

---

---

# 사면의 설계에 관련되는 공학적 문제

---

---

김 상 규  
동국대학교 교수

## 1. 공학적 관점에서 본 사면의 분류와 특성

사면을 분류하는 방법은 여러가지 있지만, 공학적 관점에서 보면 사면을 (1) 자연사면, (2) 절취사면, (3) 인공사면(성토사면)으로 나눌 수 있을 것 같다. 우리나라는 대략 70%가 산으로 이루어졌기 때문에 어디를 가나 경사의 완급은 다르지만 산이나 언덕이 있다. 경사를 이루고 있는 산은 평상시에는 자연상태로 존재하지만 강우와 같은 추가적인 중력의 작용을 받으면 붕괴될 수 있다. 절취사면은 도로개설, 또는 공장 또는 택지의 조성을 위해 자연사면을 더 가파르게 깎아서 만든 사면이다. 이런 사면에서는 정도의 차이는 있지만 항상 활동의 위험성이 존재한다. 도로제방, 하천제방, 또는 흙댐의 상류 및 하천의 경사면은 인위적으로 성토하여 이루어진 사면이다. 이러한 사면은 어떠한 조건에서도 활동이 발생하지 않게끔 그 기울기를 설계하지 않으면 안된다.

다음 절에서는 이와 같이 분류한 사면에 대하여 안정해석 및 설계와 관련되는 공학적인 문제를 더 구체적으로 다루어 보기로 한다.

## 2. 자연사면의 안정해석

자연사면은 강우 또는 지진으로 붕괴될 수 있다. 우리 나라에서는 주로 매년 6월부터 시작되는 집중호우로 인해 자연사면의 피해를 입는다. 우리 나라에서의 자연사면의 피해는 산사태, 토석류, 침식으로 대별할 수 있다. 산사태는 호우로 인해 갑작스럽게 산이 꺾질처럼 베겨져서 산지의 일부가 떨어져 나가는 것을 의미한다. 산사태로 인해 붕괴된 흙덩이는 돌과 나무가 함께 섞이어 산허리 아래로 또는 계곡을 따라 흐른다. 이것을 토석류라고 한다. 토석류는 마치 빙하가 바닥의 흙덩이, 또는 돌덩이를 갈아내는 것처럼 바닥의 흙을 침식한다. 이와 같은 침식은 나무와 풀이 없는 경사진 표면을 수류만으로 발생시키기도 한다.

토질역학적으로 이것에 대한 안정해석을 하려면 한계평형해석 또는 수치해석기법을 써야 한다. 전자는 활동하려는 힘과 저항하는 힘을 비교하여 안전율을 정하고, 이 값이 어느 값, 예를 들면 1.3이상이 되었을 때는 안전하다고 판단한다. 그러나 이와 같이 결정한 안전율은 계산에 사용한 입력자료와 실제와의 차이 때문에 기준값이상이 되었다 하더라도 항상 안정성이 보장되는 것은 아니다. 이런 이유 때문에 사면의 안정성을 확률로 나타내는 방법도 제안되고 있다. 수치해석기법으로서 안정성을 평가할 때에는 적절한 구성방정식을 적용해야 한다. 흙의 구성방정식은 흙의 응력변형거동을 완전하게 표시할 수 있는 것이라야 하는데 아직까지도 모든 경우를 만족시키는 것은 개발되어 있지 않다. 안정성을 보다 더 실제와 맞게 평가하려는 여러가지 노력이 끊임없이 이

루어지고 있지만, 어떤 경우이든, 강우로 인한 자연사면의 안정성을 평가하는 일은 쉽지 않다고 말할 수 있다.

산사태는 주로 강우로 인해 발생되기 때문에 강우강도와 관련시켜 산사태의 발생가능성을 예측하는 방법이 있다. 산사태의 발생은 강우강도는 물론, 지형, 토질과 지질, 지표면의 식생 등 여러 요소에 좌우되기 때문에 이 방법으로 예측기법을 개발하려면 오랜 기간에 걸쳐서 여러 경우에 대한 통계적인 접근이 필요하다. 다행이도 이와 관련되는 연구가 진행되어 현재로서는 다음과 같이 2일누적강우량, 1일강우량, 시우량을 기준으로 표1과 같이 예보방법이 제안되었다.

표 1. 강우강도에 의한 산사태의 예측

	산사태 주의보	산사태 경보
2일 연속강우량(mm)	100	200
시우량(mm)	15	30
일강우량(mm)	80	140

위의 방법은 개별적인 사면에 대한 안정성의 평가방법이 아니고, 어떤 지역 전체에 대한 산사태의 발생을 예보하는 방법으로 쓰일 수 있다는 것을 이해해야한다.

### 3. 절취사면의 설계상의 문제

경사진 자연사면을 도로부지나 주택단지로 개발하기 위해서는 필수적으로 자연사면을 더 가파른 경사로 절취해야 한다. 절취사면이 어떠한 조건에도 안전하도록 경사를 얼마로 정하느냐 하는 것은 사면을 이루는 흙과 암반의 공학적 성질에 좌우된다.

우리나라의 지질은 대부분 선캄브리아기 또는 중생대의 화강암, 편마암 및 퇴적암으로 이루어져 있으나, 풍화깊이가 얕아서 굴토깊이가 얼마되지 않는데도 토사, 풍화토, 풍화암 및 연암으로 쉽게 변화하는 것을 볼 수 있다. 암석은 절리, 층리, 엽리와 같은 불연속면이 발달되어 있고 이러한 불연속면은 극히 불규칙하다. 더욱이 절취사면의 지표면이 대기의 노출될 때에는 시일이 지남에 따라 쉽게 풍화가 진행되어 지반이 점점 더 약화되는 현상을 쉽게 볼 수 있다. 따라서 우리나라의 절취사면을 안전하게 설계하려면 조사로부터 설계와 시공에 이르기까지 많은 노력이 요구된다.

절취사면을 제대로 설계하려면 철저한 토질조사와 더불어 지질학적인 조사가 요구된다. 절취사면에 대한 토질조사는 시료채취와 토질시험이 어려우므로 현장조사에 의존하는 경우가 많다. 절취하기 이전의 지질조사를 하는데 있어서는 노무조사를 통하여 불연속면의 경사와 방향을 추정하지 않으면 안된다. 이러한 조사가 원만하게 이루어지지 않았을 때에는 시공후 문제가 생길 수 있고, 이러한 경우에는 경사를 더 완만하게 하거나 특별한 보강조치를 취하는 등 설계변경을 하여 새시공을 하는 경우가 생긴다.

우리나라에서는 설계자의 편의를 위하여 표2에 보인 바와 같이 절토사면의 경우를 정하고 있다. 이 표에 보인 바와 같이 토질조건과 시공가능성에 따라 토사, 리핑암(풍화암), 발파암(연암과 경암)으로 나누고 각 토질과 암석에 따라 절취면의 경사를 정하고 있다. 절취사면의 높이는 각기판마다 공통적으로 5m를 기준으로 하고 있고, 주택공사의 경우에는 경사를 더 세분하고 있다. 이 표는 절취사면의 토층과 깊이가 정해진다면 쉽게 경사를 정할 수 있는 장점은 있으나, 이 표를 맹신한다면 설계 후에 문제가 발생할 수 있다. 공학적 성질이 현저하게 다른 사질토와 점성토를

모두 토사로 분류하고 있고, 더욱이 암반에 대해서는 경사와 주향이 전혀 고려되어 있지 않기 때문이다. 설계경험이 부족한 기술자의 편의를 위한다 하더라도 이 표는 지나치게 단순화되어 있는 것으로 보인다.

표 2. 우리나라 여러기관의 절토사면 표준경사

토질조건		사면높이	경사기준			
			건설교통부	도로공사	토개공	주택공사
토사(사질토, 점성토)		5m이상	1:1.5	1:1.5	1:1.5	1:1.5
		0~5m	1:1.2	1:1.2	1:1.2	1:1.2
리핑암(풍화암)		5m이상	1:0.7	1:1.0	1:1.0	1:1.2
		0~5m				1:1.0
발파암	연암	5m이상	1:0.5	1:0.5	1:0.5	1:1.0
		0~5m				1:0.8
	경암	5m이상				1:0.8
		0~5m				1:0.5

절취사면의 안정성은 한계평형해석을 적용하여 평가할 수 있다. 그러나 사면이 균질한 토사로 구성되어 있을 때에는 이 방법을 적용하여 안정해석을 할 수 있으나, 암반사면에 대해서는 균열이 촘촘하고, 비교적 균질한 경우를 제외하고는 적용상의 문제가 있을 수 있다. 암반사면에 대해서는 일반적으로 평사투영법으로 안정성을 평가하는 것이 더 적절하다. 단층이나 맥암의 존재등 불연속면이 비교적 크고 연속될 때에는 이 면을 따른 안정성을 한계평형해석으로 평가할 수 있다.

#### 4. 인공사면의 안정해석상의 문제

주어진 재료로 성토를 하여 인공사면을 만들 때에는 함수비를 조절하면서 다짐장비로 다짐을 함으로 체체의 품질을 균질하게 만들 수 있다. 다시 말하면, 재료의 품질은 성토하는 흙의 종류와 다짐정도에 달려있다.

그림3은 성토사면의 표준경사를 보인다. 기술자의 편의를 위해 토질조건에 따른 성토사면의 표준경사를 정한 것이다. 앞서 보인 표에서와 마찬가지로 성토사면의 표준경사도 지나치게 단순하게 정해져있다. 동일한 흙이라 하더라도 수경다짐을 기준으로 다진 경우와 표준다짐으로 다진 경우의 흙의 전단강도가 크게 차이가 나타나기 때문이다. 만일 흙을 통일분류법으로 분류하고 다짐정도에 따라 표준경사를 정한다면 이보다 더 실제적이고 유용한 경사기준을 정할 수 있을 것이다. 흙의 전단강도와 단위중량을 측정했다면 최근에 많이 이용되고 있는 전산프로그램으로 안정해석을 하여 경사를 정할 수 있다. 흙이 균질한 경우에는 도표를 이용하더라도 상당한 정도까지 안정성을 평가할 수 있다.

성토사면에 있어서는 그 아래 놓이는 지반의 성질을 잘 파악해두는 것이 무엇보다 중요하다. 기초 지반이 성토지반보다 더 큰 강성을 가진다면 그 안정성은 제반의 공학적 성질에 지배되나, 더

약한 경우에는 기초지반의 전단특성에 따라 안정성이 좌우되기 때문이다. 연약지반에 놓이는 도로 또는 하천제방은 전단파괴와 침하의 문제가 생긴다. 이러한 경우에는 제방의 경사는 사면전체의 안정과 무관하다는 사실을 철저히 이해해야한다.

표 3. 우리나라 여러 기관의 성토사면 표준경사

토 질 조 건	사면높이	경 사 기 준			
		건설교통부	도로공사	토개공	주택공사
토 사	6m이상	1:1.8	1:1.8		
	0~6m	1:1.5	1:1.5		
	5m이상			1:2.0	
	0~5m			1:1.5	
입도분포가 좋은 모래 및 자갈섞인 모래, 사질토 및 굵은 모래	6m이상				1:2.0
	3~6m				1:1.8
	0~3m				1:1.5
입도분포가 나쁜모래, 연약한 점성토	6m이상				별도적용
	3~6m				1:2.0
	0~3m				1:1.8

## 5. 결론

사면의 재해는 생명과 재산에 관련되기 때문에 어느 나라나 할 것 없이 설계와 시공 및 대책에 이르는 모든 과정을 대단히 중요한 기술로 취급하고 있다. 우리나라의 통계를 보아도 사면재해로 인한 피해가 매년 엄청나게 일어나고 있다. 1960년대에는 특히 축대의 붕괴가 자연재해의 대부분을 차지하였으나 그 동안의 지속적인 노력으로 말미암아 이에 대한 재해는 많이 경감되었다. 그러나 1992년에 일어났던 용인 안성일대의 산사태는 발생수와 그 규모로 보아 우리나라 재해상의 특기할만한 사건이라고 말할 수 있을 것이다. 우리는 이러한 재해가 앞으로도 예상됨으로 이에 대한 연구를 더 철저히 해서 재해의 감면을 위해 모두 더 많은 노력을 해야 할 것이다.