

굳지 않은 콘크리트에 의한 지하수오염 방지가 가능한 희생강관을 대체할 수 있는 섬유거푸집 현장타설말뚝(ICPG)

황 인 환 쌍용건설(주) 상무
이 용 주 쌍용건설(주) 과장
선 종 원 다른엔지니어링 대표

1. 서론

1.1 현장타설말뚝 개요

현장타설말뚝은 지반을 굴착 후 철근망을 근입하고 지중에 콘크리트를 타설 및 양생하여 제작하는 말뚝으로, 큰 지지력을 필요로 하는 대심도의 말뚝 기초에 적용성이 우수하다. 그러나 지하수위 아래의 토사층, 질리가 발달한 풍화암층, 암반 파쇄대, 지하 공동 구간 등에서 굳지 않은 콘크리트에 함유된 중금속에 의한 지하수 오염이 발생하고, 연약 점성토층에서 벌징(Bulging) 현상과 지하 대수층에서의 지하수의 흐름에 의해 콘크리트의 몰탈이 유실되어 말뚝의 품질 확보가 어려운 문제점이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 기존에는 희생강

관을 이용하여 말뚝의 품질을 확보하고 지하수 오염을 방지하였으나, 암반층에는 시공이 불가하고 희생강관 자재비가 고가여서 공사비 증가의 원인이 되었으므로 현장에 적용하는데 한계가 있었다.

본 기술기사에서는 현장타설말뚝 시공 시 희생강관 대신 섬유거푸집을 이용하여 공사비 절감이 가능하고, 토사층뿐만 아니라 암반층에서도 시공이 가능하므로 현장타설말뚝의 품질확보가 가능하며 굳지 않은 콘크리트에 의한 지하수 오염을 방지할 수 있는 공법으로, 최근 “평택~오송 2복선화 제5공구 건설공사(터키)”에서 연제천, 연제저수지 구간을 통과하는 연제교 교각에 적용한 “희생강관을 대체할 수 있는 섬유거푸집 현장타설말뚝(ICPG)”의 공법개요와 시공방법에 대하여 소개하고자 한다.

국내·외 시멘트 중금속 분석결과 (2022년 6월)

[단위 : mg/kg, Bq/g]

업체	항목	Cr(VI)	As	Cd	Cu	Hg	Pb	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³¹ I	비고
현대(영월)		7.69	3.401	불검출	63.785	불검출	71.71	결정준위 미만	결정준위 미만	결정준위 미만	국내산
현대(단양)		7.15	3.237	불검출	73.517	불검출	47.15	결정준위 미만	결정준위 미만	결정준위 미만	
아세아(제천)		6.00	13.837	불검출	125.893	불검출	49.79	결정준위 미만	결정준위 미만	결정준위 미만	
삼표(삼척)		15.00	14.822	불검출	83.962	불검출	24.65	결정준위 미만	결정준위 미만	결정준위 미만	
쌍용(동해)		6.49	10.946	불검출	124.620	불검출	53.89	결정준위 미만	결정준위 미만	결정준위 미만	
쌍용(영월)		8.66	9.038	불검출	101.826	불검출	69.55	결정준위 미만	결정준위 미만	결정준위 미만	
성신(단양)		7.25	3.232	불검출	44.772	불검출	53.71	결정준위 미만	결정준위 미만	결정준위 미만	
한일(단양)		2.11	4.796	불검출	26.749	불검출	71.29	결정준위 미만	결정준위 미만	결정준위 미만	
한리(옥계)		13.98	7.609	불검출	78.832	0.0731	45.45	결정준위 미만	결정준위 미만	결정준위 미만	
고려(장성)		1.88	6.329	불검출	불검출	불검출	불검출	결정준위 미만	결정준위 미만	결정준위 미만	
유니온(청주)		N.D	2.966	불검출	불검출	불검출	75.48	결정준위 미만	결정준위 미만	결정준위 미만	
Sumitomo Osaka		6.11	5.337	불검출	48.695	불검출	84.81	결정준위 미만	결정준위 미만	결정준위 미만	수입산 (일본)

* Cr(VI)의 자율협약기준은 2009년부터 20 mg/kg임(일본의 시멘트업계 자율관리기준 : 20 mg/kg)

* 정량한계 이하는 “불검출”로 표기하였음

* 방사능(¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ¹³¹I)은 한국인정기구 공인시험기관에서 분석

- 결정준위 미만 : 검출되지 않을 확률이 큼

그림 1. 시멘트 중금속 분석결과(국립환경과학원, 2022)

1.2 굳지 않은 콘크리트에 의한 지하수 오염
및 방지대책

현장타설말뚝에 사용하는 시멘트에는 “자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 시행규칙”에 따라 중금속을 함유한 슬래그를 의무적으로 사용하도록 규정하고 있다. 국립환경과학원에서 발표한 자료에 의하면 슬래그를 사용한 시멘트는 6가크롬, 비소, 카드뮴, 구리, 수은, 납 등의 중금속을 함유하

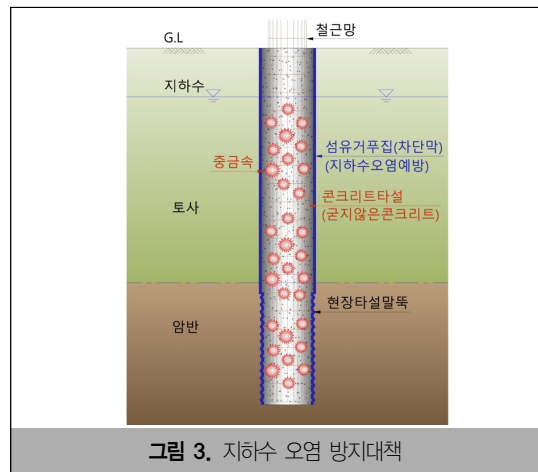
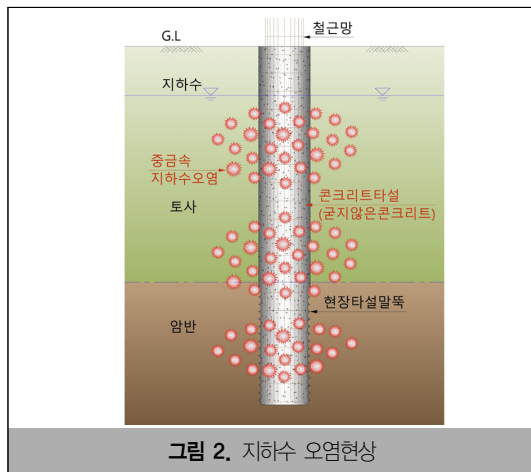
고 있으며, 이 중에 6가크롬은 1종 발암물질로서 생태계에 치명적인 해를 끼치는 물질이다.

현장타설말뚝 시공 중, 중금속이 함유된 시멘트를 사용한 콘크리트를 수중에 타설 할 때 중금속이 함유된 시멘트를 사용한 굳지 않은 콘크리트는 물과 접촉하면 중금속이 용해되어 지하수 오염의 원인이 되므로 희생강관과 섬유거푸집 등을 이용하여 지하수 오염을 방지할 수 있다.

1.3 지하수 오염 방지를 위한 현장타설 말뚝 시공방법 개선

중금속이 함유된 시멘트를 사용한 콘크리트를 수중에 타설 할 때 굳지 않은 콘크리트는 물과 접촉하면 중금속이 용해되어 지하수 오염의 원인이 된다.

지하수 오염방지를 위해 기존에는 희생강관을 적용하였으나 희생강관은 암반층 시공이 불가하여 지하수 오염방지 및 품질확보에 어려움이 있다. 섬유거푸집을 적용 시 암반층까지 시공이 가능하여 지하수 오염을 방지할 수 있고 우수한 말뚝품질 확보가 가능하다.



일반 현장타설말뚝	희생강관 현장타설말뚝	섬유거푸집 현장타설말뚝
<ul style="list-style-type: none"> • 굳지 않은 콘크리트에 함유된 시멘트의 중금속, 발암물질 지하수에 용해 → 지하수 오염 • 지하수 흐름으로 굳지 않은 콘크리트 중 자갈만 남음 → 말뚝성능 저하 	<ul style="list-style-type: none"> • 희생강관으로 토사층 문제점보완 • 토사층에 희생강관 적용 → 공사기간 및 공사비 증가 • 암반층 : 희생강관 적용불가 → 지하수 오염, 말뚝성능저하 	<ul style="list-style-type: none"> • 희생강관 대신 섬유거푸집을 사용하여 토사층 뿐만 아니라 암반층 문제점 보완 • 섬유거푸집 적용 → 공기단축 및 공사비절감 • 6암반층 섬유거푸집 설치 → 지하수 오염방지, 말뚝품질확보

2. ICPG 공법소개

2.1 공법개요

기술현황	특허 제10-2000104호, 특허 제10-2151167호, 특허 제10-1543209호
공법개요	<ul style="list-style-type: none"> 현장타설말뚝의 품질확보를 위하여 점성토층에서의 벌징(Bulging) 현상과 콘크리트 유실이 예상되는 지하대수층, 절리가 발달한 풍화암층, 연암파쇄대 구간, 석회암공동 구간 등에서 콘크리트 유실을 방지하기 위한 말뚝보공법으로 Textile Form(섬유거푸집)을 이용하여 콘크리트 유실을 방지하여 현장타설말뚝의 품질을 확보하고, 굳지 않은 콘크리트에 의한 지하수 오염을 방지하고 지상에서의 두부정리로 시공성 및 경제성을 향상시킨 현장타설말뚝.
개요도, 설치전경	

2.2 기존 공법의 문제점

일반현장타설말뚝 문제점	희생강관현장타설말뚝 문제점
<ul style="list-style-type: none"> 토사층, 암반층에서 지하수 흐름 → 콘크리트 유실 → 자갈만 남아 말뚝성능저하 토사층, 암반층에서 지하수 흐름 → 시멘트의 발암물질·중금속(6가크롬·비소·카드늄·구리·수은·납)이 지하수에 용해 → 지하수 오염 	<ul style="list-style-type: none"> 토사층에 희생강관설치 → 말뚝품질확보, 지하수 오염예방 → 희생강관자재비고가 → 공사비 증가 암반층에 희생강관설치불가 → 암반층에서 지하수 흐름 → 시멘트의 발암물질·중금속이 지하수에 용해 → 지하수 오염

2.3 섬유거푸집을 이용한 문제해결

희생강관현장타설말뚝	섬유거푸집현장타설말뚝
<ul style="list-style-type: none"> 토사층만 희생강관설치 → 현장타설말뚝 품질확보 → 희생강관 자재비고가 → 공사비 증가 (암반층 말뚝품질확보곤란) 희생강관연결 → 공사기간증가, 시공성저하 암반층에 희생강관설치불가 → 암반층에서 지하수 흐름 → 시멘트의 발암물질 · 중금속이 지하수에 용해 → 지하수 오염 	<ul style="list-style-type: none"> 토사층, 암반층 섬유거푸집설치 → 현장타설말뚝 품질확보 → 자재비절감 → 공사비절감 철근망설치와 섬유거푸집연결 병행 → 공사기간단축, 시공성향상 토사층, 암반층 섬유거푸집설치 → 지하수와 콘크리트 접촉차단 → 시멘트의 발암물질 · 중금속 차단 → 지하수 오염예방

2.4 핵심기술

① 섬유거푸집	② 고정장치	③ 용수철링
<ul style="list-style-type: none"> 토목섬유(Geo-Textile)를 일회용거푸집으로 제작하여 철근망에 부착하여 철근망을 근입시키므로 자재비절감, 시공간단, 공사기간단축, 품질확보가능 	<ul style="list-style-type: none"> 섬유거푸집을 철근망에 고정장치로 고정시켜서 케이싱을 인발할 때 끌려나오는 현상을 예방 	<ul style="list-style-type: none"> 섬유거푸집 하단에 용수철링을 부착하여 케이싱을 인발할 때 확장되어 섬유거푸집과 굴착면 사이로 콘크리트가 상승하는 것을 방지하여 말뚝단면 및 파복확보 가능

“희생강관을 대체할 수 있는 섬유거푸집 현장타설말뚝(ICPG)”의 핵심기술로는 섬유거푸집(①), 섬유거푸집을 연결하는 고정장치(②), 말뚝의 단면을 확보하고 철근피복을 확보하기 위한 용수철링(③)이 있다.

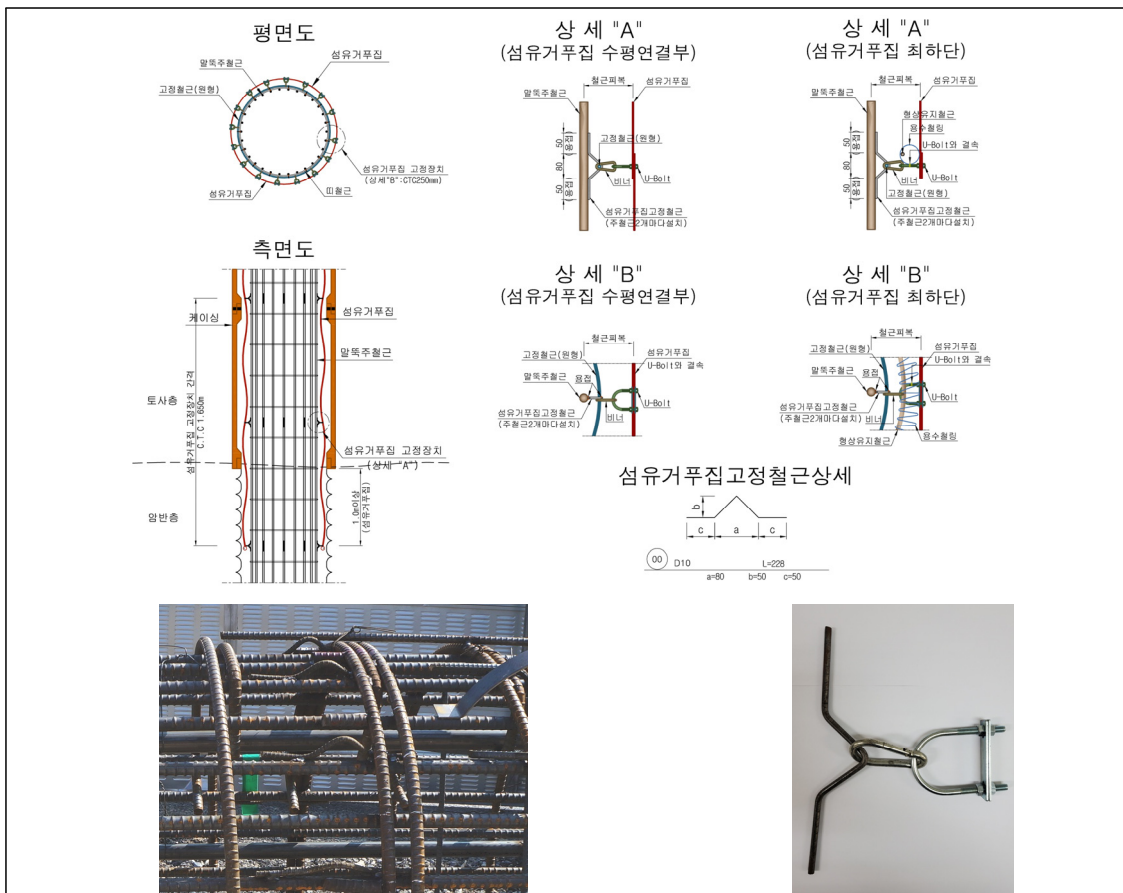
“희생강관을 대체할 수 있는 섬유거푸집 현장타설말뚝(ICPG)”은 토목섬유(Geo-Textile)를 일회용거푸집으로 제작하여 토사층뿐만 아니라 암반층에도 설치가 가능하므로, 자재비를 절감하고, 말뚝의 품질을 확보하고, 공사기간을 단축하고, 지하수

와 굳지 않은 콘크리트의 접촉에 의한 지하수 오염을 방지하여, 경제성 및 시공성, 환경성을 향상시킬 수 있다.

2.5 공법특징

2.5.1. 철근피복 확보방안(고정장치)

철근조립장에서 철근망 조립이 완료되면 섬유거푸집 설치위치를 고려하여 고정장치(고정철근)를



주철근에 용접하여 설치하고, 향후 철근망 근입 시 섬유거푸집 정착장치를 연결하여 고정시킨다.

고정장치는 철근망에 용접하는 V-형 고정장치와, 케이싱 인발 후 콘크리트 자중에 의해서 케이싱 두께만큼 확장가능한 비너와, 섬유거푸집과 철근망을 연결하는 U-Bolt로 구성된다.

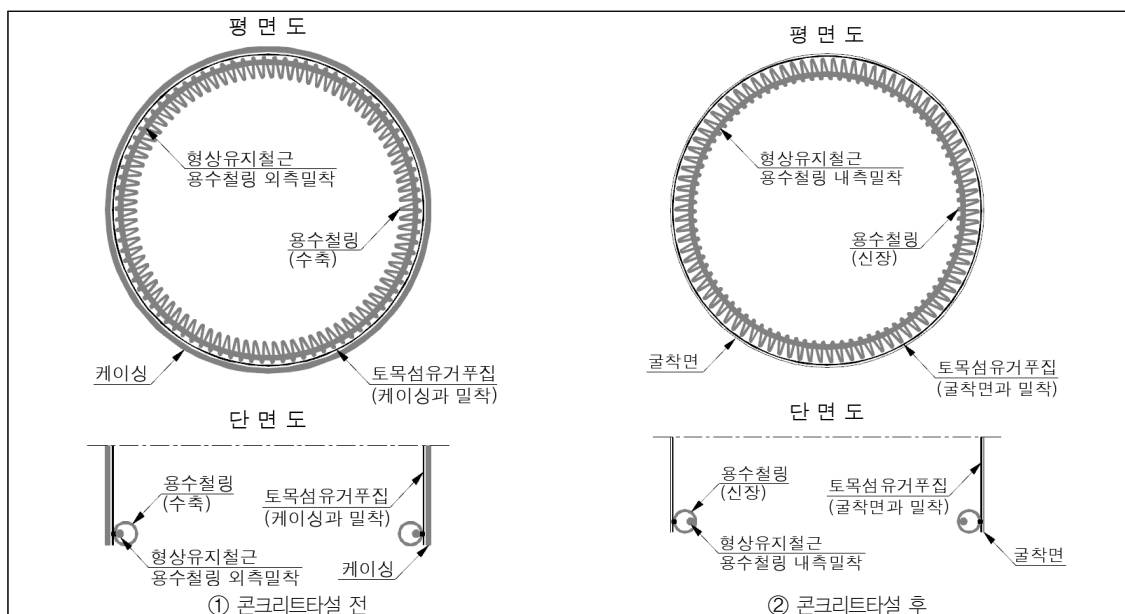
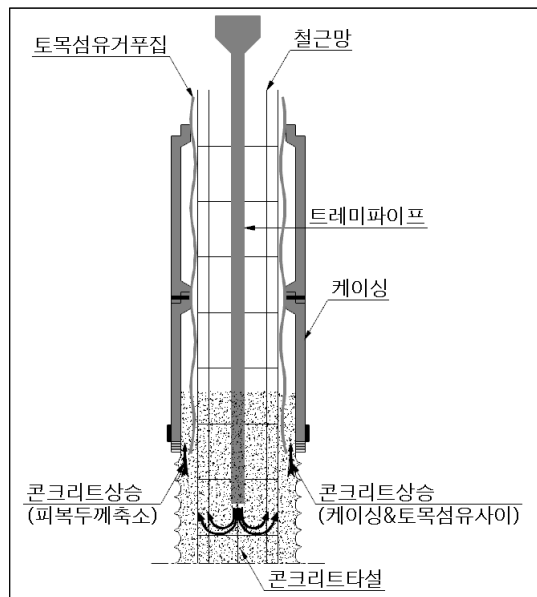
비너의 길이는 설계 피복 두께를 확보할 수 있도록 케이싱 두께 이상이므로 케이싱 인발 후 케이싱 두께부분을 콘크리트가 충전하는 구조이다.

2.5.2 철근피복 확보방안(용수철링)

설계기준에서 규정하는 현장타설말뚝의 철근피복두께는 최소 150mm 이상을 유지하도록 규정하고 있으며, 통상적인 현장타설말뚝의 주철근이음은 커플러를 적용하므로 커플러의 두께를 고려하

여 설계 시 적용하는 피복두께는 175mm 이상을 적용한다.

섬유거푸집을 적용한 현장타설말뚝은 콘크리트



타설 시 그림처럼 섬유거푸집과 케이싱 사이로 콘크리트가 상승하여 피복두께를 축소시키는 현상이 발생한다.

섬유거푸집을 적용한 현장타설말뚝은 그림(①)처럼 섬유거푸집 하단에 형상유지철근과 용수철링을 원주방향으로 붙여서 케이싱 내에서는 용수철링이 팽창하여 섬유거푸집은 케이싱과 밀착하여 섬유거푸집과 케이싱 사이로 콘크리트가 상승하는 것을 방지하여 피복두께를 확보하고, 콘크리트를 타설하면서 케이싱을 인발하면 그림(②)처럼 섬유거푸집 하단에 설치한 용수철링이 팽창하여 섬유거푸집은 확장되면서 굴착면과 밀착하여 섬유거푸집과 굴착면 사이로 콘크리트가 상승하는 것을 방지하여 피복두께를 확보한다.

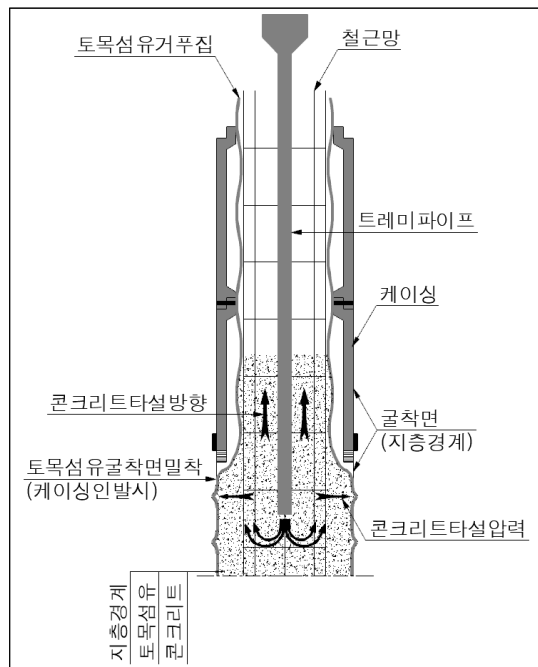
일반현장타설말뚝과 동일하게 콘크리트와 지층경계면의 주면마찰력이 발현된다.

또한, 신선한 기반암에 일정 깊이 이상 정착시킨 현장타설말뚝의 연직허용지지력은 말뚝선단에 작용하는 선단지지력과 기반암에 정착시킨 암소켓부의 주면마찰력의 합으로 산정하며 일반적으로 섬유거푸집 설치구간인 토사 및 자갈층의 주면마찰력은 고려하지 않지만, 섬유거푸집을 적용한 현장타설말뚝 시공 후 말뚝의 연직지지력 확인을 위해 실시한 양방향재하시험과 동시에 실시한 하중전이 시험 결과 토사층 및 자갈층에서도 주면마찰력은 발현되는 것으로 확인되었으며, 이는 현장타설말뚝의 장기적인 지지력확보에 추가적인 안전을 확보하는 역할을 할 것으로 판단된다.

2.5.3 섬유거푸집 사용에 따른 마찰지지력 확보방안

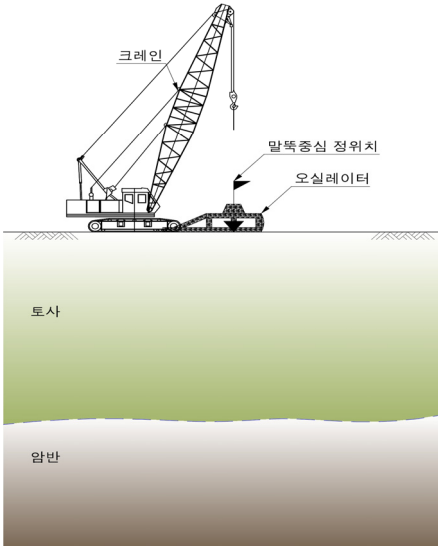
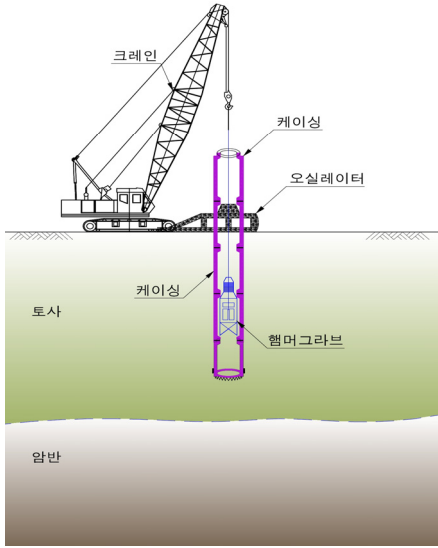
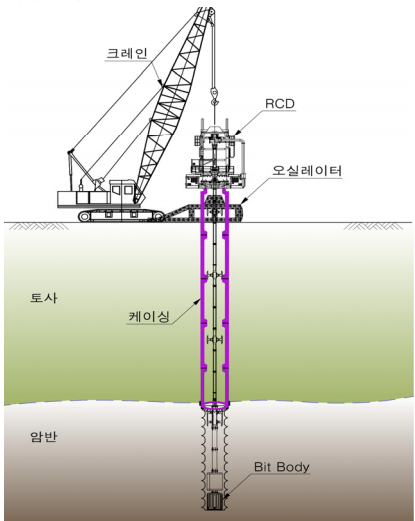
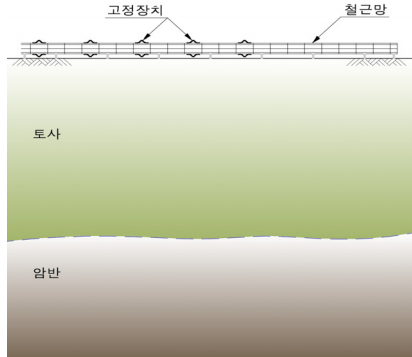
섬유거푸집 설치구간은 토사층과 자갈층에 설치하며, 케이싱 인발작업은 콘크리트 타설작업 후(콘크리트 생산 후 2시간 이내 케이싱 인발) 즉시 이루어져야 한다.

섬유거푸집을 적용한 현장타설말뚝의 주면마찰력은 사용하는 토목섬유의 재질이 PET MAT로 재료시험결과 신장율은 10% 내외로, 토목섬유거푸집이 유연하여 콘크리트 타설 시 타설압력에 의하여 굴착면의 요철 또는 형상에 따라 공극이 없이 충실하게 충전되므로 콘크리트-섬유거푸집-지층경계에서의 주면마찰력은 설계기준에서 제시하는



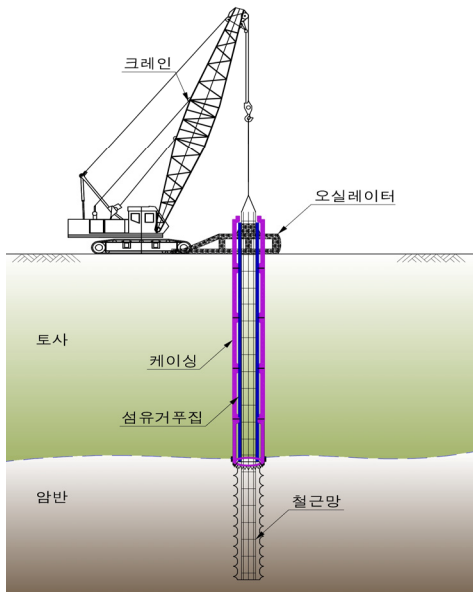
3. 시공사례

3.1 시공순서

<p>▶ 1단계 : 측량</p> <ul style="list-style-type: none"> 말뚝의 위치를 측량하고 말뚝위치에 오실레이터를 정위치 시킴 	<p>▶ 2단계 : 토사굴착</p> <ul style="list-style-type: none"> 오실레이터 내부에 케이싱을 정위치시키고 오실레이터로 케이싱을 압입하면서 햄머그라브로 케이싱 내부의 토사층 굴착 
<p>▶ 3단계 : 암굴착</p> <ul style="list-style-type: none"> 토사굴착 후 RCD 또는 BG를 이용하여 암굴착을 하여 TF말뚝 설치깊이까지 굴착완료 	<p>▶ 4단계 : 철근망 제작</p> <ul style="list-style-type: none"> 철근조립장에서 철근망을 조립하고 섬유거푸집 설치구간에 섬유거푸집 설치를 위한 고정장치를 철근망에 용접으로 설치 

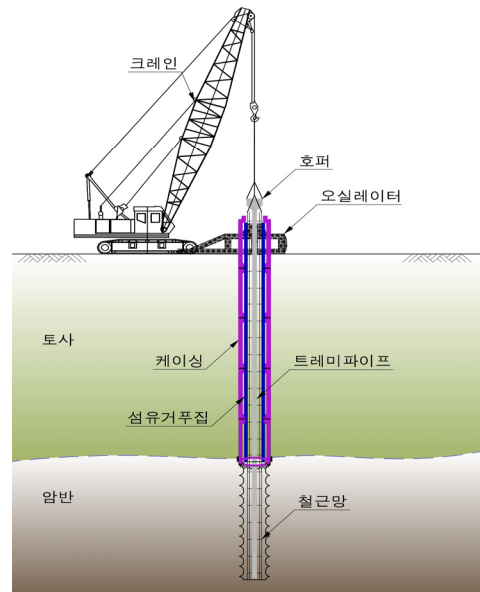
5단계 : 철근망+섬유거푸집 근입

- 육상에서 조립한 철근망을 근입하면서 공장에서 미리제작한 섬유 거푸집을 단계적으로 설치



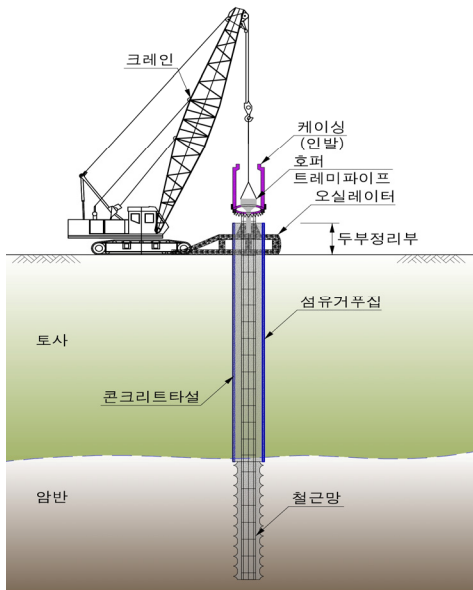
6단계 : 호퍼+트레미파이프 설치

- 수중콘크리트 타설을 위한 호퍼와 트레미파이프 설치



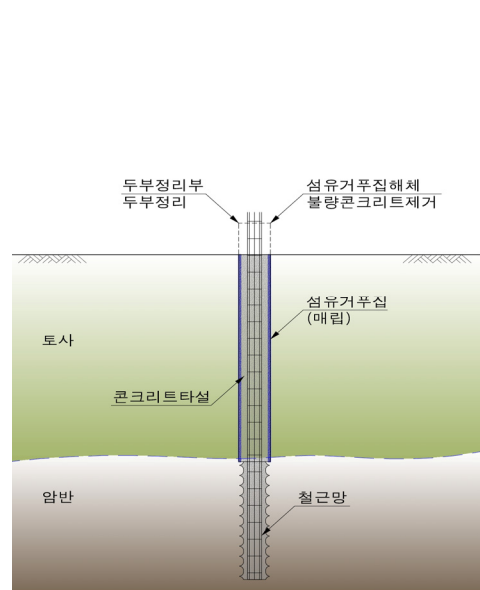
7단계 : 콘크리트 타설

- 트레미파이프를 이용하여 말뚝선단부터 콘크리트를 타설하고 케이싱을 인발하면서 지상의 두부정리부까지 콘크리트 타설











8단계 : 두부정리

- 콘크리트 양생 후 지상의 두부정리부 섬유거푸집을 해체하고 불량콘크리트를 제거하여 두부정리 후 ICPG말뚝공사 완료



3.2 시공사진

1. 철근망 제작	2. Oscillator 설치	3. Casing세우기
		
4. 토사층 굴착	5. 압굴착(RCD)	6. 연직도검사
		
7. 철근망 인양	8. 용수철링 조립	9. 용수철링 설치
		
10. 섬유거푸집 고정	11. 섬유거푸집 수직연결	12. 섬유거푸집 수평연결
		
13. 철근망 근입	14. 섬유거푸집 근입	15. 철근망 설치완료
		

16. 콘크리트 타설	17. 케이싱 인발	18. 결과물(두부정리부)
		

3.3 적용사례

공사명	발주처	시공사	말뚝직경	말뚝길이	비고
제2경인선 1.5km 옹현학악1블록 방음시설 실시설계용역	한국도로공사	—	D2,000	46m	
부산항 신항 옹원수로 정비공사	부산항건설사무소	—	D1,200	75m	
인양천교 자전거도로 구조개선사업	서울특별시	—	D1,500	17m	
평택~오송 2복선화 제5공구 건설공사(TK)	국가철도공단	쌍용건설(주)	D3,000		
강릉~제진 단선전철 제1공구 건설공사(TK)	국가철도공단	계룡건설산업(주)	D3,000	25m	
강릉~제진 단선전철 제4공구 건설공사(TK)	국가철도공단	SK에코플랜트(주)	D1,500	61m	
초정~화명 광역도로 (초정~안막) 건설공사	경상남도 김해시	DL E&C(주)	D2,000 D2,500		2023 (시공 중)
월곶~판교 복선전철 제1공구 건설공사	국가철도공단	동부건설(주)	D1,500	43m	2023 (시공 중)
신안산선 복선전철 제6공구 건설공사	국토교통부	(주)포스코건설	D2,000	32m	2023
온천5호교 재가설(확장) 공사	부산광역시	극동건설(주)	D1,200 D1,500		2022
세종~포천간 오송지선 고속도로 건설공사	한국도로공사	(주)HJ중공업	D3,000	14m	2022
양평~이천 고속도로 1공구 건설공사	한국도로공사	(주)대우건설	D2,500	20m	2021
국도59호선 정선3교 개설공사	국토교통부 원주지방국토관리청	(주)성호건설	D3,000 D1,500	72m 56m	2018 2020
군장국가산단 인입철도 제1공구 건설공사	국가철도공단	쌍용건설(주)	D3,000	51m	2017

4. 결론


최근 건설되는 도로 및 철도는 노선단축과 국토 이용의 극대화를 위하여 지리지반의 지반조건이 불량한 하천횡단 교량과 해상교량의 건설이 증가하는 추세이며, 하천횡단 교량 및 해상교량은 지지 지반의 심도가 깊어 대심도의 기초에 적합한 현장 타설말뚝 적용사례가 증가하고 있다.

현장타설말뚝을 적용하는 교량이 건설되는 지반은 연약층의 심도가 깊고 지하수의 흐름으로 인해 콘크리트타설 시 굳지 않은 콘크리트에 함유된 중금속에 의한 지하수 오염이 발생하고, 콘크리트의 유실이 발생하여 현장타설 말뚝의 품질확보에 어려움이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 기존에는 희생강

관을 이용하여 말뚝의 품질을 확보하고 지하수 오염을 방지하였으나, 암반층에는 시공이 불가하고 희생강관 자재비가 고가여서 공사비 증가의 원인이 되었으므로 현장에 적용하는데 한계가 있었다.

대심도 기초에서 큰 지지력을 필요로 하는 말뚝 기초에 적용성이 우수한 현장타설말뚝에 희생강관 대신 섬유거푸집을 적용하여 공사비 절감이 가능하고, 현장타설말뚝 시공 중 토사층뿐만 아니라 암반층에서도 굳지 않은 콘크리트에 의한 지하수 오염을 방지하고, 지하 대수층에서 지하수의 흐름에 의한 콘크리트 유실을 방지하여 말뚝의 품질 확보가 가능하다.

또한, 교량기초 외에도 대형구조물 및 건축물, LNG저장탱크, 유류저장탱크, 풍력발전 등의 다양한 깊은기초에 적용이 가능할 것으로 판단된다. 

말뚝구분	지하수 오염방지		말뚝품질확보		자재비
	토사층	암반층	토사층	암반층	
일반 현장타설말뚝	×	×	×	×	—
희생강관 현장타설말뚝	○	×	○	×	고가
섬유거푸집 현장타설말뚝	○	○	○	○	비용절감

참 고 문 헌

1. 환경부령 제979호(2022.3.31) 『자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행규칙』 제2조
2. 국립환경과학원(2022.7.1.) 『국내 · 외 시멘트 제품의 중금속 · 방사능 분석결과(2022년 6월)』