



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년12월16일
(11) 등록번호 10-2191725
(24) 등록일자 2020년12월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G08B 21/10 (2014.01) G01N 27/04 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G08B 21/10 (2013.01)
G01N 27/048 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0088801
(22) 출원일자 2019년07월23일
심사청구일자 2019년07월23일
(56) 선행기술조사문헌
KR101580062 B1*
KR1020180009093 A*
KR101547070 B1
산사태 모니터링 방법 자료(2013.12.31). 1부.*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
정상섭
서울특별시 강남구 광평로19길 15, 106동 1104호 (일원동, 목련타운아파트)
이광우
경기도 용인시 수지구 문정로 55, 101동 901호(풍덕천동, 한성아파트)
정성화
서울특별시 서대문구 성산로14길 33, 203호(연희동)
(74) 대리인
김인철

전체 청구항 수 : 총 5 항

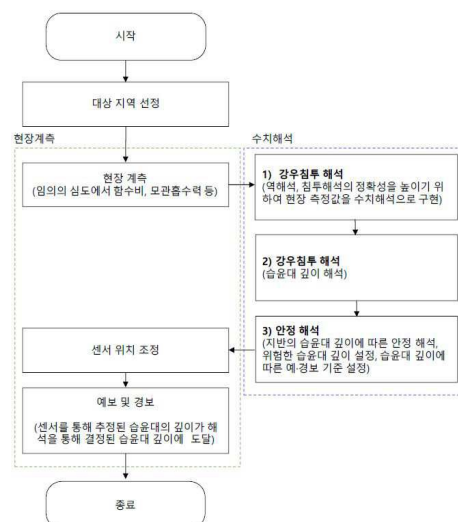
심사관 : 이달경

(54) 발명의 명칭 **현장 추정 습윤대 깊이 및 수치해석된 위험 습윤대 깊이를 이용한 산사태 모니터링 방법**

(57) 요약

본 발명은 현장 추정 습윤대 깊이 및 수치해석된 위험 습윤대 깊이를 이용한 산사태 모니터링 방법으로서, 적어도 일 지점의 지반 아래에 배치된 함수비센서 또는 모관흡수력센서의 측정값으로 실제 발생된 강우에 의한 습윤대 깊이를 추정하는 S1 단계; 강우량을 가상으로 적용시키는 강우침투 수치해석을 통해 강우에 의한 지반의 위험 습윤대 깊이를 산정하는 S2-1 단계, 및 S2-1 단계에서 산정된 위험 습윤대 깊이를 비탈면 안정 수치해석에 적용하여 습윤대 깊이에 따른 안전율을 산정하는 S2-2 단계; 및 S1 단계에서 추정된 습윤대 깊이와 S2-1 단계에서 산정된 위험 습윤대 깊이의 비율을 S2-2 단계의 안전율과 비교하여 산사태 예보 또는 경보를 하는 S3 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도10



(52) CPC특허분류
G01W 2201/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

| | |
|-------------|-------------------------|
| 과제고유번호 | 1345281241 |
| 부처명 | 교육부 |
| 과제관리(전문)기관명 | 한국연구재단 |
| 연구사업명 | 이공학학술연구기반구축(R&D) |
| 연구과제명 | 기후변화 적응형 사회기반시설 연구센터 |
| 기 여 율 | 1/1 |
| 과제수행기관명 | 연세대학교 |
| 연구기간 | 2018.06.01 ~ 2019.02.28 |

명세서

청구범위

청구항 1

현장 습윤대 깊이 추정부에서, 지반 아래의 적어도 일 지점에 배치된 함수비센서 또는 모관흡수력센서의 측정값으로 실제 발생된 강우에 의한 습윤대 깊이를 추정하는 S1 단계; 수치해석부에서, 강우량을 가상으로 적용시키는 강우침투 수치해석을 통해 강우에 의한 지반의 위험 습윤대 깊이를 산정하는 S2-1 단계, 및 S2-1 단계에서 산정된 위험 습윤대 깊이를 비탈면 안정 수치해석에 적용하여 습윤대 깊이에 따른 안전율을 산정하는 S2-2 단계; 및 제어부에서, S1 단계에서 추정된 습윤대 깊이와 S2-1 단계에서 산정된 위험 습윤대 깊이의 비율을 S2-2 단계의 안전율과 비교하여 산사태 예보 또는 경보를 하는 S3 단계를 포함하며,

S3 단계의 제어부는 S1 단계에서 상기 센서의 각 설치 지점의 측정값 조합으로 습윤대의 이동방향 및 이동속도를 추정하며, 습윤대의 이동속도는 지반의 투수계수로 추정하며, 지반의 상태에 따라 포화투수계수에 관한 수학적 식 1과 불포화 투수계수에 관한 수학적 식 2로 구분되는 것을 특징으로 하는 현장 추정 습윤대 깊이 및 수치해석된 위험 습윤대 깊이를 이용한 산사태 모니터링 방법.

$$[\text{수학식 1}] \quad k_s = \Delta h / \Delta t$$

(여기서, k_s 는 포화투수계수, Δh 는 흙의 두께(센서1과 센서2의 간격), Δt 는 시간이다.)

$$[\text{수학식 2}] \quad k_{unsat} = k_s \frac{[1 - (\alpha\psi)^{n-1}(1 + (\alpha\psi)^n)^{-m}]^2}{[1 + ((\alpha\psi)^n)^m]}$$

(여기서, k_{unsat} 는 불포화 투수계수, ψ 는 모관흡수력, α, n, m 은 매개변수이다.)

청구항 2

청구항 1에 있어서,

S1 단계의 습윤대의 깊이는 아래 수학적식으로 추정하는 것을 특징으로 하는 현장 추정 습윤대 깊이 및 수치해석된 위험 습윤대 깊이를 이용한 산사태 모니터링 방법.

$$[\text{수학식}] \quad z_w = \frac{I_R}{\Delta\theta}$$

(여기서, z_w 은 습윤대의 연직방향 깊이, I_R 는 강우의 지반침투량, $\Delta\theta$ 은 체적함수비의 변화량이다)

청구항 3

청구항 1에 있어서,

S1 단계의 함수비센서 또는 모관흡수력센서는 지반 아래로 횡방향 및 종방향으로 상호 이격 배치되는 것을 특징으로 하는 현장 추정 습윤대 깊이 및 수치해석된 위험 습윤대 깊이를 이용한 산사태 모니터링 방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

S2-1 단계의 위험 습윤대 깊이는 모관흡수력이 0 kPa인 지점들의 연결선인 지하수위선으로 결정되는 것을 특징으로 하는 현장 추정 습윤대 깊이 및 수치해석된 위험 습윤대 깊이를 이용한 산사태 모니터링 방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

S2-2 단계의 안전율(FS)은 다음 수학식으로 산출되는 것을 특징으로 하는 현장 추정 습윤대 깊이 및 수치해석된 위험 습윤대 깊이를 이용한 산사태 모니터링 방법.

$$\text{안전율}(FS) = \frac{\text{S2-1 단계의 위험 습윤대 깊이}}{\text{S1 단계의 습윤대 깊이}}$$

[수학식]

청구항 6

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 산사태 모니터링 방법에 관한 것이다. 구체적으로는 현장 추정 습윤대 깊이 및 수치해석된 위험 습윤대 깊이를 이용한 산사태 모니터링 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 기후변화로 인하여 강우 패턴 및 형태가 변화하고 있으며 집중호우 등으로 인하여 산사태 (비탈면 붕괴) 발생 규모 및 횟수가 증가하고 있다.

[0003] 산사태는 국내에서 발생하는 대표적인 자연재해 중 하나로 산사태 발생을 예측하고 피해를 최소화하기 위하여 예·경보하는 것은 매우 중요한 부분이다. 또한, 우리나라는 국토면적의 70%가 산지로 구성되어 있어 도로 및 철도는 대부분 산지를 절토하여 개발되어 도로 및 철도를 운영하는 기관에서는 인근에서 발생하는 산사태(비탈면 붕괴)에 대한 정보를 통해 산사태 피해를 최소화 하고자 한다.

[0004] 따라서 강우에 직접영향을 받는 지반의 함수비 변화를 적용하여 산사태를 예·경보할 수 있는 방법은 산사태 피해를 최소화 할 수 있는 유용한 기술이다.

[0006] 최근 센서 및 통신 등의 기술의 발달로 현장에서 계측을 통한 산사태 예·경보 시스템 개발에 대한 연구가 진행되고 있다.

[0007] 국내에서 발생하는 산사태는 대부분 강우에 의한 것으로서, 강우 또는 지반의 변형을 독립적으로 관측하여 사용하는 것보다 강우에 직접적으로 영향을 받는 지반의 습윤대 깊이 변화를 이용하여 산사태 발생을 예·경보하는 것이 적절하다.

[0009] 기존에는 산사태의 발생을 예·경보하기 위하여 강우량(강우강도, 누적강우 등)을 기준으로 사용하고 있으며, 지표면 변형(지표면변위계) 또는 지중 변형(지중경사계)을 측정하여 예·경보하는 방법이 개발되었다. 그러나 산사태는 강우에 의한 지반의 변화이므로, 강우 또는 지반의 변형을 독립적으로 관측하여 산사태를 예·경보하는 것은 한계가 있었다.

[0010] 고전적인 방법인 강우에 의한 산사태 예·경보는 지형 및 지반 특성을 고려하지 못하는 단점이 있었다. 지표면 변위계를 이용한 방법은 산사태가 발생되지 않는 고정점(노두: 노출 암반 등)이 있는 경우에 적용이 가능하고 동물 및 식물(수목 및 덩굴 등)에 의해 영향으로 오류와 유지관리에 인력 과 비용이 많이 소요되는 문제점이 제기되었다.

[0011] 지중경사계는 비탈면에 시추공을 시공하여 센서를 매설하여야 하므로 설치 위치가 제한적이며 설치 비용이 많이 필요하다. 이러한 문제로 설치 개수의 제한으로 센서가 설치된 제한된 영역의 산사태(비탈면 붕괴)만 감지하기 때문에 활동면 위치에 따라서 발생된 산사태를 감지하지 못하거나 붕괴규모 및 진행방향에 대한 추정이 어렵다는 문제점이 제기되었다.

[0012] 또한, 함수비 센서를 이용하는 경우, 설치 위치 및 심도에 따라 측정값(지반의 함수비)이 상이하기 때문에, 이를 직접적인 산사태 예·경보기준으로 적용되지 못하였다.

선행기술문헌

특허문헌

[0013] (특허문헌 0001) (문헌 1) 대한민국 공개특허공보 제10-2019-0009869호(2019.01.30)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0014] 본 발명에 현장 추정 습윤대 깊이 및 수치해석된 위험 습윤대 깊이를 이용한 산사태 모니터링 방법은 다음과 같은 해결과제를 가진다.

[0015] 첫째, 강우에 직접적으로 영향을 받는 지반의 습윤대 깊이를 이용하여, 간편하게 산사태를 예·경보 할 수 있는 방법을 제공하고자 한다.

[0016] 둘째, 강우침투해석과 비탈면안정해석 등의 수치해석과 현장 측정값을 연계하여 산사태를 모니터링하고자 한다.

[0017] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급한 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해되어질 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0018] 본 발명은 현장 추정 습윤대 깊이 및 수치해석된 위험 습윤대 깊이를 이용한 산사태 모니터링 방법으로서, 현장 습윤대 깊이 추정부에서, 지반 아래의 적어도 일 지점에 배치된 함수비센서 또는 모관흡수력센서의 측정값으로 실제 발생된 강우에 의한 습윤대 깊이를 추정하는 S1 단계; 수치해석부에서, 강우량을 가상으로 적용시키는 강우침투 수치해석을 통해 강우에 의한 지반의 위험 습윤대 깊이를 산정하는 S2-1 단계, 및 S2-1 단계에서 산정된 위험 습윤대 깊이를 비탈면 안정 수치해석에 적용하여 습윤대 깊이에 따른 안전율을 산정하는 S2-2 단계; 및 제어부에서, S1 단계에서 추정된 습윤대 깊이와 S2-1 단계에서 산정된 위험 습윤대 깊이의 비율을 S2-2 단계의 안전율과 비교하여 산사태 예보 또는 경보를 하는 S3 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

S3 단계의 제어부는 S1 단계에서 상기 센서의 각 설치 지점의 측정값 조합으로 습윤대의 이동방향 및 이동속도를 추정하며, 습윤대의 이동속도는 지반의 투수계수로 추정하며, 지반의 상태에 따라 포화투수계수에 관한 수학적 식 1과 불포화 투수계수에 관한 수학적 식 2로 구분될 수 있다.

[수학적 식 1]
$$k_s = \Delta h / \Delta t$$

[수학적 식 2]
$$k_{unsat} = k_s \frac{[1 - (\alpha\psi)^{n-1} (1 + (\alpha\psi)^n)^{-m}]^2}{[1 + ((\alpha\psi)^n)^m]}$$

[0019] 본 발명에 있어서, S1 단계의 습윤대의 깊이는 아래 수학적식으로 추정하는 것을 특징으로 하는 현장 추정 습윤대 깊이 및 수치해석된 위험 습윤대 깊이를 이용한 산사태 모니터링 방법.

[수학적 식]
$$z_w = \frac{I_R}{\Delta\theta}$$

[0021] (여기서, z_w 은 습윤대의 연직방향 깊이, I_R 는 강우의 지반침투량, $\Delta\theta$ 은 체적함수비의 변화량이다)

[0022] 본 발명에 있어서, S1 단계의 함수비센서 또는 모관흡수력센서는 지반 아래로 횡방향 및 종방향으로 상호 이격 배치가 되는 것이 바람직하다.

[0023] 본 발명에 있어서, S2-1 단계의 위험 습윤대 깊이는 모관흡수력이 0 kPa인 지점들의 연결선인 지하수위선으로 결정되는 것이 바람직하다.

[0024] 본 발명에 있어서, S2-2 단계의 안전율(FS)은 다음 수학적식으로 산출되는 것이 바람직하다.

[0025] [수학식]
$$\text{안전율}(FS) = \frac{S2\text{-}1\text{단계의 위험습윤대깊이}}{S1\text{단계의 습윤대깊이}}$$

[0026] 삭제

발명의 효과

[0027] 본 발명에 따른 현장 추정 습윤대 깊이 및 수치해석된 위험 습윤대 깊이를 이용한 산사태 모니터링 방법은 다음과 같은 효과를 가진다.

[0028] 강우침투 수치해석을 통해 강우에 의한 지반의 습윤대 변화를 산정하고, 이를 비탈면 안정해석 수치해석에 적용하여 습윤대 깊이에 따른 비탈면 안정성을 평가하는 효과가 있다.

[0029] 둘째, 이를 현장에서 함수비 센서, 모관흡수력 센서 등을 통해 추정된 습윤대 깊이와 비교하여 산사태를 예·경보할 수 있는 효과가 있다.

[0030] 본 발명의 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해되어 질 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0031] 도 1은 강우에 의한 지반의 함수비 변화 그래프이다.

도 2는 함수특성곡선을 나타낸다.

도 3은 습윤대의 개념 및 위치에 관한 것이다.

도 4는 현장모관흡수력, 함수비측정 및 습윤대깊이를 추정하는 것을 나타낸다.

도 5는 본 발명이 적용된 일 실시예로서, 대상위치를 나타내는 지도이다.

도 6은 강우침투해석 결과로서, 습윤대깊이 및 모관흡수력을 나타낸다.

도 7은 강우에 따른 습윤대깊이를 나타낸다.

도 8은 본 발명의 S2-2 단계에 따른 안정해석 결과를 나타낸다.

도 9는 습윤대 깊이에 따른 안전율 변화를 나타낸다.

도 10은 본 발명에 따른 산사태 모니터링 방법의 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 이하, 첨부한 도면을 참조하여, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 설명한다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 이해할 수 있는 바와 같이, 후술하는 실시예는 본 발명의 개념과 범위를 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 형태로 변형될 수 있다. 가능한 한 동일하거나 유사한 부분은 도면에서 동일한 도면부호를 사용하여 나타낸다.

[0033] 본 명세서에서 사용되는 전문용어는 단지 특정 실시예를 언급하기 위한 것이며, 본 발명을 한정하는 것을 의도하지는 않는다. 여기서 사용되는 단수 형태들은 문구들이 이와 명백히 반대의 의미를 나타내지 않는 한 복수 형태들도 포함한다.

[0034] 본 명세서에서 사용되는 "포함하는"의 의미는 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 성분을 구체화하며, 다른 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소, 성분 및/또는 군의 존재나 부가를 제외시키는 것은 아니다.

[0035] 본 명세서에서 사용되는 기술용어 및 과학용어를 포함하는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 일반적으로 이해하는 의미와 동일한 의미를 가진다. 사전에 정의된 용어들은 관련기술문헌과 현재 개시된 내용에 부합하는 의미를 가지는 것으로 추가 해석되고, 정의되지 않는 한 이상적이거나 매우 공식적인 의미로 해석되지 않는다.

- [0037] 지반은 흙 입자, 물 그리고 공기로 구성되며, 일반적인 상태(건기 시)에서는 지반의 모관 흡수력에 의해 흙 입자 사이에 일부의 물(흡착수)을 포함하고 있는 불포화(Unsaturated)상태로 존재한다. 강우 시에는 입자 사이의 공기가 물로 가득 채워져 포화(saturated)상태가 된다. 강우는 지반으로 침투되어 지반의 전단강도가 감소시켜 산사태(비탈면 붕괴)를 유발한다.
- [0038] 본 발명은 지반의 강우 침투거동을 파악하고 강우 침투에 따른 지반의 습윤대 깊이를 이용한 산사태 예·경보를 포함하는 산사태 모니터링 방법에 관한 것이다.
- [0039] 우리나라의 경우, 건기 시에 지반은 일반적으로 모관흡수력에 의해 잔류함수비 상태를 유지하며, 강우에 의해 함수비가 증가된다. 지반이 포화상태가 되면 건조상태의 강도보다 감소하여 붕괴 위험이 증가한다.
- [0040] 강우에 의한 지반의 함수비 증가는 특정 시점에서 급격하게 증가하는 형태를 띠며, 일반적인 형태는 도 1에 나타난 것과 같다. 함수비가 특정 시점에서 급격하게 증가하는 이유는 지반의 특성 중 하나이며 이는 지반의 함수 특성곡선을 통해 확인 할 수 있다.
- [0041] 도 2는 함수특성 곡선을 나타내고 있으며 건조한 상태에서 강우에 의해 모관흡수력이 감소하고 체적함수비가 증가 하여 포화 상태에 이르게 된다.
- [0042] 이러한 특성을 이용하여 함수비 센서 또는 모관흡수력 센서를 이용하면 지반의 포화정도를 확인 할 수 있으며, 이를 통해 포화심도(습윤대 깊이)를 추정할 수 있다.
- [0043] 한편, 기존 함수비 센서를 이용하여 산사태 예·경보를 하는 경우, 설치 위치 및 심도에 따라 측정값(지반의 함수비)이 상이하여 이를 직접적인 산사태 예·경보기준으로 적용하지 못하고 있다.
- [0045] 반면에, 본 발명은 함수비를 심도(깊이)의 함수로 변화시킨 습윤대 깊이를 이용하여 위험한 상태를 정의하여 산사태 예·경보 기준으로 적용가능한 특징이 있다. 본 발명은 현장에서 예로 2개 이상의 특정심도에서 측정된 함수비 또는 모관흡수력으로 심도의 함수인 습윤대 깊이를 추정하고, 수치해석을 이용하여 산정된 위험한 습윤대 깊이에 도달하게 되면 산사태 예보 또는 경보를 내릴 수 있다.
- [0047] 본 발명에 따른 현장 추정 습윤대 깊이 및 수치해석된 위험 습윤대 깊이를 이용한 산사태 모니터링 방법은 현장 습윤대 깊이 추정부에서, 지반 아래의 적어도 일 지점에 배치된 함수비센서 또는 모관흡수력센서의 측정값으로 실제 발생된 강우에 의한 습윤대 깊이를 추정하는 S1 단계를 포함한다.
- [0048] 본 발명은 수치해석부에서, 강우량을 가상으로 적용시키는 강우침투 수치해석을 통해 강우에 의한 지반의 위험 습윤대 깊이를 산정하는 S2-1 단계, 및 S2-1 단계에서 산정된 위험 습윤대 깊이를 비탈면 안정 수치해석에 적용하여 습윤대 깊이에 따른 안전율을 산정하는 S2-2 단계를 포함한다.
- [0049] 본 발명은 제어부에서, S1 단계에서 추정된 습윤대 깊이와 S2-1 단계에서 산정된 위험 습윤대 깊이의 비율을 S2-2 단계의 안전율과 비교하여 산사태 예보 또는 경보를 하는 S3 단계를 포함한다.
- [0051] 습윤대는 일반적으로 지하수위에 의해 하부에 존재하며(도 3a 참조), 강우에 의해 지표면에서부터 일시적으로 형성될 수 있으며(도 3b참조), 지하수위가 얕게 존재하는 경우 두개의 습윤대가 만날 가능성도 존재한다(도 3c 참조).
- [0052] 습윤대(포화심도)는 지하수위계(간극수압계) 등을 이용하여 현장에서 직접 측정할 수는 있지만, 지반의 공기함입치(air entry value)등의 특성으로 완전히 포화되지 않아, 현장에서 습윤대를 정확하게 측정하는 것은 거의 불가능 한다.
- [0053] 간접적으로 습윤대를 추정하는 방법은 모관흡수력센서를 이용하는 방법과 함수비 센서를 이용하는 방법으로 구분할 수 있으며, 모관흡수력센서와 함수비 센서를 이용하여 기존 이론식 등을 이용하여 습윤대 깊이를 추정할수 있다(도 4 참조).
- [0055] 참고로, 도 4의 초기 체적함수비에서 ‘초기’의 의미는 비가 오기 전 지반의 상태를 의미한다. 자연상태에 존재하는 흙은 입자 사이의 흡착력으로 인해 잔류체적함수비(초기체적함수비) 상태로 존재한다. 흙의 입자크기와 분포에 따라 다르지만, 일반적으로 풍화토는 5-20%의 초기체적함수비를 유지하고 있다.
- [0057] 센서를 통해 측정한 값은 1개의 센서로도 가능하지만, 2개 이상의 센서를 사용하는 것이 정확한 습윤대 깊이를 추정하기 위해 더욱 바람직하다.
- [0058] 복수의 센서는 횡방향으로 배치되는 것도 가능하며, 또한 종방향으로 배치되는 것도 가능하며, 두 가지 배치가

모두 반영되는 것도 가능하다.

- [0059] 따라서, 본 발명에 따른 S1 단계의 함수비센서 또는 모관흡수력센서는 지반 아래로 횡방향 및 종방향으로 상호 이격 배치되는 것이 바람직하다.
- [0061] 수평방향의 센서 설치 지점은 예보 및 경보를 하고자 하는 비탈면의 대표 위치(예를 들어, 비탈면의 상부, 중부, 하부 등)로 선택 될 수 있다.
- [0062] 수직방향의 센서 설치 지점은 토심(암반층 위에 분포한 흙의 두께) 및 흙의 불포화 투수계수를 고려하여 등 간격으로 설치하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 지표면에서부터 아래로 30cm, 60cm, 90cm 순으로 설치할 수 있다.
- [0063] 또한, 시간에 따른 습윤대의 위치변화를 이용하여 습윤대의 이동 속도를 추정할 수 있다. 이를 통해 위험습윤대(S2-1 단계에서 정의한 습윤대)에 도달하는 시간을 추정하여 예보 또는 경보를 준비할 수 있다.
- [0064] 각 설치 지점의 센서들은 일정한 간격(예를 들어, 1분 또는 10분 등)으로 측정하여, 측정값을 제어부에 전송한다.
- [0065] 또한, 각 설치 지점의 측정 값은 독립적으로 의미를 가지며, 각 설치 지점의 측정값을 이용하여 습윤대 깊이를 추정 할 수 있다. 나아가, 각 지점의 측정값 조합으로 습윤대의 이동방향 및 속도를 추정할 수 있다.
- [0066] 습윤대의 이동속도는 지반의 투수계수로 추정 할 수 있으며, 지반의 상태에 따라 포화투수계수와 불포화 투수계수(모관흡수력이 0이 아닌 상태의 값)로 구분할 수 있다.
- [0067] 포화투수계수는 아래의 수학식 1과 같고 불포화 투수계수는 모관흡수력의 함수로서 아래의 수학식 2와 같이 표현된다.

수학식 1

$$k_s = \Delta h / \Delta t$$

[0068]

여기서, k_s 는 포화투수계수, Δh 는 흙의 두께(센서1과 센서2의 간격), Δt 는 시간이다.

수학식 2

$$k_{unsat} = k_s \frac{[1 - (\alpha\psi)^{n-1}(1 + (\alpha\psi)^n)^{-m}]^2}{[1 + ((\alpha\psi)^n)^m]}$$

[0070]

여기서, k_{unsat} 는 불포화 투수계수, ψ 는 모관흡수력, α, n, m 은 매개변수이다.

- [0073] 본 발명에 따른 S1 단계의 습윤대의 깊이 즉 지반 연직방향의 침투깊이(습윤대깊이)는 공지된 다음의 수학식 3로부터 추정하여 구할 수 있다.

수학식 3

$$z_w = \frac{I_R}{\Delta\theta}$$

[0074]

여기서, z_w 은 습윤대의 연직방향 깊이, I_R 는 강우의 지반침투량, $\Delta\theta$ 은 체적함수비의 변화량이다.

- [0076] 강우의 지반 침투량은 강우강도가 투수계수보다 작은 경우에는 모두 침투되고, 강우강도가 투수계수보다 큰 경

우에는 투수계수만큼 침투되는 것으로 고려되었다.

한편, 체적함수비와 모관흡수력의 관계는 함수특성곡선으로 상호전환이 가능하다.

체적함수비와 모관흡수력의 관계는 ‘함수특성곡선’에서 표현된다. 함수특성곡선은 일반적으로 도 2와 같이, 역 S자 형태로 정의되며, 다양한 수식으로 이미 제안되어 있으며, 일반적으로 아래 수학식 4 및 수학식 5가 이용되고 있다.

수학식 4

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left[\frac{1}{1 + (\alpha \psi)^n} \right]^m$$

수학식 5

$$\theta = \theta_s \left[1 - \frac{\ln(1 + \frac{\psi}{h_r})}{\ln(1 + \frac{10^6}{h_r})} \right] \left[\frac{1}{\ln[\exp(1) + (\frac{\psi}{a_r})^n]} \right]^m$$

수학식 4 및 수학식 5에서, θ_s 는 포화 체적함수비, θ_r 은 잔류 체적 함수비, ψ 는 모관흡수력, a , n , m 은 매개변수이다.

한편, 일반적으로 모관흡수력을 측정하는 것이 함수비를 측정하는것보다 비용, 시간 등의 측면에서 용이하지 않을 수 있다. 하지만, 모관흡수력 값이 더 확실하고 정확한 값이라고도 볼 수 있을 것이다. 왜냐하면, 함수비는 흙에 따라 범위가 넓다. 예를 들어, 흙A의 경우, 포화함수비 40%-잔류함수비 5%이고, 흙B의 경우, 포화함수비 80%-잔류함수비 20%로 될 수 있다. 또한 함수비는 100%를 초과할 수도 있다.

따라서, 흙의 성분을 정확하게 알지 못하면 어떤 값이 포화상태인지 확인하기 곤란 할 수도 있지만 모관흡수력은 포화상태에서 항상 0 kPa이다, 물론, 경우에 따라서는 10-20 kPa를 포화상태로 가정하기도 한다. 이를 이용하여계되면 모관흡수력이 0 kPa인 심도를 습윤대의 깊이로 정의할 수 있다.

본 발명에 있어서, S2-1 단계의 위험 습윤대 깊이는 모관흡수력이 0 kPa인 지점들의 연결선인 지하수위선으로 결정될 수 있다. 도 6에서와 같이, 지하수위(라인)은 2개(지표면에서부터, 바닥면에서부터)로 구성될 수 있다.

본 발명에 있어서, S1 단계에서의 현장 습윤대 깊이와 S2-1 단계에서 위험한 상태를 정의하는 위험 습윤대 깊이(기준습윤대 깊이)는 서로 상이하다. S2-1 단계에서 기준이 되는 습윤대는 수치해석(비탈면 안정해석)으로 결정된다. 기준이 되는 습윤대는 비탈면안정해석에서 위험한 상태(예를 들어, FS=1 또는 FS=1.3)의 습윤대 깊이로 정의된다.

비탈면안정해석은 특정 습윤대 깊이에서 안정적인지 불안정한지(일반적으로 FS=1)를 확인하는 해석이며, 습윤대 깊이를 변화시켜가며 반복 해석을 수행한다. 여기에서 정의하는 습윤대는 강우침투해석(강우량에 따른 습윤대 깊이를 산정하기 위한 해석)을 통해 산정된 값이다.

도 6은 특정한 침투해석결과(특정 강우를 가상 적용)로서, 해석결과에서 습윤대를 모관흡수력이 0 kPa가 되는 지점을 이용하여 결정할 수 있다. 해석에 적용하는 강우를 달리하여 반복적으로 침투해석을 수행할 수 있다. 적용한 강우와 각각의 해석결과에서 산정된 습윤대 값을 이용하여 도 7을 정의할 수 있다.

또한, 습윤대 깊이에 따른 산사태 예·경보를 하기 위해 기준이 되는 값(즉, 위험 습윤대 깊이)을 강우침투해석과 비탈면 안정해석을 통해 결정 할 수 있다.

- [0095] 실제 측정된 값을 다시 수치해석에 적용하여 수치해석의 정도를 높이는 등 현장측정과 수치해석은 상호 보완적인 관계를 가진다.
- [0097] 실제 측정된 값을 다시 수치해석에 적용한다는 의미는 해석방법과 적용된 물성이 정확한가를 검증하고, 정확도를 높이기 위해 수행된다는 의미이다. 현장에서 측정된 값과 수치해석에서 비교하는 값은 습윤대 깊이를 이용할 수도 있지만, 현장에서 측정된 함수비 또는 모관흡수력을 해석결과에서도 비교 가능하므로 이를 비교할 수도 있다.
- [0098] 만약 해석결과가 현장값과 동일하지 않게 나오면 해석상에 오류가 있다고 판단할 수 있고 이를 통해 산정된 기준습윤대(S2-1)를 이용하여 예보 또는 경보하게 되면 오보를 하게 될 것이다. 따라서, S2 단계에서 수행되는 해석의 정확성을 확인하기 위해 실제로 측정된 값과 비교하게 되는 것이다.
- [0100] 본 발명에 있어서, S2-2 단계의 안전율(FS)은 다음 수학적 식 6으로 산출될 수 있다. 안전율(FS; Factor of Safety)은 비탈면 안정해석에서 활동력과 저항력의 비율을 나타내는 값으로서, 예보(FS=1.5, 일반적으로)와 경보(FS=1.2, 일반적으로)의 기준값은 구조물의 크기등 위험한 정도를 고려하여 결정될 수 있다.

수학적 식 6

$$\text{안전율}(FS) = \frac{\text{S2-1단계의 위험습윤대 깊이}}{\text{S1단계의 습윤대 깊이}}$$

- [0101]
- [0102] 예를 들어, 해석에서 추정된 습윤대(S2-1)깊이가 4m인 경우, 실제 현장에서 측정된 값으로 결정된 습윤대(S1)의 값이 3m 이면, $FS=4/3=1.33$ 이고 4m 이면 $FS=4/4=1$ 이 된다.
- [0104] 본 발명에 따른 모니터링 방법을 다시 한번 정리하면 다음과 같다.
- [0105] 먼저, 산사태 발생우려 지역을 대상으로 지반의 불포화 특성을 고려한 침투해석을 수행하여 강우에 의한 지반의 위험 습윤대 깊이를 산정한다.(S2-1 단계)
- [0106] 다음으로, 이를 산사태 해석(비탈면안정해석)에 적용하여 각각 습윤대 깊이에 따른 안전율을 산정한다.(S2-2 단계)
- [0107] 다음으로, 기준이 되는 안전율(예를들어 예보: 안전율 1.3, 경보: 안전율 1.0)을 설정한다.(S3 단계)
- [0108] 다음으로, 현장에서 함수비 또는 모관흡수력을 측정하여, 습윤대 깊이를 추정한다.(S1 단계)
- [0109] 다음으로, S1 단계에서 추정된 습윤대 깊이와 S2-1 단계에서 산정된 위험 습윤대 깊이를 대비하여 안전율을 구하고, 이를 통해 산사태 예경보를 할 수 있다.(S3 단계)
- [0110] 여기서, 본 발명에 따른 S1 단계와 S2 단계는 상호 시간적 선후가 있는 것은 아니다. 일반적으로 S2를 먼저 수행하는 것이 위험한 지점(센서를 설치하는 위치)를 결정하기에 용이하므로 바람직할 수 있다. 즉 S2 단계를 연 구설 등에서 미리 진행한 후, 현장에서 실시간으로 S1 단계를 수행하고, S3 단계로 진입할 수 있을 것이다.

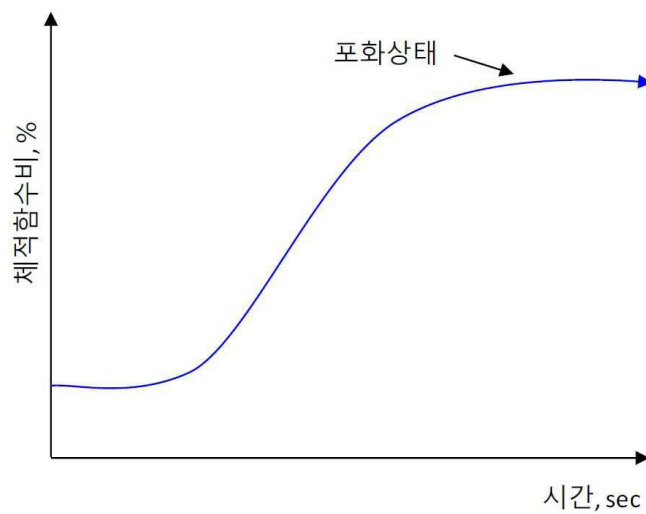
실시예 1

- [0112] 본 발명의 적용성을 확인하기 위하여 고속도로 주변의 위험한 비탈면을 대상으로 적용하였다. 설치 위치는 동해 고속도로(삼척-속초)의 삼척IC 부근이며, 규모는 길이 400 m, 높이 50 m 의 깎기 비탈면이다(도 5 참조).
- [0114] 이 지역에 함수비 센서를 수직방향으로 2개 층(30cm, 80cm)으로 설치하였으며, 강우에 의한 습윤대 깊이를 실시간으로 추정하도록 하였다.
- [0115] 극한상태(비탈면 붕괴)를 정의하기 위하여 해당지역을 대상으로 강우침투해석을 수행하였다. 도 6은 강우 침투 해석 결과이며 이를 통해 습윤대 깊이 등을 확인할 수 있으며, 해석결과에서 강우에 따른 지반의 습윤대 깊이를 산정하였다(도 7 참조).
- [0117] 습윤대 깊이에 따른 비탈면 안정성 해석을 수행하였으며, 도 8은 비탈면 안정해석 결과이다. 강우에 따른 지반의 습윤대 깊이 변화를 고려하여 비탈면 안정해석을 수행하였으며, 습윤대 깊이에 따른 안전율을 도 9에 나타냈다.

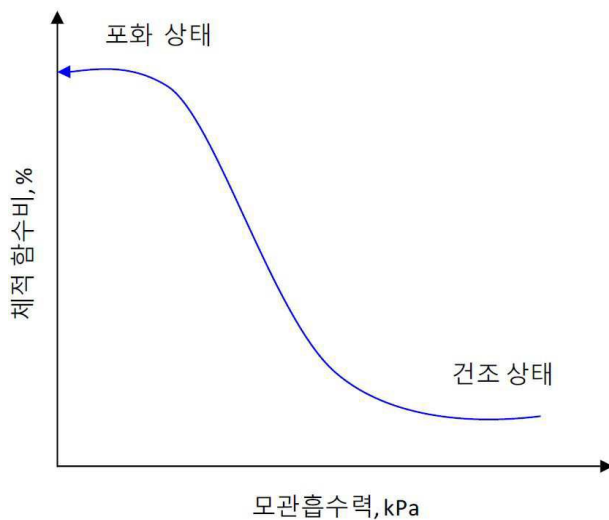
- [0118] 일반적으로 사용되는 안전율을 적용하여 예보 및 경보(안전율=1) 기준을 설정 할 수 있다.
- [0120] 이 결과를 반영하여 센서(함수비 센서, 모관흡수력센서 등)를 통해 현장의 습윤대 깊이를 추정하고, 추정된 값 이 해석을 통해 결정된 습윤대 깊이가 되면 예보 및 경보를 내려 산 사태 및 비탈면 붕괴에 대한 피해를 최소화 할 수 있다.
- [0122] 본 명세서에서 설명되는 실시예와 첨부된 도면은 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 예시적으로 설명하는 것에 불과하다. 따라서, 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이므로, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아님은 자명하다. 본 발명의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형 예와 구체적인 실시 예는 모두 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

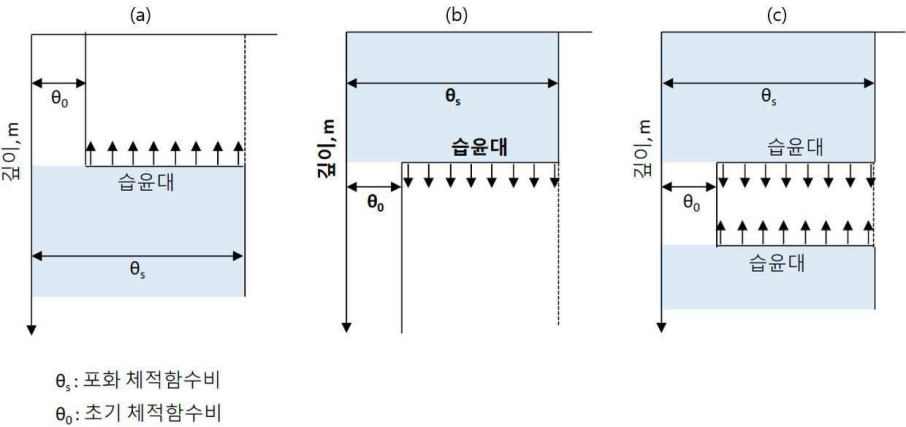
도면1



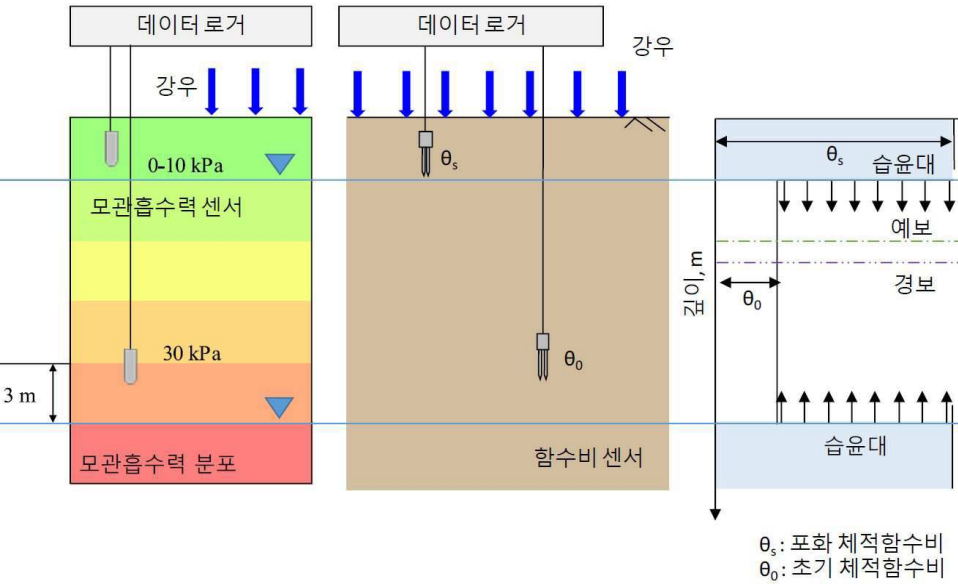
도면2



도면3



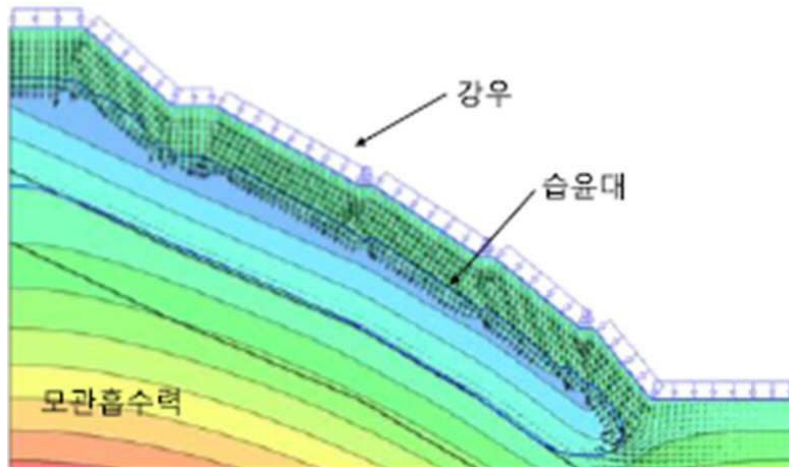
도면4



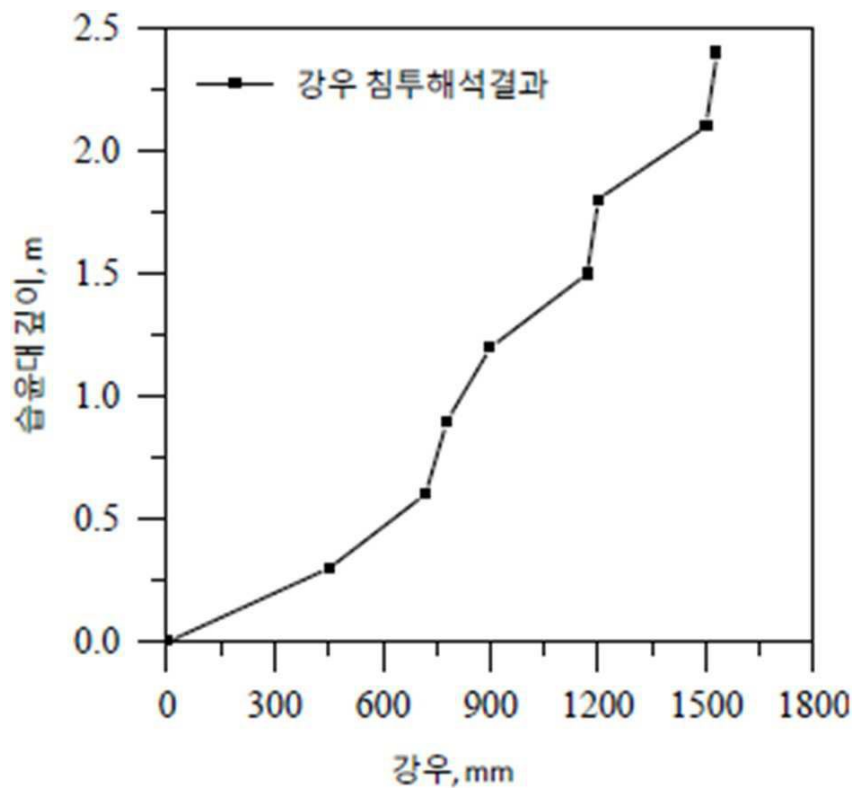
도면5



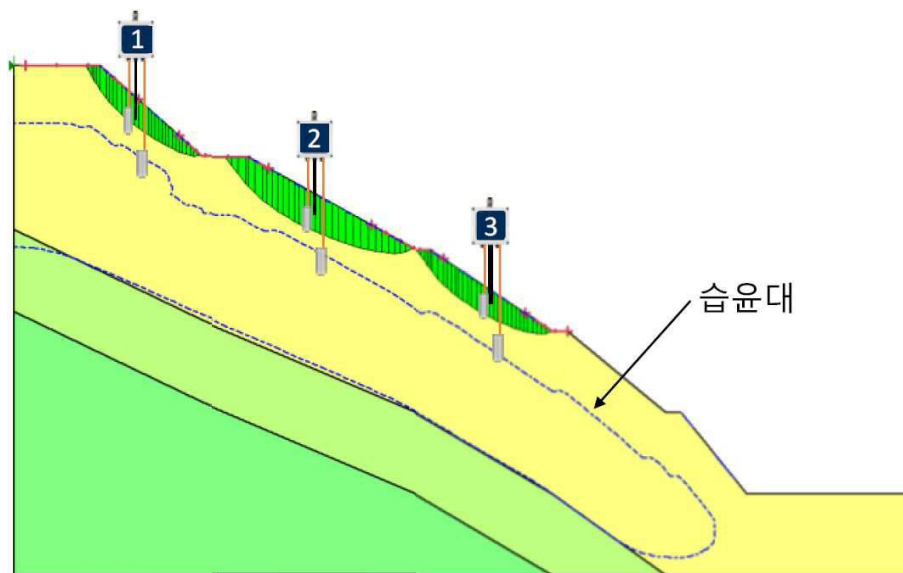
도면6



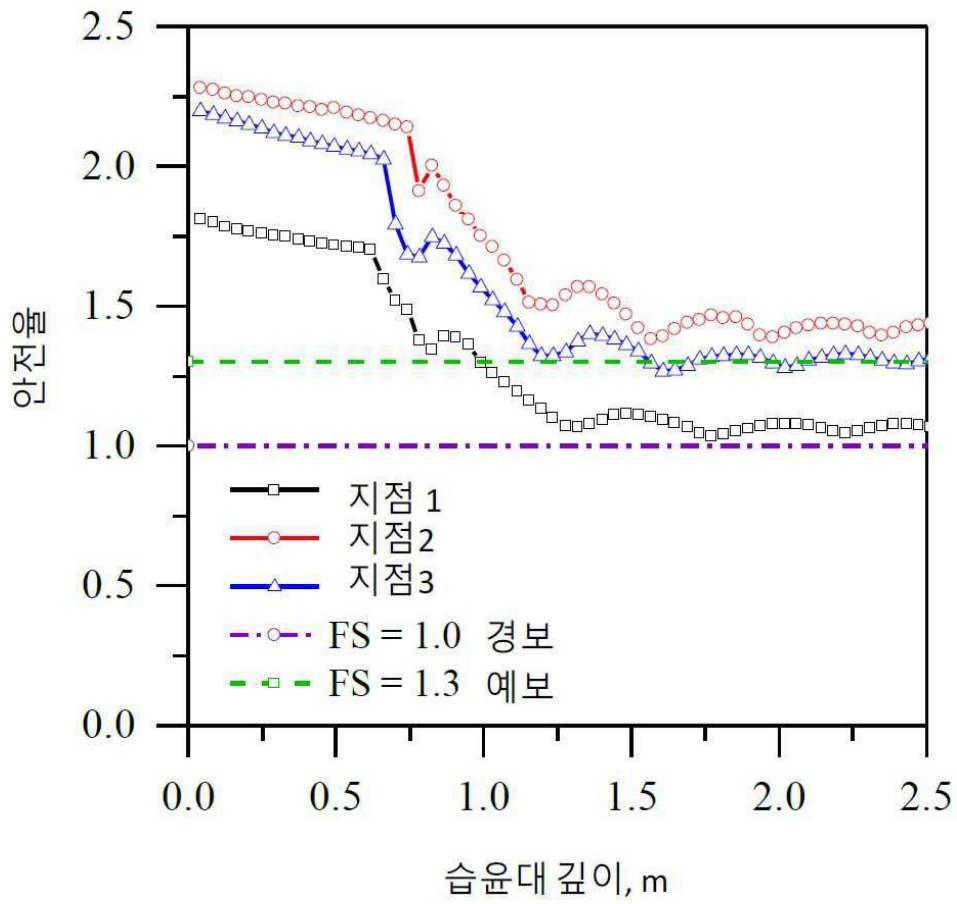
도면7



도면8



도면9



도면10

