

사면안정의 현재와 미래

이승호*

1. 서론

우리나라는 동고서저(東高西低)의 뚜렷한 지형적 특성과 아울러 국토 전체 70% 이상 해당하는 면적이 산지로 구성되어 있으며, 다양한 지질학적 특성을 나타내고 있다.

문명의 발달과 산업의 고도화, 집약화 등으로 인하여 인류는 끊임없이 열악한 환경을 개선하고 발전시키는 등 다양한 형태의 발전적 행위를 지속하고 있다. 그 예로 도로, 터널, 댐, 항만, 택지 등을 들 수 있는데 이들 모두는 엄청난 사회, 경제, 산업, 정치, 문화 등의 발전을 가져오는데 큰 몫을 차지함은 그

어떤 누구도 부정하지 않을 것이다.

1970년 열악한 기술환경, 사회적 인식 속에 국민의 염원을 담은 토목기술인의 역사적 성과인 경부고속도로 개통을 모두 기억하고 있을 것이다. 그 후 여러 고속도로 건설, 국도 신설공사 및 확포장 공사를 계속 진행하여 왔고 지금도 진행중에 있으며 앞으로도 이러한 국가의 대외평가와 성패를 좌우할 사회간접시설 건설은 지속적으로 시행되어질 것이다.

특히 도로와 터널 등의 분야는 지역간 소통을 원활하게 하고 물류운송 비용 절감, 도시 인구 분산, 지역의 균형적 발전 등을 유발하는 핵심적 요인이다. 그러나 국내의 지형적 특성으로 인하여 이런 일련의 행위에서 발생하는 구조물 중 도로나 터널 이용시 누구나 흔히 볼 수 있는 사면(斜面)이라는 구

* 상지대학교 건설시스템공학과 교수
(shsh123@hanmail.net)

조물이 발생하게 된다. 사전적 의미로 사면(斜面)은 경사진 면을 의미하는데 이를 분류하는 기준은 다양하다. 크게 인공사면과 자연사면 두 가지로 구분하면서 절토사면과 성토사면으로 구분하고, 이를 다시 암반사면과 토사사면으로 구분한다.

이처럼 다양한 구분과 같이 사면에는 다양한 공학적 판단과 지식 등이 내포되어 있다. 도로, 택지건설로 인한 절개지, 터널 건설시 발생하는 갱구부 사면 등이 모두는 시설이용자의 안전, 국가 경제 전반과 밀접하게 연관되어 있고 문제 발생시 대규모 인명, 재산 피해를 야기한다.

인간의 삶의 질이 향상되어지고 도시간의 연계성을 필요로 하는 현 상황에서 계속적으로 도로공사 및 이와 연계된 추가공사가 시행되고 있으며 이로 인한 절개사면의 발생은 필연적이며, 최근에 들어 대규모 사면이 형성되고 있다. 아울러 토목기술력 향상과 건설장비의 첨단화 등은 새로운 공법의 발전을 가져오게 되었으며 이러한 고도의 기술과 공법의 결합은 대규모 공사를 가능하게 하였고 그리하여 대규모 절개지를 유발하였다고 해도 과언은 아니라고

생각한다.

우리나라는 삼면(三面)이 바다이고 국토의 대부분은 산지로 구성되어 있어 국토의 면적은 한계를 가지고 있다. 특히 도심지 등의 인구밀집지역에서 사면의 적정구배 및 규모를 결정하는 것은 쉬운 일이 아니다. 이러한 주어진 한계점과 조건내에서 도로 및 터널 등의 이용자 안전을 확보하기 위한 사면의 설계, 시공, 유지관리는 사면에 종사하는 기술자들의 막중한 임무이다.

지금까지의 사면과 관련된 토질·암반공학, 지질학 등의 이론들은 고전적인 경향이 강한편이며, 기술과 장비, 공법 발전에 비하여 속도가 현저히 떨어진다. 또한 기술력 향상과 다양한 공법의 개발에 비해 기술자들의 보수주의적 성향으로 새로운 이론 및 공법의 현장적용을 멀리하고 있는 현실도 부인할 수 없다.

그러므로 본 고를 통하여 이러한 사면의 설계, 시공, 유지관리 등의 전반적인 사면의 현실과 앞으로 나아갈 방향제시로 사면기술발전이 한단계 더 높아지기를 기대해 본다.

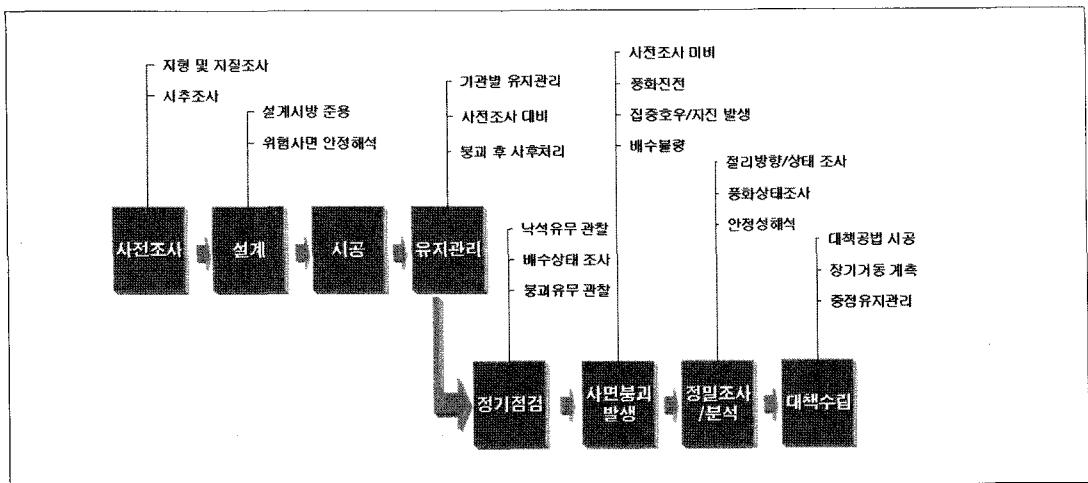


그림 1. 사면의 설계/시공/유지관리 흐름도

2. 사면 설계/시공/유지관리

일반적으로 사면은 지형 및 지질조사, 시추조사 등의 사전조사를 실시하여 설계시방서를 준용하여 조사결과를 바탕으로 설계를 수행하고 필요시 위험 예상사면에 대한 안정성 해석을 실시한다. 위 두과정을 거쳐 사면의 적정구배를 결정하여 사면을 시공하게 되며 시공 후 유지관리에 들어간다. 유지관리 시에는 정기점검과 일상점검 등을 실시하여 사면붕괴 발생과 붕괴위험성 표시출시 정밀조사와 분석을 실시하고 대책을 수립한다.

2.1 사면 설계

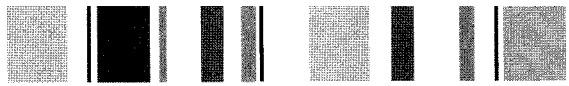
자연을 보다 편리하게 이용하고자 하는 인류의 욕구는 항상 자연의 형상을 변화시키기도 하고 때로는 인공적인 사면을 만들어 이용하기도 한다. 이렇게 변형된 사면이나 인공적인 사면은 주로 중력의 작용으로 본래의 형태를 유지하지 못하고 아래로 움직여서 내려오려고 한다. 만일, 사면이 불안정한 상태가 되어 산사태와 같은 큰 활동이 일어난다면 엄청난 재난을 가져 올 수가 있다. 이러한 사면붕괴의 원인은 자연사면을 인위적으로 변형시켜 발생하는 경우도 있지만, 홍수, 태풍, 강우 등의 자연적인 원인으로 발생하기도 한다. 근래에 들어서는 도로 건설, 산업기지 건설, 대규모 주택단지 개발 등과 같은 부지 확보차원에서 자연사면을 변형시키는 규모나 빈도가 크게 증가하고 있어 사면의 안정을 확보하기 위한 사면설계도 복잡해지고 있다.

일반적으로 사면은 인공사면과 자연사면으로 분류된다. 인공사면은 정해진 성토재료로 요구되는 단면을 축조해야하므로 재료의 구분이 명확하고 그 공학적 성질이 잘 밝혀질 수가 있다. 하지만, 자연사면

의 경우는 자연적으로 이루어져 있거나 깎아서 만든 것으로 흙과 암석이 불규칙하게 뒤섞인 불균질한 지층을 이루기도 하며, 때로는 암석이 풍화되어 있거나 단층 절리 등이 잘 발달되어 있어서 상당히 복잡하다. 따라서, 사면의 설계는 토질 공학적인 접근과 더불어 지질학적, 지형학적 그리고 암반공학적인 이론의 조합으로 이루어 질 수 있다. 사면을 설계하기 위해서는 과업 지역의 예비 조사, 현장 조사, 실내 실험, 자료 정리를 통하여 현재의 상태를 파악한 후 사면 해석 결과 사면의 불안정성이 판단되면 사면 내·외부의 간극수압 저하, 사면의 활동력 감소, 활동면의 저항력 증대, 사면활동방지 구조물을 설치하여 대책을 세워 불안정한 원인을 제거하는 것이 사면설계의 일반이라 할 수 있다.

2.2 시공

사면활동은 원 사면이 안정된 상태에서 우수의 침투 및 세굴에 의하여 사면안전율이 감소되어 발생하거나, 절토사면이 처음부터 안정성이 확보되지 못하여 안전율이 충분하지 못할 경우에 강우 등의 외적요인이 가해져서 발생하기도 한다. 그러므로, 사면 활동을 방지하기 위해서는 전자의 경우는 사면의 안정성을 계속유지 할 수 있도록 대책을 마련할 필요가 있으며, 후자의 경우는 부족한 사면 안정성을 보완하여 필요한 안전율을 확보할 수 있는 대책을 마련해야 한다. 즉, 강우, 응설 등과 같은 물의 영향에 의하여 사면의 안전율이 감소되는 것을 방지하는 안전을 감소방지법이 있으며, 불안정하게 판단된 사면의 안전율을 말뚝 등과 같은 저항력을 가진 구조물을 시공하여 안전율을 증가시키는 안전율 증가법이 있다. 전자는 사면활동을 발생시키는 직접적인 요인으로부터 사면을 보호하는 소극적인 대책방법이라



사면안정의 현재와 미래

할 수 있으며, 후자는 사면활동의 잠재적 취약성을 개선하려는 적극적인 대책방법이라 말할 수 있다.

시공 방법중 안전을 감소 방지법의 종류로는 식생 공법, 토목섬유를 이용한 침식 방지공법, 구조물을 이용한 표면보호공법, 표층안정공법, 배수공법 등이 있으며, 안전율을 증가하는 방법으로는 역지말뚝공법, 앵커공법, 쏘일네일링공법, 옹벽공법, 절토공법, 압성토공법 등이 있다. 시공은 설계와 연계하여 이루어진다. 설계시 고려되는 노무비, 재료비, 경비 등의 공사비를 고려한 경제적이고 안정적인 시공이 되어야 한다. 또한 시공 중 붕괴가 우려되거나 위험 질리 발견시 사면의 안정성을 재차 검토하며, 사면의 안정성을 해석함에 있어서 고려하지 못한 요인들이 있을 수 있으므로 사면에 대한 지속적인 계측관리를 수행하여 안정성을 확보해야 한다.

2.3 설계 및 시공 기준

절개사면의 설계는 일반적으로 우선 안정성이 유지되도록 사면 경사를 결정하고, 표면 및 지하수의 배수공법을 선정하며, 장기적인 안정성 확보를 위한 보강 및 보호공법을 결정하는 것으로 나누어 생각할 수 있다. 이러한 사면안정성 확보를 위한 설계기준

은 다양한 인자에 의하여 영향을 받기 때문에 사면 시공에 대한 많은 정보를 수집하여 지역별, 암종별 혹은 지반상태별 기준을 마련하는 것이 안정성 및 경제성 측면에서 바람직하다고 볼 수 있다.

국내의 여러 기관에서 권장하는 절개사면의 경사 기준은 다음 표 1과 같이 지반을 발파암, 리핑암, 토사 등으로 분류하거나 경암, 연암, 풍화암, 토사로 구분하여 지반별 및 사면 높이에 따라 사면 경사를 제안하고 있다. 이와 같은 권장 사면 경사는 대부분 일본 등에서 적용하는 기준을 준용한 것으로 생각되는데, 금후 국내의 적용사례를 재평가하여 국내의 지질이나 토질 특성 및 기후조건을 고려하여 지역적인 분류기준이나 암질에 따른 분류기준이 설정이 되어야 할 것으로 생각된다.

2.4 유지관리

절취사면은 대체적으로 계획수립-현장조사-설계-시공-유지관리 단계를 거치게 되는데, 1990년대 초반부터 사면 붕괴에 따른 손실이 증대하게 됨으로써 국내에서도 절개사면의 체계적인 관리를 위한 시스템이 구축되어 운영되고 있다.

계획수립 단계에서 절개사면의 중장기적인 계획

표 1. 국내기관별 사면구배 기준

토질 조건	사면 높이	경사기준					
		건교부	도로공사	철도청	토지공사	주택공사	
토사 (사질토, 점성토)	5m 이상	1:1.5	1:1.5	1:1.5	1:1.5	1:1.5	
	5m 미만	1:1.2	1:1.2	1:1.3	1:1.2	1:1.2	
리핑암 (풍화암)	5m 이상	1:0.7	1:1.0	1:1.0	1:1.0	1:1.2	
	5m 미만					1:1.0	
발파암	연암	1:0.5	1:0.5	1:0.5	1:0.5	1:1.0	
						5m 미만	1:0.8
	경암			5m 이상		1:0.3	1:0.8
				5m 미만			1:0.5

특집

표 2. 일본의 절개사면구배 기준

	지반 구분	절취 높이	구 배
경 압			1:0.3~1:0.8
연 압			1:0.5~1:1.2
모 래	밀실하지 않은 것, 입도분포 불량		1:1.5~
사 질 토	밀실한 것	5m 이하	1:0.8~1:1.0
		5~10m	1:1.0~1:1.2
	밀실하지 않은 것	5m 이하	1:1.0~1:1.2
		5~10m	1:1.2~1:1.5
자갈 또는 암괴 혼합 사질토	밀실한 것, 입도분포 양호	10m 이하	1:0.8~1:1.0
		10~15m	1:1.0~1:1.2
	밀실하지 않은 것, 입도분포 불량	10m 이하	1:1.0~1:1.2
		10~15m	1:1.2~1:1.5
점 성 토		10m 이하	1:0.8~1:1.2
암괴 또는 호박돌 혼합 점성토		5m 이하	1:1.0~1:1.2
		5~10m	1:1.2~1:1.5

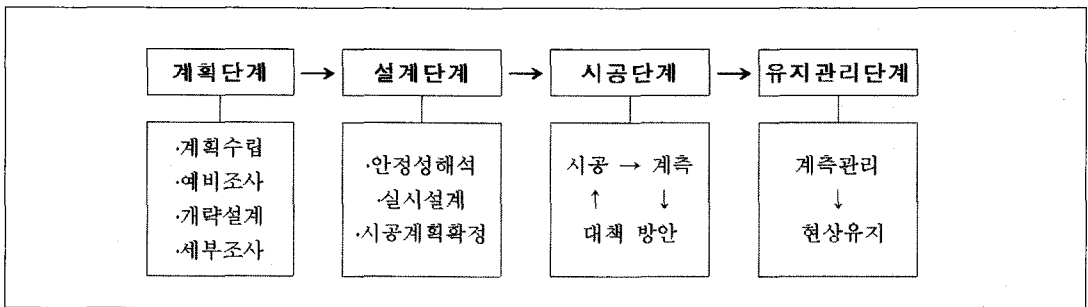


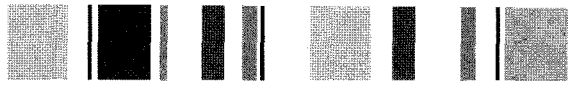
그림 2. 일본의 절개사면 관리 시스템 흐름도

및 소요예산 확보에 따라 계획이 수립된다. 계획이 수립되면 현장조사가 실시되지만 국내의 경우 설계를 위한 현장조사는 절개사면의 안정성에 대한 현장조사라기 보다는 토공량 산출을 위하여 한 두개소에 시추조사를 실시하는데 통상 발파암 확인단계에서 시추를 종료한다. 따라서, 사면 지반의 지질구조적인 특성을 파악하는데 한계가 있으며 또한, 사면 안정성 해석을 위한 지반자료의 획득이 불가능한 실정이다.

시공 후 유지관리에 대하여는 최근 국도의 경우는

한국건설기술연구원에서, 고속도로의 경우는 한국도로공사에서 유지관리시스템을 개발 중에 있거나 일부 운영 중에 있는 상태이다. 그 외의 지방도 등의 경우는 체계적인 유지관리가 이루어지지 않고 있으며 붕괴가 발생하면 사후 관리측면에서 보수가 진행되고 있다.

그러나, 전국토의 산지분포비율이 우리와 비슷한 일본의 경우는 절개사면에 대한 종합적인 시스템을 구축하여 절취사면을 그림 2와 같이 계획단계부터 유지관리단계까지의 전 과정을 체계적으로 관리하



고 있다.

계획단계에서 절개사면을 시공하기 위한 입안, 예비조사 및 개략설계가 실시되며, 설계단계에서 상세설계를 위한 조사와 시험, 안정성해석, 설계, 시공 계획이 수립된다. 시공단계에서는 원지반의 상태변화와 가시설물 계획, 계측 결과의 관리 기준치와의 비교에 의한 안정성의 평가가 실시되며, 안정성 평가의 결과에 따라 필요한 설계변경이나 대책공이 실시된다. 사면이 완공된 후, 유지관리단계에서는 시공완료 후의 일상 점검에 의한 관찰이 주로 실시되나 변상이 큰 부위에 대하여서는 계측도 실시된다. 또한, 관찰이나 계측의 결과에서 사면의 안정성이 평가되며 이 평가의 결과에 따라서 대책공이 실시된다.

3. 문제점

국내의 위험절개사면에 대한 조사에서 확인된 설계·시공 시에 발생되거나 발생 가능한 문제점에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 사면을 구성하는 암반의 다양성, 불확실성 및 현장시험의 한계성 등으로 인하여 현장 지반특성을 대표하는 설계정수의 선정이 어렵고, 그에 따른 과대 안전설계 혹은 불안전 축의 설계 가능성이 상존한다. 이러한 지반특성의 이해에 대한 문제는 설계 및 시공경험과 파괴사례에 대한 다양한 역해석을 통한 경험이 비축될 때 해소가 가능하게 될 것이다.
- 2) 설계 시에 실시되는 한정된 시추조사만으로는 사면의 지반구성을 파악하는데 한계가 있고 대부분의 암반사면의 불안정요인이 암반내의 불연속면과 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에, 설계 조사시에 물리탐사와 정밀 지표지질조사를

를 반드시 수행하여 사면 구간의 지질구조에 대하여 정확히 이해하여야 한다.

- 3) 국내의 사면의 안정해석에서 토사사면과 암반사면의 해석프로그램을 지반의 특성 및 현장의 여건을 고려하지 않은 상태에서 무분별하게 사용하는 경향이 있다. 첫째, 프로그램의 사용자 의 지반공학에 대한 기초지식의 결여로 인한 해석 입력치의 부정확한 선정, 둘째, 프로그램의 원리에 대한 이해의 부족과 해석 결과에 대한 맹신, 셋째, 해석 결과에 대한 분석능력의 부족으로 인한 부적절한 해석 등의 문제가 빈번한 것으로 보인다.
- 4) 해당지역의 지반 및 지형 특성, 강우 및 기온 특성에 따른 안정 대책수립이 요구되나, 경제성 및 시공상의 문제점이나 기술 부족으로 인하여 획일적인 안정화 공법이 적용되는 경우가 많다.
- 5) 대책공법 중 식생공을 채택할 경우 지역의 특성과 상관없이 무분별한 품종이나 외래종의 도입으로 인하여 완공된 후 수개월 이내에 무용지물이 되는 문제점이 발생한 경우가 많았다. 식생공은 현장의 기후조건에 맞는 적절한 식생을 채택할 필요가 있다.
- 6) 대책공법의 적용시 현장의 규모와 여건을 충분히 고려한 상황에서 공법의 선정이 이루어져야 하나 전문가의 부족과 기술력의 결핍으로 인하여 부적절한 공법이 선정이 되는 경우가 많았다. 규모가 작은 현장의 경우에 무리한 대규모 보강공법을 실시하여 오히려 사면의 붕괴를 발생시키는 경우도 있었다.
- 7) 절개사면의 경사도에 관하여 설계기준이 명확하지 않고 단지 암반의 강도에 따른 설계기준을 제시하고 있다. 이는 국내의 대부분 절개사

면이 암반의 불연속면 등의 약선대를 통하여 파괴된다는 점을 감안하여 조속히 해결되어야 할 것이다.

- 8) 절개사면공사에 대한 전문적인 조사, 설계 및 보강에 대한 성공 및 실패 사례에 대한 분석과 데이터 축적이 미흡하여 기술력 향상이 곤란하다.
- 9) 설계단계와 시공단계의 관계가 유기적이지 못하여 설계단계에서 이루어진 계획이 시공단계 중 불안정요소가 발견되더라도 조속한 대책을 마련하지 못하여 시공중이나 완공 후 붕괴가 발생할 소지가 있다.

4. 개선방안

국내 사면의 설계·시공·유지관리 현실에 대한 문제점을 개선하기 위해서는 많은 사면전문가들의 노력이 가장 중요하며 장기적인 사면의 안정성 확보를 위하여 유지관리 측면의 개선방안을 제시하고자 한다.

4.1 지반조사

국내의 절개사면의 특성을 살펴보면 표토 심도가 매우 낮고 대부분이 암반으로 구성되어 있다. 특히 암반내부에는 많은 불연속면을 포함하고 있으므로 절개사면의 경사를 완화하는 공법의 적용 시에는 불연속면의 조사 및 시험 등에 매우 유의하여야 한다. 예를 들면, 불연속면이 많이 발달한 암반에서는 불연속면에 대한 방향성, 연속성, 간격, 충전물의 종류 및 공학적 특성 등에 대한 정확한 조사가 선행되어야 한다. 또한, 이들 불연속면에 대한 시험자료가 제시되어야만 사면해석에 필요한 지반정수를 현장조건에 맞게 산출할 수 있을 것이다. 암반 내에 존재하

는 단층면과 같이 주활동면으로 작용하는 불연속면에 대한 조사에서는 단층점토의 전단특성 등도 간과해서는 안 된다.

사면 붕괴원인 중 가장 중요하게 작용하는 요인 중 하나가 하절기의 집중강우와 누적강우량으로 밝혀졌다. 특히 국내의 암질 특성상 대부분이 심하게 풍화되어 있으며 지하수 함유율이 상당히 높은 것으로 밝혀져 있다. 또한, 지하에 유입된 지하수는 암반 내의 불연속면을 따라 이동하며 이런 불연속면은 사면 활동면으로써 작용하게 된다. 그러므로, 초기조사단계에서부터 활동가능한 불연속면을 철저히 파악함으로써 예고된 재해를 최대한 방지할 수 있을 것으로 생각한다.

최근 국내에 널리 보급되고 있는 첨단 지반 탐사 장비의 활용도를 최대한으로 높여서 지반 특성을 파악하는 일도 개선해야 될 중요한 일이다. 지층의 수직단면에 대한 물리탐사기법을 적용하고, 시추공 내 영상처리장치를 통한 불교란 암반을 직접 확인하는 등 체계적인 현장조사 방법의 도입이 필요하다.

4.2 계획 및 설계

위험절개사면의 경사별 분포현황을 국내의 설계기준에 비교하여 보면 절개사면의 53%가 발파암의 표준경사도 1:0.5 보다 높은 경사를 가졌으며, 리핑암의 표준경사도 1:0.7 보다 높은 경사를 가진 절개사면은 전체의 77%에 달한다. 즉, 위험절개사면의 상당수는 암반절개사면의 표준경사도보다 높은 경사를 갖고 있다. 이는 안정성보다는 도로 개설 자체에 주력한 부적절한 계획에 의한 도로건설의 결과로 볼 수 있다. 즉, 절개사면의 지반특성에 따른 적정한 경사도를 무시하고 획일적으로 계획되고 설계되어 시공이 이루어진 결과로 보인다. 앞으로는 현장의



사면안정의 현재와 미래

지역이나 지질 및 토질의 특성에 맞게 절취경사도를 설계하여야 한다.

국내의 경우 기초 조사단계에서 수행된 한 두공의 시추조사 결과에 근거하여 각 기관별 표준 기준에 따라서 사면의 구배를 결정하고 소단을 결정하는 것만이 사면설계인 것으로 속단하는 경우가 많으나, 사면 설계는 필요한 보강방법까지를 포함하여야 한다. 특히, 국내의 경우 시공시 노출되는 지반 특성을 무시하고 설계안으로 시공되는 경우가 많은데, 굴착 완료 후 사면의 불안 요인이 발견되어 보강공사를 수행하게 되는 경우 시공이 매우 어렵고 경제적으로도 손실이 증대하게 되기 때문에 설계 단계에서 지반의 불연속면에 대하여 충분히 조사하여 필요한 보강방안을 제시하여야만 공사 중 안전하게 보강이 이루어 질 수 있다.

사전 조사가 잘 이루어진 경우라 하더라도 절개 사면 공사 중 예상치 못한 지질적인 불안정 요소가 발견이 되어 시공단계에서 설계를 수정해야 할 불가피한 경우가 빈번하게 발생하게 된다. 그러므로, 시공전의 사면설계는 예비설계로 간주하고 시공단계별로 노출되는 지반상태에 대한 추가적인 관찰조사를 실시하여 설계내용을 보완하면서 시공하여야 안정성이 확보될 것이다.

4.3 시공 및 보강공법

도로절개사면의 설계과정에서는 현장여건으로 인하여 세부적인 조사가 이루어지지 않는 경우가 많다. 특히, 공사이전에는 사면이 토층과 식생으로 피복되어 있어 절개사면의 지반특성을 충분히 파악하기 어려운 한계성을 가진다. 따라서 절개사면 설계 단계에서 충분히 반영하지 못한 지반상태를 시공단계에서 상세한 조사가 이루어짐으로 인하여 현장조

건에 적절한 설계변경 및 대책공법이 병행된 시공이 필요하다.

전문시공성의 결여로 인하여 시공과정에서 발생하는 불안정요소의 대처방안이 미비하여 완공 후 사면의 붕괴현상이 재차 발생하는 경우도 발생한다. 예를 들면, 격자 블록공 시공 시 다짐불량이나 우수에 의한 침식 등으로 오히려 사면의 자체하중을 증가시켜 붕괴를 유발하는 경우도 시공성의 문제점으로 대두된다. 시공과정에서 노출되는 지반상태가 설계 시에 설정하였던 지반조건과 상이한 경우에는 전문가에 의한 현장조사를 다시 실시하고, 안정성해석을 수행하여 사전에 불안정 요인을 제거함으로써 사면 붕괴를 예방할 수 있을 뿐만 아니라 보다 저렴한 예산으로 보강대책공의 시공이 가능하게 된다. 절취가 완료된 후 사면이 불안정하여 대책을 수립하는 경우에는 과대한 노력과 비용이 요구되므로 시공 중에 지반의 불안정 요인이 감지되면 공사를 중단하고 전체적인 조사를 실시하고, 안정성해석 및 보강대책을 수립하는 것이 절개사면 안전성뿐만 아니라 경제성 측면에서도 매우 중요하다고 할 수 있다.

대책공법에 따라 시공된 현장에서 전문시공성의

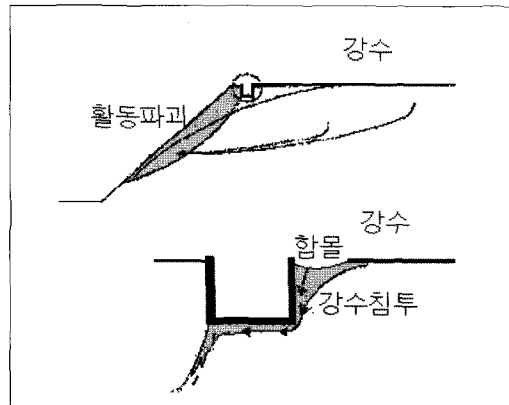


그림 3. 사면선단에서 불안정 배수 시스템의 표면수가 침투되어 사면이 불안정해 진다.

결여에서 오는 붕괴현상이 많았다. 예를 들면, 산마루 측구의 불량시공이 사면의 붕괴현상을 가져온 경우이다. 그림 3은 붕괴절개사면 상부는 경사가 거의 없는 평지가 비교적 넓게 발달하고 밭으로 활용된 현장의 사면으로, 강우 시 지표수의 절개사면내 유입량이 비교적 많을 것으로 예상된다. 그럼에도 불구하고 시공된 산마루 측구는 그림에서와 같이 평탄한 지표면의 지표수를 측구 내로 원활히 유도할 수 있는 방안이 강구되지 않은 채 시공되었다. 또한, 측구배수로 시공에 있어 기성제품의 플롯관을 설치하였으며 현장의 정밀시공의 한계성으로 인하여 플롯관이 경사면 보다 돌출되어 있어 결국 경사면을 따라 흐르는 지표수가 측구배수로 유입되지 않고 측구하부를 따라 절개사면 내부로 침투되어 사면붕괴를 촉진한 사례이다.

4.4 유지관리 계획

경사면을 구성하고 있는 흙, 암반구성물의 안정성을 평가하고 이를 설계 및 시공단계에 반영하기 위해서는 다양한 사면내 불안정 요인들을 공학적·정

량적으로 분석하여야 하는 어려움이 있다. 붕괴 징후 관찰로 인하여 위험하다고 판단되는 사면에 대해서는 현장 여건에 맞는 적절한 대책 강구와 지속적인 유지관리를 통해 장기적인 사면 안정성 확보가 필요하다. 또한 일상점검과 정기점검 등을 통한 합리적인 대책방안을 제시하여야 한다.

4.5 관리제도 개선

4.5.1 시공상에 발생하는 문제점 해결

설계단계에서 현장 지질조사나 안정성 검토 등에 대한 형식적이고 미흡한 지반 및 지질조사나 안정성 검토 후 일률적으로 암질에 따라 사면구배를 결정하고 있다.

설계단계에서의 지반 및 지질 조사 한계로 인하여 절리, 파쇄대 유무, 절리면의 전단강도를 저하시키는 물질 등 사면 안정성에 중요한 영향을 주는 요인을 고려하지 못하여 실제 이들 요인에 의하여 문제가 발생할 경우 기존 설계에 대해서도 재검토를 수행하지만 시공사와 감리, 감독관청의 책임하에 대책 공법을 결정하도록 되어 있다. 이 경우 예산상의 문

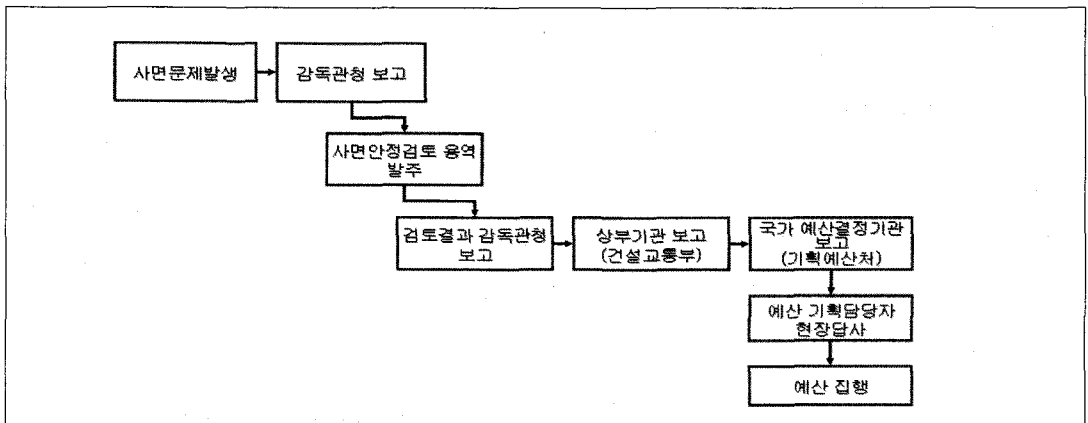
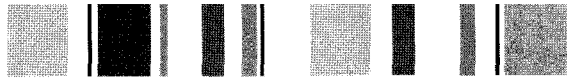


그림 4. 사면 문제발생시 처리 체계



제와 예산집행에 있어 현장의 위급함에 비하여 시일이 다소 소요되므로 이에 대한 명확한 제도확립이 요구된다.

4.5.2 위험사면의 계속 관리 제도화

이웃나라인 일본의 경우 사면 붕괴로 인한 피해를 최소화하기 위하여 국토에서 광범위 센서를 매설하여 암반 및 토사사면의 변이량을 실시간으로 측정하고 있다. 또한 낙석 발생 및 붕괴를 사전에 감지하기 위하여 무인카메라와 다양한 변위 계측기를 매설하여 계측시스템을 운영하고 있다.

따라서 국내에서는 전국 사면에 대한 데이터베이스화와 이중 위험사면으로 분류되는 구간에 대하여 지속적인 계속관리의 제도화는 외국의 사례를 수집·검토하여 절개사면에 대한 예·경보시스템을 도입 또는 개발하여 피해를 최소화할 필요가 있다.

4.5.3 인공 및 자연사면 유지관리 체계화

2002년 7월에 개정된 시설물의 안전관리에 대한 특별법에 의하면 높이 50m 이상, 연장 200m 이상의 사면은 2중 시설물로 분류하여 관리하도록 규정하고 있다. 그러나 우리나라 전체 사면의 규모나 개

수가 정확하게 파악되지 못하고 있는 실정으므로 중앙기관이나 지방관청별로 관할내의 위험사면에 대한 데이터베이스를 구축 관리하여야 하며 관청별 데이터베이스는 다시 하나의 데이터베이스로 통합하여 중앙정부 주도의 체계적인 관리가 요구된다.

4.5.4 전문가 교육 및 육성

국내에는 아직 사면분에 대한 전문가 교육시설은 전무한 상태이며, 따라서 전문가도 부족한 실정이다. 노르웨이(NGI)와 홍콩(GEO) 등과 같은 국외의 경우 범 국가적 차원에서 국가시설 전반에 대한 사업구상 및 정기적인 안정성 평가, 전문가 교육 등을 실시하는 전문연구센터를 운영하고 있다. 이는 효율적인 시설물 관리와 전문가 양성을 통하여 국가 재난 피해를 현저히 감소시키고 있으며 현재 세계적인 공인기관으로 성장하여 기술수출은 물론 국가 대외 이미지 상승에도 큰 기여를 하고 있다.

국내에도 이러한 국가 공인 전문기관을 두어 정기적인 중앙기관 공무원, 지자체 사면관리 담당 공무원 등에 대한 정기적인 전문교육 및 3~4년 간격으로 보수교육을 실시하여 조사인력 전문화, 체계화를 유도하여야 한다. 또한 이들 전문기관으로 하여금

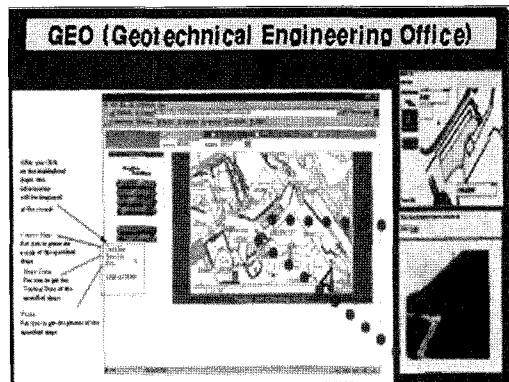
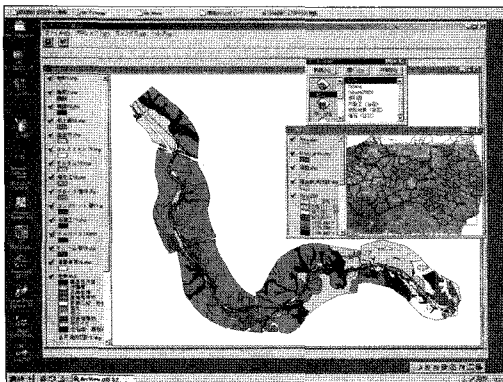


그림 5. 해외의 실시간 웹기반 사면관리

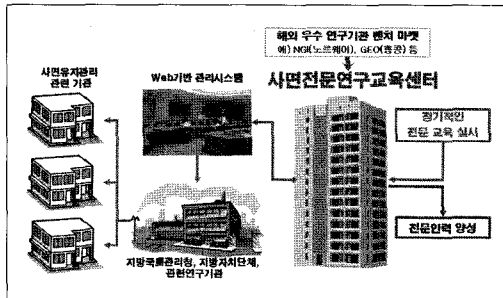


그림 6. 사면 전문 연구기관 운영 체계

국내 사면전반에 대한 체계적인 유지관리 및 현장조사, 문제발생시 관련기관과의 협의 하에 효율적인 대책방안 수립, 자문 등의 전문적인 업무를 수행하도록 해야 한다.

다시 말하면 매년 지속적으로 반복되는 사면 붕괴로 인한 피해를 사전에 방지하기 위하여 무엇보다도 전문가를 양성하는 기관 설립과 그를 통한 전문가 육성, 교육제도 개선이 반드시 뒷받침 되어야 한다.

4.5.5 예산 확충

아무리 완벽한 설계라 하더라도 완벽히 현장을 반영할 수 있는 설계는 불가능하며 설사 완벽하더라도 완벽한 시공의 지침서는 될 수 없는 것은 우리 토목 기술자들은 잘 알고 있을 것이다. 그러므로 시공중에 발생하는 현장문제에 대해서는 시공사에게만 책임을 전할 것이 아니라 제도적으로 발주기관의 충분한 예산 뒷받침이 되어 합리적이고 안전한 설계, 시공이 이루어질 수 있어야 한다.

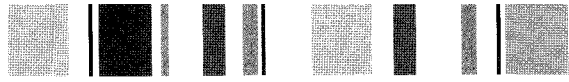
5. 결론

경제·산업적 급변속에 도로신설 및 확·포장, 대규모 택지개발 등으로 날로 늘어나는 사면에 대하여

장기적인 사면의 효율적인 설계·시공·유지관리 등이 이루어지도록 총체적인 관점에서 분석 및 검토, 개선방안을 제시하였다. 절개사면에 대한 개괄적인 현황을 살펴보기 위하여 절개사면을 구성하고 있는 절개사면 구성 분포와 절개사면의 높이 및 경사에 대하여 조사한 결과, 국내의 절개사면은 약 75% 이상이 암반 절개사면으로 구성되어 있으며, 위험 절개사면의 79%가 암반사면으로 구성되어 있다. 이로 미루어 볼 때 암반 절개사면에 대한 과학적, 정량적인 설계기준 및 시공기준이 결정되어야 할 것이다. 이를 위하여 암반사면 붕괴사태에 대한 체계적인 평가가 선행되어야 한다. 절취사면의 안정성을 해석함에 있어 고려하지 못한 요인들이 있을 수 있으므로 사면에 대한 지속적인 계속관리를 통한 안정성을 확보하여야 한다.

또한 사면 붕괴의 주요 원인이 집중강우에 있으므로 우리나라의 강우특성을 고려한 사면 붕괴 예·경보 시스템 구축에 대한 연구가 필요하다. 지질특성 또한 사면 안정성의 중요인자이므로 지반조사, 현장 시험 및 불연속면의 특성에 대한 체계적인 연구 및 조사의 체계화가 수립되어야 할 것이다.

사면설계 시에는 기존의 시추조사에 추가하여 정밀 지표지질조사로 불연속면의 방향성과 특성을 파악하여 잠재적인 활동 가능성이 있는 불연속면을 확인하고 물리탐사기법을 이용하여 사면 계획 지점의 지질상태를 연속적으로 파악할 필요가 있다. 이러한 정보에 기초하여 필요한 보강방안을 제시하여 굴착 중에 적절한 보강이 이루어지도록 하거나, 공사 중 관찰된 지반상태에 근거하여 적절한 안전대책을 수립하여야 경제적인 건설이 가능하게 된다. 굴착완료 후에 사면파괴가 발생하면 보강대책을 적용하는데 많은 어려움이 뒤따르게 되거나 현실적으로 보강이 불가능하게 되는 경우도 있을 수 있다.



유지관리 시에도 위험 가능성이 있는 사면에 대하여서는 계속계획을 수립하여 사면 거동을 체계적으로 감시할 필요가 있다. 재해방지 차원에서 인명피해가 예상되는 사면에 대하여서는 경보체계를 구축하는 것도 검토할 필요가 있다.

마지막으로 앞서 언급한 설계·시공·유지관리의 문제점 및 그에 대한 개선방안과 효율적 시공을 위한 예산 확충, 전문인력 양성, 관리제도 체계화가 이루어지는 것이 사면 기술자들이 나아갈 방향이라고 생각된다.

참고문헌

1. University of California at Berkeley(2005), "Civil and Environmental System Engineering Catalogue", 2005
2. 한국지반공학회(2003), "지반조사결과와 해석 및 이용", 지반공학시리즈 1, 구미서관
3. ASCE(2003), "Grouting & treatment", Geotechnical Special Publication No.120, ASCE, pp.1~24
4. Jing, L.(2003), "A review of technique, advances and outstanding issues in numerical modeling for rock mechanics and rock engineering", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 40(3), pp.283~350
5. Ishihara, K. and Towhata, I.(1980), "One-dimensional soil response analysis during earthquake based on effective stress model", Journal of the Faculty of Engineering, University of Tokyo, Vol.35, No.4
6. Geo-Slope(1998), User's Guide for SLOPE/W, version 4. Geo-slope International Ltd, Canada
7. Geotechnical Engineering Office(1997), Geotechnical Manual for Slopes, pp.95~105
8. 건설교통부(2003), 도로설계편람, 도로배수시설 설계 및 유지관리지침
9. 한국도로공사(2000), 도로설계요령, 제4편 토공 및 배수편, pp.410-2~410-78
10. 도로안전시설 설치 및 관리 지침 연구 - 낙석방지시설, 도로반사경, 장애인 안전시설 편 작성(2000), 건설교통부, pp.7-94
11. 정형식(2004), 토목기술자를 위한 암반역학, pp119~288, 도서출판 새론
12. 한국지반공학회(1997), "사면안정", 지반공학시리즈 5, 구미서관, pp1~25.
13. 이승호 외 1인(2004), "집중호우시 군사시설물이 설치된 사면의 안정성평가에 관한 연구", 한국지반환경공학회 논문집, 제5권, 제4호
14. 이승호 외 3인(2003), "강원산간지방 도로확장 대절토부 사면안정 처리에 관한 연구", 한국지반공학회 봄 학술발표회 논문집
15. 이승호 외 4인(2003), "산마루 측구가 사면안정성에 미치는영향에 대한 해석적 검토", 대한토목학회
16. 정형식, 이승호, 신희순(2001), 고속도로 대절토사면 안정성평가에 관한 연구. 사면안정 학술발표회 논문집, pp.111-120.
17. 건설교통부(2000), 국내사면 파괴 특성을 고려한 토사사면의 안정해석 및 보강기법 시스템, '97 건설교통기술연구사업 최종보고서, 한국과학기술원 pp.239