

방사형 집수정을 위한 수평천공장치 개발

Development of Horizontal Boring Equipment for Radial Collector Wells

박근우¹⁾, Geun-Wu Park, 정경환²⁾, Gyeong-Hwan Jeong, 이충훈³⁾, Chung-Hun Lee, 권준용⁴⁾, June-Yong Kwon, 김재환⁵⁾, Jae-Hwan Kim

1) (주)태영건설 토목사업부 부장, General Manager, Tae-Young Construction Co., Ltd

2) (주)동아지질 대표이사, C.E.O / Ph.D, Dong-A Geological Engineering Co., Ltd

3) (주)동아지질 플랜트 상무, Executive Director, Plant Dept., Dong-A Geological Eng. Co., Ltd

4) (주)동아지질 플랜트 차장, Deputy General Manager, Plant Dept., Dong-A Geological Eng. Co., Ltd

5) (주)동아지질 설계부 대리, Assistant Manager, Engineering Dept., Dong-A Geological Eng. Co., Ltd

SYNOPSIS : The water resource depending on mostly surface water has many problems, such as contaminated and unpredicted contamination event. For this reason, it has been employed highly technical treatment method for them, such as ground water dam and river bank filtration. It has been developed the radial collector wells in kind of bank filtration to increase efficiency for in-taking the water resource instead of the vertical well needed many wells to take more resource. But it has many problems with the incumbent method to bore the horizontal hole for radial collector wells, such as filling with the filter material outside of a strainer by watering, jamming as retrieving the casing tube with the filter material, eccentric boring etc. To reduce the problems of incumbent equipment, it has been developed the horizontal boring equipment and performed the field trial tests several times, which have bits and water jetting system with rotating the cone-shaped front to be excavated easily. In this paper, it was compared the brand-new with the incumbent non-rotating pressing insertion method. Also it was shown the problems of the incumbent method was reduced effectively.

Key words : river bank filtration, radial collector wells, water jet,

1. 서론

물은 모든 생명체의 근원이 되는 물질로 인간을 포함한 모든 생명체에 있어서 가장 중요한 환경 요인이다. 그러나, 국내는 물론 세계적으로 인구증가와 산업발전에 의해 물 부족과 수질 악화를 초래하고 있어 21세기 물 문제는 생존을 위협하는 가장 위험한 요소로 인식되어 지고 있다.

미국 CIA는 2015년경 세계인구 절반이 넘는 30억명 이상이 물 부족 상태에 이르게 될 것으로 전망하고 있는 가운데, 우리나라의 경우도 연평균 강수량은 1,283mm로 세계 평균의 1.3배이나, 높은 인구밀도로 인해 1인당 강수량은 연간 2,705m³로 세계 평균 26,871m³의 10%에 불과함에 따라 UN은 우리나라를 물 부족 국가로 분류해 놓고 있다.

특히, 여름철에는 연간 강수량의 2/3가 집중하는 등 수자원의 계절별, 지역별 편중이 매우 심하여 물 부족과 가뭄, 홍수피해에 취약한 여건 속에서 대체 수자원 개발도 여의치 않은 실정에서 안정적 수자원 확보가 매우 시급한 과제로 떠오르고 있다.

우리나라는 국민소득 대비 물소비량이 세계 최고 수준이며, 지속적으로 물 수요가 증가되고 있는 가운데 정부의 “수자원장기종합계획”의 물 수요전망에 의하면 2011년에 18억m³, 2020년에는 26억m³의 물이 부족할 것으로 전망하고 있으며, 2001년의 경우처럼 최악의 봄 가뭄 시 경기북부지역의 급수중단 사

태와 전국 86개 시, 군에서 약30만 명이 제한 급수 등의 극심한 물 부족을 경험하기도 하였다.

또한, 1990년대부터 물부족과 수질오염이 심화되고 지방자치제 실시 이후에 지역이기주의 등으로 지역간 이해관계가 크게 대립되어 물을 둘러싼 지역간 분쟁도 빈번하게 발생되고 있다. 최근의 물분쟁 양상은 여러 가지 환경등의 제반 요인이 복합되어 다양한 형태로 나타나고 있는데, 크게 수량과 수질차원의 갈등으로 표출되고 있다.

이처럼 물은 인간의 생존뿐만 아니라 산업 및 경제활동의 원동력으로써 물 부족 해소는 반드시 해결해야 할 중요한 과제이며, 이를 위하여 정부차원에서의 다각적인 수자원 개발이 추진되어야 함은 물론, 국내 실정에 적합한 대체 수자원 또는 보조 수자원개발을 위한 지자체 또는 민간차원에서도 지속적인 기술개발이 절실히 필요한 시점이다.

강변여과 취수방법은 자연적으로 존재하는 충적층의 오염저감 능력을 이용하여 취수하는 방식으로 원수를 장기간 강변에 대수층에 체류시켜 자연의 자정작용을 이용하여 원수중의 오염물질과 독소를 제거한 후 취수하므로 퇴적층이 양호하게 분포한 지역에서는 매우 효율성이 좋은 방안이다.

2. 방사형 집수정

2.1 개요

강변여과는 강변에 자연적으로 존재하는 퇴적층의 오염저감 능력을 이용하여 간접취수 하는 방식으로, 원수를 장기간 강변의 대수층에 체류시켜 자연자정능력을 이용하며 원수의 오염물질이 여과, 제거된 물을 취수하는 방법으로 오염된 하천 표류수를 직접 취수하는데 따른 정수문제, 수질오염사고의 취약성등을 개선하기 위한 간접 취수방법중의 하나이다(그림 1). 특히 방사형 집수정은 미 고결 포화 퇴적층에서 지하수를 생산하기 위해 고안되어 발전된 취수방식, 투수성이 비교적 양호한 충적 대수층으로부터 대용량의 천층 지하수를 개발하기 위하여 하천변에 설치하거나 오염된 지하수를 투수층 내로 유도한 후 수질을 개선시키기 위해 설치하는 취수 시설을 의미한다.

방사형 집수정은 우물의 표면적이 크므로 대수층과 필터, 스크린 사이의 경계유속이 낮아, 한 집수정에서 많은 양의 치수가 가능하고, 홍수등에서의 손상에 대한 보호가 용이하며, 에너지 및 유지 관리를 위한 운전효율 향상이 증가되는 장점을 가지고 있으며 다음과 같은 특징이 있다.

첫째, 수직정에 비해 수평정 수량 및 굴진 거리에 따라 물 생산량 조절하는 선택폭이 넓어 수직 정에 비해 다량의 취수량 확보가 가능하다.

둘째, 친 환경 공법으로 정수시 약품 사용을 줄이고 정수공정이 단순하다. 기존 정수처리 시스템에서 사용된 침사지,약품실,응급침전지,오존접촉지등의 처리과정이 생략되어 정수 공정이 단순하다.

셋째, 미생물의 흡착 및 정화를 위한 체류시간이 필요하다. 국내의 경우 관련 기준이 없지만 유럽의 경우 통상 50일 체류를 기준으로 하고 있다.



그림 1. 방사형 집수정 및 수처리 시설

2.2 해외현황

강변여과 역사는 1860년대 유럽에서 발생한 질병과 연관이 깊다. 특히 1892년 독일의 함부르크에서 발생한 수인성 전염병인 콜레라에 의해서 지표수를 식수로 허용하지 않아 강변에 우물을 파서 강변 층적층으로부터 여과된 지하수를 생활용수로 사용하게 되었다.

독일에서는 19세기부터 라인강을 따라 분포한 층적층에서 강변 여과 방식을 이용한 지하수 유도 함양을 실시하여 필요한 용수원을 개발·사용하여 왔다. 이러한 인공함양에 의해 확보된 물은 20세기 초반까지만 하더라도 별도의 처리과정 없이 음용수원으로 활용될 정도로 수질이 양호하였으나, 1950년을 전후로 하여 점차 하천의 수질이 악화됨에 따라 현재는 강변여과 방식을 이용하여 취수하는 대부분의 취수장에서 입상 활성탄여과처리를 하고 있으며, 필요시 오존 처리등과 같은 정수 처리를 병행하고 있는 실정이다. 독일에서 행해지고 있는 대표적인 강변여과 방식은 하천으로부터 50~300m 떨어진 지점에서, 심도 30~40m의 지하수를 음용수원으로 취수하는 것으로 오염된 하천수가 하천 주변의 토양과 지층을 통과하면서 인체에 유해한 오염 물질인 화합물이나 세균이 침전되거나 미생물의 가작에 의해 살균, 분해되는 현상을 이용하는 방식이다.

네덜란드에서는 19세기말부터 불투수층 아래 피압지하수로의 염수침입과 자유면 대수층의 지하수 고갈 그리고 라인강의 수질악화로 정수비용이 증가 하는점 등 상수원공급에 문제가 발생하여 사구를 이용한 인공함양을 통해 수원을 확보 하고 있다. 인공함양이란 하천표류수를 이송시켜 사구 또는 강변 층적층(또는 인위적으로 만들어진 여과지)에 함양시킴으로써 지하수위를 상승시켜 수량을 확보하는 방법으로 단순한 강변여과만으로 충분한 수량을 확보 할 수 없는 경우나 일차적으로 강변 여과된 물의 전처리 효과(철, 망간의 산화 목적)을 고려하는 경우 사용되는 방법이다.

표 1. 국외의 방사형집수정 현황

국가명	시공지역	비고
네덜란드~스위스	Rhine계곡	50개 이상의 방사형 집수정이 가동중
독일	Black Forest와 Belgrade사이 Danube계곡	200~250개의 방사형 집수정 설치
	Save, Main, Mass, Ruhr, Ems, Oder강	방사형 집수정 설치
	Rhine	Alsum에 3개의 방사형 집수정 설치 Dusseldorf에 방사형 집수정 설치
오스트리아	Danube섬의 Vienna	8개의 방사형 집수정 설치
미국	Ohio의 Mississippi와 South River의 계곡	방사형 집수정 설치
멕시코	Salina Cruz	해안에 3개의 방사형 집수정 설치(담수화)

2.3 국내현황

국내의 강변여과수 개발은 주로 수직정 위주의 개발 방식으로 이루어지고 있으나 수직정을 이용한 취수방식은 산출량의 한계를 가지고 있어 대용량 취수를 위해서는 많은 취수정 착정이 불가피하다 또한, 공간적으로 일정거리 이상 분포하고 있는 수직정 운용 및 관리상의 문제, 과다하 도수관로 설치등의 문제를 가지고 있다. 이러한 수직형 집수정의 문제를 해결하기위해 방사형 집수정을 통해 해결방안이 모색되어지고 있다.

1990년대부터 5대강 유역의 강변여과수 개발타당성 조사가 실시(한국수자원공사 1995, 1996, 1998, 1999, 2002 : 환경부의, 1996 : 환경부와 경상남도, 1998 : 창원시)되었는데 이러한 조사 결과로 낙동강 하류의 창원시, 함안군, 김해시에서는 강변여과수 개발사업을 진행중에 있다.

창원시에서는 수돗물의 수원인 낙동강 물의 오염취약성 및 배분량 한계로 인한 수원 확보방안의 일환으로 오염에 상대적으로 안전하고 갈수기에도 풍부한 수원을 확보할 수 있는 강변여과수를 개발하게 되었다.

표 2. 강변여과수 국내 현황

년도	추진내용	비고
95년 3월	낙동강 강변여과수 개발 타당성 조사	
97년~99년	함안군 이용지구에 대한 시범개발	안정적인 수질과 수량확보의 가능성이 있다고 판단
2000년	부산·경남지구 용수 공급사업 추진	
2001년	낙동강수계 취수원 다변화사업 예산반영	
2001.12~2002.09	강변여과수 취수를 위한 타당성 조사 및 그 결과에 따른 기본 및 실시설계 추진	김해시 : 30억 국고로 집행 개발용량 : 27만톤/일(향후 42만톤/일로 확충)
2002.01~2002.07	방사형 집수정 타당성 조사	창원시 : 30억 국고로 집행
2002.08~2003.06	방사형 집수정 실증시험	창원시
2003.07~2003.12	실시설계	창원시

3. 방사형 집수정 수평천공장치

3.1 기존방식

3.1.1 선단압입방식

국내에서 기 시공실적이 있는 선단 압입방식의 경우에는 케이싱을 목적 연장까지 압입하기 위하여 케이싱 선단에 원추 형태의 CAP을 설치하고 수직정에서 추진장치에 의한 순수 추진력으로 케이싱을 압입한다. 케이싱을 삽입 후 싱글 스트레이너를 설치, 여재 주입관을 삽입하고 물과 함께 여재를 채우는 방식이므로, 선단의 토사에 의한 저항력을 저감시킬 수 있는 장치가 없기 때문에 높은 저항력 발생에 의해 직진성 관리가 어렵고, 싱글 방식의 스트레이너를 적용함으로써 해서 외관 케이싱 인발에 따른 스트레이너의 변형, 여재에 의한 케이싱 마찰력 증가, 여재와 지반의 직접적인 접촉으로 여재의 유실 등이 발생하는 등 여러가지 문제점을 안고 있는 방식이다.

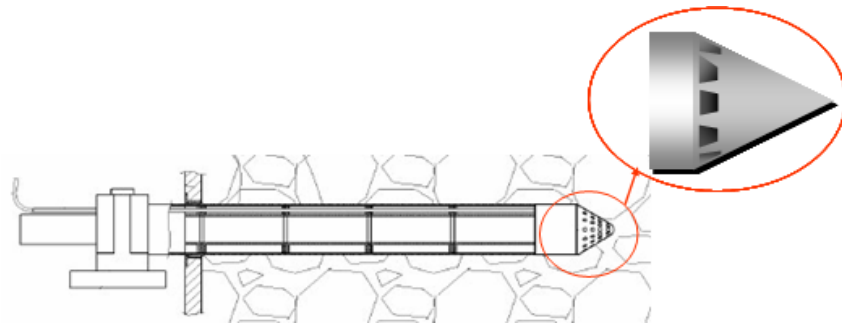


그림 2. 선단 압입 방식의 선단장치

3.1.2 선단타격방식

타격방식은 암반 및 전석 구간을 굴착하기 위하여 케이싱 내부 선단에 함마와 같은 타격장치로 구성되어 있어서 암반이나 전석의 경우에는 일정부분 효과가 있을 수 있으나, 강변의 특성상 암반의 경우는 극히 드물며, 사질 지반의 경우 선단 타격방식으로 인해 다짐효과가 발생하여 사질 지반이 밀실 해짐으로써 굴진이 보다 어렵게 된다. 전석 파쇄의 경우에 햄머(hammer) 타격장치의 고압에 대한 반발력을 유지할 수 없는 경우에는 파쇄가 어려울 뿐만 아니라 고압에 의하여 대수층을 유린할 수 있는 위험성을 내포하고 있고, 원지반의 토사 유입을 차단할 수 없는 구조이기 때문에 별도의 토사유입 방지장치를 설치하는 공정이 추가되어야 되는 등 현재까지 실용적인 기술로 평가받지 못하고 있는 방식이다.

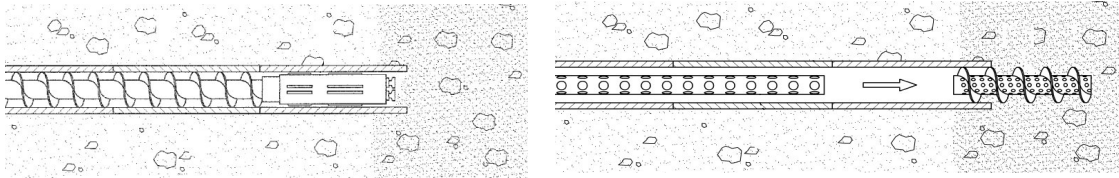


그림 3. 선단 타격장치 및 토사유입 방지장치

3.2 수평천공장치 개발

강변여과수의 취수량 및 품질에 중요한 영향을 미치는 수평정 굴착에 의한 스트레이너 설치 공정에서, 기존의 케이싱 압입식 방식을 개선하여 선단부의 회전과 물분사로 압입을 동시에 시행함으로써, 기존의 방식에 비해 외관 케이싱의 직진성 확보를 통한 스트레이너의 안정적인 설치와 스트레이너 구경의 확대를 통한 보다 다량의 원수를 취수할 수 있으며, 또한, 이중 스트레이너를 적용하여 수평정 구축에 따른 공정 단축에도 기여할 수 있는 등 현재까지 시행되고 있는 강변여과수의 수평정 설치방법을 개량하여 수평정의 스트레이너 설치에 따른 직진성 개선과 함께 공정을 단순화하여 시공품질을 향상시킬 수 있는 방식이다(특허 10-0747153, 10-0720798, 10-0720797).

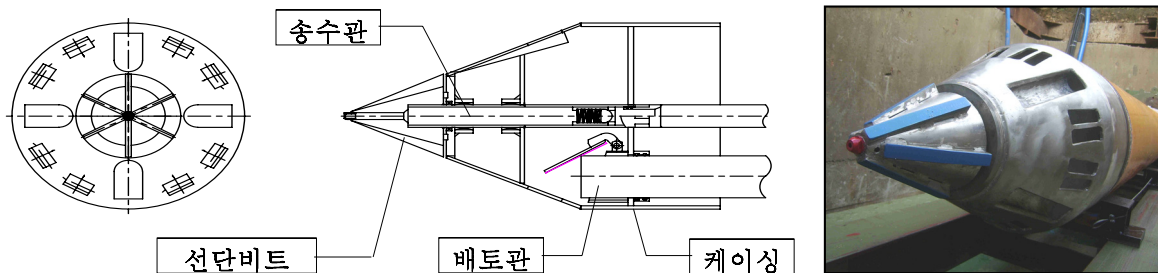


그림 4. Water Jet 및 선단 회전 추진 방식



그림 5. 이중 스트레이너

4. 시험시공

4.1 개요

시험에 사용된 모형의 지반은 모래(200# ~ 40#), 자갈(5 ~ 50mm)이 사용되었고, 시험설비장치로는 추진장치(Stroke : 3.0m, 추력 : 최대 150ton), 조작반, 선단장치, 선단회전 구동장치, 송수펌프, 배수펌프, 송수TANK, 배수TANK등이 사용되었다. 성능비교 및 효율성 입증을 위한 시험시공으로써 회전 분사방식의 압입과 비회전 분사압입방식을 상호 비교하기 위하여 우선 회전분사방식으로 압입 굴진한 후 비 회전 분사 압입방식으로 변경 굴진하여 상호 저항력을 비교하고 최종적으로 스트레이너 설치등의 작

업성을 확인하였다.

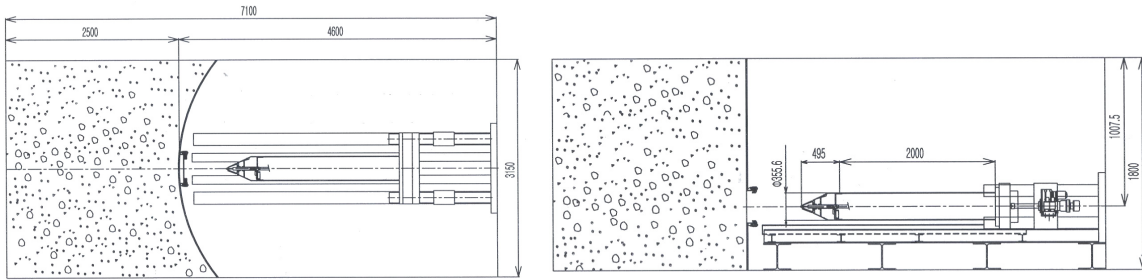


그림 7. 시험시공 개요도(평면도/측면도)

4.2 시험시공

시험시공 순서는 그림 8에 나타내었다. 거치대에 굴진기를 거치시키고 워터제트 및 비트가 장착된 선단부를 회전시켜 초기굴진을 시작한다. 이때 굴착과 동시에 케이싱을 추진하며 토사 및 자갈을 배토관을 통해 배토한다. 케이싱 추진을 굴진거리 80cm까지 완료 후 선단부를 비회전시킨 상태에서 케이싱을 추진하는 방법으로 변경하여 굴진거리 130cm까지 추진, 굴진거리 130cm 이후는 다시 선단부를 회전시켜 케이싱을 추진한다. 추진이 완료되면 이중 스트레이너를 설치 및 취수시험을 수행한다.



그림 8. 시험시공 순서

4.3 시험결과

4.3.1 스트레이너 시공성

기존의 방식은 케이싱을 삽입 후 싱글 스트레이너를 설치, 여재 주입관을 삽입하고 물과 함께 여재를 채우는 방식을 사용함으로써 외관 케이싱 인발에 따른 스트레이너의 변형 및 여재에 의한 케이싱 마찰력 증가 등이 발생하는 등 시공 및 작업성에 문제점을 안고 있다. 그러나 금번에 사용된 이중 스트레이너는 그림 9에서 나타난 것처럼 여재를 미리 충전한 이중 스트레이너를 케이싱 내부로 삽입하므로 시공이 간편하고 작업 중 여재의 충전성이 확보된다. 또한 케이싱 인발시 여재등의 마찰저항이 없으며 케이싱과 스트레이너와의 여유공간이 확보되어 케이싱인발로 인한 스트레이너의 변형을 최소화 할 수 있다.



그림 9. 케이싱 내부로 스트레이너 삽입

4.3.2 수평 천공장치의 굴진성

굴진거리 0~80cm까지 선단회전 분사방식에 의한 굴진, 굴진거리 80~130cm까지는 비선단회전 분사방식에 의한 굴진, 130~185cm까지 다시 선단 회전 분사방식에 의한 굴진으로 시험시공을 하였다. 선단회전방식과 비회전 방식에 의한 굴진거리별 굴진시간, 추력, Water Jet의 분사압력의 관계는 표 3과 그림 10~그림 12에 나타내었다.

굴진거리별 잭추력 및 10cm굴진에 대한 굴진시간 결과는 그림 10에 나타내었다. 회전 분사 방식에서는 6.0~11.5tf의 잭 추력이 요구되었으나, 비회전 분사 방식에서는 11.0~12.5tf가 요구되어 선단 비트에 의한 지반 굴착효과로 인해 선단 비회전방식보다 잭추력이 다소 낮게 나타났다. 굴착시간은 초기에 회전구간인 굴진거리 70cm이후로는 급격히 감소하는 경향을 나타내었으나, 비 회전 방식으로 전환 시 굴진시간은 급격히 증가경향을 나타내었다. 그러나 회전 방식으로 재 전환 후 굴진 시간은 초기에 미미하게 증가하는 경향을 보인 후에 굴진거리 170cm이후로는 급격히 감소되는 현상을 나타낸다. 이것은 선단회전굴착에서 비회전 굴착으로 전환시 선단비트에 대한 굴착효과 및 Water Jet의 비 회전으로 인한 지반 이완 범위가 감소되어 비회전 굴진구간에서 굴진시간이 증가되었으며 선단굴착으로 재 전환시점인 130cm이후에는 비 회전 굴착으로 인한 굴착효과가 감소되어 굴진거리 160cm까지는 대부분 굴진시간이 증가하는 경향을 나타낸 것으로 판단된다. 또한 굴진거리 160cm 이후에는 회전 굴착 효과로 인해 급격히 감소된 것으로 판단된다.

굴진거리별 분사압력대한 결과는 그림 11에 나타내었다. 회전 분사보다 비회전 분사 굴진시 분사압력은 높게 나타나 회전 분사시 지반이완 범위가 보다 넓게 분포하는 것으로 판단된다.

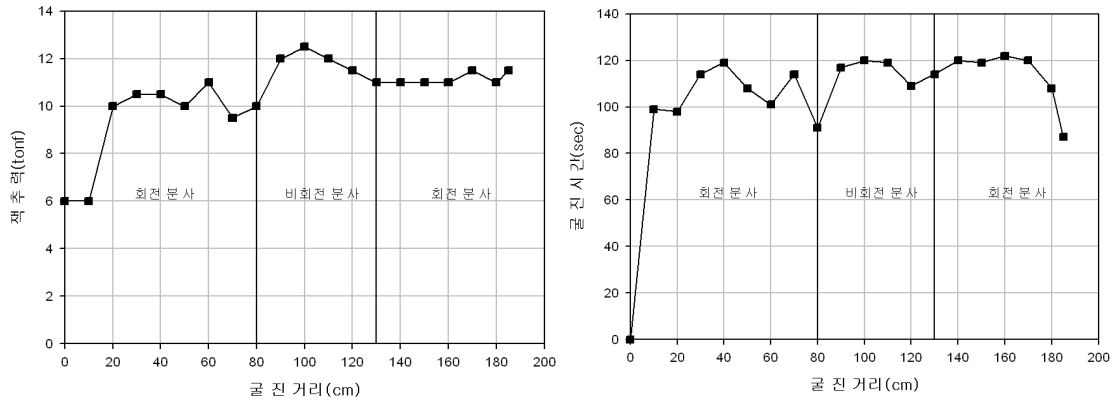


그림 10. 굴진 거리와 잭추력 및 굴진시간

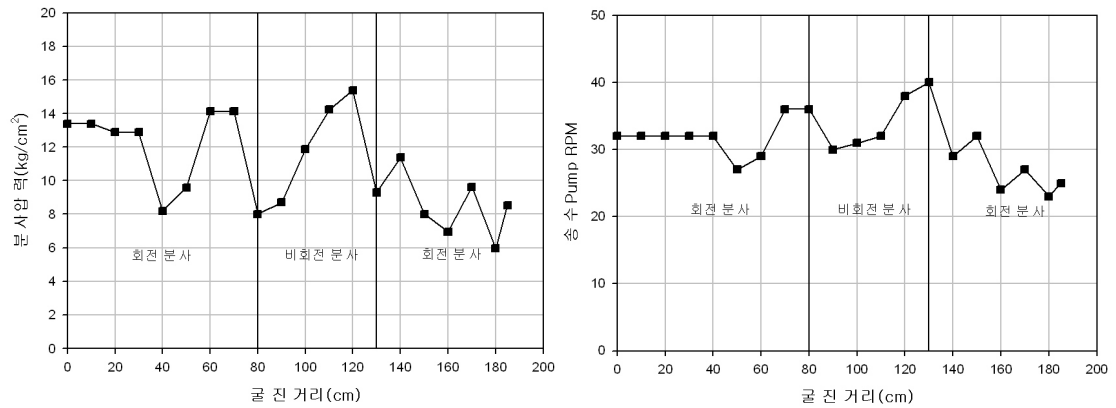


그림 11. 굴진거리와 분사압력 및 송수 Pump RPM

표 3. 시험시공 결과

굴진거리(cm)	굴진시간(sec)	잭추력(tf)	Water Jet 분사압력 (kgf/cm ²)	비고
0	0	6.0	13.4	회전분사
10	99	6.0	13.4	
20	98	10.0	12.9	
30	114	10.5	12.9	
40	119	10.5	8.2	
50	108	10.0	9.6	
60	101	11.0	14.1	
70	114	9.5	14.1	
80	91	10.0	8.0	비회전분사
90	117	12.0	8.7	
100	120	12.5	11.9	
110	119	12.0	14.3	
120	109	11.5	15.4	회전분사
130	114	11.0	9.3	
140	120	11.0	11.4	
150	119	11.0	8.0	
160	122	11.0	7.0	
170	120	11.5	9.6	
180	108	11.0	6.0	
185	87	11.5	8.5	

회전 및 비회전 구간에 대한 굴진거리별 굴진 시간, 잭 추력 및 분사압력과 관계는 그림 12에 나타내었다. 동일 굴진시간 119초에 대한 회전 분사 방식의 경우 잭추력은 10.5~11.0tf, 분사압력은 8.0~8.2kgf/cm²로 나타났고, 비회전 구간의 경우 잭추력 12.0tf, 분사압력은 14.3kgf/cm²로 회전 분사 방식의 경우보다 높은 잭 추력 및 분사압력이 소요된다. 기존의 방식으로의 천공방법보다는 회전굴착 및 Water Jet 분사에 의한 천공방법이 지반 이완 및 굴삭효과로 인해 소요추력이 감소되므로 케이싱 압입 시 케이싱 직진성을 유지하는데 유리한 결과를 나타내었다.

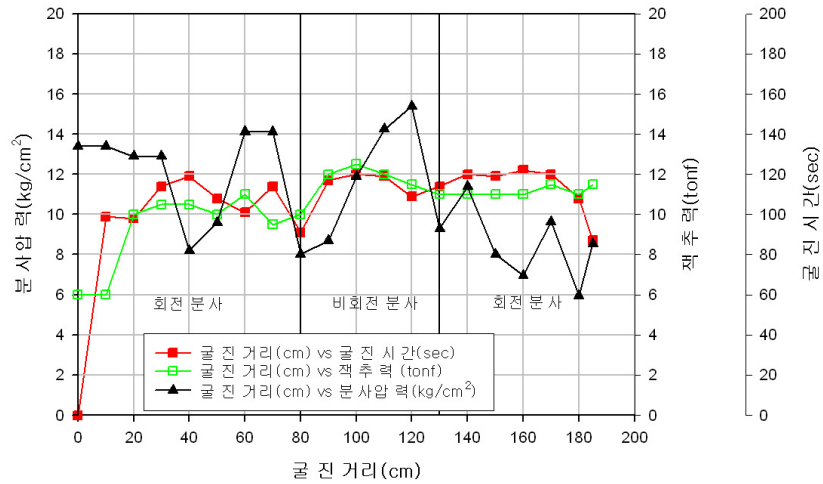


그림 12. 굴진거리와 굴진시간, 잭추력 및 분사압력과의 관계

5. 결론

기존의 방사형 집수정을 위한 천공장치에 대한 여러 가지 문제점을 보완하여 개발된 수평천공장치에 대한 시험시공을 시행하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 여재를 미리 충전한 이중 스트레이너를 케이싱 내부로 삽입하므로 시공이 간편하고 충전된 작업 중 여재의 충전성이 확보된다. 또한 케이싱 인발시 여재 등의 마찰저항이 없으며 케이싱과 스트레이너와의 여유 공간이 확보되어 케이싱인발에 의한 스트레이너의 변형을 최소화 할 수 있다.
- 2) 기존의 방식으로의 천공방법보다는 회전굴착 및 Water Jet 분사에 의한 지반이완 및 굴삭효과로 인해 소요추력이 감소되므로 케이싱 압입 시 케이싱 직진성을 유지하는데 유리한 과를 나타내었다.

참고문헌

1. 이동기외(2004) “강변여과 취수시 과도한 지하수 하강을 저감시키기 위한 인공함양의 활용방안연구”, 한국지질공학회
2. 정지훈외(2004) “방사형집수정에 의한 강변여과수 산출 특성”, 한국수자원학회
3. 정지훈외(2005)“방사형집수정에 의한 강변여과수 수위하강 특성”, 한국수자원학회