

국내 원자력발전소에 대한 방사선 안전 성능지표의 설정에 관한 연구
A Study on the Determination of Radiological Safety Performance Indicator for
Korean Nuclear Power Plant

홍대석, 이진재
한국과학기술원
대전광역시 유성구 구성동 373-1

이 한수
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

원자력발전소에 대한 안전 기준 및 안전 확보 기술, 안전성의 평가 기법 등은 점진적으로 발전하지만, 원자력발전소의 설비는 운전연한의 증가에 따라 노후화 되면서 성능이 저하될 수 있다. 따라서, 가동 중인 원전에 대한 안전 상태를 재평가하여 최신의 안전 기준의 적용에 필요한 사항들을 만족시키며, 지속적인 운전 가능 여부를 결정하고 설비 및 관행상의 개선점들을 체계적으로 도출하기 위해 원전에 대한 주기적 안전성 평가가 필요하게 된다. 본 연구에서는 원전의 주기적 안전성 평가에서 방사선학적 측면의 원자력발전소의 안전성을 평가할 수 있는 방사선 안전 성능지표를 도출하게 된다. 성능지표의 도출을 위하여 각 원자력발전소의 연간 방사선 관련 실적을 평가하여, 임의의 경향을 나타내는 항목을 설정, 지표로서의 활용 가능성을 파악하게 된다. 본 연구의 결과로서, 원자력발전소에서 환경으로 방출되는 기체 삼중수소의 양, 원자력발전소의 O/H기간 중 전체 방사선 피폭선량, 정상 운전시 피폭선량과 O/H 기간중의 방사선 피폭선량의 비 등이 성능지표로서 도출되었다. 도출된 성능지표의 발전소 운전연한의 증가에 대한 경향을 파악하였다. 현재 발전소의 운전에 관한 자료가 제한적이기 때문에 각 지표에 대한 연간 거동해석이 충분하지 않으며, 보완작업이 필요하므로, 도출된 성능지표에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

Abstract

Although the criteria for the safety operation and the methodology for estimation of safety of power plant is improved, performance of the facility of nuclear power plants can be lowered due to the aging of the facility of each plant. A PSR(Periodic Safety Review) is required for the re-estimation of the safety and operability of each power plant and for the derivation of the improvement for each power plant. For the PSR, radiological safety of the power plant should be reviewed. In this study, Radiological Safety Performance Indicator for Korean Nuclear Power Plant is developed. The trend of each indicators are reviewed for the operation time of each nuclear power plant. As the data for the plant operation is limited, the overview for the trend of each indicator is restricted and further study for the trend analysis for each indicator is required.

1. 서론

원자력발전소의 설비 및 절차상의 변경, 중요한 사건, 운전 경험, 발전소 관리 및 직원의 능력까지를 포함하는 운전중 원전의 정기적인 검토와, 안전에 중요한 주요 사건 발생 이후의 특별 검토는 안전성 확인의 주된 수단이다. 많은 국가에서 가동 중 원전들은 정기 및 특별 안전성 검토를 받아오고 있다. 경험에 의하면 일반적으로 이러한 안전성 검토들은 종합적이지 않으며, 안전 기준이나 운전 관행의 개선, 발전소 노화, 변경, 운전 경험의 피드백 및 과학기술 개발 등에 따른 누적 영향을 제대로 반영하지 못하는 것을 알 수 있다. 따라서 주기적 안전 평가(PSR) 개념이 개발되었다.

주기적 안전성 평가는 1950년대 후반부터 가동에 들어간 원전들이 노후화되고, 원자력 안전에 대한 새로운 지식들이 축적되면서 그 필요성이 제기되었으며, 1970년대 후반 유럽 국가들로부터 시작하여 본격적으로 도입되었다. 현재 영국, 스웨덴, 프랑스, 일본, 독일 미국 등 대부분의 원자력 선진국들이 PSR을 채택하고 있거나, 이에 상응하는 제도를 시행하고 있다.¹⁾

주기적 안전 평가에 있어, '방사선 감시'는 공학적 제어 및 작업관리의 유효성을 정량적으로 평가하고, 개인선량한도 및 유출물 중의 방사성물질의 최대허용농도 등 법정한도의 준수 여부를 보증하기 위해 필요한 과정이다. 이러한 가동원전의 방사선안전성 평가에 있어 체계적인 평가 및 원자력발전소의 방사선적 위험도를 정량적으로 평가하기 위해서 방사선안전성능지표의 개념이 필요하게 되었다. 따라서 원전의 주기적 안전 평가에서 수행하게 되는 방사선 안전성 평가를 위하여 방사선안전 성능지표에 대한 특성분석, 경향평가 및 안전 범주를 벗어나는 성능지표에 대한 조치방안 수립등을 위한 연구가 필요하게 되었으며, 본 연구에서는 이를 위한 기본연구로서, 방사선 안전 성능지표의 개발을 수행하게 되었다.

2. 성능지표 개발의 필요성

원자력 발전소의 국민적 수용성의 증가를 위해서는 안전한 운전이 필수적이며, 원자력발전소가 나타내는 성능에 대한 경향분석 예측은 신뢰성 확보에 중요한 요소의 하나이다. 이를 위하여 원자력산업자, 규제 기관 및 국제기구 등에서는 원자력발전소의 운전 성능을 평가 및 예측하기 위한 다양한 지표를 개발 및 사용하여 왔다. 국제기구 및 원자력발전소 보유국에서는 개발된 지표를 통하여 가동중 원전의 성능과 안전에 대한 경향 분석 및 각 원자력발전소 보유국 원전의 운전 현황 파악 수단으로서 활용되어 왔다.

또한, 이러한 지표 외에도 운전현황 또는 운전성능 자료집 형태의 각종 자료를 활용하여 왔으며, 우리나라도 원자력발전소의 운전자료를 정리하여 백서형태로 발간하여 왔다.

한편, 구소련의 체르노빌 원전 사고 이후에 국제원자력협회에 의해 창설된 세계원전운전자협회(WANO)는 INPO와 UNIPED를 통해 원자력발전소 성능지표의 국제적 표준화를 시도하였고 일관된 국제적 성능지표의 정의에 대한 필요성과 운전경험 정보의 공유에 따른 이익과 발전소성능의 비교가 필수적이라는 인식하에 지표 개발에 대한 필요성을 강조하였다.²⁾

3. 성능지표 개발을 위한 기본 전제

KINS에서는 가동원전의 방사선 안전성을 평가하기 위한 방사선학적 성능지표를 개발하기 위한 연구를 수행한 경험이 있다. KINS의 연구 보고서에는 (KINS/GR-198) 방사선학적 성능지표의 개발을 위한 기본 전제를 확립하고 있다. 이러한 기본 전제는 다음과 같다.³⁾

- 정상운전(예상과도운전상태 포함)의 가동원전에 대한 방사선방호 목표의 달성여부를 판

단하기 위한, 정량적으로 감시 가능한 성능지표를 우선적으로 고려한다.

- 개별 원전의 특성에 대한 성능기준 충족 여부보다는 직업적으로 방사선에 피폭되는 종사자의 피폭 및 방사성 유출물에 의한 일반인 피폭에 관련한 선량/위험도를 고려한다.
- 방사선방호 프로그램 이해의 적절성을 판단할 수 있는 성능지표 개발을 위해 선원-환경(작업장)-피폭개인의 피폭경로 네트워크를 고려한다.
- 방사선 관리행위를 소급적으로 평가한다 ; 성능지표들은 미래의 성능을 예측하기 보다는 과거의 성능실적을 추적한다.
- 개개의 지표는 반드시 원인을 확인하지 않는다. 그러나 개별 절차나 작업관리가 적절하게 수행되었는지를 판단하는 근거를 제공한다.

본 연구에서는 KINS에서 제안한 기본 전제외에도 가동원전의 주기적 안전성 평가에 필요한 또는 연계사항을 나타낼 수 있는 특징을 고려하여, 방사선안전 성능지표의 전제조건으로 다음과 같은 것을 고려하였다.

- 과거에 대한 방사선 안전관련 성능의 평가 및 분석이 가능하여야 한다.
- 향후 원자력 발전소의 운전에 따른 방사선 안전과 관련된 성능의 예측이 병행될 수 있어야 한다.

4. 성능지표 도출을 위한 기준인자

방사선 안전 성능지표의 도출을 위해서는 성능지표의 적용대상으로 고려할 수 있는 기준인자가 필요하게 된다. 이러한 기준인자는 KINS에서 수행된 방사선학적 성능평가 연구에서 제시되어 있다. 본 연구에서는 방사선학적 안전을 고려한 기준인자를 다음과 같이 분류하였다.

- 방사선 피폭선원 : 직접적 또는 간접적으로 방사선 피폭을 유발시키는 피폭선원
- 방사선피폭을 초래하는 환경 및 작업 : 원자력발전소의 작업자에 대한 피폭을 유발시키는 환경 및 작업
- 방사선원의 환경방출 : 환경으로 방출되는 방사성 핵종의 양은 원자력발전소 주변에 거주하는 주민의 피폭선량과 연관성을 가지게 됨
- 개인의 피폭선량 : 가동원전에 대한 방사선학적 성능지표는 결국 방사선에 피폭되는 개인(receptor)의 피폭선량으로 귀결됨

5. 방사선 안전 성능지표의 도출

(1) 기체 삼중수소의 환경 방출량

원자력발전소에서 방출되는 삼중수소는 액체 방사성 폐기물 관리 계통과 기체 방사성 폐기물 관리 계통을 통해서 기체 및 액체 형태로 소외로 방출되어지고 있다. 삼중수소 방출량은 발전소에서 매년 측정 및 관리되고 있으며, 환경으로의 방출을 통하여, 원자력발전소 주변 주민의 피폭선량을 증가시키는 원인을 제공할 수도 있으므로, 방사선 안전 성능지표로써 고려하였다. 표 1에는 각 원자력발전소에 매년 방출되는 기체 형태의 삼중수소 방출량을 나타내었으며, 그림 1과 2에 방출량이 증가하는 경향을 보이는 발전소에 대하여 그림으로 나타내었다.⁴⁾ 그림에서 보듯이, 운전연도의 증가에 따라서 환경중으로 방출되는 기체형태의 삼중수소량은 꾸준히 증가하고 있다. 그림에 나타내지 않은 발전소들은 기체형태 삼중수소 방출량이 일정한 경향을 나타내지 않으므로, 해당 발전소에 이를 성능지표로 적용하기에는

어려움이 있을 것으로 판단된다.

(2) 계획예방정비 기간의 작업자 피폭과 경상시 작업자 피폭비

원자력발전소에서는 일정기간의 운전 뒤에는 O/H작업을 수행하게 된다. 원자력발전소의 운전연도가 증가할수록 O/H 기간의 작업자 피폭과 경상시 작업자 피폭의 비가 점차 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향을 나타내는 것은 국내의 경우, 고리 제 1 발전소와 월성 제 1 발전소의 경우이므로, 이를 표 2에 나타내었다. 또한 이러한 경향을 그림 3에 나타내었다. O/H이 매년 수행되는 것이 아니므로, 수행되지 않을 경우 본 연구에서 고려하는 비율은 0이 되지만, 그럴 경우를 제외하고는 연도에 따라 증가하는 추세를 나타내고 있다.

(3) 계획예방정비기간의 전체 작업자 피폭선량

그림 4에는 O/H기간동안 전체 작업자 피폭선량에 대한 경향을 나타내었다. 그림에서는 고리 제 1 발전소와 월성 제 1 발전소의 경우에 대해서 나타내었으며, 앞서 말한 바와 같이 O/H이 없는 경우를 제외하고는 증가하고 있는 경향을 나타내었다. 특히, 고리 제 1 발전소의 경우는 1988년 10년차 Grand O/H을 기준으로 그 전에는 전반적으로 증가하는 경향을 나타내었으며, 그 이후에는 특별한 경향을 나타내고 있지는 않은 것으로 판단되었다. 이러한 전체 작업자 피폭선량의 증가는 발전소의 운전연도가 증가함에 따라 작업에 투입되는 인력의 규모에 따라 변화하는 것으로 평가되었다. 실제로 발전소의 운전연도가 증가함에 따라 작업자의 평균 피폭선량은 점차 감소하는 것으로 평가되었으나, 이는 발전소에 종사하는 전체 작업자 수를 이용하여 도출한 값이므로, 실제 O/H에 투입된 인력을 대상으로 실제 발전소의 자료를 이용한 경향 평가가 필요할 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구에서는 원전의 주기적 안전성 평가에서 방사선학적 측면의 원자력발전소의 안전성을 평가할 수 있는 방사선 안전 성능지표로서, 세가지의 성능지표를 도출하였다. 각각의 성능지표로서, 환경으로 방출되는 기체 삼중수소의 양, 발전소 O/H 기간 중 작업자 피폭선량, 정상 운전시 피폭선량과 O/H 기간중의 방사선 피폭선량의 비 등을 제시하였다. 각각의 지표들에 대하여 연도별 거동을 살펴보았으며, 성능지표로서의 적용 가능성에 대하여 논의하였다. 현재의 연구로서는 모든 발전소에서 일관되게 나타나는 방사선 안전 성능지표는 도출하지 못하였으며, 본 연구에서 도출된 성능지표가 적용되는 발전소는 몇 개의 발전소로 국한되어 있음을 알 수 있다.

현재 본 연구에서 수행한 연구 결과에서는 국내 각 발전소의 운전 및 방사선 관련 자료가 제한적으로 사용되었기 때문에, 각 성능지표에 대한 거동해석이 명확하지 않으며, 보완작업이 필요할 것으로 평가된다. 이를 위해서, 국내 각 원자력 발전소의 현장의 운전경험과 연계하여 본 연구에서 도출한 방사선 안전 성능지표의 특성분석을 위한 보다 명확한 자료의 확보가 필요하며, 이를 이용한 각 성능지표 관련 인자의 분석 및 원자력발전소의 운전연한의 증가에 따른 방사선 안전 성능지표의 경향을 예측하기 위한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 과학기술부 원자력 연구개발사업의 일환으로 수행되었다.

표 1 국내 원자력발전소의 연도별 기체방사성 폐기물을 통한 삼중수소 방출량[TBq]

	고리 1 발	고리 2 발	영광 1 발	영광 2 발	울진 1 발	월성 1발
85년까지	7.16E-02	LLD 미만				2.38E+02
86년	LLD 미만	LLD 미만	4.77E-02			2.42E+02
87년	1.67E-01	LLD 미만	5.93E-01			3.13E+02
88년	1.53E-02	LLD 미만	1.25E+00		2.93E-03	2.99E+02
89년	3.58E-01	3.20E+00	6.50E-01		9.81E-02	2.26E+02
90년	6.49E+00	3.54E+00	5.91E-01		3.46E-01	2.31E+02
91년	3.08E+00	4.50E+00	3.04E+00		8.27E-01	2.57E+02
92년	5.46E+00	7.00E+00	1.94E+00		1.25E+00	3.88E+02
93년	4.70E+00	4.06E+00	1.82E+00		1.12E+00	3.68E+02
94년	4.94E+00	4.31E+00	3.36E+00		1.86E+00	4.83E+02
95년	1.14E+01	2.60E+00	7.33E+00	7.55E-01	1.92E+00	4.43E+02
96년	1.33E+01	1.93E+00	8.03E+00	7.26E-01	1.95E+00	3.08E+02
97년	1.20E+01	2.04E+00	6.72E+00	1.93E+00	3.59E+00	6.24E+02
98년	7.85E+00	2.31E+00	4.81E+00	1.06E+00	3.44E+00	4.05E+02
99년	8.67E+00	3.32E+00	4.79E+00	7.21E-01	2.91E+00	2.67E+02

표 2 발전소 운영에 따른 [O/H]/[경상] 작업자 피폭선량 비

	고리 제 1발전소[멘렘]		작업 선량비	월성 제 1 발전소[멘렘]		작업 선량비
	O/H	경상		O/H	경상	
77년	0.0	21.8	0.000			
78년	0.0	129.1	0.000			
79년	242.9	103.9	2.338			
80년	0.0	223.7	0.000			
81년	305.7	173.7	1.760			
82년	324.1	137.4	2.359			
83년	351.3	146.2	2.403	0.0	26.3	0.000
84년	433.1	156.3	2.771	31.1	72.2	0.431
85년	678.6	175.5	3.867	0.0	86.6	0.000
86년	485.1	388.5	1.249	128.8	55.2	2.333
87년	196.3	209.4	0.937	0.0	56.0	0.000
88년	891.6	83.2	10.716	91.0	77.9	1.168
89년	451.6	165.0	2.737	45.3	25.2	1.798
90년	446.3	157.2	2.839	80.9	36.2	2.235
91년	80.0	100.2	0.798	29.6	26.4	1.121
92년	353.3	76.0	4.649	115.5	44.0	2.625
93년	342.2	112.4	3.044	0.0	48.6	0.000
94년	256.2	60.3	4.249	190.2	90.0	2.113
95년	6.9	131.2	0.053	147.0	70.2	2.094
96년	203.6	96.4	2.112	193.1	105.5	1.830
97년	183.4	66.1	2.775	0.0	123.0	0.000
98년	400.0	56.1	7.130	222.3	65.1	3.415

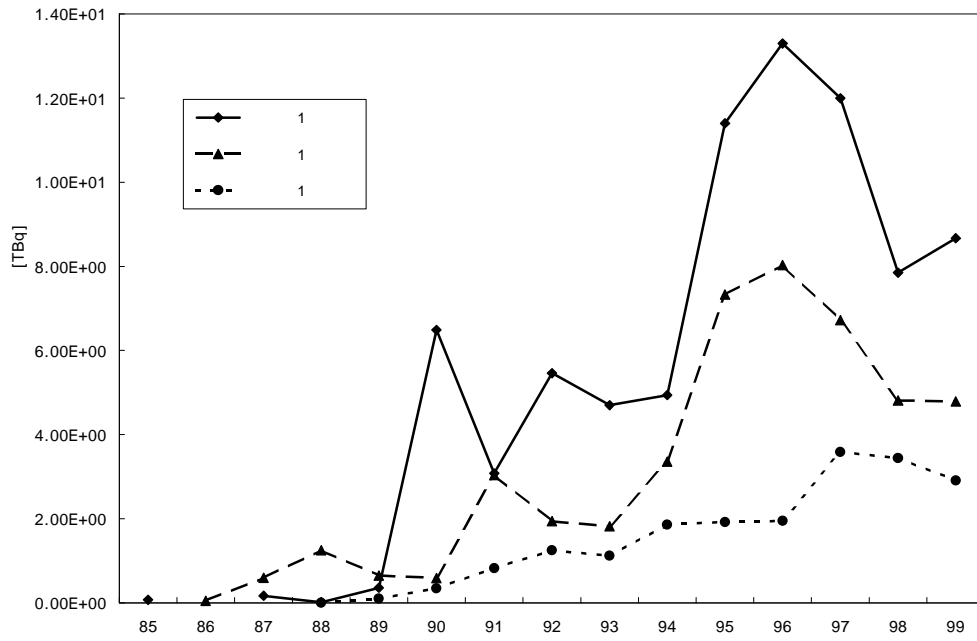


그림 1 국내 원자력발전소의 연도별 기체방사성 폐기물을 통한 삼중수소 방출량[TBq]

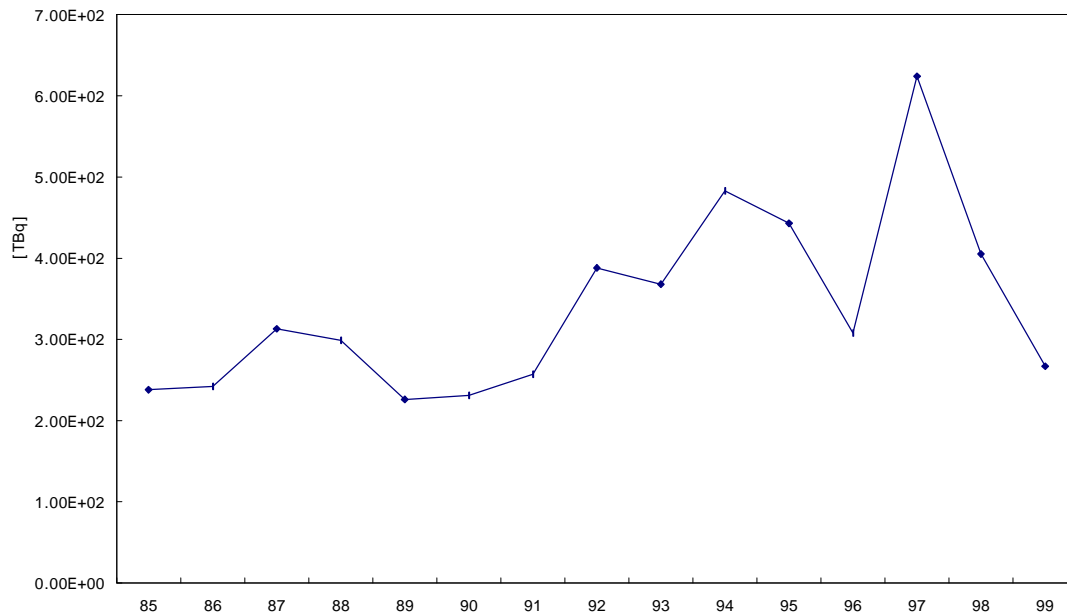


그림 2 월성 제 1 발전소의 연도별 기체방사성 폐기물을 통한 삼중수소 방출량[TBq]

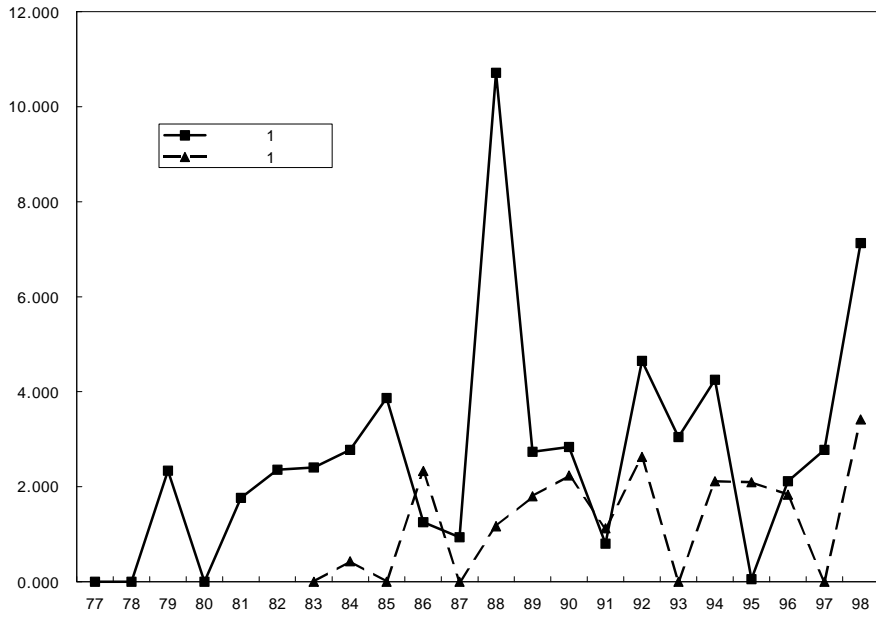


그림 3 발전소 운영에 따른 [O/H]/[경상] 작업자 피폭선량 비

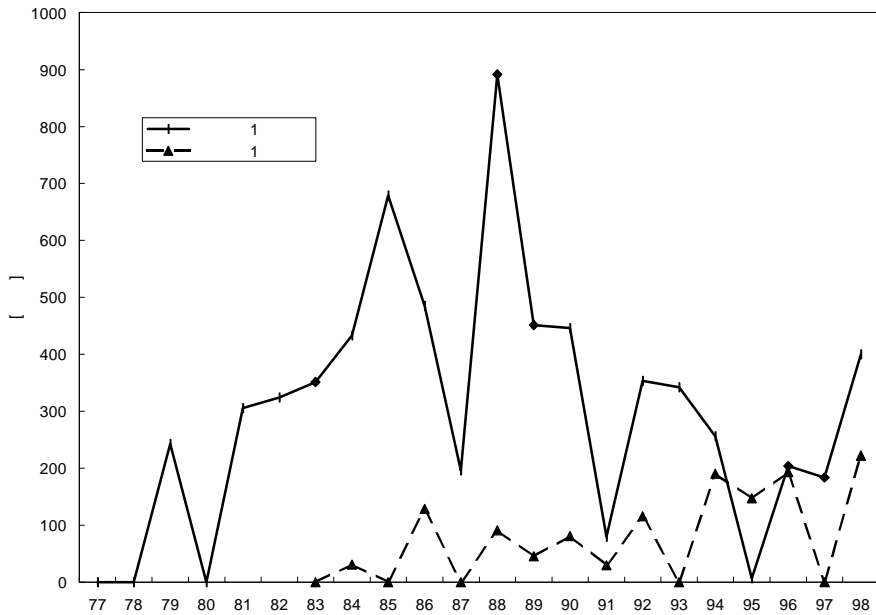


그림 4 각 발전소의 O/H 기간중 전체 작업자 피폭선량

참고문헌

- 1) 조종철 외, “가동원전 주기적 안전성평가 제도화 방안”, ‘97 추계학술발표회 논문집, 한국 원자력학회, 1997
- 2) 최길수 외, “국내 가동 원전의 성능지표 개발”, KINS/AR-554, 1998. 3
- 3) “방사선 안전규제 기술개발 - 방사선방호 규제기술 개발”, KINS/GR-198
- 4) 한국전력공사, ‘방사선관리 연보’, 1998