

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

표 2.4-17

과거 실제 지진해일과 가상 지진해일에 의한 부지해역에서의
최대수위상승 및 하강량 비교

지진해일 수 위	1983 지진해일	1993 지진해일	PMT	지진공백역 No. 2	최종값
최고수위(m)	0.082	0.091	0.252 (진원지 No. 1)	0.295	0.295
최저수위(m)	0.097	0.145	0.285 (진원지 No. 2)	0.260	0.285

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

표 2.4-18

100년 및 25년 빈도 지진해일에 의한 부지해역에서의 최대수위상승 및 하강량

빈 도 수 위	25년	100년
최고수위(m)	0.0079 (진원지 No. 1)	0.0767 (진원지 No. 1)
최저수위(m)	0.0082 (진원지 No. 1)	0.0908 (진원지 No. 2)

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

표 2.4-19

부지해역에서의 지진해일에 의한 빈도별 최대 수위상승 및 하강량

<div>빈 도</div> <div>수 위</div>	25년	100년	PMT
최고수위(m)	0.0079	0.0767	0.295
최저수위(m)	0.0082	0.0908	0.285

표 2.4-20

호암천 상류 및 하류부 물 조절 구조물의 특성

저수지명	대명	명례 (사근달)	산막	친선 (신리)	개천 안골	뒷골	화산
유역면적 (ha)	16	35	25	22	20	8	240
유효 저수량 (천m ³)	9.8	33.8	10.8	20.1	40	3.6	1124.5
만수면적 (ha)	0.5	1	0.7	1.4	1.4	0.6	13.5
제당높이 (m)	3.7	5.5	4	3	19.7	4.5	36.5
제당길이 (m)	110	84	100	125	77	68	167
인가면적 (ha)	20.6	20.5	8	12.4	20	5.5	284.7
관개면적 (ha)	10.6	10	8	5	1	5	-
착공년도	1945	1945	1945	1945	1989	1945	1990
준공년도	1945	1945	1945	1945	1996	1945	1997
구조물의 종류	토언제중심점토형						필댐 (존형)
모든 부속시설	부속시설에 대한 자료 없음						여수토 25 m 방수로 159 m
소유자	부산광역시기장군						울산광역시 울주군

2

표 2.4-21

가능최대강수량 수문곡선과 소류지 홍수량의 결합

시간장경 (분)	합성 단위도	화산 저수지	소류지						합성 홍수량
			대명	명례	산막	신리	개천 안골	뒷골	
0	0	-	-	-	-	-	-	-	0
10	6	-	-	-	-	-	-	-	6
20	38	-	-	-	-	-	-	-	38
30	273	-	-	-	-	-	-	0	273
40	573	-	-	-	0	0	-	0.1	573.1
50	882	-	-	-	0.2	0.7	-	0.3	883.2
60	1,171	-	0	-	0.4	1.3	-	0.4	1,173.1
70	1,141	-	0.1	-	0.6	2.0	-	0.5	1,144.2
80	1,023	-	0.2	-	0.8	2.7	-	0.7	1,027.4
90	864	-	0.2	0	1.0	3.3	-	0.8	869.3
100	668	-	0.3	0.6	1.16	4.0	-	0.7	674.8
110	472	-	0.4	1.2	1.0	4.66	-	0.5	479.8
120	279	-	0.48	1.8	0.8	4.0	-	0.4	286.5
130	102	-	0.4	2.3	0.6	3.3	-	0.3	108.9
140	42	-	0.3	2.92	0.4	2.7	-	0.1	48.4
150	13	-	0.2	2.3	0.2	2.0	-	0	17.7
160	0	-	0.2	1.8	0	1.3	-	-	3.3
170	-	-	0.1	1.2	-	0.7	0	-	2
180	-	0	0	0.6	-	0	0.9	-	1.5
190	-	76.6	-	0	-	-	1.7	-	78.3
200	-	153.1	-	-	-	-	2.6	-	155.7
210	-	229.7	-	-	-	-	3.44	-	233.1
220	-	306.3	-	-	-	-	2.6	-	308.9
230	-	382.82	-	-	-	-	1.7	-	384.5
240	-	306.3	-	-	-	-	0.9	-	307.2
250	-	229.7	-	-	-	-	0	-	229.7
260	-	153.1	-	-	-	-	-	-	153.1
270	-	76.6	-	-	-	-	-	-	76.6
280	-	0	-	-	-	-	-	-	0

2

표 2.4-22

50년 빈도 확률강우량 수문곡선과 소류지 홍수량의 결합

시간장경 (분)	합성 단위도	화산 저수지	소류지						합성 홍수량
			대명	명례	산막	신리	개천 안골	뒷골	
0	0	-	-	-	-	-	-	-	0
10	0	-	-	-	-	-	-	-	0
20	6	-	-	-	-	-	-	-	6
30	80	-	-	-	-	-	-	0	80
40	181	-	-	-	0	0	-	0.1	181.1
50	290	-	-	-	0.2	0.7	-	0.3	291.2
60	398	-	0	-	0.4	1.3	-	0.4	400.1
70	397	-	0.1	-	0.6	2.0	-	0.5	400.2
80	360	-	0.2	-	0.8	2.7	0	0.7	364.4
90	305	-	0.2	0	1.0	3.3	0.9	0.8	311.2
100	238	-	0.3	0.6	1.16	4.0	1.7	0.7	246.5
110	171	-	0.4	1.2	1.0	4.66	2.6	0.5	181.4
120	103	76.6	0.48	1.8	0.8	4.0	3.44	0.4	190.5
130	40	153.1	0.4	2.3	0.6	3.3	2.6	0.3	202.6
140	15	229.7	0.3	2.92	0.4	2.7	1.7	0.1	252.8
150	4	306.3	0.2	2.3	0.2	2.0	0.9	0	315.9
160	0	382.8	0.2	1.8	0	1.3	0	-	386.1
170	-	306.3	0.1	1.2	-	0.7	-	-	308.3
180	-	229.7	0	0.6	-	0	-	-	230.3
190	-	153.1	-	0	-	-	-	-	153.1
200	-	76.6	-	-	-	-	-	-	76.6
210	-	0	-	-	-	-	-	-	0

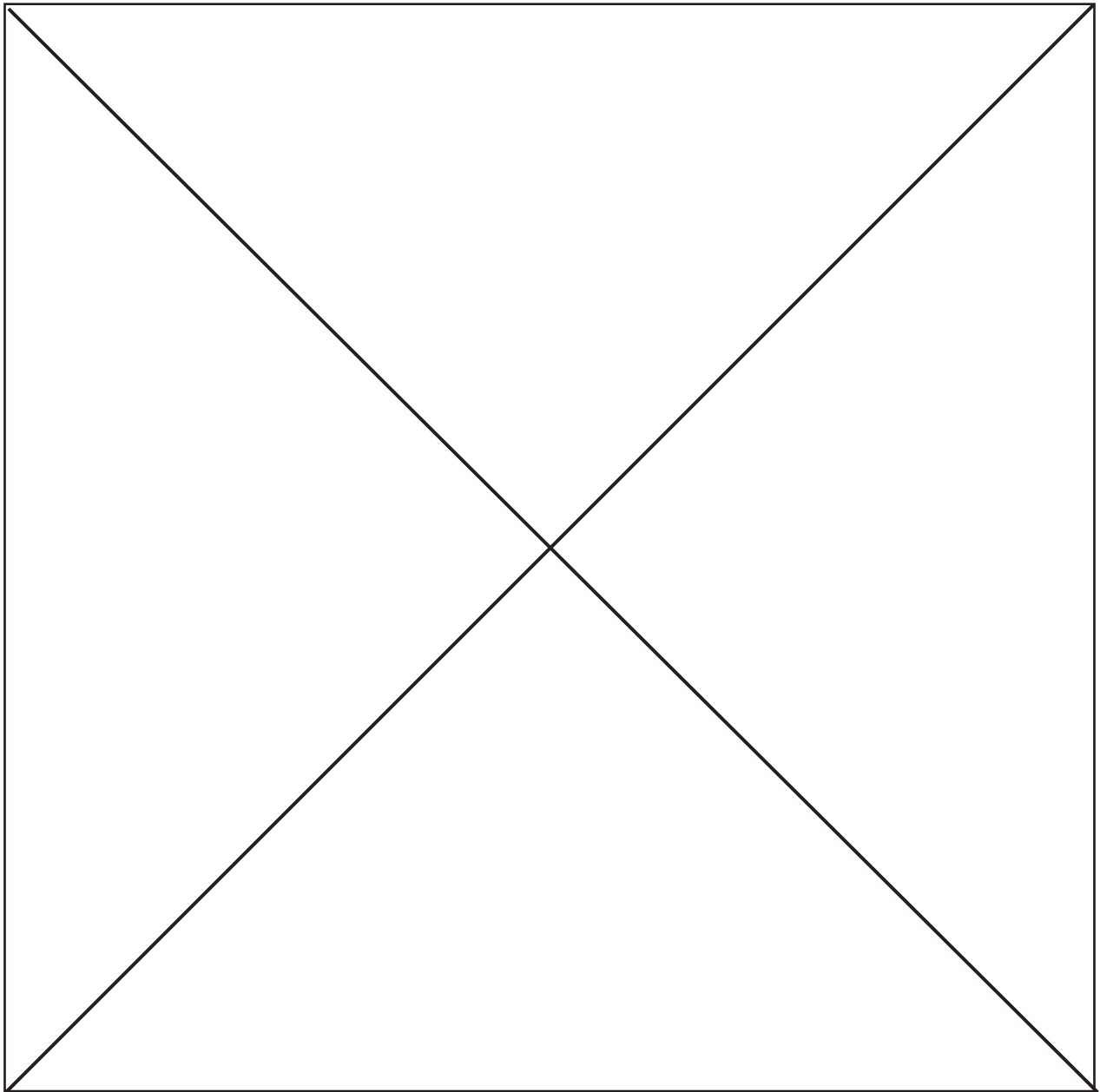
2

표 2.4-23

통계학적 방법에 의한 부지의 가능최대강수량

지속시간	1	2	3	6
PMP(mm)	229	326	401	571

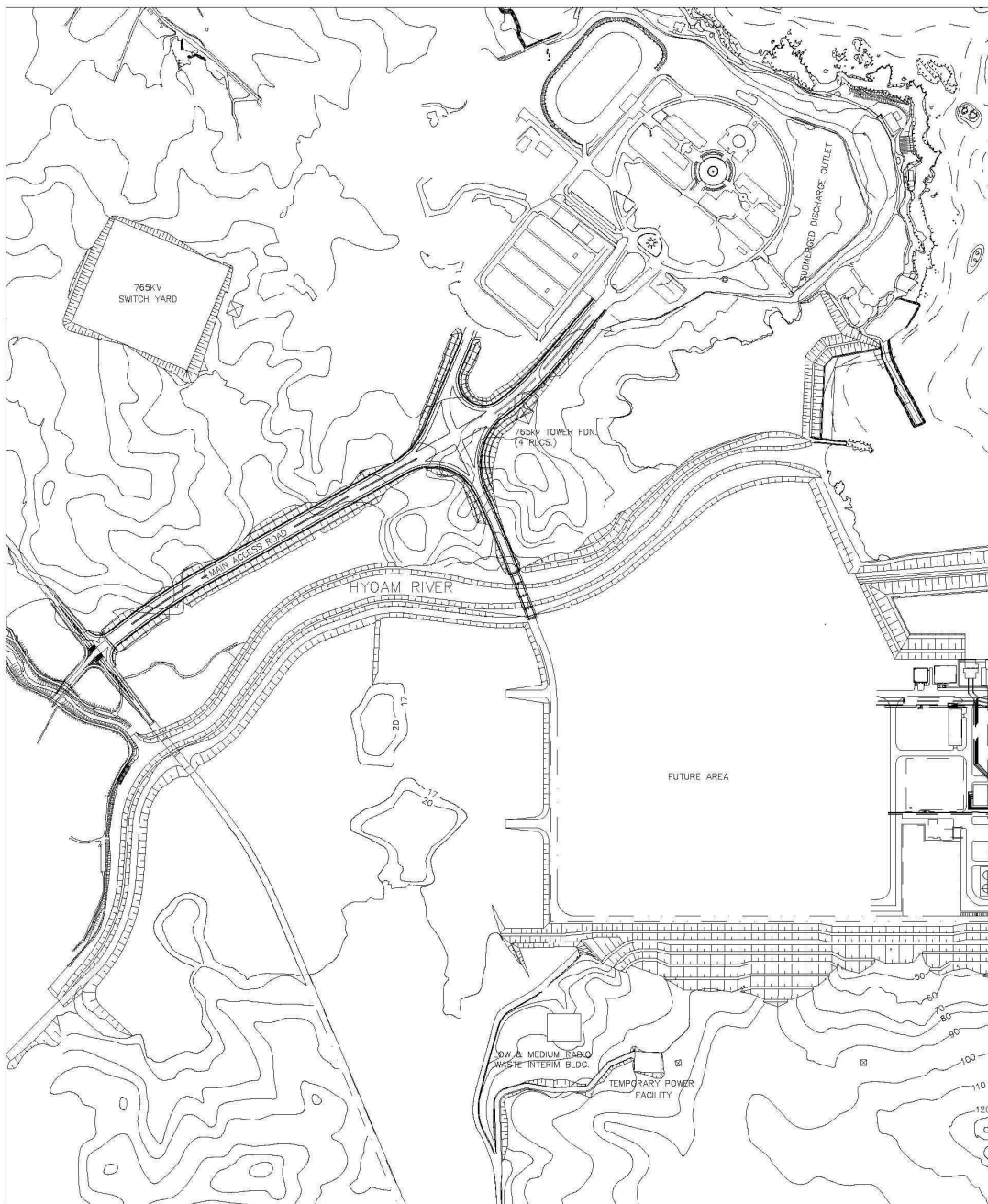
2



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

건설후 부지 지형도 및 수계도

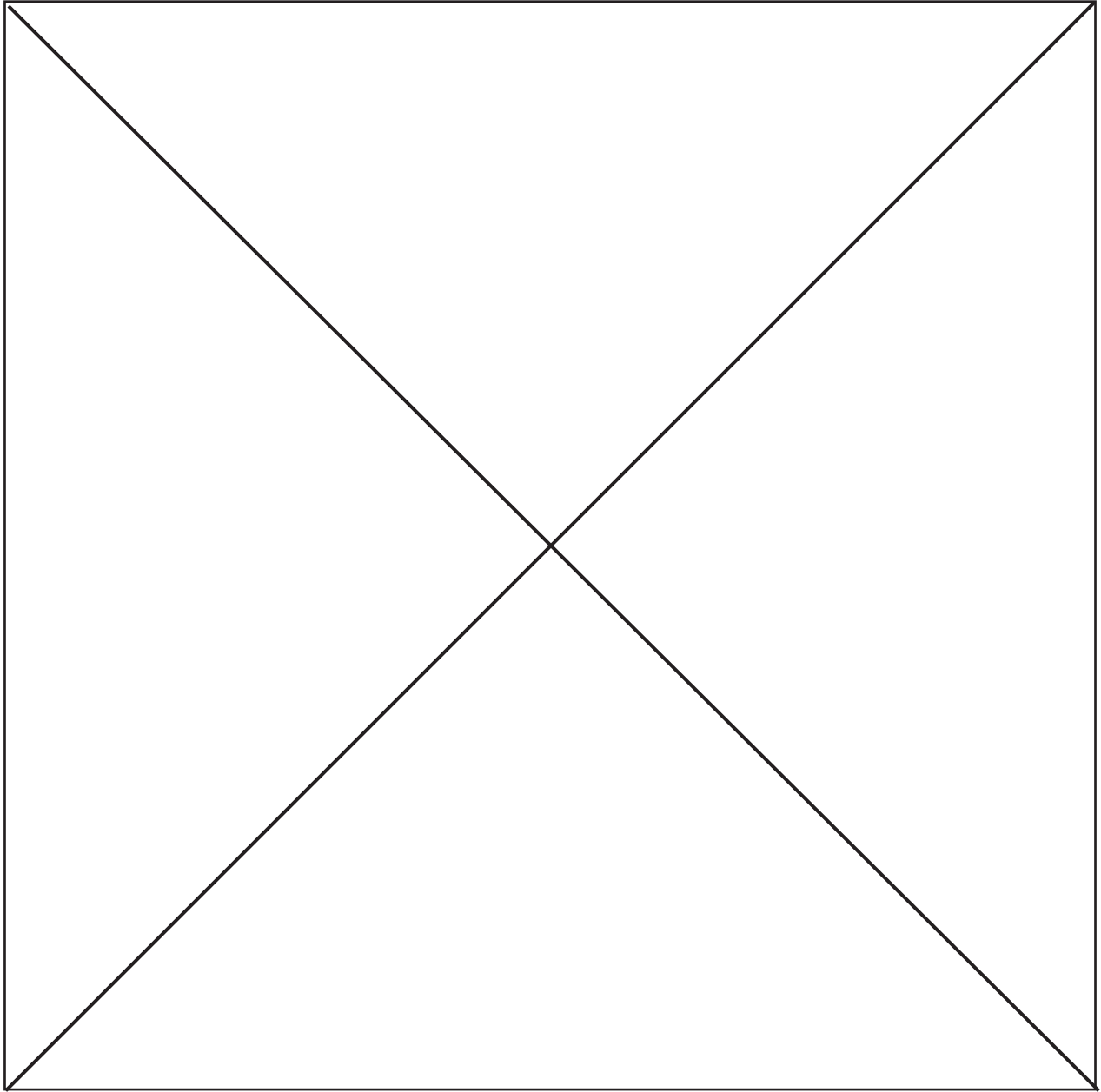
그림 2.4-1



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

이설 효암천 유로

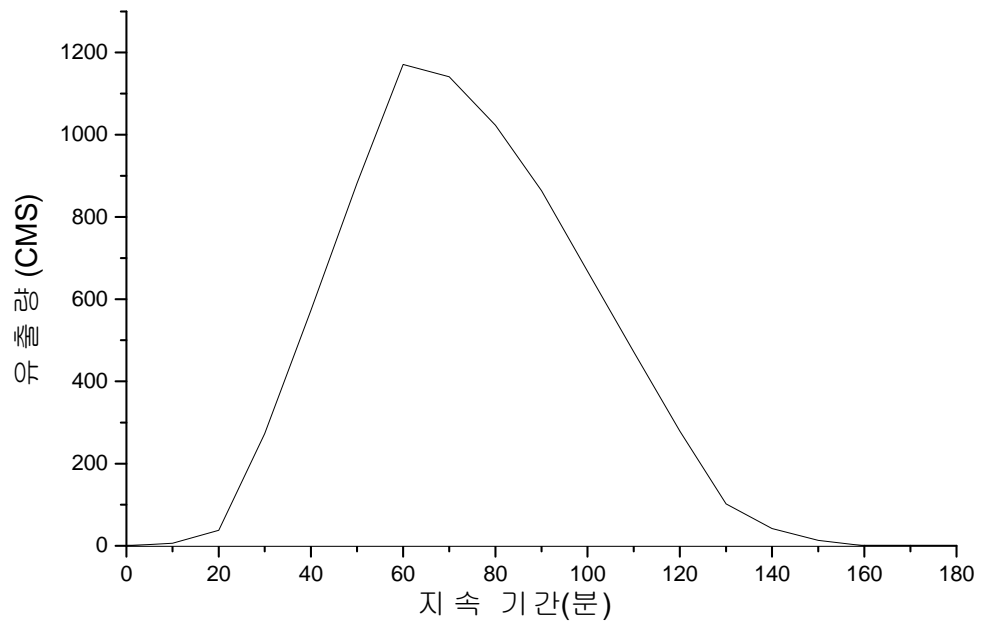
그림 2.4-2



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

부지내 침수심 계산 월류단면

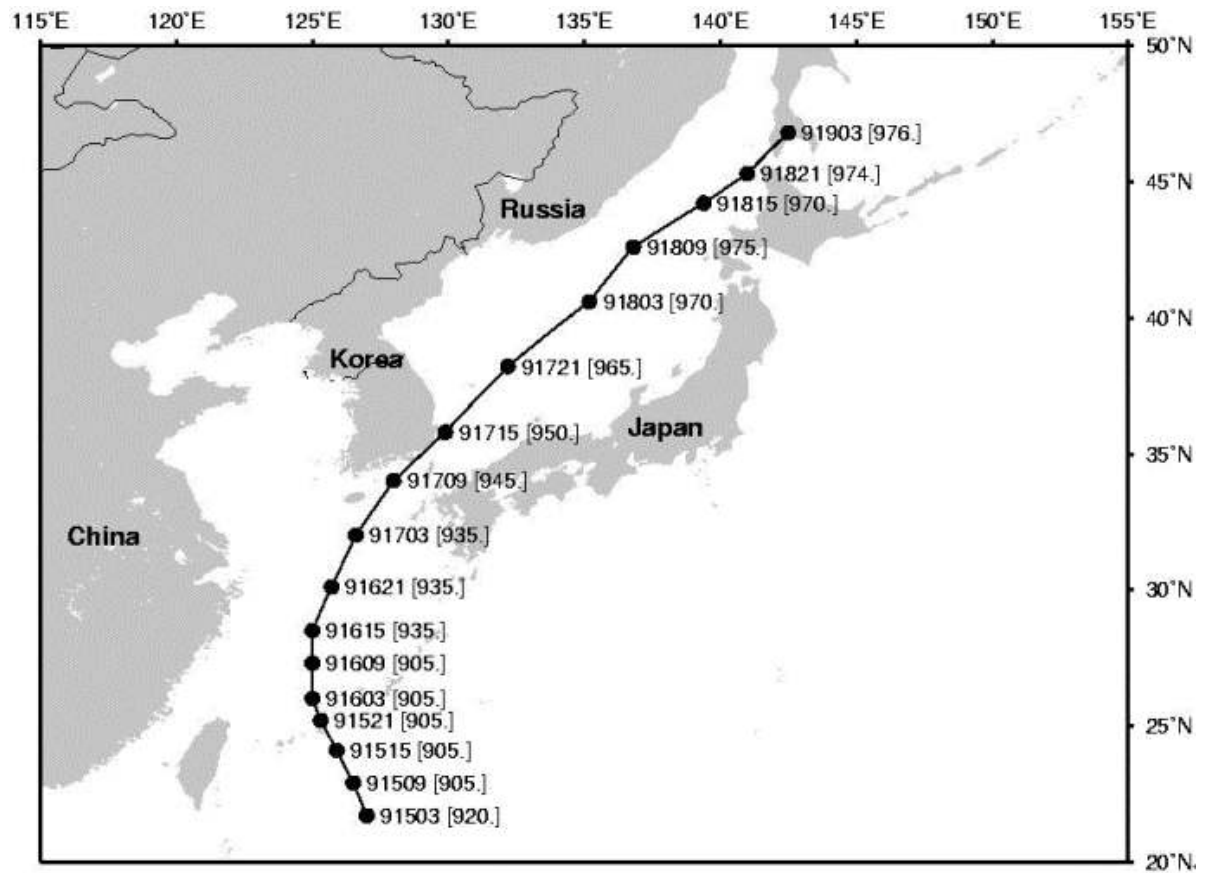
그림 2.4-3



한국수력원자력주식회사
 신고리 5,6호기
 예비안전성분석보고서

효암천 유역의 가능최대강수량에 의한
 유출수문곡선

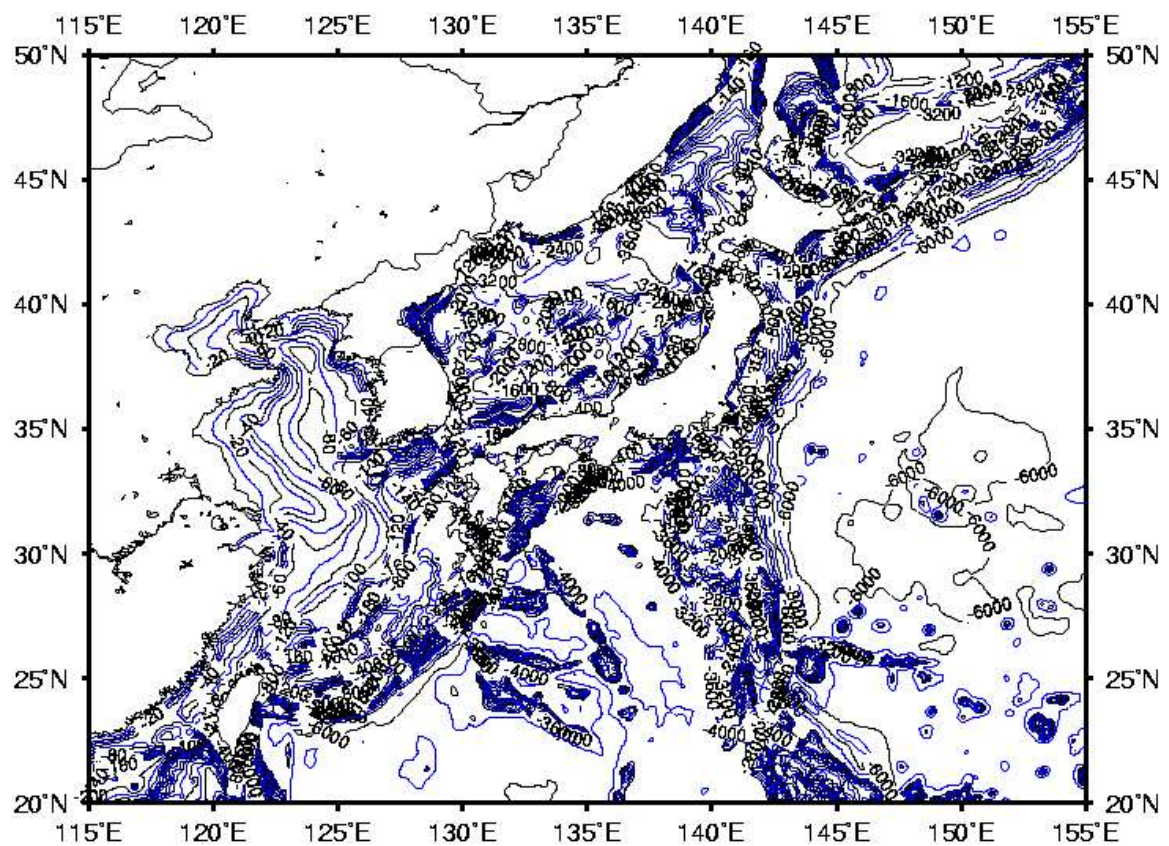
그림 2.4-4



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

태풍 사라호의 이동 경로도

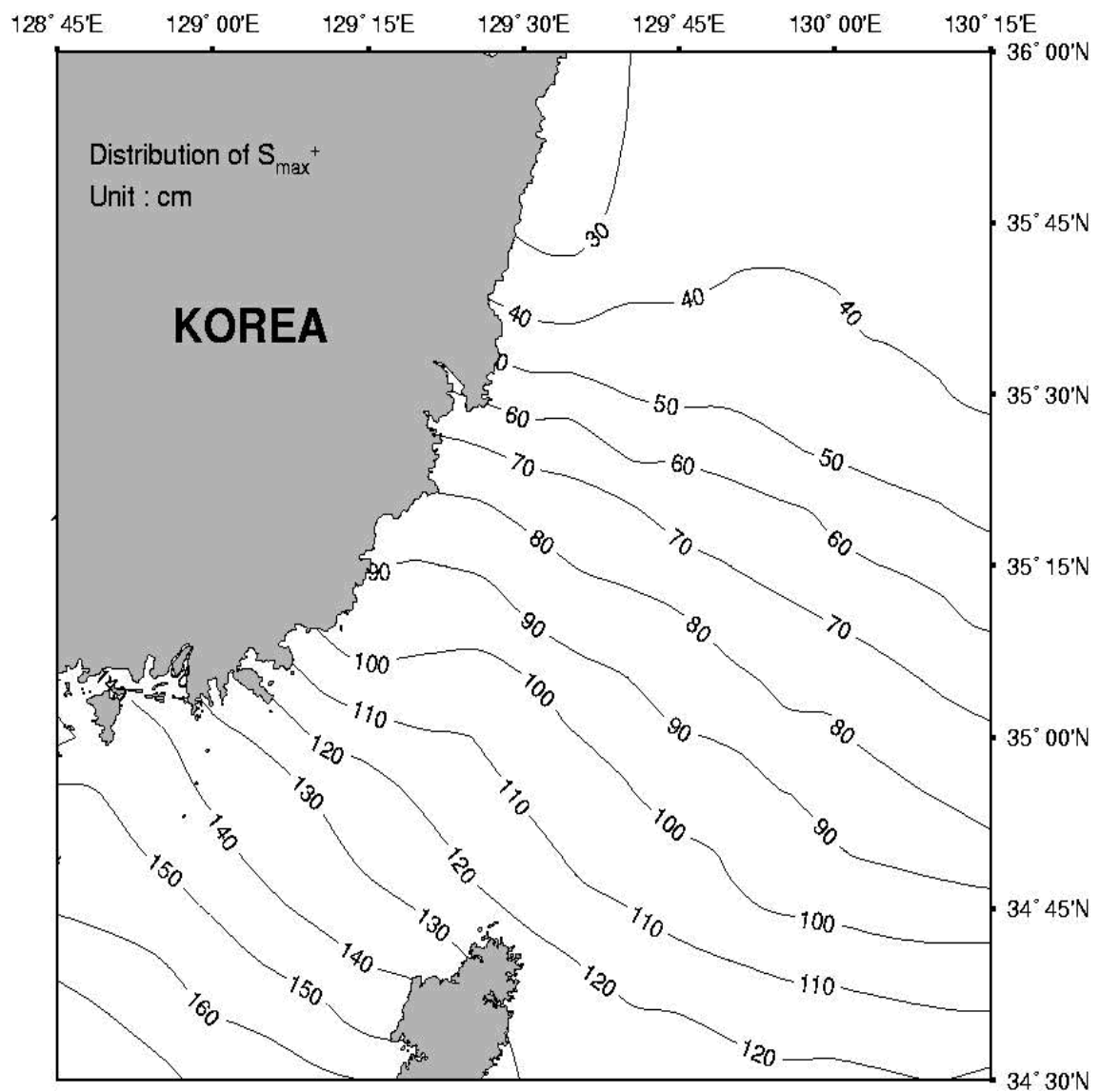
그림 2.4-5



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

한반도 주변 해역의 수심도

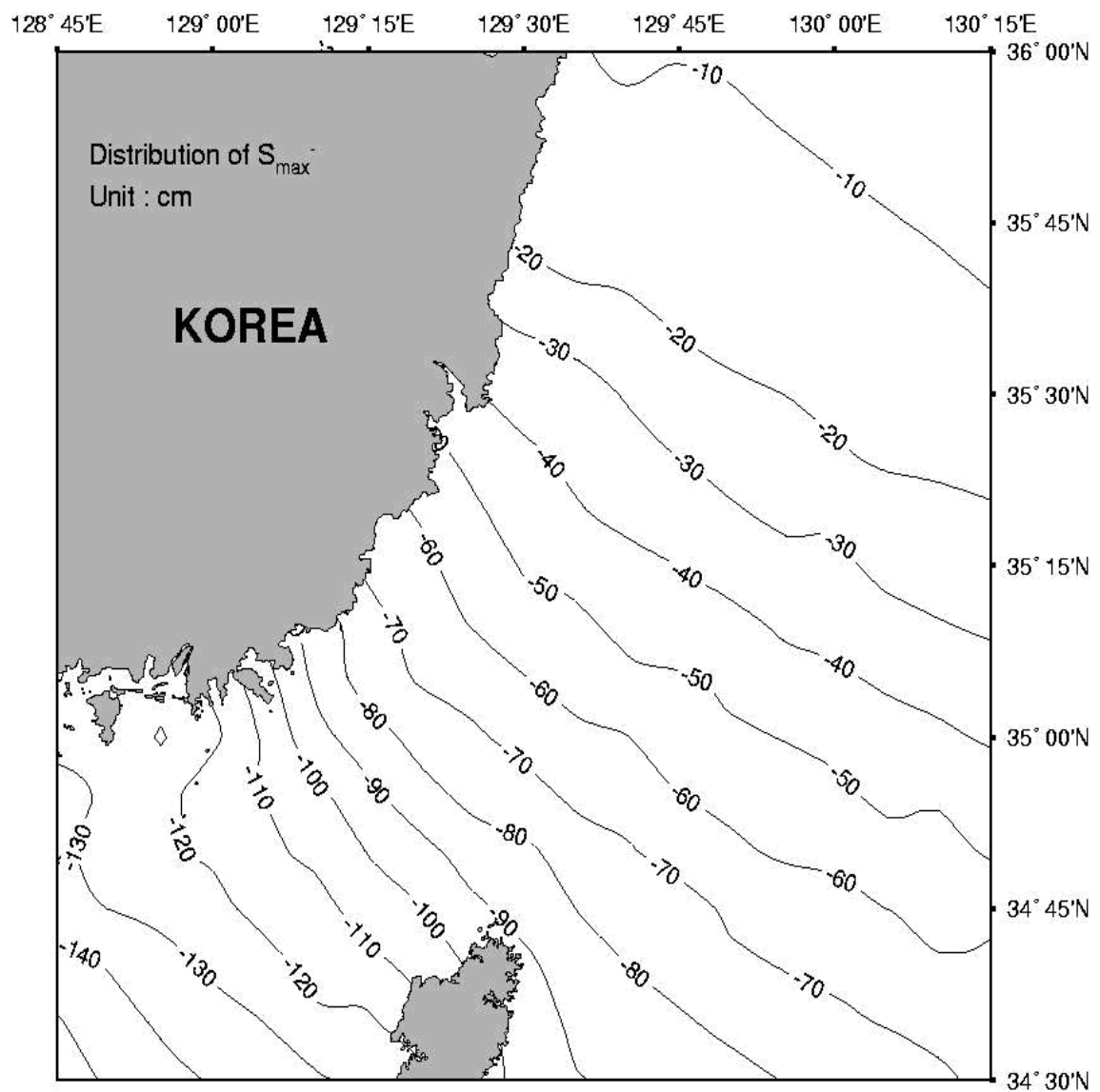
그림 2.4-6



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

태풍 사라호에 의한 신고리 해역의
양의 최대 해일고(cm)

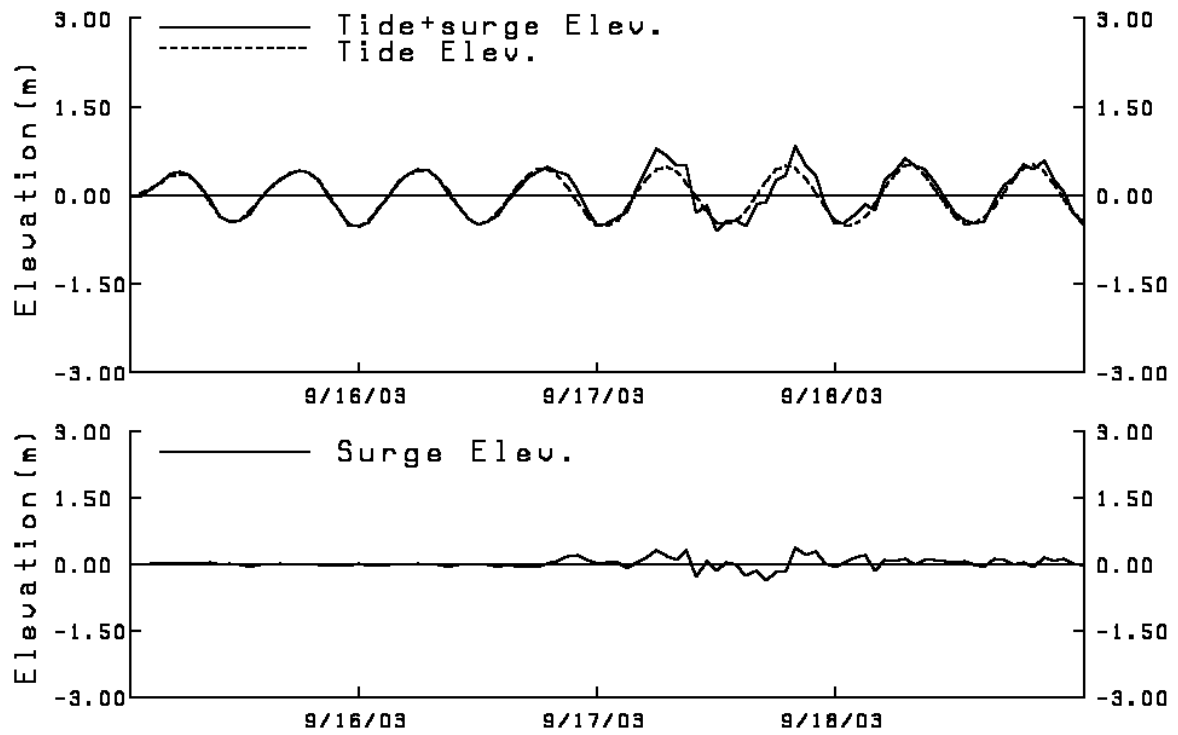
그림 2.4-7



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

태풍 사라호에 의한 신고리 해역의
음의 최대 해일고(cm)

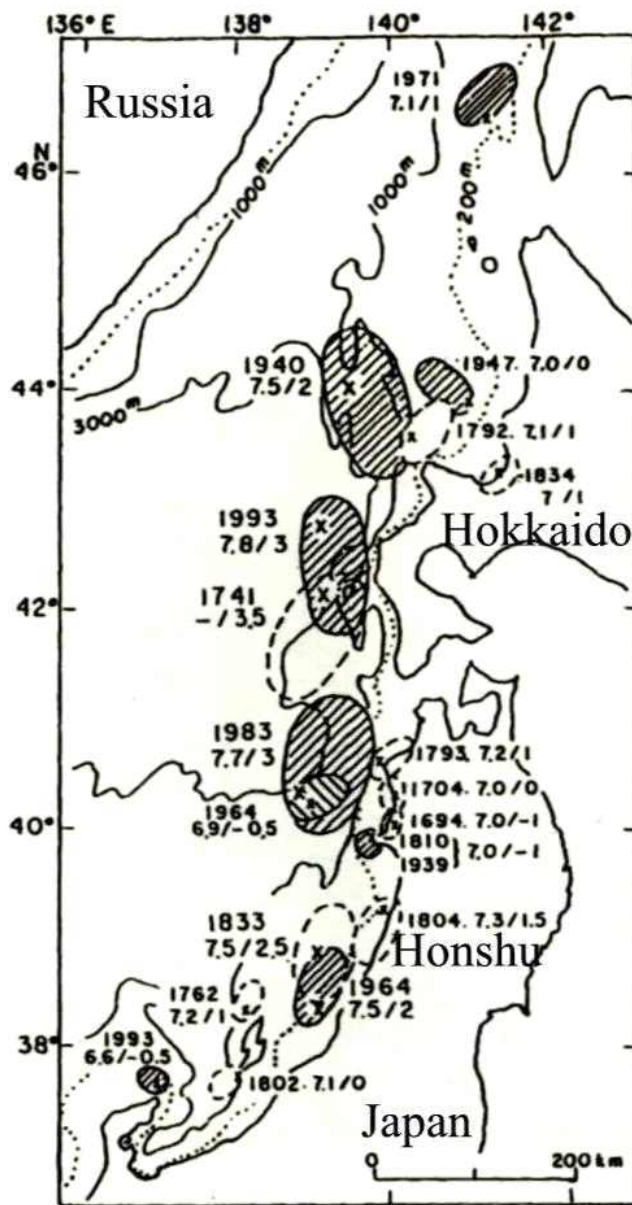
그림 2.4-8



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

가능최대태풍과 조석의 영향이 고려된 시계열
해수위(위)와 태풍의 영향만이 고려된 시계열
해수위(아래)

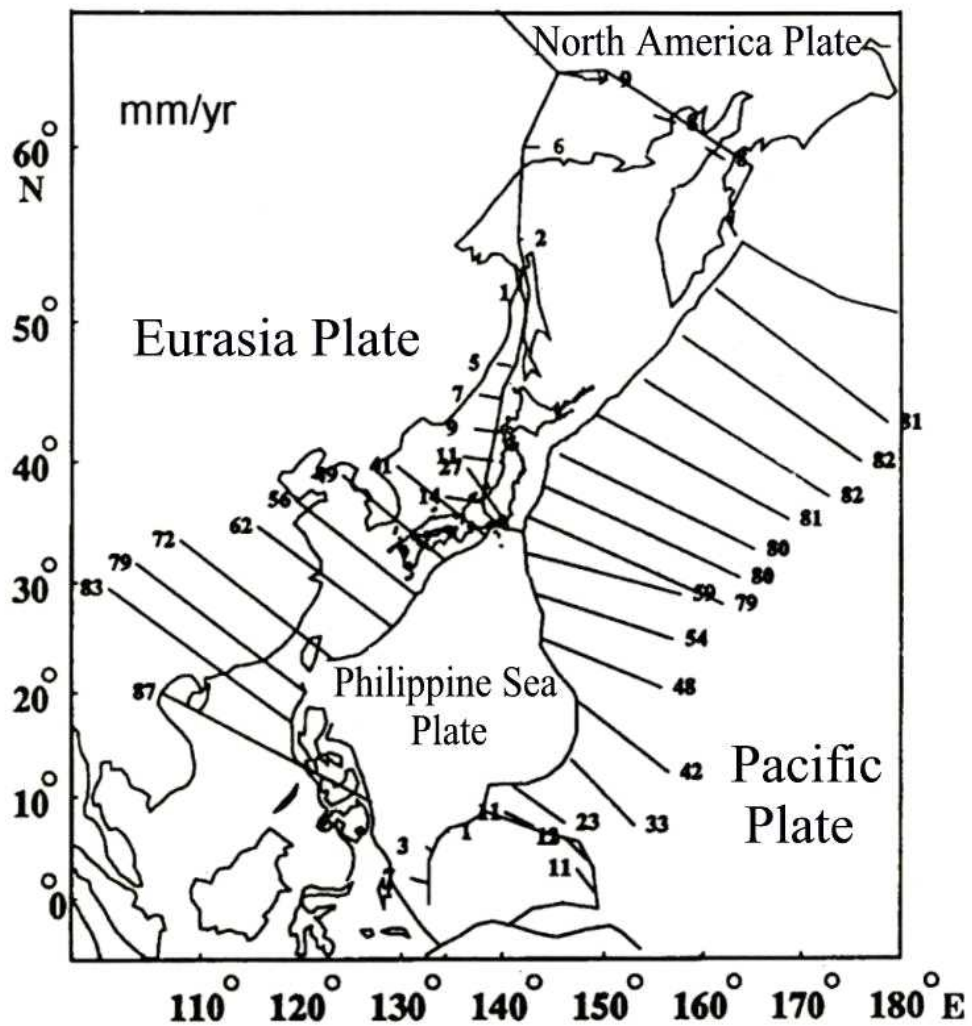
그림 2.4-9



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

서기 700년 이후 동해에서 발생한
역사 지진해일의 파원역

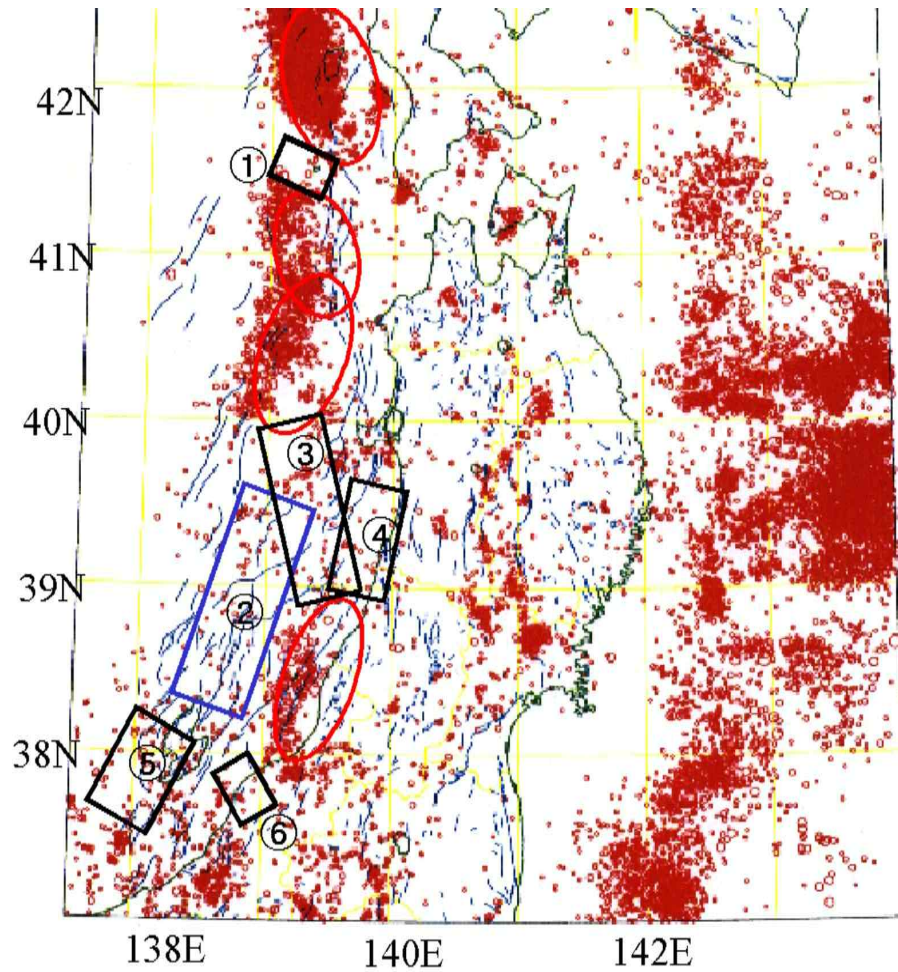
그림 2.4-10



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

일본주변 지각판의 경계와
상대적인 연간 이동량

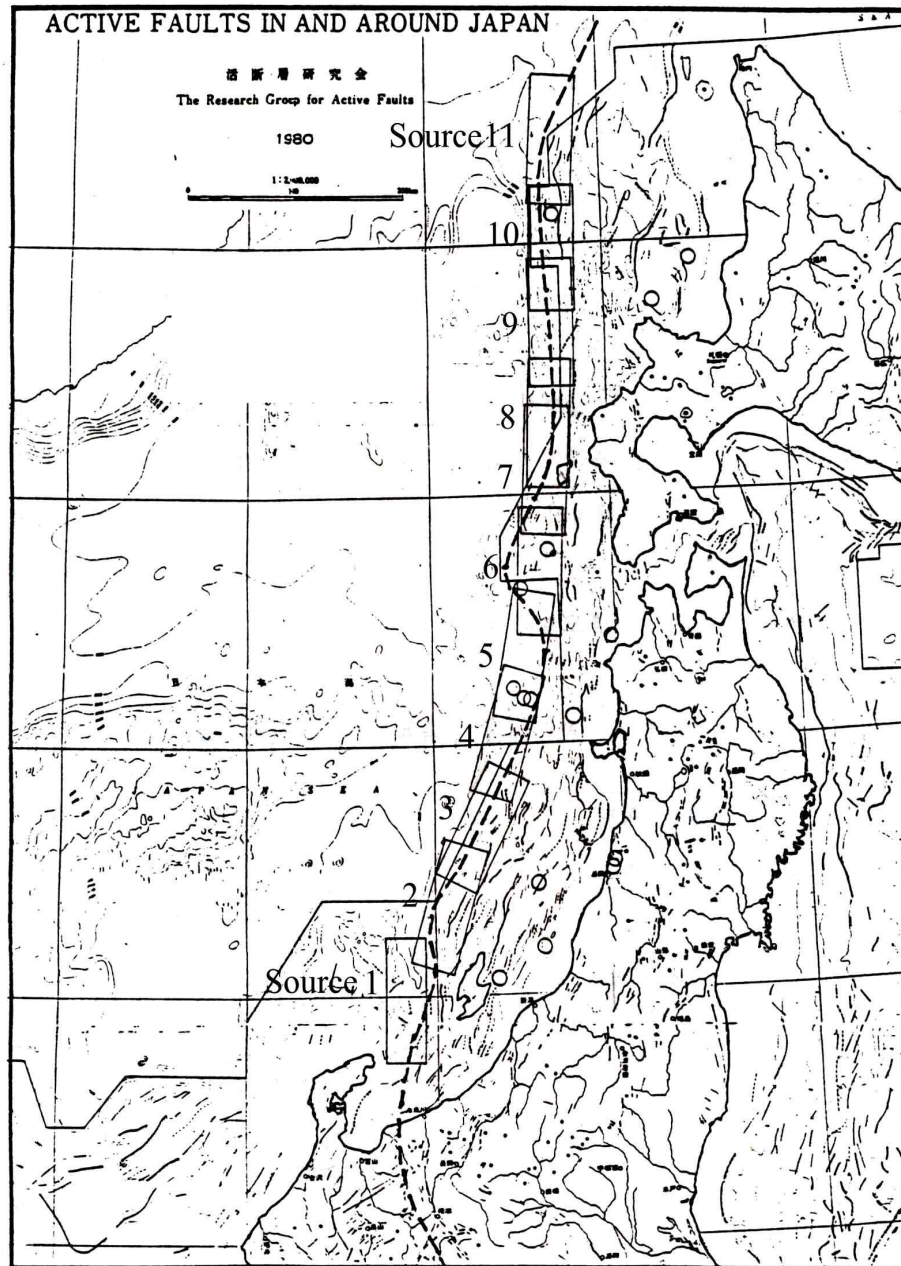
그림 2.4-11



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

지진공백역의 위치

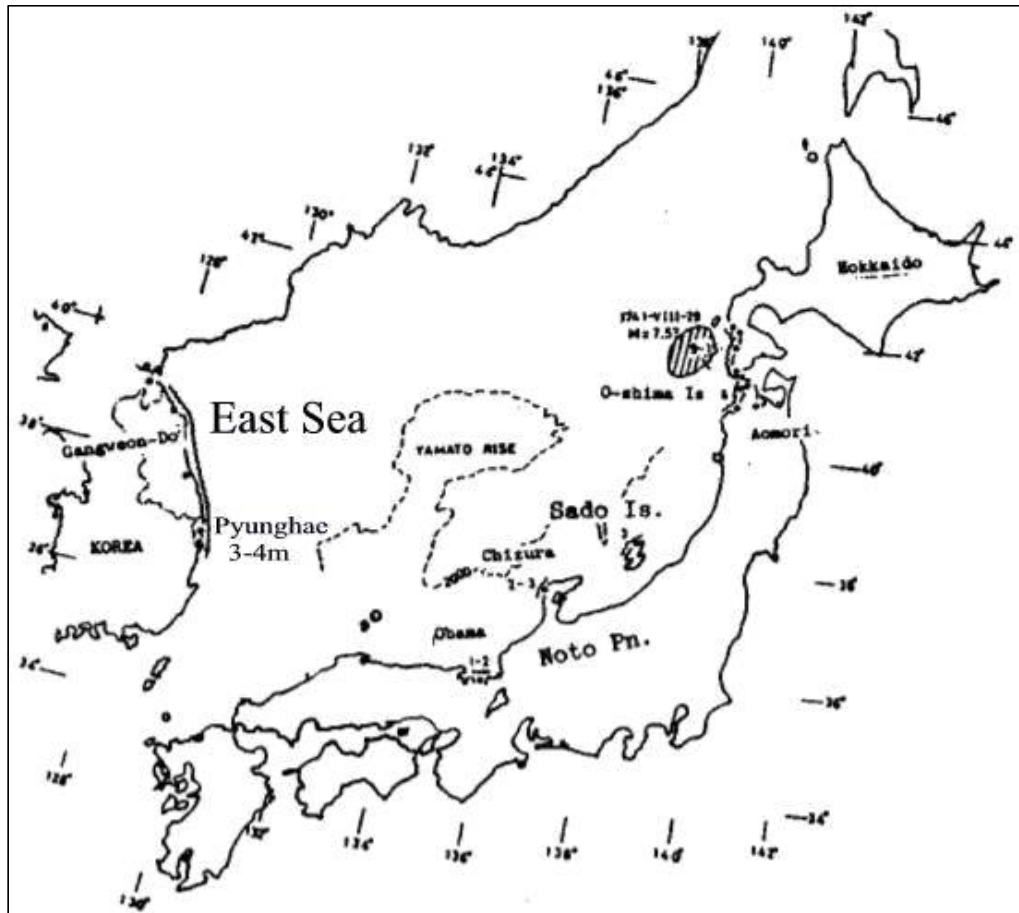
그림 2.4-12



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

위험 파원역 위치 결정을 위한
가상 지진의 위치

그림 2.4-13



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

1741년 관보 지진해일(M=7.5)에 의한
동해안에서의 지진해일고 분포

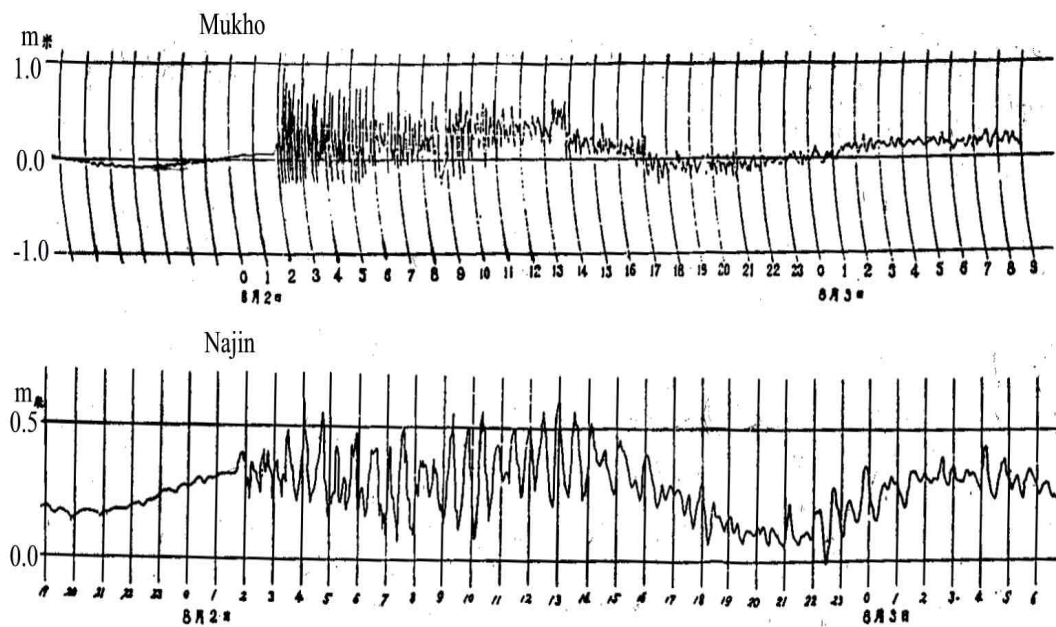
그림 2.4-14



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

1940년 사코탄 지진해일(M=7.5)에 의한
동해안에서의 지진해일고 분포

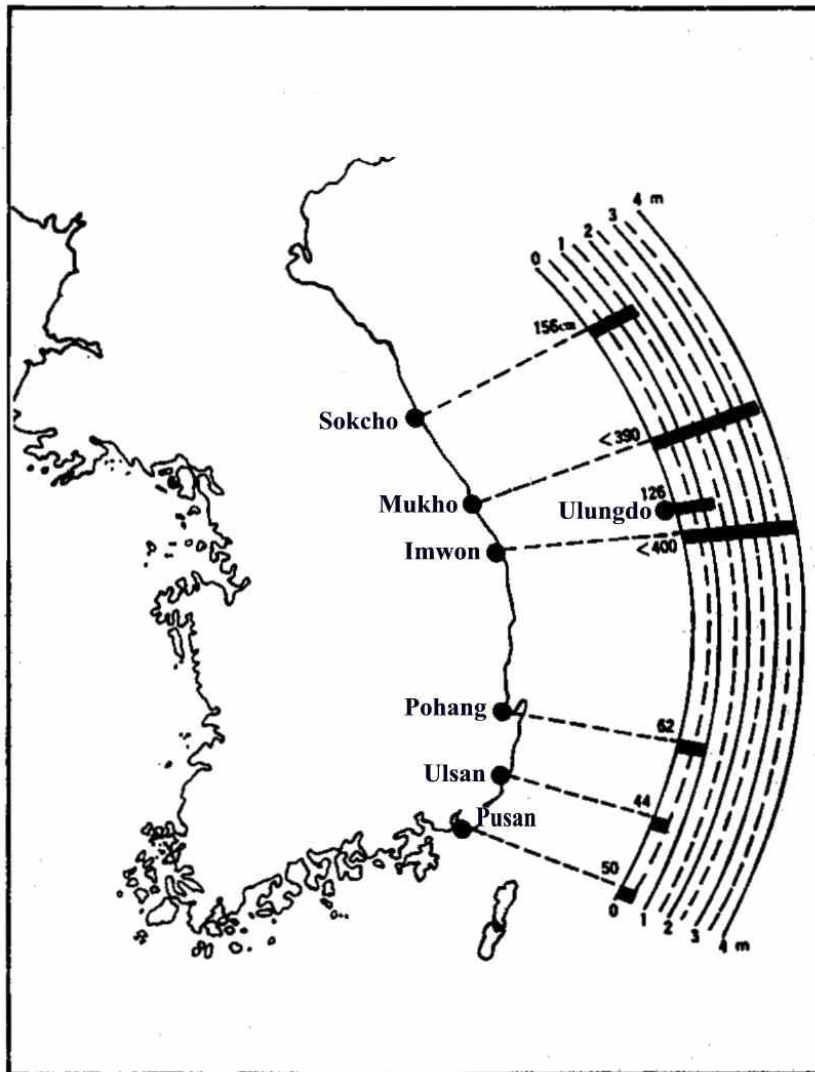
그림 2.4-15



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

목호와 나진항에서의 1940년 사코탄
지진해일에 의한 검조기록

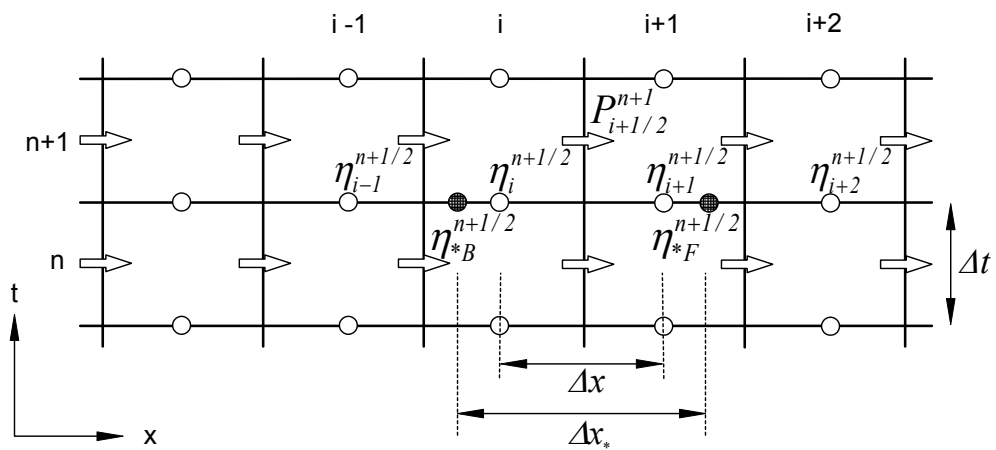
그림 2.4-16



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

1983년 아키타 지진해일에 의한
한국 동해안을 따른 지진해일고 분포

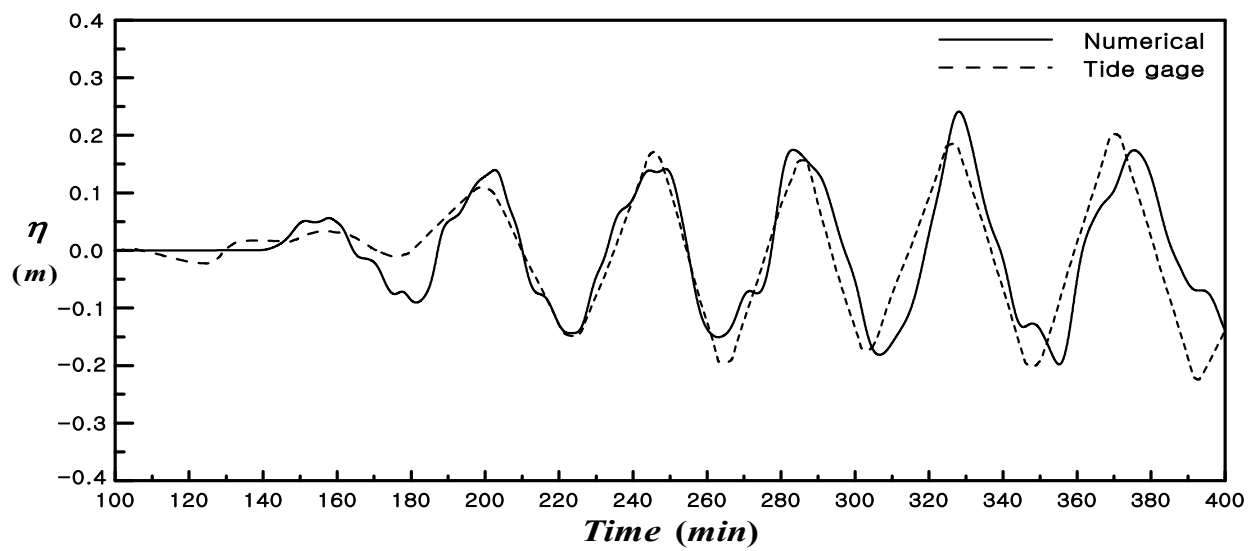
그림 2.4-17



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

지진해일 모형의 계산격자 체계

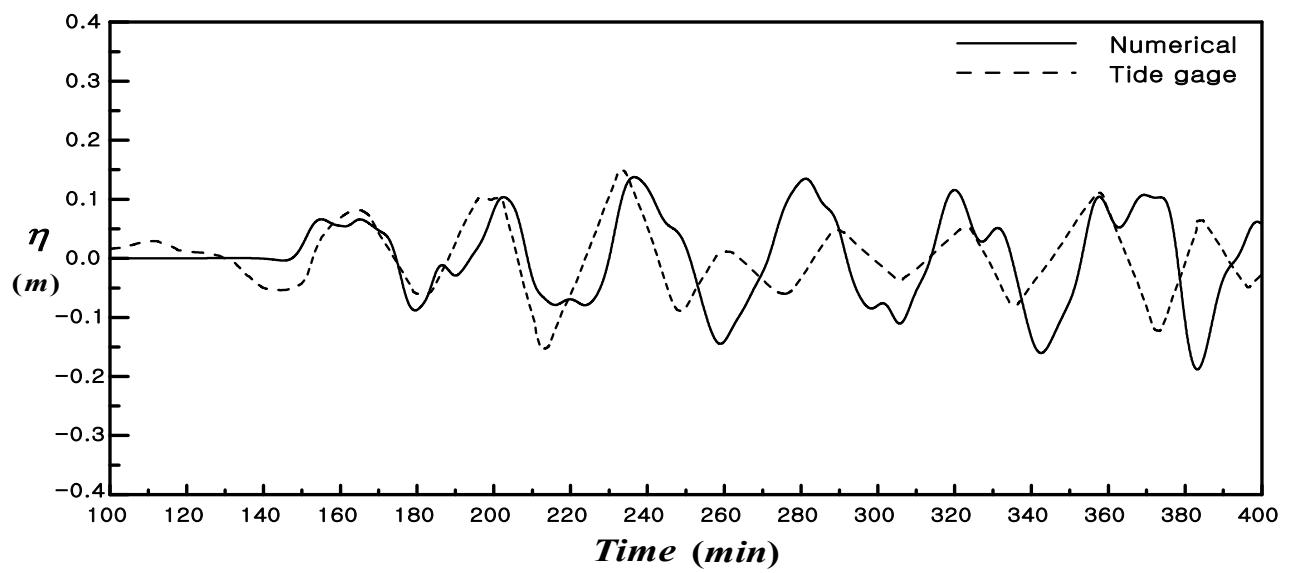
그림 2.4-18



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

울산 검조소에서의 1983년 아키타
지진해일의 수면변위 비교

그림 2.4-19



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

울산 검조소에서의 1993년 오쿠시리
지진해일의 수면변위 비교

그림 2.4-20

2.5 지질, 지진 및 지반공학

2.5.1 일반지질

2.5.1.1 광역지질(부지반경 320 km)

부지반경 320 km 지역에 대한 광역지질 조사는 현재까지의 한반도 지질자료를 종합적으로 분석하여 기술하였다. 또한, 단층과 밀접한 관계가 있는 것으로 증명된 인공위성영상과 음영도상에서 판독한 선구조(lineament)를 한반도 전체와 각 구조구에 따라 방향성을 통계적으로 분석하였으며, 특히 지금까지 조사 관찰된 단층선들의 주 방향을 비교, 검토하였다. 지형은 산계, 수계 그리고 지형 등에 대한 기존 자료를 참고하여 기술하였다.

2.5.1.1.1 광역지형

한반도는 지정학적으로 아시아 대륙의 동부 연변에 위치하고, 북으로는 중국의 북동부와 시베리아, 서쪽과 남쪽은 서해를 사이에 두고 중국의 남동부 그리고 남동으로는 동해를 사이에 두고 일본과 접하고 있다(그림 2.5-1). 현재의 한반도의 대체적인 모양은 백악기 말부터 제3기에 걸쳐 형성된 것으로 알려져 있다. 백악기 말 이래 동해안의 일부 지역을 제외하고는 현재에 이르기까지 계속된 육화와 더불어 침식에 의하여 선캠브리아기의 변성암류와 심성암의 저반을 노출시킨 침식지형이 지배적이다. 한반도 동해안의 해안선은 단순한 선상으로 이루어져 있어 굴곡이 심하고 불규칙한 서해안과 비교된다. 이런 양상은 융기하는 동해안을 따라서 일어난 해안침식 현상과 간조 습지 및 퇴적현상들을 잘 나타내고 있다(참고문헌 1). 동해안의 융기현상은 자갈이나 모래 해변이 고립된 만(bay)을 따라 발달하고 있으며, 만들은 침식을 받고 있는 지역과 분리되고 있다. 서해안의 침강현상의 증거로는 섬과 굴곡이 심한 만 그리고 침강해안의 양상들이다.

2.5.1.1.1.1 산계

부지반경 320 km 지역의 한반도의 산계는 태백산맥에서 동북동-서남서 방향으로 뻗어나가 있는 차령산맥, 노령산맥 및 소백산맥 그리고 북북동-남남서 방향의 광주산맥을 중심으로 발달되어 있다(참고문헌 2, 3 및 그림 2.5-2). 이러한 각 산맥들의 방향은 각각 한반도의 주요 지질구조선인 한국 방향, 라오똥 방향 및 중국 방향과 거의 일치한다. 이는 한반도의 지형이 이러한 지질구조선을 발달시킨 지각운동과 지역적으로는 암석의 분포 특징에 의해 규제되어졌음을 시사한다.

상기 주요 지질구조선들은 주로 페름기 말~트라이아스기 초의 송림조산운동, 쥐라기 중엽의 대보지체운동 그리고 백악기 말의 불국사지체운동에 의해 형성되었다(참고문헌 4). 한반도 지형의 개략적인 형태는 제 3기 중기 또는 그 후에 일어났으리라고 생각되는 경동성 요곡융기(tilted warping) 그리고 제 4기의 빙하성 해수면의 변동 특히 후빙기의 해

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

수면의 상승에 의해 형성되었다. 특히 제 3기 중기 또는 그 후에 일어난 경동성 요곡융기의 중심축이 동해안쪽에 치우쳐 있다. 그래서 전체적으로 동쪽은 높고 경사가 급하며 서쪽으로는 완만한 경사에 고도가 낮은 동고서저 즉, 경동지괴의 특징을 보인다. 이러한 동고서저 및 경동지형의 특징은 백악기 말 이후 계속된 차별 융기와 매우 심한 침식에 의해 형성된 것이다.

2.5.1.1.1.2 수계와 평야

부지반경 320 km 지역에는 강의 길이가 400 km 이상인 한강, 낙동강 및 금강 등 3대 하천과 지역적으로 발달된 소규모의 하천으로 수계가 구성되어 있다. 3대 하천은 길이에 비해 발원지의 고도가 높아 경사가 급한 편이며 중상류에는 산간지대의 좁은 골짜기를 관류하는 곳이 많은 남한강 등은 감입곡류(참고문헌 5)하는 부분이 많아 직선거리에 비해 유로연장이 긴 특징을 나타낸다. 상기 3대 하천 중 북한강은 대체로 서남서 방향으로 흐르나 남한강과 금강은 지역적으로 유로방향이 매우 심하게 변하는 특징을 보여준다. 낙동강은 상류에서 약간의 사행을 하나 전체적으로 볼 때 남향하고 있다.

이들 큰 하천의 중류부에는 차별침식에 의해 형성된 침식분지 또는 곡간분지들이 화강암지대 또는 하천의 합류부에 분포하는데 분지 저에는 흔히 범람원이 형성되어 있는 특징을 보여준다. 또한 중하류에는 하안단구들이 많이 발달되어 있는데 이는 성인적으로 볼 때 지반의 융기 및 빙하성 해수면의 변동과 관련된 것으로 구분된다. 동해로 흐르는 하천에 발달된 하안단구들은 지반의 융기에 의해서, 그리고 현재의 하상보다 고도가 낮은 곳에 넓게 발달하는 충적단구는 미고결 사력층으로 주로 한강이나 낙동강의 하류에 분포하고 있다. 서해나 남해로 흐르는 큰 하천의 하류에는 호남 및 김해평야 등이 발달하지만 이들은 구릉성 산지로 둘러싸여 있어 하천들이 자유사행할 정도로 넓지는 않다. 이들 평야들은 앞에서 설명한 바와 같이 제 3기 중기 이후 빙하성 해수면의 변동과 적은 융기에 따른 침식에 의해 형성된 것이다. 때로는 큰 하천의 하류에는 삼각주가 발달하여 평야를 형성하기도 한다.

2.5.1.1.1.3 기타 지형

2.5.1.1.1.3.1 화산지형

부지반경 320 km 지역에 화산의 분포는 극히 한정되어 있는데, 이들은 제주도와 울릉도 등으로 제 3기 중엽~제 4기에 격렬한 화산활동에 의해 형성되었다(참고문헌 6, 7).

제주도의 한라산 화산체는 제 3기 말~제 4기의 화산활동에 의해 형성된 것으로 대륙붕상에 있는 순상화산체이다. 화산체의 90 % 이상이 현무암류로 되어 있으나 정상부는 조면암류로 되어 있어 중상화산체와 비슷하다. 울릉도는 제 3기 말~제 4기의 화산활동에 의해 형성된 것으로 약 800년 전에도 활동한 흔적이 있다. 수심 약 2,000 m 해저에서 분

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

출하기 시작한 순상화산으로 해면하 약 200 m 부근에서부터 험준한 중상화산암체를 형성하고 있다(참고문헌 7).

2.5.1.1.1.3.2 해안지형

동해안은 태백산맥과 거의 평행하게 직선으로 발달되어 있어 이수해안의 특징을 잘 보여준다. 즉, 해안선이 단조롭고 섬이 거의 없는 용기해안임을 나타내고 있다. 이는 포항-울산(참고문헌 8), 묵호-정동진 그리고 속초 등지에서 석호나 해안단구가 발달되어 있는 것으로부터 알 수 있다. 서해안은 중국 방향 또는 라오쯩 방향의 산맥들이 침몰하는 곳으로 굴곡이 심하고 섬들이 많은 리아스식 해안지형으로 침수해안지형의 특징을 잘 나타내고 있다(참고문헌 9). 이는 후빙기의 해수면 상승에 따른 기존의 침식지형의 수몰에 기인한 것이다. 서해안은 해안선의 출입이 심하고 간만의 차(최대 약 9m)가 커서 사빈의 발달이 빈약하나 만입부에는 염생습지가 넓게 발달하는 양상을 나타낸다. 남해안은 태백산맥과 소백산맥이 침몰하는 곳으로 여러 가지 지형적 특징이 서해안과 비슷하다.

2.5.1.1.1.3.3 카르스트지형

영월, 평창 그리고 삼척 등 강원도 남부지역과 제천 및 단양 등 충청북도 북부지역에는 캄브로-오도비스기의 조선누층군의 석회암층이 넓게 분포하고 있고 경상북도 북부의 울진지역에도 조선누층군의 석회암층이 국지적으로 분포하고 있어 돌리네, 우발레, 맹곡 및 석회동굴들이 발달하여 카르스트지형의 특색을 나타내는 곳이 많다(참고문헌 10).

2.5.1.1.1.4 결론

침식

주로 물에 의하여 홍수 시 강 등의 수로를 따라서 일어나는 현상으로 주위의 암석이나 토양을 삭박 운반하는 운동이다. 이로 인하여 농토의 토양이 유실되고 강폭의 증감, 수로 변화가 일어난다. 근래에는 각종 방책 즉, 뚝 및 침식방지 벽 등을 설치하여 상당한 양을 줄이고 있다. 부지반경 320 km 지역 내에서는 홍수 시 일부 소규모 강, 산간지역 그리고 해안가 저지대에서 일어날 뿐 구조물에 심한 영향을 줄 수 있는 침식현상은 없다.

함몰

주로 석회암처럼 수용성 암석의 분포지역 또는 지하 공동이 있는 지역에서 일어나는 현상으로서, 지하의 공간이 위에 덮여있는 물질의 무게로 인해 붕괴되면서 지반이 가라앉는 현상이다. 부지반경 320 km 지역에서는 강원도 삼척, 영월, 정선, 울진 등 석회암이 분포하는 지역과 과거 광산이 활발했던 지역에서 소규모로 발생할 가능성이 있다. 특히 과거 광산채굴이 활발했던 지역, 제주도와 같은 용암굴이 발달된 현무암지역에서 일어날 가능

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

성이 있다. 기타 지역에서는 지질학적으로 화강암, 편마암류 등 용해성이 없고, 단단하고, 심하게 변질을 받은 암석으로 구성되어 있으므로 함몰의 가능성은 없다. 특히, 부지 부근은 경상계 쇄설성퇴적암류, 화산암류 그리고 화강암류로 구성되어 있으므로 함몰의 가능성은 없다.

산사태

산사태는 산의 경사면을 따라 토사가 흘러내려 산림과 지상구조물을 훼손하는 것을 말하며 대체로 사면경사가 안식각보다 높고 암석이 심하게 파쇄되었거나 두터운 토사층이 덮여 있으며 지하수면이 높은(물의 함량이 많음) 지역에서 흔히 볼 수 있다. 주로 홍수, 집중호우, 지진, 화산활동의 영향으로 일어난다. 부지반경 320 km 지역에서는 주로 산의 상부이거나 유·장년기 지형을 보여주는 산악지역에서 집중호우 및 홍수 시 발생하며 도로 절개면을 따라 소규모로 발생하는 경향이 있다. 자연적인 산사태는 극히 제한된 지역 즉, 산의 경사가 급한 산악지역에서 강우량이 많은 경우에 발생하며 발전소부지 부근에는 이러한 지형이 발달하지 않는다.

결론적으로, 부지반경 320 km 지역에서 함몰, 침식 그리고 산사태 등 지형적인 위험성은 극히 제한적인 지역에서만 발생할 가능성이 있다. 이 중 함몰은 석회암 분포지역과 광산 지역인 강원도 삼척, 정선지역 그리고 기타 석탄광산 등이 있었던 지역 및 제주도 용암굴이 발달된 현무암지역 등에서 제한적으로 함몰의 가능성이 있다. 침식은 강과 해안지역에서 주로 발생하는데 대부분 침식방지책이 잘 갖추어져 있다. 산사태는 산의 경사가 급한 장·유년기 지형이 발달한 산악지역에서 제한적으로 발생하고 있다. 따라서 부지 인접 지역에서는 구조물에 직접 영향을 줄 수 있는 위험한 지형조건 등이 발달하지 않는 것으로 나타났다.

2.5.1.1.2 광역 선구조선

선구조선은 지형도에 표시할 수 있을 정도의 규모를 갖는 지표상의 선형 구조로 정의되는데 이들은 지형적인 특성, 수계특성, 선형구조를 갖는 식생분포 등에 의해서 판독된다.

금번 조사에서는 Landsat TM 영상과 지형고도 자료로부터 작성된 음영지도(그림 2.5-3)를 이용하여 선구조선을 판독하였다(그림 2.5-4). 그리고 이들로부터 추출된 선구조선 분포특성을 분석하였다. 한반도 중남부 지역의 선구조선 특징은 대부분의 선구조선들이 북북동 방향을 극대점으로 하여 좌우로 발달빈도가 낮아지며 서북서 방향의 것이 분리되어 발달하고 있다. 그러나 옥천대에서는 북동 방향의 것이 상당한 우세를 보이며 영남육괴의 지리산대에서는 북북서와 북동 방향 사이에서 선구조선이 비교적 고르게 발달하며 경상분지에서는 북북동뿐만 아니라 남북, 북북서 방향이 상대적으로 우세하게 발달하고 있다. 이와 같이 지역에 따라 각 방향에 따른 빈도와 길이가 서로 다르게 나타나는데 이는 한반도가 지질시대를 통하여 수차례의 지각변형을 받는 동안 각각의 지각운동 기간에

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

는 동일한 변형작용을 겪었으나 암석강도와 지역적인 환경이 상이함에 따라 선구조의 발달특성이 지역에 따라 서로 다르게 나타나기 때문이다.

2.5.1.1.3 층서 및 지질구조

2.5.1.1.3.1 층서 및 암석기재

부지반경 320 km 지역은 한반도 중부와 남부의 대부분 지역을 포함한다(그림 2.5-5). 지질분포는 1: 25,000, 1: 50,000, 1: 250,000 지질도 등을 참고하였고 지질학적 특성은 암석종류와 지질시대로 구분하여 기술하였다.

선캠브리아기

부지반경 320 km지역의 선캠브리아기 지층들은 지체구조적으로 낭림육괴, 경기육괴 그리고 영남육괴를 구성하는 시생대 말-원생대 초의 편마암과 편암으로 된 기반암과 이 위를 부정합으로 피복하는 편암, 규암, 탄산규산질암, 각섬암 등의 변성암으로 이루어져 있다(참고문헌 4).

고생대

남한에서 옥천분지의 암석을 비롯하여 양덕층군, 대석회암층군, 평안층군으로 이루어지는 대부분의 고생대 지층들은 옥천대 내에 분포한다. 옥천분지를 구성하는 암석은 천매암 및 편암, 점판암, 함력천매암, 규암, 석회암 등으로 제천, 충주, 괴산을 거쳐 강경에 이르는 지역에 분포한다. 그동안 옥천층군의 퇴적연대에 대해서는 논란이 많았으나 근래의 연대측정 자료에 의하면 변성화산암층을 포함한 문주리층과 계명산층은 퇴적시기가 최소한 원생대 말로 추정된다(참고문헌 11). 한편 최근 옥천분지 내 변성니질암과 변성사질암의 화석과 쇠철성광물의 연대측정 결과에 의하면 이들의 퇴적시기가 고생대 말로 평안누층군에 대비된다(참고문헌 12, 13). 옥천분지의 암체들은 여러 번에 걸친 다중변형작용을 받았으며(참고문헌 4), 녹색편암상부터 각섬석상의 변성상에 이르는 광역변성작용과 이후에 국부적으로 중첩된 접촉변성작용을 받았다(참고문헌 14). 임진강대에는 실루리아기-데본기의 퇴적암(주로 니질암, 사암, 탄산염암)이 존재하며 북에서 남으로 갈수록 변성도가 증가하는 전형적인 배로비안 형태(Barrovian-type)의 중압형 변성작용을 받았다(참고문헌 15). 양덕층군과 대석회암층군으로 구성되는 조선누층군은 부지반경 320 km 지역에서는 옥천대 북동부의 태백산을 중심으로 분포한다. 양덕층군은 캠브리아기의 쇠철성 퇴적암으로 구성되며 하부에 있는 규암층이 선캠브리아 기반암을 부정합적으로 덮고 있다. 상위의 대석회암층군은 오도비스기 석회암층들로 이루어지는데 이들은 분포지역에 따라 암상이나 층서, 화석군 등에 차이를 보이고 있어 두위봉형, 영월형, 정선형, 평창형 등으로 구분된다. 이외에도 옥천습곡대 남동 경계부를 따라 부분적으로 소규모의 점판암과 석회암의 분포가 확인되는데 이들 중 일부는 아직 층서적 대비가 이루어지지

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

못하고 있으나 암상과 변성정도를 고려할 때 대석회암층군에 대비될 가능성이 높다.

평안누층군은 고생대 석탄기에서 중생대 초기의 삼첩기에 이르도록 형성된 일련의 퇴적층들을 말한다. 분포는 조선누층군의 분포와 같이 북동부 옥천습곡대 태백산을 중심으로 확인되고 옥천대 경계부를 따라 문경, 보은탄전과 호남탄전 지역에 소규모로 산재되는 형태를 보인다. 과거 평양탄전을 표식지로 한 홍점층, 사동층, 고방산층, 녹암층으로 분대하기도 하였으나, 남한에서는 삼척탄전을 표식으로 하여 하부로부터 만항층, 금천층, 장성층, 함백산층, 도사곡층, 고한층 그리고 동고층으로 분대한다(참고문헌 16). 남한에서 중요한 함탄층을 포함하는 평안누층군은 주로 사암, 세일 등 쇄설암으로 이루어지나 하부에 석회암을 협재하기도 한다. 하부층은 해성층으로 이루어지고 점차 비해성 쇄설암층의 교호층을 거쳐 상부는 육성층으로 변화하며 석탄층을 협재한다.

중생대

부지반경 320 km 지역에 분포하는 중생대 지층들은 김포층군, 단산층군, 반송층군, 남포층군 등과 경상누층군이 있다. 여기서 경상누층군을 제외한 나머지 층군들은 분포규모가 매우 제한적이거나 모두 함탄대를 협재하여 태백산지역을 제외하고 산재되는 소규모 탄전 지역들과 분포를 같이한다. 충남탄전, 김포탄전, 문경탄전, 단양탄전에서 상부 트라이아스기에서 중부 쥐라기의 쇄설성 퇴적층들이 평안층군의 상위에 놓인다. 대체로 지각변형과 동시기 퇴적층들로 해석되는 이들은 다른 시대의 퇴적암류보다 그 구성 면에서 상대적으로 역암층이 빈번하게 협재하는 것이 특징적이다. 또 이 층들을 구성하는 사암과 세일층에는 석탄층을 협재하고 있어 평안누층군과 함께 한반도의 주요 탄전을 형성하였다.

경상남북도 일원에는 경상누층군이 밀양, 의성, 영양의 3개 소분지로 다시 나누어지는 백악기 퇴적분지에 퇴적되어 있다. 각 소분지마다 약간의 세부 층서에는 차이가 있으나 경상누층군은 크게 신동층군, 하양층군, 유천층군으로 분대된다. 하부의 2개 층군들은 대부분 육성 쇄설성 퇴적물로 구성되어 있고 약간의 화산쇄설물을 포함한다. 그러나 상부의 유천층군은 쇄설성 퇴적층들이 국부적으로 포함되기도 하나 대부분 화산성 쇄설물로 이루어지며 주로 산성 내지 중성 화산암류들로 구성되는 층군이다.

경상주분지 외에 옥천습곡대의 경계부에 연하여 발달하는 소규모의 구조곡분들을 충전하고 있는 퇴적층들은 음성분지의 초평층군을 비롯하여, 공주층군, 영동층군, 진안층군들과 풍암, 무주, 능주, 함평 등지에 분포하는 퇴적암류들과 충남 안면도의 천수만을 중심으로 발달하는 천수만층들이 있다. 모두 백악기 퇴적암층들로 각각 암상이나 층서 대비에 따라 경상누층군의 신동층군이나 하양층군, 유천층군에 대비된다. 이들은 분포면적뿐만 아니라 전체 층후에서도 경상주분지의 경상누층군에 비해 대단히 작은 규모에 지나지 않으나 천수만층을 제외한 나머지는 모두 지체구조적 의미가 있다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

제 3기

제 3기 분지는 한반도 동해안을 따라 소규모로 분포한다. 제 3기층은 포항, 장기 및 감포 등지에 주로 분포하며 북평, 영해 및 울산 인접지역에도 소규모로 분포하고 있다. 포항지역에서 제 3기 분지의 발달은 산성 화산암류의 분출로 시작되었고, 제 3기 퇴적암은 이 화산암 상부를 덮고 있으며 양북층군과 연일층군으로 나누어진다. 양북층군은 주로 화산 쇄설암류 및 용암류를 협재하는 비해양성 퇴적암으로 구성되며, 연일층군은 해양성 및 비해양성 퇴적암 모두가 포함되나 화산암은 드물다.

제 3기 화강암류는 울산시 언양읍 남부와 양산시 동부에 분포하며 이들은 제 3기 초 후반에 산성 및 염기성 암맥들이 백악기 암석을 관입한 상태로 분포한다. 울산지역에 분포하는 제 3기 암석들은 울산분지 내에 주로 분포하며 울산분지는 울산시 북구 강동동 일대와 경북 경주시 양남면의 남부를 점하고 있는 3곳의 독립된 분지로 구성되어 있다. 울산지역의 제 3기 지층은 전기 마이오세의 안산암질 화산암류와 연일층군에 해당하는 쇄설성 퇴적암이 분포한다.

경상분지의 동남단의 울산에서 영해에 이르는 제 3기층 분지와는 별도로 동해시에 소규모 제 3기층이 분포한다. 동해시의 제 3기 분지는 쇄설성 퇴적암으로 구성되어 있으며 하부는 해성층으로 상부는 육성층으로 알려져 있고 중부에는 갈탄층이 협재하고 있다.

제 4기

제주도 및 울릉도와 같은 화산섬 등에는 제 4기 화산암류가 분포한다. 제주도 지역은 제 3기 말에서 제 4기에 걸쳐 형성된 서귀포층과 신양리층이 분포하며, 화산활동에 의한 현무암 분출 이전에 퇴적된 천해성 쇄설성 퇴적물로 구성된 서귀포층은 플라이오세로 추정된다. 화산쇄설물로 이루어진 신양리층은 제주도의 본격적인 화산활동 이후에 퇴적된 것으로 현재의 해수면 아래 또는 조간대에서 현무암 용암류의 상위에 분포하고 있다.

한반도에 분포하고 있는 충적층들은 주로 해안가 인접한 지점에 위치하며 계곡의 폭이 넓은 반면에 충적층의 층후는 크지 않은 것이 특징이다. 이는 충적층의 성인이 홀로세(Holocene) 동안에 일어났던 기후에 의한 해수면 상승과 관련이 있기 때문이다. 과거 제 4기 동안의 해수면은 기후변동에 따라 여러 번의 해수면 변동이 일어났는데 그 중에서도 지난 마지막 빙하기로부터 현재에 이르는 기간 동안 해수면 변동은 현재의 지형을 이루는데 많은 영향을 끼쳤던 것으로 해석된다. 즉 최후 빙하기는 과거 약 칠만 삼천 년 전부터 지난 일만 오천 년 전까지 지속되었으며 이 기간 동안에 빙하가 지구상에 넓게 나타났다. 그 중에서도 빙하가 가장 넓게 형성되었던 기간은 약 일만 팔천 년 전에서 일만 오천 년 전 사이로, 이 기간에는 해수면이 현재보다 약 120m 아래에 있었다. 이러한 해수면의 하강 때문에 한반도 주변부인 서해의 경우 대부분 이 기간 동안 육화되었다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 해수면이 하강하였던 빙하기에는 대부분 침식작용이 우세하

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

였던 기간으로 지금의 충적평야 지대도 이 기간에는 구릉지나 산간계곡으로 이루어진 지형을 나타내고 있었음을 유추할 수 있다.

이와 같이 낮은 해수면의 시기로부터 빙하가 서서히 소멸되기 시작하면서 해수면도 따라서 상승하기 시작하였으며, 지난 일만 년 전에는 해수면이 현재보다 약 20 m 아래에 위치하게 되었다. 결과적으로 일만 오천 년 전부터 일만 년까지의 약 오천 년 사이에 약 100 m 정도의 해수면 급상승이 일어났던 것이다. 그러나 일만 년 전부터 해수면의 상승 속도는 점차 줄어들었으며 지난 오천 년 전에는 현재와 유사한 위치까지 해수면이 상승하면서 경사가 낮은 저구릉지 사이의 계곡들이나 해안가 지역에서는 충적층이 형성되기 시작하여 현재와 유사한 지형을 만들었다.

제 4기층과 관련하여 양산단층의 활동 시기는 백악기 말에서 고 제 3기까지라는 연구결과가 일반적이나 최근의 조사결과들은 양산단층 주변에서 양산단층에 비해 상대적으로 소규모인 주향이동단층 혹은 역단층들이 제 4기 지층을 변위시킨 것이 확인되고 있다(참고문헌 17).

화성활동

부지반경 320 km 지역에 나타나는 화성활동은 심성암류의 분포와 지질시대별 특징을 중심으로 검토하였다. 한반도를 북동-남서 방향으로 크게 가로지르는 화성암류의 대상분포는 서해를 건너 남중국 대륙까지 연속된다. 대부분 중생대의 화성암체들이며 고생대 혹은 그 이전 것들은 경기육괴나 영남육괴 지역의 일부에 국한되어 제한적으로 분포한다. 최근의 연대측정 자료에 의하면 낭림육괴, 경기육괴, 영남육괴에서는 공통적으로 1,900~1,800 Ma에 이르는 원생대 초의 화성활동이 기록되어 있다(참고문헌 18, 19, 20). 또한 2,637~2,538 Ma에 이르는 시생대 말의 화성활동이 낭림육괴에서 최근 보고된 바 있다(참고문헌 19). 한편 선캄브리아기의 초대륙인 로디니아(Rodinia)의 분열과 관련된 850~750 Ma의 원생대 말 화성활동은 현재까지 경기육괴에서만 보고되었다(참고문헌 20, 21). 이러한 선캄브리아기의 화성활동은 낭림육괴와 영남육괴는 북중국판 그리고 경기육괴는 남중국판에 대비될 가능성을 시사한다.

과거에는 남한에 분포하는 중생대 화강암체들을 유라기 대보화강암과 백악기의 불국사화강암의 두 가지로 분류하였다. 그러나 최근의 새로운 절대연대측정 결과, 남한의 중생대 화강암류는 트라이아스기의 송림화강암(248~210 Ma), 유라기의 대보화강암(197~158 Ma), 그리고 백악기 말-제 3기 초의 불국사 화강암(110~50 Ma) 등으로 구분된다(참고문헌 22). 특히 남한의 중생대 화성활동은 유라기 말(약 160 Ma)부터 백악기 초(약 110 Ma)까지 뚜렷한 휴지기(hiatus)를 가지는 것이 특징적이며 이 화성활동의 휴지기는 이자나기 해양판(Izanagi oceanic plate)이 그 당시 동아시아 대륙 밑으로 큰 사교침강(oblique subduction)을 한 것과 동시에 해양고원(oceanic plateau)의 충돌과 밀접한 관련이 있다(참고문헌 22). 남한의 중생대 화성암체는 해양판의 침강대 위에 형성되었던 대륙형 마

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

그마열도(continental magmatic arc)의 잔존물로 해석된다.

제 4기 화산암은 울릉도와 제주도에 주로 알카리 화산암류로 구성되는 분출화산암으로 분포한다.

2.5.1.1.3.2 지질구조

단층 및 연성전단대

학술지에 발표되거나 각종 지질도, 연구보고서 등에 기재된 한반도 중부 및 남부에 발달하는 단층들을 검토하였다. 단층들의 분포특성이나 성격, 방향성에서 뚜렷한 차이점이 지역별 특징으로 나타난다. 주향이동단층 혹은 정단층, 드러스트 단층들의 발달이 지역성을 보이며 단층의 남북 방향 혹은 남동 방향을 보이는 주향 방향의 변화도 뚜렷하게 지역성을 나타낸다. 이러한 지역성은 대체로 지체구조구별로 특징지어지는데, 경기육괴, 옥천대, 경상분지의 단층들이 각각 다음과 같은 특징을 가지고 분포한다(그림 2.5-6).

경기육괴 지역에서 기재되어 있는 단층들 가운데 가장 두드러지게 나타나는 단층군은 대략 남북계와 북동계가 있다. 전자의 경우는 서울, 경기 지역을 중심으로 발달하는 신갈단층(참고문헌 23)과 그 연장으로 생각되는 둔전단층(참고문헌 24), 중량천단층(참고문헌 25), 용인단층(참고문헌 23), 광주단층(참고문헌 24), 정수단층(참고문헌 26)과 그 연장으로 추정되는 원삼단층(참고문헌 26) 등이 있고, 그 밖에도 1:50,000 지질도 진천, 광정도 폭 지역 등에서 흔히 볼 수 있다. 이들은 대부분 경사각이 고각이거나 수직이며 주향이동단층의 특징을 보인다. 이 밖에도 충남탄전 일대에서 확인되는 대치단층(참고문헌 27), 운곡단층(참고문헌 27)들이 남북 방향성을 보이는데 이들은 대략 70° 내외로 고각의 단층이다. 북동 방향의 단층들의 경우, 분포는 남북계열에 비해 많지 않으나 경강단층(참고문헌 28)과 홍천단층(참고문헌 29), 또 홍천단층의 연장상에 있는 용두리단층(참고문헌 30) 등으로 연장성이 뚜렷하고 지구조 변형에 관련성이 있을 것으로 추정되는 단층들을 강원 북부지역에서 찾아 볼 수 있다. 이들 가운데 경강단층은 주향이동의 운동성향(참고문헌 31)을 보이거나 나머지는 수직단층으로만 알려져 있다.

옥천대의 경우도 단층주향의 방향성은 경기육괴와 유사한 경향을 보이고 있어 대체로 북동계열과 남북계열의 방향을 보인다. 그러나 단층들의 성격은 전혀 다르며 지체구조적 의미도 다르다. 북동계열의 단층들은 옥천대 전반에 걸쳐 발달하며 특히 지체구조구의 경계를 따라 잘 나타난다. 광주단층(참고문헌 32, 33), 영동단층(참고문헌 34), 공주단층 및 음성분지에서 장호원으로 연속되는 대단층 이외에도 풍암 분지를 형성하는 남동 방향의 대단층 등이 여기에 속한다. 이들은 옥천대 경계를 따라 발달하는 백악기 구조분지들의 형성과 직접적으로 관련되거나 혹은 그것들과 동일한 발달기구를 가진다. 이것들은 모두 주향이동 성분이 강한 사교단층들에 해당한다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

남북 내지 북북동 방향의 주향을 보이는 단층들은 옥천대의 북동부 강원도 일원에서 잘 나타난다. 덕포리 드러스트(thrust)가 대표적인 단층으로 이들은 대부분 드러스트 단층들로 남동 내지 동쪽 버전스(vergence)를 가진다(참고문헌 35, 36). 이 밖에도 삼척탄전 지역에서 두위단층이나 화절치단층, 함동단층(참고문헌 37) 등도 이들과 같은 특성을 보이는 단층들이다.

백악기 퇴적분지인 경상분지 지역은 서북서, 북북동 방향의 단층들이 우세하게 발달한다. 이들 두 단층계는 모두 주향이동단층들이나 운동 성향은 각각 다르다. 서북서계열의 단층들은 금천단층(참고문헌 38), 가음단층(참고문헌 38), 우보단층(참고문헌 39), 신령단층(참고문헌 40) 등이 대표적이며 의성소분지에 잘 나타나는데 이들은 모두 좌수향의 운동 감각을 가진다. 이에 비해 북북동계열의 단층들은 양산단층(참고문헌 41)을 대표로 하여 모량단층(참고문헌 42), 밀양단층(참고문헌 43), 울산단층(참고문헌 43), 일광단층(참고문헌 44) 등이 여기에 속하며 우수향의 운동 감각을 가진다.

부지반경 320 km 지역에서 연성전단대로는 호남전단대가 대표적이며 이것은 남한의 주 구조선의 하나인 북동-남서 방향으로 달리며 우수향의 이동감각을 가지는 전단대로서 그 범위는 목포에서 영주에 이른다(그림 2.5-7, 참고문헌 45). 총 연장 약 400 km와 폭 약 100 km에 달하는 넓은 구역에서 압쇄구조가 확인되며 화강암류의 노출이 풍부한 옥천대 남서부 지역에 분포한다. 분포특성과 지역에 따라 작은 단위의 여러 전단대(순창전단대, 전주전단대, 광주전단대, 예천전단대 등)로 구분되나 광역적으로 볼 때 오수-순창-강진을 잇는 한 조와 전주-무안-목포 선의 다른 한 조로 대별된다.

2.5.1.1.3.3 지각 변형운동

부지반경 320 km 지역은 한반도 남부지역을 모두 포함하게 되고 이 지역에서의 지각변형 운동을 설명하기 위하여 한반도의 지각변형을 운동사적으로 기술하였다.

선캠브리아기 지각변형운동은 낭림육괴, 경기육괴 그리고 영남육괴에 잘 나타나 있다. 경기육괴를 구성하고 있는 변성암들의 정치 연령을 확인하기 위해 최근에 실시된 Nd 동위원소비 연구에 의하면 경기육괴를 구성하는 암석들은 크게 3회의 지각물질 형성시기를 나타내는 것으로 알려져 있으며(참고문헌 46), 이 가운데 가장 뚜렷하게 나타나는 시기는 2,500 Ma 내지 3,000 Ma이다.

이 밖에도 낭림육괴에서 약 2,400 Ma의 고(high-grade)변성작용이 보고되었고(참고문헌 19) 앞서 기술한 바와 같이 낭림, 경기, 영남육괴에 공통적으로 1,800~1,900 Ma의 화성활동 내지 고변성작용이 보고되어(참고문헌 18, 19) 한반도의 선캠브리아기의 조구조적 변형운동 시기를 암시하여 준다고 볼 수 있다.

현생이언의 한반도 조구조적 진화에 대한 최근의 연구에 의하면 낭림육괴, 태백산분지,

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

영남육괴는 북중국판에 속하였고 경기육괴와 옥천분지는 남중국판에 속하였으며 페름기 말-삼첩기 초의 북중국과 남중국의 대륙-대륙 충돌 시(한반도의 송림조산운동에 해당)에 칠링-다비에-술루 충돌대의 연장인 임진강충돌대를 따라 경기육괴와 남령육괴가 병치되었고 옥천분지와 태백산분지 그리고 영남육괴는 대륙형 변환단층을 따라 병치된 것으로 보고된 바 있다(참고문헌 4, 15, 22, 36, 47). 이 충돌 직후 한반도는 대륙형 마그마열도 환경에 놓여 화성활동과 더불어 북서-남동 방향의 압축변형작용에 따른 습곡-드러스트 운동과 북동 방향의 우수주향이동전단대(호남전단대)가 발달한 쥬라기의 대보지체운동을 받았다(그림 2.5-8). 한편 최근 경기육괴 남서부에서 초고압변성암인 에클로자이트가 발견되었고 이 에클로자이트의 변성시기가 송림조산운동 시기와 동일한 것으로 보고되었다(참고문헌 48).

백악기 초에 한반도 밑으로 섭입된 이자나기해양판의 섭입방향이 북쪽으로 전환되면서 기존의 호남전단대가 좌수주향이동 취성단층으로 재활성되는 동시에 북북동 방향의 새로운 좌수주향이동단층이 형성되기 시작하였다(참고문헌 22). 이후 백악기 말 이후에는 태평양판이 북서 방향으로 직교섭입(orthogonal subduction)하면서 한반도 남부의 피복 퇴적층과 화산암반이 약한 박층 압축변형작용(thin-skinned contractional deformation)을 받게 되었는데, 이 변형작용이 불국사지체운동에 해당된다. 제 3기 중엽에는 일본열도가 한반도로부터 분리되면서 한반도 남동부에 신장변형작용(extensional deformation)이 우세해지고 소규모의 제 3기 분지들이 발달하였으며(연일변동에 해당), 제 3기 말부터 한반도가 다시 약한 압축변형작용 하에 놓이게 된다(참고문헌 4, 17).

즉, 제 3기층들과는 경사부정합 관계를 보이고 있으나 경상누층군에 나타나는 변형 정도는 앞선 경상누층군들에 비하면 상대적으로 미약하다. 그러나 대규모 개방습곡과 많은 단층구조의 발달로 백악기 말에서 제 3기 초에 이르는 지각변형운동을 지시하고 있어 이것을 불국사지체운동으로 간주할 수 있다. 경상분지를 중심으로 나타나는 화성활동의 시기도 대략 110 Ma에서 50 Ma에 걸쳐 나타나고 있어 이 지각변동을 뒷받침하고 있다.

동해에 연하여 발달하는 제 3기 분지들에서 신생대 지각변형운동이 나타난다. 중국에서도 고 제 3기(Paleogene)의 히말라야 지각구조운동(Himalayan)이 알려지고 있고, 전술한 바와 같이 한반도에서는 연일변동으로 알려지고 있는 제 3기 지각변형운동이 여기에 대비되며 단층운동들과 동해의 열림으로 나타난다. 경주, 언양 일대에 분포하는 제 3기 심성암 관입체들의 연령측정 결과가 22~37 Ma로 나타나는데 이것도 연일변동을 암시하고 있다. 그러나 연일변동은 불국사지체운동의 연속으로 보는 견해도 있다.

2.5.1.1.3.4 대마도의 지질 및 동해의 해저지질

2.5.1.1.3.4.1 대마도의 지질

대마도는 후기 올리고세에서 전기 마이오세의 천해성 퇴적암과 이를 관입하는 마이오세

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

의 화성암체로 구성된다(그림 2.5-9, 참고문헌 49). 제 3기의 퇴적층은 다이슈층군(Taishu Group)으로 불리며 하부층, 중부층, 상부층으로 나뉜다. 암상은 주로 이암, 세일 그리고 사암으로 구성되며 부분적으로 역질사암과 역암이 협재된다(참고문헌 49). 다이슈층군의 하부층과 중부층의 경계에는 화산력응회암이 협재되어 층서 구분의 건층으로 이용된다.

대마도의 제 3기층에 가장 우세하게 나타나는 구조는 북동-북북동 방향의 개방 내지 폐쇄습곡이고 북동 내지 북북동 방향의 소규모 단층도 존재한다(참고문헌 49).

2.5.1.1.3.4.2 동해의 해저지질 및 지질구조

동해는 일종의 후배호분지(back arc basin)로써 과거 일부 지질학자들(Miyashiro, Hilde, Uyeda)은 백악기~올리고세 사이에 생성된 열개바다(opening sea)로 보았으나 현재는 오리고세~마이오세에 열린 것으로 해석된다(아래 2.5.1.1.4절 광역 지체구조구 참조). 부지 반경 320 km 지역에는 울릉분지와 일본 서부 및 서북부 해안 일부 그리고 한반도 동해안 남부 및 남해안 등이 포함된다(그림 2.5-10).

일본 연안에서는 주로 제 4기층이 넓게 분포되어 있으나 대마도 주위에는 고 제 3기층이 분포하고 있다. 또한, 마이오세 퇴적층이 고립적으로 여러 곳에서 노출되어 있는데 이들 제 3기층들은 단층이나 습곡 등의 지질구조의 영향으로 해저면에 노출되어 있는 것으로 해석되고 있다. 해저 단층 및 습곡구조들은 규슈 서부에서 대마도에 이르는 선을 경계로 서부는 대체로 북북동-남남서의 방향성을 보이거나 동부에서는 동북동-서남서의 방향성이거나 북동-남서 방향성을 보이고 있다. 한반도 동해의 연안부근에서는 육상에서 운반된 사질 그리고 역질 퇴적물이 주로 분포하며 깊은 바다로 가면서 실트에서 점토로 퇴적물의 크기가 변한다(그림 2.5-11). 이 같은 퇴적물들은 제 4기에 퇴적된 것으로 그 하부에 제 3기층이 분포되어 있다. 한반도 동해 대륙붕에서는 해저면의 경사가 급하고 해안선에 평행한 북북동-남남서 방향과 남북 방향의 단층과 습곡구조가 발달되어 있다.

2.5.1.1.3.5 일본 서남부지역 지질

일본은 판 내부에 위치한 한반도와는 달리 필리핀판과 태평양판이 유라시아판 밑으로 섭입하는 섭입대에 연관된 배호열도(island arcs)에 위치하여 지진활동과 화산활동이 빈번하다. 일본은 고생대 때부터 마그마열도(magmatic arcs)에 위치하면서 장기간에 걸친 마그마의 관입 및 분출, 퇴적물의 부가(accretion) 그리고 미대륙 조각(microcontinental fragments)의 충돌 등 복잡한 과정을 거쳐 성장한 배호열도이다.

최근의 연구에 의하면 일본 서남부는 크게 6개의 암체로 구성되는데 이들은 대륙지각의 기반암, 고압변성 복합체, 저압변성 복합체, 고생대 말의 부가복합체(accretionary complex), 쥐라기 중기-백악기 초기의 부가복합체 그리고 백악기 말-신 제3기 부가복합체이다(그림 2.5-12, 참고문헌 50, 51).

대륙지각 기반암

일본 서남부의 대륙지각 기반암은 동해쪽에 분포하며(그림 2.5-12) 히다복합체(Hida complex)와 오키복합체(Oki complex)를 이룬다. 히다복합체는 십일억 년-이억 오천만 년 전의 중압형 고변성암(medium-pressure-type high-grade metamorphic rocks)과 일억 팔천만 년 전의 화강암체로 주로 구성되며 중한탄상지괴의 일부로 해석된다(참고문헌 50, 51). 오키복합체는 이십억 년-이억 오천만 년 전의 중압형 고변성암인 편마암과 화강암류의 복합체로 상부 각섬암상에서 백립암상의 변성작용을 받았다.

고압변성 복합체

해양판의 섭입으로 인한 고압형 변성작용을 받은 암체로 모암은 주로 섭입대 위에서 퇴적된 부가복합체의 퇴적암과 화산성퇴적암 그리고 화산암류 등이다(그림 2.5-12).

저압변성 복합체

마그마열도에서 마그마의 관입으로 인하여 저압형 변성작용을 받은 변성암과 화강암체로 구성되며 변성암의 모암은 주로 부가복합체의 퇴적암과 화산성퇴적암이며 국지적으로 화산암류가 포함된다(그림 2.5-12).

부가복합체

일본 서남부의 부가복합체는 고생대 말(약 이억 오천만 년 전)의 부가복합체, 쥐라기 중기-백악기 초기의 부가복합체, 그리고 백악기 말-신 제 3기 부가복합체등 3개의 부가복합체로 구성된다(그림 2.5-12, 참고문헌 50, 51). 부가복합체의 암상은 쇄설성퇴적암, 화산성퇴적암, 원양성(pelagic)퇴적암 등이며 멜란지(melange) 암체에는 해양지각의 암석이 렌즈상으로 포함된다.

2.5.1.1.4 광역 지체구조구

부지 반경 320 km 지역은 12개의 지체구조구로 나누어져 있고 지체구조구의 구분은 2001년 한국지질자원연구원에서 발간된 1/100만 한국지체구조도(그림 2.5-5)와 최근의 연구결과를 참조하였다(그림 2.5-12).

한반도와 일본 서남부의 지체구조구는 주로 백악기 이전 현생이언의 조산운동과 지체운동에 근거하여 구분된 것으로 암상의 형성 연대와 환경 그리고 지체운동진화사를 반영한다(그림 2.5-12). 12개의 지체구조구는 다음과 같다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

- 가. 경기육괴(I)
- 나. 옥천대(II)
 - 1) 옥천분지(II-1)
 - 2) 태백산분지(II-2)
- 다. 영남육괴(III)
- 라. 경상분지(IV)
- 마. 연일분지(V)
- 바. 제주화산대(VI)
- 사. 한반도 대륙붕(VII)
- 아. 한반도 고기평탄면(VIII)
- 자. 울릉분지(IX)
- 차. 상군대(X)
- 카. 탐바대(XI)
- 타. 료케대(XII)

경기육괴(지체구조구 I)

경기육괴는 북측의 임진강대와는 경기연성전단대로 접하고 남쪽 옥천대의 옥천분지와는 정전단감각의 연성전단대(방대연성전단대) 그리고 태백산분지와는 우수주향이동연성전단대(SKTL : South Korea Tectonic Line)로 접한다(참고문헌 4). 서산층군을 포함하여 시생대암류들과 전기원생대 변성암들이 기반암 복합체를 형성하며 중생대 퇴적층군들이 구조분지 퇴적층의 형태로 국부적으로 분포한다. 중생대 화강암체가 광범위하게 관입하고 있으며, 중·후기 원생대의 소규모의 산성 내지 중성 심성암체들이 관입하고 있다. 심한 변성, 습곡작용과 화강암화작용을 받고 있는 기반암 복합체 가운데 서산층군은 시생대암체로 알려져 있다. 한편 지금까지 중원생대(Mesoproterozoic)로 알려진 태안층에 대한 최근의 연대측정결과 태안층은 402 Ma와 229 Ma 사이에 퇴적된 것이라는 주장도 있다(참고문헌 52). 경기육괴의 암체에는 대체로 남북 내지 북동 방향의 엽리구조가 발달되어 있으며 단층구조들의 방향성도 유사한 경향을 나타낸다.

옥천대(지체구조구 II)

옥천대는 경기육괴와 영남육괴 사이의 북동 방향 습곡-드러스트대로 남서쪽의 옥천분지와 북동쪽의 태백산분지로 구분된다. 옥천분지와 경기육괴의 경계는 대부분 중생대의 화강암체에 의해 관입되어 있으나 일부지역에서는 정전단감각의 연성전단대로 확인된다. 태백산분지와 경기육괴의 경계는 우수주향이동연성전단대(SKTL)이다. 옥천대와 영남육괴의 경계는 남서쪽에서는 우수주향이동연성전단대 혹은 호남전단대이지만 북동쪽에서는 부정합 혹은 우수주향이동단층대(옥동단층)이다.

옥천분지는 과거에 옥천변성대 혹은 옥천고지향사로 불린바 있으며 시대미상의 변성퇴적

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

암류와 원생대말의 변성화산암류로 구성된다(참고문헌 4). 최근 옥천분지 내 변성니질암과 변성사질암의 화석과 쇠설성 광물의 연대측정 결과에 의하면 이들의 퇴적시기가 고생대 말로 평안누층군에 대비된다(참고문헌 12, 13). 이 암체들은 여러 번의 중복변형과 변성작용을 받아 초생구조가 거의 남아 있지 않으며 광역적인 엽리와 습곡축 그리고 드러스트의 방향은 북동 방향이며 북서방향의 주향이동단층도 다수 존재한다. 전반적으로 페름기말-삼첩기초의 중압형 변성작용과 유라기의 저압형 변성작용을 받은 것으로 해석된다(참고문헌 14).

태백산분지는 과거에 옥천신지향사대 혹은 옥천비변성대로 불린바 있으며 주로 고생대초의 조선누층군과 고생대 말-중생대 초의 평안누층군으로 구성된다. 화석을 기준으로 고생대 초의 조선누층군은 영월형과 두위봉형으로 구분되며 이 두 형의 경계는 덕포리드러스트이다(참고문헌 37). 북동 주향에 북서로 경사하는 덕포리드러스트는 정선에서 영월, 단양, 문경을 거쳐 청산까지 연장되는 그 길이가 최소한 250 km되는 대규모 드러스트이다. 덕포리드러스트의 하반에는 대동누층군에 해당되는 반송층군이 드러스트와 평행하게 좁고 길게 분포하는데 최근 반송층군의 하부에 협재하는 응회암에 대한 연대측정결과 반송층군의 퇴적시기가 187 Ma로 밝혀졌으며 퇴적환경은 대보지체운동 시 덕포리드러스트의 운동시기와 동일하게 발달한 전지분지(foreland basin)의 퇴적체로 해석되었다(참고문헌 37). 덕포리드러스트 북서쪽의 영월지역 조선누층군과 평안누층군에는 북동 내지 북북동 방향의 습곡과 드러스트가 우세하나 덕포리드러스트 남동쪽의 태백지역에서는 동서 방향의 습곡(예, 함백산 향사)과 드러스트 그리고 북북동 방향의 주향이동단층이 우세하다. 한편 태백지역에서 조선누층군은 영남육괴의 선캠브리아 기반암과 부정합으로 접한다(참고문헌 4).

옥천대 남서부에서는 경기육괴와 연하여 다양한 중생대 화강암류들이 북동-남서 방향으로 대상으로 분포하고 있으며 음성, 공주, 부여분지 등 백악기 구조분지를 수반하는 단층들로 경계를 형성한다. 남동쪽도 진안-능주분지와 영동분지를 형성하는 단층대로 경계지어진다.

영남육괴(지체구조구 III)

영남육괴는 전기 원생대 준탁상지 지괴(paraplatform massif)로 북서쪽은 옥천대와 경계하며 남동부는 부정합을 경계로 백악기의 경상분지가 위치한다. 경기육괴와 유사하게 선캠브리아의 편마암, 편암 그리고 변성퇴적암과 각섬암으로 이루어져 있고 1,800~1,900 Ma의 조산운동 시 각섬암상 내지 백립암상의 고변성작용을 받은 것으로 보고되었다(참고문헌 4, 18). 그러나 경기육괴와 판이하게 다른 점은 첫째, 변성퇴적암류가 상대적으로 적고 반상변정질편마암으로 대표되는 정편마암(orthogneiss)이 많다는 것이다. 둘째, 약 1,800 Ma의 정치시기(emplacement age)를 가진 회장암이 영남육괴에만 존재하며 셋째, 경기육괴에서 흔하게 보고되는 750~850 Ma의 화성활동이 영남육괴에서는 보고된 바 없다. 마지막으로 페름기말-삼첩기초의 고변성작용이 경기육괴에서는 광범위하게 나타나

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

나 영남육괴에서는 존재하지 않는다. 따라서 영남육괴는 낭림육괴와 함께 북중국지괴에 대비될 가능성이 크다. 영남육괴 내 소백산지역과 남부의 지리산지역 간에는 암상이나 층서적으로 약간의 차이가 인정되기도 한다. 전반적으로 각섬암상 내지 백립암상의 변성상을 보여주는데 북부의 태백산지역은 평해층군, 원남층군, 울리층군 등 전기원생대 변성퇴적층군들과 약간의 변성화산암 그리고 다양한 편마암류들로 이루어지는 변성암 복합체가 분포한다. 그러나 이와 같은 편마암류들에 대한 암석연대 측정 결과는 부분적으로 시생대의 연대를 지시하는 부분이 있으나, 대부분이 전기원생대를 지시하고 있어 영남육괴의 주 형성시기는 전기 원생대로 보이며 퇴적기반이 되는 시생대 기반암류와의 관계는 분명하지 않다. 지리산지역은 전기 원생대 준편마암 복합체와 관입변성암류들과 전기원생대 변성퇴적암류들, 화강편마암, 중기원생대 관입체로 알려지는 회장암 등의 정편마암들이 분포된다.

경상분지(지체구조구 IV)

경상분지는 영남육괴 위에 부정합으로 놓인 중생대 백악기의 중첩내륙호소형 퇴적분지로 퇴적층의 총 층후는 약 8~10 km에 달한다(참고문헌 53). 분지의 형성은 대보조산운동 이후(참고문헌 53) 형성된 당겨-열림(Pull-apart)분지로 설명되고 있다. 경상분지는 밀양, 의성, 영양의 3개의 소분지로 구분되며 분지의 동쪽은 제 3기 연일분지에 의해 피복되어 있다.

분지의 북쪽은 영남육괴와 단층으로 접한다. 대체로 동쪽으로 경사하는 단사구조를 보이며 국부적인 현상을 제외하고는 완만한 굴곡(warping)의 습곡작용이 확인된다. 주 분지와 제 3기 분지 사이에 남-북 방향의 주향이동 운동성향을 강하게 보이는 양산단층대가 발달하고 있으며 의성 소분지에는 고 제 3기에 형성된(참고문헌 54) 북서-남동 방향의 좌수향 주향이동 성분이 우세한 아평행한 단층군이 잘 발달한다.

연일분지(지체구조구 V)

포항을 중심으로 동남해에 연하여 발달하는 신생대 중첩퇴적분지로 동해로 연장되며 일본 대마도까지 연장(참고문헌 55)된다. 포항분지 중심부에서 시추결과는 제 3기층이 백악기 퇴적암류와 화강암류의 기저를 가짐이 확인되었고 제 3기 분지의 심도는 약 800 m 정도로 알려졌다(참고문헌 56).

연일분지는 이암, 사암, 역암 등의 쇄설성 퇴적물들과 응회암, 층회암(tuffite) 등의 퇴적층들로 구성되며 수회에 걸친 현무암 용암이 포함되어 있다. 고 제 3기층의 일부는 육성층으로 이루어지고 후에 해성 퇴적환경으로 변하고 있음을 보여준다. 분지 일부 지역에서는 증기마그마(phreatomagmatic) 분출 화산활동에 따른 퇴적층이 산출되고 있어 분지 내부에서 퇴적 동시성 화산활동이 있었음을 알려준다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

대체적으로 저각도 경사를 보이는 거의 수평층들로 이루어지며, 단축(shortening) 구조운동을 지시하는 습곡구조의 발달은 나타나지 않으나 비교적 작은 규모의 역단층이 발달한다. 그러나 일반적으로 정단층이나 주향이동운동 성향의 경사단층(strike slip normal oblique fault)이 발달하고 이에 따라 심한 경동(block tilting)의 결과로 퇴적층들의 층리는 지역적으로 심한 변화를 보인다(참고문헌 57).

제주화산대(지체구조구 VI)

제주화산대는 울릉도-독도지역과는 기저를 이루는 지각에 차이점이 있다. 울릉도-독도의 기저가 해양지각일 가능성이 짙은 반면 제주는 화강암류 혹은 백악기 내지 제 3기 퇴적암류로 이루어지는(참고문헌 58) 대륙지각으로 구성된다. 대부분이 현무암과 조면암 등 용암류로 이루어지며 적은 양의 현무암질 응회암들로 이루어진다. 용암류의 분출은 주 분화구인 백록담과 무수한 기생화산으로부터 이루어졌고, 현무암질 응회암은 서지안형(surge)의 화산활동에 기인하였다.

한반도 대륙붕(지체구조구 VII)

한반도 대륙붕은 동해에서는 최대 폭이 30 km로 좁은 편이나 서해와 남해에서는 수 백 km에 이르는 넓은 폭을 이루고 있다. 대륙붕의 기반은 육지에서 연장되는 암석들로 이루어져 있으며 그 위로 제 3기층 및 제 4기 쇄설성 퇴적물이 퇴적되어 있다. 뿐만 아니라 현생 쇄설성 퇴적물의 퇴적이 진행되고 있다. 이 쇄설성 퇴적물은 주로 모래와 자갈, 그리고 실트로 구성되어 있으며 해안선에서 바다쪽을 향하여 입자가 작아져 점이적으로 실트로 변하는 경향이 있다.

동해의 대륙붕에는 30 km까지는 완만한 경사로 점이적으로 깊어지는 경향이 있으나 기반암 단층에 의한 갑작스런 경사의 변화로 퇴적물의 축적으로 인한 뱅크(bank)가 발달되어 있다. 이 뱅크는 주위해저보다 100 m 이상 높다. 그리고 동해의 해안선은 대체로 직선적이며 단지 포항부근에 영일만이 발달되어 있다. 이 영일만에는 형상강에서 운반된 분급이 불량한 모래, 자갈 그리고 실트질 점토 등이 퇴적되어 있다. 북위 37°의 북부에서는 낮은 능선과 협곡이 발달된 동쪽으로 200 km에 이르는 한국대지(Korea Plateau)가 발달되어 있다. 이 대지(plateau)는 화강암의 관입체와 관련되어 있으며 능선 사이의 저지대에 얇은 퇴적층이 퇴적되어 있다.

서해와 남해의 대륙붕에는 육상에서 연장되는 암석들을 기반으로 두터운 신 제 3기층이 퇴적되어 있으며 서해 중앙부에는 두터운 제 3기층이 기반암 위에 덮여있다. 군산 분지는 약 3,000 m의 변형작용 이전 지층과 약 600 m의 변형작용 후기 지층이 발달하고, 남해에서는 기반암 위에 수 십 m의 신 제 3기 퇴적층이 발달되어 있으며 동남쪽으로 향하여 두터워져서 2,000 m에 이른다. 서해는 퇴적 분지로서 계속적으로 침강되고 있는 것으로 해석되고 있다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

한반도 고기평탄면(지체구조구 VIII)

이 지역은 동해의 2대 해령의 하나인 한반도의 북동해안에서 분리된 커다란 사주지역(shoal region)이다. 이 대지의 기저는 경기육괴나 옥천대의 해안 연장부처럼 화강암류로 해석되는데, 동해가 발달하면서 대륙에서 분리되었다.

울릉분지(지체구조구 IX)

울릉분지는 북동쪽으로 완만히 경사하는 U형을 갖는 분지바닥을 향한 전이대를 이루고 있다. 이 분지의 경계부 서쪽경계는 급한 대륙경사로서 최고 30 km 폭의 좁은 한반도 대륙붕과 접하고 있다. 남쪽과 동쪽으로는 완만한 경사를 보이는 오키 뱅크(Ohi Bank)와 혼슈 대륙붕과 접하고 있다. 그리고 이 분지는 동북 방향으로 울릉도와 독도 사이를 지나 좁고 긴 분지간 평원(inter basin plain)을 형성하면서 더 깊은 일본분지로 연결된다.

이 분지의 퇴적물은 세 가지 단위로 구분할 수 있는데 상위층은 두껍고 변형되지 않은 층리를 보이는 제 4기층이며 중위층은 플라이오세-플라이스토세에 속하는 층리가 발달되고 약간 변형을 보이는 것들로서 남쪽으로 가면서 층후가 증가한다. 하위층은 마이오세 암석으로 되어 있다. 가장 최상부는 약 30~50 m 층후로서 제 4기층에 일어난 광범위한 과상유동(mass-flow)의 퇴적물로 되어 있다.

울릉분지는 동해의 남서부를 점하고 있으며, 평면상에서 보면 마름모꼴의 형태를 갖고 서쪽으로는 한반도의 대륙사면, 남쪽으로는 일본열도의 대륙사면, 북쪽으로는 한국 대지의 해저 고지대(topographic high) 그리고 동쪽으로는 오키 뱅크(Oki Bank)의 해저 고지대와 접하고 있다(그림 2.5-10).

울릉분지의 구조사는 Yoon and Chough(참고문헌 59)에 의해 층서학적 및 구조적 분석에 근거하여 다음과 같은 세 단계로 재구성되었다(그림 2.5-13).

- 가. 후기 올리고세에서 초기 마이오세까지의 인리형 열개(pull-apart opening)
- 나. 초기 마이오세 말엽부터 중기 마이오세까지의 일본 열도의 차별적 회전을 수반한 회전형 열개
- 다. 말기 마이오세 이래의 단협 단계

완전한 대륙 블록에 후열도 열개가 처음 시작된 후기 올리고세에는(그림 2.5-13(a)), 일본 열도가 현재와 같은 곡선형이 아니고 비교적 직선에 가까웠다. 28 Ma에 일본분지 북동부에 해저확장이 시작되었고 이와 동시에 일본분지와 야마토분지에 이러한 지각신장이 일어났다(참고문헌 60). 울릉분지의 지각신장은 한국대지와 일본 남서부 사이의 마그마 활동이 일어난 좁은 지역을 따라 시작되었다(참고문헌 61). 동해가 열린 것은 초기 마이

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

오세(23~18 Ma)로 이때 일본 북동부가 반시계 방향으로 회전하면서 남쪽으로 이동하고, 일본 남서부가 남쪽으로 이동한데 기인한 복잡한 인리형 블록이동(pull-apart block movement)에 의해 주도되었다(그림 2.5-13(b)). 후열도 열개가 계속되는 동안 일본 남서부는 아시아 대륙으로부터 떨어져 나와 남쪽으로 100~250 km 이동하였다. 이러한 블록 이동은 울릉분지의 서쪽 주변부에 우수 주향이동변형을 야기 시켰다. 그 결과, 후포단층과 양산단층 사이에 포항-영덕분지가 인리형 분지(pull-apart basin)로서 열리게 되었다. 포항-영덕 분지는 처음에는 주향이동단층운동에 따른 급속한 구조적 침강 때문에 퇴적물을 공급받지 못했으나, 이후엔 선상지-삼각주계의 퇴적물로 곧 충진되었다. 이는 신 제 3기 동안 한국 동해 대륙 주변부에 해성퇴적물이 퇴적됨을 암시하는 것이다.

남쪽으로 이동하던 일본 남서부는 초기 마이오세 중엽에 남쪽으로의 이동을 멈추었으며, 중기 마이오세(16~12 Ma)에 시계 방향으로 활발히 회전하였다. 일본 남서부의 시계 방향 회전 운동은 12 Ma까지 지속된 일본 북동부의 반시계방향 회전 및 남쪽으로 이동된 운동과 결합되어 바다가 부채 모양으로 열리게 되었다. 회전 열개동안 한국 동해 대륙 주변부의 주향이동 변형은 실질적으로 종결되었고, 점진적으로 침강하는 기반암 위에 퇴적물이 퇴적되었다(그림 2.5-13(c)).

울릉분지의 후열도 열개는 동해의 변형장이 신장에서 압축으로 전환되었을 때인 중기 마이오세 말엽(약 12 Ma)에 중단되었다. 구조적 반전은 보닌 열도(Bonin Arc)와 혼슈(Honshu) 중앙부가 충돌하면서, 류큐해구(Ryukyu Trench)로부터 육지쪽으로 섭입축이 후퇴한 결과이다(참고문헌 62, 63). 이것은 울릉분지의 남쪽 주변부에 지각 단층을 가져와 주향이동 단층인 쓰시마단층에 용기, 드러스트 단층, 습곡(참고문헌 55, 64)과 압축성 좌수 재동(reactivation)을 일으켰다(참고문헌 61). 한국 동해 대륙 주변부에서 지각의 단층은 포항-영덕 분지의 분지 충진 퇴적층에 압축 변형과 용기를 일으켰다(그림 2.5-13(d)).

구조적으로 안정되었던 짧은 기간이 지나고 초기 플라이오세에 두 번째의 지각 단층 시기가 한국 동해 대륙 주변부 전역에 도래하였다. 널리 퍼진 단층/습곡운동뿐만 아니라 후포단층의 북쪽 줄기와 새로 만들어진 남동해 줄기를 따라 수렴하는 주향이동이 이러한 변형을 일으켰다(그림 2.5-13(d)). 후포 단층의 주향이동 재동 동안 동해 블록(즉 후포뱅크)은 점진적으로 용기되어 반지구(half graben) 형태의 후포분지를 생성시켰다. 연안과 용기된 후포뱅크에서 유래한 퇴적물은 후포분지로 공급되어 두꺼운 퇴적층을 형성시켰고 이에 반해 대륙사면에는 얇은 퇴적층이 형성되었다. 후기 플라이오세 이후로 한국 동해 주변부는 현재와 같은 구조/퇴적 형상을 갖게 되었다.

한반도 동해상에 위치한 울릉도와 독도는 신생대 제 3기말과 제 4기에 걸친 화산활동에 의해 형성되었으며, 울릉도는 조면암류와 현무암 등의 용암류와 이들의 집괴암 및 응회암들로 이루어지며 분출시기는 연대측정 결과 1.8 ± 0.7 Ma 내지 9.3 ka로 알려진다(참고문헌 6). 독도는 제 3기 플라이오세말에 일어난 화산활동에 의하여 형성된 조면암질 화산

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

체로서 북동쪽에 위치하는 화산의 일부(참고문헌 65)로 알려진다. 구성암석들은 알카리 현무암, 조면현무암, 조면안산암 및 조면암으로 구성된다(참고문헌 66). 동해지각은 한반도의 대륙지각과는 차이가 있는 것으로 나타난다.

상군대(지체구조구 X)

약 이억 삼천만 년~이억 천만 년 전의 고압형의 편암이 주구성 암석이며 변성상은 고압형의 각섬암상 - 그라코페인(glaucophane)편암상에 이르며 모암은 주로 섭입대 위에서 퇴적된 부가복합체의 퇴적암과 화산성퇴적암 그리고 화산암류 등이다(참고문헌 50, 51). 상군대에는 히다복합체와 오끼복합체로 대표되는 대륙지각의 블록을 포함한다(그림 2.5-12).

상군대의 중앙부에 분포하는 비변성 및 약변성된 상부 고생대 암석은 석회암과 비석회암이며 석회암은 석탄기 초기~페름기 후기에 퇴적된 것으로 알려져 있고, 비석회질암은 쇠설성암, 찰트 그리고 해저 염기성 화산암류로 페름기와 상부 석탄기에 속하나, 일부는 트라이아스기에 속하기도 한다. 대지상 석회암 분포지에는 황와습곡이 발달되어 있으며 비석회질 암석과는 쓰러스트로 접하고 있다. 이 변형작용은 트라이아스기 초기에서 중기에 이르는 것과 쥐라기 후기에서 백악기 초기에 일어난 지각구조운동에 의한 것으로 본다. 그러나 이러한 변형작용에 의한 변위는 크지 않다.

이들 고생대 암석 위에 두터운 트라이아스기 암층이 경사부정합으로 덮는데 이는 아키요시 조산운동의 영향으로 본다. 이 위에 쥐라기 중기의 해성층, 쥐라기 후기~백악기 초기의 암층, 백악기 하부의 비해성층과 육성화산암, 백악기 후기~고 제3기의 화산암과 화강암 그리고 천해성 및 육성 퇴적층인 고 제 3기 지층이 분포되어 있다.

탐바대(지체구조구 XI)

미노대(Mino Belt)라고도 하며 추부(Chubu)지역에 발달된 구조구이다. 이 구조구는 주로 고생대 말(약 이억 오천만 년전)의 부가복합체와 쥐라기 중기-백악기 초기의 부가복합체로 구성된다. 탐바대는 상군대에서와 같이 쇠설성암, 찰트, 염기성 화산암으로 구성되어 있다. 이들은 주로 페름기에 속하나 일부는 상부 석탄기에 속하고 부가복합체 퇴적암 상부에서 중생대에 속하는 화석이 드물게 발견되기 때문에 트라이아스기까지 연장되는 것으로 보인다. 탐바대에는 상군대와 같이 페름기의 석회질 암석이 분포하며 비변성암위에 쓰러스트에 의해 올라와 있다. 이 부가복합체 암석은 하부 백악기 상부층에 의하여 부정합으로 덮여 있다. 탐바대 암석의 변형작용은 주로 쥐라기 후기에서 백악기 초기에 일어난 것으로 보고 있다.

료케대(지체구조구 XII)

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

이 구조구는 일억 이천만 년~일억 년 전의 저압 료케변성암과 화강암류의 분포가 특징적이므로 료케 저압형 변성암대(Ryoke Low-pressure-type Metamorphic Belt)라고도 한다. 료케대는 마그마열도에서 마그마의 관입으로 인하여 저압형 변성작용을 받은 변성암과 화강암체로 구성되며 변성암의 모암은 주로 부가복합체의 퇴적암과 화산성퇴적암이며 국지적으로 화산암류가 포함된다. 료케대 동부에는 료케대와 탐바대 사이에 점이적인 변성도의 전이가 있으나, 료케대의 북부한계는 후기 료케화강암의 광범위한 관입으로 분명하지 않다. 반면 남쪽은 메디안 구조선(median tectonic line)을 경계로 삼바가와대 및 치치부대와 접하고 있다.

료케화강암은 관입시기에 따라 두 가지로 분류되는데 오래된 것은 료케 변성작용시 관입한 것이고 후기의 것은 백악기 후기에 관입하였다. 이 구조구의 남부에서는 하부 백악기 후기에서 상부 백악기에 속하는 두터운 해성층이 발달되어 있으며 이 백악기 지층들은 향사구조를 보이며 이 위에 거의 수평한 에오신 층이 부정합적으로 덮고 있다. 이 구조구에서는 중생대에 변성작용과 심성화성활동이 일어나 급격한 융기가 일어났으며 백악기 후기에 다시 강한 침강해구가 일어났다.

2.5.1.2 부지지질

2.5.1.2.1 부지반경 40km 부지지질

신고리 5,6호기 부지반경 40km 지역 조사의 효율성을 위해 중동부의 월내지역, 중서부의 양산지역, 남부의 부산지역, 북서부의 연양지역, 북동부의 울산지역으로 구분하여 조사하였다(그림 2.5-14).

부지반경 40km 지역은 한반도의 지체구조구 상으로 경상분지의 남동부에 위치하고 주로 백악기 퇴적암류인 하양층군, 백악기 말의 화산암류인 유천층군, 백악기 말~제 3기 초의 화강암류 그리고 제 3기 중엽의 화성맥암류 등으로 구성되어 있다(그림 2.5-15). 광역적인 구조선으로는 북북동 방향의 일광단층, 동래단층, 양산단층, 모량단층 그리고 밀양단층과 북서 방향의 울산단층, 그 외 서북서 내지 동서 방향으로 발달하는 단층들이 있다. 이들 북북동 방향의 단층들과 서북서 내지 동서 방향의 단층 및 위도선을 기준으로 조사지역을 13개의 영역으로 구분하였다(그림 2.5-14).

조사지역에 대한 광역 및 정밀 야외지질조사는 1:50,000 양산도폭(참고문헌 41), 방어진도폭(참고문헌 67), 동래·월내도폭(참고문헌 43), 김해도폭(참고문헌 68), 부산·가덕도폭(참고문헌 69)을 참조로 하여 수행하였다. 야외지질조사 시 기본도면은 1:25,000 지형도를 사용하여 암상단위의 노선지질도를 작성하고, 이를 바탕으로 1:50,000 지형도 상에 지층단위의 지질도를 작성하였다(그림 2.5-15). 또한 층리면이나 관입면 그리고 구조암의 선구조 및 면구조 요소를 측정하여 분석하였다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

2.5.1.2.1.1 지형

조사지역 전반에 걸쳐 지형특성을 파악하기 위하여 해안단구, 하안단구, 산록면 지형 등의 주요 관심 지형들을 대상으로 기하학적인 형태, 구성물질 특성 그리고 형성 과정을 검토하였다.

조사 대상지역 또는 조사 지점을 선정하고, 이들을 중심으로 조사를 실시하였다(그림 2.5-16). 조사의 기본도면은 국립지리원 발간의 1:50,000 지형도(언양, 울산, 양산, 방어진, 부산 도폭) 및 필요한 경우 1:25,000 지형도를 이용하여 지형 특성을 파악하였다.

2.5.1.2.1.1.1 지형특성

신고리 3,4호기 부지로부터 반경 40 km 이내의 지역은 한반도 동남부의 울산광역시, 양산시, 부산광역시에 걸친 곳으로 대략 북쪽은 태화강, 서쪽은 양산 협곡 그리고 동쪽으로는 동해로 둘러싸여 있다(그림 2.5-17).

부지반경 40 km 지역 내의 산지들은 양산, 동래, 일광단층선과 대략 일치되는 방향 즉, 북북동-남남서 내지 남북 방향의 주향을 취하고 있다. 높은 산지는 양산단층선 및 동래 단층선 주변에 많은데 신불산(해발 1,209 m), 취서산(1,059 m), 시살등(990 m), 원효산(895 m) 등이 대표적이다. 이들 높은 산지와는 달리 울산만 주변에서 온산, 서생을 거쳐 일광에 이르는 해안지역에는 해발 100 m 내외의 낮은 산지 내지 구릉지가 널리 분포하여 조사지역 전체를 보면 대체로 서쪽 방향일수록 점차 해발고도가 높아지는 양상을 보인다.

하천은 이들 산지와 동일한 방향을 취하거나 혹은 반대로 이들 산지를 동서로 관류한다. 비교적 규모가 큰 하천으로는 지역의 서남쪽 경계부를 남류하는 낙동강 그리고 태화강, 양산천, 회야강 등을 들 수 있다. 이들 중 양산천은 유향이 직선일 뿐만 아니라 곡저 평지(valley floor)가 좁은 완전한 협곡을 이루는 점에서 특징적이다. 이와 유사한 곡저의 모습은 수영강 중·상류에서도 찾아 볼 수 있는데 이는 단층운동과 같은 지반운동 그리고 지반운동의 결과 변형된 지질구조 및 암석 특성이 지형 형성에 강하게 영향을 미칠 때 나타나는 지형 현상의 하나인 것으로 생각된다. 반면에, 태화강은 양산천이나 수영강과는 달리 중하류 구간에서 산지를 동서 방향으로 관류하여 울산만에 유입하며 회야강 역시 중·하류 구간에서 동서 방향의 유향을 취하며 동해로 유입한다. 이들 하천 주변에는 크고 작은 분지나 충적평야가 발달되어 있다. 분지는 태화강 주변의 언양 분지, 회야강 주변의 웅상 분지, 재광천 주변의 정관 분지 등이 비교적 규모가 크며 범람원은 태화강, 회야강, 양산천 하류에 넓게 발달되어 있다.

해안지역은 대체로 산지가 해안까지 임박해 있는 곳이 많아 큰 강 하류를 제외하고는 넓은 해안평야를 찾아보기 어렵다. 해안선은 작은 만과 곳이 번갈아 되풀이 되는 관계로 해안선의 출입이 빈번하며 곳곳에 해안단구가 발달되어 있다.

2.5.1.2.1.1.2 지역별 지형특성

해안지방과 내륙지방은 지배적인 지형 형성과정이 동일하지 않다. 해안 지방에는 바다의 영향을 받아 생겨나는 해변(beach), 파식대(wave-cut terrace), 해안단구(coastal terrace) 등이 널리 나타나며 내륙 지방에서는 하천에 의한 범람원, 하안단구 그리고 사면 형성작용에 의한 산록면 등이 널리 분포한다. 그러므로 여기서는 해안 지방과 내륙 지방으로 나누어 각 지역의 지형적인 특색을 기술하였다.

해안 지방

신고리 5,6호기 부지를 포함하여 울산에서 부산에 이르는 동해안지역은 대체로 산지가 해안에 임박해 있는 곳이 많아 해안에 암반이 노출된 곳이 많고 해안을 따라 크고 작은 만과 곶(headland)이 교대로 분포한다.

규모가 큰 만으로는 울산만, 수영만, 부산만 등을 들 수 있다. 해안에는 이들 만 이외에도 이름 없는 크고 작은 만들이 연속적으로 발달되어 있다. 만에는 대체로 해변, 해안단구 등이 해안으로부터 내륙을 향하여 순차로 나타나는 곳이 많다. 그런 곳은 대체로 해안단구가 있다 하더라도 단구애(terrace scarp)가 분명하지 않으며 지면 경사가 크지 않다. 나사(서생면) 일대의 만은 이러한 전형적인 예이다.

한편, 비교적 규모가 큰 만은 대부분 내륙으로부터 만으로 하천이 유입하고 있으며 강어귀를 중심으로 넓은 해안평야가 발달되어 있다. 또한 해안에는 곶에 따라 빈제(beach ridge)가 발달되기도 한다. 회야강이 동해로 유입하는 지역인 진하와 강구 일대에서 이러한 지형의 예를 찾아 볼 수 있다.

만과는 달리, 곶은 해발고도 대략 10~20 m 정도의 해안단구(coastal terraces) 또는 구릉으로 이루어졌으며 해안에 파식대와 해식애(sea cliff)가 생성된 경우가 많다. 해식애 상부에 발달된 해안단구는 계단상의 모습이 완전하여 만에 발달된 해안단구와는 대조적인 모습을 보인다. 간절곶 일대의 해안은 그 좋은 예이다.

내륙 지방

산지 : 부지반경 40 km 지역에는 양산단층, 동래단층, 일광단층 등의 영향으로 산지의 주향이 북북동-남남서 내지 남북 방향이 우세하다. 이들 산지 사이의 곡지 역시 산지와 동일한 방향을 취하고 있다. 언양-양산, 울산-부산 금정, 울산-부산 송정 사이의 곡지는 그 대표적인 예인데 산간곡지들은 도로 건설이 용이한 조건을 갖춘 곳이므로 이들을 따라 경부고속도로, 7번 및 14번 국도 등 주요 도로가 건설되었다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

북북동-남남서 내지 남북 방향이 분명한 산지들은 특히 양산단층과 동래단층 주변을 따라 분포하며, 해발고도 500 m 이상의 높은 산지가 많다. 높은 산지는 조사지역의 동북부인 언양과 양산 일대에 많다. 그 중 신불산(약 1,209 m), 취서산(약 1,059 m), 시살등(약 990 m) 등 양산단층의 동쪽에 위치한 산지들이 특히 높은 편에 속한다. 이들은 남쪽으로 가면서 고도가 점차 낮아져 양산 협곡의 하류부인 물금 일대에 이르면 400 m 내외의 그리 높지 않은 산지로 달라진다.

한편, 양산단층선과 동래단층선 사이의 곡간산지는 위의 산지들보다는 다소 고도가 낮다. 그중 양산의 원효산(약 922 m), 천성산(약 812 m), 정족산(약 700 m) 등은 높은 산지를 이루며 이들 산지로부터 북쪽과 남쪽으로 가면서 산지의 고도가 점차 낮아진다.

동래단층선과 일광단층선 사이의 산지들은 위의 산지들에 비해 산지의 주향도 덜 분명하며 고도도 낮은 편이다. 대운산(약 742 m)에서 석은덤(약 542 m)에 이르는 산지가 비교적 높은 편에 속할 뿐 대체로 400~500 m의 산지가 대부분이다. 그러나 정관분지 주변의 산지들 중에서 특히 분지 남쪽의 산지들 즉, 달음산(약 588 m), 문래봉(약 507 m) 등 비교적 높은 산지들이 동서 방향으로 발달하고 있어 상기 기술한 산지의 주향과는 대조적인 모습을 보인다.

일광단층선 동쪽은 해발 고도 약 200 m 이내의 낮은 산지 내지 구릉지가 널리 분포한다. 특히, 화강암이 기반을 이루는 서생면 신암리, 용리, 명산리 일대는 해발 100 m 이내의 구릉지 경관(hilly landscape)이 지배적이어서 다른 지역과는 다소 다른 모습을 보인다. 이러한 화강암 구릉지들은 해발고도가 높은 곳이라야 약 70~90 m 정도로 봉우리 높이가 비슷하게 나타난다.

하천 : 하천의 침식, 운반, 퇴적과정 그 자체가 지표면의 변화과정을 의미하므로 지반운동과 하천 발달과의 관계를 살피는 것에 역점을 두어 하계망 패턴, 하안단구 등을 세밀하게 조사하였다. 큰 하천으로는 조사지역의 서쪽을 대략 북북동-남남서 방향으로 흘러내리는 양산천(낙동강의 지류), 북쪽을 대략 동서 방향으로 가로질러 동해로 유입하는 태화강 그리고 상류에서는 북북동-남남서 방향을 취하지만 중·하류에 이르러 동류하여 동해로 유입하는 회야강 등이 있다. 양산천은 비교적 규모가 큰 하천임에도 양산단층선을 따라 발달된 긴 협곡을 직류하고 있어 단층운동이 하곡은 물론 하도 유형에도 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 양산천의 상류는 태화강의 상류와 동일한 곡지 내에서 각기 정반대 방향의 유향을 취하고 있다.

이와 같은 지형 조건은 동래단층선 방향을 취하는 수영강에서도 찾아볼 수 있다. 수영강은 부산 금정구를 대략 남-북 방향으로 가로질러 남류하는 하천인데, 중상류에서 협곡을 관류한다. 하도 유형 역시 직류이며, 월평리(정관) 일대의 곡저 평야를 분수계로 회야강과 정반대의 유향을 취하며 흘러내린다. 수영강과 회야강은 동래단층선이 통과하면서 생겨난 동일한 골짜기의 연장선상에 놓여 있다고 볼 수 있다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

회야강은 양산천이나 수영강과는 달리 중·상류에서는 북북동-남남서 방향의 구조선을 따르지만 하류에서는 동서 방향의 유향을 취하는 점에서 특징적이다. 회야강은 중·상류지역인 웅상 및 웅촌 일대에는 매우 넓은 골짜기가 발달되었다. 이것은 동래단층선이 이곳에서 또 다른 단층선과 교차하고 있기 때문으로 해석된다. 한편, 회야강은 동래단층선과 일광단층선 사이의 산지를 동서로 자르듯이 관류하는 하도 구간인 웅촌면 석촌리와 통천리 일대에서는 감입사행하곡(incised meandering valley)을 이룬다. 감입사행하곡은 흔히 지반이 융기하는 곳에서 잘 발달하는 것으로 여기서는 회야강이 이미 동서 방향의 유향을 취하고 있을 때 지반이 융기되기 시작하였던 것으로 해석된다. 물론 지반 융기는 하천의 하각작용(downward erosion)을 수반하므로 하안 침식이 용이한 방향으로 유로가 이동하게 되며 그런 과정에서 사행하도의 절단이 일어나기도 한다. 이 밖에도 신고리 5,6호기 부지를 포함한 동해안 지방에서는 효암천, 장안천, 재광천 등 소규모의 하천들이 동래단층선 동쪽 산지에서 발원하여 동서의 유향을 취하며 해안 산지를 가로질러 동해로 유입한다.

2.5.1.2.1.1.3 해안 지형

해빈(beach)

해빈은 연안류와 파랑의 퇴적작용으로 생성되는 해안퇴적 지형으로 구성물질에 따라 모래 중심의 사빈(sand beach)과 자갈 중심의 자갈해빈(shingle beach)으로 나누어진다. 대체로 파랑에너지가 큰 곳에는 자갈해빈 그리고 파랑에너지가 작거나 하천이 만으로 유입하는 곳에서는 사빈이 잘 발달한다(참고문헌 70).

부지반경 40 km 지역에는 전반적으로 사빈보다는 자갈해빈이 많다. 자갈해빈은 바다로 육지가 돌출하여 파랑에너지가 집중되는 곳인 곳 주변의 해안에 많다. 규모가 큰 곳은 그 안에 다시 소규모의 만입지들이 발달되기도 하는데 이러한 만에는 거의 예외 없이 자갈해빈이 분포한다.

부지반경 40 km 지역의 자갈해빈은 거력(boulder), 왕자갈(cobble), 자갈(중력, pebble)이 혼재하며 분급이 매우 불량할 뿐만 아니라 자갈의 원마도 또한 대체로 높지 않은 경우가 많다. 그러나 일부 원마도가 높은 원력(rounded gravel)도 포함되어 있어 다소 부조화스런 모습을 보이기도 한다. 이러한 해빈의 구성물질 특성은 해안에 기반암이 노출되고 그로부터 자갈이 쉽게 공급될 수 있는 환경에서 잘 나타난다. 이러한 조건을 갖춘 곳은 대체로 파랑에너지가 크며, 기반암이나 거력으로 인하여 파랑 에너지가 해빈에 불균등하게 영향을 미치게 되어 기반암 또는 원마도가 다양한 자갈 퇴적이 생겨나게 된다.

자갈해빈은 울산만에서 수영만에 이르는 해안에 전형적으로 분포하는데 1:50,000 지형도(방어진 및 부산 도폭)에서 해안에 암반이 노출된 것으로 표시된 주변은 대체로 자갈해

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

빈을 형성하고 있다. 특히 울주군 서생면 대송리의 간절곶, 나사리 동쪽, 신암리의 송리, 골매 등지의 해안에서 이러한 자갈해빈이 잘 발달하고 있다. 이상과 같은 자갈해빈과는 달리 사빈은 하천이 유입하는 만입지의 해안에서 관찰할 수 있다. 회야강이 동해로 유입하는 강어귀를 끼고 있는 진하 일대의 해안이 대표적인데 이곳의 사빈은 일찍부터 해수욕장으로 이용되어 왔다. 이 밖에도 효암천이 흘러드는 효암리와 비학 일대의 해안, 나사리 일대의 해안 등에 사빈이 발달되어 있으나 그 규모는 크지 않다.

빈제(beach ridge)

빈제는 사빈의 배후에 선상으로 발달된 모래 언덕으로 정부에 사구가 발달되기도 한다. 사빈의 규모가 큰 곳은 대체로 사빈 배후에 빈제가 나타난다. 빈제는 사빈의 해안 모래가 육지쪽으로 이동하여 생기는 것이므로 해수 수준을 시사하는 지형이기도 하다. 해퇴가 여러 차례에 걸쳐 발생한 곳에서는 그때마다의 해수 수준에서 생겨난 빈제가 여러 개의 구릉열을 이루어 나타나기도 한다.

부지반경 40 km 지역은 사빈 발달이 대체로 불량한 해안이 많으므로 빈제 또한 거의 관찰하기 어렵다. 그러나 회야강이 다량의 토사를 공급하는 환경 하에 놓인 진하 일대의 해안에서는 현 해수 수준의 빈제와 후빙기의 고 해면과 관련된 것으로 추정되는 빈제를 동시에 관찰할 수 있다. 현 해수 수준의 빈제는 진하 해수욕장의 상업 및 주거 시설이 위치한 곳인데 이것의 남쪽으로 가면서 자연 상태의 빈제를 부분적으로 관찰할 수 있다. 한편, 고빈제는 회야강 하류(온산읍 강구 일대)의 범람원상에 1개의 구릉열을 이루어 나타난다. 구릉의 고도는 1~2 m 정도이며, 송림으로 피복 되어 언뜻 보면 단순한 송림 정도로 밖에 관찰되지 않는다. 그러나 소나무 주변에 드러난 나지나 인공으로 파헤쳐진 와지에서 세립질의 사구사가 널리 관찰되고 구릉열의 형태가 완전한 빈제의 모습을 갖추고 있어 후빙기의 고 해수면과 관련된 빈제인 것으로 판단된다.

해안단구

해안단구는 파식대 또는 해빈이 지반운동의 영향으로 융기되거나, 해수면이 하강하여 결과적으로 계단상으로 남은 해안지형이다. 따라서 해안단구는 지반운동이나 해면 변동의 양상을 규명하는 지표로 이용되므로(참고문헌 71), 신고리 5,6호기 부지를 포함하여 울주군 온산읍에서 부산시 기장읍에 이르는 해안에 걸쳐 해안단구의 형태가 1:25,000 지형도에서 식별되는 구간을 중심으로 조사하였다. 부지반경 40 km 지역에는 해안단구가 울산에서 부산에 이르는 해안의 곳과 만입지를 따라 광역으로 분포한다. 곳과 만에 발달된 해안단구는 지형적인 차이를 보인다.

곳에 발달된 해안단구는 해식애가 단구애를 이루므로, 외형상 단구의 식별이 용이하다. 그러나 단구면(terrace surface)이 구파식대이므로 해빈 퇴적물이 많지 않아 바닷물에 의한 침식이나 퇴적의 증거를 찾기 쉽지 않다. 해빈 퇴적물을 잘 관찰할 수 있는 대표적인

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

해안단구(중위단구)로는 울주군 서생면에 있는 왜성을 들 수 있다. 왜성은 해안단구(KOJ-15; 그림 2.5-16) 위에 축조되었는데 성내의 밭 주변에서 퇴적층이 관찰된다.

저위단구는 해발고도가 가장 낮은 단구로 본 조사지역에서는 해발고도 10 m 이내에서 나타나며 저위단구는 대체로 규모가 작다. 또한 중위단구의 주변부를 따라 나타나나 중위단구와의 경계부에 단구애가 나타나지 않는 경우가 있어 야외에서 식별하기 어려운 경우가 많다. 비교적 단구 형태가 분명한 저위단구는 효암리 해안의 해변 바로 배후에서 찾아볼 수 있다(KOJ-13; 그림 2.5-16). 이 단구는 바다 쪽으로는 해식에 그리고 육지 쪽으로 효암천에 의해 침식을 받아 단구형상이 분명한 것이 특징이다. 이곳 저위단구의 퇴적층은 1~2 m이며 상부에는 사빈 모래 그리고 하부에는 왕모래(granule)와 1 cm 내외의 자갈이 퇴적되어 있다.

이 밖에도 저위단구는 간절곶(KOJ-16; 그림 2.5-16), 나사리(KOJ-13, 14; 그림 2.5-16) 동남쪽 해안 등지에서 나타난다. 이들 단구의 퇴적물은 현 해변 퇴적물과 거의 차이가 없으며, 단구애가 현 해수에 의해 침식받고 있는 곳도 있으나, 중위단구와는 분명히 구분되는 특징을 보이고 있어, 저위단구로 구분하였다. 단구의 규모가 큰 것은 중위단구이다. 본 조사지역에서 해발 고도 10 m~20 m 정도의 해안 평탄지는 전부 중위단구로 인정된다. 신고리 5,6호기 부지 남쪽의 교육원 부지도 그 한 예인데 울산만에서 수영만에 이르는 해안에서 바다로 돌출한 육지마다 거의 대부분 지역에서 중위단구가 관찰된다. 서생-왜성, 간절곶, 신평리(일광) 해안 일대는 그 대표적인 곳이다. 그러나 만입지의 경우는 전술한 바와 같이 단구애가 분명치 않으므로 중위단구로 추정되는 퇴적물을 관찰할 수는 있으나 단구의 모습을 갖춘 곳은 찾아보기 어렵다. 나사리 일대의 만입지 산록을 따라 10 m 정도에서 관찰되는 퇴적물은 이러한 예에 속한다.

고위단구는 해발 30 m 이상의 고도에서 나타나고 이미 구릉지로 해체되어, 단구의 모습을 찾기는 어렵다. 단지 산록 주변부를 따라 정빈력이 드물게 관찰되어 이를 토대로 단구의 존재를 추정할 수 있을 뿐이다. 그나마도 월내 등 매우 제한된 곳에서 관찰되고 있어 고위단구가 비교적 넓게 분포하는 울산만 북쪽에서 장기곶에 이르는 동해안과는 다소 다른 모습을 보인다.

이상과 같이 본 조사지역의 해안에는 곳곳에 고도, 형태, 구성물질을 달리하는 여러 유형의 해안단구가 분포한다. 본 조사지역 내에서는 단구 퇴적층을 변위시킨 단층은 관찰할 수 없었다. 따라서 지반이 비교적 안정된 상태를 상당 기간 유지하였던 것으로 판단된다.

2.5.1.2.1.1.4 하천 지형

하천 지형은 하천의 지형 형성작용에 의해 생겨나는 일체의 지형을 말한다. 본 조사에서는 하계망, 하도 유형, 범람원, 하안단구 등을 조사하는 것에 중점을 두었다.

하계망

하계망 유형은 하계가 놓여진 곳의 지형 및 지질 조건을 잘 반영하는데 하계망 유형에는 수지상(dendritic), 격자상(trellis), 직각상(rectangular) 등 여러 유형이 있다.

부지반경 40 km 지역에는 비교적 큰 하천인 태화강 특히 삼동면 일대를 흐르는 지류들에서 전형적인 수지상 하계망 유형이 나타난다. 이와는 달리 양산단층과 관련이 있는 양산천(그림 2.5-18)과 동래단층과 관련이 있는 수영천은 본류의 하도가 직선으로 뻗어 있으며, 이를 향하여 크고 작은 지류들이 거의 직각을 이루며 유입한다. 이와 같이 두 하천이 직각으로 합류하는 것은 흔히 협곡의 산지에서 발원한 소하천과 본류와의 관계에서 잘 나타나는 일반적인 현상이다. 그러나 양산천에서 주목할 만 한 것은 비교적 큰 지류들 또한 직각을 이루며 합류하는 것이 적지 않다는 점이다. 유산리(양산), 상림리(상북) 일대를 흐르는 지류가 전형적인 예인데, 이러한 것은 양산단층선을 대략 동서 방향으로 가로지르는 구조선의 영향을 받아 하곡 발달이 이루어졌기 때문이다.

하도 유형(channel pattern)

하도 유형은 대체로 직류하도(straight pattern), 사행하도(meandering pattern), 망류하도(braided pattern) 등으로 구분한다(참고문헌 71). 이러한 하도 유형은 하곡의 지형 조건이나 지반운동 이외에도, 유량이나 퇴적물의 조건에 따라 달리 나타난다.

부지반경 40 km 지역의 하천 중 양산천, 수영강 그리고 회야강 중·상류 구간은 직류하도를 이루는 등 전반적으로 곡률도(sinuosity index)가 낮은 것으로 관찰된다. 이러한 것은 하천이 지반운동의 영향을 민감하게 반영하기 때문이다. 이 밖에도 남창 인근의 대운천 등 대부분의 소하천들 역시 곡률도가 매우 낮고, 북북동-남남서 방향의 구조선 또는 이를 동서로 가로지르는 구조선의 방향을 취하고 있다.

한편 사행 하도는 국지적으로만 관찰된다. 특히, 신고리 5,6호기 부지에 가까운 하천들인 좌천리 일대의 재광천, 월내리 일대의 장안천, 한빛아파트(장안읍) 인근의 효암천 등지에서 국지적으로 사행하도를 관찰할 수 있다. 이들 중 재광천과 효암천의 경우 사행하는 곳은 곡사면 경사가 급하며 곡폭이 좁은 감입하곡(incised valley)이 나타난다. 이러한 곳은 하천의 하상 및 하안에 암반이 노출된 경우가 많은데 효암천의 경우도 예외는 아니다. 비학 일대의 효암천 하류에서도 사행하도의 흔적을 찾아볼 수 있다. 이곳에서는 효암천이 사행하며 해안단구의 배후지를 침식한 관계로 단구의 육지쪽 사면이 급단애를 이룬다. 이 밖에도 비교적 대하천인 회야강(그림 2.5-19)에서도 감입사행하도가 관찰되는데, 석천리와 통천리 일대에서는 사행하도가 절단된 모습도 볼 수 있다.

범람원

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

범람원은 하천의 측방퇴적(lateral accretion)과 수직퇴적(vertical accretion)이 반복되면서 생겨나는 하안 퇴적 지형으로 큰 규모의 것은 배후저지(혹은 배후습지)와 자연제방으로 구분된다.

부지반경 40 km 지역 내에서는 태화강, 양산천, 회야강 등 대하천의 하류에 규모가 큰 범람원이 분포한다. 특히, 태화강 하류인 울산만 주변, 양산천 하류인 물금 일대 그리고 회야강이 남창천과 합류하는 하류 일대에서 범람원이 넓다.

하안단구

하안단구는 계단상의 구 범람원을 말한다. 해안단구의 경우와 마찬가지로 형태상으로는 단구면과 단구애로 구분되는데, 단구면은 침식 또는 퇴적으로 생겨나며 단구애는 유로 이동 과정에서 침식을 받기 때문에 생긴다(참고문헌 72). 하안단구를 생성하는 주된 요인은 지반의 융기, 해수면 하강, 기후변동, 하천쟁탈 등이다(참고문헌 73, 74, 75).

하안단구는 흔히 지류가 분류로 유입하는 곳에서 잘 발달되며 상삼리(상북), 성굴리(상북), 위천(양산 석계리) 등에 발달된 단구가 좋은 예이다. 이들 단구는 흔히 2~3단을 이루는 경우가 많다. 위천 단구만 해도 2단의 단구가 나타난다. 그 중 상위 단구는 역들이 몹시 풍화되어 손의 힘만으로도 부서질 정도이며 표층은 매스무브먼트 퇴적층으로 덮여 있다. 이와는 달리, 하위단구는 역이 보다 생경할 뿐만 아니라 매트릭스 물질이 보다 사질인 점이 다소 달리 보인다. 그러나 아원력 내지 아각력이 대부분이며 분급이 불량한 점 등이 소하천 퇴적에서 비롯된 것으로 판단된다.

하안단구의 규모는 대하천일수록 큰 것이 일반적이다. 이 지역에서는 비교적 큰 하천인 태화강의 경우 상류인 연양 삼남면 일대에 하안단구가 넓다. 이곳의 하안단구는 흔히 고위, 중위, 저위 단구 등 3단으로 구분한다(참고문헌 76). 그 중 규모가 가장 크고 단구 형태도 완전한 것은 중위 단구이다. 이에 비하여 저위 단구는 하천 변에 바로 인접하여 나타날 뿐만 아니라 범람원과도 구분이 명확치 않은 특징을 보인다. 한편 고위 단구는 구릉으로 해체된 모습을 보인다. 고위 단구의 좋은 예로는 방기리 인근 인석 마을(DSI 주식회사 뒷편)에 발달된 단구를 들 수 있다. 이곳의 단구는 퇴적물은 분급이 불량하고 아원력이 많으며 또한 매트릭스 물질 중에 모래가 많다. 이러한 특징을 두고 볼 때 이 퇴적층은 소하천의 하상 역층에서 기원한 것으로 생각된다. 이것과 거의 동일한 퇴적층은 방기초등학교 동쪽의 구릉지에서도 잘 관찰된다. 건축 공사로 드러난 노두를 보면 하천 퇴적층이 3m 정도에 달하며 그 하부의 기반암(세일)과의 경계가 뚜렷하다.

2.5.1.2.1.1.5 산지 지형

산지에 관한 지형 조사는 목적에 따라 다를 수 있지만 대체로 산사면 발달(hill-slope

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

development)에 관한 것이 많다(참고문헌 77, 78). 본 조사에서는 제 4기 퇴적층이 나타나는 환경사의 산록면 조사에 중점을 두었다.

환경사의 산록면 즉, 산록완사면(piedmont)은 배후산지와 경사를 크게 달리하는 경사가 완만하면서도 평탄한 산록면을 뜻한다. 산록완사면은 성인적인 측면에서는 풍화 및 침식이 탁월하게 작용하여 생겨나는 산록침식지형인 페디먼트(pediment) 그리고 하천 퇴적작용이 우세하게 작용하여 생겨나는 산록퇴적지형인 충적선상지(alluvial fan)로 구분된다(참고문헌 79).

부지반경 40 km 지역에서는 양산, 동래, 일광단층선 방향으로 달리는 고산지의 산록 말단부를 따라 산록완사면이 널리 나타난다. 특히, 동래단층이 통과하는 웅촌(울산)과 웅상(양산) 일대, 양산단층이 통과하는 하북(양산)과 삼남(언양) 일대 그리고 재광천의 중상류인 정관분지 남쪽 사면에 발달된 산록면들이 규모가 큰 편이다.

페디먼트

페디먼트는 환경사의 산록침식면으로 우리 나라의 중·남부지방에서 가장 널리 나타나는 산지 지형의 하나이다. 부지반경 40 km 지역에서는 천성산(웅상, 해발 약 728 m) 및 정족산(웅촌, 해발 약 700 m) 서쪽 산록면, 운암산(웅촌, 해발 418 m) 남쪽 산록면이 페디먼트에 속하는 지형으로 생각된다. 이들 산록면들은 산록면상에 하천퇴적층이 수 m 이상 쌓여 있는가하면 바로 그것에 인접하여 기반암이 드러나 있어 퇴적층의 층후가 생각만큼 그리 두텁지는 않은 것으로 보인다. 퇴적층후는 배후산지쪽으로 가면서 얇아지며, 산록면 하부일수록 두터워지는데 산록면 하부의 일부는 소하천에 의해 침식을 받아 하안단구로 변화된 경우가 많다. 한편 정족산 서쪽(웅촌면 고령리 일대)의 산록면에는 형태상으로 완전한 부채꼴 모양의 충적선상지가 발달한다. 그러나 산록면 남쪽의 소하천 주변에 드러난 노두들을 관찰해보면 퇴적층이 거의 관찰되지 않는다. 동일한 산록면에서 근거리 에 위치한 고령 저수지 남쪽의 공장 부지 주변의 한 노두를 관찰해 보면 약 5 m 이상의 하상 역층이 발견되기도 하는데 이러한 사실은 이 지역의 산록면들이 심층풍화, 풍화물이 탈거되는 삭박작용 그리고 하천침식 등이 매우 복합적으로 작용하여 생겨난 것임을 알 수 있다.

산록면의 퇴적물, 형성과정 및 지반운동에 의한 변화를 보면 조사지역에서 단층에 의해 산록면이 변위된 장소는 없으며 양산단층선을 따라 발달된 산록면들도 변위되지 않았다. 사실 단층과 같은 지각운동이 조사지역 내에서 발생하였다 하더라도 그것이 지형으로 반영되는 것은 지반의 변위량 이외에도 지형 형성과정의 진행속도 즉 지표물질의 이동률이나 침식률에 의해 달라진다.

충적선상지

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

충적선상지는 산록면의 형성이 주로 하천 퇴적에서 비롯된 산록 퇴적 지형으로(참고문헌 80, 81). 부지반경 40 km 지역에는 달음산(약 588 m) 북쪽 산록면, 신불산 및 취서산 서쪽 산록면 등지에서 충적선상지로 여겨지는 산록면이 관찰되나 페디먼트와의 구분이 사실상 어렵다.

달음산 북쪽 산록면(영월읍 주변)에서는 산록 말단부에서 5m 내외의 두터운 제 4기 퇴적층을 관찰하였다. 이 퇴적층은 주로 소하천 하상역층 또는 층상사면퇴적층(stratified slope deposits)인데 양자의 퇴적층이 교대로 반복되어 나타나는 것을 보면 산록면상에 소하천이 놓여 있는가하면 사면유수가 영향을 주면서 산록면의 평탄한 모습이 형성되었던 것으로 판단된다. 이 곳 산록면의 하부는 재광천에 의해 잘려져 급단애(하상 비고 4m 내외)를 이룬다. 특징적인 것은 급단애 퇴적물 역시 재광천 퇴적물보다는 각력이 많으며 따라서 재광천은 산록면 형성에 관여하지 않은 것으로 판단된다.

산지를 따라 두터운 충적선상지가 연속적으로 발달될 경우 대개가 단층운동과 관련된다. 배후 산지의 계곡을 유하하는 하천이 퇴적물을 곡구 주변에 반복하여 쌓아 만든 지형이 충적선상지인데 곡구 주변의 지반이 침하되지 않고서는 두터운 퇴적층이 생길 수 없기 때문이다. 따라서 달음산 북쪽 산록면을 포함한 정관 분지 내의 산록면 역시 단층 활동과의 연계 가능성이 있다. 정관의 매학리 일대에서 수 개의 단층이 발견된 것을 보면 이러한 사실을 부분적으로 뒷받침한다. 그러나 삼각말단면(triangular facet)이 없는 것을 보면 단층 활동이 산록면 발달에 결정적인 역할을 했다고 말하기는 어렵다. 또한 산록면의 제 4기 퇴적층을 변위시킨 단층이 전혀 관찰되지 않는 사실을 보면 현재의 산록면 형성에 단층활동은 어떠한 영향도 미치지 않았던 것으로 판단된다.

2.5.1.2.1.1.6 결론

신고리 5,6호기 부지반경 40 km 이내의 지역은 한반도의 동남부에 위치하고 있으며 지역 내에 양산단층, 동래단층, 일광단층 등의 단층선이 대체로 북북동-남남서 방향으로 통과하고 있다. 이런 까닭에 주요 산지들과 하곡들 역시 동일한 방향으로 발달하는 경우가 많다.

금번 지형 조사에서는 전체 지역을 해안지역과 내륙지역으로 나누어 각기 그 안에 발달된 주요 유형의 지형들을 조사하였다. 특히 해안지역에서는 해변, 해안단구 등 그리고 내륙지역에서는 하천과 산지로 나누어 하천의 하계망, 하도 유형, 하안단구 등 그리고 산지의 산록완사면을 중점적으로 조사하였다.

해안지역의 경우 곳이 바다로 돌출한 곳이 많아 대체로 자갈해빈이 많은 것으로 관찰되었으며 해안단구는 북쪽의 온산만에서 수영만에 이르는 곳곳에 널리 분포하는 것으로 조사되었다. 해안단구는 형태 및 퇴적물의 특성을 토대로 대략 2가지 유형 즉 곳에 발달된 해안단구와 만입지에 발달된 해안단구가 구분될 수 있다. 곳의 단구 모양은 분명하지만

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

퇴적물이 조립일 뿐만 아니라 원마도가 좋지 못하다. 이에 대하여 만입지의 단구 형태는 불분명하지만 퇴적물이 원력 중심이고 자갈이 많은 것이 특징이다.

내륙지역에서 양산천과 수영강의 하계망을 보면, 중·하류 구간에서 하천의 분류가 거의 직선상으로 나타난다. 또한 이들의 연장선상에는 동일한 하곡 내에서 각각 태화강과 회야강이 이들 하천과 거의 정반대 방향으로 흘러내리고 있다. 이러한 현상은 특히 양산단층선을 따라 여러 지점에서 관찰할 수 있다. 한편 산지의 산록완사면은 삼남, 웅상, 웅천, 정관 등지를 중심으로 널리 분포한다. 대체로 퇴적층이 두텁지 않은 산록완사면이 많으며 따라서 성인적인 관점에서 볼 때 페디먼트로 분류될 수 있는 지형이 보다 넓은 범위에 분포하는 것으로 관찰되었다. 이상과 같은 지형 조사결과 일광단층의 동쪽지역에서는 단층활동에 따른 지형적인 증거를 발견하지 못하였다.

2.5.1.2.1.2 지질 개요

부지반경 40 km 지역에는 백악기 경상누층군의 하양층군과 이를 관입 또는 분출한 백악기말 유천층군 그리고 이들을 관입한 백악기 말~제 3기초의 불국사관입암류와 제 3기 중엽의 화성맥암류 그리고 이들을 부정합으로 피복하는 제 4기 충적층으로 구성된다. 또한 울산지역에는 백악기 경상누층군에 해당하는 퇴적암과 이를 관입한 화성암류를 기반암으로 하여, 이들을 부정합으로 덮고있는 제 3기의 쇄설성 퇴적암류 그리고 제 4기 홍적층과 충적층이 분포하고 있다.

2.5.1.2.1.2.1 하양층군

주로 육성기원의 쇄설성 하상 및 호성 환경 하에서 퇴적된 퇴적암류(세일, 사암, 이회암, 소량의 역암)로 구성되어 있고 화산쇄설암류와 화산암류가 간헐적으로 협재된다.

월내지역의 북부에 광범위하게 분포하고 남부에 소규모로 분포하며, 부산지역 최남단 다대포 및 송도 일원 그리고 북동부의 기장 및 일광지역에 분포한다. 부산지역 퇴적층의 가장 큰 특징은 적색층의 존재 유무로 다대포 및 송도 일원의 것은 적색층과 비적색층의 교호대를 이루나 기장 및 일광 일원의 것은 주로 회색내지 암회색층으로 이루어져 있다.

언양지역에서는 양산단층의 동부에 넓게 분포하는 하양층군은 주로 녹색 내지 암회색 사암, 실트스톤, 세일과 자색의 실트스톤과 세일의 호층, 이에 협재하는 이암과 역암의 호층으로 구성되어 있다.

울산지역에는 하양층군에 대비되는 층으로 울산층(참고문헌 82)이 분포하는데 울산층은 울산지역 남부 및 동부 일원에 광범위하게 분포하며, 주로 저색 또는 연녹회색 세일 및 사암으로 구성되며, 역암과 응회질 사암을 협재한다. 울산층은 주변 화강암류들의 관입으로 접촉변성작용을 받아 대부분 호온펠스화 되어있다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

2.5.1.2.1.2.2 유천층군

월내지역의 안산암질암류는 암상에 따라 크게 안산암질암과 함각력안산반암으로 구분되며 역암, 사암, 셰일 등을 협재하기도 한다. 하양층군과 관입 및 분출 관계를 보이는 안산암질암은 월내지역의 중앙부와 서부에서 하양층군에 의해 둘러싸여 광범위하게 분포한다. 월내지역에서 안산암질암을 관입한 장식반암은 월내지역의 서부와 북부 그리고 북동부에 산재하여 분포한다.

양산지역에서 안산암질암류는 하부로부터 팔룡산응회암, 비반상안산암, 안산암질 래필리응회암, 밀양안산암, 정각산층, 범도리안산암 순으로 세분할 수 있다. 양산지역의 유문암질암류는 크게 양산응회암, 원동응회암 및 삼랑진응회암으로 분류된다(참고문헌 83).

부산지역에의 유천층군은 하부에 안산암질암류가 있으며 이 위에 다시 응회질 퇴적암류가 퇴적된 후 유문암질암류 계열의 화산암이 피복되면서 유천층군을 이루고 있다. 응회질 퇴적암류는 정합적으로 안산암질암류를 덮고 있다.

언양지역에서 양산단층의 서부에 주로 분포하는 유천층군은 안산암질암류(각력질 안산반암, 안산반암, 안산암 및 응회질암)와 이를 관입하는 석영안산반암, 유문석영안산암, 장식반암으로 이루어진다. 이들 백악기 후기 화산암류는 안산암질암류와 이들 상위에 응회질 퇴적암류와 응회암류가 정합적으로 퇴적된 후 다시 유문암질암류의 화산암이 피복되는 양상으로 분포한다.

울산지역의 유천층군에 해당하는 화산암류는 주로 청량면 눌곡리 부근에 소규모로 분포하며 결정질응회암, 용결응회암, 유문암 및 래필리응회암(lapilli tuff)으로 구성된다.

2.5.1.2.1.2.3 불국사관입암류

월내지역의 불국사관입암류는 조직에 따라 크게 심성암류와 이를 관입한 반심성암류로 구분된다. 하양층군과 유천층군의 구성암류를 관입하며 암상에 따라 화강섬록암과 각섬석화강암 그리고 흑운모화강암 등으로 세분된다. 유천층군이 관입 또는 분출한 이후에 화강섬록암질의 마그마로부터 분화되어 생성된 것으로 추정되는 이들 심성암류는 주변부로 갈수록 조립질 내지 반상조립으로 변화한다. 반심성암류는 화강섬록반암, 반화강암 등으로 세분되며 이들 구성암류는 월내지역의 모든 암상류를 관입하며 분산되어 분포한다.

양산지역의 불국사관입암류는 화강암질암류와 산성맥암으로 세분된다. 화강암질암류는 세립화강섬록암으로부터 각섬석흑운모화강암, 흑운모화강암에 이르는 성분의 분화상을 보여주는 암석들이며 후기 분화상으로 가면서 미문상 조직을 가지는 경향을 보인다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

부산지역의 화강암류는 화강섬록암, 각섬석화강암, 흑운모화강암, 소위 마산암류인 토날라이트, 아다멜라이트 및 미문상화강암 등 다양한 암상을 보이며 백악기 말의 화산암체를 주로 관입하고 있다. 부산지역의 심성활동은 대체로 65~84 Ma에 집중되며 부산 및 밀양지역의 화산암의 분출시기는 약 81 Ma(참고문헌 84)를 나타내고 월내지역의 화산암 분출시기는 65 ± 5 Ma로 추정되는 바(2.5.1.2.1.4 절대연대측정 참조), 대체적으로 화산암체의 생성시기와 화강암류의 관입시기가 거의 비슷한 것으로 추정된다.

언양지역의 백악기 관입암류는 조직에 따라 심성암류와 반심성암류로 구분된다. 심성암류는 언양화강암으로 분류되는 흑운모화강암이 주로 양산단층의 서부에서 주사산안산암질암류와 운문사유문암질암류를 관입한 형태로 넓게 분포한다.

양산단층의 동부는 지각의 천부를 관입한 암주 형태의 흑운모화강암과 화강섬록암이 압주형태로 소규모 분포한다. 반심성암류(화강반암, 석영반암, 반화강암)는 안산암질암류와 유문암질암류를 국지적으로 관입한 형태로 분포하며, 산성 및 염기성의 맥암류(규장암, 중성암맥, 산성암맥)가 언양지역에 소규모로 분포한다. 특히 모량단층선에 인접한 지역의 화산암 및 화산쇄설성 퇴적암류 분포지에는 염기성암맥들이 도처에서 이들을 충상관입하고 있다.

울산지역에 분포하는 화강암류들은 서에서 동으로 감에 따라 울산 각섬석-흑운모화강섬록암, 울산화강암 복합체(가대리화강암, 참고문헌 85) 및 반상 흑운모화강암으로 구분된다(참고문헌 86). 이 들 화강암류의 K-Ar 흑운모 연령은 각각의 암체가 약 65~67 Ma, 63 Ma로 동에서 서로 감에 따라 젊어지는 경향이 있다.

2.5.1.2.1.2.4 제 3기층

제 3기 화강암류는 동해안에 연하여 소규모 암체들이 분포하며 울산시 언양읍 남부와 양산군 양산읍 동부에 분포한다. 제 3기 초 후반에 산성 및 염기성암맥들이 백악기 암석을 관입하여 분포하고 있다. 울산지역에 분포하고 있는 제 3기 암석들은 울산분지 내에 주로 분포하는데, 울산분지는 울산시 북구 강동동 일대와 경북 경주시 양남면의 남부를 점하고 있는 세 곳의 독립된 분지로 구성되어 있다. 울산지역의 제 3기 지층은 전기 마이오세의 안산암질 화산암류와 어일층군에 해당하는 쇄설성 퇴적암이 분포한다.

2.5.1.2.1.2.5 제 4기층

월내지역의 제 4기 충적층은 7번과 14번 국도와 회야호, 외항강, 남창천 그리고 회야강 주변에 넓게 분포한다. 주로 점토, 모래, 역 등으로 구성된 하상 퇴적물로 되어있다. 부산지역의 제 4기 충적층은 대체로 해안을 따라서 분포하고 주로 점토, 모래, 자갈 등으로 구성된 하상 퇴적물로 구성되어 있다. 언양지역은 고지를 형성하는 산록지역에서 동류나

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

서류하는 지류들이 모량단층선과 양산단층선을 따라서 발달하는 단양천 등의 비교적 큰 규모의 하천과 합류되는 수계를 형성하며, 제 4기 충적층도 이들 수계의 분포와 밀접하게 연관되어 발달한다. 각 산록의 계곡을 따라 형성된 지류들에는 산록사면의 봉적퇴적층에서 유래된 역질의 퇴적물이 우세하며, 모량단층선과 양산단층선을 따라서 발달하는 비교적 큰 규모의 하천에서는 하도나 범람원 등의 지형요소를 형성하는 역질, 사질 또는 이질의 제 4기 퇴적물이 분포한다. 부지반경 40 km내에 산출되는 모든 구성암류들을 지질계 통표로 나타내면 다음과 같다.

제 4기	—	충적층 ~부정합~
제 3기	[퇴적암류 ~부정합~ 산성화산암류 -관입·분출- 산성암맥 염기성암맥 화강암 -관입-
백악기	[규장암 미문상화강암 아다멜라이트 토날라이트 반화강암 불국사관입암류 화강섬록반암 -관입- 흑운모화강암 각섬석화강암 화강섬록암 -관입- 장석반암 -관입- 유문암질암류 응회질퇴적암 안산암질암류 -관입·분출-
	[유천층군
	[하양층군 — 퇴적암류

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

2.5.1.2.1.3 지질구조

부지반경 40 km 지역에 대한 조사는 북서부의 언양지역, 북동부의 울산지역, 중서부의 양산지역, 중동부의 월내지역, 남부의 부산지역으로 구분하여 조사를 수행하였다.

반경 40 km 지역에는 주로 백악기의 퇴적암류인 하양층군, 백악기 말의 화산암인 유천층군, 백악기 말~제 3기 초의 화강암, 그리고 제 3기 중엽의 맥암류와 이들을 부정합으로 피복하는 제 4기 충적층 등으로 구성되어 있다.

반경 40 km 지역에는 모량단층, 양산단층, 동래단층, 일광단층 등으로 이루어진 양산단층계의 단층들이 발달하고 있으며, 암석의 분포는 모량단층, 양산단층, 동래단층, 일광단층 등의 단층계에 의해 단절되거나 변위되어 있다. 특히 양산단층을 중심으로 양산단층의 동편과 서편은 상이한 암석분포 상태를 보이고 있다.

반경 40 km 지역의 선구조는 북북동(N10~30°E) 방향 및 북북서 내지 남북(N20°W~NS) 방향의 선구조가 가장 우세하게 발달하고 있다. 또한 반경 40 km 지역에 발달하는 절리는 방향에 따라 고각의 남북 주향, 동서 주향, 북동 주향, 북서 주향과 거의 수평하거나 경사가 완만한 평판절리로 구분되나, 대체적으로 남북 주향, 동서 주향 및 북동 주향의 절리가 우세하게 발달하는 경향을 보인다. 조사영역 구분은 남북 방향은 단층 발달 상태에 따라 분할 하였고 동서 방향은 조사의 편의에 따라 다음과 같이 구분하였다(그림 2.5-14).

구 분	조사영역	분 포 암 석	절 리	단 층
양산 지역	D1	유천층군 : 안산암질암 및 유문암질암 불국사 관입암 : 흑운모화 강암	동서 북동 남북 북서	북동-북북동 방향의 우수향 주향이동단층 북서-서북서 방향의 좌수향 주향이동단층 동서 방향 및 남북 방향의 경사이동 및 사교이동 단층
	D2		남북-북북동 서북서 동서	
월내 지역	D3	유천층군 : 안산암질암 및 장석반암 불국사 관입암 : 흑운모화 강암	남북-북북동 서북서	북동-동북동 방향의 우수향 및 좌수향 주향이동단층 북서-북북서 방향의 좌수향 주향이동단층 북북동 방향의 우수향 주향이동단층 동서 방향의 역단층 남북 방향의 정단층 및 역단층
	D4	하양층군 : 퇴적암류 유천층군 : 안산암질암 불국사 관입암	남북-북동 북서 동서	
	D5	하양층군 : 퇴적암류 유천층군 : 안산암질암, 불국사 관입암	동서	

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

구 분	조사영역	분 포 압 석	절 리	단 층
부산 지역	D6	유천층군 : 안산암질암 불국사 관입암 : 흑운모화강암 및 미문상화강암	북동 동서 북서	-
	D7	하양층군 : 퇴적암류 유천층군 : 안산암질암 응회질 퇴적암, 유문암 불국사 관입암	북동 동서 북서	북서 방향의 정단층 북북동-북동 방향의 우수향 주향이동단층
	D8	하양층군 : 퇴적암류 유천층군 : 안산암질암	북동 동서	북동 방향의 우수향 및 좌수향 주향이동단층
	D9	하양층군 : 퇴적암류 유천층군 : 안산암질암 불국사 관입암	북서 북동 동서	북동 방향의 주향이동 단층
언양 지역	D10	유천층군 : 안산암질암 불국사 관입암 : 흑운모화강암	북북동-북동 서북서 북동	북동 방향의 우수향 정단층 북서 방향의 좌수향 역단층
	D11			
	D12	하양층군 : 쇄설성퇴적암 유천층군 : 안산암질암 불국사 관입암 : 화강섬록암	남북-북북동 북서 북서-동서	북동 방향의 우수향 주향이동단층
울산 지역	D13	하양층군 : 쇄설성퇴적암 불국사 관입암 산성맥암류	북북동-북동 동서 서북서	동북동-북동 방향의 주향이동단층 및 정단층

상기 표에 나타난 바와 같이 반경 40 km 지역에 분포하는 절리의 발달상태는 모량단층 서측(영역 D1)에서는 동서 방향의 절리의 빈도수가 가장 높게 나타나며 모량단층 동측으로부터 일광단층 서측에 이르는 양산단층계 발달지역에서는 남북-북북동 방향의 절리의 빈도수가 가장 높게 나타난다. 일광단층 동측지역에서는 동서방향(영역 D5) 및 북서방향(영역 D9)의 절리의 빈도수가 남북-북북동 또는 북동 방향의 절리 빈도수 보다 높은 양상을 보인다. 모량단층 동측지역으로부터 일광단층 서측에 이르는 지역은 양산단층계가 이들 지역의 절리 형성에 가장 지배적인 역할을 했던 것으로 판단할 수 있다. 그러나 이 중 영역 D7 지역은 북동 방향의 절리뿐만 아니라 상대적으로 북서 방향의 절리도 우세하게 발달하고 있다. 절리 발달 양상을 암상별로 살펴보면 대체적으로 하양층군에서 동서 주향과 남북 주향이 우세하고, 유천층군에서 북동 주향이 우세하며, 불국사 관입암류에는 남북 주향, 동서 주향 및 북동 주향이 우세하다. 그러나 구조구별 절리의 우세방향은 암종별 방향성과 유사점을 찾아볼 수도 있지만 서쪽에서 동쪽으로 지역적인 이동에 따라 변화하는 절리의 주향 방향은 절리의 생성순서를 지시하는 것으로 보기는 곤란하며,

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

단층으로 경계 지어진 각 영역의 응력장의 차이 등 복합적인 요인에 의한 것으로 보는 것이 보다 타당하다.

반경 40 km 지역에 분포하는 단층은 주향이동단층과 경사이동단층으로 대별되며 경사이동단층은 방향에 따라 동서 방향과 남북 방향의 단층군으로 분류되고 주향이동 단층은 북동-북북동 방향과 북서-서북서 방향으로 분류된다.

경사이동단층군은 주향이동단층군에 비해 규모가 작으며 지질도상에서 지질구조선을 형성하지 못한다. 다만 다대포 지역(D7)에서는 퇴적분지 형성과 관련이 있을 것으로 보이는 성장단층성의 북서 방향의 정단층이 다른 지역에 비해 우세하게 발달한다. 주향이동 단층은 북동-북북동 방향의 우수향 및 좌수향 주향이동단층과 북서-북북서 방향의 좌수향 주향이동단층이 지배적으로 발달하고 있다. 이 중 북동-북북동 방향의 우수향 주향이동단층이 우세하게 발달하며 북서-서북서 방향의 좌수향 주향이동단층을 절단하고 있어 부지 반경 40 km 지역은 양산단층계의 단층들이 지배적인 지질구조를 형성하고 있는 것으로 판단된다.

2.5.1.2.1.3.1 월내지역

월내지역의 주요 단층으로는 양산단층계의 일원인 북북동-남남서 방향의 동래단층과 일광단층이 있다. 이들 주요 단층을 기준으로 월내지역을 서부, 중부, 동부로 나누어 월내 지역의 지질구조를 살펴보면 다음과 같다(그림 2.5-14).

동래단층의 서부에 해당하는 서부영역(영역 D3)에는 유천층군의 안산암질암류 및 장석반암과 이를 관입하고 있는 불국사관입암류의 흑운모화강암이 주로 분포한다. 하양층군의 퇴적암류는 그 북부에 국한되어 소규모로 분포한다. 이들 구성암류는 일반적으로 서북서 내지 북서 방향의 대상분포를 보이고 이들의 연장성은 동래단층에 의해 단절된다. 주요 단층으로는 신현리 일대에서 관찰되는 북북동 방향(신현리단층, 참고문헌 43)과 북동 내지 동북동 방향 그리고 북서 방향의 단층 등이 있다. 북북동 방향의 신현리단층은 하양층군의 퇴적암류와 유천층군의 안산암질암류 사이의 연장성을 단절시키고 남측의 흑운모화강암내로 연장되어 동래단층과 만난다.

동래단층의 동부와 일광단층의 서부에 해당하는 중부영역(영역 D4)은 주로 유천층군의 안산암질암류로 구성되어 있다. 이에 관입 내지 분출 피복된 하양층군의 퇴적암류는 북부와 남부에 소규모로 분포하고, 이들을 관입하고 있는 불국사관입암류는 산재되어 분포한다. 이들 각각의 구성암류는 동래단층에 의해 단절되어 서부영역의 동일 구성암류와 연장되지 못하고, 중부영역의 중동부에 분포하는 각섬석화강암과 남동부에 분포하는 안산암질암류와 퇴적암류의 연장성은 일광단층에 의해 단절된다. 동래단층과 일광단층에 의해 경계져 있는 중부영역에는 다수의 단층들이 발달한다. 이들 단층은 주로 주향이동 단층을 나타내고 경사이동 단층도 몇몇 관찰된다. 이들 단층의 방향성은 북북동 방향, 북

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

동 내지 동북동 방향, 북서 내지 북북서 방향 그리고 서북서 내지 동서 방향 등으로 구분된다.

일광단층의 동부에 해당하는 동부영역(영역 D5)에는 북부와 남부에 하양층군이 중남부에 유천층군이 그리고 동부에 불국사관입암류가 각각 분포한다. 이들 각각의 구성암류는 일광단층에 의해 단절되어 중부영역의 동일 구성암류와 연장되지 못한다.

월내지역의 북부에 광범위하게 분포하고 남부에 소규모로 분포하는 하양층군 퇴적암류의 층리면은 동서 주향에 남쪽으로 40° 이하로 경사하는 성분과 북북동 주향에 동쪽으로 $40\sim 50^\circ$ 로 경사하는 성분이 우세한 방향성으로 인지되나, 대체로 매우 분산된 방향성을 보인다(그림 2.5-20(a)). 이들 분산된 방향성은 아래와 같이 영역별로 특징적인 방향성을 보인다.

서부영역(영역 D3)에서 층리면은 일반적으로 북서에서 동북동 방향에 이르는 다양한 주향 성분을 보이며 저각으로 경사한다(그림 2.5-20(b)). 신현리단층을 기준으로 서부에서는 주로 북북서 주향에 서쪽으로 경사하고 동부에서는 주로 동북동 주향에 남쪽으로 경사하고 동래단층으로 갈수록 북동 주향에 동쪽 경사로 변화한다.

중부영역(영역 D4)에서 층면의 자세는 역시 다양한 주향 성분과 경사 성분을 보이나, 일반적으로 동서 주향에 남쪽으로 경사하는 성분들이 우세하게 나타난다(그림 2.5-20(c)). 동서 주향에 남쪽으로 30° 이하의 경사를 보이는 회야호 주변의 층리면은 동래단층과 일광단층의 주변부로 갈수록 북북동 주향에 동쪽으로 경사하게 되고 회야호 남쪽으로 갈수록 동일 주향 및 경사 성분에 50° 이상의 고각으로 변화한다. 동서 주향에 남쪽으로 50° 이상의 고각을 보이는 회야호 남쪽지역에서는 $N72^\circ W/46^\circ SW$ 의 단층면을 갖고 상반이 북쪽으로 충상하는 역단층이 관찰된다.

동부영역(영역 D5)에서 층리면은 북북동 주향에 동쪽으로 저각 내지 중각으로 경사하는 성분이 우세하게 나타나고 동서 주향에 남쪽으로 저각 경사하는 성분은 부수적으로 나타난다(그림 2.5-20(d)). 이들 중에 동쪽으로 저각 경사하는 층리면은 일광단층 주변부의 퇴적암류에서 관찰되고, 중각으로 경사하는 층리면은 일광단층과 동해 사이에 분포하는 퇴적암류에서 관찰되며, 남쪽으로 저각 경사하는 층리면은 동해 주변의 퇴적암류에서 관찰된다. 북북동 주향에 동쪽으로 중각 경사를 보이는 일광단층과 동해 사이의 지역에서는 상반이 남서쪽으로 충상하는 역단층과 이에 수반된 준 수평적인 습곡축과 $N10^\circ W/64^\circ NE$ 방향의 습곡축면을 갖는 끌림습곡(drag fold)이 관찰된다. 영역 D8에서 층리면은 동서 주향에 북쪽으로 저각 경사하는 성분이 우세하게 나타나고(그림 2.5-20(e)), 동서 방향의 단층이 발달하는 곳에서 경사 성분은 중각으로 변화한다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

2.5.1.2.1.3.2 양산지역

양산지역의 주요 단층으로는 양산단층계의 일원인 북북동-남남서 방향의 모량, 양산, 동래단층과 일광단층이 있다. 이들 주요 단층과 서북서 방향의 낙동강을 따라 발달한 것으로 추정되는 단층 및 이와 평행한 선구조를 기준으로 조사지역을 2개의 영역으로 분할하였다.

영역 D1, D2에 해당하는 밀양과 양산 사이의 유천층군은 하부의 안산암질암류와 상부의 유문암질암류로 크게 나뉘어진다. 안산암질류는 안산암질 래필리응회암, 밀양안산암, 정각산층으로 구성되어 있다. 유문암질류는 대부분 강하응회암 및 회류응회암으로 구성되어 있으며, 칼데라 형성과 관련된 분출암을 하나로 묶어 각각 양산응회암, 원동응회암 및 삼랑진응회암으로 칭한 바 있다(참고문헌 68, 69, 83, 84, 85). 양산칼데라, 원동칼데라 및 삼랑진칼데라는 모두 환상암맥, 중앙도움, 소생관입체 등으로 구성되며, 회류응회암-칼데라-환상암맥으로 연결되는 복합체(ash flow tuff-caldera-ring dyke complex)를 이루고 있다(참고문헌 86). 그 외 백악기 후기에 위의 암석을 관입한 흑운모화강암이 분포한다. 이 영역에는 암상에 관계없이 절리 및 단층 등 취성변형구조가 발달되어 있다. 영역 D1에는 동서 방향의 주향을 가지는 인장절리의 발달이 우세하고, 영역 D2에서는 서북서 방향의 어영단층대 북부는 남북 내지 북북동 방향의 절리가 우세하며 어영단층 남부에서는 북동방향의 절리가 우세하다. 영역 D2에서는 양산단층대와 거의 평행한 북북동 내지 북동방향의 주향이동단층들이 우수주향이동 운동감각을 보이며, 어영단층과 거의 평행한 서북서 방향의 단층들은 좌수주향이동 운동감각을 보이는 게 특징이다.

2.5.1.2.1.3.3 부산지역

부산지역은 백악기 이후의 지질시대를 지시하는 암체들로 이루어져 있으며 단층운동과 같은 취성변형운동이 우세하다. 조사지역의 주요 단층으로는 양산단층계의 일원인 북북동-남남서 방향의 모량, 양산, 동래단층과 일광단층이 있다. 이들 주요 단층과 서북서 방향의 낙동강을 따라 발달한 것으로 추정되는 단층 및 이와 평행한 선구조를 기준으로 조사지역을 4개의 영역으로 분할하였다(그림 2.5-14). 따라서 조사지역을 서부, 중부, 동부로 분할하여 조사지역의 지질구조를 전체적으로 살펴보면 다음과 같다.

모량단층과 양산단층 사이에 위치하는 영역 D6은 유천층군 하부의 안산암질암류와 불국사 관입암인 흑운모화강암과 마산암으로 분류되어 있는 미문상화강암으로 나뉘어진다. 안산암질류는 주산안산암질, 도대동안산암질암으로 주로 안산암과 역질안산암으로 구성되거나 안산암은 흑운모화강암의 관입으로 대부분 변질되어 있다. 이 영역에는 암상에 관계없이 절리 및 단층 등 취성변형구조가 발달되어 있다. 이 영역의 북쪽에는 양산단층대와 평행한 북북동 내지 북동 방향의 주향이동단층들이 우수향이동 운동감각을 보이며 규장반암, 함력질안산암 그리고 마산암류를 절단하고 있다. 이들 구성암상류는 일반적으로 동북동 내지 동서 방향의 대상분포를 보이고 이들의 연장성은 양산단층에 의해 단절된다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

영역 D7은 양산단층 동편과 동래단층의 서편지역으로 최남단에 위치한 다대포층을 비롯하여 유천층군의 안산암질암류, 응회질퇴적암, 유문암질암류 그리고 불국사관입암류 등이 모두 분포한다. 다대포층이나 암회색 응회질퇴적암은 대체적으로 층리의 주향과 같은 서북서 내지 북서 방향의 분포를 보이며 특히 다대포층의 분포는 외곽이 양산단층과 동래단층 그리고 서북서 방향의 추정단층에 의하여 경계 지워지는 평행사변형 형태를 나타낸다. 또한 다대포층에는 전형적인 퇴적동시기성 구조운동을 반영하는 성장단층들이 나타나는 바, 분지의 확장 방향 및 기반암의 초기경사를 짐작하게 해주며, 분지형성과 관련된 북서 방향의 인장성 단층들이 상당수 분포함이 특징이다.

동래단층의 동부와 일광단층의 서부에 해당하는 영역 D8은 주로 유천층군의 안산암질암류로 구성되어 있다. 이들에 의해 관입 내지 분출 피복된 하양층군의 퇴적암류는 북부와 남부에 소규모 분포하고 이들을 관입하고 있는 불국사관입암류는 부산 중부지역에 분포한다. 특히 안산암질암은 동래단층에 의해 단절되어 서부영역의 동일 구성암류와 연장되지 못한다. 영역 D8내에는 주로 주향이동성 단층들이 관찰되며 경사이동 단층도 몇몇 관찰된다. 이들 단층의 방향성은 동래단층과 일광단층의 방향성과 일치하는 북북동 방향과 북동 방향이다.

일광단층의 동부에 해당하는 영역 D9에는 북쪽에서부터 하양층군, 유천층군 그리고 불국사관입암체가 분포한다. 정상적인 하양층군의 퇴적암들은 층리의 발달이 양호하나 그 밖의 화산성의 암층들은 층상구조나 유상구조가 미약하게 발달된다.

조사지역의 남부에 주로 분포하고 중앙부에 소규모 분포하는 퇴적암류의 층리면은 각각 북서 방향의 주향에 북동쪽으로 45° 이하로 경사하는 성분과 북동 주향에 북서 방향 30° 로 경사하는 성분이 우세한 방향성으로 인지된다. 남부의 다대포층은 하부 지층에서 동서 방향의 주향에 10° 내외의 경사가 상부지층으로 갈수록 북서 방향의 주향에 북동 방향 30° 로 경사하는 즉, 주향이 시계방향으로 회전함에 따라 점진적으로 경사가 증가하는 경향을 보여준다(그림 2.5-21(b)). 이러한 지층자세의 변화는 다대포층의 퇴적 초기양상을 반영하는 것으로 판단된다. 한편, 영역 D8에 분포하는 응회질퇴적암의 층리면은 일반적으로 다대포층보다 더 잘 발달되는 편이나 층리의 방향은 지역별로 변화를 보인다. 이러한 점은 불연속적으로 분포하는 본암이 퇴적시에 불규칙하고 다양했던 지형과 환경에 지배받은 데 이유가 있을 것이다. 그러나 영역 D8의 중남부에 위치하는 응회질퇴적암에는 완만한 향사구조가 인지된다(그림 2.5-21(c)). 영역 D9에서 층리면은 북동 주향에 북서쪽으로 저각 내지 중각으로 경사하는 성분이 우세하게 나타나며 일광단층쪽으로 접근할수록 다소 경사가 급하게 나타난다(그림 2.5-21(d)).

한편, 부산지역의 영역 D7에 속하는 다대포지역과 영역 D8에 속하는 장산지역에서 암맥들의 방향은 매우 특이하게 나타났다(그림 2.5-22). 다대포지역의 암맥들은 대부분 기존의 단층면과 거의 동일한 방향을 따라 관입하였고, 현무암질암맥 및 안산암질암맥이 대부

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

분으로 다대포층을 거의 수직으로 관입하며 관입면의 주향은 대체로 북서 방향이다. 장산지역의 암맥들은 대부분 중성질의 안산암질암이며 이들의 방향은 북동 주향에 북서로 79°로 경사한다. 이 두 지역의 암맥들은 상이한 구조적 응력에 기인한 것들로 시간적인 간격을 가지고 생성된 것으로 판단된다.

2.5.1.2.1.3.4 언양지역

언양지역에는 양산단층계의 주 단층인 북북동-남남서 방향의 양산단층과 이에 평행한 모량단층이 발달한다. 양산단층은 항공사진이나 인공위성사진에서 뚜렷한 선형구조로서 나타나, 야외지질조사에서는 양산단층대가 대부분 풍화 퇴적물로 덮여 있기 때문에 단층의 증거 확인이나 파쇄대 관찰이 용이하지 않다. 양산단층과 연관된 파쇄대와 단층점토는 삼남면 상천리의 소하천 바닥과 봉길리 고속도로변에서만 국부적으로 관찰할 수 있다. 그럼에도 불구하고 뚜렷한 선형구조의 발달, 단층을 경계로 지질분포의 확연한 차이, 양산단층과 인접하여 평행하게 발달하는 북북동-남남서 방향의 소규모 단층대 등으로부터 양산단층의 존재를 인지할 수 있다. 모량단층은 양산단층으로부터 약 8~9km 서쪽에 위치한다.

이 지역의 지질은 양산단층을 기준으로 동부와 서부의 지질분포 양상이 확연히 다르게 나타난다. 영역 D12(그림 2.5-14)에 해당하는 양산단층의 동편은 주로 백악기 경상누층군의 하양층군에 속하는 쇄설성퇴적암류가 분포하며 일부 유천층군에 속하는 안산암질 화산암과 화강섬록암이 분포한다. 이에 반하여 영역 D11(그림 2.5-14)에 해당하는 양산단층의 서편은 경상누층군의 유천층군에 속하는 안산암질 화산암과 흑운모화강암이 분포한다. 화강암류의 산출이나 성분도 양산단층을 경계로 다르게 나타난다. 양산단층의 동부에는 화강섬록암이 압주 형태로 분포하나 양산단층의 서부에는 화강암이 안산암질 화산암의 기반을 형성하며 저반 형태로 분포한다. 가지산 석남사 입구를 지나는 모량단층은 북북서 방향으로 발달하는 계곡을 따라 양산군 원동면으로 연장된다. 이 단층은 안산암과 안산암질 응회암류들로 이루어지는 백악기 화산암과 화강암체를 관통하고 있으나 단층 변위가 지질도상에서 뚜렷하게 나타날 정도로 크게는 인지되지 않는다. 모량단층은 석남사에서 이천리 구간에서 확인되는 모량단층대는 단층의 경사가 고각이며 파쇄대의 폭이 넓은 것이 특징이다.

2.5.1.2.1.3.5 울산지역

울산지역의 주요 단층으로는 울산단층과 동래단층 및 일광단층이 발달한다(그림 2.5-14). 울산지역 동쪽인 동래단층의 연장부 주위에는 백악기의 퇴적암류를 기반으로 이들 퇴적암을 관입한 화강암류 및 산성맥암류들이 대부분을 차지한다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

2.5.1.2.1.3.6 선구조

부지반경 40 km 광역지질의 선구조 분석을 위하여 JERS-1 SAR(Synthetic Aperture Radar) 자료와 Landsat-5 TM(Thematic Mapper) 자료를 이용하여 부지반경 40 km 내의 선구조를 수동으로 추출하고, 또한 자동으로 선구조 추출하여 비교하였다.

선구조 자료

JERS-1 SAR : JERS-1(Japanese Earth Resources Satellite)은 일본 NASDA(National Space Development Agency)에 의해 지구 자원탐사를 목적으로 1992년 2월 발사되었으며, 광학 센서인 OPS(optical sensor)와 레이더 센서인 SAR를 탑재하고 1998년 10월까지 작동하였다.

레이더 센서인 SAR의 경우 사용한 밴드는 L-밴드(파장 약 23.5 cm)이며, 해상도는 18 m 이다. 영상의 관측폭(swath width)은 대략 75 km 정도이다. JERS-1 SAR의 주요 제원들은 표 2.5-1에 나타내었다.

일본 NASDA를 통하여 부지반경 40 km 지역에 해당하는 데이터를 취득하였다. 각 SAR 자료 세트에 해당하는 영상은 총 3개의 영상으로 이루어지며, 각 영상이 포함하는 영역은 그림 2.5-23과 같다. SAR 로우(raw) 데이터는 아틀란티스사의 EV-SARP(Earthview SAR Processor)를 이용한 자료처리 단계를 거쳐 1차적으로 영상을 얻었다. 처리된 영상에 존재하는 스팍클(speckle) 노이즈를 제거하기 위해 스팍클 필터링 과정을 거쳐 이를 제거 하였다. 다음으로 각 영상의 기하학적 왜곡을 없애기 위해 영상과 지도를 비교하여 GCP(Ground Control Point)를 잡아 기하보정(geometric correction)을 하고, 이들 각각 영상들을 모자이크(mosaic)하여 최종 영상을 얻었다. 모자이크를 통해 얻어진 최종 영상은 그림 2.5-24와 같다.

Landsat-5 TM : Landsat-5 위성은 센서로 80 m 해상도를 가진 MSS(Multi-Spectral Scanner)와 30 m 해상도의 TM을 탑재하고 있다. Landsat-5에 관한 주요 제원은 표 2.5-2에 나타내었다. TM 센서는 7개의 전자파 스펙트럼 밴드를 가지고 있으며, 각각 그 목적을 달리하는 가시광선, 근적외선, 중적외선, 열적외선 영역의 밴드로 나누어져 있다. TM센서에 관한 자세한 내용은 표 2.5-3에 나타내었다.

선구조 분석

수동 선구조 분석 : JERS-1 SAR와 Landsat-5 TM을 이용하여 수동으로 선구조 분석을 하여 각각의 영상에 선구조를 중첩한 이미지는 각각 그림 2.5-25, 그림 2.5-26과 같다. Landsat 위성들의 광센서(MSS와 TM)들은 수직으로 지구 표면을 관측하는 한편, 항공기 또는 인공위성에 탑재된 SAR 시스템은 측사영상기하형태(side-looking imaging

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

geometry)를 이용하기 때문에 이 두 자료에서 얻어지는 선구조에는 차이가 있을 수 있어 두 영상을 서로 보완적으로 사용하여 수동 선구조 분석을 하였다.

자동 선구조 분석 : 자동 선구조를 추출하는 방법은 몇 가지 있지만, 일반적으로 지질학적 선구조 추출에 널리 이용하는 호프변환(hough transform)을 사용하여 선구조를 추출하였다. 호프변환을 이용하여 추출한 선구조를 각각의 영상에 오버랩한 이미지는 각각 그림 2.5-27 및 그림 2.5-28과 같다. JERS-1 SAR 자료와 Landsat TM 자료를 이용하여 자동 선구조 분석과 수동 선구조 분석을 하여 얻은 최종 결과를 부지반경 40 km 전체를 포함하는 지형도에 오버랩 시킨 결과는 그림 2.5-29에 나타내었다.

그림 2.5-29에 나타난 선구조 중에 낙동강을 지나 북북동(약 $10\sim30^\circ$) 방향으로 가장 길게 나타나는 선구조는 지질도상의 양산단층과 그 방향이 잘 일치하여 나타난다. 또한 양산단층의 좌우로 북북동(약 $10\sim30^\circ$) 방향의 선구조가 길게 나타나는데, 부산의 북쪽에서부터 북북동(약 $10\sim30^\circ$) 방향으로 울산에 이르는 선구조는 지질도상의 동래단층에 해당한다. 양산단층의 좌측으로는 낙동강을 가로질러 북북동(약 $10\sim30^\circ$) 방향으로 길게 나타나는 선구조를 볼 수 있는데 이는 지질도상의 밀양단층에 해당하며 그 방향성 또한 잘 일치함을 알 수 있다. 북북서(약 $340\sim360^\circ$) 방향으로서는 그림 2.5-29의 위쪽 상단에 울산을 가로질러 북북서(약 $340\sim360^\circ$) 방향으로 나타난 선구조를 볼 수 있는데 이는 지질도상의 울산단층과 잘 일치한다. 특히 부지 근처를 지나가는 선구조로는 기장, 월내를 지나 울산에 이르는 북북동(약 $10\sim30^\circ$) 방향의 선구조가 길게 나타나는데, 이는 지질도상의 일광단층에 해당한다. 따라서 지질도상에 나타난 대규모의 단층, 양산단층, 동래단층, 밀양단층, 울산단층, 일광단층 등은 40 km 광역지질 선구조 분석에서도 잘 나타남을 알 수 있었다.

부지반경 40 km 지역에 발달하는 선구조를 그 빈도수와 길이에 따라 장미원도(rose diagram)에 도시한 결과는 그림 2.5-30에 나타나 있다. 그림 2.5-30(a)는 방향에 따른 빈도수를 나타낸 것으로 선구조의 방향성은 북북동($10\sim30^\circ$) 방향이 우세하고, 다음으로 북북서($350\sim360^\circ$) 방향 등이 우세하게 나타났다. 그림 2.5-30(b)는 길이에 따라서 방향을 나타낸 것으로 북북동($10\sim30^\circ$) 방향이 우세하게 나타남을 알 수 있다.

2.5.1.2.1.3.7 절리

절리면의 방향성은 매우 다양하게 나타난다. 생성순서가 다른 암석에 분포하는 절리조의 방향을 분석하였다. 또한 북동 방향과 서북서 방향의 단층을 기준으로 조사지역을 13개의 영역으로 나누었으며 각 영역에서의 절리조의 발달 방향을 분석하였다.

월내지역

월내지역에서 발달된 각 방향 셋트 절리면의 상대적인 발달정도 및 우세한 방향성은 북

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

동 방향군($N30\sim45^{\circ}E$)의 절리면이 가장 우세하게 나타나고 남북 방향군($N0\sim15^{\circ}E$)과 동서 방향군($N75\sim90^{\circ}E$)의 절리면들이 그 다음으로 우세하게 나타나며 북서 방향군의 발달 정도는 낮게 나타난다. 월내지역에서 북동 방향군의 절리면이 우세하게 나타나고 북서 방향군 절리면의 발달정도가 현저히 낮음은 상기된 각 방향군별 전단성 절리의 전단운동 감각과 밀접한 관련성이 있는 것으로 판단된다.

층군별 각 방향군 절리면의 상대적인 발달정도 및 우세한 방향성은 다음과 같다.

- 가. 하양층군 : 남북 방향군이 가장 우세하게 나타나고 그 외에 북동 방향군과 동서 방향군($N60\sim75^{\circ}W$ 와 $N60\sim75^{\circ}E$)이 우세하게 나타난다(그림 2.5-31(a)).
- 나. 유천층군 : 북동 방향군이 가장 우세하게 나타나고 그 외에 동서 방향군($N75\sim90^{\circ}E$)이 우세하게 나타난다(그림 2.5-31(b)).
- 다. 불국사관입암류 : 동서 방향군($N75\sim90^{\circ}E$)의 절리면이 현저하게 발달한다(그림 2.5-31(c)).

이러한 암종별 각 방향군 절리면의 상대적인 발달정도 및 우세한 방향성으로부터 월내지역의 절리면은 하양층군의 남북 방향군($N0\sim15^{\circ}E$)과 동서 방향군($N60\sim75^{\circ}W$), 유천층군의 북동 방향군($N30\sim45^{\circ}E$), 불국사관입암류의 동서 방향군($N75\sim90^{\circ}E$) 순서로 발달하였음이 인지된다.

유천층군이 주로 분포하는 영역 D4(그림 2.5-32(a))와 불국사관입암류가 보다 우세하게 분포하는 영역 D5(그림 2.5-32(b))에서 절리면의 우세한 방향성은 각각 유천층군과 불국사관입암류에서의 우세한 방향성과 일치한다.

야외에서 탁월하게 발달된 절리들은 신장성과 전단성으로 구분된다(그림 2.5-33). 이들 사이의 방향적 사고관계로부터 결정된 각 방향군별 전단성 절리의 특성은 다음과 같다.

- 가. 남북 방향군의 전단성 절리 : 일반적으로 북동 방향의 신장성 절리를 수반하는 우수향 전단감각을 보이고 북서 방향의 신장성 절리를 수반하는 좌수향 전단성 절리는 드물게 관찰된다(그림 2.5-33(a)).
- 나. 동서 방향군의 전단성 절리 : 일반적으로 북동 방향의 신장성 절리를 수반하는 좌수향 전단감각(그림 2.5-33(b), (c))을 보이고 북서 방향의 신장성 절리를 수반하는 우수향 전단성 절리는 드물게 관찰된다(그림 2.5-33(d)).
- 다. 북동 방향군의 전단성 절리 : 일반적으로 동서 방향의 신장성 절리를 갖는 우수향 전단감각을 보인다(그림 2.5-33(e)).
- 라. 북서 방향군의 전단성 절리 : 일반적으로 북서 방향의 신장성 절리를 갖는 좌수향 전단감각을 보인다(그림 2.5-33(f)).

양산지역

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

영역 D1, D2, D3에 해당되는 양산지역에 분포하는 각 암상별로 발달하는 절리의 방향자료를 종합하여 분석하면 다음과 같다. 안산암질암류에 발달되어 있는 절리는 남북 방향(약 20%), 서북서 방향(약 20%), 북동 방향(약 20%)의 주향을 가지는 절리조가 우세하다(그림 2.5-34(a)). 유문암질암류에 발달되어 있는 절리는 남북 내지 북동 방향(약 50%)의 주향을 가지는 절리조가 가장 우세하며, 북서 방향(약 20%)과 동서 방향(약 10%)의 주향을 가지는 절리가 우세하다(그림 2.5-34(b)). 관입암류에 발달되어 있는 절리 중에서 북동 방향 및 남북 방향이 가장 우세하며 동서 방향의 주향을 갖는 절리도 우세하게 발달한다(그림 2.5-34(c)).

전체적으로 보면, 가장 오래된 안산암질암류에 발달된 절리조들과 가장 젊은 암석인 관입암류에 발달된 절리조들의 방향이 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 남북 내지 북북동 방향(약 40%)의 주향을 가지는 절리조가 가장 우세하며, 서북서 방향(약 20%)의 주향을 가지는 절리가 우세하다(그림 2.5-34).

영역 D1에는 동서 방향의 주향을 가지는 절리조(약 30%)가 우세하게 발달되어 있으며, 북동(약 20%), 남북, 북서 방향의 주향을 가지는 절리조 순서로 우세하게 발달되어 있다(그림 2.5-35(a)). 삼랑진응회암이 퇴적된 이후에 삼랑진칼데라 주변부를 따라 관입한 유문암에 발달되어 있는 인장절리는 약 50% 이상이 동서 방향의 주향을 가진다.

영역 D2에서 가장 오래된 암석인 안산암질류에는 모든 방향의 주향을 보이는 절리조들이 발달되어 있으나 약 30%이상이 북동 방향의 주향을 가진다. 다음으로 오래된 유문암질암류 중 양산응회암에는 북동 방향의 주향을 가지는 절리조와 북서 방향을 가지는 절리조가 우세하게 발달한다. 반면에 원동응회암에는 동서 방향의 주향을 가지는 절리조가 가장 우세하며, 북동 및 북서 방향의 주향을 가지는 절리조가 우세하게 발달되어 있다(그림 2.5-35(b)). 영역 D2에서 가장 젊은 암석인 흑운모화강암은 서북서 방향의 주향을 가지는 어영단층 북쪽에 주로 분포하고, 이 암석 내에는 남북 내지 북북동 방향의 주향을 가지는 절리조가 가장 우세하게 발달되어 있으며, 그 외 서북서 및 동서 방향의 절리가 우세하다.

북동 방향의 양산단층 및 동래단층과 경부고속도로를 따라 발달된 것으로 추정되는 서북서단층으로 구분되는 영역 D3에는 안산암질암류, 유문암질암류, 장석반암 및 흑운모화강암이 주로 분포하고 있다. 남북, 동서, 북동, 북서 방향의 주향과 고각도의 경사각을 갖는 인장절리들이 우세하게 발달하며, 층리면과 평행한 절리 및 흑운모화강암에 발달한 관상절리가 저각도의 경사각을 가지고 발달하여 있다. 영역 D3에서 가장 오래된 암석인 안산암질류에는 모든 방향의 주향을 보이는 절리조들이 발달되어 있으나 약 30%이상이 북북동 방향의 주향을 가지며, 약 20%의 절리조는 서북서 방향의 주향을 가진다. 다음 오래된 정각산층에 발달되어 있는 절리조들은 남북 방향의 주향이 가장 우세하며, 동서 방향의 주향도 우세하다(그림 2.5-35(c), (d)). 장석반암에 발달되어 있는 인장절리들은

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

북북동 내지 남북 방향의 주향을 가진다. 영역 D3에서 가장 젊은 암석인 흑운모화강암 내에는 북동북 방향의 주향을 가지는 절리조가 가장 우세하게 발달되어 있으며, 서북서 방향의 절리가 우세하다.

위에 기술한 절리의 방향자료를 시·공간적으로 분석해 보면 조사지역 중 가장 서쪽에 위치한 영역 D1에서는 동서 방향의 주향을 가지는 절리가 가장 우세하며, 북동, 남북-북서 방향의 주향을 가지는 절리가 우세하다. 중간에 위치한 영역 D2에서 오래된 암석이 분포하고 있는 어영단층 남쪽에서는 영역 D1과 비슷하게 동서, 북동, 북서 방향의 주향을 가지는 절리가 우세하며, 젊은 암석이 분포하는 어영단층의 북쪽에서는 영역 D3과 비슷한 남북 내지 북북동 방향의 주향을 가진 절리가 가장 우세하며, 서북서 방향과 동서방향의 주향을 가지는 절리의 발달이 우세하다. 동쪽에 위치한 영역 D3에서는 오래된 암석인 안산암질암류 및 젊은 관입암류 모두에서 남북 내지 북북동 방향의 주향을 가지는 절리가 가장 우세하며, 서북서 방향의 주향을 가지는 절리가 우세하게 발달되어 있다. 다시 말하면 서쪽에서 동쪽으로 갈수록 동서 방향의 주향을 가지는 절리가 우세하다가 남북 내지 북북동 방향의 절리의 발달이 우세하게 된다. 이 지역에서 가장 오래된 안산암질암류, 정각산층, 유문암질암류 및 젊은 관입암류에서 절리의 우세 방향이 체계적으로 변하지 않는 점으로 보아, 서쪽에서 동쪽으로 갈수록 변하는 절리의 주향 방향은 절리의 생성순서를 지시하지 않으며, 단층으로 경계 지워진 각 영역의 응력장의 변화를 나타낸다.

부산지역

층군별 각 절리면 방향의 상대적인 발달정도 및 우세한 방향성을 나타내어 보면 다음과 같다.

- 가. 하양층군 : 북동 방향군과 북서 방향군이 우세한 방향성을 나타낸다(그림 2.5-36(a)).
- 나. 유천층군 : 북동 방향의 절리군이 현저하게 발달하고 다음으로 동서 방향이 우세하다(그림 2.5-36(b)).
- 다. 불국사관입암류 : 동서, 남북, 북동 방향이 거의 유사하게 우세한 방향을 나타낸다(그림 2.5-36(c)).

이러한 층군별 각 그룹의 절리면 방향의 상대적인 발달정도 및 우세한 방향성으로부터 부산지역의 절리면은 하양층군의 북동 방향과 북서 방향, 유천층군의 북동 방향, 불국사관입암류의 동서, 북동, 남북 방향순서로 발달하였음을 알 수 있으며, 하양층군에서 우세한 북동 방향군은 유천층군이 관입 및 분출된 이후에, 그리고 유천층군에 우세한 동서 방향군은 불국사 관입암체가 관입된 이후에 발생한 지구조운동의 결과로 형성되었음이 추정된다. 그리고 영역 D7(그림 2.5-37(b)), 영역 D8(그림 2.5-37(c)) 그리고 영역 D9(그림 2.5-37(d))에서 절리면의 우세한 방향성은 각각 하양층군, 유천층군 그리고 불국사관입암

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

류에서의 우세한 방향성과 거의 일치함을 보인다. 한편, 야외조사에서 탁월하게 발달된 절리들에서는 신장성과 전단성이 구분된다. 이들 사이의 방향적 사교관계로부터 결정된 각 방향군별 전단성 절리의 전단감각은 첫째, 남북 방향의 전단성 절리들에서는 일반적으로 북동 방향의 신장성 절리를 수반하며 우수향 전단감각을 나타냈었고 둘째, 동서 방향의 전단성 절리는 북동 방향의 신장성 절리와 함께 관찰되며 좌수향 전단감각을 나타내었다. 마지막으로 북동 방향의 전단성 절리는 대체로 동서 방향의 신장성 절리를 갖는 우수향 전단감각을 보였다.

언양지역

언양지역은 양산단층을 기준으로 동편과 서편이 상이한 지질분포를 나타내므로 언양 동부 및 언양 서부지역으로 구분하여 기술하였다.

언양 동부지역 : 이 지역에는 경상계 하양층군의 쇄설성 퇴적암이 주로 분포하며 흑운모 화강암과 화강섬록암이 암주상으로 퇴적암을 관입하며 산출된다. 이들 대부분의 절리는 경사각이 대부분 80° 이상으로 수직절리에 속하며, 연장성이나 평탄도 등이 매우 좋은 인장절리의 특성을 보인다. 국부적으로 절리면이 전단작용을 받은 전단절리의 양상이 관찰되기도 하지만 대부분의 절리는 인장절리에 속한다. 언양 동부지역의 대부분을 점유하는 경상누층군의 하양층군에 속하는 쇄설성퇴적암에서 측정된 201개의 모든 절리의 분석 결과는 NS~N10°E, N50~70°W 계열의 절리조가 우세하게 발달하고 N70~80°E 계열의 절리조가 부수적으로 발달함을 나타낸다(그림 2.5-38(a)). 이 지역에 분포하는 쇄설성 퇴적암은 화강암에서와 같이 암석이 지표면으로 노출되면서 발생하는 수직 응력이완 현상에 의하여 형성되는 저각도의 층상절리는 거의 관찰되지 않는다. 언양 동부지역에 분포하는 퇴적암의 층리는 20° 미만의 경사각을 갖고 있으며 사암과 세일의 호층대가 대부분이기 때문에 저경사의 층리면 자체가 평판절리(sheeting joint)로서 재형성되어 나타난다. 골재 채취장이나 하천변의 노두와 같이 절리의 산상을 정확히 판단할 수 있는 대규모의 노두에서 명확하게 두 방향의 절리가 매우 우세하게 발달하는 것을 관찰할 수 있다. 골재 채취장의 노두인 그림 2.5-39은 절리면이 평탄하고 연장성이 양호한 절리의 발달을 보여준다.

언양 동부지역에서 암주상으로 분포하는 흑운모화강암과 화강섬록암에서 82개의 절리를 측정하였다. 화성암류에서 발달하는 모든 절리를 분석한 결과, NS~N20°E, N70°W~EW 방향의 절리조가 우세함을 보여준다(그림 2.5-38(b)). 화강암에 전형적으로 발달하는 저경사의 층상절리는 투영망의 중앙부에서 밀집되어 나타난다.

퇴적암류와 화성암류에서 측정된 절리는 명확하게 두 방향으로 발달한다. 가장 우세하게 나타나는 절리조는 남-북에서 북북동 계열의 N10~20°E 방향성을 갖는 절리이고, 2차적으로 우세한 절리조는 퇴적암과 화성암에서 서북서 방향으로 발달한다. 2개 방향의 주 절리조는 상호 형성시기에 관한 선후관계를 알 수 있는 절단관계, Y-기준(Y-criteria), 동

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

일 방향으로 발달하는 교차절리(cross joint) 등이 관찰되지 않기 때문에 이들 주 절리조의 상대적인 형성시기에 관한 관계는 불분명하다.

언양 서부지역 : 이 지역에서 총 651개의 절리의 배향을 측정하고 특성을 확인하였다. 이들은 화강암과 안산암류, 화산쇄설성 퇴적암류의 분포지에서 측정된 것들로 야외 관찰에 의하면 대부분이 인장절리군에 해당할 것으로 보이나 일부는 전단절리군들의 특성을 잘 보여준다. 이 지역에 발달하는 절리의 특성을 암종별로 구분하여 분석하였다. 그림 2.5-40(a)는 화강암류 분포지역에서 나타나는 절리의 발달 양상이며, 그림 2.5-40(b)는 안산암 혹은 화산쇄설성 퇴적암류에 발달하는 절리의 발달 양상이다. 안산암류나 화산쇄설성 퇴적암류에서 나타나는 방향성 특성은 $N25\sim35^{\circ}E$ 의 주향을 보이는 절리들이 가장 우세하게 나타나고 그 다음으로 $N65\sim75^{\circ}W$ 계열의 절리들도 뚜렷하게 나타나고 있다.

화강암류 분포지에 발달하는 절리들은 북북동 방향의 절리군이 가장 우세하게 나타나고 또 서북서 방향의 주향을 가지는 절리군도 우세하게 발달한다. 그러나 가장 우세한 발달 빈도를 보이는 북북동 계열의 절리들은 주향이 $N5^{\circ}E$ 에서 $N35^{\circ}E$ 까지 심하게 변화하는 양상을 보이고, 서북서 주향의 절리군들도 안산암류나 화산쇄설성 퇴적암류에서 보이는 것과는 달리 상대적으로 넓은 스펙트럼을 보여준다. 이와 같이 동일한 지역에서 북북동 계열의 절리의 주향 스펙트럼이 화강암에서 보이는 것과 안산암류나 화산쇄설성 퇴적암류에서 보이는 것이 차이를 보이는 것은 동일한 조건하에서는 암석의 물리적 특성에서 기인하는 것으로 생각된다. 반면 $N65\sim70^{\circ}W$ 계의 절리들의 주향과 경사각은 상당히 제한된 변화 범위 내에서 변화하며, 이들은 인장절리군에 속할 것으로 판단된다. 북북동 주향을 가지는 일부 절리군에서 R-전단, 2차 단열(secondary fractures)이나 안행상 종지(en-echelon termination) 등 전단절리에서 흔히 발생하는 구조적 특성이 관찰된다. 그러나 서북서 주향의 절리들에서는 이러한 현상이 관찰되지 않는다.

이들 절리군들의 선후 관계는 각각의 절리들의 교차절단(cross cutting) 관계와 맥암과의 관계에서 확인 할 수 있다. 야외조사에서 서북서 방향의 절리들이 북북동 방향의 절리들에 의해 간섭을 받고 있거나 혹은 반대로 간섭하고 있음을 흔히 볼 수 있어 상호관계를 단순화하기가 매우 어렵다. 그러나 화강암 노두에서 관찰된 바에 의하면 서북서 방향의 절리에 평행한 페그마타이트 암맥이 북북동 방향의 절리에 의해 단절되고 있고, 서북서 방향의 절리들 가운데 많은 수가 이중 절단(double termination)을 보이고 있음을 보아 서북서 방향의 절리군들의 발생시기가 1회가 아니며, 이곳에서 절리의 형성사는 최소한 3회가 확인된다. 최초에 서북서 방향의 인장절리가 먼저 형성되고 페그마타이트 암맥이 관입한 후, 두번째로 북북동 방향의 전단절리가 형성되었고, 마지막으로 다시 서북서 방향의 인장절리가 형성된 것으로 추정할 수 있다.

울산지역

이 지역에서의 절리는 일반적으로 북동 방향의 주향, 남북 내지 북북동 방향의 주향 및

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

거의 동서에 가까운 주향에 경사는 80° 내외의 고각인 3개의 절리조가 발달한다(그림 2.5-41). 첫번째 절리조는 $N30\sim40^\circ E$ 방향, 두번째 절리조는 $N10\sim20^\circ E$ 방향이고 세번째 절리조는 $N70\sim90^\circ W$ 방향으로 대표된다. 그러나 화강암이 분포하는 지역에서는 절리의 경사가 $10\sim20^\circ$ 인 저각의 층상절리가 발달하기도 한다.

- 가. 북동 방향의 절리조 : 대개 동래단층과 일광단층 부근에서 강하게 나타나나 동서 내지 서북서의 제 3 절리조도 함께 발달한다.
- 나. 북북동 방향의 절리조 : 울산단층 동부에서 강하게 나타나나 동서 내지 서북서의 제 3 절리조도 함께 발달한다.
- 다. 동서 방향의 절리조 : 모든 지역에서 공히 발달하며 그림 2.5-41의 장미원도에서 보는 바와 같이 그 빈도는 위의 두 절리조에 비해 상대적으로 적게 발달한다.
- 라. 그 외 화강암지역에서는 저각의 층상 절리가 발달한다.

2.5.1.2.1.3.8 단층

월내지역

월내지역에 대한 지질조사 결과 단층 노두의 대부분은 양산단층계의 일원인 동래단층과 일광단층(그림 2.5-42)의 주변부에 위치하나, 그 외에 위치(그림 2.5-43)에서도 단층의 증거들은 관찰된다.

관찰된 단층들은 단층대의 폭이 수 cm에서 2.5 m에 이르기까지 다양하게 나타나고, 단층대내에는 잔류된 탄질물을 포함하며 다양한 방향의 불석맥 등이 발달하고 있다. 일광단층의 주변부에 위치하는 KOK124(그림 2.5-42)의 단층대 내에 $N61^\circ E/77^\circ SE$ 방향으로 발달하는 불석맥과 그 외의 단층 위치에 해당하는 KOK38과 KOK39(그림 2.5-43)의 단층대내에 $N40^\circ E$ 방향으로 발달하는 불석맥에 대한 K-Ar 동위원소 절대연대 측정결과, 각각 27.4 ± 0.6 Ma와 13.8 ± 0.3 Ma의 연대가 얻어졌다.

또한, 단층대 내에는 단층각력암(fault breccia)과 수 cm 내외의 단층비지(fault gouge) 및 단층점토 등이 일반적으로 관찰되는데(그림 2.5-43(c), (e)), 일광단층의 주변부에 해당하는 노두위치 KOK184의 단층대 내에 폭 1~2 cm 규모로 발달하는 단층비지에 대한 Rb/Sr과 K-Ar 동위원소 절대연대 측정결과 각각 49.6 ± 1.9 Ma와 76.9 ± 1.5 Ma가 얻어졌고 이 단층에 수반된 R-전단(shear) 단층면에 단층작용과 동시에 발달한 방해석 섬유(그림 2.5-44)에 대한 $^{234}U/^{230}Th$ 비평형연대 측정 결과 $^{234}U/^{230}Th$ 비평형연대측정법의 한계(350 ka)를 넘는 연령이 얻어졌다(아래 2.5.1.2.1.4 절대연대측정 참조). 그 외의 단층에 해당하는 노두위치 KOK38(그림 2.5-43)의 단층대 내에 발달한 단층비지에서는 보다 젊은 27.3 ± 2.4 Ma의 Rb/Sr 동위원소 절대연대와 40.7 ± 0.8 Ma의 K-Ar 동위원소 절대연대가 측정되었다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

단층면과 단층조선(slickenside lineation) 사이의 방향성 관계로부터 주로 결정된 월내지역 단층들의 종류는 주향이동형이 우세하게 나타나고 경사이동형은 몇몇 노두에서 관찰된다. 단층대 및 단층면상에서 운동감각을 지시하는 구조요소들(섬유상결정의 계단상구조, 단층면과 이차적인 신장성 절리의 방향성, 단층운동에 수반되어 형성된 끌림습곡의 자세 등)로부터 결정된 이들 단층의 운동감각은 다양하게 나타난다(그림 2.5-45). KOK124 노두에서 단층방향의 절단관계로부터 이들 주향이동 단층 사이의 발달순서를 추정해 볼 때, 북동 내지 동북동 방향, 북서 내지 북북서 방향, 북북동 방향 순으로 인지된다(그림 2.5-45(a)).

양산지역

양산지역에는 항공사진에서 뚜렷한 선구조로 인지되는 북동 방향과 북서 방향의 주요단층들이 발달되어 있으나 노두상에서는 확인하기 어렵다. 양산단층을 중심으로 모량단층, 밀양단층, 동래단층 및 일광단층 등이 북동 내지 북북동 방향으로 발달되어 있으며, 이 단층들은 우수주향이동단층으로 알려져 있다. 어영단층(그림 2.5-46)과 낙동강을 따라 발달된 것으로 추정되는 북서 방향의 단층대에 발달된 단층들에는 좌수향 주향이동운동을 지시하는 지질구조요소들이 관찰된다. 양산단층은 부산의 낙동강 하구언에서부터 북북동 방향으로 연장되나, 단층을 따라 분포하는 층적층으로 인해 단층에 대한 자료를 야외에서 수집할 수 없었다. 또한, 양산단층과 평행한 모량, 밀양, 동래단층을 따라서 층적층이 분포하고 있어 야외 노두상에서 단층의 확인이 어려웠다.

북서 방향으로 발달한 어영단층의 노두는 KOL-1 지점에서 발견되었다(그림 2.5-46). 유산리층의 이암에 약 10 m 폭의 단층대에 6조의 단층이 $N42^{\circ}W/76^{\circ}SW$, $N66^{\circ}W/79^{\circ}SW$, $N58^{\circ}W/77^{\circ}SW$, $N57^{\circ}W/79^{\circ}SW$, $N41^{\circ}W/65^{\circ}SW$, $N42^{\circ}W/76^{\circ}SW$ 의 방향으로 발달되어 있다. 단층대 상반의 지층면의 방향은 $N63^{\circ}W/36^{\circ}NE$ 이고, 하반에 있는 층리면의 방향은 $N72^{\circ}E/36^{\circ}NW$ 로 단층에 의해 상·하반에 있는 층리면의 방향이 달라졌다. 각각의 단층에는 약 5 mm 내지 20 cm 폭의 단층비지대가 발달되어 있다. 이 단층대의 하반쪽 경계부에 발달한 단층비지대 내부에는 5개의 단층비지띠(서쪽으로부터 약 1.5 cm 폭의 파쇄엽리가 발달된 단층비지띠, 약 1 cm 폭의 괴상의 단층비지띠, 약 6 cm 폭의 Y-전단면과 P-전단면이 발달되어 있는 단층비지띠, P-전단방향으로 발달되어 있는 파쇄엽리를 포함하는 단층비지띠, 약 2~3 mm의 폭을 가지는 단층비지띠)가 발달되어 있다. 또한 $N50^{\circ}W/78^{\circ}SW$ 방향으로 발달된 단층이 $N42^{\circ}W/76^{\circ}SW$ 방향의 단층에 의해 절단되고 있어 여러 번의 단층활동이 일어났음을 시사한다. 운동감각이 좌수향임을 지시해주는 섬유상결정이 발달되어 있어 좌수주향이동단층임을 알 수 있다. 이 단층대의 북서쪽 연장에는 산성맥암이 단층대를 따라 5 km 길이를 가지고 관입하였다. 어영단층은 모량단층에 의해 절단되었으며, 약 1.5 km의 우수주향 분리를 보인다.

영역 D1, D2, D3에는 양산단층과 거의 평행한 북동 내지 북북동 방향의 단층들과 어영단층과 거의 평행한 북서 내지 서북서 방향의 단층들이 발달되어 있으며, 대부분 고각도의

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

경사각을 가진다(그림 2.5-47). 북동 내지 북북동 방향의 단층들은 우수주향이동 운동 감각을 보이며, 북서 내지 서북서 방향의 단층들은 좌수향 운동감각이 우세하다. 경사이동단층 및 사교이동단층은 주로 동서 방향의 주향을 가지고 발달되어 있다. 남북 방향의 단층들은 비교적 고각도의 경사를 가진다. 각각의 단층들은 약 2~30 cm 두께의 단층비지대를 가지고 있으며, 단층비지의 색은 흰색, 회녹색, 갈색, 흑색 등 다양하다. 단층비지대 내에는 P-전단, R-전단 또는 Y-전단방향으로 발달된 파쇄엽리가 관찰된다.

부산지역

일반적으로 한반도 동남부의 경상분지는 후기 백악기에서부터 신생대 동안의 화성활동과 구조변형을 가장 활발히 겪은 지역으로서 경상분지 내의 북북동 방향의 양산단층은 우수주향이동단층으로 알려져 있다. 항공사진 및 지형음영 기복도에서 확연하게 드러나는 북북동 내지 북동 방향 그리고 북서 방향의 선구조들이 조사지역에 발달되어 있으나 삼각주 충적층으로 피복되어 야외에서 노두관찰이 어렵다. 그러나 양산단층과 동래단층의 주변부 내지 사이에 위치한 일부 노두에서는 이들 단층과 평행하게 달리는 단층의 증거들이 관찰되기도 한다. 일반적으로 관찰되는 단층들은 그 폭이 수 cm에서 최대 2m에 이르고 지층의 오프셋(offset), 단층대 내에서는 단층각력압과 단층점토 등이 관찰되며(그림 2.5-48), 단층면상에서는 단층운동과 관련한 단층조선, 끌림습곡 등이 관찰된다(그림 2.5-49).

앞에 기술한 단층의 증거들로부터 결정된 단층들의 종류는 경사이동형이 우세하게 나타나고 주향이동형은 일부 노두에서만 관찰된다. 부산지역에서 관찰된 단층면의 평균방향을 보면 북서 방향과 북동 방향의 단층들이 가장 우세하게 나타나며 이들을 층군별 및 영역별로 구분하여 도시하면 더욱 더 확연하다(그림 2.5-50). 하양층군의 단층들의 종류는 경사이동형 신장성 단층들로서 야외에서 관찰되는 지층의 변위나 단층조선 등의 증거가 확실하며, 특히 다대포 및 송도지역의 퇴적층에서는 퇴적동시기성 구조운동을 반영하는 성장단층(growth fault)들이 다수 나타난다. 한편, 기장 및 일광 일원 이천리층의 노두에서는 고각의 경사면을 가지면서 북동 방향의 주향이동단층을 보이기도 한다.

부산지역의 유천층군에서 관찰되는 단층면들도 북동 및 북서 방향으로 구분이 된다(그림 2.5-50(c)). 북동 방향의 주향이동단층은 우수향의 전단감각이 우세하며(그림 2.5-51(a)) 북서 방향의 경사이동단층은 인장력에 의한 정단층들이다(그림 2.5-51(b)). 그러나 북부지역(철마-정관 지방도로변)에 분포하는 안산암질암 노두 KOH093에서, 동북동 방향의 경사이동단층은 상반이 북쪽으로 이동하는 역단층으로 인지된다(그림 2.5-52).

불국사관입암류에서 관찰되는 고각의 경사를 보이는 주향이동단층은 북동 내지 북북동으로 이들 주향이동단층은 모두 우수향과 좌수향의 전단운동을 보이거나, 북북동 방향의 주향이동단층은 우수향의 전단운동이 우세하다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

영역별로 단층면 자료를 구분하여 보면 영역 D7 지역은 하양층군 퇴적층에서 관찰된 대부분의 단층자료가 포함되는 지역인 관계로 앞서 설명한 하양층군의 것과 거의 일치하며, 영역 D8 지역은 동래단층과 일광단층 사이에 위치하는 지역으로 대부분 유천층군과 불국사관입암류가 분포하는 곳이다. 따라서 앞서 언급한 유천층군의 우수주향이동단층들과 불국사관입암류에서 관찰되는 우수향 및 좌수향의 감각의 주향이동 단층의 자료가 합쳐진 결과를 보여준다.

언양지역

언양지역에는 모랑단층과 양산단층이 통과한다. 이들 두 단층은 북북동의 방향성을 잘 보이고 있으나 대부분의 지역이 충적층으로 덮여 있어, 단층의 확인은 쉽지 않다. 언양 지역에서 양산단층을 관찰할 수 있는 노두가 발견되지 않는다. 양산단층 뿐만 아니라 양산단층과 인접하여 평행하게 발달하는 다수의 단층들 역시 단층의 노두가 지표면에 노출되어 있지 않기 때문에 이 지역에서는 양산단층의 특성에 관한 조사를 수행하기가 어렵다. 따라서 이 장에서는 석남사 부근에서 관찰되는 모랑단층에 관하여 기술하고자 한다.

모랑단층은 울산시 상북면 석남사 입구로부터 남남서 방향으로 양산군 원동면에 이르는 단층으로 단층의 연장을 따라 영포천 수계의 발달이 현저하다. 이 단층도 충적층의 발달로 노두의 확인은 용이하지 않으나 석남사에서 이천리로 연결되는 도로상에서 대규모 단층대가 확인되고 있다. 폭 약 50 m에 이르는 단층대는 심하게 파쇄된 파쇄대가 중앙에 발달하고 좌우로 손상대(damage zone)가 발달하는 형태를 보인다. 정확한 단층면을 파악하기는 어렵고 대체적인 파쇄대의 방향은 북북동 방향이다. 파쇄대는 심하게 파쇄된 단층각력들과 단층점토 등이 굴곡(anastomosing)하는 형태를 보인다. 파쇄대의 폭은 약 10 m 정도이며 단층각력들 사이로 방해석 세맥이 망상으로 발달하기도 한다.

파쇄대의 서측부는 염기성 암맥이 파쇄대에 평행하게 관입하고 있다. 이 암맥들은 단층면에서 멀어지면 층리면에 평행 관입하는 암상(intrusive sill)을 보이기도 한다. 염기성 맥암과 단층 파쇄대 사이에는 일정하지는 않으나 최대 두께 1.30 m의 석영맥이 발달하는데 이 석영맥도 각력화되어 있다. 측면의 손상대에서도 부분적으로 수 m 간격으로 심한 파쇄대가 반복되는 현상이 약 20여 m 지속된 후 점차 단층운동의 영향권을 벗어나는 형태를 보이고 있다. 조사지역 내에서 양산단층과 모랑단층 외에는 다른 단층들의 존재가 특별히 확인되지 않고 다만 소규모 단층운동의 증거가 일부 절리면과 평행한 면상에서 확인된다. 대체로 N75°W/80°NE 방향과 N45°E/80°SE 방향의 주향/경사를 가지는 소단층들이 발달하고 있음이 확인된다. 이들 중 N45°E/80°SE 방향의 소단층은 75°S 방향의 선구조 레이크(rake)를 보이고 있어 우수향 정단층(normal dextral fault)의 운동성향을 보인다. N75°W/80°NE 계열의 소단층들은 대체로 60°E 방향의 선구조 레이크를 발달시키고 있어 좌수향 역단층(reverse sinistral fault)의 특성을 보인다.

울산지역

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

이 지역의 주요 단층으로는 울산만에서 북북서 방향으로 경주시까지 발달하는 울산단층과 부산광역시의 동구 좌천동과 남구 문현동 사이 즉, 부산만에서 북북동 방향으로 경주시 외동읍 냉천리까지 연장되는 동래단층 및 부산광역시 송정리에서 북북동 방향으로 울산시 상남동까지 연장되는 일광단층이 발달한다. 울산단층은 북북서 방향으로 발달하는 선형구조가 발달하나 울산단층의 실체를 노두규모에서는 확인 된 바 없다. 그러나 울산단층의 동쪽에서 발견된 제 4기 단층들은 제 4기 동안에 동-서 방향의 압축응력에 의하여 기존 단층이 재활동한 산물이며, 이 응력에 의하여 울산단층의 동부가 상승하여 지형적으로 고지를 형성하였으며, 이에 근거를 두고 울산단층은 역단층 성격의 최신기 단층운동으로 해석하였다(참고문헌 87).

2.5.1.2.1.3.9 제 4기 단층

부지반경 40 km 이내에는 제 4기 단층의 노두가 수 개소 분포하며 각 단층에 대하여 기술하면 다음과 같다(참고문헌 88).

상천1단층

상천1단층은 울주군 삼남면 상천리에 위치하며 항공사진상에서 고위단구면이 단층에 의해 10 m 이상 변위된 현상이 관측되어 트렌치 조사가 실시된 지역이다(참고문헌 89, 90, 91). 중남초등학교 동측에 신설된 35번 국도변에는 백악기 화강암과 제 4기 퇴적층(역층)이 단층으로 접촉하는 노두가 있으며, 이 단층의 연장선상에 위치한 삼남농협창고 남측 밭에서 트렌치 조사가 실시되었다(참고문헌 90, 92, 93, 94, 95, 96).

노두에 나타난 단층의 주향과 경사는 N23°E/90°로서 양산단층의 방향에 거의 평행하다. 화강암은 심하게 파쇄변형 작용을 받아 수많은 미전단대가 망상모양으로 발달되어 있다. 변형받지 않은 화강암의 암편들이 렌즈상으로 미전단대 사이에 단층암대와 평행하게 배열되어 있다. 이는 단층암대가 형성되기 이전부터 화강암 내에 파쇄전단대 또는 단층대가 존재했음을 지시한다. 단층암대는 4개의 단층비지띠와 한 개의 미단층 각력암띠로 구성되어 있다. 각각의 단층암띠의 경계부는 명확한 단층면으로 경계되어진다. 4개의 단층 비지띠와 1개의 미단층 각력암띠는 한 번의 단층 활동 중에 전단변형의 세기의 차이에 의해 형성되었다기보다는 단계적으로 여러 번의 단층 활동에 의해 단층암대가 진화되었다고 여겨진다(참고문헌 97).

트렌치 단면에서는 남동 방향으로 70~80° 경사하는 북북동 주향의 단층을 경계로 동측의 백악기 화강암과 서측의 제 4기 퇴적층이 분포한다. 약 10 cm 폭의 단층비지와 약 1 m 폭의 파쇄대가 화강암 내에 발달한다. 단층면을 따라 우수향 주향이동을 나타내는 연성구조가 트렌치 바닥에서 관찰되었으며, 트렌치 북측 단면에서는 저각의 단층조선(20~30°)이 나타난다. 이 단층의 수직변위량은 약 11 m로서 단층의 서측으로 10 m 및 30 m 떨어

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

진 지점에서 실시한 간이 시추조사에서 제 4기 퇴적층 하위의 안산암질암 기반암의 분포 심도 확인을 통하여 입증되었다. 그러나 단층의 변위 중 주향이동성분이 훨씬 크기 때문에 수평 변위량은 수직 변위량 보다 적어도 수 배 이상 클 것으로 추정된다. 고위면 형성연대를 25~50만 년으로 추정할 경우 단층운동에 의한 수직 변위는 약 10m이므로 평균 수직 변위율은 0.02~0.04 mm/yr을 나타낸다고 볼 수 있다(참고문헌 89, 91).

국도변 노두와 트렌치 단면에서 채취된 총 8개 단층비지 시료의 ESR 연대는 850 ± 240 ka~ 340 ± 30 ka로 추정되었다(참고문헌 97). 다만, 단층의 연장 길이는 확인되지 않으나 수십 m에 불과할 것으로 추정된다.

웅상단층

웅상단층은 경상남도 양산시 웅상을 사기점리에 위치하며, 안산암내에 단층대가 발달해 있다. 단층면의 주향과 경사는 N28°E/80°NW이며, 운동감각은 우수향 주향이동이다(참고문헌 97). 웅상단층은 제 4기 층을 절단하지 않았으나 단층비지(50~60 cm 두께), 파쇄암(약 30 cm 두께), 단층각력암으로 구성된 단층대에서 단층비지의 ESR 연대가 600 ± 40 ka~ 370 ± 50 ka으로 추정되었다(참고문헌 97). 다만, 단층의 연장 길이는 확인되지 않으나 노두에 국한되거나 수 십 m에 불과할 것으로 추정된다.

교동단층

교동단층은 양산시 교동 1022 도로변에 위치하며 약 10 m 폭의 단층대에 6조의 단층(N42°W/76°SW, N66°W/79°SW, N58°W/77°SW, N57°W/79°SW, N41°W/65°SW, N42°W/76°SW)이 발달되어 있다. 각각의 단층에는 약 5 mm 내지 20 cm 폭의 단층비지대가 산출한다. 운동감각이 좌수향임을 지시해주는 섬유상결정 단층계단이 관찰된다. 교동단층이 제 4기 층을 절단하는 것은 관찰되지 않으나 단층비지의 ESR 연령이 380 ± 60 ka~ 310 ± 20 ka으로 추정되었으나(참고문헌 97, 98) 교동단층의 연장 길이는 확인되지 않았다.

원원사단층

원원사단층은 경상남도 경주시 외동읍 모화리 원원사 입구에서 약 70 m 떨어진 계곡 서측의 가파른 사면에 노출되어 있다. 단층은 거의 수평에 가까운 저각도의 충상단층(N05°E/12°SE)으로 산출하며, 화강암을 부정합으로 피복하는 제 4기 계곡퇴적층이 단층 하위에 켜기상으로 잔류되어 있다(참고문헌 94, 96, 99). 이 퇴적층의 하부는 분급이 불량하고 거력-왕자갈을 포함하는 역지지 자갈층이 깎고 매우기의 형태로 화강암 기반암 상부에 놓이고 그 상위로 왕자갈-잔자갈을 포함하는 역지지 자갈층, 층화된 잔자갈층, 층화된 극조립질-중립질 모래층 등이 분포한다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

단층면은 경사가 10° 내외로 거의 수평에 가깝고 단층조선은 북서 방향을 가리킨다. 단층대를 따라 산출하는 적색의 단층비지대는 대부분 수 cm 두께를 이루고 있지만 위치에 따라 최대 30 cm에서 1 cm 이하까지 변화가 매우 심하며, 두꺼운 곳에서는 파쇄엽리가 잘 관찰된다. 단층대는 북쪽 연장으로 가면서 여러 갈래로 분기되었다가 다시 만나는 기하학적 형태를 보여준다.

수렴단층

수렴단층은 양남면 수렴리 현대자동차 연수원 신축부지 남단의 절개사면에서 제 3기 하서리화산암류의 화산쇄설암을 부정합으로 덮고있는 제 4기 해안단구 퇴적층을 자르고 있다(참고문헌 94, 96). 이 제 4기 해안단구층 하안의 해발고도는 45~46 m로서 제 3단구면(또는 중위면)에 해당한다(참고문헌 103).

단층의 방향은 $N40^\circ E/45^\circ SE$ 이며 활면조선은 $102^\circ/40^\circ$ 로서 하위의 제 3기층이 제 4기층 상위로 올라간, 즉 동측의 상반이 서측의 하반 위로 이동한 역단층의 특성을 보인다. 단층 상·하반의 부정합면과 제 4기층의 층리면이 단층면을 따라 굴절되어 있으며, 제 4기층의 기저에 분포하는 역들의 장축 방향이 단층면 주변에서 이에 평행하게 배열되어 예인구조를 형성하고 있다. 부정합면을 기준으로 측정된 수직낙차는 약 100 cm로서 이에 의한 실제 변위는 약 120 cm로 계산되었다(참고문헌 104). 단층노두 하부의 제 3기층끼리 접하는 단층대에는 약 15 cm 두께의 황갈색 단층비지가 존재하나, 위로 갈수록 점차 얇아져 제 3기층과 제 4기층이 접하는 곳에서는 약 5 cm, 그 상위의 제 4기층끼리 접하는 곳에서는 약 1 cm 두께로 감소한다. 그러나 제 4기 층과 접하는 단층대를 따라 분포하는 점토대는 점토광물과 미량의 석영으로 구성되어 있는데, 단층작용에 의해서 형성된 단층비지가 아닌 상부로부터 침투되어 단층면을 따라 집적된 점토 또는 실트질 퇴적물인 것으로 밝혀졌다(참고문헌 105). 이 물질들은 퇴적층 내의 공극 또는 단층운동에 의해 반복적으로 형성된 미세균열을 따라 집적된 것으로 해석되어, 이 단층에서 한번 이상의 제 4기 단층작용이 발생하였음을 간접적으로 시사한다(참고문헌 105). 제 3기층과 제 4기층이 접하는 단층대에 점토와 자갈이 혼합된 렌즈상의 전단구조대가 최대 10 cm 폭의 발달하며, 그 내부에 발달하는 비대칭 점토엽리구조 및 역들의 배열방향은 역경사이동을 뚜렷하게 지시한다(참고문헌 88). 단층의 경사각은 상위로 갈수록 점차 완만해지며 표토층 직하까지 연장되는 단층의 최상단부에서는 거의 수평으로 변하여 단면상에서 위로 볼록한 아치형태를 이룬다.

상기한 절개면 노두로부터 $N30^\circ E$ 방향으로 약 30 m 떨어진 지점에 이 단층의 연장이 확인되었는데, 제 3기층과 상위의 제 4기 해안단구층간의 부정합면을 절단한 역단층이 발달되어 있다. 제 3기층 내 단층의 방향은 $N20^\circ E/68^\circ SE$ 이며, 최대 약 10 cm 두께의 단층비지대를 형성하고 있다. 그러나 이 단층의 상부 연장인 제 4기층끼리 접하는 곳에서는 단층비지대가 1 cm 이하로 얇아지고, 단층면의 경사각은 급격히 완만해져 $N14^\circ E/25^\circ SE$ 의 방향성을 보이며, 활면조선은 $106^\circ/25^\circ$ 방향으로 발달하고 있어 순수한 경사이동

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

을 지시한다. 이 단층은 두 조의 단층으로 분기되어 다시 합쳐지는 호스(horse)를 형성하고 있는 것이 특징이며, 계산된 실제 변위량은 4 cm 정도로 매우 작아 제 4기 변위작용을 일으킨 단층의 말단부(tip) 부근임을 지시한다. 상기와 같이 단층 경사각의 변화양상과 더불어 제3기 기반암에 10~15 cm 두께로 발달된 단층비지대가 순수 변위량이 4~120 cm에 불과한 단층 변위에 의해 형성된다는 것이 불가능하다는 점은 제 4기 동안 기존 단층의 재활성을 뒷받침하며, 기존 단층비지의 일부가 제 4기 단층운동 동안 단층면을 따라 끌려 올라간 것으로 해석된다(참고문헌 88, 106).

수렴단층에서 채취한 단층비지의 ESR 연령은 280 ± 20 ka 및 385 ± 25 ka(참고문헌 107), 770 ± 100 ka(참고문헌 108)로 측정된 바 있다.

수렴단층의 연장확인을 위한 트렌치조사 결과(참고문헌 88), 남동쪽으로 가면서 단층의 주향이 동북동에서 북동을 거쳐 남-북 방향으로 변화함과 동시에 변위량은 점차 감소하여 절개면의 단층노두로부터 남쪽으로 50 m 떨어진 지점에서는 65 cm의 변위를 보이고, 55 m 떨어진 지점에서는 단층의 흔적이 현저히 줄어들어 절개면 노두로부터 단층의 남쪽 연장은 100 m 이하일 것으로 추정되었으며, 단층의 총 연장을 200 m 정도로 보았다. 따라서 수렴단층은 평면상에서 북서쪽으로 불록하게 휘어진 활 모양의 형태를 이루고 있는 것으로 해석되며, 제 4기 단층작용에 의해 발생된 변위구간의 총 연장은 확인된 변위량 중 최대 값을 나타내는 절개사면의 단층노두 인근을 중심으로 하여 150 m 이하로 추정함이 타당하다(참고문헌 88). 따라서 부지의 안전성에는 영향을 주지 않는 제 4기 단층으로 해석된다.

2.5.1.2.1.4 절대연대 측정

2.5.1.2.1.4.1 기반암

부지반경 40 km 이내에 분포하는 기반암 중에서 연대가 정리된 시료채취 위치 및 연대측정 결과는 표 2.5-4 및 표 2.5-5와 그림 2.5-54에 표시되어 있다.

토함산암체는 49.7 ± 0.1 Ma의 Rb-Sr 전암연대를 나타내며(참고문헌 109), 언양암체는 67 Ma의 Rb-Sr 전암 연대로 보고된다(참고문헌 110). Rb-Sr 전암법에 의한 김해, 구포, 양산암체의 연대는 각각 83.9 ± 9.0 Ma, 68.8 ± 3.4 Ma, 70.6 ± 4.2 Ma로 제시하였고(참고문헌 111), 삼랑진칼데라를 구성하는 화산암류의 Rb-Sr 전암연대는 80.8 ± 1.5 Ma로 보고된다(참고문헌 84). 또한 경상분지 중부지역의 심성활동은 대개 65~75 Ma에 집중된다(참고문헌 112).

장안지역의 화강암체에서 시료(KR14)를 채취하였는데(그림 2.5-54), 화강암 시료는 흔히 분홍색의 K 장석 반정을 함유하는 중립 내지 조립질암으로서 엽리는 보이지 않는다. 구성광물은 석영, 사장석, K 장석, 흑운모, 각섬석, 불투명 광물과 인회석 등이다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

2.5.1.2.1.4.2 단층암

시료 채취 위치는 그림 2.5-54에 표시되어 있다. KOK184 지점에서는 경상누층군의 이암을 모암으로 N10°E/59°NW 방향의 단층대가 잘 발달한다(그림 2.5-55). 단층대에 폭 1~2 cm 규모로 발달한 단층비지(시료 KOK184B)를 채취하였다. KOR625 지점에서는 응회암을 모암으로 N33°E/68°NW 방향의 단층대가 발달하는데(그림 2.5-56) 단층대에서 폭 수 cm 규모로 발달한 단층비지(시료 KOR625A)를 채취하였다.

단층면 방해석섬유의 $^{234}\text{U}/^{230}\text{Th}$ 비평형연대

KOK38 지점에서는 호온펠스를 모암으로 N40°E/70°NW 방향의 주향이동 단층 및 그와 연관된 불석맥(시료 KOK38A)이 주로 N40°E 방향으로 발달하고 그 이후 N10°W/70°SW 방향의 정단층이 발달한다(그림 2.5-57). N10°W 방향의 정단층대에서 수 cm 규모로 발달된 단층비지(시료 KOK38B)를 채취하였다. KOK124 지점에서는 각력안산반암을 모암으로 N3°E/40°SE, N51°E/80°SE 방향의 단층대가 보이는데 파쇄대에는 N61°E/77°SE 방향으로 불석맥(시료 KOK124B)이 발달한다(그림 2.5-58).

단층비지의 Rb-Sr 동위원소 조성은 표 2.5-6에 요약하였고, 단층비지와 파쇄대를 충전한 불석맥의 K-Ar 자료는 표 2.5-7에 나타내었다.

단층비지의 광물학적인 특징

단층비지의 광물학적 특징을 규명하기 위해 현장에서 채취한 비지시료를 상온에서 건조한 후 분쇄하여 약 15 μm 이하의 분말로 만들어 X-선 회절분석을 실시하였다. 모든 시료에 석영이 함유되어 있다. 시료에 따라 조성비의 차이가 있지만 주요 점토광물로 스멕타이트(smectite)가 관찰되며 일라이트(illite), 캐올리나이트(kaolinite)와 탁비석(laumontite)이 확인된다(그림 2.5-59). 대부분의 비지 시료에서 석영의 함량이 높는데 비해 장석이 미량으로 들어있어 X-선 회절분석에서 확인되지 않은 시료도 있다. 이처럼 장석의 함량이 적은 것은 단층 활동 시기에 대부분의 장석이 용해되어 점토광물로 변질되었기 때문이다. KOK184B 시료에서는 일라이트와 더불어 캐올리나이트(7-Å)가 뚜렷하게 산출되는데 이는 지하 심부에서 단층활동이 있는 후 단층대를 따라 활발한 지하수의 유입으로 인해 풍화광물이 생성되었음을 시사한다. KOR625A 시료에서는 스멕타이트만 확인된다. KOK38B 시료에서는 스멕타이트 및 캐올리나이트와 더불어 칼슘-제올라이트인 탁비석이 수반되는 것이 특징이다.

원심분리법으로 분리한 0.2 μm 이하의 점토입자들에 대한 X-선 회절분석 결과가 그림 2.5-60에 도시되어 있다. KOK184B시료에서는 스멕타이트, 일라이트 및 캐올리나이트가 모두 확인된다. 특히 10-Å(001), 5.0-Å(002), 3.33-Å(003)의 회절선을 보여주는 일라이

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

트의 산출이 현저하며, 7.1-Å(001)와 3.55-Å(002)의 회절선을 보이는 캐올리나이트의 산출 역시 뚜렷하다. KOR625A 시료는 주로 스�멕타이트로 이루어져 있지만 스�멕타이트의 (001)회절선이 고각 쪽으로 넓어져 있고 10-Å 부근에 최고점(peak tailing)을 보이고 있어 0.2 μm 이하의 입자에 소량의 일라이트가 존재하는 것이 확인된다. KOK38B 시료의 0.2 μm 이하 입자에서는 스�멕타이트와 캐올리나이트가 확인된다.

단층암의 Rb-Sr, K-Ar 연대

KOK184B 단층비지의 0.2~1 μm 부분 전체와 1 N 염산 추출물, 잔류물의 Rb-Sr 동위원소비는 49.6 ± 1.9 Ma(MSWD = 2.20, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 초기치 = 0.7086 ± 0.0004)의 에리크론(errorchron) 연대를 정의한다(그림 2.5-61). 2~5 μm 시료는 에리크론 상부로 점시되어(그림 2.5-65) 단층운동 및 열수변질 동안에 입자가 굵은 시료가 가질 수 있는 불완전한 동위원소적 비평형의 가능성을 보여 준다. 0.2~1 μm 부분이 가지는 K-Ar 연대는 76.9 ± 1.5 Ma로서 Rb-Sr 산추출(acidic leaching) 연대에 비해 오래되었다.

KOR625A 단층비지의 0.2 μm 이하 부분 전체와 1 N 염산 추출물, 잔류물의 Rb-Sr 동위원소비는 24.3 ± 1.8 Ma(MSWD = 39, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 초기치 = 0.7070 ± 0.0006)의 에리크론 연대를 정의한다(그림 2.5-62). 이 시료는 입자크기에 상관없이 거의 일정한 Rb-Sr 동위원소 조성을 가진다. 이 시료의 0.2 μm 이하 부분에 대해 반복적으로 Rb-Sr 산추출 연대를 구해 본 결과는 23.9 ± 1.4 Ma(MSWD = 28, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 초기치 = 0.7070 ± 0.0005)로 잘 일치하여 그림 2.5-62의 에리크론이 우연히 얻어진 의사연대(pseudochron)가 아니고 연대의 의미를 가질 가능성을 지지한다. 0.2 μm 이하 부분이 가지는 K-Ar 연대는 41.8 ± 0.8 Ma로서 Rb-Sr 산추출 연대에 비해 오래되었다.

KOK38B 단층비지의 0.2 μm 이하 부분 전체와 1 N 염산 추출물, 잔류물의 Rb-Sr 동위원소비는 27.3 ± 2.4 Ma(MSWD = 40, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 초기치 = 0.7088 ± 0.0009)의 에리크론 연대를 정의한다. 이 시료의 5 μm 이하 부분은 입자크기에 상관없이 에리크론을 잘 따라가(그림 2.5-63) 단층운동 및 열수변질작용에 의해 전체적으로 Rb-Sr 동위원소 조성이 재조성(reset)되었다고 생각할 수 있다. 0.2 μm 이하 부분이 가지는 K-Ar 연대는 40.7 ± 0.8 Ma로서 Rb-Sr 산추출 연대에 비해 오래되었다.

이와 같이 세 단층비지 시료의 K-Ar 연대가 모두 Rb-Sr 연대에 비해 오래된 것은 아마도 과잉 Ar의 영향으로 판단된다. KOK38 지점 단층파쇄대를 충진한 불석맥(시료 KOK38A)의 K-Ar 연대는 13.8 ± 0.3 Ma로서 단층비지의 Rb-Sr 산추출 연대(27.3 ± 2.4 Ma)에 비해 젊게 나타나 단층운동 이후 비교적 긴 지질학적 시간이 지난 후에 파쇄대를 충진하였음을 짐작할 수 있다.

KOK124 지점의 단층파쇄대를 충진한 불석맥(시료 KOK124B)의 K-Ar 연대는 27.4 ± 0.6 Ma로서 단층운동의 최소연령을 지시한다(표 2.5-7).

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

단층면 방해석섬유의 $^{234}\text{U}/^{230}\text{Th}$ 비평형연대

KOK184지점에 발달하는 일광단층의 부수단층인 약 1 m 두께의 단층대에는 단층작용과 동시에 형성된 방해석 섬유가 발달한다. 이 방해석 섬유의 형성시기(즉, 단층운동시기)를 구하기 위하여 방해석 섬유 시료를 채취하여 $^{234}\text{U}/^{230}\text{Th}$ 비평형 연대측정기관인 미국 남가주대학의 Richard Ku 교수에게 연대측정을 의뢰하였다. 연대측정방법은 Luo and Ku(참고문헌 113)에 소개되어 있는 방법을 적용하였다. 측정 결과 $^{234}\text{U}/^{230}\text{Th}$ 비평형 연대측정법의 한계(350 ka)를 넘는 연령이 얻어졌다.

2.5.1.2.1.4.3 연대측정 결과

금번 조사와 기존 자료에서 구한 기반암 및 단층암의 시료채취 위치 및 연대측정 결과를 그림 2.5-54와 표 2.5-4에 요약하였다. 부지반경 40 km 내에 분포하는 화강암의 관입시기는 대개 67~84 Ma이며 삼랑진 칼데라를 구성하는 화산암의 분출시기는 약 81 Ma 정도이다. 양산시 웅상읍 일대의 동래단층에서 채취된 단층비지의 K-Ar 연대는 51.4~57.5 Ma, 그리고 40.3~43.6 Ma 범위이다(참고문헌 114). 부지반경 40 km 이내 지점 중 비교적 원전부지에 가까운 지점(KOK184, KOR625, KOK38)에서 채취된 단층비지는 대개 스멕타이트와 일부 일라이트 및 캐올리나이트로 구성되어 있다. 반복 실험과 파쇄대 충전 불석맥에 대한 연대측정 결과를 함께 고려할 때 단층비지의 Rb-Sr 산추출 연대를 기준으로 대략 50 Ma, 27 Ma, 24 Ma의 단층운동 시기를 알 수 있다. 또한 KOK184의 일광단층 부수단층에서 단층작용과 동시에 형성된 방해석 섬유에 대한 $^{234}\text{U}/^{230}\text{Th}$ 비평형연대측정결과 $^{234}\text{U}/^{230}\text{Th}$ 비평형연대측정법의 한계(350 ka)를 넘는 연령이 얻어졌다(표 2.5-5).

2.5.1.2.1.5 지사

백악기에 주로 세일, 사암, 이회암, 소량의 역암 등으로 구성된 육성기원의 쇄설성 퇴적암류(이천리층과 다대포층)의 퇴적작용이 있었다. 하성환경과 호성환경의 연속적인 암상분포 변화를 보이는 본 퇴적암류는 조사지역에서 가장 오래된 지층으로 최근에 발견된 공룡화석의 일부 골격조직과 자기 층서학적 연구 결과를 참조로 하면 함안층 또는 그 하위인 칠곡층에 대비된다.

백악기 말엽에 대규모의 화산활동이 일어났으며, 화산활동 초기에는 안산암질 화산활동이 우세하였고 후기에는 유문암질 화산활동이 활발하였으며 그 사이에 회류퇴적암류(유산리층과 화제리층)의 퇴적작용이 있었다. 안산암질암류는 산출상태에 따라 크게 분출상과 관입상으로 구분된다. 분출상은 화산각력암을 비롯한 박층의 응회암각력암, 래필리응회암 또는 응회암 등을 협재하는 안산암과 안산암질 화성쇄설암이 호층을 이루는 두터운 층후의 화산암누층으로 나타나고, 초기에는 화성쇄설물의 분출이 활발하였으나 후기로 감에 따라 용암류의 분출이 더욱 활발하게 되었다. 관입상은 퇴적암류 내에 암맥이나 암상

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

의 형태로 관입되어 나타난다. 유문암질 화산활동은 초기에 유문석영안산암의 분출 및 관입이 활발하였으며 계속된 화산활동으로 인해 성분이 더욱 산성화되어 후기로 감에 따라 유문암질암을 분출하였다. 이러한 백악기 말엽의 대규모 화산활동은 회류 및 강하웅 회암-칼데라-환상관입체-소생관입체로 구성된 몇몇의 칼데라 구조체(양산, 원동, 삼랑진, 장산 등의 칼데라체)를 형성시켰으며, 이러한 함몰칼데라의 하부잔존 구조로서 반암류는 환상열극을 통하여 관입하여 환상암맥을 이루고 있다.

백악기 말~제 3기 초에는 지하 심부의 마그마 이동으로 심성 관입활동이 일어났다. 심성암류와 반심성암류의 광범위한 관입작용으로 인해 퇴적암류와 화산암류를 관입하는 심성암류와 반심성암류는 조사지역의 곳곳에 관입 분포한다. 이후, 제 3기 중엽에는 주로 염기성암맥과 산성암맥으로 구성된 암맥류의 관입으로 이들 암맥류는 조사지역의 모든 암상류를 관입하며 분산되어 분포하고 있다.

이러한 퇴적작용과 화성활동을 전후로 하여 발생한 대규모 지구조운동에 의해 조사지역을 포함한 한반도 동남부에는 주로 취성변형의 단층대내에 구조암(단층대내의 단층비지에서 측정된 Rb/Sr 동위원소 절대연대 : 49.6 ± 1.9 Ma, 27.3 ± 2.4 Ma, 24.3 ± 1.8 Ma(부지 반경 8 km : KOR625, 그림 2.5-54))들을 형성하고 있다. 그리고 이러한 지구조운동과 심성 관입활동에 수반되어 조사지역의 퇴적암류와 화산암류는 부분적으로 경사지게 분포하고 있다.

2.5.1.2.1.6 결론

- 가. 조사지역은 주로 백악기의 퇴적암류인 하양층군, 백악기 말의 화산암인 유천층군, 백악기 말~제 3기 초의 화강암, 그리고 제 3기 중엽의 맥암류와 이들을 부정합으로 피복하는 제 4기 충적층 등으로 구성되어 있다.
- 나. 구조지질조사, 제 4기층조사, 절대연대측정 결과를 종합하여 해석된 조사지역의 지사는 2.5.1.2.1.5절에 기술하였다.
- 다. 조사지역의 지형 분석 결과 적어도 조사지역 내의 주요 지형들, 특히 해안단구, 하안단구, 산록면, 하계망 등에서는 제 4기 단층에 의해 변형된 흔적을 찾아볼 수 없었다. 양산단층선이 통과하는 지역을 중심으로 단층과 연관된 지형 증거(제 4기 이전)들이 분포하는 반면에, 양산단층선 동쪽으로 갈수록 단층의 영향에 의한 지형증거들이 발견되지 않는다. 특히 일광단층의 동쪽지역에서는 단층의 지형적인 증거를 발견하지 못하였다.
- 라. 조사지역의 절리는 방향에 따라 고각의 남북 주향, 동서 주향, 북동 주향, 북서 주향과 거의 수평하거나 경사가 완만한 평판절리로 구분된다. 이들 절리군은 형성 이후 여러번에 걸쳐 재활성되었다. 그러나 대체적으로 남북 주향, 동서

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

주향 및 북동 주향의 절리가 가장 우세하게 나타나는 경향이 있다. 양산단층대 서쪽(영역 D1)에서는 북서 주향이 우세하나 양산단층대로 가까워짐(영역 D2, D3)에 따라 남북 주향이 우세하게 나타난다. 양산단층대 동쪽(영역 D5)에서는 동서 주향이 우세하나 양산단층대로 가까워짐(영역 D4)에 따라 북동 주향이 우세하다. 영역 D7에서는 동서 주향과 북동 주향이 우세하고, 영역 D8에서는 북동 주향이 우세하며, 영역 D9에서는 남북 주향, 동서 주향 및 북동 주향이 우세하다. 마지막으로 층군별로는 하양층군에는 동서 주향과 북동 주향이 우세하고, 유천층군에는 북동 주향이 우세하며, 불국사관입암류에는 남북 주향, 동서 주향 및 북동 주향이 우세하다.

- 마. 조사지역의 주향이동 단층은 방향에 따라 북동-북북동 주향, 북서-서북서 주향의 단층군으로 분류되며 이중 우세한 단층군은 우수주향이동단층인 북동 주향의 단층군이다. 북동-북북동 주향의 운동시기는 Rb/Sr 및 K-Ar 동위원소 방법에 의해 약 50~80 Ma로 밝혀졌다. 북서-서북서 주향에 속하는 좌수주향이동단층인 어영단층이 북동-북북동 주향에 속하는 모량단층에 의해 절단되어 있으며 우수향 주향이동 분리가 약 1.5 km이다. 따라서 북서-서북서 주향이 발달된 이후에 북동-북북동 주향이 활동한 것으로 여겨진다.
- 바. 조사지역에서 가장 큰 광역단층인 북동-북북동 주향의 우수주향이동의 일광, 동래, 양산, 모량 단층대를 따라서 층적층이 분포하고 있어 노두상에서 확인하기 어렵다.
- 사. 조사지역의 경사이동단층은 방향에 따라 동서 주향, 남북 주향의 단층군으로 분류되며, 주향이동 단층군(북동-북북동 주향, 북서-서북서 주향)에 비해 규모가 작다.
- 아. 부지반경 40 km 이내에 분포하는 제 4기 단층(제 4기 층을 절단하였거나 단층암 연대가 200만 년 이내인 단층)은 총 16개이며 연장성 및 연대측정결과를 고려할 때 부지안전성에 영향을 미칠 수 있는 활동성 단층은 없는 것으로 조사되었다.

2.5.1.2.2 부지반경 8 km 부지지질

신고리 5,6호기 부지반경 8 km 지역은 행정구역으로 울산광역시 서생면과 온양면 일대 및 온산면 일부 그리고 부산광역시 기장군 장안읍과 일광면 일부를 포함한다. 한반도의 지체구조구 상으로는 경상분지 남동부 말단에 위치하며 주로 백악기의 퇴적암, 백악기 말의 화산암, 백악기 말~제 3기 초의 화강암 그리고 제 3기 중엽의 화성맥암류로 구성된다(그림 2.5-64, 65). 광역적인 구조선으로는 북북동 주향의 일광단층이 있다. 조사지역 지질조사는 1:5,000 수치지형도를 기본도로 이용하여 선구조 분석, 지형분석, 제 4기층 분

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

석, 암상 및 지질구조 분석, 지구물리탐사, 절대연대측정 분야로 세분하여 조사를 수행하였다. 또한 필요한 경우에는 단열(fracture) 해석을 위해 보다 정밀한 지질도 작성과 트랜치 조사가 병행되었다.

2.5.1.2.2.1 지형

부지반경 8km 전 지역에 대하여 지형 특성을 파악하는 것은 물론 해안단구, 하안단구, 산록면 등을 중심으로 지형 조사를 수행하였고, 주요 지형에 대한 조사는 1:25,000 지형도를 이용하여 지형의 기하학적인 형태 및 주변 다른 지형과의 상관관계를 조사하고 노두를 찾아 이를 중심으로 지형 관찰을 행하였다.

2.5.1.2.2.1.1 지형 특성

부지반경 8km 이내의 지역은, 한반도 동남부의 동해안을 끼고 있으며, 지역의 대부분은 서생(울산시)과 기장(부산시)에 속한다. 지역 범위는 동쪽의 진하에서 일광에 이르는 동해안, 북쪽으로는 회야강, 남쪽으로는 일광 그리고 서쪽으로는 정관에 이른다.

산지의 전체적인 분포를 살펴보면 서쪽으로는 대운산, 석은덤 등 해발 500m 이상의 산지들이 지역 내에서는 가장 높은 산지를 이루며 동래단층선과 동일한 방향 즉, 북북동-남남서 방향으로 달리고 있는 반면, 동쪽으로는 대체로 100m 내외의 낮고 평평한 산지가 동해안을 따라 넓은 범위에 걸쳐 분포한다. 낮은 산지는 일광단층을 중심으로 동쪽지역에서 널리 나타나는데 특히 백악기 각섬석화강암이 기반을 이루는 서생면 일대와 일광 주변에서 전형적이다. 한편 일광단층이 통과하는 일대는 대략 14번 국도가 놓인 곳으로 양산단층이나 동래단층과는 달리 선상의 곡지가 뚜렷하지 않은 곳이 많다. 그럼에도 불구하고 선상의 구조선은 지도상에서 식별할 수 있다.

이와 같이 높은 산지가 해안에서 멀지 않은 곳에서 북북동-남남서 방향으로 뻗어 있는 관계로 대부분의 하천은 길이가 짧고 유역면적도 작은 편이며 유향은 동서 방향이 우세하다. 또한 이곳의 모든 하천은 동해로 유입하며 바다로 흘러드는 어귀에는 대체로 작은 규모의 범람원이 발달되어 있다. 그러나 이 지역에서 가장 큰 하천인 회야강 어귀에는 드물게 넓은 범람원이 형성되어 있다. 회야강 이외에 이 지역의 주요 하천들로는 원전 부지 인근의 효암천, 장안천, 재광천 등을 들 수 있다.

해안은 낮은 산지나 구릉지가 해안 가까이 놓인 관계로 암반이 그대로 노출된 곳이 많으며, 전체적으로는 작은 곳과 만이 해안을 따라 반복되는 양상을 보인다. 그러한 모습은 특히 진하에서 월내에 이르는 해안에서 전형적이다. 이에 비하여, 월내에서 일광에 이르는 해안은 해안선의 출입이 크지 않은 편이다. 곳의 지형은 측면에서 관찰해 보면 사면 경사가 완만하며 정부가 평탄한 구릉지 혹은 단산지 형상을 취하고 있는 곳이 많다. 그러나 해안단구는 곳뿐만 아니라 만입지에도 관찰된다. 만입지의 해안단구는 단구애가 뚜

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

렷하지 않아 단상지 형상은 불분명한 반면 단구면이 넓은 것이 특징이다. 이러한 만입지의 해안단구는 나사리(서생)에서 관찰된다. 이 밖에도 일광의 칠암리와 신평리 일대에도 뚜렷한 만입지를 이루는 것은 아니지만 단구애가 불분명한 반면 단구면이 넓은 해안단구가 분포한다.

2.5.1.2.2.1.2 주요지형

부지반경 8km 지역 내에 널리 분포하는 해안단구, 하안단구, 산록면을 중심으로 조사를 수행하였고(그림 2.5-66), 이들 지형의 공간적인 분포와 형태적인 특징 그리고 구성 물질의 특성을 밝히는 것에 중점을 두었다.

해안단구

해수면이 하강하거나 지반이 융기되어 결과적으로 파식대 또는 해빈이 육화되어 계단상의 지형으로 해안가에 남게된 것이 해안단구이다.

해안단구는 서생, 왜성에서 일광에 이르는 해안의 곳곳에서 관찰된다. 이곳의 해안단구는 크게 볼 때 곳에 발달된 해안단구와 만입지에 발달된 해안단구로 구분되는데 이들은 형태상으로 각기 다른 특색을 지니고 있으며 퇴적물 특성에서 다소 차이를 보인다

곳의 해안단구의 경우 단구애나 단구면상에서 고해빈 퇴적물을 관찰하기가 용이하지 않지만 서생-왜성 주변에서 고해빈 퇴적층의 일단을 관찰할 수 있었다. 서생의 해안단구(KOJ-15; 그림 2.5-16)는 해발 고도 약 10m 이상에서 나타나며 고해빈 퇴적층은 성내의 밭 주변에서 관찰된다. 이곳의 해빈 퇴적층은 표토층(층후 약 20cm) 하부에 나타나며 사빈모래(층후 약 40cm)와 해빈자갈(층후 약 1m)을 포함하고 있다. 사빈 모래는 풍화를 받아 모래알이 산화철로 코팅되었으며 해빈자갈은 입경과 원마도가 다양하다. 그 중 자갈은 비교적 원마도가 높은 것도 섞여 있는데 왕자갈과 거력은 대체로 원마도가 낮은 아각력이 많다. 또한 거력 중에는 수십 cm 이상의 것도 관찰된다. 이와 같은 퇴적상과 구성 물질의 특징은 해안의 파랑 에너지가 불균등하게 미칠 뿐만 아니라 주변으로부터 새로운 자갈의 공급이 비교적 원활한 환경 조건 하에 놓인 해안에서 흔히 볼 수 있는 것으로 대개 파식대 혹은 그 주변이다. 서생-왜성 성벽 주변의 단애면에 기반암이 노출된 것을 고려할 때 성벽의 단애면은 거의 그대로 해식애였으며 왜성의 평탄면 즉 단구면은 구 파식대였던 것으로 판단된다.

지형 조사와 OSL 연대 결과에 의하면 서생-왜성의 단구면에 퇴적된 사빈사(beach sand)는 67 ± 4 ka의 연대를 보인다. 이같은 자료를 근거로 마지막 간빙기가 끝나는 시기 또는 마지막 빙기가 시작되는 시기에 서생-왜성의 단구 퇴적이 이루어진 것으로 추정된다. 한편, 서생-왜성 단구와 동일한 고도에서 나타나는 해안단구는 회야강 북안 강구 마을(온산읍)에서도 찾아볼 수 있다. 그러나 강구의 단구(KOJ-37, 38, 39; 그림 2.5-16)는 퇴적

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

층은 관찰되지 않으며 단구면을 개간한 농경지에서 산재한 상태의 해빈자갈을 관찰할 수 있을 뿐이다. 자갈은 원력 내지 아원력이 섞인 중력(pebble)이 많은 것이 특징이다.

서생의 고해빈 퇴적층과 같은 유형의 해빈 퇴적층은 간절곶 해안에서도 찾아볼 수 있다. 간절곶은 전체가 규모가 비교적 큰 해안단구인데 바다를 향해 다소 완만하게 경사져 있으며, 해식을 받고 있는 주변 특히 소규모의 만입지에서 해안단구 퇴적층(KOJ-16; 그림 2.5-16)을 관찰할 수 있다. 이 퇴적층이 드러난 노두는 대략 해발고도 5 m 이내에 위치한다. 따라서 서생-왜정보다는 고도가 낮는데 이 노두를 중심으로 단구를 분류한다면 본 조사지역에서는 가장 낮은 저위단구의 하나로 분류할 수 있다. 이곳 노두에는 약 10 cm 내외의 표토층 하부에 원마도와 입경이 매우 다양한 해빈 사력층이 쌓여 있다. 사력층은 모래보다는 주로 자갈인데 원마도가 높은 원력도 다수 혼재되어 있으며 분급 또한 불량한 편이다.

만입지에 발달된 해안단구는 단구면은 넓지만 단구 형태는 불분명하며 현생 해빈과도 지형적으로 분명히 구분되지 않는 경우도 많다. 즉 해안으로부터 내륙 쪽을 향하여 완만한 경사를 이루며 단구에서 구릉지로 달라지는 것이 일반적이다. 그러나 퇴적층은 곳에 발달된 단구보다는 세립질이 많으며 층후가 두터운 것이 특징이다. 이와 같이 단구면이 넓고 세립질 퇴적이 지배적이므로 대부분의 단구들이 농경지로 개간되고 있다. 농경지의 토양 중에는 원마도가 높은 해빈자갈이 다수 관찰되는데 대개가 수 cm 이내의 것들로 1 cm 이내의 것도 다수 포함되어 있다. 이와 같이 만입지의 해안단구는 단구애가 분명치 않기 때문에 노두를 발견하기 어렵다.

그 중 나사(서생)의 버스 정류장(KOJ-7, 해발 5 m 이내; 그림 2.5-16) 후면 노두와 이것의 북쪽 산록 하단부(KOJ-10, 해발 약 10 m 이상; 그림 2.5-16) 배밭 주변에 노출된 노두는 고해빈 퇴적층을 잘 보여준다. 특히 나사리의 배밭 주변의 노두에서는 원마도가 높은 자갈이 화강암 새프롤라이트(saprolite) 상부에 1~2 m의 층후를 이루고 있다. 부분적으로 입경이 1 m 이상에 달하는 화강암 핵석(core-stone)도 있지만 대부분은 작은 해빈자갈이다. 그러나 일부 자갈들이 스톤라인(stone line)을 이루는 것을 보면 퇴적된 이후 사면류(slope wash)와 같은 사면 형성작용(slope processes)을 받았던 것으로 판단되며 이 단구 퇴적층의 퇴적 시기는 2.5.1.2.2.5절의 절대연대측정에 의하면, 107 ± 8 ka로 지난 마지막 간빙기 때 단구 퇴적이 시작된 것으로 판단된다.

만입지의 해안단구 퇴적층은 월내의 한빛아파트 동쪽에 발달된 만입 곡지 주변에서도 관찰된다. 이 곳에서는 한빛아파트 일대의 평탄한 구릉지에서도 그리고 한빛아파트 주변의 산림지에서도 산재한 상태의 원력들이 다수 발견되는 것을 보면 현재 육지인 이곳의 만입 곡지는 원래 바다인 만이었으며 그 주변의 구릉지의 일부 특히 계단상의 지형은 해안단구였던 곳으로 생각된다. 그 중 노두를 볼 수 있는 곳은 단구면이 만입곡지 내의 소하천에 의해 침식받고 있는 단구의 단애면이다. 특히, 효암과 월내 사이의 도로 북쪽 구릉지 사면의 노두(KOJ-54, 해발고도 약 10~20 m; 그림 2.5-16)를 관찰해보면, 사력층이 2 m

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

이상의 층후를 보이며 모래 퇴적층과 자갈(주로 중력급 아원력) 퇴적층이 반복되어 퇴적된 것을 알 수 있다. 또한 이곳 퇴적물 중에는 적갈색 사력층과 청회색 점토층 및 이토층이 교대로 나타나기도 한다. 특히 청회색 퇴적층은 저습지 환경과 관련된 것을 고려할 때 이곳의 퇴적층의 일부는 파랑이 직접 영향을 미치는 해빈이라기 보다는 그 배후지에서 퇴적된 것으로 판단된다.

이 일대에는 이같은 노두보다 다소 높은 고도(약 30 m 내외)에서 또 다른 단구 퇴적층(KOJ-55; 그림 2.5-16)이 분포한다. 이 곳의 퇴적층은 주로 중력급 자갈이 많으며, 아원력이 지배적이다. 또한 전술한 노두의 자갈보다는 풍화가 더 진전된 모습을 보인다. 이러한 퇴적상은 하상역층에서도 찾아볼 수 있는 것이지만 노두 주변의 지형적인 특성을 고려할 때 그리고 퇴적물 중에 전형적인 해빈자갈이 다수 포함된 것을 감안할 때 이 퇴적층 역시 해성 기원의 것으로 추정된다. 따라서, 이 노두를 포함한 주변 일대의 만입지는 한 때 바다 즉 만이었으며 이 만의 주변 해안을 따라 상기한 퇴적층들이 쌓여 왔던 것으로 판단된다.

효암천이 바다로 유입하는 비학(서생) 일대의 해안에는 만입지임에도 불구하고 비교적 단구 모습이 뚜렷한 해안단구가 관찰된다(KOJ-13; 그림 2.5-16). 비학의 해빈에 바로 인접한 배후지에 나타나는 단구는 바다 쪽으로는 해식애를 이루며 육지 쪽으로는 효암천에 의해 침식을 받았기 때문에 양쪽이 단애면인 탁상지 모양을 하고 있는 것이 특징이다. 해발 고도는 약 10 m 이내로 서생-왜성의 단구보다는 다소 낮은 편이다. 이 단구의 단구애를 따라 소로 주변에 드러난 노두를 살펴보면 기반암은 화강암으로 상부가 새프롤라이트화 되었으며 사력 퇴적층은 1~2 m의 층후를 보인다. 또한 퇴적층 상부에는 사빈 모래, 그리고 하부에는 왕모래와 1 cm 내외의 자갈이 혼재되어 퇴적되어 있다. 노두에서 관찰되는 자갈의 경우 원마도가 높은 아원력 내지 원력이 많아 해빈 퇴적임을 알 수 있다. 사빈 퇴적물의 경우는 거의 고화되어 있지 않은데 표토에 가까운 사빈 퇴적물은 유기물질이 섞여 있어 다소 검게 보인다.

2.5.1.2.2.5절 절대연대측정의 OSL 연대 결과에 의하면, 비학 단구 퇴적층의 연대는 57 ± 5 ka로 밝혀졌다. 이것에 의하면, 서생-왜성 단구보다는 뒤에 생겨난 것으로 볼 수 있다. 이러한 연대 측정 결과는 비학 단구의 고도가 서생-왜성 단구보다 다소 낮은 점을 고려할 때 지형 관찰 내용과도 비교적 잘 합치되는 것으로 판단된다.

제 4기 단층은 제 4기 퇴적층을 절단한 현상이나 흔적이 있을 때에 인지된다. 제 4기층은 기반암과는 달리 미고결층이므로 단층의 존재를 파악하기가 매우 어려우며 또한 단층비지를 형성하지 못하는 관계로 ESR과 같은 단층연대측정은 불가능하다. 그러나 해안-산록 주변에 분포하는 단구퇴적층을 MIS(Marine Isotope Stage) 별로 분류조사하고 이의 퇴적연대가 측정되면 단구변위를 일으킨 제 4기 단층의 위치와 시기가 파악될 수 있다. 이러한 단구분류 및 단구변위단층 조사분야는 해안가에 위치하는 원자력발전소의 안정성을 타진하는 주요한 방법으로 오래전부터 국제적으로 활발히 진행되어 왔으나 우리나라

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

에서는 중요성을 인지하지 못했던 관계로 미미하였으며, 최근에 들어서 체계적인 조사기술을 도입하여 활용하고 있는 정도이다.

우리나라에서 해안단구 연구는 고 김서운 박사가 최초(참고문헌 8)이며, 그 후 여러 학자들에 의하여 해안단구가 연구되었다. 지금까지의 단구 연구는 단구의 분류이었을 뿐, 지구조운동과 관련한 연구는 단 한건도 보고 된 바 없었다. 대표적인 해안단구 연구는 김서운(참고문헌 8), 오건환(참고문헌 115, 116), 이동영(참고문헌 117) 등에 의하여 수행된 바 있으며 이들에 의한 단구분류는 다음과 같다.

김서운(참고문헌 8)은 포항에서부터 울산지역의 방어진까지 해안단구를 6개의 단구면으로 분류하였으며 각각 봉화재(90~130 m), 염포리(70~80 m), 화정리(50~60 m), 방어진(30~40 m), 정자리(10~20 m), 주전리(3~7 m)면으로 정의하였다. 주전리 단구를 제외한 상위 면들의 시대는 모두 후기 플라이스토세로 보았다. 오건환(참고문헌 115, 116)은 동-서해안의 해안단구를 조사하고, 각 해안 단구면을 저위면 I, II, 중위면, 고위면 등 4개로 분류하였으며, 구정선 고도 30~50 m의 단구면 형성시기를 마지막 간빙기(5e)에 속할 것으로 보았다. 이동영(참고문헌 117)은 동해안의 해안단구를 5개의 단구면으로 구분하고 10~12 m는 후기 플라이스토세, 25~30 m와 40~45 m 단구면은 중기 플라이스토세, 80~90 m 단구면은 최상부 제 3기에 대비하였다. 그 밖에 최성길(참고문헌 118), 황상일과 윤순옥(참고문헌 119), 윤순옥과 황상일(참고문헌 120) 등이 해안단구에 대해 지리학적 연구를 한 바 있다. 특히 최성길은 동해에 18 m 내외의 고도를 갖는 단구면이 우리나라 해안을 따라 전역에 걸쳐있고, 이의 형성시기가 모두 마지막 간빙기(5e)라고 발표한 바 있다. 최근 Miyauchi(참고문헌 121)는 한반도 해안단구면의 용기와 양산-울산단층대의 제 4기 단층 발달로 한반도내의 제 4기 지구조운동을 예측할 수 있다고 하였다.

지금까지의 단구 연구는 주로 해안단구를 대상으로 하여 단구를 저위면, 중위면, 고위면으로 구분하고 형성시기를 제시하였으나 단구면의 고도와 형성시기에서는 서로가 차이를 보이고 있다. 현재 제 4기 단층들은 단구면을 절단하고 있으므로 단구면의 형성시기가 제 4기 단층활동 연대를 제한할 수 있는 도구로서 가장 주요한 역할을 한다. 그러나 각 저자마다 단구분류가 서로 다르고 각 단구에 대하여는 정량적인 지형고도를 제안하고 있지 못하기 때문에 아직까지 단구 형성시기는 규명된 바 없다.

진하에는 북서방향의 남창천이 남창으로부터 동해로 유입되고 있다. 남창천 일대에는 넓은 면적의 홀로세 충적층이 분포하며 이 하천은 동해와 연결되는 하구언 역할을 하고 있다. 남창에서 진하지역까지 남창천을 따라서 제 2, 3 하안단구가 소규모로 형성되어 있으나 도시가 들어서면서 많은 부분의 하안단구지형이 파괴되었다. 이 지역은 저구릉지로 되어 있으나 단구지형 발달이 미약한 지역으로 단구조사가 타 지역에 비해 어려운 곳이다. 즉, 단구면이 좁게 발달하고 있는 점이 이 지역 단구의 특징이며 단구의 정밀한 정량적 현장답사가 없으면 침식 삭박된 침식면과 해성기원의 단구면을 분간할 수 없다. 특히 제 4단구는 대부분 사면 퇴적층에 의하여 구정선이 덮여 있어 정확한 구정선 위치 및

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

고도의 판단과 측정이 매우 곤란하다.

월내를 중심으로 하여 북동쪽과 남서쪽의 단구분포가 서로 다른 양상을 보이고 있다. 월내 북동쪽인 진하해수욕장에서 비학까지는 제 2, 3 단구가 연속적으로 측방 연장성을 보이며 잘 발달하고 있는 반면 고리 남서쪽에서는 제 2, 3 단구가 소규모로 산발적인 분포를 보인다. 특히 남서쪽에는 신평리와 동백리 지역에만 국한하여 제 2, 3 단구의 분포가 다소 넓게 발달하고 있을 뿐이다.

하안단구

부지반경 8km 지역에서는 회야강을 제외하고는 소규모의 하천이 대부분이므로 하안단구 역시 규모가 크지 않다. 그 중 규모가 큰 하안단구는 회야강의 지류인 남창천 주변 즉 남창 일대에 발달되어 있다. 남창 일대의 단구는 저위, 중위, 고위단구 등 최소 3단이 구분된다. 저위단구는 울산온천과 상발 사이의 저지대, 중위단구는 울산온천 북쪽과 서쪽, 고위단구는 상발 일대와 남창에서 월내로 넘어가는 구릉지 주변에서 관찰된다.

저위단구는 남창-진하간 도로 주변의 주거지 일대로 하상 비고 대략 5m 이내의 지역이며 지형적으로는 오히려 넓은 곡지이기 때문에 계단상의 단구 형태는 식별할 수 없다. 그러나 주택 건설공사시 나타난 노두를 보면 전형적인 하천 하상역층을 확인할 수 있다. 자갈의 크기는 왕자갈 이상의 것들이 많으며 기질(matrix) 물질은 왕사, 조립사(coarse sand)를 다량 함유하며 자갈은 거의 풍화되지 않은 상태를 유지하고 있다.

중위단구는 남창에서 월내로 넘어가는 도로 좌안 즉 솔밭 남쪽지역(하상 비고 약 10m 내외)이 전형적이다. 이곳은 정부가 평탄한 구릉지로 솔밭이나 밭 또는 주거지로 이용되어 왔는데 형태상으로는 단구가 완전한 곳이다. 이곳 남창 중위단구는 사력층이 두터운 곳은 약 3m 이상에 달하며 자갈은 주로 아원력이 많고 입경은 중력 내지 왕자갈에 속하는 것들이 지배적이다. 자갈의 풍화 정도는 전술한 저위단구 퇴적층보다는 더 진전되었다. 세일은 지압으로도 쉽게 부서지며 자갈 중에는 풍화각(weathering rind)을 보이는 것도 다수 있다. 또한 주로 모래로 이루어진 렌즈상 퇴적체이나 적색 혹은 청회색 점토층도 관찰되는 것을 보면 완전한 하천 하상 및 하안 퇴적층인 것으로 판단된다. 한편 사력층 상부는 매스무브먼트를 받아 점토, 모래, 자갈 등이 혼재된 모습을 보인다.

고위단구는 생성된 이후 많은 시간이 경과되어 대부분 구릉지로 해체되었고 따라서 계단상의 지형을 이루지 않으며 퇴적층 또한 거의 발견하기 어렵다. 단지 구릉의 비교적 평탄한 사면을 따라 산재한 자갈을 볼 수 있을 뿐이다. 남창 일대에서는 상발의 구릉지(하상 비고 약 15m 내외)가 바로 이런 전형적인 고위단구에 속한다. 상발의 구릉지는 밭이 구릉의 정부에까지 들어서 있는데 밭과 그 주변에서 하천 기원의 아원력 내지 아각력들이 소수이긴 하지만 관찰되므로 상발의 구릉지가 분명한 하안단구임을 시사한다. 그러나 평탄한 구릉 정상부에서는 자갈이 거의 없는 것으로 보아 하안단구는 구릉의 언저리를

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

따라 생겨났던 것으로 판단된다.

남창 일대 이외에도 하안단구는 효암천, 장안천, 재광천 주변에서도 찾아볼 수 있다. 신고리 5,6호기 부지에서 인접한 곳을 흐르는 효암천은 월내의 한빛아파트 북쪽 하안산지에 단구지형(KOJ-4; 그림 2.5-16)을 만들었는데, 이곳 역시 농경지 주변에서 산재한 하천자갈을 볼 수 있다. 이와 유사한 고도의 하안단구는 장안천 주변에서도 관찰된다. 장안천에서 하안단구 퇴적층을 볼 수 있는 곳은 한빛아파트 남쪽 구릉의 말단부인데 특히 월내-장안간 도로변의 숲속 하상 비고 약 5m 내외의 지점에 장안천 하상역층으로 추정되는 퇴적층(KOJ-18; 그림 2.5-16)이 관찰된다. 전술한 단구 분류에 의하면, 이 단구는 저위 단구에 속하는 것으로 볼 수 있다.

이 밖에 대운천 중·상류에도 하안단구(KOJ-45, 46, 47; 그림 2.5-16)가 널리 나타난다. 특히 상대 마을 주변에 단구가 널리 분포하는데 대운천의 지류와 분류가 합류하는 지점에 비교적 규모가 큰 단구가 발달되어 있다. 이곳의 하안단구는 외딴단구(unpaired terrace)로 최소 4단 이상이 관찰된다. 이러한 단구는 기후변화와 관련된 기후단구라기 보다는 지반의 융기 운동에 상응하여 하천의 하각작용이 서서히 진행되면서 생겨난 것으로 여겨진다. 이러한 유형의 하안단구는 흔히 산지 사면을 유하하여 분류로 유입하는 소하천 주변에서 잘 관찰된다.

이상의 하안단구 조사에서는 해안단구의 경우와 마찬가지로 단구 퇴적층이 단층에 의해 변형되었는지 여부를 하안단구의 형태와 퇴적물 특성을 조사하면서 세밀히 조사하였으나 제 4기 퇴적층을 관찰한 어느 노두에서도 그러한 증거를 발견하지 못하였다.

기타 하천지형

지반 운동과 관련될 수 있는 하천지형으로는 하계망이나 하도 유형을 들 수 있다. 그러나 조사지역의 하천들은 회야강을 제외하고는 대부분 규모가 작은 하천들이어서 하계망 보다는 하도 유형에 중점을 두어 조사를 수행하였다.

부지반경 8km 지역 내의 주요 하천인 효암천, 재광천, 장안천 등은 대체로 곡률도가 낮은 하천들이지만 국지적으로는 사행 하도가 관찰된다. 특히 좌천리 일대의 재광천, 월내리 일대의 장안천, 한빛아파트(장안읍) 인근의 효암천 등지가 그러하다. 그러나 사행 하도가 단지 한 곳에서만 관찰되는 등 연속적이지 않으며 그 곡률도가 큰 편은 아닌 것으로 미루어 볼 때 국지적인 지질 조건과 관련된 것으로 생각된다. 사행 하도가 단층과 관련된 것인지의 여부를 세밀하게 살펴보았지만 단층의 증거는 발견되지 않았다. 다만 월내리 일대의 장안천은 본류 하천이 사행하는 곳을 향하여 비교적 직류를 이루는 소하천들이 유입하고 있어 사행 현상이 구조선의 영향을 받고 있는 것으로 추정된다. 재광천과 효암천의 경우 사행하는 곳은 곡사면 경사가 급하며, 곡폭이 좁은 감입하곡이 나타난다. 이러한 곳은 어느 하천이든 하상 또는 하안에 암반이 노출된 경우가 일반적인데 재광천

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

이나 효암천의 경우도 예외는 아니다. 이 밖에도 비학 일대의 효암천 하류에서도 사행하도의 흔적을 찾아볼 수 있다. 그러나 이상과 같은 사행 현상은 주변의 지형 조건을 고려할 때 굳이 구조선의 영향이 아니라도 하천의 자연스러운 침식 과정에서 생겨날 수 있는 것으로 판단된다.

산록면

부지반경 8km 이내의 조사지역에서는 일광산(약 378m)과 월음산(약 435m) 동쪽 그리고 달음산(약 588m) 북쪽지역에 널리 산록완사면이 분포한다. 그 중 퇴적층이 비교적 두터운 곳은 달음산 북쪽 산록면이다. 이 산록면은 정관분지 내에 발달된 것으로 산록면의 폭 또한 수 km 이상에 달하는 등 규모가 매우 크다.

그러나 산록면의 지면 경사는 월음산 및 일광산 산록면에 비하여 다소 급한 편이다. 이곳 달음산 산록면의 말단부에 소하천의 개석으로 드러난 노두의 퇴적물은 거의 대부분 소하천 퇴적물 내지 사면 퇴적물로 이루어져 있다. 하천 퇴적층에는 중력에서 거력에 이르는 다양한 크기의 각력 내지 아각력의 자갈들이 혼재되어 있으며 단애를 이루는 노두의 중간 부위에는 약 30cm 내외의 모래 퇴적층도 관찰된다. 이러한 퇴적상은 흔히 소하천에서 볼 수 있는 것으로 현재도 이 산록면을 개석하는 소하천의 하상에서 관찰 가능하다. 이와는 달리 사면퇴적층은 층상사면퇴적층과 매스무브먼트 퇴적층이 각기 약 50cm 내외의 퇴적층을 이루어 나타난다. 이러한 퇴적층의 특징은 산록면상에 한 때 소하천이 놓여 있는가 하면 사면유수 또는 매스무브먼트가 발생하여 지형형성에 영향을 미쳤다는 것을 시사한다. 산록면의 평탄한 모습은 그러한 과정에 생겨난 것으로 본다. 한편, 산록면의 퇴적층후는 산록면의 말단부에서 약 5m 이상이며 이러한 두터운 퇴적층은 대체로 영월암 인근까지 나타나고 그곳으로부터 산록면 상부로 올라가면서 급격히 퇴적층후가 감소되는 경향을 보인다. 이와 같이 두터운 퇴적층을 보이는 산록면은 단층과도 관련이 있을 수 있기 때문에 산록면에 드러난 노두들을 중심으로 여러 곳을 관찰하였지만 퇴적층을 변위시키는 단층은 발견하지 못하였다.

달음산 산록면과는 달리, 일광산 서쪽 삼성리 일대의 산록면은 사면 경사가 매우 완만하다. 또한 산록면의 퇴적층도 약 1m 이내로 두텁지 않은 경우가 많아 이 곳의 산록면은 전형적인 페디먼트로 분류할 수 있다. 이 페디먼트는 산록면이 평탄하기는 하지만 기반암이 심층풍화된 상태로 산록면에 노출된 곳도 적지 않다. 그런 곳의 일부에서는 소하천이 산록면의 측면을 개석하는 곳을 중심으로 슬럼프(slump)가 일어나고 있다. 이러한 슬럼프는 지반 운동과도 관련이 있을 수 있어 세밀히 지형 조사를 행하였지만 특정의 장소에만 국한되어 나타나고 있어 국지적인 조건과 관련된 매스무브먼트인 것으로 판단된다.

월음산 서쪽 산록면(청광 일대) 역시 일광산 산록면과 유사하게 산록면 경사는 완만하지만 퇴적층이 매우 얇은 것으로 관찰된다. 제 4기 퇴적물이 두텁게 퇴적된 곳은 이와 같은 산록면보다는 주변에 높은 산지를 끼고 있는 곡저지이다. 이와 같은 곡저지는 때로는

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

하천 침식으로 단구화되어 작은 구릉처럼 남기도 한다. 그러한 예는 일광광산 인근에서도 찾아볼 수 있다. 이곳의 단구는 채광 과정에서 노출된 노두를 통해, 층후가 수 m 이상에 달하며, 아각력 중심의 소하천 하상역층이 지배적이지만, 저습지 퇴적층도 관찰된다.

기타 산지지형

부지반경 8km 지역에는 이와 같은 산록면 지형과 더불어 산지 지형의 일종인 저위침식면 지형이 화강암이 널리 분포하는 서생 일대에 나타난다. 서생 일대의 화강암 지형은 주변의 다른 지역에 비하여 고도가 특히 낮아 해발 100 m 이내의 지역이 대부분이며 산지의 고도도 대체로 비슷하고 산지 사면의 경사 또한 매우 완만하여 전체적으로 평탄하다.

서생의 화강암지역은 해안에 널리 나타나는 해안단구보다 다소 높은 정도로 봉고 동일성을 보이고 있어서 고위의 해안단구 또는 하안단구의 존재여부를 확인하기 위한 조사를 수행하였다. 그러나 하천 주변의 하안단구를 제외하고는 산정부에 가까운 고도에서는 단구 퇴적물로 여겨지는 제 4기 퇴적층은 없었다. 단지 새프롤라이트화된 기반암이나 핵석만이 널리 관찰되었다. 이러한 사실은 이 지형이 지반이 비교적 안정된 곳이며 오랜 동안 풍화와 침식을 받아 생긴 침식면 지형이라는 것을 시사한다.

용리와 신암리 일대의 산지에서 소수이기는 하지만 기반암의 핵석 더미인 토오르(tor)가 발견되기도 하는데 이와 같은 토오르의 지형도 대체로 오랜 동안의 풍화와 침식을 받아 생겨나는 것이므로 서생 일대의 화강암지역은 비교적 오랜 기간에 걸쳐 지반이 안정되었던 것으로 판단된다.

2.5.1.2.2.1.3 결론

부지반경 8km 이내의 지역을 대상으로 지반운동과 관련이 있을 것으로 의심되는 해안단구, 하안단구, 산록면 등의 주요 지형들을 선정하여 조사를 실시하였으며 조사결과 진하-기장지역은 남측으로 침강하는 형상을 보이고 있으며 조사지역 어느 곳에서도 단층에 의하여 변위된 지형특성은 발견할 수 없었다.

하안단구는 하상 비고 및 퇴적층의 풍화 정도에 따라 고위, 중위, 저위 등 삼단으로 분류하였다. 제 4기 퇴적층을 볼 수 있는 노두에서도 역시 단층에 의하여 변형된 것을 찾을 수 없었으며 감입사행하도가 나타나는 재광천, 효암천, 장안천의 일부 구간에서도, 월내리 일대를 흐르는 장안천의 경우만이 구조선의 영향을 미약하게나마 추정할 수 있었다.

산록완사면은 일광산, 월음산, 달음산 산록에 발달된 것이 전형적이다. 달음산 북쪽 산록면의 경우, 말단부의 퇴적층이 특히 두터운데, 이 곳상은 소하천과 사면류 그리고 매스무브먼트에 의해 산록면의 지표면이 변화되었으나, 이곳 역시 단층에 의해 변형된 제 4기

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

퇴적층은 찾아볼 수 없다. 또한 서생 일대의 화강암지역에서는 오랜 풍화와 침식에 의한 저위침식면 지형이 널리 분포한다.

이상과 같은 조사 결과를 토대로 종합적으로 고찰해 볼 때 부지반경 8km 지역 내의 해안단구, 하안단구, 산록면 등의 주요 지형들에서는 단층에 의해 변형된 흔적을 찾아볼 수 없다.

2.5.1.2.2.2 지질 개요

부지반경 8km 지역의 기반암은 주로 백악기의 퇴적암, 백악기 말의 화산암, 백악기 말~제 3기 초의 화강암 그리고 제 3기 중엽의 맥암류로 구성되며 대부분의 조사지역에는 백악기 말의 화산암체가 분포한다. 이 암체들은 국지적으로 제 4기 퇴적물에 의해 부정합으로 피복된다(그림 2.5-67).

백악기의 퇴적암체는 호온펠스화된 역암, 사암, 실트스톤, 이암 등으로 구성되며 조사지역 남서부 일대(일광면)에 주로 나타나나 조사지역 북측 서생면 대안리 일대에서도 계곡을 따라 일부 존재한다. 이 퇴적암체는 소위 신라통에 속하는 이천리층으로 명명되었으나 최근 이 퇴적암체를 유천층군에 속하는 다대포층으로 해석하였다(참고문헌 122). 조사지역의 백악기 퇴적암체에는 화석이 산출되지 않아 현재로서는 정확한 층 대비가 불가능하므로 여기에서는 ‘이천리층’의 명칭을 이용하였다(참고문헌 69). 이천리층의 층리면은 조사지역 남서부인 일광면 일대에서는 일정하게 북동 주향에 저각의 북서 경사를 보이거나 이천리층이 국지적으로 나타나는 조사지역 북측 서생면 대안리 일대에서는 층리면이 북동 주향에 남동 경사를 보인다. 이천리층은 조사지역의 반 이상을 점하는 화산암류에 의해 부정합으로 덮여 있다(그림 2.5-68).

부지반경 8km 지역에서 가장 넓은 부분을 차지하는 백악기 말의 화산암체는 주로 석영안산암질 응회암과 안산암질 응회암으로 구성되며 일부 석영안산암과 안산암이 분포하기도 하나 대부분은 산출상태가 불규칙하여 1:5,000 축척의 지질도에 도상단위(mappable unit)로 표시되지는 않는다. 이 화산암체는 백악기 말~제 3기초의 화강암체에 의해 관입되어 있다(그림 2.5-69).

부지반경 8km 지역의 화강암체는 서생면 일대에 분포하는 백악기 말의 화산암체를 관입한 주로 각섬석화강암이며, 남서부 일광광산 일대에는 화강섬록암이 이천리층을 관입하며 소규모로 분포한다. 절대연대측정 결과, 이 두 화강암체의 관입시기는 약 65 Ma로 동일시기임이 밝혀졌다(2.5.1.2.3.3 절대연대측정 참조). 한편, 조사지역의 화산암체(주로 석영안산암질 응회암과 안산암질 응회암)의 분출시기 절대연대도 65 ± 5 Ma로 측정되어 화강암체의 관입과 동일한 시기로 추정되나 각섬석화강암이 석영안산암질 응회암을 관입한 야외에서의 증거와 관입접촉부에서 각섬석화강암이 냉각주변(chilled margin) 증거를 보이는 것을 고려할 때(그림 2.5-69) 시간 간격은 그리 길지 않으나 응회암이 충분히 냉각

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

된 후에 화강암체가 관입한 것으로 해석된다. 상기한 세 암체를 관입한 맥암류의 절대연대는 44 Ma로 추정되었다. 따라서 조사지역 암상발달 순서는 다음과 같다.

- 가. 백악기 : 이천리층 퇴적
- 나. 백악기 말(70~65 Ma) : 화산암(석영안산암질·안산암질 응회암) 분출 및 퇴적
- 다. 백악기 말~제 3기 초(65 Ma) : 화강암체 관입
- 라. 제 3기 초말(44 Ma) : 맥암류 관입
- 마. 제 4기 : 미고결층 퇴적

2.5.1.2.2.2.1 이천리층

이천리층에서는 호온펠스화된 이암, 실트스톤, 사암 그리고 역암이 교호하며 층리면은 조사지역 남서부인 일광면 일대에서는 일정하게 북동 주향에 20~30°의 북서 경사를 보이거나 이천리층이 국지적으로 나타나는 조사지역 북측 서생면 대안리 일대에서는 층리면이 북동 주향에 20~60°로 남동쪽으로 경사한다. 이천리층에서는 단층과 절리 등의 취성구조외에는 습곡 등의 연성구조가 전혀 관찰되지 않으나 국부적으로 퇴적 당시 미고결 퇴적물의 슬럼핑(slumping)에 의한 엽간습곡(intrafolial fold)이 발달하기도 한다.

역암은 0.5~10 cm 크기의 아각형(subangular)내지 아원형(subrounded)한 자갈과 사질의 기질(sandy matrix)로 구성되나 국지적으로 자갈이 각형(angular) 또는 원형(rounded) 모양을 보이기도 한다. 역암은 대부분 기질지지(matrix supported) 형태를 보이며 일부 쇄설물지지(clast supported)를 보이기도 한다. 대부분 층의 두께가 20~150 cm로 층리가 잘 발달되어 나타나나, 역암의 층후가 두텁고 쇄설물지지를 보이는 일부 지점에서는 층리가 발달하지 않고 괴상으로 나타난다. 자갈은 주로 이암, 실트스톤, 사암 그리고 북결정 석영(polycrystalline quartz)으로 구성되어 있다.

사암과 실트스톤은 층의 두께가 5~200 cm를 보이며 층리가 잘 발달하나 국부적으로는 괴상으로 나타난다. 사암의 주 쇄설입자는 주로 아각형 내지 아원형의 석영이고 일부 장석, 백운모 및 불투명 광물들로 구성되며 이들의 크기는 대부분 0.07~0.4 mm이다(그림 2.5-70). 석영쇄설물 입자는 단결정(monocrystalline)이거나 북결정이며 북결정 석영의 경우 입자경계의 형태가 약하게 재결정 받은 것으로 나타나 약한 호온펠스화작용을 지시한다. 기질은 석영과 점토광물로 구성되며 기질의 석영은 초기 재결정작용(incipient recrystallization)의 조직을 보여 이 역시 약한 호온펠스화 작용을 지시한다.

이암은 층의 두께가 2~20 cm로 층리가 잘 발달하나 일부 지점에서는 두터운 괴상으로 분포한다. 이암은 매우 미세한 입자의 점토광물과 석영으로 구성되며 0.002~0.003 mm 크기의 아각형~아원형 석영쇄설물(일부는 장식쇄설물) 입자가 10 % 미만으로 분포한다(그림 2.5-71).

2.5.1.2.2.2.2 화산암체

조사지역의 화산암체는 주로 화성쇄설암(pyroclastic rocks)으로 석영안산암질 응회암과 안산암질 응회암으로 구성된다. 그러나 화학분석 결과에 의해 구분된 두 암석을 지질도상에 표시하여도 두 암석의 분포 양상이 불규칙하게 변하기 때문에 지질도상에 이 두 암석을 구분하지 않고 하나의 암체로 표시하였다. 화성쇄설물의 크기는 대부분 2~50 mm 내에 들어 화성쇄설물의 크기에 의한 분류는 라필리응회암에 해당한다. 조사지역의 화산암체는 대부분 응회암이나 일부 용암류에 의한 석영안산암과 안산암이 국지적으로 나타난다.

석영안산암질 응회암과 안산암질 응회암 내에는 일부 층리면이 발달하며 대부분 서북서 주향에 20° 내외의 저각으로 북측으로 경사한다. 국지적으로는 화성쇄설물이 재활동하여 퇴적된 화산성 퇴적암이 켜기형태로 나타나기도 한다. 석영안산암질 응회암은 대부분 각형의 장석과 석영의 화성쇄설물로 구성되며 일부 고철질(mafic)의 암편이 존재한다. 석영반정은 흔히 β -석영 형태를 보이며 석기(groundmass)가 침투한 만입조직(embayment texture)을 보여 화산성 기원임을 지시한다(그림 2.5-72). 안산암질 응회암은 일반적으로 석영암산암질 응회암 보다 사장석의 반정과 고철질 암편이 상대적으로 많으며 사장석은 흔히 누대조직(zonal texture)을 보인다.

조사지역의 화산암체의 주성분 분석을 위하여 26개의 시료에 대한 X-ray 형광분석(X-ray fluorescence spectroscopy)을 수행하였다(표 2.5-8). 분석자료를 종합 알칼리-실리카 도표(total alkali-silica diagram, 참고문헌 123)에 도시한 결과 조사지역의 응회암은 모두 석영안산암과 안산암 영역에 걸쳐 분포된다(그림 2.5-73).

2.5.1.2.2.2.3 화강암체와 맥암류

조사지역의 화강암체는 서생면 일대에 분포하는 백악기 말의 화산암체를 관입한 주로 각섬석화강암이며, 조사지역 남서부 일광광산 일대에는 화강섬록암이 이천리층을 관입하며 소규모로 분포한다. 각섬석화강암은 조립질로 주로 5~10 mm의 석영, 5~15 mm의 정장석과 사장석, 1~10 mm의 흑운모, 그리고 2~10 mm의 각섬석으로 구성되며, 특히 각섬석은 그 크기가 30 mm에 달하기도 한다(그림 2.5-74). 각섬석화강암 내에는 2~20 cm 크기의 고철질 엔클레이브(enclave)가 나타나는 것이 특징적이다.

조사지역의 맥암류는 기반암인 이천리층, 응회암, 화강암체에 발달한 절리를 따라 관입하고 있으며 성분에 따라 현무암질 맥암, 안산암질 맥암 그리고 규장질맥암(felsic dyke)으로 분류된다. 맥암의 두께는 수 cm에서 수십 m 까지 다양하게 나타난다.

현무암질 맥암은 효암리 해안가에 집중적으로 나타나며 길이 0.5~1 mm의 사장석 래스(lath)가 구성광물의 70~80 %를 차지하며 이 밖에 0.25~0.5 mm 크기의 휘석, 0.1~0.25 mm 크기의 감람석 그리고 0.1~0.25 mm 크기의 불투명광물로 구성된다(그림 2.5-75). 안산암

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

질 맥암은 0.005~0.01 mm 크기의 사장석 래스가 구성광물의 60~70 %를 차지하며 이 밖에 0.001~0.005 mm 크기의 각섬석과 0.005~0.03 mm 크기의 불투명광물로 구성된다(그림 2.5-76). 규장질 맥암은 중립질의 화강암질 맥암이거나 세립질의 석영·장석반암으로 구성되어 있다(그림 2.5-77).

2.5.1.2.2.3 제 4기층

부지반경 8 km 지역에서 제 4기층의 전반적인 분포상태를 파악하기 위해 1:25,000 및 1:5,000 지형도를 이용하여 주요 도로와 하천, 계곡 그리고 해안을 따라 제 4기층의 분포를 조사하여 그림 2.5-78에 정리하였다. 조사지역의 대부분은 다양한 높낮이의 산지로 되어 있으며 계곡들은 좁은 폭을 가지고 발달하고 있어 제 4기층의 분포 범위와 산출량은 많지 않은 편이다. 해안을 따라서는 단구 지형이 곳곳에서 관찰되고 있으나 단구 퇴적층의 양호한 노두는 많지 않으며, 조사지역의 하천 주변을 따라 하성 기원의 제 4기층과 현세의 충적층도 여러지역에 발달하고 있으나 현세 이전의 지층으로 생각되는 하성 퇴적층의 노두는 많지 않다.

조사지역의 제 4기층을 크게 세 가지 암상으로 구분하면 다음과 같다. 첫째, 산지의 소하천과 계곡, 산록완사면 그리고 사면을 따라 나타나는 사면 중력류(gravity-flow) 또는 질량이동 퇴적층(mass-movement deposit)을 들 수 있다. 이들은 그림 2.5-78의 42번, 51번, 62번, 79번 지역에서 관찰된다. 둘째, 조사지역 북부에 비교적 규모가 큰 하천이 흐르고 있고, 이 하천변을 따라 유수의 작용으로 형성된 하성 퇴적층이 두텁게 분포하고 있는데, 이 암상은 부지반경 8 km 조사지역 바깥지역(KOS-05, KOS-06, KOS-22; 그림 2.5-78)에서 노두가 주로 위치한다. 셋째, 해안에 인접한 몇몇 지역(54번 지역 및 KOS-09, 13, 14, 15, 18; 그림 2.5-78)에서 해변 및 해성 기원의 퇴적층이 산발적으로 분포하고 있으며, 이들은 단구 지형과 연관되어 분포한다.

2.5.1.2.2.3.1 사면 및 산록퇴적층

조사지역의 계곡과 산사면을 따라 육성 환경에서 퇴적된 것으로 해석되는 역암과 각력암이 도처에서 관찰된다. 이들은 조사지역에서 가장 흔히 볼 수 있는 제 4기층으로 양적으로는 풍부하나 암상은 비교적 단조로운 편이다. 이들이 보여주는 퇴적학적 특성과 현 지형과의 관계 등을 고려해 볼 때 육성기원의 제 4기층은 퇴적작용과 환경에 있어 몇 가지로 세분된다.

42번 지역, 51번 지역 그리고 KOS-34 및 35번 지역(그림 2.5-78)에 분포하는 제 4기층들은 괴상의 자갈 및 왕자갈 역암(massive pebble-cobble conglomerate)이 가장 우세한 암상이다. 역들은 역지지(clast-supported)되어 있거나 기질지지되어 있으며 대체로 각이져 있고 분급이 불량하며 배열은 거의 되어있지 않다. 역들은 주로 주변 기반암에서 유래한 암편들로 이루어져 있다. 기질은 분급이 매우 불량한 이질사(muddy sand) 또는 사질니(sandy mud)로 구성되어 있으며, 색깔은 적갈색 및 황갈색을 띤다(그림 2.5-79(a)).

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

역암 사이의 경계면을 따라 침식곡(scour hollow)이 관찰되기도 하며, 그 깊이는 수십 cm에서 수 m에 이른다. 간혹 역암 사이에는 얇게 층상의 사질층이 협재되기도 하며, 역암의 희미한 층리를 보여주는 경우도 있다(그림 2.5-79(b)). 이 경우 기질의 분급은 피상의 역암에 비해 상대적으로 양호하며, 역의 크기도 작은 경향이 있다.

79번 지역에서는 경사가 급한 산사면 아래쪽으로 제 4기 육성 퇴적층들이 산록완사면을 이루며 쌓여 있다. 이 산록완사면 퇴적층은 약 100 m의 고도로부터 비교적 완만한 경사로 뻗어내려 하천까지 연장되고 있으며 층후는 최대 10 m에 이른다. 이곳의 퇴적층들 역시 매우 각이 저 있거나 약간 원마가 이루어진(very angular to subrounded) 자갈과 분급이 불량한 이질사의 기질로 구성되어 있으며, 분급은 매우 불량하고 구조가 없는 역암 및 각력암으로 구성되어 있다. 각 역암의 퇴적단위 사이의 경계는 심하게 침식받은 경우도 있으며 판상의 뚜렷한 경계를 보이는 경우도 있다. 또한 퇴적단위의 경계를 따라 왕자갈 및 거력 크기의 자갈들이 띠 모양으로 배열되어 있거나 층리를 보여주는 역암이 협재되어 있는 경우도 있다.

62번 지역의 경우 KOS-40(그림 2.5-78) 지점에서는 수십 cm의 두께를 가진 자갈 역암층들이 층상으로 또는 깎고 채운(scour-and-fill) 관계를 보이며 쌓여 있다(그림 2.5-80(a)). 이곳의 역들은 각진 역 뿐만 아니라 원마도가 양호한 역들을 포함하고 있다. 또한 역암층 사이에는 수십 cm 두께의 담황색 이암층이 렌즈상으로 협재되어 있기도 하다. 역암층 내에는 이와 유사한 암질의 이암역이 층내력(intraclasts)으로 포함되어 있다. KOS-41(그림 2.5-78) 지점의 역암은 약 30 m의 고도에서 관찰되며, 이곳의 역암은 KOS-40(그림 2.5-78)의 역암에 비해 역의 크기가 크고 원마도가 상대적으로 불량하며, 이암도 협재되어 있지 않다. 또한 기질의 분급이 불량하며 층리도 매우 희미하게 관찰된다(그림 2.5-80(b)).

80번 지역에서는 하천의 제방 바닥을 따라 제 4기 육성층이 나타나며 그 위를 실트 및 점토질의 퇴적층이 덮고 있다(그림 2.5-81(a)). 하위의 제 4기층은 비조직상(disorganized)의 역질이암 또는 이질역암 그리고 크고 작은 다량의 이암편을 함유하는 혼돈상의(chaotic) 역암으로 구성되어 있으며 상부의 세립 퇴적층은 박층리와 국부적으로 사층리를 보여주고 있다(그림 2.5-83). 고화된 실트층의 바닥에는 유수의 작용을 지시하는 종렬홈(flute cast)과 소규모의 도랑주형(groove cast)이 나타난다. 두 지층 사이의 경계는 침식적인 관계를 보여준다(그림 2.5-81(b)).

분급이 불량한 피상의 역암들은 층리의 발달이 불량하고 분급도 불량하며, 역들은 대체로 배열이 안되어 있고 이질의 기질에 의해 지지되는 경우가 흔하여(참고문헌 124, 125) 암설류(debris flow) 기원의 퇴적층들로 해석된다.

여러 매의 암설류 퇴적층이 누적될 경우 층상의 구조를 보이는 퇴적층이 형성되는데, 이러한 층상사면퇴적층의 중요한 퇴적 기구 역시 암설류인 것으로 해석되고 있다(참고문헌

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

126, 127). 따라서 조사지역의 육성 제 4기층의 대부분은 암설류에 의해 퇴적된 것으로 보인다. 물론 암설류에 의해 퇴적된 이후 지표수에 의한 침식과 재동의 영향이 있었을 것이며, 암설류 퇴적층 사이에 존재하는 침식 경계의 일부는 이러한 요인에 의해 형성되었을 가능성이 높다. 또한 매우 느린 사면이동에 의해 원래의 암설류 퇴적층의 조직과 구조가 변형되었을 가능성도 있다.

조사지역의 암설류 퇴적층들은 층적선상지와 같은 퇴적체를 이루기 보다는 산사면을 불규칙한 두께로 피복하고 있거나 계곡의 가장자리를 따라 산발적으로 나타나고 있다. 따라서 조사지역의 암설류 퇴적은 현재의 지형이 간접적으로 지시해 주듯이 산지 하천, 산록완사면 또는 산사면 등지에서 일어난 것으로 해석된다.

암설류 퇴적층 사이에 얇게 협재되어 있는 층상의 역암과 역질 사암들은 암설류 퇴적층과 비교하였을 때 유체류(fluid flow)의 영향을 많이 받은 것으로 해석된다. 층상 역암 내부에서 드물게 관찰되는 침식곡들은 유체류의 난류운동 결과로 해석할 수 있으며, 층리 역시 난류성 유체류(turbulent fluid flow)의 분급작용의 결과로 해석할 수 있다. 하지만 일반적인 하성 퇴적층과 비교하여 층리의 발달이 불량하고 역의 배열상태가 불규칙하며, 역과 기질의 분급도 불량하므로 층면구조(bed form)의 발달을 지시하는 구조가 관찰되지 않는다. 이러한 특징들은 층상 역암들이 비교적 고농도의 홍수류(hyper-concentrated flood flow)로부터 급격히 퇴적되었음을 지시하며 지속적인 하천류의 영향을 받지 않았음을 지시한다(참고문헌 128, 129). 따라서 암설류 퇴적층에 협재되어 나타나는 층상의 역암들은 산지 하천 가장자리나 사면에서 홍수기에 급격히 퇴적된 지층들로 해석할 수 있다.

KOS-31(그림 2.5-78) 지역의 하부에서 관찰되는 제 4기층(그림 2.5-82)은 이러한 육성 퇴적작용을 요약하여 잘 보여주고 있다. 이곳에서 Unit I과 Unit III은 암설류의 전형적인 구조와 조직을 잘 보여주고 있다. 반면 크고 작은 이암편을 다량 포함하고 있는 Unit II는 분급이 양호한 사질의 기질을 갖고 있어 전형적인 암설류 퇴적층과는 차이가 있다. 또한 불규칙한 형태의 이암편을 대량 함유하고 있어 하천류의 작용으로도 설명되지 않는다. 따라서 이러한 암상은 암설류와 하천류(stream-flow)의 중간적인 유성학적 특성(rheological property) 즉, 난류와 정류의 특성을 함께 지닌 고농도 수류의 퇴적층으로 해석할 수 있다(참고문헌 130, 131). 즉, 유체의 난류 운동에 의해 대량의 이암편이 뜰렸지만 이들은 고농도 층류(laminar)를 이룬 흐름의 하부를 따라 부유 상태로 운반된 것으로 보인다.

2.5.1.2.2.3.2 하성 퇴적층

부지반경 8km 북쪽 경계지역을 따라 비교적 큰 하천인 회야강이 동남해로 유입하고 있으며, 이 하천의 가장자리를 따라 제 4기에 형성된 하성 퇴적층이 10m 이상의 층후를 가지고 나타난다. 특히 조사기간 중 KOS-22(그림 2.5-78)지역의 공사 현장에서 대규모

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

의 트렌치가 만들어져 있었고(그림 2.5-83(a)), 그 주변 지역에서도 하성 기원의 퇴적층 노두가 여러 곳에서 노출되어 있었다. 이 지역의 하성 퇴적층은 계곡 및 사면 퇴적층과는 뚜렷한 차이점을 보이고 있다.

이 지역의 역암은 층리를 잘 보여주고 있는데, 층리는 역지된 자갈층과 사질층이 반복하여 만들어져 있으며 소규모의 침식면도 관찰된다(그림 2.5-83(b)). 역들은 대체로 자갈 크기이며 각이 저 있으나 산지 하천이나 사면 퇴적층에 비해 원마도가 양호하며, 역 사이의 기질도 주로 사질 퇴적물로 구성되어 있고 분급도 양호한 편이다. 사질 및 이질 퇴적층은 역암 사이에 얇게 협재되기도 하나 역암층을 수 m의 두께로 피복하고 있는 경우도 있다. 이 세립질 퇴적층에는 수 cm 두께의 층리가 발달하고 있으며, 층리의 측방향 연장성도 양호한 편이다(그림 2.5-84(a)).

조사지역의 트렌치에서는 이상의 역암과 사암/이암층들이 대략 10 m 정도의 층후를 갖는 상향 세립화층(fining-upward sequence)으로 나타나며(그림 2.5-84(a)), 이 상향 세립화층 위에는 또 다른 자갈 역암층이 덮고 있다(그림 2.5-84(b)). 위에 놓인 자갈 역암층은 렌즈상의 층형(bed geometry)을 보이며 침식적인 하부 경계를 갖고 있다. 내부 구조는 괴상이거나 희미한 층리를 보인다. 하부의 역암에 비해 분급이 매우 불량하고 층리의 발달도 미약하다. 또한 세립질 퇴적층의 덩어리가 역암의 역으로 포함된 경우가 흔히 관찰된다. 또한 역들의 풍화 정도가 하부의 하성기원 역보다도 심하다.

이 지역의 역암은 층리가 발달해 있고 분급이 양호하여 하천류에 의한 밑짐퇴적(bed-load sedimentation)에 의해 형성된 것으로 해석되며, 역암은 주로 하천의 하도 내부에서 퇴적된 것으로 해석된다. 반면 역암을 덮고 있는 사질 및 이질 퇴적층들은 주로 뜬짐(suspended load)으로부터의 퇴적을 지시하므로 하도가 범람 했을 때 하도의 바깥지역(over-bank area) 또는 범람원 지역에서 형성된 것으로 해석할 수 있다. 따라서 이 지역의 상향 세립화층은 하도 퇴적층 위에 범람원 퇴적층이 누적되어 만들어진 것으로 볼 수 있으며, 이와 같은 양상의 상향 세립화층은 하성 퇴적층의 전형적인 특징으로 알려져 있다(참고문헌 132, 133). 이 지역의 역암과 사암에서 관찰되는 층리가 대체로 평행하고 사층리의 발달이 미약한 점은 하도 내에서 사주(bar) 또는 역질 사주(gravel bar)를 비롯한 층면구조의 발달이 미약했음을 지시한다.

상향 세립화하는 하천 퇴적층 위에 또다시 나타나는 역암은 층리의 발달 정도와 분급 등의 퇴적학적 특징들을 바탕으로 볼 때, 전형적인 하성 퇴적층보다는 사면 퇴적층의 특징을 보여주고 있다. 즉, 분급이 불량하고 괴상인 역암은 암설(hyper-concentrated flood flow) 기원의 퇴적층으로 해석된다. 암설류와 고농도 홍수류는 일반 류 기원으로 해석되며, 분급이 불량하고 희미한 층리를 보이는 역암은 고농도 홍수류하천보다는 선상지나 산사면과 같이 산지에 인접한 지역에서 주로 나타나므로 상향 세립화층을 덮고 있는 상부의 역암층은 하천이 이동 또는 유기(avulsion)된 이후 주변 산지에서 공급된 사면 퇴적층으로 해석된다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

2.5.1.2.2.3.3 해빈 퇴적층

조사지역의 해안을 따라 몇 개의 고도에서 해안단구가 발달하고 있다. 그러나 이러한 해안단구의 노두를 관찰할 수 있는 지점은 매우 제한적이다. 해성 4기층의 퇴적학적 관찰이 가능한 주요 지역은 해안선이 만입해 있어 비교적 두터운 해성 4기층이 보존된 지역과 빈제가 발달해 있거나 단구 지형이 잘 발달한 지역(KOS-09, KOS-12, KOS-13, KOS-15, KOS-18; 그림 2.5-78)들이다.

해성 기원의 제 4기층은 대체로 모래, 자갈질 모래, 또는 자갈로 이루어져 있으며, 육성 기원의 제 4기층과 비교하였을 때 역의 원마도가 매우 양호하거나, 원마도가 양호한 역들을 소량이나마 포함하고 있다는 차이점이 있다. 사질의 기질이나 사질 퇴적층의 경우 이질(muddy) 물질의 양이 현격히 적어 육성 4기층에 비해 분급이 양호하여 쉽게 인지할 수 있다. 지역에 따라 다량의 각력이 포함되어 있는 경우도 있으나 기질의 분급이 양호하거나 드물게 원력이 포함되어 있어 육성의 제 4기층과 구별이 된다.

조사지역 중 54번 지역에서 가장 대표적인 해성 퇴적층이 관찰되는데, 이곳의 노두는 층리가 잘 발달한 자갈 역암(pebble conglomerate)으로 구성되며, 역들은 원마도가 양호한 입사귀형(prolate) 또는 디스크형(discoïd)의 모양을 가지고 층리에 평행 또는 경사져 배열되어 있다(그림 2.5-85(a)). 기질은 분급이 비교적 양호한 조립사로 되어 있으나 층리 발달은 불량하다. KOS-17(그림 2.5-78) 지역에서는 이러한 층상 역암 내에 거력 크기(1m 이상)의 화강암력들이 드물게 포함되어 있다(그림 2.5-85(b)).

KOS-18(그림 2.5-78) 지역에는 해안에 평행한 방향으로 길쭉한 능선형의 지형이 나타나며, 이곳엔 수 m 층후의 사질 퇴적층이 분포한다(그림 2.5-86(a)). 이 퇴적층은 왕모래와 자갈을 포함한 조립사로 구성되어 있으며, 희미한 경사진 층리를 보여주고, 분급은 불량하나 이질 퇴적물의 함량은 낮은 편이다. KOS-13 지역에도 분급이 매우 양호한 사질 퇴적층이 지표면을 덮고 있는 것이 관찰된다.

KOS-12, KOS-14, 및 KOS-15 지역(그림 2.5-78)에도 얇은 해성 기원의 4기층이 국부적으로 분포한다. 이곳의 퇴적층들은 자갈질 모래로 구성되어 있으며, 원마도가 높은 역들이 많거나 드물게 포함되어 있다. KOS-09 지역의 역암은 거의 대부분 각력으로 구성되어 있으며 분급이 불량하나 층리 발달이 양호하고 기질도 사질 퇴적물로 구성되어 있다(그림 2.5-86).

부지반경 8km 지역의 해성 4기층에서는 해성 환경을 입증할 만한 조개화석 등이 관찰되지 않는다. 하지만 이 퇴적층들의 조직과 구조는 이들이 대부분 해빈 환경에서 퇴적되었음을 시사하고 있다. 따라서 KOS-18(그림 2.5-78) 지역의 사질 퇴적층에 발달된 층리는 해빈에서의 세파(swash) 작용에 의해 형성되었을 가능성이 높다(참고문헌 134). KOS-17(그림 2.5-78) 지역의 역암에 포함된 거력 크기의 둥근 역은 기반암을 이루던 화

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

강암의 풍화 산물인 핵석 주위에 제 4기 해성층이 퇴적되어 포획된 것으로 해석된다.

KOS-09(그림 2.5-78) 지역의 퇴적층은 주로 각력으로 구성되어 있고, KOS-15(그림 2.5-78) 지역의 역암에는 각력과 원력이 함께 포함되어 있어 육성 기원의 역암과 부분적으로 유사하지만, 층리가 잘 발달되어 있고 기질이 분급이 양호한 사질 퇴적물로 되어 있기 때문에 해양 환경 하에서 일어난 재동작용의 영향을 받은 것으로 해석된다. 이와 같이 원마도가 일정치 않은 역들이 함께 분포하는 것은 위 지역들이 기반암 노출 지역이어서 기반암에서 뜯겨 나온 각력들이 해양의 마모 작용에 의해 원마도가 향상된 역들과 섞였기 때문인 것으로 해석된다.

2.5.1.2.2.3.4 제 4기층의 시대와 층서 구분

해성 기원의 제 4기층은 이들의 암상과 산출고도를 바탕으로 상대연대적 관점에서 분류하였다. 해성 기원의 제 4기층의 경우 조사를 통해 얻어진 절대연대 자료와 지층의 산출 고도를 바탕으로 개략적인 층서 구분이 가능하다. 먼저, 회야강 북부(KOS-13; 그림 2.5-78) 지역에서 관찰되는 양호한 분급의 사질 퇴적층은 전혀 고화가 되어 있지 않고 풍화의 흔적도 없어 현세에 형성된 빈제 퇴적층일 가능성이 크다. 이 퇴적층은 해발 고도가 1~2m 가량 되는 지역에 나타나고 있으나 현 해수면 하의 해양작용의 영향권 바깥 지역에 위치하므로 현세 중기 및 후기 당시 고해수면이 유지되던 시기에 형성되었을 가능성이 큰 것으로 보인다. 동아시아의 여러 지역에서 현세 해수면 변화를 연구한 결과에 따르면 18,000년 전 현재 해수면 대비 130m에 놓여있던 해수면이 급격히 상승하기 시작하여 약 6,000년 전에는 지금보다 수m 가량 더 높았으며 이후 수 차례의 변동과 함께 서서히 하강을 하였던 것으로 알려져 있다(참고문헌 135, 136, 137, 138, 139). 따라서 KOS-13(그림 2.5-78) 지역의 빈제 퇴적층은 후빙기의 고해수면과 관련된 지층일 가능성이 높다고 판단된다.

간절곶 해안지역의 해성 퇴적층(KOS-9, KOS-15; 그림 2.5-78)과 효암 인근 해안의 해변 퇴적층(KOS-18; 그림 2.5-78)과 같이 산출 고도가 5m 내외인 지층들은 좀 더 고기에 형성된 지층으로 판단된다. 이 지층들의 고도를 제 4기 해안단구 층서와 비교했을 때, 제 1단구(~3m)보다는 높으며 제 2단구(10~15m)보다는 낮은 위치에 놓여 있다(참고문헌 140, 141). 절대연대 측정 결과는 5m 내외의 고도를 갖는 단구 퇴적층의 지질연대가 51 ± 4 ka(KR-8) 및 35 ± 3 ka(KR-9)인 것으로 나타났다.

서생의 왜성(KOS-12; 그림 2.5-78)과 나사리지역(KOS-16, KOS-17; 그림 2.5-78)에는 해발 10m가 넘는 고도에서 해변 퇴적층이 분포하며, 이 지층들의 산출 고도는 제 2단구의 고도에 해당하는 높이이다(참고문헌 140, 141). 따라서 이 해성 퇴적층들이 후기 홍적세 또는 125,000년 전의 최후 간빙기를 전후하여 형성되었을 가능성이 있다. 해발 고도 19m 지역의 단구 퇴적층(KR-5)에 대한 절대연대 측정 결과는 107 ± 8 ka의 연대를 보여주고 있는데, 이는 제 2단구가 최후 간빙기를 전후하여 형성되었음을 지시한다.

2.5.1.2.2.4 지질구조

조사지역의 암체에는 광역 연성변형작용(regional ductile deformation)에 의한 변형구조는 관찰되지 않으며 취성변형(brittle deformation)만을 받아 절리와 단열로 대표되는 단열구조만이 나타난다. 가장 광역적인 취성구조는 조사지역의 서부를 관통하는 북북동 방향의 우수주향이동단층인 일광단층으로 지구물리탐사자료에 의하면 그 폭이 150~180m에 이른다. 일광단층 동측에는 일광단층에 평행한 단층이 약 2~4km 간격으로 세 조가 존재하며 조사지역 북부에는 북동 주향의 단층이 약 1km 간격으로 다섯 조가 존재한다(그림 2.5-87). 이외에 위성사진의 선구조에서는 단층으로 인지되나 야외에서는 확인이 되지 않는 동서 주향의 단층이 남측에 그리고 북서 주향의 단층이 중앙부에 존재한다.

절리는 방향에 따라 5개의 절리 그룹으로 분류되었으며 그림 2.5-87의 반경 8km 지역 구조지질도에는 각 노두마다 절리그룹을 구별하여 나타내었다. 이천리층의 층리면은 조사지역 남서부인 일광면 일대에서는 일정하게 북동 주향에 저각의 북서 경사를 보이거나 이천리층이 국지적으로 나타나는 북측 서생면 대안리 일대에서는 층리면이 북동 주향에 남동 경사를 보인다(그림 2.5-87, 그림 2.5-88).

2.5.1.2.2.4.1 선구조

선구조 분석에서는 JERS-1 SAR 자료와 Landsat-5 TM 자료를 이용하였다. 그리고 대한민국 국립지리원의 항공사진과 미국 NASA JPL(Jet Propulsion Laboratory)의 AIR-SAR 자료를 이용하였다. 부지반경 8km 내의 선구조를 수동 및 자동 선구조 추출을 하여 선구조를 분석하였다.

선구조 자료

JERS-1 SAR 자료 : JERS-1 SAR 자료의 제원과 처리과정은 2.5.1.2.1.3.6절에 기술되어 있으며, 부지반경 8km 이내에 해당하는 구역을 잘라내어 선구조 분석에 이용하였다.

Landsat-5 TM 자료 : Landsat-5의 제원과 TM 센서의 내용은 2.5.1.2.1.3.6절에 기술되어 있으며, 부지반경 8km에 해당하는 지역을 잘라내어 선구조 분석에 이용하였다.

AIR-SAR 자료 : AIR-SAR(airborne synthetic aperture radar) 자료는 지난 2000년 9월에 실시한 PACRIM-II 실험에 의해서 자료수집을 하였다. AIR-SAR는 NASA의 항공기인 DC-8에 탑재된 마이크로웨이브 센서로서 P-밴드(파장 약 70cm)와 L-밴드(파장 약 25cm) 및 C-밴드(파장 약 6cm) 등 세 개의 마이크로웨이브 주파수를 사용하며, POL(polarimetric SAR), TOP(cross-track interferometric SAR) 모드 및 ATI(along-track interferometric SAR) 모드의 세 가지 모드로 작동한다. AIR-SAR에

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

관한 주요 제원은 표 2.5-9에 나타내었다. 본 조사에서 사용한 데이터는 ATI 모드의 L-밴드와 C-밴드 자료를 이용하였다.

수동 선구조 분석

부지반경 8km의 수동 선구조 분석은 부지반경 40km 광역지질의 선구조 분석에서 사용한 JERS-1 SAR 와 Landsat-5 TM을 이용하여 수동으로 선구조 분석한 결과를 사용하였다(그림 2.5-25, 26).

항공사진 관독 : 부지반경 8km에 해당하는 지역의 1:37,500 축척의 항공사진을 이용하여 항공사진 관독을 수행 하였다. 항공 사진을 이용하여 부지반경 8km에 해당하는 지역의 선구조를 추출한 결과는 그림 2.5-89와 같다.

자동 선구조 분석

자동 선구조 분석은 호프변환을 사용하여 선구조를 추출하였다. 그림 2.5-90, 91은 Landsat-5 TM과 JERS-1 SAR 영상으로부터 자동 선구조 추출한 결과이다. 그리고, 그림 2.5-92은 AIR-SAR로부터 자동 선구조를 추출한 결과이다.

JERS-1 SAR 자료와 Landsat-5 TM를 이용하여 선구조를 분석한 결과와 AIR-SAR와 항공사진을 이용하여 분석한 결과를 종합하여 부지반경 8km 전체를 포함하는 지형도에 오버랩 시켜 나타내었으며 결과는 그림 2.5-93과 같다.

부지반경 8km의 선구조 분석을 하여 그 빈도수와 길이에 따라 장미원도에 플롯한 결과는 그림 2.5-94에 나타내었다. 그림 2.5-94(a)는 빈도수에 따라서 방향을 나타낸 것으로, 부지반경 8km의 방향성은 북북동(10~20°) 방향이 우세하고, 다음으로 북서(310~320°) 방향이 우세하다. 그림 2.5-94(b)는 길이에 따른 방향성을 나타낸 것으로, 북북동(10~20°) 방향에서 가장 우세하다.

2.5.1.2.2.4.2 절리

야외에서의 발달형태와 입체투영도에서의 분석 결과, 절리는 방향을 기준으로 5개 그룹으로 분류되며 각 그룹의 평균 주향/경사는 다음과 같다(그림 2.5-95).

Group 1 : NS/90°

Group 2 : N72°E/87°SE

Group 3 : N47°E/88°SE

Group 4 : N38°W/89°SW

Group 5 : N41°W/29°NE

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

각 암상별로 발달하는 절리 그룹을 비교해 본 결과 각 그룹의 방향성(주향/경사)은 큰 차이를 보이지 않으나 Group 2 절리의 주향이 이천리층(퇴적암)과 화강암에서는 N80°E이나 석영안산암질 응회암과 안산암질 응회암에서는 N78°W로 주향 방향에서 약 20°의 차이가 나는 것이 특징적이다(그림 2.5-96, 97, 98).

조사지역 절리는 Group 5 절리(평판절리)를 제외하고는 모두 경사각이 수직에 가까운 고각인 것이 특징적이다. 지역별로 약간의 변화는 있으나 대체적으로 Group 1 절리(남북 주향)와 Group 2 절리(동서 주향)가 주절리(master joint)로 발달하며 Group 3 절리(북동 주향)와 Group 4 절리(북서 주향)는 상대적으로 연장이 불규칙한 부절리(subsidiary joint)로 발달한다. Group 5 절리는 수평에 가까운 평판절리로 이천리층과 화강암체에서는 상대적으로 미약하게 발달하나 화산암체인 석영안산암질·안산암질 응회암에서는 강하게 발달한다. 절리면을 따라서는 국지적으로는 풍화가 심하지만 대부분 약하게 풍화되어 있거나 부분적으로 방해석, 석영 혹은 탁비석이 충전되어 있다.

절리의 성인과 형성순서

절리의 성인과 형성순서를 규명하기 위하여 노출 상태가 양호한 효암지역의 석영안산암질 응회암의 한 지점(KOR139)과 비학지역 각섬석화강암의 두 지점(KOR016, KOR013)을 선정하여 격자지질도를 작성하였다. 특히 절리의 형성순서를 해석하기 위하여 조사지역의 기반암체(퇴적암, 화산암, 화강암)를 후기에 관입한 현무암질암맥과 안산암질 암맥을 일종의 기준층(marker layer)으로 이용하여 기반암과 암맥의 절리발달 형태를 비교하였다.

절리의 발달에는 현재 두 가지 가설이 대립되어 있다. 첫 번째 가설은 전통적인 것으로 절리는 인장절리, 전단절리 그리고 두 가지의 혼합형태인 혼합절리(hybrid joint)로 발달한다는 가설이다. 두 번째 가설은 모든 절리는 인장절리로만 발달할 수 있으며 과거에 전단절리로 해석되었던 것은 응력방향이 바뀌면서 기존의 인장절리를 따라 전단변위가 있었다고 설명하는 가설이다. 수치해석 모델링에 의하면 두 번째 가설이 타당한 것으로 보이나 암석의 변형실험 시 인장절리, 전단절리 그리고 혼합절리 모두가 발달하기 때문에 첫 번째 가설도 무시할 수는 없다. 여기에서는 첫 번째 가설을 기반으로 절리를 해석하였다.

효암지역 해안가의 바위섬에 노출된 KOR139 노두는 석영안산암질 응회암으로 거의 수평한 평판절리면상의 가로 4m, 세로 7m의 지역에 1m 간격의 격자를 설치하여 초정밀 단열도를 작성하였다. 격자단열도 작성 결과 KOR139 노두에서는 Group 1(NS) 절리가 가장 연속성이 좋고 길게 발달하며 Group 2(EW) 절리가 그 다음으로 연속성이 좋으나 대부분 Group 1 절리를 만나는 지점에서 종지한다(그림 2.5-99). Group 3(NE) 절리와 Group 4(NW) 절리는 연속성이 불량하고 짧은 길이로 나타난다. Group 2(EW) 절리가

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

Group 1(NS) 절리를 만날 때 중지되는 현상은 Group 1 절리가 먼저 형성된 후 Group 2 절리가 형성되었음을 지시한다(그림 2.5-100(a)). 이는 존재하는 절리면이 일종의 자유면으로 작용하여 응력이 자유면을 건너서는 전달되지 않거나 미약하게 전달되어 후에 발달한 절리가 기존하는 절리면을 건너서는 전파될 수 없기 때문이다(참고문헌 142). Group 4 절리는 Group 1 절리와 Group 2 절리를 만나는 지점에서 중지하기 때문에 Group 4 절리는 Group 2 절리발달 이후에 형성되었음을 지시한다(그림 2.5-100(b)). 이러한 절리의 선후 관계는 다른 노두에서도 흔히 관찰되는데 그림 2.5-101는 석영안산암질 옹회암의 예로 Group 1 절리가 가장 먼저 형성되었고 Group 3 절리는 Group 2 절리 보다 먼저 형성된 것을 보여준다.

격자단열도가 작성된 KOR139 지역에서 Group 1 주절리에 연관된 2차 단열인 북북서 주향의 P-전단단열(shear fracture)이 발달한 것이 관찰되고 그 P-전단단열의 중지부에서는 익상균열(wing crack, NE 주향의 Group 3 절리)이 발달한다(그림 2.5-102). 익상균열의 발달형태로부터 상기한 P-전단단열은 우수향 전단절리(dextral shear joint)로 해석될 수 있으며 따라서 Group 1 주절리도 우수향 전단절리임을 알 수 있다. 이 북북서 주향의 P-전단단열은 Group 1 주절리를 만나는 곳에서 중지하여 마치 Group 1 주절리 발달 후에 북북서 계열의 절리가 우수향 전단절리로 발달한 것으로 해석할 수도 있으나 Group 1 주절리와 북북서 계열의 절리의 각도 차가 약 20°로 작기이라 만일 Group 1 주절리가 존재하였고 이후에 북북서 계열의 절리가 우수향 전단절리로 발달하는 응력이 가해졌다면 북북서 계열이 새로운 전단절리로 형성되기 보다는 기존하는 Group 1 주절리가 우수향 전단단열로 재활성하였을 것이다. 따라서 북북서 계열은 Group 1 주절리와 동시에 형성된 이차단열로 해석될 수 있다. Group 1(NS) 절리가 우수향 전단절리로 발달하면서 Group 3(EW) 절리가 이에 수반된 2차적인 인장단열(secondary extension fracture)로 발달하는 것은 다른 노두에서도 흔히 관찰된다(그림 2.5-103).

한편, Group 2(EW) 절리의 성인은 격자단열도가 작성된 KOR139 노두에서는 규명할 수 없었으나 다른 노두에서는 성인을 지시하는 증거가 관찰된다. 그림 2.5-104(a)는 이천리층의 층리면에 Group 1, 2, 3 절리가 발달한 모습을 보여주는데 KOR139노두에서와 같이 Group 2(EW) 절리는 Group 1(NS) 절리와 접하는 곳에서 중지하는 경우가 흔하다. 따라서 Group 1 절리 형성 이후에 Group 2 절리가 형성된 것으로 해석된다. 두 개의 Group 2 절리가 엇갈려서 계단식으로 만나는 지점에서는 인장조그(extensional jog)가 형성되어 NE계열의 인장절리(Group 3)가 발달한다(그림 2.5-104(b)). 따라서 Group 2 절리는 좌수향 전단단열(sinistral shear fracture)이고 Group 3 절리는 이에 수반된 2차 인장단열로 해석된다.

KOR139 격자단열도 작성 지역과 기타 지역에서 관찰·해석된 절리의 발달 순서와 성인을 요약하면 다음과 같다.

가. Group 1(NS) 절리가 우수향 전단단열로 발달함과 동시에 Group 3(NE) 절리

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

가 2차 인장단열로 발달.

- 나. Group 2(EW) 절리가 좌수향 전단단열로 발달함과 동시에 일부 Group 3(NE) 절리가 2차 인장단열로 재발달

조사지역 기반암체의 절리발달 형태와 이를 관입한 암맥의 절리발달 형태를 비교하고 절리의 형성 순서 및 기원을 확인하기 위하여 기반암인 각섬석화강암을 현무암질 암맥이 관입한 KOR016 노두에서 격자단열도를 작성하였다. KOR016 노두에서는 거의 수평한 평판절리면상의 12m×23m 넓이의 지역에 1m 간격의 격자를 설치하여 1:20 축척으로 단열도를 작성하였다(그림 2.5-105). 약 8m 두께의 현무암이 각섬석화강암에 기 존재하는 Group 2(EW) 절리와 Group 3(NE) 절리를 따라 관입하였으며(그림 2.5-106(a)), 이와 같이 암맥이 존재하는 Group 1, 2, 3 절리를 따라 관입한 것은 다른 노두에서도 흔히 관찰된다(그림 2.5-107(a)). 특히 KOR139 노두의 격자단열도를 작성한 지점의 북측에 존재하는 Group 2 절리를 따라 관입한 수조의 조면안산암질 암맥(trachy-andesite dyke)은 마치 Group 1(NS) 절리에 의해 잘려 약 10m 정도의 변위가 있는 것처럼 보인다(그림 2.5-107(b)). 그러나 조면안산암질 암맥을 변위시킨 것 처럼 보이는 Group 1 단열 상에 단층조선이 전혀 관찰되지 않고 10m 정도의 변위에 수반되는 2차 단열과 단층암이 존재하지 않아 변위 없이 기존하는 절리면을 따라 조면안산암질 암맥이 관입한 것으로 해석된다. 즉, 조면안산암질 암맥 관입 이전에 Group 1(NS) 절리와 Group 2(EW) 절리가 존재하였고 Group 2 절리 중 특정 절리면만이 선택적으로 열리면서 암맥이 관입한 것으로 해석된다(그림 2.5-108).

굴절하는 Group 1(NS) 절리가 현무암질암맥 내에서 중지되는 지점에서는 익상균열이 발달하며 익상균열의 방향은 Group 1(NS) 절리가 좌수향 전단단열임을 지시한다(그림 2.5-109). 따라서 기반암에 Group 1(NS) 절리(우수향 전단단열)와 Group 3(NE) 절리(2차 인장단열) 그리고 Group 2(EW) 절리(좌수향 전단단열)가 형성된 후 이 절리면들을 따라 관입한 암맥 내에 좌수향 전단단열로 Group 1(NS) 절리가 존재하는 것은 기반암에 기존재하는 Group 1 절리가 주 응력 방향의 변화로 인하여 좌수향 전단단열로 재활성하여 암맥으로 전파되었거나 암맥 관입 후 새로운 NS 방향의 절리(따라서 Group 1)가 좌수향 전단단열로 발달한 것으로 해석된다. Group 2(EW) 절리도 각섬석화강암과 현무암질암맥의 경계부를 끊고 지나가므로(그림 2.5-110(a)), 이 역시 현무암질암맥 관입 후 화강암 내에 기존재하는 Group 2 절리의 재활성, 혹은 EW 방향의 절리가 Group 2로 새로이 형성된 것으로 해석된다. Group 4(NW) 절리도 각섬석화강암과 현무암질암맥 경계부를 끊고 지나가므로 현무암질암맥 관입 이후에 형성된 것임을 지시한다(그림 2.5-110(b)).

KOR016 격자단열도 작성지역에서는 재활성된 Group 2(EW) 절리와 Group 4(NW) 절리의 성인을 지시하는 증거가 관찰되지 않으나 이천리층과 응회암지역에는 이들의 성인을 지시하는 증거가 잘 관찰된다. KOR158 노두의 이천리층 층리면 상에는 Group 2 절리가 우수향 전단단열로 재활성되어 있으며 Group 4 절리는 Group 2 절리의 재활성에 수반된 2차 인장단열로 발달한다(그림 2.5-111(a)). 또한 KOR115 노두의 석영안산암질 응

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

회암에서도 Group 2 절리가 우수향 전단단열로 재활성되어 있으며 Group 4 절리는 Group 2 절리의 재활성에 수반된 2차 인장단열로 발달한 것이 관찰된다(그림 2.5-111(b)). 이 노두에서는 재활성된 Group 1 단열이 재활성된 Group 2 단열을 만나 중지되며 이는 Group 2 절리의 재활성 이후 Group 1 절리가 재활성되었음을 지시한다(그림 2.5-111(b)). 상기한 증거를 토대로 조사지역 절리의 형성순서, 성인과 재활성순서를 요약하면 다음과 같다.

- 가. 기반암에 Group 1(NS) 절리가 우수향 전단단열로 발달함과 동시에 일부 Group 3(NE) 절리가 2차 인장단열로 발달.
- 나. 기반암에 Group 2(EW) 절리가 좌수향 전단단열로 발달함과 동시에 일부 Group 3(NE) 절리가 2차 인장단열로 재발달.
- 다. 약 4,000만년전 현무암질암맥과 안산암질 암맥이 기반암에 기존재하는 Group 1, 2, 3 절리를 따라 관입.
- 라. Group 2(EW) 절리가 우수향 전단단열로 재활성됨과 동시에 Group 4(NW) 절리가 이에 수반된 2차 인장단열로 형성.
- 마. Group 1(NS) 절리가 좌수향 전단단열로 재활성.

KOR013 노두의 각섬석화강암에는 상기한 절리의 성인과 발달순서에 위배되는 현상이 관찰되어 격자단열도를 작성하여 절리의 발달형태를 자세히 분석하였다(그림 2.5-112). 이 노두에서는 다른 곳과는 달리 Group 3(NE) 절리와 Group 4(NW) 절리가 주 절리로 발달하고 Group 1(NS)와 Group 2(EW) 절리가 상대적으로 연속성이 불량한 부절리로 나타난다. 현무암질암맥은 각섬석화강암에 기존하는 Group 3 절리를 따라 관입하여 있다(그림 2.5-112, 113(a)). 한편, Group 4 절리가 Group 3 절리를 만나면 중지하여 Group 3 절리가 먼저 발달하고 그후에 Group 4 절리가 형성되었음을 알 수 있다(그림 2.5-113(b)). 각섬석화강암에 존재하는 Group 3 절리는 우수향 전단단열로 나타나며 현무암질암맥 관입 이후 Group 3과 4 절리가 재활성되면서 현무암질암맥으로 전파된 것이 관찰된다(그림 2.5-114). 이러한 Group 3과 Group 4 절리의 발달형태는 타지역에 일반적으로 관찰되는 Group 1과 Group 2 절리와의 관계와 일치한다.

2.5.1.2.2.4.3 단층

조사지역에서 가장 광역적인 단층은 조사지역의 서부를 관통하는 북북동 방향의 우수주향이동단층인 일광단층으로 지구물리탐사자료에 의하면 그 폭이 150~180 m에 이른다. 일광단층에 수반된 부수단층은 일광단층 부근에서 다수 발견되나 일광단층 자체는 현생 퇴적층에 덮혀 조사지역에서는 노출되지 않기 때문에 일광단층의 확인을 위하여 지구물리탐사와 트렌치 조사를 병행하였다.

일광단층 동측에는 일광단층에 평행한 단층이 약 2~4 km 간격으로 세 조가 존재하며 조사지역 북부에는 북동 주향의 단층이 약 1 km 간격으로 다섯 조가 존재한다(그림

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

2.5-115). 이외에 위성사진의 선구조에서는 단층으로 인지되나 야외에서는 확인이 되지 않는 동서 주향의 단층이 조사지역 남측에 그리고 북서 주향의 단층이 조사지역 중앙부에 존재한다.

야외에서는 총 62개의 단층이 인지되었으며 단층대의 폭은 1 cm 미만에서 수십 m까지 다양하게 나타난다. 야외에서 인지된 단층은 주향을 기준으로 4개의 그룹으로 분류하였다(그림 2.5-116). 가장 우세한 단층은 NS~NNE 주향에 고각인 단층(Group 1)이며 그다음으로 EW 주향의 단층(Group 2)과 NE 주향의 단층(Group 3)이 우세하게 나타난다. NW 주향의 단층(Group 4)은 가장 적게 관찰되었다.

일광단층

항공사진이나 위성사진에서 북북동 방향의 뚜렷한 선구조로 인지되는 일광단층은 조사지역 동측의 동래단층, 양산단층, 모량단층 그리고 밀양단층과 함께 양산단층계의 일원으로 알려져 있다. 최근의 1:250,000 부산도폭(참고문헌 122)에서도 일광단층이 퇴적암인 이천리층을 끊는 양산단층계의 일원으로 해석하고 조사지역에 가장 넓게 분포하는 석영안산암질·안산암질 응회암에 의해 덮히는 것으로 해석하여 일광단층의 최후 운동이 적어도 석영안산암질·안산암질 응회암의 퇴적 이전임을 시사하였다.

그러나 지구물리탐사와 트렌치조사 결과, 일광단층은 이천리층 뿐만 아니라 석영안산암질·안산암질 응회암도 끊고 있는 것이 확인되었으며 지질도 상에서 이천리층과 석영안산암질·안산암질 응회암사이의 부정합면은 일광단층을 경계로 약 1.2 km의 주향분리(strike separation)를 보인다. 따라서 일광단층은 경사각이 고각인 우수주향이동단층이므로 상기한 주향분리는 일광단층의 순수변위량(net displacement)이 되기 때문에 석영안산암질·안산암질 응회암의 퇴적 이후 일광단층의 총 변위량은 약 1.2 km임을 알 수 있다.

일광단층은 항공 및 위성사진에서 뚜렷한 선구조로 인지되나 일광단층을 덮은 현생퇴적층 때문에 야외에서 일광단층의 주 단층대는 노출되지 않는다. 따라서 일광단층 주 단층대의 존재와 기하학적 특성을 확인하기 위하여 항공·위성사진에서 확인된 일광단층의 선구조를 가로 질러 전기비저항탐사와 탄성파탐사 등의 지구물리탐사를 수행하였다. 일광단층의 선구조는 14번 국도를 따라 거의 평행하게 발달하므로 기장군 장안읍 좌천리와 기룡리 일대에 14번 국도를 가로 질러 4개의 축선을 선정하여 지구물리탐사를 실시하였다. 그 결과 일광단층은 북북동 주향에 고각의 경사각을 가진 단층이며 단층대의 폭은 150~180 m로 밝혀졌다.

트렌치조사 결과, 주 단층대(좌동단층으로 명명 : 2.5.1.2.2.4.6 제 4기 단층 참조)는 단층파쇄암, 단층각력암과 단층비지 등의 단층암으로 구성되며 단층비지대의 주향/경사는 N24°E/72°SE이고 수평한 단층조선을 갖는다(그림 2.5-117). 단층면에 수직하고 단층조선에 평행하게 형성된 단층암 슬랩에서 관찰되는 전단미는 일광단층이 우수향 주향이동

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

단층임을 지시한다(그림 2.5-118). 또한 트렌치조사 결과, 일광단층이 최소한 트렌치 지점에서는 인접한 제 4기층을 끊지 않는 것으로 확인되었다.

부지반경 8 km에서 벗어난 신고리 원전부지에서 약 11 km 떨어진 울산시 온양면 14번 국도상(KOK184 노두; 그림 2.5-54)에는 일광단층의 부수단층(subsidiary fault)이 약 1 m 두께를 가지고 일광단층과 거의 평행하게 나타난다. 이 부수단층면상에 나타나는 단층운동과 동시에 형성된 방해석 섬유층의 단층계단구조(fault step)와 방해석맥으로 채워진 인장단열은 이 부수단층이 일광단층과 동일한 우수주향이동단층임을 지시한다. 이 단층면상에 발달하는 단층운동과 동시에 형성된 방해석섬유층에 대한 $^{234}\text{U}/^{230}\text{Th}$ 비평형 절대연대측정 결과 $^{234}\text{U}/^{230}\text{Th}$ 비평형연대측정법의 한계(350 ka)를 넘는 연령이 얻어졌다(2.5.1.2.1.4. 부지반경 40 km 절대연대측정 참조).

각 그룹별 단층의 특성

조사지역에서 가장 우세하게 발달하는 단층은 주로 남북 혹은 북북동 주향을 갖는 Group 1의 단층군이다. 이들 대부분은 경사각이 수직에 가까운 고각이고 일부는 50~70°의 경사각을 보인다(그림 2.5-116). 상기한 일광단층과 일광단층에 수반된 부수단층은 모두 이 그룹에 속한다. 고각의 단층은 우수주향이동단층이며 경사가 상대적으로 낮은(50~70°) 단층들은 사교이동 내지는 경사이동단층의 경향을 보인다.

동서 혹은 동북동 주향을 갖는 Group 2의 단층군은 대부분 45~70°의 경사를 보이나 일부는 수직에 가까운 고각의 경사를 보인다(그림 2.5-116). 단층조건의 자료수는 적으나 대부분 경사이동단층이고 일부는 주향이동단층이다. Group 2 단층 중 KOR151 지역의 정단층에 얹혀 존재하는 단층비지에 대한 Rb/Sr 동위원소 절대연대측정 결과 39.9 ± 0.2 Ma의 연대가 구해졌다. 또한 서생면의 해안가 노두(KOR509)에는 각섬석화강암을 관입한 현무암질 암맥 내에 Group 2 단층인 약 30 cm 두께의 단층대가 존재한다. 이 단층의 주향/경사는 N80°E/90°로 단층대 내에는 1~2 cm 두께의 단층비지대가 존재한다(그림 2.5-119). 이 단층비지에 대한 Rb/Sr과 K-Ar 절대연대측정 결과 각각 30.8 ± 0.8 Ma와 37.0 ± 0.8 Ma가 구해졌다. 또한 이 노두의 현무암질 암맥에 대한 K-Ar 전암 절대연대측정치는 36.6 ± 1.1 Ma가 구해졌다. 따라서 Group 2의 단층은 약 40 Ma 전 현무암질 암맥의 관입과 동시 혹은 관입 직후에 최초의 단층운동이 시작되었다고 해석된다.

북동 주향의 Group 3 단층은 경사각이 수직에 가까운 고각이거나 45~65°의 중각의 경사를 보인다(그림 2.5-116). 경사각이 수직에 가까운 Group 3의 단층은 우수주향이동단층이며 경사각이 상대적으로 낮은 단층들은 정단층이다. Group 3 단층군에 대한 절대연대측정은 수행되지 않았으나 Group 1의 일광단층과 조사지역 북부에 존재하는 여러 조의 광역적인 Group 3 정단층과의 분포형태로 판단할 때(그림 2.5-115) Group 3의 정단층은 일광단층의 우수향 주향이동에 관련된 부수단층으로 판단된다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

Group 4인 NW 주향의 광역단층은 항공·위성사진으로부터 추출한 선구조로 추정되나 야외에서는 이 광역단층들이 확인되지 않았다. 야외에서 확인되는 Group 4의 단층들은 비교적 단층대 두께가 20 cm 미만인 소규모의 단층으로 타 그룹의 단층들보다 빈도수가 매우 적게 나타난다. 야외에서 확인된 Group 4의 단층들은 자료 수가 적어 특성을 규명하기가 어렵지만 경사각이 55~85°로 주향이동단층과 경사이동단층이 같이 나타나며 주향이동단층은 좌수주향이동단층의 특성을 보인다(그림 2.5-120).

효암천 지역

부지반경 8km 지역에서 야외 노두로는 확인되지 않으나 항공사진 판독으로부터 해석되는 선구조에 대한 항공 및 위성사진에 대한 판독결과 각섬석화강암과 석영안산암질 응회암이 접하는 효암천을 따라서 북북서 방향의 선구조가 확인되었다(그림 2.5-121). 추정된 효암천지역의 이상대를 따라 각섬석화강암과 석영안산암질 응회암 접촉부를 가로질러 트렌치 작업을 수행하였다(KOR193, 2.5.1.2.2.4.5 트렌치조사 참조). 그 결과 트렌치 지점에서는 각섬석화강암과 석영안산암질 응회암이 관입접촉 하는 것이 확인되었고, 화강암 내에 북북동-남남서 방향의 주향을 갖는 고각의 단층대가 5~20 cm 두께로 2 매가 존재하고 화강암과 응회암 접촉부에서 수 m 떨어진 지점인 화강암내에 1~20 cm 두께의 단층(북북서 주향에 거의 수직)이 세 조(three set) 존재하나 이들은 모두 소규모 단층으로, 트렌치지점에서 나타나는 제 4기층을 끊지 않는 것으로 확인되었다.

2.5.1.2.2.4.4 지구물리탐사

부지반경 8km 내 조사지역에 존재하는 일광단층과 효암천 지역의 파쇄대 확인과 단층대의 기하학적 특성 규명을 위하여 전기비저항탐사와 탄성파탐사를 수행하였다. 일광단층에서는 단층에 거의 수직한 총 4개의 측선을 따라 전기비저항탐사를 수행하였고 그 중 한 측선에 대해서는 추가로 고분해능 전기비저항탐사와 탄성파탐사도 실시하였다. 효암천 지역은 1개의 측선에 대해서만 전기비저항탐사를 수행하였다.

전기비저항탐사

측선설계 : 일광단층에 대한 전기비저항 쌍극자탐사의 탐사측선은 항공·위성사진에서 해석된 북북동 방향의 선구조에 거의 수직되는 방향으로 3개 측선(측선 1, 2, 3), 선구조 밀집지역에 대한 북서-남동방향으로 1개 측선(측선 4)을 설정하였다. 고분해능 측선 6은 측선 1에 대한 보다 상세한 지질구조 및 단층경계의 위치를 규명하고자 실시하였다. 효암천 지역에 대한 전기비저항탐사의 탐사측선 5는 항공·위성사진으로부터 추출된 북북서 방향의 선구조에 거의 수직되는 방향으로 설정하였다(그림 2.5-122).

자료수집 및 처리 : 전기비저항 쌍극자탐사의 자료수집은 ABEM Terrameter SAS 300C 및 부스터(Booster)시스템을 사용하였으며 전극배열은 다른 전극배열에 비해 신호대 잡음

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

비(S/N ratio)는 낮으나 상대적으로 분해능이 좋은 쌍극자 배열을 사용하였다. 전류는 신호대 잡음을 최대한 높이기 위해 최대 250 mA까지 투입하였다. 전극간격은 전개조건과 측정간의 거리 및 예상 단층의 발달 폭을 고려하여 30~40 m를 적용하여 측선길이가 600~800 m가 되도록하여 이에 따른 가탐심도가 각각 150~200 m가 되도록 하였다. 일광단층의 고분해능 측선 6은 측선 1에 대한 정밀탐사를 위해 전극간격을 15 m로 하여 가탐심도가 75 m가 되도록 설계하였다(표 2.5-10). 자료처리는 역산을 위해 각 면적 셀과 이에 대한 전기비저항을 추정 변수로 작성된 자료처리 전산프로그램인 Dipro(참고문헌 143)를 사용하였다.

자료해석 : 그림 2.5-123, 124, 125, 126은 각 측선에 대한 자료처리 결과 단면도이다. 전기비저항값은 수백~수천 ohm-m의 분포를 보이고 있으며 수십~수백 ohm-m 이하의 저비저항대는 대체로 120~180 m의 폭을 가지고 지하 100~150 m까지 연장되고 있다.

일광단층의 측선 1(그림 2.5-123(a))에서 100 ohm-m 이하의 저비저항대는 측점 12~18사이에서 약 150 m의 폭으로 깊이 30~150 m 까지 분포하고 있는데 이는 하천변에 발달하고 있는 파쇄대에 기인하는 것으로 보인다. 이러한 분포는 고분해능 측선 6의 역산결과(그림 2.5-123(b))에서도 잘 확인되고 있다. 한편, 측선의 측점 5~7 사이에서 지하 30 m까지 나타나는 50 ohm-m 내외의 저비저항대는 현재 한국지질자원연구원에서 토양 복원 시험이 진행되고 있는 하상에 퇴적된 광미의 영향으로 해석된다. 측선 1에서 해석된 파쇄대 분포양상은 추가적으로 실시된 탄성과 굴절법 및 반사법탐사 자료에서도 효과적으로 확인되었다.

일광단층의 측선 2(그림 2.5-124)에서는 200 ohm-m 내외의 저비저항대가 측점 12~18 사이에서 180 m의 비교적 넓은 폭으로 지하 150 m 까지 분포한다. 150 ohm-m 이하의 저비저항대는 일광단층의 측선 3(그림 2.5-125)의 측점 9~13 사이에서 160 m의 폭을 보이며, 측선 4(그림 2.5-126)의 측점 8~13 사이에서는 160 m의 폭으로서 일관성 있는 구조를 보이고 있다.

일광단층에 대한 전기비저항 쌍극자탐사 결과 파쇄대로 추정되는 150 ohm-m 이하의 저비저항대는 모든 측선(측선 1, 측선 2, 측선 3, 측선 4)에 걸쳐 150~180 m의 폭을 가지고 북동-남서 방향으로 연장되고 있다. 측선 1과 측선 2에서의 일광단층의 파쇄대는 항공 및 위성사진 자료에서 해석된 선구조에 비해 동쪽으로 50 m 이상 떨어진 곳에 위치한 것으로 나타났다.

그림 2.5-127은 효암천지역의 전기비저항탐사 자료처리 결과 단면도이다. 효암천지역의 측선 5에서는 150 ohm-m 이하의 저비저항대가 120 m 폭으로 측점 10~13 사이에서 나타나고 있다.

탄성과 굴절법 및 반사법 탐사

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

측선설계 : 일광단층에 대한 탄성과 반사법 및 굴절법탐사는 일광단층의 탐지와 관련하여 전기비저항탐사 결과와의 상관 및 보완을 위해 실시하였다. 탐사측선은 조사지역 내에서 전기비저항탐사 결과 도출된 저비저항대와 탐사조건을 고려하여 일광단층의 전기비저항 측선 1의 일부구간과 겹치도록 계획하였다(그림 2.5-122).

자료수집 및 처리 : 자료 수집은 24채널 ABEM Terraloc Mark 6 시스템을 사용하였다. 에너지원으로는 보다 임펄스형에 가까운 자료를 얻기 위하여 핸드 오거를 사용하여 최대 50 cm 굴착한 후 발진탄을 폭발시키는 탄성과 발진장치를 사용하였다. 음파가 매우 크게 나타나고 잡음이 심할 경우에는 4.7 kg의 해머를 대신 사용하였다.

탐사에 사용된 지오폰은 각 100 Hz로서 모두 3 m 간격으로 설치하였다. 자료는 200 m까지의 심도를 규명하기 위해 409.6 ms 동안 기록하였고 고주파 성분을 충분히 수신하기 위하여 샘플링 간격은 0.05 ms로 좁게 설정하였다. 표 2.5-11은 탄성과 측정자료를 나타내었다.

굴절법탐사 자료는 전산프로그램 GLI3D(참고문헌 144)를 이용하여 처리하였는데 여기서는 파선추적법을 이용하여 초기모형을 재구성하는 일반화된 선형역산법(GLI, Generalized Linear Inversion)과 파면법을 이용하여 속도모형을 재구성하는 토모그래피 그리드기반 역산법(TGI, Tomographic Grid-based Inversion)을 모두 적용하여 해석의 신뢰성을 높였다.

반사법탐사 자료는 개방형 프로그램 SU(참고문헌 145) 및 상업용 전산프로그램 VISTA(참고문헌 146)를 복합적으로 사용하였는데, 이 조사에서는 S/N 향상 단계에서 수반되는 인공잡음을 최대한 억제하기 위하여 기본적인 처리과정(트레이스 편집, 대역 필터링, AGC, CDP 분류, NMO 보정, 스트레치 뮤팅, 중합, F-K 필터링, TV 스케일링)만을 거쳤다(표 2.5-12).

자료해석 : 그림 2.5-128은 기본적인 자료처리 과정만이 적용된 NMO-CDP 자료를 중합하여 얻은 반사법자료 개괄단면도이다. 그림 2.5-129와 그림 2.5-130은 각각 굴절법탐사 자료에 일반화된 선형역산법과 토모그래피 그리드기반 역산법을 적용하여 구한 속도단면도를 나타낸다.

반사법 단면도(그림 2.5-128)에서 각각 20~30 ms와 45~55 ms에 있는 주요 반사이벤트, 이벤트 1과 이벤트 2는 전기비저항 저비저항대의 양쪽 경계와 일치하는 지점에서 불연속성과 층서의 상하 변위를 잘 보여주고 있는데 이들은 각각 퇴적층과 기반암의 경계와 기반암에 발달한 불연속면으로 해석된다.

일반화된 선형 역산법에 의한 굴절법 해석단면도(그림 2.5-129)는 1,000 m/sec, 2,200

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

m/sec, 3,500 m/sec의 3층 구조를 보이고 있다. 불연속면 구조를 더욱 강조하기 위해 적용된 토모그래피 그리드-기반 역산결과에서 얻어진 속도구조 또한 1,000 m/sec 이하, 1,000~3,500 m/sec, 3,500 m/sec 이상으로 이루어진 3층 구조를 보여준다. 2층은 전기비저항 자료에서 추정된 파쇄구간의 양쪽 경계에서 지하 약 17 m까지 발달하고 있는데 이것은 탄성과 반사법에서 확인된 20 m 깊이의 단층(그림 2.5-129)과 관련된 것으로 추정된다.

2.5.1.2.2.4.5 트렌치조사

항공·위성사진판독을 통하여 인지되는 부지반경 8 km 지역의 주요 선구조 및 야외조사만으로는 확인하기 어려운 예상단층대의 특성 및 규모를 파악하기 위하여 정밀 트렌치 조사를 수행하였다. 조사지점은 부지반경 8 km 지역내 효암천 부근의 북북서 방향의 선구조가 발달하는 한 지점, 그리고 조사지역에서 가장 규모가 큰 광역 단층대인 일광단층대에서 한 지점을 선택하였다(그림 2.5-131). 지구물리탐사에 의하여 예상단층대 및 불연속면의 정확한 위치를 먼저 파악한 후 주변 지형 지물 및 기타 상황을 고려하여 트렌치 지점을 결정하였다. 각 지점에 대한 자세한 조사결과는 다음과 같다.

KOR193(효암천 지역)

항공 및 위성사진 판독을 통하여 인지되는 부지반경 8 km 지역내의 주요 선구조인 효암천과쇄대 지역에서 트렌치조사를 실시하였다. 지구물리탐사에 의한 예상단층대 및 불연속면의 위치를 파악한 후 현장여건을 고려하여 트렌치 지점을 선정하였다(그림 2.5-131).

효암천을 따라 발달하는 북북서 방향의 선구조에 대한 지구물리탐사로 해석된 효암천 저비저항대의 특성을 확인하기 위하여 넓이 1.5 m, 길이 42 m, 깊이 2~2.5 m의 트렌치 굴착이 이루어졌다. 이 중 1×1 m 격자를 사용하여 남쪽 단면에 대한 35 m 구간의 정밀 트렌치도가 작성되었다(그림 2.5-132). 이 지점에서 인지되는 암상은 크게 세 가지로 구분할 수 있는데, 동쪽에 분포하는 풍화된 각섬석화강암, 서쪽에 분포하는 석영안산암질 응회암의 풍화토양대 그리고 트렌치 중앙부의 화강암 상부에 나타나는 6~7 m 넓이의 제 4기 미고결 곡부 퇴적물로 구성되어 있다. 화강암과 응회암의 경계는 심한 풍화와 토양화에 의하여 뚜렷하지 않으나 그 경계부에서 단층의 흔적이 전혀 나타나지 않으므로 조사지역내의 다른 지점에서 관찰되는 것과 같이 화강암이 응회암을 관입한 것으로 해석되어진다. 미고결 퇴적물은 주로 세립의 이질물로 구성되어 있으며 부분적으로 원마도가 양호한 10 cm 크기 이상의 역을 포함하고 있다.

이 지점에서 나타나는 저비저항대는 주로 풍화된 화강암 내에서 관찰되며 트렌치조사 지점의 동쪽에 위치한 KOR192 트렌치 지점에서와 비교할 때 그 빈도가 매우 낮고, 특히 곡부 퇴적물 내에는 단열 및 단층이 전혀 관찰되지 않는다. 단층은 북북서 방향이 가장 우세하게 발달하고 있으며, 이 단층들은 1~3 cm 정도의 단층비지층을 가지는 단층 파쇄

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

대로 구성되어 있다. 트렌치 동쪽 시작점 부근에서는 남북과 북북동 방향의 소규모 단층이 두 조 관찰되는데 양상은 북북서 방향의 단층들과 거의 동일하며 수 mm 두께의 단층 비지대를 함유하는 두세 조의 얇은 단층면들로 구성되어 있다. 이 트렌치 지점에서 가장 크게 발달하는 단층대는 곡부 퇴적물 서쪽 경계부의 화강암 풍화대에 나타나는 북서 방향의 단층대로서 10 cm 이상의 단층각력 및 비지대와 함께 발달한 단층활면이 뚜렷이 관찰된다. 제 4기 곡부 퇴적물 서쪽에서 응회암과의 경계부에 이르기까지 화강암 내에는 N16°W 주향에 30°SW의 저각으로 경사하는 1~1.5 m 정도의 일정한 간격으로 발달하는 단열들이 관찰되는데 이 중 일부는 고각의 북북서 단층들을 변위시키고 있다. 이러한 사실은 기존의 화강암 내에 발달한 평판절리중 일부가 단층으로 재활성되어 나타나는 것으로 해석된다. 그러나 기반암인 화강암 내에 발달한 이러한 단층들은 트렌치 지점의 제 4기 곡부 퇴적물을 변위시키지 않았다.

KOR194(일광단층)

부지반경 8km 지역에서 가장 큰 규모의 단층인 일광단층대의 정확한 위치 및 규모 그리고 특성을 파악하기 위하여 지구물리탐사 및 트렌치 조사를 수행하였다. 트렌치 조사는 지구물리탐사에서 나타난 일광단층의 정확한 위치를 참고로 하여 기장군 장안읍 좌동리 14번 국도변의 한 지점을 택하여 시행하였다(그림 2.5-131). 예상단층대의 주향방향에 수직하는 북북서-남남동 방향으로 국도변에서 동쪽으로 폭 1.5 m, 길이 38 m, 깊이 2 m 정도의 트렌치 굴착이 이루어졌다. 이 중 1×1 m 격자를 사용하여 남쪽 단면에 대한 30 m 구간의 정밀 트렌치도가 작성되었다(그림 2.5-133). 트렌치 구간은 국도변으로부터 모암인 석영안산암질 응회암이 심하게 파쇄된 단층암으로 구성되어 있으며, 트렌치 중앙의 15 m 지점부터 동쪽으로는 제 4기 곡부 퇴적물(valley-fill deposit)이 응회암위에 부정합으로 접하고 있다. 접촉부의 경사는 70° 정도로 퇴적물이 쌓일 당시의 계곡지형을 나타낸다. 제 4기 퇴적물은 사질 및 이질층이 주를 이루고 있으며 중앙부에는 수십 cm 두께의 각질 응회암 역들로 구성된 역층이 렌즈상으로 협재되어 있다. 응회암에 발달하는 단층암은 국도변에 가까운 곳에서 주로 각력암이나 큰 단층면에 협재된 단층비지대가 우세하게 발달하나 트렌치 중앙부에서는 부분적으로 파쇄엽리를 수반하는 단층파쇄암이 주를 이루고 있다(그림 2.5-134). 이러한 파쇄암에는 이후에 발생한 취성변형에 의한 단층 및 단열들이 이차적으로 발달하고 있다.

응회암 내에는 좁은 간격의 단층 및 이에 수반하는 단열들이 발달하는데 일광단층과 거의 평행한 북북서에서 동북동 방향에 걸친 주향을 가지는 단층들이 가장 우세하게 발달하고 있다. 이들 단층면은 주로 60°이상의 고각이며 북서 내지 남동 방향으로 경사하고 있다. 단층은 수 cm의 단층 각력 및 비지대로 구성되며, 이차적인 유체의 유입에 의한 변질의 결과로 추정되는 연갈색의 황화물이 분포하고 있다. 트렌치조사 구간에서 나타나는 단층대 내에는 N24°E 주향에 72°SE 경사를 가진 약 15 cm의 단층비지대가 단층핵(fault core)으로 발달하고 있다. 이 단층 주변에는 50 cm 이상의 불규칙한 단층 각력대가 발달하며 각력 사이의 공극들은 방해석으로 충전되어 있다. 단층 이외의 단열들도 단

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

층과 거의 비슷한 방향성을 나타내고 있는데 이러한 거의 평행한 단층 및 단열의 분포는 NNE 방향의 일광단층의 주방향에 수반하여 발달하는 이차적 동감각의 전단단열(secondary synthetic shear fracture)의 형태로 해석할 수 있다.

주향이동성 단층운동을 지시하는 수평에 가까운 단층조선이 우세하게 발달하며 부분적으로 사각으로 경사하는 단층조선이 나타난다. 특히 위에 언급한 단층핵에는 수평의 단층조선이 발달하며 이 단층에 발달하는 단층암의 미구조 관찰의 결과는 우수향의 주향이동성 단층운동이 일광단층의 주 발달 형태임을 지시하고 있다(그림 2.5-118). 이 지점에서 나타나는 단층들은 지구물리탐사에서 인지되는 150~180 m 두께의 일광단층대의 일부분이며 일광단층은 트렌치지점에서 14번국도 건너편까지 연장할 것으로 추정된다. 또한 응회암내에 발달하는 단층들은 인접하는 제 4기 퇴적물을 변위시키지 않았으므로 적어도 단층운동이 최소한 트렌치지점의 제 4기 미고결 퇴적물의 형성이전에 종료 되었다고 해석된다.

2.5.1.2.2.4.6 제 4기 단층

부지반경 8 km 이내에 확인되는 제 4기 단층(제 4기층을 절단하였거나 단층암 연대가 200만 년 이내인 단층)은 도야단층, 좌동단층 그리고 술마단층 등 총 3개이며 각 단층에 대하여 기술하면 다음과 같다(참고문헌 88).

도야단층

도야단층은 부산광역시 기장군 장안읍 명례리에 위치하며, 일광단층의 연장상에 산출한다. 단층의 자취는 거의 남북 방향의 직선상 선형구조로 나타난다. 계단식 밭과 논이 동쪽으로 갈수록 높아져 동측이 2.3 m 정도 융기한 지형특성을 보이는데, 이것은 저단층에 지형으로 판단된다. 일광단층의 제 4기 단층운동 특성 규명의 일환으로 명례리 도야 인근에 선정된 두개 지점에 대해 경재복 교수 주도로 트렌치가 실시되었으며(참고문헌 147), 그 결과는 아래와 같다.

트렌치 1에서의 굴착은 단층 예상선으로 추정되는 계단식 지형에 대하여 거의 수직한 동서 방향으로 길이 9.2 m, 폭 1.7 m, 깊이 2.1~2.7 m로 실시되었다. 기반암은 백악기 안산암질응회암으로서 트렌치 단면상에 약 110 cm 간격으로 거의 평행하게 발달된 두 조의 단층이 확인되었다. 기반암을 덮고 있는 표토층은 진적갈색의 실트질 층으로 두꺼운 곳은 70~80 cm 이며, 표토 최상부는 밭으로 이용되고 있다. 두 조의 단층 중 동측에 산출하는 F1 단층은 N14°E/62°SE 방향성을 보이며, 5~7 cm 폭의 단층대에 1~2 cm 두께의 단층점토대가 나타난다. 단층 양측의 기반암은 심하게 파쇄되어 있는데, 동측의 기반암은 서측에 비해 덜 풍화되어 있으나 2 m 이상의 폭으로 파쇄되어 있다. 따라서, 단층상대는 동측으로 수 m 더 연장되리라 추정된다. F1 단층의 상부는 표토층으로 덮여 있으며, 단층암에 대한 ESR 연령은 1180 ± 16 ka로 측정되었다(참고문헌 148).

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

서측의 F2 단층은 N18°E/75°SE 방향으로 산출하며, 단층대의 폭은 바닥에서 7~30 cm로 북쪽면으로 가면서 넓어진다. 단층점토는 단층대의 동측 가장자리를 따라 2~3 cm 폭으로 나타난다. 단층파쇄대는 서쪽으로 50 cm 정도 나타나며, 두 단층을 포함하면 전체적으로 1.7~2 m의 폭으로 산출한다. 이 단층의 상부는 북측벽면에서는 표토층으로 덮여 있으나, 남측벽면에서는 적갈색을 띠는 기반암 풍화 모질물이 붕적쇄기층(colluvial wedge) 형태로 덮고 있다. 이것은 단층운동 후 상반의 기반암 풍화물이 충전된 결과로 해석된다. 북측 단면의 F2 단층 서측에는 풍화 모질물이 기반암 위를 얇게 덮고 있어, F2 단층은 이 풍화물의 퇴적 이전에 형성된 기반암 단층으로 사료된다. F2 단층의 ESR 연령은 1260 ± 110 ka 및 $> 3,000$ ka로 측정되었다(참고문헌 148, 97).

트렌치 2 지점은 트렌치 1 지점과 바로 인접한 계단식의 논의 제일 아래쪽을 가로질러 동서 방향으로 실시되었다. 트렌치 규모는 폭 2.4 m, 깊이 2~3 m, 길이 약 11 m이다. 이 지점의 지층은 백악기 안산암질 응회암을 기반으로 그 상위에 부정합으로 쌓인 제 4기 퇴적층이 분포한다. 퇴적층은 50~70 cm 두께의 하부 자갈층(gravel 1), 응회암 기원 퇴적물을 포함한 최대 약 50 cm 두께의 상부 자갈층(gravel 2) 그리고 최상부의 경작토로 구성된다.

기반암인 안산암질 응회암은 전체적으로 회색~회백색을 띠며 풍화를 심하게 받아 쉽게 부스러진다. 하부 자갈층은 주로 안산암 기원의 잔자갈 내지 왕자갈들을 포함한다. 기질은 산화작용이 진행되어 전체적으로 적색~적갈색을 띠어 하부 기반암과 뚜렷이 대비된다. 역들은 심하게 풍화되어 있지만 매우 신선한 역들이 그대로 보존되어 있기도 하다. 특히, 상부로 갈수록 신선한 역들이 많이 포함된다. 역들의 형태는 대부분 아각력이지만 원마도가 매우 좋은 역들도 포함되어 있다. 상부 자갈층은 회색~회백색의 응회질 퇴적물과 역들이 혼재되어 타나난다. 이 층의 하부에는 원마도가 좋고 신선한 역들이 다수 포함되어 있으며, 응회암 기원 퇴적물이 포함된 상부에는 심하게 풍화된 각력~아각력의 잔자갈들이 드물게 박혀 있다.

트렌치 2의 남측 벽면에 두조의 단층이 뚜렷하게 관찰되었다. 동측의 F1 단층 및 서측의 F2 단층의 방향은 각각 N3°E/27°SE 및 N4°E/60°SE로 거의 남북 방향으로 발달한다. 단층대는 북측 벽면에서는 3~4 cm, 남측 벽면의 경우 기반암 하부에서 3~4 cm이나 상부로 갈수록 증가하여 20 cm 폭으로 발달한다. F2 단층은 기반암 상부의 제 4기 자갈층을 절단하는데, 상부 자갈층의 하부까지 단층점토의 산출을 확인할 수 있으며, 상부 자갈층의 상부도 퇴적층이 치밀하여 단층점토 확인은 어려우나 단층운동을 받았을 것으로 판단된다. 이 단층은 역단층성 주향이동단층으로 확인되며, 하부에서 급경사를 이루던 단층의 경사는 상부로 올라갈수록 그 경사가 완만해지는 형태를 보인다. 기반암과 퇴적층 사이의 부정합면을 기준으로 남측 및 북측 단면에서 각각 약 40 cm 및 약 50 cm의 변위가 확인된다. 마지막 단층운동은 상부 자갈층 퇴적 이후로 해석되나, 상부 자갈층은 농지개간에 의해 그 상부가 소실되고 약 20 cm 두께의 경작토가 형성되어 있어 원지형은

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

보존되어 있지 않다. F2 단층의 ESR 연령은 $> 3,000$ ka로서 연대측정 방법의 한계를 넘는 약 2~3백만년 전 이전으로 추정된다(참고문헌 148).

결론적으로, 현재 나타나는 약 1.8m의 지형면 낙차는 순수 단층운동에 의한 저단층에 지형의 낙차는 아니고 기반암의 완만한 경사도 포함된 것으로 판단되며, 기반암에는 여러 회의 단층운동이 있었으나 제 4기 퇴적층이 형성된 후에는 1회의 단층운동 만이 발생했던 것으로 해석되었다(참고문헌 147).

좌동단층

좌동지점은 부산광역시 기장군 장안읍 좌동리에 위치한다. 이 지점의 단층은 김지수 외(참고문헌 149)가 14번 국도변에서 실시한 트렌치 조사에서 그 특성이 밝혀졌다.

트렌치 구간에는 약 25조의 단층면 또는 단층비지띠가 발달되어 있으며, 북북동 주향에 경사가 고각인 단층면이 우세하게 산출한다. 단층암은 국도변에 가까운 곳에서는 주로 단층각력암 혹은 단층비지가 우세하나 트렌치 중앙부쪽에서는 부분적으로 파쇄엽리를 수반하는 단층파쇄암이 주를 이룬다. 단층 및 이에 수반된 단열들은 일광단층대와 아평행한 북북서에서 북북동 방향에 걸친 주향을 가지는 단층들이 가장 우세하게 발달하고, 단층면은 주로 60° 이상의 고각이며 서쪽 혹은 동쪽으로 경사하고 있다. 단층은 수 cm의 단층각력 및 비지대로 구성되며, 이차적인 유체의 유입에 의한 변질의 결과로 추정되는 연갈색의 황화물이 산출한다.

단층핵은 $N24^\circ E/72^\circ SE$ 방향의 약 15 cm 두께의 단층비지대로 나타난다. 단층핵에는 수평의 단층조선이 발달하며 우수향 주향이동을 지시하는 단층암의 미구조가 확인되었다. 이 단층핵 주변에는 50 cm 이상 폭의 불규칙한 단층각력대가 발달하며 각력사이의 공극들은 방해석으로 충전되어 있다. 부수단층들의 단층면 상에는 주향이동성 단층운동을 지시하는 수평에 가까운 단층조선이 우세하게 발달하며 부분적으로는 사각으로 경사하는 단층조선이 나타난다. 단층핵에 산출하는 단층비지의 ESR 연령은 540 ± 60 ka로 측정되었다(참고문헌 148, 97).

모암인 석영안산암질 응회암이 심하게 파쇄된 단층대는 제 4기 미고결 곡부 퇴적물에 의해 부정합으로 덮혀 있다. 따라서 단층운동은 적어도 이 퇴적물 퇴적 이전에 멈추었다고 해석될 수 있으나, 이 제 4기 퇴적층의 정확한 연대는 확실하지 않다.

주변에 분포하는 백악기 퇴적층(이천리층)과 응회암 사이의 경계가 단층을 기준으로 약 1.2km의 수평분리를 보이는데, 이것은 응회암의 퇴적 이후 발생한 일광단층의 실 변위량으로 해석된다(참고문헌 150, 149).

술마단층

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

이 지점의 단층은 울산시 울주군 서생면 화정리 술마에서 S45°W 방향으로 약 4.5 km 연장되는 단층의 연장상에 위치한다(참고문헌 150, 88). 서용표 외(참고문헌 151)와 양주석(참고문헌 97)은 이 지점을 화정 1로 기재하였다. 단층을 경계로 백악기 안산암과 유문암이 각각 동측과 서측에 분포한다. 단층면은 N51°E/60°NW 방향으로 발달하고 단층비지와 단층각력암으로 구성된 단층대의 폭은 약 180 cm에 달한다. 단층의 서측의 유문암은 심하게 파쇄되어 약 20 m 이상의 폭에 걸쳐 단층손상대가 형성되어 있으나, 동측에 분포하는 안산암은 상대적으로 덜 파쇄되어 있고 단층대 경계면에는 관상의 단층면이 뚜렷하게 발달한다. 단층대의 동측 경계를 따라 1 cm 내외 두께의 얇은 적갈색 단층비지대가 산출하고, 우수향의 주향이동운동 감각을 보여주는 단층조선이 055°/11° 방향으로 나타난다. 단층의 서측 경계부에는 20~30 cm 폭의 적갈색 또는 녹갈색 단층비지대가 산출한다. 유문암과의 단층 경계면은 N37°E/73°NW 방향으로서 수직의 피치각을 이루는 단층조선이 관찰된다. 단층대 내부에는 N49°E/55°NW 및 N42°E/54°NW 방향의 전단면이 발달하며, 단층대 중심부에 두껍게 산출하는 단층각력암대에는 방해석 세맥들이 빈번하게 산출한다. 단층대의 서측 경계면으로부터 분기되어 유문암체 내로 연장되는 단층면은 약 1 cm 두께의 적갈색 단층비지대를 수반하며 산출하는데, 단층비지엽리의 기하학적 배열양상은 정경사이동의 운동감각을 분명하게 지시한다.

단층대 상위는 분급이 매우 불량한 거력 내지 잔자갈로 구성된 붕적층에 덮여있어, 단층 작용이 이 붕적층의 퇴적 이전에 이미 종료되었음을 반영한다. 이 지점에서 산출하는 단층비지의 ESR 연령은 단층대 동측 경계부의 시료는 630 ± 70 ka 및 960 ± 110 ka, 서측 경계부의 시료는 $1,160 \pm 200$ ka, 그리고 단층대 내부의 두개 시료에서는 모두 $>3,000$ ka의 연령을 각각 나타내는 것으로 분석되었다(참고문헌 97). 따라서 이 단층은 최후기에 우수향의 주향이동운동을 겪었던 제 4기 단층으로 평가된다.

2.5.1.2.2.5 절대연대측정

2.5.1.2.2.5.1 기반암

신고리 5,6호기 부지에 인접한 화강암체에서 3개의 시료(KR10, KOR013A, APR-1B(KOR192); 그림 2.5-136)를 채취하였으며 장안지역의 화강암체에서 1개의 시료(KR14; 그림 2.5-54)를 채취하였다. 화강암 시료는 흔히 분홍색의 K 장석 반정을 함유하는 중립 내지 조립질암으로서 엽리는 보이지 않는다. 구성광물은 석영, 사장석, K 장석, 흑운모, 각섬석, 불투명 광물과 인회석 등이다. 사장석은 누대구조를 잘 보이는 자형의 거정으로 산출되며 K 장석은 대개 타형이다. 흑운모는 녹니석과 불투명 광물로, 또 각섬석은 녹염석과 불투명 광물로 일부 변질되어 있다.

장안사 지역에서 채취된 2개의 석영안산암질 응회암(KOR121, KR16; 그림 2.5-136)은 짙은 회색의 치밀, 견고한 세립질암으로서 유동구조는 잘 보이지 않는다. 자형의 사장석

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

반정이 포함되며 심하게 변질된 암편을 흔히 포함한다. 현미경 관찰에 의하면 기질 부분은 거의 완전히 녹니석이나 점토 광물 등의 2차 광물로 변질되어 있다. 반정은 주로 석영과 사장석이다.

KOR509 지점에서는 화강암을 두께 3m 규모의 염기성 맥암(시료 KOR509A)이 N75°E 방향으로 관입해 있으며(그림 2.5-137), 고철질의 맥암이 다시 맥암과 화강암을 관입하기도 한다.

KOR013 지점에서는 화강암(시료 KOR013A)을 두께 3m 규모의 염기성 맥암(시료 KOR013B)이 N70°E 방향으로 관입하며(그림 2.5-138) 화강암에는 수 cm 규모의 미세 고철질 엔클레이브(micro mafic enclave)가 흔히 보인다. KOR015 지점에서도 미세 고철질 엔클레이브가 많이 함유된 화강암을 두께 7m 규모의 염기성 맥암(시료 KOR015B)이 관입하는데 그 방향은 KOR509, KOR013 지점과 달리 N80°W 정도이다. KOR001 지점에서는 석영안산암질 응회암을 두께 2m 규모의 안산암질 맥암(시료 KOR001B)이 N80°E 방향으로 관입해 있다. KOR139 지점에서는 석영안산암질 응회암을 동서 방향으로 관입한 산성질 맥암(시료 KOR139A)이 외견상 약 12.3m 오프셋(offset) 되어있는 것으로 보이지만(그림 2.5-139) 단층비지는 보이지 않는다. APR-1 지점(KOR192)의 시추코아 중 9.5m~13.0m 심도에 위치하는 화강암(시료 APR-1B)시료를 채취하였다. 시료채취 위치는 표 2.5-13과 그림 2.5-136에 나타내었다.

결과

신고리 5,6호기 원전부지에 인접한 각섬석흑운모화강암의 세지역 시료(KR10, KOR013A, APR-1B; 그림 2.5-136)에 대해 각섬석 K-Ar, 흑운모 Rb-Sr, K-Ar 연대측정 결과가 얻어졌다. KR10, APR-1B 시료에 대한 각섬석의 K-Ar 연대는 각각 65.8 ± 1.3 Ma, 63.1 ± 1.3 Ma로서 오차범위 내에서 거의 동일하다. Rb-Sr 연대의 경우 세가지 시료의 흑운모에서 동일한 연대(KR10은 63.9 ± 0.3 Ma, KOR013A는 64.5 ± 0.3 Ma, APR-1B는 62.8 ± 0.3 Ma)를 보이는데 두 시료에서 얻어진 K-Ar 연대(KR10은 67.3 ± 1.3 Ma, KOR013A는 69.0 ± 2.0 Ma)와 비교하면 Rb-Sr 연대가 다소 낮아 K-Ar 연대측정에서 있을 수 있는 과잉(excess) Ar의 영향을 짐작할 수 있다. 각섬석 K-Ar 시스템의 폐쇄온도($490^{\circ}\text{C} \sim 578^{\circ}\text{C}$, 참고문헌 153)와 흑운모 K-Ar, Rb-Sr 시스템의 폐쇄온도($300 \pm 50^{\circ}\text{C}$, 참고문헌 152)를 고려할 때 이 화강암체는 약 65 Ma에 관입하여 $300 \pm 50^{\circ}\text{C}$ 까지 급속도로 냉각하였음을 알 수 있다. 일반적으로 경상분지에 분포하는 백악기~제 3기 화강암체는 천부 관입체로서(참고문헌 153) 빠른 냉각 속도를 가진다.

장안 지역의 화강암체(시료 KR14; 그림 2.5-54)는 신고리 지역 화강암체와 거의 유사한 흑운모 Rb-Sr 연대(66.3 ± 0.3 Ma)를 가지지만 K-Ar 연대는 60.5 ± 1.2 Ma로서 다소 낮다. 그러나 Ar의 유동성을 고려할 때 기본적으로 장안지역의 화강암체와 신고리지역의 화강암체는 동일한 관입시기를 가지는 암체로 판단된다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

장안사 지역에서 채취된 2개의 석영안산암질 응회암(KOR121, KR16; 그림 2.5-136)은 전암-기질-사장석의 내부 등시선(그림 2.5-140)에 의해 $65 \pm 5 \text{ Ma}$ (MWSD=95, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 초기치 = 0.7051 ± 0.0002)를 정의한다. 이 연대는 인접한 신고리 지역 화강암의 관입시기와 유사하여 이 지역에서 화산활동과 심성활동이 거의 동시기에 일어났음을 지시한다. 이 두 시료의 기질 부분에 대한 K-Ar 연대는 $38.8 \pm 0.8 \text{ Ma}$, $41.1 \pm 0.8 \text{ Ma}$ 로서 오차범위 내에서 일치하는데 신고리 주변 해안가에 분포하는 맥암의 관입 사건과 관련된 열수변질 시기를 지시할 가능성이 있다. 신고리 5,6호기 원전 주변 해안가에서 채취한 5개 맥암시료(KOR509A, KOR013B, KOR015B, KOR001B, KOR139A; 그림 2.5-136)의 전암 K-Ar 연대는 32.9~41.6 Ma로 분산된다.

KOR001B(그림 2.5-136) 시료에 대한 연대 스펙트럼과 역등시선도는 그림 2.5-141에 제시되어 있다. 상위 두단계의 온도 구간에서만 평탄역이 정의되는데, 이때의 연대는 $44.6 \pm 1.5 \text{ Ma}$ 이고 전체 ^{39}Ar 의 81 %에 해당하는 양이다. 두 개의 자료만을 이용했기 때문에 역등시선도에서 초기 Ar의 동위원소비가 구해지지 않았으나 $45.3 \pm 2.4 \text{ Ma}$ 의 오차범위 내에서 평탄역 연대와 유사한 값이 얻어진다.

두 시료 모두 전체적인 연대 스펙트럼은 전형적인 단일위치확산모델(single site diffusion model, 참고문헌 154)과 유사한 패턴을 보인다. 이는 암석이 형성된 이후 냉각되면서 부분적인 Ar의 손실이 있었음을 의미하고 조사지역의 화산암류에서 광범위하게 관찰되는 변질의 영향 때문인 것으로 여겨진다. 동일 시료에 대해 얻어진 K-Ar 연대는 평탄역 연대보다 모두 그 값이 작는데 이는 연대 스펙트럼에서 확인되는 Ar 손실에 의한 영향인 것으로 파악된다. 즉, 맥암들의 분산되는 K-Ar 연대는 방사기원 Ar 가스의 손실과 관련된 것으로 보이며 맥암들의 관입 시기는 44 Ma 내외로 판단된다.

2.5.1.2.2.5.2 단층암

시료 채취 위치는 표 2.5-13와 그림 2.5-136에 표시되어 있다. KOR509 지점의 화강암을 관입한 맥암 내에 단층파쇄대(N75°E/vertical)가 발달하고 폭 3~7 cm 규모의 단층비지(시료 KOR509B)가 보이며(그림 2.5-142) 단층대를 따라 석영맥이 발달한다. 단층대는 원력을 포함하는 해안단구층에 의해 덮여 있다. KOR151 지점은 응회암에 발달한 동서 계열의 단층대(방향 N80°E/75°NW)인데 밝은 회색의 단층비지(시료 KOR151B)가 1~2 cm 폭으로 미단층각력대에 발달한다(그림 2.5-143). APR-1 지점(KOR192)의 시추코아에서는 41.1 m 심도에 발달한 적갈색의 단층비지(시료 APR-1A)를 채취하였다(그림 2.5-144).

일광단층의 주 발달 방향 트렌치 지점 TCR1은 점착성 단층파쇄암으로 이루어져 있고 이 단층암에는 많은 소단층과 단층비지가 발달한다(그림 2.5-145). 단층대의 모암은 응회암이고 단층대 폭은 약 1 m이다. 단층대에는 폭 1~3 cm 정도의 적갈색 단층비지(시료

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

TRC1A, KOR194)가 발달한다. 단층대의 방향은 N24°E/72°SE이고 단층조선은 N24°E/수평이다. 단층면과 상반과의 경계는 매우 뚜렷하며 상반의 응회암에는 파쇄대가 발달되지 않는다. 단층하반에 잘 발달된 파쇄대에는 불석맥이 충전한다.

단층비지의 광물화학적 특징

15 μm 이하로 분쇄한 분말시료에 대하여 X-선 회절분석을 실시하였다. 석영 및 장석이 모암의 잔류광물로 남아있으며, 스�멕타이트와 일라이트가 점토광물로 확인되었다(그림 2.5-146). 대부분의 시료에서 상당량의 석영이 확인되고 있으나 KOR509B(그림 2.5-136) 시료는 석영과 장석이 거의 함유되지 않은 순수한 점토광물로 구성되어 있는 것이 특징이다. 장석이 미량으로만 들어있어 X-선 회절분석에서 확인되지 않은 시료도 있다. 이처럼 장석의 함량이 적은 것은 단층활동 시기에 대부분의 장석이 용해되어 점토광물로 변질되었기 때문이다. KOR151B 시료는 일라이트를 수반하고 있는데 이는 비교적 심부에서의 단층활동에 의해 점토광물이 생성되었음을 시사한다.

자생 점토광물에 대한 정확한 감정을 위해 원심분리법으로 분리된 0.2 μm 이하의 점토입자들에 대한 X-선 회절분석 결과 주구성 점토광물은 스�멕타이트이지만 APR-1A(KOR192), TRC1A(KOR194)와 KOR151B 시료에서 10-Å(001)의 일라이트 피크가 뚜렷하게 관찰되며, 5.0-Å(002), 3.33-Å(003)의 회절선이 확인된다(그림 2.5-147). TRC1A(KOR194)시료에서는 7-Å의 캐올린광물이 관찰되는데, 피크가 비교적 넓고 (001) 회절선이 저각 쪽으로 편향되어 7.2-Å에서 나타나며, (002) 회절선(3.58-Å)이 함께 관찰된다. 이는 풍화과정에서 생성된 10-Å 할로이사이트가 시료처리 과정에서 탈수된 결과로 보인다. KOR151B 시료에서는 뚜렷하지는 않지만 7.2-Å 부근에서 넓은 피크가 확인되고 있어 역시 캐올린광물을 수반하고 있는 것으로 보인다. KOR509B 시료에서는 비교적 순수한 스�멕타이트만 관찰된다. 일라이트가 발달한 시료인 TRC1A(KOR194)와 KOR151B의 경우 상대적으로 14-Å 피크의 강도가 낮고, 피크가 넓어지는 경향을 보이며 동시에 캐올린 광물을 수반하고 있는 것으로 보아 상당량의 스�멕타이트가 단층대를 따라 유입된 지하수에 의한 풍화작용으로 캐올린광물화된 것으로 보인다. 반면에 APR-1A(KOR192)와 KOR509B 시료는 비교적 지하수에 노출이 덜 되어 단층활동 때 생성된 스�멕타이트가 변질되지 않고 그대로 유지되어 있는 것으로 보인다.

단층암의 Rb-Sr, K-Ar 연대

단층암에 대한 Rb-Sr, K-Ar 연대측정 결과를 각각 표 2.5-14 및 표 2.5-15에 정리하였다. KOR509B 단층비지의 0.2 μm 이하 부분 전체와 1N 염산 추출물, 잔류물의 Rb-Sr 동위원소비는 $30.8 \pm 0.8 \text{ Ma}$ (MSWD = 0.75, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 초기치 = 0.70885 ± 0.00002)의 아이소크론(isochron) 연대를 정의한다(그림 2.5-148). 이 시료는 입자크기가 작아지면서 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 비가 아이소크론에 증가하는 경향을 보이지만 그 변화폭이 좁고 2~5 μm , 0.2~2 μm 부분은 아이소크론에서 벗어난다. 0.2 μm 이하 부분이 가지는 K-Ar 연대는 37.0

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

± 0.8 Ma로서 역시 Rb-Sr 산추출 연대에 비해 오래되어 과잉 Ar의 존재 가능성을 시사한다.

KOR151B 단층비지 0.2 μ m 이하 부분 전체와 1 N 염산 추출물, 잔류물의 Rb-Sr 동위원소비는 39.9 ± 0.2 Ma(MSWD = 1.05, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 초기치 = 0.70744 ± 0.00002)의 에러크론 연대를 정의한다(그림 2.5-149). 2~5 μ m, 0.2~2 μ m 입자크기 부분은 에러크론 상위에 점사된다.

TRC1A(KOR194) 단층비지 0.2 μ m 이하 부분 전체와 1 N 염산 추출물, 잔류물의 Rb-Sr 동위원소비는 42.4 ± 2.3 Ma(MSWD=40, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 초기치= 0.7057 ± 0.0007)의 에러크론 연대를 정의한다(그림 2.5-150). 이 시료의 5 μ m 이하 부분은 입자크기에 상관없이 에러크론을 잘 따라가(그림 2.5-150) 단층운동 및 연이은 열수변질작용에 의해 전체적으로 Rb-Sr 동위원소 조성이 비교적 잘 재구성 되었다고 생각할 수 있다.

APR-1A(KOR192) 단층비지 0.2 μ m 이하 부분 전체와 1N 염산 추출물, 잔류물의 Rb-Sr 동위원소비는 37.1 ± 0.2 Ma(MSWD = 0.08, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 초기치 = 0.70573 ± 0.00002)의 아이소크론 연대를 정의한다(그림 2.5-151). 거의 유사한 Rb-Sr 동위원소 조성을 가지는 2~5 μ m, 0.2~2 μ m 입자크기 부분은 등시선 위에 잘 놓여 단층운동 및 연이은 열수변질작용에 의해 전체적으로 Rb-Sr 동위원소 조성이 비교적 잘 재조성 되었다고 판단된다.

KOR509 지점 단층대 모암인 맥암의 관입시기는 44 Ma 내외로 판단된다. 이 지점에서 채취한 단층비지의 Rb-Sr 산추출 연대는 약 31 Ma로서 맥암의 관입 이후 일어난 단층운동시기를 지시한다. TRC1 트랜치 지점(KOR194), APR-1 시추코아(KOR192) 및 KOR151 지점 단층비지는 모두 오차범위 내에서 거의 일치하는 40 Ma 내외의 Rb-Sr 산추출 연대를 가지는데 이는 신고리 원전부지에 분포하는 맥암의 관입 직후에 일어난 단층운동 시기를 지시하는 것으로 판단된다.

2.5.1.2.2.5.3 해안단구

시료

시료 채취 위치는 표 2.5-13와 그림 2.5-136에 표시되어 있다. KR5 지점(그림 2.5-154)은 조사지역에서 가장 고도가 높은 곳에 위치하는 단구로서 고도는 약 19m이다. 원마도가 좋은 원력과 각력이 혼재하여 분포하고 있다. 이 역들은 풍화가 상당히 진행되어 잘 부스러진다. 장경 20 cm 정도의 화강암 역들이 노두 하단에 부분적으로 존재한다. 자갈층 위에서 층리를 보이며 발달된 세립 내지 중립질 모래층에서 시료(0102KR-5A)를 채취하여 OSL 연대측정에 이용하였다. 이 노두에는 기반암이 노출되어 있지 않으며, 0102KR-5A 시료는 85 cm 상위에 위치한다. 0102KR-5A 시료를 채취한 위치의 20 cm 상부는 식물의 성장에 의하여 층이 교란되어 단구 상위면으로부터 토양들이 유입된 것으로 보인다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

KR8 지점(그림 2.5-153)에는 풍화가 상당히 진행된 화강암 기반암 위에 자갈층과 분급이 잘 된 모래층이 층리를 잘 보이며 반복적으로 분포하고 있다. 원마도가 매우 좋은 원형 및 타원형의 작은 자갈(장경 1~15 cm)들이 층리를 잘 보이면서 수평 배열되어 있다. 시료 0102KR-8은 기반암으로부터 35 cm 상위에 위치하는 세립 내지 중립질의 모래층에서 채취하였다. 이 층은 폭이 약 30 cm로 자갈층 사이에 위치하고 있다. 이 노두는 KR-9 지점과 유사한 고도(7~8 m)에 위치하지만 바다에서 내륙쪽으로 200 m 가까이 떨어져 상대적으로 KR-9 지점보다는 상위단구로 판단된다. 화강암 기반암 위에는 장경이 2 m 이상인 핵석이 여러 개 분포하고 있다. 단구층 상위는 육성층으로 판단되는 퇴적층으로 덮여있다.

KR9 지점은 조사지역에서 바다에 가장 인접해있으며 고도는 7 m 정도이다(그림 2.5-154). 0102KR-9B 시료는 화강암 기반암으로부터 76 cm 상위에서 채취하였다. 2 cm 이하의 둥근 자갈들이 적은 양 산재하고 있고 대부분은 중립 내지 조립의 모래층으로 비교적 균질하며, 역들은 거의 보이지 않는다.

결과

신고리지역에서 채취한 각기 다른 고도의 세 개의 단구 퇴적층의 산출된 OSL 연대는 KR5(고도 19 m)지역이 112 ± 7 ka, KR8(고도 7 m)지역은 67 ± 4 ka 이며, 그리고 KR9(고도 7 m)지역은 57 ± 5 ka로 측정되었다(표 2.5-16). 고도측정계로 구한 KR8 지점과 KR9 지점의 시료채취 고도는 같은 값을 나타내지만 고도계가 가지고 있는 오차 그리고, KR9 지점의 시료 채취지점이 KR8 지점의 시료 채취지점보다 좀 더 해안에 가깝다는 것을 고려하면 KR9 지점이 KR8 지점보다는 하위 단구로 생각된다.

2.5.1.2.2.5.4 연대측정 결과

기반암과 단층암 그리고 해안단구층의 시료채취 위치는 그림 2.5-136에, 그리고 시료로부터 구한 연대측정 결과는 표 2.5-13에 요약하였다.

부지에 인접한 각섬석흑운모화강암의 세지역 시료(KR10, KOR013A, APR-1B(KOR192); 그림 2.5-136)에 대해 각섬석 K-Ar, 흑운모 Rb-Sr, K-Ar 연대측정 결과가 얻어졌다. 각섬석 K-Ar 시스템의 폐쇄온도와 흑운모 K-Ar, Rb-Sr 시스템의 폐쇄온도를 고려할 때 이 화강암체는 약 65 Ma에 관입하여 300 ± 50 °C까지 급속도로 냉각하였음을 알 수 있다. 장안지역의 화강암체(KR14)는 신고리지역의 각섬석흑운모화강암과 동일한 관입시기를 가지는 암체로 판단된다. 장안사지역에서 채취된 2개의 석영안산암질 응회암(KOR121, KR16)은 전암-기질-사장석의 내부 등시선에 의해 65 ± 5 Ma를 정의한다. 이 연대는 인접한 신고리지역 화강암의 관입시기와 유사하여 이 지역에서 화산활동과 심성활동이 거의 동시기에 일어났음을 지시한다. 이 두 시료의 기질 부분에 대한 K-Ar 연대는 신고

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

리 주변 해안가에 분포하는 맥암의 관입 사건과 관련된 열수변질 시기를 지시할 가능성이 있다.

부지 주변 해안가에서 채취한 5개 맥암(KOR509A, KOR013B, KOR015B, KOR001B, KOR139A)의 전암 K-Ar 연대는 32.9~41.6 Ma로 분산되지만 이는 방사기원 Ar 가스의 손실과 관련된 것으로 보이며 맥암들의 관입 시기는 두 시료의 Ar-Ar 연대가 정의하는 44 Ma 내외로 판단된다.

부지반경 8 km 이내에서 채취한 단층비지는 대개 스멕타이트로 이루어져 있으나 대부분의 시료에서 캐올린 광물과 함께 자생적인 일라이트가 일부 확인된다. KOR509 지점에서 채취한 단층비지 시료의 측정연대와 TRC1 트렌치 지점(KOR194), APR-1 시추코아(KOR192) 및 KOR151 지점 단층비지 시료의 측정연대는 신고리 원전부지에 분포하는 맥암의 관입 직후에 일어난 단층운동 시기를 지시하는 것으로 판단된다.

2.5.1.2.2.6 지사

구조지질조사, 제 4기층 조사, 절대연대측정 결과를 종합하여 해석된 부지반경 8 km 지역의 지사는 다음과 같다.

- 가. 백악기 : 이천리층 퇴적.
- 나. 백악기 말(70~65 Ma) : 화산암(주로 석영안산암질 용회암과 안산암질 용회암 등의 화성쇄설암)의 분출 및 퇴적.
- 다. 백악기 말~제 3기 초(65 Ma) : 화강암체 관입.
- 라. 상기 기반암에 Group 1(NS 주향)의 우수향 전단단열 발달과 동시에 이에 수반된 Group 3(NE 주향)의 인장단열 발달. Group 1 단열에 속하는 우수향 주향이동의 일광단층이 형성.
- 마. 기반암에 Group 2(EW 주향)의 좌수향 전단단열로 발달함과 동시에 이에 수반하여 일부 Group 3(NE 주향) 단열이 2차 인장단열로 재발달. Group 2 단층의 형성.
- 바. 제 3기 초말(44 Ma) : 현무암질 암맥과 안산암질 암맥이 기반암에 기존재하는 Group 1, 2, 3 단열을 따라 관입.
- 사. 제 3기 중엽(31 Ma) : Group 2(EW 주향) 단열이 우수향 전단단열로 재활성됨과 동시에 이에 수반된 Group 4(NW 주향)의 인장단열 형성(31 Ma의 시기는 Group 2 단열군에 속하는 주향이동단층인 KOR509 단층의 단층암 절대연대측정 결과로부터 유추됨).
- 아. Group 1(NS)의 단열 일부가 좌수향 전단단열로 재활성.
- 자. 최근의 응력장 하에서 Group 1의 NS~NNE 계열 단층의 일부가 우수주향이동단층으로 재활성. 이와 동시에 Group 3의 NE 계열 단열 중 일부가 경사각이 고각인 것은 우수주향이동단층으로, 경사각이 저각인 것은 정단층으로 재활

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

성.

2.5.1.2.2.7 결론

- 가. 부지반경 8 km 지역의 기반암은 주로 백악기의 퇴적암, 백악기 말의 화산암(주로 석영안산암질 응회암과 안산암질 응회암), 백악기 말~제 3기 초의 화강암 그리고 제 3기 중엽의 맥암류로 구성되며 조사지역 대부분에는 백악기 말의 화산암체가 분포한다. 이 암체들은 부분적으로 제 4기 퇴적층에 의해 부정합으로 피복된다.
- 나. 구조지질조사, 제 4기층 조사, 절대연대측정 결과를 종합하여 해석된 부지반경 8 km 지역의 지사는 2.5.1.2.2.6절의 지사에 요약된 결과와 같다.
- 다. 진하-기장 지역은 남측으로 침강하는 형상을 보이고 있으며 단층에 의하여 변위된 제 4기 퇴적층은 발견할 수 없었다.
- 라. 부지반경 8 km 지역의 절리는 방향에 따라 고각인 Group 1(NS 주향), Group 2(EW 주향), Group 3(NE 주향), Group 4(NW 주향) 및 거의 수평하거나 경사가 완만한 Group 5의 평판절리로 구분된다. 이들 절리군은 형성 이후 여러번에 걸쳐 재활성되었기 때문에 절리간격과 절리길이의 통계분석치는 특정한 형태를 보이지 않는다. 그러나 대체적으로 Group 1(NS 주향)과 Group 2(EW 주향)의 절리가 가장 우세하게 발달하는 경향이 있다.
- 마. 부지반경 8 km 지역의 단층은 방향에 따라 Group 1(NS~NNE 주향), Group 2(EW 주향), Group 3(NE 주향), 그리고 Group 4(NW 주향) 단층군으로 분류되며 이중 가장 우세한 단층군은 우수주향이동단층인 Group 1(NS~NNE 주향)의 단층군이다.
- 바. 부지반경 8 km 지역에서 가장 큰 광역단층인 Group 1 단층군에 속하는 우수향 주향이동의 일광단층은 그 폭이 150~180 m이며 기반암을 1.2 km 변위시켰다.
- 사. 호암천을 따라 분포하는 각섬석화강암과 응회암의 경계부는 선구조 분석과 지구물리탐사 결과 저비저항대로 인지되었으나, 지표지질조사 및 트렌치조사 결과 관입접촉하는 것으로 나타났다.
- 아. 부지반경 8 km 이내에 확인되는 제 4기 단층(제4기 층을 절단하였거나 단층암 연대가 150만년 이내인 단층)은 도야 단층, 좌동 단층 그리고 술마 단층 등 총 3개이다. 이 들 단층은 모두 50만년 이전에 활동한 단층으로 해석되어 부지안정성에 미치는 영향은 없는 것으로 판단된다.

2.5.1.2.3 부지반경 1 km 부지지질

부지반경 1 km 지역은 행정구역으로 울산광역시 서생면이 대부분이고 부산광역시 기장군 호암리가 일부 포함된다. 한반도의 지체구조상 경상분지 남동부에 위치하며 주로 제 3기 초의 화강암과 이를 관입한 제 3기 중엽의 맥암류로 구성되어 있다. 부지반경 1 km 지

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

역의 지질조사는 1:500 지형도를 기본도로 이용하여 암상 및 지질구조 분석을 중심으로, 노두의 발달이 양호한 해변지역을 중심으로 이루어졌으며 내륙지역은 노두의 발달이 극히 불량하여 도로를 따라 수행하였다. 단열구조 해석이 요구되는 지점에서는 정밀한 단열도를 작성하였다.

2.5.1.2.3.1 지질 개요

부지반경 8km 지역은 백악기의 퇴적암(이천리층), 백악기 말의 안산암질 응회암 그리고 이를 관입한 백악기 말~제 3기 초의 각섬석화강암으로 이루어져 있으나 부지반경 1km 지역은 전체가 백악기 말~제 3기 초의 각섬석화강암으로 구성되며 이를 관입한 제 3기 맥암류가 국지적으로 분포하고, 제 4기 충적층 및 퇴적물이 부정합적으로 피복되어 분포한다(그림 2.5-155).

절대연령측정 결과에 따르면 각섬석화강암체의 관입시기는 약 65 Ma이고 각섬석화강암체를 관입한 맥암류의 절대연대는 44 Ma로 측정되었다.

2.5.1.2.3.1.1 화강암

부지반경 1km 지역에 넓게 산출하는 각섬석화강암에 대한 절대연령측정 결과는 약 60 Ma로서 백악기 말~제 3기 초에 해당한다(2.5.1.2.2.5 절대연대측정 참조).

각섬석화강암은 조립질로 주로 5~10 mm의 석영(30~40%), 5~15 mm의 정장석과 사장석(50~60%), 1~10 mm의 흑운모(약 5%) 그리고 2~10 mm의 각섬석(약 5%)으로 구성되며 특히 각섬석은 그 크기가 30 mm에 달하기도 한다. 각섬석화강암 내에는 2~20 cm 크기의 고철질 엔클레이브가 나타나는 것이 특징적이다.

2.5.1.2.3.1.2 맥암류

부지반경 1km 내에서는 화강암류가 주로 분포하며, 이러한 암석들은 후기에 암맥들의 관입을 받았다. 이러한 암맥들에 대한 절대연령측정 결과는 44 Ma로서 제 3기에 해당한다. 부지반경 1km 지역의 맥암류는 현무암질 암맥이 주종을 이루며 일부 규장질 암맥이 분포한다. 이들 암맥은 기존 암석의 절리면을 확장시키면서 관입한 증거가 곳곳에서 관찰되고 있으며, 이러한 암맥의 폭은 수 cm에서 수 m에 이르기까지 다양하며, 암맥의 발달방향은 이 지역의 주 절리방향과 일치하고 있다(2.5.1.2.2 부지반경 8km 부지지질 참조).

2.5.1.2.3.1.3 제 4기 퇴적층

해안단구 퇴적층은 비학 일대에 국지적으로 분포한다. 효암천을 중심으로 산출되는 제 4

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

기 하상 퇴적층은 주로 실트를 포함한 모래로 구성되어 있으며, 효암천을 따라 상당히 깊은 심도까지 발달하고 있다.

비학마을 일대에는 해안에 평행한 방향으로 길쭉한 능선형의 지형이 발달하며, 이 곳엔 수 m 두께의 사질 해변퇴적층이 분포한다(그림 2.5-155). 이 퇴적층은 왕모래와 자갈을 포함하는 조립사로 구성되어 있으며, 국부적으로 완만하게 경사하는 층리를 보여주나 분급이 불량하고 이질 퇴적물의 함량은 낮은 편이다. 이 해변퇴적층은 노출 고도를 고려할 때 제 2해안단구에 퇴적된 해변퇴적층으로 해석된다.

비학마을에서 약 300 m 북서쪽 1019번 지방도로 지점에서 제 2 해안단구의 해변퇴적층이 소규모로 분포한다(그림 2.5-155). 특히 이 지점은 효암천 이설공사로 인한 초기 굴착이 시행된 곳으로 해변퇴적층을 용이하게 관찰할 수 있었다. 굴착된 부분의 서측 사면에는 풍화가 심한 각섬석화강암 위에 부정합으로 약 30~50 cm 두께의 해변 역층이 거의 수평에 가까운 완만한 경사로 존재하나, 동측 사면에는 풍화가 심한 각섬석화강암 위에 부정합으로 점토 내지 실트의 기질에 각력, 아각력, 원력을 함유하는 산록퇴적층이 약 2~5m 두께로 존재하고, 이 산록퇴적층 위를 다시 경사가 완만한 30~50 cm 두께의 해변 역층이 피복하고 있다. 따라서 양측 사면의 제 4기층 분포가 상이하기 때문에 양측 사면 사이에 남북 주향의 제 4기 단층이 예상되어, 동서 방향으로 약 1 m 깊이로 간이트렌치 조사를 수행하였다. 그 결과 단층 예상지점에서 기반암인 각섬석화강암에 단층은 존재하지 않았으며, 단지 서측 사면의 각섬석화강암의 동쪽으로 급하게 경사진 고평화면 위에 부정합으로 산록퇴적층이 피복하는 것이 확인되었다.

2.5.1.2.3.2 지질구조

부지반경 1 km 지역은 취성 변형작용에 따른 절리와 단층에 의한 단열구조만이 확인된다. 항공 및 위성사진 상에서 선구조로 확인되나 야외에서 확인되지 않는 북북서-남남동 방향의 구조선이 부지반경 1 km 지역 남서부의 효암천을 따라 발달한다. 이 절에서는 부지반경 1 km 지역에 분포하는 절리와 단층에 대하여 기술하였다(그림 2.5-156).

2.5.1.2.3.2.1 절리

부지반경 1 km 지역에 발달하는 절리는 방향을 기준으로 5개 그룹으로 분류되며 각 그룹의 평균 주향/경사는 다음과 같다(그림 2.5-157).

- Group 1 : N10°E/90°
- Group 2 : N86°E/84°NW
- Group 3 : N51°E/84°NW
- Group 4 : N42°W/90°
- Group 5 : N60°W/36°NE

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

조사지역 절리는 부지반경 8km 지역과 같이 Group 5 절리(평판절리)를 제외하고는 모두 경사각이 수직에 가깝다.

부지반경 1km 지역의 남동부 해안가의 노두들에서는 Group 3(NE) 절리와 Group 4(NW) 절리가 주 절리로 발달하고 Group 1(NS)와 Group 2(EW) 절리가 상대적으로 연속성이 불량한 부절리로 나타난다. 특히 KOR013노두(그림 2.5-113)에서는 현무암질암맥은 각섬석화강암에 기존하는 Group 3 절리를 따라 관입하여 있다(그림 2.5-113, 114). 한편, Group 4 절리가 Group 3 절리를 만나면 중지하여 Group 3 절리가 먼저 발달하고 그 후에 Group 4 절리가 형성되었음을 알 수 있다(그림 2.5-113(b)). 각섬석화강암에 존재하는 Group 3 절리는 우수향 전단단열로 나타나며 현무암질암맥 관입 이후 Group 3과 4 절리가 재활성되면서 현무암질암맥으로 전파된 것이 관찰된다(그림 2.5-114). 즉, 부지반경 1km 지역 절리의 성인 및 형성순서는 다음과 같이 요약된다.

- 가. 기반암에 Group 3(NE) 절리가 우수향 전단단열로 발달함과 동시에 일부 Group 1(NS) 절리가 2차 인장단열로 발달.
- 나. 기반암에 Group 4(NW) 절리가 좌수향 전단단열로 발달함과 동시에 일부 Group 2(EW) 절리가 2차 인장단열로 재발달.
- 다. 약 4,000만년전 현무암질암맥, 안산암질 암맥, 규장질 암맥이 기반암에 존재하는 절리를 따라 관입.
- 라. Group 4(NW) 절리가 우수향 전단단열로 재활성됨과 동시에 Group 2(EW) 절리가 이에 수반된 2차 인장단열로 형성.
- 마. Group 3(NE) 절리가 좌수향 전단단열로 재활성.

이와 같은 관계는 부지반경 1km 지역의 남동부 해안가의 타 노두 KOR203, KOR205의 격자단열도에서도 공통적으로 나타난다(그림 2.5-158, 그림 2.5-159).

2.5.1.2.3.2.2 단층

부지반경 1km 지역에는 해안가를 제외하고는 노두의 노출 상태가 불량하여 소수의 단층만을 관찰할 수 있었다. 특히 노두의 노출이 매우 양호한 해안가에서도 변위가 수 cm 이상인 단층대는 관찰되지 않았으며 수 cm 미만의 변위를 보이는 것들은 전단절리 혹은 재활성된 절리로 해석하였다.

노두에서 확인되는 단층의 자료 수는 극히 적으나 이들은 부지반경 8km 지역과 같이 남북방향(Group 1)과 동서방향(Group 2)이 우세하다(그림 2.5-160). 남북주향의 단층은 고각의 우수주향이동단층이며 동서주향의 단층은 고각의 경사이동 혹은 주향이동단층으로 확인된다. 해안단구의 분포로부터 추정되는 지질구조선(비학지역)에 지구물리탐사 결과와, 예비조사 시추에 의해 확인된 단층암 지역의 트렌치 조사(APR-1 지역)지역에 대한

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

조사 결과를 다음에 기술하였다.

2.5.1.2.3.2.2.1 비학지역

부지반경 1km 내의 비학리에는 단구변위에 의한 지형면의 기록에 의하여 2개의 제 4기 지질구조선(비학 1, 비학 2 지질구조선)과 야외 노두에서 또 다른 두 조의 제 4기 지질구조선(비학 3, 비학 2 지질구조선)이 추정되었다. 비학 1 지질구조선은 서로 평행한 N50°E 주향의 두 조로, 비학 1 주지질구조선과 이 주지질구조선의 남서부 밑단부에서 약 100m 동쪽 지점에서 분절되어 남서쪽으로 연장되는 부지질구조선으로 구성된다. 비학 1 주지질구조선은 서생 2단층과 같이 3단구면의 변위를 일으킬 가능성이 있는 추정단층으로 주향은 N50°E이고 동쪽 지괴가 상승한 역단층성의 운동감각을 가질 것으로 추정되었다. 비학 1 부지질구조선은 효암리의 2단구면을 변위시킬(약 5m의 변위) 가능성이 있는 N50°E 주향의 추정단층이며 만일 2단구를 변위시켰다면 서쪽으로 경사하는 역단층이거나 동쪽으로 경사하는 정단층이어야 한다고 판단하였다. 비학 2 지질구조선 역시 제 2단구를 약 1m 변위시킨 가능성이 있는 추정단층으로 북쪽 블록이 상승한 동서 단층으로 해석되었다. 비학 3 지질구조선은 비학리에 위치한 신고리원전 1,2호기 건설현장사무소 북동쪽 옹벽사면에서 관찰된 추정단층이다. 비학 4 지질구조선은 효암천 이설공사를 위한 절개지의 노두에서 추정되는 단층이다.

항공·위성사진 판독과 해안단구 지질조사를 통하여 신고리 3,4호기 원전부지에서 해안단구를 꿰고 있다고 추정되는 지질구조선(비학 1, 2, 3, 4 지질구조선; 2.5.1.2.2.1.2 부지반경 8km 주요지형 참조)의 유무, 위치, 연장성 등을 정확하게 파악하기 위하여 지구물리탐사(전기비저항탐사, 탄성파탐사, 지하투과레이다탐사)를 수행하였다.

자료수집 및 처리

가. 전기비저항탐사

전기비저항 쌍극자탐사는 비학 지질구조선의 탐지와 관련하여 단층의 유무, 위치와 그 연장성을 파악하는데 그 목적을 두었다. 탐사측선은 위성자료 및 해안단구 지질조사에서 해석된 북동-남서 방향의 선구조에 거의 수직되는 방향으로 7개 측선을 선정하였다(그림 2.5-161). 비학 1구조선에는 구조선 예상선에 직각으로 5개의 측선(Line 1, 2, 3, 4, 5)을 선정하였고 비학 2구조선과 비학 3구조선에 대해서는 구조선을 가로질러 각각 한 측선씩(비학 2구조선은 Line 7, 비학 3구조선은 Line 6)을 선정하였다.

전기비저항 쌍극자탐사의 자료수집은 ABEM Terrameter SAS 300C 및 Booster시스템을 사용하였으며 전극배열은 다른 전극배열에 비해 신호대 잡음비는 낮으나 상대적으로 분해능이 좋은 쌍극자 배열을 사용하였다. 전류는 신

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

호대 잡음(S/N)을 최대한 높이기 위해 최대 250 mA까지 투입하였다. 전극간격은 전개조건과 측정간의 거리 및 예상 구조선의 발달 폭을 고려하여 15 m를 적용하여 측선길이가 300 m가 되도록 하여 이에 따른 가탐심도가 각각 75 m가 되도록 하였다.

자료처리는 역산을 위해 각 면적 셀과 이에 대한 전기비저항을 추정 변수로 작성된 자료처리 소프트웨어인 Diprowin(참고문헌 155)을 사용하였다.

나. 탄성과탐사

조사 지역에 대한 탄성과 굴절법 및 반사법탐사는 조사 지역 내의 예상 지질 구조선 발달의 탐지와 관련하여 전기비저항탐사 결과와의 비교 및 보완을 위해 실시하였다.

탐사측선은 조사지역 내에서 전기비저항탐사 결과, 도출된 이상대와 탐사조건을 고려하여 비학 1 구조선에 대하여 4개 측선, 그리고 비학 3 구조선에 대하여 1개 측선을 선정하였고 전기비저항 탐사결과와의 비교 해석이 가능하도록 전기비저항 측선에 겹치도록 선정하였다(그림 2.5-161).

자료 수집은 24채널 ABEM Terraloc Mark 6 시스템을 사용하였다. 에너지원으로는 P파 발생이 유리한 47 kg의 해머를 사용하였다.

탐사에 사용된 지오폰 규격은 각 100 Hz로서 모두 1 m 간격으로 설치하였다. 탄성과 기록은 409.6 ms 동안 하였으며 고주파 성분을 충분히 유지하기 위하여 샘플링 간격은 0.05 ms로 설정하였다. 굴절법탐사 자료의 처리는 지형이나 지하구조가 복잡한 곳에서도 해석결과의 오차가 안정한 탄성과굴절법 토모그래피 방법을 이용한 CSTOFRA(참고문헌 156)를 사용하였다.

다. 지하투과레이다 탐사

전기비저항 및 탄성과 굴절법 탐사자료와의 상관해석을 위해 탄성과탐사 측선에서 지하투과레이다탐사를 실시하였다(그림 2.5-161). 비학 1 구조선에는 5개의 측선을 그리고 비학 3 구조선에는 1개의 측선을 선정하였다. 특히 지하투과레이다탐사법은 고분해능 탐사법으로서 10 m 이내에 발달할 것으로 생각되는 층적층이나 토양층에 나타나는 지질구조선의 특성을 파악하고자 실시하였다. 탐사에 사용된 장비는 가탐심도 및 분해능을 고려하여 pulse EKKO 100 시리즈 중에서 50 Mh의 송·수신기를 사용하였다. 자료수집인자는 공간적 알리아싱(spatial aliasing)을 고려하여 안테나 간격 1 m, 안테나 이동간격 0.2 m로 하였고 측정연장길이는 Line 1에서는 240 m, Line 2에서는 180 m로 하였

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

다.

현장에서 취득된 자료들은 S/N을 높이기 위해 자료처리 소프트웨어인 Radpro(참고문헌 157)를 사용하여 처리하였으며 인공잡음을 최대한 억제하기 위해 자료처리과정은 디와우잉(dewowing), 대역통과필터, 이득회수 조절 등의 기본적인 과정만을 수행하였다.

자료해석

가. 전기비저항탐사

전기비저항탐사 결과(그림 2.5-162) Line 6을 제외한 모든 단면에서 기반암으로 생각되는 1,000 ohm-m 이상의 고비저항대가 일괄적으로 나타나고 있으며, Line 5 이외에서 기반암 내에 발달하는 저비저항대 분포는 지질구조선에 의한 영향으로 해석된다.

전기비저항 측선 Line 1에서 이상대는 측점 3~7 사이로 45 m 폭으로 발달하고 있다. 이러한 경향은 Line 2에서도 연속적으로 나타난다. Line 3은 정확한 이상대 구간을 파악하기는 어려우나 전체적으로 낮은 비저항이 분포하고 있어 지질구조선 발달에 따른 효과는 어느 정도 나타나는 것으로 해석된다. Line 4에서는 다른 측선에 비해 이상대 구간이 90 m 이상의 비교적 넓은 폭으로 나타난다. Line 5에서는 대체로 고비저항이 분포하며 이상대 구간이 효과적으로 나타나지 않고 있다. 예상 구조선의 남쪽 끝 측선인 Line 7은 측점 15~18 사이에서 30 m 이상의 폭으로 지질구조선 발달구간이 확인된다.

나. 탄성파탐사

전기비저항탐사에서 확인되는 이상대 구간의 특성을 상관해석하기 위해 실시한 탄성파굴절법탐사 결과(그림 2.5-163) 지층의 속도구조는 크게 300 m/s 이하, 300~600 m/s 사이, 600 m/s 이상의 3층 구조로 구분된다. 토양층으로 생각되는 300 m/s 이하의 속도층은 Line 1에서는 2 m 이내에 발달하나 Line 2에서는 전체적으로 넓게 분포하고 있다. 특히 Line 1에서 측점 35~70 사이의 심도 2 m 하부에 분포하는 300 m/s 이하의 저속도 이상대는 지질구조선 발달에 따른 영향으로 해석된다.

다. 지하투과레이다탐사

토양층까지의 이상대 구간의 연장성을 알아보기 위해 지하투과레이다탐사를 실시한 결과(그림 2.5-164) 지질구조선 발달에 따른 효과로 생각되는 특징은

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

확인되지 않았다.

물리탐사 결과

항공·위성사진 판독이나 해안단구 지질조사를 통하여 확인되는 예상 지질구조선의 유무, 위치, 연장성 등을 정확하게 파악하여 정밀 트렌치조사 지점을 선정하고자 지구물리탐사(전기비저항탐사, 탄성파탐사, 지하투과레이다탐사)를 수행하였다.

전기비저항 쌍극자탐사 결과, 지질구조선으로 추정되는 저비저항 이상대는 원전부지 내에서 수행된 측선 전반에 걸쳐 심도 50 m 이하 30~45 m의 폭을 가지고 북동-남서 방향으로 연장되고 있으나 이상대의 전기비저항값은 비교적 높게 나타난다. 탄성파굴절법 결과, 지지구조선 발달 구간은 저속도이상대로서 전기비저항탐사 결과의 저비저항 이상대와 상관되며 이상대 깊이는 2 m로서 비교적 천부까지 발달하는 것으로 나타난다. 지하투과레이다탐사 결과, 토양층이나 충적층은 2~3.5 m의 두께로 발달하고 있는 것으로 나타나며 지질구조선의 특성은 잘 나타나지 않는다. 따라서 전기비저항탐사와 굴절법 탄성파탐사로 인지되는 가상 지질구조선은 토양층과 최상부 충적층을 절단하지는 않는 것으로 해석된다.

2.5.1.2.3.2.2 APR-1 지역

부지반경 8km 지역에 포함되는 신고리 5,6호기 건설예정부지 인접지역의 APR-1 시추지점의 시추코어에서는 단층각력암과 단층비지가 얇게 코팅된 단층활면이 다수 확인되었다(그림 2.5-165). 따라서 이 지점에 비교적 큰 규모의 단층이 존재할 가능성이 있어 트렌치 조사를 수행하였다(KOR192, 2.5.1.2.3.2.3 트렌치조사 참조). 트렌치 지점은 풍화가 심한 각섬석화강암으로 구성되어 있고 북북동~북북서 주향에 경사가 거의 수직인 Group 1 계열의 단층대가 약 1~15 cm 두께로 약 20개가 나타나나 대규모의 단층대는 확인되지 않았다. 이들 단층들은 우수주향이동단층의 구조를 보인다. 한편, APR-1 시추코어에서 채취된 단층비지에 대한 Rb/Sr 절대연령은 37.1 ± 0.2 Ma가 구해졌다.

2.5.1.2.3.2.3 트렌치조사

효암천을 따라 발달하는 북북서 방향의 선구조의 동쪽에 위치하는 조사지점은 인근에서 시행된 시추작업(APR-1)에서 단층비지를 비롯한 심한 단층파쇄암의 코어가 지하 수십 m까지 발견되었으므로 그 연장 및 규모를 확인하기 위하여 넓이 1.5 m, 길이 28 m, 깊이 2~2.5 m의 트렌치 굴착을 실시하였다. 이 중 1×1 m 격자를 사용하여 북쪽 단면에 대한 26 m구간의 정밀 트렌치 지질도가 작성되었다(KOR 192; 그림 2.5-166). 트렌치 구간은 보통 내지 심하게 풍화된 각섬석화강암으로 구성되어 있으며, 소규모 단층들이 수십 cm 간격으로 발달하고 있다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

단층은 N5~25°W 주향에 90° 내지 80°SW로 경사하는 그룹이 가장 우세하게 발달하고 있으며 그 외에 북서나 북동 방향의 주향을 가진 단층들이 소규모 분포하고 있다. 5° 이내의 경사를 가지는 거의 수평에 가까운 단층들도 관찰되는데 이들은 북북서 방향의 주 단층 그룹을 2~5cm 정도 변위시키고 있다.

단층면에는 1cm 미만의 우백색 내지 분홍색의 단층비지가 발달하고 있으며 부분적으로 탁비석으로 채워져 있다. 이는 모암의 풍화와 함께 원래 단층면에 발달한 비지층이 유체의 유입에 수반된 반응에 의하여 이차적으로 변질된 것으로 해석된다. 이러한 이차적 변질작용은 단층면 뿐 아니라 모암 내로 수cm까지 영향을 미치고 있는 점이 관찰된다.

북북서 계열의 단층에는 두 방향의 단층조선이 뚜렷하게 발달하고 있는데, 순수 주향이동성 단층운동을 지시하는 거의 수평에 가까운 것과 70° 이상 고각의 경사를 가지는 단층면에서 30~40°의 사각으로 경사하는 단층운동을 나타내는 것으로 구분할 수 있다. 단층활면에 발달하는 단층 스텝은 이 방향의 단층들이 우수향의 주향이동성 단층운동을 하였음을 지시한다. 트렌치 단면에 분포하는 단층면의 방향 및 경사 그리고 상호 연결성을 고려할 때 이 지점에서는 대규모의 파쇄대를 수반하는 단층대보다는 작은 단층들이 서로 연결되고 갈라지면서 북북서 방향의 주방향을 형성하는 소규모 단층의 특징을 나타내고 있다.

비학 1, 2, 3, 4 지질구조선 트렌치조사 위치선정

항공·위성사진 판독과 해안단구 지질조사를 통하여 신고리 5,6호기 원전부지에서 해안단구를 끊고 있다고 추정되는 제 4기 지질구조선의 유무, 위치, 연장성 등을 정확하게 파악하여 정밀 트렌치조사 지점을 선정하고자 지구물리탐사(전기비저항탐사, 탄성파탐사, 지하투과레이다탐사)를 수행하였고 지구물리탐사 결과로부터 최적의 트렌치 위치를 선정하여 정밀 트렌치조사를 시행하였다.

비학 1, 2 지질구조선 트렌치조사

비학 1 지질구조선이 추정되는 한수원 원자력교육원 북부 지역은 크게 2개의 구릉과 2개의 계곡이 반복되는 지형을 이루고 있다. 반복되는 두 개의 구릉을 해안단구로 해석하여 제기된 비학 1 주지질구조선과 부지질구조선은 현생퇴적층이 두껍게 존재하는 계곡부를 따라 존재하는 것으로 추정되었고 상기한 지구물리탐사 결과에서도 이 계곡부를 따라 파쇄대의 징후가 확인되었다. 추정된 단층이 기반암에 존재하는가의 확인과 기반암에 단층이 존재할 경우 그 단층이 현생 제 4기층을 절단하는가를 확인하기 위하여 추정단층선에 대해 4개의 트렌치조사를 수행하였다.

가. 트렌치 Line 1

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

트렌치 Line 1은 비학 1 지질구조선을 가로 질러 N52°W~S52°E 방향으로 134m 길이와 약 1~3m의 깊이로 굴착하였다. 굴착 결과 풍화가 심한 각섬석화강암의 기반암 위를 부정합으로 현생 제 4기 산록 내지 사면퇴적층이 피복하고 있다. 이 현생퇴적층은 기질은 분급이 매우 불량한 이질사(muddy sand) 또는 사질니(sandy mud)로 구성되어 있으며, 색깔은 적갈색 및 황갈색을 띠고, 간혹 존재하는 역들은 대체로 각이 져 있거나 원마도가 좋은 재동된 역이며 분급이 불량하고 배열은 거의 되어 있지 않다. 이 현생퇴적층에는 썩지 않은 나무뿌리 조각도 존재하여 그 시기는 아주 젊은 것으로 추정된다.

풍화가 심한 기반암에는 주로 고각의 절리와 2매의 고철질(mafic) 암맥이 존재하나 단층은 존재하지 않는다. 기반암을 관입한 고철질 암맥과 기반암과의 접촉부에서도 단층이 존재하지 않았다. 그러나 트렌치 북서쪽 시작 지점에서 약 15m 지점의 계곡 부위와 트렌치의 중간 계곡 부위에서는 현생퇴적물이 너무 두꺼워 기반암이 노출되지 않아 이 지점으로 기반암에 단층이 존재할 가능성이 있어 현생퇴적물이 상대적으로 얇은 남서쪽 부위에 추가 트렌치 굴착을 하였다.

나. 트렌치 Line 2

트렌치 Line 2는 트렌치 Line 1의 중간 계곡 부위의 기반암 단층 유무를 확인하기 위하여 N50°W~S50°E 방향으로 22m의 길이와 1~3m의 깊이로 굴착하였다. 그 결과 계곡 중심부에는 현생퇴적층이 두꺼워 기반암이 노출되지 않아, 남서쪽 부위에 추가 트렌치(트렌치 Line 4)를 실시하였다. 트렌치 Line 2의 계곡 연변부에 노출된 기반암에는 역시 단층이 존재하지 않았다.

다. 트렌치 Line 3

트렌치 Line 3는 트렌치 Line 1의 현생퇴적층이 두꺼운 북서쪽 계곡 부위의 기반암 단층 유무를 확인하기 위하여 N52°W~S52°W 방향으로 26m 길이와 약 1~3m의 깊이로 굴착하였다. 그 결과 트렌치 Line 1의 현생퇴적층이 두꺼운 북서쪽 계곡의 연장 부위에서 기반암이 노출되었으며 기반암에는 절리만 존재할 뿐 단층은 전혀 존재하지 않았다.

라. 트렌치 Line 4

트렌치 Line 4는 트렌치 Line 2에서도 확인이 되지 않은 트렌치 Line 1의 중간 계곡 부위의 기반암 단층 유무를 확인하기 위하여 N63°W~S63°E 방향으로 28m 길이와 약 1m의 깊이로 굴착하였다. 그 결과 기반암인 풍화가 심한 각섬석화강암이 노출되었으며 기반암에는 주로 고각의 절리만 존재할 뿐 단층

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

은 전혀 발견되지 않았다.

비학 3 지질구조선

비학 3 지질구조선은 비학리의 신고리 1,2호기 건설현장사무소 북동쪽 옹벽 사면에서 관찰된 추정단층이다. 이 추정단층은 기반암인 각섬석화강암을 관입한 고철질 암맥을 중심으로 양쪽의 토양층이 대비되지 않는다는 점을 근거로 제 4기 단층으로 제기되었다.

노두에는 심하게 풍화된 각섬석화강암을 역시 심하게 풍화된 약 1m 폭의 고철질 암맥이 관입하고 있으며 암맥의 주향/경사는 N85°E/90°이다. 이 기반암의 상부는 토양층이 덮고 있으나 야외조사 결과 암맥을 중심으로 양쪽의 토양층이 대비되지 않는다는 증거는 관찰되지 않았다. 특히 단층으로 추정된 고철질 암맥과 화강암 사이의 경계부에서는 단층이 존재하지 않았다.

비학 4 지질구조선

비학 4 지질구조선은 비학마을에서 약 300m 북서쪽 1019번 지방도로 지점의 효암천 이설공사를 위한 초기 굴착이 시행된 지점에서 추정되었다.

굴착된 부분의 서측 사면에는 풍화가 심한 각섬석화강암 위에 부정합으로 약 30~50cm 두께의 해빈 역층이 거의 수평에 가까운 완만한 경사로 존재하나, 동측 사면에는 풍화가 심한 각섬석화강암 위에 부정합으로 점토 내지 실트의 기질에 각력, 아각력, 원력을 함유하는 산록퇴적층이 약 2~5m 두께로 존재하고, 이 산록퇴적층 위를 다시 경사가 완만한 30~50cm 두께의 해빈 역층이 피복하고 있다. 따라서 양측 사면의 제 4기층 분포가 상이하기 때문에 양측 사면 사이에 남북 주향의 제 4기 단층이 예상되어, 동서 방향으로 약 1m 깊이로 간이 트랜치조사를 수행하였다. 그 결과 단층 예상지점에서 기반암인 각섬석화강암에 단층은 존재하지 않았으며, 단지 서측 사면의 각섬석화강암의 동쪽으로 급하게 경사진 고풍화면 위에 부정합으로 산록퇴적층이 피복하는 것이 확인되었다.

비학 4 지질구조선은 기반암인 각섬석화강암에 존재하는 단층(N60°E/70°NW)이 제 4기 해빈퇴적층과 접하는 부위에서 해빈퇴적층이 켜기 형태를 보여 기반암의 단층이 해빈퇴적층이 쌓인 이후 정단층으로 재활성되었다고 추정된 단층이다. 이 기반암의 단층은 0.5~3cm의 두께를 가지며 단층면 상에는 단층의 경사방향으로 단층조선(트렌드 \angle 플는지 : 354 \angle 66)이 잘 발달된 경사이동단층이다. 기반암단층 노두사면 앞의 바닥에는 약 1m 두께의 심하게 풍화된 고철질 암맥(주향/경사 : N30°E/90°)이 존재하며 이 암맥의 관입 시기는 약 4,400만 년 전으로 추정된 바 있다. 기반암단층이 이 암맥을 절단하는가의 여부를 확인하기 위하여 기반암단층과 암맥이 접하는 부위의 바닥을 간이 트랜치조사를 하였다. 그 결과 기반암의 단층은 고철질암맥으로 연장되지 않는 것으로 확인되었으며, 따라서 이 단층의 운동시기는 적어도 4,400만 년 이전으로 해석되었다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

2.5.1.2.3.3 신고리 3,4호기 본관지역 단열구조

신고리 3,4호기 본관지역의 단열구조에 대한 정밀 지질조사가 수행되었으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다(참고문헌 158).

신고리 3,4호기 본관지역의 기초 굴착면에 대한 조사결과에 따르면 발달방향이 상이한 전단특성을 나타내는 단층들이 발달하고 있는데, 이들을 발달방향 별로 대별하면 남북 계열과 동서 계열이 가장 우세하게 발달하며 이외에도 북북동-남남서, 동북동-서남서, 북동-남서 주향방향의 단층들이 발달하고 있다. 이들은 대부분 70~90°의 고각으로 발달하고 있다. 이러한 단층구조들의 방향성은 연구지역의 인근에서 발달하는 일광단층을 비롯한 주변의 단층들과 유사한 방향성을 보이고 있다(그림 2.5-167).

부지 기초암반 내의 암맥, 단열 및 단층 간의 선후관계가 잘 나타나며, 지질구조가 인지되는 노두를 선정하여 이들의 특성에 대하여 운동학적 분석을 실시하였다. 남북과 동서 계열의 고각의 주향이동단층들은 공통적으로 연장이 좋게 발달하고 있다. 조사에 따르면 단층들의 상호 교차와 옹셋 그리고 단층 주변의 구조적인 절리 패턴을 분석하였을 때 남북 계열의 단층들은 우수향의 운동감각이 우세하며 일부는 좌수향의 운동감각을 나타내고 있다. 우수향의 단층들은 단층 밴드나 말꼬리 구조와 같은 구조 패턴을 잘 보여주는 특징을 가지며 좌수향의 운동감각을 보이는 단층들은 절리나 암맥들을 옹셋 시키고 있다. 동서 계열의 단층들은 좌수향의 운동감각이 우세하며 일부는 우수향의 운동감각을 보여주고 있다. 또한 조사지역의 동서 계열의 좌수향의 단층들은 남북 계열의 좌수향의 단층들을 절단하고 옹셋하는 양상을 보여주고 있는 경우가 많다. 그러나 이들은 남북 계열의 우수향 주향이동단층에 의해 옹셋되어 있기도 하다. 또한 일부 지역에서는 서로 사교하는 두 단층이 끊고 끊기는 관계가 성립되는 공액상 단층이 인지되기도 한다. 그 밖에도 정단층과 역단층이 나타나기도 하지만 그 규모나 빈도수는 미약하다.

부지 지질조사를 통한 기재적 분석과 운동학적 분석을 바탕으로 지질구조의 동역학적 분석 및 연구지역에서의 변형사를 수립하였다. 그 결과 화강암 관입 이후 남북, 동서, 북동-남서~동북동-서남서 방향의 단열이 형성되었다. 이후 북동-남서 방향의 인장력(event A)에 의하여 서북서-동남동 방향 및 북북동-남남서 방향의 산성 암맥 관입 → 북북서-남남동 방향의 인장력(event B)에 의한 동서 방향 및 동북동-서남서 방향의 염기성 암맥 관입 → 북서-남동 방향의 압축력(event C)에 의한 남북 방향 단층의 좌수향운동, 동서 방향 단층의 우수향운동 → 북북동-남남서 방향의 압축력(event D)에 의한 남북 방향 단층의 우수향운동, 동서 방향 단층의 좌수향운동 → 동북동-서남서 방향의 압축력(event E)에 의한 북동-남서 방향 단층의 우수향운동, 남북 방향 단층의 우수향운동의 순서로 구조운동을 겪은 것으로 해석되었다.

부지 내에 발달하는 단층들은 그 규모면에서 7m 이내이며 변위도 2m 이내이다. 이 중

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

최대 단층 폭을 보이는 남북 방향의 단층의 경우에 단일 단층작용이 아닌 여러 번에 걸쳐 형성된 단층들의 전체 폭이 최대 7m에 이른다. 그 중에 최후기의 구조 운동인 event E에 따른 단층 폭은 1m 이내이다. 이렇듯 최후기의 단층작용의 기작이나 그 이전 단층들의 규모 및 변위량을 바탕으로 볼 때 지반의 안정성에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

2.5.1.2.3.4 절대연령측정

부지반경 1km 지역의 암체와 퇴적층에 대한 절대연대 측정은 부지반경 8km 지역에 포함되어 이미 기술하였다(2.5.1.2.2.5절 절대연대측정 참조).

2.5.1.2.3.5 결론

- 가. 조사지역의 기반암은 백악기 말~제 3기초의 각섬석화강암과 이를 관입한 제 3기 중엽의 맥암류로 구성되며 이 암체들은 부분적으로 제 4기 퇴적층에 의해 부정합으로 피복된다.
- 나. 부지반경 1km 지역의 절리는 Group 1(NS), Group 2(EW), Group 3(NE), Group 4(NW) 그리고 Group 5(평판절리)로 분류되며 평판절리를 제외하고는 모두 수직에 가까운 고각의 절리이다.
- 다. 부지반경 1km 지역의 단층은 남북과 동서 계열의 단층이 우세하며 이들은 모두 고각이다. 남북 계열의 단층은 우수주향이동단층이며 동서 계열의 단층은 주향이동 혹은 경사이동단층이다.
- 라. 단층암이 발견된 APR-1 시추지점의 트렌치조사 결과 대규모의 단층대는 확인되지 않았으나 규모가 작은 남북 주향에 수직인 우수주향이동단층들이 확인되었다. 한편 시추코어에서 채취된 단층비지에 대한 Rb/Sr 연대는 37.1 ± 0.2 Ma가 구해졌다.
- 마. 항공·위성사진 판독과 해안단구 지질조사를 통하여 신고리 5,6호기 원전부지에서 해안단구를 끊고 있다고 추정되는 제 4기 지질구조선인 비학 1, 2 지질구조선에 대한 지구물리탐사와 정밀트렌치조사 결과 단층이 아님이 확인되었다. 또한 트렌치조사 결과 신고리 5,6호기 원전부지인 각섬석화강암 지역의 지형은 단구지형이 아니라 전형적인 화강암의 풍화지형으로 확인되었다.
- 바. 야외노두에서 제기된 비학 3 지질구조선은 단층이 아님이 확인되었다.
- 사. 절개사면에서 제기된 비학 4 지질구조선은 제 4기 단층이 아니라 약 4,400만년 전 이전에 활동한 기반암단층으로 확인되었다.
- 아. 부지반경 1km 지역에 제 4기층을 끊는 단층은 발견되지 않았다.

2.5.1.2.4 해양물리탐사

신고리 5,6호기 부지반경 8km 주변해역의 대부분은 1977년 고리 1,2호기 해양물리탐사,

1996년 신고리 1,2호기 해양물리탐사, 2002년 신고리 3,4호기 해양물리탐사에 의해서 그 안정성이 보고된 바 있다.

부지 해양물리탐사 결과는 조사해역에 대한 해양물리탐사를 통하여 조사 해역의 해저 지형과 지질 및 기반암 불연속면(단층, 선구조, 부정합면 등)의 발달 상태를 분석하고, 그 결과들을 지반안정성 검토, 지질구조 파악, 지체구조구 분류, 지질도 작성, 지진과 선구조의 연관성 파악 등을 위한 기본 자료로 활용하고자 하였다

2.5.1.2.4.1 조사해역

조사 해역은 경상남도 울주군 서생면 신암리를 중심으로 한 반경 8km 반원의 북동측 경계에 접하는 5.6×1.2 km의 직사각형 해역(그림 2.5-168)과 8 km 반원의 중심부에 인접한 6.4×1.2 km의 직사각형 해역(그림 2.5-168a)으로서, 신고리 5,6호기 부지주변 반경 8km 해역 중 기존발전소 건설 시 수행되었던 해양물리탐사 구역 밖과 기존 조사 시기가 35년 이상 경과되어, 현재의 탐사 방법에 비하여 기술수준이 현저히 낮다고 판단되는 해역이 주된 조사 대상 해역이며, 조사 자료의 일관성 유지 및 기존조사 자료의 원활한 이용을 위하여 기존조사 구역 일부가 이번 조사해역에 중첩되어 있다.

2.5.1.2.4.2 해양물리탐사 자료의 속성

2.5.1.2.4.2.1 기존 해양물리탐사 자료의 속성

신고리 5,6호기 부지반경 8 km 내에서 1977년 고리 1,2호기, 1996년 신고리 1,2호기, 2002년 신고리 3,4호기 해양물리탐사(참고문헌 159)가 수행되었으며, 2002년의 경우 울산단층 연장부 해역에 대한 해양물리탐사(참고문헌 160)가 추가로 수행되었다. 또한 2014년에 기장 수출형 신형 연구로 건설에 따른 해양물리탐사가 수행되었다. 이들 각각의 조사구역을 그림 2.5-169에 나타내었으며, 조사면적과 탄성파자료의 속성은 다음과 같다.

조사 구분	조사면적	기존 조사 지역과의 중첩 거리	측선 간격		탄성파 자료의 속성
			동서 방향	남북 방향	
기장신형연구로 (2014년)	4×12.8 km	-	200 m	400 m	다중채널 디지털 자료 (음원 : 스파커, CHIRP)
울산 단층 연장부 (2002년)	연안부	6×10 km	-	400 m	단일채널 아날로그 자료 (음원 : 스파커, 3.5 kHz)
	외해부	7×25 km	-	1000 m	다중채널 디지털 자료 (음원 : 에어건, 3.5 kHz)
신고리 3,4호기 (2002년)	8×1.2 km	600 m	200 m	400 m	단일채널 아날로그 자료 (음원 : 스파커, 3.5 kHz)
신고리 1,2호기 (1996년)	8×3.5 km	2,000 m	200 m	400 m	단일채널 아날로그 자료
고리 1,2호기 (1977년)	8×16 km	-	200 m	400 m	단일채널 아날로그 자료

고리 1,2호기 해양물리탐사의 경우 부지반경 8km 내의 전 해역이 조사대상 해역이었으나, 후속되는 신고리 1,2호기 해양물리탐사의 경우 발전소부지가 기존의 고리 1,2호기 부지와 인접하기 때문에 부지반경 8km 해역 또한 고리 1,2호기 조사 해역과 상당히 중복된다. 따라서 반경 8km 해역 중 중복되는 해역을 제외한 새롭게 추가되는 좁은 해역이 신고리 1,2호기 해양물리탐사의 주된 조사대상이었으며, 새로운 조사해역이 기존의 고리 1,2호기 조사 해역과 2,000 m 중첩되도록 설정되었다(그림 2.5-169). 후속되는 신고리 3,4호기 부지도 기존의 신고리 1,2호기 부지와 인접하기 때문에 동일한 방식이 적용되었다. 따라서 신고리 3,4호기 해양물리탐사 해역도 8km 반경 해역 중 중복되는 해역을 제외한 새롭게 추가되는 좁은 해역이었으며, 새로운 조사 해역이 기존의 신고리 1,2호기 조사 해역과 600 m 중첩되도록 설정되었다(그림 2.5-170). 2014년의 기장 수출형 신형 연구로 해양물리탐사 해역의 대부분은 1977년의 고리 1,2호기 탐사 해역과 중첩된다.

2

부지반경 8 km 내에서 실시된 세 번(1977년, 1996년, 2002년)의 해양물리탐사를 통하여 아날로그 탄성파자료가 획득되었으며, 이 때의 탐사측선 간격은 동서 방향 200 m, 남북 방향 400 m이다. 반면 2002년 울산단층 연장부 탐사(참고문헌 160)의 경우, 연안부에서는 동서 방향 400 m, 남북 방향 400 m 간격으로 아날로그 탄성파자료가 획득되었으나, 외해부에서는 동서 방향 1,000 m, 남북 방향 500 m 간격으로 에어건을 이용한 다중채널 디지털자료가 획득되었다. 2014년 기장 신형 연구로 해양물리탐사 시에는 동서 방향 200 m, 남북 방향 400 m 의 탐사측선 간격으로 스파커와 CHIRP를 이용한 다중채널 디지털자료가 획득되었다.

2

2.5.1.2.4.2 신고리 5,6호기 해양물리탐사의 속성

신고리 5,6호기 부지도 기존의 신고리 3,4호기 부지와 인접하기 때문에 5,6호기 부지반경 8km 해역은 기존 해양물리탐사 해역과 상당히 중복된다. 따라서 부지반경 8km 해역 중 새롭게 추가되는 좁은 해역, 기장연구로 조사지역 및 신고리 1,2호기 해양물리탐사 사이 구간이 신고리 5,6호기 해양물리탐사의 주된 조사 대상이 되었으며, 1차 조사로 기존 조사 구역과의 중첩거리는 600 m, 조사구역의 규모는 5.6×1.2 km로 설정되었고(그림 2.5-170), 2차 조사로 기존 조사 구역과의 중첩거리는 1200 m, 조사구역의 규모는 6.4×2.2 km로 설정되었다(그림 2.5-170a). 신고리 5,6호기 해양물리탐사가 과거와 달리 디지털 방식으로 이루어지며 더욱 정밀한 결과가 도출되는 까닭에, 조사 구역을 8 km 내부로 한정시키고 대신 기존 조사구역과의 중첩거리를 증가시킴으로써 기존 조사 결과와의 심도 깊은 비교 분석을 가능하게 하고자 했다. 또한 사전 현지 조사결과 어장과 양식장 등을 비롯한 지장물들로 인하여 연안 해역 탐사가 불가능한 것으로 판단되었기 때문에, 해안으로부터 약 800~1,300 m 해역은 조사 구역에서 배제되었다.

2

금번 신고리 5,6호기 해양물리탐사(1차, 2차)와 지난 신고리 3,4호기 해양물리탐사의 탐사 항목 및 탐사장비를 비교하면 다음과 같다.

2

구분	신고리 3,4호기 해양물리탐사 (2002년)	신고리 5,6호기 해양물리탐사 (2011년) (1차)	신고리 5,6호기 해양물리탐사 (2015년) (2차)
고분해능 탄성과 탐사	Geopulser 3.5 kHz SBP Profiler (단일 주파수 대역)	0.5~12 kHz 대역폭 CHIRP System	0.5~12 kHz 대역폭 CHIRP System
스파커 탄성과 탐사	Sparker : KIGAM 제작 Energy Range : 500J	CSP2200 Sparker System Energy Range : 100~2,500 J	CSP2200 Sparker System Energy Range : 100~2,200 J
	Single Channel Streamer (Element 개수 : 10)	Single Channel Streamer (Element 개수 : 20)	Single Channel Streamer (Element 개수 : 20)
다중빔 음향측심	-	RESON 8124 system (전역 실측 자료 획득)	RESON 7125 system (전역 실측 자료 획득)
해저면 측사 탐사	-	S-150D Side-Scan Sonar System (100 & 400 kHz)	S-150D Side-Scan Sonar System (100 & 400 kHz)

2

2.5.1.2.4.3 조사장비

해저 표면의 지형 및 지형으로부터 관찰되는 선구조를 파악하기 위하여 다중빔 음향측심 시스템과 해저면 측사시스템을 사용하였다. 해저면 직하부의 상세 구조조사를 위하여 고주파수 음원의 CHIRP 고분해능 탄성과 시스템을 사용하였으며, 심부 구조를 파악하기 위하여 저주파수 음원의 스파커 탄성과 시스템(Sparker Seismic System)을 사용하였다.

2.5.1.2.4.3.1 다중빔 음향측심 시스템 (Multi-Beam Echo-Sounding System)

다중빔 음향측심 시스템은 시스템을 조절하는 주 컴퓨터, 트랜스듀서 및 트랜스듀서와 관련된 전기적인 모듈 등의 장치로 구성된다. 부가적인 장비로 선박의 움직임을 파악할 수 있는 자이로 컴파스(Gyro Compass), 모션 센서(Motion Sensor) 및 해수의 물리적 특성을 측정하여 수중 음속도를 산출하는 음속도 측정기(Sound Velocity Profiler) 등이 사용된다. 모든 기기들은 GPS 시각으로 동기화되어 있으며, 각각의 시스템들은 자료 처리 함수 및 성과 함수들이 포함된 소프트웨어에 의하여 제어된다.

다중빔 음향측심 시스템은 1차 조사에서는 소나주파수가 200 kHz이며 빔 수는 80, 빔 폭은 1.5°이고 관측가능 최대수심은 300 m이며 수심 대비 수평 관측거리 비율은 3.5배인 Reson(USA)사의 Seabat 8124 모델을 사용하였고, 2차 조사에서는 소나주파수가 200 kHz 및 400 kHz이며 빔 수는 256 및 512, 빔 폭은 1° 및 0.5° 이고 관측가능 최대수심은 400 m

2

2

이때 수심 대비 수평 관측거리 비율은 5배인 Reson(USA)사의 Seaba 7125 모델을 사용하였다. 자이로 컴파스는 1차 조사에서는 정확도가 0.6° sec latitude이며 정지오차가 0.1° sec latitude RMS이며 안정화 시간이 45분인 S G Brown(U.K)사의 Meridian Surveyor 모델을 사용하였으며, 2차 조사에서는 정확도가 0.1° sec latitude이며 정지오차가 0.05° sec latitude RMS, 최대 안정화 시간이 15분인 IXBLue S.A.S.(France)사의 OCTANS IV 모델을 사용하였다. 수중 음속 측정기는 최대수심범위가 200 m이고 음속도 범위 1,350~1,600 m/sec이며 정확도 ± 0.25 m/sec인 Reson(USA)사의 SVP 15 모델을 1차 및 2차 조사 시 동일하게 사용하였다.

2

2

Intentionally Blank

Intentionally Blank

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

2.5.1.2.4.3.2 해저면 측사 시스템 (Side-Scan Sonar System)

해저면 측사 시스템은 음원의 발신기와 수신기가 포함된 예인체(Towfish), 음파를 생성하고 조절하며 수신된 신호를 저장하는 조절·기록부 및 전원부로 구성된다. 사용된 시스템은 주파수 100 및 400 kHz이고 최대촬영가능 수심이 300 m이며 해상도가 400 kHz에서 7 cm인 DSME UTech(한국)사의 S-150D Side-Scan Conar 모델을 사용하였다.

해저면 측사 시스템은 예인체의 양 측면에 있는 트랜스듀서를 사용하여 음파를 발사한 직후, 수중과 해저면으로부터 되돌아오는 반사 신호와 후산란 신호를 수신한다. 이 신호의 수신은 다음번 음파가 발사되어 새로운 순환이 시작될 때까지의 짧은 시간 동안 계속된다. 한 펄스로부터의 수신 신호들은 하나의 줄로 나타나는데, 이러한 과정이 연속적으로 반복되면서 2차원 영상을 제공하게 된다.

이러한 해저면 영상으로부터 해저 지형, 해저면의 작은 변화, 해저질의 특성 및 분포를 파악할 수 있으며, 주변 해저질과의 비교를 통하여 해저면을 전체적으로 관찰할 수 있다. 또한, 해저면 위의 구조물 혹은 장애물에 의해 반사 혹은 후산란되는 음파 신호들은 물체의 형태뿐만 아니라 그림자까지 영상화시키며, 물체의 표면 속성에 따라 음압의 차이를 보이게 된다. 이로부터 물체의 위치, 크기, 속성 등을 파악할 수 있기 때문에, 수중에서 특정한 물체를 찾거나 해저표면의 구조 변화를 조사하고자 할 때 가장 효과적으로 사용된다.

2.5.1.2.4.3.3 고분해능 탄성과 시스템 (CHIRP Seismic System)

고분해능 FM Pulser 탄성과 시스템은 흔히 CHIRP 방식이라고 불리는 탄성과 시스템으로서, 컴퓨터로 파형을 생성 및 증폭함으로써 음파를 발생시키는 주파수 변조 방식의 탄성과 탐사기기이다.

사용된 송수신기는 Edge Tech(USA)사의 3200XS/SB0512 모델로서 AT&T DSP32C 신호처리장치를 가지며 펄스형태는 FM with amplitude and phase weighting 방식으로 0.5~12 kHz의 주파수 범위와 212 dB의 음원수준을 가진다.

이번 조사에서는 0.5~7.2 kHz의 대역이 사용되었으며 송/수신기가 예인체(Towfish)에 함께 설치되어 있으므로, 예인체 직하부에서 반사된 신호를 획득할 수 있다. 세립질 퇴적층에서 고해상도의 지층 구조를 보여주기 때문에 상부 해저 지층에 대한 상세한 정보가 필요할 때 사용된다.

2.5.1.2.4.3.4 심부 스파커 탄성과 시스템 (Sparker Seismic System)

스파커 탄성과 지층 탐사기는 전기 에너지를 수중에서 순간적으로 방전시켜 음원을 발생시키는 시스템으로서, 에너지 및 투과 심도가 상대적으로 크다. 음원의 세기와 주파수 대역은 전기 에너지에 의해서 결정된다. 스파커 탄성과 탐사기는 기록계, 음원 조절부, 음원 발생기 및 신호를 획득하는 수신기로 이루어져 있으며, 음원 발생기와 수신기는 조사선 후위에서 예인된다.

사용된 스파커 탄성과 시스템은 출력 100~2,200 J, 주파수 범위 0.3~1 kHz, 음원 수준 224 dB at 1,550 J을 가지는 Applied Acoustic Eng(UK)사의 CSP-D/Squid 2000 모델을 사용하였으며 수신기로는 수신소자가 20개이며 주파수 범위가 0.1~10 kHz인 Applied Acoustic Eng(UK)사의 CSP-1000-8007/1 모델을 사용하였다.

2.5.1.2.4.3.5 DGPS (Differential Global Positioning System)

조사 선박의 위치 제어를 위하여 SBAS(Space Based Augmentation System)를 구현하는 Crescent A100 DGPS 시스템(1차 조사) 및 R330 GNSS Reciever 시스템(2차 조사)이 사용되었다.

| 2

DGPS는 육상의 기지국과 선박의 수신국으로 구성된다. 육상 기지국은 위성으로부터 수신되는 기지국 위치 정보와 기지국 컴퓨터에 입력되어 있는 기지국의 실제 위치 정보를 비교하여 편차를 계산하며, 이 편차는 실시간으로 선박의 수신국으로 송신된다. 선박 내에 설치된 수신국은 이 편차를 이용하여 위성으로부터 수신된 선박의 위치를 보정함으로써 정확한 위치를 계산한다.

일반 DGPS의 경우, 지형, 지물로 인한 신호 도달의 방해와 거리에 따른 비콘(Beacon) 신호의 약화 등으로 인하여 위치 정보 자료의 정확도가 다소 떨어지는 반면, SBAS DGPS의 경우 이러한 문제점이 보완됨으로써 일반 DGPS보다 높은 신뢰도의 위치 정보를 획득할 수 있다.

2.5.1.2.4.4 조사방법

2.5.1.2.4.4.1 위치제어

탐사기기 간의 상호 간섭을 배제하고 최상의 자료를 획득하기 위하여 다중빔 음향측심, 해저면 측사, 고분해능 반사법 탄성과탐사 및 스파커 반사법 탄성과탐사를 각각 독립적으로 수행하였다. 각 탐사 방법의 모식도를 종합하여 그림 2.5-171에 표현하였다. 사용된 탐사장비들은 조사 선박의 위치제어 시스템에 의하여 동기화되고 통제되었으며, 각각의 자료들은 획득과 동시에 저장된 후 정교한 후처리 과정에 이용되었다.

계획된 측선들은 PDS2000 항적 유지 시스템에 사전 입력되었고, DGPS를 이용하여 획득한 조사선박의 위치정보 역시 항적유지 시스템에 저장되었다. 시스템의 화면에 계획된 측선이 표시되며 선박의 진행항적이 중첩되어 표시됨으로써 실시간 정밀 위치제어가 구현되었고, 위치자료는 항적유지 시스템에 의하여 각 탐사 장비에 실시간 전송되었다.

2.5.1.2.4.4.2 다중빔 음향측심

정밀한 해저지형 파악을 위해 조사해역 전역에 대한 다중빔 음향측심을 수행하였다. 조사선박의 측면에 다중빔 트랜스듀서(transducer)를 부착하여 운영하였으며, 이 때 발생하는 DGPS와 트랜스듀서 사이의 위치차이(offset)를 다중빔 시스템에 입력하여 정확한 위치를 산정하였다. 조사선박의 측면에 다중빔 트랜스듀서 장착 시 발생할 수 있는 오차를 제거하기 위하여 여러 단계의 자료교정(calibration)을 위한 시험탐사들이 먼저 수행되었다.

다중빔 수심 자료에 대한 정확한 보정을 위하여 일정 영역이 중첩되도록 측선을 설정하였다(그림 2.5-172 및 그림 2.5-172a). 양질의 자료를 획득하고자 항해 속도를 일정하게 유지하였으며, 수중 음속 측정기를 이용하여 매 조사일마다 수심별 음속을 연속 측정하였다.

2

2.5.1.2.4.4.3 해저면 측사

조사선 스크류에서 발생하는 수중 물거품을 최소화할 수 있도록 수중 예인체(Towfish)를 조사선의 후미에서 약 30~40 m 정도 이격시킨 후 해저면 측사를 수행하였다. 고해상도의 영상 획득을 위하여 400 kHz의 주파수가 사용되었다.

조사해역의 수심변화가 크기 때문에 영상의 해상도를 고려하여 1차 조사에서는 40 m 미만 해역의 경우 좌우현 각각 75 m, 총 150 m의 스왓스(Swath)를 적용하였으며, 40 m 이상 해역의 경우 좌우현 각각 112.5 m, 총 225 m의 스왓스를 적용하여 탐사를 수행하였다. 모든 지역이 130 %의 유효 중복 비율을 갖도록 측선을 설정하였다(그림 2.5-173). 2차 조사에서는 좌우현 각각 100 m, 총 200 m의 스왓스를 적용하여 탐사를 수행하였다. 170 % 내외의 유효지역 중복 비율을 설정하여 스왓스의 70 % 해당하는 140 m 간격의 측선을 설정하였다(그림 2.5-173a).

2

2

2.5.1.2.4.4.4 고분해능 탄성과 탐사

11 종류의 서로 다른 주파수 대역을 시험한 후, 최적의 결과를 보인 0.5~7.2 kHz 주파수 대역을 선택하여 탐사를 수행하였다. 획득된 디지털 자료가 SEG-Y 형식으로 저장됨과 동시에 모니터 및 고해상도 프린터로 출력됨으로서 최적의 자료를 얻기 위한 다양한 현상 조절이 가능하였다.

송수신기 예인체와 DGPS 수신기 사이의 이격거리(Set-Back)를 작게하고 잡음도 최소화하기 위하여 예인체를 조사선박의 측면에 위치시켰으며, 후처리 과정에서 Set-Back 값을 보정하였다. 1차 조사 해역 전역에 대하여 5.6 km 길이의 북서-남동 방향 7개 측선(200 m

2

간격)과 1.2 km 길이의 북동-남서 방향 15개 측선(400 m 간격)을 설정하였다(그림 2.5-174). 2차 조사 해역에서는 저장물 지역을 제외한 전체 조사 해역에 대하여 북서-남동 방향 13개 측선(200 m 간격)과 북동-남서 방향 15개 측선(400 m 간격)을 설정하였다(그림 2.5-174a).

2

고분해능 탄성파탐사와 스팩커 탄성파탐사를 동시에 수행할 경우 반사신호 간의 상호 간섭이 발생할 수 있고 예인체가 많아져서 조사선박의 항해가 자유롭지 못하며, 한 탐사기기에서 장비 이상이나 돌발 상황이 생겼을 때 다른 탐사기기에도 영향을 미칠 수 있는 점 등을 고려하여 각 탄성과 탐사를 독립적으로 수행하였다.

2.5.1.2.4.4.5 스파커 탄성과 탐사

조사해역에서 여러 단계의 에너지를 시험한 후 최적의 결과를 보이는 1,000 Joule의 에너지를 선택하여 탐사를 수행하였다. 음원 발생기 및 스트리머 수신기를 조사 선박의 후위에서 예인하였으며, 후처리 과정에서 Set-Back 값을 보정하였다. 획득된 디지털 자료는 SEG-Y 형식으로 저장하였다.

고분해능 탄성과 탐사의 경우와 동일하게 측선을 설정하여 자료를 취득하였으며, 탐사 측선도를 그림 2.5-175 및 그림 2.5-175a에 나타내었다.

2

2.5.1.2.4.5 자료처리

2.5.1.2.4.5.1 다중빔 음향측심

국립해양조사원 울산 조위관측소에서 측정된 1분 단위의 조위 측정값을 이용하여 조위 보정을 실시하였으며, 그 결과 기본수준면(D.L.) 기준의 수심 자료를 획득하였다.

현장조사와 동시에 측정된 수심별 연속 수중음파 전달속도를 이용하여 수층 내에서의 속도 변화를 보정함으로써 실제 수심에 가장 근접한 값을 획득하였다.

측정 오차를 제거하기 위하여 롤(Roll), 피치(Pitch), 헤딩(Heading), 히브(Heave) 및 위치 등에 대한 여러 단계의 정교한 자료교정(Calibration)을 실시하였다. 잡음신호를 제거하고 중복된 자료에 대한 교정을 거친 후, Kriging 내삽법을 이용하여 기본수준면(D.L.) 기준의 격자수심을 생산하였다.

2.5.1.2.4.5.2 해저면 측사

디지털 해저면 측사자료는 XTF 형태로 저장되었으며 획득된 자료는 해저면 측사자료 처리 소프트웨어인 SonarWiz MapTM의 포맷으로 변환되어 자료 처리에 이용되었다.

해저면 측사자료에 대해 속도보정과 경사거리 보정을 실시한 후, 모든 음향영상 자료를 조합하여 모자이크(Mosaic) 음향영상을 작성하였다. 모자이크 영상 위에 좌표계를 결합

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

하여 해저면 측사 영상 도면을 완성하였다.

2.5.1.2.4.5.2.1 속도 보정

조사선박의 항해속도 변화에 의한 영상 왜곡을 보정하기 위하여 한 펄스로부터 하나의 줄로 표현되는 수신신호들을 선박의 DGPS 위치자료와 결합하여 실제 해저면 기준으로 영상자료를 변환시키는 속도 보정을 실시하였다.

2.5.1.2.4.5.2.2 경사거리 보정 (Slant Range Correction)

음파가 발사된 직후부터 해저면 반사신호가 처음 기록되기 전까지의 시간 동안 수주(Water Column)라고 불리는 일정 공간이 기록 중심부에 생성된다. 이 공간은 음파가 해수 중을 통과하는 시간 동안 만들어지기 때문에 그 크기는 해저면으로부터 예인체(Towfish)까지의 고도에 의하여 결정된다. 이러한 수주 부분을 제거하고 양측 해저면을 접합시킴으로써 완전한 해저 평면을 만들어내는 경사거리 보정(Slant Range Correction)을 실시하였다.

2.5.1.2.4.5.3 반사법 탄성파탐사

디지털 탄성파자료는 SEG-Y 형태로 저장되었으며, 탄성파자료 처리 소프트웨어인 SPWTM와 SU(Seismic Unix)의 포맷으로 변환되어 자료 처리에 이용되었다.

탄성파자료 중에 일부 대표적인 단면을 선택하여 이득 조절 및 필터링의 변수들을 결정하였으며, 결정된 변수들은 일관성 있는 자료해석을 위하여 다른 모든 단면에 동일하게 적용되었다. 필요한 일부 축선의 경우, 너울효과 보정(Swell Effect Correction) 및 디컨볼루션(Deconvolution) 등이 적용되었다. 모든 자료에 대한 후처리 작업 종료 후, 축선별 탄성파 단면도를 작성하였다. 이와 같은 자료처리 흐름도는 그림 2.5-176에 나타내었다.

2.5.1.2.4.5.3.1 포맷 변환(Format Transformation)

스파커 탄성파 SEG-Y 자료는 0~32767 범위의 정수 값으로 표현되기 때문에 자료처리 과정에서 평균값 편중(DC Bias)을 제거하였으며, 효율적인 자료처리를 위하여 다운샘플링(Down Sampling)을 실시하였다.

2.5.1.2.4.5.3.2 너울효과 보정(Swell Effect Correction)

조사해역에는 평온한 기상 조건 하에서도 파고 1m 내외의 파도가 존재하였으며, 이는 획득된 탄성파 자료의 분해능을 저하시키는 효과를 가져왔다. 따라서 탄성파자료의 질을 향상시키기 위해서 너울효과를 제거하는 것이 필수적이다.

이를 위하여 각 트레이스가 해저면에서 반사된 왕복시간을 추출한 후 0.25초 또는 1초 간격의 트레이스들에 대한 왕복시간 자료에 FFT(Fast Fourier Transform)를 적용하여 신호들의 주파수별 진폭을 분석하였으며 너울효과를 일으키는 주기를 파악하였다. 그 결과 고분해능 탄성파탐사 자료는 6초로 파악된 반면 스파커 탄성파 탐사 자료의 경우 12초와 18초로 분석되었다. 이는 현장조사 시 너울의 주기가 달랐기 때문인 것으로 판단되며, 이에 따라 각각 6초, 12초, 18초 이상 주기의 신호들만 통과시키는 저주파 통과 필터를 적용함으로써 너울에 의한 해저면 왜곡현상을 제거하였다(그림 2.5-177 및 그림 2.5-178).

2.5.1.2.4.5.3.3 이득 회수(Gain Recovery)

구형 발산 보정(Spherical Divergence Correction), 진폭 등화(Amplitude Equalization) 및 프로그램 이득 조절(Programmed Gain Control)을 적용하여 탄성파신호를 증폭시켰다.

2.5.1.2.4.5.3.4 필터링(Filtering)

스파커 탄성파탐사의 경우 조사선박 기관 소음 및 기타 주변 잡음을 제거하기 위하여 150~900 Hz 대역의 통과 필터를 적용하였으며, 신호 대 잡음 비율이 낮은 자료들의 경우에 부분적으로 F-K 필터를 적용하여 신호를 강화시켰다.

2.5.1.2.4.6 자료평가

신고리 1~4호기 건설허가 심사 시 연안지역 해양지구물리탐사 자료의 부재로 인하여 연안지역 조사 필요성이 제기된 바 있다. 연안지역에 존재하는 어장과 양식장 등은 해양물리탐사에 방해요소가 되기 때문에, 이들을 파악하기 위하여 연안역에 대한 지장물 분포 조사를 해양물리탐사 이전에 먼저 실시하였고, 그 결과를 그림 2.5-179에 나타내었다. 해안으로부터 1,000~1,200 m 지점까지 미역 양식장과 멸치 어장이 산재한 것으로 조사되었다.

2.5.1.2.4.6.1 해저지형

1차 조사해역은 경상남도 울주군 서생면 신암리를 중심으로 한 반경 8km 반원의 북동측 경계에 접하는 5.6×1.2km의 북서-남동 방향 직사각형 해역으로서, 해안으로부터 동쪽으로 50km 이상 연장되어 있는 이 지역 대륙붕의 연안역에 해당된다(그림 2.5-180). 2차 조사해역은 반경 8km 반원 중심부에 인접한 6.4×2.2km의 직사각형 범위의 계획된 조사 범위에서부터 1차 조사해역 부분까지 총 8.6×6.3km 범위의 해저지형이 조사 분석되었다(그림 2.5-172a).

대체적으로 해안선과 직각을 이루는 남동 방향으로 수심이 깊어지며, 울산만과 간절곶을

포함하는 주변 해안선은 비교적 심한 굴곡을 나타내고 있고, 곳 주변에 다수의 암초들이 분포한다. 간절곶 해안으로부터 남동동 방향으로 약 2.5 km 지점에 대형 저지대가 관찰되었다. 이 저지대는 노출암으로 이루어진 천해부 급경사면의 말단부에 형성되었고, 장경 약 1.5 km, 단경 약 1 km의 규모를 나타내었다. 주변보다 2~4 m 깊은 웅덩이 형태를 이루고 있으며, 저지대 내 최대 수심은 약 84 m인 것으로 나타났다. 이러한 해저 저지대는 간절곶과 같은 돌출 해안 지형의 해저에서 일반적으로 나타나는 지형으로서, 돌출 지형에 기인한 해류 유속의 증가 및 그에 의한 상대적인 퇴적량 감소에 의하여 형성되는 것으로 알려져 있다.

2

Intentionally Blank

2.5-125A

Intentionally Blank

그림 2.5-181은 조사해역에서의 다중빔 음향측심 결과를 표현한 해저지형도로서, 격자 간격 5m의 자료를 이용하여 산출된 D.L. 기준의 해저지형도를 CAD 도면 위에 표시한 것이다. 그림 2.5-182는 1m 간격의 등수심선도이며, 그림 2.5-183은 인쇄되었을 때 육안으로 식별할 수 있는 글자 크기를 감안하여 250m 간격의 격자수심을 5m 간격의 등수심선과 함께 표현한 도면이다. 그림 2.5-184는 조사해역의 임의의 1.5km 간격의 4개의 단면에 대한 해저지형 단면도이다.

2

노출암이 분포하는 천해부 해역에서 상대적으로 급하고 변화가 심한 경사도를 보이며, 외해부에서는 평탄한 경사도를 보이며, 해저면은 외해쪽인 남동 방향으로 경사져 있다. 노출암은 조사해역의 연안쪽 경계부에서만 관찰되며, 해저면에서 최대 26m 정도까지 돌출되어 있는 것으로 나타났다. 연안쪽 노출암 지역에서 조사해역 내 최저 수심 -7.9m가 관찰되었고, 조사 해역의 외해쪽 경계부에서 최대 수심 -88m가 관찰되었다.

2

2

4개의 단면 중 가장 남측에 위치하는 A-A' 단면은 단조롭게 수심이 증가하는 평탄한 해저면을 보여주었다. 천해부에 존재하는 어장 때문에 수심 33m 이하 구간 지형은 파악할 수 없었으며, 수심 33~60m 구간은 0.73~0.94° 범위의 급경사를, 수심 60m 이상 구간은 0.33° 미만의 상대적인 완경사를 나타내었다. B-B' 단면 역시 A-A' 단면과 유사한 형태를 보여주었다. 노출암 지역인 수심 27~70m 구간이 1.39~1.71° 범위의 급경사를 보이는 반면, 노출암이 분포하지 않는 수심 70m 초과 구간은 0.20° 미만의 완경사를 나타내었다. 위에서 언급한 저지대를 관통하는 C-C' 단면은 저지대 지형을 전형적으로 나타내었다. 수심 12~20m 구간이 0.61° 미만의 완경사를 보이는 반면, 수심 20m 지점부터 80m 지점까지의 구간은 1.96~3.18° 범위의 급경사를 나타내었다. 급경사면의 말단부에 저지대가 나타나며, 수심 약 83m인 웅덩이 저점을 지나면 웅덩이 경계에 이르기까지 수심이 2m 정도 알아지는 것으로 관찰되었다. 웅덩이 경계를 벗어나면, 외해 방향으로 매우 완만한 0.09° 미만의 경사도를 보이며 다시 수심이 단조롭게 증가하는 것으로 나타났다. 4개의 단면 중 가장 북측에 위치하는 D-D' 단면은 노출암 지역을 비스듬하게 통과하기 때문에, 타 단면들에 비하여 노출암 지역의 수평거리가 상대적으로 길고, 노출암 지역의 경사 변화가 심한 것으로 나타났다. 해안으로부터 수심 70m까지의 구간은 0.61°~2.67° 범위의 경사도를 나타내었다.

2

연안부의 노출암 분포지역을 제외한 대부분의 조사해역이 퇴적물로 덮여있는 것으로 파악되었으며, 이는 해저면 측사 결과 및 탄성과 해석 결과와도 잘 부합되었다. 노출암의 표면에서 열개(Fracture) 구조들이 관찰되었으며, 이들 선구조의 공간적인 분포를 그림 2.5-185에 나타내었다. 선구조의 주향을 분석하여 그 출현 빈도를 그림 2.5-185에 로즈다이어그램으로 함께 나타내었다. 노출암 표면의 선구조를 분석한 결과, N30°~60°E 방향의 선구조가 가장 우세한 것으로 파악되었다. 이들 북동-남서 방향의 선구조들은 동서 방향의 선구조보다 길이가 짧지만 출현 빈도수가 높은 것으로 관찰되었다. 이들 선구조의 방향들은 본 조사를 통하여 파악된 주변 단층선 방향과 큰 상관관계를 보이지는 않

2

는 것으로 분석되었다.

2.5.1.2.4.6.2 해저표면구조

그림 2.5-186과 그림 2.5-186a는 완성된 모자이크 음향영상 위에 좌표계를 결합한 도면이다. 음향영상에 나타난 해저표면구조 및 물체들의 모양, 크기, 조직, 음압 세기, 그림자 등을 면밀히 관찰하여 종류별로 분류하였고 그 확대 이미지를 그림 2.5-187 및 그림 2.5-187a에 나타내었다. | 2

1차 조사지역의 모자이크 음향영상은 조사해역 해저표면의 대부분이 매우 평탄하며 이상 지질구조를 갖고 있지 않음을 분명하게 보여주었다. 그림 2.5-187(a), (b), (c)는 이러한 평탄한 해저표면의 모습으로서, 표면 모래파의 파고는 매우 낮고 파장이 40 m 이상인 것으로 파악되었다. | 2

Intentionally Blank

2.5-126A

Intentionally Blank

연안역에서 관찰되는 노출 암반도 뚜렷하게 나타났으며(그림 2.5-187(d), (e)), 이는 다중 빔 음향측심 해저지형 자료에서 파악된 노출암의 분포와 일치한다. 노출암들은 침식에 기인하는 매우 불규칙한 표면구조를 보여주었으며, 일정 방향의 선구조를 나타내었다. 노출암 인접 해저에는 소규모의 연흔들이 관찰되었다. 이 연흔 구조들의 파장은 4m 이하로서 다중빔 음향측심에서 뚜렷이 식별되지 않을 정도의 작은 규모이며, 산재하는 노출암 분포로 인하여 노출암 주변의 해수 흐름이 교란을 받고 있음을 지시한다.

모자이크 음향영상은 조사해역 해저표면 위에 존재하는 인위적 이상물체들도 나타내었다. 소규모의 침전(그림 2.5-187(f))이 조사해역의 북동측 경계부에서 관찰되었으며. 그와 인접한 지역에 높이가 낮고 형태가 불규칙한 표면물체(그림 2.5-187(g))들이 산재하고 있음이 파악되었다. 이 표면물체들은 다중빔 음향측심 조사에서도 나타나지 않는 낮은 기복의 물체이며 탄성파탐사 자료와의 비교 결과 암반이 아닌 것으로 판명되었기 때문에, 인공 투기물의 일종인 것으로 판단되었다.

2차 조사지역의 천해부 노출암을 제외한 전체 조사 해역의 해저면이 매우 평탄하고 단조로운 표면구조를 갖고 있음을 나타내었으며(그림 2.5-187a-(h)), 이상 지질구조를 갖고 있지 않음을 보여주었다. 음향영상을 통하여 천해부 노출암 지형이 뚜렷하게 나타났으며, 이는 다중빔 음향측심 해저지형 자료에서 파악된 노출암의 분포와 일치하였다. 노출암들은 침식에 기인하는 일정 방향의 선구조를 갖고 있는 것으로 탐사되었으며, 이들 선구조 역시 다중빔 음향측심 자료로부터 파악된 선구조와 일치하였다(그림 2.5-187a-(a, b)). 또한 2차 조사 해역 해저표면 위에 존재하는 인위적인 이상 물체들도 나타내었다. 어장 주변 해역에서 관찰되는 이상 물체들은 로프, 어장 고정용 물체 등의 인공물인 것으로 분석되었고(그림 2.5-187a-(c, e, f)), 노출암 인근 지역에서 관찰되는 인공 구조물은 침몰선인 것으로 파악되었다(그림 2.5-187a-(d)).

이와 같이 조사 해역의 음향영상은 다중빔 음향측심 결과에 나타나지 않을 정도의 소규모 해저표면구조 및 물체들까지 나타내었다. 연안역 노출암지역을 제외한 조사해역 해저면은 매우 평탄하고 단조로우며 단층의 흔적, 함몰대, 단구조와 같은 이상 표면지질구조들은 관찰되지 않았다.

2.5.1.2.4.6.3 층서

탄성과 단면 상에 관찰되는 반사면 말단부(Reflection Termination)의 형태를 분석하여 부정합면을 파악하고, 부정합면과 반사면의 배열을 분석함으로써 퇴적층서를 파악하였으며, 이를 기존의 연구 결과와 비교 분석하였다. 그 결과, 조사 해역의 층서는 상부로부터 제 4기 미고결 퇴적층인 Unit I층, 제 3기 퇴적층인 Unit II층 및 기반암층으로 구분되었다.

고분해능의 천부 탄성파탐사 자료의 경우, 퇴적층 내의 자세한 층서 및 음향 특성을 보여 주었으나 투과 깊이가 깊지 않기 때문에 Unit I층에 대한 해석에 주로 사용되었으며(그림 2.5-188~199, 그림 2.5-199a~199e), Unit I층 내의 단층 존재 여부 판단을 위한 중요한 자료로 이용되었다. 하부층들인 Unit II층 및 기반암층의 경우 주로 심부 스파커 탄성파 탐사 자료를 바탕으로 그 층서, 층후 및 불연속면 등이 해석되었다(그림 2.5-200~211, 그림 2.5-211a~211t).

| 2

| 2

Unit I

Unit I층은 퇴적층의 최상부를 이루는 제 4기층으로서 하부 기반암층에 육지 방향으로 온랩(Onlap)되는 형태로 나타난다(그림 2.5-188~194, 그림 2.5-199c~d). 남동측 외해에서는 그 하부층과 침식면을 경계로 부정합을 이루고 있으며, 그 상부에 평행하게 퇴적되어

| 2

Intentionally Blank

Intentionally Blank

있다(그림 2.5-199A~B, 그림 2.5-200~206). 이러한 관찰 결과는 2002년 울산단층 연장부 탄성파탐사 결과 해석과 일치하며, 부정합면을 경계로 상부층이 제 4기 천해 퇴적물임을 확인하였던 2000년 한국지질자원연구원 시추 결과(참고문헌 161)와도 부합된다. Unit I층은 층리면의 말단부 형태를 감안할 때 주로 해수면 상승기에 퇴적된 제 4기 현세 퇴적층으로 이루어졌다고 판단되며, 제 4기 플라이스토세 퇴적층의 존재 유무는 판단키 어려웠다.

| 2

Unit I층은 고분해능 탄성파탐사 단면 상에서 몇 가지의 음향반사유형(Echo Type)을 보이는 것으로 나타났다(그림 2.5-188~194, 그림 2.5-199a~199e). 연안부에서는 기반암 위에 뚜렷하게 연속적인 층리구조를 보이는 반사상이 나타났고, 수심 약 37~60m 구간에서는 음향이상현상(Acoustic Anomaly) 때문에 어떤 층리구조도 관찰되지 않았으며, 이보다 깊은 외해부로 가면서 다시 모래 퇴적층으로 해석되는 투명한 반사상이 관찰되었다. 여기서 관찰되는 음향이상 현상은 마치 지층 내부에 담요가 존재하여 그 하부로 탄성파가 전혀 투과하지 못하는 것으로 보이는 Acoustic Blanket(AB) 유형으로서 고분해능 탄성파 단면 상의 넓은 범위에 걸쳐 관찰되었다. 이는 가스함유층(Gas Charged Sediments)의 일반적인 음향 특성으로서, 퇴적층 공극 내에 존재하는 생물기원 가스에 기인하며, 이러한 가스함유층은 한반도 동남해역 천해부의 넓은 범위에 걸쳐 분포하고 있는 것으로 보고되어 있다(참고문헌 162, 163). 공극 내 생물기원 가스는 특별한 음향이상현상을 야기하지만, 퇴적층 내에서의 상대적인 부피가 매우 작기 때문에 지층구조를 변화시킬 수 있는 위해요소는 되지 않는 것으로 판단되었다.

| 2

Unit II

제 4기 퇴적층(Unit I)의 하부층을 이루는 층으로서 제 3기 퇴적층으로 해석된다. 조사해역의 연안부에서는 관찰되지 않고 수심이 깊은 조사해역의 남동부에서 관찰되며, 외해 방향으로 가면서 퇴적층의 두께(층후)가 급격하게 증가한다. 층리들은 육지 방향으로 톱랩(Toplap) 형태를 보여준다(그림 2.5-200~206, 그림 2.5-211a~211l). 이 같은 톱랩 형태는 Unit II층의 상부 경계면이 부정합면으로서, Unit II층이 퇴적된 이후, 이 퇴적층이 공기 중에 노출되어 침식을 받았고, 그 이후 Unit I층이 그 위에 퇴적되었음을 말해주는 것으로 해석된다. 이러한 관찰 결과는 2002년 울산 단층 연장부 탄성파탐사(참고문헌 160) 결과해석과 일치하며, 부정합면을 경계로 하부층이 후기 마이오세(제 3기) 퇴적층임을 확인하였던 2000년 한국지질자원연구원 시추 결과(참고문헌 161)와도 부합된다.

| 2

조사해역에서 관찰된 부정합면은 외해쪽인 남동 방향으로 약 120 ms(약 90 m 깊이)에서 160 ms(120 m 깊이)까지 기복을 보이면서 깊어지다가 160 ms에서 비교적 평탄하게 외해 쪽으로 연장된다.

기반암층

퇴적층 하부에 존재하는 지층으로서, 탄성파 자료에 의해서 이 층은 층리가 보이지 않는

결정질의 암체로 구성되어 있는 것으로 해석되었다(그림 2.5-200~206, 그림 2.5-211a~211l). 기반암층은 매우 불규칙한 표면을 갖고 있었으며, 이는 기반암층이 형성된 이후 공기 중에 노출되어 침식되었음을 의미하는 것으로 판단된다. 이 층에서는 소규모의 단층들이 발견되었으며, 이들의 분포 지역 및 방향성은 2.5.1.2.4.6.5 절에서 자세히 설명하였다.

2

신고리 5,6호기 부지반경 8km의 육상 지질은 제 3기의 화강암류와 백악기 말의 화산암류로 구성되어 있으며(2.5.1.2.2.2.2 지질개요 참조), 특히 그 중에서도 제 3기 화강암류는 본 조사 해역과 극히 인접하여 있다(그림 2.5-64). 따라서 탄성과 기록 상에 나타난 조사 해역의 기반암들이 대부분 층리가 보이지 않는 결정질의 암체라는 것은 이 기반암들이 제 3기 화강암류 혹은 백악기의 화산암류일 가능성이 높다는 것을 시사한다. 이러한 분석은 2002년 울산단층 연장부에 대한 탄성과탐사(참고문헌 160)를 통하여 조사해역 인근의 음향기반암이 백악기 암석으로 해석되었던 것과 부합된다.

기반암층은 조사해역 대부분의 지역에서 퇴적층(Unit I층 혹은 Unit I과 II층)으로 피복되어 있으나, 수심이 얇은 연안부 특히 간절곶 방향의 서측 경계부에서 해저면 위로 노출되어 있음이 관찰되었다.

2.5.1.2.4.6.4 퇴적 층후

해저면과 제 4기 미고결 퇴적층 Unit I층 하부 경계면 및 제 3기 퇴적층 Unit II층 하부 경계면까지의 탄성과 도달시간을 탄성과 단면 상에서 각각 추출한 후, 퇴적층 통과시간을 계산하고 탄성과 전달속도를 곱하여 각 퇴적층의 두께(층후)를 계산하였다. 이를 10m 및 5m의 등층후선 간격으로 그림 2.5-212, 그림 2.5-213, 그림 2.5-212a 및 그림 2.5-213a에 각각 나타내었으며, 두 퇴적층의 두께를 결합하여 전체 퇴적층의 두께를 그림 2.5-214 및 그림 2.5-214a에 표현하였다. 탄성과 단면에서 뚜렷하게 식별되지 않는 지역의 퇴적층 두께에 대하여는 2002년 울산 단층 연장부 탄성과탐사(참고문헌 160) 결과를 참고하였으며, 이를 점선으로 표시하였다. 또한 해저지형과 퇴적층의 층후를 결합하여 3차원 입체도면을 작성하였으며, 이를 그림 2.5-215 및 그림 2.5-215a에 나타내었다.

2

2

전체 퇴적층의 두께는 퇴적물이 전혀 없는 서쪽의 노출암 지역으로부터 동쪽으로 진행하면서 증가하여 동측경계에서 최대 290m의 층후를 보이는 것으로 파악되었다. 상부층인 Unit I층은 0~60m의 두께를 보이며 노출암 지역을 제외한 전 지역에서 관찰되었다. 조사 해역 외해부에서의 층후는 대체로 30~40m의 범위로 나타났다. 하부층인 Unit II층은 수심 약 40m 이상의 해역에서만 관찰되지만, Unit I층에 비하여 훨씬 두터우며, 동측 경계에서 최대 층후 240m를 보이고 있다.

2

2.5.1.2.4.6.5 단층

탄성과 단면 상에서 다양한 탄성과 반응 특성을 관찰하여 단층구조를 파악하였으며, 이들의 공간적인 분포를 2002년 울산단층 연장부 탄성과탐사(참고문헌 160) 때 해석되었던 단층선과 함께 그림 2.5-216 및 그림 2.5-216a에 나타내었다.

2

1차 조사지역에서 스파커 탄성과탐사를 통하여 연장성이 있는 네 개의 남-북 방향 단층들이 조사해역의 연안역에서 파악되었다. 이중 동측의 두 단층은 2002년 울산단층 연장부 탄성과탐사(참고문헌 160) 시 확인되었던 기반암 단층의 연장선 위에 위치한다. 이 단층들의 주향은 동쪽에서부터 각각 N5°E와 N21°W이며, 수평 연장은 각각 약 1.9 km, 0.4 km 정도로서 소규모인 것으로 관찰되었다. 조사해역 서측의 두 단층은 각각 N1°W, N8°W 주향을 보였으며, 수평 연장은 각각 약 1.1 km, 1.3 km로 분석되었다. 2차 조사지역에서는 스파커 탄성과 탐사를 통하여 여섯 개의 남-북 방향 단층과 세 개의 북동-남서 방향 단층들이 조사해역의 연안부에서 파악되었다. 이 중 두 단층(F15-1, F15-2)이 2002년 울산단층 연장부 탄성과탐사(참고문헌 160) 시 확인되었던 기반암 단층의 연장선 위에 위치하며, 각각 N0°S~N11°E, N15°E의 주향과 60~70°의 경사각을 가진다. 수평 연장은 각각 1.9 km 및 0.3 km이며, 서측 상방이 낮은 정단층 구조로 해석되었다. 이들은 모두 기반암에 국한된 단층(Basement Fault)이었으며, 최상부의 제 4기 퇴적층인 Unit I층은 물론 제 3기 퇴적층인 Unit II층까지도 연장된 흔적은 관찰되지 않았다. 수직 변위는 모두 수 m 이내로서 소규모였으며, 유형은 정단층인 것으로 파악되었다. 그 외의 단층들은 북-남, 북동-남서 혹은 동-서 방향의 다양한 주향을 갖고 있는 고각의 정단층 혹은 수직단층인 것으로 파악되었다. 이들은 수직변위가 10 m 내외, 단층 길이 1 km 미만인 소규모 단층들인 것으로 분석되었다.

2

2

조사 해역 외해부의 경우, 스파커 탄성과 기록이 기반암 단층을 구별할 수 있을 만큼 깊은 투과 심도를 보이지 않았기 때문에, 2002년 울산단층 연장부 탄성과탐사(참고문헌 160) 시 획득되었던 광역의 다중채널 탄성과탐사 기록 중 금번 조사 해역을 지나는 탄성과 기록들을 세밀하게 분석하였다(그림 2.5-217~219, 그림 2.5-219A~219E). 2002년 울산단층 연장부 광역 탐사 해역 내에서 900 m 이상의 두꺼운 퇴적층후가 관찰되었으며, 제 3기 퇴적층 내부로 연장되는 기반암 단층들이 존재하는 것으로 해석되었다. 광역탐사 해역 중 천해역에 포함되는 금번 조사해역 외해부에서는 상대적으로 얇은 290 m 이하의 퇴적층후가 관찰되었고, 연안역과 마찬가지로 대체로 남-북 방향의 정단층들이 우세하게 분포하며, 이를 절단하는 동-서 방향의 단층도 존재하는 것으로 파악되었다. 이들의 연장은 1 km 이내로부터 수 km 범위이고 수직 변위는 수십 m 정도로서, 연안역보다 상대적으로 큰 규모인 것으로 나타났다. 이들 역시 연안역의 경우와 마찬가지로 기반암 단층이며, 일부 단층면이 상부의 제 3기 퇴적층 내로 연장되기도 하지만, 부정합면 상부의 제 4기 퇴적층까지는 연장되지 않는 것으로 해석되었다. 이들 중 비교적 규모가 크고 수평 연장이 긴 단층들의 주향은 대체로 양산단층의 주향과 유사하며, 이는 이들이 양산단층이 활성화되던 시기의 주향이동 변형과 관련되어 생성된 기반암 단층들이기 때문인 것으로 해석되었다.

2

이와 같이, 조사 해역의 연안역 및 외해부에 단층들이 관찰되었으나, 이들은 모두 기반암 단층이었다. 연안역 단층들의 경우 단층면이 상부 퇴적층 내로 연장된 흔적이 전혀 없으며, 외해부 단층의 경우에도 단층면은 상부의 제 3기 퇴적층 내로 연장되지만, 부정합면 상부의 제 4기 퇴적층까지는 연장되지 않는다. 즉 부정합면 상부층인 Unit I층은 제 4기

퇴적층으로서, 단층 운동의 흔적을 전혀 보이지 않았다. 이러한 해석은 다중채널 탄성과 기록 및 스파커 탄성과 기록뿐만 아니라 FM Pulser 음원을 사용한 고분해능 탄성과 단면상에서 더욱 뚜렷하게 확인되었다(그림 2.5-188~199, 그림 2.5-199A~199E).

2

2.5.1.2.4.7 결론

조사해역은 경상남도 울주군 서생면 신암리를 중심으로 신고리 5,6호기 부지반경 8 km 반원의 북동측 경계에 접하는 5.6×1.2 km의 북서-남동 방향 직사각형 해역과 반원의 중심부에 인접한 6.4×2.2 km의 직사각형 해역으로서, 해안으로부터 동쪽으로 50 km 이상 연장되어 있는 이 지역 대륙붕의 연안역에 해당된다.

2

Intentionally Blank

2.5-130A

Intentionally Blank

노출암이 분포하는 일부 해역을 제외한 대부분의 조사 해역은 퇴적물로 피복되어 있다. 노출암들은 열개(Fracture) 구조를 비롯한 침식에 기인하는 매우 불규칙한 표면구조를 나타내었다. 다중빔 음향측심 결과를 통하여 N30~60°E 방향의 선구조가 가장 우세한 것으로 파악되었으며, 이들 선구조의 방향들은 주변 단층선 방향과 큰 상관관계를 보이지는 않는 것으로 분석되었다. 모자이크 음향영상은 조사 해역 해저표면의 대부분이 매우 평탄하고 단조로우며 단층의 흔적, 함몰대, 단구조와 같은 이상 표면지질구조들을 갖고 있지 않음을 분명하게 보여주었다.

조사해역의 층서는 상부로부터 제 4기 미고결 퇴적층인 Unit I층, 제 3기 퇴적층인 Unit II층 및 기반암층으로 구분되었다. Unit I층은 퇴적층의 최상부를 이루는 지층으로서 하부 기반암층에 육지 방향으로 온랩(Onlap)되는 형태로 나타난다. 남동측 외해에서는 그 하부층과 침식면을 경계로 부정합을 이루고 있으며, 그 상부에 평행하게 퇴적되어 있다. Unit I층은 주로 해수면 상승기에 퇴적된 제 4기 현세 퇴적층으로 이루어졌다고 판단된다. Unit II층은 Unit I층의 하부층으로서 제 3기 퇴적층으로 해석되었다. 조사 해역의 연안부에서는 관찰되지 않고 수심이 깊은 조사 해역의 남동부에서 관찰되며, 외해 방향으로 가면서 퇴적층의 층후가 급격하게 증가한다. Unit II층의 상부 경계면은 부정합면으로서, Unit II층의 층리들은 육지 방향으로 톱랩(Toplap) 형태를 보여준다. 이러한 관찰 결과는 2002년 울산 단층 연장부 탄성파탐사(참고문헌 160) 결과 해석과 일치하며, 부정합면을 경계로 하부층이 후기 마이오세(제 3기) 퇴적층임을 확인하였던 2000년 한국지질자원연구원 시추 결과(참고문헌 161)와도 부합된다. Unit II층의 하부에 존재하는 기반암층은 층리가 보이지 않는 결정질의 암체로 구성되어 있으며, 매우 불규칙한 표면을 갖고 있다. 이 기반암들은 제 3기 화강암류 혹은 백악기의 화산암류일 가능성이 높은 것으로 해석되었다. 기반암층은 조사 해역 대부분의 지역에서 퇴적층으로 피복되어 있으나, 수심이 얇은 연안부 특히 간절곶 방향의 서측 경계부에서 해저면 위로 노출되어 있음이 관찰되었다.

전체 퇴적층의 두께는 퇴적물이 전혀 없는 서쪽의 노출암 지역으로부터 동쪽으로 진행하면서 증가하여 동측 경계에서 최대 290 m의 층후를 보이는 것으로 파악되었다. 상부층인 Unit I층은 0~60 m의 두께를 보이며 노출암 지역을 제외한 전 지역에서 관찰되었다. 하부층인 Unit II층은 수심 약 40 m 이상의 해역에서만 관찰되지만, Unit I층에 비하여 훨씬 두터우며, 동측 경계에서 최대 층후 240 m를 나타내었다.

고분해능 탄성파 기록을 통하여 수심 약 37~60 m 구간의 퇴적층 내에 음향이상현상(Acoustic Anomaly)이 넓은 범위에 걸쳐 관찰되었다. 이는 그 하부로 탄성파가 전혀 투과하지 못하는 것으로 보이는 Acoustic Blanket 유형으로서, 퇴적층 공극 내에 존재하는 생물기원 가스에 기인하며, 이러한 가스함유층은 한반도 동남해역 천해부의 넓은 범위에 걸쳐 분포하고 있다. 공극 내 생물기원 가스는 특별한 음향이상현상을 야기하지만, 퇴적층 내에서의 상대적인 부피가 매우 작기 때문에 지층구조를 변화시킬 수 있는 위해 요소는 되지 않는 것으로 판단되었다.

1차 조사 지역에서는 연장성이 있는 네 개의 남-북 방향 정단층들이 조사 해역의 연안역에서 파악되었다. 이들 중 동측의 두 단층은 2002년 울산단층 연장부 탄성과 탐사(참고문헌 160) 시 확인되었던 기반암 단층의 연장선 위에 위치한다. 이 단층들의 주향은 동쪽에서부터 각각 N5°E와 N21°W이며, 수평 연장은 각각 약 1.9 km, 0.4 km 정도로서 소규모인 것으로 관찰되었다. 조사해역 서측의 두 단층은 각각 N1°W, N8°W 주향을 보였으며, 수평 연장은 각각 약 1.1 km, 1.3 km로 분석되었다. 2차 조사지역에서는 여섯 개의 남-북 방향 단층과 세 개의 북동-남서 방향 단층들이 조사해역의 연안부에서 파악되었다. 이중 두 단층이 2002년 울산단층 연장부 탄성과탐사(참고문헌 160) 시 확인되었던 기반암 단층의 연장선 위에 위치하며, 각각 N0°S~N11°E, N15°E의 주향과 60~70°의 경사각을 가진다. 수평 연장은 각각 1.9 km 및 0.3 km로 분석되었다. 이들은 모두 기반암에 국한된 단층(Basement Fault)이었으며, 수직 변위는 모두 수 m 이내로서 소규모이고, 최상부의 제 4기 퇴적층인 Unit I층은 물론 제 3기 퇴적층인 Unit II층 내부로도 연장된 흔적은 관찰되지 않았다. 그 외의 단층들은 북-남, 북동-남서 혹은 동-서 방향의 다양한 주향을 갖고 있는 고각의 정단층 혹은 수직단층인 것으로 파악되었다. 이들은 수직변위가 10 m 내외, 단층 길이 1 km 미만인 소규모 단층들인 것으로 분석되었다.

조사해역 외해부의 경우, 연안역보다 상대적으로 두터운 290 m 이하의 퇴적층후가 관찰되었고, 연안역과 마찬가지로 대체로 남-북 방향의 정단층들이 우세하게 분포하며, 이를 절단하는 동-서 방향의 단층도 존재하는 것으로 파악되었다. 이들의 연장은 1 km 이내로부터 수 km 범위이고 수직 변위는 수십 m 정도로서, 연안역보다 상대적으로 큰 규모인 것으로 나타났다. 이들 역시 연안역의 경우와 마찬가지로 기반암 단층이며, 일부 단층면이 상부의 제 3기 퇴적층 내로 연장되기도 하지만, 부정합면 상부의 제 4기 퇴적층까지는 연장되지 않는 것으로 해석되었다.

원자력발전소의 안전성 평가의 주요 요소로는 붕락된 퇴적구조와 활동성 단층이다. 수십 자료와 탄성과탐사 자료로부터 얻은 지질정보들을 종합할 때 제 4기 퇴적층에서 해저사태로부터 기인한 붕락된 퇴적구조와 활동성 단층에 의한 제 4기 퇴적층의 수직적 변위현상에 대한 지질정보 등 원자력발전소의 안전성과 관련된 지질학적 재해요소는 발견할 수 없었다.

2.5.1.2.5 토목 지질

부지 굴착전 부지 하부의 지질상태는 현장에서 수행한 시추조사 및 물리탐사 그리고 부지 인접지역 노두에서의 지표지질조사로부터 부지의 지질특성을 파악하였다. 신고리 5,6호기 부지반경 8 km에 분포하는 암석은 백악기의 퇴적암, 백악기 말의 화산암, 백악기 말~제 3기 초의 화강암 및 제 3기 중엽의 맥암류로 구성되며, 이 암석들은 국지적으로 제 4기 퇴적물에 의해 부정합으로 피복되어 있다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

대부분의 중요구조물이 위치하는 지역은 설계 기초바닥 표고에 보통풍화 이상의 경건한 암반이 분포하여 추가굴착은 수행하지 않는다. 그러나 일부지역에서는 상대적으로 풍화가 많이 진행된 암맥류가 나타날 것으로 예상되며, 이러한 암질 상태가 불량한 암반층이 기초면에 분포할 경우 추가굴착하여 기초를 보강할 것이다.

신고리 5,6호기 부지에서는 과거 지진발생으로 인하여 동적영향을 받았다는 증거가 관찰되지 않는다. 또한, 부지 주변부의 충적층 또는 단구들은 교란되지 않았으며 특별히 액

Intentionally Blank

Intentionally Blank

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

상화 현상 등의 증거도 찾아 볼 수 없다. 기반암내의 제거되지 않은 잔류 응력을 지시하는 지반응기현상이 관찰되지 않으며, 광물학적, 물리적, 화학적 특성에 의해 특별히 불안정한 암석이나 토양이 분포하지 않는다. 그리고 부지내에서 지하수를 포함한 지하유체의 인출 또는 주입, 채광, 굴착 등의 행위도 없었다.

2.5.1.2.6 부지의 지하수 상태

이에 대한 기술은 2.5.4.6절에 자세히 기술하였다.

2.5.2 지진동

원자력발전소는 지진으로부터의 손상에 견딜 수 있도록 설계되어야 한다. 지진은 지진동을 발생시키기 때문에 발전소 부지에 영향을 준다. 지진동이 발생하는 동안 지진력은 발전소 구조물에 영향을 주며 그 힘은 가속도에 구조요소의 질량을 곱한 값으로 표시된다. 각 구조물은 부지 지반가속도와 설계된 구조적 요소에 따라 진동을 한다.

본 절의 목적은 최대의 잠재적인 지반가속도 값을 결정하는 것이다. 이 가속도는 부지에 영향을 줄 수 있는 가장 큰 지진동으로부터 가속도를 예측함으로써 계산되는데 이것을 안전정지지진(Safe Shutdown Earthquake ; SSE)이라 정의한다. 안전정지지진이란 안전정지상태를 유지하여야 하는 실제적인 구조물, 계통, 부품의 기능과 관련된다. 추가로 운전기준지진(Operating Basis Earthquake ; OBE)도 결정된다. 이것은 발전소가 운전상태에 있을 때 발전소 안전설비 기능이 유지될 수 있는 지진동으로 정의된다. 안전정지지진과 운전기준지진을 설정하기 위한 절차는 다음 10단계로 요약될 수 있다.

1. 반경 320 km 내의 광역지역의 기초지질과 구조를 요약, 검토하며 이 때 지진지체구조구 경계와 기재된 단층에 대해 특별히 유의한다.
2. 한반도 및 주변국가 연안의 지진역사에 대한 검토를 실시하고 주요한 지진의 모든 진앙위치를 표시하며 지진지체구조도나 위성사진으로부터 인용한 선구조도에 진도나 규모를 명시하여 진앙지를 도시해야 한다.
3. 진앙과의 관계를 고려하여 지진원(지진지체구조구 및 단층지진원)들을 설정하고 그 특성을 평가한다.
4. 단계 3을 근거로 하여 반경 320 km 이내에서 발생한 지진 중 각 지진지체구조구 또는 단층을 따라 일어난 가장 큰 지진을 선택하여 이들 지진을 단층, 지체구조구를 따라 부지에 가장 가까운 쪽으로 이동시킨다.
5. 광역지역에서 감지된 지진으로부터 등지진 자료와 계기자료를 분석함으로써 부지 지역에서의 감쇠를 평가한다.
6. 진원거리와 최대지반가속도 사이의 관계를 이용하여 각 단층 또는 지진지체구조구에 대하여 가속도를 계산한다. 진도 또는 규모와 감쇠율과의 관련성을 이용한다.

7. 단계 6에서 가장 큰 부지가속도를 산출하는 최대의 지진이 안전정지지진으로 설정되어진다. 그것에 상응하는 가속도를 최대 영주기 수평가속도로 설정한다.
8. 단계 7에서 설정한 최대지반가속도에 해당하는 안전정지지진에 대한 수직/수평 응답스펙트럼을 설정해야 한다.
9. 적절한 규제지침을 사용하고 해당 구조구 내 지진의 재발가능성을 분석하여 전문 관례를 사용하여 운전기준지진을 결정해야 한다.
10. 단계 9에서 결정한 지반가속도에 해당하는 운전기준지진의 수직/수평 응답스펙트럼을 설정해야 한다.

본 부지에 대해서 영주기 수평가속도 0.3 g, 영주기 수직가속도 0.3 g를 안전정지지진으로 결정하였다. 결정된 운전기준지진은 영주기 수평가속도 0.1 g와 수직가속도 0.1 g를 갖는다. 본 절에서는 이런 값들을 얻는 방법에 대해 기술한다.

2.5.2.1 지진활동도

20세기 지진활동을 근거로 할 때 한반도는 지진학적으로 아주 안정된 곳이라고 Gutenberg and Richter(참고문헌 164)는 말하고 있다. 또한 기상청에 의해 계기지진관측이 시작된 1978년 이후 2009년까지 한반도에서 규모 3.0 이상의 지진이 연평균 9회 정도로 계기지진 관측을 시작한 이후 현재까지 지진활동에 큰 변화가 없으며 비교적 중간 및 낮은 수준의 지진활동이 전개되고 있다(참고문헌 274). 역사지진을 고려할 때도 지진활동을 15세기~18세기의 이례적으로 높은 시기를 제외하고는 지난 20세기 동안 비교적 낮거나 중간수준이었으며, 이러한 불규칙한 지진활동은 판내부 지진활동의 전형적인 특징이다(참고문헌 274).

그러나 한국 내의 잠재적인 지진위험도를 명확하게 규명하기 위해 모든 지진활동 요소들을 주의 깊게 살펴볼 필요가 있다.

첫째, 한국의 동쪽에 위치한 일본과 서쪽에 위치한 중국대륙에서는 한국에 비하여 높은 지진의 발생빈도가 있고 그 크기는 규모가 7 이상인 것도 있다.

둘째, 비록 계측기기 사용 등 실제 측정방법을 사용하여 측정하지 않았지만 역사지진자료에 의하면 한국은 높은 지진활동의 시기가 분명히 있었다는 것을 보여준다. 이기화(참고문헌 276)는 여러 역사기록으로 부터 약 1900여회의 역사지진기록을 정리하여 이례적으로 많은 기록을 보이는 15~18세기를 지진활동이 활발하였던 것으로 분석하였다.

셋째, 최근 중국 및 일본에서 발생한 지진이 국내에서 감지되었다. 결과적으로 본 지역에 대한 지진학적 분석을 위하여 한반도 내외에서 일어났던 역사지진과

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

계기지진을 모두 고려해야 한다.

2.5.2.1.1 지진자료

일반적으로 지진은 규모, 진도, 변위, 가속도, 속도 등으로 기술된다. 근래에 발생한 지진은 보통 규모와 진도로 표시되며 지진계 사용 전에는 단지 역사문헌상의 기록을 통해 진도로 표시되었다. 기타 지진변수는 진도나 규모자료로부터 유도될 수 있다. 그러므로

Intentionally Blank

Intentionally Blank

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

본 자료는 규모와 진도자료로 구성되어 있다.

지진의 규모는 지진파 형태로 방출되는 에너지의 정량적 크기를 계기로 결정하는 것이다. Richter(참고문헌 166) 정의에 의하면 규모는 진앙지로부터 100 km 떨어진 지반 위에서 상세한 응답 특성을 갖는 수평 Wood-Anderson 지진계의 기록진폭(trace amplitude)에 상용대수를 취하여 계산한다. 그러나 지진의 진도는 지진지역에서의 파괴적 성질의 주관적 척도로 지역토양 및 지하수상태, 건물의 견고도, 진원 및 진앙으로부터의 거리, 인구분포, 지진의 영향을 기록한 사람에 의해 크게 좌우된다. 몇 가지 진도의 척도는 지진계의 개발 전에 발생한 지진에 대하여 방출된 에너지의 양을 어느 정도 정량적으로 평가하는데 사용되어 왔다. 이 척도는 Rossi-Forel척도, Mercalli척도, 수정 Mercalli척도(MM), Medvedev-Sponheur-Karnik(MSK)척도, 일본기상대척도(JMA) 등이다. JMA진도와 MM진도 및 MSK진도(주로 서구에서 사용됨)의 등가비교를 그림 2.5-220(참고문헌 167)에 보여주고 있다.

기록된 지진의 진도는 장소에 따라 변할 수 있는데 비하여 지진의 규모는 진원지에서 방출된 에너지의 양을 반영한 것으로서 일정하다. 본 지역에서는 20세기 동안의 계기지진 기록을 가지고 있으나 일제시대의 것이고 한반도 내 저지진 활동시기에 해당되므로 체계적으로 수립되거나 기록된 것이 아니다. 20세기 이전에 발생한 본 지역 내의 지진은 개괄적으로 기록되었다.

지진동 논의에 있어서는 원래 기록된 척도자료를 사용하였다. 진도나 이와 유사한 것을 규모로 환산하거나 규모와 진도크기 사이의 관계를 환산하는 것은 불명확하며, 환산은 각 경우마다 동일하지 않은 가정을 요구한다. 그러므로 원본자료를 환산 없이 직접 평가하였다. 우리나라의 계기지진 관측은 1905년 조선총독부 인천관측소에 기계식 지진계를 설치함으로써 시작되었다. 그 후 40여 년간 조선총독부 산하 측후소에 지진계를 점진적으로 추가 설치하여 1941년까지 우리나라에서는 총 6소의 관측점을 갖는 지진관측망이 운영되었으며 지진활동이 상세히 기록되었다. 그러나 일본이 한국지명을 일본지명으로 바꾸어 놓았기 때문에 위도 및 경도를 표시하지 않은 지진진앙의 위치를 확인하기 어렵다. 한편, 1945년의 광복과 1950년 6.25 동란은 우리나라의 지진관측업무를 일시적으로 쇠퇴, 중단시키는 결과를 초래하였다.

약 20년간의 지진관측 공백기를 거쳐 계기지진관측이 재개된 것은 1963년 3월이다. 이는 미국지질조사소(USGS)의 세계지진관측망(WWSSN, World-Wide Standardized Seismograph Network) 사업의 일환으로 국립중앙관상대 서울본대(현 기상청)에 세계표준지진계(WWSS, World-Wide Standardized Seismograph) 1대가 설치됨으로써 이루어진 것이다. 관측망의 구성은 장주기와 단주기를 각각 세 성분(남-북, 동-서 및 수직방향)의 진동을 기록하기 위함)씩 종이 위에 기록하는 아날로그 방식이었다. 그 후 자체 지진관측망 구축사업으로 1977년 일본제 지진계 2대를 도입하여 서울과 광주 2개소에서 관측을 실시하였는데, 이는 지진의 발생위치와 크기를 정할 수 있는 최소한의 관측망에도 미

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

달되는 수준이었다.

1978년 홍성지진 발생 후 지진관측 장비를 보강하면서 1980년 말부터 미국 텔레다인 지오테크(Teledyne Geotech)사의 관측소용 지진계 3대와 간이 이동식 지진계 2대를 도입하여 서울, 강릉, 추풍령, 광주, 부산 및 서산 6개소에 설치, 관측을 시작하였다. 이는 한반도에서 발생하는 지진의 위치와 크기를 알아내기 위한 최소한의 관측망으로 일제시대에 일본인들이 운영하던 관측망과 유사한 규모이다. 그 후 1988년, 서울올림픽을 준비하면서 기상장비의 현대화 작업의 일환으로 1991년 8월부터 미국 텔레다인 지오테크사의 지진계를 추가 도입하여 기상청의 지진관측망이 보강됨에 따라 1992년부터 남한에서는 서울, 부산, 광주, 강릉, 서산, 대전, 춘천, 울진, 대구, 제주, 철원, 울릉도의 12개소에서 단주기 수직성분 지진 관측소를 운영하고 있다. 1995년부터는 과거 WWSSN 관측소를 IRIS(Incorporated Research Institute for Seismology) 계획에 의해 개편하여 광대역 지진계를 운영하고 있다. 그 후 1996년 12월 13일 영월지진과 1997년 6월 26일 경주지진으로 국가의 지진방재체제에 대한 전면적 보강의 필요성이 제기되어 기상청은 지진 및 지진해일 경보시스템 보강을 위한 지진 및 지진해일 관측망 확충계획을 수립하였다. 이와 같은 시대적 상황에 따라 지진관측장비가 전면적으로 보강되어 최신의 디지털식 지진 관측망을 확충하여 질적·양적인 발전을 가져왔다. 이로써 2010년 현재 기상청은 초광대역 관측소 1개소(광대역, 가속도 지진계 중복설치), 광대역 지진계 18개소(시추공 포함, 가속도계 중복 설치), 단주기 지진계 31개소(가속도계 중복 설치), 가속도 관측망 62개소, 해저지진계 1개소 등 어느 정도 조밀한 관측망을 갖추게 되었다.

이들 지진계에 의한 계기지진 기록 중 1963년 이전의 것은 현재 보존되어 있지 않고 그 이후의 것만이 기상청에 보존되어 있다. 이상 언급한 기간 이외의 시기 즉, 1905년~1925년 및 1944년~1954년의 지진자료는 그 기록이 보존되어 있지 않기 때문에 여러 국내외 자료를 종합하여 정리하였다. 표 2.5-18은 진앙지가 북위 31°와 40°, 동경 121°와 136°사이에서의 지진목록이 기술되어 있다. 표 2.5-18에서의 자료는 다음 사항으로부터 인용한 것이다.

- 가. ISC 지진목록 데이터베이스로부터의 인용(1904년~2010년)(참고문헌 168)
- 나. 건설교통부의 내진설계 기준연구(II) 보고서(참고문헌 169)의 초기 계기지진
- 다. 한국 내의 유감지진에 대해서는 S. H. Park(참고문헌 170)로부터의 인용. 이 자료는 한국 내 지진이 몇몇 기술적 토의를 포함하는 S. H. Park의 보고서 중 단지 일부분이다.
- 라. 1934년부터 1937년까지(참고문헌 165, 171, 172, 173) Tyosen기상국의 지진학적 기록
- 마. 한국기상청으로부터의 기록(참고문헌 174)

고리 3,4호기 예비안전성분석보고서(참고문헌 175)에서는 Bulletin of the Academy of Science, USSR, Geophysics Series, No. 9, pp.939-954에 게재된 “The Seismicity of

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

Korea and Aspects of Its Seismotectonics and Seismic Zoning(참고문헌 176)”으로부터 지진자료를 인용하였다. 그러나 이 보고서는 부정확하고 참고된 자료가 없어서 본 부지의 지진분석 시 제외하였다.

여러 자료로부터의 기록을 비교할 때 어떤 자료는 이중으로 기록되어 있는데 반하여 어떤 자료는 유일한 기록을 가지고 있다. 더 나아가서 각 지진단체에 따라 그들 자료의 해석이 다르기 때문에 어떤 지진 파라미터에 대해 기록마다 약간 차이가 있다. 이중으로 기록된 지진에 대해서는 한국기상청의 기록이 있는 경우 이를 인용하였다. 이 기록의 규모는 대부분 지역규모이며 일부는 진앙지의 JMA 진도이다. 한국기상청의 자료가 없는 경우 ISC의 지진기록이 인용되었는데 여기에는 동일 지진에 대해 여러 기관으로부터 수집된 기록이 존재한다. 이 경우 진앙의 위치, 진원깊이, 규모, 발생시각 등이 보다 충실하게 기록된 기록을 인용하였으며 최대한 다양한 규모 척도가 수록되도록 정리하였다. 한반도내 20세기 초기의 지진자료 대부분이 유감지진 기록으로부터 인용되었기 때문에 박수희의 20세기 초기의 유감지진 및 계기지진 자료를 최대한 활용하였고 그중 한국기상청 내지 ISC의 자료와 중복되는 지진에 대해서는 한국기상청과 ISC의 자료를 인용하였다.

한반도의 지진자료는 약 1900여년에 걸친 역사지진자료와 1905년 이후의 계기지진자료로 나눌 수 있다. 역사지진자료는 삼국시대의 초기부터 조선시대에 걸쳐, 여러 역사문헌에 서술되어 있다.

역사지진에 관한 연구는 Wada(참고문헌 177) 이래 여러 연구자에 의하여 수행되어 왔다. Wada는 삼국사기, 고려사, 조선왕조실록 등의 역사문헌 14종으로부터 지진에 관한 기사를 발췌하고 진도분류기준을 4등급으로 나누어 부여하였다. 서정희(참고문헌 178) 등은 Wada의 자료 중 주요지진에 대한 분석을 수행하였으며, 진도는 Wada의 진도를 그대로 인용하였다. 또한 김소구(참고문헌 179)는 Wada의 자료를 재검토하여 Wada 진도를 JMA 진도로 고쳐 지역별 빈도분포도를 작성하였다. 정봉일(참고문헌 180)은 삼국사기, 고려사, 조선왕조실록, 일성록 및 동국문헌비고 등의 역사문헌으로부터 총 1,766개의 지진을 발췌하여 지역별 시대별 발생빈도를 제시하였다. 한국에너지연구소(참고문헌 181)는 원자력발전소의 지진에 대한 안전성을 검토할 목적으로 1905년 이전의 역사지진 목록과 1905년 이후의 계기지진목록을 만들어 이 목록에 근거하여 한반도의 지진활동도를 작성하였다. 이 연구에서 Wada의 자료에 나타난 지진기사들을 원래의 문헌으로부터 발췌하여, 역사학자들의 검토 해석을 거쳐 진앙지와 진도를 평가하였다. 특히 이러한 평가에서는 미리 설정된 평가기준에 근거하여 평가함으로써 객관성을 높이고자 노력하였다. 건설교통부는 내진설계 기준연구(II) 보고서에서 Wada의 지진자료, JMA 및 MM 진도와 관계, 진앙지 결정기준, 역사기록상의 피해발생 기술내용에 근거하여 역사지진 목록을 작성하였다. 한편 최근 Lee and Yang(참고문헌 182)은 삼국사기, 고려사, 고려사절요, 조선왕조실록, 증보문헌비고, 승정원일기 등 역사기록을 재검토하여 Wada에 의한 지진기록보다 수백 개가 많은 약 2,200회의 역사지진기록을 정리하였으며, 기록된 피해상황을 바

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

탕으로 역사지진의 규모산정 방법을 개발하여 이전까지 진도값으로만 분류되어있던 역사 지진기록을 규모가 포함된 지진목록으로 개량하여 발표하였다.

역사지진기록을 살펴보면 조선시대 이전의 진앙지는 대부분 역사문헌에 명시되지 않거나 당시의 수도에만 감진기록이 있는 관계로 그 시대의 수도에 지진이 집중되어 발생한 것처럼 나타난다. 이러한 결과는 실제의 지진활동을 그대로 반영하기 보다는 고대의 인구 분포, 지진발생에 대한 보고체제상의 결과로 해석할 수 있을 것이다. 이에 반하여 조선 시대는 진앙지가 한반도 전체에 걸쳐 분산되어 나타난다. 시대별 지진활동을 살펴보면 1~14세기까지는 상대적으로 적은 기록을 보이며 15~18세기에 이례적으로 많은 기록을 보여 이 시기에 지진활동이 활발하였던 것으로 분석된다.

20세기 자료에 추가하여 표 2.5-19에 최근 Lee와 Yang(참고문헌 182)에 의해 정리된 역사지진을 목록화하였다. 계측에 의한 진앙지의 위치와 20세기 유감지진기록이 그림 2.5-221과 표 2.5-18에 목록화되어 있으며 역사지진을 포함한 지진의 연대별 발생빈도는 그림 2.5-222에 제시하였다.

계기지진의 경우 한반도 발생지진의 진앙 및 규모의 정확도에 대해서 기술된 논문이 거의 없어 정량적인 값을 제시하기 어렵다. 또한 기상청에 의해 한반도 남부에 다수의 지진계가 설치되기 이전과 이후의 정확도에 차이가 있으며 동일한 기상청의 지진기록에 대해서도 디지털 지진계가 설치되기 시작한 90년대 후반 이후는 정확도가 향상되었다. 진앙의 경우 한국지질자원연구원의 지진 관측자료와 기상청의 지진 관측자료를 비교하였을 때 위경도로 소수점 첫째 자리까지의 진앙지 좌표가 일치한다는 것을 근거로 했을 때 오차범위는 육상지역에 대해 약 10 km일 것으로 분석된다. 김성균(참고문헌 183)에 의하면 계산에 사용된 지각속도구조가 실제에 가깝다는 가정 하에 관측망내의 비교적 큰 규모의 육상지진의 경우 오차 범위가 10 km 이내, 관측망 밖의 해양지진 또는 작은 규모 지진의 경우 10 km 이상일 것으로 평가되었다. 또한 지진발생심도에 대한 오차는 평가가 어려우나, 대체로 10~20 km 정도일 것으로 추정하였다.

공식적으로 지진규모를 발표하고 있는 기상청 및 한국지질자원연구원은 Gutenberg와 Richter(참고문헌 184) 지역규모식을 변형하여 사용하고 있다. 이 규모식은 지진규모-최대변위의 절대치에 관한 Tsuboi(참고문헌 185)의 경험식 또는 지속시간-지진규모 사이의 경험식으로부터 산출되고 있다. Tsuboi의 경험식으로부터 결정된 규모는 보통 ISC에서 결정된 지역규모와 최대 0.5 만큼의 차를 가지는 것으로 알려져 있다(참고문헌 186). 최호선 등(참고문헌 187)은 한반도 남부 지역의 지역규모와 모멘트규모를 비교하는 연구를 수행하였는데 이 논문에 따르면 기상청과 한국지질자원연구원 규모간의 편차는 약 0.2, 모멘트규모와 지역규모들과의 편차는 최대 0.4 정도이다.

역사지진에 관한 연구들은 한반도의 지진활동연구에 기여한 바가 크나 역사지진에 관한 기록들은 문장으로 서술되어 있으며, 시대적으로 기록의 누락 또는 과장 등이 포함되어

자료의 균일성, 통일성이 유지되어 있다고 보기는 어렵다. 이러한 이유로 진앙지나 지진의 규모를 평가하는 데 있어서 연구자의 주관이 개입되기 쉬우며, 그 결과 지진활동의 해석에 서로 상이한 결과를 얻을 가능성이 있다. 최근 Lee와 Yang(참고문헌 182)은 자신들의 연구결과를 취합하여 진앙 및 규모가 포함된 한반도 역사지진 목록을 발표하였다. 이 논문에서 저자는 비교적 간결하고 일관된 방법을 사용하여 역사지진의 진앙을 결정하였으며 그 불확실성은 최대 1° 정도라고 주장하였다. 규모의 경우 Wada(참고문헌 188)의 진도 척도를 참조하여 각 지진 이벤트의 진도를 결정한 후 진도-규모 관계식(참고문헌 189)에 대입하여 규모를 산정되었다. 저자는 활용할 수 있는 정보의 한계로 인해 진도의 불확실성을 정량적으로 평가하기는 힘들지만 주관적 판단으로 약 ± 1 의 정확도를 주장하였으며 이를 근거로 했을 때 지진목록에 기재된 규모의 불확실성은 약 ± 1.5 정도로 추정된다.

2.5.2.1.2 지진자료의 분석

한국에서 발생한 지진기록은 기원후 27년부터 존재한다. 과거지진에 관한 정보는 일반적으로 제한적이며 어떤 지역에서의 유감지진을 표현한 것에 불과하다. 역사지진 진앙지의 위치와 크기는 지진영향을 받은 지역 내의 인구중심지로부터 피해의 양을 근거로 하여 주관적으로 평가된다. 역사지진의 피해 정도는 직접적인 지진동에 의한 손실과 약한 건축물, 약한 구조조건, 기초조건, 급경사와 산사태 같은 2차적인 영향을 구별하기 위해 주의 깊게 해석되어야 한다.

고지진 기록을 해석함으로써 현대 지진자료에서 나타나지 않는 지진활동의 오랜 주기나 응력방출 변화양상을 알 수 있다. 한국에서의 역사지진 기록에 의하면 15세기에서 18세기 초반까지 지진발생이 빈번했으며 그 중에는 규모가 큰 지진도 다소 있었으리라 추정된다(그림 2.5-222).

| 2

2.5.2.1.3 진도척도의 사용

한반도에서 발생한 지진의 진도는 일반적으로 JMA에서 사용한 진도로 표시되었다(표 2.5-20). 그러나 이러한 척도는 지진영향에 대하여 단지 간결하고 일반적인 설명에 불과할 뿐 건물의 질이나 피해정도를 적절히 고려하지 못한다. 따라서 JMA진도의 단일 값은 상당히 광범위한 표면 효과에 대응될 수 있으며 2.5.2.6절에 기술한 바와 같이 주어진 진도와 관련된 광범위한 최대 지반가속도로 반영될 수 있다.

지진의 표면영향을 지반운동의 특수한 변수(가속도)와 관련시키기 위해서는 JMA진도척도에 의한 것 보다는 세분된 척도로 지진을 나타내는 것이 바람직하다. 서구 각국의 원자력발전소의 내진 설계기준을 정의하는 현재의 규정에는 피해의 양과 질을 나타내기 위해서 Modified Mercalli(MM)진도가 주로 사용되고 있다(표 2.5-21). MSK진도척도도 많이 사용되며 MM진도척도와 유사한 것으로 고려된다(표 2.5-22). MSK진도는 MM진도

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

보다 자세한 설명이 기술되어 있는 장점이 있으며 주어진 진도와 관련하여 피해정도를 더 잘 설명해 준다. MM진도와 MSK진도는 JMA진도보다 자세하게 지진을 분류하고 있기 때문에 가속도 값을 명확하게 정의할 수 있다.

각 진도척도 사이의 차이 때문에 JMA진도로 표시된 값으로부터 MM진도나 MSK진도로 환산하는데 주의를 기울여야 한다. 이러한 환산을 위해 간단한 절차가 Okamoto(참고문헌 190)에 의해 제시되었다.

$$IMM = 0.5 + 1.5 IJMA \quad (2.5-1)$$

그러나 이러한 방정식은 척도 간에 선형관계를 갖는다는 것을 가정하고 있으나 실제로 있어서 각 진도에 주어진 설명에 따른 적절한 가정이라고 보기는 어렵다. 바람직한 방법으로는 서로 다른 진도척도들을 설명에 근거하여 비교하는 것이 타당하다. 서로 다른 진도를 비교하는 문제는 Barosh(참고문헌 191), Trifunac and Brady(참고문헌 192) 및 O'Brien(참고문헌 193) 등에 의하여 자세히 검토되었다. 이러한 연구에 근거하여 JMA, MM 및 MSK단위간의 비교는 각 단위에 기술된 손상피해 정도로부터 결정되어 왔다(그림 2.5-220).

그림 2.5-220에서 본 바와 같이 JMA진도와 이와 상응한 MM 및 MSK진도간의 선형성은 타당하지 않으며 직접적인 변환을 한다는 것은 간단한 문제가 아니다. 따라서 JMA진도로부터 MM진도나 MSK진도로 알맞게 변환하기 전에 JMA진도 값을 지정한 원래의 지진자료를 검토하는 것이 필수적이다. 본 부지에 대한 내진설계기준을 결정하는 주요한 모든 지진에 대하여 JMA진도로부터 MM 혹은 MSK진도로의 환산은 지진에 대한 원 자료의 기술내용을 검토하여 이루어졌다.

2.5.2.1.4 주요 지진

2.5.2.1.4.1 지리산지진 (1936년 7월 3일)

1936년 7월 3일에 발생한 지리산지진의 진앙은 전라남도와 경상남도의 경계 근처인 지리산 남쪽 약 10 km에 위치하였다. 이 지진은 한국의 다섯 군데의 지진관측소(서울, 부산, 인천, 대구, 평양)에서 기록되었다(참고문헌 174). 진동은 한반도 전체를 뒤흔들며 북위 37°까지 영향이 감지되었고 일본의 대마도에서도 감지되었다(그림 2.5-223). 유일한 피해기록은 지진학자들이 JMA진도 V로 명명한 쌍계사와 근처 숙문리였다.

1938년의 Tyosen 기상국의 지진보고서(참고문헌 173)는 지리산지진을 다음과 같이 기술하고 있다. “쌍계사에 강한 지진. 7월 3일 21시 2분에 경상남도의 서쪽 지리산 남부에 있는 쌍계사에서 강한 지진이 발생하였다. 흔들림은 한반도의 남쪽 반에 해당하는 69,220 km²에 이르렀다. 쌍계사에서 이 지진은 진도 IV로 느껴졌으며 가옥, 도로 및 기타

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

구조물에 약간의 손상을 주었다.” 이 보고서의 표에는 이 지진의 진도를 V라고 기술하고 있으며 이 보고서의 등진도도(그림 2.5-223)에는 진앙지의 진도가 IV~V로 표시되어 있다. 그러나 도쿄에 있는 일본기상청에서 수집된 추가자료(참고문헌 194) 및 D'Appolonia와 KIGAM에 의한 1977년, 1779년의 현장검증(참고문헌 195, 196) 자료에 따르면 JMA V가 적절하리라 생각된다.

다음과 같은 지리산지진의 영향이 현장답사와 JMA 자문으로부터 나타났다.

- 가. 쌍계사 고승 청암의 승전비에 나타난 균열
- 나. 붕괴한 쌍계사 부속건물의 내부벽 및 천정
- 다. 절의 본당 근처의 돌에 생긴 균열
- 라. 붕괴한 부속건물 주위의 경계석 붕괴
- 마. 절탑의 상부 돌의 붕괴
- 바. 인접 계곡 아래로 굴러 떨어진 큰 옥석사. 가옥과 인명을 앗아간 절 근처 마을에서의 산사태
- 사. 인근 숙문리 마을에서의 선반에서 물체 낙하
- 아. 지진 충격 그 자체만으로는 어떠한 건물도 붕괴되지 않았음
- 자. 구례읍(20 km 남서), 원천(20 km 서쪽) 및 제천(30 km 서쪽)에서는 얼마간의 흔들림을 느꼈으나 손상은 없었음

이러한 지리산지진에 대하여 두 보고서는 다른 견해를 보여준다. Rustanovich 등(참고문헌 197)은 이 지진이 MSK진도 VIII~IX를 기록하였다고 보고하고 있다. MSK단위의 설명에 따르면(표 2.5-22) 상기에 보고된 손상은 진도 VI~VII 또는 VII로 명명되었어야 했을 것이다. 진도 VIII 이상의 지진이 발생했을 경우 쌍계사와 같은 A형의 많은 건물들이 전체적인 손상을 수반하고 파손되었을 것이다. 그러나 이러한 현상은 일어나지 않았다. VIII~IX의 진도에서는 다음과 같은 현상이 일어나지만 쌍계사에서는 이런 현상이 발생하지 않았다.

- 가. 중량의 가구가 흔들리고 부분적으로 전도(VIII)
- 나. 묘비 전도(VIII)
- 다. A형 건물다수가 전체파손을 당함(IX)
- 라. 비석 및 지주 붕괴(IX)

Rustanovich 보고서에 의하면 보고서의 기록내용은 단지 예비탐사의 결과에 해당된다. 다음과 같은 문구가 역사적 지진을 기록하는 연대기와 관련되어 페이지 939에 나타나 있다.

“설명 중 어느 부분은 주관적이며 지진의 진도 산정에 대하여 직접적인 관련성을 갖고 있지는 않지만 지진발생 규모에 관한 아이디어를 얻을 수 있다.”

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

또한 다음과 같은 문구가 20세기 지진자료를 참고하여 942페이지에 나타난다.

“지진계측 기록으로부터 결정된 진앙을 갖는 지진목록을 수집하는 중에 우리는 가끔 규모가 기록되어 있지 않은 것을 본다. 그러므로 우리는 거리를 고려하여 진원에 대한 진도(MSK진도)를 대략적으로 산정해야 한다고 생각한다.”

Park(참고문헌 170)은 지리산지진의 진앙진도를 JMA III으로 지정하였으며 진앙지는 쌍계사로 보았다. 그는 그가 수집한 피해기록에 의하면 단지 JMA III에 해당된다고 주장하였다. 그 이유로는 피해상황이 단지 절 및 주위에만 국한되며 멀리 전파되지 않았다는 것이다.

단지 20~30 km 밖에 있었던 관리와 고령자들은 진동을 느꼈다는 것을 기억하였으나 면담을 한 어느 누구도 인근 지역에서 실제 손상이 있었다는 것을 알지 못하였다. 이렇게 광범위한 감진 면적을 갖는 지진의 피해면적이 대단히 제한되어 나타난다는 것은 이상한 일이다. 실제적으로 피해면적으로는 진도를 평가하기가 어렵다.

지리산지진은 진앙으로부터 각각 269, 120, 302, 112 및 450 km 떨어진 서울, 부산, 인천, 대구 및 평양의 지진관측소에서 기록되었다. 첫 4개의 지진관측소에서만의 지진기록에 근거하여 일본기상청은 규모 5.0으로 산정했다(참고문헌 199). JMA에 의하면 보고된 규모는 Richter 규모 단위와는 다른 Tsuboi 규모라는 것을 알아야 한다. 이러한 이유는 일본의 지진관측소가 Wood-Anderson 지진계보다는 Weichert 지진계로 되어 있기 때문이다(후자는 Tsuboi 규모를 계산하는데 사용되고 전자는 Richter 규모를 계산하는데 사용된다).

JMA는 그들이 일반적인 계산을 위해 Richter 표면과 규모와 Tsuboi 규모는 동일하다고 생각한다(참고문헌 199). 지리산지진에 대해 5.0의 Tsuboi 규모가 본 보고서에 사용되었다.

보통 5.0의 규모는 쌍계사에서 보고된 바와 같은 파괴를 나타내지 않는다. 보통 5.0의 규모는 MM IV부터 VI까지의 진도를 나타낸다. 규모 5.0의 지진을 더욱 파괴적으로 만들 수 있는 두 가지 인자는 얇은 진원 깊이와 불안정한 지면 상태인데 이러한 인자들 모두 지리산지진의 경우 존재하였다. 지진보고에는 진원 깊이가 약 10 km이었다고 기록하고 있다. 이 깊이는 JMA가 확인 반증하였다(참고문헌 199).

이에 덧붙여 피해를 입었던 쌍계사 및 주위 숙문리 등은 곡간 퇴적지대에 위치하고 있다. 현장에서의 지형 여건을 고려해 보면 계곡의 높은 충적토, 경사진 도랑 및 심지어 산사태 잔해로 구성되어 있다고 보인다. 세립토는 계곡의 험준한 경사로부터 낙하한 큰 옥석들과 뒤섞여 있다. 옥석의 일정한 근원을 제공하여 주는 옥석의 풍화작용이 결정질 기반암

에 나타났다. 숙문리 지역의 90세 할머니와의 대화에 의하면 지진발생 전 밤중 내내 폭우가 있었다고 알려졌다. 폭우 때문에 단단하지 못한 충적토는 포화되었으며 진원심도 10 km의 규모 5.0의 지진은 견고한 암반 위에서 발생하였던 것보다 현장 구조물에 훨씬 큰 피해를 주었다. 그러므로 1936년 7월 3일의 지리산 지진은 단단한 암반에 건설된 현대식 구조물에서는 손상을 미치지 않았을 것이다.

2.5.2.1.4.2 강서지진(1952년 3월 19일)

강서지진은 1952년 3월 19일 평양 서쪽 강서지방에서 발생한 지진으로 한반도에서 지진 관측이 시작된 이후 발생한 가장 큰 규모의 지진이다. 한국전쟁 중 발생하여 상세한 내용이 보고되지 않았고, 당시 국내에서 관측한 기록이 전무하나 일본과 중국, 러시아에 상당수의 지진관측소가 운영되고 있었으므로 원거리 지진파를 이용한 평가가 이루어 졌다. Rustanovich et al. (참고문헌 197)은 중국 상해에 위치하는 서가휘관상대(observatory of Zi-ka-wei(Xujiahui)) 등 여러 지진관측소의 지진파형을 분석하여 진앙위치를 북위 38.5°, 동경 126.5°로 평가하였고 그 규모(Mw)는 6.3으로 결정하였다. 강태섭 외(참고문헌 199a)는 아날로그 지진기록을 디지털로 변환하여 지진원 요소를 상세하게 분석하여 진앙을 북위 38.77°, 동경 125.84°로 결정하였으며 이는 평양 남남동쪽 약 30 km에 해당하는 지역이다. 또한, 각 관측소의 S-P 도달시간과 P파 도달시간에 대한 Wadati diagram으로부터 진원시간을 결정한 결과 1952년 3월 19일 18시 4분 15초에 지진이 발생하였으며, 모멘트 텐서 격자 탐색을 통하여 관측파형과 이론파형을 비교하여 모멘트규모와 단층운동성분을 추정하였다. 최적의 지진모멘트는 2.45×10^{25} dyne-cm이며 이는 모멘트규모(Mw) 6.2에 해당한다. 지진파 모델링을 통하여 추정한 단층운동은 주향 120도, 경사 90도인 면과 주향 210도, 경사 70도인 면으로 이루어진 이중우력(doble couple)에 의한 것으로 북동-남서 및 북서-남동방향의 주향이동성분이 우세한 것으로 나타났다.

227명의 사망자가 발생한 2009년 4월 6일 이태리 라칼라지진(L'Aquila Earthquake ; Mw=6.3)을 비추어 볼 때, 강서지진의 경우 비록 피해기록은 없으나 상당한 피해가 있었을 것으로 예상된다(참고문헌 199b).

2.5.2.1.4.3 속리산지진(1978년 9월 16일)

1978년 9월 16일 오전 2시 7분에 진앙이 충청북도 속리산 부근 지역에서 지진이 발생하였다. 이 지진의 진앙지에 대한 해석에는 여러 가지 보고가 있었다. 어떤 신문에서는 진앙을 무주(서울 남-남동쪽 180 km)로 보도했으나(중앙일보, 1978년 9월 16일), JMA는 계측결과를 해석하여 진앙을 수원(서울 남쪽 30 km, 북위 37°14', 동경 126°47') 근처로 보고하였고, 이 지진을 수원지진으로 명명하였다. 최근 기상청은 진앙을 북위 36.6°, 동경 127.9°, 규모 5.2로 보고한 바 있다.

한편 미국지질조사소에서 분석한 지진요소에 의하면 이 지진의 진앙지가 북위 36.49°, 동

경 127.88°이고 진원 깊이는 33 km이었다. 신문발표에 따르면 진앙에서의 진도는 JMA III(한국일보, 1978년 9월 17일) 또는 JMA III 이상(중앙일보, 1978년 9월 16일)이었으며, 심한 피해는 보고되지 않았다. 그러나 진동은 일본의 32곳의 지진관측소에 기록되었으며, JMA는 진원 깊이 50 km와 규모 5.0으로 계산하였다(참고문헌 199).

한국에서는 두 번의 충격이 느껴졌다. 첫 번째는 서울에서 오전 2시 7분 30초(한국시간)에 15초간, 두 번째는 오전 2시 11분 50초(한국시간)에 10초간 계속되었다. 광주에서는 첫 번째 충격은 오전 2시 7분 34초(한국시간)에 10초간, 두 번째는 오전 2시 11분 54초에 10초간 계속되었다. 두 번의 충격이 느껴진 기타 지역은 추풍령과 진주였다. 당일 충격은 한반도의 다른 지역에서도 느껴졌다.

지진의 규모가 1936년 지리산지진 및 1978년의 홍성지진의 규모와 유사한 크기를 갖는다는 것은 흥미로운 일이다. 그러나 이것을 JMA진도로 보았을 때에는 V 대신 III으로 훨씬 낮았다. 이것은 이 지진이 지리산지진이나 홍성지진보다 진원이 더욱 깊었고 더욱 중요한 것은 진원 위의 지면이 충적토가 아니라 화강암질 편마암이었기 때문이다(1:250,000 지질도, 서울판 : KIGAM, 1973).

2.5.2.1.4.4 홍성지진(1978년 10월 7일)

| 2

1978년 10월 7일 현지시간 오후 6시 21분에 충청남도 홍성 근처에 진앙을 갖는 매우 큰 지진이 발생하였다. 이 지진의 해석결과는 다음과 같다

가. 발생시각 (대략) : 1978년 10월 7일 현지시간 오후 6시 21분

Intentionally Blank

Intentionally Blank

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

- 나. 개략적인 진앙 : 36.62°N, 126.67°E
- 다. JMA진도 : V
- 라. MM진도 : VII
- 마. Tsuboi 규모(MTS) : 5.0
- 바. 진원 : 매우 얇음(약 10 km)
- 사. 지속시간 : 3분 9초

오후 6시 21분 12초부터 6시 22분 56.8초 사이에 11개소의 일본 지진관측소에서 홍성지역으로 추정되는 곳에서의 흔들림이 기록되었으며, 지면변위의 진폭은 $33\mu\text{m}$ 이하였다고 한다. 열한 군데의 지진관측소중 두 군데만이 S파가 기록되어(후쿠오카, 나가사키) 진앙 위치를 결정지 못했다. 기록시간과 감지보고에 따르면 기록된 진폭은 홍성에서 느껴진 흔들림으로부터라고 가정될 수 있을 뿐이었다. JMA에 의한 진폭자료로부터 크기를 결정해보면 Tsuboi규모 4.5라고 나타났다. Tsuboi규모의 계산방법은 Richter규모(ML)와는 다르지만 일본인들은 Richter의 표면파규모와 대략 같다고 생각한다(참고문헌 199). 그러나 미약한 진폭기록으로부터 산정된 것이기 때문에 최종적으로 규모 5.0으로 결정되었다.

비교적 낮은 규모에도 불구하고 홍성지진은 상당한 피해를 주었다. 과학기술처, 서울대학교, KIGAM 및 D'Appolonia를 포함한 여러 조사팀들이 지진의 결과와 국부적인 지면운동을 평가하기 위해 홍성지역을 방문하였다(참고문헌 200, 201, 202).

건물에 대한 피해는 인구 26,000명의 홍성읍에 국한되었으며 전체 복구비는 그 당시 금액으로 약 3억원(\$625,000)이상으로 추산되었다. 신문에 나타난 사항에 근거하여(참고문헌 203, 204) 지진피해는 주로 창문틀의 파손, 굴뚝의 붕괴, 벽의 균열 및 지내력이 약한 구조물의 붕괴에 국한되었다. 특별히 보고된 피해 내용은 다음과 같다.

- 가. 대단히 심한 손상은 홍성군청 청사건물로 열 곳에서 1~2cm에 이르는 균열과 대부분의 창문틀이 부서졌음
- 나. 홍성경찰서의 10m 높이의 굴뚝이 붕괴하였고 건물 벽에 금이 갔음
- 다. 한남 슈퍼마켓 천정의 일부분이 붕괴하였고 벽이 떨어졌으며, 유리병의 추락으로 인한 약간의 부상 발생
- 라. 문화재로 명명된 홍주성성벽 12m가 붕괴
- 마. 홍성군 오관리 가옥 한 채 파손
- 바. 홍성고등학교 창틀 파손

비록 적은 피해가 홍성에 널리 발생하였으나 인명 피해는 없었다. 홍성지진과 관련하여 특이한 한 가지 현상으로는 지면의 균열이었다. 지면, 집의 마루, 도로 및 흙에서의 균열이 보고되었다. 지면균열로서 특이하게 큰 것으로는 길이 20m, 폭 1cm의 것이 8m 너비의 도로에서 발견되었다(참고문헌 203).

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

진앙 부위에서 기타의 지면균열은 표 2.5-23에 표시되어 있으며, KIGAM 조사팀에 의하여 조사되었다. KIGAM 조사팀은 두 개의 균열을 찾아냈는데 하나는 군사기지에 있으며 길이 60 m, 폭 0.3 cm이었으며 또 하나는 길이 48 m, 최대 폭 2 cm의 것으로 운동장에서 발견되었다. 일반적으로 지면균열은 수직한 것이었으며 동-서 및 북-북서로 놓여 있었다. 지면균열은 인장 때문에 일어났으며 단층균열과는 관계없는 것으로 해석된다. 약간의 흙 붕괴사태도 일어났다. 지면균열은 주로 부드러운 흙에서 나타났으며 건물의 균열 및 손상은 철근을 사용하지 않았거나 단단히 지어지지 않은 건물에서 일어났다. 많은 수의 잘 지어지지 못한 시골 건물들이 홍성지역에 존재하며 대부분이 약간의 손상을 입었다.

홍성지역을 방문한 KIGAM 과학자를 포함한 조사팀은 홍성지진 진앙지에서 지표면 피해를 감안하여 진도를 JMA V라고 분류하였다. JMA진도 V는 다음의 영향을 나타낸다.

“대단히 강함. 벽에 있어서 균열, 묘비, 석등의 전도, 굴뚝 및 진흙-석고 웨어 하우스에 대한 손상”

균열의 발생, 굴뚝 및 불량건물에 대한 손상에 근거하여 볼 때 홍성지진 영향은 JMA진도 V의 설명과 일치한다. 지진의 지표면 영향을 MM단위나 이와 상응한 MSK단위로 정의하는 것은 유용한 일이다. 홍성에서의 대표적인 건물들이 일반적인 건축구조와 모르타르를 갖는 것으로 분류된다고 한다면(Masonry C, 표 2.5-21), MM진도 VII은 홍성에서 보도된 지붕 끝에 있는 약한 굴뚝의 파손, 건물에서의 균열, 창문 파손 및 미소한 경사면 붕괴 등으로 설명된다.

지면균열은 MM VII의 설명에서 언급되지 않았으나 VIII에는 포함된다는 것에 주의를 요한다. 그러나 지면균열은 MM VI과 동등한(표 2.5-21) MSK VI진도(표 2.5-22)에서 언급된다. 사실상 홍성지진의 지표면 영향은 MM이나 MSK진도 VI에 의하여 주로 설명될 수 있다. 그러나 도로의 균열과 홍성군청 건물의 심각한 균열은 최대 MM 혹은 MSK진도 VI을 약간 초과할 수도 있다는 것을 제시한다. 그럼에도 불구하고 MM 혹은 MSK진도 VIII은 너무 높을 것이다. 왜냐하면 일반적으로 잘 지어진 건물의 부분적인 붕괴나 잘 지어지지 못한 구조물의 심각한 손상은 홍성지진의 기본적인 특성이 아니었기 때문이다. 그러므로 MM 혹은 MSK진도 VII은 홍성지진의 지표면 피해를 적절하게 그리고 보수적으로 설명한다.

홍성지진은 진앙으로부터 거리에 다른 급격한 진도의 감쇠를 보여 주었다. 서울대학교의 정봉일 박사를 단장으로 한 과학기술처 조사팀의 보고에 의하면(참고문헌 203), 최대 JMA진도 V가 홍성군청 건물의 단지 반경 500 m 내에서 기록되었다. 이 지역 밖에서의 진도는 JMA진도 III보다 크지 않았다. 특히 홍성으로부터 20 km 떨어진 서산군 고북면에서는 어떠한 손상도 없었다. 조동행 박사를 단장으로 한 KIGAM 조사팀도 역시 지진

이 급격한 감쇠를 보였다고 했으며 많은 구역에서 JMA진도를 기입하여 등진도도를 작성하였다(그림 2.5-224). 홍성지진과 기타 한국 및 일본에서의 지진 간의 JMA진도에 있어서 감쇠의 비교는 그림 2.5-225에 보여준다(참고문헌 205). KIGAM으로부터의 자료는 과학기술처에 의하여 조사된 것 보다 감쇠가 적게 나타났지만 감쇠정도는 역시 한국 지진에 대하여 보통 대표적이라고 생각될 수 있는 것 보다는 훨씬 컸다.

계측에 의한 자료가 미비한 곳에서의 지진의 진도감쇠 특성은 진원 깊이를 산정하기 위하여 사용될 수 있다. Sponheuer(참고문헌 206)는 국부적인 지리적 단위의 흡수 특성과 관련한 다른 인자들의 값에 대하여 진도 감쇠와 진앙 깊이를 관련짓는 곡선을 발표하였다. 심지어 가장 급속한 지면운동 감쇠의 흡수계수 특성을 가정하여 Sponheuer의 관계를 사용하면 홍성지진의 진원심도는 대단히 얕으며 10 km 이내의 깊이를 갖는 것으로 유도된다. 이는 천발지진의 경우 작은 규모의 지진이 좁은 지역 내 지표면에 얼마나 심한 영향을 줄 수 있는가를 설명해 준다. 현장관측 및 제한된 계측자료에 근거하여 홍성지진은 규모 5.0을 갖는 매우 얕은 천발지진(약 10 km)이었던 것으로 해석된다. 그 지진은 MM진도 VII 이하에 해당하는 JMA V 정도의 표면효과를 나타내었다.

2.5.2.1.4.5 영월지진 (1996년 12월 13일)

| 2

1996년 12월 13일 13시 10분 17.3초에 영월 북동부에서 발생한 지진은 천발지진으로서 감진구역이 남한 전역에 이르렀다. 기상청은 영월지진의 규모를 4.5, 진앙지를 북위 37.2°, 동경 128.8°로 발표하였으나 학자나 연구기관에 따라 진앙위치와 진원 깊이가 약간의 차이를 보이고 있다. 한국자원연구소가 경상남북도를 중심으로 운영중인 미지진관측망에서 획득한 자료를 이용하여 재결정한 결과는, 발생시각 13시 10분 16.99초, 진앙위치 북위 37.311°, 동경 128.778°, 진앙깊이 15.3 km이다(참고문헌 207). 경제부 교수 외 2인은 기상청(11지점), IRIS 인천관측점, 한국교원대학교 관측망(2지점)의 기록을 기초로 하여, 발생시각 13시 10분 17.17초, 진앙위치 북위 37°15.75', 동경 128°42.13', 진원 깊이 8 km로 결정하였다(참고문헌 208).

이 지진은 1978년 홍성지진(규모 5.0) 이후 휴식기에 들어간 남한 내륙지방에서 처음 발생한 중규모 지진으로서 발생이후 상당기간 여진활동이 지속되었으며 규모 2.5 이상의 여진이 5회 관측되었다. 기상청은 “이번 지진이 발생한 직후 지역에 따라 5~10초간 지반 진동이 계속되었으며, 제주도를 포함한 전국에서 진동이 감지됐다. 또한 지진감지 범위는 반경 450 km 정도로서 상대적으로 넓은 편이었다.”고 밝혔다.

이날 지진은 특히 서울-경기 등 수도권지역에서 창문이 흔들리고 정밀기계 작업을 할 수 없을 정도로 심하게 느껴졌고 한국자원연구소는 첫 번째 진동 이후 17분 뒤인 오후 1시 27분에 규모 3.0의 여진이 한 차례 관측됐다고 전했다. 14일 오후 3시 17분쯤 강원도 영월 동쪽 약 20 km 지점에서 영월지진의 여진으로 여겨지는 규모 2.7의 지진이 발생하여 약 2초간 지속되었고, 영월일대에서 정지하고 있는 사람이 흔들림을 느낄 수 있는 정도로

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

피해사항은 보고되지 않았다. 15일 오후 4시 20분쯤 동일지역에서 규모 2.5의 지진이 발생하였다. 진동시간은 약 1초 가량으로 매우 순간적이었고 일부 민감한 사람들이 창문이나 몸이 약간 흔들리는 것을 느낄 정도의 미진이었다. 그 후 18일과 21일 동일지역 부근에서 각각 규모 2.7, 2.8의 여진이 발생하였으며 14, 15일 발생한 여진과 동일하게 MM진도 II로 평가되었다.

영월지진에 대한 피해조사 및 진도분석이 각각 한국지진공학회 현장조사단 9명(참고문헌 209), 조봉곤 외 4명(참고문헌 210)과 경재복·이기화(참고문헌 211)에 의해 이루어져 발표되었다. 특별히 보고된 피해조사 결과는 다음과 같다.

- 가. 영월읍 내성초등학교의 보와 벽체사이에 미세균열 발생
- 나. 중동면 석항리 연산초등학교의 교실 벽 수십 군데 균열 발생, 천장보드가 어긋나거나 떨어지고 지구본이 떨어짐
- 다. 석항우체국의 금고 벽체에 균열 발생, 화장실 타일 1개 파손
- 라. 석항리 농협연쇄점 창문의 대형 유리에 금이 가고 물건이 떨어짐
- 마. 중동면 석항출장소의 벽에 세로로 균열이 발생(주로 모서리 부분)
- 바. 석항리 민가 가옥의 블록 벽에 균열이 발생하고(10~20 cm) 연탄이 무너지고 지붕 위의 용마루가 떨어짐. 흙벽 외벽이 떨어짐
- 사. 중동면 외룡리 민가의 연탄이 무너지고 옥동천변 자갈층이 3m 정도 무너지면서 먼지가 솟아오름
- 아. 중동면 옥동초등학교 내, 외벽에 가로 균열, 교실 골조이음새에 세로 균열, 신관 및 구관 이음새에 균열 발생

한국지진공학회 현장조사단에 의하면 영월지진에 의한 중대한 구조적 피해는 발생되지 않았으며 피해는 주로 벽돌 벽의 균열이거나 벽돌 벽과 철근콘크리트 골조의 경계에서 발생한 균열 또는 마감재의 균열 등이었다. 또한 이들 피해가 시공, 관리상태가 부실한 구조물에 이미 발생하여 있던 균열이 지진의 영향을 받아서 피해가 증폭된 것으로 평가하였다.

진도평가 결과 남한 전역에서 감지되었으며 특히 일부지역(전남 해안지역)을 제외하고 MM진도 III~VII을 나타낼 정도로 감진구역이 컸다. 그러나 진앙지의 동부 및 북동부에 위치한 강릉, 주문진, 양양, 속초, 고성 등지는 진앙으로부터 가까우면서도 상대적으로 내륙 지역에 비해 거리에 따라 낮은 진도분포를 보인다. 지진동의 감지는 저층보다 고층으로 올라갈수록 감진정도가 컸으며 저층과 고층(5층 이상)의 감진정도는 MM진도로 약 1 정도 차이가 발생하였다. 진동의 대부분은 진앙 주위 지역에서 수직 및 수평진동을 느꼈으나 멀어질수록 주로 수평진동을 느꼈다. 또한 실내와 실외를 비교할 때 실내에서 많은 사람들에게 의해 민감하게 잘 느껴졌으며 동일지역에서도 실외에 있는 사람은 느끼지 못한 경우가 많았다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

경제복과 이기화(참고문헌 211)가 발표한 등진도도(그림 2.5-226)에서 최대 진도계급은 진양부근에서 VII을 나타내며 남한의 육지 전 지역에서 전남의 일부 해안지역을 제외하고 진도 III 이상이며 제주도 II, 울릉도 I를 나타낸다(참고문헌 211). 등진도도의 분포양상을 보면 진양근처에서 NE-SW 방향으로 신장되어 나타난다. 또한 전체적으로 진양의 남부로는 비교적 먼 곳까지 감진구역이 신장되어 나타나는 경향을 보이거나 진양의 북동부로 갈수록 거리에 따라 빠른 진도 감쇠를 나타내는 경향을 보인다. 감진구역 면적은 한반도에서 발생한 유사한 규모($M=5.0$)의 쌍계사지진이나 홍성지진의 감진면적에 비해 크게 나타난다. 이는 규모 평가 시 영월지진의 규모가 실제 규모보다 낮게 평가되었을 가능성을 내포하고 있다.

박창업 외에 의해서 영월지진의 진원요소가 연구되었다(참고문헌 212). 9개의 기상청 관측망기록, 10개의 한국자원연구소 관측망기록, 8개의 KSRS 관측망기록과 일본에서 기록된 5개의 기록을 이용하여 격자시험을 실시한 결과, 영월지진은 주향이 약 170도에서 200도, 경사가 약 50도 내외인 면과 주향이 약 290도에서 300도, 경사가 약 60도 내외인 면으로 이루어진 이중우력(double couple)에 의한 것으로 나타났다. 이에 관련된 응력은 북동과 남서 방향으로서는 압축응력이 그리고 남동과 북서 방향으로서는 인장응력이 작용한 것으로 생각된다. 이 응력에 의해 단층은 약간의 드리프트 운동이 포함된 주향이동을 이룬다고 결론지었다. 이 결과에 의해 한반도에서의 주 압축응력 방향이 동북동 방향에서 서남서 방향으로 중국 동부와 유사하고, 판구조론적 관점에서 태평양판이나 필리핀판 보다는 남서쪽에서 충돌하는 인도판의 활동과 더 연관이 큰 것으로 해석하였다.

영월지진 진양지 지역의 지질구조는 대보조산운동 및 불국사조산운동의 영향을 받았다. 영월지진 진양지역에는 각동드리스트를 비롯한 고성드리스트, 신동드리스트, 가사리드리스트, 함백드리스트, 단곡단층, 무릉단층 및 사북단층 등의 지질구조가 발달되어 있다. 이들 드리스트단층 중 고성, 신동, 함백드리스트 등은 김정환 외(참고문헌 213, 214)에 의해 명명되었으며 무릉단층은 김정환과 최원학(참고문헌 215)에 의해 명명되었고 나머지는 태백산지구 지하자원조사단(참고문헌 216)에 의해 명명된 단층들이다.

가사리드리스트의 서측에 발달한 드리스트 단층운동은 반송층 퇴적 이후 즉, 유라기 대보조산운동 시에 일어났으며, 드리스트판들은 북서 방향에서 북동 방향으로 이동하였다. 반면 가사리드리스트의 동측에 발달한 단층들은 백악기 말의 동-서 방향의 드리스트운동에 의하여 발달한 단층들로서 이 드리스트운동은 북에서 남으로 이동하였으며(참고문헌 217), 이와 동시에 남-북 방향의 단층운동이 있었다. 단층들은 우수주향이동단층으로 단층 동편에 강한 끌림습곡(drag fold)을 형성시켰다.

영월지진의 진양지역은 조선누층군, 평안누층군의 퇴적암이 분포하는 지역으로 대보조산운동에 의한 북동-남서 방향의 드리스트단층 및 불국사조산운동에 의한 동-서 방향의 드리스트단층과 이와 관련한 남-북 방향의 주향이동단층이 발달되어 있다. 박창업 외(참고문헌 212)에 의해 수행된 지진원 연구 결과 영월지진은 북동-남서 혹은 남동-북서 방향

의 드리프트운동이 포함된 주향이동 단층운동에 의해 발생한 것으로 밝혀졌으며 이는 앞서 기술한 진앙지 주변의 단층들의 방향성과 유사하다. 하지만 연구에 활용가능한 양질의 지진자료의 부족으로 인해 계산된 진앙 및 진원깊이의 정확도가 떨어지므로 진앙 주위의 단층들과 지진이 발생한 지하 심부에 존재하는 진원에서의 응력상태 및 지질구조와의 관련성을 규명하기에 어려움이 있다.

2.5.2.1.4.6 울진해역지진(2004년 5월 29일)

| 2

2004년 5월 29일 19시 14분 24초 울진에서 동남동으로 약 60 km 지점의 해상에서 규모 5.2의 지진이 발생하였다. 이 지진은 우리나라에서 지진관측이 시작된 이후 한반도 남부 일대에서 발생한 가장 큰 규모의 지진으로 알려져 있다. 이 지진에 대하여 기상청에서는 5.2, 지질자원연구원에서는 5.1로 크기를 평가하였으며 미국지질조사소(USGS)의 모멘트 규모(Mw)는 5.1이다. 지질자원연구원에서는 진앙위치를 동경 130.0751°, 북위 36.6572°로 평가하였는데 Kang and Baag(참고문헌 218)는 Pn파 관측기록을 분석하여 진앙을 동경 130.0538°, 북위 36.6263°로, Kim et al.(참고문헌 219)는 Double Difference 방법을 이용해 진앙을 동경 130.0890°, 북위 36.6687°로 계산하였다. 이 진앙위치는 동해의 대륙붕에서 대륙사면이 시작되는 전이지대이다. 아래에 울진해역지진에 대한 각 기관의 관측 결과를 정리하였다(참고문헌 220).

기관	진앙위치		깊이(km)	진원시간 (GMT)	규모
	위도(°)	경도(°)			
KIGAM	36.6572	130.0751	3.7	2004/5/29 10:14:24.65	5.1 ML
KMA	36.8	130.2	-	2004/5/29 10:14:24	5.2 ML
USGS	36.670	129.944	17	2004/5/29 10:14:26.70	5.1 Mw
JMA	36.37	130.19	18	2004/5/29 10:14	5.2 ML
HMT	36.71	129.92	12	2004/5/29 10:14:30.0	5.1 Mw

이 지진은 21세기 들어 남한 내륙지방 및 인근 해역에서 발생한 지진 중 가장 큰 규모의 지진으로서 발생 이후 규모 2.0 이상의 여진이 3회 관측되었고 이 지진에 의해 유발된 것으로 보이는 규모 2.5 및 3.5의 다른 지진이 인근에서 발생한 것이 관측되었다(참고문헌 218, 219).

기상청의 진도평가 결과 이 지진은 남한의 거의 전역에서 감지되었으며, 특히 일부지역(전남 해안지역)을 제외하고 MM 진도 II~V를 나타낼 정도로 감진구역이 컸다. 기상청이 발표한 등진도도(그림 2.5-227)에서 최대 진도계급은 울진부근에서 V를 나타내며 남한의 육지 전 지역에서 전남의 일부 해안지역을 제외하고 진도 II 이상을 나타낸다. 다

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

음은 진도계급과 감지범위 및 피해상황을 기상청이 발표한 사항이다.

- 가. V : 울진
- 나. IV : 삼척, 태백, 안동, 의성, 포항, 울릉도, 대구
- 다. III : 강릉, 추풍령, 울산 등 감지범위 약 160 km
- 라. II : 강원일대, 서울, 경기, 전남, 전북, 충남, 충북 일대, 경남 일대 등 감지범위 약 410 km

또한 기상청에 의해 특별히 보고된 피해조사 결과는 다음과 같다.

- 가. 울진 : 건물이 심하게 흔들림, 거의 모든 사람이 진동을 느끼고 대피한 곳이 있음
- 나. 삼척, 태백, 포항 : 건물이 흔들림(5층 아파트, 낮은 주택), 사람이 진동을 느껴 울렁거림
- 다. 안동 : 건물과 바닥이 심하게 흔들림
- 라. 대구, 의성 : 건물과 창문, 집기가 흔들림, 액자가 떨어짐, 서 있는 사람이 진동을 느낌
- 마. 강릉 : 건물이 흔들림(아파트, 낮은 주택), 침대 등 가구 흔들림, 그릇 속의 물이 흔들림, 많은 사람이 진동을 느끼고 고층건물에서는 어지러움을 느낌
- 바. 추풍령 : 건물이 약간 흔들림
- 사. 울산 : 고층아파트가 흔들림
- 아. 강원일대 : 땅이 흔들릴 정도의 진동, 화분이 흔들림, 책상이 약간 흔들림(영월, 대관령, 속초, 춘천, 원주)
- 자. 서울 : 컴퓨터 의자에서 작업 중 흔들림을 느낌. 건물이 약간 흔들림
- 차. 경기도 : 고층건물에서 흔들림을 느낌(5층, 7층, 12층), 집기가 약간 흔들림(고양, 안양, 안산, 시흥, 인천, 수원, 평택, 군포, 송탄, 평촌, 이천, 양평, 의정부, 동두천)
- 카. 전남 : 창문이 약간 흔들리고 의자가 흔들림, 아파트에서 진동을 느꼈음(광주, 목포, 여수, 해남)
- 타. 전북 : 건물이 흔들리고, 탁자위의 집기가 흔들림, 집과 침대가 흔들림(전주, 익산)
- 파. 경북 : 3층 건물이 흔들림, 액자가 떨어짐(경주, 경산, 칠곡, 영천, 구미)
- 하. 충남, 충북 일대 : 창문 및 모니터가 약하게 흔들리는 정도 감지, 고층아파트의 장롱이 흔들림
- 거. 경남 일대 : 아파트와 가구가 흔들림(부산, 진주, 영주, 상주, 봉화, 통영)

울진해역지진의 진원 깊이는 지질자원연구원의 초기분석에서는 약 4 km로 평가한 반면에 국외 여러 기관에서 분석한 결과에서는 10 km 이상으로 나타났다. 그런데 Kang and Baag(참고문헌 218)의 Pn과 sPn의 도달시간차를 이용한 진원 깊이 평가에서는 17.7 km,

Kim et al.(참고문헌 219)의 과형역산을 이용한 단층면해 분석에서는 약 10 km의 진원깊이가 도출되었다. 이로 미루어 보아 울진해역지진의 진원 깊이는 대략 15 km 이상 비교적 지각 심부에 진원 위치가 존재하는 것으로 생각할 수 있다. 울진해역지진의 깊은 진원 위치는 이 지진이 규모에 비하여 주변에서 관측된 지반가속도운동 값이 예측된 값보다 작게 관측된 원인이 되기도 한다.

발진기구 계산에서 울진해역지진은 거의 남북방향 단층이 역단층 운동(단층 이동각 : 약 78~107°)으로 발생한 것으로 보인다(참고문헌 218, 219). 그림 2.5-228은 각 기관에서 해석한 단층해 분석 결과이다. 그림에서 지질자원연구원의 단층해 분석결과가 HMT 결과와는 유사하나 USGS나 JMA 결과와 다른 것은 사용된 자료의 차이에 기인한다. USGS 단층해는 5개 관측소의 장주기 원거리 지진기록으로부터 구해진 것으로 이 해는 국내관측소에서 관측된 P파의 초동해석 분포를 일부 만족하지 못하는 해이다(참고문헌 220).

내륙에서 관측된 울진해역지진의 최대가속도 값은 진앙에서 남서 방향으로 90 km 지점의 포항관측소의 0.0262 g이며 가장 인접한 진앙거리 58 km의 KINS 울진관측소(UCN)에서 최대지반가속도 값은 0.016 g 정도이다(참고문헌 218).

2.5.2.1.4.7 오대산지진 (2007년 1월 20일)

| 2

2007년 1월 20일 강원도 평창군 진부면 일대에서 발생한 오대산지진(ML=4.8)(그림 2.5-229)(참고문헌 221)은 1996년 12월 13일 영월지진(ML=4.5)과 더불어 역사적으로 한반도에서 지진활동 빈도가 높지 않은 지역에서 발생한 대표적인 중규모 지진이다. 오대산지진은 그 규모가 파괴적이지는 않지만 남한 남부의 일부를 제외한 대부분의 남한지역에서 감지되었다.

본진(main shock)의 진앙위치는 각 기관에 따라 차이를 보인다(참고문헌 222). 기상청(KMA)과 한국지질자원연구원(KIGAM)이 결정한 진앙 위치 차는 약 2 km 이내이다. 그러나 미국지질조사국(USGS)의 결정 진앙은 KMA 및 KIGAM 결정 진앙과 남서서 방향으로 약 10 km 떨어져 나타나 상당한 차이를 보인다.

기관	진앙위치		깊이(km)	진원시간 (GMT)	규모
	위도(°)	경도(°)			
KIGAM	37.69	128.58	13.1	2007/1/20 20:56:53	4.9 ML
KMA	37.68	128.59	10	2007/1/20 20:56:51	4.8 ML
USGS	37.64	128.47	10	2007/1/20 20:58:54	4.4 Mw

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

진앙의 결정은 계산에 사용된 지진자료가 진앙을 중심으로 모든 방향으로 고르게 분포하는 정도에 크게 영향을 받으므로 원거리 관측망자료만을 이용해 진앙을 구한 USGS의 결정진앙보다는 방대한 근거리 국지 관측망자료를 이용한 KMA와 KIGAM의 진앙위치가 더 신뢰도가 높은 것으로 판단된다. Double Difference법을 이용한 상세 진앙결정 결과도 KMA와 KIGAM의 발표와 매우 유사하다(참고문헌 223). 본진의 진원깊이도 발표 기관 및 결정방법에 따라 약간의 차이가 있지만 10~13 km 정도로 지각의 얇은 깊이에서 발생한 천발지진이다(참고문헌 222, 223).

KMA 및 KIGAM은 전진(foreshock)의 경우 본진이 발생하기 하루 전 1회, 여진(aftershock)은 당일 3회, 익일 1회만이 발생하였다고 보고하였다. 그러나 W. Y. Kim은 진앙과 가장 가까운 DGY 관측소의 지진자료를 면밀히 조사한 후 45개의 전진과 90개의 후진 기록을 찾아내었으며 P파 및 S파의 위상 구분이 가능한 18개(전진 및 여진 각 9개씩) 지진의 진앙을 결정하였다(참고문헌 223). 이는 지금까지 한반도에서 보고된 지진기록 중 가장 지진발생 횟수가 많은 군집지진 기록이다.

기상청의 진도평가 결과 이 지진은 남한의 거의 전역에서 감지되었으며, 영광, 진도 등 전남 해안지역을 제외하고 MM 진도 II~VI를 나타낼 정도로 감진구역이 컸다. 다음은 경제복 외 및 기상청이 발표한 진도계급과 감지범위이다(참고문헌 222).

- 가. VI : 진부, 황계, 평창, 강릉, 오대산, 대관령 등
- 나. V : 양양, 정선, 영월, 태백, 제천, 단양, 원주, 춘천 등
- 다. IV : 속초, 고성, 간성, 포천, 의정부, 청주, 충주, 제천 등
- 라. III : 연천, 파주 동두천, 서울, 인천, 평택, 천안, 서산, 대구, 영천 등
- 마. II : 홍성, 공주, 김제, 광주, 목포, 순천, 부산, 울산, 거창 등

또한 기상청에 의해 조사·발표된 피해상황은 다음과 같다.

가. 경기도 동부 및 강원도

- 1) 강릉, 평창 : 거의 모든 사람이 느낌. 건물이 심하게 흔들리고, 액자가 떨어짐
짐 장식장 물건 파손, 일부 가구 및 유리창 파손, 식탁의 그릇이 떨어짐
- 2) 속초: 창문이 많이 흔들림
- 3) 춘천 : 2초 정도의 진동을 느낌, 건물이 흔들림
- 4) 원주, 태백, 삼척 : 건물 전체가 흔들리고 모니터가 흔들림
- 5) 영월 : 영월 기상대에서 5초 정도 진동을 감지, 건물이 흔들림
- 6) 철원 : 2초 정도의 진동, 가옥이 흔들림
- 7) 용인, 여주, 양평 : 주로 고층건물이 흔들리거나, 가구가 흔들리는 정도

나. 경기도 서부

- 1) 파주, 양주, 안양, 고양, 수원 : 주로 고층건물에서 건물이 흔들리거나, 가구가 흔들림을 느낌

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

- 2) 문산 : 문산 기상대에서 5초 정도 진동을 느끼고 문이 약간 흔들림을 느낌
- 다. 충청북도 북부
- 1) 청주 : 5초 정도 흔들림을 느낌. 아파트/주택이 흔들리거나 화분, 액자가 흔들림
- 2) 충주 : 충주기상대 건물과 가구가 3초 정도 흔들림
- 라. 충청북도 남부
- 1) 보은, 제천, 단양, 충주, 진천 : 아파트와 주택이 흔들리거나 화분, 액자가 흔들림
- 2) 추풍령 : 추풍령 기상대 건물이 4초 정도 흔들림
- 3) 영동, 옥천 : 아파트와 주택이 흔들리는 정도의 흔들림
- 마. 충청남도
- 1) 대전 : 대전지방기상청에서 3초 정도 흔들림을 감지
- 2) 청주, 충주, 추풍령, 인천, 문산, 수원, 동두천 : 약한 진동을 느낌
- 바. 경상북도 북부
- 1) 안동, 영주, 봉화, 의성 : 건물의 창문과 벽이 많이 흔들림
- 2) 상주 : 상주기상대에서 3초 정도 책상이 흔들림, 아파트 건물, 주택이 많이 흔들림, 소파가 흔들림
- 3) 울진 : 울진기상대 건물이 5초간 흔들렸고, 건물이 흔들림
- 4) 서울 : 아파트, 주택이 흔들림, 침대가 많이 흔들림. 창문이 흔들림
- 사. 경상북도 남부
- 1) 포항, 경주 : 아파트 흔들림
- 2) 구미, 칠곡, 성주, 경산, 김천, 성산, 영천 : 건물이 흔들리거나 가구가 흔들리는 정도
- 3) 대구 : 아파트 흔들림, 침대 흔들림, 옷걸이에 옷이 흔들림
- 아. 경상남도
- 1) 마산 : 창문이 흔들림
- 2) 통영 : 약한 진동이 있었음
- 3) 부산, 울산, 진주 : 3초 정도의 진동을 느낌, 집이 흔들림
- 4) 거창 : 유리창이 흔들리는 정도, 몸이 흔들림
- 자. 전라북도
- 1) 전주에서 화분이 흔들리는 정도, 큰 차가 지나가는 정도의 진동을 느낌
- 차. 전라남도
- 1) 광주 : 옷걸이 행거가 흔들리고 약간의 어지럼증을 느낌, 집이 약간 흔들림
- 2) 여수, 순천 : 건물이 흔들리는 정도의 미세진동
- 3) 영광 : 약한 진동느낌
- 4) 목포 : 아파트 건물이 흔들리는 느낌, 커튼이 흔들림

지진발진기구 해석에 의하면 본진의 단층면해는 북북동-남남서 혹은 서북서-동남동 방향의 주향이동 단층 운동으로 밝혀졌으며(참고문헌 221, 222), P파 초동 및 SH/P 진폭비를

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

이용하여 구한 2개의 여진의 단층면해는 북북동-남남서 혹은 서북서-동남동 방향의 주향을 가진 역단층 운동이 우세하게 나타났다(참고문헌 222). 이 중 북북동-남남서 방향은 이 지역의 주요 선구조 방향이며 진앙의 최근거리에 위치한 월정사 단층의 주향과도 일치하는 결과이다.

연관회(참고문헌 224)는 오대산지진의 진앙에서 가장 가까이 위치한 DGY(대관령) 관측소의 비이상적으로 높은 PGA 값을 해석하기 위해 오대산 지진의 단층파열방향성(unilateral rupture directivity) 연구를 수행하여 오대산지진은 서북서-남동남 방향의 북쪽 고정사를 갖는 단층면상에서 남동 방향을 따라 거의 수직하게 지표면으로 빠르게 진행된 단층파열운동에 의해 발생하였음을 밝혀내었다. 한편, W. Y. Kim은 Double Difference법을 이용해 총 135개의 전진 및 여진 자료 중 진앙결정이 가능한 18개(전진 9개, 여진 9개)의 상세 진앙을 결정하였다. 결정된 진앙위치들을 지도에 도시한 결과 전진의 경우 대부분 본진의 동남쪽에 군집형태로 위치하였으며 여진들의 경우 약 1.2km 정도의 서북서-동남동 방향의 선상에 분산되어 위치하였다(그림 2.5-230)(참고문헌 223).

연관회(참고문헌 224) 및 W. Y. Kim(참고문헌 223)의 연구결과로 미루어 볼 때 오대산 지진은 서북서-동남동 방향의 주향을 가진 좌수향 주향이동 단층운동의 결과로 발생한 것으로 보는 것이 타당하며 진앙지 인근 지표에 주로 존재하는 북북동-남남서 방향의 지질단층과의 관련성은 미약한 것으로 판단된다.

관측된 오대산지진의 최대가속도 값은 진앙에서 가장 가까이 위치한 DGY(대관령)관측소의 0.157 g이다. TOH(동해), DDC(동두천), BUY(보령)관측소에서는 같은 진앙거리의 다른 관측소들에 비해 높은 가속도 값이 관측 되었다(그림 2.5-229)(참고문헌 221).

2.5.2.1.5 기타 주요 지진

최근에 인명피해는 없었으나 건물이나 창문 등이 흔들리고 심한 진동이 감지된 지진이 수차례 발생하였다. 대표적인 지진으로 MM진도 III 이상의 진동이 감지된 지진은 홍도해역지진(2003년 3월 23일 발생, 규모 4.9) 및 백령도해역지진(2003년 3월 30일 발생, 규모 5.0)과 일본 근해에서 발생한 후쿠오카해역지진(2005년 3월 20일 발생, 규모 7.0)이다.

홍도해역지진은 2003년 3월 23일 05시 38분 41.0초 전남 홍도 북서쪽 약 50 km 해역에서 발생하였다. 감지범위가 약 400 km에 달하는 등 넓은 지역에서 진동을 느꼈으며 최대진도계급은 흑산도와 목포지역에서 MM진도 IV를 나타내며, 광주 및 여수를 포함한 감지범위 약 280 km 지역에서 진도 III, 서울, 인천을 포함한 감지범위 약 400 km 지역에서 진도 II를 나타낸다.

백령도해역지진은 2003년 3월 30일 20시 10분 52.8초 인천광역시 백령도 서남서쪽 약 80 km 해역에서 발생하였으며, 인근 백령도에서는 창문이 심하게 흔들리는 등(MM 진도

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

IV)의 규모 5.0 지진이다. 감지범위가 홍도해역지진과 비슷한 약 400 km의 감지범위를 보인다. 서울, 대전 등 감지범위 약 350 km 지역에서 창문과 침대가 흔들리는 진도 II를 나타내고, 광주, 전주를 포함한 감지범위 약 400 km 지역에서 진도 I를 나타낸다. 이들 지진은 인명 상해나 건물 손괴 등의 피해가 없었으며 부지지역에는 진동이 감지되지 않았다.

일본 근해에서 발생한 후쿠오카해역지진은 진앙거리가 약 190 km 이상 떨어져 있음에도 불구하고 부산을 포함한 경상남도 남동부에 고층 아파트 내의 화분이 바닥에 떨어지고 주민들이 공포를 느껴 대피하는 등 비교적 큰 진동이 나타났다. 기상청이 평가한 진도는 경상남도 남동부 및 경상북도 동부 일부에서 최대진도 IV를 나타내고 경상남북도 서부, 전라남북도, 충청남북도, 제주도에서 진도 III, 서울, 경기도 및 강원도 남부지역에서 진도 II를 나타낸다.

최인길 등(참고문헌 225)은 후쿠오카지진은 일본 내에서도 상대적으로 지진활동도가 낮으며 대규모지진의 발생확률이 낮은 지역에서 발생하였으며 여진의 진앙분포와 진원 메카니즘 결과로부터 동서방향의 압축응력이 작용한 좌수향 주향이동단층 운동과 관련된 것으로 판단하였다. 또한 이 지진의 여진분포지역이 후쿠오카시의 직하를 가로지르는 경고단층의 방향과 유사하고, 본진 발생 후 1개월 후에 발생한 최대 여진(M=5.7)군의 진앙분포가 경고단층의 주향과 거의 일치하므로 경고단층과 관련된 해저활성단층에서 지진이 발생하였을 가능성이 있음을 주장하였다. 한편, 가속도지진계에 의한 최대수평가속도 값의 분포(그림 2.5-231)는 부산 일대에서 1%g 정도로 분석되었으며 내륙으로 갈수록 점차 감소하여 서울, 경기도, 충청남북도 일대에서는 0.2%g 이하로 나타났다. 여기서 특기할 사항은 울산에서 포항에 이르기까지 동해안을 따라 수평가속도 값의 급격한 감소현상이다. 이는 일대에 분포하는 제 3기 암석의 분포와 지역적인 지진과 감쇠특성과 깊은 관계가 있을 것으로 추정된다.

기타 주요 지진은 일본 근해와 중국 본토에서 일어났다. 지체구조학적으로나 지형학적으로 볼 때 이들 진앙은 부지로부터 너무 멀리 떨어져 있어 부지에 영향을 주지 않는다. 따라서 한반도는 지판 하강 및 일본 동쪽구조와 관련된 지진활동의 영향을 받지 않으며 중국 동부의 활성지역과는 몇 개의 지체구조구를 사이에 두고 떨어져 있기 때문에 일본이나 중국에서 발생한 주요 지진을 신고리 5,6호기 내진설계의 주요 인자로 고려하지 않아도 된다.

20세기 들어서 한반도 고기평탄면으로 명명된 지체구조구와 일본분지 내에 진원이 위치한 큰 규모의 심해지진이 여러 번 있었으며 규모 및 심도는 아래의 표와 같다. 이들이 한반도 근처의 태평양 및 아시아 판구조 경계를 따라 형성된 것으로 이들 지진은 이웃나라에서도 느껴질 만큼의 에너지를 갖고 있었다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

날 짜	진원심도(km)	규모
1908. 4. 19	480	6.9
1935. 5. 31	450	6.5
1949. 4. 5	580	6.7
1950. 5. 17	580	6.7
1973. 9. 29	567	6.3
1975. 6. 29	549	6.1
1979. 8. 16	566	6.0

2.5.2.1.6 과거 지진에 의한 부지의 영향

본 부지는 유사 이래 고 진도의 지진이 발생하지 않았으며, 정밀 지표지질조사 및 절대연대 측정결과 부지반경 8km 내에는 활동성단층이 존재하지 않는 것으로 나타났다. 또한 주요 구조물 기초하부는 연암 이상의 견고한 암반 위에 위치하며 기초지반 설계시 지진에 의한 지반토양의 위험성은 없는 것으로 판단되며 지진의 가속도, 규모, 진도 사이의 관계는 2.5.2.6항에 기술되어 있다.

2.5.2.2 지질구조 및 지체구조 활동

2.5.2.2.1 지체구조

광역변성작용, 해저확장, 대륙이동, 열흐름, 자기이상, 큰 규모의 구조형성, 마그마작용, 지진활동 및 주요 구조활동은 Dietz(참고문헌 226), Hess(참고문헌 227), Dietz와 Holden(참고문헌 228), Dewey와 Bird(참고문헌 229) 등이 제시한 대로 대규모 지구조판 사이의 상대적인 이동 결과로 생각된다. 한반도에서의 판구조론에 대해서는 Lee(참고문헌 230), Uyeda와 Miyashiro(참고문헌 231), Sugimura와 Uyeda(참고문헌 232) 등에 의해 연구되었다.

판 이동은 일본열도계통의 형성과(참고문헌 228) 일본열도의 회전, 동해와 필리핀해 형성(참고문헌 231), 열흐름 패턴과 화산의 분포, 판 경계와 관련된 양상에 따르는 진원과 진앙의 분포로 설명될 수 있다. 태평양판, 필리핀판, 아시아판의 경계는 신고리 5,6호기 부지 320 km 지역 외부에 분포하나(그림 2.5-232), 이들 경계면은 본 지역의 지진에 영향을 줄 수 있는 구조적 측면을 갖고 있다. 즉 한반도는 유라시아·태평양판 경계부에서 수백 km나 떨어져 있어 상대적으로 안정적이지만 지구 차원의 지각 운동을 보면, 유라시아판이 동쪽으로 움직이고 인도대륙이 북상하며 태평양판이 서진하고 필리핀판이 북진하는 ‘4각 구도의 응력 압박’이 한반도 주변에서 일어난다. 다만 이 힘들이 균형을 이루고 있는 상태에서는 한반도에서 강진이 일어날 가능성이 적지만, 연약한 단층대에 영향을 끼칠 가능성은 상존하고 있는 것으로 판단된다.

거의 평면이며 서쪽 방향으로 경사진 태평양판의 경계부는 일본열도의 동쪽 외측부에 놓여있다. 태평양판이 일본열도의 동쪽 가장자리를 따라 판 아래로 하강하는 곳에서 서쪽 방향으로 경사하강을 일으키며 이동한다. 쿨라-패시픽 해령에서 생성된 판이 아시아판 아래로 접근 하강함에 따라 접촉부에서 관입, 화산활동, 동해의 형성과 같은 구조활동이 일어났다(그림 2.5-233).

이들 판 운동의 영향은 일본에서와는 달리 한반도 동해안을 따라서는 잘 나타나지 않으나 한반도와 대마도 사이에 한반도 남동 부분을 따라 주 단층이 존재하는 것으로 추측된다. 대한해협 양측의 암석 연령비교 및 기존 문헌에 의한 일본의 남서 방향 이동 등을 고려하면, 대마도는 한반도 서남부에 대하여 시계반대 방향으로 8° 정도 회전하고 남쪽으로 이동하였을 것으로 추정된다. 이러한 상황은 아마 중생대 후기 또는 제 3기초의 동해 형성 기간 동안 일어났을 것이다(참고문헌 231).

2.5.2.2.2 지진활동과 지체구조구와의 관계

한반도는 일본열도의 서쪽 그리고 중국으로부터 만주를 거쳐 한반도에 거의 평행하게 뻗어있는 한반도-중국 지괴에 속해 있다(참고문헌 233, 234). 한반도 남부에서는 선캠브리아기 육괴와 북동 방향 퇴적분지가 교대되어 나타나며(참고문헌 235), 주요단층과 습곡의 축은 일반적인 구조방향과 평행한 북북동 방향이다.

지진지체구조구의 설정은 부지 고유의 지진활동 특성을 기반으로 지질 및 지구물리학적 특성을 고려하고 광역 지체구조구를 참조하여 설정하는 것이 합리적이며, 이에 따라 부지 반경 320 km 지역의 지진지체구조구의 설정(그림 2.5-221)은 광역 지체구조구와 달리 다음과 같이 구분하였다.

- 경기육괴(I)
- 옥천습곡대(II)
- 영남육괴(III)
- 경상분지(IV)
- 연일분지(V)
- 제주화산대(VI)
- 한반도 대륙붕(VII)
- 남지나해(VIII)
- 울릉분지(IX)
- 한반도 고기평탄면(X)
- 상군대(Sangun Belt)(XI)
- 탐바대(Tamba Belt)(XII)
- 료케대(Ryoke Belt)(XIII)
- 삼바가와대(Sambagawa Belt)(XIV)
- 치치부대(Chichibu Belt)(XV)

신고리 부지의 경우 다른 원자력 발전소 부지에 비해 비교적 한반도 동남부 지역에 위치하여 부지반경 320 km 이내에 제주도화산대를 비롯하여 남해 및 일본열도를 일부 포함하므로 한반도 및 주변 지역의 지진발생 분포를 고려하여 이들 지역을 각각의 지진원으로 분리하여 구역화 하였다. 한반도 서해안 지역 지진활동 특성은 내륙지역에 비하여 지진의 발생 규모가 상대적으로 크고 진앙분포가 산발적이므로 서해 지역을 별도의 지진원으로 구역화 하여 신고리 부지 고유의 지진지체구조구를 설정하였다. 상기 지진지체구조구와 지진활동성 관계는 지진목록을 근거로 지체구조구별로 기술하였으며, 결정론적 방법에 의해 부지에서의 지진위험도를 평가하였다.

2

경기육괴(지체구조구 I)

약 100여 회의 20세기 지진과 함께 여러 역사지진의 진앙이 경기육괴내 지역에서 발견되며 규모 5.0인 홍성 지진이(2.5.2.1.4.4절) 이 지역에서 일어난 최대 지진이었다. 또한, JMA 진도 III인 지진이 이 지역에서 6회 기록되었으며, 이 중 가장 최근의 지진은 1925년 12월 9일에 발생하였다. 20세기 이후에 이 지역에서 JMA 진도 II의 지진이 8회, 규모 4.0 이상의 지진이 5회 기록되었으며, 그 외 JMA 진도 I 이하의 지진이 발생하였다. 그리고 몇 회의 다소 큰 역사지진 기록이 있다. 경기변성암 복합체 지각운동 지역내 최대지진인 홍성 지진은 1978년 10월 7일에 발생하였으며 진앙은 본 부지로부터 274 km에 떨어진 지점에 위치한다.

2

옥천습곡대(지체구조구 II)

20세기 이후 약 90여 회의 지진이 기록되었으며 이 구조구에서 보고된 가장 큰 지진은 1978년 9월 16일에 발생한 규모 5.2의 속리산 지진이다. 속리산 지진의 진앙은 부지로부터 약 190 km 정도 떨어져 있으며 자세한 사항은 2.5.2.1.4.3절에서 기술하였다.

2

또한 1997년 12월 13일에 발생한 규모 4.5의 영월 지진은 감진 범위가 450 km 정도로 전국적으로 감지되었으며 제주도에서 MM 진도 II로 조사되었고 진앙지에서는 MM 진도 VII로 조사되었다. 그 외 규모 3.0 이상의 지진이 34회 발생하였으며 나머지는 규모 3.0 미만이다. 1978년 이전에 JMA 진도 III의 지진이 7회 기록되었고 나머지는 모두 JMA 진도 II 이하이다.

영남육괴(지체구조구 III)

1936년 7월 3일 발생한 JMA 진도 V, 규모 5.0의 지리산 지진을 포함하여 영남육괴 내에서 지진이 20세기 이후 약 47회 기록되었다. 지리산 지진의 진앙은 부지로부터 약 150 km 떨어져 있으며 자세한 사항은 2.5.2.1.4.1항에서 기술하였다.

이 지역 내에서 20세기 이후에 규모 3.0 이상의 지진이 20회 기록되었으나, 지리산 지진을 제외하면 규모 4.0 이상의 지진은 3회 기록되어 있으며 나머지는 모두 규모 3.5 이하이다. JMA 진도로 기록된 지진 중에 진도 III인 지진은 지리산 지진을 포함하여 4회 기록되었으며 나머지는 모두 JMA 진도 II 이하이다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

경상분지(지체구조구 IV)

20세기 이후 경상분지 내에서 기록된 지진이 약 50여 회 있었으며, Park.(참고문헌 170)과 Rustanovich 외(참고문헌 197)는 이 지체구조구에서 발생한 몇 번의 역사 지진은 심한 피해를 주었거나 넓은 범위에서 감지되었을 것이라고 제시하고 있다. 이들 중의 많은 지진이 연일분지(지체구조구 V, 그림 2.5-221)에서 일어났을 가능성도 있으나, 지진 진앙의 위치가 상세히 표시되어 있지 않다.

경주는 많은 수의 역사지진에 의해 가장 큰 피해를 입었다고 보고되어 있다. 그러나 이들 지진자료는 기록이 명확하지 않아 피해가 과장되었는지, 2차적인 영향에 기인된 광범위한 피해인지를 결정하는 것은 매우 어렵다. 경주는 신라왕조 동안 한반도의 고대 수도였으며 인구 중심지였다. 경주는 인공위성사진으로 볼 때 2개의 매우 강한 선구조 교차점에 위치하고 있다. 이러한 선구조는 연일분지의 서쪽 경계를 형성한다. 20세기 이후 기록된 50여 회의 지진 대부분이 JMA 진도 I이었으며 JMA 진도 II의 지진이 6회, JMA 진도 III의 지진이 3회 기록되어 있다. 구조구 내 최대지진은 1917년 11월 12일에 부지로부터 약 70 km 떨어진 지점에서 일어난 규모 4.4의 지진이다.

연일분지(지체구조구 V)

경주는 위에서 언급한 바와 같이 두 개의 강한 선구조의 교차점에 위치하고 있으며, 연일분지 인근은 가와노(Kawano), Gutenberg와 Richter(참고문헌 164) 및 Allen(참고문헌 236)이 언급한 바와 같이 16세기에 가장 활발한 지진 영향을 받은 지역이다.

이 지역에서는 20세기 이후에 3회의 지진이 발생하였고, 2002년 7월 9일에 일어난 규모 3.8의 지진은 이 구조구에서 기록된 가장 큰 지진이다.

제주화산대(지체구조구 VI)

제주화산대에서는 20세기 이후 단지 6회의 지진만이 기록되었다. 가장 큰 지진은 1996년의 규모 3.5의 지진이다. 서기 1002년과 1007년의 한라산 화산분출기간 동안에 제주도에 기록된 지진은 없었으나, 이것은 제주도에 인구가 적었기 때문에 기록되지 않았을 수도 있으며, 몇 번의 지진이 한라산 분출 전후 또는 도중에 발생했을 가능성이 있다.

한반도 대륙붕(지체구조구 VII)

이 구조구 내에서 20세기 이후 발생한 지진은 26회이며, 이 중 2004년 5월에 29일 발생한 규모 5.2의 울진 앞바다 지진이 최대지진이다. 그 외에 1981년 4월 15일 규모 4.8의 지진이 발생했으며 1982년 3월 1일에는 규모 4.7의 지진이 발생했다. 규모 4.0 이상의 지진은 총 6회 발생했으며 나머지는 모두 규모 4.0 미만이다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

남지나해(지체구조구 VIII)

이 구조구에서는 20세기 이후 10여 회의 지진이 기록되었는데 규모 4.0 이상의 지진이 9회 기록되었으며 가장 큰 지진은 2001년 4월에 일어난 규모 4.8의 지진이고 부지로부터 약 530 km 정도 떨어져 있다.

울릉분지(지체구조구 IX)

이 퇴적분지는 지체구조적으로 일본열도와 관련되지만 지진학적으로는 비활성인 한반도 점이대를 형성한다.

울릉분지는 지진활동이 비교적 활발한 지역으로 주요 지진의 발생년도는 1961년 8월(규모 5.0), 1963년 9월(규모 6.0), 1981년 4월(규모 5.5)이며 최대지진은 1963년 9월 7일 발생한 규모 6.2의 지진이다.

한반도 고기평탄면(지체구조구 X)

료케대와 마찬가지로 신고리 5,6호기 부지로부터 거리가 멀어서 영향을 미치지 않는 것으로 한반도 주변의 주요 심발지진의 발생기록이 있다. 1950년 5월(규모 6.7), 1964년 1월(규모 5.3), 1964년 12월(규모 5.6), 1975년 6월(규모 6.5)에 대규모 지진이 발생했으나 모두 진원깊이 500 km 이상의 심발지진이었다. 이 지역의 최대 지진은 1950년 5월 17일에 발생한 규모 6.7의 지진으로 진원깊이가 580 km인 심발지진이고 부지로부터의 거리는 약 440 km이다.

상군대(지체구조구 XI)

상군대의 지진활동은 매우 활동적이며 20세기 이후 300여 회의 지진이 기록되었다. 수 개의 주요 지진이 상군대에서 발생하였는데(표 2.5-18) 이를 두 그룹으로 나눌 수 있다. 하나는 심발지진으로 이 중 최대는 규모 6.5로 1925년, 1927년에 발생하였다. 다른 하나는 지표단층 활동과 관련된 천발지진으로 최대의 것은 규모 7.8로 1927년에 발생하였으며 진앙으로부터 부지까지 거리는 약 494 km이다. 이 지체구조구의 최대지진은 부지반경 320 km내에서는 1922년 발생한 규모 6.7의 지진이지만 지체구조구 내에서의 최대지진은 1927년 발생한 규모 7.8의 지진이다.

탐바대(지체구조구 XII)

이 구조구에서 20세기 이후 약 20여 회의 지진이 기록되었으며 심발지진과 천발지진이 분포하며 최대 지진은 1984년과 1985년에 발생한 규모 5.0의 지진이다.

료케대(지체구조구 XIII)

이 구조구에서는 20세기 이후 약 160여 회의 지진이 기록되었으며 규모 6.0 이상의 지진이 7회 기록되었으며 최대 지진은 1905년에 발생한 규모 7.8의 지진으로 진원깊이가 100 km이고 진앙지와 부지와의 거리는 약 290 km이다.

삼바가와대(지체구조구 XIV)

이 구조구에서 20세기 이후 약 50여 회의 지진이 기록되었으며 최대 지진은 1934년에 발생한 규모 5.6의 지진으로 진앙지와 부지와의 거리는 약 450 km이다.

치치부대(지체구조구 XV)

부지반경 320 km 내에서 기록된 지진은 없으나 320 km 반경 밖에서 70여 회의 지진이 있으며 최대 지진은 1968년 발생한 규모 6.5의 지진이었다. 진원깊이는 48 km이고 진앙과 부지와의 거리는 약 350 km이다.

2.5.2.2.3 한반도의 단층활동

최근 울산단층의 동측지역에 분포하는 제 4기 단층들중 말방단층, 수렴단층, 읍천단층 등이 지진잠재단층으로 조사되었으나, 한반도 남부에 발달하는 단층 또는 선형구조에 집중된 지진다발구역은 존재하지 않는다. 또한 선구조 가까이에서 발생한 것으로 보이는 지진은 존재하나 진앙의 위치가 불명확하여 선구조와의 관계성을 입증하기 어렵다. 단층이라고 여겨질 수 있는 진앙지의 선형분포 또는 다발지역은 나타나지 않으나, 그림 2.5-221에서 보여주듯이 한반도에서의 진앙지 집중지역은 단지 전주 부근에 나타나며 지질도에 의하면 수 개의 작은 단층들이 중생대 암석 내에 나타난다. 이들은 규모가 작고 지표단층 현상을 보이지 않으므로 지표단층과 관련된다고 말하기가 어렵다. 울산단층의 동측 지역 단층 중 읍천단층의 경우, 단층에서 발생한 지진의 지진계에 의한 기록은 없으나 활동성 단층으로 판명되어 정밀조사 및 잠재지진 평가가 수행된 바 있다. 단층의 길이 및 변위를 고려하여 평가된 읍천단층의 최대잠재지진 규모는 6.0이며 인근의 발생 지진과 읍천단층과의 상관성은 없는 것으로 판단된다(참고문헌 277).

또한 최근 발견된 방폐장 부지 단층 Z21과 Z31의 경우 아직 이 단층들의 활동성 여부에 대해서는 관련 전문가들 사이에 의견이 일치되지 않으나 보수적인 관점으로 중저준위 방사성폐기물 처분시설의 지진안전성 평가에 적용되었다. 상기 읍천단층의 평가와 유사한 방식으로 평가각 수행되었으며 Z21과 Z31 단층이 동시에 운동할 경우를 가정하여 도출된 최대잠재지진의 규모는 5.2이다(참고문헌 278).

1990년대 초까지 남한에는 제 4기 후기 변위를 제시하는 단층이 없는 것으로 알려져 왔으나, 1995년에 굴업도 일대에 활동성단층이 존재하는 것으로 규명되었고 양산단층과 울산단층에 대한 연구가 활발해지면서 활성여부가 논의되기 시작하였다.

1997년 5월 경재복 교수는 경남 울산시 울주군 삼남면 상천리와 신화리 일대에서 양산단층이 활성단층이라는 증거를 발견하였다고 주장하고 형성연대를 20~30만 년 전으로 해석하였다. 그러나 그 지점의 퇴적층은 산록선상지 퇴적층으로서 이들의 형성시기는 다른 지역의 유사한 지층에서 확인된 제 4기 초(Early Pleistocene)에 형성된 지층들과 아주 유사하여 형성연대 추정의 근거로서 취약하고 단편적인 조사결과로 활성여부를 결정하기는 어렵다.

경재복은 2003년과 2007년 양산단층대와 울산단층대에 위치한 유계단층과 갈곡단층의 트랜치조사 결과로부터 변위량을 각각 1.0 m 및 1.6 m로 제시하였고, 2010년에는 이 순변위량을 최대 변위량으로 가정하여 국외최대변위와 규모간 경험식을 이용하여 두 단층의 최대잠재지진 규모를 6.8 및 7.0으로 각각 산정한 바 있다(참고문헌 272). 최대변위와 규모간 경험식을 사용할 때는 1회의 단층운동에 기인한 단위 변위량에 근거해야 하는데 이 두 단층의 변위량이 1회의 단층 변위량 임을 명백하게 지시하는 지질학적 근거는 현재까지 없으므로 최대지진 규모평가는 굉장히 보수적으로 평가되었다고 볼 수 있으며 또한, 저자가 논문에서 시사한 바와 같이 국외의 경험식에 비추어 최대잠재지진 규모가 평가되었으므로 그 결과에 불확실성이 내재될 수밖에 없다.

Intentionally Blank

Intentionally Blank

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

후포 앞바다에 발달해 있는 해저단층(이하 후포단층)에 대하여 추교승은 활성의 가능성을 제기하였다(1995.11.15, 한국일보). 그는 활성의 증거로써 78년에서 95년 사이에 동해에서 발생한 규모 5 미만의 계기지진을 제시하였다. 이에 대하여 한국자원연구소의 전명순은 “동해 앞바다에서 지진이 많이 발생하고 있지만 이 지진이 반드시 후포단층대의 영향을 받았다는 증거는 아직 없다.”고 주장했다(1995.11.15, 한국일보). 동해에서 발생하는 지진의 크기가 첫째, 규모 5 미만의 작은 지진이고 둘째, 이들 지진이 육지에 설치된 지진관측망 밖에서 발생하였으므로 진원 결정시의 오차를 감안할 때 전명순의 해석은 타당하다.

한편, 추교승은 역사 문헌에 기록된 해일을 후포단층과 연관시켰으나 이에 대하여 서울대학교의 이기화 교수는 “해일이 생기려면 단층대가 상하운동을 해야 하는데 후포단층대는 수평이동을 하므로 이론상 해일을 일으킬 가능성은 전혀 없다.”며 일축했다(1995.11.15, 한국일보)

후포단층과 관련된 연구는 동해 및 한반도 주변에 발달된 해양분지와 관련하여 Yoon and Chough(참고문헌 237, 238), Yoon, Park and Chough(참고문헌 239), 과학기술처(참고문헌 240) 등에 의해 이루어진 바 있다. Yoon and Chough는 국립지질조사소와 독일 연방지질조사소에서 공동으로 조사한 탄성과 탐사자료의 재해석을 통하여 동해 대륙주변부 신제 3기 퇴적분지의 진화과정에 대한 연구를 수행하여 후포분지를 비롯한 포항-영덕 분지에 대한 탄성과층서, 구조분석 및 분지진화 과정을 규명하였다.

후포단층은 양산단층과 함께 초기 마이오세에 우수주향이동을 하여 두 단층 사이의 중첩부에 당겨열림작용에 의해 포항-영덕분지를 형성시켰으며 중기 마이오세 말에 동해가 닫히기 시작하면서 응력장은 압축성으로 전환하였다. 전기 플라이오세 동안 후포단층이 사교이동양상을 보이며 재활성되어 반지구(half-graben) 형태의 후포분지가 형성되어 후기 플라이오세 이후로는 현재의 조구조적 및 퇴적환경을 갖게 되었으며 이후 퇴적된 플라이오세-홀로세 퇴적물은 변형되지 않은 퇴적층으로 이루어져 있다.

미국 원자력규제위원회의 10 CFR 100 Appendix A 에 의하면 Capable Fault는 다음의 특성중 하나 이상을 만족해야 한다.

- 가. 35,000년 내에 적어도 한 번 이상, 또는 500,000년 내에 반복적인 운동이 지표 근처에 있는 경우
- 나. 지진과 단층과의 직접적인 연관성을 규명할 수 있을 정도의 충분히 정밀한 지진계에 의하여 결정된 지진활동을 보이는 경우
- 다. 위의 가. 항 또는 나. 항에 따른 활동성단층과 구조적으로 관계된 단층으로서

한 단층의 운동이 다른 단층운동을 수반하는 경우

기상청 지진통계자료에 따르면 1978년 이후 30년간 동해 대륙주변부에서는 총 42회의 지진이 감지되었으며 이들 중 3건의 지진활동(규모 2.2~3.8)이 후포단층의 주 변형대에 인접하여 일어난 것으로 파악되었으나 다른 지역보다 특별히 더 많은 지진이 고기의 후포단층 주 변형대에 집중하여 발생하지는 않는 것으로 보인다(그림 2.5-234).

따라서 후포단층이 현재 활성화 상태에 있지는 않으며 아울러 최근의 동해 주변 지판운동의 양상으로 볼 때 약 320만 년 전에 압축성변형을 동반한 단층운동을 겪었던 후포단층이 전격적으로 재활성될 가능성도 현재로서는 매우 낮은 것으로 판단된다.

한편 후포단층이 위치한 한반도 대륙붕(지체구조구 VII)과 울릉분지(지체구조구 IX) 사이에는 두 지체구조구간 경계에 해당하는 울릉기저사면(Ulleung Basement Escarpment)(또는 울릉단층(Ulleung Fault)으로 명명)이 존재한다(참고문헌 237, 219)(그림 2.5-235). 이 지질구조는 일본이 유라시아대륙에서 떨어져 나가며 동해가 형성되는 광역지구조운동과 연관된 것으로 알려져 있으며(참고문헌 237) 최근 이 부근에서 규모 5.2(KMA 발표)의 울진해역지진 및 소규모 군집지진들이 연달아 발생하면서 활성화여부와 관련해 학계의 주목을 받고 있다(참고문헌 218, 219, 241).

신진수 외 (참고문헌 273)는 2007년 및 2008년 후포분지 동편에서 발생한 영덕해역지역 지진군들의 진원파라미터 분석을 수행하고, 비슷한 크기의 지진이 연속적으로 발생한 것은 단층대에 가해진 응력이 여러 곳에서 분산 배출되어 발생하여 평형을 이루고 있던 응력장이 변화됨으로써 응력분포에 변화를 준 결과, 후포단층대를 구성하는 여러 작은 단층들이 순차적으로 움직인 것으로 지진발생 메카니즘을 설명하였다. 또한 2008년 12월 19일 M_L 3.7 지진에 대해 모멘트텐서 역산으로부터 진앙위치와 주향을 고려하였을 때 이 지진 발생이 후 포단층대와 연관이 있을 것으로 추측할 수 있다고 기술하였다. 하지만 단층면해의 경사면 방향이 불일치하는 등 발진기구분석 결과로부터 이 지진이 후포단층대를 구성하는 지질구조와 연관성이 있다고 단정 짓기는 어려우며, 전반적으로 현재까지는 해안에서 50 km 이내 범위에서 발생한 지진들의 연구가 미흡한 상태이다.

Kang and Baag(참고문헌 218)과 Kang and Shin(참고문헌 241)은 2004년 및 2006년 울진해역지진군들의 진앙위치 분석, P파와 SH파를 이용한 단층면해석 결과 지진발생위치가 울릉분지와 한반도 대륙붕 사이의 울릉기저사면(혹은 울릉단층)을 따라 발생하였고 분석된 단층면의 방향이 울릉기저사면(혹은 울릉단층)의 선구조와 일치하며 응력장이 최근 동해 주변 지판운동에 의한 응력장과 방향성이 동일(E-W 압축응력)하다고 주장하며 울릉단층의 활성화 가능성을 제기하였다. 그러나 두개의 단층면 중 어느 단층면이 실제 단층면인지 구분하기 어려운 단층면해 분석 자료만으로 울진해역지진과 울릉단층이 관련성이 크다는 Kang and Baag 및 Kang and Shin(참고문헌 218, 241)의 주장은 지진학적 근거가 희박하다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

W. Y. Kim(참고문헌 219)은 Double Difference 방법을 이용해 2004년 울진해역 지진군의 진원위치를 보다 정확히 재결정하였으며 파형역산을 통해 본진(Mainshock, Mw 5.1)의 단층면을 분석하였다. 또한 근래 울릉기저사면(혹은 울릉단층) 부근에서 발생한 규모 4 이상의 모든 지진의 단층면해석 자료(그림 2.5-235)를 토대로 응력장 역산을 이용해 그 지역의 주응력 방향을 계산하였다. 여진들의 재결정된 위치로 추정해 본 단층면은 서쪽 혹은 남쪽으로 경사져 있으나, 여진의 수가 3개 밖에 되지 않고 진원의 오차가 크기 때문에 큰 의미를 두기는 어렵다. 본진의 파형역산을 이용한 단층면해석 결과는 Kang and Baag(참고문헌 218)의 결과와 거의 유사하며 응력장 역산을 통해 밝혀진 이 지역의 응력장(주응력: NS방향, 최소응력: EW방향)은 주향이동단층의 특성이 강하게 나타났다. 해저단층의 활성 가능성에 대해 W. Y. Kim(참고문헌 223)은 근래에 울릉기저사면(혹은

Intentionally Blank

Intentionally Blank

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

울릉단층) 주변에서 중규모의 지진이 수차례 발생하였고 소규모의 지진들이 군집지진의 형태로 발생하였지만 군집지진 또는 여진 자료가 단층면을 명확히 구분할 수 있을 만큼 충분하지 않으며 진원위치의 오차가 크기 때문에 이들이 울릉단층의 활성 증거가 되기는 어렵다고 설명하였다.

한반도 동해 대륙주변부에서는 플라이오세 말에 접어들면서 대규모 압축성 변형은 거의 종결되었고(참고문헌 242, 243), 압축성 재동이 일어났던 후기 마이오세 때(남서 일본열도가 북진하면서 한반도 동부 및 남동부 대륙 주변부에 압축성 변형 야기)보다는 상대적으로 안정된 지구조 환경 하에 있는 것으로 보인다. 따라서 울릉단층을 포함한 대륙 주변부의 단층들이 전격적으로 재활성될 가능성은 낮은 것으로 판단된다.

2.5.2.3 지질구조 또는 지체구조구와 지진활동과의 관계

2.5.2.3.1 지진과 지체구조구와의 관계

광역적인 지진활동은 태평양판이 섭입대를 따라 아시아판 밑으로 하강하는 일본열도 해구를 따라 크게 집중되어 있다. 큰 규모의 천발지진 대부분의 진앙은 아시아판과 태평양판 사이의 경계부분에 해당되는 일본 해구를 따라 일본 열도의 동쪽 가장자리 근처에 위치한다. 지진의 진원 깊이는 일반적으로 하강판을 따라 서쪽으로 갈수록 깊어지고 보통 동해에서는 그 깊이가 300~400 km이다. 천발지진은 일본 해구의 남서쪽에서 발생한다. 그러나 대부분의 진원은 하강하는 태평양판 경계면을 따라 일어난다. 일본 하부의 심발지진 또한 서쪽과 북서쪽으로 연장된 판 경계에 수직한 방향의 약대에서 발생한다(참고문헌 244). 이것은 서로 다른 각으로 하강하는 태평양판의 단편(Segment) 사이의 갈라진 틈을 따라 일어나기 때문인 것으로 생각된다(참고문헌 244).

일본열도에서 발견된 제 4기 단층들은 적어도 588개 이상이다(참고문헌 245). 이들 단층들은 플라이오세층과 그 상부층을 변위시켰으며 지형학적으로 1 km 이상의 지진단층을 형성하였다고 기록되었다(참고문헌 246). 이런 단층 중 어떤 것은 역사시대에 지진피해를 나타내었다. 또한 많은 수의 단층은 제 4기 중 이동의 명백한 증거가 있기 때문에 지진이 발생할 잠재력이 있는 것이다. 진원심도가 80 km 보다 얕은 곳에서 일어나는 큰 지진은 일반적으로 약간의 지각변형을 수반한다. 반면에 진원이 30 km 보다 얕은 곳에서 일어나는 지진은 지각변형을 수반하며(참고문헌 244), Yonekura(참고문헌 247)는 일본 북동부에서 빈번하게 발생했던 지진을 수반한 지각변형의 목록을 작성하였다.

중국에서의 지진활동도 역시 제 4기 구조활동과 관계되는데 중국 동쪽 제 4기 구조는 정단층(산시 Graben)과 주향이동단층이 우세하며 북쪽과 남쪽의 기타 분지는 현재 비활성적이다(참고문헌 248).

한반도는 아시아-태평양판 경계로부터 약 840 km 지점에 위치하기 때문에 해구로부터 제

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

속 하강하는 슬랩(Slab)이 한반도 기저에 태평양판으로 존재하지 않을 것이다. 만약 태평양판이 이 거리 이상으로까지 존재한다 할지라도 슬랩의 심도가 깊기 때문에 한반도 지진에 영향을 주지 않을 것이다. 한반도 지진은 일반적으로 천발지진이며 진앙위치 및 발생빈도를 고려해 볼 때 판내지진(Intraplate Earthquake)임을 알 수 있다. 이러한 사항은 한반도 지질이 중국대륙과 비교적 유사하며 Sino-Korean Shield의 한 부분으로 예상된다. 하지만 중국과는 달리 한국은 제4기 활동의 영향을 받지 않았다. 중국 동쪽 구조구 내에는 제 4기 구조와 관련된 지진활동이 없는 한국과는 달리 명백히 제4기 활동을 갖는 주향이동 단층과 하나의 Graben이 존재한다.

부지지역 내에서 동해를 제외한 대부분의 지진은 천발지진이다. 부지지역 내 한반도에서의 지진은 지각 상부에서 일어났다. 즉 진원의 깊이는 70 km 이하이다. 일본에서는 많은 지진이 기존단층과 잘 관련되며, 진앙지의 배열상태로 기존단층과 지진과의 관련성을 파악할 수 있다.

한국에서는 기존단층과 관련된 지진이 없었으며 약간의 지진이 인공위성 LANDSAT 사진으로 볼 때 선형을 따라 일어난 것 같이 보인다. 한국의 지진위치 정확도를 고려해 볼 때 선형과 관련된 지진은 의문시 된다.

1936년 7월 3일 발생한 지리산지진은 선구조상에 위치하며 부분적으로는 같은 방향의 노출된 단층에 해당하는 것이다. 그러나 단층과 관련된 지진인가는 명확치 않기 때문에 이 지진은 단층보다는 구조구와 연관된다. 이 지진은 영남육괴에서 발생한 가장 큰 지진이며 본 부지에 가장 가까운 곳까지 이동되어 평가되었다.

동해에서 발생한 다수의 지진은 판구조 경계 침강대와 연관될 수 있으며 이 경우 심발지진은 판 경계와 관련되는 지진으로 취급된다. 더욱이 일본에서 어떤 경우의 지진은 단층과 관련이 있다(참고문헌 190). 이 경우 개별 지진은 각각의 단층과 관련된다. 그 밖의 모든 경우에 있어 단층 또는 침강대와 관련되지 않은 지진에 대해서는 각각의 해당 지체 구조구 내의 어느 곳에서도 발생할 수 있는 것으로 가정된다.

2.5.2.3.1.1 영월지진 진앙지 지역의 지질 및 지질구조 특성

영월지진 진앙지역의 지질구조는 대보조산운동 및 불국사조산운동의 영향을 받았다. 영월지진 진앙지역에는 각동드러스트를 비롯한 설론드러스트, 고성드러스트, 신동드러스트, 가사리드러스트, 함백드러스트, 단곡단층, 무릉단층 및 사북단층 등의 지질구조가 발달되어 있다. 이들 드러스트단층 중 고성, 신동, 함백드러스트 등은 김정환 외(참고문헌 213, 214)에 의해 명명되었으며 무릉단층은 김정환과 최원학(참고문헌 215)에 의해 명명되었고 나머지는 태백산지구 지하자원조사단(참고문헌 216)에 의해 명명된 단층들이다.

가사리드러스트의 서측에 발달한 드러스트단층의 운동은 반송층 퇴적 이후, 즉 유라기 대