

강원도 정선 지역 테일러스 사면의 습윤지수 및 현장 특성

김승현^{1*} · 구호본¹ · 이종현¹ · 김성욱² · 최은경²

¹한국건설기술연구원 지반연구실, ²주식회사 지아이, 지반정보연구소

Distribution of the Wetness Index and Field Characteristics of Talus Slopes in the Jungsun Area, Gangwon Province

Seung-Hyun Kim^{1*}, Ho-Bon Koo¹, Jong-hyun Rhee¹, Sung-Wook Kim², and Eun-Kyeong Choi²

¹Geotechnical Engineering & Tunnelling Research Div., Korea Institute of Construction Technology

²Geo-Information Co. Ltd.

강원도 정선 지역에서 테일러스가 발달하는 사면의 습윤지수를 산정하여 강우시 한시적으로 형성되는 수계와 테일러스의 관계를 고찰하였고, 습윤지수 도면을 통하여 테일러스 분포 특성을 파악하였다. 또한 테일러스 사면을 안정형 테일러스와 불안정한 테일러스 형태로 구분하여, 역의 크기, 분포, 퇴적 방향 등의 야외 노출 상태를 기재하였다. 테일러스 사면에 대한 낙석시뮬레이션을 통하여 테일러스 사면에서의 낙석방호시설의 적정 설치 능력 및 위치에 대한 연구를 수행하였다.

주요어 : 테일러스, 습윤지수, 현장특성, 낙석시뮬레이션

We performed a hydraulic analysis based on the wetness index of talus slopes in Jungsun, Gangwon province. We estimated the relation between the degree of development of the temporary water system, and talus topography and distribution. We also assessed the distribution of talus based on a map of the wetness index. We divided areas of talus into stable and unstable types, and estimated the size, distribution and shape-preferred orientation of clasts. We performed numerical simulations of rockfall events to assess the optimum location of rockfall barriers upon talus slopes.

Key words: talus, wetness index, field characteristics, rockfall simulation

서 론

기계적 풍화에 의한 분리된 암편이 중력의 작용으로 급사면에서 떨어져 내려가 퇴적된 반원추형(半圓錐形)의 지형을 테일러스라고 한다. 테일러스는 주로 건조지역의 협곡벽(峽谷壁)이나 동결·융해가 끊임없이 되풀이하는 빙식곡(氷蝕谷)의 측벽, 단층에·하안·해안 등 물리적인 풍화작용이 활발한 지역에서 쉽게 관찰된다. 일반적으로 테일러스 사면 자체는 안식각을 이미 형성하였으므로 추가적인 대형붕괴의 가능성이 낮은 것으로 인식되고 있으나, 지진이 발생하거나 테일러스 하단부의 제거 및 허부 사면 절취로 인하여 응력 평형상태가 변화되어 대형 붕괴가 발생할 경우, 인명피해와 경제적 손실을 초래할 수

있다. 국외의 경우 테일러스 사면의 지형 특성, 노출 특성 등을 고려한 연구가 활발히 진행되고 있고, 국내의 경우 최근 증가 추세에 있는 국지성 강우와 산악지형을 통과하는 터널시공 등과 연계된 조사가 수행되고 있으나 접근성의 어려움 등으로 연구가 부족한 실정이다(Bertran et al., 1977; Hsu, 1975; Schweigl et al., 2003; Vincent and Bernard, 2000; 김승현 외, 2002).

본 연구는 테일러스의 야외특성을 기재하고 이를 토대로 붕괴 가능성을 예측하기 위한 방법을 제시하는 것을 목적으로 한다. 연구대상 절토사면은 강원도 정선군 북평읍 속암리 지내 국도 59호선에 위치하며 중·소규모의 테일러스가 반복적으로 발달한다. 본 연구에서는 테일러스의 빈도가 증가하는 지역의 지형고도모형을 이용하여

*Corresponding author: sshkim@kict.re.kr

습윤지수를 산정하고, 테일러스 사면의 높이별 경사변화, 구성 역의 분포 및 방향 등을 통하여 테일러스의 특성을 규명하였다. 또한 테일러스 사면의 지반 특성을 고려하여 적정 낙석방호시설 설치 선택의 사례를 제시하였다.

연구대상 지역

연구대상지역은 평창에서 정선 방향의 국도 59호선에 접하는 사면으로 강원도 정선군 북평읍 숙암리에 해당된다. 조사대상 지역은 비교적 험준한 산악지대로서 가리왕산(1,560m), 상원산(1,421m) 등의 산록계가 남북 내지 북북서-남남동 방향으로 주 능선을 이루고 있다. 절토사면 전방에 흐르는 오대천은 남한강의 상류에 해당되는 조양강으로 유입된다(김지순, 1981).

조사대상지역의 연장은 1,420 m이며, 규모가 큰 두 개의 계곡을 포함한다. 도로는 하천을 따라 위치하고 있으며, 도로의 폭이 협소하고 도로 곡률도는 비교적 큰 편이며 급경사 절토사면이 산재하여 도로이용자에게 시각적으로 큰 위협을 주고 있다(Fig. 1).

구성 암석은 암회색에서 담청색의 석회암이며, 풍화된 부분은 암갈색을 보인다. 풍화등급은 약간풍화에서 보통풍화에 해당되며 보통풍화가 우세하다. 주로 발달하는 불연속면은 수직절리이며, 미약하나마 존재하는 층리의 존재로 암괴의 형태는 방향형 형태(blocky shaped rock)으로 나타난다. 대상지구 내에는 수 조의 단층이 발달하는데 대부분 풍화가 심히 진행되어 단층면의 관찰은 용이하지 않지만 일부 단층면에서는 결정섬유(crystal fiber)가 발

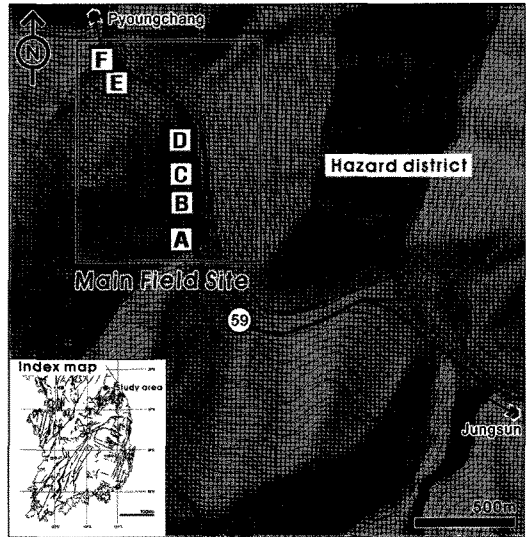


Fig. 1. Location of the study area.

견되기도 한다.

조사대상지구 내에는 총 15개의 테일러스 구간이 존재한다. 이들 구간 중 다양한 양상의 테일러스가 나타나고 비교적 접근이 용이하여 현장특성 파악이 가능한 사면에 대하여 상세한 현장조사가 실시되었다. 조사대상 사면연장은 528 m이며, 본 사면에는 총 6개의 테일러스 구간이 존재한다. 기술의 편의상 A 구역(105~120m 구간), B 구역(166~192m 구간), C 구역(210~220m 구간), D 구역(285~300m 구간), E 구역(460~490m 구간), F 구역(495~520m 구간)으로 구분하였다(Fig. 2). 본 연구에서는 상기 테일러스

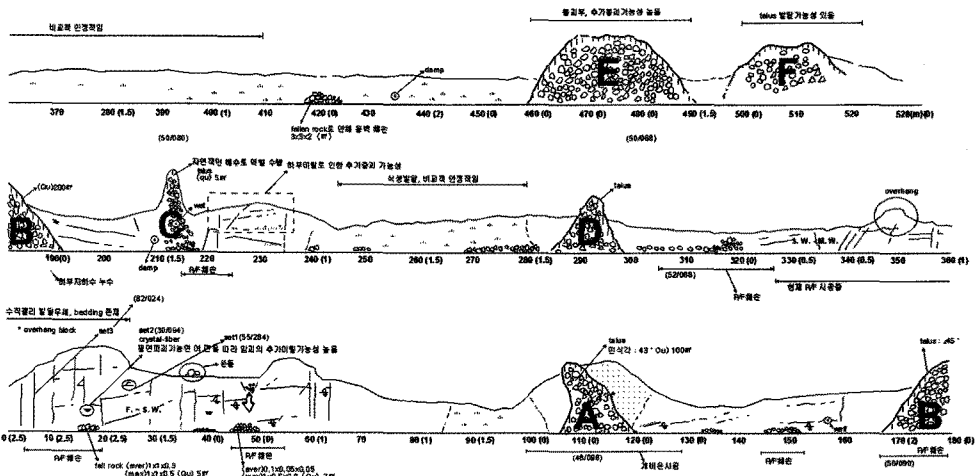


Fig. 2. Face map of a cut-slope.

구역 각각에 대하여 장애에 추가적으로 이동 및 붕괴가 발생할 가능성이 있는가에 초점을 맞추어 두 가지의 형태 (type)로 구분하였다. 이 중 A 구역, B 구역, D 구역(S type; stable type)은 과거 발생된 붕괴의 영향으로 기존 방호시설이 파손되어 있다. C 구역, E 구역, F 구역(U type; unstable type)은 거대 역이 하단부까지 이동되지 않고 있어 추가적인 거동이 우려되는 구역에 해당된다.

습윤지수 산정

사면 붕괴는 강우시에 대부분 발생하며, 동일한 강우의 경우라도 붕괴를 수반하는 지반의 강도저하는 지표수의 수렴과 발산 정도 그리고 침투 특성에 따라 달라진다. 지표수의 침투 경향은 지반강도와 함수 및 불포화투수 특성 등이 고려되어야 한다. 본 연구에서는 지형과 노두 조사를 통해 테일러스 사면을 분석하였다.

지형고도모형(DEMs)은 지형의 고도 자료를 이용하여 비교적 쉽게 구축할 수 있는 반면, 토양층의 깊이와 특성에 관계되는 정보의 획득은 용이하지 않다. 이런 이유로 유역의 지형에 따라 상관관계가 큰 자료들을 기초로 지형을 표현하는 여러 인자들을 연결하는 시도가 진행되어 왔다(Kalma and Sivapalan, 1995). 유역에서 물의 흐름은 중력의 영향을 받기 때문에 유역의 지형이 흐름을 표현하는데 적절한 것으로 고려되고 있다(Wolock and Price, 1994).

습윤지수는 단위 강우가 지속된다는 가정 하에서 상부사면으로부터 공급받을 수 있는 흐름의 양을 나타내며, 흐름 정도를 산정함으로써 강우시 한시적으로 발생하는 수계의 공간적 흐름을 표현할 수 있다. 연구에서 습윤지수를 산정하기 위해 DEMON (Digital Elvation MOdel Networks, Costa-Cabral and Burges, 1994) 알고리즘을 적용하였다. 이 방법은 해당격자의 흐름 방향선(aspect line)을 따라 하부 격자로 흐름을 분배시켜주는 방법으로, 격자에서 형성된 흐름은 흐름튜브와 유사하게 이차원 흐름관을 통하여 하경사로 형성되며, 등고선에 기초한 모델과 직사각형 격자 DEMs에 기초한 모델 모두에 유리하다.

Beven and Kirkby (1979)가 제안한 습윤지수(wetness index)는 식(1)로 계산된다.

$$\ln(a/\tan\beta) \tag{1}$$

a : 상부사면 기여면적을 격자 크기로 나눈 값,
 $\tan\beta$: 지형의 경사도

식(1)에서 상부사면기여면적(upslope contributing areas)은 흐름을 분배하는 방법에 의해 결정되며, DEMON알

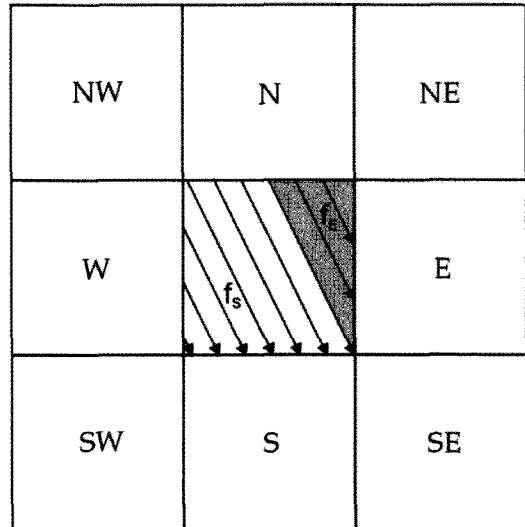


Fig. 3. Distribution of upslope areas contributing to the talus slope.

고리즘에 의한 흐름의 분배 방법은 식(2)으로 계산된다 (Fig. 3).

$$f_E = \frac{A_\Delta}{A} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta y}{\Delta x} \frac{1}{\tan\alpha}, \quad f_s = 1 - f_E \tag{2}$$

A_Δ : Fig. 3에서 삼각형의 넓이, A : 격자넓이($\Delta x \Delta y$),
 α : 흐름의 방위각

사면의 경사도(Slope)는 유한차분 방법을 사용하여 식(3)과 같이 계산하였다.

$$S_{FD} = \sqrt{z_x^2 + z_y^2} \tag{3}$$

z_x, z_y : 격자 모서리 고도값의 미분계수

습윤지수는 토양의 수분부족정도를 표현해 주는 인자로써 TOPMODEL (Beven and Kirkby, 1979), THALES (Grayson et al, 1992), TOPOG (O'Callaghan and Mark, 1984) 등의 분포형 수문 모형의 입력변수와 사면유출모의에도 사용되고 있다.

강우강도가 증가하여 연속적인 흐름이 형성되는 경우 습윤지수는 국소지역에서 흐름과 수렴에 대한 지표가 되며, 수치 지형도에 나타나지 않는 한시적으로 형성되는 집수 유역과 재해 발생이 예상되는 지점을 예측하는 자료로 이용될 수 있다.

Fig. 4는 1:5,000 지형도에 도시된 연구 지역의 산계와

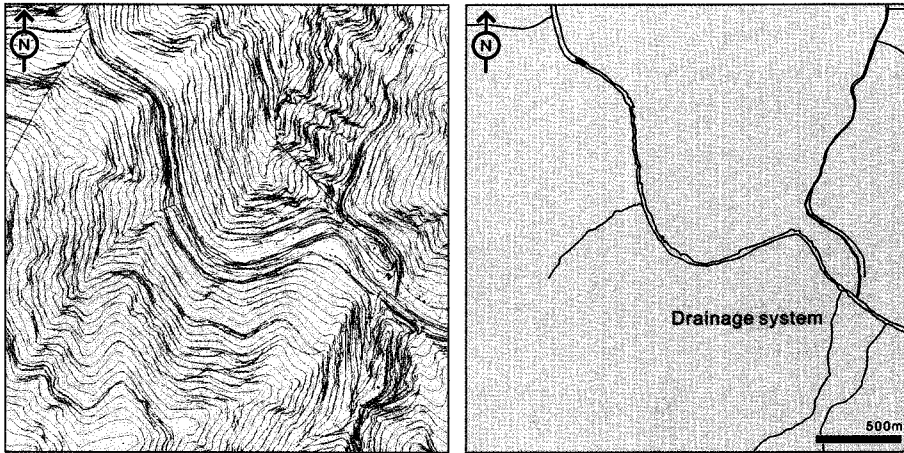


Fig. 4. Mountain and drainage systems extracted from a topographic map.

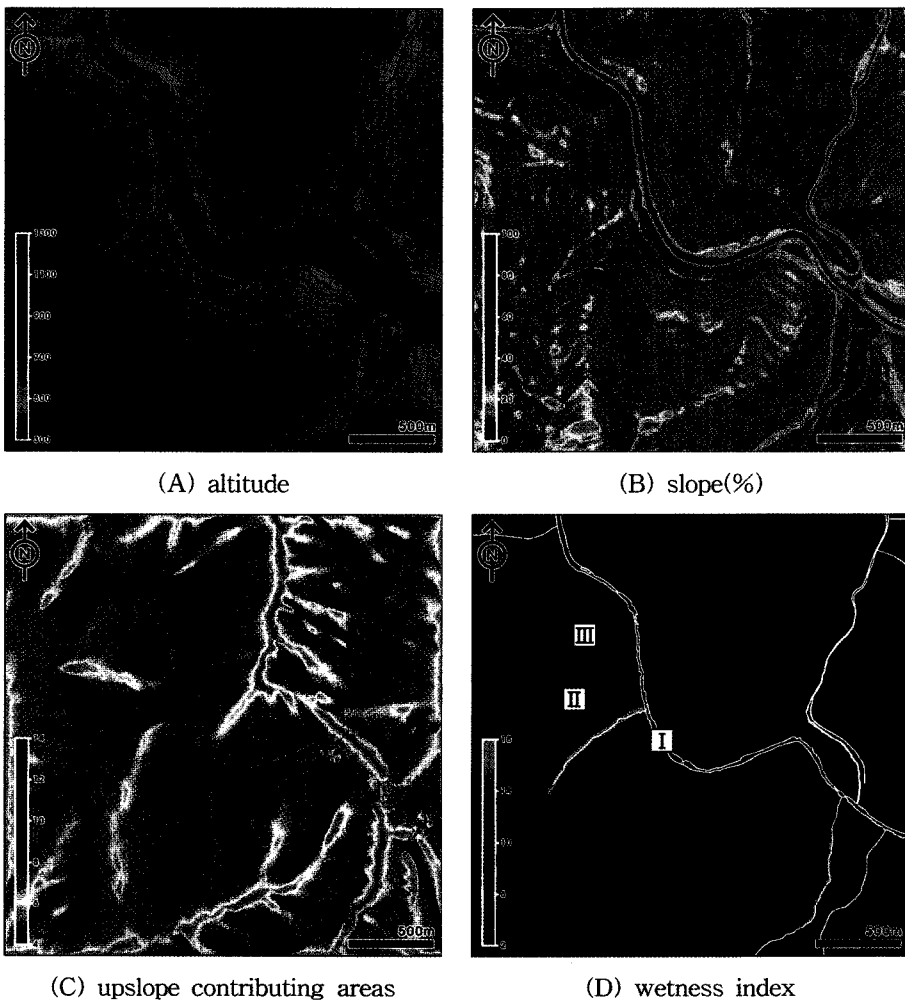


Fig. 5. Digital elevation model and spatial distribution of the wetness index.

수계를 추출하여 표현한 것으로 지형도의 수계는 항시 포화된 영역을 나타내고 있어 강우시에만 형성되는 집수지형과 지표수 수렴정도를 파악하기는 어렵다.

Fig. 5는 연구 지역의 수치고도모형에서 계산된 격자별 경사도와 상부사면기여면적, 습윤지수 분포를 나타낸 것이다. 격자의 간격은 고도모형의 자료가 평균 5m 간격으로 구성되어 있어 가로×세로 크기를 10m×10m의 격자로 구성하였다.

테일러스의 산출 빈도가 높은 연구지역 사면의 경사도는 대부분 60~80%의 범위로 급경사지에 해당하며, 최대 경사는 하천 주변으로 100%이상의 경사를 보인다. 도로를 기준으로 산악지형 방향으로 갈수록 급경사 지반이 노출되고 있으며, 대형 계곡부를 중심으로 급경사 지반이 집중되어 나타난다. 상부사면기여면적은 고도가 낮은 계곡부와 수계가 발달하는 부분에서 증가하지만 일부는 사면의 경사지에서 상부사면기여면적이 증가하는 것으로 나타나고 있다.

이러한 특성은 Fig. 5의 습윤지수의 분포에서 보다 명확하게 관찰할 수 있는데, 수계가 위치한 부분(I)은 최대의 습윤지수를 보이며, (II)부분은 수계가 발달하지 않는 부분임에도 수계와 유사한 정도의 수렴이 관찰된다. (III)부분은 동서 방향으로 인접한 사면에 비해 높은 습윤지수를 보여준다. 그림의 (II), (III)은 강우 기간 동안 한시적으로 지표수가 수렴되는 영역에 해당하며, 주변 지역에 비해 붕괴의 발생 가능성이 높은 것으로 판단할 수 있다. 또한 하천을 제외한 사면부에서 습윤지수가 높은 부분은 북동-남서 내지 동서 방향의 선상구조 방향으로 배열되며, 특히 하천의 흐름 방향에 대하여 연직방향으로 습윤지수가 높은 부분은 현장에서 관찰되는 테일러스 위치와 일치하고 있어 연구지역에 산재하는 테일러스가 강우의 영향을 받아 형성되었음을 지시한다. 이러한 경향은 식생 등의 영향으로 고해상 위성영상에서 관독이 어려운 테일러스의 위치 파악에 유용하게 사용할 수 있을 뿐만 아니라 테일러스 형

성에 영향을 미치는 집수영역의 규모를 추정하는 자료로 활용가치가 높을 것으로 판단된다.

테일러스 사면 현장특성

현장에서 나타나는 총 6개의 테일러스 노출구간에 대하여 현장조사를 실시하였다. 테일러스의 연장은 테일러스의 경사방향을 따라 측정하였다. 그리고 사면의 최정상부(apex)로부터 3등분하여 상단부(proximal part), 중간부(intermediate part), 하단부(distal part)로 나누었다(Fig. 6). 각각의 거리는 전체연장을 1로 두었을 때 최정상부로부터 떨어진 상대적 거리로 표현하였다. 최정상부의 경사각 측정 및 구역별 각 부분의 경사각을 측정하였으며, 상단부의 평균 경사는 aPz, 중간부는 alz, 하단부는 aDz로 표현하였다(Vincent and Bernard, 2000). 또한, 사면의 높낮이별 위치에 따라 a-축의 길이가 퇴적학적 분류상 거력(boulder ; 직경 256mm 이상)에 해당되는 역의 개수를 그래프로 나타내었다.

모든 구역의 경사값은 테일러스 사면의 최정상부에서 하부로 내려올수록 완만해진다(Fig. 7). 전 구역에서 측정된 최정상부의 사면 경사는 48~50°로 거의 동일하다.

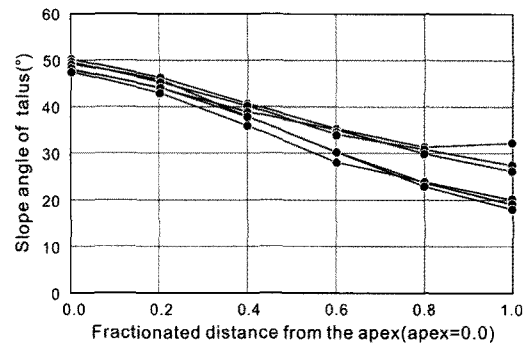


Fig. 7. Dip of the slope in each district.

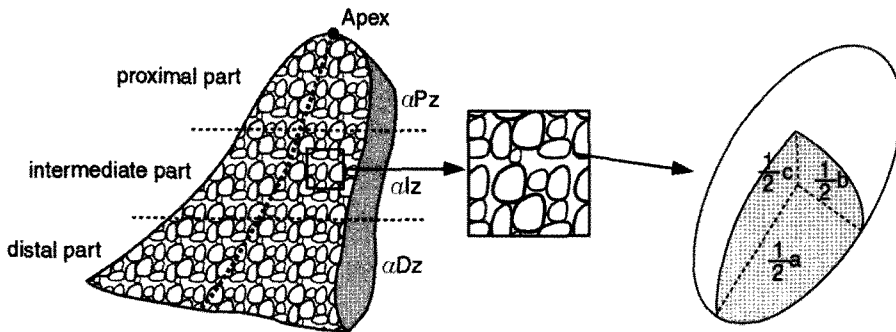


Fig. 6. Schematic diagram showing the investigation method.

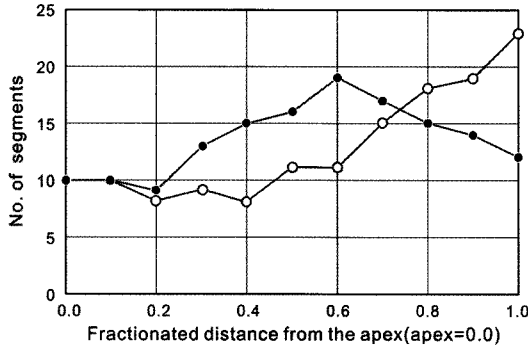


Fig. 8. Number of boulders.

그러나 S type인 A 구역, B 구역, D 구역의 경사각의 변화는 U type인 C 구역, E 구역, F 구역에 비하여 변화율이 높다. 즉, 전자에 비해 후자는 aDz 가 $29^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 범위로 전자의 $22^{\circ}\sim 23^{\circ}$ 에 비해 큰 것으로 나타났다. 거력의 분포는 안정형인 A, B, D 구역의 변화가 유사하고, 불안정형인 C, E, F 구역의 변화가 유사하므로 대표적인 A 구역과 F 구역에서 거력의 크기를 측정하여 분포를 도시하였다. 붕괴가 발생된 A 구역은 하단부로 갈수록 거력의 양이 증가하는 양상을 보인다. 그러나, F 구역의 경우, 중간부에서 거력의 양이 가장 많음을 알 수 있다(Fig. 8). 불안정형으로 분류되는 F구역의 경우에는 상대적으로 큰 역이 중간부에 위치하므로 향후 지반 진동이나 집중호우의 영향

이 주어졌을 때 붕괴가 발생할 수 있는 테일러스 사면에 해당된다고 판단된다.

접근이 가능한 안정형 사면에 대한 야외 특성 파악을 위해 노출되는 역의 방향과 분급도를 조사하였다. 암편의 형태는 장축과 단축 방향의 길이와 두 축에 수직되는 방향의 길이를 측정하여 플린디아그램(Flinn diagram)으로 표현하였다. 상단부와 중간부에는 주로 평판형(platy shape; $a \approx b > c$)의 암편들이 우세하게 나타나 이방성 배열(anisotropic fabric)을 가지는 반면, 하단부에는 방상형(blocky shape; $a \approx b \approx c$)의 역이 평판형의 역과 혼재되어 나타나는 경향을 보인다.

사면의 상단부와 중간부는 사면의 방향에 a 축의 방향이 일치하는 역들이 상대적으로 많이 나타나는 반면에 하단부에는 사면의 방향에 대하여 수직인 역들이 보다 우세하게 나타나 배열 방향의 분산정도는 커지는 경향을 보여주고 있으며, 분급도(sorting)도 중간부·하단부로 갈수록 불량해지는 것으로 나타났다. 이러한 양상은 형태에 따라 역의 하부 이동 모드가 다르기 때문으로 판단된다. 즉 방상형 암괴는 회전하면서 사면 저부로 이동하기 때문에 사면 하단부까지 이동이 가능하지만 평판형의 암괴는 주로 슬라이딩에 의해서 내려오기 때문에 중간부에서 멈추는 경우가 많았다. 따라서 테일러스 하단부에서는 역의 a 축 방향의 분산정도가 크며 주로 조립이고 등립질 암괴가 많이 나타나는 경향을 가지는 것으로 파악되어진다(Fig 9 & Fig 10).

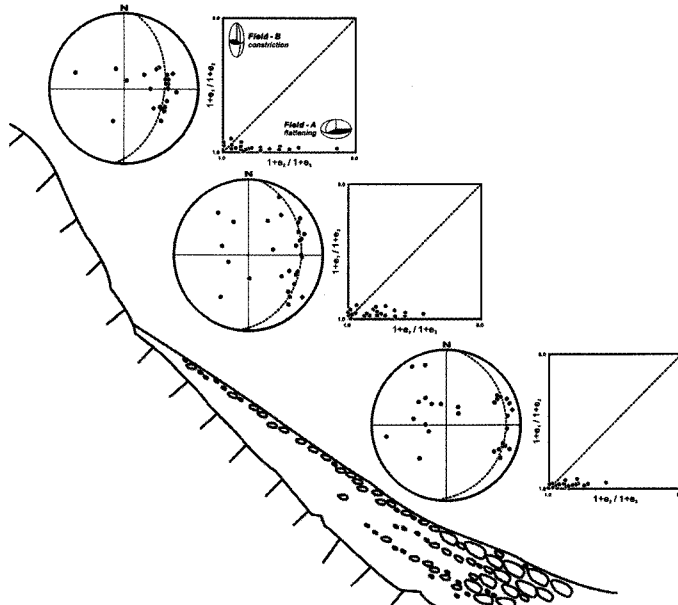


Fig. 9. Orientations of clasts and a Flinn diagram for a stable talus slope.

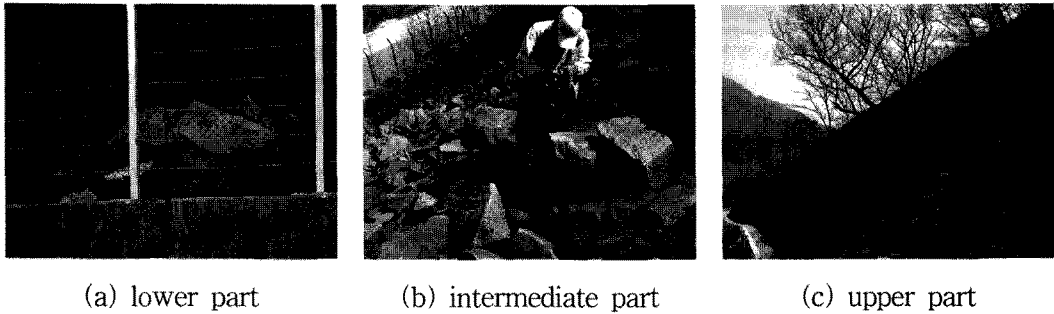


Fig. 10. Exposure state of each part.

낙석시뮬레이션

테일러스로 이루어진 사면에는 적절한 보강 대책을 결정하기가 쉽지 않다. 즉, 절취를 실시하기에는 테일러스 지부의 상황을 파악하기 어려우며 앵커나 락볼트와 같은 보강공은 두부 정착의 어려움으로 인하여 시공성이 떨어진다. 또한 테일러스 사면에 대하여 외력이 가해졌을 때 예기치 못한 사고를 일으킬 가능성도 높다. 따라서 이러한 사면에는 테일러스 특성에 따른 적절한 낙석방호시설의 선정 및 적절 위치의 선정이 경제적인 효과를 추구하는데 있어 중요하다.

낙석 시뮬레이션을 실시하기 위하여 단면의 형태가 확연한 차이를 보이고 본 지구에서 가장 높은 두 개의 테일러스 발생구역을 선정하여 각각 α 구역, β 구역으로 나타났다. α 구역의 경우 하단부는 기반암으로 구성되어 높이가 15m 지점 상부는 테일러스가 발달하고 있으며, β 구역은 사면 전체가 테일러스로 구성되어 있다. 두 구역 최상단부에서 낙석이 발생되었을 때 낙석이 어떠한 이동양상을 가지며 어느 정도의 에너지를 가질 것인지를 알아보기 위하여 RocFall 3.01을 이용하여 낙석 시뮬레이션을 실시하였다. 낙석에너지는 이동암석의 규모에 의해서 좌우되므로 정확한 낙석 중량 추정이 이루어져야 한다. 낙석의 중량 추정은 낙석의 체적(m^3) \times 구성암석의 단위중량(ton/m^3)으로 간단하게 추정할 수 있다. 이완암괴의 크기는 평균 $0.2 \times 0.2 \times 0.2(m^3)$ 이며, 최대 $0.5 \times 0.5 \times 0.5(m^3)$ 이고 석회암의 단위중량은 $2.69(ton/m^3)$ 이므로 시뮬레이션을 위해 사용된 낙석은 최대 크기의 것을 선택하여 질량 0.33 ton (330 kg)의 것을 사용하였다. 또한 낙석 발생 최초의 가속도는 1.5 m/s로 계산하였다.

α 구역의 경우 절토사면 최상단에서 발생한 낙석은 테일러스 구간에서는 구름(rolling)의 운동형태를 가지다가 암반과의 경계부에서 도착하여 도로로 유입되는 형태를 보여준다. 반면 β 구역의 경우 발생낙석은 절토사면 하단

부까지 구름의 운동 형태로 진행된다(Fig. 11 & Fig. 12). 운동에너지에 비교하면, 테일러스만으로 이루어진 β 구역에 비하여 테일러스와 암반이 혼합되어 나타나는 α 구역의 경우 발생낙석 운동에너지는 더 큰 것으로 나타났다. 즉, 최하단부의 운동에너지를 비교해보면 α 구역은 95 kJ이며, β 구역은 46 kJ에 해당된다. 이러한 결과는 테일러스 사면에서 낙석방지울타리를 설치하는 기준을 선정함에 있어 유용하게 사용될 수 있다. 건설교통부(2000)에 의하면 낙석방지울타리는 약 50 kJ의 저항에너지를, 낙석

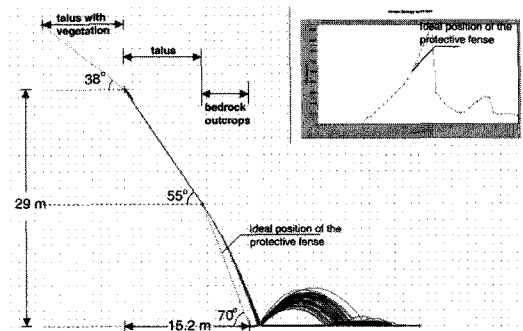


Fig. 11. Rockfall simulation for district α .

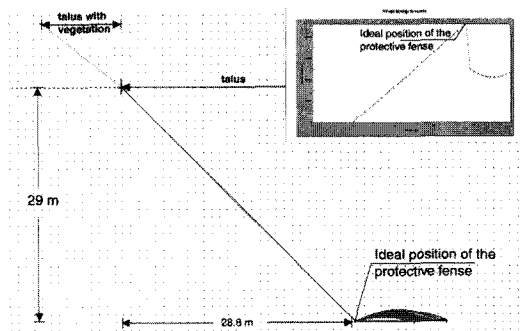


Fig. 12. Rockfall simulation for district β .

방지옹벽은 약 600 kJ의 저항에너지를 가지는 것으로 알려져 있는데 낙석방지울타리를 설치할 경우, α 구역의 경우는 높이 12m 지점에, β 구역의 경우는 최하단부에 설치하면 바람직할 것으로 사료된다. 낙석방지옹벽을 설치한다면 α 구역은 최하단부에 최소한 95 kJ이상의 저항에너지를 가지는 낙석방지옹벽을 설치할 경우 경제적으로 가장 효과적일 것으로 판단된다.

결 론

본 연구에서는 강원도 정선군 지역에서 나타나는 테일러스의 지형분석 및 현장자료를 이용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수문분석을 통하여 습윤지수의 분포를 확인해 본 결과 습윤지수가 높게 나타나는 부분이 테일러스 분포지와 일치함을 나타냈으며, 이러한 경향은 식생 등의 영향으로 고해상 위성영상에서 관측이 어려운 테일러스의 위치 파악 및 집수영역의 규모 추정에 유용하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.
2. 테일러스의 단면 경사는 하단부로 갈수록 완만해지며, 경사 변화정도는 안정형 테일러스가 크다. 또한 안정형 테일러스에서는 하단부로 갈수록 입도가 증가하며, 불안정형은 중간부의 입도가 가장 크다.
3. 암편의 형태는 상단부와 중간부에는 주로 이방성 배열을 가지는 평판형 암편들이 우세하게 나타나는 반면 하단부에는 방상형 암편과 평판형 암편이 혼재되어 나타나는 경향을 보인다.
4. 낙석 시뮬레이션 결과, 하단부에 기반암이 위치하고 있는 α 구역의 경우가 테일러스만으로 이루어진 β 구역의 경우에 비하여 운동에너지가 훨씬 큰 것으로 나타났으며 낙석방호시설을 설치할 경우 α 구역은 낙석방지옹벽을, β 구역은 낙석방지울타리를 설치하는 것이 낙석의 도로 침입을 방지하는 데 보다 효과적일 것으로 판단되어진다.
5. 테일러스가 발달한 사면의 경우 붕괴 발생시 대규모 피해를 유발할 수 있으므로, 본 연구에서 제시된 특성을 활용하면 테일러스의 붕괴 가능성 예측의 기초 자료로서 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 김승현, 구호본, 백용, 2002, 테일러스의 특성을 이용한 붕괴 가능 예측에 대한 기초적 연구 강원도 정선군 북평읍 속암리 지내 사면을 중심으로-, 대한토목학회 2002년 학술발표회.
- 김지순, 1981, 정선탄전 중부의 지질. 지질학회지. 17. 165-176.
- Bertran, P. H.B. and Texier, J.P., 1977, Fabric Characteristics of slope deposits, *Sedimentology*, 44, 1-16.
- Beven, K.J. and Kirkby, M.J., 1979, A physical-based variable contributing area model of basin hydrology, *Water Resources Publication*, 625-668.
- Costa-Cabral, M.C. and Burges, S.J. 1994, Digital elevation model networks(DEMON); A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal area. *Water Resources Research*, 30, 1681-1692.
- Grayson, R. B., Moore, I.D. and McMahon, T.A. 1992, Physically based hydrologic modeling. 1. A terrain-based for investigative purposes. *Water Resources Research*, 10, 2639-2658.
- Hsu, K.J., 1975, Catastrophic debris streams (sturzstroms) generated by rockfalls, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 86, 129-140.
- Kalma, J.D. and Sivaplan, M. 1995, Scale issues in Hydrological modelling. *Hohn Wiley & Sons.*, 1-8.
- O'Callaghan, J.F. and Mark, D.M. 1984, The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision Graphics Image Process*, 28, 323-344.
- Schweigl, J., Ferretti, C. and Nossing, L., 2003, Geotechnical characterization and rockfall simulation of a slope : a practical case study from South Tyrol(Italy), *Engineering Geology*, 67, 281-296.
- Vincent, J. and Bernard, F. 2000, Comparing the characteristics of rockfall talus and snow avalanche landforms in an Alpine environment using a new methodological approach : Massif des Ecrins, French Alps, *Geomorphology*, 35, 181-192.
- Wolock, D.M. and Price, C.V., 1994, Effects of digital elevation model map scale and data resolution on a topography-based watershed model, *Water Resources Research*, 30, 3041-3052.

2010년 11월 2일 원고접수, 2010년 12월 17일 게재승인

김승현

한국건설기술연구원 지반연구실
411-712, 경기 고양시 일산구 시민대로 1190
Tel: 031-910-0524
Fax: 031-910-0561
E-mail: sshkim@kict.re.kr

구호본

한국건설기술연구원 지반연구실

411-712, 경기 고양시 일산구 시민대로 1190
Tel: 031-910-0217
Fax: 031-910-0561
E-mail: hbkoo@kict.re.kr

이종현

한국건설기술연구원 지반연구실
411-712, 경기 고양시 일산구 시민대로 1190
Tel: 031-910-0227
Fax: 031-910-0561
E-mail: jhrhee@kict.re.kr

김성욱

(주)지아이
611-720, 부산시 연제구 거제1동 14894 협성법조빌딩 804호
Tel: 051-506-9261
Fax: 051-502-9260
E-mail: suwokim@chol.com

최은경

(주)지아이
611-720, 부산시 연제구 거제1동 14894 협성법조빌딩 804호
Tel: 051-506-9261
Fax: 051-502-9260
E-mail: choiek@naver.com