

부산 황령산 유원지 사면안정 검토사례

Slope Stability analysis of HwangRyung-San Amusement Park in Pusan.

홍원표¹⁾, Won-Pyo Hong, 박남서²⁾ Nam-Seo Park

요약 (Abstract)

본 논문은 절리 및 단층이 발달한 중생대 백악기 응회암 분포지역에서 유원지 설계를 위해 실시한 지질조사 결과 모든 사면에서 평면, 전도, 썩기 및 원호파괴의 가능성이 확인되어 대규모 암반사면의 안정성을 확보하기 위한 최적의 설계 방안을 도출한 사례이다.

암반사면의 파괴 유형과 파괴 가능성을 결정하는 요소는 암반에 발달하는 절리, 층리, 편리 및 단층과 같은 불연속면의 기하학적 분포와 상호관계 그리고 직접전단강도와 같은 물성치이다.

이상과 같은 지반정보수집을 위해 본 연구지역에 대한 정밀지질조사를 실시한 결과 대상사면의 R.M.R. 값이 22~32, S.M.R. 값은 0~17점으로 매우 불량하며, 지반의 파쇄정도가 심하고 파쇄대가 폭 넓게 분포하여 우기에는 우수의 지중침투가 활발 할 것으로 판단되었다.

따라서, 사면의 안전율을 유지하기 위해 Rock bolt공, Shotcrete공 및 Ivy net공을 적용하고, 안전율 증가를 위해 억지말뚝공법을 적용하였다.

보강효과 확인을 위해 실시한 수치해석 결과 보강 전 사면의 안전율은 지하수 포화시 0.6~0.79, 지하수 불포화시 0.71~1.36으로 나타났으나, 보강공법 적용 후에는 1.09~1.76과 1.34~2.03으로 각각 안전율이 현저히 증가하는 것으로 계산되어 보강효과를 확인할 수 있었다.

주요어(Key words) : R.M.R, S.M.R, 우세절리군, 평사투영법, 단층점토, 평면파괴, 전도파괴, 썩기파괴, 원호파괴, 무한사면파괴, 억지말뚝

Abstract: Cut-slope failure occurred at HwangRyung-San Amusement Park in Pusan, which base-rock is Mesozoic tuff with tight spaced joints and faults infilled with clay gouges. Due to these joints and faults, SMR values of the cut-slope are very low to be 0~17 from the results of detail geological mapping. And the results of some shear strength tests show very low shear strengths.

A series of a back analysis of slope stability shows several failure types such as plane failure, toppling, wedge failure and circular failure

In order to increase the factor of safety, stabilizing pile method is recommended, and shotcrete, ivy net method are applied for the slope protection.

The factors of safety are increased from 0.6~0.7 to 1.09~1.76 after application of those reinforcement methods under saturated condition in numerical analysis.

1. 서언

본 논문은 부산광역시 남구 황령산 유원지 내에 운동시설을 조성함에 있어 절개사면의 안정성을 확보하는 최적의 설계방안을 도출하기 위한 목적으로 1996년 10월부터 약 2개월간 지질 조사를 실시하고 이후 약 3개월간 안정성 평가 및 설계를 수행한 결과이다.

1) 중앙대학교 공과대학 건설환경공학과, 교수

2) 대덕공영 주식회사, 사장

2. 지형 및 지질

2.1 지형

심성암류에 비해 화학적 풍화에 강한 특성을 지니고 있는 백악기 유천층군 화산암류로 구성된 본 지역 주변의 지형은 해발고도가 높지는 않으나 산 사면의 경사가 비교적 가파른 편이다. 따라서 안산암으로 구성된 황령산과 금령산 일대는 급사면을 이루고 있으나, 응회질 퇴적암으로 구성된 연구지역 부지 주변은 인근의 산지들에 비해 비교적 완만한 사면을 형성하고 있다.

2.2 지질

본 연구지역 주변에는 중생대 백악기 경상누층군의 유천층군과 불국사 관입암류가 분포하고 있으며, 유천층군은 하부로부터 다대포층, 안산암질 화산각력암, 안산암, 암회색 응회질 퇴적암, 유문석영안산암질 각력암, 유문석영 안산암, 유문암질암으로 구성되어 있다.

대체로 유천층군은 초기에는 정상적인 퇴적상이 우세하였으나, 점차로 안산암질 화산활동이 우세해 지면서 응회질 퇴적물이 퇴적되었다. 즉, 본 연구지역에 광범위하게 분포하고 있는 응회질 퇴적암류는 안산암질 화산활동 후기의 휴화산기에 생성된 것으로 볼 수 있다.

본 연구에서는 절개사면의 안정성을 판정하기 위하여 지표지질조사, 시추조사, 암반강도측정 등의 현장시험과 시추조사시 채취된 암석 코어로 실내시험을 실시하였으며, 이를 토대로 대상 사면 암반의 공학적 특성을 분석하였다.

3 현장조사

3.1 지표지질조사

본 지역을 절개지 사면의 방향에 따라 7개 지역으로 구분하고(그림 1), 절리 발달상태, 풍화 상태, 지하수상태, 절리간격 및 절리면의 거칠기를 조사한 결과는 다음 <표 1>, <표 2>와 같다.

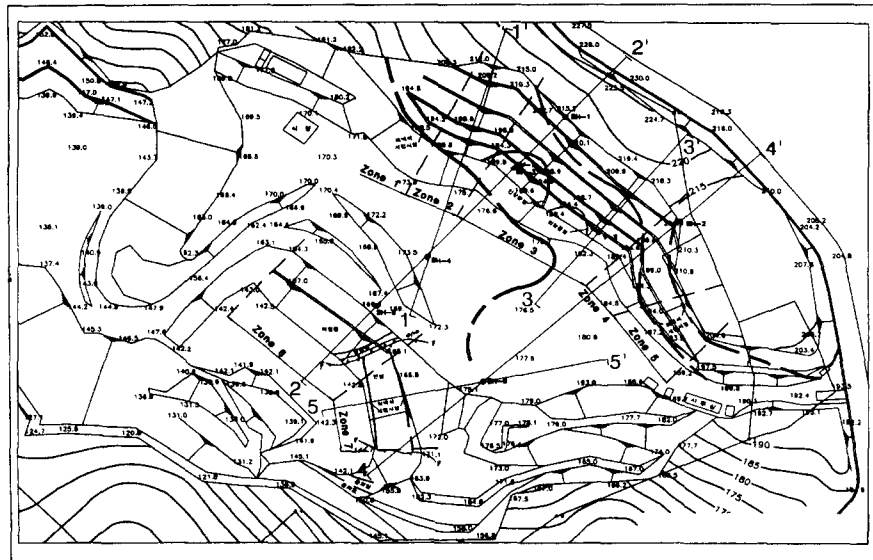


그림 1. 대상 사면의 평면도

절리면 조사결과 모든 사면에서 주향과 경사가 매우 불규칙한 분산을 보이고 있어 방향성에 따른 우세절리군 분석이 불가능하며, 절리면의 간격도 Extremely close ~ Moderately spacing을 나타내고 틈새도 Partly open ~ Very wide aperture로 비교적 광범위한 양상을 보인다. 특히, Extremely wide aperture는 사면에서 인장균열이 발생된 지역에 해당된다.

이러한 절리면의 불규칙한 방향성은 평면, 전도 및 썩기과피의 가능성보다는 전형적인 원호과피 양상과 일치하는 것으로 판단된다.

절리면 거칠기는 Planar-Smooth ~ Undulating-Rough의 범위를 나타내고 있으나, 대부분의 절리 또는 단층면상에서 단층점토(fault gouge)가 다량으로 관찰되었다. 따라서 절리면 전단강도 시험시 단층점토의 영향을 감안하였다.

표 1. 절리간격 측정결과

사면	절리간격 (cm)				절리빈도(수/m)			체적절리계수 (절리/m ³)	RQD	비고
	최소	최대	평균	등급	1군	2군	3군			
1	0.5	15	6.8	S ₂ (좁음)	14	12	16	42	0	
2	0.5	20	9.6	S ₂ (좁음)	13	9	9	31	12.7	
3	2	20	6.7	S ₂ (좁음)	12	23	24	59	0	
4	1	20	9.3	S ₂ (좁음)	12	11	9	32	9.4	
5	2	30	11.7	S ₂ (좁음)	7	12	8	27	16	
6	(2)	(30)	(14.7)	S ₂ (좁음)	(20)	(4)	(7)	(31)	(12.7)	대부분 매립층.()는 암반
7	1	30	8.2	S ₂ (좁음)	18	5	26	49	0	

표 2. 절리면 조사결과

사면	절리의 방향성 (dip.dir./dip.ang.)	간격	틈새	거칠기	연속성	사면의 방향성	풍화도
Zone 1	71~141 / 5~85 190~223 / 77~89	extremely close ~ close	partly open ~ very wide	planar smooth ~ undulating smooth	very low ~ medium	N57W/ 42SW	highly ~ moderately
Zone 2	65~110 / 38~87 164~235 / 53~87 304~10 / 56~88	"	open ~ extremely Wide	planar smooth ~ undulating rough	very low ~ medium	N73W/ 40SW	"
Zone 3	1~24 / 78~86 94~142 / 75~89	very close ~ close	"	planar smooth ~ undulating rough	very low ~ medium	N50W/ 45SW	"
Zone 4	121~145 / 61~82 188~220 / 78~87 277~290 / 83~88	extremely close ~ close	partly open ~ very wide	planar smooth ~ planar rough	low ~ high	N10W/ 52SW	"
Zone 5	122~171 / 52~89 225~259 / 75~85 300~343 / 61~88	very close ~ moderately	open ~ very wide	planar smooth ~ planar rough	low ~ high	N30W/ 40SW	"
Zone 6	62~79 / 78~86 139~247 / 14~87 285~300 / 74~83	"	partly open ~ wide	planar smooth ~ planar rough	low ~ medium	N52W/ 70SW	completely ~ highly
Zone 7	22~68 / 70~88 93~138 / 68~85 177~246 / 67~87	extremely close ~ moderately	"	planar smooth ~ planar rough	very low ~ medium	N10W/ 60SW	highly ~ moderately

3.2 시추조사

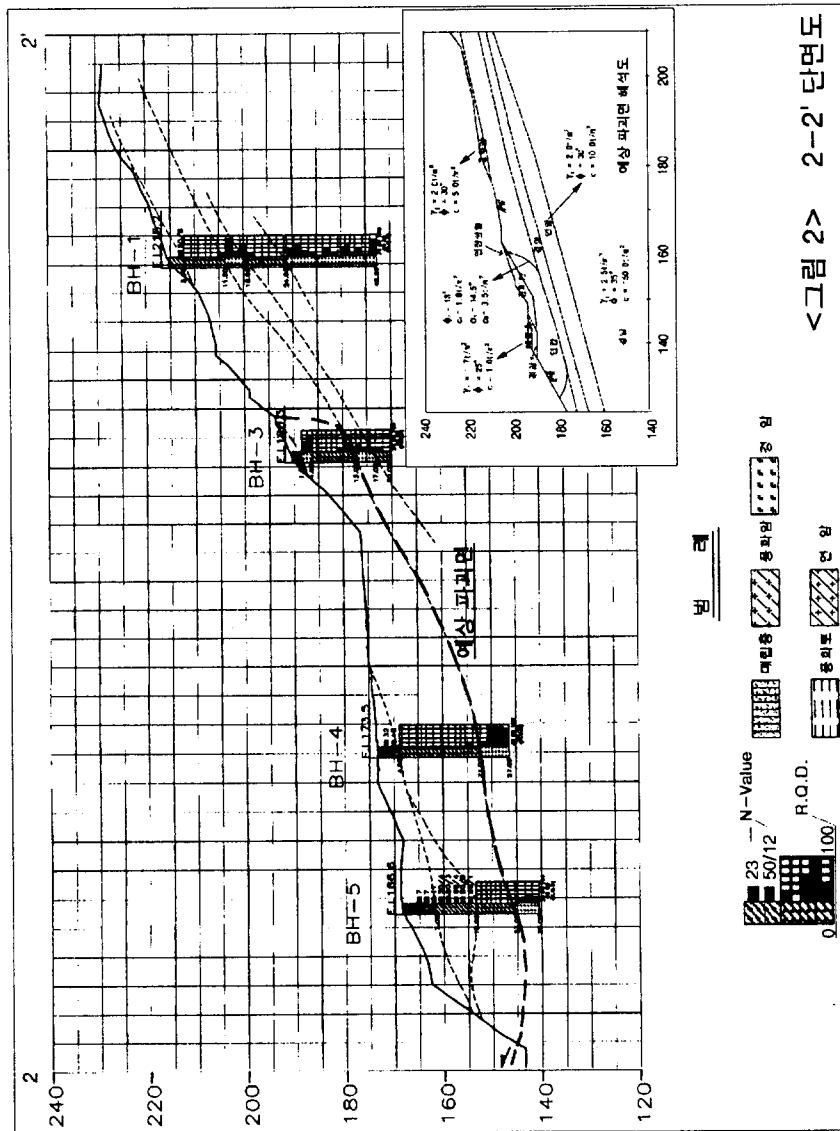
지하 암반의 상태를 파악하고 실내시험용 코어를 채취하기 위해 8개소에서 총 206m의 시추조사를 실시하였다. 이들 시추공 중 2개소는 보다 정확한 사면상태 파악을 위해 사면에 수직하게 시추조사를 수행하였다(총 23m 심도).

시추조사결과 지표로부터 매립층, 풍화암층, 연암층, 경암층의 순으로 분포되어 있다.

특히 경암층에서 R.Q.D가 0이고 단층점토를 다량 함유한 파쇄암층이 두껍게 나타나고 있으며, 이 파쇄암층은 지표에 나타나는 대규모 인장 균열대와 연결된 것으로 판단되었다.

이러한 대규모 파쇄암층과 파쇄암층 내에 다량의 단층점토가 나타나는 현상과, 분리면이 매우 불규칙하고 그 방향성이 분산되어 나타나는 현상을 통해 본 지역과 같은 암반사면에 대규모의 원호파괴가 일어나는 현상이 잘 설명될 수 있다.

다음 <그림 2>는 시추공 BH-1, 3, 4, 5를 연결한 단면 2-2'로서 본 연구지역을 대표할 수 있으며, 굵은 파선은 R.Q.D가 0인 부분을 연결한 예상 파괴면 이다.



3.3 암반강도시험(Schmidt hammer test)

조사대상 지역에서 각 Zone별로 10회에 걸쳐 Schmidt hammer 반발계수를 측정하였으며, 그 평균값을 일축압축강도로 환산하여 나타낸 결과는 표 3과 같다.

시험결과 Zone 1, 2, 4, 5는 R₃ 등급(medium strong)에 해당되고, Zone 3, 6, 7에서는 R₂ 등급(weak)에 해당되는 값을 나타내고 있다. Zone 6은 대부분이 매립층으로 구성되어 있어 상기에서 측정된 강도는 국부적인 암반강도를 나타낸 것이다.

표 3. Schmidt hammer test 결과표

조사구역	반발계수(R)	최소	최대	평균	환산일축 압축강도(kg/cm ²)	등 급	비 고
Zone 1	36, 43, 40, 27, 63, 33, 50, 43, 29, 46	27	63	41	370	R ₃ , Medium, Strong	
Zone 2	54, 45, 39, 31, 45, 37, 32, 58, 43, 28	31	58	41	370	R ₃ , Medium, Strong	
Zone 3	32, 31, 72, 47, 26, 43, 45, 35, 23, 24	22	47	33	250	R ₂ , Weak	Sliding 파괴 지역
Zne 4	49, 28, 26, 58, 22, 60, 48, 53, 57, 60	22	60	46	450	R ₃ , Medium, Strong	
Zone 5	58, 22, 25, 26, 23, 26, 48, 32, 60, 60	23	60	38	320	R ₃ , Medium, Strong	
Zone 6	25, 27, 28, 35, 22, 23, 28, 20, 28, 24	22	35	26	158	R ₂ , Weak	매립층 제외
Zone 7	59, 42, 22, 26, 29, 32, 24, 28, 22, 27	22	59	31	220	R ₂ , Weak	

3.4 공내재하시험(Pressuremeter test)

조사지역 지층의 공학적 특성을 파악하기 위해 실시한 공내재하시험 결과는 <표 4>와 같다. 공내재하시험 결과에 따르면 1,665~37,348.7kg/cm²의 매우 광범위한 분포를 나타내고 있다. 이는 본 조사지역에서 파쇄대가 빈번히 출현하고 있는 것과 관련이 있을 것으로 판단된다

표 4. 공내재하시험 결과

공 번	항 목	심 도(m)	P ₀ (kg/cm ²)	P _y (kg/cm ²)	E _a (kg/cm ²)	비 고
BH - 1		7.0	11	80	14,596.7	H.W
BH - 3		6.0	11	49	1,665.1	H.W
BH - 4		15.5	30	145	37,348.7	H.W

4 실내시험

4.1 일축압축강도 시험

암석 시료에 대한 일축압축시험 결과는 녹회색 조립사암 및 담회색 세립사암인 경암층의 강도가 716~2,305 kg/cm² 로 매우 심한 편차를 나타내었다.

4.2 Slake durability test

암석에 대한 Slake durability test 결과 S-D Index는 98.95~99.39 범위의 매우높은 내구성을 보여주고 있으나, 시험대상 암종이 암회색 석회질 세일로써 시험 후 표준철망내에 잔류하는 시료들이 원래크기의 1/2 이하의 작은 조각들로 부서져 나타나는 것으로 볼 때 암석 자체의 강도는 크지만, 성층면을 따라 쪼개지는 세일의 고유한 성질을 나타내는 것으로 판단된다.

4.3 절리면 전단시험(Joint roughness test)

절리면의 역학적 특성 파악을 위해 실시한 절리면 전단시험 결과는 <표 5>과 같다.

충전물을 함유하지 않은 시료에 대한 시험결과는 점착력(C) 0.9~3.6kg/cm², 내부마찰각(ϕ) 34°~44°로 매우 높은 결과치를 보이나, 충전물을 함유한 시료는 점착력(C) 0.2~0.4kg/cm², 내부마찰각(ϕ) 13°~16°로 상대적으로 낮은 값을 보여 상당한 편차를 나타내었다.

본 지역에서의 사면 안정해석을 위한 대상 단면 내에 분포하는 전반적인 암반상태를 감안할 때 본 지역을 대표하는 C, ϕ 값은 파쇄대 내에 포함된 충전물의 영향을 고려하여야 한다.

따라서, 사면안정 해석을 위해서는 시추주상도에서 확인되는 파쇄대면에 충전물을 고려한 절리면 전단강도를 적용하여 해석을 실시하였다.

표 5. 절리면 전단 시험결과

공 번	심 도 (m)	점 착 력(kg/cm ²)	내부마찰각(°)	비 고
BH - 1	31.5	0.2	16	충전물 함유
BH - 2	17.0 - 17.4	3.6	36	
	27.0 - 28.0	3.3	34	
BH - 5	24.0	0.4	13	충전물 함유
	26.3 - 26.5	0.9	41	
V 2	24.0	1.0	44	

5. 현장 및 실내시험 성과분석

현장 및 실내시험을 종합하여 R.M.R 및 S.M.R 분류를 실시한 결과는 표 6 및 7와 같다.

표 6. R.M.R 결과표 (*discontinuity orientation 보정은 제외)

구역	일축압축강도(kg/cm ²)	절리간격(cm)	R. Q. D.	절리의 상태						용수	암반 분류	비 고
				연속성(m)	틈(mm)	충전물(mm)	거칠기	풍화도	소계			
1	370	6.8	0	3~10	1~5	soft<5	편평함	보통풍화	10	0	IV 불량	
	5	8	0	2	1	2	2	3			23	
2	370	9.6	12.7	1~3	0.1~1.0	soft<5	약간거침	보통풍화	16	0	IV 불량	
	5	8	3	4	4	2	3	3			32	
3	250	6.7	0	3~10	75	soft>5	편평함	매우풍화	5	0	V 매우불량	sliding 파괴
	4	8	0	2	0	0	2	1			17	
4	450	89.3	9.4	1~3	1~5	hard<5	약간거침	보통풍화	16	0	IV 불량	
	6	8	1	4	2	4	3	3			31	
5	320	11.7	16.0	3~10	1~5	hard<5	약간거침	보통풍화	13	0	IV 불량	
	5	8	2	2	1	4	3	3			28	
6	(158)	(14.7)	(12.7)	.	.	.	.	(매우풍화)	.	.	V 매우불량	(.)안은 암반
	0	0	0	.	.	.	.	.			.
7	220	8.2	0	3~10	1~5	hard<5	편평함	매우풍화	10	0	IV 불량	
	4	8	0	2	1	4	2	1			22	

* 강우 및 지하수에 직접적인 영향을 받는 점을 고려하여 용수상태는 '0'점 처리 함.

R.M.R 분류결과 Zone 1, 2, 4, 5, 7은 IV등급인 22~32점의 불량한 암반상태를 가지며 Zone 3, 6은 V등급인 0~17점으로 매우 불량한 암반상태를 나타내고 있다. S.M.R은 R.M.R 값에서 절리면의 방향성(절리면과 사면의 방향성 관계)항을 추가하고 이 값에서 굴착방법에 대한 보정을 실시한 것으로 Romada가 제안한 이후 암반사면에서 폭 넓게 사용되고 있다.

표 7. S.M.R 결 과

조사 구역	R.M.R	F1	F2	F3	F4	S.M.R
1	IV 불량	fair	Unfavorable	favorable	Not change stability	BAD
	23	0.7	0.85	-6	0	26.57
2	IV 불량	fair	Very Unfavorable	fair	Damages stability	normal
	32	0.7	1.0	-25	-8	41.5
3	V 매우불량	Unfavorable	Very Unfavorable	fair	Damages stability	BAD
	17	0.85	1.0	-25	-8	30.25
4	IV 불량	fair	Very Unfavorable	fair	Not change stability	normal
	31	0.7	1.0	-25	0	48.5
5	IV 불량	fair	Very Unfavorable	fair	Not change stability	normal
	28	0.85	1.0	-25	0	49.25
6	V 매우불량	fair	Very Unfavorable	fair	Not change stability	Very BAD
	.	0.7	1.0	-25	0	(17.5)
7	IV 불량	fair	Very Unfavorable	fair	Not change stability	BAD
	22	0.7	1.0	-25	0	39.5

S.M.R 분류결과 Zone 1, 3, 7은 IV 등급의 나쁜 사면상태로 불안정하며 Zone 2, 4, 5는 41.5~49.3의 낮은 값을 보이는 Normal한 상태이나 국부적으로는 안정성이 양호한 지역도 나타난다. Zone 6은 대부분 매립층으로 이루어진 사면으로 매우 나쁜 상태로 매우 불안정한 것으로 나타났다.

6. 사면 안정성 검토

시추조사결과를 토대로 암반의 공학적 분류법인 R.M.R 분류를 실시한 결과 암반은 불량한 상태를 나타내고 있고, S.M.R 분류결과 대상사면은 부분적으로 안정(partially stable)하거나 매우 불안정(completely unstable)한 상태를 나타내고 있다.

따라서, 대상지역의 시추조사 및 지표지질조사를 토대로 대상 절개사면중 대표단면을 선정하여 자연상태의 사면에 대한 안정성을 검토하였다.

6.1 해석 Program

해석은 무한사면의 안정해석이 가능한 SPILE(Ver 1.0)과, 원호활동파괴 형태의 사면안정해석이 가능한 STABL을 사용하였다. 암반사면의 안정해석은 다양한 지질구조, 절리 및 불연속면의 발달을 고려할 수 있는 DIPS Program 을 이용하여 수행하였다.

6.2 지반의 토질정수

사면안정 해석시 사용된 각 지층의 토질정수는 시추조사와 병행하여 실시한 현장시험 및 실내시험 결과를 참고로 하였다.

대상파괴면에 적용한 강도정수는 지하수위의 영향을 고려할 경우는 잔류강도 값(완전포화된 상태에서 단면 2 상부사면의 실제 파괴면에 대한 안전율 1.0으로 보고 역해석하여 구한 값)을 사용하였고, 건조시에는 침투강도 값(절리면 전단시험결과에 의해 구한 값)을 적용하였다.

해석에 사용된 지반정수는 <표 8>과 같으며, 대표적인 해석단면은 그림 2 하단의 예상파괴면 해석도와 같다.

표 8. 해석에 사용된 지반정수

지반정수		$\gamma_t(t/m^3)$	$\phi(^\circ)$	$C(t/m')$	$\gamma_{sat}(t/m^3)$
지층	매립층	1.7	25	1.0	1.85
	풍화암층	2.0	30	5.0	2.0
	연암층	2.0	30	10.0	2.0
	경암층	2.5	35	150.0	2.5
절리 층전물층	침투강도	·	14.5	3.5	·
	잔류강도	·	13	1.8	·

6.3 대상사면의 안정성

가상파괴면은 암반내부의 절리 층전물 및 연암층과 경암층의 경계에서 발생하며, 인장균열이 발생한 지점으로부터 파괴가 진행된다는 가정 하에 해석을 실시하였다.

소요안전율을 1.2로 하였을 경우, 그림 3과 같이 완전포화시 검토대상 단면 전체에서 소요 안전율이 충족되지 않으므로 파괴가 발생할 수도 있음을 알 수 있다.

지하수의 영향을 고려하지 않고 지반의 침투강도를 적용하면 전 단면에서 최소사면안전율이 1.0을 초과하므로 대상 사면이 절대적으로 위험한 것으로는 나타나지 않고 있다.

또한, 지하수의 영향을 고려하지 않고 지반의 잔류강도를 적용하면 단면 1과 단면 2의 상부 사면을 제외한 모든 사면에서는 최소사면안전율이 1.0에 근접하고 있어서 침투강도를 고려하였을 때와 마찬가지로 절대적으로 위험한 것으로는 나타나지 않고 있다.

대상사면의 원호활동파괴에 대해 사면안정해석을 행한 결과는 그림 4와 같다.

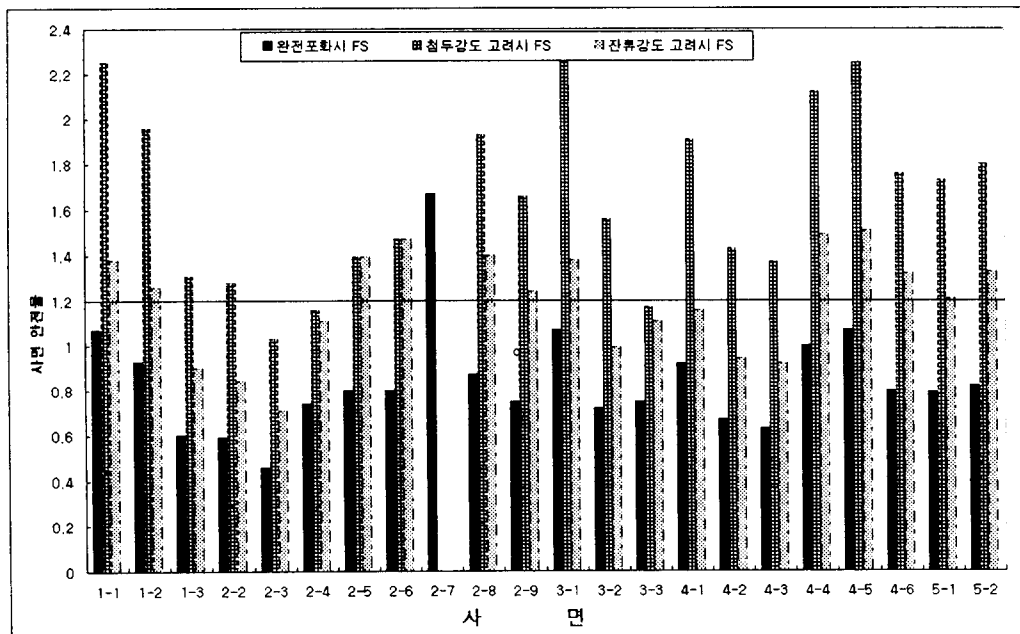


그림 3. 평면파괴를 고려한 사면안전율

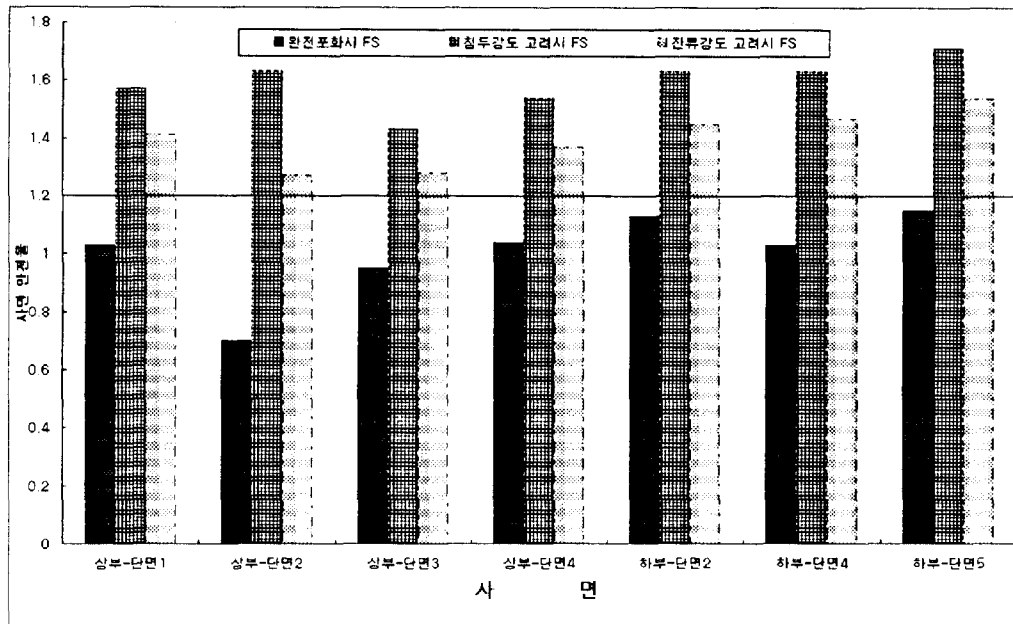


그림 4. 원호파괴를 고려한 사면안전율

7. 사면 안정대책 공법

사면 안정해석 결과 대상사면의 안정성이 확보되지 않으므로 사면 안정대책이 필요할 것으로 판단되었다. 사면안정 공법은 크게 안전율 유지공법과 안전율 증가공법으로 대별한다.

안전율을 유지하기 위한 공법으로 국부적인 소규모 지역의 파괴 및 우수에 대한 대책인 Rock-bolt공, Shotcrete공 및 Ivy-net공을 적용하였으며, 안전율을 증가시키기 위해서는 억지말뚝공법을 적용하였다.

이들 공법의 장점은 소규모 파괴는 Shotcrete가 방지하고 중규모 파괴는 Rock-bolt가 방지할 수 있으며 대규모 파괴는 억지말뚝이 사면파괴를 방지하여 소규모 파괴부터 대규모 파괴까지 동시에 억제할 수 있다. 또, 사면에 타설되는 Shotcrete공은 지반의 풍화 및 우수에 의한 세굴침식에도 유리하다.

7.1 보강후 사면 안정성 검토

대상사면을 상부사면과 하부사면으로 나누어 억지말뚝을 사용하였을 경우 가상 파괴면에 대한 보강 전·후의 최소사면 안전율을 산정하면 그림 5와 같다.

검토결과 억지말뚝을 시공하였을 경우 상부사면과 하부사면 모두 소요안전율을 만족 시킴을 알 수 있다. 다만, 단면 2의 상부사면의 경우 소요안전율 1.2를 만족시키지 못하나 안전율이 1.0을 넘고 Shotcrete공과 Rock bolt 공으로 보강하는 점을 고려하면 사면 안정성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

그러나 본 검토결과는 조사시 취득된 지반정수를 토대로 산정된 것이므로 시공시에는 육안 관찰이나 계측결과를 분석하여 과도한 변형이 발생할 경우 추가보강 여부를 결정하여야 한다.

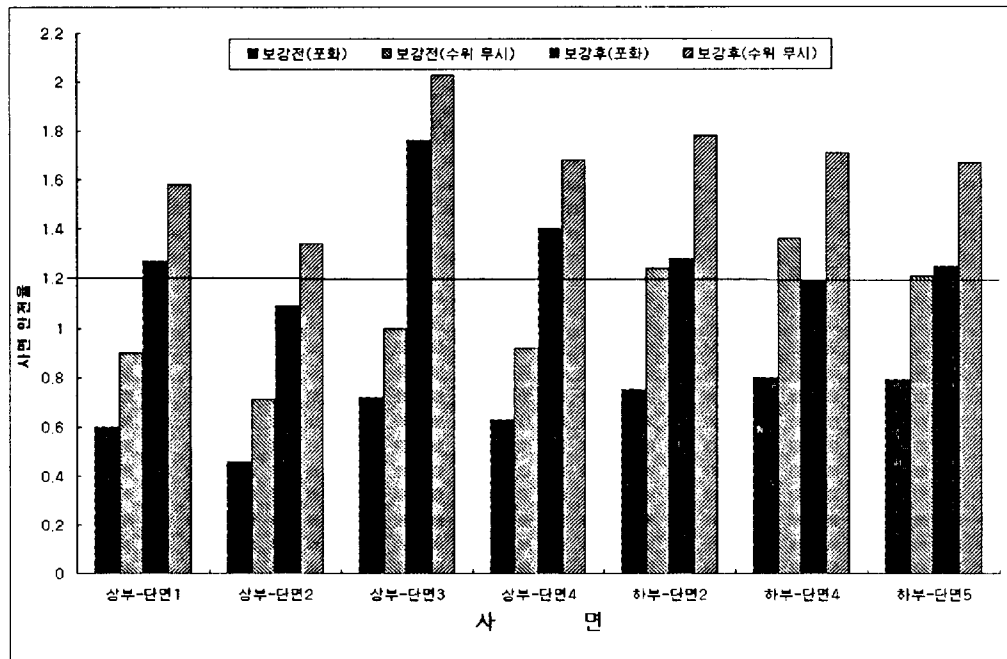


그림 5. 보강전·후 사면 안전율

8. 결론

1. 본 연구지역의 역학적 특성을 파악하기 위해 실시한 정밀지질조사 결과 R.M.R. 값은 22~32, S.M.R. 값은 0~17점으로 매우 불량한 암반으로 판단되었다.
2. 시추 조사 및 지표지질 조사 결과를 종합한 결과 사면의 파괴는 경암층과 연암층의 경계면 또는 경암층내 R.Q.D.가 0이고 단층점토를 포함한 파쇄대를 따라 대규모의 무한사면 파괴양상을 띠고 있다.
3. 이러한 사면파괴 가능성에 대응하기 위해 안전율 유지공법으로 Rock bolt공, Shotcrete공 및 Ivy net공을 적용하고, 안전율 증가를 위해 억지말뚝공법을 적용하였다.
4. 이상과 같은 사면보호 공법의 보강효과 확인을 위해 실시한 수치해석결과 보강 전 사면의 안전율은 0.6~1.36으로 계산되었으나, 보강공법 적용 이후 안전율이 1.09~2.03으로 현저히 증가하여 사면파괴에 적절히 대처할 수 있는 공법임을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. (주)송천기업(1997), 부산 황령산 유원지내 운동시설 조성공사 사면안정 실시설계보고서
2. 지질공학 연구회(1995), 연구자료 발표집
3. 한국동력자원연구소(1983), 한국지질도 부산·가덕 도폭
4. Bieniawski, E. T.(1981), Engineering Rock Mass Classifications, John Wiley & Sons, New York, pp 51-90,
5. Hoek, E., Bray, J. W.(1981), Rock Slope Engineering, 3rd Edition, pp 83-90,
6. Hudson, J. A.(1993), Comprehensive Rock Engineering, Volume 3-II, pp 576-581,