

다짐지반에 조성되는 굴착사면의 비등방성 전단강도를 고려한 안정성 분석

Stability Analyses for Excavated Slopes Considering the Anisotropic Shear Strength of the Layered Compacted Ground

이 병 식*¹ Lee, Byung-Sik

윤 요 진*² Yoon, Yo-Jin

Abstract

To construct pipe lines, culverts, or other utility lines, temporary slopes formed by excavating the compacted embankment are frequently met with in the field. Ignoring stability analyses for such slopes and applying inappropriate slope inclinations often result in safety problems. In this study, stability of such slopes were investigated considering the influence of anisotropic shear strength of the layered compacted ground. A series of stability analyses were conducted for slopes varying the slope angle and the height, and assuming isotropic and anisotropic shear strength conditions, respectively. The anisotropic shear strength of the compacted soil was determined from the direct shear test for layered soil blocks varying the inclination angle between the horizontal shear surface and the direction of the soil layer. As a result of the analyses, it has been concluded that the appropriate slope inclination for a temporary slope could vary in accordance with the consideration of anisotropy. However, the factor of safety as well as the location of the failure surface did not show significant variation.

요 지

원 지반을 성토하여 인공적으로 형성된 다짐지반에 터파기를 하여 관을 매립하거나, 암거를 설치하는 작업을 수행하는 경우가 자주 있다. 이 때 조성되는 임시굴착사면의 기울기를 적용함에 있어서 실험이나 사면안정해석 등의 적절한 과정을 수행하지 않음으로 인해 사면붕괴가 발생하여 인명 피해는 물론이고 공기의 지연 및 공사비의 증액 등 크고 작은 손실을 초래하고 있다. 본 논문에서는 이러한 임시사면의 안정성 검토를 위해 대표적인 경우들에 대한 사면안정해석을 수행하였으며, 특히 사면안정에 대한 다짐지반의 비등방성에 따른 전단강도의 영향을 검토하였다. 해석에서 적용한 다짐지반의 비등방성 전단강도는 전단면과 다짐층 간의 경사를 변화시키면서 수행한 일련의 직접전단시험으로부터 추정하였다. 해석 결과, 비등방성을 고려하는 지의 여부에 따라서 임시사면의 적절한 안정기울기가 소폭으로 변화할 가능성이 있음을 알았다. 그러나, 이에 따른 안전율의 변화나 파괴면의 양상은 그리 크게 변하지 않는 것으로 나타났다.

Keywords : Anisotropic shear strength, Direct shear test, Slope stability, Temporary slopes

*1 정회원, 공주대학교 건설환경공학부 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil Engrg., Kongju National Univ., blee@kongju.ac.kr)

*2 정회원, 동성건설(주) 차장 (Member, Manager, Dongsung Construction Co.)

1. 서론

원 지반을 성토하여 인공적으로 형성된 다짐지반에 터파기를 하여 관을 매립하거나, 압거를 설치하는 작업이 수행되는 경우가 자주 있다. 이 때 굴착사면의 기울기를 부적절하게 적용한다든지, 우기 시 강우에 따른 지반함수비 증가로 인한 전단강도 저하 등의 원인으로 굴착사면 붕괴가 발생할 우려가 있다. 이 경우 굴착구 내에서 작업을 수행하고 있던 작업 인부의 인명 피해는 물론이고 공기의 지연 및 공사비의 증액 등 크고 작은 손실을 초래할 수 있다. 그럼에도 불구하고 이러한 소규모의 굴착사면에 대해서는 사면의 안정성을 고려하지 않은 채 굴착하는 경우가 대부분이다(윤, 2000). 사면의 안정성 평가를 수행하는 경우에도 보다 정밀한 검토를 위해서는 다짐지반의 비등방성에 따른 전단강도의 변화를 주의 깊게 고려해야 할 것으로 예상된다. 왜냐하면 다짐지반은 층별 다짐으로 인해 근본적으로 비등방성의 특성을 가지며, 비등방성은 사면안정에 영향을 미칠 수 있음이 알려져 있기 때문이다(Wright, 1969). 지반의 비등방성을 고려하는 경우에 사면파괴면에서 발휘되는 흙의 전단강도가 평균적으로 저하될 것으로 예상되므로, 이를 고려하지 않은 해석 결과에서 굴착사면의 안전율은 과대평가될 우려가 있다.

이러한 배경에서 본 논문에서는 다짐으로 층이 진, 즉 비등방성 지반을 굴착할 경우에 형성되는 굴착 사면의 기울기 변화에 따른 안전율의 변화를 비등방성을 고려하여 분석하고자 한다. 해석에서 적용할 비등방성을 고려한 지반의 전단강도정수(\bar{c} , $\bar{\phi}$)는 시료의 다짐층과 전단면 간의 사이각을 변화시킨 다짐시료들에 대한 직접전단시험을 통해 추정하였다. 이렇게 구한 비등방성 전단강도를 사면안정해석에 적용하여 비등방 전단강도 조건의 지반을 임시굴착하여 조성되는 사면의 안정성을 평가해 보았다.

2. 비등방성을 고려한 전단강도 정수의 결정

다짐토의 비등방성을 고려한 전단강도를 구하기 위해서 실험실에서 다짐으로 성형한 전단시료들에 대한

일련의 직접전단시험을 수행하였다.

2.1 실험대상 성토재료의 특성

실험에서 사용한 흙은 충남 천안의 공사현장에서 성토재료로 사용된 것으로 현장에서 직접 채취하였다. 직접전단시험 시 사용할 시료의 성형조건을 결정하기 위해서 채취된 흙에 대한 물리적 특성실험과 다짐실험을 실시하였다. 실험을 수행한 결과 물리적 특성에 대해서는 표 1에 정리한 바와 같은 결과를 얻었다.

시료의 다짐 특성을 알기 위해 KS F 2312의 A-1 방법을 이용한 다짐시험을 실시하였다. 다짐실험 결과는 그림 1에 보인 바와 같으며, 대상시료의 최적함수비 (w_{opt})는 19%, 최대건조밀도 ($\gamma_{d,max}$)는 1.67 ton/m^3 으로 구해졌다.

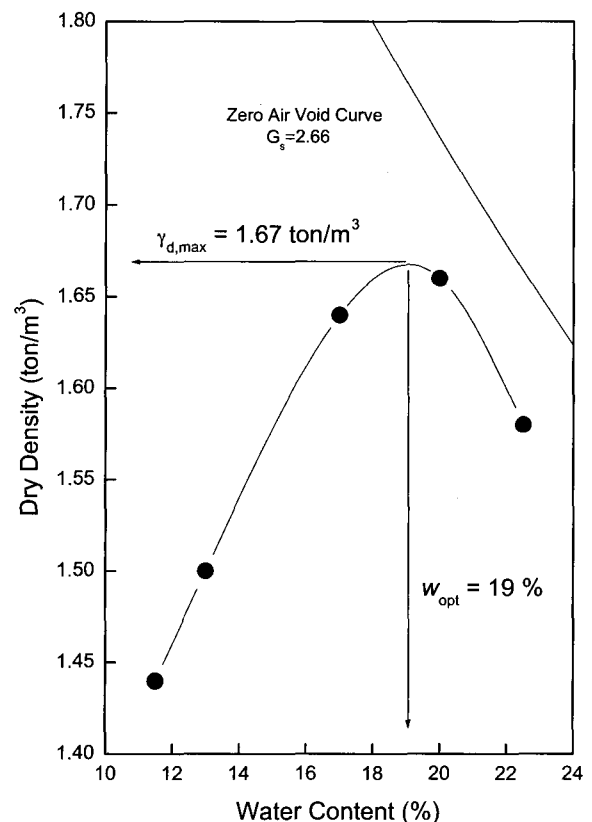


그림 1. 실험대상 성토재료의 다짐 곡선

표 1. 실험대상 성토재료의 물리적 특성

#10 체 통과율(%)	#40 체 통과율(%)	#200 체 통과율(%)	비중	액성한계(%)	소성한계(%)	소성지수(%)	통일분류
85.7	38.4	15.5	2.66	NP	NP	NP	SM

2.2 직접전단실험

층다짐으로 인한 성토지반의 비등방 전단강도 특성을 사면안정해석에서 고려하기 위해, 수평면인 다짐층과 굴착사면에 발달하는 가상 파괴면이 이루는 사이각(α)의 변화에 따른 전단강도 정수의 변화를 일련의 직접전단실험을 통해 알아보았다. 층별 다짐으로 성토된 지반의 다짐층이 수평으로 조성되는 것으로 가정할 때, 이들 사이각은 그림 2에 보인 바와 같다. 본 논문에서는 대표적으로 0° , 30° , 45° , 90° 의 사이각을 선택하여 이들의 변화가 비등방성으로 작용하여 성토층의 전단강도에 미치는 영향을 살펴보고자 하였다.

위와 같은 목적의 직접전단실험을 위해 적용한 시료의 성형방법은 다음과 같다.

- ① 시험 대상 흙을 공기 건조시키고 함수비 조절에 앞서서 기건 상태의 함수비를 잰다.
- ② 기건 상태의 시료에 물을 가하여 다짐 실험에서 구한 최적함수비를 얻을 수 있도록 한다. 함수비의 고른 분포를 위해 혼합한 시료를 2~3 시간 정도 비닐로 덮어 방치한다. 이때 함수비의 감소를 보상하기 위해 혼합 함수비를 최적 함수비보다 1~2 % 높게 하였다.
- ③ 혼합된 시료는 다짐 몰드에 층별 다짐하였다. 각 층의 다짐이 끝나면 소량의 석회가루를 뿌려 층 구조를 명확하게 구분할 수 있도록 하였다. 성형하고자 하는 직접전단시험 시료의 치수는 직경 6 cm, 두께 2.5 cm

이므로, 층별 다짐 시에 조성되는 층의 두께를 최대 2 cm 이하로 조절하여 사이각(α)이 0° 인 경우를 제외하고는 성형된 시료 내에서 적어도 3개의 다짐층을 포함하는 시료를 얻을 수 있도록 하였다. 최종적으로 얻는 건조밀도는 다짐실험에서 구한 최대 건조밀도의 95% 이상을 얻을 수 있도록 수회의 시행착오를 거쳐 적절한 다짐 횟수를 정해 적용하였다.

- ④ 다짐 몰드에서 다져진 시료를 추출한 후에 앞서 그림 2에 보인 바와 같이 다짐층과 전단면이 이루는 각도를 정하고, 이 각도에 따라서 높이 2 cm, 지름 6 cm의 직접전단 시료를 성형하였다.

시료의 다짐층과 전단면이 이루는 사이각, α , 가 0° , 30° , 45° , 90° 로 성형된 각 시료들에 대해서 수직하중 20 kg, 40 kg, 60 kg에 대한 직접전단실험을 수행하였다. 유효응력에 대한 전단강도를 구하기 위하여 전단에 앞서서 시료를 전단상자에 정착하고 1일 간의 수침과정을 거친 후 전단하였다. 전단속도는 0.065 mm/min을 적용하여 전단 시에 발생하는 과잉 간극수압이 소산될 수 있도록 하였다.

직접전단실험으로부터 구한 극한전단응력과 잔류전단응력을 정리하면 표 2와 같다.

표 2의 결과에서 볼 수 있듯이 구해진 최대 전단응력과 잔류 전단응력은 거의 유사하다. 이는 시료를 수침한 후 전단하였으므로 다짐에 의해 과압밀 상태에 있던 다짐 시료가 수침에 의해서 시료 내의 부 간극수압이 소산됨으로써 정규압밀토의 성질을 가지기 때문으로 추정된

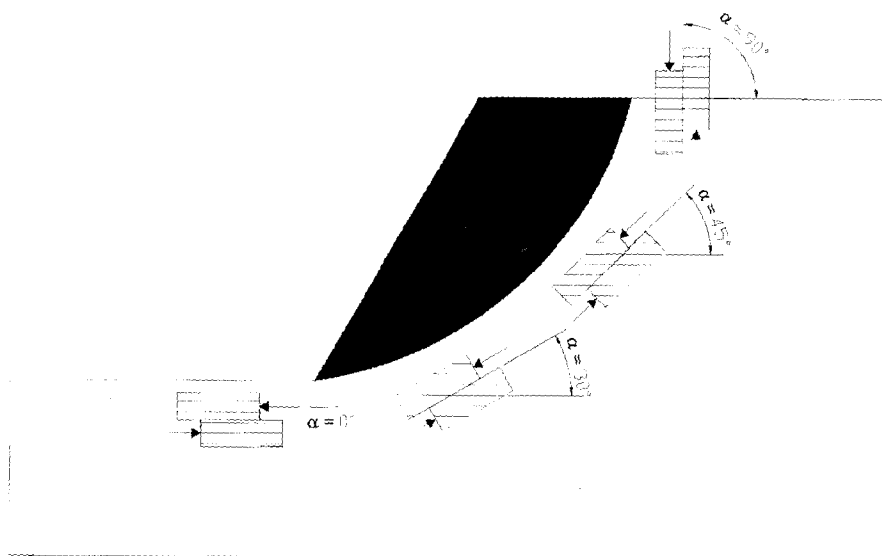


그림 2. 성토사면의 다짐층과 가상 파괴면이 이루는 사이각(α)의 변화

표 2. 직접전단실험 결과로부터 구한 극한전단응력과 잔류전단응력

사이각, α ($^{\circ}$)	수직하중 (kg)	최대 수평변위 (%)	최대 수직변위 (%)	최대 전단응력 (kg/cm^2)	잔류 전단응력 (kg/cm^2)
0	20	4.55	-2.13	0.53	0.54
	40	5.96	-2.07	0.96	0.92
	60	6.82	-1.94	1.33	1.31
30	20	4.51	-1.69	0.53	0.53
	40	8.08	-1.95	1.00	0.95
	60	5.84	-2.35	1.34	1.34
45	20	5.40	-2.03	0.58	0.58
	40	12.05	-2.59	1.23	1.23
	60	12.11	-2.61	1.62	1.62
90	20	5.52	-1.87	0.62	0.62
	40	7.18	-1.02	1.32	1.32
	60	6.70	-1.73	1.80	1.80

표 3. 각 사이각(α)의 경우들에 대한 전단강도정수

α ($^{\circ}$)	강도정수 (\bar{c}) (kg/m^2)	$\bar{\phi}$ ($^{\circ}$)
0	1300	29.7
30	1300	30.5
45	1000	36.4
90	600	41.5

다. 표 2의 결과로부터 Mohr-Coulomb의 파괴포락선을 그려 유효응력에 대한 전단강도 정수(\bar{c} , $\bar{\phi}$)를 각 사이각(α)의 경우에 대해 구해 그 결과를 표 3에 정리하였다.

표 3의 결과로부터 다짐층의 비등방성을 고려하는 경

우에 시료의 수평면과 파괴면이 이루는 사이각(α)의 변화에 따라 흙의 강도정수가 변화되는 경향이 있음을 확인할 수 있었다. 이때 α 값이 0° 에서 90° 로 증가됨에 따라 내부마찰각은 29.7° 에서 41.5° 로 증가되는 추세에 있는 반면에, 점착력은 $0.13 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 에서 $0.06 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 정도로 감소되는 경향을 나타냈다. 또한, 이들 결과로부터 비등방 전단강도 추정에 있어서 시료 성형 시와 직접전단 압밀 시의 응력조건이 상이함으로 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단되었다.

3. 사면안정해석

다짐 성토지반에 조성되는 굴착사면에 대해서 적절한 안정 기울기를 검토하기 위하여 지반을 등방성으로 고려한 경우와 비등방성을 고려한 경우에 대한 사면안정해석을 수행하고 결과를 비교·검토하였다. 사면안정해석에는 지반의 비등방성을 고려한 해석을 수행할 수 있는 사면안정 해석프로그램(Wright, 1990)을 사용하였다.

3.1 해석 대상 성토지반 굴착사면

해석 대상 성토지반 굴착사면의 사면고는 2 m, 3 m, 4 m, 5 m의 경우를 가정하였다. 사면은 균질한 성토재료를 층 다짐하여 조성하여 근본적으로 비등방성 전단강도 특성을 보이는 것으로 가정하였다. 이러한 조건의 사면에 대하여 사면 기울기를 $1:0$ ($\beta = 90^{\circ}$), $1:0.3$ (β

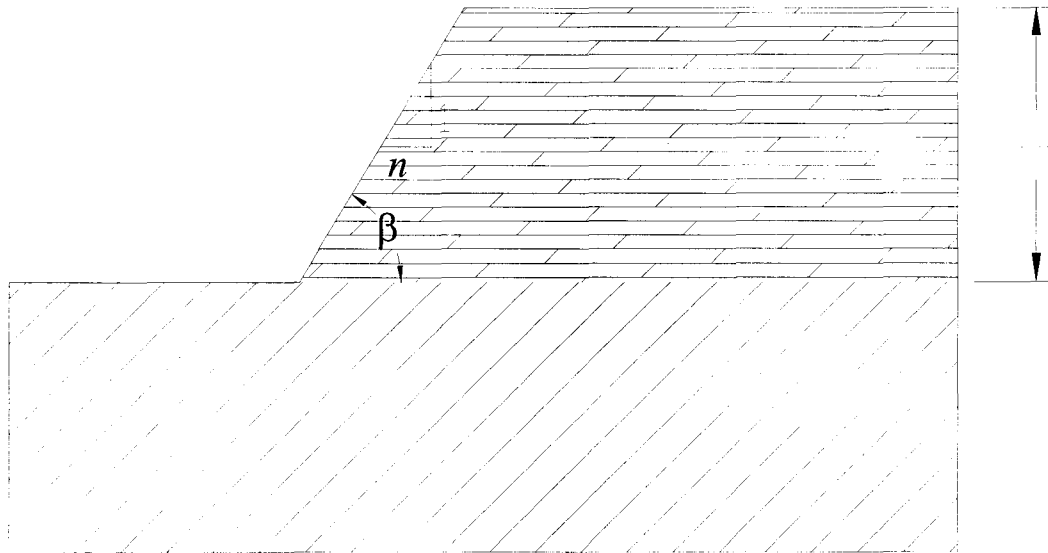


그림 3. 해석대상 굴착사면

= 73°), 1:0.4 ($\beta = 68^\circ$), 1:0.5 ($\beta = 63^\circ$), 1:0.6 ($\beta = 59^\circ$), 1:0.7 ($\beta = 55^\circ$), 1:0.8 ($\beta = 51^\circ$)로 변화시킨 각각의 경우에 대한 사면안정해석을 수행하였다. 해석 대상 사면의 개략도를 나타내면 그림 3과 같다.

3.2 성토지반의 전단강도 정수

(1) 등방성 전단강도 정수

지반을 등방성으로 고려한 해석에서 강도정수는 표 4에 보인 바와 같이 파괴면과 다짐층(수평면)의 사이각(α)이 60° 인 경우에 대한 값을 직접전단시험 결과로부터 추정하여 적용하였다. 이 조건에 대한 전단강도정수를 적용한 이유는 만약 같은 흙에 대해서 수평방향으로 다짐을 실시하여 제작한 다짐시료에 대해서 삼축압축시험을 수행하는 경우에 다짐층에 대한 파괴면의 방향이 직접전단시험에서의 방향과 가장 유사할 것으로 예상되었기 때문이다. 이를 상세히 보이기 위해서 삼축압축시험 조건에서 점착력이 없고, 내부마찰각은 30° 로 가정하는 경우에 다짐층(수평면)과 축방향력간의 사이각 변화에 따른 다짐층과 전단면간의 사이각(α) 변화를 직접전단시험 조건과 비교하여 그림 4에 보였다.

표 4. 사면안정해석 시 적용한 등방성 지반의 물성치

물 성	경우	비등방성을 고려하지 않는 경우($\alpha = 60^\circ$)
\bar{c} (kg/m ²)		1000
$\bar{\phi}$ (°)		39
γ_s (kg/m ³)		2090

(2) 비등방성 전단강도 정수

지반의 비등방성을 고려한 해석의 경우에 전단강도 정수는 사면안정해석 시의 가상 파괴면과 수평면이 이루는 사이각의 변화에 따라서 변화하는 것으로 가정한다. 사이각 변화에 따른 전단강도정수의 변화를 해석에서 고려하기 위해 입력한 자료를 표 5에 정리하였다. 표 5의 입력자료에서 본 논문에서 다룬 사면은 경사가 51° 이상으로 선단파괴가 예상되고, 따라서 시계방향의 사이각(- α)에 대한 전단강도정수는 해석결과에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단되므로 임의의 값을 입력하였다. 사면안정해석 과정에서 파괴면과 수평면의 사이각이 표 5에 정리한 자료의 중간 값인 경우에 대해서는 적절한 전단강도정수가 표 5의 값에 근거하여 보간법으로 계산된다(Wright, 1990).

표 5. 사면안정해석 시 적용한 비등방성 지반의 물성치

물 성	\bar{c} (kg/m ²)	$\bar{\phi}$ (°)	γ_s (kg/m ³)
α (°)			
-60	1000	41.2	2090
-40	1000	41	2090
-20	1300	35	2090
0	1300	29.7	2090
20	1300	30	2090
30	1300	30.5	2090
40	1000	34	2090
50	1000	38	2090
60	1000	39	2090
80	600	41	2090
90	600	41.5	2090

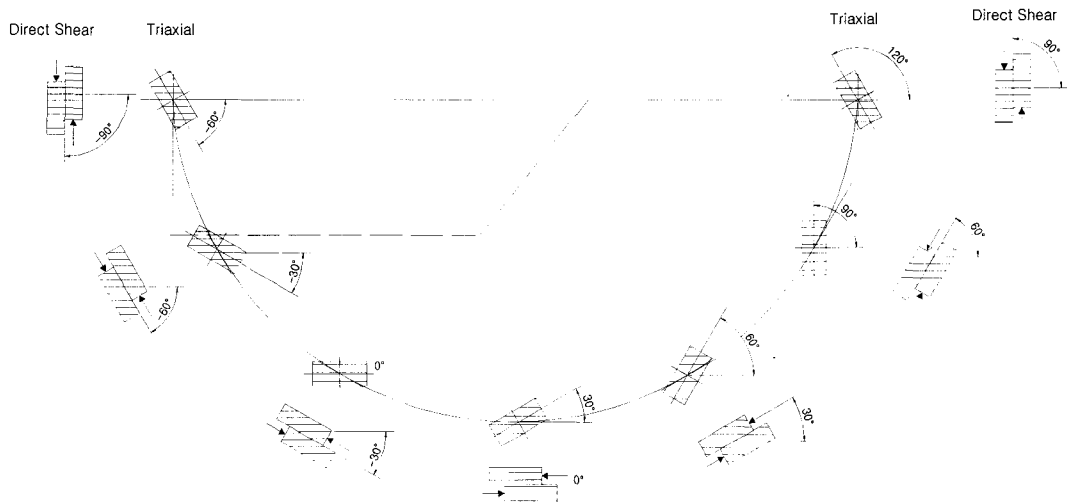


그림 4. 직접전단시험과 삼축시험조건에서 다짐층(수평면)과 전단면이 이루는 사이각(α)의 변화

3.3 사면안정해석 및 결과분석

다양한 기울기와 사면고를 갖는 다짐지반에 조성되는 임시 굴착사면들에 대해서 등방 및 비등방 전단강도 조건에 대한 사면안정해석을 수행하였다. 해석방법은 힘과 모멘트에 대한 평형을 모두 만족시키는 Spencer방법(Spencer, 1967)을 적용하였으며, 유효응력 조건에 대해서 사면 내에 간극수압은 없는 것으로 가정한 해석을 수행하였다. 해석에서 다른 사면은 기울기가 급하고, 지반이 점착력을 가지므로 사면안정해석에서 수렴의 문제가 발생하였다. 사면과파괴 시에 인장균열이 발생하는 것으로 가정하는 경우에 이러한 문제를 극복할 수 있으며, 이는 사면의 실제 거동을 적절히 반영하는 것으로 판단된다. 따라서 본 논문의 해석에서도 인장균열을 고려하였다. 적용한 인장균열 깊이는 해석 시에 절편에 작용하는 측면력이 인장의 조건이 되지 않는 최소 깊이의 인장균열을 시행착오로 찾아 적용하였다.

본 논문에서 사면안정해석을 수행한 굴착사면의 종류와 사면안정해석 결과를 종합하여 표 6에 정리하였다. 표 6에서 알 수 있는 바와 같이 동일한 사면고에서 임의의 기울기에 대해 구한 사면의 안전율이 상당히 크거나 혹은 작은 경우에 각각 그 기울기 보다 작거나 혹은 큰 경우에 대한 해석은 수행하지 않았다. 해석결과를

표 6. 사면안정 해석결과 종합

사면고 (m)	기울기	안전율		인장균열 (m)	
		등방성	비등방성	등방성	비등방성
2	1:0.0	1.198	1.089	1.0	1.0
	1:0.3	1.783	1.754	0.8	0.9
	1:0.4	1.921	1.903	0.8	0.8
	1:0.5	2.204	2.177	0.8	0.9
	1:0.6	2.244	2.160	0.7	0.8
	1:0.7	-	-	-	-
3	1:0.0	-	-	-	-
	1:0.3	1.396	1.358	1.2	1.4
	1:0.4	1.538	1.500	1.1	1.1
	1:0.5	1.730	1.722	0.9	1.0
	1:0.6	1.809	1.762	0.9	0.9
	1:0.7	-	-	-	-
4	1:0.0	-	-	-	-
	1:0.3	1.205	1.167	1.7	1.7
	1:0.4	1.333	1.300	1.5	1.7
	1:0.5	1.455	1.409	1.2	1.3
	1:0.6	1.576	1.518	1.1	1.1
	1:0.7	1.696	1.626	1.1	1.1
5	1:0.0	-	-	-	-
	1:0.3	1.114	1.044	1.9	2.1
	1:0.4	1.199	1.155	1.7	1.7
	1:0.5	1.314	1.265	1.4	1.5
	1:0.6	1.426	1.366	1.1	1.4
	1:0.7	1.537	1.463	1.1	1.3
1:0.8	1.652	1.559	1.3	1.3	

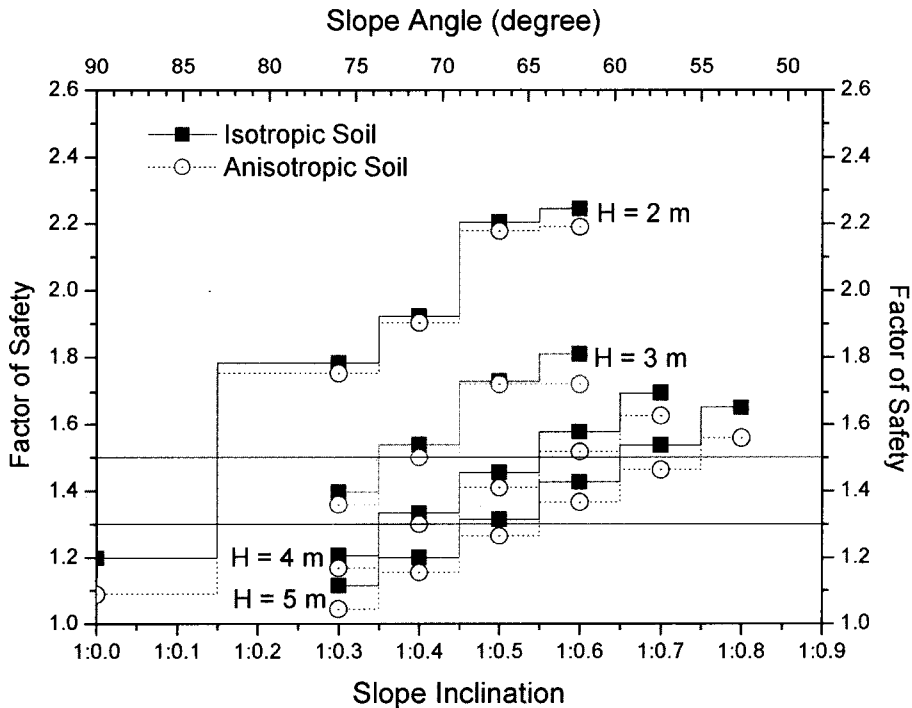


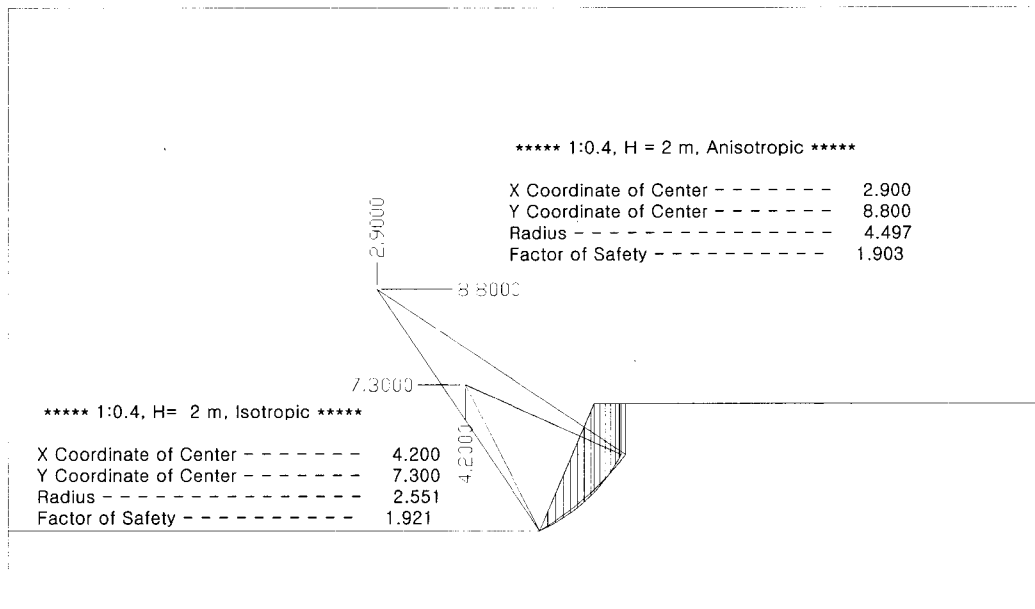
그림 5. 절토고와 사면기울기의 변화에 따른 성토지반에 조성된 굴착사면의 안전율 변화

표 7. 굴착깊이의 변화에 따른 최적안전율을 만족하는 사면의 기울기 변화

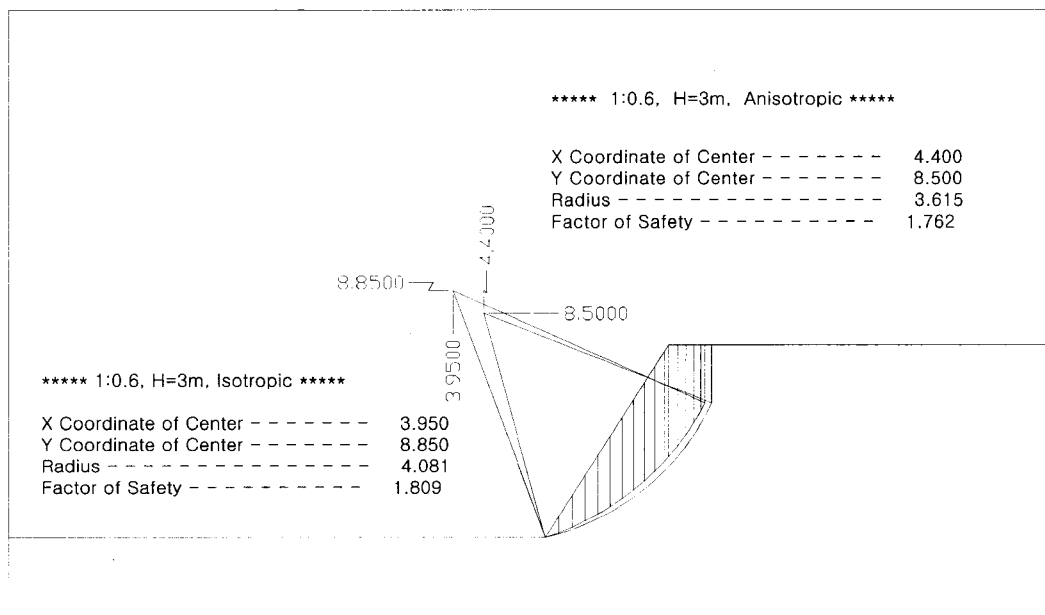
최적안전율 사면고	1.3		1.5	
	등방성	비등방성	등방성	비등방성
2 m	1:0.3	1:0.3	1:0.3	1:0.3
3 m	1:0.3	1:0.3		
4 m			1:0.6	1:0.6
5 m				

용이하게 분석하기 위해서 표 6에 보인 결과를 그림 5와 같이 정리하여 나타냈다.

표 6과 그림 5의 결과에서 지반을 등방 혹은 비등방으로 가정하는 지의 여부에 따른 사면의 안전율 변화는 그리 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 등방성 지반에 있어서 적용한 전단강도가 사이각 60°에 대한 값들로 적용되었고, 이 전단강도가 전반적으로 사면의 파괴면에서 발생하는 전단강도를 적절히 반영하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 그러므로, 본 논문에서 다른 사면의 경우에 다

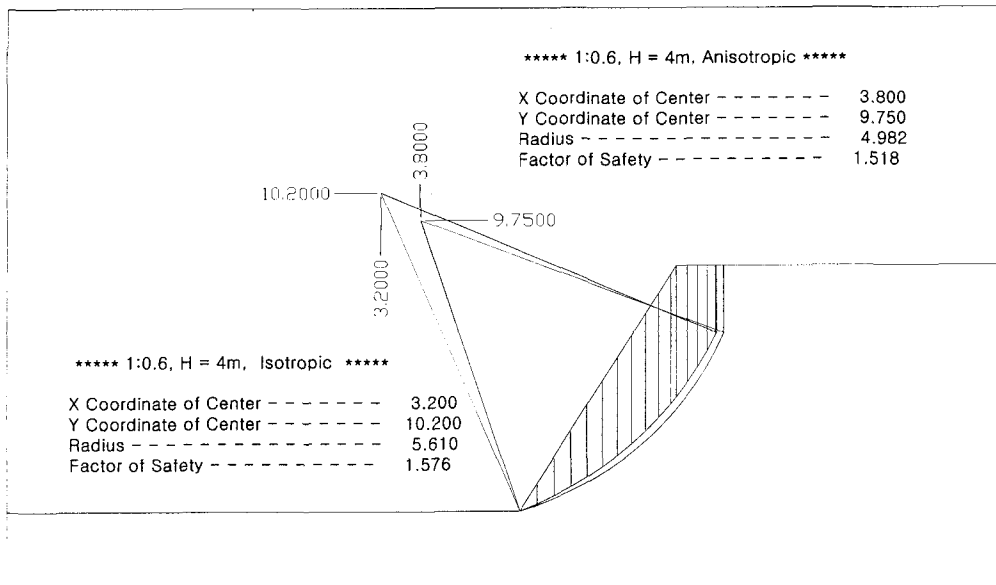


(a) 사면기울기 = 1:0.4, 사면고 = 2 m인 경우

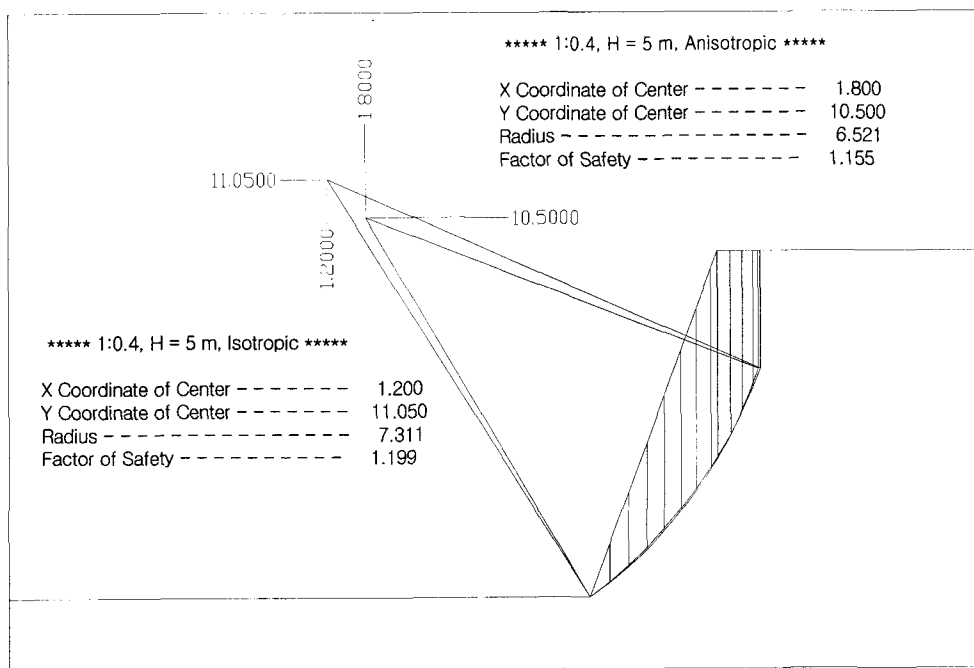


(b) 사면기울기 = 1:0.6, 사면고 = 3 m인 경우

그림 6. 지반의 비등방성 고려여부에 따른 파괴면의 변화



(c) 사면기울기 = 1:0.6, 사면고 = 4 m인 경우



(d) 사면기울기 = 1:0.4, 사면고 = 5 m인 경우

그림 6(계속). 지반의 비등방성 고려여부에 따른 파괴면의 변화

집지반의 비등방성을 고려하지 않는다 할 지라도 삼축압축시험 결과로부터 구한 전단강도 혹은 삼축압축시험의 전단면과 동일한 면에 대해 수행한 직접전단시험 결과를 활용하는 경우에 실제와 유사한 안전율을 구할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 직접전단시험을 다짐층을 고려하지 않고 통상적으로 수행하는 경우에 구해지는 전단강도 정수는 사이각이 0°인 경우가 될 것이므로 안전율이 다소 과소평가 될 우려가 있을 것으로 예상된다.

또한, 그림 5에는 사면의 절취 시 통상적으로 적용되는 최적 안전율 1.3과 1.5를 나타내는 기준선을 보였다. 이들 기준에 근거하여 본 논문에서 다룬 각 굴착깊이의 사면에 대해 적절한 사면안정기울기를 판단하여 결과를 표 7에 정리하였다. 표 7의 결과를 살펴보면 사면고 3 m와 안전율 1.5, 사면고 4 m와 안전율 1.3, 사면고 5 m와 안전율 1.3과 1.5 등 4가지 경우에 대해서는 최적안전율을 만족하는 사면의 기울기가 지반의 비등방성 고

려여부에 따라 변화할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 비등방성 고려 여부에 따른 안전율의 변화는 그리 크지 않을지라도, 사면설계에서 최적안정기울기를 제시함에 있어서는 지반의 비등방성 고려여부가 결과에 영향을 미칠 수 있는 것으로 판단되었다.

한편, 지반의 비등방성 고려 여부에 따른 최소안전율을 갖는 파괴면의 양상 변화를 살펴보기로 하였다. 이를 위해서 등방성과 비등방성 지반의 두 조건에 대한 사면안정해석에서 인장균열의 깊이가 동일한 몇 가지 경우에 대한 파괴면의 양상을 비교하여 그림 6에 나타냈다. 그림의 결과로부터 판단할 때, 최소안전율을 가지는 파괴면은 지반의 비등방성 고려여부에 따라 소폭 변화하는 것으로 나타났으나 그리 크게 변화하지는 않는 것으로 나타났다.

4. 결론

다짐성토지반에 조성되는 임시 굴착사면의 안정성을 다짐지반의 비등방성을 고려하여 평가한 본 논문의 연구결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 층별 다짐으로 성형한 시료에 대해서 다짐층과 전단면간의 사이각이 변화하는 조건들에 대한 직접전단 시험결과, 사이각의 변화에 따라서 구해진 전단강도 정수가 변화하는 것으로 나타났으며, 따라서 다짐지반은 근본적으로 비등방 전단강도 특성을 가지는 것으로 판단되었다.
- (2) 다짐층과 전단면간의 사이각(α)이 60° 로 삼축압축

시험에서의 전단조건과 유사한 경우에 대한 등방성 해석결과를 비등방성 해석 결과와 비교할 때, 이들 전단강도 특성의 변화는 사면의 안전율과 파괴면의 양상에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그러나, 적정 안전율 확보를 위한 사면기울기의 기준제시에 있어서는 사면안정해석 시의 비등방성 전단강도 고려여부가 소폭으로 영향을 미칠 수 있는 것으로 판단되었다.

- (3) 결과적으로 사면을 구성하는 지반의 전단강도 특성이 비등방성으로 추정되는 경우에 적정 안정기울기의 시방은 지반외 비등방성 전단강도를 고려한 사면안정해석 결과에 근거하여 검토·제시되는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Spencer, E. (1967), "A Method of Analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Inter-Slice Forces", *Geotechnique*, Vol.19, No.1, pp.11-26.
2. Wright, S. G. (1969), A Study of Slope Stability and the Undrained Shear Strength of Clay Shales, Thesis presented to the University of California, at Berkeley, California, in 1969, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.
3. Wright, S. G. (1990), UTEXAS3(University of Texas Analysis of Slopes -Version 3): A Computer Program for Slope Stability Calculations, *Geotechnical Engineering Software GS90-1*, Geotechnical Engineering Center, The University of Texas at Austin.
4. 윤요진 (2000), 다짐지반에 조성되는 굴착사면의 최적안정기울기에 관한 연구, 석사학위논문, 공주대학교 대학원.

(접수일자 2002. 2. 1, 심사완료일 2002. 9. 30)