

## 박스암거내 슬러지 처리를 위한 원격조정 버킷구동식 준설기 개발

강성준<sup>1</sup>, 소병문<sup>2</sup>, 박영기<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>전북대학교 기계시스템공학부, <sup>2</sup>전북대학교 IT응용시스템공학과,  
<sup>3</sup>전북대학교 사회기반공학과

### Development of Remote Controlled Bucket Driven Dredger for Sludge Treatment in Box Culvert

Sung-Jun Kang<sup>1</sup>, Byung-Moon So<sup>2</sup> and Young-Gi Park<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Mechanical System Engineering, Chonbuk National University

<sup>2</sup>Dept. of IT Applied System Engineering, Chonbuk National University

<sup>3</sup>Dept. of Infra-Structure Civil Engineering, Chonbuk National University

**요약** 본 연구에서는 도로 지하에 매설되어 있는 2m×2m 정도 규모의 박스형태 암거의 좁은 공간에서 준설작업을 할 수 있는 준설기 개발에 관하여 기술하고자 한다. 개발된 준설기는 버킷 구동식으로 동작하며, 지하에 매설된 암거의 내부를 지상에서 영상을 통해 인식하여 원격 조정이 가능하다. 위험한 작업환경에서도 준설작업이 가능하므로 개발결과를 상용화하고자 한다.

**Abstract** In this paper, we develop the bucket driven dredger for sludge treatment in box type culvert. The dredger is operated in 2m x 2m box type narrow culvert under the road, and controlled using remote controller on the remote zone. In order to operate under dangerous environment, we develop the bucket driven dredger, and we will commercialize the result.

**Key Words** : Bucket driven, Dredger, Sludge, Box culvert

### 1. 서론

하수관거는 오수 및 상수도 등의 처리를 위하여 도로 밑 2미터 정도의 깊이에 매설되어 있는 콘크리트 구조물이다. 하수관거 준설관련 통계자료에 의하면 국내의 경우 총 3,839,835 km의 하수관거가 도로의 지하에 설치되어 있으며[1], 주관으로서 2m×2m 정도 규격 박스형태의 암거를 사용하는 것이 일반적이고 지관으로서 원형관을 사용하는 경우가 대부분이다.

그런데 박스암거의 경우 상수도의 경우와 달리 시간이 지남에 따라 오염된 슬러지의 퇴적화가 진행되어 적절한 준설작업을 행하지 않으면 장마철에는 하수의 흐름을 저해하여 맨홀을 통해 역류하는 경우가 발생하며, 또한 심한 경우에는 퇴적물이 하수관거의 배수 기능을 마

비시켜 침수의 원인으로 지적되기도 하다.

그래서 환경부의 “하수관거 유지관리 지침”을 보면 하수관거의 점검 주기는 연 1회 이상으로 규정하고 있으며, 청소 및 준설을 연 1회 이상 시행하도록 되어있다[2]. 그러나 실제적으로는 적절한 준설이 이루어지고 있지 않은 실정이다.

특히 산업 공단 지역에서의 암거는 유독 가스로 인한 질식 또는 가스 폭발의 위험이 높고, 이로 인한 사망 사고가 적지 않게 보고되고 있다. 따라서 유독 가스의 존재 가능성이 있거나, 산소가 부족할 수 있는 작업 환경이라도 준설작업을 행할 수 있는 무인 처리 준설기의 개발이 절실히 요구되고 있는 현실이다.

그러나 현재 국내에서는 아직 상용화되어 사업화 개발된 경우가 없어 그 준설작업을 사람이 직접 암거내에

\*교신저자 : 박영기(parkyk@jbnu.ac.kr)

접수일 10년 06월 03일

수정일 (1차 10년 07월 06일, 2차 10년 07월 16일)

계재확정일 10년 08월 10일

투입하여 작업하고 있는 열악한 현실이다.

이에 본 개발의 준설기는 2m×2m 정도 규격 박스형태의 암거내 좁은 공간에서도 준설작업을 행할 수 있도록 버켓구동식으로 동작하여 원활하게 준설토를 후방으로 보낼 수 있도록 하였다. 그리고 지하에 매설된 암거의 내부를 지상에서 영상을 통해 인식하고, 지상에서 원격 조정하도록 개발하여 위험한 작업환경에서도 준설작업을 행할 수 있도록 원격조정 버켓구동식 준설기를 개발하였다.

## 2. 원격조정 버켓구동식 준설기 개발

### 2.1 국내 관련 기술현황

퇴적강도가 큰 하수 암거의 슬러지를 제거하는 방법으로서, 국내에서 활용되고 있는 방법을 크게 나누어보면 다음과 같이 3가지 정도로 요약된다.

첫째 작업인부가 하수 암거에 직접 들어가 스키드로다 등을 이용하여 직접 슬러지를 제거하는 방법으로서, 이 방법은 작업반경이 좁을 뿐만 아니라 슬러지를 노면 절개위치까지 운반해야만 하기 때문에 작업효율이 대단히 떨어진다.

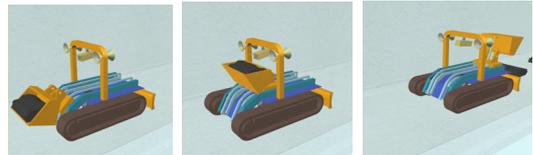
특히 산업 공단지역의 경우 작업자의 안전에 치명적인 결과를 초래할 수 있는 단점을 가지고 있지만, 국내에서 암거의 슬러지를 제거하기 위해 가장 널리 사용되고 있는 실정이다.

둘째 원동기가 부착된 두 대의 윈치에 와이어로프를 통하고 로프에 버켓을 부착하여 50여 미터 정도 떨어진 맨홀과 맨홀 사이를 왕복하면서 슬러지를 제거하는 기계식 작업방식으로서[3,4], 이 방법은 기계식 윈치를 통해 50미터를 잡아당긴 후에야 한번의 버켓용량 만큼만 준설할 수 있는 커다란 문제점을 가지고 있고, 또 퇴적정도가 심한 암거의 경우에는 그 효율이 상당히 떨어지고 있는 실정이다.

셋째, 진공흡입 방법으로서 지관인 원형관의 경우에 널리 쓰이는 방법으로서 자동차에 진공펌프와 저류탱크를 적재하여 맨홀 등에 모아진 토사 등을 흡입관을 통해 제거하는 방법이다[5]. 이는 수분 등이 많이 함유된 액상 형태의 슬러지를 제거하기 위해 암거에 인력이 직접 들어가 진공펌프관을 삽입하여 빨아들이는 방법으로서, 비교적 퇴적정도가 심한 암거의 슬러지 제거작업에는 부족한 문제점을 가지고 있다.

### 2.2 기술개발목표

본 개발의 개략도를 나타내보면 아래 그림1과 같이 도로를 절개하여 준설기가 지하 암거에 내려가 암거에 쌓여있는 퇴적물 또는 준설토를 버켓으로 퍼올린다. 그후 좁은 공간에서 뒤따라오는 슬러지 이송장치에 준설토를 퍼주기 위하여 버켓이 버켓레일을 따라 수평상태를 유지한 채 준설기 후방으로 보내는 작업과정을 보여준다.



[그림 1] 제안된 준설기 작업 개념도

본 개발에서는 퇴적물의 퇴적 정도가 큰 암거용 준설기를 개발하는 것이 개발 목표로서 퇴적물을 퍼내는 버켓은 유압으로 구동하며, 버켓의 회전 등의 작동 역시 유압을 이용하여 작동하도록 개발한다.

본 준설기는 지하 암거에 유독 가스가 있을 경우 작업자가 기계와 같이 작업하는데 위험성이 매우 크므로 지상에서 조정이 가능하도록 설계하여 개발한다. 즉, 준설기에 영상 전송 카메라 등을 설치하여 지상에서 지하의 작업 상황 및 작업 환경을 파악하여 작업을 효과적으로 진행하며 작업 중 장애물 등이 있는 경우 이를 효과적으로 피해갈 수 있도록 개발한다.

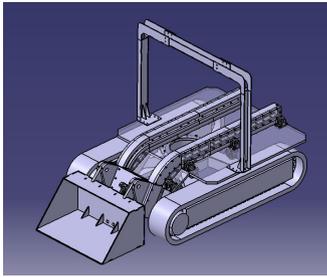
보통 암거 내 폭이 약 2m 정도로 좁기 때문에 스키드로다 등과 같은 작업장비는 전, 후방향으로는 이동이 가능하나 회전이 불가능하여 준설작업을 제대로 수행할 수가 없다.

따라서 본 개발에서는 버켓이 준설기 본체의 상부로 지나가면서 버켓 내부의 퇴적물을 준설기 후방으로 이동시켜 준설기를 따라오는 대차에 실어서 지상으로 운반할 수 있도록 개발한다.

### 2.3 준설기 구조 및 기구해석

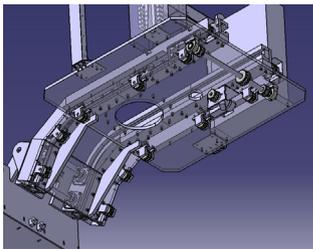
#### 2.3.1 최종 버켓레일 구동 방식

본 개발에서 제안하는 최종 버켓레일 구동 방식은 아래 그림 2와 같이 버켓이 레일을 따라 회전하지 않고 후방으로 이송할 수 있도록 하였다.

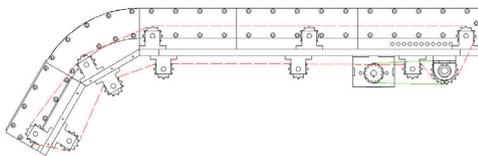


[그림 2] 최종 제안된 버켓레일 구동방식

본체 하부에서 바라본 버켓의 구동부는 그림3과 같고, 우측 끝단에 체인을 구동하기 위한 축과 유압 모터가 부착되도록 설계하였으며 그림 4는 체인의 연결 구조를 보여준다. 체인은 각각 버켓을 지지하는 대차의 전 후방에 고정되며, 전방쪽의 체인은 고정시키고, 후방 쪽의 대차는 양쪽 체인의 밸런스를 맞추기 위해 밸런스 조정 기구를 고안하여 부착하였다.



[그림 3] 본체 하부의 스프라켓 배열



[그림 4] 스프라켓 위치 및 체인 연결

### 2.3.2 버켓레일 기구해석

본 개발에서 중요한 작동 기구는 레일을 따라 움직이는 버켓레일 시스템이다. 따라서 본 기술 개발에서는 버켓의 작동을 해석하기 위해 기구학 해석 프로그램인 Visual Nastran 4D를 사용하였으며, 본 해석은 실제 제작 치수대로 모델링하고 해석 결과에 따라 실제 설계에서는 설계치수의 일부를 변경하였다.

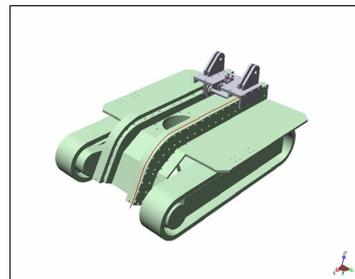
버켓레일 이송해석으로 그림 5는 레일 상에서 버켓이 원활히 움직이는지를 확인하기 위한 해석 조건을 보여준다. 실린더 형상으로 보이는 것은 하 방향으로 밀고 상 방향으로 당기는 힘을 부여하기 위한 실린더로 실제 구

조에 존재하는 형상은 아니다. 해석조건은 버켓과 레일이 서로 충돌(Collide)이 일어나도록 하였고 버켓 뒤로 끌어당기도록(Linear Actuator) 조건을 주었다.



[그림 5] 버켓 이동 해석조건

그림 6은 버켓의 이동경로를 보여주며 빨간색으로 표시된 라인이 꺾적으로 보여준다. 레일 상에서 들뜸이나 멈춤 없이 잘 이송하고 있음을 보여준다.



[그림 6] 버켓의 이동경로

### 2.3.3 취약부의 구조 해석

개발하고자 하는 준설기는 수분이 포함된 슬러지를 운반하여야 하므로 하중에 대한 구조해석이 요구되었다. 특히 기존의 장비들에 비해 사용 환경이 특수한 상황이므로 각각의 부분에 대해 구조적인 차이점을 가지고 있으므로 유한요소 해석을 통한 강도 설계를 수행하였다[6,7].

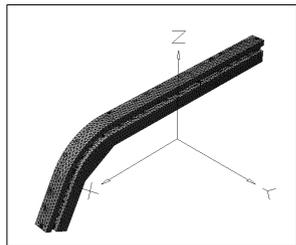
해석은 하중 조건이 가장 심할 수 있는 부분인 레일부, 대차부를 중점적으로 해석하였고, 버켓과 대차 이송부 프레임에 대해서 수행하였다.

해석은 Visual Nastran를 사용하였으며 해석 모델은 CATIA V5에서 만들어진 모델을 Visual Nastran으로 넘겨서 해석하였다.

하중 조건은 버켓에 실릴 수 있는 슬러지의 양이 최대 300Kg이 못되나 극한 조건을 주기 위하여 약 500 Kg으로 설정하였다. 300Kg의 근거는 슬러지의 경우 그 구성에 따라 중량이 매우 다르기 때문에 버켓의 용량에 해당하는 레미콘의 중량으로 계산하였다.

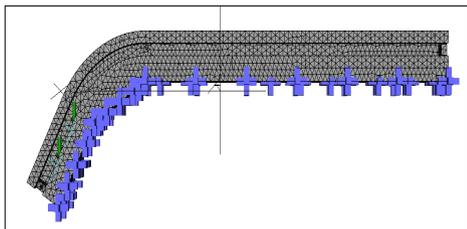
**가. 레일부 해석**

레일부의 해석은 전체 구조가 레일이 양쪽으로 대칭되게 놓여있고 그 위에 놓여지는 구조물 역시 대칭이므로 한쪽 레일만 해석하였다. 그림 7은 본 해석에 사용된 레일의 모델을 보여준다. CATIA V5에서 만들어진 모델을 Visual Nastran에서 부른 형상이다.



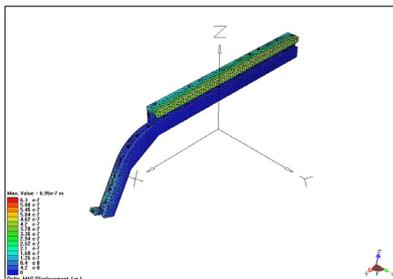
[그림 7] 레일의 메쉬 형상

레일의 하중 및 경계조건은 버켓이 가장 아래에 위치할 때 그림 8과 같이 하중과 구속 조건을 보여준다. 레일은 이송부 메인 프레임에 부착된 상태이므로 자유도를 구속하여 움직임이 없도록 하였고, 버켓이 레일을 타고 올라가기 전의 위치에서 휠이 접촉하는 위치에 부여하였다. 전체 하중은 500Kg으로 보았을 때 한쪽 면이므로 250Kg이 되고 축이 두 개이므로 125Kg 씩 추가하였다.



[그림 8] 하중 및 구속조건

그림 9는 주어진 조건에서의 변형량을 보여준다. 최대 변형량이  $6.95 \times 10^{-7}$  m로 거의 변형이 없다고 보아도 무방할 정도이다.



[그림 9] 변형상태

**나. 버켓 대차부 해석**

대차부는 버켓을 부착하고 직접 구동하는 부분이므로 하중해석이 중요하다. 특히 휠이나 축 부분에 설계상의 하중 부하가 크지 않도록 설계하는 것이 중요하다고 볼 수 있다.

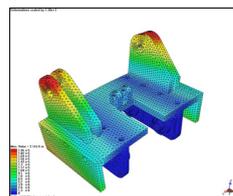
그림 10은 대차의 모델 및 메쉬와 하중 및 구속조건을 보여준다. 대차 역시 CATIA 모델을 Visual Nastran에서 사용한 것이다. 버켓의 무게가 상방향에서 하방향으로 누를 경우 대차의 상부 브라켓에 하중이 작용하는 것으로 보았고, 하부의 베어링 부분이 지지되어있는 것으로 조건을 부여하였다. 전체적인 하중은 레일의 경우와 동일하게 약 500Kg 정도의 하중이 작용한다고 보았다.

그림 11은 이와 같은 조건에서의 변형을 보여준다.  $2.21 \times 10^{-5}$  m 정도의 변형이 발생하는 것으로 보인다. 변형의 정도는 매우 미미하여 변형에 의해 구조적인 변형 등이 발생할 가능성은 없는 것으로 보인다.

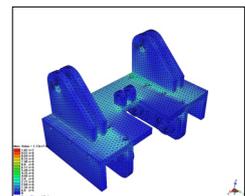
그림 12는 응력 분포를 보여준다. 최대응력이 1.13e7 Pa로 파손과는 무관한 값이다. 변형이 상부 브라켓 선단에서 발생한 것과는 차이가 있게 대차 바닥판에서 발생하고 있음을 알 수 있다.



[그림 10] 하중 및 구속 조건



[그림 11] 변형 분포



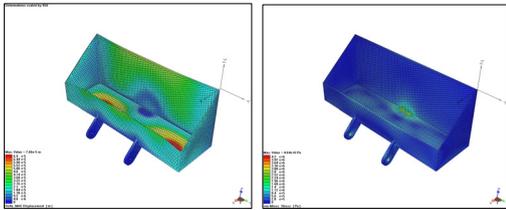
[그림 12] 응력 분포

**다. 버켓 해석**

버켓은 실제로 슬러지를 퍼 담는 부분이므로 이 부분의 강도 역시 중요하다. 설계 되어진 버켓에 대해 버켓이 취할 수 있는 상방향과 전방을 바라보는 자세에 대해 해석을 수행하였다.

그림 13는 버켓이 상방향으로 바라보고 있는 상태에서의 변형 및 응력 분포를 보여준다. 실린더 고정 부분이

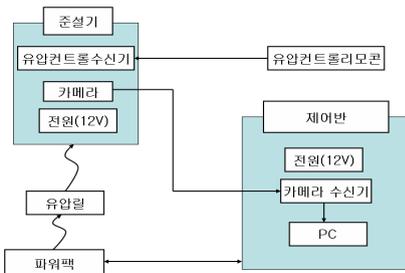
구속되고, 하중은 버켓 내부에 작용하는 경우에 대해 해석한 결과이다. 해석 결과 최대 변형은  $7.66 \times 10^{-5}$  m 발생하는 것으로 나타났다. 큰 변형이 아니므로 작동 상에 문제점은 없을 것으로 보인다. 최대 변형 위치는 실린더 고정 부분이 아닌 평면 부분에서 발생하고 있다. 최대 응력은  $4.64 \times 10^6$  Pa 정도 발생하고 있으며, 파괴 강도에 비해 매우 작은 양이므로 안전상에 문제가 없을 것으로 보인다.



[그림 13] 변형 및 응력 분포

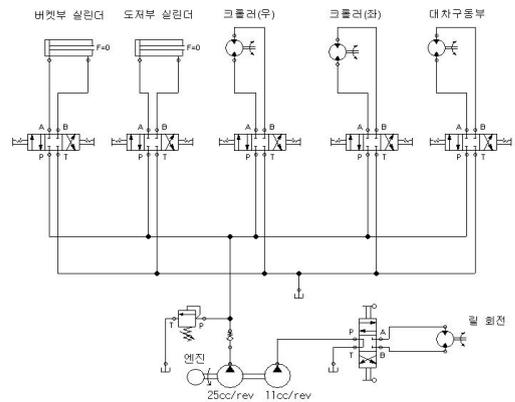
### 2.3.4 준설기 시스템의 구성과 제어

그림 14는 준설기 시스템의 구성과 제어의 흐름을 보여주며, 시스템의 제어는 제어반과 유압 컨트롤 리모콘을 통하여 이루어진다. 준설기와 제어반은 각각 독립적인 전원을 가지며 제어반의 경우 PC와 카메라 수신기의 전원을 공급하며, 제어반에 연결된 파워팩의 엔진 구동을 위한 전원으로도 이용된다. 파워팩은 유압릴을 통하여 준설기에 유압을 공급한다. 준설기에는 유압 컨트롤 수신기와 전원이 탑재되며, 준설기에 탑재된 카메라는 무선으로 제어반에 부착된 카메라 수신기로 영상을 송신하게 된다. 작업자는 제어반에 부착된 PC로 전송된 현장 영상을 보며 유압 컨트롤 리모콘을 사용하여 작업을 진행한다.



[그림 14] 준설기 시스템의 구성 및 제어

그림 15는 유압회로도로서 두 개의 실린더와 전후 구동을 위한 크롤러 모터 두 개와 대차 구동부를 이루는 모터, 릴을 구동시키는 모터로 구성된다.



[그림 15] 유압 회로도

다음 그림 16는 실제 제작된 준설기의 사진으로서 박스 암거내 좁은 공간에서도 작업을 원활히 할수 있도록 제작되었다.



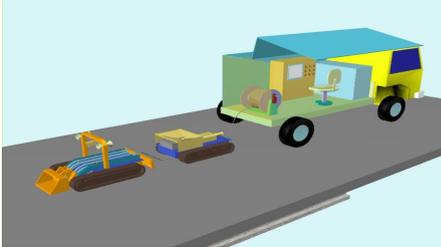
[그림 16] 제작된 준설기

## 3. 결론

산업공단지역의 암거와 같이 유독 가스의 존재 가능성이 있거나, 산소가 부족할 수 있는 환경이라도 작업자의 안전에 영향을 주지 않고 지상에서 무인으로 원격 조정하며, 동력은 지상으로부터 유압 방식으로 공급받아 가스의 폭발가능성에 대해서도 대응할 수 있는 박스 암거내 슬러지 처리를 위한 원격조정 버켓구동식 준설기를 개발하였다.

본 개발된 준설기는 지하 암거에 작업자가 직접 들어 가지 않으며 지상에서 원격 조정하는데 그 특징이 있으며, 이를 위해 준설기에는 영상 전송 카메라를 설치하여 지상에서 지하의 작업 상황 및 작업 환경을 파악하여 작업을 효과적으로 진행할 수 있도록 개발하였으며, 또 지

하 암거의 좁은 공간에서도 준설토를 원활히 뒤로 배출할 수 있도록 버켓레일 구동방식을 개발하여 실제 적용한 바 그 성능을 충분히 달성하였다.



[그림 17] 본 과제의 향후 개발목표

그리고 그림 17에서 보는 바와 같이 향후 계획으로는 준설된 슬러지를 지상으로 반출하기 위하여 듀얼스크류를 이용한 이송시스템과, 지상에서 탈수 처리하기 위한 탈수 시스템을 개발하여 수질개선을 위한 하수암거 슬러지 원격조정 무인처리 준설시스템을 완성할 것이다.

### 참고문헌

- [1] 환경부 통계자료, pp. 102-103, 2005.
- [2] 하수관거 유지관리지침, pp. 23-25, 1999.
- [3] 이근호, "준설기의 윈치드럼 구동장치", 특허공보, 10-0383806, 2003.
- [4] 나남열, "하수관의 준설방법과 그 장치", 특허공보 10-0299939, 2001.
- [5] 탄천환경, "진공흡입 준설통과 이를 이용한 침사지 준설공법", 특허공보, 10-0486903, 2005.
- [6] J.L.Meek, "Matrix Structural Analysis", McGRAW-HILL Book Company.
- [7] O.C. Zienkiewicz, "The Finite Element Method", McGRAW-HILL Book Company

### 강성준(sung-jun kang)

[정회원]



- 1983년 2월 : 서울대학교 조선공학과(학사)
- 1985년 2월 : 서울대학교 조선공학과(석사)
- 1990년 2월 : 서울대학교 조선공학과(박사)
- 1992년 1월 ~ 1993년 : 원자력연구소 선임연구원
- 1993년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 기계시스템공학부 교수

<관심분야>  
전산구조해석, 구조설계

### 소병문(Byung-Moon So)

[정회원]



- 1986년 2월 : 원광대학교 전기공학과(학사)
- 1990년 2월 : 원광대학교 전기공학과(석사)
- 1998년 2월 : 광운대학교 전기공학과(박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 IT응용시스템공학과 교수

<관심분야>  
LED, OLED, Solar Cell

### 박영기(Young-Ki Park)

[정회원]



- 1983년 2월 : 전북대학교 토목공학과(공학사)
- 1985년 2월 : 전북대학교 대학원 토목공학과(공학석사)
- 1989년 8월 : 전북대학교 대학원 토목공학과(공학박사)
- 1996년 3월 ~ 2008년 2월 : 국립익산대학 건설환경과 교수
- 2008년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 사회기반공학과 교수

<관심 분야>  
수자원 시스템 평가, 해수유동 모델, 확산모델링, 수질 모델링, Stochastic Processes