

## 경상북도 달성군 논공면 일원에서 발생한 산사태의 원인 The Study on the Landslide Occurred in the Nongong Area in Dalseong-gun, Kyeongbuk

황진연 (Jin-Yeon Hwang)  
김종열 (Jong-Yeol Kim)  
김재영 (Jae-Yeong Kim)

부산대학교 지질학과  
부산대학교 지질학과  
(주) 동아지질

### 요약/Abstract

경북 달성군 논공면 일원에서 발생한 산사태의 원인을 규명하기 위하여 지질구조와 점토광물의 검토를 행하였다. 그 결과, 연구지역의 산사태는 지질구조에 의해 그 규모와 미끄러진 방향이 규제되어 있다. 특히, 미끄러진 바닥면은 점토로 구성되어 있으며, 그 점토에는 삼팔면체형 버미큘라이트와 함께 스멕타이트가 다량 함유되어 있다. 기반암에 발달되어 있는 층리절리계 및 파쇄대 내에 협재된 팽윤성 점토광물의 존재가 산사태의 발생에 매우 큰 영향을 끼친 것으로 해석된다.

The landslide occurred in the Nongong area of Dalseong-gun, Kyeongbuk, is described and analysed in terms of structural geology and clay mineralogy to understand the causes of the landslide. The result of the analyses shows that the slip direction and the scale of the landslide of the study area were controlled by the attitude of the major discontinuity planes in the area such as joints, faults and dikes. In addition, the surface of the slip planes of the landslide is composed of clay minerals, which are mostly tri-octahedral vermiculite and smectite. From this study it can be concluded that the presence of expandable clay minerals within the bedding joints and fracture zones in bed rock played an important role in causing the landslide of the study area.

### 서 언

근년 여러가지 토목공사에 수반되어 자연사면의 인위적인 절개에 의하여 사면이 불안정해져 사면 붕괴 현상이 빈번히 유발되고 있는 실정이다. 특히, 단층 및 파쇄대가 발달되어 있는 연약지반의 경우에는

사면안정에 치명적인 악영향을 끼친다 것은 주지의 사실이다. 더우기 단층점토 및 단층각력을 수반하고 있는 단층대(fault zone)가 존재하는 사면의 경우에는 점토물질에 의한 전단강도의 저하로 파쇄대의 발달이 없는 지역에 비해서 사면의 안정도는 급격히 저하된다. 산사태가 빈번히 발생하는 지역에는 불연속면의 발달과 더불어 팽윤성을 갖는 특징적인 산사

태점토가 수반되는 것이 일반적이다. 따라서 산사태의 원인에 관한 연구에 있어서는 지질구조와 점토광물에 대한 검토가 매우 중요하다.

경상북도 달성군 논공면 일원에는 1984년 토지개발공사에 의해 약 16만평에 걸친 대규모 논공공단 및 주거단지 조성공사가 시작된 이래 토목공사와 직간접적으로 관련되어 여러 곳에서 대소 규모의 사면 붕괴 혹은 산사태가 발생된 바 있다. 금번 연구는 논공면 일원에 발생된 사면 붕괴지들 가운데 규모가 비교적 크고 관찰이 용이한 한 산사태 발생지점을 대상으로 하여 지질구조와 산사태점토의 광물 특성을 자세히 파악하여 산사태의 발생 원인을 규명하는 것을 목적으로 한다.

## 산사태의 성상

연구지역은 토지개발공사에서 조성한 택지에 아파트를 신축할 목적으로 적합한 부지 공간을 확보하기 위하여  $40^{\circ} - 45^{\circ}$  정도의 경사각을 갖는 자연사면의 하단부에 사면절취를 시공하는 과정에 1993년 여름 태풍에 의한 집중 강우 이후 산사태가 발생되어진 지역이다(Fig. 1).

산사태의 성상은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 상단부의 U字形 배수로가 일부 파손되어 있으며, 면적 약  $6,800\text{m}^2$ , 두께 1.3-4.7m 정도의 규모를 갖는 토괴가 남동 방향으로 최대 28.8m 수평 이동되어 있고, 1.8-2.2m 규모의 붕락을 나타낸다.

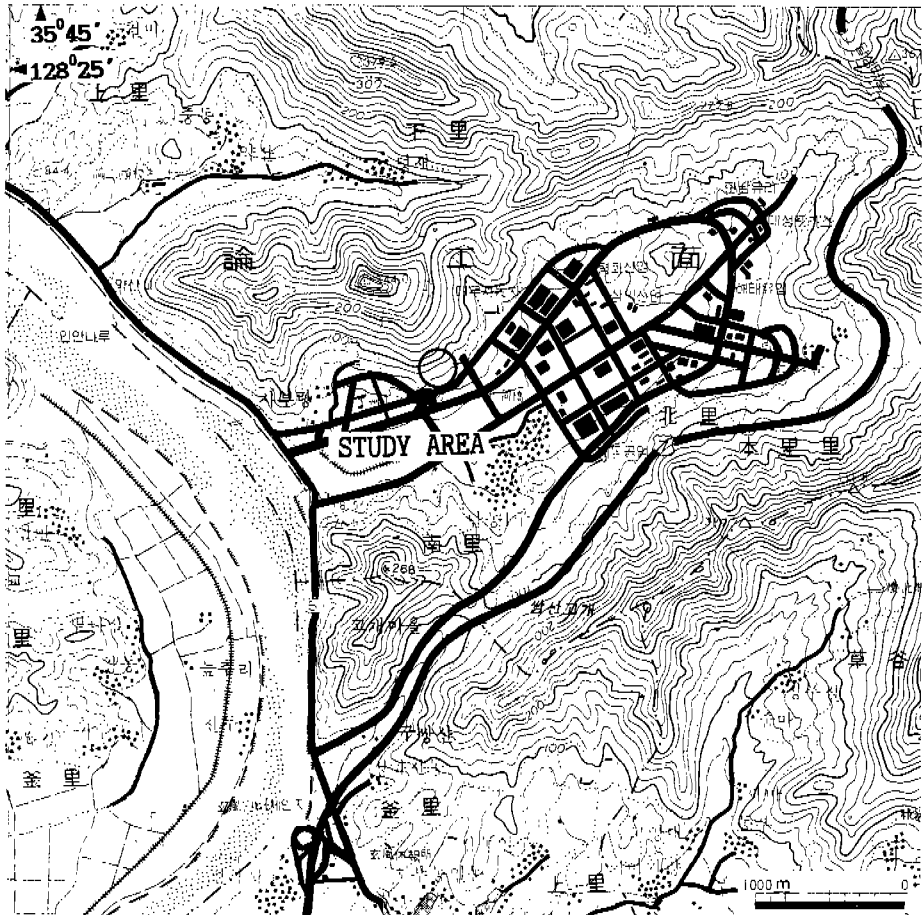


Fig. 1 Location map of the study area.

경상북도 달성군 논공면 일원에서 발생한 산사태의 원인

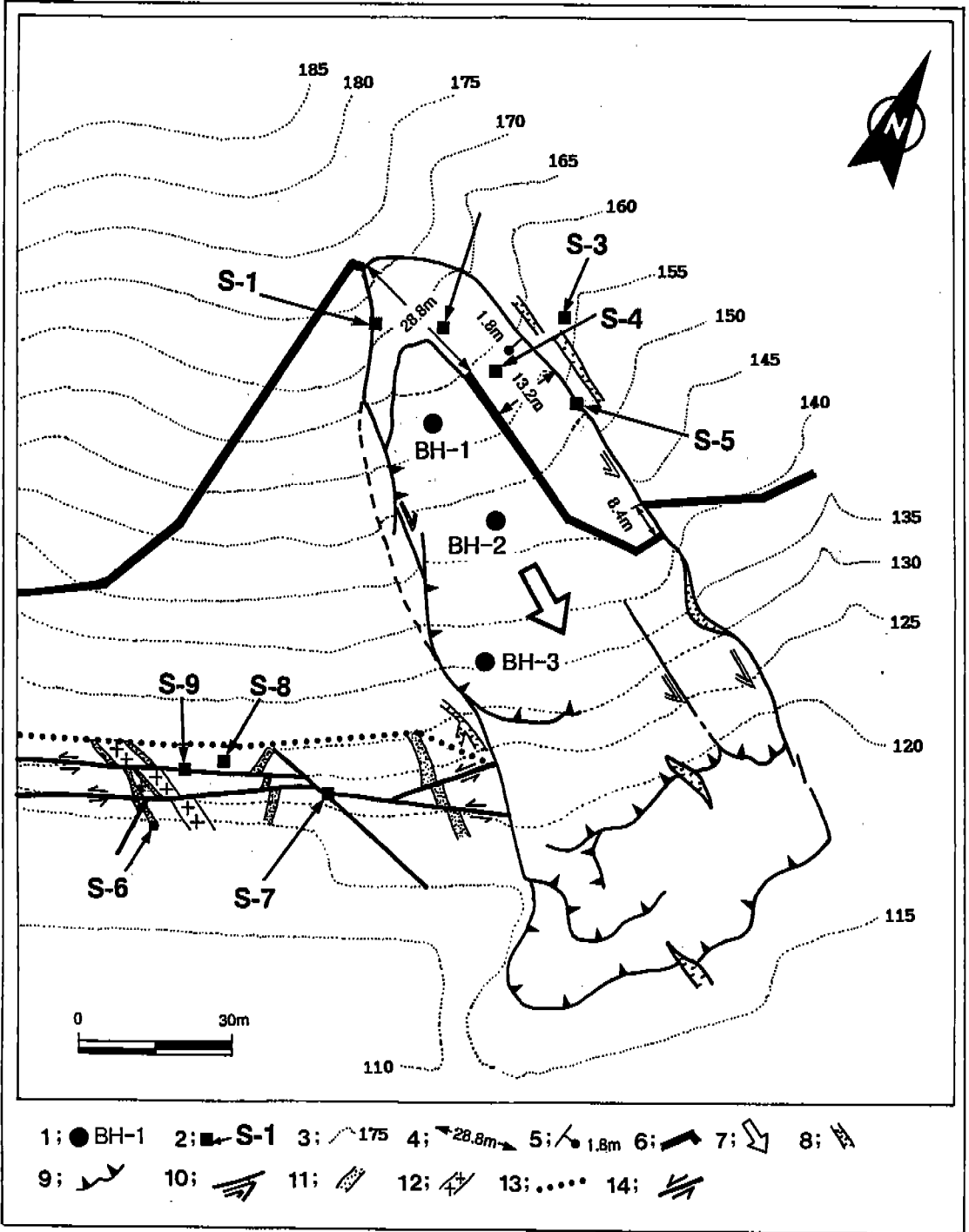


Fig. 2 Morphographic map of the study area. 1; Boring sites, 2; Sampling sites, 3; Contour, 4; Horizontal separation, 5; Vertical separation, 6; Drain-pipe, 7; Landslide direction, 8; Tension crack, 9; Landslide thrust, 10; Landslide fault, 11; Intermediate dyke, 12; Acidic dyke, 13; Excavation boundary, 14; Strike-slip fault.

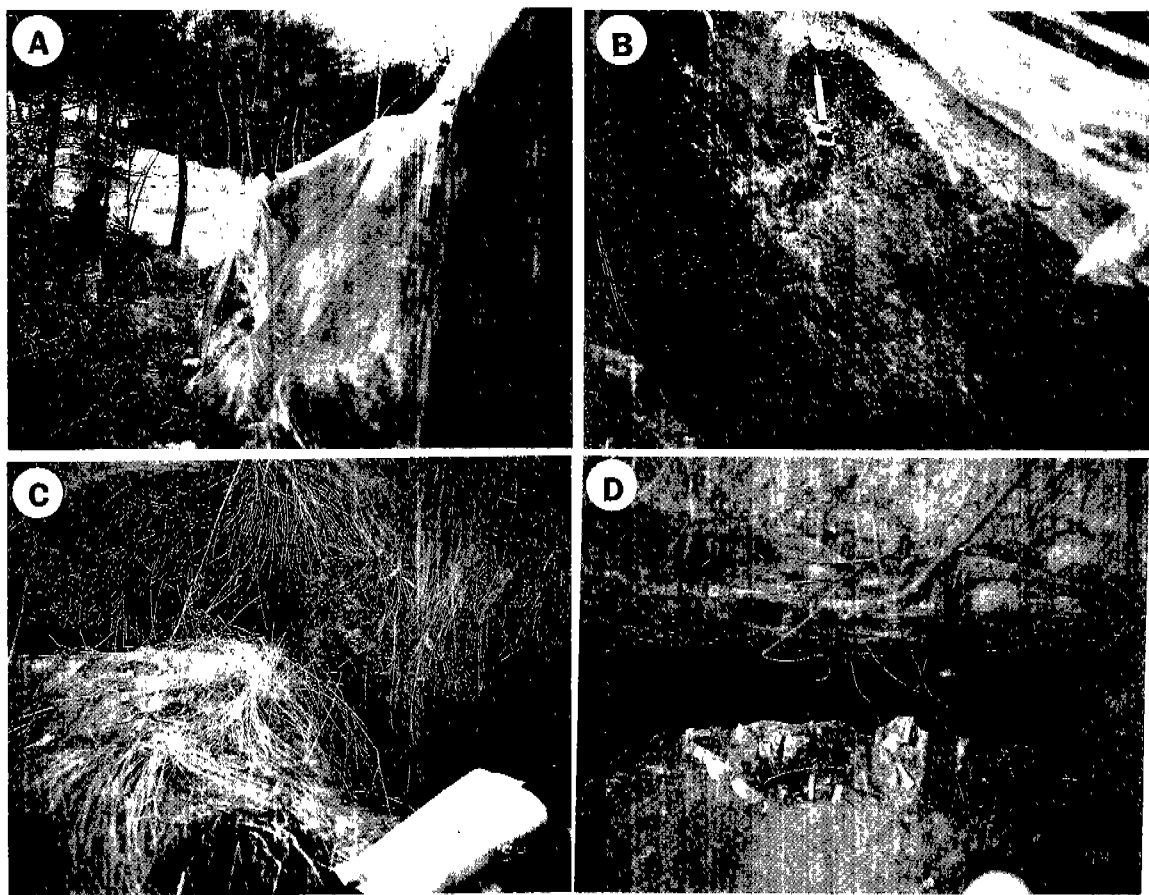


Fig. 3 Photographs showing the characteristics of landslide in the study area. A; A flank ridge along right side of landslide, B; Surface characteristics of the exposed failure plane of the slide scar. Strong slickensides, grooves and steps developed in a marginal part of landslide. C and D; Wide tension crack developed in a marginal part of landslide.

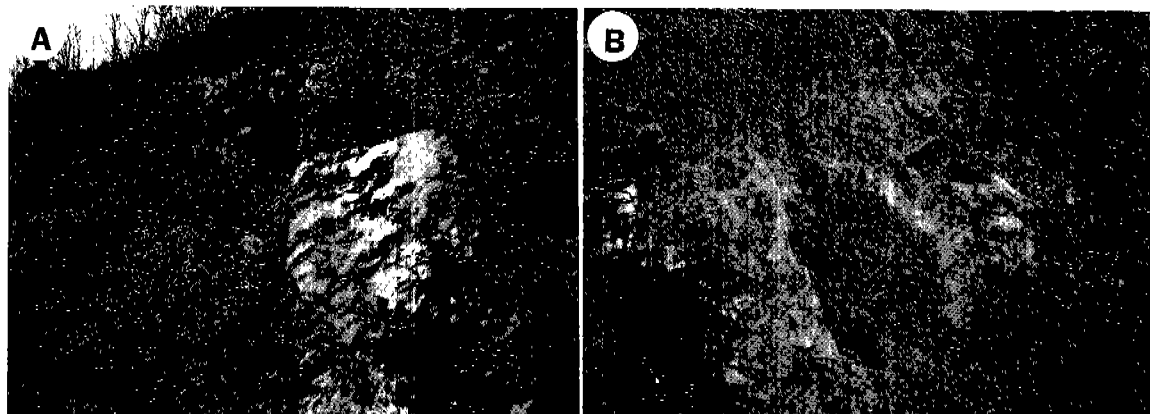


Fig. 4 An outcrop showing strike-slip fault and fracture zone on bed rocks.

## 경상북도 달성군 논공면 일원에서 발생한 산사태의 원인

이들 토괴의 미끌어진 면은 본역의 기반암인 퇴적암의 풍화암 및 연암으로 구성되어 있다(Fig. 3-A, B). 그리고 붕괴토괴 외곽지에는 안행상(en echelon type)의 인장균열들이 발달되어 있으며 (Fig. 3-C), 붕괴토괴 내부에는 인장균열과 더불어 층상단층 형태로 토괴가 집적되어 있기도 하고 일부 교란되어 있다(Fig. 2). 또한 붕괴지 좌측 하단부의 사면 절취면에 노출된 기반암의 노두에는 수조의 단층과 암맥들에 수반되어 파쇄대가 발달되어 있다(Fig. 4-A, B). 이들 불연속면의 틈사이에는 점토물질들이 충전되어 있으며, 일부 불연속면에서는 용수 현상들도 관찰된다.

## 지 질

조사지역의 지질은 중생대 백악기 퇴적암류와 이들을 관입한 산성 및 염기성 암맥, 그리고 이들 상위에 부정합으로 제4기 충적층이 분포하고 있다.

백악기 퇴적암류는 본역 사면의 기반암을 이루고 있으며, 하양층군의 진동층(김기완과 여상철, 1970)에 해당된다. 본암류는 암회색 내지 흑색의 세일과 응회질 사암으로 구성되며 호은펠스화되어 있다. 연구지역 주변에서의 본층은  $N15^{\circ}-20^{\circ}E/10^{\circ}-20^{\circ}$

SE의 주향/경사를 나타내지만, 본역 사면 절개지에 노출되어 있는 노두에서의 층리면의 주향과 경사는  $N25^{\circ}-35^{\circ}E/35^{\circ}-45^{\circ}SE$ 의 자세를 갖고, 주변보다 고각도의 경사각을 나타내고 있다.

암맥류는 산성 및 중성 암맥들로 상기 퇴적암류를 관입하여 수조 발달되어 있으며, 대체적으로 북서 방향으로 발달하고 있다.

충적층은 점토와 자갈의 혼층으로 구성되며, 시추 조사 결과 1.3m-4.7m의 두께로 분포하고 있다(Fig. 5).

## 지 질 구조

단층계 : 본역의 기반암 내에 발달되어 있는 단층계는  $80^{\circ}-88^{\circ}/160^{\circ}-170^{\circ}$ 의 경사/경사방향의 자세를 갖는 주향이동단층의 성격을 갖는 주단층과 이와 사교하는 부단층들이 발달한다. 주단층의 이동 감각은 암맥들이 단층으로 절단되어져 3-4m 서측으로 전이되어 있는 양상으로 볼때 좌수이동(sinistral)이다(Fig. 4). 본 단층계는 단층점토와 단층각력을 수반하고 최소 수 cm에서 최대 약 6m의 폭을 갖는 단층대(fault zone)를 수반하고 있다. 이들 대부분의 단층대 내에는 백색 및 담회색을 띠는 세맥들이 망상(net shape)으로 충전하고 있다.

암맥류 : 진동층을 관입한 암맥류는  $70^{\circ}-80^{\circ}/220^{\circ}-225^{\circ}$ ,  $80^{\circ}/240^{\circ}-250^{\circ}$ 의 경사/경사방향의 자세와 19cm, 90cm, 610cm, 10m의 다양한 폭을 갖는 중성과 산성암맥들로 후기의 단층작용에 의해 절단되어 있다.

절리계 : 본역의 기반암에 대하여 92개의 절리면을 측정된 결과(Fig. 6), 3 방향의 주절리계(J1, J2, J3)로 특징지워진다. 특히, 이들 절리계 가운데 평균  $40^{\circ}/134^{\circ}$ 의 경사/경사방향의 자세를 갖는 층리절리계(bedding joint system)가 특징적으로 발달하고 있다. 이 층리절리계는 본역의 사면( $40^{\circ}/134^{\circ}$ )와 거의 유사한 자세를 보여주고 있다. 그리고 후기의 단층작용과 관련된 평균  $82^{\circ}/343^{\circ}$ 과  $80^{\circ}/246^{\circ}$ 의 경사/경사방향인 신장절리계와 전단절리계들이 발달되어 있다(Fig. 6). 이들 절리면에는 대부분 점토물질으로 충전되어 있는 양상을 보여주고 있다.

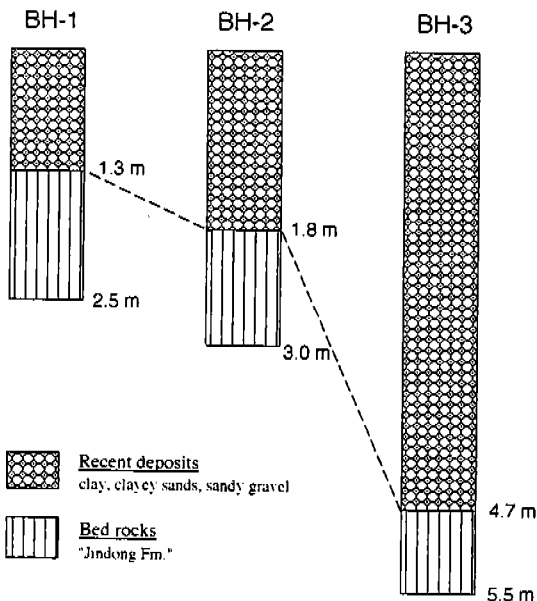


Fig. 5 Profile from borehole records.

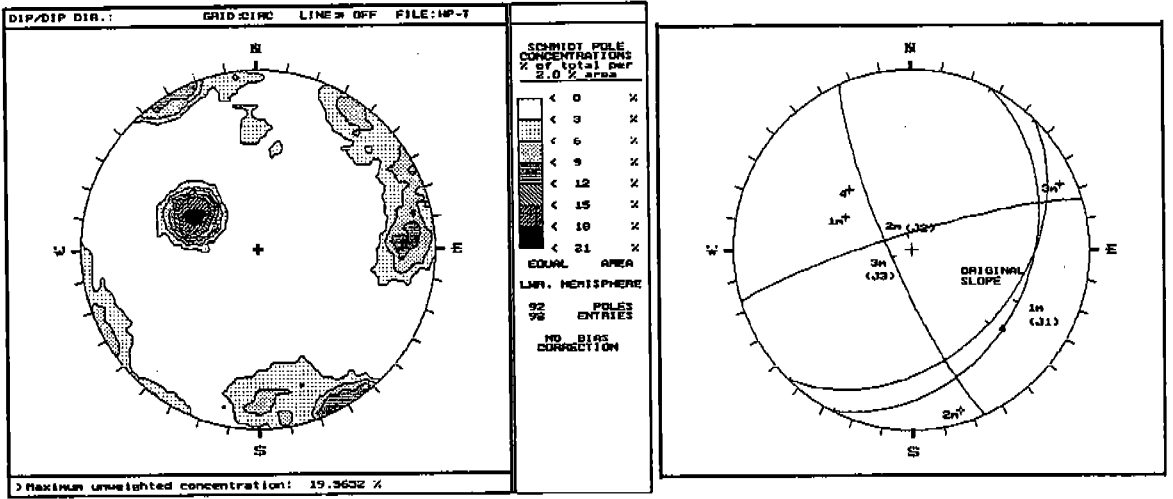


Fig. 6 Lower hemisphere equal-area projection showing the attitude of Joint system in the study area. Original slope(average dip amount/dip direction; $40^{\circ}/134^{\circ}$ ), Joint system(average dip amount/dip direction; $34^{\circ}/112^{\circ}$  (J1),  $82^{\circ}/343^{\circ}$  (J2) and  $80^{\circ}/246^{\circ}$  (J3)).

### X-선회절분석에 의한 광물조성 연구

#### 실험 방법

연구지역에서 채취된 암석 및 토양 시료에 대해 X-선분말회절분석을 행하여 광물조성을 검토하였다. 점토질 시료에 대해서는 수증침강법에 의해  $2\mu\text{m}$  이하의 점토분을 분리하여 정방위시편을 만들어 X-선분말회절분석을 행하였다. X-선회절분석은 Rigaku 사제 Geigerflex 2301을 사용하여  $\text{CuK}\alpha$ 선으로 Ni-필터를 이용하였다. 통상의 측정조건은 전압 30kV, 전류 15mA, 주사속도  $2^{\circ}2\theta/\text{min}$ , 시정수 1초, 슬릿  $1^{\circ}-0.3\text{mm}-1^{\circ}$ 로 하였다.

점토광물의 정확한 식별을 위하여 에칠렌글리콜, 염산, 초산암모늄의 약품 처리와, 가열처리 그리고 Mg와 K의 포화처리를 행하였다. 약품처리는 6N 염산 및 1N 초산암모늄 용액에 1시간 중탕하여 반응시켰다. 가열처리는 전기로에서 각 온도에 대하여 1시간씩 가열하였다. 포화처리는 0.5M  $\text{MgCl}_2$ 와 1M KCl 용액으로 충분히 반응시켜 실험했다.

#### 결 과

산사태가 발생한 지점의 노두에서 나타나는 암석도 그 주변의 것 과 같이 층상 구조를 잘 나타내고 있다. 이 암석은 층리면에 평행한 절리가 발달되며

이 면을 따라 선택적으로 점토로 변질되어 있다. 즉 변질이 거의 안된 경질의 암석과 변질되어 거의 점토화된 부분이 층상으로 교호하게 나타난다. X-선회절분석결과, 이 곳의 경질부 암석은 장석(주로 사장석)이 다량 포함되고 그 이외에 운모, 각섬석, 녹니석이 함유되어 나타났다(Fig. 7, S-1). 그러나 이 암석에는 석영을 거의 포함하고 있지 않는 특징을 나타낸다. 층리절리면을 따라 얇게 점토화된 부분은 담황색 내지 담회색을 띠며 거의 점토광물로만 구성되어 있다. 산사태 발생지점의 상부에 노출된 미끄러진 바닥면(slip-surface)에서 채취한 담황색 점토(S-2 시료)에 대한 X-선회절분석 결과도 층리절리면의 점토와 같이 거의 점토광물로만 구성되며 주로 버미클라이트(vermiculite)에 유사한 회절선을 나타내고 있다(Fig. 7, S-2). 산사태 지점의 외곽부 잔류토양에서는 장석과 함께 버미클라이트 및 카올린광물(kaolin mineral)의 점토광물이 나타나서 산사태 지점의 점토와는 다른 광물조성을 보인다(Fig. 7, S-3).

산사태 점토를 구성하는 점토광물의 정확한 식별을 위하여 분리된 점토분에 대해 각종 처리를 행하여 X-선회절분석을 행하였다. 미끄러진 바닥면의 한 점토 시료(S-2)에서는 Fig. 8과 같이 무처리에서  $14.8\text{\AA}$ 의 강한 회절선이 나타나며, 에칠렌글리콜

경상북도 달성군 논공면 일원에서 발생된 산사태의 원인

처리에서 이는 17.3 Å과 14.7 Å으로 분리되어 나타난다. 염산처리에서 16.6 Å 회절선이 남아 있으며 초산암모늄처리에서 12.7 Å으로 회절선이 이동하고 있다. 그리고 600°C 가열처리에서 9.7 Å으로 모두 수축하여 나타난다. 이러한 특성으로 보아 에칠렌글리콜 처리에 14.7 Å을 나타내는 회절선은 녹니석보다는 벤키큘라이트에 가까운 것으로 해석된다. 17.3 Å으로 팽윤하는 회절선은 스멕타이트(smectite)에 유사한 것으로 해석된다.

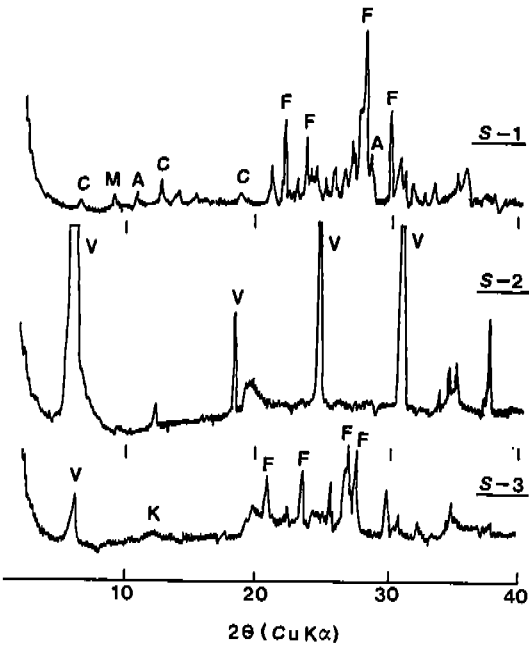


Fig. 7 X-ray diffraction patterns of rock and soils in the study area. F, feldspar; M, mica; C, chlorite; A, amphibole; V, vermiculite; K, kaolin mineral

더욱 자세한 검토를 위하여 이 시료(S-2)에 대해 Mg 및 K에 포화시킨 후에 각종 처리한 X-선회절선을 Fig. 9에 나타냈다. Mg로 포화시킨 후 에칠렌글리콜 처리한 것에는 14.4 Å 회절선과 함께 17.6 Å 회절선이 뚜렷이 나타난다. K로 포화시킨 후에는 약 12 Å에 회절선이 나타나며, 이를 300°C 가열 시키면 이들이 수축하여 대부분은 10 Å으로 되고 일부는 12 Å으로 남아 있다. 500°C 가열 처리 후에는 10 Å 회절선으로 모두 수축한다. 산사태점토로 산출되는 광물로서 14 Å의 층간격이 에칠렌글리콜 처리에 약

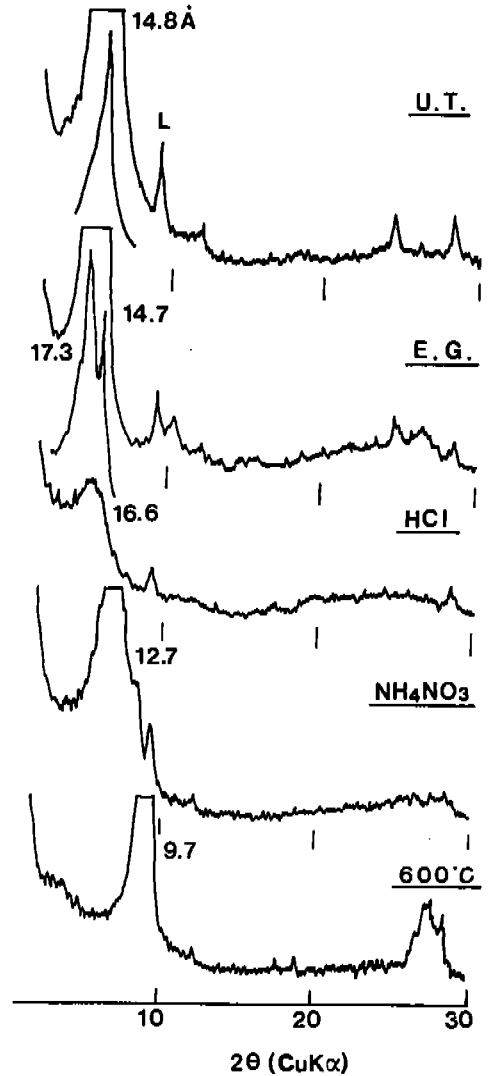


Fig. 8 X-ray diffraction patterns of the clay fractions in the slip-surface layer of the landslide area. U.T., Untreated; E.G., treated with ethylene glycol; HCl, treated with 6N HCl; NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, treated with 1N NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>; 600°C, heating at 600°C for an hour; L, laumontite.

18 Å 가까이 팽윤하는 팽윤성 녹니석(swelling chlorite)이 있다(Egashira et al., 1992). 그러나 이 시료에서는 K의 포화 이후와 이를 550°C 가열한 후에 14 Å 회절선이 나타나지 않으므로 팽윤성 녹니석은 아닌 것(Sawhey, 1989)으로 해석된다. 에칠렌글리콜 처리에 약 17 Å으로 팽윤하는 것은 그 가열특성으로

보아 스�멕타이트에 가까운 것으로 해석된다. 예칠렌 글리콜처리에 팽윤하지 않는 버미큘라이트는 K의 포화처리에서 14Å 부근의 회절선이 나타나지 않고 가열처리에 쉽게 10Å으로 수축하는 특성으로 보아 삼팔면체형 (tri-octahedral) 버미큘라이트에 해당되

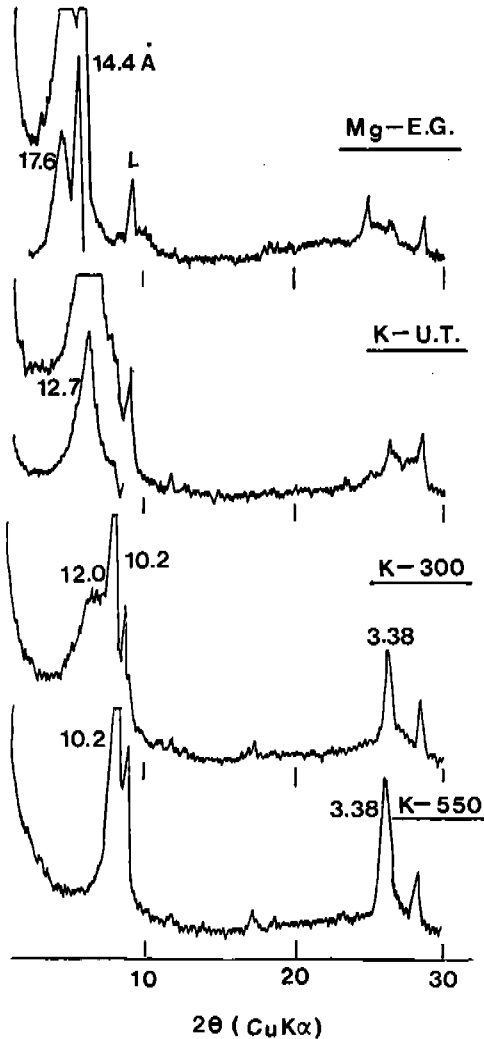


Fig. 9 X-ray diffraction patterns of the Mg and K-saturated clay fractions in the slip-surface layer. Mg-E.G., Mg-saturation and treatment with ethylene glycol; K-U.T, K-saturation and air-dry; K-300, K-saturation and heating at 300°C; K-550, K-saturation and heating at 550°C; L, laumontite.

는 것(須藤, 1974)으로 생각된다. 또한 이 시료에서 (060)에 해당되는 것으로 보이는 회절선이 약 1.540·Å에 뚜렷이 나타나므로 여기에 함유된 버미큘라이트와 스�멕타이트가 삼팔면체형 인 것으로 보인다. 이 시료에서 2μm 이하의 점토분에서는 이상과 같이 스�멕타이트가 다량 함유되지만 입경이 큰 부분을 분리하여 분석한 결과 입경이 클수록 그 성분이 감소하는 경향이 나타났다. 따라서 입도가 큰 부분일수록 버미큘라이트의 함량은 많아지는 반면 스�멕타이트의 함량은 적어지는 경향이 나타난다.

이 지역의 표층을 구성하는 대표적인 토양시료(S-3)에 대해서도 점토광물을 자세히 검토하였다. Fig. 10과 같이 무처리에서는 14.4Å와 7.3Å의 회절선이 나타나며, 예칠렌 글리콜처리에서는 이들 회절선은 이동하지 않으며 염산처리에도 회절선이 나

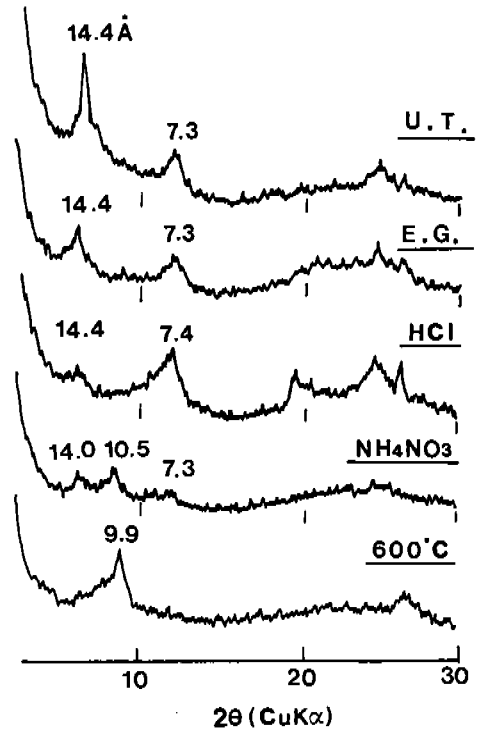


Fig. 10 X-ray diffraction patterns of the clay fractions in soil of the study area. U.T., Untreated; E.G., treated with ethylene glycol; HCl, treated with 6N HCl; NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, treated with 1N NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>; 600°C, heating at 600°C for an hour



경상북도 달성군 논공면 일원에서 발생된 산사태의 원인

타난다. 여기서 7.3 Å 회절선은 600°C 처리에 소멸되는 것으로 보아 카오린광물인 것으로 해석된다. 14.4 Å 회절선은 600°C 가열에 9.9 Å 으로 수축하는 것으로 보아 베타클라이트인 것으로 해석된다. 초산암모늄 처리에 14.0 Å 과 10.5 Å 으로 이동되어 나타난다. 그리고 그림으로 나타내지는 않았지만 이 시료의 K 포화 후에도 14.2 Å 와 10.4 Å 에 두 회절선이 나타났다. 이것으로 보아 삼팔면체형과 이팔면체형(di-octahedral)의 베타클라이트가 포함되어 있는 것으로 해석된다. 즉 두 처리에서 약 10 Å 으로 이동하는 것은 삼팔면체형 베타클라이트에 의한 것이며, 약 14 Å 을 나타내는 것은 이팔면체형인 것(須藤, 1974)으로 해석된다. 이 토양 시료에는 산사태 점토와는 다

르게 카오린광물과 이팔면체형 베타클라이트가 상당량 포함되는 것이 특징이다.

이 지역의 여러 곳에서 채취한 암석들의 X-선 회절분석 결과를 Table 1에 정리하여 나타냈다. 산사태의 미끄러진 바닥면의 시료(S-2, S-4)에서는 상술한 바와 같이 스멕타이트가 특징적으로 많이 함유되어 있다. 단층대에는 나타나는 세맥의 시료(S-7, S-8)의 경우 로먼타이트(laumontite) 및 스틸바이트(stilbite) 등의 불석광물이 주로 나타나며, 주변의 변질물로서 스멕타이트가 수반된다. 그리고 국부적으로 직갈색의 단층점토가 나타나기도 하는데, 이 단층점토의 시료(S-9)에서는 스멕타이트가 비교적 많이 함유된다.

Table 1. Mineral compositions of rocks and clays.

Sample	Feld	Mi	Amp	Chl	Ver	Sm	Kao	Lau	Sti
S-1(Hard rock)	+++	+	+	+					
S-1(Clay)		+			++	++			
S-2(Clay)					+++	++		+	
S-3(Soil)	++				++		+		
S-4(Clay)	+		+		++	+			
S-5(Soft rock)	+++		++		+				
S-6(Dyke)	++	+	++	++					
S-7(Vein)								+++	
S-7(Vein)			+			++			++
S-8(Vein)			+			+		++	++
S-8(Hard rock)	+++	++	+						
S-9(Clay)						+++			

+++ , Abundant ; ++ , Common ; + , Rare ; Feld, Feldspar ; Mi, Mica ; Amp, Amphibole ; Chl, Chlorite ; Ver, Vermiculite ; Sm, Smeectite ; Kao, Kaolin minerals ; Lau, Laumontite ; Sti, Stilbite

고찰 및 결론

사면의 안정성에 있어서 기본적인 검토사항은 지질구조, 토질, 압질의 평가, 불연속면들이다(安江, 1981). 조사지역의 지질구조는 단층, 절리, 압맥과 같은 불연속면들이 크게 3방향으로 발달되어 있다. 산사태의 규모와 미끄러진 방향은 이들 지질구조들에 의해 규제되어 있다. 특히, 이 지역의 산사태는 층리가 잘 발달되는 암층내에서 평균 34°/117°의 경사/경사방향의 자세를 갖는 층리절리계 (bedding joint system)의 절리면을 따라 미끄러진 성상을 나타낸다. 이 암층은 층리절리계의 절리면을 따라 국부

적으로 심하게 점토로 변질되어 나타나는 특징이 있다. 이것이 미끄러진 바닥면의 산사태 점토로 나타나고 있다. 특히 이들 점토에는 팽윤성이 큰 스멕타이트가 다량 함유되는 것으로 나타났다. 이 점토는 주변의 토양과 광물조성이 다르게 나타났으며, 그 토양에는 스멕타이트와 같은 팽윤성이 큰 광물은 포함되지 않고 팽윤성이 없는 카오린광물이 다량 함유되어 있음이 나타났다.

이러한 결과들로 볼 때, 산사태는 지표면의 토양에 의한 것이 아니고 층리절리에 발달된 점토질물질에 의한 것으로 보이며, 팽윤성 점토광물에 의한 영향이 큰 것으로 생각된다. 일반적으로 산사태점토로서 스멕타이트, 팽윤성 녹니석, 할로사이트 등의 팽윤성

인 큰 점토광물이 함유되는 경우가 많다(Egashira et al., 1992 ; Egashira and Gibo, 1994 ; Shuzui and Shimoda, 1987 ; Tanaka, 1992). 본 지역에서도 스펙타이트를 함유하는 점토가 미끄러진 면에서 나타나는 것으로 보아 산사태의 원인이 이 점토광물의 종류와 함량에 관련되는 것으로 생각된다. 이 점토광물을 구성하는 팽윤성 점토광물이 수분의 흡수에 의해 팽윤하여 더욱 산사태를 촉진시켰을 것으로 생각된다. 이 산사태점토 중에 함유되는 점토광물은 모암인 암회색 응회질암이 풍화면질되어 형성된 것으로 보인다. 특히 이 암석에는 석영이 거의 함유되어 있지 않고 장석, 운모, 각섬석 등의 변질에 약한 광물들로만 구성되어 있어 이들이 스펙타이트 및 버미큘라이트로 쉽게 변한 것으로 사료된다.

이상의 검토로 보아 본 지역 산사태의 요인으로는 1) 단층, 절리, 암맥류와 같은 불연속면이 많이 발달된 파쇄대의 존재, 2) 기반암에 발달되어 있는 층리 절리면을 따라 심하게 변질되어 있으며, 3) 층리 절리계(34°/117°)와 사면(40°/134°)의 경사/경사방향이 거의 유사한 자세를 이루고 있고, 4) 미끄러진 바닥면에 스펙타이트와 같은 팽윤성 점토광물이 다량 함유되는 것 등으로 해석된다. 이와같은 요인들과 더불어 집중 강우에 의해 표토층에서 함수량의 증가와, 불연속면과 층리절리면에 발달한 팽윤성 점토의 영향에 의해 전단강도가 극히 저하되어져 사면붕괴가 유발된 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

김기완, 여상철(1970), 현풍도폭 및 설명서, 12pp.  
須藤俊男(1974), 粘土鑛物學. 岩波書店, 東京, pp. 401-411.  
安江朝光(1981), 斜面安定における弱層の影響について, 應用地質, 22, pp.170-177.

Egashira, K. & Gibo, S.(1994), Mineralogy of landslide occurred in Neogene mudstone, Yoichi, Hokkaido. Clay Science, 9, pp.181-185.  
Egashira, K., Gibo, S. & Sasaki, K.(1992), Swelling chlorite as a possible alteration product of serpentinization, relating to the formation of a slip-surface in the Tochinoki landslide, Kochi. Clay Science, 8, pp.221-232.  
Sawhney, B.L.(1989), Interstratification in layer silicates. In minerals in soil environments (2nd eds.), J. B. Dixon and S. B. Weed, eds., Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA, pp.789-828.  
Shuzui, H. & Shimoda, S.(1987), Clay minerals of landslide clays in the Kunimi area, Toyama Prefecture. Clay Sci. Soc Japan, 27, pp.211-220.  
Tanaka, K.(1992), Slope hazards and clay minerals. Clay Sci. Soc Japan, 32, pp.16-22.

황진연, 김종열  
부산대학교 지질학과  
부산광역시 금정구 장전동 산30  
TEL : (051) 510-2254  
FAX : (051) 517-6389

김재영  
(주) 동아지질  
부산광역시 금정구 구서동 1033-2  
TEL : (051) 512-1151  
FAX : (051) 513-6681