

명세서

발명의 명칭: 워터젯을 이용한 굴착 시스템 및 이를 이용한 굴착 방법

기술분야

- [1] 본 발명은 폭약 발파 기반의 터널굴착 기술에 관한 것으로, 구체적으로는 터널굴착 과정에서 발생하는 발파에 의한 충격 혹은 진동의 전파를 억제하기 위한 기술에 관한 것이다. 보다 구체적으로는 워터젯을 이용하여 터널의 외주면을 따라 일련의 연속된 공간, 이른바 자유면을 형성함으로써 발파시의 진동이 지표면으로 전파되지 않도록 하는 워터젯을 이용한 굴착 시스템 및 이를 이용한 굴착 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 건설 및 토목공사, 특히 지하 터널굴착에는 폭약을 이용한 발파공정이 빈번하게 이루어진다. 발파공정은 암반이나 기타 장애물을 폭약의 폭발력을 통해 효율적으로 제거할 수 있다는 장점은 있지만, 발파시 필연적으로 발생하는 진동과 소음이 지표면으로 전파되어 건물이나 각종 구조물에 좋지 않은 영향을 미친다. 부연하면, 발파공정에서 폭원으로부터 전파되는 충격파는 거리에 따라 현저하게 감쇄하지만 이때 발생하는 에너지의 일부는 탄성파의 형태로 전파되면서 지반의 진동(발파 진동, blast vibration)을 야기한다. 만약 폭원과 비교적 근접한 거리에 건물이나 지하철 시설물이 있는 경우에는 심각한 문제로 확대될 개연성이 있다.
- [3] 상술한 발파 진동을 억제하기 위한 선행기술들을 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 대한민국 등록특허 제0531985호 라인 드릴링공을 이용한 발파진동 차단을 위한 굴착구조 및 공법은 굴착될 암반 중 발파를 위한 영역 주변에 2열 이상의 라인 드릴링공을 천공하되 각 열의 라인 드릴링공을 서로 엇갈리게 배치하는 기술을 개시하고 있다. 또, 대한민국 등록특허 제0599982호 터널 발파공법은 터널 외곽부와 이격되어 천공된 대구경의 무장약공, 이들 무장약공 사이에 배치되도록 천공된 균열유도공, 무장약공의 내측으로 천공된 다수의 확대공들을 이용한 기술을 개시하고 있다.
- [4] 이들 선행기술들의 공통점은 터널진행 방향으로 천공된 복수개의 구멍을 발파시의 진동 억제수단으로 활용함에 있다. 그러나 복수개의 구멍을 천공한다하더라도 구멍과 구멍 사이에는 연결영역이 존재한다. 이 연결영역을 통해 전파되는 발파진동은 차단되지 않는다. 즉, 선행기술들이 활용하고 있는 천공 구멍은 불완전한 진동 억제수단이다.
- [5] 또한, 종래의 터널 발파공법들은 발파에 따라 인접암반에 데미지존을 형성시킴으로써, 터널의 붕괴를 야기시키는 문제점을 가지고 있다(도21 참조).

특히, 발파힘이 큰 경우, 계획된 터널 공간보다 더 많이 파여 여굴이 발생되면, 빈공간에 숏크리트를 많이 타설해야하는 문제점을 가지고 있다. 반대로, 발파힘이 모자라는 경우 미굴이 발생되어 굴삭기나 차감기 등을 이용한 추가적인 작업이 필요하였다.

- [6] 종래의 터널 굴착은 점보드릴을 이용하여 다수의 장약공을 만들고, 해당 부분에 화약을 넣어 폭파하는 방식을 취하고 있다. 장약공은 1회에 백여개 내외가 요구되고 있으며, 장약공 형성을 위한 작업은 점보드릴 운전자가 수동으로 조작하고 있어 작업 능률 개선이 요구되고 있다.
- [7] 일반적으로, 터널을 굴착함에 있어서, 터널의 붕괴등을 막기 위하여 굴착 전방지역의 암반 상태를 점검하는 다양한 전방예측 방법들이 등장하고 있지만, 실질적인 검사가 아니라 암반 성질에 따른 저항값 측정과 같은 간접적인 검사로 이루어지기 때문에 검사의 신뢰성이 떨어지고 굴착중 터널붕괴와 같은 문제점을 가지고 있다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [8] 상기한 종래 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 목적은, 굴착 과정에서 발생하는 발파에 의한 충격, 진동 및 소음의 전달을 효과적으로 억제하는 워터젯 장비 및 굴착 방법을 제공함에 있다.
- [9] 또한, 본 발명의 목적은 터널의 발파에 의해 발생하는 미굴이나 여굴을 발생시키지 않도록 하는데 있다.
- [10] 또한, 본 발명의 목적은 발파에 따른 데미지존을 형성을 최소화하여 터널의 안정성을 증진시키는데 있다.
- [11] 또한, 본 발명의 목적은 터널을 굴착함에 있어서, 작업효율을 극대화하여 효과적인 작업이 이루어질 수 있도록 함에 있다.
- [12] 또한, 본 발명의 목적은 터널의 전방 굴착지점에 관하여 실질적인 검사가 가능하도록 하는데 있다.
- [13]

과제 해결 수단

- [14] 상기 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명의 워터젯을 이용한 굴착 시스템 및 이를 이용한 굴착 방법은,
- [15] 본 발명을 안출한 발명자는 선행기술의 문제점에서 드러난 천공된 구멍 사이에 존재하는 연결영역을 반드시 제거해야할 유해요소로 보고, 터널의 외주면을 따라 일련의 연속된 공간인 자유면의 형성을 최선안으로 정의했다. 이 최선안을 구현하기 위한 주요 해결 수단은 워터젯(water jet) 기술과 연마제 도입이다.
- [16] 구체적으로 본 발명의 워터젯 시스템은, 터널굴착을 위한 발파 대상영역을 향해 전후 이동하는 이동유닛과, 상기 이동유닛에 탑재된 다관절 로봇팔과, 상기 로봇팔의 선단에 장착된 워터젯 노즐 및 고압수를 상기 워터젯 노즐에 공급하는

공급부와, 상기 이동유닛 및 로봇팔과 워터젯 노즐을 제어하는 제어부를 포함한다. 바람직하게 워터젯 노즐은 물과 함께 연마제를 분사할 수 있다.

[17] 본 발명의 워터젯 노즐은 상기 고압수에 의한 굴착대상면의 파쇄 깊이를 측정하는 깊이 센서부;를 포함하며, 상기 제어부는 상기 파쇄 깊이를 이용하여 상기 로봇팔 및 공급부를 제어하는 것을 특징으로 한다.

[18] 또한, 상기 워터젯 노즐은, 상기 고압수에 대한 굴착대상면의 파쇄 너비를 측정하는 너비 센서부;를 포함하며, 상기 제어부는 상기 파쇄 너비를 이용하여 상기 로봇팔 및 공급부를 제어하는 것을 포함한다.

[19] 상술한 구성을 가지는 워터젯 시스템을 통해 터널굴착 방향으로 발파 대상영역의 외곽에 소정 깊이의 자유면이 형성된다. 자유면이 형성된 후 발파 대상영역에 장악하여 발파한다.

[20]

발명의 효과

[21] 본 발명에 따르면, 자유면을 통해 발파시의 진동 전파를 효과적으로 억제할 수 있다.

[22] 또한, 발파시의 여굴이 감소되기 때문에 추가적인 보강공사 비용을 줄일 수 있다.

[23] 또한, 미굴이 발생하지 않아 추가적인 작업이 불필요하며, 발파에 따른 데미지존 형성을 최소화하여 터널의 안정성을 증진시킬 수 있고, 작업효율을 증진시킬 수 있는 효과가 있다.

[24] 또한, 터널 굴착 전방지역에 대한 실질적인 지질 분석이 가능하여 터널 공사의 안전성을 확보할 수 있다.

[25]

도면의 간단한 설명

[26] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 터널굴착용 워터젯 시스템 구성도.

[27] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 터널굴착용 워터젯 장비를 도시한 도면.

[28] 도 3은 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 터널굴착용 워터젯 장비의 움직임 도시한 도면.

[29] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 터널굴착용 워터젯 노즐을 도시한 도면.

[30] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 다관절 로봇팔의 자유도를 예시한 도면.

[31] 도 6은 본 발명의 워터젯 시스템에 의해 형성되는 자유면을 설명하기 위한 예시도.

[32] 도 7은 본 발명의 워터젯 시스템에 의해 형성되는 파쇄패턴의 라인을 설명하기 위한 예시도.

[33] 도 8은 본 발명의 다른 일실시예에 따른 터널굴착용 워터젯 장비를 도시한 도면.

[34] 도 9는 본 발명의 워터젯 시스템을 이용한 터널굴착 방법을 설명하기 위한

도면.

- [35] 도 10은 본 발명에 따른 자유면이 형성된 굴착대상면의 장악공을 도시한 도면.
- [36] 도 11은 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 프레임형 터널굴착용 워터젯 장비를 도시한 도면.
- [37] 도 12는 도 11의 워터젯 시스템에 의해 형성되는 자유면을 설명하기 위한 예시도.
- [38] 도 13은 3차원 유한요소 해석 모델을 나타낸 도면.
- [39] 도 14는 시간에 따른 발파압력을 시뮬레이션한 도면.
- [40] 도 15는 XYZ 방향의 합성변위를 시뮬레이션 한 도면.
- [41] 도 16은 수평 방향 변위를 시뮬레이션한 도면.
- [42] 도 17는 연직 방향 변위를 시뮬레이션한 도면.
- [43] 도 18은 최외곽공 1M 상단에서의 시간에 따른 연직 변위 변화를 나타낸 도면.
- [44] 도 19 및 도 20은 발파지점 상단에서의 연직 방향 변위를 나타낸 도면.
- [45] 도 21은 종래 및 본 기술에 따른 터널 굴착 개념도.
- [46] 도 22는 수직방향 수치해석을 위한 모델을 나타낸 도면.
- [47] 도 23은 수직방향 변위에 대한 시뮬레이션값을 나타낸 도면.
- [48] 도 24는 수직방향 변위에 대한 최대변위를 측정한 그래프.
- [49]

발명의 실시를 위한 형태

- [50] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명은,
- [51] 발파대상 영역 상에서 이동하는 이동유닛;
- [52] 상기 이동유닛에 탑재된 다관절 로봇팔;
- [53] 상기 로봇팔의 선단에 장착된 워터젯 노즐; 및
- [54] 고압수를 상기 워터젯 노즐에 공급하는 공급부;
- [55] 상기 이동유닛 및 로봇팔과 워터젯 노즐을 제어하는 제어부;
- [56] 를 포함하는 워터젯을 이용한 굴착 시스템을 제공함으로써 달성하였다.
- [57] 이하, 본 발명의 바람직한 실시 예를 첨부한 도면에 의하여 상세하게 설명한다.
- [58] 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니 되며, 발명자는 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.
- [59] 따라서, 본 명세서에 기재된 실시 예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 하나의 실시 예에 불과할 뿐이고, 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형 예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.
- [60] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 터널굴착용 워터젯 시스템 구성도이다.

도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 워터젯 장비(600)를 이용한 굴착 시스템은 구체적으로는 터널굴착 과정에서 발생하는 발파에 의한 충격 혹은 진동의 전파를 억제하기 위한 기술에 관한 것이다. 보다 구체적으로는 워터젯 장비(600)를 이용하여 굴착대상면(10)의 외주면(터널계획면: 도 21 참조)을 따라 일련의 연속된 공간, 이른바 자유면(20)을 형성함으로써 발파시의 진동이 지표면으로 전파되지 않도록 하는 워터젯 장비(600)를 이용한 굴착 시스템에 관한 것이다.

[61] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 워터젯 장비(600)는 크게 이동유닛(100), 다관절 로봇팔(200), 워터젯 노즐(300), 공급부(400) 및 제어부(500)를 포함하여 이루어진다.

[62] 이동유닛(100)은 굴착대상 영역 상에서 굴착방향으로 전후이동 가능한 이동수단이다. 구체적으로 이동유닛(100)은 본 워터젯 장비(600)의 전, 후, 좌, 우 자유이동을 가능케 하는 구성요소이다. 이동유닛(100)은 다수의 차륜 또는 무한궤도 형태로 구현될 수 있다. 이러한 이동유닛(100)은 발파 대상영역인 굴착대상면(10) 전면에 배치되어 터널굴착 방향을 따라 이동 가능하며, 이동 대상체는 워터젯 노즐(300)을 구비한 다관절 로봇팔(200)이다.

[63] 상기 다관절 로봇팔(200)은 이동유닛(100)에 탑재된 다관절 구조 형태를 가진다. 다관절 로봇팔(200)은 이동유닛(100)의 상부에 탑재되어 그 선단에 장착된 워터젯 노즐(300)의 공간상 이동을 위한 지지대 기능을 한다.

[64] 상기 다관절 로봇팔(200)의 관절은 워터젯 노즐(300)의 반발력 혹은 반작용을 견뎌야 하므로 유압방식으로 구성되는 것이 바람직하다. 참고로 도 2에 도시된 워터젯 장비(600)는 암반파쇄 및 절삭 공정이 모두 수평(이하, 수평 공정)으로 이루어지는 것으로 예시되어 있으나, 본 발명의 워터젯 장비(600)에 채용된 다관절 로봇팔(200)의 특성상 수평 공정뿐만 아니라 수직 공정을 포괄한다. 또한, 도 2나 도 3에서는 다관절 로봇팔(200)이 1개 도시되었으나, 필요에 따라 다수의 로봇팔이 장착되어 운영될 수 있다.

[65] 앞서 설명한 바와 같이 상기 다관절 로봇팔(200)의 선단에는 워터젯 노즐(300)이 장착된다. 워터젯 노즐(300)은 복수개가 채용되어도 좋다. 워터젯 노즐(300)은 전후진굴 가능한 형태로 구성될 수 있다. 도 4를 참조하면, 소정 길이를 가지는 막대형상의 워터젯 노즐(300)이 지지프레임(220)에 장착되어 있다. 이 워터젯 노즐(300)의 신굴 길이는 제어부(500)에 의해 제어될 수 있다. 터널 굴착에 있어서, 1회 발파를 위해 요구되는 깊이는 암반 등의 지질 특성에 따라 달라지지만, 일반적으로 2내지 3m로 노즐(300)의 신굴 가능길이는 이를 커버할 수 있도록 제작된다.

[66] 또한, 상기 워터젯 노즐(300)은 워터젯 장비(600)에서 분사되는 물의 파괴력을 지반에 충분히 전달하기 위해서 워터젯 노즐(300)의 일부가 회전되도록 회전부분을 구성할 수 있다.

[67] 워터젯 노즐(300)의 일측에는 절삭된 깊이와 너비를 측정할 수 있는 깊이

센서부(310)와 너비 센서부(320)를 포함한다. 구체적으로, 상기 워터젯 노즐(300)은 고압수에 의한 자유면(20)의 파쇄 깊이를 측정하는 깊이 센서부(310)를 포함하며, 상기 제어부(500)는 상기 파쇄 깊이를 이용하여 다관절 로봇팔(200) 및 공급부(400)를 제어한다. 또한, 워터젯 노즐(300)은 고압수에 의한 자유면(20)의 파쇄 너비를 측정하는 너비 센서부(320)를 포함하며, 제어부(500)는 상기 파쇄 너비를 이용하여 다관절 로봇팔(200) 및 공급부(400)를 제어한다. 이와 같이 깊이 센서부(310)와 너비 센서부(320)는 레이저 기반으로 구성될 수 있다.

- [68] 로봇팔(200)은 노즐의 기울임 각도 조절 및 길이 조절을 위한 다수의 자세제어 센서를 구비하며, 센싱값에 따라 노즐을 실시간으로 제어하도록 한다. 또한, 작업중 노즐이 자유면 내로 인입된 상태에서 암반이 붕괴되는 경우 이를 센싱하기 위한 센서를 구비하고 있다.
- [69] 워터젯 노즐(300)은 암반과 일정거리를 유지하면서, 노즐(300)을 전후진굴되도록 동작시켜야하는데, 거리센서(310) 및 너비센서부(320)를 통해 암반이 파쇄되는 것을 실시간으로 측정하고, 암반과 노즐(300)이 최적거리를 유지하도록 한다. 일반적으로 암반과 노즐의 이격거리는 10cm 내외에서 최적의 성능을 발휘하는 것으로 측정되었다.
- [70] 아래 표는 노즐의 상태 및 이격거리 등에 따라 자유면 형성 시간을 실험을 통해 측정한 값이다. 실험은 2개의 노즐을 페어로하여 결합 각도(측면에서 노즐이 결합된 경우, 노즐간의 각도)를 7.1과 3.8도로 하여 실험하되, 암반과의 이격거리 및 노즐의 이동속도(전후진 신굴은 동작하지 않고, 좌우 직선 이동만 실시)에 따라 실험한 값이다.

- [71] 표 1

[Table 1]

노즐 이동속도 10mm/s							
노즐각 (도)	평균깊이[mm]	평균폭[mm]	이격거리[cm]	절삭 형태	시공시간2 pump[hr/1 m]	시공시간3 pump[hr/1 m]	시공시간4 pump[hr/1 m]
7.1	70	37	10	W	1.0	0.7	0.5
7.1	60	45	20	V	1.2	0.8	0.6
7.1	45	45	30	V	1.5	1	0.8
3.8	50	60	10	W	1.4	0.9	0.7
3.8	38	65	20	W	1.8	1.2	0.9
3.8	35	70	40	V	2.0	1.3	1.0

- [72] 표 2

[Table 2]

노즐 이동속도 20mm/s							
노즐각 (도)	평균깊이[mm]	평균폭[mm]	이격거리[cm]	절삭 형태	시공시간2 pump[hr/1 m]	시공시간3 pump[hr/1 m]	시공시간4 pump[hr/1 m]
7.1	45	37	10	W	0.8	0.5	0.4
7.1	40	45	20	V	0.9	0.6	0.5
7.1	30	45	30	V	1.2	0.8	0.6
3.8	25	60	10	W	1.4	0.9	0.7
3.8	25	65	20	W	1.4	0.9	0.7
3.8	20	70	40	V	1.7	1.2	0.9

[73] 표 3

[Table 3]

노즐 이동속도 30mm/s							
노즐각 (도)	평균깊이 [mm]	평균폭 [mm]	이격거리 [cm]	절삭 형태	시공시간2 pump[hr/1 m]	시공시간3 pump[hr/1 m]	시공시간4 pump[hr/1 m]
7.1	38	37	10	W	0.6	0.4	0.3
7.1	30	45	20	V	0.8	0.5	0.4
7.1	25	45	30	V	0.9	0.6	0.5
3.8	20	60	10	W	1.2	0.8	0.6
3.8	19	65	20	W	1.2	0.8	0.6
3.8	15	70	40	V	1.5	1.0	0.8

[74]

[75] 위 표에서 절삭 형태는 쌍으로된 노즐을 이용하여 실험하는 경우, 암반과 노즐의 이격거리에 따라 발생하는 절삭형태는 나타낸 것이다.

[76] 실험에 따른 조건은 아래 표와 같다.

[77]

[78] 워터젯 펌프

[79] 고유량 워터젯 장비 사용

[80] 표 4

[Table 4]

최대압력	펌프힘[HP]	최대유량[l/min]	안정적 사용유량(80% 효율)	사용된 유량/1개 노즐
2800bar	240	31	25	8.8

[81] 오리피스

[82] No 24 orifice 사용 (dia. 0.061cm, 8.8리터/분@2500bar)

[83] 포커싱노즐

[84] 노즐 tip 내경: 0.09inch = 2.29mm

[85] 실험압력과 연마제 투입량

[86] 실험압력: 2500bar

[87] 연마제 투입량: 57g/s (개당)

[88]

[89] 한편, 공급부(400)는 고압수를 생성하여 워터젯 노즐(300)로 공급한다. 공급부(400)는 연마제를 고압수와 함께 워터젯 노즐(300)로 공급할 수 있다. 이 연마제는 모래 등의 입자로 이해해도 무방하다. 워터젯 노즐(300)로 공급된 연마제는 고압수에 의해 가속되어 물과 함께 굴착대상면(10)의 파쇄 및 절삭의 효율을 높인다. 물론 워터젯 노즐(300)을 통해 분사되는 물의 압력과 연마제의 투입량은 제어부(500)에 의해 조절 가능하다.

[90] 상술한 바와 같이 본 발명의 제어부(500)는 이동유닛(100) 및 다관절 로봇팔(200)과 워터젯 노즐(300)을 제어한다. 제어부(500)는 워터젯 노즐(300)과 다관절 로봇팔(200)이 구성된 이동유닛(100)의 이동을 제어하고, 워터젯 노즐(300)의 회전부분의 회전속도 및 워터젯 노즐(300)에서 분사되는 물의 압력 및 방향을 제어한다.

[91]

[92] 한편, 본 발명의 워터젯 장비(600)를 이용한 굴착대상면(10)에 자유면(20)을 형성하도록 파쇄하기 위해 굴착대상면(10)에 도색된 소정의 색상 라인(L)을 인식하는 라인인식수단(210)을 더 포함한다. 이와 같은 인식은 작업자가 미리 예상 터널계획면에 따른 라인을 도색하고, 장비가 화상인식을 통해 자동으로 해당 라인을 인식하여 자유면 형성을 위한 장비(600)의 동작을 제어하는 방식으로 이루어질 수 있다.

[93] 장비(600)가 자유면을 형성할 위치를 자동으로 인식하는 방법은 위 화상인식에 관한 방법 이외에 아래와 같이 이루어질 수 있다.

[94] 터널 입구쪽에 다수의 위치측정 단말기(바람직하게는 3개 이상)를 설치한다. 위치측정 단말기는 위성으로부터의 신호를 검출하여 자신의 위치를 획득하며, 각각의 단말기는 자신의 위치와 관련한 정보를 포함하여 터널 안쪽으로 위치정보를 송출한다. 장비(600)는 위치측정 단말기로부터 수신되는 위치정보를

분석하여 단말기 각각과의 거리정보 및 단말기의 위치정보를 획득하고, 연산을 통해 자신의 3차원 위치를 인식한다. 이후, 미리 입력된 터널계획에 따른 3차원 위치정보를 매칭하여 터널 굴착에 따른 자유면을 형성한다. 이때, 터널의 길이가 길어 장비의 신호 수신에 불가능한 경우, 중계 단말기를 터널 중간에 더 설치하여 장비가 위치를 인식할 수 있도록 한다. 중계단말기가 자신의 위치를 확인하게 되면, 자신의 위치를 저장하고, 이를 이용하여 위치정보를 송출하도록 하면, 터널 입구쪽에 설치된 단말기는 제거해도 무방하며, 입구쪽에 설치된 단말기를 다시 중계기로 사용하도록 한다.

[95] 다른 방법으로는 레이저 등을 이용하여 가이드라인에 해당하는 정보를 후방의 특정 지점에서 굴착방향으로 발사하도록 하고, 이를 장비(600)가 감지하고 장비(600)의 3차원 위치를 인식하도록 한다. 발사된 레이저는 3차원 공간상에서 직선으로 나타나며, 단말기와 장비와의 거리 정보만 연산하면, 장비의 3차원 공간위치를 획득할 수 있게 된다. 이를 위해 장비(600)는 위치측정부(도시하지 않음) 및 자세(기울어짐, 노즐의 신굴에 따른 정보로부터 노즐의 위치 파악)측정부(도시하지 않음)를 더 구비하고, 장비(600)가 자유면을 자동으로 형성시킬 수 있도록 한다.

[96]

[97] 도 5 내지 도 7을 참조하면, 여기서, 상기 라인(L)은 굴착대상면(10)에 형성되는 파쇄패턴인 것이다.

[98] 상기 라인(L)은 굴착대상면(10)에 소정의 색상 라인(L)으로 그려지는 파쇄패턴으로 아치형태를 가진다.

[99] 또한, 상기 파쇄패턴은 아치형 패턴을 기본으로 하되, 지그재그 패턴이 복합된 패턴으로도 형성할 수 있다.

[100] 이때, 워터젯 노즐(300)은 지그재그 패턴을 따라 암반을 파쇄하게 되며, 굴착대상면(10)에 자유면(20)은 소정의 너비를 가지게 된다.

[101] 여기서, 상기 파쇄패턴으로 형성된 라인(L)을 제어부(500)는 워터젯 노즐(300)이 상기 라인인식수단(210)을 통해 인식한 상기 라인(L)을 추종하도록 상기 다관절 로봇팔(200)을 제어한다.

[102] 이때, 상기 라인(L)을 인식하게 되는 라인인식수단(210)으로는 촬영수단으로 이루어질 수 있다.

[103] 라인의 인식 수단(210)은 앞서 설명한 바와 같이, 장비의 위치인식 방법의 하나로서, 장비의 위치인식이 완료되면, 작업할 면(10)을 스캐닝하여, 작업할 자유면의 상태가 장비(600)쪽으로 튀어 나왔는지, 굴착방향으로 들어갔는지의 현재 상태를 파악한다.

[104] 파악이 완료되면 본격적인 작업에 앞서, 먼저 파쇄하여야 할 튀어나온 부분에 노즐(300)을 이동시켜 선작업을 실시한다. 1단계 선작업이 완료되면, 전체적으로 구간을 분할하여 로봇팔을 동작시켜 작업을 진행한다.

[105] 즉, 굴착대상면(20)에 그려지는 라인(L)을 제어부(500)는 다관절 로봇팔(200)이

- 라인(L)을 따라 이동하도록 함에 상기 다관절 로봇팔(200)에 장착된 워터젯 노즐(300)이 라인(L) 형태로 자유면(20)으로 파쇄하게 된다.
- [106] 이와 같이, 상기 다관절 로봇팔(200)은 라인(L)을 따라 이동하고, 상기 워터젯 노즐(300)은 다관절 로봇팔(200)을 따라 이동하면서 아치형 또는 지그재그형으로 궤적을 그린다.
- [107] 따라서, 콘작대상면(10)의 외곽으로 소정 깊이를 가지는 아치형 또는 지그재그형으로 콘작된 자유면(20)이 형성된다. 이 자유면(20)은 콘작대상면(10)과 지표면 사이에 개재되어 콘작대상면(10)을 감싸는 형태이다. 한편, 워터젯 장비(600)는 콘작대상면(10)에 도색된 소정의 색상 라인(L)을 인식하는 라인인식수단(210)을 더 포함할 수 있다. 도 5 내지 도 7을 참조하면, 아치형태의 라인(L)이 콘작대상면(10)에 도색되어 있다. 이 라인(L)은 본 발명의 워터젯 장비(600)에 의한 선형적인 파쇄페턴인 것으로 이해해도 좋다. 상기 파쇄페턴은 아치형 페턴을 기준으로 하되, 지그재그 페턴이 복합된 페턴으로도 형성할 수 있다.
- [109] 구체적으로, 제어부(500)는 워터젯 노즐(300)이 상기 라인인식수단(210)을 통해 인식한 상기 라인(L)을 추종하도록 상기 다관절 로봇팔(200)을 제어한다. 라인인식수단(210)으로는 촬영수단으로 이루어질 수 있다. 따라서 자유면(20)은 상기한 라인(L)을 따라 형성된다. 참고로 도 7에 예시된 바와 같이, 제어부(500)는 기본적으로 아치형태의 라인(L)을 추종하도록 다관절 로봇팔(200)을 제어하되, 파쇄너비를 고려하여 지그재그 궤적을 그리도록 제어할 수도 있다. 결과적으로, 콘작대상면(10)의 외곽으로 소정 깊이를 가지는 아치형 또는 지그재그형으로 콘작된 자유면(20)이 형성될 수 있는 것이다.
- [110] 자유면이 형성되면, 노즐에 장착된 카메라를 통해 자유면 안쪽을 촬영하고, 양반의 상태를 검사함으로써, 향후 장약 발파나 터널 공사중의 붕괴 가능성을 예측하여 향후 공사에 안전성을 배가시키도록 한다.
- [111]
- [112] 도 8은 본 발명의 또 다른 실시예를 도시한 도면이다. 도 8은 워터젯 장비(600)의 워터젯 노즐(300)을 장착한 워터젯 장비(300)에 대한 또 다른 실시예로서, 2개의 다관절 로봇팔(200)을 구비한다. 이때, 다관절 로봇팔은(200) 워터젯 노즐(300)을 지지하며 도면에 화살표로 도시한 바와 같이 워터젯 노즐(300)의 끝단이 조절과 권이를 조절이 모두 가능하도록 구비된다.
- [113] 상기 워터젯 장비(600)를 살펴보면 다음과 같다. 각각의 구성으로는 다관절 로봇팔(200), 유격거리 측정 센서 및 온도 감지 센서, 적외선 시스템, 함몰 검출 시스템을 포함하여 구성될 수 있다.
- [114] 보다 구체적으로, 다관절 로봇팔(200)은 자유면(20)을 형성함에 있어 자유면(20) 오차에 따른 기가오작동의 해결과 다관절 로봇팔(200)의 움직임 유격거리 측정 센서는 워터젯 노즐(300)에 부착되어 일정거리 내에 표적이 속도를 제어할 수 있도록 설계 한다.
- [115]

없으면 동작이 정지되도록 구비한다.

[116] 또한, 온도 감시 센서는 워터젯 노즐(300)이 겨냥하는 굴착지점에 사람으로 인식 될 수 있는 온도 범위를 측정해 사고를 방지할 수 있도록 구비된다.

[117] 석션시스템은 암반이 파쇄되어 물과 함께 흘러나오면, 이를 흡입하여 여타 구역으로 배출시킴으로써, 침적이 발생하지 않도록 하며, 자유면(20)의 형성 속도를 증가시킬 수 있도록 구비한다. 함몰 검출 시스템은 형성된 자유면(20)의 함몰된 위치 부분 검출 및 함몰된 지반에 의한 워터젯 노즐(300)의 손상여부를 확인할 수 있도록 한다. 이때, 워터젯 노즐(300)이 손상되었다면 분리, 교체 및 재조립이 용이한 설계 또는 구성을 구비한다.

[118] 또한, 자유면(20) 형성 시 워터젯 노즐(300)의 움직임이 제대로 작동하지 않을 때 그 이유가 무엇인지 확인할 수 있도록 한다.

[119]

[120] 이하, 도 9 내지 도 10을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 워터젯을 이용한 굴착방법을 설명하면 다음과 같다.

[121] 먼저, 이동유닛(100)을 이용해 워터젯 장비(600)가 굴착위치로 전진한다.

[122] 장비(600)가 제자리를 잡으면, 자신의 위치 및 자유면을 형성하기 위한 부분을 스캐닝하여 현재 상태를 파악하고, 노즐(300)을 이용하여 선작업을 실시한다. 바람직하게는 노즐을 회전시키면서, 라인(L)을 따라 왕복운동을 시킴으로써, 효과적으로 자유면을 형성시킨다. 스캔에 따라 돌출된 부분을 먼저 작업하여, 일정 하게 자유면의 깊이를 만든 상태에서 전체적으로 로봇팔을 가동하여 자유면을 형성시키는 것이 바람직하다.

[123] 그리고, 굴착대상면(10)에 라인(L)으로 이루어지는 파쇄패턴을 형성한다.

[124] 이때, 상기 파쇄패턴은 아치형 또는 지그재그 형태의 복합패턴을 선택하여 굴착대상면(10)에 소정의 색상 라인(L)으로 도색된다.

[125] 제어부(500)는 굴착대상면(10)에 형성된 라인(L)을, 라인인식수단(210)을 통해 인식하고, 상기 라인(L)을 워터젯 노즐(300)이 추종하도록 제어한다.

[126] 이때, 다수의 로봇팔(200)을 구비하는 경우, 구획을 나누고 잡업을 진행할 수 있으며, 로봇팔(200) 상호간의 간섭을 고려하여 작업의 순서와 시간을 각각의 로봇팔별로 제어한다.

[127] 제어부(500)는 다관절 로봇팔(200)이 라인(L)을 따라 이동하도록 함으로써, 계획된 라인(L) 형태로 자유면(20)이 형성되도록 한다.

[128] 상기 워터젯 노즐(300)을 이용하여 굴착대상면(10)에 소정 깊이의 자유면(20)을 형성한다.

[129] 자유면(20)을 측정하는 단계는 워터젯 노즐(300)에 의해 파쇄된 자유면(20)의 파쇄 깊이 및 파쇄 너비를 실시간으로 센서를 통해 측정한다. 측정된 너비나 깊이가 기준 이하가되는 경우, 해당 부분에 노즐(300)을 재동작시킴으로써, 원하는 너비와 깊이를 확보할 수 있도록 한다.

[130] 자유면(20)의 깊이 및 공간이 확보되지 않았을 경우 초기 실행 명령을

이행하고, 자유면(20)의 깊이 및 공간이 확보되는 경우 발파준비 단계로 진행된다.

- [131] 이와 같이 자유면(20) 형성 공정이 완료되면, 후속적으로 상기 워터젯 노즐(300)을 이용하여 상기 자유면(20)의 내측 영역에 다수의 장약공(30)을 형성한 후, 상기 장약공(30)에 폭약을 장약하여 발파하는 공정이 이루어진다.
- [132] 아울러, 본 발명에 따른 파쇄패턴은 굴착부분의 굴착설계선의 라인(L)을 따라 충격, 진동 및 소음의 전달을 감소시키는 일련의 연속된 자유면(20)을 형성해 발파 진동을 억제할 수 있다. 터널의 굴착방향에 대하여 전방만 개방되고, 상하좌우 및 배면이 인접 암반으로 인해 밀폐된 상태에서 발파가 이루어지던 종래와는 달리, 본 발명은 하면 및 배면만 인접 암반에 의해 밀폐되고, 전방 및 상면, 좌우면이 개방된 상태에서 발파가 이루어지게 된다. 따라서, 자유면(20) 늘어남으로 인해 필요 장약을 최소화함에 따라 충격, 진동 및 소음의 전달을 감소시켜 보다 안전하고 친환경적인 발파공정이 가능하다.
- [133] 또한, 장약공(30)에 설치된 화약을 폭발시키는 경우, 발생하는 진동과 소음 및 파괴력은 매질인 굴착대상 암반(10)을 매질로 하여 사방으로 퍼지게 된다. 그러나, 자유면(20) 부분에서는 매질이 상이(암반, 공기)하여 진동과 소음 및 파괴력이 굴착대상 암반(10)쪽으로 반사된다. 이는 물속에서 발생한 소리가 물속에서는 전달이 잘 되지만, 매질이 다른 물 밖 공기중에서는 들리지 않는 원리와 같다.
- [134] 따라서, 자유면(20)은 폭발로 인해 발생하는 발생하는 진동과 소음을 효과적으로 차단 감소시키게 된다.
- [135] 종전의 경우, 폭발로 발생하는 파괴력이 암반을 따라, 사방으로 전파되어 손실이 매우 컸지만, 본 발명의 경우, 파괴력이 자유면(20)에 의해 반사되어 다시 안쪽으로 향하도록(도9 참조) 한다. 따라서, 적은 폭발력으로도 굴착대상 암반을 파괴시킴으로써, 폭약 사용량을 절감할 수 있게 된다.
- [136]
- [137] 한편, 도 10에 도시한 바와 같이, 자유면(20) 내측(굴착대상면: 10)에 폭약이 장착되는 소정의 깊이를 가지는 다수개의 장약공(30)을 등간격으로 형성시킨다.
- [138] 장약공(30)은 본 발명에 따른 방식에 의해 워터젯을 이용하여 작업할 수도 있고, 기존의 점보드릴 장비를 이용하여 형설 시킬 수도 있다. 또한, 다수의 로봇팔(600)을 장착하는 경우, 일부 로봇팔은 자유면을 형성하고, 여타 로봇팔(600)은 장약공을 형성하도록 동작시킬 수도 있다.
- [139] 아울러, 상기 굴착대상면(10)의 발파로 터널 굴착이 이루어진다.
- [140] 발파의 순서는, 자유면(20)에 인접한 폭약을 먼저 발파하고, 이후 터널의 중심 및 저면을 향하여 순차적으로 발파한다. 즉, 전방 및 좌우 자유면과 상부 자유면에 인접한 부분에서 발파가 먼저 시작되도록 하고, 순차적으로 터널 안쪽 및 아래쪽 암반의 장약이 폭발되도록 한다. 또한, 장약공은 일반적으로 2m 내지 3m 깊이로 형성되기 때문에, 해당 장약공에 설치된 장약이 동시에 폭발되는

것이 아니라 다단발파가 이루어지도록 할 수 있다. 예를 들어, 양파껍질을 벗겨내듯이 최외곽에 위치한(전방, 좌우, 상부 자유면에 인접한) 장악을 먼저 폭파시키고, 안쪽으로 들어가면서 순차적으로 발파를 시행한다. 이와 같이 발파를 진행하게 되면, 자유면이 많은 암반을 먼저 파쇄하도록 하여 장악량을 줄일 수 있다.

- [141] 한편, 본 발명의 다른 일 실시형태의 워터젯을 이용한 굴착 시스템에 관한 것으로, 이하 이를 상세히 설명한다.
- [142] 도 11 내지 도 12를 참조하면, 워터젯 시스템은 프레임(710), 이동수단(720), 워터젯 노즐(730) 및 제어장치(740)를 포함하여 구성된다.
- [143] 보다 구체적으로 프레임(710)은 굴착대상면(10)의 전면에 배치된다. 프레임(710)은 도면과 같이 터널의 종단면 형태와 유사한 아치형이며, 터널굴착 방향을 따라 이동 가능하다. 프레임(710) 상부에는 레일(750)이 구비되어 있다. 레일(750)에는 이동수단(720)이 이동가능하게 계합된다. 이동수단(720)은 제어장치(740)의 제어 하에 레일(750)을 따라 왕복 순회된다. 바람직하게는 레일을 이용하지 않고, 이동수단(720)이 바퀴나 궤도를 이용하여 프레임(710)을 움직이게 한다.
- [144] 상기 이동수단(720)의 이동 대상체는 워터젯 노즐(730)이다. 워터젯 노즐(730)은 굴착대상면(10)의 전면을 향해 고압의 물을 분사한다. 이 고압의 물은 미도시된 물 공급장치에 의해 공급된다. 본 발명은 워터젯 노즐(730)로부터 분사되는 물을 통해 굴착대상면(10)을 분쇄(혹은 파쇄)하는데, 그 성능향상을 위해 연마제를 병용할 수 있다. 연마제는 모래 등의 입자이며 미도시된 연마제 공급장치를 통해 워터젯 노즐(730)로 공급된다. 따라서 워터젯 노즐(730)에서는 물과 이 물에 의해 가속된 연마제가 굴착대상면(10)으로 분사된다. 워터젯 노즐(730)을 통해 분사되는 물의 압력과 연마제의 투입량은 제어장치(740)에 의해 조절 가능하다. 상술한 워터젯 노즐(730)은 이동수단(720)에 고정지지되어 있으므로 레일(750)을 따라 왕복 순회한다.
- [145] 이때, 상기 이동수단(720)은 레일(750)을 포함한 것이며, 상기 레일(750)은 프레임(710)의 전후이동을 가능하게 하는 제1레일(752)과 워터젯 노즐(730)의 이동을 가능하게 하는 제2레일(754)로 구성된다.
- [146] 상기 제1레일(752)은 프레임(710)의 전후이동을 위한 것이고, 제2레일은 프레임(710) 상부에 위치하여 워터젯 노즐(730)의 이동을 가능하게 한다. 이러한, 상기 이동수단(720)은 워터젯 노즐(730)을 장착하여 상기 제2레일(754) 상에서 왕복 순회할 수 있도록 구성된다. 또한, 워터젯 노즐(730)은 앞서 설명한 로봇팔에 장착되고, 로봇팔이 프레임(710)에 장착되어, 프레임을 따라 로봇팔이 움직이도록함으로써 구현될 수도 있다.
- [147] 이같이, 상기 워터젯 노즐(730)은 프레임(710)의 형태에 종속적으로 이동하므로 아치형의 궤적을 그린다. 따라서 굴착대상면(10)의 외곽으로 소정 깊이를 가지는 아치형의 자유면(20)이 형성된다. 이 자유면(20)은

- 굴착대상면(10)과 지표면 사이에 개재되어 굴착대상면(10)을 감싸는 형태이다.
- [148] 여기서, 상기 워터젯 노즐(730)은 이동수단(720)을 통해 이동가능하며 복수개가 사용될 수도 있으며, 상기 워터젯 노즐(730)의 일 측에는 절삭된 깊이를 측정하기 위한 측정센서(732)를 포함할 수 있다.
- [149] 또한, 제어장치(740)는 이동수단(720)의 이동속도, 워터젯 노즐(730)에서 분사되는 물의 압력 및 방향을 제어한다. 이때, 워터젯 노즐(730)을 통해 분사되는 물에는 굴착의 효율성을 높이기 위해 연마제 등의 보조물질이 혼합될 수 있다.
- [150]
- [151] 이러한, 워터젯 시스템을 이용한 자유면(20) 형성을 설명하면 프레임(710)을 제1레일(752)을 통하여 굴착위치로 전진시킨다. 전진 후 제어장치(740)를 통하여 워터젯 노즐(730)의 압력, 이동수단(720)의 이송속도, 연마제 투입량 등을 결정한다.
- [152] 워터젯 노즐(730)은 프레임(710)의 형태에 종속적으로 이동하므로 아치형의 궤적을 그린다. 따라서 굴착대상면(10)의 외곽으로 소정 깊이를 가지는 아치형의 자유면(20)이 형성된다. 이 자유면(20)은 굴착대상면(10)과 지표면 사이에 개재되어 굴착대상면(10)을 감싸는 형태이다.
- [153] 이와 같이 자유면(20) 형성 공정이 완료되면, 굴착대상면(10)으로부터 제1레일(752)을 통해 후진시키고 후속적으로 굴착대상면(10)에 다수의 장약공을 형성한 후, 장약하여 발파하는 공정이 이루어진다. 발파시에는 폭원으로부터 발파 진동(진동 에너지)이 발생한다. 이 발파 진동은 자유면(20)에 의해 반사되므로 지표면을 비롯한 주변으로의 전파가 효과적으로 억제된다.
- [154] 한편, 자유면(20)으로부터 반사된 발파 진동의 태반은 다시 발파에 필요한 에너지로 작용한다. 따라서 발파에 필요한 폭약의 양은 자유면(20)이 없을 경우에 요구되는 양보다 적어질 수 있다. 또, 발파 후 여굴(overbreak)의 가능성을 현저하게 줄일 수 있다. 이는 발파 후의 후속 공정이 불필요하다는 것을 의미하며, 나아가 공사비용의 절감과 공사기간의 단축으로 이어진다.
- [155]
- [156] 실험예
- [157] 도 13 ~ 도 20은 자유면 형성에 따른 발파진동 억제 시뮬레이션 결과이다. 도 13과 같이, 3차원 유한 요소 해석 모델을 나타낸 도면이고 최외곽공(40)과 확대공(30)의 위치를 나타낸다.
- [158] 도 14는 시간에 따른 발파압력을 시뮬레이션한 도면이고, (a)는 확대공(30)에서의 발파압력을 (b)는 최외곽공(40)에서의 발파압력을 나타낸다. 이때, 최외곽공(도13 참조: 40) 장전조건은 정밀폭약인 직경 17 mm 규릿(Gurit)을 디커플링하고 확대공(도 13 참조: 30) 장전조건은 직경 32 mm 에멀전(Emulsion) 장전한다. 확대공(30)과 최외곽공(40)에서의 발파압력의 차이는 두드러지지 않는다. 최외곽공(40)의 발파유무는 발파진동에 많은 영향을 끼치지 않는다.

- [159] 도 15는 최외곽공(40) 및 확대공(30)의 XYZ 방향의 합성 변위를 시뮬레이션한 도면이며 도 16은 최외곽공(40) 및 확대공(30)의 수평방향 변위를 나타낸 도면이고, 도 17은 연직방향 변위를 시뮬레이션 한 도면이다. (a)는 자유면(20)을 형성하지 않고 최외곽공(40)과 확대공(30)을 폭파시킨 경우이고, (b)는 자유면(20) 형성 후 최외곽공과 확대공을 폭파시킨 경우이고, (c)는 자유면(20) 형성 후 확대공(30)만 폭파시킨 경우이다. 도 15 내지 도 17에 도시한 바와 같이 자유면(20)을 형성함으로써 발파압력이 터널 주변 지표면으로 전달되지 않는다. 또한, (b) 와 (c)의 발파압력의 차이는 뚜렷이 나타나지 않는다.
- [160] 도 18은 최외곽공(40) 1m 상단에서는 시간에 따른 연직 변위 변화를 나타낸 도면이다. 여기서 Case A는 자유면(20)을 형성하지 않고 일반적인 발파단면의 연직변화를 나타낸 수치이고 Case B는 자유면(20)이 형성된 후 발파단면의 연직변화를 나타낸 수치이며 Case C는 최외곽공(40)을 고려하지 않고 확대공(30)만으로 발파를 한 후 발파단면의 연직변화이다. 발파진동은 최외곽공(40)의 존재 유무에 큰 영향을 받지 않는다. 이는, 천공수 감소 및 장약량 감소 등으로 연계되어 공사비 절감의 효과가 있다.
- [161] 도 19 내지 도 20은 발파지점 상단에서의 연직 방향 변위를 나타낸 도면이다. 이때, 발파위치가 터널 상부에서 멀리 떨어질수록 발파진동의 크기도 감소된다(도19 참조). 발파 위치로부터 멀어지는 경우, 진동폭이 감쇄되는 것을 확인 할 수 있다. 더불어, 발파위치가 터널 상부에서 멀어질수록 진동파의 도달시간도 증가된다(도19 참조).
- [162] 도 20은 터널 발파위치의 상단 지표면(발파 지점으로부터 20m 이격된 위치)에서 자유면의 유무 및 자유면의 깊이에 따른 연직변화를 시뮬레이션 한 그래프이다. 도20을 보면 자유면(20)의 깊이가 깊어짐에 발파진동이 감쇄되는 효과가 있음을 알 수 있다.
- [163] 자유면(20)이 없는 경우 상단 지표면(발파 지점으로부터 20m 떨어진 지표면)의 최대 연직변위는 0.07 가량으로 나타난다(도 20 참조). 그러나 자유면(20)이 형성된 경우 최대 연직변위는 자유면(20)이 형성되지 않는 경우보다 크게 감소되는 효과가 있다. 또한, 자유면(20)의 깊이가 깊어짐에 따라 터널 상부 지표면에서 나타나는 최대 연직변위의 크기도 점차 줄어들며, 4m 깊이의 자유면(20)이 적용된 경우, 자유면(20)이 적용되지 않은 경우에 대비해 최대 90% 이상의 진동감소 효과가 있다.
- [164]
- [165] 도 22는 수직방향 변위에 대한 시뮬레이션을 위한 모델링으로, "Contour holes"(외곽공) 및 "Sotpping holes"(확대공)에는 아래 표과 같이 장약을 설치하여 폭파하는 조건으로 실험을 진행하였다.
- [166] 표 5

[Table 5]

장약 성분 비교	Stopping hole	Contour hole
Properties	Emulsion	Gurit
Density (g/cm ³)	1.2	1.0
Detonation velocity (ft/sec)	16404	13123
Diameter (mm)	32	17

[167]

[168] "a"는 자유면 10cm 폭으로 깊이 1m를 설치한 경우이고, "b"는 자유면 없이 1열의 라인드릴공을, "c"는 자유면 없이 2열의 라인드릴공을 설치한 상태에서 발파를 진행하였다.

[169] 도 23은 발파에 따른 수직변위값을 측정한 것으로, 라인드릴공이 설치된 경우와 일반적인 터널 발파와는 별다른 차이점이 발생되지 않았으나, 자유면이 설치된 경우에는 상단 부분에서 수직변위가 거의 나타나지 않는 것으로 파악되었다.

[170] 도 24는 최대 수직변위에 대한 측정값을 나타낸 것으로, 자유면이 형성된 경우, 최대 변위가 0.6정도로 측정되었다. 일반적으로 0.7 이상의 최대변위가 발생하는 경우 테미지존이 형성되는 것으로 알려져 있다.

[171]

[172] 따라서 본 발명에 따라 자유면을 형성할 경우, 발파진동이 효과적으로 억제될 수 있음을 확인할 수 있다.

[173] 이상과 같이, 본 발명은 비록 한정된 실시 예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 이것에 의해 한정되지 않으며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 본 발명의 기술 사상과 아래에 기재될 청구범위의 균등 범위 내에서 다양한 수정 및 변형이 가능함은 물론이다.

[174]

산업상 이용가능성

[175] 본 발명은 폭약 발파 기반의 터널굴착에 이용가능성이 있다. 특히, 고수준의 발파 진동 억제가 요구되는 도심 지하철 및 지하 시설물 공사에서 그 효용성이 높을 것으로 기대된다.

[176]

서열목록 Free Text

[177] 100:이동유닛

[178] 200:다관절 로봇팔

[179] 300:워터젯 노즐

[180] 310:깊이 센서부

[181] 320:너비 센서부

- [182] 400:공급부
- [183] 500:제어부
- [184] 600:워터젯 장비
- [185] L: 라인
- [186] 710:프레임
- [187] 720:이동수단
- [188] 730:워터젯 노즐
- [189] 732:측정센서
- [190] 740:제어장치
- [191] 750:레일
- [192] 752:제1레일
- [193] 754:제2레일

청구범위

- [청구항 1] 발파대상 영역 상에서 이동하는 이동유닛;
 상기 이동유닛에 탑재된 다관절 로봇팔;
 상기 로봇팔의 선단에 장착된 워터젯 노즐; 및
 고압수를 상기 워터젯 노즐에 공급하는 공급부;
 상기 이동유닛 및 로봇팔과 워터젯 노즐을 제어하는 제어부;
 를 포함하는 워터젯을 이용한 굴착 시스템.
- [청구항 2] 제1항에 있어서,
 상기 공급부는,
 상기 고압수와 함께 연마제를 공급하는 워터젯을 이용한 굴착
 시스템.
- [청구항 3] 제1항에 있어서,
 굴착대상면에 도색된 소정의 색상 라인을 인식하는 라인인식수단;
 을 더 포함하며,
 상기 제어부는 워터젯 노즐이 상기 라인인식수단을 통해 인식한
 상기 라인을 추종하도록 상기 로봇팔을 제어하는 것을 포함하는
 워터젯을 이용한 굴착 시스템.
- [청구항 4] 제3항에 있어서,
 상기 라인은 파쇄패턴인 워터젯을 이용한 굴착 시스템.
- [청구항 5] 제1항에 있어서,
 상기 워터젯 노즐에 의한 굴착대상면의 파쇄패턴은 아치형 패턴인
 것을 포함하는 워터젯을 이용한 굴착 시스템.
- [청구항 6] 제5항에 있어서,
 상기 파쇄패턴은,
 아치형 패턴을 기본으로 하되, 지그재그 패턴이 복합된 패턴인
 것을 더 포함하는 워터젯을 이용한 굴착 시스템.
- [청구항 7] 제1항에 있어서,
 상기 워터젯 노즐은,
 상기 고압수에 의한 자유면의 파쇄 깊이를 측정하는 깊이
 센서부;를 포함하며,
 상기 제어부는 상기 파쇄 깊이를 이용하여 상기 로봇팔 및
 공급부를 제어하는 워터젯을 이용한 굴착 시스템.
- [청구항 8] 제7항에 있어서,
 상기 워터젯 노즐은,
 상기 고압수에 대한 자유면의 파쇄 너비를 측정하는 너비
 센서부;를 포함하며,
 상기 제어부는 상기 파쇄 너비를 이용하여 상기 로봇팔 및

- 공급부를 제어하는 워터젯을 이용한 굴착 시스템.
- [청구항 9] 제7항에 있어서,
상기 깊이 센서부는,
레이저 기반으로 하는 것을 더 포함하는 워터젯을 이용한 굴착 시스템.
- [청구항 10] 제8항에 있어서,
상기 너비 센서부는,
레이저 기반으로 하는 것을 더 포함하는 워터젯을 이용한 굴착 시스템.
- [청구항 11] 제1항에 있어서,
상기 워터젯 노즐은,
다수의 로봇팔에 신축 가능하도록 장착되어 굴착대상면을 파쇄하는 워터젯을 이용한 굴착 시스템.
- [청구항 12] 터널굴착을 위한 발파 대상영역을 향해 전후이동 가능한 아치형 프레임;
아치형 프레임에 이동 가능하게 결합되는 이동수단;
상기 이동수단에 지지고정되어 상기 발파 대상영역을 향해 고압의 물을 분사하는 워터젯 노즐; 및
상기 이동수단 및 워터젯 노즐을 제어하는 제어장치를 포함하는 워터젯을 이용한 굴착 시스템.
- [청구항 13] 청구항 12에 있어서,
상기 이동수단은,
상기 아치형 프레임 상부에 구비되는 레일에 결합되는 워터젯을 이용한 굴착 시스템.
- [청구항 14] 제 13항에 있어서,
상기 이동수단은 레일을 포함하며,
상기 레일은 프레임의 전후이동을 가능하게 하는 제1레일과 워터젯 노즐의 이동을 가능하게 하는 제2레일을 더 구비하는 워터젯을 이용한 굴착 시스템.
- [청구항 15] 워터젯을 이용하여 굴착대상면에 소정 깊이의 자유면을 형성하는 제1공정; 을 포함하는 워터젯을 이용한 굴착 방법.
- [청구항 16] 제15항에 있어서,
상기 워터젯을 이용하여 상기 자유면의 내측 영역에 장약공을 형성하는 제2공정; 을 더 포함하는 워터젯을 이용한 굴착 방법.
- [청구항 17] 제16항에 있어서,
상기 장약공에 폭약을 장약하여 발파하는 제3공정; 을 더 포함하는 워터젯을 이용한 굴착 방법.