



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년10월01일  
(11) 등록번호 10-1314054  
(24) 등록일자 2013년09월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G06F 19/00 (2011.01) G06F 9/455 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2012-0085404  
(22) 출원일자 2012년08월03일  
심사청구일자 2012년08월03일  
(56) 선행기술조사문헌  
우종우 외1인, '멀티 에이전트 기반의 지능형 시  
뮬레이션 도구의 개발', 한국컴퓨터정보학회논문  
지 제12권제6호. 2007.12  
김화영, '컨테이너터미널의 하역 데이터베이스 분  
석에 의한 하역시뮬레이션 모델 구축에 관한  
연구', 한국항해항만학회지 제31권제8호. 2007.  
pp.717-723

(73) 특허권자  
군산대학교산학협력단  
진라북도 군산시 대학로 558 (미룡동,  
군산대학교)  
(72) 발명자  
이흥로  
진라북도 군산시 수송동 수송아이파크아파트 101  
동 804호  
이재봉  
진라북도 익산시 부송동 우미아파트 102동 207호  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
특허법인충현

전체 청구항 수 : 총 17 항

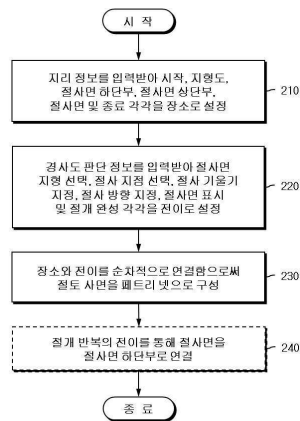
심사관 : 구대성

(54) 발명의 명칭 **절토 사면 시뮬레이션을 위한 페트리 넷 모델링 방법**

(57) 요약

절토 사면 시뮬레이션을 위한 페트리 넷(Petri net) 모델링 방법이 개시된다. 일 실시예에 따라 절토 사면을 페트리 넷으로 모델링하는 방법은, 절토 사면에 대한 위치, 고도, 수치 지도 레이어, 기준점, 방향 및 도형 자료를 포함하는 지리 정보를 입력받아 시작, 지형도, 절사면 하단부, 절사면 상단부, 절사면 및 종료 각각을 장소(place)로 설정하고, 각도, 고도, 지리 속성 및 위치 속성을 포함하는 경사도 판단 정보를 입력받아 절사면 지형 선택, 절사 지점 선택, 절사 기울기 지정, 절사 방향 지정, 절사면 표시 및 절개 완성 각각을 전이(transition)로 설정하며, 장소와 전이를 순차적으로 연결함으로써 절토 사면을 페트리 넷으로 구성한다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

**문영채**

전라북도 군산시 나운3동 세경아파트 203동 410호

**오광식**

전라북도 군산시 나운동 현대3차A 304동 1103호

**김호권**

전라북도 전주시 완산구 서신동 비사벌 아파트 10  
2동 1103호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 00047449

부처명 중소기업청

연구사업명 산학연공동기술개발 지역사업

연구과제명 새만금 간척지 내부 굴착을 위한 Smart GIS 공간분석 시스템 개발

주관기관 군산대학교 산학협력단

연구기간 2011.06.01 ~ 2012.05.31

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

적어도 하나의 프로세서(processor)를 이용하여 절토 사면을 페트리 넷(Petri net)으로 모델링하는 방법에 있어서,

절토 사면에 대한 위치(L0), 고도(EL), 수치 지도 레이어(LA), 기준점(PO), 방향(DI) 및 도형 자료(VX)를 포함하는 지리 정보를 입력받아 '시작', '지형도', '절사면 하단부', '절사면 상단부', '절사면' 및 '종료' 각각을 장소(place)(P)로 설정하는 단계;

각도( $T_{\theta}$ ), 고도( $T_H$ ), 지리 속성( $T_D$ ) 및 위치 속성( $T_L$ )을 포함하는 경사도 판단 정보를 입력받아 '절사면 지형 선택', '절사 지점 선택', '절사 기울기 지정', '절사 방향 지정', '절사면 표시' 및 '절개 완성' 각각을 전이(transition)(T)로 설정하는 단계; 및

상기 장소(P)와 전이(T)를 순차적으로 연결함으로써 상기 절토 사면을 페트리 넷으로 구성하는 단계;를 포함하되,

상기 전이 중 상기 '절사 기울기 지정' 및 상기 '절사 방향 지정'은 상기 장소 중 상기 '절사면 하단부' 및 상기 '절사면 상단부' 사이에서 병렬적으로 연결되는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

'절개 반복'의 전이를 통해 상기 장소 중 상기 '절사면'을 상기 '절사면 하단부'로 연결하는 단계;를 더 포함함으로써, 절사면의 고도에 따라 형성된 소단부로부터 최고고도까지의 절토 사면을 반복적으로 구성하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 구성된 페트리 넷을 통해 상기 절토 사면에 포함되는 절사면의 하단부를 결정하고, 절사되는 방향과 기울기를 지정함으로써, 상기 절사면의 상단부를 결정하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 절토 사면에 대한 경사도 규칙 관계(R)는,

절토 사면에 대한 위치(L0)와 공간 위치 속성( $T_L$ )의 관계 설정(L0to $T_L$ ), 기준점(PO)과 공간 위치 속성( $T_L$ )의 관계 설정(POto $T_L$ ), 고도 자료(EL)와 고도 속성( $T_H$ )의 관계 설정(ELto $T_H$ ) 및 도형 자료(VX)와 공간 위치 속성( $T_L$ )의 관계 설정(VXto $T_L$ )을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 5

적어도 하나의 프로세서를 이용하여 페트리 넷으로 모델링된 절토 사면을 시뮬레이션하는 방법에 있어서,

상기 페트리 넷은,

절토 사면에 대한 위치(L0), 고도(EL), 수치 지도 레이어(LA), 기준점(PO), 방향(DI) 및 도형 자료(VX)를 포함하는 지리 정보를 입력받아 '시작', '지형도', '절사면 하단부', '절사면 상단부', '절사면' 및 '종료' 각각을 장소(P)로 설정하고,

각도( $T_{\theta}$ ), 고도( $T_H$ ), 지리 속성( $T_D$ ) 및 위치 속성( $T_L$ )을 포함하는 경사도 판단 정보를 입력받아 '절사면 지형 선택', '절사 지점 선택', '절사 기울기 지정', '절사 방향 지정', '절사면 표시' 및 '절개 완성' 각각을 전이

(T)로 설정하며,

상기 장소(P)와 전이(T)를 순차적으로 연결함으로써 상기 절토 사면을 페트리 넷으로 구성하되,

적어도 둘 이상의 하단 절사 지점의 존재 여부, 상기 하단 절사 지점에 따른 모서리의 존재 여부 및 상기 하단 절사 지점 모서리의 중심이 존재하는지 여부를 검사하는 단계;

상기 하단 절사 지점 모서리에 기초한 경사의 존재 여부 및 절토 사면의 방향이 존재하는지 여부를 검사하는 단계;

적어도 둘 이상의 상단 절사 지점의 존재 여부 및 상기 상단 절사 지점에 따른 모서리의 존재 여부를 검사하는 단계; 및

상기된 검사 결과가 모두 참(true)인 경우, 상기 절토 사면에 대한 절토 지형도(DIM)를 생성하는 단계;를 포함하는 방법.

### 청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 절토 지형도(DIM)는,

절사면 하단 지형도를 구성하는 복수 개의 점(vertex)( $VX_L$ ), 상기 절사면 하단 지형도의 고도 값( $EL_L$ ), 절사면 상단 지형도를 구성하는 복수 개의 점( $VX_H$ ) 및 상기 절사면 상단 지형도의 고도 값( $EL_H$ )을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 하단 절사 지점 모서리의 중심은 상기 하단 절사 지점 모서리의 1/2 지점이고,

상기 절토 사면의 방향은 상기 절토 사면 모서리의 직각 방향인 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 8

제 5 항에 있어서,

상기 하단 절사 지점 모서리는 상기 두 개의 하단 절사 지점을 직선으로 연결하여 형성하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 9

제 5 항에 있어서,

상기 하단 절사 지점 모서리에 수평하도록 상기 절토 지형도(DIM)를 구성하는 절사면 상단 지형도 상에 직선의 절사 선분을 생성하고,

상기 생성된 절사 선분과 상기 상단 지형도가 만나는 두 지점을 직선으로 연결하여 상기 상단 절사 모서리를 설정하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 10

제 5 항에 있어서,

상기 하단 절사 모서리 상의 어느 한 점과 상기 상단 모서리 상의 어느 한 점을 직선으로 연결함으로써 경사도를 산출하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 하단 절사 지점과 상기 상단 절사 지점이 최단 거리를 형성할 경우의 경사도를 최대 경사도로 설정하는 것

을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 12

제 10 항에 있어서,

상기 하단 절사 지점과 상기 상단 절사 지점이 최장 거리를 형성할 경우의 경사도를 최소 경사도로 설정하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 13

제 5 항에 있어서,

상기 생성된 절토 지형도(DIM)에 기초하여, 절토된 후의 토사량(VOL), 3차원 모델을 위한 불규칙 삼각망(triangle irregular network)(TIN), 절토 사면 경사도(SLP), 절토 사면 하단부(LDI) 또는 절토 사면 높이(HIG) 중 적어도 하나를 출력하는 단계;를 더 포함하는 방법.

### 청구항 14

제 5 항 내지 제 13 항 중에 어느 한 항의 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

### 청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 절토 사면은 ArcGIS 시스템을 이용하여 시뮬레이션되고,

상기 ArcGIS의 Geodata Object Mode 패키지 내의 Dataset 루트 클래스로부터 상속되는 FeatureClass를 이용하여 상기 절토 지형도에 관한 객체(feature)의 모양(shape)을 수정하고,

상기 ArcGIS의 Carto Object Mode Layers 패키지 내의 Layer 루트 클래스로부터 상속되는 FeatureLayerBase 클래스를 이용하여 수정하고자 하는 객체(feature)를 선택하며,

상기 ArcGIS의 Geometry Object Mode 패키지 내의 Geometry 루트 클래스로부터 상속되는 Path 클래스를 이용하여 상기 절토 사면의 상단과 하단을 나타내는 객체(path)를 생성하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

### 청구항 16

제 14 항에 있어서,

상기 절토 사면은 ArcGIS 시스템을 이용하여 시뮬레이션되고,

절사면 소단부를 구현하는 CutSlope 클래스를 포함하며,

상기 CutSlope 클래스는,

경사도(slop), 소단면 하단(LowSide), 소단면 상단(HighSide) 및 방향(Direction)을 속성으로 가지며,

경사도 산출(ISlope()), 방향(IDirection()) 및 거리산출(IDistance())를 메소드(method)로 갖는 것을 특징으로 하는 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

### 청구항 17

제 14 항에 있어서,

상기 절토 사면은 절사면 소단부를 구현하는 CutSlope 클래스를 포함하는 ArcGIS 시스템에 기반하여 동작하되,

경사거리를 산출하고,

LowFeatureSelection() 메소드를 이용하여 절사면 하단부 객체(feature)를 선택하고,

CreateReshapeLowPath() 메소드를 이용하여 상기 절사면 하단부 객체(feature)의 모양을 수정하기 위한 기준 객

체(path)를 선택하고,

상기 생성된 기준 객체(reshapeLowPath) 및 ReshapeLowFeature() 메소드를 이용하여 절토 사면 하단부 객체(LowFeature)의 모양(shape)을 수정하고,

HighFeatureSelection() 메소드를 이용하여 절사면 상단부 객체(feature)를 선택하고,

CreateReshapeHighPath() 메소드를 이용하여 상기 절사면 상단부 객체(feature)의 모양을 수정하기 위한 기준 객체(path)를 선택하고,

상기 생성된 기준 객체(reshapeHighPath) 및 ReshapeHighFeature() 메소드를 이용하여 절토 사면 상단부 객체(highFeature)의 모양(shape)을 수정하며,

상기 절토 사면 상단과 하단의 객체(feature)가 수정된 후 RefreshDisplay() 메소드를 이용하여 화면을 갱신함으로써,

상기 절사면 소단면에 대한 시물레이션을 수행하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

## 명세서

### 기술분야

- [0001] 본 발명은 절토 사면에 대한 시물레이션 처리 기술에 관한 것으로, 특히 절토 사면을 페트리 넷(Petri net)으로 모델링하고, 모델링된 절토 사면을 시물레이션하는 방법 및 이들 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 관한 것이다.

### 배경기술

- [0002] 지구 온난화에 의한 환경 변화에 따라 집중 호우가 해마다 자주 발생하고, 이 집중 호우로 인한 자연재해와 도로의 폐쇄, 재산 및 인명 등의 피해가 날로 증가하고 있다. 각종 도로의 건설에 따라 붕괴 위험 절개지가 전국에 수백 곳에 달한 것으로 조사되고 있다.
- [0003] 자연 재해에 대한 절토 사면의 붕괴를 막기 위한 대책과 방안을 세우는 것이 요구된다. 전국 각지에서 건설되는 도로의 시공에 있어 절토 사면을 시공하기 이전에 가상적인 시물레이션을 이용하여 적용함으로써 절토 사면 붕괴를 예측할 수 있고 붕괴의 발생 시 복구 비용을 최소화할 수 있으며 피해를 막을 방법을 제시할 것으로 판단된다.
- [0004] 절토 사면의 가상적인 시물레이션은 절토 사면 시공에 있어서 시행의 오류, 많은 시간, 인력 및 비용 등을 감소될 수 있다. 이하에서 인용되는 비특허문헌은 GIS 정보를 이용하여 지리 공간적 관계에 있어서 지층의 물리적 특성과 암반층의 역학적 관계를 예측할 수 있게 함으로써 시간과 비용을 절감시킬 수 있음을 보여주고 있다. 절토 사면의 지리 공간적 접근은 공간 자료의 속성에 가중치와 지질적 특성 등을 예측 모델링에 적용할 수 있다. 따라서, 절토 사면의 GIS 시물레이션 시스템 개발을 위해 적응적 모델링이 요구된다.

### 선행기술문헌

#### 비특허문헌

- [0005] (비특허문헌 0001) 박현철, 김형섭, 조명희. 2005. Web GIS를 이용한 연안위험취약지역 정보시스템 구축. 한국지리정보학회지 8(4):155-164.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

- [0006] 본 발명의 실시예들이 해결하고자 하는 기술적 과제는, 절토 사면에 관한 종래의 연구들이 이미 붕괴되거나 시공이 마무리된 상태의 사면에 관해 집중되어 있어, 절토 사면의 시공 전의 잠재적 위험을 예측할 수 없다는 문제점을 해소하고, 절토 사면의 취약성에 대해 지리 정보가 반영된 적절한 구현 모델 내지 시물레이션을 수행하기 위한 기술적 수단이 제시되지 못하다는 한계를 극복하고자 한다.

**과제의 해결 수단**

- [0007] 상기 기술적 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 적어도 하나의 프로세서(processor)를 이용하여 절토 사면을 페트리 넷(Petri net)으로 모델링하는 방법은, 절토 사면에 대한 위치(L0), 고도(EL), 수치 지도 레이어(LA), 기준점(PO), 방향(DI) 및 도형 자료(VX)를 포함하는 지리 정보를 입력받아 '시작', '지형도', '절사면 하단부', '절사면 상단부', '절사면' 및 '종료' 각각을 장소(place)(P)로 설정하는 단계; 각도( $T_{\theta}$ ), 고도( $T_H$ ), 지리 속성( $T_D$ ) 및 위치 속성( $T_L$ )을 포함하는 경사도 판단 정보를 입력받아 '절사면 지형 선택', '절사 지점 선택', '절사 기울기 지정', '절사 방향 지정', '절사면 표시' 및 '절개 완성' 각각을 전이(transition)(T)로 설정하는 단계; 및 상기 장소(P)와 전이(T)를 순차적으로 연결함으로써 상기 절토 사면을 페트리 넷으로 구성하는 단계;를 포함하되, 상기 전이 중 상기 '절사 기울기 지정' 및 상기 '절사 방향 지정'은 상기 장소 중 상기 '절사면 하단부' 및 상기 '절사면 상단부' 사이에서 병렬적으로 연결된다.
- [0008] 일 실시예에 따른 상기 모델링 방법은, '절개 반복'의 전이를 통해 상기 장소 중 상기 '절사면'을 상기 '절사면 하단부'로 연결하는 단계;를 더 포함함으로써, 절사면의 고도에 따라 형성된 소단부로부터 최고도까지의 절토 사면을 반복적으로 구성한다.
- [0009] 일 실시예에 따른 상기 모델링 방법은, 상기 구성된 페트리 넷을 통해 상기 절토 사면에 포함되는 절사면의 하단부를 결정하고, 절사되는 방향과 기울기를 지정함으로써, 상기 절사면의 상단부를 결정한다.
- [0010] 일 실시예에 따른 상기 모델링 방법에서, 상기 절토 사면에 대한 경사도 규칙 관계(R)는, 절토 사면에 대한 위치(L0)와 공간 위치 속성( $T_L$ )의 관계 설정(L0to $T_L$ ), 기준점(PO)과 공간 위치 속성( $T_L$ )의 관계 설정(POto $T_L$ ), 고도 자료(EL)와 고도 속성( $T_H$ )의 관계 설정(ELto $T_H$ ) 및 도형 자료(VX)와 공간 위치 속성( $T_L$ )의 관계 설정(VXto $T_L$ )을 포함한다.
- [0011] 상기 기술적 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 다른 실시예에 따른 적어도 하나의 프로세서를 이용하여 페트리 넷으로 모델링된 절토 사면을 시뮬레이션하는 방법은, 절토 사면에 대한 위치(L0), 고도(EL), 수치 지도 레이어(LA), 기준점(PO), 방향(DI) 및 도형 자료(VX)를 포함하는 지리 정보를 입력받아 '시작', '지형도', '절사면 하단부', '절사면 상단부', '절사면' 및 '종료' 각각을 장소(P)로 설정하고, 각도( $T_{\theta}$ ), 고도( $T_H$ ), 지리 속성( $T_D$ ) 및 위치 속성( $T_L$ )을 포함하는 경사도 판단 정보를 입력받아 '절사면 지형 선택', '절사 지점 선택', '절사 기울기 지정', '절사 방향 지정', '절사면 표시' 및 '절개 완성' 각각을 전이(T)로 설정하며, 상기 장소(P)와 전이(T)를 순차적으로 연결함으로써 상기 절토 사면을 페트리 넷으로 구성하되, 적어도 둘 이상의 하단 절사 지점의 존재 여부, 상기 하단 절사 지점에 따른 모서리의 존재 여부 및 상기 하단 절사 지점 모서리의 중심이 존재하는지 여부를 검사하는 단계; 상기 하단 절사 지점 모서리에 기초한 경사의 존재 여부 및 절토 사면의 방향이 존재하는지 여부를 검사하는 단계; 적어도 둘 이상의 상단 절사 지점의 존재 여부 및 상기 상단 절사 지점에 따른 모서리의 존재 여부를 검사하는 단계; 및 상기된 검사 결과가 모두 참(true)인 경우, 상기 절토 사면에 대한 절토 지형도(DIM)를 생성하는 단계;를 포함한다.
- [0012] 다른 실시예에 따른 상기 시뮬레이션 방법에서, 상기 절토 지형도(DIM)는, 절사면 하단 지형도를 구성하는 복수 개의 점(vertex)( $VX_L$ ), 상기 절사면 하단 지형도의 고도 값( $EL_L$ ), 절사면 상단 지형도를 구성하는 복수 개의 점( $VX_H$ ) 및 상기 절사면 상단 지형도의 고도 값( $EL_H$ )을 포함한다.
- [0013] 다른 실시예에 따른 상기 시뮬레이션 방법에서, 상기 하단 절사 지점 모서리의 중심은 상기 하단 절사 지점 모서리의 1/2 지점이고, 상기 절토 사면의 방향은 상기 절토 사면 모서리의 직각 방향이다.
- [0014] 다른 실시예에 따른 상기 시뮬레이션 방법에서, 상기 하단 절사 지점 모서리는 상기 두 개의 하단 절사 지점을 직선으로 연결하여 형성한다.
- [0015] 다른 실시예에 따른 상기 시뮬레이션 방법은, 상기 하단 절사 지점 모서리에 수평하도록 상기 절토 지형도(DIM)를 구성하는 절사면 상단 지형도 상에 직선의 절사 선분을 생성하고, 상기 생성된 절사 선분과 상기 상단 지형도가 만나는 두 지점을 직선으로 연결하여 상기 상단 절사 모서리를 설정한다.
- [0016] 다른 실시예에 따른 상기 시뮬레이션 방법은, 상기 하단 절사 모서리 상의 어느 한 점과 상기 상단 모서리 상의 어느 한 점을 직선으로 연결함으로써 경사도를 산출한다. 또한, 상기 하단 절사 지점과 상기 상단 절사 지점이 최단 거리를 형성할 경우의 경사도를 최대 경사도로 설정하고, 상기 하단 절사 지점과 상기 상단 절사 지점이

최장 거리를 형성할 경우의 경사도를 최소 경사도로 설정할 수 있다.

[0017] 다른 실시예에 따른 상기 시뮬레이션 방법은, 상기 생성된 절토 지형도(DIM)에 기초하여, 절토된 후의 토사량(VOL), 3차원 모델을 위한 불규칙 삼각망(triangle irregular network)(TIN), 절토 사면 경사도(SLP), 절토 사면 하단부(LDI) 또는 절토 사면 높이(HIG) 중 적어도 하나를 출력하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0018] 한편, 이하에서는 상기 기재된 시뮬레이션 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공한다.

**발명의 효과**

[0019] 본 발명의 실시예들은 다양한 지리 정보를 활용하여 절토 사면을 페트리 넷으로 모델링하고 생성된 모델에 기반한 절토 사면 시뮬레이션을 수행함으로써 시공 전의 절토 사면에 대한 잠재적 위험을 예측할 수 있고, 절토 사면을 3차원 가상 공간 내에 표현함으로써 사용자가 절토 사면 공간을 보다 쉽게 이해할 수 있으며, 절토 사면의 핵심적 요소로 사면 경사도를 지목하고 다양한 지리 정보 및 명확하게 설계된 모델링에 기반하여 경사도를 산출함으로써 정확한 절토 사면 평가가 가능하다.

**도면의 간단한 설명**

- [0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따라 절토 사면을 페트리 넷(Petri net)으로 표현한 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 도 1의 페트리 넷을 모델링하는 방법을 도시한 흐름도이다.
- 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따라 절토 사면 시뮬레이션을 위한 서비스 알고리즘을 예시한 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 도 3의 절토 사면 시뮬레이션 방법을 도시한 흐름도이다.
- 도 5a 및 도 5b는 본 발명의 다른 실시예에 따른 시뮬레이션 방법에서 절토 사면의 경사도를 평가하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 시뮬레이션 방법을 ArcGIS 시스템을 통해 구현하기 위한 클래스 계층 구조를 예시한 도면이다.
- 도 7은 도 6의 ArcGIS 시스템을 통해 절토 사면 경사도 시뮬레이션을 수행하는 과정을 예시한 순차 다이어그램이다.
- 도 8은 본 발명의 실시예들을 이용하여 절토 사면 3D 시뮬레이션을 수행한 결과를 예시한 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0021] 본 발명의 실시예들을 설명하기에 앞서, 절토 사면의 특성, 절토 사면 분석에 관한 연구들 및 이에 따른 문제점들을 간략히 소개한 후, 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 발명의 실시예들이 채택하고 있는 기술적 수단을 순차적으로 제시하도록 한다.

[0022] 절토 사면 붕괴의 원인의 규명에는 여러 가지 복합적 요소들이 요구된다. 다양한 자연적 조건과 인위적 영향에 있어서 주원인을 토질 및 지질적 조건에 두고 지질과 지층의 구조와 지층이 발생한 시대적 요인에 따라 분석하고 안정 대책에 집중하여 연구할 수도 있고, 절토 사면의 붕괴가 사면 완공 후의 표면 유실과 그에 따른 집중 호우가 발생될 때 유형에 따라 분석하고 그에 대한 대책에 대하여 논의할 수도 있으며, 연약지반의 기초와 암반 사면의 붕괴에 스프레이볼트를 이용할 때 변형률을 지반 공학적 문제에서 물리적 및 역학적 특성에 변형 거동 및 붕괴 예측에 적용할 수도 있다. 또한, 퇴적암층의 절토 사면 붕괴의 특성을 국지성 집중 호우와 태풍의 영향에 따른 국부적 사면 슬라이딩에 대해 보강 사례에 대해 전체 사면을 4소단과 7소단적 특성을 고려하여 보강 사례에 대해 연구할 수도 있고, 사면의 붕괴를 사면 지질과 기후관계 및 보강 대책에 대하여 연구할 수도 있으며, 공학적 측면에서 지층, 지질을 물리적 역학적으로 분석하여 사면 붕괴에 대하여 연구할 수도 있다.

[0023] 그러나, 이상과 같은 접근 방법들은 절토 사면의 붕괴에 대하여 연구하거나 이미 시공이 마무리된 상태의 사면에 대한 연구들에 해당한다. 일단 사면의 붕괴가 발생하면, 막대한 피해를 초래하므로 본 발명의 실시예들은 절토 사면을 시공하기 전에 가상적 시뮬레이션을 구현함으로써 사면에 분석의 정확성을 증가시키는 기술적 수단을 제안하고자 한다.

[0024] 이렇게 마련된 시뮬레이션을 통해 도로의 붕괴 피해 최소화를 위해 도로 절개 사면을 사전 조사하고 현장의 지



리직 정보와 안정성 해석, 붕괴 형태 등을 GIS 데이터베이스에 입력, 저장 및 관리함으로써 대책에 대한 집행의 효율성을 증가시킬 수 있을 것이다. 특히, 본 발명의 실시예들은 페트리 넷(Petri-Net:PN)을 활용하여 지리 정보에 기반한 절토 사면 모델링 방법을 제시하고자 한다.

[0025] 페트리 넷은, 특수한 선도에서 표현되는 동시 병행 시스템의 모델로서, 1960년대에 서독의 카를 페트리(Carl Petri)가 고안한 병렬 가동 시스템의 표현법으로 정보 흐름의 표현을 극도로 간소화한 것이다. 페트리 넷은, 장소(place), 전이(transition), 토큰(token) 등으로 구성되는 양분형 유향 그래프로 표시된다. 위치를 나타내는 토큰은 하나의 장소로부터 전이를 거쳐서 다른 장소로 움직이며, 이때 통과할 전이는 점화(fire)라고 한다. 전이의 각 입력 장소들에 적어도 하나의 입력 토큰이 있으면 그 전이는 활성화(enable)되고 임의의 활성화된 전이는 각 입력 장소로부터 하나의 토큰을 넣음으로써 점화할 수 있다. 즉, 하나의 전이는 모든 입력 장소가 적어도 하나의 토큰을 가졌을 때 가능한데, 전이가 가능해지면 점화될 수 있으며, 전이가 점화될 때 그 전이의 각 입력 장소는 하나의 토큰을 잃게 되고, 그 전이의 각 출력 장소는 하나의 토큰을 얻게 된다. 이러한 페트리 넷은 서버 시스템의 명세가 쉽고 회화적으로 기술되며, 사건 동작의 명세가 명확하며, 동시적이고 시간 순서적 명세 기능을 가지므로 공간 정보 시뮬레이션 기술에 적합하다.

[0026] 이하에서 기술되는 본 발명의 실시예들은 절토 사면 시뮬레이션을 위해 페트리 넷 모델을 기반으로 공간 요소를 추가하여 모델링 하고자 한다. 그리고 MS-Windows XP 기반 ArcGIS 시스템에서 JAVA언어를 이용하여 알고리즘을 구현하고, 절토 사면 시뮬레이션에서 가장 중요한 요소인 경사도 평가 알고리즘을 제안하고자 한다.

[0027] 절토 사면의 본질적 특성은 사면의 경사도이다. 사면 붕괴는 지질, 토질 조건, 지형 및 강우 등은 사면 경사도와 연관되어 진다. 지리 공간 정보는 수치 지형도에 공간 속성이 포함되어 경사도의 3D 분석이 가능하다. 따라서, 본 발명의 실시예들은 절토 사면 GIS 시뮬레이션을 위한 경사도 구현에 있어서 모델링 사용 방법을 제시하고자 한다.

[0028] 이하에서는, 도면을 참조하여 상기된 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명의 실시예들을 구체적으로 설명한다. 다만, 하기의 설명 및 첨부된 도면에서 본 발명의 요지를 흐릴 수 있는 공지 기능 또는 구성에 대한 상세한 설명은 생략한다. 또한, 도면 전체에 걸쳐 동일한 구성 요소들은 가능한 한 동일한 명칭 및 도면 부호로 나타내고 있음에 유의하여야 한다.

[0029] 절토 사면의 시뮬레이션 모델링을 위해 중요한 요소인 경사도 평가 방법이 기술된다. 모델링과 예시의 편의를 위해 이하에서는 경사도 평가를 위한 시뮬레이션을 위해 다음과 같이 조건을 제한한다고 가정하자. 다만, 본 발명의 실시예들은 이하에서 기술되는 기술적 수단의 본질이 유지되는 한, 이러한 편의적인 조건에 제약되지 않는다.

[0030] 첫째, 절삭 지형을 위한 기준점은 정상 of 최고도로 한다. 둘째, 절삭 지형은 기준점의 서쪽 지형에 대해 적용한다. 셋째, 절삭 지형은 단순 지형으로 절삭면은 복잡한 굴곡을 가지지 않는다. 넷째, 절삭 방향은 절삭면에 수직 방향을 기본으로 한다. 다섯째, 절삭면의 기울기는 역방향을 허용하지 않는다.

[0031] (1) 절토 사면 시뮬레이션 페트리 넷 모델링

[0032] 본 발명의 실시예들은 절토 사면의 시뮬레이션 모델을 구현하기 위해 페트리 넷 모델을 활용하였다. 페트리 넷은  $\langle P, T, F, M \rangle$ 의 튜플로 정의된다.  $P = p_1, p_2, \dots, p_n$  ( $n \geq 0$ )는 장소(place)의 유한 집합을 의미하고,  $T = t_1, t_2, \dots, t_m$  ( $m \geq 0$ )는 전이(transition)의 유한 집합을 나타낸다.  $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ 는 정방향의 관계함수의 정의역이다.  $M : P \rightarrow I$  ( $I = \{0, 1, 2\}$ )은 장소 토큰의 수를 의미한다. 본 발명의 실시예들은 페트리 넷 모델을 절토사면의 시뮬레이션 모델에 적용하여 도 1과 같이 제시하고자 한다.

[0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따라 절토 사면을 페트리 넷(Petri net)으로 표현한 도면으로서, 페트리 넷의 제어 구조를 기반으로 절토 사면이 GIS 시스템에서 시뮬레이션되는 과정을 모델링하고 있다. 이러한 모델링 과정은 적어도 하나의 프로세서(processor)를 이용하는 컴퓨터 시스템을 통해 구현될 수 있다.

[0034] 세부적으로 페트리 넷 모델은 장소와 전이로 구성되며, 조건과 사건을 기술하는 장소는 도 1에서 시작(start), 지형도, 절사면 하단부, 절사면 상단부, 절사면 및 종료(end) 등을 포함하고, 전이는 절사면 지형 선택, 절사 지점 선택, 절사 기울기 지정, 절사 방향 지정, 절개 반복, 절사면 표시 및 절개 완성 등을 포함한다. 페트리 넷은 동시적, 병행적 이행 관계의 표시를 이용해 모델링할 수 있으며, 절사 기울기 지정과 절사 방향 지정은 서

로 동시에 수행하는데 영향을 미치지 않고 진행되므로 도 1과 같이 병렬적으로 표현될 수 있다.

- [0035] 절토 사면의 시뮬레이션을 위해서 절토를 위한 지형이 선택되어야 한다. GIS 시스템에서 선택된 지형에 대해 절삭 지점과 방향은 도로나 건축물과 연관되어 있다. 절사면의 하단부가 결정되면 절사되는 방향과 기울기가 지정되고 이것은 절사면의 상단부를 결정짓는 요소가 된다. 첫 번째 절사 면이 결정되면, 첫 번째 소단부가 마련된다. 그러면, 다음 고도의 절토 사면의 하단부 결정은 첫 번째 소단부의 기울기에 따라 결정되고, 위쪽으로 다음 단계의 소단부는 제일 첫 번째 소단부의 결정 과정이 반복된다. 이러한 반복 과정을 통해 절토 사면 상단부가 절토를 위한 지역의 최고도에 이르러 종료되면 절토 사면 시뮬레이션이 완료된다.
- [0036] 도 1을 참조하면, 절토 사면 시뮬레이션을 위해 P1에서 시작하며, T1은 절토 사면 시뮬레이션을 위해 지형을 선택하는 과정이고, P2의 상태가 되며, T2에서 절사 지점이 선택되고, P3는 절사면 하단부 상태가 되며, T3는 절사면 기울기와 T4의 절사 방향 지정이 동시에 수행되고, 그 다음 절사면 상단부 P4의 상태가 되며, T6의 절사면 표시로 지형도의 절사면 하단부와 절사면 상단부가 표시되고, T5의 절개 반복에 의해 또 다른 절토 사면의 절사면 하단부와 상단부가 생성되고, 반복에 사용될 지형도가 존재하지 않으면 T7으로 절개를 완성하고 P6의 종료(end)상태가 된다.
- [0037] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 도 1의 페트리 넷을 모델링하는 방법을 도시한 흐름도로서, 다음과 같은 단계들을 포함한다.
- [0038] 210 단계에서, 적어도 하나의 프로세서를 구비하는 모델링 장치는 절토 사면에 대한 위치(LO), 고도(EL), 수치지도 레이어(LA), 기준점(PO), 방향(DI) 및 도형 자료(VX)를 포함하는 지리 정보를 입력받아 '시작', '지형도', '절사면 하단부', '절사면 상단부', '절사면' 및 '종료' 각각을 장소(place)(P)로 설정한다.
- [0039] 220 단계에서, 상기 모델링 장치는 각도( $T_{\theta}$ ), 고도( $T_H$ ), 지리 속성( $T_D$ ) 및 위치 속성( $T_L$ )을 포함하는 경사도 판단 정보를 입력받아 '절사면 지형 선택', '절사 지점 선택', '절사 기울기 지정', '절사 방향 지정', '절사면 표시' 및 '절개 완성' 각각을 전이(transition)(T)로 설정한다.
- [0040] 230 단계에서, 상기 모델링 장치는 상기 장소(P)와 전이(T)를 순차적으로 연결함으로써 상기 절토 사면을 페트리 넷으로 구성한다. 여기서, 상기 전이 중 상기 '절사 기울기 지정' 및 상기 '절사 방향 지정'은 상기 장소 중 상기 '절사면 하단부' 및 상기 '절사면 상단부' 사이에서 병렬적으로 연결된다.
- [0041] 또한, 240 단계에서, 상기 모델링 장치는 '절개 반복'의 전이를 통해 상기 장소 중 상기 '절사면'을 상기 '절사면 하단부'로 연결한다. 이러한 과정을 통해 상기 모델링 장치는 절사면의 고도에 따라 형성된 소단부로부터 최고도까지의 절토 사면을 반복적으로 구성하게 된다. 나아가, 본 발명의 실시예는, 상기 구성된 페트리 넷을 통해 상기 절토 사면에 포함되는 절사면의 하단부를 결정하고, 절사되는 방향과 기울기를 지정함으로써, 상기 절사면의 상단부를 결정할 수 있다.
- [0042] 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따라 절토 사면 시뮬레이션을 위한 서비스 알고리즘을 예시한 도면으로서, 도 3의 서비스 알고리즘의 특징을 기술하면 다음과 같다.
- [0043] 절토 사면 시뮬레이션을 위한 산출 결과 전체 집합(EC)은 절토된 후의 토사량(VOL), 절토 지형도(DIM), TIN, 절토 사면 경사도(SLP), 절토 사면 하단부(LDI), 절토 사면 높이(HIG)를 포함할 수 있다. 또한, 절토 사면 입력자료(P)는 위치(LO), 고도(EL), 수치지도 레이어(LA), 기준점(PO), 방향(DI), 도형자료(VX)를 포함할 수 있다. 절토 사면 경사도 판단 처리(T)에는 각도( $T_{\theta}$ ), 고도( $T_H$ ), 지리( $T_D$ ), 위치( $T_L$ )가 포함될 수 있다. 나아가, 절토 사면 경사도에 적용될 규칙 관계(R)는 절토 사면에 대한 위치(LO)와 공간 위치 속성( $T_L$ )의 관계 설정( $LOtoT_L$ ), 기준점(PO)과 공간 위치 속성( $T_L$ )의 관계 설정( $POtoT_L$ ), 고도 자료(EL)와 고도 속성( $T_H$ )의 관계 설정( $ELtoT_H$ ) 및 도형 자료(VX)와 공간 위치 속성( $T_L$ )의 관계 설정( $VXtoT_L$ )을 포함할 수 있다. F(x)는 특정 상태와 다음 상태 노드 사이의 관계를 나타낸다.
- [0044] 도 3의 알고리즘의 각 행을 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0045] L1에서 절토 사면 시뮬레이션으로 산출되는 결과의 전체 집합 EC에는 절토 된 후의 토사량인 VOL, 절토 지형도인 DIM, 3차원 모델을 위한 TIN, 절사면 경사도인 SLP, 절토 사면 하단부인 LDI와 절토 사면 높이인 HIG가 주어진다.
- [0046] L2에서 절토 사면 입력 자료 집합인 P에는 위치 값인 LO, 고도 값인 EL, 수치지도 레이어인 LA, 기준점인 PO,

방향인 DI, 도형 자료인 VX가 주어진다.

- [0047] L3에서 절토 사면에 대한 경사도 판단 처리를 위해 각도에 대해  $T_{\theta}$ , 고도에 대해  $T_H$ , 지리 속성에 대해  $T_D$ , 위치에 대해  $T_L$ 이 주어진다.
- [0048] L4와 L5을 통해 절토 사면 경사도에 적용될 규칙관계 R의 원소인  $L0toT_L$ 은 절토 사면에 대한 위치 L0와 공간 위치 속성  $T_L$ 과의 관계 설정이며,  $P0toT_L$ 은 기준점인 P0와 공간 위치 속성  $T_L$ 과의 관계 설정이고,  $ELtoT_H$ 는 고도 자료 EL과 공간 위치 속성  $T_L$ 과의 관계 설정이며,  $VXtoT_L$ 은 도형 자료 VX와 공간 위치 속성  $T_L$ 과의 관계 설정을 나타낸다.
- [0049] L6의  $F(x)$ 는 x에 대한 특성 상태와 다음 상태 노드 사이의 관계를 나타내고, L7는  $E(x)$ 는 절토 사면 시뮬레이션 서비스 알고리즘 함수이다.
- [0050] L8과 L9에서 하단 절사 지점 A가 존재하면  $L0toT_L$ 은 '1'로 설정되고, 하단 절사 지점 A가 존재하지 않으면 Empty가 된다. L10와 L11에서 하단 절사 지점 B가 존재하면  $L0toT_L$ 은 '1'로 설정되고, 하단 절사 지점 B가 존재하지 않으면 Empty가 된다. L12과 L13에서 하단 절사 모서리가 존재하면  $P0toT_D$ 는 '1'로 설정되고, 하단 절사 모서리가 존재하지 않으면 Empty가 된다. L14과 L15에서 하단 절사 모서리 중심이 존재하면  $L0_LctoT_L$ 이 '1'로 설정되고, 하단 절사 모서리 중심이 존재하지 않으면 Empty가 된다.
- [0051] L16와 L17에서 경사가 존재하면  $SLtoT_{\theta}$ 이 '1'로 설정되고, 경사가 존재하지 않으면 Empty가 된다. L18와 L19에서 방향이 존재하면  $DItoT_{\theta}$ 이 '1'로 설정되고, 방향이 존재하지 않으면 Empty가 된다.
- [0052] L20와 L21에서 상단 절사 지점 A이 존재하면  $L0_{HA}toT_L$ 이 '1'로 설정되고, 상단 절사 지점 A가 존재하지 않으면 Empty가 된다. L22와 L23에서 상단 절사 지점 B가 존재하면  $L0_{LC}toT_L$ 이 '1'로 설정되고, 상단 절사 지점 B가 존재하지 않으면 Empty가 된다. L24와 L25에서 상단 절사 모서리가 존재하면  $L0_{LC}toT_L$ 이 '1'로 설정되고, 상단 절사 모서리가 존재하지 않으면 Empty가 된다.
- [0053] L26, L27, L28, L29, L30에서  $L0_{LA}toT_L$ ,  $L0_{LB}toT_L$ ,  $P0_LtoT_D$ ,  $L0_{LC}toT_L$ ,  $SLtoT_D$ ,  $DItoT_{\theta}$ ,  $L0_{HA}toT_L$ ,  $L0_{HB}toT_L$ ,  $P0_{HT}toT_L$  등 모두가 '1'이면 절토 지형도 DIM이 존재하고,  $L0_{LA}toT_L$ ,  $L0_{LB}toT_L$ ,  $P0_LtoT_D$ ,  $L0_{LC}toT_L$ ,  $SLtoT_D$ ,  $DItoT_{\theta}$ ,  $L0_{HA}toT_L$ ,  $L0_{HB}toT_L$ ,  $P0_{HT}toT_L$  중에서 하나라도 '0'이면 Empty가 된다.
- [0054] L31에서 i번째 절토 지형도 DIM을 나타내며  $VX_L$ 은 절사면 하단 지형도 점(Vertex)의 집합이고,  $VX_H$ 는 절사면 상단 지형도의 점(Vertex)의 집합이며,  $EL_L$ 은 하단 지형도 고도 값이고,  $EL_H$ 는 상단 지형도 고도 값이다.
- [0055] 도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 도 3의 절토 사면 시뮬레이션 방법을 도시한 흐름도로서, 마찬가지로 적어도 하나의 프로세서를 구비한 시뮬레이션 장치를 통해 구현될 수 있다.
- [0056] 410 단계에서, 절토 사면은, 절토 사면에 대한 위치(L0), 고도(EL), 수치 지도 레이어(LA), 기준점(P0), 방향(DI) 및 도형 자료(VX)를 포함하는 지리 정보를 입력받아 '시작', '지형도', '절사면 하단부', '절사면 상단부', '절사면' 및 '종료' 각각을 장소(P)로 설정하고, 각도( $T_{\theta}$ ), 고도( $T_H$ ), 지리 속성( $T_D$ ) 및 위치 속성( $T_L$ )을 포함하는 경사도 판단 정보를 입력받아 '절사면 지형 선택', '절사 지점 선택', '절사 기울기 지정', '절사 방향 지정', '절사면 표시' 및 '절개 완성' 각각을 전이(T)로 설정하며, 상기 장소(P)와 전이(T)를 순차적으로 연결함으로써 페트리 넷으로 모델링된다.
- [0057] 420 단계에서, 상기 시뮬레이션 장치는 적어도 둘 이상의 하단 절사 지점의 존재 여부, 상기 하단 절사 지점에 따른 모서리의 존재 여부 및 상기 하단 절사 지점 모서리의 중심이 존재하는지 여부를 검사한다.
- [0058] 430 단계에서, 상기 시뮬레이션 장치는 상기 하단 절사 지점 모서리에 기초한 경사의 존재 여부 및 절토 사면의 방향이 존재하는지 여부를 검사한다.
- [0059] 440 단계에서, 상기 시뮬레이션 장치는 적어도 둘 이상의 상단 절사 지점의 존재 여부 및 상기 상단 절사 지점에 따른 모서리의 존재 여부를 검사한다.

- [0060] 450 단계에서, 상기 시뮬레이션 장치는 이상의 검사 결과가 모두 참(true)인 경우, 상기 절토 사면에 대한 절토 지형도(DIM)를 생성한다. 이 때, 절토 지형도(DIM)는, 절사면 하단 지형도를 구성하는 복수 개의 점(vertex)( $VX_L$ ), 상기 절사면 하단 지형도의 고도 값( $EL_L$ ), 절사면 상단 지형도를 구성하는 복수 개의 점( $VX_H$ ) 및 상기 절사면 상단 지형도의 고도 값( $EL_H$ )을 포함할 수 있다.
- [0061] 나아가, 도 4의 실시예는, 상기 450 단계를 통해 생성된 절토 지형도(DIM)에 기초하여, 절토된 후의 토사량(VOL), 3차원 모델을 위한 불규칙 삼각망(triangle irregular network)(TIN), 절토 사면 경사도(SLP), 절토 사면 하단부(LDI) 또는 절토 사면 높이(HIG) 중 적어도 하나를 출력하는 것이 가능하다.
- [0062] 도 5a 및 도 5b는 본 발명의 다른 실시예에 따른 시뮬레이션 방법에서 절토 사면의 경사도를 평가하는 과정을 설명하기 위한 도면으로서, 도 3의 서비스 알고리즘에 기반하여 도출한 절토 사면 시뮬레이션(E(x)) 방법을 제안하고 있다.
- [0063] 앞서 도 3의 알고리즘을 해석한 바와 같이, "E(x)= if 하단 절사 지점 A ≠ Null then '1'LOtoT<sub>L</sub> else empty"라는 표현은 하단 절사 지점 A가 존재하면 LOtoT<sub>L</sub>은 '1'로 설정됨을 의미하며, 절토 사면 소단(DIM<sub>i</sub>)은 LO<sub>LA</sub>toT<sub>L</sub>, LO<sub>LB</sub>toT<sub>L</sub>, PO<sub>L</sub>toT<sub>D</sub>, LO<sub>AB</sub>toT<sub>L</sub>, SLtoT<sub>D</sub>, DItoT<sub>D</sub>, LO<sub>HA</sub>toT<sub>L</sub>, LO<sub>HB</sub>toT<sub>L</sub> 및 PO<sub>H</sub>toT<sub>D</sub>가 모두 '1'로 설정되어 DIM<sub>i</sub> => "절토 사면 지형도", {<(VX<sub>L</sub>, EL<sub>L</sub>), (VX<sub>H</sub>, EL<sub>H</sub>)>} > 의 절토 사면 소단을 서비스하게 된다. 여기서, (VX<sub>L</sub>, EL<sub>L</sub>)과 (VX<sub>H</sub>, EL<sub>H</sub>)는 각각 절토 사면 하단 도형 정보와 상단 절토 사면 정보를 나타낸다.
- [0064] 도 5a에서 절토 사면 하단 지점은 식 1) 및 식 2)의 LO<sub>LA</sub>(x<sub>LA</sub>, y<sub>LA</sub>, z<sub>LA</sub>)와 LO<sub>LB</sub>(x<sub>LB</sub>, y<sub>LB</sub>, z<sub>LB</sub>)이고,  $PO_L = \left( \overline{LO_{LA}LO_{LB}} \right)$ 은 하단 절사면 모서리이고, z<sub>LA</sub>와 z<sub>LB</sub>은 고도값이다. 도 5a에서 식 3)의 절토 사면 모서리 중심(LO<sub>LC</sub>)는 절토 사면 하단 모서리(PO<sub>L</sub>)의 1/2지점이고, 식 4) 및 식 5)는 절토 사면 상단 지점을 나타내며, 절토 사면의 방향은 절토 사면 모서리에 직각으로 설정되므로 절토 사면의 방향은  $\theta$ 가 된다.
- [0065] 즉, 하단 절사 지점 모서리의 중심은 하단 절사 지점 모서리의 1/2 지점이고, 절토 사면의 방향은 상기 절토 사면 모서리의 직각 방향이며, 하단 절사 지점 모서리는 두 개의 하단 절사 지점을 직선으로 연결하여 형성하는 것이 바람직하다. 또한, 하단 절사 지점 모서리에 수평하도록 상기 절토 지형도(DIM)를 구성하는 절사면 상단 지형도 상에 직선의 절사 선분을 생성하고, 생성된 절사 선분과 상기 상단 지형도가 만나는 두 지점을 직선으로 연결함으로써 상단 절사 모서리를 설정할 수 있다.
- [0066] 도 5b는 경사도의 평가를 도시하고 있다. 식 6)은 경사도를 산출하는 수학적식으로서, 절토 사면 하단 지점 LO<sub>LA</sub>에서 절토 사면 상단 지점(LO<sub>HA</sub>) 거리가  $PO_S = \left( \overline{LO_{LA}LO_{HA}} \right)$  로 표현될 때, 가장 가까울 때의 경사도( $\mu/v$ )가 식 7)의 최대 경사도(S<sub>0</sub>)이고, 가장 거리가 멀 때의 경사도가 식 8)의 최소 경사도(S<sub>n</sub>)가 된다.
- [0067] 즉, 하단 절사 모서리 상의 어느 한 점과 상단 모서리 상의 어느 한 점을 직선으로 연결함으로써 경사도를 산출할 수 있는데, 하단 절사 지점과 상단 절사 지점이 최단 거리를 형성할 경우의 경사도를 최대 경사도로 설정하고, 하단 절사 지점과 상단 절사 지점이 최장 거리를 형성할 경우의 경사도를 최소 경사도로 설정하는 것이 바람직하다.
- [0068] 한편, 본 발명의 실시예들은 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록 장치를 포함한다.
- [0069] 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피디스크, 광 데이터 저장장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현하는 것을 포함한다. 또한, 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어, 분산 방식으로 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 의하여 용이하게 추론될 수 있다.
- [0070] 도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 시뮬레이션 방법을 ArcGIS 시스템을 통해 구현하기 위한 클래스 계층 구조를 예시한 도면이다. 이상에서 본 발명의 실시예들은 절토 사면 시뮬레이션을 위해 페트리 넷을 이용하여 모



모델링하였으며, WindowXP 운영체제에서 ArcGIS 시스템에서 JAVA언어를 이용하여 시스템을 구현하였다.

- [0071] 본 시뮬레이션 시스템(CutSlopeSimulation System)은 상기 ArcGIS의 Geodata Object Mode 패키지 내의 Dataset 루트 클래스(10)로부터 상속되는 FeatureClass(Feature 클래스(15)를 포함한다.)를 이용하여 상기 절토 지형도에 관한 객체(feature)의 모양(shape)을 수정한다. 또한, 본 시뮬레이션 시스템은 상기 ArcGIS의 Carto Object Mode Layers 패키지 내의 Layer 루트 클래스(20)로부터 상속되는 FeatureLayerBase 클래스(25)를 이용하여 수정하고자 하는 객체(feature)를 선택한다. 또한, 본 시뮬레이션 시스템은 상기 ArcGIS의 Geometry Object Mode 패키지 내의 Geometry 루트 클래스(30)로부터 상속되는 Path 클래스(35)를 이용하여 상기 절토 사면의 상단과 하단을 나타내는 객체(path)를 생성한다.
- [0072] 나아가, 본 시뮬레이션 시스템(CutSlopeSimulation System)은 CutSlopeClass(45)을 이용하여 절사면 소단부를 구현하는 CutSlope 클래스를 포함한다. 이러한 CutSlope 클래스는, 경사도(slop), 소단면 하단(LowSide : FeatureClass), 소단면 상단(HighSide : FeatureClass) 및 방향(Direction : int)을 속성으로 가지며, 경사도 산출(ISlope()), 방향(IDirection()) 및 거리산출(IDistance())를 메소드(method)로 갖도록 구현될 수 있다.
- [0073] 도 7은 도 6의 ArcGIS 시스템을 통해 절토 사면 경사도 시뮬레이션을 수행하는 과정을 예시한 순차 다이어그램이다.
- [0074] 먼저, 사용자는 절토 사면 클래스(CutSlope)에게 사면 구현 시뮬레이션을 요구한다. 클래스 CutSlop는 경사도에 따라 고도값을 이용하여 앞서 제시한 방법에 따라 경사거리(Distance())를 산출한다. 다음으로, LowFeatureSelection() 메소드를 이용하여 절사면 하단부 객체(feature)를 선택하고, CreateReshapeLowPath() 메소드를 이용하여 상기 절사면 하단부 객체(feature)의 모양을 수정하기 위한 기준 객체(path)를 선택하며, 상기 생성된 기준 객체(reshapeLowPath) 및 ReshapeLowFeature() 메소드를 이용하여 절토 사면 하단부 객체(LowFeature)의 모양(shape)을 수정한다. 그런 다음, HighFeatureSelection() 메소드를 이용하여 절사면 상단부 객체(feature)를 선택하고, CreateReshapeHighPath() 메소드를 이용하여 상기 절사면 상단부 객체(feature)의 모양을 수정하기 위한 기준 객체(path)를 선택하며, 상기 생성된 기준 객체(reshapeHighPath) 및 ReshapeHighFeature() 메소드를 이용하여 절토 사면 상단부 객체(highFeature)의 모양(shape)을 수정한다. 마지막으로, 상기 절토 사면 상단과 하단의 객체(feature)가 수정된 후 RefreshDisplay() 메소드를 이용하여 화면을 갱신함으로써, 상기 절사면 소단면에 대한 시뮬레이션이 종료된다.
- [0075] 도 8은 본 발명의 실시예들을 이용하여 절토 사면 3D 시뮬레이션을 수행한 결과를 예시한 도면이다. 도 8에서, 오른쪽 윗 부분은 절토 사면을 측면으로 분석한 내용을 보이고, 오른쪽 아랫 부분은 ArcGIS의 CreateTin\_3d()메소드를 이용하여 TIN으로 3D를 보여주고 있다.
- [0076] 절토 사면에 대한 연구에 있어서 연구 시점의 결정은 경제적 측면에 있어서 많은 영향을 미친다. 절토 사면의 붕괴와 같은 문제는 사면 시공 후에 나타나며 원인의 규명을 위해 연구되는 경우와 사고가 발생하지 않았을 경우 사면의 안전성에 대하여 연구하는 것이다. 이 두 가지의 경우 모두 문제가 발견되었을 때는 이미 시공 후의 문제이므로 유지 보수를 위한 막대한 경제적 부담을 피할 수 없다.
- [0077] 상기된 본 발명의 실시예들에 따르면, 다양한 지리 정보를 활용하여 절토 사면을 페트리 넷으로 모델링하고 생성된 모델에 기반한 절토 사면 시뮬레이션을 수행함으로써 시공 전의 절토 사면에 대한 잠재적 위험을 예측할 수 있고, 절토 사면을 3차원 가상 공간 내에 표현함으로써 사용자가 절토 사면 공간을 보다 쉽게 이해할 수 있으며, 절토 사면의 핵심적 요소로 사면 경사도를 지목하고 다양한 지리 정보 및 명확하게 설계된 모델링에 기반하여 경사도를 산출함으로써 정확한 절토 사면 평가가 가능하다.
- [0078] 특히, 본 발명의 실시예들은 절토 사면의 3D 시뮬레이션을 위한 알고리즘의 입력 자료, 경사도 판단 처리 규칙, 산출 결과의 집합, 처리 절차를 명시적 기술하는 모델링을 통해 형식화함으로써 의미를 명확히 하였다. 절토 사면 시공 전 발생 될 수 있는 문제 등을 사전에 발견할 수 있으며, 3D 가상 공간에 절토 사면의 공간적 이해에 영향을 줄 수 있다. 절토 사면 시뮬레이션에서 하단부 설정에 따라 상단부가 결정되는데 경사도와 방향에 대한 평가가 이용되므로 지형도에서 고도에 따라 하단부와 상단부의 최단 경로 값으로 평가가 가능하다.
- [0079] 결론적으로, 상기된 본 발명의 실시예들이 채택하고 있는 절토 사면의 가상적인 시뮬레이션은 절토 사면 시공에 있어서 시행의 오류, 많은 시간, 인력 및 비용 등을 감소시킬 수 있고, GIS 정보의 이용을 통해 지리 공간적 관계에 있어서 지층의 물리적 특성과 암반층의 역학적 관계를 예측할 수 있게 하면서 시간과 비용을 절감시킬 수 있으며, 절토 사면의 지리 공간적 접근을 통해 공간 자료의 속성에 가중치와 지질적 특성 등을 예측 모델링에 적용할 수 있다.

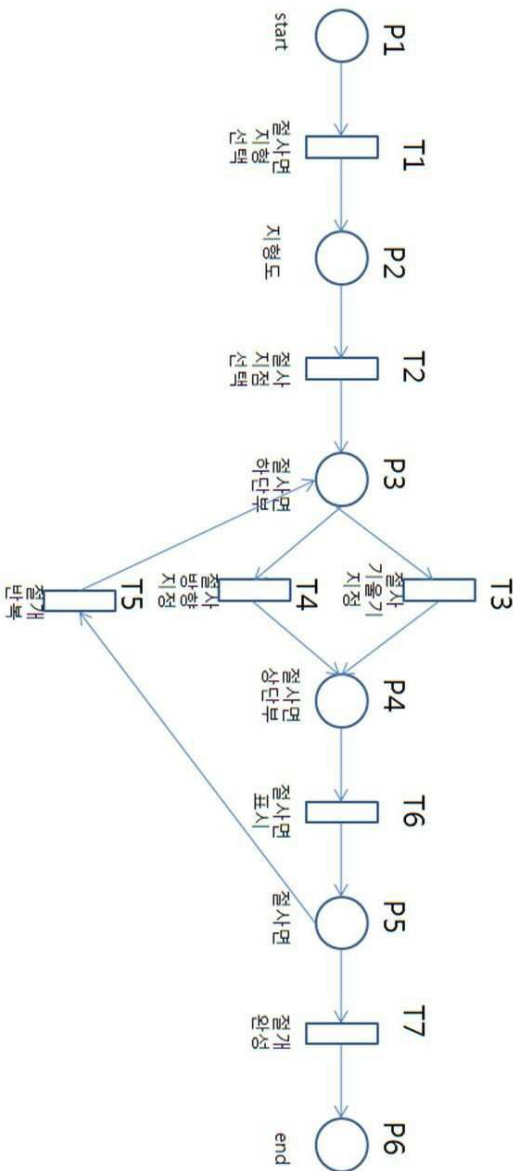
[0080] 이상에서 본 발명에 대하여 그 다양한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명에 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

**부호의 설명**

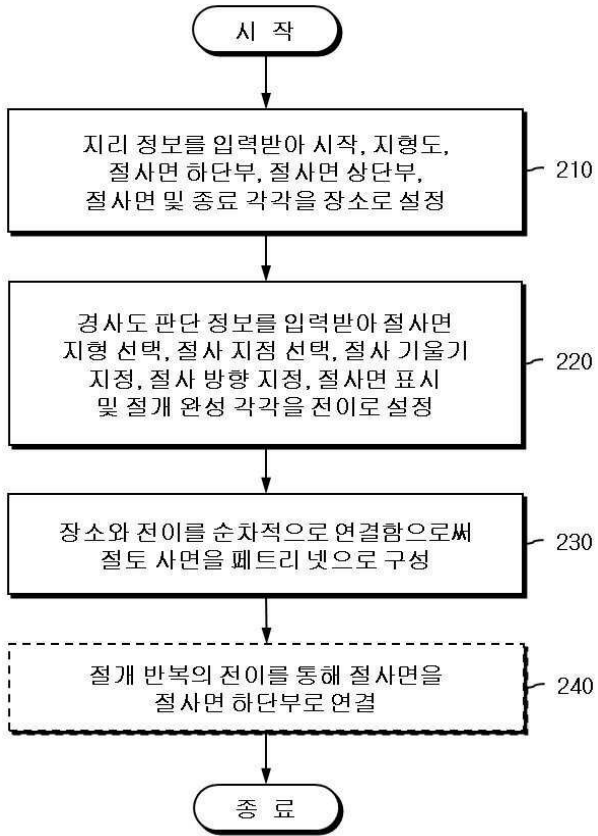
- |                            |                           |
|----------------------------|---------------------------|
| [0081] 10 : Dataset 루트 클래스 | 15 : Feature 클래스          |
| 20 : Layer 루트 클래스          | 25 : FeatureLayerBase 클래스 |
| 30 : Geometry 루트 클래스       | 35 : Path 클래스             |
| 45 : CutSlope 클래스          |                           |

**도면**

**도면1**



도면2



도면3

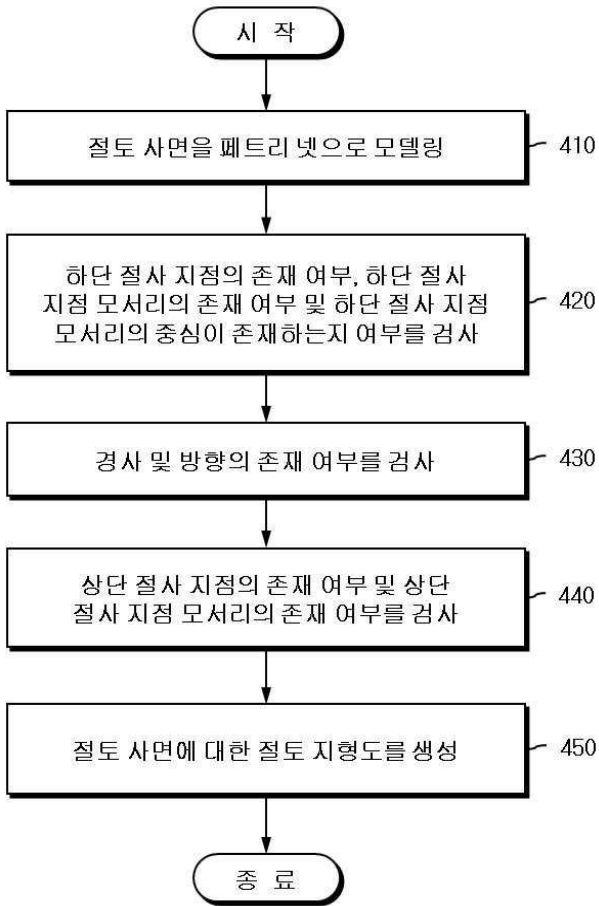
```

L1 EC= { VOL, DIM, TIN, SLP, LDI, HIG}
L2 P= { LO, EL, LA, PO, VX, DI}
L3 T= { T⊙, TH, TD, TL}
L4 R= { LOtoTL, ELtoTH, POtoTL, POtoTH,
L5     VXtoTL, VXtoTH, SLtoTL, ...
L6 F(x) = { source, dest }
L7 E(x)
L8 =if 하단절사지점A ≠ Null then
L9     1'LOLAtoTL else Empty //if x = 하단절사지점A
L10 =if 하단절사지점B ≠ Null then
L11     1'LOLBtoTL else Empty //if x = 하단절사지점B
L12 =if 하단절사모서리 ≠ Null then
L13     1'POLDtoTD else Empty //if x = 하단절사모서리
L14 =if 하단절사모서리중심 ≠ Null then
L15     1'LOLCtoTL else Empty //if x = 하단절사모서리중심
L16 =if 경사 ≠ Null then
L17     1'SLtoT⊙ else Empty //if x = 경사
L18 =if 방향 ≠ Null then
L19     1'DRtoT⊙ else Empty //if x = 방향
L20 =if 상단절사지점A ≠ Null then
L21     1'LOHAtoTL else Empty //if x = 상단절사지점A
L22 =if 상단절사지점B ≠ Null then
L23     1'LOHBtoTL else Empty //if x = 상단절사지점B
L24 =if 상단절사모서리 ≠ Null then
L25     1'POHDtoTL else Empty //if x = 상단절사모서리
L26 =if (1'LOLAtoTL and 1'LOLBtoTL and
L27     1'POLDtoTD and 1'LOLCtoTL and
L28     1'SLtoT⊙ and 1'DRtoT⊙ and
L29     1'LOHAtoTL then DIMi
L30     else Empty
L31 DIHi = < 절토사면경사지형도, { < (VXL, ELL), (VXH, ELH) > } >

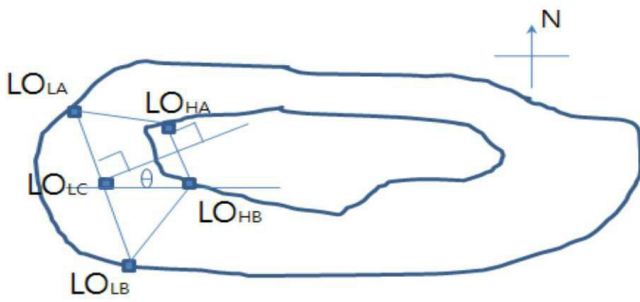
```



도면4

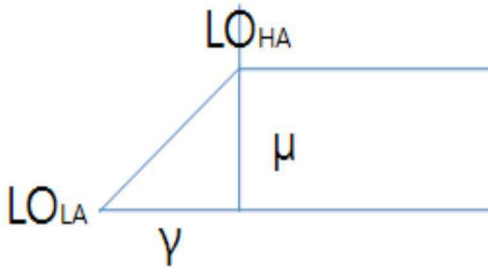


도면5a



- 식1)  $LO_{LA} = (x_{LA}, y_{LA}, z_{LA})$
- 식2)  $LO_{LB} = (x_{LB}, y_{LB}, z_{LB})$
- 식3)  $LO_{LC} = (x_{LC}, y_{LC}, z_{LC})$
- 식4)  $LO_{HA} = (x_{HA}, y_{HA}, z_{HA})$
- 식5)  $LO_{HB} = (x_{HB}, y_{HB}, z_{HB})$

도면5b

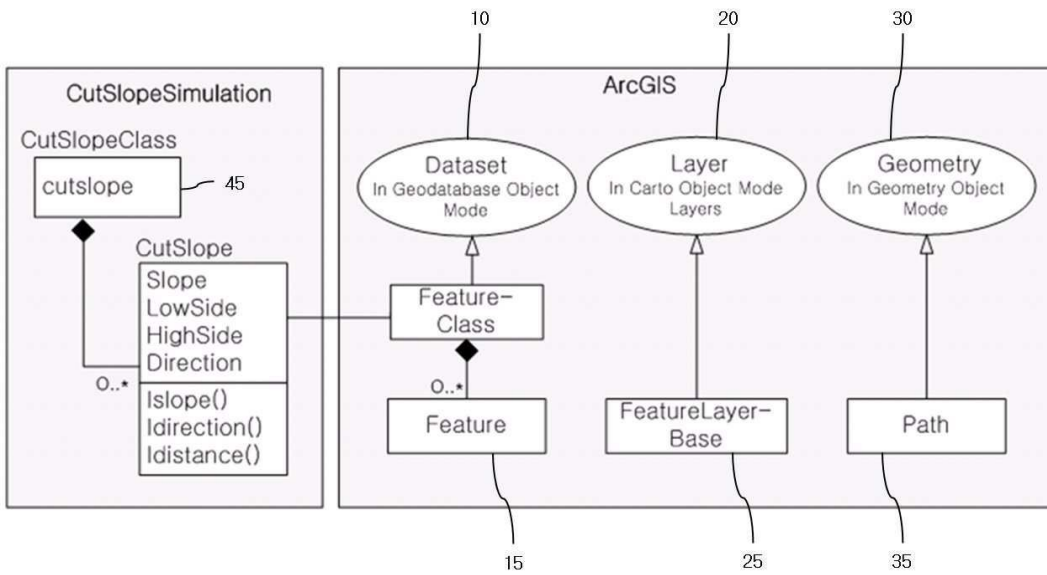


식6) 경사도( $S_i$ ) =  $\mu/\nu$

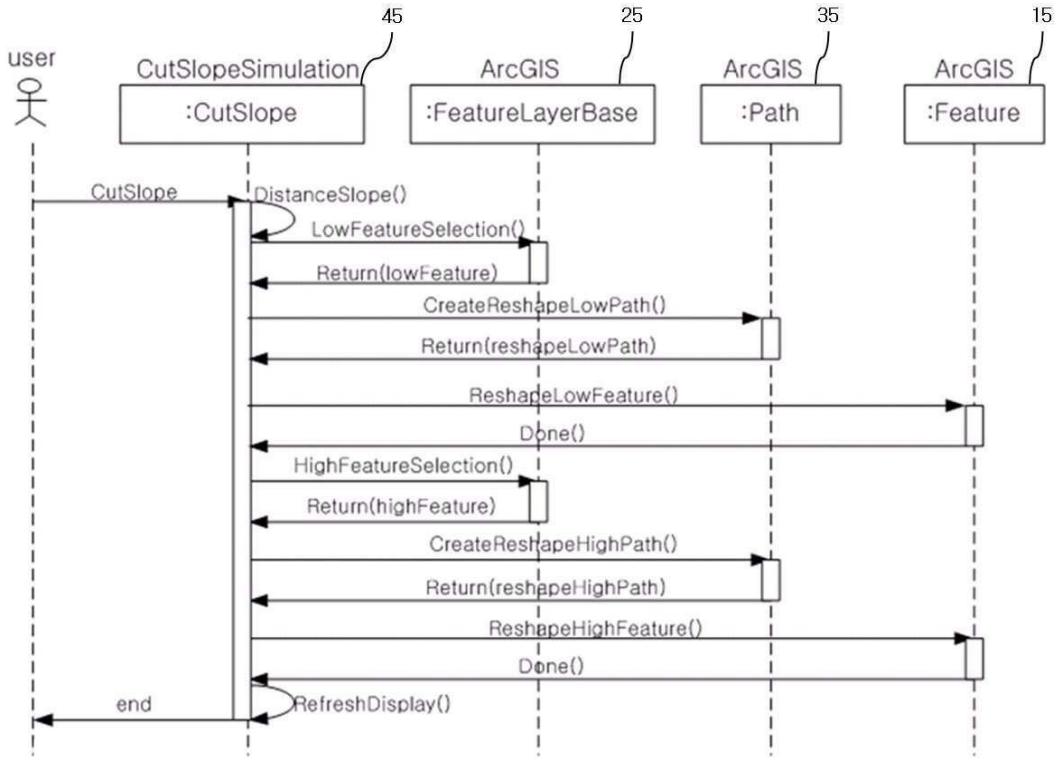
식7)  $\overline{LO_{LA}LO_{HA}}$  : 최단 거리 경사  $S_o$

식8)  $\overline{LO_{LA}LO_{HA}}$  : 최장 거리 경사  $S_n$

도면6



도면7



도면8

