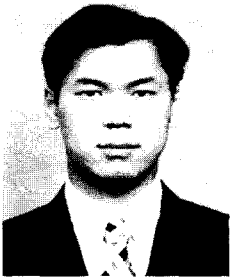


콘크리트 흙관매설 자동화 장비의 개발

김군태, 한국건설기술연구원



1. 서언

흙관은 국내외 건축 및 토목공사에서 우수 또는 하수의 배수용으로 많이 매설되고 있으며, 도로건설 및 유지보수 사업에서도 흙관매설 공사물량이 지속적으로 발생하고 있다. 이러한 흙관매설 공사는 지표면 아래 1.5~5m 깊이로 만드는 좁고 긴 트렌치(trench; 터파기) 내부에서 작업하여야 한다는 특성상 빈번한 안전사고가 발생하고 있다. 왜냐하면 트렌치의 사면 붕괴 등 안전사고를 막기 위해서는 트렌치 박스(trench box)를 설치하거나 안식각을 고려하여 트렌치 사면을 시공하여야 하나, 건설현장의 특성상 이러한 기준들이 잘 지켜지지 않기 때문이다. 또한 Ø800mm 규격의 흙관을 매설할 경우, 1.2톤(ton) 이상인 중량의 자재를 다루게 되므로 충돌, 끼임, 낙하 등 많은 안전사고 위험요소를 내포하고 있다. 일 예로, 1997년 국내 건설공사의 중대재해 525건 중 관매설 공종에서 12건(2.3%)이 발생하는 것으로 나타났다.¹⁾ 또 흙관매설 유경험자를 대상으로 한 설문조사 결과 응답자의 69.2%가 공사 중 안전사고를 경험한 적이 있다고 응답하였다.²⁾ 따라서 흙관매설 공사에서 안전사고를 줄이기 위한 방안이 시급히 모색되어야 한다.

또한 흙관매설 작업에서 백호(backhoe), 트럭 크레인 등 건설기계가 활용되기는 하나, 아직까지도 인력에 크게 의존하여

매설작업이 이루어지고 있는 실정이다. 따라서 최근 건설업 전반에 걸쳐 발생하고 있는 노동력의 유입부족에 따른 인건비 상승, 생산성 정체 혹은 감소 등의 문제가 흙관매설 공사에서도 발생하고 있다. 다시 말하면 흙관매설 공사 역시 인건비 상승에 따라 경제성 확보에 어려움이 있으며, 작업자의 능력과 경험에 따라 생산성과 마감 품질의 차이가 발생하고 있는 실정이다. 그러므로 이 제는 일정한 품질수준 이상을 유지하면서 생산성을 향상시키기 위한 기술적 해결방안이 모색되어야 할 시점이다.

전술한 바와 같이, 국내 흙관매설 현장에서 시공법은 종래의 인력 의존적인 공법에서 크게 벗어나지 못하고 있으나, 최근 국내외에서 생산성 및 안전성 향상을 위한 연구·개발들이 이루어지고 있다. 따라서 본 고에서는 국내외에서 진행되고 있는 흙관매설 관련 기술개발사례들을 소개함으로써, 생산성 및 안전성 향상을 위한 국내외 개발동향과 기술적 특징을 고찰하도록 한다.

2. 재래식 공법

2.1. 흙관매설 작업의 품

소켓식 접합을 하는 B형 흙관³⁾은 매설 방법에 따라 인력에 의한 매설과 기계를 이용한 매설이 있다. 그러나 Ø600mm~Ø1,000mm 규격 흙관의 경우, 무게가 약

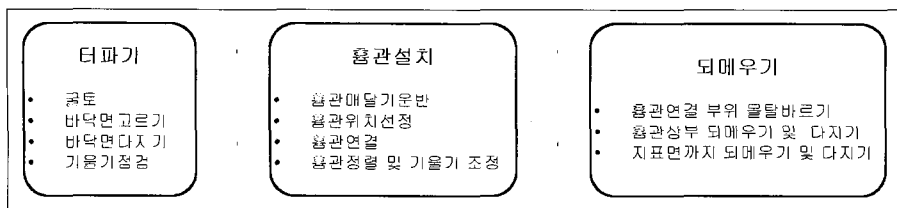
표 1) 흙관의 고무링 접합시 품(본당)

구분 내경(mm)	고무링 (개)	지수할제 (g)	크레인 (hr)	배관공 (인)	인부 (인)
Ø 600	1.0	100	0.68	0.26	1.04
Ø 800	1.0	140	0.90	0.36	1.77
Ø 1,000	1.0	180	1.15	0.48	2.56

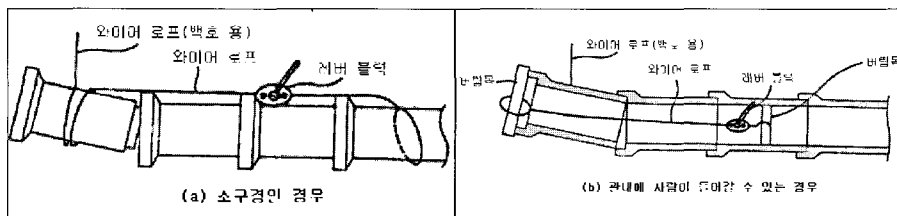
- ※ 1. 본 품은 관길이 2.5m를 표준으로 한 것으로,
- 2. 관로의 터파기, 되매우기, 잔토처리, 물푸기 및 잡재료는 별도 계상한다.
- 3. 본 품은 수압을 받지 않는 하수도 공사를 기준으로 한 것이며, 소운반을 포함한 것이다.
- 4. 본 품의 크레인 규격은 10ton을 기준으로 한 것이다.

1) 한국물가협회, "종합적산자료", 1999

2) 손석호 외 4인, "흙관 매설 자동화 장비의 개발을 위한 주요 대상작업 선정방안에 관한 연구" 2001 춘계학술발표대회 논문집, 대한건축학회, 2001



(그림 1) 흡관매설 공사의 표준 작업과정



(그림 3) 레버블럭에 의한 흡관설치



(그림 2) 백호에 의한 흡관매설

0.7~1.9톤 정도인 중량의 자재이다. 따라서 이러한 규격의 흡관은 현실적으로 인력에 의한 매설은 거의 이루어지지 않고, 대부분 기계를 이용하여 매설하고 있다. 대표적인 흡관 규격에 대한 기계매설 품은 (표 1)과 같다.⁴⁾

2.2. 표준작업 과정

흡관 매설 작업은 크게 (1) 터파기, (2) 흡관설치, (3) 되메우기 공정으로 분류할 수 있고, 각 단계를 다시 11개의 세부작업으로 세분화할 수 있다. 이러한 표준 작업 과정을 도식화하면 (그림 1)과 같다. 일반적으로 터파기와 되메우기 공정은 백호에 의해 이루어지므로 공법개선 및 기술개발의 여지가 적다. 따라서 일반적으로 다수의 인력이 투입되며 작업자가 위험에 노출되기 쉬운 흡관설치 공정을 대상으로 기술개발이 이루어지고 있다

2.3. 흡관매설 현황

건설표준품셈상의 기계매설에서는 트럭 크레인을 사용하는 것으로 되어있으나, 국내 건설현장에서 트럭 크레인을 사용하여 흡관을 매설하는 경우는 거의 없다. 일반적으로 (그림 2)와 같이 백호

(backhoe)의 버킷(bucket)에 와이어 로프로 매달아서 흡관을 운반하고, 백호의 버킷에 흡관이 매달려 있는 상태에서 트랜치 내부에 있는 2~3명의 작업자에 의해 삽입 작업이 이루어지고 있다. 이렇게 백호를 이용하여 흡관을 연결할 경우 백호가 트랜치에 인접하여 작업하게 되어 트랜치 붕괴 사고의 원인이 되는 등 위험요소가 상존하고 있다.

그리고 건설공사기준에는 (그림 3)과 같은 레버 블럭을 이용해서 흡관을 삽입하도록 되어있으나, 대부분의 현장에서 인력에 의해 삽입작업이 이루어지고 있는 실정이다. 특히 일부 현장에서는 기 설치된 흡관에 새로운 흡관을 삽입함에 있어서, 백호의 버킷을 써서 밀어 넣고 있다. 이럴 경우 무리한 관접함으로 인하여 흡관 파손이 발생할 수 있으며, 흡관 파손으로 인한 누수로 토양오염 발생 등 환경오염의 우려까지 낳고 있다.

3. 콘크리트관 연결공법

3.1. 개요

콘크리트관 연결공법(CLS 공법)은 겐트 크레인(gantry crane)을 이용하여 흡

관을 설치·매설하는 공법이다. 또한 소켓 내경보다 작게 제작된 수팽창성 고무(water swelling rubber)를 사용함으로써 흡관과 흡관을 헐겁게 연결할 수 있어 시공이 용이하며⁶⁾, 향후 수팽창성 고무에 물이 닿으면 고무가 팽창하며 수밀 효과를 높일 수 있다⁷⁾.

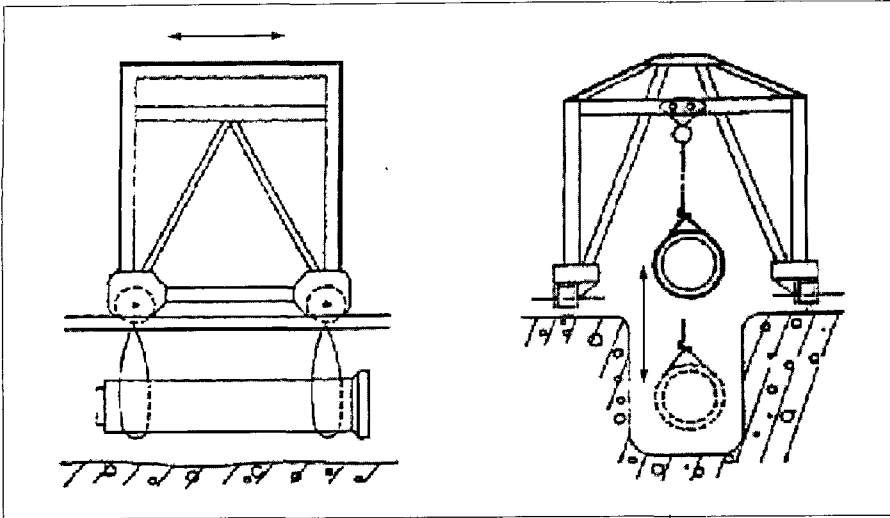
CLS공법은 1996년 국내의 건설업체가 흡관 매설 공사의 공법 개선을 목적으로 개발한 것으로서 현재 건설신기술 제27호로 등록되어 있다. CLS공법에서는 제작비가 저렴하고 이용이 편리한 겐트리 크레인을 사용하였는데, 겐트리 크레인은 (그림 4)와 같이 경량 저가 구조로 개발·제작되어 누구나 손쉽게 채택·사용할 수 있으며 흡관을 용이하게 설치·매설할 수 있다.

3.2. 작업순서

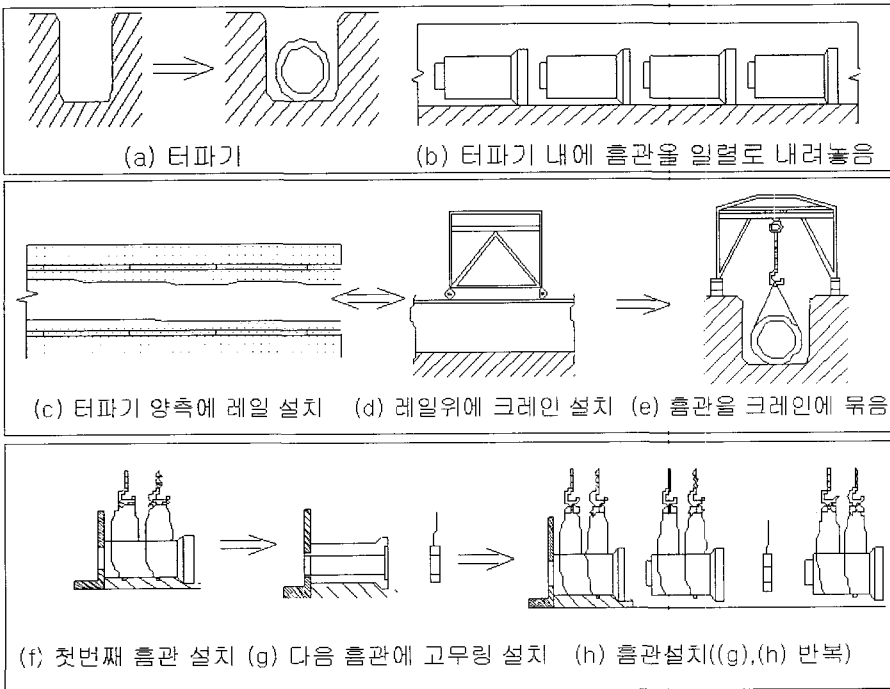
CLS공법의 작업순서는 다음과 같다.

- 1) 백호로 공사구간 전체를 터파기 한다.
- 2) 관로내에 흡관을 일렬로 내려놓는다.
- 3) 일렬로 내려놓은 흡관의 맨 끝에는

3) 이하 '흡관' 이라는 용어는 B형 흡관을 의미한다.
 4) 건설연구사, "건설표준품셈", 2002
 5) 손석호, "흡관매설 자동화장비 개발을 위한 기술적·경제적 타당성 분석에 관한 연구", 석사학위취구논문, 인하대학교, 2001



(그림 4) CLS공법 전용 겐트리 크레인



(그림 5) CLS공법 시공과정

- 3) 이하 '훽관'이라는 용어는 B형 훽관을 의미한다.
- 4) 공사시작 지점 트렌치 상부의 좌우 측에 레일(rail)을 설치한다.
- 5) 레일 위에 CLS공법 전용 겐트리 크레인을 설치한다.
- 6) 와이어 로프(wire rope)를 이용하여 제1번 훽관을 크레인으로 들어올린

- 후, 제1번 훽관 정위치에 설치·고정시킨다.
- 7) 제1번 훽관 하부를 되메우고 다진다.
- 8) 제1번 훽관으로부터 와이어 로프를 풀고, 크레인을 제2번 훽관 위로 이동시킨다.
- 9) 제1번 훽관의 소켓 내경을 청소한 다

- 음, 제1번 고무링을 장착시킨다.
 - 10) 와이어 로프와 크레인을 이용하여 제2번 훽관을 들어올린 후, 훽관 외경 끝에 제2번 고무링을 장착시킨다.
 - 11) 크레인을 조정하여 제2번 훽관을 제1번 훽관의 중심선과 일직선으로 정렬시킨다.
 - 12) 크레인을 작동시켜 제2번 훽관을 제1번 훽관의 소켓 안으로 삽입·연결시킨다.
 - 13) 제2번 훽관 하부를 되메우고 다진다.
 - 14) 제2번 훽관으로부터 와이어 로프를 풀고 제3번 훽관위로 크레인을 이동시킨다. 이때, 레일을 전 구간에 걸쳐 설치하지 않은 경우에는 크레인을 전진시키기 전에 앞서 설치한 레일을 분해하여 크레인 앞으로 이동시켜 조립하는 방법을 반복하여 크레인을 이동시킨다.
 - 15) 같은 방법으로 N번까지의 훽관을 설치한다.
 - 16) 전 구간을 30cm 정도의 여러층으로 나누어, 되메우고 다진 다음 잔토 처리를 한다.
 - 17) 크레인 and 레일을 철거하고 작업을 완료한다.
- 이상과 같은 작업순서를 도식화하면 (그림 5)와 같다.

3.3. CLS공법 분석

CLS공법은 훽관 매설의 생산성 향상을 위한 연구·개발을 시도하였다는 점에 의의를 둘 수 있으나, 생산성 향상 등의 실효성에 있어서는 다소 의문이 제기되고 있다. 우선 작업 과정에서 일단 트렌치 양 옆에 크레인을 위한 레일을 설치해야 하는데, 이러한 작업은 지표면이 고르게 정지하지 않으면 설치하기 어려운 단점이 있다. 특히 레일을 전 구간에 걸쳐 설치하

3) 이하 '훽관'이라는 용어는 B형 훽관을 의미한다.
 4) 건설연구사, "건설표준품셈", 2002
 5) 손석호, "훽관매설 자동화장비 개발을 위한 기술적·경제적 타당성 분석에 관한 연구", 석사학위청구논문, 인하대학교, 2001

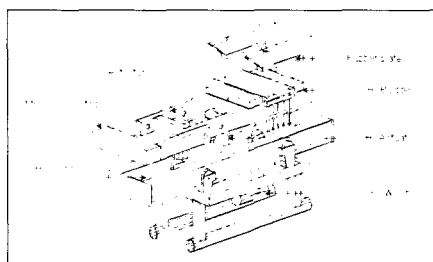
지 않은 경우에는 크레인을 전진시키기 전에 기 설치된 레일을 분해하여 이동·조립을 반복하여야 하는데, 이러한 경우는 재래식 공법에서 백호로 흙관을 이동하여 매설하는 방법과 비교할 때 작업이 많고 복잡해 질 우려가 있다.

또한 흙관을 양중하여 트렌치 내에 미리 내려놓고 흙관을 설치하는 과정 등 흙관연결 작업을 제외한 모든 작업은 기존의 방식을 그대로 적용하고 있다. 따라서 트렌치 내부에 작업자가 들어가서 작업을 수행해야 하므로 안전도 향상은 거의 기대하기 어려울 것으로 생각된다.

4. 파이프맨

4.1. 개요

흙관매설과 관련하여 미국에서는 파이프맨(PipeMan)이라는 자동화 장비의 연구·개발이 진행되고 있다. 노스 캐롤라이나 주립대학(North Carolina State University)에서 흙관매설 작업의 안전도 향상을 위하여 1994년에 처음 설계·제작된 파이프맨은 백호의 버킷(bucket)에 장착되는 장비로, 백호의 유압장치를 이용하여 동작하도록 개발되었다. 원격지에서 흙관매설 성능을 높이기 위하여 1999년에 (그림 6)과 같이 디자인을 수정하고 소프트웨어 및 하드웨어를 변경하였다. 개선된 파이프맨은 백호 운전원이 파이프맨도 운전하도록 하였다. 따라서 운전원이 원격지에서 장비를 손쉽게 조종할



(그림 6) 파이프맨의 구동 시스템

수 있도록 레이저(laser) 시스템과 비전(vision) 시스템 등 인터페이스가 추가되었다⁸⁾.

4.2. 작업방법

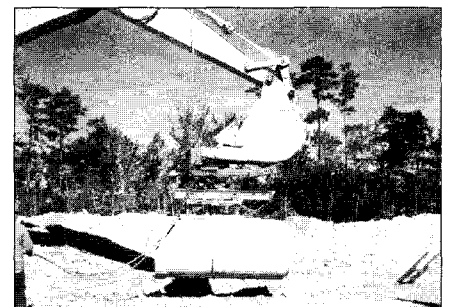
미국에서 흙관을 매설하는 방법은 국내의 흙관매설 작업방법과 크게 다르지 않다. 다만 국내 건설현장에서는 공사구간 전체를 터파기한 후 트렌치 내에 다수의 흙관을 설치하는 반면에, 미국에서는 백호를 후진시키면서 흙관 1개의 길이만큼 터파기한 후 1개의 흙관을 설치하고 되메우기하는 작업을 반복한다는 점이 상이할 뿐이다. 파이프맨은 이러한 흙관매설 작업 중 흙관설치 과정을 수행하는 자동화 장비이다. 다시 말하면 흙관매설 공사의 표준 작업과정 중 흙관매달기·운반, 흙관 위치선정, 흙관연결, 흙관 정렬 및 기울기 조절을 수행하는 장비인 것이다. 따라서 터파기 작업이나, 되메우기 작업은 재래식 공법과 동일하다. 파이프맨에 의한 흙관매설 작업은 다음과 같다.

- 1) 백호로 흙관 1개의 길이만큼 터파기한다.
- 2) 파이프맨의 rubber plate 및 H. Bladders를 이용하여 백호의 버킷에 파이프맨을 연결한다.
- 3) 파이프맨의 E.Winch를 이용하여 파이프맨에 제1번 흙관을 연결한다.
- 4) 백호를 조작하여 제1번 흙관을 터파기 내부로 이동시킨다.
- 5) 운전원이 백호의 붐(boom), 암(arm), 버킷을 움직여 설치할 제1번 흙관을 설치위치로 이동시킨다.
- 6) 운전원이 레이저 시스템, 비전 시스템, 스위치 스틱 컨트롤러 등을 이용하여 제1번 흙관의 방향과 구배를 맞춘다.
- 7) 파이프맨의 H.Cylinder를 작동시켜

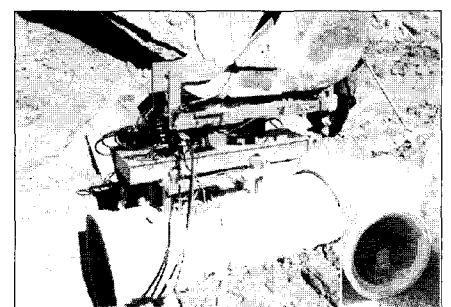
맨홀 또는 기 설치된 흙관의 소켓에 제1번 흙관을 삽입·연결시킨다.

- 8) 제1번 흙관으로부터 파이프맨의 E.Winch를 풀고, 백호를 조작하여 트렌치 외부로 파이프맨을 이동시켜 파이프맨도 풀어놓는다.
- 9) 백호의 버킷을 이용하여 제1번 흙관 하부를 되메우고 다진다.
- 10) 같은 방법으로 N번까지의 흙관을 설치한다.

(그림 7)은 파이프맨의 현장실험 전경 사진이며, (그림 8)은 레이저 시스템 및 비전 시스템을 이용하여 흙관을 정렬하는 모습이다.



(그림 7) 파이프맨의 현장실험 전경



(그림 8) 흙관 정렬 및 연결

4.3. 파이프맨 분석

파이프맨은 트렌치 내에 작업자 없이도 흙관설치 작업을 수행할 수 있다. 따라서 파이프맨 개발의 주요 목적인 작업자의 안전도를 크게 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다. 또한 터파기 내부에는 작업자

8) Lee, Junbok, "Comparative Performance Evaluation of Teleoperated Pipe Laying", Ph.D. dissertation, Department of North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, 1999

가 필요하지 않으므로 터파기 내부작업 인원만큼의 인력절감이 가능하며, 이를 통해 비용을 절감할 수 있다. 또한 자동화 장비를 사용하므로 터파기 내부에 작업자의 작업공간이 필요하지 않아, 굴삭량을 크게 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

반면에 파이프맨은 구동부의 운동재현 방식이 직렬기구구조(open kinematic manipulator 또는 serial manipulator)이므로, 자중이 증가하여 전체 구동부의 중량이 많이 나가는 단점을 안고 있다. 다시 말하면 파이프맨에서는 흡관 정렬을 위한 회전구동 구현을 위해 H. Actuator 라는 구동장치를 두고 있으며, 흡관 연결을 위한 선형운동 구현을 위해 H. Cylinder 라는 구동장치를 두고 있다. 즉 파이프맨은 회전운동, 선형운동의 2가지 운동만을 구현하고 있으나, 자중은 1톤 이상인 것으로 추정된다. 또한 파이프맨 개발시, 흡관매설을 위한 매니퓰레이터의 요구성능으로 2-자유도(전후운동, 수평 회전운동)가 필요한 것으로 파악하였으나, 흡관매설시에 자유도가 불충분할 수 있다. 일 예로, 흡관의 높이나 좌우 위치가 틀린 경우에 파이프맨으로는 상하좌우의 위치를 수정할 수 없어, 백호의 암(arm)을 정교하게 조종하여 버킷 위치를 수정하여야 하는 불편이 있다.

5. 흡관매설용 원격조종장비

5.1. 개요

국내의 흡관매설용 자동화장비로는 한국건설기술연구원 주관하에 홍익대학교, 인하대학교, (주)에이엠티가 공동개발중인 흡관매설용 원격조종장비(Stewart Platform Pipe Manipulator; 이하 SPPM이라 함)가 있다. 흡관매설 작업시 트렌치 내부작업자를 제거함으로써 안전성 및 생산성을 향상시킨다는 것을 목표

로 건설교통부의 지원으로 2000년에 개발을 시작한 SPPM은 현재 2차 프로토타입 모델(prototype model)을 제작중이다. SPPM은 (그림 9)와 같이 구동부, 삽입부, 집게부로 구성된다⁹⁾. SPPM은 개념적으로 파이프맨과 유사한 점이 많으나, 구동부는 병렬기계구조인 스튜어트 플랫폼 매니퓰레이터(stewart platform manipulator)로 되어 있어 3차원 공간상의 모든 운동(6-자유도 운동)을 구현해 낼 수 있다¹⁰⁾. 또한 흡관설치 작업을 반복 수행하는데 적합하도록 백호의 버킷을 떼어내고 버킷연결용 클램프에 SPPM을 견고하게 장착할 수 있도록 개발되었다.

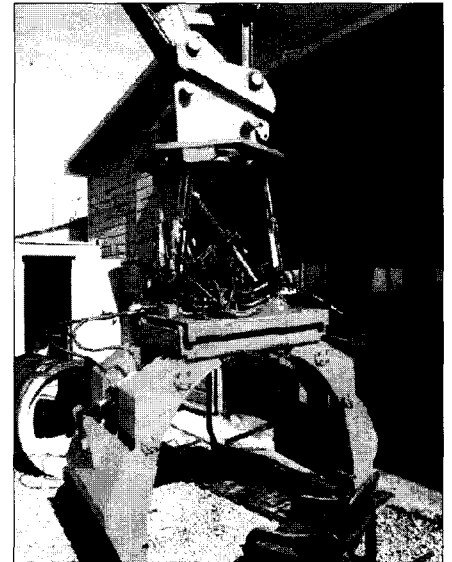
5.2. 작업방법

SPPM의 작업순서는 재래식 공법과 유사하며, 작업구간 전체를 미리 터파기한 후 흡관설치 작업만을 반복적으로 수행한다는 점을 제외하고는 파이프맨의 작업방법과도 유사하다. 이러한 SPPM의 작업방법은 다음과 같다.

- 1) 백호로 공사구간 전체를 터파기 한다.
- 2) 백호의 버킷을 떼어내고, 대신 백호의 암(arm) 끝단에 SPPM을 장착한다.
- 3) SPPM의 집게부를 이용하여 SPPM과 제1번 흡관을 연결한다.

4) 백호를 조작하여 제1번 흡관을 터파기 내부의 설치위치 근처까지 이동시킨다.

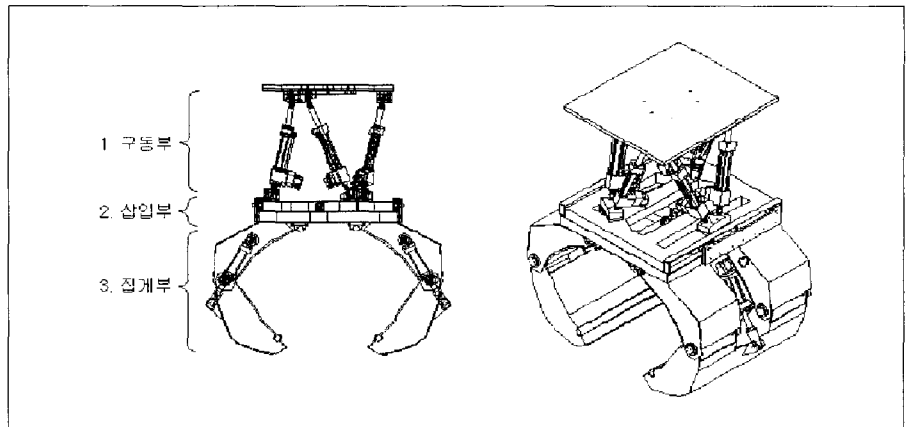
5) 운전원이 SPPM의 비전 시스템, 조



(그림 10) SPPM 형상



(그림) SPPM에 의한 흡관매설 실험 전경



(그림 9) SPPM 설계도면

9) 김군태, "흡관 매설용 원격조종 장비의 개발 및 성능평가에 관한 연구", 박사학위청구논문, 경희대학교, 2003

10) 한국건설기술연구원, "콘크리트 하수관 매설용 원격조종 장비 개발(2차년도)", 건설교통부, 2002

이스틱 조종장치 등을 이용하여 구동부의 스텔러트 플랫폼을 조작하여 제1번 흡관의 방향과 구배를 맞춘다.

- 6) 운전원이 SPPM의 삽입부를 작동시켜 맨홀 또는 기 설치된 흡관의 소켓에 제1번 흡관을 삽입·연결시킨다.
- 7) 제1번 흡관으로부터 SPPM의 집계를 풀어놓는다.
- 8) 백호를 조작하여 트렌치 외부의 흡관 적재장소까지 이동한다.
- 9) 같은 방법으로 N번까지의 흡관을 설치한다.
- 10) 백호에서 SPPM을 떼어내고, 다시 백호에 버킷을 장착하여 흡관 하부를 되메우고 다진다.

(그림 10)은 SPPM의 형상을 나타낸 사진이며, (그림 11)은 SPPM에 의한 흡관연결작업 실험의 전경사진이다.

5.3. SPPM 분석

SPPM 역시 성능 평가를 통해 흡관매설 공사시 트렌치 내부에 작업자가 들어가지 않더라도 시방 규격에 적합하게 흡관을 매설할 수 있음을 확인하였다. 또한 SPPM은 흡관 매설을 위한 모든 운동을 구현해 낼 수 있고, 기계구조, 제어성능 등 기술적으로도 우수하고, 품질과 안전성을 확보할 수 있어 흡관매설 작업인력을 대체할 수 있는 장비임을 확인하였다. 이러한 장비가 실제 현장에 도입되어 운용되기 위해서는 경제성이 확보되어야 하는데, SPPM을 사용하면 인력 절감 효과가 크고 작업시간 단축효과도 있어, 경제성은 충분히 확보될 것으로 기대된다.

반면에 SPPM은 Ø800mm 규격의 흡관을 대상으로 집계부를 설계하였는데, SPPM의 적용범위를 넓히고 활용도를 높이기 위해서는 다양한 규격의 흡관을 취급할 수 있도록 집계부의 개선이 필요할 것으로 생각된다. 또한 콘트롤러 및 조종장치가 보다 편리하게 개선되어야 할 것

이며, 비전 시스템 등 사용자 인터페이스를 개선하여 운전원이 흡관의 정렬상태를 손쉽게 파악할 수 있어야 할 것이다.

6. 결론

국내의 건축 및 토목공사에서 우수·하수 배수용으로 많이 시공되고 있는 흡관은, 작업자가 트렌치 내부에서 작업하여야 한다는 특성상 트렌치 붕괴 등 빈번한 안전사고 위험이 상존하고 있다. 또한 인건비 상승에 따라 경제성 확보에도 어려움이 있는 실정이나, 흡관매설 시공법은 종래의 인력 의존적인 공법에서 크게 벗어나지 못하고 있는 실정이다. 이러한 트렌치 내부에서의 작업자 안전사고를 근원적으로 제거할 수 있는 방법은 작업자가 트렌치 내부에 들어가지 않는 것이다. 따라서 최근 국내외 건설업계에서는 이러한 문제를 인식하여 생산성을 향상시키거나 인력을 대체할 수 있는 기술개발을 추진하여 현재 다양한 장비의 프로토타입 모델 개발이 이루어지고 있다.

따라서 본 고에서는 흡관매설 작업에서 빈번히 발생하는 안전사고를 근원적으로 해결하거나 생산성을 높이기 위하여 기술적인 해결을 시도한 사례들을 소개하고 기술적 특징을 조사·분석하였다.

조사결과 CLS 공법은 생산성 향상을 위한 시도라는데 의의가 있으나, 생산성 및 안전성 향상에는 다소 한계가 있었다. 파이프맨과 SPPM은 매우 유사한 개념의 자동화 장비로 각각 고유한 특징이 있으며, 개발목적, 작업여건에 따라 장단점을 가지고 있었다. 파이프맨은 직렬기계구조를 사용하여 견고하고 단순하며 직관적인 움직임을 구현하는 반면에, 자중이 크고 흡관매설을 위한 움직임 중 일부를 구현해 내지 못하는 단점이 있었다. SPPM은 병렬기계구조인 스텔러트 플랫폼을 사용함으로써, 3차원 공간상의 모든 움직임을

구현해 내면서도 자중이 작고 기계적 강성이 크다. 반면에 콘트롤 알고리즘이 복잡하고, 운전원이 조작하기 어려운 단점을 가지고 있었다. 이러한 파이프맨과 SPPM은 현재 프로토타입 모델로, 장비의 성능 및 기능개선에 관한 연구가 계속 진행되고 있다. 따라서 향후 이러한 문제점들이 상호 보완된다면 안전성 향상과 함께 생산성도 극대화시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 1) 건설연구사, “건설표준품셈”, 2002
- 2) 김군태, “흡관 매설용 원격조종 장비의 개발 및 성능평가에 관한 연구”, 박사학위 청구논문, 경희대학교, 2003
- 3) 삼서공업주식회사, “콘크리트관 연결공법(CLS 관연결 및 수밀공법), 건설기술 제 27호, 1996
- 4) 손석호 외 4인, “흡관 매설 자동화 장비의 개발을 위한 주요 대상작업 선정방안에 관한 연구” 2001 춘계 학술발표대회 논문집, 대한건축학회, 2001
- 5) 손석호, “흡관매설 자동화장비 개발을 위한 기술적·경제적 타당성 분석에 관한 연구”, 석사학위 청구논문, 인하대학교, 2001
- 6) 한국건설기술연구원, “콘크리트 하수관 매설용 원격조종 장비 개발(2차년도)”, 건설교통부, 2002
- 7) 한국물가협회, “종합적산자료”, 1999
- 8) Lee, Junbok, “Comparative Performance Evaluation of Teleoperated Pipe Laying”, Ph.D. dissertation, Department of North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, 1999