

# 토목기술자를 위한 암반공학( I )

노 병 돈\*1  
임 명 혁\*2

## 제 1 장 기초지질학

### 1.1 암반역학과 지질학

암반역학이란 지각을 구성하는 모든 암석에 대하여 건설공사의 대상이거나 건설재료의 일부로 간주하고 암석의 역학적 특성을 이용하여 암반의 거동특성을 구명코자하는 학문이다. 즉 단위암석의 역학적 특성은 암석역학이란 용어로 사용되어 왔으며 이를 보다 포괄적인 공학적 의미를 부여코자함에 암반역학이란 용어가 쓰여지고 있다. 암반역학은 대체로 다음의 몇가지 기본방향을 가지고 관련 학문간의 활발한 교류가 이루어지고 있다.

- 암석을 하나의 물질 혹은 재료로 간주하고 이의 역학적 특성 및 파괴양상의 규명
  - 암석의 동적·역학적 거동에 주목하고 굴착, 발파 등과 관련된 기술 향상
  - 굴착 채설물 등의 부산물에 대한 처리 및 활용방안의 연구
  - 지압론 등을 포함한 대규모 지하공간개발과 관련한 연구
  - 암석, 암반의 역학적 불연속성을 감안한 손상역학과 관련한 연구
  - 지질학적 시간개념 및 암석의 변형, 변질과 관련한 구조지질학적 연구
- 건설공사의 대상으로서의 암석에 관련된 기성 학문분야로는 토목공학, 건축학, 화학공학, 광산학, 지진학, 지구물리학, 지질학 등이 있으

나 암석의 기원 및 산상, 향후 변형 및 변질을 포함한 풍화양상 등을 광범위하게 규정, 묘사할 수 있는 분야는 지질학에 국한되므로 암반역학적 기초자료로서의 지질학 일부를 소개하고 이의 활용방안을 제시코자 한다.

### 1.2 기초 지질학

#### 1.2.1 암석의 생성과 분류

암석은 광물의 집합체이며 암반은 다양한 암석으로 구성되므로 결국 암반은 수많은 광물로 이루어져 있으며 이들의 기원과 조직, 산상과 변형·변질양상 등에 따라 분류가 가능하다. 즉 지각을 구성하는 모든 암석은 마그마(magma)가 냉각고결된 화성암, 화산활동, 침식작용 및 풍화작용 등에 의해 형성된 퇴적암, 이들 암석이 열과 압력에 의해 변형·변질되어 형성된 변성암으로 구분될 수 있다.

#### 가. 화성암과 화성활동

##### 1) 생성

화산에서 분출된 용암이 굳어져서 암석이 되며, 화도를 따라서 지하로 내려가면 깊은 곳에는 마그마가 있을 것이고 이것이 고결되면 역시 암석이 만들어질 것임을 짐작할 수 있다. 이들은 모두 고온 즉, 불과 관계있는 암석으로서 화성암(火成岩)이라고 불리게 된 것은 당연한 일이다. 화성암(火成岩, igneous rock)은 분출암(噴出岩, extrusive rock)과 관입암(貫入岩,

\*1 정희원, 경북대학교 지질학과 박사과정, (주)아주시오엔지니어링 부장

\*2 정희원, (주)지오익스 대표

intrusive rock)으로 양분되며 전자는 마그마가 지표에 분출되어 급속냉각되어 고결된 화성암이고 후자는 지각 내부에서 서서히 냉각되어 고결된 화성암이다.

관입암에는 지하 깊은 곳에서 매우 천천히 냉각, 고결된 것과 지표부근에서 비교적 빨리 냉각, 고결된 것으로 나눌 수 있으며, 전자를 심성암(深成岩, plutonic rock), 후자를 반심성암(半深成岩, hypabyssal rock)이라고 한다.

화성암은 산출상태에 따라 세분될 수 있는데, 분출암의 경우 용암류(熔岩流, lava flow)와 화산암설(火山岩屑, volcanic debris)로, 관입암의 경우는 암맥(岩脈, dyke), 관입암상(貫入岩床, sill), 병반(餅盤, laccolith), 암경(岩頸, neck), 저반(底盤, batholith), 암주(岩株, boss)등으로 세분된다(그림 1-1).

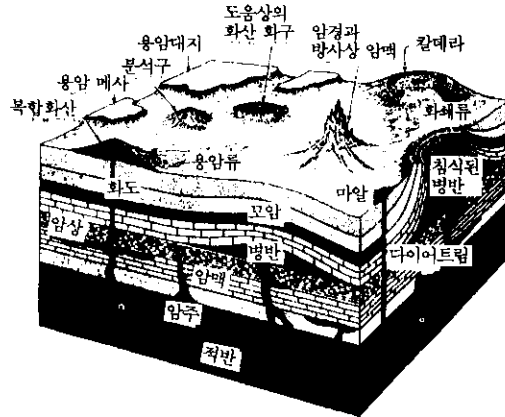


그림 1-1. 화성암의 산출상태

2) 조암광물

화성암을 만드는 광물 즉, 조암광물(rock forming minerals)은 그 종류가 많으나 화성암중에 흔히 산출 되는 것은 10종 정도이고 화성암의 대부분을 구성하는 광물의 종류는 약 30종에 불과하다. 그 중에서도 화성암 분류에 중요

하며 흔히 나타나는 광물로는 석영(quartz), 장석(feldspars), 운모(micas), 각섬석(amphibole group), 휘석(pyroxene group), 감람석(olivine group), 준장석(feldspathoids)등 7종으로 이들을 화성암의 주성분광물이라고 한다. 큰 화성암체나 작은 화성암편들이 각각 다른

표 1-1. 화성암의 육안분류

색	담색 ←			→ 검은색		
	SiO <sub>2</sub> %	>65	65~60	60±	55±	52~45
광물성분	석영 정장석 흑운모 백운모 각섬석	정장석, 사장석, 석영, 흑운 모, 각섬석, 백운모	정장석 흑운모 백운모 각섬석	사장석, 각섬석, 흑운모	사장석, 휘석, 감람석	감람석, 휘석, 자철석, 크롬철석
심성암	화강암	화강섬록암	섬장암	섬록암	반려암	감람암 더나이트
반심성암	화강반암 석영반암	화강섬록반암	섬장반암 반암	섬록반암 빈암	반려반암 조립현무암	(발견 되지 않음)
화산암	유분암 석영조면암	석영안산암	조면암	안산암	현무암	
비현정질암맥	← 규장암 →			← 현무암 →		
유 리 질	← 흑요암 →			← 분 석		
다공상구조	← 부석 →			← 다공상		
행인상구조	← 행인상 부석 →			← 행인상		
				← 현무암		

종류의 암석으로 분류할수 있음은 화성암체들의 형태가 서로 다르고 여러 화성암의 깨진면에 나타나는 모양이 서로 달라서 구별이 가능하기 때문이다. 이런 화성암의 특징중 대규모의 것을 구조(structure)라고 부르고, 광물 입자들이 서로 모여서 만드는 소규모의 특징을 조직(texture)이라고 한다.

### 3) 화성암의 분류 및 명명

기본적으로 석영( $\text{SiO}_2$ ) 함량 및 입자의 크기, 색상 등에 의해 구분되며 다음의 표로 요약할 수 있다.

#### 나. 퇴적암과 퇴적작용

##### 1) 생성

지표에 노출된 암석은 끊임없는 풍화작용과 침식작용을 받아 암설(debris) 또는 수용액으로 되어 원암에서 분리된다. 이렇게 분리된 물질과 여러종류의 생물의 유해가 육상 또는 수저에 쌓여서 만들어진 암석을 퇴적암(堆積岩, sedimentary rocks)이라 한다.

원암에서 분리된 퇴적물은 유수, 빙하, 바람 등에 의해 퇴적지인 바다나 호소 등으로 운반된다. 퇴적분지에 운반된 퇴적물은 쇄설성퇴적물, 화학적퇴적물, 유기적 퇴적물로 나누어지며, 이들은 각각 퇴적의 과정을 달리한다.

쇄설성퇴적물은 처음부터 퇴적될 때까지 고체상으로 존재하다가 퇴적된 물질이다. 이들은 그 입자 크기에 따라 환경에 적합한 곳을 택하여 퇴적하게 되고, 입자가 크고 구체에 가까운 것은 빨리 낙하하여 퇴적되므로 얕은 수저에 쌓이고 직경이 작고 납작한 입자는 먼 곳까지 운반되어 깊은 곳에 퇴적된다. 화학적퇴적물은 암석 또는 암설로부터 용해되어 일단 용액으로 되었던 성분이 침전되어 다시 고체화한 것이며 유기적퇴적물은 생물의 유해가 쌓여서 만들어진 퇴적물이다.

퇴적물이 퇴적된 후에 받는 모든 물리적, 무기화학적, 생화학적인 변화를 속성작용(續成作用, diagenesis)이라 하며 이러한 속성작용을 통하여 퇴적물은 석화(石化, lithification)하여 퇴적암으로 된다.

##### 2) 퇴적암의 특징

퇴적암은 퇴적물이 수저나 육지에 쌓여서 만들어진 것이므로 화성암과는 구별이 가능한 몇 가지 특징을 가진다. 그중 대부분의 퇴적암이 갖는 특징으로 가장 중요한 구조는 층상으로 발달되는 평행구조(parallel structure)로서 층리(層理, bedding)이다. 이밖에 결핵체(結核體, concretion), 사층리(斜層理, cross-bedding), 물결자국(ripple mark), 건열(乾裂, sun crack), 빗자국(rain print), 화석(化石, fossil)등으로서 퇴적암에만 볼 수 있는 특징이다.

##### 3) 퇴적암의 분류 및 명명

퇴적암은 퇴적물의 종류에 따라 크게 쇄설성퇴적암, 화학적퇴적암, 유기적퇴적암으로 나누어진다. 쇄설성퇴적암은 입자의 크기에 따라 역질암(礫質岩, 장경 20mm 이상), 사질암(砂質岩, 장경 20~1/16 mm), 점토질암(장경 1/16 mm 이하)으로 구분 할 수 있다. 역질암은 역의 원마도(roundness)에 따라 역암과 각력암으로 나눌 수 있고, 점토질암은 입자크기에 따라 장경 1/16mm~1/256mm 인 미사암(微砂岩, siltstone)과 장경 1/256mm 이하인 셰일(shale)로 구분된다. 이암(泥岩, mudstone)은 미사와 점토로 되어있는 암석이며 평행구조가 없는 점이 미사암이나 셰일과 다르다.

화학적퇴적암은 화학적 침전으로 이루어진 탄산염암(carbonate)과 물속에 용해되었던 물질이 물의 증발로 침전되어 만들어진 증발잔류암(evaporite)으로 구분된다. 탄산염암은 석회암(limestone)이 대부분이며 마그네슘 성분이 첨가되면 고회암(dolostone)으로 불린다. 증발잔류암은 주로 NaCl 로 구성된 암염(rock salt), 주로  $\text{CaSO}_4$ 로 구성된 석고(gypsum), 주로  $\text{SiO}_2$ 로 구성된 처트(chert)가 대부분이다.

유기적 퇴적암은 생물체의 유해가 무수히 쌓여서 된 퇴적암으로서 대부분이 석회암이고, 생물체의 종류에 따라 백악(chalk), 규조토(diatomaceous earth), 처어트(chert), 석탄(coal), 아스팔트(asphalt)등으로 구분할 수 있다.

화성쇄설암은 입자의 크기와 구성성분에 따

라 다음과 같이 구분한다.

표 1-2. 화성쇄설암의 분류

<p>용회암(Tuff)          화산력용회암(Lapilly Tuff)          각력용회암(Tuff Breccia)          화산각력암(Volcanic Breccia)          집괴암(Agglomerate)</p>	<p>4mm 이하의 화산회로 구성          4~32mm의 화산력으로 구성          용회암에 화산암괴 포함          화산암괴를 주로하고 화산회가 섞임          화산탄, 화산암괴, 용암, 화산회로 구성</p>
--	--

다. 변성암과 지각운동

1) 생성

기존의 암석이 생성당시와 다른 환경하에 놓이게 되면 그 환경에 적응하기 위한 변화를 겪는다. 암석에 이런 변화를 일으키는 작용을 변성작용(metamorphism)이라 하며 암석학자들에 의하면 암석이 풍화작용으로 변하는 것을 변질(alteration)이라고 하여 이를 구별하고 변성작용이라는 말은 풍화가 미치지 못하는 지하 깊은 곳에서 암석을 변하게 하는 물리적 및 화학적 작용에만 국한하여 사용한다. 변성작용은 암석에 큰 압력이나 높은 온도가 가해질 때, 화학성분의 가감이나 교대가 일어날 때, 또는 이들 둘 이상의 작용이 합작할 때에 일어나는 현상으로서 이때 변성암(變成岩, metamorphic rock)이 생성된다.

2) 구분

변성작용을 일으키는 중요한 요인으로서 온도, 압력, 화학성분, 지하수 등이 있으며 이들 중 하나 혹은 둘 이상이 서로 작용하여 변성작용이 행해진다. 주로 온도에 의해서 일어난 변성작용의 결과 형성된 변성암을 접촉변성암(contact metamorphic rock), 주로 압력에 의해서 형성된 변성암을 동력변성암(dynamic metamorphic rock), 열과 압력이 서로 조합하여 형성된 변성암을 광역변성암(regional metamorphic rock)으로 구분한다.

접촉변성암의 종류는 대부분이 호른펠스(hornfels)로 대표된다. 동력변성암은 압력이 가해진 지질환경 즉, 지표하 심도에 따라 구분이 가능한데, 지표 가까이에서 응력을 받아 기존의 암석이 변형된 것을 파쇄암(破碎岩, cat-

aclastic rock) 혹은 단층각력암(fault breccia)이라 하고, 지하 심부에서(약 15 km 이상) 기존의 암석에 응력이 집중되면 압쇄암(壓碎岩, mylonite) 혹은 안구상 편마암(眼球狀片麻岩, augen gneiss)이라 한다.

광역변성암은 변성암에 나타나는 고유한 구조인 엽리(葉理, foliation)의 발달상태와 구성입자의 크기 및 변성작용의 강도에 따라 점판암(粘板岩, slate), 천매암(千枚岩, phyllite), 편암(片岩, schist), 편마암(片麻岩, gneiss)으로 분류할 수 있다.

기타 일부 퇴적암과 다른 화성암이 변성작용을 겪게되면 독특한 변성암으로 변하게 된다. 석영립을 주성분으로 하는 사암이 접촉변성작용이나 광역변성작용을 받으면 규암(硅岩, quartzite)이 되고, 석회암이나 고회암이 접촉변성작용이나 광역변성작용을 받으면 대리암(marble)이 되며, 석탄이 접촉변성작용이나 광역변성작용을 받으면 무연탄(anthracite)이 되고 더 나아가 흑연(graphite)이 된다. 염기성 화산암류가 접촉변성작용이나 광역변성작용을 받으면 각섬암(角閃岩, amphibolite)이 되고, 초염기성 암석이 열수의 도움을 받아 접촉변성작용이나 광역변성작용을 받으면 사문암(蛇紋岩, serpentinite)이 된다.

3) 변성암의 명명

① 파쇄암

파쇄편의 크기에 따라 구분되며 단층각력암(입자장경 1mm~1m), 압쇄암(0.01~0.1mm), 슈도타킬라이트(0.001mm), 천매암쇄암(평균 1mm) 등이 있다.

② 동력변성암

변성정도에 따라서 구분하며 구조, 성분, 원암의 종류 등에 따라서 수식어가 붙으며 주요

변성광물로는 남정석, 십자석, 녹염석, 녹니석, 양기석 등이 있다.

표 1-3. 동력변성암의 종류

구 분	슬레이트	천매암	편 암	편 마 암
구 조	점판암	천매암	파상편암 점문편암 호상편암 반상변정편암	안구상편마암 호상편마암 압쇄편마암 반상변정질편마암
광물성분	운모편암		석영편암 운모편암 견운모편암 각섬편암	화강편마암 섬록편마암 반려편마암 운모편마암 각섬편마암 휘석편마암

### ③ 접촉변성암

대표적 암석은 호른펠스(hornfels)이며, 주요 변성광물로는 홍주석(andalusite), 근척석(cordierite), 규회석, 투각섬석, 투휘석 등이 있다.

### ④ 기타변성암

원암의 종류에 따라서 다른 변성암을 생성시키는데 규암(석영질암의 변성), 대리암(석회암, 고회암의 변성), 무연탄 및 토상흑연(석탄의 변성), 편암(응회암의 변성), 녹리석편암(고철질암의 변성), 사문암(초고철질암-듀나이트, 감람암의 변성) 등이 있다.

### 라. 암석의 윤회

지각을 구성하는 암석은 환경이 변하면, 새로운 환경에 적응하는 방향으로 변화한다. 즉, 마그마가 냉각하면 결정작용에 의해 화성암이 만들어지고, 지표에 노출되어 있는 화성암과 변성암은 풍화, 침식되어 퇴적암을 만든다. 또 퇴적암이나 화성암이 열과 압력에 의해 변성작용을 받으면 변성암이 되고, 변성암이 고온, 고압하에서 용융되면 다시 마그마가 만들어진다(그림 1-2). 그러므로 암석의 순환은 암석을 구성하는 물질 즉, 원소의 순환이며, 풍화→침식→운반→퇴적→고화→변성→용융 등의 과정을 밟으면서 에너지의 변천이 이루어지는

것이다. 지표에서의 풍화, 침식, 퇴적작용은 태양으로부터 오는 에너지에 의한 것이고, 변성과 용융작용은 지구 내부 에너지에 의한 것이다. 전자는 지표를 평탄하게 만드는 반면, 후자는 지형의 기복을 만든다. 지구에서는 지구 생성 이래로 위의 두 가지 작용이 서로 평형상태를 유지하면서 일어나고 있으며, 이러한 암석의 윤회는 지각이 형성된 이래로 오늘날까지 끊임없이 이어져 왔다.

### 1.2.2 암석분석

현장암석에 대한 정확한 명명을 위하여 다양한 분석기법이 사용되는데 통상 광물조성분석을 위한 편광현미경 감정과 광물성분분석을 위한 X선 분석이 적용된다.

#### 가. 광물조성 분석

암석의 지질학적 명명을 위해서는 암석을 구성하고 있는 광물의 종류와 그 구성비, 산상 등에 대한 확인이 필수적이다. 이를 위한 가장 기본적인 연구로써 광물을 현미경으로 관찰하게 되며 광물입자의 격자구조 등에 의한 개별 광물의 특성을 규명하기 위하여 통상 편광(광학)현미경을 사용한다. 또 편광현미경(Model-Labophot-Pol, Nikon)으로 광물을 관찰하는 경우에는 박편(thin section)이라 불리는 시료 제작 과정을 거치게 된다. 편광현미경이 일반

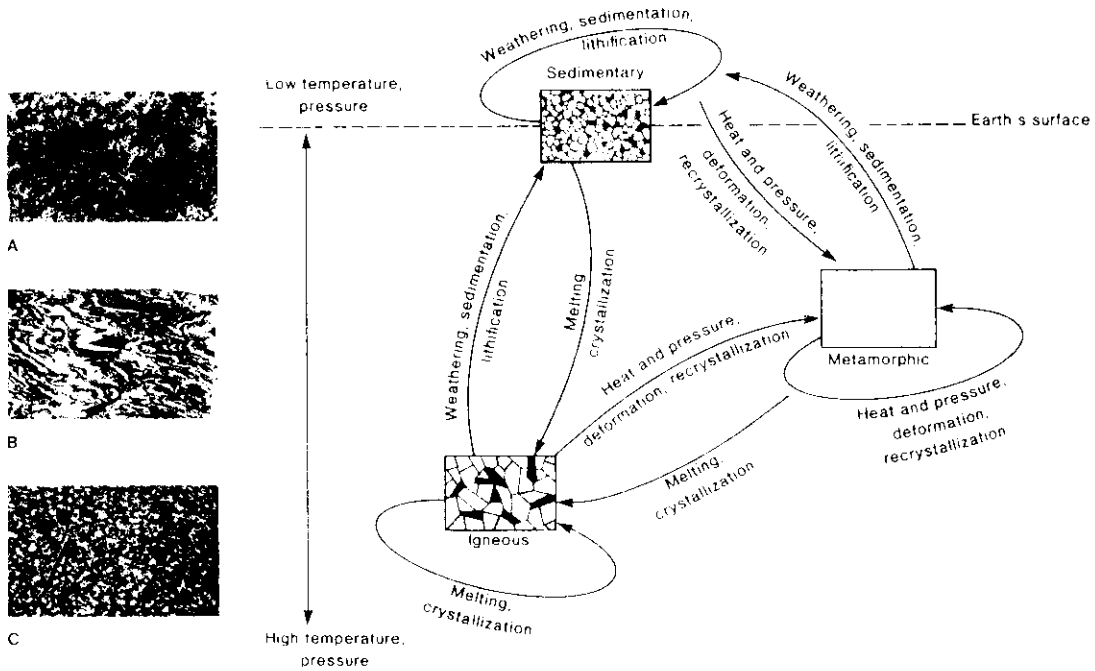


그림 1-2. 암석유회의 모식도

현미경과 다른 점은 stage 위쪽과 아래쪽에 각각 1개씩 편광판이 있고 현미경의 튜브에 대안렌즈, 버트란드렌즈, 위쪽에 대안렌즈, 아래쪽에 대물렌즈로 구성되어 있다.

편광현미경으로 광물의 색, 다색성, 입자의 크기 및 형태, 벽개, 포유물 등을 관찰할 수 있고 결정의 굴절율, 소광각, 복굴절현상, 등방성과 이방성, 일축성과 이축성 등을 관찰 측정하여 구성광물의 종을 결정하게 된다.

#### 나. 화학성분 분석

암석의 화학성분 분석에는 여러 가지 방법이 있을 수 있으나 통상 X선 형광분광 분석(XRF: X-Ray Fluorescence analysis)이 적용된다. 이는 암석의 주성분을 분석하여 변성 전 기원암의 암질을 파악하고 변성후 광물조성의 변화를 규명코자함에 그 목적이 있다.

#### 다. 점토광물 분석

##### 1) 충전물의 공학적 의미

암반의 불연속면내에 존재하는 충전물은 그 기원에 따라서 크게 양분 되는데 그 하나는 모암이 풍화·잔류하고 있는 경우로서 모암과 충전물의 화학조성이 동일한 것이고, 다른 하나는 열수(熱水, hydrothermal), 지하수 등의 영향으로 외부에서 유입되어온 것으로 모암과 충전물간의 화학조성이 다른 것이다.

특히 팽창성 점토는 함수시 수흡배의 체적 증가가 유발되므로 이들이 터널이나 암반사면 등 주요 구조물의 기반암내에 협재할 경우 심각한 문제가 대두될 수 있다. 따라서 충전물에 포함된 팽창성 점토(montmorillonite, smectite 등)의 유무를 확인하는 일은 매우 중요한 작업이다.

##### 2) X선 회절분석

(XRD: X-ray Diffraction Analysis)

대부분의 광물은 편광현미경으로 관찰이 가능하지만 미세한 점토광물은 입자의 크기가  $2\mu\text{m}$  이하이므로 현미경에 의한 감정은 불가능하다. 따라서 이러한 점토광물의 결정구조 분석을 위해서는 X선 회절분석이 이용된다.

결정구조 연구에 이용되는 X선은 0.2~2.5의 파장을 갖는데 X선이 결정격자에 부딪히면 전자들은 X선과 같은 진동수로 진동하게 되며 이때 X선 에너지의 일부를 흡수하면서 동일 진동수와 파장을 가진 X선이 방출된다. 일반적으로 이 산란(Scattered) 파동은 상호간섭에 의해 소멸되지만 특정 방향에서는 그 파동이 상승적으로 결합하여 나타나게 되며 이러한 효과를 회절(Diffraction)이라 한다.

### 1.3 지질도 및 지질구조

#### 1.3.1 지질도의 작성 및 판독

##### 가. 주향과 경사

암반내에는 층리(層理), 절리(節理), 엽리(葉理), 단층(斷層) 등의 지질구조 요소 특히, 면구조(面構造) 요소가 많이 발달해 있다. 이들 면구조의 방향과 연장성, 규모, 발달상태등을 파악하고, 이를 근거로 암반의 지하 구조 및 지질상태 등을 추정할 수 있다. 따라서 야외 노두에서나 시추 암심에서 면구조 방향성 자료를 수집하는 일은 매우 중요한 기초 작업이다.

또 현장에서의 면구조 및 선구조는 주향(走向, strike)과 경사(傾斜, dip)로 표현되며 측정 대상면과 수평면과의 교선 방향을 주향이라 하고 측정할 면의 수평면에 대한 최대경사각을 경사라 한다.

주향을 측정하기 위해서는 그림 1-3과 같이 측정할 면에 클리노미터(clinometer)나 클리노컴퍼스(clinocompass)의 긴 변을 대고 긴변의 방향을 북을 기준으로 방위각으로 측정한다. 예를 들어 N45E 나 N70W 처럼 각도를 중심으로 기재한다. 경사는 측정할 면상에서 먼저 측정된 주향선에 직각방향으로 경사각을 측정하고 경사방향을 반드시 경사각 옆에 표시해야 한다. 예를 들어 55SE, 40SW, 65NE, 50NW 처럼 경사각 뒤에 경사 방향을 반드시 표시해야 한다.

보통 지질학에서 많이 쓰이는 면구조 요소의 기호는 국제적으로 그림 1.4와 같이 약속하여 표시한다.

##### 나. 불연속면

암반내에 발달하는 불연속면(不連續面, discontinuities)은 퇴적암에만 존재하는 층리, 변성암에만 존재하는 엽리, 그리고 절리, 단층 등이 있다. 엽리는 암석의 종류와 성인에 따라 다시 세분되는데 점판암에 발달한 엽리는 점판벽개(slaty cleavage), 편암에 발달한 엽리는 편리(片理, schistosity), 편마암에 발달한

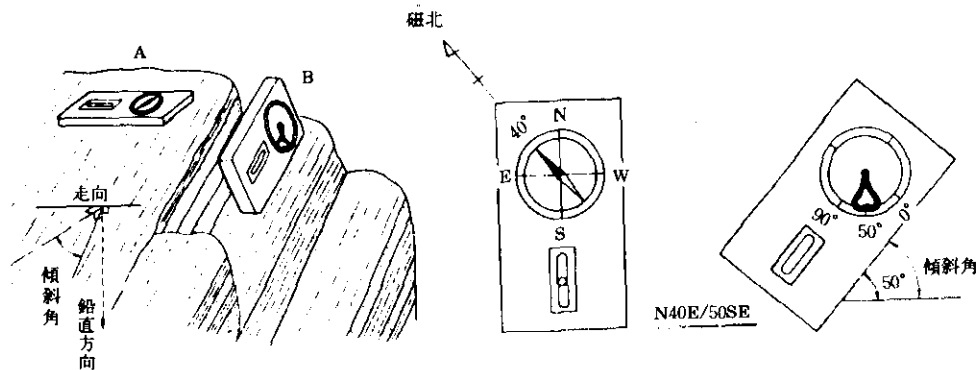


그림 1-3. 지층의 주향 및 경사의 측정

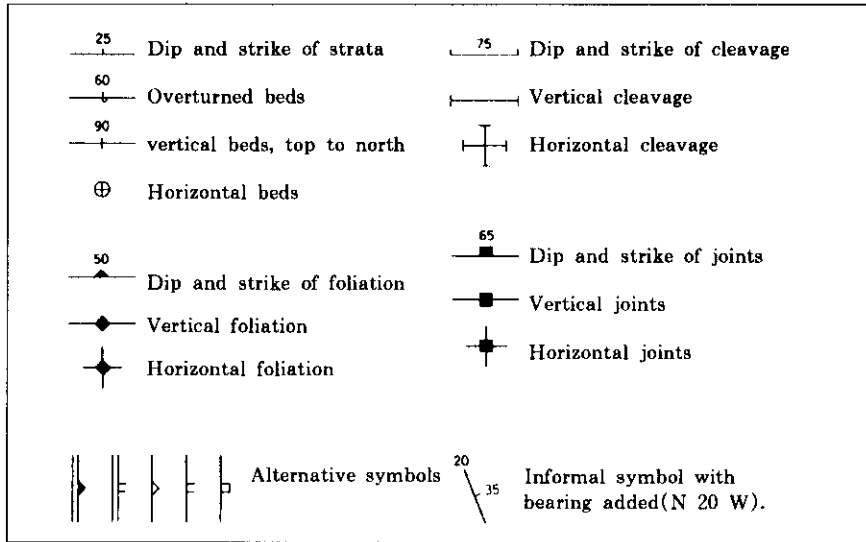


그림 1-4. 면구조의 기호

엮리는 편마구조(gneissosity), 소습곡측면에 평행하게 발달한 파랑벽개(crenulation cleavage), 습곡측면에 평행하게 발달하는 습곡측면 엮리(fold axial plane cleavage), 변성작용시 용해된 물질이 이동하는 통로로 이용되는 용해벽개(solution cleavage), 지하 심부의 화강암이 집중된 전단응력의 결과 분쇄암화작용으로 형성되는 분쇄질엽리(mylonitic foliation) 등으로 구분된다.

절리 또한 암석의 종류와 성인에 따라 여러 가지로 나눌 수 있는데, 화산암의 분출시 용암의 냉각, 수축으로 형성된 주상절리(柱狀節理, columnar joint), 지하 심부의 마그마가 화성암으로 고결, 냉각으로 형성된 판상절리(板狀節理, sheeting joint), 조구조응력장(造構造應力場)의 전단응력이 집중되어 형성되는 전단절리, 조구조응력장중 장력이 우세한 환경에서 형성되는 인장절리, 지질학적으로 최근(제4기 이후)에 발달한 수직의 팽창형 절리(extensional vertical joint), 화강암의 관입 정치시 모암과의 경계부에서 생성되는 냉각절리의 일종인 십자형 절리(cross joint), 경사형 절리(diagonal joint) 등이 있다.

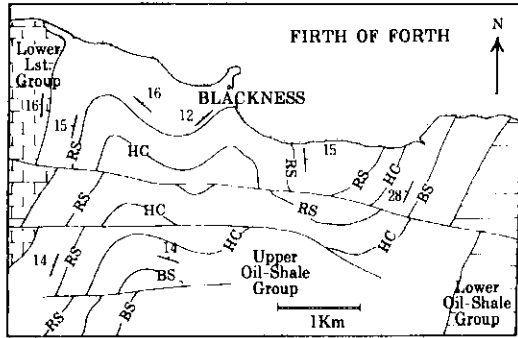
전술한 모든 불연속면은 암반내에서 발견될 때 야외에서 주향, 경사를 측정하여 약속한 기호(그림 1-4)로서 표시하고 기재 되어야 한다. 불연속면과 더불어 암석의 종류와 구성암석의 경계면(지질경계면)도 연장성과 지하 심도를 추정, 기재하고 표시해야 한다.

#### 다. 지질도

지질도는 야외에서 조사하고 측정, 기재한 모든 자료들을 종합하여 지형도(평면도)상에 일정한 축척에 따라 기호와 색깔로서 표시된 것으로 각종 지질조사 결과는 최종적으로 어떤 형태이던 간에 지질도(그림 1-5)로서 정리 되어야 하며, 이들 지질도는 토목이나 암반 구조물의 계획, 설계쪽의 요구를 충분히 염두에 두고 작성하는 것이 바람직하다. 지질도에는 암반에 포함된 면구조 및 선구조 등, 제반의 불연속면을 주향과 경사 표시의 약속한 기호로서 나타내고, 암석의 생성 순서를 하부로부터 상부로 작성, 표시한다. 특히 암석의 종류를 지질도상에 색깔로 나타낼 경우에, 퇴적암은 대체로 푸른색 계통으로 표시하며, 화성암은 붉은색 계통으로 나타내고, 변성암은 갈색 계



통으로 나타낸다. 색깔과 더불어 각 지층의 구분은 기호로서 표시하는데, 예컨대 JbGr 이라고 표시하면 Jurassic biotite granite(จู라기에 형성된 흑운모화강암)의 initial을 연결하여 기호화 한 것이다. 즉, Jurassic의 J, biotite의 b, granite의 Gr을 연결하면 JbGr 이 된다.



BS=Broxburn Shale, Hc=Houston Coal, RS=Raeburn Shale

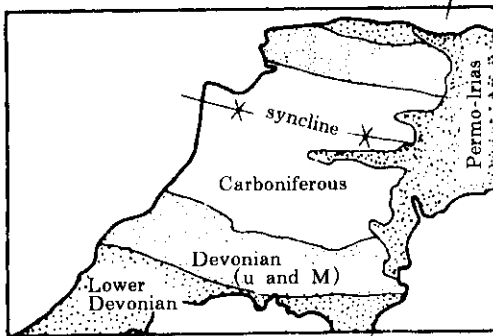
그림 1-5. 지질도의 예(지질평면도)

또한 지질도(평면도)와 더불어 지질단면도가 2개 이상 작성되어야 하며, 지질단면도 작성은 조사 지역의 평균적인 지층의 주향에 직각이 되도록 단면선을 설정하는 것이 바람직하다(그림 16). 가능하면 지층의 주향에 직각으로 지질단면도가 작성되어야 지층의 진경사와 특정 지층의 두께와 심도, 등을 정확히 파악할 수 있다.

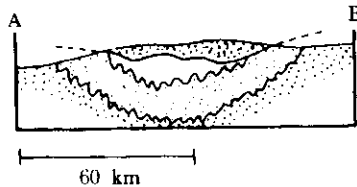
### 1.3.2 지질구조

암석이 일단 형성되면 생성 당시의 지구조 응력장의 지배하에 놓이게 되어 지층은 습곡(褶曲)되고 파쇄된다. 대륙판(大陸板)의 경계부에 퇴적된 두꺼운 퇴적층에는 심한 주름이 생기며 대상으로 산계가 형성되거나 더욱 나아가 산계가 변형된다. 이렇게하여 지각은 여러겹의 드러스트(thrust)나 습곡에 의해서 두

A) S.W. England



B



X B) Bristol Coalfield

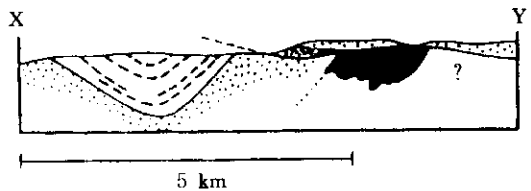
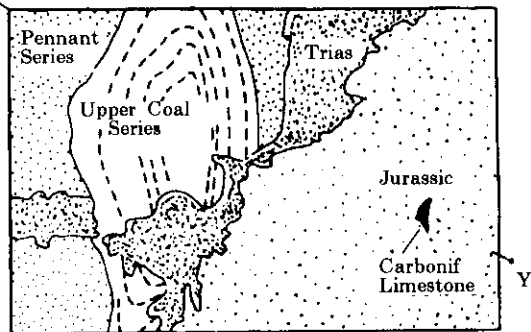


그림 1-6. 지질도와 단면도의 예

꺼워지고, 일부는 화성암의 관입작용을 겪고 일부는 변성작용을 수반한다. 이렇게 하여 형성된 고산지대는 침식에 의해 낮아지고 지구조 응력장의 변화로 다시 지각은 융기하여 이전에 겪은 제 작용들을 반복하거나 일부 순회하는 단계에 다다르게 된다. 지구조 운동의 결과 대륙에서는 습곡과 단층작용을 받은 지층이 길고 좁은 산맥을 형성하고 있다는 점이다.

이와같은 변형대를 형성시키는 운동을 조산 작용(造山作用, orogeny)이라고 하며, 이 변형대는 지판(地板)의 충돌에 기인된 것으로 생각된다. 그와같은 지대는 지형적으로 산맥을 이루고 있는 곳이 많아 알프스나 히말라야 산맥 등, 현재 대륙에 분포하는 대산맥은 쥬라기에 서 현세에 걸친 조산기에 형성된 것이다. 구조상의 복잡성이나 변성작용의 정도는 산맥의 가장자리에서 중축으로 갈수록 점차 심해지며, 산맥의 중핵부를 구성하는 거대한 화강암체에 이르러 최고조에 달한다. 이들 화강암의 결정화는 지하의 깊은 곳이었는데, 융기하는 조산대의 윗부분이 삭박작용이나 중력활동에 의해서 제거되고, 고화된 화강암의 중핵부가 상승을 계속하여 마침내는 그의 산정에 노출하기에 이른다. 에베레스트산을 비롯한 그 주변의 산들, 알래스카 산맥의 Makili산 등은 이렇게 해서 형성된 대산맥 중의 최고봉이다.

### 가. 단층

지각중에 생긴 틈을 경계로하여 그 양측의 지괴가 상대적으로 이동하여 어긋나면 이를 단층(fault)이라 한다. 단층은 모든 암석중에 생길 수 있으나 화성암이나 변성암 같은 괴상 암석 중에는 단층 양측의 변위 차이가 인지되지 않는 경우가 많으나, 퇴적암에서는 단층 양측의 암석이 달라지는 경우가 많으므로 단층을 발견하기 쉬울 뿐아니라 변위의 양까지도 알아낼 수 있다.

단층에는 양쪽에 각 1개의 면이 있으며 이 두 면을 단층면이라 한다. 단층면은 얼핏 보면 평탄하게 보이나 자세히 보면 요철이 심하고 굽힌 줄이 생긴 면으로 되어 있음이 보통이다.

단층이 움직일 때의 마찰로 연마되어 마치 거울과 같이 번쩍이는 면을 보여주는 일이 있다. 이런 단층면을 단층활면(斷層滑面, slickenside)이라고 한다. 단층면에 대하여도 성층면과 같이 그 주향과 경사를 측정하여 기재한다. 단층은 하나로 존재하기도 하나 평행하는 몇 개의 단층이 발달되어 있는 일도 많다. 이런 여러매의 단층군을 단층대(fault zone)라고 한다.

단층면은 수직인 경우가 드물고 대체로 한쪽으로 기울어져 있고 기울어진 정도가 심하여 수평 내지 수평에 가까운 것 까지 있다. 단층의 두 단층면은 서로 접하여 있는 경우, 두 면 사이에 빈 곳이 발견되는 경우도 있으나 단층면 사이에 점토가 끼어 있는 경우가 있다. 이는 단층이 미끄러질 때에 암석이 점토광물로 변한 것으로서 이를 단층점토(fault clay)라고 한다. 단층면 사이에 각력(角礫, breccia)이 들어 있으면 이를 단층각력(fault breccia)이라 하고 이것이 고화되면 단층각력암이라고 한다.

경사를 가진 단층에서 단층 윗쪽에 있는 암반을 상반(上盤, hanging wall), 그 아랫쪽에 있는 암반을 하반(下盤, foot wall)이라고 한다

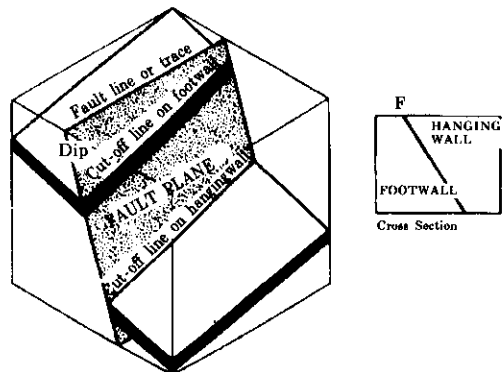


그림 1-7. 단층의 명칭과 상하면 구분

단층면의 경사와 상반 및 하반의 이동방향, 단층의 주향에 따라 단층을 분류 할 수 있다 (그림 1-8). 단층면의 경사가 거의 수직이며 단층 양암반의 움직임이 주향방향이면 주향이동 단층(strike-slip fault), 단층면이 경사지고 단층면의 경사 방향으로 단층의 상하반이 이동할

경우 정단층(normal fault)과 역단층(reverse fault), 단층면이 경사지고 단층면의 주향과 경사 방향에 어긋나게 단층의 상하반이 이동할 경우 사교단층(oblique fault), 단층면의 경사가 거의 수평에 가까울 정도로 저각이며 단층상반의 이동거리가 매우 큰 단층을 드러스트(thrust)라 한다.

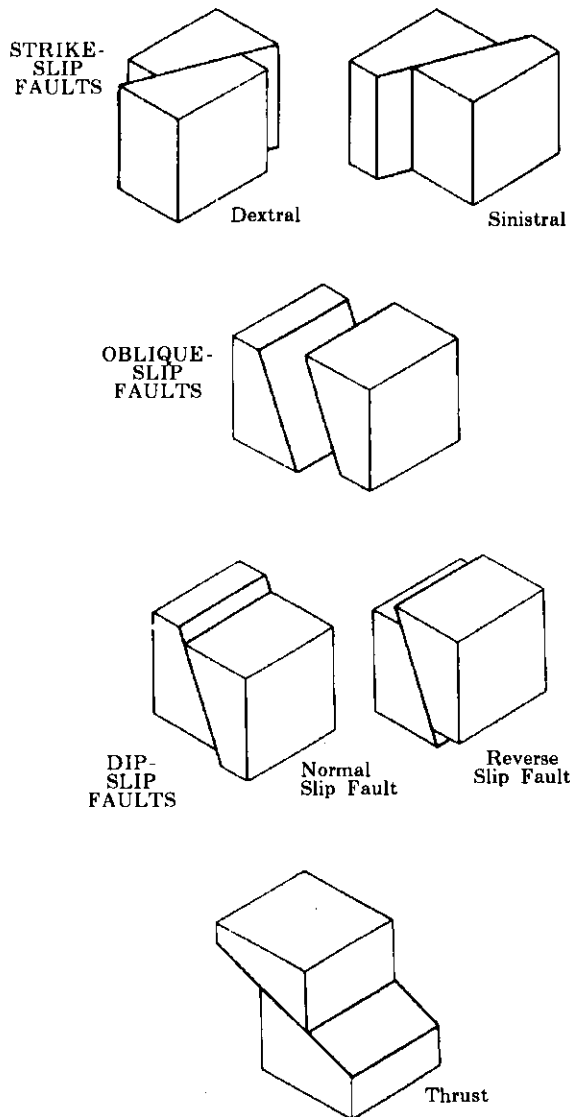


그림 1-8. 단층의 이동벡터에 따른 분류

### 나. 습곡

수평으로 퇴적된 지층이 횡압력을 받으면 물결처럼 굴곡된 단면을 보여주게 된다. 이런 구조를 습곡(fold)이라 한다. 습곡에는 각 물질 사이의 거리 즉, 파장이 작은 것으로부터 수 km 이상 달하는 것 까지 있다. 습곡이 위로 향하여 구부러진 것을 배사(背斜, anticline), 이와 반대인 것을 향사(向斜, syncline) 라고 한다(그림 1-9). 배사와 향사 사이의 기울어진 부분을 날개(wing or limb)라고 한다. 특히 배사에서 두 날개가 마주치는 곳을 정부(頂部, apex)라고 하며 정부를 연결한 선을 배사축(anticlinal axis)이라고 한다(그림 1-10). 향사에서 두 날개가 마주치는 곳이 저부이고, 향사축(synclinal axis)은 향사의 두 날개가 마주치는 점을 연결한 선이다(Twiss & Moores, 1992). 배사에서 습곡축면(fold axial plane)이 기울어져 있을 때에는 정부 외에 가장 고도가 높은 곳이 따로 있는데 이를 관(冠)이라고 부른다. 대칭적인 습곡에서는 정부와 관이 일치된다.

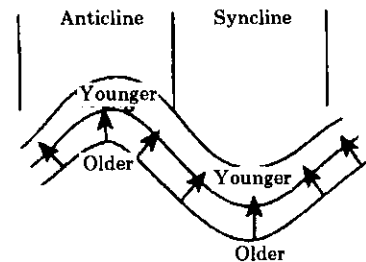


그림 1-9. 습곡에서의 향사와 배사 (화살표 방향은 상부층을 표시)

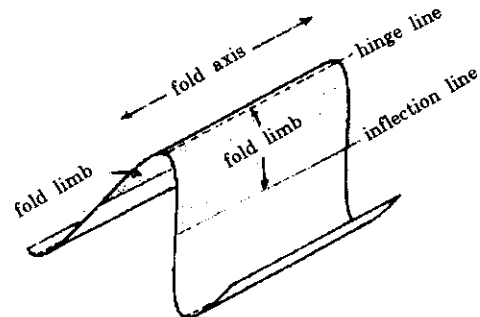


그림 1-10. 습곡 각부의 명칭

습곡은 날개의 경사와 습곡측면의 경사각 및 습곡단면의 기하학적인 모양에 따라 여러 가지 종류로 분류된다. 즉, 습곡 날개의 경사가 45도 이하인 것은 완사습곡(open fold), 경사가 45도 이상인 것은 급사습곡(close fold), 소규모의 습곡이 W자 형으로 예리하게 꺾인 습곡은 세브론 습곡(chevron fold), 습곡의 측면이 거의 수평으로 기울어져 있는 것을 횡와(橫臥)습곡(recumbent fold)이라 한다.

#### 다. 파쇄작용과 절리

지질학에서는 변형작용을 암석물성에 기초하여 연성변형작용(ductile deformation)과 취성변형작용(brittle deformation)으로 구분하는데, 암석이 소성(plastic)일때는 연성변형작용이 우세하게 일어나고 암석이 탄성(elastic)일때는 취성변형작용이 우세하게 일어난다. 지하 심부의 암반은 비교적 높은 열과 압력하에서 응력의 평형상태를 유지하고 있어서 외부에서 가해지는 응력이나 조구조응력장의 변화로 암반내에는 연성변형작용의 일종인 압쇄작용(mylonitization)이 발생하여 암석은 응력이 가해진 범위내에서 재결정화 한다. 그러나 지표 가까이에 위치한 암반은 대부분 상온, 상압과 유사한 조건을 유지하고 있어 암반에 응력

이 가해지거나 응력장이 변하게 되면 암석의 강도를 넘어 암반에 금이 가거나 깨어지고 나아가서 계속되는 응력장의 집중은 마침내 암반이 기존의 틈이나 깨진면 즉, 절리면(joint or fracture)을 따라 암반이 서로 이동하게 되어 단층이나 단층대로 발전하게 된다(그림 1-11).

전술한 취성변형작용의 결과 형성된 대표적인 지질구조로는 절리가 있으며, 절리는 그 성인에 따라 전단절리(shear joint)와 인장절리(tension joint)로 구분할 수 있다. 전단절리는 전단응력에 기인해서 발생한 것이고 인장절리는 전단응력장 혹은 인장응력장의 장력에 기인하여 발생된 절리이다. 암반 내에서의 지하수 흐름이라든지 인공절취 사면에서의 사면활동면의 대부분은 인장절리면일 경우가 많다.

### 1.4 한국지질의 특성

#### 1.4.1 개관

한국의 지질은 선캠브리아 이언(Eon)의 지층에서 신생대층에 이르기 까지 다양하게 분포한다. 이들중 한반도의 기반을 이루는 선캠브리아 이언의 변성암류와 고생대 및 중생대의 심성암류는 여러번에 걸친 지각변동과 백악기 이후에 일어난 융기와 삭박작용에 의하여 크게 노출되어서 우리나라 지질의 반 이상을 차지한다.

한반도의 북쪽에는 선캠브리아 이언의 변성암류와 고생대 지층이 우세하게 분포하고 있는데 반하여, 남쪽에는 중생대 지층도 함께 넓게 분포한다. 특히 중생대 화강암의 저반이 북쪽에는 무질서하게 산재하는데 반해 남쪽에서는 중국방향의 옥천대에 나란하게 큰 규모의 저반을 이룬다. 중생대층의 넓은 분포지는 한반도의 동남쪽인 영남지방과 남해안 지역에 있다. 따라서 선캠브리아 이언의 변성암류와 고생대층은 중국대륙의 화북지방의 것과 잘 대비되고, 백악기와 신생대층은 일본열도의 것과 잘 대비된다. 신생대 제3기층은 동해안을 따라서 작은 조각으로 10여 곳에 분포하며, 서해안에서는 두 곳에서 발견된다. 이러한 현상들은 전

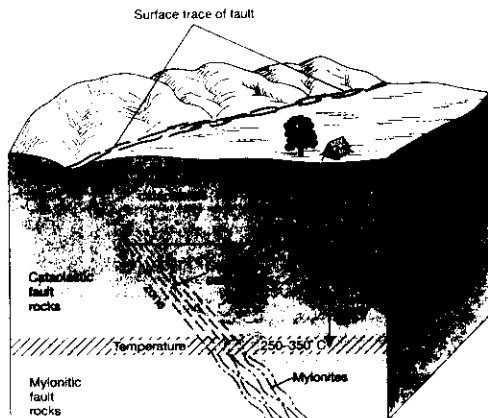


그림 1-11. 단층대의 심도에 따른 변화 모식도

체적으로 보아 한반도의 지질이 북쪽에서 남쪽으로 갈수록 젊어지는 경향을 보여준다. 신생대 제4기의 화산암은 제주도, 울릉도, 백령도, 추가령열곡, 길주-명천 지구대, 백두산 부근에 분포한다. 다음의 표 1-4는 한국의 지질계통표이다(원종관, 1989).

한반도의 남쪽은 그림 1-12에서 보는 바와 같이, 크게 경기육괴 지역, 영남육괴 지역, 육천구조대 지역, 경상누층군 지역(경상분지 지역), 연약암반 지역(연일분지 지역), 섬 및 기타 지역으로 나눌 수 있다.

도 선캠브리아계의 기저부를 형성하는데(그림 1-12) 대부분이 변성암류로서 주로 화강암질편마암(granitic gneiss) 및 이에 협재되는 편암과 규암(quartzite)으로 이루어진 변성암복합체이다(그림 1-13).

경기육괴 지역에 분포하는 암반내의 불연속면은 주로 변성암의 특징인 엽리(편리, 편마구조)와 절리(전단절리, 인장절리), 단층면 및 일부 규암에서는 층리 등이 있다.

### 1.4.3 영남육괴 지역

영남육괴를 이루는 변성퇴적암류도 경기육



그림 1-12. 한반도 지체구조도

### 1.4.2 경기육괴 지역

경기육괴(陸塊)는 영남육괴와 더불어 한반

표 1-4 한국의 지질계통표

地質時代		地質系統(南韓)		地殼變動 火成活動, 變成作用, 其他		舊地質系統						
新 生 代	第四紀	現世	(沖積層)	局 地 滑 層 堆 積	} 火山活動: 알칼리火山岩類	第四系	(沖積層)					
		플라이스토세	新陽里層				(洪積層)					
	第三紀	플라이오세	西歸浦層?	} 火山活動	} 陸盆	} 佛國寺花崗岩	第三系	明川統				
			延日層群					陽北層群	龍洞統			
		올리고세	三系	} 傾斜	} 大寶造山運動, 大寶花崗岩	} 松林變動, 火成活動	} 佛國寺花崗岩	鳳山統				
		에오세							慶尙系	佛國寺統		
파레오세	慶尙系	新羅層群	河陽層群	採樂山火山岩	鶴峰火山岩	新羅統						
中 生 代	白堊紀	蔚川層群	蔚川層群	} 陸成層	} 雲門寺火山岩	大同系	柳京統					
		新羅層群	河陽層群				大寶造山運動, 大寶花崗岩	佛國寺統				
	유라紀	大同系	洛東層群	新洞層群	蔚川層群	蔚川層群	洛東統					
古 生 代	페름紀	蔚川層群	蔚川層群	} 沃川層群(上部)	} 火成活動	平安系	高坊山統					
		鐵道土谷層	咸白山層				} 海退	} 海成層	寺洞統			
		長省層	밤치層							} 海侵	} 造陸運動(陸化?)	} 海成層
		(中間層)	黔川層				} 沃川層群(下部)	} 海成層	} 海成層			
		古木層群	晚項層									
	석탄紀	鐵道土谷層	咸白山層	} 沃川層群(下部)	} 海成層	} 海成層	} 海成層					
		長省層	밤치層					} 海成層	} 海成層	} 海成層		
		(中間層)	黔川層								} 海成層	} 海成層
		古木層群	晚項層					} 海成層	} 海成層	} 海成層		
		鐵道土谷層	咸白山層								} 海成層	} 海成層
데본紀	鐵道土谷層	咸白山層	} 海成層	} 海成層	} 海成層	} 海成層						
	長省層	밤치層					} 海成層	} 海成層	} 海成層			
	(中間層)	黔川層								} 海成層	} 海成層	} 海成層
사일루리아紀	鐵道土谷層	咸白山層	} 海成層	} 海成層	} 海成層	} 海成層						
	長省層	밤치層					} 海成層	} 海成層	} 海成層			
	(中間層)	黔川層								} 海成層	} 海成層	} 海成層
오오도비스紀	鐵道土谷層	咸白山層	} 海成層	} 海成層	} 海成層	} 海成層						
	長省層	밤치層					} 海成層	} 海成層	} 海成層			
캠브리아紀	鐵道土谷層	咸白山層	} 海成層	} 海成層	} 海成層	} 海成層						
	長省層	밤치層					} 海成層	} 海成層	} 海成層			
原 生 代	後期	漣川層群	} 智異山岩體	} 地變	} 火成活動, 廣域變成作用 (花崗片麻岩)	先 寒 代				駒峴統		
	中期	泰安層					} 智異山岩體	} 地變, 火成活動, 廣域變成作用	} 智異山岩體	祠堂隅統		
	前期	蔚川層群								} 智異山岩體	} 地變, 火成活動, 廣域變成作用	} 智異山岩體
始 生 代	後期	蔚川層群	} 智異山岩體	} 地變, 火成活動, 廣域變成作用	} 智異山岩體	} 智異山岩體	花崗片麻岩系					
	前期	蔚川層群						} 智異山岩體	} 地變, 火成活動, 廣域變成作用	} 智異山岩體	} 智異山岩體	
始生代	蔚川層群	蔚川層群	} 智異山岩體	} 地變, 火成活動, 廣域變成作用	} 智異山岩體	} 智異山岩體	} 智異山岩體					

한국지질도  
(한국동력자원연구소(1981))

0 50 100km

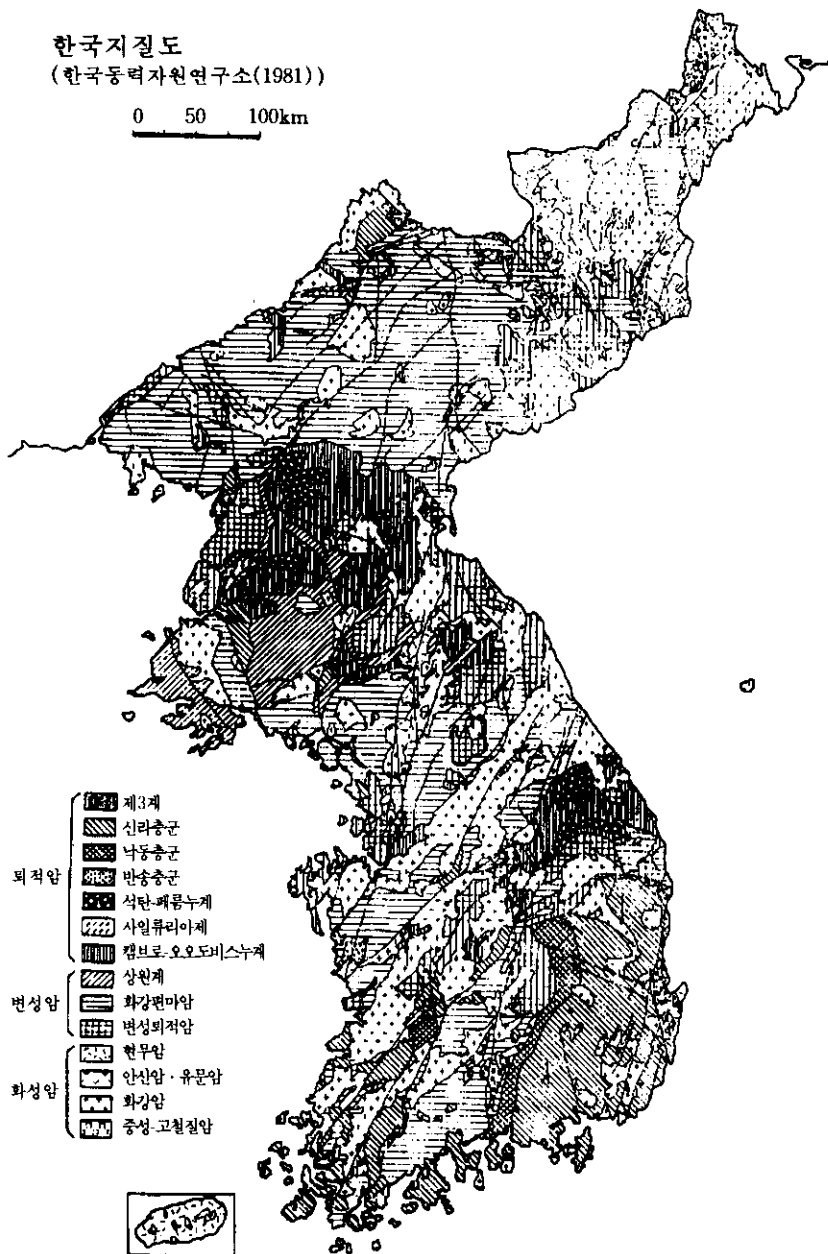


그림 1-13. 한반도 지질도

괴와 마찬가지로 주로 편마암류와 편암류이다. 지리산을 중심으로한 육괴의 서남부는 화강암질편마암류 및 반상변정편마암(porphyroblastic gneiss) 등의 준편마암류(paragneiss)와 화강편마암을 주로한 정편마암(orthogneiss)으로 이루어져 있으며, 육괴의 북동부는 각종의 호상편마암(banded gneiss), 미그마타이트질편마암(migmatitic gneiss) 및 편암류로 구성된다.

영남육괴 지역에 분포하는 암반내의 불연속면은 주로 변성암의 특징인 엽리(편리, 편마구조)와 절리(전단절리, 인장절리), 단층면 및 일부 편마암에서는 분쇄질엽리 등이 있다.

#### 1.4.4 옥천구조대 지역

옥천대는 남한 중부에 약 80km의 폭을 가지고 남서 해안에서 북동 해안까지 거의 북동방향으로 연장된 지대이다. 옥천구조대에 분포하는 지질은 크게 구조대의 북동부와 남서부로 구분할 수 있는데, 북동부에는 주로 고생대층이 분포하며 중생대층이 좁은 대상으로 약간 분포한다.

하부고생대층은 석회암을 주로 하고 고회암과 석회질쇄설퇴적암으로 구성되어 있으며, 상부 고생대층은 육성쇄설퇴적층으로 함탄층(coal seam)을 협재한다. 중생대층은 쥐라기와 백악기의 육성쇄설퇴적암층으로 되어 있다. 이들 암석들은 약간 변성되어 사암은 규암에, 셰일은 점판암에 가깝게 되었고 탄산염암(carbonate)류는 재결정작용(recrystallization)을 받은 정도로 변성되어 있다.

옥천구조대 남서부에는 소위 옥천계로 알려진 변성퇴적암류가 분포하는데 그 변성도는 상당히 높은 편이다(임명혁, 1992). 이들 변성암류는 천매암, 녹니석편암(chlorite schist), 운모편암(mica schist), 규암, 각섬암(amphibolite)으로 구성되어 있어 북동부의 고생대-중생대층과는 층서, 암상, 변성도에 있어서 현저한 차이를 나타낸다.

옥천구조대 지역에 분포하는 암반내의 불연속면은 주로 변성암의 특징인 엽리(점판벽개,

편리, 파랑벽개, 습곡측면엽리, 편마구조)와 절리(전단절리, 인장절리), 단층면, 파쇄대 및 일부 편마암에서는 분쇄질엽리, 층리 등이 있다.

#### 1.4.5 경상누층군 지역

한반도에는 중생대 쥐라기 후기에 있었던 대보조산운동이후 백악기에 걸쳐 화산암류를 수반한 두꺼운 육성퇴적층이 형성되었는데 이 퇴적누층을 경상계 또는 경상누층군이라 한다.

경상누층군은 주로 경상남북도에 발달해 있어 이 지역의 경상누층군 분포지를 경상분지라고 한다. 이에 대비되는 상부 중생대층은 경상분지 이외에 전라남북도에 각 일부, 충청북도 영동, 괴산 지역, 강원도 통리 지역 등에 각각 산재하여 분포된다.

경상누층군은 주로 역암(conglomerate), 사암(sandstone), 셰일, 이암(mudstone) 및 이회암(marl)의 호층(alternation)으로 구성되어 있다. 경상누층군의 하부에는 얇은 석탄층이 불연속적으로 협재되어 있으며, 상부에는 화산암류가 발달되어 있다. 경상분지 내에서 경상누층군의 총 두께는 약 8,000m~10,000m에 달하며, 암반내의 불연속면은 주로 퇴적암의 특징인 층리와 절리, 단층면, 단층대(양산단층), 파쇄대 및 세립질 암석(셰일)에 주로 발달하는 fissility 등이다.

#### 1.4.6 연약 암반 지역

연약암반 지역은 우리나라의 신생대 제3기 층이나 제4기층에 해당한다. 주 분포지는 동해안을 따라 소규모로 산재 분포한다. 이들은 강원도 북평지역, 경북 영해지역, 경북 포항지역, 경북 어일지역, 경남 울산지역 및 제주도 서귀포지역에 주로 분포하며 포항-어일지역이 가장 넓다.

이들 신생대층들은 퇴적분지에서 퇴적물이 퇴적된후 채 고결되지 않은 상태에서 지반의 융기, 삭박작용으로 현재 동해안 일대에서 주로 나타난다. 신생대층중 특히 이암(mudstone)의 경우는 주구성광물이 몬모릴로나이트, 일라이트, 카올리나이트 등의 점토광물로 구성되어 있기 때문에, 이들 광물의 특성상 지표에 드



러나면 풍화가 급속히 진행되며, 일부는 슬래킹현상도 일어나는 극히 불안정한 연약암반층이다.

연약암반 지역의 주 구성 암석은 이암, 미사암(siltstone), 응회암(tuff), 현무암(basalt), 용암류(lava), 화산암류, 기타 미고결 퇴적층 등이며, 암반 불연속면은 주로 퇴적암의 특징인 층리와 절리, 단층면, 단층대(양산단층), 파쇄대 및 세립질 암석(세일)에 주로 발달하는 fissility 등이다.

#### 1.4.7 섬 및 기타 지역

제주도 서귀포, 성산포, 모슬포 지역을 제외하고는 제주도 대부분이 신생대 제4기 화산암류와 화산분출물로서 수 m 두께의 현무암 아래 수 m 두께의 화산쇄설물이 교대로 반복 분포하는 경우가 많아 연약지반과 암반이 수m 씩 반복 출현한다. 더불어 용암류가 분포하는 지역은 암반내에 공동(cavity)이 곳곳에 분포

하고 있어 매우 불안정한 지반으로 분류할 수 있다. 이들 암반에 분포하는 불연속면 또한 현무암의 수축, 냉각시 형성된 주상절리이므로 그 틈이 매우 넓고 연장성이 양호한 인장절리이다.

울릉도 또한 제주도와 비슷한 지질을 보이거나, 울릉도 특유의 화산암류 아래에 화산성 자갈층이 수m씩 분포하고 있는 경우가 많아 이들 자갈층을 따라 지표의 구조물이나 지반이 이동하는 경우가 많다. 불연속면은 제주도의 것과 비슷한 양상이다.

기타 남해나 서해의 수많은 섬들은 대부분이 중생대 화산암류와 응회암 및 사암, 세일 등이 가장 많은 분포를 보이고 일부 섬들은 화강암류도 분포한다. 이들 섬 지역에 분포하는 암반내의 불연속면은 주로 퇴적암의 특징인 층리와 절리, 단층면, 세립질 암석(세일)에 주로 발달하는 fissility 등이 있다.