물질 흡입후 50년 동안 T라는 조직이나 기관이 받는 내부 선량당량.

Effective dose equivalent(HE) -유효선량당량 : 조직이나 기관이 받은 선량당량(HT)과 그 가중인자(WT)를 곱하여 합한 내부선량.

$$H_E = \sum W_T \times H_T$$

세포조직(T)	가중치(W _T)
생식선	0.25
유방	0.15
적색골수	0.12
허파	0.12
갑상선	0.03
뼈표면	0.03
위장	0.06
소장	0.06
상부대장	0.06
하부대장	0.06
콩팥	0.06

Committed effective dose equivalent($H_{E, C}$)

c) -예탁유효선량당량: 조직이나 기관이 받은 예탁선량당량($H_{50, T}$)과 그 조직이나 기관의 가중인자(W_T) 곱하여 합한 내부선량.

$$H_{E, C} = \sum W_T \times H_{50, T}$$

6) Total Effective Dose Equivalent (TE-DE) -전유효선량당량: 외부피폭의 심층선량당량 그리고 내부피폭으로 예탁유효선량당량을 합한 유효선량당량.

7) Collective dose - 집합선량: 주어진 한 집단의 인구가 받은 피폭선량.

8) Occupational dose - 직업선량: 개인이 제한구역내에서 받은 선량이거나 작업에 종사하면서 받는 선량.

9) Public dose - 대중선량: 대중이 비제한 구역이나 피면허자의 통제구역 안에서 받는 선량.

피폭통제를 위한 용어-10CFR20(1991)

1) ALARA(As Low As Is Reasonably Achievable) - 합리적성취최저: 방사선피폭을 실용적인 한 합리적으로 가장 낮게 최선을 다함.

2) ALI(Annual Limit of Intake) - 연간흡입제한치: 성인의 종사자가 호흡이나 소화기를 통하여 연간 흡입할 수 있는 방사성물질의 양을 계산한 제한치.

3) DAC(Derived Air Concentration) - 공기중유도농도: 방사성물질을 가벼운 활동중의 호흡량(호흡율=1.2m³/hr)으로 연간 작업시간(2000 시간) 동안 균일하게 흡입하여 연간 흡입제한치(ALI)에 도달할 때 이 방사성물질의 공기중 농도.

구역에 관한 용어-10CFR20 (1991)

1) Radiation area - 방사선구역: 방사선원으로 부터 30cm 떨어져서 시간당 개인이 받는 선량당량이 0.005렘을 초과하는 개인이 접근 가능한 구역.

2) High radiation area - 고방사선구역: 방사선원으로 부터 30cm 떨어져서 시간당 개인이 받는 선량당량이 0.1렘을 초과하는 개인이

접근 가능한 구역.

3) Very high radiation area - 초고방사선 구역: 방사선원으로 부터 1m 떨어져서 시간당 받는 흡수선량이 500레드*를 초과하는 구역. (*선량이 매우 높을 때에는 선량당량보다 흡수선량으로 표시하는 것이 더 바람직함.)

4) Airborne radioactivity area - 기상방사능구역: 다음 농도의 방사성물질을 포함 하는 방이나 폐쇄공간 혹은 구역.

- 공기중 유도농도(DAC)를 초과하는 농도.

- 호흡방어기구를 사용하지 않고 개인이 일주일에 연간 흡입제한치(ALI)의 0.6%를 초과하는 구역의 공기중 농도

5) Restricted area - 제한구역: 방사선방어의 목적으로 피면허자가 접근을 제한하는 구역.

6) Controlled area - 통제구역: 제한구역과 부지경계 사이의 구역.

7) Unrestricted area - 비제한구역: 피면허자가 출입을 제한하거나 통제하지 않는 구역.

8) Site boundary - 부지경계: 피면허자가 땅이나 재산을 소유하거나, 세를 내거나, 통제를 하는 지역의 경계선.

방사선방어의 목적

ICRP-26(1977)에 의하면 방사선방어의 목적을 위하여 방사선의 인체에 미치는 영향을 확률적영향(stochastic effects)과 결정적영향(deterministic effects)으로 분리하고 있다. 확률적영향에서는 선량의 크기가 방사선이 인체에 미치는 영향의 증세의 강도로 나타나는 것이 아니라, 주어진 영향이 일어날 확률에 비례하는 것으로 나타내고 있다. 따라서 확률적영향을 언급할 때에는 선량의 문턱값이 없다. 결정적영향에서는 방사선이 인체에 미치는 영향의 증세의 강도가 선량의 함수로 취급되며 문턱값이 있어서 그 값보다 크게 피폭되었을 때에만 영향을 보인다. 확률적영향과 결정적영향의 분류를 <표 1>과 같다.

ICRP-26(1977)을 통하여 권고한 방사선방어의 확률적영향의 감소와 결정적영향의 방지

〈표 1〉 방사선의 확률적영향과 결정적영향

영향의 분류	예 시	비 고
확률적영향 -만발성 신체적영향 -유전적 영향 결정적영향 -급성 신체적영향 조혈기관 증후군 소화기 증후군 중추신경계통 증후군 기타 -만발성 신체적영향 -태아 영향	암 백혈병 수명단축 유전병 birth defects 혈액의 변화 설사, 구토 졸도, 피로, 체온상승, 탈모, 홍반, 등 모발의 변화 백내장 IQ 감소 정신박약 사산	확률적 발생 증세의 강도

에 두고 있다. 다시 말해서,

- 1) 방사선피폭은 인간이나 사회에 유익한 결과가 없는 한 있어서는 아니된다. (행위의 정당성)
- 2) 확률적영향을 감소하기 위하여 합리적성취최저를 유지하도록 하여야 한다. (방어의 최적화)
- 3) 결정적영향을 방지하기 위하여 선량당량의 제한치를 규정하여 준수하여야 한다. (개인의 선량한도)

합리적성취최저(ALARA : as low as is reasonably achievable)

합리적성취최저의 철학은 방사선방어의 기준을 선량한도에만 한정하지 말 것이며, 합리적으로 가능한 한 방사선피폭을 가장 낮게 유지하도록 최선을 다하는 데 있다. 물론 여기서 언급한 “합리적으로 가능한”이란 의미는 기술적, 경제적 측면뿐만 아니라 사회적 사항을 충분히 고려하여야 한다는 뜻이다.

따라서 합리적성취최저의 개념의 적용은 주어진 사회의 경제적인 제반 여건으로부터 영향을 받을 뿐만 아니라 문화적 구조에 따라서도

그 적용방법이 다르게 된다. 그러므로 국가에 따라서 그 적용에 차이가 있고, 같은 국가라 할 지라도 지역에 따라서 그 적용의 차이가 있다. 공통된 단일 지침은 의미가 없고, 시간적 그리고 공간적으로 그 차이에 따라서 융통성 있게 적용되어야 한다.

따라서 합리적성취최저 개념은 방사선방어의 기본이다. 원자력 분야에 종사하는 사람은 인간과 자연환경을 인간이 만든 방사선으로부터 방어하여야 할 의무가 있다. 이러한 의무는 합리적성취최저 개념을 이해하지 않고는 수행할 수가 없다. 원자력 시설과 관련된 제반행위인 설계, 건설, 운전과정의 모든 분야에서 합리적성취최저 개념이 적용되지 않는다면 안전하고 편리한 원자력의 평화적인 이용은 달성할 수 없는 것이다. 따라서 합리적성취최저는 대중이나 자연환경을 위한 방사선방어 뿐만 아니라, 작업종사자를 위한 방사선 방어에도 적용되며, 편익비용 개념에 기반을 둔 방사선 방어목적의 가장 중요한 근원이 되는 것이다.

방사선 방어기준 선량한도

방사선방어를 위한 기준의 선량한도는 1957

입 초기부터 그 타당성에 관하여 많은 논란을 일으켰었다. 한편 1990년의 ICRP-26에 의하면 5년 평균으로 연간 2rem/yr를 제시하고 있다. 2rem/yr의 근거는 작업종사자에 대한 방사선의 연간허용위험도를 $8 \times 10^{-4}/\text{yr}$ 라고 한다면, 방사선 피폭의 위험도가 $4 \times 10^{-2}/\text{Sv}$ 이므로, 연간선량한도가 $(8 \times 10^{-4}/\text{yr}) / (4 \times 10^{-2}/\text{Sv}) = 2 \times 10^{-2} \text{Sv/yr}$ (2rem/yr)가 되는 것에 두고 있다. 10CFR20(1991) 선량한도의 근거가 빈약한 것에 주의를 기울인다면, 선량한도 5rem/yr의 도입은 앞으로 문제점이 예상된다. 그러므로 우리는 장기적으로 ICRP-60을 근거로 선량한도의 기준을 평균 2mrem/yr로 정하는 것이 바람직하다고 본다.

3) 10CFR20(1991)의 특이점은 두가지를 들 수 있다. 첫째는, 선량한도에서 전유효선량당량(TEDE) 개념을 도입한 것과, 둘째는 방사선에 의한 피폭을 합리적성취최저(ALARA)로 유지하는 프로그램을 요구하고 있는 사항이다. 여기서 전유효선량당량이란 앞에서 정의한 바와 같이 내부 및 외부선량을 모두 함께 포함하여 전신선량으로 전환하여 한개의 유효값으로 표현한 것이다. ICRP의 전유효선량당량의 개념은 방사선 피폭에서 내부피폭이나 외부피폭이나 피폭량을 동일하게 취급하고 있다.

1rem의 피폭은 외부피폭이나 내부피폭이나 같은 의미를 갖는 다는 것이다. 아직까지 보건물리학자들은 길으로는 같다고 인정하였는지는 몰라도, 실제로는 내부피폭을 더 중요하게 여겨왔다. 내부피폭을 줄이기 위해서 여러 수단을 강구하여 왔으며, 때에 따라서는 전유효선량당량이 증가하는 행위도 서슴치 않았다. 아무튼 내부피폭이 좀 더 위험하다고 은연중에 여겨온 것은 사실이다. 그러므로 내부피폭과 외부피폭을 같게 취급하는데는 앞으로 많은 기존의 저항이 예상된다.

4) 내부피폭을 다루는데 문제점 중의 하나는 내부피폭선량을 계산하는 방법에 많은 불확실성이 존재한다는 것이다. 외부피폭과 달리 내부피폭의 경우, 인체 내의 흡입과정에 따라, 그리고 인간 개개인의 체질에 따라서 그 예탁피

폭량 및 영향이 다르기 때문에 내부피폭량을 정확히 판단하는데는 여러 문제점을 안고 있는 것이다.

5) 또 한가지 문제점은 실제로 “내부피폭을 어떻게 정확히 계측하는가”이다. 현재로서는 내부피폭을 정확히 계측하는 수단과 방법이 없으며, 이를 강구하는 것이 매우 중요한 과제로 대두되고 있다. 정확한 계측만이 실제 피폭량의 확인할 수 있는 것이다.

6) 10CFR20(1991)에 의하면 작업선량을 합리적성취최저로 유지하기 위하여 제반 절차 및 기술적 통제를 수행하여야 한다고 기술하고 있다. 여기서 작업선량은 전유효선량당량으로 표현되고 있으므로, 이는 전유효선량당량을 합리적으로 줄이기 위해서는 내부피폭과 외부피폭을 함께 묶어서 최적화하여야 하며, 이는 때로는 외부피폭을 줄이기 위하여 내부피폭을 증가시키는 행위도 존재할 수 있다는 것을 우리는 알아야 할 것이다.

따라서 아직까지 관행으로 수행하여 온 절차를 무시하고, 전유효선량당량을 줄인다면 명목으로 과연 “누가 자신있게 감히 방어장구를 제거하게하여 내부피폭이 증가되는 행위를 추진할 수 있을까?” 의문이 된다. 그러나 많은 경우에 좁고 더운 지역에서 거치장스러운 방어장구를 걸치고 작업을 함으로서, 작업효율이 떨어져 결과적으로 외부피폭이 증가하고, 따라서 전유효선량당량을 증가시키고 있는 것을 우리는 잘 알고 있다. 특별히 호흡장구, 피부 보호용장구(장갑, 방호복 등)의 사용의 불편성은 우리가 잘 알고 있고, 개별적으로 그 방어의 효율성에 관하여 평가되어야 할 것이다.

7) 아무튼 새로 개정된 10CFR20(1991)는 전반적으로 방사선분야에 종사하는 작업자들에게 방사선방어를 좀더 증진시킬 수 있는 기회를 부여한 것은 틀림없다. 그러나 실제로 추진하는 과정에서 여러가지로 혼선과 어려움이 예상되며, 이의 적용에는 규제기관의 명철한 판단과 노력이 요구되는 것이다.