

최종보고서(일반과제용)										보안등급	
										일반[✓], 보안[]	
중앙행정기관명	국토교통부				사업명	사업명		국토교통기술촉진연구사업			
전문기관명	국토교통과학기술진흥원					내역사업명		국토교통기술혁신연구 (사회이슈해결 유형)			
공고번호	공고-제2호				연구개발과제번호						
국가과학기술 표준분류	EI0401		40%	EI0408		30%	EI1201		30%		
연구주제	(대분류)걱정없는 안심사회			(중분류)생활안전, 재난재해			(소분류)교통안전				
연구개발과제명	국문	도심지 지반함몰 예방을 위한 지중폐관 및 공동 충전 공법 개발									
	영문	Development of filling technology urban buried closed pipes and underground voids to prevent urban ground subsidence									
주관연구개발기관	기관명	(주)케이우스코리아				사업자등록번호		113-81-54005			
	주소	(57942)전라남도 순천시 강남로 93, 504호				법인등록번호		110111-1726417			
주관연구책임자	성명	한진규				직위		이사			
	연락처	직장전화	031-282-0399				휴대전화		010-4656-7757		
		전자우편	hani1212@empas.com				국가연구자번호		1100 7701		
연구개발기간	전체	2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(33개월)									
	1년차	2019. 04. 19 - 2019. 12. 31(9개월)									
	2년차	2020. 01. 01 - 2020. 12. 31(12개월)									
	3년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(12개월)									
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그외기관 등의 지원금 자립자단체 기타()				합계			연구개발비 외 지원금
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	600,000	20,100	180,900	-	-	-	-	620,100	180,900	801,000	-
1년차	134,000	4,500	40,500	-	-	-	-	138,500	40,500	179,000	-
2년차	155,000	5,200	46,800	-	-	-	-	160,200	46,800	207,000	-
3년차	311,000	10,400	93,600	-	-	-	-	321,400	93,600	415,000	-
공동연구개발기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화		전자우편		비고			
								역할		기관유형	
공동연구개발기관	한국건설기술연구원	이대영	연구위원	010-8782-6426		dylee@kict.re.kr		공발발		정부출연연	
위탁연구개발기관											
연구개발기관 외 기관											
연구개발담당자 실무담당자	성명	채우리				직위		과장			
	연락처	직장전화	031-282-0399				휴대전화		010-2432-0676		
		전자우편	gikimi85@naver.com				국가연구자번호		1135 0396		

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재 처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022 년 3 월 17일

연구책임자 :

한진규

주관연구개발기관의 장 :

(주)케이우스코리아

유용선

공동연구개발기관의 장 :

한국건설기술연구원

김병석

국토교통과학기술진흥원장 귀하

본 서식은 「국가연구개발혁신법」 시행('21.01.01) 이전에 최종 협약하여 '21.01.01 이후에 최종평가를 시행하는 일반과제용 입니다.

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성

사업명	국토교통기술촉진연구사업			연구개발과제번호		21CTAP-C152164-03	
내역사업명	국토교통기술혁신연구						
국가과학기술표준분류	EI0401	40%	EI0408	30%	EI1201	30%	
연구주제	(대분류)		(중분류)		(소분류)		
연구개발과제명	도심지 지반함몰 예방을 위한 지중폐관 및 공동 충전 공법 개발						
전체 연구개발기간	2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(2년 9개월)						
총 연구개발비	총 801,000 천원 (정부지원연구개발비 : 600,000 천원, 기관부담연구개발비 : 201,000 천원, 지방자치단체 : 천원, 그 외 지원금 : 천원)						
연구개발단계	기초[] 응용[] 개발[] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]			기술성숙도		착수시점 기준() 종료시점 목표()	
연구개발과제 유형	지정공모 [] 자유공모 [✓]						
연구개발과제 특성	사회이슈 해결						
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표		토목섬유튜브, 압력커튼 및 저유동 충전재를 활용하여 최적 충전밀도 확보와 재료 유실방지가 가능한 도심지 지중폐관 및 공동 충전 시공기술 개발				
	전체 내용		○ 지중폐관 및 공동 충전용 저유동 충전재 개발, 실물 테스트를 통한 성능 평가 ○ 지중폐관 특성 고려 토목섬유튜브 및 압력커튼 최적설계, 시제품 제작 ○ 현장시험시공을 통한 개발 충전공법 적용성 및 시공성·경제성 평가 ○ 도심지 지중폐관 충전시공을 통한 개발기술 검증 ○ 지중폐관 충전 시공기술 매뉴얼(안) 제안				
	1년차	목표	지중폐관 충전용 저유동 충전재 개발				
		내용	지중폐관 특성을 고려한 토목섬유튜브 및 압력커튼 최적설계 지중폐관 특성 고려 최적 충전재 개발 방향 설정 지중폐관 충전용 최적 채움재 개발 국내외 지하공간 충전 기술 조사 지중폐관 충전용 압력커튼 개념설계 지중폐관 특성 고려 토목섬유튜브 최적재료 선정				
	2년차	목표	개발 폐관 채움재 적용성 평가 및 최적설계법 제시 재료 유실방지 시스템 성능 평가				
		내용	실물 테스트를 통한 개발 채움재 적용성 평가 시험시공 결과를 통한 개발 충전공법 경제성 및 시공성 평가 토목섬유 튜브 및 압력커튼 재료 성능 평가 실물 테스트를 통한 재료 유실방지 시스템 성능 평가				
	3년차	목표	폐관 충전용 채움재 생산 및 품질관리기준(안) 제시 이동식 일체형 압력충진 시공장비 관리 매뉴얼(안) 제시 도심지 지중폐관 충전시공을 통한 재료 유실방지 기술 검증 저유동 충전재 활용 공동 및 지중폐관 충전시공 매뉴얼(안) 제안				
		내용	폐관 충전용 충전재 생산 및 품질관리기준(안) 제안 이동식 일체형 압력충진 시공장비 관리 매뉴얼(안) 제시 도심지 지중폐관 현장 시험시공을 통한 개발기술 검증 저유동 충전재 활용 공동 및 지중폐관 충전시공 매뉴얼(안) 도출				
	연구개발성과		저유동 채움재 개발 이동식 일체형 압력주입 시공장비 제작				

	폐관재로 유실방지 시스템 개발 (토목섬유튜브, 압력커튼 시제품제작) 실물 시험, TEST-BED, 서울시 도로현장 시험시공 검증 저유동 충진재를 활용한 공동 및 폐관 충전시공 매뉴얼(안) 도출 특허 출원 3건, 특허 등록 1건(1건 추가 등록 예정), 논문1건, 학술발표 3건											
연구개발성과 활용방안 및 기대효과	○ 활용계획 - 서울시 및 지방 대도시 지중폐관을 대상으로 개발 충진재료 및 시공기술의 적용 가능 - 도심지에 매설되어 있는 폐상하수도관 뿐만 아니라 전국 온천 개발지역에 대규모 매설되어 있는 폐온천수 공급관의 충전에도 적용 가능 - 토목섬유튜브와 저유동 충진재 활용을 통해 토목섬유 등 지반재료 중소기업의 신산업 창출과 매출증대 예상 - 최종성과물의 주요수요처는 지자체 상·하수도 관리부서, 한국환경공단, 공사 등 정부기관으로 해당기관을 대상으로 현장적용 - 본 연구의 대표적인 성과물을 사업화하여 도심지 지반함몰로 인한 국민의 불안감 해소와 동시에 투자된 연구비를 회수하고, 관련 분야 건설시장 활성화에 기여 ○ 기대효과 - 장기적인 지중폐관 충전 사업을 추진함으로써 도심지 지반침하 및 함몰 발생을 예방할 수 있고, 국민 불안을 해소하여 중앙정부에 대한 신뢰를 높일 수 있음 - 서울시에만 3천 km 이상의 지중폐관이 매설되어 있고, 지방 대도시를 고려할 경우 전국에 1만 km 이상의 지중폐관이 매설되어 있는 상황으로 장기적인 지중폐관 충전 사업이 진행될 경우 관련 건설재료 및 시공 시장의 활성화 효과를 얻을 수 있음. - 시간이 경과할수록 노후 관로는 지속적으로 증가하며, 결국에는 교체해야 하는 상황이기 때문에 교체 공사시 기존 노후 관로에 대한 충전시공을 동시에 실시할 경우, 폐관 철거 비용 절감, 철거하지 않은 폐관의 파손으로 인한 지반침하 방지, 공사기간 단축으로 인한 민원발생 차단 등의 효과를 동시에 얻을 수 있음. - 폐관충진뿐만 아니라 폐관 및 매설관로 주변지반내 공동을 신속히 채움에 따라 지반함몰 및 매설관 손상예방. - 폐관 및 공동충진 시공시스템 개발을 통해 충전시 발생하는 비산먼지를 줄여줌으로써 친환경적인 시공법 제공 - 개발기술이 민간기업으로 기술이전 됨으로서 침체된 건설시장에 노후 폐매설관 분야 관련 신규시장을 창출함과 동시에 정부에서 정책적으로 지원하고 있는 안전한 사회 구축에 기여. - 지반침하로 인해 전국적으로 매년 수백억원의 복구비용 및 피해비용의 지출이 발생되며, 본 과제를 통해 폐관으로 인해 발생하는 피해복구 비용을 절감할 수 있음. * 2011년~ 2015년 9월까지 경기도내 지반침하 발생건수는 185건, 총 16억9천7백만원의 복구비용이 투입되었음(경기도 감사자료, 최근 5년간 도내 싱크홀(지반침하 등) 발생 현황, 2015).											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당없음											
연구개발성과의 등록· 기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설· 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
		1	4					생명 정보	생물 자원		정보	실물
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장 소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	지중폐관			지반침하		토목섬유 튜브		압력커튼		충진공법		
영문핵심어 (5개 이내)	Underground disuse-pipe			Ground subsidence		geotextile -tube		Pressure -curtain		Filling method		

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	9
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	46
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)	00
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	00
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	00
7. 참고 문헌	00

별첨자료(성과 증빙자료 등)

1. 연구개발과제의 개요

- 최근 서울 등 대도시의 도심지에서 싱크홀(sinkhole)을 비롯한 지반침하 및 함몰 발생이 증가하고 있어 이로 인한 사회경제적인 손실 증가와 국민의 불안감이 확산되고 있음. 공동 굴착조사를 통해 도로하부의 공동 발생은 하수관로 토사유입, 불량매립재 공간 발생, 매설관 하부 공간 발생, 공사장 내부로의 토사유실 등으로 인해 발생하는 것으로 나타남(서울시, 2016).



그림 1. 도로함몰 발생 원인(서울시, 2016)

- 도심지 지반함몰의 원인으로는 주로 굴착공사, 터널공사, 관로공사, 상·하수관 등 지하매설물의 손상과 다짐부족으로 알려져 있는데, 서울시 조사에 따르면 주요 원인으로 노후 하수관로 손상과 다짐부족 등 하수관로로 인해 대부분 발생하는 것으로 나타났음. 하수관로 주변의 지반침하는 노후화로 인한 손상, 이음부와 맨홀 접속부에서 발생하는 결함, 관로 시공오차, 노후 폐관, 외부충격 등에 의한 파손 등으로 발생하는 것으로 나타났음.

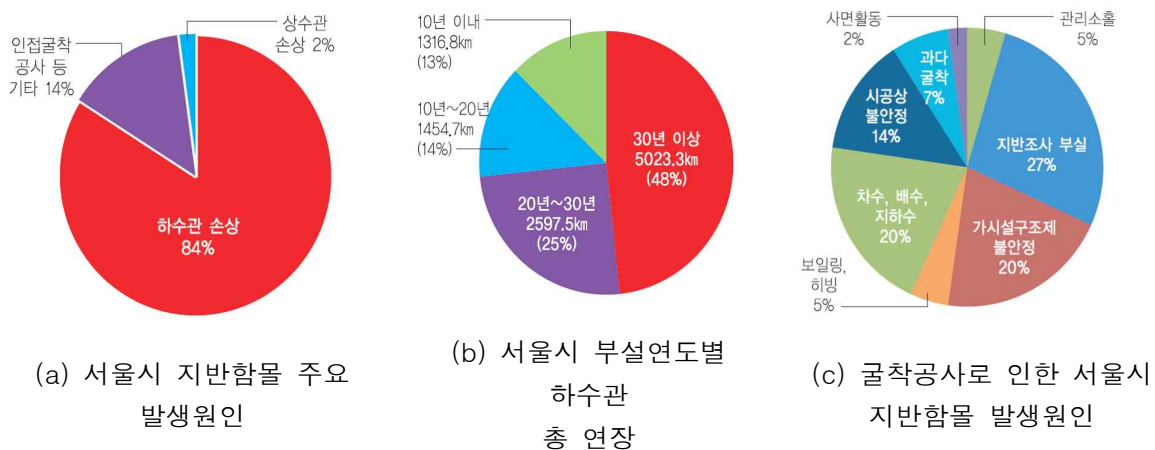


그림 2. 서울시 발생원인별 도로함몰 발생건수

- 최근 5년간 발생한 지반함몰 원인의 84%는 하수관로의 노후에 의한 것으로 나타났는데, 하수관이 설치된 전체 길이별로 조사를 한 결과 30년 이상 된 하수관이 5,233km로 전체의 48%를 차지했고, 20년~30년이 25%(2,597.5km), 10년~20년이 14%(1,454.7km), 10년 이내가 13%(1,316.8km) 순서로 조사됨.
- 발견된 공동은 그 규모 등에 따라 등급을 분류하여 지반침하 우려가 큰 곳에 대해서는 고유동 충전재를 적용하여 우선적으로 충전 복구를 수행하고 있음. 그러나 기존 고유동 충전재의 경우 높은 유동성 때문에 발견 공동 인근에 맨홀, 우수관, 관거 등이 존재할 경우 재료 유실을 우려하여 충진을 시도조차 하지 못하는

상황임. 또한, 지하매설도 판별 시 인근에 아무런 지하구조물이 없음에도 실제 고유동 충전재 시공 시 공동을 채우지 못하고 재료 유실이 계속 발생하는 경우도 많아 기존 고유동 충전재 적용에 많은 제한을 받고 있는 상황임.

- 서울시의 도시 노후화에 따라 현재 30년 이상 노후된 하수관로는 5,260km로 전체 하수관로 연장의 약 50km에 이르며, 지속적으로 증가추세에 있는 상황임. 특히 노후 및 폐기되어 도심지 땅속에 묻혀있는 폐관의 경우 관리조차 되고 있지 않아 도로함몰의 위험성이 점차 증가하고 있는 상황임.
- 이와 같이 기존 노후하수관로 만큼 지반침하 위험을 내재하고 있는 것이 바로 신관으로 교체되면서 철거되지 않은 채 지중에 매몰되어 있는 상·하수도 폐관임. 상·하수도 폐관의 경우 기존 하수관로에 비해 관리가 되지 않고 있으며, 대부분 노후화되어 파손으로 인한 지반침하의 직접적인 원인이 되어 매우 심각한 사회문제로 대두되고 있음.



(a) 서울시 구로구 도로함몰 발생



(b) 지중 관로 파손



(c) 폐기된 노후 매립관

그림 3. 지중 노후 폐관으로 인한 도로함몰 발생

- 이러한 국내 도심지 지중폐관의 실태는 결국 예상치 못한 지반침하와 함몰을 발생시키게 되고, 국민의 생명 및 재산의 손실과 국민 불안을 더욱 가중시키게 될 것이 필연적인 사실임.



(a) 지중폐관 철거 모습



(b) 지중폐관 상태



(c) 지중폐관 파손 및 토양오염

그림 4. 지중폐관 실태 사례

- 또한, 지반침하 가능성이 있는 지중폐관을 모두 철거하는 방법은 현실적으로 불가능하며, 철거에 소모되는 막대한 국가예산, 철거 공사로 인한 도심지 교통체증 및 민원 발생, 철거된 폐관 공간에 필요한 토사 공급 문제 등으로 인해 보다 현실적인 대안이 필요한 상황임.
- 지중폐관 내부를 채움재로 충전하는 것이 현재로서 가장 효과적인 방법이나 관로에 발생된 균열 및 파손부, 소구경 연결지관 등으로 채움재가 유실될 확률이 높고, 충전밀도가 확보되지 않으면 폐관 내부에 공동이 발생하게 되어 결국 제2의 침하 위험성을 내재하게 됨. 본 연구에서는 이러한 문제들을 해결하기 위해서 토목섬유튜브(Geosynthetics-tube) 및 압력커튼(Pressure -curtain)을 활용한 지중폐관 충전 시공기술의 개발을 추진하고자 함.

1) 연구개발과제의 최종 목표

- 토목섬유튜브, 압력커튼 및 저유동 충전재를 활용하여 최적 충전밀도 확보와 재료 유실방지가 가능한 도심지 지중폐관 및 공동 충전 시공기술 개발
 - 최적 충전밀도 확보 및 체적변화·장기강도 역제가 가능한 저유동 충전재 개발
 - 토목섬유튜브 및 압력커튼으로 구성된 폐관 내 충전재 유실방지 시스템 개발
 - 현장 긴급 이동, 저유동 충전재 자동생산, 공동 및 폐관 충전 시 주입압 및 주입량에 대한 시공품질 관리가 가능한 이동식 일체형 압력충진 시공장비 개발
 - 저유동 충전재를 활용한 공동 및 폐관 충전시공 매뉴얼(안) 도출

2) 연구개발과제의 연차별 목표

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2019)	저유동 충전재 개발	유동성 압축강도 길이변화율	180mm(해외) 1.0MPa(해외) 5%(해외)	150mm 이하 1.0MPa 이하 5% 이하		
	이동식 일체형 압력충진 시공장비	시공장비 개념설계		1건		
	지중폐관재료 유실방지 시스템	구성요소 최적설계		1건		
2년차 (2020)	저유동 충전재 개발	환경영향성평가	용출 없음(해외)	용출없음		
	이동식 일체형 압력충진 시공장비	시제품 제작		1건		
	지중폐관재료 유실방지 시스템	시제품 제작 충진율		2건 90% 이상		
3년차 (2021)	저유동 충전재 개발	현장시험시공 품질관리기준안		2회 1건		
	이동식 일체형 압력충진 시공장비	현장시험시공 시공장비관리매뉴얼		1회 1건		
	지중폐관재료 유실방지 시스템	토목섬유튜브/압력커튼 생산시스템 개념설계 현장 시험시공		1건 2회		
	지중폐관 및 공동 충전 시공 매뉴얼(안)	지중폐관 및 공동충진 시공 매뉴얼(안)		1건		

1) 1차 연도

① 개발 목표

○ 주관연구기관(케미우스코리아)

(1) 지중폐관 충전용 저유동 충전재 개발

○ 공동연구기관(한국건설기술연구원):

1) 지중폐관 특성을 고려한 토목섬유튜브 및 압력커튼 최적설계

② 개발 내용 및 범위

○ 주관연구기관(케미우스코리아)

(1) 지중폐관 특성 고려 최적 충전재 개발 방향 설정

-지중폐관 특성 파악, 국내 실태 파악

-채움재 요구 특성 결정

(2) 지중폐관 충전용 최적 채움재 개발

-채움재 요구 특성 확보 방안 도출

-실내시험을 통한 채움재 개발

○ 공동연구기관(한국건설기술연구원):

(1) 국내외 지하공간 충전 기술 조사

-국내외 충전재 및 충전공법 조사

-국내외 충전공법 시공지침 및 규정 조사

(2) 지중폐관 충전용 압력커튼 개념설계

-지중폐관 특성, 경제성, 환경성 고려 압력커튼 재료 선정

-주입관 연계 압력커튼 개념설계

(3) 지중폐관 특성 고려 토목섬유튜브 최적재료 선정

-국내 토목섬유 종류 조사 및 적용성 검토

-지중폐관 특성 및 경제성 고려 토목섬유튜브 개념설계

2) 2차 연도

① 개발 목표

○ 주관연구기관(케미우스코리아):

(1) 저유동 충전재 적용성 평가

(2) 이동식 일체형 압력충진 시공장비 개발

○ 공동연구기관(한국건설기술연구원):

(1) 재료 유실방지 시스템 성능 평가

② 개발 내용 및 범위(시스템 구성도, 구조 등을 그림으로 구체적 표현)

○주관연구기관(케미우스코리아):

(1) 개발 저유동 충전재 적용성 평가

-적용성 평가를 통한 채움재 특성 향상

-토양오염 안정성 검토(공인인증시험)

-개발 채움재 특성 평가(공인인증시험)

-채움재 최적설계법 제시

(2) 이동식 일체형 압력충진 시공장비 개발

-이동식 일체형 압력충진 시공장비 시제품 제작

○공동연구기관(한국건설기술연구원)

(1) 토목섬유 튜브 및 압력커튼 재료 성능 평가

-토목섬유 튜브 및 압력커튼 시제품 제작

-토목섬유 튜브 사용으로 인한 관내 재료유실 방지 효과 평가

-압력커튼 재료 및 시공성능 평가

(2) 실물 관로를 활용한 현장실험 방안 작성

3) 3차 연도

① 개발 목표

○ 주관연구기관(케미우스코리아)

(1) 폐관 충전용 채움재 생산 및 품질관리기준(안) 제시

(2) 이동식 일체형 압력충진 시공장비 관리 매뉴얼(안) 제시

○ 공동연구기관(한국건설기술연구원):

(1) 도심지 지중폐관 충전시공을 통한 재료 유실방지 기술 검증

(2) 저유동 충전재 활용 공동 및 지중폐관 충전시공 매뉴얼(안) 제안

② 개발 내용 및 범위

○ 주관연구기관(케미우스코리아)

(1) 시험시공 결과를 통한 개발 충전공법 경제성 및 시공성 평가

- 현장 시험 시공 전 충분한 모의시험을 통해 주입재료 관리, 장비활용, 시공 시 주의점 등 사전 도출
- 도출된 문제점 개선
- 서울시 등의 협조를 받아 실제 폐관 현장섭외를 통해 시험시공 2회 이상 수행(마곡지구 등)
- 시험시공 수행 과정에서 기존 그라우트재 대비 개발 채움재 재료비 평가
- 기존 충전공법 대비 개발 충전공법 경제성 및 시공성 평가
- 도심지 지중폐관 시공단계별 프로세스 도출(설계 및 시공)
- 실물 맨홀과 하수관로를 이용한 TEST-BED를 구축하여 실 현장 시험시공 대비 사전 시험시공을 수회 실시예정
- 대상 관종 : 하수관 및 오수관
- 대상 관경 : 대표적으로 많이 사용되는 300mm 및 450mm 관
- 지하수의 영향에 따른 충전재 배합비 검토
- 현장 적용 후 관계인의 입회확인서 등 확보

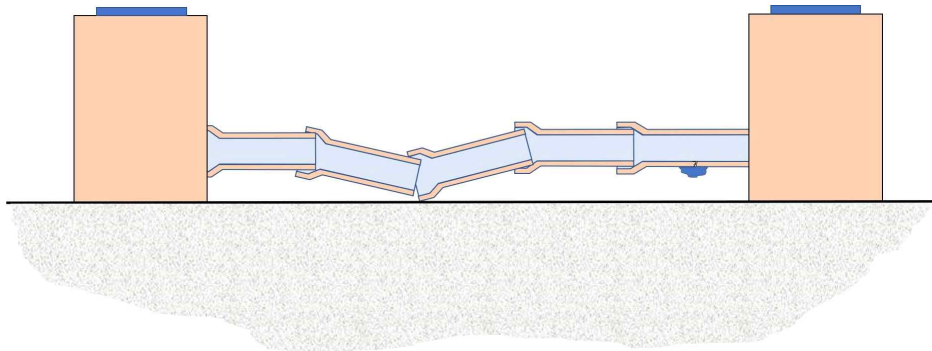


그림 5. 실물 관로를 이용한 모의 Test Bed 예

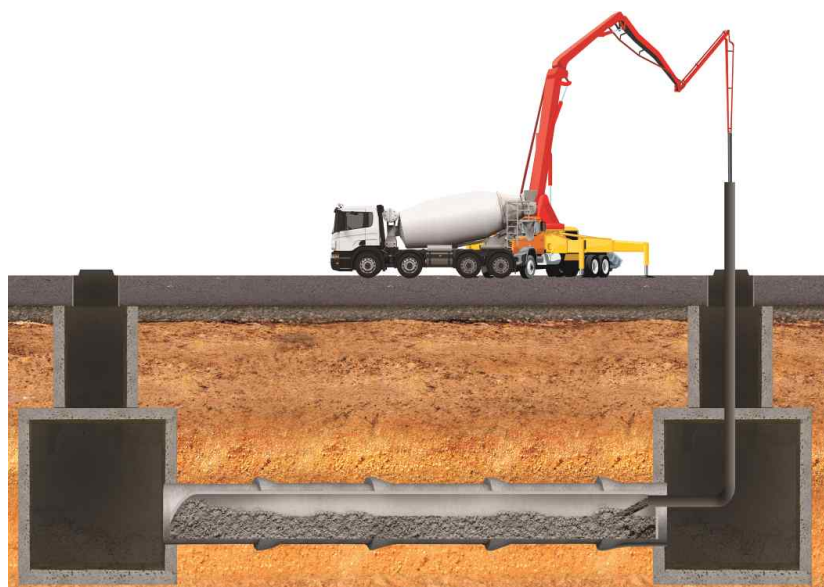


그림 6. 지중폐관 충전시공 개요

표 1. TEST BED를 비롯한 모의/현장 시험시공 일정

시기	내용	목표	비고
3월	지상 실물 TEST BED 구축	관경 2종(300mm/450mm) 관종 2종(하수관 / 오수관)	
4월	지상 1차 시험시공 실시	시공방법 검토	
5월	지상 2차 시험시공 실시	시공방법 보완	
6 ~ 8월	현장 시험시공 실시	현장 검증	
9월	보완 시험시공 실시	검증 후 보완	

(2) 폐관 충전용 충전재 생산 및 품질관리기준(안) 제안

- 충전재 재료 품질관리 요소 도출
- 폐관 및 공동 충전재 품질관리기준(안) 제안
- 지중폐관 충전용 저유동 충전재 표준 배합, 품질시험 및 제품규격 등 제안

(3) 이동식 일체형 압력충진 시공장비 관리 매뉴얼(안) 제시

- 현장 시험시공을 통한 시공장비 적용성 평가
- 재료 보충 없이 최대 작업 가능량, 혼합/주입 이외의 총 작업 소요시간 등 파악
- 고소 작업에 따른 안전관리 방안 도출
- 이동식 일체형 압력충진 시공장비 관리 매뉴얼(안) 제시

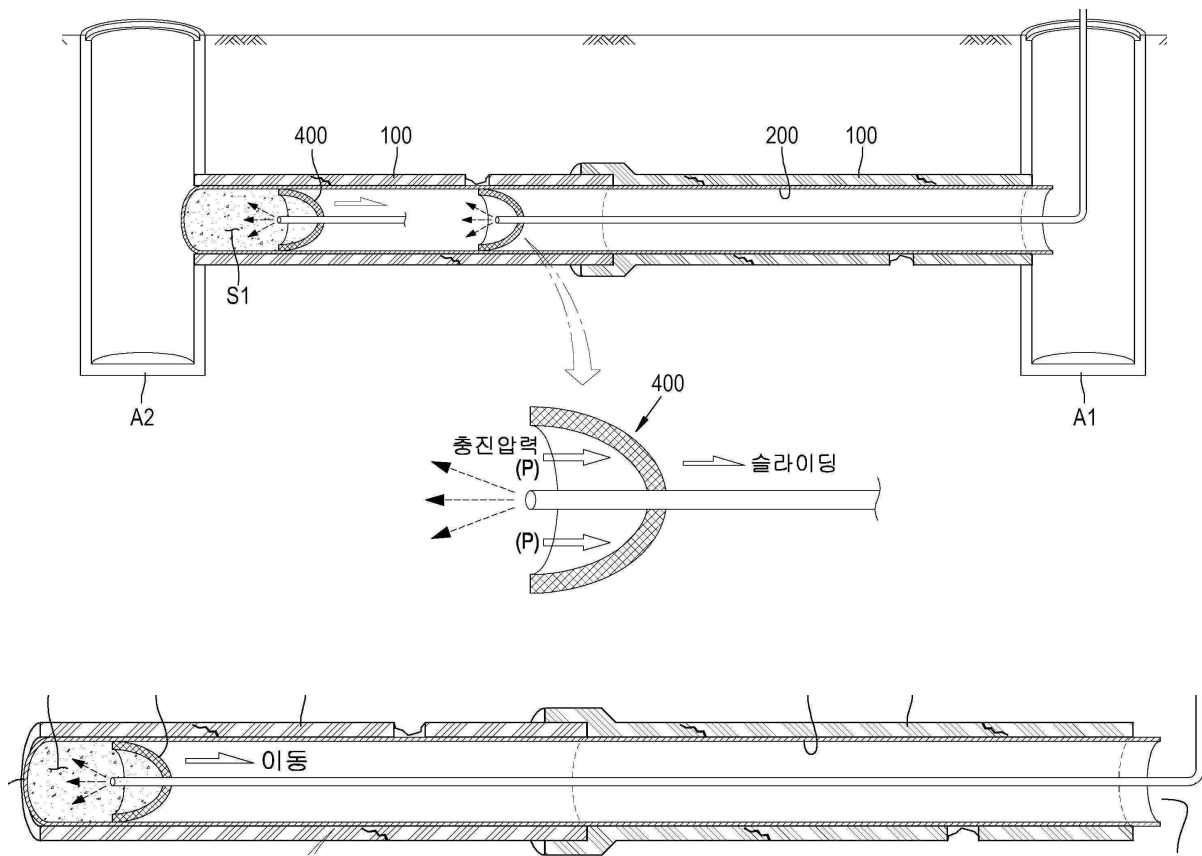


그림 7. 저유동 충전재 및 충전재 유실방지 시스템을 활용한 지중폐관 충전시공 가이드 예

○ 공동연구기관(한국건설기술연구원):

(1) 도심지 지중폐관 현장 시험시공을 통한 개발기술 검증

- 시험시공을 위한 토목섬유튜브 및 압력커튼 양산형 제품 생산
- 압력커튼 환경영향성 평가
- 시험시공 대상 폐관 내부 cctv 조사 및 충전시공 계획 수립
- 현장 시험시공을 통한 개발기술 시공성 평가

(2) 저유동 충전재 활용 공동 및 지중폐관 충전시공 매뉴얼(안) 도출

- 저유동 충전재 품질규격 및 충전시공 가이드라인 도출
- 사업화 대상 기업 및 지자체 대상 기술설명회 개최
- 지중폐관 충전 확인방법 도출
- 도심지 지중폐관 현장 시험시공을 통한 개발기술 검증
- 선정된 시험시공 부지 지중의 폐관 상태 조사 수행
- 도심지 관로 조사 분야에 활용 중인 cctv 차량 활용, 폐관 내부 사전 조사 수행
- 폐관 내부 상태 파악 후 시험시공 계획, 폐관 직경 및 충전 효율을 고려한 토목섬유튜브 및 압력커튼 양산형 제품 설계
- 시험시공 용 토목섬유튜브 및 압력커튼 양산형 제품 생산



그림 8. 관로 cctv 조사차량 및 실시간 모니터링 시스템

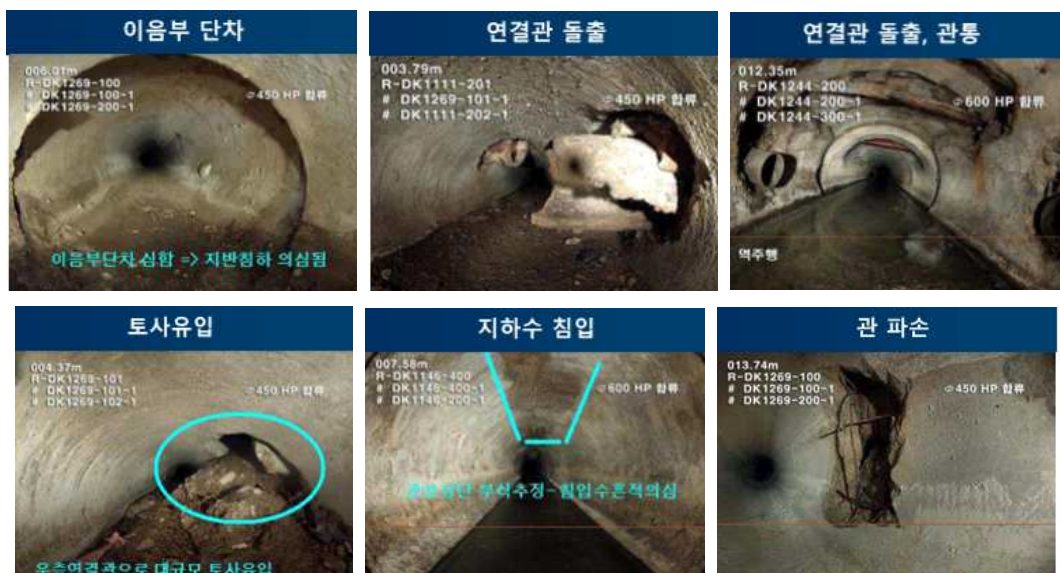


그림 9. 노후 폐관 내부의 다양한 결손 문제(고화질 cctv 차량 조사 결과)



그림 10. 토목섬유 제품 및 특성별 튜브 시제품

- 현장시험시공 수행 및 지중폐관 충전기술 시공성 평가
- 저유동 충전재 활용 공동 및 지중폐관 충전시공 매뉴얼(안) 도출
- 지중폐관 충전용 저유동 충전재 표준 배합, 품질시험 및 제품규격 등 제안
- 지중폐관 충전시공 표준 시공프로세스, 실무자 대상 시공 시 유의사항 등 제안
- 충전시공 중 지중폐관 내부 충전상태 평가 가이드 도출
- 충전시공 후 비파괴탐사법을 적용한 지중폐관 내부 충전상태 평가 가이드 도출
- 국내 보수·보강 전문기업 및 지자체 대상 개발기술 설명회 개최
- 지자체 대상 기술홍보를 통해 개발기술 수요처 확보 추진

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 연구개발과제 수행과정

○ 연구개발 추진 전략

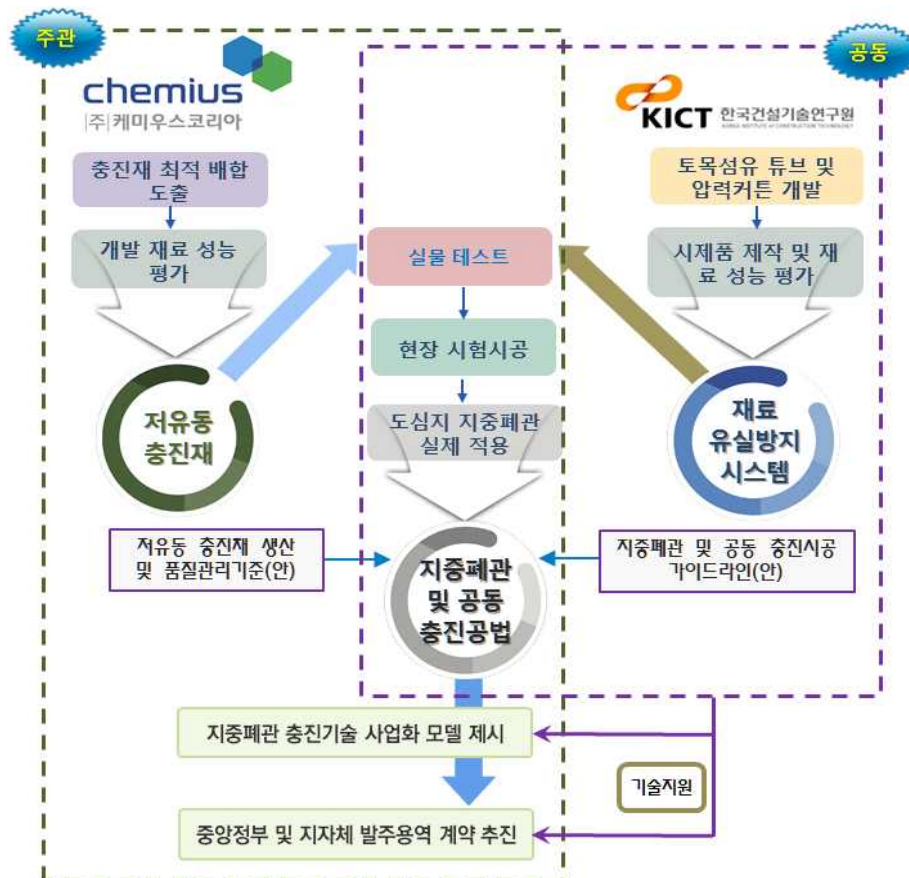


그림 11. 연구개발추진전략

○ 연구개발 추진체계

연구개발과제		총 참여 연구원
과제명	저유동 충전재 및 재료 유실방지 기술을 활용한 도심지 지중폐관 및 공동 충전 시공기술 개발	주관연구책임자 (한진규)와 총 7명
기관별 참여 현황		
구분	연구기관수	참여연구원수
대기업		
중견기업		
중소기업	1	6
대학		
국공립(연)		
출연(연)	1	2
기타		
주관연구기관명		
저유동 충전재 및 충전 시공장비개발을 통한 도심지 지중폐관 및 공동 충전기술 개발		
연구책임자명 (한진규)와 5명		

담당기술개발내용
- 지중폐관 특성 고려 최적 충전재 개발 방향 설정 - 지중폐관 충전용 최적 채움재 개발 - 지중폐관 특성 고려 토목섬유 튜브 최적재료 선정 - 실물 테스트를 통한 개발 채움재 적용성 평가 - 시험시공 결과를 통한 개발 충전공법 경제성 및 시공성 평가 - 토목섬유튜브 및 압력커튼 양산형 제품 생산 - 폐관 충전용 충전재 생산 및 품질관리기준(안) 제안

공동연구기관명
토목섬유튜브 및 압력커튼을 활용한 재료 유실방지 기술 개발
연구책임자명 (이대영)외 1명
담당기술개발내용
- 국내외 지하공간 충전 기술 조사 - 지중폐관 충전용 토목섬유튜브 및 압력커튼 개념설계 - 토목섬유튜브 및 압력커튼 시제품 제작 - 실물시험을 통한 토목섬유튜브의 관내 재료유실 방지 효과 평가 - 토목섬유튜브 및 압력커튼 양산형 제품 생산 - 도심지 지중폐관 시험시공을 통한 개발기술 검증 - 저유동 충전재 활용 공동 및 지중폐관 충전시공 매뉴얼(안) 도출

○ 연구개발 추진 일정

3차년도														
1	폐관 충전용 충전재 생산 및 품질관리기준(안) 제안												40,000	한진규 (케미우스코리아)
2	이동식 일체형 압력충진 시공장비 관리 매뉴얼(안) 제시												40,000	
3	도심지 지중폐관 충전 현장시공을 통한 재료 유실방지 기술 검증												125,000	이대영 (한국건설기술연구원)
4	저유동 충전재 활용 공동 및 지중폐관 충전시공 매뉴얼(안) 도출												50,000	
5	최종평가 자료 작성												-	한진규 (케미우스코리아)

2) 연구개발과제 수행내용

(1) 국내외 연구동향

○ 국내외 공동 및 폐관충진 기술조사

- 하수관로 CCTV 조사를 통한 노후 하수관로 손상평가 및 보수·보강 기술 개발, 하수관로 손상평가에 관한 연구 등은 다양하게 진행되어 왔으며, 최근 들어 하수관로로 인한 주변지반 함몰 예방을 위해 GPR 탐사기법의 활용연구가 진행되고 있으나 지반 내에 매설되어 있는 폐관에 대한 연구는 전무함
- 노후관로의 처리는 교체, 복구, 폐관 등으로 구분 가능함
- 최근, 굴착에 의한 교체에 발생하는 많은 비용때문에 비굴착 복구를 시도하는 공법의 발전이 이루어지고 있으나 폐관의 경우, 복구와 같이 다양한 공법의 발전이 이루어지지 않음
- 폐관충진 시공에 CLSM, 기포모르타르 등이 시공되고 있음

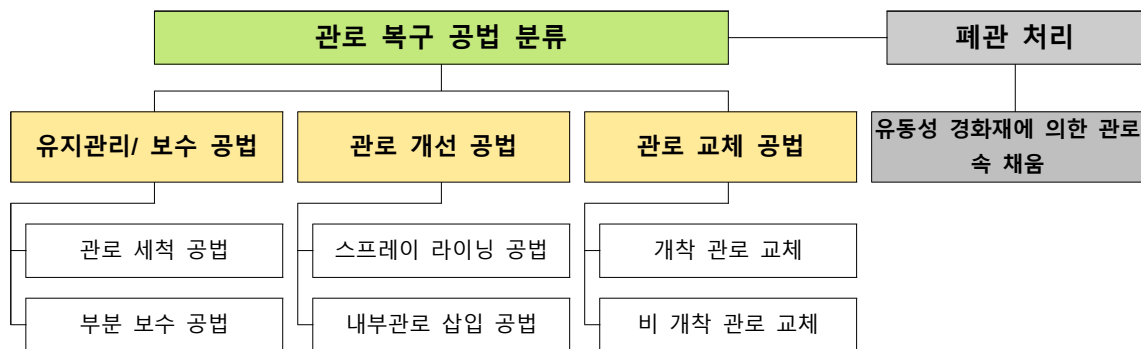


그림 12. 후관로 복구 및 폐관 공법 분류

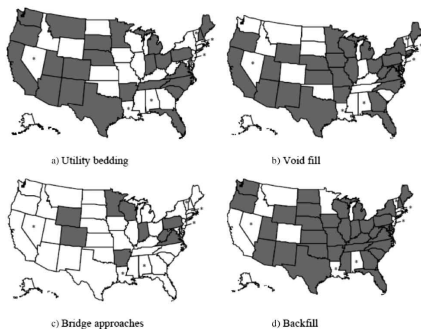


그림 13. CLSM 적용현황(미국)



그림 14. 기포모탈 시공장비



그림 15. 기포모탈 시공장비

(2) 저유동 채움재 개발

- 하수관로의 폐관과 맨홀인근의 공동 등 채움재료의 다량 유실이 예상 되는 곳에는 고유동채움재 보다는 재료의 유실을 방지할 수 있는 저유동 CLSM을 이용한 채움이 효과적일 수 있음
- 현재 맨홀 인근의 공동은 고유동 채움재의 재료유실 때문에 실질적으로 채움시공이 불가능한 상황임
- 토목섬유 튜브 내에도 고유동 채움재 시공이 가능하나, 지중관로의 상태에 따라 압력커튼을 활용한 저유동 채움이 더 효과적일 것으로 판단되어 저유동 채움재를 개발함

○ 저유동 채움재 재료 및 실내시험

- 저유동 충전재 최적배합 도출을 위해 필러선정, 바인더배합 도출, 채움재 배합 도출 수행
- 필러로는 환원슬래그와 플라이애쉬를 선정
- 바인더로는 CA를 주원료로하여 OPC와 CSA를 적용함
- 저유동, 강도증진 억제 및 수축방지 최적배합을 도출함
- 저유동 채움재 특성평가 : 액상증점제 혼합방법에 따른 유동성 변화를 확인함

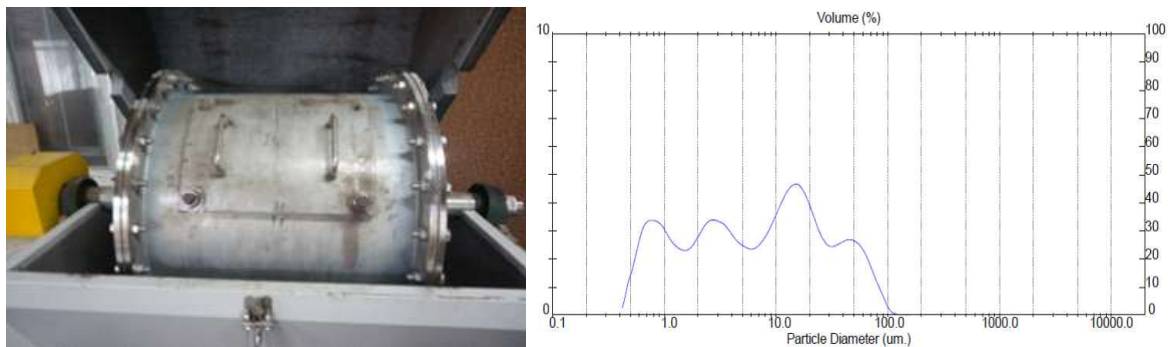


그림 16. 저유동 채움재 바인더 배합 도출



그림 17. 저유동 시험

표 2. 액상증점제 선 혼합 후 주입 시 유동성의 변화

번호	주입 전(mm)	주입 후(mm)	증가량(mm)
1	120	180	60
2	130	195	65
3	130	190	60
평균	126.7	188.3	61.6

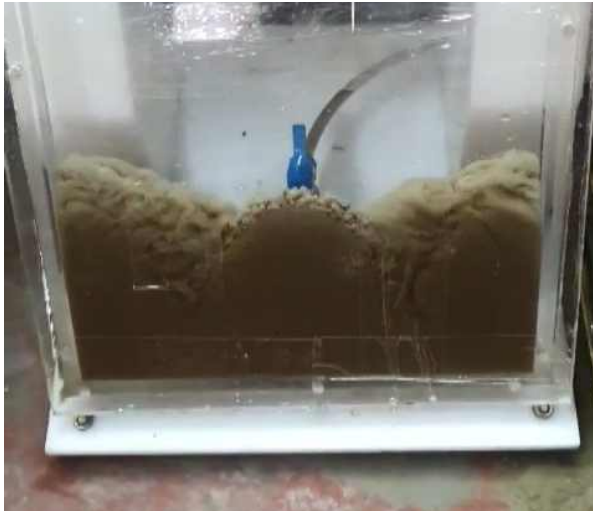


그림18. 유동성 증가에 따른 주입형태



그림 19. 저유동성 확보에 따른 주입형태

표 3. 액상증점제 중간투입 주입 시 유동성의 변화

번호	주입 전(mm)	주입 후(mm)	증가량(mm)
1	125	130	5
2	120	130	10
3	130	140	10
평균	125.0	133.8	8.3

표 4. 수중 침지에 따른 채움재의 물성 변화

	침지 전				침지 4주 후				변화량
	1	2	3	평균	1	2	3	평균	
압축강도(MPa)	0.82	0.79	0.83	0.81	0.79	0.81	0.80	0.80	-0.01
길이(mm)	159	159	158	158.7	159	159	159	159	+0.3

※ 환경영향평가를 위해 중금속 및 유해물질 용출시험을 수행함

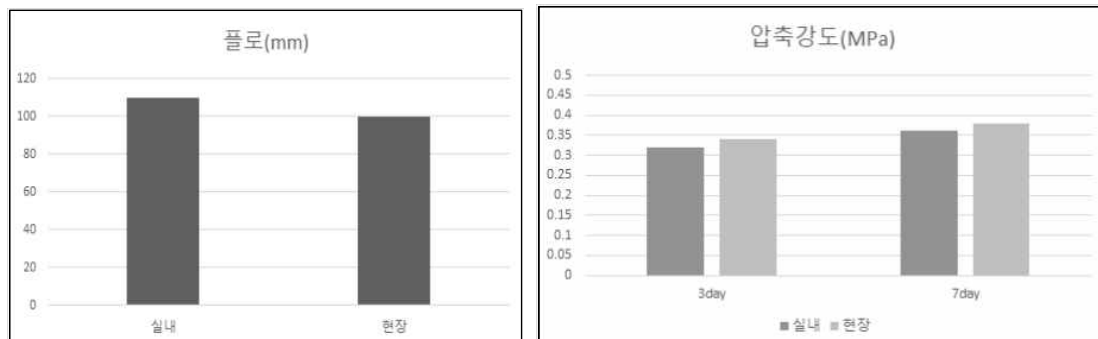


그림 20. 실험실 제조와 현장생산 저유동 채움재의 물성 비교

○ 저유동 채움재 성능 평가

- 슬래그와 플라이애시 기반의 최적배합을 도출하였으며, 환경성평가와 현장 시험시공을 통한 적용성 평가를 완료함
- 공동채움용 저유동성 채움재의 압축강도는 조기경화와 재굴착이 가능한 4시간 강도 0.1MPa 이상, 28일 강도 1.0MPa 이하를 만족하는 재료 개발.
- 폐관 충전재로 사용되는 유동성채움재는 조기경화, 공동 및 관로채움재 재굴착 가능하도록 압축강도 0.3MPa 이상 1.0MPa 이내, 유동성 150mm 이하, 길이변화율 5%의 범위 만족
- 개발된 폐관 충전용 저유동성 채움재는 유동성 135mm, 압축강도 0.83MPa, 길이변화율 0%로 성과목표 기준을 모두 충족.
- 유해물질 용출시험 결과 납, 구리, 비소 6가크롬, 수은 등 시험항목 모두 불검출됨
- 효과적인 충진을 위한 증점제 혼합방식 도출
- 최적배합비 제시

표 5. 폐관충진용 저유동 채움재 최적 배합비

구 분	W/M (%)	Unit weight of material(kg/m ³)		
		W(혼합수)	M(채움재)	AD _{total} (M×%)
저유동 채움재	80.0	670	837	41.8

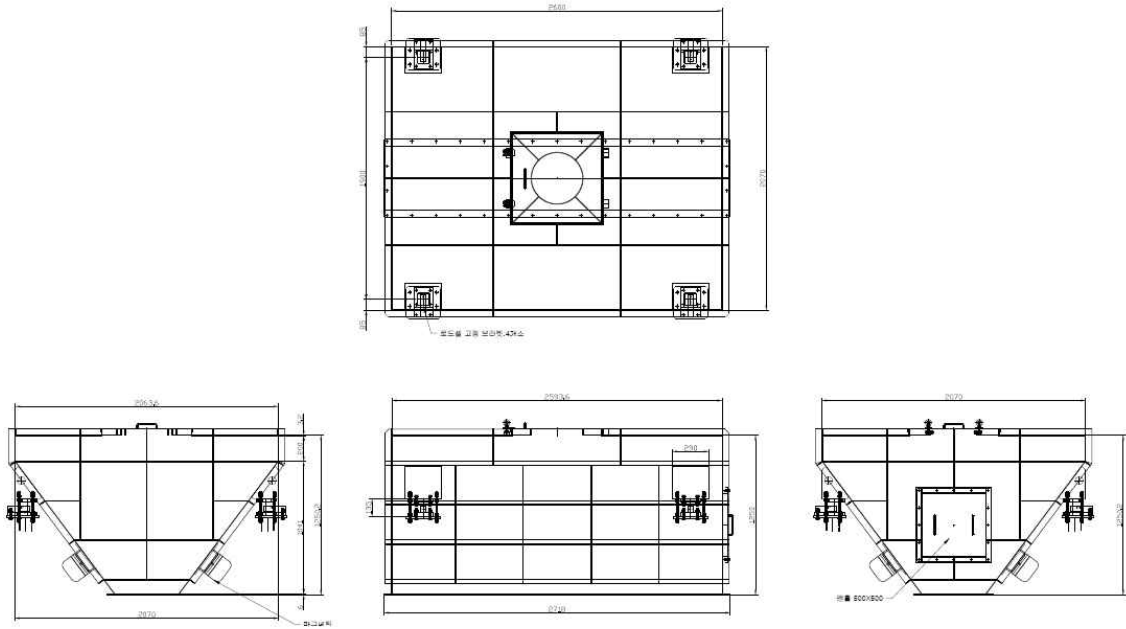


그림 23. 원료저장부

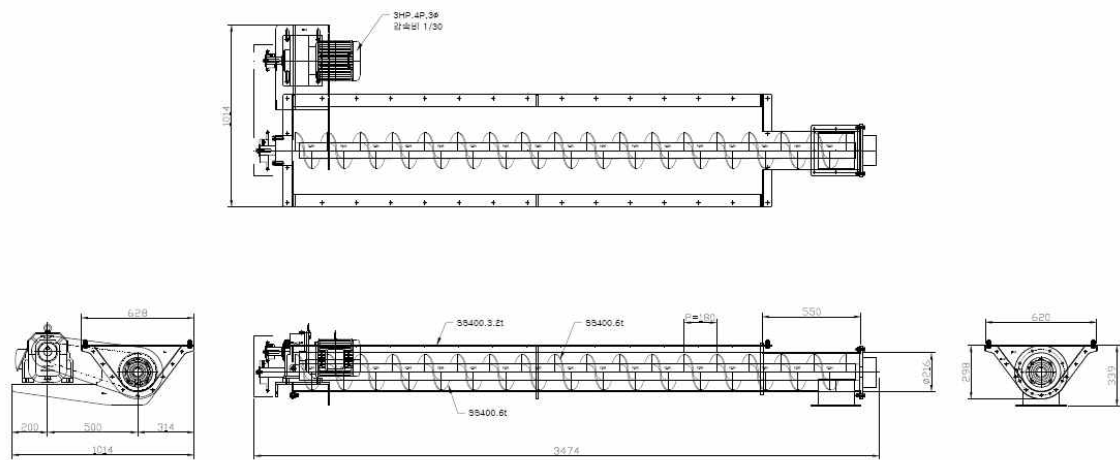
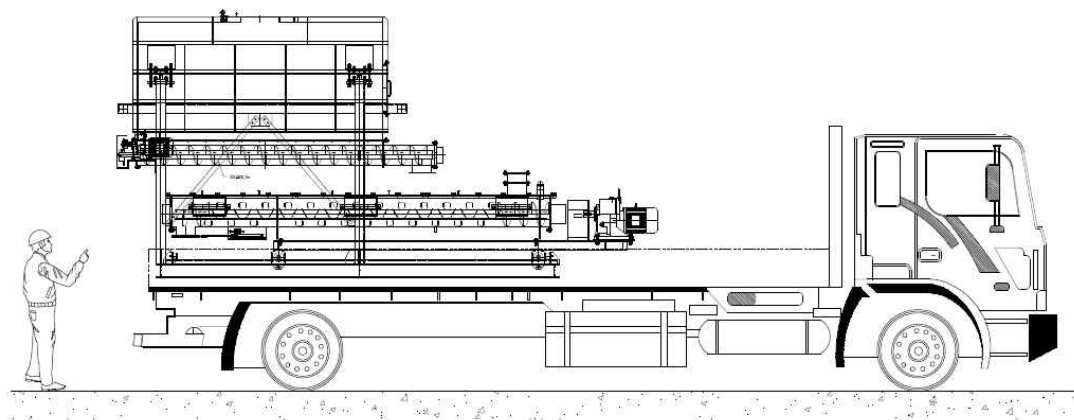


그림 24. 원료공급 피더



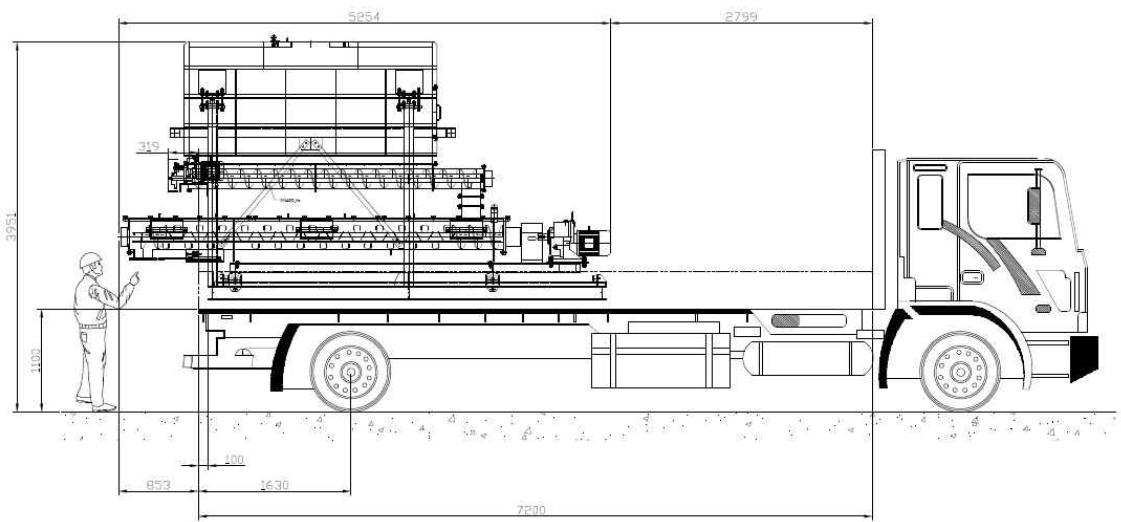


그림 25. 시공장비



그림 26. 원료저장장치



그림 27. 바이브레이터와 로드셀



그림 28. 원료공급장치



그림 29. 2축 연속식 혼합장치



그림 30. 액상증점제 주입관



그림 31. 시공장비 컴퓨터 제어부

○ 이동식 일체형 압력주입 시공장비 성능검증 및 현장주입

- 시제품 제작 완료, 실물시험 및 현장 시험시공 등에 활용되어 성능을 검증함



그림 29. 유동성 채움재 일체형 주입장치



그림 30. 유동성 채움재 주입컨트롤러

(4) 지중폐관 충전용 토목섬유 제작

○ 토목섬유튜브 물성시험

- 지중폐관 충전용 토목섬유압력커튼의 시공방법을 고려하여 토목섬유 포켓형태의 압력커튼 시공 개념설계안을 도출하였음.
- 폐관내부 충전용 토목섬유 제품 선정을 위해 국내생산 토목섬유 제품을 검토하였으며, 그중 4개군 9종의 토목섬유를 선정하여 실내시험을 수행.
- 시험결과 고강도 직포형 지오텍스타일 GTW300, GTW450 및 지오킴포지트 GC200가 토목섬유 튜브소재로 적합한 것으로 평가됨.
- 실내시험 결과를 통해 도출된 토목섬유 제품으로 시제품 제작.

1. 검토대상 토목섬유튜브 소재 (4개군 총 21종)

- 고강도 및 고강도/저신도 직포형 지오텍스타일 : 11종
- 장섬유 및 단섬유 부직포형 지오텍스타일 : 10종
- 편성포형 지오텍스타일 : 3종
- 지오킴포지트(수직코팅 직포형 지오텍스타일) : 1종

2. 1차 선정 토목섬유튜브 소재 (4개군 9종)

- 고강도 및 고강도/저신도 직포형 지오텍스타일 : 2종
- 장섬유 및 단섬유 부직포형 지오텍스타일 : 3종
- 편성포형 지오텍스타일 : 3종
- 지오킴포지트(수직코팅 직포형 지오텍스타일) : 1종

3. 최종선정 토목섬유튜브 소재 (2개군 3종)

- 고강도 및 고강도/저신도 직포형 지오텍스타일 : 2종
- 지오킴포지트(수직코팅 직포형 지오텍스타일) : 1종

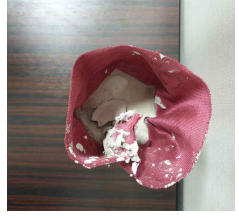


그림 31. 채움재 투입 간이시험

표 6. 토목섬유 튜브체 간이시험 결과

종류		GTW300	GTN200	GTNS300	GTNT150
항목	형 태	직포형 지오텍스타일	부직포형 지오텍스타일	부직포형 지오텍스타일	부직포형 지오텍스타일
결합방법		제직기(Rapier)	장섬유 니들펀칭(N/P)	단섬유 니들펀칭(N/P)	장섬유 열융착(PET)
중량(g/m ²)		300	200	300	150
채움재 상태	유실 상태				
		채움재 유실은 거의 없음.	표면은 깨끗하나 채움재에 혼합된 물의 유실 많음.	표면은 깨끗하나 채움재에 혼합된 물의 유실 많음.	봉제선 주위로 채움재 유실이 발생
	응고면 상태				
		양호	양호	양호	보통
소재 적합성		우수	보통	보통	불량
개선방법		투수계수가 조금 더 낮은 GTW450도 튜브체 소재로 적합함.	물의 유실이 많아 채움재 손실 많음. 투수계수를 감소시켜 채움재 유실을 방지할 필요성 있음.	좌동	현장에서 분사압력이 작용할 경우, 봉제선이 파열될 가능성이 있음.
종합평가		채움재 유실상태는 없고 응고상태 양호 튜브체 소재로 적합	니들펀칭한 부직포는 튜브체 소재로 다소 부적합	좌동	열융착 부직포는 튜브체 소재로 부적합

표 7. 토목섬유 튜브체 간이시험 결과

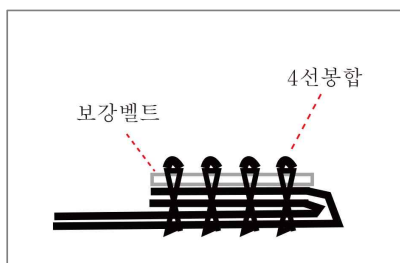
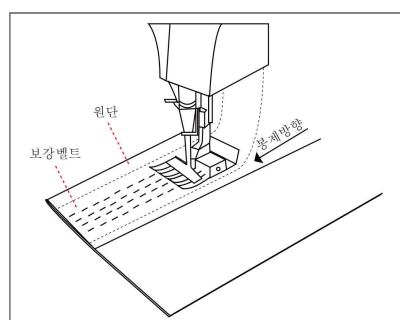
GTNT110	GTK280	GTK400	GTK200	GC200
부직포형 지오텍스타일	편성포형 지오텍스타일	편성포형 지오텍스타일	편성포형 지오텍스타일	지오킴포지트
장섬유 열융착(PP)	환편물(원형편기,10G) (편사: 150de×4)	환편물(원형편기, 10G) (편사: 150de×6)	환편물(원형편기,12G) (편사: 500de)	PP직물+PVC코팅 (지오킴포지트)
110	280	400	200	200
				
봉제선 주위로 채움재 유실 발생	채움재에 혼합된 물의 유실 많음.	표면은 깨끗하나 채움재에 혼합된 물의 유실 많음.	채움재의 유실 발생이 많음.	불투수성으로 채움재 유실 없음.
				
보통	양호	양호	불량	양호
불량	불량	불량	불량	우수
현장에서 분사압력이 작용할 경우, 봉제선 이 파열될 가능성이 있음.	채움재 유실이 많아 편성밀도와 원사 데 니어를 증가시킨 환 편물 개발 필요성이 있음.	150de×4의 좌측 시편 보다는 양호하나 편성 밀도를 증가시킨 환 편물 개발이 필요	편성밀도와 원사 데 니어를 증가시킨 환 편물 개발이 필요	현장에서의 분사압력 을 고려해 선택적 투 수성을 부가하는 방 법도 필요
열융착 부직포는 튜 브체 소재로 부적합	편성포는 튜브체 소 재로 부적합	편성포는 튜브체 소 재로 부적합	편성포는 튜브체 소 재로 부적합	채움재 유실상태는 없고 응고상태 양호 튜브체 소재로 적합

○ 토목섬유 봉제방법 평가

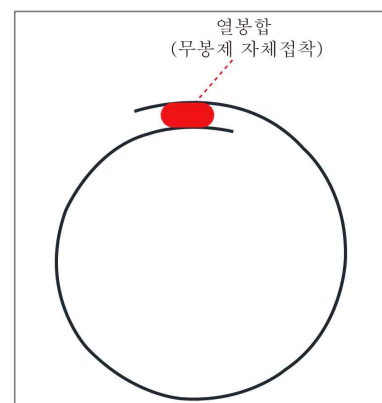
- 소재 : 고강도 직포형 지오텍스타일 GTW300, GTW450 및 지오펜포지트 GC200
- 크기 : 폐관(직경×길이) 300×20,000mm 기준으로 실물은 340~350×25,000mm로 여유분을 주어 제작
- 대상 폐관의 종류에 따라 다양한 크기의 제품 제작 가능

GTW300 (350×25,000mm) 4선봉제 (보강벨트로 상부 보강)	GTW450 (340×25,000mm) 4선봉제 (보강벨트로 상부 보강)	GC200 (340×25,000mm) 무봉제 열접착 (겹침폭 10mm)
		
		

그림 32. 토목섬유 종류별 봉합방법



(a) GTW300, GTW450 봉제방법



(b) GC200 봉제방법

그림 33. 토목섬유 봉합방법

○ 시제품 제작 과정

(1) 고강도 직포형 지오텍스타일 (GTW300, GTW450)

- 레피어 직기로 제직물 생산 → 봉제업체로 토목섬유투브 원단 입고 → 튜브 크기별 원단 절단 (열가위로 원사 빠짐 방지) → 4선봉합 (튜브 상부는 보강벨트로 보강) → 토목섬유투브 제작 및 마무리 정리

(2) 지오킴포지트 (GC200) : 고강도 직포형 지오텍스타일 소재 대비 봉제공정 단순화 가능

- 워터제트 직기로 제직물 생산 → LDPE수지 코팅 → 튜브 크기별 원단 절단(φ340mm용으로 원단을 생산하여 절단공정 생략) → 원단자체 열봉합(무봉제) → 토목섬유투브 제작
- 시제품의 환경영향성 평가를 위해 유해물질 용출시험을 수행함



① 레피어 직기(rapier loom)



② 토목섬유투브 원단 입고



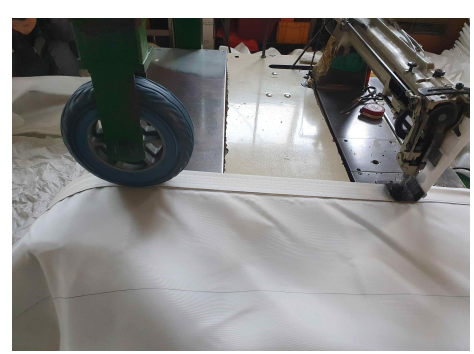
③ 원단 펼치기



④ 튜브 크기별 원단 절단(열가위)



⑤ 봉합사 및 보강벨트 공급



⑥ 4선봉합 (보강벨트 상부 보강)



⑦ 튜브 끝단 봉합 (보강포 보강)



⑧ 완성된 토목섬유투브

그림 34. 토목섬유 튜브 제작 과정

○ 토목섬유튜브 시제품 제작

- 토목섬유튜브 선정 소재인 직포형 지오텍스타일 GTW300, GTW450 및 지오킴포지트 GC200을 대상으로, 직경 300mm 폐관 충진용 토목섬유튜브 시제품을 제작하였음.
- 제작순서 : 레피어 직기로 제직물 생산 → 봉제업체로 토목섬유튜브 원단 입고 → 튜브 크기별 원단 절단 (열가위로 원사 빠짐 방지) → 4선봉합 (튜브 상부와 끝단은 보강포 보강) → 토목섬유튜브 제작 및 마무리 정리 순서로 실물을 제작하였음.
- 실물 크기 : 폐관(직경×길이) 300×20,000mm 기준으로 실물은 340~350×25,000mm로 여유분을 주어 채움재 분사압력에 충분히 견딜 수 있도록 제작하였음.

○ 토목섬유튜브 시제품 재료시험

- 토목섬유튜브의 환경영향성을 평가하기위해 중금속 및 유해물질 용출시험을 수행함.
- 용출시험결과 모든 시험항목에서 용출된 유해물질이 없는 것을 확인함

BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD



TEST REPORT

우 13810 경기도 과천시 교육원로 98(중앙동) TEL 0212164-0011 FAX 0212634-1008

영작서번호 : TAK-2021-184370 합 수 일 자 : 2021년 12월 27일
대 표 자 : 김병석 시험완료일자 : 2022년 01월 06일
업 체 명 : 한국화학융합시험연구원
주 소 : 경기도 고양시 일산서구 고영대로 283(대화동)
시 료 명 : 토목섬유튜브 전처리 시료

시 험 결 과				
시험항목	단위	시료구분	결과치	시험방법
Pb	mg/L	-	0.0	EPA 3050B, 6010D (준용)
Cd	mg/L	-	0.0	EPA 3050B, 6010D (준용)
Cu	mg/L	-	0.0	EPA 3050B, 6010D (준용)
Zn	mg/L	-	0.0	EPA 3050B, 6010D (준용)
Ni	mg/L	-	0.0	EPA 3050B, 6010D (준용)
Hg	mg/L	-	0.0	EPA 3050B, 6010D (준용)
As	mg/L	-	0.0	EPA 3050B, 6010D (준용)

- 용 도 : 품질관리용
비 고 : 1. 이 성적서는依頼자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인용 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.
2. 이 성적서는 총배, 산전, 광고 및 소송용 증으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

Kim Jinin

작성자 : 김지민

Tel : 02-2992-2805

Han Sang-won

기술책임자 : 한상원

Tel : 1577-0091(AFS 01~04)

2022년 01월 06일

KTR 한국화학융합시험연구원장



위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 1

전자문서본은 시험결과에 대한 참고용입니다.

전자문서본(Electronic Copy)

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INC. TEL: 02-2992-2805 FAX: 02-2992-2806

AM210 Y 207

그림 35. 용출시험 공인성적서

(5) 지중폐관 충전용 압력주입장치(압력커튼) 제작

○ 압력커튼 개념

- 노후폐관내부에 설치된 토목섬유 튜브체 내부에 유동성채움재를 주입재의 유실방지와 채움효율향상을 위해 채움재 압력으로 충전
- 토목섬유튜브 직경과 채움재 주입시 채움재 유실을 최소화하는 방안 설계

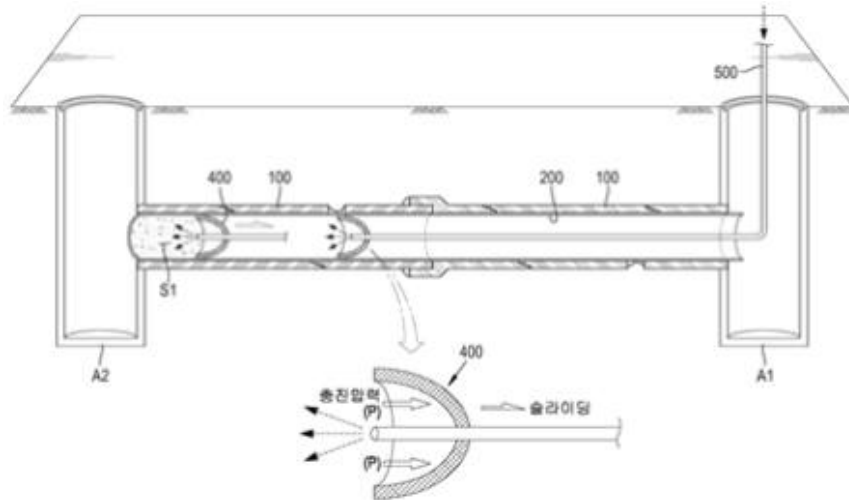


그림 36 . 토목섬유압력커튼개념설계

○ 압력커튼 시제품 제원

1. 압력커튼 시제품 제작 조건

- 압력커튼 제작에는 토목섬유튜브 내부에서의 이동성이 원활하고 채움재 역류현상을 방지해야 하며, 동시에 채움재 분사 고무호스와의 연결성이 우수해야 하는 제작조건이 필요함.
- 압력커튼 소재 : Stainless steel 소재 (0.7mm)
- 실물 크기 : 폐관 직경($\phi 300\text{mm}$) 보다 약간 작은 280mm로 제작하여 폐관 내부가 일부 막혀 압력커튼의 후진을 방해받지 않고 폐관 내에서 이동을 원활하게 함.
- 압력커튼과 채움재 분사 고무호스 관계 : 소켓(암나사 59mm)-니플(수나사 59mm) 연결구조
- 작업순서 :
 - ① 채움재 분사 고무호스를 토목섬유튜브 원단 내에 넣어 원단을 폐관 끝에서 폐관 선단부로 이동
 - ② 압력커튼(소켓)과 고무호스(니플) 결속 : 폐관 선단부에서 압력커튼과 고무호스를 연결하여 일체화
 - ③ 압력커튼 : 고무호스를 통해 폐관 채움재가 분사될 때, 폐관에서 채움재의 역류현상을 적극 차단

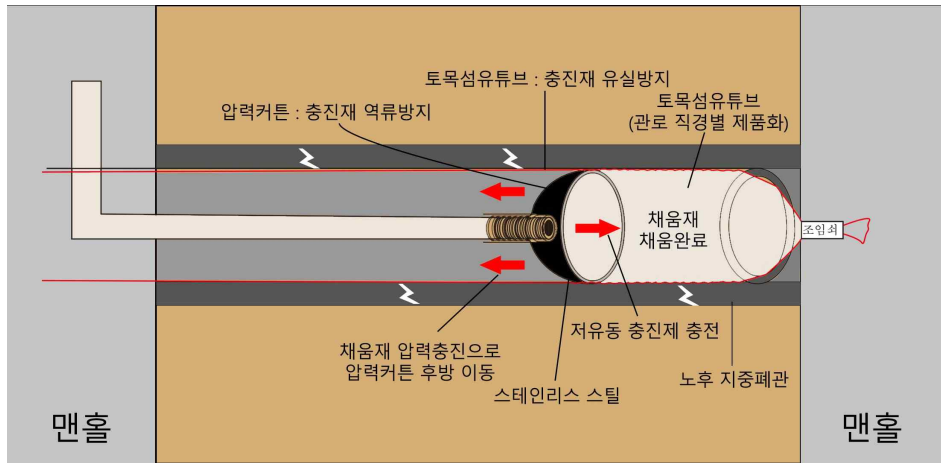
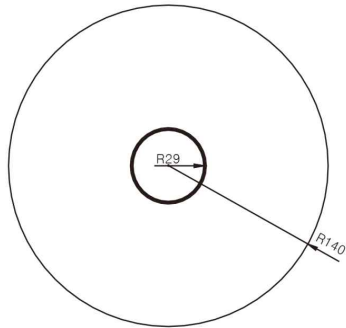
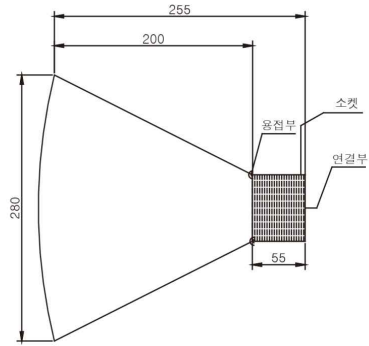


그림 38. 압력커튼 시제품 제작 조건 검토



① 압력커튼 상부 평면도



② 압력커튼 측면도



③ 실물 : 상부 평면



④ 실물 : 측면

그림 39. 압력커튼 시제품 제작 계획

○ 압력커튼 시제품 제작

- 압력커튼은 Figure 5와 같이 상부 평면도와 측면도에서 제시한 규격대로, 스테인레스강(두께: 0.7mm)을 이용해 압력커튼의 외부 원판을 만들고 소켓(직경: 58mm)을 원판 하부와 용접하여 업력커튼을 제작하였음.
- 압력커튼 소재 : Stainless steel 소재 (0.7mm)
- 실물 크기 : 폐관 직경($\phi 300$ mm) 보다 약간 작은 280~295mm로 3종류를 제작하였고, 폐관 내부가 일부 막혀 압력커튼의 후진을 방해받지 않고 폐관 내에서 이동을 원활하게 함.

- 압력커튼과 채움재 분사 고무호스 연결상태 : 소켓(암나사 58mm)-니플(수나사 58mm) 연결구조

○ 토목섬유 및 압력커튼 양산 개념설계

① 토목섬유튜브 양산품 개념설계

- 지중폐관 충전튜브 소재인 GC200급은 불투수성 소재로서, 국내에서는 직경 40~350mm 범위의 불투수성 충전튜브 제품군을 생산하고 있음. 본 연구와 관련하여 국내에서 생산되고 있는 최대 직경군에 속하는 충전튜브 표준제품은 250mm와 300mm, 340mm 등 3종류가 있음.
- 본 연구와 같이 직경 280mm 충전튜브는 표준제품이 아닌 특수제품으로, 열봉합에 필요한 특수형틀을 별도로 제작하여 충전튜브를 생산하였음. 직경 280mm 충전튜브는 상하 2겹의 수지코팅 원단을 PE 수지로 용융해 얇게 열융착시켜 원통형으로 생산함으로써, 외부에서 볼 때 봉제선이 없어 외관이 매우 우수하고 표면이 매끈하여 폐관 내부로의 삽입이 쉬운 장점이 있는 제품임.
- 직경 450mm 충전튜브를 생산하기 위해서는 아래 식과 같이 직물 폭은 약 1450mm가 필요하나, 국내에서 충전튜브를 제작하기 위한 직물 거치대의 최대폭은 1130mm이고, 최대 직경 350mm 충전튜브까지만 생산할 수 있기 때문에 350mm 이상의 충전튜브를 열봉합으로 생산하기 위해서는 대형거치대와 가이드 및 특수형틀의 별도 제작이 필요한 것으로 조사됨. 따라서, 직경 450mm 충전튜브는 2선 봉제방법으로 4겹 봉합하여 제작하여, 현장시험에서 채움재가 충전튜브 외부로 빠져나가는 현상을 방지하였음.
- 직물 폭(mm) = 충전튜브 직경(mm) × 3.14 + 2선 봉제(4겹) 폭(35mm)
- 본 연구에서 최종 선정된 GC200급 원단은 실물관로 채움재 분사압력에 충분히 견딜 수 있는 내구성 소재로서, 직경 280mm 충전튜브의 열봉합 뿐만 아니라 2선 봉합한 직경 450mm 충전튜브도 채움재 현장시험에서 채움재 분사압력에 대한 충분한 내구성을 유지할 수 있도록 제작하였음.

② 압력커튼 양산품 설계

- 폐관 내부에는 각종 퇴적물, 관로손상 등이 존재할 가능성이 큼. 따라서 압력커튼은 이러한 장애물이 있어도 부드럽게 통과될 수 있도록 연성재질의 고무 등으로 제작되어야 할 것으로 판단되었음.
- 본 연구에서는 수성 채움재에 적합한 EPDM 고무소재를 선택하여 압력커튼 양산품을 제작하였음.
- 제작순서 : ①절단기로 EPDM 고무를 적절한 크기로 절단 및 크기별 준비 → ②압력커튼 상·하부 금형을 1차 조립 → ③압력커튼 상·중·하부 금형 조립 → ④금형 가열(1차) → ⑤상·중·하부 금형 분리후 EPDM 고무소재 투입 → ⑥일정시간 금형 가열(2차) 및 가압조건에서 압력커튼 시제품 성형 → ⑦고무성형 제품 탈착 및 정리작업 → ⑧압력커튼 완제품 생산 순으로 양산품 제작하였음.



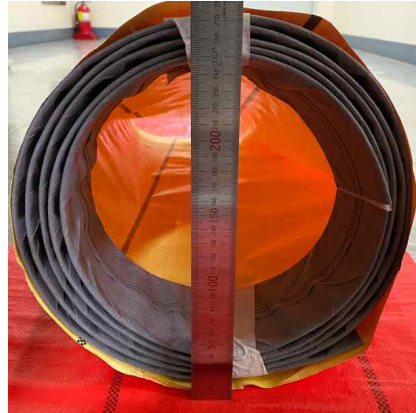
① 워터제트 직기(water-jet loom) 제작



② PE수지 코팅(원단 표리면)



③ 토목섬유튜브 원단봉합(열봉합)



④ 직경 280mm 토목섬유튜브 양산품



① EPDM 고무소재 절단(절단기)



② 압력커튼 금형 중진용 고무소재



③ 압력커튼 상·하부 금형 조립



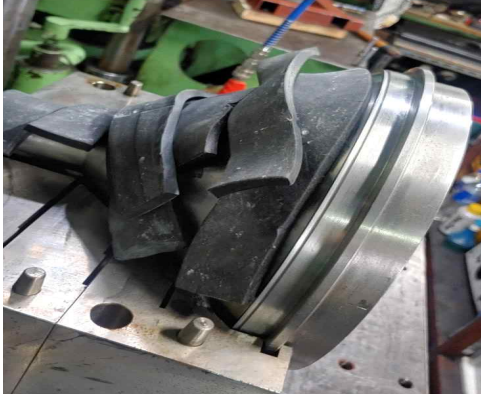
④ 압력커튼 상·중·하부 금형 조립(측면)



⑤ 압력커튼 상·중·하부 금형 조립(정면)



⑥ 압력커튼 상·중·하부 금형 가열



⑦ 가열된 금형에 EPDM 원료 투입



⑧ 압력커튼 시제품 성형 작업



⑨ 금형에서 성형제품 탈착 및 정리작업



⑩ 압력커튼 완제품

그림 40. 압력커튼 제작과정

(6) 지중폐관 충전 현장 실물시험

○ 실물관로를 활용한 Test Bed 구축방안 계획

- 실물 맨홀과 하수관로를 이용한 TEST-BED를 구축하여 실 현장 시험시공 대비 사전 시험시공을 수회 실시 예정
- 대상 관종 : 하수관 및 우수관
- 대상 관경 : 대표적으로 많이 사용되는 300mm 및 450mm 관

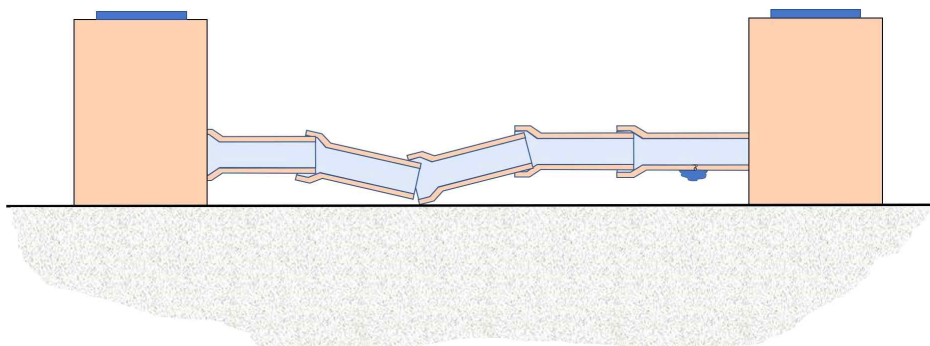


그림 41. 지상 모의 TEST BED 구축

- 폐관 내 CCTV 조사를 통한 내부상태 파악 후 충전계획 수립 방안 검토
- 노후 폐관의 경우 내부에 결손 문제가 발생하기 때문에 사전에 cctv 차량을 통한 사전조사가 필수적으로 요구됨.
- 토목섬유튜브 및 압력커튼의 양상형 제품 생산 및 현장시험시공 적용 계획
- 현장시험은 지중폐관 직경을 변화시켜 2회 수행하였으며, 모의폐관 충전시험을 1회 수행.
- 폐관 내부의 상태와 시험전후의 지반 변화 상태 평가를 위해 GPR 검사 수행.



그림 42. 노후 폐관 내부의 다양한 결손 문제(고화질 cctv 차량 조사 결과)

○ 실물관로 충전 시험

- 저유동채움재와 이동식 일체형 압력충진 시공장비, 토목섬유튜브, 압력커튼을 이용한 실물관로 충전 시험 수행

표 8. 저유동 채움재 배합

구 분	W/M (%)	Unit weight of material(kg/m ³)		
		W(혼합수)	M(채움재)	AD _{total} (M×%)
저유동 채움재	80.0	670	837	41.8

- Ø300mm 흡관(L=2.5m)에 대해 주입시험 수행.



① 토목섬유 튜브와 압력커튼



② 토목섬유 튜브와 주입관 설치



③ 주입관과 압력커튼 연결



④ 토목섬유 튜브 내 압력커튼 삽입



⑤ 토목섬유 튜브 및 압력커튼 설치 완료



⑥ 채움재 주입 및 튜브 팽창 확인

그림 43. 폐관충진 실물관로 현장시험(1회차)

○ 실물관로 충전 추가시험(2회차)

- 실물 관로로 연결된 맨홀 내부에서 충전공정 수행
- 토목섬유튜브 배치 단계부터 압력커튼 연결, 충전재 주입, 충전완료 후 밀폐 단계까지의 공정 검토
- 증점제의 관내혼합장치의 부착위치는 압력커튼 2~3m 후방이 가장 좋을 것으로 생각되었으나, 압력커튼 후방 5m, 15m, 25m 후방에 부착한 결과 저유동 채움재의 물성차이는 발생하지 않았음.
- 증점제를 투입한 후 믹서에서 혼합 시 증점효과가 사라지는 결과가 관내 혼합에서 발생하지 않은 이유는 혼합효율의 차이가 매우 크기 때문인 것으로 판단되었음



① 실물 주입시험 맨홀 및 관로 준비



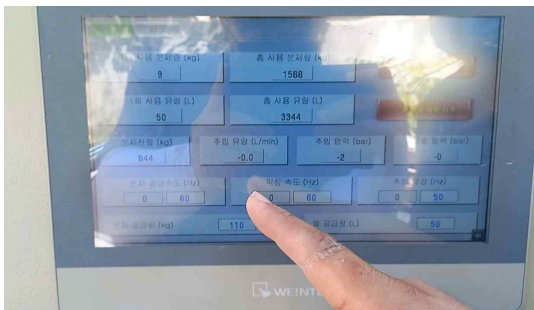
② 가이드선을 통한 토목섬유튜브 배치



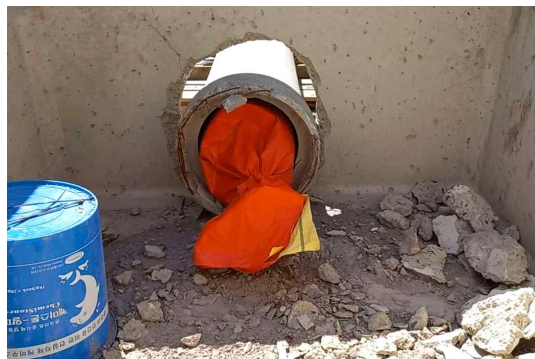
③ 주입관과 압력커튼 연결



④ 압력커튼 설치부 밀폐



⑤ 주입량 컨트롤



⑥ 채움재 주입 및 튜브 팽창 확인

그림 44. 폐관충진 실물관로 현장시험(2회차)

○ 모의 폐관 충진 시험

- 저유동채움재와 이동식 일체형 압력충진 시공장비, 토목섬유튜브, 압력커튼을 이용한 시험시공 수행
- Ø300mm 흡관(L=10m)에 대해 시험시공 수행
- 주입시험 결과, 저유동 채움재 주입에 따른 토목섬유튜브 충진 및 압력커튼 이동을 확인.
- 파손된 흡관 구멍을 통해 튜브의 팽창과 관내 충진을 확인
- 압력커튼이 반대편 맨홀에 도착 후, 압력커튼을 제거하고 튜브 마감.

○ TEST-BED 조성 및 토목섬유튜브/압력커튼 적용시험

- 모의공동시험을 위한 현장 테스트베드 조성
- 현장매설 하수관로를 모사하기 위해 현장에서 사용되는 맨홀과 하수관로 흡관(Ø450mm)사용
- 지반 굴착 후 기초 작업 후 맨홀과 관로를 설치 한 후 맨홀 주변 공동을 모사하기 위해 얼음을 설치한 후 다짐하여 지반을 조성
- 사전 GPR 조사를 통해 관로와 지반의 이완상태를 조사
- CCTV 조사를 통해 관로 내부 상태를 점검
- 관로 내부에 토목섬유 튜브와 압력커튼을 설치 한 후 저유동 채움재 주입



Ø300mm L=10m



Ø450mm L=12m

그림 45. 모의폐관 현장시험 실물관로



① TEST-BED 위치 굴착



② 맨홀 설치



③ 맨홀 인접 공동 생성용 얼음 설치



④ 관로 설치



⑤ 자갈 포설



⑥ 토사 매설 및 다짐



⑦ TEST-BED 현장 조성 완료

그림 46. 모의폐관 현장 조성



① 맨홀 설치



② 얼음으로 공동 조성



③ 상부 흙포장



④ 저유동채움재 주입

그림 47. 모의폐관 현장시험

○ 실물 주입시험 결과

- 시공법 개선 전 후의 재료 유실에 따른 초과주입 발생함
- 그림 49에서와 같이 Ø300mm일 경우 초과 주입량이 11%, Ø450mm일 경우 초과 주입량이 1.3% 발생
- 시험결과를 통해 시공법을 개선하여 초과주입량(유실량) 11%에서 1.3%로 감소한 것을 확인



① Ø450mm 압력커튼



② 토목섬유 튜브와 주입관 설치



③ 주입관과 압력커튼 연결



④ 저유동 채움재 주입



⑤ 저유동 채움재 주입



⑥ 튜브 마감

그림 48. 지중폐관 실물주입 시험

구분	주입량(L)		비 고
	예상	시험	
Ø300mm	707	785	78L(11%) 초과
Ø450mm	1,908	1,933	25L(1.3%)초과

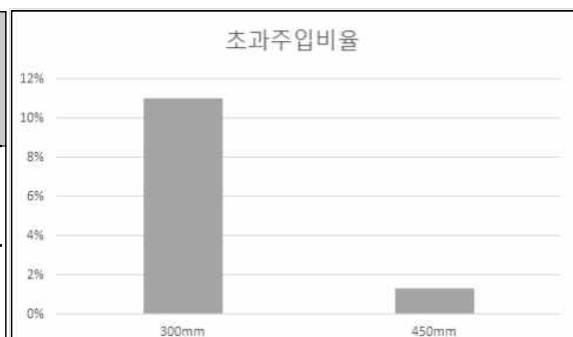


그림 49 지중폐관 유동성 채움재 주입량

○ TEST BED 시험시공 결과

- CCTV 차량을 이용한 TEST-BED 관로 내부 조사
- 얼음 매설을 통한 지중공동 생성 확인을 위해 천공 및 내시경 탐사 수행
- 토목섬유튜브 및 압력커튼을 적용한 TEST-BED 관로 저유동 충전재 주입시공 수행
- 토목섬유튜브 적용결과 파손된 관로에도 채움이 가능하며, 튜브의 채움율은 100%에 가까운 것으로 판단됨



① 관로 내부 CCTV 차량 조사



② 공동 확인을 위한 천공



③ 공동 내부 내시경 탐사



④ 시작부 맨홀 압력커튼 연결



⑤ 종점부 충전재 주입



⑥ 고유동 충전재의 맨홀 내부(파손부) 유실 확인

그림 50. 실험사이트 CCTV 및 GPR 조사

- CCTV 차량 조사를 통한 하수관로 상태진단 결과



그림 51. CCTV 조사 결과

(6) 수치해석을 통한 적정채움율 제시

1) 수치해석 대상

- 하수관로 직경 : 400mm, 600mm
- 매설깊이 : 지표면으로부터 1.5m
- 지반조건 : 토사지반
- 유동성 채움재 관로채움율 : 0, 50, 60, 70, 80, 90%

2) 수치해석 개요

- 사용프로그램 : PLAXIS 2D
- 지반구성모델 : Mohr-Coulomb
- 지반물성치 : 표 참조

표 9. 수치해석 지반 물성

e_o	E (kPa)	ν	c (kPa)	ϕ' (°)	γ_{unsat} (kN/m ³)
0.5	10.00+E3	0.3	1.0	30.0	17.0

- 수치해석 모델 및 경계조건

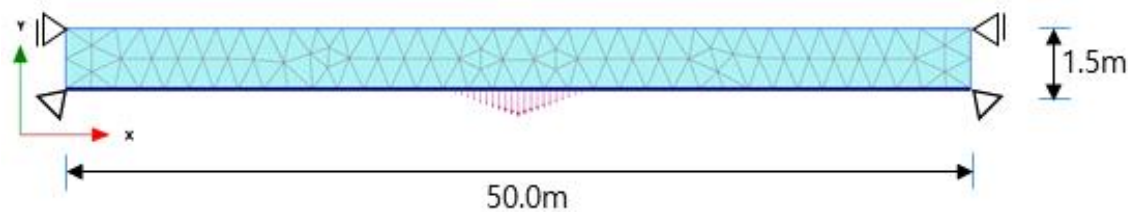


그림 52. 해석 경계조건

- 수치해석 케이스 : 하수관로 직경 400mm와 600mm, 채움율(FR) 0, 50, 60, 70, 80, 90%, 총 12 케이스
- 하수관로 파괴 모사 : 해석 모델 중심부에 폭 5m의 이등변 삼각형 분포의 연직방향 강제변위 부여

표 10. 하수관로 채움율(FR)에 따른 최대 강제변위량

하수관로 직경 (mm)	최대 강제변위량 (mm)					
	FR 0%	FR 50%	FR 60%	FR 70%	FR 80%	FR 90%
400	400	200	160	120	80	40
600	600	300	240	180	120	60

3. 수치해석 결과

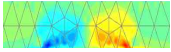
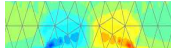
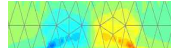
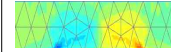
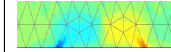
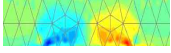
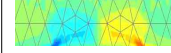
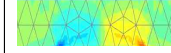
- 총 변위량

표 11. 채움율에 따른 변위량

하수관로 직경(mm)	채움율(FR) (%)					
	0	50	60	70	80	90
400						
600						

- 전단응력

표 12. 채움율에 따른 전단응력

하수관로 직경 (mm)	채움률(FR) (%)					
	0	50	60	70	80	90
400						
600						

4. 수치해석 결과 분석

- 하수관로 채움율에 따른 최대 지표침하량
 - 현장 시험을 통해 확인한 채움재 충전율은 100%로 확인되었으며, 수치해석을 통해 허용침하량을 만족하는 채움율 범위인 80%를 만족시키는 것으로 나타남.
 - 수치해석을 통해 토목섬유 튜브 직경 400mm, 600mm 지중관로의 채움율에 따른 최대 지표침하량 관계를 분석하였으며 지반침하 최대허용침하량 100mm를 만족하는 범위의 채움율이 약 75% 이상으로 평가됨.

표 13. 하수관로 채움율(FR)에 따른 최대 최대 지표침하량

하수관로 직경 (mm)	최대 지표침하량 (mm)					
	FR 0%	FR 50%	FR 60%	FR 70%	FR 80%	FR 90%
400	266.1	134.5	108.2	81.8	55.6	29.0
600	397.5	200.3	161.0	121.3	81.8	42.2

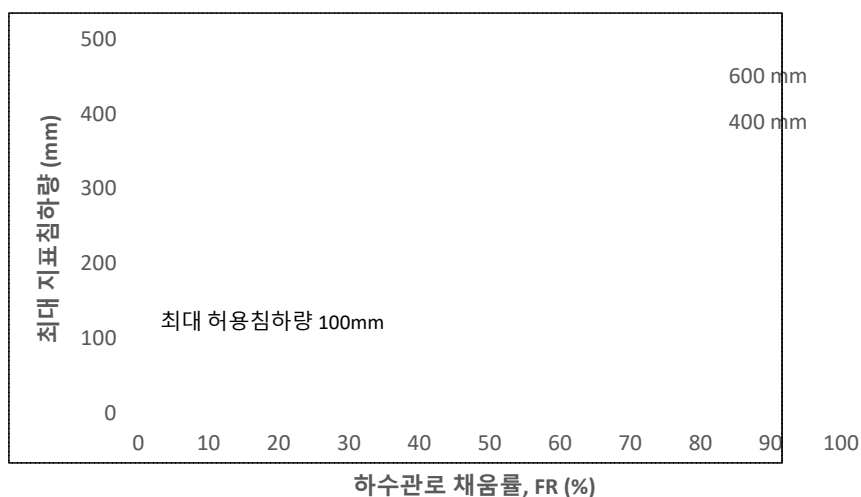


그림 53 하수관로 채움율(FR)에 따른 최대 지표침하량

(7) 도로하부 공동 저유동성 채움재 시험시공

○ 맨홀인근 저유동 채움재 현장 시험시공

- 서울시 광진구의 협조를 얻어 GPR 탐사로 확인된 맨홀인근 공동 내 시험시공 수행
- 이동식 일체형 압력주입 장치를 이용한 현장 배합 수행
- 기존의 고유동 채움재로 채우지 못하는 맨홀 인근의 공동을 저유동 채움재로 시공
- 광진구 구의동 일대 발생한 지중 공동 6개소에 대해 시험시공 수

표 14. 현장시험시공 공동목록

번호	관리번호	공동크기			비고
		길이(cm)	폭(cm)	깊이(cm)	
1	구의1동-3	90	70	21	
2	구의1동-4	70	90	40	
3	구의2동-18	70	80	30	
4	구의2동-19	80	70	24	
5	구의2동-20	80	80	23	
6	구의3동-11	90	60	20	

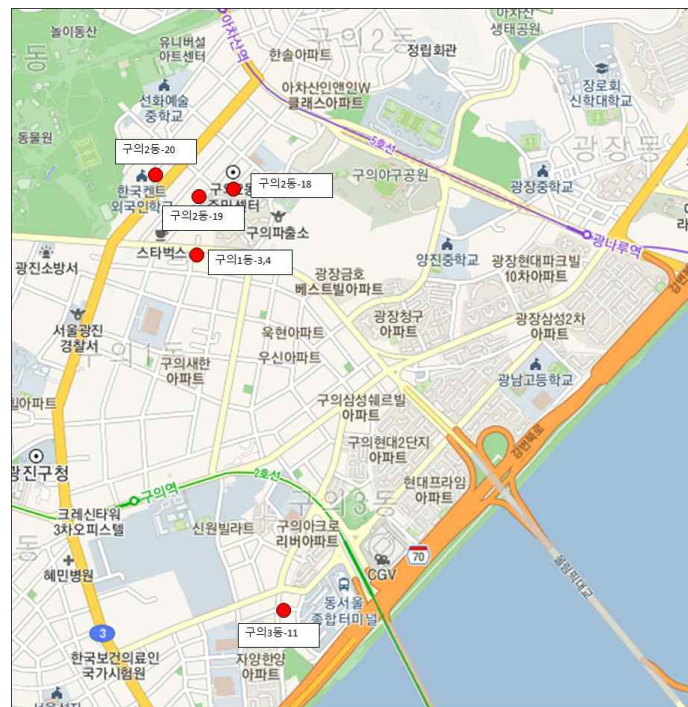


그림 54. 저유동 채움재 공동채움 시공 위치



① 이동식 일체형 압력주입장비 세팅



② 인근 맨홀 확인



③ 주입공 및 오버플로우공 천공



④ 주입관 설치



⑤ 저유동 주입재 생산 및 주입



⑥ 주입시 맨홀 유입 확인



⑦ 오버플로우 확인

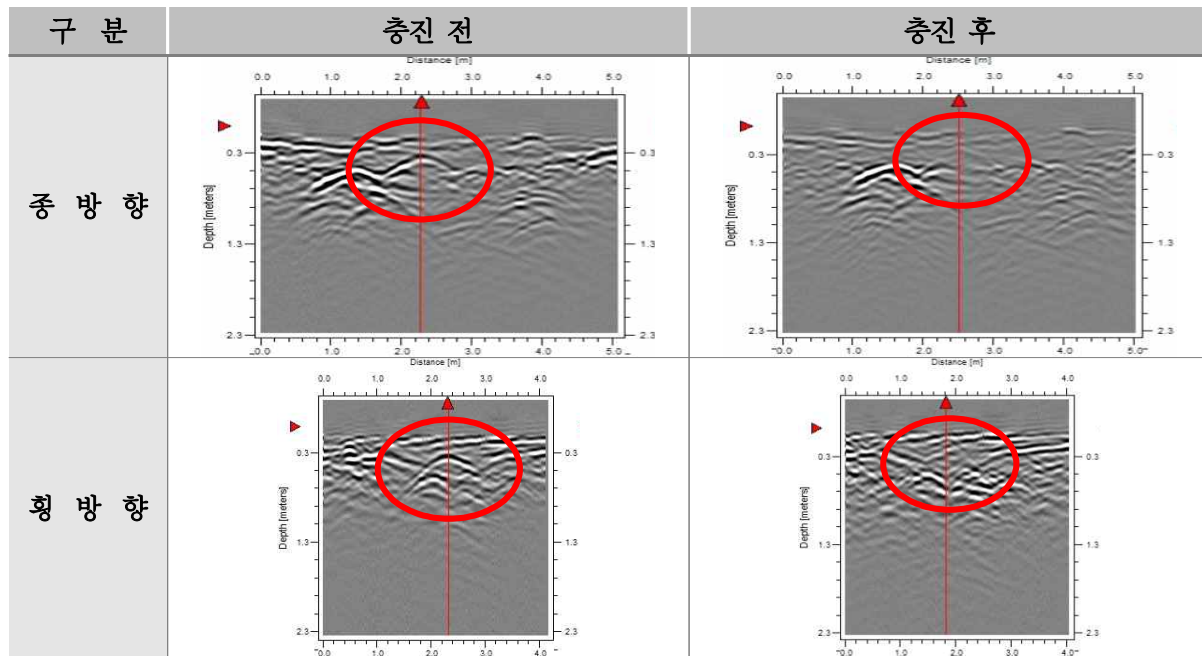
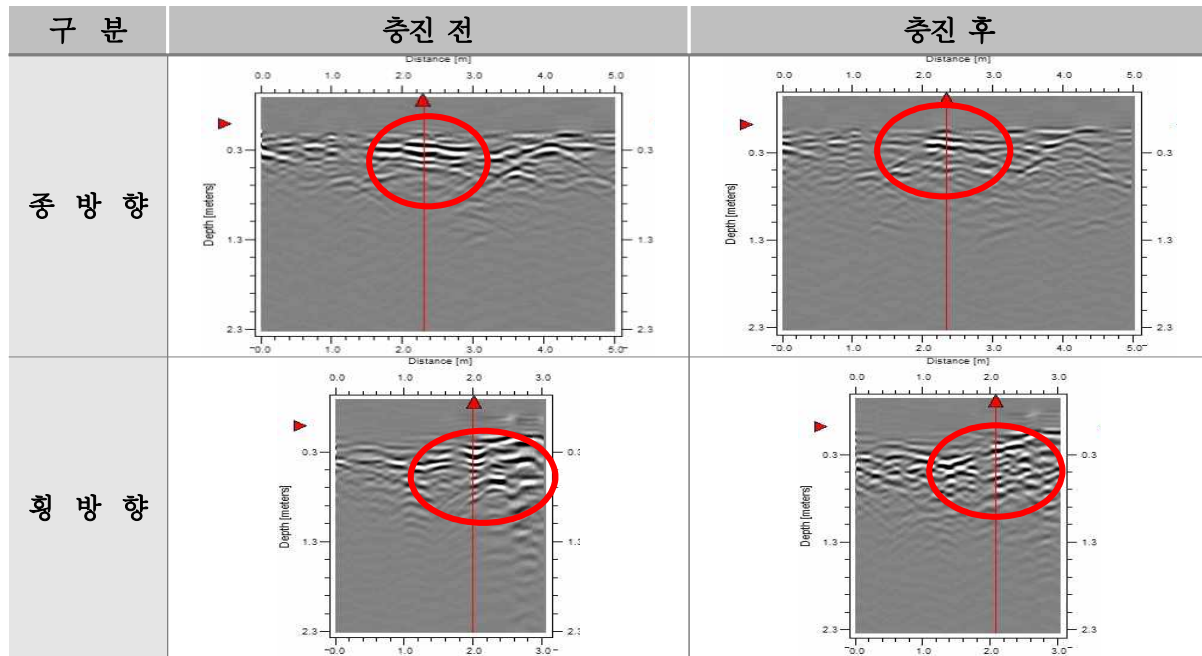


⑧ 주입공 및 오버플로우공 마감

그림 55. 저유동 채움재 공동채움 시공

○ 서울시 광진구 시험시공 결과

- 시험시공을 진행한 4개소의 GPR 탐사결과 공동이 모두 채워진 것을 확인함.



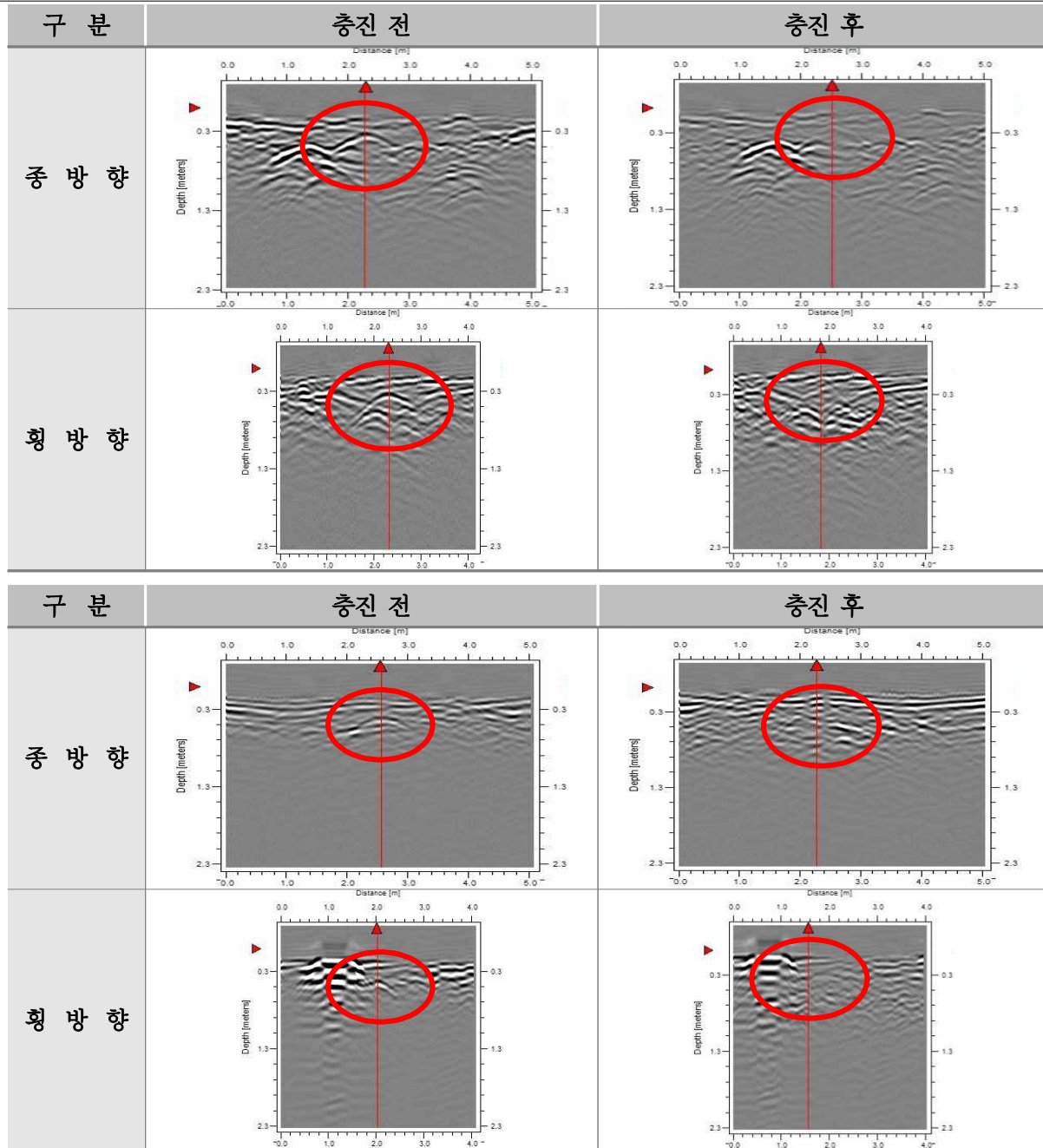


그림 56. 광진구 도로하부 공동채움 시공 후 GPR 조사

(8) 폐관 공법 경제성 검토

- 서울시는 지반침하 등으로 인한 사고 예방과 공공의 안전을 확보하기 위해 지속적으로 노면하부 탐사 용역을 실시. 매해 수십~수백개의 발생 공동을 확인함
- 기존에는 공동발생 원인에 대한 고려 없이 모든 공동복구를 굴착 복구 방식으로 적용
- 도로의 굴착공사로 인한 도로품질저하, 비산먼지, 소음, 통행장애 등 각종 사회적 비용을 유발함
- 최근 고유동 채움재를 적용하여 도로굴착 없이 공동 복구와 예산 절감을 실현함
- 지중 노후관로의 비개착 복구 방법은 다수 존재하는 것으로 파악되었으나, 폐관공법은 개착 후 제거 공법이외의 공법은 없는 것으로 판단되어 개착복구 방법과 경제성을 비교하였음
- 그러나 고유동 채움재의 유실로 인해 맨홀 인근, 관로 인근의 공동은 기존의 굴착복구로 수행됨
- 개발공법은 천공 후 저유동 채움재 주입, 마감의 공정으로 기존 공법 소요시간의 약 1/3 수준에서 시공이 가능함

기 존 공 법					
	도로 커팅/깨기	굴착공사	되메우기/다짐	폐기물	포장복구
3시간					
개 발 공 법					
	기존 천공홀 개방	채움재 주입	마감		
1시간					

그림 57. 기존 굴착복구 공법과의 비교

- 서울시 광진구에서 발생한 맨홀 인근 공동에 대해 저유동 채움재 시험시공 결과, 1개소 시공에 약 1시간 소요되며 1일 최대 6개소 시공이 가능하였음.
- 단순 시공비용만을 놓고 볼 때에도, 기존 굴착복구 공법은 개소 당 약 610만원이 소요되었으나(서울시 연간단가계약), 본 시험시공 결과 개소 당 약 100~130만원이 소요되어 79% 이상 감소하는 것으로 파악됨.
- 직접 시공비용 이외에도, 도로굴착에 따른 폐기물 발생, 소음, 비산먼지 및 도로통제 시간 장기화에 따른 사회적 비용에 있어 개발 공법이 훨씬 우수한 것으로 판단됨.

표 15. 굴착복구 공법과 저유동 채움공법의 비교

구 분	기존 공법	개발 공법	효과
도로굴착 공사면적(1개소)	12m ²	없음	도로포장 손실 없음
소요 예산	6.1백만원	1.3백만원	약 79% 절감
공사 시간	3시간	1시간	2시간 감소
공동복구수량/1일	3개소	6개소	2배 증가
폐기물 발생량	약 7톤	없음	CO ₂ 감축

- 폐관 공법의 수요처는 각 관로를 관리하고 있는 지자체, 전력사업자, 통신사업자, 가스사업자 등이며, 초기에는 이중 관로가 설치되고 가장 오랜 시간이 경과하여 노후관로가 많은 상/하수관로를 관리하는 지자체가 주요 수요처로 판단됨.
- 현재 하수 폐관은 개착공법 이외의 대안이 전무하다시피 하므로 경제성이 우수한 개발 공법의 적용이 유리할 것으로 보이며, 1980년대 부설된 하수관로 약 10,000여km 중 교체되지 않고 폐기되는 관로의 양을 약 1%로 추정하면 현재 100여 km의 폐관 시장이 존재하며, 연한이 늘어날수록 폐관의 연장도 증가할 것으로 판단됨
- 특히 국내에서 가장먼저 하수관로 보급률이 100%에 달한 서울시(1989)와 부산시 등 대도시의 노후관로가 상당부분 존재하므로, 각 지자체의 하수관리과, 치수과, 도로과 등에 중점적으로 본 개발기술을 홍보하여 사업화를 진행할 예정임

특허증

CERTIFICATE OF PATENT

특 허 제 10-2290064 호
Patent Number
출원번호 제 10-2019-0144265 호
Application Number
출원일 2019년 11월 12일
Filing Date
등록일 2021년 08월 10일
Registration Date

발명의 명칭 Title of the Invention
자유동 충전재를 이용한 도로 하부 공동 충전방법

특허권자 Patentor
(주)케이무스코리아(110111-*****)
전라남도 순천시 해룡면 여운로 1286

발명자 Inventor
등록사람에게 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



2021년 08월 10일



QR코드로 현재기준
등록사항을 확인하세요

특허청장
COMMISSIONER
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
김용래



○ 국내 학술발표 논문 6건

2019 Fall Geosynthetic Conference / October 11, 2019 / Seoul / Korea

폐관 충전용 채움재를 이용한 터널 충전 현장 적용

A Study on Field Application in Tunnel Filling Method using Rapid Hardening High Flow Material

유용선¹⁾ · 한진규²⁾ 이대영³⁾
Ryu, Yong-Sun · Han, Jin-Gyu · Lee, Dae-Young

봉신관, 가스관, 상하수도관, 난방관 등의 차종 매설관의 뒷채움은 관로주변의 다짐공간 부족으로 인해 다짐과일이 어려워 다짐공사 후에도 균열 및 침하 발생으로 포장 및 매설 관로의 수명을 단축하는 원인이 되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 유동성 채움재를 사용하여 뒷채움 공사를 실시하는 방법 사용되고 있으며, 외국에서는 현장 발설도를 재현용하여 잔토처리 비용을 줄이고, 충분한 유동성을 확보하여 고려되는 특성을 가진 친환경적인 슬러미(surry) 재료를 사용한 뒷채움 기술을 주목하고 있다. 본 연구에서는 산업부산물을 재활용한 초기 경화가 빠르고 유동성이 우수한 CLSM을 OPEN TBM 굴착후의 굴착면과 상수도관사이의 충전용 재료로 사용하여 현장시범을 수행하였다.

현장 적용에 사용된 폐관충진용 CLSM은 시멘트와 플라이애쉬를 기본 재료로 하여 여기에 조립 및 세립 골재, 현장도 등의 재료를 주로 첨가하였으며 유동특성 개선을 위한 계면활성제와 불리당 방지를 위한 유기 및 무기중성제를 혼합하여 사용하였다. 본 공사는 대전시 유성구 용신교에서 세종시 장례까지 총수관로를 부설하는 공사로, 2단계 용수공급공사는 총 길이가 1.68km이며, 이중 터널충진용 CLSM이 적용된 구간은 725.4m이다.

도면 및 주변지형 및 현장 도면을 확인하여 터널 및 관로의 경사를 확인하여 높은 곳인 OPEN TBM 충전구간에 펌프 등 장비를 설치하였다. 터널 상부에 CLSM을 주입하기 위한 송진관(D150-75mm) 및 송진후 송진관을 충전이 이루어진 이후 추가적으로 충전된 CLSM이 흘러나올 수 있도록 over flow 반(D20mm)을 설치하였다. 해야 한다. 장비 설치 장면은 그림 1과 같다.



그림 1. 장비 설치 장면

- 1) 정회원 : (주)케이무스코리아 대표이사
- 2) 정회원 : (주)케이무스코리아 이사
- 3) 총회원 : 한국건설기술연구원 연구원(dy.lee@kict.ac.kr)

참 조

2020 대한토목학회 정기학술대회

충진재 유실방지 시스템 개발을 위한 토목섬유 재료 선정

Selection of Geosynthetic for Development of Loss Prevention System of Filling Material

김동민¹⁾ · 이대영²⁾ · 유용선³⁾ · 한진규⁴⁾

Kim, Dong Min · Lee, Dae Young · Ryu, Yong Sun · Han, Jin Gyu

국내 토목기 지공에는 수천km 이상의 저공해관이 안전하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 해관이 지반침하 및 함몰을 발생시켜 시민들을 불안하게 하고 있다. 본 연구에서는 해관 내부에 담배재를 설치하고 담배재 내부에 충진재를 충전함으로써 해관의 균열 및 파손으로 충진재가 유실되지 않는 기술을 개발 중이다. 초기 연구에서는 해관 내부에 담배재를 설치하고 충진하는 공정에서 담배재가 파단되지 않고, 담배재를 통해 수분 유출 등이 발생하지 않는 재료를 선정하고자 하였다. 따라서 본 연구에서는 건설분야에서 다양하게 활용되고 있는 토목섬유를 대상으로 생산방안, 재료특성, 실내 충전시험 결과 등을 평가하여, 해관 내 담배재로 적용 가능한 최적의 토목섬유를 선정하였다.

핵심용어 : 지반침하, 저공해관, 충진재, 유실방지, 토목섬유

1. 서 론

최근 발생하는 국내 지반침하 및 함몰은 대부분 노후된 하수관로의 손상이나 주변 공사원장에서의 영향이 주요 원인인 것으로 나타났다. 노후 하수관로 방류 저방향을 위해를 내세우고 있는 것이 바로 산관으로 교체되면서 발견되지 않은 채 지중에 매설되어 있는 상하수도 해관이다. 지반침하 예방을 위해 저공해관 충전 시에는 노후해관 상태를 고려할 때 균열 및 파손으로 충진재가 유실되지 않게 하는 것이 가장 중요하다.

2. 충진재 유실방지 시스템

그림 1은 충진재 유실방지 시스템의 개념을 보여주고 있는 것인데, 본 기술은 원대로 충전되는 해관이 해관의 균열 및 파손으로 유실되지 않고 일정하게 완전 충전되고, 상부하중을 균일하게 하부에 전달하여 해관이

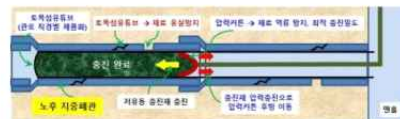


그림 1. 토목섬유유실방지 시스템을 이용한 충진재 유실방지 시스템 개요

- 정회원 : 한국건설기술연구원 임용과장연구본부 수석연구원, 공학박사(E-mail: dmkim@kict.ac.kr) - 발표자
- 정회원 : 교수이자, 한국건설기술연구원 임용과장연구본부 연구위원, 공학박사(Corresponding Author - E-mail: djae@kict.ac.kr)
- 총회원 : (주)케이무스코리아 대표, 공학박사 (E-mail: sunryun@naver.com)
- 총회원 : (주)케이무스코리아 이사, 공학박사 (E-mail: hanjin1212@empas.com)

도시지 지반침하 예방을 위한 지중폐관 충전기술 개발

Development of Filling Technology of Urban Buried Pipes for Preventing Ground Subsidence

이대영¹⁾·김동민²⁾·한진규³⁾·류용선⁴⁾

Lee, Dae Young · Kim, Dong Min · Han, Jin Gyu · Ryu, Yong Sun

도시지 지반침하 및 함몰은 다양한 원인으로 발생하고 있는데, 그 원인 중의 하나는 신관 교체 시 절기 지 및 지중에 존재하고 있는 다양한 종류의 폐관이다. 국내 주요 도시에서는 수천km 이상의 지중폐관이 존재하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 폐관이 노후화되어 파손되거나 균열부로 상부 도시가 유실되면서 지표면의 침하 및 함몰을 유발하는 경우가 빈번하게 발생되고 있다. 이러한 도시지 지중폐관을 효과적으로 충전하기 위한 연구가 진행되고 있는데, 본 연구에서는 폐관 충전제의 유실방지 기술에 대해 소개하였다.

핵심용어 : 지반침하, 지중폐관, 충전제, 유실방지, 튜브

1. 서 론

최근 도시지역에서 지반침하 및 함몰 발생이 증가하고 있어 이로 인한 사회경제적인 손실 증가와 국민의 불안감이 확산되고 있다. 지반침하 및 함몰은 다양한 요인에 의하여 발생하는데, 최근 발생되는 국내 지반침하 및 함몰은 대부분 노후된 하수관로의 손상이나 주변 공사현장에서의 밀착이 주요 원인으로 나타났다. 그러나 노후 하수관로 밀착 지반침하 위험을 내재하고 있는 것이 바로 신관으로 교체되면서 절기되지 않은 새 지중에 매설되어 있는 상하수도 폐관이다. 국내 주요 도시지 지중에는 수천km의 폐관이 그대로 방치된 채 묻혀있는 것으로 추정되며, 지중폐관의 파손이 발생되었을 경우 지반침하 및 함몰을 발생시킬 수 있는 잠재적인 위험을 도시지 땅속에 내포하고 있는 상황이다.

2. 도시지 지중폐관 현황

그림 1은 국내 도시지역에 전존하고 있는 지중폐관 모습을 보여주고 있다. 원칙적으로 노후 상하수도관을 교체할 경우 폐관을 절기하고 신관을 설치하여야 하지만, 절기 비용이 추가로 발생되고, 연결제기중인 폐관



그림 1. 국내 도시지 지중폐관 실태

1) 한국건설기술연구원 지반안전연구본부 연구위원, 공학박사 (E-mail:dae@kict.re.kr) - 발표자
2) 김희원 · 공진치자 · 한국건설기술연구원 지반안전연구본부 수석연구원, 공학박사(Corresponding Author) E-mail:dkim@kict.re.kr
3) 한재이무스프라이 대표이사, 공학박사 (E-mail:han1212@empas.com)
4) 한재이무스프라이 대표, 공학박사 (E-mail:sunryun@naver.com)

1244

지하 공동 충전을 위한 저유동 채움재로 혼합장치 개발

Development of Low Flow Grout Mixer for Filling Underground Cavity

이대영¹⁾·김동민²⁾·한진규³⁾·류용선⁴⁾

Lee, Dae Young · Kim, Dong Min · Han, Jin Gyu · Ryu, Yong Sun

도시지 지반함몰은 하수관지 등 지하매설물의 파손 및 다짐부족 등의 원인으로 생기는 공동에 의해 발생되며, 현재 제한적으로 고유동 채움재를 이용한 복구를 수행하고 있다. 고유동 채움재를 이용한 복구는 채움재의 유입 및 유실된 채움재로 인한 인근 관로의 폐색 등의 문제로 그 적용이 매우 제한적이다. 이에 따라 채움재의 유입을 방지하면서 폐관이나 지반 내 공동을 효과적으로 채우기 위한 연구를 수행 중이며, 본 연구에서는 저유동 채움재를 현장에서 자동제어장치로 정확한 배합비로 제조할 수 있는 자동혼합장치를 개발하고자 하였다. 자동혼합장치는 사전에 입력된 배합비에 따라 채움재와 물을 혼합하여 고유동 채움재를 제조한 후, 주입관 내부로 유동성을 저감시키는 점도조절제를 주입하여 저유동 채움재를 제조하도록 제작되었다. 제반된 저유동 채움재도 혼합장치는 도시지 지중에 직접관으로 차량에 탑재가 가능하도록 제작되었으며, 모드들과 유동성을 적용하여 정확한 배합비 조정이 가능하였고, 1명의 운전원이 채움재 배합 및 혼합, 점도조절제 주입작기, 주입량 조절이 가능하였다.

핵심용어 : 지반침하, 지하공동, 충전재료, 저유동채움재, 자동혼합

1. 서 론

도시지 도로함몰은 대부분 하수관지 등 지하 매설물의 파손, 다짐부족, 시공불량 등의 원인으로 발생하고 있다(Bae et al., 2016). 현재 도시지 도로함몰을 방지하기 위해 도로하부의 공동을 탐사하여 고유동 채움재를 이용한 복구를 수행하고 있으나, 고유동채움재의 높은 유동성을 위한 유입시 공동을 채우지 못하거나, 유입된 채움재에 의한 인근 관로의 폐색 등의 문제가 발생하기도 한다. 이러한 채움재의 유동성을 강하게 억제하고 조밀할 수 있다면 기존에 사용하던 고유동 채움재의 단점을 보완할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 현장에서 보다 쉽게 정확한 배합비로 채움재료를 제조하고, 유동성을 조절할 수 있도록 도시지 지중에 다양한 저유동 채움재로 혼합장치를 개발하고자 하였다.

2. 저유동 채움재로 혼합장치 설계

저유동 채움재로 혼합장치는 도시지라는 작업공간과 대부분 도로보행면 내부라는 제한된 작업시, 저유동 주입재료의 특성에 맞게 설계되었으며, 이를 위해 재료제량 및 혼합의 자동화, 발전기 등과 함께 5톤 트럭에 탑재 가능한 크기, 가능한 많은 재료의 탑재 등이 요구되었다. 재료제량의 자동화를 위해 채움재로는 모드들을 이용하여 제량하도록 하였으며, 혼합되는 유동성을 이용해 제량하도록 하였다. 혼합장치는 연속식 금속 스크류 시스템을 이용하였으며, 밀링 시스템은 자동 제량할 인접으로 수납이 가능하도록 하부에 배열을 설치하였다. 배합비 입력에 따른 자동제량을 위한 순서도도 그림 1에 같다.

1) 김희원 · 한국건설기술연구원 지반안전연구본부 연구위원, E-mail:dae@kict.re.kr - 발표자
2) 김희원 · 공진치자 · 한국건설기술연구원 지반안전연구본부 수석연구원, 공학박사(Corresponding Author) E-mail:dkim@kict.re.kr
3) 한재이무스프라이 대표이사, 공학박사 (E-mail:han1212@empas.com)
4) 한재이무스프라이 대표이사, 공학박사 (E-mail:sunryun@naver.com)

430

제강슬래그를 이용한 지하 공동 충진을 위한 저유동 채움재료 개발

Development of Low Flow Grout for Filling Underground Cavity Using Steel Slag

이대영¹⁾·김동민²⁾·한진규³⁾·류용선⁴⁾

Lee, Dae Young · Kim, Dong Min · Han, Jin Gyu · Ryu, Yong Sun

도시지 지반함몰은 하수관지 등 지하매설물의 파손 및 다짐부족 등의 원인으로 생기는 공동에 의해 발생되며, 현재 제한적으로 고유동 채움재를 이용한 복구를 수행하고 있다. 고유동 채움재를 이용한 복구는 채움재의 유입 및 유실된 채움재로 인한 인근 관로의 폐색 등의 문제로 그 적용이 매우 제한적이다. 이에 따라 채움재의 유입을 방지하면서 폐관이나 지반 내 공동을 효과적으로 채우기 위한 연구를 수행 중이며, 본 연구에서는 폐관 및 지반 내 공동에 최적 충전밀도를 확보하기 위한 저유동 채움재를 개발하고자 하였다. 저유동 채움재는 채움은 용이하면서도 동시에 유동성이 낮아 침하의 유입을 방지하여야 하며, 채움 후 제반된 파가 강고 장기간까지 견디어야 제강슬래그 용이하여야 한다. 본 연구에서는 제강슬래그와 플라이애시를 활용하여 이러한 조건을 만족하면서도, 높은 물-це멘트비를 확보하여 경제적으로 사용할 수 있는 저유동 채움재료를 개발하였다.

핵심용어 : 지반함몰, 지하공동, 충전재료, 제강슬래그, 플라이애시

1. 서 론

최근 사회적 문제로 나타나고 있는 도시지 도로함몰은 대부분 하수관지 등 지하 매설물의 파손, 다짐부족, 시공불량 등의 원인으로 발생하고 있다(Bae et al., 2016). 현재 도로 하부에는 상·하수관, 전기관, 가스관, 통신관 등이 복잡하게 매설되어 있으며, 이러한 각종 유틸리티 파손은 도시의 필수적 기반시설이지만 노후 관로의 손상에 의한 누수, 동결 발생에 따라 지반이 이완되어 파손은 도시의 필수적 기반시설이지만 노후 관로 도로하부의 공동을 발견한 경우, 지반침하를 방지하기 위하여 고유동 채움재를 이용한 복구를 수행하고 있으나, 채움재의 유입 및 유실된 채움재로 인한 인근 관로의 폐색 등의 문제로 그 적용이 매우 제한적이다. 본 연구에서는 유입을 방지하고 최적 충전밀도를 확보하기 위해 각 배합별 입자분포와 압축강도를 측정하여 저유동 채움재를 개발하고자 하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

본 연구에서는 합성알루미늄제이로 이루어진 패턴틀을 사용하여 기존 플라이애시를 제강슬래그 비로만 대체하여 유동성, 압축강도와 입자분포를 측정하였다. 사용한 패턴틀은 C사에서 제작한 분말도 4800mm² 이하의 합성알루미늄제이로 패턴틀을 사용하였고, 플라이애시는 A사와 B종 플라이애시를 사용하였으며, 분말도는 4200mm² 이하였다. 제강슬래그는 B14와 플라이애시를 사용하였으며, 분말도는 3200mm² 이하를 사용하였다. 유동성능은 KSJ511에 따라 비터계 방식으로 측정하였으며, 압축강도는 KSJ210C에 따라 재질 11, 71, 281에 측정하였다. 입자분포를 패이미터를 사용하여 1일 후 탈탈한 공시체의 입자를 기준으로 하여

1) 한국건설기술연구원 지반안전연구본부 연구위원, 공학박사(E-mail:dae@kict.re.kr) - 발표자
2) 김희원 · 공진치자 · 한국건설기술연구원 지반안전연구본부 수석연구원, 공학박사(E-mail:dkim@kict.re.kr)
3) 한재이무스프라이 대표이사, 공학박사 (E-mail:han1212@empas.com)
4) 한재이무스프라이 대표이사, 공학박사 (E-mail:sunryun@naver.com)

1246

토목섬유 튜브 및 유동성 채움재를 이용한 지중폐관 채움 성능 평가

Evaluation of Filling Performance for Closed Pipes using Geotextile Tube and Low Flow Filling Materials

이대영¹⁾·김동민²⁾·한진규³⁾·류용선⁴⁾·박태영⁵⁾

Lee, Dae-Young · Kim, Dong-Min · Han, Jin-Gyu · Ryu, Yong-Sun · Park, Tae-Young

도시지 연구결과로 인한 굴착공사 증가와 하수관로의 같은 지중 시설물의 노후화로 인한 지반함몰 발생이 점차 증가하고 있다. 지반함몰은 다양한 요인에 의해 발생하는데, 노후 지중매설관의 손상이나 굴착공사 등이 주요원인으로 알려져 있다. 그러나 노후 하수관과 같은 지중매설관 밀착 지반침하 위험을 내재하고 있는 것이 절기되지 않고 지중에 매설되어 있는 상·하수도 폐관이다(이대영 등, 2020). 노후 상·하수도관을 교체할 경우 절기비용이 추가로 발생하고 공기가 길어지는 등 여러 가지 문제점으로 인해 교체되지 않고 지중에 매설된 경우가 많다. 매설된 노후 폐관을 그대로 방치할 경우 시간이 경과함에 따라 상부하중 및 지반변형 등으로 인해 균열이 발생하여 침입수가 균열부위로 토사와 함께 침투하게 된다. 이로 인해 관로 주변이 이완되어 공동이 생기기 되고 균열 및 주변 공동이 점차 확대됨으로 관의 변형으로 인해 물자가 발생하게 된다(Water Environment Federation, 2009). 지중 폐관으로 인해 발생하는 지하공동 및 심각한 지반침하 문제가 제기됨에 따라 복구를 중심으로 폐기된 관로를 신속히 복구할 수 있고, 유지관리가 용이한 유동성 채움재를 이용한 연구가 진행되고 있다. 일본에서는 유동성 처리토 이용자를 매설을 통해 지하구조물 외배출, 소규모 공동, 폐관내부복합, 매설관 외배출 등 구조물을 유동성 채움재의 분진 기준을 제시하였다(Mizuguchi 등, 2004). 지중에 매설된 노후관로의 경우 균열, 파손 등으로 인해 채움재가 유입되거나 관로내부에 토사 등이 퇴적물로 인한 폐관충진의 어려움이 발생한다. 따라서 노후 폐관 충진을 위해서는 관로 손상부위의 충전제 유입방지 및 유동성 채움재의 충전용 회복을 위한 시공법이 필요하다. 본 연구에서는 지중에 묻혀있는 노후 하수관로와 같은 지중매설의 채움공법에 적용하기 위해 토목섬유 튜브와 유동성 채움재를 이용하여 하수관로 채움 현장시험을 수행하였다.

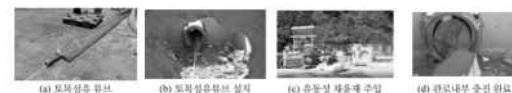
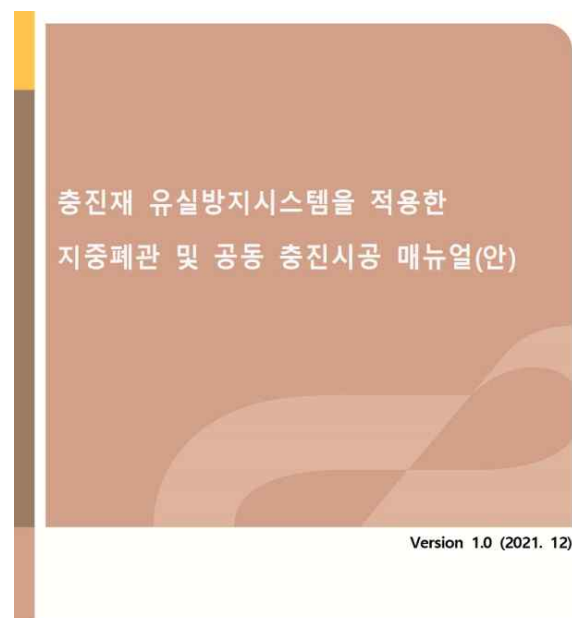
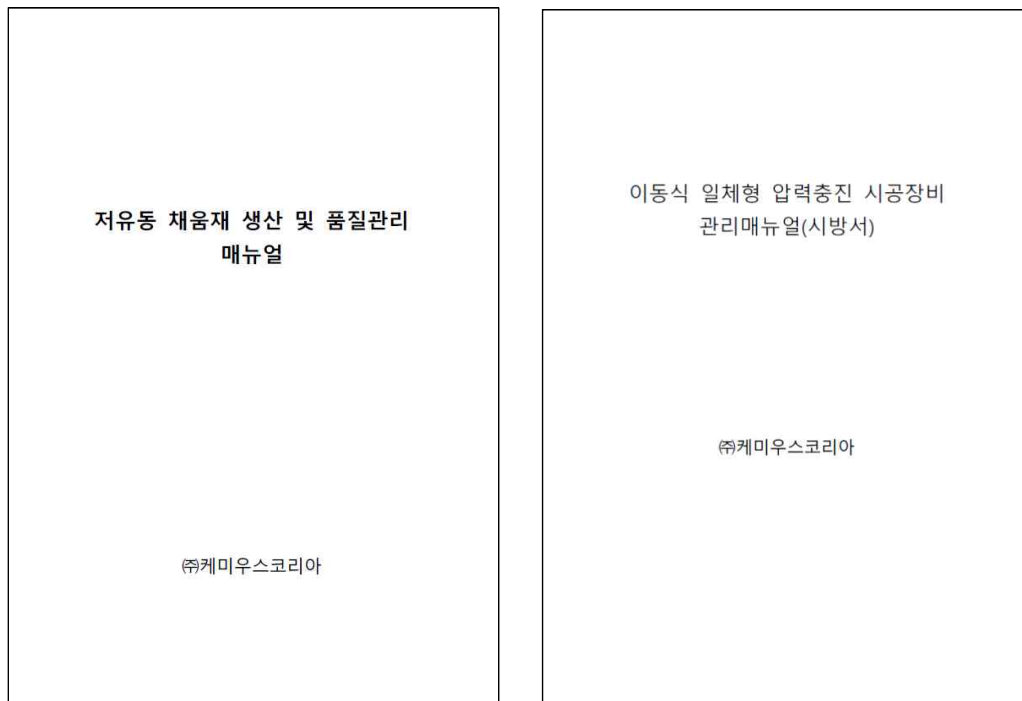


그림 1. 토목섬유 튜브를 이용한 관로내부 충전 시험

손상된 관로 내부 채움재의 유입을 방지하기 위해 토목섬유 튜브를 제작하였으며, 저유동 채움재를 관로내부에 설치된 토목섬유 튜브에 주입한 후 채움재의 채움성능과 토목섬유 튜브의 성능을 평가하였다. 본 연구에 사용된 토목섬유는 실내시험을 통해 무수제, 인장강도를 평가하여 선정한 직포형 지오텀라일 제품을 사용하였다. 토목섬유 튜브내부 채움재료는 배관 경화속도, 잘라 강도 역제 가능하도록 알칼리수산화나트륨이 이루어진 패턴

1) 정희원 · 한국건설기술연구원 지반연구본부 연구위원(dyeon@kict.re.kr)
2) 정희원 · 한국건설기술연구원 지반연구본부 연구위원(dnkim@kict.re.kr)
3) 정희원 · 한재이무스프라이(주) 기술연구소장(han1212@empas.com)
4) 정희원 · 한재이무스프라이(주) 대표이사(sunryun@naver.com)
5) 정희원 · 대한이엔지니어링(주) 기술연구소장(tpk@goosko.com)

○ 매뉴얼 3건



○ 시제품 3건

- 이동식 일체형 압력주입 시공장비
- 토목섬유튜브
- 압력커튼



[이동식 일체형 압력주입 시공장비]



[압력커튼]



[토목섬유 튜브]

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

☐ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율

☐ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국지반신소재 학회 가을학술발표회	폐관충진용 채움재를 이용한 터널 충전 현장적용	이대영, 유용선, 한진	2019-10-11		대한민국
2	2020 대한토목학회 정기학술대회	충전재 유실방지 시스템 개발을 위한 토목섬유 재료 선정	김동민, 이대영, 유용선, 한진규	2020-10-22		대한민국
3	2020 대한토목학회 정기학술대회	도심지 기반침하 예방을 위한 지중폐관 충진기술 개발	이대영, 김동민, 유용선, 한진규	2020-10-22		대한민국
4	2020 대한토목학회 정기학술대회	제강슬래그를 이용한 지하공동 충진을 위한 저유동 채움재료 개발	이대영, 김동민, 유용선, 한진규	2020-10-22		대한민국
5	대한토목학회 2021년 CONVENTION	지하 공동 충진을 위한 저유동 채움재료 혼합장치 개발	이대영, 김동민, 유용선, 한진규	2021-10-21		대한민국
6	한국지반신소재 학회 가을학술발표회	토목섬유 튜브 및 유동성 채움재를 이용한 지중폐관 채움 성능 평가	이대영, 김동민, 한진규, 유용선, 박태영	2021-11-18		대한민국

☐ 기술 요약 정보

번호	연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용 여부	허용방식

☐ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호

☐ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

☐ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	저유동충진재를 이용한 도로하부 공동충진 방법	대한민국	(주)케미우스코리아	2019.11.12	10-2019-0144265	(주)케미우스코리아	2021.8.10	10-2290064	100	√
2	특허	지중폐관 및 공동충진 방법	대한민국	(주)케미우스코리아	2020.11.20	10-2020-0156421				100	√
3	특허	복수날개 압력커튼 및 이를 이용한 지중구조물 속채움 방법	대한민국	한국건설기술연구원	2021.12.17	10-2021-0181794				100	√

☐ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타

☐ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율

☐ 신기술 지정

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

☐ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

☐ 표준화

☐ 국내표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

☐ 국제표준

번호	표준화단계 구분	표준명	표준기구명	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	이동식 일체형 압력주입 시공장비	2020.08	(주)케미우스코 리아	이동식	저유동채움재 시공	2년		
2	토목섬유튜브	2020.11	한국건설기술 연구원	자재	폐관충진 시공	2년		
3	압력커튼	2020.11	한국건설기술 연구원	자재	폐관충진 시공	2년		

□ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)
1	저유동 채움재 공동채움	2021.12.	광진구청 치수과	(주)케미우스코리아	구의동

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)

□ 사업화 투자실적

번호	연도	투자 자금 성격*	추가 연구개발 투자(천원)	설비 투자(천원)	기타 투자(천원)	합계(천원)

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

□ 매출 실적(누적)

번호	사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
			국내(천원)	국외(달러)		
합계						

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
		국외			
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획					
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수출				

□ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			2020년	2021년	
1	저유동 채움재	(주)케미우스코리아	1	1	2
2	공동충진 시공	(주)케미우스코리아		4	4
합계			1	5	6

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	4
		생산인력	4(시공팀)
	개발 후	연구인력	5
		생산인력	8(시공팀)

□ 비용 절감(누적)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수, 명)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

□ 기술 무역

(단위 : 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	총 계약액	기 징수액	해당 연도	징수액	향후 예정액	수출/수입

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구 분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

□ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타

□ 산업 기술 인력 양성

번호	연도	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

☐ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)

☐ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

☐ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일

☐ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

☐ 연구시설·장비

번호	구축 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

[그 밖의 성과](해당 시 작성)

○
-
○
-

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성)

-
-
-
-

2) 목표 달성 수준

연구개발목표	달성내용	달성도(%)
○ 지중폐관 및 공동 충전용 저유동 충전재 개발, 실물 테스트를 통한 성능 평가	○ 저유동 채움재 개발 및 현장적용 완료 - 목표물성 달성 및 환경성 검토완료 - 시험시공에서 성공적으로 적용	100
○ 지중폐관 특성 고려 토목섬유튜브 및 압력커튼 최적설계, 시제품 제작	○ 지중폐관 충전용 토목섬유튜브와 압력커튼 제작 완료 - 개념설계 및 시제품 제작 완료 - TEST-BED 적용 완료	100
○ 현장시험시공을 통한 개발 충전공법 적용성 및 시공성 평가	○ 실물시험/TEST-BED/현장적용 시험시공 완료 - 시험시공 결과, 시공성 및 안정성 확인	100
○ 도심지 시험시공을 통한 개발기술 검증	○ 도심지 6개소에 대한 시험시공 완료 - 저유동 채움재 및 시공장비 검증 완료	100
○ 지중폐관 충전 시공기술 매뉴얼 (안) 제안	○ 매뉴얼 도출 완료 - 지중폐관 및 공동 충전 시공에 대한 매뉴얼 도출 완료	100

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

- 특허등록 목표 중 2건의 등록을 심사기간이 길어짐에 따라 연구기간 내에 달성하지 못함
- SCI 논문 게재와 관련하여, 사업화에 중점을 둔 본 과제의 성격에 따라, 연구결과를 학술적 성과를 발표하는 SCI급 학술지에 기간 내에 2건 게재하지 못함

2) 자체 보완활동

- 특허등록 관련 특허심사관의 의견이 나오면, 적극 대응할 예정임
 - 심사중인 특허는 심사 후 등록이 이루어질 것으로 보이며, 특허심사관의 의견에 적극 대응할 예정임
 - 심사중인 특허 중 1건은 2022년 상반기에 등록되어질 것으로 판단되며, 나머지 1건은 2022년 하반기~2023년 상반기에 등록이 가능할 것으로 판단됨
- 폐관 내 충전율과 도로함몰 간의 상관관계를 수치해석을 통해 분석하였고, 이를 2022년도 논문으로 학술지에 게재할 예정임

3) 연구개발 과정의 성실성

-
-
-
-

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 기존 고비용 굴착 폐기에 새로운 대안 제시
 - 서울시 및 지방 대도시 지중폐관을 대상으로 개발된 충전재료 및 시공기술의 적용이 가능함
- 기존 친환경 복구공법의 한계 극복
 - 기존의 고유동 채움재의 시공이 불가능하였던 지중공동에 대해 성공적으로 현장 시험시공을 수행함. 또한 폐상하수도관 뿐만 아니라 전국 온천 개발지역에 매설되어있는 폐온천수 공급관의 충전에도 적용이 가능할 것으로 생각됨
- 새로운 시장 개척
 - 연구과제를 통해 개발된 기술을 현장에 적용하여 적극적으로 사업화를 진행할 예정임 특히 기존의 고유동 채움재로 복구가 불가능하였던 지중공동을 저유동 채움재로 성공적으로 복구함으로써, 빠른 시일 내에 본격적인 사업화가 가능할 것으로 기대됨

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

- 서울시 및 지방 대도시 지중폐관을 대상으로 개발 충전재료 및 시공기술의 적용 가능
- 도심지에 매설되어 있는 폐상하수도관 뿐만 아니라 전국 온천 개발지역에 대규모 매설되어 있는 폐온천수 공급관의 충전에도 적용 가능
- 토목섬유튜브와 저유동 충전재 활용을 통해 토목섬유 등 지반재료 중소기업의 신 산업 창출과 매출증대 예상
- 최종성과물의 주요수요처는 지자체 상·하수도 관리부서, 한국환경공단, 공사 등 정부기관으로 해당기관을 대상으로 현장적용
- 사업화 계획
 - 본 연구의 대표적인 성과물을 사업화하여 도심지 지반함몰로 인한 국민의 불안감 해소와 동시에 투자된 연구비를 회수하고, 관련 분야 건설시장 활성화에 기여

사업화 대상 (최종성과물)	수요처	사업화 계획 개요
하수관로 충전용 토목섬유튜브, 채움재, 시공장비 시공기술매뉴얼	시공사, 재료관련 기업	- 시공재료 및 시공법 기술이전을 통한 실용화 추진 - 지자체 폐관충진 및 공동채움 사업에 참여

7. 보완연구 필요사항

- 저유동 채움재 관련 보완연구가 필요한 것으로 나타남
 - 외부온도와 같은 계절적 요인에 따른 저유동 채움재의 물성변화
 - 증점제 주입위치 및 주입관 길이에 따른 저유동 채움재의 물성변화
 - 사업화 진행을 위해 자체적으로 보완연구를 진행할 예정임
-

8. 참고 문헌

1. 서울특별시 도로관리과 (2015), 서울시 도로함몰 관리정책과 대응 매뉴얼
2. 서울시(2017), 2016 도로관리 기술 백서
3. 기술표준원, KS F 4041, 시멘트계 자기 수평 모르타르, 2009.
4. 국토교통부(2020), 지반함몰 발생 및 피해저감을 위한 지반 안정성평가 및 굴착·보강 기술 개발 최종보고서
4. 이대영, 김동민, 유용선, 최연우, 최현 (2016), “도로함몰 방지를 위한 유동성 채움재 공동충진 현장적용성 평가”, 2016 대한토목학회 학술발표회, pp. 81-82.
5. 이대영(2018), CLSM(Controlled Low-Strength Material)의 주요 현황과 적용범위, 한국건설순환자원학회지, pp. 10-14.
6. 이대영, 김동민, 유용선, 한진규 (2015), “도로함몰 저감을 위한 하수관로 뒤채움재 개발 및 현장적용성 평가”, 한국토목섬유학회논문집, 제 14권 4호. pp. 147-158.
7. 이대영, 김동민, 유용선 (2017), “숙경성 채움재를 이용한 도로하부 공동충진기술 현장 평가”, 2017 지반공학회 가을학술발표회, pp. 162-163.
8. 이소현, 윤환희, 손민, 공진영, 정혁상 (2018), 저회와 석고를 이용한 지반함몰 긴급복구용 고유동성 채움재 연구, 한국지반신소재학회논문집, 제 17권 2호, pp. 19-31.
9. 환경부 (2016), 하수관거등 환경시설의 누수방지 소재 및 적용기술 개발, 환경부 환경산업선진화기술개발사업 최종보고서,
10. 한진규, 유용선, 김동욱, 박정준, 홍기권 (2017), “지반공동 긴급복구 재료의 팽창 및 강도특성에 관한 연구”, 한국지반신소재학회논문집, 제 16권 제 2호 , pp. 131-138
11. 유용선, 한진규(2018), 플라이애쉬를 재활용한 도로함몰 채움재로의 CLSM의 개발 및 적용, 한국건설순환자원학회, pp. 163~167.
12. 김진만, 최선미, 김지호 (2012), 다양한 철강제조공정에서 부산되는 전기로 환원슬래그의 급경성 무기결합재료의 적용성 검토, 한국건설순환자원학회 논문집, 제18호, pp.70~77.
13. 배윤신, 신상영, 원종석, 이대흥, '서울시 도로함몰의 실태와 안전관리 개선방안', 서울연구원 정책연구보고서, 2016.
14. American Concrete Institute(ACI) (2005), Controlled Low-Strength Materials Reported by ACI Committee 229.
15. Application of CLSM in Japan, Concrete Journal, vol.42, No. 10, 2004
16. Bland, A.E., Market Assessment and Demonstration of Lignite FBC Ash Flowable Fill Applications, Final Report(WRI-03-R014), North Dakota Industrial Commission, Montana-Dakota Utilities and U. S. Department of Energy, 1-76(2003).
17. Puppala, A. J., Chittoori, B. and Raavi, A. (2014), Flowability and density characteristics of controlled low-strength material using native high-plasticity clay, J. of Materials in Civil Engineering, Vol. 27, No. 1, pp. 1~6.
18. Swan, C., Topping, G., and Kashi, M.G.(2007). “Flowable Fills Developed with High Volumes of Fly Ash”, 2007 World Coal Ash.
19. TRB (2008), Development of a Recommended Practice for Use of Controlled Low-Strength Material in Highway Construction, NCHRP Report 597. pp.110- 125

< 별첨 >

별첨 자료

1. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료
2. 세부 정량적 연구개발성과 증빙자료(총 연구개발기간 성과점검기준표 실적 증빙자료에 기 포함되어 있는 증빙자료 제외)

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘국토교통기술촉진연구사업’ 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.