

월성 1호기 주기적안전성평가
- 기체 및 액체 방사성폐기물에 의한 환경영향

Periodic Safety Review of Wolsong Unit 1
- Environmental Impact as gaseous and liquid effluents

김성민, 이은미, 김미자, 이갑복, 정양근, 엄희문
전력연구원

요 약

원자력법에 의해 국내 모든 가동원전은 10년마다 주기적안전성평가를 이행하고 있다. 원자력법 시행규칙 제19조의 2에 제시된 환경영향 분야의 평가는 원자로시설의 환경영향 감시계획이 적절히 수립되어 이행되고 있는지를 확인하는 것이다. 평가결과 월성 1호기 가동에 따른 환경영향은 전반적으로 기술기준을 만족하였으며, 평가기준일까지 월성 1호기 운영으로 인해 주변 주민이 받는 방사선량은 제한치 이내에서 안전하게 관리되는 것으로 확인하였다.

ABSTRACT

According to Korean nuclear code requires Periodic Safety Review(PSR) every 10 years should be perform for operating reactor, and selects the eleven PSR safety factors. Among them the review objective of the environmental impact is to determine whether the operator has an adequate programme for surveillance of the environmental impact of the nuclear power plant based on current safety standards. In this paper, the environmental impact in PSR of Wolsong Unit 1 was reflected current safety standards as of the evaluation date. As a result, all items generally satisfied the standards, and the staff also verified that the population dose due to the operation of Wolsong Unit 1 was controlled safely as of the evaluation date.

1. 서 론

주기적안전성평가는 가동 중인 원자력발전소에 대해 발전소 노화, 변경, 운전 경험, 기술 개발 등의 누적된 영향을 다루고 운전 기간에 걸쳐 높은 수준의 안전성을 보장하기 위해 규칙적인 주기로 수행되는 체계적인 안전성 재평가를 의미하며, 그 목적은 가동 중 원전에 대한 종합적인 평가를 통하여 발전소가 해당호기에 대한 유효한 기술기준에 비추어 안전한지, 그리고 발전소의 안전성을 유지하기 위한 적절한 방법들이 취해지고 있는지를 확인하는 것이다.

원자력법시행규칙 제19조의 2에는 환경영향 분야의 평가항목으로 '방사능으로 오염될 가능성이 있는 모든 유출경로에 대한 방출제한치 및 방출기록', '발전소내로부터 계획되지 아니한 유출물 방

출에 대한 경보장치', '원자로시설의 주변 주민에 대한 피폭방사선량', '발전소의 지역에 대한 방사선 환경감시', '환경감시자료의 발간 및 배포' 등을 규정하였다.

본 논문에서는 월성 1호기에 대한 환경영향 분야의 주기적안전성평가에 적용된 평가방법 및 평가결과를 제시하였다.

2. 평가방법

2.1 방사능으로 오염될 가능성이 있는 모든 유출경로에 대한 방출제한치 및 방출기록

“원자력발전소 방사선 관리 연보[1]”와 “원자력발전소 주변 환경방사선 조사보고서[2]”를 통해 핵종별 배출량을 파악한 후 과학기술부고시 제2002-23호 제6조에 제시된 배출관리기준과 기체 및 액체 방사성물질의 제한구역 경계에서의 농도를 비교한다. 핵종별 제한구역 경계에서의 농도(TBq/m³)를 구하는 방법은 기체 방사성물질의 경우, 핵종별 연간 배출량(TBq/yr)과 그 해의 최대 대기확산인자(x/Q)값을 곱하여 계산한다. 액체 방사성물질의 경우에는 핵종별 연간 배출량(TBq/yr)에 대해 희석률을 곱하여 구한다.

2.2 발전소내로부터 계획되지 아니한 유출물 방출에 대한 경보장치

배기구, 배수구 및 방사선관리구역에 방사선감시기를 설치하여 운영하고 있으며, 이러한 방사선 감시기에는 제한치를 초과하는 방사성물질의 발전소로부터 외부로 유출되는 것을 방지하기 위한 경보장치의 기능이 적절히 유지되고 있는지를 확인한다. 또한 방사선관리구역에서의 방사선량을 측정하기 위한 지역방사선감시에 대한 선원점검, 선원교정 결과 등 경보장치의 기능이 적절히 유지되고 있는지 확인한다.

2.3 원자로시설의 주변 주민에 대한 피폭방사선량

평가기준일 이전의 선량 평가값이 과학기술부고시 제2002-23호의 기준치를 만족하고 있는가를 K-DOSE60 코드로 재평가한다. 핵종별 배출량, 대기확산인자 등은 방사선 관리연보와 환경방사선 조사보고서의 해당연도의 자료를 이용하며, 희석률은 “제한구역 경계에서의 농도 계산”에 적용한 수치를 적용한다. 향후 월성 1~4호기 및 신월성 1,2호기의 동시 가동으로 인한 주민의 예상 개인 최대피폭선량은 신월성 1,2호기 건설사업 방사선환경영향평가서[3]의 내용을 토대로 평가한다.

2.4 발전소의 지역에 대한 방사선 환경감시

“원자력발전소 주변 환경방사선조사보고서”를 이용하여 환경방사선(능) 현황과 원자력발전소 가동 전·후 핵종별 농도 변화 추이를 비교하며, 매년 수행되는 환경방사선 조사와는 별도로 5년 주기로 수행하여 발간되는 “원전주변 해양방사능 종합조사보고서[4]”도 상기의 평가에 활용한다. 또한 원자력발전소 주변에서 측정된 인공방사능 분석결과를 한국원자력안전기술원에서 측정한 전국 환경방사선(능) 변동범위[5]와 비교하여 원자력발전소의 영향여부를 평가한다.

2.5 환경감시 자료의 발간 및 배포

발간주기 및 발간내용이 과학기술부고시 제2001-25호 제10조(보고)의 기준을 만족하는지 여부를 평가한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 방사능으로 오염될 가능성이 있는 모든 유출경로에 대한 방출제한치 및 방출기록

1983년부터 2001년까지 배출된 기체 방사성물질의 주요핵종 중 배출량 및 선량기여도가 상대적으로 큰 핵종(삼중수소, C-14 및 Xe-133)에 대해 연도별 배출량과 제한구역 경계에서의 농도 계산결과를 표 1에 제시하였다. 각 핵종의 제한구역 경계에서의 농도는 배출관리기준에 비해 삼중수소는 1986년에 최대 0.23%, Xe-133은 1996년에 최대 0.15% 정도였으며, 그리고 C-14는 0.01%에도 미치지 못하는 것으로 나타났다.

액체 방사성물질의 경우에는 삼중수소와 발전소 제한구역내 취·배수구 인근 일부 해저토 시료에서 극미량 검출되고 있는 Co-60에 대해 연도별 배출량과 제한구역 경계에서의 농도 계산결과를 표 2에 제시하였다. 각 핵종의 제한구역 경계에서의 농도는 배출관리기준에 비해 삼중수소는 최대값이 1999년도에 0.08% 정도이며, Co-60은 최대값이 0.01% 이하의 매우 미미한 수준으로 나타났다. 따라서 기체 및 액체 방사성물질 방출에 의한 제한구역 경계에서의 농도는 고시에 규정된 배출관리기준을 만족하였으며, 그 값도 기준치에 비해 매우 낮게 관리되고 있었다.

3.2 발전소내로부터 계획되지 아니한 유출물 방출에 대한 경보장치

배기구, 배수구 및 방사선 관리구역에서의 모든 액체 공정방사선감시기, 액체 유출물방사선감시기, 기체 공정방사선감시기, 기체 유출물방사선감시기들은 모두 설치개수, 위치, 기능, 고경보설정치 등이 해당 기준을 만족하였으며, 방사선 관리구역에서의 방사선량을 측정하기 위한 지역방사선감시기 또한 경보장치의 기능을 적절히 유지하였다.

3.3 원자로서설의 주변 주민에 대한 피폭방사선량

평가기준일 이전 10년간(1992 ~ 2001년)의 선량평가 값이 과학기술부고시 제2002-23호의 기준치를 만족하고 있는가를 재평가하였다. 연도별로 선량을 계산하여 각 항목별 최대값을 표 3에 제시하였으며, 평가결과 모든 항목에서 과학기술부고시 제2002-23호의 호기당 설계에 적용할 기준치의 5% 미만으로 나타났다.

향후 월성 1~4호기 및 신월성 1,2호기의 동시 가동으로 인한 주민의 예상 개인 최대피폭선량평가 결과를 표 4와 같이 과학기술부고시 제2002-23호에서 제시하고 있는 다수의 원자력관계시설을 운영하는 경우에 적용할 선량 기준치와 비교하였다. 그 결과 유효선량은 기준치의 40.4%, 갑상선 등가선량은 기준치의 29.1%로 향후 다수호기가 동시에 가동되더라도 주변 주민이 받는 방사선량은 상기 고시의 기준치를 만족할 것으로 예측하였다.

3.4 발전소의 지역에 대한 방사선 환경감시

월성 1호기 가동후 공기중 공간감마선량률은 63.5~106.7 nGy/hr의 분포를 보이고 있는데, 이는 2001년 한국원자력안전기술원이 전국 13개 환경방사선 감시 지점에서 측정한 연평균 공간감마선량률 67~124 nGy/hr 이내로, 원전 이외의 지역과 비슷한 준위로 나타났다. 발전소내 빗물시료에서 검출된 삼중수소의 최대검출농도 398.5 Bq/l 는 과학기술부고시 제2002-23호의 배수중의 배출관리기준 40,000 Bq/l 와 비교할 때 약 1% 정도의 매우 낮은 준위였다. 배수구의 해수시료에서 검출된 삼중수소의 최대검출농도 1189.6 Bq/l 는 과학기술부고시 제2002-23호의 배수중의 배출관리기준 40,000 Bq/l 와 비교할 때 2.97%에 해당하였다. 월성원전 주변 환경시료중 삼중수소의 농도와 월성 1호기 및 전체호기의 기체상 삼중수소 배출량과의 추이를 그림 1에 제시하였다. 원전

주변 환경시료 중 삼중수소 농도는 월성원전 전체호기에서 배출되는 방사능의 영향을 받는다. 즉, 월성 1호기의 배출량과 전체호기의 배출량 추세가 서로 상이할 경우, 월성 1호기의 기체 배출량의 추세와 환경시료중 삼중수소의 농도추세가 일치하지 않는 경우가 발생할 수 있다. 삼중수소 농도의 분석방법이 개선되어 농도 측정값의 일관성이 유지되는 1991년 이후의 추세는 전체호기 배출량과 빗물의 삼중수소 농도 추세가 유사하게 나타났다. C-14 농도는 전반적으로 일반지역에서 검출되는 0.25 Bq/g-C 수준에서 검출되었다. 공기시료에서 검출된 최대검출농도 0.43 Bq/g-C는 과학기술부고시 제2002-23호의 배기중의 배출관리기준 10,000 Bq/m³과 비교할 때 0.01 % 이하의 매우 낮은 준위였다. 월성 1호기 가동후 발전소의 지역에서 삼중수소 이외에 검출된 주요 인공방사능 핵종을 표 5에 제시하였다. Cs-137 및 Sr-90은 과거 핵실험, 체르노빌 원전사고 등에 의한 영향으로 세계적으로 검출되고 있는 핵종으로 Cs-137의 식품중 농도는 우리나라 잠정허용농도 378 Bq/kg의 0.01%에도 미치지 못하고 있다. Co-60은 검출된 지점이 모두 취수구나 배수구 부근으로 제한구역 이내에서만 검출이 되었다.

1995년도에 실시한 월성원전 주변 해양방사능 종합조사에서는 일부 해조류시료에서 Co-60이 1.73 Bq/kg-dry로 검출되었다. 해조류의 섭취에 따른 Co-60에 대한 주민의 연간 피폭선량을 최대 검출농도인 1.73 Bq/kg-dry를 기준으로 계산하면 약 2.5×10^{-5} mSv/yr가 된다. 이 값은 주민의 연간 선량제한치인 1 mSv의 1/40,000에 해당하는 값이다.

3.5 환경감시 자료의 발간 및 배포

1985년부터 환경조사와 주민선량평가를 상반기 및 연간 보고서로 구분하여 연간 총 2회에 걸쳐 보고서로 발간하고 있으며, 주변주민을 대상으로 정기적으로 환경감시결과에 대한 설명회를 개최하고 있다.

4. 결 론

월성 1호기 주기적안전성평가의 환경영향에 대한 평가결과를 종합하면 다음과 같다.

- 1) 방사능으로부터 오염될 가능성이 있는 유출경로에 대한 방출제한치 및 방출기록에 대해 평가한 결과 핵종별 기체 및 액체 방사성물질의 제한구역 경계에서의 농도가 과학기술부고시의 배출관리기준을 만족하였으며, 그 값은 기준치의 1% 이하로 매우 낮게 관리되고 있었다. 또한 발전소내로부터 계획되지 아니한 유출물 방출에 대한 경보장치도 적절하였다.
- 2) 발전소 주변 주민에 대한 피폭 방사선량은 과학기술부고시 제2002-23호에서 제시하고 있는 호기당 및 부지당 기준치를 만족하였으며, 또한 향후 신고리 원전을 포함한 다수 호기 동시 가동시에도 주민에 미치는 방사선 영향은 기준치를 만족할 것으로 예측하였다.
- 3) 환경감시 계획은 과학기술부고시 제2001-25호에 의거하여 적절히 수립, 이행되고 있었으며, 환경방사선(능) 감시결과도 가동전 감시결과와 자연적인 환경방사선 준위에 비교하여 월성 1호기의 영향이 낮은 것으로 확인하였다. 또한 환경감시 자료로 매년 환경방사선 조사보고서를 발간 및 배포하고 있으며, 지역주민을 대상으로 정기적으로 환경감시 결과에 대해 설명회를 개최하고 있었다.

결론적으로 월성 1호기의 가동으로 인해 방출되는 기체 및 액체 방사성폐기물이 발전소 주변 환경에 미치는 영향은 미미한 수준인 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- [1] 한수원(주), 원자력발전소 방사선관리 연보, 1983~2001.
- [2] 한수원(주), 원자력발전소 주변 환경방사선조사보고서, 1983~2001.
- [3] 한수원(주), 신월성 1, 2호기 건설사업 방사선환경영향평가서 초안, 2002.
- [4] 한수원(주), 월성원전 주변 해양방사능 종합조사, 1995.
- [5] 한국원자력안전기술원, 원자력시설 주변 환경조사 및 평가보고서, 1998~2001.

표 1. 기체상 주요 핵종의 연도별 배출량과 제한구역 경계에서의 농도

연도	삼중수소			Xe-133			C-14		
	월성1호기 배출량 (TBq/yr)	제한구역 경계 농도 (TBq/m ³)	배출관리 기준대비 (%)	월성1호기 배출량 (TBq/yr)	제한구역 경계 농도 (TBq/m ³)	배출관리 기준대비 (%)	월성1호기 배출량 (TBq/yr)	제한구역 경계 농도 (TBq/m ³)	배출관리 기준대비 (%)
1983	4.82E+01	1.38E-12	4.59E-02	LLD미만	-	-	-	-	-
1984	9.97E+01	2.85E-12	9.48E-02	2.13E+02	6.08E-12	3.04E-02	-	-	-
1985	8.95E+01	2.55E-12	8.51E-02	1.32E+02	3.77E-12	1.88E-02	-	-	-
1986	2.42E+02	6.91E-12	<u>2.30E-01</u>	1.25E+02	3.57E-12	1.78E-02	-	-	-
1987	3.13E+02	5.38E-12	1.79E-01	1.51E+02	2.60E-12	1.30E-02	-	-	-
1988	2.99E+02	2.34E-12	7.81E-02	1.64E+02	1.28E-12	6.42E-03	-	-	-
1989	2.26E+02	1.56E-12	5.21E-02	8.45E+01	5.84E-13	2.92E-03	-	-	-
1990	2.31E+02	2.78E-12	9.28E-02	1.01E+02	1.22E-12	6.09E-03	-	-	-
1991	2.57E+02	2.62E-12	8.75E-02	1.07E+02	1.09E-12	5.46E-03	-	-	-
1992	3.88E+02	2.50E-12	8.33E-02	5.60E+01	3.60E-13	1.80E-03	-	-	-
1993	3.68E+02	2.10E-12	7.00E-02	2.01E+02	1.15E-12	5.74E-03	-	-	-
1994	4.83E+02	3.22E-12	1.07E-01	1.15E+02	7.66E-13	3.83E-03	-	-	-
1995	4.43E+02	4.78E-12	1.59E-01	7.40E+02	7.98E-12	3.99E-02	-	-	-
1996	3.09E+02	2.94E-12	9.80E-02	3.15E+03	3.00E-11	<u>1.50E-01</u>	-	-	-
1997	3.12E+02	1.58E-12	5.28E-02	2.68E+01	1.36E-13	6.79E-04	-	-	-
1998	2.03E+02	1.01E-12	3.36E-02	4.49E+01	2.23E-13	1.12E-03	4.38E-01	2.18E-15	2.18E-05
1999	1.34E+02	5.00E-13	1.67E-02	2.72E+01	1.02E-13	5.09E-04	1.38E+00	5.16E-15	<u>5.16E-05</u>
2000	9.50E+01	1.01E-12	3.36E-02	1.84E+01	1.95E-13	9.75E-04	1.75E-01	1.85E-15	1.85E-05
2001	9.15E+01	1.03E-12	3.43E-02	7.30E+00	8.22E-14	4.11E-04	4.41E-02	4.96E-16	4.96E-06

표 2. 액체상 주요 핵종의 연도별 배출량과 제한구역 경계에서의 농도

연도	삼중수소			Co-60		
	월성1호기 배출량 (TBq/yr)	제한구역 경계 농도 (TBq/m ³)	배출관리기준 대비 (%)	월성1호기 배출량 (TBq/yr)	제한구역 경계에서의 농도 (TBq/m ³)	배출관리기준 대비 (%)
1983	LLD미만	-	-	-	-	-
1984	6.55E+00	1.21E-09	3.03E-03	-	-	-
1985	1.20E+01	2.22E-09	5.56E-03	-	-	-
1986	3.68E+01	6.82E-09	1.70E-02	6.98E-05	1.29E-14	6.47E-06
1987	5.08E+01	9.41E-09	2.35E-02	9.67E-04	1.79E-13	<u>8.96E-05</u>
1988	7.45E+01	1.38E-08	3.45E-02	3.42E-04	6.34E-14	3.17E-05
1989	6.04E+01	1.12E-08	2.80E-02	2.02E-05	3.74E-15	1.87E-06
1990	5.17E+01	9.58E-09	2.40E-02	1.78E-05	3.30E-15	1.65E-06
1991	9.32E+01	1.73E-08	4.32E-02	2.56E-05	4.74E-15	2.37E-06
1992	4.20E+01	7.78E-09	1.95E-02	1.12E-05	2.08E-15	1.04E-06
1993	4.63E+01	8.58E-09	2.14E-02	8.32E-05	1.54E-14	7.71E-06
1994	1.80E+02	3.34E-08	<u>8.34E-02</u>	1.39E-04	2.58E-14	1.29E-05
1995	1.68E+02	3.11E-08	7.78E-02	9.10E-06	1.69E-15	8.43E-07
1996	5.06E+01	9.38E-09	2.34E-02	LLD미만	-	-
1997	4.74E+01	8.78E-09	2.20E-02	LLD미만	-	-
1998	5.05E+01	9.36E-09	2.34E-02	LLD미만	-	-
1999	6.20E+01	1.15E-08	2.87E-02	LLD미만	-	-
2000	5.05E+01	9.36E-09	2.34E-02	1.11E-05	2.05E-15	1.02E-06
2001	2.46E+01	4.56E-09	1.14E-02	3.20E-05	5.93E-15	2.96E-06

표 3. 과거 10년간의 선량평가 항목별 재평가 결과

항 목		제한치	최대값	제한치 대비 비율(%)	년도	
해당 시설의 설계에 적용할 기준	기체상태의 방출물에 의한 제한구역 경계에서의 연간선량	감마선에 의한 공기의 흡수선량(mGy/yr)	0.1	2.14E-3	2.14	1996
		베타선에 의한 공기의 흡수선량(mGy/yr)	0.2	6.12E-3	3.06	1996
		외부피폭에 의한 유효선량(mSv/yr)	0.05	9.76E-4	1.95	1996
		외부피폭에 의한 피부등가선량(mSv/yr)	0.15	3.55E-3	2.37	1996
		입자상물질, 3H, 14C 및 방사성옥소에 의한 인체 장기등가선량(mSv/yr)	0.15	3.59E-3 ¹⁾	2.39	1995
	액체상태의 방출물에 의한 제한구역 경계에서의 연간선량	유효선량(mSv/yr)	0.03	1.56E-4 ²⁾	0.52	1994
		인체 장기등가선량(mSv/yr)	0.1	1.66E-3 ³⁾	1.66	1995

주) 1) 5세, 갑상선 등가선량 기준, 2) 5세 기준, 3) 5세, 갑상선 등가선량 기준

표 4. 다수호기 가동시 개인 피폭선량 계산결과와 선량기준과의 비교

장 기	최대 등가선량(mSv/yr)			선량제한치 (mSv/yr)	비 율 (%)
	기체방출물	액체방출물	계		
유효선량	9.96E-2 ¹⁾	1.40E-3 ²⁾	1.01E-1	0.25	40.4
갑상선등가선량	2.02E-1 ¹⁾	1.57E-2 ³⁾	2.18E-1	0.75	29.1

주) 1) 1세 연령군, 2) 10세 연령군, 3) 5세 연령군

표 5. 발전소의 지역에서 검출된 Cs-137과 Sr-90 및 Co-60 농도 범위

핵 종	항 목	부지주변 (나산, 기구 등)	비교지점 (울산, 경주, 구룡포)	비 고
Cs-137 (Bq/kg)	토양	N.D~25.28	N.D~18.13	- 전국 토양 : N.D~156.0 Bq/kg-dry (1997년) ¹⁾
	하천토	N.D~2.20	N.D~1.17	
	해저토	N.D~2.76	N.D	
	해수	N.D~0.004	N.D~0.0026	- 일본연근해 N.D~0.21 ²⁾ - 동해(최근5년) 0.00199~0.00627 ²⁾
	어류	N.D~0.138	N.D~0.009	- 방사능 잠정허용기준(식품공전,1999) 370Bq/kg
	해조류	N.D~0.42	N.D	
	우유	N.D~0.046	N.D~0.036	
Sr-90 (Bq/kg)	토양	N.D~1.88	0.23~0.29	- 국내 일반지역 0.24~2.42 ³⁾
	솔잎	1.83~7.88	1.01~3.93	- 일본 환경 2.1~20 ⁴⁾
	해수	0.0016~0.0023	N.D~0.0020	- 일본연근해 N.D~0.10 ²⁾ - 동해(최근4년) N.D~0.00606 ²⁾
	해저토	N.D~0.27	0.31~0.32	
	어·패류	N.D~0.10	N.D~0.009	
	해조류	N.D~0.052	N.D~0.11	
	우유	N.D~0.015	N.D~0.015	
Co-60 (Bq/kg)	농작물	N.D~0.433	N.D~0.54	
	해저토	N.D~4.95	-	- 검출된 지점은 모두 제한구역 이내임

주) 1) 한국원자력안전기술원, KINS/AR-409, 1997

2) 과학기술부, 원자력안전백서, 2002

3) 과학기술부, 원자력안전백서, 1996~1997

4) National Institute of Radiological Science Chiba, Radioactive Survey in Japan, 1987~1992

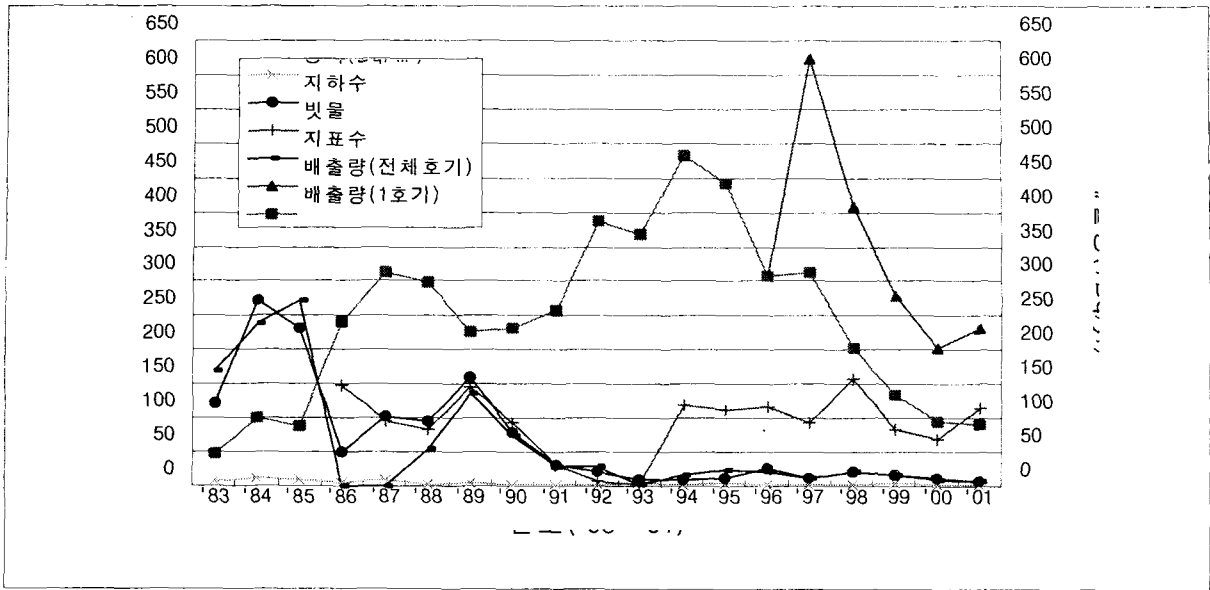


그림 1. 기체상 삼중수소 배출량 및 환경시료(육상 물시료) 중 삼중수소 농도