

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2021.05.31
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(1625)
출 원 번 호 10-2021-0070041 (접수번호 1-1-2021-0625923-71)
(DAS접근코드FB6C)
출 원 인 명 칭 한양대학교 산학협력단(2-2004-011427-6)
대 리 인 성 명 정은열(9-2011-000164-6)
발 명 자 성 명 이승원 김민성 최요현 이제겸
발 명의 명 칭 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템 및 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.
※ 심사제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-지식재산제도

【서지사항】**【서류명】** 특허출원서**【참조번호】** 1625**【출원구분】** 특허출원**【출원인】****【명칭】** 한양대학교 산학협력단**【특허고객번호】** 2-2004-011427-6**【대리인】****【성명】** 정은열**【대리인번호】** 9-2011-000164-6**【포괄위임등록번호】** 2015-025535-1**【대리인】****【성명】** 김태훈**【대리인번호】** 9-2015-001018-7**【포괄위임등록번호】** 2019-077039-7**【발명의 국문명칭】** 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템 및 방법**【발명의 영문명칭】** SYSTEM AND METHOD FOR OPTIMAL SETTING OF HOLE BORING MACHINE**【발명자】****【성명】** 이승원**【성명의 영문표기】** Lee, Sean Seungwon**【주민등록번호】** 680511-1XXXXXX

【우편번호】 04780

【주소】 서울특별시 성동구 성수일로4길 26, 104동 302호

【발명자】

【성명】 김민성

【성명의 영문표기】 Kim, Min Seong

【주민등록번호】 890331-1XXXXXX

【우편번호】 04764

【주소】 서울특별시 성동구 살곶이6길 8, 205호

【발명자】

【성명】 최요현

【성명의 영문표기】 Choi, Yo Hyun

【주민등록번호】 890201-1XXXXXX

【우편번호】 04791

【주소】 서울특별시 성동구 상원10나길 9, 102호

【발명자】

【성명】 이제겸

【성명의 영문표기】 Lee, Je Kyum

【주민등록번호】 911208-1XXXXXX

【우편번호】 10522

【주소】 경기도 고양시 덕양구 무원로 17, 801동 1503호

【출원언어】 국어

【심사청구】 청구

【공지예외적용대상증명서류의 내용】**【공개형태】** 학회지**【공개일자】** 2020. 12. 14**【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】****【과제고유번호】** 1615011234**【과제번호】** 144416**【부처명】** 국토교통부**【과제관리(전문)기관명】** 국토교통과학기술진흥원**【연구사업명】** 국토교통기술사업화지원(R&D)**【연구과제명】** 실시간 모니터링과 빅데이터를 활용한 스마트 선대구경 장비 개발 및 사업화**【기여율】** 1/1**【과제수행기관명】** (주)성진이엔씨**【연구기간】** 2020.01.01 ~ 2020.12.31**【취지】** 위와 같이 특허청장에게 제출합니다.

대리인 정은열 (서명 또는 인)

대리인 김태훈 (서명 또는 인)

【수수료】**【출원료】** 0 면 46,000 원**【가산출원료】** 44 면 0 원**【우선권주장료】** 0 건 0 원**【심사청구료】** 12 항 671,000 원

【합계】	717,000 원
【감면사유】	전담조직(50%감면)[1]
【감면후 수수료】	358,500 원
【첨부서류】	1. 공지에외적용대상(신규성상실의예외, 출원시의특례)규정을 적용받기 위한 증명서류_1통

1 : 공지에외적용대상(신규성상실의예외, 출원시의특례)규정을_적용받기_위한_증명
서류

[PDF 파일 첨부](#)

【발명의 설명】

【발명의 명칭】

천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템 및 방법{SYSTEM AND METHOD FOR OPTIMAL SETTING OF HOLE BORING MACHINE}

【기술분야】

【0001】 본 발명은 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템 및 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 고 중량 해머비트와 룯드를 회전시켜 지면에 대해 수평에 가까운 방향으로 홀을 천공하는 천공장비의 룯드의 처짐 및 우향 현상을 보정하기 위해 딥러닝 기법을 활용하여 천공장비의 초기 룯드 세팅조건을 산정하는 기술에 관한 것이다.

【발명의 배경이 되는 기술】

【0003】 터널이나 지하공간 개발을 위한 암반 굴착 시 가장 경제적이고 효율이 좋은 발파 공법이 일반적으로 많이 사용되고 있다. 특히, 단일 자유면 특성을 가진 터널 구조물에서는 발파 시 발생하는 진동과 소음 등의 공해를 최소화하기 위해 심발 공법을 포함한 다양한 공법들이 적용 및 개발되고 있다. 그 중 MSP(Multi-setting smart-investigation of the ground and pre-large hole boring method) 공법은 지면에 대해 수평에 가까운 방향으로 터널 막장면에 홀을 천공해 대구경의 자유면을 추가로 확보하여 발파 진동을 저감시키는 심발 공법 중 하나이다. 하기

선행기술문헌의 특허문헌에 개시된 바와 같이, 대구경 해머비트를 사용하는 고성능 대구경 천공장비를 이용해 터널 굴진 방향으로 수십 미터(예를 들면, 약 50m)의 무장약공을 천공하여 암반 구속도를 완화시키고, 이를 자유면으로 활용해 발파진동을 저감시킨다. 수십 미터를 천공하기 위해서는 수 미터(예를 들면, 약 5m) 길이의 고중량 롯드(예를 들면, 약 0.8ton/개)를 추가 연결하고, 그 선단부에 고 중량 해머비트(예를 들면, 약 0.9ton)를 장착한 후, 롯드와 해머비트를 회전시킨다.

【0004】 이때, 천공 깊이가 증가할수록 중력과 회전의 영향으로 롯드의 하향 처짐과 우향 현상에 따라 경로 이탈이 동반된다. 1회 천공 시 약 50m를 천공하기 때문에, 일반적인 세팅을 통해 직선 형태로 천공할 경우, 천공 깊이가 증가함에 따라 고 중량 해머비트와 롯드가 중력의 영향을 받아 아래로 처지는 문제가 발생한다. 또한, 해머비트의 피스톤 왕복운동에 의한 암반 타격이 주 파괴 메커니즘인 MSP 공법은 최선단에 위치한 동일 지점을 타격하지 않도록 하고, 파쇄된 슬러지를 원활히 외부로 배출시키기 위해 해머비트와 롯드가 일정속도를 유지하며 시계 방향으로 회전시키기 때문에, 일반적인 세팅을 할 경우 롯드의 일방향 회전으로 인해 천공 진행방향이 목표 방향에 비해 점차 우향되는 문제가 발생한다.

【0005】 이에 고 중량 해머비트와 롯드를 회전시켜 장거리 홀을 천공하는 천공장비에서 발생하는 롯드의 처짐과 우향 현상 등을 보완하기 위한 방안이 절실히 요구되고 있다.

【선행기술문헌】**【특허문헌】**

【0007】 (특허문헌 0001) KR 10-1587276 B1

【발명의 내용】**【해결하고자 하는 과제】**

【0008】 본 발명은 상술한 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 일측면은 현장 정보, 천공장비 정보, 천공설계 정보, 시공결과 정보 등을 학습 인자로 천공장비의 최적 세팅조건을 산출하는 딥러닝 기법이 적용된 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템 및 방법을 제공하는 데 있다.

【과제의 해결 수단】

【0010】 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템은 선단부에 해머비트가 장착된 룯드가 초기 조준방향을 따라 정렬되고, 터널의 막장면을 향해 전진 회전하며 홀(hole)을 천공하는 천공장비의 상기 초기 조준방향을 산출하는 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템에 있어서, 상기 홀이 천공된 다수의 기수행 공사에서 각각 취득된 현장에 관한 정보, 상기 천공장비에 관한 정보, 상기 초기 조준방향에 관한 정보, 천공설계에 관한 정보, 및 천공결과에 관한 정보를 포함하는 완공 정보를 저장하는 데이터베이스부; 저장된 상기 완공 정보를 입력

으로 최적의 상기 초기 조준방향을 출력하도록, 인공 신경망 기반으로 학습된 학습 모델부; 상기 홀이 천공될 수행 예정 공사에서 취득된 현장에 관한 정보, 상기 천공장비에 관한 정보, 및 천공설계에 관한 정보를 포함하는 시공 정보를 수신하는 시공 정보 수신부; 및 수신된 상기 시공 정보를 상기 학습모델부에 적용하여, 상기 수행 예정 공사에 적용될 상기 초기 조준방향을 산출하는 세팅조건 최적화부;를 포함한다.

【0011】 또한, 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템에 있어서, 상기 현장에 관한 정보는, 천공되는 암반의 분류, 절리의 밀도 및 방향, 상기 암반의 반발계수, 상기 터널의 종단구배, 및 상기 터널의 곡선반경으로 이루어진 군으로부터 선택되는 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다.

【0012】 또한, 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템에 있어서, 상기 천공장비에 관한 정보는, 상기 천공장비의 제원, 상기 해머비트의 전방 마모율, 및 상기 해머비트의 외주면에 장착되는 튜빙의 나선형 날개 높이로 이루어진 군으로부터 선택되는 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다.

【0013】 또한, 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템에 있어서, 상기 초기 조준방향은, 상기 터널의 막장면을 YZ평면으로 하는 가상의 3차원 축 상에서, 상기 룯드와 XY평면 사이의 고각, 및 상기 룯드와 XZ평면 사이의 편각을 포함할 수 있다.

【0014】 또한, 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템에 있어서, 상기 천공설계에 관한 정보는, 상기 홀의 총 깊이, 상기 홀의 직경, 및 상기 터널의 막장면 상에서 상기 홀의 높이로 이루어진 군으로부터 선택되는 적어도 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.

【0015】 또한, 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템에 있어서, 상기 천공결과에 관한 정보는, 상기 홀의 실제 천공된 종단부 위치와 기설정된 최종목표 위치 사이의 이격거리를 포함할 수 있다.

【0016】 또한, 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템에 있어서, 상기 세팅조건 최적화부는, 상기 수행 예정 공사에서 천공될 상기 홀의 종단부 위치를 예측하는 홀 위치 예측부; 및 예측된 상기 홀의 종단부 위치와 기설정된 상기 홀의 최종목표 위치 사이의 이격거리가 최소가 되도록, 상기 초기 조준방향을 산출하는 초기 조준방향 산출부;를 포함할 수 있다.

【0017】 또한, 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템에 있어서, 상기 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템은, 사용자의 단말기에서 설치되는 앱(APP) 기반으로 작동될 수 있다.

【0018】 한편, 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 방법은 선단부에 해머비트가 장착된 룯드가 초기 조준방향을 따라 정렬되고, 터널의 막장면을 향해 전진 회전하며 홀(hole)을 천공하는 천공장비의 상기 초기 조준방향을, 적어도 하나의 컴퓨팅 장치를 이용해 산출하는 천공장비의 최적 세팅조건 산정

방법에 있어서, (a) 상기 홀이 천공된 다수의 기수행 공사에서 각각 취득된 현장에 관한 정보, 상기 천공장비에 관한 정보, 상기 초기 조준방향에 관한 정보, 천공설계에 관한 정보, 및 천공결과 정보를 포함하는 완공 정보가, 데이터베이스부에 저장되는 단계; (b) 저장된 상기 완공 정보를 입력으로 최적의 상기 초기 조준방향을 출력하도록, 인공 신경망 기반의 학습모델부가 학습되는 단계; (c) 상기 홀이 천공될 수행 예정 공사에서 취득된 현장에 관한 정보, 상기 천공장비에 관한 정보, 및 천공설계에 관한 정보를 포함하는 시공 정보가 시공 정보 수신부에 수신되는 단계; 및 (d) 세팅조건 최적화부가, 입력된 상기 시공 정보를 상기 학습모델부에 적용하여, 상기 수행 예정 공사에 적용될 상기 초기 조준방향을 산출하는 단계;를 포함한다.

【0019】 또한, 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 방법에 있어서, 상기 초기 조준방향은, 상기 터널의 막장면을 YZ평면으로 하는 가상의 3차원 축 상에서, 상기 룯드와 XY평면 사이의 고각, 및 상기 룯드와 XZ평면 사이의 편각을 포함할 수 있다.

【0020】 또한, 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 방법에 있어서, 상기 천공결과에 관한 정보는, 상기 홀의 실제 천공된 종단부 위치와 기설정된 최종목표 위치 사이의 이격거리를 포함할 수 있다.

【0021】 또한, 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 방법에 있어서, 상기 (d) 단계는, 상기 수행 예정 공사에서 천공될 상기 홀의 종단부 위치를 예측하는 단계; 및 예측된 상기 홀의 종단부 위치와 기설정된 상기 홀의 최

종목표 위치 사이의 이격거리가 최소가 되도록, 상기 초기 조준방향을 산출하는 단계;를 포함할 수 있다.

【0023】 본 발명의 특징 및 이점들은 첨부도면에 의거한 다음의 상세한 설명으로 더욱 명백해질 것이다.

【0024】 이에 앞서 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이고 사전적인 의미로 해석되어서는 아니되며, 발명자가 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

【발명의 효과】

【0026】 본 발명에 따르면, 다양한 조건에서의 시공이력, 전문가의 경험과 노하우를 데이터베이스화하고, 이를 딥러닝 기법에 적용하여 천공장비의 최적 세팅조건을 산출함으로써, 빠른 시간 내에 각 현장 상황별로 천공장비의 최적 초기 세팅조건을 제공하여, 기존 룯드의 하향 처짐 및 우향 현상을 보정할 수 있다.

【0027】 또한, 시공 경험이 많은 전문가의 판단 근거를 뒷받침할 수 있고, 전문가의 부재 시에도 합리적인 장비의 최적 초기 세팅조건을 산정할 수 있으며, 컴퓨터 기반 소프트웨어와 앱 기반 소프트웨어로 활용함으로써 사용 편의성을 증대시킬 수 있다.

【도면의 간단한 설명】

【0029】 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템의 구성도이다.

도 2는 천공장비를 개략적으로 도시한 측면도이다.

도 3은 도 2에 도시된 천공장비의 수평 초기 세팅을 통해 직선 형태로 천공할 경우 천공 깊이가 증가함에 따라 고 중량 룯드 및 해머비트가 중력의 영향을 받아 바닥부로 처지는 현상을 도시한 도면이다.

도 4는 도 2에 도시된 천공장비의 수평 초기 세팅을 통해 직선 행태로 천공할 경우, 룯드의 일방향 회전으로 인해 룯드가 목표 방향에서 점차 우향되는 현상을 도시한 도면이다.

도 5는 도 3에 도시된 룯드의 바닥부 처짐 현상을 보정하기 위한 천공장비의 변칙적인 상향 초기 세팅을 도시한 도면이다.

도 6은 도 4에 도시된 룯드의 우향 현상을 보정하기 위한 천공장비의 변칙적인 좌향 초기 세팅을 도시한 도면이다.

도 7은 실제 천공 이격오차 발생 사례를 촬영한 이미지로서, 도 7의 (a)는 하향 오차 발생 사례 이미지이고, 도 7의 (b)는 우상향 오차 발생 사례 이미지이다.

도 8은 도 2에 도시된 천공장비의 초기 조준방향을 도시한 도면이다.

도 9는 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템이 앱(APP) 기반으로 작동되는 상황을 도시한 도면이다.

도 10은 천공장비의 최적 세팅조건을 산정하기 위한 딥러닝 모델 구조를 도시한 도면이다.

【발명을 실시하기 위한 구체적인 내용】

【0030】 본 발명의 목적, 특정한 장점들 및 신규한 특징들은 첨부된 도면들과 연관되어지는 이하의 상세한 설명과 바람직한 실시예들로부터 더욱 명백해질 것이다. 본 명세서에서 각 도면의 구성요소들에 참조번호를 부가함에 있어서, 동일한 구성 요소들에 한해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 번호를 가지도록 하고 있음에 유의하여야 한다. 또한, "제1", "제2" 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위해 사용되는 것으로, 구성요소가 상기 용어들에 의해 제한되는 것은 아니다. 이하, 본 발명을 설명함에 있어서, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 관련된 공지 기술에 대한 상세한 설명은 생략한다.

【0031】 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시형태를 상세히 설명하기로 한다.

【0032】 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템의 구성도이고, 도 2는 천공장비를 개략적으로 도시한 측면도이다.

【0033】 도 1 내지 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 천공

장비의 최적 세팅조건 산정 시스템은 선단부에 해머비트(13)가 장착된 룯드(11)가 초기 조준방향을 따라 정렬되고, 터널의 막장면을 향해 전진 회전하며 홀(hole)을 천공하는 천공장비(10)의 초기 조준방향을 산출하는 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템에 있어서, 홀이 천공된 다수의 기수행 공사에서 각각 취득된 현장에 관한 정보, 천공장비(10)에 관한 정보, 초기 조준방향에 관한 정보, 천공설계에 관한 정보, 및 천공결과에 관한 정보를 포함하는 완공 정보를 저장하는 데이터베이스부(100), 저장된 완공 정보를 입력으로 최적의 초기 조준방향을 출력하도록, 인공 신경망 기반으로 학습된 학습모델부(200), 홀이 천공될 수행 예정 공사에서 취득된 현장에 관한 정보, 천공장비(10)에 관한 정보, 및 천공설계에 관한 정보를 포함하는 시공 정보를 수신하는 시공 정보 수신부(300), 및 수신된 시공 정보를 학습모델부(200)에 적용하여, 수행 예정 공사에 적용될 상기 초기 조준방향을 산출하는 세팅조건 최적화부(400)를 포함한다.

【0035】 본 발명은 홀을 천공하는 천공장비(10)의 초기 세팅조건을 산출하는 시스템에 관한 것이다. 발파를 이용한 터널이나 지하공간 굴착 시 발생하는 진동을 저감시키기 위해 대구경 무장약공(large uncharged hole)을 천공하여 이를 자유면으로 활용하는 대구경 천공 공법이 사용되고 있다. 이러한 대구경 천공 공법의 경우에 1회 천공 시 약 50m에 달하는 장거리 홀을 천공한다. 이와 같이 터널 막장면에 홀을 천공하기 위해, 룯드(11) 및 해머비트(13)를 구비하는 천공장비(10)가 사용된다. 룯드(11)는 수 미터의 길이를 가지는 직선형 부재로서 외주면에 길이방향

을 따라 나선형의 날개가 형성되고 천공장비(10)의 본체에 연결되어 지지되며, 해머비트(13)는 룯드(11)의 선단부에 장착되어 암반 등을 타격한다. 천공 전에, 세팅된 초기 조준방향에 따라 해머비트(13)가 장착된 룯드(11)를 터널의 막장면을 향해 정렬시키고, 룯드(11)와 해머비트(13)를 전진 회전시켜 암반을 굴착한다.

【0036】 여기서, 다수의 룯드(11)를 길이방향으로 추가 연결하여, 수십 미터의 장거리 홀을 천공할 수 있다. 다만, 룯드(11) 및 해머비트(13)는 고 중량이고, 장거리 홀을 천공하기 위해 다수 개의 룯드(11)가 연결되어 회전하기 때문에, 중력과 회전의 영향으로 룯드(11)의 하향 처짐과 우향 현상이 발생할 수 있다. 이하에서 이에 대해 자세히 설명한다.

【0037】 도 3은 도 2에 도시된 천공장비(10)의 수평 초기 세팅을 통해 직선 형태로 천공할 경우 천공 깊이가 증가함에 따라 고 중량 룯드(11) 및 해머비트(13)가 중력의 영향을 받아 바닥부로 처지는 현상을 도시한 도면이다. 도 3을 참고로, 지면에 대해 수평으로 룯드(11)가 향하도록 초기 조준방향을 세팅한 후, 룯드(11)를 직진 회전시키면서 홀을 천공하게 되면, 천공 깊이가 증가함에 따라 고 중량의 해머비트(13)와 서로 연결된 룯드(11)가 중력의 영향을 받아 바닥부로 처지면서, 천공 허용 범위를 이탈하는 문제가 발생한다.

【0038】 도 4는 도 2에 도시된 천공장비(10)의 수평 초기 세팅을 통해 직선 행태로 천공할 경우, 룯드(11)의 일방향 회전으로 인해 룯드(11)가 목표 방향에서 점차 우향되는 현상을 도시한 도면이다. 도 4를 참고로, 해머비트(13)의 암반 타격을 통해 암반을 굴착하는 경우 해머비트(13)가 동일 지점을 타격하지 않고 파쇄된

슬리지를 외부로 배출하기 위해 해머비트(13)와 룯드(11)가 일정속도를 유지하며 시계방향으로 회전하게 되는데, 터널의 막장면에 수직으로 룯드(11)가 향하도록 초기 조준방향을 세팅하고 직진 회전시키면, 룯드(11)의 일방향 회전으로 인해 천공 진행방향이 목표 방향보다 우향되어 천공 허용 범위를 벗어나게 된다.

【0039】 이러한 룯드(11)의 하향(바닥부) 처짐 및 우향 현상은 재시공으로 인한 공기의 증가와 경제적 손실을 발생시키므로, 이를 보정하기 위한 방안으로서 초기 조준방향의 변칙적인 세팅 방법을 고려할 수 있다. 도 5는 도 3에 도시된 룯드의 바닥부 처짐 현상을 보정하기 위한 천공장비의 변칙적인 상향 초기 세팅을 도시한 도면으로서, 도 5와 같이 초기에 룯드(11)를 상향으로 조준하여 전진 회전시킴으로써, 하향 처짐이 발생하더라도 천공 허용범위 내에서 장거리 홀을 형성할 수 있다.

【0040】 도 6은 도 4에 도시된 룯드의 우향 현상을 보정하기 위한 천공장비의 변칙적인 좌향 초기 세팅을 도시한 도면이다. 도 6을 참고로, 초기에 룯드(11)를 좌향으로 조준함으로써, 룯드(11)의 우향 현상에 의해 장거리 홀이 천공 허용범위를 벗어나지 않게 제어할 수 있다.

【0041】 여기서, 초기 조준방향에 따라 룯드(11)를 상하방향으로 정렬시키기 위해, 천공장비(10)에 구비된 아우트리거(outrigger, 17)를 사용할 수 있다. 아우트리거(17)는 천공장비(10)의 본체의 좌우에 장착되고, 지지대를 신장시켜 그 말단을 지면에 밀착시킴으로써, 천공장비(10)의 본체를 지면에 고정시키는 장치로서, 지지대의 신장 길이를 조정하여 룯드(11)의 상하방향 정렬을 제어할 수 있다. 이러

한 아우트리거(17)는 천공장비(10)의 본체의 선두와 후미 좌우에 각각 장착될 수 있다. 한편, 초기 조준방향에 따라 룯드(11)를 좌우방향으로 정렬시키기 위해서는, 천공장비(10)의 본체의 선두 내지 후미를 좌우로 회동시킬 수 있다. 다만, 상기 룯드(11)의 상하방향 내지 좌우방향 정렬이 반드시 아우트리거(17) 내지 본체의 좌우 회동을 통해서만 제어되는 것은 아니고, 천공장비(10)의 다양한 기능을 활용해서도 가능하다.

【0042】 한편, 룯드(11)의 하향 처짐 및 우향 휘어짐 현상을 보정하기 위한 천공장비(10)의 변칙적인 초기 세팅조건은 다양한 시행착오와 시공경험을 가진 전문가의 판단에 의존하게 된다. 따라서, 전문가의 숙련도와 경험에 따라 그 변칙적인 초기 세팅조건이 다를 수 밖에 없고, 전문가 부재 시 이를 대체할 수 있는 자료가 없어 즉각적으로 최적의 천공장비(10) 초기 세팅조건을 도출할 수 없다. 또한, 고 중량 해머비트(13)와 룯드(11)의 회전뿐만 아니라, 예측 불가능한 막장 전방 수십 미터 구간의 지질변화와 같은 환경적 요인, 천공장비(10)의 제원 및 상태, 장비 운전원의 숙련도 등이 예상 천공 경로를 이탈시키는 요인이 된다. 도 7은 실제 천공 이격오차 발생 사례를 촬영한 이미지로서, 도 7의 (a)는 하향 오차 발생 사례 이미지이고, 도 7의 (b)는 우상향 오차 발생 사례 이미지이다. 도 7을 참고로, 전술한 여러 가지 원인에 의해 실제 천공 지점과 목표 천공 지점 사이에 상하 및/또는 좌우 방향으로 천공 이격오차가 발생하게 된다. 이렇게 심발 허용 범위를 벗어나 심발공으로써의 기능을 수행하지 못하게 되는 경우 재천공이 필요하고 이에 따라 공기 지연 및 재시공으로 인한 경제적 손실 등이 야기될 수 있다.

【0043】 현장상황에 맞게 천공장비(10)의 최적 세팅조건을 산정하기 어렵다. 이에 본 발명은 천공경로 이탈을 발생시키는 요인을 선별하고, 딥러닝 기법을 적용하여 천공장비(10)의 최적 세팅조건을 산정하는 시스템을 제공하고자 한다.

【0044】 구체적으로, 본 발명의 실시예에 따른 천공장비(10)의 최적 세팅조건 산정 시스템은 전술한 천공장비(10)의 초기 조준방향을 산출하기 위하여, 데이터베이스부(100), 학습모델부(200), 시공 정보 수신부(300), 및 세팅조건 최적화부(400)를 포함한다.

【0046】 데이터베이스부(100)는 이미 천공장비(10)에 의해 홀이 천공된 기수행 공사에서 얻은 완공 정보를 저장하는 데이터 스토리지이다. 기수행 공사는 터널 등을 개발하기 위해 홀 천공이 완공된 공사이고, 완공 정보는 그 기수행 공사로부터 얻어지는 정보를 포함한다. 여기서, 기수행 공사는 다수 개이고, 완공 정보는 각각의 해당 공사별로 분류되어 취득될 수 있다. 완공 정보는 천공경로 이탈을 발생시키는 요인으로서, 현장에 관한 정보, 천공장비(10)에 관한 정보, 초기 조준방향에 관한 정보, 천공설계에 관한 정보, 및 천공결과에 관한 정보를 포함할 수 있다.

【0047】 현장에 관한 정보는 천공 대상이 되는 암반의 분류, 절리의 밀도 및 방향, 암반의 반발계수, 터널의 종단구배, 터널의 곡선반경으로 이루어진 군으로부터

터 선택되는 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다. 암반의 분류는 천공 대상 암반의 물리적 특성을 내포하고 있는 인자로서, 암반의 강도에 따라 룯드(11)의 처짐과 휘어짐의 정도가 상이하기 때문에, 암반 특성을 이해하기 위한 기초자료로 사용되는 RMR(rock mass rating), 전문가 평가 등을 통해 암반이 분류될 수 있다. 일례로, 천공 대상 암반은 극경암, 경암, 보통암, 연암, 풍화암 등 5개로 분류될 수 있다. 다만, 암반이 반드시 5개로 분류되어야 하는 것은 아니고, 그 이상 또는 이하로 등급화하여 분류되어도 무방하다. 절리의 밀도 및 방향은 터널의 막장면에 보이는 절리의 개수, 간격 등과 절리의 기울어진 정도를 나타낸다. 절리는 일반적으로 절리군을 형성하여 일정한 방향성을 띄는데, 절리군의 형성 방향에 따라 룯드(11)의 우향하는 정도가 달라질 수 있다. 암반의 반발계수는 암석의 강도를 추정할 수 있는 자료로서, 슈미트 해머(schmidt hammer) 등을 이용해 측정될 수 있다. 터널의 종단구배는 수평방향에 대해 터널 진행방향의 기울어진 경사로서, 종단부로 갈수록 상승하는 상향구배 또는 하강하는 하향구배로 나뉘 수 있고, % 또는 기울기 각도($^{\circ}$) 등으로 표시될 수 있다. 터널의 곡선반경은 좌우로 휘어진 곡선형 터널의 만곡된 정도를 나타낸다.

【0048】 천공장비(10)에 관한 정보는 천공장비(10)의 제원, 해머비트(13)의 전방 마모율, 및 튜빙(15)의 나선형 날개(16) 높이로 이루어진 군으로부터 선택되는 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다. 천공장비(10)의 제원은 천공장비(10)의 종류, 크기, 중량, 천공 메커니즘(타격식, 회전 타격식, 회전식 등), 룯드(11)의 개당 길이 및 중량, 해머비트(13)의 중량 등 천공장비(10)의 성능과 특성을 나타내는

지표로서, 이에 따라 실제 천공 지점과 목표 천공 지점 사이에 상하 및/또는 좌우 방향 이격오차가 달라질 수 있다. 해머비트(13)의 전방 마모율은 암반을 타격하는 헤드부, 및/또는 그 헤드부에 전방을 향해 도출 배열된 다수 개의 팁(14)의 마모 정도를 나타낸다. 해머비트(13)의 헤드부 및/또는 팁(14)이 마모되면 타격 부위가 균등하지 않아 천공 경로가 허용범위를 이탈할 수 있다. 튜빙(15)은 해머비트(13)의 외주면을 감싸는 장비로서, 과쇄되는 슬러지를 배출하기 위해 그 외주면에 나선형 날개(16)가 형성되는데, 그 날개(16)가 마모되게 되면 룯드(11)의 상하 처짐 내지 좌우 휘어짐이 발생할 수 있다.

【0049】 초기 조준방향은 터널의 막장면을 향해 초기에 세팅되는 룯드(11)의 정렬방향이다. 도 8은 도 2에 도시된 천공장비(10)의 초기 조준방향을 도시한 도면으로서, 이를 참고로 터널의 막장면을 YZ평면으로 하는 가상의 3차원 XYZ축 상에서, 룯드(11)가 X축과 교차될 때에, 룯드(11)와 XY평면 사이의 고각, 그리고 룯드(11)와 XZ평면 사이의 편각으로 나타낼 수 있다. 다만, 초기 조준방향이 반드시 상기 고각 및 편각으로 표시되어야 하는 것은 아니다. 일례로, 지면을 기준으로 기울어진 룯드(11)의 상하 각도, 터널의 막장면과 천공장비(10)의 본체 사이 각도, 터널의 막장면에 대해 수직한 가상의 수직선과 천공장비(10)의 본체 사이 각도, 상기 가상의 수직선 상에 천공장비(10)의 본체가 배열되었다가 후미 내지 선두가 회동한 거리 등으로 초기 조준방향을 표현할 수 있다.

【0050】 천공설계에 관한 정보는 홀의 총 깊이, 홀의 직경(D, 도 2 참조), 터널의 막장면 상에서 홀의 높이(H, 도 2 참조)로 이루어진 군으로부터 선택되는

적어도 어느 하나 이상을 포함할 수 있다. 홀의 총 깊이는 천공설계 상에서의 홀의 총 깊이를 나타내고, 천공이 깊어질수록 룯드(11)의 상하 처짐 내지 좌우 휘어짐 정도가 더 커진다. 홀의 직경은 룯드(11) 및 해머비트(13)의 직경과 관련되기 때문에, 홀의 직경이 커질수록 룯드(11) 및 해머비트가 대형화되고 중량이 커져 룯드(11)의 처짐 등이 쉽게 발생할 수 있다. 홀의 높이는 룯드(11)의 초기 높이에 대응되므로, 천공장비(10)의 세팅에 영향을 미칠 수 있다.

【0051】 천공결과에 관한 정보는 실제 천공된 홀의 종단부 위치와 기설정된 최종목표 위치 사이의 이격거리, 즉 실제 천공 지점과 목표 천공 지점 사이의 이격거리를 포함할 수 있다. 홀의 최종목표 위치는 천공설계 시에 설정될 수 있다. 일 실시예로, 수십 미터에 달하는 홀을 천공한 다음에, 1회 발파 당 수 미터(예를 들어, 1 ~ 2m)씩 막장을 발파 굴착하면서, 실제 천공된 홀의 종단부 위치를 확인하고, 기설정된 최종목표 위치 사이의 이격거리를 측정할 수 있다.

【0053】 학습모델부(200)는 인공 신경망 기반의 딥러닝 알고리즘을 이용하여, 데이터베이스부(100)에 저장된 완공 정보를 입력으로 최적의 초기 조준 방향을 출력한다. 학습모델부(200)에 적용되는 신경망은 입력 레이어(Input layer), 출력 레이어(Output layer), 및 두 레이어 사이에 존재하는 다수의 은닉 레이어(Hidden layer)로 구성되며, 인접한 두 레이어 간에 존재하는 노드들의 연결 강도를 가중치라는 값을 이용하여 나타낸다. 입력 레이어와 은닉 레이어에서의 계산을 거쳐 최종적으로 출력 레이어에서 추론값을 도출해내게 되는데, 추론값과 실

제값의 차이인 오차를 계산하고 오차를 최소화하는 방향으로 가중치를 수정하게 된다. 이 과정을 모든 데이터셋에 대해 반복적으로 수행하고, 오차가 일정값 이하로 수렴할 경우 학습을 완료하게 된다. 학습모델부(200)는 데이터베이스부(100)에 저장된 완공 정보를 학습 데이터로 사용하여 학습된다. 여기서, 학습 데이터를 과하게 학습하는 경우 학습 데이터에 대해서는 높은 정확도를 나타내지만, 실제 데이터 적용 시에는 성능이 떨어지는 과적합 현상이 발생할 수 있다. 과적합의 원인은 여러 가지가 있으나, 대표적으로 학습에 사용된 데이터의 양이 적을 경우 과적합이 발생하기 쉽다. 최근 개발된 고성능 대구경 천공장비(10)는 기존의 대구경 천공장비(10)에 비해 성능이 월등히 개선되어 기존 장비와의 초기 세팅 조건이 변동되므로 기존 천공장비(10)의 데이터들을 사용할 수 없으며, 공법 특성상 초기세팅 조건에 대한 데이터는 현장 당 하나씩밖에 획득할 수 없기 때문에 데이터가 비교적 부족하다고 판단되는 경우, 과적합을 방지하고 모델의 성능을 향상시킬 수 있는 Dropout, Early stopping, Pre-training 기법들을 사용할 수 있다. Dropout 기법은 학습이 진행되는 동안 무작위로 일정 비율만큼 일부 노드를 계산과정에서 생략하는 방법으로, 한 모델을 학습하는 만큼의 시간만 소요되면서도 생략되는 노드의 조합만큼 다양한 모델을 결합하는 효과를 얻을 수 있다. Early stopping 기법은 학습과 함께 검증오차를 지속적으로 확인하여 검증오차가 현 단계까지의 최소값보다 높아질 경우 학습을 중단하고 최소값의 검증오차를 산출한 경우의 모델을 최종 모델로 사용하는 기법으로, Dropout과 같은 복잡한 계산 없이 매우 간단한 방법만으로도 과적합을 효과적으로 방지할 수 있는 방법이다. Pre-training 기법은 딥러닝 학습

이전 초기 가중치를 산정할 때 랜덤 값을 부여하지 않고 사전에 학습된 다른 모델의 가중치를 가져와 사용하는 방법이다. 이 방법은 주로 학습이 완료된 모델을 원하는 데이터에 맞도록 정교화하기 위해 사용된다. 일실시예로, 데이터의 부족에 따른 과 적합 문제를 극복하기 위해 실제 데이터를 기반으로 더미 데이터를 생성하여 딥러닝 모델을 사전 학습시키고, 실제 데이터에 최적화된 모델을 확보하기 위해 사전 학습된 모델을 실제 데이터로 재학습하는 과정을 거칠 수 있다. 모델 생성 및 학습은 파이선 환경에서 Tensorflow 및 Keras를 사용하여 수행할 수 있다.

【0054】 학습모델부(200)는 최적의 초기 조준방향을 출력하도록 학습되는데, 최적의 초기 조준방향은 실제 천공 지점과 목표 천공 지점 사이의 이격거리가 최소가 되는 초기 조준방향일 수 있다.

【0056】 시공 정보 수신부(300)는, 홀이 천공될 수행 예정 공사에서 취득된 시공 정보를 수신한다. 시공 정보는 수행 예정 공사의 현장에 관한 정보, 천공장비(10)에 관한 정보, 천공설계에 관한 정보를 포함한다. 현장에 관한 정보, 천공장비(10)에 관한 정보, 및 천공설계에 관한 정보는 전술하였는바, 이에 대한 자세한 설명은 생략한다.

【0058】 세팅조건 최적화부(400)는 수행 예정 공사에 사용되는 천공장비(10)의 초기 조준방향을 산출한다. 이를 위해 세팅조건 최적화부(400)는 시공 정보

수신부(300)가 수신한 수행 예정 공사의 시공 정보를 학습모델부(200)에 적용한다.

【0059】 세팅조건 최적화부(400)는 수행 예정 공사의 시공 정보를 이용하여, 수행 예정 공사에서 천공될 홀의 종단부 위치를 예상하고, 기설정된 홀의 최종목표 위치와의 이격거리가 최소가 되는 천공장비(10)의 초기 조준방향을 산출할 수 있다. 이러한 기능 수행 위해, 세팅조건 최적화부(400)는 홀 위치 예측부, 및 초기 조준방향 산출부를 포함할 수 있다. 홀 위치 예측부는 수행 예정 공사의 시공 정보를 학습모델부(200)에 적용하여 홀의 종단부 위치를 예측할 수 있다. 학습모델부(200)는 기수행 공사의 완공 정보를 기반으로 학습되기 때문에, 그 완공 정보에 대응되는 시공 정보를 토대로 수행 예정 공사에서 천공될 홀의 종단부 위치를 예측할 수 있다. 이때, 예측되는 천공될 홀의 종단부 위치는 반드시 어느 한 지점에 특정되는 것이 아니라, 다수의 지점으로 정해질 수 있다. 초기 조준방향 산출부는 홀 위치 예측부에서 예측된 홀의 종단부 위치와 기설정된 홀의 최종목표 위치 사이의 이격거리가 최소가 되는 초기 조준방향을 산출한다.

【0061】 여기서, 학습모델부(200), 시공 정보 수신부(300), 및 세팅조건 최적화부(400)는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현될 수 있다. 즉, 소정의 하드웨어 내부에 디지털 또는 아날로그 회로 형태로 구현되거나, 별도의 칩 또는 모듈로 구현되어 그 하드웨어에 연결될 수 있으며, SRAM과 같은 내장 메모리나 플로피 디스크, 콤팩트 디스크, USB 등과 같은 외부 메모리에 소프트웨어를 저장하고 실행하는 방식으로 구현될 수 있다. 또한, 사용자에 의해 프로그램될 수 있는 형태로 구현될

수도 있다. 나아가, 소정의 프로세서에 통합될 수도 있다.

【0063】 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템이 앱(APP) 기반으로 작동되는 상황을 도시한 도면이다. 본 발명에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템은 컴퓨터 기반 소프트웨어로 활용되거나, 도 9와 같이 스마트폰이나 태블릿 PC 등과 같은 사용자의 모바일 디바이스에서 설치되는 앱 기반 소프트웨어로도 활용될 수 있다. 일례로, 데이터베이스부(100) 및 학습모델부(200)는 외부 서버에서 작동하고, 시공 정보 수신부(300) 및 세팅조건 최적화부(400)는 웹 또는 앱 기반 소프트웨어로 작동될 수 있다.

【0065】 종합적으로, 본 발명에 따르면 다양한 조건에서의 시공이력, 전문가의 경험과 노하우를 데이터베이스화하고, 이를 딥러닝 기법에 적용하여 천공장비(10)의 최적 세팅조건을 산출함으로써, 빠른 시간 내에 각 현장 상황별로 천공장비(10)의 최적 초기 세팅조건을 제공하여, 기존 룩드(11)의 하향 처짐 및 우향 현상 등을 보정할 수 있다. 또한, 시공 경험이 많은 전문가의 판단 근거를 뒷받침할 수 있고, 전문가의 부재 시에도 합리적인 장비의 최적 초기 세팅조건을 산정할 수 있으며, 컴퓨터 기반 소프트웨어와 앱 기반 소프트웨어로 활용함으로써 사용 편의성을 증대시킬 수 있다.

【0067】 이하에서는 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 방법에 대해 설명한다. 여기서, 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템에서 전술한 사항에 대해서는 설명을 생략하거나 간단하게 기술한다.

【0068】 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 방법은, 선단부에 해머비트가 장착된 룯드가 초기 조준방향을 따라 정렬되고, 터널의 막장면을 향해 전진 회전하며 홀(hole)을 천공하는 천공장비의 상기 초기 조준방향을, 적어도 하나의 컴퓨팅 장치를 이용해 산출하는 천공장비의 최적 세팅조건 산정 방법에 있어서, 홀이 천공된 다수의 기수행 공사에서 각각 취득된 현장에 관한 정보, 천공장비에 관한 정보, 초기 조준방향에 관한 정보, 천공설계에 관한 정보, 및 천공결과 정보를 포함하는 완공 정보가, 데이터베이스부에 저장되는 단계, 저장된 완공 정보를 입력으로 최적의 초기 조준방향을 출력하도록, 인공 신경망 기반의 학습모델부가 학습되는 단계, 홀이 천공될 수행 예정 공사에서 취득된 현장에 관한 정보, 천공장비에 관한 정보, 및 천공설계에 관한 정보를 포함하는 시공 정보가 시공 정보 수신부에 수신되는 단계, 및 세팅조건 최적화부(400)가, 입력된 시공 정보를 학습모델부에 적용하여, 수행 예정 공사에 적용될 초기 조준방향을 산출하는 단계를 포함한다.

【0070】 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 방법은 해머비트가 장착된 룯드를 전진 회전시켜 홀을 천공하는 천공장비의 초기

조준방향을, 컴퓨팅 장치를 이용해 산출하는 방법에 관한 것으로서, 완공 정보 저장 단계, 학습 단계, 시공 정보 수신 단계, 및 초기 조준방향 산출 단계를 포함한다.

【0071】 완공 정보 저장 단계에서 완공 정보가 데이터베이스부에 입력되어 저장된다. 완공 정보는 천공장비에 의해 홀이 천공된 기수행 완공 공사에서 얻은 정보로서, 다수 개의 기수행 공사별로 분류되어 취득될 수 있으며, 현장에 관한 정보, 천공장비에 관한 정보, 초기 조준방향에 관한 정보, 천공설계에 관한 정보, 및 천공결과에 관한 정보를 포함할 수 있다. 여기서, 현장에 관한 정보는 천공 대상이 되는 암반의 분류, 절리의 밀도 및 방향, 암반의 반발계수, 터널의 종단구배, 터널의 곡선반경으로 이루어진 군으로부터 선택되는 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다. 천공장비에 관한 정보는 천공장비의 제원, 해머비트의 전방 마모율, 및 튜빙의 나선형 날개 높이로 이루어진 군으로부터 선택되는 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다. 초기 조준방향은 터널의 막장면을 향해 초기에 세팅되는 룯드의 정렬방향으로서, 터널의 막장면을 YZ평면으로 하는 가상의 3차원 XYZ축 상에서, 룯드가 X축과 교차될 때에, 룯드와 XY평면 사이의 고각, 그리고 룯드와 XZ평면 사이의 편각으로 나타낼 수 있는데, 반드시 상기 고각 및 편각으로 표시되어야 하는 것은 아니고, 지면을 기준으로 기울어진 룯드의 상하 각도, 터널의 막장면과 천공장비의 본체 사이 각도, 터널의 막장면에 대해 수직한 가상의 수직선과 천공장비의 본체 사이 각도, 상기 가상의 수직선 상에 천공장비의 본체가 배열되었다가 후미 내지 선두가 회동한 거리 등으로도 표현할 수 있다. 천공설계에 관한 정보는 홀의 총 깊이, 홀

의 직경, 터널의 막장면 상에서 홀의 높이로 이루어진 군으로부터 선택되는 적어도 어느 하나 이상을 포함할 수 있다. 천공결과에 관한 정보는 실제 천공된 홀의 종단 부 위치와 기설정된 최종목표 위치 사이의 이격거리, 즉 실제 천공 지점과 목표 천공 지점 사이의 이격거리를 포함할 수 있다.

【0073】 학습단계에서는 인공 신경망 기반의 딥러닝 알고리즘을 이용하는 학습모델부를 학습시킨다. 여기서, 데이터베이스부에 저장된 완공 정보를 입력으로 최적의 초기 조준방향을 출력하도록 학습된다. 이때, 최적의 초기 조준방향은 실제 천공 지점과 목표 천공 지점 사이의 이격거리가 최소가 되는 초기 조준방향일 수 있다.

【0075】 시공 정보 수신 단계에서는 홀이 천공될 수행 예정 공사에서 취득된 시공 정보를 수신하고, 여기서 시공 정보는 수행 예정 공사의 현장에 관한 정보, 천공장비에 관한 정보, 천공설계에 관한 정보를 포함할 수 있는데, 이에 대해서는 완공 정보에서 전술하였는바, 자세한 설명은 생략한다.

【0077】 초기 조준방향 산출 단계에서는 세팅조건 최적화부는 수행 예정 공사에 사용되는 천공장비의 초기 조준방향을 산출한다. 여기서, 시공 정보 수신부가 수신한 수행 예정 공사의 시공 정보가 학습모델부에 적용될 수 있다. 일실시예로,

세팅조건 최적화부는 수행 예정 공사의 시공 정보를 이용하여, 수행 예정 공사에서 천공될 홀의 종단부 위치를 예측하고, 기설정된 홀의 최종목표 위치와의 이격거리가 최소가 되는 천공장비의 초기 조준방향을 산출할 수 있다.

【0079】 여기서, 학습모델부, 시공 정보 수신부(300), 및 세팅조건 최적화부는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되는 컴퓨팅 장치에 의해 작동될 수 있다. 즉, 소정의 하드웨어 내부에 디지털 또는 아날로그 회로 형태로 구현되거나, 별도의 칩 또는 모듈로 구현되어 그 하드웨어에 연결될 수 있으며, SRAM과 같은 내장 메모리나 플로피 디스크, 콤팩트 디스크, USB 등과 같은 외부 메모리에 소프트웨어를 저장하고 실행하는 방식으로 구현될 수 있다. 또한, 사용자에 의해 프로그램될 수 있는 형태로 구현될 수도 있다. 나아가, 소정의 프로세서에 통합될 수도 있다.

【0081】 이하에서는 구체적인 실시예를 들어 본 발명을 보다 상세하게 설명한다.

【0083】 실시예: 딥러닝 모델 설계

【0084】 1. MSP 공법

【0085】 터널 굴진 방향으로 약 50m의 무장약공을 천공하여 암반 구속도를 완화시키고, 이를 자유면으로 활용해 발파진동을 저감시키는 MSP(Multi-setting

smart-investigation of the ground and pre-large hole boring method) 공법에 사용되는 고성능 대구경 천공장비의 최적 세팅조건을 산정하기 위해 딥러닝 모델을 설계하였다. 상기 대구경 천공장비는 382mm의 대구경 해머비트를 롯드의 선단부에 장착하여 사용하는데, 해머비트의 중량은 0.9 ton, 롯드는 개당 5m 길이로 0.8 ton의 중량을 가진다. MSP 공법은 1회 천공 시 약 50m를 천공하기 때문에 일반적인 세팅을 통해 직선 형태로 천공할 경우, 천공 깊이가 증가함에 따라 고 중량의 해머비트와 롯드의 영향을 받아 바닥부로 처지고, 해머비트와 롯드의 시계방향 회전으로 인해 천공 진행방향이 목표 방향으로부터 점차 우향되는 문제가 발생한다. 이러한 문제 해결을 위해 다양한 조건에서의 시공이력, 전문가의 경험과 노하우를 데이터 베이스화하고, 이를 딥러닝 기법에 적용하여 천공장비의 상황별 최적 초기 세팅조건을 제안하는 딥러닝 모델을 개발하였다.

【0087】 2. 딥러닝 모델

【0088】 (1) 딥러닝 알고리즘

【0089】 딥러닝 모델은 입력 레이어(Input layer), 출력 레이어(Output layer), 및 두 레이어 사이에 존재하는 다수의 은닉 레이어(Hidden layer)로 구성되며, 인접한 두 레이어 간에 존재하는 노드들의 연결 강도를 가중치라는 값을 이용하여 나타내도록 하였다. 입력 레이어와 은닉 레이어에서의 계산을 거쳐 최종적으로 출력 레이어에서 추론값을 도출해내게 되는데, 추론값과 실제값의 차이인 오차를 계산하고 오차를 최소화하는 방향으로 가중치를 수정하도록 하였다. 이 과정

을 모든 데이터셋에 대해 반복적으로 수행하고, 오차가 일정값 이하로 수렴할 경우 학습을 완료하게 하였다.

【0091】 (2) 학습 인자

【0092】 딥러닝 모델의 학습인자를 선정하기 위해 이론적으로 시공 오류를 초래할 수 있는 변수들과 실제 고려되는 변수들을 모두 검토하였으며, 초기모델 개발을 위해 데이터의 중요도, 정확성, 획득 용이성 등을 고려하여 하기 [표 1]과 같이 4개의 입력변수와 2개의 출력변수를 선정하였다.

【0093】 [표 1]

【0094】

항목	구분	세부 내용
암반특성	Input 인자	천공 대상 암반 분류
천공장		현장 상황별 설계 천공장
종단구배		노선의 진행방향에서 상/하 방향으로 기울어진 정도
이격거리		종단부에서의 목표천공 위치 대비 실제 천공 결과의 이격거리
초기세팅각도	Output 인자	롯드의 처짐 현상을 보정하는 천공장비의 초기 상향세팅 각도
장비후미이동		롯드의 우향 현상을 보정하는 천공장비의 초기 후미이동 거리

【0096】 암반특성은 천공 대상 암반의 물리적 특성을 내포하고 있는 인자로, 암반의 강도에 따라 처짐과 휘어짐의 정도가 상이하기 때문에 암반 특성을 이해하기 위한 기초자료로 사용되는 다양한 암반분류 방법(RMR, Q-system, 건설부 표준품셈 등)으로부터 분류되는 암반 등급, 일례로 극경암, 경암, 보통암, 연암, 풍화암으로 분류하여 학습하였다. 천공장은 1회 천공 시 요구되는 총 천공 깊이로, 통상

적으로 50m를 천공하나 현장 상황에 따라 10 ~ 60m를 천공한 사례가 있으며, 총 천공장이 길어질수록 종단부의 목표 천공 위치에 도달시 키기 위한 상향각도가 커지기 때문에 룯드의 처짐을 보정하는 인자로 학습하였다. 종단구배는 노선 진행방향에서 상향 및 하향으로 기울어진 정도를 나타내는데, 이는 도로의 구분, 주변 지형 여건 등에 따라 달라지며, 하향구배일수록 중력의 영향을 많이 받기 때문에 룯드의 처짐을 보정하는 인자로 학습하였다. 이격거리는 종단부의 목표 천공 위치와 실제 천공 위치간의 이격 오차를 나타낸다. 전문가의 판단에 따른 상황별 초기세팅조건과 그에 따른 천공결과를 내포하고 있다. 출력변수는 대구경 천공장비의 최적 초기세팅조건을 산출하기 위해 초기세팅 시 사용되는 인자로, 룯드의 처짐을 보정하는 장비의 초기세팅각도와 룯드의 우향 현상을 보정하는 후미이동거리로 선정하였다. 국내에 위치한 3개의 지하철 터널 및 배수로 터널 공사현장 중 곡선반경이 없는 직선 노선을 대상으로 데이터들을 수집하여 학습을 진행하였다.

【0098】 (3) 과적합 방지 기법

【0099】 학습 데이터를 과하게 학습하는 경우 과적합 현상이 발생할 수 있다. 과적합의 원인은 여러 가지가 있으나, 대표적으로 학습에 사용된 데이터의 양이 적을 경우 과적합이 발생하기 쉽다. 최근 개발된 고성능 대구경 천공장비는 기존의 대구경 천공장비에 비해 성능이 월등히 개선되어 기존 장비와의 초기 세팅 조건이 변동되므로 기존 천공장비의 데이터들을 사용할 수 없으며, 공법 특성상 초기세팅 조건에 대한 데이터는 현장 당 하나씩밖에 획득할 수 없기 때문에 데이터가

비교적 부족하다고 판단되는 경우, 과적합을 방지하고 모델의 성능을 향상시킬 수 있는 Dropout, Early stopping, Pre-training 기법들을 사용할 수 있다. Dropout 기법은 학습이 진행되는 동안 무작위로 일정 비율만큼 일부 노드를 계산과정에서 생략하는 방법으로, 한 모델을 학습하는 만큼의 시간만 소요되면서도 생략되는 노드의 조합만큼 다양한 모델을 결합하는 효과를 얻을 수 있다. Early stopping 기법은 학습과 함께 검증오차를 지속적으로 확인하여 검증오차가 현 단계까지의 최소값보다 높아질 경우 학습을 중단하고 최소값의 검증오차를 산출한 경우의 모델을 최종 모델로 사용하는 기법으로, Dropout과 같은 복잡한 계산 없이 매우 간단한 방법만으로도 과적합을 효과적으로 방지할 수 있는 방법이다. Pre-training 기법은 딥러닝 학습 이전 초기 가중치를 산정할 때 랜덤 값을 부여하지 않고 사전에 학습된 다른 모델의 가중치를 가져와 사용하는 방법이다. 이 방법은 주로 학습이 완료된 모델을 원하는 데이터에 맞도록 정교화하기 위해 사용된다. 본 실시예에서는 데이터의 부족에 따른 과적합 문제를 극복하기 위해 실제 데이터를 기반으로 더미 데이터를 생성하여 딥러닝 모델을 사전 학습시키고, 실제 데이터에 최적화된 모델을 확보하기 위해 사전 학습된 모델을 실제 데이터로 재학습하는 과정을 거쳤다.

【0101】 (4) 모델 학습

【0102】 도 10은 천공장비의 최적 세팅조건을 산정하기 위한 딥러닝 모델 구조를 도시한 도면으로서, 모델 생성 및 학습은 파이선 환경에서 Tensorflow 및 Keras를 사용하여 수행하였으며, 딥러닝 모델 구조를 도 10에 나타냈다. 은닉 레이

어 개수는 3개, 각 레이어의 노드 수는 64개를 설정하여 모델을 구성하였다. 은닉 레이어의 활성화 함수는 Relu 함수를 사용하였고, 출력 레이어의 활성화 함수는 Linear 함수를 사용하였다. 손실함수는 MSE(Mean Square Error)를 사용하였고, 역전파 알고리즘은 ADAM을 사용하였다. Dropout은 출력 레이어를 제외한 모든 은닉 레이어 사이에 적용하였고, Dropout되는 비율은 0.5(50%)로 설정하였다. Early stopping 시 최저 오차를 판단하기 위한 유예 범위인 Patience 값을 200 Epoch로 설정하여 학습을 진행하였으며, 사전학습 시에도 동일하게 적용하였다.

【0104】 3. 결과 및 고찰

【0105】 각 기법들에 따른 효율을 비교분석하기 위해 아무 기법도 사용하지 않고 학습이 진행된 경우를 포함하여 총 5개의 case study를 수행하여 검증오차를 비교 분석하였다. 각 기법에 대한 일반적인 결과를 확인하기 위해 각 case별로 20회씩 학습을 수행하였다. 학습 결과를 확인하기 위해 절대오차의 평균값을 사용하는 MAE(Mean absolute error)를 사용하였으며, 하기 [수학식 1]로 계산된다.

【0106】 [수학식 1]

$$MAE = \sum_{n=1}^{N_{output}} \frac{|y - \bar{y}|}{N_{output}}$$

【0107】

【0108】 여기서, \hat{y} 는 모델에서 나온 추론값, y 는 실제값이며, $|\hat{y} - y|$ 는 두 값의 차이의 절대 오차이다. MAE를 통해 각 경우에 대한 학습 결과는 아래 [표 2]와 같다.

【0109】 [표 2]

【0110】

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
사용 기법	None	Dropout	Early stopping	Pre-training	Dropout Early stopping Pre-training
Trial 1	3.4442	2.7841	2.8631	2.1498	0.9445
Trial 2	2.5854	2.8072	2.7189	2.2257	1.6982
Trial 3	2.6836	2.2488	2.3051	1.2891	0.9803
Trial 4	2.3159	2.4716	2.2403	0.9123	0.9235
Trial 5	4.0135	3.9837	3.9503	1.9900	2.2026
Trial 6	2.8928	3.1055	2.9674	0.9540	1.1029
Trial 7	2.3117	2.5661	2.0693	2.2277	1.6152
Trial 8	2.6955	2.2772	2.3342	0.9410	1.1892
Trial 9	4.3988	4.8600	4.6363	2.5076	1.8862
Trial 10	3.1205	3.1618	2.6848	1.8328	1.0705
Trial 11	3.2882	3.3289	3.2228	1.9370	1.4391
Trial 12	3.8281	3.4044	3.3881	1.4869	1.4867
Trial 13	3.7198	3.4876	3.8669	1.4803	2.1597
Trial 14	3.4412	3.8155	3.1682	1.2171	1.4272
Trial 15	3.6359	3.7889	3.5359	2.3672	1.7781
Trial 16	3.0114	3.2926	3.0916	1.4035	1.1308
Trial 17	2.6657	2.2217	2.2007	1.8964	1.6567
Trial 18	3.1768	3.2518	3.2467	1.8501	1.4855
Trial 19	3.4463	3.6094	3.3811	2.2203	1.0360
Trial 20	2.7352	2.7171	2.3504	1.2781	0.8907
Mean	3.1705	3.1592	3.0111	1.7083	1.4052

【0112】 각 기법들을 단독으로 사용한 경우 아무 기법도 사용하지 않은 Case 1보다 전반적으로 더 나은 결과를 보였으며, Pre-training 만을 사용한 Case 4가 약 1.71로 가장 나은 결과를 보였다. Dropout 및 Early Stopping 기법만을 사용한

Case 2, 3은 경우에 따라서 Case 1과 비슷하거나 더 큰 오차가 발생하였다. Case 1은 오차값이 약 3.17로 가장 높게 나왔으며, 본 모델의 경우 각 기법들을 개별적으로 사용할 때보다 여러 기법을 조합해서 사용한 Case 5가 약 1.41로 가장 작은 오차를 보였다. 최종 도출된 오차는 장비의 초기세팅조건과 후미이동거리의 평균 오차를 의미한다. MSP 장비 세팅시 장비의 후미이동은 1cm 단위로, 세팅각도는 0.1° 단위로 조정하는데, 오차가 각 항목에서 동일하게 발생했다고 가정할 경우, Case 5의 평균 오차인 1.4는 후미이동에 있어서 비교적 양호하다고 판단될 수 있으나, 세밀하게 조정되는 세팅각도에 있어서는 비교적 큰 오차라고 판단된다. 50m 길이의 장거리를 천공하는 MSP 공법은 전체 천공구간에 대한 지질 특성을 전부 고려할 수 없는 한계가 있어 막장면의 암 판정에 따른 암질(강도) 정보만을 반영하여 천공되고 있다. 이는 천공 대상 암반의 전체 구간을 대표하는데 무리가 있으며, 막장 전방의 암반 특성에 따라 예상치 못한 이격오차를 발생시킨다. 그림 7의 (a)는 천공된 2공 중 1공이 목표 천공지점으로부터 종방향 이탈이 발생하여 상향 천공된 사례이며, (b)는 총 3공 중 1공이 횡방향으로 이탈한 사례를 보여주고 있다. 이와 같이 동일한 현장조건과 초기세팅으로 천공되었음에도 불구하고 막장 전방에 존재하는 절리, 파쇄대 등의 영향으로 예상 천공 경로를 이탈시켜 각기 다른 천공 결과가 발생될 수 있다. 이러한 이유들로 학습에 사용된 현장별 데이터들은 다양한 오차를 내포하고 있어 비교적 큰 오차를 발생시킨 것으로 판단된다. 또한, 학습 시 전체 데이터의 일부를 무작위로 추출하여 검증 데이터로 사용하게 되는데, 일반적인 경향을 대표할 수 있는 데이터들로 구성된 경우 좋은 결과를 도출할 확률이 높으나,

반대로 큰 이격 오차가 발생된 이상 데이터들이 포함된 경우에는 오차를 증가시킬 수 있다. 본 실시예에서는 딥러닝을 위한 학습 데이터의 수가 충분하지 않았으며, 중단부 이격 오차가 발생된 데이터들이 일부 포함되어 있어 비교적 큰 오차를 발생시킨 것으로 판단된다. 위 사례와 같이 막장 전방의 지질 변화에 기인하여 발생하는 이격 오차를 최소화하기 위해서는 전체 천공 구간에 걸친 암반 특성의 연속적인 변화를 파악하여 천공 시 반영하는 것이 중요하다. 향후 현장 상황별 지속적인 데이터 수집과 모니터링 데이터들의 학습을 통해 지속적으로 딥러닝 모델을 고도화하여 지질 변화에 따른 천공 경로 이탈에 대한 문제를 상당히 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

【0114】 본 발명을 구체적인 실시예를 통하여 상세히 설명하였으나, 이는 본 발명을 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상 내에서 당 분야의 통상의 지식을 가진 자에 의해 그 변형이나 개량이 가능함이 명백하다.

【0115】 본 발명의 단순한 변형 내지 변경은 모두 본 발명의 영역에 속한 것으로 본 발명의 구체적인 보호 범위는 첨부된 특허청구범위에 의하여 명확해질 것이다.

【부호의 설명】

【0117】 10: 천공장비

11: 콧드

13: 해머비트

14: 텃

15: 튜빙

16: 튜빙 날개

17: 아우트리거

100: 데이터베이스부

200: 학습모델부

300: 시공 정보 수신부

400: 세팅조건 최적화부

【청구범위】

【청구항 1】

선단부에 해머비트가 장착된 룯드가 초기 조준방향을 따라 정렬되고, 터널의 막장면을 향해 전진 회전하며 홀(hole)을 천공하는 천공장비의 상기 초기 조준방향을 산출하는 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템에 있어서,

상기 홀이 천공된 다수의 기수행 공사에서 각각 취득된 현장에 관한 정보, 상기 천공장비에 관한 정보, 상기 초기 조준방향에 관한 정보, 천공설계에 관한 정보, 및 천공결과에 관한 정보를 포함하는 완공 정보를 저장하는 데이터베이스부;

저장된 상기 완공 정보를 입력으로 최적의 상기 초기 조준방향을 출력하도록, 인공 신경망 기반으로 학습된 학습모델부;

상기 홀이 천공될 수행 예정 공사에서 취득된 현장에 관한 정보, 상기 천공장비에 관한 정보, 및 천공설계에 관한 정보를 포함하는 시공 정보를 수신하는 시공 정보 수신부; 및

수신된 상기 시공 정보를 상기 학습모델부에 적용하여, 상기 수행 예정 공사에 적용될 상기 초기 조준방향을 산출하는 세팅조건 최적화부;를 포함하는 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템.

【청구항 2】

청구항 1에 있어서,

상기 현장에 관한 정보는,

천공되는 암반의 분류, 절리의 밀도 및 방향, 상기 암반의 반발계수, 상기 터널의 종단구배, 및 상기 터널의 곡선반경으로 이루어진 군으로부터 선택되는 적어도 하나 이상을 포함하는 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템.

【청구항 3】

청구항 1에 있어서,

상기 천공장비에 관한 정보는,

상기 천공장비의 제원, 상기 해머비트의 전방 마모율, 및 상기 해머비트의 외주면에 장착되는 튜빙의 나선형 날개 높이로 이루어진 군으로부터 선택되는 적어도 하나 이상을 포함하는 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템.

【청구항 4】

청구항 1에 있어서,

상기 초기 조준방향은,

상기 터널의 막장면을 YZ평면으로 하는 가상의 3차원 축 상에서, 상기 룯드와 XY평면 사이의 고각, 및 상기 룯드와 XZ평면 사이의 편각을 포함하는 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템.

【청구항 5】

청구항 1에 있어서,

상기 천공설계에 관한 정보는,

상기 홀의 총 깊이, 상기 홀의 직경, 및 상기 터널의 막장면 상에서 상기 홀의 높이로 이루어진 군으로부터 선택되는 적어도 어느 하나 이상을 포함하는 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템.

【청구항 6】

청구항 1에 있어서,

상기 천공결과에 관한 정보는,

상기 홀의 실제 천공된 종단부 위치와 기설정된 최종목표 위치 사이의 이격거리를 포함하는 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템.

【청구항 7】

청구항 1에 있어서,

상기 세팅조건 최적화부는,

상기 수행 예정 공사에서 천공될 상기 홀의 종단부 위치를 예측하는 홀 위치 예측부; 및

예측된 상기 홀의 종단부 위치와 기설정된 상기 홀의 최종목표 위치 사이의

이격거리가 최소가 되도록, 상기 초기 조준방향을 산출하는 초기 조준방향 산출부;를 포함하는 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템.

【청구항 8】

청구항 1에 있어서,

상기 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템은,

사용자의 단말기에서 설치되는 앱(APP) 기반으로 작동되는 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템.

【청구항 9】

선단부에 해머비트가 장착된 룯드가 초기 조준방향을 따라 정렬되고, 터널의 막장면을 향해 전진 회전하며 홀(hole)을 천공하는 천공장비의 상기 초기 조준방향을, 적어도 하나의 컴퓨팅 장치를 이용해 산출하는 천공장비의 최적 세팅조건 산정 방법에 있어서,

(a) 상기 홀이 천공된 다수의 기수행 공사에서 각각 취득된 현장에 관한 정보, 상기 천공장비에 관한 정보, 상기 초기 조준방향에 관한 정보, 천공설계에 관한 정보, 및 천공결과 정보를 포함하는 완공 정보가, 데이터베이스부에 저장되는 단계;

(b) 저장된 상기 완공 정보를 입력으로 최적의 상기 초기 조준방향을 출력하

도록, 인공 신경망 기반의 학습모델부가 학습되는 단계;

(c) 상기 홀이 천공될 수행 예정 공사에서 취득된 현장에 관한 정보, 상기 천공장비에 관한 정보, 및 천공설계에 관한 정보를 포함하는 시공 정보가 시공 정보 수신부에 수신되는 단계; 및

(d) 세팅조건 최적화부가, 입력된 상기 시공 정보를 상기 학습모델부에 적용하여, 상기 수행 예정 공사에 적용될 상기 초기 조준방향을 산출하는 단계;를 포함하는 천공장비의 최적 세팅조건 산정 방법.

【청구항 10】

청구항 9에 있어서,

상기 초기 조준방향은,

상기 터널의 막장면을 YZ평면으로 하는 가상의 3차원 축 상에서, 상기 룯드와 XY평면 사이의 고각, 및 상기 룯드와 XZ평면 사이의 편각을 포함하는 천공장비의 최적 세팅조건 산정 방법.

【청구항 11】

청구항 9에 있어서,

상기 천공결과에 관한 정보는,

상기 홀의 실제 천공된 종단부 위치와 기설정된 최종목표 위치 사이의 이격

거리를 포함하는 천공장비의 최적 세팅조건 산정 방법.

【청구항 12】

청구항 9에 있어서,

상기 (d) 단계는,

상기 수행 예정 공사에서 천공될 상기 홀의 종단부 위치를 예측하는 단계;

및

예측된 상기 홀의 종단부 위치와 기설정된 상기 홀의 최종목표 위치 사이의 이격거리가 최소가 되도록, 상기 초기 조준방향을 산출하는 단계;를 포함하는 천공 장비의 최적 세팅조건 산정 방법.

【요약서】

【요약】

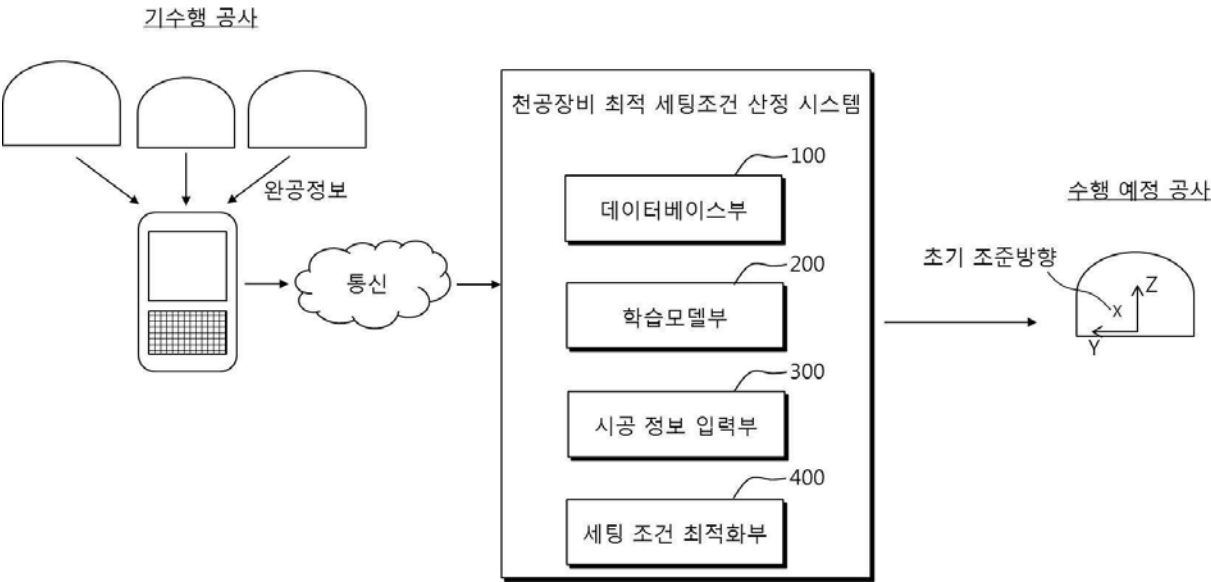
본 발명은 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템 및 방법에 관한 것으로, 본 발명의 실시예에 따른 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템은 선단부에 해머 비트(13)가 장착된 룯드(11)가 초기 조준방향을 따라 정렬되고, 터널의 막장면을 향해 전진 회전하며 홀(hole)을 천공하는 천공장비(10)의 초기 조준방향을 산출하는 천공장비의 최적 세팅조건 산정 시스템에 있어서, 홀이 천공된 다수의 기수행 공사에서 각각 취득된 현장에 관한 정보, 천공장비(10)에 관한 정보, 초기 조준방향에 관한 정보, 천공설계에 관한 정보, 및 천공결과에 관한 정보를 포함하는 완공 정보를 저장하는 데이터베이스부(100), 저장된 완공 정보를 입력으로 최적의 초기 조준방향을 출력하도록, 인공 신경망 기반으로 학습된 학습모델부(200), 홀이 천공될 수행 예정 공사에서 취득된 현장에 관한 정보, 천공장비(10)에 관한 정보, 및 천공설계에 관한 정보를 포함하는 시공 정보를 수신하는 시공 정보 수신부(300), 및 수신된 시공 정보를 학습모델부(200)에 적용하여, 수행 예정 공사에 적용될 상기 초기 조준방향을 산출하는 세팅조건 최적화부(400)를 포함한다.

【대표도】

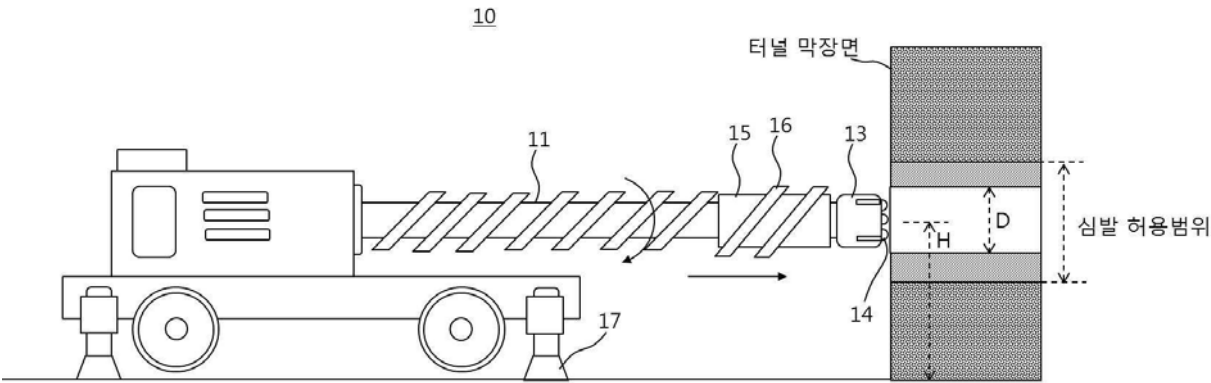
도 1

【도면】

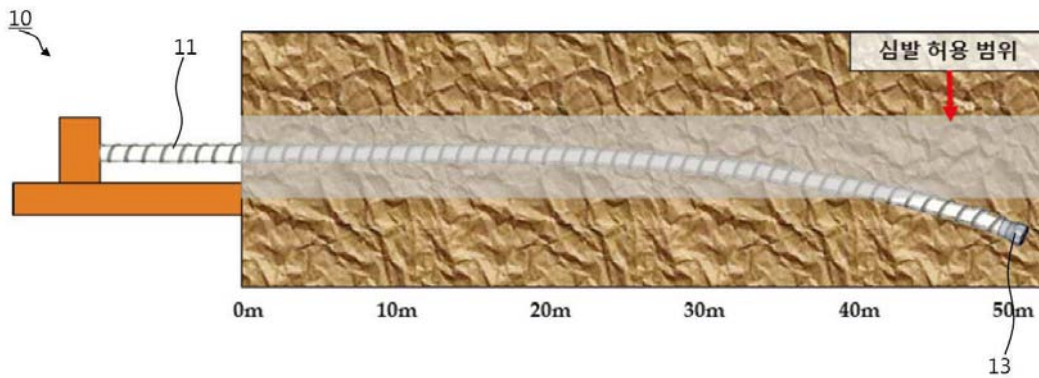
【도 1】



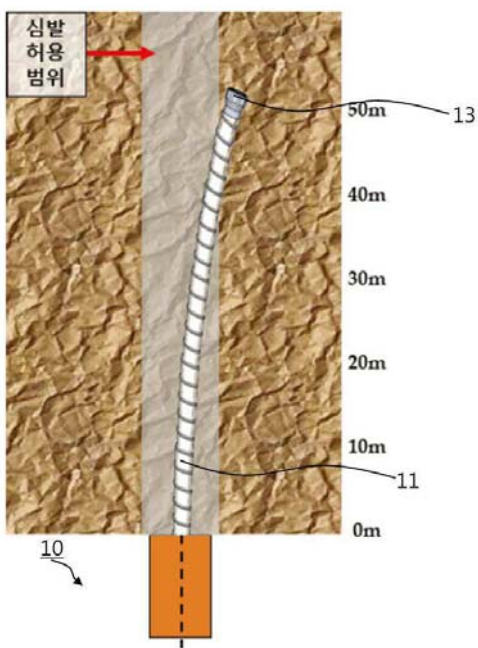
【도 2】



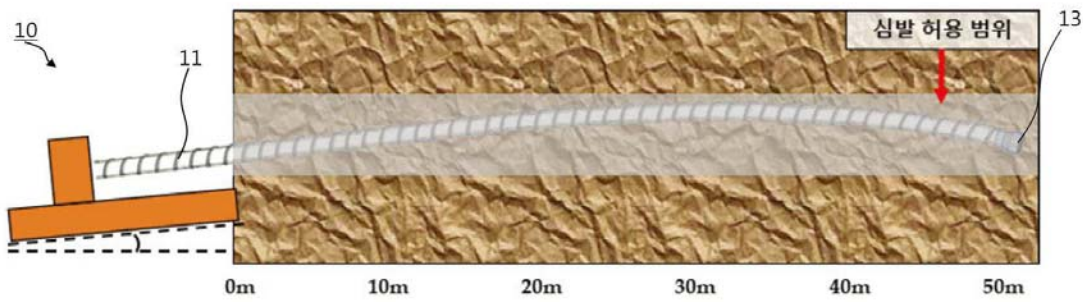
【도 3】



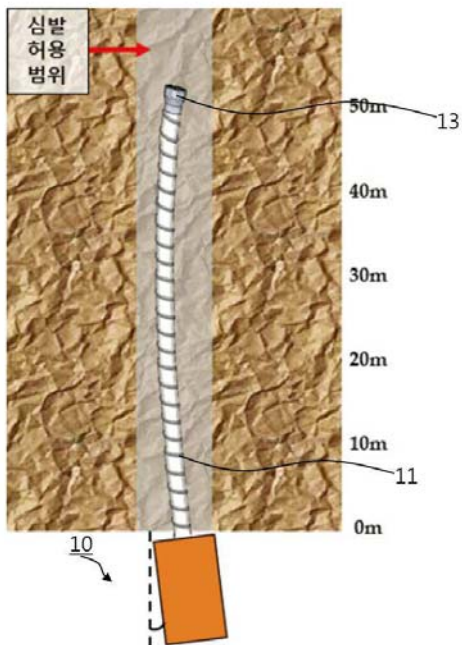
【도 4】



【도 5】



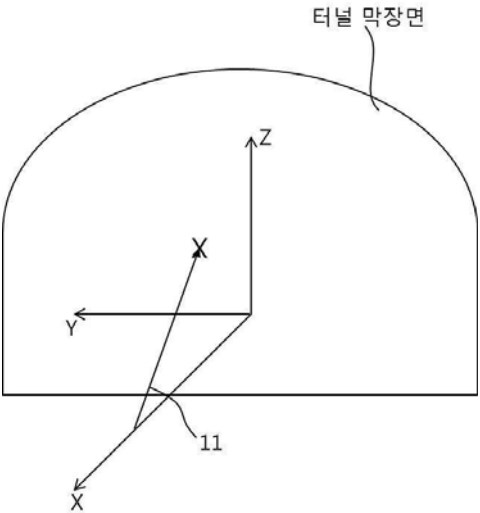
【도 6】



【도 7】



【도 8】



【도 9】

11:50 100%

초기각도

암등급
연암

등급저하
미반영

장비종류
신장비

종단구배 0

천공장 50

최우이각 0

상하이각 0

계산하기

초기셋팅각도 2.7 후미이동 5.57

【도 10】

