

# 터널 청소장비의 고찰 및 개선된 모델에 관한 연구

## A Study on Tunnel Cleaning Automation Equipment & Introducing Advanced Tunnel Cleaning Automation Equipment

이태식\*    장경수\*\*○    구자경\*\*\*    박경순\*\*\*\*  
Lee, Tai-Sik    Jang, kyung-Soo    Koo, Ja Kyung    Park, Kyung-Soon

### 요 약

터널 청소는 현장작업이기 때문에 대단히 열악한 근로조건에 놓여있다. 시공되는 터널의 증가로 청소해야 할 터널이 점점 많아지고 있다. 하지만 터널의 증가에 비해 청소 분야에서 숙련공에 대한 구인난과 고령화는 해소되지 않고 있으며, 이들에 대한 임금 상승이 지속되는 것으로 조사되었다.

이에 대응하여 해결방안으로 제시된 것들 중의 하나가 바로 자동화·기계화이다. 최근 산업로봇의 발달로 인해 인력으로 해왔던 일들이 점차 줄어들고 신속하고 쾌적한 환경에서 작업할 수 있게 되었다. 하지만 건설로봇이 개발되기 시작한 것은 불과 10년 정도로 지금까지 개발된 전 세계 건설로봇은 90여종 200여대 정도에 지나지 않는다. 이 중 터널 청소 분야에서는 장비는 개발되었더라도 완벽한 자동화를 이루지 못해 추가로 인력이 투입되는 실정이다. 터널 청소는 직업의 안정성, 임금, 안전, 쾌적한 작업 환경 등을 만족시키지 못하고 작업자의 생명을 위협하는 수준에까지 이르고 있어 터널청소장비의 개선이 시급하다.

본 연구는 기존의 터널청소의 문제점 및 기존 터널장비의 문제점을 분석하고 이를 바탕으로 개선된 터널청소 장비를 제안하고자 한다.

키워드: 터널, 청소장비, 터널청소, 자동화

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

도로를 계획하고 설계하는 과정에서 주행성을 높이고 쾌적한 운전환경을 제공하기 위해 곡선 구배를 줄이고 직선 구간을 많이 반영하고 있다. 이 때문에 곡선구간이 줄어들면서 산간지역이 많은 국내의 특성상 터널을 많이 시공하고 있다. 터널이 증가함에 따라 유지관리 업무를 수행하는데 있어 청소업무가 증가하며, 이에 더 많은 예산과 장비가 투입될 것으로 판단된다. 하지만 국내 터널 청소 실정은 열악한 주변 환경으로 작업자의 건강을 해치며 생명까지 위협하는 등 많은 문제점을 가지고 있다.

유지관리 비용은 LCC(Life Cycle Cost) 측면에서 총 비용의 65%~75%를 차지하고 있으며, 터널청소는 유지관리 작업의 하나로 분류되고 있다. 하지만 시설물 청소는 직업의 안정성, 임금, 안전, 쾌적한 작업 환경 등을 만족시키지

못하는 대표적인 3D업종으로 인식되고 있다.

청소 분야에서 숙련공에 대한 구인난과 고령화는 해소되지 않고 있으며, 이들에 대한 임금 상승이 지속되고 있다. 이러한 기능 인력에 대한 문제점들은 인건비 상승, 청소 기간 지연, 현장에서 안전사고 발생 위험 증가 등으로 이어지게 된다. 따라서 터널 청소와 관련한 문제 해결을 위한 다양한 방안이 필요하다. 하지만 기능 인력의 공급 확대 중심 정책은 기능 인력의 수급 문제를 완화시킬 수는 있지만 터널청소 작업을 기피하는 근본적으로 문제를 해결하기에는 어려움이 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 터널 청소 관련 업체에서는 터널청소 장비를 도입하여 이에 대한 활용을 통해 인력을 대체하고 있다. 터널청소 장비는 작업의 안전화, 쾌적화, 생력화 등에 많은 기여를 하고는 있으나 장비의 개선을 통해 더 높은 성과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 이에 본 연구는 기존의 터널청소 장비에 대해 조사하여 이를 개선할 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 기존의 터널청소 방법과 관련 장비에 대한 문헌자료를 바탕으로 기존 터널청소 장비의 문제점과 개선방안을 검토하여 개선된 터널청소 장비를 제안하고자 한다.

\* 종신회원, 한양대학교 건설환경시스템공학과 교수, 공학박사  
\*\* 일반회원, 한양대학교 토목공학과, 석사과정  
jks@hanyang.ac.kr  
\*\*\* 일반회원, 한양대학교 토목공학과, 석사과정  
\*\*\*\* 일반회원, 한양대학교 토목공학과, 석사과정  
본 연구는 교육인적자원부의 2단계 두뇌한국21(BK21) 연구비 지원에 의한 연구의 일부임.

## 2. 국내의 터널 청소

### 2.1 국내 터널 현황

터널청소의 문제점을 분석하기 위해 국내 터널현황을 조사해본 결과는 표 2와 같았고 앞으로 더욱 많은 터널이 건설될 전망이다.

표 2. 국내 터널 현황

기준일: 2005년 12월 31일

도로명	개소	총연장(m)
고속도로	336	246,109
일반국도	185	116,362
특별, 광역시도	104	70,995
지방도	12	16,623
시도	3	1,525
군도	0	0
기타	6	2,946
계	646	454,560

자료: 한국시설안전기술공단 (준공완료터널 기준)

### 2.2 터널 청소 기준

터널 청소에 관한 규정은 터널유지관리메뉴얼<sup>1)</sup> 5장에 다음과 같이 명시되어 있다.

- 1) 터널 라이닝 및 노면의 청소상태를 수시 점검한다.
- 2) 터널 내에서는 유류성 오물, 매연, 납, 수산화칼슘 등의 환경 유해물이 발생하므로 일정한 주기 또는 수시 점검으로 필요한 경우에 터널을 청소해야 한다.
- 3) 도로터널의 경우 내장재로 사용되는 타일, 도색 등에 오염이 될 경우 터널내부의 조도를 낮게 하여 운행의 불편함을 주게 되므로 청소를 통해 적정 조도를 유지하게 한다.
- 4) 터널을 청소한 후에는 씻어낸 물과 슬러지 등은 반드시 수거하여 별도로 환경 관리 규정에 의거하여 처리하여야 한다.

청소에 관한 구체적인 청소의 기준은 미비하였고, 시설관리공단에서 관장하여 연 1회 이상 실시하고 있다.

### 2.3 터널 청소 방식

터널 청소는 시설관리공단에서 시 직영터널을 관장하고, 민간업체가 용역을 받아 민자터널을 관장한다. 터널 청소 시간은 교통량이 상대적으로 줄어드는 야간(밤 11시~다음

날 새벽 5시)이며, 인원은 총지휘 1명, 교통통제 2명, 작업 차량운행 2명, 차량에 탑승하여 기계장비를 조종하는 2명, 외인원이 기계가 미치지 못하는 부분을 청소하고 보통 8~11명이 한 팀이 되어 진행한다.

터널 청소는 위험요소가 많기 때문에 안전장비의 착용이 필수이다. 작업에 필요한 장비로는 작업 간 지상으로부터 이격 거리가 멀어 작업자의 안전을 위해 안전모를 착용하고, 터널 내 오염 및 청소 간 작업 간 분진 발생으로 인해 마스크를 착용한다. 또한, 주행하는 차량에게 작업자를 인지시키기 위해 형광엑스반도, 형광 스텔라 작업복을 착용하며, 기타 안전화를 착용한다.

### 2.4 기존 터널청소방식의 문제점

과거에는 청소의 모든 부분을 고압 살수차 1대만을 도입하여 인력으로 수행하였으나, 현재의 터널 청소는 장비의 개발로 인해 예전의 수동청소에 비해선 청소가 수월하고, 청소단가도 많이 떨어졌다. 하지만 인력의 투입이 불가피하여 터널청소 작업자에겐 다양한 위험요소를 가지고 있으며 위험요소는 표 2와 같다.

표 3. 작업환경에 따르는 위험요소 및 미치는 영향

작업 환경	위험요소	미치는 영향
터널 외부	과속, 난폭, 음주, 졸음운전, 욕설, 비방	생명의 위협, 정신적 스트레스
터널 내부	공기, 조도, 시간, 소음, 과속운전, 난폭운전, 음주운전, 졸음운전, 욕설, 비방	생명의 위협, 정신적 스트레스, 호흡기 질환, 피부병

현재 터널 청소작업 간 문제는 건강문제, 생명의 위협 및 정신적 스트레스로 파악되었다. 터널 내 먼지는 자동차 배기가스에서 나온 카본이 주성분으로 호흡기 계통에 많은 무리를 주어 호흡기 질환을 유발하고, 조도의 저하로 인한 적은 반사율로 작업자들이 잘 보이지 않는 점도 생명을 위협하는 요인으로 분석되었다.

## 3. 기존 터널청소장비 검토

### 3.1 자동화 개념

자동화 기술은 제조업 분야의 공장자동화 (Factory Automation)로부터 시작하여 사무자동화 (Office Automation) 및 건설의 자동화 (Construction Automation) 등으로 각 산업분야에 파급되어 있다. 건설업은 제조업분야에서 생산되는 각종 자재를 조합·응용하는 시스템산업이기 때문에 건설 분야의 자동화는 타산업의 자동화와 크게 연관관계를 갖고 있다. 타 산업분야에서 개발된 각종 자동화

1) 건설교통부 (2001), 터널유지관리메뉴얼

기술은 종합적으로 가까운 장래에 설계, 자재생산, 시공 등 각 분야에서 활발한 적용이 예상되고 있으며, 특히 고도로 발달된 계량설비, Computer 등이 발달에 따라서 적용기술은 한층 광범위해질 것이다.

### 3.2 터널 자동화 청소의 필요성

터널 청소는 현장작업이기 때문에 열악한 근로조건에 놓여있다. 근로자를 위험작업으로부터 해방시켜 안전율을 높이는 것이 필요하지만 청소해야 할 터널이 점점 많아지고 있고 좁은 공간에서의 작업, 배기가스 등으로 인한 공기오염, 조도로 인한 사고의 위험, 운전자의 과실로 인한 생명의 위험 등 현재보다 어려운 작업환경이 더 많아질 것으로 보임에 따라 터널 청소의 자동화 필요성이 크게 대두될 것이다.

### 3.3 기존 터널청소장비의 문제점

최근 산업로봇의 발달로 인해 인력으로 해왔던 일들이 점차 줄어들고 신속하고 쾌적한 환경에서 작업할 수 있게 되었다. 하지만 건설로봇이 개발되기 시작한 것은 불과 10년 정도로 지금까지 개발된 전 세계 건설로봇은 90여종 200여대 정도에 지나지 않는다. 개발이 되었더라도 완벽한 자동화를 이루지 못해 인력이 따로 투입되어야 하는 경우가 많다.

기존 터널청소의 문제점으로 반자동식 회전 브러싱 팔, 물 저장 탱크, 작업인원, 느린 작업속도, 낮은 작업효율 등이 있으며, 표 3과 같고 사용되는 장비는 그림 1, 그림 2와 같다.

표 4. 터널청소장비로 인한 터널청소의 문제점

터널청소의 문제요인	터널청소의 문제점
브러싱 팔	반자동화된 브러싱 팔로 인한 터널 천장 청소 난해
물	적은 저장용량으로 인한 추가 작업차량 필요
작업인원	브러싱 팔이 작업하지 못하는 부분을 인력이 청소, 이로 인한 인력 소모
작업속도	1개의 브러싱 팔을 사용함으로 느린 작업속도
낮은 효율	느린 작업속도로 인한 낮은 효율
경제성	낮은 효율, 느린 작업속도 및 추가 인력 투입으로 인한 낮은 경제성

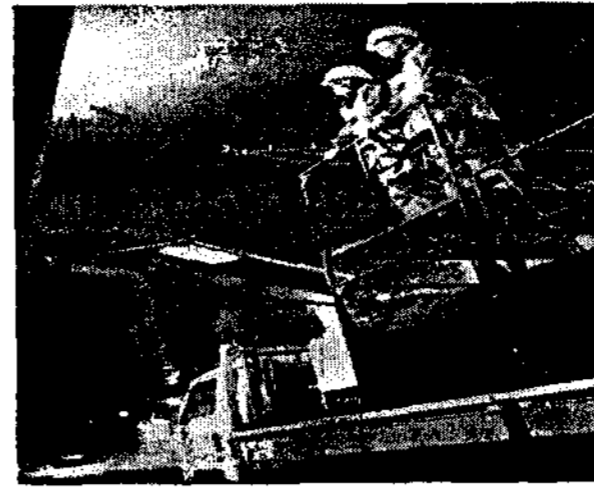


그림 1. 한팔 브러싱 장비



그림 2. 두 팔 브러싱 장비

이런 문제점의 개선방안으로 브러싱 팔이 2개 달린 청소장비가 개발되기도 했지만 팔의 고정이나 고정이 어려워 많은 동력을 사용하고 2개의 브러셔를 사용함으로써 물의 소비를 증대시킴으로 차량의 크기가 커지는 문제점이 발생하였다. 이밖에 겨울철에는 청소 후 완전한 건조가 되지 않아 노면이 얼어붙는 현상도 발생하게 된다.

### 3.4 터널청소장비의 개선방안

기존 터널청소장비에서 사용되는 한개 또는 두개의 브러싱 팔을 두개 이상 사용함으로써 터널 전면 청소를 기대할 수 있을 것이며, 이는 작업속도를 개선하여 효율을 증대시키고, 이로 인해 경제성 또한 높아질 것이다. 적은 물을 사용하여 넓은 면적을 청소할 수 있다면, 추가 작업차량에 대한 문제점이나 저장용량의 증가로 인해 장비의 크기가 커지는 문제점을 해결할 수 있을 것이다. 청소장비의 전면 청소로 인해 장비가 청소하지 못했던 부분에 대한 추가인력 투입이 필요 없게 되어 작업환경 개선 및 예산 절감의 효과도 있을 것이다.

## 4. 개선 방안 및 타당성 예측

### 4.1 고려사항

조사된 자료에 의해 기존의 청소장비는 브러싱 팔, 작업인원에 가장 큰 문제점이 있는 것으로 파악되었다. 이에 브러싱 팔의 효율을 높이고, 브러셔의 청소면적을 늘여 작업효율을 높이는 방법을 착안하였다.

### 4.2 개선된 모델 제안

앞서 조사된 문제점들을 개선하기 위한 방안은 표 4와 같고, 이를 개선한 모델은 그림 3과 같고 이를 터널에 적용한 단면도는 그림 5와 같다.

표 5. 기존 터널청소장비의 개선방안

		기존장비	개선된 장비	효과
브러싱 팔	개수	1개 혹은 2개의 브러싱 팔	2개 이상의 브러싱 팔	청소면적 증대
	브러싱 방향	세로	가로	청소면적 증대, 터널 적용성 증대
작업인원		청소장비 운행 및 브러싱 장비 작동 외 여러 명	청소장비 운행 및 브러싱 장비 작동 인원	작업인원 감소
작업속도		좁은 청소면적으로 느림	넓은 청소면적으로 빠름	작업속도 증대
낮은 효율		느린 작업속도로 인한 낮은 효율	빠른 작업속도로 인한 높은 효율	효율증대 및 예산절감
경제성		추가 인력 투입에 대한 예산소요	추가 인력 투입에 대한 예산감소	예산 절감

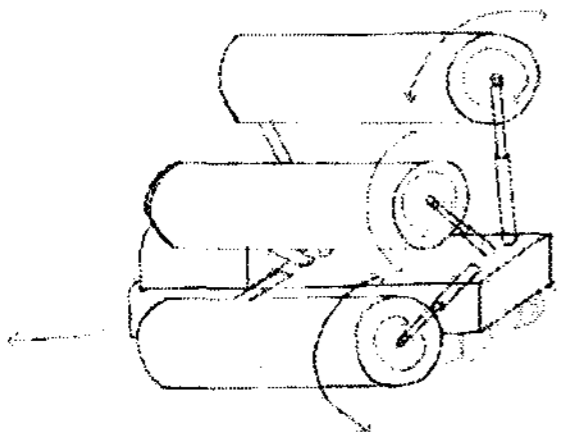


그림 3. 개선된 모델 구상도

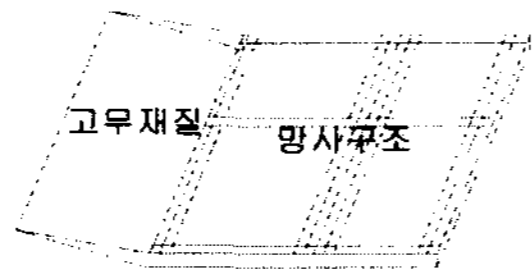


그림 4. 슬러지 처리용 날개

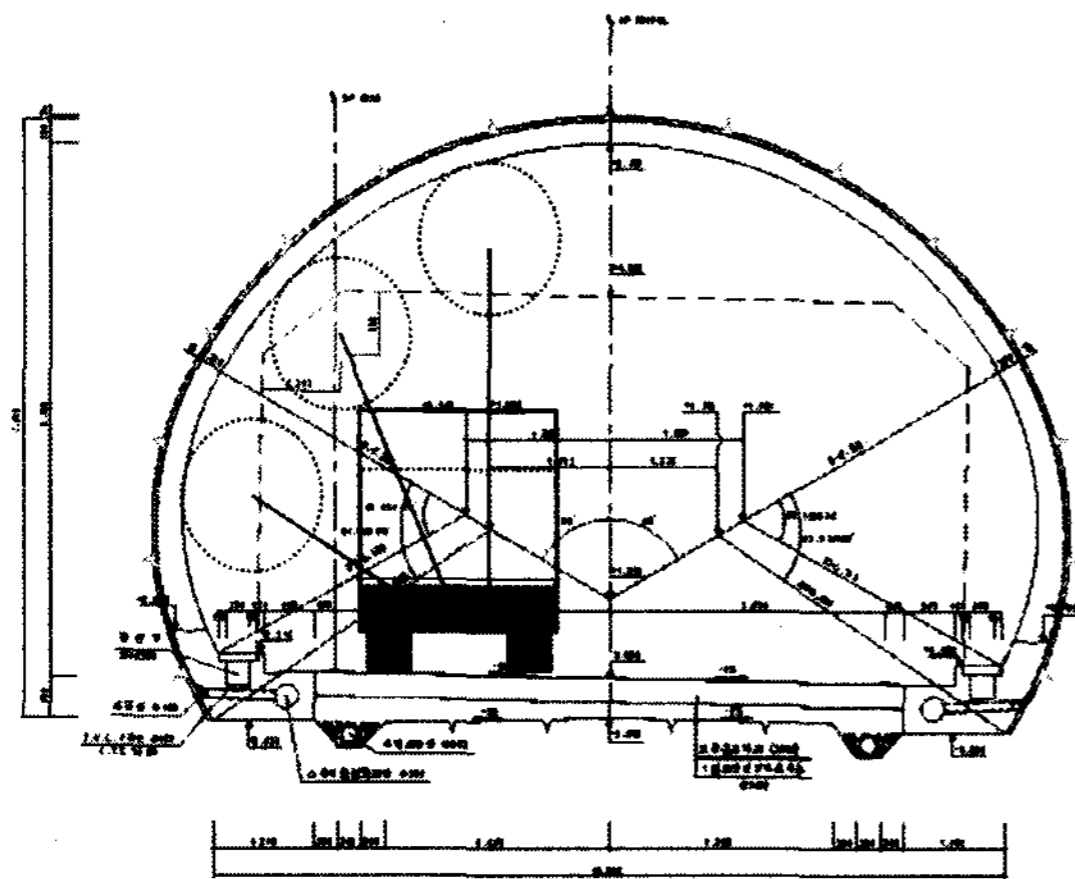


그림 5. 개선된 모델 단면도

기존 장비는 브러싱 장비를 세로로 사용하여 청소를 수행하였으나 이를 가로로 놓혀 사용함으로써 청소할 수 있는 면적을 증가시킬 수 있다. 이로 인해 2개 이상의 브러서를 갖기 위해 팔이 추가로 장착되어야 하는 문제도 피할

수 있을 것이다. 각각의 브러서는 좌우 및 상하움직임이 가능하고 이는 크기가 다른 터널에서 유용하게 쓰일 수 있을 것이고, 각 브러서의 좌우 움직임을 통해 넓은 면적을 한번에 청소할 수 있을 것이다. 이에 따라 작업속도가 증가되고 효율성이 증대되며 경제성 또한 높아질 것이다.

또한, 청소과정에서 생기는 슬러지를 수거하지 못하는 단점은 그림 4와 같은 장치를 차량 하단 부착함으로써 처리한다.

### 4.3 개선된 모델의 검토

기존 터널청소장비는 1개~2개의 브러시를 세로로 사용하기 때문에 넓은 면적을 청소하기 때문에 브러싱 팔이 상하 좌우로 움직여야 한다. 하지만 개선된 모델은 이를 큰 브러서가 담당하기 때문에 브러싱 팔은 상하로 작동하게 설계하여 브러싱 팔에 들어가는 비용은 적어지게 된다. 하지만 브러서의 크기가 증대되고 브러서의 개수가 늘어나게 되어 비용은 증대될 것이다. 물의 양은 기존에 청소에 사용하는 물의 양과 똑같은 크기의 물탱크를 사용하기 때문에 차량의 크기 및 차량은 기존의 장비와 동일할 것으로 예상된다.

기존 터널청소장비는 터널 벽면에서 씻겨진 슬러지를 처리하지 못하여 배수관에 흘러보내는 문제점이 있었지만 개선된 모델은 이를 해결할 수 있을 것으로 예상되고 이 장치의 추가로 비용은 증대될 것이다. 세제는 기존에 사용되던 것과 동일한 세제를 사용할 것이고 이에 대한 비용의 변화는 없을 것으로 예상된다. 터널청소장비가 청소하지 못하는 부분은 인력을 투입하여 고압으로 살수하는 방식으로 청소를 하였지만 브러서 면적의 증대로 인력이 청소하는 부분이 감소되어 전체적인 청소작업 시간은 줄어들 것이다.

전체적으로 기존 장비보다 빠른 작업이 예상되어 같은 시간에 더 많은 터널을 청소할 수 있을 것이다. 또한, 인력 투입의 감소로 예산의 절감을 기대할 수 있다. 장비의 가격은 증가하겠지만 청소작업효율의 증대로 전체적인 청소비용은 감소할 것으로 예상되고 이는 표 6과 같다.

표 6. 기존모델과 개선된 모델의 경제성 검토

	기존장비	개선된 장비	작업비용
브러싱 팔 개수	1개~2개	2개 이상	증가
브러싱 팔의 움직임	상, 하, 좌, 우	상, 하	감소
물탱크	-	-	변화 없음
슬러지처리를 위한 추가장비	-	추가	증대
작업인원	8명~11명	5명 이하	감소
작업시간	-	감소	감소

## 5. 결론

## 참고문헌

본 연구는 기존의 터널 청소 방식을 조사하여 브러싱 팔, 작업인원, 느린 작업 속도, 낮은 효율 및 경제성 등에 대한 개선안을 제시하고자 하였다. 향후 터널청소 중소기업체 담당자 및 시설물 담당자와의 추가적인 인터뷰 및 설문을 통해 개선방안에 대한 실무자의 의견을 수렴할 것이며, 기계분야 전문가와의 인터뷰를 통해 기계적 문제점을 보완하여 현업에 활용 가능한 터널 청소 장비를 제안하고자 한다.

1. 건설교통부 (2001), 터널유지관리매뉴얼
2. 도로교통과 (2004), 국내 터널 현황
3. 인터넷 부산일보 (2006), 광안터널, 때 벗기고 광내주마, 2006.04.10, 1판, 99면
4. 한국건설기술연구원 (1997), 건설기계의 개발 동향 및 건설분야에서의 자동화
5. 한국건설산업연구원 (2003), 건설공사의 자동화·기계화의 효과 및 확대방안

---

### Abstract

Field works are decreasing gradually since advancement of industrial robots. Tunnel cleaning is a dangerous field work which can be solved only by introducing advanced tunnel cleaning automation equipment.

Industrial robots work tirelessly night and day without a loss in performance. Consequently, greatly reduce the costs of manufactured goods. So far only 200 construction robots are invented. Robots used for tunnel cleaning are not of high standard they always need additional workers for job to be done. Robots offer specific benefits to workers, industries and countries. If introduced correctly for tunnel cleaning, industrial robots can improve the quality of life by freeing workers from dirty, boring, dangerous and heavy labor. Development of advanced tunnel cleaning automation equipment is a must to overcome above issues. The benefits of robots to industry include improved management control, productivity and consistently high quality products.

This research is a study on tunnel cleaning automation equipment and introducing advanced tunnel cleaning automation equipment.

**Keywords :** Tunnel, Tunnel Cleaning Equipment, Tunnel Cleaning, Automation

---