

우면산의 지질 특성과 사면지형 변화

김 주 환 · 오 정 식*

동국대학교 지리교육과 · *동국대학교 대학원 지리학과

A Study on the Geological Characteristics and Slope Landform Changes of Mt. Umyeon

KIM, Joo-hwan · Jeong-sik OH*

Department of Geography Education, Dongguk University

*Department of Geography, Graduate School, Dongguk University

ABSTRACT

This study is conducted as a part of the Collective Academic Research of Mt. Umyeon in Seocho-gu, Seoul 2012. The purpose of this study is to understand the changing conditions of the slope landform and geological characteristics of the Mt. Umyeon in the field work.

Aspect of slope landform changes of Mt. Umyeon revealed in this study is divided into human factors and natural factors. Slope landform change due to natural factors, most influential rainfall amount and properties of the bedrock. In order to form a thin weathered layer, the clay component in many cases, moisture content is high, gneiss bedrock of Mt. Umyeon is very vulnerable to landslides during heavy rain. The slope landform changes due to human factors, the impact of landslide recovery facility is the largest. And, road of the valley and surrounding mountain trail made of wood stepped affected the change in slope landform.

In order to prevent damage such as Mt. Umyeon, it must make a legal systematic approach for the conservation and management of the mountain area. In addition, various studies for disaster prevention and prediction of landslides must be carried out.

Key words : Mt. Umyeon, landslides, debris flow, slope landform changes

서 론

1. 연구지역 및 방법

본 연구는 2012년도 자연보존학술연구사업 서울 서초구 우면산 일대 생태계 종합학술조사의 일환으로 진행되었으며, 우면산의 지질 특성과 더불어 자연적 · 인위적 영향에 따른 사면지형의 변화와 발달 양상에 대한 조사 결과를 중심으로 작성되었다.

연구지역은 행정구역상 서울시 서초구와 과천시에 속해 있으며, 산지 외곽은 전방위에 걸쳐 간선

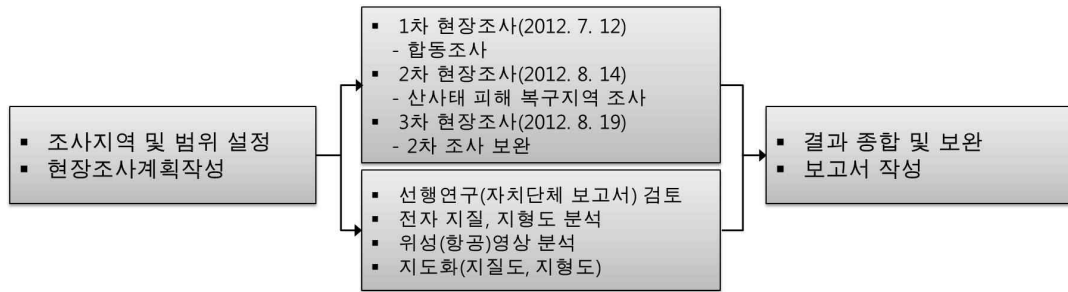


Fig. 1. Study processes and contents.

도로¹⁾와 국도²⁾ 및 고속도로³⁾가 지나고 있어 그 경계가 뚜렷하게 나타난다. 따라서 본 연구에서는 이들 도로를 우면산지의 경계로 설정하고, 그 내측 지역을 중심으로 조사와 연구를 진행하였다.

연구는 크게 이론적 검토 및 지도학적 분석을 중심으로 한 실내연구와 총 세 차례의 현장조사로 진행되었으며, 연구의 전체적인 흐름은 Fig. 1과 같다. 실내연구의 주요 목적은 사면지형 변화와 발달에 관한 국내 연구 경향을 파악하고, 다른 지역의 사례 연구 결과를 바탕으로 우면산 산사태의 특징과 발생 원인을 비교·분석하고자 함에 있다. 또한 위성 및 항공사진의 시계열적 추적과 다양한 지도학적 분석을 활용하여 우면산의 사면지형 발달과 변화에 관한 1차 자료를 획득하고, 이를 바탕으로 면밀한 현장조사를 실시하였다.

세 차례에 걸쳐 진행된 현장조사의 방법과 내용은 다음과 같다. 1차 조사는 2012년 7월 12일 우면산 서부 산지(서울시교육연구원, 남태령, 뒷골 일대)를 중심으로 지형 및 지질 특성에 대한 전반적인 파악을 위해 초도 조사를 실시하였다. 2차 조사는 당해 8월 14일 실시하였으며, 남부순환도로 남측 사면의 인위적 지형 변화 양상과 특징을 살펴보고, 동시에 산사태 발생 지역(Fig. 5)의 정비 및 복구 시설물의 설치 현황을 파악하였다. 당해 8월 19일 3차 현장조사를 진행하였으며, 우면산의 주요 계곡과 그 주변 사면을 중심으로 풍화층의 특징과 토양 침식 실태를 파악하였다. 또한 1, 2차 조사에서 다루지 못 하거나 누락된 지형 정보를 보완하기 위한 작업도 병행하였다.

2. 국내 연구동향과 특징

국내에 소개된 사면지형 변화와 산사태 관련 연구는 주로 2000년대를 기점으로 활발하게 시작되었으며, 2000년대 후반 증가하는 추세를 보인다. 특히 2011년 7월 수도권과 강원지역을 중심으로 발생한 집중호우와 산사태를 계기로 사면지형의 관리와 산사태 예측 및 방재 연구의 중요성이 크게 대두되면서 다양한 기관과 연구소 그리고 개인 연구자들의 연구가 급증하였다.

연구는 크게 GIS를 활용한 수치분석 모델링과 사면안정성 평가를 통한 산사태 취약지역 검증 관련 연구와 산사태 발생 특성과 원인에 관한 연구의 두 분야로 나누어 볼 수 있다. 전자에 해당하는 주요 연구로 이와 황(2004)의 ‘집중호우시 군사시설물이 설치된 사면의 안정성 평가에 관한 연구’, 조 등(2006)의 ‘RS와 GIS기법을 활용한 산사태 위험성의 검증’, 그리고 윤 등(2009)의 ‘GIS 기법 및 발생자료 분석을 이용한 산사태 위험지도 작성’ 연구가 있다. 이들 연구는 최근 항공 디지털 사진 및 위성

영상 데이터와 수치모델을 기반으로 한 GIS기법을 활용함으로써 비교적 짧은 시간에 산사태 발생에 대한 지형 정보를 획득하고, 지리적 특성으로 인하여 발생하는 현장조사의 어려움을 줄여, 넓은 면적에 대한 지표면의 형태적·물리적 공간정보의 획득이 용이한 장점을 잘 활용한 연구들이다. 특히 조 등(2006)의 연구에서는 사면붕괴 발생을 예측하기 위해 강우강도와 사면붕괴 발생과의 관계를 분석하고, 사면붕괴 안정성 평가 기준표를 이용하는 것을 제시하고 있다. 이는 인공 시설물의 건설에 따라 발생하는 사면붕괴 현상의 원인과 특징을 구체적으로 평가할 수 있는 실효적 방안을 제시해 주고 있어 그 의미가 크다.

다음은 사후 연구로서 산사태 발생 특성과 원인에 관한 주요 연구로 김 등(2005)의 ‘강우에 의해 발생한 자연사면 산사태의 지질공학적 분석’과 김 등(2012)의 ‘2011년 집중호우로 인한 산사태 발생 특성 분석’, 그리고 기(2012)의 ‘이상기후와 우리나라의 산사태’에 관한 연구 등이 있다. 김 등(2005)의 연구에서는 산사태에 영향을 미치는 요인들로 강우, 지형조건, 지질 및 토질 특성을 들어 1991년 7월 19일부터 21일까지 3일간에 걸친 약 250mm의 집중강우로 인해 발생한 용인·안성지역 약 660여 개의 산사태 발생 사례를 분석하여, 토질의 특성에 따른 투수계수의 차이가 가져오는 사면 안정성에 대하여 평가한 바 있다. 김 등(2012)의 연구에서는 2011년 6월과 7월에 걸쳐 남부지방과 중부지방의 집중호우로 발생한 18개의 산사태를 대상으로 연속강우 개시 이후의 누적강우량(mm)과 강우강도(mm/hr) 및 선행강우량을 해석하여 산사태 발생과의 관계를 분석·제시한 바 있다. 마지막으로 기(2012)는 최근 우리나라에서 발생하는 산사태는 대부분이 이상기후에 따른 국지적 집중호우에 기인하고 있으며, 기반암보다는 표토층을 이루는 기반암 풍화층의 특성에 따라 그 발생 양상이 달라짐을 밝힌 바 있다. 사후 연구로서 진행된 연구들의 경우 대부분이 산사태 발생 지역들을 대상으로 사례연구를 진행하였으며, 각각의 사례에 따른 산사태 발생 경향과 특징 분석을 통하여 발생 원인을 역추적하는 특징을 보이고 있다.

본 연구에서는 앞서 살펴본 바와 같이 다양한 사례와 분석·예측 기법을 활용한 선행 연구 결과들을 바탕으로 우면산의 사면지형 발달 특성과 자연적·인위적 영향에 따른 사면지형의 변화 현황을 평가하였다. 또한 국내 여러 지역의 산사태 연구 결과를 토대로 지질·지형학적 특성에 기인한 산사태의 발생 특징과 사면 복원 현황을 검토하였다.

우면산의 지형과 지질

1. 우면산의 지형

우면산은 남서쪽의 관악산(632.2m)과 동쪽의 구룡산(307.7m), 대모산(291.6m)과 함께 서울 분지의 중남부 경계를 이루고 있는 산지이다. 우면산의 주능선과 녹지축은 관악산과는 연결되어 있으나, 북쪽과 동쪽 지역의 경우 서울시역의 확장과 도시개발로 인해 단절되어 있다. 동시에 남쪽 지역 또한 양재천의 범람원상 충적지형에 발달한 시설단지와 농경지가 밀집해 있으며, 곳곳에 택지개발이 진행되어 청계산지와 단절된 특징을 보인다.

우면산의 주능선은 북동-남서 방향의 축을 보이는데, 이는 한반도 중부지방과 수도권 지역을 중심으로 나타나는 ‘북북동-남남서’ 혹은 ‘북동-남서’ 방향의 구조선과 일치하는 경향이다. 우면산의

능선과 계곡들은 이러한 북동-남서 방향의 주능선을 중심으로 북서쪽과 남동쪽 방향으로 형성되어 있다. 북서쪽 사면의 능선과 계곡들은 급경사 사면을 이루고 있으며, 곡이 깊고 곡폭이 좁은 특징을 보인다. 이와 반대로 남동쪽 사면의 경우 계곡 상류부는 경사가 급하고 곡이 깊게 나타나지만, 중·하류부는 경사가 완만하고 곡폭이 넓은 특징을 보인다. 우면산 북서사면과 남동사면의 이러한 비대칭적 사면 특징은 개발에 따른 인위적 변화에 따른 것으로 풀이된다. 북서사면의 경우, 계곡 중·하류부의 완경사 지역이 모두 개발되었으나, 남사면의 경우 개발이 제한적이며, 사면 하단부가 양재천의 완만한 범람원상 충적층과 협화적으로 만나고 있기 때문이다.

2. 우면산의 지질

우면산은 오랜 시간 고온·고압의 변성작용을 받아 형성된 선캄브리아이언(Pre-Cambrian eon)의 화강암질 편마암(Granite gneiss)과 호상흑운모편마암(Banded biotite gneiss)을 주요 기반암으로 하고 있다. 이들 중 화강암질 편마암은 산정부에 국지적으로 분포하고 있으며, 우면산지의 대부분 지역은 호상흑운모편마암으로 구성된다(Fig. 2).

산정부의 화강암질 편마암은 광역변성을 받아 형성된 것으로 광물 조성이나 조직이 화강암과 유사하지만, 흑운모나 석영과 장석의 집합체들이 미약한 엽리를 나타내는 것이 화강암과 다른 점이다. 이러한 특징은 화강암화 작용의 과정을 나타내 주는 것이기도 하다(한국지리정보연구회, 2004). 우면산 대부분 지역에서 관찰되는 호상흑운모편마암은 Fig. 3에서 보는 것과 같이 주로 석영과 장석으로 구성된 무색광물과 주로 흑운모로 구성된 유색광물의 집합체가 대상으로 분포하여 서로 평행한 줄무늬를 이루는 편마구조를 나타내는 것이 특징이다.

기(2012)는 ‘이상기후와 우리나라의 산사태’에 관한 연구에서 편마암은 타암석에 비해 상대적으로 물리·화학적 변화에 약한 암석이며 절리밀도가 높아 풍화의 진전이 빠르다고 하였다. 그 결과, 미립 물질이 다소 많이 형성되는 편이며, 일정 깊이까지 쉽게 풍화되어도 심층풍화가 진전되기는 어렵다는 사실을 밝힌 바 있다. 편마암질 기반암의 이러한 풍화 성향에 따라 우면산의 경우에도 표층은 대체로 암괴 노출 없이 풍화토가 거의 전사면에 피복되어 나타나며, 그 두께는 사면의 경사와 주변 식생, 곡의 발달 특성에 따라 얇은 곳은 30~50cm, 두꺼운 곳은 1m 이상으로 상이하게 나타나고 있다. Fig. 4는 우면산 풍화층의 일반적인 단면을 보여주는 것으로, 지중풍화에 의해 형성된 미립 물질과 cobble 또는 pebble 크기의 각력 암설들이 혼재된 깊이 50cm 가량의 얇은 토층을 잘 보여주고 있다. 또한 각력 암설 사이에는 다량의 미립 물질들이 상존하고 있으며 대부분이 점토질로 구성되어 있다.

우면산 주변의 지질 분포는 우면산과 인근 산지의 지형 특성을 잘 반영하고 있다. 우면산의 남서쪽으로 능선과 녹지축이 연결된 관악산은 중생대 쥐라기에 관입한 대보화강암(Daebo Granite)으로 주로 흑운모 화강암과 화강반암으로 구성되어, 우면산의 편마암질 기반암과는 전혀 다른 성질을 지닌다. 따라서 관악산의 기저를 구성하는 화강암과 우면산의 기저를 구성하는 편마암의 암석 풍화 특성 차이로 인하여 두 암석의 경계를 따라 차별풍화와 침식이 진행되었고, 이는 오늘날 과천대교가 지나는 남태령 고갯길을 형성한 주된 원인이 되었다.

또한 유사한 편마암질 기반암으로 구성된 청계산과의 산지 연속성 결여는 남서-북동 방향으로 흘

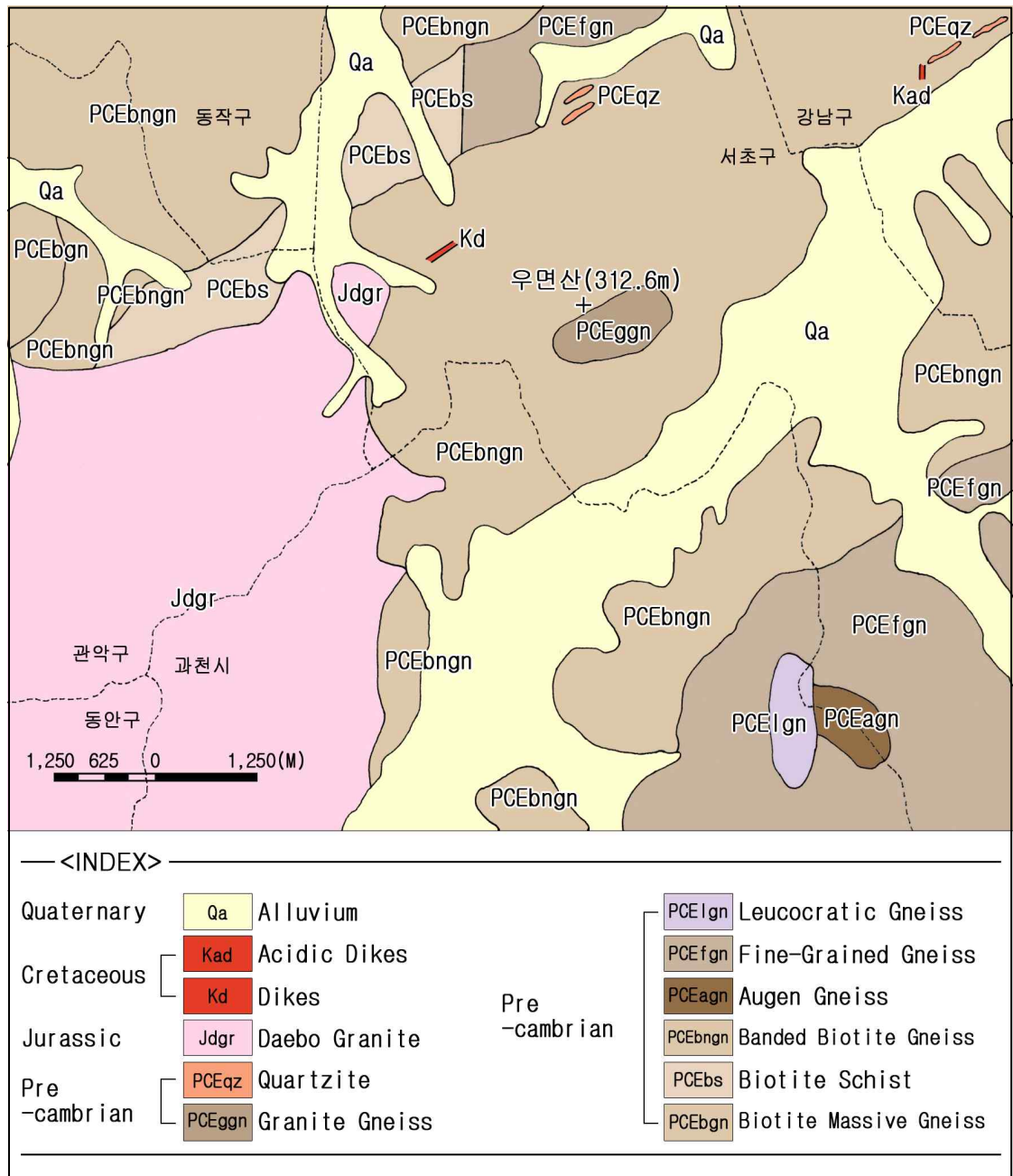


Fig. 2. Geological structure of Mt. Umyeon.(Surce: Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources)

러가는 양재천이 우면산 남쪽에 만들어 놓은 넓고 저평한 충적층에 의한 것이다. 그러나 이러한 연속성 결여는 과거 계곡의 매적에 의한 기복의 변형에 따른 것일 뿐, 같은 시기에 형성된 동일 계열의 기반암으로 지질학적으로 볼 때는 연속된 지구조로 볼 수 있다.

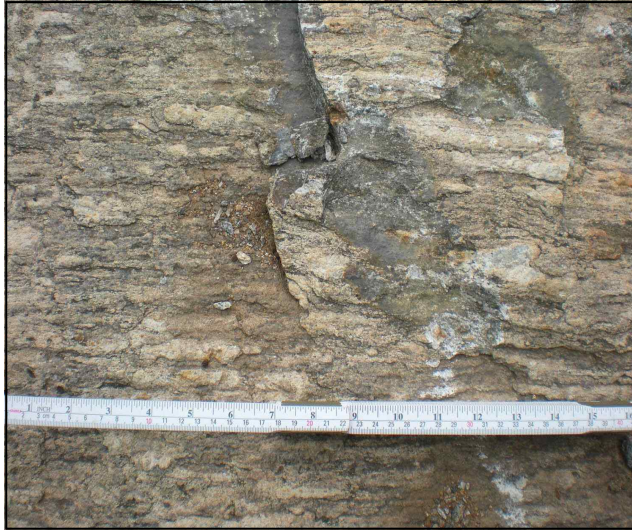


Fig. 3. Banded biotite gneiss, which is the main bedrock of Mt. Umyeon.



Fig. 4. The characteristics of weathering phenomena of the gneiss bedrock.

우면산의 사면지형 변화와 복원

1. 기반암 풍화 특성과 우면산 산사태

산사태는 산지 사면에 존재하는 풍화층과 쇄설성 지표피복물이 중력방향으로 미끄러지거나 떨어지는 모든 현상을 말하며, 발생 원인과 사면 붕괴의 다양한 특성에 따라 몇 가지의 형태로 나누어진 다⁴⁾. 우면산 산사태는 토석류(debris flow)로 분류될 수 있는데, 토석류는 사면붕괴나 집중호우로 인한 계곡 침식 등에 의해 발생한 토사가 계류지의 토석이나 수목을 함께 쓸어내리는 현상을 의미한다. 우면산 산사태의 경우 2011년 7월 27일 0시부터 23시까지 기록적인 폭우로 인하여 Fig 5에서 보는 바와 같이 많은 지역에서 동시 다발적으로 크고 작은 토석류가 발생하였다. 발생 당시 인명과 시설물 피해가 컸던 이유 역시 사면으로부터 유입된 다량의 쇄설성 피복 물질과 폐목들이 뒤엉켜 흘러내리면서 산사태가 강한 토석류의 성격을 지녔기 때문이다.

자연사면에서 발생하는 산사태는 대부분 집중호우에 의해 쇄설성 지표피복물의 단위체적당 중량이 증가하고, 붕괴면의 저항력이 감소되어 발생하기 때문에 강우의 영향이 가장 크다고 할 수 있다. 그러나 동일 조건의 집중호우가 발생했더라도 지역에 따라 산사태가 발생하거나 혹은 발생하지 않은 경우가 있는데, 이는 지형과 지질 특성을 반영한 사면의 경사와 토층 발달, 즉 기반암의 종류와 풍화 정도가 중요한 요인으로 작용하기 때문이다.

우면산의 기반암은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 주로 화강암질편마암과 호상흑운모편마암으로 이루어져 있으며, 이들 암석은 입도가 큰 두 종류 이상의 광물들이 불완전하고 불규칙한 호층의 엽리 구조를 보이는 변성암의 한 종류이다. 편마암류는 다른 암석에 비해 물리적 화학적으로 약하며, 절리밀도가 높은 편이다. 어느 정도 풍화가 진행되면 미립물질이 많이 생성되며, 생성된 미립물질들은 공극이나 균열을 따라 아래쪽으로 이동하여 미세한 틈을 메워 불투수층을 형성하게 된다. 이러한 이유로

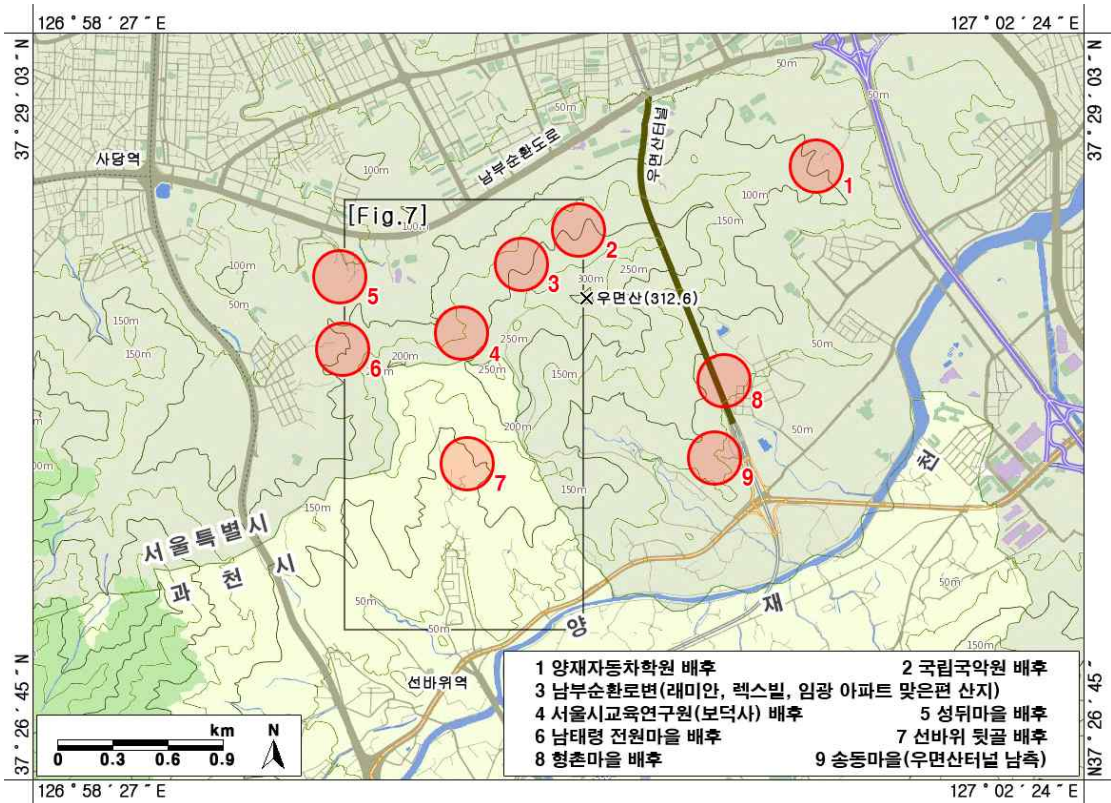


Fig. 5. The main site of the landslide of the study area.(Source: National Geographic Information Institute)

편마암은 일정한 깊이까지는 풍화의 진전이 쉽게 일어나도 심층풍화의 진전은 상대적으로 어려운 특성을 갖고 있다. 또한 편마암 산지의 사면은 기반암이나 거력 등이 노출된 암석노두가 잘 발달하지 않아 기복이 작고 이로 인해 식생의 밀도가 높은 편이다. 이처럼 미립물질의 비중이 높고 식생의 밀도가 높은 특성의 편마암지대는 수분저장능력이 높아 중력에 의한 사면의 이동인 매스무브먼트가 매우 쉽게 일어난다. 다시 말해 강우 시 산사태의 위험이 높다고 할 수 있다.

특히 우면산의 지질을 구성하는 호상 흑운모 편마암은 엽리가 잘 발달하여 엽리면을 따라 쉽게 풍화되고 분리되는 특성을 보인다. 우면산의 사면에는 얇게는 30~50cm, 두꺼운 곳은 1m 이상의 풍화층이 잘 발달해 있으며, 이들 풍화층 내부에는 cobble 내지 pebble 급의 각력을 다량 포함하고 있어 공극의 비율이 비교적 높아 수분저장능력이 높은 것으로 평가된다.

우면산 산사태는 최대 강우 시 계곡의 유량이 증가하여 사면의 풍화층 및 계곡의 쇄설성 퇴적물에 지표수가 빠르게 유입되었고, 이에 따라 공극 수압과 무게가 급격하게 증가하여 능선부와 산정부의 사면 일부가 붕괴하여 축발되었다. 최상부의 사면유실이 시작되면서 풍화층과 쇄설층에 포함되어 있던 암설과 폐목이 함께 유실되었으며, 결국은 뿌리가 얇은 수목들까지 전도되어 토석류가 발생한 것으로 판단된다(기, 2011). 사면유실은 폭이 좁고 급경사를 이루기 때문에 결과적으로 좁은 집수역을 갖는 계곡부에서 발생했으며, 토석류의 형태를 보이며, 계곡의 하류 지역으로 이동하다가 상대적으로



Fig. 6. Clear contrast landslide before(left image: 1 May 2006) and after(right image: 20 March 2012) can be a satellite view.(Source: Google earth)

폭이 넓고 경사가 완만한 계곡의 말단부에 이르러 한꺼번에 토사를 퇴적시켜 도로와 주택을 매몰 및 파괴시킨 것으로 판단한다. 이와 같은 토석류 발생과 이동 특성은 산사태 전후의 위성사진을 통해서도 잘 나타난다. Fig. 6은 우면산 산사태 전후의 위성사진으로 산사태 이후 우면산 북서사면과 남동사면에서 발생한 다발성 토석류의 이동 흔적이 뚜렷하게 나타나고 있다.

2011년 당시 발표된 ‘우면산 산사태 원인조사 및 복구대책수립 최종보고서(2011)’에 의하면, 산사태 발생원인은 집중호우가 주된 원인이고, 두꺼운 붕적층, 높은 지하수위, 점토층의 존재, 얇은 토층과 나무뿌리의 얇은 활착 등이 복합적으로 작용한 결과라고 분석하고 있다. 우면산의 사면이 자연 상태일 경우에는 위와 같은 분석이 타당할 수 있겠지만, 사면의 안정성에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 인위적인 사면 변화를 고려하지 않은 점은 아쉬운 부분이다.

2. 사면지형 변화와 복원 현황

1) 자연적 요인의 사면지형 변화

편마암의 풍화 특징으로 말미암은 우면산 사면지형의 침식은 집중호우 발생 시 더욱 뚜렷하게 나타난다. 편마암 풍화층 내에 잔존하는 각력들은 강우 시에 지표유출량을 감소시키며, 많은 양의 수분을 풍화층(또는 채설층) 내로 흡수시킨다. 그리고 우면산과 같은 편마암 산지의 풍화층은 그 두께가 화강암 산지에 비해 얇은 뿐더러 화학적 풍화에 의해 형성된 다량의 미립물질들이 풍화층 내 수분 포화도를 급속히 높이는 역할을 하게 된다. 포화된 풍화층 내부의 수분은 기반암과의 저항력을 감소시켜 중력에 의한 사면 물질의 이동과 붕괴를 용이하게 만든다.

Fig. 9는 이러한 현상을 잘 보여주고 있다. 사진 상의 풍화층은 계곡 내 사면으로 깊이 1m 내외의 두께를 보인다. 집중 호우 발생 시 풍화층 내부의 수분 포화로 인해 풍화전선면에서의 저항력이 급격하게 감소하고, 동시에 계곡을 따라 흐르는 유량의 증가로 물리적 침식력이 강화되면서 하상면의 굴식과 함께 계곡 사면의 침식 및 붕괴가 강하게 진행되었다. 그 결과 하상면에는 기반암이 노출되었으며, 계곡 사면은 측방침식의 진행에 의해 급경사 사면을 형성하였다. 이러한 형태의 계곡 침식은 점차 상류방향으로 이어지는 두부침식(headward erosion)을 발생시키며, 불안정화된 계곡 사면의 풍화층

은 유수에 의해 지속적으로 침식·유출되는 도미노 현상을 야기해 사면 침식과 안정성 저하를 촉진하게 된다.

그러나 이러한 현상은 편마암 산지에서 발생하는 풍화와 개석의 일반적 양상이다. 문제는 계곡 하류부와 산지 능선의 하단부까지 무리하게 확장된 주택가와 각종 시설물이다. 따라서 강우 시 일반적으로 발생하는 자연 유출 혹은 집중호우 발생 시 급격하게 발생하는 사면붕괴에 의한 다량의 사면 유출 물질들이 충분히 체류하거나 퇴적될 수 있는 완충 지역이 부족하게 되었다. 이에 따라 자연적으로 발생하는 사면지형 변화에도 사회·경제적 위험성이 크게 증가하게 되는 결과를 초래하였다.

2) 산사태 지형 복원과 인공 시설물 현황

우면산에 적용된 주요 복구 방법은 산사태가 시작된 지점 바로 하단부에 콘크리트 옹벽(역T형 옹벽)을 설치하거나, 콘크리트 옹벽에서 흐르는 유수로 인한 세굴 방지를 위해 야면석돌붙임을 방사형 태로 배치하는 것이다. 동시에 횡적 구조물인 돌보막이를 사면 상부로부터 하부로 이르는 구간에 단계별로 배치하여 최하단부에 도달하는 동안 토사 및 유수의 속도를 최대한 감속시키고자 하였다. 산사태 발생 지역 하부에는 토석류를 차단할 수 있도록 골막이 및 콘크리트사방댐이 설치되었다(이 등, 2012).

Fig. 8과 Fig. 10은 신동아력스빌 아파트 맞은편 산사태 지형 복원 지역으로 계곡 하상면과 곡벽은 강우 시 하방 및 측방침식 진행을 막기 위해 자연석으로 피복하였으며, 계곡 사면은 성토하여 인위적으로 사면 경사를 조절한 뒤 초본류를 등고선상으로 식재하여 강우의 지표 유출과 표층의 포상 침식을 막고자 하였다. Fig. 11은 보덕사 뒤에 위치한 계곡으로 앞선 지역과 동일한 방법으로 복구되었다. 그러나 이들 지역의 경우 현재까지 인공 식재된 초본류가 지표에 정착하지 못해 곳곳이 침식되는 현상이 보이며, 교목이 정착하지 않아 복구 이후 사면지형의 안정화까지는 상당한 시간이 걸릴 것으로 예상된다.

Fig. 12는 뒷골 상부로 비교적 경사가 완만하고 곡폭이 넓은 소규모의 곡저분지 형태가 나타나는 곳이다. 2011년 7월 산사태 당시 뒷골 상부 지역은 소규모 계곡으로부터 집중된 다량의 토사로 인해 기존의 계곡이 매적되고, 지속되는 강우로 인해 매적층 상부에 넓은 포상류가 형성되어 그 피해가 컸다. 복구공사 이후 토사에 매몰되었던 지역을 새롭게 성토하였으며, 기존의 계곡 유로를 따라 콘크리트 하상과 콘크리트 블록으로 된 곡벽을 설치하였다. 그러나 곡벽의 경사가 급하고 곡폭이 종전에 비해 크게 확장되지 않아 집중호우에 따른 유수와 토사의 다량 유출 시 범람이 우려된다. 동시에 콘크리트 하상과 곡벽은 유수의 물리적 에너지에 의한 침식 방지 효과는 있을지 모르나, 계곡의 지하수 저장능력을 감소하여 강우 초기 지표유출량을 증가시켜 하류지역의 급격한 하천 수위 상승을 불러일으킬 우려 또한 내재하고 있다.

산사태에 따른 복구공사 영향 외에도 우면산에는 옹벽 구조물, 계단형 탐방로, 계곡 주변의 도로 등 각종 인공 시설물들이 많은 지역에 걸쳐 다수 설치되어 있다. Fig. 13은 뒷골 중류부에 토지 개간을 위해 설치된 옹벽 구조물로 계곡 하상면이 평형상태에 도달하는데 지장을 주어 옹벽 상류와 하류의 천이점(nick point)을 발생시킬 수 있다. 이러한 천이점의 발생은 하천 상류로의 하상 퇴적물 증가와 하천 하류로의 침식력 부활로 인해 사면 발달의 부조화를 가져올 수 있다. Fig. 14는 뒷골 마을 내 놓인 주택가의 이면도로로 계곡의 비대칭 사면을 형성하여 자연형 사면의 침식이 가속화 되고 있다.

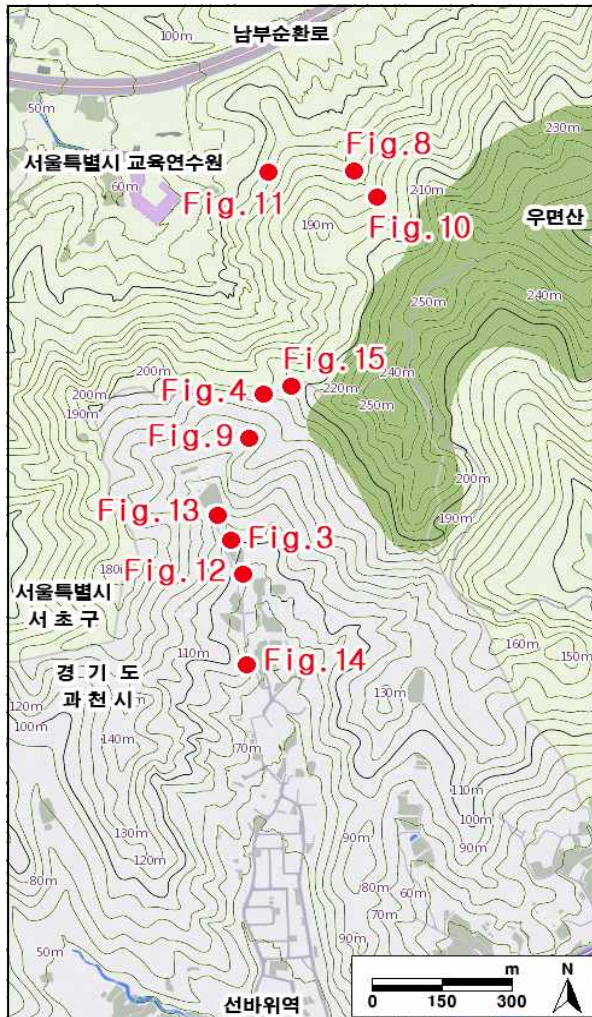


Fig. 7. The location of out crops.
(Source: National Geographic Information Institute)



Fig. 8. Restoration of mountain stream and slope.(looks downward slope)



Fig. 9. The formation of the gully by the acceleration of erosion.



Fig. 10. Restoration of mountain stream and slope.
(looks upward slope)

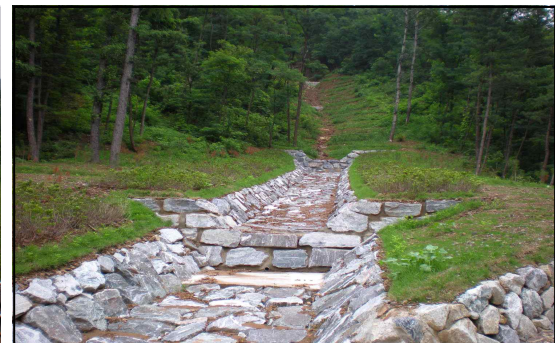


Fig. 11. Restoration of mountain stream.
(the rear of Bo-deok temple)



Fig. 12. Restoration of mountain stream and slope.



Fig. 13. Examples of slope movement by artificial structure.



Fig. 14. Erosion of asymmetric valley slope.

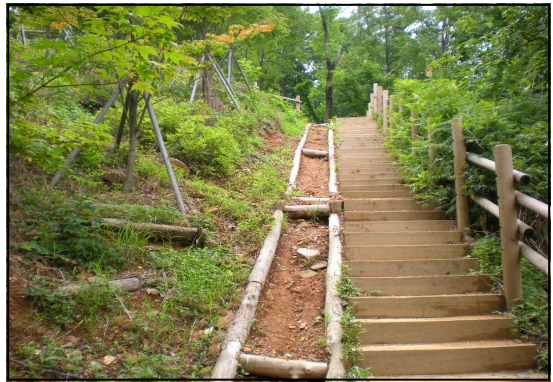


Fig. 15. Slope protection facilities in the trail.

이러한 형태의 침식 가속화는 계곡으로 유입되는 토사량을 증가시켜 계곡 하류의 병목구간이나 계류지 내의 지속적인 퇴적물 증가로 호우발생시 계곡 범람 또는 이류(mud flow) 발생으로 또 다른 위험성을 불러일으킨다. Fig. 15는 능선과 계곡 곳곳에 목재로 설치된 계단형 탐방로이다. 탐방객의 증가에 따른 토양 유실과 생태계 보전을 위해 설치된 시설물이나 호우발생 시에는 오히려 강수의 지표 유출량을 증가시켜 토양층의 비정상적 침식을 불러일으켜 시설물 훼손과 동시에 탐방객들의 안전 또한 위험할 수 있다. 탐방로 상의 시설물에 따른 토양 침식 영향면에 대해서는 더 많은 논의와 연구가 필요할 것으로 보인다.

결론 및 제언

2011년 발생한 우면산 산사태는 많은 인명 피해와 함께 커다란 사회·경제적 손실을 불러일으켰다. 그 결과, 우리나라 산지의 산사태 위험성과 산지보전 및 관리에 대한 관심이 크게 증가되었다. 특히, 수도권과 같은 인구 밀집 지역은 급격한 도시화 과정에서 법 제도적 부실을 안은 채 체계적 접근 없이 무분별하게 개발이 자행되어 자연환경 훼손은 물론 그로 인해 발생하는 막대한 사회적 비용까

지 떠안게 되었다. 뿐만 아니라 최근 기후변화로 인해 해마다 증가하고 있는 극한강수 현상은 도시 지역의 산사태 재해 위험성을 더욱 가중시키고 있다. 사회적 관심이 고조된 시기에 진행된 금번 연구는 우면산의 지질 특성 및 사면지형 변화 원인과 현황을 파악하고, 진단해 보았다는 점에서 의의가 있다고 하겠다.

본 연구를 통해 알 수 있었던 우면산의 사면지형 변화 양상은 크게 자연적 요인과 인위적 요인으로 구분하여 설명될 수 있다. 자연적 요인에 의한 사면지형 변화는 기반암의 특성과 강우량이 가장 큰 영향을 미친다. 오랜 시간 변성작용에 의해 형성된 편마암은 엽리구조와 미세 절리가 잘 발달하여 비교적 물리·화학적 풍화에 취약하며, 그 결과 다량의 점토 물질을 생산한다. 이와 함께 각력을 포함한 얇은 풍화층은 집중호우 발생 시 토양 내부의 빠른 수분포화를 진행시켜 기반암과 풍화층 사이의 급속한 저항력 감소를 유발한다. 기반암 풍화층의 물리·화학적 특징과 최근 빈번하게 발생하는 집중호우가 서로 결부되면서 사면지형의 급격한 붕괴와 잇따른 산사태의 발생이 이어진 것이다.

인위적 요인에 의한 사면지형 변화는 산사태 이후 지형 복구과정과 우면산 곳곳에 산재한 인공 시설물의 설치로 야기되었다. 동시 다발적으로 발생한 산사태는 우면산 북서사면 및 남동사면의 다수 계곡과 계곡 주변 사면을 붕괴시켰다. 이들 산사태 지역의 복구는 주로 콘크리트 옹벽 설치를 통한 급류 및 토석류 차단막 설치, 유수에 의한 세굴 방지를 위한 방사형의 야면석돌부침 공법으로 이루어졌다. 그러나 산사태 재발 방지를 위해 설치된 토목구조물의 적합성과 유효성 여부는 본고에서 다루지 않았다.

산사태 복구를 위한 인공 시설물과는 별개로 우면산 곳곳에는 다양한 종류의 인공 시설물이 설치되어 있다. 그중 대표적인 것이 탐방로 설치와 도로 건설이다. 탐방객 증가에 따른 토양 경화와 침식을 방지하기 위해 목재로 설치된 계단형 탐방로는 생태계와 지형 보호를 위한 목적에도 불구하고 곳에 따라 토양 침식과 유수에 의한 세굴현상이 발견되었다. 이는 목재 계단이 강우 시 오히려 국지적인 지표유출량을 증가시켜 빗물에 의한 세굴현상을 촉진하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 계곡 주변을 따라 설치된 도로 구조물은 비대칭적인 계곡 사면을 형성하여 자연 상태로 남은 곡벽에서 측방 침식이 강화되는 현상을 불러일으키고 있었다.

자연 상태의 사면지형은 끊임없이 변화한다. 일정 수준 이상의 경사를 지니는 사면은 궁극적으로 지표의 평형상태를 위해 침식·삭박되기 때문이다. 이러한 변화는 강수에 의한 침식뿐만 아니라, 아무런 외적 기구의 개입 없이 순수한 중력의 영향만으로도 발생한다. 산사태 역시 자연적인 사면지형 변화의 과정이다. 그러나 문제는 주택을 포함한 다양한 사회적 시설물들이 그러한 자연 현상에 의해 극도의 위험에 노출될 수 있다는 사실이다. 산지가 많은 우리나라의 지형 특성상 대도시를 포함한 대부분의 인구밀집지역 내부(혹은 배후)에는 크고 작은 산지가 자리한다. 따라서 급속한 도시화의 과정에서 무분별한 개발은 사면지형의 불안정을 초래하거나, 아니면 자연적으로 발생하는 급격한 지형 변화에 의해 잠재적 위험에 노출되어 있다.

우면산 산사태와 같은 제 2의 피해를 막기 위해서는 산지 보전 관리에 대한 체계적이고 구체화된 법 제도적 정비와 더불어 산사태 예측과 방재를 위한 다각도의 연구가 필요하다. 뿐만 아니라 도시 계획과 정비 과정에서 위험성 있는 사면지형과의 충분한 완충지대(buffer zone)을 설정하여 난개발을 막고, 잠재적 위험으로부터 능동적 대처를 통하여 전지구적 기후변화로 인해 더욱 증가할 극한강수

현상과 그에 따라 야기될 수 있는 급격한 사면지형의 변화로부터 인간과 재산을 보호해야 할 것이다.

각 주

1) 우면산 북부는 사당역과 서초나들목을 연결하는 남부순환도로에 의해, 서부는 사당과 남태령 사거리를 연결하는 과천대로에 의해 뚜렷한 경계를 보인다. 과천대로는 우면산과 관악산의 능선과 녹지축 연결성을 일부 저해하고 있다.

2) 우면산 남부는 47번 국도를 산지 경계로 볼 수 있으나, 뒷골마을, 형촌마을 등 주택지역이 곡저를 따라 산지 깊숙이 침투해 있어 다른 지역에 비해 경계가 모호하다.

3) 우면산 동부의 능선축은 본래 양재까지 이어졌으나, 경부고속도로의 관통으로 인해 연속성이 결여되어 있다. 따라서 산지의 동부 경계는 경부고속도로로 볼 수 있다.

4) 산사태는 다양한 형태와 원인으로 인해 발생하는 사면붕괴 유형을 통칭하는 용어다. 지형학적으로 사면붕괴의 유형을 구분할 경우, 크게 토석류(debris flow), 이류(mud flow), 암석애벌런치(rock avalanche), 슬럼프(slump) 등으로 나누어 볼 수 있으며, 이들 용어는 형태적 특징과 더불어 붕괴 시의 암석이나 토층 내부에 발생하는 내적 변이 양상에 따라 구분된다. 본고에서는 산사태를 사면 붕괴의 다양한 형태를 통칭하는 용어으로써 산사태를 별도의 구분 없이 통칭하여 사용하였다.

사 사

본 연구의 현장조사와 선행연구 검토에 큰 도움을 주신 동국대학교 대학원 김태석 선생님께 깊은 감사를 표하는 바입니다.

인용문헌

- 국토지리정보원. 2012. 1:25,000 지형도 안양 도엽(NJ 52-9-18-2).
 국토지리정보원. 2012. 1:25,000 지형도 둔전 도엽(NJ 52-9-19-1).
 기근도. 2012. 이상기후와 우리나라의 산사태. 기후연구. 7(2): 119-135.
 김경수, 김원영, 채병곤, 송영석, 조용찬. 2005. 강우에 의해 발생한 자연사면 산사태의 지질공학적 분석: 용인·안성지역을 대상으로. 대한지질공학회지 15(2): 105-121.
 김석우, 전근우, 김진학, 김민식, 김민석. 2012. 2011년 집중호우로 인한 산사태 발생특성 분석. 한국임학회지 101(1): 28-35.
 윤홍식, 이동하, 서용철. 2009. GIS 기법 및 발생자료 분석을 이용한 산사태 위험지도 작성. 한국지리정보학회지 12(4): 59-73.
 이문세, 조규봉, 윤주각, 김형우. 2012. 우면산 산사태재해 복구공법 사례 분석. 한국지반환경공학회 학술발표회 논문집 : 233-236.
 이승호, 황영철. 2004. 집중호우시 군사시설물이 설치된 사면의 안정성평가에 관한 연구. 한국지반환경공학회 논문집 5(4): 47-56.

조남춘, 최철웅, 전성우, 한경수. 2006. RS와 GIS기법을 활용한 산사태 위험성의 검증. 한국지리정보 학회지 9(2): 54-66.

한국지리정보연구회. 2004. 자연지리학사전(개정판). 한울아카데미.

한국지반공학회. 2011. 우면산 산사태 원인조사 및 복구대책수립용역 최종보고서.

국토지리정보원 지도검색서비스 <http://sd.ngii.go.kr:9000/WebMap/webmap.jsp>

지질자원연구원 지질정보시스템 <http://geoinfo.kigam.re.kr/MainPage.action>

요 약

본 연구는 2012년도 자연보전학술연구사업 서울 서초구 우면산 일대 생태계 종합학술조사의 일환으로 우면산 현장조사를 통해 지질 특성과 사면지형 변화 현황을 파악하고자 진행되었다.

우면산의 사면 지형 변화는 크게 자연적 요인과 인위적 요인으로 구분할 수 있다. 자연적 요인에 의한 사면지형 변화는 기반암의 특성과 강우량이 가장 큰 원인으로 작용한다. 우면산의 기반암인 편마암은 풍화 층이 얇고 점토가 풍부하며, 함수율이 높기 때문에 집중호우 시 산사태 발생에 매우 취약하다. 인위적 요인에 의한 사면지형 변화는 넓은 범위에 걸친 산사태 복구 시설물의 설치가 가장 큰 원인이다. 그 밖에도 계곡 주변에 건설된 도로, 산지 곳곳의 계단형 목재 탐방로 등이 주요한 인위적 변화 요인이 된다.

우면산 산사태와 같은 또 다른 피해를 막기 위해서는 산지 보전과 관리를 위한 체계적인 법제도가 확립 되어야 하며, 동시에 산사태 발생에 대한 예측과 방제를 위한 다각도의 연구도 진행되어야 할 것이다.

검색어 : 우면산, 산사태, 토석류, 사면지형 변화