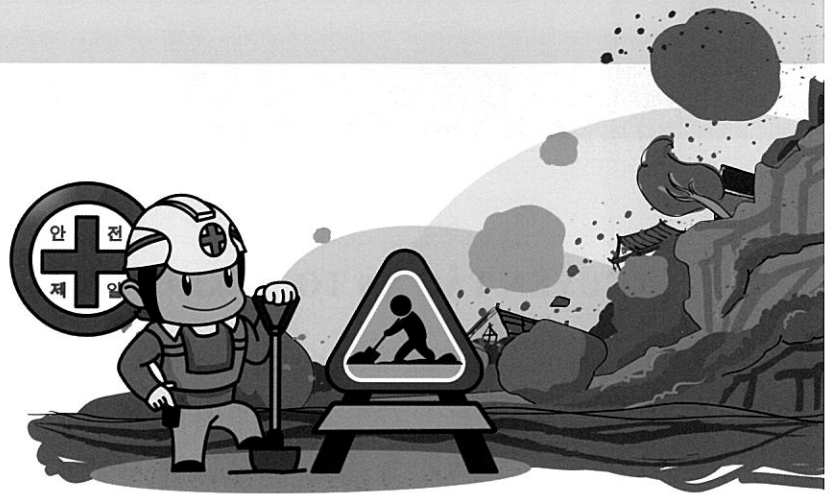


해빙기 사면안정

대한산업안전협회 울산지회 최여균 계장



1. 개요

우리나라는 평지를 제외하고 대부분이 산지이며 더구나 삼면이 바다로 둘러싸여서 계절풍대에 위치하기 때문에 우기 및 태풍 시 등의 강우량이 극히 많아 자연재해의 위험에 시달리고 있다. 또한 도로, 철도, 토지조성공사 등에 수반하여 설치된 사면은 그 연장, 면적이 크기 때문에 자연재해를 받기 쉽고 귀중한 인명의 손실을 비롯하여 가옥의 손실이나 도로, 철도 등의 교통마비를 초래하여 산업, 국민생활에 불안을 가져오는 경우가 많다. 특히 최근에는 험준한 산악지에도 건설의 장이 확대되고 있으며 사면도 종래의 단순한 것과는 달리 복잡화되어 고도의 기술이 요구되고 있다.

사면의 조성에는 그 지형, 자연환경현장조건, 경비 등을 고려하여 항구적인 안정 및 경관의 확보를 도모하는 사면안정공법이 실시되어야 한다. 더구나 사면안정 공법에는 다수의 재료, 시공법이 있으며 그것들의 특질을 살린 효과적인 적용에 노력하는 것은 설계기술자의 사명이라고 할 것이다.

II. 사면의 일반사항

1. 사면의 정의

사면은 크게 자연사면과 인공사면으로 크게 분류할 수 있는데, 이중 인공사면은 성토사면과 절토사면으로 나눌 수 있다. 성토사면의 경우 정해진 성토 재료로 요구되는 단면을 축조해야 하므로 재료의 구분이 명확하며, 용도에 따라 도로개설을 위한 노반성토사면, 제방이나 댐의 자체사면,

기타 부지 확보를 위해 성토한 사면 등을 들 수 있다. 이중 절토사면은 자연적으로 이루어져 있는 사면을 깎아서 만든 것으로 흙과 암석이 불규칙하게 뒤섞인 불균일한 지층을 이루기도 하고, 때로는 암석이 풍화되거나 단층, 절리 등이 잘 발달되어 있어서 상당히 복잡하게 구성을 갖는 시설물로 용도에 따라 도로, 철도, 항만, 댐 그리고 건축물의 부대시설로서의 절토사면을 들 수 있다.

2. 사면의 구성

가. 상부자연사면

상부자연사면은 자연사면과 절토구간의 경계인 사면 경계선을 중심으로 상부의 자연경사 지반을 말한다. 상부자연사면은 절토사면의 안정성에 큰 영향을 미치는 집수지형 여부를 결정하며, 붕괴의 전조현상인 인장균열이 관찰되며, 인공시설물의 분포 여부와 단면 경사의 완급에 따라 대책공법 결정에 영향을 주는 절토사면의 주요 구성요소 중에 하나이다.

나. 절토사면

자연사면을 절취하여 노출시킨 경사면 지반을 절토부라 한다. 절토부의 각 부위별 명칭은 절토사면의 전방에서 사면을 바라보았을 때를 기준으로 하며, 절토사면의 종단방향에 따라 좌측부, 중간부, 우측부, 상하 위치에 따라 상단, 중단, 하단으로, 우측부의 끝점은 시점부, 반대 위치는 종점부로 칭한다. 또한, 절토사면과

상부지연사면과의 경계를 사면 경계라 하며 이 중 제일 높은 곳을 최상부라 한다.

다. 이격부

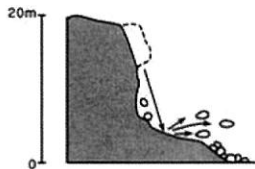
이격부는 절토사면의 상·하단부에서 주 시설물까지의 공간을 말한다. 특히, 절토사면 하단부에 위치한 이격부는 낙석이나 붕괴발생 시 충격완화를 위한 여유 공간을 제공하며, 보수보강을 위한 공사 시행 시 작업 공간 및 사면시설 설치 공간 등의 기능을 가진다.

※ Varnes(1978)의 사면 분류

Varnes(1978)는 사면이 이동하는 형태, 속도 등 동역학적 메커니즘에 따라 사면 붕괴를 분류하여 지반 공학적 관점에서 사면활동을 낙하, 전도, 활동, 퍼짐 및 유동 등으로 나누고 이러한 활동 형태가 2개 이상 겹치는 것을 복합 활동으로 구분하였다.

① 낙하(fall)

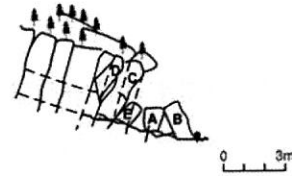
낙하는 전단변위가 거의 발생하지 않는 상태에서 급한 경사면의 흙이나 암석이 분리되는 것을 시작으로 주로 단열 구조에 의해 이탈된 암반사면의 구성 물질은 사면의 노출된 자유면에서 떨어지거나(falling), 튀기거나(bounding) 또는 구르는(rolling) 형태로 이탈하여 사면의 하부로 하강하게 된다.



② 전도(topple)

전도(toppling)는 중심 아래의 점 또는 축에 대한 흙 또는 암괴로 구성된 사면의 전방회전으로 주로 중력에 의해 발생한다. 사면 상부에 인장균열 등이 존재하여 물이 침투한 경우, 변위를 촉진시키는 요인이 될 수도 있고, 물질상으로는 암반의 경우가 가장 많은 가능성을 내재하고 있

나, 경화된 토사의 경우에도 발생이 가능하다.



③ 활동(slide)

활동(slide)은 파괴면과 크게 발달된 전단변형에 의해 주로 발생하는 흙 또는 암괴의 하부이동으로 발생한다. 초기에는 원지반에 균열이 발생하는 정도로 시작되며, 활동이 진전되면서 잠재적인 파괴면을 따라 변위가 일어나게 된다. 마지막 단계에서는 붕괴가 발생된 부분을 따라 원지반과 파괴면 사이에 뚜렷한 분리가 나타나게 된다.



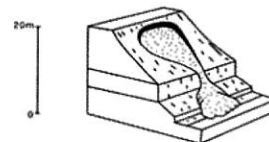
④ 퍼짐(spread)

퍼짐(spread)은 하부의 연약한 물질 속으로 점성토 혹은 단열이 잘 발달하는 암석 블록이 침하(subsidence)하면서 발생하는 인장의 형태로 정의된다. 따라서 파괴면이 강한 전단면으로 작용하지 않으며, 주로 액상화(liquefaction) 혹은 연약 물질의 유입으로 파괴가 발생한다.



⑤ 유동(flow)

유동(flow)은 공간적으로 연속적인 운동에 의해 발생하므로 전단면이 매우 짧은 기간에 형성되었다가 소멸된다. 변위를 발생시키는 물질들의 운동 속도 분포는 점성이 있는 액체와 비슷한 유동을 보인다.



III. 사면의 붕괴 원인

1. 수리적 원인

가. 기후적 수리(집중강우, 동결융해) : 집중강우는 간극 수압의 증가, 활동력의 증가 및 지반강도의 저하 등을 유발하여 절토사면의 주요 파괴 요인이 된다.

나. 인위적 수리(전답, 과수원 등) : 일반적으로 절토사면 상부에 위치하는 전답은 강우시지표수의 침투를 용이하게 하는 특징이 있다. 침투된 지하수는 활동력을 증가시키고, 절토부 방향으로의 유선 형성 등을 통해 절토사면의 안정성을 저하시킨다.

다. 지형적 수리(계곡부) : 절토사면 상부에 위치한 계곡부 역시, 지표·지하수의 지속적인 공급을 통해 지반강도를 약화시키며, 계절변화에 따른 동결융해로 지반열화를 가속시키며 절토사면의 안정성을 저하시킨다.

라. 급격한 지하수 용출 : 평상시 절토사면 지하수의 급격한 유출량 변화나 용출수 탁도의 증가가 감지되면 이는 붕괴의 전조현상일 수 있다.

2. 지질적 원인

가. 단층 : 단층은 과거 부근의 지반이 심한 변형작용을 받아 지반이 교란, 파쇄 되었음을 의미한다.

나. 습곡 : 습곡은 지층이 심한 지중압력에 의한 변형작용으로 휘거나 접히는 현상을 말하며 이 과정에서 수반되는 심한 전단작용과 변형작용으로 인해 암반은 약화된다.

다. 암맥 : 절토사면에서 기존 암에 층리나 엽리 등의 불연속면을 따라 다른 종류의 반심성암체가 용융상태로 뚫고 들어 온 것을 암맥이라 한다. 차별풍화과정을 거쳐 먼저 열화될 경우 암맥이 최초 붕괴면으로 작용한다.

라. 절리 : 높은 지압을 받던 암반에 응력해방이 이루어지거나 기타 지질환경에 따른 온도, 압력변화에 의해 여러 형태의 절리가 발생된다. 절리의 방향이 사면의 방향과

불리하게 형성되는 경우 붕괴원인으로 작용한다.

마. 엽리/편리

변성암에서 광물들이 여러 가지 지질환경에 따라 일정방향으로 배열되거나 재결정되어져 특정한 방향성을 가질 때 이를 엽리, 편리라 한다.

3. 인위적 원인

60, 70년대의 급속한 경제 발전에 따른 도로건설 과정에서 산악지형에 위치한 도로의 경우 단기간 내에도 도로를 개설할 목적으로 무리한 화약발파를 실시하여발파균열에 의한 낙석과 대규모 붕괴위험성을 가진 절토사면이 다수 분포한다. 이러한 절토사면들은 계획, 설계단계에서 지질, 지형, 수리적인 현장여건을 고려하지 못하였으며 일률적인 설계기준을 적용하여 시공 하였다. 이러한 부실설계/시공 외에도 절토사면에대한 유지관리가 전무하거나 효율적이지 못하여 사면 붕괴를 예방하지 못하는 경우도 있다.

IV. 사면 대책공법별 특성

1. 절토공법

절토공법은 지반활동토괴 가운데 활동하려는 토사나 암반을 제거해서 활동하려는 하중을 경감함으로써 지반활동을 안정화시키는 공법으로 확실한 안정성을 확보할 수 있는 공법이기도 하다. 그러나 이미 절토공법을 적용하였으나, 몇 번씩이나 다시 절토를 하거나, 이 밖의 사면안전성공법을 적용하는 예도 많고, 반드시 절토공법을 적용한다고 해서 사면안정성을 영구적으로 확보하는 것이 아니다. 또한 대규모의 지반활동인 경우 굴착량이 막대해지고, 경제성, 시공성면에서 단점이 있는 것이 단점이다.

토질조건	사면높이	경사기준			
		건설교통부	한국도로공사	한국토지공사	대한주택공사
토사 (사질토, 점성토)	5m 이상	1:1.5	1:1.5	1:1.5	1:1.5
	0~5m	1:1.2	1:1.2	1:1.2	1:1.5
토사 (사질토, 칠성토)	5m 이상				1:1.5
	0~5m	1:0.7	1:1.0	1:1.0	1:1.2

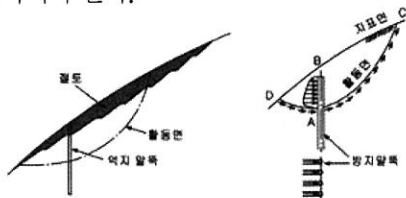
발파암	연암	5m 이상	1:0.5	1:0.5	1:0.5	1:1.0
		0~5m				1:0.8
	경암	5m 이상				1:1.0
		0~5m				1:0.8

〈각 기관별 절토사면표준경사기준〉

2. 보강공법

가. 말뚝공법

말뚝공법은 〈그림 1〉과 같이 사면 활동토괴를 지나 부동지반까지 말뚝을 일렬로 설치함으로써 사면의 활동하중을 말뚝의 수평저항으로 지지지반까지 전달하는 공법이다. 본 공법은 역지효과가 커서 지반활동의 역지 목적으로 많이 시공되고 있다. 말뚝으로 하여 역지효과를 최대한 발휘하기 위해서는 말뚝에 작용하는 수평하중보다 말뚝 자체의 강도가 커야만 활동하지 않고 말뚝의 역지 효과를 기대할 수 있다. 또한, 말뚝의 거동은 말뚝 자체의 특성과 주변지반의 조건에 따라 달라지므로 말뚝에 의한 지지효과를 최대한 발휘토록 하기 위해선 말뚝의 설치위치, 간격, 직경, 강성 등을 적절하게 선정하여야 한다.



〈그림 1〉

나. 앵커공법

앵커공법은 활동면의 연직응력을 증가시키고 전단활동력을 감소시킴으로써 불안정한 사면의 안정성을 높여준다. 전단활동력의 감소는 보강앵커를 긴장할 때, 사면의 활동방향과 반대방향으로 분력이 생기기 때문에 발생하며, 이를 위해서는 앵커 보강방향이 전단면에 직각인 방향보다 위쪽을 향해야 한다.

다. 락볼트 공법

락볼트(Rock Bolt) 공법은 사면에 활동 가능한 소규모

암반블록이나 부서(뜯돌), 전석이 있을 때 직경 25mm, 길이 6정도의 철봉을 안정한 암반에 정착시키고 록볼트 전체를 그라우팅함으로써 암반의 전단강도를 증가시키는 보강공법이다. 이 공법은 다양한 절리, 전단파쇄대의 블록이 조합되어 썩기활동이 예상되는 지역, 암반이 뜬 상태로 되어있어 기반암에 고정시키거나, 평면 파괴가 우려되는 지역에 적절하다. 필요 시 낙석방지망과 병용하여 시공할 수 있으며 절토사면의 암반이 연약할 경우에는 숏크리트 등을 타설한 후에 록볼트를 시공한다.

라. 소일네일링 공법

Soil Nailing 공법은 NATM(New Austrian Tunneling Method)과 동일한 개념의 원위치 지반보강공법으로 유럽 및 북미지역과 일본에서 철도 및 도로인접사면보강, 지하시설물 또는 고층빌딩의 기초를 위한 굴착지보체계 등으로 사용되어 왔다. 본 공법은 붕괴위험이 큰 자연사면이나 굴착에 의한 인공사면(건설공사사면)의 안정성을 확보하기 위한 공법으로 상부지반으로부터 내려오면서 지반이 완전히 이완되기 전에 Nail(철근보강재)과 전면판을 설치하여 지반의 전단 및 인장강도를 증가시킴으로써, 사면의 안정성을 확보하여 보강된 원지반이 중력식 옹벽과 같이 적용하도록 하는 원리로서 최근에 다양하게 이용되고 있다.

마. 옹벽공법

옹벽은 사면의 보호나 급경사 혹은 수직으로 성토를 시공하는 경우 등에 구축되는 시설물로서, 옹벽의 자체 중량이나 옹벽상의 토사 중량에 의한 토압에 저항하고 있다. 옹벽은 도로, 하천, 항만 등 대부분의 시설물에 사용되는 사용 빈도가 높은 시설물이다. 그러나 옹벽은 그 자체가 도로나 택지 등의 건조물 중심이 되는 경우는 적어 설계에서 경시되는 경향이 있는데, 옹벽의

변위나 파괴는 도로 철도 주택 등에 손상이 되므로 확실히 설계하여야 한다.

3. 배수공법

일반적으로 사면 붕괴는 물이 직접적인 원인이 되어 일어나는 일이 매우 많으며, 그 붕괴 형태는 표면수에 의한 침식과 침투수에 의한 사면 붕괴로 진행되는 경우가 있다. 이와 같이 수압에 의한 사면의 불안정 요소는 배수공법을 적용함으로써 배제할 수 있다. 즉, 사면 배수공법은 사면에 내린 우수 및 사면으로 유입되는 우수를 배수처리하기 위해 설치하는 것으로 절토부와 성토부 사면 및 사면 끝에 설치되는 배수시설을 이용하여 우수를 기존배수로 또는 하천으로 배수하기 위한 공법이다. 사면 배수시설에는 측구, 도수로, 집수정, 소단 배수시설 등이 있다.

4. 표면보호공법

사면 녹화공은 식물의 생육을 유발시켜 식물에 의한 빗물의 차단과 강우 시 빗방울에 의한 사면의 충격력 완화, 지표수 유하에 의한 수류속도 감소, 식물 뿌리에 의한 토양의 결속력 강화, 표층수의 유입억제 등 사면 침식을 방지하기 위한 목적으로 한다. 더불어, 식물을 주재료로 사용하여 주변 환경과 조화를 이루는 친환경적 공법이다. 그러나 식물뿌리의 생육 깊이에는 한계가 있어, 심층부까지 보강효과가 미치지 않는 한계가 있다. 사면 녹화는 원래 사면의 침식방지 목적으로 행해지고, 초목의 식물을 많이 사용했다. 그러나 최근에는 자연 환경보전, 장애의 유지관리비용의 경감 목적으로 목본을 사용하는 경우가 증가하고 있다.

5. 낙석대책공법

낙석 대책의 기본적인 사고방식으로서 낙석발생 예상 지역의 성격이나 규모, 낙석 발생 가능성, 피해의 빈도나

그 상황 등을 고려하고 낙석 예방공이나 낙석 방호공을 설치하여 낙석에 의한 재해를 최소한으로 제압하도록 노력하는 동시에, 통행 제한 등의 수단도 활용하는 것이 중요하다. 낙석대책은 낙석의 발생을 미연에 방지하거나 발생이 예상되는 낙석을 도로 및 시설물에 도달하기 전에 정지시켜 이용자, 시설물 등을 낙석에 의한 재해로부터 보호하여 도로 및 시설물의 안정성을 확보하는 것을 목적으로 한다. 따라서 낙석대책공 중에서 가장 효과적인 대책은 낙석발생 그 자체를 제지하는 즉, 낙석의 원인이 되는 암괴를 제거하는 등 발생영역에 대한 대책이다. 또한, 낙하에너지가 크게 되기 전에 낙석을 사면상에서 제지하는 사면상 대책도 효과적이다.

V. 유지관리

사면안정을 위해 설치된 구조물이나 시설이 적절한 기능과 안전성을 발휘하도록 정기적으로 점검을 실시하여야 한다. 또한 그 구조물뿐 아니라 주변의 자연사면 상황의 점검도 필요하며 인공적으로 사면조건을 변경하거나, 사면 주변의 토지이용 조건이 변경되는 경우에도 이것들에 대한 정기적인 체크가 필요하다.

- ① 지표수, 지하수의 유출 상황과 그에 따른 침식의 유무
- ② 사면자체의 균열, 돌출, 붕괴 등의 상황
- ③ 식생의 변화 상황(생육불량, 고사 등)
- ④ 뜬돌, 전석의 위치 변동
- ⑤ 토지이용의 변화 등에 의한 배수상황
- ⑥ 절토, 성토사면 등의 파손 상황

이상의 점검은 정기적으로 실시하고, 호우 중이나 호우 후, 또 지진 후 등에도 실시할 필요가 있다. 정기점검과 유지관리가 안정공법의 기능 유지에 중요하다는 것을 명심해야 한다. ☺