

2000년 사면안정기술

박남서*1, 김성환*2, 이승호*3, 최용기*4, 박형동*5

1. 서언

우리나라는 국토의 약 70%가 산악으로 구성되어 국토개발과 보존에 있어서 사면을 안정시키고 보호하는 문제는 매우 중요한 과제이다. 특히 경제성장과 더불어 도심 주변의 구릉지 및 산지의 개발이 불가피하게 진행되고 있고 지역과 지역, 도시와 도시를 잇는 교통로 즉 철도, 도로 등의 건설이 진행되면서 사면의 안정성 확보 문제는 매우 중요한 과업으로 대두되고 있다.

또한 우리나라와 같이 강우가 여름 장마철에 집중되는 기후조건에서는 강우에 의한 산사태 문제에 대해 방재(防災) 차원에서 적극적인 사면안정대책이 요구되고 있는 실정이다. 그 동안 국내 산사태는 대부분 자연재해로만 인식되어 공학적인 사전 방지대책수립이 거의 없었으나 세계적인 추세에 따르면 현재의 기술로도 발생빈도를 줄일 수 있는 것으로 알려지고 있다.

지난 수십년 사이에 사면안정분야에 대한 기술은 많은 발전을 이루었고 지금도 지속적으로 발전하고는 있지만 사면안정 기술을 발전시키기 위해서는 사면도 하나의 구조물이라는 개념이 도입되어야만 할 것이다. 특히 홍콩의 경우 모든 사면마다 고유번호를 부여하여 체계적인 관리를 하는 것에 비하면 우리의 수준은 크게 못 미치는 점이 있다고 본다.

해마다 반복되는 산사태에 따른 수십명씩의 인명피해나 사면붕괴로 인한 도로 및 철도의 빈번한 두절 등의 전형적인 후진국성 재해들이 없어질 수 있

*1 정회원, 대덕공업주식회사 대표이사

*2 정회원, 한국도로공사 도로연구소 전문연구실 부실장

*3 정회원, 상지대학교 토목공학과 교수

*4 정회원, 대원토질주식회사 대표이사

*5 정회원, 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 조교수

도록 새천년을 맞아 사면안정 기술의 현황을 기술하고 향후 어떠한 방향으로 기술발전이 이루어져야 할 것인지에 대하여 검토하고자 한다.

2. 사면안정기술의 발전사

2.1 국내 역사적 기록에 의한 사면붕괴

현재까지 비교적 손쉽게 확보할 수 있는 조선왕조실록, 고종순종실록 등을 통해 보면 과거 산사태로 인한 피해상황, 규모, 대책 등에 대한 기록들이 있다. 이러한 기록 중 최초로 해당되는 것은 태조 4년(서기 1395년) 원적산, 우두산 지역에서 발생한 산사태로 15명이 사망하였고 최대의 인명피해는 인조 12년(서기 1635년) 평안도 산군 일대의 산사태로 사망자가 약 176명으로 기록되어 있다. 정조22년(서기 1798년)에는 산사태로 인해 주택 1백호가 파괴되고, 23명이 사망하였다.

현종 10년에 경상도 대구 해서부 다리동에서 발생한 산사태에 대해서는 길이 187보, 넓이 15보, 깊이 3-4장 규모인 것으로 정확한 규모를 기록하고 있는 반면 산사태로 인해 암탐이 수탐으로 변했다는 비과학적인 기록도 함께 등장하고 있다. 발생 후의 공학적인 대책에 대해서는 별다른 기록이 없으며 단지 제사를 지내는 정도의 기록만 남아 있다.

2.2 외국 사면안정 기술의 변천과정

국내의 지형적 특성상 도로의 건설 및 택지개발공사에 있어서 절토사면의 형성은 필수 불가결한 일들로 우리는 많은 사면붕괴를 경험해 왔고 이에 대해 여러 가지 방안으로 대처해 왔다.

그러나 최근 도로, 택지개발공사 등이 활발하게 진행됨에 따라 사면붕괴로 인한 피해가 대규모화되고 더욱 증가하는 추세이다. 이러한 사면붕괴를 포함한 각종 자연재해의 증가는 국제적인 문제로 대두됨에 따라 1987년 12월 UN 총회에서는 자연재해에 대처하는 노력의 일환으로 국제 자연재해 감소 20개년 계획을 통과시킨 바 있다.

사면에 대한 보다 적극적인 대처방안으로 이용되는 산사태 위험지도는 산사태 지역에 대해 조사·분석을 실시하여 도면화 시킨 후 이를 관리함으로써 산사태 방재에 활용코자 작성된 것으로 '70년대 후반부터 산사태 재해가 비교적 많은 나라에서 많이 이용되고 있다. 이것은 과거의 산사태 발생자료를 Data Bank화하고 지도상에 표시한 발생분포도(Inventory Maps)나 사면의 불안정 요인을 분석하여 장래의 산사태 발생지역을 나타내는 발생가능성도(Susceptibility Maps)와 같은 것이 있다. 또한 근래에는 이들을 확장하여 전산화 한 일련의 지도로 작성함으로써 효율적인 국토관리 및 개발계획의 기초자료로 이용하기도 한다.

일찍이 미국, 일본, 홍콩에서는 방재담당부서, 산사태 대책협회 및 학회 등을 조직하는 한편, 사면안정을 위한 현장조사 및 해석방법, 예측기법, 보강공법 등에 관한 체계적이고 종합적인 연구개발을 통해 방재대책을 수립, 피해를 최소로 줄이려는 노력을 지속적으로 행하고 있다.

미국은 1982년부터 US Geological Survey 주도하에 주별로 표준화된 위험도(1:50만)를 작성하고 있는데 현재 15개주에서 발생분포도를 완성 또는 작성 중에 있다.

홍콩은 위험도면의 보수를 위해 8,500여개의 사면을 조사한 후 우선순위(Ranking System)를 정하여 산사태방지대책을 수행하고 있고, 이와는 별도로 산사태 방재 및 국토개발계획을 위하여 국토의 종합조사계획(Geotechnical Areas Studies Program)을 3단계에 걸쳐 수행하고 있는데 결과는 소구역(2~4km²)에 대한 6~8종의 전산화된 지도

로 나타나며 이용목적에 따라 단일 또는 중첩하여 활용 할 수 있다. 또한 일본의 방재과학 기술센터에서도 지역별로 항공사진판독 및 현장조사를 실시하여 산사태 지형분포도(1:5만)를 연차적으로 발간하고 있다.

홍콩 내에 존재하는 사면은 크게 도심지에서 형성된 도로사면, 주택단지 사면, 자연사면과 도심외곽의 도로, 철도 등에 의해 형성되는 사면들로 구분할 수 있는 데 이들 사면들은 모두 관리대상 및 관리하는 엔지니어들이 있다. 홍콩의 사면 중 가장 흔히 볼 수 있는 것이 슛크리트를 타설한 사면들이다. 특히, 도심지 내에 존재하는 대부분의 사면들은 높낮이에 관계없이 슛크리트를 타설하여 표면을 보호하고 있으며 많은 배수공을 뚫어 사면에 대한 배수처리 각별히 신경을 쓰고 있는 것을 관찰할 수 있다. 이는 도심지의 미관적인 측면보다는 안정성에 우선을 두고 있는 것으로 판단되며 미관적인 측면을 고려하기 위하여 사면 중간중간에 원형의 공간을 마련하여 나무를 식재하고 있다. 사면에 대한 제도대책을 포함하여 여러 가지 재해방지대책을 수립, 시행하고 있는데 이중 가장 적극적인 방법으로 사면의 위험도를 파악하여 개량하기 위한 사면붕괴 방지대책을 들 수 있으며 이를 위해 사면의 위험도를 조사할 수 있는 위험 사면선정기준을 개발하여 이용하고 있다.

또한 일본의 경우도 1960년대부터 국토 보존사업을 계획하여 현재까지 연차적으로 산사태 방지대책을 시행하고 있으며 이에 필수적인 보호공법의 기술지도서, 위험판정기준 등도 각 연구소, 국영기업체 및 학회별로 연구하여 사용하고 있다.

영국에서는 9,000개소 이상이 기록된 산사태 자료(Referenced Landslide Data)를 디스크로 작성하여 일반에게 판매하고 있다. 환경부(Dept. of Environment)의 National Landslide Data Bank를 위해 수집한 정보는 지역별(전국을 6개로 분할)로 6개의 디스크에 수록되어 있으며 현재 Buckinghamshire의 Geomorphological Services에서 1매당 475파운드(52만원)에 제공하고 있다.

각 입력자료는 지역명, 위치(Grid Reference), 산사태의 크기와 시기, 현재의 대책 상황, 광역지질 및 상세 암석재료, 지형, 현장의 배수특성 등 7개로 구성되어 있다.

상기 외에도 프랑스, 이태리, 스페인 등지에서 상당히 진보된 위험지도가 20여 년 전부터 활용되고 있으며 최근에는 국제토질학회의 산사태기술위원회 주체로 각국의 산사태 위험도에 대한 현황조사를 실시하여 산사태 자료를 국제적으로 Data Bank화하려는 움직임도 있다. 우리나라의 경우 현재 광역의 위험분포도(1:50만)와 사면불안정도(1:25만)가 있지만 실용화되지는 못하고 있다.

2.3 국내 사면안정 기술의 변천과정

국내에서의 사면안정에 대한 연구는 임학분야에서 임지 및 임산자원 보전을 위한 측면에서의 연구가 주종을 이루오 왔고, 토질이나 지질분야에서는 최근 들어 특정지역의 산사태 원인분석 및 대책을 위한 연구를 시도하고 있는 정도이다. 또한 사면붕괴 예측에 의한 사전 보강공사는 거의 이루어지지 않고 있으며 사면붕괴 지역의 복구공사도 철저한 원인 규명을 거치지 않은 채 재래식 공법에 주로 의존하고 있는 실정이다.

그러나, 최근들어 국내 고속도로에서의 사면안정 문제는 한국도로공사 도로연구소에서 1991~1993년 사면안정처리에 관한 연구를 비롯해 지속적인 체계적이고 지속적인 사면연구와 현장기술지원을 통해 많은 사면과 관련된 자료를 축적해 왔다. 특히, 현장에서 발생한 사면붕괴에 대한 대책으로 사면경사 완화방법이 신설현장에서 많이 적용되고 있으나 최근 들어 Rock Anchor 및 Rock Bolt 공법, Soil Nailing 공법, 역지말뚝공법, 숏크리트 공법 등과 같은 보다 적극적인 방법으로 사면을 안정화시키고 있으며 1996년 이래 중요한 사면에 대해서는 지중경사계, 지하수위계, 변형율계 등을 이용하여 현장계측을 실시하고 있다. 그리고 사면붕괴에 대한 현장 조사자료에 대해 사면유지관리를 위한 데이터베이

스 시스템을 구축하여 장기적으로 사면분야에 대한 프로그램 개발 및 전문가의사결정 시스템에 대한 연구를 지속적으로 추진하고 있다.

현재 국내의 사면안정기술은 초기의 시작단계로서 보다 적극적인 사면보강공법의 적용과 사면보강을 위한 신기술의 개발이 요구되며 국가적인 차원에서 사면위험도평가도 작성 및 붕괴지역에 대한 데이터 베이스구축과 같은 체계적 접근과 예방차원에서 사면안정 접근이 요구된다.

3. 현황 및 문제점

사면의 안정은 크게 지반의 특성에 따라서 토사지반과 암반지반으로 구분할 수 있고 도로, 철도, 택지개발 등의 시공시 발생하는 인공사면과 자연적인 상태에서 산사태와 같은 지반거동을 일으키는 자연사면으로 구분할 수 있으며 산사태의 경우 주로 강우에 의하여 발생하는 특징을 나타낸다.

사면안정 연구에는 그 지역 지반 및 기후 특성에 맞는 연구가 수행되어야 하므로 외국에서 개발된 기술이나 기법을 그대로 적용하는 것은 문제점을 야기시킬 수 있는 소지가 있다.

더욱이 우리나라와 같이 인구에 비하여 가용 토지면적이 부족한 나라에서는 사면안정 기술은 국토개발이나 국토보존 측면에서 핵심기술로 발전되어야 함에도 불구하고 지반특성에 대한 독자적인 분류기준이 미흡하고 지반의 해석에서도 지반정수의 선정이나 지반특성의 이해부족으로 인하여 많은 설계 및 시공에서 표준경사가 적용되는 것은 비합리적인 측면이라 아니할 수 없다.

최근에 이르러서 지반의 특성 즉 토질이나 암반의 공학적 특성에 따라 사면안정 해석 기법을 달리하는 설계가 보편화되고 있는 점은 바람직한 방향이라고 할 수 있다.

붕괴성 또는 진행성 파괴지반으로 구성된 사면에서의 불안정 원인은 크게 외적인 요인인 침식에 의

한 기하학적 사면형태변화, 하중의 증가, 충격진동, 강우 등과 내적인 요인인 동결융해, 풍화작용 지하수 침투에 의한 침식과 파이핑 현상으로 대별되며 사면안정공법은 이러한 원인을 제거하거나 억제하는 역할을 하여야 할 것이다.

따라서 사면불안정 요소의 원인규명과 대책공법 선정은 실과 바늘과 같이 서로 뿔래야 뿔 수 없는 관계로서 병을 치료하는 의사가 원인을 알고 치료에 임하여야 하는 것과 마찬가지로 사면안정 대책을 수립하기 위해서는 사면의 불안정 요인을 파악하고 적절한 조사 및 시험을 통하여 지반안정 해석에 필요한 지반정수를 구하여 사면파괴 현상에 알맞은 해석 기법을 적용하여야만 올바른 해석이 될 수 있을 것이다.

이러한 해석을 기초로 하여 적절한 대책공법이 제시된다면 과다 및 지반재해를 초래하는 경우를 막을 수 있을 것으로 판단된다.

3.1 지반분류 기준

우리의 현실은 사면안정 해석이나 설계를 위한 지반분류 기준도 정립되어 있지 않은 상태로서 인공사면의 지반분류는 발파암, 리핑암, 토사 등으로 분류되거나 경암, 연암, 풍화암, 토사로 분류되는 등 수치해석이나 정량적 분석에서 요구되는 지반정수의 획득이 용이하지 않게 이루어져 있는 실정으로 우리나라의 지반특성 및 기후조건에 맞는 분류기준이 우선적으로 요망되고 있다.

80년대까지 국내 토목업계에서는 “경암 밑에 연암 없다”는 식의 잘못된 인식으로 인해 지반조사 및 분류에 있어 경암 하부의 단층대, 풍화절리면, 협재된 점토층 등 보다 중요한 정보를 놓치는 실수가 있었다. 최근 들어 지층의 수직단면에 대한 물리탐사 기법의 적용, 시추공내 영상처리장치를 통한 직접 확인 등을 통해 체계적인 조사와 분류 방법이 도입되고 있다.

3.2 지반정수 산정

사면해석을 위한 지반정수 산정에서는 현장시험이나 실내시험에서 간과해서는 안될 사항으로 크기로 인한 영향(Size Effect)과 형태로 인한 영향(Shape Effect)에 의한 시험치의 적용성의 검토가 매우 필수적이다. 토사사면과 같이 구성입자의 크기가 작은 경우에는 시험치의 적용에서 큰 오류가 발생하기 어려우나 암반사면과 같이 불연속면의 연장성이 큰 경우에는 블록의 크기나 형태에 따라 큰 차이를 나타낼 수 있다. 특히 우리나라와 같이 지질학적으로 오래된 지층이 많이 분포하는 지반조건을 가진 암반사면에서는 조산운동이나 습곡작용 등으로 불연속면이 많이 발달하여 암반내에 발달한 불연속면에 대한 방향성, 연속성, 간격, 충전물의 종류 및 공학적 특성 등이 정확하게 조사된 후에 사면의 불안정성에 영향을 주는 인자들에 대한 정량적인 시험자료가 제시되어야만 사면해석에 필요한 지반정수를 지반조건에 맞게 산출할 수 있을 것이다.

3.3 사면의 안정성 해석

최근까지 사면의 안정성 해석에서는 토사사면 해석 프로그램들이 지반의 특성과는 무관하게 사용되어 온 경향이 있었으며 이는 조사자료의 미흡, 시험자료 수집의 한계, 개개의 사면거동 특성에 대한 이해부족 등에 기인하였다고 볼 수 있다.

쉬운 예로 사면해석에서 사용하는 지반정수 중 내부마찰각, 점착력, 변형계수 등 역학적 특성을 파악하기 위해서는 토사지반의 경우 흐트러지지 않는 시료의 채취가 매우 필수적이고 그렇지 못한 경우 현장전단시험이 이루어져야 하나 실제 현장조건상 매우 어려운 실정이다.

암반사면의 경우 전단강도의 영향을 주는 불연속면의 거칠기는 크기영향이 커서 실내시험이나 현장시험에서 이를 얻어 내는 것이 한계가 있다. 따라서 한계점을 내포한 지반정수를 가지고 지반안정해석을 시행하는 것도 역시 한계가 있는 것은 당연한 귀결이라고 할 수 있다.

암반사면 해석에는 과거 사용하던 평사투영법

(Stereographic Projection)의 적용 외에 지반분류에 의한 RMR을 이용한 SMR방법이 최근 많이 활용되고 있고, 블록이론에 의한 암반의 안정성 여부를 판단하는 연구, 수치해석적 방법으로는 개별요소법(Distinct Element Method)에 의한 안정성 해석 연구가 꾸준히 이루어지고 있다.

4. 사면안정 대책기술

경사지 사면의 안정을 위한 사면안정공법은 사면에서의 활동이나 우수에 의한 침식을 막아주는 기본적인 역할 및 낙석으로 인한 부수적인 피해예방을 위하여 시행하는 공법 등으로 나눌 수 있다.

4.1 배수공법

표면침식을 방지하기 위하여 시행하는 배수공법은 크게 지표수 배수와 지하수 배수로 구분할 수 있으며 그동안 우리나라에서는 지하수 배수공법의 활용은 미비했다. 배수공법은 배수로를 이용하여 강우에 의한 빗물을 유도하는 역할이 가장 우선적으로 요구되며, 또한 표면에서의 침투를 방지하여 사면안정을 꾀하게 된다. 최근에는 대절토 사면에서 수평보링에 의하여 지하수를 유도배수하는 수평배수공법의 사용도 빈번해지고 있다.

1994년에 발간된 한국지반공학 발자취에 수록된 배수공법의 설명은 아래와 같다. 지표수 및 지하수의 조절은 토체내의 함수비와 간극수압을 감소시켜 예상 가능 활동면을 따라 작용하는 전단 저항력을 증가시키고 흙의 전체중량을 감소시킨다. 따라서 사면내의 배수처리에 대한 대표적인 방법은 다음과 같다.

- 불안정한 토체를 절토하여 자갈로 채워 배수로를 따라 흐르게 하는 Gravity Flow Slots
- 수평 배수 (Relief Wells의 역할을 하는 Boreholes 또는 성토제 안에 설치된 배수층)
- 수평 배수구, 터널 또는 배수층의 역할을 하는

- 자연대수층과 연결된 연직 배수공
- 양수에 의해 지하수위를 저하시키는 방법(웰포인트 공법, 용출정(Eductor Wells)공법, 심정호 공법)

자연사면은 균질한 경우가 드물어 간단한 방법에 의해 확실한 배수설계가 어려운데 양질의 시공을 위해서는 지질학적 구조물의 이해와 배수체계의 올바른 선정이 중요하다. 간단한 시공사례를 조사해 보면 직경 1.5m의 대구경 Hole을 지표면으로부터 수평 Borehole이 있는 깊이까지 천공하여 중력을 이용하여 배수를 시키는 것이다. 이 방법은 사면을 가로질러 뚫어 나가는 고속도로용 성토사면의 안정공법으로 1988년 Collotta에 의해 채택된 바 있다.

또한 1991년 Ellitor에 의한면 용출정(Eductor Wells)을 이용한 배수공법이 Sydney 남쪽 Coledale에서 철길의 안정화 공법으로 사용된 바 있다.

혁신적인 천공기술을 사용한 수평배수구의 전형적인 시공방법은 1986년 Jedlicka에 의해 제안된 바 있다. 체코에서는 대규모 활동영역 선단부근에 부채꼴 모양으로 80-140mm 길이의 6개 Borehole을 설치하여 2-8m의 지하수위를 감소시켰다. 이 배수공법의 초기 유출량은 300-400 l/min였으나 배수구 설치 후 약 2개월 후에는 평균 10-40 l/min로 감소되었다.

4.2 사면경사 완화

사면경사 완화방법은 지반자체의 전단강도를 이용하여 활동파괴 요인을 사전에 제거하는 방법으로서 대부분의 사면에 적용되고 있고 또한 기술자들이 쉽게 접근하는 방법이며 조사의 정밀도 및 지반정수 활용이 적절할 경우에 효과가 큰 장점을 가지고 있으나 일률적인 표준구배의 적용은 문제점을 내포할 수 있다.

우리나라는 특히 산악지형이 많으며 표토의 깊이가 같지 않고 절개시 암반이 노출되기 쉬운 지질적 요인이 있는 특성을 가지고 있으므로 사면경사 완화

공법의 적용시에는 암반내에 존재하는 불연속면의 조사 및 시험 등에 매우 유의하여야 하며 암반내에 존재하는 단층면과 같이 주활동면으로 작용하는 불연속면에 대한 조사에서는 단층점토의 전단특성 등도 간과해서는 안될 것이다.

4.3 표면 보호공법

배수공법과 아울러 가장 일반적이고 또한 모든 사면에 적용하는 공법으로서 그 종류와 방법은 매우 다양하게 발달되어 왔다. 표면보호공법의 종류는 사면의 구성여부에 따라 달라질 수 있으며 사면의 경사도에 따라서 공법의 적용을 달리할 수 있다.

토사사면에서 가장 기본적인 방법은 식생에 의한 방법으로 종자를 사면에 심는 종자뿌기나 잔디토설 등이 있으며, net공법과 mat공법을 병용 사용하는 방법의 경우 자연친화적인 재료를 활용함으로써 식생이 자라서 표면보호 역할을 할 수 있을 때 net나 mat가 거름으로 활용됨으로써 식생을 촉진시키는 방법으로 최근 각광을 받고 있다. 이러한 식생방법은 토종식물에 대한 연구와 종자 개발없이 외래종에 의한 식생으로 쉽게 적용시킬 경우 문제점을 일으킬 수 있는 소지가 많아 우리의 기후조건 토양조건에 맞는 토종을 보다 광범위한 종류로 개발함으로써 우리 풍토에 적합한 식생공법으로 발전시킬 수 있을 것이다.

소규모 사면에서 적용하는 콘크리트 제품을 이용한 격자 블록공 등은 식생방법 및 억지공법과 병행할 경우 효과가 있으나 다짐불량이나 우수에 의한 침식 등으로 많은 문제점을 나타내는 경우가 허다하므로 적용시 현장품질관리가 매우 중요한 과제이다.

암반사면에서 사용하는 슛크리트 분사방법이나 콘크리트 반침방법 등은 환경친화적인 측면이나 미관측면에서 크게 환영받지는 못하고 있으나 효과면에서는 비교적 좋은 평가를 받는 방법으로 사면특성에 알맞게 적절히 사용한다면 효과적인 방법이라 할 수 있다.

4.4 억지공법

사면에서 발생하는 전단파괴나 활동의 억지를 위하여 강성이 큰 말뚝이나 쏘일 네일 등을 이용한 억지공법은 천공장비의 발달과 더불어 경제적이고 효과적인 방법으로 절토사면에서 특히 활용도가 높아지고 있는 추세이다. 재료로서는 콘크리트 말뚝, 강관 및 H형강 말뚝, 현장타설말뚝 등을 설치하여 그의 활동억지 효과에 의해 활동 토피를 역학적으로 저항하는 공법이다. 활동력에 따른 전단 및 휨에 대해 말뚝이 안전하게 유지되어야 하며 지반의 아칭효과를 고려하여 말뚝간격이 정해진다.

또한 쏘일 네일의 경우 소규모 췌기파괴나 암괴의 분리를 방지하는 역할을 함으로써 사면형성시 상단에서부터 체계적으로 적용할 경우 매우 효과가 큰 공법으로 최근 그 활용도가 높아지고 있다.

활동면의 파괴전이를 방지하기 위한 앵커공법은 과거 많이 활용되어 왔으나 최근에는 그 활용빈도가 줄어들고 있는 실정으로 토사사면에서는 스트랜드를 주로 사용하였고 암반에서는 인발력을 키운 봉상의 록 앵커가 개발되어 사용되고 있다.

4.5 낙석방지책

낙석(落石)은 그 규모가 적음에도 불구하고 도로나 철도 등의 절토사면에서는 안정대책 수립시 매우 중요한 요소가 된다.

낙석은 일반적인 사면붕괴와 같이 점진적인 징후를 보이기보다는 개별적이고 불규칙하게 발생하므로 예측하기가 어렵고 도로에서의 교통량 증가 등으로 인해 낙석발생시 인명피해나 그밖에 여러 가지 위험을 줄 수 있는 기회가 예전에 비하여 현격히 증가하고 있다.

낙석방지를 위한 망을 설치하거나 낙석방지책을 설치하는 것은 급작스런 위험을 예방하는데에 효과적이거나, 동적인 하중조건이나 튕겨서 떨어지는 낙석의 떨어지는 지점을 예측하지 못하고 낙석방지책을 설치할 경우 심한 손상을 입을 수 있고 그 역할을 제대로 하지 못하는 경우가 발생하기도 한다.

따라서 사면내의 부석이나 낙석이 예상되는 암괴는 제거하는 것이 바람직하나 그렇지 못할 경우 인공쌓기 등을 설치하여 낙석의 발생을 예방하는 기법이 사용되기도 한다.

5. 사면안정기술의 발달전망

사면안정기술은 개개의 사면이 특성을 달리하고 정형적인 형태를 가지고 있지 않으므로 다양한 형태의 기술개발이 꾸준히 이루어지리라 예견되고 있고 실제 최근에도 많은 새로운 시공법 등의 개발이 발표되고 있다.

크게는 조사방법 및 현장시험방법의 다양화, 사면안정 대책기술의 발전, 유지관리기법의 개발에 따른 계측방법의 다양화, 기존사면의 유지관리기법, 재해방지차원에서의 산사태 방지를 위한 강우량과 연관된 통계기법 등 매우 다양한 형태의 기술이 보고되고 있다.

그 중에서 대책기술면에서 가장 획기적인 면은 환경친화적인 기술의 발전으로 볼 수 있다. 경사면의 자연환경을 조망적인 관점에서부터 식물의 생육에 적합한 환경으로 인식하여 인간을 포함한 생태계의 연결고리로서 여겨야 한다는 것이다.

본고에서는 사면의 관리체계화에 초점을 맞추어 계측과 정보화 시공, 사면의 유지관리 시스템에 대하여 살펴 보고자 한다.

5.1 계측과 정보화 시공

지반의 거동을 계측을 통하여 판단하는 데에는 많은 노력과 비용이 들어가는 문제이므로 쉽게 접근하기 어려운 문제였다. 지반의 실제 거동 상태를 알면서 시공해야 하는 정보화 시공의 발달과 더불어, 지반해석이 한계를 나타내면서 실제 지반거동을 예측하기 위한 역해석기법 및 이를 위한 계측이 활발해지고 있다. 최근 발달한 전자 및 컴퓨터기술의 발달로 이러한 추세는 더욱 활성화될 것으로 보인다. 최

근 일본의 경우 산사태나 지진발생의 예측기법으로 AE(Acoustic Emission) 방법의 적용이 매우 활발히 연구되고 실용화되고 있으며 최근 국내에서도 적용한 바 있는 TDR(Time Domain Reflectory) 방법 등이 도입되어 정성적인 판단에서 정량화시키는 단계로 가고 있다고 볼 수 있다. 이태리, 미국, 일본 등에서 채택되고 있는 위성항법 시스템(GPS: Global Positioning System)을 이용한 지반거동의 자동계측시스템도 성공적으로 도입되고 있다.

사면 안정해석의 한계, 나아가 조사의 한계를 계측자료에 의하여 보완하고, 안전하고 경제적인 시공을 하고자 하는 정보화 시공의 개념자체는 오래 전부터 제창되어 왔으나 이것이 실용화되는데 유연하게 연결할 소프트웨어나 시스템이 뒤따르지 못한 현실의 문제점이 있었다. 최근 들어 컴퓨터 기술의 발전으로 이제 지반구성의 다양성은 지반의 생성내력을 우선 이해하고, 지반의 공학적 특성에 대해 충실한 이해를 바탕으로 한 계측자료의 종합적 분석을 통해 점차 극복할 수 있게 되었다.

5.2 유지관리 시스템

현재까지 우리나라에서는 사면을 하나의 구조물로 관리하는 체계가 갖추어져 있지 않은 상태이고 시설물의 안전진단시에도 문제가 발생할 경우나 문제발생이 예상될 경우에만 안전진단을 수행하므로 유지관리 시스템에 필요한 기초자료가 크게 부족한 실정이었다.

최근 한국건설기술연구원과 한국도로공사의 도로연구소를 중심으로 도로변 절개지에 대한 유지관리 시스템 개발이 진행되고 있어 국내 사면안정기술계에 큰 기여를 할 수 있을 것이다.

한국건설기술연구원의 경우 지리정보시스템(GIS)을 이용한 도로절개면 유지관리 시스템은 여러 공단의 자료와 절개면 특성을 나타내는 속성자료 및 이와 관련된 화상정보 등을 포함한다. 또한 유지관리 시스템은 위험사면으로 등록된 290개 절개면(1차 년도)을 대상으로 현장조사를 실시하여 절개

면과 지반조건과의 상호연관성 분석, 파괴가능성과 위험성 평가, 주변환경을 고려한 대책안 제시 등을 통한 효과적인 유지관리가 가능하도록 개발되어 향후 도로절개면 관련 설계기준 제시, 위험등급지도 (Hazard Zonation Map) 작성 등의 유지관리 도구 작성을 위해 활용되리라 기대된다.

한국도로공사의 유지관리 시스템은 과학적인 사면 유지관리를 목표로 고속도로 주변의 모든 사면에 대하여 식별번호를 부여하고 체계적으로 관리함으로써 사면붕괴에 대한 위험을 줄이는 목적으로 시스템 개발에 착수하였다. 한국도로공사 도로연구소 시스템 개발의 근간은 고속도로 지형 유지관리시스템 (Highway Geographic Information System, HGIS)과 사면유지관리시스템(Slope Management System, SMS)으로 구별될 수 있다.

HGIS의 기능은 위치정보 제공(교통사고, 교량, 터널 등을 노선도상에서 조회), 시각적인 지형 제공(주변지형과 연계한 도로 및 시설물 조회), 도형자료와 속성자료의 통합분석(사고다발, 취약지점 등을 조회), 도형자료와 속성자료의 연계활동, GPS 주행 차량의 위치표시 등 동적으로 변하는 실세계 정보 표현, 공간 분석기능 제공(I/C 인접시설물 검색) 등으로 구성되어 있다. SMS는 일반현황, 사면현황, 사면의 지질학적 조건, 사면의 공학적 조건, 사면안정성 분석, 사면의 붕괴이력, 사면안정 대책 등에 대하여 데이터 베이스를 구축하는 것을 근간으로 하고 있다.

이러한 양 기관의 절토사면 유지관리시스템은 사면관리가 체계적으로 이루어지고 있는 일본 및 홍콩과 같은 국가들과 같이 재해방지 및 예측이라는 측면에서 접근하고 있어 그 성과가 매우 기대된다.

6. 결론

새로운 미래니엄을 맞아 우리나라 기술계, 그중 지반공학계는 과거에 비해 엄청난 발전을 했다고 다들 자부하게 된다. 10년 전과 비교해보면 첨단장비

를 사용하여 사면활동면을 직접 확인하는 정도의 기술에 이르게 되었고 대규모 불안정 사면에 대해서는 전자장비를 이용한 자동측측시스템을 운용하는 사례도 증가하고 있다. 사면안정공법에 있어서도 외국에서의 성공적인 공법들이 이제 한 번 이상씩은 소개되고 적용되고 있으며 전국적 차원의 유지관리 시스템의 완전한 운용도 머지 않았다고 판단된다.

사면안정기술에서는 지반공학의 다른 분야와는 다른 뚜렷한 특징 (강우, 지하수흐름 등의 자연조건에 의해 대단히 큰 영향을 받는다는 점)이 있다. 이로 인해 그동안 자연재해로만 인식되었으며, 사면안정 사전방지 대책에 대한 국가적 차원의 행정이나 연구가 부족하였다. 특히 해마다 여름철에 반복되는 산사태의 피해기록은 여전히 후진국 수준이므로 사전 방지대책을 위해 관련 기술을 더 개발하여 (특히 산사태 위험지역 사전인지 및 평가지도) 장기적인 관리가 필요하다. 또한 그동안 임학분야에서 따로 연구되고 있는 나무뿌리에 의한 지반강도 증가효과도 지반공학분야와의 협동연구를 통해 국내 사면에 적용시킬 필요성이 있다.

새 천년에는 국가기관끼리, 또는 대학연구자들끼리 사면정보를 공유하는 공개적 정보시스템을 개발하고 이를 통해 보다 체계적인 사면안정기술을 개발하여 우리 삶의 질을 복지위주로 개선시키는데 기여할 것이다.

회비 납부 안내

학회 사무국에서는 연중 수시로 회회비를 수납하고 있어 오니 회원여러분의 적극적인 협조를 부탁드립니다. 문의사항이 있으면 사무국으로 연락하여 주시기 바랍니다.

① 은행 무통장(타행) 입금

한국주택은행 계좌번호: 534637-95-100979

예금주: 한국지반공학회

※ 입금시 보내시는 분의 성명, 회원번호, 송금명세를 기입해서 납부하시기 바랍니다.