

토목구조물에서 단층의 등급분류에 대한 제의

Suggestions regarding fault classification for civil engineers



이 병 주
정회원
한국지질자원연구원
영년직 연구원

1. 서언

터널뿐만 아니라 어느 토목구조물을 설계시나 시공 시, 지반이 취성변형작용(brittle deformation)의 산물인 단층파쇄대를 통과하는 곳은 항상 문제점으로 등장한다. 이러한 지질구조들은 암반의 변형과 유체의 이동에 영향을 미친다는 사실이 확실하기 때문에 도로, 교량, 댐, 발전소 및 지하공동을 이용한 저장·처분시설 등 지하공간 이용을 위한 설계시 지질공학적인 측면에서 신중히 고려되어야 한다. 토목공사에 있어서 단층파쇄대의 존재가 문제되는 것은 원래 연속적으로 일정한 강도, 변형성, 투수성을 가진 암반에 강도를 약화시키고 이들 지반조건들의 크기가 큰 지역이 형성되기 때문이다.

이와 같은 관점에서 볼 때 이들 단층의 발달상태인 단층의 연장과 단층 파쇄대의 폭 등 그들의 규모에 따른 분류가 절실히 요구되고 있다 (Pusch, 1995). 지금껏 몇몇 연구나 조사에 의해 시도는 되었으나(김천수 외; 1994, 1996, 배대석; 1996, 장태우; 1997; 최위찬 2001) 아직 체계적이고 공통된 의견 수립이 우리나라에는 없는 실정이

다. 이에 본 논문에서는 단층의 특성을 열거하고, 지금까지 알려진 등급분류와 이를 근거로 단층의 분류기준 설정을 위한 제안을 하고자 한다.

2. 단층과 단층의 종류

취성변형의 대표적 산물인 단층(fault)은 암체내에서 변형작용에 의해 만들어진 불연속면으로 이 불연속면이나 불연속대를 중심으로 두 암체의 블록이 상대적으로 이동한 지질구조이다. 절리와의 차이점은 불연속면을 기준으로 양쪽 암체가 변위(displacement)를 가지는 것이다. 단층은 변위를 가지므로 인해 단층면 상의 미끌림으로 인해 단층활면(slickenside)이 형성되며, 단층조선(striation)이 발달한다.

단층의 분류는 단층면을 중심으로 상반(hanging wall)과 하반(foot wall)의 상대적 운동방향과 단층면 상에서 주향성분(strike-slip component), 경사성분(dip-slip component) 및 사교성분(oblique-slip component)을 가

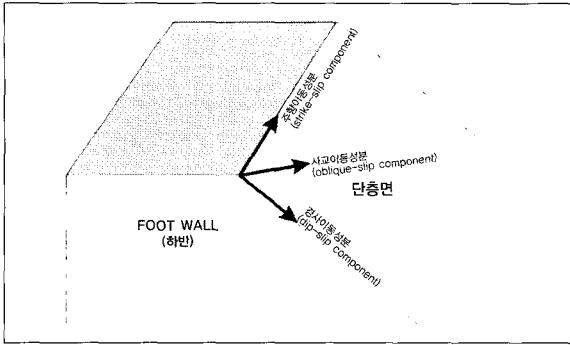


그림 1. 단층의 기하학적 명칭

지는 정도에 따라 구분된다. 단층은 크게 정단층, 역단층, 주향이동단층, 사교단층 및 힌지단층 등으로 구분된다.

가) 정단층(normal fault)

단층면을 중심으로 상반이 떨어진 단층으로, 주향이동 성분은 없이 경사이동성분 만이 있다(그림 2). 정단층은 최대응력축(σ_1)이 수직이며 중간응력축(σ_2)과 최소응력축(σ_3)이 수평으로 작용하여 형성된 단층으로, 정단층을 흔히 extension fault라고도 하는데 이는 인장에 의해 형성된 단층임을 뜻한다.

나) 역단층(reverse fault)

정단층과 마찬가지로 경사이동성분 만이 있는 단층이나 단층면을 중심으로 상반이 밀려 올라간 단층이다(그림 2). 역단층은 최대응력축(σ_1)과 중간응력축(σ_2)이 수평으로 작용하였으며 최소응력축(σ_3)이 수직으로 작용하여 형성된 단층이다. 일반적으로 역단층은 단층면의 경사가 저각인 경우가 흔한데, 단층면의 경사가 45도 미만으로 저각인 역단층은 드레스트(thrust)라 한다.

다) 주향이동단층(strike-slip fault)

경사변위는 없이 주향변위만 가지는 단층으로 그림 2에서의 주향이동성분 만을 가지고 경사이동성분은 없는 단층이다. 주향이동단층은 최대응력축(σ_1)과 최소응력축

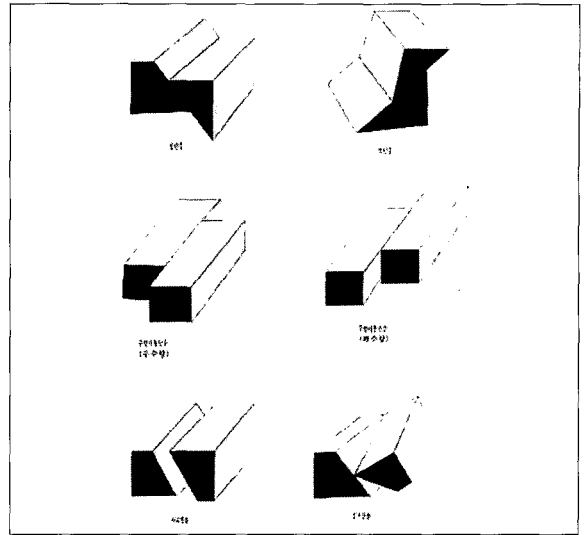


그림 2. 단층의 종류

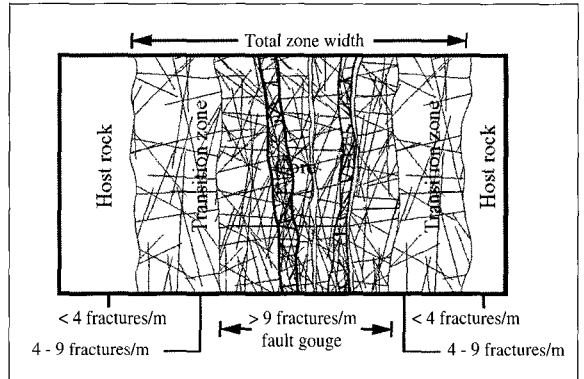


그림 3. 단층에서 단층작용에 의한 파쇄대의 영향범위 및 명칭

(σ_3)이 수평으로 작용하였으며 중간응력축(σ_2)이 수직으로 작용하여 형성된 단층이다. 주향이동단층은 단층면을 중심으로 오른쪽 암체가 오른쪽으로 움직인 단층을 우수향(dextral 혹은 right handed) 주향이동단층, 왼쪽 암체가 왼쪽으로 움직인 단층을 좌수향(sinistral 혹은 left handed) 주향이동단층이라 한다.

라) 사교단층(oblique fault)

위에서 언급한 단층들은 주향이동성분만, 혹은 경사이

표 1. 단층의 분류 등급 및 특성

등급	형상(geometry)			특성(characteristics)		비 고
	길이(m)	간격(m)	폭(m)	투수 계수 m/s	충진물의 두께(m)	
하위 등급의 불연속 면						
1	$> 10^4$	$> 10^3$	$> 10^2$	$10^{-7} - 10^{-5}$	10^0	광역 파쇄대 또는 광역 구조선대
2	$10^3 - 10^4$	$10^2 - 10^3$	$10^1 - 10^2$	$10^{-8} - 10^{-6}$	10^{-1}	주요 국지 광역 파쇄대
3	$10^2 - 10^3$	$10^1 - 10^2$	$10^0 - 10^1$	$10^{-9} - 10^{-7}$	$\leq 10^{-2}$	소규모 국지 광역 파쇄대
상위 등급의 불연속 면						
4	$10^1 - 10^2$	$10^0 - 10^1$	-	$10^{-11} - 10^{-9}$	-	하위 등급 파쇄대 사이의 수리학적으로 우세한 불연속면
5	$10^0 - 10^1$	$10^{-1} - 10^0$	-	$10^{-12} - 10^{-9}$	-	하위 등급 파쇄대 사이의 눈으로 식별되는 불연속면
6	$10^{-1} - 10^0$	$10^{-2} - 10^{-1}$	-	$10^{-13} - 10^{-11}$	-	현미경하에서 관찰가능한 광물배열 등에 의한 미세한 연약대
7	$< 10^{-1}$	$< 10^{-2}$	-	$< 10^{-13}$	-	광물 입자 내의 미세 균열

암괴 부피(m ³)	점착력(MPa)	최대 마찰각(deg.)	불연속면 등급
< 0.001	10 - 50	45 - 60	7
0.001 - 0.1	1 - 10	40 - 50	6, 7
0.1 - 10	1- 5	35 - 45	5, 6, 7
10 - 100	0.1 - 1	25 - 35	4, 5, 6, 7
100 - 10,000	0.01 - 0.1	20 - 30	3, 4, 5, 6, 7
$> 10,000$	< 0.1	< 20	모든등급

동성분만을 가지는 경우의 단층들이다. 그러나 사교단층이란 그림 2에서와 같이 주향이동성분과 경사이드성분을 함께 가지는 단층을 말한다.

마) 힌지단층(hinge fault)

단층면의 끝부분에서 변위가 차차 커져, 단층면을 중심으로 한쪽 한 축을 중심으로 암체가 회전하면서 변위를 가지는 단층을 힌지단층이라 한다(그림 2).

일반적으로 단층에서 그 연장과 폭에는 상관관계가 있음이 알려져 왔다. 즉 단층의 연장이 길면 그 폭도 상대적으로 크고, 연장이 작으면 단층의 폭도 작다. 또한 단층의 폭은 그림 3에서 보는 바와 같이 단층대의 단층핵부(fault core)만을 의미하는지 아니면 단층손상대(damage zone) 즉 그림 3에서의 Total zone까지를 의미하는지는 조사자가 정의하여야 한다.

그림 3에서 보면 단층작용에 의한 단층 파쇄대의 지역

에 따라 단층이나 절리조(joint set)들이 차이가 있음을 알 수 있다.

3. 단층 등급분류의 예

본 장에서는 지금까지 발표된 단층의 분류에 대한 자료를 제시한다.

표 1은 Pusch(1995)에 의해 제시된 단층의 등급분류도이며 표 2는 미 발표 지질조사 보고서에서 분류한 단층 등급도이다.

이 기준은 주로 수리전도도를 기준으로 등간격으로 분류한 인상을 많이 주고 있는데, 열극충진물질 및 열극 틈 등의 다양한 지질학적 특성을 고려한 탄력적인 적용에 있어서 약간의 불합리한 점이 있으나 처음으로 지하수유동 해석을 위한 분류로서 상당한 의미가 있다.

이 분류기준에서 특징적인 내용은 5, 6 및 7등급에 해당하는 열극의 수리전도도가 10^{-12} m/s 이하로서 거의 불투수성에 가까우며 이를 측정하기 위한 기기의 성능 또한 일반적인 엔지니어링 업무 목적에 의해 사용되는 기기로서는 만족할 수 없는 수준이다. 특히 7등급에 속하는 열극은 Griffith crack으로서 모든 열극의 생성기원의 규모에 속하는 크기이다. 또한 Pusch의 열극분류에서 5, 6 및 7등급은 지하수유동 보다는 지구화학적 거동이 상대적으로 크게 작용하는 경향이 더 우세하므로 지나친 세부적 분류기준을 조정할 필요가 있다.

따라서 김천수 등은(1996) 이들 분류기준을 토대로 열극특성에 대한 내용에 보다 많은 비중을 고려할 수 있도록 하기 위하여 탄력적으로 적용하는 지침을 설정하였다. 즉 다음의 6등급(6F)의 지질학적인 열극특성분류(fracture class)와 5등급(5H)의 수리학적분류(hydraulic class)기준을 각각 별도로 구분하여 상호 연관 시키는 방법으로 F1에서 F6까지 6등급으로 분류하였다.

F1: 수 십 km의 연장과 수 km의 폭의 광역열극대 (regional fracture zone), 보통 점토 혹은 철분으로 충전, 수리적으로 가장 중추가 되는 중앙부의 폭은 십수미터로부터 조밀한 간격을 가진 상호연결된 격리면을 포함하는 구간 및 대규모 단층대로 지하공간의 건설시 절대로 피해야할 구조이다.

F2: 수 km의 연장과 수 백 m의 간격의 국지적열극대, 중규모단층대, 특성에 있어서 폭, 열극빈도 및 점토함유 등에서 비록 낮은 수치를 보일지라도 F1의 경우와 유사함. 지하공동에 위험을 초래하는 요소

F3: 수 십미터 내지 수 백미터 규모의 간격과 수십센티미터 내지 수 미터(several of meter)의 폭을 갖는 국지적인 열극대. 단면상에서는 점토가 없으나 간혹 나타남. 소규모 단층 및 파쇄대. 지하공동의 방향설정시 고려대상(가능한 낮은 열극대빈도)

F4: 저등급열극대 사이에 위치한 소규모 단위암반

(small-scale members of rock)의 주된 수리적 작용을 하는 구조이다. 수 십 cm 규모 이하의 열극대가 포함되며, 간격은 2~10미터를 갖는 분리열극면(discrete fracture)으로 나타날 수 있으며, 자체면의 범위에서 연장이 제한되지만, 간혹 더 연장되기도 한다. 일반적으로 평균간격은 5m이며, 열극면의 전체를 점하는 유동로(channel)이지만 열극면 간의 교차지점에서 더욱 일반적이다.

F5: 저등급 불연속구조 사이의 압반(괴)에서 관찰되는 분리열극은 90%에 달하는 열극이 이 등급에 속한다. 이 등급에 속하는 열극들은 상호작용하지도 않고 pressure solution 이나 강수에 의해 충전되어 지기 때문에 bulk 수리전도도에는 심각한 영향을 미치지 않는다. 이 등급에 속하는 열극의 평균 간격은 등급 D에 속하는 열극 간격의 약 1/10에 달하며, 열극들 간의 상호작용은 불량하다. 그러나 이 열극들은 잠재적인 취약점으로 작용하기 때문에 역학적 및 열역학적 변형이 발생할 수 있으며, 전단 혹은 인장현상에 의해 stimulate할 수 있다.

F6: 이 등급의 열극은 육안으로 관찰 가능하지만, 현미경하에서 그 특징을 잘 관찰할 수 있다. 또한 어떤 광물이나 혹은 미세열개의 농축대나 혹은 방향성을 갖는 구조로 취약성을 나타낸다. 흔히 F5 등급보다 다소 낮은 방향성을 보이는 subsystem을 형성한다. 결정내 혹은 결정간 간극(inter-, intracrystalline void)과 불안정한 결정접촉부 및 초기균열(embryotic breaks; flaws) 즉, "Griffith cracks"이라고 명명하는 열극들이 이에 속한다.

위와 같이 단층과 지하수 및 지구화학적 특성에 대한 고려는 토목공학적 입장에서는 너무 세분되거나 고려 대상에서 제외하여도 될 요소가 많아 다음 표2에서는 단층의 폭 및 연장만을 고려하여 단층을 I에서 IV까지 4등급으로 분류하였다.

표 2. 단층등급 분류 기준

등급	분류 기준		
	파쇄대 폭	연 장	특 성
I	100m 이상	50km 이상	<ul style="list-style-type: none"> • 조구조운동에 의해 형성된 수 십 km 이상의 선구조선 발달 • 수 조 이상의 중 내지 대 규모의 단층이 모여 단층대 형성 • 광역적 규모의 변위 관찰가능 • 다중변형작용에 의한 파쇄대 확장 • 물리탐사에 의하여 수 조 이상의 중 내지 대규모의 이상대 형성
II	10m ~ 100m	10km ~ 50km	<ul style="list-style-type: none"> • 조구조운동시 형성된 수 십 km의 2차 선구조선 발달 • 수 조 이상의 소 내지 중규모의 단층이 모여 단층대 형성 • 광역적 규모의 변위 관찰가능 • 다중변형작용에 의한 파쇄대 확장 • 물리탐사에 의하여 넓고 뚜렷한 이상대 형성
III	1m ~ 10m	1km ~ 10km	<ul style="list-style-type: none"> • 계곡을 따라 발달하는 뚜렷한 선구조선 • 대단층에 수반되어 형성된 이차적 단층 • 중 또는 소규모 단층에 의한 다중변형 작용 존재 가능 • 노두 규모의 변위 관찰가능 • 물리탐사에 의해 이상대 형성
IV	1m 미만	1km 미만	<ul style="list-style-type: none"> • 뚜렷한 선구조선 발달 미약 • 다른 구조(예, 습곡)에 수반되어 형성된 소규모 파쇄대 • 대부분 일회의 변형작용이 관찰되나, 소규모 단층에 의한 다중변형작용 존재 가능 • 노두 규모 혹은 현미경하에서의 변위 관찰가능 • 물리탐사에 의하여 쉽게 확인되지 않을 수 있음

4. 남한의 파쇄대와 등급분류

한반도는 오랜 지질시대를 거치면서 여러차례의 변형 작용에 의해 무수한 단층을 포함한 단열대들이 발달한다(그림 4). 한반도에 발달하는 선구 조선들은 대개 북동 내지 북북동방향의 것들이 우세하며 북서 내지 서북서 방향의 것들도 발달한다.

그림 5는 남한의 파쇄대 분포를 남한의 지체구조구 위에 표시한 그림이다. 이들 파쇄대를 중심으로 장태우(1997)는 남한의 파쇄대를 분류하였다.

장태우(1997)는 남한의 광역단열 분류체계는 단열을 4등급으로 구분함이 합리적인 것으로 생각하였으며 큰 등급에서 적은 등급을 향해 F1, F2, F3, F4 등급으로 명시한다(표 3). 단열분류에서 연성전단대, 지구조경계, 부정합 등을 배제함은 우리나라 지질에서 이들 대형 구조들은 역학적으로 단열의 성질을 거의 갖지 않을 뿐만 아니라 지구조적으로도 활성의 지역이 아니기 때문에 단열분류 체계에서는 제외하였다.

F1 등급은 길이가 40 km 이상, 변위는 수 천 m 이상, 폭은 수 십 m 이상인 단열들을 포함하며 추가령 지구대, 광주단층, 안동단층, 양산단층 등 남한의 단열구조 중 지질학자들의 관심의 대상이 되어 지질구조적 연구가 이루어지는 대형구조들을 포함 한다.

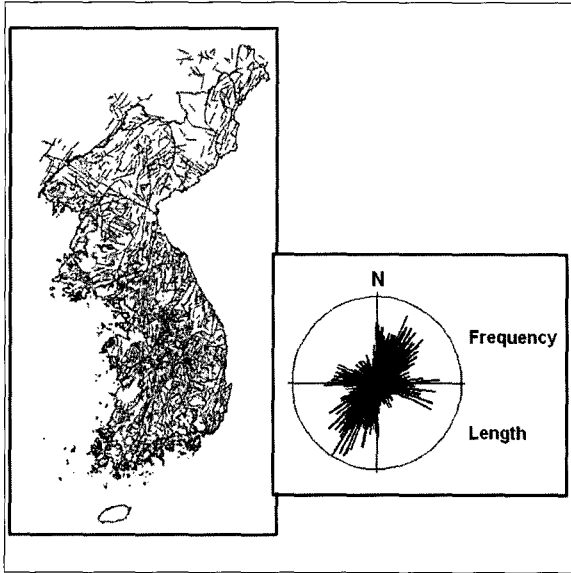


그림 4. 한반도의 선구조도 및 선구조도를 분석한 장미그림

F2 등급은 길이 20~40 km, 변위 몇 백 m 내지 수 천 m, 폭 십 내지 수 십 m의 범위를 갖는 단열을 포함한다. 해석된 전체 광역단열 중 약 5%를 차지하며 이 중엔 지질조사를 통해서 오십천단층, 죽령단층, 십자가단층 등 이름이 붙여져 있고 지구구조적으로 중요한 단열들이 상당히 많다.

F3 등급은 길이 1~20 km, 변위 수 m 내지 몇 백 m, 폭 수 cm 내지 십 m의 범위를 갖는 단열들이다. 이 등급의 단열은 광역 단열도에서(그림 5) 보듯이 전국 어디에서나 즉 지질이나 지구구조 구역에 관계없이 고루 발달하며 전체 해석된 단열 중 약 88%를 차지한다.

F4 등급은 길이 1 km 이하, 변위 수 m 이하, 폭 수 cm 이하의 단열들이 해당되며 전체 단열의 약 6%에 이른다. 그러나, 이 등급의 단열은 이번 연구가 기본적으로 광역적 규모의 자료로부터 이루어졌기 때문에 이 크기의 단열의 대부분이 자료 분석에서 제외되었다고 보아야 한다. 이 등급의 단열은 실제 야외 지질 조사시 노두에서 무수히 인지하고 그 종류, 운동학적 성질, 기하 등을 판단하고 측정을 하게 되는 주 조사 대상의 노두 규모 단열이다.



그림 5. 남한에서 지체구조구와 파쇄대 분포도(장태우 1997)

- I : 경기육괴, II : 충남 열곡대, III : 공주 열곡대,
- IV : 옥천대(a: 비변성대, b: 변성대), V : 영동-광주 열곡대,
- VI : 영남육괴(a: 서산블록, b: 지리산 블록),
- VII : 경상분지, VIII : 연일분지

F1 등급 단열들은 다수가 경기육괴의 추가령지구대 지역과 경상분지 지역에 발달하고 있으며 특히, 경상분지 지역에 가장 많은 수의 F1 등급 단열이 발달하고 있으며 한반도 서남부엔 광주단층만이 이 등급에 속하는 단열이다. F1 등급 중 추가령지구대 지역의 동두천 단층과 경상분지의 양산단층은 연장이 150km 이상에 달하는 특별히 큰 단열이다. F1 단열의 배향은 남한 전체 단열의 최우세 배향과 평행하게 북북동을 가리키는 것들이 가장 많고 북서서를 가리키는 단열들도 볼 수 있는데(그림 6), 전자에 속하는 단열들은 추가령지구대 지역과 경상분지 양산단층지역에 집중 분포하고 있으며, 후자에 속하는 단열들은 경상분지 중 의성 소분지에 평행한 조(가음단층조)를 이루어 발달·분포되어 있다. 추가령지구대의 F1 단열들은 정단층 운동의 산물로 간주되고(Lee et al., 1987) 경상분지의 양산단층조와 가음단층조들은 주향이동 단층들이

표 3. 남한의 광역 파쇄대의 분류(장태우, 1997)

등급	길이	변위	폭	기타
F ₁	> 40km	수 천m 이상	수 십m 이상	추가령지대, 양산단층(1%)
F ₂	20~40km	몇 백m~수 천m	십~수 십m	죽령단층, 십자가단층(5%)
F ₃	1~20km	수m~몇 백m	수cm~십m	(88%)
F ₄	< 1km	수m이하	수cm이하	노두규모의 소단층(6%)

다. 경상분지와 기반암의 접촉부를 따라 발달하는 안동단층과 일월산 단층은 역단층이다. 대부분의 F1 단열들은 주라기 대보조산운동 이후에 주라기 화강암 및 보다 신기의 백악기 암층들을 절단하고 있다.

F2 등급 단열은 한반도 서남부지역 즉 지리산-전주선 그 서남부지역을 제외하고는 조사지역 전역에서 비교적 고루 분포되어 있다(그림 6). 그 중에서도 태백산 광화대 지역과 충남 탄전지역에서 더 집중적으로 발달하는데, 이는 탄전이 분포하는 이 지역의 지질 발달과 밀접한 연관이 있는 것으로 판단된다. F2 단열의 배향은 전체적으로 볼때 F1 단열의 배향과 평행하게 북북동조와 북서서조가 인지되는데 북북동조가 압도적으로 우세한 배향이다. 양 등급 단열들의 배향에 있어서 이와 같은 평행성은 성인적으로 상당히 연관성이 있었을 것으로 유추할 수도 있다. 북북동조의 F2 단열은 태백산 지역과 충남탄전 지역에서 집중적으로 많이 발달하고 있는 편이나 그 외 배향의 단열들은 특정 지역에 편중해서 발달되는 경향을 보인다고 하기가 어렵다.

F3 등급은 호남평야, 나주평야 등 지형적인 평탄성과 인공적인 토지 경작의 영향으로 단열 인지가 어려운 지역을 제외하고는 전역에 고루 분포하고 있으며 광역단열도에서 가장 풍부한 단열 등급이다. 특히 이 등급의 단열 역시 태백산 광화대 지역에서 가장 조밀한 발달 상태를 보이고 충남탄전지역과 옥천구조대에서 약간 발달 빈도가 높은 편이다. F3 단열의 배향은 F1 및 F2와 마찬가지로

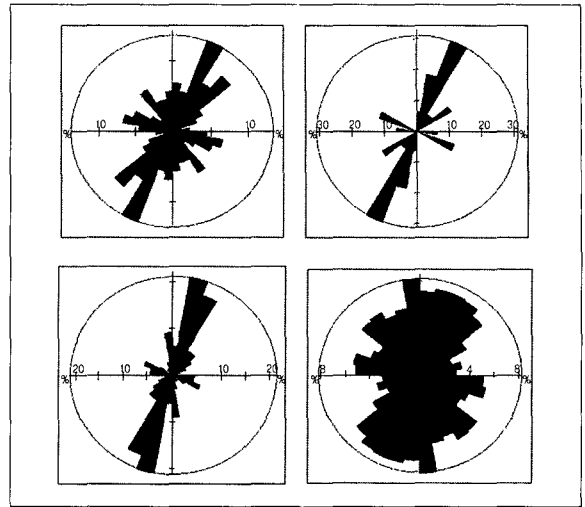


그림 6. 등급에 따른 파쇄대의 지미그림(a: 1등급(F1). b: 2등급(F2). c: 3등급(F3) d: 4등급(F4)(장태우 1997)

북북동조 및 북서서조를 갖는 것 외에 북서조가 특징적으로 추가된다(그림 6). 특히 북북동조는 N10W에서 N50E 까지 우세 배향의 범위가 매우 넓다. 또 세 조 사이에는 빈도의 상대적 차가 크지 않고 우세 배향의 구분이 명확하지 않은 편이다. 따라서 북북동 방향을 제외한 모든 방향에서 단열들이 비교적 고루 분포한다고 볼 수도 있다.

F4 등급의 단열은 그 길이가 1 km이하로 짧은 것들이다. 또한 노두 규모의 단열이기 때문에 1대 250,000 및 1대 500,000 음영기복도에서는 잘 검색될 수 없는 단열이며, 광역단열도에서 F4 단열은 단지 1대 50,000 지질도에서 추출한 단열들이다. 따라서 이들은 광역단열도에서는 아주 소량 분포하는 것처럼 보이지만 실제 야외 노두조사에서 이들을 인지해서 측정을 하거나 지도에 그려 놓는다면 남한 전역에 대해서 헤아리기가 어려울 정도로 많은 수가 존재하게 될 것이다. 광역단열도상 F4 단열의 배향도 북북동 방향이 가장 우세하고 북서서조와 북서조도 존재함을 알 수 있다(그림 6). 여기서도 동북동 방향을 제외한 여러 방향의 단열이 거의 모두 분포한다고 볼 수 있다.

한편 최위찬 (2001)은 한반도의 단층을 5등급으로 분



수급	단층명	광역적 측정 기준				분류기준	지진시대		단층 최연 호
		연장 (km)	폭 (m)	변위 (km)	분위 (km)		생성	재활동	
I	추기령-예성강 단층대	345	50	5	5	우회수향 우향이동	PR ₂	T-J.K.T.O	6 1
	예성강단층	315	50	10	5	우회수향 우향이동	PR ₂	T-J.K.T.O	6 2
	양산 단층대	190	50	10	5	좌우역(동서)	K	P ₂ N.Q	4 3
	북조선마 단층	300	50	10	5	좌우역(동서)	K	P ₂ N.Q	4 4
	임천강	280	50	10	3	우회상(북서남동)	PR ₂	T-J.K.T.O	6 7
	음곡대	200	50	10	3	우회상(서동)	PR ₂	T-J.K.T.O	6 8
II	속강	330	50	10	3	우회수향 우향이동	J	K	2 5
	음곡대	415	50	10	3	우회수향 우향이동	P	TJK	4 6
	도성리-죽림단층	120	50	5	2	좌우향 우향이동	J	K	2 9
	좌수리-피계리단층	100	50	5	2	좌우향 우향이동	J	K	2 10
	경성단층	160	50	10	2	충남(서동)우	T	T, J	3 11
	인제-평성단층	220	50	5	2	전(서동)우우향	T	T, J	3 12
	가동단층	125	50	10	2	충남(서동)우우향	T	T, J	3 13
	오원천단층	105	50	10	2	충남(서동)우우향	T-J	JKN.Q	5 14
	진주단층	140	50	5	2	우회수향 우향이동	T	J.K.P ₂	4 15
	경주단층	180	50	5	2	우회수향 우향이동	T	J.K.P ₂	4 16
	보성단층	135	50	5	2	우회수향 우향이동	T	J.K.P ₂	4 17
	임산-장수단층	110	50	5	2	우회수향 우향이동	T	J	2 18
	부림-서해단층	135	50	5	2	우회수향 우향이동	T	J	2 19
	달성단층	110	50	5	2	우회수향 우향이동	T	J	2 20
	인경-임청단층	250	50	5	2	강역우향 우향이동	K	P ₂	2 21
	자인단층	150	50	5	2	좌우역(동서)	K	P ₂ N.Q	4 22
	밀양단층	120	50	5	2	좌우역(동서)	K	P ₂ N.Q	4 23
	모량단층	110	50	5	2	좌우역(동서)	K	P ₂ N.Q	4 24

*지진시대 : AR/시생대(25GA), PR₁/편생대 전기(25-16GA), PR₂/편생대 후기(16-10GA), PR₃/편생대 후기(10GA-590MA), Paleol/고생대(590MA-250MA), FFB/브리아기, Q/오도비스기, S/사일루리언기, D/디리언기, C/석탄기, P/포름기, T/트리아스기, J/쥐리언기, K/백악기, Cenol/신생대(65MA-현대), P₂/고제3기(65MA-23MA), N/신제3기(23MA-1.8MA), Q/제4기(1.8MA-현대).

그림 7. 한반도 단층과 각 단층의 등급 및 명칭(최위찬 2001)

류하고 단층의 형성과정이 조구조적 운동에 기인할 때에는 1등급, 1 등급에서 첫 번째로 수반하는 단층을 2 등급, 2등급 단층을 기준으로 하여 수반된 단층을 3등급 등으로 하여 다음 그림 7과 같이 단층 및 단층의 위치도를 제시 하였다.

5. 고찰 및 제의

Pusch(1995)는 단층을 1등급에서 7등급까지 분류하였으나 실지로 토목 시공 시에는 6등급과 7등급과 같이 미세한 현미경 하에서 관찰되는 단층은 큰 의미가 없어 실

지로 1에서 5등급까지 만이 사용 될 수 있다. 또한 실지로 OO지역 터키설계를 위한 조사보고서에서도 단층을 5등급으로 분류하였다 (표 2).

한반도 및 남한에서 시도한 단층의 등급들은 장태우(1997)는 단층의 길이를 40km, 20km, 1km를 중심으로 F1에서 F4까지 4개의 등급으로 분류하고, 최위찬(2001)은 조구조적 운동에 기인한 단층을 1등급으로 차 하위로 3등급까지로 분류하였다.

토목공사에 있어서 단층은 단층작용에 의해 생성된 단층 파쇄암, 즉 단층점토, 단층각력암 등과 단층작용 시 지반에 영향을 미친 단층 손상대(fault damage zone)의 범위가 분류등급의 요소로 크게 적용하여야 할 것이다. 이에

본 논문에서는 단층의 등급을 단층의 폭을 중심으로 그 폭이 100m 이상을 1등급으로 하고 100m에서 50m까지를 2등급, 50m에서 10m까지를 3등급, 10m에서 1m까지를 4등급 1m이하를 5등급으로 할 것을 제외하며, 각 등급 별 단층과의 길이에 대한 상관관계 및 한반도 단층의 등급에 따른 조사 및 분류는 또 다른 과제로 남겨두어 연구 및 조사가 실시되기를 바란다. 여기에서 또 다른 제의는 구조지질학에서 정의하는 단층의 폭과 토목시공시 단층의 폭에 관한 정의가 구분되어 제시되어야 할 것이다.

5. 고찰 및 제의

본 논문은 한국지질자원연구원 지질기반정보연구부에서 수행 중인 “한반도/동북아 중생대 지각진화 연구”(06-3111)과제의 일환으로 작성되었으며, 본 과제에 참여하신 지질도, 지구조 연구실 모든 분께 감사드립니다.

참고문헌

- 김천수, 배대석, 정찬호, 김경수, 1996, 고준위 방사성 폐기물 처분기술 개발. 과학기술처.
- 배대석, 1996, 편마암지역 지하공동주변 단열암반의 지하수유동 특성연구. 충남대, 박사학위 논문.
- 장태우, 1997, 결정질암류 분포지역의 지질구조 특성연구, 한국원자력연구소.
- 최위찬, 2001, 한반도 단층 등급분류, 한국지반공학회 암반역학위원회 특별세미나 논문집, p. 3-21
- Pusch, R., 1995, Rock Mechanics on Geological Base, Elsevier, 498 pp.