

Estimated Additional Number of Workers and Additional Collective Dose by Reducing Dose Limits

Chung-Woo Ha and Seong-Ho Na*

Radiological Technology Research Institute

Seoul Radiology Service Co., and Dept. of Nuclear Engineering, Han Yang University

*Radioactive Material Regulatory Div.

Korea Institute of Nuclear Safety.

선량한도 하향이 방사선작업인력 및 집단선량에 미치는 영향예측

하정우 · 나성호*

서울방사선서비스, *한국원자력안전기술원
(1998년 6월 8일 접수, 1998년 9월 14일 채택)

Abstract - An analysis has been performed to estimate the additional number of workers and the additional collective dose in man-cSv which would be required, nuclear industry-wide as a result of reducing individual dose limit. This analysis can be extended to the reduction in the dose limits recommended by ICRP Publ.60 and BEIR V report as well as the proposed dose limits by regulatory authorities. An industry-wide database was employed in the analysis based on a summary of industry-wide occupational radiation exposure compiled by the Korea Radioisotope Association. Correlation model was employed to compute the affects of setting specific annual individual dose limits. In this study, we have addressed worker non-productivity while in the radiation environment on a parametric or "sensitivity analysis" basis. This alleviates the need for developing such data underlying a summation of many individual tasks at many nuclear facilities. It has the advantage that very low non-productivity assumptions can readily be defended as conservative, in that it is difficult to approach such low worker non-productivity factors even in the best of environments in any industry. On a per facility basis, for calendar year 1997, the number of workers required would be increased from 231 workers to 269 workers and collective man-cSv dose would be also increased by approximately fourteen percent if the individual dose limit was reduced to 2 cSv/y and an individual worker non-productivity fraction of 0.1 is assumed.

Key word : Reducing Dose Limit Additional Collective Dose, ICRP Publ.60 Correlation Model, Occupational Radiation Exposure.

요약 - 개인 선량한도를 하향조정 하였을 경우 추가적으로 요구되는 방사선작업자 수와 집단선량을 예측하기 위한 연구가 수행되었다. 연구대상은 한국원자력안전기술원에서 선택한 기관 모두를 포함하였고 해석기준의 선량한도는 ICRP Publ. 60. 및 BEIR V 보고서가 권고한 값으로 하였다. 해석자료로 사용된 데이터베이스는 원자력법에 의거 원자력발전사업 허가자와 비파괴검사 허가자가 한국방사선동위원소협회에 제출한 개인피폭선량 기록의 편집자료에 근거하였다. 연간 개인선량한도의 하향 설정에 따른 영향은 상관모델을 사용하여 계산하였다. 본 연구모델의 민감도는 종사자가 방사선작업환경 내에 있는 동안의 비생산성을 가정하여 분석하였다. 최상의 방사선작업환경조건에서도 종사자의 최저 비생산성 인자에 접근하는 것이 대단히 어렵기 때문에 최저 비생산성 가정은 보수적인 가정이라는 주장을 쉽게 변호할 수 있다는 것이 장점이다. 개인선량한도가 연평균

2cSv로 하향 조정되고 개인 작업자의 비생산성율이 0.1이라고 가정하면 1997년 동안 방사선시설에서 추가로 요구되는 방사선작업종사자수는 231명으로부터 269명으로 증가되고, 집단선량 man-cSv는 근사적으로 14%만큼 증가된다.

중심어 : 선량한도 하향, 부가집단선량, ICRP 60, 상관모델, 직업상피폭선량

서론

1980년대 말경 방사선영향연구재단(Radiation Effects Research Foundation)은 선량계측방법의 개선과 관련된 선량함수로써 암발생률의 증가를 고려하기 위해 일본 원폭생존자의 수명연구에 대한 데이터를 최신 데이터로 보완하였다[1]

리스크 인자의 또 다른 증가는 상대적 리스크 투사모델(relative risk projection model)에 대한 역학적 연구결과와 연관된 리스크의 잠재적 증가에 기인된다. 미국 방사선방어·측정위원회(NCRP)는 1987년 이 데이터를 반영하기 위해 기본권고를 수정하였으며[2] 또한 1977년 ICRP에 의해 제시된 위해 근거 선량한도(risk-based dose limit)의 근거인 산업안전 사고 사망률의 획기적인 감소에 주목하였다.

그 직후 유엔원자방사선영향과학위원회(UNSCEAR)와 미국립전리방사선의 생물학적영향 연구위원회(NRC-BEIR)는 1988 UNSCEAR 보고서[3]와 1990 BEIR V 보고서[4]를 각각 발행하였다.

ICRP는 1988 UNSCEAR 보고서의 예비정보를 사용하여 선량한도 데이터에 대한 상세검토를 거쳐 ICRP 권고에 대한 대폭적인 수정을 하였다. ICRP Publ.60에서 제시된 저선량 혹은 저선량률

피폭에 대한 생애치사암 리스크에 대한 수정된 추산치는 성인에 대해 $\sim 4 \times 10^{-2} \text{Sv}^{-1}$, 전체 인구에 대해 약 $5 \times 10^{-2} \text{Sv}^{-1}$ 이다[5]. ICRP가 선량한도의 선정에 대한 기준을 비록 변경 하였지만 ICRP Publ. 26[6]에서 제시된 $1.25 \times 10^{-2} \text{Sv}^{-1}$ 에서 $4 \times 10^{-2} \text{Sv}^{-1}$ 로의 치사암 리스크의 추산치 증가가 시사하는 것은 전 노동수명기간에 대한 현행 50mSv 연간 선량한도가 수용 가능 하다고 생각할 것 같지 않다는 것이다. ICRP Publ. 60에서 제시된 이들에 대한 해결방안은 5년 동안 100mSv의 선량한도를 권고한 것이다.

국제 원자력기구(IAEA)와 유럽공동체(CEC)는 ICRP의 권고를 따르기 위해 기본안전기준을 이미 수정하였다.

이와 같은 국제적 추세에 따라 과학기술부 및 원자력안전기술원은 방사선방어 관련 안전규제 제도를 국제 규범에 접근시켜 안전규제체도의 선진화 및 국제화를 위해 1992년 8월부터 5개년 계획으로 원자력연구개발 중장기 과제를 수행해 오고 있다. 이 예비연구는 선량한도 하향조정이 원자력 산업계에 미칠 수 있는 충격에 대한 분석과 선량한도의 하향조정에 대한 규제적 결정을 위한 기술적 근거를 제공하기 위한 것이다.

이 논문은 선량한도하향이 방사선작업인력과 집

Table 1. Number of Individual with Whole Body Exposure in the given Dose Category for 1993 through 1997 in the Nuclear Power Facilities and Industrial Radiography.

Year	No. of individual with whole body exposures in the following ranges(cSv)													Total monit.	Meas. Expo.	Total man-cSv	Avg. Exp.
	<MDL	<0.1	0.1-0.25	0.25-0.5	0.5-0.75	0.75-1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0-4.0	4.0-5.0	5.0-6.0	6.0-7.0	>7.0				
93	4454	5204	951	876	446	267	426	65	5	0	0	0	0	12694	8240	1786	0.141
94	4063	4711	930	680	375	261	347	61	13	2	0	0	0	11443	7380	1590.5	0.139
95	5175	5995	1106	889	478	333	570	112	31	2	1	0	0	14692	9515	2336.5	0.159
96	5290	6071	1143	867	538	335	531	108	24	0	0	0	0	14907	9617	2268	0.152
97	5359	6075	1156	915	539	302	348	60	12	3	1	0	1	14807	9448	1952.4	0.132

Table 2. Number of Collective Dose in the Designated Dose Category for 1993 through 1997 in the Nuclear Power Facilities and Industrial Radiography.

Year	No. of man-cSv in the following range(cSv)											Total monit.	Meas. Expos.	Total man-cSv	Avg. Exp.	
	<0.1	0.1-0.25	0.25-0.5	0.5-0.75	0.75-1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0-4.0	4.0-5.0	5.0-6.0	6.0-7.0					>7.0
93	260.2	166.4	328.5	278.8	233.6	639	162.5	17.5	0	0	0	0	12694	8240	2086.3	0.164
94	235.6	162.8	255	234.4	228.4	520.5	152.5	45.5	9	0	0	0	11443	7380	1843.6	0.161
95	299.8	193.6	333.4	298.8	291.4	855	280	108.5	9	5.5	0	0	14692	9517	2647.8	0.182
96	303.6	200	325.1	336.3	293.1	796.5	270	84	0	0	0	0	14907	9617	2608.6	0.175
97	303.8	202.3	343.1	336.9	264.3	576	150	42	13.5	5.5	0	7.0	14807	9448	2244.4	0.152

Table 3. Cumulative Number of Individuals above various Designated Annual Doses for 1993 through 1997 in the Nuclear Power Facilities and Industrial Radiography.

Year	No. of individuals with exposures greater than the following limits(cSv)										
	0.10	0.25	0.50	0.75	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
93	3036	2085	1209	763	496	70	5	0	0	0	0
94	2669	1739	1059	684	423	76	15	2	0	0	0
95	3522	2416	1527	1049	716	146	34	3	1	0	0
96	3546	2403	1536	998	663	132	24	0	0	0	0
97	3373	2217	1302	763	461	77	17	5	2	1	1

Table 4. Cumulative Number of Collective Dose above various Designated Annual Doses for 1993 through 1997 in Nuclear Power Facilities and Industrial Radiography.

Year	No. of man-cSv greater than the following ranges(cSv)										
	0.1	0.25	0.5	0.75	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
93	1826.3	1660	1331.4	1052.6	819	180	17.5	0	0	0	0
94	1608	1445.3	1190.3	955.9	727.5	207	54.5	9	0	0	0
95	2375.1	2181.6	1848.1	1549.4	1258	403	123	14.5	5.5	0	0
96	2305	2105	1779.9	1443.6	1150.5	354	84	0	0	0	0
97	1940.6	1738.3	1395.1	1058.3	794	218	68	26	12.5	7	7

단선량에 미치는 영향을 예측한 결과에 대해 기술한다. 분석은 개인 당 연간 선량에 대한 규제한도의 하향조정이 방사선 작업인력 추가소요 인원과 집단선량 증가에 미치는 영향을 예측하기 위해 수행되었다. 분석에서 사용된 데이터 베이스는 한국방사성동위원소협회에서 편집된 것에 근거한다. 이들 데이터는 원자력법(제97조1항)에 따라 원자력관계사업자가 과학기술부에 보고한 것을 편집하였다. 해석방법은 Golden[7]에 의해 사용된 것과 근사하지만 동일한 방법은 아니다.

직업상 피폭선량 평가

원자력관계시설에서 1993년부터 1997년 기간동안의 직업상 개인 피폭선량은 과학기술부로부터

피폭관리업무를 위탁받은 한국방사성동위원소협회의 데이터를 근거로 평가되었다. 이들 데이터는 원자력법 제 97조 1항에 따라 원자력관계사업자가 방사성동위원소협회에 보고된 것이다. 평가는 상대적으로 직업상 개인피폭선량이 높고 방사선작업 종사자 수가 많은 원자력발전시설과 비파괴 검사기관으로서 최소 5년 이상 운영된 시설들에 대해 수행되었다.

표 1은 1993년부터 1997까지 5개 원자력발전소(2개 발전용 원자로가 1개 발전소)와 32개 비파괴 검사기관의 전신 개인피폭선량 현황이다. 1997년 총 12기의 발전용 원자로가 상업 발전 가동중이며 이들 발전소에서, 9961명이 개인피폭선량에 대한 감시를 받았다. 이들 중 6722명이 최소 측정가능 선량 이상을 받았고 3239명은 최소 측정 가능 선

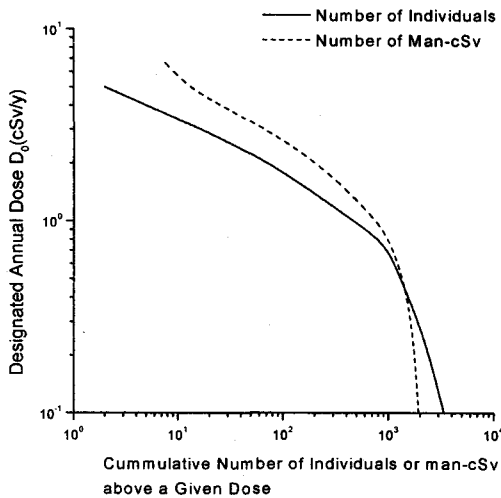


Fig. 1. Cumulative Number of Workers receiving Exposures above various Designated Annual Doses and Their Associated Man-cSv for 12 Operating Plants and 32 Industrial Radiographys for 1997.

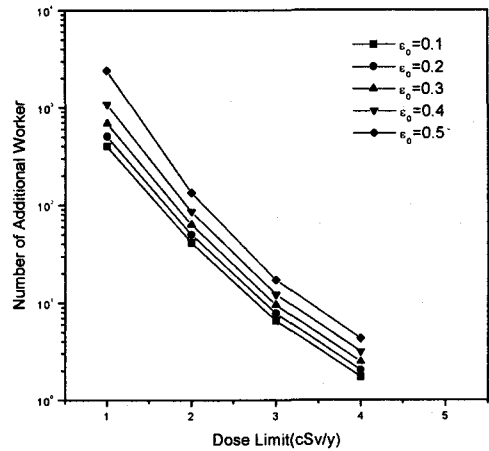


Fig. 2. Number of Additional Worker Required for Nuclear Industry in 1997 as a Result of Reducing Individual Dose Limit with Different Individual Nonproductivity Fraction.

량 이하였다. 최소 측정가능 선량이상 받은 작업 종사자 중 4805명이 0.1cSv 이하 선량을 받았고, 735명이 0.1에서 0.25cSv 사이의 선량을 받았다. 총집단선량은 917.2man-cSv이다. 최소 측정가능 선량 이상을 받은 6722명의 작업종사자들의 평균 피폭선량은 0.092cSv/y였다.

한편 1997년 총 32개의 비파괴 검사기관이 비파괴 검사업무를 수행중이며 이들 검사기관에서 4846명이 개인피폭선량에 대한 감시를 받았다. 이들 중 최소 측정가능선량 이상을 받은 작업종사자는 2726명이었고 2120명은 측정가능선량 이하였다. 최소 측정가능선량 이상을 받은 작업종사자 중 1270명은 0.1cSv 이하 선량을 받았고 421명이 0.1에서 0.25cSv 사이의 선량을 받았다. 총집단선량은 1,035.2man-cSv이다. 최소 측정가능선량 이상을 받은 2726명의 작업종사자들의 연평균 피폭선량은 0.214cSv/y였다.

1993년에서 1997년까지 원자력발전소와 비파괴 검사기관의 집단선량데이터를 표 2에 보였다. 이 데이터는 미국 핵규제위원회(NRC)에서 사용하는 방법으로 표 1에 제시된 정보로부터 생산되었다. 이 방법에서 각 선량구간에 대한 man-cSv 선량은 선량구간의 중심 선량에 그 구간 내에 있는 피폭종사자 수를 곱하여 얻었다. 표 3 및 4에 표 1 및 2에 제시된 데이터의 누적치를 보였다. 표 3의 각 란에 기입된 것은 설정된 개인 선량값 이상의

피폭선량을 받은 작업종사자수를 의미하고 표 4는 설정된 선량 이상의 피폭선량을 받은 개인들에 의해 누적된 총 man-cSv를 나타낸다.

표 3 및 4로부터 누적 작업종사자 수 및 집단선량 man-cSv에 대한 1997년 데이터를 그림 1에 대수-대수 도표로 나타냈다. 어느 개인이 받은 설정된 연간 선량 DD는 도표의 세로좌표에 그리고 가로좌표에는 DD이상 선량을 받은 작업종사자 수(실선) 그리고 그들 개인들이 받은 man-cSv(점선)을 나타냈다.

1997년 1년 동안 상업운전을 한 총 6개 원자력 발전소에 대한 데이터 평가 이외에 32개 비파괴 검사기관에 대한 데이터 평가도 수행하였다. 평가 결과를 표 5 및 6에 보였다. 표 7 및 8은 주어진 연간 선량 이상을 받은 누적작업종사자수와 해당되는 누적 집단선량을 나타낸다.

선량한도 하향조정에 따른 추가인력 및 집단선량의 추정

1. 상관모델 일반론 및 가정

직업상 방사선피폭선량한도의 하향조정의 결과로서 원자력발전소 및 비파괴검사기관에서 요구될 추가 방사선작업종사자 수와 추가 집단선량을 추산하기 위한 해석이 수행되었다. 이 해석에서 사용된 데이터베이스는 원자력법령의 관계규정에 따

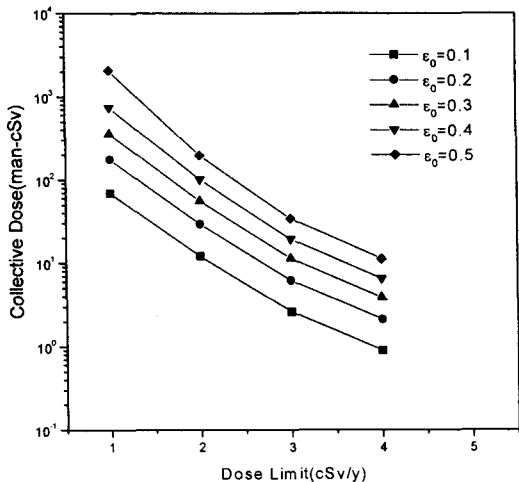


Fig. 3. Projected Increase in Collective Dose (man-cSv) Vs. Proposed Reduction in Dose Limit with Different Individual Nonproductivity Fraction for Nuclear Industry in 1997.

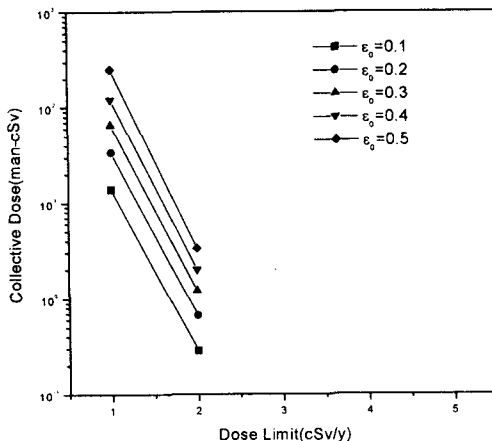


Fig. 4. Number of Additional Worker Required for NPP in 1997 as a Result of Reducing Individual Dose Limits with Different Individual Nonproductivity Fraction.

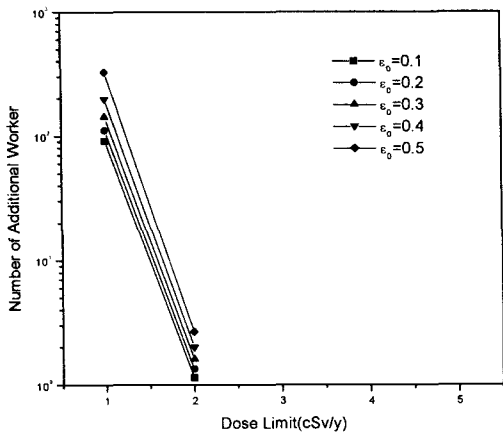


Fig. 5. Projected Increase in Collective Dose (man-cSv) Vs. Proposed Reduction in Dose Limits for NPP with Different Individual Nonproductivity Fraction for Calendar Year of 2005.

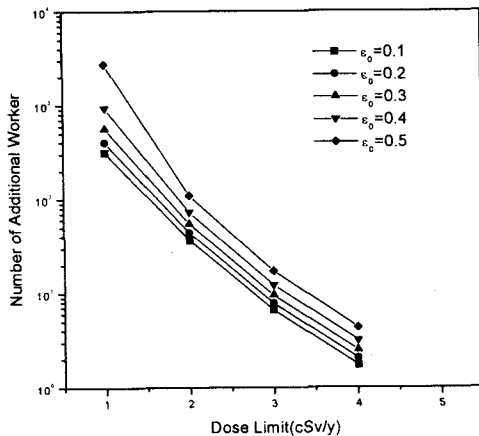


Fig. 6. Number of Additional Worker Required as a Result of Reducing Individual Dose Limit for Radiography Industry in 1997 with Different Individual Nonproductivity Fraction.

라 방사성동위원소 등의 사용허가를 받은 기관들이 한국방사선동위원소협회에 보고한 것을 편집한 것이다.

상관모델은 특정 연간선량한도를 설정하였을 때 미치는 영향을 계산하기 위하여 사용되었다. 데이터베이스는 상관모델의 입력으로 사용되었다. 상

관모델은 다음 단계에 따라 수행된다.

(1) 연간선량한도가 어느 특정 선량한도(DL) (예 : 2.0cSv)로 하향 조정되었을 때 요구되는 추가 종사자수(ΔMD)를 결정하기 위한 계산을 수행한다.

(2) 특정 선량한도(DL)의 설정으로 인한 추가

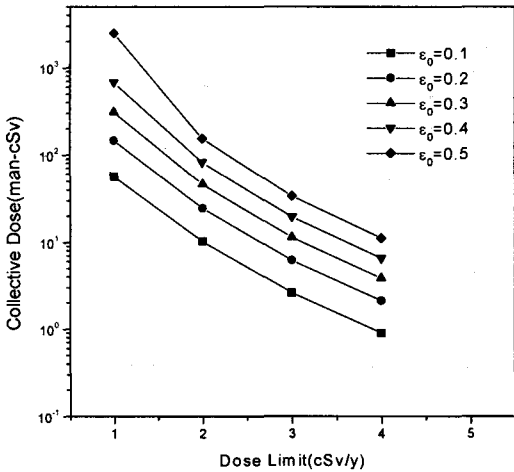


Fig. 7. Projected Increase in Collective Dose (man-cSv) Vs. Proposed Reduction in Dose Limits for Radiography Industry with Different Individual Nonproductivity Fraction for Calendar Year 2005.

집단선량(ΔRD)을 전단계에서 결정된 값에 근거하여 계산한다.

(3) 상기 두 단계의 계산을 시작하기 전에 작업자 개인 비생산성비율 ε₀에 대한 추정을 한다.

이 해석에서 사용된 파라미터의 "민감도 해석"을 수행하기 위하여 ε₀=0.1에서 0.5까지의 작업자 개인 비생산성비율의 변동효과를 연구하였다. 이 비율은 데이터베이스의 작업자 당 총 비생산성으로 사용되었다.

상관모델에서 사용된 용어의 정의는 다음과 같다.

DD = 지정 개인 선량(cSv/y)

DL = 규제선량한도(cSv/y)

DA = 규제선량한도를 초과하지 않도록 보증하기 위하여 사업자가 설정한 자체 관리한도

MD = 데이터베이스에서 DD를 초과한 연간선량을 받은 작업자 수

ΔMD = 만일 DD가 DA와 동일할 때 요구되는 추가 작업자 수

RD = 데이터베이스에서 DD 이상 연간선량을 받은 MD작업자에 의하여 누적된 집단선량(man-cSv)

ΔRD = 만일 DD가 DA와 동일할 때 누적된 추가집단 선량(man-cSv)

ε₀ = 데이터베이스에서 방사선 환경내 어느 개

인의 총선량에 대한 그 개인 작업자의 비생산성비율 (생산성선량과 비생산성 선량의 합으로 비생산성 선량을 나눈 비로 정의)

이 상관모델에서 사용된 주요 가정은 아래와 같다.

(1) 사업자 자체 관리 선량한도는 DD = DA = 0.8DL(예 : 규제선량한도 5cSv/y의 경우 DA = DD = 0.8 × 5 cSv/y = 4 cSv/y)

(2) 3개월간 자체관리 선량한도는 연간선량한도에 비례적으로 감소한다고 가정한다. (예 : DA (3개월) = 3cSv/3월 × 0.8 = 2.4/3월)

(3) 작업자 당 비생산성선량은 일정하다. (실질적으로 작업자 개인 비생산성선량은 규제선량 한도가 감소함에 따라 증가할 수도 있다)

(4) 총 비생산성비율 ε는 작업자 수에 따라 선형적으로 증가한다. 이것은 총 생산성선량이 일정하다는 전제의 결과로 당연하다. 수학적으로 이 가정은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\epsilon = \epsilon_0 (MD + \Delta MD) / MD$$

(5) DA 이상의 총 man-cSv는 (MD + ΔMD)의 증가된 작업자수가 배분하여 받는다.

2. 수학적 모델

상기의 가정과 용어정의에 근거한 수학적 모델은 다음과 같이 간단히 표시된다.

$$(1) (M_D + \Delta M_D) D_A =$$

$$\left[(1 - \epsilon_0) + \epsilon_0 \left(\frac{M_D + \Delta M_D}{M_D} \right) \right] R_D$$

$$(2) \Delta M_D = \frac{(1 - \epsilon_0) R_D}{D_A - \frac{\epsilon_0 R_D}{M_D}} - M_D$$

총 man-cSv 및 추가 man-cSv는 다음과 같이 표시된다.

$$(3) (R_D + \Delta R_D) = (M_D + \Delta M_D) D_A$$

혹은

$$(4) \Delta R_D = D_A (M_D + \Delta M_D) - R_D$$

식 (1) 및 (2)를 풀면 DA값에 대해 추가작업자수와 추가 man-cSv가 계산된다.

상관모델을 이용하여 예상 가능한 선량한도의 하향조정에 따라 원자력 관계시설의 데이터 베이스를 근거로 추산된 추가소요 작업종사자수와 집단선량 증가를 그림 2 및 3에 보였다. 그리고 원자력 발전소와 비파괴검사기관의 추가소요 작업종사자 및 집단선량은 그림 4내지 7과 같다. 그림 2는 1996년 기간동안 운영된 원자력 관계시설에서 추가로 소요되는 작업자수, ΔMD를 직업상피폭선

량한도, DL의 함수로 나타낸 것이다. 0.1 내지 0.5 범위에 있는 비생산성 선량인자 ϵ_0 의 영향을 평가하기 위해 5개의 곡선을 보였다. 예컨대, 만일 DL을 2.0cSv/yr에 설정하였다고 하면, 그 결과로써 예측되는 추가소요 작업자수는 ϵ_0 가 0.1에서 0.5까지 변화됨에 따라 48명에서 125명에 이른다.

개인선량한도 DL의 변화 결과에 따라 누증되는 집단선량(man-cSv)은 그림 3에 보였다. 그림 2에 제시된 데이터와 연관하여서 이 결과는 1993년에서 1997년 기간동안의 데이터베이스에 상관모델을 적용하여 얻었다. 이 그림에서 추산된 집단선량증가, ΔRD 는 선량한도 DL의 함수로써 나타낸 것이다. 방사선 환경에서 개인 작업자의 비생산성영향이 0.1에서 0.5범위의 ϵ_0 의 값에 대하여 평가되었다. 이 그림은 만일 DL=2.0cSv/y이면 집단선량 증가는 비생산성 선량인자 $\epsilon_0=0.5$ 일 경우 약 168man-cSv가 된다.

1997년 6개 원자력발전 시설과 32개 비파괴검사 기관에서 개인 피폭선량 측정 대상자 14807명에 대한 분석에 근거하여 집단선량은 1952.4man-cSv이며 이 중 2.0cSv/y 이상 피폭된 작업자수는 77명(약 0.5%)이고, 1.5cSv/y 이상 피폭된 작업자수는 약 231명이다.

원자력관계시설에서 대체적으로 사용하고 있는 자체 관리기준은 규제한도의 약 0.8에 설정하고 있다. 만일 규제한도가 2.0cSv/y에 설정되었다고 하면 사업자 관리한도는 1.5cSv/y에 설정하게 될 가능성이 크다. 이 경우에 추가 소요되는 작업자수는 아래와 같이 계산된다.

만일 1997년 생산성 방사선작업을 수행하는 동

안에 약 397man-cSv (1.5cSv/y 이상)의 집단선량을 받았다고 가정하면 작업자 각 개인이 1.5cSv/y의 연간선량을 받는다고 가정하였을 때 이 작업을 완수하기 위해 265명의 작업자가 요구될 것이다. 1997년 1.5cSv/yr 이상의 선량을 받은 종사자가 약 231명이므로 34명의 작업자가 1.5cSv/yr의 선량한도 이내에서 동일 작업을 완수하는데 추가로 소요된다. 이 시나리오는 1.5cSv/y의 선량관리한도에서 요구되는 증가 인력의 100%의 생산성을 가정한 것이다.

이 시나리오는 분명히 비현실적이지만 집단선량 관점에서 가장 이상적인 조건하에서 원자력관계시설의 인력증가의 하한치를 설정하는데 기여한다.

본 연구의 $\epsilon_0=0.1$ 비생산성 선량인자 분석에서, 1997년에 1.5cSv/yr이상의 집단선량 397man-cSv 중 357.3man-cSv는 생산성 피폭이고 39.7man-cSv는 비생산성 피폭으로 구성 되었다고 가정한 것이다. 따라서 1.5 cSv/yr 이상의 231명 작업자에 대한 연평균피폭선량인 1.7cSv는 생산성 피폭이 약 1.5cSv/yr이고 비생산성 피폭이 0.2cSv로 구성되었다고 가정된다.

작업자수는 새로운 사업 관리한도인 1.5cSv/y와 비생산성인자 0.1의 조건에서 357.3man-cSv의 생산성 작업가치를 수행하기 위해 231명으로부터 269명으로 증가된다. 작업자수가 증가하여도 작업자당 비생산성 선량은 일정하게 유지된다. 상기 데이터베이스에서 작업자당 평균 비생산성 선량은 작업자당 총 1.7cSv 중 0.2cSv라고 가정되므로 38명의 추가 작업자가 연당 7.6 man-cSv 만큼 비생산성 집단선량의 증가를 초래한다.

Table 9. Estimated Additional Number of Workers Required and Collective Dose(man-cSv) due to Reduction in Individual Dose Limits to $D_L=4.0, 3.0,$ or 2.0 cSv/y in the Nuclear Power Facilities and Industrial Radiography.

Calendar Year	Nonproductivity Fraction	$D_L=4.0$ cSv/y		$D_L=3.0$ cSv/y		$D_L=2.0$ cSv/y	
		No. of Worker	Collect. Dose	No. of Worker	Collect. Dose	No. of Worker	Collect. Dose
1995 (Base Year)	0.1	2	0.9	7	2.6	37	10.6
	0.3	3	3.8	10	11.3	57	47.3
	0.5	4	11.1	17	34.0	110	155.0
2000	0.1	3	1.3	10	3.7	52	14.8
	0.3	4	5.3	14	15.8	80	66.2
	0.5	6	15.5	24	47.6	154	217.0
2005	0.1	4	1.8	14	5.2	73	20.7
	0.3	6	7.4	20	22.1	112	92.7
	0.5	9	21.7	24	66.4	216	303.8

3. 2005년에 대한 모델예측 투사

표 9에 개인선량한도가 2.0, 3.0 그리고 4.0cSv/yr로 각각 하향조정되었을 경우 2000년 및 2005년에 요구되는 추가 작업자수 및 집단선량 증가에 대한 추산이 제시되었다. 데이터는 개인 작업자의 비생산성 선량인자(ϵ_0) 0.1 내지 0.5에 대하여 제시되었다.

1996년 데이터베이스에 포함된 원자력발전용량은 총 9.6GWe이다. 개인선량한도의 하향이 신규 원자력발전소의 가동에 미치는 영향의 투사는 1996년 데이터베이스에 적용가능한 9.6GWe 용량에 대한 한국전력공사의 신규원자력 발전소 용량의 비를 스케일 인자로 적용시키어 얻었다. 2005년의 계획된 발전용량은 17.7GWe이다.

직업상피폭을 저감하기 위한 설계개선이 2005년에 상업발전하는 원자력발전소에 대한 선량한도 하향의 영향을 어느 정도 감소할 수 있을 것이다. 그러나 2005년 가동 계획에 있는 원자력 발전소는 현재 건설단계 혹은 설계단계에 있다.

작업자 및 집단선량 증가에 대한 예측을 해석하는데 있어서 또 다른 중요한 측면은 신규 원전의 수에 기존 원전으로부터 외삽된 데이터베이스가 포함되었다는 것이다. 이것은 특히 상업발전의 초기 2~3년의 함수으로써 발전소에서 경험한 집단선량증가에 상대적으로 중요하다. 그래서 데이터베이스는 고유한 보수성이 내포된다. 실질적으로 발전소의 노후영향이 특별히 중요하다.

토의 및 결론

1. 집단선량(man-Sv)의 증가

ICRP, BEIR V 및 국내 규제기관들이 제안한 선량한도 하향조정은 총 man-Sv피폭선량의 증가를 나타낸다. 그림 3은 직업상 피폭선량한도의 하향결과로써 증가된 man-Sv의 추산치의 합계를 도표로 제시한다. 모든 결과가 모두 현실적 추산일 수 있었던 것은 아니다. 왜냐하면 이것은 대다수의 경우 대단히 주관적이기 때문이다. 따라서 이들 데이터는 오직 선량한도 하향이 man-Sv 증가만을 나타낸다. man-Sv 피폭선량증가는 다음과 같은 여러 인자들과 관계된다.

(1) 개인피폭선량 저감을 가져오는 장기고용 대신 신규고용의 효율

(2) 방사선준위가 자연방사선준위 이상인 지역에서 추가 인력의 비생산적인 시간

(3) 작업자가 방사선구역에서 작업을 완수하기 위해 허용된 작업시간양에 무관하게 방사선작업구

역내 이동하면서 작업자가 받은 비생산적 피폭선량

본 연구에서는 직업상피폭선량한도의 하향 결과 초래되는 추가 man-Sv피폭선량을 기술하기 위한 확고한 모델을 개발하고자 시도하지는 않았다. 그러나 개별적으로 연구가 부분적으로 수행되었다. 미국원자력산업회는 0.5 cSv/yr 한도에서 가동중 원전의 잠재적 영향에 대한 예비평가에서 man-Sv 선량에 대한 영향을 기술하는 모델을 개발하였다 [8]. 또 Warman등에 의한 연구에서 모델이 개발되었다. 본 연구의 곡선 모양은 Warman 연구의 모양과 유사하였으며, 그래서 비록 광범위한 모델 연구가 수행되지는 않았으나 본 연구의 추산은 합리적이라는 것을 시사한다.

2. 인력문제

그림 2에서 보여주듯이 선량한도 하향에 따라 추가인력소요도 증가한다. 그림 2의 데이터는 본 연구에서 얻은 데이터로부터 직접 개발되었다. 이들 데이터는 각 곡선의 모양의 유사성을 실증하기 위해 Warman 연구의 데이터에 중첩하였다. 인력의 주요 증가는 보수 작업에 종사하는 기능 인력과 연관된다. 다소 범위는 작지만 방사선 방어요원과 운전 요원도 영향을 받는다.

원자력 산업은 특수 작업을 위한 많은 핵심인력을 개발하였다. 대부분의 경우 동일 업무를 위한 2명의 핵심요원을 양성하였음에도 불구하고 피폭(비생산적 시간)을 제한하거나 배제하는 것도 대단히 어렵다. 전문가 중복 유지와 지나친 비생산적 시간의 결과로써 초래되는 심리적 문제와 관련된 비용도 상당히 클 것이다. 이러한 문제들에 대한 가능한 해결책은 보장된 연간소득, 해고 혹은 비방사선피폭직무로의 전환이 포함된다. 이 해결방법의 결과로서 노무관리 문제와 함께 전문가가 제공하는 업무의 품질저하를 초래할 수 있다. 교육시스템이 선량한도 하향조정에 의해 요구되는 기술 및 숙련인력을 제공할 수 있는지에 대한 의문도 계속 남는다. 그러나 현재 및 미래 소요 인력에 대한 연구가 수행된바가 없기 때문에 예측이 불가능하였다.

REFERENCE

1. Y. Shimizu, H. Kato, W. J. Schull, et al., Life Span Study Report 11, Part 4 : Comparison of Risk Coefficients for Site-Specific Cancer Mortality Based on the

- DS86 and T65DR Shield Kerma and Organ Dose. RERF TR/12-87(1987).
2. National Council on Radiation Protection and Measurement, Recommendations on Limits for Exposure to Ionizing Radiation, NCRP Report No.91(1987).
 3. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation, UNSCEAR, 1988 Report to the General Assembly, United Nations, New York(1988).
 4. National Academy of Sciences National Research Council Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation, Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, BEIR V Report, NAS BEIR, National Academy of Sciences, National Academy Press, Washington, DC (1990).
 5. International Commission on Radiological Protection, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Annals of the ICRP, Vol.21, No.1-3. Pergamon Press, New York(1991).
 6. International Commission on Radiological Protection, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 26, Pergamon Press, New York, Oxford(1977).
 7. J.C.Golden. Effect of a Change in Regulation Limits for Occupational Radiation Exposures on Manpower Requirements and Radiation Dose (Man-Rem) Expenditures at a Nuclear Power Station, Commonwealth Edison Company(1975).
 8. Atomic Industrial Form, Inc. Study of the Effects of Reduced Occupational Radiation Exposure Limits on the Nuclear Power Industry, AIF NESP-017(1978).