지질환경생태 체험중심 교사연수 교재

-제주도, 해남, 목포, 연천 지역을 중심으로-

2020 현장연구교사팀 산출물

대표 저자 : 이화여고 박창용

I. 제주도 개관

1. 지리적 접근

지형

제주도는 한라산을 중심으로 남북의 길이가 31km, 동서의 길이가 73km, 해안선의 길이는 253km, 면적은 약 1,825km^2 로 남한 면적의 1.8%에 해당되는데, 이는 서울특별시의 3배 정도 면적이다. 섬 중앙에 한라산이 솟아 있고, 한라산 정상부는 종상화산을 이루나, 전체적으로 보면 완만한 순상화산으로 동서보다 남북이 약간 급경사를 이루고 있다.
제주도는 화산의 보고라 일컬을 정도로 각종 화산 지형이 생생하게 남아 있고, 이를 잘 관찰할 수 있어 학술적 가치가 매우 높다. 생성 조건이 까다로워 보통의 화산체에서는 잘 볼 수 없는 용암동굴의 숫자만 해도 지금까지 발견된 것이 60여개나 되며, 그 중에 단일 화산 동굴로는 세계에서 제일 긴 빌레못 굴도 있다. 제주 전역에 산재한 360여 개의 오름의 숫자는 단위면적당 세계 최다이다.

기후

제주도는 우리나라에서 가장 남쪽에 위치해 있고 난류가 흐르고 있어 아열대성 기후에 가까운 온화한 기후를 보인다. 연평균 기온은 15.5℃ 정도인데, 가장 추운 1월도 5.5℃로 영하로 떨어지는 날은 그리 많지 않다.
그런데 흰 현상으로 겨울에는 산남이 산북보다 더 따뜻하고, 여름에는 산북이 더 기온이 높다. 또한 중앙에 1,950m의 한라산이 있어 고도에 따라 기온이 다르기 때문에, 냉대.온대.난대의 다양한 식물 분포를 보여준다.
강수량은 연평균 1,440mm정도로 우리나라의 대표적인 다우지이나, 화산회토인 토질과 기반암의 절리 발달로 투수성이 뛰어난 특성을 보인다. 때문에 지표수나 하천의 발달이 미약하여 물이 귀하다. 그리고 지하로 스며든 물이 해안에서 용천하기 때문에 일찍부터 취락은 해안가를 중심으로 이루어졌다.

역사

제주도 역사의 기원은 선사 시대로까지 올라가는데 각종 석기.토기.골각기.고인돌.옹관묘 등이 도내 전역에 분포하고 있다. 1973년 빌레못 굴에서 구석기 시대의 유물과 곰의 뼈화석이 발견되었는데 이는 제주도에 오래 전부터 사람이 살기 시작했으며, 한반도와도 연결되어 있었음을 말해준다. 제주도의 과거 명칭은 탐라, 탁라, 모라, 탐모라, 슬

라, 섭라, 주호 등 다양한데, 제주라 한 것은 고려 고종 때부터이다.
탐라 개국설화인 삼성신화는 시조의 탄생과 농경.목축의 시작.원시 초기 국가의 성립 등을 보여주고 있는데, 탐라국은 약 1,000여 년 동안 독자적 세력을 구축하며 발전하던 중, 고려 숙종 10년(1105년) 탐라라는 국호가 없어지고 탐라군으로 편입되면서 중앙에서 직접 관원이 파견되었다. 조선시대에는 유배객 중에서도 중죄인을 귀양 보내는 유배지였는데 광해군·송시열·김정희·최익현·박영효 등 쟁쟁한 정객들이 유배를 왔다.
1946년 道로 승격하여 전라도에서 분리되고, 1948년에는 제주도 유사 이래 가장 큰 재난인 4.3 민중항쟁이 발생하여 온 섬이 피로 얼룩졌다. 1981년 7월 1일 서귀포읍이 중문면과 합하여 서귀포시로 승격함으로써 제주도는 2시 2군이 되었다. 그러나 2006년 7월 1일 제주는 제주특별자치도로 바뀌면서 2개시(북제주군이 제주시로, 남제주군이 서귀포시로)로 통합되었다.

제주의 자연환경

제주의 지형은 한반도의 서남단 해상과 동지나해의 북단 사이에 위치한 화산섬으로 그 크기는 동서로 73km, 남북으로 41km, 면적 1,845km^{2}의 타원형의 모양으로 되었으며 섬 중앙에 1,950m의 한라산을 중심으로 동서 방향은 매우 완만하고 남북 방향은 약간 급한 경사를 이룬다.
지질의 형성은 대개 신생대 제3기에 화산활동에 의해 분출한 조면암이 원래의 기반인 화강암을 덮고, 그 후 다시 제4기에 현무암이 분출되어 그 위를 덮음으로서 형성된 것으로 보고 있다. 따라서 지표면은 침수성이 강한 현무암으로 구성되어 있어 비교적 많은 강우량에도 불구하고 지하로 빠져들어 하천은 거의 대부분 건천 상태가 되어 물이 흐르지 않아 제주에는 물을 이용하는 논농사가 없고 잡곡 위주의 밭농사가 주를 이룬다.
지형 이용 형태를 보면 고도 200m 이하의 해안지대는 섬 전체 면적의 55.3%로서 주거지를 비롯하여 농경지 및 과수원으로 이용되고 있으며 해발 200~500m의 중산간지는 목장을 비롯하여 관광지와 유휴지가 되고 있다. 또 해발 500m~1,000m의 산지는 산림 및 목야지로 이용되고 1,000m 이상은 한라산 국립공원으로 지정·보호되고 있다.
제주의 기후는 계절에 따라 대륙성과 해양성의 기후가 뚜렷하게 구분되어 나타난다. 사면이 바다로 둘러싸여 있으며 섬의 중앙부에는 해발 1,950m의 한라산이 위치하고 있어 제주도 근해의 해류, 지형 등이 복잡하게 기후인자로 작용하여 겨울철에는 북서계절풍의 영향으로 기온차가 심하고 여름철에는 고온다습한 북태평양 기단의 영향으로 강우집중이 큰 편이다.

또한 도서라는 특성에서 오는 해양성 기후의 영향과 난대성 기후를 나타내어 아열대성 식물 분포도 보이고 있다. 제주도의 연평균 기온은 16℃, 강수량은 1,568mm, 풍속은 3.0m/s이며, 구름이 거의 없는 쾌청일수는 제주시가 연평균 49일, 서귀포시 연평균 67일로서 한라산 남쪽에 위치한 서귀포가 비교적 온화한 기후를 보인다.

제주의 식물 생태계

제주도는 해발 1,950m의 한라산을 중심으로 한 지형조건과 특수한 기후조건에 의하여 난대식물에서부터 온대식물, 고산지대의 한대식물이 다양하게 분포되어 식물의 보고를 이루고 있으며 그 분포도도 뚜렷이 구분되어 있어 생태 및 식물학적으로 중요한 연구대상지가 되고 있다.

해안과 저지대에는 구실잣밤나무를 위시하여 녹나무과와 참나무과 등의 난대림식물이 분포되어 있으나 지금은 경작지와 목야지 등으로 많이 개발되어 본래의 식물군락이 남아 있는 곳은 계곡 등에서 그 모습을 찾아 볼 수 있으며, 한라산 국립공원내의 수림지대에는 온대림식물이 주요 임상을 이루고 있고 한라산 고산지대에는 구상나무, 시로미, 산철쭉 등 한대림식물이 군락을 이루어 자생하고 있다.

특히 제주는 감귤나무와 유채 재배지로 알맞은 기후조건을 가지고 있어 밭농사 특용작물의 주종을 이루고 있으며 중산간 일대에는 초지가 형성되어 목장에 적합한 입지조건을 가지고 있다.

[천연기념물로 지정된 제주의 주요 식물 및 보호구역]

▶ 섭섬 파초일엽 자생지 (서귀포시 보모동 / 섭섬일대) ▶ 하도리 문주란 자생지 (북제주군 구좌읍 하도리 산1) ▶ 신예리 왕벚나무 자생지 (남제주군 남원읍 신예리 산2의1) ▶ 제주시 곰솔 (제주시 아라동 산78) ▶ 성읍리 느타나무와 팽나무 (남제주군 표선면 성읍리 882의1) ▶ 도순동 녹나무 자생지군락 (서귀포시 도순동 210) ▶ 서귀포시 담팔수나무 (서귀포시 서귀동 973)	▶ 제주한란 (제주도 일원) ▶ 평대리 비자나무자생지 (북제주군 구좌읍 평대리 비자림일대) ▶ 납읍리 난대림지대 (북제주군 애월읍 납읍리) ▶ 산방산 암벽식물지대 (남제주군 안덕면 사계리 / 산방산일대) ▶ 안덕계곡 상록수림지대 (남제주군 안덕면 감산리) ▶ 천제연 난대림지대 (서귀포시 색달동 / 천지연폭포 주변일대) ▶ 천지연 난대림지대 (서귀포시 서귀동)

제주의 동물 생태계

제주도의 동물은 대부분 우리나라 본토의 동물상과 공통되어 육지부와 크게 다르지 않으나 섬이라는 지리적 여건으로 인하여 간혹 특이한 종들도 발견되고 있으며 과거의 무분별한 포획과 동물보호가 미흡하여 많은 수의 동물들이 감소되거나 멸종된 상태에 있다.

▶ 포유류 : 육지와 격리된 지리적 여건으로 제주의 포유류는 매우 빈약하여 맹수류는 발견된 바 없고 멧돼지, 살쾡이 등은 멸종되어 없으며 족제비, 오소리 등도 감소 추세를 보이고 있으나 근래에 인위적으로 노루를 한라산에 방사하여 철저한 보호관리로 지금은 많은 수의 노루가 번식하여 한라산 국립공원에서 서식하고 있다.

▶ 조류 : 1985년 한라산학술조사보고서에 의하면 제주에는 조류가 48과 236종으로 발표되었고 통과새 69종, 겨울철새 69종, 여름철새 36종, 텃새 36종, 미도 28종으로 분류되고 있다. 특히 제주도는 북방계와 남방계의 조류들이 이동하는 길목에 위치하고 있어 황새와 검은 목 흰 따오기의 도래지로 알려지고 있으며 꿩이 많이 서식하여 꿩 사냥지로 널리 알려져 있다.

제주의 해양 생태계

지리적으로 온대 및 아열대에 위치한 섬으로 수심 100m 내외의 대륙붕이 광활하게 펼쳐 있고 겨울철에도 수온이 비교적 높고 각종 동·식물 플랑크톤이 풍부하여 어류들의 산란장 및 월동장이 될 수 있는 좋은 여건을 가지고 있다.

제주의 어류는 동해와 서해에서 유입되는 한류와 대마난류 및 서해난류가 교차되고 해안선 일대의 용천수의 영향으로 각 해역마다 특유한 어장을 형성하며 제주 연안에서만 서식하는 옥돔, 자리돔 등 320여종의 정착성 및 회유성 어류들이 서식하고 있으며 해조류와 패류 또한 제주의 해저가 일부 사지를 제외하면 암초 또는 암반으로 형성되어 있어서 정착성이 좋은 여건으로 톳, 감태, 우뭇가사리, 미역, 청각 등 지금까지 학술조사에서 발견된 해조류는 369종으로 다양한 해조상이 제주도 전역에 분포되어 있고 이를 먹이로 하는 전복, 소라, 고동류, 오분자기 등 150여종의 패류가 서식하고 있어 예로부터 제주의 해양은 바다농사가 풍성하고 오염되지 않은 청정해역임을 자랑하고 있다.

2. 지질학적 접근

제주도는 화산 활동에 의해 만들어진 화산섬이다. 제주도는 약 120만 년 전부터 수천 년 전까지 화산활동으로 만들어졌다. 이 과정을 통해 제주도는 다양한 화산 활동의 흔적이 고스란히 간직한 지질학적으로 매우 특별한 화산섬이 되었다. 특히 중앙부의 한라산과 거문오름의 용암이 흐르면서 형성한 용암 동굴, 수중 분출로 만들어진 성산일출봉은 아름다움과 지질학적인 특별함으로 인해 UNESCO 세계 자연유산으로 등재되었다.



▲ 제주도 자연유산 등재 지역

타원형의 모습을 가진 제주도는 동서 방향으로 약 74km, 남북 방향으로 약 32km의 길이를 가지며, 면적은 약 1,829㎢이다. 섬의 중앙부에는 1,950m 높이의 한라산이 있고, 정상에는 지름이 약 700m, 깊이가 약 100m의 분화구인 백록담이 있다. 분화구의 남서쪽은 조면암[1]으로 되어 있고 경사가 급하여 절벽을 이룬다. 동쪽은 현무암[2]으로 되어

1) 조면암(trachyte) : SiO_2 함량이 55~69%, Na_2O+K_2O 함량이 6.5% 이상인 범위에 속하는 미립질의 화산암

2) 현무암(basalt) : SiO_2 함량이 45~52%, Na_2O+K_2O 함량이 5% 이하인 범위에 해당하는 미립질의 화산암

있고 경사가 상대적으로 완만하다. 섬에는 크고 작은 며 360여 개의 작은 화산체가 분포한다.
제주도의 지형은 해발 고도 200m 이하인 해안저지대, 해발고도 200~400m인 중산간지대, 해발 고도 400m 이상인 한라산 화산체로 구분할 수 있다. 제주도 주변 바다의 깊이는 대략 50m 내외이고, 섬에서 먼 곳도 100m 전후이다. 지금으로부터 2만~1만 5천 년 전에는 빙하기였으므로 해수면이 현재보다 100m나 낮았다. 이때는 제주도를 포함하는 동중국해와 황해는 생물과 인간의 이동이 가능한 육지로 연결되어 있었다. 빙하기가 끝나고 해수면이 현재와 같은 수준에 도달한 것은 약 5천 ~ 6천 년 전이다.
제주도는 현무암으로 이루어져 있어서 하천이 매우 적다. 한라산을 중심으로 방사상으로 하천이 있으나 물은 거의 없다. 한라산 정상의 남쪽에서는 V자형 침식 계곡을 따라 소규모의 지표 하천이 발달되어 있고, 해안 가까이에서 용출에 의해 외도천, 옹포천, 강정천등의 짧은 하천이 있다. 또한 해안저지대 중 치밀한 조면암질 현무암이 분포하는 남부 지역의 안덕면이나 서귀포 동서부에 소규모의 하천이 발달한다.
제주도의 남부 해안은 치밀한 조면암질 현무암이 분포하여 폭포가 잘 발달하였고 천지연, 천제연 및 정방 폭포가 유명하다. 북부와 동서부 해안은 사빈(sand beach)이 소규모로 발달하여 있고, 남동계절풍에 의해 바람의 방향과 유사하게 배열된 사구를 형성하는 곳도 있다.

제주도는 유라시아판 동쪽 가장 자리에 있으며, 약 120만 년 전부터 수 천 년 전까지 활발한 화산 활동이 있었던 곳이다. 제주도는 큰 화산체인 한라산과 작은 화산체인 오름으로 되어 있다. 오름은 북동-남서 방향으로 분포하며, 섬의 거의 모든 암석은 화산활동에 의해 형성되었다. 한라산 중심의 분화구는 여러 번의 화산분출에 의해 다량의 현무암질 용암류를 지표면으로 뿜어내었고, 화구로부터 흐른 용암류가 제주도의 형태를 이루게 되었다. 한라산 주변의 수많은 작은 화구에서도 많은 용암이 분출하여 수많은 오름을 형성하였다.
화구의 수가 너무 많고 용암의 유동 방향이 매우 복잡하여 화산 활동에 의한 제주도 용암류의 형성 순서를 모두 파악하기는 어렵다. 칼륨-아르곤(K-Ar)법에 의한 화산암의 연대 측정 결과 산방산 조면암은 약 75만 년 전, 백록담 조면암은 약 2만 5천 년 전에 형성된 것으로 결과가 나왔다. 역사적인 자료는 1,002년과 1,005년(동국여지승람, 38권), 1,440년과 1,570년(이조열성실록)에 분화가 있었던 기록이 있다.

1) 화산활동 시기

제주도의 화산활동 시기는 칼륨-아르곤법에 의한 방사성 원소의 반감기, 고지자기 측정 자료, 야외 층서 등을 근거로 알아낸다. 제주도의 현무암은 약 120만년의 연대 값이 나오며 용암류와 암편 형태로 발견된다. 비교적 젊은 것은 백록담 부근의 조면암이 약 2만 5천년이며, 약 3만년 전후의 현무암류도 여러 곳에서 발견된다. 아울러 백록담 정상에서는 조면암보다 젊은 현무암류가 성판악, 서귀포 등의 방향으로 흐른 것이 발견되므로 이 분출이 가장 최근의 화산 활동으로 볼 수 있다.

2) 제주도의 형성 단계

제주도는 전라남도, 경상남도에 분포하는 암석류가 하부에 기반암을 이루고, 그 위에 약 120만 년 전부터 분출을 시작한 화산암류가 쌓여서 만들어진 화산섬이다.

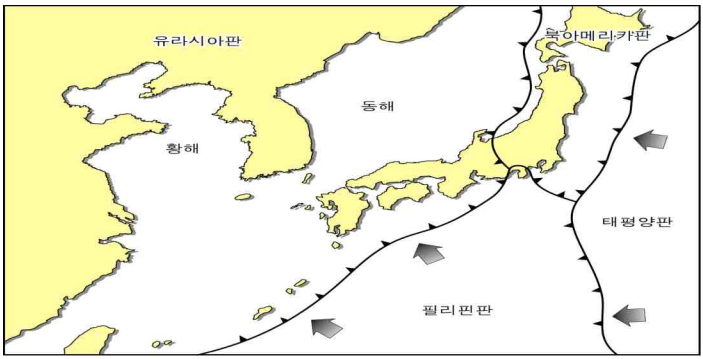
가. 기반암

제주도의 기반암은 한반도 지질의 연장으로서 선캄브리아시대의 변성암, 중생대 화강암류와 응회암류 및 미고결 퇴적물로 구성되어 있다. 중력과 자력 탐사에 의해 밝혀진 기반암의 깊이는 약 1.5~3km이고, 용암 대지에서는 1~1.5km, 한라산에서는 최대 5km로 해수면 아래에 있다.

• 화강암류 : 사라봉 북쪽 해안의 화산 쇄설층 내에 암편으로 다량 분포하고 있으며, 암편으로 나온 화강암이 섬 전체에서 발견되므로 제주도의 기반암은 화강암으로 생각된다. 하라구찌(1931)는 화강암을 거문도에 분포하는 화강암에 대비시켜 백악기 말에 속하는 불국사 화강암이라고 하였다. 이 화강암의 연대는 6640만년 정도이다.

• 응회암 : 우도 소머리 오름의 화산 쇄설층에서 왕자갈 크기의 암편으로 나타나며, 시추자료에서도 확인되고 있다. 이 응회암은 약 1cm 미만의 쇄설물로 구성되며, 녹회색, 회백색, 적갈색 등을 띤다. 이동영(1987)은 응회암이 한반도 서남해안에 분포하는 백악기 말 유천층군의 응회암류와 같은 시기에 형성된 것으로 추정하였다. 원종관 외(1993)는 화강암을 덮고 있는 이 응회암을 기저 응회암이라고 명명하였다. 이 응회암은 제주도와 가장 가까이 있는 추자도에도 약 8000만년의 연령을 보이는 유문암류와 대비된다.

• 미고결 퇴적층(U층 일부는 세화리층) : 이 층은 응회암층을 부정합으로 덮고 있으며, 제4기 현무암층에 의해 덮여 있다. 이동영(1987)은 세화리 시추에서 처음 확인하여 이 층을 세화리층이라 명명하였다. 세화리층은 회색 내지 회백색을 띠며, 주로 모래, 실트로 되어 있으면 부분적으로 작은 자갈이 포함되어 있으며, 제주도 서부를 제외한 모든 지역의 해안 지대 하부에 분포하는 것으로 추정된다. 이 퇴적층은 제주도 기저 지하수의 대수층 역할을 하는 것으로 해석된다.

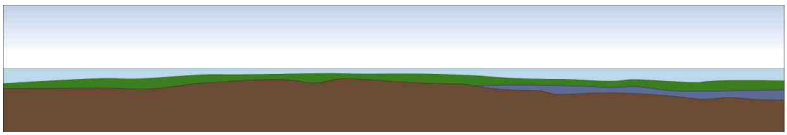


▲ 제주도 주변 지역 판의 분포

나. 제주도의 화산 활동사

제주도의 화산 활동은 물위에 드러난 암석을 기준으로 보면 약 120만 년 전에서부터 수천 년 전까지 있었으나, 그 기간 동안에 몇 번의 휴식기가 있었다. 화산활동 시기와 휴식 기간은 용암류사이에 있는 오래된 토양층의 분포, 마그마 분화에 의한 분출물의 화학조성 변화의 반복성, 화산활동에 따른 섬의 지형 변화 및 절대연령 측정값 등을 근거로 찾을 수 있다. 용암류에 대한 절대 연대 측정값과 야외에서 확인된 화산 층서 및 지형 등을 참고하면 제주도에는 크게 4번의 화산활동 기간이 있었음을 지시한다.

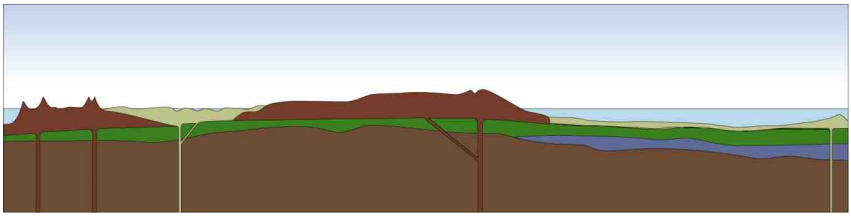
◆ 1단계의 화산활동: 기저 현무암과 조면암(120~70만 년 전)



▲ 제주도 화산활동 1단계

1단계는 120만 년 전에 화산 활동이 시작되었으며 기반암을 부정합으로 덮은 용암류를 분출한 시기이다. 이 단계의 현무암류는 해수면에서 발견되지 않으며, 용머리 응회암에 포획암으로 발견된다. 1단계의 화산활동은 남부 해안지역에 분포하는 조면암류(산방산, 각수바위, 월라산, 예촌리, 세지기 오름 등)를 분출하면서 약 70만 년 전에 끝났다. 이들 조면암류는 남부 해안을 따라 거의 직선상에 분포한다. 이러한 사실은 1단계의 화산활동은 산방산-월라산을 잇는 지역 범위에서 있었음을 암시한다.

◆ 2단계의 화산활동: 서귀포층과 표선리 현무암(60~30만 년 전)



▲ 제주도 화산활동 2단계

약 70만 년 전 1단계 화산활동이 끝난 후, 2단계의 화산활동은 언제 시작되고, 언제 끝났으며 그 때의 분출물은 어디에 분포하는가는 제주도 형성사를 규명하는데 매우 중요한 과제이다. 제주도의 화산 층서를 정하는데 가장 논란이 되는 것 중 하나는 서귀포층이다.

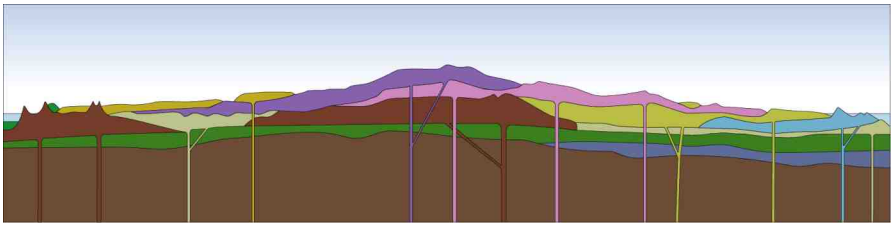
• 서귀포층 : 이 층은 절대 연령 값에 대한 자료가 나오기 전에는 제주도 화산활동의 시기를 정하는데 중요한 역할을 하여 왔다. 왜냐하면 이 층에서는 상대적인 연령을 알려주는 화석이 다량으로 산출되기 때문이다.

• 표선리 현무암 : 해안 저지대에 넓게 분포하는 현무암류를 표선리현무암(FOB; feldspar olivine basalt)으로 분류하고 있다. 표선리 현무암은 회색이며 감람석 반정과 침상의 사장석을 갖는다. 표선리 현무암은 해수면 위의 현무암 중 최하위 것으로, 몇 곳의 연대 측정값은 63~60만 년 전이다.

2단계는 다량의 현무암류를 분출하여 기반암을 덮으며 섬의 크기가 점점 확대된 시기이다. 2단계 초기에 분출한 용암류는 1단계에 형성된 섬 지역(산방산-서귀포)을 제외한 전역을 메운다. 2단계의 중기(약 40만 년 전)에 오면서 화순-서귀포 사이에 폭포가 발

달한 용암류를 분출한다. 이 용암류는 서귀포층을 부정합으로 덮고 있으며, 서귀포 조면암질 현무암이라 부르기도 한다. 이때, 제주도 해발 고도는 1000m 전후로 추정된다. 용암류는 60만 년 전에서 30만 년 전 사이에 여러 번 반복해서 분출하였다.

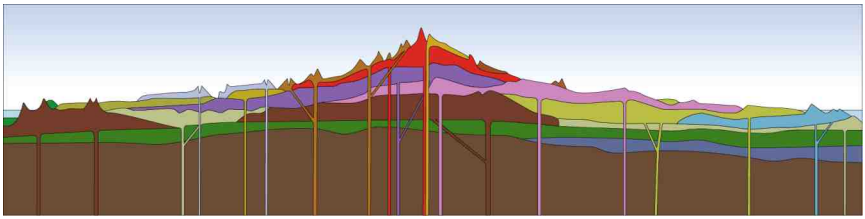
◆ 3단계의 화산활동과 한라산체 형성(30~10만 년 전)



▲ 제주도 화산활동 3단계

1, 2단계의 화산활동은 용암류를 주로 분출하는 분출형이였으나, 3단계에서는 많은 화산쇄설물을 분출하는 폭발형으로 바뀌었다. 3 단계의 화산활동에 의해 한라산체가 형성되었고 한라산 주변에 조면암류가 분출되었다. 해발 고도 약 500m 이상부터 한라산 정상까지의 한라산체 주위의 분화구에서 주로 분출한 용암류는 3단계의 화산활동의 결과이다. 이 용암류는 해안저지대의 용암류(감람석, 장석)와 달리 휘석과 장석 반정이 많은 것이 특징이다. 이것은 한라산체를 형성한 화산활동은 1, 2 단계보다 마그마 저장소의 깊이가 얕았음을 의미한다.

◆ 4단계의 화산활동과 소화산체 형성(10만~수 천 년 전)



▲ 제주도 화산활동 4단계

4단계는 백록담 분화구를 비롯해서 높이 1,950m의 화산체로 이루어진 현재의 제주도 화산 지형을 완성하는 단계이다. 제주도에는 368개의 오름이라 불리는 작은 화산체[대부분 분석구(scoria cone)]가 있으며, 특히 섬의 장축 방향 위에 소화산체가 많이 분포한다. 소화산체 중 원래의 모습을 잘 유지하고 있는 것들은 대부분 4단계 기간 중에

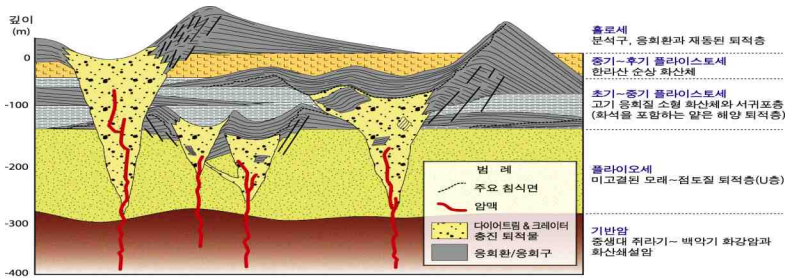
형성된 것이다.

한라산 정상부의 백록담 조면암은 절대 연대 값이 2만 5천 년 전이다. 그밖에 제주도 남사면 병악 현무암, 궁산 현무암 등은 3만 년 전의 연대 값을 보인다. 또한 동쪽 지미봉 현무암은 약 10만 년 전의 연대 값을 보인다. 한편 백록담 조면암을 덮고 있는 현무암류가 성판악, 수악 방향으로 분포하고 이 용암류에는 길이 40m 이상의 용암 터널도 발견되고 있다. 이러한 사실은 3단계에서 중심 분출로 한라산체를 형성한 후 백록담이 형성되고, 화산활동의 규모가 약해지면서 장축 방향에 많은 기생화산활동이 있었고 동시에 백록담에서 다시 화산활동이 있었음을 의미한다.

⇨ 제주 지질탐사에서 기억해야 할 기본 용어

- ❑ 파호이호이(pahoehoe) 용암과 아아(aa) 용암
  - 파호이호이(pahoehoe) 용암
  - 아아(aa) 용암
- ❑ 곶자왈
- ❑ 화산체 이름 : 분석구(scoria cone), 응회환(tuff ring), 응회구(tuff cone)
- ❑ 다공질 현무암, 괴상 현무암, 반정질 현무암
- ❑ 스코리아(scoria) : 분석(噴石), 송이
- ❑ 화산탄(volcanic bomb)과 화산암괴(volcanic block)
- ❑ 라필리(lapilli)와 화산재(volcanic ash)

3) 제주도 지하 세계와 층서



▲ 생성 시기가 다른 응회구의 층서적 위치 – 응회구가 현무암질 용암대지 아래와 위에 분포한다(Sohn & Park, 2004).

지하수를 개발하기 위해 많은 지하시추작업을 실시하였다. Sohn & Park(2004)은 제주도 지하 시추공을 정밀 분석하고 제주도 지표와 지하의 지질을 해석하였다. 제주도 지하에는 모래와 뻘로 구성된 하부 퇴적층이 있다. 이 층은 지표에서는 관찰할 수 없으나 시추공에서는 약 250m 두께로 나타난다. 이 지층을 U층(미고결층)이라고 부른다. U층은 수성화산활동에 의해 형성된 응회환과 응회구에 의해 덮여 있다. 제주도 지하에는 150여 개의 수성화산체가 분포한 것으로 해석되었다. 수성화산체는 해수면이 상승과 하강을 반복하는 동안 침식되고 거기에서 떨어져 나온 물질들이 주변에 쌓였다. 이렇게 쌓여 생긴 지층이 서귀포층이다.
서귀포층 생성 이후에는 제주도에서는 용암이 분출하는 형태의 화산 활동이 지배적이었다. 약 40만 년에서 20만 년 전 사이에 많은 용암이 분출하였다. 용암의 해수면 변동에 따라 지표에서 굳거나 물속으로 들어가 급랭하기도 하였다. 한라산 정상부는 25,000 년 전에 분출한 조면암이 분포하나 4~5천 년 전까지 화산활동은 계속되었다. 결국 한라산의 모습이 완성된 것은 4~5천 년 전이다. 이 무렵 곳곳에서 작은 화산체가 분출하여 크고 작은 오름이 형성되었다. 송악산과 일출봉도 이 무렵에 만들어졌다. 송악산 근처 사계리에서 사람발자국 화석이 발견된 것으로 보아 당시에 사람들이 화산 분출 모습을 봤을 가능성이 매우 크다.

4) 화산 분출의 형태(Volcanic Eruption)

화산을 형성하는 분출 양상은 마그마의 화학성분, 온도, 휘발성분의 함량에 따라 다르게 나타나는데, 제주도는 높은 온도의 현무암질 마그마에서 유래된 용암이 만든 섬이다. 현무암질 용암은 두께가 수 m 정도이며 비교적 넓고 멀리 퍼지는 특성을 갖는다. 화구 주변에 용암이 쌓여 낮은 구릉 형태를 이루게 되는데, 낮은 경사(5° 이하)를 이루면서 화구를 중심으로 15km 정도의 범위까지 큰 규모로 넓게 발달한다.

(1) 용암 분출 lava effusion (=하와이안 분출)
현무암질 용암은 형태에 따라 파호이호이 용암과 아아 용암으로 구분한다. 파호이호이 용암은 점성이 작고 온도가 높아 강물처럼 흐르며, 아아 용암은 점성이 크고 표면부터 굳어져서 계속 흐르면서 깨진 덩어리로 구성되어 있다. 따라서 파호이호이 용암의 표면은 매끈하거나 밧줄 모양으로 나타나지만 아아 용암의 표면은 울퉁불퉁하고 거친 모양으로 나타난다.
파호이호이 용암은 점성이 낮아 넓고 표면이 평탄한 암석을 만든다. 굳은 표면은 보온 역할을 하게 되며, 내부로는 용암이 계속 흐르게 되어 새끼줄 모양의 구조를 만드는 경우가

많다. 용암의 공급이 증가하거나 흐름이 방해받게 되면 굳은 표면 내부에 있는 용암이 밀려 올라가 빵 껍질처럼 깨지고 부풀어오르게 되는데, 이를 투물러스(tumulus)라 한다.
아아 용암은 비교적 점성이 높아 천천히 흐르게 되며, 넓게 퍼지지 않고 덩어리져서 흐르기 때문에 괴상 용암(block lava)이라고도 부른다. 흐르는 동안 표면쪽인 상부와 하부가 굳는다. 하지만 내부는 계속 흐르기 때문에 표면의 굳은 암석은 쉽게 깨져서 용암과 함께 운반되는데, 이렇게 용암의 표면쪽에 굳어 있는 암석이 깨진 것을 클링커(clinker)라 한다. 이 클링커는 용암의 외곽부에 집적되어 클링커벽을 형성하게 된다. 클링커벽 내부로 흐르는 용암은 클링커벽에 가까운 쪽부터 굳게 되는데, 흐르던 용암이 빠져나가면 굳은 암석은 용암통로(lava channel)라 한다. 용두암은 용암통로의 일부가 판자모양으로 남아있는 경우에 해당한다. 아아 용암이 굳어서 암석으로 변하는 과정에서 체적이 줄어들면서 육각형의 모양으로 갈라지게 되는데, 이 틈이 암석의 내부로 진행되면 육각기둥 모양의 주상절리를 형성한다.

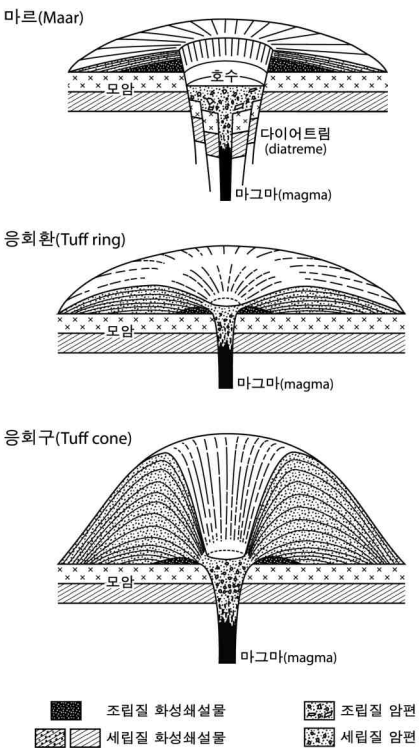
(2) 스트롬볼리형 분출(strombolian eruption)과 분석구(scoria cone, cinder cone)
마그마에 함유된 휘발성분은 압력이 낮은 환경에서는 마그마 속에 있던 휘발성분이 분리되어 맥주 속에 있던 이산화탄소가 맥주병의 상부에 거품을 이루는 현상과 같이 마그마의 상부에 높은 압력으로 농집되는데, 이런 경우에 용암은 조용히 분출하는 것이 아니라 폭발 형태로 변하게 된다. 이렇게 가스가 농집된 부분이 폭발에 의해 지표에 나오면 지름 6cm 이하의 부석과 분석, 또는 지름 6cm 이상의 화산탄을 만든다.
부석(경석, pumice)은 점도가 높은 산성에서 중성 마그마의 폭발적인 분출에 의해 형성된 것으로 대개 밝은 색을 띤다. 경석은 밀도가 매우 작아(≤1g/㎤) 물에 떨어지면 뜨는 경우가 많다. 유리질편(shard, glass shard, ash shard)은 경석 기공 벽이 파쇄 되어 형성된 각진 유리질 파편으로 현미경에서 관찰할 수 있을 정도로 작은 입자이다.
분석이란 현무암과 현무암질 안산암의 폭발적인 분출에 의해 형성된 라필리 크기의 다공질 암편을 말한다. 분석에서 기공의 수는 매우 다양하며, 따라서 밀도도 다양하다. 현무암에서 유래한 분석은 특별히 스코리아라고 부르며 검은 색을 띠고, 부석보다 기공이 적고 무거워서 물에 가라앉는다. 제주도에서 송이라 부르는 암석 파편은 대부분이 스코리아에 해당한다.
용암 분출이 스트롬볼리형으로 변하면 주로 콩알에서 주먹 크기의 검은색 스코리아로 이루어진 높은 산을 만들게 되는데, 이를 분석구(scoria cone)라 한다. 대부분의 분석구는 한 번의 화산활동 기간을 거치면 마그마가 굳어 화도를 막게되어 화산으로서의 일

생을 마치게 된다. 분석구는 풍화작용과 침식작용에 매우 민감하여, 형태가 쉽게 변화한다. 오래된 분석구의 경우에는 화산체의 원형이 남아 있기 어려우며, 최근에 형성된 분석구의 안식각이 약 33°이다.

(3) 수성(hydrovolcanic)화산체 - 응회환(tuff ring), 응회구(tuff cone)

수성화산체는 지하에서 지표면으로 상승하는 마그마와 외부에서 들어간 물이 만나서 폭발적인 에너지가 생기면서 분출하여 형성된 화산체를 말한다. 수성화산체는 여러 가지 환경(물, 빙하, 눈으로 덮여있는 지역뿐만 아니라 강수량이 많은 지역, 지하수가 풍부한 지역 등) 에서 형성될 수 있다.

수심이 얕은 물이나, 물의 공급이 제한되는 육지에서 마그마와 물의 상호 작용은 변화가 심하게 나타난다. 이러한 환경에서는 수성화산체를 형성시킬 수 있는 surtseyan 분출이 일어난다. 그 결과 마르(maar), 응회환(tuff ring), 응회구(tuff cone)와 같은 화산체가 형성된다. 대부분의 수성화산체는 현무암질 마그마의 분출에 의해 형성된다. 현무암질 마그마의 분출에 의한 수성화산체의 차이는 물과 마그마가 접촉한 깊이, 물이 공급된 시간의 길이, 마그마와 물의 상대적인 부피에 따라 달라진다. 마르(maar)는 항상 육상에서 형성되지만, 응회환과 응회구는 얕은 물이나 대수층 위에서 형성된다.



▲ 마르, 응회환, 응회구 단면의 모습

Phreatic 분출이나 phreatomagmatic 분출이 일어나면 기반암에서 뜯겨 나온 암편이 흩어져 떨어지고, 화산체 가운데 함몰지에는 나팔 모양 또는 깔때기 모양의 도관이 지하심부로 연결되는 diastreme 이 형성된다. 이런 형태의 화산체를 마르(maar)라고 한다. 육상에 형성된 이런 모양의 함몰 지형의 안쪽은 경사가 매우 급하며, 바깥쪽은 완만한 경사를 이룬다. 안쪽 경사면에는 기반암이 노출되며, 주로 기반암 기원의 암편이 쌓인

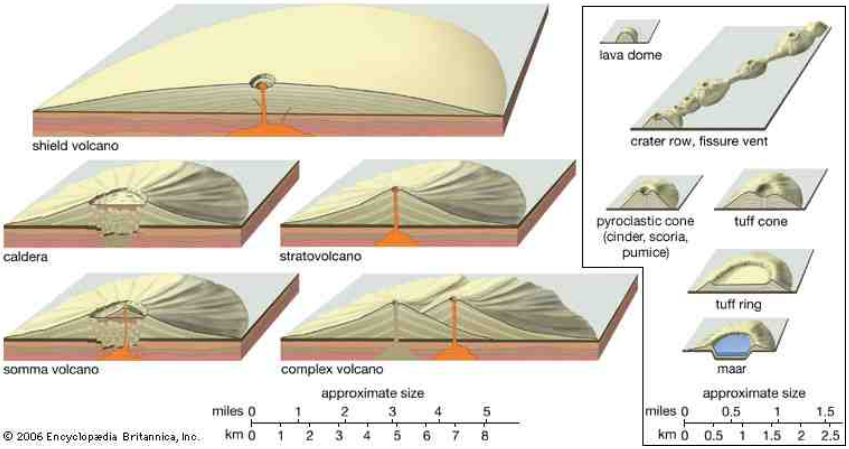
층이 놓여 있다. 경사각은 크레이터 바깥쪽으로 대개 10-15°를 보인다. 폭발적인 분출에 의해 형성된 최초의 층은 기반암 기원의 조립질 층으로 되어 있으며, 이 후의 층은 대개 세립질로 이루어져 있다. 마르(maar)를 형성한 분출은 매우 폭발적이지만 분출물은 크레이터의 부피보다는 훨씬 적다.

응회환은 호수나 얕은 바다 밑이나 지표수가 매우 많은 지역에서 서째이안(surtseyan) 분출에 의해 형성된 화산체이다. 수증기의 폭발적인 팽창으로 심도가 얕아지고, 따라서 더 많은 물이 오랜 시간 동안 유입되기 때문에 더 많은 마그마가 지표에 도달하게 되고, 물에 의해 급격히 냉각되며 산산이 부스러져 분출한 유리질 화산재가 분화구 주변에 쌓여서 응회환 화산체를 형성시킨다. 둥글고 오목한 크레이터가 마르(maar)의 가장 뚜렷한 특징이라면 응회환은 넓고 얕은 크레이터가 있고 완만한 경사를 가진 화산체를 보인다. 응회환은 크레이터의 밑바닥이 주변 지형에 비해 높고, 구성 암편이 투수성이 좋은 물질들이기 때문에 호수를 이룬 경우는 매우 드물다. 응회환은 화구쪽과 바깥쪽 사면의 경사가 거의 비슷하며, 안쪽으로 붕괴된 퇴적물이 크레이터를 메우기도 한다. 응회환의 높이는 40~60m 정도이나 오랜 시간 분출이 일어나면 150m에 달하기도 한다. 전체적으로 응회질 층의 두께는 얇은 편이며, 경사는 크레이터 방향이나 바깥쪽이나 1~10°정도로 완만하다. 퇴적물은 대부분 100℃가 넘은 뜨겁고 건조한 상태의 화쇄난류에 의해 형성된다. 처음에 분출한 암편은 조립질이며 계속해서 세립질, 어두운 색을 띠는 유리질 현무암편이 형성된다. 구성 암편의 80~90%는 신선한 마그마이며, 약간(대개 10% 미만)의 기반암의 암편이 포함된다. 분출은 대개 수 주에서 몇 달 동안 계속되며, 더 이상 마그마가 지표면에 도달하지 않을 때까지 계속된다. 수월봉은 이렇게 만들어진 응회환이다.

응회구는 100℃ 이하의 온도에서 형성되어 뜨거운 상태는 아니다. 따라서 물이 암편에 붙어있어 습윤 상태를 유지한다. 수성화산체의 폭발력은 용암과 물의 비율이 1:1 정도일 때 가장 큰데, 이보다 물의 비율이 더 낮을 경우 폭발력은 줄지만 폭발로 부서진 용암 조각이나 가루, 화산재 등의 점성이 높아져 원뿔처럼 경사가 급한 화산체를 만드는데 이것이 응회구이다. 대부분의 암편은 마그마 기원이며 기반암 기원의 암편은 5~10%정도이다. 수개월 동안 분출이 계속되어 100~300m에 이르는 화산체가 형성된다. 바깥쪽의 경사는 완만하며 평균 25°정도이다. 응회구의 크레이터는 깊고, 넓으나 응회환의 크레이터보다는 좁고 경사가 급하다. 크레이터 벽은 40°정도로 급하며, 아래로 갈수록 경사가 급해 깔때기 모양을 하고 있다. 수성화산체 가운데 가장 스트롬볼리형 분출에 의해 형성된 분석구의 모양과 비슷하다. 대부분의 응회구는 현무암질 마그마의 분출에 의해 형성된다. 일출봉이 바로 이처럼 물의 비율이 낮은 조건에서 화산이 분출해 만들어진 전형적인 응회구이다.

(4) 용암돔(lava dome)

화산의 주 분출기 이후 분출되는 용암에는 매우 적은 양의 가스만 남는다. 점성이 크고 끈적끈적한 용암이 짜내어지면 용암돔을 형성한다. 산방산이 이런 용암돔이다. 용암돔은 종상화산이라고 부르기도 하지만 용어가 부적절하여 요즘에는 잘 사용하지 않는다.



※ 쇄설성 퇴적암과 층리

입자 크기 (mm)	퇴적물	퇴적암	화성쇄설물
256	왕자갈(boulder)	역암 (conglomerate)	화산암괴(block) → 화산각력암 화산탄(bomb) → 집괴암
64	큰자갈(cobble)		
4	중자갈(pebble)		화산력(lapilli) → 라필리암
2	잔자갈(granule)		
1/16	모래(sand)	사암(sandstone)	화산재(ash) → 응회암
1/256	실트(silt)	실트암(siltstone)	
	점토(clay)	점토암(claystone)	

【참고】 shale : 박리(퇴적시의 엽리나 압축에 의한 운모에 의한 것)가 발달한 점토질 암석. 야외에서는 점토입자가 압도적으로 많은 점토암과 실트입자가 상당히 포함된 실트암으로 구분된다. 셰일과 조성은 같지만 박리성이 없으면 이암이라고도 하지만 박리성 유무에 관계없이 이질암 전체를 이암이라고 부르기도 한다. 셰일이 보다 견고하고 박리성이 커지면 점판암이라고 한다.

5) 마그마의 분출 양상과 화산체의 형태

(1) 열하 분출 (fissure eruption)
가스의 함량과 점성이 낮은 현무암질 용암이 지각에 선형(線型)으로 형성된 틈이나 열극을 통해 분출하는 것으로 주로 판의 발산 경계 지역이나 대륙내의 열곡대에서 많이 볼 수 있다. 용암의 유동성이 커서 분출 후 넓게 퍼져나가 용암평원(lava plain), 용암 대지(lava plateau) 또는 대지 현무암(flood basalt)를 형성하게 된다.
우리나라의 경우 개마고원과 만주 지방에 걸쳐 발달된 타원형의 백두산 용암대지가 열하 분출의 형태에 해당하는데, 이 지역은 선형(線型)으로 발달한 백두산 화산대의 열하(裂罅) 부분에 위치한 여러 개의 분출구에서 분출한 용암이 용암대지를 형성한 것이다. 그밖에 추가령 열곡의 철원-평강 용암 평원도 같은 유형의 열하 분출로 만들어진 화산 지형으로 볼 수 있다. 외국의 예로는 콜럼비아 고원의 대지현무암, 인도의 Decan 고원 등이 있다. 중앙해령에서도 해양판의 발산에 의해 형성된 열하분출을 볼 수 있는데, 유라시아판과 북아메리카판의 경계부에 위치한 아이슬랜드는 대서양 중앙해령이 해수면 위로 노출된 곳으로, 현무암질 용암이 열극을 따라 분출하면서 선형의 작은 화산 원추구를 형성하고 있다.
열하에서 분출되는 용암이 현무암질 용암보다 더 규장질(felsic) 용암인 경우에는 화산재가 열운(nuee ardent)에 포함되어 낙하하면서 가라앉아 퇴적된 후, 그 위에 쌓인 화산쇄설성 퇴적물의 무게로 고화된 ignimbrite층이 형성되는데 이렇게 만들어진 지형을 화성쇄설암상(pyroclastic sheet)이라고 한다.

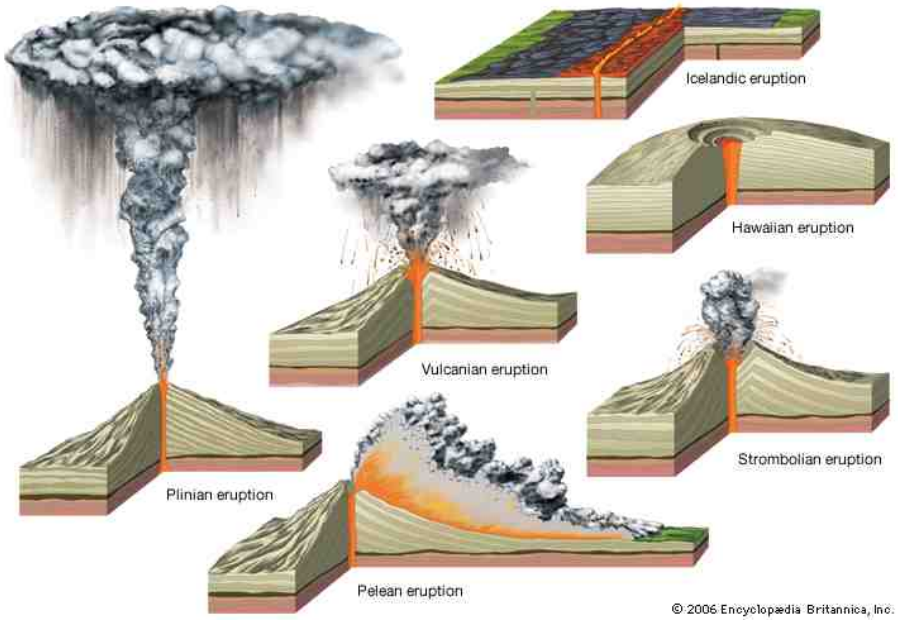
(2) 중앙 화도 분출(central vent eruption)
원통 모양의 중앙 화도로 용암이나 화산 분출물이 분출하는 경우를 말하며, 주로 원추형 화산체(volcanic cone)를 형성한다. 이러한 화산체들은 마그마에 함유된 가스의 양과 그 압력, 용암의 점성과 같은 용암의 성질과 화산 활동의 형태에 따라 다음과 같이 분류하고 있다.
① 하와이형 화산 : 화구를 메운 용암호(鎔巖湖)나 열하에서 유동성이 큰 현무암질 용암이 분출되며, 화산가스는 조용히 흩어져서 폭발성이 적기 때문에 화산분출물의 양이 매우 적다. 용암의 유동성이 크기 때문에 경사가 완만한 화산체를 형성하며, 그 단면에는 여러 단위의 용암류가 흘렀던 흔적을 볼 수 있다. 하와이 섬(the big island of Hawaii)이 대표적인 하와이형 화산의 예다. 용암이 충분히 분출한 뒤에 화구 부분이 함몰하여 칼데라를 형성하는 경우가 많다. 또한 중앙 화구가 메워진 후에 남은 마그마가 화산체의 측방에서 분

출하는 경우를 흔히 볼 수 있다. 하와이의 킬라우에아는 마우나로아 화산체의 측방 분출로 형성된 것이다.

② 베수비오형 화산 : 불칸형 또는 스트롬볼리형이었던 화산체가 다시 격렬한 폭발을 일으킬 경우, 마그마는 조용하고 평온했던 기간 동안 다량의 가스를 함유하고 있다가 단시간 내에 격렬하게 폭발하며 분출하게 된다. 열운(nuee ardente), lahar 등을 만들어낸다.

③ 스트롬볼리형 화산 : 하와이형에 비해 유동성이 작은 용암이 화구에서 공기와 접촉하면 밀폐된 가스가 연속적으로 약한 폭발을 일으키게 된다. 용암 덩어리는 날려서 화산탄, 스코리아를 만들게 되며, 깊은 곳에서 팽창된 가스가 솟아오르면서 화도 내에 있는 용암을 뚫고 나와 분화구 상에 분천(噴泉)을 형성하기도 한다. 이탈리아 시칠리아 섬 북쪽의 Lipari 제도의 스트롬볼리 화산에서 유래된 분출상이다.

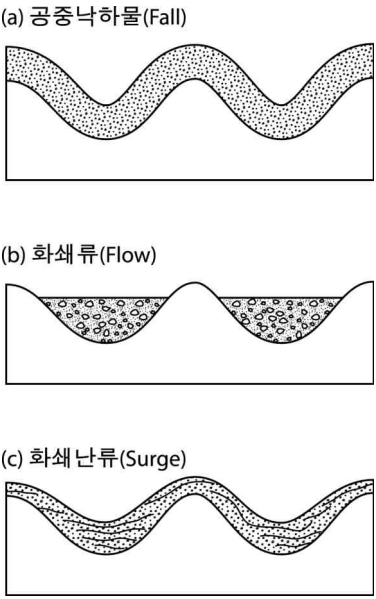
④ 펠레형 화산 : 규장질의 점성이 강하고 가스 함량이 적은 용암이 분화구 주위로 흐르지 못하고 냉각되어 화산돔을 형성하는 경우를 말한다. 돔 내부에 갇혀있던 화산 가스가 그 압력이 높아지면 폭발하여 돔의 측방으로 분출되거나 돔 전체를 날려버리는 경우도 있다. 1902년 펠레 화산에서 유래된 분출상이다.



6) 화성쇄설물의 운반 과정

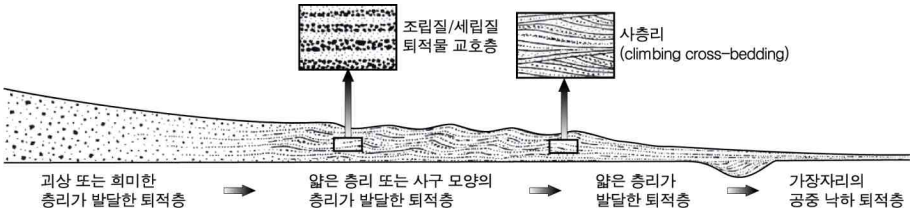
화성쇄설물(pyroclastic deposits)은 폭발적인 화산 분출에 의해 화구로부터 공중으로 흩어져 올라간 암편(fragments)이 지상에 떨어져 쌓인 것이다. 화산이 폭발하면 뜨거운 화산 가스와 쇄설물들이 섞여 있는 거대한 분출 기둥(eruption column)을 형성한다. 폭발적인 분출에 의해 화구에서 멀어져 간 개개의 입자가 공중 낙하하여 떨어져서 쌓이거나(공중낙하퇴적물 : air-fall deposits), 중력에 의해 지표면으로 돌아온 뜨거운 가스와 쇄설물들이 화구로부터 바깥쪽으로 이동하면서 흐름의 속도가 떨어지면 입자들이 지표면에 쌓이게 된다. 이때 뜨거운 가스와 입자가 뒤섞여 있는 흐름은 층류로서 비교적 조용히 아래쪽을 향하여 흐르는 화쇄류(pyroclastic flow)와 난류로 심하게 위 아래로 섞이면서 이동하는 화쇄난류(pyroclastic surge)로 구분된다. 물론 이러한 흐름은 아래로 가면서 변화하기도 한다. 화쇄류와 화쇄난류에 의해 형성된 퇴적물이 응회환과 응회구를 이루고 있는 응회암, 라필리암, 화산각력암 등이다. 대표적인 조립질 공중낙하 퇴적물이 화산탄낭을 형성한 화산암괴, 화산탄 등이다.

공중 낙하 퇴적물은 scoria fall deposits, pumice-fall deposits, ash-fall deposits 등이 있으며, 화쇄류 퇴적물은 block-and ash-flow deposits, scoria-flow deposits, pumice-flow deposits 등이 있다, 화쇄난류 퇴적물의 종류는 base-surge deposits, ground surge deposits, ash-surge deposits 가 있다. 그림 1은 같은 지형을 보이는 지표면 위에서 공중낙하 퇴적물, 화쇄류, 화쇄난류 퇴적물이 쌓여 있는 모습이다. 퇴적물의 모양과 아래에 놓인 지형의 형태를 비교하면 이해하기가 쉽다.

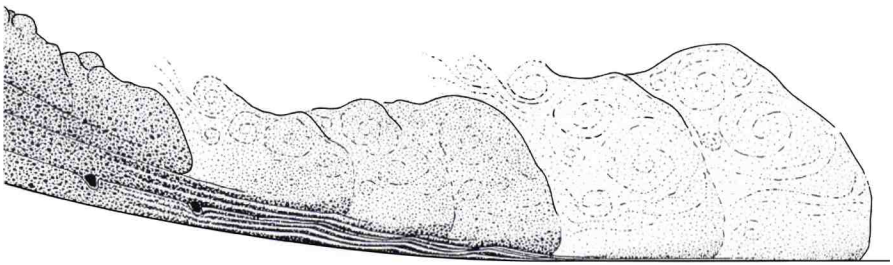


▲ 기반 지형과 화성쇄설물의 모습

화산쇄설물은 화구에서 많은 양의 화산재, 라필리, 화산각력이 뜨거운 가스와 함께 분출하여 대기층으로 올라갔다가 중력에 의해 지표로 떨어지면서 주변 지역으로 이동한다. 화산쇄설물의 이동은 바람의 영향을 많이 받으며, 이동하면서 유체의 성질이 변화한다. 제주도 수월봉과 송악산, 성산 일출봉, 우도에는 유체의 흐름이 화구에서 가장자리로 이동하면서 변화하는 모습을 확인할 수 있다. 그림에서 괴상 퇴적물이나 층리가 잘 발달되지 않은 퇴적체는 화구 주변에 형성되며, 멀어질수록 엽층리가 발달된 퇴적층과 사구 모양의 퇴적구조, 가장자리에는 공중 낙하 퇴적물이 주로 쌓인다.



▲ 화산쇄설성 퇴적물의 전이(Sohn and Chough, 1989)



▲ 화쇄난류구름이 발달되어 감에 따라 하부 퇴적구조가 변하는 모습

그림은 화쇄난류구름(pyroclastic surge cloud)이 발달되어 가는 모습이다. 초기에 입자의 밀도가 높은 상태에서 괴상이나 희미한 층리를 가진 퇴적체가 형성되지만, 구름의 부피가 늘어나면서 밀도가 낮아지면서 상부에는 와류가 형성되고, 하부에는 사구와 물결 모양의 구조가 형성된다. 가장자리 부분에서는 얇은 층리를 보이는 퇴적층과 공중 낙하 퇴적물이 형성된다.

3. 생물학적 접근

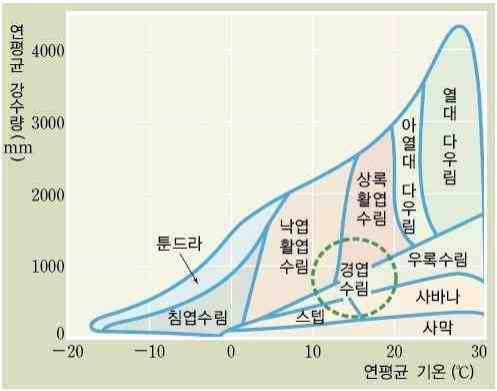
1) 생물 군집의 생태 분포

· 수평 분포 : 위도에 따른 생물의 분포 ← 온도와 강수량의 영향

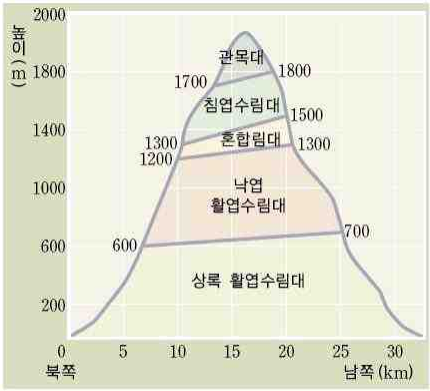
대체로 위도가 증가함에 따라 온도 및 강수량 감소

· 수직 분포 : 고도에 따른 생물의 분포← 온도의 영향

대체로 고도가 증가함에 따라 온도 감소



세계 식물 군집의 수평 분포



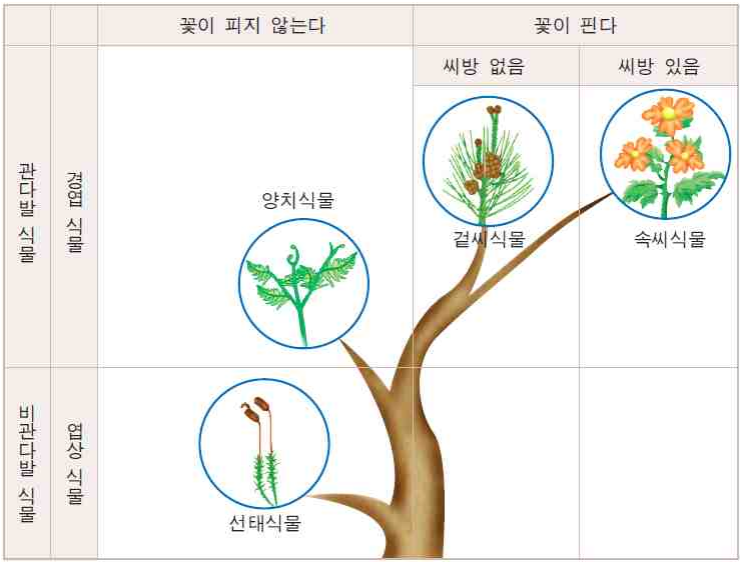
한라산 식물 군집의 수직 분포

한반도에서는 남부지방의 일부와 제주도에서만 볼 수 있는 상록 활엽수를 찾아보자.

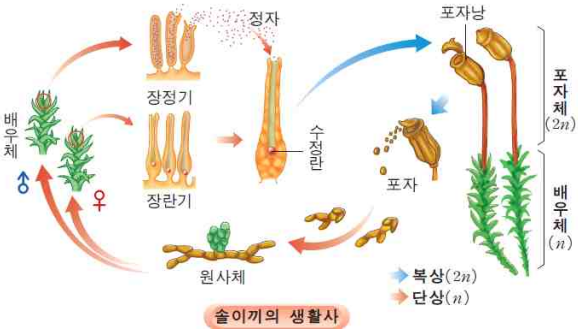
남부 지방과 달리 제주도는 남한에서는 고도가 가장 높은 한라산이 있어서 고도에 따라 한 장소에서 여러 생물 군집을 볼 수 있는 곳

또한 바다 한가운데 있는 섬이라서 볼 수 있는 다양한 해양 생태계까지!!

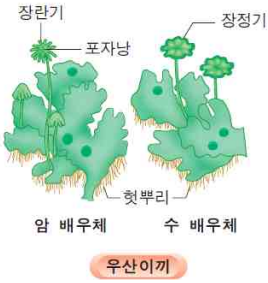
2) 식물 분류



① 군집의 천이과정에서 개척자인 지의류 다음으로 살게 되는 생물 선태식물
- 이끼



솔이끼의 생활사



우산이끼

② 양치식물-고사리

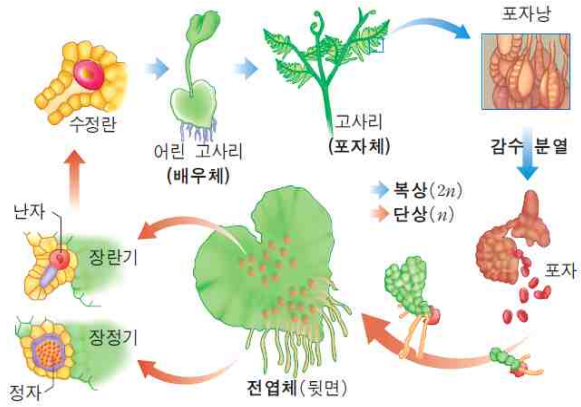
고사리를 발견했다면 잎 뒷면 포자낭은 꼭 봐야지 징그러워도!

아무 때나 볼 수 있는게 아니야! 종류마다 조금씩 다르지만 보통 5,6월에 포자낭이 생겨 8월에 성숙하면 진갈색으로 보인다.

선태와 양치식물은 꽃이 피지 않고 이와 같은 포자로 번식한다.



관중 고사리



고사리의 생활사

양치식물에는 고사리와 함께 고비도 유명하다.
중간 중간 잘 살펴보면 도깨비고비도 찾아 볼 수 있다.



도깨비고비



③겉씨식물에는 우리가 잘 아는 은행나무나 소나무가 있지만 다른 고장에서는 야외에서 보기 힘든 소철이 제주에는 있다.



소철류(Cycads)는 종종 양치류(ferns)나 야자(palms) 등과 혼동되는 경우가 있으나, 두 가지 중 어느 것과도 관련이 없다. 왜 이런 혼동이 생기는지는 쉽게 알 수 있다. 양치류 식물과 야자, 그리고 소철류 모두 대부분 옆 가지들 없이 회오리 형의 나뭇잎 중앙에 주 줄기가 솟아 있다. 소철류와 상당수의 양치류, 야자들의 잎은 가운데에 줄기나 잎대가 있고, 그 양쪽으로 가는 잎사귀들이 나란히 나있다. 하지만 이런 유사점은 눈속임에 지나지 않는다. 번식기에는 각기 뚜렷한 차이를 보인다. 양치류의 경우 종종 몇 개의 특정 나뭇잎들 잎사귀 뒷면에 포자가 생기며, 야자류는 꽃을 피우고 토양이 비옥할 경우 대추야자나 코코넛 같은 열매를 맺게 된다. 소철류의 경우 회오리 형의 나뭇잎 중심에 원뿔모양의 구과(cones)를 맺는데, 암수 구과들은 각 분리된 나무들에서 만들어진다. 그들의 씨가 구과에서 발생하므로, 소철류와 가장 가까운 종류의 식물은 소나무(pines), 가문비나무(spruces), 그리고 전나무(firs) 등과 같은 상록침엽수(evergreen coniferous trees)들이다.



소철암꽃



100년에 한번 본다는 소철열매

3) 제주도에 심겨진 야자수들

제주도에서는 아열대 식물인 야자나무를 흔히 볼 수 있다. 제주공항을 나서는 순간부터 시원스럽게 쭉 뻗은 야자나무가 즐비해 있는 공항풍경은 동남아시아나 혹은 다른 나라에 여행을 와 있는 듯 한 착각이 들게끔 한다.

이 같은 풍경은 도로 주변에서도 심심치 않게 볼 수 있다. 제주도에 있는 대표적인 3개의 야자나무로 워싱턴야자, 카나리아야자, 종려야자를 꼽을 수 있다.

가장 많이 볼 수 있는 건 하늘에 맞닿을 기세로 시원스럽게 뻗은 워싱턴야자다. 높이가 큰 것은 30m에 가까운 워싱턴야자는 멕시코와 북아메리카가 원산지로 쳐다만 봐도 마음이 그저 시원스러워진다.

이와 비교되는 게 카나리아야자다. 워싱턴야자가 '시원함'이 멋이라면 카나리아야자는 '화려함'의 멋이 있다.

아프리카 북서부 대서양에 있는 카나리아제도 지역이 원산지라 카나리아야자로 불리는 이 야자나무는 높이는 대체로 15m 정도로 워싱턴야자보단 작지만 지름이 1m 가량 더 굵다. 또 잎은 워싱턴이 2m가 채 안 되는 것에 비해 카나리아는 무려 6m에 육박한다. 잎이 거의 땅 아래까지 쭉 뻗어있어 마치 공작새가 날개를 쭉 펴듯 기교와 화려함을 자랑한다.



워싱턴야자, 카나리아야자,
종려야자(왼쪽부터)

나머지 종려야자는 이들 둘에 비하면 흔치는 않다. 종려야자는 우리와 가까운 일본 규슈와 중국이 원산지로 '온화함'의 느낌이 딱 어울릴 듯하다. 잎이 많지도 않아서 화려하지도 않고, 그렇다고 워싱턴처럼 길쭉한 것도 아니라 시원한 맛도 않다. 단지 바라보고 있으면 부드럽고 온순함이 느껴질 뿐이라 또 다른 멋을 자아낸다.

4) 식물 말고 동물을 보고 싶다고? 그럼 바닷가로

① 해면 (해면동물)

해면의 영어이름은 sponge 목욕 용품으로 쓰는 천연 해면도 이 해면과 같은 종류, 만화 스펀지 밥의 스펀지도 이 해면동물이라지?



② 말미잘 (강장동물=자포동물)



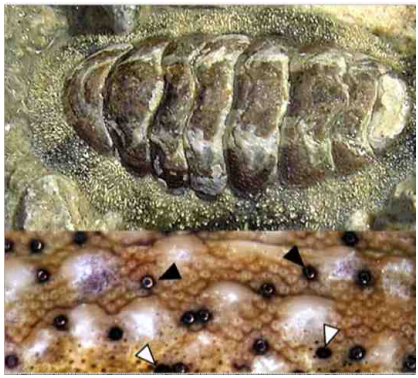
③ 성게(극피동물)



④ 군부 (연체동물 다판강)

군부(chiton)는 딱지조개류에 속하는 연체동물이다. 8개의 딱지가 몸을 보호하고 있다. 이 딱지에는 수백 개의 '오셀리'라고 부르는 작은 눈이 점점이 박혀있는데 각각의 눈은 색소층, 망막과 수정체로 이루어져 있다. 과학자들이 오셀리가 존재한다는 사실을 안지는 꽤 되지만 이것이 무엇으로 이루어져 있고 어느 정도 볼 수 있는지는 아무도 몰랐다. 그런데 캘리포니아 산타바바라 대학의 애니얼 스파이저가 한 종류의 군부를 연구하여 이 숙제를 해결하였다.

이 일은 우연한 일로 벌어졌다. 그가 군부에서 수정체를 떼어내어 잘 씻기 위하여 약산성 액체에 담구었더니 씻어지기는 커녕 순식간에 녹아버리는게 아닌가! 대부분의 동물 렌즈는 단백질로 이루어져 있어 약산성 액체는 전혀 영향을 미치지 않는다. 군부의 수정체는 완전히 다른 물질로 이루어진 것이 분명하였다. 스파이저는 곧 군부의 수정체가 아라고나이트(선석: $CaCO_3$)라고 부르는 광물질로 이루어진 것을 알아냈다. 아라고나이트는 석회석의 일종으로 대부분의 연체동물 - 굴에서 달팽이까지 - 껍질의 주성분이다. 결국 군부의 수정체는 자신의 껍질과 같은 성분으로 이루어진 것이었다.



스파이저가 연구에 사용한 종류의 군부. 길이 약 7cm 정도 되는 동물이다
아래 사진에서 등딱지에 붙어 있는 것이 눈이다.

군부는 살아 있는 동물로서는 유일하게 돌로 된 눈을 가진 생물일 것이다. 오래 전에 멸종한 삼엽충 또한 (석회석의 다른 형태인) 방해석으로 된 눈을 가지고 있었다. 일부 갑각류는 수정체에 광물질 결정을 포함하고 있지만 여전히 단백질이 주성분이다. 반면에 군부의 수정체는 한 종류의 광물질 조각이다. 거미불가사리의 수정체가 그나마 가까운 편으로 이들은 방해석으로 되어 있는 미세수정체를 가지고 있지만 실제 이 눈으로 무엇을 보는지는 분명치 않다. 사실 스파이저가 이번에 명확히 밝혀내기 전까지 군부가 실제로 "볼 수 있는지" 알 수 없었다.

물론 이들이 보는 영상은 그다지 선명하지 않다. 스파이저가 계산한 바에 따르면 각각의 수정체는 각해상력이 9 - 12 도 이었다. 각해상력은 두 물체가 서로 떨어져 있다는 것을 구별할 수 있는 각도로 사람의 경우 각해상력은 0.007 도 이다. 사람의 시력에 비해 1/1000 정도 밖에 안되는 것이다. 컴퓨터 모니터의 픽셀이 천 개 밖에 안된다면 해상력이 어떻겠는가?
(참고로 우리가 사용하는 컴퓨터의 픽셀은 백 만개가 훌쩍 넘는다.)

⑤ 갯강구 (절지동물 갑각강)



몸길이 3~4.5cm이다. 몸빛깔은 누런 갈색 또는 검은 갈색이다. 몸은 타원형이고 등쪽이 약간 볼록하다. 머리에는 기다란 제2 촉각과 큰 눈이 있다. 가슴마디는 7마디로 몸의 3분의 2를 차지하며, 배는 꼬리마디와 함께 6마디이다. 꼬리발은 2갈래이고 길다. 암컷은 배쪽에 알을 품는다.
몸의 앞쪽 절반을 먼저 탈피한 다음에 나머지 뒤쪽 절반을 탈피한다. 군생하며 밤에는 한데 모여 쉬고, 아침에 줄지어 나가 바위 위에 버려진 것을 찾아 먹는다. 잡식성이다. 바닷가 바위나 물기가 축축한 곳에 살지만 물 속에서는 살지 않는다. 낚시미끼로 쓰인다. 한국·일본·중국·북아메리카 등지에 분포한다.

⑥ 집게 (연체동물 갑각강)



갑각류의 한 종으로 다른 갑각류처럼 외골격이 딱딱하게 석회질화되어 있지 않기 때문에 고둥 또는 소라 같은 복족류가 죽고 난 후 남겨진 껍질을 집으로 삼아 자기 몸을 보호함.

⑦ 거북손(절지동물 갑각강)



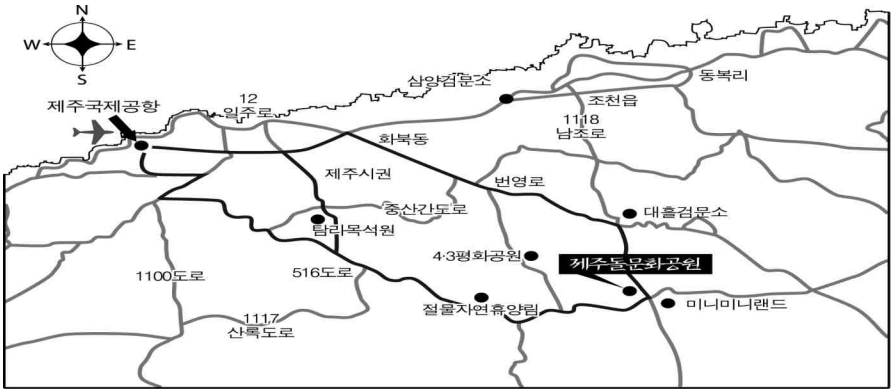
⑧ 따개비(절지동물 갑각강)와 삿갓조개(연체동물 복족강)



II. 제주 답사 자료

1. 제주 돌문화 공원

제주돌문화공원은 제주도내에 산재해 있는 고유의 민속유물과 자연사적 자료를 조사 연구, 수집하고 전시하는 곳으로 2005년 개관하였다. 전시실에는 제주도의 형성과정, 지질과 암석, 화석에 관한 지질학적 자료와 돌문화, 민속자료 등이 전시되어 있어 제주의 자연과 문화를 이해하는데 적합한 곳이다.



제주돌문화공원의 위치

집중적으로 볼 곳은 제주형성전시관과 옥외 전시장이다. 제주형성전시관은 제주의 화산활동을 주제로 한 전시공간으로써 우주와 지구, 한반도의 지질, 제주의 화산활동, 오름, 동굴 등 9개로 분류하여 소개하고 있으며, 중앙부에는 장축 12m(축척 1:5,700)의 제주도 모형이 위치하고 있다.

□ [우주와 지구]
전시공간의 도입부로 우주의 탄생과 운석, 지구의 내부, 대륙의 이동 등의 내용을 소개한다. 특히 지구절개모형은 지구내부를 통과하는 지진파의 진행 경로를 전자시그널 장치를 이용하여 이해를 돕고 있다

□ [우리나라의 지질]
지질사건 영상과 암석시료, 지질도 모형이 연계되어 작동하는 공간으로 한반도의 다양

한 지질현상과 한반도 지사를 알 수 있다. 또한 대륙의 이동과정에서 한반도를 중심으로 표현함으로써 과거 지구상에서의 한반도의 위치와 그 변화과정을 소개한다.

□ [제주의 화산활동]
세계의 화산분포와 다양한 화산활동을 영상과 모형을 통하여 소개하고, 한반도에서의 신생대 화산활동, 제주도의 지구조적 위치 및 형성과정 등을 소개한다.

□ [화산분출물]
제주도의 화산활동으로 생성된 다양하고 독특한 화산분출물들을 소개하고 있다. 특히 현미경 실습공간에서는 암석시료를 직접 관찰할 수 있다.

□ [제주의 동굴]
제주도에는 170여개의 천연동굴이 분포한다. 이들 천연동굴의 분포, 특히 용암동굴의 생성원인과 진화과정 뿐만 아니라 세계자연유산 등재를 눈앞에 둔 만장굴의 내부를 자세히 소개하고 있다.

□ [제주의 오름]
제주도에는 360여개의 단성화산체 즉 오름들이 분포한다. 오름의 분포와 종류, 생성과정 등을 소개한다. 특히 모형을 통해 응회환과 분석구로 이루어진 송악산의 화산진화과정을 볼 수 있다.

□ [제주의 퇴적물]
제주도는 신생대 제4기의 화산활동으로 만들어진 화산섬이지만 서귀포층, 해빈, 사구 등과 같은 퇴적암과 퇴적물이 소규모로 분포한다. 이러한 퇴적암의 기원과 특징, 그리고 퇴적암이 지시하는 고환경 등을 알아보자.

□ [제주도의 지형]
화산활동에 의하여 생성되던 신생대 제4기 동안의 해수면의 변화에 따른 육지와 제주도의 연결가능성, 즉 연육설에 대하여 그래픽을 통하여 간략하게 소개한다.

□ [제주의 지하수]
제주도는 대부분의 음수, 생활용수, 공업용수 등을 지하수자원에 의존하고 있다. 제주지하수의 생성조건, 부존형태, 제주의 물 사용역사, 제주용천의 분포와 종류 등을 알아보자.

※ 아래 그림은 돌문화공원에서 볼 수 있는 암석이다. 그림 (가)와 (나)가 생성된 과정을 생각하여 기록해 보자.



(가)



(나)

탐구 활동 기록

1. 제주형성전시관의 제주화산활동을 보고 주요 내용을 기록해 봅시다.

2. 화산분출물의 종류와 크기를 알아봅시다.

3. 제주돌문화공원 전시장 출구 오른쪽에는 현무암층의 단면이 노출되어 있습니다. 가까이에서 관찰하고 기록해 봅시다.

☑ 제주돌문화공원에서 자세히 견학하면서 주요 내용을 기록해봅시다.

1. 제주도를 해발고도에 따라 3부분으로 구분하여 특징을 기록하세요.

□해안 지역 :

□중산간 지역 :

□한라산 지역 :

2. 제주도 생성과정을 4단계로 구분하여 단계별로 나타나는 특징적인 지형을 기록하세요.

3. 용암동굴인 만장굴 모형을 관찰하고, 특징적인 구조를 보여주는 것을 기록하세요.

2. 오조리 용천수



용천수란 제주특별자치도 지역에서 대수층(帶水層)을 따라 흐르는 지하수가 암석이나 지층의 틈새를 통해 지표로 솟아나는 물.

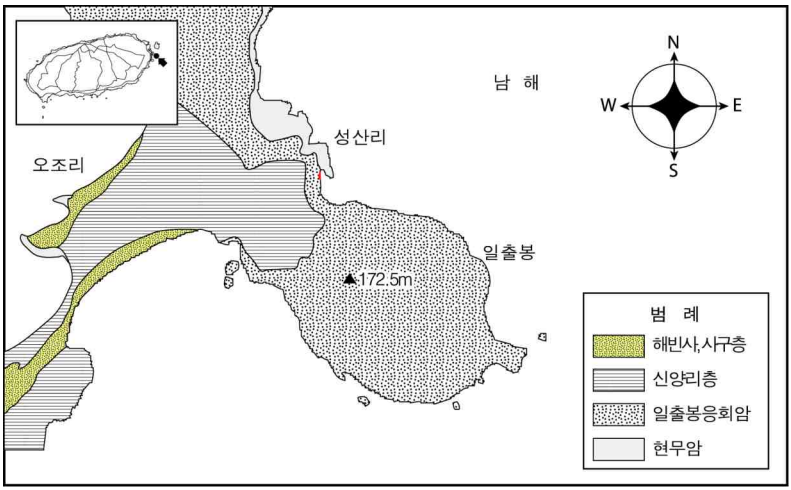
제주도에 상수도가 보급되기 이전에 용천수는 제주도민들의 생명수 역할을 했다. 용천수는 용출하는 지역에 따라 크게 해안 지역 용천수, 중산간 지역 용천수, 산간 지역 용천수로 구분할 수 있다.

이 중에서도 수적으로 가장 많은 것은 해발 200m 이하에 분포하는 해안 지역 용천수이며, 이것이 오늘날 제주도의 마을이 해안 지역을 따라 환상(環狀)의 형태로 만들어낸 원동력이 되었다. 중산간 지역이나 산간 지역의 경우는 해안 지역에서 멀어질수록 용천수의 분포 비율은 낮아지며, 그에 따라 마을이나 거기에 거주하는 인구도 상대적으로 적다.

오늘날에는 바다로 흘러나가기 전의 일부 지하수를 이용하여 상수원으로 공급하고 있으며, 또한 '삼다수(三多水)'라는 먹는 샘물과 '삼다수 녹차'라는 기능성 음료수로 생산하여 판매하고 있다. 제주도의 용천수는 기본적으로 지하수에 근간을 이루고 있기 때문에, 결국 제주도의 용천수는 과거로부터 오늘날에 이르기까지 제주도민들의 생활의 근거가 되고 있는 셈이다.

[특징]
용천수는 제주도민들에게 생명의 젖줄로 표현될 만큼 소중한 자연 자원임에 틀림없다. 용천수는 단순히 식수로만 사용해온 것이 아니라 목욕이나 빨래, 가축용 등 일상생활에서 매우 다양한 분야에서 효율적으로 이용해 왔다.
예로부터 제주도민들은 용천수의 용도가 다양한 만큼, 용천수가 솟아나는 장소에는 반드시 돌담을 쌓아 올려 가축의 출입을 막거나 또는 주변부로부터 오염되지 않도록 철저히 보호하였다.
지역별로 분포하는 용천수의 용도를 살펴보면, 해안 지역과 중산간 지역의 용천수가 주로 마을 사람들의 생활용수로 사용하는 것이라면, 산간 지역의 용천수는 일부가 등산객들과 사찰 등지에서 이용한다. 또, 일부는 지형적으로 접근하기 어려운 곳에 위치하는 관계로 전혀 사용하지 못하는 것들도 있다.
특히, 해안 지역의 용천수는 보통 바닷가의 조간대(潮間帶)나 해발 5m 이하의 지점에서 용출하는 것들이 많은데, 이들은 밀물 때에 거의 이용할 수 없는 용천수라 할 수 있다. 그 이유는 조간대나 해발 5m 이하에서 용출하는 용천수들은 밀물 때에 쉽게 해수의 침범을 받아 담수(淡水)로서의 역할을 할 수 없기 때문이다.
용천수 중에는 마을의 설촌(設村)과 관련된 것들도 많고, 그래서 독특한 설화(說話)나 역사적 사건과 관련된 것들이 많다. 따라서 용천수가 용출하는 위치나 물의 양에 따라 독특하게 이름이 붙여진 것들도 많다.
- 유수암천: 제주시 애월읍 유수암리에 있는 용천수로서, 고려 시대 때 유수암리에 사람들이 거주하기 시작한 것은 이 천이 있었기 때문이라고 전해진다.
- 하물: 제주시 애월읍 애월리에 있는 용천수로, 용출하는 물의 양이 많다는 의미의 제주 방언['하다'는 '많다'라는 의미]에서 비롯된 것이다.
- 장수물: 제주시 애월읍 장전리에 있는 용천수로, 고려시대 때 삼별초 장수인 김통정(金通精)이 여몽 연합군에게 패배하여 도주할 때, 발을 내디딘 후부터 물이 나오기 시작했다는 이야기가 전해진다.
- 엉물: 해안이나 하천가의 큰 바위 밑에서 솟아난다는 의미에서 붙여진 것으로, 도두 2동과 용담 2동 등 여러 곳에 같은 이름의 용천수가 있다.
- 금산물: 원래 마을 안에 제터가 있는 산(山)이라 하여 평소 사람들의 출입을 금한다는 의미에서 금산(禁山)이라 하였고, 금산 아래에서 흘러나오는 물을 '금산물'이라 불렀다. 제주시 건입동에 있는 용천수이다.

3. 성산 일출봉



성산일출봉의 지리

성산일출봉 응회구는 남제주군 성산읍 성산리 바닷가에 위치하고 있으며, 해발 180m의 정상에는 직경 약 600m, 면적 약 3만 여 평의 움푹 팬 원형 분지가 99개의 깎아세운 듯한 바위로 둘러싸여 있다. 또한 동.남.북쪽은 깎아지는 듯한 직각절벽으로 되어 있으며, 남쪽만 잔디가 깔린 능선 형태이다. 성산일출봉은 바다 쪽에서 바라보는 기암괴석이 멋있는데, 적벽에 새겨진 멧돼지모양의 벽화, 왕관바위, 공룡, 거북이를 닮은 바위는 신기하고 기괴한 모습을 하고 있다. 성산포에서 관광유람선을 이용하여 일출봉 주위와 우도 주위를 함께 관광할 수 있다. 성산 일출봉 주변에는 우도가 있고, 해안 풍광이 뛰어난 섭지코지, 신양 해수욕장이 있으며, 하도-종달 간 해안도로는 드라이브 코스로 유명하다. 성산일출봉은 제주도 기념물 제 36호로 지정, 보호되고 있으며, 이곳에서 바라보는 일출 광경이 장엄하여 영주 12경의 제 1경으로 치고 있다.

성산일출봉의 지질

성산일출봉은 제주도 본섬(고성리 해안가)과 서로 연결되어 있는 육계도인데, 만의 입구 같은 곳에서 연안류에 의해 해안가로 운반되어 온 흙과 모래가 쌓여 해안에서 바

다로 향해 새 부리처럼 끝이 뾰족한 지형을 만들어 차츰 뻗어 나가면서 먼 바다에 있는 섬과 뭍이 이어져 만들어진 것이다. 일출봉 응회구는 수성화산작용[3]의 수증기 마그마성 분출에 의하여 형성되었다.

산체의 측면 노두에서는 잘 발달된 층리 구조를 관찰할 수 있으며, 육지부와 연결되는 육계사주 부분의 해안가에서는 제 4기 해빈 퇴적층인 신양리층과 신기의 용암단위 사이에서의 부정합면을 볼 수 있다(제주도, 1997)

성산일출봉 응회구 퇴적층은 4가지 퇴적상을 보이고 있는데, 20°~45°로 가파른 경사를 보이는 분화구 주변 퇴적층은 주로 라필리암으로 구성되어 있고, 5°~20°사이의 경사를 보이는 산사면의 퇴적층은 괴상 또는 렌즈형이다. 완만한 경사를 보이고 있는 일출봉 응회구 가장자리 층은 화쇄난류[4]에 의해 퇴적된 라필리암과 응회암의 엷은 층리를 보이고 있으며, 괴상이나 엷은 층리를 보이는 퇴적층으로 구성되어 있는 화산쇄설성 경사면은 화쇄류에 의한 화산분출물을 보여주고 있다(Yoon et al., 1995) 일출봉의 이런 급한 경사는 수성화산체의 특징으로 화산 분출 당시 화산쇄설물들이 물을 머금고 있어서 점성이 생긴 탓에 안식각 이상의 급경사에도 퇴적이 가능했던 것이다. 이러한 일출봉 수성화산활동을 가능하게 한 물은 그 당시의 해수였을 가능성이 크다. 일출봉 남쪽 해안 절벽 하부에는 일출봉 분출 당시의 해수면을 지시하는 구조가 나타나는데, 탄낭[5], 사층리[6] 등의 구조를 보인다. 탄낭이 있는 높이가 일출봉 형성 당시의 해수면이었으며, 그 높이는 현재의 해수면과 거의 일치한다. 따라서 현재와 같은 얕은 바다에서 분출하였으며, 그 물의 영향으로 수성화산활동을 일으켰음을 알 수 있다.

---

3) 수성화산분출(hydrovolcanic eruption): 물과 마그마의 접촉으로 발생하는 화산활동

4) 화쇄난류(pyroclastic surge) : 폭발적인 화산분출에 의해 형성되어 지면을 따라 빠르게 흘러가는 저농도의 화산기원 중력류

5) 탄낭 구조(bomb sag) : 암편 혹은 화산탄이 응회암에 떨어져 층리를 주머니 모양으로 변형시킨 구조

6) 사층리(cross bedding) : 모래 크기의 입자가 바람과 물이 흘러간 한 방향으로 쌓여 만들어지는 경사 구조





탐구 활동 기록

1. 일출봉 전체가 보이는 곳에서 모양을 스케치해 보고, 지형적인 특징을 기록해 봅시다.

2. 해식절벽에서 나타나는 지층의 특징은 무엇일까요? 어떻게 이런 지층이 형성된 것일까요? 절벽을 이루는 암석의 이름을 알 수 있나요?

3. 응회구와 응회환이란 말을 들어 보았나요? 성산 일출봉의 분화구는 응회구와 응회환 중 어디에 속할까요? 그리고 어떻게 형성된 것일까요? 선생님께 도움을 구하면 환상적인 과거로의 여행을 떠날 수 있을 거예요.

4. 절벽에 넓은 부분에 걸쳐 하얗게 나타나는 부분 보이나요? 무엇일까요? 그리고 어떻게 만들어질 수 있나요? 이것이 많이 쌓여 암석으로 굳어진 것 중에 칠레초석이라 불리는 것이 있습니다. 들어 보셨나요? 우리나라도 해마다 많은 양을 수입하고 있답니다.

5. 성산일출봉 해안에서 지층과 암석을 자세히 관찰하고, 특징을 차례로 기록해 볼까요?

을 해나갈 필요가 있다. 이 지표들과 관련된 일부 항목에 대해서도 지금까지는 개인적 차원의 연구만이 이루어져 왔는데(안중기와 김태호, 2006; 김태호와 안중기, 2008) 앞으로는 자연유산 관리기구의 주관하에 이 지표들에 대해서도 체계적인 모니터링을 하는 것이 바람직하다.

4.3. 성산일출봉 응회구

성산일출봉은 바닷가에서 일어난 수성화산분출에 의해 만들어진 응회구로서(Sohn and Chough, 1992) 현세 중기(약 5천년 전)에 형성된 것으로 해석되고 있다(Sohn *et al.*, 2002; 정창식 외, 2006; Cheong *et al.*, 2006). 성산일출봉은 현재와 거의 유사한 천해환경에서 형성된 이후 끊임없이 연안침식 과정을 겪어왔다. 이로 인해 성산일출봉은 삼면이 가파른 절벽으로 둘러싸이게 되었으며, 그 결과 수성화산의 다양한 내부구조를 보여주는 세계적인 노두를 갖게 되었다. 하지만 연안침식은 장기간에 걸쳐 성산일출봉의 지형과 노두를 파괴시키는 지질학적 과정이기도 하므로 성산일출봉 모니터링은 이러한 작용에 의해 얼마나 빠른 속도로 지형변화가 일어나는지 파악하는 것이 중요하다. 이를 위해 성산일출봉에 대해서는 현장조사와 함께 항공정사영상 촬영과 항공LiDAR 측량이 이루어졌다.

정사영상(orthophotograph)이란 사진촬영 당시의 카메라 자세 및 지형기복에 의해 발생된 대상체의 변위를 제거한 영상을 말한다. "수치미분편위수정"이라고도 불리는 정사보정 작업을 통하여 제작하며, 정사보정을 거친 항공사진은 지형지물의 상호 위치관계가 지도와 동일해진다. 따라서, 일반 사진에서 옆으로 누운 것처럼 보이는 형상이 정사보정을 거친 영상에서는 위로 똑바로 선 것처럼 묘사된다. 2008년 12월 27일 오전에 촬영된 성산일출봉의 항공정사영상(그림 2A)은 성산일출봉 주변 해안선의 모양, 해빈(beach)의 폭, 낙석의 양과 분포(그림 2B) 등은 물론 응회구 내외부 식생의 분포와 발달상태(그림 2C)에 대한 시각적인 기록으로서도 가치가 있지만, 약 5년 후 이곳에서 또다시 얻어질 계획으로 있는 항공영상과의 비교자료로서 더 큰 가치를 지니고 있다.

항공LiDAR(Light Detection And Ranging) 측량이란, 항공기에 부착된 레이저 스캐너로부터 레이저 펄스를 지상에 발사하여 지표면 혹은 지물로부터 반사되어 되돌아오는 레이저 펄스의 도달시간을 측정하여 반사지점의 3차원 공간위치정보(x, y, z)를 취득하는 고정밀 측량기법이다. 성산일출봉의 항공LiDAR 측량은 2009년 3월 10일 정오경 독일 Leica사의 ALS50-II 시스템을 이용하여 이루어졌으며, 취득된 자료는 GPS/INS와 GPS 지상 기준국 자료를 함께 처리하고 레이저 데이터의 좌표계산, 데이터 분류 등의 과정을 거쳐 수치표고모형(digital elevation model)과 등고선도로 최종 결과물이 제작되었다(그림 2D). 항공LiDAR 측량 결과 성산일출봉의 최고점은 해발 179.7 m, 분화구의 최저점은 해발 86.6 m, 분화구의 둘레는 1,705 m, 분화구의 면적은 0.2144 km^2로 나타났다. 항공LiDAR 측량결과는 약 5년 후 이곳에서 또다시 얻어질 항공측량자료와 비교하여 지형변화의 속도를 정량적으로 측정하기 위한 비교자료로 이용될 것이다.

항공정사영상 촬영과 항공LiDAR 측량은 기본적으로 성산일출봉의 지형변화 모니터링을 위해 이루어진 것이지만, 이를 통해 얻어진 자료의 분석을 통해 상대해수면 변화, 해안선의 위치 변화, 사태작용, 토양 및 퇴적물의 침식 등 국제지질과학연합이 제시한 네 개의 지질지표에 대해서도 모니터링이 가능하다는 점에서 매우 효과적인 모니터링 방법인 것으로 생각된다.

이상의 지형변화 모니터링과 함께 성산일출봉에서 이루어져야 할 주요 모니터링의 항목은 "노두변화"이다. 그 이유는 성산일출봉이 세계자연유산으로 선정된 중요한 이유가 뛰어난 경관적 아름다움과 함께 노두가 지닌 학술적 중요성이 컸기 때문이다. 일례로, 세계자연유산으로 등재되어 있는 영국의 "Dorset and East Devon Coast"에서도 노두의 손상과 재노출(damage and re-exposure of geological outcrops)을 중요한 모니터링 항목으로 삼고 있다. 성산일출봉 주요 노두의 모니터링을 위해 1992년 Sedimentology에 출간된 논문(Sohn and Chough, 1992)의 노두 상태와 2008년 및 2009년도의 노두 상태를 비교해보았다. 이 논문의 사진들은 1990년 또는 1991년에 촬영된 사진들로, 이 사진들과 현 노두를 비교함으로써 17-18년의 기간 동안 일어난 노두의 변화를 파악할 수 있었다. 그 결과, 현재의 노두 상태가 1990년대 초의 노두 상태와 거의 동일함이 드러났다(그림 3).

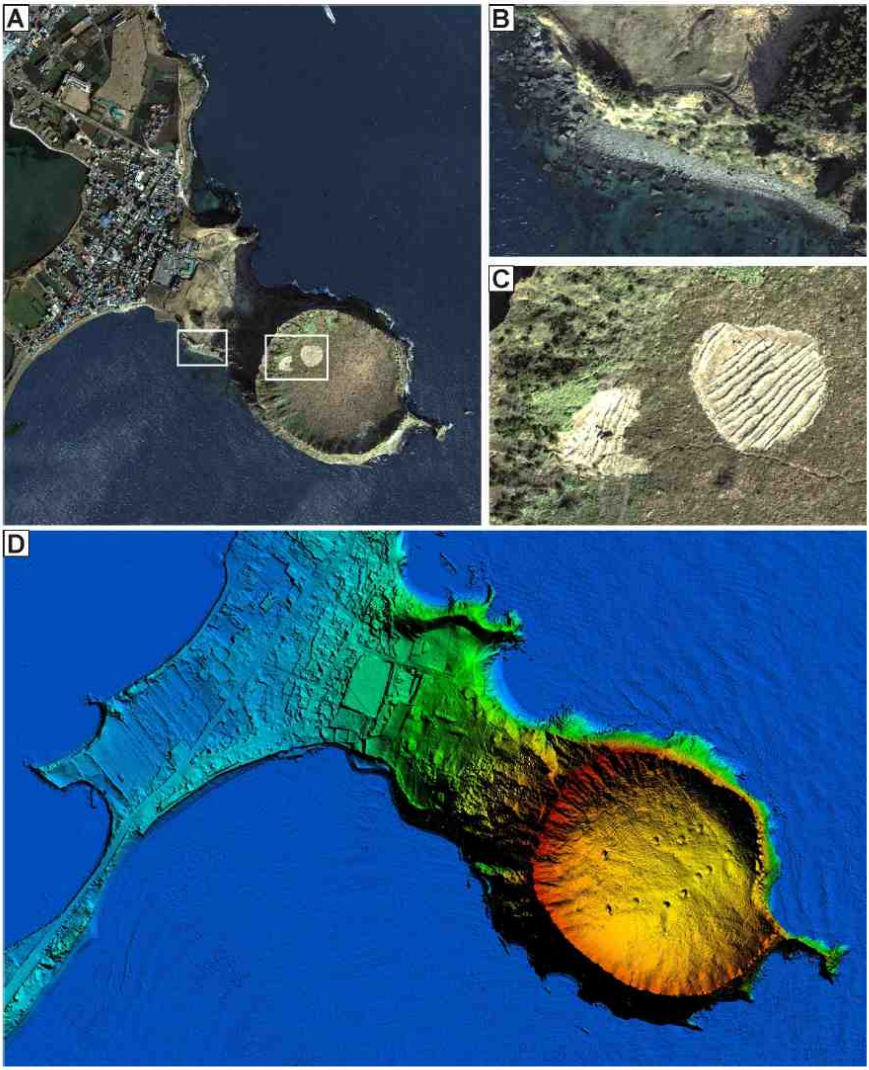


Fig. 2. (A) Areal orthophotograph of the Ilchulbong tuff cone. Boxed areas are enlarged in B and C. (B) Enlarged view of the shoreline area to the west of the Ilchulbong tuff cone, showing the details of the fallen blocks and gravel beach. (C) Enlarged view of the area inside the crater of the Ilchulbong tuff cone. The light-colored spots were produced by the removal of the bamboo colonies that were artificially introduced into the crater. (D) Digital elevation model of the Ilchulbong tuff cone obtained by LiDAR airborne terrain mapping.

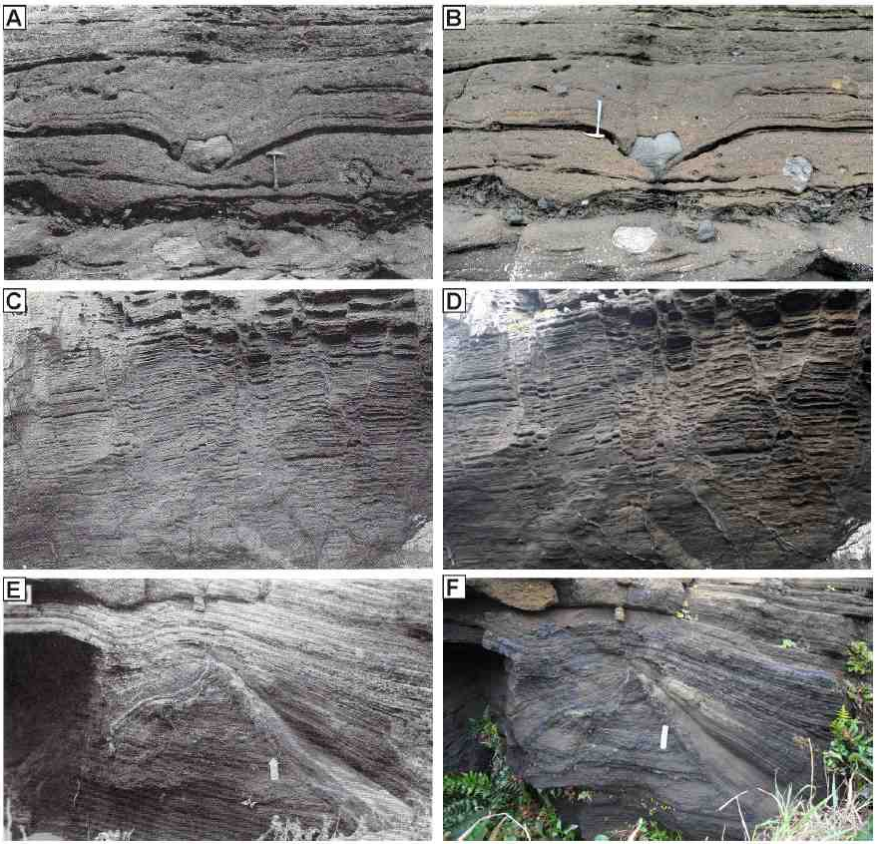


Fig. 3. Comparison of major outcrops of the Ilchulbong tuff cone. The photographs on the left side (A, C, E), from Sohn and Chough (1992), were taken in the early 1990s. Those on the right side (B, D, F) were taken between 2008 and 2009. These two sets of photographs show that the outcrops of the Ilchulbong tuff cone have remained almost intact for two decades.

성산일출봉의 노두 대부분이 이처럼 오랜 기간 변함없이 유지된 이유는 성산일출봉의 응회암이 매우 빠른 속도로 암석화되었고 이와 함께 주요 노두 대부분이 관광객들의 손길이 닿지 않는 곳에 위치해 있었기 때문인 것으로 추정된다.

하지만 관람로에 인접한 지역에서는 지표식생과 토양층이 벗겨지고 응회암층 노두가 인위적으로 드러난 곳도 발견되며, 관람로 주변의 일부 노두는 관광객들에 의해 훼손된 흔적도 발견된다(그림 4). 결론적으로 말하자면, 자연적 과정에 의한 성산일출봉의 노두변화는 매우 느리게 일어나고 있는 반면 관광객들의 접근이 용이한 지역의 노두는 훼손의 우려가 있으므로 향후 성산일출봉을 모니터링함에 있어 이 부분에 대한 주기적인 관찰과 기록이 필요하다고 판단된다.

4.4. 거문오름용암동굴계

거문오름용암동굴계가 세계자연유산으로 등재되

4. 신산리 맨틀포획암

암석학회지
Jour. Petrol. Soc. Korea Vol. 25, No. 3, p. 261~281, 2016
http://dx.doi.org/10.7854/JPSK.2016.25.3.261

제주도 암석권의 성분과 진화(I): 리뷰

양경희*
부산대학교 지질환경과학과

Composition and Evolution of Lithosphere Beneath the Jeju Island Region (I): A Review

Kyounghee Yang*
Department of Geological Sciences, Pusan National University, Busan 46241, Korea

요 약: 제주도 현무암에 포획된 맨틀 페리도타이트에 대한 암석학적/지화학적 연구는 한반도 상부맨틀 암석권 진화에 대한 우리의 지식을 한층 높이고 있다. 제주도의 페리도타이트 포획암은 대부분 첨정석 레졸라이트이며, 그 외 하즈버가이트와 휘석암으로 이루어져 있다. 제주도 페리도타이트 포획암은 부분용융, 재결정변형작용, 교대작용을 경험한 후 맨틀에 남아있던 잔류맨틀물질임을 나타낸다. 이 포획암은 맨틀웨지 환경에 있었던 암석으로 분별부분용융에 의해 일차적으로 결핍과정을 겪었으며, 소규모의 전단대내 특정한 편압에서 소량의 반상쇄성-압쇄조직이 형성되는 재결정작용도 경험했다. 그 이후 페리도타이트는 섭입하는 슬랩 기원의 SiO_2, K, H_2O, LREE에 포화된 유체(혹은 용융체)에 의해 다양하게 교대/부화되었다. 슬랩 기원의 이 유체는 감람석과 반응하여 사방휘석과 금운모를 이차적으로 형성하였다. 교대작용은 제4기 제주도 마그마 시스템보다 충분히 앞선 사건이었으며, 모마그마와는 성인적으로 관련이 없다. 이러한 교대작용에도 불구하고 제주도 상부맨틀 암석권은 비교적 높은 온도와 교대작용 이후에 주어진 충분한 시간에 의해 지화학적으로 완전한 평형상태에 도달하였다. 그 이후에 동해가 열리고 동아시아 암석권은 확장되어지면서 원시 제주암석권도 맨틀웨지 환경에서 판내부환경으로 변환되어진다. 제4기 판내부환경에서 제주도가 형성되면서 이때 상승하는 알칼리 현무암에 포획된 맨틀 페리도타이트가 지표면에 운반되어졌다. 제주 상부맨틀 암석권에서 일어난 이런 종류의 물질순환은 대륙지각하부 암석권맨틀의 진화에 상당히 중요한 역할을 했었을 것이며, 동아시아 아래 상부맨틀 암석권에 EM I, EM II와 같은 부화된 영역을 형성하는데 기여했을 수도 있다.

핵심어: 맨틀포획암, 암석권, 제주도, 슬랩기원의 유체, 후기 사방휘석과 금운모

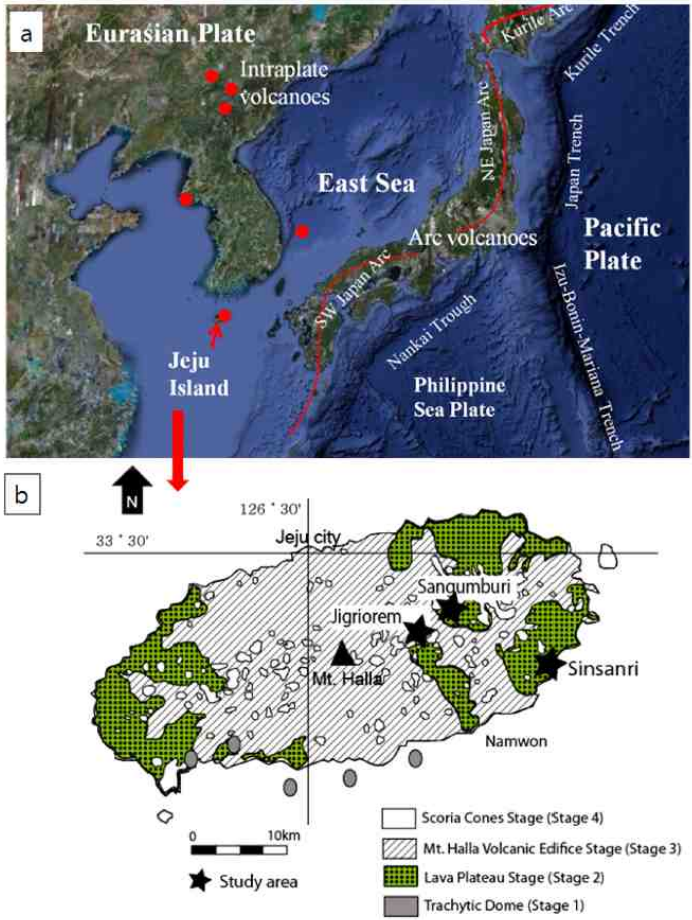


Fig. 1. (a) Photo-map on the geodynamic setting along the eastern margin of the Eurasian Plate (after Tatsumi *et al.*, 2005). (b) Generalized geological map of Jeju Island showing the stratigraphic relationships of volcanic rocks (modified after Lee, 1982) and the sample locations of this study.



맨틀포획암과 암석권의 진화(Evolution of the Xenoliths and the Related Lithosphere)

앞에서 토의하고 제시한 내용에 근거하여 맨틀포획암과 제주도 하부 상부맨틀 암석권의 진화발달에 대한 모델을 다음과 같이 제시한다(Fig. 11). 제주도가 탄생하기 전, 백악기말-제3기초 한반도는 유라시안판의 동쪽 끝을 따라 형성된 안디안형 대륙연변부의 일부분이었다. 그 당시 태평양판과 필리핀판이 유라시아판 아래로 섭입하고 있었다(Fig. 11a). 현재 제주 맨틀포획암과는 다른 원시맨틀 암석(mantle protolith)은 섭입환경의 맨틀웨지에 위치하고 있었다("M" in Fig. 11a). 이 맨틀 암석은 25%까지의 부분용융을 하여 마그마를 배출하고 다시 냉각되면서 안정화가 진행되었다. 이 과정에서 이 맨틀암석은 원생입상 조직에서 부분적으로 반상쇄성-압쇄조직으로 변형/재결정하면서 진화하고 있었다. 부분용융을 끝내고 안정되어진 맨틀암석은 슬랩에서 유래된 유체(즉, silica- K-, H_2O, LREE에 부화된 유체)와 반응하여 이차사방휘석과 금운모를 맨틀 페리도타이트에 만들었다(Fig. 11b). 교대작용을 주도한 이 유체는 맨틀포획암이 있었던 곳보다 좀 더 깊은 곳에서 이동해 왔을 것이며, 페리도타이트에 스며들어 맨틀암석을 부화시켰다. 그 이후 지구조적으로 섭입환경의 상부맨틀은 동해가 열리고 암석권이 확장되면서 판내부환경으로 변환되어진다(Fig. 11c). 그 이후 제4기 판내부환경에서 만들어진 알칼리 현무암에 포획된 맨틀암석은 상승하는 모마그마와 함께 지표면에 운반되어졌다(Figs. 3 & 10). 판내부환경에서 지표면에 노출되어진 맨틀포획암은 옛날 아크 아래 상부맨틀 암석권의 비밀을 지니고 있는 암편이었다.

이전 연구는 동아시아(즉, 유라시안판의 동쪽 연변부)의 상부맨틀 암석권에는 동위원소 성분이 뚜렷하게 구별되는 두 개의 큰 영역이 존재하고 있다고 제시했다(Gao *et al.*, 2002; Xu, 2001; Zou *et al.*, 2000). 그것은 DM(=depleted mantle) - EM I(=enriched mantle of type one)과 DM - EM II(=enriched mantle of type two)이다(Zindler and Hart, 1986). EM I과 EM II는 지각물질 특성을 보이는 동위원소 성분을 가지는 상부맨틀 암석권을 의미한다. 지각물질 특성을 보이는 동위원소 성분은 대륙지각, 해양지각 혹은 섭입대에서 섭입된 퇴적물 등이 연약권까지 갔다가 다시 암석권으로 재활용된 것으로 설명하고 있다. 이 연구들은 충돌, 확장, 섭입 등의 사건으로 동아시아 아래 상부맨틀 암석권의 구조가 중생대 이후 바뀌고 있다고 보고했다. 그렇다면 SiO_2, K, H_2O, 미량원소에 부화된 제주 맨틀포획암은 지구조환경이 아크환경에서 판내부환경으로 전환되는 광역적인 지구조과정에 대해 잠재적인 중요한 의미를 부여하고 있다. 제주 암석권맨틀과 관련지어 광역적인 지구조과정을 이해하기 위해서는 좀 더 많은 연구가 앞으로 필요하겠지만 제주 상부맨틀 암석권에서 일어난 이런 종류의 물질순환은 대륙지각하부 암석권맨틀(SCLM)의 진화에 상당히 중요한 역할을 했었을 것이다. 그 결과 동아시아 아래 암석권에 EM I, EM II와 같은 부화된 영역을 형성하는데 기여했을 수도 있다.

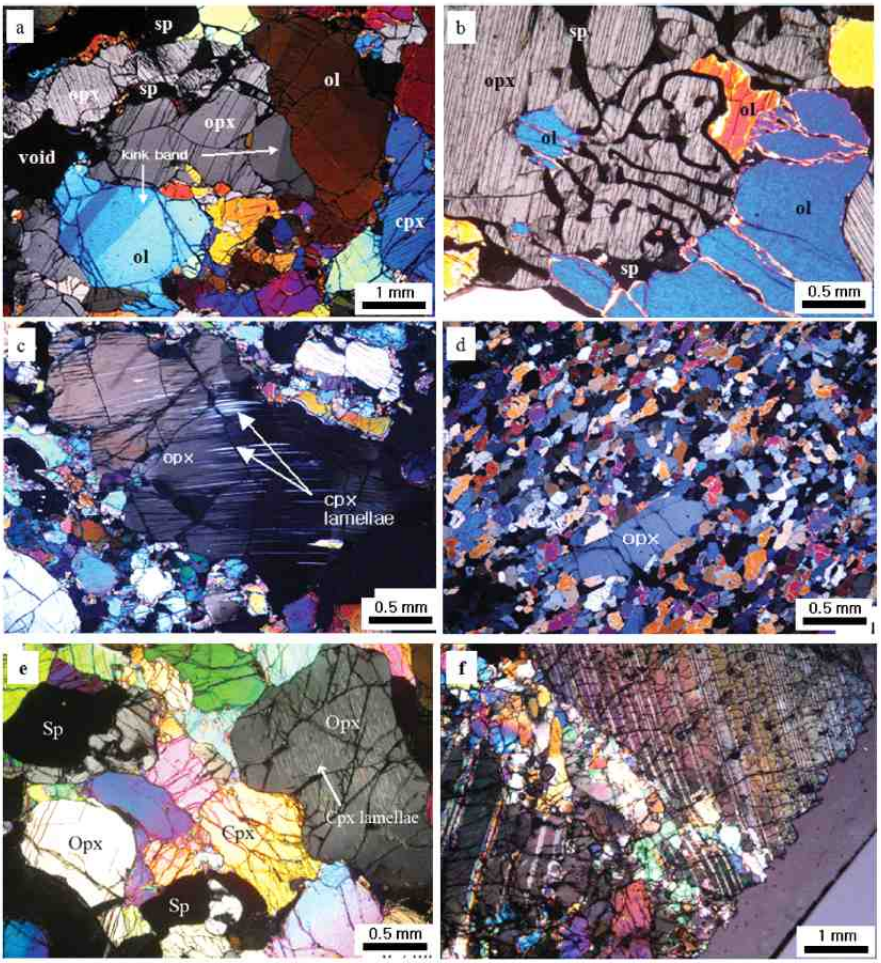


Fig. 5. Photomicrographs of the studied xenoliths from Jeju Island. (a) A protogranular lherzolite xenolith (b) A protogranular lherzolite xenolith showing spinel crystals spatially associated with orthopyroxene. (c) A porphyroclastic lherzolite. (d) A mylonitic harzburgite xenolith. (e) A protogranular websterite xenolith. (f) A single clinopyroxenite xenolith showing optical continuity, but different orientation of orthopyroxene exsolution lamellae is noted. Fine-grained orthopyroxene and clinopyroxene assemblages crosscutting the megacryst is also shown. ol=olivine, opx=orthopyroxene, cpx=clinopyroxene, sp=spinel.

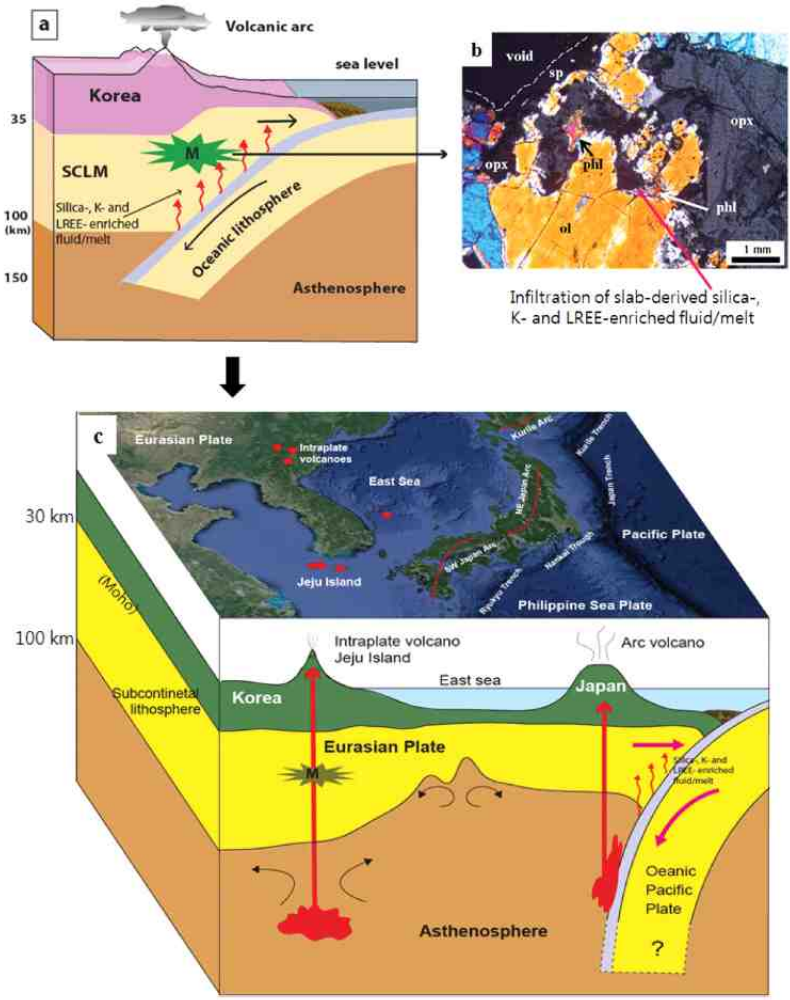


Fig. 11. A schematic diagram (not to scale) illustrating the evolution of the xenoliths beneath Jeju Island and the generation of lithospheric extension owing to the opening of East Sea: (a, b) Early stage (late Cretaceous to early Tertiary): Metasomatic agent reacting with mantle olivine is shown. (c) Late stage (The Quaternary): Transformation of the subarc upper mantle containing proto-Jeju Island into an intraplate environment, forming the Quaternary Jeju Island. M=mantle xenoliths

5. 제주의 오름

오름이란?

오름이란 한라산이라는 모 화산체에 붙어있는 기생화산체(parasitic cone)이다. 오름은 제주도 방언으로 자그마한 산을 뜻하며, □□산, ○○봉, ◇◇악, △△오름 등으로 불리고 있으며, 모양과 크기가 다양하게 나타난다. 제주도의 오름은 대부분이 분석구(scoria cone 또는 cinder cone)이다. 모두가 독립된 분화구를 갖고 있고, 화산체의 형태를 잘 갖추고 있다. 각 오름은 다양한 크기의 화산재, 라필리, 화산암괴와 화산탄으로 이루어져 있으며, 송이라고 불리는 분석(scoria)이 주를 이룬다.

제주도 오름 중에는 수성화산폭발에 의해 형성된 것이 송악산, 수월봉, 당산봉, 일출봉, 용머리, 단산, 두산봉와 우도의 소머리 오름이다. 이들 중 송악산, 두산봉, 소머리오름은 단성 이중식 화산체로 알려져 있으며, 바깥쪽에는 응회환이나 응회구가 분포하고 안쪽에 조그마한 분석구가 들어있는 형태로 나타난다. 응회환이 형성된 후 스트롬볼리형 화산이 분출하여 분석구를 형성하면 이중 화산체의 모습을 갖추게 된다.

제주도에는 드물기는 하지만 용암돔(lava dome)으로 된 오름도 있다. 점성이 높은 조면암이나 안산암질 용암은 분출하면 화구에서 멀리 흐르지 못하고, 화구 주변에서 둥근 돔 모양으로 굳어지는 특징이 있다. 이런 형태의 대표적인 오름이 산방산이며, 한라산 정상에도 이런 모양의 화산체가 분포한다.

오름의 분포

오름은 외형에 따라 말굽형, 원형화구형, 원추형-돔형, 복합형으로 구분할 수 있다. 말굽형 오름(horseshoe)이 174개, 원추(cone)형 오름이 102개, 원형화구형-돔(circular-dome)형 오름이 53개, 복합(composite)형 오름이 39개이다. 오름은 해발 600m 이하에 약 79%가 분포하며, 한라산 정상부의 국립공원 내에는 46개가 분포한다. 산정상부에 화구호를 갖고 있는 오름은 9개가 확인되었는데, 물장아리, 어승생, 원당봉, 금오름, 세미소, 물찻, 사라오름, 물영아리, 동수악 오름이다. 화구호가 잘 보존된 오름은 한라산 고지대에 분포하고 있으며, 특히 한라산 동쪽에 있는 사라오름, 물장오리, 물찻오름이 울창한 천연림 속에 본래의 모습을 잘 보존하고 있다.



앞오름(아부오름)에서 본 주변의 오름

탐구 활동 기록

1. 오름이란 무엇인가요? 어떻게 만들어진 것일까요? 그리고 제주도에서 듣거나 보았던 오름들을 모두 적어보세요.

2. 용눈이오름의 정상부에서 보이는 오름의 모습과 특징을 기록해 보세요. 그리고 동서남북 어느 방향으로 오름이 많이 분포해 있나요? 제주도 형성과정에 오름은 어떤 의미가 있을까요?

3. 다른 오름에 비해 용눈이오름 주변엔 무덤이 많이 보입니다. 다른 지역에서 볼 수 없는 특이한 점을 찾을 수 있나요?

Ⅳ. 곽지 과물 해변



용천수란 제주특별자치도 지역에서 대수층(帶水層)을 따라 흐르는 지하수가 암석이나 지층의 틈새를 통해 지표로 솟아나는 물.

제주도에 상수도가 보급되기 이전에 용천수는 제주도민들의 생명수 역할을 했다. 용천수는 용출하는 지역에 따라 크게 해안 지역 용천수, 중산간 지역 용천수, 산간 지역 용천수로 구분할 수 있다.

이 중에서도 수적으로 가장 많은 것은 해발 200m 이하에 분포하는 해안 지역 용천수이며, 이것이 오늘날 제주도의 마을이 해안 지역을 따라 환상(環狀)의 형태로 만들어낸 원동력이 되었다. 중산간 지역이나 산간 지역의 경우는 해안 지역에서 멀어질수록 용천수의 분포 비율은 낮아지며, 그에 따라 마을이나 거기에 거주하는 인구도 상대적으로 적다.

오늘날에는 바다로 흘러나가기 전의 일부 지하수를 이용하여 상수원으로 공급하고 있으며, 또한 '삼다수(三多水)'라는 먹는 샘물과 '삼다수 녹차'라는 기능성 음료수로 생산하여 판매하고 있다. 제주도의 용천수는 기본적으로 지하수에 근간을 이루고 있기 때문에, 결국 제주도의 용천수는 과거로부터 오늘날에 이르기까지 제주도민들의 생활의 근거가 되고 있는 셈이다.

[특징]
용천수는 제주도민들에게 생명의 젖줄로 표현될 만큼 소중한 자연 자원임에 틀림없다. 용천수는 단순히 식수로만 사용해온 것이 아니라 목욕이나 빨래, 가축용 등 일상생활에서 매우 다양한 분야에서 효율적으로 이용해 왔다.
예로부터 제주도민들은 용천수의 용도가 다양한 만큼, 용천수가 솟아나는 장소에는 반드시 돌담을 쌓아 올려 가축의 출입을 막거나 또는 주변부로부터 오염되지 않도록 철저히 보호하였다.
지역별로 분포하는 용천수의 용도를 살펴보면, 해안 지역과 중산간 지역의 용천수가 주로 마을 사람들의 생활용수로 사용하는 것이라면, 산간 지역의 용천수는 일부가 등산객들과 사찰 등지에서 이용한다. 또, 일부는 지형적으로 접근하기 어려운 곳에 위치하는 관계로 전혀 사용하지 못하는 것들도 있다.
특히, 해안 지역의 용천수는 보통 바닷가의 조간대(潮間帶)나 해발 5m 이하의 지점에서 용출하는 것들이 많은데, 이들은 밀물 때에 거의 이용할 수 없는 용천수라 할 수 있다. 그 이유는 조간대나 해발 5m 이하에서 용출하는 용천수들은 밀물 때에 쉽게 해수의 침범을 받아 담수(淡水)로서의 역할을 할 수 없기 때문이다.
용천수 중에는 마을의 설촌(設村)과 관련된 것들도 많고, 그래서 독특한 설화(說話)나 역사적 사건과 관련된 것들이 많다. 따라서 용천수가 용출하는 위치나 물의 양에 따라 독특하게 이름이 붙여진 것들도 많다.
- 유수암천: 제주시 애월읍 유수암리에 있는 용천수로서, 고려 시대 때 유수암리에 사람들이 거주하기 시작한 것은 이 천이 있었기 때문이라고 전해진다.
- 하물: 제주시 애월읍 애월리에 있는 용천수로, 용출하는 물의 양이 많다는 의미의 제주 방언['하다'는 '많다'라는 의미]에서 비롯된 것이다.
- 장수물: 제주시 애월읍 장전리에 있는 용천수로, 고려시대 때 삼별초 장수인 김통정(金通精)이 여몽 연합군에게 패배하여 도주할 때, 발을 내디딘 후부터 물이 나오기 시작했다는 이야기가 전해진다.
- 엉물: 해안이나 하천가의 큰 바위 밑에서 솟아난다는 의미에서 붙여진 것으로, 도두 2동과 용담 2동 등 여러 곳에 같은 이름의 용천수가 있다.
- 금산물: 원래 마을 안에 제터가 있는 산(山)이라 하여 평소 사람들의 출입을 금한다는 의미에서 금산(禁山)이라 하였고, 금산 아래에서 흘러나오는 물을 '금산물'이라 불렀다. 제주시 건입동에 있는 용천수이다.

[현무암에 대한 생각 나누기]



탐구 활동 기록

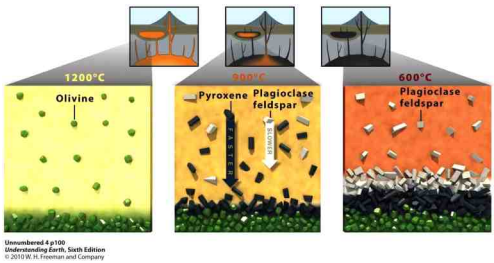
1. 현무암의 가장 큰 특징은?

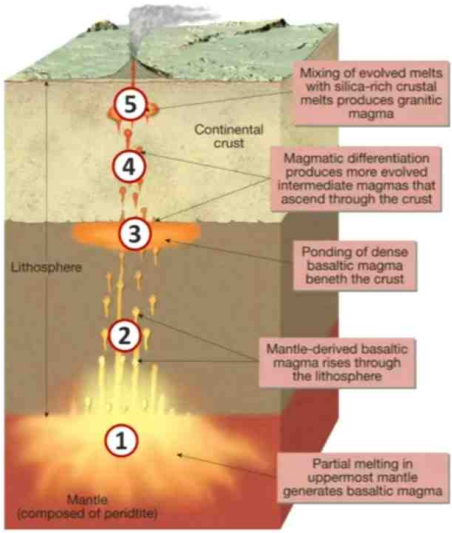
- 현무암의 구멍! 정체는?

2. 현무암은 마그마가 지표에 분출하여 급격히 식었으므로 광물이 거의 보이지 않는다. really?



감람석 휘석 각섬석 흑운모 장석 석영





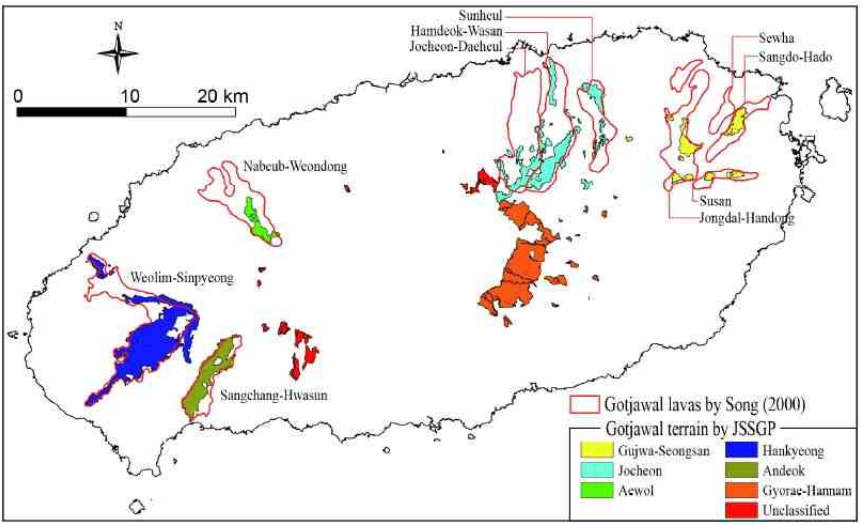
V. 납읍 난대림

제주도 곶자왈 형성의 주요 원인

안웅산[1] · 손영관[2,‡] · 강순석[3] · 전용문[1] · 최형순[4]

요 약

화산성 제주도에서는 용암류 상에 형성된 독특한 자연숲을 '곶자왈' 이라 부른다. 본 연구에서는 제주도 북동부의 구좌-성산곶자왈과 제주도 남서부 안덕곶자왈에 대하여 수치고도모델(DEM)을 이용한 음영기복도 및 경사분석도, 야외 암상기재 등의 방법을 이용하여 곶자왈의 토대를 이루는 용암유역도를 새롭게 작성하고, 용암류와 그 상위에 형성된 곶자왈과의 성인적 관계를 살펴보았다. 연구결과, 구좌-성산곶자왈의 토대를 이루는 용암류가 인근의 여러 단성화산(오름)에서 유래했다는 기존의 연구와 달리 대부분의 용암류가 동거문오름에서 유래하였으며, 구좌-성산 곶자왈의 북동부 일부분 지대(둔지봉 남쪽부분)는 둔지봉에서 분출한 용암류 내에 분포한다. 안덕곶자왈은 기존연구에서 제시된 바와 같이 병악오름에서 유래한 용암유역 내에 분포한다. 층서적 관점에서 곶자왈을 이루는 용암류의 하위에는 고토양이 분포하는데 비해, 용암류의 상부, 즉 곶자왈 지표에는 토양층이 매우 희박하다. 이러한 곶자왈의 표면적 특징은 곶자왈을 이루는 용암류가 고토양층을 덮은 후 용암류 표면에 토양이 퇴적되거나 침전되는 시간이 매우 짧았음을 지시하는 것으로, 곶자왈을 이루는 용암류가 매우 젊은 용암류임을 의미하는 것이다. 이러한 추론은 구좌-성산곶자왈(약 9,400년), 조천곶자왈 중 선흘곶자왈(약 1.1만년), 안덕곶자왈(Lee *et al.*, 2014: 약 5,000년)에 있어서 용암류 하위의 고토양층에서 얻은 매우 젊은 방사성탄소연대 결과에 의해 지지된다. 우리는 곶자왈지대의 특징과 층서관계를 바탕으로 곶자왈 형성(잔존)의 가장 큰 원인은 ① 용암류의 매우 젊은 연대, ② 그로 인한 토양층의 부재, ③ 지형기복에 있을 것으로 판단한다. 앞으로 곶자왈을 이루는 용암류를 대상으로 한 직·간접적인 연대측정연구가 보다 활발히 이루어진다면, 용암류의 연대를 보다 명확히 밝힐 수 있을 것이다.



[납읍 난대림에 대한 생각 나누기]

 탐구 활동 기록

1. 난대림을 형성하는 식물들은 공간을 어떻게 점유하고 있을까?

2. 곶자왈이라고 부르는 이러한 지역의 암석에서 관찰할 수 있는 특징은 무엇일까?

3. 이런 암석은 어떻게 이 지역에 분포하게 되었을까?

4. 제주도는 비가 오면 물이 잘 스며들어 홍수가 잘 나지 않는다고 하는데, 왜 비가 잘 스며들까?

VI. 수월봉

수월봉은 제주도 서쪽 끝 한경면 고산리 해안에 위치해 있다. 제주시에서 출발하여 해안도로를 따라 계속 달리다가 고산리에서 우회전하면 수월봉까지 갈 수 있다. 입구에 '수월봉'이라는 표석이 있어서 처음 가보는 사람도 금방 알 수 있다. 표석 아래로 난 길을 따라 내려가면 좌우에 상태가 아주 좋은 노두를 볼 수 있다. 노두를 등지고 바다를 바라보면 섬이 보이는데 그곳이 차귀도이다. 북쪽으로는 당산봉이 자리하고 있다. 수월봉에는 층리가 매우 잘 발달한 지층을 관찰할 수 있다. 햇볕이 좋은 날에는 누구라도 멋진 사진 작품을 찍을 수 있다. 수월봉 정상에는 레이더를 사용하여 강수량을 관측하고, 라디오존데를 사용하여 고층 대기를 관측하는 고산 기상대가 있다.



해안 절벽과 해안가 암석의 전체적인 관찰

※ 해안 절벽과 해안가에 드러난 암석을 관찰하여 어떤 차이점이 있는지 생각해 보자.



탐구 활동 기록

◉ 해안 절벽과 해안가 암석의 특징 기술

◉ 서쪽으로 이동하면서 나타나는 암석의 변화

지질 구조 관찰

※ 해안 절벽의 암석에 나타나는 지층 구조를 관찰하고, 이 암석의 생성 과정과 지층 구조의 형성 과정을 추론해 보자.



탐구 활동 기록

◉ 지층 사이에 커다란 암석이 나타나는 곳을 관찰하여 자세히 스케치하고 형성 과정에 대해 추론(소모둠별 토론)

◉ 수월봉을 이루는 암석의 전체적인 형성 과정 추론(소모둠별 토론)

Ⅶ. 서귀포층

서귀포시는 제주도에서 제주시 다음으로 번화한 곳이다. 이곳은 중문 관광단지와 서귀포 지역으로 나눌 수 있다. 그중 서귀포 지역은 천지연 폭포와 정방 폭포, 서귀포층, 잠수함 해상관광 등으로 유명하다. 특히 서귀포층은 천연기념물로 많은 패류화석들이 발견되는 것으로 유명하다. 천지연 폭포 주차장에서 해저유람선 선착장을 끼고 바다 쪽으로 돌면 해안선을 따라 높이 약 50m정도의 해안절벽이 프린스 호텔 하부까지 약 200m정도 펼쳐진 서귀포층이 보인다. 절벽 아래 해안가에는 절벽에서 떨어져 내린 두꺼운 판 모양의 거대한 암석들이 쌓여 있다. 답사를 진행하는 동안에는 낙석을 조심하고, 미끄러지지 않도록 안전에 유의해야 한다.

지질 구조 및 화석 관찰





탐구 활동 기록

◉ 화석의 특징 스케치

◉ 지질 구조나 화석을 이용하여 지층의 상하를 판단하는 방법 찾기(소모둠별 토론)

◉ 추론과 토론으로 알게 된 내용

Ⅷ. 갯깍 주상절리



주상절리는 용암이 식으면서 기둥모양으로 굳은 것인데, 기둥의 단면은 4~6각형으로 다양한 모습을 보인다. 유동성이 큰 현무암질 용암류가 냉각될 때, 냉각중인 용암 표면에서 수축이 일어나는 중심점들이 생기게 된다. 이런 지점들이 고르게 분포하면서, 그 점을 중심으로 냉각·수축이 진행되면 다각형의 규칙적인 균열이 생기게 된다. 이러한 균열들이 수직으로 발달하여 현무암층은 수천 개의 기둥으로 나누어지게 된다. 이들은 용암의 두께, 냉각 속도 등에 따라 높이 수십 m, 지름 수십 cm의 다양한 모습으로 발달하게 된다.

탐구 활동 기록

◉ 암석에서 관찰할 수 있는 특징은?

IX. 송악산

송악산의 지질

송악산은 제주도 남서 해안의 소형 화산으로 바깥쪽에 응회환(tuff ring)이 있고, 이 응회환의 분화구 중앙에 분석구[cinder cone]가 형성되어 있으며, 그 사이의 외호[7] 부분에 용암연(lava pond)[8]이 나타나고 그 위에 소규모의 소분석구 복합체가 놓여 있다. 송악산 응회환의 동쪽 측면과 남쪽 측면이 해수에 침식되어 절벽으로 존재하며, 화산체의 구조를 잘 노출시키고 있다. 겉으로 보기에 두개의 다른 화산체가 겹친 모양으로 보통 이중화산이라고 부른다. 송악산 응회암층의 층서는 하부로부터 응회암, 스코리아층, 조면현무암, 스코리아층의 순으로 되어 있다.(박기화 외,2000)

1) 송악산 응회환

송악산의 동쪽과 남쪽, 서쪽 해안의 절벽을 따라 최대 80m 두께의 응회환 지형이 형성되어 있다. 암상은 주로 조면안산암질 성분의 화산재와 라필리, 소량의 화산암괴 및 이질 암편 등의 구성 비율이 다양한 응회암층, 라필리 응회암층으로 되어 있다. 해안 절벽 노두를 따라 평행층리, 파동형층리, 거대 연흔, 화산주머니(volcanic sag) 등이 나타나고 있다.

응회환의 서쪽 지역에서 그 하부에 현무암 대지를 볼 수 있는데, 분화구가 해수면 아래에 잠겨있던 시기이므로 해수가 화구에 유입하여 상승하던 마그마가 외부서 유입된 물과 작용하여 폭발하는 수증기마그마성(phreatomagmatic) 분출의 화산쇄설물이 해수면 아래에 놓여있던 현무암 대지 위에 퇴적되어 송악산 응회환을 형성한 것으로 볼 수 있다. 이러한 분출에 의해 습윤 화쇄난류 퇴적물의 운반 작용이 일어났다. 그 후 응회환이 높게 쌓이면서 응회환의 주변부가 분화구로의 해수 유입을 막는 역할을 하면서 후기에는 주로 지하수에 의한 간접적인 물의 유입이 있었고, 이때는 물의 양이 많지 않아 주로 건조 화쇄난류 퇴적물이 주를 이루었다.

2) 분석구

송악산 화산체는 응회환을 이루는 분화구 내에 분석구가 또 하나 있다. 이 분석구는 마

---

7) 외호(外濠; moat) : 응회환과 분석구 사이에 깊게 패인 부분

8) 용암연(熔岩淵. lava pond) : 용암 연못, 용암이 괴어 있는 곳

그마가 상승하는 동안 지하수의 유입이 감소하여 마침내 그 양이 극히 적어졌을 때, 물과 상호작용하는 수중환경의 써째이언(surtseyan) 분출상에서 스트롬볼리안(strombolian) 분출상으로 전환되면서 증기 폭발은 일어나지 않고 마그마성 폭발이 일어나 응회환 내에 보다 더 높은 분석구를 형성하게 된 것이다.

3) 외호 용암연

송악산 응회환과 분석구 사이의 외호에 고리 모양의 용암연이 있다. 동쪽 절벽에는 4m, 남쪽 절벽에는 20m, 서쪽 절벽에는 2-4m 등 두께가 다양하게 나타나며, 유동구조, 클링커가 나타나는데 이는 용암류가 지형의 영향으로 외호에 고여서 형성되었음을 암시한다. 용암연 바깥 부분은 응회환을 덮고, 안쪽 부분은 분석구를 덮고 있으며, 용암연 남쪽과 남서쪽에는 그 상부에 소분석구 복합체가 분포하고, 남동쪽은 지표 쇄설층에 의해 덮여 있다.

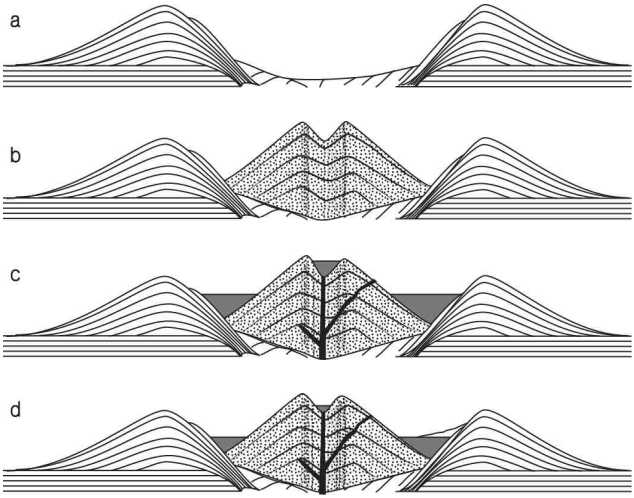
4) 소분석구 복합체

송악산 중앙 분석구 남쪽에 '알오름'이라고 부르는 작은 언덕 모양의 소분석구들이 여러 개 모여 있다. 이 분석구들은 용암연 상부에 위치하고, 슬라이딩 응회암층의 하부에 놓여 있으며, 주로 스코리아로 되어 있다. 각각의 소분석구들은 불규칙한 원추형의 형태를 띠고 있으며 이들의 성인에 대해서는 아직 논란의 여지가 남아 있다.

5) 미끄러진 응회암층

해안 절벽의 용암연 위에 약 4m 두께로 라필리 응회암, 조립질 응회암층이 거의 수평상태로 분포하고 있는데 응회환의 안쪽 부분과 유사한 암상을 보이고 있다. 암상의 유사함과 분포의 국지성을 보면 이 층이 또 다른 마그마의 분출에 의해 생성된 응회환이 아니라, 송악산의 근간을 이루는 응회환이 용암연 형성 이후에 안쪽 경사면의 급경사면에서 분석구 쪽으로 슬라이딩되어 만들어진 것임을 알 수 있다.

송악산 화산체의 형성 과정



송악산 화산체의 형성과정(황상구 외, 1992).

송악산의 화산과정은 응회환, 분석구, 용암연을 형성한 3개의 분출유형과 1개의 슬라이딩 응회암층으로 설명할 수 있다. 처음에 수증기마그마성 분출 중 서째이언 분출로 응회환이 형성되었으며(그림의 a),
해수에 의한 분출상에서 지하수에 의한 분출상으로 전환되는 양상을 보이고 있다. 마그마의 상승이 계속되는 동안 지하수의 유입이 차단되면서 수증기 폭발 양상은 중지되고, 응회환의 분화구 위치에 스트롬볼리안 분출에 의한 분석구가 형성되었다(그림의 b).
스트롬볼리안 분출은 하와이안 분출로 전환되면서 분석구와 응회환 사이의 모우트에 용암류가 채워져서 용암연을 형성한다(그림의 c).
그 후 용암연 상부의 여러 곳에서 소분석구 복합체가 형성되었다. 끝으로 외호 용암연이 응회환 안쪽 벽에 압력을 가중시키고, 응회환 안쪽의 환형 단층대를 자극하여 응회환의 일부가 부서지면서 용암연 위로 슬라이딩되었다(그림의 d).

■ 선착장 북쪽 해안



탐구 활동 기록

1. 퇴적층의 두께에 변화가 있나요? 그렇다면 어느 방향으로 가면서 두께가 증가하나요?

2. 위 그림과 비슷한 구조를 찾아보고 간단히 특징을 관찰해보자. 중앙의 큰 암석은 어떻게 그 자리에 위치하게 되었을까? 어디에서 왔을까?

■ 송악산 동쪽 중턱



탐구 활동 기록

1. 이동하는 동안 도로 주변에 노출된 암석(노두)이 어떻게 변하는지 기록해보자. 특히 오르막에서 내리막으로 변하는 구간에서 잘 관찰하자.

2. 남쪽의 절벽과 북쪽의 절벽을 보고 해면으로부터 위로 가면서 층리가 발달한 암석과 절리가 발달한 암석의 두께가 어떻게 바뀌는지 관찰해보자.

3. 송악산 형성 과정을 읽어보고 그 내용과 위의 관찰 내용을 서로 연결해보고 간단히 정리해보자.

Ⅱ. 격포 일대의 자연 환경

변산반도국립공원은 면적이 약 157㎢으로 전북 부안군 변산반도 서쪽 해안에 자리잡고 있다. 1971년 12월 도립공원으로 지정되었으나 1988년 6월 11일에 국립공원으로 승격되었다. 변산반도국립공원은 부안군 변산면, 하서면, 상서면, 진서면에 걸쳐 있으며 가장 높은 봉우리가 의상봉(509 m)이다. 변산은 오래전부터 한국 8경의 하나로 꼽혀 왔으며 '산의 변산'이라는 내변산과 '바다의 변산'이라는 외변산으로 나뉜다.

변산은 서해안고속도로가 개통한 후 관광객이 가장 많이 늘어난 곳이다. 서해안고속도로 부안 나들목을 이용하면 부안과 새만금간척지를 거쳐 격포로 가게 되고, 줄포 나들목을 이용하면 아름다운 곰소만을 거쳐 격포에 이른다. 새만금 간척지는 단군 이래 최대의 공사라고 알려진 대규모 간척공사로 방조제의 길이만도 30 km가 넘는다. 새만금에는 만경강과 동진강이 흘러들어 넓은 갯벌이 형성되어 바지락을 비롯한 해산물이 풍부했는데 지금은 방조제로 군산과 부안이 연결되었고, 방조제 중간에는 선유도, 신시도를 포함하여 40여 개의 섬으로 이루어진 고군산군도가 있다.

외변산인 격포 해안에는 채석강과 적벽강이라는 지질명소가 있다. 채석강과 적벽강은 이름처럼 강이 아니고 바닷가 해식절벽이다. 이 곳은 약 1억 년 전, 중생대 백악기에 호수에서 만들어진 퇴적암이 침식을 받아 생긴 암석 절벽인데, 생긴 모습이 중국의 시인 이태백(李太白)과 문인 소동파(蘇東坡)가 노닐던 채석강과 적벽강의 경치와 흡사하다 하여 붙여진 이름이다. 채석강은 층층이 쌓여 있는 퇴적암과 파식대지, 해식절벽, 해식동굴 등이 어우러진 아름다운 해안경치를 뽐낸다. 해질 무렵 채석강과 적벽강의 경치는 말로 표현하기 어려울 정도로 아름답기 그지없다.

변산 해안에는 변산해수욕장과 고사포해수욕장이 있고, 해수욕장을 따라 수많은 소나무가 숲을 이루고 있다. 적벽강 근처에는 천연기념물 호랑가시나무 군락·후박나무 군락·꽝꽝나무 군락이 있다. 또한, 부안군 진서면 석포리에 있는 내소사(來蘇寺)는 신라 때 창건한 고찰로 대웅보전(大雄寶殿: 보물 291)·고려동종(高麗銅鐘: 보물 277)·법화경절본사본(法華經折本寫本: 보물 278)·내소사삼층석탑(지방유형문화재 124)·내소사 선실당과 요사(지방유형문화재 125) 등을 소장하고 있다. 내소사로 들

어가는 입구의 전나무 숲이 훌륭하다. 내소사에서 동쪽 산 너머에는 높이 약 20 m의 직소폭포와 옥수담 등 여러 개의 소가 있어 절경을 이룬다.



▲ 변산반도국립공원과 새만금간척지의 모습



▲ 닭이봉(채석강)을 중심으로 남쪽의 봉화봉과 북쪽의 죽막(적벽강)의 위치

Ⅲ. 격포 자연 학습장

1. 봉화봉 자연학습장

격포항 남쪽 끝에 있는 해상공원에 설치된 탐방로를 따라 방파제까지 가는 해안 절벽에는 역암, 사암, 셰일로 구성된 지층이 분포한다. 이 지층은 남쪽 봉화봉을 중심으로 발달된 격포층의 하부 퇴적체에 해당한다.

지층을 구성하는 암석의 구성물질, 퇴적구조, 층면을 관찰하고, 어떤 퇴적작용이 일어났는지, 퇴적이후 어떤 지각운동을 받았는지 토론해보자.



▲ 봉화봉 자연학습장의 관찰지점

1) 봉화봉 제 1노두(B-1)

※ 전체적인 모습을 스케치하고, 어떤 과정을 통해 이러한 모습이 나타나게 되었는지 토론해 보자.



탐구 활동 기록

◉ 전체적인 모습 스케치 하기

2) 봉화봉 제 2노두(B-2)

※ 멀리서 전체적인 모습을 구조선을 중심으로 관찰하여 스케치 해보자.

※ 가까이 다가가서 이 노두에 나타난 특징들을 관찰하여 스케치하고, 어떤 과정을 통해 생긴 것인지 토론해 보자.

※ 해안 절벽에는 너무 가까이 접근하지 마세요!!











2. 닭이봉(채석강) 자연학습장

닭이봉은 변산반도를 대표하는 자연학습장이자 관광객이 찾는 지질명소이다. 채석강이라고 부르는 곳은 닭이봉 주변의 해식절벽을 말한다. 닭이봉의 절벽과 해안의 풍경을 감상하면서 천천히 걸으면 다 돌아보는데 1시간은 넉넉히 걸린다. 하지만 이번 탐사에서는 남쪽 해안을 중점적으로 관찰하여 지층에 나타난 특징과 생성과정에 대해 탐구하도록 한다. 닭이봉 해안절벽을 따라 가면서 지층의 구조, 구성물질, 해안지형에 대해 생각해 보자.



▲ 닭이봉(채석강) 자연학습장의 관찰지점

1) 닭이봉 제 1노두(D-1)

※ 전체적인 지층의 모습을 살펴보고 주위와 자연스럽게 어우러지지 않는 부분을 찾아 관찰하고, 어떤 과정을 통해 생긴 것인지 토론해 보자.



▲ D-1-1



▲ D-1-2



탐구 활동 기록

◉ 첫 번째 구조(D-1-1)의 스케치 및 해석(소모둠별 토론)

◉ 추론과 토론으로 알게 된 내용

◉ 첫 번째 구조(D-1-1)와 두 번째 구조(D-1-2)의 공통점과 차이점 파악
(소모둠별 토론)

◉ 추론과 토론으로 알게 된 내용

2) 닭이봉 제 2노두(D-2)

※ 노두의 전체적인 모습을 보면서 구조를 파악하자.

※ 가까이 다가가서 특징적인 부분들을 관찰하여 기록하고, 어떤 과정을 통해 생긴 것인지 토론해 보자.





3) 닭이봉 제 3노두(D-3)

※ 멀리서 전체적인 모습을 구조선을 중심으로 관찰하고, 어떤 과정을 통해 만들어진 것인지 토론해 보자.





4) 닭이봉 제 4노두(D-4)

※ 멀리서 전체적인 구조를 중심으로 관찰하여 스케치하고, 아래의 구조와 위의 구조가 각각 어떤 과정을 통해 생긴 것인지 토론해 보자.





3. 죽막(적벽강) 자연학습장

격포항의 북쪽에 위치한 죽막은 적벽강으로도 불리는데, 소동파가 노닐던 중국의 적벽강과 유사하다 하여 붙여진 이름이다. 죽막 지역은 해안 풍경이 아름다울 뿐 아니라 독특하게 형성된 암석과 다양한 지질 구조가 있어 지구과학을 공부하는 학생들에게 좋은 교과서가 될 수 있는 곳이다. 친구들과 함께 이 지역을 꼼꼼히 살피고 관찰하고, 어떤 과정을 통해 암석과 지질구조가 만들어졌는지 추론해 보자.



▲ 죽막(적벽강) 자연학습장의 관찰지점

1) 죽막 제 1노두(J-1)

※ 바닥에 깔린 노두를 관찰하여, 다양한 크기의 관점에서 스케치하고, 특징을 살펴보자.

※ 노두의 암석이 만들어진 과정에 대해 토론해 보자.







2) 죽막 제 2노두(J-2)

※ 노두의 특징을 스케치하고, 형성 과정에 대해 토론해 보자.

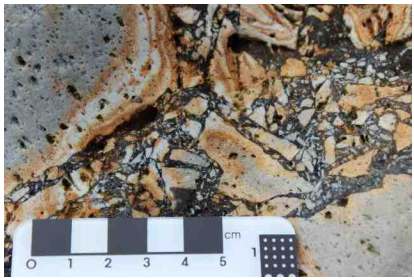


3) 죽막 제 3노두(J-3)

※ 이 노두에 나타난 다양한 특징들을 관찰하여 스케치하고, 어떤 과정을 통해 생긴 것인지 토론해 보자.







4) 죽막 제 4노두(J-4)

※ 이 노두에 나타난 특징들을 관찰하여 스케치하고, 어떤 과정을 통해 생긴 것인지 토론해 보자.



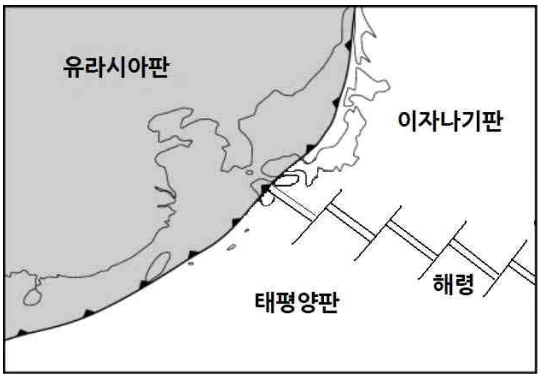


Ⅳ. 더 알아보기

1. 백악기 격포 분지

변산반도는 언제 만들어진 땅일까? 전라북도 서쪽에 자리 잡은 변산반도는 대부분이 중생대 백악기에 형성된 화산암과 퇴적암으로 덮여 있다. 1억년 중생대 백악기는 한반도가 생긴 이후 화산활동이 가장 많았던 시기이다.

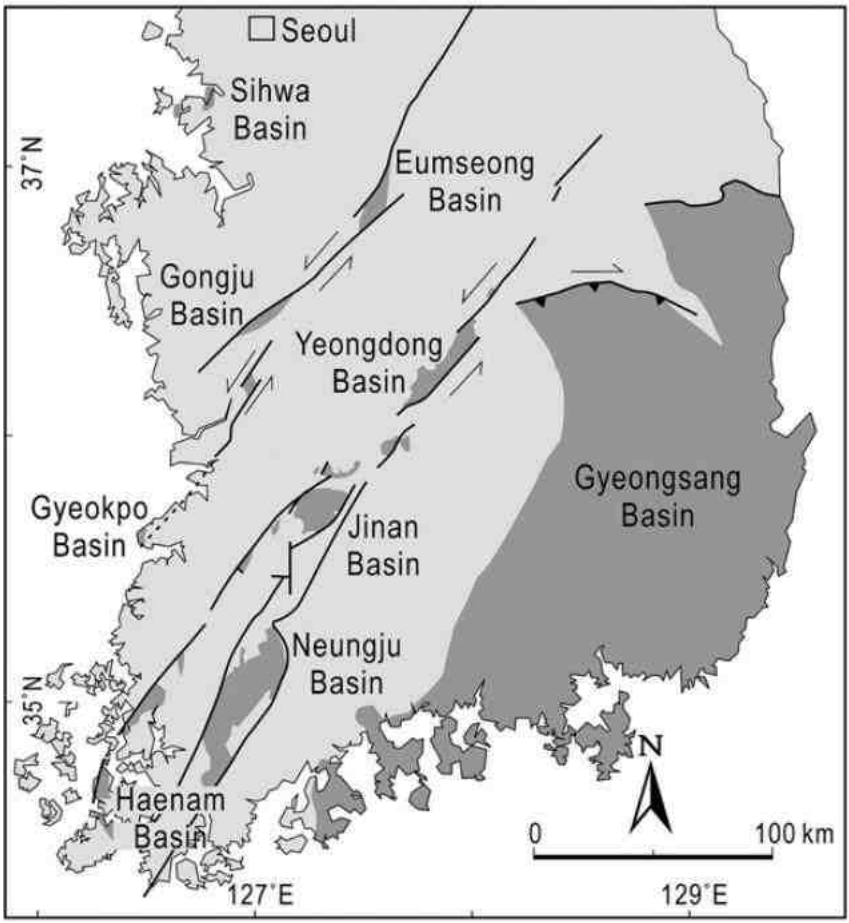
다양한 종류의 공룡이 거닐던 백악기는 아직 동해가 생기기 전이다. 한반도는 일본과 붙어 있었고, 오늘날 일본 동쪽에 일본해구가 길게 놓여 있듯이, 한반도 동쪽에는 북서태평양해구(Northwestern Pacific Trench)가 북동-남서 방향으로 놓여 있었다(Weidong, S. *et al*, 2007). 이 해구 북서쪽에 있던 한반도는 지금의 일본처럼 많은 화산 분출이 있었다.



[그림 1] 백악기 때의 북서태평양해구의 모습. 당시 한반도와 일본은 붙어있었고, 동해가 생기기 이전이다. (Weidong. S., et al, 2007)

이 시기에 한반도와 일본에는 많은 화산체가 있었고, 변산반도에도 화산폭발이 있었다. 탐사지역인 격포항 주변은 화산폭발에 의해 화산 쇄설물이 쌓이고 굳어져서 암석이 되었다. 이 무렵에 단층운동으로 주변보다 낮은 분지가 생겼다. 분지에

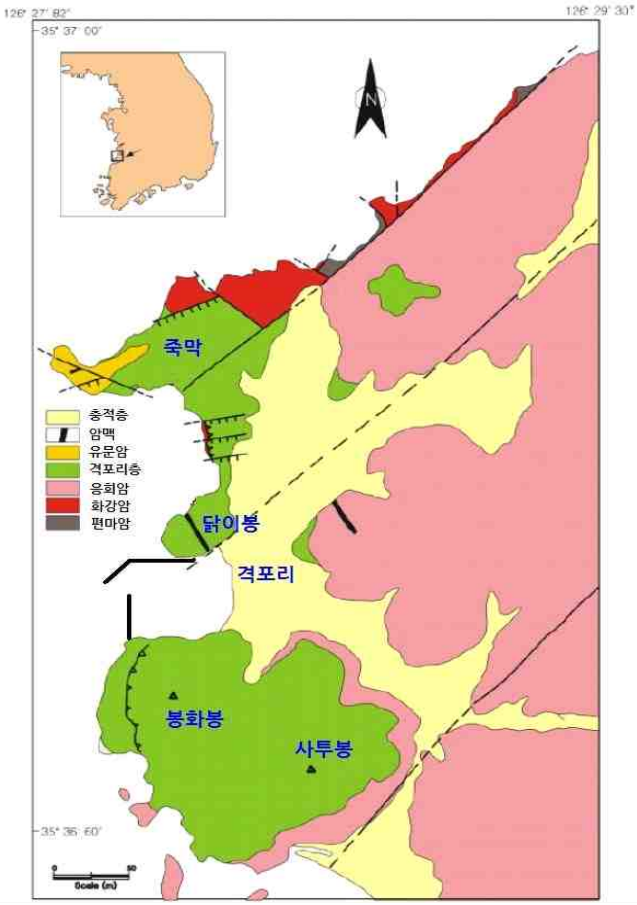
는 주변에서 흘러 들어온 퇴적물이 쌓였다. 이렇게 생긴 퇴적분지를 지질학자들은 **격포분지**라고 부른다. 격포분지가 만들어졌을 때 우리나라에는 경상분지를 비롯하여 여러 개의 작은 분지들이 분포하고 있었다(그림 2). 격포분지는 단층을 따라 지괴가 침강하면서 형성되었고, 단층을 따라 분지로 퇴적물이 많이 흘러 들어왔다.



[그림 2] 백악기 퇴적분지의 분포(Chough & Sohn, 2010)

1) 격포분지의 지질

격포분지의 퇴적암체는 남쪽부터 크게 봉화봉, 닭이봉(채석강), 죽막(적벽강) 지역에 분포한다. 봉화봉에서 죽막까지 분포하는 지층은 북쪽으로 갈수록 층서적으로 점차 상부에 해당하며 지질학적으로 젊어진다. 격포리층의 하부에는 기반암(변성암과 화성암)이 있고, 응회암이 놓인다. 퇴적암 위에는 유문암이 정합적으로 덮고 있는 것은 죽막해안에서 확인할 수 있다. 퇴적암과 유문암의 경계가 가장 잘 나타난 곳이 죽막 북쪽과 서쪽 해안이다. 지질도(전승수 . 김승범, 1995)를 참고하여 지질분포를 읽어보자.



[그림 3] 격포 분지의 지질도(전승수와 김승범, 1995 ; 이병주, 2011)

2) 격포분지의 기반암

격포분지의 크기는 대략 14×4㎢이다. 격포리층은 선캄브리아시대 편마암류, 쥐라기 화강암, 백악기 응회암 위에 놓여 있으며, 유문암에 의해 정합적으로 덮여있다. 편마암류는 각섬석편마암, 안구상편마암 및 흑운모 편마암으로 구분된다. 쥐라기 화강암은 죽막 북쪽 해안에 분포하며 석영, 장석, 흑운모 및 각섬석으로 구성되어 석영몬조암(Quartz Monzonite)에 해당된다. 이 화강암은 1cm이상의 장석 반정을 포함하고 있어 반상조직을 보이며 K-Ar 연대 분석에 의하면 128.0±Ma로 측정되었다(Lambiase and Bosworth, 1995).

응회암은 채석강의 동쪽 지역에 넓게 분포하는 암석이다. 성분상으로는 규산이 많은 응회암으로 유문암질이다. 입자 크기로 보아 화산력응회암(lapilli tuff)과 화산각력암(volcanic breccia)도 나타난다. 다양한 크기의 화산력과 화산암괴를 포함하고 있으며 부석이 눌린 용결응회암(welded tuff)으로도 산출된다. 응회암은 격포리층 사이에 협재하기도 하지만 대체로 격포리층 아래에 놓여 있어서 격포리층이 정합적으로 덮고 있다.

3) 격포리층

격포분지에 쌓인 퇴적암체의 두께는 300m가 넘는데, 이 지층이 격포리층이다. 격포리층을 구성하는 암석은 역암, 역질 사암, 사암, 사암-실트암 호층, 흑색 셰일 및 응회암으로 구성된다(Chun and Kim, 1995; Kim *et al.*, 1995; Lambiase and Bosworth, 1995, 김승범, 2000).

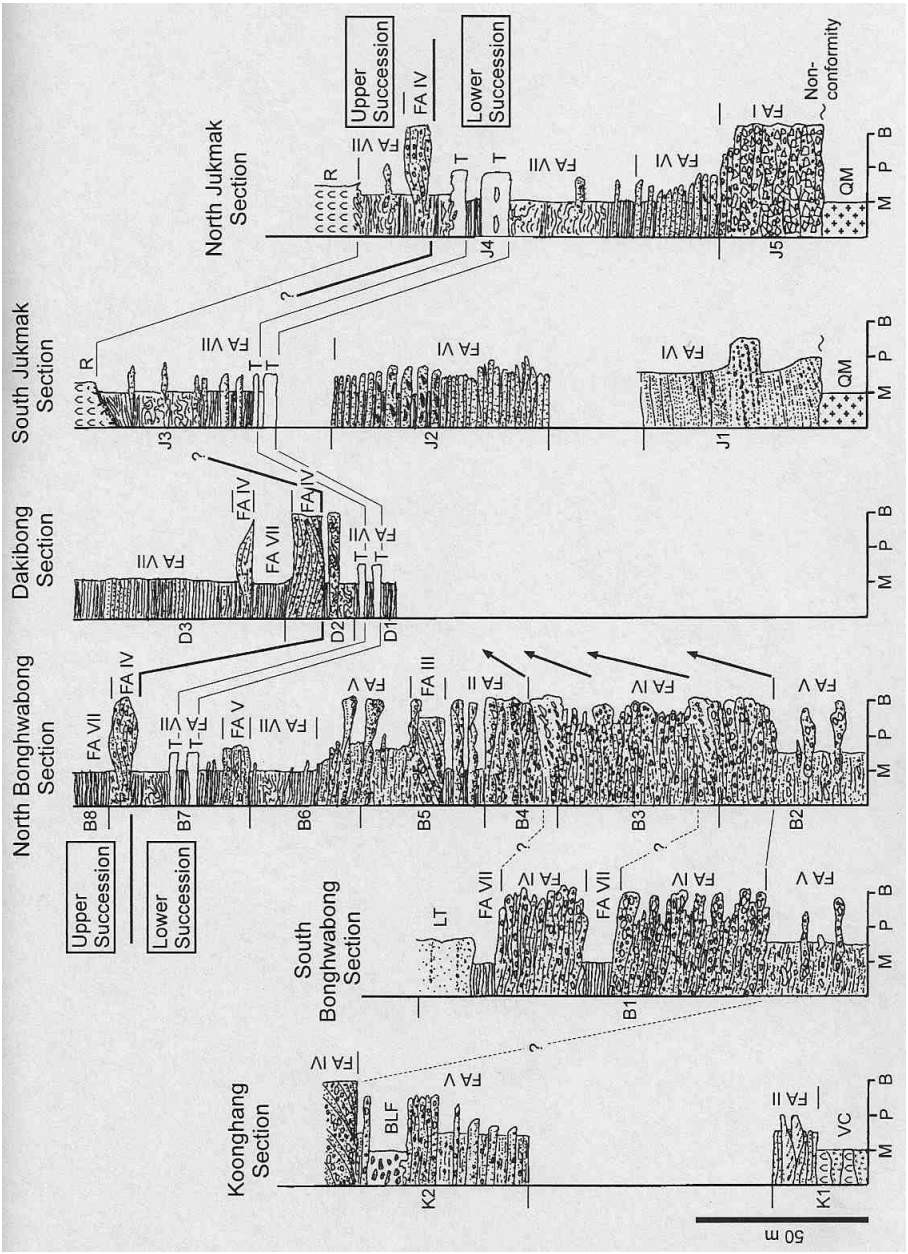
격포리층은 선캄브리아시대 편마암류와 쥐라기 화강암질암을 부정합으로 덮고 있으며, 후기 백악기 응회암을 정합적으로 덮는다. 격포리층은 전체적으로 위로 갈수록 퇴적물의 크기가 작아지는 특징을 보이는 상향세립화(fining-upward

sequences)하는 두 개의 세트로 구성되어 있다. 각 세트는 아래에서부터 역암, 역질 사암, 세립질 사암, 사암-실트암 호층, 셰일로 변한다.

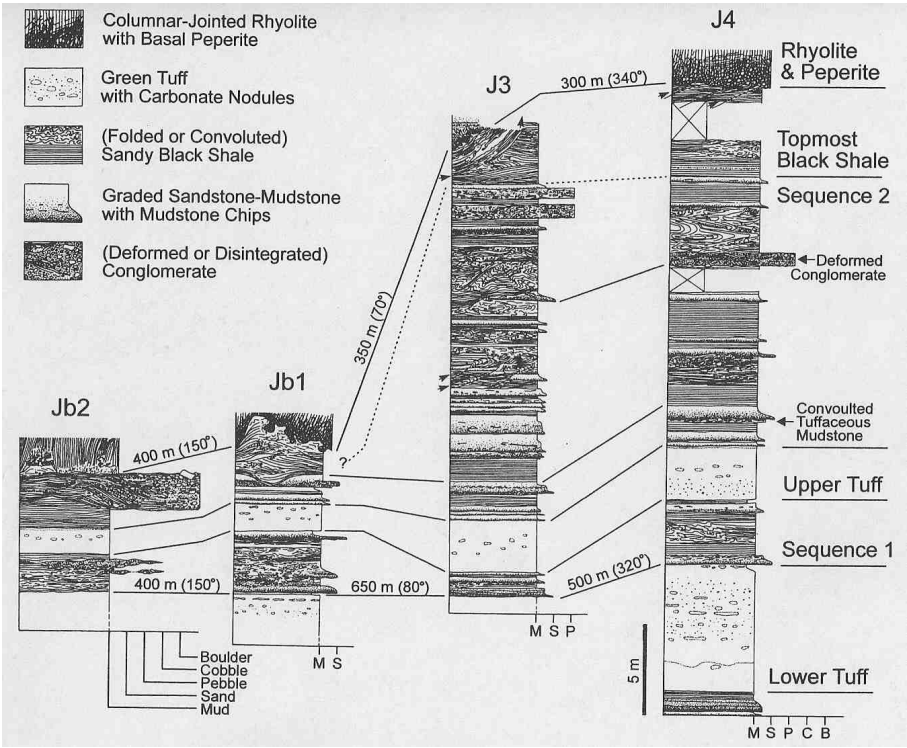
한편, 퇴적암을 자세히 연구하여 퇴적암이 형성되던 당시의 물리적 조건을 알아내어 지층이 생성 당시의 모습을 복원하고 해석하는 학문을 퇴적학(sedimentology)이라고 한다. 김승범(2000)은 격포리층의 최하부에서 최상부까지 상세하게 기재하여 각 주상도의 열쇠층을 바탕으로 지층의 대비하였다. 격포리층의 상세한 층서와 최상부층의 지층의 살펴보면 [그림 4], [그림 5]와 같이 나타낼 수 있다. 격포리층은 경사가 급한 호수와 호수에 들어가는 삼각주 또는 선상지에서 퇴적체가 형성되었다는 것을 알아냈다(김승범, 2000).

격포의 채석강과 적벽강 해안에서는 다양한 종류의 역암, 사암, 이암, 응회암, 유문암, 페퍼라이트(peperite)를 관찰할 수 있다. 또한 층리, 사층리, 퇴적동시성 변형구조, 암맥, 정단층과 역단층, 습곡 등 매우 다양한 퇴적구조와 지질구조를 관찰할 수 있다.

최종빙하기가 끝나고 해수면이 상승하면서 파도에 의한 침식작용이 활발하게 진행되면서 격포해안 일대는 파식대지, 해식절벽, 해식동굴, 사주와 모래톱 등이 생성되고 있으며 이 일대에서 다양한 해안 지형을 관찰할 수 있다.



[그림 4] 격포리층의 분포와 대비. [Kim(2000)의 Fig. 2.9]

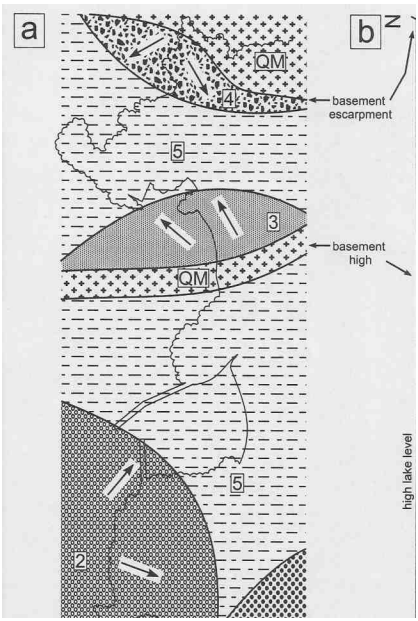


[그림 5] 격포리층 최상부의 주상도.[Kim(2000)의 Fig. 5.12]

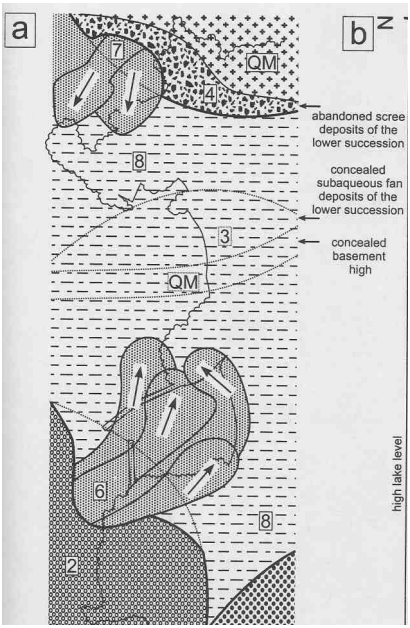
4) 격포분지의 퇴적환경(전승수 . 김승범, 1995)

격포분지는 중생대 백악기 주향이동단층 운동으로 형성된 호수에 퇴적물이 유입되어 형성된 것이다. 퇴적물은 다양한 퇴적과정으로 운반되어 쌓여 300m가 넘는 퇴적체를 형성하게 되었다.

격포리층에 대한 연구에 의하면 수중 경사면(스크리/애추), 삼각주 평원, 급경사 삼각주사면, 삼각주사면의 하단부 및 전삼각주, 소규모 길버트형 삼각주, 소규모 삼각주 로브 퇴적체, 수중 선상지, 분지평원에서 퇴적물이 쌓인 것으로 해석되었다. 김승범(1995, 2000)은 퇴적체의 층서적, 공간적 분포와 고수류 분석을 통하여 총 6개의 퇴적계를 분류하였다. 하부 층서 단위의 경우, 분지 남쪽 경계부에서 두 개의 조립질 삼각주 퇴적계가 발달하였고, 이들 퇴적계는 분지경계에 대해 사각을 이루며 전진퇴적하고, 북동방향으로 상위하며 겹쳐지는데, 이는 분지 경계부의 좌수향 주향이동성 단층 운동에 기인한 것으로 해석되었다[그림 6]. 반면, 분지 북쪽 경계부에는 각력질 스크리(scree) 퇴적계가 인지되며, 이와 같이 분지 양측 경계부에서 서로 다른 종류의 퇴적계가 발달하는 것은 분지의 반지구적(half graben) 구조에 따른 것으로 해석된다. 분지 중심부에는 돌출된 기반암(basement high)이 나타나며, 사질의 수중 선상지 퇴적계가 인접하여 발달한다. 이상의 조립질 퇴적체들은 흑색셰일에 의해 광역적으로 피복되며, 이는 분지 경계부에서의 급격한 침강에 의한 호수면 상승에 따른 것으로 해석된다. 즉, 분지 형성 초기에 활발했던 주향성 단층운동 약화되고, 수직이동 성분이 우세해진 것으로 보인다. 격포리층의 상부 층서 단위에서는 분지의 양측 경계부에서 각각 소규모 삼각주 로브 퇴적계가 인지된다. 이들 삼각주 로브는 하부 층서 단위의 퇴적계에 비하여 규모가 작고, 보다 분지쪽으로 위치하고 있어, 분지경계부의 단층 운동이 거의 정지되어 새로운 퇴적 공간(accommodation) 생성이 미약했음을 지시한다.



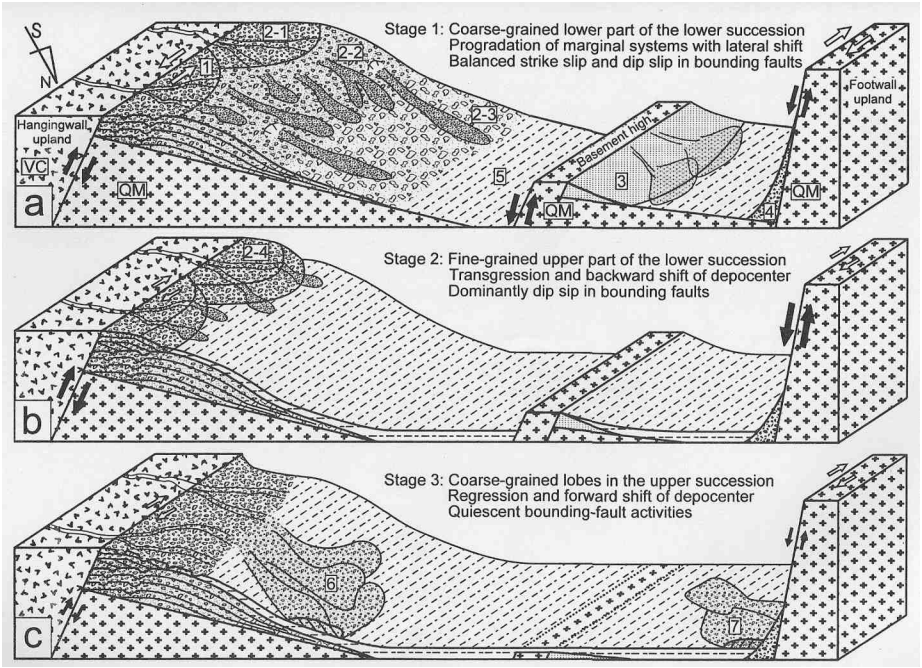
(가)



(나)

[그림 6] 격포리층의 하부 퇴적체의 퇴적시스템(가)과 상부 퇴적체의 퇴적시스템(나). [Kim(2000)의 Fig. 6.1.과 Fig. 6. 2.]

[그림 7]은 가파른 경사면이 발달한 격포분지에서 시기에 따라 다양한 퇴적시스템이 발달하였고, 분지가 진화하면서 퇴적물이 운반되어 퇴적되는 모습을 복원한 것이다. 그림에서 흰 화살표는 주향이동단층, 검은 화살표는 경사방향으로 이동하는 단층을 나타낸다.



[그림 7] 격포분지 퇴적층의 생성 모형(Kim, 2000)
1. 궁항 화산쇄설성 삼각주계, 2. 봉화봉 역질 삼각주계, 2-1 삼각주 평원
2-2 삼각주 사면 2-3 삼각주 전면 2-4 길버트형 삼각주
3. 남죽막 사질 수성 삼각주 계, 4. 북죽막 수중 각력질 애추계,
5. 분지평원 6. 닭기봉 삼각주-로브 7. 적벽강 삼각주-로브.
QM-석영 몬조암, VC-화산복합체,

2. 여러 가지 암석의 종류

1) 화성암

가. 화성암의 산출상태

마그마가 식어서 굳어진 암석을 화성암이라고 한다. 화성암은 마그마가 냉각되어 굳어질 때 광물이 정출하는 속도에 따라 광물 입자의 크기가 달라진다. 땅 속 깊은 곳에서 굳어서 결정의 입자가 성장하는 시간이 충분하여 비교적 크고 고르게 결정화된 심성암은 등립상 조직을 나타낸다. 만일, 이들이 오랫동안 풍화작용과 지표침식에 의해서 노출되어, 그 면적이 100㎢ 이하이면 암주(예; 관악산 화강암), 100㎢ 이상이면 저반(예; 북한산 화강암)이라고 한다. 대표적인 암석이 화강암, 섬록암, 반려암이다.

지표면으로 분출하여 낮은 온도에서 급격히 식어서 결정이 거의 만들어지지 않는 분출암(또는 화산암)은 유리질 조직이나 반상조직을 나타낸다. 현무암, 안산암, 유무암이 여기에 속한다.

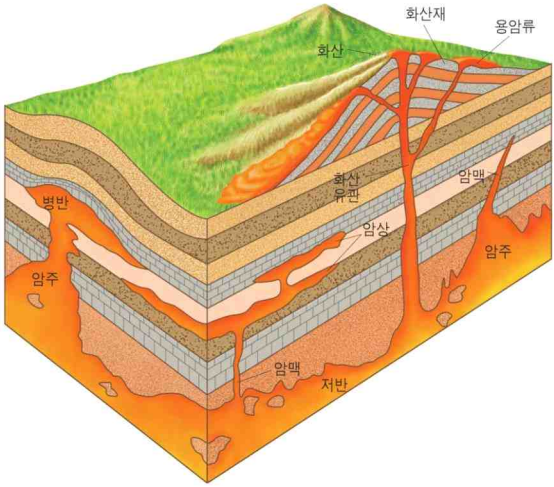
마그마가 지표면으로 뚫고 나오는 도중에 생성된 암석은 반상조직을 나타낸다. 유리질이나 세립질 조직에 큰 결정 입자가 드물게 들어있으면 반상조직이라 하는데, 큰 결정을 반정이라고 한다. 반정은 지하 깊은 곳에서 마그마가 서서히 냉각되면서 성장하고, 석기는 마그마가 지표 부근으로 빠르게 상승하여 굳어진다.

이들의 형태를 자세히 관찰해 보면, 마그마가 지각의 상부로 올라오면서 기존 암석의 종류와 구조에 관계없이 지층의 틈을 따라 수직 관입하여 판상의 화성암체를 이루면 이를 암맥(예; 강화도 장화리 해안)이라고 한다. 특히, 퇴적암의 층리면이나 변성암의 엽리를 따라 수평 관입되어 판상의 화성암체를 이루면 이를 암상(예; 경남 고성군 해안 노두)이라고 한다. 이 때, 암상의 일부가 더 두꺼워져서 렌즈상 또는 만두 모양으로 부풀어 오른 것을 병반(예; 미국 러시모어산의 대통령 조각상)이라고 한다. 마그마가 나오던 원통형의 이동 통로(화도)가 침식되어 노출된 것을 암경(예; 제주도 섭지코지 해안의 선돌)이라고 한다. 이 중 노두에서는 암맥의 형태가 가장 다양하고 빈번하게 산출된다.

나. 화성암의 분류

화성암에 관한 문헌을 읽다보면 여러 가지의 분류 방법이 있고, 화성암에 붙여진 이름은 찾아보면 수 백 가지가 넘는다. 이는 초기에 화성암을 연구하고 암석명을 정했던 많은 연구자들이 체계적인 방법으로 암석 이름을 정하지 않았고, 이 후의 연구

자들이 똑같은 성질을 가지고 있는 암석에 다른 이름을 붙이면서 더욱 혼란스럽게 되었다. 지금까지 많은 암석학자들이 화성암 분류법을 고안하여 제시하였지만 아직도 암석학자들 사이에 공감대를 형성하지 못한 상태인데, 이는 연구자의 취향이나 연구 목적에 따라 나름대로의 방법을 적용해 왔기 때문이다.

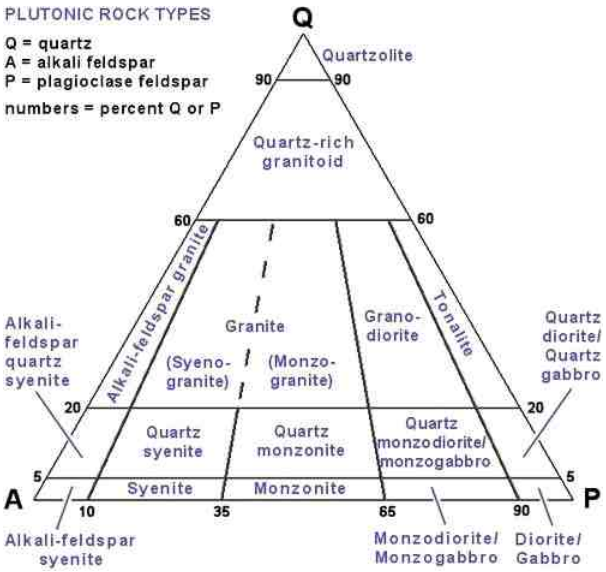


암석의 분류 방법은 다소의 차이가 있지만 크게 나누면 조직과 광물에 의한 분류와 화학조성에 따른 분류가 있다. 조직에 의한 분류는 입자의 크기에 따라 구분하는 방법이며, Shand(1949)가 분류한 현정질 조직과 비현정질 조직으로의 분류가 지금까지 널리 이용되고 있다. 구성광물에 의한 분류는 주성분광물, 특수 부성분광물, 소량의 부성분광물에 따라 암석을 구분하는 방법이며, 모우드 분석(mode analysis)이라 하여, 광물의 종류와 함량을 부피 백분율로 나타내어 분류한다.

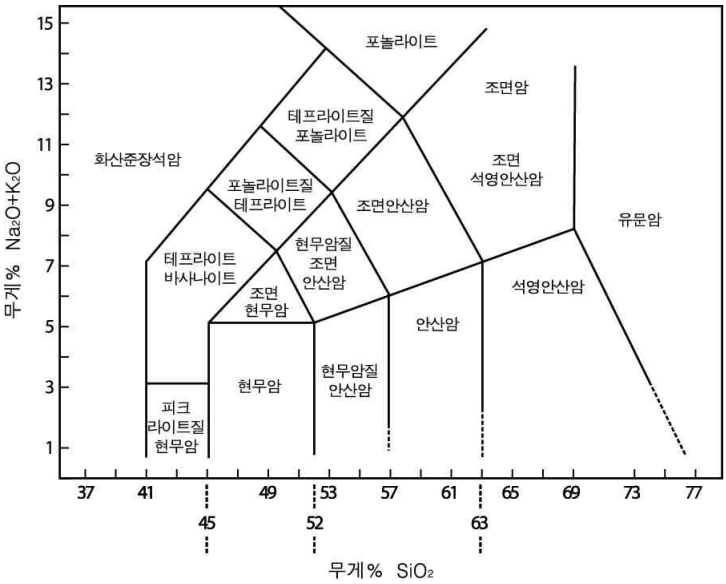
조직에 의한 분류로는, 마그마가 냉각되어 생성되는 암석으로 생성위치에 따라 지하 심부에서 생성되는 심성암과 지표면에서 생성되는 화산암, 중간 깊이에서 생성되는 반심성암이 있다. 일반적으로 지하 심부에서 생성된 화성암일수록 입자의 크기는 커진다. 우리나라에서 관찰되는 화성암에는 현무암과 화강암이 대표적이다.

그렇다면 화강암과 현무암은 어떻게 다를까?

화강암은 현무암처럼 땅속에 있던 마그마가 화산 활동으로 지각을 뚫고 용암으로 분출된 것이 아니라 땅속 깊은 곳에서 서서히 식어서 만들어진 암석이다. 겉보기 모양은 유리알 같은 입자와 약간 분홍색을 띄거나 흰색을 띠는 입자 및 검은 색을 띠는 입자로 구성되어 있다. 특히 알갱이의 크기는 거의 같으며 육안으로 분명하게 보인다. 여기서 유리 같은 입자를 석영이라 하고 약간 분홍색이나 흰색을 띠는 입자를 정장석이며, 검은 색을 띠는 입자를 흑운모이다.



▲ 심성암의 분류



▲ 화산암의 분류

현무암은 땅속에 있던 마그마가 화산 활동으로 지각을 뚫고 용암으로 분출된 후 지표면 밖에서 굳어져 만들어진 암석이다. 현무암은 겉 표면에는 크고 작은 구멍이 많이 뚫려 있는데 이것은 마그마가 지표면 밖으로 나올 때 여러 가지 가스가 빠져나간 자국이 남았기 때문입니다. 주의할 점은 모든 현무암이 구멍이 많이 있는 것은 아니란 점이다. 구멍이 많은 현무암은 마그마가 지표면 가까이에서 분출되어 만들어진 것이며, 보다 깊은 곳에서 만들어진 현무암은 구멍이 없다. 우리 나라의 제주도 현무암은 지표 가까이에서 분출하여 구멍이 많은 다공질 현무암이 주를 이루며, 한탄강 유역에서는 구멍이 없는 괴상 현무암이 주로 나타난다. 일반적으로 현무암은 검은색(흑색) 또는 회색을 나타내며, 맨 눈으로 구별하기 어려울 정도로 광물 입자가 아주 작다.

2) 퇴적암

퇴적암은 퇴적물이 쌓여서 깊이 묻히면 열과 압력을 받아 굳어져서 퇴적암이 된다. 퇴적암은 지구 표면의 75~80%를 덮고 있으며, 생성 과정에 따라 쇄설성 퇴적암, 생물학적 퇴적암, 화학적 퇴적암으로 나눌 수 있다. 구성 물질에 따라 크게 규산염질 퇴적암 또는 탄산염질 퇴적암으로 나누기도 한다.

❍ 쇄설성 퇴적암

쇄설성 퇴적암은 다른 암석이 풍화작용을 받아 부스러진 암석 알갱이들이 지형적으로 낮은 곳에 쌓여서 생긴 암석이다. 풍화와 침식작용으로 생긴 작은 알갱이들은 크기에 따라 점토, 실트, 모래, 자갈 등으로 구분할 수 있다. 이들은 쇄설물이라고 한다. 쇄설물은 유수, 빙하, 바람 등에 의해 이동되어 고도가 낮거나 운동 에너지가 낮아지는 곳에 머무르고 쌓이게 된다. 퇴적물이 쌓이는 장소를 퇴적분지라고 하는데, 선상지, 삼각주, 범람원, 해저, 호수 등이 있다. 쇄설성 퇴적암을 이루는 알갱이들은 풍화작용이 진행되면서 먼 거리를 이동해야 하기 때문에 대체로 풍화에 강한 광물이 남아서 퇴적암을 만들게 된다. 따라서 쇄설성 퇴적암은 대부분 석영을 비롯한 규산염 광물로 이루진다.

쇄설성 퇴적암은 표와 같이 보통 알갱이의 크기에 따라 구분한다.

[표] 퇴적물의 입자크기에 따른 분류

입자 크기 (mm)	퇴적물	퇴적암	화성쇄설물
256	거력(boulder)	역암(conglomerate)	화산암괴 → 화산각력암 화산탄 → 집괴암 (bomb)
64	왕자갈(cobble)		
4	중자갈(pebble)		화산력(lapilli) → 라필리암
2	잔자갈(granule)		
1/16	모래(sand)	사암(sandstone)	화산재(ash) → 응회암
1/256	실트(silt)	실트암(siltstone)	
	점토(clay)	점토암(claystone)	

❍ 생물학적 또는 화학적 퇴적암

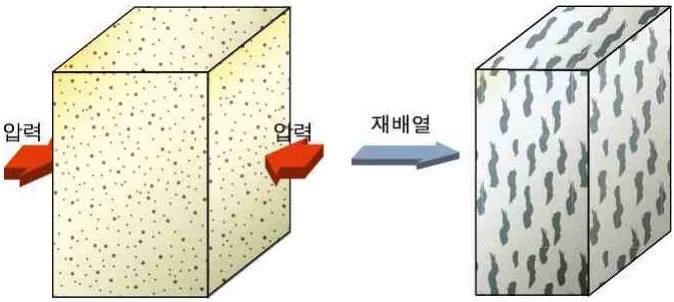
생물학적 퇴적암 또는 화학적 퇴적암은 특정 화학물질이 침전되어 형성된다. 주로 생물에 의하여 일어나는 생물학적 퇴적물과 화학적인 과정에 의해 형성된 화학적 퇴적암이 있다.

생물에 의해서 만들어지는 가장 흔한 광물은 탄산염광물이다. 탄산염을 고착하거나 분비하는 생물체에 의해 형성된 암석이 석회암이다. 바다 속에서 탄산염암을 만드는 생물에는 산호, 연체동물, 유공충 등이 있다. 물속에 과포화된 물질이 침전되어 생기는 암석을 화학적 퇴적암이라고 한다. 해양환경에서는 탄산칼슘이 침전되어 석회암을 형성한다. 증발이 강하게 일어나는 고립된 호수에서는 암염, 석고 등의 물질들이 침전되어 암석이 되기도 한다. 증발에 의하여 생긴 퇴적암을 특별히 증발암이라고 부른다.

3) 변성암

기존에 존재하던 암석이 고체 상태에서 온도와 압력으로 인해 새로운 조성과 조직으로 변하는 변성 작용에 의해 생성되는 암석으로 압력에 의한 변성 작용을 받을 경우 압력의 방향과 직각 방향으로 줄무늬(편리)가 형성되며, 열에 의한 변성 작용은 주로 마그마의 관입 시 이와 접촉하는 암석에서 일어나게 되며, 이 경우 광물의 결정 크기가 커진다.

변성작용은 관입암체 주변에서 일어나는 접촉변성작용과 판이 만나는 곳에서 주로 일어나는 광역변성작용이 있다. 접촉변성작용으로 형성된 규암, 사암, 대리암은 접촉변성암이라고 하고, 광역변성작용으로 형성된 편마암, 편암, 천매암 등은 광역변성암이라고 한다. 높은 압력을 받아 형성된 엽리가 생기는 원리는 그림과 같다.



❍ 변성구조 - 엽리

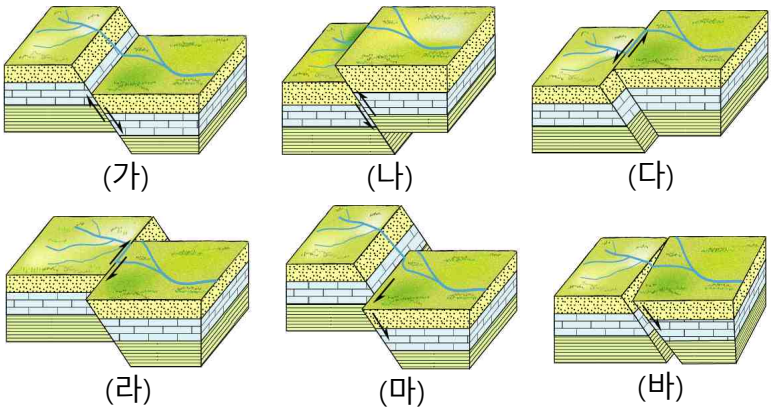
야외에서 관찰되는 변성암의 줄무늬 구조를 일반적으로 엽리라고 부른다. 엽리가 뚜렷하게 나타나면 주로 압력에 의한 변성 작용이 우세하게 작용하였다는 것을 의미한다. 엽리가 나타나는 변성암에서 입자의 크기가 뚜렷하게 구분되지 않으면 점판암 또는 천매암 이며, 입자의 크기가 뚜렷하고 엽리면이 거의 판상의 운모로 구성되어 있으면 편암, 어두운 유색광물 층과 밝은 무색 광물 층이 뚜렷하게 교대로 나타나면 이를 편마 구조라 하며, 이런 편마 구조가 발달한 변성암을 편마암이라고 한다.

3. 여러 가지 지질 구조

1) 단층(fault)

암석이 힘을 받아 탄성 한계를 넘으면 끊어져 이동하게 된다. 힘을 받아 끊긴 단층면을 중심으로 양쪽 암석이 어떤 방향으로 이동하는가는 작용한 힘에 따라 다르며, 그 결과도 다른 형태로 나타난다. 단층은 단층면의 경사방향을 따라 움직인 것(경사이동단층:dip-slip fault)과 단층면에 주향 방향을 따라 움직인 것(주향이동단층:strike-slip fault)이 있다. 경사면을 따라 움직인 단층에는 (가)와 같은 정단층(normal fault)과 (나)와 같은 역단층(reverse fault)이 있다.

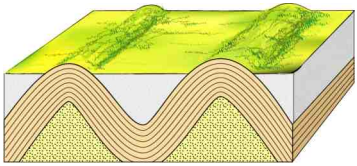
단층면을 경계로 윗쪽 지괴를 상반(hanging-wall block)이라 하고, 아래쪽을 하반(foot-wall block)이라 하는데, 정단층은 상반이 내려간 경우이며, 역단층은 상반이 올라간 경우이다. 그리고 주향 방향으로 움직인 단층을 이해해 보자. 두 손을 펴서 (다)의 지면위에 올린 다음 화살표 방향으로 손을 움직이면 왼손이 아래로 내려오므로 (다)는 좌수향단층(sinistral strike-slip fault)이라고 하며, 같은 방법으로 (라)는 우수향 단층(dextral strike-slip fault)이 된다. (마)는 지괴가 경사 방향과 주향 방향으로 모두 이동하므로 사교단층(oblique-slip fault)이라고 하고, (바)는 한 점을 중심으로 지괴가 회전한 힌지단층(hinge fault)이다.



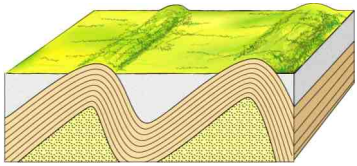
(가) 정단층　**(나) 역단층**　**(다) 좌수향주향이동단층**
(라) 우수향주향이동단층　**(마) 사교단층**　**(바) 힌지단층**

2) 습곡(fold)

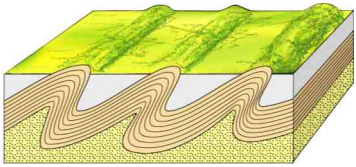
암석이나 지층이 횡압력을 받아 구부러진 변형구조를 습곡(fold)이라 한다. 층이 구부러져 위로 볼록하면 **배사**(anticline)라고 하며, 오목한 모양이면 **향사**(syncline)라고 한다. 배사구조는 습곡의 날개(limb)가 바깥쪽으로 기울어져 있으며, 향사구조는 날개가 안쪽으로 기울어져 있다. 양쪽으로 기울어진 날개가 만나는 점을 연결한 것이 습곡축이며, 습곡축이 이어진 평면을 축면이라 한다. 지층이 구부러지면서 습곡축 부근에는 인장력에 의해 틈이 생기거나 지층면에는 날개의 경사방향과 나란하게 끌린 자국이 형성되기도 한다. 습곡은 습곡축이 수직이고 양쪽 날개가 대칭으로 발달되거나(**정습곡**), 습곡축이 기울어진 형태(경사습곡), 습곡축이 거의 평면에 가까운 형태(횡와습곡) 등이 있다.



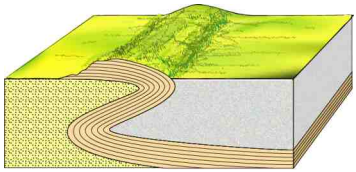
(가) 정습곡



(나) 경사 습곡



(다) 등사 습곡



(라) 횡와습곡

3) 부정합(unconformity)

부정합이란 이미 형성된 지층이나 암체가 지각변동으로 융기하면 풍화·박리 작용으로 침식을 받게 되는데, 그 뒤 해침을 받아 수면 밑에 잠기게 되어 그 침식면 위에 새로운 지층이 퇴적됨으로써 생기는 두 지층 사이의 관계를 말한다. 이 때 새로운 지층과 오래된 지층 사이에 있는 침식면을 부정합면이라 한다. 부정합면은 시간·퇴적작용의 중단을 품고 있으며, 풍화·침식·무퇴적 등의 작용의 하나 또는 그것들의 조합에 의해 만들어진 것이다.

일반적으로 부정합은 다음 3가지 점에서 설명할 수 있다.

- 시간적으로 보면 부정합은 기록이 없는 공백기이다. 즉 위·아래로 겹쳐져 만난 지층 사이에 퇴적의 중단이 있어 지질학적으로 인정될 만한 어떤 시간 간극(間隙)이 인정되는 경우이다.
- 퇴적작용으로 보면 부정합은 그 규모에 관계없이 퇴적작용의 중단이 인정되는 경우이다.
- 구조적으로 보면 부정합은 아래쪽의 오래된 암체에서 위쪽의 새로운 암체를 구분할 수 있는 경계면이 있는 경우이다.

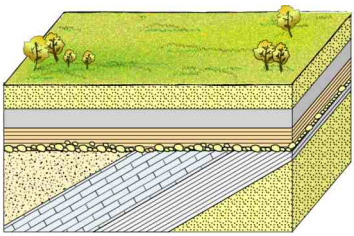
대부분의 경우 부정합 위의 새로운 암체의 하부에는 기저역암이라는 육상 기원의 암석이 존재한다. 침식면이나 기저역암의 존재는 부정합을 인식하기 위한 중요한 증거가 된다. 지각변동이 여러 차례 반복되어 부정합면이 여러 개 발견되면, 그 부정합면을 단서로 지각변동이 일어난 순서를 찾고 각 지각변동의 성격과 성질을 밝힐 수 있다.
보통 부정합은 형태에 따라 경사부정합, 평행부정합, 난정합으로 구분한다. 준정합은 육안으로 구분되지 않으며, 화석만으로 구분할 수 있는 부정합이다.

경사부정합 : 부정합면 아래의 오래된 지층과 부정합면 위의 새로운 지층이 경사져 있으면 경사부정합(angular unconformity)이라 한다. 경기도 연천군 전곡읍 은대리 차탄천 절벽에는 경사진 변성퇴적암이 맨 아래에 놓여 있고, 그 위에 고화가 덜 된 약 100~에서 150cm 정도 두께의 역암(미고결사력층)이 놓여 있다. 이 부정합은 선캠브리아시대의 암석 위에 신생대층이 덮고 있어서 적어도 수 억년의 시간차이를 보이며, 우리 나라에서 가장 뚜렷하게 볼 수 있는 경사부정합이다. 세계적으로

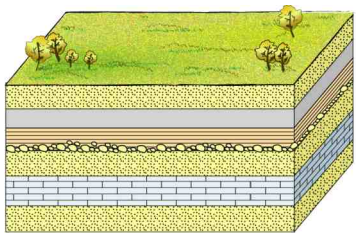
유명한 경사부정합은 영국 남부 해안, 스코틀랜드 해안의 시카 포인트(Siccar Point), 미국의 그랜드 캐년 등이 있다.

평행부정합 : 부정합면 위의 지층과 아래의 지층이 나란하게 놓여 있으면 평행부정합(disconformity)이라고 한다. 이 부정합은 아래의 지층이 융기하여 침식된 후, 다시 낮아져서 퇴적물이 쌓여서 형성된 것이다. 평행부정합은 상하지층이 나란하기 때문에 육안으로 구분하기 어렵다. 평행부정합의 구분은 정밀한 조사와 화석을 이용하여 확인할 수 있다. 강원도 평창군 미탄 삼거리에는 전기 고생대의 조선누층군과 후기 고생대의 평안누층군 사이의 평행 부정합이 발달되어 있는데 국도변 북쪽 절개면에서 관찰할 수 있다.

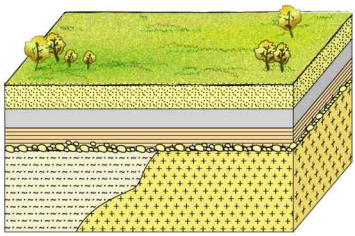
난정합 : 부정합면을 사이에 두고 암상이 전혀 다른 경우, 즉 부정합면 아래에 관입한 화성암이나 변성암이 있을 때 난정합(nonconformity)라고 한다. 이런 구조는 강원도 태백 황지천변에서 관찰할 수 있다. 선캄브리아시대의 화강암(홍제사 화강암) 위에 캄브리아기의 장산층의 역암이 덮고 있다. 무주 적상산 서쪽 서창마을에는 중생대 퇴적암이 선캄브리아시대의 암석을, 미국 그랜드 캐년(Tonto Plautau)에도 캄브리아기의 사암이 선캄브리아시대의 편마암을 덮고 있는 부정합이 있다.



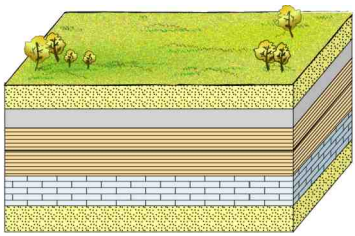
(가) 경사 부정합



(나) 평행 부정합



(라) 난정합



(라) 준정합

4. 퇴적 구조

퇴적암을 구성하는 입자 개개의 특징들을 조직(texture)라고 하고, 구성입자보다 큰 규모의 특징을 퇴적구조(sedimentary structure)라고 한다. 퇴적구조는 구성 입자의 조직이나 성분의 차이에 의해 맨눈으로 관찰할 수 있다. 퇴적구조보다 더 큰 규모의 특징은 층형(bed geometry)이라고 한다.

퇴적작용에 의해 직접 만들어진 퇴적구조는 1차 퇴적구조(primary sedimentary structure)라고 하는데, 퇴적작용과 퇴적환경을 해석하는 데 매우 유용하게 쓰인다. 퇴적물이 형성된 이후 속성작용에 의해 형성된 구조는 속성구조(diagenetic structure) 라고 하는데, 생흔화석과 함께 퇴적환경을 해석하는데 중요하다.

1차 퇴적구조는 다음과 같이 구분할 수 있다.

1) 층리(stratification)

(1) 층리와 엽층리	
(2) 사층리와 사엽층리	인편상구조(비늘구조)
(3) 불규칙 층리	미고결 습곡(단층)
	하중돌기와 불꽃구조
	말린 층리 or 말린 사층리
	접시구조, 기둥구조, 판상 물빠짐구조
	모래화산과 진흙화산
	건열
	수중 수축 균열 or 시네러시스 균열
	쇄설성 암맥
	함몰 사태, 미끄럼 등

2) 층면구조(bedding plane structure)

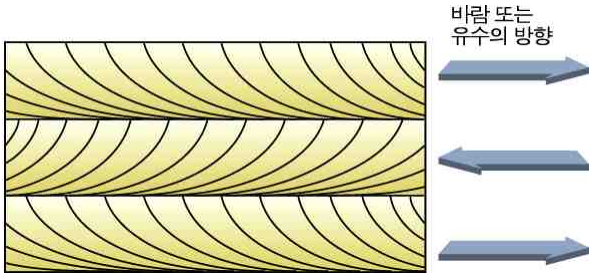
(1) 침식구조	침식자국, 하도구조
(2) 저흔(sole mark)	물체자국(홈자국, 세브론자국, 튐자국 등)
(3) 층형	물결자국, 사구, 거대연흔
(4) 생흔화석	

퇴적암에서 볼 수 있는 층리를 제외한 퇴적 구조는 사층리, 점이층리, 물결자국(연흔), 건열, 인편상구조(비늘구조)가 있다. 이들 퇴적구조는 지층이 생성될 당시의 퇴적 환경이나 지층의 위아래를 판단할 수 있는 근거가 된다.

가. 사층리

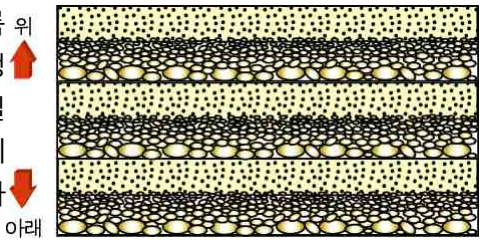
층리가 경사져있다고 하여 사층리라는 이름이 붙었다. 상.하 층리면이 서로 엇갈려 나타나는 퇴적 구조로, 수심이 얕은 물밑이나 바람의 방향이 자주 바뀌는 곳에서 생성된다.

한 층 내에서 층리가 경사진 이유는 경사진 쪽으로 물이 흐르거나 바람이 불었기 때문이다. 따라서 사층리를 보면 층이 생성될 당시의 물이나 바람의 방향을 추정할 수 있다. 한 층의 사층리가 생기면 윗부분은 풍화되어 사라지는 경우가 많으므로, 간격이 넓은 쪽이 위, 간격이 좁은 쪽이 아래라고 판단할 수 있다.



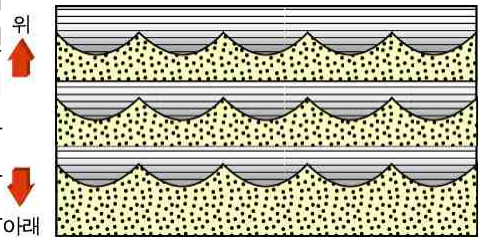
나. 점이 층리

바다에서 만들어지는 퇴적 구조로, 대륙사면에서 해저 지진 등의 진동에 의해 발생한 저탁류로 한꺼번에 아래로 운반된 물질들이 심해에 퇴적되어 생성된다. 한 층 내에서 구성 입자가 큰 퇴적물이 아래에, 입자가 작은 퇴적물이 위에 분포한다.



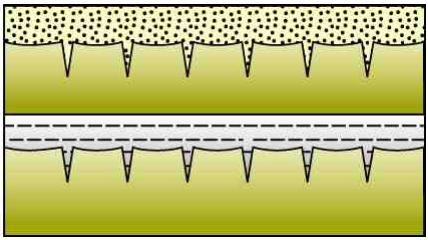
다. 물결자국

물결 모양의 흔적이 지층에 남아 있는 퇴적 구조이다. 수심이 얕은 물 밑에서는 수면의 출렁임이 아래로 전달되는데, 이 모양이 그대로 굳어지면 윗부분은 뾰족하고 아랫부분은 둥근 물결자국(연흔)이 생성된다. 때로는 약하게 흐르는 물 아래에서 형성되기도 한다.



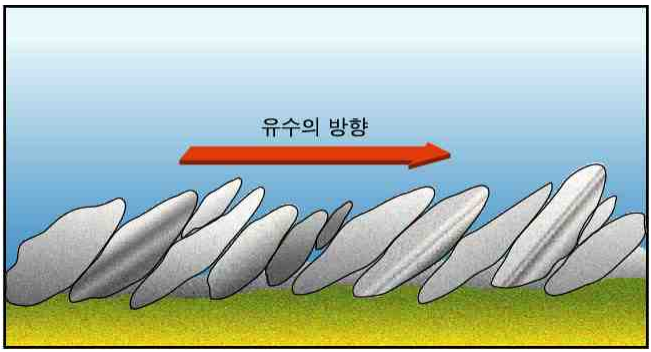
라. 건열

지층에 쐐기 모양으로 갈라진 틈이 나타나는 퇴적 구조로, 그 갈라진 틈으로는 상위 지층을 이루는 퇴적물들이 들어가 있다. 주로 셰일에 잘 나타난다는 특징이 있는데, 얕은 물 아래 등 습한 곳에 있던 셰일이 건조한 환경에 노출되었을 때 굳으면서 갈라져 생성된다. 알파벳의 V와 비슷한 모양으로 갈라진 쪽이 위, 붙어있는 쪽이 아래이다.



마. 인편상구조

하천에서 물이 빠르게 흐르게 되면 큰 자갈들이 하상을 따라 이동한다. 이동하던 자갈들은 유속이 느려지면 바닥에 멈추게 되고, 계속해서 이동해온 자갈들이 차곡차곡 쌓인다. 자갈들은 물의 흐름 방향에 대해 가장 저항이 적은 방향으로 놓이게 되는데, 이 때 타원형의 자갈들이 상류방향을 향해 놓이면 수력학적으로 안정적으로 물이 자갈들을 타고 흘러가기 쉽다. 이런 과정에 의해 하천 바닥에서 자갈들이 상류방향을 갖게 되는데, 이런 구조를 **인편상 구조** 또는 비늘구조라고 한다. 인편상 구조는 하천에 의해 운반된 자갈이나 역암에서 잘 관찰된다. 인편상 구조는 자갈로 이루어진 강에서 쉽게 볼 수 있으며, 바닷가에서 파도에 의해 자갈이 쌓여 생기기도 한다. 인편상 구조는 반지름이 거의 같은 둥근 자갈에서는 관찰하기 어렵다.



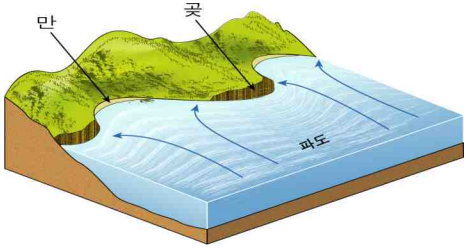
5. 해안 지형의 형성

바닷가 지역은 바다의 영향, 즉 파도와 조석에 의한 영향으로 해수면을 기준으로 침식, 운반, 퇴적작용이 일어난다. 이때 해안선의 모양은 파도와 조석의 영향 차이, 해안선을 이루는 주된 성분(암석, 모래, 진흙 등), 하천의 유입 유형에 따라 다양하게 나타난다. 우리나라의 경우 동해안은 파도의 영향이 크고, 하천의 경사가 급하고 길이가 짧아 많은 양의 토사(모래)가 쉽게 공급되어 주로 모래해안이 발달하고, 서해안은 조석의 영향이 크고, 하천의 경사가 완만하여 공급된 토사가 썰물 때 바다로 유입되었다가 가벼운 진흙이 밀물 때 바닷가로 밀려와 주로 갯벌해안이 발달한다.

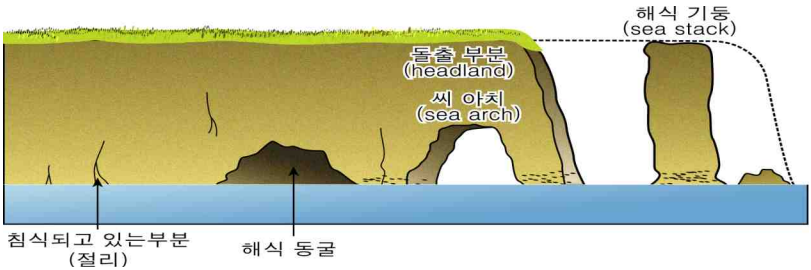
1) 해안침식지형

해안은 강력한 파도에 의해 매우 빠른 침식작용이 일어난다. 현재 해안가 지형은 파도에 의한 오랜 침식작용으로 형성된 것으로 시간이 지나면 변하게 된다. 해안침식지형의 대표적인 3가지 지형은 다음과 같다.

① 바다를 향해 뻗어 나간 곶(headland)과 육지 쪽으로 움푹 들어간 만(bay)

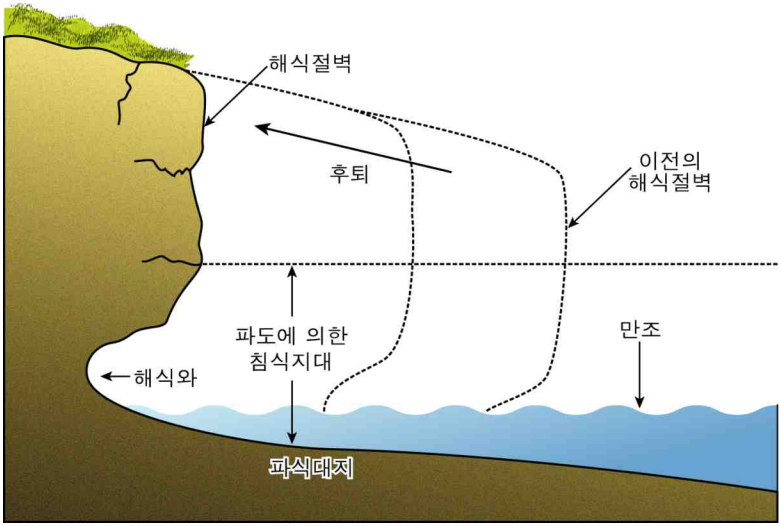


② 해식동굴(sea cave), 바다아치(sea arche), 해식기둥(sea stack) 등



③ 해식절벽(해식애, sea cliff)와 파식대지(wave-cut platform), 해식절벽의 아랫부분에 파도의 침식이 심하게 일어나서 절벽 윗부분에 비해 더 많이 깎여 들어간 해식와(notch; 海蝕窪)

☞ 우리 탐사지역인 변산반도는 해식절벽과 파식대지가 함께 나타나는 전형적인 암석해안의 모습을 지닌 우리나라 대표 해안이다.



2) 해안퇴적지형

곶과 만이 형성된 후 움푹 들어간 만에는 파도와 조석의 퇴적작용으로 모래사장(해빈, 해수욕장), 모래톱이나 자갈마당 등이 발달한다.

6. 미고결 퇴적물의 변형 구조

퇴적물은 퇴적된 후 대부분 교란작용을 받는다. 퇴적된 직후의 무른 퇴적물에서 일어나는 변형작용은 모래나 모래보다 작은 입자로 이루어진 퇴적물에서 더 잘 일어난다. 물밑에 쌓인 퇴적물이 여러 가지 물리적, 화학적, 생물학적 작용을 통해 교란되면 새로운 구조가 만들어진다. 교란작용은 퇴적 직후에 일어날 수도 있고, 고화되는 과정에서 일어날 수도 있다. 교란작용으로 만들어진 구조는 퇴적된 이후의 퇴적물의 상태가 어떠했는지, 어떤 일이 일어났는지를 이해하는 데 매우 중요한 정보를 제공해 준다.

1) 퇴적물에서 일어나는 물리적인 변형

모래 크기보다 큰 입자로 이루어진 조립질 퇴적암과 실트와 점토로 이루어진 세립질 퇴적암이 끼어있는 암석에서 세립질 암석의 층리가 나란하지 않고 구부러진 경우가 자주 나타난다. 심하게 지층이 구부러진 경우에는 말리기도 하고, 끊긴 경우도 있다. 이런 현상은 퇴적암이 굳어지기 전에 형성된 경우가 대부분이다. 이와 같이 퇴적물이 굳어지기 전에 변형되어 생긴 퇴적구조를 미고결 퇴적물의 변형구조(soft sediment deformation structure)라고 한다.

무른 퇴적물에서 일어나는 물리적인 변형은 미고결 상태의 퇴적물의 물성에 따라 다르게 나타난다. 퇴적물에 물리적 힘이 작용하였을 때 퇴적물에서의 전단 응력(shear stress)은 입자 간의 점착력, 마찰력, 유효압력에 따라 다르게 나타난다. 퇴적물이 변형되기 위해서는 외부에서 가해진 전단응력에 비해 자체의 저항력이 작아야 한다. 퇴적물의 변형은 양력(yield strength)이 상실되거나, 입자들의 재배열에 따른 내부 마찰각이 감소하거나, 공극수압이 증가할 때 나타난다.

느슨하게 쌓인 입자들의 배열은 외부의 충격에 의해 재배열될 경우 입자 사이의 공간이 좁아지면서 더욱 조밀해진다. 이 과정에서 공극수의 수압이 증가하고, 퇴적물에 액상화작용(liquefaction)이 일어나게 된다. 액상화작용은 증가된 공극수압에 의해 퇴적물이 들뜬 상태가 되어 퇴적물과 공극수가 하나의 유체처럼 움직이는 것을 말한다. 이 작용은 공극수가 빠져나가서 공극수압이 감소하고 입자들이 다시 퇴적될 때까지 계속된다. 액상화를 일으키는 충격은 지진에 의한 것일 수도 있고, 수면 상승이나 갑작스런 퇴적물의 유입에 의해 일어날 수도 있다. 퇴적물이 빠르게

퇴적되면 액상화작용이 일어날 수도 있다. 점토와 같은 세립질 퇴적물들은 공극률은 높으나 투수성이 낮기 때문에 물을 많이 포함하고 있다. 물을 많이 포함하는 세립질 퇴적물이 갑자기 전단 응력을 받게 되면 변형되기 쉽다. 따라서 무른 퇴적물의 변형작용은 이질퇴적물에서 잘 일어나게 된다.

2) 미고결 퇴적물의 변형작용의 종류

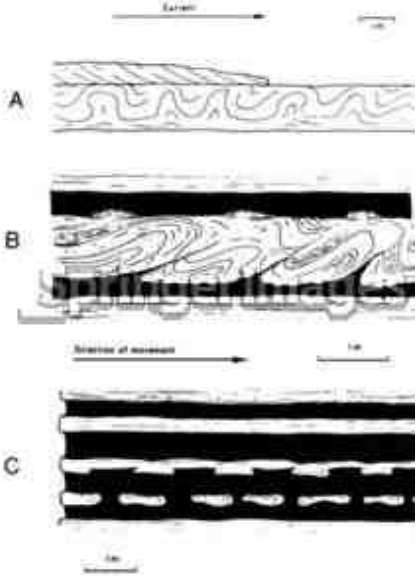
- **말린 층리와 엽층리(convolute bedding and lamination) or ball and pillow structures**

말린 층리와 엽층리는 퇴적층 내에 사질암과 이질암이 번갈아 쌓인 곳에서 형성된다. 대개 층리가 습곡 모양을 보이지만 말려서 횡와습곡과 같은 모습으로 나타나기도 한다. 말린 층리는 골과 마루가 잘 나타나지만 위와 아래에 놓인 지층은 변형되지 않아서 층리가 나란하게 나타난다. 말린 층리의 윗부분이 잘린 형태로 나타나기도 한다.

말린 층리는 퇴적된 이후 액상화가 진행되어 플라스틱이 변형되는 것처럼 형성된다. 이런 구조는 저탁류퇴적물, 범람원, 조간대 퇴적물에서 잘 생긴다.

- **미끄럼 사태 또는 함몰사태(sliding or slumping) 또는 퇴적동시성 단층(synsedimentary fault)**

함몰사태(slump)에 의한 퇴적물은 습곡이 심하게 발달된 세립질 퇴적암체로 나타난다. 층내습곡은 특정한 방향성을 가지며, 이는 옛 분지의 경사 방향을 이해하는데 도움이 된다. 경사면 위에 놓인 미고결 퇴적물이 증가된 공극수의 압력에 의해 불안정해지면 경사면을 따라 하나의 덩어리로 움직이게 된다. 경사면 하부와 상부에 퇴적체가 한 덩어리로 움직이지 않고 여러 부분으로 나누어 이동하기 때문에 함몰사태 내의 변형구조는 습곡과 정단층, 역단층이 함께 나타난다.





▲ 말린 층리(전북 부안 죽막해안)



▲ 미끄럼 사태에 의한 변형구조(격포)

■ **하중 돌기와 불꽃구조(load cast and flame structure)**

사암과 이암이 번갈아 나타나는 층 사이에서 나타난다. 밀도가 큰 사질층 아래 밀도가 작은 이질층이 있는 경우 사질층이 이질층을 눌러서 생긴다. 사질층하부에 불룩불룩한 모양의 돌기가 생기고, 사질층의 압력으로 눌린 이질층 퇴적물이 위쪽으로 가늘게 뚫고 올라가는 불꽃 모양의 구조가 생긴다.

하중 돌기와 불꽃구조는 두 층 간의 밀도차와 높은 공극률, 이질층이 포함하고 있는 물의 양, 퇴적물의 불안정성에 따라 달라진다. 진흙은 모래에 비해 공극률이 훨씬 높고(진흙:60~70%, 모래:30~40%) 밀도가 작아서, 하중이 가해지거나 변형력이 작용하면 쉽게 변형된다.



▲ 불꽃구조와 뜯겨 올림 암편(해남 우항리층)

■ **쇄설성 암맥(clastic dike) - 각력질 암맥**

퇴적층 사이의 수직 틈을 채운 퇴적물 줄기로 대개 지진 충격으로 물이 빠져 나가면서 퇴적층 아래 미고결 퇴적물이 솟아올라 퇴적층 틈을 채우며 생긴다. 대개 수 십cm 폭으로 나타나지만 수 mm에서 수 m로 나타나기도 한다.

■ **뜯겨 올림 암편(rip-up clasts or mud chips)**

분지의 바닥에 있는 점착성이 강한 점토질 퇴적층이 강한 난류에 의해 뜯겨 이동하다 쌓인 것으로 이편(mud chips)이라고도 한다. 뜯겨 올림 암편은 기원지로부터 이동하여 하류 쪽에 쌓이며, 암편의 크기는 매우 다양하다. 대체로 암편은 층리와 나란하게 판상으로 놓이며 주변에는 다양한 크기의 암편이 함께 분포하는 경우가 많다.



▲ 쇄설성 암맥(격포해안)



▲ 뜯겨 올림 암편(죽막해안)

■ **모래 화산과 진흙 화산(sand volcano and mud volcano)**

■ **seismites(지진암?)**

지진파에 의해 변형된 퇴적층으로 지진에 의한 충격으로 생긴 모래 화산, 진흙 화산, 쇄설성 암맥을 포함하는 무른 퇴적층의 변형 구조이다.

7. 선상지, 삼각주 환경

선상지는 좁은 계곡을 통해 운반되던 퇴적물이 폭이 넓은 지역(충적 평원)에 도달하여 유수의 운반능력이 떨어져 부채꼴 모양으로 쌓인 것을 말한다. 선상지 표면에서 흔히 관찰되는 망상하천(braided river)은 선상지 퇴적체를 형성하기도 하지만, 이미 퇴적된 쇄설류나 판상류 퇴적물의 표층부를 재이동 시키기도 한다.

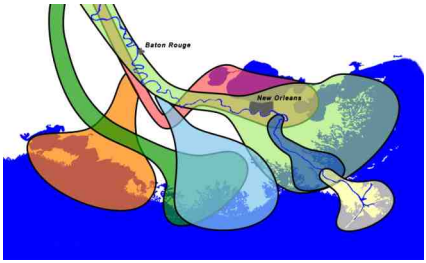


▲ 공사장의 흙에서 생성된 소규모의 선상지

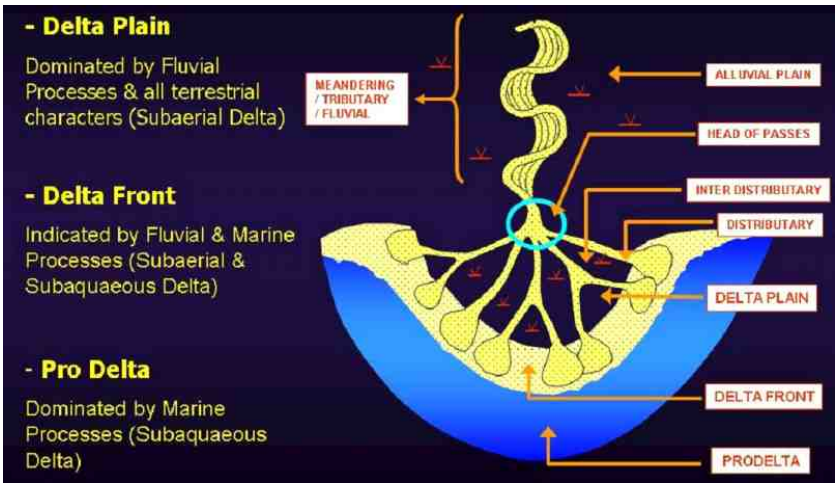


▲ 미국의 Death Valley에 형성된 전형적인 선상지

삼각주는 강이 대양이나 연해, 호수 등으로 유입되는 곳에서 형성되며 현재 지표상에서 퇴적이 가장 활발한 곳이다. 삼각주는 강, 조석, 파도의 영향에 따라 다양한 형태를 보여준다. 한편 삼각주는 최상부의 삼각주 평원(delta plain), 그 아래 삼각주 전면(delta front), 그리고 전 삼각주(pro delta)로 구성된다. 삼각주 평원 상부에 유입되는 강의 위치가 바뀌면서 형성된 여러 개의 로브(lobe)로 구성되기도 한다.



▲ 미시시피강 삼각주 복합체의 로브들



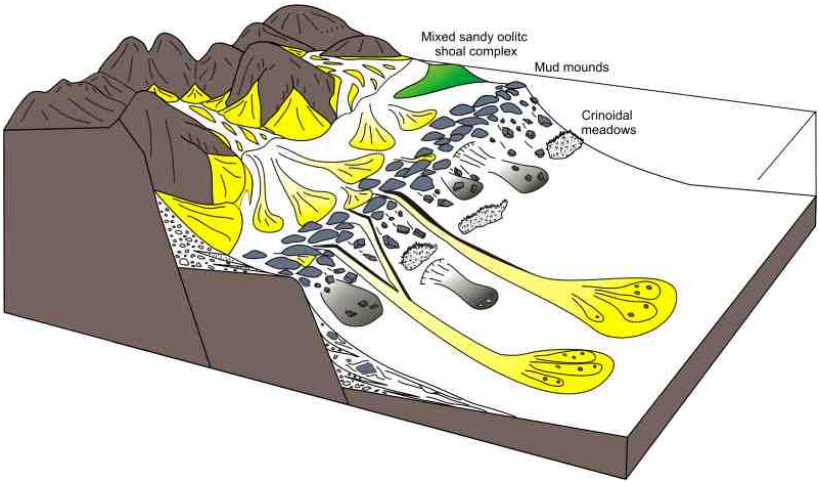
▲ 삼각주 평원, 삼각주 전면, 전 삼각주의 모습

구조적인 운동으로 지형의 기복이 매우 심할 경우, 선상지는 호수나 해양으로 곧바로 전진하여 삼각주를 형성하기도 하는데, 이를 선상지-삼각주라고 한다.

우리가 공부하는 격포분지는 중생대 백악기 단층으로 형성된 호수에 퇴적물이 유입(선상지-삼각주)되어 형성되었다. 퇴적물이 공급되면 퇴적물의 무게로 인해 새로운 단층이 성장하기도 하면서 퇴적 중인 지층을 변형시키기도 한다. 격포분지의 경우 다양한 퇴적과정으로 운반되어 쌓여 300m가 넘는 퇴적층을 형성하였다.



▲ 선상지-삼각주의 모습



▲ 선상지-삼각주의 모식도

8. 페퍼라이트(peperite)

페퍼라이트는 화성암편*(암편=암석 조각, 화성암편=화성암 조각)*을 포함한 퇴적암이다. 프랑스의 중부 지방에서 처음으로 발견되어 학계에 보고된 특이한 암석이다. 이 암석은 어두운 색의 현무암편이 바탕을 이루는 밝은 색의 석회암 사이에 들어있어 마치 스프에 뿌려 놓은 후추(pepper)처럼 보여서 페퍼라이트(peperite)라고 불렀다고 한다. 현재 페퍼라이트라는 말은 **마그마와 물밑에 놓인 퇴적물의 상호작용에 의해 만들어진 암석**을 가리키는 말로 사용되고 있다. 뜨거운 용암이 차가운 물속으로 들어가면서 급냉에 의해 용암이 크고 작은 많은 조각으로 깨져 형성된 암석은 유리쇄설성암(hyaloclastite)이라고 하는데, 생성과정은 페퍼라이트와 비슷하지만 생김새는 다르다. 유리쇄설성암은 페퍼라이트와 달리 퇴적물이 거의 없이 용암의 파편으로만 구성되어 있기 때문이다.

페퍼라이트가 만들어지는 과정을 이해하기 위해 다음과 같은 상황을 상상해보자. 지표면에는 퇴적암이 가장 많은데, 그것은 암석의 풍화, 침식, 운반, 퇴적이 보통 지하가 아닌 지표면(또는 물속)에서 일어나기 때문이다. 지구 표면 어딘가에 그와 같은 과정에 의해 만들어진 퇴적물이 있다. 물밑에 있는 퇴적물의 공극에는 물도 상당한 양이 포함되어 있다. 즉, **많은 양의 물을 포함한 퇴적물**이 물밑에 있다.

한편 그 퇴적물이 있는 퇴적분지 근처의 지하에서는 **마그마**가 지각의 약한 부분을 따라 올라오고 있다. 마그마는 계속 상승하다가 분출하여 지표를 흐르는 용암이 된다. 용암이 물로 들어가 드디어 이 퇴적물과 만난다. 액체 상태인 용암이 퇴적물이 깔려있는 물밑에서 퇴적물과 만난다. 아직 굳지 않은 퇴적물은 뜨거운 용암과 갑자기 만나면서 난리가 일어난다. 한동안 급격한 소동이 일어나면서 용암이 급냉되면서 모서리가 뾰쪽한 알갱이가 되고, 알갱이 사이에는 퇴적물이 자리를 잡게 되면서 물밑에 가라앉는다. 즉 퇴적물과 용암의 조각(암편)이 한데 뒤엉켜 범벅이 된 상태로 가라앉게 되어 마그마 기원의 물질과 퇴적물이 섞인 이상한 모양의 퇴적물이 탄생한 것이다. 이 퇴적물이 묻혀서 오랜 시간이 지나서 암석으로 변한 것이 바로 페퍼라이트이다.

결론적으로, 페퍼라이트는 지표로 분출한 용암이 젖은 퇴적물과 접촉하는 경우에

만들어진다. 페퍼라이트는 세계적으로 그리 흔하게 나타나는 암석이 아니며, 우리나라에서는 변산반도 죽막리 해안에서 모양이 가장 잘 나타나는 암석을 볼 수 있다. 처음 발견되었던 프랑스 중부에서는 밝은색 퇴적암에 검은 현무암이었지만, 죽막의 페퍼라이트는 어두운색 퇴적암에 밝은 유문암의 조합이다. 바로 옆에서는 페퍼라이트를 만든 마그마가 만든 유문암 주상절리도 볼 수 있다.



▲ 변산반도 죽막리의 페퍼라이트

Ⅰ. 진도 울돌목

울돌목은 길이 약 1.5km, 폭은 가장 좁은 곳이 300m 정도인 명량해협의 다른 명칭이다. 밀물 때 남해의 해수가 서해로 빠져나가는 길목인 좁은 울돌목을 지나며 빠르게 흐르게 된다. 조류가 암초에 부딪혀 튕겨 나오는 소리가 커 바다가 우는 소리와 같다고 하여 울돌목이라 불린다.

'철거 위기' 세계 최대 울돌목 조류발전소 '재가동'

지자체와 갈등으로 철거위기를 처했던 세계 최대 규모의 조류(潮流)발전소인 울돌목 조류발전소가 재가동 된다. 전남도는 16일 충무공 이순신 장군의 명량대첩 얼이 서려 있는 울돌목에 설치된 조류발전소가 진도군의 공유수면 사용 연장조치에 따라 2018년말까지 가동할 수 있게 됐다고 밝혔다. 진도군은 지난해 10월, 5년간의 사용 기간이 만료됐다며 철거 명령을 내렸으나 최근 연장을 허가 했다.

이 발전소는 지난 2005년 착공, 4년여 공사끝에 2009년 5월 완공됐으며 143억원이 투입됐다. 500㎾급 2기가 울돌목을 가로질러 설치됐으며 수면 위 발전시설을 포함해 가로 16m, 세로 36m, 높이 48m에 무게만 1천t 규모로 세계 최대다.

조류발전소는 빠른 물살(潮流)로 터빈을 돌려 전기를 생산하는 신재생 에너지 시설로 세계적으로 노르웨이 등 유럽 일부에서만 개발이 추진 중이다. 해남과 진도를 잇는 울돌목은 해협 폭이 300여m로 유속이 초당 4.8~6.2m로 국내 해협 중 가장 물살이 빠른 곳 중 하나다. 울돌목 발전소는 400여가구가 1년 동안 사용할 수 있는 규모(1천㎾급)로 시험운영 뒤 증설을 거쳐 올해부터 9만㎾의 전기를 생산할 계획이었다.

하지만, 지난 2011년 조류발전소 실용화 용역결과 기술 우수성은 인정되지만, 사업 경제성이 낮은 것으로 분석되면서 연장 필요성에 대한 논란이 일었다. 또 해상안전사고 위험, 녹진관광지 경관 저해, 주민반발 등이 일면서 진도군이 연장을 불허했다. 앞서 전남도도 발전소 철거 지시를 통보했다. 이 과정에서 사업 시행처인 한국해양과학기술원이 제2차 국책사업인 능동제어형 기술개발(260억원) 사업 시행 등을 이유로 사용 연장을 강력히 주장하는 등 갈등을 빚었다.

한국해양과학기술원은 2억5천만원을 들여 시설물 태풍피해복구, 고장 발전기 수리 및 외관경관 복구 등을 약속, 사용 연장을 이끌어냈다. 한편, 능동제어형 조류발전 기술 개발은 물의 방향, 유속변화, 유속량 강화 제어기법 등을 통해 적용범위가 넓은 조류발전 시스템을 개발하고 성능평가 및 표준모델을 제시하는 사업이다. 전남도 관계자는 "조류발전소는 빠른 조류, 간만의 차 등 지역 특성을 활용한 것으로 신재생 에너지 산업의 초석이 될 것으로 기대하고 있다"고 말했다.

(진도=연합뉴스) 송형일 기자

Ⅱ. 해남 우항리

1. 우항리층의 지질

우항리층의 위치

우항리층의 노두가 가장 잘 나타난 곳은 해남군 황산면 병온리, 우항리, 신성리 지역으로 과거에는 해남만의 남쪽이었으나 지금은 물막이 공사로 육지로 변했다. 목포에서 해남사이에는 영산강하구언 공사로 인하여 바다가 모두 육지로 변하는 대변화가 있어서 목포에서 공룡화석지까지 1시간 약간 넘으면 도착할 수 있다.

해남 분지의 지질

해남 분지는 옥천습곡대와 영남습곡대 사이에 분포하는 백악기 퇴적분지 중 가장 남쪽에 분포하며, 해안선을 따라 노두가 발달되어 있어서 분지의 규모가 얼마나 되는지 정확히 알 수 없다. 해남 분지 퇴적암체의 표식지는 해남 반도에서 서쪽으로 뻗은 화원 반도의 중간 부분에 있다. 화원 반도의 북쪽 해남군 황산면 병온리에서 신성리까지 약 5km의 해안에는 횡적으로 연장성이 매우 좋은 우항리층의 노두가 잘 발달되어 있다.

해남 분지는 선캄브리아시대의 편마암류와 쥐라기 화강암을 기반암으로 발달하였으며, 중성 화산암 형성된 후 퇴적암이 형성되었다. 해남 분지의 층서는 안산암질 응회암, 우항리층, 황산 응회암, 진도 유문암이며, 우항리층의 두께는 약 350m 정도이다. 우항리층은 1970년 초 유질 셰일(oily shale)에 석유가 들어 있다는 사실이 전해지면서 관심을 받았으며, 1976년 이대성과 이하영에 의해 지질학적 연구가 처음 수행되었다. 그 후 석유지질학적 연구와 우항리층의 퇴적작용과 퇴적 환경에 대해 연구(박정웅, 1984; 전승수, 1990)되었다. 최근에는 공룡 발자국과 새발자국, 익룡 발자국이 산출되어 고생물학적 관점의 연구(허민, 1997)가 수행되었다

해남군 황산면 일대에 분포하는 암석은 중생대 백악기에 활발한 화산활동에 의해 형성되었다. 이 암석은 경상 분지의 유천층군에 대비되며 이곳에는 중생대 백악기에 육성 퇴적 분지인 해남 분지가 있었다. 해남 분지는 화산대에 분포하였기 때문에 화산활동에 의해 많은 퇴적물이 공급되었다. 해남 분지의 경계는 어디인지 확실하지 않으나 화원 반도와 목포, 진도 일대를 포함하는 비교적 큰 분지였을 것으로 추정된다. 퇴적암은 하성환경, 선상지, 선상지-삼각주(fan-delta), 호성환경에서 형성

되었다. 분지 주변에는 선상지-삼각주가 발달하여 비교적 조립질 쇄설물이 분지로 공급되어 역암이 쌓였으며, 분지 중심부인 호수에서는 세립질의 셰일과 셰일에 협재하는 사암이 형성되었다. 퇴적암층 사이에는 층리가 발달된 처트층, 석회질 이암이 부분적으로 협재한다. 우항리층은 폭발적인 화산활동에 의해 두꺼운 화산재가 공급되면서 형성된 응회암층이 호수를 메우면서 분지의 생명은 끝난다. 이 후 화산활동과 관련된 열수용액의 충진으로 주변에 옥매광산, 부곡 광산과 같은 명반석 광산이 배태되었다.



2. 선상지-삼각주계(Fan-delta System)

선상지-삼각주(Fan-delta)라는 용어는 1965년 Holmes가 처음으로 지형학적인 용어로 사용하였다. Holmes는『지형적으로 고지(highland)에서 전진한 충적 선상지가 호수나 바다와 같은 정체된 물로 직접 들어간 것』으로 선상지-삼각주라는 개념을 처음으로 제안하였다. 그 후 여러 학자들에 의해 선상지-삼각주에 대한 정확한 개념에 관한 논의가 있었으나, Nemec과 Steel(1988)은 다음과 같은 정의를 제안하였다. 선상지-삼각주는 선상지에 의해 공급된 퇴적물이 활동적인 선상지와 정체된 물의 경계부에 퇴적-대부분이 물 아래-된 연안(바다나 호수) 퇴적체이다. 선상지-삼각주는 퇴적물 공급이 활발한 충적 선상지와 호수나 바다의 상호작용에 활발함을 나타낸다. 이러한 형태의 퇴적체는 부채꼴 모양으로 나타난다. 선상지-삼각주라는 용어 사용에 주의할 것은 부채꼴 모양의 삼각주(Fan-shaped delta) 가 아니라는 것이다.
Ethridge & Wescott(1984)는 분지 주변 사면을 따라 발달된 선상지-삼각주를 3가지로 구분하였다.

(1) 대륙붕형 선상지-삼각주(Shelf-type fan delta): 매우 넓은 전면 삼각주 퇴적물(delta-front deposits)이 특징이며, 대륙붕에 많은 퇴적물이 쌓인다.
(2) 사면형 선상지-삼각주(Slope-type fan delta): 삼각주 전면 퇴적물의 발달이 적고, 사태 등에 의해 사면 이암층으로 급격히 전이되며, 삼각주 평원까지 해저 하도가 발달하며, 전삼각주 지역(prodelta area)에는 저탁류에 의한 이질의 퇴적층이 특징이다.
(3) 길버트형 선상지-삼각주(Gilbert-type fan delta): topset, foreset, bottomset의 특징을 가지며 분지 주변의 오목한 곳을 채우거나 대규모의 사태에 의해 형성된 낮은 곳을 채우면서 형성된다. 길버트형 선상지-삼각주는 확장하는 분지나 주향 이동성 분지(extensional or strike-slip basin) 의 단층 경계를 따라 주로 발달한다.

선상지-삼각주 퇴적물의 특징
선상지-삼각주에서 형성된 퇴적물은 아래와 같은 특징을 갖는다.

ⓐ 조립질이다(Coarse-grained deposits)
ⓑ 비교적 경사가 급하나(steep slope), 공급지에서 전 삼각주 방향으로 갈수록

경사가 작아진다. 전 삼각주(prodelta)와 분지 평원(basin plain)에서는 경사가 거의 없다.

ⓒ 퇴적물 입자의 크기 변화가 크다(rapidly variation of grain size).

ⓓ 하도 퇴적물(channelized deposits)과 비하도성 퇴적물(unchannelized deposits)이 산출한다.

ⓔ 수면 위에서 형성된 퇴적물(subaerial deposits)과 수면 아래서 형성된 퇴적물(subaqueous deposits)이 같이 산출한다.

ⓕ 사태와 미끄러짐(Sliding, slumping)에 의한 퇴적물이 산출된다.

선상지-삼각주계의 주요 퇴적상

선상지-삼각주는 급경사면에서 퇴적물이 공급되기 때문에 쇄설류(debris flow)가 우세하며, 이들은 선상지 상부에서 특히 우세하다. 선상지 상부 표면에서는 특히 망상 하천에 의한 퇴적물의 형성이 우세하며 하부로 갈수록 판상류(sheet flood)에 의한 퇴적작용이 우세하다. 선상지-삼각주 퇴적물에서 잘 관찰할 수 있는 퇴적상은 다음과 같다.

퇴적상 Gm : 괴상(massive) 혹은 희미한 층리를 보이며, 모래 기질에 역들이 서로 맞닿아 있거나(clast-supported), 무기질(無基質, openwork) 조직을 보인다. 역들은 장축이 유향에 직각으로 놓인 것이 많다. 이 퇴적상은 홍수기 때 역질 사주(gravel bar)의 표면에서 역들이 밑짐으로 운반 퇴적되고, 이후에 유속이 줄면서 모래가 역들 사이를 채움으로써 형성된 것이다. 무기질 조직은 모래가 제대로 채워지지 못한 경우이다. 장축이 유향에 직각인 것은 역들이 밑짐으로 굴렀음을 지시한다.

퇴적상 Gms : 괴상의 구조를 보이며, 역들은 이질(mud)의 기질에 의해 지지되어 있는 조직을 보인다. 이 퇴적상은 육상의 쇄설류에 의해 퇴적된 것이다.

퇴적상 Gt : 곡사층리(trough cross-bedding)를 보이는 역암으로 망상 하천 내에 분포하는 소규모 하도에서 형성된 것이다.

퇴적상 Gp : 평행 사층리(planar cross-bedding)를 보이는 역암으로, 역질 사주의 이동에 의해 형성된 것이다.

유수에 의한 퇴적상 Gm은 하류로 갈수록 점차 평행 사층리를 보이는 퇴적상(퇴적상 Gp)으로 변해 가는데, 이것은 유수의 운반력이 하류로 갈수록 줄어들고, 입도에 비해서 수심이 깊어지기 때문이다. 층리를 보이는 사암과 괴상 혹은 층리를 보이는 이암이 하류에서 협재되기도 한다.

쇄설류에 의한 퇴적상 Gms는 아건조 기후 및 빙하 지역의 선상지 퇴적물에 특징적으로 분포하며, 이는 급경사 지역, 초목이 없어 기반암이 보호되지 않는 환경, 짧은 기간에 많은 양의 물이 공급되는 기후 지역, 그리고 자갈과 세립 퇴적물이 동시에 공급되는 지역에서 잘 발달한다. 일반적으로 쇄설류는 계곡을 따라 내려와 선상지의 꼭지점(fan apex)에서 급격히 팽창하여 로브(lobe) 형태로 퇴적된다. 로브의 말단부에서는 조립질 역암이 몰려서 주위보다 볼록한 지형을 보인다. 이 퇴적상은 층리가 발달하지 않고, 괴상이나 역점이층리 및 점이층리를 보인다. 유수에 의한 퇴적상에 비해서 비늘 배열(Imbrication)은 잘 발달하지 않으며, 일부 점성이 우세한 쇄설류에서는 장축이 상류 방향으로 기울어진 비늘 배열이 발달하기도 한다. 쇄설류는 진행 도중 흐름의 특정이 달라지거나, 뒤따라오는 유수에 의한 퇴적 또는 재동작용을 받아서 역암과 사암의 교호층을 만들기도 한다.

길버트형 선상지-삼각주(Gilbert-type fan delta)

길버트형 삼각주는 퇴적물의 생성률이 매우 높고, 전진이 빠른 퇴적계이다. 길버트형 삼각주는 경사가 거의 없는 표면층, 경사가 매우 급하게 발달된 전면층, 경사가 점차 작아져 접선 모양으로 발달된 기저층으로 구성된다. 길버트형 삼각주는 1885년 Gilbert에 의해 호수 주변 퇴적체에서 맨 처음 발견되어 보고되었으며, 이 후에 선상지-삼각주의 활발한 연구 결과 바다에 유입된 경우에서 많이 발달된 것으로 보고되었다. 우리나라에도 백악기 퇴적분지인 진안 분지, 해남 분지, 격포 분지와 신생대 포항 분지에도 길버트형 삼각주가 발달하였다.

오늘날 길버트형 삼각주의 형태가 가장 잘 나타나는 곳이 Pleistocene에 형성된 남부 Italy의 Crati Basin의 길버트형 삼각주이다. 이 분지에 발달된 길버트형 삼각주는 조립질의 자갈로 주로 구성되며 세립질 입자가 매우 적다. 따라서 대부분의 퇴적물은 기질이 조립질 모래인 자갈층을 이루어져 있다. 해남 분지의 신성리 단면에는 조립질 모래에 의해 형성된 길버트형 삼각주가 산출한다.

읽을거리 *익룡(Pterosaur)*

익룡은 중기 트라이아스기에서 말기에 출현한 것으로 날개를 퍼덕거리며 진정한 비행을 한 최초의 척추동물이었다. 익룡의 화석은 트라이아스기 말부터 백악기 말에 이르는 약 14000만 년 이상 기간의 생태학적 영역을 이해하는데 도움을 준다.

다양한 형태로 산출하는 화석으로 보아 익룡은 물고기, 곤충은 물론 과일까지 먹이로 이용하였던 것으로 보인다.

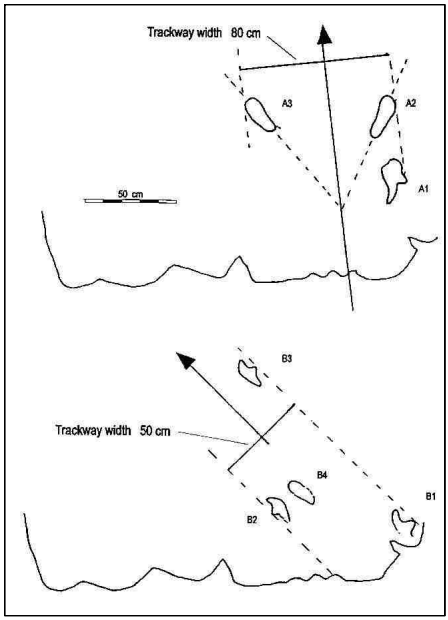
익룡에 관한 내용은 200년이 넘는 연구에도 불구하고 대부분이 아직도 논쟁 중에 있다. 비록 막의 형태와 구조에 대해 논쟁 중이지만 익룡이 막 모양의 날개를 가지고 날개를 퍼덕거리며 날았다는 것이 현재 일반적으로 받아들여지고 있다. 몇몇 학자들은 그 막이 앞쪽과 뒤쪽 날개가 연결된 길다란 것이었다고 주장하는 반면 다른 학자들은 이 막이 앞쪽에만 제한해 연결되어 있었다고 주장한다. 익룡의 육상생활 능력에 대해 꽤 오랫동안의 논쟁이 있었으나, 새로운 화석과 흔적들로 이들이 육지에서 평평한 네 발을 가지고 생활했다는 것을 보임으로서 이 문제가 거의 해결되었다.

익룡이 발견된 지리적 위치는 매우 편중되어 있다. 17세기 후반부터 1960년대 초반까지 실질적으로 모든 화석들은 서부 유럽(주로 우크라이나와 독일)과 미국에서 발굴되었다. 지난 30년 동안 다른 대륙에서 발견된 것은 카자흐스탄(*Sordes pilosus*)과 중국 신장성(*Dsungaraipterus wei*)을 포함하여 중요한 신종들이 아시아에서 발견되었다.

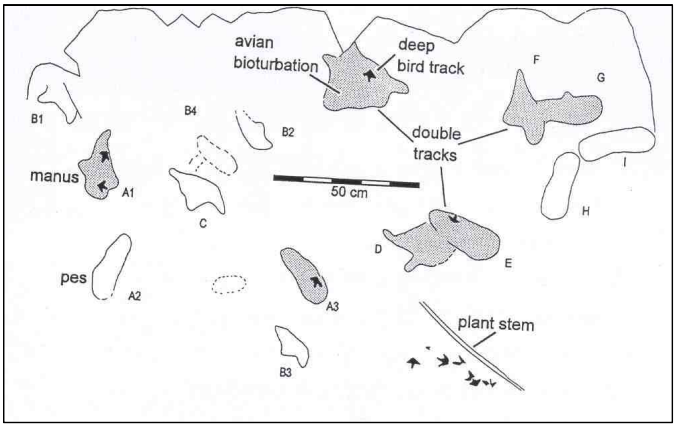
해남 우항리층에서 발견된 익룡 발자국 화석은 상부 백악기 호수 퇴적층에서 발견되었다. 종류는 *Pteraichnus Pteraichnid*로 확인된 다른 흔적과 비슷하다. 발자국 수는 약 30개이며, 공룡과 새 발자국과 함께 산출된다는 점이다. 우항리 발자국은 여러 면에서 중요하다. 첫째는, 아시아에서 첫 번째로 발견된 점이다. 둘째로, *Pterodactyloid* 가 2족 보행이 아닌 4족 보행으로 진화했다는 점이다. 셋째는 현재까지 발견된 가장 큰 익룡발자국이다. 넷째는, 크기, 형태, 진화 방식의 모든 점에 있어서 나는 척추동물인 새와 익룡의 생태적 역할이 다르지만, 같은 서식지에 함께 있었다는 확실한 증거가 발견된다는 점이다.

한편, 아시아 익룡 화석 기록의 주목할 만한 특징은 육성 퇴적물에서 다수의 발견이 이뤄졌다는 것이다. 반대로 대부분의 유럽 익룡들은 해양이나 해안 환경에서 발견되었고 아메리카도 마찬가지이다. 그러므로 아시아 익룡들은 지금까지 거의 알아내지 못했던 익룡 진화 역사와 중생대 육상 척추동물군에서의 그들의 역할을 평가하는데 중요한 기회를 제공해 준다. 근대의 조류와 비교에 의하면 육상 환경에서 살았던 익룡은 해양과 해안 환경에 서식했던 것들과 형태와 생태에서 상당히 달랐음을 예측할 수 있다. 그러나 이러한 형태는 아시아의 익룡 화석 기록에서는 보이지 않는다. 오히려 그들의 생태와 형태 측면에서 대부분의 익룡들은 해안이나 해안

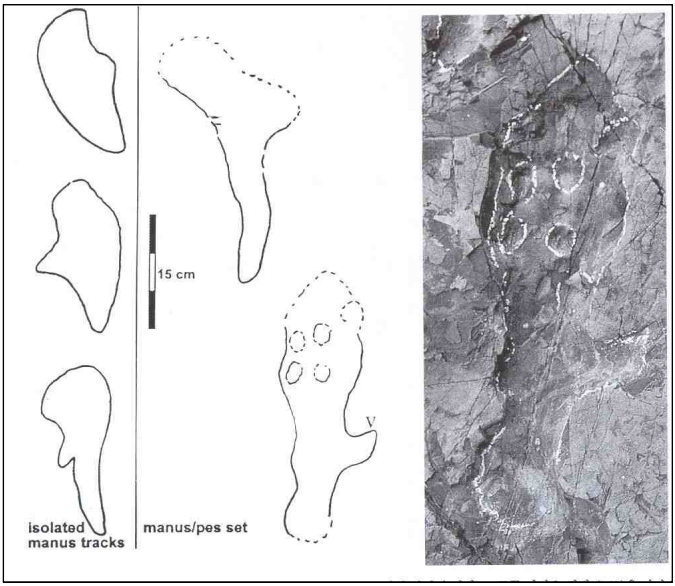
환경에서 발견되는 생물들과 밀접한 관계가 있는 것으로 보인다. 이 층에서는 *Batrachognatus volans*라는 익룡이 함께 산출하였으며, 호수에서 형성된 퇴적층이다. *Sordes*의 날개의 길이는 약 0.6m이며, 비교적 작은 두부와 목, 짧은 날개인 장사방형의 꼬리 보조익을 가진 긴 꼬리, 특히 짧은 장골과 크고 분명한 5번째 발가락이 있는 잘 발달된 날개를 가지고 있다. *Sordes*의 잘 보존된 날개 막은 이 익룡이 앞날개의 측면 가장자리와 몸체의 옆 가장자리 다리 끝부분까지 부착된 광폭의 *cheiropatagium*을 가지고 있었음을 보여준다. 또한 *Sordes*는 후방 날개들 사이에서 길게 뻗어 있고, 그 것의 끝 경계를 따라 5번째 발가락의 측면 경계에 의해 지지되는 넓은 직사각형 모양 막인 *uropatagium*을 가지고 있었다. 아시아에서 발견된 익룡 화석은 카자흐스탄, 우즈베키스탄 등의 중앙아시아와 중국, 몽골, 일본, 인도 그리고 한국에서 발견되었다.



익룡 보행열로 해석된 흔적 화석



주요 익룡 발자국 도면



익룡발자국

3. 우항리

우항리층이 갖는 가장 중요한 지질학적 특징은 지층 속에 많은 퇴적 구조와 생흔화석(trace fossils)이 포함되어 있다는 것이다. 이곳에서 볼 수 있는 퇴적 구조들은 지질학 교과서에 나오는 전형적인 것들이 대부분이며, 현장에서 보게 되면 얼마나 중요한 학습 자료인가를 느끼게 된다. 우항리층에서 관찰할 수 있는 대표적인 구조는 대칭형 물결자국, 사층리, 불꽃 구조, 뜯겨 들어온 암편, 퇴적 동시성 변형 구조, 쇄설성 암맥이며 단층이 많이 발달되어 있다. 최근에는 셰일과 협재하는 사암층에서 공룡 발자국 화석과 익룡 발자국 화석, 세계에서 가장 오래된 물갈퀴가 있는 새 발자국 화석 등이 산출되어 학계의 비상한 관심을 끌고 있다.
우항리층을 체계적으로 관찰하려면 동쪽에 있는 병온리에서 서쪽으로 가면서 보는 것이 좋다. 병온리 해안은 우항리층의 최하부층으로 가장 입자가 큰 역암으로 주로 구성된다. 우항리와 우항포 지역은 셰일과 사암이며 병온리에 비해 호수의 중심부에 해당된다.



우항리 지역에 분포하는 우항리층의 모습

3.1. 해남군 황산면 우항리 해안

◎ 주 구성 암석 : 응회질 사암, 셰일

◎ 주 관찰 대상 : 공룡 발자국, 새발자국, 익룡 발자국, 탄화목, 규화목, convolute bedding, 점이층리, 층리, 단층, 물결자국

◈ 퇴적암의 층리는 잘 발달되어 있는가?

◈ 수직 절벽에 보이는 층리면이 오목하거나 볼록하게 나타난 곳이 있는가? 규칙성은 있는가?

◈ 물결 모양으로 나타나는 구조의 파장, 파고 등을 측정해 보자.

◈ 공룡 발자국 화석을 관찰하고 여러 가지 느낀점을 토론해 보자.

◈ 공룡 발자국의 크기, 보폭, 발자국의 모양 등을 관찰하고 기록해 보자.

◈ 익룡의 발자국을 측정하여 스케치하여 특징을 이야기해 보자.

◈ 새발자국을 측정하여 스케치하여 보고, 특징을 이야기해 보자.



세계에서 가장 오래된 물갈퀴가 있는 새발자국 화석



평행사층리(planar cross-bedded) 가 발달된 사암



대칭형 물결자국(symmetrical ripple mark)

3.2. 해남군 황산면 우항포 해안

◎ 주 구성 암석 : 응회질 사암, 셰일, 처트, 석회질 이암
◎ 주 관찰 대상 : 층리, 단층, 불꽃 구조, 뜯겨 올라간 암편, 석회질 이암, 처트

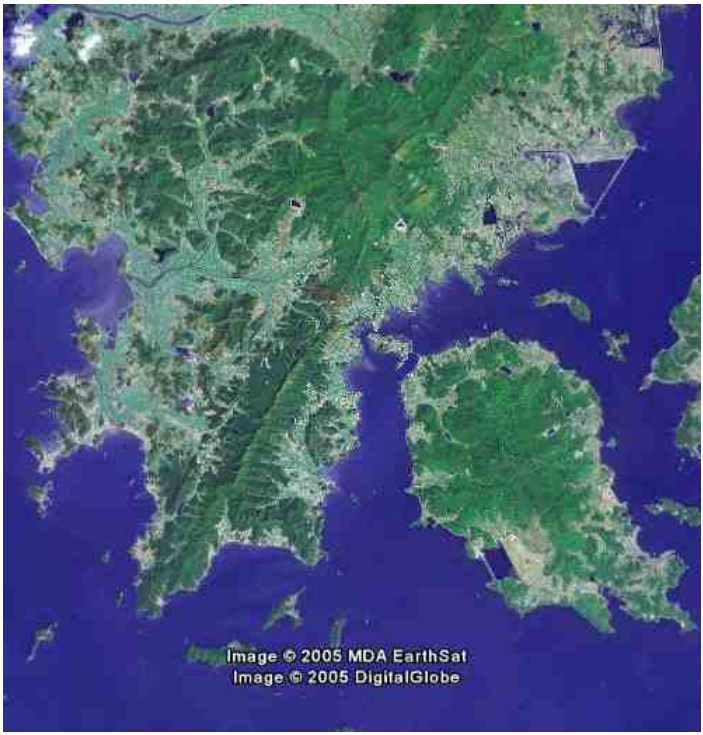
◈ 퇴적암의 층리는 잘 발달되어 있는가?
◈ 수직 절벽에 보이는 층리면이 불규칙하게 배열되지 않았는가? 오목하거나 볼록하게 나타난 곳이 있는가? 규칙성은 있는가?
◈ 여러 모양으로 나타나는 불꽃구조를 자세히 관찰·스케치 해 보자.
◈ 단층면을 따라 발달된 특징은 무엇인가?
◈ 셰일과 사암의 암상 변화가 뚜렷하게 나타나는 이유는 무엇일까?
◈ 셰일과 사암, 처트의 색은 왜 뚜렷하게 다를까?
◈ 처트(chert)는 어떻게 형성되었을까? 화석이 들어 있을까?
◈ 사층리를 자세히 관찰하여 특징을 자세히 기재하고 횡적으로 어떤 변화를 보이는지 알아보자. 변화가 있다는 어떤 의미를 갖는지 토의해 보자.



액화현상으로 형성된 불꽃구조

Ⅲ. 한반도 땅끝에서 본 리아스식해안

땅끝은 한반도의 최남단을 가리키는 말이다. 땅끝에는 마지막 봉우리인 사자봉이 둥지를 틀면서 백두대간을 따라 내려온 기상이 길게 숨을 내쉬며 발을 멈추고 마지막 한 획을 찍는 곳이라고 표현한다. 이곳에는 조선 초에 설치되어 고종 때 폐지된 봉수대가 있었다. 동쪽에 있는 봉태산과 서쪽의 관두산을 이어주는 역할을 오랫동안 했던 곳이다. 사자봉 전망대는 최근 해남군에서 땅끝을 찾는 관광객을 위해 세웠으며, 이곳에서 바라본 다도해와 리아스식 해안은 우리나라 서해안이 침강해안임을 알려준다.



해남군 토말리 해안 자료

자료출처 : 해남군 문화관광과(http://www.haenam.jeonnam.kr)

Ⅳ. 완도 구계등 해안

1972년 7월 24일 명승 제3호로 지정되었다. 활모양의 해안선을 따라 오랜 세월 파도에 깎여 자연스러운 아름다움을 간직한 자갈밭이 장관이다. 구계등이란 명칭 유래는 알 수 없으나 파도에 밀려 표면에 나타난 자갈밭이 9개의 계단을 이루어 구계등이라 불린 듯하다.



자갈밭 너비는 83m이고 약간 급경사를 이루었다. 수중으로 연장은 약 750m로 자갈밭을 양편에서 감싸는 형세이다. 자갈밭의 갯돌(청환석)은 밤알만한 것부터 다양한 크기가 있으나 겉은 매끈하다. 자갈밭의 모양도 큰 풍파가 있을 때마다 쓸려서 수중으로 들어가 버렸다가 다시 해안으로 올라오기를 되풀이하기 때문에 전개 양상도 그때마다 다르다.

해변의 뒤쪽에는 해송을 비롯하여 감탕나무·가시나무 등 남부 특유의 상록수와 태산목·단풍나무 등이 해안선을 따라 안정감 있게 펼쳐졌다. 신라 흥덕왕 3년 해상왕 장보고가 청해진을 설치하였을 때 주민들로부터 구계등이 있다는 사실을 알게 되었다고 한다. 이후 궁중에서 이 지대를 녹원지로 봉하였다.

"완도 구계등 갯돌 돌려주세요"[동아일보 2005-06-20]

전남 완도군 완도읍에서 서남쪽으로 4km 정도 가다보면 아름다운 갯돌 해변 구계등이 펼쳐진다.

그러나 구계등은 수년간 갯돌이 밀반출되면서 군데군데 모래가 드러나고 해초가 자라는 등 제 모습을 잃어갔다. 이런 구계등이 각계의 '갯돌 되돌려놓기 운동'에 힘입어 옛 모습을 찾아가고 있다.

몇 년 전만 해도 멋진 풍광을 자랑해온 구계등은 '원형탈모증'에 걸린 것처럼 흉한 모습이었다. 주민들이 건축용 등으로 사용하기 위해 가져가고 관광객들도 호기심에 하나 둘씩 호주머니에 넣어갔기 때문. 또 차량을 이용해 대량으로 밀반출하는 사례까지 잇따랐다.

V. 목포자연사박물관

자연사관(7개 전시실) - 2004년 9월 개관.

- 기증품전시실 : 2006년 1, 2월은 나비 기증품 전시 중
- 중 앙 홀 : 디플로도쿠스, 알로사우루스, 트리케라톱스 등 골격 16점 전시
- 지 질 관 : 화석, 광물, 보석, 운석 등 690점 전시
- 육상생명1관 : 포유류 박제, 두개골, 인간 골격 등 160점 전시
- 육상생명2관 : 식물, 곤충표본, 곤충호박, 화석 등 6,324점 전시
- 수중생명관 : 어류, 상어, 고래골격 등 440점 전시
- 지역생태관 : 민물어류 수족관, 갯벌디오라마, 갯벌서식 생물 건조표본 등 1,705점 전시

자연사박물관 관람 팁.

※ 자신이 가장 관심을 가지는 분야를 선택해서 집중하는 것이 좋겠죠?

※ 추천 1순위-지질관, 추천 2순위-수중생태관



[심화 자료] 우리나라의 백악기 퇴적분지

우리나라의 백악기 퇴적암은 경상 분지를 중심으로 한반도의 남동쪽에 주로 발달되어 있으며, 비교적 규모가 작은 퇴적체는 옥천습곡대를 따라 분포한다. 백악기 퇴적암의 층서는 경상누층군으로 명명된 경상분지 퇴적암체를 기준으로 한 층서를 사용한다.

시대	층군		대구-경주		경남지역
백악기	경상누층군		불국사 관입암		
		신라층군	유천화산암		
			건천리층	하양층군	진동층
			채약산화산암		
			송내동층		함안층
			반야월층		
			학봉화산암		
			팔달역암		팔달역암
		낙동층군	칠곡층		칠곡층
			동명층	신동층군	동명층
			하산동층		하산동층
			연화동층		연화동층

소규모 분지들은 대부분 옥천습곡대와 선캄브리아시대의 암석으로 구성된 육괴 사이의 주향이동단층계에서 형성된 분지이다. 경상분지 퇴적암의 총 두께는 약 10km로서 충적 선상지, 하성환경 및 호성환경에서 형성되었다. 경상누층군의 층서는 화산활동의 영향을 받지 않은 신동층군, 화산활동에 의해 공급된 퇴적물을 포함하는 하양층군, 그리고 화산쇄설물과 화산암으로 구성된 유천층군으로 분류한다.

한반도 중남부에는 북동-남서 방향으로 발달하고 있는 옥천습곡대의 양쪽 경계부를 따라서 비교적 규모가 작은 여러 개의 백악기 육성 퇴적분지가 분포한다. 옥천습곡대 주변부의 백악기 퇴적분지는 중생대 트라이아스기부터 쥐라기까지 활동한 것으로 알려진 연성전단대가 백악기에 주향이동단층의 재활성으로 형성된 인리형 분지(pull-apart basin)의 특징을 갖는 것으로 보고되었다. 경기육괴와 접하는 옥천습곡대의 북서쪽 경계부에는 풍암분지, 음성분지, 공주분지, 부여분지, 격포분지가 발달되어 있으며, 영남육괴와 접하는 옥천습곡대의 남동쪽 경계부에는 영동분지, 무주분지, 진안분지, 능주분지, 해남분지가 발달되어 있다.

백악기 소분지의 퇴적암은 대부분이 조립질 역암이 매우 두껍게 산출하며, 상부로 갈수록 사암, 셰일로 변화하는 상향세립화의 특징을 나타낸다. 퇴적 환경은 충적 선상지, 하성환경, 호성환경으로 진화하며, 일부는 선상지-삼각주 환경을 보이기도 한다. 퇴적암과 기반암과의 경계는 단층이나 부정합으로 접한다. 주향이동단층운동과 관련된 퇴적분지의 형태는 북서쪽 경계부에 발달된 분지는 인리형 분지의 특징

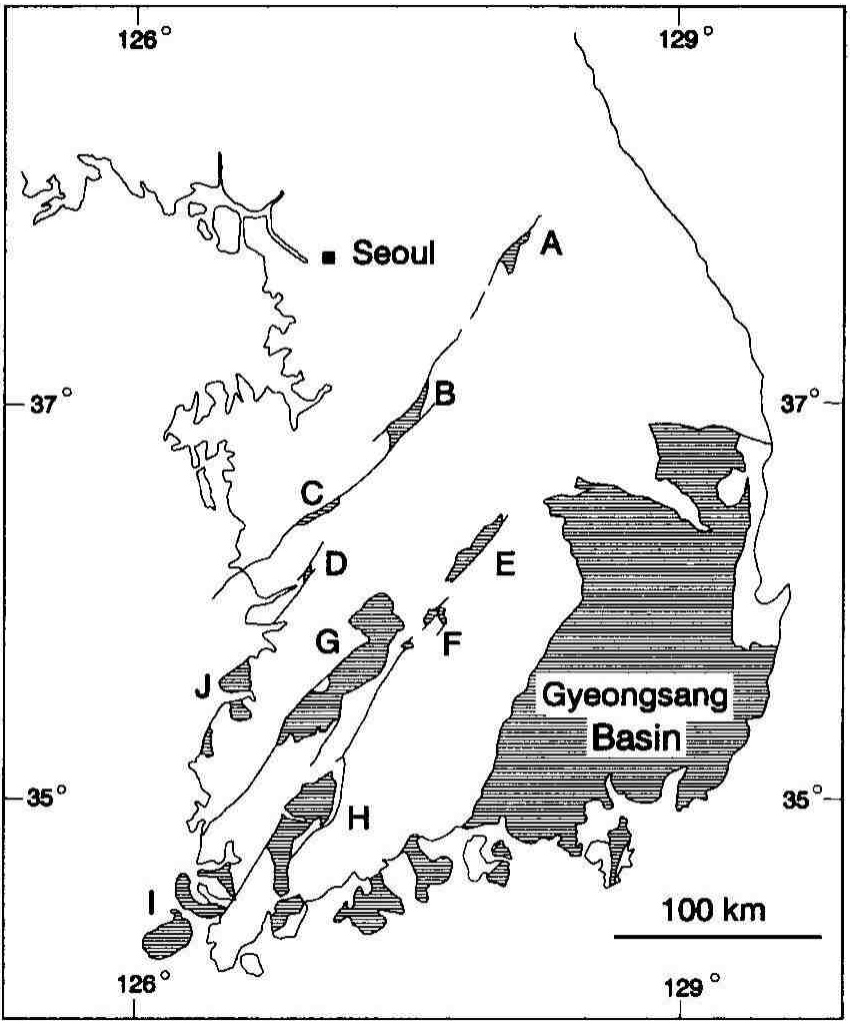
이 잘 나타나지만 남동쪽에 분포하는 분지에서는 잘 나타나지 않는다.

한반도 남쪽의 백악기 경상누층군에 대비되는 퇴적암은 한반도 북쪽에도 소규모의 퇴적분지로 산출된다. 북한 지역의 퇴적암은 경상누층군의 과거 명칭인 경상계(Gyongsang System)에 대비되는 용어로 대보계(Taebo System)라고 부른다. 대보계는 대보조산운동 이후에 재령강 조산 운동에 의한 단층운동으로 단층대를 따라 퇴적분지가 발달하였으며, 분지에 충진된 조립질의 역암, 사암, 셰일, 이회암으로 구성되며 선상지, 하성 환경 및 호수 환경에서 퇴적되었다. 초기에는 단층운동에 의해 형성된 선상지에 조립질의 역암이 형성되었으며, 점차 분지가 안정되면서 호수 환경으로 변하였다.

한반도에서 가장 심한 지각변동을 일으킨 지구조운동은 선캄브리아시대와 고생대 암석의 변형을 야기한 쥐라기 대보조산운동으로 알려져 있으며, 대보조산운동은 변성작용과 마그마 활동을 동반하였다. 북동-남서 방향으로 배열된 한반도의 백악기 퇴적분지는 유라시아 판의 동쪽에 있는 중국의 분지들의 방향과 매우 유사하다. 현생이언의 유라시아판 경계의 지질은 소규모 판의 충돌과 부착이 계속된 것으로 해석되었다. 중생대에 유라시아판의 동쪽 주변부에는 길쭉한 형태의 비해성 분지가 형성되었다. 후기 페름기에 북중국 암괴와 남중국 암괴의 충돌에 의해 유라시아판의 동쪽 부분은 지구조적으로 하나의 판으로 운동하였고 여러 개의 확장현 분지가 형성되었다.



중생대의 지구조 운동은 Kula-Pacific 판의 북서쪽으로 섭입하면서, 곳곳에서 크고 작은 지괴가 단층운동에 의해 갈라지고, 침강하는 현상이 나타났다. 이러한 현상에 의해 유라시아 대륙의 동쪽 부분에는 중생대에서 신생대 동안에 많은 육성 퇴적분지가 형성되었으며, 선상지에서 하성, 호성 환경 퇴적물이 쌓였다. 이곳에 형성된 퇴적분지는 지괴의 경사가 한쪽으로 치우치는 비대칭형 분지가 대부분이다.



옥천습곡대 주변에 분포하는 백악기 퇴적분지.

A. 풍암분지, B. 음성분지, C. 공주분지, D. 부여분지, E. 영동분지
F. 무주분지, G. 진안분지, H. 능주분지, I. 해남분지 J. 격포분지

한탄강에서 알아보는 한반도의 자연사

박정동(PhD., 승문고)

한탄강(漢灘江)은 한반도 중앙에서 서쪽으로 흘러가는 강으로 이름만큼 큰 강은 아닙니다. 강원도 평강의 분수령에서 두 갈래로 나뉜 물이 하나는 남쪽으로 흘러 한탄강이 되고, 다른 하나는 동-남쪽으로 흐르다 파로호와 춘천을 거쳐 북한강으로 흘러 내려갑니다. 한탄강의 길이는 약 136km로 경기도 연천군 전곡을 지나 도감포에서 북쪽에서 내려온 임진강에 합류합니다. 하나가 된 물줄기는 임진강이라 합니다. 임진강은 서쪽을 향해 흐르다가 한강과 만나 마침내 황해로 들어갑니다(그림 1).



[그림 1] 한반도 중부지방의 물줄기와 한탄강 모습

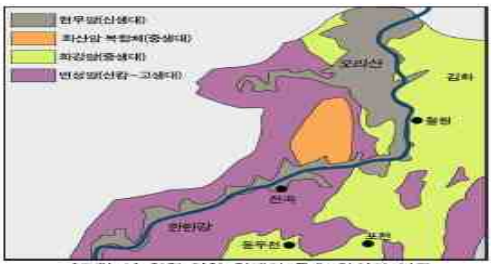
국토가 남북으로 나뉜 우리 민족에게는 연천은 역사와 애환이 담겨있는 곳입니다. 연천에는 DMZ가 있어서 우리 땅의 현실과 안보의 중요성을 느낄 수 있는 곳이기도 합니다. 연천을 가로질러 흐르는 한탄강에는 어떤 자연사가 들어있을까요? 한탄강 주변에는 수 십만년 전 화산이 분출하여 지표에 흘렀던 뻘간 용암이 한탄강을 굽이쳐 내려간 흔적이 생생하게 남아있습니다. 또, 전곡은 한탄강변에서 석기시대의 아슐리안형 주먹도끼(acheulean handaxe)가 발견되어 구석기시대에 생존했던 인류와 인류문화를 이해하는데 중요한 장소로도 잘 알려져 있습니다.

지질학적으로 살펴보면, 약 51만년 전 철원 북쪽, 평강의 오리산 부근에서 발원한 용암은 오목한 분지였던 철원에 고여 평원을 만들고, 더 내려와 전곡에 둥지를 틀다 다시 임진강을 따라 서쪽을 향해 흘러갔습니다. 용암은 좁은 한탄강을 따라 흐르다가 넓은 평지나 분지가 나오면 마치 웅덩이에 물이 고이듯이 모여 평원을 만들었는데 이러한 생생한 지질학적 현상은 철원평야 주변과 연천 전곡에서 확인할 수 있습니다. 화산지질학에서는 용암이 흘러 형성된 평평한 지역은 용암대지(lava plateau)라고 하는데, 이곳도 규모는 작지만 용암대지라고 할 수 있습니다.

이 지역 화산분출 역사를 연구한 과학자들은 약 51~15만년 전, 철원 북쪽 오리산과 검불령 분화구에서 흘러나온 용암은 100km이상 흘러서 문산에 이르렀고, 용암의 두께는 최고 40~50m인 것을 밝혀냈습니다. 용암층은 철원에서는 10여개, 전곡에서는 2~3매 정도가 확인되었습니다. 용암층은 아래에 놓인 암석이나 퇴적층 위에 그대로 쌓였고, 그 흔적은 철원의 대교천과 순담계곡, 고석정, 금신교 부근, 은대리 차탄천에서 확인할 수 있습니다. 용암 절벽을 따라 흐르는 한탄강은 강이 주변 지역 보다 낮은 곳을 흐르는 우리나라에서는 유일하게 협곡(峽谷 canyon)을 이루고 있습니다. 한탄강 협곡의 수직절벽은 다른 곳에서는 볼 수 없는 드문 지형이고, 제주도에서나 볼 수 있을 것으로 생각한 현무암과 주상절리, 폭포, 그리고 용기와 침강으로 만들어진 지질구조를 만나게 됩니다.

최근 전곡일대 현무암에 대한 연구에 의하면 이 곳에는 화학성분이나 광물학적 특징은 거의 같지만 생성시기가 다른 두 개의 현무암이 분포합니다. 현무암에 대한 K-Ar연대측정 결과 아래에 놓인 전곡현무암의 나이는 약 51만년 전이고, 위에 덮여 있는 차탄현무암의 나이는 약 15만년 전입니다(Ryu *et al.* 2001). 돌도끼를 포함하는 토양층은 전곡현무암을 덮고 있는 고토양층에서 출토되었기 때문에 선사유물의 생성연대는 최소 15만년 전에서 최대 51만년 전이라는 것을 지시합니다. 즉 두 용암은 36만년이라는 시간차이를 두고 생성된 것이지요. 두 용암이 나타내는 경계가 뚜렷하게 보이는 곳은 전곡성단에서 서쪽으로 난 373번 도로를 따라 진군아파트 남쪽부터 장진교 북쪽까지 약 1 km에 걸쳐 잘 나타납니다. 두 용암층 사이에 발달한 고토양과 퇴적층은 장진교 서쪽 단면 아랫부분에서 차탄천을 따라 올라가면서 확인할 수 있습니다.

한반도는 언제 생겼을까요? 지질학자들은 한반도가 오랫동안 남중국과 북중국 판덩어리의 한쪽에 자리잡고 있다가 두 대륙이 충돌하던 고생대 말에서 중생대 때 합해져서 한반도가 되었다고 생각합니다. 대륙이 충돌할 때는 지각변동이 일어나는데, 한반도가 생길 때 어떤 일이 있었을까요? 한반도를 이루는 암석에는 한반도가 충돌에 의해 형성된 증거가 남아있는데 그 현장이 바로 임진강-한탄강 부근입니다.



[그림 2] 철원-연천 일대의 주요 암석의 분포



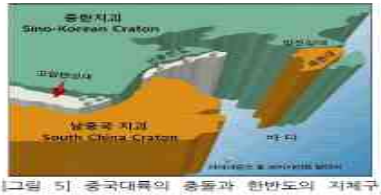
[그림 3] 전곡 주변 한탄강과 자연 탐사 지점의 위치 개념도(다음 지도)

한반도는 지질학적으로 중국대륙과 함께 형성되었고, 한 덩어리로 이동하거나 비슷한 과정을 겪었던 것으로 보입니다. 약 10여년 전 지구상의 모든 대륙은 하나의 초대륙 로디니아(Rodinia)를 이루었으며 로디니아는 약 750Ma(Ma : 백만년 전) 까지 존재하였습니다. 로디니아가 분리되어 곤드와나, 로렌시아, 발티카, 시베리아 등으로 나누어질 때 북중국지괴(중한지괴라고도 함)와 남중국지괴는 곤드와나 대륙에 속해 있었습니다. 당시 곤드와나 대륙의 서쪽에는 **중한지괴(Sino-Korean Craton)**와 **남중국지괴(South China Craton)**라는 커다란 땅 덩어리가 있었습니다. 두 지괴는 이동하여 충돌하면서 습곡산맥을 만들었는데, 그것이 중국의 친링-다비 습곡대(중국 중부)와 수루습곡대(산동반도 남쪽)입니다. 그러면 남중국과 북중국의 충돌대가 한반도에서는 어떻게 나타날까요?

중국대륙의 충돌과 관련하여 한반도가 충돌대의 동쪽 연장부에 해당한다는 논의는 1990대에 매우 활발하게 시작되었습니다(Yin and Nie, 1993; Ree *et al.* 1996; Chough et al, 2000). 중국계 미국인 지질학교수인 린과 리(1993)는 북중국판과 남중국판의 충돌에 의해 한루 단층 서쪽에는 친링-다비 습곡대가 형성되었고, 한반도 서쪽 즉 산동반도에는 수루 습곡대가 형성되었다고 주장하였습니다(그림 4). 그리고 수루 습곡대는 서해를 지나 임진강대로 충돌대가 이어진다는 모델을 제시하였습니다. 이후 국내 지질학자들이 연천 일대를 조사하여 이 일대에 분포하는 연천층군이 고생대말에서 중생대초에 중국대륙이 충돌할 때 형성된 충돌대인 임진강대라고 확인하였습니다(서울대 조문섭교수 등). 임진강대의 지각변동의 기록은 미산층과 대광리층에 담겨 있습니다. 미산층은 전곡에서 동서방향으로 분포하고 있고, 대광리층은 조금 더 북쪽인 대광리 일대에 잘 나타납니다.



[그림 4] 중국 친링-다비-수루 충돌대와 한반도의 임진강대와 호남전단대의 모습(Yin and Lie, 1993)



[그림 5] 중국대륙의 충돌과 한반도의 지체구조

이번 한탄강 주변 지질답사는 전곡읍 은대리 차탄천과 공평리 한탄강변, 동막골 풍혈, 재인폭포 일대에서 진행합니다. 은대리는 고생대 변성퇴적암류(미산층)와 신생대 현무암이 산출하는 곳입니다. 이곳에서는 미산층의 암석에서 심하게 변형된 습곡구조와 높은 압력에서 만들어진 변성광물들을 관찰합니다. 그리고, 신생대 현무암의 주상절리와 아래에 놓인 하성자갈층과의 접촉부분을 관찰합니다. 하성자갈층은 용암이 흐르기 바로 전에 강물이 어떤 방향에서 흘러왔는지 알 수 있는 중요한 구조를 갖고 있습니다. 하성자갈층의 넓적한 모양의 자갈은 유수에 의해 일정한 방향을 갖고 놓이게 되는데 이를 인편상구조(瓦斧状構造, imbrication)라고 합니다. 또 쿠페(확대경)를 이용하면 현무암 속을 이루고 있는 예쁜 감람석을 볼 수 있습니다.

한탄강 일대에 분포하는 암석과 지질구조를 관찰하고, 특징을 통해 지질역사를 해석하는 방법을 알아보려고 합니다. 한탄강 주변 지형의 특징과 생성과정에 대한 궁금한 것들을 지질답사를 통해 해결하면 좋겠습니다.

주요 탐사 및 관찰 내용

1. 한탄강 주변은 어떤 지형적인 특징이 있을까?
2. 한탄강 주변의 자연사는 어떻게 알 수 있을까?
3. 한탄강 주변에는 어떤 지층과 암석이 있을까?
   - 3-1. 한탄강 주변에서 볼 수 있는 변성암
   - 3-2. 한탄강 주변에서 볼 수 있는 퇴적암
   - 3-3. 한탄강 주변에서 볼 수 있는 화성암
4. 한탄강 주변에서 볼 수 있는 중요한 지질구조와 암석
5. 오늘 지질탐사에서 알게 된 한탄강 이야기

▣ 전곡 지역의 한탄강 주변 모습



[그림 6] 경기도 연천군 전곡읍 주변과 한탄강의 모습. 오른쪽 상자는 그림 7, 왼쪽 상자는 그림 8에 확대한 이미지가 있음(위성 지도 : Daum 지도)

[주요 관찰지점]

- 초성리 터클라우드골프장 입구 : 선캄브리아시대의 변성암과 중생대 퇴적암의 만남
- 양원리 관동팔 고인돌
- 한탄강 궁신교 주변 : 고생대 지층과 중생대 화산쇄설암의 만남
- 아우라지(한탄강-영평천) 주변 : 고생대 지층과 신생대 현무암의 만남. 특이한 현무암
- 은대리 차탄천 주변 : 고생대 지층과 신생대 퇴적암, 화산암의 만남. 절리
- 양수장 하식 절벽 : 신생대 자갈층, 현무암 절벽(주상절리), 고생대/중생대 부정합
- 동막골 풍혈 : 중생대 응회암에 형성된 풍혈(얼음동굴), 너덜경
- 재인폭포(공사중으로 출입제한) : 현무암 주상절리, 현무암의 가스탈출관(gas escape pipe) 구조
- 신답리 동산 : kipuka(An area of older land surrounded by younger lava flows)



[그림 7] 궁신교와 아우라지 주변의 한탄강 모습. 오른쪽에는 한탄강과 합류하는 영평천이 보인다.



[그림 8] 은대리 차탄천 주변 모습

[은대리 차탄천 절벽]

※ 은대리 왕림교 아래 차탄천(풍림농원 앞)에는 다양한 암석과 지층이 분포합니다. 이 곳에서 절벽을 이루는 암석을 잘 관찰하고 어떤 자연사가 있었는지 토론해 봅시다.



(가)

[은대리 차탄천가]

※ 은대리 차탄천가에서 그림의 암석을 찾아 특징을 알아봅시다.

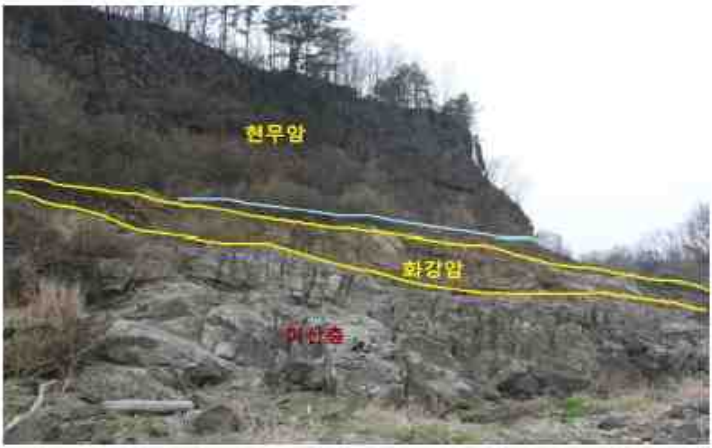


※ 은대리 차탄천가에 있는 암석의 특이한 구조와 광물을 찾아 관찰해 봅시다.



[한탄강 - 궁신교 지역]

※ 그림은 궁신교 남쪽 강변절벽의 모습이다. 강의 바닥에서 절벽을 이루고 있는 지층을 잘 관찰하고 특징을 기록한다. 관찰과 기록을 바탕으로 이 지역에 있었던 지질학적 변화과정에 대해 토론해 보자.



※ 그림은 궁신교 북쪽 강언덕에서 볼 수 있는 퇴적층의 모습이다. 구성하는 퇴적물의 종류와 특징을 관찰하고 기재하자.



❑ 관찰과 수집된 자료를 바탕으로 이 퇴적물이 형성된 환경을 추정해 보자.

[한탄강/영평천 아우라지 지역]

※ 그림은 한탄강 아우라지 절벽에서 관찰한 암석의 모습입니다. 관찰한 내용을 기재하고, 어떤 지질학적 과정에 의해 형성되었는지 추론해 봅시다.



(가) 한탄강 아우라지와 절벽의 모습



(나) (가)의 오른쪽 절벽의 가운데 부분을 자세히 나타낸 모습

[풍막리 풍혈]

※ 그림은 풍혈의 모습이다. 풍혈 주변의 지형적인 특징을 관찰하고 풍혈이 형성된 과정에 대해 논의하여 보자.



[그림] 풍혈의 모습



[그림] 풍혈 내부의 겨우호 교도원(2013-5-2)

[조성리 티클라우드골프장 입구]

※ 암석을 관찰하고 특징을 기록합니다. 관찰한 내용을 바탕으로 어떤 지질학적 과정에 의해 형성되었는지 추론해 봅시다.



(가)



(나)

1. 먼저 암석의 특징을 바탕으로 어떤 종류에 속하는지 알아봅니다.(퇴적암, 화성암, 변성암 중)

2. 암석에서 볼 수 있는 다른 특징을 찾아 봅니다.

[양원리 펜돌말 입구 고인돌]

※ 고인돌의 모양과 구조를 관찰하고 스케치 해 봅시다. 고인돌은 어떤 특징을 갖고 있는 암석으로 구성되어 있나요?



✔ 고인돌 안내판의 암석에 대한 설명이 잘 못 되어 있습니다. 설명문의 오류를 바로 잡아 주세요~

[양수장 : 고문리 한탄강 절벽] – 낙석 위험으로 출입 제한

※ 암석을 관찰하고 특징을 기록합니다. 관찰한 내용을 바탕으로 어떤 지질학적 과정에 의해 형성되었는지 추론해 봅시다.



[그림] 양수장 해식절벽의 현무암. 절벽 맨 아래는 덜 굳어진 자갈층이 놓여있다.

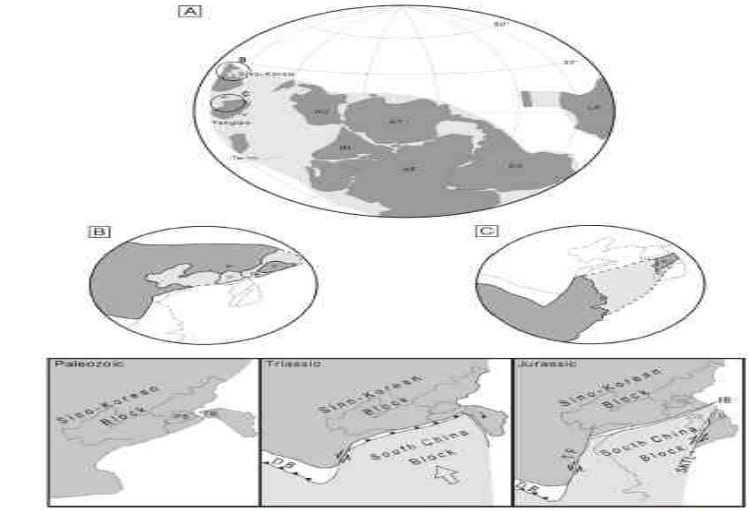


[그림] 자갈층의 모습. 자갈층을 구성하는 자갈들의 특징을 잘 살펴보자.

[연천 지역의 지질단면 모습]

※ 연천 지역의 지질답사를 바탕으로 이 지역의 암석의 분포와 접촉관계를 나타낸 입체 지질단면도입니다. 이 그림과 오늘 답사를 바탕으로 이 지역의 자연사에 대해 이야기해 봅시다.(고등학교 과학 교과서, 한국과학창의재단)





[그림] 중한지괴(북중국지괴)와 남중국지괴가 충돌하여 임진강대와 옥천습곡대를 만드는 모습(Chough *et al.*, 2000)

⁂ 참고자료 1. 암석의 종류와 특징

지구상에 존재하는 암석은 어떻게 만들어졌을까요? 암석이 생성되는 과정을 살펴보면 크게 세 가지로 분류할 수 있습니다. 암석의 생성과정과 특징에 대해 알아봅시다.

(1) 퇴적암

① 퇴적암의 종류

퇴적암은 퇴적물이 쌓여서 깊이 묻히면 열과 압력을 받아 굳어져서 퇴적암이 된다. 퇴적암은 지구 표면의 75~80%를 덮고 있으며, 생성 과정에 따라 쇄설성 퇴적암, 생물학적 퇴적암, 화학적 퇴적암으로 나눌 수 있다. 구성 물질에 따라 크게 규산염질 퇴적암 또는 탄산염질 퇴적암으로 나누기도 한다.

○ 쇄설성 퇴적암

쇄설성 퇴적암은 다른 암석이 풍화작용을 받아 부스러진 암석 알갱이들이 지형적으로 낮은 곳에 쌓여서 생긴 암석이다. 풍화와 침식작용으로 생긴 작은 알갱이들은 크기에 따라 점토, 실트, 모래, 자갈 등으로 구분할 수 있다. 이들은 쇄설물이라고 한다. 쇄설물은 유수, 빙하, 바람 등에 의해 이동되어 고도가 낮거나 운동에너지가 낮아지는 곳에 머무르고 쌓이게 된다. 퇴적물이 쌓이는 장소를 퇴적분지라고 하는데, 선상지, 삼각주, 범람원, 해저, 호수 등이 있다. 쇄설성 퇴적암을 이루는 알갱이들은 풍화작용이 진행되면서 먼 거리를 이동해야 하기 때문에 대체로 풍화에 강한 광물이 남아서 퇴적암을 만들게 된다. 따라서 쇄설성 퇴적암은 대부분 석영을 비롯한 규산염 광물로 이루진다.

쇄설성 퇴적암은 표와 같이 보통 알갱이의 크기에 따라 구분한다.

[표] 퇴적물의 입자크기에 따른 분류

입자 크기 (mm)	퇴적물	퇴적암	화성쇄설물
256	왕자갈(boulder)	역암(conglomerate)	화산암괴 — 화산각력암
64	큰자갈(cobble)		화산탄(bomb) — 집괴암
4	중자갈(pebble)		화산력(lapilli) — 라필리암
2	잔자갈(granule)		
1/16	모래(sand)	사암(sandstone)	
1/256	실트(silt)	실트암(siltstone)	화산재(ash) — 응회암
	점토(clay)	점토암(claystone)	

○ 생물학적 또는 화학적 퇴적암

생물학적 퇴적암 또는 화학적 퇴적암은 특정 화학물질이 침전되어 형성된다. 주로 생물에 의

하여 일어나는가 생물학적 퇴적물과 화학적인 과정에 의해 형성된 화학적 퇴적암이 있다.

생물에 의해서 만들어지는 가장 흔한 광물은 탄산염광물이다. 탄산염을 고착하거나 분비하는 생물체에 의해 형성된 암석이 석회암이다. 바다 속에서 탄산염암을 만드는 생물에는 산호, 연체동물, 유공충 등이 있다. 물속에 과포화된 물질이 침전되어 생기는 암석을 화학적 퇴적암이라고 한다. 해양환경에서는 탄산칼슘이 침전되어 석회암을 형성한다. 증발이 강하게 일어나는 고립된 호수에서는 암염, 석고 등의 물질들이 침전되어 암석이 되기도 한다. 증발에 의하여 생긴 퇴적암을 특별히 증발암이라고 부른다.

(2) 화성암

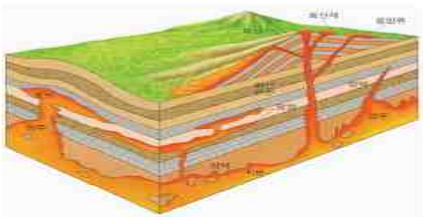
마그마가 식어서 굳어진 암석을 화성암이라고 한다. 화성암은 마그마가 냉각되어 굳어질 때 광물이 정출하는 속도에 따라 광물 입자의 크기가 달라진다. 땅 속 깊은 곳에서 굳어서 결정의 입자가 성장하는 시간이 충분하여 비교적 크고 고르게 결정화된 심성암은 등립상 조직을 나타낸다. 만일, 이들이 오랫동안 풍화작용과 지표침식에 의해서 노출되어, 그 면적이 100㎢ 이하이면 암주(예: 관악산 화강암), 100㎢ 이상이면 저반(예: 북한산 화강암)이라고 한다. 대표적인 암석이 화강암, 섬록암, 반려암이다.



[그림] 화성암의 분류

지표면으로 분출하여 낮은 온도에서 급격히 식어서 결정이 거의 만들어지지 않는 분출암(또는 화산암)은 유리질 조직이나 반상조직을 나타낸다. 현무암, 안산암, 유문암이 여기에 속한다. 마그마가 지표면으로 뚫고 나오는 도중에 생성된 암석은 반상조직을 나타낸다. 유리질이나 세립질 조직에 큰 결정 입자가 드물게 들어있으면 반상조직이라 하는데, 큰 결정을 반정이라고 한다. 반정은 지하 깊은 곳에서 마그마가 서서히 냉각되면서 성장하고, 석기는 마그마가 지표 부근으로 빠르게 상승하여 굳어진다.

이들의 형태를 자세히 관찰해 보면, 마그마가 지각의 상부로 올라오면서 기존 암석의 종류와 구조에 관계없이 지층의 틈을 따라 수직 관입하여 판상의 화성암체를 이루면 이를 **암맥**이라고 한다. 특히, 퇴적암의 층리면이나 변성암의 엽리를 따라 수평 관입되어 판상의 화성암체를 이루면 이를 **암상**이라고 한다. 이 때, 암상의 일부가 더 두꺼워져서 렌즈상 또는 만두 모양으로 부풀어 오른 것을 **병반**이라고 한다. 마그마가 나오던 원통형의 이동 통로(화도)가 침식되어 노출된 것을 **암경**이라고 한다. 이 중 노두에서는 암맥의 형태가 가장 다양하고 빈번하게 산출된다.

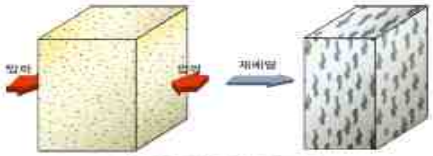


(3) 변성암

기존에 존재하던 암석이 고체 상태에서 온도와 압력으로 인해 새로운 조성과 조직으로 변하는 변성 작용에 의해 생성되는 암석으로 압력에 의한 변성 작용을 받을 경우 압력의 방향과 직각 방향으로 줄무늬(편리)가 형성되며, 열에 의한 변성 작용은 주로 마그마의 관입 시 이와 접촉하는 암석에서 일어나게 되며, 이 경우 광물의 결정 크기가 커진다.

변성작용은 관입암체 주변에서 일어나는 접촉변성작용과 판이 만나는 곳에서 주로 일어나는 광역변성작용이 있다. 접촉변성작용으로 형성된 규암, 사암, 대리암은 접촉변성암이라고 하고, 광역변성작용으로 형성된 편마암, 편암, 천매암 등은 광역변성암이라고 한다.

높은 압력을 받아 형성된 엽리가 생기는 원리는 그림과 같다.



엽리(줄무늬 모양)의 형성

✔ 변성구조 - 엽리

야외에서 관찰되는 변성암의 줄무늬 구조를 일반적으로 엽리라고 부른다. 엽리가 뚜렷하게 나타나면 주로 압력에 의한 변성 작용이 우세하게 작용하였다는 것을 의미한다. 엽리가 나타나는 변성암에서 입자의 크기가 뚜렷하게 구분되지 않으면 점판암 또는 천매암 이며, 입자의 크기가 뚜렷하고 엽리면이 거의 판상의 운모로 구성되어 있으면 편암, 어두운 유색광물 층과 밝은 무색 광물 층이 뚜렷하게 교대로 나타나면 이를 편마 구조라 하며, 이런 편마 구조가 발달한 변성암을 편마암이라고 한다.



[그림] 편마암



[그림] 천매암

참고자료 2. 지질시대

지구는 약 46억년 전에 형성되었다. 46억년은 인류의 역사에 비하면 너무나도 긴 시간이고, 지구는 탄생 이후 수많은 지각변동을 겪어왔다. 지각변동으로 많은 자료가 사라져 버려서 모든 지구의 역사를 알아내기가 어렵다.

지구의 역사를 연구하는 지질학자들은 지구가 탄생한 이후 현재까지를 **지질시대**(geological age)라고 한다. 지질시대는 생물의 탄생과 멸종, 지각변동을 바탕으로 몇 개의 시간으로 구분한다. 현재 우리가 사용하는 지질시대를 구분하면 아래와 같다.





[그림] 지질시대의 구분(국제층서위원회, 2010)

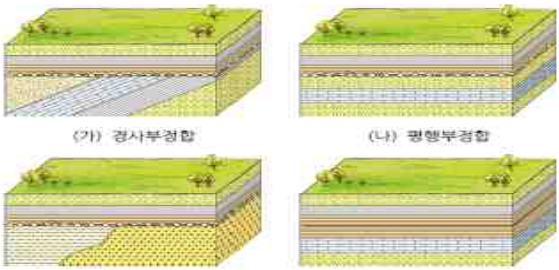
⁂ 참고자료 3. 부정합

퇴적물이 계속해서 쌓였을 때 상하지층과의 관계를 정합(conformity)이라 하며, 상하지층이 불연속적인 관계에 있으면 **부정합**(unconformity)라고 한다. 부정합은 침식면으로 나타나며, 한 지역에서 지각변동과 같은 지구의 역사를 해석할 수 있는 중요한 증거가 된다. 부정합면은 수 천 년에서 수 십억 년의 시간 간격을 나타내기도 한다.

경사부정합 : 부정합면 아래의 오래된 지층과 부정합면 위의 새로운 지층이 경사져 있으면 경사부정합(angular unconformity)이라 한다.

평행부정합 : 부정합면 위의 지층과 아래의 지층이 나란하게 놓여 있으면 평행부정합(disconformity)이라고 한다. 이 부정합은 아래의 지층이 융기하여 침식된 후, 다시 낮아져서 퇴적물이 쌓여서 형성된 것이다. 평행부정합은 상하지층이 나란하기 때문에 육안으로 구분하기 어렵다. 평행부정합의 구분은 정밀한 조사와 화석을 이용하여 확인할 수 있다.

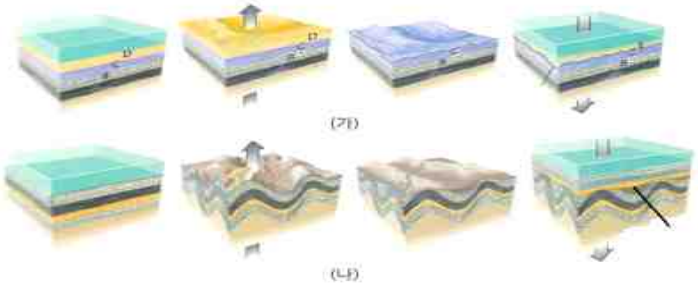
난정합 : 부정합면을 사이에 두고 암상이 전혀 다른 경우, 즉 부정합면 아래에 관입한 화성암이나 변성암이 있을 때 난정합(nonconformity)라고 한다.



(가) 경사부정합 (나) 평행부정합

(다) 난정합 (라) 준정합

※ 그림은 지층사이에 불연속면이 형성되는 과정을 나타냅니다. 어떤 과정에 의해 어떤 모양의 구조가 형성되는지 말해 봅시다.



(가)

(나)

※ 그림과 같은 구조는 어떤 과정에 의해 형성되었는지 말해 봅시다.

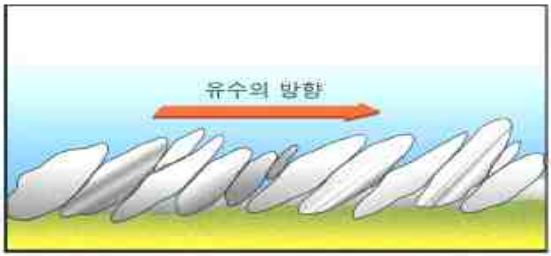


(가) (나)

⁂ 참고자료 4. 인편상 구조(imbrication)

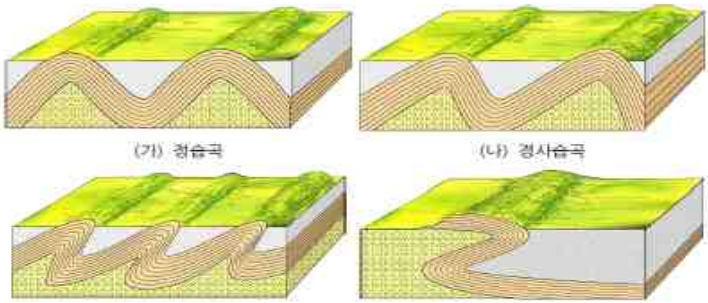
하천에서 물이 빠르게 흐르게 되면 큰 자갈들이 하상을 따라 이동한다. 이동하던 자갈들은 유속이 느려지면 바닥에 멈추게 되고, 계속해서 이동해온 자갈들이 차곡차곡 쌓인다. 자갈들은 물의 흐름 방향에 대해 가장 저항이 적은 방향으로 놓이게 되는데, 이 때 타원형의 자갈들이 상류방향을 향해 놓이면 수력학적으로 안정적으로 물이 자갈들을 타고 흘러가기 쉽다. 그러나 하류방향을 향해 경사진 자갈은 뒤에 밀려온 물에 의해 밀려 회전하여 바닥에 나란하게 놓이거나 상류방향을 향해 놓이게 된다. 이런 과정에 의해 하천 바닥에서 자갈들이 상류방향을 갖게 되는데, 이런 구조를 **인편상 구조** 또는 비늘구조라고 한다. 인편상 구조는 하천에 의해 운반된 자갈이나 역암에서 잘 관찰된다.

인편상 구조는 자갈로 이루어진 강에서 쉽게 볼 수 있으며, 바닷가에서 파도에 의해 자갈이 쌓여 생기기도 한다. 인편상 구조는 반지름이 거의 같은 둥근 자갈에서는 관찰하기 어렵다.



⁂ 참고자료 5. 습곡(fold)

암석이나 지층이 횡압력을 받아 구부러진 변형구조를 **습곡(fold)**이라 한다. 층이 구부러져 위로 볼록하면 **배사**(anticline)라고 하며, 오목한 모양이면 **향사**(syncline)라고 한다. 배사구조는 습곡의 날개(limb)가 바깥쪽으로 기울어져 있으며, 향사구조는 날개가 안쪽으로 기울어져 있다. 양쪽으로 기울어진 날개가 만나는 점을 연결한 것이 습곡축이며, 습곡축이 이어진 평면을 축면이라 한다. 지층이 구부러지면서 습곡축 부근에는 인장력에 의해 틈이 생기거나 지층면에는 날개의 경사방향과 나란하게 끌린 자국이 형성되기도 한다. 습곡은 습곡축이 수직이고 양쪽 날개가 대칭으로 발달되거나(정습곡), 습곡축이 기울어진 형태(경사습곡), 습곡축이 거의 평면에 가까운 형태(횡와습곡) 등이 있다. 차탄전 주변의 기반암에는 많은 습곡이 있다. 잘 관찰하여 특징을 비교하자.



[참고] 연천도폭

※ 그림은 한국지질자원연구원이 발행한 연천도폭(2008)의 일부입니다.



▪ 우리가 답사하는 각 지점의 주요 암석을 관찰하고 특징을 기록하세요.

[지질답사 노트]