

제주도 산방산의 낙반대책에 관한 연구

이수곤

서울시립대학교 토목공학과

최세근

서울시립대학교 토목공학과

Steve Hencher

영국 Halcrow 엔지니어링 회사 홍콩지사

1. 서 론

제주도 남제주군 안덕면 사계리에 위치하는 산방산은 화려한 장관과 아름다운 경관으로 유명한 관광지역이다. 이곳은 해마다 많은 관광객들이 찾고 있는 곳이며, 외국인 관광객들도 늘어나고 있는 추세이다. 그러나 제주도 산방산 일대에는 화산암인 조면암이 분포하고 있는 지역으로 지질구조적인 특징과 기후의 특성으로 인하여 낙석 발생이 빈번하고 있으며, 낙석 위험이 항상 상존하고 있어 이에 대하여 지질공학적인 측면에서의 낙석 발생요인 및 낙석 위험도 분석이 필요하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 산방산 우회도로 약 465m 구간을 대상으로 이에 대한 다양한 조사 및 분석을 통해 합리적인 낙석대책 방안을 연구해 보고자 한다.

2. 본 론

2.1. 낙반 형태 분석

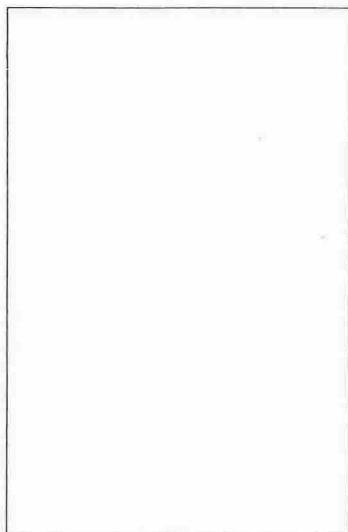


그림 1. 낙석발생 모식도
발생 형태로 분석되었다.

연구지역의 암반사면 현장에는 기존에 발생된 여러 형태의 낙석들이 많이 분포하고 있다. 또한 현재에도 연구지역에는 낙석이 발생하고 있는 여러 증거들이 발견되는데 이렇게 기존에 발생한 낙석들을 면밀히 관찰하고 기존에 발생한 낙석의 모양과 분포상태, 위치, 그리고 지질구조 등을 고려하여 낙석발행 형태를 추정해 보았으며, 이를 토대로 지형단면을 고려하여 그림 1과 같이 모식도를 작성하여 요약 분류하였다. 연구지역의 낙석발생 형태를 현장 조사를 통하여 분석한 결과 낙석은 A형태와 같이 상부의 암반사면을 튀기며 아래로 떨어지는 경우와 B형태와 같이 상부 암반사면에서 곧바로 굴러떨어지는 경우, C형태와 같이 수평절리 등에 의하여 주상절리 블록이 토사사면 하단으로 떨어지는 경우, 그리고 D형태와 같이 낙하고가 낮은 곳에서 작은 암괴들이 낙하하는 경우로 모두 4가지 형태의 낙석발생 형태가 본 연구지역의 대표적인 낙석

2.2. 지질구조 분석

연구지역의 암벽은 조면암으로 풍화상태는 중간풍화 ~ 신선한 상태를 보이며, 슈미트 해머 타격 수치(SHV)는 대부분 40 ~ 50정도로 보통암 이상의 상태를 나타내는 지역이다. 조사지역 분포하는 절리는 수직절리와 수평절리가 우세하게 분포하는 방상형의 주상절리로 절리의 경사방향(Dip direction)이 구간에 따라 조금씩 변화하는 경향을 보인다. 또한 조사사면의 Cutting face의 주향은 N30E ~ N50E로 점이적인 변화양상을 보인다. 이러한 요소들을 종합적으로 검토, 분석하여 조사 지역의 암반사면을 효율적으로 분석하기 위하여 대상지역을 3개의 ZONE으로 구분하여 조사를 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다(그림 2).

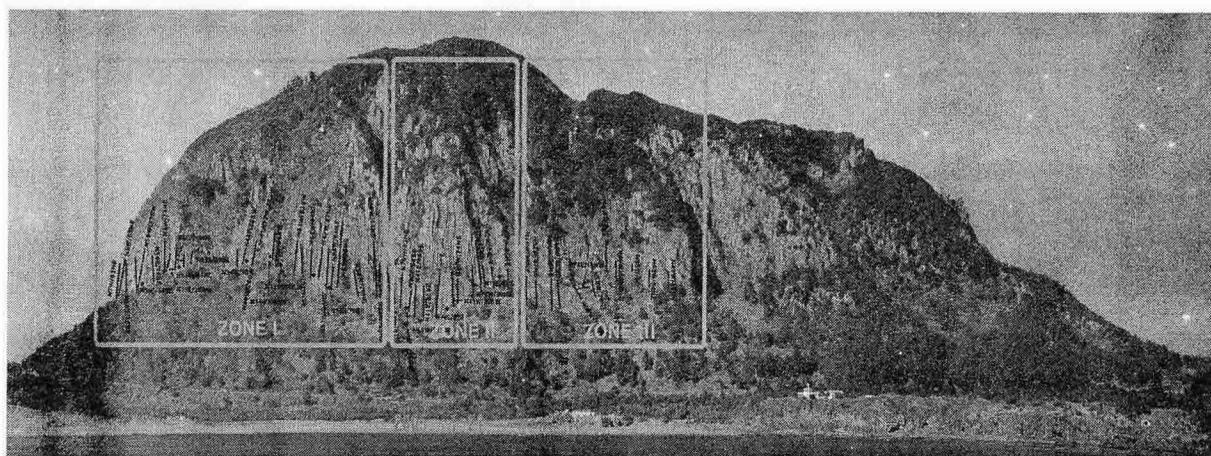


그림 2. 조사지역의 ZONE 설정 및 불연속면의 방향 측정 결과

표 1. 조사지역의 ZONE별 평사투영 해석

구분	ZONE I	ZONE II	ZONE III
평사투영 해석			
쐐기파괴 가능성 검토			
해석결과	평면, 전도파괴 및 쐐기파괴의 가능성 존재	평면파괴와 전도파괴의 가능성 존재	전도파괴 가능성 존재

2.3. 낙석의 안정성 검토 및 위험도 분석

낙석 위험도 분석을 위하여 현장 mapping을 실시하고 낙석 예상분포도를 작성하여 낙석 발생 가능성 및 위험도 분석을 수행하였으며, 낙석 발생 가능성 및 위험도 검토를 위하여 Rocscience사의 Rocfall 프로그램을 이용하여 낙석의 에너지 규모를 분석하였다. 분석에 필요한 낙석의 parameter 들은 현장조사와 실내암석시험 자료를 활용하였다. 또한 연구지역에 분포하는 낙석위험 암괴를 파악하기 위하여 현장사진 분석과 함께 항공사진을 이용하여 낙석예상 암괴를 추정하였으며, 이들은 현장 조사자료와 비교하여 검토 및 확인과정을 통해 낙석 위험도를 판단하였다.

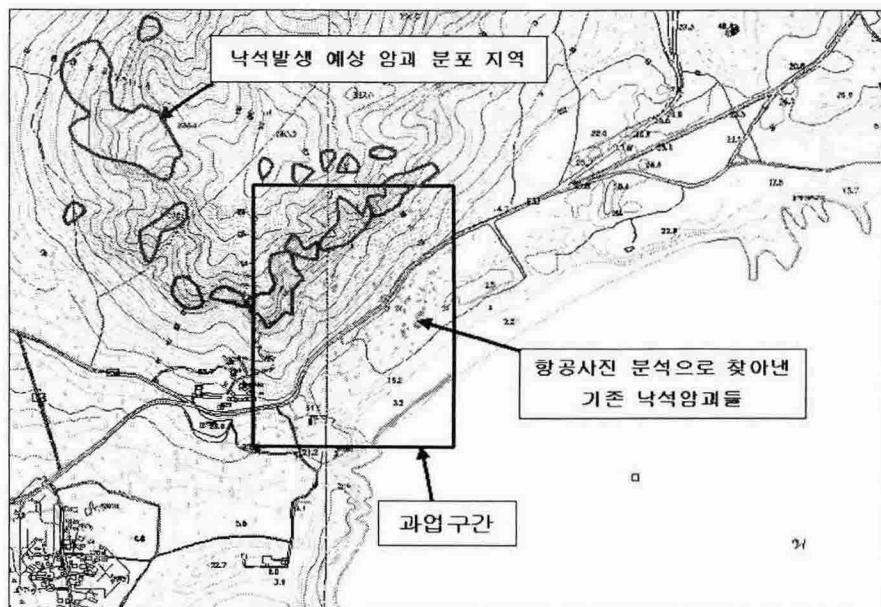


그림 3. 항공사진 분석에 의해 추정된 낙석예상암괴

항공사진을 이용하여 이미 발생한 낙석의 분포를 OHP 필름에 표시하고 이를 1:5000 지형도와 겹쳐놓아 기존에 붕괴된 낙석들을 지형도에 옮겨 놓았다(단, 항공사진은 봄-여름에 촬영된 것으로 추정되기 때문에 작은 나무와 이미 떨어진 암괴를 구분하는 것이 어려웠고, 큰 나무 아래에 있는 떨어진 암괴는 항공사진에서 발견할 수 없는 한계성도 있었음을 첨언해 둔다). 그 결과 기존에 발생한 낙석들의 분포가 한눈에 들어올 수 있었으며, 이를 통해 낙석발생이 빈번했을 것으로 추정되는 구간들을 확인할 수 있었다. 앞으로 이러한 자료를 통해 낙석발생 예상 구간을 선정하고 낙석 발생 예상암괴의 위치를 예측할 수 있다면 낙석발생에 대한 대비책을 보다 더 확고히 설립할 수 있을 것으로 판단된다.

연구지역에 분포하는 낙석예상 암괴에 대하여 Rockscience사의 Rocfall 프로그램을 이용하여 연구지역에 대한 낙석예상 암괴의 위험도 및 그 에너지 규모를 추정해 보고자 하였다. Rocfall 프로그램은 낙석의 운동에너지와 위치에너지의 합을 이용하여 낙석의 에너지를 분석하며, 낙석방지책을 설정함으로써 낙석의 보호대책을 모색해 나가는데 유리하고, 경사면 각 지점에서의 운동에너지와 여러 항목들을 일목 요연하게 확인 가능하고, 낙석의 이동 경로를 가시적으로 보여줌으로써 펜스 및 기타 방호벽의 효과적인 설치 위치를 판단 가능케하는 장점이 있는 프로그램이다. 따라서 본 연구지역의 낙석에너지 규모를 분석하는데 매우 유리한 프로그램으로 판단되어 이를 현장조사 자료를 이용하여 활용하여 보았다.

프로그램 분석시 낙석의 Parameter로 낙석의 초기속도는 수평속도를 3.0m/s로 결정하였고, 수

직속도는 고려하지 않았다. 또한 초기속도의 표준편차는 1.5로 주어 가능한한 다양한 예상결과를 얻도록 하였다. 낙석에 대한 물성치는 실내실험 결과를 이용하였고 낙석의 예상이동 궤적은 낙석 예상블력을 50회 계산하여 얻어지도록 하였다. 낙석에너지 분석은 연구지역에 낙석방지 펜스가 기존에 설치되어 있어 현재 상황에서의 낙석발생시 낙석방호 능력을 평가하였으며, 그 에너지를 분석한 결과를 토대로 추가적으로 낙석방지 방호벽이 어느정도의 규모를 가져야 하는지를 부가적으로 검토하여 보았다. 검토결과 낙석에너지 규모는 지질구조 특성상 다양한 것으로 분석되었는데, 낙석 발생시 낙석은 지반에 낙하할 경우 깨어질 수 있는 가능성이 있어 그 에너지 규모를 그대로 믿어서는 안될 것으로 판단한다. 따라서 절대적인 수치는 아니며, 이를 얼마나 적절하게 현장 여건에 맞도록 해석하는 것이 필요하므로 이에 대한 합리적인 판단은 현장 조사에서 관측한 기준에 발생한 낙석의 규모와 이를 역추적하여 낙석발생이 어디에서 시작되었는지를 검토해 보아야 할 것으로 판단한다.

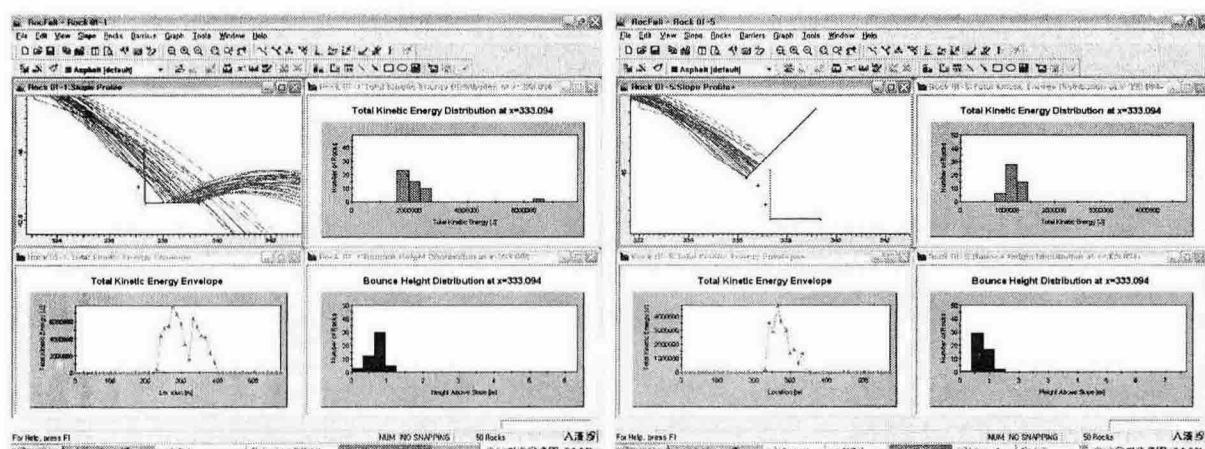


그림 4. 낙석방지펜스를 이용한 경우(좌)와 부가적으로 추가 방호벽 설치시 낙석 안정성 분석(우)

표 2. 구간별 낙석예상 구역에서의 대표적인 낙석예상 암괴들의 안정검토 결과

구간	표고 (m)	낙하고 (m)	낙석의 체적 (m ³)	중량 (ton)	낙석 평균에너지 (t · m)	피해규모
ZONE I	167	42	5.6	14.9	111.0	중파
	202	77	184.5	676.9	10211.3	대파
	270	145	270.9	2.1	8.6	소파
	253	128	1.0	2.6	11.2	소파
	195	70	1.2	1.0	0	피해없음
ZONE II	200	75	6.7	17.8	0	피해없음
	162	37	17.4	46.1	119.5	중파
	249	124	15.7	41.5	178.8	대파
	220	95	13.6	36	238.2	대파
	175	50	44.5	117.8	0	피해없음
ZONE III	222	97	2.5	6.6	29.1	중파
	293	168	0.8	2.1	21.8	소파
	265	140	6.7	17.8	0	피해없음
	143	118	9.2	24.3	88.1	중파

3. 결 론

제주도 산방산 지역은 지질구조적인 특징과 기후적인 영향으로 인하여 지속적으로 낙반이 우려되고 있으며, 현재에도 낙반 위험 암괴들이 많이 관찰되고 있어 이에 대한 지질공학적인 접근이 반드시 필요하다. 따라서 본 연구에서 도출된 지질공학적인 안정성 판단과 Rockfall 프로그램에 의한 낙석안전대책 연구결과는 다음과 같다.

- (1) 산방산 암체는 화산암에서 많이 관찰되는 고각의 수직절리가 발달하므로 절리틈새가 벌어져 전도파괴가 높은 실정이다. 여기에 부가하여 산방산 암벽 최상부에는 나무가 많이 자라고 있는데, 수직적인 주상절리 틈새로 나무뿌리가 뚫고 들어가 나무뿌리 압력에 따른 쪘기 힘에 의하여 수직 절리 틈새가 더욱 벌어지고 있다. 또한 제주도 산방산은 제주도 남부지역에 위치하고 있어 강우량이 다른 지역에 비하여 더 큰 지역이므로 수압에 의한 전도파괴 가능성도 내재되고 있는 것으로 판되므로 이에 대한 안전대책이 시급하다.
- (2) 본 구간에서 낙석위험이 많다고 추정된 위험구역에서 대표적인 위험암석이 낙반되어서 하부에 미치는 낙하에너지의 범위는 일반적으로 $20 \sim 200t \cdot m$ (위험암괴의 체적이 $2.0\text{--}4.2m^3$), 그러나 낙석에너지가 약 $10200t \cdot m$ 에 달하는 $185m^3$ 규모의 낙석도 있음)에 해당되지만 현재 설치되어 있는 낙석방지펜스의 방호에너지는 $5t \cdot m$ 에 불과하므로 현재 설치되어 있는 낙석방지펜스를 우선적으로 보강하고 낙석방지펜스의 이외의 추가 보호 대책을 제안한다.
- (3) 산방산이 관광지역이라는 특성과 보강대책의 경제성을 고려해 볼 때 본 지역의 위험구역에서 대표적인 위험암괴의 낙반에 따른 피해를 효율적으로 막기 위해서는 위험구역에서의 대표적인 위험암괴(위험암괴의 체적이 $2.0 \sim 4.2m^3$ 으로서 낙하시 $20 \sim 200t \cdot m$ 의 에너지 규모)의 낙반에 따른 피해 규모와 본 지역의 현장 여건으로 보아 그림 3.1과 같이 스위스 지오브르그사의 링네트(Ring Net) 보호대책이 가장 적합하다고 판단된다.

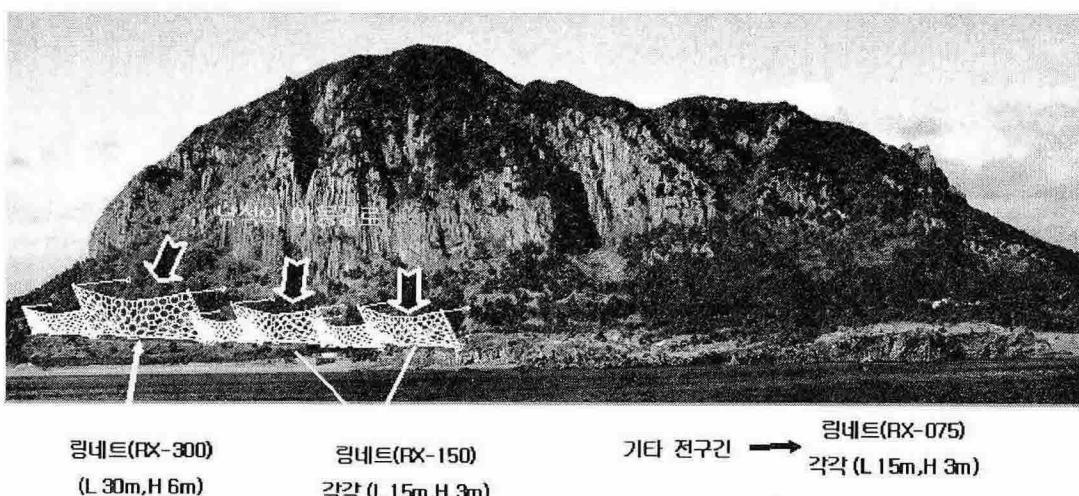


그림 5. 낙석의 규모를 고려한 낙석보호대책 제안 모식도

참고문헌

- 박기화 외, 2000, 제주(백아도, 진남포) 지질도폭, 한국자원연구소, 28~31.
- 박기화, 조등룡, 김정찬, 모슬포·한림도폭, 한국자원연구소, 11~23.
- 구호본 박혁진 백영식, 2001, 현장 낙석실험을 통한 낙석방지울타리의 특성 및 성능 평가, 대한토목학회, 111~121.