



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0001106
(43) 공개일자 2015년01월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 17/05 (2011.01) G01V 9/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0073816
(22) 출원일자 2013년06월26일
심사청구일자 2013년06월26일

(71) 출원인
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동,
부경대학교)
(72) 발명자
엄정기
서울특별시 서대문구 수색로 100 ,110동603호(
북가좌동,DMC래미안e편한세상)
최요순
부산광역시 남구 홍곡로320번길 132 ,113동110
1호(용당동,신대연코오롱하늘채아파트)
노영환
경상북도 울진군 울진읍 새마실5길 48 ,B동105
호(경원아파트)
(74) 대리인
특허법인 신태양

전체 청구항 수 : 총 10 항

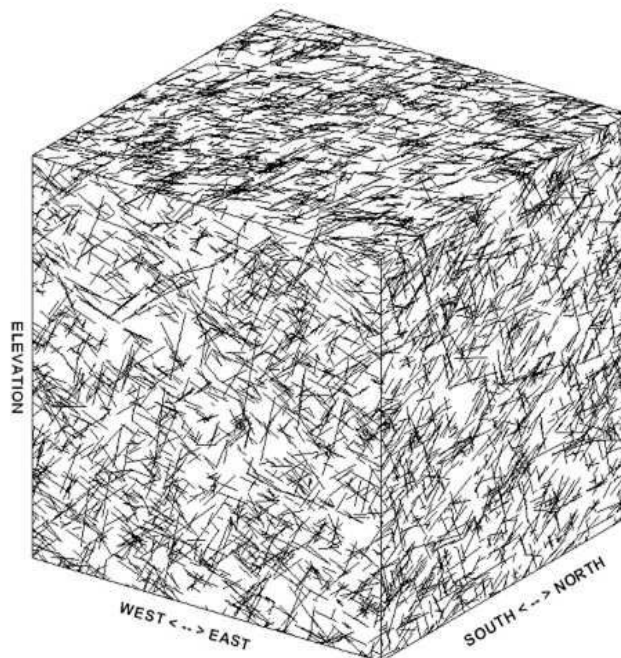
(54) 발명의 명칭 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 영상화 시스템

(57) 요약

본 발명은 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 시스템에 관한 것이다. 본 발명의 제 1 측면은, 불연속면의 3차원 가시화 과정, 불연속면의 3차원 연결구조 형성 과정, 3차원 영상 구현 과정으로 구분되는 3차원 영상화 방법에 있어서, 균열 암반 내의 불연속면을 원판형으로 설정하고, 원판은 3차원 공간에서 불연속면

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



의 중심좌표, 반경, 그리고 경사방향/경사로의 구현을 설정하는 제 1 단계; 및 각 불연속면의 경계를 이루는 원을 표현하기 위해 원주상에 점의 개수 설정, 각각의 설정된 점에 대한 3차원 좌표를 연산하여, 상기 불연속면의 3차원 가시화 과정을 완료하는 제 2 단계; 를 포함하는 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법을 제공한다.

본 발명의 제 2 측면은, I/O 인터페이스, 제어부, 저장부 및 출력부를 포함하는 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 시스템에 있어서, 상기 제어부는, 균열 암반 내의 불연속면을 원판형으로 설정하고, 원판은 3차원 공간에서 불연속면의 중심좌표, 반경, 그리고 경사방향/경사로의 구현을 설정한 뒤, 각 불연속면의 경계를 이루는 원을 표현하기 위해 원주상에 점의 개수 설정, 각각의 설정된 점에 대한 3차원 좌표를 연산하여, 불연속면의 3차원 가시화 과정을 완료하는 불연속면의 3차원 가시화 모듈; 을 포함하는 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 시스템을 제공한다.

이에 의해, 불연속면에 대하여 원판 또는 다각형 형태로 가정한 3차원 가시화 기법을 제시하며, 불연속면 연결구조의 구조기하형태를 구현하고 이를 가시화하기 위한 대수학적 알고리즘을 제시하는 효과가 있다.

또한, 본 발명은 암반 불연속면의 방향성 및 크기 분포와 빈도를 시각적으로 표현함으로써, 불연속암반의 구조적 특성을 파악하는 데에 기여할 수 있으며, 암반의 강도 및 변형성과 관련된 불연속체 기반의 수치해석을 위한 입력 자료를 구성하는 데에 활용할 수 있다.

뿐만 아니라, 본 발명은 불연속면의 교차선 또는 등가파이프의 3차원 공간좌표를 출력할 수 있으며, 암반 굴착에 따른 3차원 키블록 해석 또는 지하수유동 특성에 관한 기술에 있어서 높은 활용도를 제공한다.

특허청구의 범위

청구항 1

불연속면의 3차원 가시화 과정, 불연속면의 3차원 연결구조 형성 과정, 3차원 영상 구현 과정으로 구분되는 3차원 영상화 방법에 있어서,

균열 암반 내의 불연속면을 원판형으로 설정하고, 원판은 3차원 공간에서 불연속면의 중심좌표, 반경, 그리고 경사방향/경사로의 구현을 설정하는 제 1 단계; 및

각 불연속면의 경계를 이루는 원을 표현하기 위해 원주상에 점의 개수 설정, 각각의 설정된 점에 대한 3차원 좌표를 연산하여, 상기 불연속면의 3차원 가시화 과정을 완료하는 제 2 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 제 2 단계 이후,

각 불연속면 중심과 교차선 간의 수직거리와 불연속면 반지름과의 관계를 분석하여 불연속면의 교차 여부를 확인하는 제 3 단계;

두 개 이상의 원판형 불연속면이 3차원 공간에서 교차하는 경우, 교차선의 좌표를 산정하는 제 4 단계; 및

각 불연속면의 중심과 교차선의 중심을 연결하는 등가파이프의 좌표를 산정하여 상기 불연속면의 3차원 연결구조 형성 과정을 완료하는 제 5 단계; 를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법.

청구항 3

청구항 2에 있어서, 상기 제 5 단계 이후,

상기 불연속면의 3차원 가시화와, 상기 불연속면의 3차원 연결구조 형성이 완료되면, 균열 암반 내 불연속면 연결구조를 3차원 영상화하여 출력부 상으로 구현하여 상기 3차원 영상 구현 과정을 완료하는 제 6 단계; 를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법.

청구항 4

I/O 인터페이스, 제어부, 저장부 및 출력부를 포함하는 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 시스템에 있어서, 상기 제어부는,

균열 암반 내의 불연속면을 원판형으로 설정하고, 원판은 3차원 공간에서 불연속면의 중심좌표, 반경, 그리고 경사방향/경사로의 구현을 설정한 뒤, 각 불연속면의 경계를 이루는 원을 표현하기 위해 원주상에 점의 개수 설정, 각각의 설정된 점에 대한 3차원 좌표를 연산하여, 불연속면의 3차원 가시화 과정을 완료하는 불연속면의 3차원 가시화 모듈; 을 포함하는 것을 특징으로 하는 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 시스템.

청구항 5

청구항 4에 있어서, 상기 제어부는,

각 불연속면 중심과 교차선 간의 수직거리와 불연속면 반지름과의 관계를 분석하여 불연속면의 교차 여부를 확인하는 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈; 을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 시스템.

청구항 6

청구항 5에 있어서, 상기 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈은,

두 개 이상의 원판형 불연속면이 3차원 공간에서 교차하는 경우, 교차선의 좌표를 산정하고, 각 불연속면의 중심과 교차선의 중심을 연결하는 등가파이프의 좌표를 산정하여 불연속면의 3차원 연결구조 형성 과정을 완료하는 것을 특징으로 하는 균열 압반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 시스템.

청구항 7

청구항 6에 있어서, 상기 제어부는,

상기 불연속면의 3차원 가시화 이후 상기 불연속면의 3차원 연결구조 형성이 완료되면, 균열 압반 내 불연속면 연결구조를 3차원 영상화하여 상기 출력부 상으로 구현하여 상기 3차원 영상 구현 과정을 완료하는 것을 특징으로 하는 균열 압반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 시스템.

청구항 8

청구항 4에 있어서, 상기 불연속면의 3차원 가시화 모듈은,

이차원 X-Y 평면에서 반경이 r 이고 원점(0, 0, 0)을 중심으로 하는 수평 불연속면의 원주상에 위치하는 임의의 점의 좌표 (X, Y, Z)에 대해서 경사방향/경사(α/β)에 의해 이동하는 좌표변환 식을 연산한 뒤,

X축을 회전축으로 경사만큼 회전시킨 후, Z축을 회전축으로 경사방향만큼 회전시켜, 경사방향/경사가 α/β 인 원판형 불연속면에서 점(X'', Y'', Z'')의 좌표를 산정하는 것을 특징으로 하는 균열 압반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 시스템.

청구항 9

청구항 8에 있어서, 상기 불연속면의 3차원 가시화 모듈은,

상기 경사방향/경사가 α/β 인 원판형 불연속면의 중심좌표가 원점이므로, 최종적으로 가시화하고자 하는 불연속면의 중심좌표가 점(X_0, Y_0, Z_0)이라면, 상기 점(X'', Y'', Z'')에 대해, $X_n = X'' + X_0$,

$Y_n = Y'' + Y_0$, $Z_n = Z'' + Z_0$ 에 의한 좌표변환을 통하여 점(X_n, Y_n, Z_n)으로 이동시켜 상기 출력부 상으로 구현하는 것을 특징으로 하는 균열 압반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 시스템.

청구항 10

청구항 9에 있어서, 상기 불연속면의 3차원 가시화 모듈은,

불연속면에 대해서 상기 θ 를 입력변수로 설정하여 다양한 모양으로 가시화하는 것을 특징으로 하는 균열 압반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 시스템.

명세서

기술 분야

- [0001] 본 발명은 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 영상화 시스템에 관한 것으로, 보다 구체적으로는, 지반구조물의 효과적인 설계 및 유지관리에 필요한 정보를 제공하기 위하여, 암반 내 불연속면에 대한 경사방향, 경사각, 절리선의 길이 등의 자료를 이용하여 암반 내 절리구조를 3차원적으로 표현하기 위한 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 영상화 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 일반적으로 암반의 수리·역학적 특성은 암반을 구성하는 암석의 물질적 특성에 좌우되지만 암반 내에 존재하는 절리, 단층, 전단대, 파쇄대, 층리, 엽리 등과 같은 불연속면(discontinuity)에 의해서도 큰 영향을 받으므로 불연속면에 대한 연구는 지질공학 분야에서 중요한 주제로 인식되고 있다.
- [0003] 일반적으로 불연속면은 무결암(intact rock)에 비하여 낮은 전단강도 및 인장강도, 높은 수리전도도를 가지며 암반의 강도를 저하시키고 변형을 유발하는 주요한 요인으로 작용한다.
- [0004] 따라서 불연속암반의 수리·역학적인 특성을 규명하고 지질공학적 활용성을 제고하는 데에 있어서 중요한 절차 중 하나는 현장의 지질 및 구조 특성에 따른 불연속면의 분포양상 및 상태를 정확하게 인지하는 것이다.
- [0005] 도 1은 종래의 기술에 따른 단면상에 절리의 트레이스를 표현한 예를 나타내는 도면이다. 종래의 기술에서는 도 1에서 나타나는 것과 같이 절취면이나 단면에 나타나는 절리선만을 가시화하는 방법이 사용되었다. 그러나 이러한 방법은 암반 내부에 나타나는 절리들의 교차선에 대하여 표현하지 못하는 한계가 있다.
- [0006] 이에 따라 해당 기술분야에 있어서는 불연속면을 원판 또는 다각형의 형태로 가정하고 이들의 3차원 가시화 기법을 제시함으로써, 암반의 역학적 및 수리적 특성에 지대한 영향을 미치는 불연속면 연결구조의 구조기하형태를 구현하고 이를 가시화하기 위한 기술 개발이 요구되고 있다.
- [0007] [관련기술문헌]
- [0008] 1. 방향제어 시추조사장치, 조사방법 및 그에 따른 터널의 시공법 (특허출원번호 제10-2002-0011454호)
- [0009] 2. 엘엔지 등 극저온 액체가스 저장에 따른 지하공동 주변암반의 열역학적 안정성 평가 방법 및 이를 이용한 설계방법 (특허출원번호 제10-2005-0062937호)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명은 상기의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 단지 암반의 노출면이나 절취면과 같은 단면에 대해서만 절리의 분포를 파악할 수 있는 기술적인 한계 및 암반 내부에 분포하는 절리의 분포를 확인하기 어렵다는 문제점들을 해소하기 위하여 대상암반 내의 절리 분포를 3차원적으로 표현할 수 있으며 내부의 분포 형태까지도 확인할 수 있는 암반 내 절리에 대한 정보를 이용한 절리 분포의 3차원 표현을 위한 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 영상화 시스템을 제공하기 위한 것이다.
- [0011] 그러나 본 발명의 목적들은 상기에 언급된 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0012] 상기의 목적을 달성하기 위해 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법은, 불연속면의 3차원 가시화 과정, 불연속면의 3차원 연결구조 형성 과정, 3차원 영상 구현 과정으로 구분되는 3차원 영상화 방법에 있어서, 균열 암반 내의 불연속면을 원판형으로 설정하고, 원판은 3차원 공간에서 불

연속면의 중심좌표, 반경, 그리고 경사방향/경사로의 구현을 설정하는 제 1 단계; 및 각 불연속면의 경계를 이루는 원을 표현하기 위해 원주상에 점의 개수 설정, 각각의 설정된 점에 대한 3차원 좌표를 연산하여, 상기 불연속면의 3차원 가시화 과정을 완료하는 제 2 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 이때, 상기 제 2 단계 이후, 각 불연속면 중심과 교차선 간의 수직거리와 불연속면 반지름과의 관계를 분석하여 불연속면의 교차 여부를 확인하는 제 3 단계; 두 개 이상의 원판형 불연속면이 3차원 공간에서 교차하는 경우, 교차선의 좌표를 산정하는 제 4 단계; 및 각 불연속면의 중심과 교차선의 중심을 연결하는 등가파이프의 좌표를 산정하여 상기 불연속면의 3차원 연결구조 형성 과정을 완료하는 제 5 단계; 가 더 수행되는 것이 바람직하다.

[0014] 또한, 상기 제 5 단계 이후, 상기 불연속면의 3차원 가시화와, 상기 불연속면의 3차원 연결구조 형성이 완료되면, 균열 압반 내 불연속면 연결구조를 3차원 영상화하여 출력부 상으로 구현하여 상기 3차원 영상 구현 과정을 완료하는 제 6 단계; 가 더 수행되는 것이 바람직하다.

[0015] 상기의 목적을 달성하기 위해 본 발명의 실시예에 따른 균열 압반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 시스템은, I/O 인터페이스, 제어부, 저장부 및 출력부를 포함하는 균열 압반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 시스템에 있어서, 상기 제어부는, 균열 압반 내의 불연속면을 원판형으로 설정하고, 원판은 3차원 공간에서 불연속면의 중심좌표, 반경, 그리고 경사방향/경사로의 구현을 설정한 뒤, 각 불연속면의 경계를 이루는 원을 표현하기 위해 원주상에 점의 개수 설정, 각각의 설정된 점에 대한 3차원 좌표를 연산하여, 불연속면의 3차원 가시화 과정을 완료하는 불연속면의 3차원 가시화 모듈; 을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0016] 이때, 상기 제어부는, 각 불연속면 중심과 교차선 간의 수직거리와 불연속면 반지름과의 관계를 분석하여 불연속면의 교차 여부를 확인하는 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈; 을 더 포함하는 것이 바람직하다.

[0017] 또한, 상기 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈은, 두 개 이상의 원판형 불연속면이 3차원 공간에서 교차하는 경우, 교차선의 좌표를 산정하고, 각 불연속면의 중심과 교차선의 중심을 연결하는 등가파이프의 좌표를 산정하여 불연속면의 3차원 연결구조 형성 과정을 완료하는 것이 바람직하다.

[0018] 또한, 상기 제어부는, 상기 불연속면의 3차원 가시화 이후 상기 불연속면의 3차원 연결구조 형성이 완료되면, 균열 압반 내 불연속면 연결구조를 3차원 영상화하여 상기 출력부 상으로 구현하여 상기 3차원 영상 구현 과정을 완료하는 것이 바람직하다.

[0019] 또한, 상기 불연속면의 3차원 가시화 모듈은, 이차원 X-Y 평면에서 반경이 r 이고 원점(0, 0, 0)을 중심으로 하는 수평 불연속면의 원주상에 위치하는 임의의 점의 좌표 (X, Y, Z)에 대해서 경사방향/경사(α/β)에 의해 이동하는 좌표변환 식을 연산한 뒤, X축을 회전축으로 경사만큼 회전시킨 후, Z축을 회전축으로 경사방향만큼 회전시켜, 경사방향/경사가 α/β 인 원판형 불연속면에서 점(X'' , Y'' , Z'')의 좌표를 산정하는 것이 바람직하다.

[0020] 또한, 상기 불연속면의 3차원 가시화 모듈은, 상기 경사방향/경사가 α/β 인 원판형 불연속면의 중심좌표가 원점이므로, 최종적으로 가시화하고자 하는 불연속면의 중심좌표가 점(X_0 , Y_0 , Z_0)이라면, 상기 점(X'' , Y'' , Z'')에

대해,
$$X_n = X'' + X_0, \quad Y_n = Y'' + Y_0, \quad Z_n = Z'' + Z_0$$
에 의한 좌표변환을 통하여 점(X_n , Y_n , Z_n)으로 이동시켜 상기 출력부 상으로 구현하는 것이 바람직하다.

[0021] 또한, 상기 불연속면의 3차원 가시화 모듈은, 불연속면에 대해서 상기 θ 를 입력변수로 설정하여 다양한 모양으로 가시화하는 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0022] 본 발명의 실시예에 따른 균열 압반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 영상화 시스템은, 불연속면에 대하여 원판 또는 다각형 형태로 가정한 3차원 가시화 기법을 제시하며, 불연속면 연결구조의 구조기하형태를 구현하고 이를 가시화하기 위한 대수학적 알고리즘을 제시하는 효과가 있다.

[0023] 또한, 본 발명의 다른 실시예에 따른 균열 압반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 영상화 시스템은, 압반 불연속면의 방향성 및 크기 분포와 빈도를 시각적으로 표현함으로써, 불연속압반의 구조적 특성

을 파악하는 데에 기여할 수 있으며, 암반의 강도 및 변형성과 관련된 불연속체 기반의 수치해석을 위한 입력 자료를 구성하는 데에 활용될 수 있다.

[0024]

뿐만 아니라, 본 발명의 다른 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 영상화 시스템은, 불연속면의 교차선 또는 등가파이프의 3차원 공간좌표를 출력할 수 있으며, 암반 굴착에 따른 3차원 키프로젝션 해석 또는 지하수유동 특성에 관한 기술에 있어서 높은 활용도를 제공한다.

도면의 간단한 설명

[0025]

도 1은 종래의 기술에 따른 단면상에 절리의 트레이스를 표현한 예를 나타내는 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 시스템을 나타내는 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 시스템에서 활용되는 3차원 상에서 디스크형태의 개념을 나타내는 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 시스템에서 활용되는 원관형의 불연속면을 3차원적으로 표현한 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 시스템에서 사용되는 3차원 파이프 모델에서 원관형 불연속면에 의해 형성되는 불연속면의 교차선 및 등가파이프(Equivalent pipes)를 설명하기 위한 개념도이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 시스템에서 사용되는 불연속면의 경사방향 및 경사각을 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 시스템에서 사용되는 디스크 형태의 두 불연속면의 교차로 나타나는 교차선을 설명하기 위한 도면이다.

도 8은 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 시스템에서 적용되는 불연속면이 교차하는 두 가지 경우를 설명하기 위한 도면이다.

도 9는 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 시스템에서 적용되는 두 불연속면이 교차하여 생성하는 교차선의 일반적인 예를 설명하기 위한 도면이다.

도 10은 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 시스템에 의한 두 개의 불연속면에 의해 나타날 수 있는 교차선을 설명하기 위한 도면이다.

도 11은 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 시스템에 의해 3차원 상에서 5m 육면체로 나타난 절리망을 표현한 도면이다.

도 12는 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법을 나타내는 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026]

이하, 본 발명의 바람직한 실시예의 상세한 설명은 첨부된 도면들을 참조하여 설명할 것이다. 하기에서 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다.

[0027]

본 명세서에 있어서는 어느 하나의 구성요소가 다른 구성요소로 데이터 또는 신호를 '전송'하는 경우에는 구성요소는 다른 구성요소로 직접 상기 데이터 또는 신호를 전송할 수 있고, 적어도 하나의 또 다른 구성요소를 통하여 데이터 또는 신호를 다른 구성요소로 전송할 수 있음을 의미한다.

[0028]

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 시스템(10)을 나타내는 도면이다. 먼저, 도 2를 참조하면, 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 시스템(10)은 I/O 인터페이스(11), 제어부(12), 저장부(13) 및 출력부(14)를 포함한다. 그리고 제어부(12)는 데이터 입력 모듈(12a), 불연속면의 3차원 가시화 모듈(12b), 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c) 및 3차원 영상 구현 모듈(12d)을 구

비한다.

[0029] 한편, 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 시스템에서 활용되는 3차원 상에서 디스크형태의 개념을 나타내는 도면이다. 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 시스템에서 활용되는 원판형의 불연속면을 3차원적으로 표현한 도면이다. 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 시스템에서 사용되는 3차원 파이프 모델에서 원판형 불연속면에 의해 형성되는 불연속면의 교차선 및 등가파이프(Equivalent pipes)를 설명하기 위한 개념도이다. 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 시스템에서 사용되는 불연속면의 경사방향 및 경사각을 설명하기 위한 도면이다. 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 시스템에서 사용되는 디스크 형태의 두 불연속면의 교차로 나타나는 교차선을 설명하기 위한 도면이다. 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 시스템에서 적용되는 불연속면이 교차하는 두 가지 경우를 설명하기 위한 도면이다. 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 시스템에서 적용되는 두 불연속면이 교차하여 생성하는 교차선의 일반적인 예를 설명하기 위한 도면이다. 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 시스템에 의한 두 개의 불연속면에 의해 나타날 수 있는 교차선을 설명하기 위한 도면이다. 도 11은 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법 및 시스템에 의해 3차원 상에서 5m 육면체로 나타낸 절리망을 표현한 도면이다.

[0030] 이하에서는 도 2의 제어부(12) 상의 각 모듈(12a 내지 12d)을 중심으로, 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법이 구현되는 시스템(10)에 대해서 구체적으로 살펴보도록 한다. 그리고 본 명세서에서 모듈이라 함은, 본 발명의 기술적 사상을 수행하기 위한 하드웨어 및 상기 하드웨어를 구동하기 위한 소프트웨어의 기능적, 구조적 결합을 의미할 수 있다. 예컨대, 상기 모듈은 소정의 코드와 상기 소정의 코드가 수행되기 위한 하드웨어 리소스의 논리적인 단위를 의미할 수 있으며, 반드시 물리적으로 연결된 코드를 의미하거나, 한 종류의 하드웨어를 의미하는 것은 아님은 본 발명의 기술분야의 평균적 전문가에게는 용이하게 추론될 수 있다.

[0031] 데이터 입력 모듈(12a)은 암반 내 절리에 대한 정보를 I/O 인터페이스(11)를 통해 수신한 뒤, 저장부(13) 상에 저장한다. 여기서 암반 내 절리에 대한 정보는 조사선조사를 통하여 얻어진 절리의 경사방향, 경사각, 절리선의 길이 등의 정보를 의미한다. 이후 얻어진 정보를 대수학적 계산을 통하여 좌표 계산을 수행하고, 계산된 좌표를 통하여 3차원적으로 표현하는데 사용된다.

[0032] <불연속면의 3차원 가시화 모듈(12b)에 의한 불연속면의 3차원 가시화>

[0033] 불연속면의 3차원 가시화 모듈(12b)은 데이터 입력 모듈(12a)에 의해 I/O 인터페이스(11)를 통해 입력받아 저장부(13) 상으로 저장된 균열 암반에 대한 입력데이터를 이용하여 불연속면의 3차원 가시화를 수행한다.

[0034] 불연속면의 3차원 가시화 모듈(12b)은 불연속면의 가시화 모델로, 불연속면을 원판형으로 가정한다. 이에 따라, 불연속면에 해당하는 각각의 원판은 3차원 공간에서 불연속면의 중심좌표, 반경, 그리고 경사방향/경사로 구현될 수 있다.

[0035] 불연속면의 3차원 가시화 모듈(12b)은 임의의 크기 및 방향성을 갖는 불연속면의 경계를 이루는 원을 표현하기 위하여 원주상에 점의 개수를 설정하고, 각각의 점에 대한 3차원 좌표를 계산하여 점들을 연결하는 방식을 채택한다.

[0036] 즉, 원주 상에 설정되는 점의 개수가 증가할수록 구현된 불연속면은 다각형에서 원에 근접하는 형상을 이루게 된다.

[0037] 불연속면의 3차원 가시화 모듈(12b)은 이차원 X-Y 평면에서 반경이 r 이고 원점(0, 0, 0)을 중심으로 하는 수평 불연속면의 원주상에 위치하는 임의의 점의 좌표 (X, Y, Z)에 대해서 하기의 [수학식 1] 내지 [수학식 3]과 같이 연산하여 출력부(14) 상으로 구현한다.

수학식 1

$$X = r \cos \theta$$

수학식 2

$$Y = r \sin \theta$$

수학식 3

$$Z = 0$$

여기서, θ 는 원점에서 원주상의 점을 연결한 선분과 X축이 이루는 각이다.

불연속면의 3차원 가시화 모듈(12b)은 해당 [수학식 1] 내지 [수학식 3]에 의해 구현된 X-Y 평면상의 원이 경사 방향과 경사를 갖는다면 임의의 점(X, Y, Z)에 대한 경사방향/경사(α/β)에 의해 이동하는 좌표변환 식을 다음의 [수학식 4] 및 [수학식 5]과 같이 연산하여 출력부(14) 상으로 구현한다.

수학식 4

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & -\sin \beta \\ 0 & \sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

수학식 5

$$\begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix}$$

즉, 불연속면의 3차원 가시화 모듈(12b)은 [수학식 4]에 의하여 X축을 회전축으로 경사만큼 회전시킨 후, [수학식 5]에 의하여 Z축을 회전축으로 경사방향만큼 회전시킴으로써, 경사방향/경사가 α/β 인 원판형 불연속면에서 점(X'' , Y'' , Z'')의 좌표를 산정할 수 있다.

이때 구현된 경사방향/경사가 α/β 인 원판형 불연속면의 중심좌표는 원점이므로, 도 3에서와 같이 최종적으로 가시화하고자 하는 불연속면의 중심좌표가 점(X_0 , Y_0 , Z_0)이라면, 불연속면의 3차원 가시화 모듈(12b)은 점(X'' ,

Y'' , Z'')을 다음의 [수학식 6] 내지 [수학식 8]에 의한 좌표변환을 통하여 점(X_n , Y_n , Z_n)으로 이동시켜 출력부 (14) 상으로 구현한다.

수학식 6

$$X_n = X'' + X_0$$

수학식 7

$$Y_n = Y'' + Y_0$$

수학식 8

$$Z_n = Z'' + Z_0$$

이와 같은 방법으로 불연속면의 3차원 가시화 모듈(12b)은 구현되는 불연속면에 대해서 θ 를 입력변수로 설정하면 삼각형($\theta = 120^\circ$), 사각형($\theta = 90^\circ$) 등 θ 에 따라 다양한 모양으로 가시화할 수 있다. 즉, 불연속면의 3차원 가시화 모듈(12b)은 불연속면에 대하여 원판 또는 다각형 형태로 가정한 3차원 가시화 기법을 제시하는 효과가 있다.

한편, 도 4a 및 도 4b는 동일한 불연속면 구조에 대하여 불연속면의 3차원 가시화 모듈(12b)에 의해 원판형의 불연속면을 3차원적으로 가시화한 사례이며, 사용자가 지정한 방향에 따라 각각 다른 모습으로 불연속면 연결구조가 가시화되는 예를 보여준다.

<불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)에 의한 불연속면의 3차원 연결구조 형성>

본 발명에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법이 구현되는 시스템(10)은 두 개 이상의 원판형 불연속면이 3차원 공간에서 교차하는 경우 형성되는 교차선(Lines of intersection between discontinuities)의 좌표를 산정하고, 각각의 원판형 불연속면의 중심과 교차선의 중점을 연결하는 등가파이프(Equivalent pipes)의 좌표도 산정할 수 있다.

도 5는 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)에 의한 3차원 파이프모델 수행에 따라, 원판형 불연속면에 의해 형성되는 불연속면의 교차선(Lines of intersection between discontinuities) 및 등가파이프(Equivalent pipes)가 구현된 예를 나타낸 개념도이다.

<불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)에 의한 비선형 연립방정식의 일반해>

불연속면의 3차원 가시화 모듈(12b)은 불연속면의 가시화 모델을 통해 불연속면을 특정한 크기의 원판으로 가정한 경우, 원판형으로 가정한 불연속면을 "중심좌표", "불연속면의 반경(직경)", 그리고 "경사방향/경사"로 설정한다.

이에 따라, 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 모사된 불연속면이 다른 불연속면과 교차하는 경우, 불연속면 연결구조를 산정하고 가시화하기 위해서는 각 불연속면에 대한 방정식을 유도한 후, 연립방정식의 해

를 구해야 한다.

[0058] 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 공간상에서 원관형으로 가정된 불연속면을 정의하기 위한 원의 방정식을 "구"와 특정한 방향성을 갖는 "평면의 교선"으로 유도할 수 있다.

[0059] 즉, 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 원의 방정식을 "구"와 특정한 방향성을 갖는 "평면"의 연립방정식으로 표현한다. 법선 방향이 $[a, b, c]$ 이고 점(L, M, N)을 지나는 평면의 방정식을 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 다음의 [수학식 9]에 의해 연산한다.

수학식 9

$$a(x-L) + b(y-M) + c(z-N) = 0$$

[0060]

[0061] 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 평면 위의 점(L, M, N)을 중심으로 반경이 r인 구의 방정식을 다음의 [수학식 10]과 같이 정의한다.

수학식 10

$$(x-L)^2 + (y-M)^2 + (z-N)^2 = r^2$$

[0062]

[0063] 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 3차원 공간상에서 [수학식 9] 및 [수학식 10]을 연립하여 유도한 원의 방정식을 3차원 불연속면 연결구조 모델에서 특정한 방향성을 갖는 원관형 불연속면의 방정식으로 취급할 수 있다.

[0064] 한편, 도 5는 공간상에서 불연속면의 방향성을 나타낼 때 사용하는 요소인 경사방향(α_d)과 경사(β_d)를 나타낸 모식도이다. 평면은 무한한 선들이 한 점을 중심으로 방사형으로 동일 면상에 분포한 것과 같다. 이런 선들 중의 하나가 최대경사를 갖는 선이 될 것이다.

[0065] 도 5에서 경사벡터(dip vector)로 표시된 최대경사를 가지는 선의 선주향(α_d)과 아래로 향하는 선경사(β_d)가 각각 불연속면의 "경사방향"과 "경사"로 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)에 의해 정의된다.

[0066] 평면의 법선은 주어진 면에 수직인 가상적인 선으로, 양 끝은 아래나 위로 향하지만 여기서는 면의 아래로 향하는 선을 법선으로 정의하여 선주향(α_n)과 선경사(β_n)로 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)에 의해 표기된다.

[0067] 현장에서 측정된 불연속면의 방향성 α_d/β_d 와 불연속면의 법선 α_n/β_n 사이의 관계를 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)에 의해 다음의 [수학식 11] 및 [수학식 12]와 같이 연산된다.

수학식 11

$$\alpha_n = \alpha_d \pm 180^\circ \quad (0^\circ \leq \alpha_n \leq 360^\circ)$$

[0068]

수학식 12

[0069]
$$\beta_n = 90^\circ - \beta_d \quad (0^\circ \leq \beta_n \leq 90^\circ)$$

[0070] 또한, 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 평면의 경사방향 대신 주향을 알고 있을 때 경사방향과의 관계를 다음의 [수학식 13]과 같이 표현할 수 있다.

수학식 13

[0071]
$$\alpha_s = \alpha_d - 90^\circ \quad (0^\circ \leq \alpha_s \leq 360^\circ)$$

[0072] 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 3차원 직교좌표계에서 원점이 시작점인 선의 크기 절대값 n 을 다음의 [수학식 14]와 같이 구현한다.

수학식 14

[0073]
$$|n| = \sqrt{n_x^2 + n_y^2 + n_z^2}$$

[0074] 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 선주향/선경사가 α_n/β_n 인 벡터의 3차원 좌표성분(n_x , n_y , n_z)를 다음의 [수학식 15] 내지 [수학식 17]과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 15

[0075]
$$n_x = |n| \sin \alpha_n \cos \beta_n$$

수학식 16

[0076]
$$n_y = |n| \cos \alpha_n \cos \beta_n$$

수학식 17

[0077]
$$n_z = |n| \sin \beta_n$$

[0078] 여기서, $|n| = 1$ 인 단위벡터의 경우 좌표성분(n_x , n_y , n_z)는 방향여현이 되며, [수학식 9]의 면에 수직인 법

선벡터의 방향여현은 a, b, c 이다.

[0079] 도 6은 두 개의 원관형 불연속면이 교차하여 나타나는 연결구조의 예이다. 법선의 방향성분이 각각 $[a_1, b_1, c_1], [a_2, b_2, c_2]$ 이고, 임의의 점 $O_1(L, M, N), O_2(U, V, W)$ 를 지나는 무한평면의 평면방정식은 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)에 의해 다음의 [수학식 18] 및 [수학식 19]와 같이 표현된다.

수학식 18

$$a_1(x-L) + b_1(y-M) + c_1(z-N) = 0$$

수학식 19

$$a_2(x-U) + b_2(y-V) + c_2(z-W) = 0$$

[0082] [수학식 18] 및 [수학식 19]에서 $x - L = X, y - M = Y, z - N = Z$ 로 치환하면 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 다음과 같은 [수학식 20] 및 [수학식 21]을 유도할 수 있다.

수학식 20

$$a_1X + b_1Y + c_1Z = 0$$

수학식 21

$$a_2X + b_2Y + c_2Z = d$$

[0085] 여기서, d 는 치환에 의해 산정되는 상수이다. 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 [수학식 20]과 [수학식 21]을 연립함으로써, 두 무한평면이 교차하여 생성되는 직선의 방정식을 다음의 [수학식 22] 및 [수학식 23]과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 22

$$Y = PZ + t_1$$

수학식 23

[0087]

$$X = QZ + t_2$$

[0088]

여기서, P, t_1 , Q, t_2 각각은 다음의 [수학식 24] 내지 [수학식 27]과 같다.

수학식 24

[0089]

$$P = \frac{(a_2 c_1 - a_1 c_2)}{a_2 b_1 - a_1 b_2}$$

수학식 25

[0090]

$$t_1 = \frac{a_1 d}{a_2 b_1 - a_1 b_2}$$

수학식 26

[0091]

$$Q = \frac{(b_1 c_2 - b_2 c_1)}{a_1 b_2 - a_2 b_1}$$

수학식 27

[0092]

$$t_2 = \frac{b_1 d}{a_1 b_2 - a_2 b_1}$$

[0093]

따라서 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 두 무한평면방정식 [수학식 20]과 [수학식 21]을 활용하여 교차선의 방정식을 다음의 [수학식 28]과 같은 매개변수 방정식으로 표현할 수 있다.

수학식 28

[0094]

$$\frac{X - t_2}{Q} = \frac{Y - t_1}{P} = Z = T$$

[0095]

여기서, T는 매개변수이다.

[0096]

불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 임의의 점 $O_1(L, M, N)$ 과 $O_2(U, V, W)$ 을 지나는 두 무한평면의 교

차선의 방정식을 [수학식 28]로 나타낼 수 있으며, 무한평면을 $O_1(L, M, N)$ 과 $O_2(U, V, W)$ 를 중심으로 하는 원판형의 불연속면으로 한정하는 경우 이들 간의 교차 여부는 "교차선과 각각의 구의 중심 간의 수직거리"를 계산하고, "원의 반지름"과 비교하여 확인할 수 있다.

[0097]

불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 "교차선과 구 중심 간의 거리"가 "구의 반지름" 보다 큰 경우에는 교차선을 형성하지 못하므로 연산을 생략하는 것이 바람직하다. 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 점 O_1 을 중심으로 하는 구의 방정식은 다음의 [수학식 29]와 같이 표현할 수 있다.

수학식 29

[0098]

$$X^2 + Y^2 + Z^2 = r_1^2$$

[0099]

불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 [수학식 28]로부터 O_1 과 수직거리에 있는 교차선 상의 점 $F_1(QT+t_2, PT+t_1, T)$ 간의 거리 d_1 을 다음의 [수학식 30]과 같이 표현할 수 있다.

수학식 30

[0100]

$$d_1 = \sqrt{(QT+t_2)^2 + (PT+t_1)^2 + T^2}$$

[0101]

여기서, T는 다음의 [수학식 31]과 같이 유도된다.

수학식 31

[0102]

$$T = -(Qt_2 + Pt_1)/(Q^2 + P^2 + 1)$$

[0103]

불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 같은 방식으로 점 O_2 를 중심으로 하는 구의 방정식으로부터 O_2 와 수직거리에 있는 교차선 상의 점 F_2 간의 거리 d_2 도 구할 수 있다. 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 두 원판형 불연속면상에서 d_1 이 r_1 보다 작거나 같고 d_2 가 r_2 보다 작거나 같은 경우에만 교차선을 형성한다. 또한, 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 [수학식 28] 및 [수학식 29]로부터 교차선 선분의 좌표를 산정할 수 있다.

[0104]

<불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)에 의한 비선형 연립방정식의 특수해 연산>

[0105]

불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 비선형 연립방정식의 해를 구하는 과정에서 연산을 수행할 수 없는 경우가 발생한다. 즉, 기하학적으로 두 불연속면이 평행한 경우와 일치하는 경우 및 수학적으로 분모에 0이 존재하는 경우는 연립방정식이 성립하지 않기 때문이다. 따라서 본 발명에서는 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 이러한 경우를 특수해로 분류하고, 경우에 따른 해를 유도한다.

[0106] [수학식 20]과 [수학식 21]에 의해 정의되는 두 불연속면의 경사방향이 동일한 경우 $a_1b_2 = a_2b_1 \neq 0$ 가 성립할 수 있다. 이러한 경우 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 [수학식 20]과 [수학식 21]로부터 유도할 수 있는 다음의 [수학식 32] 및 [수학식 33]을 연립하여 Z와 X를 구할 수 있다.

수학식 32

[0107]
$$b_2a_1X + b_2b_1Y + b_2c_1Z = 0$$

수학식 33

[0108]
$$b_1a_2X + b_1b_2Y + b_1c_2Z = b_1d$$

[0109] 또한, 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 [수학식 32]와 [수학식 33]으로부터 해를 구할 수 있으며, 다음의 [수학식 34] 및 [수학식 35]와 같다.

수학식 34

[0110]
$$Z = \frac{-b_1d}{b_2c_1 - c_2b_1}$$

수학식 35

[0111]
$$X = \frac{b_1d - (b_2c_1 + c_2b_1)Z}{2a_1b_2} - \frac{b_1b_2}{a_1b_2}Y$$

[0112] 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 [수학식 29], [수학식 34], [수학식 35]로부터 X, Y, Z를 구하면 원판형 불연속면 교차선의 좌표를 얻을 수 있다. 본 발명에서는 이와 같이 일반적으로 연산을 수행할 수 없는 모든 경우를 분류하고 각각에 대한 특수해를 유도하여 하기의 [표 1]과 같이 제시한다. 하기의 [표 1]에서 $a_1 = b_1 = 0$ 과 $a_2 = b_2 = 0$ 조건은 두 원판형 불연속면 중 하나가 수평인 경우이다. $a_1 = b_1 = 0$ 과 $a_2 = b_2 = 0$ 조건은 두 불연속면의 경사방향이 동일한 경우이며, $a_1 = a_2 = b_1 = b_2 = 0$ 은 두 불연속면이 평행한 경우이다.

표 1

[0113]

특이해	각각의 해
$a_1b_2 = a_2b_1 = 0$	$X = \frac{b_1d - (b_2c_1 + c_2b_1)Z}{2a_1b_2} - \frac{b_1b_2}{a_1b_2}Y, Z = \frac{-b_1d}{b_2c_1 - c_2b_1}$
$a_1 = b_1 = 0$	$X = \frac{d}{a_2} - \frac{b_2}{a_2}Y, Z = 0$

$a_2 = b_2 = 0$	$X = \frac{-c_1 d / c_2}{a_1} + \frac{-b_1}{a_1} Y, Z = \frac{d}{c_2}$
$a_1 = a_2 = 0$	$Y = \frac{-c_1 d}{c_2 b_1 - c_1 b_2}, Z = \frac{-b_1 d}{b_2 c_1 - b_1 c_2}$
$b_1 = b_2 = 0$	$X = \frac{-c_1 d}{c_2 a_1 - c_1 a_2}, Z = \frac{-a_1 d}{a_2 c_1 - a_1 c_2}$
$a_1 = a_2 = b_1 = b_2 = 0$	N/A

[0114] <Lists of particular solutions of non-linear equations>

[0115] <불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)에 의한 불연속면의 연결구조 형성>

[0116] 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 불연속면의 교차선 및 불연속면의 중심과 교차선의 중점을 연결하는 등가파이프의 위치를 산정하고 가시화하기 위해서는 상술한 연산한 바와 같이 각각의 불연속면 중심과 교차선 간의 수직거리와 불연속면 반지름과의 관계를 파악하여 불연속면의 교차 여부를 확인하여야 한다.

[0117] 도 7은 불연속면이 교차선과 한 점에서 접하거나 두 점 사이에서 교차하는 경우를 나타낸다. 이 경우, 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 두 원판의 교차 여부에 대한 판단시 $d_1 \leq r_1$, $d_2 \leq r_2$ 이므로, 두 원판형 불연속면이 교차될 가능성이 있다고 볼 수 있다.

[0118] 도 8에서와 같이 두 원판형 불연속면이 교차할 때 형성되는 교차선의 중점을 M이라 하고, E_1 , E_2 , E_3 , E_4 를 두 원판형 불연속면이 교차선과 접하는 점이라고 가정하면 일반적으로 하기의 [수학식 36]일 때 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈(12c)은 두 원판형 불연속면은 교차된다고 판단한다.

수학식 36

[0119]
$$\overline{O_1 F_1} + \overline{O_2 F_2} \leq r_1 + r_2$$

[0120] 도 9는 3차원 공간에서 두 원판형 불연속면이 교차할 때 나타날 수 있는 교차선과 등가파이프의 다양한 형태를 보여준다.

[0121] 도 9(a)는 두 원판형 불연속면의 원주가 한 점에서 접하는 경우로서 교차선은 형성되지 않는다. 이 경우에 각각의 원판에서 $d_1 = r_1$, $d_2 = r_2$ 이며, 등가파이프 구성에 필요한 좌표는 두 원판형 불연속면의 중심 O_1 , O_2 와 두 원판이 만나는 교차점 M이다.

[0122] 도 9(b)는 두 원판형 불연속면에 의한 교차선이 각각의 불연속면에서 현을 이루는 경우로서 교차선의 양 끝점은 두 원판의 원주상에 위치한다.

[0123] 이 경우에 각각의 원판에서 $d_1 < r_1$, $d_2 < r_2$ 이고, 원판의 교차점들의 관계는 $E_1 = E_3$, $E_2 = E_4$ 이므로 교차선은 $\overline{E_1 E_2}$ 이며, 등가파이프는 O_1 , O_2 와 $\overline{E_1 E_2}$ 의 중점을 연결하여 구성할 수 있다.

[0124] 도 9(c)는 원판형 불연속면의 원이 다른 원판형 불연속면 위에 접하는 경우이다. 이 경우에 각각의 원판에서 $d_1 < r_1$, $d_2 = r_2$ 또는 $d_1 = r_1$, $d_2 < r_2$ 이다. 이 때 등가파이프 구성에 필요한 좌표는 O_1 , O_2 와 두 원판이 만나는 접점 M이다.

[0125] 도 9(d)는 불연속면 교차선의 양 끝점이 각각 서로 다른 불연속면 내에 위치하는 경우이다. 이 경우에 각각의

원판에서 $d_1 < r_1$, $d_2 < r_2$ 이며, 교차선은 $\overline{E_1E_4}$ 또는 $\overline{E_2E_3}$ 이다. 등가파이프는 0_1 , 0_2 와 $\overline{E_1E_4}$ 또는 $\overline{E_2E_3}$ 의 중점을 연결하여 구성할 수 있다.

[0126] 도 9(e)는 하나의 원판형 불연속면 내에 다른 원판형 불연속면이 포함되어 교차하는 경우이다. 이때 두 불연속면의 교차선 상에서 $\overline{E_1E_2}$ 또는 $\overline{E_3E_4}$ 또는 $\overline{E_1E_2}$ 또는 $\overline{E_3E_4}$ 의 관계가 성립하며, 교차선은 각각의 경우 $\overline{E_3E_4}$ 또는 $\overline{E_1E_2}$ 이다. 등가파이프는 0_1 , 0_2 와 $\overline{E_3E_4}$ 또는 $\overline{E_1E_2}$ 의 중점을 연결하여 구성할 수 있다.

[0127] 도 10은 부산시 기장군에 위치한 일광광산의 절리자료(Choi et al., 2010)를 바탕으로 앞에서 언급한 가시화 부분과 연결구조 부분에 의하여 원판형 불연속면의 연결구조를 구현하고 가시화한 사례이다. 이 발명의 3차원 영상 구현 모듈(12d)은 대상암반에 대한 불연속면의 방향성, 크기, 빈도에 관한 정보를 시각적으로 제공할 수 있으며, 원판형 불연속면을 정방향으로 설정하여 출력하면 암반의 강도 및 변형성과 관련된 불연속체 기반의 수치 해석을 위한 입력 자료를 구성하는 데에 활용할 수 있다.

[0128] 도 12는 본 발명의 실시예에 따른 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법을 나타내는 흐름도이다. 도 2 내지 도 12를 참조하면, 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법은 도 12에 도시된 바와 같이, 크게 불연속면의 3차원 가시화 과정, 불연속면의 3차원 연결구조 형성 과정, 3차원 영상 구현 과정으로 구분된다.

[0129] 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화 방법이 구현되는 시스템(10)의 제어부(12)는 균열 암반 내의 불연속면을 원판형으로 설정하고, 원판은 3차원 공간에서 불연속면의 중심좌표, 반경, 그리고 경사방향/경사로의 구현을 설정한다(S11).

[0130] 단계(S11) 이후, 제어부(12)는 불연속면의 경계를 이루는 원을 표현하기 위해 원주상에 점의 개수 설정, 각각의 설정된 점에 대한 3차원 좌표를 연산함으로써(S12), 불연속면의 3차원 가시화 과정을 수행한다.

[0131] 단계(S12) 이후, 제어부(12)는 각 불연속면 중심과 교차선 간의 수직거리와 불연속면 반지름과의 관계를 분석하여 불연속면의 교차 여부를 확인한다(S21).

[0132] 단계(S21) 이후, 제어부(12)는 두 개 이상의 원판형 불연속면이 3차원 공간에서 교차하는 경우, 교차선의 좌표를 산정한다(S22).

[0133] 단계(S23) 이후, 제어부(12)는 각 원판형 불연속면의 중심과 교차선의 중심을 연결하는 등가파이프의 좌표를 산정함으로써(S23), 불연속면의 3차원 연결구조 형성 과정을 수행한다.

[0134] 단계(S23) 이후, 제어부(12)는 단계(S11) 및 단계(S12)에 의한 불연속면의 3차원 가시화와, 단계(S21) 내지 단계(S23)에 의한 불연속면의 3차원 연결구조 형성이 완료되면, 균열 암반 내 불연속면 연결구조의 3차원 영상화를 출력부(14) 상으로 구현함으로써(S31), 3차원 영상 구현 과정을 수행한다.

[0135] 본 발명은 또한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록 장치를 포함한다.

[0136] 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기테이프, 플로피 디스크, 광 데이터 저장장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어, 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현되는 것도 포함한다.

[0137] 또한 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어, 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다. 그리고 본 발명을 구현하기 위한 기능적인(functional) 프로그램, 코드 및 코드 세그먼트들은 본 발명이 속하는 기술 분야의 프로그래머들에 의해 용이하게 추론될 수 있다.

[0138]

이상과 같이, 본 명세서와 도면에는 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 개시하였으며, 비록 특정 용어들이 사용되었으나, 이는 단지 본 발명의 기술 내용을 쉽게 설명하고 발명의 이해를 돕기 위한 일반적인 의미에서 사용된 것이지, 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다. 여기에 개시된 실시예 외에도 본 발명의 기술적 사상에 바탕을 둔 다른 변형 예들이 실시 가능하다는 것은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것이다.

부호의 설명

[0139]

11: I/O 인터페이스

12: 제어부

12a: 데이터 입력 모듈

12b: 불연속면의 3차원 가시화 모듈

12c: 불연속면의 3차원 연결구조 형성 모듈

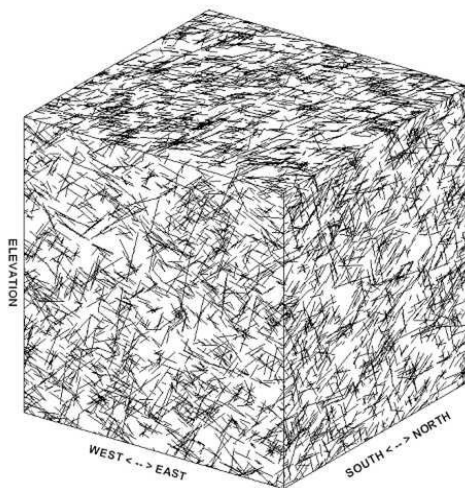
12d: 3차원 영상 구현 모듈

13: 저장부

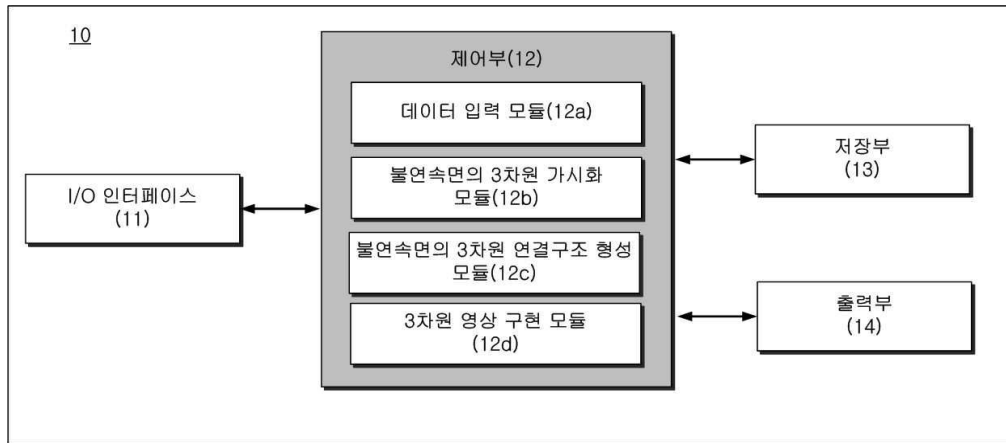
14: 출력부

도면

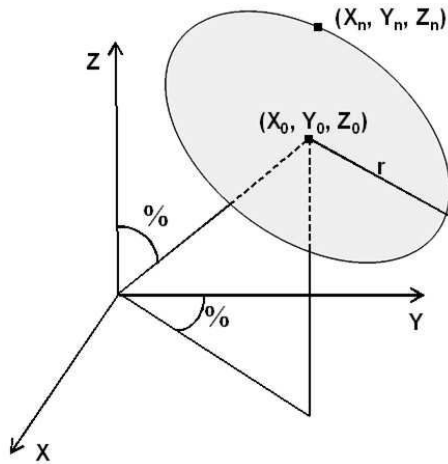
도면1



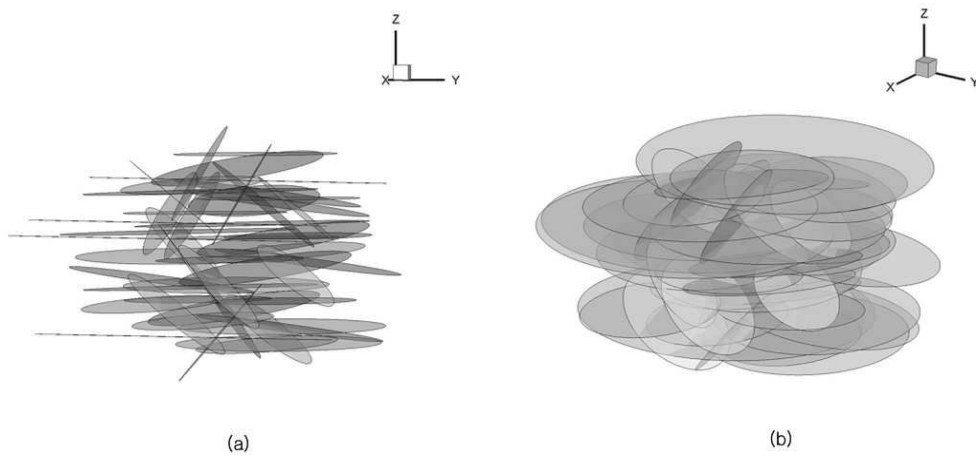
도면2



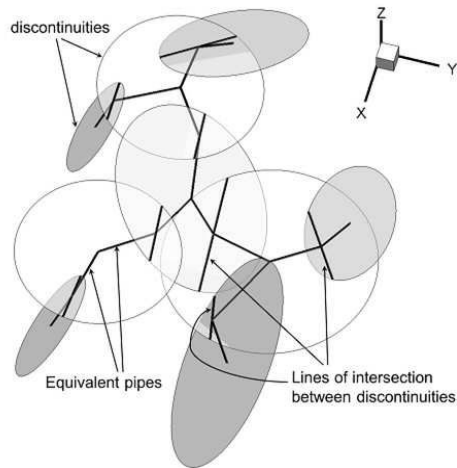
도면3



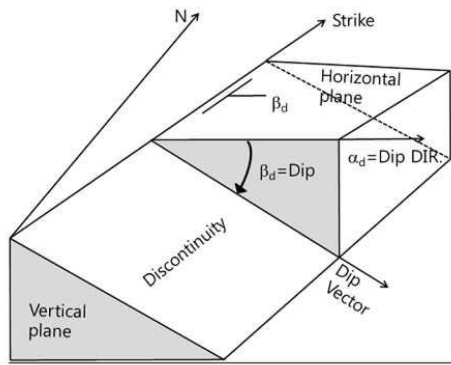
도면4



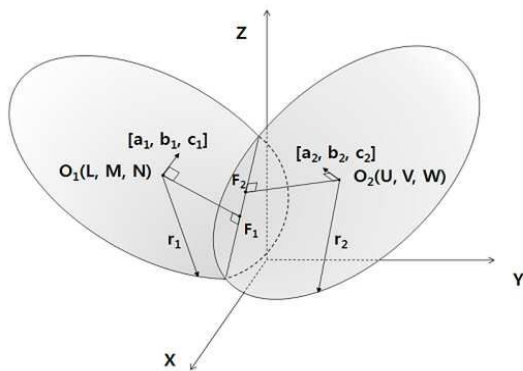
도면5



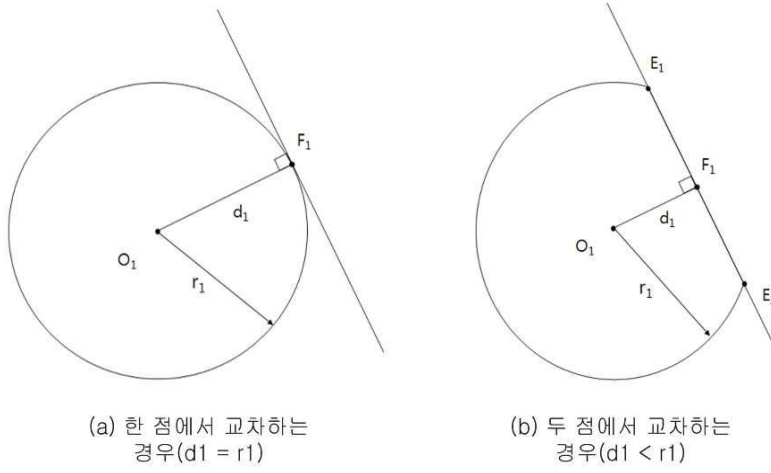
도면6



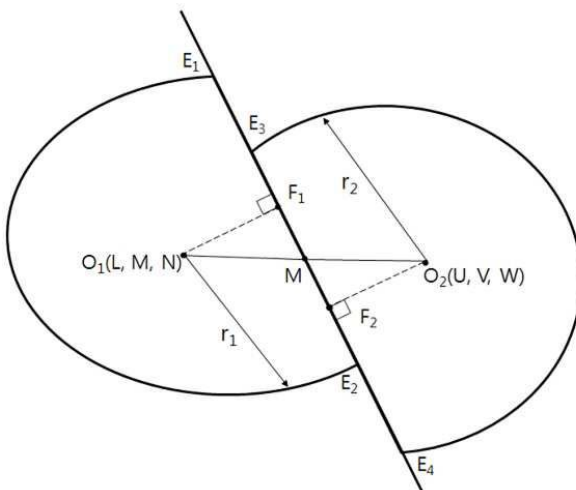
도면7



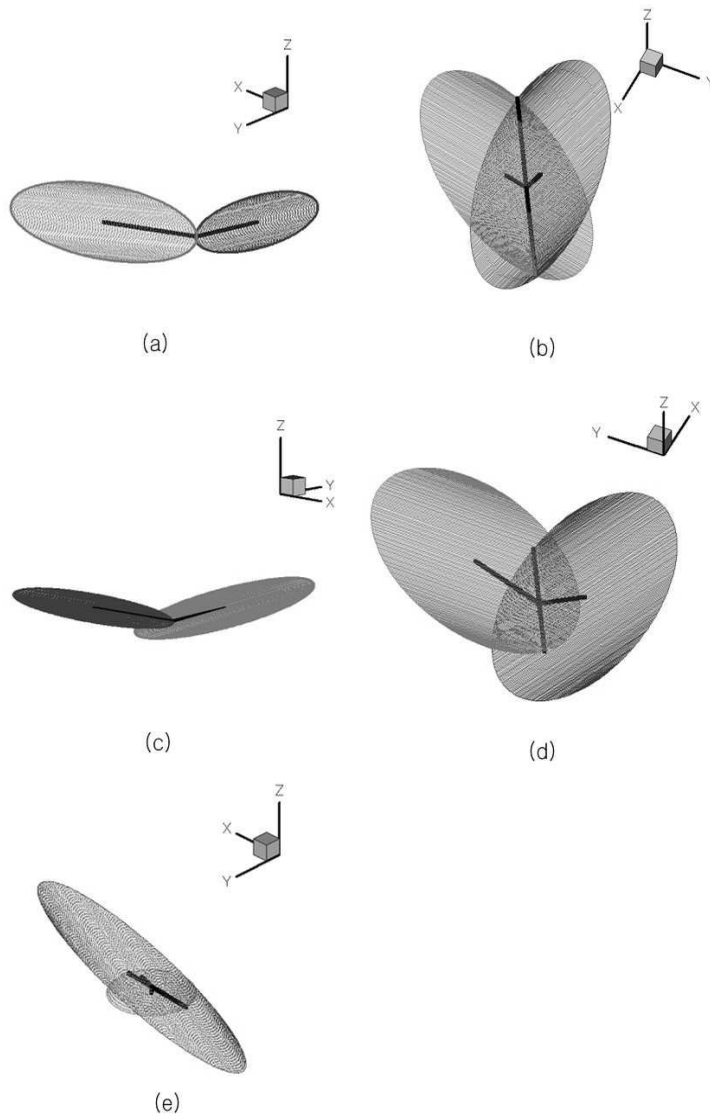
도면8



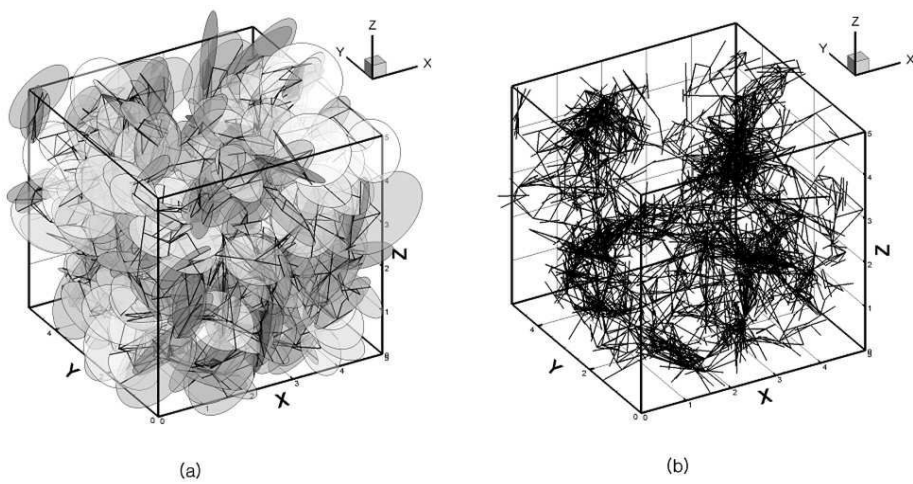
도면9



도면10



도면11



도면12

