

2002 추계학술발표회 논문집

한국원자력학회

작업자 선량의 ALARA를 위한 고피폭방사선작업 분석  
Analyses of High Occupational Dose Jobs for ALARA

조영호, 문주현, 강창순

서울대학교

서울특별시 관악구 신림동 산 56-1

허영희, 윤철환, 김태욱

한국수력원자력(주)

대전광역시 유성구 덕진동 150

**요 약**

작업자 피폭관련 자료를 토대로 데이터베이스를 구축하고, 방사선작업을 총 26개의 주요작업으로 분류하였다. 집단선량값에 영향을 미치는 선량율, 작업인원, 작업횟수 등의 주요인자들에 대한 통계값을 각 주요작업별로 산출하였고, 그 결과 각 인자들별로 그 값이 높게 나타나는 작업들을 파악하였다. 주요작업별 집단선량을 평가하여 고피폭 상위 10개 작업들을 도출하였으며, 이러한 고피폭작업들에 대해 선량율, 작업인원, 작업횟수 등을 분석한 결과 각 주요작업별로 그 고피폭의 원인과 각 인자들의 상대적인 중요도를 도출하였으며, 이는 고피폭작업들에 대한 합리적인 피폭저감 방향을 설정하는 것을 가능하게 할 것으로 생각된다.

**Abstract**

Database of occupational dose data was developed, and radiation jobs were categorized into 26 main jobs. Dose rate, job manpower and job frequency are important factors having influence on occupational collective dose value. For each 26 main jobs, these factors were statistically analyzed. For each 26 main jobs, collective dose was evaluated, and 10 high

occupational dose jobs were identified. For these 10 high dose jobs, dose rate, job manpower and job frequency were analyzed, and main reasons and factors for high dose were identified. This could be helpful to develop reasonable dose reduction plans for the high dose jobs.

## 1. 서론

현재 국내에는 1978년 고리 1호기 가동 이후 16기의 원전이 가동되고 있고, 총 운전연수가 약 170 원자로·년 이상의 운전경험을 보유하고 있으며, 4기의 원전이 추가로 가동될 예정에 있어 지속적인 원전의 양적 팽창이 예상되고 있다. 최근 국내에서는 방사선방호 신개념(ICRP-60)이 법제화되고, 방사선관리에 대한 규제가 더욱 강화되는 추세로, 원전 작업자의 개인피폭선량한도는 연간 50 mSv (5 rem)에서 5년 간 100 mSv (10 rem)(연평균 20 mSv)로 낮아지고, 또한 방사선 피폭선량의 법적 한도 준수이외에 방사선 피폭선량을 합리적으로 낮게 유지하도록 하는 이른바, ALARA(As Low As Reasonably Achievable) 개념도 법제화되어 원전의 방사선관리에 있어 큰 변화를 맞이하고 있다. 또한 작업자 집단선량 설계목표도 지속적으로 낮아져 0.9 man-Sv/unit-yr 까지 도달된 집단선량 설계목표를 2010년까지 0.75 man-Sv/unit-yr까지 더 저감하려는 연구가 장기적으로 이루어지고 있다. 이에 비해 국내원전은 가동연수가 늘어남에 따라, 원전 설비 노후화, 일차계통내 방사선량을 증가, 설비의 노후에 따른 보수빈도의 증가, 이로 인한 원전 작업자의 방사선 피폭선량 증가와 같은 일련의 인과적 사건이 발생할 것으로 예상되므로, 체계적인 방사선 피폭실적의 평가 및 효율적 피폭저감 기술의 개발이 필요하다고 할 수 있다. 이와 같은 배경에서 본 연구에서는 원전 작업자 피폭선량을 평가, 분석하여 고피폭을 유발하는 방사선작업들을 도출하고, 고피폭을 야기하는 주요 인자들에 대한 분석을 통해 피폭저감을 이루기 위한 방향을 제시하였다. 이를 위해 작업자 피폭관련 자료 데이터베이스를 구축하고, 원전 현장에서 수행되는 방사선 작업들을 주요작업별로 분류하여 작업별 피폭선량을 평가하고, 선량율, 작업인원, 작업빈도 등과 같은 주요 인자들에 대한 비교분석을 수행하였다.

## 2. 데이터베이스

원전 작업종사자들의 방사선 피폭을 저감하기 위해서는 우선 고피폭을 유발하는 방사선작업들을 파악하는 것이 필요하다. 작업종사자 피폭선량 평가를 위하여, 원전 현장에서 수행되는 방사선작업들의 피폭관련 자료를 토대로 데이터베이스를 구축하였다. 구축된 데이터베이스는 원전 정기보수 기간중 작업현장에서 수행되는 방사선작업에 대한 모든 상세한 피폭관련 데이터들을 포함하고 있다. 작업자피폭자료는 1986년부터 1996년까지의 고리 3,4호기 방사선작업허가서(RWP :

Radiation Work Permit)의 기록 내용을 근거로 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 포함한다. 총 4334회의 작업에 대한 피폭관련자료를 데이터베이스화하였다[1,2].

### 3. 방사선작업구분

표 1은 작업자 피폭선량 평가를 위한 작업구분 및 구축된 자료수이다. 작업 분류는 참조 원전인 고리 3,4 호기에서 현재 이행되고 있는 작업 분류를 기본으로 하여 방사선 작업을 총 26개의 주요 작업으로 분류하였다[3].

### 4. 방사선작업 데이터 분석

#### 가. 선량율

26개의 주요작업에 대한 작업공간에서의 방사선량율을 조사한 결과는 표 2와 같다. 제시된 결과는 1986년부터 1996년까지 수행된 최대선량율(해당 방사선작업구역에서의 선량율이 최대인 지점에서의 선량율)을 기준으로 그 값이 높은 순서대로 방사선작업을 나열한 것이다. 모든 S/G 관련 작업들이 선량율이 높은 작업들의 최상위에 있으며 나머지는 Filter 관련작업, 격납건물 누설시험, 핵연료교체작업, 제염세탁 작업, RCP 점검보수 작업, 가동중 검사, In-core 작업 등이 다음 순서를 차지하고 있다.

#### 나. 작업인원

26개의 주요작업에 대해 작업에 투입된 작업인원을 조사한 결과는 표 3과 같다. 제시된 결과는 1990년부터 1995년까지 작업을 수행한 작업인원의 총합을 기준으로 그 순위를 나열한 것으로, 가장 많은 작업인원이 투입된 작업은 핵연료교체작업이며, 그 다음으로 RCP 점검보수 작업, Valve 류 점검보수 작업, 가동중 검사, S/G ECT 작업, In-core 작업, S/G Lancing 작업, S/G Man-way 작업, 기타펌프 점검보수 작업, Snubber 점검보수 작업, Filter 관련작업 순으로 이어진다.

#### 다. 작업빈도

26개의 주요작업에 대해 작업이 연간 수행된 횟수를 조사한 작업빈도 결과는 표 4와 같다. 1990년부터 1995년까지의 작업횟수의 총합을 기준으로 그 순위를 보면 Valve류 점검보수 작업, 핵연료교체작업, RCP 점검보수 작업, 가동중 검사, S/G ECT 작업, In-core 작업, Snubber 점검보수 작업, S/G Lancing 작업, 기타펌프 점검보수 작업, Filter 관련작업 순으로 많은 횟수의 작업이 수행되었음을 알 수 있다. 그리고, 이 순위는 앞에서 작업인원을 기준으로 조사한 순서와도 대체로 일치하고 있다.

## 라. 집단선량 평가

연간집단선량(Annual Collective Dose)은 개인피폭선량(Individual Dose)의 연간 총합으로 구할 수 있으며, 연간집단선량 값을 결정하는 주요 인자로는 작업구역에서의 방사선량율, 작업에 투입된 작업인원, 연간 수행된 작업횟수인 작업빈도, 작업 수행에 소요된 작업시간 등이 있다[4,5]. 집단선량은 개인선량의 경우와는 달리 법적으로 제한된 규제치가 존재하는 것은 아니지만, ALARA 원칙에 준하여 원전 설계 단계에서 설계목표치를 설정하고 운전시 이 목표치를 준수하도록 하고 있다. 본 연구에서는 구축된 데이터베이스를 이용하여 26개의 주요작업에 대한 집단선량을 산출하였다. 1990년부터 1995년까지 수행된 방사선작업들을 근거로 평가한 주요작업별 집단선량은 표 5와 같다. 표 5의 결과 중 가장 마지막 열에 제시된 1990년부터 1995년까지의 집단선량 총합을 이용하여 고피폭 상위 10개 작업을 요약해 보면 다음과 같다.

<u>순 위</u>	<u>작업코드</u>	<u>주요작업명</u>
1	H	RCP 점검보수 작업
2	A	핵연료교체 작업
3	E	S/G Nozzle Dam 작업
4	P	Valve류 점검보수 작업
5	C	S/G ECT 작업
6	B	S/G Manway 작업
7	K	가동중검사
8	M	In-core 작업
9	F	S/G Lancing 작업
10	D	S/G Tube 관련 작업

전체 집단선량 총합에서 이들 상위 10개 작업의 집단선량의 합이 차지하는 비중은 약 94%이며,

상위 5개 작업과 상위 3개 작업이 차지하는 비중은 각각 약 70%, 50%이다.

### 마. 고평폭작업 분석

앞 절에서 주요작업별 집단선량을 평가하여 상위 10 개의 고평폭작업을 도출하였다. 본 절에서는 이러한 고평폭작업들에 대한 요인분석과 상호비교를 통해 고평폭 원인을 파악하고 피폭저감 방향을 연구하였다. 고평폭 상위 10 개 주요작업들의 집단선량 및 주요 인자들의 통계값은 다음 표와 같다. 표에 제시된 집단선량, 작업인원, 작업횟수 값들은 1990년부터 1995년까지 합산한 값들을 비교한 값이다. 그리고, 최대선량을, 최소공간선량을, 최대공간선량을 값들은 1986부터 1996년 동안의 평균값이다. 그리고, 표의 각 열에서 괄호 안에 표기한 숫자들은 전체 작업에 대비한 해당 작업의 순위를 나타낸다.

작업	집단선량 (man-mrem)	최대선량을 (mR/hr)	최소공간선량을 (mR/hr)	최대공간선량을 (mR/hr)	작업인원 (man)	작업횟수
H	176127	1359(10)	63.9(11)	344(9)	4420(2)	512(3)
A	102420	3277.8(6)	49.1(12)	249.4(12)	4431(1)	532(2)
E	87172	11990.3(2)	1413(1)	4956.8(1)	280(13)	18(17)
P	71470	414(17)	39.7(17)	91(18)	2263(3)	761(1)
C	47133	3650(5)	132.9(8)	408.6(7)	1129(5)	342(5)
B	42985	3248.5(7)	171.4(6)	476.6(6)	556(9)	60(12)
K	36627	709.2(13)	76(9)	236.1(13)	2024(4)	428(4)
M	31687	453(16)	24.9(20)	66.4(19)	1019(6)	227(6)
F	29595	2658.8(9)	74.4(10)	143.3(17)	663(7)	178(8)
D	29319	8821.4(3)	1121.2(2)	3292.9(2)	154(17)	14(18)

RCP 점검보수 작업(코드 H)이 주요작업 중에서 집단선량이 가장 높은 것으로 나타났으며, 선량율면에서는 그 크기 및 순위가 증기발생기 작업들에 비해 상대적으로 높지 않으나 작업인원 및 작업횟수 면에서 각각 2 번째와 3 번째의 순위를 보이고 있어 그 고평폭의 원인이 작업에 투입된 인원이 많음과 다수의 작업빈도에 기인함을 알 수 있다. 핵연료교체 작업(코드 A)도 비슷한 양상을 보이는데 역시 선량율은 높지 않으나 투입된 작업인원과 작업횟수의 정도가 역시 고평폭의 원인이 됨을 알 수가 있다. 이 둘 두 주요작업에 대해서는 작업인원과 작업횟수를 줄이는 방향으로 피폭저감 노력이 이루어져야 함이 바람직하다. 그리고, S/G Nozzle Dam 작업(코드 E), S/G

Manway 작업(코드 B), S/G Tube 관련 작업(코드 D) 등은 전반적으로 선량율면에서 최상위 랭크 되어 있으나 상대적으로 작업인원이나 작업횟수의 수치 및 순위는 그에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 다시 말하면, 증기발생기와 관련된 상기 작업들의 고평폭 원인은 작업 구역의 고선량에 전적으로 기인함을 알 수 있다. 그리고, S/G ECT 작업(코드 C), S/G Lancing 작업(코드 F) 등은 선량율, 작업인원, 작업빈도 등이 모두 비교적 높은 순위를 나타낸다. 이에 따라 증기발생기 관련 작업으로 인한 고평폭을 저감하기 위해서는 선량율 저감이 반드시 필요하다는 결론을 내릴 수 있다. Valve류 점검보수 작업(코드 P)은 집단선량 순위에서 4위의 고평폭작업으로 작업인원과 작업횟수를 그 원인으로 파악할 수 있다. 그 외에 가동중검사(코드 K), In-core 작업(코드 M) 등도 작업인원 및 작업횟수가 상대적으로 더 큰 요인임을 알 수 있다.

## 5. 결 론

작업자 피폭관련 자료를 토대로 데이터베이스를 구축하고, 방사선작업을 총 26개의 주요작업으로 분류하였다. 집단선량값에 영향을 미치는 선량율, 작업인원, 작업횟수 등의 주요인자들에 대한 통계값을 각 주요작업별로 산출하였고, 그 결과 각 인자들별로 그 값이 높게 나타나는 작업들을 파악할 수 있었다. 주요작업별 집단선량을 평가하여 고평폭 상위 10 개 작업들을 도출하였으며, 이러한 작업들이 전체 집단선량의 절대적인 부분을 차지하고 있음이 정량적으로 밝혀졌다. 또한 상위 10 개의 고평폭작업들에 대해 선량율, 작업인원, 작업횟수 등을 분석한 결과 각 주요작업별로 그 고평폭의 원인과 각 인자들의 상대적인 중요도를 파악하여, 합리적인 피폭저감 방향을 설정하는 것이 가능하게 되었다. RCP 점검보수 작업이 주요작업 중에서 집단선량이 가장 높은 것으로 나타났으며, 작업인원 및 작업횟수의 높음이 그 고평폭의 원인임이 파악되었다. 핵연료교체 작업도 비슷한 양상을 보이고 있어, 이 두 작업에 대해서는 작업절차의 최적화 및 설비의 개선 또는 자동화 등이 피폭저감을 위해 필요함을 알 수 있다. 그리고, 증기발생기와 관련된 전반적인 작업들의 고평폭 원인은 작업 구역의 고선량에 기인하며, 이에 따라 증기발생기 관련 작업으로 인한 고평폭을 저감하기 위해서는 선량율 저감을 위한 피폭저감 방안이나 또는 원천적으로 작업자가 증기발생기 수실내로 투입되지 않고 작업을 완성할 수 있는 방안 등이 요구됨을 알 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] 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.
- [2] Han-II Atomic Energy Corporation, "Report of Radiation Safety Management-Kori Unit 3

and 4 Maintenance Report," 1986-1995.

[3] Y. H. Cho, et al., "Use of Rank Sum Method in Identifying High Occupational Dose Jobs for ALARA Implementation," Journal of the Korean Nuclear Society," 1998.

[4] B. J. Dionne and J. W. Baum, "Occupational Dose Reduction and ALARA at Nuclear Power Plants: Study on High-Dose Jobs, Radwaste Handling, and ALARA Incentives," NUREG/CR-4254, May 1985.

[5] I. R. Brookes and K. E. Schnuer, "Occupational Radiation Exposure in European Light Water Power Reactors 1981-1991," EUR 14685 EN, May 1994.

표 1 방사선작업구분

주요 작업	자료수
A. 핵연료교체 작업	545
B. S/G Manway 작업	81
C. S/G ECT 작업	348
D. S/G Tube 관련 작업	14
E. S/G Nozzle Dam 작업	20
F. S/G Lancing 작업	182
G. S/G 관련 기타 작업	38
H. RCP 점검보수 작업	625
I. PZR 점검보수작업	48
J. RHR 점검보수작업	74
K. 가동중검사	445
L. 격납건물 누설 시험	7
M. In-core 작업	256
N. RTD 점검보수 작업	8
O. Snubber 점검보수 작업	217
P. Valve류 점검보수 작업	797
Q. 기타 펌프류 점검보수 작업	166
R. 열교환기 점검보수 작업	0
S. Filter 관련작업	165
T. Evaporator 관련작업	0
U. 제염세탁 작업	8
V. 폐기물처리 작업	7
W. 방사선 안전관리	229
X. 계통운전	0
Y. 폐기물드럼 저장작업	0
Z. 기타	54



표 2 주요작업별 최대선량율 순위

작업	작업명
S	Filter 관련작업
E	S/G Nozzle Dam 작업
D	S/G Tube 관련 작업
L	격납건물 누설시험
C	S/G ECT 작업
A	핵연료교체 작업
B	S/G Manway 작업
U	제염세탁 작업
F	S/G Lancing 작업
H	RCP 점검보수 작업
N	RTD 점검보수 작업
W	방사선 안전관리
K	가동중검사
V	폐기물처리 작업
Z	기타
M	In-core 작업
P	Valve류 점검보수 작업
O	Snubber 점검보수 작업
I	PZR 점검보수 작업
Q	기타펌프 점검보수 작업
J	RHR 점검보수 작업
G	S/G 관련기타 작업
R	열교환기 점검보수 작업
T	Evaporator 관련작업
X	계통운전
Y	폐기물드럼 저장작업

표 3 주요작업별 작업인원 순위

작업	작업명
A	핵연료교체 작업
H	RCP 점검보수 작업
P	Valve류 점검보수 작업
K	가동중검사
C	S/G ECT 작업
M	In-core 작업
F	S/G Lancing 작업
W	방사선 안전관리
B	S/G Manway 작업
Q	기타펌프 점검보수 작업
O	Snubber 점검보수 작업
S	Filter 관련작업
E	S/G Nozzle Dam 작업
J	RHR 점검보수 작업
Z	기타
I	PZR 점검보수 작업
D	S/G Tube 관련 작업
G	S/G 관련기타 작업
U	제염세탁 작업
V	폐기물처리 작업
N	RTD 점검보수 작업
L	격납건물 누설시험
R	열교환기 점검보수 작업
T	Evaporator 관련작업
X	계통운전
Y	폐기물드럼 저장작업

표 4 주요작업별 작업빈도 순위

작업	작업명
P	Valve류 점검보수 작업
A	핵연료교체 작업
H	RCP 점검보수 작업
K	가동중검사
C	S/G ECT 작업
M	In-core 작업
O	Snubber 점검보수 작업
F	S/G Lancing 작업
Q	기타펌프 점검보수 작업
S	Filter 관련작업
W	방사선 안전관리
B	S/G Manway 작업
J	RHR 점검보수 작업
Z	기타
I	PZR 점검보수 작업
G	S/G 관련기타 작업
E	S/G Nozzle Dam 작업
D	S/G Tube 관련 작업
U	체염세탁 작업
L	격납건물 누설시험
V	폐기물처리 작업
N	RTD 점검보수 작업
R	열교환기 점검보수 작업
T	Evaporator 관련작업
X	계통운전
Y	폐기물드럼 저장작업

표 5 주요작업별 집단선량 평가

(단위: man-mrem/yr)

작업	1990년	1991년	1992년	1993년	1994년	1995년	총 합
A	17473	4710	14212	15474	42839	7712	102420
B	2617	1848	13086	14991	5729	4714	42985
C	11610	6333	4819	8477	10824	5070	47133
D	2203	n/a	12126	n/a	6196	8794	29319
E	15735	2158	11062	21829	31984	4404	87172
F	2246	605	2168	3280	12964	8332	29595
G	25	n/a	n/a	4	243	50	322
H	7163	4331	8426	9466	16700	130041	176127
I	732	500	298	241	1060	95	2926
J	n/a	86	n/a	19	2352	0	2457
K	2703	2473	7524	13163	5097	5667	36627
L	17	n/a	n/a	49	325	88	479
M	2193	3376	10139	5889	6827	3263	31687
N	n/a	n/a	n/a	652	n/a	973	1625
O	230	2044	1502	2146	4781	2310	13013
P	13076	5201	9463	5560	14775	23395	71470
Q	431	40	34	828	964	9	2306
R	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
S	371	522	239	2264	575	1020	4991
T	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
U	n/a	n/a	303	n/a	878	564	1745
V	366	22	n/a	n/a	n/a	25	413
W	473	217	886	854	822	4818	8070
X	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Y	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Z	211	728	145	813	697	637	3231