

강우에 의한 사면의 침식

이상덕¹⁾, Sang Duk, Lee

¹⁾아주대학교 환경건설교통공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Ajou University

1. 개 요

지반을 굴착하거나 성토하여 발생된 사면은 표면을 적절히 처리하지 않으면 강우에 의해 침식되며, 그 정도가 심하면 지반의 활동저항력이 감소되어 사면이 활동파괴되는 원인이 된다. 특히 우리나라와 같이 집중호우가 일정기간에 편중되는 경우에는 사면이 침식에 대해 매우 취약하다. 평소에는 대기에 노출되어 건조한 상태로 있다가 강우시에만 표면을 따라 흐르는 지표수에 의해 발생하는 사면의 침식은 흐르는 물의 수저나 호안에서 발생하는 침식과 그 양상이나 위험도가 매우 다르다.

사면의 침식은 활동파괴와는 다른 개념이므로 사면의 침식에 대한 보강과 활동파괴에 대한 보강은 구분하여 시행되어야 한다. 그러나 많은 기술자들이 사면의 침식파괴와 활동파괴를 구별하지 않고 있어서, 침식에 대한 대처가 미흡하고 침식에 대한 적절한 보강이 이루어지지 않아서, 해마다 많은 피해가 발생하고 있다.

또한, 사면에서는 활동파괴에 대한 연구만큼 침식에 대한 연구가 이루어져야 할 것이나 아직은 인식이 부족하다. 강우에 의한 침식에 대한 사면의 안정문제는 향후에 크게 다루어져야 할 것이다. 이같이 사면의 침식이 중요한 분야임에도 불구하고 아직까지 이렇다 할 연구가 이루어지지 않고 있는 것은 매우 유감스러운 일이 아닐 수 없다

2. 사면의 침식

보강처리 하지 않은 원적토는 강우나 바람에 의해 침식되며, 가장 큰 원인은 강우이다. 특히 신생대 제3기에 형성된 원적토와 점착력이 작은 세립의 퇴적토에서 침식이 잘 일어난다. 강우에 의한 침식에 대한 안정성은 지반의 일반적인 특성(입도분포, 소성지수, 상대밀도)만으로는 판단하기 어렵다. 신생대 라테라이트 지반은 대체로 침식에 대해 안정하지만 사프로라이트 지반은 대개 침식에 대해 불안정하다.

사면침식은 지반상태(응력이력, 함수비, 구조골격)에 의해 영향을 받아서 발생되며, 강우의 강도나 지속시간보다는 지반의 점착력 상태에 더 크게 의존해서 일어난다.

Foerster(1996)는 표 1과 같이 지반의 침식위험성을 소성지수와 액성한계로부터 판단하였다.

표 1. 침식 위험성(Foerster, 1996)

지반의 종류	소성지수 I_p	액성한계 w_L	침식 위험성
균등한 모래	0	0	매우 큼
퇴스, 실트	0.02 ~ 0.10	<0.35	큼
흙, 마른 점토	0.08 ~ 0.25	<0.35	중간 ~ 큼
실트질 점토	0.10 ~ 0.38	<0.35	작은 ~ 중간

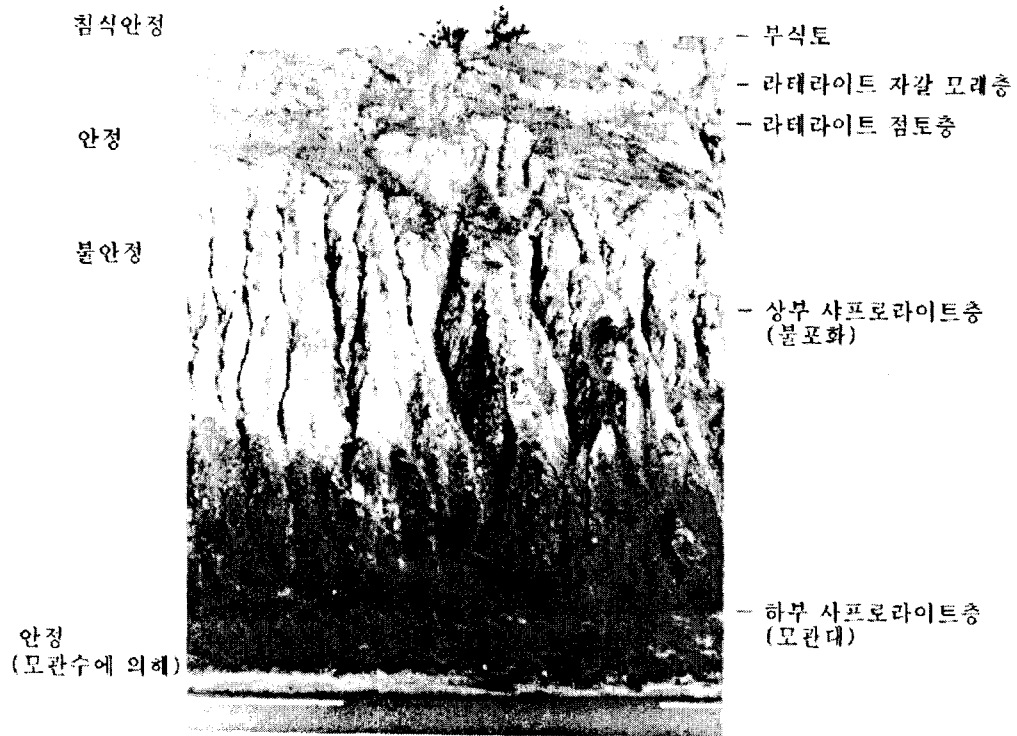
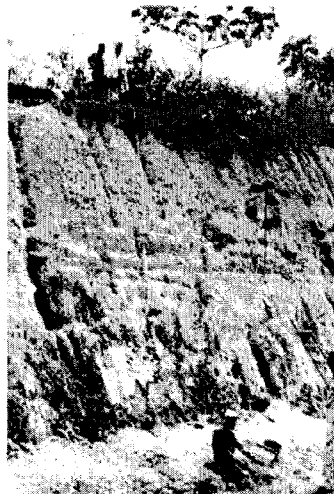


그림 1. 편암상부 원적토의 층상구조(사면경사 34°, 지하수위 : 선단하부 4.2~4.8m)

3. 사프로라이트 지반에서 사면의 침식시험

사면의 침식에 대해 국내연구는 거의 없으므로 외국에서 실시한 예를 제시하고자 한다.

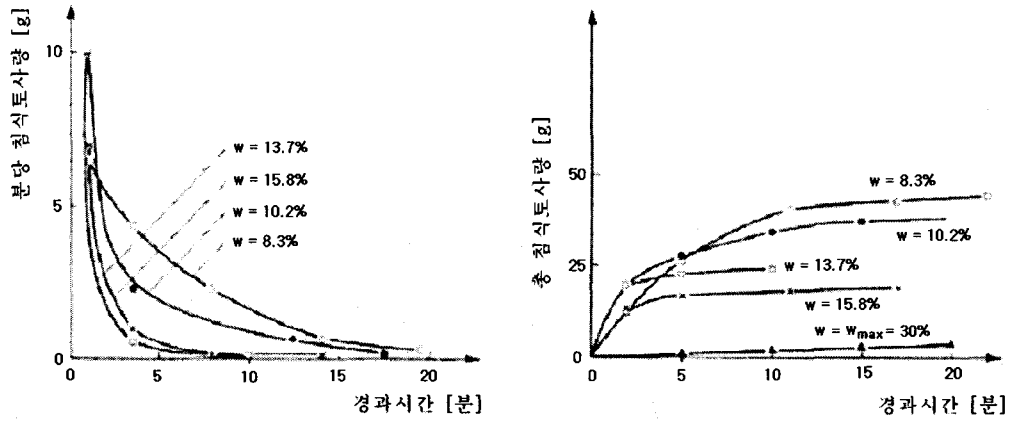
지표로부터 깊어질수록 부식토-라테라이트 자갈·모래층-라테라이트 점토-건조 사프로라이트-습윤 사프로라이트로 이루어진 사면에서 강우에 의한 사면침식 현장시험을 수행하였다(그림 2). 단위길이의 사면에 대해 일정수량의 물을 흐르게 하고 침식초기의 함수비와 침식토사량의 관계를 구하였다. 실험결과 건조 흙의 침식량이 포화 흙의 침식량 보다 최고 100배에 이르렀다.



침식에 의한 골이 있는 사면



사면침식시험
사면의 표면 A에서 물을 흘리고
B에서 수집



a) 분당 침식토사량-시간 관계

b) 총 침식토사량-시간 관계

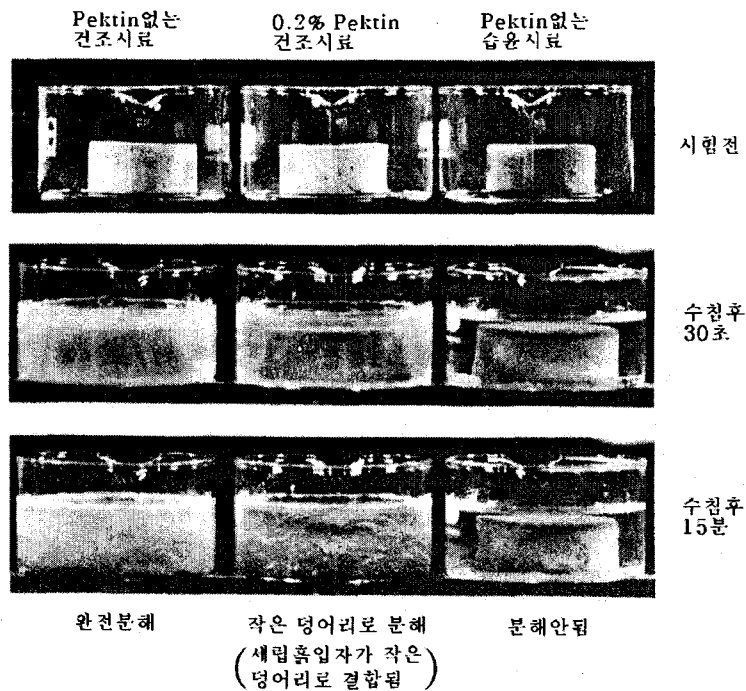
그림 2. 사프로라이트 지반에 대한 침식시험(Bender, 1984)
(사면경사 72°, 유량 $Q = 2lt/min$, 사면길이 1m)

4. 침투에 대한 지반의 거동시험

지반의 침식은 지반의 구조골격에 따라 다르다. 지표에 가까운 지반이 강우에 의해 물에 잠길 때에 흙의 구조골격이 흐트러지면 쉽게 침식되며, 사면에서는 지표수가 큰 흐름에너지를 갖기 때문에 구조골격의 이완이 큰 침식요인이 될 수 있다.

이러한 영향을 보기 위해서 지반안정물질인 Pektin(식물뿌리에 의한 물질)을 지반과 혼합하여 점착력 구조를 형성시킨 후에 수중에서 변화양상을 살펴보았다.

그림 3과 같이 Pektin을 혼합하지 않은 건조시료는 급격히 분해되는데 반해, Pektin을 혼합한 건조시료는 서서히 분해되었고, 습윤시료는 Pektin을 혼합하지 않았는데도 분해되지 않고 형상이 그대로 유지되었다. 여기에서 함수비의 영향이 지대함을 알 수 있다.



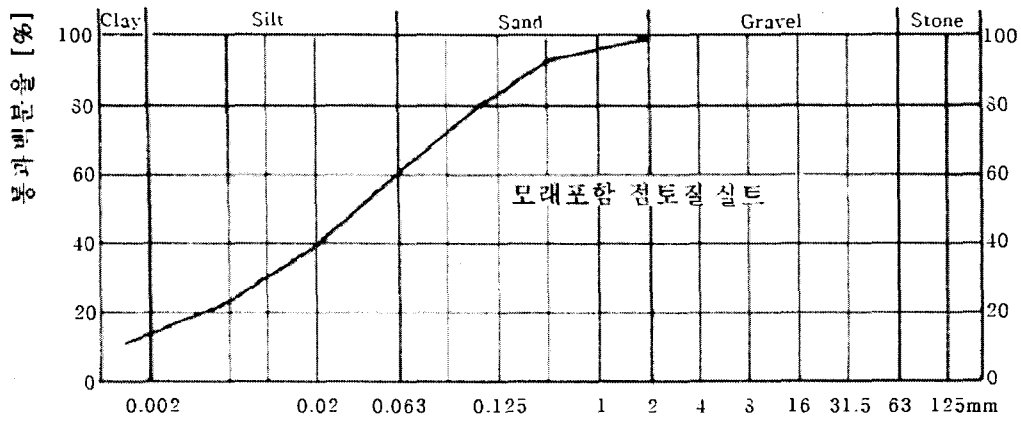


그림 3. 유기질 지반안정제(Pektin)의 효과시험

5. 사면침식 예

지하수위는 사면전단의 하부 3~4m 에 있고, 모관고가 약 7m 정도이어서 사면전단상부 3~4m 까지의 하부사면은 모관수에 의한 영향으로 습윤한 상태이었고, 상부사면은 태양광에 노출되고 바람 등의 영향으로 건조한 상태이었다. 사면의 침식은 지반의 함수비와 입도분포에 의해 영향을 받는다.

지표의 부식토층과 라테라이트 지층에서는 침식이 거의 일어나지 않는데 반해 사프로라이트 지층에서는 침식이 일어났다. 사프로라이트 지층에서도 상부사면과 하부사면이 다르게 침식되었다. 하부사면에서는 침식수력이 큰데도 불구하고 침식이 적게 일어났는데 이는 모세관 현상에 의한 영향으로 함수비가 크기 때문이다.

침식이 일어난 곳에서는 침식에 의한 요철이 분명히 나타났는데 포화도가 작아서 침식이 크게 일어난 곳은 꺾 부가 되고 포화도가 큰 곳은凸 부가 되었다.

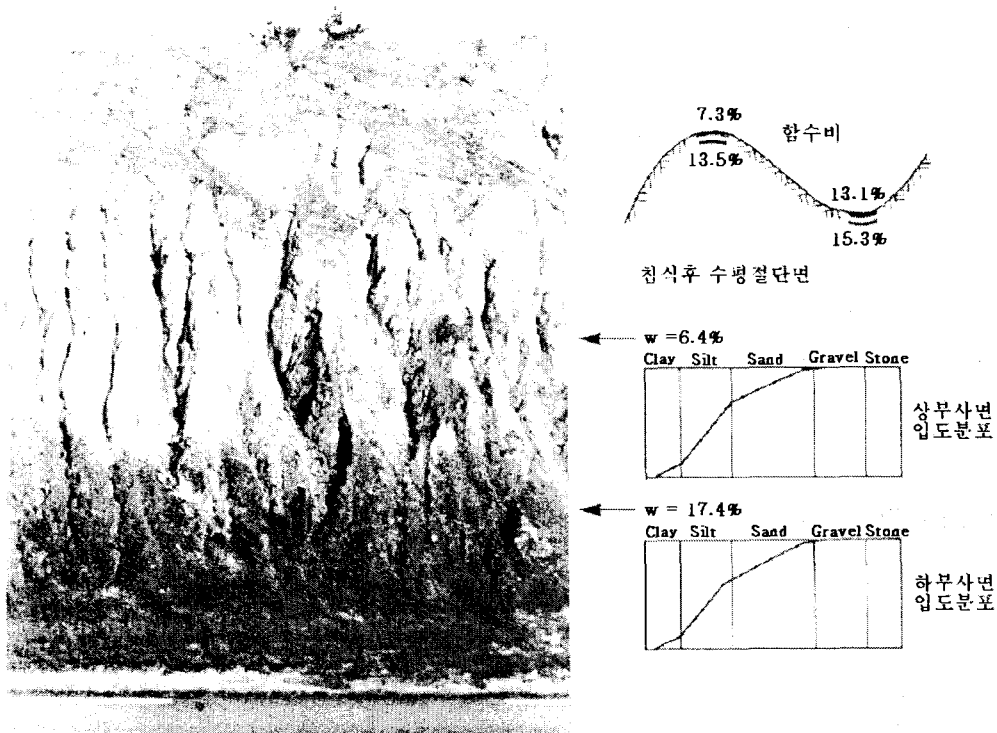


그림 4. 편암 상부 원적토 사면의 침식(Bender)
(사면경사 34°, 지하수위 : 사면전단하부 4.2~4.8m)

6. 식물의 침식에 대한 영향

지반침식은 물의 흐름에너지 외에도 식물에 의한 지반의 함수비 및 강도변화에 의해 직접적인 영향을 받는다. 그밖에도 식물은 유기물질을 분비하여 지반을 안정화시킬 수 있다.

Bender에 의하면 지반의 이력(특히 건조과정, 이용과정, 식재과정)에 따라 지반의 침식거동 즉, 침투수에 의해 지반이 (과연, 어떻게)이완되어 침식되는지가 결정된다. 지반이완은 점착력 손실과 직접적인 관계가 있으며 지반의 침식에 대한 안정은 점착력이 소멸될 때까지 감소된다.

모세관현상에 의해 침투된 물이 지반내 공기를 강제 배출하면서 양의 간극 공기압이 발생되는데, 간극공기압이 전단강도(점착력)보다 크면 파괴상태가 되어 지반이 이완된다.

현장에서 종종 이용되는 침식방지제(Wischmeier 등)는 지반상태와 무관하게 사용되기 때문에 (즉, 지반상태를 충분히 고려하지 않기 때문에) 침식안정에 큰 도움이 되지 않는다. 이런 상황에서는 지반분류나 상대밀도보다 지반정수나 지반특성으로 침식안정을 정의하는 것이 설득력이 있다.

점착력이 작은 세립토의 침식안정은 점착력으로 정의할 수 있다. 또한, 지표나 침식부 및 지반내의 전단강도는 같지 않으므로 지표의 전단강도와 침식안정 관계가 중요하다.

침식과정의 응력이력을 따라 공인된 토질역학시험을 실시하여 측정된 전단강도에 근거하여 침식안정을 정의하면 여러 가지 장점이 있으며, 흙 입자 하나하나의 침식에 대한 안정문제 즉, 전단강도 문제를 취급하기 때문에 물리적·역학적으로 합당하다. 침식안정은 전단강도 문제이어서 침식력과 무관하므로, 시공법과 지반개량대책은 별도로 조사해도 되며, 토질역학적 관계를 알면 지반상태 변화에 대해 침식안정성을 향상시킬 수 있다.

가장 중요한 침식방지대책은 흙의 구조를 개선(점착력)하고 식물식재나 토질역학적 방법으로 모세관특성을 개선하는 일이다.

Bender 는 최초로 흙과 시멘트를 안정화 시킬 때에 생기는 2차 구조는 점착력에 기인한 현상이라고 하였다. 그림 4의 편암 풍화토에서는 모관수에 의해 발생된 점착력만으로도 침식을 방지하기에 충분하였다. 지반침식은 그 발생 원인에 상관없이 모든 종류의 점착력에 의해 방지된다. 역학적으로 점착력은 파괴포락선의 절편이지만 겉보기 점착력도 있고 다른 원인 즉, 광물의 재결정이나 유기적 접착체에 의해 발생하는 것도 있다. 점착력 구조는 채취상태의 균열형상이나 다짐 후에 또는 사면표면을 보고 알 수 있다. 구조형태에 따라 물이 지반에 더 잘 침투할 수도 있다. 따라서 점착력을 어떻게 유지하는가가 문제이다.

물이 많이 흐르는 경우에는 유로를 형성하여 흐름을 관리해야 하지만, 건조한 불포화토에서는 강우 등에 의한 물이 발생된 위치에서 가능한 고르게 나누어져서 지반으로 침투되도록 유도해야 한다. 이렇게 하면 침식력이 감소되고 녹화에 도움이 된다. 지속적으로 이렇게 하면 침식도 방지될 뿐만 아니라 수문조절이 좋아진다.

7. 침식에 기인한 사면활동파괴

사면의 침식에 의한 영향은 층상지반에서 더 심각할 수 있다. 즉, 인접한 이질적 지층의 차별침식에 의해 사면의 표면이 불규칙하게 되어 활동파괴로 이어질 수 있다. 특히, 토사지반과 암반의 경계부에서는 토사지반은 강우에 의해 침식되지만 암반은 침식되지 않아서 그 경계부에 침식구덩이가 형성되고 확장되어 활동저항면이 과도하게 감소되면 암반의 경계면이 활동면이 되어서 파괴된다. 그림 5은 이와 같이 사면의 침식에 기인하여 사면이 활동파괴된 예이며, 그 과정은 그림 6과 같다.

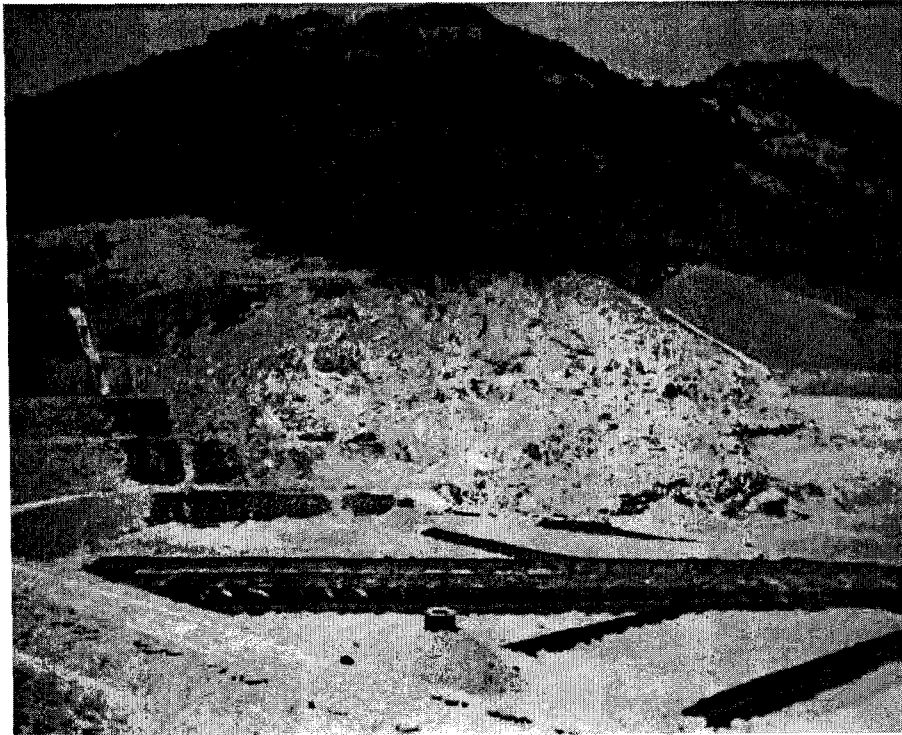


그림 5. 사면의 침식에 기인한 활동파괴 전경

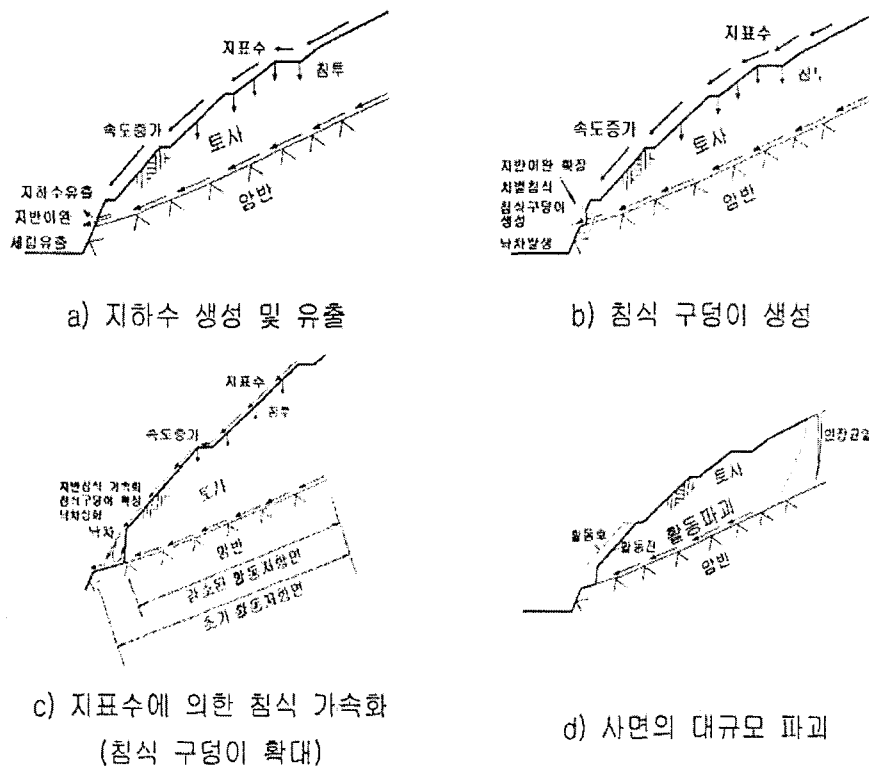


그림 6. 사면의 침식에 기인한 활동파괴 과정

8. 참고문헌

1. Arnold, W. (1985) Tropische Residualboeden : Characterisierung aufgrund von Porosimetrie-Kriterien und Klassifizierung mittels Schrumpfvolumen und Trockenfestigkeit. Diss. ETH Nr.7727, ETH Zuerich.
2. Bender, H. (1984) Erosion feinkoerniger Boeden. Mitt. IGB-ETHZ, Zuerich.
3. Foerster, W. (1996) Mechanische Eigenschaften de Lockergestein, Teubner Studienbuecher.
4. Vargas, M. (1985) The concept of Tropical Soils, Tropicals 85, Vol.3, p.101-115, Brasilia.
5. Lang, H.-J./Huder, J. (1990) Bodenmechanik und Grundbau, 4-te Auf. Springer Verlag.
6. 이상덕 (2005) 토질역학, 제2판, 도서출판 새론.