

토목구조물공사와 단층

신 희 순, 선우 춘(한국자원연구소, 책임연구원)

1. 서언

지각을 구성하고 있는 암반에 응력(Stress)을 받게되면 변형(Deformation)이 발생한다. 이러한 변형은 변형이 발생된 곳의 온도 및 압력조건에 따라 변형양상이 다르게 나타난다. 온도와 압력이 높은 지하심부에서는 연성변형작용(Ductile deformation)이 일어나 습곡, 연성전단대(Ductile shear zone)와 같은 변형이 발생되며 반면에 온도가 낮은 지각의 천부에서는 암반이 깨어지는 취성변형작용(Brittle deformation)이 일어나 절리나 단층과 같은 지질구조가 형성된다. 오랫동안 활성단층 여부에 관하여 커다란 논란이 있어 왔던 국내 최대 규모인 양산단층을 비롯하여 방사성폐기물처분장 건설지로 선정되어 지반조사를 하는 중에 발견된 굴업도 인근 바다밑의 활성단층으로 판명된 바 있다. 이러한 단층은 토목구조물의 건설공사나 안정성에 커다란 영향을 끼친다. 최근에는 철도청의 16.2km 나 되는 영동선 장대터널이 오십천단층 부근을 지나도록 계획되어 있어 단층에 대한 관심이 더욱 고조되고 있다. 본고에서는 단층들에 대한 일반적인 내용을 비롯하여 국내 주요 단층들을 소개하고자 한다.

2. 단층의 운동 및 종류

지각의 바깥부분에서의 응력상태는 매우 복잡하다. 일반적으로 균열은 암석에 축적되어 있는 응력에 의해 습곡과 무관하거나 습곡과 관련되어 형성된다. 이러한 균열에는 단층(fault)이나 절리(joint)가 포함되며, 단층은 파괴가 일어난 두 암괴사이의 상대적인 변위가 있고, 절리는 상대적인 변위가 발생되지 않은 균열을 나타낸다. 단층균이나 절리균은 균열을 일으킨 응력의 방향을 나타내는 중요한 요소가 될 수 있다. 단층은 모든 암석에서 생길 수 있으나 화성암이나 변성암과 같은 암석에서는 단층 양쪽의 차이가 관찰되지 않는 경우가 많으므로 단층의 차이를 발견하기가 어렵다. 그러나 퇴적암의 경우는 단층의 발견이 용이하며 압축의 이동까지도 알아 낼 수 있다.

2.1 단층의 운동

단층면은 취성재료가 압축을 받을 경우 힘이 작용한 방향에 대해 경사진 전단면을 따라 파괴가 일어나 형성된다. 이론적으로 최대 전단응력은 최대 주응력 방향에 대해 45° 기울어진 면을 따라 일어나지만, 실제로 이러한 각도는 파괴순간에 마찰력이 작용하여 45° 이하로 나타나고 있

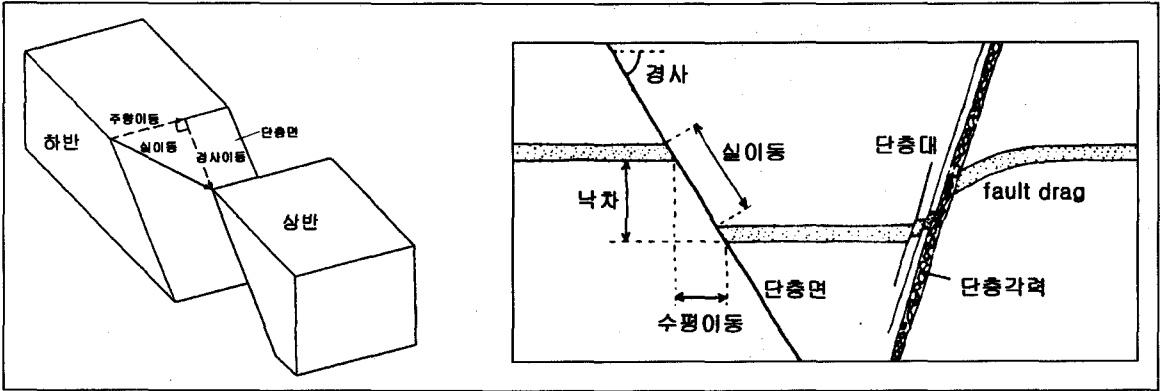


그림 2.1.1 단층의 정의

는 것이 일반적이다. 단층면의 표시도 성층면과 마찬가지로 주향과 경사로 표시한다. 두 단층면 사이에는 단층이 생성될 때 암석이 점토로 변하여 단층면을 채우고 있는 것을 단층점토라 한다. 단층면 사이에 각력이 포함되어 있으면 단층각력(斷層角礫)이라 하며, 이것이 고화되면 단층각력암이라 한다(그림 2.1.1).

경사진 단층의 위쪽에 존재하는 암반을 상반(上盤, hanging wall)이라 하고, 아래에 존재하는 암반을 하반(下盤, foot wall)이라고 한다(그림 2.1.1).

본래의 암반에 존재하던 두 인접한 점이 단층면을 따라 일어난 변위는 직교하는 3축을 기준으로 3개 요소로 표시된다. 수직 변위를 낙차(落差, throw)라 하며 단층의 대소를 간단하게 표시하는데 사용된다. 두 개의 수평 요소는 단층면에 대해 직각인 수직평면에 대한 변위를 수평이동(heave)이라 하며, 단층면의 주향방향에 평행으로 측정되는 변위를 주향이동(strike-slip)이라고 하며, 총 변위를 실이동(實移動, slip)이라고 한다. 또 다른 하나의 요소인 경사방향의 변위는 경사이동(dip slip)이라고 한다

(그림 2.1.1).

2.2 단층의 종류

지표면 가까이에서 단단한 암석이 압축을 받으면 전단에 의한 파괴가 일어나 하나의 단층이 생기거나 복수군의 단층대가 형성된다. 단층중에 가장 중요한 형태에는 정단층, 역단층 그리고 주향이동 단층이 있다. 주 작용응력이 수평이고 수직 하중이 적을 때 그림 2.2.1처럼 교차되는 전단 균열이 형성되며, 이 균열사이의 예각이 최대 주응력이 작용하게 되며 이렇게 형성된 단층이 역단층이다. 최대 응력이 수직이면 전단면은 수평에 대해 급경사를 가지게 되며, 이러한 응력조건에서 형성된 단층은 정단층이 된다(그림 2.2.1). 최대 및 최소 주응력이 수평이고 중간 주응력이 수직일 때 수직인 단층면이 만들어지며, 이러한 단층이 주향이동 단층이 된다(그림 2.2.1).

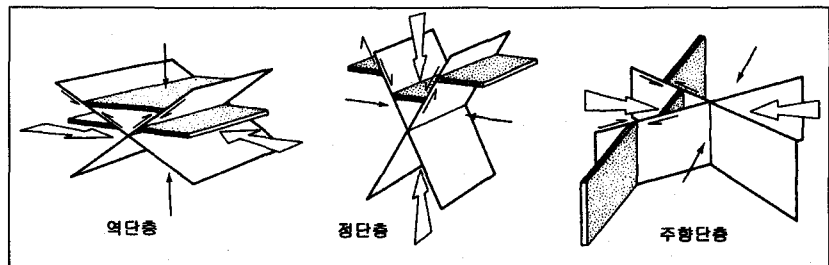


그림 2.2.1 주응력과 단층과의 관계

2.2.1 정단층(normal fault)과 역단층(reverse fault)

정단층은 상반이 하반에 비해 상대적으로 떨어진 형태의 단층이며, 역단층은 하반이 상반에 비해 상대적으로 떨어진 형태의 단층으로 본래의 수평거리가 짧아진 형태가 된다.

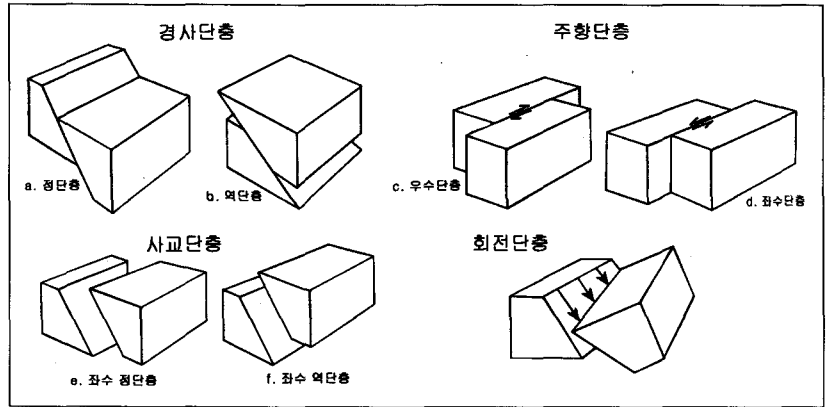


그림 2.2.2 단층의 종류

2.2.2 트러스트 (thrust)

대부분의 균열은 수평에 대해 급경사를 갖는 반면에 이 그룹의 단층은 수평의 압축응력에 의해 생성되어 일반적으로 경사가 45° 이하의 경사를 갖는다. 반면에 45° 이상의 경사를 갖는 단층을 역단층이라 부른다.

2.2.3 주향이동단층(strike-slip fault, wrench fault)

단층 양쪽의 암반이 상하운동을 일으키지 않고 수평 방향으로만 변위가 발생한 단층을 나타내며, 단층면은 일반적으로 수직이다.

- 右手단층 (right-handed 또는 dextral fault) : 단층을 바라보고 관찰자의 오른쪽 암반이 관찰자 쪽으로 이동한 단층을 말한다.
- 左手단층 (left-handed 또는 sinistral fault) : 우수단층과 반대로 왼쪽이 이동한 단층.

단층이 생긴 지층을 기준으로 지표의 노두에서 나타나는 단층의 방향에 따라 단층을 구분한다(그림 2.2.2 참조).

- ① 주향단층(strike fault) : 단층의 주향이 지층의 주향과 평행하거나 거의 평행한 단층
- ② 경사단층(dip fault) : 지층의 경사방향에 평행하거나 거의 평행한 단층
- ③ 사교단층(斜交, oblique fault) : 주향방향도 경사방향도 아닌 단층

3. 단층파쇄대의 활성단층

3.1 단층·파쇄대·구조선의 정의

두드러지게 파쇄된 대상의 지질불량지역을 단층·파쇄대·구조선 등으로 부르고 있으며, 이들 용어에 대한 설명은 아래와 같다.

3.1.1 단층

지각의 응력에 의해 생긴 어느 규모이상의 전단 파괴면에서 양측에 상대적으로 어긋남을 가지는 선상 또는 대상의 부분을 말한다(그림 3.1.1). 파괴면을 단층면이라 부르고 암반상호의 전단에 의해 미끄러진 흔적이 있는 매끄러운 면이 존재하며 이 면을 단층경면(slicken side)이라 부른다.



그림 3.1.1 단층

3.1.2 파쇄대 · 단층파쇄대 · 전단대

단층이 발생하면 그 면을 따라 암석강도가 저하하기 때문에 반복하여 파괴가 일어난다. 그 결과 크기가 다른 여러 가지 규모의 파괴면이 밀집되고, 어느 방향으로 방향성을 가지는 zone이 형성된다. 이들을 파쇄대 또는 단층파쇄대라고 부르고, 면과 면간에 얇은 판상으로 파괴면들이 총총 모여 이루어진 것을 전단대라고 한다. 단층파쇄대 중에는 압쇄된 점토나 각력이 생기고 있다. 역단층은 압축력에 의해 생긴 단층이기 때문에 인장에 의해 생긴 정단층에 비해 파쇄작용이 크다.

3.1.3 단층점토 · 단층각력

단층운동에 의해 생긴 암석의 파쇄편들은 풍화작용, 열수작용을 받아 점토광물로 변화된다. 이와 같이 생성된 점토를 단층점토라 부르고, 단층운동에 의해 생긴 각력상의 파쇄암편을 단층각력이라 부른다.

3.1.4 구조선 · 구조대

어느 장대한 선상의 좁은 지대를 따라서 지각운동이 일어나고, 그 선에 의해 지질구조가 크게 달라져 있을 때 이 선을 구조선이라 부른다. 구조대는 2개의 의미로 사용되며, 첫 째는 구조선중에는 어느 정도의 폭을 가지고 그 부분만의 복잡한 지질구조와 고유의 발달사를 나타내는 것과 둘째는 다른 지역과는 다른 독특한 구조발달사와 구조형태를 나타내는 지역을 말한다.

3.2 단층의 구분 방법

3.2.1 지형으로 판정하는 방법

단층부분은 주위의 암반보다 연질로서 침식이 일어나기 쉽기 때문에 단층특유의 지형을 형성한다. 따라서 지형도나 공중사진의 관찰에 의해 판독할 수 있다.

- ① 단층애(斷層崖) : 지층의 어긋남이 지표에 직접 나타나 급격한 직선애가 된다. 산기슭이 일직선이고 단층애추(斷層崖錐), 삼

각형의 말단절단면이나 선상지를 동반한다 (그림 3.2.1).

- ② Kerncol(斷層鞍部) · Kernbut(斷層突起) : 단층은 주위암석보다 차별적으로 많이 침식이 되어 산능선의 일부지역에 낮은 지역이 형성되어 오히려 산능성의 말단부분이 오히려 높아져 있는 곳이 있다. 이 곳을 Kerncol이라 하며, 산능성의 말단부분의 높은 부분을 Kernbut라고 한다(그림 3.2.2).
- ③ 단층선곡(斷層線谷) : 단층을 따라 발생된 직선상의 계곡
- ④ 단층분지 : 단층군에 둘러싸여 생긴 분지.
- ⑤ 용수지점, 연못, 소, 온천원이 직선상에 놓인다.
- ⑥ 지형 등고선상에서의 혼란이 일어난 부분

3.2.2 야외에서 단층을 판정하는 방법

- ① 균열을 경계로 하여 양측으로 다른 암석이

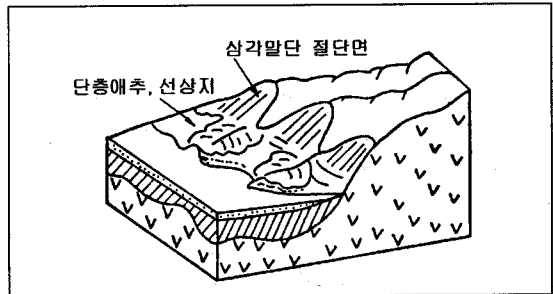


그림 3.2.1 단층애

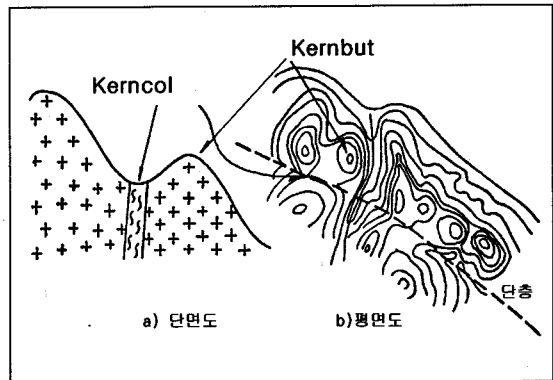


그림 3.2.2 Kerncol과 Kernbut

분포한다.

- ② 균열의 면에 단층경면이나 조선이 있다.
- ③ 폭이 넓은 암맥이나 광맥이 갑자기 없어지거나 좁아진다.
- ④ 소규모의 2차 습곡·단층각력·단층점토가 분포한다.
- ⑤ 시추나 터널굴진중에 돌연 용수나 가스가 분출하는 장소는 단층의 존재가 의심스러운 곳이다.
- ⑥ 물리탐사(탄성파, 전기, 중력, 자기, 방사능 등)에 의한 이상치가 존재한다.
- ⑦ 수분을 좋아하는 식물(대나무, 낙엽송, 칩 등)이 연속하여 분포하는 지역.

3.3 단층파쇄대의 형태

단층파쇄대를 구성하는 물질은 전단파괴의 정도에 따라 점토, 각력이 혼합된 점토, 각력이 혼합된 모래, 점토가 얇게 피복된 각력, 비교적 큰 암괴와 각력이 혼합된 층, 균열이 발달한 층, 비교적 균열이 많은 층으로 구분할 수 있다.

단층파쇄대의 강도적 성질과 투수성은 파쇄대내 물질이 점토 내지는 각력을 주로 하는가에 따라 크게 달라진다. 실제로 현장에서 만날 수 있는 단층파쇄대는 이것들이 조합된 형태들로 되어 있으며, 다음과 같이 분류할 수 있다(그림 3.3.1 참조).

3.3.1 파괴작용이 집중적으로 일어난 것

- a) 전부가 점토로 되어 있고, 양 암반은 견고한 암반으로 남는다.
- b) 점토에 각력을 포함하는 것, 양 암반은 파괴작용을 받고 있지 않다.
- c) 모래형태의 파쇄된 암석과 각력으로 되어 있다. 양 암반은 파괴되어 있지 않다.
- d) 양 암반의 경계부는 점토로 되어 있고, 그 사이는 얇은 점토와 혼합되는 각력이 주로 되어 있다.
- e) d)와 같지만 비교적 큰 암괴가 포함된다.

3.3.2 파괴작용이 한쪽으로 일어난 것

- a) 한 암반과 접하여 점토가 있고 반대측으로 향하여 점토가 얇게 끼인 각력층 균열이 밀집한 암반 균열이 많은 암반으로 되어 있다. 점토는 견고한 경암반과 접해 있다.
- b) 점토가 생성되어 있지 않고, 단층면도 불명료하다.

3.3.3 파괴작용이 양 암반에 일어난 것

- a) 중심부에 점토가 생성되어 있고 양 암반을 향해 좌우 대칭적으로 파괴작용이 감소되는 현상을 보이고 있다.
- b) 점토물은 생성되어 있지 않다. 단층면이 불명료하다.
- c) 균열이 밀집한 부분과 균열이 많은 부분으로 구성되어 있고, 명료한 단층면은 없다.

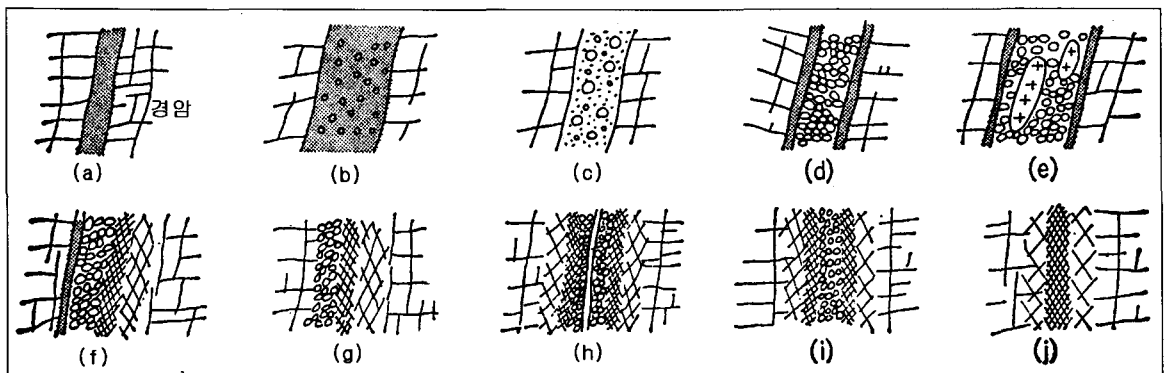


그림 3.3.1 단층파쇄대의 형태

일반적으로 제 3기층의 퇴적암처럼 연암은 단층의 모양이 단순하고 폭이 좁으며, 밀착된 것이 많다. 경암은 여러 개의 단층군을 형성하여 평행하거나 분기가 많고, 폭이 넓은 파쇄대로 나타나기가 쉽다. 이 같은 단층군은 높은 투수성을 나타낸다.

3.4 단층파쇄대의 길이, 폭, 공학적 제성질

단층의 길이는 토목지질에서 단층의 성질을 나타내는 중요한 요소이다. 단층의 길이를 실제로 측정하는 것은 용이한 일이 아니다. 지표조사에서 단층이 노출되어 있는 것은 연속해 있는 것의 일부뿐이고 나머지 부분은 표토, 식생, 오래된 단층들은 새로운 지층 등으로 뒤덮여 있기 때문이다.

그림 3.4.1은 양산단층의 폭의 변화를 나타낸 것이다. 단층 폭이 넓게 나타나는 안강, 경주, 언양, 양산천 유역 등이 제4기층의 주요분포지역이다.

한편 그림 3.4.2는 일본중부 산악의 하천부근 지역에 분포하는 화강암지역에 있어서의 단층에 대해서 계측된 길이와 파쇄폭을 나타낸 것이다. 그림 3.4.2에서는 파쇄폭이 큰 단층은 연속성이 있고, 길이는 파쇄폭의 150~350배 정도 인 것으로 판명되었다.

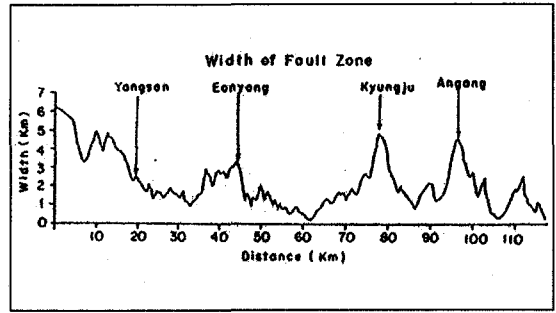


그림 3.4.1 양산단층 폭의 주기적변화(장천중외, 1996)

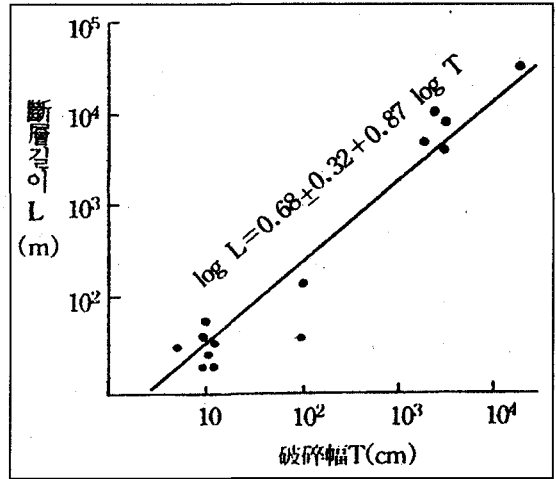


그림 3.4.2 단층의 파쇄폭과 길이와의 관계

표 3.4.1 단층, 파쇄대의 공학적 제성질 암 종

암종	지질시대	단층 파쇄대내 질과 폭	점착력 (kg/cm ²)	내부마찰각 (도)	투수성 (cm/sec)	변형계수 (kg/cm ²)
사암, 점판암	중생대	점토질 10~15cm	0.25	35	10 ⁻³ ~10 ⁻⁴	
화강섬록암	중생대	점토질 1~30cm 사질 5~6m	2~3 5~6	30~40 40~45		
호상 Chert	고생대	각력질 10~15m 점토질			10 ⁻¹ ~10 ⁻⁴ 10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁶	4~10×10 ³
화강암	중생대	점토질 9m	0.5	20	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁵	
Hornfels	고생대	각력질 사질 점토질	0.5	20	10 ⁻³ 10 ⁻⁴ 10 ⁻⁵	
사 암	고생대	각력질 점토질			10 ⁻³ 10 ⁻³ ~10 ⁻⁴	
점판암, Chert	고생대	-			10 ⁻⁴	

단층의 파쇄대부분은 주변 암반에 비하여 낮은 강도와 탄성계수, 높은 투수율을 지닌 경우가 대부분이다. 이 때문에 단층의 존재, 분포위치는 토목 구조물의 안정성 해석상 주요한 요소가 된다.

단층내에는 다양한 물질들을 협재되어 있다. 표 3.4.1은 일본의 댐건설장소에서 실시되었던 현장시험결과이다. 강도시험은 단면적이 수 m², 파쇄대의 변형시험에서는 단층내 물질이 최대 10 수m³ 정도의 대형암반시료를 사용하였고, 투수시험은 원위치 시험터널내에서 실시하였다. 이들 시험결과에서 단층파쇄대의 점착력은 주변암반에 비하여 수분의 1~수십분의 1, 투수성은 1×10⁻¹ ~ 1×10³에 이르는 정도의 차이가 있음이 밝혀졌다. 그림 3.4.3은 단층과 관련된 지질조건에 따른 축압계수변화의 예를 보여주고 있다.

3.5 단층파쇄대와 건설공사

건설공사에 있어서 단층파쇄대의 존재가 문제되는 것은 원래 연속적으로 일정한 강도·변형성·투수성을 가진 암반에 강도를 약화시키고, 변형성·투수성의 크기가 큰 지역이 형성되기 때문이다. 단층조사에 있어서는 파쇄대의 유무·폭·연장, 단층내 물질의 종류(점토와 자력의 체적비),

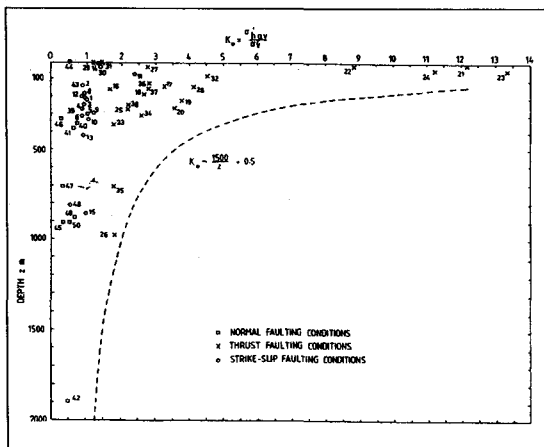


그림 3.4.3 지질조건에 따른 축압계수변화 (after Jamison and Cook, 1979)

단층점토광물의 종류, 강도와 변형성, 투수성 등에 주목해야 한다. 건설공사에 있어서 단층파쇄대의 문제점은 아래와 같다.

3.5.1 터널

- ① 단층파쇄대는 투수대이면서 한편 차수대도 있다. 산악 터널에 있어서 돌발적인 용수와 그것에 따르는 작업막장의 유출이나 붕괴의 원인이 된다.
- ② 암반이 약화되어 있기 때문에 큰 소성지압이 작용한다. 지보공의 침하·변형, 암반의 팽창 등의 변형이 발생하기 쉽다.
- ③ 단층의 낙차크기보다는 점토층과 파쇄대의 두께, 위치, 방향 및 파쇄정도가 중요하다.
- ④ 압축력을 받아 밀려 올려져 생긴 역단층은 파쇄정도가 심하고 규모도 크다.
- ⑤ 단층의 폭은 낙차에 비례하지 않고, 단일 단층에서도 장소에 따라 두께가 변하고 다소 곡선을 이루게 된다.
- ⑥ 단층이 터널과 직교하는 경우는 낙반 및 용수를 동반하는 붕괴의 위험이 있고, 사교 또는 평행하는 경우는 편압 또는 강한 압력이 작용할 위험성이 있다.
- ⑦ 단층으로부터의 용수는 막장붕괴를 일으키는 경우가 많다.
- ⑧ 단층은 부단층·분기단층을 동반하는 일이 있으며, 폭이 넓은 단층군을 형성하는 경우가 있다.

3.5.2 사면

- ① 단층파쇄대는 강도가 약하고, 침투수의 통로이기 때문에 신선한 암반에 대해 불연속면이 된다. 따라서 사면붕괴의 주요 원인이 되는 경우가 많다.
- ② 파쇄암반은 미끄러지는 재료가 되는 세립물질을 포함할 뿐만 아니라 풍화되기 쉽다. 새로 생긴 암반지역의 미끄러짐이나 사면붕괴가 발생하기 쉽다.

3.5.3 댐

- ① 단층부분이 수로가 될 수 있고 유속이 빠르면 파이핑현상에 의해 단층내 물질이 유실되고 댐의 안전성이 손상을 받는다.
- ② 강도가 약하고, 이방성이 크며 특히 중력댐 기초로서 전단강도의 부족과 침투수에 의한 부양압력이 문제가 될 수 있다.
- ③ 아치댐에서는 접합부에 arch thrust의 작용방향과 같은 방향으로 단층이 있는 경우는 위험하다.
- ④ fill dam에서는 코아 기초부의 투수성·홍수토(洪水吐)의 기초와 절취사면의 안정에 문제가 생긴다. 특히 투수성이 크면 파이핑에 의한 코아 파괴와 연결될 수 있다.
- ⑤ 저수지내에 있어서 사면붕괴도 단층파쇄대에 기인하는 경우가 많다.

3.6 활성단층의 정의

제4기(200만년전)에 들어서면서 현재까지 활동한 일이 있고, 또 활동할 능력이 있는 단층을 활성단층이라 한다. 활성단층은 지진을 일으킬 가능성이 있으며, 지진에 따라 그 양측이 상대적으로 수평, 수직방향으로 어긋나는 움직임이 일어날 수 있다. 지진을 동반하지 않고서도 creep적인 어긋남이 발생되고 있는 것이 공학적으로 주목되고 있다.

활성단층중에 대지진에 따르는 지표에 단층이 일어나는 일이 역사적으로 기록되고 있는 것은 지표(지진)단층이라 부르는 경우가 있다.

아래의 참고들은 외국의 원자력 위원회 등의 활성단층에 대한 정의를 열거한 것이다.

3.6.1 미국 원자력위원회(1973)

- ① 과거 3.5만년 동안에 적어도 1번 지표 또는 지표부근에서 변위를 일으킨 것. 또는 과거 50만년 동안에 몇 번이나 운동을 일으킨 것.

- ② 계기로 측정되어 충분한 정도를 가지는 지진활동이 단층과 직접적인 관계를 나타내는 경우.
- ③ 상기에서 정의된 활성단층과 구조적으로 관계가 있는 단층이며, 한편 변위가 생기면 다른 방향으로 도 변위에 예측되는 것(예를 들면 分岐斷層 등).

3.6.2 뉴질랜드 지질조사소의 정의 (1966, 표 3.6.1)

50만 년전 이후에 활동한 일이 있는 단층으로, 과거 5,000년 전에 있었던 활동의 유무, 빈도에 의해 활동도를 I~III으로 등급을 지우고 있다.

	최근 5,000년의 활동			
	반복	1회	없음	
5,000~50,000년전의 활동	반복	I	II	
	1회	I	III	
50,000~500,000년전의 활동	없음	I	III	
	반복	I	II	III
	1회	I	III	활동적이 아님
	없음	I	III	III

표 3.6.1 단층활동도 분류(뉴질랜드)

3.6.3 캘리포니아주 규제법에 의한 정의 (1972)

충적층(11,000년 전 이후)에 활동한 단층은 활성단층(active fault), 그 이외의 제 4기에 활동한 단층은 potentially active fault라 부르고 있다. 또 제 4기에서도 단층활동이 없었다는 지질학적인 증거가 있으면 사단층(inactive fault)로 간주하여 규제대상에서 제외하고 있다.

3.6.4 일본원자력위원회 내진심의 지침에 의한 정의(1978)

제4기에 활동한 단층으로 장래에 활동할 가능성이 있는 단층중에 5만년전 이후에 활동경력이 있는 것은 S2 단층, 1만년전 이후에 활동경력이 있는 것은 S1 단층으로 등급을 정하고 있다(그림 3.6.1 참조).

이상의 모든 정의에서 공학적으로 중요한 활성

단층이라는 것은 “과거의 새로운 시대에 되풀이하여 활동하여 장래에도 활동할 가능성이 있는 단층”을 말하며, 구체적으로는 다음 조건 중에 하나 이상 해당하는 것을 활성단층이라고 하는 것이 타당하다고 생각할 수 있다.

- ① 과거 35,000년 이내에 활동한 단층
- ② 과거 50,000년 이내에 2번 이상 활동한 단층
- ③ 중소지진(진도 4-5)이 2회 이상 발생한 단층
- ④ 미소지진(진도 1-3)이 빈번히 발생한 단층
- ⑤ 측지학적으로 활동하고 있는 것이 확실한 단층
- ⑥ 상기의 단층에 따라서 일어나는 단층

4. 우리나라의 단층특성

한반도의 활성단층은 1995년 말에 굴업도 및 그 부근을 지나는 4조의 단층이 활성단층인 것으로 공식발표된 것 이외에는 아직 확인된 것은 없다. 한반도에서의 활성단층에 대해서는 일본인 다데이와(1929)에 의해 최초로 양산단층이 거론된 바 있으며, 국내에서는 이기화 등(1983, 1984, 1985)에 의해 재론된 바 있으며 오카다 등(1992)

은 양산단층을 일본 측의 기준에 맞추어 C급(1mm/년 이하)로 규정지은 바 있다. 활성단층의 기준은 각국의 지질특성에 따라 다름은 3.5절에서 기술한 바와 같으며 우리나라는 미국의 규정을 따르고 있다. 한반도의 지질특성상 지각변형은 원생대로부터 신생대에 이르기까지 여러차례 일어났으며, 동시에 단층운동도 수 차례 반복한 흔적이 여러 곳에서 관찰되고 있다.

활성단층은 단층절대연령치가 산출되거나, 또는 GPS(Global Positioning System)에 의한 현생 지표면의 변위량 측정치가 있어야 확인된다. 동남아시아 주변에서 측정된 활성단층을 종합해 보면 대부분의 규모가 큰 활성단층들은 기존의 단층들이 다시 움직인 것으로 분석된다. 지질도상의 단

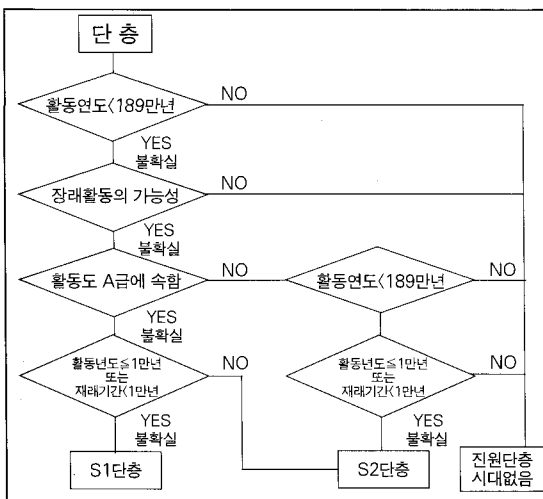


그림 3.6.1 내진설계심사지침에 기초한 단층의 활동도 판정 flowchart

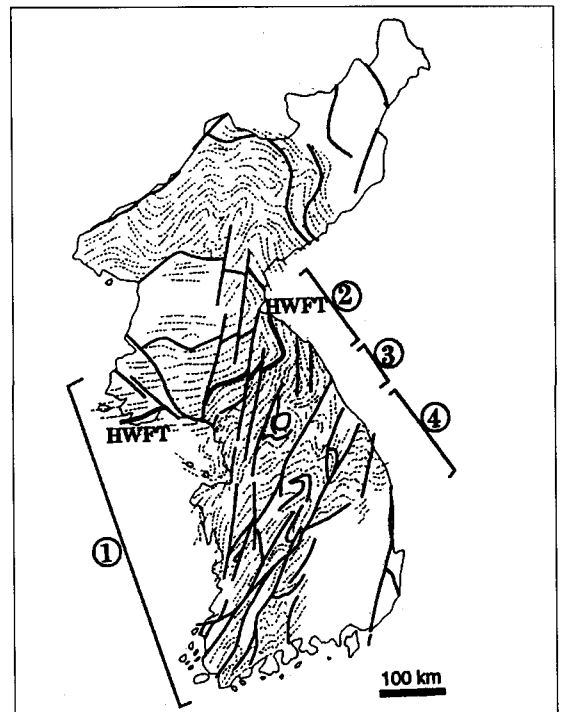


그림 4.1 한반도의 단층대(최위찬, 1998); ① 추가령 단층대의 서부지역, ② 옥천단층대의 NW경계와 추가령단층대와의 사이지역 ③ 옥천단층대, ④ 옥천단층대의 SW지역

층들과 황해, 남해 및 동해에서의 해양탐사결과 얻어진 단층자료들을 종합해 본 결과, NNE방향의 추가령단층대(최위찬, 1995)와 양산단층대가 육지에서 해저까지 연장되는 큰 규모의 단층대로 인지되었다. 이 두조의 단층대는 원주-홍천간의 KSRS 지진관측망으로 얻어진 1992년에서 1996년까지의 진앙지 분포도나, 계기지진자료를 포함한 수 십년간의 진앙지 분포도와도 부합되고있다.

포항 영일만-아산만간의 대상을 이루는 진앙지 분포형대는 N60~70°W 방향성을 갖는 소단층군과 상관관계가 있는 것으로 보인다(전명순외, 1994). 한반도에서 활성단층 가능지역은 추가령 단층대, 양산단층대 및 영일만~아산만을 연결하는 구역으로 나뉜다(최위찬외, 1997).

4.1 추가령단층대

추가령 단층은 서측의 연천계와 동측의 중생대 백악기 화산암류 사이의 경계를 이루며 위성사진이나 항공사진에서 뚜렷한 선상구조를 보이며 발달하고 있다. 추가령단층의 최초 형성시기는 아직 불분명하나, 원생대 중부인 연천층군을 단층에서 지역에만 분포시키고, 북한의 원생대 상부 지층을 남-북으로 절단한 점 등으로 보아 그 하한을 고생대로 제의되었다. 위성사진과 항공사진 그리고 지형기복도에 의하면 의정부와 동두천사이에 변위량이 약 3km이상에 달하는 환상구조가 확인되었다. 이들 지역의 지질은 중생대 류라기 화강암으로서 이들 화강암체가 관입한 류라기나 그 이후에 우수향 이동에 의해 잘려진 것으로 보고 있다.

추가령단층은 어느 한 시기에 형성된 단층이 아니라 오랜 지질시대동안 운동한 단층으로 점차 알려지고 있다(최위찬외, 1996). 최근에 추가령단층의 동서측인 수원과 대전의 관측점에서 측정된 GPS 자료에 의하면 양측지점이 서로 이동한 증거가 관찰되고 있다. 추가령단층은 선캠브리아 이후 현재에 이르기까지 적어도 7회 이상의 운동을 겪

었으며, 제4기에도 적어도 3회 이상의 운동을 겪었을 가능성이 높다. 특히 현무암의 분출(27만년) 이후 적어도 2회이상의 운동이 예상된다.

4.2 양산단층대

양산단층은 낙동강 하구에서 북북동 방향으로 진행하여 경북울진군 기성면까지 단속적으로 연장되어 동해바다로 빠져나간다. 양산단층은 총 연장이 약 120km에 달하며 약 25km의 변위를 가지는 우수향 주향이동단층설이 대두된 바 있는 대규모 단층으로 최근 이 단층의 활성여부가 논란이 된 단층이다. 양산단층에 대한 활성화여부는 아직까지 밝혀지지 않고 있으며 이기화(1985) 등 지진학자들에 의해 이 단층이 활성단층의 가능성이 제시되고, 1992년 11월에는 일본인 학자들이 양산단층을 통과하는 언양-통도사간 박지리에서 트랜치를 하고, 국내외 통틀어 최초로 양산단층이 활성임을 입증하였다고 발표하였다(전명순 외, 1992, Okada et al., 1994). 또한 한국자원연구소의 최근의 연구결과 양산단층대의 한곳인 소위 말방단층의 절대년령 결과 50만년 이내에 2번의 단층운동이 있어 잠재적 활성단층(Capable fault)로 판명되었으나, 나머지는 잠재적 활성단층과는 무관한 것으로 결론진 바 있다.

양산단층대는 양산단층, 모량단층, 밀양단층, 동래단층, 일광단층, 울산단층 및 오천단층과 동남해역의 대마도 부근으로부터 북북동으로 연장되는 모든 단층들을 일컬어서 칭함을 정의한다. 울산단층은 입실부근에서 약 10km정도의 남북방향 단층을 포함한다. 이 단층을 입실단층이라 칭한다. 단층 최대폭이 7m, 낙차가 7m이며, 역감각성 좌수향 주향이동 단층운동 결과, 외견상 정단층 운동효과를 보여주고 있다. 단층의 동측은 안산암, 서측은 화강암질암이 서로 경계를 이룬다.

현재 입실단층은 미국 NRC 규정인 35,000년 이내 1회 및 500,000년 이내의 2회 단층운동을 한 활

성단층 기준에는 벗어난 듯하나, 제4기층 중 Mid-Pleistocene (80만년~12만 5천년)지층과 표토층의 변위여부가 확실치 않으므로 아직 활성단층이라고 단정 지을 수는 없다(최위찬외, 1997). 입실단층의 파쇄대를 따라 점토가 형성되었다. 점토시료를 채취하여 X선회절분석에 의한 결과 점토광물의 종류로는 라우모나이트, 석영, 조장석, 회장석, 피몬타이트, 일라이트, 수맥타이트, 고평토, 세니딘, 몬모릴로나이트, 미사장석 등이 이다. 이들 점토광물은 파쇄대의 풍화작용 및 파쇄대를 따라 유동하는 열수(물)에 의한 변질작용의 산물이다.

5. 결론

단층이 존재하는 위치는 파쇄 때문에 취약하게 되어 주변지역과 비교하여 침식이 진행되기 때문에 항공사진이나 지형도에서의 선구조로서 나타나는 경우가 있으나 실제로는 단층면이 침식되고 새로운 퇴적물이 상부에 덮히기 때문에 확인 못하는 경우가 많다. 현지에서의 지질조사는 지질구조의 급격한 변화, 지층 및 암상의 급격한 변화, 시추나 물리탐사에 의한 대규모 불연속면의 확인 등으로부터 단층을 추정하게 된다.

단층은 일반적으로 수차례의 반복운동으로 인해 암석들이 파쇄되면서 단층각력과 단층점토로 변하면서 연약지반의 특성을 지니게되므로 이러한 지역에서 토목구조물을 시공하는 경우에는 단층의 불연속성이 공사에 미치는 영향을 고려하여야 한다. 즉 이 불연속성 구조는 암반의 역학적 성질이나 투수성에 큰 영향을 미치고 시공시의 용수, 낙반, 단층 활동에 기인한 구조물의 파괴 또는 붕괴나 낙석 등의 자연재해를 일으키는 원인이 될 수 있다. 단층에는 현재는 활동을 그만둔 것이나 고결해서 주위의 암석에 가까운 강도를 지닌 것이 많지만 이와 같은 단층과 앞으로 활동할 가능성이 있는 활성 단층과는 토목구조물의 설계나 시공시 방법을 대책

을 달리할 필요가 있다.

참고문헌

1. 한국자원연구소, 1999, 한반도 지각변형연구, 과학기술부 '98기관고유연차보고서, 142p.
2. 한국자원연구소, 1997, 활성단층 조사평가연구, KR-97(C)-5, 287p.
3. 신희순, 선우춘, 이두화, 1999, 토목기술자를 위한 지질조사 및 암반분류, 구미서관, 600p.
4. 최위찬, 박필호, 이희권, 1998, 한반도의 활성단층; 제1차 공동학술강연회, 대한지질학회, 대한자원환경지질학회, pp.100~131.
5. 안중필, 1998, 최신 토목지질학, 구미서관, 275p.