ISSN(Print): 1225-7672 / ISSN(Online): 2287-822X
DOI https://doi.org/10.11001/jksww.2018.32.5.435

Pipe Bursting 공법의 적용성 검토를 위한 주요 성능평가 항목의 기초실험연구

A study on the basic experiment of performance criteria for application of pipe bursting method in actual field

박상봉[1]·김기범[1]·서지원[1]·박상혁[2]·구자용[1*]
Sangbong Park[1]·Kibum Kim[1]·Jeewon Seo[1]·Sanghyuk Park[2]·Jayong Koo[1*]

[1]서울시립대학교 환경공학부, 서울시 동대문구 서울시립대로 163, 02504
[2]한국건설기술연구원, 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283, 10223
[1]*University of Seoul Environmental Engineering, Seoul, Dondaemun-gu, Seoulsiripdaero 163, 02504*
[2]*Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyangdae-ro 283, ilsanseo-gu, Gyeonggi-do, 10223*

ABSTRACT

Most of aged water supply pipes have been replaced by the open cut method. However, this method has some limitations because water pipes, in many cases, are buried together with other underground facilities or are buried in the middle of high-traffic roads or in narrow alleyways where boring machines cannot be used. This research developed a pipe bursting device for small diameter pipes that enables pipe replacement without excavating the ground, by the busting of existing buried pipes followed by the traction and insertion of new pipes. As a results of examining the field applicability of the developed device, PE pipes and PVC pipes required the tractive force of 413.65~665.69 kgf and 457.43~791.35 kgf respectively, plus an additional 30 % tractive force per elbow. The proper number of bursting head was demonstrated that the connection of more than 2 heads could secure a stable bending radius of 15D. The developed device can be improved through field experiments involving various pipe types and pipe diameters, as well as presence/absence of elbow, so as to be utilized regardless of diverse variables according to the conditions of the soils surrounding existing pipes.

Key words: Bending radius, Pipe bursting, Tractive force, Trenchless technology, Water pipe

주제어: 허용곡률반경, 파쇄추진공법, 견인력, 비굴착 교체기술, 상수도 관로

1. 서 론

상수도관은 매설된 이후 주변의 다양한 환경 영향에 의해 부식, 파손과 같은 노후화 경향을 나타낸다. 노후화된 상수도관은 본연의 기능, 즉, 안전한 수돗물의 공급 및 깨끗한 수질의 유지 기능을 상실함은 물론 에너지의 소비를 증가 시키게 된다. 이에 최근 노후화된 상수도관을 갱생 또는 교체하기 위한 상수도관 개량이 수도사업자들로부터 주목받고 있다.

현재 우리나라에서는 상수도관 정비계획 및 내진성 강화계획을 실행하기 위한 상수도관의 개량을 실시할시, 도로를 굴착하고 새로운 관으로 교체하는 굴착공사에 의한 상수도관 교체공법을 일반적으로 사용하고 있다. 그러나 간선도로, 골목, 타 시설의 매설관이 많은 도로 등에 대한 시공상의 제약도 있으므로 노선에 따라서는 교체공법을 채택할 수 없는 경우도 있다 (MOE, 2010).

도심지에서 개착을 통한 지하굴착은 각종 전선관, 통신선, 전력선, 상·하수도관, 가스관, 공동구, 각종 맨

Received 26 August 2018, revised 1 October 2018, accepted 2 October 2018
*Corresponding author: Jayong Koo (E-mail: jykoo@uos.ac.kr)

pp. 371-379
pp. 381-388
pp. 389-398
pp. 399-409
pp. 411-419
pp. 421-434
pp. 435-443
pp. 445-451
pp. 453-460
pp. 461-470

홀 등 인접 지하매설물로 인하여 근접시공이 주를 이루고 있으며, 굴착을 동반한 시공은 주변 지반의 변위를 발생시켜 인접시설물의 안정에 직·간접적으로 영향을 준다 (MOLIT and KAIA, 2015). 이에 따라 굴착공사는 복구를 위한 별도의 공사 기간이 필요할 뿐만 아니라 공사 기간 중 교통 장애 등으로 인한 민원 발생건수가 증가하게 되며, 도로 복구를 위한 포장비용은 관 매설 비용의 절반 정도를 차지하고 있다 (Loss et al., 2018; Najafi, 2013).

특히, 소구경의 배수지관 및 배수지관으로부터 수용가의 수도계량기까지 설치되는 인입급수관은 골목 내에서 우수박스 또는 하수관과 같은 지장물과 함께 매설되어 있거나, 굴착장비를 활용할 수 없는 지역 또는 사유지 내에 매설된 경우도 있다. 또한, 계획에 따라 조성된 신도시를 제외하고, 대다수의 지역에서 소구경 배수지관 및 인입급수관의 경우 마을이 형성됨에 따라 무질서하고 복잡하게 매설되어 있으며, 다양한 지장물로 인하여 관로가 직선이 아닌 곡선 형태로 매설된 경우가 많다. 한편, 현장에서는 소구경 관로의 유지관리를 위한 도면이 없는 경우도 있으며, 도면이 존재하더라도 실제 매설된 관로와 일치하지 않는 경우가 많이 발생하고 있다. 그러므로 이러한 환경에서도 효율적으로 소구경 상수도관을 개량하기 위한 공법의 기술개발이 시급한 실정이다.

선진 외국에서는 상수도관을 비굴착으로 개량하기 위한 공법으로 합성수지관 삽입, 피복관 관내 장착, 기존관내 삽입, 기존관 파쇄추진 공법 등 다양한 비굴착 공법을 개발하여 현장에서 활용하고 있다 (MOE, 2014). 우리나라에서도 중·대구경 상수도관을 중심으로 CIPP(Cured In Place Pipe), 에폭시수지도료 라이닝, 폴리우레아 및 폴리우레탄 라이닝 공법 등 비굴착 개량 공법이 적용되고 있는 추세이다 (Kim et al., 2016). 그러나 소구경 상수도관을 비굴착으로 개량하기 위한 공법은 옥내급수관에서 A/S(Air Sand) 공법의 코팅기술이 일부 사용되었을 뿐, 국내 기술로는 교체수준의 비굴착 개량공법은 적용된 사례가 전무하다.

Pipe bursting 공법은 상기에 기술한 제약들을 극복하기 위해 개발된 공법 중 하나로, 1970년대 후반 영국의 British Gas와 Ryan and Sons가 소구경의 주철 가스관을 교체하기 위해 개발한 공법이다 (PPI, 2006). 이후 pipe bursting 공법은 상수도관의 교체에도 사용되게 되었으며, 북미지역에서는 상수도관 뿐 아니라 하수도관 및 가스관의 개량에도 지속적으로 활용되는 공법이라 할 수 있다.

Pipe bursting 공법은 기존의 굴착공법에 비해 매설 상부 환경의 변화를 최소화시킬 수 있는 공법으로, 노후된 매설관을 파쇄하는 동시에 교체관을 매설하기 위한 비굴착 교체기술이다 (Cholewa et al., 2009; Rogers and Chapman, 1995). 즉, pipe bursting 공법은 위치 탐사결과로 확인된 매설관의 전·후단부를 터파기한 뒤, 원뿔 모양의 파쇄 헤드를 매설관에 삽입하고 기계적인 견인력을 이용하여 매설관을 파쇄함과 동시에 파쇄 헤드 후단에 연결된 교체관을 매설관의 경로를 따라 삽입하는 기술로 정의할 수 있다.

특히 상수도관에 대해서는 노후된 관 뿐 아니라, 수압 또는 유속과 같은 수리적인 조건을 만족시키는 관로를 교체하기 위해 주로 사용되고 있다 (Simicevic and Sterling, 2001). 다만, pipe bursting 공법은 미국, 영국 등 암석이 적고 평지가 많은 양호한 매설환경에서 직관에 가장 적합하게 개발된 공법이므로, 곡관이 많고 지반에 암석이 많은 지역에서는 활용도가 떨어진다는 단점이 있었다.

본 연구에서는 상수도관의 비굴착 교체방법 중 하나인 pipe bursting 공법을 이용하여 소구경 상수도관을 비굴착으로 개량할 수 있는 장비를 개발하고자, 개발할 장비의 실제 현장 적용을 위한 기초실험 연구를 하였다. 현장에서 시공이 가능한 장비의 규모와 경제성을 고려할 때 적정 견인력, 곡관부 시공 시 교체관의 허용곡률반경 설정을 위한 파쇄헤드의 적정 구조를 실험하여 소구경 상수도관 비굴착 개량 기술을 개발하고자 하였다.

2. 연구재료 및 방법

2.1 실험 장치의 구성

본 연구에서 개발한 pipe bursting 장치는 헤드부와 견인부로 나누어지며 헤드부는 파쇄헤드(Bursting Head), 고정웨지(Wedge), 와이어(Wire) 등이고, 견인부는 윈치(Winch), 유압펌프(Hydraulic Pump), 지그(Jig) 등으로 구성되어 있다. 다음 Table 1은 실험장치의 제원을 나타낸다.

2.1.1 파쇄헤드 및 고정장치

파쇄헤드는 기존관을 절단 및 파쇄한 후 공간을 넓혀주는 역할을 하며 사용하는 재질에 따라 시공성,

Table 1. Specification of pipe bursting devices

Classification	Specification
Target diameter	Below D20 mm
Target pipe materials (Existing pipe)	PE (Polyethylene) Pipe PVC (Polyvinyl chloride) Pipe
Replaced pipe material (Newly replaced pipe)	HDPE (High density polyethylene) Pipe
Optimal distance	16 m
Traction device	Winch, Wire, Wedge
Traction force measurement	Hydraulic meter
Construction availability for bend pipe	Avaliable to 90°

경제성에 영향을 미치게 된다. 파쇄헤드는 원뿔 모양의 형상에 3축 파쇄날이 붙어있는 구조로 구성하였으며, 와이어로 견인됨과 동시에 기존관을 파쇄하며 기존관 노선을 따라 교체관이 삽입되도록 하였다. 파쇄헤드를 기존관 내에 삽입 시, 기존관 노선을 따라 정렬을 유지하며 균일한 파쇄를 보장하기 위해 Fig. 1과 같이 선단은 기존 수도관보다 직경을 작게 하였으며 후단은 교체관과 연결되어 원활하게 삽입될 수 있도록 크게 제작하였다. 파쇄헤드의 재질은 기존관을 원활하게 파쇄하고 파쇄 날의 손상을 최소화하기 위해 경도가 높고 마모가 잘되지 않는 텅스텐(Tungsten) 재질을 사용하였다.

파쇄헤드는 2가지 종류로써 PE관과 같이 연결부가 없이 일정한 곡률로 배관된 기존관에 적용 가능한 1단 파쇄헤드와 엘보(Elbow)를 이용한 곡관부에 여러 개의 확관헤드를 이용하여 적정 곡률반경이 확보되도록 90도 곡관까지 적용 가능한 다단 파쇄헤드로 구분하여 제작하였다. 1단 파쇄헤드는 Fig. 1에서와 같이 bursting head, wedge, 유니버설 조인트(Universal Joint)로 구성되어 있으며, Fig. 2와 같이 다단 파쇄헤드는 bursting head와 expanding head, wedge, universal joint로 구성되었고, 길이는 1 m로 bursting head를 최선단에 설치하고 후단에 확관 헤드(Expanding Head)를 1~3개를 등간격으로 연결하였다. 먼저 bursting head가 기존관을 파쇄하고 후단에 연결된 여러 개의 expanding head가 반복적으로 90도 곡관부의 지중 토사를 교란시켜 S자 곡률을 형성하며 후미의 교체관이 안정적으로 삽입될 수 있도록 하였다. expanding head는 1개일 경우는 1.0 m 이며, 2개는 0.5 m, 3개는 0.33 m의 간격으로 연결하였다.

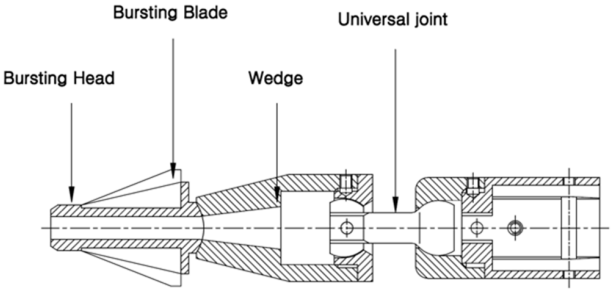


Fig. 1. Head of pipe bursting device (single bursting head).

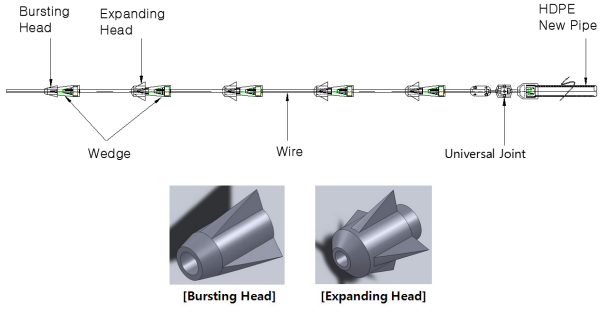


Fig. 2. Head of pipe bursting device (multiple bursting head).

고정장치는 파쇄헤드가 견인 장치와 연결된 와이어에서 빠지지 않고 고정되어 견인되도록 하는 기능을 갖는다. 본 연구에 활용한 pipe bursting 장치의 고정장치는 파쇄헤드와 연결된 하우징안의 wedge에 의해 고정되도록 하는 방식을 이용하였다. wedge는 와이어가 당겨지는 힘에 의해 점차적으로 하우징과 결속되어 큰 힘에도 와이어가 빠지지 않도록 물어주게 된다.

2.1.2 견인 장치

견인 장치는 파쇄 헤드와 연결된 와이어를 교체관 투입부 반대쪽 후단 작업구에서 강한 견인력으로 잡아당기는 역할을 하는 장치로 기존관을 파쇄하며 교체관을 삽입하는 동력을 제공하는 기능을 갖는다. pipe bursting을 위한 견인장치는 오로지 견인장치의 동력으로만 기존관을 파쇄하기 때문에 강한 힘을 발현할 필요가 있다. 본 연구에서 개발한 pipe bursting 장치는 복잡한 도심지 및 좁은 골목 등 협소한 공간에서 최소한으로 터파기한 후 장치를 설치할 수 있도록 유압 윈치를 수직으로 배치하였다. 견인장치는 바닥판이 가로 0.5 m, 세로 0.6 m이며, 높이는 1.2 m로서 무게는 92 kg 이다. 견인장치의 구성으로는 동력부인 윈치(Winch), 몸체인 수직 기둥(Vertical Column), 바닥에서 힘을 지지하는 바닥판(Bottom Plate)

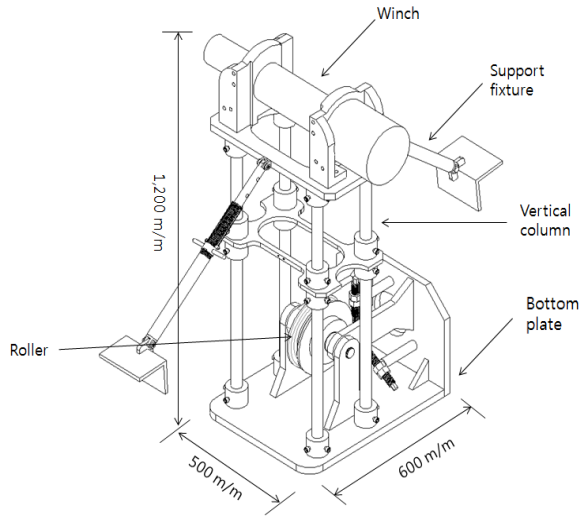


Fig. 3. Traction device.

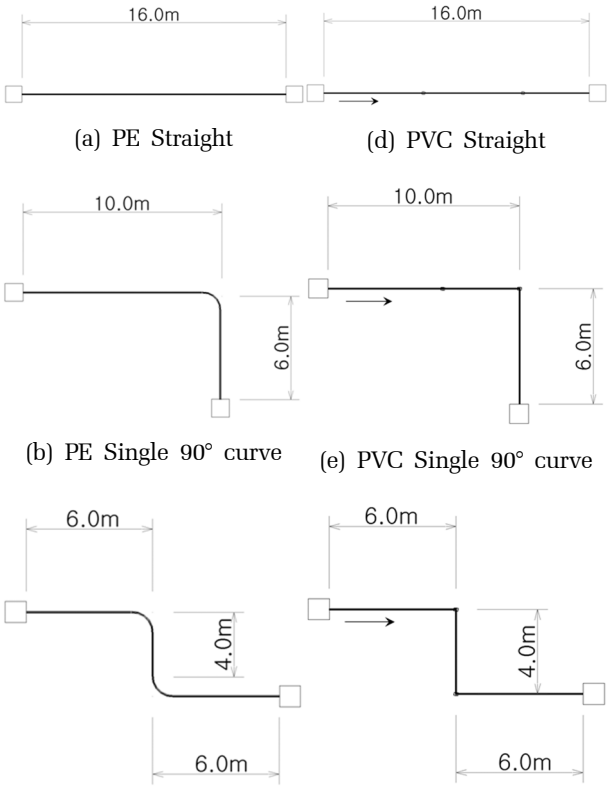
으로 구성되어 있다. 고압의 유압펌프를 사용하여 장비의 운영과 시공의 효율성을 극대화 할 수 있도록 제작하였으며, 유압윈치의 용량은 4,540 kg이며, 최대 압력은 14 MPa, 중량은 40 kg이고, 윈치를 작동시키는 유압 전동펌프는 전기모터를 이용하여 작동유를 유압 시스템에 주입하여 기계적 에너지로 변환시키는 장치로서 유압 전동펌프는 3 HP으로 2.3 kw의 전기모터를 사용하였다. Fig. 3은 winch 타입의 견인장치 설계 구성도이다.

견인 와이어는 7×19 GAC(Galvanized Aircraft Cable) Ø7 mm 단조와이어를 사용하였다. Ø7 mm GAC 와이어로프의 절단하중은 3,650 kg이며, Ø7 mm GAC 와이어로프는 상수도관의 최소구경인 16 mm의 90도 곡관 내부를 굽혀서 통과시킬 수 있는 최대 크기이다.

2.2 실험방법

본 연구에서는 제작한 장치의 성능확인과 상수도관 급수관로에서 많이 사용되고 있는 관종 및 곡관에서의 시공 성능을 확인하기 위하여 pilot plant를 활용한 기초실험을 실시하였다. pilot plant는 A시 T건설 공장 실험부지에 실증 테스트 관로를 매설하고 직관 및 이음관의 파쇄 견인력과 곡관 파쇄에 따른 곡률반경이 확보되는지를 확인하였다. 실험관로의 기존관은 PVC관은 구경이 16 mm이며, 두께는 2.7 mm이다. HDPE관은 구경은 20 mm이며, 두께는 SDR 11로 2.0 mm이다. Fig. 4는 PE관과 PVC관 pilot plant 실험관로 매설 선형 모식도를 나타낸다.

실험관로의 관경은 상수도 인입급수관으로 사용되고 있는 관 중 최소관경으로 PE관은 20 mm, PVC관은 16 mm를 사용하였으며, 길이는 각각 16.0 m이다. 매설 깊이는 동결심도를 고려한 1.2 m로 매설 하였으며, 지반의 토사는 일반 점성토양에 다짐력이 18 kN인 램머(Rammer)를 이용하여 20 cm씩 층다짐을 하여 매설하였다. 매설된 관의 선형은 관종별로 3가지 형태로 매설하였다. PE관은 곡관이나 접합부 없이 Fig. 4와 같이 PE관의 허용곡률반경 이상으로 굽혀서 3가지 선형으로 매설하였으며, PVC관의 경우, 첫째는 직관 6.0 m 2본과 4.0 m 1본을 접합하여 16.0 m 길이의 직선관로이다. 둘째는 직선구간 10 m 후 90도 곡관을 접합하여 1회 꺾인 ㄱ자 선형이다. 셋째는 6.0 m 직선구간 후 90도 곡관을 접합하고 다시 4.0 m 직관과 90도 곡관을 접합하여 2회 꺾인 ㄹ자 선형이다. 이는 좁은 골목에 매설되어 있는 소구경 급수관로는 90도 곡관이 1~2개씩 사용되어 꺾여 있는 경우도 있어 곡관이 존재할 경우 시공능력을 확인하고자 하였다.



(a) PE Straight (d) PVC Straight

(b) PE Single 90° curve (e) PVC Single 90° curve

(c) PE Double 90° curve (f) PVC Double 90° curve

Fig. 4. Specification of pilot experiment.

Pipe bursting 기초실험 순서는 Fig. 5와 같은 절차로 수행하였다. 먼저, 현장 조사를 통해 기존관에 90도 곡관이 설치되어 있는지 여부를 확인하였다. 90도 곡관이 설치되어 있지 않은 PE관과 직선형 PVC관의 경우 1단 파쇄헤드를 활용하였으며, 90도 곡관이 설치된 PVC관의 경우, 다단 파쇄헤드와 리드 강선을 활용하였다. 다단 파쇄헤드는 1 m 길이에 확관헤드 1~3개를 등간격으로 연결하여 확관헤드 개수 변화에 따른 곡률반경의 크기를 실험하였다.

다음으로, 시험대상이 된 관로의 시점과 종점에 작업구를 설치하고, 견인와이어와 파쇄헤드를 시점부에 연결하였다. 연결이 완료된 후에는 매설된 관로의 종점에 견인장치를 설치한 후 먼저 관 내부에 7.0 mm의 와이어를 관통시켰다. 여기서, 90도 곡관이 있는 경우에는 곡관지점에서 와이어가 원활하게 꺾이지 않는다. 이러한 경우에는 2.0 mm 굵기의 리드 강선을 먼저 밀어 넣은 후 7.0 mm 와이어를 연결하여 당김으로써 와이어를 설치하였다.

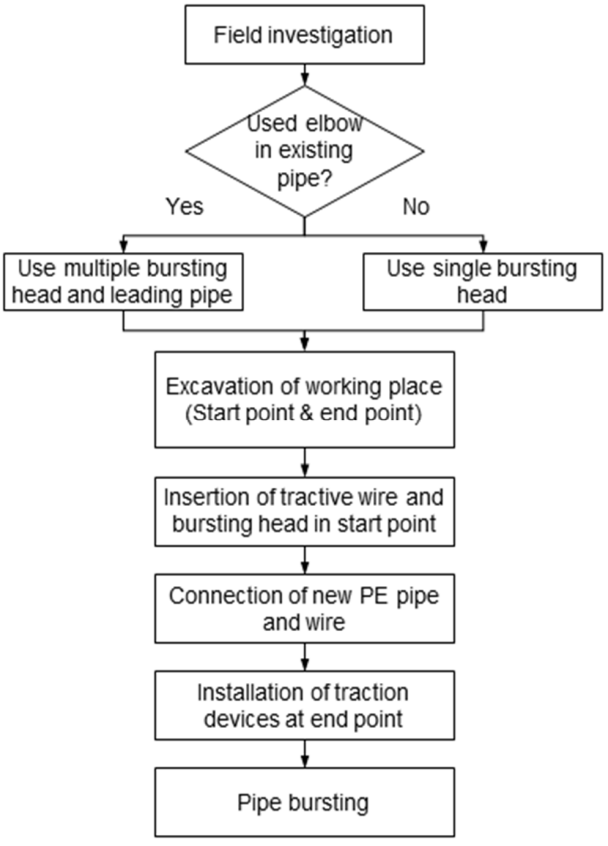


Fig. 5. Flow diagram of pipe bursting experiment.

Table 2. Minimum bending radius of PE ppe

Pipe SDR	Minimum bending radius
9	DN × 12
11	DN × 15
13.6	DN × 21
17	DN × 25
21	DN × 35

파쇄헤드와 새롭게 매설할 PE 교체관이 연결된 후에는 유압윈치와 와이어로 파쇄헤드를 견인하였다. 견인력 및 견인시간 측정실험은 실험대상 관로의 형상에 따라 대표성을 갖기 위해 3회 실시하였다. 견인력의 측정은 유압펌프에 부착되어 있는 압력 게이지의 압력을 확인하여 윈치의 정량펌프 단면적과 계산을 통하여 측정하였다.

본 연구에서 도출하고자 하는 결과는 다음과 같다. 첫째, PE관 및 PVC관에 대하여 pipe bursting 공법 적용 시 소요되는 작업시간과 직관일 경우와 곡관이 존재할 경우에 필요한 견인력을 확인하고자 한다. 둘째, 교체관으로 사용되는 PE관은 SDR(Standard Dimension Ratio)이 11이므로, 곡관부에서 관에 허용되는 최소 굴곡반경인 15D 이상이 확보되는지 확인하고자 하였다. PE관은 곡률부에서 엘보를 사용하지 않고 굽혀서 사용하게 되는데 PE관의 최소굴곡 반경은 두께별로 Table 2와 같다 (PPI, 2006).

실험에 사용한 다단 헤드의 길이는 1.0 m이며, 헤드의 개수는 1~3개를 등간격으로 연결하여 실험하고 설치 간격에 따라 곡률반경을 측정하였다. 곡률반경의 측정방법은 굽혀진 곡선부분의 호 길이와 높이를 측정하고, 현의 길이를 측정하여 피타고라스 정리를 통하여 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

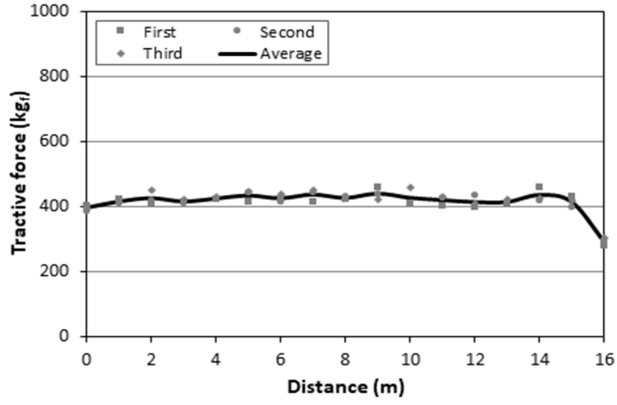
3.1 관종별 Pipe bursting 공법의 견인력 및 견인시간 실험

3.1.1 기존관이 PE관인 경우 견인력 및 견인시간

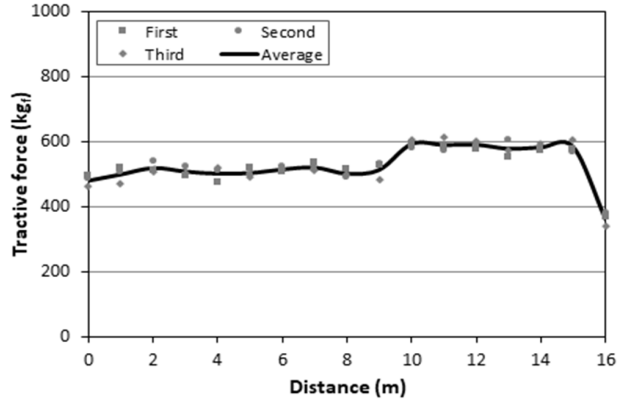
길이 16.0 m에 매설된 구경 20 mm PE관을 대상으로 견인력 및 견인시간을 실험한 결과는 다음과 같다. Table 3은 PE관에 대하여 관로조건별 pipe bursting 실험결과를 나타내며, Fig. 6은 PE관에 대한 관로 선형

별, 주행거리에 따른 견인력의 변화를 나타낸다.

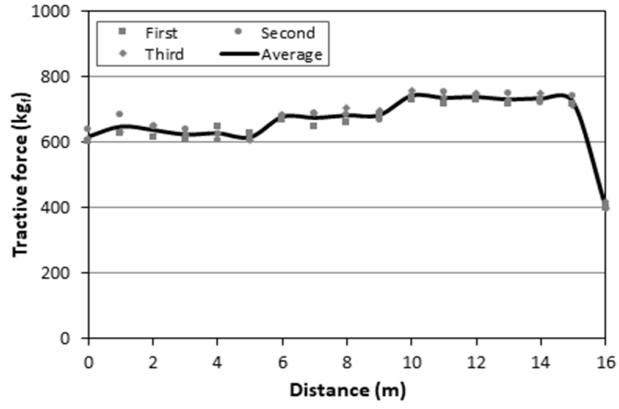
먼저, 직선 관로에 대해서는 16.0 m 견인 시 15.5분이 소요되었고 견인력은 평균 413.65 kg_f으로 나타났다. Fig. 6의 (a)에서 알 수 있듯이, 주행거리에 따른 견인력은 출발점에서 평균 견인력보다 약간 낮게 시작하여 관을 절단하고 확관되면서 조금 증가하다



(a) Straight type



(b) Single curve type



(c) Double curve type

Fig. 6. Tractive force by distance for PE.

일정하게 진행된 후 끝단부에서 급격하게 낮아짐을 확인하였다. 끝단부에서 견인력이 급격하게 낮아진 이유로는 작업구 굴착 시 굴착사면이 경사지게 되어 토사가 일정구간 흐트러진 상태가 되며, 견인 와이어가 당겨지면서 끝단부의 기존관을 흔들게 되어 마지막 구간은 토압이 낮은 상태에서 파이프만 절단되어 견인됨으로써 견인력이 급격히 낮아짐을 확인할 수 있었다.

다음으로 곡률이 한 개소 있는 ㄱ자형 관로에서는 16.0 m 견인 시 16.6분이 소요되었으며 견인력은 직선형의 130%인 526.51 kg_f으로 나타났다. PE관에서 ㄱ자 선형의 관로는 90도 엘보는 사용하지 않지만 직경의 약 20배 정도 크기의 곡률반경으로 굽혀 배관하게 되므로 직관대비 30%의 견인력이 더 필요함을 확인할 수 있었다. 이는 Fig. 6의 (b)에 나타낸 것과 같이, 곡관이 있는 10 m 지점에서 견인력이 급격하게 증가하는 것을 그래프를 통해서도 확인할 수 있다.

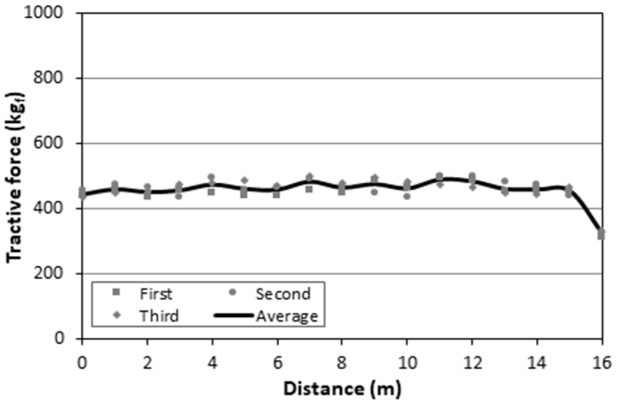
세 번째, 곡률이 두 개소 있는 ㄹ자 선형 관로에서는 견인시간이 18.0분 소요되었으며, 견인력은 직선형 관로의 160%와 곡률이 한 개소인 ㄱ자 선형의 130%인 665.69 kg_f의 견인력이 소요되었다. 실험결과 곡관의 개수에 따라 견인력이 30% 이상 증가해야함을 알 수 있었으며, 이는 90도 곡관이 존재하는 6 m, 10 m 지점에서 견인력이 급증하는 경향이 나타난 Fig. 6의 (c)를 통해서도 파악할 수 있다.

PE관 견인 시간은 길이 16.0 m를 비굴착 교체 시 15~18분 정도의 시간이 소요되었으며 이는 1 m 당 1분 정도의 시간이 소요되었다. 곡률이 큰 곡선부는 개소마다 견인력이 약 126 kg_f 추가로 필요하며 견인시간은 약 1분정도의 시간이 더 소요되어 곡관부에서 견인력이 높아져 견인하는 시간도 상승하는 것을 확인할 수 있었다.

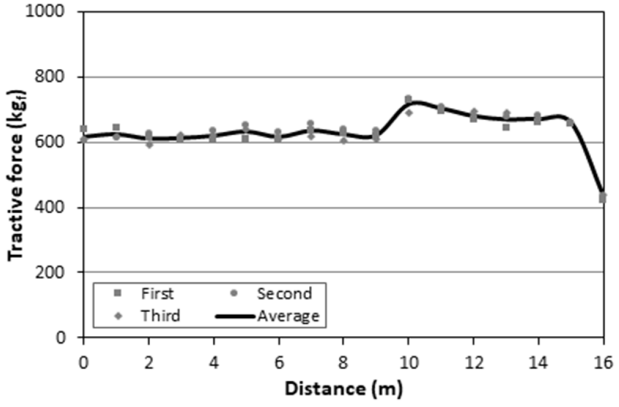
3.1.2 기존관이 PVC관인 경우 견인력 및 견인시간

PVC관의 비굴착 시험은 최소구경인 16 mm 관경에 길이 16.0 m를 사용하였으며 곡선지점에서는 90도 엘보를 배관하였다. PVC관에 대한 견인력 시험 결과는 Table 4 및 Fig. 7과 같다.

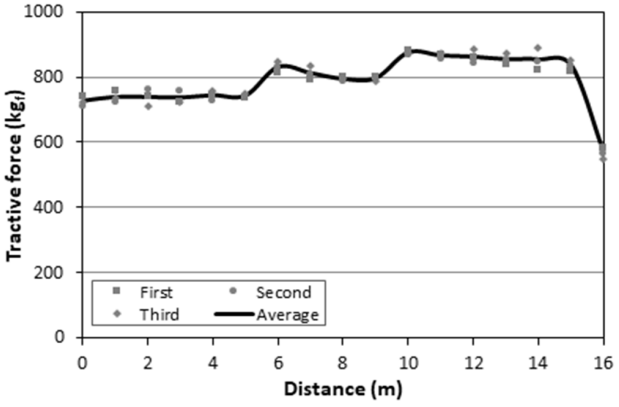
먼저, 직선 관로에 대한 실험 결과, 16.0 m 견인 시 16.3 분이 소요되었고 견인력은 평균 457.43 kg_f으로 출발점에서부터 PVC관을 파쇄하고 확관되면서 균등하게 나타났다. PVC관의 파쇄를 위한 견인력은 PE관의



(a) Straight type



(b) Single curve type



(c) Double curve type

Fig. 7. Tractive force by distance for PVC.

파쇄를 위한 견인력보다 43.78 kg_f 더 크게 나타났으며, 견인시간 역시 0.8분 더 높게 나타났다.

다음으로, 곡관이 한 개소 있는 ㄱ자형 관로에서는 16.0 m 견인 시 17.4 분이 소요되었으며 견인력은 직선형의 140%인 632.33 kg_f으로 나타났다. PVC관에서 90도 엘보 곡관부는 교체관인 PE관의 허용곡률을 확보하기 위한 다단 파쇄헤드가 PVC관을 파쇄한 후 확관헤드는 곡관부의 토사를 파고들면서 교란시켜 곡률이 확보하게 되므로 직관대비 약 40%의 견인력이 더 필요함을 확인할 수 있었다.

마지막으로, 곡관이 두 개소 있는 ㄹ자형 관로에서는 16.0 m 견인 시 19.9분이 소요되었으며, 견인력은 직선형 대비 170%인 791.35 kg_f으로 나타났다. ㄱ자형 관로보다는 약 30%의 견인력이 더 필요함을 확인하였다. PE관에서와 동일하게 곡관부를 파쇄하기 위해 견인력이 30~40% 증가되어야 한다는 결과가 도출되었다. 이러한 경향은 Fig. 7의 (b)와 (c)에서 곡관이 위치한 지점에서 견인력이 급격히 증가하는 경향을 통해서도 파악할 수 있다.

3.2 파쇄헤드 개수에 따른 PVC관의 곡률반경 실험 결과

PE관의 경우 높은 연성을 갖는 PE의 특성에 따라 적정 곡률반경 이내에서는 굴곡시켜 배관이 가능하다. 그러나 PVC관의 경우에는 이러한 시공이 불가능하여 90도 엘보를 이용하여 배관을 한다. 즉, 기존에 매설된 PVC관에 대하여 pipe bursting 공법을 적용할 시, 90도 곡관이 존재하는 경우에는 파쇄헤드 후단에 연결된 PE관 재질의 교체관이 꺾이는 현상이 발생할 수 있으므로, 허용곡률 반경 이상의 곡률을 확보할 필요가 있다.

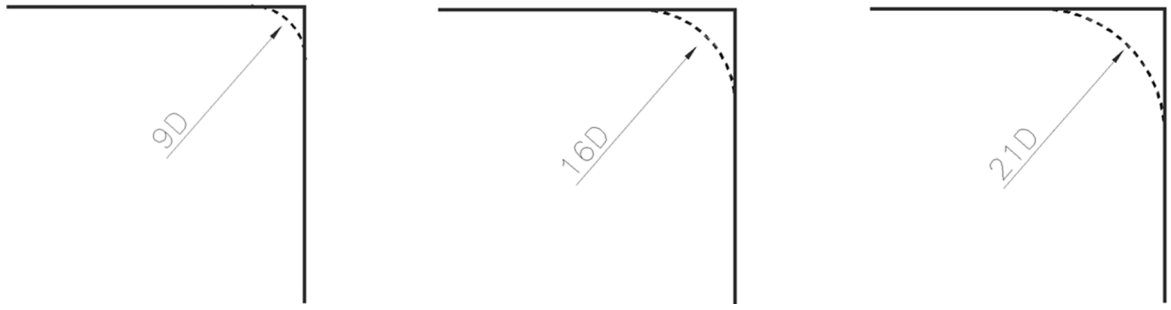
다음 Table 5는 1 m 길이의 다단 파쇄헤드에 1~3개의 확관헤드 연결 개수에 따른 곡률반경 실험 결과를 나타내며, Fig. 8은 확관헤드 개수에 따른 곡률반경 실험결과를 그림으로 나타낸 것이다.

Table 3. Results of traction time and tractive force for PE by experiment type

Type	Traction time (min)				Tractive force (kg_f)			
	First	Second	Third	Average	First	Second	Third	Average
Straight	15.2	15.5	15.7	15.5	409.35	411.24	420.35	413.65
Single curve	16.5	16.8	16.4	16.6	525.47	530.47	523.59	526.51
Double curve	17.7	18.2	18.2	18.0	655.24	672.76	669.06	665.69

Table 4. Results of traction time and tractive force for PVC by experiment type

Type	Traction time (min)				Tractive force (kg_f)			
	First	Second	Third	Average	First	Second	Third	Average
Straight	16.2	16.4	16.4	16.3	450.12	460.71	461.47	457.43
Single curve	17.2	17.6	17.3	17.4	627.94	639.47	629.59	632.33
Double curve	19.8	19.7	20.1	19.9	782.71	799.59	791.76	791.35



(a) 1 head (b) 2 head (c) 3 head

Fig. 8. Bending radius by number of bursting head for PVC.

Table 5. Bending radius test by number of bursting head

Number of bursting head	Bending radius (D)			
	First	Second	Third	Average
1	8	10	9	9.00
2	15	17	16	16.00
3	21	22	21	21.33

실험에 사용한 PE 교체관은 20 mm이며, Table 2에서와 같이 SDR 11의 두께는 DN×15 곡률반경 이상이면 관에 미치는 응력이 허용응력 이내로서, 90도 곡관부를 S자 형태로 곡률을 완화시켜 견인할 수 있게 된다.

실험결과 확관헤드가 1개일 경우는 3회 평균값이 9D로 나타났으며, 2개일 경우는 16D이고, 3개일 경우는 21D로 나타났다. 헤드의 개수가 증가할수록 곡률반경이 점점 커지는 것을 확인하였으며, 15D 이상의 곡률반경을 확보하기 위해서는 2개 이상의 확관헤드를 부착하여야 함을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 상수도관의 비굴착 교체 방법인 pipe bursting 공법의 기초실험 연구로써 현장에서 시공이 가능한 수준의 견인력과 견인시간을 산정하고, 곡관부 존재 시 교체관의 허용곡률반경 이상으로 시공이 가능하도록 파쇄헤드의 적정 구조를 실험을 통하여 실증함으로써, 다양한 매설환경에도 소구경 상수도관 비굴착 교체 기술이 현장에 적용 가능하도록 적정 시공능력을 산정하고자 하였다.

선형으로 구성된 PE관과 PVC관에 대한 견인력 및 견인시간 실험결과, PE관의 경우 평균 413.65～665.69 kg_f, PVC관의 경우 457.43～791.35 kg_f의 견인력이 필요한 것으로 나타났으며, 곡률의 개수가 추가될 때마다 곡관부를 파쇄하기 위해서 견인력이 약 30% 증가되어야 함을 확인할 수 있었다. 한편, 견인시간의 경우 1 m 당 1분 정도의 시간이 소요되어, 현장에서 빠른 시공이 가능함을 확인할 수 있었다.

90도 곡관 형태의 PVC관에 pipe bursting을 적용하는 경우, 다단 파쇄헤드의 헤드 개수를 2개 이상으로 구성하여야, 교체관이 15D 이상의 곡률반경을 확보할 수 있음을 확인하였다. 교체되는 신규관인 PE관의 안전성을 고려할 때, 파쇄헤드의 개수는 반드시 검토해야할 인자로 판단된다.

향후 관의 매설 환경에 따라 pipe bursting 기술의 현장 적용에 영향을 미치는 관주변 토사의 다짐도 및 함수율 등 다양한 변수에도 적용이 가능할 수 있도록 실제 현장에서 관종별, 구경별 실험을 통하여 장비를

개량하고 성능을 향상시켜 현장에 적용한다면 국내 실정에 맞는 pipe bursting 기술이 개발될 것으로 기대된다.

References

Cholewa, J.A., Brachman, R.W.I., Moore, I.D. and Take, W.A. (2009). Ground displacements from a pipe-bursting experiment in well-graded sand and gravel, J. Geotech. Geoenviron., 135(11), 1713-1721.

Kim, J., Kim, D., Lee, Y., Lee, S. and Kim, D. (2016). Investigating coating material and conditions for rehabilitation of water transmission pipe using a robotic system, J. Korean Soc. Water Wastewater, 30(6), 725-736.

Loss, A., Toniolo, S., Mazzi, A., Manzardo, A. and Scipioni, A. (2018). LCA comparison of traditional open cut and pipe bursting systems for relining water pipelines, Resour. Conserv. Recy., 128, 458-469.

MOE (Ministry of Environment). (2014). *Specification of waterworks construction*, KWWA (Korea Water and Wastewater Association), Seoul, 692.

MOE. (2010). *Standard for waterworks facilities*, KWWA, Seoul, 1173.

MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure, and Transport) and KAIA (Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement). (2015). *Infrastructure R&D report – Roadmap for development of safe open cut method*, 267.

Najafi, M. (2013). *Trenchless technology: Planning, equipment, and methods*, McGrawHill, New York, 582.

PPI (Plastics Pipe Institute). (2006). *Handbook of polyethylene pipe 2nd edition*, PPI, Irving, 620.

Rogers, C.D.F. and Chapman, D.N. (1995). An experimental study of pipebursting in sand, P. I. Civil Eng. Geotec. 113(1), 38-50.

Simicevic, J. and Sterling, R. L., U.S. Army Corps of Engineers Engineering Research and Development Center. (2001). Guidelines for pipe bursting(Technical Report, No.2001.02), 47.