

지형면 분류 및 트렌치 조사에 의한 일광단층의 단층활동시기 추정

장 호* · 이진한** · 안윤성*** · 주병찬***

전북대 지리교육과*, 고려대 지구환경과학과**, 한국전력기술주식회사***

The Ages of Fault Activities of the Ilgwang Fault in Southeastern Korea, Inferred by Classification of Geomorphic Surfaces and Trench Survey

Ho Chang*, Jin-Han Ree**, Yoon-Sung Ahn***, and Byung-Chan Joo***

Dept. of Geography Education, Chonbuk National University*,
Dept. of Earth and Environment of Science, Korea University**,
Korea Power Engineering Co.***

요 약 : 일광단층은 NNE-SSW 방향으로 한반도 남동부의 울산에서 부산 해운대까지 연장되며 그 길이는 40 Km 이다. 본 연구는 신고리 원자력발전소 1, 2호기 건설과 관련된 일광단층선의 제4기 활동 여부를 판단하기 위해서, 지형면 분류와 트렌치 조사로 일광단층의 활동시기를 추정한 것이다.

일광역 부근의 해안에서 산록까지는 모래해안 및 충적면, 10 m 해상단구면(MIS 5a), 20 m 해상단구면(MIS 5e), 45 m 해상단구면(MIS 7 or 9)의 변형면, 소기복침식면의 5개 지형면으로 분류된다. 일광단층선을 경계로 기 반침식면은 해안 쪽에 분포하는데도 불구하고 내륙 쪽의 45 m 해상구면의 변형면 보다 비고가 10 m 이상 높다. 그러나 동일한 단층선이 지나고 있는 20 m 해상단구면은 변위를 나타내지 않는다. 10 m 해상단구면과 20 m 해상단구면이 직선적으로 접하는 지대를 트렌치 조사하였으나 단층선이나 퇴적층의 변위를 관찰할 수 없어, 이 지대는 10 m 해상단구면의 옛 해안선(古汀線(旧汀線))으로 추정한다.

이에 45 m 해상단구면 형성기의 고지리(古地理)로는 소기복침식면은 당시의 해수면 보다 높은 '섬'이었을 것이며, 일광단층은 이천리층 형성 이후-45 m 해상단구면 형성기(22만년 내지 32만년 전) 이전에 이루어졌을 것으로 판단한다.

주요어 : 단층활동 시기, 지형면

Abstract : The Ilgwang Fault is NNE-striking, elongated 40 Km between Ulsan and Haeundae-ku, Busan in southeastern part of the Korean Peninsula. This paper is mainly concerned about the ages of the fault activities especially in the Quaternary, inferred from classification of geomorphic surfaces and trench excavation for the construction of Singori nuclear power plant.

The geomorphic surfaces are classified into the Beach and the Alluvial plain, the 10 m a.s.l. Marine terrace(MIS 5a), the 20 m a.s.l. Marine terrace(MIS 5e), the Reworked surface of 45 m a.s.l. Marine terrace(MIS 7 or 9) and the Low relief erosional surface. The Low relief erosional surface is distributed coastal side, the Reworked surface of 45 m a.s.l. Marine terrace inland side by the Ilgwang Fault Line as the boundary line. But the former is above 10 m higher in relative height than the latter. The 20 m a.s.l. Marine terrace on the elongation line of the Ilgwang Fault reveals no dislocation. A site was trenched on the straight contact line with N30°E-striking between the 10 m a.s.l. Marine terrace and the 20 m a.s.l. Marine terrace. Fault line or dislocation was not observable in the trench excavation. Accordingly, the straight contact line is inferred as the ancient shore line of the 10 m a.s.l. Marine terrace.

The Ages of the Fault activities are inferred after the formation of the Ichonri Formation - before the formation of the 45 m a.s.l. Marine terrace(220 Ka. y. B.P. or 320 Ka. y. B.P.). The Low relief erosional surface was an island above the sea-level during the formation of the 45 m a.s.l. Marine terrace in the paleogeography.

Key Words : fault activity, geomorphic surface

I. 서론

일광단층은 남쪽으로는 부산 해운대구 송정동 일대부터 북쪽으로는 울산광역시 남구까지 14번 국도를 따라 거의 평행하게 또는 인접하여 NNE-SSW 방향으로 발달하고 있다. 이 단층선의 길이는 약 40km이며 직선상으로 발달된 오른쪽 주향이동단층(right-lateral fault)이다(김지수 외, 2003; 김동학 외, 1998). 신고리원자력발전소 1, 2호기 부지는 일광단층선 중앙부의 동쪽에 위치한다.

일광단층의 제4기 활성 여부를 판단하기 위하여 신고리원자력발전소 1, 2호기 부지를 중심으로 일광단층이 통과하는 선상을 남북지역으로 구분하여 남측의 일광역 부근 지역(본 논문)부터 북측의 남창지역까지 부지반경 10km 내외의 지역에 대하여 야외지표지질조사와 항공사진 판독 및 현지 조사로 지형면을 구분하였다. 일광단층선대의 선구조선 위에 제4기층이 분포하는 지점을 선정하여 트렌지조사도 실시하였다.

II. 항공사진 판독 및 현지 조사에 의한 지형면 구분

항공사진(1/20,000)을 이용하여 일광역과 부근 지역의 지형면을 구분하고, 현지 조사로 지형면의 특성을 파악하였다. 일광단층대를 따라 분포하는 제4기 지형면(일정시기에 동일한 환경 하에서 형성된 것으로 추정되는 평탄면 내지 완경사면)은 기장군 일광면 화전리·횡계리·삼성리 일대에 분포하며, 특히 동해남부선 일광역 서쪽 일대에 넓게 분포한다(Fig. 1 참조).

상기 지역들은 항공사진 판독에서 일광산(370m) 동쪽 기슭에 형성된 선상지성의 산록면으로 추정하였으나 위의 지형면들에 대한 현지 조사를 통해 이들 지형면의 일부에서 해성 자갈(beach pebbles) 및 사구 모래 등이 확인됨으로서 해성단구 또는 해성단구

가 변형된 것임을 알 수 있었다. 따라서 이 지역의 지형면들을 현재에서 가까운 순서로 분류, 기술하면 다음과 같다.

1. 충적면

Fig. 1에서 모래해안으로 표시된 일광 해안 일대 및 시가지와 하천 연안의 골짜기 및 충적평야 등이다. 최성자(2003)에 따르면 진하-일광 지역의 해안에는 옛 해안선(구정선(旧汀線), ancient shoreline) 고도 0.5m 이내에 삭박형 해안단구(1단구)가 분포하며 만입지역에는 홀로세 퇴적물로 채워진 저지대가 형성되어 있다. 충적면은 현 해수준에서 형성된 1단구에 연속되므로, 이 지형면은 6,000년 전 이래 현 해수준에 적응하여 만들어졌다

2. 10m 해성단구면

일광역 서쪽과 일광농원 남서쪽의 해발고도 10m(Fig. 1의 트렌지 사이트 6의 지표면 고도) 내외에 분포하는 지형면으로, 매우 평탄하다. 일광농원 남서쪽에 분포하는 이 지형면의 말단부가 동해남부선의 복선화 공사로 절토되어 노두가 드러나 있다. 노두는 표토가 경작토이며 그 밑에 두께 50cm의 적갈색 토양, 30cm 두께의 해성사력층, 풍화된 세일의 기반암 순으로 이루어져 있다. 일부 노두에서는 해성사력층 밑으로 두께 2m의 fine sand층이 주머니 모양으로 끼어 있어, 이는 사구모래로 판단된다.

이 지형면은 면의 평탄성, 노두의 구성, 충적면과의 관계로 판단하여 옛 해안선 높이 10m의 해성단구면으로 분류된다. 이를 옛 해안선 높이와 관련시켜보면, 10m 해성단구면은 최성자(2003)의 2단구, 오건환(OH, 1981)의 월내단구(Woelnae Terrace)에 대비된다. 최성자(2003)의 2단구는 본 지역 북쪽 이천리 및 남쪽 학리 해안의 옛 해안선 높이 9~10m의 해성단구이다. 오건환(1981)의 월내단구는 이천리 해안의 옛 해안선 높이 9~11m의 해성단구이다.

10m 해성단구면의 형성연대는 최성자(2003)에 따르면 MIS(Marine Isotope stage) 5a(80,000년 전)

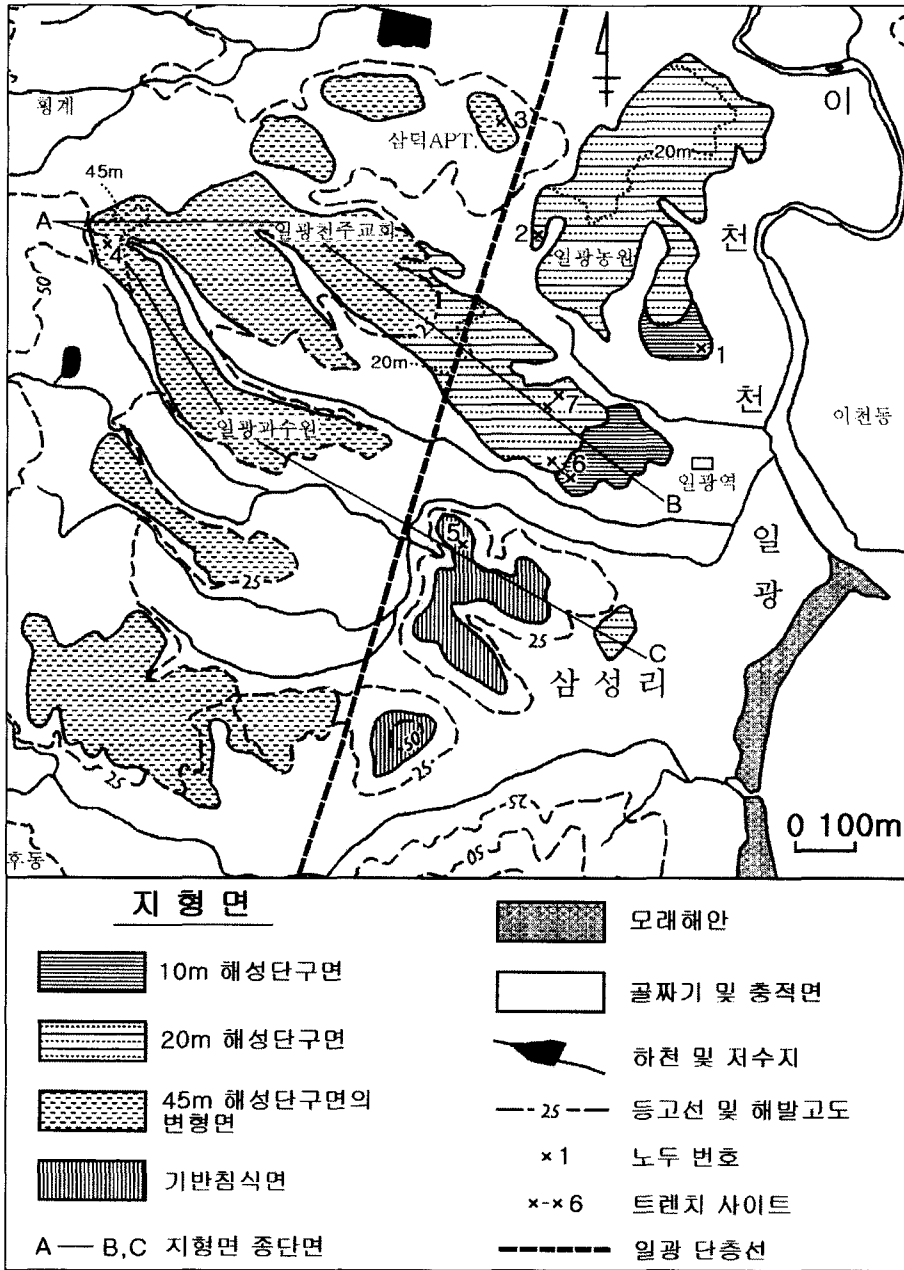


Fig. 1. 일광지역의 지형면 구분도

(1/20,000 항공사진으로 구분한 후, 1/5,000 지형도 양산 99 및 100 도폭에 옮겨 그림)

이며, 오진환(1981)에 따르면 최종빙기(70,000~10,000년 전)이다. 崔成吉(1998)은 본 지역에서 북쪽으로 떨어진 포항 죽천의 옛 해안선 높이 10m의 저

위해성단구 II면(mL2)에서 77,000년 전의 절대연대를 얻고, 이를 MIS 5a로 편년하여 10m 해성단구면의 형성시기를 최종간빙기 후반으로 추정하였다. 이

에 본 지역의 10m 해성단구면은 최종간빙기 후반(MIS 5a : 77,000~80,000년 전)에 형성되었을 것으로 추정된다.

3. 20m 해성단구면

이 지형면은 10m 해성단구면에 인접한 서쪽과 일광역 북서쪽 일광농원 일대에 넓게 분포한다(Photo. 1 참조). 이 지형면은 지표에 깊이 1m 내외의 개석곡이 파여 있으며, 주변부는 폭 20~30m, 깊이 5m 내외로 개석되어 있다. 이 면은 일광역 서쪽의 경우, 상단부(해발고도 : 25m)에서 하단부(해발고도 : 15m)까지 수평거리 300m에 비고 10m로, 10m 해성단구면에 비해서는 경사가 크다.

일광농원 서쪽에 있는 이 면의 노두에 따르면, 표층이 사면 이동물질 및 적색토이며, 그 밑에 두께 30cm의 해성 사력층이 풍화된 기반암위에 퇴적되어 있다. 표층의 사면 이동물질과 적색토는 그 상위에 인접한 면인 45m 해성단구면의 변형 과정에서 지표류로 이동해온 것으로, 원 지형면은 옛 해안선 높이 20m의 해성단구면으로 분류된다. 이 같은 분류는 일광역 남쪽(Fig. 1의 단면 'A-C' 상의 동단)지역에 해발고도 25m에서 15m지점까지 평탄면이 좁게 분포하고 상단부(해발고도 : 25m)가 서측의 기반침식면의 사면 이동물질로 피복되었고, 하단부(해발고도 : 15m)는 철도 부설을 위한 절개와 옹벽 설치로 노두를 관찰할 수 없었으나 현재 밭으로 이용되고 있는 일부지역에 적색토 위에 해성 자갈들이 흩어져 분포하고 있기 때문이다. 따라서 이 같은 고도분포와 적색토의 토양 및 흩어져 있는 해성 자갈들을 근거로 이 평탄면을 20m 해성단구면으로 분류하였다.

20m 해성단구면은 최성자(2003)의 3단구(구정선 높이 : 17~22m), 오건환(1981)의 신암리단구(구성선 높이는 16~30m)에 대비된다. 그 형성연대는 최성자(2003)에 따르면 MIS 5c(105,000년 전), 오건환(1981)에 따르면 최종간빙기(70,000~125,000년 전)이다. 최성길(1998)은 포항 죽천의 옛 해안선 높이 18m의 저위해성단구 I면(mL1) 등에서 124,000년

전의 절대연대를 얻고, 이를 MIS 5e(125,000년 전)로 편년하였다. 이에 본 지역의 20m 해성단구면은 이 보다 낮은 10m 해성단구면과의 관계로 볼 때, 최종간빙기 전반(125,000년 전)에 형성되었을 것으로 추정된다.

4. 45m 해성단구면의 변형면

14번 국도 서쪽의 삼덕아파트 뒷언덕·일광천주교회와 그 서쪽 산록 및 일광과수원 일대로(Photo. 2), 지표에 해성 자갈이 흩어져 있다(Photo. 3). 이 지형면은 해발고도 45m(상단부)에서 하단부는 해발고도 25m까지 연속된다. 이는 수평거리 500m에 비고 20m로, 20m 해성 단구면에 비해서 급경사를 이루며 매우 개석 되어 있다.

구정선으로 추정되는 해발고도 45m에 드러난 노두는 표층이 두께 1m의 사면이동물질이며, 그 밑에 2m 두께의 적색토로 풍화된 해성력과 각력이 혼재되어 있다. 이 지형면은 10m 및 20m 해성단구면에 비해서 경사가 크며 매우 개석되었고, 지표에 해성 자갈이 흩어져 있어 45m의 해성단구면이 변형(reworked)된 것으로 추정된다. 이런 추론에는 삼덕아파트 주변에 해발고도 30m의 고립 구릉화된 해성단구면이 3 지대에 분포하고 있는 것도 한 증거가 된다(Fig. 1).

이 지형면의 원면은 최성자(2003)의 4단구(구정선 높이 : 44m), 오건환(1981)의 광안리단구(구정선 높이 : 35~50m)에 대비된다. 이의 형성연대는 최성자(2003)에 따르면 MIS 7(22만년 전), 오건환(1981)에 따르면 민텔/리스 간빙기(Penultimate interglacial age : 20만~30만년 전)로 추정된다. 그러나 본 지역에서 해발고도 30m 대의 해성단구면을 확인하지 못하였기 때문에, 45m 해성단구면의 원면 형성연대는 MIS 9(32만년 전)가 될 가능성도 있다(해성단구가 발달한 간빙기는 최종간빙기가 MIS 5인 것처럼 숫자가 홀수로, 30m 대의 해성단구의 형성연대는 MIS 7이 될 것이므로 45m 해성단구는 MIS 9가 될 가능성도 있음).

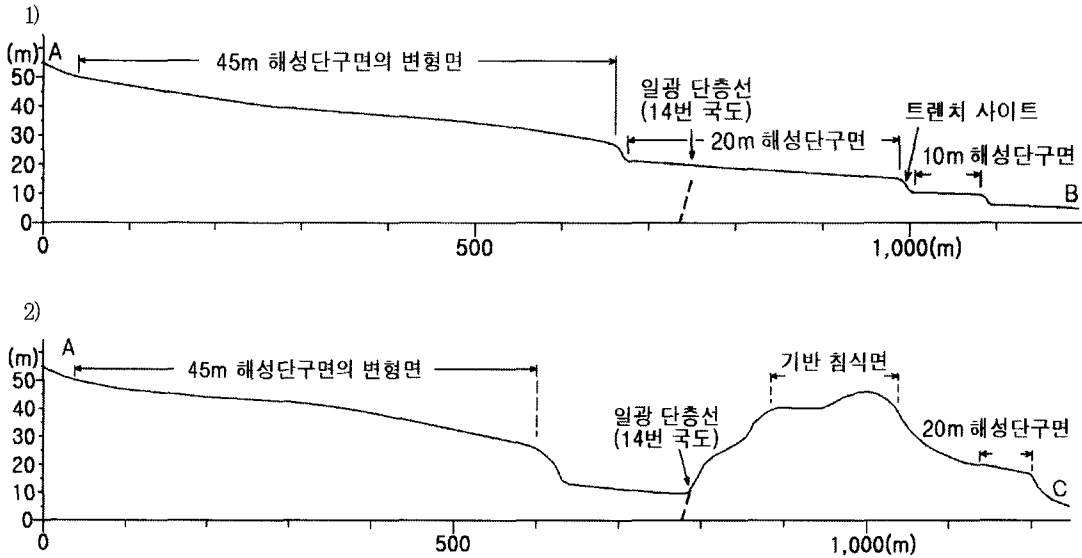


Fig. 2. 지형면의 종단면도(A-B, A-C는 <Fig. 1>에 표시함)

5. 기반침식면

이 지형면은 삼성리 14번국도 동쪽 해발고도 50m 내외의 산 정상부가 매우 평탄한 지대로, 현하상이나 주변 지형 면 보다 30~40m 높으며, 그 서쪽 경계가 일광단층과 동일한 방향으로 직선을 나타낸다(Fig. 1).

기반암은 이천리층의 세일이며 지표에는 이의 파쇄력만 흩어져 있고, 해성 자갈은 발견되지 않았다(Photo. 4). 특히 이 곳은 산불로 지표가 드러난 지대가 넓어서 확인이 가능했으며, 이에 산 정상부가 매우 평탄하며 지표에는 현지 기원(in situ)의 파쇄력만 흩어져 있어, 기반 침식면으로 분류된다.

III. 지형면 분석을 통해서 추정한 일광 단층의 활동시기

위에 기술한 지형면 구분과 일광단층선의 단층활동과의 연관성을 파악하기 위해서 지형면 구분도에 일광단층선을 표시하고(Fig. 1), 두개의 종단면도를 표시한 Fig. 2에 따르면 일광단층선을 경계로 기반침식면은 해안 쪽에 분포하는데도 불구하고 내륙 쪽의

45m 해성단구면의 변형면 보다 비고가 높다(Fig. 2의 단면도 2). 그러나 동일한 일광단층선상에 위치하는데도 불구하고 20m 해성단구면은 변위를 나타내지 않는다(Fig. 2의 단면도 1).

45m 해성단구면의 규정선 - 45m 해성단구면의 변형면 - 기반침식면 - 20m 해성단구면으로 연결시킨 지형면의 종단면도(Fig. 2의 단면도 2) 참조)에 따르면, 기반침식면은 45m 해성단구면의 변형면 보다 해안 쪽에 분포하는데도 불구하고 해발 고도가 높으며 해성 자갈이 흩어져 있지 않다. 따라서 45m 해성단구면(최성자(2003)의 4단구)의 형성기의 고지리(古地理)로는 이 기반침식면은 당시의 해수면 보다 높은 '섬' 이었을 것이다. 또, 기반 침식면 보다 해안 쪽에서는 20m 해성단구면(최성자(2003)의 3단구)이 발달하여 이런 '섬' 의 고지리는 최종간빙기 전반(125,000년 전)에도 이루어졌을 것이다.

이런 추론은 45m 해성단구면의 규정선에서 10m 해성 단구면을 연결시킨 지형면 종단면도(Fig. 2의 단면도 1) 참조)와의 비교로도 뒷받침된다. 즉, Fig. 2의 단면도 1)은 45m에서 10m로 규정선 높이가 순차적인데 비해서, 단면도 2)는 내륙 쪽의 해성단구면

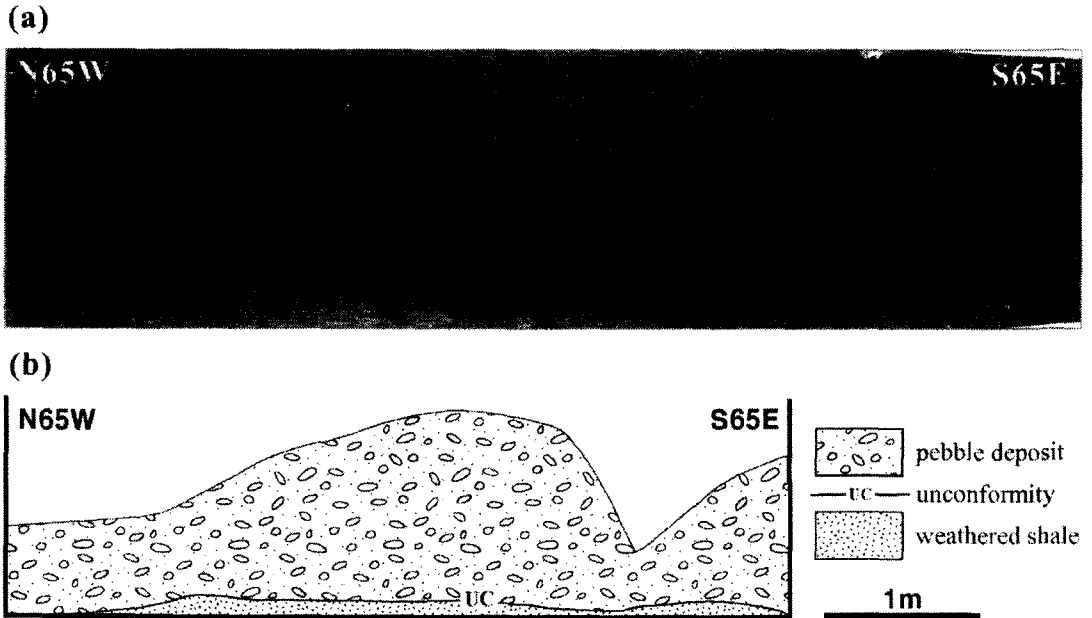


Fig. 3. 일광역 서쪽의 트렌치 사진(a)과 트렌치도(b)
(지점은 fig. 1의 트렌치 사이트 6임)

보다 해안 쪽의 지형 면이 높은 지형 이상(異常)을 나타낸다. 기반 침식면이 45m 해안단구면의 변형 면보다 해안가에 가깝게 위치하는데도 해발고도가 높고 해성 자갈 등이 흩어져 있지 않아 기반침식면은 당시의 해수면보다 높은 섬으로 인지되고, 기반 침식면 동측으로 20m 해성 단구면이 발달함으로 섬(기반 침식면)은 최종 간빙기 전반에도 유지되었을 것으로 판단된다.

또한 기반침식면의 해발고도는 1/5,000 지형도 양산도폭에 따르면 최고지점이 55.5m 및 46.3m로 침식 소기복면의 특징을 나타내며 현하상에서의 비고는 40m내외이다. A-C종단면에서 기반침식면의 지형단면 고도가 40~45m로 나타난 것은 침식 소기복면으로서 기반 침식면을 나타내기 위해 최고지점 고도(46.3m)를 벗어난 종단면을 나타내었기 때문이다. 따라서 기반 침식면은 기반암인 이천리층의 형성(백악기 말) 이후 45m 해성단구면의 형성(22만~32만년) 이전에 만들어졌을 것으로 유추할 수 있으나 명

확히 그 형성시기를 추정하기는 어렵다.

IV. trench 조사

항공사진 판독에 의하면 일광역 서쪽에 위치한 지대에서는 20m 해성단구면의 말단부에 북동-남서 방향으로 선구조선이 나타나며 이 선구조선을 중심으로 북서측 블록의 지형면이 1 내지 2m 상승한 것처럼 나타난다(Photo. 5). 선구조선의 주향은 N30°E이며 이 선구조선이 만일 단층일 경우 북서쪽으로 경사하는 역단층이거나, 남동쪽으로 경사하는 정단층이 되어야 한다. 이 추정단층이 실제 단층인지의 여부와 단층일 경우, 제4기층을 절단하는지의 여부를 확인하기 위하여 N30°E 방향에 직각으로 트렌치 조사를 수행하였다(Fig. 1의 트렌치 사이트 6).

상기 선구조선(추정단층)을 직각으로 가로질러 길이 5m 30cm, 폭 80cm, 깊이 1m 20cm의 트렌치를

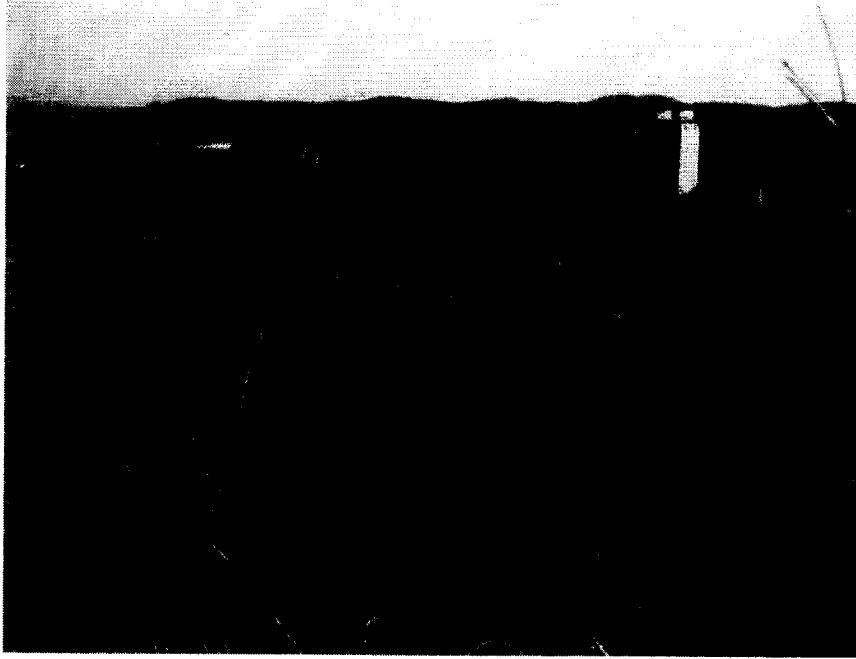


Photo. 1. 20m 해성단구면 전경

(중앙부에서 길이 낮아지는 부분의 좌측이 20m 해성단구면, 우측이 10m 해성단구면임)



Photo. 2. 45m 해성단구면의 변형면 전경

(중앙부와 우측에 숲으로 덮인 평탄면이 변형면이며, /가 구정선으로 추정되는 해발고도 45m임)

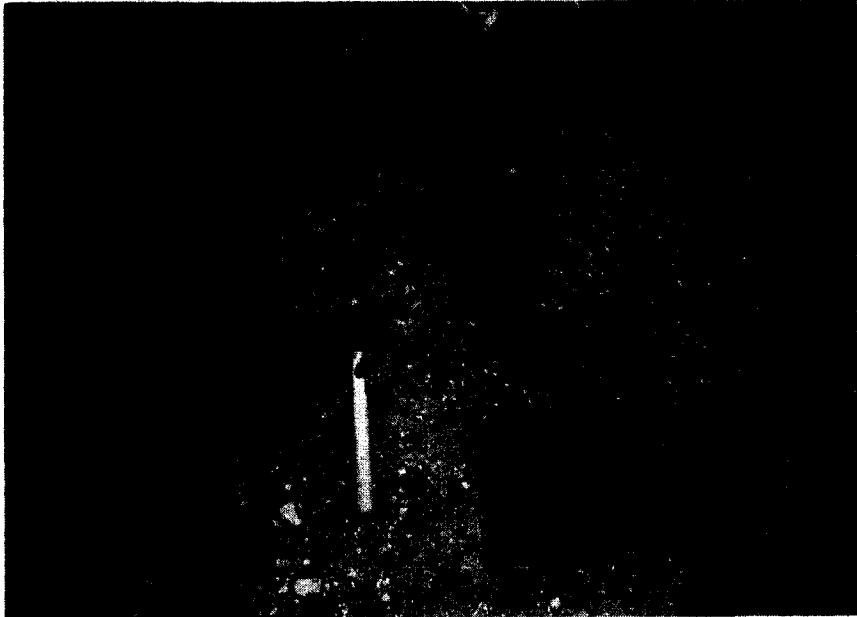


Photo. 3. 해상력이 흩어져 있는 45m 해성단구면의 변형면
(fig. 1의 노두 번호 3)

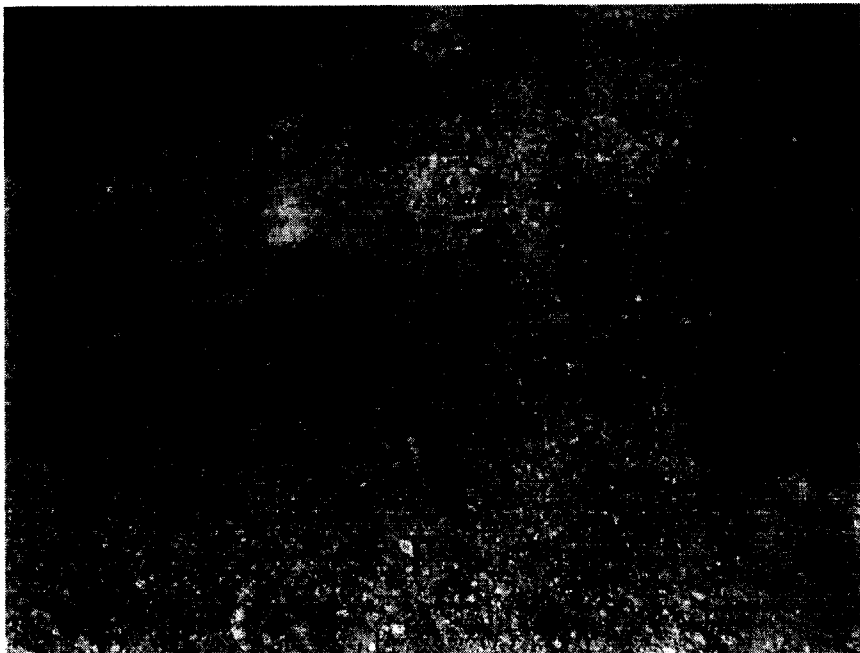


Photo. 4. 기반침식면의 지표에 흩어져 있는 shale의 파쇄력
(fig. 1의 노두 번호 5)

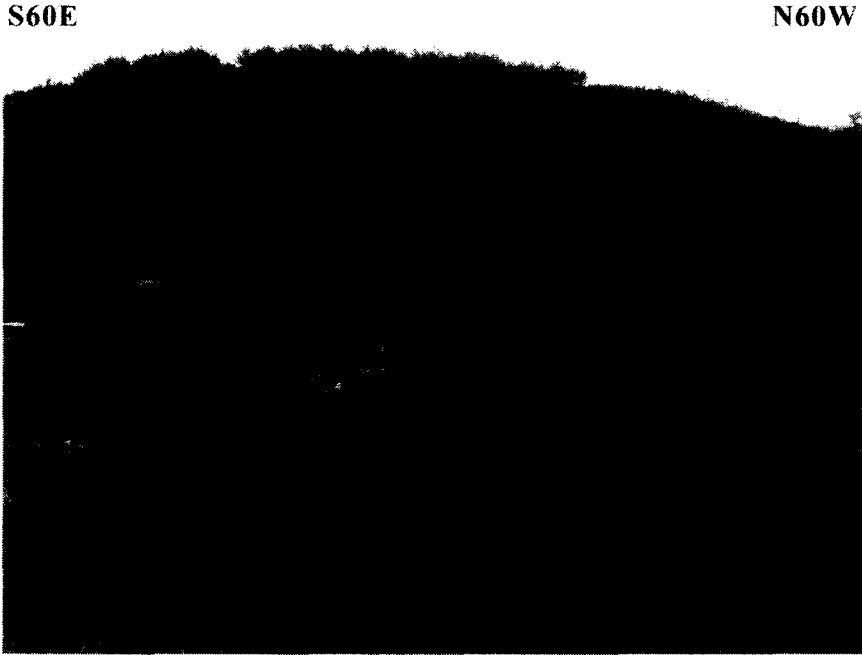


Photo. 5. 일광역 서쪽 트렌치 지점의 전경
(fig. 1의 트렌치 사이트 6)

절개하였다(Fig. 3의 a). 트렌치 결과 풍화된 기반암(백악기 이천리층의 세일) 위에 제4기 역층이 부정합(부정합면의 고도 : 8m)으로 피복하는 것으로 확인되었고 단층은 전혀 관찰되지 않았다(Fig. 3의 b). 제4기 역층의 기질은 적갈색의 점토 내지는 실트이고, 역은 크기가 주로 1~5cm이나 크기가 최대 20cm 되는 역도 간혹 존재한다. 역의 원마도는 비교적 양호하며(well-rounded~sub-rounded) 분급은 불량하다. 이 같은 퇴적물의 특징은 상기 제4기층이 만입지의 퇴적층임을 지시한다. 반면 상기 선구조선 북서층의 20m 단구면에 놓이는 퇴적층은 기질이 사질인 역층으로 역의 원마도는 매우양호(very well rounded)하며 크기는 주로 1~3cm인, 토양째기를 나타내는 전형적인 해성층으로 이루어져 퇴적상에서 차이를 나타낸다. 따라서 선구조선 분석에서 지형면 변위로 보이는 일광역 서쪽 지대는 10m 해성 단구면과 20m 해성 단구면이 N30° E 방향으로 직선적으로 접하는 약 10m 고도의 해성단구면의 구정선으로 해석된다.

상기 트렌치 지점에서 S20° W 방향으로 약 100m 지점에는 상기 선구조선(추정단층)을 가로질러 기반암이 양호하게 노출되어, 추정단층선이 이 기반암내에 단층으로 발달하는지를 조사하였다. 조사지역 기반암은 백악기 이천리층에 속하는 혼펠스질 세일과 실트암이 교호하는 퇴적암으로 층리면이 N45° E/20° NW로 나타났으며, 두 그룹의 절리(N35° E/80° SE, N35° W/80° NE)가 고각으로 발달하여 있으나 단층은 관찰되지 않았다.

트렌치조사 결과, 선구조선은 10m 해성단구면의 구정선인 것으로 나타났고 선구조선 주변의 지형적인 단구면 발달상태로 보아 45m 해성단구면(22만년~32만년 전) 형성이후에 제4기층 변위 흔적은 없는 것으로 파악되었다. 또한 트렌치 굴착 단면에서 나타난 표토층 하부는 해빈역층과 기반암 풍화층(saprolite)이 분포하고 해빈력 사이의 매트릭스 물질에 점토분이 많을 뿐만 아니라 분급이 불량한 상태를 고려할 때, 원래의 해빈 퇴적층이라기보다는 사면

류(slope wash) 또는 mass movement에 의해 재 이동 퇴적된 것으로 판단된다. 따라서 이곳의 자갈은 해빈력으로 과거 해침을 받았고 해안단구라는 사실이 입증되므로 단층애 또는 단층선애처럼 관찰되는 지형특성은 단층에 의한 것이 아니라 해퇴 과정에서 생겨난 일종의 단구애(terrace scarp)인 것으로 판단된다.

V. 결 론

이상을 종합하면 결론은 다음과 같다.

- 45m 해성단구면(22만년-32만년 B. P.) 형성 이후에는 단층활동이 없었다.
- 기반침식면은 45m 해성단구면보다 해안쪽에 분포하는데도 불구하고 비고가 25m 높으며 북북동-남남서 방향의 일광단층선대와 일치하므로, 일광단층은 이천리층 형성 이후-제4기, 또는 22만년-32만년 B. P. 이전에 이루어졌을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 신고리 1, 2호기 원자력발전소 건설을 위한 부지 안전성 검토를 위해서 한국전력기술주식회사의 지원으로 이루어졌다. 본 논문은 《신고리 1, 2호기 건설허가 심사관련 일광단층 특성 규명을 위한 추가정밀조사》(한국전력기술주식회사, 2004. 5.) 보

고서 중, 저자들의 집필분을 요약한 것이다.

본 논문의 일부는 한국지형학회 2004년도 하계 학술대회(8월 10일, 서원대학교) 및 2004년 9월 14-18일 몽골의 울란바토르 등에서 개최되었던 제3차 한·몽 세미나(The Third Korea-Mongolian Joint Seminars on ENVIRONMENTAL CHANGES OF NORTHEAST ASIA)에서 발표되었다.

참고문헌

김동학 · 황재하 · 박기화 · 송교영, 1998, 1 : 250,000 부산 지질도폭 설명서, 과학기술부.

김지수 · 이진한 · 한수형 · 김학수 · 이영준 · 이경주 · 주병찬, 2003, 지구물리탐사와 트렌치 조사에 의한 일광단층의 특성, 지질학회지 39(2), 211-223.

최성자, 2003, 진하-일광 지역의 해안단구, 자원환경지질 36(3), 233-242.

崔成吉, 1998, 韓國東海岸における後期更新世段丘の地形發達過程と最終間氷期の海水準, 日本東北大學大學院 博士學位論文.

OH, Geon Hwan, 1981, Marine terraces and their tectonic deformation on the coast of the southern part of the Korean Peninsula, Bulletin of Dept. of Geography, Univ. of Tokyo, 11, 11-61.