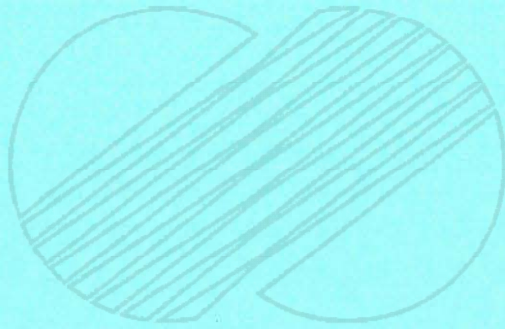


V. 환경 감시 계획



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.



V. 환경감시계획

원자력발전소 주변에 대한 환경방사능 조사의 목적은,

첫째, 원자력발전소 주변에 거주하는 일반인들이 발전소 가동으로 인해 추가로 받게되는 선량을

추정, 평가하여 일반인에 허용되는 연간선량(1 mSv/년)의 초과여부를 확인하고,

둘째, 원자력발전소 주변환경에서의 방사성물질의 거동을 파악하며,

셋째, 원자력발전소로부터의 예기치 않은 방사성물질의 방출에 의한 주변환경의 영향을 판단할 수

있는 자료의 확보 및 평가능력을 제고함으로써 원자력발전소를 운영함에 있어 인체, 물체 및

공공의 안전을 보장하기 위함이다

위와같은 목적을 달성하기 위하여 월성 원자력발전소에서는 월성 원자력 1호기가 건설되기 시작할 당시(1976년도)부터 꾸준히 환경방사능 감시활동을 수행하고 있다.

본 장에서는 월성 2,3,4호기 가동전 Baseline Data를 구축하기 위하여 월성 1호기 가동후인 1990년부터 현재 자료입수가 가능한 1994년까지 5년간의 자료를 종합, 정리하였다.

참고로, 모든 자료의 평균치는 MDA 이하등 N.D 자료를 제외한 측정치만을 평균한 값이다.

5.1. 환경방사선량

5.1.1 환경방사선 감시기에 의한 공간선량률

월성원자력발전소 주변에는 총 10개소의 환경방사선 감시기가 설치되어 공간 감마선량률을 연속 감시하고 있다. 공간 감마선량률이 1992년도 까지는 $\mu\text{R/Hr}$ 로 측정되었으나, 1993년 이후 부터는 nGy/hr 로 측정되어 있어 단위를 nGy/hr 로 통일하였다. 5년간의 조사결과를 종합한 결과는 표 5.1.1-1과 같다.

5.1.2 휴대용 계측기에 의한 공간선량률

휴대용계측기에 의한 공간감마 방사선량률은 발전소 제한구역내 8개소와 비제한구역 12개 지점에 대하여 분기 1회의 주기로 측정한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.1.2-1과 같다.

5.1.3 열형광 선량계(TLD)에 의한 공간집적선량

공간집적선량은 발전소 제한구역 9개 지점과 환경방사선감시기 설치지점 및 대기확산인자, 인구밀집지역, 접근의 용이성등을 고려하여 선정된 비제한구역 33개 지점을 포함한 총 44개 지점

에 설치된 열형광선량계(TLD)를 분기 1회의 주기로 회수하여 3개월간 누적된 선량을 측정 한 값이다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.1.3-1과 같다.

표 5.1.1-1 환경방사선 감시기에 의한 공간선량률

구분	지 점	측정결과(nGy/hr)					
		90	91	92	93	94	평균
MP-1	후 문 서 쪽	82.50±5.79	81.58±4.30	83.3±4.39	82.43±3.1	76.30±2.5	81.22±4.02
MP-2	후 문 동 쪽	88.60±6.49	85.97±3.60	89.5±4.39	90.53±2.0	87.87±3.0	88.49±3.90
MP-3	나 산	83.30±8.16	86.84±5.09	84.2±9.65	84.11±3.0	80.95±4.1	83.88±6.00
MP-4	직 원 사 택	87.70±5.97	79.83±11.3	90.4±8.77	88.22±7.5	81.52±3.1	85.53±7.33
MP-5	취 수 구	87.70±5.53	85.97±6.67	86.0±8.77	80.95±2.8	82.74±5.2	84.67±5.79
MP-6	폐기물저장고	85.10±9.21	84.21±5.96	98.2±8.77	100.96±4.9	96.75±4.6	93.04±6.61
MP-7	청 경 사 택	85.10±5.26	82.46±3.95	83.3±4.39	82.85±1.4	88.05±1.2	84.35±3.24
MP-8	상 봉	89.50±8.16	87.72±8.16	89.5±7.02	87.35±4.8	87.39±2.2	88.29±6.07
MP-9	경 주	86.00±4.82	83.33±4.65	84.2±4.39	82.52±1.1	84.37±0.4	84.08±3.07
MP-10	울 산	85.10±5.79	83.33±4.39	83.3±4.39	83.52±0.5	84.94±1.5	84.04±3.31

표 5.1.2-1 휴대용계측기에 의한 공간선량률

구분	지 점	공간선량률(nGy/hr)					
		90	91	92	93	94	평균
제한 구역	정밀기기창고	81.58	72.81	79.83	78.83±10.60	84.96±5.35	79.60
	해 병 초 소	88.60	71.93	81.58	79.39± 8.26	82.39±5.18	80.78
	폐기물저장고	92.98	85.09	85.09	87.65± 4.99	104.62±7.91	91.09
	후 문 서 쪽	78.07	73.68	71.93	74.23±10.10	80.82±4.15	75.75
	정 수 장	86.84	76.32	79.83	72.86± 5.60	86.74±5.03	80.52
	기상 관측소	85.97	72.81	76.32	73.15± 6.53	83.33±4.51	78.32
	후 문 동 쪽	92.11	73.68	74.56	74.17± 6.90	82.28±5.09	79.36
	정 문	84.21	70.18	72.81	72.15± 6.29	80.76±3.64	76.02
비제한 구역	청 경 사 택	89.47	78.07	75.44	76.06± 7.92	87.35±4.22	81.28
	나 산 국 교	90.35	72.81	71.05	75.76± 9.13	83.87±6.04	78.77
	나 산	89.47	69.30	71.05	79.32±11.41	82.28±2.75	78.28
	상 봉	84.21	72.81	71.05	82.43±10.69	91.42±5.74	80.38
	직 원 사 택	86.84	71.93	74.56	73.21±11.72	81.91±1.77	77.69
	읍 천 교 회	81.58	71.05	72.81	74.91±12.99	79.23±5.29	75.92
	인 향 목 장	84.21	72.81	71.93	77.08± 5.15	84.02±4.60	78.01
	대 본 국 교	90.35	72.81	71.93	75.37± 7.41	81.41±4.39	78.37
	한 보 사 택	86.84	70.18	71.93	74.32±10.56	81.26±3.95	76.91
	구 길 국 교	87.72	70.18	71.93	80.26± 4.21	85.61±2.31	79.14
	하 서 국 교	81.58	71.93	71.05	73.08±14.45	80.69±3.09	75.67
	공업용취수장	85.09	73.68	74.56	76.78± 5.35	84.02±4.60	78.83

표 5.1.3-1 열형광선량계(TLD)에 의한 공간집적선량

구분	지 점	공간집적선량($\mu\text{Sv}/\text{분기}$)					
		90	91	92	93	94	평균
제한구역	정밀기기창고	265	271	281 ± 28.3	239 ± 27.3	243 ± 23.8	259.8
	해 병 초 소	278	277	263 ± 19.8	261 ± 30.3	230 ± 18.1	261.8
	폐기물저장고	258	251	268 ± 26.1	235 ± 26.7	217 ± 18.8	245.8
	후 문 서 쪽	233	235	226 ± 23.4	203 ± 23.7	193 ± 36.3	218.0
	정 수 장	245	224	258 ± 24.2	231 ± 24.9	217 ± 24.0	235.0
	기상 관측소	228	242	242 ± 20.4	244 ± 29.5	226 ± 29.8	236.4
	후 문 동 쪽	258	244	256 ± 40.4	232 ± 18.1	204 ± 30.3	238.8
	정 문	243	238	255 ± 30.0	235 ± 21.2	210 ± 29.9	236.2
	취 수 구	265	227	249 ± 29.3	228 ± 29.6	218 ± 34.3	237.4
비제한구역	청 경 사 택	235	227	232 ± 16.8	214 ± 19.9	218 ± 13.6	225.2
	나 산 국 교	303	239	249 ± 14.8	228 ± 28.0	207 ± 28.6	245.2
	나 산	233	246	227 ± 19.9	222 ± 24.3	205 ± 28.4	226.6
	상 봉	233	227	211 ± 15.9	221 ± 24.9	211 ± 20.8	220.6
	직 원 사 택	273	221	237 ± 16.5	227 ± 25.7	193 ± 34.3	230.2
	읍 천 교 회	273	252	232 ± 30.6	238 ± 26.3	212 ± 22.5	241.4
	인 향 목 장	258	260	236 ± 30.6	244 ± 30.0	231 ± 22.2	245.8
	대 본 국 교	280	254	236 ± 24.5	227 ± 27.1	220 ± 28.5	243.4
	한 보 사 택	258	235	223 ± 20.0	238 ± 29.8	213 ± 22.6	233.4
	구 길 국 교	268	257	256 ± 22.1	257 ± 34.7	244 ± 15.1	256.4
	하 서 국 교	255	233	235 ± 36.1	216 ± 17.5	198 ± 33.6	227.4
	공업용취수장	293	261	277 ± 19.1	244 ± 26.9	217 ± 16.6	258.4
	대 본	265	276	276 ± 21.9	275 ± 35.8	235 ± 23.7	265.4
	기 구	253	277	246 ± 18.5	246 ± 26.1	224 ± 14.6	249.2
	학 전	245	247	224 ± 8.0	243 ± 42.5	201 ± 21.4	232.0
	석 읍 국 교	258	231	230 ± 5.5	250 ± 47.0	208 ± 21.2	235.4
	관 성	253	277	250 ± 15.0	265 ± 33.8	243 ± 22.0	257.6
	상 계 국 교	253	238	233 ± 10.4	236 ± 27.8	216 ± 16.5	235.2
	지 경	275	266	258 ± 27.3	243 ± 25.9	213 ± 21.0	251.0
	나 정	265	256	248 ± 11.3	260 ± 32.8	226 ± 17.5	251.0
	송 전 국 교	250	228	249 ± 19.6	251 ± 32.9	223 ± 12.9	240.2
	매 곡	268	241	232 ± 20.2	221 ± 25.2	218 ± 20.6	236.0
	양 북 중 고	268	222	255 ± 6.6	249 ± 30.4	225 ± 19.2	243.8
	신 명 국 교	275	225	246 ± 20.6	238 ± 28.2	212 ± 20.9	239.2
	전 춘 국 교	310	243	260 ± 42.2	263 ± 41.3	221 ± 12.9	259.4
	감 포 중 고	280	233	244 ± 42.3	227 ± 20.0	201 ± 12.4	237.0
	강 동 국 교	260	221	255 ± 41.4	228 ± 28.0	209 ± 16.5	234.6
	장 향 국 교	270	227	256 ± 38.1	234 ± 29.7	213 ± 20.2	240.0
	입 실 국 교	278	251	244 ± 37.4	233 ± 36.9	212 ± 14.4	243.6
	농 소 중 고	262	244	247 ± 33.1	235 ± 34.6	222 ± 15.0	242.0
	서라벌 국교	262	221	242 ± 37.8	222 ± 33.4	209 ± 19.6	231.2
	울 산 공 고	247	235	254 ± 43.3	222 ± 28.9	218 ± 15.3	235.2
	상 봉 리	262	238	249 ± 35.2	233 ± 31.5	206 ± 17.1	237.6

5.2 환경방사능

5.2.1 공기중 시료

1) 공기중 미립자

가) 공기중 미립자의 전베타 방사능

공기중미립자에 대한 전베타방사능은 발전소 인근 8개 지점과 비교지점 2개소에 설치되어 있는 연속 대기시료채집기로 부터 여과지를 회수하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.1-1과 같다.

표 5.2.1-1 공기중 미립자의 전베타 방사능

지 점	평균치(mBq/m ³)					
	90	91	92	93	94	평균
후 문 서 쪽	1.00±0.21	1.09±0.36	0.97±0.43	0.99±0.42	1.04±0.37	1.02±0.36
후 문 동 쪽	0.95±0.26	1.07±0.39	1.03±0.37	1.02±0.41	1.05±0.37	1.02±0.36
나 산	0.88±0.23	0.95±0.35	1.04±0.34	1.01±0.44	1.01±0.40	0.98±0.35
직 원 사 택	0.89±0.24	1.06±0.34	1.04±0.36	1.03±0.47	1.07±0.39	1.02±0.36
취 수 구	0.97±0.30	1.06±0.35	1.05±0.38	1.02±0.40	1.03±0.36	1.03±0.36
폐기물저장고	0.86±0.33	1.04±0.37	1.08±0.39	1.01±0.40	1.04±0.38	1.01±0.37
청·경 사 택	0.93±0.29	1.08±0.34	1.05±0.37	1.03±0.42	1.03±0.37	1.02±0.36
상 봉	0.96±0.33	1.07±0.33	1.02±0.39	0.97±0.40	1.10±0.45	1.02±0.38
경 주	0.92±0.28	1.07±0.35	1.02±0.41	0.98±0.43	1.04±0.37	1.01±0.37
울 산	0.92±0.21	0.99±0.33	1.02±0.37	0.89±0.43	0.94±0.33	0.95±0.33

나) 공기중 미립자의 감마동위원소

공기중미립자에 대한 감마동위원소는 전베타방사능 측정지점과 동일한 10개 지점에서 주 1회 채집된 여과지를 모아서 감마핵종을 분석하였다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.1-2와 같다.

다) 공기중 미립자의 스트론튬 90 방사능

스트론튬에 대한 방사능농도는 과학기술처고시 제 85-5호에 따라 감마핵종분석으로 Cs-137이 검출되지 않아 스트론튬에 대한 분리 및 방사능농도 측정을 수행하지 않았다.

표 5.2.1-2 공기중 미립자의 감마동위원소

지 점	핵종	평균치(mBq/m ³)					
		90	91	92	93	94	평균
후문 서쪽	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Fe ⁵⁹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Co ⁶⁰	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	0.59±0.06	N.D	N.D	N.D	0.59±0.06
	Be ⁷	N.D	2.50±0.08	4.10±0.23	4.42±0.71	6.02±0.97	4.26±0.50
후문 동쪽	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Fe ⁵⁹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Co ⁶⁰	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	0.66±0.05	N.D	N.D	N.D	0.66±0.05
	Be ⁷	N.D	4.20±0.15	2.73±0.18	5.03±0.69	5.90±1.23	4.47±1.13
나산	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Fe ⁵⁹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Co ⁶⁰	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	0.53±0.06	N.D	N.D	N.D	0.56±0.06
	Be ⁷	N.D	4.15±0.15	2.97±0.14	4.74±1.07	5.43±0.92	4.32±0.57
직원 사택	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Fe ⁵⁹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Co ⁶⁰	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	0.48±0.05	N.D	N.D	N.D	0.48±0.05
	Be ⁷	N.D	4.01±0.12	3.16±0.18	4.74±0.22	6.23±1.29	4.54±0.45
취수구	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Fe ⁵⁹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Co ⁶⁰	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	0.42±0.04	N.D	N.D	N.D	0.42±0.04
	Be ⁷	N.D	4.17±0.13	2.93±0.16	5.46±0.54	5.47±1.56	4.51±0.60
폐기물 저장고	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Fe ⁵⁹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Co ⁶⁰	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	1.04±0.33	N.D	N.D	N.D	1.04±0.33
	Be ⁷	N.D	0.82±0.08	3.29±0.23	3.24±2.52	5.95±1.26	3.33±1.02
청경 사택	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Fe ⁵⁹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Co ⁶⁰	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	0.88±0.16	N.D	N.D	N.D	0.88±0.16
	Be ⁷	N.D	13.02±0.34	3.40±0.17	4.67±0.50	6.22±1.70	6.83±0.68
상봉	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Fe ⁵⁹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Co ⁶⁰	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	0.52±0.04	N.D	N.D	N.D	0.52±0.04
	Be ⁷	N.D	3.38±0.12	3.15±0.17	4.50±0.83	6.17±1.23	4.30±0.59
경주	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Fe ⁵⁹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Co ⁶⁰	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	0.87±0.10	0.42±0.06	N.D	N.D	0.87±0.10
	Be ⁷	N.D	6.10±0.19	2.29±0.13	4.55±0.26	6.16±1.95	4.78±0.63
울산	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Fe ⁵⁹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Co ⁶⁰	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	0.52±0.05	N.D	N.D	N.D	0.52±0.05
	Be ⁷	N.D	3.41±0.12	2.20±0.14	5.04±0.28	4.59±1.52	3.81±0.52

2) 공기중 방사성옥소

공기중 방사성옥소는 전베타측정지점과 동일한 10개 지점에서 주 1회 활성탄 카트리지를 회수하여 감마핵종 분석장비로 채취후 10일 이내에 분석을 실시하였다. 공기중옥소를 채취하기 위하여 사용된 활성탄 카트리지의 포집효율은 분자상옥소에 대하여는 100%, CH₃I형태의 옥소는 99%(상대습도 50%) 이상이다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.1-3과 같으며, 전지점 모두 방사성옥소의 검출은 없었다.

표 5.2.1-3 공기중 방사성옥소

지 점	평균치(mBq/m ³)					
	90	91	92	93	94	평균
후 문 서 쪽	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
후 문 동 쪽	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
나 산	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
직 원 사 택	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
취 수 구	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
폐기물저장고	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
청 경 사 택	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
상 봉	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
경 주	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
울 산	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

3) 공기중 삼중수소

공기중 삼중수소 방사능은 공기중 미립자 전베타 측정지점과 동일한 10개 지점에서 월 2회를 주기로 연속공기시료 채집설비를 이용하여 공기중의 습분을 채취하여 분석을 실시하였다. 분석장비로는 액체섬광계수기를 사용하였으며, 효율은 28% ~ 34% 였다. 5년간의 조사자료를 종합분석해 본 결과는 표 5.2.1-4와 같다.

표 5.2.1-4 공기중 삼중수소

지 점	평균치(mBq/m ³)					
	90	91	92	93	94	평균
후 문 서 쪽	1.69±1.00	1.80±0.97	1.26±1.14	0.80±0.55	1.14±2.43	1.34±1.22
후 문 동 쪽	2.62±1.73	2.91±1.89	2.93±1.56	2.52±1.01	5.30±11.4	3.26±3.52
나 직 원 사 택	3.91±1.66	3.68±3.48	6.76±5.28	5.36±2.51	5.66±3.98	5.07±3.38
취 수 구	4.01±2.16	3.27±2.00	3.48±1.82	3.93±1.57	3.79±2.70	3.70±2.05
폐기물저장고	0.86±0.50	0.50±0.17	0.22±0.10	0.43±0.24	0.89±0.52	0.58±0.31
청 경 사 택	0.97±0.47	0.80±0.51	0.27±0.13	0.73±0.42	0.92±0.94	0.74±0.49
상 봉	2.93±2.46	2.35±2.63	2.23±0.13	1.78±1.17	3.33±2.78	2.52±2.16
경 주	1.62±1.01	1.33±1.27	1.95±0.94	1.04±0.51	1.73±1.51	1.53±1.05
울 산	0.54±0.28	0.39±0.17	0.26±0.23	0.11±0.08	0.23±0.27	0.31±0.21
	0.53±0.19	0.23±0.13	0.23±0.15	0.10±0.05	0.17±0.20	0.25±0.14

5.2.2 육상시료

1) 토 양

가) 토양의 전베타 방사능

토양시료에 대한 전베타방사능은 공기중미립자 채취지점 10개소와 5개 추가지점에서 시료를 채취하여 저준위 알파, 베타계수기로 계측한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.2-1과 같다.

표 5.2.2-1 토양의 전베타 방사능

지 점	평균치(KBq/Kg-Dry)					
	90	91	92	93	94	평균
나 아	0.84±0.04	0.64±0.13	0.75±0.16	0.90±0.12	0.94±0.10	0.81±0.11
봉 길	1.07±0.07	0.99±0.25	1.01±0.07	1.05±0.08	1.00±0.12	1.02±0.12
후 문 동 쪽	0.85±0.06	0.71±0.01	0.94±0.05	0.89±0.14	0.91±0.03	0.86±0.06
취 수 구	0.83±0.07	0.63±0.00	0.81±0.02	0.88±0.01	1.07±0.15	0.84±0.05
나 직 원 사 택	0.80±0.09	0.87±0.01	0.77±0.05	1.08±0.10	1.01±0.20	0.91±0.09
청 경 사 택	0.73±0.03	0.78±0.07	0.83±0.14	0.89±0.16	0.83±0.04	0.81±0.09
상 봉	0.81±0.05	0.75±0.05	0.76±0.04	0.78±0.12	1.00±0.02	0.82±0.06
읍 천	1.05±0.09	0.99±0.06	0.93±0.11	1.14±0.01	1.21±0.08	1.06±0.07
하 서	0.76±0.02	0.77±0.00	0.70±0.10	0.85±0.01	0.87±0.05	0.79±0.04
용 당	0.56±0.01	0.56±0.01	0.42±0.02	0.76±0.12	0.63±0.03	0.59±0.04
후 문 서 쪽	0.86±0.04	0.74±0.04	0.91±0.03	0.82±0.01	0.95±0.13	0.86±0.05
폐기물저장고	0.87±0.04	0.51±0.00	0.75±0.01	0.55±0.04	0.66±0.08	0.67±0.03
경 주	0.87±0.01	0.81±0.16	0.81±0.10	0.86±0.07	1.08±0.05	0.89±0.08
울 산	0.81±0.04	0.80±0.06	0.80±0.19	0.95±0.04	0.87±0.09	0.85±0.08
	0.87±0.02	0.77±0.01	0.89±0.06	1.02±0.01	1.06±0.06	0.92±0.03

표 5.2.2-2 토양의 감마동위원소

지 점	핵종	평균치(KBq/Kg-Dry)					
		90	91	92	93	94	평균
나아	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	0.015±0.002	0.021±0.021	N.D	0.018±0.012
	K ⁴⁰	N.D	1.116±0.075	0.700±0.044	0.557±0.132	0.590±0.006	0.741±0.064
봉길	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	0.003	0.015±0.001	0.012±0.001	0.011±0.002	0.001±0.001	0.010±0.001
	K ⁴⁰	N.D	0.864±0.053	0.833±0.068	0.595±0.089	0.720±0.036	0.753±0.062
후문동쪽	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	0.007±0.001	0.025±0.001	N.D	N.D	0.016±0.001
	K ⁴⁰	N.D	0.929±0.055	0.832±0.028	0.516±0.099	0.737±0.006	0.753±0.047
취수구	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	0.005±0.001	N.D	0.002±0.002	0.006±0.006	0.004±0.003
	K ⁴⁰	N.D	1.004±0.063	0.675±0.049	0.614±0.086	0.637±0.001	0.733±0.050
나산	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	0.011±0.001	0.025±0.002	0.019±0.004	0.015±0.007	0.018±0.004
	K ⁴⁰	N.D	0.936±0.056	0.789±0.046	0.435±0.103	0.670±0.063	0.707±0.067
직원사택	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	1.5.1.5.N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	0.006±0.002	0.016±0.006	0.011±0.004
	K ⁴⁰	N.D	0.484±0.050	0.759±0.025	0.513±0.013	0.610±0.041	0.591±0.032
청경사택	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	0.012±0.001	0.010±0.002	0.007±0.007	0.002±0.002	0.008±0.003
	K ⁴⁰	N.D	0.887±0.055	0.764±0.060	0.506±0.164	0.640±0.026	0.699±0.076
상봉	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	0.010±0.001	0.015±0.001	0.007±0.007	0.022±0.001	0.013±0.003
	K ⁴⁰	N.D	1.153±0.063	0.865±0.026	0.621±0.136	0.865±0.030	0.876±0.064
읍천	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	0.019±0.001	0.015±0.002	0.009±0.002	0.027±0.005	0.018±0.003
	K ⁴⁰	N.D	0.673±0.045	0.595±0.021	0.377±0.072	0.529±0.006	0.544±0.037
하서	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	0.023±0.001	0.016±0.006	0.019±0.004	0.011±0.003
	K ⁴⁰	N.D	0.595±0.025	0.497±0.021	0.585±0.078	0.461±0.009	0.535±0.033
용당	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	0.008±0.001	N.D	N.D	0.012±0.010	0.010±0.006
	K ⁴⁰	N.D	0.874±0.051	0.829±0.065	0.545±0.069	0.638±0.040	0.722±0.056
후문서쪽	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	0.006±0.001	N.D	N.D	N.D	0.006±0.001
	K ⁴⁰	N.D	0.723±0.050	0.672±0.041	0.418±0.045	0.531±0.134	0.586±0.068
폐기물 저장고	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	0.005±0.001	N.D	N.D	0.005±0.001
	K ⁴⁰	N.D	0.993±0.061	0.798±0.028	0.556±0.147	0.581±0.002	0.732±0.060
경주	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	0.008±0.001	0.018±0.001	N.D	0.002±0.002	0.009±0.001
	K ⁴⁰	N.D	1.096±0.061	0.847±0.046	0.586±0.033	0.773±0.016	0.826±0.039
울산	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	0.012±0.002	0.008±0.001	0.008±0.001	0.002±0.001	0.008±0.001
	K ⁴⁰	N.D	0.979±0.058	0.929±0.029	0.644±0.017	0.814±0.021	0.841±0.031

나) 토양의 감마동위원소

토양시료에 대한 감마동위원소는 공기중미립자 채취지점 10개소와 5개 추가지점에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.2-2와 같다.

다) 토양의 스트론튬 90 방사능

Cs-137이 과학기술처 고시상의 검출하한 이하로 검출된 경우에는 스트론튬 90의 분석을 수행하지 않고 Cs-137이 고시상의 검출하한인 5.55 Bq/kg-dry 이상인 경우에는 공기중 미립자 채취지점 10개소와 5개 추가지점에서 시료를 채취하여 스트론튬 90을 분석하였다. 5년간의 조사결과를 종합정리한 결과는 표 5.2.2-3과 같다.

표 5.2.2-3 토양의 스트론튬 방사능

지 점		평균치(Bq/Kg-Dry)					
		90	91	92	93	94	평균
나	아	N.D	N.D	-	4.36±0.33	-	4.36±0.33
봉	길	N.D	N.D	-	1.34±0.23	-	1.34±0.23
후	문 동 쪽	-	-	-	-	-	-
취	수 구	-	-	-	2.24±0.28	-	2.24±0.28
나	산	-	-	-	5.18±0.75	4.59±0.30	4.89±0.53
직	원 사 택	-	-	-	4.33±0.26	6.93±0.50	5.63±0.38
청	경 사 택	-	-	-	-	-	-
상	봉	-	-	-	8.72±0.85	4.89±0.10	6.81±0.48
읍	천	-	-	-	10.9±0.78	6.58±0.34	8.74±0.55
하	서	-	-	-	8.83±0.62	5.22±0.47	7.03±0.55
용	당	-	-	-	-	-	-
후	문 서 쪽	-	-	-	-	-	-
폐	기물저장고	-	-	-	-	-	-
경	주	-	-	-	-	-	-
울	산	-	-	-	2.15±0.13	-	2.15±0.13

2) 솔잎시료

가) 솔잎의 전베타 방사능

솔잎시료에 대한 전베타방사능은 발전소주변 5개 지점에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.2-4과 같다.

표 5.2.2-4 솔잎의 전베타방사능

지점	평균치(Bq/Kg-Fresh)					
	90	91	92	93	94	평균
나아	89.34±1.52	75.94± 4.72	85.70±4.72	77.57±4.38	-	82.14±3.84
봉길	86.91±3.46	90.95± 5.23	91.70±5.23	100.43±5.39	-	92.50±4.83
하서	83.79±4.72	70.09±11.55	78.29±9.77	79.58±1.03	-	77.94±6.77
용당	100.37±2.44	94.24± 7.68	87.41±0.70	98.32±8.36	-	95.09±4.80
경주	93.39±2.37	79.97±12.57	69.53±2.37	81.48±3.66	-	82.59±5.24

나) 솔잎의 감마동위원소

솔잎시료에 대한 감마동위원소는 전베타방사능 측정지점과 같은 5개 지점에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.2-5와 같다.

표 5.2.2-5 솔잎의 감마동위원소

지점	핵종	평균치(Bq/Kg-Fresh)					
		90	91	92	93	94	평균
나아	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	1.5.1.5.N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	3.3	N.D	N.D	N.D	N.D	3.3
	K ⁴⁰	N.D	126.55±4.60	75.19±2.45	43.47±0.84	76.13±6.10	80.34±3.50
	Be ⁷	17.55	46.81±3.35	27.57±1.10	7.83±3.85	14.53±0.17	22.86
봉길	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	3.4	N.D	N.D	N.D	N.D	3.4
	K ⁴⁰	N.D	93.82±3.85	75.90±1.40	46.64±6.22	83.72±9.76	75.02±5.31
	Be ⁷	12.50	30.10±2.55	23.65±0.90	16.05±3.51	17.44±4.66	19.95
하서	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	101.14±4.05	79.30±1.30	48.77±0.74	69.81±6.74	74.73±3.21
	Be ⁷	N.D	39.43±2.95	17.42±0.78	7.91±3.51	14.36±0.61	19.78±1.96
용당	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	120.85±4.60	78.35±1.30	41.55±4.93	71.58±7.54	78.08±4.59
	Be ⁷	N.D	28.63±2.82	30.25±0.93	12.29±3.86	13.95±0.46	21.28±2.02
경주	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	100.96±4.05	61.90±2.10	44.88±19.3	82.94±17.3	72.67±10.69
	Be ⁷	N.D	22.80±2.54	18.99±1.25	13.47±0.33	18.74±8.97	18.50±3.27

다) 솔잎의 스트론튬 90 방사능

스트론튬에 대한 방사능농도는 과학기술처고시 제 85-5호에 따라 감마핵종분석으로 Cs-137이 검출되지 않아 스트론튬에 대한 분리 및 방사능농도 측정을 수행하지 않았다.

5.2.3 물시료

1) 해수시료

가) 해수의 전베타 방사능(직접증발법)

해수의 전베타방사능은 발전소 취수구 1개지점과 배수구 2개지점에서 시료를 채취하여 직접증발법과 유화공침법으로 전처리한 후 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.3-1~2와 같다.

표 5.2.3-1 해수의 전베타방사능(직접증발법)

지 점	평균치(Bq/ℓ)					
	90	91	92	93	94	평균
취수구	9.51±2.02	9.76±1.23	9.50±1.91	8.81±1.49	11.44±1.10	9.80±1.55
배수구	9.31±1.94	9.15±1.18	9.61±2.13	9.03±1.68	11.83±1.17	9.79±1.62
봉길	8.77±1.57	9.02±1.22	8.95±1.70	8.67±1.52	11.43±1.17	9.37±1.44

표 5.2.3-2 해수의 전베타방사능(유화공침법)

지 점	평균치(Bq/ℓ)					
	90	91	92	93	94	평균
취수구	0.02±0.01	0.02±0.01	0.02±0.01	0.02±0.01	0.03±0.02	0.02±0.01
배수구	0.02±0.01	0.02±0.01	0.02±0.01	0.02±0.01	0.04±0.02	0.02±0.01
봉길	0.02±0.02	0.02±0.01	0.02±0.01	0.03±0.01	0.04±0.02	0.03±0.01

나) 해수의 삼중수소 방사능

지난 93년까지는 해수의 삼중수소방사능은 발전소 취수구 1개지점과 배수구 2개지점에서 시료를 채취하여 분석하였고, 94년부터는 감포 1개지점을 추가하여 분석하였다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.3-3과 같다.

표 5.2.3-3 해수의 삼중수소 방사능

지점	평균치(Bq/ℓ)					
	90	91	92	93	94	평균
취수구	56.56±7.52	15.46±1.57	17.93±23.09	6.97±8.68	17.28±16.70	22.84±11.51
배수구	102.27±73.40	25.41±15.38	36.14±36.31	2.19±4.92	41.14±50.51	41.43±36.10
봉길	59.35±3.55	24.26±19.38	11.07±20.36	1.72±5.69	11.99±15.05	21.68±12.81
감포	-	-	-	-	2.31±5.26	2.31±5.26

다) 해수의 감마동위원소

해수시료에 대한 감마동위원소는 전베타방사능 측정지점과 같은 3개 지점에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.3-4와 같다.

라) 해수의 스트론튬 90 방사능

스트론튬에 대한 방사능농도는 과학기술처고시 제 85-5호에 따라 감마핵종분석으로 Cs-137이 검출되지 않아 스트론튬에 대한 분리 및 방사능농도 측정을 수행하지 않았다.

2) 지하수시료

가) 지하수의 전베타 방사능

지하수의 전베타방사능은 발전소주변 5개지점에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.3-5과 같다.

표 5.2.3-5 지하수의 전베타방사능

지점	평균치(Bq/ℓ)					
	90	91	92	93	94	평균
나아	0.05±0.02	0.05±0.01	0.04±0.01	0.03±0.03	-	0.04±0.02
봉길	0.06±0.03	0.07±0.01	0.06±0.02	0.06±0.02	-	0.06±0.02
하서	0.12±0.05	0.16±0.03	0.18±0.02	0.11±0.07	-	0.14±0.04
용당	0.05±0.02	0.05±0.00	0.05±0.01	0.05±0.01	-	0.05±0.01
나산	0.05±0.02	0.06±0.01	0.04±0.02	0.02±0.02	-	0.04±0.02

표 5.2.3-4 해수의 감마동위원소

지 점	핵종	평균치(Bq/ℓ)					
		90	91	92	93	94	평균
취수구	Mn ⁵⁴	N.D	N.D	N.D	< 0.23	< 0.18	< 0.21
	Fe ⁵⁹	N.D	N.D	N.D	< 0.48	< 0.36	< 0.42
	Co ⁵⁸	N.D	N.D	N.D	< 0.32	< 0.17	< 0.25
	Co ⁶⁰	N.D	N.D	N.D	< 0.59	< 0.38	< 0.49
	Zn ⁶⁵	N.D	N.D	N.D	< 0.70	< 0.38	< 0.54
	Zr ⁹⁵	N.D	N.D	N.D	< 0.93	< 0.38	< 0.66
	Nb ⁹⁵	N.D	N.D	N.D	< 0.31	< 0.19	< 0.25
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	< 0.29	< 0.11	< 0.20
	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	< 0.31	< 0.21	< 0.26
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	< 0.24	< 0.26	< 0.25
	Ba ¹⁴⁰	N.D	N.D	N.D	< 0.79	< 0.54	< 0.72
	La ¹⁴⁰	N.D	N.D	N.D	< 2.86	< 0.18	< 1.52
	K ⁴⁰	N.D	34.73±2.97	23.03±1.13	13.93±1.17	11.61±0.95	20.83±1.56
배수구	Mn ⁵⁴	N.D	N.D	N.D	< 0.23	< 0.18	< 0.21
	Fe ⁵⁹	N.D	N.D	N.D	< 0.48	< 0.36	< 0.42
	Co ⁵⁸	N.D	N.D	N.D	< 0.32	< 0.17	< 0.25
	Co ⁶⁰	N.D	N.D	N.D	< 0.59	< 0.38	< 0.49
	Zn ⁶⁵	N.D	N.D	N.D	< 0.70	< 0.38	< 0.54
	Zr ⁹⁵	N.D	N.D	N.D	< 0.93	< 0.38	< 0.66
	Nb ⁹⁵	N.D	N.D	N.D	< 0.31	< 0.19	< 0.25
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	< 0.29	< 0.11	< 0.20
	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	< 0.31	< 0.21	< 0.26
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	< 0.24	< 0.26	< 0.25
	Ba ¹⁴⁰	N.D	N.D	N.D	< 0.79	< 0.54	< 0.72
	La ¹⁴⁰	N.D	N.D	N.D	< 2.86	< 0.18	< 1.52
	K ⁴⁰	N.D	14.72±1.44	11.61±1.19	15.29±1.44	11.72±0.97	13.34±1.26
봉길	Mn ⁵⁴	N.D	N.D	N.D	< 0.23	< 0.18	< 0.21
	Fe ⁵⁹	N.D	N.D	N.D	< 0.48	< 0.36	< 0.42
	Co ⁵⁸	N.D	N.D	N.D	< 0.32	< 0.17	< 0.25
	Co ⁶⁰	N.D	N.D	N.D	< 0.59	< 0.38	< 0.49
	Zn ⁶⁵	N.D	N.D	N.D	< 0.70	< 0.38	< 0.54
	Zr ⁹⁵	N.D	N.D	N.D	< 0.93	< 0.38	< 0.66
	Nb ⁹⁵	N.D	N.D	N.D	< 0.31	< 0.19	< 0.25
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	< 0.29	< 0.11	< 0.20
	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	< 0.31	< 0.21	< 0.26
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	< 0.24	< 0.26	< 0.25
	Ba ¹⁴⁰	N.D	N.D	N.D	< 0.79	< 0.54	< 0.72
	La ¹⁴⁰	N.D	N.D	N.D	< 2.86	< 0.18	< 1.52
	K ⁴⁰	N.D	14.47±1.35	12.84±1.59	11.35±1.03	11.41±0.98	12.52±1.24

나) 지하수의 삼중수소 방사능

지하수의 삼중수소방사능은 전베타방사능 시료채취와 같은 5개지점에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.3-6와 같다.

표 5.2.3-6 지하수의 삼중수소 방사능

지점	평균치(Bq/ℓ)					
	90	91	92	93	94	평균
나아	79.39±11.28	19.03± 3.36	7.25± 5.38	N.D	7.50± 7.54	28.29± 6.89
봉길	40.30± 5.43	30.53± 4.73	20.71±11.35	10.06±10.06	8.99± 9.61	22.12± 8.24
하서	55.05±22.54	26.92±16.96	19.82±10.47	6.50± 6.76	10.23±11.68	23.70±13.68
용당	40.61± 9.93	24.63±16.96	9.20± 9.65	N.D	6.07±10.51	20.13±10.49
나산	38.09± 6.17	23.06± 6.55	13.07± 8.37	6.63± 6.63	7.73±13.38	17.72± 8.22

다) 지하수의 감마동위원소

지하수의 감마동위원소는 전베타방사능 시료채취와 같은 5개지점에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.3-7과 같다.

3) 빗물시료

가) 빗물의 전베타방사능

빗물의 전베타방사능은 발전소주변 3개지점에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.3-8과 같다.

표 5.2.3-8 빗물의 전베타방사능

지 점	평균치(Bq/ℓ)					
	90	91	92	93	94	평균
취수구	0.07±0.03	0.07±0.03	0.06±0.02	0.04±0.03	0.06±0.03	0.06±0.03
폐기물저장고	0.06±0.01	0.07±0.02	0.05±0.02	0.03±0.03	0.02±0.02	0.05±0.02
경 주	0.06±0.01	0.07±0.01	0.05±0.02	0.03±0.04	0.06±0.02	0.05±0.02

나) 빗물의 삼중수소 방사능

'93년까지는 빗물의 삼중수소방사능은 전베타방사능 시료채취와 같은 3개지점에서 시료를 채취하여 분석하였고, '94년부터는 부지경계선상 및 부지인근의 자료를 수집, 비교 평가하기 위하여 시료채취지점을 직원사택, 나산등 2개소를 추가하여 분석하였다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.3-9와 같다.

표 5.2.3-9 빗물의 삼중수소 방사능

지점	평균치(Bq/ℓ)					
	90	91	92	93	94	평균
취수구	158.3±55.0	155.6±101.2	166.3±101.2	202.6±139.0	171.9±153.0	171.0±109.9
폐기물저장고	161.7±84.3	112.0± 64.8	203.2±138.7	170.2±158.0	114.0± 90.0	152.2±107.2
경주	93.5±46.2	31.3± 9.8	6.6± 5.9	2.1± 4.4	1.4± 4.2	27.0± 14.1
나산	-	-	-	-	37.5± 24.1	37.5± 24.1
직원사택	-	-	-	-	118.7±123.5	118.7±123.5

4) 하천수시료

가) 하천수의 전베타 방사능

하천수의 전베타방사능은 발전소주변 3개소에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.3-10과 같다.

표 5.2.3-10 하천수의 전베타방사능

지점	평균치(Bq/ℓ)					
	90	91	92	93	94	평균
나아	0.05±0.03	0.06±0.03	0.04±0.01	0.05±0.02	-	0.05±0.02
하서	0.03±0.04	0.05±0.00	0.06±0.01	0.06±0.05	-	0.05±0.03
용당	0.04±0.04	0.05±0.00	0.04±0.01	0.06±0.02	-	0.06±0.02

나) 하천수의 삼중수소 방사능

하천수의 삼중수소방사능은 발전소주변 3개소에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.3-11과 같다.

표 5.2.3-11 하천수의 삼중수소 방사능

지점	평균치(Bq/ℓ)					
	90	91	92	93	94	평균
나아	69.80±28.79	27.18±11.74	6.85±7.20	3.52±6.09	16.03±4.33	24.68±11.63
하서	75.08±25.77	27.78± 6.84	5.51±4.44	N.D	4.26±7.37	28.16±11.11
용당	75.10±25.88	21.97± 5.71	8.80±5.22	N.D	2.90±5.03	27.19±10.46

표 5.2.3-7 지하수의 감마동위원소

지 점	핵종	평균치(Bq/ℓ)					
		90	91	92	93	94	평균
나 아	Mn ⁵⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Fe ⁵⁹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Co ⁵⁸	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Co ⁶⁰	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Zn ⁶⁵	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Zr ⁹⁵	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Nb ⁹⁵	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
봉 길	Mn ⁵⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Fe ⁵⁹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Co ⁵⁸	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Co ⁶⁰	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Zn ⁶⁵	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Zr ⁹⁵	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Nb ⁹⁵	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	N.D	8.92±1.30	N.D	N.D	8.92±1.30
하 서	Mn ⁵⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Fe ⁵⁹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Co ⁵⁸	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Co ⁶⁰	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Zn ⁶⁵	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Zr ⁹⁵	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Nb ⁹⁵	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
용 당	Mn ⁵⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Fe ⁵⁹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Co ⁵⁸	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Co ⁶⁰	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Zn ⁶⁵	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Zr ⁹⁵	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Nb ⁹⁵	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
나 산	Mn ⁵⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Fe ⁵⁹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Co ⁵⁸	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Co ⁶⁰	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Zn ⁶⁵	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Zr ⁹⁵	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Nb ⁹⁵	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

5.2.4 해저시료

1) 해저침식물(해저토)

가) 해저토의 전베타 방사능

해저토의 전베타방사능은 발전소주변 2개소에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.4-1과 같다.

표 5.2.4-1 해저토의 전베타방사능

지점	평균치(KBq/kg-Dry)					
	90	91	92	93	94	평균
취수구	0.94±0.01	0.85±0.08	0.92±0.22	0.95±0.05	0.83±0.03	
배수구	0.99±0.03	0.78±0.01	0.89±0.32	0.77±0.13	1.00±0.16	

나) 해저토의 감마동위원소

해저토시료에 대한 감마동위원소는 전베타방사능 시료채취지점에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.4-2와 같다.

표 5.2.4-2 해저토의 감마동위원소

지점	핵종	평균치(KBq/Kg-Dry)					
		90	91	92	93	94	평균
취수구	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	1.08±0.07	0.97±0.05	0.99±0.03	0.72±0.08	0.94±0.06
	Mn ⁵⁴	-	-	-	-	N.D	N.D
	Co ⁶⁰	-	-	-	-	N.D	N.D
배수구	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	0.001	0.001
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	1.05±0.07	0.97±0.05	1.02±0.03	0.85±0.05	0.97±0.05
	Mn ⁵⁴	-	-	-	-	0.001	0.001
	Co ⁶⁰	-	-	-	-	0.001	0.001

다) 해저토의 스트론튬 90 방사능

스트론튬에 대한 방사능농도는 과학기술처고시 제 85-5호에 따라 감마핵종분석으로 Cs-137이 검출되지 않아 스트론튬에 대한 분리 및 방사능농도 측정을 수행하지 않았다.

2) 저생지표동물시료

가) 저생지표동물의 전베타 방사능

저생지표동물의 전베타방사능은 발전소 주변 2개지점에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.4-3과 같다.

표 5.2.4-3 저생지표동물의 전베타방사능

지점	평균치(Bq/kg-Dry)					평균
	90	91	92	93	94	
취수구	21.86±4.44	24.46±4.86	41.28±2.03	27.72± 9.56	-	28.83±5.22
배수구	20.27±2.15	25.06±0.10	39.14±6.98	27.79±10.60	-	28.07±4.96

나) 저생지표동물의 감마동위원소

저생지표동물시료에 대한 감마동위원소는 전베타방사능 시료채취지점에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.4-4와 같다.

표 5.2.4-4 저생지표동물의 감마동위원소

지점	핵종	평균치(KBq/Kg-Dry)					평균
		90	91	92	93	94	
취수구	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	ND	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	ND	N.D	N.D
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	ND	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	23.88±1.90	27.31±5.26	23.87±16.70	51.80±8.11	31.72±7.99
배수구	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	57.40±3.20	30.12±3.98	20.72±12.32	48.00±9.95	39.06±7.36

다) 저생지표동물의 스트론튬 90 방사능

스트론튬에 대한 방사능농도는 과학기술처고시 제 85-5호에 따라 감마핵종분석으로 Cs-137이 검출되지 않아 스트론튬에 대한 분리 및 방사능농도 측정을 수행하지 않았다.

5.2.5 식품류

1) 우유시료

가) 우유의 방사성옥소

우유시료에 대한 방사성옥소는 발전소주변 읍천과 경주에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.5-1과 같다.

표 5.2.5-1 우유의 방사성옥소

지점	평균치(Bq/ℓ)					평균
	90	91	92	93	94	
읍천	0.03±0.01	N.D	N.D	N.D	N.D	0.03±0.01
경주	0.02±0.00	N.D	N.D	N.D	N.D	0.02±0.00

나) 우유의 스트론튬 90 방사능

스트론튬에 대한 방사능농도는 과학기술처고시 제 85-5호에 따라 감마핵종분석으로 Cs-137이 검출되지 않아 스트론튬에 대한 분리 및 방사능농도 측정을 수행하지 않았다.

2) 어패류시료

가) 어류 및 패류의 전베타 방사능

어류 및 패류의 전베타방사능은 2개 해역과 1개 지점에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.5-2과 같다.

표 5.2.5-2 어류 및 패류의 전베타방사능

구분	지점	평균치(Bq/Kg-Wet)					평균
		90	91	92	93	94	
어류	취수구	51.15±25.10	51.55±18.76	81.17±12.96	83.16±11.87	-	66.76±17.17
	배수구	62.92±24.55	77.88±4.59	89.29±0.14	73.49±1.08	-	75.90±7.59
	감포	78.93±5.74	64.79±0.81	79.47±1.31	69.34±1.29	-	73.13±2.29
패류	취수구	41.02±14.51	35.89±5.28	47.94±3.02	36.75±13.33	-	40.40±9.04
	배수구	42.56±0.09	28.05±7.52	39.48±0.95	36.11±11.78	-	36.55±5.09
	감포	56.84±20.58	40.65±7.10	37.12±15.42	35.49±5.95	-	42.53±12.26

나) 어류의 감마동위원소

어류에 대한 감마동위원소는 전베타방사능 시료채취지점에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.5-3 및 표 5.2.5-4와 같다.

표 5.2.5-3 어류의 감마동위원소

지점	핵종	평균치(Bq/kg-Wet)					
		90	91	92	93	94	평균
취수구	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	143.49±2.70	102.71±1.75	86.43±8.62	87.59±10.42	105.06±5.87
배수구	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	144.39±2.75	114.09±1.75	87.26±9.91	95.59±4.20	110.33±4.65
감포	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	249.40±4.40	101.02±1.50	83.31±14.0	95.15±6.86	132.22±6.69

표 5.2.5-4 패류(홍합, 굴뱅이)의 감마동위원소

지점	핵종	평균치(Bq/kg-Wet)					
		90	91	92	93	94	평균
취수구	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	29.03±7.10	155.84±2.95	28.80±5.44	57.48±0.88	67.79±4.09
배수구	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	55.86±2.00	59.57±1.55	21.96±2.42	56.11±0.26	48.38±1.56
감포	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	60.03±2.70	62.60±3.25	54.88±21.0	57.81±0.72	58.83±6.92

3) 곡류 및 채소류시료

가) 곡류 및 채소류의 전베타 방사능

곡류 및 채소류에 대한 전베타방사능은 발전소주변 3개지점에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.5-5와 같다.

표 5.2.5-5 곡류 및 채소류의 전베타방사능

구분	지점	평균치(Bq/Kg-Fresh)					
		90	91	92	93	94	평균
곡류 (쌀)	나아	27.82±0.94	29.71±0.87	26.47±0.71	26.11±0.27	-	27.53±0.70
	봉길	30.94±1.05	21.89±0.68	23.70±0.66	21.56±0.21	-	24.52±0.65
	경주	26.11±0.85	22.95±0.70	21.15±0.60	22.54±0.43	-	24.19±0.65
채소류 (배추)	나아	77.69±2.08	67.72±1.81	74.22±13.8	75.34±1.16	-	73.14±4.71
	봉길	73.71±1.95	83.02±2.05	76.55±13.8	83.40±1.12	-	80.17±4.73
	경주	72.56±2.05	74.95±1.93	75.59±8.32	80.18±1.14	-	75.82±3.36

나) 곡류 및 채소류의 감마동위원소

곡류 및 채소류에 대한 감마동위원소는 전베타방사능 시료채취지점에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.5-6과 같다.

다) 곡류 및 채소류의 방사성옥소

채소류에 대한 방사성옥소는 발전소주변 3개지점에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.5-7과 같다.

표 5.2.5-7 채소류의 방사성옥소

지점	평균치(Bq/Kg-Fresh)					
	90	91	92	93	94	평균
나아	-	N.D	N.D	< 1.59	< 1.46	< 1.53
봉길	-	N.D	N.D	< 1.57	< 1.74	< 1.66
경주	-	N.D	N.D	< 1.55	< 1.73	< 1.64

표 5.2.5-6 채소류(배추)의 감마동위원소

구분	지점	핵종	평균치 (Bq/kg-Fresh)					
			90	91	92	93	94	평균
곡류 (쌀)	나아	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	< 0.09	< 0.12	< 0.11
		Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	< 0.08	< 0.09	< 0.09
		I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	< 0.05	< 0.05	< 0.05
		K ⁴⁰	N.D	1017.0±17.0	37.01±0.65	36.45±0.69	27.97±1.00	279.61±4.84
	봉길	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	< 0.09	< 0.12	< 0.11
		Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	< 0.08	< 0.09	< 0.09
		I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	< 0.05	< 0.05	< 0.05
		K ⁴⁰	N.D	716.1±15.0	23.89±0.58	30.35±0.63	32.36±1.90	200.68±4.53
	경주	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	< 0.09	< 0.12	< 0.11
		Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	< 0.08	< 0.09	< 0.09
		I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	< 0.05	< 0.05	< 0.05
		K ⁴⁰	N.D	920.5±16.0	34.22±0.62	33.17±0.66	36.68±1.90	256.14±4.80
채소류 (배추)	나아	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	< 0.10	< 0.08	< 0.09
		Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	< 0.11	< 0.08	< 0.10
		I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	< 0.07	< 0.04	< 0.06
		K ⁴⁰	N.D	148.4±2.0	115.2±1.30	109.4±1.40	3.09±0.50	94.02±1.30
		Be ⁷	-	1.45±0.19	-	-	108.3±1.70	54.88±0.95
	봉길	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	< 0.10	< 0.08	< 0.09
		Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	< 0.11	< 0.08	< 0.10
		I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	< 0.07	< 0.04	< 0.06
		K ⁴⁰	N.D	551.4±11.0	124.0±1.50	131.4±1.50	< 0.59	268.9±4.67
		Be ⁷	-	N.D	-	-	85.09±1.20	85.09±1.20
	경주	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	< 0.10	< 0.08	< 0.09
		Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	< 0.11	< 0.08	< 0.10
		I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	< 0.07	< 0.04	< 0.06
		K ⁴⁰	N.D	832.0±11.0	118.9±1.50	130.3±1.30	< 0.59	360.4±4.60
		Be ⁷	-	N.D	-	-	77.23±1.20	77.23±1.20

4) 가금류시료

가) 가금류(계란)의 감마동위원소

가금류의 알(계란)에 대한 감마동위원소는 읍천, 경주지역에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.5-8과 같다.

표 5.2.5-8 가금류(계란)의 감마동위원소

지점	핵종	평균치(Bq/Kg-Fresh)					
		90	91	92	93	94	평균
읍천	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	66.01±4.60	58.65±2.80	49.42±4.40	54.39±5.84	57.12±4.41
경주	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	62.59±1.90	67.45±1.60	57.39±2.40	46.10±0.03	58.38±1.48

5) 해조류시료

가) 해조류의 전베타 방사능

해조류의 전베타방사능은 발전소주변 3개지점에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.5-9과 같다.

표 5.2.5-9 해조류의 전베타방사능

지점	평균치(Bq/Kg-Wet)					
	90	91	92	93	94	평균
배수구	51.92±21.03	64.758.23	81.23± 0.88	85.12±6.63	-	70.76± 9.19
봉길	66.20± 6.55	71.465.88	82.57± 7.42	83.91±2.69	-	76.04± 5.64
수렴	73.27±17.66	75.404.31	95.10±21.99	85.20±3.48	-	82.24±11.86

나) 해조류의 감마동위원소

해조류에 대한 감마동위원소는 전베타방사능 시료채취 지점과 동일한 지점에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.5-10과 같다.

다) 해조류의 방사성옥소

해조류의 방사성옥소는 발전소주변 3개지점에서 시료를 채취하여 분석한다. 5년간의 조사결과를 종합 정리한 결과는 표 5.2.5-11과 같다.

표 5.2.5-10 해조류의 감마동위원소

지점	핵종	평균치(Bq/kg-Wet)					
		90	91	92	93	94	평균
배수구	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	95.79±2.50	157.35±5.52	202.8±14.19	284.2±83.3	185.04±26.38
봉길	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	202.85±3.15	162.18±2.58	195.8±34.25	260.4±98.5	205.31±34.62
수렴	Cs ¹³⁴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	Cs ¹³⁷	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	I ¹³¹	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
	K ⁴⁰	N.D	199.70±4.00	181.70±3.45	195.8±16.40	281.1±34.1	214.58±14.79

표 5.2.5-11 해조류의 방사성옥소

지점	평균치(Bq/Kg-Wet)					
	90	91	92	93	94	평균
배수구	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
봉길	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
수렴	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

5.3 일반환경감시(비방사능)

발전소에 의한 주변 환경의 변화를 파악하기 위해서 국내의 모든 원자력 발전소 부지에 대해 1986년 부터 매년 주변환경조사를 실시하고 있는데 본 월성원자력 발전소의 경우 1호기가 가동중에 있으며 2,3,4호기는 현재 건설중으로 3, 4호기의 가동전과 가동중의 환경감시 계획은 동일하게 적용된다. 매년 실시하고 있는 감시계획의 시행은 과학기술처 고시 제85-5호 “원자력발전소 주변환경조사 지침”에 의거하여 실시하고 있으며 조사는 해양물리, 해양수질, 해양생물 및 육상생물로 대별되며 현재 월성부지에서 수행되는 환경감시내용을 요약하면 표 5.3-1과 같다. 기타 상세한 조사방법 및 결과는 매년 발간되는 “원자력 발전소 주변 환경조사 및 평가보고서 (일반환경)”에 수록되고 있다. 조사정점은 그림 5.3-1에 나타내었다.

표 5.3-1 일반환경감시 내용

구분	항목	조사내용	조사주기	조사정점	비고
해양 물리	해수유동	연속측류	계절별 (4회/년)	배수구 주변 (1지점)	-
		부표추적		배수구 주변 (1지점)	
	해수특성	수온(표층/연직)		주변해역 (30지점이상)	
		염분		주변해역 (30지점이상)	
		투명도		취·배수구 주변 (5지점)	
	복수기 온도차	입·출구 온도차		복수기 입·출구 (2지점)	
해양 수질	일반항목	수온, pH, DO, COD, SS	계절별 (4회/년)	취·배수구 주변 (5지점)	-
	영양염류	NH ₄ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N, PO ₄ -P, SiO ₂ -Si			
	미량금속	Fe, Cu, Cr ⁶⁺			
	기타	B, 잔류염소			
해양 생물	식물성플랑크톤	출현종/출현량	계절별 (4회/년)	취·배수구 주변 (5지점)	-
	동물성플랑크톤	출현종/출현량		취·배수구 주변 (5지점)	
	해조류	출현종/출현량		취·배수구 주변 (3지점)	
	저서동물	출현종/출현량		취·배수구 주변 (3지점)	
	어류	출현종/출현량		취·배수구 주변 (3지점)	
	Screen충돌어류	출현종/출현량		취수구 스크린 (1지점)	
	치사율	동·식물플랑크톤	1회/년	복수기 입·출구 (2지점)	
육상 생물	식물	식물상, 현존식생, 녹지자연도	1회/4년	발전소 부근 (4지점)	-
		소나무 생장율	춘·추계	발전소 부근 (3지점)	-
	동물	출현종·수, 분포상태	1회/년	조사대상에 따라 변동	포유류, 조류, 곤충류를 주기적으로 조사

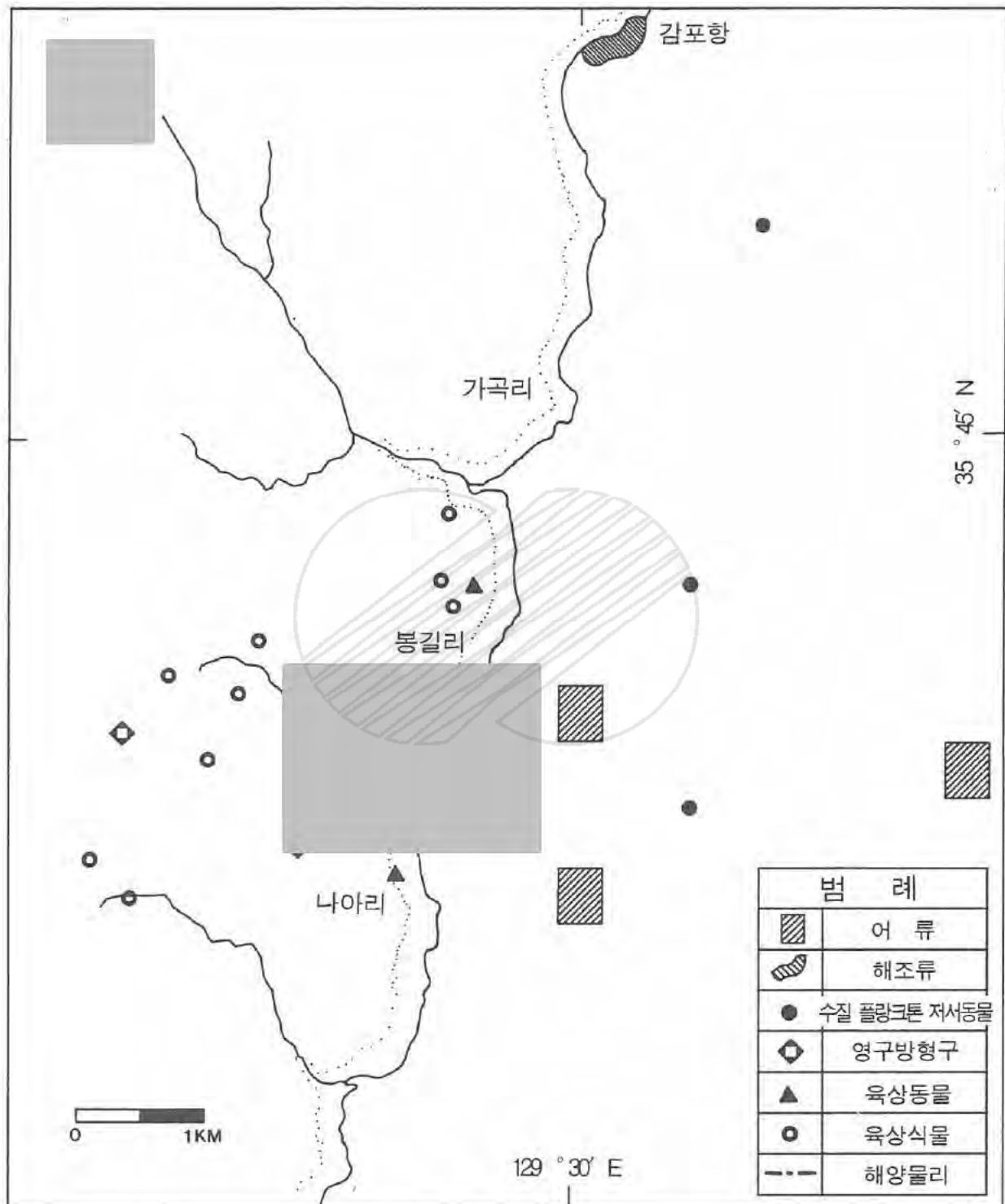


그림 5.3-1 일반환경 조사지점도

VI. 사고시 방사능 영향 재평가



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.



VI. 사고시 방사능 영향 재평가

환경보호관점에서 평가해야 할 원전사고로는 방사성물질이 환경으로 방출되어 방사능피폭을 초래할 사고들이 포함된다. 여러 가상사고로 인한 소외선량평가는 안전성분석보고서에서도 분석되나 매우 보수적인 가정과 계산방법을 사용하여, 어떤 가상사고하에서도 소외선량평가 결과치가 허용기준치를 만족함을 보임으로써 원자력발전소의 고유안전성과 공학적 안전설비가 적절히 설계되었음을 입증하는데 있다. 이와는 달리 환경영향평가서의 사고평가는 방사능을 수반하는 발생 가능한 사고들을 발생확률 및 심각성에 따라 여러 유형별로 분류하고 사고가 실제 발생하였을때 발전소 주변 주민들에게 어떠한 영향을 미치는지를 실제적으로 평가하고, 결과적으로 방사선으로 부터 안전하게 보호됨을 일반주민들에게 보여주는데 목적이 있다.

따라서, 본 장에서는 월성 3,4호기 환경영향평가서에서 수정,보완된 내용을 바탕으로 환경영향평가 대상사고에 대하여, 그 사고발생확률 및 방사능에 의한 영향을 재평가한다.

단, 월성 2호기 환경영향평가 수정본에서 월성 2호기 및 3,4호기 환경영향평가서 보완사항을 반영한 '열수송 계통내 평형 방사능 농도', 및 '평가대상사고' 항목은 본 월성 3,4호기 수정본에서는 중복되는 항목이며, '발생확률 산정 방법 및 정량화' 절은 월성 2호기 환경영향평가서 수정본 제출 이후에 완료된 월성 2,3,4 PSA 보고서를 바탕으로 사고확률을 수정, 제시한다.

6.1 열수송계통내 평형 방사능농도

원자력발전소의 일차계통내 평형 방사능농도는 그 평가 목적에 따라 다음의 세 가지 방사선원으로 분류한다.

6.1.1 설계기준 방사선원

가압중수로의 열수송계통내 설계기준 방사능농도는 기존의 CANDU 발전소의 운전경험치를 이용하여 차폐설계, 환기계통 설계 및 방사선 감시계통 설계의 자료로 사용된다. 현재 CANDU 발전소에서 열수송계통내 설계기준 평형 방사능농도를 계산하는 수학적모델은 정립되어 있지 않으며, 방사선방호 관련 설계시 기존의 CANDU 발전소의 운전경험치를 기준으로한 열수송계통내 핵분열생성물 및 부식생성물의 방사선원을 사용한다. 월성 2,3,4호기 최종 안전성분석보고서에 의하면 약 1%의 핵연료손상율과 상응하는 것으로 추론된다. 따라서, 방사선방호 설계시 사용하는 보수성에 무리가 없으며, 표 6.1.1-1에 주어진 방사능농도 이외의 짧은 반감기를 가진 핵종들의 열수송계통 및 각 계통에서의 농도 계산 방법은 참고문헌 22, 23에 자세히 제시되어 있다.

표 6.1.1-1 열수송계통내 설계기준 방사선원

핵종	방사선원(Bq/kg)
Co-60	4.63E+02
Fe-59	3.70E+02
Co-58	1.85E+02
I-131	1.11E+06
I-133	2.78E+06
Cs-137	3.70E+04
Cs-134	1.85E+04
La-140	1.11E+04
Ba-140	1.11E+04
Mo-99	7.40E+04

6.1.2 사고시 방사선원

CANDU형 가압중수로의 냉각재상실사고나 증기발생기 튜브 파손사고 등과 같은 사고시 열수송계통내 방사선원함은 보수적인 방사선원함을 사용한다. 즉, 대표적 핵종으로 I-131의 경우에 계통내 운전제한치가 500 MBq/kg(참고문헌 24)인데, 냉각재상실사고나 증기발생기 튜브 파손사고시 일차측 평형 방사능농도로서 이 값을 사용한다. H-3의 경우에도 정상가동후 수년후에 운전경험상 열수송계통내 삼중수소의 평형농도로서 93 GBq/kg(참고문헌 24)의 값을 사용한다. 결국, 열수송계통내의 방사선원함으로 요오드 혼합물은 500 MBq/kg · D₂O를 사용하고, 불활성기체는 0.00048 BqJ/kg · D₂O(참고문헌 24)를 사용한다. 이를 노심분포분율(참고문헌 24)을 적용하여 핵종별 방사능농도로 환산한 값이 표 6.1.2-1~2에 주어져 있다.

표 6.1.2-1 CANDU형 노심내 방사성핵종별 분포분율

핵 종	노심분율(%)	핵 종	노심분율(%)
I-131	11	KR-83M	2.3
I-132	17	KR-85	0.05
I-133	24	KR-85M	4.6
I-134	26	KR-87	7.6
I-135	22	KR-88	11.5
		KR-89	0.4
		XE-131M	0.15
		XE-133M	6
		XE-133	40.6
		XE-135M	7.1
		XE-135	3.2
		XE-137	1.9
		XE-138	14.6
계	100	계	100

표 6.1.2-2 열수송 계통내 사고시 방사선원

핵 종	계통내 비방사능(MBq/kg)
H-3	9.30E+04
I-131	5.00E+02
I-132	7.73E+02
I-133	1.09E+03
I-134	1.18E+03
I-135	1.00E+03
KR-83M	1.31E+02
KR-85	2.86E+00
KR-85M	2.63E+02
KR-87	4.34E+02
KR-88	6.57E+02
KR-89	2.29E+01
XE-131M	8.57E+00
XE-133M	3.43E+02
XE-133	2.32E+03
XE-135M	4.06E+02
XE-135	1.83E+02
XE-137	1.09E+02
XE-138	8.34E+02

6.1.3 예상 방사선원

CANDU형 중수로의 열수송계통내 예상 방사선원항으로 사용하는 값은 기존의 월성 1호기 및 Point Lepreau 발전소의 운전경험치 값을 사용하는데, 이는 Point Lepreau와 Gentilly-2 발전소의 실제 핵연료손상율로 비추어 볼때 각각 0.08%와 0.11%(참고문헌 43)의 값에 해당한다.

따라서, 월성 2호기에서도 이와 유사한 핵연료손상율로서 열수송계통내의 방사선원을 가정해도 무난하리라 예상된다. 월성 1호기 및 Point Lepreau 발전소의 열수송계통내 방사선원항의 운전경험치는 표 6.1.3-1과 같다.

표 6.1.3-1 CANDU형 중수로의 열수송계통내 예상 방사선원¹⁾(운전경험치)

핵 종	월성 1호기(MBq/kg)(1994)	Point Lepreau(MBq/kg)
Kr-85M	5.8E-01	1.34E-01
Kr-87	6.3E-01	2.70E-01
Kr-88	7.3E-01	4.00E-01
Rb-88	6.0E+00	1.58E+00
Rb-89	5.4E-01	-
I-131	1.2E-02	-
I-132	2.1E+00	5.14E-01
I-133	5.8E-01	9.92E-02
I-134	3.4E+00	-
I-135	1.6E+00	3.85E-01
Xe-133	1.6E+01	1.41E+00
Xe-133M	1.6E-01	-
Xe-135	3.1E+00	1.22E+00
Xe-138	5.6E-02	-
Cs-138	4.4E+00	1.87E+00
Ce-139	-	4.37E-02
Tc-101	-	6.40E-01
Ru-106	4.0E-02	1.13E+00
Te-132	6.3E-03	-
Ce-144	-	2.77E-01
Na-24	3.7E-01	6.40E-01
Ar-41	2.9E+01	4.78E+00
Mn-54	3.2E-01	-
Co-58	1.4E-03	-
Y-88	2.2E-01	-
N-16 ²⁾	2.2E+03	2.24E+00
O-19 ²⁾	2.1E+02	2.10E-01
F-17 ²⁾	7.5E+02	7.47E-01

주 : 1) 참고문헌 26

2) 원자로 노심출구에서 계산된 값임.

기존의 CANDU형 발전소의 핵연료손상율을 측정된 자료는 아래 그림 6.1.3-1과 그림 6.1.3-2에
보여지며, 특히 Point Lepreau 발전소에서 조사한 51,000개의 핵연료 다발중 총 43개의 다발에 손
상이 검출되었으며, 이는 0.08%의 핵연료 손상율을 나타낸다.

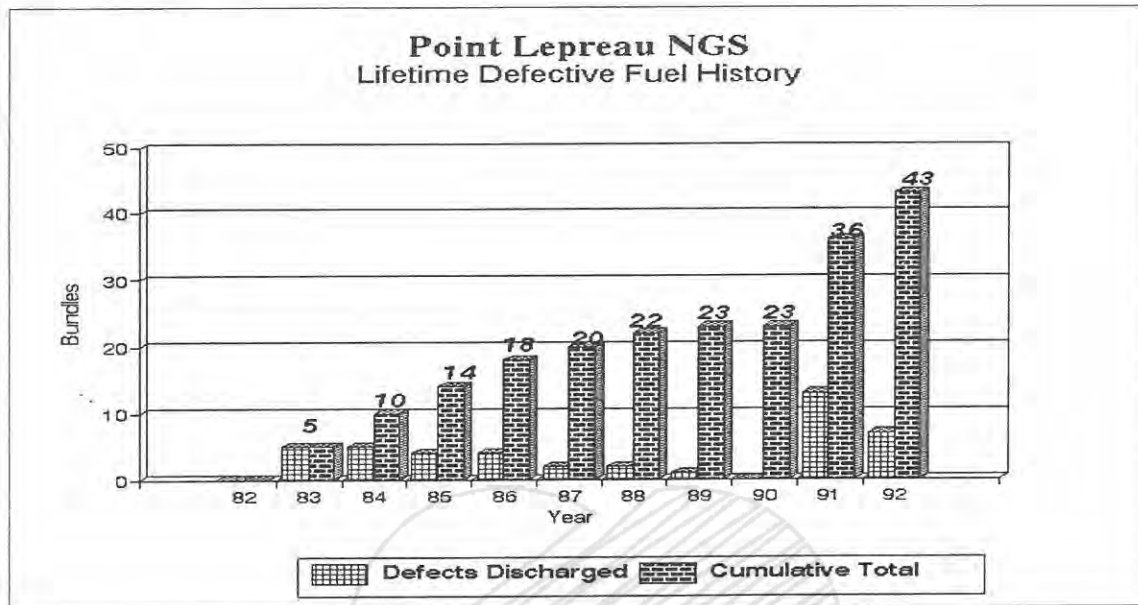


그림 6.1.3-1 Point Lepreau 발전소 핵연료 손상을 경험치

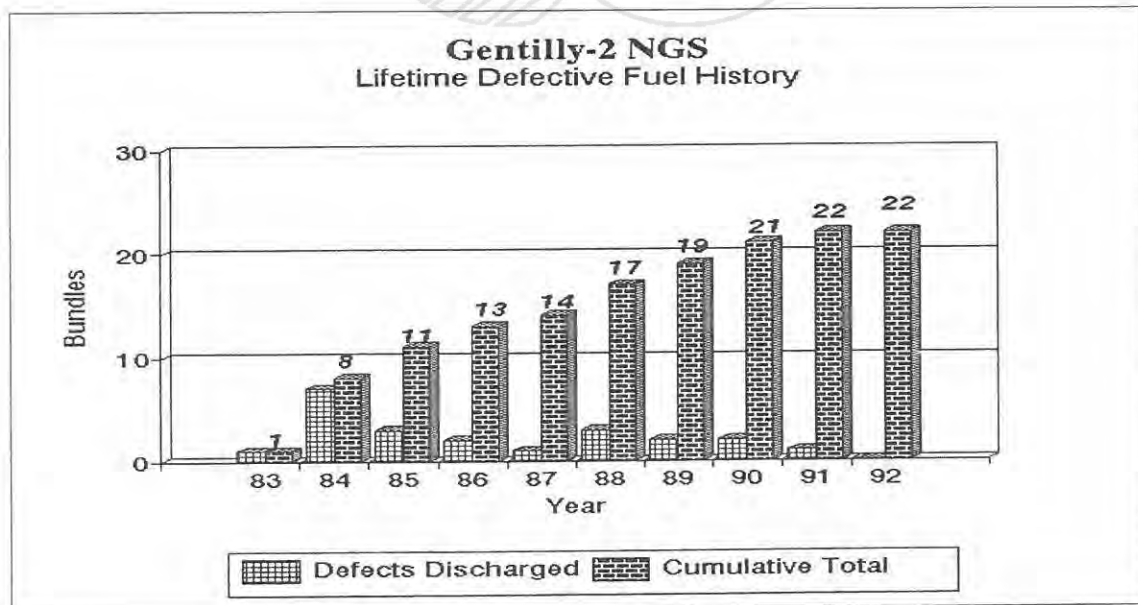


그림 6.1.3-2 Gentilly-2 발전소 핵연료 손상을 경험치

6.2 평가대상사고 선정

6.2.1 환경영향평가 검토지침서(ESRP)의 방사능영향 평가대상사고

환경영향평가를 위한 미 검토지침은 NUREG-0555(ESRP)에 주어져 있으며, 가압경수로형의 경우에는 이에 근거하여 환경영향평가를 수행할 사고를 선정하고 있으며 다음과 같은 사고 종류로 분류된다.

- 1.0 경미한 사고
- 2.0 원자로건물 외부의 소량방출사고
- 3.0 방사성폐기물계통 누출사고
 - 3.1 기기 누출 및 오작동 사고
 - 3.2 기체폐기물저장탱크의 누출사고
 - 3.3 액체폐기물저장탱크의 누출사고
- 4.0 일차 계통으로의 핵분열생성물 누출사고(비등경수로)
 - 4.1 핵연료 피복재 손상사고
 - 4.2 파다 핵연료 파손사고
- 5.0 일차 및 이차 계통으로의 핵분열생성물 누출사고
 - 5.1 핵연료 피복재 손상 및 증기발생기 누설 사고
 - 5.2 파다 핵연료 파손사고
 - 5.3 증기발생기 튜브 파손사고
- 6.0 핵연료재장전 사고
 - 6.1 핵연료집합체 추락사고
 - 6.2 노심내 중하물 추락사고
- 7.0 사용후연료 취급사고
 - 7.1 사용후연료 저장조내 핵연료집합체 추락사고
 - 7.2 사용후연료 저장조내 중하물 추락사고
 - 7.3 핵연료 운반용기 추락사고
- 8.0 안전성 분석보고서에서 설계기준 평가시 고려되는 사고
 - 8.1 냉각재 상실사고
 - 8.1(a) 원자로건물을 관통하는 계기 배관의 파단사고
 - 8.2(a) 제어봉 인출사고(PWR)
 - 8.2(b) 제어봉 추락사고(BWR)
 - 8.3(a) 유로 파단사고(PWR의 원자로건물 외부)
 - 8.3(b) 유로 파단사고(BWR)
- 9.0 중대사고

위의 사고분류중 Class 1 사고는 그로 인한 방사능영향이 미미하기 때문에 평가 대상에 포함

하지 않는다. 또한, Class 9 사고는 공학적 안전설비의 설계기준 이상의 심각한 사고로서 환경에 대한 위험도가 매우 크나 이 사고의 발생확률은 극히 작기 때문에 결과적인 위험도가 낮아서 환경영향평가서에서는 사고영향을 평가하지 않는다.

6.2.2 AECL 분석보고서(SRPD) 및 C-6의 사고분류 방법

월성 2,3,4호기 설계를 위한 사고분류는 아래와 같이 4가지 형태로 하고 있으며, 안전성 분석보고서에서 평가대상사고로 규정하고 있는 사고는 Category A 사고이다(그림 6.2.2-1).

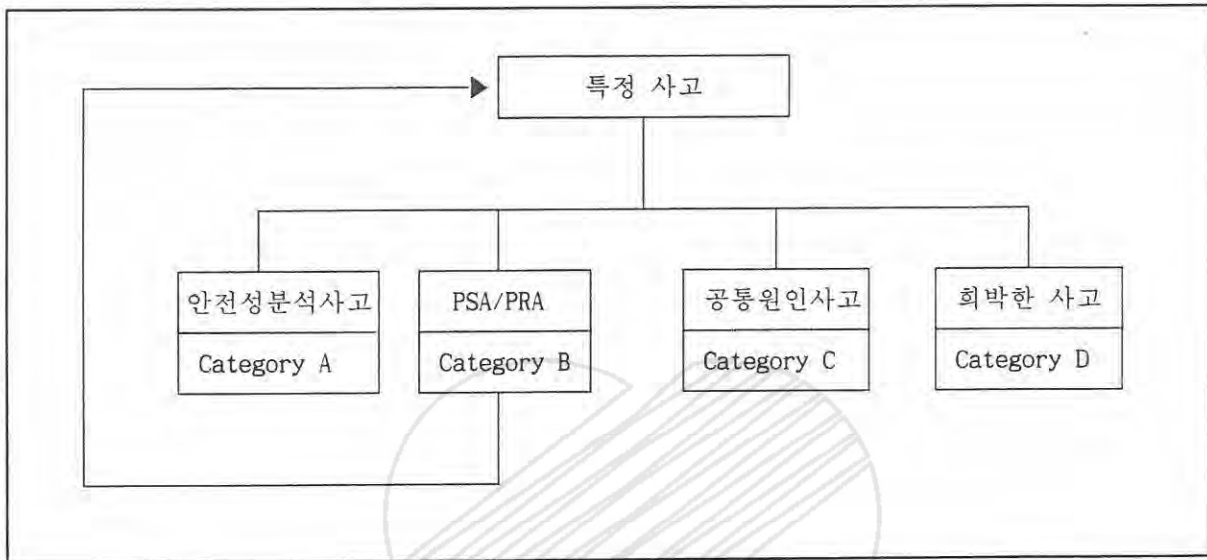


그림 6.2.2-1 SRPD 사고분류 방법

사고분류방법은 AECL 분석보고서 “Systematic Review of Plant Design for Initiating Events”에 기술되어 있는데, 그 대략적인 평가 목적 및 분류 방법은 아래와 같다.

SRPD의 목적은 대중에게 방사선에 의한 영향을 미칠 수 있는 사고의 메카니즘을 밝혀 이를 설계에 반영하는 여러 목적에 따라 분류하는 것이다. 이는 논리도를 이용하여 사고를 식별하는 과정을 분석한 후 이에 근거한 사고의 초기목록을 나열한다. 이러한 분석은 월성 1호기 설계 문서 및 월성 2,3,4호기 설계지침서, 예비안전성분석보고서 등을 참고하는 동시에 발전소 전체적인 구조 및 타 발전소의 운전경험등에 관한 지식을 바탕으로 수행하게 된다. 사고목록을 작성하는 과정은 아래와 같다.

- i) 대중에 위험을 주는 방사성물질이 초기에 존재하는 위치를 식별
 - ii) 이러한 방사성 물질의 외부로의 방출을 막는데 필요한 부계통 및 기기의 식별
 - iii) 위 부계통 및 기기의 고장으로 인해 대중으로 방사성 물질이 누설될 수 있는 경로의 식별
- 상기 과정을 통해 월성 2,3,4호기 안전성 평가 프로그램에 고려할 사고 목록을 작성하게 된다.

위 분석의 결과는 월성 2호기 Licensing Basis Document(LBD)에 기술된 사고의 종류에 비해 몇 가지 사고 종류가 추가되었다. 그러나, 안전성 분석이 필요한 사고의 종류에는 큰 차이가 나타나지 않으므로 월성 2호기 LBD에 기술된 사고를 제시한다.

월성 2호기 LBD에서는 사고를 4가지 군으로 분류하며, 각각 그 분류 목적을 기술하고 있다. 각 사고분류와 그 목적은 다음과 같다.

1) Category A 사고

위 사고들은 CANDU의 특정 안전계통의 기능을 평가하기 위한 목적을 가진다. 이는 다시 세분류로 나뉘어진다.

가) Subcategory A.1

안전계통의 기능을 평가하기 위한 사고로서 일반적으로 설계기준사고로 선정되는 사고로 아래와 같은 부류의 사고들이다.

- 열수송계통 냉각재 재고량 상실
- 열수송계통 냉각재 유량 상실
- 원자로 제어기능 상실
- 열제거원 상실

Subcategory A.1에 속하는 사고들은 표 6.2.2-1에 주어진다.

나) Subcategory A.2

트립 변수에 대한 설계 요건을 결정하는 사고들이며, 그 종류는 아래와 같다.

- Class IV 전원상실
- 단일 열수송펌프 트립
- 단일 열수송펌프 고착
- 소형 냉각재 상실
- 압력관 파단
- 대형 냉각재 상실
- 반응도 제어 상실
- 일차측 재고량 제어 상실
- 일차측 압력 제어 상실
- 이차측 압력 제어 상실
- 급수배관 파단
- 감속재 급수 상실
- 감속재 계통 배관 파단
- 끝 차폐체 냉각 상실

표 6.2.2-1 Subcategory A.1 사고

사고종류	SDS 손상		비상노심냉각 손상		격납건물 손상 ¹⁾			
	SDS 1	SDS 2	주입, 냉각	회로격리	격리댐퍼	다우징	국부공기냉각기	기기출입구 밀봉실패
대형 냉각재상실	X	X	X	X	X	X	X	X
소형 냉각재상실	X	X	X	X	X	X	X	X
유로 차단	X	X	NR ²⁾	NR ²⁾	NR ³⁾	X	X	NR ³⁾
압력관 파단	X	X	X	X	X	X	X	X
중단이음관 실패	X	X	X	X	X	X	X	X
원자로 제어실패	X	X	NR ⁴⁾	NR ⁴⁾	NR ⁴⁾	NR ⁴⁾	NR ⁴⁾	NR ⁴⁾
단일채널유량감소	X	X	X	X	X	X	X	X
증기발생기 튜브손상	X	X	X	X	NR ⁵⁾	NR ⁵⁾	NR ⁵⁾	NR ⁵⁾

주: X = 분석 수행사고

NR = 무관한 사고

1) 원자로건물 손상의 종류

- 격리댐퍼 - 입구측 및 출구측 환기계통의 모든 격리댐퍼 격리 실패
- 다우징 - 하나의 부계통 작동 실패
- 국부공기냉각기 - 원자로건물내의 모든 국부공기냉각기의 작동 실패
- 기기출입구 밀봉실패 - 기기출입구의 밀봉실패

2) 원자로건물 외부의 주증기배관 파단시 비상노심냉각계통은 작동하지 않음.

원자로건물 내부의 주증기배관 파단시 비상노심냉각계통은 작동하나 분석에서는 작동되지 않는다고 가정함.

3) 원자로건물 내의 주증기배관 파단시 원자로건물 격리를 가정하는 것이 더 보수적임.

원자로건물 외부의 주증기배관 파단은 원자로건물 손상과 무관함.

4) 비상노심냉각계통이나 원자로건물계통은 가동되지 않는다고 가정함.

5) 이 사고로 인해 원자로건물 외부의 냉각재 손상이 발생하므로 원자로건물 손상과는 무관함.

다) Subcategory A.3

Subcategory A.1과 A.2에는 포함되지 않으나 안전계통의 설계이득을 평가하는 사고로 표 6.2.2-2에 주어져지며 위의 사고들보다 발생확률이 매우 작다. 또한, 과거에는 설계이득을 평가하기 위해 A.1 분류에 포함되었으나 현재는 포함하지 않는 특수 원자로건물 손상사고도 A.3에 포함되며 표 6.2.2-3에 보여진다.

표 6.2.2-2 Subcategory A.3 사고 - LOCA와 Class IV 전원상실

사고종류	SDS 손상		비상노심냉각 손상		원자로건물 손상		
	SDS 1	SDS 2	주입,냉각	회로격리	격리댐퍼	다우징	국부공기냉각기
대형 냉각재상실	X	X	X	X	X	X	X
소형 냉각재상실	X	X	X	X	X	X	X

주: 원자로건물 손상 세부내용

1. 격리댐퍼 - 모든 입구측 및 출구측 환기계통 댐퍼 격리 실패
2. 다우징 - 하나의 부계통 작동 실패
3. 국부공기냉각기 - 원자로건물내 모든 국부공기냉각기 작동 실패

표 6.2.2-3 Subcategory A.3 사고 - 특수원자로건물 손상

사 고 종 류	다우징 완전 실패	기기출입문 개방
대형 냉각재 상실	X	X
중단이음관 파손	X	X
압력관/칼란드리아관파손		X
유로 차단		X

2) Category B 사고

이 사고는 비정상 상태시에 발전소의 운전원 조치 및 초기사건과 사고완화계통과의 독립성을 입증하는 목적으로 평가한다.

이 사고는 사고시 운전원에게 정보를 알리는 목적이 있으므로 현실적인 가정을 사용해 실제적 평가를 하며, 확률론적 방법을 사용하여 사고발생확률 계산을 정량적으로 수행한다. 확률론적 안전성분석을 수행하는 Category B 사고는 다음과 같다.

- 전원 공급 실패
- 계기용 공기계통 실패
- 용수 공급 실패
- 소내 자동제어 실패
- 열제거원로의 증기발생기 기능 상실
- 감속재 및 차폐 냉각계통 고장
- 대형 냉각재상실
- 소형 냉각재상실
- 핵연료 취급계통 실패
- 원자로 정지중 실패

3) Category C 사고

지진, 화재 등 공통 원인으로 일어나는 사고로서 이들에 대한 안전 정지, 붕괴열 제거 및 원자로 건물의 성능을 평가하는 목적으로 분석한다. Category C 사고의 종류는 다음과 같다.

- 지진
- 외부원인에 의한 부지의 홍수
- 소내 화재
- 강풍
- 터빈 비산물

4) Category D 사고

이 사고들은 결과분석을 고려하지 않는 극히 낮은 발생확률을 갖는 사고들로서 이 사고들의 발생확률을 줄일 수 있는 발전소의 설계 및 운전특성을 평가하기 위한 목적을 갖는다.

Category D 사고의 종류는 다음과 같다.

- 증기발생기 지지물 실패
- 증기발생기 셸 실패
- 터빈 파손
- 냉각수 유입 터널의 큰 실패
- 냉각수 유출 터널의 큰 실패
- 열수송펌프 케이스 또는 동축 실패
- 가압기 실패
- 탈기기-응축기 실패

6.2.3 사고유형 분류

위의 두 가지 경우에서 알 수 있듯이 가압중수로에 대한 미 환경영향평가서 방사능영향평가대상 사고분류는 캐나다 가압중수로의 사고분류와 큰 차이를 보이고 있다. C-6의 사고분류 중 안전성 분석보고서에서 평가가 수행되는 사고는 설계기준사고인 Category A.1의 사고인데, 월성 2호기 및 3,4호기 FSAR에서는 이들 사고의 방사능 영향을 평가하였다. 환경영향평가의 기준으로 보면 C-6의 Category A.1의 사고는 ESRP의 8.0 “안전성 분석보고서에서 설계기준평가시 고려되는 사고”에 포함된다고 할 수 있다.

본 수정본에서는 기제출된 환경영향평가서에서와는 달리 평가대상사고의 분류를 미국 환경영향평가 검토지침서와 월성 2,3,4호기 안전성분석보고서를 근거로 사고의 특성과 심각성을 고려하여 8개의 유형으로 분류하였다. 이는 다음과 같다.

사고유형 1 : 경미한 사고

사고유형 2 : 원자로 부품 및 계통 파손사고

사고유형 3 : 액체방사성폐기물계통 누출사고

사고유형 4 : 감속제 및 2차측으로의 방사능 누출사고

사고유형 5 : 핵연료 취급사고

사고유형 6 : 냉각제 상실사고

사고유형 7 : 이중사고

사고유형 8 : 비 설계기준사고

6.2.4 환경영향평가 수정본 평가대상사고

환경영향평가의 목적이 대중에게 방사능 영향을 미치는 사고에 대하여 분석하는 것이므로 본 수정본에서는 상기 유형의 사고들 중에서 기존의 월성 2호기 및 3,4호기 환경영향평가서에서 평가했던 단일사고중 그 영향이 큰 사고들에 대해서만 재평가하며, 평가가 수행되지 않았던 Category A.1의 이중사고 중 그 영향이 심각한 이중사고만을 선별하여 평가한다. 환경 및 대중에게 가장 큰 영향을 주는 안전계통의 사고로는 원자로건물의 격리 실패사고로서 안전성분석보고서상의 선량평가 계산결과도 다른 유형의 사고보다 큰 선량을 보여준다.

본 수정본에서 방사능영향평가가 수행되는 사고는 표 6.2.4-1에 제시된다.

표 6.2.4-1 환경영향평가 수정본 평가대상사고

사고 1	증기발생기 튜브파손사고
사고 2	유로차단사고
사고 3	압력관 파단사고
사고 4	대형 냉각제상실사고
사고 5	자관정체 파단사고
사고 6	중단이음관 파단사고
사고 7	대형 냉각제상실사고 + 원자로건물 격리 동시실패사고
사고 8	대형 냉각제상실사고 + 원자로건물 기기출입구 밀봉 동시실패사고
사고 9	자관정체 파단사고 + 원자로건물 격리 동시실패사고
사고 10	자관정체 파단사고 + 원자로건물 입구측 환기댐퍼 동시실패사고
사고 11	자관정체 파단사고 + 원자로건물 기기출입구 밀봉 동시실패사고
사고 12	유로차단사고 + 원자로건물 격리 동시실패사고
사고 13	유로차단사고 + 원자로건물 출구측 환기댐퍼 동시실패사고
사고 14	압력관 파단사고 + 원자로건물 격리 동시실패사고
사고 15	압력관 파단사고 + 원자로건물 출구측 환기댐퍼 동시실패사고
사고 16	중단이음관 파단사고 + 원자로건물 격리 동시실패사고
사고 17	중단이음관 파단사고 + 원자로건물 입구측 환기댐퍼 동시실패사고
사고 18	중단이음관 파단사고 + 원자로건물 기기출입구 밀봉 동시실패사고

6.3 발생 확률 산정 방법 및 정량화

6.3.1 PSA 분석 범주 및 과정

위에서 명시한 바 대로 C-6에서 분류한 사고중 Category B의 사고는 확률론적 안전성 평가(PSA)가 수행된다. 월성 발전소 PSA에서 수행되는 분석의 범주는 다음과 같은 단계를 거치게 된다.

- 초기사건 선택
- 사고전개과정 및 사건수목 분석
- 고장수목 분석
- 초기사건 전개과정 정량화

(모든 사건전개과정의 정량화가 완료되면, 각 사건마다 원자로건물로의 방사능방출이 발생하는 확률이 평가된다.)

- 원자로건물 사건수목 분석
- 최종사건 전개과정 정량화

(이 과정의 목적은 원자로건물내 거동의 결과분석을 수행하는 것이며, 원자로건물 계로부터의 방출확률은 사고추이정량화를 통해 사고전개과정과 원자로건물계통 실패 과정을 종합하여 얻어진다.)

- 대기확산 및 선량계산

6.3.2 분석 방법

PSA를 수행하는 절차는 그림 6.3.2-1과 같다.

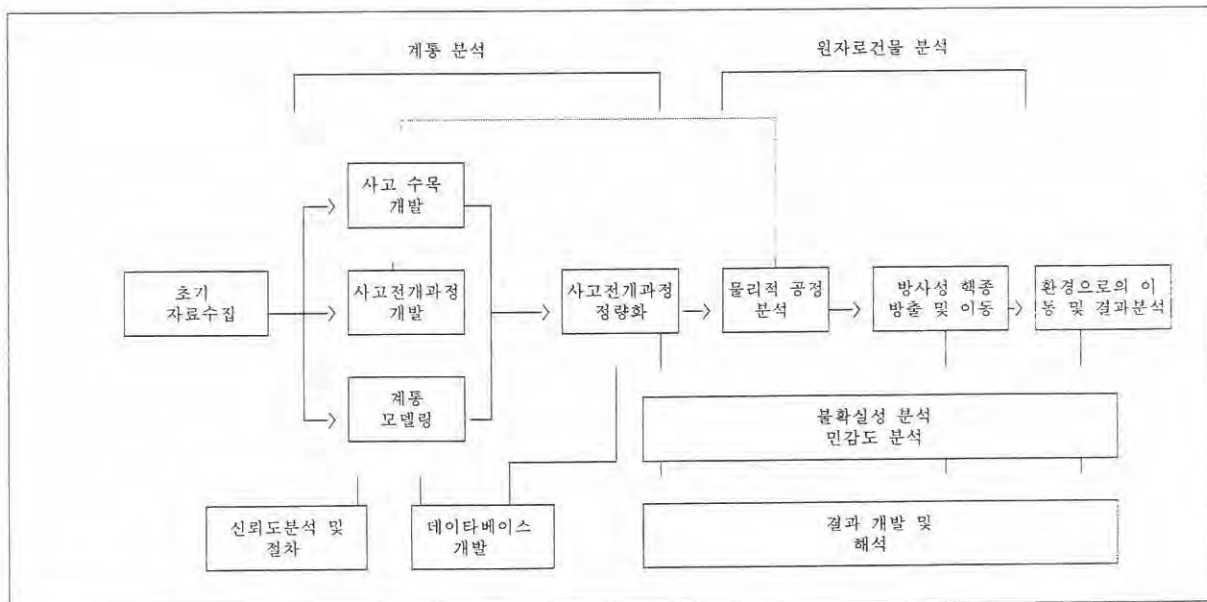


그림 6.3.2-1 월성원자력 발전소 확률론적 안전성평가 절차

6.3.3 자료수집

분석 범위에 따라 자료의 종류가 결정되며, 크게 세분류의 자료가 요구된다.

- i) 발전소 설계, 부지 및 운전 자료
- ii) 동일 노형 발전소의 고유 자료 및 특정 대상 발전소 자료
- iii) PSA 방법에 대한 보고서 및 자료

월성 발전소 PSA 수행을 위하여 수집가능한 자료는 아래와 같다.

- 월성 1호기 A/E 도면 및 설계 지침서
- Cernavoda 발전소 설계 지침서 및 도면
- 월성 1호기 SDM(Safety Design Matrices)
- 월성 2호기 설계 자료
- 월성 2호기 PSAR, SAB, SDG, FSAR
- 월성 3, 4호기 PSAR, FSAR

6.3.4 발생확률 정량화 방법

월성 발전소 내부사건 발생확률은 사건수목/고장수목 분석을 통해 결정되며 그 방법은 아래와 같다.

1) 사건수목 개발(Event Tree Development)

사건수목의 목적은 연속적인 고장수목 분석에 대한 요구조건을 정의하는 것이다. 사건수목은 원자로건물로 방사능이 방출되는가의 여부에 따라 발전소의 성공상태(Plant Success State)와 손상상태(Plant Damage State)가 결정된다. 여기에 사고완화계통이 실패하게 되는 초기사건을 결합한다.

각 초기사건마다 사건수목분석을 수행한다. 사건수목은 초기사건 이후 완화계통의 이용 또는 불이용을 모델링하여 초기사건후 발생가능한 여러 전개과정을 표현한다. 이러한 과정을 통해 원자로건물로의 방출이 발생하거나 안정한 상태가 된다. 각 사건수목 종점(End Point)에 대한 확률을 평가하기 위해 사고전개과정의 정량화가 수행된다. 이는 사건수목의 종점으로 향하는 분기점에 대한 고장수목을 형성하고, 이렇게 할 때 이 종점에서의 확률평가는 계통마다 공통으로 적용되는 실패를 모은다. 모든 사고추이 정량화가 완료되면 원자로건물 방출확률이 결정된다. 사건수목에서의 분기점에서 대부분의 초기사건은 다음 사항을 고려한다.

- 초기사건
- 원자로 운전정지
- LRV 개방 여부, 재폐쇄 여부
- Class IV 전원 건전성 여부

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

- 운전원 조치
- 우선적인 열 제거원
- 다른 열 제거원

2) 계통 모델링(System Modelling)

일단 사건수목이 준비되면 다음 조건을 만족할 경우 고장수목 수행을 위한 기본작업이 완료된 것이다.

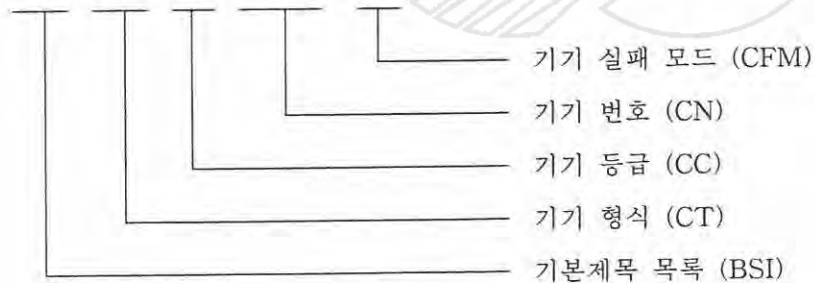
- 신뢰도 분석이 필요한 특정 사고완화계통의 선택
- 사고완화계통의 성공/실패의 정의
- 고장수목을 위한 계통 경계의 정의

고장수목분석(FTA)은 초기사건의 발생확률과 사고완화계통 실패확률을 도출하기 위한 모델링의 주요 도구가 된다.

고장수목분석에 사용되는 방법론은 “Fault Tree Handbook”, NUREG-0492와 AECB Consultative Document C98에 기술된 방법을 인용하며, CAFTA라는 전산코드를 사용하여 고장수목을 개발, 평가 및 정량화한다. 이 코드는 또한 사건 데이터베이스를 관리한다. SAIPILOT 코드를 사용하여 고장수목을 그리며, CSRAM를 사용하여 주요사건의 실패율을 계산한다.

일차사건은 발전소의 기기번호와 일치하며, 아래와 같이 16개 문자로 표시한다.

AAAA - BBB - C - DDDDDD - EE



3) 사고추이 정량화(Accident Sequence Quantification : ASQ)

확률을 결정하기 위해서는 사건수목의 각 종점에 대한 평가가 필요하다. 이 평가에서는 특정 사건수목경로에 있어서 공통 구성기기 실패를 구별하여 종점에서의 최종확률계산에 고려해야 한다.

사건추이 및 사건수목에서는 초기사건 이후의 발전소 반응을 기술한다. 즉, 원자로 트립이 일어나는 방법이나 열 제거원으로서 작동하는 사고완화계통의 종류를 말하는데, 이 과정에서 계통단계(System Level)의 여러 계통에 대한 상호 연관성이 초기사건 및 완화계통에 대한 고장수목을 수

립하기 전에 식별되어야 한다. 각 사고추이과정 단계의 중점 발생확률을 정량화하기 위해서는 초기사건과 완화계통의 고장수목을 결합하여야 한다. 이 단계에서는 부계통단계(Sub-System Level)와 기기단계(Component Level)의 연관성을 식별하고, 사고추이과정 정량화 절차에 따라 각 사건추이의 중점 발생확률을 정량화한다.

월성 발전소 PSA에서 사고추이 정량화(ASQ)를 수행하는 방법은 다음과 같다.

가) SAIC 방법

SAIC(Science Application International Cooperation)이 개발한 PRAQUANT 코드로 사고추이과정 정량화를 수행한다. 고장수목은 ETA-II를 사용하여 수립하고 각 계통의 고장수목은 CAFTA 고장수목 편집기를 사용하여 개발된다. 사건수목에서 발생하는 각 사고의 부가적 논리도 CAFTA 고장수목 편집기를 사용하여 수립한다.

모든 고장수목이 준비되면 고장수목 편집기를 사용하여 하나의 큰 고장수목으로 합쳐진다.

CAFTA 고장수목 편집기로서 각 사고추이의 단절집합 발생기(Cut Set Generator)의 입력화일을 작성한다. 각 사고추이의 단절집합들은 CAFTA를 사용하여 작성한다. 어떤 사고추이에 대해서는 단절집합중에 성공논리가 포함될 수도 있으므로 단절집합에서는 이러한 성공논리를 제거해야 한다. 이 단계는 SAIC 코드인 PRAQUANT를 사용하여 수행한다. 여기에 회복인자(Recovery Factor)를 결합하여 CAFTA 단절집합 편집기로 최종결과를 산출한다.

나) KIRAP 방법

KAERI에서 개발한 Appllo용 프로그램 KIRAP 코드를 사용하여 Ontario Hydro의 고장수목을 SETS형식으로 풀었다. 따라서, KIRAP은 큰 고장수목을 푸는 선택사양으로 사용된다. 여기서, 사건수목을 수립하는 초기과정은 CAFTA를 사용하므로 동일한 결과를 갖는다. 초기과정 이후에는 CAFTA 대신 KIRAP을 사용한다. 이때, KIRAP-CONVERT를 사용하여 사고추이의 계통고장수목 및 보조논리(Supporting Logic)에 대한 고장수목을 KIRAP 형식으로 변형한다. 그리고, 이 고장수목을 결합하고 단절집합 발생기인 KIRAP-CUT을 사용하여 사고추이의 단절집합을 발생시킨다. 단절집합의 조절, 상호 제외적인 단절집합의 제거 및 회수인자 결합들도 KIRAP-CUT을 사용하여 수행한다.

다) NUREG-1150 방법

CAFTA 모델을 사용하여 SETS 형식으로 기본 절차에 결합시킨다. 정상적으로는 가)의 방법을 사용하고 고장수목이 너무 방대하여 CAFTA/PRAQUANT를 사용할 수 없을 때는 나)와 다)의 방법으로 해결한다. 그러나, 대부분 가)의 방법으로 해결 가능할 것으로 예상되며, 가),

나), 다)의 방법은 궁극적으로 같은 결과를 나타낸다.

고장수목, 사건수목 및 신뢰도 자료 등과 같은 입력정보가 주어지면 사건추이의 종점에서의 확률계산은 두 단계로 이루어진다.(사건수목 및 고장수목 수립은 CAFTA를 사용한다.)

- 추이의 최소 단절집합 발생
- 최소단절집합과 신뢰도 자료를 사용하여 종점에서의 확률계산

최소단절집합은 부울리언 대수(Boolean Algebra)를 사용하여 논리적으로 방정식을 풀어서 발생시킨다. 그리고, 이 때는 근사법을 사용하지 않으므로 계산결과는 가), 나), 다)에 대하여 동일하다.

CAFTA와 PRAQUANT는 몇개 호기의 PSA에 사용되었고, SETS는 1970년대에 개발되어 세계적으로 널리 사용되고 있다. KAERI에 의해 개발된 KIRAP은 영광 3, 4호기와 고리 3, 4호기 PSA에 사용되었다. 이 두 코드의 결과는 동일하지만 차이점은 아래와 같다.

- 해결해야 할 고장수목의 크기
- 고장수목을 해결하는 실행시간
- 프로그램 사용방법

6.3.5 월성 2,3,4 PSA 결과

월성 3,4호기 환경영향평가 대상사고에 대한 사고발생확률은 1995년 3월에 완료된 '월성 2/3/4 확률론적 안전성평가 보고서'(참고문헌 48)를 기초로 하여 표 6.3.5-1에 제시한다.

표 6.3.5-1 환경영향평가 대상사고 발생확률

사 고 종 류	발생확률 (events/yr)	비 고
사고 1. 증기발생기 튜브파손사고	1.0E-3	초기사건 8 kg/sec 유량방출 모든 사고완화계통 정상작동
사고 2. 유로차단사고	2.0E-3	모든 사고완화계통 정상작동
사고 3. 압력관 파단사고	8.46E-3	모든 사고완화계통 정상작동
사고 4. 대형냉각재상실사고	2.0E-4	ECC 정상작동 다중 핵연료 채널내 임시출력냉각 불일치 동시발생
사고 5. 자관정체파단사고	2.0E-4	모든 사고완화계통 정상작동
사고 6. 중단이음관 파단사고	1.0E-3	모든 사고완화계통 정상작동
사고 7. 대형냉각재상실사고+격납건물격리동시실패사고	2.8E-8	초기격납건물 격리실패 경우 초기사건은 사고 4와 동일
사고 8. 대형냉각재상실사고+격납건물 기기출입구 밀봉 동시실패사고	1.4E-8	초기 Airlock 실패 경우
사고 9. 자관정체 파단사고+격납건물격리동시실패사고	2.8E-8	초기 격납건물 실패 경우
사고10. 자관정체 파단사고+격납건물입구측 환기댐퍼 동시실패사고	N/A	-
사고11. 자관정체 파단사고+격납건물기기출입구밀봉동시실패사고	1.4E-8	초기 Airlock 실패 경우
사고12. 유로차단사고+격납건물 격리동시실패사고	2.8E-7	초기 격납건물 격리실패 경우
사고13. 유로차단사고+격납건물 출구측환기댐퍼 동시실패사고	N/A	-
사고14. 압력관 파단사고 + 격납건물 격리 동시실패 사고	1.2E-7	초기 격납건물 격리실패 경우
사고15. 압력관 파단사고 + 격납건물 출구측 환기댐퍼 동시실패사고	N/A	-
사고16. 중단이음관 파단사고 + 격납건물격리 동시 실패사고	1.4E-7	초기 격납건물 격리실패 경우
사고17. 중단이음관 파단사고 + 격납건물입구측 환기댐퍼 동시실패사고	N/A	-
사고18. 중단이음관 파단사고 + , 격납건물 기기출입구 밀봉 동시실패사고	7.1E-8	초기 Airlock 실패 경우

6.4 사고시 환경영향평가 분석모델

6.4.1 기상 및 인구분포 모델

1) 기상모델

사고후 2시간동안 제한구역경계(EAB)에서의 개인선량 및 사고 전 기간동안(통상 사고 후 30일까지) 부지주변 80km이내에 거주하는 주민의 집단선량계산에 사용되는 대기확산인자(λ/Q) 값을 구하기위해 월성 원자력발전소 부지 기상자료(1987.3.1부터 1994.2.28까지 지상 10m의 기상관측소에서 15분 단위로 측정, 정리한 자료)를 사용하였다.

대기확산인자는 가상사고시 원자로건물로부터 방출되는 방사능물질의 대기중 농도를 평가하는데 사용되며, 기상조건(대기안정도, 풍속, 풍향 등), 방출기간, 건물와류효과, 지형 그리고 방출지점과 피폭지점간의 상대적 위치에 따라 좌우된다. 월성 2호기 환경영향평가서 수정본에서는 사고시 대기확산인자 계산모델을 캐나다 계산모델에 근거하여 PEAR 코드로 대기확산인자를 계산하였으나, 본 월성 3,4호기 수정본에서는 대기확산인자 평가모델을 미 규제지침서 1.145에 근거하여 AZAP 코드로 계산하며, 모든 사고종류에 대하여 지표면 방출모드를 적용한다.

사고후 2시간 동안 제한구역경계에서의 최대 대기확산인자 값은 환경영향평가 보고서 검토지침서에 제시된 50% 확률도의 값인 $5.805 \times 10^{-5} \text{ s/m}^3$ 를, 사고 전 기간동안 시간대별, 방향별, 거리별 대기확산인자 값은 표.6.4.1-1~5에 주어진 값을 사용한다.

2) 인구분포모델

인구모델은 주민집단선량을 계산하는데 필수적으로서 월성 부지를 중심으로 반경 80km까지의 전 지역을 거리별로는 10개, 거리 및 방향별로는 16개 방향으로 분할하여 총 160개의 구역으로 나누었다.

표 6.4.1-6은 월성 부지주변 반경 80km내의 인구분포로서 1989년 조사통계를 근거로 1998년, 2018년, 2028년 및 2038년도 인구분포를 추정하여, 2038년도 기준으로 10개 거리, 16개 방향별 주민수를 나타낸 자료이다. 인구분포 자료로는 발전소 운전기간중 인구가 최대가 되는 해의 인구분포 자료를 이용하여야 하나 본 보고서에서는 이용 가능한 자료중 인구수가 최대가 되는 2038년의 인구분포 자료를 사용하였다.

6.4.2 선량계산 모델

1) 개인선량

개인전신선량은 개인이 지표면 위에 무한하게 퍼져있는 방사능운의 중심에 있다는 가정 하에 계산된다. 즉, 무한 반구형의 방사능운을 방사선원으로 한다. 또한 방사능운의 농도는 일정하며 선량을 계산하는 위치에서의 방사능운 확산 중심선상의 최대 지표면 농도로 가정한다. 사고후 제한구역경계에서의 감마선에 의한 개인전신선량은 다음 식으로 계산된다.

$$D_{wb} = \chi/Q \sum_i (DCF_{wbi} Q_i)$$

여기서,

D_{wb} : 개인전신선량, Sv (또는 rem)

χ/Q : 주어진 시간동안의 대기확산인자, sec/m^3

DCF_{wbi} : 방사성 핵종 i의 개인전신 선량환산인자,
Sv- $\text{m}^3/\text{Bq-sec}$ (또는 rem- $\text{m}^3/\text{Ci-sec}$)

Q_i : 2시간동안 방사성핵종 i의 방사능 방출량, Bq(또는 Ci)

또한 사고후 제한구역경계에서의 호흡에 의한 갑상선 선량은 다음 식으로 계산되는데 호흡율로는 미 규제지침서 1.4에서 제시한 값을 적용한다.

$$D_{wb} = \chi/Q \sum_i (DCF_{thi} Q_i) B_r$$

여기서,

D_{th} : 개인갑상선선량, Sv(또는 rem)

χ/Q : 주어진 시간동안의 대기확산인자, sec/m^3

DCF_{thi} : 방사성핵종 i의 개인갑상선 선량환산인자, Sv/Bq(또는 rem/Ci)

Q_i : 2시간동안 방사성핵종 i의 방사능 방출량, Bq(또는 Ci)

B_r : 호흡율 ($3.47 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}$)

본 분석에서는 상기 선량계산모델을 프로그래밍한 'POSTDBA' 전산코드(참고문헌 30)를 사용하여 사고후 2시간동안의 개인전신선량과 갑상선선량을 계산한다.

2) 주민집단전신선량

월성 부지주변 반경 80km이내에 거주하는 주민에 대한 집단전신선량을 계산하기위해 위

의 개인선량 평가모델에 사용된 식에 시간대별 대기확산인자 값과 부지주변 인구모델을 조합하여 계산한다. 즉, 가상된 사고 전 기간동안(통상 사고후 30일) 부지주변 80km 이내의 주민이 받는 주민집단선량은 각 구역별 중심에 위치한 개인의 전신선량값을 계산한 후 그 구역에 거주하는 주민수를 곱한값을 전 구역에 대해 합한 값이다. 160개 구역별 거주 주민수는 표 6.4.1-6의 인구분포 자료를 사용하였다. 주민집단선량에 사용된 계산식은 다음과 같다.

$$D_{pop-wb} = \sum_t \sum_i \sum_j (X/Q)_{j,t} \cdot DCF_{wbi} \cdot P_j \cdot Q_{i,t}$$

여기서,

D_{pop-wb} : 주민집단전신 피폭선량, Person-Sv (또는 Person-rem)

t : 시간대

0 ~ 8hr

8hr ~ 1day

1day ~ 1week

1week ~ 1month

i : 고려되는 방사성핵종

j : 1 ~ 160개 구역

$(X/Q)_{j,t}$: 각 시간대별, 구역별 중심점에서의 대기확산인자, sec/m^3

DCF_{wbi} : 방사성핵종 i 의 개인전신 선량환산인자,

$\text{Sv}\cdot\text{m}^3/\text{Bq}\cdot\text{sec}$ (또는 $\text{rem}\cdot\text{m}^3/\text{Ci}\cdot\text{sec}$)

P_j : 각 구역별 주민수, Persons

$Q_{i,t}$: 각 시간대별 방사성핵종 i 의 방사능 방출량, Bq(또는 Ci)

표 6.4.1-1 0~2 시간후 각 구역별 대기 확산인자 (sec/m³)

거리(m) 방향	1.20E+03	2.40E+03	4.00E+03	5.60E+03	7.20E+03	1.20E+04	2.40E+04	4.00E+04	5.60E+04	7.20E+04
N	1.04E-05	2.42E-06	1.04E-06	6.75E-07	4.20E-07	2.16E-07	2.12E-07	2.12E-07	1.84E-07	1.61E-07
NNE	1.76E-05	6.41E-06	3.04E-06	1.88E-06	1.29E-06	6.13E-07	2.98E-07	2.31E-07	2.12E-07	2.12E-07
NE	2.26E-05	7.01E-06	3.12E-06	1.96E-06	1.33E-06	6.36E-07	4.24E-07	3.54E-07	3.14E-07	2.81E-07
ENE	2.61E-05	9.49E-06	4.69E-06	2.85E-06	2.01E-06	9.75E-07	5.29E-07	4.17E-07	3.71E-07	3.50E-07
E	2.28E-05	6.80E-06	2.83E-06	1.64E-06	9.07E-07	6.05E-07	4.24E-07	3.70E-07	3.18E-07	3.18E-07
ESE	1.64E-05	4.83E-06	2.03E-06	1.15E-06	7.21E-07	3.76E-07	2.51E-07	2.17E-07	2.12E-07	2.12E-07
SE	1.66E-05	5.21E-06	2.09E-06	1.23E-06	7.59E-07	3.81E-07	2.34E-07	2.15E-07	2.12E-07	2.12E-07
SSE	1.68E-05	5.93E-06	2.39E-06	1.32E-06	9.02E-07	4.24E-07	2.74E-07	2.19E-07	2.04E-07	1.85E-07
S	1.68E-05	6.14E-06	2.43E-06	1.32E-06	1.03E-06	5.26E-07	2.93E-07	2.23E-07	1.94E-07	1.72E-07
SSW	1.57E-05	5.80E-06	2.42E-06	1.32E-06	1.06E-06	5.31E-07	2.93E-07	2.23E-07	1.93E-07	1.71E-07
SW	1.54E-05	5.25E-06	2.50E-06	1.32E-06	1.08E-06	5.08E-07	2.92E-07	2.22E-07	1.95E-07	1.74E-07
WSW	1.17E-05	3.50E-06	1.44E-06	7.17E-07	4.91E-07	3.14E-07	2.12E-07	2.12E-07	1.96E-07	1.82E-07
W	1.80E-05	6.42E-06	2.72E-06	1.54E-06	9.07E-07	6.01E-07	3.18E-07	3.18E-07	3.08E-07	2.64E-07
WNW	1.82E-05	6.45E-06	2.86E-06	1.52E-06	9.09E-07	5.67E-07	3.18E-07	3.18E-07	3.01E-07	2.64E-07
NW	2.29E-05	6.92E-06	3.20E-06	1.90E-06	1.29E-06	6.13E-07	4.08E-07	3.30E-07	3.01E-07	2.67E-07
NNW	1.66E-05	5.37E-06	2.04E-06	1.17E-06	6.83E-07	3.66E-07	2.27E-07	2.20E-07	2.12E-07	2.12E-07

표 6.4.1-2 0~8 시간후 각 구역별 대기 확산인자 (sec/m³)

거리(m) 방향	1.20E+03	2.40E+03	4.00E+03	5.60E+03	7.20E+03	1.20E+04	2.40E+04	4.00E+04	5.60E+04	7.20E+04
N	6.46E-06	1.59E-06	6.87E-07	4.42E-07	2.80E-07	1.43E-07	1.20E-07	1.08E-07	9.01E-08	7.66E-08
NNE	1.12E-05	4.03E-06	1.91E-06	1.17E-06	8.08E-07	3.86E-07	1.81E-07	1.31E-07	1.14E-07	1.08E-07
NE	1.40E-05	4.40E-06	1.97E-06	1.24E-06	8.41E-07	4.05E-07	2.48E-07	1.91E-07	1.61E-07	1.39E-07
ENE	1.67E-05	6.00E-06	2.94E-06	1.80E-06	1.26E-06	6.17E-07	3.18E-07	2.34E-07	1.98E-07	1.79E-07
E	1.54E-05	4.71E-06	2.00E-06	1.18E-06	6.79E-07	4.33E-07	2.77E-07	2.22E-07	1.83E-07	1.74E-07
ESE	1.25E-05	3.75E-06	1.61E-06	9.28E-07	5.92E-07	3.07E-07	1.88E-07	1.50E-07	1.37E-07	1.30E-07
SE	1.31E-05	4.17E-06	1.72E-06	1.02E-06	6.43E-07	3.23E-07	1.85E-07	1.54E-07	1.42E-07	1.35E-07
SSE	1.27E-05	4.45E-06	1.83E-06	1.03E-06	7.04E-07	3.33E-07	1.98E-07	1.47E-07	1.29E-07	1.13E-07
S	1.13E-05	4.11E-06	1.67E-06	9.23E-07	7.05E-07	3.56E-07	1.85E-07	1.32E-07	1.09E-07	9.36E-08
SSW	1.01E-05	3.69E-06	1.56E-06	8.70E-07	6.79E-07	3.38E-07	1.75E-07	1.24E-07	1.02E-07	8.78E-08
SW	8.89E-06	3.02E-06	1.43E-06	7.75E-07	6.15E-07	2.91E-07	1.57E-07	1.11E-07	9.29E-08	8.02E-08
WSW	6.46E-06	1.95E-06	8.17E-07	4.22E-07	2.90E-07	1.77E-07	1.10E-07	9.85E-08	8.63E-08	7.70E-08
W	8.93E-06	3.16E-06	1.36E-06	7.80E-07	4.74E-07	2.99E-07	1.51E-07	1.36E-07	1.24E-07	1.03E-07
WNW	9.01E-06	3.16E-06	1.41E-06	7.63E-07	4.68E-07	2.80E-07	1.48E-07	1.32E-07	1.18E-07	1.00E-07
NW	1.16E-05	3.57E-06	1.65E-06	9.81E-07	6.67E-07	3.18E-07	1.93E-07	1.45E-07	1.25E-07	1.07E-07
NNW	9.09E-06	2.95E-06	1.15E-06	6.68E-07	4.00E-07	2.11E-07	1.21E-07	1.06E-07	9.57E-08	9.09E-08

표 6.4.1-3 8~24 시간후 각 구역별 대기확산인자 (sec/m³)

거리(m) 방향	1.20E+03	2.40E+03	4.00E+03	5.60E+03	7.20E+03	1.20E+04	2.40E+04	4.00E+04	5.60E+04	7.20E+04
N	5.09E-06	1.29E-06	5.59E-07	3.57E-07	2.28E-07	1.16E-07	9.08E-08	7.74E-08	6.29E-08	5.28E-08
NNE	8.95E-06	3.20E-06	1.51E-06	9.30E-07	6.40E-07	3.07E-07	1.41E-07	9.87E-08	8.32E-08	7.69E-08
NE	1.10E-05	3.48E-06	1.57E-06	9.84E-07	6.70E-07	3.23E-07	1.89E-07	1.40E-07	1.15E-07	9.80E-08
ENE	1.33E-05	4.77E-06	2.33E-06	1.43E-06	1.00E-06	4.91E-07	2.47E-07	1.76E-07	1.45E-07	1.28E-07
E	1.27E-05	3.92E-06	1.69E-06	9.98E-07	5.87E-07	3.66E-07	2.24E-07	1.72E-07	1.39E-07	1.28E-07
ESE	1.09E-05	3.31E-06	1.43E-06	8.32E-07	5.36E-07	2.77E-07	1.63E-07	1.24E-07	1.10E-07	1.02E-07
SE	1.16E-05	3.73E-06	1.56E-06	9.28E-07	5.92E-07	2.97E-07	1.64E-07	1.31E-07	1.17E-07	1.08E-07
SSE	1.10E-05	3.85E-06	1.60E-06	9.07E-07	6.22E-07	2.95E-07	1.63E-07	1.20E-07	1.02E-07	8.81E-08
S	9.33E-06	3.36E-06	1.38E-06	7.70E-07	5.83E-07	2.92E-07	1.48E-07	1.01E-07	8.16E-08	6.89E-08
SSW	8.10E-06	2.94E-06	1.26E-06	7.05E-07	5.44E-07	2.70E-07	1.35E-07	9.29E-08	7.45E-08	6.29E-08
SW	6.75E-06	2.30E-06	1.08E-06	5.93E-07	4.65E-07	2.20E-07	1.15E-07	7.89E-08	6.42E-08	5.45E-08
WSW	4.79E-06	1.46E-06	6.16E-07	3.23E-07	2.22E-07	1.33E-07	7.87E-08	6.71E-08	5.72E-08	5.01E-08
W	6.30E-06	2.22E-06	9.64E-07	5.56E-07	3.43E-07	2.11E-07	1.04E-07	8.88E-08	7.82E-08	6.45E-08
WNW	6.34E-06	2.21E-06	9.88E-07	5.41E-07	3.36E-07	1.97E-07	1.01E-07	8.54E-08	7.36E-08	6.17E-08
NW	8.24E-06	2.56E-06	1.18E-06	7.05E-07	4.80E-07	2.29E-07	1.33E-07	9.61E-08	8.07E-08	6.79E-08
NNW	6.73E-06	2.18E-06	8.68E-07	5.05E-07	3.06E-07	1.60E-07	8.84E-08	7.33E-08	6.43E-08	5.95E-08

표 6.4.1-4 1~4일후 각 구역별 대기확산인자 (sec/m³)

거리(m) 방향	1.20E+03	2.40E+03	4.00E+03	5.60E+03	7.20E+03	1.20E+04	2.40E+04	4.00E+04	5.60E+04	7.20E+04
N	3.03E-06	8.15E-07	3.58E-07	2.26E-07	1.47E-07	7.40E-08	4.92E-08	3.74E-08	2.89E-08	2.35E-08
NNE	5.48E-06	1.94E-06	9.12E-07	5.59E-07	3.86E-07	1.86E-07	8.22E-08	5.34E-08	4.23E-08	3.69E-08
NE	6.51E-06	2.10E-06	9.56E-07	5.97E-07	4.09E-07	1.98E-07	1.06E-07	7.18E-08	5.59E-08	4.58E-08
ENE	8.17E-06	2.89E-06	1.41E-06	8.65E-07	6.08E-07	2.99E-07	1.42E-07	9.39E-08	7.32E-08	6.19E-08
E	8.33E-06	2.63E-06	1.16E-06	6.97E-07	4.29E-07	2.54E-07	1.41E-07	9.90E-08	7.59E-08	6.65E-08
ESE	8.06E-06	2.52E-06	1.11E-06	6.58E-07	4.33E-07	2.22E-07	1.19E-07	8.29E-08	6.84E-08	5.99E-08
SE	9.02E-06	2.93E-06	1.26E-06	7.57E-07	4.94E-07	2.47E-07	1.26E-07	9.13E-08	7.57E-08	6.62E-08
SSE	8.16E-06	2.82E-06	1.20E-06	6.91E-07	4.75E-07	2.26E-07	1.18E-07	7.80E-08	6.23E-08	5.15E-08
S	6.11E-06	2.17E-06	9.16E-07	5.21E-07	3.85E-07	1.91E-07	8.98E-08	5.72E-08	4.37E-08	3.55E-08
SSW	5.02E-06	1.80E-06	7.83E-07	4.47E-07	3.36E-07	1.65E-07	7.75E-08	4.93E-08	3.75E-08	3.04E-08
SW	3.71E-06	1.26E-06	5.92E-07	3.32E-07	2.53E-07	1.20E-07	5.82E-08	3.73E-08	2.88E-08	2.35E-08
WSW	2.51E-06	7.77E-07	3.34E-07	1.82E-07	1.25E-07	7.15E-08	3.84E-08	2.92E-08	2.34E-08	1.97E-08
W	2.95E-06	1.03E-06	4.55E-07	2.67E-07	1.69E-07	9.93E-08	4.65E-08	3.53E-08	2.90E-08	2.33E-08
WNW	2.95E-06	1.02E-06	4.58E-07	2.57E-07	1.64E-07	9.15E-08	4.37E-08	3.30E-08	2.66E-08	2.16E-08
NW	3.93E-06	1.25E-06	5.75E-07	3.44E-07	2.35E-07	1.13E-07	5.92E-08	3.94E-08	3.11E-08	2.53E-08
NNW	3.50E-06	1.14E-06	4.68E-07	2.74E-07	1.72E-07	8.79E-08	4.46E-08	3.31E-08	2.71E-08	2.37E-08

표 6.4.1-5 4~30일후 각 구역별 대기확산인자 (sec/m³)

거리(m) 방향	1.20E+03	2.40E+03	4.00E+03	5.60E+03	7.20E+03	1.20E+04	2.40E+04	4.00E+04	5.60E+04	7.20E+04
N	1.44E-06	4.22E-07	1.89E-07	1.17E-07	7.80E-08	3.88E-08	2.04E-08	1.32E-08	9.47E-09	7.36E-09
NNE	2.71E-06	9.41E-07	4.41E-07	2.70E-07	1.87E-07	9.05E-08	3.78E-08	2.21E-08	1.60E-08	1.29E-08
NE	3.08E-06	1.02E-06	4.69E-07	2.91E-07	2.01E-07	9.83E-08	4.57E-08	2.75E-08	1.98E-08	1.54E-08
ENE	4.06E-06	1.42E-06	6.81E-07	4.21E-07	2.96E-07	1.47E-07	6.44E-08	3.82E-08	2.75E-08	2.18E-08
E	4.54E-06	1.49E-06	6.81E-07	4.17E-07	2.73E-07	1.51E-07	7.25E-08	4.47E-08	3.20E-08	2.59E-08
ESE	5.25E-06	1.70E-06	7.76E-07	4.69E-07	3.18E-07	1.61E-07	7.57E-08	4.65E-08	3.46E-08	2.80E-08
SE	6.25E-06	2.07E-06	9.28E-07	5.66E-07	3.82E-07	1.91E-07	8.72E-08	5.45E-08	4.07E-08	3.28E-08
SSE	5.29E-06	1.80E-06	7.94E-07	4.68E-07	3.23E-07	1.55E-07	7.06E-08	4.19E-08	3.05E-08	2.38E-08
S	3.32E-06	1.16E-06	5.08E-07	2.97E-07	2.13E-07	1.04E-07	4.40E-08	2.52E-08	1.78E-08	1.37E-08
SSW	2.52E-06	8.87E-07	3.97E-07	2.33E-07	1.68E-07	8.17E-08	3.47E-08	1.99E-08	1.40E-08	1.08E-08
SW	1.57E-06	5.34E-07	2.49E-07	1.45E-07	1.05E-07	5.05E-08	2.20E-08	1.27E-08	9.09E-09	7.04E-09
WSW	9.87E-07	3.14E-07	1.39E-07	7.96E-08	5.51E-08	2.93E-08	1.37E-08	8.85E-09	6.50E-09	5.14E-09
W	9.95E-07	3.40E-07	1.55E-07	9.28E-08	6.16E-08	3.35E-08	1.46E-08	9.39E-09	6.98E-09	5.37E-09
WNW	9.88E-07	3.35E-07	1.52E-07	8.82E-08	5.82E-08	3.05E-08	1.32E-08	8.41E-09	6.16E-09	4.77E-09
NW	1.36E-06	4.43E-07	2.04E-07	1.23E-07	8.44E-08	4.06E-08	1.85E-08	1.10E-08	7.91E-09	6.11E-09
NNW	1.37E-06	4.48E-07	1.93E-07	1.14E-07	7.47E-08	3.73E-08	1.67E-08	1.06E-08	7.84E-09	6.33E-09

표 6.4.1-6 2038년도 월성원전 주변 80km내의 방향 및 거리별 인구분포

거리(m) 방향	1.200E+03	2.400E+03	4.000E+03	5.600E+03	7.200E+03	1.200E+04	2.400E+04	4.000E+04	5.600E+04	7.200E+04
N	0.000E+00	3.400E+01	3.400E+01	0.000E+00	2.500E+01	9.420E+02	2.710E+04	1.780E+04	3.820E+03	1.050E+04
NNE	3.400E+01	3.060E+02	1.490E+02	2.730E+02	2.480E+02	3.580E+02	6.020E+03	5.150E+03	0.000E+00	0.000E+00
NE	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
ENE	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
E	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
ESE	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
SE	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
SSE	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
S	3.190E+02	2.130E+02	3.500E+01	0.000E+00	0.000E+00	1.750E+03	8.130E+04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
SSW	1.060E+02	6.380E+02	5.680E+02	3.550E+02	0.000E+00	3.500E+03	4.260E+05	3.370E+04	2.990E+05	2.000E+06
SW	0.000E+00	7.100E+01	7.100E+01	1.770E+02	3.500E+01	2.800E+04	5.260E+05	5.690E+04	4.740E+05	1.530E+06
WSW	0.000E+00	1.060E+02	0.000E+00	3.500E+01	1.060E+02	2.760E+03	1.380E+04	2.870E+04	5.490E+04	4.840E+04
W	1.060E+02	0.000E+00	0.000E+00	1.060E+02	1.060E+02	3.490E+03	7.920E+03	3.620E+03	3.270E+04	5.460E+05
WNW	7.100E+01	0.000E+00	0.000E+00	7.100E+01	1.770E+02	4.980E+02	1.470E+05	1.970E+04	1.070E+05	9.960E+05
NW	0.000E+00	0.000E+00	4.260E+02	0.000E+00	2.720E+02	5.450E+02	2.220E+04	1.820E+04	1.390E+04	8.670E+03
NNW	0.000E+00	0.000E+00	3.060E+02	1.360E+02	1.360E+02	1.600E+02	6.930E+03	4.490E+05	1.210E+04	6.170E+03

6.5 사고시 방사능 영향 평가

6.5.1 개 요

본 수정본에서 사고시 방사능영향을 재평가하는 사고의 종류, 사고발생확률 및 선량 계산모델은 앞 장에서 제시되었으며, 월성 2,3,4호기 최종안전성분석보고서의 방사원형을 참조하여 주어진 대상사고를 재평가한다.

한편, 본 월성 3,4호기 환경영향평가 수정본에서는 삼중수소 방출에 의한 선량도 고려하여, 표 6.5.2-39에 제시하였다.

6.5.2 사고시 방사능영향 평가

1) 사고 1 [증기발생기 튜브 파손사고]

가) 사고개요

CANDU형 원자로에는 4대의 수직, U자형 증기발생기가 위치하게 되는데 튜브(Tube)측에는 열수송계통의 중수가, 셸(Shell)측에는 급수 및 증기가 흐르게 된다. 각각의 증기발생기에서 생성된 증기는 26 인치 주증기 배관을 통해 터빈 건물내 주증기 모관으로 전달된다. 동 사고는 한대의 증기발생기내 한개 튜브의 완전파단(Guillotine Break)을 가정한 사고로 파단된 튜브를 통해 2차측 복수와 혼합되고, 고온 고압의 수증기는 터빈 응축기(Turbine Condensor)에 도달하게 되며, 이중 비응축성 방사성 물질은 공기추출기를 통해 환경으로 직접 방출케 된다. 운전원은 중수저장탱크(D₂O Storage Tank)의 수위감소신호 등으로 사고를 인식하게 되고 원자로 운전정지와 함께 2차측으로의 과도 누설을 줄이기 위해 1차 계통 감압운전을 하게 된다. 증기발생기 튜브파단사고는 다른 유형에서 분석된 사고들에 비해 비교적 적은 양의 방사성물질을 방출하거나, 이것이 다른 감쇠효과를 갖지 않고 직접 대기로 방출됨으로써 비교적 큰 방사능 피폭을 초래한다.

나) 계산가정

① 한대의 증기발생기내 1개 튜브의 완전파단으로 1차 열수송계통의 냉각재는 초기누설을 8 kg/sec로 2차측으로 누설된다.

② 2차측으로 누설된 방사성 핵종중 증기발생기에서의 요오드 감쇠인자는 0.01 이다.

③ 사고전 원자로 냉각재내 방사선원형으로는 요오드는 계통내 운전제한치 500 MBq/kg을 사용하고, 삼중수소와 불활성기체는 운전경험치를 사용하는데 4.8×10^{-4} BqJ/kg 이다. 이를 각 핵종별 노심분포분율을 적용하여 계산한 값은 표 6.5.2-1에 주어진다.

표 6.5.2-1 열수송계통내 사고시 평형 방사선원

핵 종	계 통 내 비 방 사 능	
	(Ci/kg)	(MBq/kg)
I-131	1.35E-02	5.00E+02
I-132	2.09E-02	7.73E+02
I-133	2.95E-02	1.09E+03
I-134	3.19E-02	1.18E+03
I-135	2.70E-02	1.00E+03
KR-83M	3.55E-03	1.31E+02
KR-85M	7.11E-03	2.63E+02
KR-85	7.72E-05	2.86E+00
KR-87	1.17E-02	4.34E+02
KR-88	1.78E-02	6.57E+02
KR-89	6.18E-02	2.29E+01
XE-131M	2.32E-04	8.57E+00
XE-133M	9.27E-03	3.43E+02
XE-133	6.27E-02	2.32E+03
XE-135M	1.10E-02	4.06E+02
XE-135	4.94E-03	1.83E+02
XE-137	2.94E-03	1.09E+02
XE-138	2.26E-02	8.34E+02

④ 사고전 2차 계통내 요오드핵종의 평형 방사능 농도는 1차측에서 2차측으로의 20 kg/hr의 누설율과 가정 ③의 선원향으로 계산한다.

⑤ 초기에 비상노심냉각이 작동하며, 이후 열수송펌프와 CSDV와 ASDV를 사용하여 열수송계통을 냉각하며, 충분한 냉각이 이루어져 열수송계통의 온도가 낮아지면 CSDV와 ASDV 및 운전정지냉각계통 밸브들을 폐쇄한다. 운전정지냉각계통이 작동하는 70분에 누설이 종료된다고 가정한다.

⑥ 사고이후 각 단계별 중수방출량은 표 6.5.2-2에 주어진다.

표 6.5.2-2 증기발생기튜브 파단사고시 시간별 증수방출량

시간 (분)	사 고 전 개 상 황	방출율(kg/s)	총 량 (kg)
0	- 파단 발생	8	0
3.5	- 증수저장탱크 저수위 경보	8	1,680
10	- 경수내 증수 고농도 경보	8	4,800
25	- 원자로 트립 (수동작동)	8	12,000
	- 열수송펌프와 CSDV/ASDV를 사용한 열수송계통냉각		
65	- CSDV/ASDV 폐쇄	8	31,200
	- 운전정지 냉각계통 작동		
70	- 증수방출 종료	0	32,400

다) 계산결과

상기 가정을 이용하여 계산한 원자로건물 외부로의 방사능 방출량은 6.5.2-3에 주어진 다. POSTDBA 입력자료로 사용하는 2시간 동안 격납건물 대기로의 방출량은 I-131은 4시간까지 방출량 0.426 TBq, 불활성기체는 65분까지 15.6 BqJ을 사용하였다. 사고전기간동안 방출량도 이와 동일한 값을 사용한다. 이를 핵종별 값으로 환산한 값이 표 6.5.2-4에 제시된다. 이 방사선원향을 통해 제한구역경계 및 저인구지역에서의 개인 및 주민집단선량 계산결과는 표 6.5.2-4에 주어 진다.

표 6.5.2-3 방사성 물질의 방출량(증기 발생기튜브 파손사고시)

방사성 핵종	만성 누설을 통한 대기 방출		ASDV를 통한 대기 방출	
	출시간	방출량	방출시간	방출량
I-131	0 ~ 1 hr	0.1 TBq	25 ~ 65 min	0.216 TBq
	1 ~ 4 hr	0.11 TBq	-	-
불활성 기체	0 ~ 65 min	15.6 BqJ	-	-

표 6.5.2-4 증기발생기튜브 파손사고시 격납건물 외부로의 방출량

(단위 : TBg)

핵	종	방	사	능
	I-131			4.26E-01
	I-132			6.58E-01
	I-133			9.29E-01
	I-134			1.01E+00
	I-135			8.52E-01
	KR-83M			4.27E+00
	KR-85			9.29E-02
	KR-85M			8.54E+00
	KR-87			1.41E+01
	KR-88			2.14E+01
	KR-89			7.43E-01
	XE-131M			2.79E-01
	XE-133M			1.11E+01
	XE-133			7.54E+01
	XE-135M			1.32E+01
	XE-135			5.94E+00
	XE-137			3.53E+00
	XE-138			2.71E+01

2) 사고 2 [유로차단사고]

가) 사고개요

핵연료 채널내 불순물 또는 이물질의 누적으로 냉각재에 의한 열전달은 감소하게 된다. 채널유로가 90% 이상 차단된 경우 채널내 핵연료는 용융되며 압력관 일정부분은 심하게 과열되어 파단된다. 이로 인해 외측의 칼란드리아 튜브도 손상되어 채널내 냉각재 및 용융된 핵연료 다발은 파단부위를 통해 감속재로 흘러 들어간다. 칼란드리아내 감속재로 유입된 방사성물질 일정량은 감속재에 의해 응축되며 나머지는 감속재 파열판을 통해 증기발생기실로 방출되며 주위 대기와 혼합, 희석된다. 희석된 부유방사성물질의 농도는 원자로건물 격리를 위한 고준위농도에는 미치지 않으므로 운전원의 감지로 원자로건물이 격리되기전까지는 중수증기 회수계통의 배기관(Purge Line)을 통해 대기로 방출된다. 동 사고는 압력관 파단사고의 경우와 사고의 전개 및 결과가 유사하다. 단, 압력관 파단사고는 감속재로 유입되는 방사성물질의 양이 채널내 요오드중 자유재고량과 불활성기체 전량이었으나, 동 사고는 채널내 요오드 및 불활성기체 전량이 감속재로 유입됨을 가정하므로 사고결과가 다소 크게 된다.

나) 계산가정

- ① 파단 부위는 7.3MW 출력을 갖는 O6_mod 채널 입구측 끝부분에서 일어난다고 가정한다.
- ② 파단부위를 통하여 방출된 방사성 핵종은 보일러 실(Boiler Room)에서 균일하게 확산된다고 가정한다.
- ③ 103% 총 출력으로 가동중인 채널내의 갭 재고량과 일차계통내 방사성 핵종이 사고 순간에 감속재로 방출되면서 격납건물로 방출된다고 가정한다(이때, 감속재 내에서 요오드는 제거인자(Attenuation Factor) 20의 값으로 감소한다).
- ④ 감속재로부터 방출된 요오드 중 0.1%가 방출 즉시 유기성 요오드로 전환되어 격납건물 내에 존재한다고 가정한다.
- ⑤ 불활성 기체와 삼중수소는 감속재내와 격납건물 내에서 방사성 붕괴 및 누설을 통한 제거외에 다른 제거원은 없다고 가정한다.
- ⑥ 사고시 격납건물내의 방사성 핵종은 0.5%vol/day의 격납건물 누설율로 외부로 방출된다.

다) 계산결과

열수력학적 거동분석을 통한 결과는 사고 0초에 파단으로 방출이 시작되고, 방사성 핵종들이 칼란드리아 안전배관(Calandria Relief Ducts)를 거쳐 증기발생기실로 방출된다. 사고 581초에 고방사능 신호에 의해 격납건물이 격리되며, 사고 1,609초에 격납건물 침두압력(8.2 0kPa(g))이 발생한다. 16841초에는 계기공급용 공기 주입이 종료되고, 499,800초에 증기발생기실내의 압력이 대기압에 이른다.

방사성물질의 격납건물내 거동분석 결과는 다음과 같다. 감속재로의 I-131 방출량이 7,683TBq이고, 감속재내에서의 감쇄인자 20을 고려하면 보일러실로 방출되는 양은 384.2TBq이다. 불활성 기체는 감쇄효과 없이 격납건물로 방출되어 I-131과 함께 누설에 의해 외부로 방출된다. 동 사고시 2시간동안 격납건물 외부로 방출되는 방사능의 양은 I-131이 1.21×10^{-3} TBq이고, Xe-133이 2.83 TBq인데(표 6.5.2-5), 이 값을 제한구역경계(EAB)에서의 개인선량을 계산하는데 사용한다. 한편, 저인구지역(LPZ)에서의 주민집단선량을 계산하기 위한 사고전기간동안 방사선원으로는 I-131과 Xe-133이 각각 0.037 TBq, 81.8 TBq인데, 이는 5.8일 동안의 방출량이나 이후로 증가되는 양이 거의 없으므로 이 값이 전기간 방출량이 된다. 핵종별 방출량은 표 6.5.2-6에 주어져 있다. 이 방사선원항을 통해 제한구역경계 및 저인구지역에서의 개인 및 주민집단선량 계산결과는 표 6.5.2-40에 주어진다.

표 6.5.2-5 방사성 물질의 방출량(유로차단사고시)

격납건물 누설에 의한 방출	2시간 동안의 방출량				사고 전기간동안 방출량			
	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물
	1.21(-3)	3.07(-6)	2.83(+0)	5.28(-3)	3.68(-2)	1.17(-4)	8.18(+1)	2.00(-1)

주: 불활성기체 혼합물의 단위는 BqJ이며, 나머지는 TBq임.

표 6.5.2-6 유로차단사고시 격납건물 외부로의 방출량

(단위: TBq)

핵 종	핵 연 료 방 출	HTS 방 출	계
I-131	1.21E-03	3.07E-06	1.21E-03
I-132	1.86E-03	4.74E-06	1.86E-03
I-133	2.63E-03	6.70E-06	2.64E-03
I-134	2.85E-03	7.26E-06	2.86E-03
I-135	2.41E-03	6.14E-06	2.42E-03
KR-83M	1.60E-01	1.45E-03	1.61E-01
KR-85	3.49E-03	3.14E-05	3.52E-03
KR-85M	3.21E-01	2.89E-03	3.24E-01
KR-87	5.30E-01	4.78E-03	5.35E-01
KR-88	8.02E-01	7.23E-03	8.09E-01
KR-89	2.79E-02	2.51E-04	2.82E-02
XE-131M	1.05E-02	9.43E-05	1.06E-02
XE-133M	4.18E-01	3.77E-03	4.22E-01
XE-133	2.83E+00	2.55E-02	2.86E+00
XE-135M	4.95E-01	4.46E-03	4.99E-01
XE-135	2.23E-01	2.01E-03	2.25E-01
XE-137	1.32E-01	1.19E-03	1.33E-01
XE-138	1.02E+00	9.18E-03	1.03E+00

3) 사고 3 [압력관 파단사고]

가) 사고개요

동 사고는 자발적으로 압력관의 파단이 발생하여 핵분열 생성물이 감속재로 유입되어 파단부위를 통해 격납건물로 방출되거나, 기체환형계통을 통하여 방출되어 격납건물 누설을 통해 환경으로 방출되는 사고이다.

압력관 파단이 발생한 후의 노심내의 거동은 크게 두가지로 분류되는데, 첫째는 압력관이 파단되어도 칼란드리아관은 건전성을 유지하는 경우이며, 두번째는 압력관 파단으로 인해 칼란드리아관이 손상되는 경우이다. 첫째의 경우, 기체환형 공간내의 급작스런 압력상승이 일어나 핵연료 채

널 bellows가 터지게 되어 열수송계통내 냉각재가 핵연료 장전실로 방출된다. 이 경우 냉각재 방출은 소형 냉각재 상실사고시와 유사한 결과를 초래한다.

칼란드리아관이 파손될 경우, 일차계통 냉각재는 칼란드리아로 방출된다. 이 경우 칼란드리아의 압력상승이 일어나 노심내 구조물의 손상도 일어나게 된다.

동 사고는 압력관 파단시 칼란드리아 관이 동시에 파손되어 대중에 대한 선량이 더 심각한 경우에 대하여 평가한다. 사고후 격납건물로 방출되는 방사성 핵종은 사고초기에 격납건물내 보일러 및 핵연료 장전실(Boiler Room and Fuelling Machine Room)로 분출되어 격납건물 누설을 통해 대기로 방출된다.

나) 계산가정

- ① 파단 부위는 7.3 MW 출력을 갖는 O6_mod 채널 입구측 끝부분에서 일어난다고 가정한다.
- ② 파단부위를 통하여 방출된 방사성 핵종은 보일러 실(Boiler Room)에서 균일하게 확산된다고 가정한다.
- ③ 103% 총 출력으로 가동중인 채널내의 갭 재고량과 일차계통내 방사성 핵종이 사고 순간에 감속재로 방출되면서 격납건물로 방출된다고 가정한다(이때, 감속재 내에서 요오드는 제거인자(Attenuation Factor) 20의 값으로 감소한다).
- ④ 감속재로부터 방출된 요오드 중 0.1%가 방출 즉시 유기성 요오드로 전환되어 격납건물 내에 존재한다고 가정한다.
- ⑤ 불활성 기체와 삼중수소는 감속재내와 격납건물 내에서 방사성 붕괴 및 누설을 통한 제거에 다른 제거원은 없다고 가정한다.
- ⑥ 사고시 격납건물내의 방사성 핵종은 0.5% vol/day의 격납건물 누설율로 외부로 방출된다.

다) 계산결과

열수력학적 거동분석의 결과는 다음과 같다. 사고 0초에 파단발생하며, 이와 동시에 방사성핵종이 칼란드리아 안전배관(Calandria Relief Ducts)를 통하여 증기발생기실로 분출된다. 74초에는 원자로건물 고압신호에 의해 격납건물이 격리되고, 다우징은 174초에 가동된다.

175초에 격납건물 침투압력(9.7 kPa(g))이 발생하며, 346초에 다우징수가 고갈된다. 16841초에 계기공급공기 주입이 종료되며, 4.92×10^5 초에 격납건물이 대기압에 이르게 되어 방출이 종료된다.

동 사고로 인해 감속재로 방출되는 핵연료 갭의 I-131의 양은 1,775 TBq이며, 이 양은 20의 감속재내의 감쇄인자의 효과로 감소되어 격납건물 내로는 88.8 TBq가 방출되어 이중 1,775 TBq의 양이 유기성 요오드로 전환된다. EAB에서 2시간동안 개인선량을 계산하는데 필요한 방사선원은 I-131이 1.31×10^{-4} TBq이고, Xe-133이 0.80 TBq이며, LPZ에서 주민집단선량 계산에 사용되는 사고 전기간동안 방사선원은 5.7일 동안 방출되는 양으로 I-131이 9.85×10^{-3} TBq, Xe-133은 격

납건물내 전량인 22.5 TBq이다(표 6.5.2-7). 이 값을 각 핵종별로 환산한 값이 표 6.5.2-8에 제시되어 있으며, 이로 인한 2시간 동안 제한구역경계에서의 개인선량과 저인구지역에서의 집단전신선량 평가의 결과는 표 6.5.2-40에 주어져 있다.

표 6.5.2-7 방사성 물질의 배출량(압력관 파단사고시)

격납건물 누설에 의한 방출	2시간 동안의 방출량				사고 전기간동안 방출량			
	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물
	1.31(-4)	2.02(-6)	8.00(-1)	6.52(-3)	9.85(-3)	7.47(-5)	2.25(+1)	2.35(-1)

주: 불활성기체 혼합물의 단위는 BqJ이며, 나머지는 TBq임.

표 6.5.2-8 압력관 파단사고시 격납건물 외부로의 방출량

(단위 : TBg)

핵 종	핵연료 방출	HTS 방출	계
I-131	1.31E-04	2.02E-06	1.33E-04
I-132	2.02E-04	3.12E-06	2.05E-04
I-133	2.86E-04	4.41E-06	2.90E-04
I-134	3.09E-04	4.77E-06	3.14E-04
I-135	2.62E-04	4.04E-06	2.66E-04
KR-83M	4.53E-02	1.79E-03	4.71E-02
KR-85	9.85E-04	3.88E-05	1.02E-03
KR-85M	9.06E-02	3.57E-03	9.42E-02
KR-87	1.50E-01	5.90E-03	1.56E-01
KR-88	2.27E-01	8.93E-03	2.36E-01
KR-89	7.88E-03	3.11E-04	8.19E-03
XE-131M	2.96E-03	1.16E-04	3.08E-03
XE-133M	1.18E-01	4.66E-03	1.23E-01
XE-133	8.00E-01	3.15E-02	8.32E-01
XE-135M	1.40E-01	5.51E-03	1.46E-01
XE-135	6.31E-02	2.48E-03	6.56E-02
XE-137	3.74E-02	1.48E-03	3.89E-02
XE-138	2.88E-01	1.13E-02	2.99E-01

4) 사고 4 [대형냉각재 상실사고]

가) 사고개요

대형냉각재 상실사고는 열수송계통 회로내 모관(Header)이나 배관등이 파단되고 이 파단부로부터 약 850 kg/sec(원자로 입구모관의 길로틴 파단시 파단 양면적에 대한 5% 면적비의

유량임) 이상의 비율로 고에너지-고방사능 냉각재가 누설되는 사고이다. 동 사고로 인해 다량의 중수냉각재가 누설되면 열수송계통내 압력은 급속히 강하되며 누설된 냉각재의 기화로 격납용기 압력은 상승하게 되는데 원자로는 원자로 정지신호에 의해 사고 발생 수초 이내에 정지된다. 열수송계통내 압력은 사고발생 수초 경과후 5.5 MPa(g)로 떨어지는데 이 압력상태가 되면 두 회로가 격리되어 사고결과는 한 회로에 국한되며, LOCA 신호에 의해 비상노심냉각 주입운전이 자동으로 개시된다. 원자로건물은 건물내 압력이 3.5 kPa(g)로 상승하면 자동 격리되며, 국부공기냉각기가 가동되어 가압된 건물내 대기압력을 낮추게 된다. 원자로건물내 다우징계통은 건물내 압력이 14 kPa(g)에서 자동으로 작동되어 건물내 압력이 7 kPa(g)에 이를 때까지 지속되며 건물내 압력상태에 따라 운전원의 기동으로 간헐적으로 작동되어진다. 한편, CANDU형 원자로는 감속재와 냉각재가 분리되어 있어 냉각재의 손실이 있어도 약 60°C로 유지되는 감속재에 의해 다량의 열제거가 되어 사고의 결과가 가압정수로에 비해 미약하다.

나) 계산가정

- ① 동 사고는 원자로 출구모관(Reactor Outlet Header)의 100% 파단을 가정한다.
- ② 손상된 핵연료로부터 방출된 불활성 기체는 격납건물에서 균일하게 혼합된다고 가정한다.
- ③ 열수송 계통내에서 방사성핵종의 침적(Plateout)은 고려하지 않는다.
- ④ 파단방출을 통해 격납건물 내로 방출된 방사성 요소드중 유기형 요소드는 0.1%가 방출 즉시 형성된다고 가정한다.
- ⑤ 원자로건물의 부가적인 열원인 펌프, 끝 차폐체, 일차계통배관등과 기기공급공기와 같은 질량을 고려하여 격납건물내 압력, 온도를 모델링하며, 열 제거원으로는 16개 국부공기 냉각기 중 12개만 작동하고, class IV 전원에 의해 구동하는 19개 공기냉각기는 작동하지 않는다고 가정한다.
- ⑥ 격납건물 내로 방출된 방사선원은 0.5% vol/day의 비율로 격납건물 외부로 방출된다.
- ⑦ 격납건물의 자유체적은 48,500 m³이다.

다) 계산결과

위의 가정사항을 사용하여 격납건물내의 압력파도현상 및 격납건물로부터의 방사능 방출량은 PRESCON2 전산코드를 이용하여 계산한다. 2시간동안 격납건물 외부로의 방사능 방출량은 I-131이 1.31×10^{-3} TBq이고, Xe-133이 2.97 TBq이다. 여기에 열수송계통 냉각재로부터 방출되는 혼합물량을 가산한다. 또한, 사고 전기간동안 누설로 인한 방출량은 I-131이 4.13×10^{-2} TBq, Xe-133은 67.7 TBq이다(표 6.5.2-9). 여기에 열수송계통 냉각재로부터의 방출량을 가산한 핵종별 방사선원이 표 6.5.2-10에 주어져 있다. 또한, 이 방출량에 의한 제한구역경계에서의 개인선량 및 저인구지역에서의 집단전선선량은 표 6.5.2-40에 제시되어 있다.

표 6.5.2-9 방사성 물질의 방출량(대형냉각재 상실사고시)

격납건물 누설에 의한 방출	2시간 동안의 방출량				사고 전기간동안 방출량			
	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물
	1.31(-3)	1.00(-5)	2.97(0)	1.31(-2)	4.13(-2)	2.81(-4)	6.77(+1)	3.15(-1)

주: 불활성기체 혼합물의 단위는 BqJ이며, 나머지는 TBq임.

표 6.5.2-10 대형냉각재 상실사고시 격납건물 외부로의 방출량

(단위: TBq)

핵 종	핵연료방출	HTS 방출	계
I-131	1.31E-03	1.00E-05	1.32E-03
I-132	2.02E-03	1.55E-05	2.04E-03
I-133	2.85E-03	2.18E-05	2.87E-03
I-134	3.09E-03	2.36E-05	3.11E-03
I-135	2.61E-03	2.00E-05	2.63E-03
KR-83M	1.68E-01	3.59E-03	1.72E-01
KR-85	3.66E-03	7.80E-05	3.74E-03
KR-85M	3.36E-01	7.18E-03	3.43E-01
KR-87	5.56E-01	1.19E-02	5.68E-01
KR-88	8.41E-01	1.79E-02	8.59E-01
KR-89	2.93E-02	6.24E-04	2.99E-02
XE-131M	1.10E-02	2.34E-04	1.12E-02
XE-133M	4.39E-01	9.36E-03	4.48E-01
XE-133	2.97E+00	6.33E-02	3.03E+00
XE-135M	5.19E-01	1.11E-02	5.30E-01
XE-135	2.34E-01	4.99E-03	2.39E-01
XE-137	1.39E-01	2.96E-03	1.42E-01
XE-138	1.07E+00	2.28E-02	1.09E+00

5) 사고 5 [자관정체 파단사고]

가) 사고개요

원자로 유입 자관의 파단시에는 채널의 Downstream에 정체가 일어나는 경우와 압력관의 손상이 일어나지 않으면서 채널 Downstream에 역류가 발생하는 경우가 발생한다.

상기사고는 원자로내 Vault내의 채널로 유입되는 자관 부위의 파단으로 인해 채널 양단 입구측과 출구측 사이의 압력차가 없어지게 되어 채널 내의 유체가 정체되는 사고이다. 이 상태가 되면

핵연료와 압력관이 급격히 가열되어 압력관과 칼란드리아 관에 수십초내에 파단이 발생한다.

이는 파단 부위에서 큰 압력강하가 생겨서 냉각재가 1차계통으로부터 많은 양이 방출된다. 이때 파단된 압력관 칼란드리아 관을 통해 핵연료내의 방사성 요오드와 불활성 기체가 감속재로 유입되며, 일부는 환형공간을 통해 방출된다. 원자로 유입자관의 파단부위를 통해 방출되는 방사성 물질을 함유한 냉각재는 에어로졸 형태로 격납건물 대기에 존재하며, 격납건물 누설을 통해 환경으로 누출된다.

나) 계산가정

① 정체가 일어나는 채널은 O6_mod 채널로서 채널 출력은 7.3 MW이며, 채널내 최대 출력 다발을 935kW를 갖는다.

② 초기 노심 출력은 2,115.5 MW(th)로서 최대출력의 103%이다.

③ 비 손상 채널은 소형 냉각재 상실사고와 거동이 유사하므로 핵연료의 손상이 없어 핵분열 생성물의 방출도 없다.

④ 사고 초기에 핵연료 sheath가 모두 손상되고, 전체 갭 재고량이 즉시 방출된다.

⑤ 핵분열 기체의 sheath 손상지점 까지의 확산시간 및 지연인자는 고려하지 않는다.

⑥ 감속재로부터 방출된 요오드 중 0.1%가 방출 즉시 유기성 요오드로 전환되어 격납건물 내에 존재한다고 가정한다.

⑦ 감속재내에서 요오드 제거인자는 20으로 가정한다.

⑧ 사고시 격납건물내의 방사성 핵종은 0.5% vol/day의 격납건물 누설율로 외부로 방출된다.

⑨ 격납건물 자유체적은 48,500m³이다.

다) 계산결과

열수력학적 거동 분석의 결과는 아래와 같다. 즉 사고 0초에 파단이 발생하여 냉각재와 방사성 물질이 격납건물 내(핵연료 장전실)로 방출되고, 11.4초에 칼란드리아 안전배관을 통해 증기발생기 실로 방출된다. 사고 15초에 격납건물 고압신호로 격납건물이 격리되고, 119초에 다우징이 가동된다. 120초에는 격납건물 침투압력인 21 kPa(g)에 이르고, 이후 두번의 다우징의 가동과 정지가 반복된다. 613,990초에 증기발생기 실의 압력이 대기압과 같아지게 되어 대기로의 방출이 종료된다.

방사성물질의 방출량은 표 6.5.2-11에 그 결과가 주어져 있으며, 제한구역경계에서 2시간 동안 개인이 받는 선량을 계산하기 위한 핵종별 방사선원은 노심분포분율을 적용하여 표 6.5.2-12에 제시되어 있다. 이 방사선원에 의한 제한구역경계에서의 개인선량과 저인구지역에서의 집단전신선량 결과는 표 6.5.2-40에 주어져 있다.

표 6.5.2-11 방사성물질의 방출량(자관정체 파단사고시)

격납건물 누설에 의한 방출	2시간 동안의 방출량				사고 전기간동안 방출량			
	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물
	1.62(-3)	1.84(-5)	2.00(0)	1.40(-2)	5.53(-2)	6.90(-4)	5.75(+1)	3.87(-1)

주 : 불활성기체 혼합물의 단위는 Bq이며, 나머지는 TBq임.

표 6.5.2-12 자관정체 파단사고시 격납건물 외부로의 방출량

(단위 : TBg)

핵 종	핵연료방출	HTS 방출	계
I-131	1.62E-03	1.84E-04	1.80E-03
I-132	2.51E-03	2.84E-04	2.79E-03
I-133	3.54E-03	4.01E-04	3.94E-03
I-134	3.84E-03	4.35E-04	4.28E-03
I-135	3.25E-03	3.68E-04	3.62E-03
KR-83M	1.14E-01	3.82E-01	4.96E-01
KR-85	2.47E-03	8.31E-03	1.08E-02
KR-85M	2.27E-01	7.65E-01	9.92E-01
KR-87	3.75E-01	1.26E+00	1.64E+00
KR-88	5.68E-01	1.91E+00	2.48E+00
KR-89	1.97E-02	6.65E-02	8.62E-02
XE-131M	7.40E-03	2.49E-02	3.23E-02
XE-133M	2.96E-01	9.97E-01	1.29E+00
XE-133	2.00E+00	6.75E+00	8.75E+00
XE-135M	3.50E-01	1.18E+00	1.53E+00
XE-135	1.58E-01	5.32E-01	6.90E-01
XE-137	9.38E-02	3.16E-01	4.10E-01
XE-138	7.21E-01	2.43E+00	3.15E+00

6) 사고 6 [중단이음관 파단사고]

가) 사고개요

동 사고는 핵연료 채널의 양단 끝에 유로를 막는 중단이음관의 파손으로 인해 채널내 핵연료가 보일러실 및 핵연료장전실로 분출되어 주변의 구조물과 충돌로 핵연료 겹내 재고량과 입계 및 입계내 핵분열 생성물 재고량(Grain Boundary, Grain-bound Inventory)이 격납건물로 방출된다. 또한, 이때 방출된 방사성 핵종은 격납건물 누설을 통해 환경으로 누설된다. 사고후 채널에서 방출된 열원에 의해 격납건물 압력은 3.45 kPa(g)에 이르게 되어 원자로가 트립되며, 비상노심

냉각주입이 가동된다. 격납건물내 보일러 및 핵연료 장전실의 중수 영역과 격납건물 환기계통이 위치한 경수 영역사이에는 파단 설정치가 7 kPa(g)인 분리판(Separation panel)이 설치되어 있는데, 사고시 중수 영역의 압력은 이 설정치를 초과하게 되어 분리판이 파손되어 오염된 격납건물내의 대기는 경수영역으로 확산된다. 그후 격납건물내 압력이 14 kPa(g)가 되면 다우징이 가동되어 격납건물의 에너지를 감소하며 공기중 부유 방사성 물질을 제거하게 된다.

나) 계산가정

- ① 중단이음관의 파손이 발생하는 채널은 7.3 MW 출력을 갖는 O6_mod 채널이며, 최대 출력 핵연료 다발은 935 kW의 출력을 갖는다.
- ② 핵연료 다발이 구조물과의 충돌로 1.0 mm~7.64 mm 직경인 구(Sphere)형태로 쪼개어진다.
- ③ 103 % 총 출력으로 가동중인 채널내의 겹 재고량과 일차계통내 방사성 핵종이 사고 순간에 감속재로 방출되면서 격납건물로 방출된다고 가정한다(이때, 감속재에서 요오드는 제거인자 20의 값으로 감소한다.).
- ④ 사고 0초에 불활성 기체는 전량이 격납건물로 분출된다고 가정한다.
- ⑤ 감속재로부터 방출된 요오드 중 0.1 %가 방출 즉시 유기성 요오드로 전환되어 격납건물 내에 존재한다고 가정한다.
- ⑥ 불활성 기체는 감속재내와 격납건물 내에서 방사성 붕괴 및 격납건물 누설을 통한 제거외에 다른 제거원은 없다고 가정한다.
- ⑦ 격납건물 누설율은 0.5% vol/day로 가정한다.
- ⑧ 격납건물 자유체적은 48,500 m³이다.

다) 계산결과

열수력학적 거동분석의 결과는 다음과 같다. 사고 0초에 파단이 발생하여 냉각재와 방사성 핵종이 격납건물내로 방출된다. 사고 9초에는 격납건물내 방사능 준위가 격납건물 격리 설정치까지 상승하여 격납건물 격리가 발생한다. 사고 99초에 다우징이 가동되고, 100초에 격납건물 침투압력인 21.4 kPa(g)에 도달한다. 이후 4번의 다우징 가동 및 정지가 반복된후 16,840초에 정상 계기 공급 공기 주입이 정지된다. 사고 568,000초에 격납건물 증기발생기실의 압력이 대기압에 도달하게 되어 방사능의 유출이 종료된다.

방사성물질의 방출량은 표 6.5.2-13에 그 결과가 주어져 있으며, 제한구역경계에서 2시간 동안 개인이 받는 선량을 계산하기 위한 핵종별 방사선원은 노심분포분율을 적용하여 표 6.5.2-14에 제시되어 있다. 이 방사선원에 의한 제한구역경계에서의 개인선량과 저인구지역에서의 집단전신선량 결과는 표 6.5.2-40에 주어져 있다.

표 6.5.2-13 방사성물질의 방출량(중단이음관 파단사고시)

격납건물 누설에 의한 방출	2시간 동안의 방출량				사고 전기간동안 방출량			
	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물
	1.47(-4)	8.11(-6)	5.30(+0)	1.53(-2)	6.24(-3)	3.12(-4)	1.23(+2)	3.51(-1)

주: 불활성기체 혼합물의 단위는 Bq이며, 나머지는 TBq임.

표 6.5.2-14 중단이음관 파단사고시 격납건물 외부로의 방출량

(단위: TBq)

핵 종	핵연료방출	HTS 방출	계
I-131	1.31E-03	8.11E-05	1.39E-03
I-132	2.02E-03	1.25E-04	2.15E-03
I-133	2.85E-03	1.77E-04	3.03E-03
I-134	3.09E-03	1.92E-04	3.28E-03
I-135	2.61E-03	1.62E-04	2.77E-03
KR-83M	1.68E-01	4.19E-02	2.10E-01
KR-85	3.66E-03	9.11E-04	4.57E-03
KR-85M	3.36E-01	8.38E-02	4.20E-01
KR-87	5.56E-01	1.38E-01	6.94E-01
KR-88	8.41E-01	2.10E-01	1.05E+00
KR-89	2.93E-02	7.29E-03	3.66E-02
XE-131M	1.10E-02	2.73E-03	1.37E-02
XE-133M	4.39E-01	1.09E-01	5.48E-01
XE-133	2.97E+00	7.40E-01	3.71E+00
XE-135M	5.19E-01	1.29E-01	6.48E-01
XE-135	2.34E-01	5.83E-02	2.92E-01
XE-137	1.39E-01	3.46E-02	1.74E-01
XE-138	1.07E+00	2.66E-01	1.34E+00

7) 사고 7 [대형냉각재 상실사고와 격납건물격리 동시실패사고]

가) 사고개요

대형냉각재 상실사고가 발생하면 격납건물내의 압력이 약 1초 이내에 격납건물 격리 신호 발생 설정치(3.45 kPa(g))까지 급상승하게 되어 정상적으로는 격납건물 격리 댐퍼가 닫혀 격납건물내로 방출된 방사성 물질이 환기계통을 통해 외부로 누출되지 않게 된다. 그러나, 본 절에서는 격납건물 격리계통의 실패로 인하여 다량의 방사성 물질이 열린 입구측 및 출구측 환기구를 통해 외부 대기로 누출되는 사고를 가정하여 그 영향을 평가한다.

상기사고가 발생한 후에 격납건물 대기의 압력은 계속 상승하여 14 kPa(g)가 되면 다우징이 가

동하며 이로 인해 격납건물 대기중의 원소형 요오드가 응축하여 격납건물 바닥으로 떨어져 내리며 격납건물 압력이 급격히 감소한다. 이 경우 원자로 건물의 침투 압력은 열린 환기구를 통한 압력강하 때문에 건전한 원자로건물에 대한 대형냉각재 상실사고에 비해 낮다.

압력이 감소하여 7 kPa(g)가 되면 다우징이 정지하며 열린 환기구를 통한 계속적인 방출에 의해 원자로 건물의 압력은 지속적으로 감소하여 수 분내에 건물내 압력이 대기압 이하로 떨어져서 더 이상의 환경으로의 방사성 물질의 방출은 없게 된다.

이때 손상된 출구측 댐퍼를 통한 방출은 지상으로부터 50 m 굴뚝을 통해 이루어지며, 입구측 댐퍼를 통해서 15 m 높이로서 방출된다.

나) 계산가정

- ① 상기 사고는 100 % 원자로 출구 모관 파단을 가정한다.
- ② 손상된 핵연료로부터 방출된 불활성 기체는 격납건물에서 균일하게 혼합된다고 가정한다.
- ③ 열수송 계통내에서 방사성핵종의 침적(Plateout)은 고려하지 않는다.
- ④ 파단방출을 통해 격납건물 내로 방출된 방사성 요오드중 유기형 요오드는 0.1%가 방출 즉시 형성된다고 가정한다.
- ⑤ 입구측을 통한 누출 단면적은 0.456 m^2 이며, 출구측 누출 단면적은 3.464 m^2 이다.
- ⑥ 출구측을 통한 유출시 팬은 격납건물 격리신호시 자동적으로 정지하게되나 이 기능이 실패할 경우 운전원이 15분내에 이를 감지하여 정지시킨다고 가정한다.
- ⑦ 원자로건물의 부가적인 열원인 펌프, 끝 차폐체, 일차계통배관 등과 기기공급공기와 같은 열량을 고려하여 격납건물내 압력, 온도를 모델링하며, 열 제거원으로는 16개 국부공기 냉각기 중 12개만 작동하고, class IV 전원에 의해 구동하는 19개 공기냉각기는 작동하지 않는다고 가정한다.
- ⑧ 원자로 건물내로 방출된 액체 에어로졸의 외부방출시 원자로건물 표면및 환기구 배관내에서 응축되지 않는다고 가정한다.
- ⑨ 출구측 환기구의 필터는 원자로건물 과압으로 손상되어 이를 통한 방사성물질은 여과없이 방출되는 것으로 가정한다.

다) 계산결과

위의 가정사항을 사용하여 격납건물내의 압력과도현상및 격납건물로부터의 방사능 방출량은 PRESCON2 전산코드를 이용하여 계산한다. 2시간 동안 격납건물 외부로의 방사능 방출량은 입구측 환기구 쪽으로 I-131은 43.5 TBq, Xe-133은 301 BqJ이며, 출구측 환기구 쪽으로 I-131은 29.8 TBq, Xe-133은 620 BqJ이다. 여기에 열수송계통으로 부터 방출되는 요오드와 불활성기체 혼합물의 양이 입구측으로 각각 0.48 TBq, 1.71 BqJ이며, 출구측으로 0.77 TBq, 2.6 BqJ이다(표 6.5.2-15). 사고 전기간동안 방출되는 양은 입구측은 2시간 동안의 방출량과 동일하고, 출구측으로

는 I-131은 동일하나, Xe-133은 798.6 TBq로 다소 증가한다. 열수송계통내 냉각재로부터의 방출량도 불활성기체가 3.19 BqJ로 증가하고 다른 핵종은 2시간 동안의 방출량과 동일하다. 이는 사고시 격납건물 외부로의 방사능 방출이 2시간내에 거의 완료됨을 의미한다. 이 방출량을 각 핵종별 방사능량으로 환산한값이 표 6.5.2-16에 주어져 있다. 또한, 이 방출량에 의한 제한구역경계에서의 개인선량및 저인구지역에서의 집단전선선량은 표 6.5.2-40에 제시되어있다.

표 6.5.2-15 방사성물질의 방출량(대형냉각재 상실사고와 격납건물격리 동시실패사고시)

	2시간 동안의 방출량				사고 전기간동안 방출량			
	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물
입구측 환기구	43.5	0.48	301.0	1.71	43.5	0.48	301.0	1.71
출구측 굴뚝	29.8	0.77	620	2.6	29.8	0.77	0.77	3.19

주: 불활성기체 혼합물의 단위는 BqJ이며, 나머지는 TBq임.

표 6.5.2-16 대형냉각재상실사고와 격납건물격리 동시실패사고시 격납건물 외부로의 방출량

(단위: TBg)

핵 종	입 구 측 환 기 구 방 출			출 구 측 굴 뚝 방 출		
	핵 연 료	H T S	계	핵 연 료	H T S	계
I-131	4.35E+01	4.80E-01	4.40E+01	2.98E+01	7.70E-01	3.06E+01
I-132	6.72E+01	7.42E-01	6.80E+01	4.61E+01	1.19E+00	4.72E+01
I-133	9.49E+01	1.05E+00	9.60E+01	6.50E+01	1.68E+00	6.67E+01
I-134	1.03E+02	1.13E+00	1.04E+02	7.04E+01	1.82E+00	7.23E+01
I-135	8.70E+01	9.60E-01	8.80E+01	5.96E+01	1.54E+00	6.11E+01
KR-83M	1.71E+01	4.68E-01	1.75E+01	3.51E+01	7.12E-01	3.58E+01
KR-85	3.71E-01	1.02E-02	3.81E-01	7.64E-01	1.55E-02	7.79E-01
KR-85M	3.41E+01	9.37E-01	3.50E+01	7.02E+01	1.42E+00	7.17E+01
KR-87	5.63E+01	1.55E+00	5.79E+01	1.16E+02	2.35E+00	1.18E+02
KR-88	8.53E+01	2.34E+00	8.76E+01	1.76E+02	3.56E+00	1.79E+02
KR-89	2.97E+00	8.14E-02	3.05E+00	6.11E+00	1.24E-01	6.23E+00
XE-131M	1.11E+00	3.05E-02	1.14E+00	2.29E+00	4.64E-02	2.34E+00
XE-133M	4.45E+01	1.22E+00	4.57E+01	9.16E+01	1.86E+00	9.35E+01
XE-133	3.01E+02	8.27E+00	3.09E+02	6.20E+02	1.26E+01	6.33E+02
XE-135M	5.26E+01	1.45E+00	5.41E+01	1.08E+02	2.20E+00	1.11E+02
XE-135	2.37E+01	6.52E-01	2.44E+01	4.89E+01	9.91E-01	4.99E+01
XE-137	1.41E+01	3.87E-01	1.45E+01	2.90E+01	5.88E-01	2.96E+01
XE-138	1.08E+02	2.97E+00	1.11E+02	2.23E+02	4.52E+00	2.27E+02

8) 사고 8 [대형냉각재 상실사고와 격납건물 출입구밀봉 동시실패사고]

가) 사고개요

동 사고는 본 보고서 사고 7의 대형냉각재 상실사고와 격납건물 격리 동시 실패사고와 초기사건 진행과정은 유사하나 격납건물로부터 외부로의 방출량이 적은 사고이다. 격납건물은 출입구는 크게 기기 출입구와 작업자 출입구로 나누어 지는데, 동 사고는 내부 대기의 유출이 더 심각한 격납건물 기기출입구 밀봉사고의 경우에 대해 분석한다.

대형냉각재 상실사고시에 격납건물내에서의 압력, 온도 및 방사성 핵종의 거동은 사고 7의 경우와 유사하나 방출 단면적이 작아 다소 영향이 작은 결과를 초래한다.

나) 계산가정

- ① 상기사고는 100% 원자로 출구 모관 파단을 가정한다.
- ② 손상된 핵연료로부터 방출된 불활성 기체는 격납건물에서 균일하게 혼합된다고 가정한다.
- ③ 열수송 계통내에서 방사성핵종의 침적(Plateout)은 고려하지 않는다.
- ④ 파단방출을 통해 격납건물 내로 방출된 방사성 요오드중 유기형 요오드는 0.1%가 방출 즉시 형성된다고 가정한다.
- ⑤ 격납건물 기기출입구를 통한 누출 단면적은 0.52 m^2 이다.

다) 계산결과

위의 가정사항을 사용하여 격납건물내의 압력과도현상및 격납건물로부터의 방사능 방출량은 PRESCON2 전산코드를 이용하여 계산한다. 동 사고의 경우 사고후 15분에 격납건물 대기의 압력은 대기압에 이르게 되어 이후의 심각한 외부 누설은 없게 된다. 2시간 동안 격납건물 기기출입구 밀봉 누설을 통한 방사능 방출량은 I-131이 59.6 TBq, Xe-133이 900 TBq, 요오드 혼합물이 0.997 TBq, 불활성기체 혼합물이 4.02 BqJ이다(표 6.5.2-17). 사고 전기간동안 방출량도 2시간 방출량과 거의 동일하나 Xe-133과 불활성기체 혼합물이 각각 1694.5 TBq와 6.942 BqJ로 증가된다. 각 핵종별 방사능량으로 환산한 값이 표 6.5.2-18에 주어져 있다. 또한, 이 방출량에 의한 제한구역경계에서의 개인선량 및 저인구지역에서의 집단전신선량은 표 6.5.2-40에 제시되어 있다.

표 6.5.2-17 방사성물질의 방출량(대형냉각재 상실사고와 격납건물 기기출입구밀봉 실패사고시)

	2시간 동안의 방출량				사고 전기간동안 방출량			
	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물
기기출입구 밀봉누설에 의한 방출	59.6	0.997	900	4.02	59.6	0.997	1694.5	6.942

주: 불활성기체 혼합물의 단위는 BqJ이며, 나머지는 TBq임.

표 6.5.2-18 대형냉각재 상실사고와 격납건물 기기출입구밀봉 실패사고시 방출량

(단위 : TBg)

핵 종	핵 연 료	H T S	계
I-131	5.96E+01	9.97E-01	6.06E+01
I-132	9.21E+01	1.54E+00	9.36E+01
I-133	1.30E+02	2.18E+00	1.32E+02
I-134	1.41E+02	2.36E+00	1.43E+02
I-135	1.19E+02	1.99E+00	1.21E+02
KR-83M	5.10E+01	1.10E+00	5.21E+01
KR-85	1.11E+00	2.39E-02	1.13E+00
KR-85M	1.02E+02	2.20E+00	1.04E+02
KR-87	1.68E+02	3.64E+00	1.72E+02
KR-88	2.55E+02	5.50E+00	2.60E+02
KR-89	8.87E+00	1.91E-01	9.06E+00
XE-131M	3.33E+00	7.18E-02	3.40E+00
XE-133M	1.33E+02	2.87E+00	1.36E+02
XE-133	9.00E+02	1.94E+01	9.19E+02
XE-135M	1.57E+02	3.40E+00	1.61E+02
XE-135	7.09E+01	1.53E+00	7.25E+01
XE-137	4.21E+01	9.10E-01	4.30E+01
XE-138	3.24E+02	6.99E+00	3.31E+02

9) 사고 9 [자관정체 파단사고와 격납건물격리 동시실패사고]

가) 사고개요

원자로 유입 자관의 파단시에는 채널의 Downstream에 정체가 일어나는 경우와 압력관의 손상이 일어나지 않으면서 채널 Downstream에 역류가 발생하는 경우가 발생한다.

상기사고는 원자로내 Vault내의 채널로 유입되는 자관 부위의 파단으로 인해 채널 양단 입구측과 출구측 사이의 압력차가 없어지게 되어 채널 내의 유체가 정체되는 사고이다. 이 상태가 되면 핵연료와 압력관이 급격히 가열되어 압력관과 칼란드리아 관에 수십초내에 파단이 발생한다. 이는 파단 부위에서 큰 압력강하가 생겨서 냉각재가 1차계통으로부터 많은 양이 방출된다. 이때 파단된 압력관 칼란드리아 관을 통해 핵연료내의 방사성 요오드와 불활성 기체가 감속제로 유입되며, 일부는 환형공간을 통해 방출된다. 원자로 유입자관의 파단부위를 통해 방출되는 방사성 물질을 함유한 냉각재는 에어로졸 형태로 격납건물 대기에 존재하며, 격납건물 환기계통의 입구측과 출구측 댐퍼의 격리 실패로 다량 환경으로 방출된다.

나) 계산가정

- ① 정체가 일어나는 채널은 O6_mod 채널로서 채널 출력은 7.3 MW이며, 채널내 최대 출력

다발을 935 kW를 갖는다.

② 초기 노심 출력은 2,115.5 MW(th)로서 최대출력의 103 %이다.

③ 비 손상 채널은 소형 냉각재 상실사고와 거동이 유사하므로 핵연료의 손상이 없어 핵분열 생성물의 방출도 없다.

④ 사고 초기에 핵연료 sheath가 모두 손상되고, 전체 갭 재고량이 즉시 방출된다.

⑤ 핵분열 기체의 sheath 손상지점까지의 확산시간 및 지연인자는 고려하지 않는다.

⑥ 감속재로부터 방출된 요오드 중 0.1%가 방출 즉시 유기성 요오드로 전환되어 격납건물 내에 존재한다고 가정한다.

⑦ 감속재내에서 요오드 제거인자는 20으로 가정한다.

⑧ 입구측 환기구의 방출 직경은 0.762 m이다.

⑨ 출구측 굴뚝의 방출 직경은 2.1 m이다.

다) 계산결과

열수력학적 거동 분석의 결과는 아래와 같다. 즉 사고 0초에 파단이 발생하여 냉각재와 방사성 물질이 격납건물 내(핵연료 장전실)로 방출되고, 11.4초에 칼란드리아 안전배관을 통해 증기발생기 실로 방출된다. 사고 12초에 격납건물 고압신호로 격납건물이 격리신호가 발생하나 격리 실패로 환기계통 입구측과 출구측이 완전개방된다. 187초에는 격납건물 침투압력인 18.9 kPa(g)에 이르고, 511초에 증기발생기 실의 압력이 대기압과 같아지게 되며, 16,840초에 정상 계기공급공기 주입이 정지되어 대기로의 방출이 종료된다.

방사성물질의 방출량은 표 6.5.2-19에 그 결과가 주어져 있으며, 제한구역경계에서 2시간 동안 개인이 받는 선량을 계산하기 위한 핵종별 방사선원은 노심분포분율을 적용하여 표 6.5.2-20에 제시되어 있다. 이 방사선원에 의한 제한구역경계에서의 개인선량과 저인구지역에서의 집단전신선량 결과는 표 6.5.2-40에 주어져 있다.

표 6.5.2-19 방사성물질의 방출량(자관정체 파단사고와 격납건물격리 동시실패사고시)

	2시간 동안의 방출량				사고 전기간동안 방출량			
	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물
입구측 환기구	41.5	3.34(-2)	7.45(+2)	1.48	41.5	3.34(-2)	7.45(+2)	1.48
출구측 굴뚝	20.2	1.71(-2)	4.71(+2)	1.56	20.2	1.71(-2)	4.71(+2)	1.56

주: 불활성기체 혼합물의 단위는 BqJ이며, 나머지는 TBq임.

표 6.5.2-20 자관정체 파단사고와 격납건물격리 동시실패사고시 격납건물 외부로의 방출량

(단위 : TBg)

핵종	입구측 환기구 방출			출구측 굴뚝 방출		
	핵연료	H T S	계	핵연료	H T S	계
I-131	4.15E+01	3.34E-02	4.16E+01	2.02E+01	1.71E-02	2.02E+01
I-132	6.42E+01	5.17E-02	6.43E+01	3.12E+01	2.64E-02	3.13E+01
I-133	9.07E+01	7.29E-02	9.07E+01	4.41E+01	3.73E-02	4.41E+01
I-134	9.82E+01	7.90E-02	9.83E+01	4.78E+01	4.04E-02	4.78E+01
I-135	8.31E+01	6.69E-02	8.32E+01	4.04E+01	3.42E-02	4.05E+01
KR-83M	4.22E+01	4.05E-01	4.26E+01	2.67E+01	3.17E-01	2.70E+01
KR-85	9.17E-01	8.80E-03	9.26E-01	5.80E-01	6.88E-03	5.87E-01
KR-85M	8.44E+01	8.10E-01	8.52E+01	5.33E+01	6.33E-01	5.40E+01
KR-87	1.39E+02	1.34E+00	1.41E+02	8.81E+01	1.05E+00	8.91E+01
KR-88	2.11E+02	2.02E+00	2.13E+02	1.33E+02	1.58E+00	1.35E+02
KR-89	7.34E+00	7.04E-02	7.41E+00	4.64E+00	5.51E-02	4.69E+00
XE-131M	2.75E+00	2.64E-02	2.78E+00	1.74E+00	2.06E-02	1.76E+00
XE-133M	1.10E+02	1.06E+00	1.11E+02	6.96E+01	8.26E-01	7.04E+01
XE-133	7.45E+02	7.15E+00	7.52E+02	4.71E+02	5.59E+00	4.76E+02
XE-135M	1.30E+02	1.25E+00	1.32E+02	8.23E+01	9.77E-01	8.33E+01
XE-135	5.87E+01	5.63E-01	5.93E+01	3.71E+01	4.40E-01	3.75E+01
XE-137	3.49E+01	3.35E-01	3.52E+01	2.20E+01	2.61E-01	2.23E+01
XE-138	2.68E+02	2.57E+00	2.70E+02	1.69E+02	2.01E+00	1.71E+02

10) 사고 10 [자관정체 파단사고와 격납건물 입구측 환기구격리 동시실패사고]

가) 사고개요

원자로 유입 자관의 파단시에는 채널의 Downstream에 정체가 일어나는 경우와 압력관의 손상이 일어나지 않으면서 채널 Downstream에 역류가 발생하는 경우가 발생한다.

상기사고는 원자로내 Vault내의 채널로 유입되는 자관 부위의 파단으로 인해 채널 양단 입구측과 출구측 사이의 압력차가 없어지게 되어 채널 내의 유체가 정체되는 사고이다. 이 상태가 되면 핵연료와 압력관이 급격히 가열되어 압력관과 칼란드리아 관에 수십초내에 파단이 발생한다.

이는 파단 부위에서 큰 압력강하가 생겨서 냉각재가 1차계통으로부터 많은 양이 방출된다. 이때 파단된 압력관 칼란드리아 관을 통해 핵연료내의 방사성 요오드와 불활성 기체가 감속재로 유입되며, 일부는 환형공간을 통해 방출된다. 원자로 유입자관의 파단부위를 통해 방출되는 방사성 물질을 함유한 냉각재는 에어로졸 형태로 격납건물 대기에 존재하며, 격납건물 환기시스템의 입구측 댐퍼의 격리 실패로 다량 환경으로 방출된다.

나) 계산가정

- ① 정체가 일어나는 채널은 O6_mod 채널로서 채널 출력은 7.3 MW이며, 채널내 최대 출력 다발을 935 kW를 갖는다.
- ② 초기 노심 출력은 2115.5 MW(th)로서 최대출력의 103%이다.
- ③ 비 손상 채널은 소형 냉각재 상실사고와 거동이 유사하므로 핵연료의 손상이 없어 핵분열 생성물의 방출도 없다.
- ④ 사고 초기에 핵연료 sheath가 모두 손상되고, 전체 갭 재고량이 즉시 방출된다.
- ⑤ 핵분열 기체의 sheath 손상지점 까지의 확산시간 및 지연인자는 고려하지 않는다.
- ⑥ 감속제로부터 방출된 요오드 중 0.1%가 방출 즉시 유기성 요오드로 전환되어 격납건물 내에 존재한다고 가정한다.
- ⑦ 감속재내에서 요오드 제거인자는 20으로 가정한다.
- ⑧ 입구측 환기구의 방출 직경은 0.762 m이다.

다) 계산결과

열수력학적 거동 분석의 결과는 아래와 같다. 즉 사고 0초에 파단이 발생하여 냉각재와 방사성 물질이 격납건물 내(핵연료 장전실)로 방출되고, 11.4초에 칼란드리아 안전배관을 통해 증기발생기 실로 방출된다. 사고 12초에 격납건물 고압신호로 격납건물이 격리신호가 발생하나 입구측 댐퍼의 격리 실패로 환기계통 입구측이 완전개방된다. 157초에 다우징이 가동되고, 158초에는 격납건물 침투압력인 20.1 kPa(g)에 이르고, 650초에 증기발생기 실의 압력이 대기압과 같아지게 되며, 16840초에 정상 계기공급공기 주입이 정지되어 대기로의 방출이 종료된다.

방사성물질의 방출량은 표 6.5.2-21에 그 결과가 주어져 있으며, 제한구역경계에서 2시간 동안 개인이 받는 선량을 계산하기 위한 핵종별 방사선원은 노심분포분율을 적용하여 표 6.5.2-22에 제시되어 있다. 이 방사선원에 의한 제한구역경계에서의 개인선량과 저인구지역에서의 집단전신선량 결과는 표 6.5.2-40에 주어져 있다.

표 6.5.2-21 방사성물질의 방출량(자관정체 파단사고와 입구측 환기구격리 동시실패사고시)

	2시간 동안의 방출량				사고 전기간동안 방출량			
	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물
입구측 환기구	42.6	3.54(-2)	8.92(+2)	1.99	42.6	3.54(-2)	8.92(+2)	1.98

주: 불활성기체 혼합물의 단위는 BqJ이며, 나머지는 TBq임.

표 6.5.2-22 자관정체 파단사고와 입구측 환기구격리 동시실패사고시 격납건물 외부로의 방출량

(단위 : TBg)

핵 종	핵 연 료	H T S	계
I-131	4.26E+01	3.54E-03	4.26E+01
I-132	6.58E+01	5.47E-03	6.58E+01
I-133	9.29E+01	7.72E-03	9.29E+01
I-134	1.01E+02	8.36E-03	1.01E+02
I-135	8.52E+01	7.08E-03	8.52E+01
KR-83M	5.06E+01	5.44E-01	5.11E+01
KR-85	1.10E+00	1.18E-02	1.11E+00
KR-85M	1.01E+02	1.09E+00	1.02E+02
KR-87	1.67E+02	1.80E+00	1.69E+02
KR-88	2.53E+02	2.72E+00	2.56E+02
KR-89	8.79E+00	9.46E-02	8.89E+00
XE-131M	3.30E+00	3.55E-02	3.33E+00
XE-133M	1.32E+02	1.42E+00	1.33E+02
XE-133	8.92E+02	9.60E+00	9.02E+02
XE-135M	1.56E+02	1.68E+00	1.58E+02
XE-135	7.03E+01	7.57E-01	7.11E+01
XE-137	4.18E+01	4.49E-01	4.22E+01
XE-138	3.21E+02	3.45E+00	3.24E+02

11) 사고 11 [자관정체 파단사고와 격납건물 기기출입구밀봉 동시실패사고]

가) 사고개요

원자로 유입 자관의 파단시에는 채널의 Downstream에 정체가 일어나는 경우와 압력관의 손상이 일어나지 않으면서 채널 Downstream에 역류가 발생하는 경우가 발생한다.

상기사고는 원자로내 Vault내의 채널로 유입되는 자관 부위의 파단으로 인해 채널 양단 입구측과 출구측 사이의 압력차가 없어지게 되어 채널 내의 유체가 정체되는 사고이다. 이 상태가 되면 핵연료와 압력관이 급격히 가열되어 압력관과 칼란드리아 관에 수십초내에 파단이 발생한다.

이는 파단 부위에서 큰 압력강하가 생겨서 냉각재가 1차계통으로부터 많은 양이 방출된다. 이때 파단된 압력관 칼란드리아 관을 통해 핵연료내의 방사성 요오드와 불활성 기체가 감속재로 유입되며, 일부는 환형공간을 통해 방출된다. 원자로 유입자관의 파단부위를 통해 방출되는 방사성 물질을 함유한 냉각재는 에어로졸 형태로 격납건물 대기에 존재하며, 격납건물 기기 출입구밀봉 실패로 다량 환경으로 방출된다.

나) 계산가정

- ① 정체가 일어나는 채널은 O6_mod 채널로서 채널 출력은 7.3 MW이며, 채널내 최대 출력 다발을 935 kW를 갖는다.
- ② 초기 노심 출력은 2115.5 MW(th)로서 최대출력의 103 %이다.
- ③ 비 손상 채널은 소형 냉각재 상실사고와 거동이 유사하므로 핵연료의 손상이 없어 핵분열 생성물의 방출도 없다.
- ④ 사고 초기에 핵연료 Sheath가 모두 손상되고, 전체 갭 재고량이 즉시 방출된다.
- ⑤ 핵분열 기체의 Sheath 손상지점까지의 확산시간 및 지연인자는 고려하지 않는다.
- ⑥ 감속재로부터 방출된 요오드 중 0.1 %가 방출 즉시 유기성 요오드로 전환되어 격납건물 내에 존재한다고 가정한다.
- ⑦ 감속재내에서 요오드 제거인자는 20으로 가정한다.
- ⑧ 기기 출입구 밀봉의 방출 직경은 0.81 m 이다.

다) 계산결과

열수력학적 거동 분석의 결과는 아래와 같다. 즉 사고 0초에 파단이 발생하여 냉각재와 방사성 물질이 격납건물 내(핵연료 장전실)로 방출되고, 11.4초에 칼란드리아 안전배관을 통해 증기발생기 실로 방출된다. 사고 15초에 격납건물 고압신호로 격납건물이 격리신호가 발생하여 격납건물 격리가 이루어진다. 156초에 다우징이 가동되고, 157초에는 격납건물 침투압력인 20 kPa(g)에 이르고, 658초에 증기발생기 실의 압력이 대기압과 같아지게 되며, 16,840초에 정상 계기공급공기 주입이 정지하여 대기로의 방출이 종료된다.

방사성물질의 방출량은 표 6.5.2-23에 그 결과가 주어져 있으며, 제한구역경계에서 2시간 동안 개인이 받는 선량을 계산하기 위한 핵종별 방사선원은 노심분포분율을 적용하여 표 6.5.2-24에 제시되어 있다. 이 방사선원에 의한 제한구역경계에서의 개인선량과 저인구지역에서의 집단전신선량 결과는 표 6.5.2-40에 주어져 있다.

표 6.5.2-23 방사성물질의 방출량(자관정체 파단사고와 격납건물 기기 출입구밀봉 사고시)

	2시간 동안의 방출량				사고 전기간동안 방출량			
	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물
기기출입구 밀봉누설	33.5	2.66(-2)	6.14(+2)	0.93	33.5	2.66(-2)	6.14(+2)	0.93

주: 불활성기체 혼합물의 단위는 BqJ이며, 나머지는 TBq임.

표 6.5.2-24 자관정체 파단사고와 격납건물 기기출입구밀봉 사고시 격납건물 외부로의 방출량

(단위 : TBg)

핵 종	핵 연 료	H T S	계
I-131	3.35E+01	2.66E-02	3.35E+01
I-132	5.18E+01	4.11E-02	5.18E+01
I-133	7.31E+01	5.80E-02	7.31E+01
I-134	7.92E+01	6.28E-02	7.92E+01
I-135	6.70E+01	5.31E-02	6.70E+01
KR-83M	3.48E+01	2.54E-01	3.50E+01
KR-85	7.56E-01	5.52E-03	7.61E-01
KR-85M	6.95E+01	5.07E-01	7.00E+01
KR-87	1.15E+02	8.38E-01	1.16E+02
KR-88	1.74E+02	1.27E+00	1.75E+02
KR-89	6.05E+00	4.41E-02	6.09E+00
XE-131M	2.27E+00	1.65E-02	2.28E+00
XE-133M	9.07E+01	6.62E-01	9.13E+01
XE-133	6.14E+02	4.48E+00	6.18E+02
XE-135M	1.07E+02	7.83E-01	1.08E+02
XE-135	4.84E+01	3.53E-01	4.87E+01
XE-137	2.87E+01	2.10E-01	2.89E+01
XE-138	2.21E+02	1.61E+00	2.22E+02

12) 사고 12 [유로차단사고와 격납건물격리 동시실패사고]

가) 사고개요

동 사고는 핵연료 채널내의 차단으로 인해 냉각재의 순환이 이루어지지 않아 압력관 및 칼란드리아관이 파손되는 사고로 손상 핵연료내의 핵분열 생성물 재고량과 일차계통내 방사성 핵종이 격납건물로 누설된다. 이로 인해 격납건물내로 방출된 방사성 핵종은 격납건물 격리의 실패로 다량이 환경으로 확산되어 대중에 피폭을 가하게 된다.

나) 계산가정

- ① 파단이 발생하는 채널은 103 % 총 출력으로 가동하는 원자로의 7.3 MW 채널이다.
- ② 보일러 및 핵연료 재장전실로 방출된 방사성 핵종은 이 체적내에서 균일하게 혼합된다고 가정한다.
- ③ 핵연료 내부및 냉각재 내의 방사성 핵종은 사고 즉시 격납건물로 방출된다고 가정한다.
- ④ 격납건물로 방출된 요오드 중 0.1 %가 사고 즉시 유기성 요오드로 전환된다고 가정한다.
- ⑤ 중수증기회복계통의 Purge Line을 통한 유량율은 0.236 m³ 이다.
- ⑥ 격납건물 환기계통 출구측의 활성탄 필터의 효율은 97.5 %이다.
- ⑦ 출구측 방출 단면적은 3.464 m²이며, 입구측 방출 단면적은 0.456 m²이다.

다) 계산결과

열수력학적 거동분석의 결과는 아래와 같다. 사고 0초에 파단부위로부터 칼란드리아 안전배관(Calandria Relief Ducts)을 통해 증기발생기실로 핵분열생성물이 방출된다. 701초에는 격납건물 고압 설정치까지 압력이 증가하나 환기계통 출구측 및 입구측 격리댐퍼 각 2개가 모두 작동 실패한다. 714초에 격납건물 침투압력인 3.6 kPa(g)에 도달하고 1,705초에 증기발생기실은 대기압에 이른다. 이 후 계기공급 공기 주입으로 방사성핵종의 방출이 계속되다가 16,841초에 정지하여 방출이 종료된다.

2시간 동안 격납건물 외부로 방출되는 양은 입구측 환기구를 통해 I-131이 4.17×10^{-3} TBq 이고, Xe-133이 8.91 TBq이며, 여기에 열수송계통 냉각재로부터 방출되는 양이 요오드 혼합물 5.37×10^{-6} TBq이고, 불활성기체 혼합물이 7.19×10^{-3} BqJ을 가산한 값이다. 출구측 굴뚝을 통해 방출되는 양은 I-131이 2.50×10^{-1} TBq 이고, Xe-133이 530 TBq이며, 여기에 열수송계통 냉각재로부터 방출되는 양이 요오드 혼합물 2.98×10^{-4} TBq이고, 불활성기체 혼합물이 3.74×10^{-1} BqJ을 가산한 값이다. 한편, 사고 전기간동안은 입구측으로 방출되는 양으로 I-131이 4.77×10^{-3} TBq 이고, Xe-133이 10.5 TBq이며, 여기에 열수송계통 냉각재로부터 방출되는 양이 요오드 혼합물 8.85×10^{-6} TBq이고, 불활성기체 혼합물이 8.46×10^{-3} BqJ을 가산한 값이다. 출구측으로 방출되는 양으로는 I-131이 2.86×10^{-1} TBq이고, Xe-133이 624 TBq 이며, 여기에 열수송계통 냉각재로부터 방출되는 양이 요오드 혼합물 4.60×10^{-4} TBq이고, 불활성기체 혼합물이 4.40×10^{-1} BqJ이다(표 6.5.2-25).

상기 값을 핵종별로 환산한 값이 표 6.5.2-26에 주어져 있으며, 이 방사선원량을 이용하여 계산한 제한구역경계에서의 개인선량과 저인구지역에서의 주민집단전신선량이 표 6.5.2-40에 주어져 있다.

표 6.5.2-25 방사성물질의 방출량(유로차단사고와 격납건물격리 동시실패사고시)

	2시간 동안의 방출량				사고 전기간동안 방출량			
	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물
입구측 환기구	4.17(-3)	5.73(-6)	8.91(0)	7.19(-3)	4.77(-3)	8.85(-6)	1.05(+1)	8.46(-3)
출구측 굴뚝	2.50(-1)	2.98(-4)	5.30(+2)	3.74(-1)	2.86(-1)	4.60(-4)	6.24(+2)	4.40(-1)

주: 불활성기체 혼합물의 단위는 BqJ이며, 나머지는 TBq임

표 6.5.2-26 유로차단사고와 격납건물 격리 동시 실패사고시 격납건물 외부로의 방출량

(단위 : TBg)

핵 종	입 구 측 환 기 구 방 출			출 구 측 굴 뚝 방 출		
	핵연료	H T S	계	핵연료	H T S	계
I-131	4.17E-03	5.73E-06	4.18E-03	2.50E-01	2.98E-04	2.50E-01
I-132	6.44E-03	8.86E-06	6.45E-03	3.86E-01	4.61E-04	3.87E-01
I-133	9.10E-03	1.25E-05	9.11E-03	5.45E-01	6.50E-04	5.46E-01
I-134	9.86E-03	1.35E-05	9.87E-03	5.91E-01	7.04E-04	5.92E-01
I-135	8.34E-03	1.15E-05	8.35E-03	5.00E-01	5.96E-04	5.01E-01
KR-83M	5.05E-01	1.97E-03	5.07E-01	3.00E+01	1.02E-01	3.01E+01
KR-85	1.10E-02	4.28E-05	1.10E-02	6.53E-01	2.23E-03	6.55E-01
KR-85M	1.01E+00	3.94E-03	1.01E+00	6.00E+01	2.05E-01	6.03E+01
KR-87	1.67E+00	6.51E-03	1.67E+00	9.92E+01	3.38E-01	9.96E+01
KR-88	2.52E+00	9.85E-03	2.53E+00	1.50E+02	5.12E-01	1.51E+02
KR-89	8.78E-02	3.42E-04	8.81E-02	5.22E+00	1.78E-02	5.24E+00
XE-131M	3.29E-02	1.28E-04	3.30E-02	1.96E+00	6.68E-03	1.96E+00
XE-133M	1.32E+00	5.14E-03	1.32E+00	7.83E+01	2.67E-01	7.86E+01
XE-133	8.91E+00	3.48E-02	8.94E+00	5.30E+02	1.81E+00	5.32E+02
XE-135M	1.56E+00	6.08E-03	1.56E+00	9.27E+01	3.16E-01	9.30E+01
XE-135	7.02E-01	2.74E-03	7.05E-01	4.18E+01	1.43E-01	4.19E+01
XE-137	4.17E-01	1.63E-03	4.19E-01	2.48E+01	8.46E-02	2.49E+01
XE-138	3.20E+00	1.25E-02	3.22E+00	1.91E+02	6.50E-01	1.91E+02

13) 사고13 [유로차단사고와 격납건물 출구측 환기구격리 동시실패사고]

가) 사고개요

동 사고는 위의 사고14 유로차단사고와 격납건물 격리 동시 실패사고와 초기전개과정 이 유사하나 격납건물 환기시스템의 출구측 격리댐퍼만 폐쇄실패하여 격납건물내 열수력학적 추이와 방사성핵종의 거동이 다소 변화하게 된다.

나) 계산가정

- ① 파단이 발생하는 채널은 103% 총 출력으로 가동하는 원자로의 7.3 MW 채널이다.
- ② 보일러및 핵연료 재장전실로 방출된 방사성 핵종은 이 체적내에서 균일하게 혼합된다고 가정 한다.
- ③ 핵연료 내부및 냉각재 내의 방사성 핵종은 사고 즉시 격납건물로 방출된다고 가정한다.
- ④ 격납건물로 방출된 요오드 중 0.1 %가 사고 즉시 유기성 요오드로 전환된다고 가정한다.
- ⑤ 중수증기회복시스템의 Purge Line을 통한 유량율은 0.236 m³ 이다.
- ⑥ 출구측 환기구 방출 직경은 2.1 m이다.

다) 계산결과

열수력학적 거동분석의 결과는 아래와 같다. 사고 0초에 파단부위로부터 칼란드리아 안전배관(Calandria Relief Ducts)을 통해 증기발생기실로 핵분열생성물이 방출된다. 701초에는 격납건물 고압 설정치까지 압력이 증가하나 환기계통 출구측 격리댐퍼 2개가 작동 실패한다. 684초에 격납건물 침투압력인 3.51 kPa(g)에 도달하고 1464초에 증기발생기실은 대기압에 이른다. 이 후 계기공급 공기 주입으로 방사성핵종의 방출이 계속되다가 16841초에 정지하여 방출이 종료된다.

방사성 핵종이 격납건물 외부로 방출되는 양은 2시간 동안 방출량이 출구측 굴뚝을 통해 I-131이 2.48×10^{-1} TBq 이고, Xe-133이 550 TBq 이며, 여기에 열수송계통 냉각재로부터 방출되는 양이 요오드 혼합물 6.67×10^{-5} TBq 이고, 불활성기체 혼합물이 3.97×10^{-1} BqJ을 가산한 값이다. 한편, 사고 전기간동안은 I-131이 2.88×10^{-1} TBq 이고, Xe-133이 630 TBq 이며, 여기에 열수송계통 냉각재로부터 방출되는 양이 요오드 혼합물 7.75×10^{-4} TBq 이고, 불활성기체 혼합물이 4.55×10^{-1} BqJ을 가산한 값이다(표 6.5.2-27).

상기 값을 핵종별로 환산한 값이 표 6.5.2-28에 주어져 있으며, 이 방사선원항을 이용하여 계산한 제한구역경계에서의 개인선량과 저인구지역에서의 주민집단전신선량이 표 6.5.2-40에 주어져 있다.

표 6.5.2-27 방사성물질의 방출량(유로차단사고와 격납건물 출구측 환기구격리 동시실패사고시)

	2시간 동안의 방출량				사고 전기간동안 방출량			
	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물
출구측 굴뚝으로의 방출	2.48(-1)	6.67(-5)	5.50(+2)	3.97(-1)	2.88(-1)	7.75(-4)	6.30(+2)	4.55(-1)

주: 불활성기체 혼합물의 단위는 BqJ이며, 나머지는 TBq임.

표 6.5.2-28 유로차단사고와 격납건물 출구측 환기구격리 동시실패사고시 격납건물 외부로의 방출량
(단위 : TBq)

핵 종	핵 연 료	H T S	계
I-131	2.48E-01	6.67E-05	2.49E-01
I-132	3.83E-01	1.03E-04	3.84E-01
I-133	5.41E-01	1.46E-04	5.43E-01
I-134	5.86E-01	1.58E-04	5.88E-01
I-135	4.96E-01	1.33E-04	4.97E-01
KR-83M	3.12E+01	1.09E-01	3.13E+01
KR-85	6.77E-01	2.36E-03	6.80E-01
KR-85M	6.23E+01	2.17E-01	6.25E+01
KR-87	1.03E+02	3.59E-01	1.03E+02
KR-88	1.56E+02	5.44E-01	1.56E+02
KR-89	5.42E+00	1.89E-02	5.44E+00
XE-131M	2.03E+00	7.09E-03	2.04E+00
XE-133M	8.13E+01	2.84E-01	8.16E+01
XE-133	5.50E+02	1.92E+00	5.52E+02
XE-135M	9.62E+01	3.36E-01	9.65E+01
XE-135	4.33E+01	1.51E-01	4.35E+01
XE-137	2.57E+01	8.98E-02	2.58E+01
XE-138	1.98E+02	6.90E-01	1.98E+02

14) 사고 14 [압력관 파단사고와 격납건물격리 동시실패사고]

가) 사고개요

동 사고는 자발적으로 압력관의 파단이 발생하여 핵분열 생성물이 감속재로 유입되어 파단부위를 통해 격납건물 환기시스템의 입구측 환기구와 출구측 굴뚝을 통하여 방출되어 환경으로 방출되는 사고이다.

압력관 파단이 발생한후의 노심내의 거동은 크게 두가지로 분류되는데, 첫째는 압력관이 파단되어도 칼란드리아관은 건전성을 유지하는 경우이며, 두번째는 압력관 파단으로 인해 칼란드리아관이 손상되는 경우이다. 첫째의 경우, 기체화형 공간내의 급작스런 압력상승이 일어나 핵연료 채널 bellows가 터지게 되어 열수송계통내 냉각재가 핵연료 장전실로 방출된다. 이 경우 냉각재 방출은 소형 냉각재 상실사고시와 유사한 결과를 초래한다.

칼란드리아관이 파손될 경우, 일차계통 냉각재는 칼란드리아로 방출된다. 이 경우 칼란드리아의 압력상승이 일어나 노심내 구조물의 손상도 일어나게 된다.

동 사고는 압력관 파단시 칼란드리아 관이 동시에 파손되어 대중에 대한 선량이 더 심각한 경우에 대하여 평가한다. 사고후 격납건물로 방출되는 방사성 핵종은 사고초기에 격납건물내 보일러및 핵연료 장전실(Boiler Room and Fuelling Machine Room)로 분출된 후 격납건물 환기시스템의 격리 실패로 다량 환경으로 방출된다.

나) 계산가정

- ① 파단 부위는 7.3 MW 출력을 갖는 O6_mod 채널 입구측 끝부분에서 일어난다고 가정한다.
- ② 파단부위를 통하여 방출된 방사성 핵종은 보일러 실(Boiler Room)에서 균일하게 확산된다고 가정한다.
- ③ 103 % 총 출력으로 가동중인 채널내의 갭 재고량과 일차계통내 방사성 핵종이 사고 순간에 감속재로 방출되면서 격납건물로 방출된다고 가정한다(이때, 감속재 내에서 요오드는 제거인자(Attenuation factor) 20의 값으로 감소한다).
- ④ 감속재로부터 방출된 요오드 중 0.1 %가 방출 즉시 유기성 요오드로 전환되어 격납건물 내에 존재한다고 가정한다.
- ⑤ 불활성 기체와 삼중수소는 감속재내와 격납건물 내에서 방사성 붕괴 및 누설을 통한 제거에 다른 제거원은 없다고 가정한다.
- ⑥ 출구측 방출 단면적은 3.464 m^2 이며, 입구측 방출 단면적은 0.456 m^2 이다.

다) 계산결과

열수력학적 거동분석의 결과는 다음과 같다. 사고 0초에 파단발생하며, 이와 동시에 방사성핵종이 칼란드리아 안전배관(Calandria Relief Ducts)를 통하여 증기발생기실로 분출된다. 74초에는 원자로건물 고압신호에 의해 격리신호가 발생하나 입구측과 출구측 환기계통의 각 두개의 댐퍼가 모두 폐쇄 실패한다. 162초에 격납건물 첨두압력(8.74 kPa(g))이 발생하며, 436초에 증기발생기실내의 압력이 대기압에 도달한다. 운전원의 조치로 974초에 출구측 환기계통 팬을 정지시키고, 16,841초에 계기공급공기 주입이 종료되어 더 이상의 방사성핵종의 누설은 없게 된다.

동 사고로 인해 감속재로 방출되는 핵연료 갭의 I-131의 양은 1775 TBq 이며, 이 양은 20의 감속재내의 감쇄인자의 효과로 감소되어 격납건물 내로는 88.8 TBq 가 방출되어 이중 1.775 TBq 의 양이 유기성 요오드로 전환된다. EAB에서 2시간 동안 개인선량을 계산하는데 필요한 방사선원은 입구측으로 I-131이 $3.5 \times 10^{-2} \text{ TBq}$ 이고, Xe-133이 78 TBq 이며, 출구측으로 I-131이 $5.8 \times 10^{-2} \text{ TBq}$ 이고, Xe-133이 132.4 TBq 이다. LPZ에서 주민집단선량 계산에 사용되는 사고전기간동안 방사선원은 입구측으로 I-131 이 $4.38 \times 10^{-2} \text{ TBq}$, Xe-133은 99.9 TBq 이고, 출구측으로는 2시간 동안의 방출량과 동일하다(표 6.5.2-29). 여기에 열수송계통 냉각재로부터 방출되는 요오드 혼합물과 불활성기체 혼합물의 방사능을 가산한다. 이 값을 각 핵종별로 환산한 값이 표 6.5.2-30에 제시되어 있으며, 이로 인한 2시간 동안 제한구역경계에서의 개인선량과 저인구지역에서의 집단전선량 평가의 결과는 표 6.5.2-40에 주어져 있다.

표 6.5.2-29 방사성물질의 방출량(압력관 파단사고와 격납건물격리 동시실패사고시)

	2시간 동안의 방출량				사고 전기간동안 방출량			
	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물
입구측 환기구	3.50(-2)	2.77(-4)	7.80(0)	2.87(-1)	4.38(-2)	3.82(-4)	9.99(+1)	3.67(-1)
출구측 굴뚝	5.81(-2)	5.15(-4)	1.32(+2)	4.91(-1)	5.81(-2)	5.15(-4)	1.32(+2)	4.91(-1)

주: 불활성기체 혼합물의 단위는 BqJ이며, 나머지는 TBq임.

표 6.5.2-30 압력관 파단사고와 격납건물격리 동시실패사고시 격납건물 외부로의 방출량

(단위: TBq)

핵 종	입 구 측 환 기 구 방 출			출 구 측 굴 뚝 방 출		
	핵연료	H T S	계	핵연료	H T S	계
I-131	3.50E-02	2.77E-04	3.53E-02	5.81E-02	5.15E-04	5.86E-02
I-132	5.41E-02	4.28E-04	5.45E-02	8.98E-02	7.96E-04	9.06E-02
I-133	7.64E-02	6.04E-04	7.70E-02	1.27E-01	1.12E-03	1.28E-01
I-134	8.27E-02	6.55E-04	8.34E-02	1.37E-01	1.22E-03	1.39E-01
I-135	7.00E-02	5.54E-04	7.06E-02	1.16E-01	1.03E-03	1.17E-01
KR-83M	4.42E-01	1.63E-02	4.58E-01	7.48E+00	1.34E-01	7.61E+00
KR-85	9.61E-03	3.53E-04	9.96E-03	1.63E-01	2.92E-03	1.65E-01
KR-85M	8.84E-01	3.25E-02	9.16E-01	1.50E+01	2.69E-01	1.52E+01
KR-87	1.46E+00	5.37E-02	1.51E+00	2.47E+01	4.44E-01	2.52E+01
KR-88	2.21E+00	8.13E-02	2.29E+00	3.74E+01	6.72E-01	3.81E+01
KR-89	7.68E-02	2.83E-03	7.97E-02	1.30E+00	2.34E-02	1.32E+00
XE-131M	2.88E-02	1.06E-03	2.99E-02	4.88E-01	8.77E-03	4.96E-01
XE-133M	1.15E+00	4.24E-02	1.20E+00	1.95E+01	3.51E-01	1.99E+01
XE-133	7.80E+00	2.87E-01	8.09E+00	1.32E+02	2.37E+00	1.34E+02
XE-135M	1.36E+00	5.02E-02	1.41E+00	2.31E+01	4.15E-01	2.35E+01
XE-135	6.15E-01	2.26E-02	6.37E-01	1.04E+01	1.87E-01	1.06E+01
XE-137	3.65E-01	1.34E-02	3.78E-01	6.18E+00	1.11E-01	6.29E+00
XE-138	2.80E+00	1.03E-01	2.91E+00	4.75E+01	8.54E-01	4.83E+01

15) 사고 15 [압력관 파단사고와 격납건물 입구측 환기구격리 동시실패사고]

가) 사고개요

동 사고는 위의 사고 16 압력관 파단사고와 격납건물격리 동시실패사고와 초기전개과정
정이 유사하나 격납건물 환기계통의 출구측 격리댐퍼만 폐쇄실패하여 격납건물내 열수력학적 추이

와 방사성핵종의 거동이 다소 변화하게 된다.

나) 계산가정

- ① 파단 부위는 7.3 MW 출력을 갖는 O6_mod 채널 입구측 끝부분에서 일어난다고 가정한다.
- ② 파단부위를 통하여 방출된 방사성 핵종은 보일러 실(Boiler Room)에서 균일하게 확산된다고 가정한다.
- ③ 103% 총 출력으로 가동중인 채널내의 갭 재고량과 일차계통내 방사성 핵종이 사고 순간에 감속재로 방출되면서 격납건물로 방출된다고 가정한다(이때, 감속재 내에서 요오드는 제거인자(Attenuation Factor) 20의 값으로 감소한다).
- ④ 감속재로부터 방출된 요오드 중 0.1 %가 방출 즉시 유기성 요오드로 전환되어 격납건물 내에 존재한다고 가정한다.
- ⑤ 불활성 기체와 삼중수소는 감속재내와 격납건물 내에서 방사성 붕괴 및 누설을 통한 제거에 다른 제거원은 없다고 가정한다.
- ⑥ 출구측 방출 단면적은 3.464 m^2 이다.

다) 계산결과

열수력학적 거동분석의 결과는 다음과 같다. 사고 0초에 파단발생하며, 이와 동시에 방사성핵종이 칼란드리아 안전배관(Calandria Relief Ducts)를 통하여 증기발생기실로 분출된다. 74초에는 원자로건물 고압신호에 의해 격리신호가 발생하나 출구측 환기계통의 두 개의 댐퍼가 폐쇄 실패한다. 164초에 격납건물 침두압력(9.0kPa(g))이 발생하며, 845초에 증기발생기실내의 압력이 대기압에 도달한다. 운전원의 조치로 974초에 출구측 환기계통 팬을 정지시키고, 16,841초에 계기공급공기 주입이 종료되어 더 이상의 방사성핵종의 누설은 없게 된다.

동 사고로 인해 감속재로 방출되는 핵연료 갭의 I-131의 양은 1775 TBq이며, 이 양은 20의 감속재내의 감쇄인자의 효과로 감소되어 격납건물 내로는 88.8 TBq가 방출되어 이중 1.775 TBq의 양이 유기성 요오드로 전환된다. EAB에서 2시간 동안 개인선량을 계산하는데 필요한 방사선원은 I-131이 6.7×10^{-2} TBq이고, Xe-133이 160 TBq이며, LPZ에서 주민집단선량 계산에 사용되는 사고 전기간 동안 방사선원은 5.7일 동안 방출되는 양으로 I-131 이 8.07×10^{-2} TBq, Xe-133은 184 TBq이다(표 6.5.2-31). 여기에 열수송계통 냉각재로부터 방출되는 요오드 혼합물과 불활성기체 혼합물의 방사능을 가산한다. 이 값을 각 핵종별로 환산한 값이 표 6.5.2-32에 제시되어 있으며, 이로 인한 2시간 동안 제한구역경계에서의 개인선량과 저인구지역에서의 집단전신선량 평가의 결과는 표 6.5.2-40에 주어져 있다.

표 6.5.2-31 방사성물질의 방출량(압력관 파단사고와 격납건물 입구측 환기구격리 동시실패사고시)

출구측 굴뚝에 의한 방출	2시간 동안의 방출량				사고 전기간동안 방출량			
	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물
	0.067	7.24(-4)	160	0.742	8.07(-2)	8.72(-4)	184	8.35(-1)

주: 불활성기체 혼합물의 단위는 BqJ이며, 나머지는 TBq임.

표 6.5.2-32 압력관 파단사고와 격납건물 입구측 환기구격리 동시실패사고시

격납건물 외부로의 방출량

(단위: TBq)

핵 종	핵 연 료	H T S	계
I-131	6.70E-02	7.24E-04	6.77E-02
I-132	1.04E-01	1.12E-03	1.05E-01
I-133	1.46E-01	1.58E-03	1.48E-01
I-134	1.58E-01	1.71E-03	1.60E-01
I-135	1.34E-01	1.45E-03	1.35E-01
KR-83M	9.06E+00	2.03E-01	9.27E+00
KR-85	1.97E-01	4.42E-03	2.01E-01
KR-85M	1.81E+01	4.06E-01	1.85E+01
KR-87	3.00E+01	6.71E-01	3.06E+01
KR-88	4.53E+01	1.02E+00	4.63E+01
KR-89	1.58E+00	3.53E-02	1.61E+00
XE-131M	5.91E-01	1.33E-02	6.04E-01
XE-133M	2.36E+01	5.30E-01	2.42E+01
XE-133	1.60E+02	3.59E+00	1.64E+02
XE-135M	2.80E+01	6.27E-01	2.86E+01
XE-135	1.26E+01	2.83E-01	1.29E+01
XE-137	7.49E+00	1.68E-01	7.66E+00
XE-138	5.75E+01	1.29E+00	5.88E+01

16) 사고 16 [중단이음관 파단사고와 격납건물격리 동시실패사고]

가) 사고개요

동 사고는 핵연료 채널의 양단 끝에 유로를 막는 중단이음관의 파손으로 인해 채널내 핵연료가 보일러실 및 핵연료장전실로 분출되어 주변의 구조물과 충돌로 핵연료 겹내 재고량과 입계 및 입계내 핵분열 생성물 재고량(Grain Boundary, Grain-bound Inventory)이 격납건물로 방출된다. 또한, 이때 방출된 방사성 핵종은 격납건물 누설을 통해 환경으로 누설된다. 사고후 채널에

서 방출된 열원에 의해 격납건물 압력은 3.45 kPa(g)에 이르게 되어 원자로가 트립되며, 비상노심 냉각주입이 가동된다. 격납건물내 보일러 및 핵연료 장전실의 중수 영역과 격납건물 환기계통이 위치한 경수 영역사이에는 파단 설정치가 7 kPa(g)인 분리판(Separation Panel)이 설치되어 있는데, 사고시 중수 영역의 압력은 이 설정치를 초과하게 되어 분리판이 파손되어 오염된 격납건물내의 대기는 경수영역으로 확산된다. 그후 격납건물내로 방출된 방사성 물질은 격납건물 환기계통의 입구측과 출구측 댐퍼의 작동실패로 환경으로 다량 누출되게 된다.

나) 계산가정

① 종단이음관의 파손이 발생하는 채널은 7.3 MW 출력을 갖는 O6_mod 채널이며, 최대 출력 핵연료 다발은 935 kW의 출력을 갖는다.

② 핵연료 다발이 구조물과의 충돌로 1.0 mm~7.64 mm 직경인 구(Sphere)형태로 쪼개어진다.

③ 103% 총 출력으로 가동중인 채널내의 갭 재고량과 일차계통내 방사성 핵종이 사고 순간에 갭 속재로 방출되면서 격납건물로 방출된다고 가정한다(이때, 감속재에서 요오드는 제거인자 20의 값으로 감소한다.).

④ 사고 0초에 불활성 기체는 전량이 격납건물로 분출된다고 가정한다.

⑤ 감속재로부터 방출된 요오드 중 0.1 %가 방출 즉시 유기성 요오드로 전환되어 격납건물 내에 존재한다고 가정한다.

⑥ 불활성 기체는 감속재내와 격납건물 내에서 방사성 붕괴 및 격납건물 누설을 통한 제거외에 다른 제거원은 없다고 가정한다.

⑦ 입구측 환기구의 방출 직경은 0.762 m이다.

⑧ 출구측 굴뚝의 방출 직경은 2.1 m이다.

다) 계산결과

열수력학적 거동분석의 결과는 다음과 같다. 사고 0초에 파단이 발생하여 냉각재와 방사성 핵종이 격납건물내로 방출된다. 사고 9초에는 격납건물내 방사능 준위가 격납건물 격리 설정치까지 상승하나 격납건물 환기계통의 입구측과 출구측 댐퍼가 작동실패하여 이들이 완전 개방된다. 사고 139초에 다우징이 가동되고, 138초에 격납건물 침투압력인 20.3 kPa(g)에 달한다. 160초에 다우징이 정지되고, 620초에 격납건물 증기발생기실의 압력이 대기압에 도달하게 되며, 16,840초에 계기공급공기 주입이 종료되어 방사능의 유출이 종료된다.

방사성물질의 방출량은 표 6.5.2-33에 그 결과가 주어져 있으며, 제한구역경계에서 2시간 동안 개인이 받는 선량을 계산하기 위한 핵종별 방사선원은 노심분포분율을 적용하여 표 6.5.2-34에 제시되어 있다. 이 방사선원에 의한 제한구역경계에서의 개인선량과 저인구지역에서의 집단전신선량 결과는 표 6.5.2-40에 주어져 있다.

표 6.5.2-33 방사성물질의 방출량(중단이음관 파단사고와 격납건물격리 동시실패사고시)

	2시간 동안의 방출량				사고 전기간동안 방출량			
	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물
입구측 환기구	2.52(+1)	2.41(-1)	4.06(3)	1.98(+0)	2.52(+1)	2.41(-1)	4.06(3)	1.98(+0)
출구측 굴뚝	1.11(+1)	1.32(-1)	2.04(+3)	1.37(+0)	1.11(+1)	1.32(-1)	2.04(+3)	1.37(+0)

주 : 불활성기체 혼합물의 단위는 BqJ이며, 나머지는 TBq임.

표 6.5.2-34 중단이음관 파단사고와 격납건물 격리 동시실패사고시 격납건물 외부로의 방출량

(단위 : TBq)

핵 종	입 구 측 환 기 구 방 출			출 구 측 굴 뚝 방 출		
	핵연료	H T S	계	핵연료	H T S	계
I-131	2.52E+01	2.41E-01	2.55E+01	1.11E+01	1.32E-01	1.12E+01
I-132	3.90E+01	3.73E-01	3.93E+01	1.72E+01	2.05E-01	1.74E+01
I-133	5.50E+01	5.26E-01	5.55E+01	2.42E+01	2.89E-01	2.45E+01
I-134	5.96E+01	5.70E-01	6.02E+01	2.63E+01	3.13E-01	2.66E+01
I-135	5.04E+01	4.82E-01	5.09E+01	2.22E+01	2.65E-01	2.25E+01
KR-83M	2.30E+02	5.43E-01	2.30E+02	1.16E+02	3.76E-01	1.16E+02
KR-85	4.99E+00	1.18E-02	5.01E+00	2.52E+00	8.17E-03	2.53E+00
KR-85M	4.60E+02	1.09E+00	4.61E+02	2.32E+02	7.51E-01	2.32E+02
KR-87	7.59E+02	1.79E+00	7.61E+02	3.83E+02	1.24E+00	3.84E+02
KR-88	1.15E+03	2.71E+00	1.15E+03	5.79E+02	1.88E+00	5.81E+02
KR-89	4.00E+01	9.44E-02	4.01E+01	2.01E+01	6.53E-02	2.02E+01
XE-131M	1.50E+01	3.54E-02	1.50E+01	7.55E+00	2.45E-02	7.58E+00
XE-133M	5.99E+02	1.42E+00	6.01E+02	3.02E+02	9.80E-01	3.03E+02
XE-133	4.06E+03	9.58E+00	4.07E+03	2.04E+03	6.63E+00	2.05E+03
XE-135M	7.09E+02	1.68E+00	7.11E+02	3.58E+02	1.16E+00	3.59E+02
XE-135	3.20E+02	7.55E-01	3.20E+02	1.61E+02	5.23E-01	1.62E+02
XE-137	1.90E+02	4.48E-01	1.90E+02	9.57E+01	3.10E-01	9.60E+01
XE-138	1.46E+03	3.45E+00	1.46E+03	7.35E+02	2.38E+00	7.38E+02

17) 사고 17 [종단이음관 파단사고와 격납건물 입구측 환기구격리 동시실패사고]

가) 사고개요

동 사고는 핵연료 채널의 양단 끝에 유로를 막는 종단이음관의 파손으로 인해 채널내 핵연료가 보일러실 및 핵연료장전실로 분출되어 주변의 구조물과의 충돌로 핵연료 겹내 재고량과 입계 및 입계내 핵분열 생성물 재고량(Grain Boundary, Grain-Bound Inventory)이 격납건물로 방출된다. 또한, 이때 방출된 방사성 핵종은 격납건물 누설을 통해 환경으로 누설된다. 사고후 채널에서 방출된 열원에 의해 격납건물 압력은 3.45 kPa(g)에 이르게 되어 원자로가 트립되며, 비상노심냉각주입이 가동된다. 격납건물내 보일러 및 핵연료 장전실의 중수 영역과 격납건물 환기시스템이 위치한 경수 영역사이에는 파단 설정치가 7 kPa(g)인 분리판(Separation Panel)이 설치되어 있는데, 사고시 중수 영역의 압력은 이 설정치를 초과하게 되어 분리판이 파손되어 오염된 격납건물내의 대기는 경수영역으로 확산된다. 그후 격납건물내로 방출된 방사성 물질은 격납건물 환기시스템의 입구측 댐퍼의 작동실패로 환경으로 다량 누출되게 된다.

나) 계산가정

① 종단이음관의 파손이 발생하는 채널은 7.3 MW 출력을 갖는 O6_mod 채널이며, 최대 출력 핵연료 다발은 935 kW의 출력을 갖는다.

② 핵연료 다발이 구조물과의 충돌로 1.0 mm~7.64 mm 직경인 구(Sphere)형태로 쪼개어진다.

③ 103 % 총 출력으로 가동중인 채널내의 겹 재고량과 일차계통내 방사성 핵종이 사고 순간에 감속재로 방출되면서 격납건물로 방출된다고 가정한다(이때, 감속재에서 요오드는 제거인자 20의 값으로 감소한다.).

④ 사고 0초에 불활성 기체는 전량이 격납건물로 분출된다고 가정한다.

⑤ 감속재로부터 방출된 요오드 중 0.1 %가 방출 즉시 유기성 요오드로 전환되어 격납건물 내에 존재한다고 가정한다.

⑥ 불활성 기체는 감속재내와 격납건물 내에서 방사성 붕괴 및 격납건물 누설을 통한 제거외에 다른 제거원은 없다고 가정한다.

⑦ 입구측 환기구의 방출 직경은 0.762 m이다.

다) 계산결과

열수력학적 거동분석의 결과는 다음과 같다. 사고 0초에 파단이 발생하여 냉각재와 방사성 핵종이 격납건물내로 방출된다. 사고 9초에는 격납건물내 방사능 준위가 격납건물 격리 설정치까지 상승하나 격납건물 환기시스템의 입구측 댐퍼가 작동실패하여 개방된다. 사고 121초에 다우징이 가동되고, 122초에 격납건물 침투압력인 20.6 kPa(g)에 달한다. 149초에 다우징이 정지되고, 이후 한번의 다우징 가동과 정지가 반복된다. 842초에 격납건물 증기발생기실의 압력이 대기압에 도달하게 되며, 16840초에 계기공급공기 주입이 종료하여 방사능의 유출이 종료된다.

방사성물질의 방출량은 표 6.5.2-35에 그 결과가 주어져 있으며, 제한구역경계에서 2시간 동안 개인이 받는 선량을 계산하기 위한 핵종별 방사선원은 노심분포분율을 적용하여 표 6.5.2-36에 제시되어 있다. 이 방사선원에 의한 제한구역경계에서의 개인선량과 저인구지역에서의 집단전신선량 결과는 표 6.5.2-40에 주어져 있다.

표 6.5.2-35 방사성물질의 방출량

(중단이음관 파단사고와 격납건물 입구측 환기구격리 동시실패사고시)

	2시간 동안의 방출량				사고 전기간동안 방출량			
	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물
입구측 환기구	2.76(+1)	2.62(-1)	5.05(3)	2.98(+0)	2.76(+1)	2.62(-1)	5.05(3)	2.98(+0)

주 : 불활성기체 혼합물의 단위는 BqJ이며, 나머지는 TBq임.

표 6.5.2-36 중단이음관 파단사고와 격납건물 입구측 환기구격리 동시실패사고시

격납건물 외부로의 방출량

(단위 : TBq)

핵 종	핵 연 료	H T S	계
I-131	2.76E+01	2.62E-01	2.78E+01
I-132	4.26E+01	4.04E-01	4.30E+01
I-133	6.01E+01	5.71E-01	6.07E+01
I-134	6.51E+01	6.18E-01	6.58E+01
I-135	5.51E+01	5.23E-01	5.56E+01
KR-83M	2.86E+02	8.17E-01	2.87E+02
KR-85	6.21E+00	1.78E-02	6.23E+00
KR-85M	5.72E+02	1.63E+00	5.73E+02
KR-87	9.44E+02	2.70E+00	9.47E+02
KR-88	1.43E+03	4.09E+00	1.43E+03
KR-89	4.97E+01	1.42E-01	4.99E+01
XE-131M	1.86E+01	5.33E-02	1.87E+01
XE-133M	7.46E+02	2.13E+00	7.48E+02
XE-133	5.05E+03	1.44E+01	5.06E+03
XE-135M	8.82E+02	2.52E+00	8.85E+02
XE-135	3.98E+02	1.14E+00	3.99E+02
XE-137	2.36E+02	6.75E-01	2.37E+02
XE-138	1.81E+03	5.19E+00	1.82E+03

18) 사고 18 [중단이음관 파단사고와 격납건물 기기 출입구 밀봉 동시실패사고]

가) 사고개요

동 사고는 핵연료 채널의 양단 끝에 유로를 막는 중단이음관의 파손으로 인해 채널내 핵연료가 보일러실 및 핵연료장전실로 분출되어 주변의 구조물과의 충돌로 핵연료 캡내 재고량과 입계 및 입계내 핵분열 생성물 재고량(Grain Boundary, Grain-bound Inventory)이 격납건물로 방출된다. 또한, 이때 방출된 방사성 핵종은 격납건물 누설을 통해 환경으로 누설된다. 사고후 채널에서 방출된 열원에 의해 격납건물 압력은 3.45 kPa(g)에 이르게 되어 원자로가 트립되며, 비상노심냉각주입이 가동된다. 격납건물내 보일러 및 핵연료 장전실의 중수 영역과 격납건물 환기계통이 위치한 경수 영역사이에는 파단 설정치가 7 kPa(g)인 분리판(Separation Panel)이 설치되어 있는데, 사고시 중수 영역의 압력은 이 설정치를 초과하게 되어 분리판이 파손되어 오염된 격납건물내의 대기는 경수영역으로 확산된다. 그후 격납건물내로 방출된 방사성 물질은 격납건물 기기 출입구 밀봉실패로 환경으로 다량 누출되게 된다.

나) 계산가정

- ① 중단이음관의 파손이 발생하는 채널은 7.3 MW 출력을 갖는 O6_mod 채널이며, 최대 출력 핵연료 다발은 935 kW의 출력을 갖는다.
- ② 핵연료 다발이 구조물과의 충돌로 1.0 mm~7.64 mm 직경인 구(Sphere)형태로 쪼개어진다.
- ③ 103 % 총 출력으로 가동중인 채널내의 캡 재고량과 일차계통내 방사성 핵종이 사고 순간에 감속재로 방출되면서 격납건물로 방출된다고 가정한다(이때, 감속재에서 요오드는 제거인자 20의 값으로 감소한다.).
- ④ 사고 0초에 불활성 기체는 전량이 격납건물로 분출된다고 가정한다.
- ⑤ 감속재로부터 방출된 요오드 중 0.1 %가 방출 즉시 유기성 요오드로 전환되어 격납건물 내에 존재한다고 가정한다.
- ⑥ 불활성 기체는 감속재내와 격납건물 내에서 방사성 붕괴 및 격납건물 누설을 통한 제거외에 다른 제거원은 없다고 가정한다.
- ⑦ 기기 출입구 밀봉의 방출 직경은 0.81 m이다.

다) 계산결과

열수력학적 거동분석의 결과는 다음과 같다. 사고 0초에 파단이 발생하여 냉각재와 방사성 핵종이 격납건물내로 방출된다. 사고 9초에는 격납건물내 방사능 준위가 격납건물 격리 설정치까지 상승하여 격납건물이 격리된다. 사고 120초에 다우징이 가동하고, 121초에 격납건물 침투압력인 20.6 kPa(g)에 달한다. 148초에 다우징이 정지하고, 이후 한번의 다우징 가동과 정지가 반복된다. 866초에 격납건물 증기발생기실의 압력이 대기압에 도달하게 되며, 16,840초에 계기공급공기 주입이 종료하여 방사능의 유출이 종료된다.

방사성물질의 방출량은 6.5.2-37에 그 결과가 주어져 있으며, 제한구역경계에서 2시간동안 개인이 받는 선량을 계산하기 위한 핵종별 방사선원은 노심분포분율을 적용하여 표 6.5.2-38에 제시되

어 있다. 이 방사선원에 의한 제한구역경계에서의 개인선량과 저인구지역에서의 집단전신선량 결과는 표 6.5.2-40에 주어져 있다.

표 6.5.2-37 방사성물질의 방출량

(중단이음관 파단사고와 격납건물 기기출입구밀봉 동시실패사고시)

	2시간 동안의 방출량				사고 전기간동안 방출량			
기기출입구 밀봉을 통한 누설	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물	I-131	요오드 혼합물	Xe-133	불활성기체 혼합물
	3.00(+1)	3.03(-1)	5.54(3)	3.61(+0)	3.00(+1)	3.03(-1)	5.54(3)	3.61(+0)

주: 불활성기체 혼합물의 단위는 BqJ이며, 나머지는 TBq임.

표 6.5.2-38 중단이음관 파단사고와 격납건물 기기 출입구 밀봉 동시 실패사고시

격납건물 외부로의 방출량

(단위 : TBq)

핵 종	핵 연 료	H T S	계
I-131	3.00E+01	3.03E-01	3.03E+01
I-132	4.63E+01	4.68E-01	4.68E+01
I-133	6.54E+01	6.61E-01	6.61E+01
I-134	7.09E+01	7.16E-01	7.16E+01
I-135	6.00E+01	6.06E-01	6.06E+01
KR-83M	3.14E+02	9.88E-01	3.15E+02
KR-85	6.83E+00	2.15E-02	6.85E+00
KR-85M	6.28E+02	1.98E+00	6.30E+02
KR-87	1.04E+03	3.26E+00	1.04E+03
KR-88	1.57E+03	4.94E+00	1.58E+03
KR-89	5.46E+01	1.72E-01	5.48E+01
XE-131M	2.05E+01	6.44E-02	2.05E+01
XE-133M	8.19E+02	2.58E+00	8.22E+02
XE-133	5.54E+03	1.74E+01	5.56E+03
XE-135M	9.69E+02	3.05E+00	9.72E+02
XE-135	4.37E+02	1.37E+00	4.38E+02
XE-137	2.59E+02	8.16E-01	2.60E+02
XE-138	1.99E+03	6.27E+00	2.00E+03

표 6.5.2-39 삼중수소 방출에 의한 개인선량

	삼 중 수 소 방 출 량 (TBq)				삼중수소 선량(mSv)	
	입구측환기구	출구측 굴뚝	격납건물누설	구 명	전 신	갑 상 선
	만성누설	MSSV누설				
사고 1	8.48(+02)	1.35(+03)			0.00	9.31(-1)
사고 2	8.80(-13)	1.25(-02)	3.23(+01)		0.00	1.37(-2)
사고 3	6.82(-12)	2.27(-04)	3.21(+01)			1.36(-2)
사고 4	1.49(-01)	5.05(-03)	2.32(+01)		0.00	9.89(-3)
	이차측	MSSV누설				
사고 5	8.54(+01)	2.21(+02)			0.00	1.30(-1)
사고 6	7.21(-09)	2.11(-04)	2.72(+00)		0.00	1.15(-3)
사고 7	1.44(+02)	9.45(+01)	9.18(+00)		0.00	1.05(-1)
사고 8	1.51(-01)	5.04(-03)	1.81(+01)		0.00	7.73(-3)
사고 9	6.16(+00)	3.32(+00)	1.46(+02)		0.00	6.59(-2)
사고10	1.09(+02)	5.78(-04)	8.85(+01)		0.00	8.37(-2)
사고11	1.77(-09)	5.85(-04)	5.35(+01)	1.51(+02)	0.00	8.66(-2)
사고12	2.50(-03)	3.31(+00)	9.62(+00)		0.00	5.48(-3)
사고13	8.80(-13)	3.11(+01)	9.21(+00)		0.00	1.71(-2)
사고14	1.33(-01)	1.64(-01)	2.17(+01)		0.00	9.32(-3)
사고15	6.82(-12)	3.70(+00)	1.65(+01)		0.00	8.56(-3)
사고16	4.46(+01)	2.45(+01)	8.82(+00)		0.00	3.30(-2)
사고17	5.31(+01)	1.04(-04)	6.13(+00)		0.00	2.51(-2)
사고18	1.42(-06)	1.07(-04)	7.24(+00)	6.22(+01)	0.00	2.94(-2)

표 6.5.2-40 사고별 제한구역경계에서 2시간 동안 개인선량

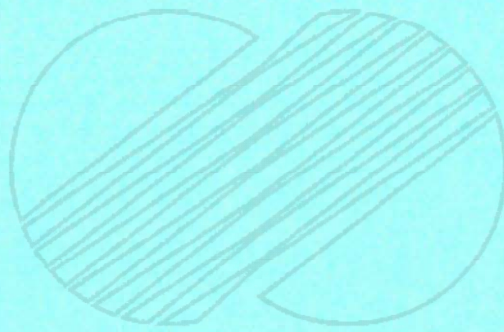
사고종류	제한구역경계에서의 개인선량 ¹⁾ (mSv)		주민집단선량(man-Sv)
	전신	갑상선	전신
사고 1	3.90E-01	4.52E+00	8.33E+00
사고 2	7.59E-02	5.00E-02	2.07E+00
사고 3	3.89E-03	1.47E-02	4.73E-01
사고 4	1.45E-02	2.09E-02	1.71E+00
사고 5	9.81E-03	1.44E-01	1.38E+00
사고 6	2.57E-02	2.39E-03	3.12E+00
사고 7	8.85E+00	6.29E+02	1.61E+02
사고 8	7.94E+00	5.11E+02	1.47E+02
사고 9	9.51E+00	5.21E+02	1.81E+02
사고 10	6.82E+00	3.59E+02	1.49E+02
사고 11	4.29E+00	2.83E+02	1.06E+02
사고 12	2.64E+00	2.15E+00	5.74E+01
사고 13	2.69E+00	2.12E+00	5.86E+01
사고 14	6.97E-01	7.99E-01	1.51E+01
사고 15	7.86E-01	5.79E-01	1.70E+01
사고 16	3.18E+01	3.09E+02	6.77E+02
사고 17	2.61E+01	2.34E+02	5.58E+02
사고 18	2.87E+01	2.55E+02	6.13E+02

주 : 1)삼중수소 방출에 의한 선량 포함.

VII. 환경영향평가 심사질의 · 답변 요약



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.



VII. 환경영향평가 심사질의·답변 요약

7.1 심사질의·답변 경위

환경처 제출용 월성원자력 3,4호기 환경영향평가서는 1992년 9월에 작성되었으며 과기처 제출용 평가서는 1992년 3월에 작성되었다. 이들 평가서는 각각 환경처 및 과기처에 제출되어 협의 또는 심사되었으며 그 경위는 다음과 같다.

7.1.1 환경처 협의경위

- 1991. 1. 8 : 환경영향평가서 협의 신청(한전 → 환경처)
- 1991. 2. 13 : 보완요청서 접수(환경처 → 한전)
- 1991. 5. 31 : 보완자료 제출(한전 → 환경처)
- 1991. 7. 20 : 보완자료 추가자료 제출(한전 → 환경처)
- 1991. 8. 8 : 환경영향평가서 협의 회신(환경처 → 한전)
- 1991. 9. 2 : 협의내용 이행계획 제출(한전 → 환경처)

7.1.2 과기처 심사경위

- 1992. 6. 12 : 건설허가 신청(평가서 제출) (한전 → 과기처)
- 1992. 11. 12 : 1차 심사질의서(총 42건) 접수(KINS → 한전)
- 1992. 12. 28 : 1차 1회 답변서 제출(한전 → KINS)
- 1993. 2. 9 : 1차 2회 답변서 제출(한전 → KINS)
- 1993. 2. 15 : 2차 심사질의서(총 28건) 접수(KINS → 한전)
- 1993. 2. 16 : 1차 3회 답변서 제출(한전 → KINS)
- 1993. 3. 15 : 1차 4회 답변서 제출(한전 → KINS)
- 1993. 4. 1 : 2차 1회 답변서 제출(한전 → KINS)
- 1993. 4. 14 : 2차 2회 답변서 제출(한전 → KINS)
- 1993. 5. 12 : 3차 심사질의서(총 15건) 접수(KINS → 한전)
- 1993. 6. 3 : 3차 답변서 제출(한전 → KINS)
- 1993. 7. : 최종심사보고서 작성(KINS)
- 1993. 8. 28 : 건설허가 취득

7.2 심사질의·답변내용 요약

7.2.1 1차 심사질의·답변내용

질의 No. 제 목	질 의 내 용	답 변 내 용
WI-2. 가.2)-1 부지구역	<ul style="list-style-type: none"> 그림 2. 가-2의 (부지구역 및 제한구역 위치도)에 인공지형물(도로, 학교, 마을 등) 및 자연지형물(나아천 등)을 표시하여 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 부지 및 제한구역을 포함하여 주변지역의 인위적, 자연적 지형물을 도면으로 표시하여 그림 1에 제시.
WI-2. 다.2)-1 수산물	<ul style="list-style-type: none"> 상업적 가치가 있는 어패류의 장래 어획고를 기술할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 현재 수산관련기관에서 어패류의 장래어획고를 추산한 자료는 보유하고 있지 않음. 차선택으로 과거 어획고자료를 토대로 그 경향성을 도출하여 장래 어획고를 추산할 수 있다. 그러나 과거 12년간 경주군 수협을 통해 계통판매된 주요 어패류(멸치, 꿈치, 전갱이, 정어리, 오징어, 골뱅이)의 위판고 자료(그림 1 참조)를 볼 때, 어획고의 변동이 심해 일정한 경향성을 도출하거나 증감요인을 분석하기가 곤란함.
WI-2. 다.2)-2 수산물	<ul style="list-style-type: none"> 발전소 배출구로부터 80km 이내에서 배수에 의한 영향을 받을 수 있는 어장이나 수산활동지의 위치를 그림으로 제시하고 어종 또는 산출물을 기술할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 기존호기(1, 2호기)를 포함한 4개 호기 가동시 온배수 확산범위 및 인근어장의 위치는 본문 그림 5.가-25에 제시. 영향권내에 위치하는 어장별 양식대상어종 및 환경영향에 대해서는 “인근어장의 주요 수산물의 생리활성에 미치는 영향” 및 표 5.가-17에 상세기술.
WI-2. 바.1)-1 지표수	<ul style="list-style-type: none"> 부지인근의 지표수현황중 기술되지 않은 대중천의 월별 유하량 자료를 제출하고 보고서를 보완할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 본 보고서 2.바) 1).(2).(가) 대중천 항목(p 2-193)의 하단부에 아래 내용을 첨가하여 보고서를 보완. “대중천의 기존 유하량 관측자료가 전혀 없으므로 부지인근의 포항측후소 월별 강수량자료(1982~1990)를 근거로 가지야마 공식을 적용하여 산출한 대중천의 월별 유하량은 표 1과 같다.”
WI-2. 바.2)-1 지표수 및 지하수	<ul style="list-style-type: none"> 3, 4호기 발전소 건설중에 사용되는 건설용수 및 건설인부의 생활용수를 2호기 건설과 관련하여 항목별, 건설단계별로 기술할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 월성원자력 1호기 건설용수 사용량(음용수 + 공사용수)실적자료를 기준으로 하여 2호기 및 3, 4호기 건설일정계획을 고려한 '91~'99년까지의 건설용수 수요량은 표 1에 제시.

질의 No. 제 목	질 의 내 용	답 변 내 용
WI-2. 바.2)-2 지표수 및 지하수	<ul style="list-style-type: none"> 부지인근 지표수계의 파라미터의 월별, 계절별 및 일시적 변동의 기술내용중 부지인근 하천의 주요지점에서의 물수지 분석자료를 제출할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> “월성원자력 용수원 조사 및 설계용역 보고서”(한전, 1992. 1)1부 별도 제출.
WI-2. 바.2)-1 지하수	<ul style="list-style-type: none"> 부지현황중 부지의 지하수위 변동상태 측정자료중 보고서에 기술되지 않은 부지의 지하수위 변동상태측정자료 (1991.11~1992.3)를 제출하고 보고서에 보완할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 본 보고서 2.바.2).나).(4) 시간에 따른 지하수위 변동항목을 다음과 같이 수정·보완. “부지지역의 지하수 분포상태를 파악하기 위하여 2호기 지역에 5개공과 4호기 지역에 8개공 등 총 13개공을 선정하여 피조메타를 설치하였다. 지하수위는 피조메타 설치이후부터 1992.3까지 계속되었으며, 측정 지하수위 변화상태와 강우량은 그림 1에 제시하였다.”
WI-4. 가.2)-1 물의 이용에 미치는 영향	<ul style="list-style-type: none"> 조·세골재 채취예정지역에서 채취할 경우, 조·세골재 채취로 인하여 채취지점 인근의 생활용수, 농업용수에 미치는 영향 및 대중천의 경우, 발전소의 공업용수, 생활용수 취수에 미칠 수 있는 영향을 평가하고 이에 대한 대책을 수립·제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 골재원 채취예정지중 나아천은 복류하천 구간으로 평수시 건천상태이며, 대중천, 하서천, 남천 및 오십천도 우수하상에 비해 전체 하폭이 넓어 우기를 제외하면 골재채취로 인한 하천수의 혼탁가능성은 크지 않을 것으로 예상됨. 골재의 선별과정에서의 하천의 탁도를 증가시킬 수 있으므로 유로변경, 오탁방지망 지막 설치, 하천내에서의 골재적취 금지 등 탁도방지책을 수립하여 시행할 예정임. 발전소의 공업용수와 생활용수는 골재채취 작업장에서의 저감시설의 운영과 함께 소내에 정수장을 설치하여 재차 침전, 여과 및 소독처리 한 후 배수할 것이므로 용수 이용에 영향은 예상되지 않음.
WI-4. 가.5)-1 소음·진동	<ul style="list-style-type: none"> 건설시 발파작업에 대한 적정 발파절차서, 발파허용기준치 및 이에 대한 영향평가자료를 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 본 3, 4호기는 건설공정상 현재 본관 기초 굴착공사가 수행되지 않고 있으며, 따라서 발파계획서가 작성되지 않은 상태이므로 추후 자료가 확보되면 관련자료를 송부할 예정.
WI-4. 가.5)-2 지 질	<ul style="list-style-type: none"> 성토예정지역의 일부가 경계선 밖을 점유하고 있으므로 이 지역의 토지이용현황, 계획 및 대책을 제시하고, 또한 건설공사시 절토량이 약 70만 m^3이 발생되므로 계획된 각 성토지역별 처리능력을 정량적으로 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 현재의 부지경계선 남쪽에 위치한 나아리 일대의 약 11만평 정도가 신규부지로 편입될 예정임. 본 지역은 국토이용계획상 도시지역에 해당되며 도시계획상 공업지역, 생산녹지지역, 자연녹지지역에 해당됨. 이 지역은 추후 발전소입지를 위한 공업지역으로 토지이용이 전환되며 따라서 기존에 비해 토지이용효율이 증대됨. 건설공사시 발생되는 절토량은 추가매입부지 및 사택부지내 운동장에 매립·성토할 계획이며, 본 보고서 그림 4.가-9에서 제시한 각 성토지역별 성토가능량은 표 1과 같음.

질의 No. 제 목	질 의 내 용	답 변 내 용
WI-4. 가.5)-3 지질	<ul style="list-style-type: none"> 조·세골재 채취예정지역(대종천외 5개 지역)에서 채취할 경우, 조·세골재 채취로 인하여 채취지점 인근주민, 가옥, 토지이용 및 주변도로 등 지형변화에 미칠 수 있는 악영향 유무를 평가하여 제시하고, 이 악영향에 대한 적절한 최소화계획을 수립하여 보고서에 반영할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 조·세골재 및 석재채취로 인하여 주변지역의 토지이용, 지형변화에 미칠 수 있는 영향에 대해서는 본 보고서의 4.가.1).라) 및 4.가.5).바)에 언급하였음. 악영향 최소화계획은 본 보고서 “4.다.1).가) 조·세골재 채취로 인한 지형변화 저감대책” 및 “(2).다) 석산개발후의 식생복원대책”에 기술.
WI-4. 가.5)-4 지질	<ul style="list-style-type: none"> “바) 지질”항에 발파작업으로 인한 인근주민, 가옥 등의 구조물에 영향평가 사항을 분항에서 삭제하고 “라)소음·진동”항에 기술할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 본 보고서 “4.가.5).바).(2) 지질”항의 내용중 “또한 발파작업으로 인하여 기존 발전소 및 인근 가옥 등의 발파허용기준을 만족하도록 발파를 수행하여야 한다.”부분을 삭제하고 “4.가.5).라).(1).(가).① 구조물 건설소음”항단에 다음 내용을 첨가한다. “또한 발파작업으로 인하여 주변구조물 및 인간에 미치는 영향을 최소화하기 위해서는 적정 발파절차서를 제정하고 규정된 발파허용기준에 따라 발파를 수행하도록 한다.”
WI-5. 바.-1 악영향 최소 화계획	<ul style="list-style-type: none"> 온배수에 의한 영향의 저감방안 모색을 위하여 ‘최적 취·배수 구조물에 대한 연구’의 수행기관, 수행내용, 수행완료시기 등 전반적인 연구계획서를 제출할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 최적 온배수 구조물에 대한 연구과제의 계획서 개요 : 별첨 연구개발 시행계획서 사본 참조
WI-5. 바.-2 악영향 최소 화계획	<ul style="list-style-type: none"> 해양생태계 및 해양환경에의 영향최소화 대책에서 비교한 각 방법에 대한 근거자료를 밝히고 요약한 내용을 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 각 냉각방식 대안검토시 참고한 자료와 각 자료의 요약내용은 다음과 같다. 가. Southern California Edison Company, 1974, 7, Economic and Environmental Impacts of Proposed EPA Effluent Guidelines on SCE Coastal Generating Stations. 1972년에 개정된 미연방수질오염규제법에서는 폐열의 공공수역 방류를 최소화 한다는 원칙 아래 이의 달성을 위해 연차적으로 “경제적으로 달성가능한 최선의 실용 저감기술”의 적용을 규정하였다. 그리고 미국 환경보호청은 발전소 온배수에 대한 최선의 실용저감기술로 냉각탑(또는 냉각지)을 이용한 재순환냉각방식을 권고하였다. 이에 따라 Edison 전력회사는 남부 캘리포니아의 해안에 입지한 8개 발전소를 대상으로 미국환경보호청이 권고한 재순환 냉각방식의 적용에 따른 추가 비용추산과 여러 대안들의 경제적·환경적 측면에서의 사전평가를 실시하였다.

질의 No. 제 목	질 의 내 용	답 변 내 용
(계 속)	(계 속)	<p>이 보고서에서는 냉각지, 분사식냉각지, 자연통풍습식냉각탑, 강제통풍습식냉각탑, 건식냉각탑 및 건·습식냉각탑을 이용한 재순환 냉각방식들의 원리설명과 각 방식의 경제성, 환경위해성 등이 종합평가 되었다.재순환냉각 방식은 일회냉각방식에 비해 발전효율 저하, 비산증기 및 안개발생, 추가부지소요, 담수보충수 공급 등의 문제점을 안고 있으나 <u>미국 환경보호청의 지침을</u> 만족하기 위해서는 재순환냉각방식의 적용이 불가피하며 재순환방식으로는 <u>부지여건상</u> 담수공급 건·습식냉각탑방식이 최적대안이라는 결론을 내렸다.</p> <p>나. The Cleveland Electric Illuminating Co., 1972, Perry Nuclear Power Plant Units 1 & 2 - Environmental Report, Vol.5, Chapter 10 - Plant Design Alternatives</p> <p>Perry 원자력발전소(미국 펜실바니아주 Erie 호안에 위치, 1200MWe/unit) 건설인가단계에서 작성된 환경영향평가서로, 이 보고서의 10장에는 취배수방식에 대한 여러 대안들의 경제성, 환경위해성 등이 비교·검토되었다.</p> <p>대안으로 고려한 방식으로는 일회냉각, 자연통풍 습식냉각탑, 강제통풍 습식냉각탑, Spray Channel, 냉각지, 건식냉각탑 및 건·습식냉각탑방식이었으나 냉각지방식은 부지 확보면에서, 그리고 건식냉각탑방식은 경제성, 열효율성 및 Tower 개발상태의 미흡성을 이유로 검토대상에서 제외되었다.</p> <p>습식냉각탑과 Spray Channel 방식은 일회냉각방식에 비해 초기투자 및 운전유지비가 높으며, 환경측면에서는 일회냉각방식에서의 생물포획연행 영향은 줄일 수 있으나 안개발생에 따른 가시거리 감쇄, 도로결빙, 농산물 냉해의 위해성이 큰 문제점으로 지적되었다.</p> <p>이러한 제반 냉각방식에 대한 경제성, 환경위해성에 대한 검토를 통해 일회냉각방식으로 하되 심층취배수방안을 채택함으로써 법적규제기준을 만족하고 환경위해성을 저감할 수 있도록 설계하였다.</p>

질의 No. 제 목	질 의 내 용	답 변 내 용
(계 속)	(계 속)	<p>다. U.S. AEC, 1973. 3, San Onofre Nuclear Generating Station Units 2 and 3 - Environmental Statement, Ch. 12. 4</p> <p>San Onofre 원자력발전소의 취수방식(심층 취수, Velocity Cap 설치) 및 배수방식(심층 배수, 다중분류관설치)에 대해 미국원자력위원회에서 여러 대안과 함께 검토한 내용이다.</p> <p>냉각방식에 대한 대안으로는 심층단일방류관방식, 혼합희석방류방식, 해수냉각탑방식 등이 검토되었다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ 단일방류관방식 : 온배수에 대한 State Regulation을 만족할 수 없어 대안으로 적정치 않음. ◦ 혼합희석방류방식 : 취수량 증가에 따른 어류포획연행영향증가 및 시설부지소요 ◦ 해수냉각탑방식 : 시설부지확보, 안개발생, 염분침전, 동결, 미관훼손, Fan 소음 등의 문제점 지적 <p>온배수의 해양생태계 및 환경영향과 주(state)의 규제기준, 투자비용, 비산염분영향 등을 감안한 검토결과 발전소측이 제안한 일회냉각-심층 취배수방식이 적정대안이라고 평가하였다.</p> <p>라. 한국전력기술주식회사, 1986. 8, 표준석탄화력발전소 개발용역보고서 - 제 2단계(토건분야) - C.W. System에 대한 기술사항 검토</p> <p>냉각수 순환계통 기본설계의 표준화를 위해 취배수방식을 포함한 계통 각 구성요소들의 기능, 수리현상, 환경관련 문제점들을 비교·검토하였다.</p> <p>취배수방식으로는 일회냉각방식과 재순환방식 그리고 이 두가지를 절충한 혼합방식은 직접순환방식에 비해 시설투자 및 유지비가 높아 발전단가의 상승을 유발하며, 냉각설비의 시설을 위한 추가부지의 소요로 적정대안으로 제시하기 곤란한 것으로 평가하였다. 현실정로서는 직접순환방식을 채택하되 부지여건을 고려하여 환경영향을 최소화할 수 있도록 계통을 배치 및 계획토록 함이 타당하다고 하였다.</p>

질의 No. 제 목	질 의 내 용	답 변 내 용
(계 속)	(계 속)	<p>마. 한국전력공사, 1986. 9, 원자력발전소 11,12 호기 건설사업 환경영향평가서(환경처 제출용), pp.500-562, KOPEC 198-P-0009.</p> <p>온배수 대처방안으로 기존의 일회냉각방식 이외에 냉각탑, 냉각지, 분사식 냉각방식에 대한 적용타당성이 검토되었다.</p> <p>그러나 이들 방식들은 추가설비 시설에 따른 40~100%이상의 발전단가 상승과 국 지기상변화를 유발하는 문제점이 있으며, 해 수냉각탑의 경우 염분처리기술에 그리고 냉 각지의 경우 약 6,000m²/MW의 용지를 확 보해야 하는 어려움이 있어 적용이 곤란하 다고 평가하였다.</p> <p>바. 추천신일(千秋信一), 중곡무(中谷茂), 1972. 9, 온배수문제 II - IAEA 오슬로 심포지 움에서 본 세계의 연구동향, Ch. 2.43 배 열의 유효이용 발전소 온배수의 유효재활 용을 위한 각국의 연구동향이 기술되어 있으며, 그 중 야채생산, 어류양식, 도시폐 기물처분시설, 농작물건조 등에 유효이용 하는 방안이 소개되어 있다.</p> <p>사. 한국해양연구소, 1990. 7, 발전소 온수를 이용한 고급어류 양식기술 개발</p> <p>고리, 영광원자력발전소와 보령, 서천, 삼 천포, 영동화력발전소를 대상으로 온배수를 이용한 양식방안이 연구되었다. 연구내용 으로는 각 발전소의 환경 및 부지여건을 감안한 양식어종선정, 직접 양식시설 및 주 요 생산규모결정, 종묘생산기술, 어종별 화 학적 내성실험 등이며, 전체적으로 경제성 이 매우 양호한 것으로 분석되었다.</p> <p>아. 일본 온수양어개발협회, 1990. 3, 온수양어 기술자료, PP.11-12</p> <p>일본에서 온배수를 이용하여 어류를 양식 하는 발전소와 각각의 양식어종이 도표로 제 시되었다.</p>
WI-7.가. 4)-12 사고 발생 확률 검토	<p>◦ 1.0(-6)보다 큰 사고 발생확 률을 갖는 이중사고를 제외 시킨 이유 설명</p>	<p>◦ 추가적으로 이중사고에 의한 방사능영향을 평가하여 제출할 예정임.</p>

질의 No. 제 목	질 의 내 용	답 변 내 용
WI-7-9 격납용기 누설율	<ul style="list-style-type: none"> 3,4호기 ER에서 격납 건물 누설율이 오히려 작게 설정된 근거와 타당성을 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 한전, "월성 원자력 1호기 원자로 격납용기 누설율 시험보고서", 1989, 1990자료를 사용하여 제시된 변수이며, 사고시에 적용할 경우에 다소 보수적인 변수임.
WI-7-2,3 핵연료 취급 사고	<ul style="list-style-type: none"> 기상 및 인구분포자료의 2호기와 3,4호기의 차이에 대한 근거 및 불확실도를 평가하여 제출할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 기상자료는 2호기에서는 87.3.1부터 90.2.28까지의 자료이고, 3,4호기는 88.3.1부터 91.2.28까지의 자료를 사용함. 인구분포자료는 2호기와 3,4호기에서 장래의 연평균 인구성장률 추이가 다르게 적용되었음.
WI-5.나. -1,2,3 정상운전시 피폭선량 계산	<ul style="list-style-type: none"> H-3에 의한 피폭경로별 선량을 계산, 비교 평가하여 제출. 2호기와 3,4호기에서 선량평가 계산 입력자료 변화 이유 및 근거 제시 	<ul style="list-style-type: none"> 월성 원전 삼중수소 저감화 대책보고서에서 평가 예정. 2호기에서는 보수성이 크게 평가하였으나 3,4호기에서는 한국실정에 맞는 부지특성자료를 사용하는 등 현실적인 평가를 위하여 일부 변수를 변경함.
WI-7.가. 2,3 핵연료 취급 사고	<ul style="list-style-type: none"> 전신과 갑상선 선량환산인자의 출처가 다른 이유를 제시하고, 각 출처별 선량계산 비교 제출 	<ul style="list-style-type: none"> 전신선량 환산인자는 캐나다 자료를 사용하였으며, 갑상선선량 환산인자는 미규제지침서의 값을 사용하였음. 이는 각 경우 보수적인 값을 선택한 것임. 비교결과평가 제출함
WI-7.가.-5 소형냉각재 상실사고	<ul style="list-style-type: none"> 방사선원향이 월성 2 호기에 비해 10배 이상의 차이를 보이는 이유 설명 	<ul style="list-style-type: none"> 3,4호기 ER은 2호기 PSAR을 참조하였으며 2호기에서는 냉각재내 전량이 격납건물로 방출된 값을 사용하였으나, 3,4호기에서는 격납건물 방출량중 9%에 해당하는 격납건물 대기중 방사선원을 사용하였음.
WI-7-4 대형냉각재 상실사고	<ul style="list-style-type: none"> 대형냉각재 상실사고의 선원향이 2호기 PSAR과 다르게 산출한 방법, 그 방법의 타당성과 근거자료를 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 월성 2호기 PSAR과 월성 3,4호기 ER의 값은 동일한 값이며, 월성 2호기 ER에 주어진 값은 확률론적 분석에 의한 방사선원으로서 선량평가를 수행하는 방사선원으로 사용하지 않고 핵연료로부터의 방사성물질 방출량을 계산할 경우에만 적용함.
WI-7-6 소형냉각재 상실사고	<ul style="list-style-type: none"> 입구자관(Feeder)파단사고를 평가하여 선량치를 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 종단이음관파단사고와 유사한 결과를 초래하므로 2호기 PSAR 15.2.1.2.B.5의 선원향과 종단이음관 파단사고시 가정을 적용하여 평가후 제출함.

질의 No. 제 목	질 의 내 용	답 변 내 용
WI-7.4 -11~15 증기발생기 튜브파손사고	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 사고전 1차측에서 2차 측으로의 누설율 20kg/hr의 가정 근거 제시 ◦ 사고기간동안 2차측으로의 누설총량의 가정 근거를 제시. ◦ 증기발생기내 증수총량의 의미를 밝히고 경수량을 제시할 것. ◦ 환경방사선량 계산에 사용된 증수, 경수의 대기방출량을 제시할 것. ◦ 1개 증기발생기 튜브 파단확률이 1.0(-3)인 근거를 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Point Lepreau 1호기의 전 운전기간에 대해 평가된 자료를 사용함. ◦ 월성 2호기 PSAR에 제시된 변수임. ◦ 방사능 영향 평가시 사용되지 않는 변수이며, 증기발생기 4대의 경수총량은 162,000kg으로 월성 3,4호기 PSAR에 제시된 변수임. ◦ 월성 3,4호기 ER에는 2호기 PSAR의 값을 인용하여 제시한 값이며, 3,4호기 PSAR에서는 이와 다른 값을 보이고 있음. ◦ Darlington PSA 결과 동 사고의 발생확률은 1.0(-2)events/yr로 수정함.

7.2.2 2차 심사질의·답변내용

질의 No. 제 목	질 의 내 용	답 변 내 용
WII-2.다.-1 하서천 용수 원댐의 건설	<ul style="list-style-type: none"> 담수하게될 수물지역내 각종 폐기물 처리대책을 현실적으로 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 수물지역내에 분포하는 가옥, 분뇨, 수목 등 각종 폐기물은 담수후 저수지의 수질오염을 유발하게 되므로 저수지 수질보전을 위하여 다음과 같은 대책을 시행할 예정임. <ul style="list-style-type: none"> - 분뇨처리대책 : 수물지역내의 분뇨는 전량 수거하여 분뇨종말처리장에 위탁처리하며, 거름과 퇴비는 댐하류지역으로 전량 이송. - 가옥 등 처리대책 : 이주주민은 가급적 댐 하류지역에 정착하도록 유도하여 상류지역의 오염원을 최소화하도록 함. - 수목처리대책 : 식생상태가 양호한 우수수목은 수물지역밖에 식재하며, 기타 잡목은 모두 제거토록 할 것이다.
WII-2.다.-2 하서천 용수 원댐의 건설	<ul style="list-style-type: none"> 댐 건설후 호수의 부영양화 예측을(PO_4-P농도를 이용하여) Model식을 사용하여 실시하고 부영양화 예상시 이를 방지하기 위한 대책을 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 부영양화 예측 Vollenweider(1976)는 저수지의 수리학적 특성치를 이용한 다음의 관계식으로부터 저수지의 장기적 평형 또는 정상상태의 부영양화도를 예측하였다. 즉 저수지가 부영양화되는 임계 인부하량을 구하여 인부하량이 허용 임계인부하량보다 적으면 빈영양호가 되고, 과잉 임계인부하량보다 많으면 부영양호가 될 것으로 예상하였다. 허용임계인부하량(L_{cp}, $mg/m^2/yr$) $=10Q_s(1+(Z/Q_s)^{0.5})$ 과잉임계인부하량(L_{ce}, $mg/m^2/yr$) $=20Q_s(1+(Z/Q_s)^{0.5})$ 본 용수원댐 저수지의 경우 평균수심(Z) 8.52m, 수리학적 표면부하량(Q_s)이 26.0 m/yr로 허용 임계인부하량과 과잉 임계부하량은 각각 0.41g-p/m^2/yr, 0.82g-p/m^2/yr이다. 용수원댐 축조예정지점의 수질조사결과에 따르면 합류지점의 총인농도는 평균 0.027 mg/l로 이러한 유입수의 수질이 댐축조후에도 계속 유지된다고 가정할 경우 저수지내로 유입되는 총인부하량은 약 0.70g-p/m^2/yr이다. 이를 Vollenweider의 임계인부하량 판정기준과 비교해 보면, 장래 댐상류유역의 오염원이 그대로 존속할 경우 용수원댐은 중영양호 단계에 이를 것으로 예측된다.

질의 No. 제 목	질 의 내 용	답 변 내 용
(계 속)	(계 속)	<p>○ 수질보전대책</p> <p>가) 유역관리대책</p> <p>용수원 저수지 상류유역은 유역면적이 작고 유역내에는 현재 일부 농가에서 사육하는 한우외에는 특이할 만한 오염발생원이 없어 저수지의 부영양화는 기대되지 않으나, 향후 유역내에 목장이나 양어장 등이 신설될 경우 저수지의 부영양화 가능성은 배제할 수 없게 된다. 따라서 유역내에 영양염의 주된 배출원인 목장이나 양어장의 신설을 관할군청과 협의하여 가급적 억제토록 하는 것이 바람직하며, 이와 병행하여 유기합성세제와 농비의 적정사용을 홍보하여 저수지 수질보전을 위한 유역주민들의 협조를 구하도록 한다.</p> <p>나) 수질감시</p> <p>저수지와 댐하류방류수에 대한 지속적인 수질조사를 통해 수질변화와 부영양화의 발생가능성을 추적하도록 하며, 특히 부영양화의 발생이 예상될 경우에는 추가로 원인생물의 동정등 세부조사를 실시한 후 효과적인 대책을 수립·시행할 것이다.</p>
WⅡ-2.다.-3 하서천 용수 원댐의 건설	<p>○ 댐 건설후 방류되는 유량과 유속이 하서천의 자정능력 유지에 문제는 없는지를 설명할 것.</p>	<p>○ 용수원댐 저수지의 월별 유입량과 발전용수 취수 및 댐하류로의 방류수량은 표 WⅡ-2.다.-3과 같이 추정된다. 용수원댐 건설 예정지 하류의 수리이용현황을 보면, 간이급수시설 3개소의 생활용수 취수를 제외하고는 대부분이 농업용수로 이용하고 있으며, 간이급수시설에서 취수하는 용수량은 183m³/일 정도이다.</p> <p>그리고 댐하류의 물리면적 189ha의 농업용수 수요량은 인근 낙동강유역 중 부지지역의 월별 관개용 수심자료를 적용할 때 연간 약 $2,262.2 \times 10^3 \text{m}^3$으로 추정된다. 따라서 월별 댐하류 방류수량중 생활용수 및 농업용수 취수량을 제외한 잉여수량은 표 WⅡ-2.다.-5와 같다.</p> <p>하서천 댐하류구간의 하천유지수량은 인근 하천유지수량 원단위인 0.002m³/sec/km²을 적용할 때 약 3,110m³/일이 요구되는데, 표 WⅡ-2.다.-5의 월별 잉여수량을 감안할 때 갈수기에도 자정능력유지 등 하천고유의 기능과 상태를 유지할 수 있을 것으로 판단된다.</p> <p>또한 댐 하류하천의 유지수 공급을 위한 여수로 조절장치를 설치하여 안정적으로 하류에 일정유량을 방류함으로써 댐건설이후에도 문제가 없도록 할 것이다.</p>

질의 No. 제 목	질 의 내 용	답 변 내 용
WII-2.다.-4 하서천 용수 원댐의 건설	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 댐 건설전후 야기되는 각종 문제점(예 : 하서천 부유물질 증가, 냉해·안개일수 증가 등)에 대한 대책을 설명할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 부유물질 본 용수원댐의 축조시에는 본댐의 축조에 앞서 댐 축조지점 상류에 미리 가물막이 댐을 축조하여 상류로부터의 유입수를 가배수터널을 통해 본 댐 축조지점 하류로 우회토록 함으로써 공사기간중 홍수로 인한 댐체의 유실을 방지하고, 공사장 주변의 토사가 하천으로 유출되지 않도록 계획하고 있다. 그리고 가물막이댐과 가배수터널은 갈수기 중에 축조할 계획이며, 가배수터널을 통해 유수전환하기 때문에 본댐 및 가물막이댐 건설공사장으로 부터의 직접적인 토사유출은 예상되지 않는다. ◦ 냉해 수도생육기간인 4~9월의 저수지 수온은 수직적으로 수온성층현상을 나타내어 저층수온이 표층수온에 비해 5~10℃ 낮은 냉수괴를 형성하므로, 저층냉수의 방류는 댐하류 농경지의 수도생육에 냉해를 입힐 가능성이 있다. 본 용수원댐의 경우 여수로를 통해 월류되는 저수지의 표층수를 댐하류로 방류하므로 댐건설에 따른 이러한 냉해의 영향은 예상되지 않는다. ◦ 안개일수 증가 등 미기상변화 내륙지방에 대규모 저수지가 조성된 지역에서는 특히 안개일수의 증가가 뚜렷이 나타나는데, 이의 한 예로 소양강댐 건설후 인근 춘천지역의 안개일수가 연간 약 40일 정도 증가한 것으로 보고되고 있다. 그러나 소양강댐의 저수지면적 70km²에 비하여 본 용수원댐 저수지의 면적은 0.43km²에 불과하며, 댐건설위치가 해안과 가까워 저수지 조서에 따른 안개일수 증가 등의 미기상학적 변화는 경미할 것으로 예상된다.
WII-2.다.-5 지표수 및 지하수	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 3, 4호기 발전소 건설중에 사용되는 건설용수 및 건설인부의 생활용수(1차 질의번호 WI-2.바.2)-1의 답변중 “표 1. 건설용수량 추정”)를 월성 2호기 ER심사시에 제출된 답변서(WII-4.가.5)-2 “표 2. 월성 1, 2호기 용수수요량 추정”)와 통합하여 표로 제시하고, 용수부족분에 대한 구체적인 계획을 제출할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 월성 2, 3, 4호기의 건설 및 가동기간중 용수수요량은 표 WII-2.다.7과 같이 추정된다.

질의 No. 제 목	질 의 내 용	답 변 내 용
WⅡ-2.라.-1 해양생태계	<ul style="list-style-type: none"> 대부분 식물플랑크톤의 경우 짧은 세포 번식기간을 고려할 때, 분기에 1회 채집한 결과로써 식물 플랑크톤 생태계 전반에 관한 설명이 가능한 지를 설명할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 식물 플랑크톤은 해수중의 영양염을 섭취하여 광합성을 통하여 유기물을 합성, 세포 구성물질을 생산하고 에너지를 획득한다. 광합성을 통한 식물 플랑크톤의 성장, 증식을 기초생산력이라 부른다. 식물 플랑크톤의 생산은 연중 변화하는데 이같은 식물 플랑크톤 군집의 계절변화가 어느 지역이나 정확히 일치하는 것은 아닐지라도 북반구 온대해역에서 나타나는 일반적 현상이다. 식물 플랑크톤의 doubling time이 양호한 환경에서 수 시간 내지 수일이라 할지라도 식물 플랑크톤에 대한 생태학적 조사에서 최소한 계절별 조사가 수행되어야 하는 이유이다. 식물 플랑크톤의 조사에서 계절별 1회 조사가 충분하다고 할 수는 없지만 계절별로 연간에 걸쳐 조사를 수행할 경우 조사해역에 대한 어느 정도의 식물 플랑크톤 군집구조의 파악이 가능하다고 판단된다.
WⅡ-2.라.-2 해양생태계	<ul style="list-style-type: none"> 환경영향평가시 “종다양도 지수”가 어떻게 활용되고 있는가를 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 생물군집의 군집구조를 분석하는데 우점도 지수, 유사도지수, 종다양도지수 등 여러가지 지수가 사용될 수 있다. 이중 종다양도지수는 개체수, 생체량 또는 생산력 등 개체의 중요도와 종수의 비로써 나타내며 주로 Shannon-Weaver(1963)의 종다양도지수(H')가 많이 사용된다. $H' = -\sum (n_i/N) \log(n_i/N)$ <p>여기서 n_i = 각종의 개체수 N = 총개체수</p> <p>이러한 다양성의 개념에는 많은 중요한 생태학적인 원리가 들어있으며, 높은 다양성은 긴 먹이연쇄, 보다 많은 공생관계 그리고 변동을 감소시켜 안정성을 높이는 큰 (-)의 feedback 지배의 가능성을 의미한다. 오래되고 안정된 군집에서는 다양성이 높고, 새롭고 불안정한 군집에서는 낮은 경향을 보이는 것이 일반적이다.</p> <p>본 환경영향평가에서는 각 생물군집의 정점별, 계절별 종다양성지수를 산출함으로써 현재의 물리적 환경조건과 군집구조의 안정성을 분석하여 외부자극에 의한 변화 정도를 평가하고, 나아가 발전소 건설에 따른 온배수의 배출등 환경변화에 의하여 해양생태계에 미칠 수 있는 영향을 예측하는 한 방법으로서 종다양도지수를 이용하고 있다.</p>
WⅡ-2.사.-1 수질	<ul style="list-style-type: none"> 여름의 pH, COD와 겨울의 SS 농도가 타계절보다 높은 원인을 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 여름의 pH가 다른 계절에 비해 높은 이유는 해양의 일차생산자의 광합성작용이 증가하여 CO₂를 해수중에 방출하기 때문이다.

질의 No. 제 목	질 의 내 용	답 변 내 용
(계 속)	(계 속)	<p>○ 해양의 pH를 조절하는 인자중 가장 중요한 것이 carbonate system이며, 본 해역의 경우 겨울에 비해 야간 높은 정도이다. 여름의 COD가 높은 이유는 식물성 플랑크톤의 양이 증가하고 인간활동에 의한 비점원 오염원이 증가하기 때문이다.</p> <p>SS의 농도는 조사해역의 수심이 얕아 겨울철의 강한 바람에 의해 저층에서부터 부유되는 부유사가 많기 때문이다.</p>
WII-2.사.-2 수질	○ pH, COD, SS 분포도에서 일부의 관측값이 누락된 이유를 제시할 것.	○ pH, COD, SS 분포도는 중요한 정점에 대해서만 그린 것으로 조사내용을 요약할 수 있는 것임. 전 정점으로 분포를 그릴 경우 변화양상을 알아보기 어려움.
WII-2.사.-3 수질	○ 겨울의 pH(정점 11, 12), 여름의 DO(정점 10), 겨울의 COD(정점 2), 가을의 SS(정점 4) 및 겨울의 (정점 11, 12)가 주변정점 농도보다 높은 원인을 제시할 것. 또한 그 외 조사항목에서 조사결과치가 주변정점 또는 타계절보다 특별히 높거나 낮은 경우가 다수 존재하는 바 그 원인을 제시할 것.	○ 해양의 현상은 여러가지 복잡한 요소에 의해 지배되므로 모든 분포가 균일하게 변화를 보이지 않음. 그 원인중 중요한 것으로는 일부 정점에서 식물성 플랑크톤의 증식이 활발한 경우, 저층퇴적물의 성분이 나올 경우, 해류의 흐름이 복잡한 경우 등을 들 수 있음. 많은 경우 이러한 미세구조에 의한 원인은 밝혀져 있지 않은 것이 많음.
WII-2.사.-4 열발산계통	○ 모델에서 사용된 난류확산계수는 $Kx=1.6 \times 10^3 \text{cm}^2/\text{sec}$, $Ky=1.6 \times 10^6 \text{cm}^2/\text{sec}$ 이다. Kx, Ky 산정방법을 제시할 것.	<p>○ 표층에 분사물체를 띄워 시간에 따른 분산 특성을 추적하였다. 부록 그림 2.사-27은 1990년 7월 31일 조사결과로, 창도류시(Drough 1, 2)에는 외해로 향한 분산이 매우 미약하였으며, 조류의 방향과 일치하여 이동되는 현상을 보였다. 또한 배수구에서 방출된 거품의 흐름과 같이 조류방향으로 늘어선 띠를 형성하며 이동되었다. 낙조류시(Drough 3, 4)에 관측된 표류체의 이동경로 및 분산형은 타원형의 분산보다는 조류에 의해 이동되는 현상을 나타내었다. 그림 2.사-28의 Drough 1, 2는 정조시간에 온배수 젯트영역에 투하된 분산체의 이동경로로서 같은 시간의 부표추적경로와 일치한다. 이 그림의 Drough 3, 4는 낙조류 시간에 투하된 분산체 이동경로이며, 관측된 해조류의 분석에서도 나타났듯이 외해방향의 난류세기는 매우 미약하다.</p> <p>분산실험에서 얻어진 자료로부터 시간에 따른 분산중심 이동속도는 부록 표 2.사-8과 같다. 평균 이동속도는 $10 \sim 15 \text{cm/sec}$로서 방향은 조류방향과 일치하지만, 유속계 관측치보다 다소 크게 나타났다.</p>

질의 No. 제 목	질 의 내 용	답 변 내 용
(계 속)	(계 속)	<ul style="list-style-type: none"> 현장조사시 나타난 분산체의 분산특성을 종합하면 남북방향으로는 10분에 약 100미터, 동서방향으로는 10분에 약 10미터 늘어나는 분산으로 볼 수 있다. 계산식을 이용하여 추산된 분산계수는 $Kx=1.6 \times 10^3 \text{cm}^2/\text{sec}$, $Ky=1.6 \times 10^6 \text{cm}^2/\text{sec}$로서 동향성분보다 크게 나타났다.
WII-3.사.-1 화학폐기물	<ul style="list-style-type: none"> 해수를 냉각수로 사용하는 경우 기기에 부착하는 해조류, 패류 등의 성장억제재료 염소를 주입한다. 조사기간 동안 염소요구량, 주입염소량, 주입빈도 및 냉각수중의 염소농도를 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 월성원자력 1호기의 해수냉각계통에서 생물오손 저감대책으로 염소(차아염소산)를 주입하고 있으며, 1992년도의 월별 염소주입량, 해수의 염소요구량 및 복수기 전단과 배수구에서의 잔류염소농도를 살펴보면 표와 같다. 그리고 염소주입빈도는 연속주입을 실시하고 있다.
WII-4.가.-1 소음·진동	<ul style="list-style-type: none"> 현재 월성 3, 4호기에 대한 구체적인 발파계획서가 작성되지 않은 것으로 답변한바(질의번호 WI-4.가.-5.1), 월성 2호기의 발파허용기준치 관련자료를 우선 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 월성 2호기의 발파허용 기준치 관련자료로는 시험발파 계획서, 시험발파 결과보고서 및 월성 2호기 건설허가 심사질의시 발파허용 기준치의 타당성을 평가하기 위해 외국연구결과를 비교·검토한 답변자료 등이 있다. 그러나 이들 관련자료는 표에서와 같이 모두 기제출 되었음.
WII-3.마-1 선 원	<ul style="list-style-type: none"> 운전에 따른 방사성 핵종량을 산출하기 위한 방법 및 결과, 운전경험에 따른 핵연료손상을 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 핵연료내 총 재고량은 ORIGEN 코드를 사용하고, 그 모델을 제시함. 핵연료 손상을 운전경험치는 Point Lepreau 발전소의 조사보고서를 첨부함.
WII-3.마-4 선 원	<ul style="list-style-type: none"> 운전경험에 의한 C-14 방출량 및 이론적 방출량을 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> Point Lepreau, Gentilly-2, Pickering A 발전소의 연도별 운전경험치를 제시하고, 이론적 계산방법을 제시함.
WII-3.마.-2,3 선 원	<ul style="list-style-type: none"> 계통별 중수손실량과 삼중수소 방출과의 관계를 기술할 것. 월성 1호기 시운전부터 92년까지의 운전실적자료를 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 상세한 답변은 추후 삼중수소 저감화 대책보고서에서 평가될 예정임. 월성 원자력 발전년보를 참고로 83년부터 91년까지의 냉각재 및 감속재내 삼중수소 농도를 제출함.

질의 No. 제 목	질 의 내 용	답 변 내 용
WII-3.마. -5,6 폐기물 처리 계통	<ul style="list-style-type: none"> 유도방출기준 설정방법을 제시하고 피폭선량 계산방법과 비교할 것. 예상방출농도가 2호기 ER과 차이나는 원인과 계산방법을 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 캐나다에서 가동중인 발전소의 부지 특성치를 사용하여 계산한 값이며, 피폭선량 계산에 사용된 AZAP, LADTAP과 WOLDOSE 코드의 차이점에 대하여 기술함. 2호기에서는 84년부터 89년까지 1호기 운전 경험치를 사용하였고, 3,4호기 ER에서는 84년부터 90년까지의 자료를 사용하였음. 여기에 오기된 수치들을 수정하여 제출함.
WII-3.마-7 방출물의 감 시	<ul style="list-style-type: none"> Isokinetic, Sampling에 대하여 기술할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 시료를 동시에 채취하여 측정하여 변수에 대한 신뢰성 있는 대표값을 얻는 방법.
WII-4.나. -1,2 기체방출물 의 확산	<ul style="list-style-type: none"> 혼합방출의 근거를 제시할 것. 방출고도의 풍속과 위사향을 반영하여 대기확산인자를 재 계산 수행. 	<ul style="list-style-type: none"> 배기굴뚝을 통한 방출을 지표면 방출로 가정하는 것은 너무 보수적임. ER 제출시 대기확산인자는 고도 보정을 한 풍속을 사용하였음. 보정하지 않은 경우와 비교한 대기확산인자를 제시함.
WII-5.나-1 피폭선량 계산	<ul style="list-style-type: none"> C-14에 의한 피폭선량을 평가하고 총량중 H-3와 C-14에 의한 기여를 비교, 평가할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> C-14에 대한 답변은 기 제시하였음. 피폭경로별 삼중수소 기여분을 평가하여 제출함.

7.2.3 3차 심사질의·답변내용

질의 No. 제 목	질 의 내 용	답 변 내 용
WⅢ-1. 2- 다-2 지표수 및 지하수	<ul style="list-style-type: none"> ○ 월성 2호기 및 월성 3, 4호기 건설에 따라 금년(1993년)부터 용수부족이 예상된다. 따라서 이에 대한 사업자의 계획을 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 월성원자력발전소의 추가 용수공급방안으로 하서천 용수원댐 건설을 당초 계획하였으나, 댐건설 예정지 주민들의 민원제기로 사업추진에 다소 어려움이 있는 실정이다. 따라서 본 사업자는 하서천 용수원댐 건설사업의 원활한 추진을 위하여 다각적인 노력과 함께 이와는 별도로 울산시의 공업용수를 이용하는 방안에 대해서도 건설부와 협의중에 있는데, 금년중으로 구체적인 방안이 확정될 것으로 예상된다.
WⅢ-1. 2- 다-2 지표수 및 지하수	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하서천댐 건설에 의한 농업용수, 생활용수 등 댐부지 상·하류에서의 물이용에 미치는 영향(수량, 수질)을 제시할 것. ○ 이러한 영향을 최소화하기 위한 계획을 하서천에서 용수를 사용하는 주민들의 의견을 반영하여 수립·제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 본 용수원댐의 축조시에는 본댐의 축조에 앞서 댐 축조지점 상류에 미리 가물막이댐을 설치하여 상류로부터의 유입수를 가배수터널을 통해 그대로 본댐 축조지점 하류로 우회토록함으로써, 댐축조공사기간중 하류유역의 수리이용에 전혀 문제가 없도록 함은 물론 홍수로 인한 댐체의 유실방지와 공사장주변 토사와 하천유출을 방지할 수 있도록 계획하고 있다. 가물막이댐과 가배수터널은 갈수기중에 축조할 계획이며, 가배수터널을 통해 유수전환하기 때문에 본댐 및 가물막이댐 건설공사장으로부터의 직접적인 토사유출은 예상되지 않는다. 다만 강우시 댐축조공사장에 적치되어 있는 골재들로부터 유출되는 토사가 하류하천의 오탁을 유발할 수 있으나, 이에 대해서는 댐축조지점 직하류부에 오탁방지망을 설치함으로써 토사성분의 하류유출을 방지토록 할 것이며, 오탁방지망의 상세제원과 규모등은 설치전 전문가의 자문과 지역특성을 충분히 감안하여 결정토록 할 것이다.
WⅢ-3. 2- 사-1 물리해황	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1호기 가동시 모델에서 0.5℃ 상승범위는 1.5~3km인데, 1호기 해양현황에서 3km내의 조사정점은 배수구를 포함 4 곳이다. 이 자료로서 1호기 가동에 의한 실제관측치의 확산범위 파악이 불가능하다. 배수구 인근역에서 현황자료를 제시할 것. 또한 C 단면에서 연직분포를 제시하였으나 전체적인 단면에서 수온, 염분분포를 파악하기 어려운 바, 수심별 단면도를 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 월성 1호기 가동시 배수구 인근역의 수온분포현황은 '90년 5월 21일과 8월 2일에 각각 2회씩 22~32개 정점에서 수심별로 정밀측정을 통해 분석되었다(보고서 표 2.사-1 참조). 각 정점에서의 수심별 수온측정결과는 표 1~4와 같으며, 이중 봄철(5월 21일 08:00~09:40)의 1m 및 2m 층의 수온단면도와 여름철(8월 2일 15:10~17:00)의 1m 및 3m 층의 수온단면도를 도시하면 그림 1~4와 같다.

질의 No. 제 목	질 의 내 용	답 변 내 용
WⅢ-4. 2-사-2 해양수질	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다음의 관측점 값이 그림 2.사-8~11에서 누락되어 있으므로 측정값을 제시할 것. <ul style="list-style-type: none"> · pH : 가을의 정점 5, 봄의 정점 11, 12 · COD : 겨울의 정점 11, 12 · SS : 가을의 정점 5 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자료의 누락사유는 시료채취, 운반, 분석과정에서 유실 또는 훼손되어 분석이 불가능하였기 때문이다. 그러나 월성원자력발전소 인근 해역에 대한 전반적인 수질현황 평가의 관점에서 볼 때, 비슷한 시기에 조사한 원자력발전소 주변환경조사보고서('90)의 측정자료를 활용할 수 있을 것으로 판단되며, 그 자료는 표와 같다.
WⅢ-5. 2-사-1 환경의 현황 중 부지주변 인구분포의 예측	<ul style="list-style-type: none"> ○ 총 160개 단위 지역별, 그리고 예측기간별 사용된 인구성장률을 제시하고 인구추정의 계산과정을 제시할 것. 	<p>가. 인구성장률</p> <p>부지반경 80km이내에는 부산직할시, 대구직할시를 포함하여 총 24개 시·군이 포함되며 각 시군의 연도별 인구성장률은 표와 같다.</p> <p>나. 인구추정 계산과정</p> <ol style="list-style-type: none"> 1)전국의 장래 인구성장률 및 인구수 인구예측의 기본자료로써 통계청에서 발간한 장래인구추정자료를 이용하였다. 본 보고서에 의하면 전국의 장래 연도별 인구증가율(인구수)은 각각 표와 같다. 2)예측연도별 전국인구수 추정 상기의 장래 전국 인구수로부터 발전소가동 초기연도인 1998년 및 각 10년 단위의 장래 인구수를 구한다. 3)해당연도별 장래 인구수 추정 1970년부터 1990년까지의 과거 전국인구를 해당 도별 과거인구(1970~1990)와 연관시켜 1차식 회귀직선을 구한다. 회귀직선식이 구해지면 장래의 전국인구수를 입력하여 장래의 도별 인구수를 추정하게 된다. 4)해당 시·군별 장래인구수 추정 3)으로부터 구해진 해당 도별 연도별 인구수를 시·군별 과거인구변화와 관련시켜 3)에서와 같은 방식으로 장래의 시·군별 인구수를 구한다. 5)각 단위구역별 인구추정 해당 시·군별로 장래인구수 및 인구성장률이 구해지면 이를 활용하여 단위구역별 인구를 추정한다. 예로서 단위구역 내에 1개 이상의 군이 포함되어 있다면, ① 1/50,000척도의 지형도를 이용하여 각 면별 가구수 및 면적비를 개략 추산하고 단위구역내 포함된 면의 포함비율에 대한 가중치를 설정한다. ② 해당면의 현재 인구수(1990)에 가중치를 곱하여 단위구역내 면별 인구수를 구한다.

질의 No. 제 목	질 의 내 용	답 변 내 용
(계 속)	(계 속)	<p>③ 해당군별로 면별 인구수를 합산하여 단위구역내 군별 현재인구수를 구한다.</p> <p>④ 4)에서 산출된 해당군의 인구성장률과 동일한 수치를 적용하여 단위구역내 군별 장래인구수를 산출한다.</p> <p>⑤ 단위구역내 포함된 군의 장래인구수를 합산하여 단위구역내 장래 전체 인구수를 구한다.</p>
WⅢ-7. 4-가-2 물의 이용에 미치는 영향	<p>◦ 해안구조물의 증설 및 4개 호기 가동으로 인한 흐름양상의 변화로 기존의 침식 및 퇴적양상에 변화가 예상된다. 따라서 이에 대한 정량적인 자료를 제시할 것.</p>	<p>◦ 한국해양연구소에 발주하여 추진중인 “원자력발전소의 온배수영향 저감방안” 연구용역을 통해 월성원자력발전소 인근해역의 기존 퇴적환경의 조사와 구조물증설 및 4개 호기 가동에 따른 퇴적환경변화를 정량적으로 평가할 계획임.</p>
WⅢ-8 월성부지내 다수기의 가동으로 인한 대기질, 인구, 사회경제의 영향	<p>◦ 월성 3, 4호기의 가동으로 인하여 월성부지내 4기의 원전이 가동되는 바, 다수기의 가동에 따른 복합 대기질, 인구, 사회경제의 영향이 평가되지 않았음. 따라서 이에 대한 평가가 수행되어야 할 것임.</p>	<p>가. 다수기 가동에 따른 대기질 영향</p> <p>3, 4호기 건설장비가 최대로 투입되는 시점에서의 건설중인 2호기 건설용 투입장비의 복합효과를 고려한 오염물질 배출량을 입력자료로 활용하여 대기질 영향분석을 실시하였으며 그 결과는 보고서 4-32~4-36에 기술한 바와 같다.</p> <p>한편 발전소 가동중 대기오염원으로는 소내 비상디젤의 가동에 의한 배기가스 배출영향을 들 수 있다. 디젤발전기는 각 호기당 1대씩 설치되어 있으며, 발전소 가동시 2주에 1회 시험가동된다. 시험가동시 각 발전기는 동시에 가동되지 않으며 일정한 시간적 간격을 두고 가동되므로 다수기 가동에 따른 복합적 영향이 발생되지 않는다. 비상디젤 발전기의 배출을 및 모델링 예측결과는 본 보고서 5-121~122에 기술되어 있다.</p> <p>나. 인구변화 예측</p> <p>본 사업시행에 따른 양남면내의 인구변화 추이를 분석하기 위하여 사업 미시행시 자연적 인구변화, 2호기 및 3, 4호기의 건설에 따른 인구증가 및 가동에 따른 인구증가로 나누어 총인구의 변화를 예측하였다.</p> <p>결과에 의하면 1996년에는 양남면내 총인구가 10,156명, 가동연도인 1999년에는 7,206명에 이를 것으로 전망된다. 장래인구예측의 상세내용은 보고서 4-20~22에 기술되어 있다.</p> <p>다. 사회경제 예측</p> <p>기존호기의 건설 및 운영을 포함하여 본 사업시행에 따른 주거, 산업, 공공시설, 교육 및 교통에 미치는 영향을 분석·평가하였으며 그 결과는 보고서 4-22~31에 기술되어 있다.</p>

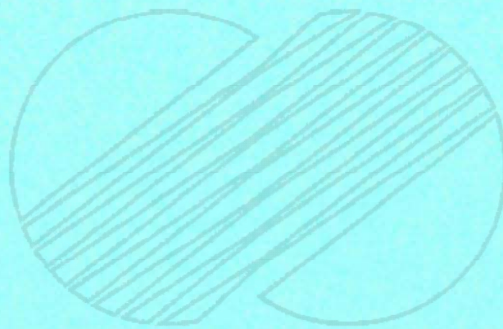
질의 No. 제 목	질 의 내 용	답 변 내 용
WIII-9. 4-가-1 물환경에 미치는 영향	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해안구조물의 축조공사시 발생하는 부유물질의 평형상태에서 발생량(총량, 증가량)을 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3, 4호기 건설과 관련하여 취수로의 증설과 배수로의 신설을 위한 해안구조물 축조공사가 시행되는데, 이때 투입되는 사석 및 준설 물량은 다음의 표 1~2와 같이 추정되며, 이들 공사는 보고서 표 4.가-5의 계획공정에 따라 시행될 예정이다. 취수로 증설 및 배수로 신설공사의 1일 작업강도는 사석류 투입공사에 507m³/일, 수로준설공사에 약 110m³/일의 작업이 시행되는 것으로 가정하였으며, 이때 단위시간당 부유물질 발생량은 보고서 표 4.가-7과 같다.
WIII-10. 5-라-1 위생폐기물 방류로 인한 영향	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1호기 가동으로 인한 수질(pH, 영양염 등)영향을 평가, 제시하고 4개 호기 가동이 수질에 미치는 영향을 평가, 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1호기 가동시 온배수확산역에서의 pH, 용존산소 및 영양염 등 수질인자의 농도변화는 자연상태의 변동이내인 것으로 평가되며, 주변 조사점점과 비교에서도 뚜렷한 차이를 나타내지 않고 있다. 배수구에서의 수질을 주변정점과 항목별로 비교해보면, pH, 용존산소량, 화학적 산소요구량 및 부유물질농도는 거의 차이를 나타내지 않았다. 배수구 인근정점에서의 철, 구리, 아연 등 중금속류 농도도 외해정점들에 비해 상대적으로 다소 높은 값을 보이는 것은 하나, 그 농도는 환경기준치의 1/100~1/50수준을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 점을 감안할 때, 향후 4개 호기 가동시에도 주변해역에 유의한 수질변화는 예상되지 않는다.
WIII-11. 5-마-1 발전소의 가동으로 인한 대기질 영향	<ul style="list-style-type: none"> ○ 디젤발전기의 정상가동시 연돌에서 배출되는 배기가스 배출율의 계산과정을 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 본 원자력발전소 3, 4호기용 비상디젤발전기는 기존의 2호기와 동일한 모델을 설치할 예정이며, 따라서 대기질 모델을 위한 입력자료인 사용연료, 배출계수, 배출율, 연돌제원은 보고서 표 5.마-1에 제시한 바와 같이 2호기 ER 보고서 수치와 동일하다.
WIII-12. 2-사-1 물리해황	<ul style="list-style-type: none"> ○ WII-5-가-4 답변에서 표층에서 유속분포와 수온 및 염분의 연직 구배와 관련지었다. 이와 관련된 근거를 타당한 자료로 인용·제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 답변에서 표층유속이 수심 50m 이내의 천해역에서는 여름철이 봄철보다 약간 강하게 나타나는 것이 여름철에 수온 및 염분의 연직구배가 급한 것과 관련되는 것으로 사료된다고 기술하였다. 이것은 봄과 여름에 중층에서의 유속관측치가 거의 유사한 것에 비하여, 즉 모델의 제입력조건이 유사함에 비하여 모델실험결과와는 계절적으로 약간 차이를 나타내는 것으로 분석되었으며, 따라서 그 원인은 두 계절의 입력자료중 차이가 나는 해수밀도(수온, 염분)연직구배와 관련이 있을 것으로 추정한 것이며, 이와 관련된 뚜렷한 근거는 없다.

질의 No. 제 목	질 의 내 용	답 변 내 용
WIII-14. 5-가-1 물환경에 미치는 영향	<ul style="list-style-type: none"> WII-5.가-3 답변에 의하면 2일후 준평형상태에 도달한 것으로 제시되어 있다. 보고서에서 제시한 15일후 수온 확산 상태가 발전소 배출열량과 대기로 방출한 열량을 비교함으로써 이 모델결과가 준평형상태가 아님을 보여주고 있다. 이에 대한 대책을 제시할 것. 	<ul style="list-style-type: none"> 모델결과들중 봄철 계산시작 14.97일 경과후 (대조기 낙조류 초기)의 표층수온분포도를 이용하여 확인해보면 다음과 같다. 우선 4개 호기 가동시 발전소 배출열량과 모델 영역 내 대기로의 방출열량을 질의내용에 따라 각각 $5.6 \times 10^9 W$ 및 $0.7 \times 10^9 W$로 한다. 모델의 외해경계에서 $0.2^\circ C$ 수온상승 단면의 폭을 $3 \times 10^3 m$, $0.1^\circ C$ 수온상승 단면의 $1 \times 10^3 m$, 각각의 깊이를 10m, 단면 평균유속을 $0.15 m/sec$, 그리고 해수밀도를 $10^3 kg/m^3$이라 할 때 모델 외해경계를 통해 빠져나가는 열량은 $4.4 \times 10^9 W$이다. 따라서 대기로 빠져나가는 열량과 외해경계로 빠져나가는 열량은 배수구로부터 모델영역내로 유입되는 열량과 거의 같음을 알 수 있다. 그리고 질의번호 WII-5.가.~5의 답변에서 기술한 바와 같이 모델영역내의 여러 정점에서 수온의 시간적 변화를 통해 계산결과가 준평형상태에 도달했음을 확인할 수 있다.
WIII-6 방출물의 감시	<ul style="list-style-type: none"> C-14의 형태에 따른 시료 채취 및 감시방법과 분석방법을 제시할 것 	<ul style="list-style-type: none"> 기체상,액체상 및 작업자에 대한 C-14의 시료채취 방법 및 감시방법을 제시함.
WIII-13 C-14의 제거 과정 제시	<ul style="list-style-type: none"> 감속재의 C-14가 Moderator Cover Gas로 누출되는 양의 선정방법 중수속의 C-14 전량이 Resin에 의해 제거되는 과정 C-14에 대한 Resin의 DF 중수손실에 따른 C-14의 환경방출 	<ul style="list-style-type: none"> 각 항목별 사항을 PSAR과 Burce A 발전소 자료등을 참고하여 답변 제출.

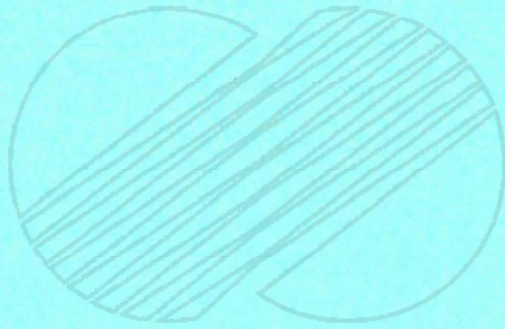
본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.



VIII. 환경영향평가 협의내용(환경부) 및 이행실적 요약



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.



Ⅷ. 환경영향평가 협의내용(환경부) 및 이행실적 요약

협 의 내 용	이 행 내 용
<p>1. 총괄</p> <p>※ 본 협의내용 및 환경에 미치는 영향의 저감방안과 사후환경 관리계획을 반드시 이행하여야 함.</p> <p>① 환경정책기본법 시행령 제12조 제2항의 규정에 의한 재협의 대상과 협의내용중 환경오염저감대책 등과 관련되는 사항의 변경시에는 당해사업 시행전에 재협의 또는 협의내용 변경을 하여야 함.</p> <p>② 사업시행에 따른 환경상 영향으로 인한 민원이 발생하지 않도록 사업시행 과정에서도 주민여론 및 동향을 충분히 파악하여 이를 수렴한 후 사업을 추진하여야 함.</p> <p>③ 공사시 및 발전소 가동시 환경영향평가 과정에서 예측하지 못한 상황의 발생 또는 예측의 부적정 등으로 환경상태(생태계, 해양환경, 대기질, 수질 등)가 악화될 우려가 있는 경우에는 이에 대한 원인분석을 빠른 시일내에 실시하여 별도의 대책을 강구·시행함으로써 환경피해를 사전에 방지하여 함.</p> <p>④ 방사성 물질에 의한 환경오염 및 그 방지등에 관한 조치는 원자력법이 정하는 바에 따라야 함.</p> <p>⑤ 원자력법시행령 제 111조 제1항의 규정에 의한 “원자력발전소 주변환경조사지침”에 따라 주변의 환경조사 보고서를 다음해 3월말까지 대구지방환경청에 제출하여야 함.</p>	<p>① 용수원댐 건설은 지역주민의 반대로 계획이 취소되었으며, 울산으로부터 42km 도수관로를 설치하여 용수를 공급받을 계획으로 협의 완료함.</p> <p>② 민원소지가 있는 공사(석산개발, 공업용수해안방파제 공사 등)에 대해서는 주민여론 및 동향을 파악, 이를 수렴하여 사업 시행중임.</p> <p>③ 현재까지 환경영향평가에서 예측하지 못한 상황발생은 없음.</p> <p>④ 1호기는 현재 이행중에 있음.</p> <p>⑤ 가동후 환경조사지침에 따라 조사해야 할 사항이나 월성 1호기 가동에 따른 주변환경조사를 실시하여 '95년 3월 14일에 대구지방환경 관리청에 그 결과를 제출함. (상반기 환경관리 실태 점검시)</p>
<p>2. 지형·지질</p> <p>① 하천에서 골재채취시에는 하천 중심에서 양안으로 점차 확대하면서 채취하되, 하천구배가 완만하도록 하상정리를 병행하면서 채취하여야 함.</p>	<p>① 골재는 구매하여 사용함. [신화개발, 경주시 허가(건설 58175-2068, '95.6.9)]</p>

협 의 내 용	이 행 내 용
<p>② 용수이용 및 장마시의 하천관리에 지장이 없도록 채취된 골재를 하천내에 장기간 적치하지 않도록 하여야 함.</p> <p>③ 용수원댐 축조공사시 강우로 인하여 토사류 등이 하천 및 농경지등에 유출되지 않도록 토양침식 보호구조물 및 토사유출 방지시설을 설치하여야 함.</p> <p>(평가서에 제시된 저감방안)</p> <p>④ 조·세골재채취 및 석산개발지역 지형변화 저감대책 강구 (환경영향평가서 159-160쪽)</p> <p>⑤ 발전소 부지굴착에 의한 지질변화 저감대책 강구 (160쪽)</p>	<p>② 2.① 참조</p> <p>③ 용수원댐 축조는 주민 반대로 계획이 취소됨. (완료)</p> <p>④ 골재는 구매하여 사용함. 석산개발 계획에 저감대책을 반영하여 시행하고 있음.</p> <p>⑤ 연약지반 보강공사후 구조물을 설치함.</p>
<p>3. 생태계</p> <p>① 골재채취시 하천 생태계 보전을 위하여 토사유출방지대책을 강구한 후 사업시행하되, 채취시의 부유물질 발생정도에 따라 채취량을 조절하여야 함.</p> <p>② 석산개발로 인하여 자연환경이 훼손되는 지역은 그 훼손이 최소화 될 수 있도록 복구대책등의 종합대책을 강구한 후 사업 시행하되, 훼손지역은 석축을 쌓거나 사면보강을 우선적으로 실시하여야 함.</p> <p>③ 석산개발지역 및 용수원댐 수몰지역의 양호한 수목은 가이식하였다가 발전소 조정수 또는 석산개발후 복구공사시 식재수로 전량 활용하여야 함.</p> <p>④ 공사시 사업계획지 주변지역에 분포하고 있는 보호대상 특정야생동·식물(환경처 고시 제 89-5호)로 지정된 도마뱀, 구렁이, 두꺼비, 틱사슴벌레, 큰풍뎅이, 사슴풍뎅이, 금강초롱꽃 등과 느티나무등 노거수에 대하여는 관계 전문가로 하여금 서식 또는 자생상태를 상세히 조사하여 그 보호대책을 강구하여야 함.</p> <p>⑤ 용수원댐 공사로 인하여 회귀성 어류의 어로가 막힐 우려가 있으므로 관계 전문가의 자문을 받아 용수원댐에 어로설치 여부를 결정시행하여야 함.</p>	<p>① 2.④ 참조</p> <p>② 배수구 방파제 축조공사 설계시 석산복구 계획 및 관련 공사비를 반영하였으며, '96년초 공사발주 예정임.</p> <p>③ 석산개발지역내의 수목중 대부분이 조경수 또는 식재수로 활용할 수 있는 양호한 가이식 대상이 없음.</p> <p>④ 느티나무 노거수는 배수로를 설치하여 보호중이며, 발전소 주변 특정 야생 동·식물에 대하여는 그 자생상태를 전문기관에 조사용역을 의뢰토록 한전 본사에 요구함. [원단입(기) 186.01-1952 ('94.11.29)]</p> <p>⑤ 용수원댐 건설계획이 주민 반대로 취소되었음.</p>

협 의 내 용	이 행 내 용
<p>(평가서에 제시된 저감방안)</p> <p>⑥ 발전소 부지주변 및 석산개발 후 식생보호 대책과 골재채취시의 수중생물 보호대책 강구 (282-284쪽)</p> <p>⑦ 취·배수의 일회냉각방식 채택 및 온배수 재이용 방안 강구 (286쪽)</p>	<p>⑥ 3.①, ②, ③ 참조</p> <p>⑦ 발전소 주변지역 지원대상사업(시행령 제 21조)중에 공동양식 및 양어장에 의한 소득증대사업을 할 수 있으므로 지방자치단체에서 지원사업 수립시 추진예정임.</p>
<p>4. 해양환경</p> <p>① 해상방파제 축조공사시 부유물질 확산방지를 위하여 오탉방지막(Silt protector) 등을 설치하여 토사류 등의 부유물질에 의한 영향을 최소화하도록 하여야 함.</p> <p>② 다량의 냉각수 및 발전소(온배수)의 배출로 해양생태계 변화와 주변양식장 및 어장에 피해등이 예상되는바, 현재 진행중인 온배수로 인한 환경영향조사 용역결과 및 미국 EPA 온배수 권고기준 [배수구에서 305m 거리의 표층수온이 28.3℃ 미만이거나, 그 온도 상승치가 22.2℃(10월~6월) 및 0.83℃(7월~9월)미만]을 고려하여 환경영향 최소화 방안 (양식장 또는 온실 등의 열원으로 재 이용하거나 심층취수 또는 심층 다지점 배수등)을 강구, 공사시행전에 환경처의 의견을 들은후 확정 시행하여야함.</p> <p>③ 해양생태계 변화로 인한 수산물 피해가 예상되는 지역의 경우에는 평가서에 제시한 대로 적정보상을 실시하여야 하며 동 생태계 파괴를 최소화할 수 있는 장기적인 저감대책의 추진이 필요할 것인 바, 동 추진일정 등을 이행계획서 제출시 구체적으로 제시하여야 함.</p> <p>④ 3,4호기 가동후 온배수 확산범위 및 해양생태계에 대한 영향을 지속적으로 조사하여 환경영향평가 결과와 비교하고, 그 결과에 따라 필요한 추가적인 대책을 수립 시행하여야 함.</p>	<p>① 오탉방지막 설치 완료 ('95. 4)</p> <p>② 주변양식장과 어장의 피해를 저감시킬 수 있도록 Curtain Wall 설치하여 저층(10m) 취수, 유공방파제를 설치하여 분산, 저층(8m) 방류안을 환경부와 협의하였으며, 이와 관련한 환경부 의견을 반영하여 사업을 수행할 예정임.</p> <p>③ 온배수에 의한 주변 생태계 및 양식장에 미치는 영향평가 용역 조사중. - '94.11~'97.11 (서울대학교 해양연구소)</p> <p>④ 가동시 영향평가 결과와 비교하여 필요한 추가적인 계획을 수립하여 시행할 계획임.</p>

협 의 내 용	이 행 내 용
<p>⑤ 발전소에서 발생하는 폐수(310m³/일)는 자체 종합 폐수처리시설에서 배출허용기준 이하('96 적용기준, 청정지역)로 처리한 후 자동 감시장치를 통하여 방류하여야 하며, 동 처리수방류 해역의 수질오염도를 계속 측정하여 오염도 증가시 고도 처리방안 등 추가적인 대책을 강구하여야 함.</p> <p>⑥ 인근 양식수산물, 어획물을 포함하여 온배수를 이용하는 농수산물에 대하여 유통전에 방사능 오염여부를 감시하는 체계를 마련하여야 함.</p> <p>⑦ 해수취수구에는 어류가 접근하지 못하도록 취수구 외곽에 집어등 또는 수중방책 등을 설치하여야 함.</p> <p>(평가서에 제시된 저감방안)</p> <p>⑧ 해상 방파제 축조공사시 부유물질 확산저감을 위하여 오타막 설치(400쪽)</p> <p>⑨ 온배수 적정배출지점 및 취배수구 구조물 설치대책 제시 예정 (404쪽)</p> <p>⑩ 발전소 폐수는 종합 폐수처리장에서 처리 (405쪽)</p>	<p>⑤ 종합폐수처리 시설은 가동시까지 설치할 계획임.</p> <p>⑥ 1호기 가동에 따른 조사는 시행중 (년 2회) 가동후 환경조사 계획에 포함하여 추진할 계획임.</p> <p>⑦ 취수구 외곽에 집어등, 수중방책등을 설치할 계획임.</p> <p>⑧ 4.① 참조</p> <p>⑨ 4.② 참조</p> <p>⑩ 4.③ 참조</p>
<p>5. 대 기 질</p> <p>① 공사시 발생하는 비산먼지로 인하여 인근지역에 피해가 발생되지 않도록 비산먼지 발생억제시설에 관한 기준 (대기 환경보전법 시행규칙 제49조 제2항, 별표14참조)을 철저히 준수하되, 골재등의 채취장 또는 야적장등에는 세륜, 세차시설 설치 및 이동식 방풍망 설치 등의 세부계획을 수립·시행하여야 함.</p> <p>② 골재 등의 운반차량은 적재함 덮개를 설치하여 운반하되, 주거밀집지역을 통과하는 지역에는 비산먼지로 인한 생활환경에 피해가 발생되지 않도록 하여야 함.</p>	<p>① 비산먼지 발생 사업 신고 ('93.10)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 비산먼지 발생 억제 저감대책 수립 운영 <ul style="list-style-type: none"> - 살수차, 세륜기 운영 - 야적장 방진망, 방진벽 운영 - 도로 청소원 상시 배치 운영 - 공사장내 장비, 공사차량 등속 운행 <p>② 적재함 덮개 설치, 주거지역 주변 주행시 저속, 등속운행으로 비산먼지 발생을 최소화 하고 있음.</p>

협 의 내 용	이 행 내 용
<p>(평가서에 제시된 저감방안)</p> <p>③ 세륜·세차시설 설치</p> <p>④ 골재운반차량 덮개설치</p> <p>⑤ 살수차량 운영(441쪽)</p> <p>⑥ 소각로의 주기적 점검 실시</p> <p>⑦ 처리용량 이상의 소각금지(441쪽)</p>	<p>③ 세륜시설 설치 이용</p> <p>④ 덮개설치 운행중</p> <p>⑤ 5.① 참조</p> <p>⑥ 소각로를 설치, 운영중에 있으며 주기적인 점검이 이루어지고 있음.</p> <p>⑦ 소각로 운영시 시간당 80kg 이내로 주간에만 소각하고 있음.</p>
<p>6. 수 질</p> <p>① 골재채취시 유로폭이 넓은 하천에서는 오탁방지막을 설치하고, 유로폭이 좁은 하천에는 유로변경 등의 수질오염 저감대책을 강구 시행할 것이며, 골재선별기 하단에 침전조와 여과조를 설치하여 혼탁수가 하천하류로 유출되지 않도록 하여야 함.</p> <p>② 토목공사시 인근 해양으로 토사가 유출되지 않도록 우수배수로 말단에 적정용량의 침사지를 설치하여야 함.</p> <p>③ 용수원댐 담수시 담수지역의 잔여폐기물(분뇨, 폐기물, 가옥등의 건축폐재등)로 인한 수질오염이 발생되지 않도록 담수전에 수질오염 유발물질을 전량 수거하여야 함.</p> <p>④ 용수원댐 하류하천의 기능유지 및 수리용수(생활용수, 농업용수 등)공급의 원활화를 위하여 여수로 조절장치를 설치하는 등의 방안을 강구하되,</p> <p>⑤ 하류지역의 농작물이 냉해를 입지 않도록 표층수를 공급할 수 있는 방안을 강구·시행함으로써 댐 건설로 인한 하류지역에 용수부족, 냉해등의 피해가 발생하지 않도록 대책을 강구.</p> <p>⑥ 화학 실험실에서 사용되는 약품등을 고려하여 폐수를 적정처리 할 수 있는 대책을 강구하여야 함.</p> <p>⑦ 본 사업시행으로 인한 사업지역을 포함한 인근지역의 지하수계 오염(방사능 포함)에 대비하여 수질감시망 설치 등 지하수 오염방지대책을 종합적으로 수립·시행하여함.</p>	<p>① 유로변경, 침전조, 여과조를 설치하여 혼탁수가 하천하류로 유출되지 않도록 시행하였으며 현재 필요한 골재는 구매하여 사용하고 있음. - 2.① 참조</p> <p>② 인근 해양으로 토사가 직접 유출될 가능성이 없도록 영구사면 보호공사를 완료하고 영구 배수설비를 설치하여 운영하고 있음.</p> <p>③ 용수원댐 건설계획 취소되었음. (완료)</p> <p>④ 6.③ 참조</p> <p>⑤ 6.③ 참조</p> <p>⑥ 4.⑤ 참조</p> <p>⑦ 발전소 부지 내·외의 지하수를 채취하여 일반 수질분석 시행중임. - 채취 지점(소내: 2개소, 소외: 3개소) - 조사 주기 : 분기 1회 - 조사 항목 : pH, COD, SS ○ 방사능 오염 여부는 원전주변 환경조사 계획에 의거 기 시행중임. - 1.⑥ 참조</p>

협 의 내 용	이 행 내 용
<p>(평가서에 제시된 저감방안)</p> <p>⑧ 골재채취시 유로폭이 넓은 하천에는 오탁방지막을 설치하고 하천내 장기적치금지 및 일일 하상정리 실시(482쪽)</p> <p>⑨ 댐 건설로 인한 수몰지역 분뇨, 가옥 등 부영양화 요인제거 및 임상양호 수목이식 강구(482쪽)</p> <p>⑩ 용수원 저수지 수질보전을 위한 유역관리 대책과 수질감시 대책수립·시행(483쪽)</p> <p>⑪ 발생 생활하수 및 분뇨는 오수정화시설에서 처리(403쪽)</p>	<p>⑧ 6.① 참조</p> <p>⑨ 6.③ 참조</p> <p>⑩ 6.③ 참조</p> <p>⑪ 정화조를 설치하여 운영함.</p>
<p>7. 폐 기 물</p> <p>① 본 원자력발전소내에서 발생하는 모든 폐기물은 방사성과 비방사성 폐기물로 분리보관 처리할 수 있는 시설을 설치하는 등의 대책을 강구하여 혼합처리되지 않도록 하여야 함.</p> <p>② 비방사성 폐기물중 가연성폐기물은 자체 소각장에서 전량 소각하여야 하며, 동 소각잔재물과 비가연성 폐기물은 전문처리업자에게 전량 위탁처리하여야 함.</p> <p>(평가서에 제시된 저감방안)</p> <p>③ 특정폐기물(폐석면류 등) 및 일반폐기물중 처리곤란 폐기물은 위탁처리</p> <p>④ 건물건축시 오수처리시설 설치(500쪽) - 이동식 화장실 등</p>	<p>① 가동전 적정방안을 수립하여 가동시 시행할 예정임.</p> <p>② 건설 폐기물 적환장 설치운영 - 가연성, 비가연성 분리, 보관 - 소각로 설치 운영(80kg/Hr) - 소각재, 합성수지류 : 전문업체 위탁처리(유봉산업)</p> <p>③ 특정폐기물 및 처리곤란한 폐기물은 위탁처리중임. - 7.② 참조</p> <p>④ 공사현장 사무실에는 정화조 설치하고, 현장에는 이동식 화장실을 설치하여 운영중.</p>
<p>8. 소 음</p> <p>① 폭약을 사용하는 공사(석산개발, 부지지반 기초공사 등)는 미리 폭약 관련 전문기관(협의등)의 자문을 받아 그 결과를 반영하여 사업을 시행하되, 야간작업 지양, 저소음 폭약사용, 분할폭파, 폭파시간대 사전조정, 폭파시간 사전통보등의 종합적인 대책을 수립·시행하여 인근 주거지역 등의 생활환경 피해가 발생되지 않도록 하여야 함.</p>	<p>① 폭약사용공사 관련 종합대책을 수립하여 시행중.</p>

협 의 내 용	이 행 내 용
<p>② 공사시 공사장비 사용 및 골재등의 운반차량운행 등으로 인한 인근 주거지역 등에 소음피해(민원)가 발생되지 않도록 소음방지방안을 강구 시행하여야 함.</p> <p>(평가서에 제시된 저감방안)</p> <p>③ 공사시 건설장비는 낮시간대에만 가동</p> <p>④ 발파작업시 폭약의 개소당 사용량을 줄이고 저소음 폭약사용(511쪽)</p>	<p>② 주거지역 주변 주행시 저속, 등속 운행을 지도하여 소음을 최소화 하고 있음.</p> <p>③ 주간에만 작업을 실시함</p> <p>④ 8.①항 참조</p>
<p>9. 경 관</p> <p>① 공사완료후 부지내의 여유공간에 잔디 및 수목식재 등 조경사업 실시(526쪽)</p>	<p>① 영구사면 보호공사('93.6~'94.12) - 블럭 설치, 잔디, 수목 식재</p>
<p>10. 위생 및 공중보건</p> <p>① 발전소 인근지역 주민의 건강상태(수명, 질병)를 정기적으로 조사하는 방안을 강구하여야 함.</p>	<p>① 한전 부속병원인 한일병원에서 연 2회 건강진단을 실시하고 있음. ('95.6.13~16, '95.11.7~10)</p>
<p>11. 기 타</p> <p>① 발전소 주변에 설치하는 환경 방사능 감시기(Environmental Radiation Monitoring System)는 인근주민 등이 쉽게 볼 수 있는 장소에 설치하여 방사능 배출상태를 알 수 있게 함은 물론 발전소 시설은 견학자, 방문자 및 인근 주민들에게 최대한 공개하고 홍보함으로써 대국민 신뢰도 증진 및 지역주민의 불안해소에도 적극적으로 하여야 함.</p>	<p>① 가동후 확인하여야 할 사항이나 현재 발전소 정·후문등 10개소에 환경방사능 감시기를 설치하고 그 중 5개소는 디지털 선량계를 설치하고 있음. - 대국민 신뢰도 및 국민불안 해소를 위해 전시관을 설치하여 방문자들이 관람토록 하고 있음. [전시관 견학인원: 63,719명(12월말 현재)]</p>
<p>② 기존 원자력발전소 가동에 따른 인근지역의 농수산물 생산현황 등을 정기적으로 조사, 자료를 확보하여 발전소 추가 가동으로 인한 피해보상, 분쟁발생 등에 대비하여야 함.</p> <p>(평가서에 제시된 저감방안)</p> <p>③ 발전소 추가부지 매입으로 인한 나아리 60여가구 주민이주 대책 수립</p>	<p>② 1호기 가동후 매년 해당 시 또는 군 통계연보를 활용, 농산물 생산 현황 등을 파악하고 있으며 매 5년마다 인구, 사회환경자료를 수정, 보완하고 있음.</p> <p>③ 추가 매입 대상범위(EAB)에 대해서는 과기처와 협의중 [한전원(분) 662. 04-5889]</p>
<p>④ 용수원댐 수몰지역내의 60여가구 주민 이주와 관련하여 충분한 협의를 거쳐 생활안정대책이 전제된 실현성 있는 주민이주대책 마련(556쪽)</p>	<p>④ 용수원댐 건설계획은 취소됨. (완료)</p>
<p>⑤ 사업부지내 위치한 경상북도 기념물 79호 석탈해왕 탄강유적비를 보존키 위한 세부대책 수립시행(593쪽)</p>	<p>⑤ 경주군 문화재 관리과에서 경주 석씨 문중으로 하여금 위탁관리중이며 한전은 동 지역에 대한 토지이용계획이 없음.</p>

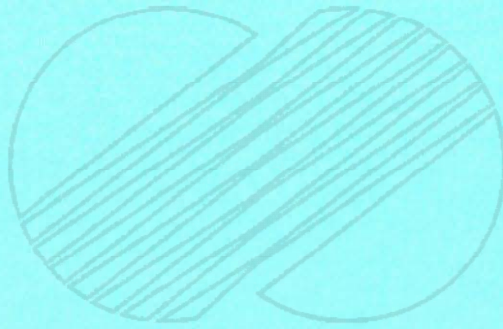
협 의 내 용	이 행 내 용
<p>12. 사후환경관리계획</p> <p>① 환경영향평가서에 제시된 환경에 미치는 영향의 저감방안 및 우리처에서 제시한 협의 내용을 포함한 종합적인 사후 환경관리계획을 수립 시행하고,</p> <p>② 본 관리계획의 추진상황 및 조치결과를 아래 서식에 따라 발전소 건설시 부터 가동후 10년까지 매 분기별로 조사·분석하고, 그 결과를 년 1회 작성하여 다음해 1월 말까지 대구지방 환경청에 제출하여야 함.</p> <p>(사후환경관리계획에 포함되어야 할 사항)</p> <p>③ 지형·지질</p> <ul style="list-style-type: none"> - 절·성토지역의 사면처리 상황(사진을 첨부하여 공사전 1회, 공사완료후 1회 제출) <p>④ 생태계</p> <ul style="list-style-type: none"> - 사업시행으로 인한 생태계(해양생태계 포함) 변화정보(식생변화량, 어종변화, 생산량 변화서식지 이동상태)를 공사전 1회, 공사완료 후 5년마다 1회이상 조사 <p>⑤ 해양환경</p> <ul style="list-style-type: none"> - 취수구 설치현황 및 온배수 배수구의 설치현황 (1회) - 온배수를 이용한 농수산물 생산시설 설치현황 - 온배수의 분포도 및 온배수 확산 예측결과와의 비교·분석 - 온배수의 온도를 저감하기 위한 시설의 설치현황 	<p>① 사후환경관리 계획을 수립하여 시행중에 있음.</p> <p>② '94년도 사후환경관리 추진실적 제출 ('95.1.5)</p> <p>③ 지형·지질</p> <ul style="list-style-type: none"> - 절·성토지역에 대해 일부 구조사면처리 - 공사전 사진 기 제출('93.3) <p>④ 생태계</p> <ul style="list-style-type: none"> - 공사전 생태계 조사는 원전 주변 환경조사 계획에 포함하여 매년 실시, 가동중 조사는 실시할 계획임. <p>⑤ 해양환경</p> <ul style="list-style-type: none"> - 관련공사 준공시 현황을 제시할 예정 - 3.⑦ 참조 - 발전소 가동시 현황을 제시할 예정. - 관련공사 준공시 현황을 제시할 예정.
<p>⑥ 수 질</p> <ul style="list-style-type: none"> - 오수정화시설 및 중합폐수처리장 설치계획 및 설치현황 (1회) - 건설공사시 수질오염방지 대책 	<p>⑥ 수 질</p> <ul style="list-style-type: none"> - 오수정화시설은 기설치 되어 있으며 중합폐수처리장은 계획되어 있음. (4.⑤ 참조) - 4.①, 4.⑧, 6.①, 6.①, 6.② 참조 - B/P 폐수 처리설비 설치 운영
<p>⑦ 폐 기 물</p> <ul style="list-style-type: none"> - 폐기물소각장 및 위탁 또는 자체매립장 확보 현황 	<p>⑦ 폐 기 물</p> <ul style="list-style-type: none"> - 7.②, ③ 참조

협 의 내 용	이 행 내 용
<p>⑧ 경 관</p> <ul style="list-style-type: none"> - 공사완료 후 부지내 조정공사 현황(1회) - 건설골재 채취지역 현황과 채취완료후 복구 현황(2회) 	<p>⑧ 경 관</p> <ul style="list-style-type: none"> - 공사완료후 현황제시 예정. - 골재 구매하여 사용 (2.① 참조)
<p>⑨ 기 타</p> <ul style="list-style-type: none"> - 환경방사능 감시기기 및 이용현황 - 온배수를 이용한 농수산물 및 인근 수산물에 대한 유통전의 방사능 오염감시체계 현황 	<p>⑨ 기 타</p> <ul style="list-style-type: none"> - 가동후 감시기기, 이용현황 제출할 계획. - 가동후 환경조사 계획에 포함하여 추진할 계획임.
<p>13. 협의내용 변경</p> <p>① 본 협의내용 변경계획에 대한 우리부의 의견 및 동 변경계획서에 제시된 환경영향 저감방안 사업계획에 반영, 반드시 이행하여야 하며, 공사시 및 이용시에 환경영향평가 협의내용 변경과정에서 예측하지 못하였던 상황의 발생 또는 예측의 부정적 등으로 주변환경에 악영향이 있거나 있을 것으로 우려될 경우에는 기 수립된 환경영향 저감방안외에도 별도의 대책을 신속히 강구, 시행하여야 함.</p> <p>② 환경영향 평가법 제 23조의 규정에 따라 본 사업의 공사현장에는 협의내용을 기재한 관리대장을 비치하고 협의내용 관리책임자를 지정하여야 하며, 협의내용 관리책임자를 지정한 때에는 이를 대구지방 환경관리청에 통보하여야 함.</p> <p>③ 본 사업을 착공 또는 준공하거나 3월이상 공사를 중지하고자 할 때에는 환경영향평가법 제25조의 규정에 의거 대구지방 환경관리청에 그 내용을 신고하여야 함.</p>	<p>① 해당 사항 발생시 조치 예정임.</p> <p>② 월정 3,4호기 협의사항에 대한 변경사항이므로 기존의 3,4호기 관리대장에 동 협의사항을 반영하여 협의 내용을 관리함.</p> <p>③ 해당사업 발생시 대구지방 환경청에 신고 예정임.</p>
<p>④ 용수 공급관로 및 가압 펌프장 설치, 조절지 및 정수장 부지 정지시 등 자연 지형 훼손을 수반하는 공사시에는 절·성토 및 굴착작업완료 즉시 법면 보호공, 수목식재 등의 복구계획을 시행하여 파헤쳐진 토사의 장기간 방치로 인하여 먼지의 비산, 강우시 토사 유출을 초래하는 일이 없도록 하여야 함.</p>	<p>④</p> <ul style="list-style-type: none"> - 제 2 가압장 진입로 시점 제 1터널 진입로 구간공사 완료(약 1.48km) - 복구계획 : 작업완료시 실시 예정 - 먼지비산방지 : 공사시 살수차 운행 및 차량 덮개사용 예정 - 토사 유출방지 : 유도 배수로 설치 예정

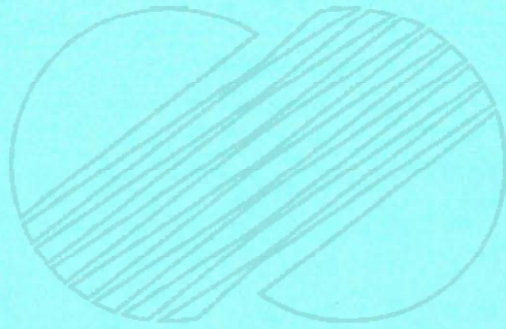
협 의 내 용	이 행 내 용
⑤ 터널굴착 및 관로매설 등의 공사시 가능한 지하수맥을 단절하는 일이 없도록 하고, 공사장비에서 발생하는 폐유등이 인근의 하천 및 개울에 유출되지 않도록 하여야 함.	⑤ 터널굴착시 지하수맥 단절방지를 위한 차수, 방수공사를 실시할 예정임. (Shotcrete, 방수 Sheet 설치 후 Lining)
⑥ 본 공사로 인하여 도로이용, 농경 등 지역주민의 생활환경에 불편을 끼치는 일이 없도록 하여야 함.	⑥ 도로이용, 농경 등 지역주민의 생활환경에 불편을 끼치는 일이 없도록 공사를 할 예정임.



IX. 기 타



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.



IX. 기 타

1. 월성원자력 3, 4호기 환경영향평가서 수정본 작성기간 : 1995. 6 ~ 1996. 6
2. 수정본 작성기관 : 한국전력기술(주)
3. 수정본작성 참여자 및 참여기관 명단

○ 한국전력공사

소 속	직 책	성 명	참 여 분 야
원자력입지추진반	반 장	노 춘 길	수정본작성 종합지도
원자력입지추진반 입지기술부	부 장	김 형 렬	수정본작성 업무총괄
	부장대리	양 동 철	수정본작성 계획·관리 및 보고서 검토
	부장대리	채 형 주	보고서 검토

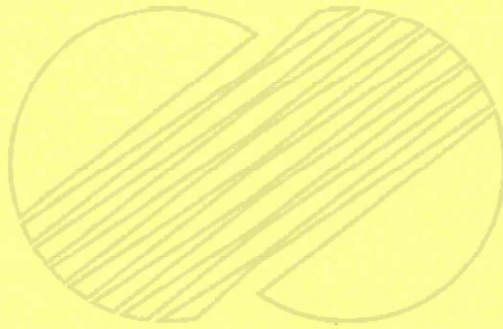
○ 한국전력기술(주)

소 속	직 책	성 명	참 여 분 야	전공분야
환경기술처	처 장	양 경 석	수정본작성 지도	물 리 학
	사업책임자	박 병 원	사업총괄	지 질 학
	선임기술원	임 병 무	환경현황	환 경 학
	기 술 원	윤 인 근	인구, 질의·답변요약	환경관리
	기 술 원	최 승 식	사회·경제환경	환 경 학
원자력기술처	책임기술원	이 형 원	방사능영향평가 총괄	원자력공학
	기 술 원	강 상 호	방사능영향평가 및 기타 보완요구사항	원자력공학

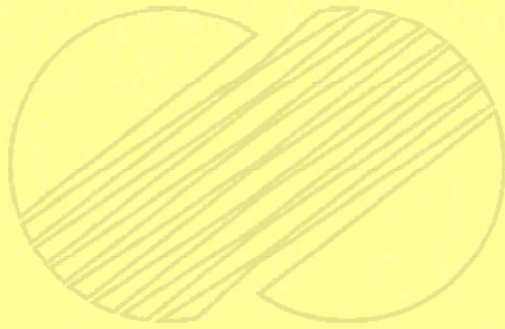
본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.



참 고 문 헌



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.



참 고 문 헌

1. 건설교통부, 1995, '94 도로교통량 통계연보
2. 경주군, 1994, 경주군 통계연보
3. 경제기획원, 1975, 1980, 1985, 인구 및 주택 센서스 보고
4. 과기처, 1984. 7, 과학기술처고시 제84-8호, 원자력발전소 환경영향평가 작성지침
5. 과기처, 과학기술처고시 제 90-11호
6. 수산업협동조합중앙회, 1990~1994, 수산물 계통판매고 통계연보
7. 영일군, 1995, 영일통계연보
8. 울산군, 1994, 울산군 통계연보
9. 울산시, 1995, 울산시 통계연보
10. 한국에너지연구소, 1989, 고리주변환경 종합평가 및 관련모델 개발(KAERI/NSC-397/89)
11. 한국원자력안전기술원, 1994. 1, 월성원자력 3, 4호기 환경영향평가서 심사보고서
12. 한국원자력연구소, 1990, 섭취 및 호흡에 의한 방사선 내부피폭선량 평가코드 개발(KAERI/RR-998/90)
13. 한국전력공사, 1990.11, 월성원자력 2호기 건설사업 환경영향평가서
14. 한국전력공사, 1992~1994, 월성원자력 3, 4호기 환경영향평가서 심사질의·답변 자료
15. 한국전력공사, 1992.3, 월성원자력 3·4호기 건설사업 환경영향평가서
16. 한국전력공사, 1992.10, 월성원자력 2호기 골재원 조사보고서
17. 한국전력공사, 1987~1994, 원자력발전소 주변환경 조사보고서
18. 한국전력공사, 1994.10, 원자력발전소의 온배수 영향 저감방안 연구(월성원전)
19. 한국전력공사, 1994, '93 원자력발전소 방사선 관리연보
20. 한국전력공사, 1993.12, 월성원전 삼중수소 저감화 방안 연구
21. 한국전력공사, 1994.12, 효암·비학지점 환경예비조사보고서
22. 한국전력기술주식회사, 1988.12, AZAP 전산프로그램 사용자지침서
23. 한국전력기술주식회사, 1988.5, LADTAP 코드 사용자 지침서
24. 통계청, 1990, 인구주택 총조사 잠정보고서(1990)
25. 통계청, 1994, 지역통계연보
26. YGN 3&4 PSAR Chapter.11 , KEPCO
27. "Shielding Design Manual Part 1-Reactor Building", 86-3320-DM-001, AECL
28. "Shielding Design Manual Part 1-Reactor Building", 86-3320-DM-002, AECL
29. Wolsung 2,3,4 FSAR Chapter.15 ,KEPCO

30. ANSI/ANS 18.1, "American National Standard Source Term Specification", 1976
31. Wolsung 2,3,4 FSAR Chapter.11 ,KEPCO
32. 10 CFR 20, USNRC, "Standard for Protection Against Radiation", 1993.1
33. POSTDBA User's Manual, S&L,
34. Regulatory Guide 1.109 , USNRC, "Calculation of Annual Dose to Man from Routine Release of Reactor Effluent for the Purpose of Evaluating Compliance with 10CFR50, App.I"
35. 10 CFR 50, USNRC, 1993.1, "Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities"
36. WASH-1258, AEC, 1973.7
37. Regulatory Guide 1.111, USNRC, "Methods for Estimating Atmospheric Transport and Dispersion of Gaseous Effluents in Routine Releases from Light-water-cooled Reactor"
38. Regulatory Guide 1.113, USNRC, "Estimating Aquatic Dispersion of Effluent from Accident and Routine Reactor Releases for the Purpose of Implementing App.I"
39. Wolsung Oceanographic Studies
40. 40 CFR 190, USNRC, "Protection of Environment"
41. "Systematic Review of Plant Design for Initiating Events",86-03600-AR-002 ,Rev.1, AECL
42. "Compliance With AECB Consultative Document C-6", 86-00580-AR-001, Rev.2, 1993.2, AECL
43. "Licensing Basis Document for CANDU 6", 1991.6, AECL
44. NUREG/CR-2300, "PRA Procedure Guide"
45. NUREG/CR-4550, "Analysis of Core Damage Frequency: Zion Unit 1, Internal Events"
46. AECL, "Fuel Defect Investigation of Point Lepreau", 1992.10
47. NUREG-0555(ESRP), "Environment Standard Review Plants for the Environment Review of Construction Permit Applications for Nuclear Power Plants"
48. "Containment Operation", 59-SDM-8, 1982, AECL
49. "Guidelines for Calculating Radiation Doses to the Public from a Release of Airborne Radioactive Material Under Hypothetical Accident Condition in Nuclear Reactors", CAN/CSA-N288.2-M91, 1993.5
50. "Analysis Methodology for Dose and Dispersion", 86-03400-AB-001, Rev.0, 1994.8
51. "Probabilistic Safety Assessment Report", 86-03600-PSA-001, Rev.0, AECL, 1995.7

- 52. Regulatory Guide 1.145, USNRC
- 53. "Limiting Values of Radionuclide Intake and Air Concentration And Dose Conversion Factors for Inhalation, Submersion, and Ingestion", 1988, US Environmental Protection Agency.
- 54. Regulatory Guide 1.4, USNRC, "Assumption Used for Evaluating the Potential Radiological Consequences of a Loss-of-Coolant Accident for Pressurized Water Reactor"



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

