폭우 시 사면안정을 위한 토목섬유와 배수시설의 최적 방안 연구

A Study on the Optimum Method of Geosynthetics composite andDrainage Facilities for the Stabilization of Slopes in Heavy Rain

멘토교수: 박도원

사태방지하조: 김경빈(2019860003), 김성현(2015860005), 김정헌(2019874005), 반재현(2017860019), 이재상(2017860029)

1. 연구 배경 및 지역 선정

[연구 배경]

- 이상 기후로 인한 도시 홍수 악화
- 도시 주변 산지의 폭우 시 사면 불안정 정도의 증가
- 집중 강우 시 침투에 대한 사면의 보강 및 배수시설의 보강방안 미비

▶ 흙 표면에 점착성과 차수성을 가진 토목섬유 시공
▶ 흙 내부에 지하수위 저감을 위한 배수시설 보강

[지역 선정]

- 과거 산사태 이력
  ▶ 2011년 서울시 구로구 개웅산 산사태
- 산림청 산사태 위험지역 지도 검토
  ▶ Qgis(지리정보체계)를 통해 Kakao map과 산사태 위험지역 지도(산림청)을 렌더링하여 위험지역 검토
- 시추주상도의 적용 가능성
  ▶ 연구 대상 사면 근처에 시추주상도 존재

개웅산 길훈아파트를 연구 지역으로 선정

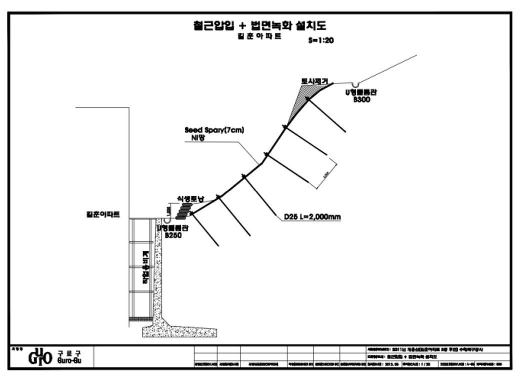
<산사태 위험지역(길훈아파트 위치)>

<길훈아파트 사면 시추주상도>

2. 기존 사면 검토 및 대안 아이디어

[기존 사면 검토]

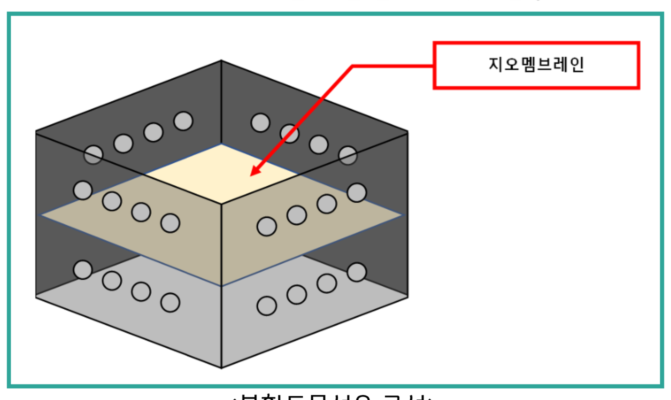
- 2011년 개웅산(길훈아파트 3동 후면) 수해복구공사 설계도
  ▶ 사면 녹화 면적: 157m²
  ▶ 사면 녹화 길이: 약 12m
  ▶ 사면 녹화 두께: 7cm
  ▶ Nail 수: 6개
  ▶ Nail 길이: 2m
  ▶ Nail 설치 간격: 2m


<기존 사면 산사태 복구 현황>

대안에서 토목섬유도 같은 길이(12m)로 설치

[대안 아이디어]

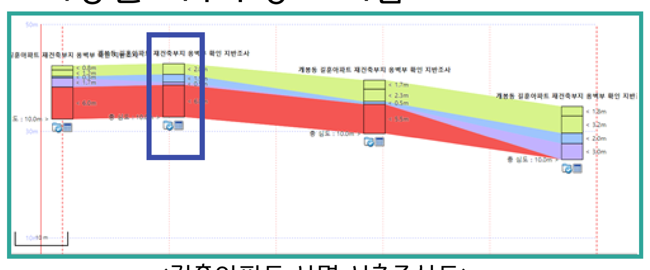
- 복합토목섬유를 통한 사면 표면 안정 및 차수
  ▶ 지오셀은 단위셀 안에 속채움재를 넣고 다짐함으로써 지반의 전단강도 및 지지력을 극대화시킨 방법
  ▶ 지오멤브레인을 지오셀 중간에 설치하여 차수기능 발휘
- 수평배수공을 통한 배수
- Soil Nailing을 통한 지반 지지력 강화



<복합토목섬유 구성>

3. 지반데이터

1. 시추주상도
   - 사용한 시추주상도 지점


<길훈아파트 사면 시추주상도>

   - 사면 지반 구성

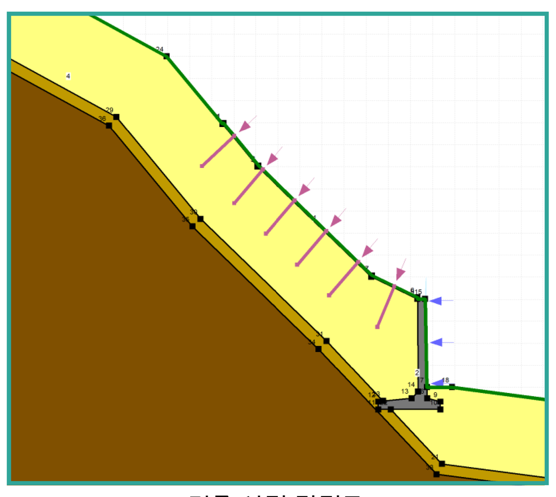
지반명	깊이 (m)
실트질 모래	0.0~3.5
편마암(연암층)	3.5~4.0
편마암(경암층)	4.0~

2. 분석에 사용되는 지반 정수

지반 종류	투수계수 (m/s)	포화함수비	잔류함수비	압축계수 (kPa)	단위중량 (kN/m³)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (도)
실트질 모래	5E-05	0.250	0.050	0.0005	18.0	5.0	33.0
편마암 (연암층)	6E-08	0	-	0	25.4	12,000.0	39.0
편마암 (경암층)	6E-08	0	-	0	27.6	14,200.0	48.6
콘크리트 옹벽	1E-10	0	-	0	22.8	7,630.0	42.0
녹화영역	7E-05	0.250	0.050	0.0005	13.9	12.1	33.0
지오셀영역	7.5E-06	0.347	-	0	18.5	15.0	40.0
지오멤브레인	1E-14	0.347	-	0	-	-	-
수평배수공	1E-04	0	-	0	-	-	-

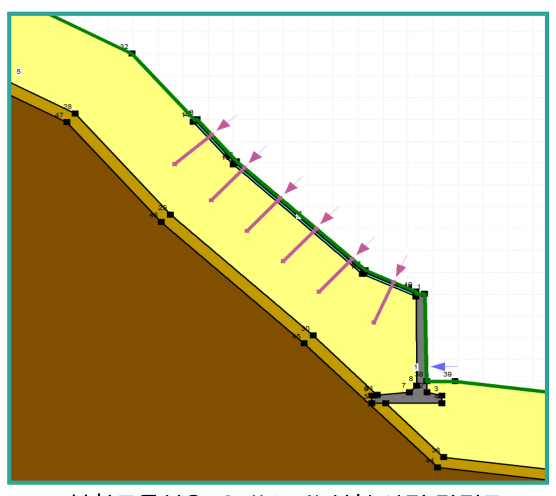
4. 분석 사면

[현황]


<기존 사면 단면도>

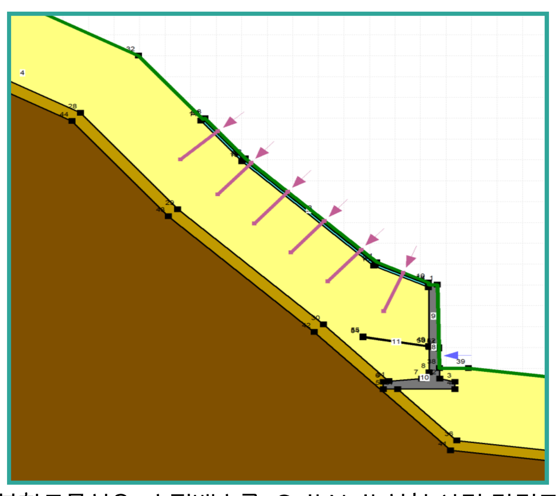
- 특징
  ▶ 사면 녹화 공법 적용
  [사면 녹화 두께: 7cm]
  [사면 녹화 길이: 약 12m]
  ▶ Soil Nailing 공법 적용
  [Nail 길이: 2m]
  [Nail 설치 간격: 2m]
  [Nail 설치 수: 6개]
  ▶ 수평배수공 설치 X

[복합토목섬유+Soil Nailing]


<복합토목섬유+Soil Nail 설치 사면 단면도>

- 특징
  ▶ 복합토목섬유 설치
  [지오셀 두께: 20cm]
  [복합토목섬유 설치 길이: 약 12m]
  ▶ Soil Nailing 공법 적용
  [Nail 길이: 2m]
  [Nail 설치 간격: 2m]
  [Nail 설치 수: 6개]
  ▶ 수평배수공 설치 X

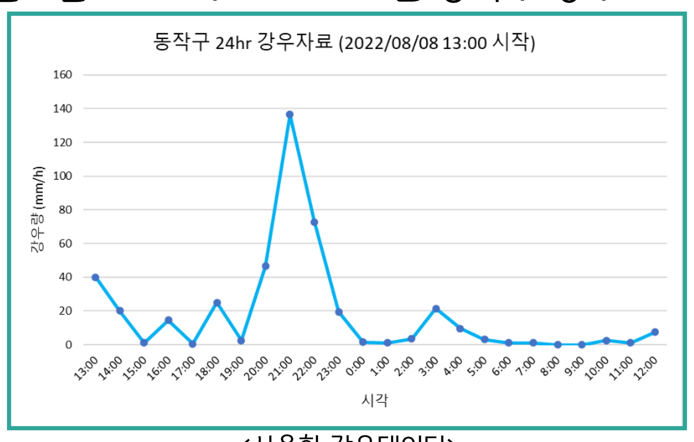
[복합토목섬유+수평배수공+Soil Nailing]


<복합토목섬유+수평배수공+Soil Nail 설치 사면 단면도>

- 특징
  ▶ 복합토목섬유 설치
  [지오셀 두께: 20cm]
  [복합토목섬유 설치 길이: 약 12m]
  ▶ Soil Nailing 공법 적용
  [Nail 길이: 2m]
  [Nail 설치 간격: 2m]
  [Nail 설치 수: 6개]
  ▶ 수평배수공 설치 O

5. 강우데이터

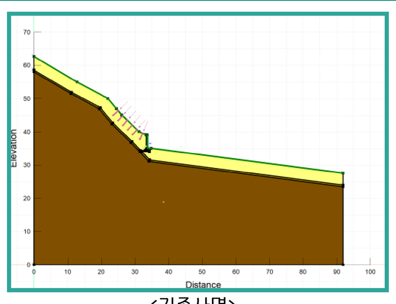
1. 사용 강우데이터
   - 2022년 8월 8일 13:00부터의 24시간 동작구 강우자료

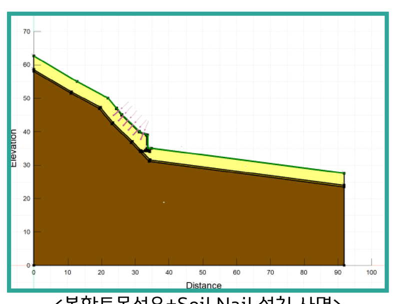


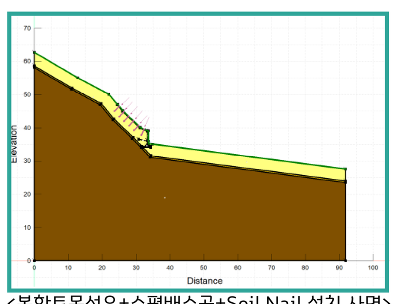
<사용한 강우데이터>

2. 강우자료 선정 근거
   - 2022년 8월 8~9일 서울 한강 이남 지역 1시간 최대 강우량 141.5mm/h -> 서울시 배수체계 설계용량(95mm/h, 30년 빈도) 넘음.
   - 또한 서울시 200년 빈도 강우강도(114mm/h)를 넘은 강우로 많은 피해.
   - 동작구(435.0mm), 서울시 일 최대 강우량(354.7mm, 1920년) 갱신.
   - 이런 상황을 고려하여 일 최고 강수량 발생한 동작구 자료 이용하여 극한 상황 고려하려 함.

6. 프로그램 분석


<기존사면>


<복합토목섬유+Soil Nail 설치 사면>


<복합토목섬유+수평배수공+Soil Nail 설치 사면>

1. 침투 해석 (SEEP/W)

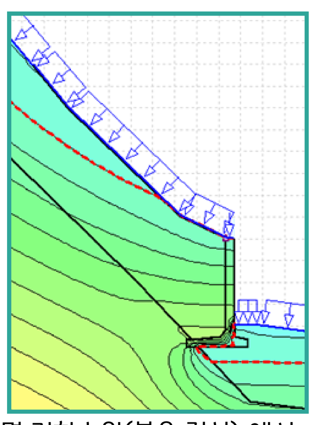
(1) (불)포화토 물성치 생성
- 함수특성곡선 설정
  [샘플시료 종류 입력]
  [포화함수비 입력]
  [압축계수 입력]
- 수리전도도 설정
  [Van Geunchten 방법]
  [체적함수비 입력]
  [수평투수계수 입력]

(2) 강우 설정
- 동작구 강우데이터 입력
- 모든 지표면에 강우 적용

(3) 배수선 설정
- 지오멤브레인의 연직면
- 일부 사면 가장자리

(4) 초기 지하수위 설정
- 실트질 모래층, 편마암층 경계에 지하수위 존재한다고 가정

(5) 시뮬레이션 진행
- 24시간 강우에 대해 진행
- 3개 분석 대상 사면 각각 진행
- 1시간 단위 결과 확인

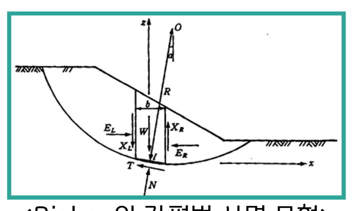

<강우 시작 24hr 후 기존 사면 지하수위(붉은 점선) 예시>

2. 사면안정성 해석 (SLOPE/W)

(1) 침투해석 결과 활용
- 침투해석 파일 안에 안정성 해석 파일 생성

(2) 분석 방법
- Bishop의 간편법
  [원형파괴에 적용]
  [모멘트 평형조건만 고려]
  [X_R-X_L=0]

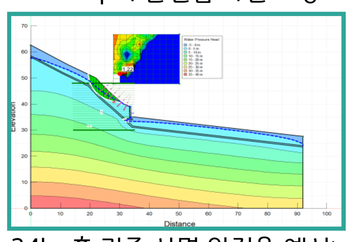
$$F_{s(m)} = \frac{\sum\{c'b + (W - ub)\tan\phi'\}/m_a}{\sum W \sin\alpha}$$
$$\left(m_a = \cos\alpha\left(1 + \frac{\tan\alpha\tan\phi'}{F_s}\right)\right)$$


<Bishop의 간편법 사면 모형>

(3) 데이터 입력
- 단위중량
- 점착력
- 내부마찰각
- Soil Nail
  [GeoStudio 예제 활용]

(4) 파괴원 설정
- 파괴원 중심 범위
- 파괴원 반지름 범위

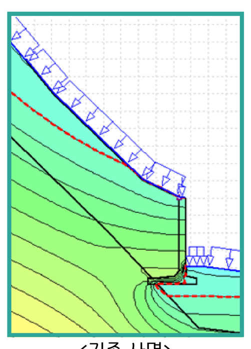
(5) 시뮬레이션 진행
- 3개 분석 대상 사면 각각 진행
- 1시간 단위 결과 확인

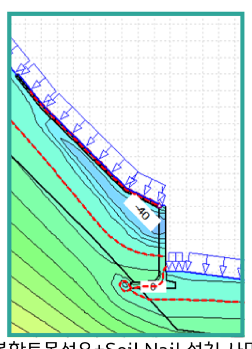

<강우 시작 24hr 후 기존 사면 안전율 예시>

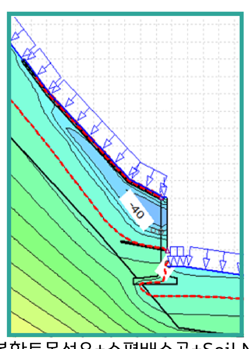
7. 분석 결과 및 최적 대안 선정

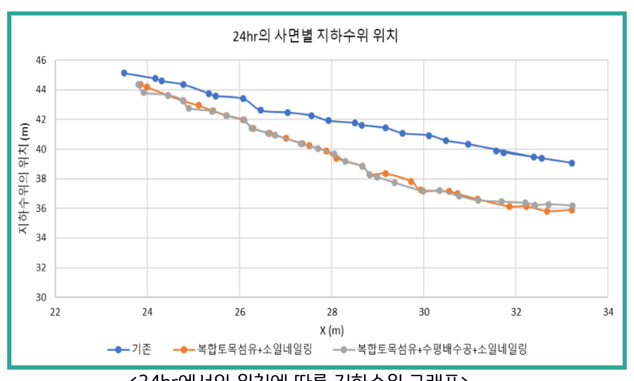
[분석 결과]

- 24hr 지하수위 비교


<기존 사면>


<복합토목섬유+Soil Nail 설치 사면>


<복합토목섬유+수평배수공+Soil Nail 설치 사면>

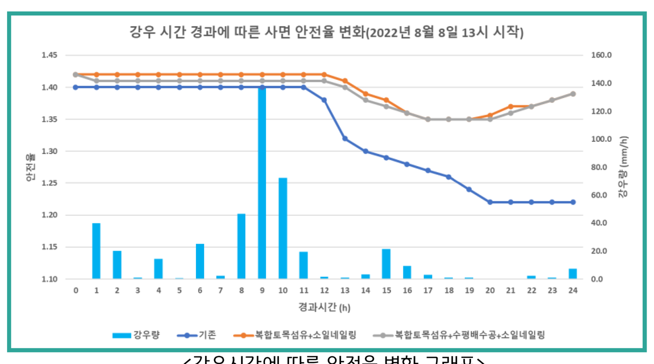


<24hr에서의 위치에 따른 지하수위 그래프>

사면	평균 지하수위 하강률 (%)
복합토목섬유 +소일네일	5.68
복합토목섬유 +수평배수공 +소일네일	5.69

- 안전율 변화 비교

경과시간 (hr)	기존	복합토목섬유 +소일네일(A)	기존대비 (A)증가율(%)	복합토목섬유 +수평배수공 +소일네일(B)	기존대비 (B)증가율(%)
0	1.40	1.42	1.43	1.42	1.43
1	1.40	1.42	1.43	1.41	0.71
2	1.40	1.42	1.43	1.41	0.71
3	1.40	1.42	1.43	1.41	0.71
4	1.40	1.42	1.43	1.41	0.71
5	1.40	1.42	1.43	1.41	0.71
6	1.40	1.42	1.43	1.41	0.71
7	1.40	1.42	1.43	1.41	0.71
8	1.40	1.42	1.43	1.41	0.71
9	1.40	1.42	1.43	1.41	0.71
10	1.40	1.42	1.43	1.41	0.71
11	1.40	1.42	1.43	1.41	0.71
12	1.38	1.42	2.90	1.41	2.17
13	1.32	1.41	6.82	1.40	6.06
14	1.30	1.39	6.92	1.38	6.15
15	1.29	1.38	6.98	1.37	6.20
16	1.28	1.36	6.25	1.36	6.25
17	1.27	1.35	6.30	1.35	6.30
18	1.26	1.35	7.14	1.35	7.14
19	1.24	1.35	8.87	1.35	8.87
20	1.22	1.36	11.15	1.35	10.66
21	1.22	1.37	12.30	1.36	11.48
22	1.22	1.37	12.30	1.37	12.30
23	1.22	1.38	13.11	1.38	13.11
24	1.22	1.39	13.93	1.39	13.93



<강우시간에 따른 안전율 변화 그래프>

- (A), (B)의 지하수위 하강률, 안전율 증가율 차이 거의 없음
- 또한 각 공법의 비용은 기존 비용의 39%, 41% 수준으로 매우 저렴

- 대안 비용 비교

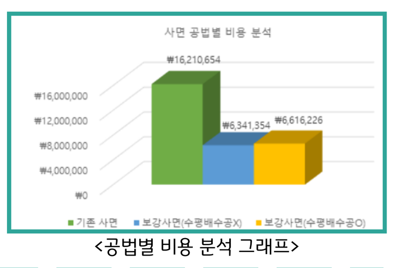
종류	주요 부품	규격	물량	재료 단가	재료 총액	기타 단가	기타 총액	합계 비용	출처
법면 녹화 (BHS공법)	NI 망	두께 7cm	157m²	51,478원/m²	9,008,650원	25,224원/m²	4,414,200원	13,422,850원	2022년 하반기 적용 건설공사표준 시장단가-절토사면녹화공법
복합토목섬유	지오셀	두께 20cm	157m²	18,770원/m²	3,284,750원	7,000원/건	7,000원	3,291,750원	중국생산, 해외배송대행 (배송비 건당 7,000원)
	지오멤브레인	두께 2mm	157m²	1,496원/m²	261,800원	-	-	261,800원	Alibaba.com
소일네일링	D25 철근	길이 2m	45개	*	780,711원	*	2,007,093원	2,787,804원	더베스트테크
수평배수공	직경 50mm 유공관	길이 3m	2개	8,434원/m	50,604원	37,378원/m	224,268원	274,872원	더베스트테크

(*: 여러 항목에 대한 각각의 수량과 단가를 산정하고 있어 총액만을 나타냄)

[기존사면]
법면 녹화+소일네일링=13,422,850+2,787,804 =**16,210,654원**

[복합토목섬유+소일네일링 보강사면]
복합토목섬유+소일네일링=(3,291,750+261,800)+2,787,804 =**6,341,354원**

[복합토목섬유+수평배수공+소일네일링 보강사면]
법면 녹화+수평배수공+소일네일링
=(3,291,750+261,800)+274,872+2,787,804 =**6,616,226원**



<공법별 비용 분석 그래프>

[최적 대안 선정]

- 두 대안의 지하수위 하강률 및 안전율의 증가율 차이가 거의 없다. 이는 침투 차단으로 인해 지하수위가 수평배수공 위치 이상 상승하지 않았기 때문이다. 비용 측면은 수평배수공을 설치하는 대안이 그렇지 않은 대안에 비해 4%정도 비싸다.
- 깎기비탈면 수평배수공 설계 및 시공 지침(한국도로공사)에 따르면 수평배수공 같은 경우, 정확한 위치 선정이 어려워 현장 상황을 고려하여 시공 중에 설치 위치를 결정한다. 또한, 미래 강우 세기가 점점 더 강해질 경우 연구 결과보다 지하수위 상승을 유발하는 상황에 대응할 수 있어야 한다.
- 이들을 종합적으로 고려하면 "복합토목섬유+수평배수공+소일네일링" 공법이 최적의 대안이라고 판단할 수 있다.