

2002 추계학술발표회 논문집

한국원자력학회

선량제약 개념의 국내적용 타당성 검토

Feasibility Study of Applying the Concept of Dose Constraint to the Domestic Radiation Protection Practices

박문수, 문주현

서울대학교

서울특별시 관악구 신림동 산 56-1

요 약

국내 방사선방호 체계에 선량제약 개념의 도입타당성을 검토하기 위하여, 선량제약의 설정방법 및 일부 해외국가의 선량제약 관련 현황을 조사하였다. 또한 국내 원전 방사선작업자의 효과적인 피폭 최소화 방안을 도출하기 위하여, 고리 원전의 과거 10년 간의 방사선작업을 분석하였다. 검토결과, 방사선작업자의 피폭 저감을 위해서는 작업인원 및 작업 빈도의 최소화가 우선적으로 필요하며, 선량제약의 개념을 작업자 선량뿐만 아니라 이들에 대해서까지 확장할 필요가 있음이 밝혀졌다.

Abstract

To review the feasibility of introducing the concept of dose constraint into the domestic radiation protection practices, the status of the foreign countries adopting the dose constraint is reviewed. And the radiation jobs performed over the past 10 years at Kori sites are analyzed to derive the effective features to reduce the occupational dose. From the reviews, it is identified that first of all, the crew number and the radiation job frequency should be minimized to reduce the occupational dose effectively and the concept of dose constraint should be extensively applied to major factors determining the occupational dose.

1. 선량제약의 의미

선량제약(dose constraint)은 선원(source), 행위(practice) 또는 작업(task)의 최적화 과정에서 수용 가능한 것으로 판단할 수 있는 선원, 행위 또는 작업에 대한 개인선량의 상한 값으로서, 최적화 과정에서 예상되는 개인선량 분포의 어떠한 값도 초과하지 않을 것으로 기대되는 개인선량의 상한을 의미한다. 이러한 선량제약 개념을 사용하는 목적은 첫째, 기존 피폭행위 및 작업 외에 특정피폭(원/행위/작업)으로 인한 개인의 방사선 피폭이 사전에 설정된 개인선량한도를 초과할 수 없도록 함으로써, 수용하기 어려운 방사선위험의 초래를 방지하는 것과 둘째, 선량한도를 보완하여, 다양한 여러 피폭행위의 조합으로 인하여 야기될 수 있는 개인의 이득과 손해간의 불공평성을 저감토록 하며 마지막으로, 특정선원에 대한 최소한의 규제요건의 하나로 선원에 대한 선량제약을 활용하는 것이다.

선량제약은 방사선방호의 최적화가 필요한 모든 상황의 계획단계-예를 들어 원전의 설계 또는 변경, 작업준비 등-에 적용할 수 있으므로 전망적(prospective)인 의미를 가지며, 개인선량으로 표현되지만 최적화 대상인 선원, 행위 또는 작업과 관계된 선원관련 실용량(source-related quantity)을 나타내기도 한다.

일차적으로 선량제약은 개인선량으로 표현한다. 일반인에 대한 선량제약은 선원 또는 행위에 대한 임계집단의 평균선량으로 표현하며, 작업자 선량제약은 특정 보수작업과 시설의 운영에 따른 특정선원에 의한 개인의 피폭선량을 대상으로 하며, 주어진 기간동안의 개인(집적)선량 또는 단일선량으로 표현할 수도 있다. 또한, 운영상의 편의를 도모하기 위해, 선량제약에 해당하는 유도실용량(derived operational quantity) 또는 유도선량제약-예를 들어 연간 방사능방출량, 방사선발생장치의 조사선량을 등-으로 표현할 수도 있다. 선량제약은 규제자 또는 운영자가 임의로 설정하는 것은 지양하며, 운영자와 규제자가 상호 협조하여 설정하여야 한다. 이를 위하여, 비슷한 규모의 “모범적 실무경험(good practice)”을 참조하여 설정하며, 방호대안의 최종적 선택시 선량제약에 영향을 미칠 수 있는 정치적·사회적 상황이나 기타 사유의 영향을 적절히 고려하기도 한다.

2. 국외 현황

가. 미국

미국은 방사선방호에 관한 연방규제법(10CFR20)에서 ALARA원칙의 이행에 관해서

“절차와 공학적 관리의 사용”이라는 개념의 요건을 다음과 같이 규정하고 있다.

“The licensee shall use, to the extent practicable, procedures and engineering controls based upon sound radiation protection principles to achieve occupational doses and doses to the members of public that are as low as is reasonably achievable. (10CFR 20.1101(b))”

상기 요건은 ALARA이행에 관한 정성적 표현일 뿐 정량적 기법을 동원하는 최적화요건은 아니다. 미국에서도 ALARA이행에 관해서 정량적기법의 적용에 관한 요건은 아직 없고, ALARA 개념을 만족할 만한 기준으로 설계목표와 운전제한조건으로서 “원자력발전소의 방사성 유출물이 부지 밖 일반대중에 미치는 피폭선량에 대한 수치기준”을 규정하고 있을 따름이다. 또한, 환경으로 방사성물질의 공기 중 방출에 대한 제약으로서, 방사성물질(Rn-222 및 자핵종 제외)의 공기 중 방출에 의한 일반인의 최대 유효선량당량(total effective dose equivalent)이 연간 0.1 mSv (10 mrem)을 초과하지 못한다고 정의하고 있다.

나. 영국

선량한도 개념의 BSL(Basic Safety Limit)과 ALARP 원칙 준수를 위한 정량적 기준으로 BSO(Basic Safety Objective)를 다음과 같이 제시하고 있다.

(단위 : mSv/yr)

항목		BSL	BSO
원자력시설 종사자의 선량제한	작업자의 연간선량	20	2
	작업자 이외 일반 근무자의 연간선량	5	0.5
	작업자의 연간평균선량	10	1
일반대중의 선량제한		1	0.02

다. 일본

작업자 및 일반인에 대한 선량한도는 ICRP-60 권고한도를 채택하고 있으며, 경수로의 경우 선량목표치를 설정·운영하고 있다.

(단위 : mSv/yr)

항목	선량
방사선작업자 개인선량 - 5년 평균 - 연간 한도	20 50
일반인의 개인선량	1
선량목표치	0.05

라. 기타

스웨덴의 경우 ICRP-60 권고안에 근거한 선량한도를 제시하고 있다. 선량제약의 경우, 정량적 수치를 제시하지는 않고 있으나, 규제지침에 행위 계획시 “선량제약” 설정을 명문화하고 있다. 핀란드와 스위스의 경우는 ICRP-60 권고안에 근거한 선량한도를 제시하고 있으나 선량제약 등 최적화에 관한 원칙은 법규에 포함되어 있지 않다. 호주의 경우에는 일반인에 대한 선량한도 이외에 선원 및 행위에 대한 선량제약과 추가적 ALARA 분석이 필요치 않은 ALARA 목표치를 제시하고 있다.

3. 국내 현황

국내에서는 차세대 원자로 상세안전요건의 설계공통요건 중에서 ALARA 부분에 선량제약에 대한 근거가 제시되어 있다.

기본 요건으로서는 일반안전요건의 ALARA요건에 따라 원자력시설에 종사하는 방사선작업 종사자와 시설주변의 일반 주민들이 원자력시설의 운영으로 받게 되는 예상 피폭선량을 평가한 결과가 방사선 작업종사자의 경우 개인선량은 연간 5 mSv, 평균선량은 연간 2 mSv를, 일반 공중의 경우 연간 0.02 mSv를 넘지 않을 때, 발전소 설계는 ALARA를 보증하고 있다고 인정한다. 또한, 사업자가 평가한 예상피폭선량 평가결과가 상기의 조건을 만족하지 못하면, 정량적 기법에 의한 비용-이득분석을 수행하여 방사선피폭이 ALARA로 유지됨을 입증하여야 한다.

또한 설계 요건으로서 원자력 시설 종사자 및 시설 주변의 주민이 받는 방사선피폭 선량이 경제적 및 사회적 인자를 고려하여 합리적으로 달성할 수 있는데 까지 낮게 유지함을 보증하는데 필요한 공학적 수단으로서 방사선원 감소 및 이를 위한 재료의 선택, 발전소 배치 및 차폐, 방사성 물질의 누출 및 확산 방지, 방사선구역의 설정 등을 설계에 고려하여야 한다.

4. 방사선작업 통한 선량제약의 국내 적용 타당성 검토

선량제약의 국내 적용방안을 도출하기 위하여 고피폭 작업에 대한 세부 사항을 검토하였다. 먼저 1986년부터 1996년까지의 고리 3, 4호기 방사선작업허가서의 기록 내용을 근거로 데이터베이스를 구축하였다. 자료내용은 작업호기, 작업연월일, RWP Number, 작업명, 작업내용, 최대선량율(mR/hr), 작업구역에서 최대 및 최소 공간방사선량율(mR/hr), 작업인원(man), 최대개인선량(mrem), 작업소요시간(hr) 등을 포함하고 있다. 원전 내에서 수행되는 많은 작업들 중에서 작업별 집단선량을 평가한 것을 표 1에 제시하였다. 또한 집단선량이 가장 높게 나타나는 작업 상위 10개를 표 2에 제시하였다. 표 2에 제시된 집단선량, 작업인원, 작업횟수 값들은 1990년부터 1995년까지 합산한 값들을 비교한 값이며, 최대선량율 값은 1986년부터 1996년 동안의 평균값이다. 그리고, 표 2의 각 열에서 괄호 안에 표기한 숫자들은 나열된 작업에 대비한 해당 작업의 순위를 나타낸다.

표 2에서 알 수 있듯이 RCP 점검보수 작업이 가장 많은 피폭을 받는 작업으로 나타났다. 이 작업의 특징은 최대 선량율의 순위는 높지 않으나 작업 인원 및 회수에 의하여 그 순위가 결정됨을 알 수 있다. 따라서 이 작업은 선량 이외의 인자, 즉 인원 및 빈도가 고피폭에 많은 영향을 미친다고 설명할 수 있다. 핵연료 교체 작업의 경우는 선량율 뿐만 아니라 작업 인원 및 빈도가 전체적으로 다른 작업에 비하여 높기 때문에 상위에 올라 있음을 알 수 있다. 이와는 반대로 증기발생기 Nozzle Dam 작업의 경우는 최대 선량율 및 개인 선량은 최상위에 속해있지만 작업 인원 및 회수가 다른 작업에 비하여 현저히 작기 때문에 집단선량이 상대적으로 낮게 제시되어 있다. 다시 말해 이 작업의 고피폭 원인은 고선량에 전적으로 기인함을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 선량제약의 개념과 설정방법 및 해외 주요국가의 선량제약 설정 현황에 대해 알아보았으며, 선량제약 개념의 적절한 적용방법을 도출하기 위하여 방사선 작업을 분석하였다.

앞서 살펴보았듯이, 집단선량을 결정하는 여러 인자 중에서 선량율과 개인선량이 방사선방호의 이행여부 및 방법을 결정하는 주요 인자이다. 그러나 방사선작업 분석결과에서 보듯이, 작업자 집단선량을 결정하는 인자 중 작업자 인원 및 작업 빈도 또한 중요한 인자임이 밝혀졌다. 따라서 작업자 선량의 최소화를 위해서는 선원

(즉, 공간선량율)을 제약하는 것뿐만 아니라, 작업자 인원 및 빈도에 대해서도 제약하는 것이 효과적임을 확인할 수 있다.

선량제약의 적용현황을 조사한 결과, 단지 몇몇 국가에서 선량제약 개념만을 명문화시키고 있을 뿐 그 의미의 모호성 및 실용성 문제로 인하여 아직까지 선량제약 개념을 방사선방호 실무에 직접 적용하고 있는 국가를 찾아볼 수는 없었다.

따라서 우리나라에 선량제약 개념을 방사선방호 실무에 도입하는 것은 매우 신중히 검토해야 할 사항으로 판단된다. 만약 선량제약을 도입할 경우, 작업자 선량의 최소화를 위한 방사선작업 계획 목표치로서 도입하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 그러나 선량율이나 개인선량만 제약할 것이 아니라 각 방사선작업에 대한 작업자 인원 및 빈도에 관한 제약도 병행하여 나가는 것이 작업자 선량을 저감하는데 효과적일 것으로 판단된다.

표 1. 작업별 집단선량 평가

(단위 : man-mrem/yr)

작업 종류	1990년	1991년	1992년	1993년	1994년	1995년	합 계
RCP 점검보수 작업	7,163	4,331	8,426	9,466	16,700	130,041	176,127
핵연료교체 작업	17,473	4,710	14,212	15,474	42,839	7,712	102,420
S/G Nozzle Dam 작업	15,735	2,158	11,062	21,829	31,984	4,404	87,172
Valve류 점검보수 작업	13,076	5,201	9,436	5,560	14,775	23,395	71,470
S/G ECT 작업	11,610	6,333	4,819	8,477	10,824	5,070	47,133
S/G Manway 작업	2,617	1,848	13,086	14,991	5,729	4,714	42,985
가동중검사	2,703	2,473	7,524	13,163	5,097	5,667	36,627
In-core 작업	2,193	3,376	10,139	5,889	6,827	3,263	31,687
S/G Lancing 작업	2,246	605	2,168	3,280	12,964	8,332	29,595
S/G Tube 관련 작업	2,203	n/a	12,126	n/a	6,196	8,794	29,319

표 2. 고피폭 작업 순위 및 작업별 집단선량 구성 인자

작업 종류	집단선량 (man-mrem)	최대선량율 (mR/hr)	최대개인선량 (mrem)	작업인원 (man)	작업빈도
RCP 점검보수 작업	176,127(1)	1,359(7)	904(4)	4,420(2)	512(3)
핵연료교체 작업	102,420(2)	3,277.8(4)	1,788(1)	4,431(1)	532(2)
S/G Nozzle Dam 작업	87,172(3)	11,990.3(1)	1,000(2)	280(9)	18(9)
Valve류 점검보수 작업	71,470(4)	414(10)	600(7)	2,263(3)	761(1)
S/G ECT 작업	47,133(5)	3,650(3)	980(3)	1,129(5)	342(5)
S/G Manway 작업	42,985(6)	3,248.5(5)	700(6)	556(8)	60(8)
가동중검사	36,627(7)	709.2(8)	288(9)	2,024(4)	428(4)
In-core 작업	31,687(8)	453(9)	300(8)	1,019(6)	227(6)
S/G Lancing 작업	29,595(9)	2,658.8(6)	206(10)	663(7)	178(7)
S/G Tube 관련 작업	29,319(10)	8,821.4(2)	734(5)	154(10)	14(10)

Acknowledgement

본 연구는 한국원자력안전기술원에서 주관하는 “방사선방호 규제기술개발” 과제의 위탁과제로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [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, "1990 Recommendations of the ICRP", ICRP Publication 60, Pergamon Press, 1983
- [4] NRC, "Standards for Protection against Radiation", 10CFR20.1101(d), 1996
- [5] AECB "Guidelines on How to Meet the Requirement to Keep All Exposure as Low as Reasonably Achievable", Regulatory Guide G-129(E), 1997
- [6] HSE, "Safety Assessment Principles for Nuclear Plants", 1992
- [7] Y. H. Cho, et al., "INSTORE: A PC-Based Database Program for Occupational

Radiation Exposure of a Nuclear Power Plant," Journal of the Korean Nuclear Society, 1998

[8] 장시영, "방호의 최적화와 선량제약 개념", 대한방사선방어학회, 1998

[9] CRPPH, "A Critical Review of the System of Radiation protection", OECD/NEA, 2000