

## 천공장치를 이용한 배수설비 연결관 시공 기술에 관한 연구

### A Study for Drainage Pipe Construction Method using a Boring Machine

장재구<sup>1</sup> · 강선홍<sup>1</sup> · 김동은<sup>2,\*</sup> · 정태호<sup>3</sup>

Chang, Jae-Goo<sup>1</sup> · Kang, Seon-Hong<sup>1</sup> · Kim, Dong-Eun<sup>2,\*</sup> · Jung, Tae-Ho<sup>3</sup>

1 광운대학교 환경공학과, 2 한국환경산업기술원 인증평가본부, 3 (주)일성엔지니어링

(2010년 10월18일 접수; 2011년 12월2일 수정; 2011년 12월8일 채택)

#### Abstract

Ministry of Environment has been promoting BTL business of the sewer rehabilitation which continues from 2005 up to now. Sewer rehabilitation is classified into three parts : wastewater pipe rehabilitation, rainwater pipe rehabilitation and drainage equipment rehabilitation. Drainage equipment rehabilitation is that drainage pipe connects wastewater pipe directly without water-purifier. In the drainage equipment construction, it is inevitable to have the damage of ground structures(wall, gate and U drain, etc) when an open excavation method is used. Therefore it is necessary to develop non-excavation method to connect drainage pipe and wastewater pipe like jacking method to avoid the damage of ground structure.

This paper has conducted an analysis of the non-excavation method using a boring machine attached to backhoe, which is issued the verification certificate of environmental technology according to the Development of and Support for Environmental Technology Act, article.7. The index set in this analysis was sectionalized to the condition of construction, the grade of drainage pipe, the size of excavated hole, the amount of waste cement concrete and asphalt concrete and the benefit effect compared to open excavation method.

**Keyword :** drainage equipment, sewer rehabilitation project, BTL(Built-Transfer-Lease), environmental technology verification

**주제어 :** 배수설비, 하수관거정비사업, 민간투자방식, 환경기술검증

#### 1. 연구의 배경

환경부에서는 하수관거 확충 및 불량관거를 조기 정비하여 하수처리장의 유입수질을 확보하고 방류수역 수질 개선을 위한 하수관거정비 임대형 민자사업(BTL)을 2005년부터 추진해오고 있다. 관거정비의 기본방향은 크게 우수관거정비, 우수관거정비, 배수설비정비로 나눌 수 있으며, 이중 배수설비 정비는 Fig. 1과 같이 기존 정화조를 이용하여 가정집 분뇨를 처리하던 개인하수처

리시설을 Fig. 2와 같이 정화조를 폐쇄하고 가정집 분뇨가 직접 우수관으로 유입되도록 하여 하수처리장의 효율을 향상시키고, 개인의 정화조 청소비 부담을 경감하며 정화조 설치시 사용되었던 토지의 이용을 극대화하는데 목적이 있다(환경부, 2002; 송 외, 2010).

배수설비 공사에서 우수받이와 우수관을 연결하기 위해서는 지상 구조물(건물의 담장 또는 대문, U형측구 등)의 하부를 굴착하여 연결관을 시공하여야 한다. 기존과 같이 인력 터파기로 시공하는 경우는 사유물인 담장

\*Corresponding author Tel:+82-2-380-0456, E-mail: dekim@keiti.re.kr(kim, D.E.)

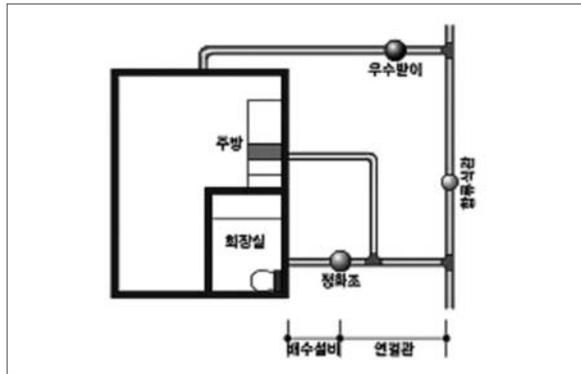


Fig. 1 배수설비 개선전

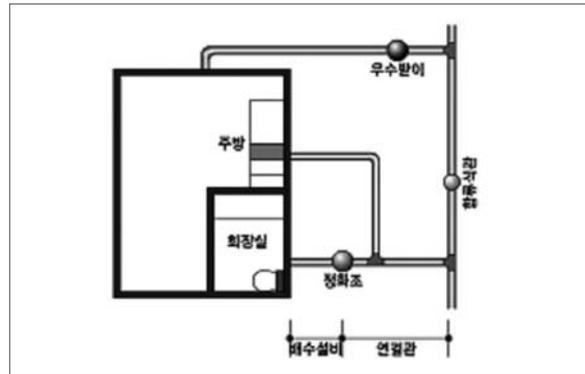


Fig. 2 배수설비 개선후

또는 대문 및 측구의 훼손이 불가피하여 배수설비 공사와 관련된 민원이 발생한다. 하수관거정비사업과 관련된 민원을 배수설비공, 하수관거공, 포장공, 기타로 분류해본 결과 배수설비공과 관련된 민원 건수가 전체의 39%로 가장 높게 나타났으며(장 외, 2008), 김포시의 경우 67.9%의 주민이 사유지내 배수설비 개선공사에 대한 비용을 국가나 지자체에서 부담하는 것을 원하는 것으로 나타났다(조 외, 2003). 따라서 현재는 정화조 폐쇄를 희망하는 가정집에 한하여 국가나 지자체에서 오수받이 및 연결관을 무료로 시공해주고 있으며, 담장 또는 대문

의 파손을 우려하여 시공을 꺼리는 가정집은 기존과 같이 정화조를 사용하도록 하고 있어 하수관거 정비사업의 효율이 반감되고 있다. 특히 시가지역은 굴착 시공하기에 협소한 작업 공간, 교통 혼잡 등의 이유로 기존 하수관 보수·보강시 또는 신규 하수관 시공시 비굴착 공법을 사용하고 있으나, 배수설비 연결관 공사는 굴착 시공을 할 수 밖에 없어 하수관 시공시 비굴착 공법을 적용한 효과가 경감되고 있다.

개인하수처리시설을 대도시내에서 일반적으로 사용하는 국가는 일본과 우리나라 뿐이며, 유럽을 비롯한 미

Table 1. 하수도보급현황

(단위 : 명)

구분	총인구	하수처리 구역 내	하수처리 구역 외(A)	하수처리구역 외 정화조 인구			
				시가지역		비시가지역	
				인구(B)	비율(B/A)	인구(B)	비율(B/A)
전국	50,643,781	45,264,192	5,379,589	446,659	8%	2,401,453	45%
서울특별시	10,464,051	10,464,051	0	0	-	0	-
부산광역시	3,574,340	3,542,252	32,088	15,818	49%	7,606	24%
대구광역시	2,509,187	2,458,824	50,363	0	-	7,334	15%
인천광역시	2,758,431	2,678,775	79,656	204	-	47,080	59%
광주광역시	1,445,828	1,415,544	30,284	0	-	30,284	100%
대전광역시	1,498,665	1,455,267	43,398	3,566	8%	6,058	14%
울산광역시	1,129,827	1,043,960	85,867	56,766	66%	12,244	14%
경기도	11,727,418	10,537,988	1,189,430	90,767	8%	402,851	34%
강원도	1,525,542	1,175,066	350,476	36,017	10%	95,013	27%
충청북도	1,550,126	1,207,691	342,435	29,362	9%	122,831	36%
충청남도	2,075,249	1,318,050	757,199	41,158	5%	463,750	61%
전라북도	1,874,427	1,486,292	388,135	3,777	1%	226,546	58%
전라남도	1,934,153	1,320,475	613,678	42,250	7%	358,650	58%
경상북도	2,705,226	1,946,406	758,820	43,651	6%	335,341	44%
경상남도	3,303,398	2,732,085	571,313	83,323	15%	284,640	50%
제주도	567,913	481,466	86,447	0	-	1,226	1%

※ 하수도통계 / 환경부(2009)

국 등 서구 국가들은 발생된 하수를 중소 하수처리장 등 공공처리시설로 처리하고 있다(장 외, 2010). Table 1을 보면 2009년 기준 우리나라에서 하수처리구역 외에 거주하는 인구는 전체인구의 10.7%이며 이중 정화조를 사용하는 인구는 5.6%이다(환경부, 2011). 특히 정화조를 사용하는 인구의 시가지역 비율이 높은 울산광역시와 부산광역시의 경우는 효율적인 하수관거 정비사업을 위해서는 측구나 담장, 대문의 파손없이 비굴착으로 배수설비 연결관을 시공할 수 있는 기술의 도입이 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 하수분관 시공에 적용되고 있는 기존 비굴착 시공 기술 외에 배수설비 연결관 시공에 특화된 기술을 개발하고 현장적용성 등을 검토하고자 한다.

## 2. 연구내용

비굴착으로 하수관을 시공하는 대표적인 방법인 추진공법과 압입공법은 추진기지 건설에 소요되는 비용 및 추진관과 압입관의 비용이 기존 인력 터파기 공법과 비교하여 과다하고, 추진기지 건설에 소요되는 작업면적을 고려할 때 가정집 배수설비 연결관 시공에 적용하기는 어려움이 있다. 또한 하수도시설기준에 따르면 연결관의 경사는 1%이상으로 연결관의 위치는 오수분관 중심선보다 위쪽에 위치하도록 규정되어 있으며(환경부, 2005), 하수관과 같이 정확한 위치 및 경사로 시공하여야 할 필요성은 낮다.

따라서 다음 조건을 고려하여 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 굴삭기에 천공장치를 장착하여 지상 구조물(담장, 대문, 측구 등)의 하부를 천공한 후 연결관을 삽입하여 오수받이와 오수분관을 연결하는 기술의 현장 적용이 가능할 것으로 판단되어 이에 대하여 검토해 보고자 한다.

- 1) 하수도시설기준에 따르면 연결관의 경사는 1%이상을 만족하여야 하며, 하수관과 같이 정확한 위치 및 구배로 시공할 필요성은 낮으므로 시공 오차를 감안할 때 굴삭기에 부착된 천공장치를 이용한 배수설비 연결관 시공은 가능할 것으로 판단됨
- 2) 가정집 배수설비의 연결관은 통상 D150mm, 길이는 6m이내 이므로 스크류의 자중을 감안하여도 1m 길이의 스크류를 연결하여 시공이 가능한 범위로 판단됨

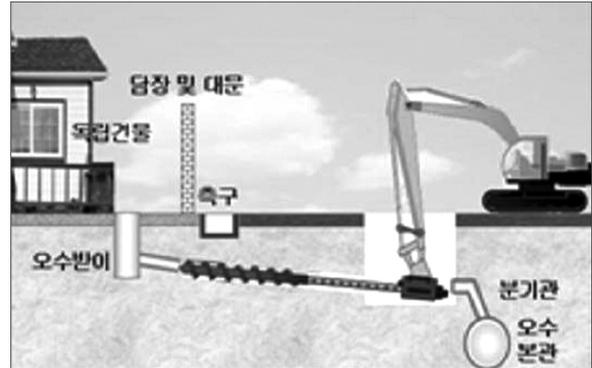


Fig. 3 천공장치를 이용한 배수설비 연결관 공사 개요도 및 시공사진

본 기술과 같이 굴삭기에 천공장치를 부착하여 배수설비 연결관을 시공한 사례는 국내 및 해외에서 발견되지 않았으며, 그동안 시공 경험에 비추어 볼 때 굴삭기의 진동 및 스크류의 자중을 고려하여 시공길이를 6m 이내로 제한할 필요가 있었다.

시공 절차는 아스콘 포장절단, 토사 터파기, 경사천공, 연결관 삽입, 여굴 그라우팅, 연결관과 오수분관 접합, 되메우기 및 다짐 순으로 진행되며, Fig. 4에 시공 흐름도를 나타내었다.

## 3. 천공장치를 이용한 배수설비 시공의 현장적용성 분석

### 3.1 시공개요

울산광역시 동구 일산동 일대 하수관거 정비 공사 현장 중 가정집 오수받이와 오수분관을 연결하는 공사 3건을 토대로 천공장치를 이용한 배수설비 연결관 시공의 현장적용성에 대하여 분석하였다. 연결관은 내충격 하수도용 PVC관 D150mm를 사용하였으며, 시공조건은 Table. 2와 같다. 천공장치로 굴착이 불가



Fig. 4 시공절차

능한 자갈층 및 천공 후 굴착공이 붕괴되는 모래층 (SW, SP)을 제외한 대부분의 지반에 적용이 가능하였다. 3건의 공사는 연결관을 대문 및 측구 아래를 통과 하여 시공하였으며, 시공시 지상 구조물 및 수도관, 통신관 등 지하 구조물의 파손은 없었다.

### 3.2 연결관 경사

굴삭기에 부착된 천공장치를 이용하여 굴착시 각도 및 굴착 깊이를 측정하여 관련 규정에 부합되는지를 살펴보았다. 굴착 각도는 스크류가 연결된 굴삭기에 각도를 측정할 수 있는 전자식 장치를 장착하여 측정하였으며, 굴착 깊이는 토사 절개면에서 삽입된 스크

류의 길이를 측정하여 그 결과를 Table. 3에 나타내었다. 지반이 점토나 실트질로 구성되고 굴착 스크류의 외경이 180mm, 굴착 깊이가 6m 이내로 제한되었기 때문에 굴착후 연결관 삽입시까지 굴착공은 함몰없이 유지됨을 확인하였다. 3건의 시공 결과를 보면 연결관의 경사는 하수도시설기준에서 규정하고 있는 경사 1%(0.57°)이상을 만족하였으며, 연결관과 우수 본관이 만나는 위치는 본관의 중심선보다 위쪽에 있음을 확인하였다.

### 3.3 굴착공 크기 및 그라우팅 효과

굴착 스크류의 자중 및 굴삭기 작업에 따른 시공 오

Table 2 시공조건

관경	시공횟수	지반조건						연결관 토피고 (m)	지하구조물 : 지표면에서 깊이(m)
		분류	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	함수비 (%)	액성한계 (%)	소성한계 (%)	소성지수		
D150	1	CL	2.640	19.9	30.5	19.2	11.3	1.62	수 도 관 : 0.82 측 구 : 0.54
	2	SM	2.621	13.7	26.0	NP	NP	1.61	수 도 관 : 0.81 우수받이 : 0.95
	3	SC	2.625	16.5	31.0	20.6	10.4	1.90	수 도 관 : 0.88 측 구 : 0.50 통 신 관 : 1.66

Table 3. 연결관 시공결과

관경	시공횟수	굴착각도(°)	굴착길이(m)	연결관 경사(°)
D150	1	4~10	4.91	8.3
	2	4~11	4.20	8.7
	3	3~10	5.98	9.0

Table 4. 굴착공 크기

관경	시공횟수	최대 세로지름		최대 가로지름	
		크기	스크류외경대비	크기	스크류외경대비
D150	2	280mm	156%	290mm	161%
	3	250mm	139%	210mm	117%

차를 확인하기 위하여 굴착공의 여굴을 측정하였다. 다만, 1차 시공한 지반은 점토(CL)질로 지반의 강도가 약하기 때문에 연결관 삽입후 굴착공과 연결관 사이의 틈이 흙으로 매워져 시공후 여굴을 확인하지는 못하였다. 2차, 3차 시공시 굴착공의 크기를 확인하기 위하여 가로 및 세로방향으로 굴착공의 지름을 측정하였고, 그 결과는 Table. 4와 같다. 세로방향의 굴착공 지름이 가로방향의 굴착공 지름보다 크게 나타난 것으로 확인되었으며, 그 원인은 스크류의 자중에 따른 것으로 판단된다. 세로방향의 굴착공 지름은 스크류 외경(180mm)대비 약 159%로 나타났다.

굴착공 및 연결관 사이의 여굴에 대해서는 그라우팅을 실시하였다. 시멘트와 물을 배합하고 고압펌프를 이용하여 굴착공과 연결관 사이의 틈에 주입하는 방법으로 그라우팅을 실시하였으며, 시공후 6개월 이상 경과한 현장을 굴착해 본 결과 시멘트가 지반에 스며들어 관 주위를 그라우팅하지 못하거나, 관과 굴착공 사이에 공극이 있는 현상은 조사되지 않았다. 그러나 굴착공의 크기와 그라우팅 상태는 토질 및 굴삭기 작업자의 숙련도 등에 따라 달라지므로 현장에서 조사한 여굴 및 그라우팅에 대한 결과가 모든 시공조건에 동일하게 적용할 수 있는 표준화된 결과가 아닐 것으로 사료된다.

참고적으로, 그라우팅 여부에 따른 지지력 향상 효

과를 살펴보기 위하여 천공 및 연결관 설치 후 지지력과 그라우팅 후의 지지력을 측정하기 위하여 도로평판재하시험(KS F 2310)을 실시하였다. 1회적인 시험 결과이며, 그라우팅 전 도로평판재하시험으로 인한 압밀에 의한 강도 증진효과 때문에 정확한 결과는 아니나, 그라우팅으로 인하여 32.8%의 지지력 향상의 효과가 있음을 추정 할 수 있다.

### 3.4 페아스콘 및 페콘크리트 발생량

본 기술로 시공시 절토량, 페아스콘량, 페콘크리트량을 측정하여 기존 터파기 공법으로 시공하였을 때 발생할 예상 절토량, 페아스콘량, 페콘크리트량과 비교하여 보았다. 천공장치를 이용한 배수설비 연결관 공사는 지표면을 약 1m×2m 절개하여 작업이 가능하나, 기존 터파기 공법은 측구나 대문 앞까지 절개하고, 지상 구조물 하부를 굴착하여야 한다. 굴착 깊이가 동일하다고 가정하고, 토피고, 아스콘 두께, 콘크리트 두께를 8군데에서 측정한 값을 평균하여 절개면적에 곱하여 절토량, 페아스콘량, 페콘크리트를 산정한 결과는 <Table. 6>과 같다.

기존 터파기 공법에 비하여 절토량, 페아스콘량, 페콘크리트량은 평균 35.2% 감소함을 확인하였으며, 절개면적 감소에 따라 아스콘 포장 절단시 소음 발생시간, 비산먼지 발생량이 감소함을 확인하였다.

Table 5. 그라우팅 전후의 지지력계수

관경	재하판지름(cm)	계산에 사용된 침하량(cm)	하중강도(kg/cm <sup>2</sup> )	지지력 계수(MN/m <sup>3</sup> )
그라우팅 전	30	0.25	1.89	74.1
그라우팅 후	30	0.25	2.48	98.4

Table 6. 절토량, 페아스콘발생량, 폐콘크리트발생량

관경		기존 터파기 공법 적용시 예상값(A)			본기술 시공시 측정값(B)			(A-B)
		절토량 (m³)	페아스콘량 (m³)	폐콘크리트량 (m³)	페아스콘량 (m³)	절토량 (m³)	폐콘크리트량 (m³)	A %
D150	1	3.99	0.12	0.45	2.30	0.07	0.26	42.3
	2	3.58	0.08	0.37	2.78	0.06	0.28	22.4
	3	5.92	0.13	0.37	3.50	0.08	0.22	40.9

Table 7. 경제성 비교

구분	천공장치를 이용한 연결관 공법(A)	기존 터파기 공법(B)	$\frac{(B-A)}{B}$
합 계	596,079	732,640	△19%
재료비	85,725	36,130	137%
노무비	434,810	414,788	5%
경 비	75,544	281,722	△73%

### 3.5 경제성

천공장치를 이용한 배수설비 연결관 시공 공법과 기존 터파기 공법의 경제성을 비교하기 위하여 원가 분석기관에서 연결관 시공 1개소에 대한 공사비용을 산출한 결과는 <Table. 7>과 같다. 연결관의 시공길이는 6m, 연결관의 관경은 D150mm로 적용하고, 보통토사와 경질토사에서 시공한 공사비의 평균을 산출하였다.

기존 터파기 공법시 훼손된 지상 구조물 복구 비용을 제외하고 단순히 공사비만 비교하였을 때 천공장치를 이용한 연결관 시공 공법은 기존 터파기 공법에 비하여 약 19%의 비용저감 효과가 있는 것으로 확인되었다. 본 기술은 굴삭기 등 장비사용 및 그라우팅 시공에 따라 재료비와 노무비가 기존 터파기 공법에 비하여 높게 나타났으나, 시공시간 단축에 따라 하루에 작업할 수 있는 작업량이 늘어나고 폐기물 저감에 따른 경비 감소로 인하여 전체적으로는 기존 터파기 공법에 비하여 경제성이 있는 것으로 조사되었다.

## 4. 결론

본 연구에서는 하수관거 정비사업 중 배수설비 연결관 시공시 사용되고 있는 인력 터파기 공법을 개선하고자 천공장치를 이용한 배수설비 연결관 시공 기술의 현장적용성을 분석하였다. 실제 하수관거 정비사업이 진행중인 현장에서 세차레에 걸친 시공을 실시하여 연결관의 경사 및 시공위치, 굴착공의 크기 및

그라우팅 상태, 페아스콘 및 폐콘크리트 발생량 등을 확인하였으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 3회 시공시 모두 측구, 우수받이, 대문의 손상없이 시공이 이루어졌다. 시공후 연결관의 경사는 평균 8.7°로 하수도시설기준에서 규정한 경사 1%(0.57°)이상을 만족하였으며, 연결관과 오수분관이 만나는 시공위치도 오수분관의 중심선보다 위쪽에 있음을 확인하였다.
- 2) 지하 매설물 도면 및 줄파기를 통하여 수도관, 가스관, 통신관 등의 지하 구조물을 확인한 후 지하 구조물 아래로 스크류를 이용한 천공작업을 시작하였으며, 작업 완료시까지 지하 구조물의 파손은 없었다.
- 3) 천공작업 완료후 여굴이 발생되었으며, 굴착공의 세로방향 지름은 285mm로 스크류 외경 180mm의 159%로 확인되었다. 여굴에 대해서는 그라우팅을 실시하였으며, 그라우팅으로 인하여 지반의 지지력계수가 32.8%가 향상되었음을 확인하였다.
- 4) 기존 터파기 공법에 비해 절토량, 페아스콘량, 폐콘크리트량이 평균 35.2% 감소함을 확인 하였으며, 절개면적이 감소함에 따라 아스콘 포장 절단시 소음 발생시간, 비산먼지 발생량이 감소하여 민원 저감 효과가 있을 것으로 기대된다.
- 5) 기존 터파기 공법으로 시공시 훼손된 지상구조물 복구 비용을 제외하고 단순히 공사비만 비교하였을 때 천공장치를 이용한 연결관 시공 공법은 기존 터파기 공법에 비하여 약 19%의 비용 저감 효과가 있는 것으로 확인되었다.

상기 결과를 종합하여 볼 때 하수관거 정비사업시 하수관 뿐 아니라 배수설비 연결관 시공시에도 천공 장치를 이용한 비굴착 시공이 가능할 것으로 판단되며, 이에 따라 공사비 감소, 공기단축, 민원저감 등의 효과가 있을 것으로 기대된다. 다만, 기술의 현장적용성을 향상시키기 위해서는 시공 정확도 개선, 여굴 억제, 그라우팅 방법에 대한 표준화 등의 방안이 마련되어야 하고, 굴삭기 작업자의 숙련도를 향상시키는 방안이 수반되어야 할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- 송호면 외 (2010) 하수관거정비 BTL사업의 효과분석 및 방안 수립 연구, 상하수도학회지, 24(6), pp.743-751.
- 장대환 외 (2008) BTL 하수관거 정비공사의 민원유형분석 및 저감 방안에 관한 연구, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2008공동 추계학술발표회 논문집, pp.362-363.
- 장효주 외 (2010) 개인하수처리시설의 제도개선에 관한 연구, 상하수도학회지, 24(1), pp.33-40.
- 조진규 외 (2003) 김포시민의 하수도사업에 대한 인식, 환경관리학회지, 9(2), pp.237-242.
- 환경부 (2002) 하수관거정비 종합계획.
- 환경부 (2005) 하수도시설기준, pp.198-201, 한국상하수도협회.
- 환경부 (2011) 2009 하수도통계 자료집.