

## Considerations on the Concept of Dose Constraint

S.Y. Chang and K.K. Chung

Korea Atomic Energy Research Institute

### 선량제약 개념에 대한 고찰

장시영 · 정경기

한국원자력연구소

**요약** - 최근에 우리 나라가 공식 회원국으로 가입한 서방 경제협력개발기구(OECD)/원자력기구(NEA) 산하의 방사선 방호 및 보건위원회(CRPPH)에서는 유럽연합(EC)의 전문가그룹과 합동으로 국제방사선방호위원회(ICRP)의 권고 60의 방사선 방호 최적화 원칙에 공식적으로 도입된 이른 바 “선량제약(dose constraint)” 개념에 대한 위원회의 논의 및 검토결과를 OECD/NEA의 공식보고서로 발간하였다. 이 보고서는 선량제약의 개념과 의미를 논리적으로 합리화하기 위하여 발간된 것이다.

선량제약이란 용어와 개념은 새로워 보이지만 실상은 전혀 새로운 것이 아니다. 우리나라에서도 방사선 방호의 실무현장에서 용어나 의미는 조금 다르다 할 수 있어도 이 개념을 부분적으로 적용해왔다고 할 수 있다. 예를 들어, 선량한도 이하의 낮은 선량으로 작업자의 피폭을 제한하기 위하여 도입된 “연간 선량목표치” 또는 “방사성 물질의 방출목표관리치” 등이 여기에 해당될 것이다.

따라서, OECD/NEA의 공식보고서를 번역한 이 해설논문이 국내의 방사선 방호분야에서 활약하고 있는 정책 입안자, 연구자, 규제업무자, 방사선 관리실무자 등 방사선 방호 업무분야의 관련자들에게 도움이 되었으면 한다.

중심단어 : 선량제약, 선량한도, 행위, 개입, 방호 최적화, 인가준위, 운전준위, 유도참고 준위, 유도실용량

### 보고서 서문

국제기구 FAO/IAEA/ILO/NEA(OECD)/PAHO/WHO의 “방사선원의 안전과 이온화 방사선의 방호에 대한 국제 기본안전기준(International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing

Radiation and for the Safety of Radiation Sources (약칭 BSS))”과 유럽연합(EC)의 “이온화 방사선의 위험으로부터 작업자 및 일반대중의 보호를위한 기본 안전기준(Basic Safety Standards for the Protection of the Health of Workers and the General Public Against the Danger Arising from Ionizing Radiation (EURATOM 발간))”의 발간을 위하여 국제적으로 논의하는 과정에서, 선량제약 개념이 방사선방호의 여러 분야에서 잘못 이해되고 적용되는 것으로 밝혀졌다.

\*역자는 현재 한국원자력연구소의 방사선관리실장으로 재직중이며 연구소의 OECD/NEA 방사선방호 및 보건위원회(CRPPH)의 위원이다.

따라서, OECD/NEA 산하의 방사선 방호 및 보건위원회(CRPPH; Committee on Radiation Protection and Public Health)는 이 문제를 논의하기 위하여, 1993년에 구성된 전문그룹과 EC가 EURATOM 협약 31조에 의거하여 구성된 비슷한 성격의 전문그룹을 통합하여 선량제약에 대한 NEA/EC 합동 전문그룹(위원장; 독일, BSF의 W. Krauss 박사 외 26인)을 결성하였다.

이 보고서는 ICRP 60 이래 국제적으로 활발히 논의되고 있는 방사선 방호의 최적화 분야에서 선량제약 개념에 대한 국가기관 및 국제기구의 활동을 지원하기 위하여 EC의 협조아래 OECD/NEA에서 작성되어 발간된 것으로 선량제약에 대한 NEA/EC 합동 전문그룹의 의견을 나타낸다.

## 서 론

국제방사선방호위원회(ICRP)는 1990년의 권고 60에서 방사선 피폭과 관련된 행위(practice) 또는 개입(intervention)의 정당화(justification), 방호의 최적화(optimization) 및 개인선량/위험의 한도화(limitation)의 3원칙에 근거한 방사선 방호체계를 제안하였다. 이 권고 60에는 “선량제약(dose constraint)”<sup>1)</sup> 개념이 방호의 최적화 원칙에서 분명하게 도입하였다. 이 개념은 전혀 새로운 것이 아니며, 오히려 이전의 ICRP 간행물에서 이미 다양하게 존재하고 있던 관련 개념을 논리적으로 합리화하기 위하여 도입된 것이다.

어떤 피폭원이나 피폭원 취급행위(practice) 또는 작업(task)에 대한 방호계획단계가 끝나고 이의 운영이나 운전이 시작될 때에는 측정가능한 값에 해당하는 실무준위를 설정확립하여 이 준위를 초과할 때 어떤 판단이나 행동을 취하는 것이 적절할 것이다.

이 보고서는 다양한 여러 형태의 피폭행위와

피폭상황에 대하여 선량제약 개념의 의미와 역할 그리고 적용범위에 대하여 논의하고 있다. 이 보고서는 선량제약 개념과 선량한도 개념과의 상관관계를 논의하고 있으며, 나아가서 방사선 방호체계에 선량제약 개념이 도입될 경우 이의 적용과 규제에 대한 영향을 검토하고 있다. 이 보고서는 또한 직업상 피폭, 일반대중의 피폭 및 의료상 피폭 등의 실무적 방사선 방호에 사용되는 여러 참고준위의 기능과 의미 그리고 적용성을 검토하고 있다.

이 보고서에서 사용되는 용어들은 전문그룹내에서 광범위하게 논의되었다. 사실상, 방사선 방호 및 규제실무에서 사용되는 여러 종류의 한도와 준위들에 대해서는 국제적으로 동의된 정의체계가 아직 존재하지 않는다. ICRP 60과 IAEA의 국제 기본 안전기준(BSS)에서 선량한도로서 주어졌던 “기본 개인한도(basic individual limits)” 이외의 여러 양에 대해서는 “한도(limit)”라는 용어의 사용을 피하기 위하여 특별한 주의가 기울여졌다. 이를 위하여 전문그룹에서는 선량한도와 선량제약을 만족하면서 방사선 방호실무에서 규제적 의미를 갖는 “인가준위(authorized levels)”와 일상의 방사선 방호실무에 적용될 수 있는 “관리준위(operational levels)”<sup>2)</sup> 같은 참고준위를 정의하기로 결정하였다.

끝으로, NEA/EC 합동 전문그룹은 이러한 개념들에 대하여 확고한 입장을 표명하여 이들의 수립과 사용에 대하여 권고할 의도는 가지고 있지 않다. 그러므로 이 보고서는 현재 국제적으로 활발하게 논의되고 있는 이 주제에 대한 NEA/EC 합동 전문그룹의 검토의견으로 고려되기를 바란다.

## 선량제약 개념

앞서 얘기했듯이 선량제약 개념은 전혀 새로운 개념이 아니다. 이 개념은 여러 ICRP 권고에서

<sup>1)</sup> constraint는 우리말로 번역하기 힘들다. 중국에서는 이를 약속(約束)이라 번역했고, 일본에서는 구속(拘束)이라 번역하였다. 한국에서는 과거처/원자력안전기술원에서 제한할 것을 약속(또는 약정)한다는 의미로 이를 제약(制約)이라고 번역한 바 있으며 역자도 이를 따랐다. 이 단어내에는 한도와 같이 정량적인 의미가 함축되어 있으므로 제약치로 굳이 표현하지 않았다.

<sup>2)</sup> operational level도 우리나라말로 번역하여 그 의미를 전하기가 쉽지 않다. 뜻 그대로 운전 또는 운영준위라기보다는 전후 문맥으로 봐서 운영자의 의지가 반영된 관리준위 정도가 더 정확해 보인다.

도입, 발전되어 왔으며 최근의 ICRP 60에서 분명하게 확실해진 것이다.

선량제약개념의 발전

1977년 ICRP 권고 26의 발간 이전까지 ICRP 권고의 주요 목표는 방사선 피폭으로부터 개인을 적절히 보호하는 것이었으며 따라서 개인의 “최대허용선량(MPD)”을 강조하는 것이었다. 이 최대허용선량은 후에 “개인선량한도(personal dose limit)”로 발전되었다. 이 최대허용선량 개념은 (미래)전망적(prospective) 의미(예, 어떤 행위/작업의 방호계획 수립 등)와 (과거)소급적(retrospective) 의미(규제한도 등의 부합성 입증 등)를 동시에 가지고 있었다.

이후, 개인의 방사선 피폭이 선량한도에 부합되는 것만으로는 방호가 불충분한 것으로 판단되어, 1973 년의 ICRP 권고 22에서 방사선 방호의 최적화 개념이 최초로 도입되었으며, 1977 년의 ICRP 권고 26에서는 이 개념이 공식적으로 도입되기에 이르렀다. 이것은 피폭원중심 방호/평가 방식의 도입과 함께 피폭원으로부터 개인선량의 제한을 도입할 필요가 있다는 것을 의미한다. 이런 관점에서 방사선 방호의 최적화 과정에서 고려되는 이른바 이득(benefits)과 손해(detriments)가 피폭 인구집단에서 보통 동일하게 분포하지 않는다는 우려가 제기되었다. 즉, 집단이득의 최적화에 해당하는 이러한 이득과 손해의 분포는 집단내의 어떤 개인들에게는 경우에 따라 수용 불가능한 피폭선량을 초래할 수도 있다는 불공정성(inequity)이 발생할 수 있다는 것이다.

따라서, 어떤 인구집단에서 방사선 피폭으로 얻어지는 순이득은 방사선 방호 최적화의 평가에서 개인의 손해와 손해분포가 사회에서 수용 가능한 것으로 고려되는 어떤 최대값 이하로 제한될 경우에만 정당화될 수 있다. 그래서 방사선 방호의 최적화 과정에서 아직 정식으로 이름이 붙여진 것은 아니지만 1977 년의 ICRP 권고 26에 이미 선량제약 개념이 도입되기 시작하였다. 그러나, 이 권고에서도 여전히 개인선량한도가 최적화의 유일한 제약으로 고려되었다.

ICRP 권고 60은 선량한도 개념을 수용 불가능한 위협의 하한경계로 재정의하였다. 이러한 정

의와 함께 선량한도만으로는 방사선 방호의 최적화 과정에서 개인에게 분포될 수 있는 방사선 피폭의 불공정성을 제한하는데 더 이상 적절하지 않은 것으로 인식되어, 이른바 “선량제약” 개념이 동 권고에서 확실하게 도입되게 된 것이다. 비슷한 논리에 의하여 “잠재피폭” 상황의 제어와 관리를 위한 “위험제약” 개념도 동 권고에 새로 도입하게 되었다.

ICRP는 권고 60에서 방사선 방호의 최적화 원칙을 다음과 같이 설명하고 있다(문항 112).

“어떤 행위(practice)에서 취급되는 특정 선원과 관련한 개인선량, 피폭자 수 및 확실하지는 않지만 발생할 수 있는 피폭의 가능성은 사회적, 경제적 인자들을 고려하여 합리적으로 성취가능할 만큼 낮게 유지(ALARA)되어야 한다. 이러한 절차는 이 절차에서 고려되는 사회적, 경제적 판단의 결과로부터 초래될 수 있는 불공정성(예, 이득과 손해의 불균형 분포 등)을 제한할 수 있도록 개인의 선량을 제약(선량제약)하거나 잠재피폭의 경우에는 개인의 위협을 제약(위험제약)하여야 한다.”

그러므로 선원관련 선량제약 개념은 선원의 제어가 가능한 행위(practice)에 대한 방호의 최적화에 적용되나, 선원의 제어가 쉽지 않은 개입(intervention)(예를 들어 사고상황의 피폭)에 대해서는 적용되지 않는 것이 분명해졌다.

잠재피폭은 발생할 수도 발생하지 않을 수도 있는 피폭이다. 잠재피폭은 피폭의 발생확률 및 그 결과의 크기가 같이 고려되어야 한다. 그러나 이 분야에 대한 연구는 아직 초기단계에 있으며 현재까지는 단지 일반적인 안내지침(guidance) 정도가 개발되고 있다. 선량한도와 대비하여, 위험한도는 아직 권고되어 있지 않다. ICRP의 최적화 원칙에 언급된 위험제약 개념이 앞으로 어떻게 사용될 지는 아직 분명하지 않다. 그 이유는 잠재피폭에 대한 방호의 최적화 (및 절차)를 정의하는 것이 매우 어렵기 때문이다. 따라서 이 보고서에는 위험제약에 대한 논의는 제외되었다.

## 최적화 과정에서 선량제약의 일반적 적용

### 선량제약의 의미

선량제약의 목적은 방사선 방호의 최적화 과정에서 수용가능한 것으로 고려되 어떤 피폭원(source), 행위(practice) 또는 작업(task)에 대하여 개인선량의 상한을 정하는 것이다. 다시 말하면 선량제약은 방호의 최적화의 결과 얻어지는 선량분포를 넘지 않을 것으로 예상되는 개인선량의 기대치이다.

선량제약의 사용은 전망적(prospective)이며 방호의 최적화가 고려되는 모든 피폭상황에 적용된다(예, 시설의 설계나 변경, 작업의 준비 등). 선량제약은 개인선량으로 표현될 수 있으나, 원칙적으로 이 양은 방호의 최적화 과정이 적용되는 선원, 행위 및 작업에 지칭되는 피폭원중심 양(source-related quantity)이다.

일단 최적화가 이룩되었을 경우 선량제약은 실무적으로 관계되지 않게 되며 어떤 선량준위 또는 이와 관련된 유도량이 방호 최적화의 대안으로 선정되어 운영의 실제목표로 활용될 수 있다. 따라서 설계의 특성과 운영의 성능은 소급적 특성을 가지고 있는 이러한 목표에 대비하여 판단되게 된다.

### 최적화 과정에서 선량제약의 역할

선량제약은 최적화의 대상이 되는 피폭원중심 행위 전체 또는 일부로 인하여 피폭되는 개인의 방사선 방호에 적용된다. 방사선 피폭을 줄 수 있는 피폭원중심 행위는 다음과 같다.

- 소형 피폭원, 기기/장치 또는 대형시설과 관련된 선원취급
- 시설내의 복합 피폭원의 취급
- 피폭원 또는 피폭원 장치와 관련된 보수 등의 특수작업 등

어떤 경우에도 선량제약의 수립자는 관련 선원을 분명히 설명하여야 하며, 선택된 선량제약의 크기는 사용목적에 적합하여야 한다.

어떤 작업의 설계 또는 운전절차는 작업자 또는 일반 대중에게 방사선 피폭을 줄 수 있으며 이로 인한 방사선량과 손해를 야기하는 한 편, 이로

인한 이득도 다르게 나타난다. 이와 같이 선량제약은, 최적화 과정동안 고려되는 여러 방호대안으로 얻어지는 선량분포내에 있는 예상 개인선량의 상한치로서, 고려되는 인구집단내에서 이득과 손해의 분포차이로 유발될 수 있는 불공정성을 제한하는데 사용된다.

어떤 피폭원 또는 피폭원중심 행위/작업시 이득 및 손해의 분포가 달라짐에 의하여 유발되는 불공정성에 덧붙여, 다른 방호의 수준으로 특성화되는 유사한 종류의 행위/작업으로부터 또 다른 형태의 불공정성이 유발될 수 있으며 그 결과 개인 및 집단의 선량이 더 높아질 수도 있다. 그러나 잘 관리되었던 작업의 경험에 비추어 어떤 방호의 수준이 실제적으로 얻어졌다고 판단될 경우, 경험적으로 유사한 종류의 행위/작업으로 인한 개인선량이 앞서 말한 행위/작업으로 인한 개인선량보다 더 높아질 것이라고 인정할 이유는 없다. 따라서 유사한 두 행위/작업에서 이러한 방호수준이 상호 부합하는 지에 대한 여부는 선량제약의 적절한 선택에 의하여 이룩될 수 있다.

이러한 고려사항에 근거하여 어떤 피폭원과 피폭원중심 행위/작업에 대한 선량제약의 선택은 다음의 접근방식중 하나 또는 둘 이상의 조합에 의하여 이루어 진다.

- 고려되는 피폭원, 행위/작업에 대한 방호의 일반적 최적화 결과의 적절한 활용
- 잘 관리된 행위 또는 같은 종류의 피폭원중심 행위경험의 적절한 활용

선량제약은 방호의 최적화 과정에서 개인이 받을 피폭선량에 주목한다. 일부 국가에서 적용 중인 단위 행위당의 집단선량(원자력 발전량당의 집단선량  $\text{man}\cdot\text{Sv}/\text{GW}\cdot\text{y}$ , 또는 단위 작업당(예, 핵연료 재장진 등)의 집단선량 등)에 대한 제한은 이 보고서에서 논의하고 있는 선량제약과는 다르다. 이러한 제한방법은 유용할 수 있다. 실제로 일부 국가에서는 작업자 집단의 전체 및 평균 피폭선량을 저감하는데 이러한 방법(집단선량의 제한)을 적용하고 있다.

이미 논의되었지만 선량제약은 최적화 단계에서 예상되는 개인선량의 상한이기 때문에 실제의 최적화 과정은 선량제약 이하의 개인선량 영역에서 수행되어야 한다. 선량제약을 초과한 개인

선량 및 선량분포를 야기할 수 있는 방호대안들은 최적화 과정에서 제거되어야 하며, 남아 있는 대안중에서 개인선량을 선량제약 이하로 유지시킬 수 있는 대안들을 차례로 적용해봐야 할 것이다. 그러나, 선량제약이 정해진 후에는 최적화를 위하여 추가적인 노력이 필요하지 않을 경우도 있을 수 있는데, 단순한 피폭원일 경우에는 특히 이러한 접근방식이 정당해질 수 있다.

### 선량제약 및 선량한도

선량제약과 선량한도간에 혼동을 일으키지 않아야 한다. 선량한도는 법적 한도의 의미를 갖는 개인중심양(person-related quantity)으로 모든 피폭원중심 행위/작업으로 이하여 어떤 개인이 현재는 물론 가까운 장래에 피폭되는 방사선량에 적용된다.

'70년대 방사선 방호의 최적화 개념이 공식적으로 도입되어 개인중심 방호 및 선원중심 방호로 방사선 방호개념이 변화, 발전되는 과정에서 여러 피폭원에 개인이 피폭될 경우 개인선량이 정해진 개인선량한도를 초과할 수도 있다는 우려가 나왔다. 이러한 우려는 특히 다중 피폭원에 의한 일반 대중의 피폭에 해당한다. '80년대에 이러한 우려에 대한 대응은 더욱 발전되어 어떤 피폭원에 의한 피폭선량을 선량한도의 일부분으로 제한하여(과거의 "피폭원중심 선량상한(source-related dose upperbound)") 전체 피폭원에 의한 선량의 합이 어느 경우에도 연간 개인선량한도를 초과할 수 없도록 하였다. 이러한 한도량의 할당은 개인선량의 한도화 원칙에 해당하며, 주어진 피폭원의 최적화를 위하여 선량제약을 설정하는 것과는 개념적으로 다르다. 선량제약을 설정할 경우에는 피폭원중심 선량상한의 존재를 고려하여 선량제약의 정량적 값이 피폭원중심 선량상한보다 최소한 작거나 같도록 하여야 한다.

### 제약을 위한 양

일차적으로 선량제약은 개인선량으로 표현된다. 일반 대중의 피폭시의 선량제약은 고려되는 어떤 피폭원 또는 행위에 대하여 임계집단(또는 결정군, critical group)의 평균선량이 된다. 선량제약은 때로 이에 해당하는 유도실용량으로 표

현될 수 있다. 이들에는 시설의 연간 방사능 방출량, 방사선 발생장치의 조사선량률 등이 있다. 이러한 값들에 대해서는 일반적으로 유도선량제약(derived dose constraints)의 사용이 권고된다.

최적화 과정에서 유도선량제약을 결정하기 위해서는 실제 피폭모형이나 피폭경로에 대한 여러 가정들이 사용되어야 한다. 그러나, 유도선량제약은 잘 관리되던 작업경험과 사례를 조사하여 직접 설정될 수도 있다.

### 인가준위 및 관리준위

서론에서 언급했듯이 인가준위(authorized levels)와 관리준위(operational levels)<sup>1)</sup>는 어떤 행위/작업시 이를 초과할 경우 특정 행동 또는 판단이 취해지는 측정 또는 평가상의 값이다. 이 값은 방사선 방호 최적화의 결과 수립되며 이 값의 소급적 특성과 적용에 비추어 전망적 의미를 갖는 선량제약과는 개념적으로 다르다. 인가준위는 항상 규제적 의미를 갖는 반면, 관리준위는 규제요건에 대응할 수도, 하지 않을 수도 있는 방사선 방호의 실무현장에 적용된다.

이 준위들은 선량이나 선량율로 표현될 수 있으나 때로 방사선장의 세기, 방사능 농도 등의 유도량으로 나타낼 수도 있다. 이 준위들은 다음과 같이 설명될 수 있다.

#### 인가준위

운영상의 어떤 지시값에 해당된다. 예를 들어 운영자에 의하여 제안되는 유출물 방출준위 등이며 보통 인·허가 당국에 의하여 인가된다. 이 준위는 보통 인·허가시 기술적 요건으로 인·허가되며 기본적으로 운영 또는 작업이 사전에 확립된 제한치에 부합되는 지를 평가하기 위한 점검사항으로 사용된다. 인가준위는 잘 관리되던 운영 또는 작업의 경험을 고려한 방호의 최적화 결

<sup>1)</sup> authorized levels과 operational levels는 사람에 따라 다르게 번역할 수도 있다. 역자는 동 준위의 설정주체를 고려하여 규제/인가 당국에서 설정하는 authorized levels은 인가준위로, 동 준위를 만족하기 위하여 피규제/시설 운영자에 의하여 관리목적상 설정되는 operational levels은 관리준위로 번역하였다 (앞의 operational levels 설명 참조).

과에 근거하여 설정되므로 인가준위는 선량제약의 정량적 값보다 낮거나 최대한 같아지는 개인선량에 해당한다.

### 관리준위

적절한 시설의 운영 또는 작업의 수행과 관련하여 이 값 또는 양을 초과하면 운영 또는 작업 조건이 악화된다는 것을 경계할 수 있도록 운영자의 내부적인 관리 및 규정방식에 의하여 설정되는 관리상의 값 또는 양에 해당된다. 따라서 관리준위는 대응하는 인가준위보다 보통 낮게 설정된다.

관리준위의 대표적 예로는 “조사준위(investigation levels)”가 있다. 시설의 운영이나 작업의 수행중 사전에 설정된 조사준위를 초과할 경우에는 다음의 사항중 하나 또는 둘 이상의 조치가 취해진다.

- 주의집중 및 변화동향 감시
- 조사준위를 초과시킨 사건/사태의 원인조사
- 보완조치의 수립 및 수행
- 경영자 및 관계당국에 적절한 보고

조사준위의 값은 다음의 방법에 의하여 설정될 수 있다.

- 인가준위 또는 운전지침의 일부 값 - 이 값에 근접하거나 이 값을 초과할 우려에 대한 경보 발단치 설정
- 정상 운전조건에서 벗어나려는 경향을 보이는 정상 운전값 (보통 해당 인가조건 보다 낮거나 같은 값)의 배수

### 선량제약의 적용

이 절에서는 직업상 피폭, 일반대중의 피폭 및 의료피폭의 경우 선량제약, 인가준위 및 관리준위의 적용방법에 대하여 설명한다.

선량제약은 운영자 또는 작업자들이 어떤 작업의 계획/설계시 방호의 최적화를 고려할 때 도움을 준다. 또한 규제자들은 각 피폭원 및 행위/작업을 검토하여 인·허가할 때 이들에 대한 일반적 검토요건중의 하나로 선량제약 개념을 적용할 수 있다. 이러한 점에서 선량제약의 설정은 운영자와 규제자간에 상호협조하에 이루어져

야 한다.

선량제약은 비슷한 규모로 잘 관리되던 작업의 수행경험이나 일반적 방호 최적화의 과정을 검토하여 수립될 수 있으나, 방호대안을 최종적으로 선택할 경우에는 고려되는 개인선량의 준위를 초과하지 못하도록 제한하는 여러 정치적, 사회적 요건과 기타의 영향을 적절히 고려하여야 한다.

여러 피폭상황간, 예를 들어, 직업상 피폭과 일반 대중의 피폭사이에서 구상교환(求償交換)(trade-off)<sup>4)</sup>의 도입필요성은 선량제약 설정시 고려되어야 할 인자중의 하나이다. 예를 들어, 일반대중에 대하여 너무 엄격하게 선량제약을 적용하는 것은 직업상 피폭의 경우에는 같은 부정적인 영향을 줄 수 있다.

일단 방호 최적화의 결과 어떤 방호대안이 설정되었을 경우, 다른 방호대안의 선택을 위한 최적화 과정이 달리 요구되지 않는다면 선량제약의 설정이 더 이상 필요하지 않을 수 있다. 그러나 운전조건 변화, 신기술의 발전, 경제적, 사회적 상황의 새로운 변화 또는 개인선량이 관련 운전지침을 초과하는 것이 종종 발견될 경우에는 새로운 선량제약의 설정이 필요해진다.

선량제약의 설정방식 중의 하나는 “모범적 업무관행(good practice)”을 참고하는 것이다. 이를 위해서는 “모범적 업무관행 편람 (Handbook of Good Practice)”과 같이 과거의 경험과 분석에 근거한 지침서 등을 발간하여 여러 피폭원 및 행위에 대한 기술수준을 반영하는 것이다. 이러한 예로는 현재 NEA에서 발간한 “작업환경내의 모범적 업무관행 매뉴얼 (Manual of Good Practice in Work Environment)” 등이다.

도입된 선량제약은 과거의 경험에 대한 데이터베이스의 발전은 물론 피폭선원 또는 특정행위와 관련된 실무 방사선량 평가기술을 확실히 향상시킬 것이다. 선량제약 개념을 도입함으로써 얻어지는 주요 효과중의 하나는 규제자와 운영자에게 과거의 경험을 분석하게 함으로써 선량제약을 임의로 설정하는 것을 방지하는 것이다.

<sup>4)</sup> trade-off; 구상교환(求償交換), 여러 대안중에서 장점을 비교하여 양보, 교환 및 보상을 결정하는 행위. 예를 들어 가족과 곡식의 교환은 서로의 필요성과 이익에 의하여 trade-off(구상교환)되는 것임.

이것은 규제자와 운영자가 적절한 선량제약의 설정을 위하여 상호 협조하게 만드는 방법의 하나가 된다.

그러나, 개인선량에 대한 통계자료나 기타 자료의 축적만으로는 선량제약을 설정하는데 필요한 데이터베이스로 효과적이지 않다. 이를 위하여 필수적인 것은 이들 데이터 베이스와 여러 형태의 피폭원과 행위/작업간의 연관성을 서로 확인하는 것이며, 연간 개인선량 데이터베이스(예, 집단선량, 개인선량 등), 운전특성(예, 선량을 및 피폭시간)과 이를 위하여 취해진 모든 방호조치 자료를 포함하는 과거의 운전경험에 대한 체계적 검토가 선량제약을 설정하는데 필요하다.

일단 사전에 주어진 선량제약 이하로 어떤 행위/작업이 최적화 되었을 경우 규제자와 운영자는 최적화된 방호대안으로부터 기대되는 성능의 만족성과 부합성을 점검하기 위한 기준으로 앞서 설명한 참고준위 (인가준위 및 관리준위)를 적용할 수 있다.

어떤 새로운 피폭원 또는 시설에 대하여 일반적인 선량제약 및 참고준위를 규제자가 설정하고자 할 경우에는 새로운 피폭원 또는 시설이 이전의 기준에 따라 설계된 방호대안으로 운영되는 기존시설과 함께 공존할 가능성을 같이 고려하여야 한다.

### 직업상 피폭의 선량제약

직업상 피폭의 선량제약은 특정 보수작업과 시설의 운영에 관련되는 특정 피폭선원으로 인한 개인의 피폭에 대하여 설정된다. 선량제약은 어떤 기간동안의 개인선량(단일 또는 집적선량)으로 나타낼 수 있다.

이온화 방사선과 원자력은 적용분야의 광범위함 및 피폭범위의 다양함으로 인하여 작업자에 대하여 단일 선량제약을 설정하는 것은 용이하지 않으며 비현실적이다. 예를 들어, 의료 방사선 촬영시의 선량제약은 매우 낮지만, 지하의 광산 또는 원자력발전소에서 특정 보수 또는 제염작업시에는 고선량 피폭이 예상되며 쉽게 개인선량이 저감되지 않는다. 그러나, 대개의 경우 보통의 직업상 피폭에 대한 선량제약은 관련 개인선량한도보다 아주 낮은 수준으로 설정될 수 있

다.

작업자들이 한 종류의 행위/작업에만 종사할 경우 이 행위/작업에 선량제약을 적용하는 것은 별로 문제가 안된다. 예를 들어, 진단 방사선과의 작업자들의 방호 최적화를 위해서는 어떤 단일 선량제약이 적용될 수 있으며, 치료 방사선과의 작업자의 방호 최적화를 위해서는 또 다른 선량제약이 적용될 수도 있다. 어떤 작업자가 한 분야에서 다른 분야까지 업무를 부분적으로 수행한다 하더라도 원칙적으로 이러한 상황에는 변화가 없다.

작업자의 피폭이라는 관점에서 잘 관리되던 작업의 경험은 선량제약을 설정할 때 매우 중요하다. 국가적인 자료나 NEA/OECD의 직업피폭정보체계(ISOE)<sup>5)</sup>와 같은 국제적 데이터 베이스 체계는 선량제약의 설정에 도움이 되는 정보를 제공해준다.

방사선 방호의 최적화에 대해서는 운영자의 약속과 결심이 중요하다. 운영자는 적절할 경우 규제자의 동의 및 인가과정과 함께 직장내의 안전위원회(ALARA 위원회 등) 또는 작업자 대표 등과 협의하여 특정 행위/작업에 대한 선량제약을 설정하여야 한다. 선량제약과 필요한 방호 대안들은 상황의 변화에 따라 주기적으로 검토되어야 한다.

직업상 방사선 방호와 관련하여 주요하게 고려되어야 하는 사항중의 하나는 원전의 보수유지 계약작업자와 같이 정규 작업종사자로 분류되지 않는 일시작업자의 방사선 방호문제이다. 잘 정의된 작업에 대해서는 이들의 방사선 방호를 위하여 피폭원중심 선량제약이 설정될 수 있으며, ALARA 개념에 따라 개인의 선량을 낮출 수 있다 하여도 이것만으로는 선량한도이상의 방사선 과 피폭을 방지하는 데에는 충분하지 않다. 이러한 상황에 대처하기 위해서는 선량제약의 설정에 덧붙여 일시작업자가 참여하는 작업에 대한 방사선 방호의 최적화 문제를 해결하기 위한 작업자와 운영자의 협조노력이 필요하다. 이러한 노력에는 일시작업자들이 개인선량한도에 근접한

<sup>5)</sup> 직업피폭 정보체계(ISOE) : Information System on Occupational Exposure, OECD/NEA의 국제적인 직업적 피폭선량 데이터베이스 운영체계, 한국은 한국전력에서 '96 초부터 참여중.

선량준위에 피폭되는 것을 체계적으로 방지하기 위한 특정 관리준위의 수립 등이 있다.

이를 위해서는 실제로 일시작업자가 받은 선량이 ALARA 개념을 충분히 만족하는 선량인지를 검토해 봐야 하므로, 이 점에서 조사준위 개념이 효과적이다. 조사준위는 특정작업 또는 이에 종사한 개인의 피폭을 조사하는 것으로, 개인의 선량이 조사준위를 초과한 것으로 밝혀졌을 경우, ALARA 원칙의 적절한 적용여부 조사와 작업절차에 대한 면밀한 검토는 물론 조사준위를 초과하게 만든 작업 또는 피폭원인에 대한 조사가 같이 수행되어야 한다.

작업환경에서 선량률이나 방사능 농도단위로 주어지는 유도조사준위도 작업조건이 악화되었는지를 조사하는데 유용하다. 또한 이러한 경험은 향후의 최적화에 대한 기본자료로 훌륭히 활용될 수 있을 것이다. 일반적으로 규제당국은 개인방사선 피폭전체에 대하여 종합적인 조사준위를 설정하려 한다. 이를 위해서는 국가적인 선량정보의 수집 및 조사가 요구될 것이다.

#### 일반대중의 피폭의 선량제약

ICRP 권고에 따르면 일반대중의 방사선 피폭에 대한 선량제약은 선량한도보다 더 중요하다. 일반인의 방사선 피폭은 피폭원중심 선량제약의 광범위한 사용과 피폭원에 대한 특별한 제한으로 인하여 대개 선량한도보다 훨씬 낮게 유지되고 있다. 그러나 단일 피폭원 또는 피폭원 취급행위의 선량제약은 직접적으로 피폭원과 관련되기 때문에 최소한 원칙적으로 현재와 미래에 있어 또 다른 피폭원 또는 이의 취급행위로 인한 부가적인 피폭을 적절히 고려할 수 없다. 따라서 규제당국은 일반대중의 선량제약이 어떤 경우에도 일반인의 선량한도를 초과할 수 없다는 것을 고려하여야 한다.

실제로 거의 모든 일반대중의 피폭은 제한적인 최적화 과정과 규제당국에서 정한 인가준위에 의하여 관리된다. 단일 피폭원에 대한 피폭의 관점에서 피폭이 균일한 인구집단을 고려하는 것도 경우에 따라 편리하다. 어떤 균일인구집단에서 피폭원에 의한 피폭이 최대가 되는 인구집단을 "임계집단(또는 결정군, critical group)"

이라고 한다. 이때의 선량제약은 방호가 최적화된 피폭원에 의한 임계집단의 평균 피폭선량에 적용된다. 어떤 경우에 있어서 이 임계집단은 다른 피폭원에 의해서도 피폭되기도 한다. 임계집단내의 한 개인에 대한 피폭선량이 일반인의 선량한도에 근접할 경우 각 피폭선원에 적용되는 선량제약은 동 인구집단에 대한 다른 피폭원의 기여가 허용될 수 있도록 선정되어야 한다. 이것은 각 피폭원에 대한 선량제약이 선량한도의 어떤 분율을 초과하지 않도록 확인함으로써 이루어진다. 예를 들어 일반 대중의 개인에 대한 선량제약의 설정기준은 IAEA TECDOC-664(92)에 제시되고 있다.

선량제약은 대개 한 임계집단에 영향을 주는 모든 피폭경로의 선량에 대하여 적용된다. 그러나 어떤 경우에는 특정 피폭경로(예, 핵시설에 방출되는 액체 유출물로 인한 일반 대중의 피폭)에 대한 선량제약을 설정하는 것도 필요하며, 유출물의 대기방출의 경우에는 다른 선량제약이 적용될 수 있다. 이렇게 피폭경로별로 고유한 선량제약은 액체 및 기체 유출물 처리계통에 대하여 각각 다르게 적용되는 최적화 과정의 상한이 될 것이다.

방사성 물질의 환경방출의 경우 방출의 인가준위는 관심선원에 대한 최적화 과정의 결과로부터 유도되며 규제당국에 의하여 설정된다. 이 인가준위는 보통 연간 방출율의 형태로 설정되나 단기간에 대해서는 연간 방출율의 비례배분에 의한 어떤 분율로 설정될 수도 있다. 그리고 나서 방출의 인가준위의 한 분율로 조사준위를 설정할 수 있다. 만일 조사준위를 초과한 방출이 발생된다면 이 상황에 대한 조사와 검토를 수행한 후 향후의 방출이 적절한 인가준위 또는 관리준위를 초과할 수 없도록 하여야 한다.

#### 의료피폭의 선량제약

의료피폭이란 보통 일상적 진료환자, 치과 진단자, 환자의 간병인 그리고 방사선 피폭을 줄 수 있는 의과학적인 연구 프로그램에 자발적으로 참여하는 자들에게 발생하는 방사선 피폭이 해당된다.



### 환자의 피폭

환자에게 방사선 피폭을 주는 진단 및 치료행위에 대해서는 적절한 방호방법의 계획 및 수립시 방호의 최적화 과정이 적용되어야 한다. 이 경우 의료피폭을 야기하는 의료행위 및 절차의 정당성은 의학적 판단의 문제이기는 하나 이로써 얻어지는 이득은 직접적으로 피폭환자에게는 물론 경우에 따라 사회에 환원되어야 한다.

환자의 의료피폭시 선량한도 개념은 적용되지 않지만 선량제약 개념은 원칙적으로 적용된다. 그러나 선량제약 개념의 실제적인 적용은 곤란하다. 왜냐하면 방사선 피폭이외의 방법으로는 원하는 진단정보나 치료효과를 얻기가 곤란할 경우 환자에게 선량제약을 초과할 수 있는 방사선 피폭의 필요가 있을 수 있기 때문이다. 따라서, 환자의 의료절차에 대한 최적화 과정에서 선량제약은 피폭의 상한계로서 고려되어서는 안된다. 따라서, 환자의 피폭에 대한 선량제약은 잘 관리되는 의료 절차/행위와 일반적인 최적화 과정에 대한 국내,외적인 경험을 바탕으로 적절한 당국에 의하여 설정되는 “의료 참고준위(medical reference level)”의 의미로 받아들여져야 한다.

진단 방사선 또는 진단 핵의학에서의 의료피폭에 대한 의료 참고준위는 조사준위의 기능을 함께 지니고 있다. 특정한 형태의 의료검사에서 표준 체형 환자의 평균 피폭선량이 관련 의료 참고준위를 여러번 초과한 것으로 평가될 때에는 즉각적인 조사가 수행되어야 한다. 이러한 과피폭이 정당한 것으로 판정되지 않을 경우에는 해당 의료행위와 절차를 개선하기 위한 적절한 조치가 수행되어야 한다. 이러한 조치사항들에는 의료서비스 및 정보의 질을 저하하지 않으면서 의료 참고준위 이하로 선량을 감축시키기 위한 장비 또는 기술개선이 포함되어야 한다.

환자의 피폭을 제한 또는 저감하는 방법은 주로 의료장비의 품질검사, 최적화된 절차의 수립, 의료진의 교육 및 훈련을 포함하는 품질보증 체계를 통하여 이루어 진다.

방사선 진료의 경우에는 의료 참고준위가 설정될 수 없다. 조사되는 표적 및 비표적 조직에서 최적선량은 개별적으로 결정되어야 한다.

### 기타 의료피폭의 선량제약

의료피폭의 범주에 해당되는 기타의 피폭이 있다. 과학 및 임상실험의 자원자들에 대한 방사선 피폭은 의료 참고준위와는 달리 최적화의 실질 경계로서 적절한 선량제약에 의하여 제한되어야 하며, 실험적 진단 및 치료절차에 자원한 환자의 피폭에 대해서도 선량제약이 설정되어야 한다.

또 하나의 다른 의료피폭 범주는 핵의학, 방사선 검사 또는 치료도중에 환자를 간병하는 환자의 가족이나 친지들에 대한 비직업상 피폭이다. 이러한 상황에 선량제약을 설정하는 것은 방호계획을 위하여 효과적이기는 하나, 환자의 복지를 위하여 무엇이 중요한 지에 따라 유연하고 조심스럽게 적용되어야 할 것이다. 의학적 관점에서 순이득이 얻어지는 것이 확인될 경우에는 선량제약을 초과하여 피폭되는 것이 가능하다. 이러한 상황에 대하여 권고된 선량제약은 FAO/IAEA/NEA/PAHO/WHO에서 공동으로 발간한 국제 기본안전기준(BSS)에 제시되어 있다.

## 결 론

이 보고서는 선량제약 개념에 대한 토의와 방사선 방호분야에서의 적용가능성을 논의하였다. 선량제약이 정량적 설정에 대한 실무지침은 앞으로 IAEA 등의 국제기구에서 제안될 것이다. 이 보고서의 결론은 다음과 같다.

- 1) 선량제약 개념은 방사선 방호실무에서 방호의 최적화를 개선하는데 유용한 수단이다. 선량제약은 새로운 한도로 잘못 사용되거나 이해되어서는 안된다. 더구나, 이 개념은 방사선 방호의 실무현장에서 적용이 곤란한 개념이나 용어의 과대해석과 같이 쓸데없이 방사선 방호가 너무 복잡(over-sophistication)해지지 않도록 상식적인 수준에서 적용되어야 한다.
- 2) 방사선 방호의 최적화를 도입하는 현 단계에서 일부 국가에서 선량제약을 모범적으로 적용하는 예가 있기는 하지만 이러한 선량제약 접근방법은 아직 상당히 제한적이다. 여러 분야에서 특히 산업계 및 의료계에서 사회적, 경제적 인자들을 확실히 고려하는 체계적인 방사선 방호의 최적화 접근방식은 아직 널리

도입되어 있지 않다.

이러한 사실에 대한 근본적 원인중의 하나는 최적화 과정에서 고려되어야 하는 경제적, 사회적 기준들이 크게 가치판단에 의존하며, 아직도 이들에 대하여서는 전체적으로 객관적인 동의 및 합의가 이루어 지고 있지 않기 때문이다(예, 사회, 경제환경을 고려하여 설정되는 집단선량(man-Sv)의 객관적 참고가치(이른 바,  $\alpha$ 값)의 설정 등). 따라서 현 단계에서는 이러한 상황을 종합적으로 고려하여 모범적 업무관행(good practice)를 참고로 하여 선량제약을 설정하는 것이 가장 적절한 대안이다.

- 3) 현실적으로 선량제약의 효과는 피폭선원에 선량제약을 어떻게 적절히 대응시키는가에 달려 있다. 이러한 관점에서 피폭선원의 운영 및 관리책임자가 관련 선량제약을 제안하거나 설정하는데 가장 좋은 위치에 있다. 규제차원에서 볼 때 선량제약 개념은 규제자와 운영자 사이에 방사선 방호의 품질에 영향을 주는 토의방향을 제공하여 방사선 방호 최적화 원칙의 효과적인 적용을 고무하는데 유용한 수단이다.
- 4) 선량제약 개념을 도입했다고 해서 전체적인 방사선 방호의 최적화 과정으로 이룩될 수 있는 방사선 방호체계를 개선하지 않아도 되는 것은 아니다. 인가준위 및 관리준위의 적절한 사용은 방사선 방호의 최적화 과정을 적용하는데 효과적인 지원수단이 되며, 최적화된 방호요건의 적합성을 점검하고 달성하는데 유용한 수단이 된다.
- 5) 이 보고서는 ICRP 권고 60에서 방사선 방호에 도입되고 있는 선량제약 개념의 논의와 함께 방사선 방호의 실무현장에서 선량제약 개념의 적용 가능성을 검토하였다. 향후 정량적 선량 제약값의 적절한 설정과 관련된 지침 등은 여러 국가기관 및 국제기구에서 적절히 제안되어야 할 것이다.

### 참고문헌

1. ICRP, "Recommendations that Dose be Kept as Low as Readily Achievable", ICRP Publication 22, Pergamon Press, 1973.
2. ICRP, "Recommendations of the ICRP", ICRP Publication 26, Pergamon Press, 1977.
3. ICRP, "Cost Benefit Analysis in the Optimization of Radiation Protection", ICRP Publication 37, Pergamon Press, 1983.
4. IAEA, "Principles for Limiting Releases of Radioactive Effluents into the Environment", Safety Series No. 77, Vienna, 1986.
5. IAEA, "Principles for the Establishment of Upper Bounds to Doses to Individuals from Global and Regional Sources", Safety Series No. 92, Vienna, 1989.
6. ICRP, "Optimization and Decision - Making in Radiological Protection", ICRP Publication 55, Pergamon Press, 1989.
7. ICRP, "1990 Recommendations of the ICRP", ICRP Publication 60, Pergamon Press, 1983.
8. H.J. Dunster, "The Use of Constraints by ICRP", Journal of Radiological Protection, **12** : 219, 1992.
9. IAEA, "Establishment of Source Related Dose Constraints for Members of the Public", TEC-DOC-664, Vienna, 1992.
10. NRPB, "Board Statement on the 1990 Recommendations of ICRP", Documents of the NRPB, **4**(1), 1993.
11. NRPB, "Occupational, Public and Medical Exposure", Documents of the NRPB, **4**(2), 1993.
12. A. Suiger et al., "Source Related Dose Constraints", Proceedings of International Congress, "Harmonization in Radiation Protection : from Theory to Practical Applications", Taormina, Italy, 10-13 October 1993. J. Lochard et al., "The Concept of Dose Constraint", DG XI. 93-ET-016, 1994.
13. OECD/NEA, "Good Practice in Work Management", in press