

## 산사태 발생 자료 분석에 의한 장흥지역의 전단 단열계 연구

이사로\* · 최위찬\*\* · 민경덕\*\*\*

### Study of Shear Fracture System of Janghung Area by Landslide Location Analysis

Saro Lee\*, Ueechan Chwae\*\* and Kyungduck Min\*\*\*

**ABSTRACT:** The purpose of this study is to analyze shear fracture system using landslide location occurred 1998 at Janghung area. For the geological implication, foliation was surveyed and analyzed, and location of landslide, geological structure and topography were constructed into spatial database using GIS. With the constructed spatial database, shear fracture system was assessed by the relation analysis between strike and dip of the foliation and aspect and slope of the topography. We compared strike and dip of foliation and aspect and slope of topography and recognized the typical fracture pattern, strike and dip of joint, that coincided with shear fracture system. The result tells us that foliation of gneiss has geometrical relation to joint or fault that leading landslide. GIS was used to analyze vast data efficiently and the result can be used to assess the landslide susceptibility as important factor.

**Key words:** landslide, shear fracture system, GIS, terrain analysis, Janghung  
주요어 : 산사태, 전단단열계, GIS, 지형분석, 장흥

#### 서 론

우리나라는 여름에 집중호우로 인한 산사태로 그 피해가 계속되고 있으며, 특히 1996년, 1998년, 1999년 경기도, 강원 북부 지역의 매년 계속적인 산사태는 많은 인명 및 재산 피해를 냈다. 특히 본 연구지역을 포함한 경기도 북부 지역은 1998년 8월에 집중호우에 의해 산사태 피해가 많이 발생한 곳으로 1998년 8월 5일 밤부터 6일 새벽까지 서울과 경기북부 지역을 기습한 최고 6백20 mm의 폭우로 1백70여명이 숨지거나 실종되고 농경지 2만ha가 침수되는 최악의 물난리를

겪었다. 또한 이날 새벽 경기도 양주군 송추 유원지에 선 산사태로 30여명의 사망-실종자를 낸 참사가 발생하였다. 또한 경기 북부 지역의 집중호우로 인한 산사태 등으로 장병 12명이 숨지거나 실종됐다. 이러한 경기도 북부 지역 중 본 연구지역은 장흥지역 (Fig. 1)으로 경위도는 경도 126.92~127.00, 위도 37.71~37.75도 지역이다. 또한 본 연구에서는 1998년도에 발생한 산사태를 연구대상으로 하였다.

본 연구에서는 이러한 산사태의 과학적인 분석을 위해 산사태 발생 요인 중 중요한 요인인 엽리의 주향 및 지형의 방향과 엽리의 경사 및 지형의 경사의 상관관계를 산사태 발생위치를 이용하여 분석하고, 이를 통해 본 연구지역의 절리의 주향 및 경사를 파악하여 전단 단열계를 파악하였다. 이를 위해 연구지역의 엽리면에 대한 현장 조사를 통해 엽리의 지질 구조를 분석한 후 GIS를 이용하여 데이터베이스로 구축하였다. 또한 1/5,000 수치지형도를 이용하여 DEM을 작성한 후, 지형의 경사방향과 경사를 데이터베이스로 구축하였다. 분석된 엽리의 주향과 경사 및 지형분석을 통해 얻은 경사방향과

\* 한국자원연구소 국가지질자원정보센터 (National Geoscience Information Center, Korea Institute of Geology, Mining and Materials, 30, Kajeongdong, Taejeon, 305-350, Korea), E-mail: leesaro@kigam.re.kr

\*\* 한국자원연구소 지질연구부 (Department of Geology, Korea Institute of Geology, Mining and Materials, 30, Kajeongdong, Taejeon, 305-350, Korea)

\*\*\* 연세대학교 지구시스템과학과 (Department of Earth System Science, Yonsei University, 134, Shinchondong, Seoul 120-749, Korea)

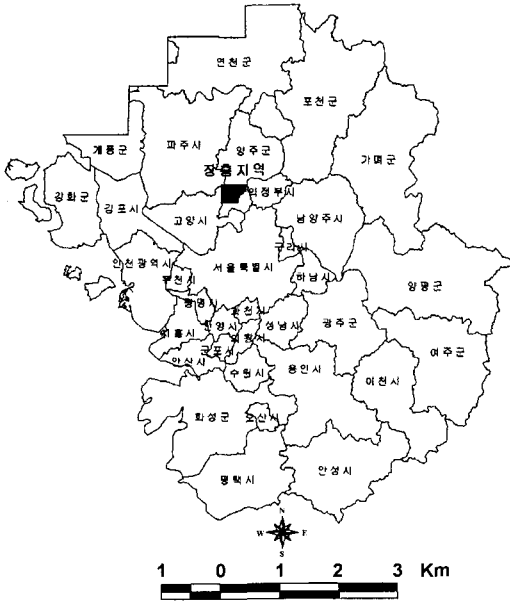


Fig. 1. Study Area.

경사를 연구지역 전체 및 산사태 발생 지역에 대해 비교 분석 한 후 연구지역의 대표적인 파괴양상 즉 절리의 주향과 경사를 파악하였다. 이러한 결과는 산사태 취약성도 분석에 중요한 요인으로 이용될 수 있다.

**전단 단열계 (Shear Fracture System)**

지각변형은 일반적으로 연성과 취성으로 분류되며, 규모에 따라서는 mm 단위보다도 작은 초미세구조와 야외에서 눈으로 식별할 수 있는 미구조 및 노두규모 구조로 나눌 수 있으며, 크기는 지각을 대상으로 하는 조구조규모도 포함될 수 있다. 이 중에서 수 km 깊이까지의 지각의 천부 심도에서 지표까지 관찰되는 취성 변형 중 전단응력에 의한 전단 단열계는 다음과 같이 정리될 수 있다.

임의의 물체에 대해서 우수향의 힘이 양쪽에서 동시에 작용했을때 형성되어지는 전단 단열계는 Fig. 2 와 같이 5가지 형태로 대별된다. 여기서 단열은 절리

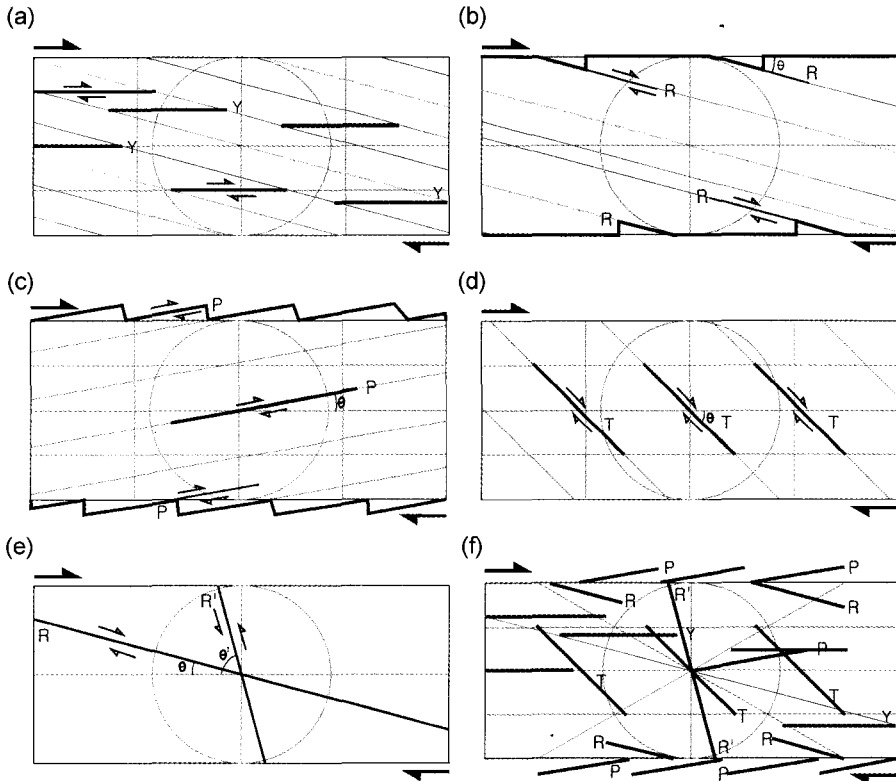


Fig. 2. Classification of shear fracture system. (a) Y shear fracture, Y,  $\theta = 0$ , (b) Riedel's fracture, R,  $\theta \leq 15^\circ$ , (c) P shear fracture, P,  $\theta \leq 5^\circ$ , (d) Tension shear fracture, T,  $\theta \leq 45^\circ$ , (e) Riedel's conjugate fracture, R',  $\theta' = 90^\circ - \theta$ , (f) General fracture pattern in the field

와 단층을 모두 포함하는 의미로 사용되며,  $\theta$ 는 힘이 가해지는 기준면과 전단 단열간의 교각을 의미한다. 우선, 야외에서 식별되는 단열계를 임의의 독립된 응력장에서 형태별로 분류해 보면 가해진 힘의 방향에 평행하게 발달되는 Fig. 2(a)와 같은 Y-전단 단열 (Y-shear fracture; Y), 힘의 방향과 15°미만의 교각 ( $\theta$ )을 갖는 Fig. 2(b)와 같은 리델의 단열 (Riedel's fracture; R), 트러스트 원리에 의해 형성되므로 기준면보다 밖으로 5° 미만의 교각을 갖는 Fig. 2(c)와 같은 P 전단 절리 (P shear fracture; P), 기준면과 45°미만의 교각을 갖는 Fig. 2(d)와 같은 전단 장력 절리 (shear tension fracture; T)와 리델의 전단절리에 대해서 60°의 공액형 (conjugate pattern)을 보이는 교각도 ( $\pm 75^\circ$ )의 전단절리인 Fig. 2(e)와 같은 리델의 공액 단열

(Riedel's conjugate fracture; R')로 구분된다 (Anderson, 1951; Chinnery, 1966; Davis, 2000; Freund, 1965; Keller, 1997; Lajtal, 1968; Mckinstry, 1953; Price, 1968; Price and Cosgrove, 1990; Riedel, 1929; Tapponnier and Molnar, 1976; Tchalenko, 1968). 이들 모두의 운동감각은 리델의 공액 단열 R'을 제외하고 당초 임의의 물체에 가해진 전단력의 우수향 운동감과 동일하다. 그리고 이러한 전단 단열계는 야외에서는 Fig. 2(f)와 같이 복합적으로 나타난다.

### GIS 데이터베이스 구축

본 연구에서는 연구지역의 전단 단열계 파악을 위해 GIS 데이터베이스를 구축하였다. 구축된 GIS 데이터베

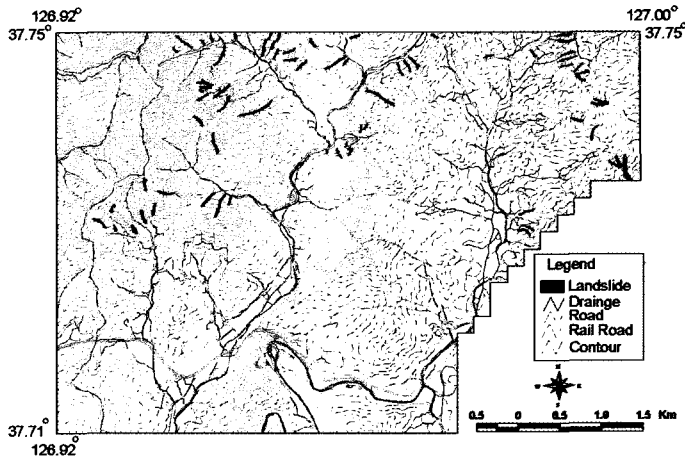


Fig. 3. Landslide location map with topographic map.

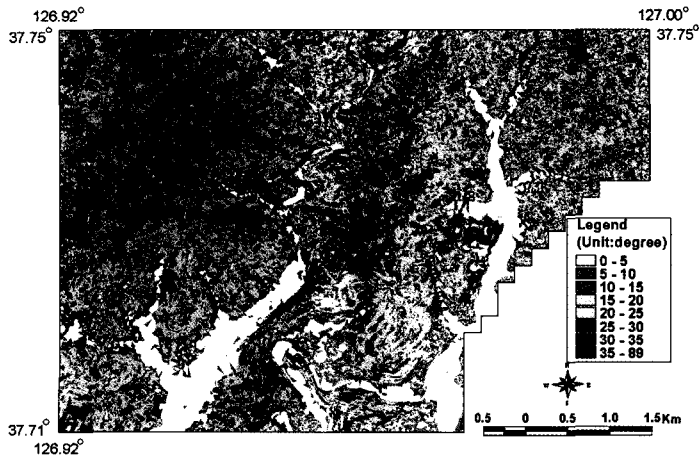


Fig. 4. Slope map.

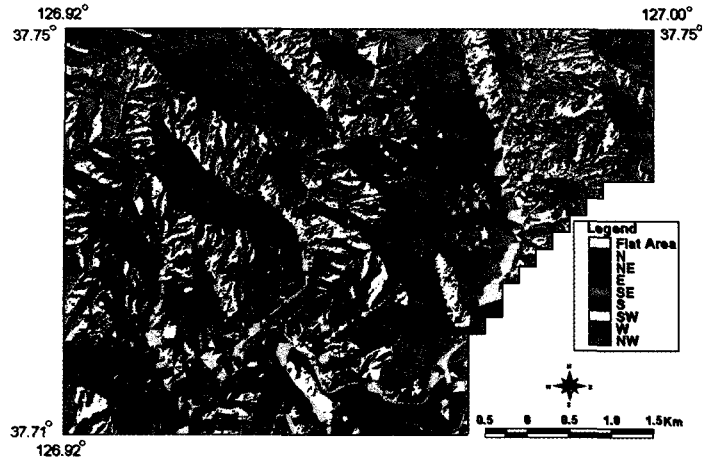


Fig. 5. Aspect map.

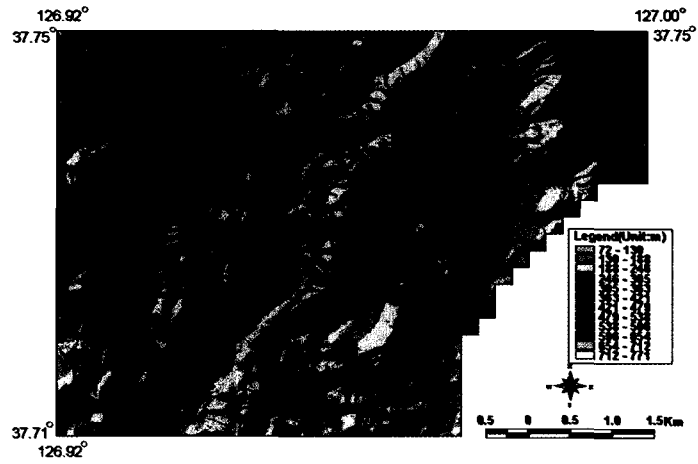


Fig. 6. Relief map with altitude.

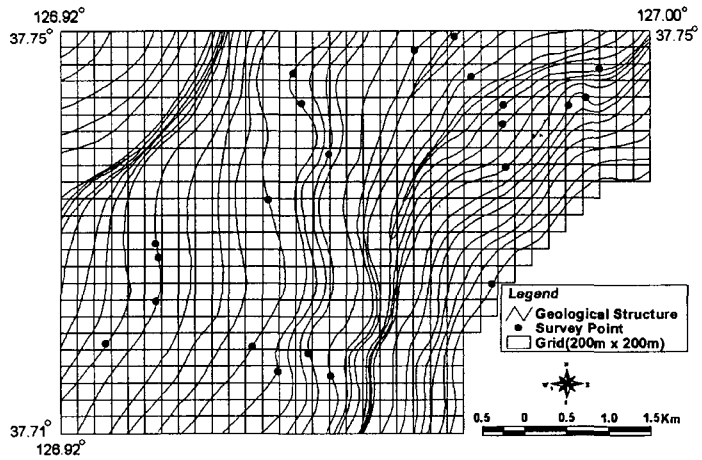


Fig. 7. Form surface map and survey locations.

이스 중 산사태 위치도와 지형도는 Fig. 3과 같다. 산사태 위치는 IRS 인공위성 영상을 이용하여 파악하여 GIS 데이터베이스로 구축하였고, 지형 데이터베이스는 국립지리원 1:5,000 축척의 수치지형도를 변환하여 GIS 데이터베이스로 구축하였다. 이러한 지형 데이터베이스에서 고도값을 갖는 자료층을 추출한 후 이를 DEM으로 변화하여 경사도 (Fig. 4), 경사방향도 (Fig. 5), 고도 음영기복도 (Fig. 6) 등을 각각 계산 후 GIS 데이터베이스로 구축하였다. 여기서 고도 음영기복도는 음영기복도 위에 고도분포도를 올린 것으로 연구지역의 지형 파악을 위해 만들어졌다. 그리고 지질구조 현장 조사 위치 및 이를 근거로 분석한 지질구조 (엽리의 방향)도와 전단 단열계 분석을 위한 격자망은 Fig. 7과 같다.

### 산사태를 이용한 연구지역의 전단 단열계 파악

우리나라에서 여름에 집중호우로 인해 발생하는 산사태는 제4기 표토층에서 일어나는 토사층 산사태이거나 지표에 노출되어 있는 암반과 제4기층이 함께 무너져 내리는 경우이다. 이중 후자의 경우가 규모나 위험도가 더 크다. 이러한 산사태는 주로 절리 또는 단층면을 따라서 일어난다. 즉 절리 또는 단층면이 미끄러짐면을 형성하게 된다. 본 연구에서는 이러한 전단 단열계 파악을 통한 산사태 분석을 위해 먼저 연구지역인 장흥지역의 암상 및 지질구조 즉 주향, 경사에 대해 현장조사를 실시하였다. 본 연구지역은 편마암 지역으로 엽리면에 대한 방향 및 각도를 수집하였다. 연구지역인 장흥지역의 구성암층은 경기육괴에 속하는 선캠브리아의 편마암류이며, 야외에서 관찰되는 엽리의 형태는 지역적으로 제한하여 비교 분석해 볼 때, 전기 (F<sub>1</sub>)와 후기 (F<sub>2</sub>)로 구분된다. 대부분의 엽리는 N20°~30°E의 주향에 70°~80°의 고각도 경사를 가지며, 경사방향은 습곡형태에 따라서 NW 또는 SE의 양쪽방향을 보여준다. F<sub>1</sub> 습곡형태가 발달한 곳은 저각도의 경사각을 가지며, 대부분의 엽리면은 고각도의 경사를 갖는 F<sub>2</sub> 습곡측면과 비슷한 태위를 보인다. 이러한 지질 구조를 이용한 전단 단열계 파악을 위해 먼저 전체 지형의 경사 방향과 절리의 경사 방향 및 지형의 경사각과 절리의 경사각을 비교하였다. 그리고 산사태 발생지역의 지형 방향과 절리의 경사 방향 및 지형의 경사각과 절리의 경사각을 비교하였다. 즉 야외에서 산사태를 구조지질학적으로 분류할 때, 편마암의 엽리와

지형의 기하학적인 상관관계를 기준으로 하여, 산사태를 발생시킨 절리의 특성을 파악해 보았다. 비교분석을 위해서, 엽리의 주향 (여기서는 경사방향)과 산사태를 일으킨 전단 절리면과의 교각 빈도 및 엽리의 경사각과 지형의 경사각간의 교각 빈도를 알아보기 위해서, 각각 5°단위로 나누어 분류하였다.

이를 위해 먼저 수집된 자료를 기초로 연구지역의 구조를 해석한 후, 이를 데이터베이스로 구축하고 처리하여 200 m×200 m 격자별로 엽리면의 주향과 경사를 구하였다. 그리고 지형의 경사 및 경사방향을 1:5,000 지형도의 지형분석을 통해 구하였는데 격자 크기는 20 m×20 m로 하여, 격자별로 엽리의 주향과 경사와 지형의 경사방향과 경사각과의 관계를 인공위성을 통해 파악된 산사태를 이용하여 비교해 보았다. 이러한 격자의 총 개수는 71,300개이고 이중 산사태 발생 격자의 개수는 475개이다.

그 결과는 Table 1과 Table 2와 같이 나타났으며, 여기서는 전체 산사태 발생 격자 중 각 지형의 경사방향 및 경사 범위에 해당하는 산사태 발생 격자의 비율을 연구지역 전체 격자 중 각 범위에 해당되는 격자의 비율로 나눈 값으로 산사태와의 관련 정도를 나타낸다. 즉 이 값이 1을 기준으로 1보다 클수록 산사태 발생 확률이 높으며, 1보다 적을수록 산사태 발생확률이 적다는 것을 의미한다. Table 1의 진한 칸에서와 같이 엽리의 주향 방향에 의한 산사태는 편마암의 엽리면 주향을 기준 (0°)으로 하였을 때, 엽리의 경사면으로부터 (A) -15°~+15°, (B) +30°~+65°, (C) +135°~+170°, (D) -175°~-155°, (E) -65°~-75°의 범위를 갖는 지형 경사면에서 많이 일어났다. 이것을 그림으로 표현하면 Fig. 8과 같다. 이러한 각도는 이론상의 P, R, T, R' 등의 각도와는 꼭 일치하지 않으나 실제로는 (A) P~R, (B) T~R', (C) T~P, (D) R, (E) R'의 관계를 갖는 각도로 분석되었다. 그리고 경사각에 의한 산사태는 Table 2에서 진한 칸에서와 같이 편마암의 엽리 경사를 기준 (0°)으로 하였을 때, 엽리의 경사면으로부터 (A) +10°~+40° 및 (B) -40°~-55°의 범위를 갖는 지형 경사면에서 많이 일어났다. 이것을 그림으로 나타내면 Fig. 9와 같다. 여기에서 경사값이 음 부호 (0)를 나타난 까닭은 엽리면의 경사방향이 북서와 남동의 두 방향이므로 한 경사 방향을 기준으로 했을 경우, 다른 경사방향의 경사값은 음부호로 나타나게 되었다. 이는 엽리면에 대해 (A) R~T 및 (B) T~R'의 관계를 갖는 각도이고, 단열 운동 메카니즘에 의해 형성된 절리나 소단층들은 산사태가 유발될 경우,

**Table 1.** Relation between foliation direction and slope aspect.

Aspect	Total cell	Total cell ratio (%) <sup>Ⓐ</sup>	Landslide occurred cell	Landslide occurred cell ratio (%) <sup>Ⓑ</sup>	Ⓑ/Ⓐ
No data	2167	3.04	12	2.53	0.83
dir-90 =< aspect < dir-85	1054	1.48	2	0.42	0.28
dir-85 =< aspect < dir-80	1050	1.47	8	1.68	1.14
dir-80 =< aspect < dir-75	988	1.39	6	1.26	0.91
dir-75 =< aspect < dir-70	1035	1.45	12	2.53	1.74
dir-70 =< aspect < dir-65	976	1.37	9	1.89	1.38
dir-65 =< aspect < dir-60	1025	1.44	8	1.68	1.17
dir-60 =< aspect < dir-55	1016	1.42	5	1.05	0.74
dir-55 =< aspect < dir-50	968	1.36	6	1.26	0.93
dir-50 =< aspect < dir-45	966	1.35	3	0.63	0.47
dir-45 =< aspect < dir-40	888	1.25	2	0.42	0.34
dir-40 =< aspect < dir-35	794	1.11	3	0.63	0.57
dir-35 =< aspect < dir-30	771	1.08	6	1.26	1.17
dir-30 =< aspect < dir-25	822	1.15	1	0.21	0.18
dir-25 =< aspect < dir-20	810	1.14	6	1.26	1.11
dir-20 =< aspect < dir-15	778	1.09	3	0.63	0.58
dir-15 =< aspect < dir-10	857	1.20	10	2.11	1.75
dir-10 =< aspect < dir- 5	845	1.19	9	1.89	1.60
dir- 5 =< aspect < dir	903	1.27	11	2.32	1.83
dir =< aspect < dir+ 5	884	1.24	8	1.68	1.36
dir+ 5 =< aspect < dir+10	879	1.23	5	1.05	0.85
dir+10 =< aspect < dir+15	809	1.13	11	2.32	2.04
dir+15 =< aspect < dir+20	831	1.17	7	1.47	1.26
dir+20 =< aspect < dir+25	840	1.18	7	1.47	1.25
dir+25 =< aspect < dir+30	762	1.07	5	1.05	0.98
dir+30 =< aspect < dir+35	847	1.19	8	1.68	1.42
dir+35 =< aspect < dir+40	871	1.22	12	2.53	2.07
dir+40 =< aspect < dir+45	863	1.21	11	2.32	1.91
dir+45 =< aspect < dir+50	925	1.30	6	1.26	0.97
dir+50 =< aspect < dir+55	927	1.30	9	1.89	1.46
dir+55 =< aspect < dir+60	1036	1.45	6	1.26	0.87
dir+60 =< aspect < dir+65	1079	1.51	11	2.32	1.53
dir+65 =< aspect < dir+70	1168	1.64	1	0.21	0.13
dir+70 =< aspect < dir+75	1135	1.59	4	0.84	0.53
dir+75 =< aspect < dir+80	1157	1.62	8	1.68	1.04
dir+80 =< aspect < dir+85	1183	1.66	5	1.05	0.63
dir+85 =< aspect < dir+90	1163	1.63	10	2.11	1.29
dir+ 90 =< aspect < dir+ 95	1167	1.64	1	0.21	0.13
dir+ 95 =< aspect < dir+100	1140	1.60	7	1.47	0.92
dir+100 =< aspect < dir+105	1096	1.54	5	1.05	0.68
dir+105 =< aspect < dir+110	1233	1.73	3	1.63	0.37
dir+110 =< aspect < dir+115	1139	1.60	1	0.21	0.13
dir+115 =< aspect < dir+120	1072	1.50	5	1.05	0.70
dir+120 =< aspect < dir+125	1056	1.48	7	1.47	1.00
dir+125 =< aspect < dir+130	1068	1.50	7	1.47	0.98
dir+130 =< aspect < dir+135	942	1.32	3	0.63	0.48
dir+135 =< aspect < dir+140	850	1.19	8	1.68	1.41
dir+140 =< aspect < dir+145	813	1.14	6	1.26	1.11

Table 1. Continued.

Aspect	Total cell	Total cell ratio (%) (a)	Landslide occurred cell	Landslide occurred cell ratio (%)	(a)/(b)
dir+145 =< aspect < dir+150	817	1.15	7	1.47	1.29
dir+150 =< aspect < dir+155	866	1.21	9	1.89	1.56
dir+155 =< aspect < dir+160	882	1.20	4	0.84	0.68
dir+160 =< aspect < dir+165	870	1.22	8	1.68	1.38
dir+165 =< aspect < dir+170	889	1.25	12	2.53	2.03
dir-170 =< aspect < dir+175	894	1.25	6	1.26	1.01
dir+175 =< aspect < dir+180	853	1.20	6	1.26	1.06
dir-180 =< aspect < dir-175	864	1.21	5	1.05	0.87
dir-175 =< aspect < dir-170	921	1.29	8	1.68	1.30
dir-170 =< aspect < dir-165	880	1.23	7	1.47	1.19
dir-165 =< aspect < dir-160	953	1.34	16	3.37	2.52
dir-160 =< aspect < dir-155	888	1.25	11	2.32	1.86
dir-155 =< aspect < dir-150	905	1.27	3	0.63	0.50
dir-150 =< aspect < dir-145	983	1.38	3	0.63	0.46
dir-145 =< aspect < dir-140	1024	1.44	5	1.05	0.73
dir-140 =< aspect < dir-135	1049	1.47	5	1.05	0.72
dir-135 =< aspect < dir-130	1084	1.52	3	0.63	0.42
dir-130 =< aspect < dir-125	1197	1.68	4	0.84	0.50
dir-125 =< aspect < dir-120	1164	1.63	8	1.68	1.03
dir-120 =< aspect < dir-115	1152	1.62	7	1.47	0.91
dir-115 =< aspect < dir-110	1132	1.59	7	1.47	0.93
dir-110 =< aspect < dir-105	1120	1.57	4	0.84	0.54
dir-105 =< aspect < dir-100	1131	1.59	12	2.53	1.59
dir-100 =< aspect < dir- 95	1134	1.59	6	1.26	0.79
dir- 95 =< aspect < dir- 90	0	0.00	0	0.00	0.00

Table 2. Relation between foliation angle and slope angle.

Slope	Total cell	Total cell ratio (%) (a)	Landslide occurred cell	Landslide occurred cell ratio (%) (b)	(a)/(b)
dip-90 =< slope < dip-85	0	0.00	0	0.00	0.00
dip-85 =< slope < dip-80	0	0.00	0	0.00	0.00
dip-80 =< slope < dip-75	247	0.35	0	0.00	0.00
dip-75 =< slope < dip-70	1111	1.56	0	0.00	0.00
dip-70 =< slope < dip-65	2693	3.78	1	0.21	0.06
dip-65 =< slope < dip-60	3557	4.99	13	2.74	0.55
dip-60 =< slope < dip-55	5308	7.44	31	6.53	0.88
dip-55 =< slope < dip-50	6581	9.23	58	12.21	1.32
dip-50 =< slope < dip-45	7338	10.29	72	15.16	1.47
dip-45 =< slope < dip-40	6604	9.26	60	12.63	1.36
dip-40 =< slope < dip-35	5604	7.86	41	8.63	1.10
dip-35 =< slope < dip-30	3887	5.45	27	5.68	1.04
dip-30 =< slope < dip-25	3614	5.07	8	1.68	0.33
dip-25 =< slope < dip-20	3814	5.35	20	4.21	0.79
dip-20 =< slope < dip-15	4461	6.26	27	5.68	0.91
dip-15 =< slope < dip-10	4402	6.17	24	5.05	0.82
dip-10 =< slope < dip- 5	3492	4.90	7	1.47	0.3

Table 2. Continued.

Aspect	Total cell	Total cell ratio (%) (a)	Landslide occurred cell	Landslide occurred cell ratio (%)	(a)/(b)
dip- 5 =< slope < dip- 0	2270	3.18	13	2.74	0.86
dip- 0 =< slope < dip+ 5	2307	3.24	17	3.58	1.11
dip+ 5 =< slope < dip+10	1169	1.64	9	1.89	1.16
dip+10 =< slope < dip+15	916	1.28	17	3.58	2.79
dip+15 =< slope < dip+20	861	1.21	8	1.68	1.39
dip+20 =< slope < dip+25	577	0.81	3	0.63	0.78
dip+25 =< slope < dip+30	241	0.34	13	2.74	8.10
dip+30 =< slope < dip+35	148	0.21	4	0.84	4.06
dip+35 =< slope < dip+40	89	0.12	2	0.42	3.37
dip+40 =< slope < dip+45	9	0.01	0	0.00	0.00
dip+45 =< slope < dip+50	0	0.00	0	0.00	0.00
dip+50 =< slope < dip+55	0	0.00	0	0.00	0.00
dip+55 =< slope < dip+60	0	0.00	0	0.00	0.00
dip+60 =< slope < dip+65	0	0.00	0	0.00	0.00
dip+65 =< slope < dip+70	0	0.00	0	0.00	0.00
dip+70 =< slope < dip+75	0	0.00	0	0.00	0.00
dip+75 =< slope < dip+80	0	0.00	0	0.00	0.00
dip+80 =< slope < dip+85	0	0.00	0	0.00	0.00
dip+85 =< slope < dip+90	0	0.00	0	0.00	0.00

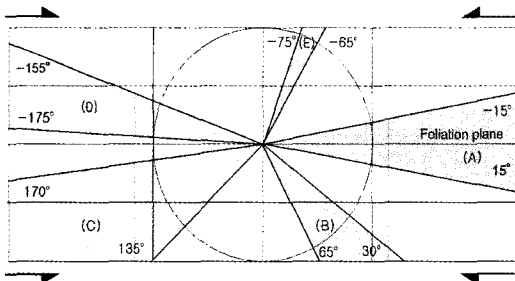


Fig. 8. Relation between foliation direction and slope aspect of Janghung area where landslide occurrence ratio is relatively high.

미끄러짐의 관계이므로 운동감각은 모두 정단층 감각을 보여준다. 이와 같이 산사태가 많이 발생하는 엽리의 경사방향 및 경사각을 함께 입체적으로 나타내면 Fig. 10과 같다.

이러한 연구 결과로 엽리가 발달되어 있는 편마암류와 같은 변성암 분포 지역에서는 산사태를 유발시키는 절리 또는 단층의 기하학적인 태위가 엽리와 유관하다는 것을 알 수 있었고, 산사태를 야기시키는 절리 또는 단층의 기하학적 특성은 엽리의 주향 방향을 기준으로 하면, P~R, T~P 및 R' 범위 내에서 가정 빈번하며, 엽리 경사를 기준으로 할 때에는 임의의 빈도

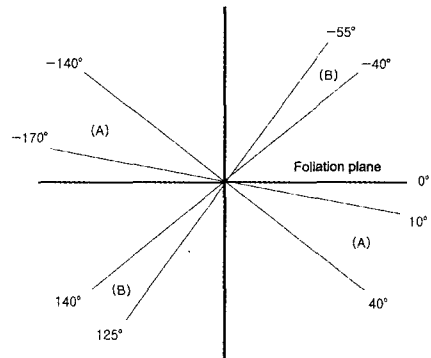


Fig. 9. Relation between foliation angle and slope angle of Janghung area where landslide occurrence ratio is relatively high.

가 높은 경사방향을 양 부호 (+)로 놓았을 때 +(R~T) 또는 -(T~R)의 범위에서 가장 빈번함을 알 수 있었다. 연구지역인 장흥 지역에 엽리의 경사방향은 습곡작용으로 인해 북동방향의 주향 (F<sub>2</sub>)에 대해서 북서 또는 남동 방향의 두가지로 나타나므로, 두 가지 중 빈도가 높은 어느 한 엽리면을 기준으로 하였을 때, 반대 방향의 경사 각도는 음 부호 (-)로 표시된다.

이상과 같이, 산사태 발생지역에 대한 기반암의 엽리와 절리 (또는 단층)간의 상관관계를 전단절리가 일



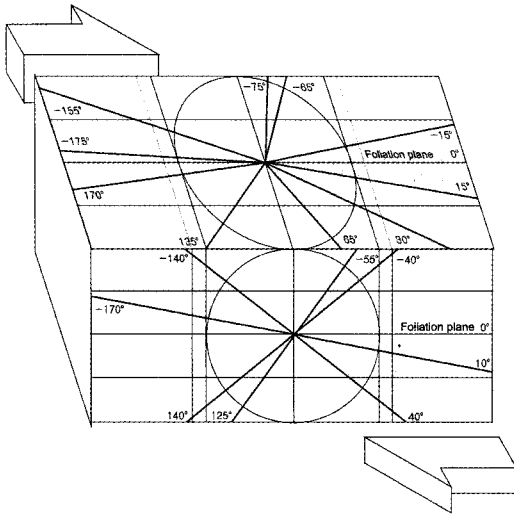


Fig. 10. 3-dimensional shear fracture system of Janghung area.

어날 경우로 전환하여 분석하고 이를 통계 처리하였으나, 산사태의 경우는 모두 정단층의 운동감각을 가지고 있다. 결론적으로 변성암(편마암)지역의 경우 산사태를 유발시키는 지질구성인자들은 엽리와 수반되는 전단절리(또는 단층)들에 의해 근본적인 원인이 제공되고, 임의의 지점에서 임계각을 넘는 경우에는 모두 정단층 운동으로 전환되었다고 해석된다. 따라서 GIS 기법에 의한 지형사면분석 자료와 단열계 자료를 중첩시켜 본 결과, 기존의 산사태 발생 빈도와 일치하고 있었다. 향후, 이런 기법을 적용하여 산사태 발생 지역을 예측하는 데에 이용될 수 있다고 사료된다.

**결론 및 토론**

본 연구에서는 연구지역인 장흥 지역의 전단 단열계 파악을 위해 산사태 위치 및 지형 등 관련 요소들의 데이터베이스 구축을 하였으며, 현장 조사를 통해 엽리의 지질 구조를 파악하고 격자로 나누어 각 격자별로 주향 및 경사를 분석하였다. 실험에 따른 파괴양상 원리인 전단 단열계 이론을 적용하여, 엽리의 주향, 경사 및 지형분석을 통해 얻은 경사방향, 경사를 연구지역 전체 및 산사태 발생 지역에 대해 비교 분석 한 후 연구지역의 대표적인 파괴양상 즉 절리 또는 소단층의 주향 및 경사를 파악하였다. 그 결과 엽리가 발달되어 있는 편마암류와 같은 변성암

분포 지역에서는 산사태를 유발시키는 절리 또는 단층의 기하학적인 태위가 엽리와 연관하다는 것을 알 수 있었다. 즉 산사태를 야기시키는 절리 또는 단층의 기하학적 특성은 엽리의 주향 방향을 기준으로 하면, P~R, T~R', T~P, R 및 R' 범위내에서 가장 빈번하며, 엽리경사를 기준으로 할 때에는 임의의 빈도가 높은 경사방향을 양부호 (+)로 놓았을 때 +(R~T) 또는 -(T~R')의 범위에서 가장 빈번한 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 산사태 취약성 분석을 위해 한 요인으로서 사용될 수 있다. 또한 이러한 결과를 산사태 관련 요인인 지형, 토양, 임상, 지질 요인 (Turner, 1996)들과 같이 이용하여 확률, 통계, 인공신경망 기법 (이사로, 2000) 등을 적용하면 좀 더 정확한 산사태 취약성 분석을 할 수 있을 것이다.

**참고문헌**

이사로 (2000) 지리정보시스템 (GIS)을 이용한 산사태 취약성 분석 기법 개발 및 적용 연구, 연세대학교 박사 학위 논문, 163p.  
 이사로 (1998) GIS를 이용한 지질재해 및 위험 데이터베이스 구축, 제8회 GIS WORKSHOP, p. 337-346.  
 Anderson, E. M. (1942) The dynamics of faulting, Edingburgh: Oliver & Boyd, p. 191  
 Chinnery, M. A. (1966) Secondary Faulting. Can. J. Earth Sci., 3, 2, p. 163-190.  
 Davis, G. H. and Bump, A. P, Garcia P. E., Ahlgren Stephen G. (2000) Conjugate Riedel deformation band share zones, Journal of Structural Geology, v. 22, p.169-190.  
 Freund, R., (1965) A model of the structural development of Israel and adjacent areas, since Upper Cretaceous times. Geol. Mag., 102, p. 189-205.  
 George, D. H. and Reynolds, S. J. (1996) Structural Geology of Rocks and Regions, p. 776.  
 Keller, J. V. A., Hall, S. H., McClay, K. R. (1997) Shear fracture pattern and microstructural evolution in transperssional fault zones from field and laboratory studies, Journal of Structural Geology, v. 19, p. 1173-1187.  
 Lajtal, E. E. (1968) Brittle fracture in direct shear and the development of second order faults and tension gashes, Geol. Surv. Can. GSC Paper 68-52, p. 96-112.  
 Lee, S. R. (1998) Analysis of Landslide Susceptibility in Korea using Geographic Information System, Proceedings of International Symposium on Application of Remote Sensing and Geographic Information System to Disaster Reduction, p. 141-147.  
 McKinstry, H. E. (1953) Shears of the second order. Am. J. Sci., 251, p. 401-444.  
 Price, N. J. (1968) A dynamic mechanism for the development of second order faults, Geol. Surv. Can. GSC Paper, p. 68-52.

- Price, N. J. and Cosgrove, J. W. (1990) Analysis of geological structures, Cambridge University Press, p. 502.
- Riedel, W. (1929) Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen. Zbl. Miner. Geol. Palaeont., p. 354.
- Tapponnier, P. and Molnar, P. (1976) Slip-line field theory and large-scale continental tectonics. Nature, 264, p. 319-324.
- Tchalenko, J. S. (1968) The evolution of kink bands and the development of compression textures in sheared clays. Tectonophysics, 6, p. 159-174.
- Turner, K. A. and Schuster, R. L. (1996) Transportation research board, National research council, Landslides investigation and mitigation, Special report 247, p. 131-137.

---

2000년 7월 1일 원고접수, 2000년 12월 1일 게재승인.