

수림리 일대에 발달하는 신기단층 및 해안단구의 층서 고찰

이병주, 김주용, 양동윤, 정혜경(한국자원연구소 지질연구부)

The characteristics of quaternary fault and coastal terrace around Suryumri area.

Byung-Joo Lee, Ju-Yong Kim, Dong-Yoon Yang, Hye-Kyung Jung
(Department of Geology, Korea Institute of Geology, Mining and Materials)

요 약 : 한반도 남동해안을 포함한 연구지역에는 북북동, 북동 및 서북서 방향의 선상 구조들이 발달하며, 백악기의 퇴적암류를 기저로 이들 퇴적암류를 관입한 화강반암이 분포한다. 제3기의 지층은 화산암 역을 주로 가지는 역암층, 화산성퇴적암류와 현무암이 분포하고 제4기의 충적층이 골짜기를 중심으로 계곡에 분포한다.

해안단구는 해안선을 따라 고도를 달리하며 발달하고, 수림리 일대에는 특히 중위면이 잘 발달되어 있다. 중위면의 분포고도는 실제측량을 통해 약 41-46m 사이에 분포하여 있다. 제4기층의 수직변위는 약 50cm 미만으로 비교적 적은 편이나, 남쪽으로 약 50m 이상 점토대가 연장되어 있는 것이 트랜취를 통해 확인되었다.

수림단층은 단층의 주향이 동북동에서 북동방향을 거쳐 북북동방향으로 변하며 경사는 동쪽 및 동남쪽으로 저각을 이루는 스리스트단층이다. 이 단층의 연장은 약 200m 정도이며, 변위는 현대연수원 절개면에서는 약 1.5m로 가장 크며 그 북쪽 및 남쪽으로 가면서 점점 감소하는 특성을 가진다.

주요어 : 제4기단층, 단층변위, 해안단구, 단구역층

Abstract : The study area which contains the coastal terrace of the southeastern part of Korean peninsula, well developed the lineaments which are NNE, NE and WNW directions. The area crops out Cretaceous sedimentary rocks and granite porphyry, Tertiary conglomerate, tuffite and basalt and Quaternary deposits.

Coastal terraces are subdivided into low, middle and upper terraces(LT, MT, UT) based on the topographic levels. Terrace gravels are deposited on these wave-cut erosional surface during the initial lowering stage of sea level fluctuation. Terrace gravels are typified by granule to pebble layers with slightly inclined beddings. These gravels are interpreted as beach gravels belonging to berm or swash zone based on the present distribution of beach gravels.

The Suryum fault is characterized by the thrust which is gradationally changing the strike from ENE to NNE. The extension of the fault is about 200m and Maximum displacement is about 1.5m.

Keywords : Quaternary fault, Fault displacement, Coastal terrace, Terrace gravel

1. 서론

방사성 폐기물처분장 건설을 위한 부지로 선정된 굴업도가 활성단층의 발견으로 부적합 판정을 받아 처분장 건설계획이 취소된 때를 즈음하여 한반도 동남부의 양산단층과 그에 평행한 일련의 단층 및 울산단층을 대상으로 연구가 활발히 시작되었다. 이들 연구의 결과로 울산, 포항 등지를 중심으로 제4기 퇴적층을 자르는 소위 제4기 단층들에 대한 발달양상, 운동특성 그리고 운동시기에 대한 연구 결과가 발표되었다 (Kyung et al., 1996; 최위찬 외 1998; 이봉주 외 1998, 1999).

본 연구지역인 하서리~정자리 일대에는 산지와 의 경계부에서 해안에 이르기까지 고위면, 중위면, 저위면등 각각의 지형면이 고도를 달리하며 뚜렷하게 단을 이루면서 해안에 평행하게 배열되어 있다(Fig 1). 이 지역은 동해안 중에서도 특히 해안단구가 모식적으로 잘 발달해 있기 때문에 이 지역에 대한 정확한 연구는 우리나라 제4기 층서체계를 확립하는데 중요하다. 정밀한 단구지형의 분석을 위하여 남동해안의 수렴리에서 정자리에 이르는 지역에 대하여 지형여건 및 소하천에 따라 지형을 세분하였다. 이러한 각 단구면들의 형성시기는 제4기 간빙기의 편년과 대비된다. 경주시 양남면 현대연수원 부지내 수렴리의 일대에서는 중위면이 특히 잘 발달하고 있는데, 이들 지점에서 제4기 단구역층이 상방이 밀려 올라간 변위특성을 보이고 있는 것으로 나타났다. 이들 지점은 월성원전부지와 인접해 있으므로 원전의 안전성 확보차원에서 이들 제4기 지층에 나타나는 변위특성과 이들의 정량화 작업은 중요시 되고 있다. 제4기 지층의 변위특성과 정량화를 위하여 수렴리 일대의 변위지점에 대해 약 50m 이상 연장성 추적을 실시하였다. 또한 수렴리의 현대자동차 주식회사의 연수원 신축 공사장내의 절개면에서 관찰되는 소위 수렴단층을 중심으로 그 주위의 지질 및 지질구조를 밝히며, 특히 수렴단층의 연장 및 단층의 기하학적 특성 그리고 이 일대의 제4기 지층의 층서를 밝히는 데 본 연구의 목적이 있다. 본 연구는 주로 야외에서 단층의 연장을 추적하기 위해 트랜치를 3-4차례 실시하였으며, 트랜치 현장에서 단층의 특성을 기재하여 분석하였다.

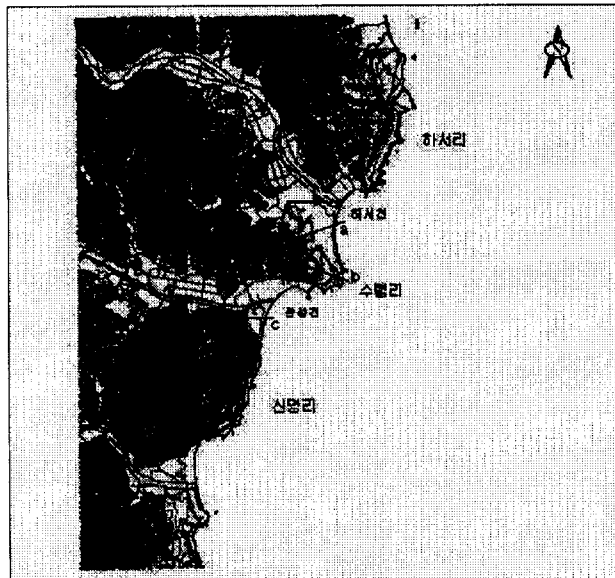


Fig. 1) Index map of study area

2. 선상구조

수렴리를 포함하여 한반도 남동부 지역은 북북동 방향의 선상구조와 북서방향의 선상구조가 뚜렷한 곳이다. 지금까지 경상분지의 선상구조에 관한 연구는 주로 인공위성 자료 특히 Landsat 영상을 분석 한 연구가 대부분이었다. 최근에는 지형도의 등고선으로부터 얻어진 수치지형 고도자료가 많이 사용되어져 왔다. 김종환 외(1976)는 Landsat-1 영상에 의한 지질구조와 광상과의 관계에 관한 연구에서 N25°E, N55°E, N15°W, N35°W, N51°W, N85°W의 6개의 방향을 제시하였다. 원종관 외(1978)는 N10°~40°E방향의 구조선이 우세함을 밝혔다. Otsuki(1985)는 한반도는 NS 그리고 NNE방향의 단층선상구조가 많이 발달하고 있다고 하였으며, 강필중 외(1986)는 선상구조와 납석 광상과의 관계를 연구하여, 광상이 양산단층과 평행한 N15°E방향의 선상구조의 지배를 받는다고 하였다. 또한 이들은 Landsat TM 영상의 band 3과 band 5를 이용하여 한반도에 발달하는 선상구조를 추출하여 지나방향(NNE-SSW), 평안방향(NW-SE), 요동방향(NE-SW), 한국방향(NNW-SSE), 단양방향(WNW-ESE) 등의 5개의 주된 방향에 대해 기재하였다. 김규한 외(1994)는 수계패턴으로부터 NNE-SSW, NNW-SSE, NE-SW의 직각상 수계가 잘 발달하고, 이들은 구조선과 밀접한 연관이 있다고 하였다. 이봉주 외(1997)는 Landsat TM band 5 영상과 전산 음영 기복도를 이용하여 한반도 동남부지역의 선상구조를 추출하였으며, N20°-35°E, N80°-90°E 또는 N80°-90°W, N50°-65°W, N0°-10°E 또는 N0°-10°W가 우세한 방향이라고 분석한 바 있다.

이 지역에서 나타나는 선상구조는 본역의 동측과 서측에서 확실하게 다른 양상을 보여주고 있다. 동측에서는 길이가 짧고, 다양한 방향으로 나타나는 반면, 서측에서는 연장성이 좋으며, 전체적으로 NNE~NE방향이 우세하게 발달하고 있으며, 김해지역에서는 NW방향의 선상구조도 우세하게 발달하고 있다(Fig.1). 또한 울산과 경주사이에서는 선상구조의 빈도수가 많으며, 동해안의 해안 가까이에서도 선상구조의 발달이 현저하다. 그러나 김해지역, 울산만 지역에서는 선상구조가 거의 나타나지 않음을 알 수 있다(Fig 2).

Fig. 2에 나타난 선상구조를 통계분석하면, 선상구조의 총갯수는 1,218개, 이들의 총 길이는 약 2,912km이며, 평균길이는 약 2.39km이다. 선상구조의 배향 분포를 알아보기 위한 장미그림이다. 본역에 나타나는 선상구조의 우세한 방향은 N20°-30°E, N50°-60°E, N50°-70°W이다. 방향별 선상구조의 빈도수와 길이에 대한 분포를 보면 N20°-40°E 방향의 선상구조들이 빈도수와 길이에서 모두 우세하게 나타난다 그러나 N50°-60°E 방향과 N50°-70°W방향의 선상구조들은 갯수는 많지만 길이의 합은 작게 나타나므로 그 연장이 짧다는 것을 알 수 있다(Fig. 3).

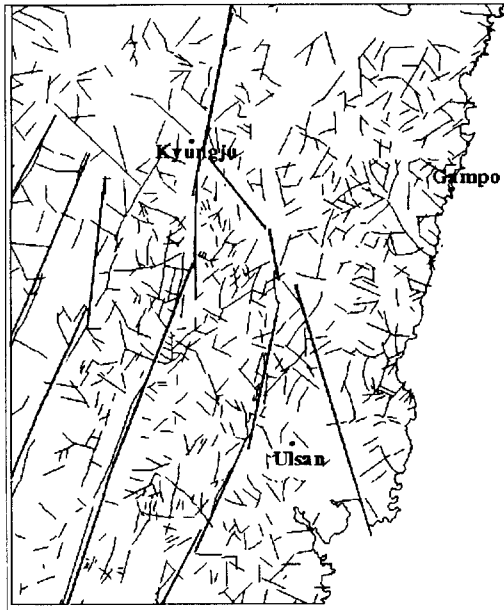


Fig.2) Lineament map composed by aerial photograph an satellite image around Kyungju- Gampo- Ulsan area

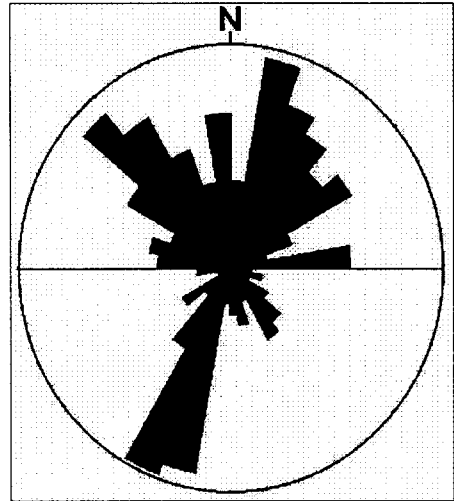


Fig.3) Rose diagram by the lineament of Fig.1 area (Upper part: Frequency of the lineament, Lower part: Length of the lineament)

3. 지질

수렴단층 부근의 지질은 Fig. 4에서 나타난 바와 같이 백악기의 퇴적암류의 이들을 관입한 화강반암을 기저로 제3기의 역암, 화산성 퇴적암류 및 현무암이 분포하고 제4기의 충적층이 해안가와 골짜기를 따라 분포한다.

백악기 퇴적암류는 수렴리 남쪽 해안가에 주로분포하며 (Fig.4) 암회색 내지 흑색의 실트암, 세일 및 사암의 호층과 적색의 실트암이나 사암, 역암 또는 석회질 세일이 협재한다. 층리의 발달이 양호하고 박리상으로 잘 분리된다. 적색을 띠는 층은 주로 적색의 실트암과 세일 및 이들과 호층을 이루는 사암으로 구성되지만, 일부 지역에서는 암회색 내지 녹회색의 사암이나 흑색 세일이 나타나기도 한다. 본역의 퇴적암류는 곳곳에서 나중에 관입한 화산암류 및 심성암류에 의해서 열변질작용을 받았다. 열변질작용을 받아 호은펠스화된 퇴적암류는 열변질작용을 받지 않는 퇴적암류에 비해서 더욱 단단하고 조직이 치밀해지는 특성을 보여준다.

본역의 세일은 석영, 장석, 점토광물 등으로 구성되어 있다. 이들은 대체로 fissility를 보여주며, 따라서 잘 쪼개지는 성질이 있다. 그러나, 열변질작용을 받은 경우에는 햄머로 내리쳐도 잘 깨지지 않을 정도로 매우 단단해지고 조직이 치밀해져 있는 경우도 있다. 실트암은 주로 실트크기의 석영과 장석으로 구성되며, 기질부는 점토광물, 운모류, 방해석 등을 포함하고 있다. 실트암은 사암에 비해서 엽층리의 발달이 좋은 편이며, 따라서 사암에 비해서 깨지기 쉬운 특성을 지니고 있다. 사암은 대부분이 세립질 내지 중립질이지만, 일부 지역에서는 조립질 사암도 나타난다. 사암은 주로 석영, 장석, 및 화산

암편으로 구성되어 있는데, 장석은 흔히 sericite로 변질되어 있다. 또한, 사암에서는 chlorite, epidote 등과 같은 변질광물이 흔히 관찰된다. 사암은 흔히 방해석과 점토광물에 의해 교질작용(cementation)을 받았으며, 따라서 다른 퇴적암류에 비해 물리적으로 단단한 특성을 지니고 있다. 수렴리 부근에서 이 지층의 태위는 주향은 북북동 방향이며 경사는 30도 내외로 서북서쪽으로 경사한다.

화강반암은 본역 남부에 주로 분포하며 백악기의 퇴적암류를 관입하여 퇴적암과의 접촉부에서는 퇴적암을 혼펠스화 시켰다. 본암은 담홍색을 띠며 세립질의 석기에 석영과 장석을 가지고 본암체의 주변부에서는 반정이 점차 사라져 규장암으로 변하고 있다.

제3기 **역암층**은 수렴리 동쪽에서 화강반암 및 백악기 퇴적암류를 기반암으로 분포하며 1대 5만 울산도폭(박양대와 윤형대, 1978)에서는 정자역암이라 명명하였다. 이 역암층은 역암이 가장 우세하며 장석질사암과 세일도 협재한다. 역암은 본층 하부에서는 분급이 불량하며 원마도도 낮아 각력질이나 상부로 가면서 원마도와 분급상태도 양호해 진다. 역의 종류는 흑운모화강암, 화강반암, 규장암, 적색 세일, 사암, 회록색 사암, 흑색 세일, 혼펠스 등이며 드물게 안산암역도 관찰된다. 역의 크기는 30 cm 내외에서 1-2 cm의 것으로 다양하다. 역암층의 태위는 북북서 방향의 주향에 10도 미만으로 동북동쪽으로 경사한다.

제3기의 **화산성퇴적암류**는 수렴리 북쪽에 본암이 분포하는데 울산도폭에서는 당산안산암질응회암으로 명명된 지층의 일부이다. 다음에 기재학 소위 수렴단층도 이지층 중에서 발달한다. 본암은 담회색 내지 회백색을 띠며 화산쇄설물인 화산암류의 역들을 함유하며 기질은 이질암이다. 수렴단층 부근에서는 층리가 뚜렷하게 발달하며 북북동 방향의 주향에 40도 내외의 경사각을 가지며 남동쪽으로 경사한다. 화산쇄설물로 구성된 역들은 원마도가 매우 나빠 각력에 가까우며, 분급도 불량하다. 역의 크기는 장경이 15cm에서 1cm까지 다양하다.

현무암은 제3기 화산성퇴적암류 내에 분포한다. 이 현무암은 암석연대측정 결과에 따른 분출시기는 다소간에 차이를 보이나 화산성퇴적암류의 퇴적시기와도 밀접한 관련을 가진다. 즉, 퇴적암류들의 퇴적시기와 동일한 시기의 화산활동에 기인한다. 분출시기는 대체로 19-22Ma로 알려진다 (이현구 외, 1992).

제4기 **충적층**은 역, 모래, 자갈 혹은 점토 등으로 이루어진 현생퇴적암류들을 모두 충적층으로 통합하였다. 지형적으로 극히 제한된 지역에 분포하는 고기하성층들과 계곡 충진 퇴적층들도 여기에 포함시켰다. 제4기층에 대하여는 상세하게 설명하기로 한다.

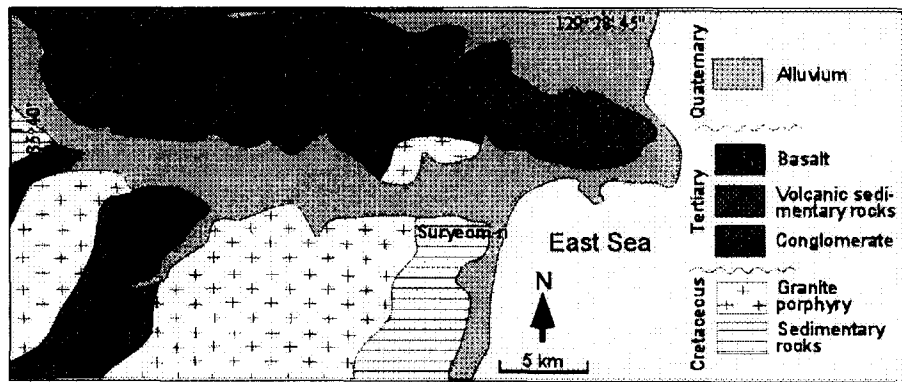


Fig. 4) Geological map around Suryeom-ri area

4. 제4기 퇴적 층서

단구 퇴적층의 분포 특징을 구분하기 위하여 첫째, 실내작업으로 1:25,000 지형도를 이용하여 지형면을 분류하였다. 분류된 해안단구면은 현지조사를 통해 확인하였다. 둘째, GIS기법을 이용하여 지형 고도특성을 분류하였다. 각 단구면들에 대한 profile 분석과 이를 바탕으로 3-D map을 작성하여, 해안단구면의 수평 분포와 수직 분포를 입체적으로 표현하였다(Fig 5). 이러한 연구는 국내에서 수치지도의 출간과 더불어 최초로 시도되었다. 셋째, 지형면의 분포특징과 지형면의 고도 및 경사변화를 보다 자세히 확인하기 위하여 해안선에서부터 배후산지까지 해안단구의 종단면을 따라 측량을 실시하였다. 넷째, 분류된 단구면의 노두관찰과 단구퇴적상 조사하였다. 특히, 수렴리 일대에서 발견된 제4기 단층의 연장선을 추적하기 위하여 남쪽방향으로 약 50m 추가 트랜취를 실시하였으며, 제4기 단층의 분포특성을 기재하였다. 제4기 단구역층에 대한 형태분석을 실시하였고, 현재 해빈 자갈과 비교하였다(김주용 외, 1990). 형태분석을 위하여 원구도와 원마도 변수를 산정하였으며, 이를 도표화하여 해빈환경의 해성역들과 하성역들의 구분을 시도하였다.

4-1. GIS에 의한 단구면 고도분석

수렴리와 정자리 일대의 경우, 저위면은 I·II면으로 세분되지 않으며, 중위면의 경우는 나타나지 않는 지점도 있다. 중위면과 고위면의 경계가 모호한 지점에서 중위면들이 나타나는 것들이 있어, 추후 정확한 현장조사를 통해 정확한 분류를 해야할 것이다. 고위면의 경우는 거의가 I·II면으로 세분되는 것을 볼 수 있다.

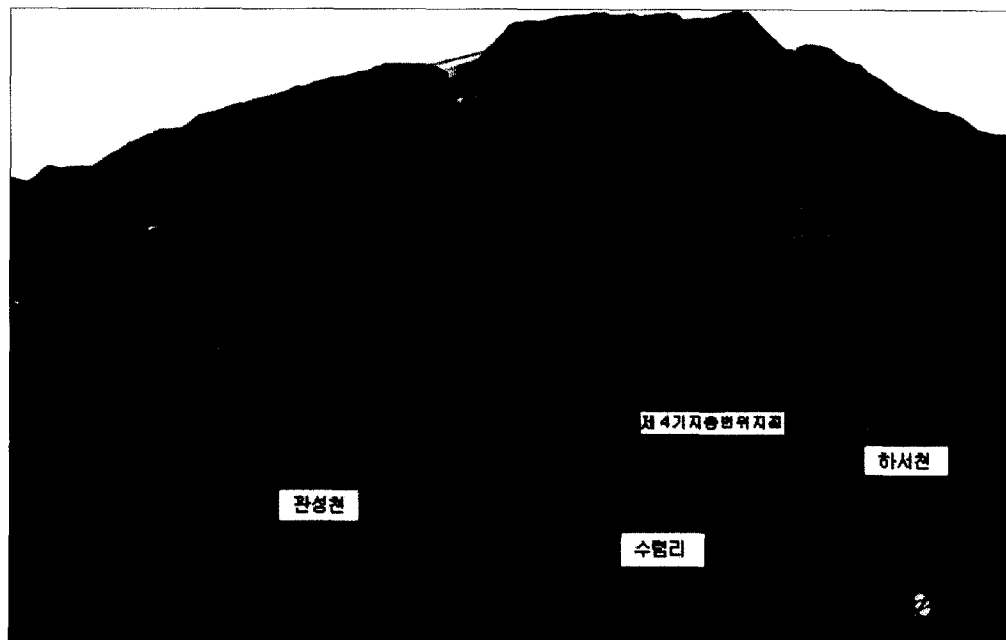


Fig 5) 3-D Topographic map of Haseori~Jeongjari area

profile분석을 실시한 지점은 Fig 1.의 a, b, c이며, 저위면·중위면·고위면은 각각 색으로 구분하였다. b지점이 제4기층의 변위가 나타나고 있는 곳의 profile이다. 중위면의 경우, 해안에서의 거리가 약 700m인 곳에서 나타나는 곡을 중심으로 두 면의 고도에 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 이 역시 추후 정확한 현장조사를 통해 정확한 분류를 해야할 것이다.

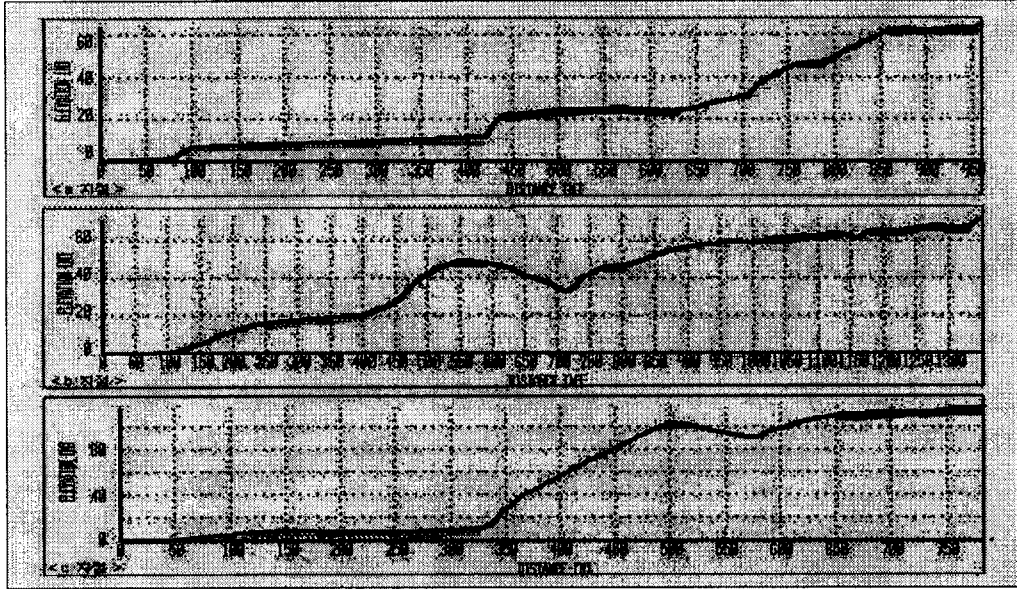


Fig 6) Terrace profiles of the study area (yellow-low terrace, red-middle terrace, purple-high terrace)

4-2. 단구역층의 산상

한반도 동남해안 지역에 특징적으로 발달하는 단구들은 대체로 완만한 경사를 가지는 산사면을 따라 평탄한 지형을 보이며, 급경사의 단애를 경계로 계단형태의 지형특징을 나타내므로 이들 단구의 발달규모를 도면화할 수 있다. 남동해안의 포항에서 주전 사이에는 지역적으로 계단형태를 보이는 단구들이 서로 다른 고도에 잘 발달하여 있다 (Lee D.Y., 1987). 이 중에서 하부로부터 저위면과 중위면 위의 단구들은 식별이 용이한 편이나 이보다 더 상부에 위치하는 단구들은 상대적으로 시대가 오래되어 풍화와 침식을 더 오래 받아온 결과로서 원래의 단구지형을 식별하기는 어렵다. 고위면 상의 단구들은 대체로 완만한 경사의 지형과 지표에 산재된 둥근 자갈들로부터 해성단구의 흔적을 찾을 수 있을 뿐이다. 또한 저위면 위의 단구들도 단구면의 상당부분이 원래의 지형으로부터 변형되어 있다. 즉, 단구면의 하위점(front edge)은 지표침식을 받은 흔적들이 발견되고 있으며, 단구면의 상위점(shoreline angle)으로 갈수록 상부에서 이동되어 온 봉적도가 원래의 단구면을 피복하고 있다.

저위II면들은 고도 약 4-5m높이에 대상으로 발달하여 있고, 이 단구면은 현재 발로 이용되거나 해송림 혹은 촌락들이 위치하여 있다. 단구면 하부는 분급상태가 양호한 중립 내지 세립의 자갈들로 구성되어 있는 단구역층이 분포하여 있다. 포항일대와 정자동 사이의 저위II면의 대표적인 표식지는 송하, 나아 및 하서지역 등이며, 이 중에서도 송하에서 가장 뚜렷하게 계단형태의 지형을 보여주고 있다(Lee D.Y. 외, 1992). 저

위I면은 대개 8-18m 고도에 위치하여 있으며, 단구들 중에서 많은 곳에서 가장 뚜렷하게 계단형태의 단구지형을 보이고 있다. 단구면은 해안과 평행하게 발달하여 있으며, 대부분이 농경지로 이용되고 있으며 연속성도 양호한 편이다. 저위I면 위의 단구퇴적층은 분급이 양호한 세립 및 중립의 자갈들로 구성되어 있으며, 대부분 약 2-3m의 층후를 보이며, 최상부는 표토층 혹은 사면기원 쇄설층과 니류층으로 피복되어 있다. 주요 분포지는 정자, 양남, 나아 부근으로서 여기서는 모두 유사한 암상의 단구층을 관찰할 수 있다. 특히, 정자동과 감포지역에서는 입자의 크기가 다른 역층들이 교호하면서 5° 내외의 경사로 사층리구조를 보이고 있다. 또한, 층후가 내륙에서 바다로 갈수록 점이적으로 감소할 뿐만 아니라 퇴적물 입자의 크기도 감소하며, 입도분포와 자갈의 형태특성상 이들 저위I면 위의 단구역층은 과거 해안선 부근의 해파대에서 파랑에너지에 의해 마멸되면서 퇴적된 것으로 해석된다(Kim, 1990; Kim et al, 1990). 정자동 중도부락과 화암부락 일대의 침식성 해식대지의 상위점과 하위점의 경사는 대개 0.5% 내지 1% 범위로 나타나고 있음으로, 단구역층과 기반암의 경계부인 해식대지의 폭이 약 100m 일 경우 상위점과 하위점의 측량상 오차는 0.5m 내지 1m로 추산된다. 현장에서 저위면의 폭은 산지로 갈수록 사면기원 퇴적층 하부로 들어가버리므로 추정하여 계산하든지 하위점이나 중간점을 이용하여 추정한다. 저위면의 폭은 정자리의 경우 대부분 100m 이하인 경우가 많다.

중위면의 단구는 하위의 단구면들에 비하여 지형적으로 뚜렷한 계단형태는 보이지 않고 있으나, 국지적으로 고도 약 30-45m 위치에서 매우 완만한 경사면을 보이면서 발달하여 있다. 양남, 감포, 읍천 등지에서는 고도 30-45m 사이에 원마도가 양호한 단구역들이 퇴적되어 있으며, 완만한 경사의 단구면들도 잘 나타나 있다.

고위II면 위의 단구는 지형적으로 단구의 형태를 구별하기는 매우 어려우나, 고도 55-70m의 산록 중앙부근에 대체로 완만한 경사면이 위치한다. 지표면에는 풍화를 심하게 받았으며 원마도는 양호한 역들이 산재하며, 수렴리 일대에는 고도 약 55-56m 부근에 단구역층이 분포하고 있다. 고위I면은 고위II면과 유사한 지형특징을 보이며, 극히 지역적으로 한정된 곳에서만 단구역층의 흔적이 남아 있는데, 산하리 일대 고도 약 70-80m 부근에 지표에 흩어진 잔자갈편을 관찰할 수 있다. 이들 자갈편은 주변지질과는 이질적으로 원마도가 양호한 잔자갈편들로서 국지적으로 산재해 있는 것을 관찰할 수 있어, 고기해수면의 증거로 보고 있으며, 현재 이보다 더 높은 곳에서는 해빈자갈의 존재가 알려지지 않고 있다.

이와 같은 단구퇴적층의 형성은 따뜻한 기후였던 간빙기 동안에 해수면이 상승으로 침식과 퇴적의 기준면도 상승하였던 기간에 형성된 지형층서적 특징을 보이며, 해수면의 하강에 따라 하성의 자갈유입이 왕성한 지역을 중심으로 해진작용(progradation)에 따라 형성되었다(김주용 외, 1998).

4-3. 단구역층의 형상연구를 통한 퇴적환경 고찰

주로 강동면 정자동 부근에서 단구역층내의 자갈시료를 채취하여 형태분석을 실시하였다. 시료채취 위치는 정자동 화암부락 고위 I 면과 고위 II 면, 강동중학교 일대 고위 I 면, 수렴리 고위 I 면, 수렴리 중위면(3개 시료), 정자동 중도부락 저위 I 면, 정자리 화암부락 현해빈 일대(2개 시료)에 대하여 역의 형태분석을 실시하여, Kim and

others(1990)에 의한 분별도표에 추가로 표시하였다. 이에 따라 하성역들과 해성역들의 원구도와 원마도가 퇴적환경 특성별로 구분되고 있음을 알 수 있다 (Fig 7).

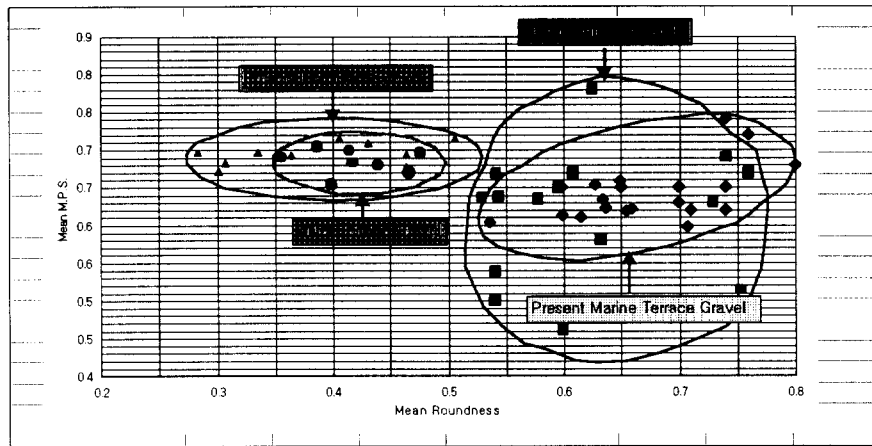


Fig 7) Sphericity-Roundness bivariate diagram for classifying beach gravels and river gravels

단구역층내 역의 원구도(maximum projection sphericity)와 원마도(roundness) 변화 특성과 같은 역형상(gravel shape) 연구결과, 현재의 동해안 해빈에 분포하는 해빈자갈의 성격과 유사한 것으로 해석되었다. 과거 해수면부근에서 형성될 수 있었던 자갈이 분포하는 점으로 보아 고기 해안선을 지시하는 퇴적층으로 볼 수 있다. 특히, 고기해안선은 전통적으로 자갈층과 기반암의 경계부가 내륙쪽으로 연장하여 경사가 변화하는 말단부(shoreline angle)의 위치 및 고도를 지시하고 있다.

5. 수렴단층의 특성

수렴단층은 최위찬 외(1998)에 의해 발견되어 기재된 단층이다. 이 단층은 경주시 양남면 수렴리의 (주)현대자동차의 연수원 신축 공사장 내의 절개단면에서 관찰된다. 단층이 발견된 노두에서는 화산암 기원의 역암인 제3기층이 N15°E의 주향에 45°SE의 경사를 보이며, 이를 제4기층이 부정합으로 피복한다. 제4기층에는 거의 수평의 층리면과 남동 방향으로 완만하게 경사하는 사층리가 발달하며, 원마도가 매우 높은 자갈로 구성된 미고결층이다. 수렴단층의 주향은 N35°E, 경사는 45°SE이다. 단층면의 경사는 기반암에서는 45도를 보이거나 상부로 가며 점차 완만해지다가 표토층 직하인 제4기층 상부에서는 거의 수평으로 변한다. 이봉주 외(1999)는 제4기동안 수직 변위율을 0.004 mm/y 또는 0.003 mm/y라 발표하였으며, 단층의 연장은 북쪽으로 가면서 변위량이 감소하고 400-500m의 연장이 있을것이라 추정하였다.

본 논문에서는 수렴단층의 남쪽 연장을 확인하고 수렴단층의 연장과 단층의 기하학적 특성을 기재한다.

5-1. 연수원 절개면 노두

위에서 언급한 바와 같이 이미 관찰 기재된 바 있으며(최위찬 외, 1998, 이봉주 외, 1999) 본 연구에서도 Fig.4에서처럼 관찰 기재하였다. 수렴단층은 기저암인 제3기의 화산성 퇴적암에서는 N50°E의 주향에 30°SE의 경사를 가지다가, 제4기층이 짚리는 곳에서는 N70°E의 주향에 35°SE의 경사를 가지는 스러스트 단층으로 단층의 주향이 점차 변한다. 또한 이 지점에서 변위는 1.5m 정도이다 (Fig. 8).

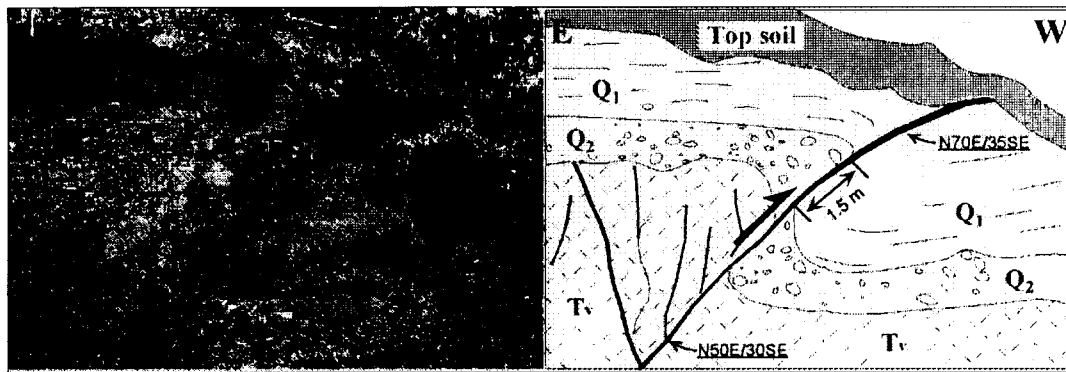


Fig. 8) Outcrop photograph of Suryom fault(left side) and Outcrop sketch of Suryom fault(right side).

Tv: Tertiary deposit, Q1: Quarternary conglomerate, Q2: Quarternary gravel layer

이곳에서 단층의 주향이 변해가는 양상은 기저암인 화산성 퇴적암이 제4기의 미고결층에 비해 상대적으로 견고하여 Fig. 9에서 보여주는 바와 같이 견고한 암체가 밀려올러가면서 상대적으로 연약한 제4기층에서 단층의 주향이 활처럼 굽어지면서 생긴 현상으로 해석된다.

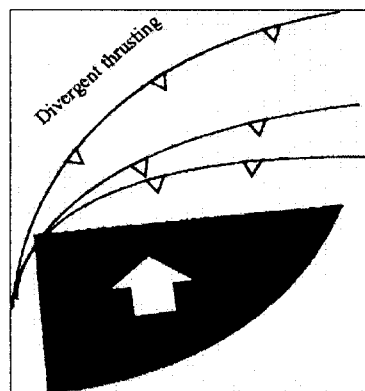


Fig. 9) Diagram showing the relationship of an orthogonal thrust system to a rigid indenter, after Bale(1986)

5-2. 절개면 노두 북쪽 10m 지점 트렌치사이트

연수원 절개면 노두의 북쪽연장을 확인하기 위한 작업은 이미 실시되어 그 결과가 보고된바있다(최위찬 외, 1998 및 이봉주 외 1999). 본 연구에서도 북쪽 연장을 확인 하기위해 연구원 노두에서 10m 떨어진 곳을 트렌치를 실시하여 단층의 연장을 확인하였다. 이 지점은 제4기의 충적층이 분포하지 않아 제4기 퇴적층을 찢른 단층은 관찰되지 않았으나, 트렌치한 면을 스캐취한 그림은 Fig. 10과 같다. 트렌치면에서 Fig. 6에서 표시한 F1, F2, F3의 단층이 발달하며, F1과 F2는 주향은 북북동 방향이나 경사각이 65-85도의 고각인 정단층이다. 반면 F3가 역단층으로(Fig. 11) 단층면이 N20E의 주향에 35도 남동경하여 연수원 절개노두의 연장 즉 수렴단층의 연장이다.

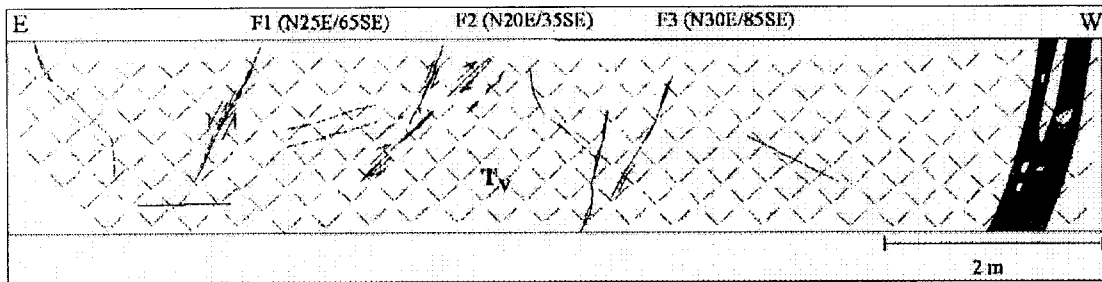


Fig. 10) Outcrop skech of trench site at 10m nouthern part of the Suryum fault

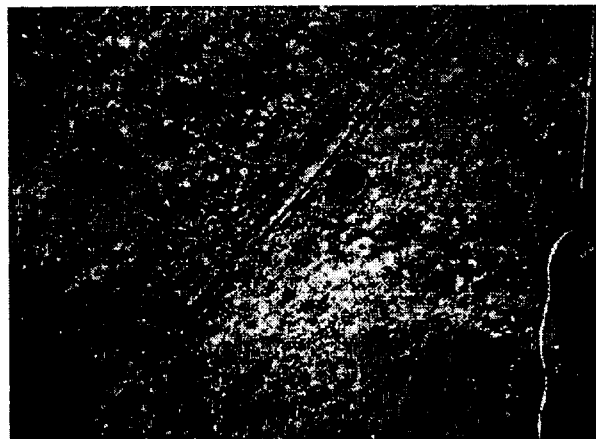


Fig. 11) Outcrop photo of F1 fault showing reverse movement sense.

5-3. 절개면 노두의 남쪽 연장

연수원 절개면인 처음으로 수렴단층이라 명명된 노두에서 남쪽 연장을 추적하기 위해 단층의 주향방향을 따라 남쪽으로 트렌치를 실시하였다. 그 결과 단층 점토가 계속 연장 발달하며, 주향도 점차적으로 동북동에서 북동을 거쳐 거의 남북으로 방향을 전환하며 발달한다 (Fig. 12). 이와 같은 현상은 Fig. 8에서 잘 표현되는데, 화살표는 연수원 노두에서 남쪽으로 향하면서 단층의 주향이 변화됨을 나타낸다.

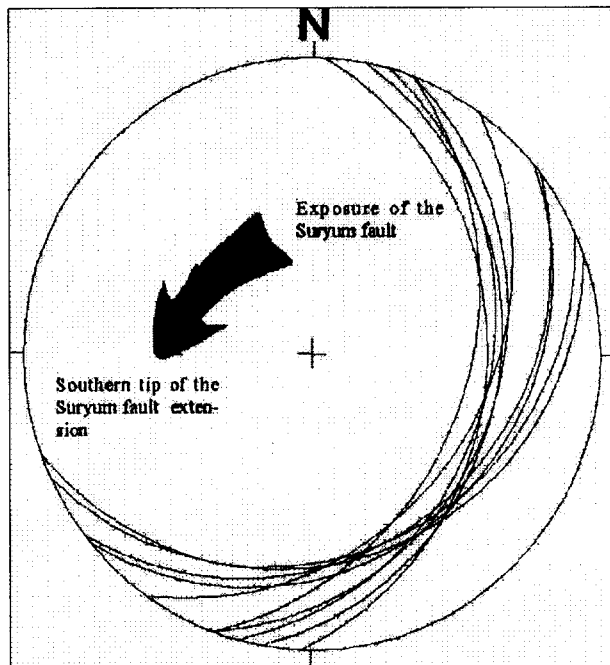


Fig. 12) Trace of the Suryum fault
Toward the southern part, the trends are gradationally changing.

이 단층은 남쪽으로 향하면서 스트릭트의 변위도 점차 적어진다. 즉 연수원 노두에서는 1.5m의 변위를 가지는 스트릭트(Fig. 12)가 이곳에서 남쪽으로 정확히 50m 떨어진 곳에서는 변위가 65cm로 적어졌으며(Fig. 13), 55m 떨어진 곳에서는 단층의 흔적이 현저히 줄어 최소한 연수원 노두에서 남쪽으로는 그 연장이 100m를 넘지 않을 것으로 판단된다.

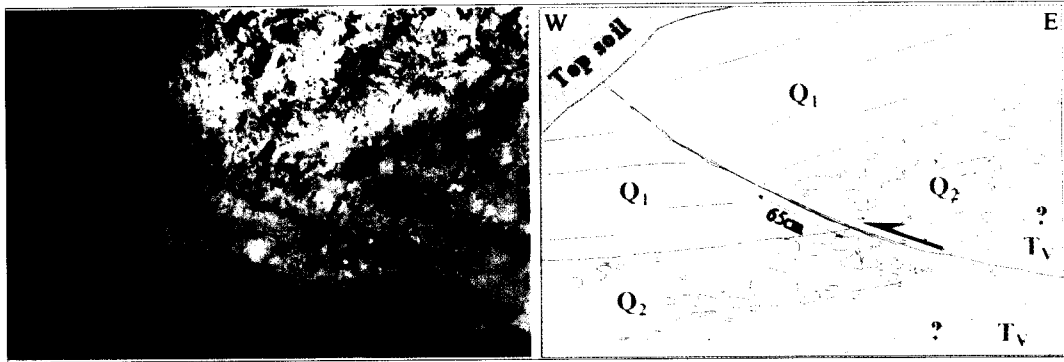


Fig. 13) Outcrop photograph (left side) and Outcrop sketch(right side) of the southern extension of Suryom fault.

Tv: Tertiary deposit, Q1: Quarternary conglomerate, Q2: Quarternary gravel layer

6. 수렴단층의 기하학적 특성 고찰

수렴단층이 경사가 저각인 스트라이프임은 처음 발견될 때부터 인지된 것으로 이 단층의 연장에 대해 이봉주 외(1999)는 연수원 절개면에서 북쪽으로 단층의 변위량이 감소한다고 하고 항공 사진상에서 북동방향으로 400-500m의 선상구조가 발달함을 지적하였다. 본 연구에서는 연수원 절개면의 남쪽 연장을 정확히 확인한 결과 그 연장이 100m를 넘지 않을 것을 밝혀 이봉주 외(1999)의 결과와 함께 고찰하면 수렴단층의 총 연장은 200m내외로 추정된다.

강동면 수렴리 일대에는 중위면 중에서 최상부에 해당하는 해발고도 약 43m 내지 45m 부근에 단구역층이 발달하여 있으며, 이 단구역층 중에서 고도 약 45m에 위치하는 노두에서 제4기 단구역층을 변위시키는 지층이 발견된 이후, 그 연장성과 형성시기에 대한 연구가 현재도 계속 중에 있고 남쪽으로 약 50m 까지 그 연장성이 확인되었다 (Fig. 14). 최근 권성택 등에 의하여 수렴리 중위면 위의 단구역층내의 기질물을 구성하는 석영입자에 대한 OSL연대측정에 의하여 단구역층의 형성시기가 마지막 빙하기에 속하는 것으로 발표한 적이 있다(최위찬외, 2000). 좀 더 구체적으로 언급하면 수렴리의 단구역층 중에서 변위를 보이는 역층의 OSL 연대가 31,700yrsB.P., 52,600yrsB.P., 그리고 58,000yrsB.P.으로 나타났음을 보고 한 적이 있다. 이러한 수치연대 자료는 정자동 화암마을 일대의 비고 약 11m 부근에 나타나고 있는 저위면 위의 단구역층 단면 중에서 이를 피복하고 있는 사면기원 퇴적층내에 협재하는 3매의 유기 니질물의 탄소연대가 30,170yrsB.P., 32,730yrsB.P. & 35,750yrsB.P.(최위찬외, 2000)로 나타났다. 이러한 연대측정 자료들을 볼 때, 단구역층이나 이를 피복하고 있는 지층의 연대가 단구의 분포고도와는 무관하게 마지막 빙하기에 속하고 있음이 주목된다. 즉, 해안단구의 분류상으로 볼 때 수렴리의 단구는 중위면에 해당하고 화암마을의 단구는 저위 I 면에 해당하고 있음에도 불구하고 연대측정의 결과가 비슷하게 나왔다는 것은 신중하게 검토해야 할 점이라고 사료된다. 특히 연대측정을 실시한 퇴적층은 지표로부터의 심도가 거의 2-3m에도 미치지 못하는 천부에 분포하고 있는 점도 주목해야한다. 한반도의 지표하

부 약 2-3m 부근은 마지막 빙하기 동안에 형성된 다양한 형태의 토양화 작용을 받았다는 것은 일반적이다. 주로 주빙하성 기후하에서 동결과 융해작용을 반복하면서 토양쇄기조식이 발달했었으며 서릿발작용과 같은 현상들이 활발했었다. 이로 인해 토양층은 지표의 물질이 지표하부로 내려와 섞이게 되며 경반과 fragipan을 이루고 있는 경우가 많으며, 이러한 형태는 일반적인 퇴적의 범칙과는 다른 관점에서 이해해야 할 것이다. 따라서 단구역층 등에 대한 절대연대의 의미는 더욱 검증될 수 있도록 추후 보충연구가 필수적으로 수반되어야 한다.

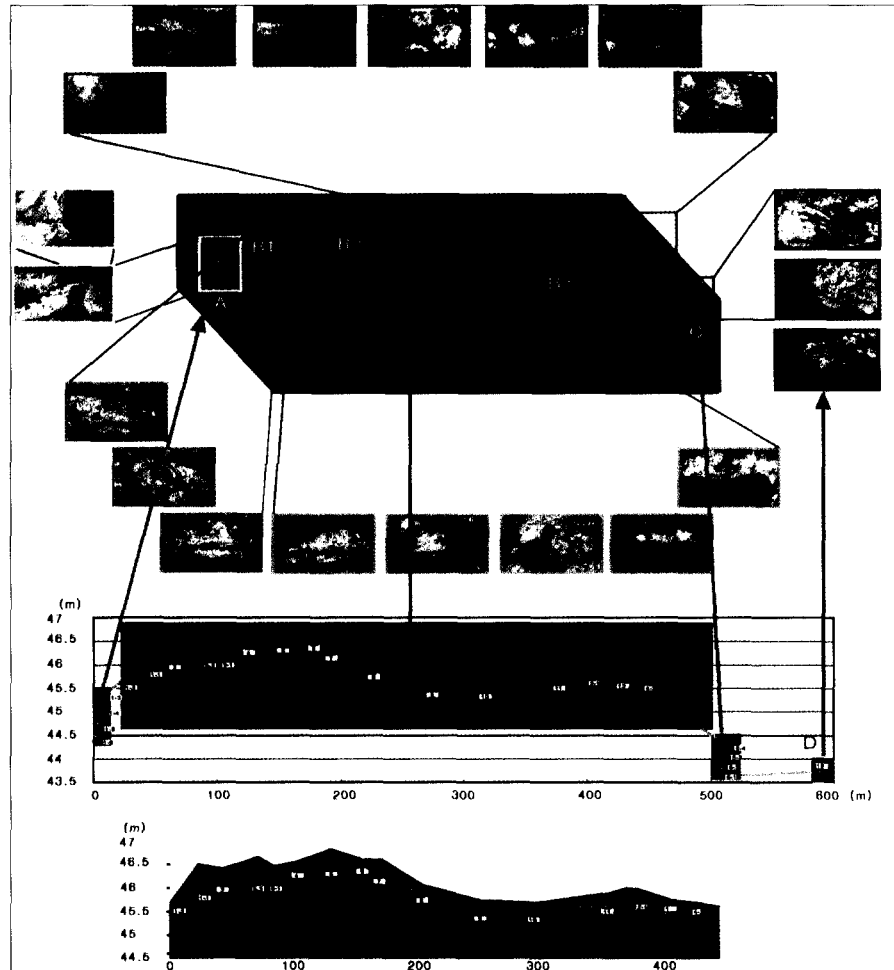


Fig 14) Vertical and horizontal continuity of clay layers found at the displaced boundary, (a) detail profiles and plan view of clay layer, (b) thickness of overburden at different subsites, (c) thickness of clay layers in B1, B2, B3 subsites

수렴단층은 그 연장을 따라 단층의 주향이 동북동에서 북북동으로 바뀌어 가고(Fig. 15) 연구원 절개면에서 변위량이 가장 크며 이곳을 중심으로 북쪽 및 남쪽으로 가면서 변위량이 감소한다. Fig. 15은 이러한 수렴단층의 기하학적 특성을 고려하여 연수원 절개면에서 남쪽으로 트렌치한 결과를 토대로 수렴단층의 기하학적 특성을 3차원으로 도식화한것이다.

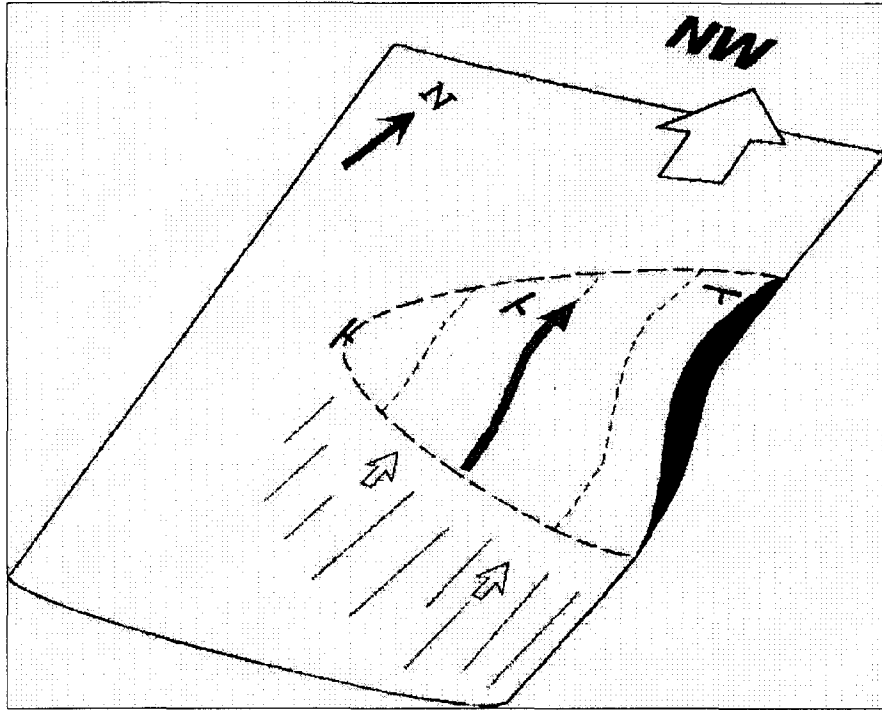


Fig. 15) Schematic block diagram showing the geometry of Suryum fault

7. 결론

한반도 남동해안을 포함한 연구지역에서 선상구조의 우세한 방향은 $N20^{\circ}-30^{\circ}E$, $N50^{\circ}-60^{\circ}E$, $N50^{\circ}-70^{\circ}W$ 이다. 방향별 선상구조의 빈도수와 길이에 대한 분포를 보면 $N20^{\circ}-40^{\circ}E$ 방향의 선상구조들이 빈도수와 길이에서 모두 우세하게 나타난다 그러나 $N50^{\circ}-60^{\circ}E$ 방향과 $N50^{\circ}-70^{\circ}W$ 방향의 선상구조들은 갯수는 많지만 길이의 합은 작게 나타나므로 그 연장이 짧다. 이 지역에는 백악기의 퇴적암류를 기저로 이들 퇴적암류를 관입한 화강반암이 분포한다. 제3기의 지층은 화산암 역을 주로 가지는 역암층, 화산성 퇴적암류와 현무암이 분포하고 제4기의 충적층이 골짜기를 중심으로 계곡에 분포한다.

해안단구는 해안선을 따라 고도를 달리하며 발달하고, 단구면이 현저하게 발달된 곳은 남동부 영일만에서 울산만에 이르는 지역이다. 해안단구는 단구면과 이들 면간의 경계를 이루는 단구애로 이루어진다. 단구역층 중에서 변위가 발견되었던 지점인 수렴

리 일대에는 특히 중위면이 잘 발달되어 있다.

수렴단층은 연장을 추적하면 주향이 동북동에서 북동방향을 거쳐 북북동방향으로 변하며 경사는 동쪽 및 동남쪽으로 저각을 이루는 스티스트단층이다. 이 단층의 연장은 약 200m 정도이며, 변위는 현대연수원 절개면에서는 약 1.5m로 가장 크며 그 북쪽 및 남쪽으로 가면서 점점 감소하는 특성을 가진다.

사 사 : 본 논문은 과학기술부에서 지원한 원전부지 지진안전 평가기술 개발사업의 중과제인 신기 지구조 및 제4기 지층의 체계정립 연구에서 수행한 연구 결과의 일부로 이 연구를 지원한 과기부 관련 제위께 감사드리며, 이 연구를 도와주신 원자력안전기술원 이성규부장님, 현창현박사님과 임창복 박사님께 진심으로 사의를 표한다.

참고문헌

- 김규한, 김완숙, 1994, 남한의 수계발달과 지질구조와의 관계에 관한 연구, 환경지질학회지, Vol. 27, No. 6, p. i93-i99.
- 김종환, 강필중, 임정웅, 1976, LANDSAT-1 영상에 의한 영남지역 지질구조와 광상과의 관계 연구, 지질학회지, 12, 79-89.
- 김주용, 이동영, 최성길, 1998, “플라이스토신 층서연구”, 한국제4기학회지 제12호. pp.77-87.
- 오건환, 1983, “구정선고도변화로부터 본 한반도의 제사기 지각변동”, 부산대사대 교육논집 10, pp. 245-253.
- 오경섭, 1989, “Bt-Band의 형성과정”, The Korean Journal of Quaternary Research, Vol. 3, No. 1, pp. 35-45.
- 원종관, 강필중, 이상현, 1978, 경상분지의 구조해석과 Igneous Pluton에 관한 연구, 지질학회지, Vol. 14, NO. 3, pp. 79-82.
- 윤순옥, 정혜경, 1999, “한국 남동해안 감포일대 해안단구의 지형분석과 GIS의 활용”, 경희대학교 지리학과, pp. 1-10.
- 이봉주, 최위찬, 강필중, 1997, 한반도 동남부지역의 선구조선, 지질학회 at, Vol. 33, No. 1, p. 18-26.
- 이봉주, 류충렬, 최위찬, 1999, 경주시 양남면 일대의 제4기 단층, 지질학회지, 제 35권, PP 1-14.
- 최성길, 1993, “한국 동해안에 있어서 최종간빙기의 구정선고도 연구; 후기 갱신세 하성단구의 지형층서적 대비의 관점에서”, The Korean Journal of Quaternary Research, Vol. 7, No. 1, pp. 1-26.
- 최위찬 외 45인, 1998, 양산단층을 고려한 설계기준지진의 재평가 최종보고서, 한국자원연구소, 한국전력공사, 164p.
- 최위찬 외 11인, 2000, “신기지각변형연구”, 한국자원연구소연구보고서, N2-01-02-A-01, pp. 6-11
- Bale, P., 1986, Tectonique Cadomienne en Bretagne Nord: interaction dechrochement chevauchment: champs de deformation et modelisations experimentales. Unpublished Ph.D. thesis, Univ. of Renne, 361P.

- Boyer, S., & Elliott, D., 1982, Thrust System, AAPG Bull., V. 66, pp. 1196-1230.
- Chappell, J. & N.J. Shackleton, 1986, "Oxygen Isotope and Sea level", Nature 324, pp. 137-140.
- Kim, J.Y., 1990, Quaternary stratigraphy of the terrace gravel sequences in the Pohang area (Korea). Ph.D. thesis, Seoul National University.
- Kim, J.Y., Choi, D.K., and Lee, D.Y., 1990, Paleoenvironmental implications of the Quaternary gravel sequences on the basis of gravel shape. The Korean Jour. Quaternary Res. Vol. 4, 41-57.
- Kim, S. W. 1973, "A study on the terraces along the southeastern coast (Bang-eo-jin~Pohang) of the Korean Peninsula", Jour. Geol. Soc. Kor. Vol.9 No. 2, pp. 89-121.
- Lee,D.Y., 1987, Stratigraphic research of the Quaternary deposits in the Korean Peninsula: Progress in quaternary geology of east and southeast Asia. CCOP/TP 18, 227-242.
- Lee, D.Y. and Kim, J.Y., 1992, Review on the Quaternary Stratigraphy of the Korean Peninsula, Sino-Korean Prehistory Workshop, p.69~99.
- Lee Dong Young, Kim Ju Yong, 1992, Quaternary Terrace Deposits and Their Stratigraphy along the East Coast of the Korean Peninsula, The Geological Society of Korea, field guide book.
- Oh, G.H., 1977, The geomorphic history of the southeastern coast of the Korean peninsula. Geogr. Rev. of Japan, 50-12, 689-699.
- Shackleton, N. J. and Opdyke, N. O., 1973, "Oxygen Isotope and Paleomagnetic Stratigraphy of Equatorial Pacific Core V 28-238; Oxygen Isotope Temperature and Ice Volumes on a 10^5 and 10^6 scale", Quaternary Research 3, pp. 39-55.