

노후하수관 교체시 비굴착방식 신공법기술개발

*노종호, *이영기, *노홍구[†], **한민호, *이성철, *임일
 *(주)하이드로메틱스, **건양 C&E(주)

Design and Fundamental Experiment on Trenchless Replacement of Old Sewerage

*Jong-ho Noh, *Young-ki Lee, [†]Hongkoo Roh, **Min-ho Han, *Sungchul Lee, *Il Lim

ABSTRACT : The study aims to enhance the trenchless replacement of old sewerage. The trenchless replacement was designed as real size and tested in the field of construction. This trenchless replacement was new technology in construction. The result was good performance in the construction. In the future, the trenchless replacement should be use as the exchange equipment of old sewerage.

Key words: Pipebursting(관파쇄), Pipe-jacking(추진공법), Trenchless(비굴착), Sewerage(하수관), Water-Jet-Impingement(워터젯 분사장치)

1. 서론

현재 국내에서 노후 하수관의 재시공을 위한 작업은 중장비가 투입되어 지면을 파헤치고 교체하는 개착방식이 사용되고 있으며, 이에 따른 교통차단으로 불편과 혼잡비용의 발생은 물론 도로 재포장, 교통차단으로 복잡해진 도로에 개착방식의 공사를 수행하기 위한 중장비의 공사현장 통과, 작업장에서 발생하는 비산 먼지, 보행자 안전사고 등으로 인한 피해가 발생하고 있다. 이로 인해 도심지에 매설되어있는 노후 하수관의 교체작업을 위한 비개착 방식의 장비개발이 필요한 상황이다. 국외 연구개발 현황을 살펴보면 일본 (재)토목연구센터에서는 비개착 방식을 이용한 노후하수관 제거장비의 개발을 완료하고 현장 시험을 완료한 상태이다.

국내에서도 TBM 장비를 이용한 비개착 방식의 터널시공, 또는 노후 하수관의 부분적인 보수, 혹은 누설이 많은 일부 구간을 오메가라이너공법; 노후화된 하수관 등에 플라스틱화합물로 구성된 튜브를 넣고 열풍을 이용하여 튜브를 확대시켜 기존의 노후

화된 하수관 등의 균열, 파괴 부위를 보완, 보수하는 공법 등을 활용하여 노후하수관의 수명을 일정기간 연장하는 공사가 진행되고 있지만 노후화가 진행되고 과거 도시 계획보다 하수의 용량이 대폭 확대되어 노후하수관의 전면 교체가 필요한 도심지에서는 비개착방식을 적용한 노후하수관 전면 교체장비의 개발이 절실한 상황이다.

본 연구에서는 비개착공법을 이용하여 노후 하수관의 전면교체 장비를 개발하기 위한 전단계로서, 장비개발을 위한 주요 요소를 분석하고, 개발 장비의 구성설계 및 최적의 노후하수관 파쇄조건을 알아보기 위한 기초 실험을 수행하였다.

2. 개발을 위한 요소분석

2.1. 노후 하수관 현황

국내 신설관의 본래 설계수명은 20년이지만 수명을 유지하는 관거가 드물며, 전국의 하수관거 조사결과에 의하면 22m 당 1개소의 불량 발생하고 있어 국내 하수관거는 심각한 노후화가 진행되어 관련 보수

장비의 개발이 절실한 상황이다. 그러나, 국내의 하수관거 보수·보강용 장비의 종류가 단편적이고, 특정 공법만 적용하고 있어 하수관거 불량 형태에 대응하지 못하는 실정 이어서 보수장비 특히 교체 장비의 개발이 요구되고 있다. 본 연구에서는 비굴착 공법 용 장비의 개발에 대한 내용으로 도로의 개착을 최소화 하고, 공사소음, 진동, 분진, 악취 등의 각종 환경오염물 발생을 적게하여 시공 중에도 쾌적한 환경을 유지할 수 있을 것으로 예상된다.

2.2. 노후 하수관 교체장비 사양

본 연구를 통한 노후하수관 전면교체장비 설계와 기초 실험을 위한 구성은 Fig. 1 과 같다.

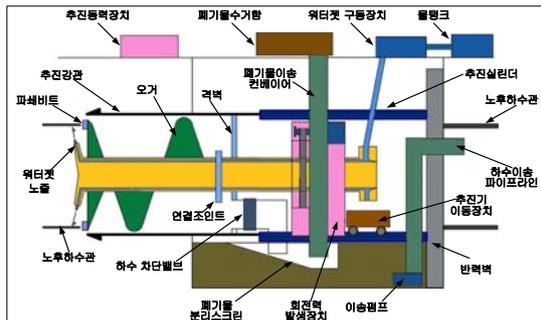


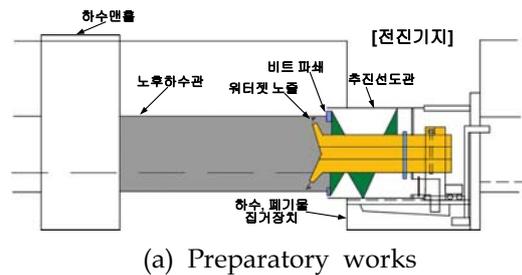
Fig. 1 Schematic diagram of trenchless replacement a worn-out sewerage system

Fig. 1에서 보는 것처럼 시스템은 노후 하수관을 파쇄하기 위해 비교적 한적한 장소에 발진 기지를 시공하고, 노후 하수관을 제거하기 위한 파쇄비트, 그리고 노후하수관 내의 와이어에 달라붙은 콘크리트 덩어리를 제거하면서 노후하수관 파쇄로 인해 마찰열이 발생한 파쇄비트를 냉각할 수 있는 고압의 워터젯 장치, 파쇄된 콘크리트와 하수관내 폐기물, 하수 등을 전진기지로 배출하기 위한 오거, 오거에서 나온 폐기물을 분리할 수 있는 분리장치, 폐기물 수거장치, 파쇄비트 회전과 추진을 위한 추진동력장치, 워터젯 구동장치, 그리고 시스템 전체가 추진할 때 이를 버티기 위한 반력벽 등으로

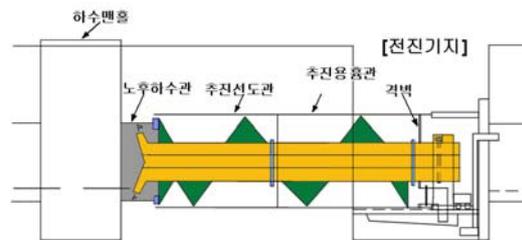
구성된다. 작업자는 전진기지와 지상기지에서 작업 상황을 면밀히 검토하며 작업을 수행하도록 한다.

2.3. 하수관 전면교체 공정

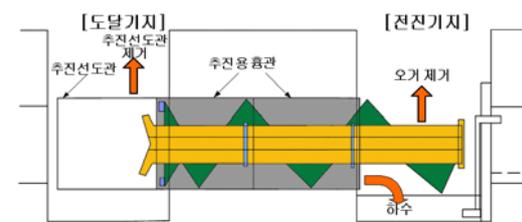
Fig. 1에서 기획된 장비를 이용하여 Fig. 2의 공정에 따라 노후 하수관을 전면 교체하도록 한다.



(a) Preparatory works



(b) Executing a hume concrete pipe



(c) Complete a Pipe-jacking work

Fig. 2 working process of an pipe-jacking engineering method

Fig. 2의 (a)는 공사 시공구간의 출발점에 발진기지 및 반력지지벽, 하수 폐기물 집거박스 등을 설치한 후, 추진 선도관 및 노후 하수관 파쇄 시스템을 이용하여 노후 하수관을 파쇄하며 선도강관을 추진용 다단 유압잭으로 추진하는 공정이다. (b)는 이미 추진 작업이 완료된 추진 선도관에 연결 조인

트를 이용하여 스크류 오거 및 워터젯 송수관을 연결한 후 추진용 흡관을 연결 접속하고, 하수차단 격벽 및 하수차단 밸브를 재설치하고 스크류 오거 구동추진기에 연결하여 교체용 흡관을 추진하는 공정이다. (C)는 공사 시공 구간에 추진용 흡관의 추진 작업이 완료되면 하수처리장치 및 맨홀을 제거한 후, 도달기지를 설치하고 선도강관을 제거하여 크레인 등을 이용하여 지상으로 견인, 그 후에 발진기지에서 스크류 오거 구동 추진장치 및 추진용 다단 유압잭을 해체하여 철거한 후 교체용 흡관내에 있는 스크류 오거를 해체하여 크레인 등을 이용하여 지상기지로 견인하는 공정이다. 이상의 3가지 공정을 마친 후 발진기지 내에 있는 하수 폐기물 집거 박스를 지상 기지로 견인한 후, 반력 지지벽을 철거하고 발진기지 내에 하수처리장치 및 맨홀을 설치하여 원상복구, 그리고 도달기지에는 다음 구간의 시공을 연속적으로 진행하게 된다.

3. 노후 하수관 전면 교체장비 설계 고찰

3.1. 기계적 목표사양 및 장비설계

성공적인 연구 활동을 위한 개발 장비의 기계적인 목표 사양은 Table 1 과 같다.

Table 1 The target spec

주요성능	단위	개발목표치	비중
추진력	kN	1455	20
파쇄력	kM·m	40	40
분사압력	kPa	9800	25
사용유량	L/min	1.5	5
하수관경	mm	1200	10
회전속도	rpm	10	5

Table 1의 개발 목표와 같이 추진 선도관의 직경은 1,200 mm로 설계를 하였고, 파쇄할 노후 하수관은 외경 800 ~ 1,200 mm의 여러 가지 노후 하수관의 파쇄가 가능한 다용도 제품으로 설계를 하였다. 이를 위해

Fig. 3에 설계된 4개의 파쇄 비트 중 2개 비트의 설치 위치를 축소시켜 외경 800 ~ 1,000 mm의 노후 하수관을 파쇄 할 수 있도록 하였고 그 외 1,000 ~ 1,200 mm의 제품은 4개의 비트 모두 가장자리에 배치하여 비트의 부담을 덜어줄 수 있도록 설계하였다. 또한 추진 선도관의 회전은 일반 터널 장비와 마찬가지로 10 Rpm 이하의 속도로 회전할 수 있도록 굴삭기용 선회 부품을 채택하여 설계하였다.

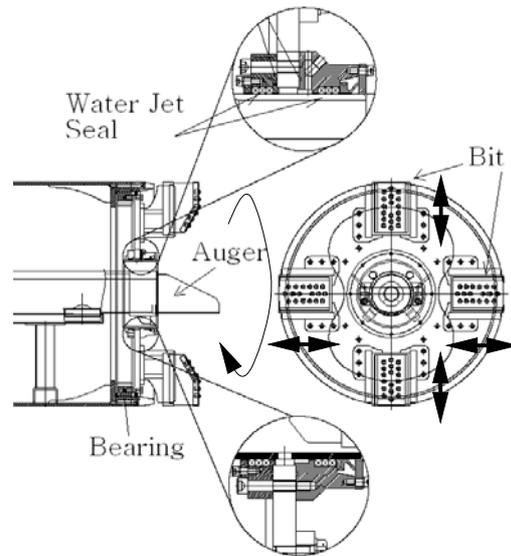


Fig. 3 Design of trenchless replacement

Fig. 3의 회전형 Water jet seal 방식을 이용하여 회전하는 노즐에 관계없이 줄이 꼬이지 않고 9,800 kPa, 1.5 L/min 이상의 고압수가 노즐을 통해 분사가 가능하도록 설계하였다. 또한 본장비의 추진력은 추진선도관 뒷면과 반력벽 사이에 복동식 유압잭 내경 약 400 mm를 사용하여 120 bar의 유압을 가하였다. 이 유압잭의 추진력 W(kg)은 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$W(kg) = P(kg/cm^2) \times A(cm^2) \dots\dots (1)$$

$$A = \frac{\pi \times D(Cm)^2}{4} \dots\dots\dots (2)$$

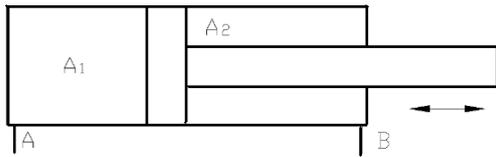


Fig. 4 Structure of hydraulic double acting cylinder

Fig. 4 에 나타낸바와 같이 유압 잭의 추진력은 A1 의 단면적으로 계산하고, 당기는 힘은 실린더 로드의 직경을 제외한 A2 의 단면적으로 계산하여야 한다.

3.2. 유압회로도

Fig. 4는 본 연구에서 개발하고자 하는 장비의 유압 동력 발생장치의 유압회로도를 보이는 것으로서 수동 조작밸브에 의해 추진용 유압잭과 추진선도관의 회전을 담당하는 유압모터에 동력을 공급해주게 된다.

장비의 이동을 원활하게 하기 위하여 유압 탱크의 체적을 작게 하고 대신 유압유를 냉각하기 위한 대형 쿨러를 설치하였다.

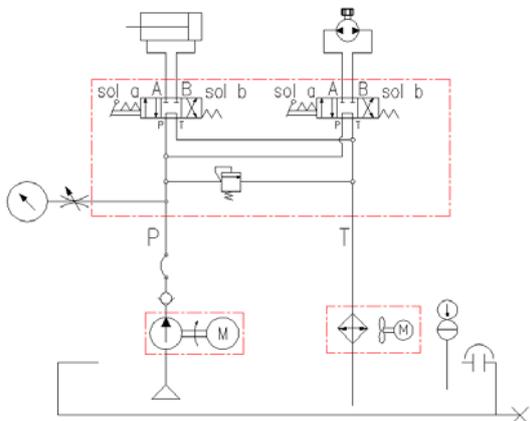


Fig. 5 Hydraulic circuit diagram of power unit mechanism

유압을 발생하기 위한 전기모터는 380V, 75kW의 제품을 사용하였고, 추진선도관의 SWING MOTOR는 AXIAL PISTON TYPE 의 169.4cc/rev용량을 채용하였다. SWING BEARING 내부의 내접기어 잇수는 85개이고 유압모터의 기어 잇수는 14개 이므로, 감속비는 약 6:1 감속이 이루어진다. 또한

유압모터 앞의 감속기에서 21.103배의 감속이 이루어져 전체적인 감속비는 약 128:1이다.

따라서 SWING MOTOR의 최대 속도가 1,564 rpm이므로 추진선도관의 최대 회전 속도는 약 12 rpm 의 회전이 가능하고, 작업 상황에 맞게 4~8 rpm 정도로 조절하여 추진 파쇄 작업을 수행하게 된다.

3.3. 시험장치 구성 및 방법



Fig. 6 Experimental setup

Fig. 6은 개발된 장비를 이용하여 노후하수관을 파쇄하는 현장시험 사진이다. 전진 기지는 폭 3m, 길이 8m, 깊이 1.7m 를 파고 바닥에 기초공사를 수행한 뒤 개발된 장비를 설치하였고, 지상에 물탱크, 위터젯 발생장치, 유압과워 유닛을 설치하였다.

시험은 위터젯을 분사하며, 10 rpm의 고속 회전으로 실시하였다.



Fig. 7 The picture of experimental situation

Fig 7. 은 노후하수관 파쇄 작업도중 작업을 중단하고 장비를 후진시킨 후 찍은 사진이며, 노후하수관의 파쇄된 부분이 파쇄 비트의 단면에 일치하며 파쇄된 모습을 볼 수 있다.

워터젯 노즐을 통해 분사된 물은 마찰열로 뜨겁게 된 파쇄비트를 효과적으로 냉각시켜줄 뿐만아니라 비트 사이의 골에 끼인 이물질들을 효과적으로 밀어내는 역할까지 수행해 주었다.

파쇄비트는 초경 재질의 충알형 비트가 박혀있지 않은 부분의 마모가 급격히 진행되었고, 충알형의 초경 비트의 마모는 미미하였다.

Fig. 7의 파쇄비트 주변에 파쇄된 노후하수관의 잔재가 남아있고, 이 외에 충격으로 덩어리째 깨진 파편도 발생하였다.

4. 결 론

비개착방식을 적용한 노후하수관 전면 교체장비의 설계와 현장시험을 시행한 후 다음과 같은 결론이 나왔다. 추진선도관의 회전속도는 최대 10 rpm, 추진력은 1,000 kN 정도면 외경 1,000 mm의 노후하수관을 제거할 수 있다. 노후하수관과 비트의 마찰로 인하여 비트의 온도가 상승하므로 워터젯을 이용하여 비트의 냉각과 동시에 비트에 철근과 이물질이 끼는 것을 제거해 주어야 한다. 파쇄비트에 삽입되어있는 충알형 비트가 노후하수관을 파쇄할 수 있도록 모재와 약 1mm 정도의 간격을 유지해야하고 초경

재질의 충알형 비트가 모재를 커버하지 못하고 노후 하수관과 모재가 접촉할 경우 SCM 재질의 모재도 마모가 급속히 진행된다. 파쇄된 노후 하수관의 입자는 Fig. 7의 파쇄비트 주변에 보는바와 같이 파쇄되었고 특히 회전 속도가 빠를수록 깨지거나 입자가 작게 파쇄되었고 파쇄중 노후하수관의 단면은 비트의 형상대로 파쇄가 진행되었다.

본 연구를 통해 비개착 방식으로 노후 하수관을 전면 교체하고 새로운 관으로 매설할 수 있는 기술의 국산화가 가능해져 노후화로 인하여 누설이 심각한 복잡한 도심의 노후 하수관 교체가 용이해질 것이다.

후 기

본 연구는 중소기업청의 2006 기업협동형 기술개발사업 '비개착 노후하수관 전면교체 장비 개발' 과제로 수행되었다.

참 고 문 헌

1. 중소기업청 산산협력과제 연구보고서, 비개착 노후 하수관 전면 교체장비 개발, 2008
2. 유공압시스템학회 학술대회, 노면표시 제거용 초고압수 발생장치 설계 및 기초 실험, pp.95~100, 2004
3. 한국정밀공학회 추계학술대회, 사판식 피스톤 펌프 서보제어기구설계, pp.741~744, 2002