

대구지역 퇴적암 절토사면의 안정해석에 관한 문제점

Problems on stability analysis of sedimentary rock cutting slopes in Taegu area

김영수¹⁾, Young-Su Kim, 허노영²⁾, No-Young Heo, 최우혁³⁾, Woo-Hyuk Choi

요약 (Abstract)

Sedimentary rocks in Taegu area have a nonhomogeneous and anisotropic characteristics, Their physical and mechanical properties are very different to the angles of bedding planes. And if shale and mudstone are weathered slightly, slaking and swelling appear very remarkably. Because of above characteristics of sedimentary rocks, the collapse of cutting slopes is occurs frequency in construction fields of Taegu area.

In this study, the physical and mechanical characteristics and problems on slope stability analyses of sedimentary rocks in Taegu area is suggested by performing all kind of tests.

대구지역의 퇴적암은 비균질, 비등방성 암석으로 각종 물성치와 역학적 특성은 층리면의 각도에 따라 매우 다르다. 그리고 혈암이나 이암은 특히 풍화가 약간 진행이 되면 Slaking과 Swelling 현상이 매우 두드러지게 나타난다. 상기와 같은 퇴적암의 특성 때문에 대구지역 건설현장에서 절개지 붕괴사고가 빈번히 발생하고 있다.

본 연구에서는 대구지역의 퇴적암에 대하여 각종 물성, 역학시험을 통하여 그 특성과 문제점에 대하여 제시하였다.

-
- 1) 경북대학교 공과대학 토목공학과 교수
 - 2) 경북대학교 대학원 토목공학과 박사과정
 - 3) 경북대학교 대학원 토목공학과 석사과정

1. 서 론

대구지역은 지질학적으로 중생대 백악기 하양군층군으로 구성되어 있다. 하양군층은 후기 화산활동에 의한 퇴적분지로 대부분이 역암, 사암, 이암, 혈암등과 같은 쇄설성 퇴적암이 서로 교호하며 존재한다.

특히 혈암이 가장 많고 그 다음은 이암 그리고 사암, 역암 순이다. 퇴적암은 비균질, 비등방성 암석으로 각종 물성치와 역학적 특성은 층리면의 각도에 따라 매우 다르다. 그리고 혈암이나 이암은 특히 풍화가 약간 진행이 되면 Slaking과 Swelling현상이 매우 두드러지게 나타난다.

상기와 같은 퇴적암의 특성 때문에 대구지역의 각종 토목, 건축공사에서 많은 절개지 붕괴사고가 발생하고 있는 실정이다. 그런데 현재 절개지 사면 설계에서 몇 개의 불충분한 지표지질조사와 Boring조사 만으로 한계평형해석방법과 평사투영망방법 또는 FEM, FDM, Block이론으로 사면안정해석을 하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 대구지역의 퇴적암에 대하여 각종 물성, 역학 시험을 통하여 그 특성을 파악하여 가장 합리적인 해석방법을 얻고자 한다. 그리고 대구지역의 사면 붕괴사례와 해석 및 대책에 대하여 소개한다.

2. 공학적 특성

2.1. 실내 시험

각종 실내 시험에 사용된 암석시료는 대구시 달서구에 위치한 도로 건설공사 암반 절취사면에서 일관성을 위해서 한 장소에서만 채취 하였으며 XRD, 비중, 간극율, 흡수율, 탄성과 속도, 직접전단, 일축압축, 삼축압축 그리고 인장강도 시험을 실시 하였다.

< 시료 성형 >

현장에서 채취한 시료를 NX Size(D = 5.4cm)의 Core Drill로 층리면이 주 응력면과 각각 0°, 30°, 60°, 90° (β)가 되도록 하여 암석 Core를 제작하였고, 시료는 직경 : 길이의 비가 1 : 0.5~2.0(인장 1:0.5, 일축, 삼축 1:2.0, 직접전단 4.5cm)로 하였다.(그림. 1)

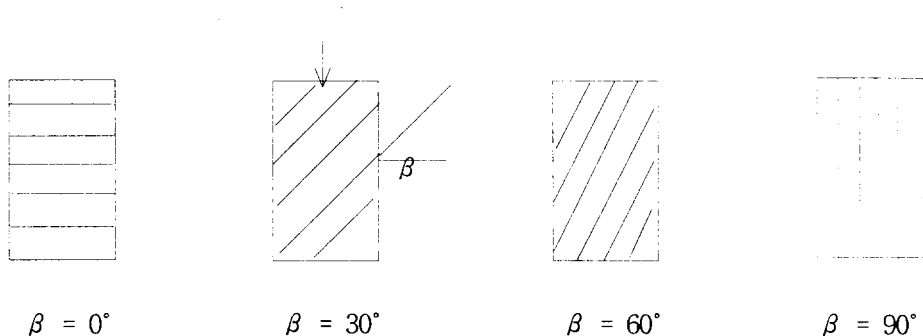
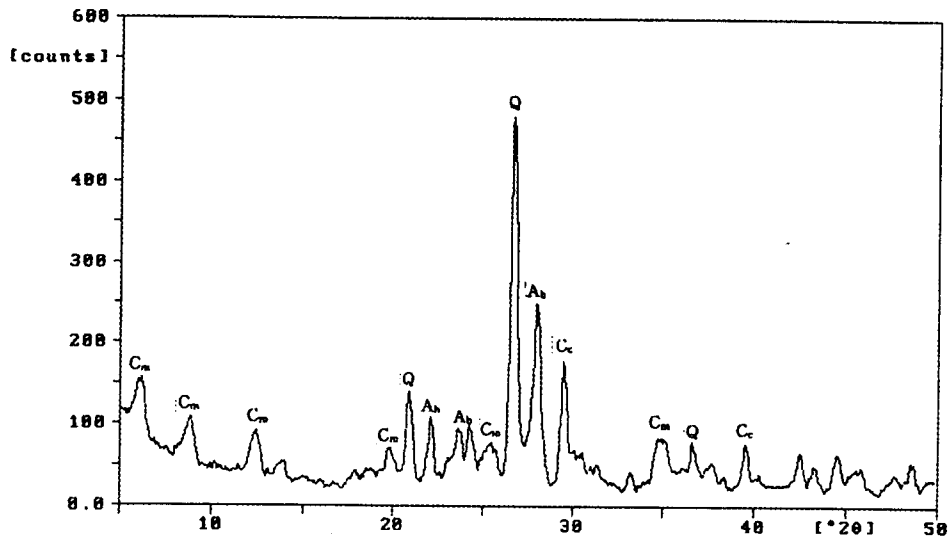


그림. 1 주 응력면과 층리면이 이루는 각도(β)

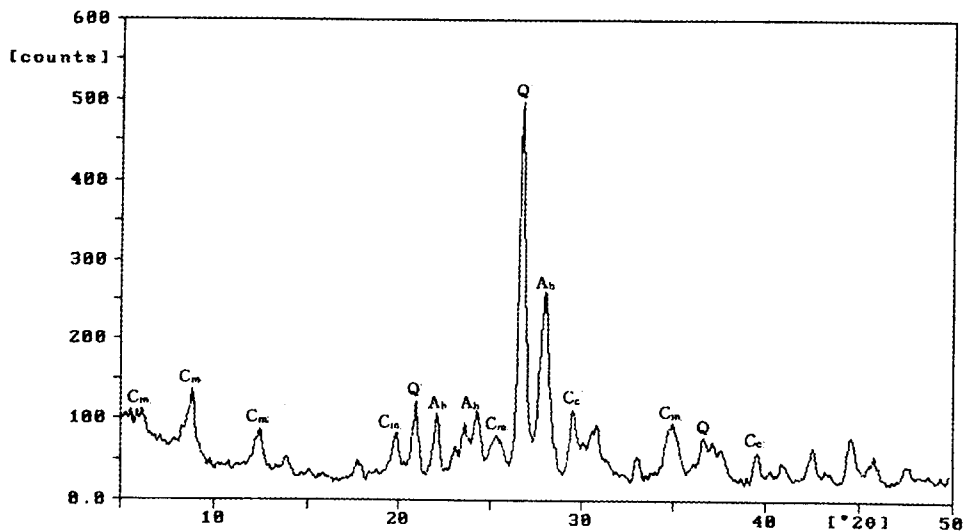
2.2 시험결과 및 고찰

(1) XRD 시험

XRD 시험의 원리는 X선이 한 물질을 통과하게 되면, 그 물질이 순수한 상태로 존재하든지, 혼합물의 한 성분으로 존재하든지 항상 독특한 X선 회절 무늬를 띠게 되므로 이 회절무늬를 정성 분석하면, 그 물질의 구성 광물을 알 수 있다. 그림. 2는 대구지역에 분포하고 있는 Red Shale과 Black Shale을 XRD 시험한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 회절양상이 잘 일치하므로 동일한 구성 광물로 이루어져 있음을 알 수 있다. 대구지역 Shale의 구성물질은 석영(Q, Quartz), 장석(Ab, Albite), 방해석(Cc, Calcite), 및 다량의 점토광물(Cm, Clay Mineral)로 이루어져 있다.



(a) Red shale



(b) Black shale

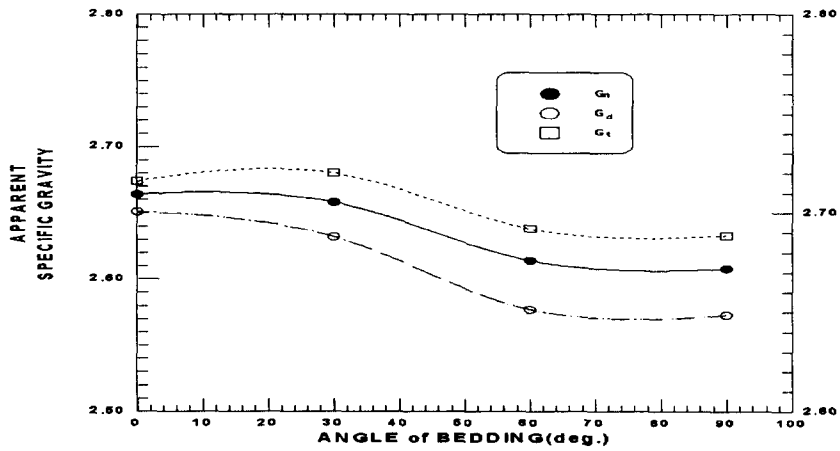
그림. 2 XRD 회절시험

(2) 비중, 간극율, 흡수율 시험

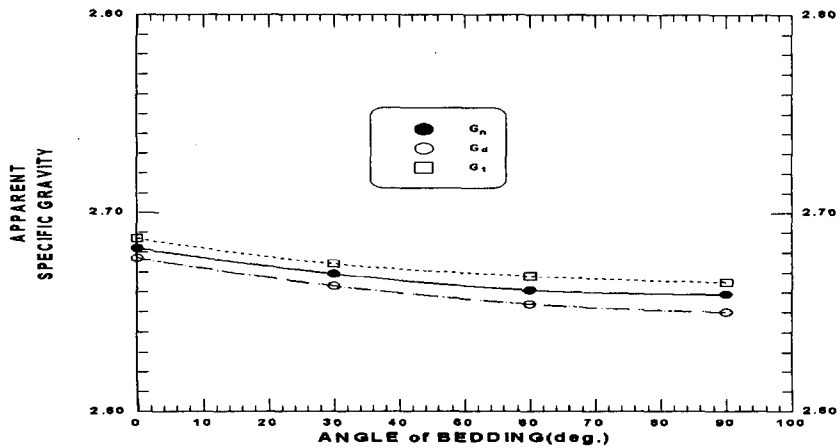
비중, 간극율, 흡수율 시험은 자연상태의 공기중 중량을 측정하고 수조에 시료를 72시간 이상 수침시킨 후 수중중량, 습윤중량을 측정하고 건조로에 넣어 건조시킨 후 건조중량을 측정하여 겉보기 비중, 간극율, 흡수율을 구하였고, 참 비중은 암석을 파쇄하여 분말상태로 만들어 토립자의 비중을 구하는 방법과 동일하게 하여 산정 하였다.

표. 1 혈암의 물성치

구 분	β°	Red shale				Black shale			
		0	30	60	90	0	30	60	90
참 비중		2.697				2.755			
겉보기 비중	자연상태(G_n)	2.664	2.658	2.614	2.608	2.682	2.669	2.661	2.659
	습윤상태(G_s)	2.674	2.680	2.638	2.633	2.687	2.674	2.668	2.665
	건조상태(G_d)	2.651	2.632	2.577	2.573	2.677	2.663	2.654	2.650
함수비(%)		0.5	0.99	1.42	1.37	0.19	0.23	0.28	0.27
간극율(%)		2.34	4.77	6.03	6.02	0.95	1.12	1.44	1.44
흡수율(%)		0.88	1.81	2.34	2.34	0.35	0.42	0.54	0.53

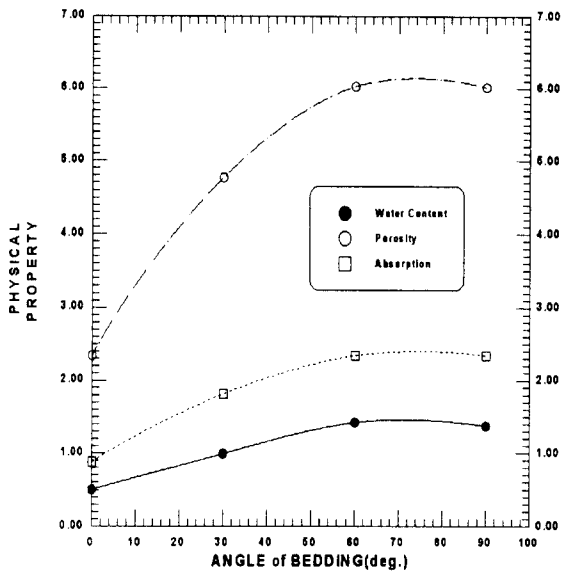


(a) Red shale

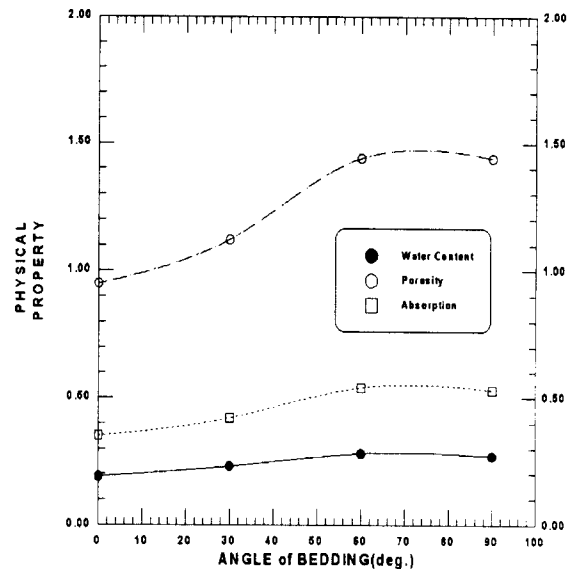


(b) Black shale 비중

그림. 3 비중 시험



(a) Red shale



(b) Black shale

그림. 4 혈암의 물성치

표. 1과 그림. 3에서 알 수 있듯이 참 비중은 같지만 각종 겉보기 비중은 모두 β 값이 커짐에 따라 값이 작아지는 경향을 보이고 있다. 그리고 간극율, 흡수율 및 함수비는 β 값이 증가함에 따라 커지는 경향을 띠고 있다.(그림. 4)

(3) 탄성과 속도 시험

탄성과 속도 시험을 실시 함으로서 암반강도의 추정이나 암반내의 풍화정도나 균열정도를 정량적으로 산출 할 수 있으며 또한 암석의 동적인 특성을 파악 할 수 있다. 사용한 시편은 일축 압축 강도 시험에 사용할 시료를 사용 하였다.

표. 2 탄성과 속도

구분 \ β°	Red shale				Black shale			
	0	30	60	90	0	30	60	90
P wave (km/sec)	2.49	3.50	2.43	6.00	9.52	12.61	7.30	12.65
S wave (km/sec)	1.80	2.92	2.22	6.00	6.34	8.11	6.84	6.75

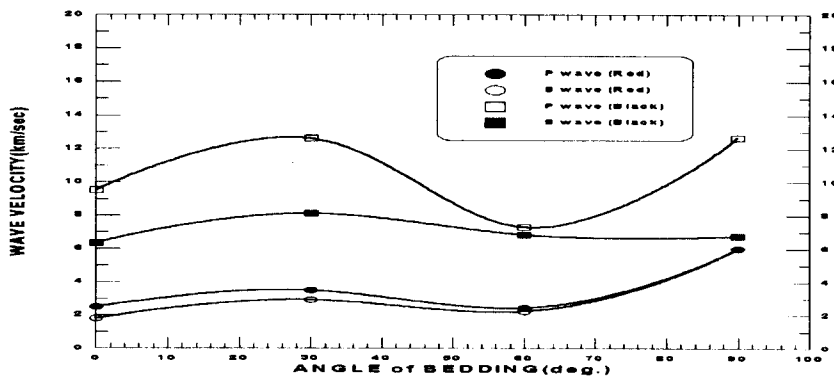


그림. 5 탄성과 속도

탄성과 속도(km/sec)는 표. 2, 그림. 5에서 처럼 0°에서 30° 사이는 증가하고 60°까지는 감소하여 최소값을 나타내고 다시 증가하여 90°에서 최대값을 나타내는 물결 모양의 파형을 띠고 있다.

2.3 역학 시험

(1) 인장강도 시험

인장강도 시험은 암석시편 제작이 어려우므로 간접적인 방법 (Brazilian Test)으로 실시하였고 주어진 하중은 가장 취약한 부분에 가해지도록 하였다. 표. 3과 그림. 6에서 보듯이 인장강도는 Red 셰일 보다는 Black 셰일이 크고 0°에서 최대값을 나타내고 점점 감소하여 60°에서 최소가 되고 90°까지는 증가하는 비슷한 경향을 보이고 있다.

표. 3 인장 강도

구 분 / β°	Red shale				Black shale			
	0	30	60	90	0	30	60	90
Tensile Strength(kg/cm ²)	91.45	59.22	57.62	62.10	217.51	196.87	113.87	140.03

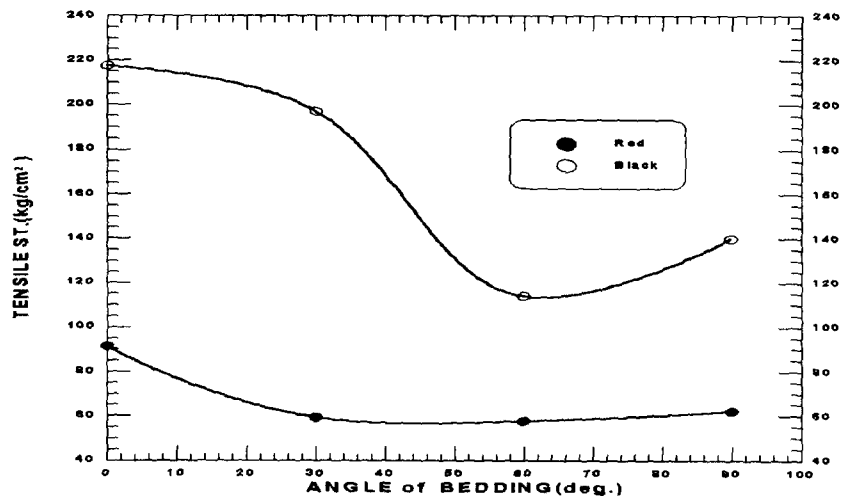


그림. 6 인장 강도

(2) 직접 전단 시험

직접 전단 시험에 사용된 Black shale의 암석 시편은 층리면이 비교적 규칙적인 간격으로 배치된 것을 사용하였고 β 값은 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°로 5 가지에 대해 수직응력은 20kg/cm², 40kg/cm²으로 실시하였고 그 결과는 표. 4와 같다.

그림. 7, 8, 9는 β 값에 따른 최대 전단 응력과 잔류 전단 응력의 이방성을 극좌표를 이용하여 표시하였다. 그림에서 보는 바와같이 최대 전단 강도는 β 값에 의해서 현저한 이방성을 나타내고 있고 60°에서 강도가 가장 낮고 120°인 경우가 가장 높은 것으로 나타났다.

표. 4 전단시험

Normal σ (kg/cm ²)	Angle of discontinuous plane(°)	Max. shear stress τ_m (kg/cm ²)	Residual shear stress τ_r (kg/cm ²)	τ_r / τ_m	δ_n at τ_m (mm)	δ_s at τ_m (mm)
20	0	31.2	30.0	0.96	0.19	2.67
	30	84.3	41.1	0.49	0.84	2.86
	60	56.1	41.2	0.73	1.12	1.40
	90	81.2	35.0	0.43	0.36	1.27
	120	85.9	38.9	0.45	0.57	1.53
	150	61.3	34.9	0.57	0.42	2.80
40	0	45.2	42.3	0.94	0.18	2.68
	30	104.1	60.0	0.58	0.52	2.85
	60	80.0	54.1	0.68	0.68	1.47
	90	129.1	54.2	0.42	0.30	1.33
	120	134.6	61.3	0.46	0.32	2.11
	150	77.2	50.0	0.65	0.28	2.54

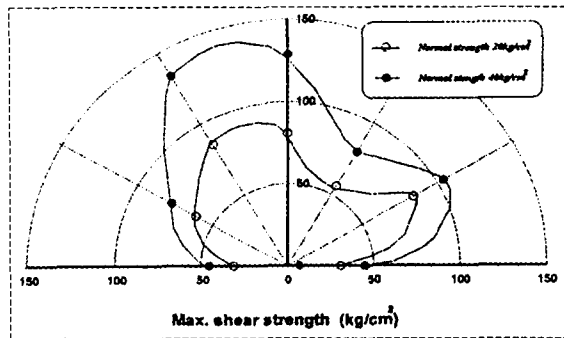


그림. 7 최대 전단강도

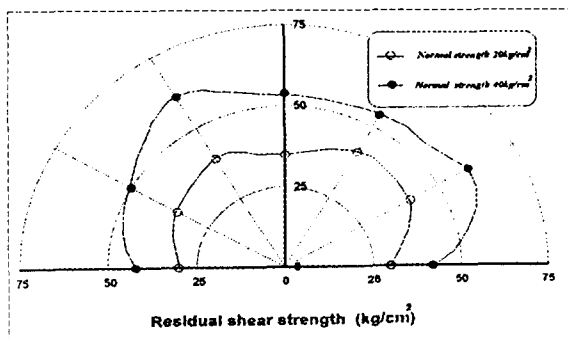


그림. 8 잔류 전단 강도

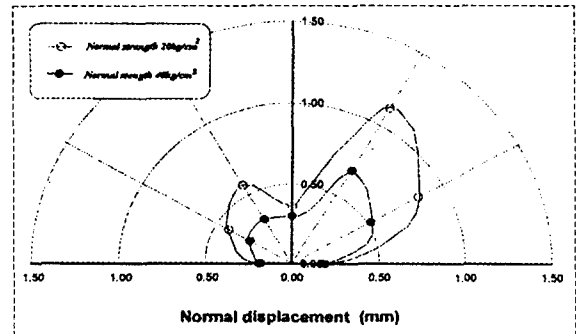


그림. 9 변위

(3) 일축 및 삼축 압축강도 시험

일축 압축강도는 암석의 강도적 성질을 표시하는 가장 일반적인 지표로 많이 사용되고 있으며 삼축 압축시험은 실내에서 암반내의 응력 - 변형률 상태를 현장에서의 조건과 동일한 한 모양으로 시험조건을 설정할 수 있어 암반의 역학적 특성을 잘 파악할 수 있다는 이점이 있다.

표. 5 일축 및 삼축 시험 결과

구분 β°		Red shale				Black shale			
		0	30	60	90	0	30	60	90
Unconfined Strength(kg/cm ²)		713.5	418.06	305.31	683.38	1556.42	637.63	478.88	1128.95
Young's Modulus (10 ⁵ kg/cm ²)	$\sigma_3 = 0$ (kg/cm ²)	2.33	13.8	1.06	2.72	4.11	19.56	4.45	17.06
	$\sigma_3 = 20$ (kg/cm ²)	6.79	23.75	3.77	6.45	4.93	5.76	4.07	5.20
	$\sigma_3 = 40$ (kg/cm ²)	5.24	7.36	2.37	4.84	7.5	4.46	3.71	5.60
	$\sigma_3 = 60$ (kg/cm ²)	8.13	5.39	3.47	10.35	7.01	9.50	4.25	4.72
Poisson Ratio	$\sigma_3 = 0$ (kg/cm ²)	1.69	0.418	0.165	0.185	0.25	0.57	0.32	0.24
	$\sigma_3 = 20$ (kg/cm ²)	0.247	0.432	0.124	0.362	0.28	0.12	0.44	0.20
	$\sigma_3 = 40$ (kg/cm ²)	0.146	0.151	0.121	0.197	0.32	0.20	0.27	0.30
	$\sigma_3 = 60$ (kg/cm ²)	0.156	0.180	0.077	0.27	0.25	0.07	0.5	0.21

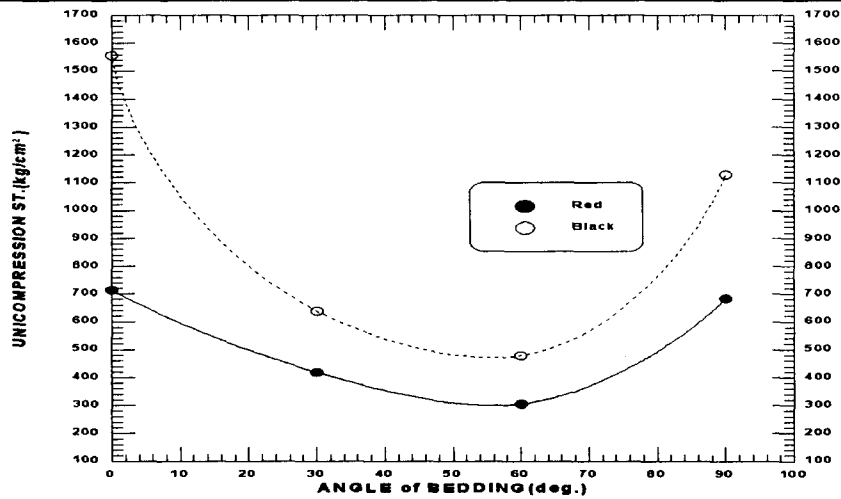


그림. 10 일축 압축 강도

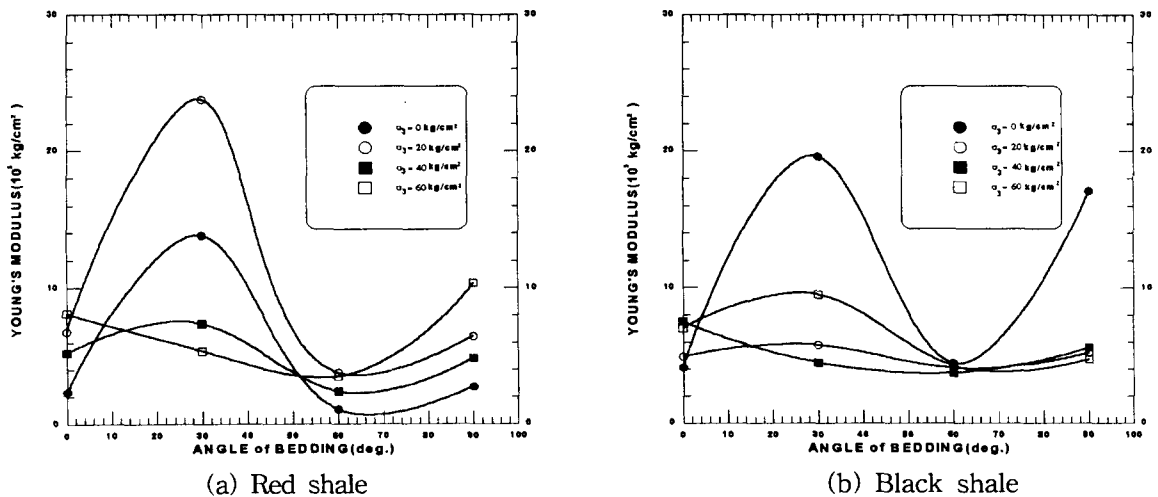
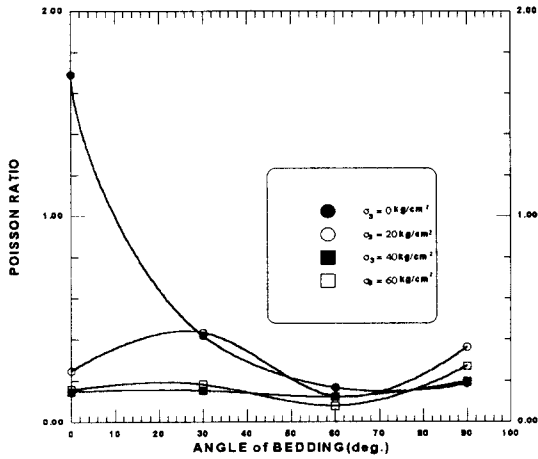
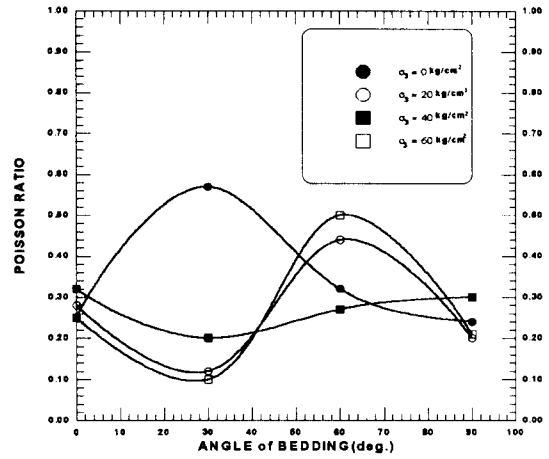


그림. 11 탄 성 계 수



(a) Red shale



(b) Black shale

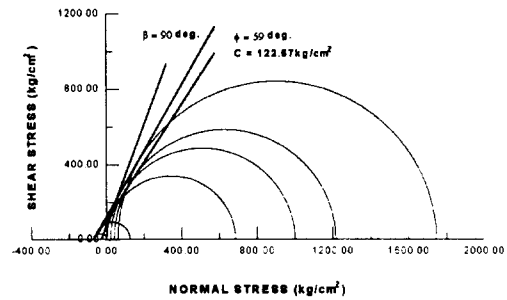
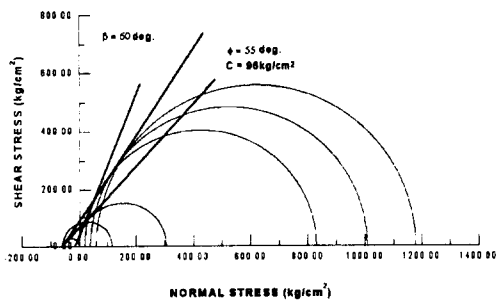
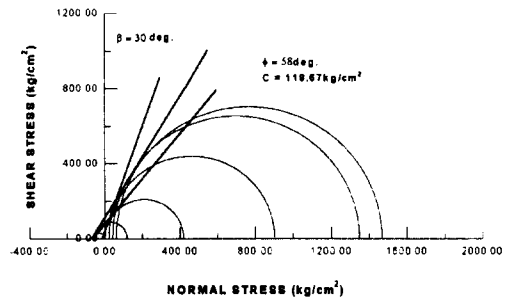
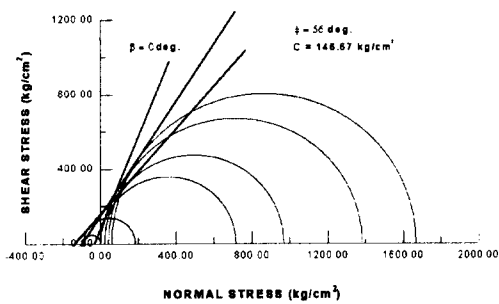
그림. 12 포아송비

일축의 응력 - 변형을 곡선과 삼축의 구속압을 3(20, 40, 60)가지로 변화시키면서 구한 응력 - 변형을 곡선에서 구한 결과치는 표. 5와 같다. 그림. 10, 11에서 보는 바와같이 강도특성 및 탄성 계수의 값은 두 종류의 shale에서 유사한 양상을 띠고 있고, 특히 포아송비는 Red shale은 $\beta = 60^\circ$ 에서 가장 낮은 값을 보이고 반면에 Black shale에서는 $\beta = 30^\circ$ 에서 최소치를 나타내고 있다.(그림. 12)

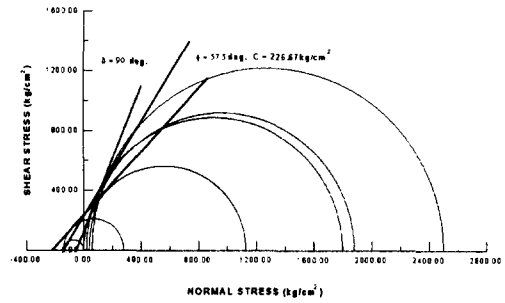
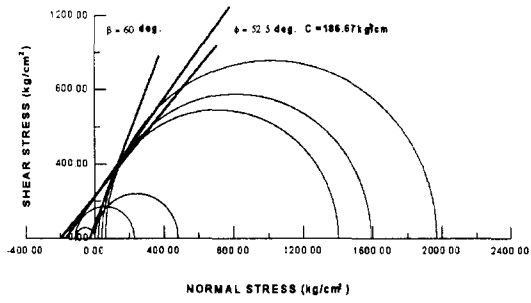
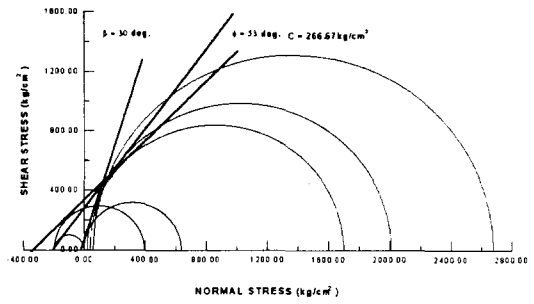
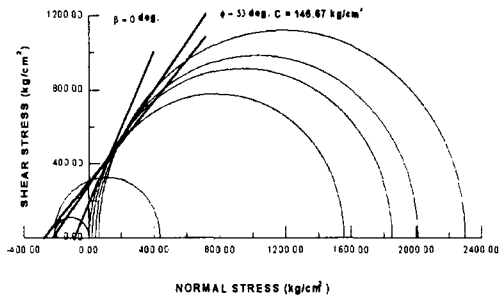
2.4. 강도 정수

(1) 3축 압축시험

두 종류 shale의 β 값에 따른 일축 및 삼축시험의 결과와 인장 시험 결과를 이용하여 최대 파괴 강도점에서의 Mohr의 응력원과 그 파괴 포락선을 나타내어 강도 정수 C, ϕ 값을 산출 하였다. 그 결과 Red shale은 $\phi = 55 \sim 59^\circ$, $C = 96 \sim 146.67 \text{ kg/cm}^2$ 그리고 Black shale은 $\phi = 52.5 \sim 57^\circ$, $C = 146.67 \sim 266.67 \text{ kg/cm}^2$ 으로 나타났다.

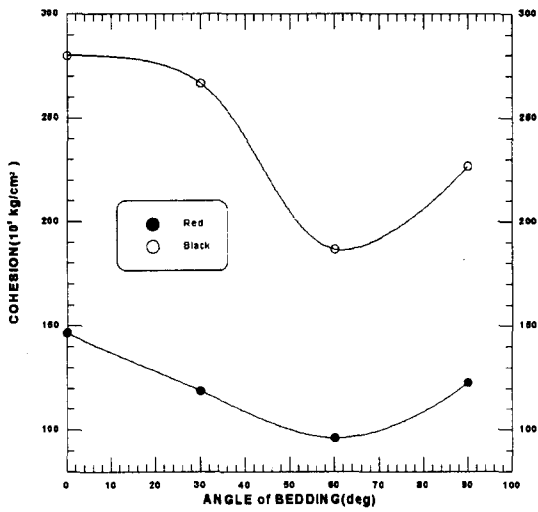


(a) Red shale

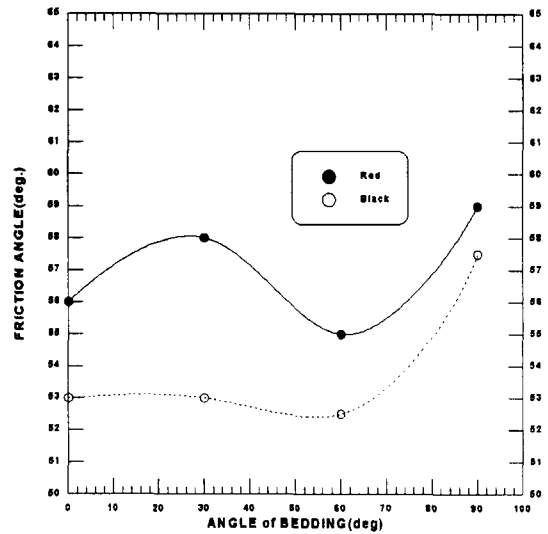


(b) Black shale

그림. 13 β 값에 따른 shale의 mohr envelope

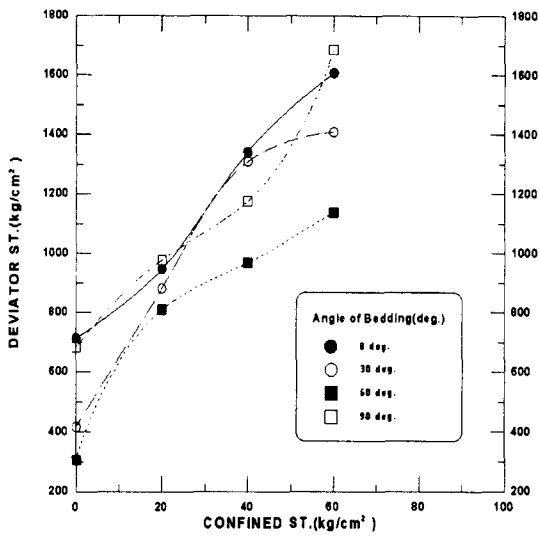


(a) Cohesion

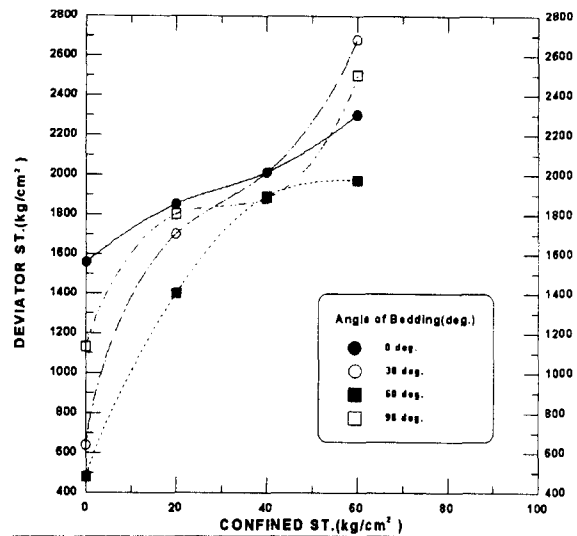


(b) Friction angle

그림. 14 β 값에 따른 shale의 강도 정수



(a) Red shale



(b) Black shale

그림. 15 β 값에 따른 Deviator stress

그림. 13, 14에서와 같이 시험 결과 C , ϕ 값은 Red shale 이나 Black shale 모두 $\beta = 60^\circ$ 에서 가장 낮은 값을 보이고 있고 점착력과 마찰각을 비교하면 점착력은 Red shale이 마찰각은 Black shale 이 더 큰 값을 띠고 있다. 그림. 15는 구속압력에 대한 축차응력을 나타낸 것인데 비슷한 양상을 띠고 있다.

(2) Tilting 및 용수철 시험

현장에서 채취한 암석 시료에 대해서 층리면과 평행한 방향으로 층리면의 상태가 건조, 습윤 그리고 Clay seam이 협재하여 있을 경우에 대하여 용수철을 이용하여 전단시험을 실시하였고, Tilting 시험은 Clay seam이 협재하고 있는 경우에 대하여서만 행하였다. 시험결과는 표. 6에 나타난 바와 같이 Clay seam이 협재되어 있는 경우에 내부마찰각과 점착력은 비교적 두 시험 모두 잘 일치 하였다.

표. 6 용수철 및 Tilting 시험

구분	층리면 상태	단면적(Cm ²)	수직응력 σ (kg/cm ²)			전단응력 τ (kg/cm ²)			마찰각 (ϕ°)	점착력 C (kg/cm ²)
			3.10	8.92	17.6	2.0	5.50	11.06		
용수철 시 험	건조	272.17	3.10	8.92	17.6	2.0	5.50	11.06	31.5	-
	습윤	272.17	4.0	8.81	17.8	1.81	3.52	7.20	22	-
	Clay Seam 협재	272.17	3.0	8.96	17.53	1.91	2.52	4.0	9.2	1.2
Tilting 시 험	Clay Seam 협재	-	-			-			11.95	0.94

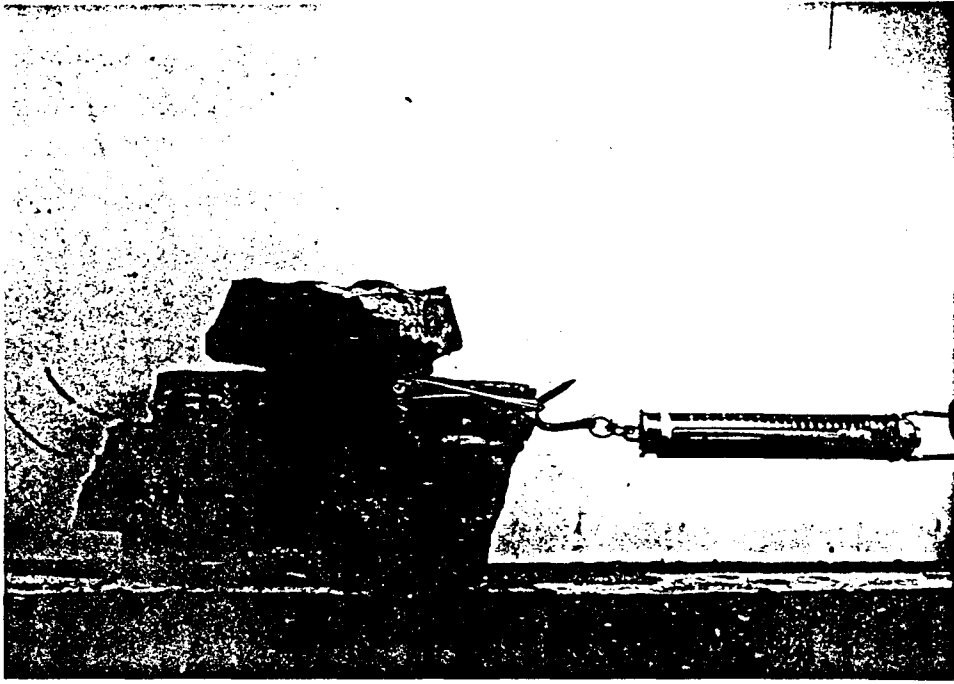


그림. 16 용수철 시험



그림. 17 Tilting 시험

3. 사면 붕괴 사례와 해석 및 대책

3.1 붕괴 사면의 현황과 붕괴 원인

(1) 사면 1 (그림. 18 참고)

가. 현황

사면의 구배는 1:0.7, 1:1.5 사면의 총 높이는 19m이며 높이 5m마다 폭 1m의 소단을 3단 설치하였다. 층리의 경사/경사 방향은 20/140이고 이암과 혈암이 서로 번갈아 있으며 안산암이 맥상 (75/270)으로 존재하고 있다. 절리는 3세트로 각각 90/220, 70/310, 20/168이며 파괴 부분은 15/150, 85/260, 85/316인 단층이 존재한다.

나. 붕괴 원인

붕괴 부분은 풍화된 이암 사이에 약 2cm 정도의 점토층이 형성이 되었다. 절취 공사로 응력이 해방되고 저항력이 감소되면서 점토층의 전단강도 저하로 인하여 붕괴가 일어났고 앞으로 C·S₁ (Clay Seam)과 C·S₂ 부분에서 활동이 일어날 것으로 판단된다.

(2) 사면 2 (그림. 19 참고)

가. 현황

사면 구배는 1:1, 1:1.5로 절취되었고, 사면의 총 높이는 32m로 5m마다 1m의 소단 이암과 혈암이 20/145의 층리로 존재한다. 절리는 75/260, 85/030로 안산암의 암맥이 85/100, 80/260로 단층은 85/100, 75/260, 85/300로 존재하고 있다. 그리고 얇은 풍화된 사암층과 clay seam면을 따라 대규모의 붕괴가 발생되었다. 그리고 상단 우측 끝부분이 전도파괴 형태로 대규모의 붕괴가 일어났다.

나. 붕괴 원인

①부분은 절리가 발달하고 그사이에 clay seam이 협재하고 있는 혈암으로 양쪽에 단층으로 구성되어 있다. ②부분은 얇은 사암층이 완전히 풍화되어 그 간극 사이로 물이 침투 하면서 주위의 점토층이 형성되었다. ③부분도 절리가 발달하고 그사이에 clay seam이 협재하고 있는 혈암으로 구성되어 있다. 그리고 사면 우측부분이 단층과 절리를 따라 매우 심하게 풍화되었다. 상부 좌측붕괴 부분은 굴착으로 응력이 해방되고 강우로 인하여 협재하고 있는 clay seam의 전단강도가 저하되면서 먼저 ①부분이 전도파괴 형태로 붕괴되고 그로 인하여 저항력이 감소되어 ②부분이 활동파괴 형태로 붕괴되었다. 그리고 ③부분도 ①부분과 마찬가지로 형태로 붕괴되었다.

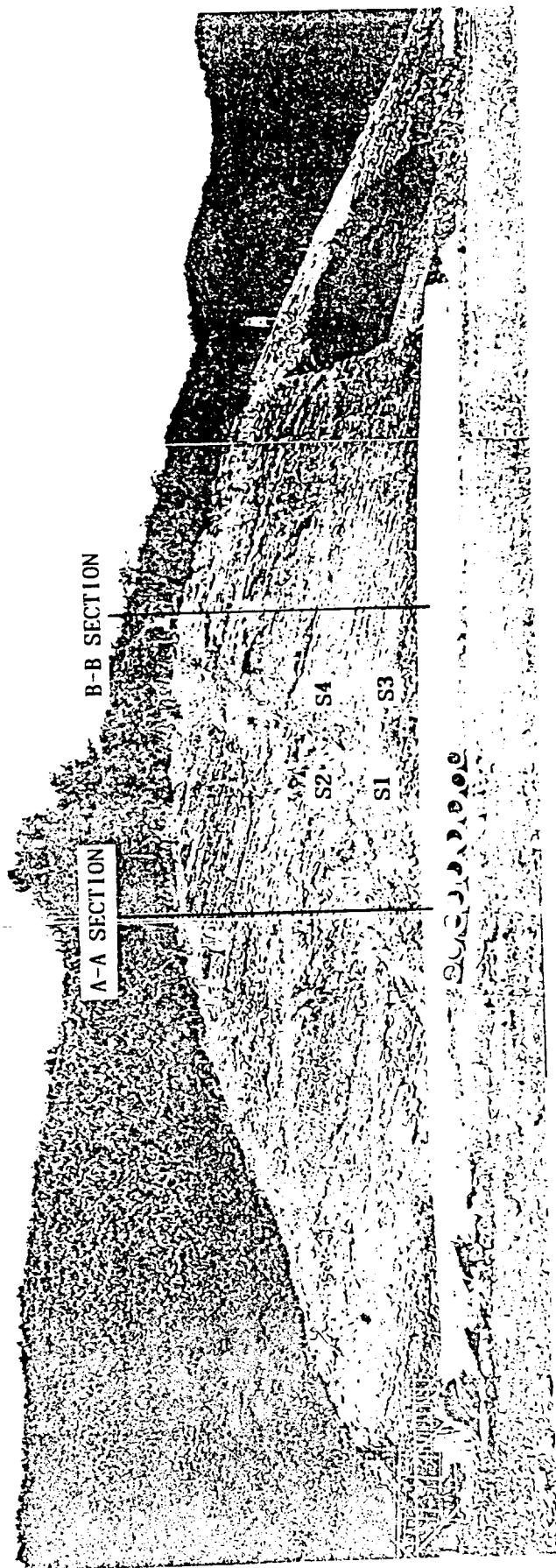


그림. 18 사면 1



그림. 19 사면 2

3.2 사면 안정해석

각 절토사면의 풍화암층에 대한 안정해석은 평사투영법 해석방법인 프로그램 DIPS를 이용하였다. 그리고 토층과 풍화암층의 안정해석은 한계평형 해석법인 프로그램 PCSTABLE5를 이용하여 다음과 같이 검토하였다.

- ① 사면해석 범위는 토층 및 풍화암에 대하여 실시하였다.
- ② 토층사면의 안정해석은 지하수위와 밀접한 관계가 있으므로 지하수를 고려할 때와(지하수위는 지표면에 위치) 고려하지 않을 때를 구분하여 각각에 대한 안전율을 산정하였다.
- ③ 사면의 파괴 현상은 원호 파괴로 가정하여 안정해석을 실시하였다.
- ④ 사면의 허용 안전율은 1.3이상이다.

(1) 각 단면에 대한 평사투영법 해석 결과 및 분석

현사면에서 측정한 경사/경사방향을 이용하여 평사투영법으로 사면 안정을 실시하여 전도파괴, 썩기파괴 그리고 평면파괴의 가능성을 평가한 결과는 다음과 같다.

- 사면 1은 부분적으로 평면파괴는 50/178에서 썩기파괴는 83/96, 66/228에서 발생한다.
- 사면 2는 평면파괴가 38/166, 37/224, 37/172, 그리고 45/190에서 발생되고 썩기파괴는 많은 불연속면 그룹중에서 대표적으로 81/111과 62/255에서 발생한다.

(2) 한계평형 해석

그림. 20, 21 에 나타낸 단면과 토층 그리고 각종 토질정수를 사용하여 해석한 결과는 표. 7 과 같다.

표. 7 현행사면에 대한 안전율

사 면	단 면	안 전 율	
		현 행 사 면	
		지하수 有	지하수 無
1	A-A	1.091	1.613
2	A-A	1.065	1.742

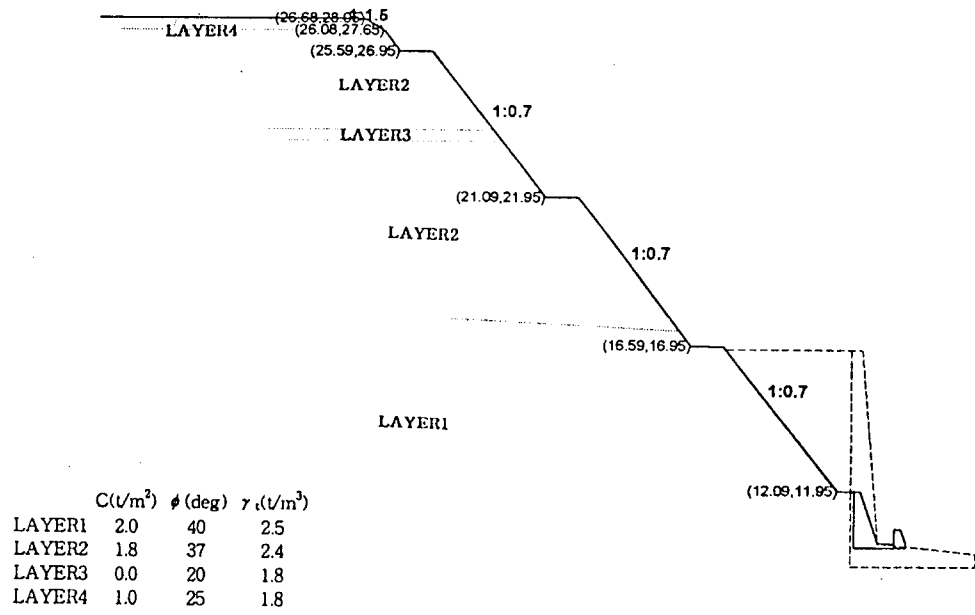


그림. 20 사면 1 A-A 단면

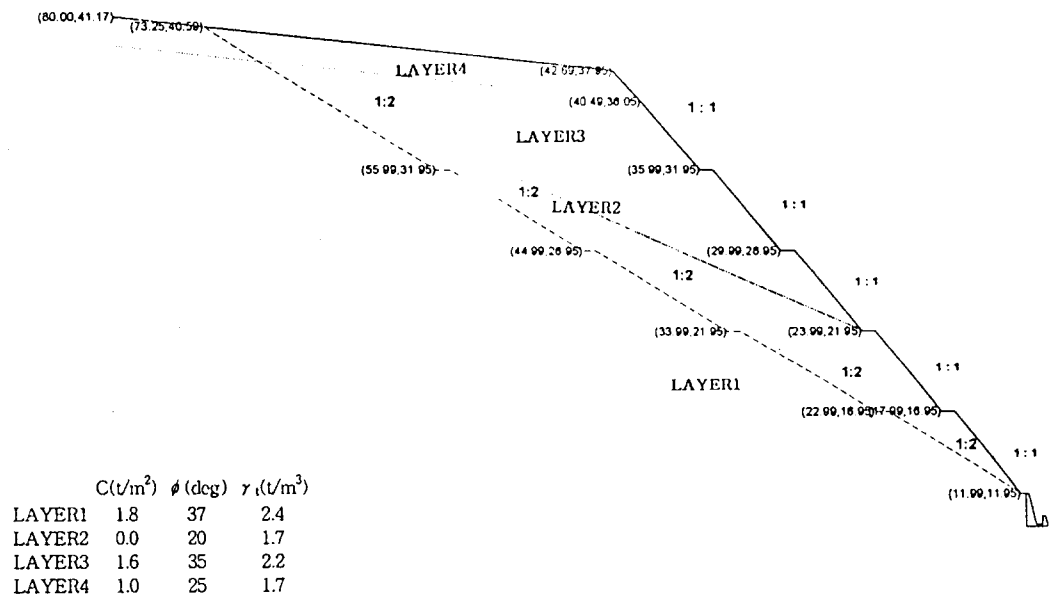


그림. 21 사면 2 A-A 단면

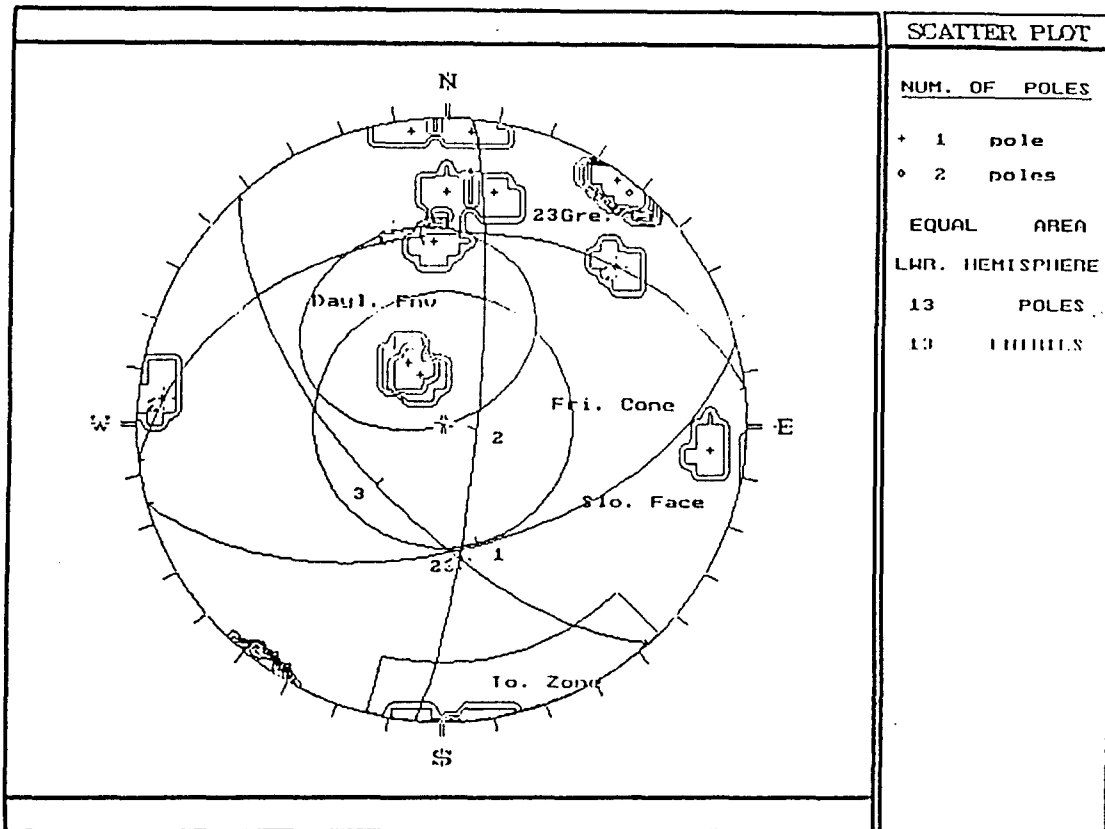


그림. 22 사면 1 DIPS

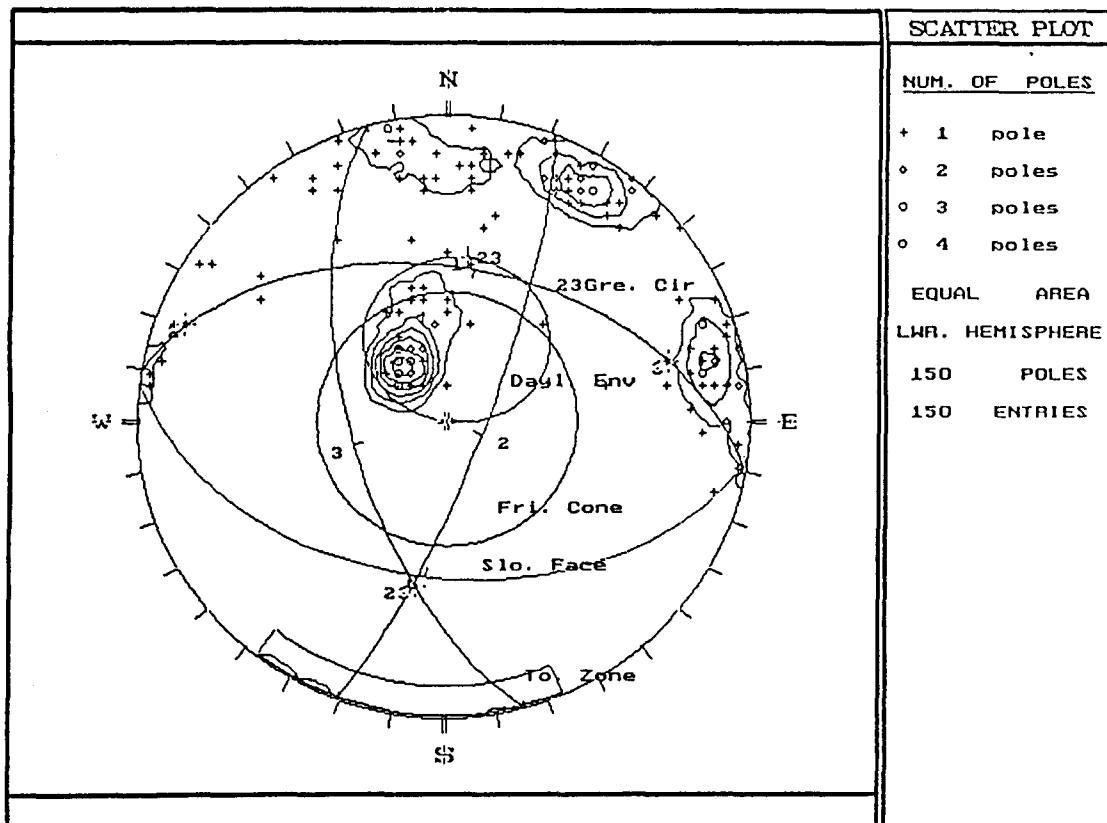


그림. 23 사면 2 DIPS

3.3 사면 보강 대책

(1) 대책공법의 기본 방침

- ① 본 지역의 사면 구배는 현재의 지표면 형상을 최대한 활용하도록 한다.
- ② 사면 안정은 갈수기는 물론 홍수기 그리고 현재의 암반이 어느 정도 풍화가 되었을 경우까 지도 확보하도록 한다.
- ③ 사면 안정 대책은 다음 두가지로 한다.
 - 가. 사면 안전을 감소 방지법 - 사면 구배, 높이 그리고 소단의 폭 조정
 - 나. 사면 안전을 증가 공법 - 옹벽공, Amchor공, Rock Bolt
- ④ 사면의 소요 안전율은 영구적으로 안정성을 확보하기 위하여 1.3이상으로 한다.

(2) 사면 구배완화 공법

절토사면 상부에 부지가 여유가 있기 때문에 사면 구배완화 공법을 사용하여 해석한 결과는 표. 8과 같다.

표. 8 사면 구배완화에 대한 안전율

사면	단면	안전율	
		현행사면	
		구배완화전	구배완화후
2	A-A	1.065	1.459

(3) 옹벽공 및 앵커공, Rock Bolt공

지구계로 인하여 구배완화를 할수 없기 때문에 옹벽 및 Anchor, Rock Bolt공으로 검토하였으며 그 결과는 표. 9과 같다.

표. 9 옹벽공 및 앵커공에 대한 안전율

사면	단면	안전율	
		현행사면	
		보강전	보강후
1	A-A	1.091	1.387

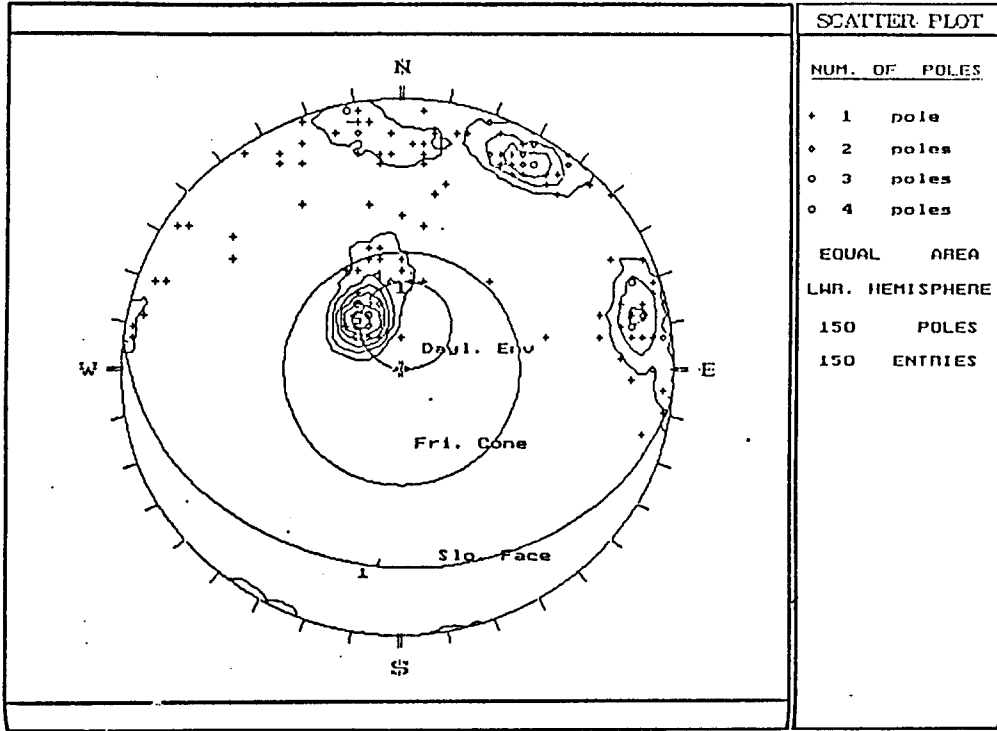


그림. 24 사면 2 구배완화의 DIPS

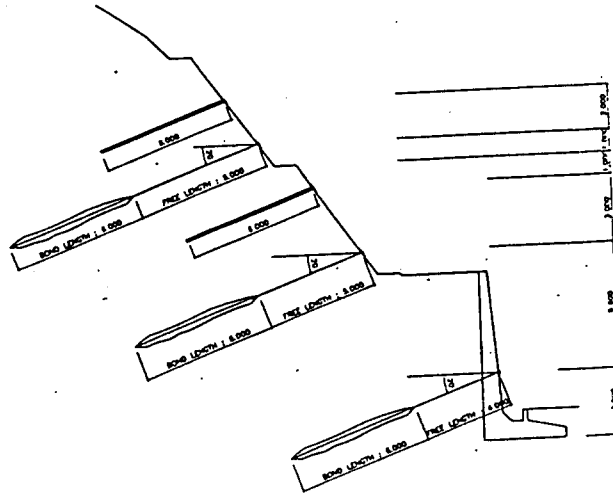


그림. 25 사면 1 응벽공 및 앵커공

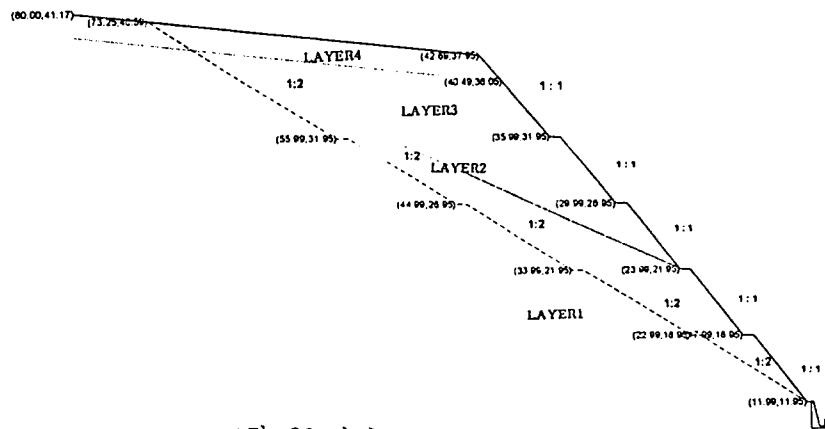


그림. 26 사면 2 구배완화

4. 결 론

대구지역의 Red Shale과 Black Shale에 대하여 각종 물성과 역학적 특성을 층리면의 경사각에 따라 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 단위중량, 각종 겉보기 비중은 β 값이 커질수록 감소하고 이에 반해 간극율과 흡수율은 증가하는 경향을 띠고 있다.
- ② 일반적으로 암석의 탄성과 속도는 밀도가 커지면 증가하고 간극률이 증가하면 저하 되지만 실험 결과에서는 무관하게 나타났다.
- ③ 인장강도, 일축압축강도 그리고 축차응력은 β 값이 60° 에서 가장 작은 값을 나타내었다.
- ④ 탄성계수는 β 값이 30° 에서 가장 큰 값을 보이고 β 값이 60° 에서 가장 작은 값을 나타내었다.
- ⑤ 강도정수인 C , ϕ 값은 β 값이 60° 에서 최소치를 β 값이 90° 에서 최대치를 나타내었다.
- ⑥ 현재 계속 시험이 진행중에 있으며 앞으로 좋은 결론을 얻으리라 판단된다.

퇴적암 절토사면의 안정해석에 대한 문제점

- ① 지표지질조사와 Boring의 수가 너무적다.
- ② 퇴적암 절토사면 안정해석에는 반드시 Weak Zone(가상 활동파괴면)의 추정이 가장 중요하다.
- ③ Boring시 불연속면 특히 Weak Zone의 주향, 경사와 위치등을 정확히 파악하여야 한다.
- ④ 전기 비저항탐사를 통하여 지하수, Weak Zone의 깊이를 파악하여야 한다.
- ⑤ 퇴적암지역은 반드시 풍화암도 시료 채취하여 Slaking, Swelling시험을 실시하여야 한다.
- ⑥ 전단강도정수는 가상파괴면(층리면)에 따라 직접전단시험, Tilting시험, 용수철시험등으로 도출함이 합리적이다.

참고 문헌

1. 암석, 암반의 조사와 시험, 구미서관, 윤지선, 1991.
2. 불연속성 암반의 지질공학, 창우출판, 송무영, 1994, pp1 - 47.
3. X선 회절의 기초, 동명사, 한봉희, 1986.
4. Richard E. Goodman., "Introduction to Rock Mechanics", John Wiley & Sons, pp55 - 99.
5. Temura Ramamurthy., "Strength and Modulus Responses of Anisotropic Rock", Com. Rock Eng., Vol. 1-13, pp313 - 329.
6. T. Ramamurthy, G. Venkatappa Rao & J. Singh., "A Strength Criterion for Anisotropic Rocks", Fifth Australia-New Zealand Con. on Geomechanics Sydney, August 1988, pp 253 - 257.