

터널 지보재 일체화를 위한 슛크리트용
Hyper 섬유 그물망 지보재 기술 개발 최종보고서
2019

국토교통과학기술진흥원
국토교통부

터널 지보재 일체화를 위한 슛크리트용 Hyper 섬유 그물망 지보재 기술 개발 최종보고서

2020. 03. 06

주관연구기관 / 중앙대학교 산학협력단
공동연구기관 / (재)한국건설생활환경시험연구원
/ (주)에스엠테크텍스
참 여 기 관 / (주)보강테크

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

'터널 지보재 일체화를 위한 숏크리트용 Hyper 섬유 그물망 지보재 기술 개발'(연구개발 기간 : 2016. 09. 29. ~ 2019. 12. 31.) 과제의 최종보고서 2부를 제출합니다.

2020. 03. 06.

주관연구기관명 : 중앙대학교 산학협력단
공동연구기관명 : (재)한국건설생활환경시험연구원
: (주)에스엠테크텍스
참여기관명 : (주)보강테크

(대표자) 김 원 용 (인)
(대표자) 윤 갑 석 (인)
(대표자) 정 길 성 (인)
(대표자) 장 기 수 (인)



주관연구기관책임자: 최 성 철
공동연구기관책임자: 김 경 민
: 정 길 성
참여기관책임자: 장 기 수

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	19SCIP-C120 795-04	해당 단계 연구 기간	2019.01.31. ~ 2019.12.31.	단계구분	(4단계) / (4단계)
연구사업명	중사업명	건설기술연구사업			
	세부사업명	-			
연구과제명	대과제명	터널 지보재 일체화를 위한 슛크리트용 Hyper 섬유 그물망 지보재 기술 개발			
	세부과제명	-			
연구책임자	최 성 철	해당단계 참여연구원 수	총: 17명 내부: 17명 외부: 00명	해당단계 연구비	정부:355,000천원 민간:126,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:481,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 83명 내부: 83명 외부: 00명	총 연구비	정부:1,431,000천원 민간: 518,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:1,949,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	중앙대학교 산학협력단/ (재)한국건설생활환경시험연구원/ (주)에스엠테크텍스/ (주)보강테크			참여기업명 (주)에스엠테크텍스/ (주)보강테크	
국제공동연구	상대국명: (해당없음)			상대국 연구기관명: (해당없음)	
위탁연구	연구기관명: (해당없음)			연구책임자: (해당없음)	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반과제(공개)
	본 연구개발사업은 [국토교통부소관 연구개발사업 운영규정] 제 7장 연구개발사업의 보완 및 정보관리 제 47조의 4 (보완 등급 분류기준)에 명시된 보안등급 분류에 따라 일반과제로 분류됨.

9대 성과 등록 · 기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-

- Hyper 섬유 그물망-고성능 슛크리트-락볼트 일체화 터널 지보 시스템 개발
- Hyper 섬유 그물망 보강 슛크리트 휨강도/휨인성계수 ➡ 7.23 MPa / 3.69 MPa
- 고성능 슛크리트 압축강도/부착강도/리바운드율 ➡ 28.2 MPa / 1.5 MPa / 7.1%
- 터널 지보용 섬유 그물망 인장강도/내화확성 ➡ 158.2 kN/m / 92.1%
- 일체형 지보시스템 시공지침(안)/경제성 분석 보고서/품질기준(안) 도출
- 슛크리트 품질기준(안)/터널 지보용 섬유 그물망 생산 기법 보고서 도출

보고서 면수
109페이지

〈국문요약문〉

연구개발 목표	Hyper 섬유 그물망 제조 기술을 활용한 숏크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보재 기술 개발 및 실용화					
연구개발 내용	[핵심기술 1] 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 개발 ○ Hyper 섬유 활용 일체형 섬유 그물망 제조 기술 - 터널 지보용 섬유 그물망 요구성능 도출(인장 강도, 탄성계수 및 내화학적 등) - 성능 향상(tensile, bond)을 위한 텍스처 디자인 및 표면처리 기술 개발 - 섬유 종류, 형상 및 직조방식에 따른 그물망 제조 기술 개발 ○ Hyper 섬유 그물망 생산기술 및 품질기준(안) 개발 [핵심기술 2] 섬유 그물망 지보재용 숏크리트 개발 ○ 섬유 그물망용 숏크리트 개발 - 요구성능 도출 및 숏크리트 최적 배합 개발 ○ 부착력 향상 고성능 숏크리트 개발 - 섬유 그물망 활용 숏크리트 부착력 및 인성(toughness) 평가 [핵심기술 3] 시공성 향상을 위한 일체형 지보시스템 및 시공기술 개발 ○ 시공효율 향상 일체형 지보시스템 요소기술 개발 - 시공성 향상 일체형 강지보재, 락볼트, 섬유 그물망 연결 시스템 개발 - 합리적 시공절차 및 정착 시스템 개발 ○ 터널 지보용 섬유 그물망 지보재 설계 및 종합 성능평가 - 현장적용성 평가를 통한 시공성 및 안전성 확보 ○ 경제성 검토 및 시공기준(안) 개발					
연구개발성과	○ Hyper 섬유 그물망 숏크리트 일체형 지보재 - 인장강도: 강섬유 보강 숏크리트 대비 30% 향상, 휨인성계수: 75% 이상 ○ 고부착 섬유그물망(부착 효율 20% 향상) ○ 시공성 향상 일체형 터널 지보재 시공법 ○ 일체형 섬유그물망 숏크리트 종합 평가기법 및 현장적용성 평가 ○ 일체형 섬유그물망 지보재 및 숏크리트 품질·시공 기준(안) ○ 경제성 분석 보고서					
활용계획 및 기대효과	[활용방안] ○ 터널뿐만 아니라 도로 및 사면 보강재 등 다양한 분야에 적용 ○ 그물망 지보재 대량생산 기술이전 등을 통하여 제품의 상용화 및 사업 확대 ○ 콘크리트 구조물의 내진 보강 등 보수보강 재료로의 활용 증대 [기대효과] ○ 강섬유 보강 숏크리트 대비 인장성능 향상에 따른 유지관리비용 절감 ○ 경량 고성능 섬유 그물망 활용을 통한 터널 지보 시공 효율 향상에 따른 공사비 절감 - 시공성 향상, 재료비 절감 ○ 건설폐기물 저감에 따른 환경비용 절감 ○ 숏크리트 시공성 및 타설장비의 내구성 향상에 따른 시공효율 증대 ○ 신기술 정립에 따른 유럽 등 해외에 강섬유 시장 개척을 통한 수출증대 ○ 터널 구조물의 안전성 향상을 통한 국민의 삶의 질 향상					
핵심어(5개 이내)	숏크리트	섬유 그물망	터널 지보재	일체화	균열제어	

〈Summary〉

Purpose	Development of integrated shotcrete fiber-net tunnel support system using hyper fiber-net				
Contents	[Core technology 1] Development of hyper fiber-net for tunnel support ○ Manufacturing technique of integrated hyper fiber-net - Required performance of fiber-net for tunnel support (tensile strength, elongation, crack control etc.) - Texture design and surface treatment of fiber-net for improving bonding between shotcrete and fiber-net - Manufacturing technique of fiber-net considering type, shape and weaving method of fiber including geogrid ○ Guideline of integrated fiber-net manufacturing technique and quality control [Core technology 2] Development of shotcrete for fiber-net support ○ Development of shotcrete for fiber-net support - Required performance and optimum mixture proportion of shotcrete ○ Development of innovative high performance shotcrete with improved bonding [Core technology 3] Development of integrated tunnel support system and construction method with efficient constructability ○ Development of technical element in integrated support system - Integrated tunnel support system including steel rib, rock bolt and fiber-net - Practical construction procedure and anchoring system ○ Design of fiber-net for tunnel support and comprehensive performance evaluation of developed system - Securing of constructability and safety via field testing ○ Evaluation of economic feasibility and guideline of construction method				
Development Results	○ Hyper fiber-net for tunnel support - tensile strength increase more than 30% relative to fiber reinforced shotcrete and flexural toughness factor more than 75% ○ Fiber-net with high bonding between shotcrete and fiber-net ○ Integrated tunnel support system with efficient constructability ○ Evaluation method of integrated fiber-net shotcrete and field testing ○ Guideline of construction and quality control of integrated fiber-net tunnel support system ○ Economic feasibility analysis report				
Expected Contribution	[Application plan] ○ Combination of fiber-net with other types of materials to enlarge application range ○ Commercialization of fiber-net manufacturing technology through technology transfer ○ Extension of application to other types of structures including slope reinforcement in highway [Expected effect] ○ Decrease in maintenance cost relative to steel-fiber reinforced shotcrete ○ Improvement of constructability and cost cutting ○ Reduction of construction wastes due to prevention of rebounded steel-fiber ○ Improvement of construction efficiency due to enhancement in shotcrete constructability and durability of shotcrete machine ○ New market exploitation and increase in export ○ Improvement of quality of life by enhancing tunnel safety				
Keywords	Shotcrete	Fiber-net	Tunnel support	Integration	Crack control

목 차

1. 연구개발과제의 개요	1
1-1. 연구개발 목적	1
1-2. 연구개발 필요성	4
1-3. 연구개발 내용	7
2. 연구수행내용 및 성과	22
2-1. 연구개발 핵심성과	22
2-2. 연구개발 주요내용	24
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	95
3-1. 목표 달성도	95
3-2. 관련 분야 기여도	98
4. 연구개발성과의 활용 계획	100
4-1. 연구결과의 활용방안	100
4-2. 양적 성과 활용방안	103
5. 연구개발성과의 보안등급	104
6. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황	105
7. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	106

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발 목적

“Hyper 섬유 그물망 제조 기술을 활용한

췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보재 기술 개발 및 실용화”

본 과제는 터널 보강을 위한 기존의 와이어메쉬/췁크리트, 강섬유 췁크리트 시스템의 단점을 극복하고, 시공성과 성능을 향상시켜 최종적으로 터널의 안전성을 확보하기 위한 “일체형 췁크리트용 섬유 그물망 지보재 개발”을 목표로 하고 있음.

[Key Element Technologies]

1. 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 기술
2. 섬유 그물망 지보재용 고부착 췁크리트 기술
3. 시공성 향상을 위한 일체형 지보시스템 및 시공기술

● 연구개발 정의 및 핵심기술

□ [정의] 터널 지보재 일체형 췁크리트용 섬유 그물망을 활용한 지보재 기술

□ [핵심기술]

• 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 기술

- 강섬유 보강 췁크리트 대비 인장강도 30% 향상, 휨인성계수 75% 이상
- 부착력 향상을 위한 표면처리 기술

• 섬유 그물망 지보재용 고부착 췁크리트 기술

- 췁크리트 부착강도 1.3MPa 이상 제조 기술 확보
- 섬유 그물망 활용 췁크리트 부착력 및 인성(toughness) 평가방법 확립

• 시공성 향상을 위한 일체형 지보시스템 및 시공기술

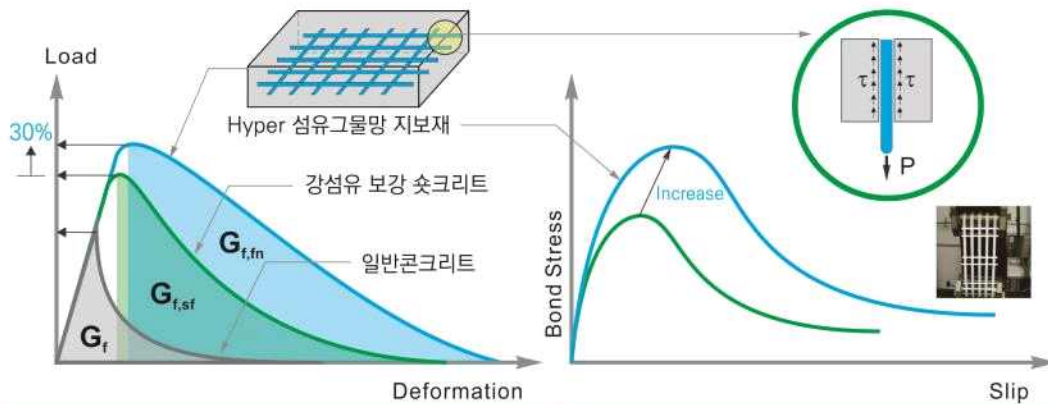
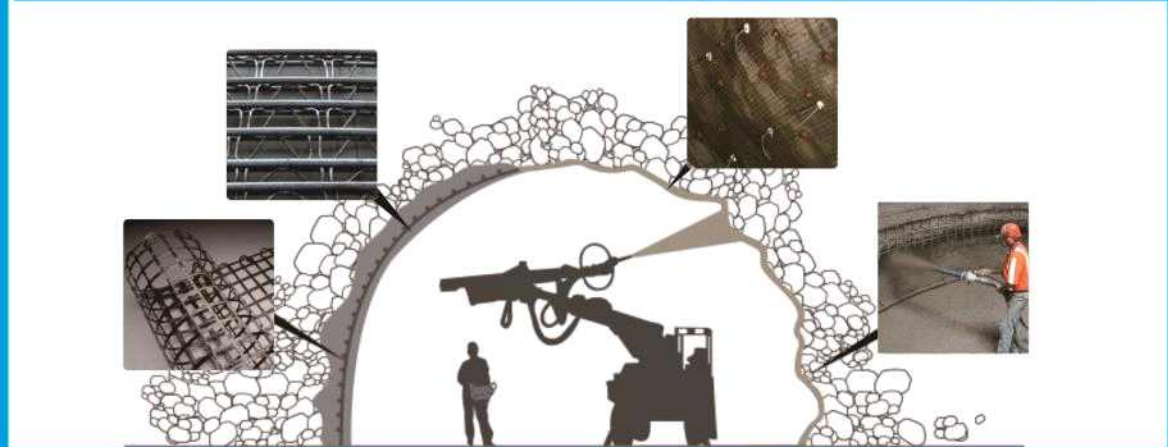
- 강지보재, 락볼트, 섬유 그물망 연결 시스템 기술, 정착기구 포함



그림 1-1. 연구개발 개요

터널지보 일체화를 위한 췁크리트용 Hyper 섬유 그물망 지보재

연구 기술목표



Hyper 섬유 그물망 (Fiber-net)

섬유 종류	직조특성	인장강도
HTPES		30% 향상
아라미드섬유		고성능 섬유그물망
탄소섬유		표면처리기술 부착력 향상

경량 / 고성능 → 시공성 향상 / 재료비 절감

시공비 10%이상 절감

섬유그물망-췁크리트 부착성능 향상

췁크리트	섬유 표면처리	휨인성계수
폴리머계 PCM		75%
고부착 MPC		고성능 췁크리트
프라이머		부착강도 1.3MPa

고부착 / 다기능 → 환경문제 해결 / 내구성 향상

장기적인 내구성 및 균열 저항성 향상

→ Internal curing and self-healing effect

경제성과 시공성이 확보된 친환경적인 터널 지보 공법 개발

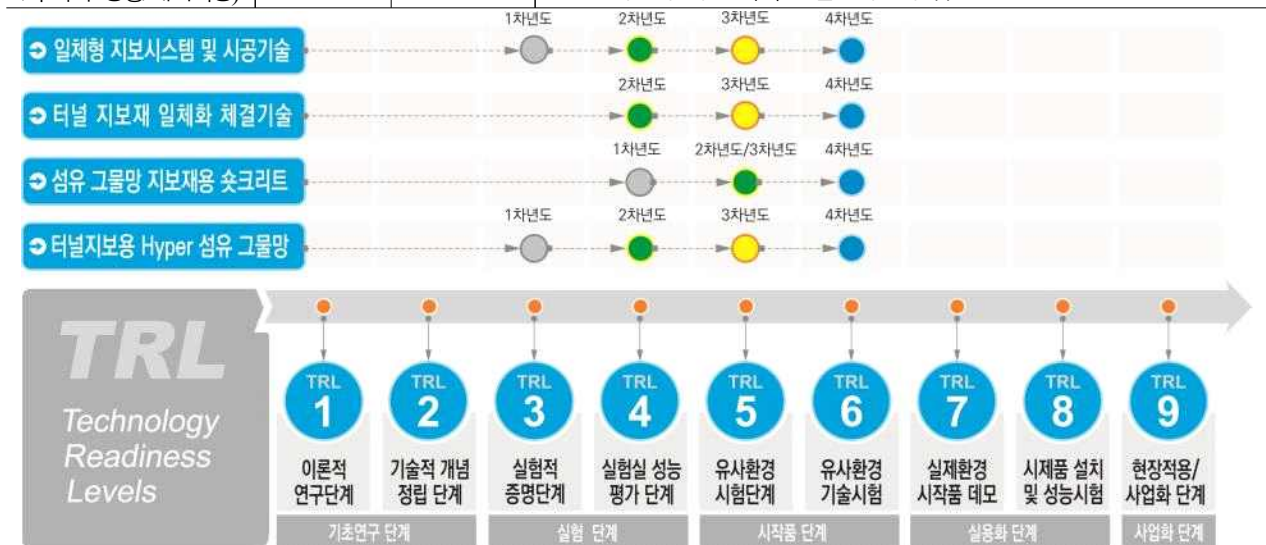
그림 1-2. 연구개발 기술목표

● 연구개발 단계

- 본 연구과제인 “터널 지보재 일체화를 위한 숏크리트용 Hyper 섬유 그물망을 활용한 지보재 기술 개발”에서는 재료·자재 및 공법·기법 유형의 기술 개발을 목표로 하고 있음.
- 목표 TRL은 연차별(1차년도-3, 2차년도-4, 3차년도-5, 4차년도-6)로 다르며 본 연구의 최종 성과물은 최종 환경과 유사 상태에서 개발 재료 및 자재에 대한 성능시험을 포함함.

표 1-1. 기술개발 성숙도

최종성과물	기술성숙도		설정근거
	유형	단계	
시공성 향상을 위한 일체형 지보시스템 및 시공기술 개발 (인장강도 및 휨인성계수/시공성 향상)	공법 · 기법	TRL-6	- Hyper 섬유 그물망 및 숏크리트 일체화 기술 신뢰성 평가 → 개발된 요소기술의 일체화 시스템 개발에 대한 타당성 검증. → 일체화 시스템에 대한 현장 시공성을 평가. - 개발 기술이 실제 시공 현장에서 구현시키기 위한 운영 시스템/환경 모사 → 개발된 기술을 토대로 요구조건에 부합하는 운영 시스템/환경 모사를 통해 실 환경조건 하에 시험 수행 → 다양한 실내 실험 결과를 바탕으로 개발 기술의 신뢰성 향상 → 최종 운영 환경하에서 기존 터널 지보시스템과 개발 기술간의 현장적용성 평가를 통해 시공성 및 안전성 확보 여부를 판단하여 개발 기술이 실제 현장에서 구현될 수 있도록 하고자 함.
터널 지보재 일체화 체결 기술 (시공성 향상)	재료 · 자재	TRL-6	- 유사 환경에서 개발 재료의 신뢰성 평가 → 강지보재, 락볼트, 섬유 그물망 기반 일체형 지보시스템의 시공성 향상에 대한 기술검증 → 시공절차 및 정착 시스템의 타당성 검증 → 개발된 요소기술에 대한 특허를 출원하고자 함.
섬유 그물망 지보재용 숏크리트 (섬유 부착력 향상 /시공성 향상)	재료 · 자재	TRL-6	- 최종 환경과 유사 상태에서 개발 재료의 성능 시험 → 개발된 숏크리트의 섬유 부착력 성능 시험 수행 → 터널내 타설시 요구되는 숏크리트의 소요강도, 내구성, 수밀성, 품질 변동률 등에 대한 성능 평가 - 실험실 규모의 테스트 결과 및 실험실과 최종 운영 시스템/환경과의 차이점에 관한 분석을 포함 → 실험실 환경에서 확보된 요소기술을 토대로 섬유 그물망 지보재 적용 가능 숏크리트 개발을 통해 최종 유사 환경하에서의 시공성을 향상시키고자 함. → 개발 기술의 정확도 및 신뢰도를 유사환경하에서 향상시키고자 함.
터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 (인장강도 및 탄성계수 /부착력 향상/내화학성)	재료 · 자재	TRL-6	- 최종 환경과 유사 상태에서 개발 재료의 성능 시험 → 개발된 섬유 그물망 지보재의 인장강도 성능 시험 수행 → 터널 지보재로서 필요한 내구성 시험 수행 → 개발된 요소기술을 통해 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 제조에 대한 특허를 출원하고자 함.



1-2. 연구개발 필요성

“기존 췁크리트용 터널 지보재의 문제점을 개선한 친환경적인 기술 개발 시급”

→ 환경오염 및 공사비 절감이 가능하며, 시공성이 높은 고성능 췁크리트 지보재 기술 개발이 필요한 상황임.

- 터널 지보시스템의 일체화는 강지보재, 췁크리트, 락볼트 등의 거동을 연속화하여, 균열 제어 및 터널의 안전성 향상에 큰 이점이 있으며, 시공효율 향상에 의한 경제적 파급효과가 상당히 큼.
- 기존 터널 지보재는 시공 후 췁크리트 탈락에 의한 공사비용 증가, 환경오염 발생이 발생하며, 또한 강섬유 뿜힘에 의한 요구 인장성능 확보에 한계가 있음.

□ 기존 터널 지보재 시공의 경우, 췁크리트 탈락에 의한 환경오염 문제 발생

- 강섬유 보강 췁크리트는 사면 및 터널 보강용으로 가장 많이 사용되고 있으며, 굴착 단면 형상의 영향이 적고 지반에 밀착 시공이 가능하고 다른 재료에 비해 최단시간에 시공이 가능하기 때문에 다양한 현장에서 사용함.
- 하지만, 벽체에 뿜어 붙이는 공법으로 리바운드(rebound)가 발생하게 되어, 강섬유(steel fiber)가 암버력과 같이 배출되기 때문에 환경적인 문제를 발생시킴.

□ 대형 도로공사 현장에서 터널 굴착과정 초기부터 건설폐기물로 처리되어야 할 췁크리트를 발파암에 혼입해 현장 내 성토재료 사용되고 있어, 2차 오염 및 부실 시공이 우려되고 있음.

- 장기적 측면에서 췁크리트가 포함된 발파암을 성토재, 쇄석골재, 레미콘 공장에서 사용할 경우, 췁크리트내에 포함된 강섬유는 부식되어 도로 침하, 균열 등의 안전성 문제를 야기할 수 있음.

ISSUE
강섬유 보강 췁크리트의 환경오염 문제 발생

기존 췁크리트용 터널 지보재의 문제점을 해결할 수 있는 친환경적인 터널 지보시스템 필요

[현장고발] 췁크리트 폐기물 부적절 처리 '오염부실사공' 우려...광명 간 고속도로 4공구, 발파암에 췁크리트 혼입해 성토재료 사용

▲발파암에 췁크리트 혼합물을 섞어 버리는 모습. 부적절한 처리가 되고 있다.

다행으로 공사 현장에서 터널 굴착과정 초기부터 건설폐기물로 처리해야 할 췁크리트를 발파암에 혼입해 현장 내 성토재료 사용하고 있어 안전사고 및 부실시공이 우려된다는 주장이 제기된 바 있다.

협성종합건설 제2영동고속도로 현장, 췁크리트 관리 신경 써야 할 듯

▲발파암에 췁크리트 혼합물을 섞어 버리는 모습. 부적절한 처리가 되고 있다.

다행으로 공사 현장에서 터널 굴착과정 초기부터 건설폐기물로 처리해야 할 췁크리트를 발파암에 혼입해 현장 내 성토재료 사용하고 있어 안전사고 및 부실시공이 우려된다는 주장이 제기된 바 있다.

부식된 철재 강섬유가 함유된 췁크리트

▲발파암에 췁크리트 혼합물을 섞어 버리는 모습. 부적절한 처리가 되고 있다.

다행으로 공사 현장에서 터널 굴착과정 초기부터 건설폐기물로 처리해야 할 췁크리트를 발파암에 혼입해 현장 내 성토재료 사용하고 있어 안전사고 및 부실시공이 우려된다는 주장이 제기된 바 있다.

강섬유 배출 방지 / 리바운드 문제 해결을 위한 새로운 터널 지보 시스템 시급

그림 1-3. 기존 터널 지보재의 환경문제

- 기존에 일반적으로 사용되고 있는 **강섬유 보강 shot크리트를 이용한 시공방법은, 강지보재 및 락볼트와 shot크리트 사이 일체화에 한계**가 있음.
- 터널 shot크리트에는 다양한 종류의 균열이 발생하고 있으며 종방향 균열 및 횡방향 균열이 대부분을 차지하고 있음. 이러한 균열은 여러 가지 복합적인 원인에 의하여 발생하며 **구조적 하중 뿐 만 아니라 온도 및 건조수축 등으로 인한 비구조적 하중에 의하여 발생하는 경우도 있으며 이를 제어하기 위해 강섬유/와이어 메쉬를 사용하고 있음.**
- 기존의 강섬유/와이어 메쉬를 대체하여 **Hyper 섬유 그물망**을 사용할 경우 강지보재 및 락볼트와의 일체화 거동을 통해 인장강도를 증진시킬 수 있으며 터널 구조물의 안전성을 제고시킬 수 있음.

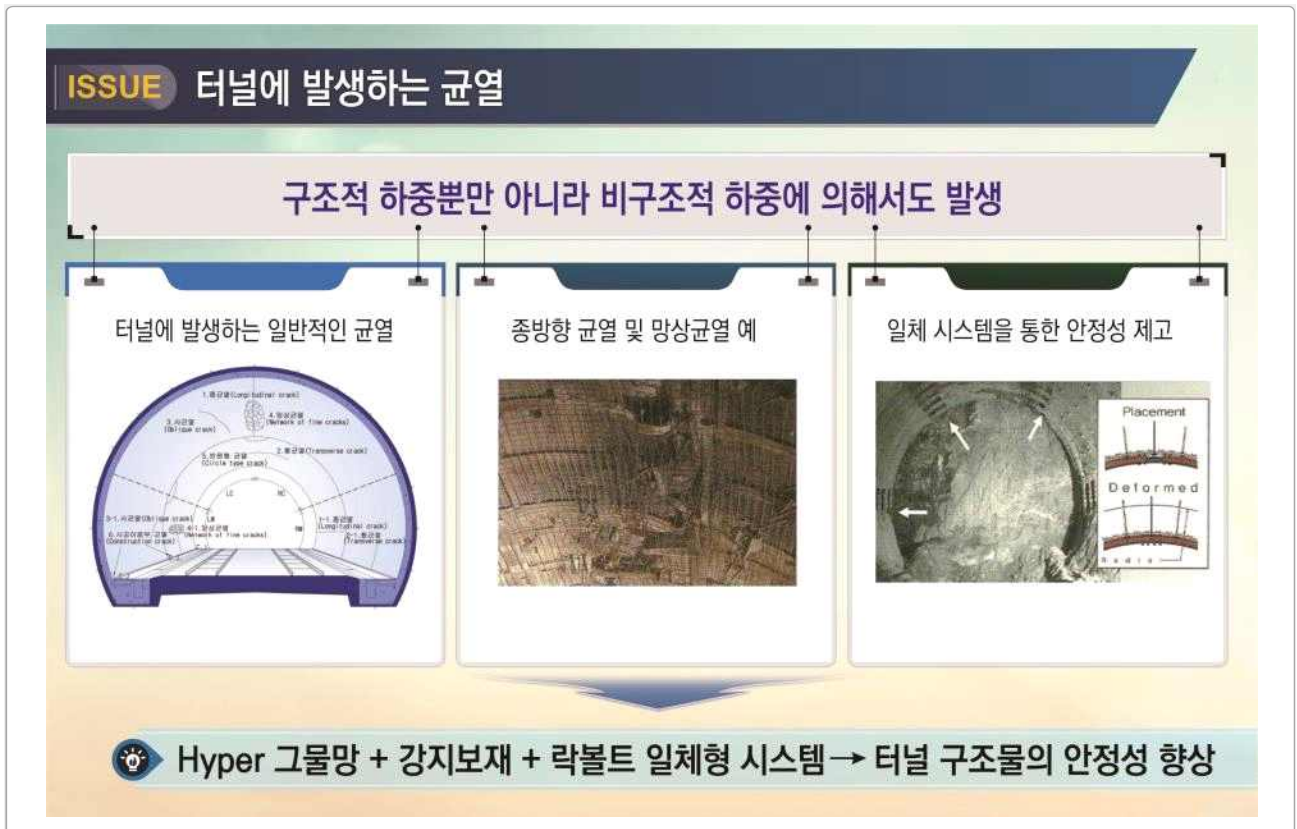


그림 14. 터널에 발생하는 균열

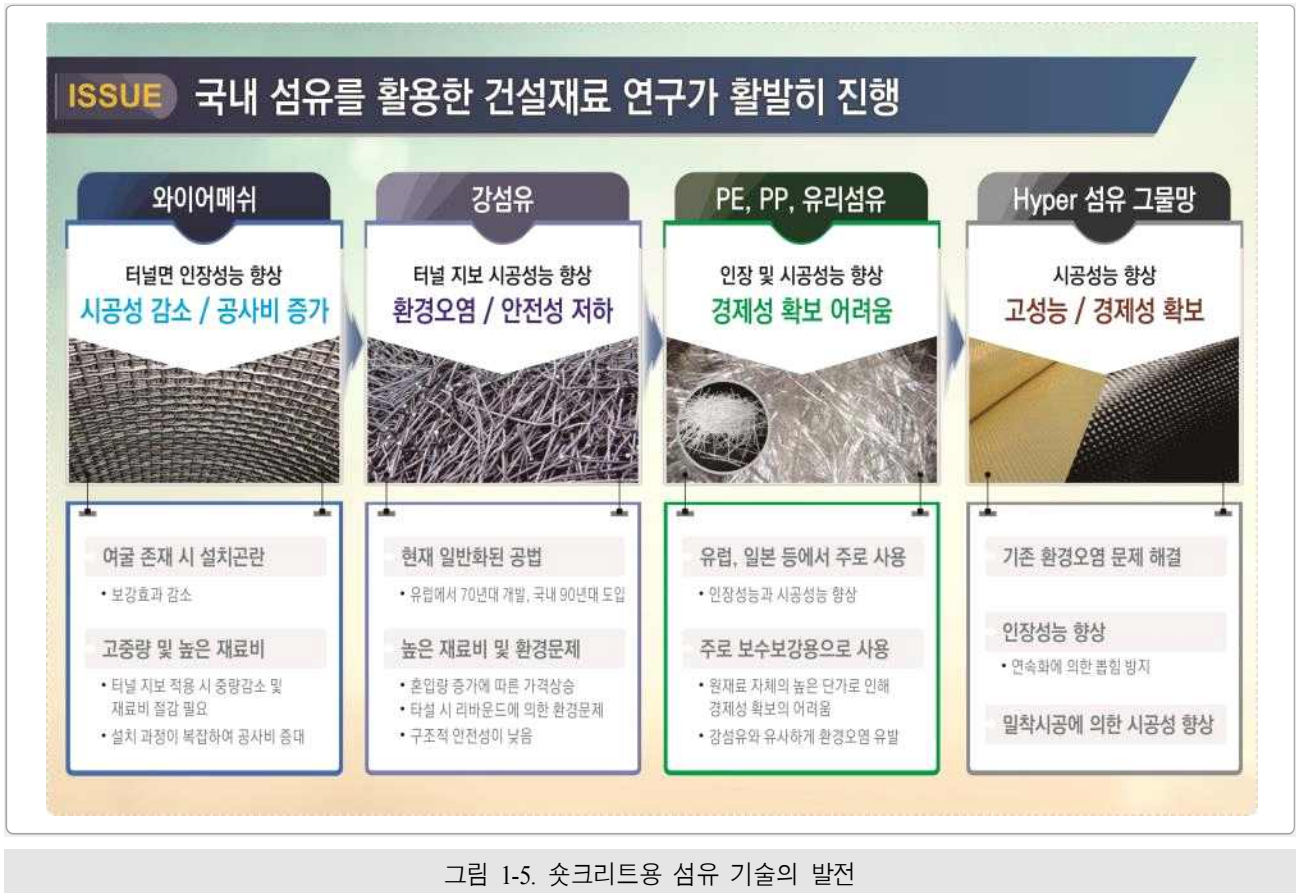
“국내 섬유관련 기술은 첨단기술과 접목하여 급성장 추세”

→ 섬유의 물리적 특성강화로 강섬유 대체 shot크리트 인장부재로의 섬유 그물망(Fiber-net) 제조 가능함.

- 섬유 그물망(Fiber-net)의 경우 재료의 유연성(Flexibility)으로 터널의 곡선부 및 변단면에 대한 밀착시공이 가능하여, 시공성 향상에 도움이 됨.
- 섬유의 역학적 특성 강화 및 표면처리에 의한 shot크리트의 인장부재로의 요구성능을 충분히 확보할 수 있음.

- 세계 섬유 생산은 1980 ~ 1990년대 초반의 원면, 양모 등의 천연섬유 생산에서 1990년대 중반 이후 고강성, 고기능성으로 응용범위가 확대된 화학섬유의 생산량이 지속적으로 증가하였음.
- 세계 화학섬유 수요 규모는 2010년 4,800만톤에서 2020년 7,320만톤으로 연평균 4.3% 증가로 예상됨.
- 탄소, 아라미드 섬유 등과 같은 산업용 섬유는 현재 첨단 기술산업의 핵심소재로 활용되며, 기존 금속 소재를 대체하는 부품소재로 급속히 확대되고 있음.

- 터널 지보용 섬유 그물망 기술은 다른 요소기술(체결기술, 재료기술 등)과 접목시켜 관련 세계시장을 선도할 수 있는 기술로 판단됨.
- 영국의 Tensar International에서는 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)을 사용하여 지오그리드의 강도와 강성을 향상시킴.
- 중국의 Huyu Fiberglass Reinforcement Products에서는 터널에 적용 가능한 강섬유의 무게를 기존의 1/4로 줄임.
- Transparency Market Research에 의하면 토목분야에 적용되는 산업용 섬유는 물량과 수익 면에서 지속적으로 성장하고 있음.



- 본 연구에서 제안한 기술은 섬유 그물망과 능동형 지보재인 강지보재 및 락볼트와의 체결 후 숏크리트를 타설하는 방법으로 균열을 제어하고 휨인장 특성을 향상하여 터널의 안전성을 보다 향상시킬 수 있음.
- ▶ 본 연구과제를 통해 개발된 기술은 기존 기술의 환경적인 문제 해결은 물론, 강섬유 대비 인장강도 30% 이상 향상 및 시공비 10% 이상 절감의 효과가 기대됨.
- Hyper 섬유 그물망을 활용함으로써 기존 강섬유 보강 숏크리트 대비 인장강도를 30% 이상 향상시킬 수 있음.
- 본 연구를 통해 개발될 섬유 그물망 숏크리트는 고성능화로 인해 숏크리트 두께 감소, 굴착면적 감소 그리고 강섬유 대비 재료비 절감 효과를 통해 전체 터널 지보 시스템의 시공성 10% 향상 및 시공비를 10% 이상 절감시킬 수 있음.

TARGET 시공성 향상 / 공사비 절감 / 품질 및 안전성 향상 / 환경오염 최소화



그림 1-6. 연구개발의 중요성

1-3. 연구개발 내용

가. 연구개발 최종 목표

□ 일체형 쏯크리트용 섬유 그물망 지보재 개발

- 기존 와이어메쉬/강섬유 보강 쏯크리트 시스템의 단점을 극복할 수 있는 Hyper 섬유 그물망을 활용한 쏯크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보재 시스템 개발 및 실용화를 목표로 함.
- 이를 위하여 본 과제는 Hyper 섬유 그물망 개발, 고성능 쏯크리트 개발 및 일체형 시공 시스템 개발이라는 3가지 핵심기술을 포함함.
- 이를 통하여 장기적으로 유지관리비 절감, 시공성 향상 및 재료비 절감의 효과가 기대됨.

표 1-2. 연구개발 최종 목표

구 분	내 용
최종 목표	① Hyper 섬유 그물망 제조 기술을 활용한 쏯크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보재 기술 개발 및 실용화
세부 목표	① 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 개발 - 인장강도 30% 향상 / 부착효율 20% 향상
	② 섬유 그물망 지보재용 쏯크리트 개발 - 부착강도 1.3MPa / 휨인성계수 75% 이상
	③ 일체형 지보시스템 및 시공기술 개발 - 품질·시공 기준(안)

Hyper 섬유 그물망 제조 기술을 활용한 췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보재 개발 및 실용화

기존 터널 공법의 경우 췁크리트
탈락에 의한 환경문제 발생

첨단기술 융복합형
SOC 개발 시대 개막

“친환경/고성능/저비용”
터널 지보시스템 개발 필요

연구 범위 및 내용

터널 지보용 섬유 그물망

Manufacturing of fiber-net for tunnel support

고성능 인장성능 확보
• 인장강도 향상, 탄성계수 향상
• Design Property : G_c , f_t , E_s , C_s

부착력 향상
• 표면거칠기(roughness)
• 미세형상 제어(micro-shape)

섬유 그물망 디자인
• Rib apertures, 그리드 간격 등



부착성능 향상 췁크리트

Development of high bond performance shotcrete

점성 제어 기술
• 섬유 그물망 적용 기술
• 부착성능 향상기술

역학적 요구성능 도출
• 리바운드 저감 기술

고부착 췁크리트
• 신개념 바인더 사용
• MPC 등 고성능 binder 적용기술



시공성 향상 일체형 지보시스템

Development of integrated tunnel support system

감지보재-섬유 그물망 일체화
• 섬유 그물망 형상 디자인
• One-touch 체결 시스템 구축

락볼트-섬유 그물망 일체화
• 락볼트 일체 플레이트 개발
• 간편 시공 시스템 개발

효율적 시공 Process 도출
• 섬유 그물망 터널 지보시스템 품질/시공 지침



Hyper 섬유 그물망

• 와이어 메쉬, 강섬유 등의 인장부재 대체
• 기타 구조물 보수보강용으로 확대 가능

고성능 췁크리트

• 부착성능 향상 : 췁크리트 탈락에 의한 환경문제 해결
• 기존 콘크리트 구조물 보수에 확대 적용

일체형 시공시스템

• 시공효율 향상에 따른 공사비 절감
• 섬유 그물망의 타분야 진출 확대

1-1 인장특성



1-2 표면부착성



1-3 형상디자인



2-1 부착특성



2-2 리바운드를



2-3 시공성 개선



3-1 일체화시스템



3-2 시공효율향상



3-3 품질/시공 지침



CROSSOVER TECHNOLOGY

그림 1-7. 연구개발 최종 목표

나. 1차 연도

1) 개발 목표

● 주관연구기관(중앙대학교)

☐ Hyper 섬유 그물망 요구성능 도출 및 요소기술 개발

- 터널 지보용 섬유 그물망(Fiber-net) 요구성능 도출
 - 역학적 특성 : 인장강도, 탄성계수, 취급 강성 등
 - 기하학적 특성 : 그리드 형상 및 크기, 표면 거칠기(roughness), 연결방식 등
- 췁크리트 적용을 위한 섬유 그물망 요소기술 개발

● 공동연구기관((재)한국건설생활환경시험연구원)

☐ 섬유 그물망 지보재용 췁크리트 요구성능 도출 및 기초 성능평가

- 췁크리트 구성요소 및 요구특성
 - 기본 특성 : 리바운드, 응결, 압축강도, 휨인성, 부착강도, 압송성, 분진 등
 - 섬유 계면 특성 : 점착 및 부착강도 등
- 섬유 그물망-췁크리트 부착특성

● 공동연구기관(㈜에스엠테크텍스)

- ☐ 섬유 그물망 직조 기초기술 개발
 - 기존 섬유 그물망 제품 현황 및 제조 기술 분석

● 참여기업(㈜보강테크, 지엔티건설㈜)

- ☐ 섬유 그물망 터널 지보재 현장 시공성 검토
 - 기존 섬유 그물망 요구성능 도출 및 요소기술 개발



그림 1-8. 1차 연도 개발목표

2) 개발 내용 및 범위

● 주관연구기관(중앙대학교)

- ☐ 터널 지보용 섬유 그물망(Fiber-net) 요구성능 도출
 - 국내외 문헌 조사
 - 섬유 그물망에 대한 국내외 선행 연구/제품 분석
 - 터널 지보재의 요구성능 분석 ▶ 섬유 그물망의 강성, 인장특성 등
 - 섬유 특성에 따른 섬유 그물망 특성 분석
 - 섬유 물리성능 향상 기술 분석 ▶ 인장성능 및 부착성능 개선방안 도출
- ☐ 터널 지보용 섬유 그물망(Fiber-net) 요소기술
 - 섬유 자체에 대한 기초 성능 평가
 - 표면 코팅제의 종류 및 특성에 따른 분석 ▶ 탄성계수, 연성도, 부착성능 등
 - 터널 지보용 섬유 그물망 기초 성능평가
 - 섬유 종류, 형상 및 직조방식(크로스 라미네이트 구조), 합성 방식 ▶ 인장특성, 인장신도, 탄성계수 등
 - 내화학적 및 내구성능, 크리프 변형을 평가방법 분석

● 공동연구기관((재)한국건설생활환경시험연구원)

□ 섬유 그물망 지보재용 숏크리트 요구성능 도출

- 국내외 문헌 조사
 - 고성능 숏크리트 선행 기술 및 제품 분석
 - 섬유 그물망 적용을 위한 고성능 숏크리트 배합 기술 분석 ▶ 분체량, 점성도, 화학혼화제 등
 - 터널 지보재용 숏크리트의 리바운드 원인 분석
- 섬유 그물망 적용을 위한 숏크리트 요구성능 도출 ▶ 휨인성, 점성, 부착성능 등
 - 숏크리트의 휨인성 특성 분석
 - 섬유 그물망 및 숏크리트의 계면에 대한 요구성능 분석 ▶ adhesion, cohesion 등

□ 섬유 그물망 지보재용 숏크리트 기초 성능평가

- 섬유 그물망과 숏크리트의 부착력 성능평가 ▶ 부착성능 평가방법 도출
- 부착력 향상 신개념 숏크리트 기술 분석
 - 폴리머 시멘트, 마그네시아인산염 시멘트(MPC) 등 특수 바인더 적용기술 도출

● 공동연구기관(주)에스엠테크텍스)

□ 기존 섬유 그물망 요구성능 도출 및 요소기술 개발

- 섬유고분자원료에 따른 제조 기술 및 성능향상 기술 분석
 - 원료섬유의 다양화를 통한 고성능 섬유 그물망 현황 ▶ Glass fiber, Carbon-fiber, Spectra, Kevlar 등 활용
- Rib apertures, 접점강화방식에 따른 제조 기술 및 성능향상 기술 분석
- Hyper 섬유 그물망 제조 조건 및 공정 도출
 - 직조방식, 접점연결방식, 표면코팅 방식, 그리드 형상 등

● 참여기업(주)보강테크, 지앤티건설(주))

□ 터널 지보재 일체화 성능향상을 위한 요소기술

- 국내외 문헌 조사
 - 기존 그물망(Fiber-net, Wire-net) 시공현황 및 시공기술 분석
 - 터널 지보재 일체화 기술 분석 ▶ 국내외 시방서 및 기술현황 조사

터널지보 일체화를 위한 숏크리트용 Hyper 섬유 그물망 지보재



1 차년도

1 터널 지보용 섬유 그물망(Fiber-net) 요구성능 도출 및 요소기술 개발



2 섬유 그물망 지보재용 숏크리트 요구성능 도출 및 요소기술 개발



3 터널 지보용 섬유 그물망 제조 요소기술 개발



그림 1-9. 1차 연도 연구범위 및 내용

다. 2차 연도

1) 개발 목표

● 주관연구기관(중앙대학교)

- ☐ Hyper 섬유 그물망 제조 기술 개발
 - 요구성능 맞춤형 섬유 그물망 직물 설계 기술
 - 섬유 종류, 형상 및 직조방식에 따른 성능평가

● 공동연구기관((재)한국건설생활환경시험연구원)

- ☐ 섬유 그물망 지보재용 췏크리트 최적배합 도출
 - 최적 점성 및 분체량 도출
 - 부착력 향상 췏크리트 개발

● 공동연구기관(㈜에스엠테크텍스)

- ☐ 섬유 그물망 생산기술 개발
 - 섬유 종류, 형상 및 직조방식에 따른 제조 기술 개발

● 참여기업(㈜보강테크)

- ☐ 터널 지보재 일체화 성능향상을 위한 요소기술
 - 강지보재-섬유 그물망 일체화 요소기술 개발
 - 락볼트-섬유 그물망 일체화 요소기술 개발
 - 터널 타입별 섬유 그물망 부착 기술 개발



2) 개발 내용 및 범위

● 주관연구기관(중앙대학교)

- ☐ 요구성능 맞춤형 섬유 그물망 직물 설계
 - 부착성능 향상을 위한 텍스처 디자인 및 표면 코팅 기법 선정
 - 텍스처 변형에 따른 부착성능 평가 ▶ 텍스처 디자인 도출
 - 표면 코팅제 종류 및 기법에 따른 성능 평가 ▶ 표면 코팅제 선정
- ☐ 섬유 특성 및 직조방식에 따른 성능평가
 - 섬유 그물망 역학적 성능 및 장기성능 평가
 - 섬유 종류, 형상 및 직조방식, 합성 방식 ▶ 인장특성, 인장신도, 탄성계수, 부착성능 등
 - 열악한 환경조건에 따른 섬유 그물망 성능평가 ▶ 내화학적, 내구성능, 크리프 변형률 등
- ☐ 터널 종류별 특성 분석
 - 터널 종류별 (파쇄대, 연약대, 갱구부, 저토피 구간 등) 시공단계 및 지보시스템 특성 분석
 - 췁크리트용 Hyper 섬유 그물망 지보재 기술 적용 터널 종류 구체화

● 공동연구기관((재)한국건설생활환경시험연구원)

- ☐ 섬유 그물망 적용 췁크리트 최적 배합 도출
 - 대상 원재료의 선정 및 기초성능평가 ▶ 화학성분, 밀도, 분말도 등
 - 고성능 췁크리트의 휨인성 성능 향상
 - 섬유 그물망 종류 및 결합재에 따른 휨인성 지수 특성 ▶ 휨특성, 균열 저항성 등
 - 혼화재료 및 화학혼화제(급결제, 증점제)에 따른 췁크리트 특성 ▶ 점성(viscosity), 응결, 역학적 성능 등
 - 고부착 췁크리트 배합 도출 ▶ 조골재 최대치수, 세골재율(S/a), 단위 시멘트량, 단위수량, 급결제 첨가율 등
 - 터널 타입별 췁크리트 타설 두께 조절을 통한 시공성 및 경제성 확보
- ☐ 부착력 향상 신개념 췁크리트 개발
 - Hyper 섬유 그물망과의 부착력 향상 신개념 췁크리트 개발
 - 무기광물계 재료 활용 췁크리트 개발
 - 실리카폼과 AEA/C₁₂A₇계 광물계 급결제, 폴리머 시멘트 및 마그네시아인산염 시멘트(MPC) 등의 적용성 평가 ▶ 기존 섬유보강 췁크리트와의 성능 비교
 - 섬유 그물망과 췁크리트 부착성능 평가 기법 개발
 - Hyper 섬유 그물망과 췁크리트 사이의 부착성능 평가 기법 개발 및 성능평가

● 공동연구기관(췁에스엠테크텍스)

- ☐ 섬유 종류, 형상 및 직조방식에 따른 제조 기술 분석
 - 섬유 원재료 특성에 따른 제조 기술 및 성능향상 기술 개발
 - 원료섬유의 다양화를 통한 Hyper 섬유 그물망 개발 ▶ Glass fiber, Carbon-fiber, Spectra, Kevlar 등 활용
 - 복합형 Hyper 섬유 그물망 제조 기술 및 성능 향상 기술 개발
 - 복합형 제조 기술 및 접점 강화방식에 따른 Hyper 섬유 그물망 최적 성능 도출
 - 섬유고분자원료, rib apertures, 직조방식, 접점연결방식, 표면코팅 방을 고려한 Hyper 섬유 그물망 제조 기술 개발
 - 터널 적용을 위한 취급 강성 ▶ 코팅 재료 및 방식에 따른 물성 평가
 - 터널 타입별 섬유 그물망 제조기술 개발

- 터널 타입(파세대, 연약대, 갱구부, 저토피구간)을 고려한 섬유 그물망 간격 및 두께 조절 ▶ 강도 및 경 제성 향상

● 참여기업(㈜보강테크)

□ 터널 지보재 일체화 성능향상을 위한 요소기술

- 강지보재-섬유 그물망 연결 요소기술 개발
 - 강지보재-섬유 그물망 체결고리 및 간편 시공 기술(네오디뮴 자석 및 연결고리) 개발 ▶ 시공성능 향상
 - 체결성 성능평가 및 시공성 평가
- 락볼트-섬유 그물망 연결 요소기술 개발
 - 연결 시스템 및 시공방법 도출
 - 원터치 체결 및 간편 시공 기술 개발(체결 고리 및 지압판 형상 디자인) ▶ 시공성능 향상
- 터널 타입별 섬유 그물망 부착 기술 개발
 - Hook 및 섬유 그물망 결속장치 개발을 통해 합리적 시공방법 도출

터널지보 일체화를 위한 샷크리트용 Hyper 섬유 그물망 지보재



2차년도

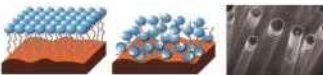
1 섬유 그물망 설계 및 성능평가 / 섬유 그물망 지보재용 샷크리트 최적배합 도출

요구성능 맞춤형 직물 설계

- 부착성능 향상을 위한 텍스처 디자인
 - 섬유 그물망의 텍스처 형상, 크기 등의 형태적 특징에 따른 샷크리트와의 부착성 향상

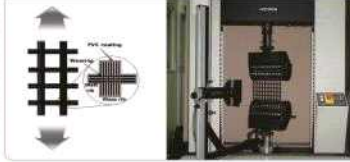


- 표면 코팅제 종류 및 적용 기법에 따른 부착성능 평가를 통한 코팅제 선정
 - 기존 섬유재질 분석 및 최적 코팅시스템 도출



섬유 특성 및 직조 방식에 따른 성능평가

- 역학적 성능평가 (인장강도, 인장신도, E)

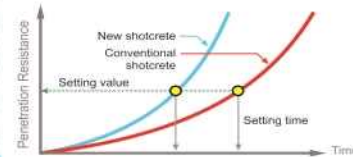


- 섬유 그물망 장기성능 평가 (크리프, 내구성능)



샷크리트 최적배합 도출

- Viscosity 특성 분석



2 지보재 일체화 성능향상 기술 개발

강지보재 - 섬유 그물망 연결 기술

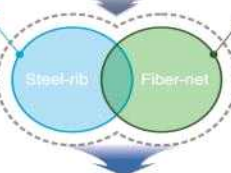
- 강지보재와 섬유 그물망 체결법 기술 개발



〈강지보재〉 〈섬유 그물망〉 〈체결 방법 분석〉

강지보재 특성 및 역할

- 임시 터널 지보 역할
- 하중분산으로 인한 안전성 향상



섬유 그물망 특성 및 역할

- 인장 성능 향상
- 경제성 및 시공성 향상

원터치 체결 도구 및 형상 디자인

락볼트 - 섬유 그물망 연결 기술

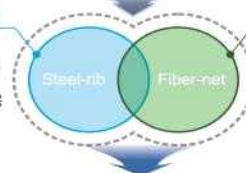
- 락볼트와 섬유 그물망 체결법 기술 개발



〈락볼트 Type〉 〈섬유 그물망〉 〈일체 시공기술〉

락볼트 특성 및 역할

- 샷크리트 섬유 그물망 일체화
- 봉합, 보행성, 내압, 지반보강 적용



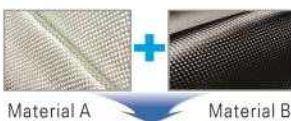
섬유 그물망 특성 및 역할

- 인장 성능 향상
- 경제성 및 시공성 향상

체결 도구 형상 및 연결부 디자인

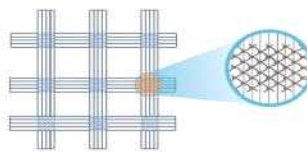
3 Hyper 섬유 그물망 제조 기술 개발

복합섬유 제조 기술



Material A + Material B
유사연성 섬유 도출

섬유의 점점 강화 기술



섬유 직조방식



Weaving Surface coating Rib apertures

그림 1-10. 2차 연도 연구범위 및 내용

라. 3차 연도

1) 개발 목표

● 주관연구기관(중앙대학교)

- ☐ 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 보강 숏크리트 최적 성능 및 설계 기술 도출
 - 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 보강 숏크리트의 최적 성능 도출
 - 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 보강 숏크리트의 설계 기술 도출

● 공동연구기관((재)한국건설생활환경시험연구원)

- ☐ 섬유 그물망 지보재용 숏크리트 적용기술 개발
 - 숏크리트 리바운드를 평가
 - 숏크리트 장기 내구성능 평가 (건조수축, 탄산화)

● 공동연구기관(㈜에스엠테크텍스)

- ☐ 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 제조 기술 개발
 - 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 보강 숏크리트의 최적 성능 도출을 위한 섬유 그물망 제조 기술 개발

● 참여기업(㈜보강테크)

- ☐ Hyper 섬유 그물망 보강 숏크리트의 현장 적용 기술
 - Hyper 섬유 그물망 보강 숏크리트 터널 현장 설치 효율화 기술 도출
 - Hyper 섬유 그물망 보강 숏크리트의 현장 적용 기술 도출

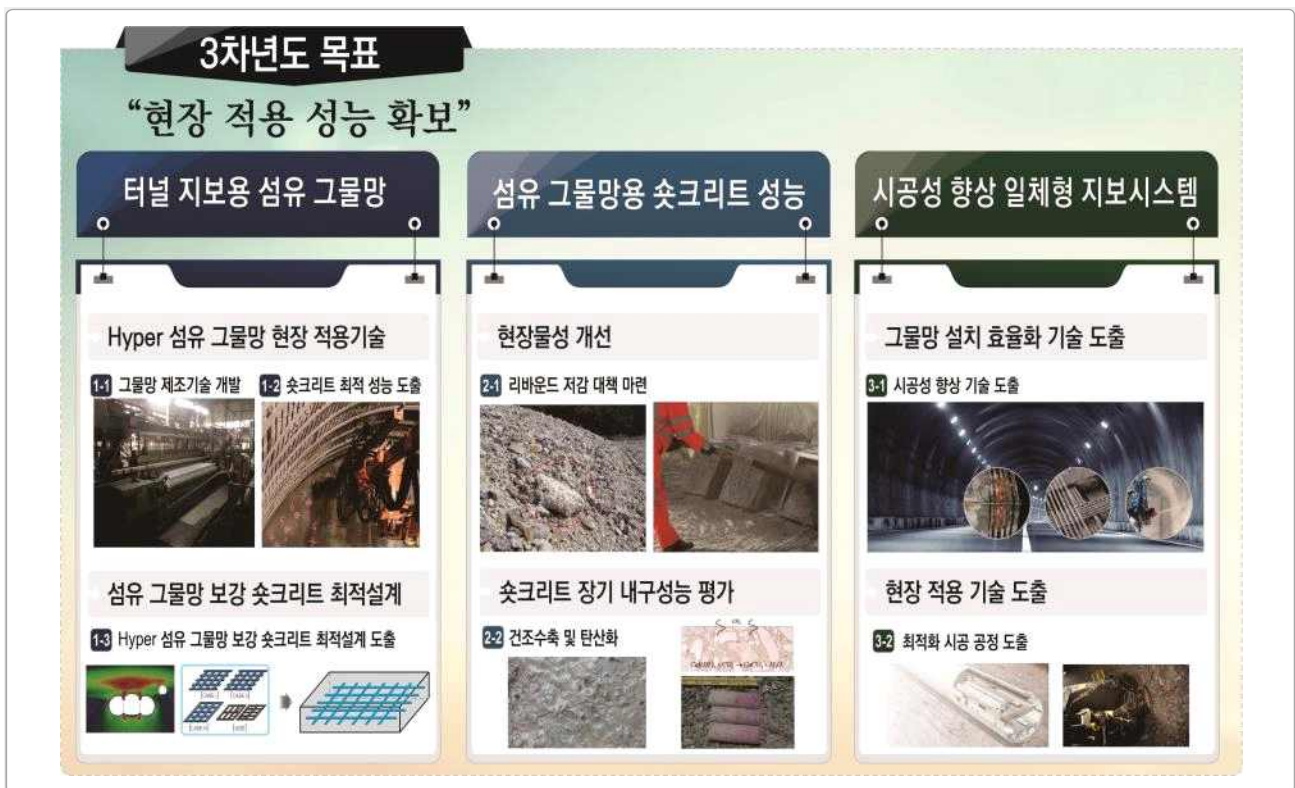


그림 1-11. 3차 연도 개발목표

2) 개발 내용 및 범위

● 주관연구기관(중앙대학교)

- ☐ 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 보강 췁크리트의 최적 성능 도출
 - Hyper 섬유 그물망 보강 췁크리트의 휨인성 성능 확보
 - 췁크리트 균열 이후 인장강도 증가율 확보
 - 요구 휨인성 성능을 만족시키는 Hyper 섬유 그물망 최적 조건 도출
- ☐ 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 보강 췁크리트의 설계 기술 도출
 - Hyper 섬유 그물망 설계 기술 도출
 - Hyper 섬유 그물망의 그리드 형태 및 크기 도출 ▶ ASTM C 1550 및 KS F 2566 시험법을 통한 Hyper 섬유 그물망 보강 췁크리트의 역학적 성능 평가
 - Hyper 섬유 그물망 보강 췁크리트의 설계 기술 도출
 - 외력하중 및 환경하중 (건조수축 등)하에서의 Hyper 섬유 그물망 보강 췁크리트의 요구 성능 확보
 - 섬유 그물망 레이어 설계기법 도출 ▶ 섬유 그물망 매설 위치 및 췁크리트 단면 설계

● 공동연구기관(재)한국건설생활환경시험연구원

- ☐ 췁크리트 현장 적용 성능 평가
 - 리바운드율 평가 기준 제시 및 평가 수행
 - 고성능 췁크리트 현장 적용성 개선
 - 현장 작업성 향상 및 리바운드 감소 대책 마련 ▶ 현장 배합조정
- ☐ 췁크리트 장기 내구성능 평가
 - 췁크리트 건조수축, 탄산화 성능 평가
 - 췁크리트의 건조수축 및 탄산화 저감 기술 개발

● 공동연구기관(췁에스엠테크텍스)

- ☐ 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 보강 췁크리트의 최적 성능 도출을 위한 섬유 그물망 제조 기술 개발
 - 섬유 그물망의 성능 향상에 영향을 미치는 요소 분석 ▶ 섬유 원재료, 표면 코팅재, 격자 형상 등
 - Hyper 섬유 그물망 보강 췁크리트의 최적 성능을 발현시킬 수 있는 섬유 그물망 제조 기술 확보
 - 섬유 그물망의 장기성능 평가
 - 균열 발생 시 터널 내부의 환경 조건에 따른 섬유 그물망의 성능 평가 ▶ 가수분해 저항성 (인장강도 보 유율)

● 참여기업(췁보강테크)

- ☐ Hyper 섬유 그물망 보강 췁크리트의 현장 적용 기술 도출
 - 기존 기술 대비 시공성 향상 방안 도출
 - Hyper 섬유 그물망 + 췁크리트 일체화 시스템을 활용한 재료비 절감 기술 도출
 - 섬유 그물망 설치 효율 및 췁크리트 타설 효율 극대화를 통한 시공성 향상, 안정성 향상 방안 도출

터널지보 일체화를 위한 췁크리트용 Hyper 섬유 그물망 지보재



3차년도

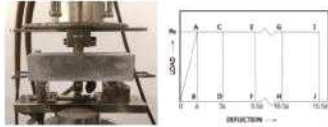
1 Hyper 섬유 그물망 보강 췁크리트 설계 기술 개발 / 현장 적용 기술 도출

섬유그물망 보강 췁크리트 최적성능 도출

- Hyper 섬유 그물망 보강 췁크리트 휨 인성 성능 확보
 - 췁크리트 균열 이후 인장강도 증가율 확보

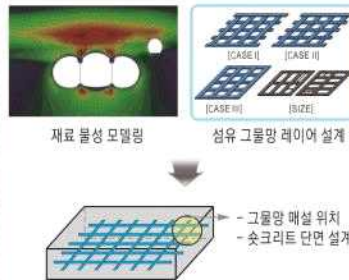


- 요구 휨 인성 성능 확보 (75% 이상)



섬유그물망 보강 췁크리트 설계

- Hyper 섬유 그물망 설계 기술 도출
 - 외력하중 및 환경하중 (건조수축 등) 조건 정의
 - 강계조건 및 재료물성 모델링
 - 섬유 그물망 매설 위치 및 췁크리트 단면 설계



섬유그물망 보강 췁크리트 현장 적용 기술

- Hyper 섬유 그물망 보강 췁크리트 현장 적용 기술 도출
 - 기존 기술 대비 시공성 / 경제성 향상



유리관리비 및 재료비 절감
시공성 및 안정성 향상

2 Hyper 섬유 그물망 지보재용 췁크리트 적용기술 개발

췁크리트 리바운드율 평가

- 췁크리트 현장 적용 성능평가
- 리바운드율 평가 기준 제시 및 평가 수행
 - 리바운드율 저감 대책 마련



현장 적용성 개선

- 고성능 췁크리트 현장 적용성 개선
 - 현장 배합조정



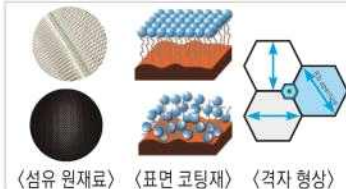
췁크리트 장기 내구성 성능 평가

- 건조수축 성능 평가
 - 췁크리트 건조수축 성능평가
- 탄산화 저항 성능 평가
 - 췁크리트 탄산화 저항 성능평가



3 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 제조 기술 개발

성능 향상 요소 분석



최적 성능 발현 제조 기술 확보

- Hyper 섬유 그물망 보강 췁크리트의 최적 성능 발현 가능한 섬유 그물망 제조 기술 확보



Hyper 섬유 그물망 성능 평가



그림 1-12. 3차 연도 연구범위 및 내용

마. 4차 연도

1) 개발 목표

● 주관연구기관(중앙대학교)

- ☐ 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 보강 숏크리트 경제성 분석 및 품질기준(안) 도출
 - 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 보강 숏크리트 품질기준(안) 작성
 - 경제성 분석 보고서 작성

● 공동연구기관((재)한국건설생활환경시험연구원)

- ☐ 섬유 그물망 지보재용 숏크리트 성능 향상 기술 도출
 - 섬유 그물망 지보재용 숏크리트 시공법 도출
 - 균열저항 성능 향상 기술 개발 (친수성 fiber, self-healing)
- ☐ 숏크리트 품질기준(안) 도출

● 공동연구기관(㈜에스엠테크텍스)

- ☐ Hyper 섬유 그물망 생산 공정 개선 및 품질 고도화
 - 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망의 생산 단가 절감을 위한 공정 개선
 - 요구 성능별 섬유 그물망 품질 고도화

● 참여기업(㈜보강테크)

- ☐ 시공절차 확립 및 현장 적용성 평가
 - 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 보강 숏크리트의 시공성 향상을 위한 시공절차 확립
 - 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 보강 숏크리트의 터널 현장 적용성 평가



그림 1-13. 4차 연도 개발목표

2) 개발 내용 및 범위

● 주관연구기관(중앙대학교)

- ☐ 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 보강 췁크리트 품질기준(안) 작성
 - 정책적 활용 방안 확대를 위한 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 보강 췁크리트 품질기준(안) 및 가이드라인 도출
 - 섬유 그물망 및 췁크리트의 규격, 품질기준, 품질관리에 관한 항목 및 유지관리 방안 등
- ☐ 경제성 분석보고서 작성
 - Hyper 섬유 그물망 적용 터널 지보시스템의 경제성 분석
 - 기존 공법(와이어메쉬, 강섬유 보강 췁크리트 등)과의 경제성 비교분석(고성능화에 따른 췁크리트 두께 감소, Hyper 섬유 그물망 및 췁크리트 재료비 절감 효과) ➡ 경제성 분석 보고서 작성

● 공동연구기관((재)한국건설생활환경시험연구원)

- ☐ 섬유 그물망 지보재용 췁크리트 및 시공법 도출
 - 고성능 췁크리트 적용을 위한 타설 환경 검토
 - 점성 및 압송성에 따른 노즐부 시스템 제어 방법 분석 ➡ 췁크리트 압출방식 효율 향상
 - 기존 타설 장비의 개선 방안 도출 ➡ 시공성 향상
 - 췁크리트 품질기준(안) 도출
- ☐ 균열저항 성능 향상 기술 개발
 - 신소재 적용을 통한 성능향상 기법 도출
 - 친수성 섬유 적용을 통한 수축저감 기술 개발 ➡ 췁크리트의 내구 성능 향상
 - 자기치유 무기질 혼화재료 배합개발 ➡ 췁크리트의 내구 성능 향상 및 터널 수밀성 개선

● 공동연구기관(췁에스엠테크텍스)

- ☐ 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망의 생산 단가 절감을 위한 공정 개선 및 품질 고도화
 - 현장 적용성을 고려한 Hyper 섬유 그물망 제작 기법 도출
 - 강성 섬유 그물망 개발
 - 경제성 확보를 위한 Hyper 섬유 그물망 생산 기법 도출 ➡ Hyper 섬유 그물망 생산 기법 확립
 - 하이브리드 섬유, 최적 격자구조(격자 크기, 두께 등)
 - 재활용 플라스틱 활용 코팅기법 개발
 - 인장강도 및 부착성능 고도화

● 참여기업(췁보강테크)

- ☐ 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 보강 췁크리트의 시공성 향상을 위한 시공절차 확립
 - 시공성 향상을 위한 시공절차 확립 ➡ 시공지침(안) 확립
- ☐ 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 보강 췁크리트의 터널 현장 적용성 평가
 - 현장 적용성 부재 실험 수행을 통한 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 보강 췁크리트의 현장 적용성 평가
 - 참여기업((주)보강테크)의 도움을 받아 현장 적용성 부재실험 수행
 - 현장 적용성 부재 실험 수행을 위한 개발 재료 및 시공법의 현장 적용성 평가
 - 현장 적용성 부재 실험 수행 후 지속적 모니터링 수행 ➡ 문제점 해결 방안 도출 및 보완
 - 현장 시료 채취를 통한 Hyper 섬유 그물망 췁크리트의 강도 및 내구성능 평가
 - ➡ 현장 적용성 부재 실험 결과를 바탕으로 실험보고서 작성

터널지보 일체화를 위한 췁크리트용 Hyper 섬유 그물망 지보재



4차년도

1 Hyper 섬유 그물망 생산 기법 도출 / 경제성 분석 및 품질기준(안) 도출

Hyper 섬유 그물망 생산 기법 도출

- 경제성 확보를 위한 Hyper 섬유 그물망 생산 기법 도출
 - 하이브리드 섬유, 최적 격자구조(격자 크기, 두께 등)
 - 재활용 플라스틱 활용 코팅기법 개발
 - 인장강도 및 부착성능 고도화
- ➡ Hyper 섬유 그물망 생산 기법 확립



섬유 그물망 보강 췁크리트 품질기준(안)

- 정책적 활용 방안 확대를 위한 Hyper 섬유 그물망 보강 췁크리트 가이드라인 도출
 - Hyper 섬유 그물망 및 췁크리트 규격
 - 품질 기준 및 품질 관리에 관한 항목
 - 유지관리 방안
- ➡ 품질기준(안) 작성



경제성 분석

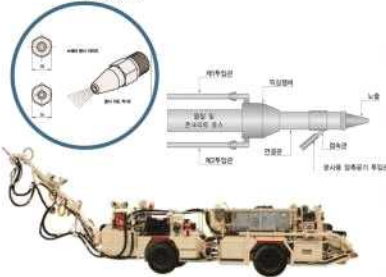
- Hyper 섬유 그물망 적용 터널 지보시스템의 경제성 분석
 - 기존 공법과의 경제성 비교분석
 - 고성능화에 따른 췁크리트 두께 및 굴착면적 감소
 - 재료비 절감 효과
- ➡ 경제성 분석 보고서 작성



2 Hyper 섬유 그물망 지보재용 췁크리트 성능 향상 기술 개발

췁크리트 타설 장비 및 환경 검토

- 점성 및 압송성에 따른 노즐부 시스템 제어
 - 췁크리트 압송방식 효율 향상
- 기존 타설 장비 개선 방안 도출
 - 시공성 향상



췁크리트 품질기준 도출

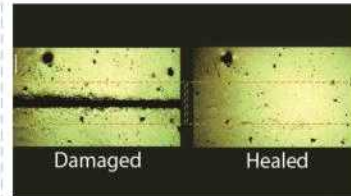
- 췁크리트 품질기준 도출
 - 췁크리트 휨 강도, 부착 강도 등 소요 강도
 - 췁크리트 라바운드율
 - 췁크리트 수밀성, 내화학적 등 내구성능



섬유 그물망 보강 췁크리트 품질기준

균열저항 성능 향상 기술 도출

- 췁크리트 내수 성능 향상
 - 침수성 섬유에 의한 수축저감 기술 개발
- 자기치유 무기질 혼화재로 배합 개발
 - 터널 췁크리트의 수밀성 개선 및 내구성능 향상



균열 저항성능 향상

3 시공절차 확립 및 현장 적용성 평가

시공성 향상을 위한 시공절차 확립

- 시공성 향상 방안 분석 및 정립
- 시공절차 검토
- 시공지침(안) 확립

터널 현장 적용성 평가

- 현장 적용성 부재실험 수행을 통한 평가
- 개발 재료 및 시공법의 현장 적용성 평가
- 문제점 해결 방안 도출 및 보완

그림 1-14. 4차 연도 연구범위 및 내용

2. 연구수행내용 및 성과

2-1. 연구개발 핵심성과

가. 총괄 성과목표 및 성과지표

표 2-1. 총괄 성과목표

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준							양적 성과 목표 건수
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치	
주관- CAU	1	시공성 향상을 위한 일체형 지보 시스템 및 시공기술 개발	1-1	Hyper 섬유 그물망 숏크리트 일체형 지보재	①	문헌조사	1건	1건	문헌분석 보고서	보고서	2.0%	특허: 출원 1건 등록 0건 논문: 2건 기술실사계약 1건 한정적용시험 1건
					②	성능평가 방법(안)	1건	1건	평가방법(안) 작성여부	보고서	3.0%	
					③	부착강도 증가율	≥20%	20.1%	$((F_H - F_{ref}) / F_{ref}) > 0.2$	자체평가	8.6%	
					④	인장강도 증가율	≥30%	60%	KS F 2566	공인시험성적 서	1.5%	
					⑤	휨인성계수 ¹⁾	≥75%	82%			1.5%	
			1-2	경제성 분석 보고서 작성	①	경제성 분석 보고서	1건	1건	분석보고서 확보여부	보고서	1.5%	
			1-3	섬유 그물망 품질기준(안) 작성	①	섬유 그물망 품질기준(안)	1건	1건	품질기준(안) 작성여부	보고서	1.0%	
			1-4	현장 적용성 기술 개발	①	시공지침(안) ²⁾	1건	1건	시공지침(안) 작성여부	보고서	1.5%	
					②	현장 적용성 부재실험	1건	1건	실험보고서 작성여부	보고서	6.3%	
	2	터널 지보재 일체화 체결 기술	2-1	체결성능 및 시공 기술 개발	①	체결 기술 개발	1건	1건	체결기술 개발여부	보고서	3.0%	특허: 출원 1건 등록 0건 논문: 1건
②	시공 기술 개발	시공기술 개발여부	3.0%									
공동- KCL	3	섬유 그물망 지보재용 숏크리트	3-1	섬유 그물망 지보재용 고성능 숏크리트 개발	①	섬유그물망-숏크리 트 성능평가(안) 개발	1건	1건	성능평가(안) 작성여부	보고서	3.0%	특허: 출원 1건 등록 0건 논문: 3건
					②	부착강도 ³⁾	≥1.3MPa	1.5MPa	KS F2423	공인시험성적 서	3.5%	
					③	압축강도 ⁴⁾	≥25MPa	28.2MPa	KS F2405		3.1%	
					④	건조수축	≤700μ ϵ	350μ ϵ	KS F2424		3.1%	
					⑤	리바운드율 ⁵⁾	< 10%	7.1%	JSCE-F563- 2005	보고서	1.5%	
					⑥	숏크리트 품질기준(안)	1건	1건	품질기준(안) 작성여부	보고서	2.3%	
			3-2	균열저항 성능 향상 기술 개발	①	균열 자기치유	200μm	206μm	투수시험 (Rilem TC 221)	보고서	9.3%	
			공동- (주)에 스엠테 크텍스	4	터널 지보용 Hyper 섬유 그물망	4-1	섬유 그물망 직조 기초 기술 개발	①	섬유 그물망 성능향상 기술	1건	1건	
4-2	Hyper 섬유 그물망 개발	①				인장강도 ⁶⁾	≥60kN/m	172.5 kN/m	KS K ISO 10319	공인시험성적 서	5.2%	
		②				액체-미생물 저항성 ⁷⁾ (인장강도 보유율)	≥80%	98.0%	KS K ISO TR 12960		5.7%	
		③				액체-미생물 저항성 ⁷⁾ (인장강도 보유율)	≥80%	92.1%	KS K ISO TR 12960		10.1%	
		④				Hyper 섬유 그물망 생산 기법	1건	1건	생산기법 개발여부	보고서	9.5%	
계												100%

1) 휨인성계수 기준 : 68%

2) 터널 지보설계 가이드라인 포함

3) 부착강도 기준 : 1.0MPa

4) 압축강도 기준 : 21MPa

5) 리바운드율 기준 : 15%

6) 인장강도 기준 : 60kN/m

7) 액체-미생물 저항성 기준 : 50% 이상

8) 신제품 인증

나. 핵심 연구성과

1) CTE 1 : 시공성 향상을 위한 일체형 지보 시스템 및 시공기술 개발

핵심성과 1	
정의	• 시공성 향상 및 재료비 절감을 위한 일체형 지보 시스템 개발 및 시공기술 개발
목적	• 터널 시공성 향상 및 재료비 절감을 위하여 기존 강섬유 보강 췁크리트 대비 인장강도가 30%, 휨인성계수 75% 이상의 Hyper 섬유 그물망 췁크리트 일체형 지보재 시스템 및 시공기술 개발을 목적으로 함.
성능목표	[기존기술 수준] 기존 사용되던 와이어메쉬 췁크리트 및 강섬유 보강 췁크리트는 중첩시공, 공기증가, 인장성능발휘 한계 등의 단점이 있음. [개발기술 수준] 기존 섬유 그물망 대비 강도 및 내구성이 향상된 일체형 지보 시스템 개발 및 시공 기술임. 기존 재료 대비 인장강도 30% 향상 / 휨인성계수 75% 이상

2) CTE 2 : 터널 지보재 일체화 체결 기술

핵심성과 2	
정의	• 강지보재, 락볼트 그리고 고성능 섬유 그물망의 일체화 체결을 통한 지보재 성능 향상 기술 개발
목적	• 지보재 성능 및 시공성 향상을 위한 강지보재, 락볼트 그리고 고성능 섬유 그물망의 일체화 체결기술을 개발함.
성능목표	[기존기술 수준] 기존 강지보재, 락볼트 그리고 고성능 섬유 그물망의 일체화 체결에 대한 기술은 이론적인 체결 기술만이 나와 있는 상태임. [개발기술 수준] 기존 이론적인 체결 기술을 극대화 시켜 강지보재, 락볼트 그리고 고성능 섬유 그물망의 일체화 거동이 가능한 체결 기술임.

3) CTE 3 : 섬유 그물망 지보재용 췁크리트

핵심성과 3	
정의	• 섬유 그물망과의 부착성능이 향상된 고내구성 췁크리트 재료 개발
목적	• 기존 췁크리트의 내구성능 문제점을 해결함과 동시에 부착강도 1.3MPa 이상, 압축강도 25MPa 이상, 리바운드를 10% 이하, 균열자기치유 고성능 섬유 그물망용 췁크리트 재료 개발
성능목표	[기존기술 수준] 기존 췁크리트 재료는 리바운드가 높으며 다양한 하중조건으로 인해 균열이 발생하여 안전성이 감소하고 경제성이 높아지는 한계가 있음. [개발기술 수준] 이 기술은 기존 췁크리트 재료 대비 부착성능 및 균열 제어 특성 그리고 균열 저항 성능이 향상된 췁크리트 재료 개발 기술임. 부착강도 1.3MPa 이상 / 압축강도 25MPa 이상 / 리바운드를 10% 이하 균열 자기치유 200μm 이상 / 건조수축 20% 저감

4) CTE 4 : 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망

핵심성과4	
정의	• 기존 섬유 그물망 대비 인장강도가 30% 향상된 Hyper 섬유 그물망을 개발
목적	• 터널의 안전성 향상 및 재료비 절감을 위하여 기존 섬유 그물망 대비 인장강도가 30% 향상된 Hyper 섬유 그물망을 개발함.
성능목표	[기존기술 수준] 기존 사용되던 와이어메쉬 췁크리트 및 강섬유 보강 췁크리트는 중첩시공, 공기증가, 인장성능발휘 한계 등의 단점이 있음. [개발기술 수준] 기존 섬유 그물망 대비 강도 및 내구성이 향상된 섬유 그물망 제조 기술임. 인장강도 60kN/m 이상 / 액체·미생물 저항성 80% 이상

2-2. 연구개발 주요내용

가. 췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템 요구 성능

□ 췁크리트/섬유 그물망/섬유 그물망 보강 췁크리트 요구 성능 및 품질기준 도출

- 섬유 그물망 지보재용 췁크리트, 터널 지보용 섬유 그물망, 섬유 그물망 보강 췁크리트의 요구 성능 및 품질 기준 도출 결과 (표 2-2 참조)
- CTE 1, 3, 4의 연구 수행 결과, 연구 개발 성과물의 품질 기준 검증 완료

표 2-2. 췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템 요구 성능 및 품질 기준

구분	요구 성능	재령	품질 기준	평가방법
섬유 그물망 지보재용 췁크리트	압축 강도 ¹⁾	28일	25 MPa 이상	KS F 2405
	부착 강도 ²⁾	28일	1.3 MPa 이상	KS F 2762
	건조 수축	3개월	700 μ m 이하	KS F 2424
	리바운드율 ³⁾	작업 시작 전 및 시공중	10% 미만	JSCE-F563-2005
터널 지보용 섬유 그물망	인장 강도 ⁴⁾	시공 전	60 kN/m 이상	KS K ISO 10319
	액체·미생물 저항성 ⁵⁾	시공 전	80% 이상	KS K ISO TR 12960
섬유 그물망 보강 췁크리트	휨 강도 ⁶⁾	28일	5.85 MPa 이상	KS F 2566
	휨 인성계수 ⁷⁾	28일	3.375 MPa 이상	

¹⁾ 압축 강도 기준 : 21 MPa, ²⁾ 부착 강도 기준 : 1.0 MPa, ³⁾ 리바운드율 기준 : 15%,

⁴⁾ 인장 강도 기준 : 60 kN/m, ⁵⁾ 액체·미생물 저항성 기준 : 80%, ⁶⁾ 휨 강도 기준 : 4.5 MPa,

⁷⁾ 휨 인성계수 기준 : 3 MPa (휨 강도의 68%)

나. 섬유 그물망 지보재용 췁크리트 배합(안) 및 성능

1) 섬유 그물망 적용성을 고려한 췁크리트 타입 선정

□ 췁크리트 타입 선정을 위한 섬유 그물망 검토

- 도로공사 시방서에서는 현재 시멘트, 잔골재, 굵은 골재를 사용하는 콘크리트 배합 형태의 췁크리트 배합비를 제시하고 있으며, 일반 및 강섬유 보강 췁크리트의 두 가지 형태의 배합비를 제시하고 있음 (표 2-3 참조).
- 골재에 대한 기준으로는 총 골재 사용량 중 잔골재율을 60%로 제시하고 있으며, 굵은 골재의 최대 치수는 10 mm로 제시되어 있음.

표 2-3. 췁크리트 시방 배합비

개념도	G _{max} (mm)	슬럼프 (mm)	W/C (%)	S/a (%)	단위량 (kg/m ³)				
					W	C	S	G	강섬유
일반	10	100	43	60	190	441	1,014	694	-
강섬유	10	100	44	60	211	480	962	659	40

- 기존 췁크리트 배합에 섬유 그물망을 적용하는 경우, 섬유 그물망의 그리드 크기에 따른 굵은 골재의 투과 문제 발생

▣ 췁크리트에 사용되는 골재의 크기를 감소시키는 방법을 통해 해결할 수 있을 것으로 판단

□ 모르타르 형태의 췁크리트 개발

- 본 연구에서는 섬유 그물망 보강 터널 지보재 기술 개발을 위해 기존의 췁크리트 배합에서 제시하고 있는 굵은 골재를 잔골재로 치환하여 바인더 대비 골재량은 유지한 형태의 췁크리트 배합 개발
- 모르타르 형태의 췁크리트를 사용하여 리바운드율을 감소시키고 췁크리트와 섬유 그물망의 부착 성능 향상 유도

2) 대상 원재료 선정 및 기초 물성 평가

□ 모르타르 췁크리트 적용을 위한 대상 원재료의 선정

- 본 연구에서는 섬유 그물망 지보재용 췁크리트에 사용하기 위하여 시멘트 대체 재료로 고로슬래그 미분말, 무수석고의 사용을 검토.
- 고로슬래그 미분말은 산업 부산물로서 고로슬래그 시멘트를 대체하는 경우 경제성을 확보할 수 있으며, 장기 내구성 및 강도 확보에 용이하다는 장점이 있음. 하지만 고로슬래그 치환 시 초기 강도 발현이 느려지고, 건조 수축이 증가한다는 단점이 있어 이에 대한 보완 방법이 필요함.
- 무수석고는 SO_3 를 주요 구성 성분으로 가지고 있어 콘크리트 배합에 적용 시 ettringite를 생성하는 재료로 일본에서는 무수석고를 이용하여 고강도 췁크리트를 개발한 사례가 있음. 또한, 무수석고 사용 시 부피가 팽창하는 효과가 있어 슬래그 사용으로 인한 건조 수축 증가량을 저감할 수 있을 것으로 판단됨.

□ 대상 원재료의 기초 물성 평가

- 보통 포틀랜드 시멘트 (OPC), 고로슬래그 미분말 (GGBFS), 무수석고 (Anhydrite)의 화학조성 분석 결과 (표 2-4 참조)
- 고로슬래그 미분말은 OPC에 비해 Al_2O_3 및 MgO 등이 다량으로 포함되어 있는 것으로 나타남.
- 무수석고의 경우, SO_3 가 전체의 50% 이상으로 나타났는데, 이를 통해 팽창성 수화물인 ettringite 및 monosulfate 등의 수화물이 대량 생성될 것으로 보이며, 췁크리트의 건조 수축을 저감하는 역할을 할 것으로 판단됨.

표 2-4. 대상 원재료의 화학조성 (XRF)

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₃
보통 포틀랜드 시멘트 (OPC)	60.7	15.65	4.12	5.09	-	2.87	0.91	3.23
고로슬래그 미분말 (GGBFS)	43.42	27.98	11.13	7.42	0.34	0.42	0.35	3.12
무수석고 (Anhydrite)	41.28	0.71	0.27	-	-	0.11	0.06	48.58

- 보통 포틀랜드 시멘트 (OPC), 고로슬래그 미분말 (GGBFS)의 XRD 분석 결과 (그림 2-1 참조)
- 시멘트의 XRD pattern으로부터 OPC는 주요 성분인 C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF 를 비롯하여 석고와 석회석 미분말 등이 포함되어 있는 것을 확인하였으며, Rietveld method를 통해 정량 평가를 수행한 결과 각각의 비율은 62.0%, 16.1%, 2.5%, 12.1%, 2.6%, 4.5%임.
- 고로슬래그 미분말의 경우 시멘트와 달리 peak가 거의 관찰되지 않았는데, 이는 고로슬래그 미분말의 경우 구성물질의 대부분이 비정질 물질로 구성되어 있기 때문으로 정량 평가 결과 비정질 물질이 95.0%로 나타났으며, 석고가 2.9%, SiO_2 가 2.1% 확인되었음.

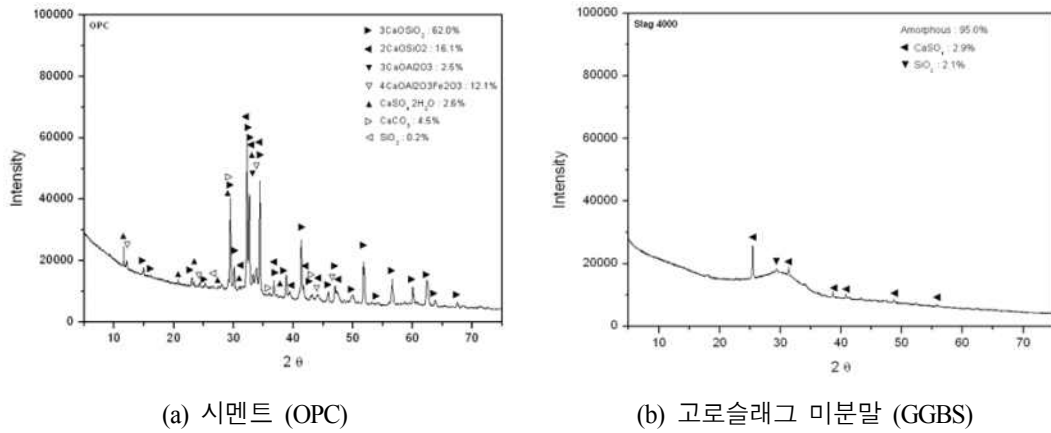


그림 2-1. OPC 및 GGBFS의 XRD 분석 결과

□ 부착력 향상 신개념 췁크리트 배합 선정

- 본 연구에서는 섬유 그물망과의 부착력 향상을 위한 혼화재료로 폴리머 및 증점제의 사용을 검토
- 본 연구에서는 분말 수지를 폴리머로 사용하였는데, 분말 수지는 유화증합에 의한 수용성 고분자 분말 수지로서, 콘크리트와 방수층간의 접착성능을 향상시키고 콘크리트의 중성화 방지 및 성능을 개선시키는데 사용되는 분말 재료임.
- 증점제는 시멘트 복합체의 유동성 및 충전성을 향상시키기 위해 사용되는 재료로 Engineered Cementitious Composites (ECC)에서 PVA 섬유의 분산성을 향상시키기 위한 용도 등으로 사용되고 있는 재료임. 시멘트 페이스트의 점성 증가는 부착력 증가 및 리바운드를 감소 등 다양한 이점이 있기 때문에 증점제를 사용하는 것에 대해 고려해 보았음.

□ 섬유 그물망 지보재용 췁크리트 배합(안) 도출

- 고로슬래그 미분말 (GGBFS), 무수석고 (Anhydrite), 폴리머, 증점제를 활용한 섬유 그물망 지보재용 췁크리트 배합(안) 도출 (표 2-5 참조)
- 강섬유 보강 췁크리트의 시방배합을 참고하여 총 바인더량은 480 kg/m^3 및 W/B 비는 슬래그, 무수석고, 폴리머, 증점제의 혼입을 고려하여 0.47로 결정
- 잔골재는 최대 치수 5 mm 이하의 골재를 이용하였으며, 췁크리트 시방배합의 전체 골재량과 유사하도록 $1,625 \text{ kg/m}^3$ 로 결정
- 유동화제는 배합을 하면서 적절한 반죽질기를 확보할 수 있는 양을 첨가하였고, 급결제는 알루미늄계를 이용하였으며, 모든 배합에 동일하게 바인더량의 10% 사용

▣ 도출된 배합(안)에 대한 성능 평가 후, 최적 배합 도출 예정

표 2-5. 섬유 그물망 지보재용 췁크리트 배합(안)

구분	W/B	단위중량 (kg/m^3)						사용량 (Binder %)	
		시멘트	GGBFS	무수석고	세골재	폴리머	증점제	유동화제	급결제
Plain	47%	480	-	-	1,625	-	-	0.2	10
S20A5		360	96	24		-	-	0.2	10
S20A5RP10		355.2	96	24		4.8	-	0.2	10
S20A5T05		357.6	96	24		-	2.4	0.2	10

3) 섬유 그물망 지보재용 숏크리트의 역학적/내구적 성능 평가

□ 역학적 성능 평가

- KS F 2405에 따라 압축 강도 평가 (그림 2-2 참조)
 - Plain의 경우 숏크리트의 성능 기준인 1일 압축강도 측정 결과 12 MPa 이상으로 나타났으며, 28일에는 약 37 MPa 이상으로 측정
 - S20A5의 경우 1일 압축강도가 13 MPa / 28일 압축강도가 43 MPa 이상으로 나타났으며, 무수석고의 영향으로 plain에 비해 초기 강도 증진
 - S20A5RP10과 S20A5T05의 경우 plain과 1일 압축강도는 유사한 것으로 나타났으며, 28일 압축강도 증진

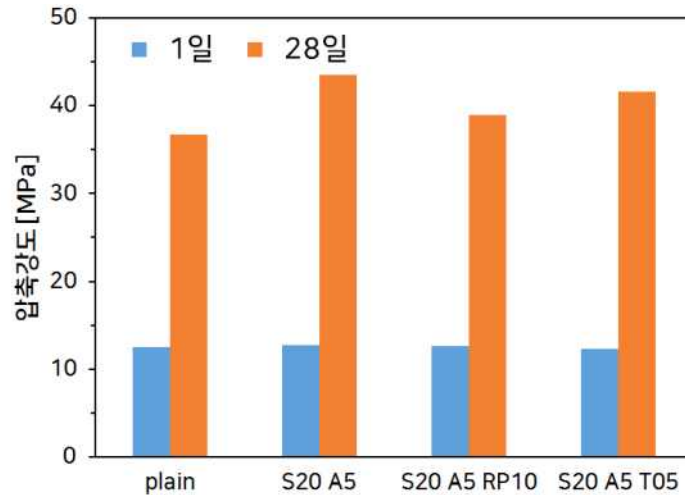


그림 2-2. 섬유 그물망 지보재용 숏크리트의 압축강도 측정 결과

- KS F 2762에 따라 부착 강도 평가 (그림 2-3 참조)
 - Plain의 부착 강도는 약 1.4 MPa로 나타났으며, S20A5는 약 1.5 MPa로 부착강도 증가
 - S20A5RP10과 S20A5T05는 폴리머와 증점제의 영향으로 인한 부착강도 증진이 확인되었으며, 특히 증점제를 혼입한 S20A5T05는 부착 강도가 약 2 MPa까지 증가

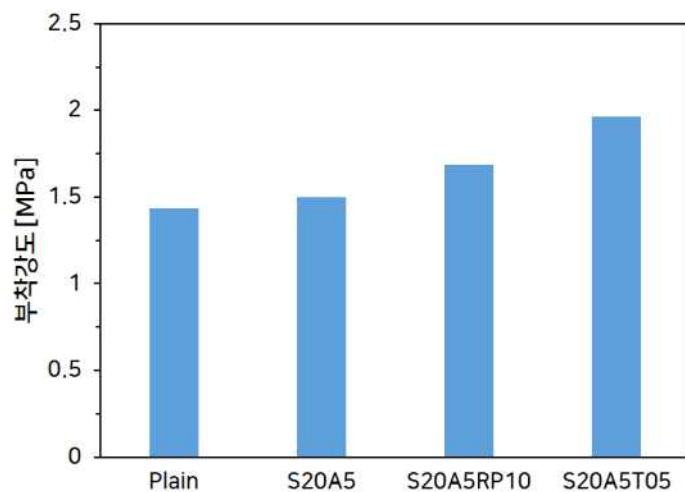


그림 2-3. 섬유 그물망 지보재용 숏크리트의 부착강도 측정 결과

□ 건조수축 평가

- KS F 2424에 따라 건조수축 평가 (그림 2-4 참조)
 - 무수석고의 영향으로 인해 건조수축이 plain에 비해 감소
 - 폴리머와 증점제를 사용한 S20A5RP10과 S20A5T05의 경우 S20A5에 비해 건조수축이 감소하는 것으로 나타났으며, 60일 이후로는 건조 수축량이 증가하지 않는 것으로 나타났음.

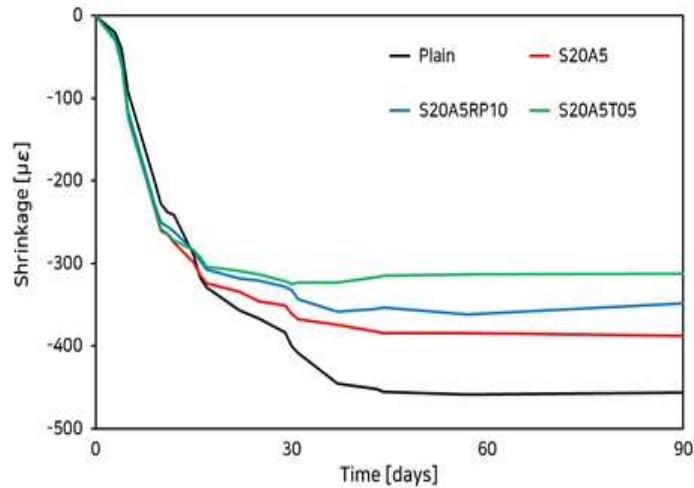


그림 2-4. 섬유 그물망 지보재용 췏크리트의 건조수축 측정 결과

□ 탄산화 평가

- KS F 2584 및 KS F 2596에 따라 탄산화 평가 (그림 2-5, 2-6, 2-7 참조)
 - Plain의 탄산화 깊이가 가장 작은 것으로 나타남.
 - : S20A5는 탄산화 깊이가 약 28% 증가하는 것으로 나타났으며, S20A5RP10 및 S20A5T05의 경우에는 S20A5에 비해 감소하여 plain 대비 약 15% 정도가 증가하는 것으로 확인되었음.
 - : S20A5의 경우 탄산화에 취약하다고 볼 수 있으나, S20A5RP10과 S20A5T05는 탄산화 깊이 증가량이 상대적으로 크지 않아 실제 적용 시 문제가 되지 않을 것으로 판단됨.
 - 탄산화 경과 1주 및 8주의 탄산화 깊이 측정 결과, 탄산화 기간이 길어질수록 탄산화 깊이가 깊어지는 것으로 나타났음.

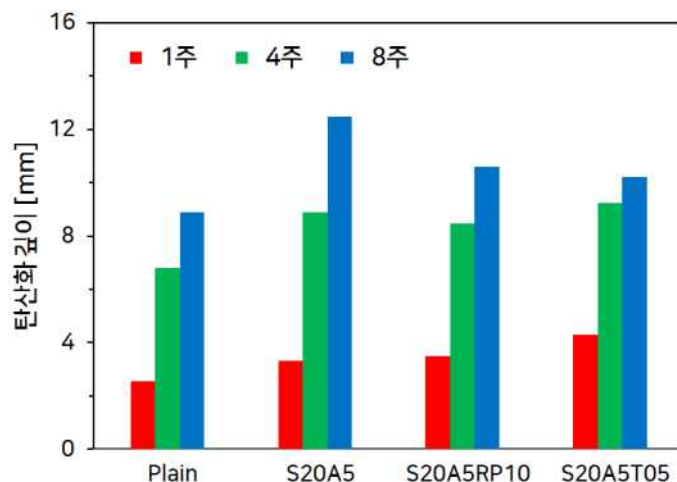


그림 2-5. 섬유 그물망 지보재용 췏크리트의 탄산화 실험 결과



Plain



S20A5



S20A5RP10



S20A5T05

그림 2-6. 섬유 그물망 지보재용 숏크리트의 탄산화 측정 결과 (1주)



Plain



S20A5



S20A5RP10



S20A5T05

그림 2-7. 섬유 그물망 지보재용 숏크리트의 탄산화 측정 결과 (8주)

- ▶ 공인시험성적서를 통해 성능 검증 완료 (그림 2-8 참조)
- ▶ ‘섭유 그물망 부착용 슛크리트 조성물’ 특허 출원 완료 (그림 2-9 참조)

품질시험 성적서

시료명(시험관): 철근 그물망 적용을 위한 고부착 송라트(S3042RP(11) 재함관주)
 발 수 번 호: KCM017-17342 시료제일: 1~
 발 수 일 기: 2017년 08월 22일 시료제시각: 한국건설생활환경시험연구원
 성과 이용 목적: 최저 성능평가용 연구개발, 직 정 권

시료 배치 요지: 한국건설생활환경시험연구원 실험실
 생 산 자: 한국건설생활환경시험연구원
 의 제 일: 서울특별시 남문구 가산리4길로 199
 제 목 기

위치가 틀림지 않, 결과를 취하한 뒤, 시료의 재하여 사해 시험 방법에서 취하, 결과를 결과를 다음과 같이 알려드립니다.

참 고

연번	시험장소명	시험일자명	시험시점명	제정기준치		시험결과치	
				허용기준치	단위	시험	시험
1	철근송라트 (14mm) (MPa)	K/S F 2403-2 (2016)	2016.2	240			
2	부착강도 (7일) (MPa)	K/S F 2403-2 (2016)	2016.2	1.48		한국건설생활환경시험연구원 072910017342	정확한 결과
3	접착부착 (23일) (MPa)	K/S F 2403-2 (2016)	2016.2	0.0587			

이 시험결과는 취하한 뒤, 취하한 뒤, 시료의 재하여 사해 시험 방법에서 취하, 결과를 결과를 다음과 같이 알려드립니다.

2017년 11월 24일

한국건설생활환경시험연구원

원 장 김 동

TEL : 0311 419-3602 / FAX : 484-9977
 주소 : 경기도 안산시 성곡구 영지마을 3길 19

총 개 수

제정기준치 및 시험결과치의 결정과 시험이 정하는 경우에는 문제가 대한 조항을 무시 함입니다.

KCM-Q-12-F01(001/1/2)
한국건설생활환경시험연구원
A4(210 × 297)

품질시험 성적서									
시험명(생산자) : 영유 그랑유 적용을 위한 고무직 용리리프 (S30A2RP1) (대한민국)									
발 주 일 차 : 2017년 08월 23일					발 주 번 호 : KCM017-17942				
성 일 과 : 한국건설경제연구원									
해 결 처									
시험명	용/용법제치	단위유량 (kg/m ²)				포화도로 (비인디렉)			
		리벤트	습해크	구속해크	해결해	습해리	습해해리	습해해리	
S30A2RP1	40%	312	144	38	1.025	1	0.3	5	

TEL : 031) 419-3002 / FAX : 484-9977
주 소 : 경기도 연천시 삼북구 양지마을 3길 19

KCM-Q-12-F0100012/2)
한국건설경제연구원
A4(210 × 297)

그림 2-8. 섬유 그물망 지보재용 스폿크리트 압축 강도, 부착 강도, 건조 수축 공인시험성적서

[illegible]

	【일명칭 설명】
	【일명칭 명칭】
	일곡 그림자 부작을 숏크리트 조성물 (Shotcrete composition for fiber mesh)
	【기술분야】
0005	본 일명칭 일곡 그림자 부작을 숏크리트 조성물에 관한 것이다. 보다 상세하게는, 일곡 그림자를 적용하여 구조물의 보강을 수행할 때, 일곡 그림자와 부작 막을 강화할 수 있는 일곡 그림자 부작을 숏크리트 조성물에 관한 것이다.
0007	
	【일명칭 배경이 되는 기술】
0008	리얼의 시공은 리얼 골작면의 보강, 해수층의 침식 및 리얼 라이닝 침식 등 의 손으로 이루어진다.
0009	말라 등으로 인해 리얼이 골작면 지반 내측 이음매면이 존재하여 골작면이 나빠지거나 리얼의 변형이 발생할 수 있어 리얼의 골작면은 지보가 필요하 게야 한다.
0010	일반적으로 리얼의 내벽을 따라 지반 방향으로 록볼트(Rock bolt)를 설치 하고, 리얼면을 따라 와이어 메시를 설치한 후 리얼면에 숏크리트를 얹어 타설하여 리얼 골작면은 보강하게 된다.
0011	리얼 골작면에 대한 보강이 이루어지면, 숏크리트 면을 따라 록볼트, 방수막 시트 등을 설치하여 해수층을 밀봉하고, 해수층의 표면에 콘크리트를 타설하여 리

그림 2-9. ‘섬유 그물망 부착용 스폿크리트 조성물’ 특허 출원서

다. 터널 지보용 섬유 그물망 제조 기술 및 성능

1) 터널 지보용 섬유 그물망 최적 조건 및 생산 기술 도출

□ 터널 지보용 섬유 그물망의 생산 시 고려사항

- 섬유 그물망 자체 및 섬유 그물망 보강 숏크리트의 소요 품질 기준 만족 여부
 - 품질 기준을 만족하기 위한 섬유 원사 및 표면 코팅제의 선정, 적절한 제조 조건 등이 요구됨.
- 숏크리트와의 부착 성능 확보 여부
 - 섬유 그물망은 1차 숏크리트와 2차 숏크리트 사이에 시공되며, 숏크리트와의 부착 성능이 확보되지 않으면 시공 도중 섬유 그물망이 탈락되거나 섬유 그물망 보강 숏크리트가 소요 품질 기준을 만족하지 못하는 한계점을 갖음.
- 섬유 그물망의 자체 강성 확보 여부
 - 시공 과정에서 섬유 그물망의 시공성이 충분히 발휘되기 위하여, 섬유 그물망 자체의 강성이 외력을 가하면 유연하게 형상의 변형이 가능하지만 외력이 가해지지 않은 상황에서도 자체적으로 형상의 유지가 가능해야 함.

□ 터널 지보용 섬유 그물망의 제조 조건

- ‘터널 지보용 섬유 그물망의 생산 시 고려사항’을 바탕으로 개발된 터널 지보용 섬유 그물망은 초고분자량 폴리에틸렌 (Ultra High Molecular Weight Polyethylene, UHMWPE) 원사를 에폭시 및 우레탄으로 표면 코팅한 제품임 (표 2-8 참조).
- 섬유 원사는 고성능 섬유 (p-Aramid fiber, carbon fiber, UHMWPE fiber) 중, 경제성 및 역학적 성능을 고려하여 UHMWPE 선정
- 표면코팅제는 숏크리트와의 부착 성능 향상 및 섬유 그물망 자체의 강성을 부여하기 위하여 우레탄 및 에폭시 선정
- 섬유 그물망의 격자 크기는 숏크리트 배합에 사용되는 잔골재가 섬유 그물망의 격자 사이를 충분히 통과 가능하면서 소요 품질 기준을 만족할 수 있는 범위 내에서 선정

□ 터널 지보용 섬유 그물망 제조 기술

- 섬유 그물망의 직조 기술
 - 1,600 denier UHMWPE 원사를 경사 및 위사 방향으로 배치하여 섬유 그물망을 구성함. 이 때, 사용된 섬유 원사는 고강력 폴리에스터의 4배 이상의 강도를 가진 재료임.
 - 높은 물성을 갖는 원사 특성을 고려하여, 정경빔을 제외한 무빔 형식으로 도니어 직기를 사용하여 제작하며, one-step 방식으로 제조함.
 - UHMWPE의 경사는 1,600D/2합, 1,600 D/4합의 120TM 연사로 구성함. 미연사 작업 시, 위사끼리의 교합 또는 올풀림 현상으로 인한 작업성이 현저히 저하되는 형상이 생김.
 - 표면 코팅제를 적용하기 전의 평직 제직으로 인한 그물망 구성 붕괴를 막기 위하여 레노조직을 적용하였으며, 그물망 구성 붕괴를 막아주는 엮음사 또한 400D UHMWPE 원사를 사용하여 보다 견고한 그물망 구성을 적용함.
 - 섬유 그물망의 표면 코팅 기술
 - UHMWPE 원사는 내열성이 다소 저하되는 소재로서, 제조 방식에 있어서 온도 관리에 각별한 주의가 요구됨.
 - 직조를 마친 섬유 그물망은 120 °C 이하에서 저온형 polyurethane resin을 배합하여 IR heater 방식으로 제조함.
 - 1차 코팅을 마친 섬유 그물망에 강성을 부여하기 위하여, 전체 공정 중 함침 공정 바로 앞에 1차 코팅된 섬유 그물망을 세팅하여 2차 epoxy resin을 배합하여 표면 코팅을 진행함. 이 때, epoxy resin은 자체 경화 시간이 polyurethane resin보다 짧기 때문에 지속적인 교반이 필수임.
- : 1차 코팅 섬유 그물망 → epoxy 함침 → 저온고속 열처리 (40-50 °C) → 권취

❑ 터널 지보용 섬유 그물망 생산 (그림 2-10 참조)



그림 2-10. 터널 지보용 섬유 그물망

□ 터널 지보용 섬유 그물망 생산 규격

- 폭 : 1 m, 길이 : 50 m
- 형태 : 롤

□ 터널 지보용 섬유 그물망의 운반 및 보관

- 터널 지보용 섬유 그물망의 운반은 운반 도중 날카로운 것에 의해 찢리거나 찢겨지지 않도록 주의해서 운반·하차 시켜야 함.
- 터널 지보용 섬유 그물망의 보관은 현장 여건에 따라 지형이 평탄한 곳에 쌓아서 그리드의 변형을 방지하고 접거나 구기지 않도록 해야 함.
- 터널 지보용 섬유 그물망은 햇빛이나 자외선에 노출되지 않도록 오랜 시간동안 방치할 때는 커다란 천막이나 마대 등으로 덮어서 보관해야 함.

2) 터널 지보용 섬유 그물망의 역학적/내구적 성능 평가

□ 섬유 그물망의 인장성능 평가

- KS K ISO 10319에 따라 인장 성능 평가 (표 2-6 참조)
 - 터널 지보용 섬유 그물망의 경사 및 위사의 인장 강도는 각각 172.5 kN/m 및 83.2 kN/m로 품질 기준 모두 만족

표 2-6. 터널 지보용 섬유 그물망의 인장 강도 시험 결과

시험편	인장 강도 (kN/m)		품질기준 (kN/m)
	경사	위사	
터널 지보용 섬유 그물망	172.5	83.2	60

□ 섬유 그물망의 장기성능 (내화학적) 평가

- 터널 지보용 섬유 그물망의 장기성능 평가 규정
 - 토목 섬유 및 관련 제품의 내구성에 관한 규정인 “KS K ISO TS 13434 - 지오신세틱스, 내구성 평가에 관한 지침”에 의하면, 폴리에스터와 폴리아마이드 소재는 가수분해에 취약하여 가수분해 저항성에 대한 평가가 이루어져야 하며, 폴리에틸렌 (PE, PP) 소재는 산화와 내약품성 (산, 알칼리)에 취약하여 “KS K ISO 13438 - 지오텍스타일 및 관련 제품, 산화 저항성 측정을 위한 스크리닝 시험법” 또는 “KS K ISO TR 12960 - 지오텍스타일 및 관련 제품, 액체 저항성 평가를 위한 스크리닝 시험방법”을 적용한 평가가 이루어져야 함.
 - 터널 지보용 섬유 그물망은 UHMWPE 원사를 사용하여 가수분해보다는 산화 및 내약품성에 취약하므로 이에 대한 평가를 통해 장기성능 평가
- KS K ISO TR 12960에 따라 장기 성능 평가 (표 2-7 참조)
 - 터널 지보용 섬유 그물망의 경사 및 위사의 인장 강도 보유율은 각각 92.1% 및 95.3%로 품질 기준 모두 만족

표 2-7. 터널 지보용 섬유 그물망의 내화학적 시험 결과

시험편	대조 시험편 인장강도 (kN/m)		손상 시험편 인장강도 (kN/m)		인장강도 보유율 (%)		품질기준 (%)
	경사	위사	경사	위사	경사	위사	
터널 지보용 섬유 그물망	172.5	83.2	158.9	79.3	92.1	95.3	80

▣ 공인시험성적서를 통해 성능 검증 완료 (그림 2-11 참조)



그림 2-11. 터널 지보용 섬유 그물망 역학적/내구적 성능 공인시험성적서

- ❑ ‘쏿크리트 보강용 섬유 그물망, 쏿크리트 보강용 섬유 그물망 제조 방법 및 쏿크리트 보강용 섬유 그물망을 이용한 터널 시공 방법’ 특허 출원 완료 (그림 2-12 참조)
- ❑ ‘시공성 향상을 위한 쏿크리트 보강용 하이퍼 섬유 그물망, 그 섬유 그물망의 제조방법 및, 그 섬유 그물망을 이용한 터널 시공방법’ 특허 출원 완료 (그림 2-12 참조)

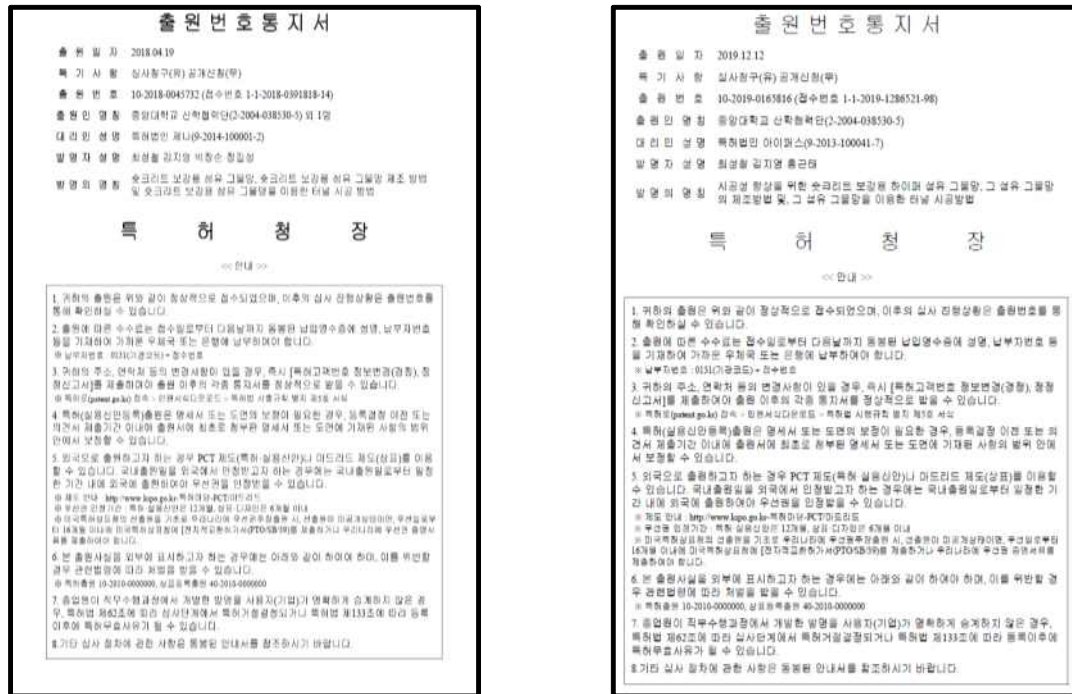


그림 2-12. 터널 지보용 섬유 그물망 제조 기술 관련 특허 출원서

라. 섬유 그물망 보강 쏿크리트 성능

1) 요구 성능 맞춤형 쏿크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템 설계

① 섬유 그물망 형상에 따른 섬유 그물망 보강 콘크리트의 부착강도 증가를 평가

□ 시험 시편 (섬유 그물망) 조건

- 격자 구조 및 비 격자 구조 (그림 2-13 참조)의 섬유 그물망 보강 콘크리트를 대상으로 부착 성능 평가



격자 구조



비 격자 구조

그림 2-13. 부착 성능 평가에 사용된 섬유 그물망

□ 시험 과정

- KS L ISO 679에 의거에 준하여 휨 시험 수행 (그림 2-14 참조)



비 격자형 섬유 그물망 매설



격자형 섬유 그물망 매설



클램프를 이용하여 섬유 그물망 양단 고정



콘크리트 타설



휨 시험



균열 발생 시편

그림 2-14. 섬유 그물망 형상에 따른 섬유 그물망 보강 콘크리트의 부착강도 증가율 평가를 위한 휨 시험 과정

□ 시험 결과

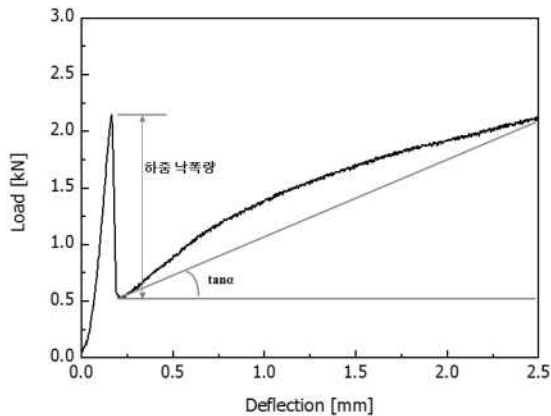
- 격자형 섬유 그물망 사용 시, 비 격자형 섬유 그물망에 비해 콘크리트 균열 발생 직후 하중 낙폭량 약 14% 감소 및 균열 발생 이후 하중 증가율 약 20% 증가 (표 2-8 및 그림 2-15 참조)

❑ 자체 평가를 통해 성능 검증 완료 (그림 2-16 참조)

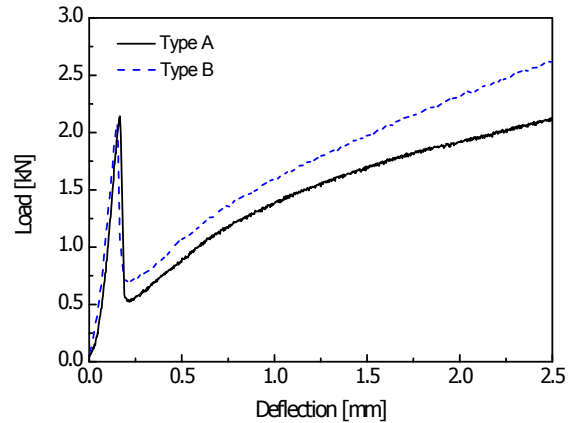
❑ 콘크리트와의 부착 성능 발현을 위해 격자형 섬유 그물망 선정

표 2-8. 콘크리트 균열 발생 직후 하중 낙폭량 및 콘크리트 균열 발생 이후 하중 증가율

종류	콘크리트 균열 발생 직후 하중 낙폭량	콘크리트 균열 발생 이후 하중 증가율
비 격자형 섬유 그물망 (Type A)	1.62 kN	0.70
격자형 섬유 그물망 (Type B)	1.39 kN	0.84



결과 산정 방법



시험 결과

그림 2-15. 섬유 그물망 형상에 따른 섬유 그물망 보강 콘크리트의 부착강도 증가율 평가를 위한 휨 시험 결과

자체평가 결과 확인서

연구 과제명 : 터널 지보재 일체화를 위한 췁크리트용 Hyper 섬유 그물망 지보재
기술 개발
연구 기관 : 중앙대학교
연구 책임자 : 최 성 철

성과 항목	부착강도 증가율 $[(F_{cr}-F_{res})/F_{res}] \times 100$
시험 방법	섬유 그물망 보강 췁크리트의 휨 시험에 따른 췁크리트 균열 이후 하중 증가율 산정
시험 조건	- 경사 방향의 섬유, 경사 및 위사의 격자형 섬유 그물망 사용 - 섬유 그물망 보강 췁크리트 시편 제작 - 섬유 그물망 보강 췁크리트의 휨 시험 수행 후, 하중-변위 곡선 도출 - 췁크리트 균열 이후 하중 증가율 산정
시험 결과	20.08%

위 시험 결과는 「터널 지보재 일체화를 위한 췁크리트용 Hyper 섬유 그물망 지보재 기술 개발」의 2차년도 연구 수행을 통해 얻은 것으로 기관에서 달성한 결과와 동일함을 확인합니다.

2017년 11월 27일

연구 책임자 : 최 성 철 (서명)

그림 2-16. 부착강도 증가율 자체평가 결과 확인서

② 표면 코팅제 종류 및 표면 코팅 기법에 따른 콘크리트와의 부착성능 향상에 대한 평가

□ 시험 시편 (섬유 그물망) 조건

- 격자형 섬유 그물망을 대상으로 다양한 표면 코팅제와 표면 코팅 기법을 적용한 섬유 그물망 준비 (표 2-9, 그림 2-17 참조)

표 2-9. 부착 성능 향상 여부 평가용 섬유 그물망 조건

종류	격자 크기	표면 코팅제 종류	표면 코팅 기법
Type A	2.5 cm × 2.5 cm	PE 코팅	섬유 원사 - 코팅제 결합형
Type B	5 cm × 2.5 cm	PVC 코팅	섬유 원사 - 코팅제 결합형
Type C	2.5 cm × 2.5 cm	Type A 섬유 그물망의 표면에 에폭시와 모래를 이용하여 코팅	
Type D	2.5 cm × 2.5 cm	Type B 섬유 그물망의 표면에 에폭시와 모래를 이용하여 코팅	
Type E	2.5 cm × 2.5 cm	에폭시 코팅	섬유 원사 - 코팅제 일체형
Type F	2.5 cm × 2.5 cm	우레탄 코팅	섬유 원사 - 코팅제 일체형

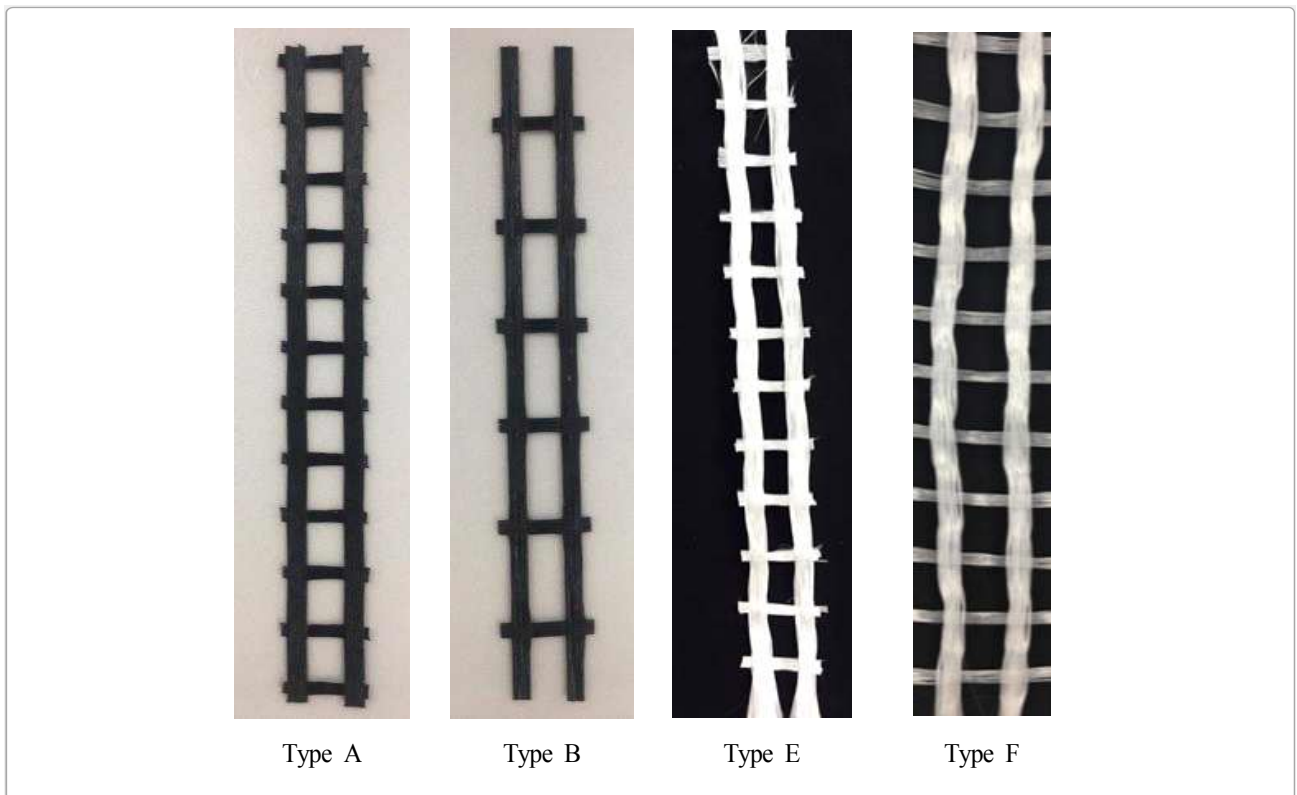


그림 2-17. 부착 성능 향상 여부 평가용 섬유 그물망

□ 시험 과정

- 시험 과정은 1)-① ‘섬유 그물망 형상에 따른 섬유 그물망 보강 콘크리트의 부착강도 증가율 평가를 위한 휨 시험 과정’과 동일

□ 시험 결과 (표 2-10, 그림 2-18 참조)

- 섬유 원사-코팅제 일체형 기법 적용 시, 표면 코팅제와 섬유 원사 사이의 슬립을 방지하므로 콘크리트 균열 이후 하중의 증가가 빠르게 발생
- 우레탄 및 에폭시는 열경화성 수지로, PE 및 PVC와 같은 열가소성 수지에 비해 높은 하중 증가율 도출 가능

■ 콘크리트와의 부착 성능 향상을 위해 표면 코팅제 종류는 에폭시 및 우레탄, 표면 코팅 기법은 섬유 원사-코팅제 일체형 코팅 기법 선정

표 2-10. 콘크리트 균열 발생 직후 하중 낙폭량 및 콘크리트 균열 발생 이후 하중 증가율

종류	콘크리트 균열 발생 직후 하중 낙폭량	콘크리트 균열 발생 이후 하중 증가율
Type A	1.39 kN	0.84
Type B	1.43 kN	0.43
Type C	1.04 kN	0.54
Type D	1.77 kN	0.57
Type E	1.05 kN	0.99
Type F	0.86 kN	1.30

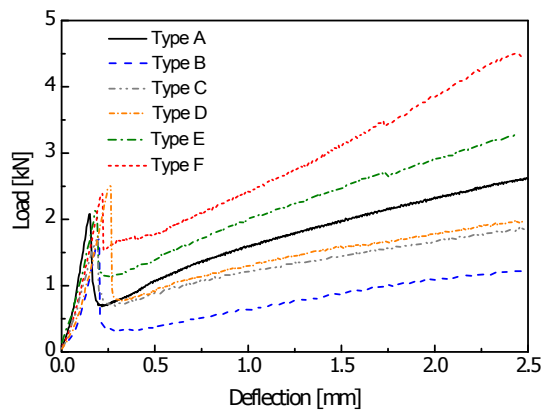


그림 2-18. 표면 코팅제의 종류 및 표면 코팅 기법에 따른 섬유 그물망 보강 콘크리트의 휨 시험 결과

③ 섬유 원재료 특성에 따른 섬유 그물망 보강 콘크리트의 성능 평가

□ 시험 시편 (섬유 그물망) 조건

- 섬유 그물망 보강 콘크리트의 성능에 대한 섬유 원사의 영향을 평가하기 위하여, PES 섬유 (Type A), 유리 섬유 (Type B), 아라미드 섬유 (Type C), 강섬유 (Type D) 준비

□ 시험 과정

- 시험 과정은 1)-① ‘섬유 그물망 형상에 따른 섬유 그물망 보강 콘크리트의 부착강도 증가율 평가를 위한 휨 시험 과정’과 동일
- 다만 강섬유의 경우, 콘크리트 배합 재료와 같이 배합

□ 시험 결과

- 아라미드 섬유 원사를 사용한 Type C 섬유 그물망 보강 콘크리트의 콘크리트 균열 이후 하중의 증가량 및 증가 속도가 다른 시험편에 비해 월등히 우수하게 나타남. 또한, 기존에 사용되던 강섬유 보강 콘크리트 (Type D)의 성능 이상이 발휘되는 것으로 확인됨 (표 2-11, 그림 2-19 참조).

표 2-11. 콘크리트 균열 발생 직후 하중 낙폭량 및 콘크리트 균열 발생 이후 하중 증가율

종류	콘크리트 균열 발생 직후 하중 낙폭량	콘크리트 균열 발생 이후 하중 증가율
Type A	1.39 kN	0.84
Type B	1.50 kN	0.74
Type C	0.64 kN	2.85
Type D	0.61 kN	0.74

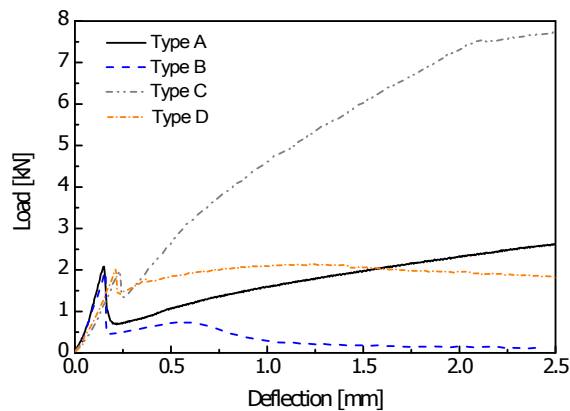


그림 2-19. 섬유 원사 종류에 따른 섬유 그물망 보강 콘크리트의 휨 시험 결과

□ 경제성을 고려한 섬유 원사 선정

- 섬유 그물망 보강 콘크리트의 성능에 대한 섬유 원사의 영향 평가 결과, 아라미드 섬유를 사용했을 때 가장 우수한 성능 발휘
- 그러나 향후 경제적인 측면을 고려했을 때, 아라미드 섬유를 사용할 경우 가격 경쟁력이 저하되는 문제점 발생
- 아라미드 섬유를 대체할 수 있는 섬유 원사를 선정하기 위하여 고성능 섬유의 단가 분석

■ 고성능 섬유 (p-Aramid fiber, carbon fiber, UHMWPE fiber) 중 UHMWPE fiber의 단가가 kg 당 약 14,000 원으로 아라미드 섬유에 비해 단가가 약 86% 저렴하며, 가격 대비 성능이 우수한 것으로 알려져 있으므로, UHMWPE (초고분자량 폴리에틸렌)을 본 연구에서 사용할 섬유 원사로 선정 (표 2-12 참조).

표 2-12. 섬유 원사 단가 (1,600denier / 대량 구매 시 단가 기준)

원사 종류	p-Aramid fiber	Carbon fiber	UHMWPE fiber	High tenacity PET fiber
가격 (원/kg)	100,000	35,000	14,000	3,000

④ 섬유 그물망의 그리드 크기 설계

- 섬유 그물망을 형성하는 각 격자의 크기는 본 연구의 배합에서 사용된 잔골재가 충분히 통과할 수 있도록 경사 및 위사 방향으로 각각 2.54 cm의 정사각형 형태로 제작 (그림 2-20 참조)

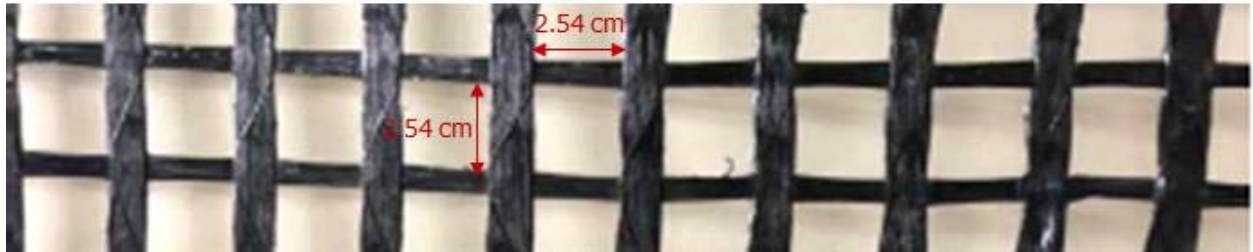


그림 2-20. 터널 지보용 섬유 그물망의 그리드

⑤ 췏크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템 설계 조건

☐ 터널 지보용 섬유 그물망

- CTE 4의 연구 결과, 터널 지보용 섬유 그물망 제조 조건 도출 (표 2-13 참조)

표 2-13. 터널 지보용 섬유 그물망의 제조 조건

원사 종류	표면 코팅제		표면 코팅 온도 (°C)		격자 크기 (cm)	Rib의 수 (ribs/m)		중량 (g/m ²)
	1차	2차	1차	2차		경사	위사	
UHMWPE	우레탄	에폭시	110-120	40-50	2.5×2.5	40.0	44.8	401

☐ 섬유 그물망 지보재용 췏크리트

- CTE 3의 연구 결과, 섬유 그물망 지보재용 췏크리트 배합 도출 (표 2-14 참조)

표 2-14. 섬유 그물망 지보재용 췏크리트 배합

배합명	W/B	Binder (kg/m ³)			잔골재 (kg/m ³)	Admixture (wt. %)		
		시멘트	슬래그	무수석고		폴리머	유동화제	급결제
섬유 그물망 지보재용 췏크리트	0.47	355.2	96	24	1,625	1	0.2	10

2) 섬유 그물망 보강 콘크리트의 역학적 성능 평가

① 휨 성능 평가

☐ 시험 시편

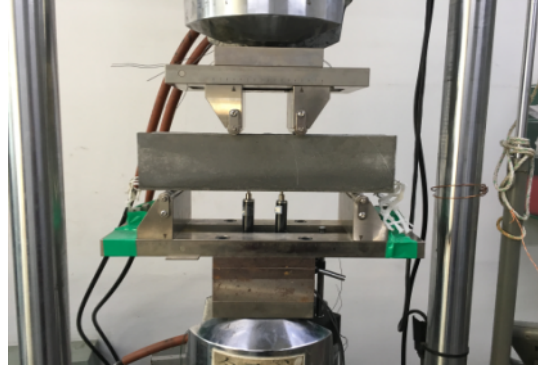
- 섬유 그물망 보강 콘크리트 : 터널 지보용 섬유 그물망 및 섬유 그물망 지보재용 췏크리트 배합 적용
- 강섬유 보강 콘크리트

□ 시험 과정

- KS F 2566에 준하여 휨 시험 수행 (그림 2-21 참조)



휨 성능 평가용 제작 시편



휨 시험

그림 2-21. 휨 시험 과정

□ 시험 결과

- 강섬유 보강 콘크리트 대비 섬유 그물망 보강 콘크리트의 휨 강도 60% 향상 (표 2-15 및 그림 2-22 참조)
 - 연구 개발 목표 (기준 값 대비 30% 향상) 달성
 - 섬유 그물망 보강 콘크리트의 휨 인성계수 82% (표 2-15 및 그림 2-22 참조)
 - 연구 개발 목표 (기준 값의 75% 이상) 달성
- 공인시험성적서를 통해 성능 검증 완료 (그림 2-23 참조)

표 2-15. 섬유 그물망 보강 콘크리트 및 강섬유 보강 콘크리트의 휨 성능 시험 결과

시험 시편	시험 결과		품질 기준	
	휨 강도 (MPa)	휨 인성계수 (MPa)	휨 강도 (MPa)	휨 인성계수 (MPa)
섬유 그물망 보강 콘크리트	7.23	3.69	5.85 이상	3.38 이상
강섬유 보강 콘크리트	4.82	3.01	4.50 이상	3.00 이상

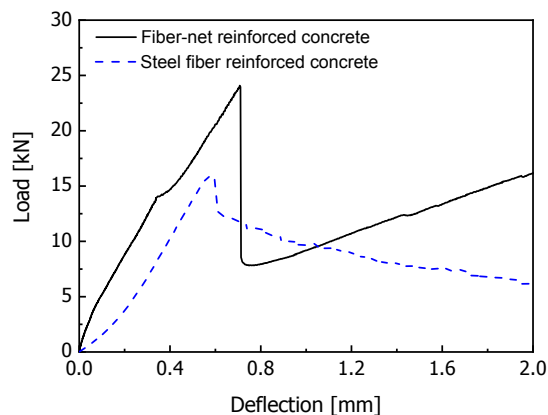


그림 2-22. 섬유 그물망 보강 콘크리트 및 강섬유 보강 콘크리트의 휨 성능 시험 결과

시험 성적서

한국건설자재시험연구원

지표명(명상국): Hyper 섬유 그물망 보강 콘크리트(대한민국)
 접수 번호: KCM019-07308
 시험 계획 장소: 우림콘크리트 중수동장
 의뢰인: 서울시 동각구 흑석로 84 중앙대학교 209관 410호
 담당자: 김지영
 생산자: 중앙대학교 건축학부

접수 일자: 2019년 11월 13일
 시험 계획 일자: 2019년 10월 31일
 실험 사용 목적: 파쇄 성능평가용

결과

연번	시험결과용어	시험결과상세	시험결과결과	책임기술자				시험결과자	
				직접측정결과	일정	시험	일정	시험	시험
1	인장강도(인장도) (MPa)	KSF 2566/2014	7.23	포함중립시험기(101800132005)	정수하	정수하	정수하	정수하	정수하

~ 지표명: 중앙대학교 건축학부 연구원 김지영

2019년 12월 26일

[일련번호]

한국건설자재시험연구원

원장 김동

TEL: (031) 419-3002 / FAX: 484-9977
 주소: 경기도 안산시 상록구 사산안골3길 9(사사동)

참고 사항

1. 시험 - 결과 결과는 당초 의뢰 시 제출된 시험에 대한 결과이므로 다른 목적으로의 이용을 금합니다.
 2. 책임기술자 및 시험결과자의 정명 및 서명이 없는 경우에는 결과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

KCM-Q-12-F01(01)(1/1) 한국건설자재시험연구원 A4(210 × 297) KCMIC 한국건설자재시험연구원

섬유 그물망 보강 콘크리트 (휨 강도)

시험 성적서

한국건설자재시험연구원

지표명(명상국): Hyper 섬유 그물망 보강 콘크리트(대한민국)
 접수 번호: KCM019-07370
 시험 계획 장소: 우림콘크리트 중수동장
 의뢰인: 서울시 동각구 흑석로 84 중앙대학교 209관 410호
 담당자: 김지영
 생산자: 중앙대학교 건축학부

접수 일자: 2019년 11월 13일
 시험 계획 일자: 2019년 10월 31일
 실험 사용 목적: 파쇄 성능평가용

결과

연번	시험결과용어	시험결과상세	시험결과결과	책임기술자				시험결과자	
				직접측정결과	일정	시험	일정	시험	시험
1	항인장계수 (MPa)	KSF 2566/2014	3.89	포함중립시험기(101800132005)	정수하	정수하	정수하	정수하	

~ 지표명: 중앙대학교 건축학부 연구원 김지영

2019년 12월 26일

[일련번호]

한국건설자재시험연구원

원장 김동

TEL: (031) 419-3002 / FAX: 484-9977
 주소: 경기도 안산시 상록구 사산안골3길 9(사사동)

참고 사항

1. 시험 - 결과 결과는 당초 의뢰 시 제출된 시험에 대한 결과이므로 다른 목적으로의 이용을 금합니다.
 2. 책임기술자 및 시험결과자의 정명 및 서명이 없는 경우에는 결과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

KCM-Q-12-F01(01)(1/1) 한국건설자재시험연구원 A4(210 × 297) KCMIC 한국건설자재시험연구원

섬유 그물망 보강 콘크리트 (휨 인성계수)

시험 성적서

한국건설자재시험연구원

지표명(명상국): 강섬유 보강 콘크리트(대한민국)
 접수 번호: KCM019-07367
 시험 계획 장소: 우림콘크리트 중수동장
 의뢰인: 서울시 동각구 흑석로 84 중앙대학교 209관 410호
 담당자: 김지영
 생산자: 중앙대학교 건축학부

접수 일자: 2019년 11월 13일
 시험 계획 일자: 2019년 10월 31일
 실험 사용 목적: 파쇄 성능평가용

결과

연번	시험결과용어	시험결과상세	시험결과결과	책임기술자				시험결과자	
				직접측정결과	일정	시험	일정	시험	시험
1	인장강도(인장도) (MPa)	KSF 2566/2014	4.82	포함중립시험기(101800132005)	정수하	정수하	정수하	정수하	

~ 지표명: 중앙대학교 건축학부 연구원 김지영

2019년 12월 26일

[일련번호]

한국건설자재시험연구원

원장 김동

TEL: (031) 419-3002 / FAX: 484-9977
 주소: 경기도 안산시 상록구 사산안골3길 9(사사동)

참고 사항

1. 시험 - 결과 결과는 당초 의뢰 시 제출된 시험에 대한 결과이므로 다른 목적으로의 이용을 금합니다.
 2. 책임기술자 및 시험결과자의 정명 및 서명이 없는 경우에는 결과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

KCM-Q-12-F01(01)(1/1) 한국건설자재시험연구원 A4(210 × 297) KCMIC 한국건설자재시험연구원

강섬유 보강 콘크리트 (휨 강도)

시험 성적서

한국건설자재시험연구원

지표명(명상국): 강섬유 보강 콘크리트(대한민국)
 접수 번호: KCM019-07368
 시험 계획 장소: 우림콘크리트 중수동장
 의뢰인: 서울시 동각구 흑석로 84 중앙대학교 209관 410호
 담당자: 김지영
 생산자: 중앙대학교 건축학부

접수 일자: 2019년 11월 13일
 시험 계획 일자: 2019년 10월 31일
 실험 사용 목적: 파쇄 성능평가용

결과

연번	시험결과용어	시험결과상세	시험결과결과	책임기술자				시험결과자	
				직접측정결과	일정	시험	일정	시험	시험
1	항인장계수 (MPa)	KSF 2566/2014	3.01	포함중립시험기(101800132005)	정수하	정수하	정수하	정수하	

~ 지표명: 중앙대학교 건축학부 연구원 김지영

2019년 12월 26일

[일련번호]

한국건설자재시험연구원

원장 김동

TEL: (031) 419-3002 / FAX: 484-9977
 주소: 경기도 안산시 상록구 사산안골3길 9(사사동)

참고 사항

1. 시험 - 결과 결과는 당초 의뢰 시 제출된 시험에 대한 결과이므로 다른 목적으로의 이용을 금합니다.
 2. 책임기술자 및 시험결과자의 정명 및 서명이 없는 경우에는 결과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

KCM-Q-12-F01(01)(1/1) 한국건설자재시험연구원 A4(210 × 297) KCMIC 한국건설자재시험연구원

강섬유 보강 콘크리트 (휨 인성계수)

그림 2-23. 섬유 그물망 보강 콘크리트 및 강섬유 보강 콘크리트 휨 성능 공인시험성적서

② 섬유 그물망 - 콘크리트 부착 성능 평가

□ 섬유 그물망 - 콘크리트 부착 성능 평가 방법 (그림 2-24 참조)

- 텍스타일 메쉬를 직접 매립하는 방식인 double sided test method를 활용하여 섬유 그물망의 격자 부분의 영향을 고려한 실험 셋업 구성
- Pull-out 시험을 위한 매립 깊이는 뽕힘 파괴를 유발할 수 있는 것으로 알려진 25 mm로 결정
- 측정에 이용될 가운데 로빙을 제외한 양 옆의 섬유 그물망은 saw cutting 처리

▣ ‘섬유 그물망의 인발 시험 방법’ 특허 출원 완료 (그림 2-25 참조)

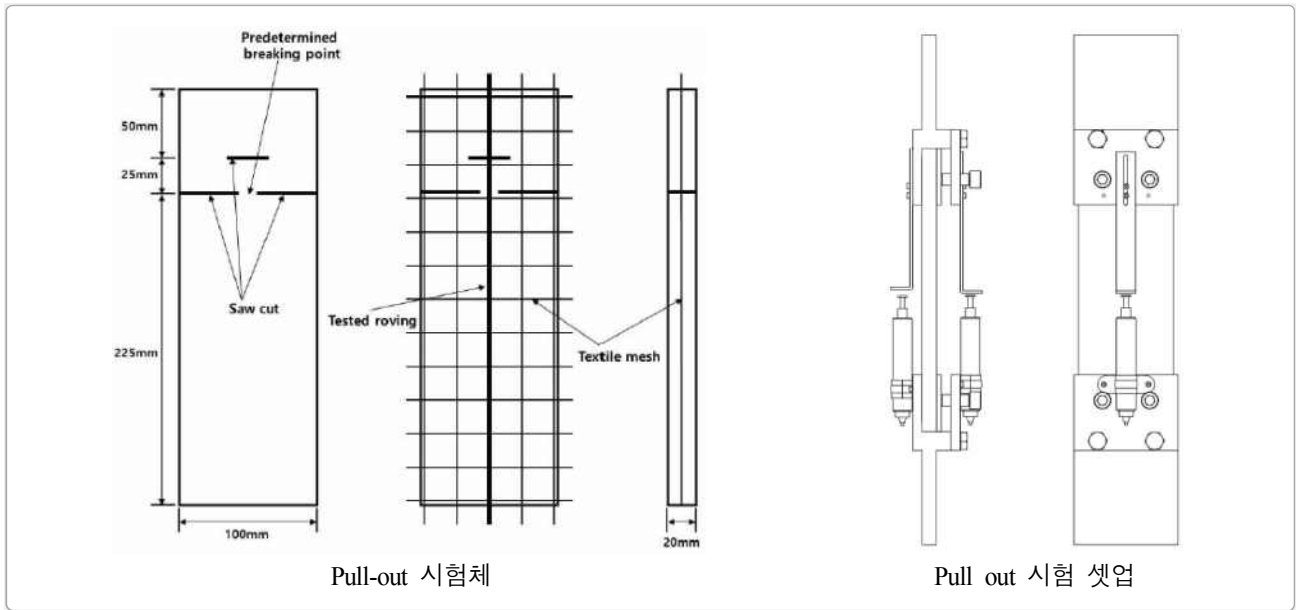


그림 2-24. Pull-out 시험체 및 시험 셋업

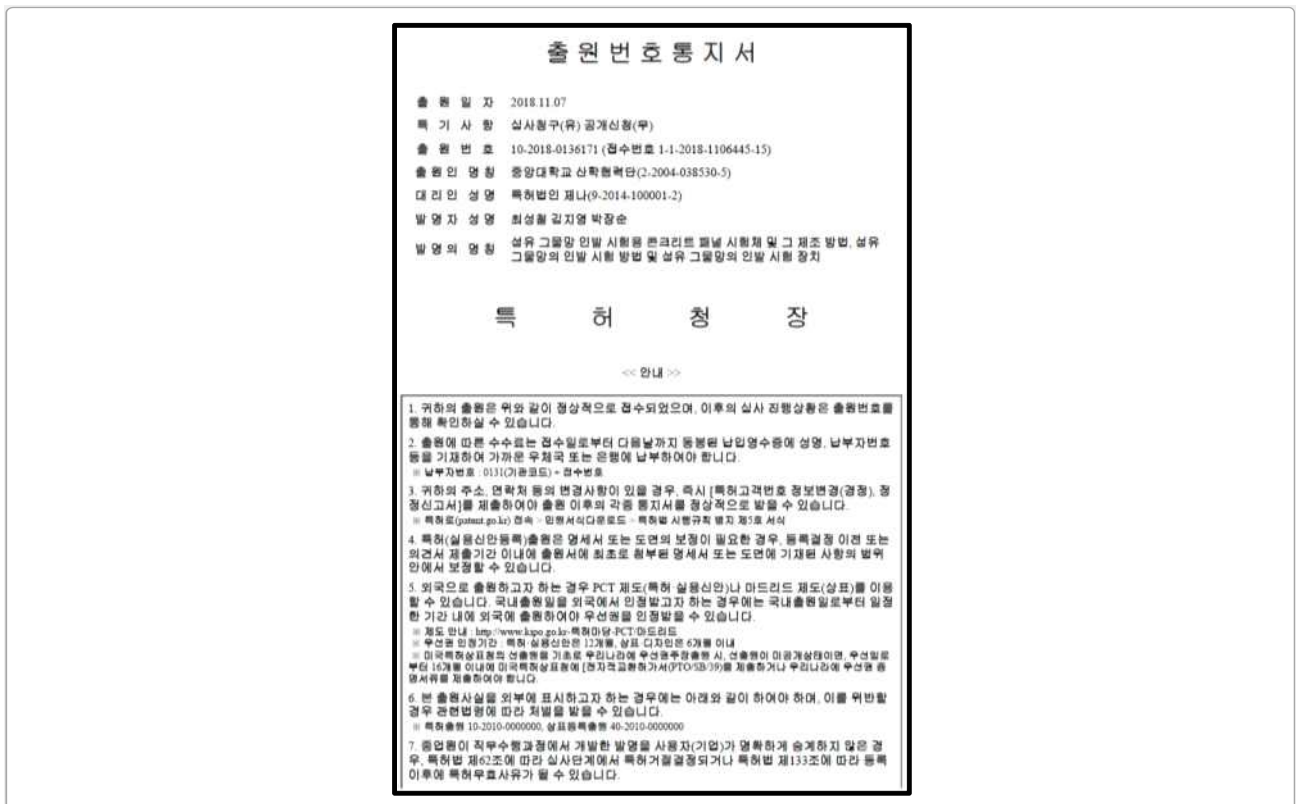
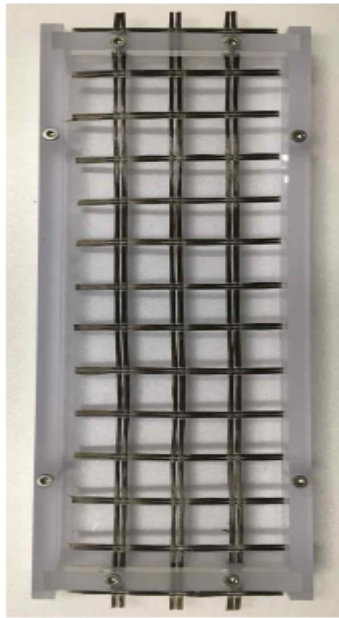


그림 2-25. 섬유 그물망 인발 시험 방법 특허 출원서

□ 시험 과정

- 제안된 시험법에 준하여 pull-out 시험 수행 (그림 2-26 참조)



섬유 그물망 고정



양생 후 saw cutting



Pull-out 시험 수행

그림 2-26. Pull-out 시험 과정

□ 시험 결과 (그림 2-27 참조)

- Pull-out 거동에 있어서 peak load까지의 거동은 부착력에 의해 지배되며, peak 이후 하중 감소 구간은 섬유 그물망과 콘크리트 사이의 마찰력에 의해 지배됨.
- 섬유 그물망 보강 콘크리트의 평균 peak force는 394 N
- 초기 슬립 발생량이 적을 때 높은 부착 응력이 발생하였으며, peak load 이후 감소하는 경향을 보임.

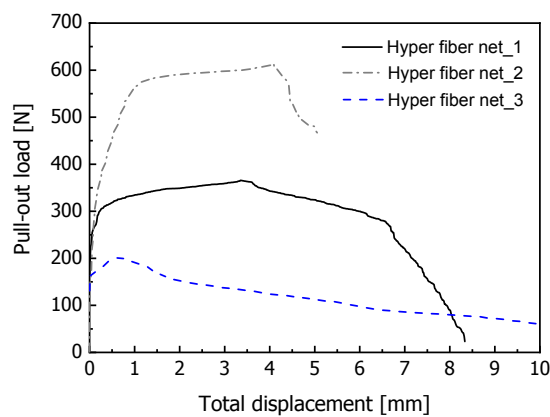


그림 2-27. 섬유 그물망 - 콘크리트 부착 시험 결과

마. 췁크리트용 섬유 그물망 터널 지보재 일체화 시공 기술

□ 락볼트 시공 공정 중 섬유 그물망 설치 가능 여부 검토

- 락볼트의 시공 공정 과정에서 경화 후/너트 체결 전 섬유 그물망 위치 및 너트 및 플레이트 활용 섬유 그물망-락볼트 고정 및 일체화 (표 2-16 참조)
- 락볼트 시공 과정 내에서의 섬유 그물망 설치로 인하여, 섬유 그물망 설치 공정 추가에 따른 추가적인 시공 인력 및 장비 필요 미미
- 락볼트와 섬유 그물망의 동시 시공으로 인하여 시공 효율성 향상 가능

표 2-16. 락볼트 시공 방법 및 섬유 그물망 설치 공정 추가

구분	레진형	충진형
시공 공정	• 1차 췁크리트 타설 → 천공 → 레진 삽입 → 볼트회전 → 레진교반 → 경화 → (섬유 그물망 설치) → 너트체결 → 2차 췁크리트 타설	• 1차 췁크리트 타설 → 천공 → Cement 주입 → 볼트 삽입 → 경화 → (섬유 그물망 설치) → 너트체결 → 2차 췁크리트 타설

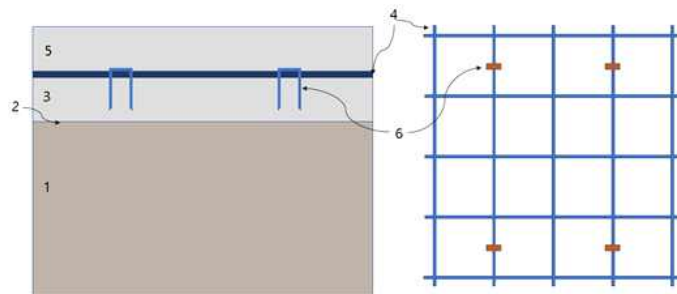
□ 강지보재-섬유 그물망 연결 기술의 필요성 검토

- 췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템 적용 지반은 RMR 분류 기준 3등급에 해당하는 보통 암반으로, 이 등급에 해당하는 암반은 1차 지보재로 췁크리트, 섬유 그물망, 및 락볼트만 사용

■ 강지보재 미사용에 따라 강지보재-섬유 그물망의 연결 기술 불필요

□ 췁크리트용 섬유 그물망 터널 지보재 일체화 기술 도출 (그림 2-28, 그림 2-29 참조)

- 1차 췁크리트-섬유 그물망 일체화 기술
 - 1차 췁크리트는 터널의 굴착 이후 굴착면의 여굴을 실링하고 초기 굴착면을 보강하기 위해 타설되며, 섬유 그물망은 1차 췁크리트의 경화 이후 설치
 - 섬유 그물망 설치 시, 섬유 그물망을 락볼트에 걸어 위치를 잡은 후 체결용 핀을 이용하여 섬유 그물망을 1차 췁크리트에 고정
- 섬유 그물망-락볼트 일체화 기술
 - 락볼트는 췁크리트와 함께 터널 지보재로서 지반 및 터널의 안정성 증진에 역할 기여
 - 체결용 핀에 의해 1차 췁크리트에 고정된 섬유 그물망은 락볼트 지압판 (플레이트)에 의해 1차 췁크리트에 완전 부착되며, 그 위에 타설되는 2차 췁크리트에 의해 섬유 그물망-췁크리트-락볼트가 일체화 거동을 보임.



1. 원지반 2. 굴착면 3. 1차 췁크리트 4. 섬유 그물망 5. 2차 췁크리트 6. 체결용 핀

그림 2-28. 1차 췁크리트와 섬유 그물망의 일체화 기술

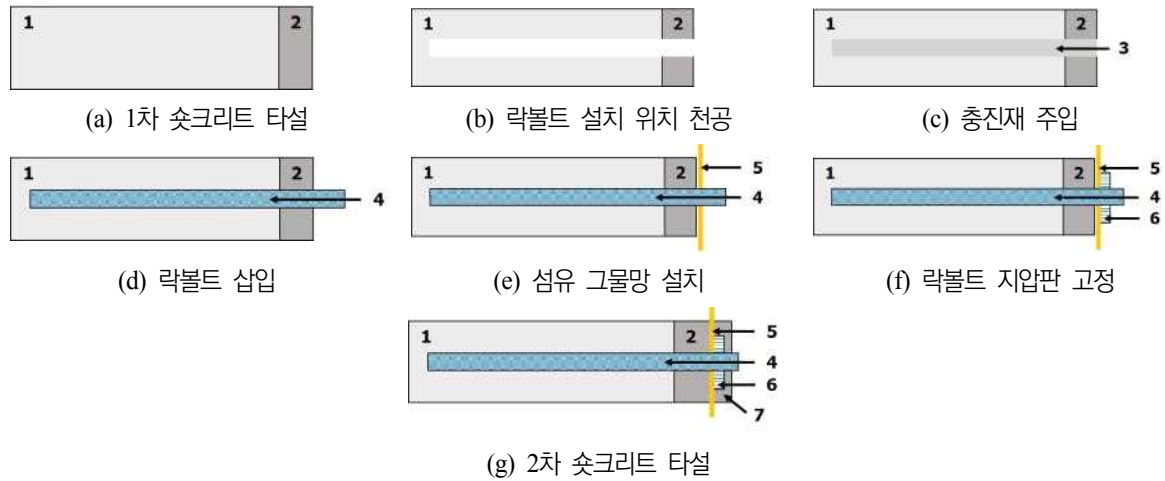
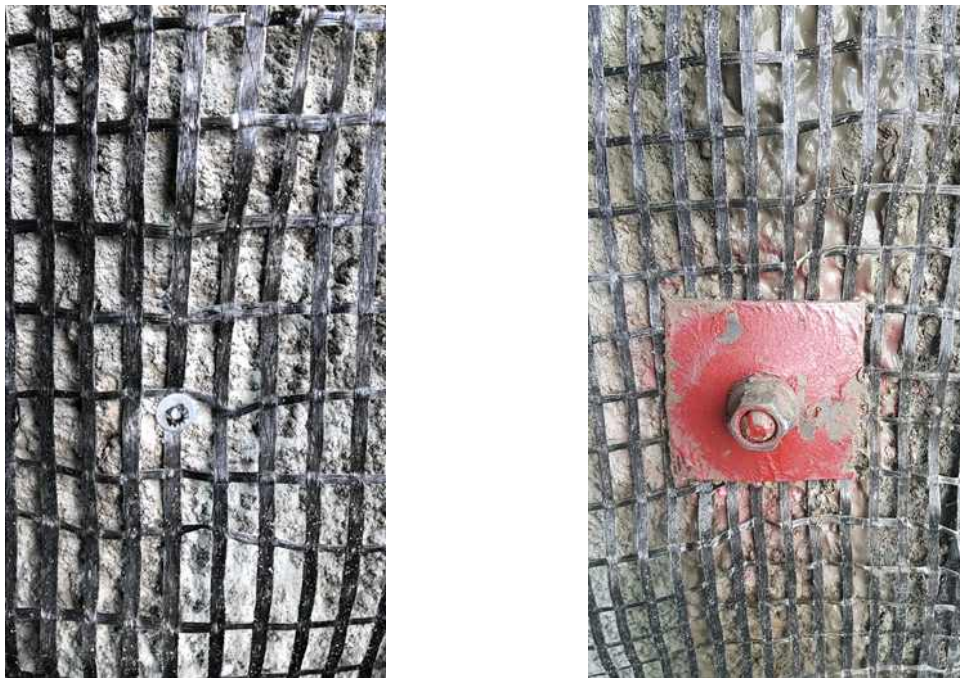


그림 2-29. 섬유 그물망-숏크리트-락볼트의 일체화 기술

■ 섬유 그물망 정착 부재 (체결용 핀, 락볼트 지압판) 형상 (그림 2-30 참조)



1차 고정 부재 (체결용 핀) → 섬유 그물망의 처짐 방지 2차 고정 부재 (플레이트) → 지보재 간 일체화 유도

그림 2-30. 섬유 그물망 정착 부재

바. 터널 상부 모사 가시설물 대상 mock-up test

1) 섬유 그물망 보강 숏크리트의 현장 적용성 평가

□ 터널 상부 모사 가시설물

- 터널 측벽 및 천단부에서의 일체형 터널 지보시스템의 시공성 평가 목적
- 터널 측벽 모사용 폭 1,200 mm, 높이 2,300 mm 규격의 수직 합판 및 터널 천단부 모사용 수직 합판에 45° 각도로 길이 550 mm, 폭 500 mm, 높이 150 mm 규격의 몰드 제작 (그림 2-31 참조)

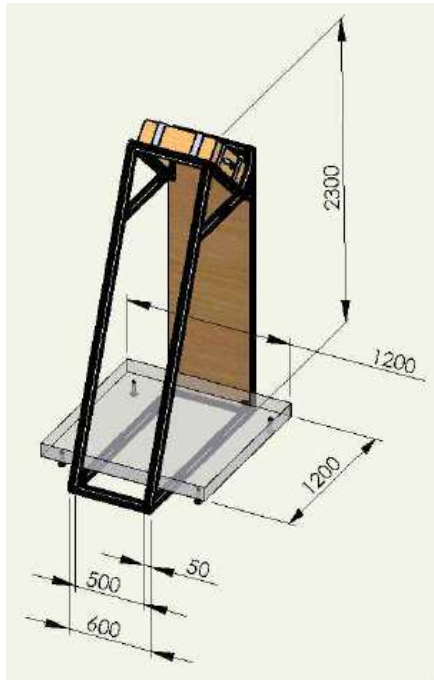


그림 2-31. 터널 상부 모사 가시설물

□ 시공 과정

- 췁크리트 배합 → 1차 췁크리트 타설 → 섬유 그물망 설치 → 2차 췁크리트 타설의 순서로 시공 진행 (그림 2-32 참조)



(a) 췁크리트 배합



(b) 1차 췁크리트 타설



(c) 측벽부 섬유 그물망 설치



(d) 천단부 섬유 그물망 설치



(e) 섬유 그물망 설치 완료



(f) 2차 췁크리트 타설

그림 2-32. 시공 과정

□ 시공 결과

- 1차 샷크리트 타설 후 섬유 그물망을 고정시키는 과정에서 최소 2명의 작업자가 필요
- 1차 샷크리트-섬유 그물망-2차 샷크리트의 체결 가능성 확인 (그림 2-33 참조)



터널 측벽부 모사 시공 완료 모습



터널 천단부 모사 시공 완료 모습

그림 2-33. 측벽부 및 천단부 모사 시공 결과

2) 섬유 그물망 지보재용 샷크리트 현장 적용성 평가

① 리바운드율 평가 기준 제시

□ 국내·외 표준 및 시방서 검토를 통한 기존 리바운드율 평가 방법 분석

- JSCE Standards for Sprayed Concrete (JSCE-F 563-2005)에는 샷크리트 [sprayed concrete(mortar)]의 리바운드율을 측정하기 위한 방법이 정리되어 있음.
 - 리바운드율 측정 시험 방법은 panel form에 샷크리트를 타설하는 방법과 실제 구조물에 타설하는 방법, 총 두 가지 방법이 있음.
- Panel form을 활용한 리바운드율 측정 시험 방법
 - Panel form의 재질은 wood/plywood/metal 중 하나여야 하며, 샷크리트 타설 시 발생하는 충격을 견딜 수 있어야 함 (표 2-17 참조).
 - Panel form은 하단부에 길이 50cm 이상의 거치대가 있어야 하며, 하단부가 막혀있지 않아야 함 (그림 2-34 참조).
 - 리바운드율 측정 실험에서는 JSCE F-561에 제시된 바와 같이 급결제를 사용하지 않아야 함.

표 2-17. Panel form의 최소 크기

Usage	Length	Width	Height
Tunneling	500	500	150
Slope stabilization	300	300	300
Repair and strengthening	300	300	150

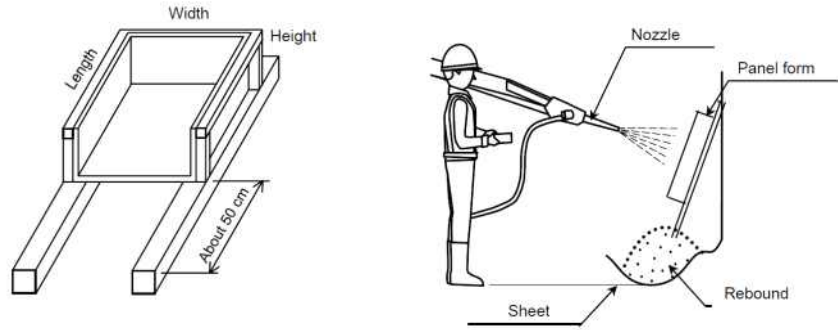


그림 2-34. Panel form (예시) 및 췁크리트 타설 방법

- Panel form을 이용한 리바운드를 측정 절차
 - 췁크리트 타설 전 panel form의 질량 측정 및 panel form 하단부에 sheet를 놓고 벽에 panel form 거치
 - 적절한 거리에 노즐을 위치시키고 panel form에 췁크리트 타설
 - 췁크리트 타설이 끝난 후 리바운드를 계산
- 현장에서의 리바운드를 측정 절차 (그림 2-35 참조)
 - 현장에서 췁크리트를 타설하고자 하는 면적 설정 및 질량을 측정할 수 있는 설비가 갖춰진 sheet를 췁크리트를 타설하고자 하는 면 하단부에 설치
 - 췁크리트 배합 및 실험에 사용할 췁크리트의 질량 측정
 - 구조물로 췁크리트 타설 후 sheet로 리바운드 된 췁크리트의 질량을 측정하여 리바운드를 계산

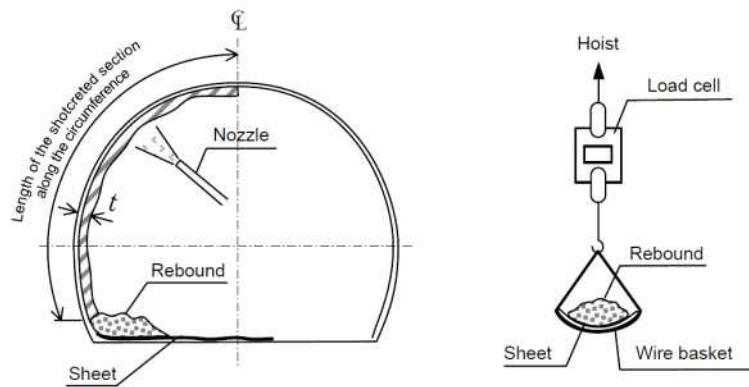


그림 2-35. 터널 내부에서의 리바운드를 측정 (예시)

- 췁크리트의 리바운드를 평가하기 위한 표준화된 방법 부족
 - JSCE Standards for Sprayed Concrete (JSCE-F563-2005) Test Method for Rebound Percentage of Sprayed Concrete (Mortar)을 제외한 다른 표준에는 리바운드를 평가하기 위한 방법이 제시되지 않는 것으로 확인
- 몇몇 연구자들이 리바운드를 평가하기 위한 방법을 제시하였으나 췁크리트 타설에 사용한 몰드의 크기 및 타설 장비에 대한 간략한 소개가 있을 뿐이며, 구체적인 측정 절차 등은 제시되어 있지 않음.
 - 노즐 위치 및 타설 압력 등 리바운드에 영향을 미치는 다양한 인자를 고려하지 못하고 있음.
 - 몰드에 부착된 콘크리트의 질량과 리바운드된 콘크리트의 질량을 정확히 측정하는 방법을 검토하여야 할 것으로 판단됨.

② 고성능 췁크리트의 리바운드율 평가 및 현장 적용성 개선

□ 리바운드율 평가 방법

- 본 연구에서는 JSCE Standards for Sprayed Concrete를 활용하여 리바운드율 평가 (그림 2-36 참조)
- 터널 내부에서의 리바운드율을 평가하기 위하여, 터널 측벽 및 터널 천단부를 모사한 가시설물을 제작하였으며, 이 때 터널 천단부를 모사하기 위해 상부에 설치된 몰드의 크기는 JSCE Standards for Sprayed Concrete (JSCE-F563-2005)에 제시된 기준에 준하여 제작하였음.



몰드 및 steel sheet 설치



1차 췁크리트 타설



섬유 그물망 설치



2차 콘크리트 타설



몰드에 부착된 콘크리트 질량 측정



리바운드된 콘크리트 질량 측정

그림 2-36. 췁크리트 타설 및 리바운드율 측정 절차

□ 리바운드율 평가 결과

- 본 실험에서는 최종적으로 선정된 S20A5 및 S20A5RP10 배합을 이용하여 리바운드율 평가 수행 (향후 경제성을 고려하여 증점제 사용 배합 제외)
- KS F 2594 ‘굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 플로 시험 방법’을 통해 목표 슬럼프에 적합하도록 W/B 비를 조정하는 방식을 통해 현장 배합 조정
- 결합재 및 골재를 넣은 후 굳지 않은 콘크리트의 질기를 확인하면서 목표 슬럼프 플로인 180 mm $\pm$ 10 mm가 되도록 조정 (그림 2-37 참조)



그림 2-37. 슬럼프 플로우 테스트를 통한 workability 측정 모습

- 목표 슬럼프 플로우인 180 mm $\pm$ 10 mm가 되도록 현장 배합을 수정한 이후의 리바운드를 측정 결과 (표 2-18 참조)
 - S20A5의 리바운드는 약 19.56%로 목표 리바운드를인 10%에 미치지 못하였으나, S20A5RP10의 리바운드는 약 11.33%로 목표 리바운드에 거의 근접한 것으로 나타났음.
 - 이 결과로 보아, 리바운드를 최소화시킬 수 있는 배합은 S20A5RP10 배합인 것으로 확인되었음.
- S20A5RP10 배합을 섬유 그물망 지보재용 췁크리트의 최종 배합으로 선정 (표 2-14 참조)

표 2-18. 현장 배합 수정 이후 리바운드를 측정 결과 (Slump flow = 180 $\pm$ 10 mm)

구분	타설 횟수	몰드에 부착된 콘크리트 질량 (kg)	리바운드된 콘크리트 질량 (kg)	리바운드를 (%)	평균 리바운드를 (%)
S20A5 (W/B = 50%)	1	25.8	7.1	21.58	19.56
	2	28.4	7.8	21.54	
	3	30.9	5.7	15.57	
S20A5RP10 (W/B = 40%)	1	29.8	3.4	10.24	11.33
	2	34.3	4.2	10.91	
	3	32.6	4.8	12.83	

3) 급결제 사용 시간 경과에 따른 Hyper 섬유 그물망 시공성 평가

□ 실험 방법

- 최종 췁크리트 배합인 S20A5RP10-M 배합에 따라 믹싱하여 타설 직전의 상태로 준비
- 타설하기 직전 급결제를 넣고 10초간 추가로 믹싱한 후, 플레이트에 넓게 펴서 타설

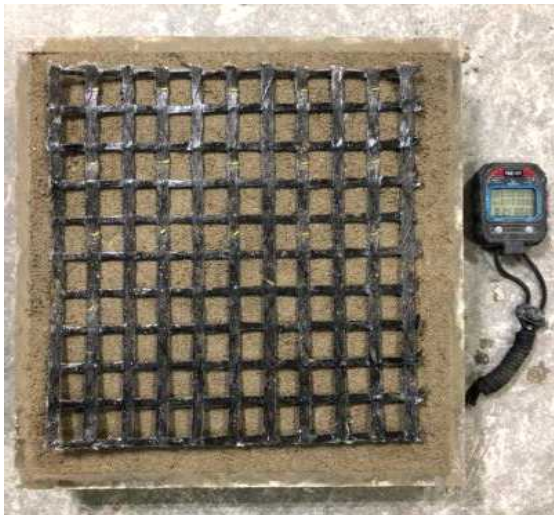
- 이 때, 급결제는 알루미나계 급결제 사용
 - 췁크리트를 타설한 이후, 섬유 그물망을 올려놓고, 1분 단위로 타카건을 이용하여 섬유 그물망과 췁크리트의 일체화 시공 수행
 - Hyper 섬유 그물망을 고정하기 위해 필요한 시간 측정
- 실험 결과
- 약 30분 이후 섬유 그물망 시공 가능 (그림 2-38 참조)



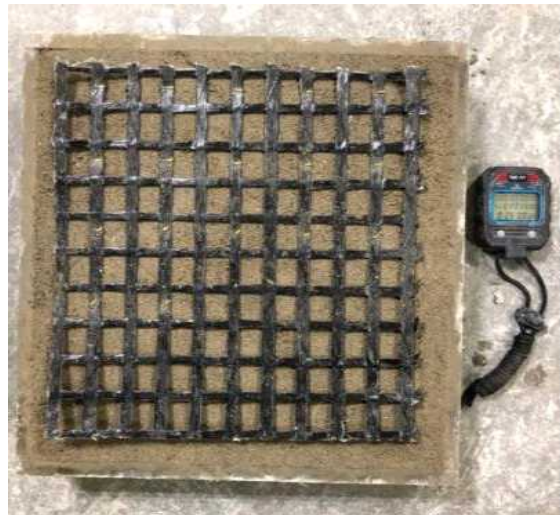
급결제 사용 23분 후 시공 결과



급결제 사용 24분 후 시공 결과

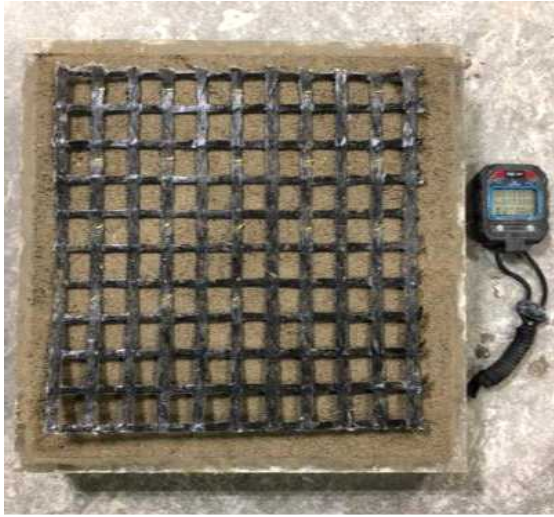


급결제 사용 25분 후 시공 결과

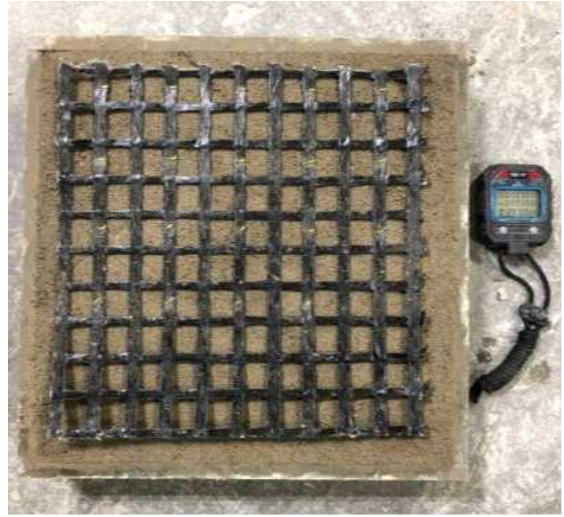


급결제 사용 26분 후 시공 결과

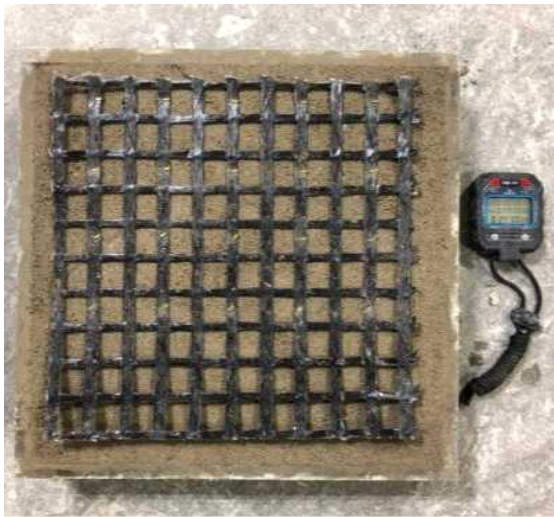
그림 2-38. 급결제 사용 시간 경과에 따른 섬유 그물망 시공성 평가 결과



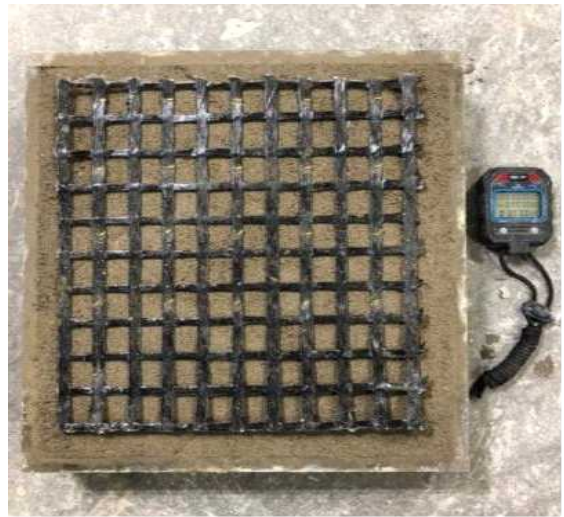
급결제 사용 27분 후 시공 결과



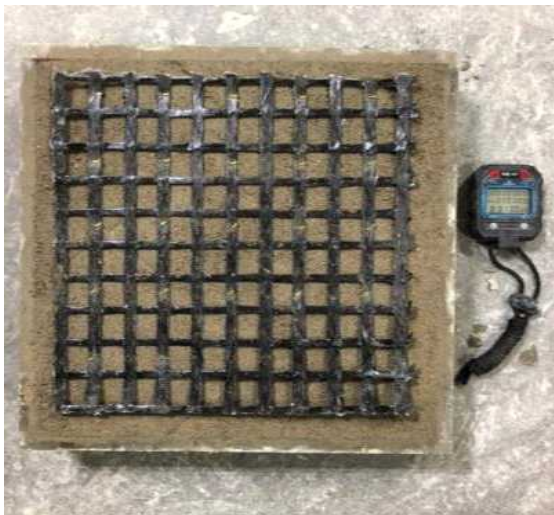
급결제 사용 28분 후 시공 결과



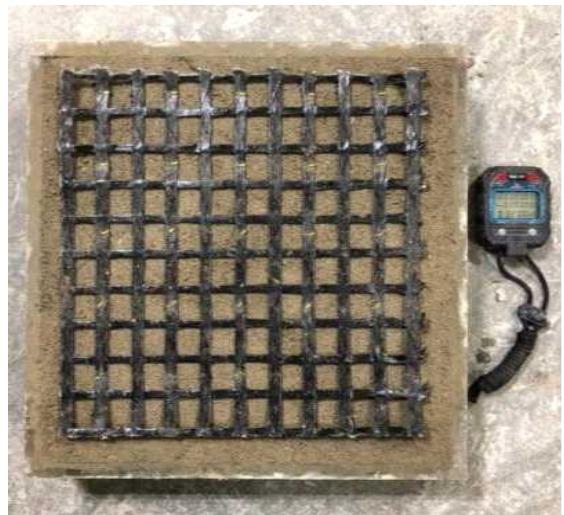
급결제 사용 29분 후 시공 결과



급결제 사용 30분 후 시공 결과



급결제 사용 31분 후 시공 결과



급결제 사용 32분 후 시공 결과

그림 2-38. 급결제 사용 시간 경과에 따른 섬유 그물망 시공성 평가 결과 (continued)



완전 경화 후 모습

그림 2-38. 급결제 사용 시간 경과에 따른 섬유 그물망 시공성 평가 결과 (continued)

사. 터널 모사 구조물 대상 mock-up test

□ 터널 모사 구조물 (그림 2-39 참조)

- 폭 3 m, 높이 3.2 m, 길이 2.5 m의 아치형 터널 모사 구조물 2개 제작 및 구조물의 내부 표면을 거칠게 처리하여 실제 터널 발파 후의 여굴이 심한 단면 형상 모사
- 락볼트를 모사하기 위해 직경 20 mm 규격의 철근을 0.8 m의 간격으로 설치



(a) 터널 모사 구조물



(b) 터널 모사 구조물 내부 표면

그림 2-39. 터널 모사 구조물

□ 시공 단면 구성

- 향후 경제성 측면에서의 제조 단가 절감 가능성을 확인하기 위해, 표 2-13 및 표 2-14에 제시된 췁크리트 및 섬유 그물망 외에 콘크리트 배합 (표 2-14에 제시된 배합 기준 잔골재의 40%를 굵은 골재로 치환한 배합) 및 2.5×5.0 cm의 격자를 갖는 섬유 그물망 시공 변수에 추가
- 기존 지보재와의 성능 비교를 위해, 강섬유 보강 췁크리트 시공 변수에 추가
- 시공 변수를 바탕으로 4개의 시공 단면 구성 (그림 2-40 참조)

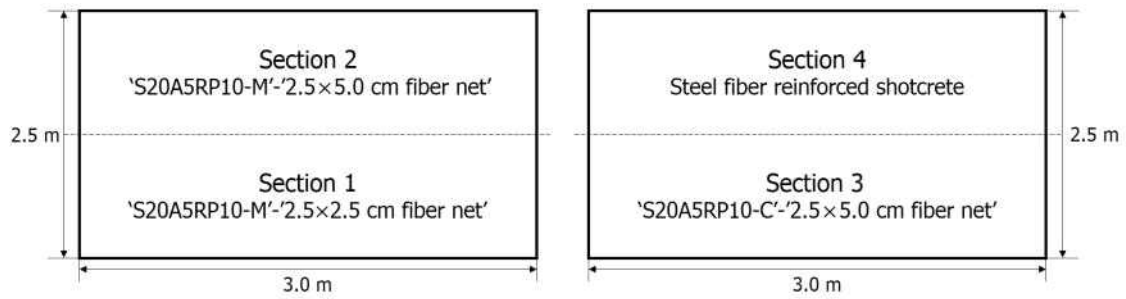


그림 2-40. 시공 단면 구성

□ 시공 과정

- 췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템의 경우, 췁크리트 배합 → 1차 췁크리트 타설 → 섬유 그물망 설치 → 2차 췁크리트 타설
- 강섬유 보강 췁크리트의 경우, 췁크리트 배합 → 1차 췁크리트 타설 → 2차 췁크리트 타설
- 췁크리트 배합
 - 배치플랜트 활용 배합 진행 및 섬유 그물망 지보재용 췁크리트의 추가 배합 재료 (무수석고, 폴리머), 강 섬유는 배치 플랜트 내의 배합기에 직접 투입 (그림 2-41 참조)



그림 2-41. 췁크리트 배합 과정

- 1차 췁크리트 타설
 - 배합 직후 레미콘을 통해 이송된 콘크리트는 췁크리트 타설 장비를 이용하여 5 cm의 두께를 목표로 각 구간에 타설됨.
 - 타설 이후 췁크리트용 섬유 그물망 터널 지보재 일체화 체결 기술을 적용하기 위해, 24시간 동안 1차 췁크리트 양생
- ▣ '바. 3) 급결제 사용 시간 경과에 따른 섬유 그물망의 시공성 평가'를 통해 섬유 그물망 적정 시공 가능 시간 검토

- 터널 지보용 섬유 그물망 설치
 - 섬유 그물망은 시공 공간의 크기를 고려하여 폭 3 m, 길이 1 m 규격으로 사전 준비
 - 섬유 그물망의 격자를 통해 락볼트 모사용 철근을 통과시켜 위치를 잡은 후, 칼블럭 및 플레이트를 이용하여 1차 쏿크리트 - 섬유 그물망 - 락볼트 일체화 (그림 2-42 참조)

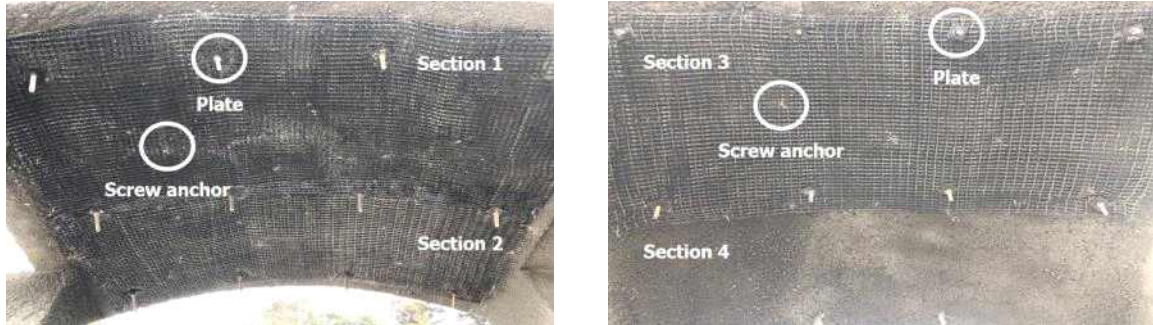


그림 2-42. 1차 쏿크리트 - 섬유 그물망 - 락볼트 일체화 시공

- 2차 쏿크리트 타설
 - 섬유 그물망의 설치 완료 이후, 5 cm의 두께를 목표로 각 구간에 타설
- 시공 결과
 - 각 구간 별 시공 시간 평가 (표 2-19 참조)
 - 각 구간 별 시공 시간은 1차 쏿크리트 타설, 섬유 그물망 설치, 2차 쏿크리트 타설에 소요되는 시간을 각각 측정하여 산정
 - 강섬유 보강 쏿크리트의 경우, 섬유 그물망을 설치하는 공정이 없으므로 section 4에서의 시공 시간이 가장 짧음.
 - 이후, 코어 시편을 통한 실제 타설 두께의 확인으로 섬유 그물망 보강 쏿크리트와 강섬유 보강 쏿크리트의 시공 속도에 차이가 없는 것으로 나타남 (시공성 및 경제성 평가에 반영).
 - 시공 도중 발생한 콘크리트용 배합의 2차 쏿크리트 탈락 현상으로 타설 시간 증가 (그림 2-43 참조)
 - 쏿크리트 내의 굵은 골재가 섬유 그물망의 격자를 충분히 통과하지 못함.

표 2-19. 각 구간 별 시공 시간

시공 구간	1차 쏿크리트 타설	섬유 그물망 설치	2차 쏿크리트 타설	전체 시공 시간
Section 1	4분 10초	13분	5분 2초	22분 12초
Section 2	4분 10초	13분	5분 9초	22분 19초
Section 3	4분 10초	14분	9분 31초	27분 41초
Section 4	4분 20초	-	6분 55초	11분 15초



그림 2-43. Section 3에서의 2차 췁크리트 탈락 단면 형상

- 시공성 평가
 - 시공성은 부재 시공 수행 후 각 구간 당 3개씩 채취된 코어 시편 내의 췁크리트 타설 두께 및 섬유 그물망의 설치 위치를 통해 평가 (그림 2-44, 그림 2-45 참조)



(a) Section 1



(b) Section 2



(c) Section 3



(d) Section 4

그림 2-44. 각 구간 별 채취된 코어 시편

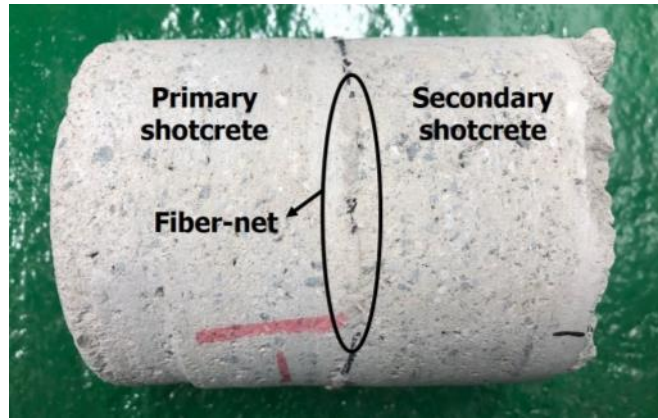


그림 2-45. 코어 시편을 통해 확인된 샷크리트 및 섬유 그물망

- 샷크리트 타설 두께 검토 결과, 개발 샷크리트 배합의 우수한 작업성 확인 (그림 2-46 참조)
 - 강섬유 보강 샷크리트 배합 시, 강섬유의 뭉침 현상 및 이로 인한 타설 시 노즐 및 압송 호스를 통한 압송성 저하 문제 확인
 - 일반 샷크리트에 비해 작업성 저하

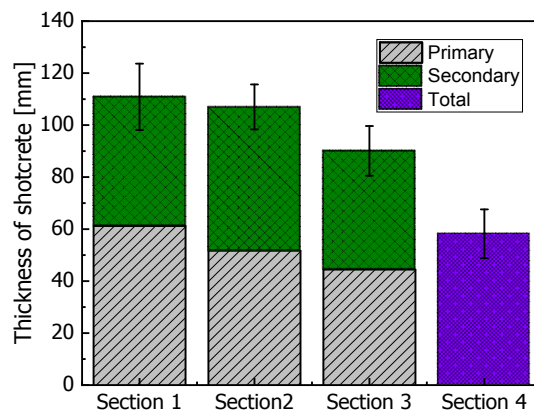


그림 2-46. 각 구간 별 샷크리트 타설 두께

- 샷크리트 리바운드율 평가
 - 리바운드율은 샷크리트 타설 전 바닥에 설치된 비닐에 리바운드 된 샷크리트 무게와 코어 시편을 통해 확인된 샷크리트 타설 두께로부터 추정된 샷크리트의 무게를 이용하여 산출 (그림 2-47 참조)



그림 2-47. 샷크리트 리바운드율 측정 과정

- 리바운드율 검토 결과, 2차 샷크리트 탈락으로 인한 section 3에서의 리바운드율을 제외하고는 모두 10% 이하로 나타남 (그림 2-48 참조).
- 개발 샷크리트 배합의 목표 리바운드율 (10% 미만) 달성 (그림 2-48 참조)

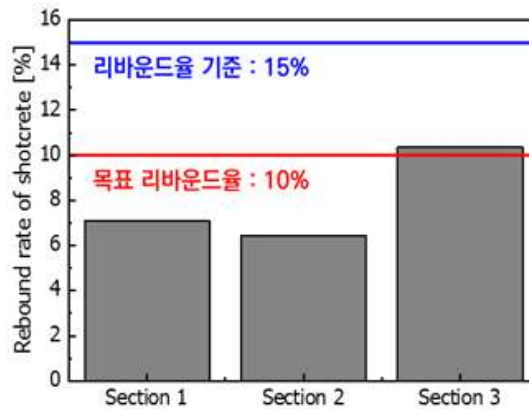


그림 2-48. 각 구간 별 샷크리트 리바운드율

- ❑ ‘샷크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템 현장 적용성 부재실험 보고서’ 도출 (그림 2-49 참조)
- ❑ ‘섬유 그물망을 이용한 터널 시공 방법’ 특허 출원 완료 (그림 2-50 참조)
- ❑ ‘부착성능이 향상된 모르타르 샷크리트 분사장치 및 그 분사장치를 이용한 샷크리트 타설방법’ 특허 출원 완료 (그림 2-50 참조)

샷크리트용 섬유 그물망 일체형
터널 지보시스템
현장 적용성 부재실험 보고서

2020. 02

그림 2-49. 샷크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템 현장 적용성 부재실험 보고서

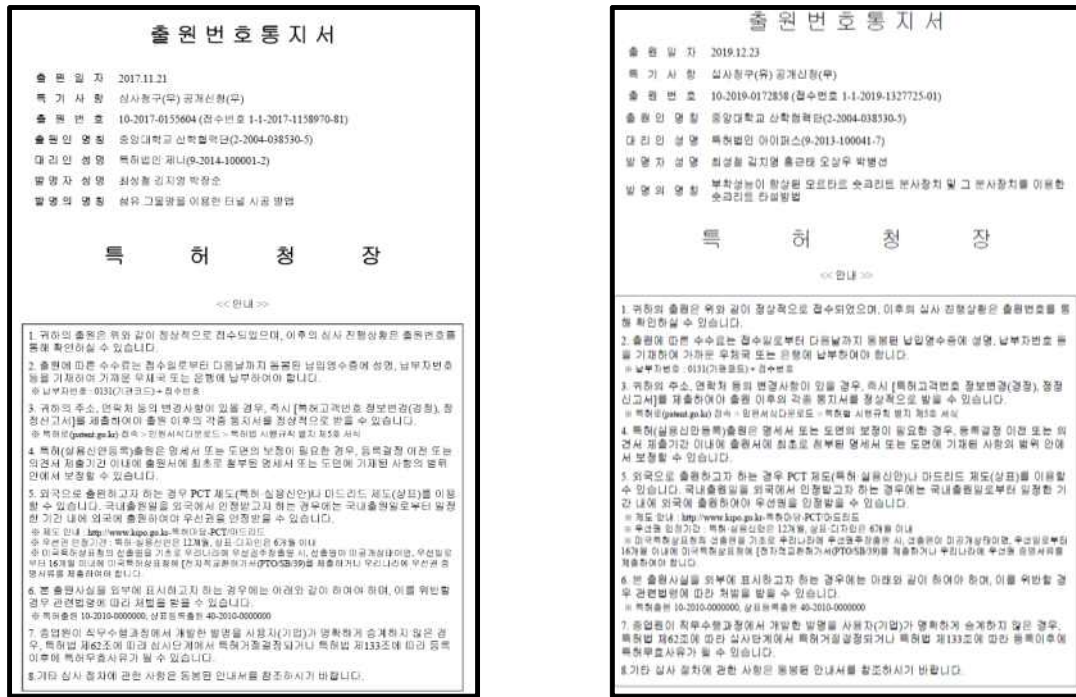


그림 2-50. 숏크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템 시공 기술 관련 특허 출원서

아. 섬유 그물망 지보재용 숏크리트의 균열저항 성능 향상 기술

1) 자기치유형 숏크리트 배합 기술 개발

□ 무기계 자기치유 소재 (결정 촉진제)

- 무기계 자기치유 소재로 SO_4^{2-} 계열의 결정 촉진제 사용
 - 결정 촉진제는 균열 발생 이후 수분이 침투하면 추가적인 수화 반응을 통해 균열에 침투물을 생성하여 균열을 치유하는 소재
 - 균열면에 SO_4^{2-} 를 공급하는 경우, 판상형 수화물인 Afm과 팽창성 수화물인 ettringite가 생성되어 균열을 효과적으로 치유할 수 있음.
- 경제성 및 자기치유 성능을 고려한 최적 혼입을 산정을 위해 결정 촉진제의 혼입율을 달리한 배합 결정
 - 섬유 그물망 지보재용 숏크리트 배합 (S20A5RP10)을 바탕으로, 자기치유 소재의 혼입율을 2.5%씩 증가시켜가면서 배합 수정. 이 때, 자기치유 소재는 시멘트를 대체함 (표 2-20 참조).

표 2-20. 자기치유형 숏크리트 배합비

구분	W/B	단위중량 (kg/m^3)						사용량 (Binder %)	
		시멘트	GGBFS	무수 석고	세골재	폴리머	SH	유동 화제	급결제
Plain	47%	355.2	96	24	1,625	4.8	0	0.2	10
SH1		350.4					4.8		
SH3		340.8					14.4		
SH5		331.2					24		
SH7		321.6					33.6		

2) 자기치유 소재 활용에 따른 췁크리트의 자기치유 성능 평가

□ 자기치유형 모르타르 췁크리트의 성능 평가

- 자기치유 소재의 최적 혼입량을 산정하기 위한 실험 수행 후, 선정된 최적 혼입율을 이용한 췁크리트 배합의 현장 적용에 따른 결과 분석
- 자기치유 성능을 평가하기 위한 방법으로 water flow test 이용
 - Water flow test : 자기치유에 의한 투수량 변화를 측정하여 자기치유 성능 평가

□ Water flow test 수행 방법

- 100×50 mm의 원형 시편 이용
- 배합 후, 20±3 °C, RH 100% 챔버에서 24시간 동안 양생하였으며, 재령 28일까지 20±3 °C의 water container에서 수중 양생한 후 균열 유도
- 할열 인장 강도 측정 실험 방법을 통해 균열을 유도하였는데, 시편을 완전히 두 조각으로 분리한 후 0.25 mm 두께의 시트지를 양쪽에 삽입한 후 철제 밴드로 조여 0.25 mm의 균열 폭을 확보 (그림 2-51 참조)



그림 2-51. 균열 폭 0.25 mm로 조절된 투수 시험용 시편

- 목표 균열 폭을 확인하기 위해 광학 현미경을 통해 균열 폭을 측정하였음. 이 때, 균열 폭은 시편 상·하를 각각 6곳 이상 측정한 후 평균 균열 폭을 산정하였음 (그림 2-52).

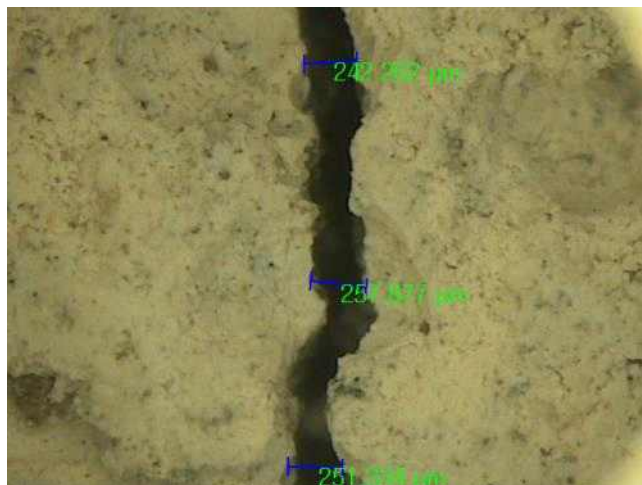


그림 2-52. 광학 현미경을 이용한 균열 폭 측정

- Water flow test는 수두 높이 300 mm (시편 길이 포함)인 정수두 상태로 수행하였으며, 실험은 20 ± 3 °C의 tap water를 이용하였음 (그림 2-53 참조).
- 균열을 통한 투수량 측정은 0일, 7일, 28일에 수행하였으며, 매 측정 시 초기 3분 동안 물을 흘려보낸 이후 7분 동안 투수량을 측정하였음.



그림 2-53. 투수 실험 수행 모습

□ 자기치유 성능 평가 실험 결과

- 광학 현미경을 통해 반복 촬영하면서 균열 폭을 조정하였으며, 목표 균열 폭은 250 μm 가 되도록 조정하였음.
- 현장 배합의 자기치유 성능 목표는 200 μm 이나, 현장 배합의 경우 품질 관리가 어려우며, 골재의 혼입량이 높기 때문에 실험실 수준의 실험에 비해 낮은 자기치유 성능이 나타날 수 있음. 따라서 실험실 수준의 실험에서는 250 μm 에 대하여 실험을 수행하였음.
- 대부분 목표 균열 폭인 250 μm 주위인 240-260 μm 의 균열 폭으로 측정되었음 (표 2-21 참조).

표 2-21. 균열 폭 측정 결과

시편		앞면 (μm)	뒷면 (μm)	평균 (μm)
Plain	1	257	252	254.5
	2	252	250	251.0
	3	250	245	247.5
SH1	1	242	264	253.0
	2	251	259	255.0
	3	249	245	247.0
SH3	1	268	244	256.0
	2	254	240	247.0
	3	243	264	253.5
SH5	1	242	248	245.0
	2	245	257	251.0
	3	261	245	253.0
SH7	1	246	246	246.0
	2	250	252	251.0
	3	261	256	258.5

• 자기치유 성능 평가 결과

- 자기치유 소재의 혼입율이 증가함에 따라 자기치유 성능 향상 (그림 2-54, 그림 2-55 참조)
 - : Plain의 경우 재령 28일에 약 65%의 투수 감소율을 보였으며, 자기치유 소재의 혼입율이 5% 증가할 때 까지 지속적으로 증가하여 투수감소율이 약 94%에 달하는 것으로 확인되었음.
 - : SH7 경우에도 SH5인 경우와 마찬가지로 94%였으며, 초기 투수량이 조금 더 큰 것을 감안하면 자기치유 성능이 증가한 것으로 볼 수 있으나 그 영향은 그리 크지 않은 것으로 확인되었음.

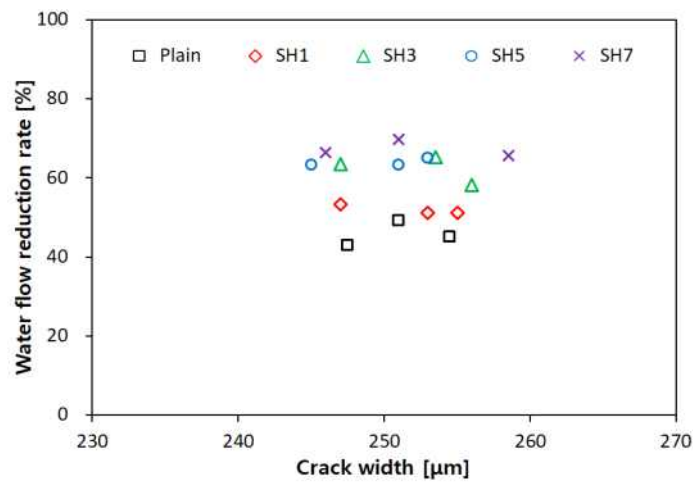


그림 2-54. 7일간 자기치유 한 후 투수 감소율 평가 결과

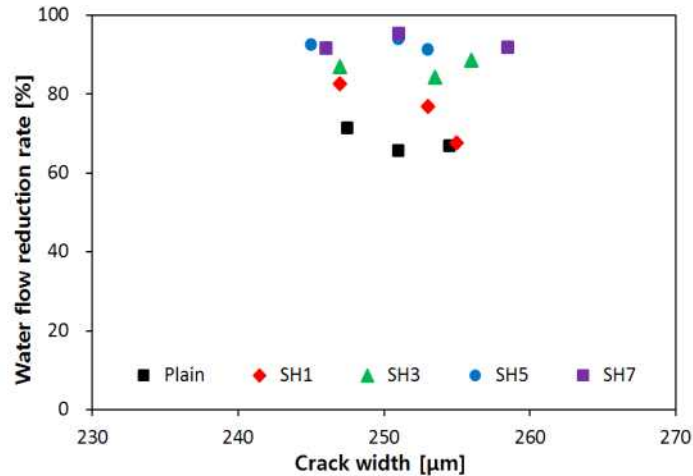


그림 2-55. 28일간 자기치유 한 후 투수 감소율 평가 결과

- 배합 별 평균 균열 폭 대비 투수감소율 결과 (그림 2-56 참조)
 - : 자기치유 소재의 혼입량이 증가함에 따라 자기치유 성능이 향상되지만, 자기치유 소재가 5% 이상 혼입 되는 경우 자기치유 성능 향상은 미비함.
 - ▣ 경제성을 고려할 때, 자기치유 소재를 5% 사용하는 것이 적절할 것으로 판단됨.

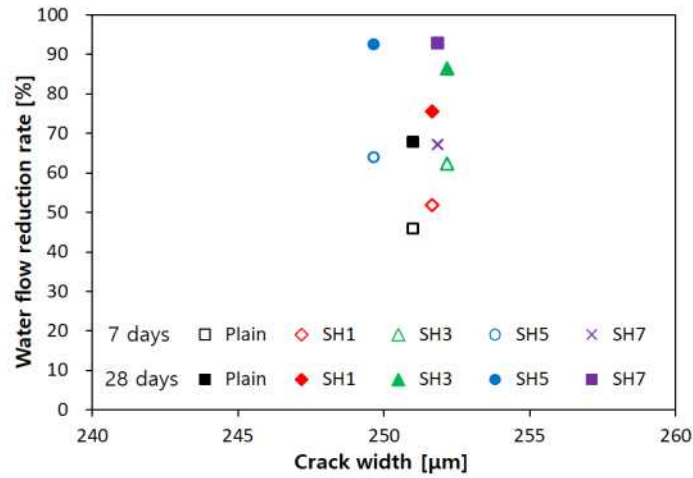


그림 2-56. 평균 균열 폭 대비 평균 투수 감소율

3) 현장 배합의 자기치유 성능 평가

□ 현장 배합을 활용한 자기치유 성능 평가용 시편 제작

- S20A5RP10 및 S20A5RP10SH5의 배합비 (표 2-22 참조)에 따라 배합
- 시편 제작을 위해 레미콘에서 모르타르를 받은 후 급결제를 계량하여 혼입한 후 시편 제작 (그림 2-57 참조)

표 2-22. 현장 시공 배합비

구분	W/B	단위중량 (kg/m ³)						사용량 (Binder %)	
		시멘트	GGBFS	무수 석고	세골재	폴리머	SH	유동 화제	급결제
S20A5RP10	47%	355.2	96	24	1,625	4.8	0	0.2	10
S20A5RP10SH5		331.2					24		



레미콘을 통해 받은 현장 배합 모르타르



시편 제작 모습

그림 2-57. 현장 시공 시 자기치유 성능 평가용 시편 제작 모습

□ 현장 배합을 활용한 자기치유 성능 평가

- 100×200 mm 시편의 양 끝은 잘라내고 내부에서 100×50 mm 시편을 2개씩 얻었으며, 총 8개의 시편 이용

- 균열을 유도한 후 시편의 내부에 실리콘 시트를 넣어 균열 폭이 완전히 닫히지 않도록 하였으며, 광학 현미경을 통해 반복 촬영하면서 균열 폭을 조정하여 목표 균열 폭인 200-250 μm 가 되도록 조정
- 대부분 목표 균열 폭인 200-250 μm 의 균열 폭으로 측정 (표 2-23 참조)

표 2-23. 현장 배합의 균열 폭 측정 결과

시편		앞면 (μm)	뒷면 (μm)	평균 (μm)
S20A5RP10	1	223	255	243
	2	240	237	239
	3	196	214	205
	4	214	202	208
	5	222	227	225
S20A5RP10SH5	1	240	225	232
	2	211	224	218
	3	217	243	230
	4	229	184	206
	5	249	243	246

• 자기치유 성능 평가 결과

- 일반 배합 (S20A5RP10)에 비해 자기치유 배합 (S20A5RP10SH5)의 자기치유 성능 향상 (그림 2-58, 그림 2-59 참조)
 - : S20A5RP10 배합의 경우, 균열 폭이 200 μm 일 때 투수 감소율이 약 80%였으며, 균열 폭이 증가함에 따라 감소하여 240 μm 에는 약 70%로 감소
 - : S20A5RP10SH5 배합의 경우, 균열 폭이 200 μm 일 때 투수 감소율이 100%였으며, 균열 폭이 증가함에 따라 감소하여 230 μm 까지 약 90% 이상 감소

■ 자기치유형 숏크리트 배합을 통해 폭 206 μm 의 균열 치유가 가능한 것을 확인

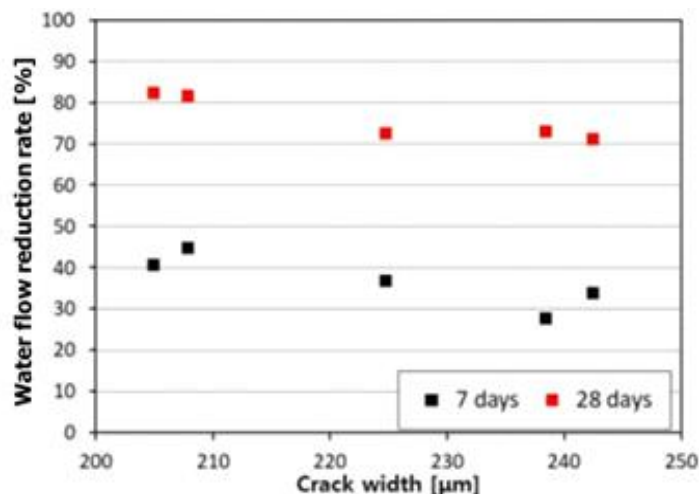


그림 2-58. 일반 배합 (S20A5RP10)의 자기치유 성능 평가 결과

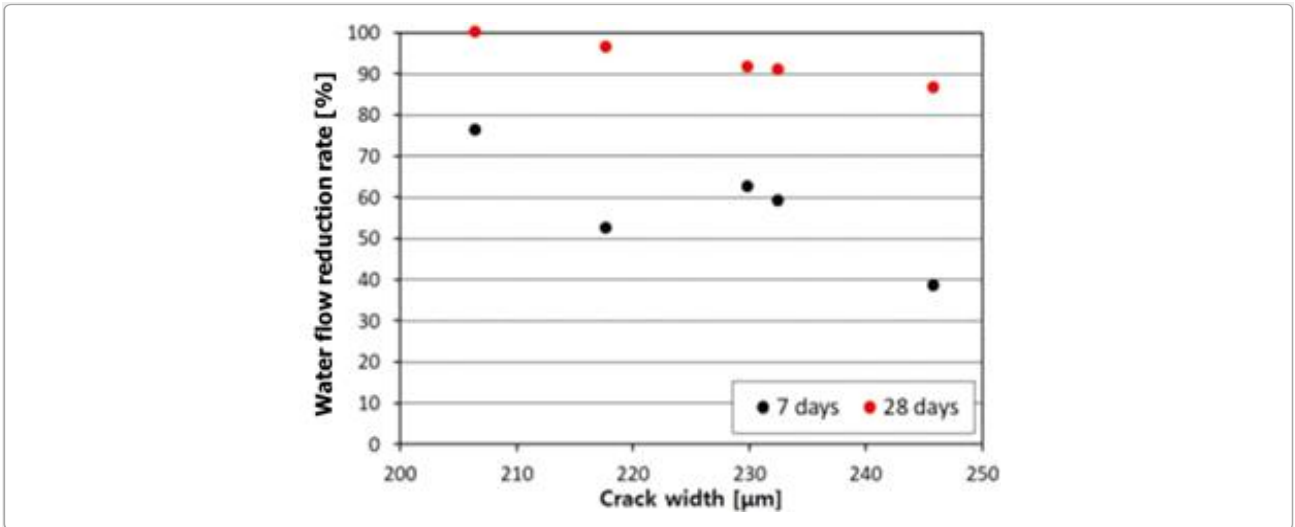


그림 2-59. 자기치유 배합 (S20A5RP10SH5)의 자기치유 성능 평가 결과

▣ ‘섬유 그물망 지보재용 숏크리트 균열 자기치유 성능 평가 보고서’ 도출 (그림 2-60 참조)

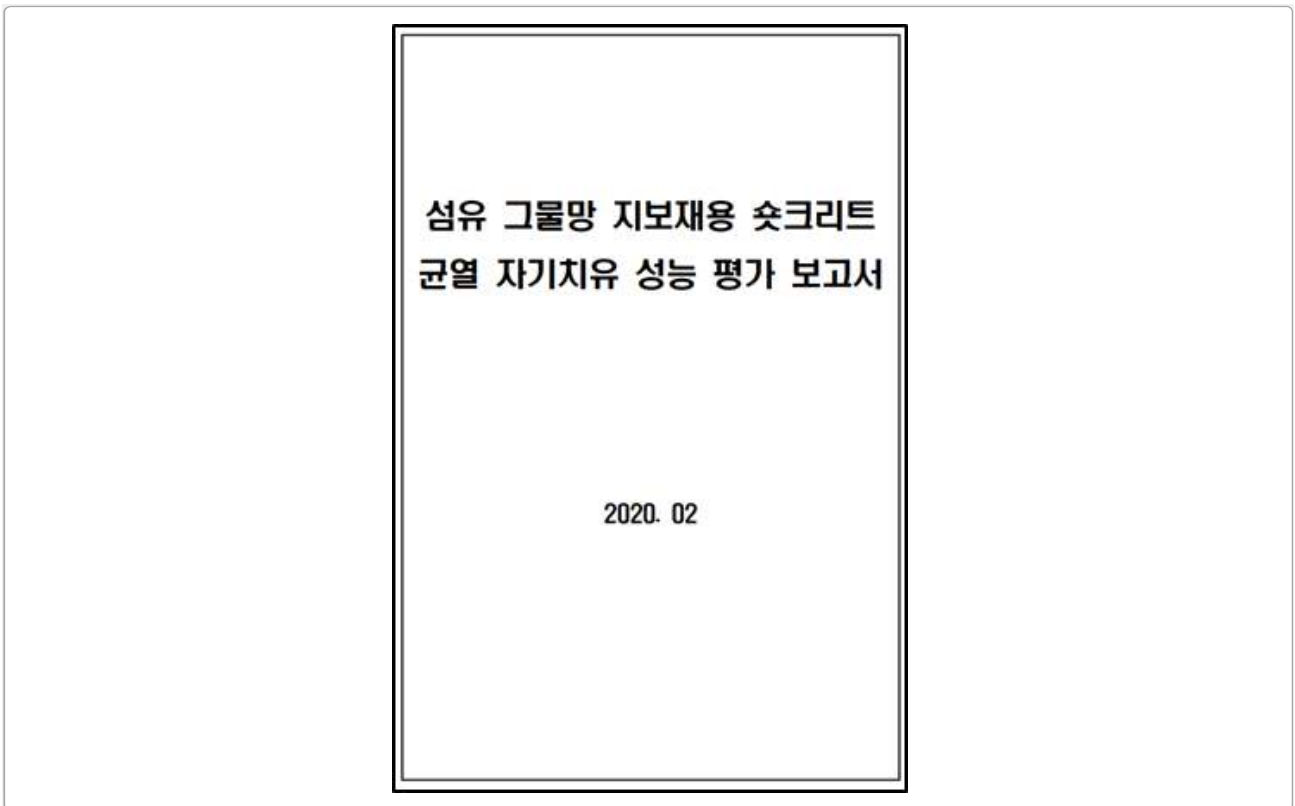


그림 2-60. 섬유 그물망 지보재용 숏크리트 균열 자기치유 성능 평가 보고서

자. 현장 시험 시공

□ 시험 시공 단면 구성 (그림 2-61 참조)

- Section 1 → ‘S20A5RP10-M’ - ‘2.5×2.5 cm fiber net’
- Section 2 → ‘S20A5RP10-M’ - ‘2.5×5.0 cm fiber net’
- Section 3 → ‘S20A5RP10-C’ - ‘2.5×5.0 cm fiber net’



그림 2-61. 현장 시험 시공 수행 부지 및 단면 구성

□ 시공 과정

- 췁크리트 배합 → 섬유 그물망 설치 → 2차 췁크리트 타설 순으로 시공 진행
- 각 구간 별로 시공 위치, 췁크리트 배합, 섬유 그물망의 격자 크기, 규격, 및 시공 형태에 변화를 주어 시공 진행 (표 2-24 참조)

표 2-24. 구간 별 시공 내용

시공 구간	시공 위치	췁크리트 배합	Hyper 섬유 그물망 격자 크기	Hyper 섬유 그물망 규격 (b×h)*	Hyper 섬유 그물망 시공 형태
Section 1	측벽부	S20A5RP10-M	2.5×2.5 cm	1×1 m 2장	조각 형태 시공
				1×2 m 4장	
Section 2	측벽부	S20A5RP10-M	2.5×5.0 cm	b=1 m	롤 형태 시공
Section 3	측벽부, 천단부	S20A5RP10-C	2.5×5.0 cm	1×1 m 4장	조각 형태 시공
				1×3 m 4장	

* b : 섬유 그물망의 폭; h : 섬유 그물망의 길이

• Section 1

- 섬유 그물망의 격자 사이로 락볼트를 통과시켜 섬유 그물망을 위치시킨 후, 핀 (칼블럭)을 이용하여 일정 간격으로 섬유 그물망 고정. 이 때, 조각 형태의 섬유 그물망을 이어 붙이면서 시공 진행 (그림 2-62 참조)
- 섬유 그물망 정착 부재를 사용하여 섬유 그물망 고정 (그림 2-30 참조)



핀을 이용한 섬유 그물망 1차 고정



락볼트 플레이트를 이용한 섬유 그물망 2차 고정

그림 2-62. 조각 형태의 섬유 그물망 시공 과정

- 섬유 그물망 시공 후, 5 cm의 두께를 목표로 2차 췁크리트 타설 (이 때, 1차 췁크리트는 5 cm의 두께로 타설되었다고 가정) (그림 2-63 참조)



그림 2-63. Section 1에서의 2차 췁크리트 타설

- Section 2
 - 시공 공간의 상부에 핀 (칼블럭)을 이용하여 물 형태의 섬유 그물망 우선 고정 후, 상부에서 하부 방향으로 락볼트에 섬유 그물망을 걸고 핀 (칼블럭)을 이용해 일정 간격으로 섬유 그물망 1차 고정 (그림 2-64 참조)
 - 락볼트 플레이트를 활용하여 섬유 그물망 2차 고정 후, 하단부에서 섬유 그물망 커팅 (그림 2-64 참조)



핀을 이용한 섬유 그물망의 상부 고정



하부 방향으로 섬유 그물망 1차 고정



락볼트 플레이트를 이용한 섬유 그물망 2차 고정

그림 2-64. 롤 형태의 섬유 그물망 시공 과정

- 섬유 그물망 시공 후, 5 cm의 두께를 목표로 2차 췁크리트 타설 (이 때, 1차 췁크리트는 5 cm의 두께로 타설되었다고 가정)
- Section 3
 - Section 1과 동일하게 조각 형태의 섬유 그물망의 이어 붙이면서 터널 측벽부 및 천단부에서 시공 진행 (그림 2-65 참조)
 - 섬유 그물망 시공 후, 5 cm의 두께를 목표로 2차 췁크리트 타설 (이 때, 1차 췁크리트는 5 cm의 두께로 타설되었다고 가정) (그림 2-66 참조)



측벽부 섬유 그물망 설치



천단부 섬유 그물망 설치



그림 2-65. 터널 측벽부 및 천단부에서의 섬유 그물망 시공 과정



측벽부 2차 췁크리트 타설



천단부 2차 췁크리트 타설

그림 2-66. Section 3에서의 2차 췁크리트 타설

□ 시공 결과

- 섬유 그물망 지보재용 췁크리트의 현장 배치 플랜트 사용성 검토
 - 기존 췁크리트 현장 배합 현황
 - : 기존의 일반 췁크리트 및 강섬유 보강 췁크리트가 배합되는 배치 플랜트는 잔골재 저장부, 굵은 골재 저장부, 시멘트 사일로 등으로 구성됨.
 - : 각 저장부에서 재료의 무게가 자동으로 계량된 후, 각각의 컨베이어 라인을 통해 중량 배합기로 이송되어 배합이 진행되는 구조 (그림 2-67 참조)



그림 2-67. 현장 배치 플랜트 전경

- 섬유 그물망 지보재용 고성능 췁크리트 현장 배합 현황
 - : 본 연구를 통해 개발된 배합은 기존 배합 재료 (시멘트, 잔골재, 굵은 골재, 강섬유)에서 강섬유와 굵은 골재가 제외되고, 고로슬래그 미분말, 무수석고, 폴리머가 추가된 배합
 - : 시험 시공 수행 시에는 각각의 재료를 따로 계량 후 배합기에 직접 투입하여 배합을 진행하였으며, 향후 본 개발 배합이 실제 터널 공사에 활용될 경우, 효율적인 시공 진행을 위해 재료 저장부 및 컨베이어 라인에 대한 수정이 필요할 것으로 보임.

- 시공 시간 (표 2-25 참조)
 - 섬유 그물망 시공 형태 별 시공 시간 평가
 - : 동일 면적을 대상으로 시공을 진행하였을 때, 조각 형태로 시공하는 경우보다 롤 형태로 시공하는 경우가 시공 시간 단축에 유리

❑ **폭 (터널의 굴진 방향) 1 m인 롤 형태의 섬유 그물망을 사용하여 시공할 것을 제안**

표 2-25. 각 구간 별 시공 시간

시공 구간	섬유 그물망 설치	시공 면적 대비 전체 시공 시간
Section 1	22분	32분/m ³
Section 2	8분	18분/m ³
Section 3	30분	25분/m ³

- 시공 균일성
 - 시험 시공 수행 후, 각 구간 당 1개씩 채취된 코어 시편 내의 췁크리트 타설 두께를 통해 2차 췁크리트 타설 두께의 균일성 평가 (그림 2-68 참조)



(a) Section 1



(b) Section 2



(c) Section 3

그림 2-68. 각 구간 별 채취된 코어 시편

- 2차 췁크리트 타설 두께 검토 결과, section 1에서는 목표 값과 유사하게 시공되었으나, section 2와 3에서는 목표 타설 두께에 훨씬 미치지 못함 (표 2-26 참조).

❑ **목표 타설 두께를 달성하고 이를 균일하게 유지하기 위하여 일정 시공 면적에 대한 시공 시간을 약 11 분/m³로 규정할 것을 제안**

표 2-26. 각 구간 별 2차 췁크리트 타설 두께

시공 구간	1	2	3	Average
Section 1	4.5 cm	3.9 cm	4.4 cm	4.6 cm
Section 2	3.9 cm	3.7 cm	3.6 cm	3.7 cm
Section 3	2.6 cm	3.6 cm	3.1 cm	3.1 cm

차. 구조해석

□ 구조해석을 통한 췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템 성능 검증

- 지반 조건에 대한 터널 단면 구조 해석
 - 설계조건 (표 2-27 ~ 표 2-30 참조)

표 2-27. 지반 물성치

지층	단위중량 (kN/m ³)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 (MPa)	포아송비 (ν)
3등급 암	20	30	32	200	0.3

표 2-28. 지보재 물성치

구분	탄성계수 (MPa)	항복강도 (MPa)	포아송비 (ν)
연한 췁크리트 (1일 강도)	5.0×10^3	10	0.3
굳은 췁크리트 (28일 강도)	1.5×10^4	21	0.3
락볼트 (SD350, D25)	2.1×10^5	350	0.3

표 2-29. 지보재 안정성 기준 - 췁크리트 허용 휨압축응력

구분	기준	설계기준강도 (MPa)	허용응력 (MPa)
강섬유 보강 췁크리트	$0.4f_{ck}$	$f_{ck} = 21$	8.4
섬유 그물망 보강 췁크리트	$0.4f_{ck}$	$f_{ck} = 29$	11.6

표 2-30. 지보재 안정성 기준 - 락볼트 허용 축력

구분	기준	단면적 (mm ²)	허용응력 (MPa)	허용축력 (kN)	비고
허용 축력	$0.5A_s f_y$	409.9	350	86.0	SD350

- 지보패턴 및 보조공법 (표 2-31 참조)

표 2-31. 지보패턴 및 보조공법

구분		지보패턴
췁크리트 두께 (mm)		120 (강섬유 보강), 100 (섬유 그물망 보강)
락볼트	길이 (m)	4.0
	횡간격 (m)	1.5
	종간격 (m)	1.5

- 해석 단계 (표 2-32 참조)

표 2-32. 해석 단계

Step	시공순서	하중분담율 (%)
1	원지반	-
2	초기 상태 (변위=0)	-
3	상반 굴착	40
4	Soft shotcrete	30
5	Hard shotcrete	30
6	하반 굴착	40
7	Soft shotcrete + Rock bolt	30
8	Hard shotcrete	30

- 지반 조건에 대한 터널 단면 구조 해석 결과
- 수직변위도 (그림 2-69 참조)

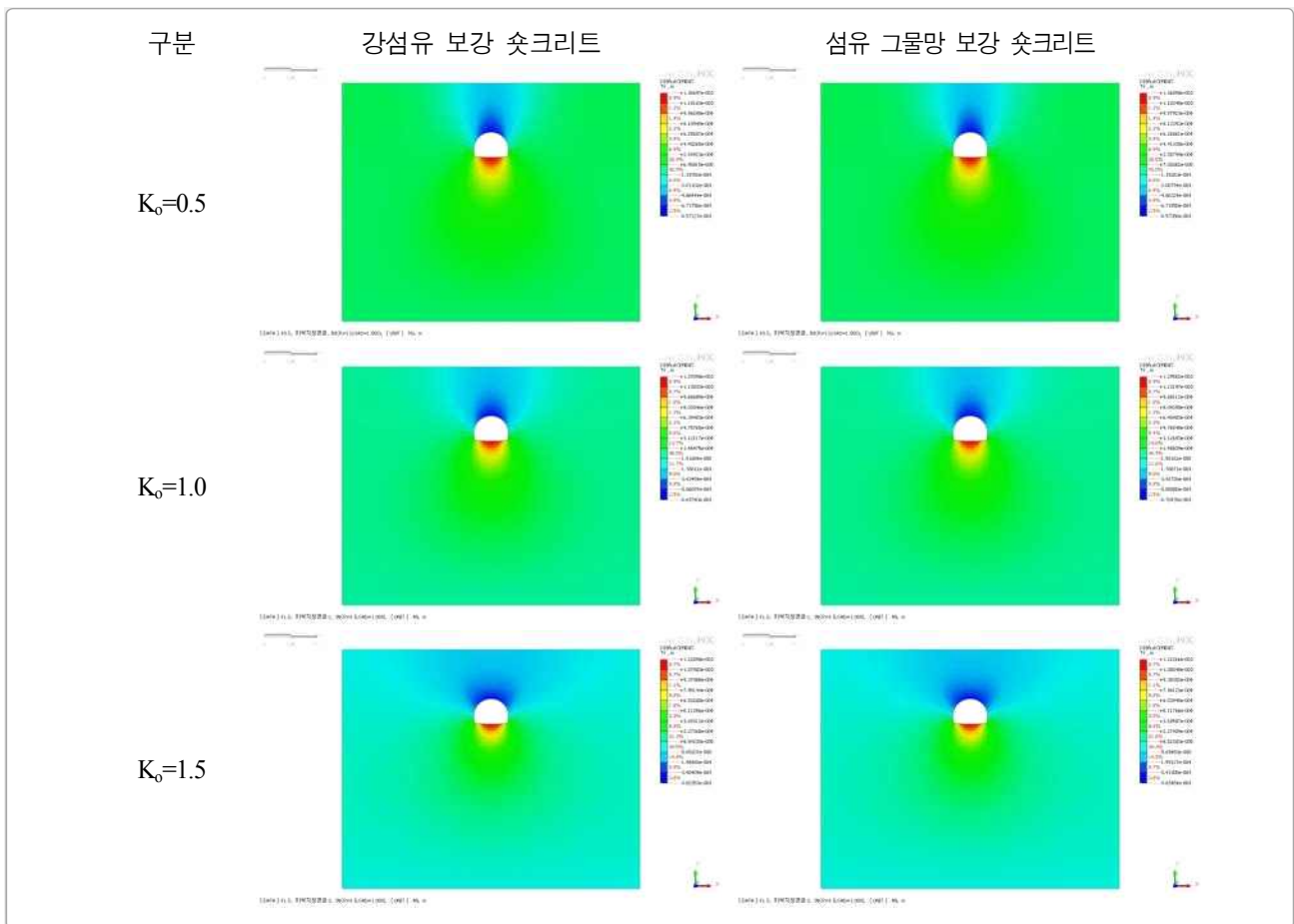


그림 2-69. 수직변위도

- 수평변위도 (그림 2-70 참조)

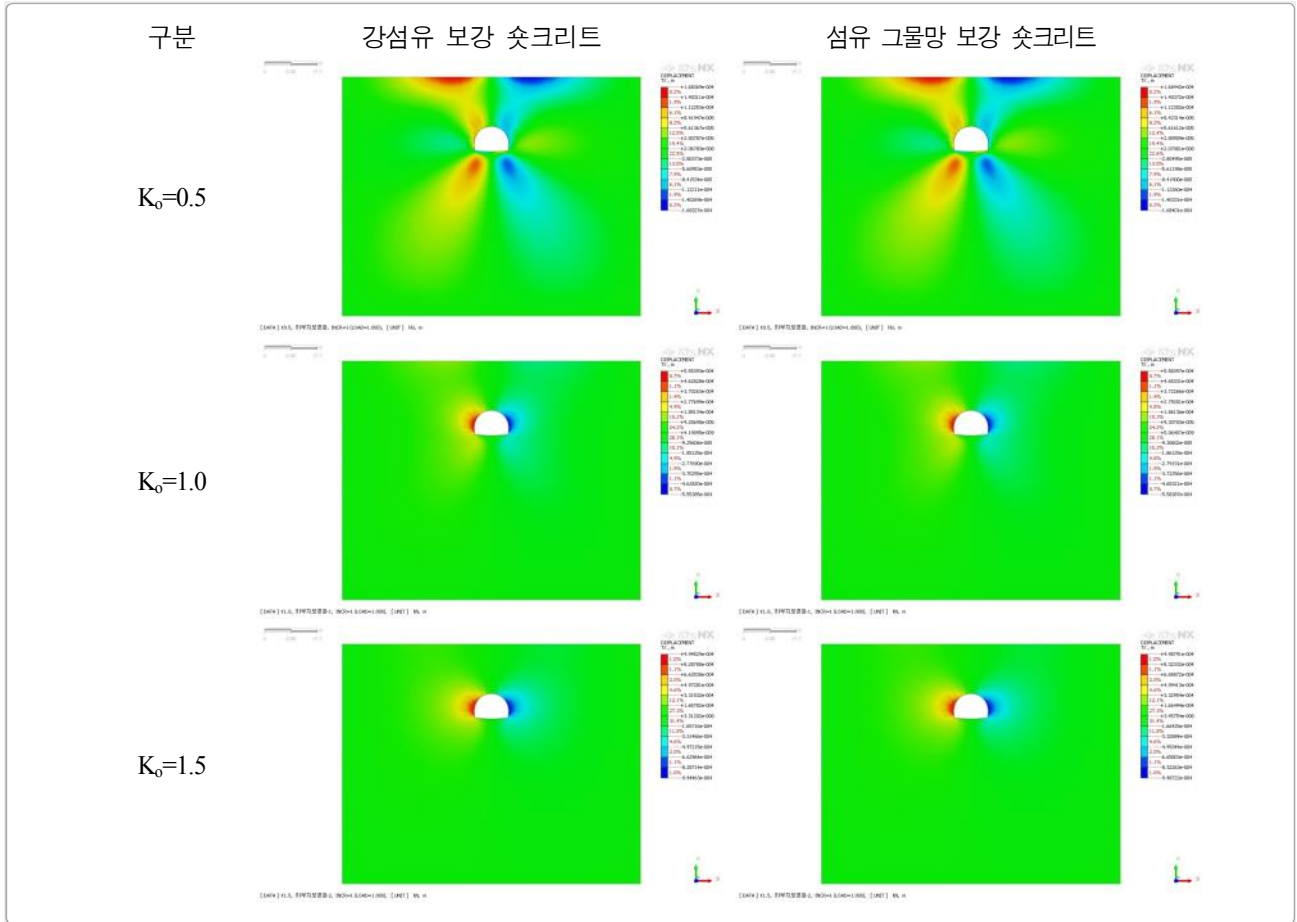


그림 2-70. 수평변위도

- 변위량 (그림 2-71 참조)

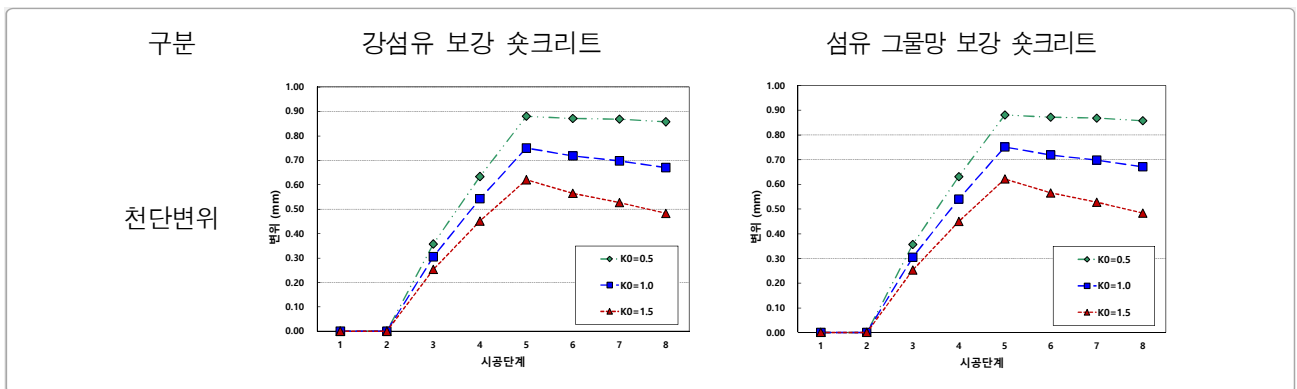


그림 2-71. 천단부/좌측벽/우측벽 변위량

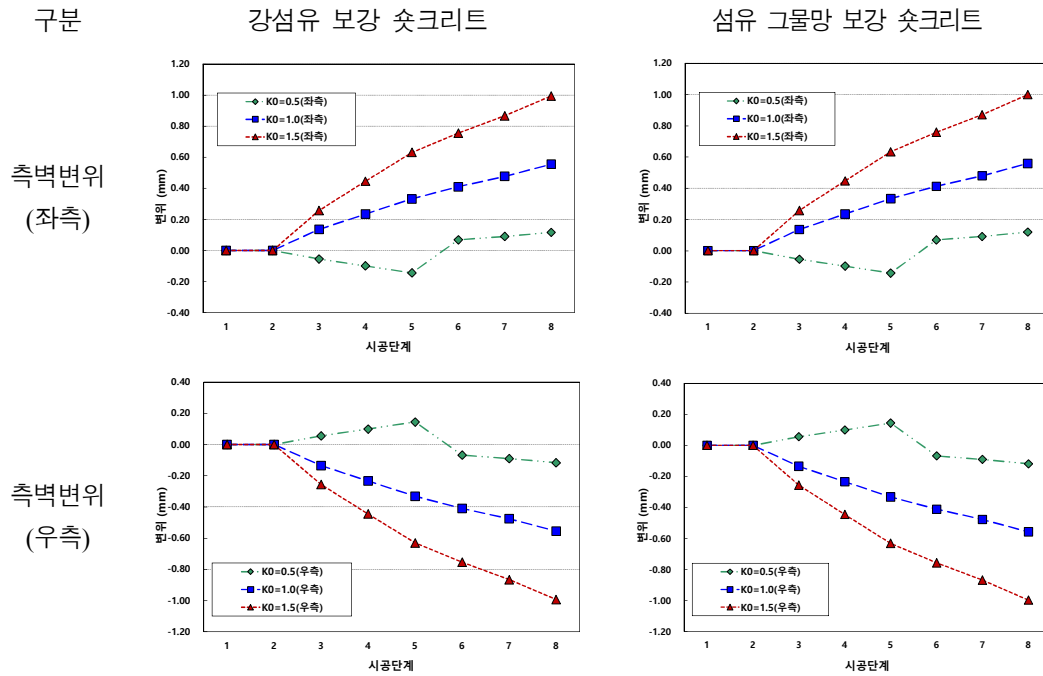


그림 2-71. 천단부/좌측벽/우측벽 변위량 (continued)

- 췁크리트 휨압축응력 (그림 2-72 참조)

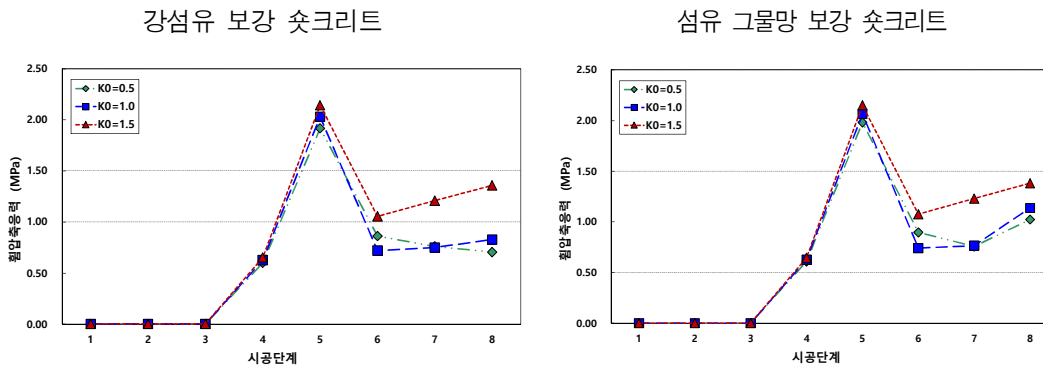
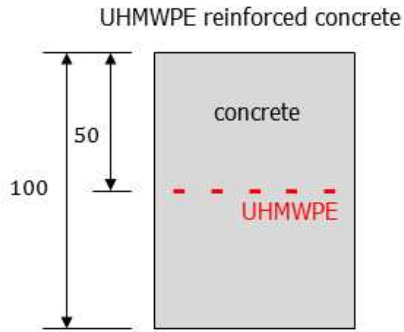


그림 2-72. 췁크리트 휨압축응력

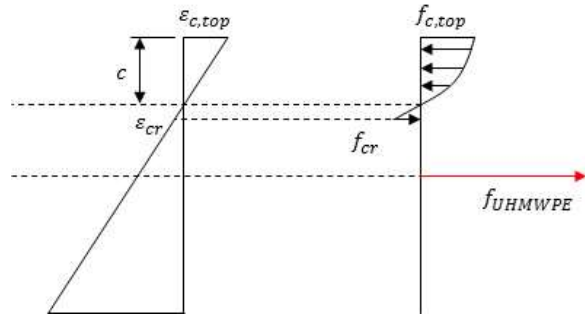
- 섬유 그물망 보강 췁크리트 및 강섬유 보강 췁크리트 단면 해석
 - 단면 해석을 위한 섬유 그물망 보강 췁크리트 및 강섬유 보강 췁크리트의 단면, 변형률, 응력 (그림 2-73 참조), 및 해석 조건 (표 2-33 참조)

표 2-33. 섬유 그물망 보강 췁크리트 및 강섬유 보강 췁크리트의 해석 조건

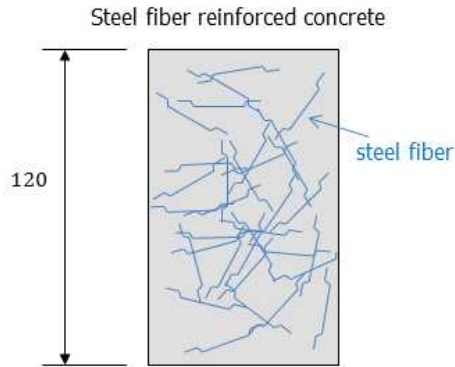
구분	f_c' (MPa)	f_{cr} (MPa)	b (mm)	h (mm)	S (mm ³)	M_{cr} (kN·m)
UHMWPE reinforced concrete	40	2.09	100	100	166,666.7	0.35
Steel fiber reinforced concrete	40	2.09	100	120	240,000	0.50



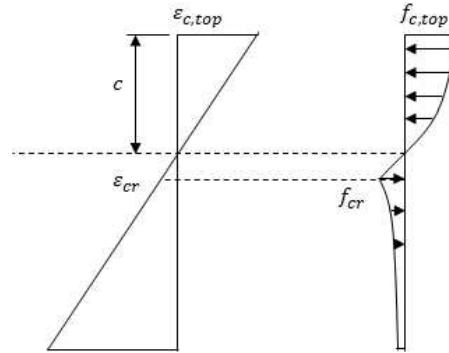
UHMWPE reinforced concrete 단면



UHMWPE reinforced concrete 변형률 및 응력 분포



Steel fiber reinforced concrete 단면



Steel fiber reinforced concrete 변형률 및 응력 분포

그림 2-73. 섬유 그물망 보강 췁크리트 및 강섬유 보강 췁크리트의 단면, 변형률, 응력 분포

- 단면 해석 알고리즘 (그림 2-74 참조)

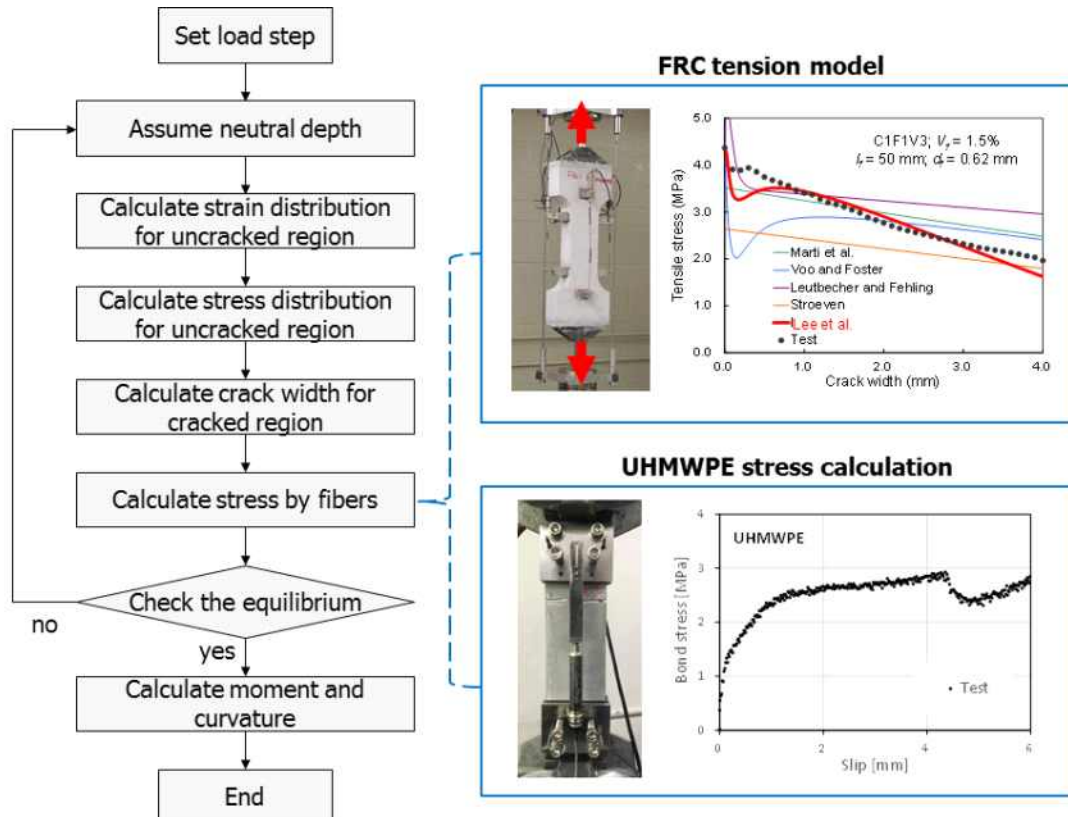


그림 2-74. 섬유 그물망 보강 췁크리트 및 강섬유 보강 췁크리트의 단면 해석 알고리즘

• 단면 해석 결과

- 섬유 그물망 보강 숏크리트 및 강섬유 보강 숏크리트의 moment-curvature 도출 결과, 섬유 그물망 보강 숏크리트의 콘크리트 균열 발생 이후 거동이 강섬유 보강 숏크리트에 비해 우수함 (그림 2-75 참조).

□ 섬유 그물망 보강 숏크리트의 증진된 역학적 성능으로 인하여, 강섬유 보강 숏크리트에 비해 타설 두께를 감소시켜도 터널 지보재로서의 향상된 성능 발휘 가능

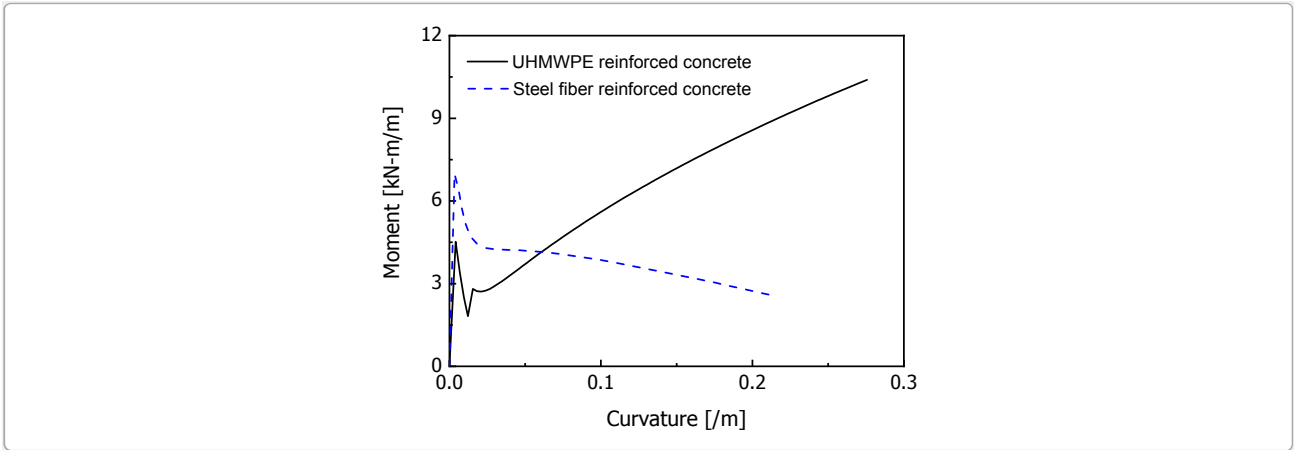


그림 2-75. 섬유 그물망 보강 숏크리트 및 강섬유 보강 숏크리트의 moment-curvature 결과

카. 숏크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템

□ 지보패턴 (표 2-34 참조)

- RMR 분류법에 의한 숏크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템 적용 암반 결정 및 지보패턴 도출
 - 적용 지반 조건
 - : 암반등급 3등급 지반
 - 실제 시공 시, 암반 조사와 실제의 차이/터널 배면 암반 붕괴/소규모 지진에 의한 붕괴/시공 중 외부 환경 조건으로 인한 지반 연약화 등에 의해 시공 도중 터널 붕괴 사고 발생 가능
 - : 이와 같은 붕괴 사고는 시공 수행 전 예측 불가
 - : 숏크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템은 암반등급 3등급 지반에 적용하는 것을 원칙으로 하지만, 시공 도중 예기치 못한 붕괴 사고 발생 가능성이 존재함. 이로 인하여 암반등급 4등급 암에 필요한 지보성능을 요구하는 구간이 존재할 수 있음.

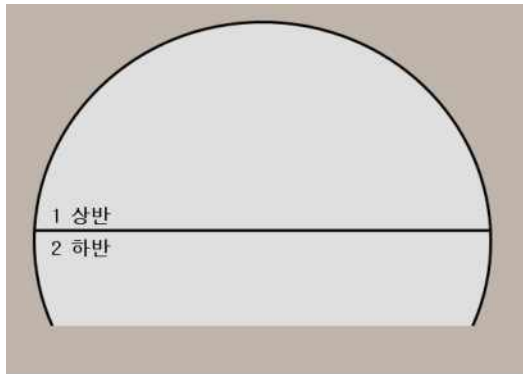
□ 암반등급 3등급 지반에 숏크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템을 적용함으로써, 시공 도중 발생 가능한 붕괴 사고 방지/붕괴 도달 시간 지연 및 예측 불가한 사고를 방지할 수 있으므로 3등급 지반 중 보다 높은 안정성을 요구하는 구간에 효율적으로 적용할 수 있음.

표 2-34. 숏크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템 지보패턴

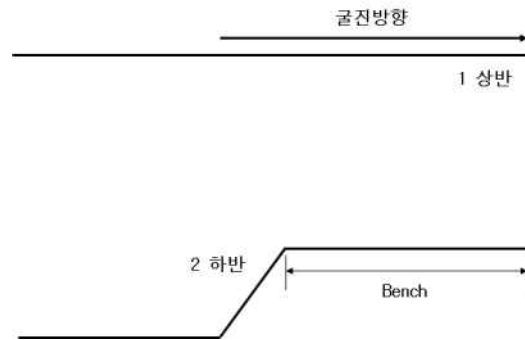
암반등급	암반구분	굴착	지보재		
			숏크리트	섬유 그물망	록볼트
3	보통의 암반 (RMR 41-60)	- 상·하 반단면 굴착 및 벤치 - 매 발파마다 즉시 지보시공	2회에 걸쳐 타설 1, 2차 숏크리트 타설 두께 각각 5 cm	1차 숏크리트 타설 이후 록볼트와 동시 시공	길이 4 m, 간격 1.5-2.0 m로 설치

□ 시공 순서

- RMR 분류 기준 암반등급 3등급에 해당하는 암반은 상·하 반단면 굴착 공법 적용 (그림 2-76 참조)
- 사면절취/경문가시설 → 임 판정 → 천공 → 장약 및 발파 → 버력처리 → 1차 췁크리트 타설 → 록볼트 및 섬유 그물망 시공 → 2차 췁크리트 타설 → 방수 및 배수공 → 라이닝 콘크리트 → 부대 시설 및 포장의 순서로 시공 진행 (그림 2-77 참조)



굴착 단면의 횡단면도



굴착 단면의 종단면도

그림 2-76. 상·하 반단면 굴착 공법을 적용한 굴착 단면의 횡단면도 및 종단면도의 예

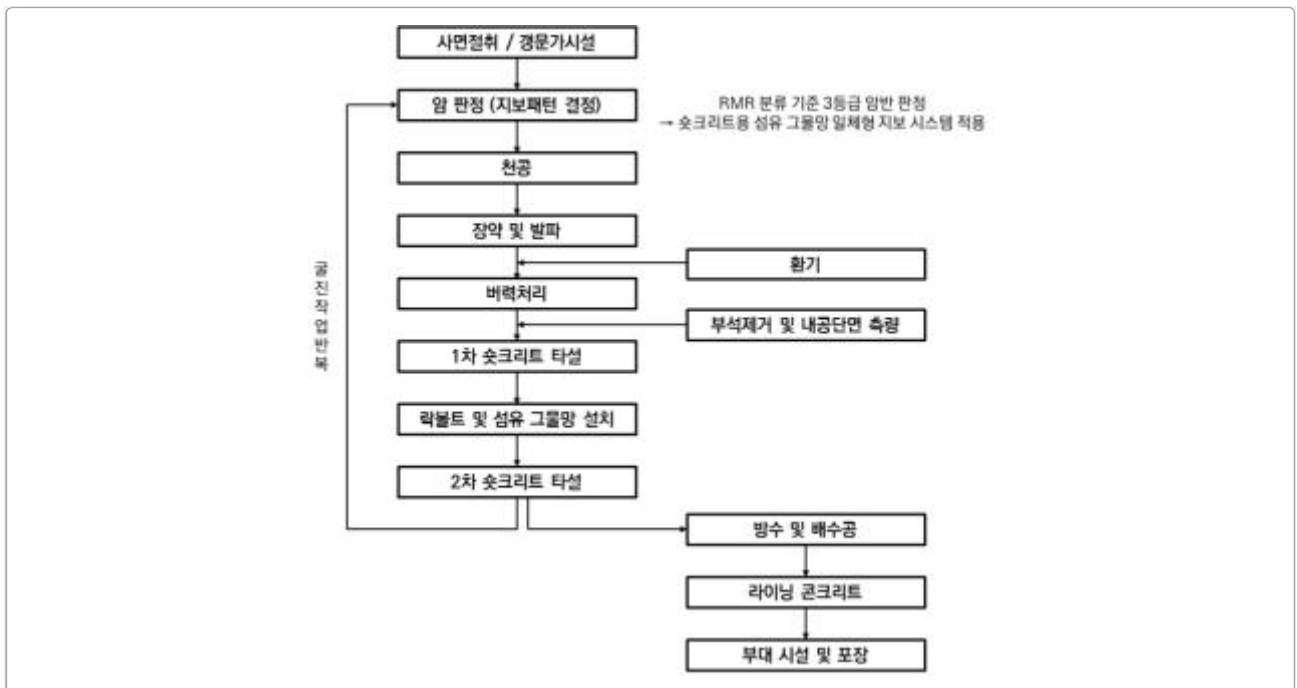


그림 2-77. 췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템 시공 순서

□ 섬유 그물망 보강 췁크리트의 품질 기준 (표 2-35 참조)

표 2-35. 섬유 그물망 보강 고성능 췁크리트의 품질기준*

항목	품질기준		비고
췁크리트 압축강도	1일	28일	-
	5-10 MPa 이상	25 MPa 이상	
췁크리트 현장코어 압축강도	21.25 MPa 이상 (코어 직경 75 mm 이상인 경우) 20 MPa 이상 (코어 직경 55 mm 이상인 경우)		-
췁크리트 부착강도	1.3 MPa 이상		-
췁크리트 건조수축	700 μ m 이하		-
췁크리트 두께	1차	2차	평균두께 : 설계 이상 최소두께 : 설계 75% 이상
	5 cm	5 cm	
섬유 그물망 인장강도	60 kN/m 이상		-
섬유 그물망 내화학적성	80% 이상		-
섬유 그물망 보강 췁크리트 휨 강도	5.85 MPa 이상		-
섬유 그물망 보강 췁크리트 휨 인성계수	3.375 MPa 이상		-
섬유 그물망 보강 췁크리트 리바운드율	10% 미만		-

* 고성능 췁크리트의 현장 코어 압축강도, 부착강도, 건조수축, 두께, 섬유 그물망 보강 고성능 췁크리트의 휨 강도, 휨 인성계수는 재령 28일은 기준으로 함. 또한, 섬유 그물망의 인장강도 및 내화학적성은 시공 수행 전 미리 품질이 확보된 상태이어야 함.

□ 섬유 그물망 보강 숏크리트의 현장 품질관리 항목 (표 2-36 참조)

표 2-36. 섬유 그물망 보강 숏크리트의 현장 품질관리 항목*

검사항목				검사빈도	검사방법	비고
섬유 그물망 지보재용 숏크리트	일상관리	배합비 및 사용량		타설할 때 마다	별도의 기준	-
		분진발생		타설할 때 마다	별도의 기준	
		변형 및 균열		매일	육안 관찰	
		두께		타설할 때 마다	검측핀, 착공검측 등	
	정기관리	압축강도	1일	▪ 보거푸집 : 1회/일	KS F 2405	-
			28일	▪ 보거푸집 : 1회/일 ▪ 코어채취 : 1회(3공)/일	KS F 2405 (보거푸집), KS F 2422 (코어채취)	-
		부착강도		▪ 보거푸집 : 1회/일	KS F 2762	-
		건조수축		▪ 보거푸집 : 1회/일	KS F 2424	-
		두께		▪ 코어채취 : 1회(6공)/20 m	KS F 2422 (코어 채취), 육안 관찰	터널 연장 20 m마다 천장부 2개소, 측벽부 좌·우 각 2개소
터널 지보용 섬유 그물망		인장강도		시공 전 사전 검사	KS K ISO 10319	-
		내화학적성		시공 전 사전 검사	KS K ISO TR 12960	-
섬유 그물망 보강 숏크리트		휨 강도		▪ 보거푸집 : 1회/일	KS F 2566	-
		휨 인성계수		▪ 보거푸집 : 1회/일	KS F 2566	-
		리바운드율		작업시작 전 및 시공 중	리바운드된 재료의 전 질량을 토출된 재료의 전 질량으로 나눈 값	-

* 압축강도, 부착강도, 건조수축 시험, 숏크리트 두께 측정, 휨 강도, 휨 인성 시험 등에서 얻은 시험 값의 평균은 관련 기준 값 이상이 되어야 하며, 시험 값 중 1개 이상의 시료에서 측정된 값이 기준 값의 75%보다 작아서는 안됨.

- ❑ ‘숏크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템 시공지침(안)’ 도출 (그림 2-78 참조)
- ❑ ‘섬유 그물망 지보용 터널 숏크리트 품질기준(안)’ 도출 (그림 2-79 참조)
- ❑ ‘터널 지보용 섬유 그물망 품질기준(안)’ 도출 (그림 2-80 참조)

❑ ‘터널 지보용 섬유 그물망 생산기법 보고서’ 도출 (그림 2-81 참조)

❑ ‘터널 지보재 일체화를 위한 췁크리트용 Hyper 섬유 그물망 지보재 기술’ 기술실시계약 완료 (그림 2-82 참조)

❑ ‘Hyper Grid’ 신제품 인증 신청 완료 (그림 2-83 참조)

췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템 시공지침(안) 2020. 02	목 차 1. 일반사항 1 1.1 적용범위 1 1.2 섬유 그물망 보강 대상인 췁크리트의 일반 1 1.3 용어의 정의 2 1.4 참조 표준 3 2. 섬유 그물망 보강 대상인 췁크리트의 품질 4 2.1 총칙 4 2.2 섬유 그물망 보강 대상인 췁크리트의 종 강도 및 휨 인장 4 2.3 대상인 췁크리트의 압축 및 장7사구성 4 2.4 섬유 그물망의 압축 및 내충격성 5 3. 재료 6 3.1 구성 재료 일반사항 6 3.2 시공도 및 배치도 6 3.3 혼합재 6 3.4 혼합재 6 3.5 섬유 그물망 7 3.6 설치 8 3.7 재료의 품질관리 8 4. 방법 9 4.1 적용범위 9 4.2 용어의 정의 9 4.3 배치설계 9 5. 계량 및 혼합 13 5.1 적용범위 13 5.2 재료계량 13 5.3 혼합 13 6. 시공 15 6.1 시공 일반사항 15	6.2 용어 통일 및 사전 처리 15 6.3 용법 15 6.4 섬유 그물망 보강 대상인 췁크리트의 시공방법 15 6.5 췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템 시공 순서 16 6.6 췁크리트의 타설 및 섬유 그물망의 설치 16 6.7 췁크리트의 양생 19 * 현장 품질관리 및 검사 20 7.1 일반사항 20 7.2 검사계획 20 7.3 섬유 그물망 보강 대상인 췁크리트의 검사 20 부록 1. 대상인 췁크리트를 섬유 그물망의 품질관리 24 1. 적용범위 24 2. 소책 24 3. 섬유 그물망의 용법 및 보관 25 4. 섬유 그물망의 품질기준 25 5. 섬유 그물망의 유지 25 6. 보관 25
---	---	---

그림 2-78. 췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템 시공지침(안)

섬유 그물망 지보용 터널 췁크리트 품질기준(안) 2020. 02	목 차 1. 일반사항 1 1.1 적용범위 1 1.2 췁크리트 일반 1 1.3 관련기준 2 1.4 참조표준 2 1.5 용어의 정의 3 1.6 재료 4 1.7 성능의 설정 4 1.7.1 일반사항 4 1.7.2 췁크리트의 강도 5 1.7.3 췁크리트의 충격도 및 충격성 5 1.7.4 췁크리트의 수축성 및 장7사구성 5 2. 재료 7 2.1 구성재료 7 2.1.1 일반사항 7 2.1.2 혼합재 및 배합도 7 2.1.3 골재 7 2.1.4 혼합재 7 2.1.5 혼합 재료 8 2.1.6 배합재 8 2.1.7 섬유, 보강 재료 8 2.2 방법 8 2.2.1 배합일반 8 2.2.2 계도 및 설치 9 2.2.3 췁크리트 양생 및 부속기기 9 2.2.4 계도 방법 9 2.3 재료 품질관리 10	3. 시공 11 3.1 시공일반 11 3.1.1 시공의 일반 11 3.1.2 용어 통일 및 사전처리 11 3.1.3 배합재의 설치 11 3.2 양생 12 3.3 타설 12 3.3.1 타설의 일반 12 3.3.2 타설 및 주입부의 췁크리트 작업 12 3.3.3 연속7사구 췁크리트 작업 13 3.3.4 인접면부의 췁크리트 작업 13 3.3.5 양구 지보재로서 췁크리트 작업 13 3.3.6 보수·보강 작업 14 3.3.7 현장 및 현장용 대책 14 3.3.8 타설 14 3.4 양생 14 3.5 현장 품질관리 14 3.5.1 췁크리트의 검사 14 3.5.2 췁크리트용의 검사 15 3.5.3 양구 지보재로서 췁크리트가 적용되었을 경우 현장 품질관리 17 3.5.4 췁크리트와 섬유그물망체의 일체화 성능 검사 17
--	---	--

그림 2-79. 섬유 그물망 지보재용 터널 췁크리트 품질기준(안)

터널 지보용 섬유 그물망 품질기준(안) 2020. 02	목 차 1. 적용범위 1 2. 참조 표준 1 3. 용어의 정의 1 4. 재료 2 5. 제조 방법 3 6. 섬유 3 7. 시험방법 3 7.1 인장시험 3 7.2 제곱 3 7.3 인장강도 4 7.4 인장신도 4 7.5 굽힘강도 4 7.6 내식성 4 7.7 극한 인장 시험 4 7.8 흡 수율 시험 4 7.9 가수분해 저항성 5 7.10 연화 저항성 5 7.11 파열률 저항성 5 7.12 자외선 저항성 5 7.13 염색도 변화 감소계수 5 8. 접합의 적격 5 9. 검사 6 10. 섬유 그물망의 용법 및 보관 6 11. 섬유 그물망의 포장방법 6 12. 표시 6 13. 섬유 그물망의 규격 7 14. 부록
---	--

그림 2-80. 터널 지보용 섬유 그물망 품질기준(안)

터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 생산기법 보고서 2020. 02	목 차 1. 목적 섬유와 재료 1 1.1 목적 섬유 현황 1 1.2 목적 섬유 재료의 시장 현황 1 1.3 목적 섬유 재료의 원료 1 2. 목적 섬유와 제조공정 4 2.1 개요 4 2.2 제조원재료 4 2.3 제조원재료의 5 2.4 제조공정 5 2.5 제조재료 6 2.6 목적 섬유 원료 (Geosynthetic clay liner: OCL) 6 2.7 제조법 6 2.8 제조재료 6 2.9 플라스틱 (도판) 보드 (Plastic drain board, PDB) 7 2.10 액체기체 혼합용 차오르도 7 2.11 기타 목적 섬유 관련 재료 7 3. 목적 섬유와 접합 방법 9 3.1 제조원재료의 접합 9 3.2 제조원재료의 접합 10 3.3 제조원재료의 접합 11 4. 목적 섬유와 평가 12 4.1 평가방법 12 4.2 평가항목 12 5. 목적 섬유 제조 및 포장관리 13 6. 터널 지보용 섬유 그물망 생산 기법 16 6.1 생산 계획 16 6.2 섬유 그물망 생산 시 고려사항 16 6.3 섬유 그물망의 제조 조건 17	6.4 섬유 그물망 제조 기술 17 6.5 터널 지보용 섬유 그물망의 용법 및 보관 18 6.6 섬유 그물망의 포장방법 18
--	---	--

그림 2-81. 터널 지보용 섬유 그물망 생산기법 보고서

타. 췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템 경제성

1) 개요

☐ 경제성 분석의 범위

- 췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템의 경제성 분석 시 고려사항
 - 섬유 그물망의 대량 생산에 따른 원가 절감
 - 섬유 그물망 보강 췁크리트의 고성능화 (강도 및 내구성 증진, 리바운드율 저감)에 따른 췁크리트 타설 두께 감소 및 시공 전/후의 유지보수 비용 절감
 - 섬유 그물망 시공 공종의 추가에 따른 cycle time, 시공비, 재료비
- 위의 사항을 고려한 경제성 분석의 범위
 - 췁크리트공 (강섬유 보강/섬유 그물망 보강)
 - : cycle time, 시공비 (장비 사용비, 인건비, 재료비), 췁크리트 재료비
 - ROCK BOLT
 - : cycle time, 시공비 (장비 사용비, 인건비, 재료비)
 - 섬유 그물망 시공
 - : cycle time, 시공비 (장비 사용비, 인건비, 재료비), 섬유 그물망 재료비

☐ 경제성 분석의 가정 사항

- 경제성 분석 대상 공종은 췁크리트 타설, 락볼트 시공, 섬유 그물망 시공으로 한정
 - 굴착, 버력처리, 방수 및 배수공, 라이닝 콘크리트 시공, 부대 시설 및 포장은 터널 지보 시스템의 종류에 관계없이 동일하다고 가정
- 강섬유 보강 췁크리트 및 췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템의 적용 구간은 RMR 분류 기준 암반 등급 3등급에 해당하는 보통 암반인 경우로 가정
- 강도 및 내구성 측면에서의 섬유 그물망 보강 췁크리트의 고성능화를 고려하여, 섬유 그물망 보강 췁크리트의 두께를 0.10 m로 가정
 - 강섬유 보강 췁크리트의 두께는 0.12 m로 가정
- 경제성 분석 대상 구간은 반단면 굴착 구간으로, 상반 및 하반 굴진장은 각각 1.5 m, 3.0 m로 가정
- 경제성 분석에서 도출한 모든 결과는 1회 발파를 기준으로 산정

☐ 경제성 분석 case (표 2-37 참조)

- 본 경제성 분석은 두 가지의 case를 대상으로 수행
 - 섬유 그물망은 락볼트 시공 과정에서 충전재의 경화 후/너트 체결 전 설치가 가능하므로, 락볼트와 섬유 그물망의 동시 시공으로 추가적인 cycle time, 시공 인력, 및 장비 필요 미미 (case 1)
 - 추가적인 시공 인력 및 장비는 필요하지 않으나, 1회 발파 당 섬유 그물망의 최대 설치 시간 (15 min) 고려 (case 2)

표 2-37. 경제성 분석 case

Case 1	Case 2
락볼트 및 섬유 그물망 동시 시공	락볼트 및 섬유 그물망 별도 시공 (섬유 그물망 설치 시간 15 min)

2) 경제성 분석

☐ Cycle time

- Case 1의 췁크리트 cycle time (표 2-38, 표 2-39 참조)

표 2-38. 췁크리트 계획 시공 물량 (case 1)

지보시스템 종류	1 m 당 타설량 (m ³ /m)		1 m 당 면정리 (m ³ /m)		1 발파 당 타설량 (m ³)		1 발파 당 리바운드량 (m ³)		췁크리트 타설능력 (m ³ /hr)
	상반	하반	상반	하반	상반	하반	상반	하반	-
강섬유 보강 췁크리트	4.639	0.958	18.694	3.904	6.959	2.874	0.905	0.287	13
섬유 그물망 보강 췁크리트	3.867	0.798	18.694	3.904	5.801	2.394	0.740	0.235	13

표 2-39. 췁크리트 cycle time (case 1)

Cycle time 산출 항목		강섬유 보강 췁크리트	섬유 그물망 보강 췁크리트
타설 준비	상반	10 min	10 min
	하반	10 min	10 min
바닥정리 및 면정리	상반	26.29 min ¹⁾	26.29 min ¹⁾
	하반	10.98 min ²⁾	10.98 min ²⁾
뽐어 붙임	상반	68.67 min ³⁾	57.24 min ⁴⁾
	하반	28.36 min ⁵⁾	23.63 min ⁶⁾
잔재 제거	상반	20 min	20 min
	하반	20 min	20 min
장비 점검	상반	10 min	10 min
	하반	10 min	10 min
Total	상반	134.96 min	123.53 min
	하반	79.34 min	74.61 min

¹⁾ (18.694 m³/m)×(1.5 m)/(64 m³/hr)×60; ²⁾ (3.904 m³/m)×(3.0 m)/(64 m³/hr)×60; ³⁾ (6.959 m³)/(6.08 m³/hr)×60;

⁴⁾ (5.801 m³)/(6.08 m³/hr)×60; ⁵⁾ (2.874 m³)/(6.08 m³/hr)×60; ⁶⁾ (2.394 m³)/(6.08 m³/hr)×60

- Case 2의 췁크리트 cycle time (표 2-40, 표 2-41 참조)

표 2-40. 췁크리트 계획 시공 물량 (case 2)

지보시스템 종류	1 m 당 타설량 (m ³ /m)		1 m 당 면정리 (m ³ /m)		1 발파 당 타설량 (m ³)		1 발파 당 리바운드량 (m ³)		췁크리트 타설능력 (m ³ /hr)
	상반	하반	상반	하반	상반	하반	상반	하반	-
강섬유 보강 췁크리트	4.639	0.958	18.694	3.904	6.959	2.874	0.905	0.287	13
섬유 그물망 보강 췁크리트	3.616	0.760	18.694	3.904	5.424	2.280	0.380	0.123	13

표 2-41. 췁크리트 cycle time (case 2)

Cycle time 산출 항목		강섬유 보강 췁크리트	섬유 그물망 보강 췁크리트
타설 준비	상반	10 min	10 min
	하반	10 min	10 min
바닥정리 및 면정리	상반	26.29 min ¹⁾	26.29 min ¹⁾
	하반	10.98 min ²⁾	10.98 min ²⁾
뽐어 붙임	상반	68.67 min ³⁾	53.53 min ⁴⁾
	하반	28.36 min ⁵⁾	22.50 min ⁶⁾
잔재 제거	상반	20 min	20 min
	하반	20 min	20 min
장비 점검	상반	10 min	10 min
	하반	10 min	10 min
Total	상반	134.96 min	119.81 min
	하반	79.34 min	73.48 min

¹⁾ (18.694 m³/m)×(1.5 m)/(64 m³/hr)×60; ²⁾ (3.904 m³/m)×(3.0 m)/(64 m³/hr)×60; ³⁾ (6.959 m³)/(6.08 m³/hr)×60;

⁴⁾ (5.424 m³)/(6.08 m³/hr)×60; ⁵⁾ (2.874 m³)/(6.08 m³/hr)×60; ⁶⁾ (2.280 m³)/(6.08 m³/hr)×60

- Case 1의 락볼트 cycle time (표 2-42, 표 2-43 참조)

표 2-42. 락볼트 계획 시공 물량 (case 1)

지보시스템 종류	1 m 당 설치 수 (EA/m)		1 발파 당 설치 수 (EA)	
	상반	하반	상반	하반
강섬유 보강 췁크리트	8.333	0.667	12.500	2.001
섬유 그물망 보강 췁크리트	8.333	0.667	12.500	2.001

표 2-43. 락볼트 cycle time (case 1)

Cycle time 산출 항목		강섬유 보강 췁크리트	섬유 그물망 보강 췁크리트
천공 준비	상반	10 min	10 min
	하반	10 min	10 min
천공 시간	상반	19.33 min ¹⁾	19.33 min ¹⁾
	하반	3.09 min ²⁾	3.09 min ²⁾
공내 청소	상반	12.50 min ³⁾	12.50 min ³⁾
	하반	2 min ⁴⁾	2 min ⁴⁾
충진	상반	25 min ⁵⁾	25 min ⁵⁾
	하반	4 min ⁶⁾	4 min ⁶⁾
정착	상반	25 min ⁷⁾	25 min ⁷⁾
	하반	4 min ⁸⁾	4 min ⁸⁾
이동 및 기타	상반	15 min	15 min
	하반	15 min	15 min
Total	상반	106.83 min	106.83 min
	하반	38.09 min	38.09 min

¹⁾ (4.64 min/EA)×(12.50 EA)/3; ²⁾ (4.64 min/EA)×(2.001 EA)/3; ³⁾ (1 min/EA)×(12.50 EA); ⁴⁾ (1 min/EA)×(2.001 EA);

⁵⁾ (2 min/EA)×(12.50 EA); ⁶⁾ (2 min/EA)×(2.001 EA); ⁷⁾ (2 min/EA)×(12.50 EA); ⁸⁾ (2 min/EA)×(2.001 EA)

- Case 2의 락볼트 cycle time (표 2-44, 표 2-45 참조)

표 2-44. 락볼트 계획 시공 물량 (case 2)

지보시스템 종류	1 m 당 설치 수 (EA/m)		1 발파 당 설치 수 (EA)	
	상반	하반	상반	하반
강섬유 보강 쏯크리트	8.333	0.667	12.500	2.001
섬유 그물망 보강 쏯크리트	8.333	0.667	12.500	2.001

표 2-45. 락볼트 cycle time (case 2)

Cycle time 산출 항목		강섬유 보강 쏯크리트	섬유 그물망 보강 쏯크리트
천공 준비	상반	10 min	10 min
	하반	10 min	10 min
천공 시간	상반	19.33 min ¹⁾	19.33 min ¹⁾
	하반	3.09 min ²⁾	3.09 min ²⁾
공내 청소	상반	12.50 min ³⁾	12.50 min ³⁾
	하반	2 min ⁴⁾	2 min ⁴⁾
충진	상반	25 min ⁵⁾	25 min ⁵⁾
	하반	4 min ⁶⁾	4 min ⁶⁾
정착	상반	25 min ⁷⁾	35 min ⁷⁾
	하반	4 min ⁸⁾	9 min ⁸⁾
이동 및 기타	상반	15 min	15 min
	하반	15 min	15 min
Total	상반	106.83 min	116.83 min
	하반	38.09 min	43.09 min

¹⁾ (4.64 min/EA)×(12.50 EA)/3; ²⁾ (4.64 min/EA)×(2.001 EA)/3; ³⁾ (1 min/EA)×(12.50 EA); ⁴⁾ (1 min/EA)×(2.001 EA);

⁵⁾ (2 min/EA)×(12.50 EA); ⁶⁾ (2 min/EA)×(2.001 EA); ⁷⁾ (2 min/EA)×(12.50 EA)+10 min;

⁸⁾ (2 min/EA)×(2.001 EA)+5 min

- Cycle time 결과 요약 (표 2-46 참조)

- Case 1의 경우, 쏯크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템의 쏯크리트 시공 측면에서, 기존 지보 시스템 (강섬유 보강 쏯크리트 터널 지보 시스템)에 비하여 약 4.5%의 cycle time 절감
: 강도 및 내구성 측면에서의 섬유 그물망 보강 쏯크리트의 고성능화로 쏯크리트 타설 두께 및 리바운드를 절감 → 쏯크리트 타설량 절감 → 쏯크리트 시공 cycle time 절감 → 시공 효율성 향상
- Case 1의 경우, 락볼트 시공 측면에서, 쏯크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템의 시공 효율성 향상 확인
: 쏯크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템의 락볼트 cycle time이 섬유 그물망 cycle time을 포함한 결과이므로, 기존 지보 시스템에 비하여 시공 효율성 우수
- Case 2의 경우, 섬유 그물망의 설치 시간을 고려하여 기존 지보 시스템 (강섬유 보강 쏯크리트 터널 지보 시스템)에 비하여 약 1.7%의 시공 cycle time 절감

표 2-46. 시공 cycle time

Cycle time	Case 1		Case 2	
	강섬유 보강 shotcrete	섬유 그물망 보강 shotcrete	강섬유 보강 shotcrete	섬유 그물망 보강 shotcrete
shotcrete cycle time	214.4 min	198.1 min	214.4 min	193.3 min
락볼트 cycle time	144.9 min	144.9 min	144.9 min	159.9 min
Total	359.3 min	343.0 min	359.3 min	353.2 min

□ 시공비

- Case 1의 shotcrete 시공비 (표 2-47 참조)
 - shotcrete용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템의 절감된 shotcrete cycle time으로 인하여, 기존 지보 시스템 대비 약 8.6%의 shotcrete 시공비 절감

표 2-47. shotcrete 시공비 (case 1)

항목			강섬유 보강 shotcrete	섬유 그물망 보강 shotcrete
기계사용료	분사로봇	경비	127,280 원 ¹⁾	117,679 원 ²⁾
		재료비	41,282 원 ³⁾	34,405 원 ⁴⁾
	공기압축기	경비	18,365 원 ⁵⁾	16,980 원 ⁶⁾
		재료비	69,923 원 ⁷⁾	61,507 원 ⁸⁾
SHOTCRETING 작업조	건설기계운전사	인건비	167,037 원 ⁹⁾	154,437 원 ¹⁰⁾
	특별인부	인건비	67,870 원 ¹¹⁾	62,751 원 ¹²⁾
	보통인부	인건비	167,994 원 ¹³⁾	155,322 원 ¹⁴⁾
Total			659,751 원	603,081 원

¹⁾ (35,636 원/hr)×(214.3/60 hr); ²⁾ (35,636 원/hr)×(198.14/60 hr); ³⁾ (25,527 원/hr)×(214.3/60 hr)×(97.03/214.3);

⁴⁾ (25,527 원/hr)×(198.14/60 hr)×(80.87/198.14); ⁵⁾ (5,142 원/hr)×(214.3/60 hr); ⁶⁾ (5,142 원/hr)×(198.14/60 hr);

⁷⁾ (31,239 원/hr)×(214.3/60 hr)×(134.3/214.3); ⁸⁾ (31,239 원/hr)×(198.14/60 hr)×(118.14/198.14);

⁹⁾ 2인×(187,069 원/인)×(214.3/480); ¹⁰⁾ 2인×(187,069 원/인)×(198.14/480); ¹¹⁾ 1인×(152,019 원/인)×(214.3/480);

¹²⁾ 1인×(152,019 원/인)×(198.14/480); ¹³⁾ 3인×(125,427 원/인)×(214.3/480); ¹⁴⁾ 3인×(125,427 원/인)×(198.14/480)

- Case 1의 락볼트 시공비 (표 2-48 참조)
 - 락볼트 시공비는 락볼트 cycle time을 기준으로 산출되었으므로, 강섬유 보강 shotcrete 및 shotcrete용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템의 경우 모두 동일하며, shotcrete용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템의 경우, 섬유 그물망 시공비가 포함된 비용임.
 - shotcrete용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템 적용 시, 기존 지보 시스템과 동일한 시공비로 락볼트 및 섬유 그물망의 두 가지 시공 공종 수행 가능
 - : shotcrete용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템의 시공 효율성 향상 확인

표 2-48. 락볼트 시공비 (case 1)

항목			강섬유 보강 쏿크리트	섬유 그물망 보강 쏿크리트
기계사용료	점보드릴	재료비	8,549 원 ¹⁾	8,549 원 ¹⁾
		경비	605,085 원 ²⁾	605,085 원 ²⁾
부속자재비	BIT	재료비	3,395 원 ³⁾	3,395 원 ³⁾
	SHANK ADAPTER	재료비	1,439 원 ⁴⁾	1,439 원 ⁴⁾
	EXTENSION ROD	재료비	3,598 원 ⁵⁾	3,598 원 ⁵⁾
	COUPLING SLEEVE	재료비	526 원 ⁶⁾	526 원 ⁶⁾
	ROCK BOLT	재료비	32,960 원 ⁷⁾	32,960 원 ⁷⁾
	그라우팅(레진) - 충전용	재료비	9,600 원 ⁸⁾	9,600 원 ⁸⁾
	그라우팅(레진) - 팽창용	재료비	4,800 원 ⁹⁾	4,800 원 ⁹⁾
	그라우팅(레진) - 급결용	재료비	4,800 원 ¹⁰⁾	4,800 원 ¹⁰⁾
ROCK BOLTING 작업조	건설기계운전사	인건비	56,495 원 ¹¹⁾	56,495 원 ¹¹⁾
	특별인부	인건비	137,729 원 ¹²⁾	137,729 원 ¹²⁾
	보통인부	인건비	75,758 원 ¹³⁾	75,758 원 ¹³⁾
GROUTING 작업조	일반기계운전사	인건비	37,231 원 ¹⁴⁾	37,231 원 ¹⁴⁾
	특별인부	인건비	91,819 원 ¹⁵⁾	91,819 원 ¹⁵⁾
Total			1,073,784 원	1,073,784 원

¹⁾ {(22,872 원/hr)×(106.83/60 hr)×(19.33/106.83)}+{(22,872 원/hr)×(38.09/60 hr)×(3.09/38.09)};

²⁾ {(250,501 원/hr)×(106.83/60 hr)}+{(250,501 원/hr)×(38.09/60 hr)};

³⁾ {(4.1 m/EA)/(200 m/EA)×92,000 원×0.9}×2; ⁴⁾ {(4.1 m/EA)/(1,200 m/EA)×234,000 원×0.9}×2;

⁵⁾ {(4.1 m/EA)/(800 m/EA)×390,000 원×0.9}×2; ⁶⁾ {(4.1 m/EA)/(800 m/EA)×57,000 원×0.9}×2;

⁷⁾ (16,000 원×1.03)×2; ⁸⁾ (2,400 원×2 EA)×2; ⁹⁾ (2,400 원×1 EA)×2; ¹⁰⁾ (2,400 원×1 EA)×2;

¹¹⁾ 1인×(187,069 원/인)×(144.92/480); ¹²⁾ 3인×(152,019 원/인)×(144.92/480); ¹³⁾ 2인×(125,427 원/인)×(144.92/480);

¹⁴⁾ 1인×(123,282 원/인)×(144.92/480); ¹⁵⁾ 2인×(152,019 원/인)×(144.92/480)

• Case 2의 쏿크리트 시공비 (표 2-49 참조)

- 쏿크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템의 절감된 쏿크리트 cycle time으로 인하여, 기존 지보 시스템 대비 약 11.2%의 쏿크리트 시공비 절감

표 2-49. 췁크리트 시공비 (case 2)

항목			강섬유 보강 췁크리트	섬유 그물망 보강 췁크리트
기계사용료	분사로보트	경비	127,280 원 ¹⁾	114,804 원 ²⁾
		재료비	41,282 원 ³⁾	32,345 원 ⁴⁾
	공기압축기	경비	18,365 원 ⁵⁾	16,565 원 ⁶⁾
		재료비	69,923 원 ⁷⁾	58,987 원 ⁸⁾
SHOTCRETING 작업조	건설기계운전사	인건비	167,037 원 ⁹⁾	150,664 원 ¹⁰⁾
	특별인부	인건비	67,870 원 ¹¹⁾	61,218 원 ¹²⁾
	보통인부	인건비	167,994 원 ¹³⁾	151,527 원 ¹⁴⁾
Total			659,751 원	586,110 원

¹⁾ (35,636 원/hr)×(214.3/60 hr); ²⁾ (35,636 원/hr)×(193.3/60 hr); ³⁾ (25,527 원/hr)×(214.3/60 hr)×(97.03/214.3);
⁴⁾ (25,527 원/hr)×(193.3/60 hr)×(76/193.3); ⁵⁾ (5,142 원/hr)×(214.3/60 hr); ⁶⁾ (5,142 원/hr)×(193.3/60 hr);
⁷⁾ (31,239 원/hr)×(214.3/60 hr)×(134.3/214.3); ⁸⁾ (31,239 원/hr)×(193.3/60 hr)×(113.3/193.3);
⁹⁾ 2인×(187,069 원/인)×(214.3/480); ¹⁰⁾ 2인×(187,069 원/인)×(193.3/480); ¹¹⁾ 1인×(152,019 원/인)×(214.3/480);
¹²⁾ 1인×(152,019 원/인)×(193.3/480); ¹³⁾ 3인×(125,427 원/인)×(214.3/480); ¹⁴⁾ 3인×(125,427 원/인)×(193.3/480)

- Case 2의 락볼트 시공비 (표 2-50 참조)

표 2-50. 락볼트 시공비 (case 2)

항목			강섬유 보강 췁크리트	섬유 그물망 보강 췁크리트
기계사용료	점보드릴	재료비	8,549 원 ¹⁾	8,549 원 ¹⁾
		경비	605,085 원 ²⁾	667,710 원 ³⁾
부속자재비	BIT	재료비	3,395 원 ⁴⁾	3,395 원 ⁴⁾
	SHANK ADAPTER	재료비	1,439 원 ⁵⁾	1,439 원 ⁵⁾
	EXTENSION ROD	재료비	3,598 원 ⁶⁾	3,598 원 ⁶⁾
	COUPLING SLEEVE	재료비	526 원 ⁷⁾	526 원 ⁷⁾
	ROCK BOLT	재료비	32,960 원 ⁸⁾	32,960 원 ⁸⁾
	그라우팅(레진) - 충전용	재료비	9,600 원 ⁹⁾	9,600 원 ⁹⁾
	그라우팅(레진) - 팽창용	재료비	4,800 원 ¹⁰⁾	4,800 원 ¹⁰⁾
	그라우팅(레진) - 급결용	재료비	4,800 원 ¹¹⁾	4,800 원 ¹¹⁾
ROCK BOLTING 작업조	건설기계운전사	인건비	56,495 원 ¹²⁾	62,329 원 ¹³⁾
	특별인부	인건비	137,729 원 ¹⁴⁾	151,952 원 ¹⁵⁾
	보통인부	인건비	75,758 원 ¹⁶⁾	83,581 원 ¹⁷⁾
GROUTING 작업조	일반기계운전사	인건비	37,231 원 ¹⁸⁾	41,076 원 ¹⁹⁾
	특별인부	인건비	91,819 원 ²⁰⁾	101,302 원 ²¹⁾
Total			1,073,784 원	1,177,617 원

- ¹⁾ $\{(22,872 \text{ 원/hr}) \times (106.83/60 \text{ hr}) \times (19.33/106.83)\} + \{(22,872 \text{ 원/hr}) \times (38.09/60 \text{ hr}) \times (3.09/38.09)\}$;
²⁾ $\{(250,501 \text{ 원/hr}) \times (106.83/60 \text{ hr})\} + \{(250,501 \text{ 원/hr}) \times (38.09/60 \text{ hr})\}$;
³⁾ $\{(250,501 \text{ 원/hr}) \times (116.83/60 \text{ hr})\} + \{(250,501 \text{ 원/hr}) \times (43.09/60 \text{ hr})\}$;
⁴⁾ $\{(4.1 \text{ m/EA}) / (200 \text{ m/EA}) \times 92,000 \text{ 원} \times 0.9\} \times 2$; ⁵⁾ $\{(4.1 \text{ m/EA}) / (1,200 \text{ m/EA}) \times 234,000 \text{ 원} \times 0.9\} \times 2$;
⁶⁾ $\{(4.1 \text{ m/EA}) / (800 \text{ m/EA}) \times 390,000 \text{ 원} \times 0.9\} \times 2$; ⁷⁾ $\{(4.1 \text{ m/EA}) / (800 \text{ m/EA}) \times 57,000 \text{ 원} \times 0.9\} \times 2$;
⁸⁾ $(16,000 \text{ 원} \times 1.03) \times 2$; ⁹⁾ $(2,400 \text{ 원} \times 2 \text{ EA}) \times 2$; ¹⁰⁾ $(2,400 \text{ 원} \times 1 \text{ EA}) \times 2$; ¹¹⁾ $(2,400 \text{ 원} \times 1 \text{ EA}) \times 2$;
¹²⁾ $1 \text{ 인} \times (187,069 \text{ 원/인}) \times (144.92/480)$; ¹³⁾ $1 \text{ 인} \times (187,069 \text{ 원/인}) \times (159.92/480)$; ¹⁴⁾ $3 \text{ 인} \times (152,019 \text{ 원/인}) \times (144.92/480)$;
¹⁵⁾ $3 \text{ 인} \times (152,019 \text{ 원/인}) \times (159.92/480)$; ¹⁶⁾ $2 \text{ 인} \times (125,427 \text{ 원/인}) \times (144.92/480)$; ¹⁷⁾ $2 \text{ 인} \times (125,427 \text{ 원/인}) \times (159.92/480)$;
¹⁸⁾ $1 \text{ 인} \times (123,282 \text{ 원/인}) \times (144.92/480)$; ¹⁹⁾ $1 \text{ 인} \times (123,282 \text{ 원/인}) \times (159.92/480)$; ²⁰⁾ $2 \text{ 인} \times (152,019 \text{ 원/인}) \times (144.92/480)$;
²¹⁾ $2 \text{ 인} \times (152,019 \text{ 원/인}) \times (159.92/480)$

□ 췁크리트 배합 및 섬유 그물망 재료비

- 1 m³ 당 췁크리트 제조 단가 (표 2-51, 표 2-52 참조)

표 2-51. 췁크리트 배합에 사용되는 각 재료의 단가

Binder	OPC	GGBFS	무수석고	잔골재	굵은골재	폴리머	유동화제	급결제
가 격 (원/kg)	73	56	85	18.5	18	3,000	1,000	500

표 2-52. 1 m³ 당 췁크리트 제조 단가

구분	OPC	GGBFS	무수 석고	잔골재	굵은 골재	폴리머	유동 화제	급결제	Total
강섬유 보강 췁크리트 (kg/m ³)	480	-	-	962	659	-	0.96	48	-
단가 (원/m ³)	35,040	-	-	17,797	11,862	-	960	24,000	89,659
섬유 그물망 보강 췁크리트 (kg/m ³)	355.2	96	24	1,625	-	4.8	0.96	48	-
단가 (원/m ³)	25,929	5,376	2,040	30,062	-	14,400	960	24,000	102,767

- 1회 발파 시 소요되는 췁크리트 재료비 (표 2-53 참조)

표 2-53. 1회 발파 당 췁크리트 재료비

	Case 1		Case 2	
	강섬유 보강 췁크리트	섬유 그물망 보강 췁크리트	강섬유 보강 췁크리트	섬유 그물망 보강 췁크리트
상반	623,892 원	596,106 원	623,892 원	557,414 원
하반	257,680 원	246,027 원	257,680 원	234,311 원
Total	881,572 원	842,133 원	881,572 원	791,725 원

- 강섬유 및 섬유 그물망의 단가 (표 2-54 참조)

표 2-54. 강섬유 및 섬유 그물망의 단가

재료명	예상 단가
강섬유	1,854 원/kg
섬유 그물망 ¹⁾	6,250 원/m ²

¹⁾ 섬유 그물망의 경우, 대량 생산 시 예상 단가이며, 섬유 그물망의 모든 제조 과정 (직조/1차 코팅/2차 코팅)에서 발생하는 비용이 포함된 금액임.

- 1회 발파 시 소요되는 강섬유 및 섬유 그물망 재료비 (표 2-55 참조)

표 2-55. 1회 발파 당 강섬유 및 섬유 그물망 재료비

	Case 1		Case 2	
	강섬유 보강 쏟크리트	섬유 그물망 보강 쏟크리트	강섬유 보강 쏟크리트	섬유 그물망 보강 쏟크리트
상반	516,042 원	315,281 원	516,042 원	315,281 원
하반	213,136 원	134,813 원	213,136 원	134,813 원
Total	729,178 원	450,094 원	729,178 원	450,094 원

□ 총 시공비 (표 2-56 참조)

- Case 1의 경우, 쏟크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템은 기존 지보 시스템 대비 약 11.2%의 시공비 절감 가능
 - 섬유 그물망 보강 쏟크리트의 고성능화에 따른 쏟크리트 타설 물량 감소, 락볼트 및 섬유 그물망의 동시 시공으로 인한 시공 효율성 향상, 섬유 그물망의 대량 생산으로 인한 원가 절감이 고려되어 산출된 결과
- Case 2의 경우, 쏟크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템은 기존 지보 시스템 대비 약 10.1%의 시공비 절감 가능
 - Case 1의 경우에서 1회 발파 당 섬유 그물망의 최대 설치 시간 (15 min)이 고려되어 산출된 결과

■ 두 case 모두 연구 개발 목표 (전체 터널 지보 시스템의 시공비 10% 이상 절감) 달성

■ ‘쏟크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템 경제성 분석 보고서’ 도출 (그림 2-84 참조)

표 2-56. 강섬유 보강 쏟크리트 및 쏟크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템의 총 시공비

품목	Case 1		Case 2	
	강섬유 보강 쏟크리트 터널 지보 시스템	쏟크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템	강섬유 보강 쏟크리트 터널 지보 시스템	쏟크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템
재료비	1,791,622 원	1,457,806 원	1,791,622 원	1,402,818 원
경비	750,730 원	771,542 원	750,730 원	799,080 원
인건비	801,933 원	739,744 원	801,933 원	803,650 원
Total	3,344,285 원	2,969,092 원	3,344,285 원	3,005,548 원

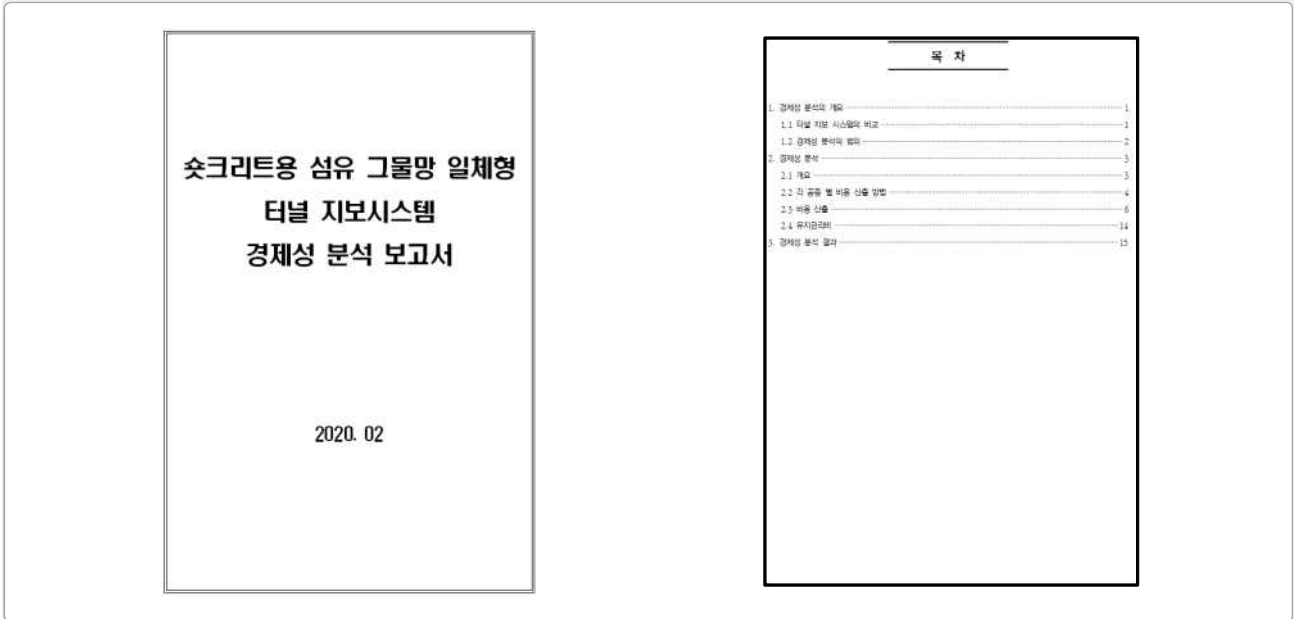


그림 2-84. 췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템 경제성 분석 보고서

- 섬유 그물망 보강 췁크리트의 고성능화에 따른 유지보수 비용에 대한 정성적 분석 (표 2-57 참조)
- 본 연구를 통해 개발된 섬유 그물망 보강 췁크리트 터널 지보 시스템은 개발 재료의 고성능화에 따라 터널 시공 중/후 구조적 안정성이 향상됨 (구조해석 결과 참고).
 - 비록 이와 같은 안정성의 향상으로 인하여 시공 중 발생하는 공사비뿐만 아니라, 시공 중/후 유지보수 비용의 절감이 기대되나, 췁크리트가 시공되는 1차 지보공에서의 유지보수 비용만을 정량화시키는 것은 현실적으로 어려움.
 - 이에 따라, 본 연구에서는 췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템의 유지보수 비용 절감 방안에 대한 정성적인 분석을 수행하였음.

표 2-57. 췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템의 유지보수 비용 절감(안) (정성적 분석)

공사 중 유지보수 비용 절감(안)	▪ 대단면화/대형화 터널 공사 증대 → 췁크리트 타설 후 콘크리트 라이닝 설치까지의 소요 시간 증대 → 라이닝 설치 시간 동안 고성능의 췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템에 따른 유지보수 비용 절감
공사 후 유지보수 비용 절감(안)	▪ 고성능의 췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템 시공 → 콘크리트 라이닝에 미치는 유해 요인 감소 → 콘크리트 라이닝 수명 증대 → 라이닝 유지보수 비용 절감

파. 기존 기술 대비 췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템의 차별성 (표 2-58 참조)

표 2-58. 췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템의 차별성

강섬유 보강 췁크리트 터널 지보 시스템	췁크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보 시스템
	
• 심한 곡선부 시공의 어려움 • 췁크리트 타설 시 강섬유의 막힘 현상에 의한 작업성 저하 • 지보재 간의 일체화 거동 한계 • 단섬유인 강섬유 길이의 결합력 → 인장성능 발휘 한계 • 과도한 리바운드를 발생으로 인한 재료 손실 → 시공성 저하, 비용 (건설 폐기물 처리비, 시공비 등) 향상	• 유연한 섬유 그물망의 사용으로 곡선부 밀착시공 용이 및 시공성 향상 • 섬유 그물망 지보재용 모르타르 췁크리트 배합의 사용으로 작업성 향상 • 락볼트-섬유 그물망-췁크리트 사이 일체화 거동 • 섬유 그물망의 연속화를 통한 인장성능 향상 • 리바운드를 최소화를 통한 재료 손실 감소 → 시공성 향상, 비용 절감 • 개발 지보재의 고성능화에 따른 시공 물량 감소 및 시공 효율성 향상
개발 기술 활용 분야	터널 구조물/포장도로의 포장층·사면·연약지반 보강/지하구조물(수직벽체)/보강토 옹벽
기존 기술 대비 인장성능 향상 (휨 강도 60% 증진, 휨인성계수 82% 발휘)/부착·압축 강도 향상/리바운드를 10% 미만 저감/시공비 10% 이상 절감	

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표 달성도

● 연구개발 내용

[CTE 1]

- Hyper 섬유 그물망 숏크리트 일체형 지보재 문헌조사
 - 섬유 그물망에 대한 국내외 선행 연구 및 제품, 섬유 특성에 따른 섬유 그물망 특성, 고성능 숏크리트 선행 기술 및 제품, 터널 지보재 일체화 기술에 대한 문헌조사 완료 (연차실적계획서, Hyper 섬유 그물망 숏크리트 일체형 지보재 문헌 분석 보고서, 최종보고서 내 수록)
- Hyper 섬유 그물망 숏크리트 일체형 지보재 성능평가 방법(안)
 - 개발된 Hyper 섬유 그물망 숏크리트 일체형 지보재의 역학적/내구적 성능 평가를 위해, Hyper 섬유 그물망 자체의 성능 및 Hyper 섬유 그물망 보강 숏크리트의 성능에 대한 정량적 평가가 가능한 평가방법(안) 제시 (연차실적계획서, Hyper 섬유 그물망 숏크리트 일체형 지보재 성능평가 방법(안), 최종보고서 내 수록)
- Hyper 섬유 그물망 보강 숏크리트 부착강도 증가율
 - 섬유 그물망과 숏크리트 사이의 부착강도 증가율 20% 이상을 만족시키는 섬유 그물망 형상 선정 (연차실적계획서, 최종보고서 내 수록 및 부착강도 증가율에 대한 자체평가 확인서 확보)
- Hyper 섬유 그물망 보강 숏크리트 인장강도 증가율
 - 기존 강섬유 보강 숏크리트 대비 섬유 그물망 보강 숏크리트의 휨 강도 (인장강도) 증가율 30% 이상 달성 (연차실적계획서, 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 보강 숏크리트 성능 실험 보고서, 최종보고서 내 수록 및 공인시험성적서 확보)
- Hyper 섬유 그물망 보강 숏크리트 휨인성계수
 - Hyper 섬유 그물망을 보강한 콘크리트의 휨인성계수 75% 이상 달성 (연차실적계획서, 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망 보강 숏크리트 성능 실험 보고서, 최종보고서 내 수록 및 공인시험성적서 확보)
- Hyper 섬유 그물망 숏크리트 일체형 지보재 경제성 분석 보고서
 - 기존 공법 (강섬유 보강 숏크리트)과의 경제성 비교 및 분석 완료 (최종보고서 및 숏크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템 경제성 분석 보고서 내 수록)
- Hyper 섬유 그물망 보강 숏크리트 품질기준(안)
 - 최종보고서 내 수록 및 터널 지보용 섬유 그물망 보강 숏크리트 품질기준(안) 확보
- Hyper 섬유 그물망 숏크리트 일체형 지보재 시공지침(안)
 - 최종보고서 내 수록 및 숏크리트용 섬유 그물망 일체형 터널 지보시스템 시공지침(안) 확보
- Hyper 섬유 그물망 숏크리트 일체형 지보재 현장 적용성 부재실험
 - 부재 실험 및 시험 시공을 통한 일체형 터널 지보시스템의 현장 적용성 평가 수행 (최종보고서, 현장 적용성 부재실험 보고서 내 수록)

[CTE 2]

- 터널 지보재 일체화 체결성능 및 시공 기술 개발
 - 터널 지보재 일체화 체결 성능 및 시공 기술에 대한 국내외 문헌 분석 완료 및 이를 바탕으로 Hyper 섬유 그물망-고성능 숏크리트-락볼트 일체화 기술 제안 완료 (연차실적계획서, 터널 지보재 일체화 체결성능 및 시공 기술 개발 문헌 분석 보고서, 터널 지보재 일체화 체결성능 및 시공 실험 보고서, 최종보고서 내 수록)

[CTE 3]

- 섬유 그물망-췁크리트 성능평가(안)
 - Hyper 섬유 그물망과 췁크리트 사이의 부착 성능에 대한 정량적 평가가 가능한 pull-out test 시험방법(안), 섬유 그물망 보강 콘크리트 직접 인장 시험방법(안), 휨 부착 시험방법(안) 제시 (연차실적계획서, 섬유 그물망-췁크리트 부착 성능 평가 방법(안), 최종보고서 내 수록)
- 섬유 그물망 지보재용 고성능 췁크리트 부착강도
 - 개발된 고성능 췁크리트의 부착강도 측정결과, 1.5 MPa로 기준 성능 (1.3 MPa 이상)을 만족하는 것으로 확인 (연차실적계획서, 최종보고서 내 수록 및 공인시험성적서 확보)
- 섬유 그물망 지보재용 고성능 췁크리트 압축강도
 - 개발된 고성능 췁크리트의 압축강도 측정결과, 28.2 MPa로 기준 성능 (25 MPa 이상)을 만족하는 것으로 확인 (연차실적계획서, 최종보고서 내 수록 및 공인시험성적서 확보)
- 섬유 그물망 지보재용 고성능 췁크리트 건조수축
 - 개발된 고성능 췁크리트의 건조수축 측정결과, 350 $\mu\epsilon$ 으로 기준 성능 (700 $\mu\epsilon$ 이하)을 만족하는 것으로 확인 (연차실적계획서, 최종보고서 내 수록 및 공인시험성적서 확보)
- 섬유 그물망 지보재용 고성능 췁크리트 리바운드를
 - 개발된 고성능 췁크리트 배합에 대하여 리바운드를 측정결과, 약 7.1%로 목표 성능 (10% 이하) 달성 (연차실적계획서, 리바운드를 평가 보고서, 최종보고서 내 수록)
- 섬유 그물망 지보재용 고성능 췁크리트 품질기준(안)
 - 최종보고서 내 수록 및 섬유 그물망 지보재용 췁크리트 품질기준(안) 확보
- 균열저항 성능향상 기술 개발
 - 자기치유형 췁크리트 배합을 통해 폭 200 μm 의 균열 치유가 가능한 것을 확인 (최종보고서, 균열 자기치유 성능 평가 보고서 내 수록)

[CTE 4]

- 섬유 그물망 직조 기초 기술 개발
 - 섬유고분자원료, rib apertures, 점점강화방식에 따른 제조기술 및 성능향상 기술 분석 완료 (연차실적계획서, 섬유 그물망 성능향상 기술 보고서, 최종보고서 내 수록)
- Hyper 섬유 그물망 인장강도
 - 섬유 그물망의 인장강도 측정결과, 172.5 kN/m로 기준 성능 (60 kN/m 이상)을 만족하는 것으로 확인 (연차실적계획서, 최종보고서 내 수록 및 공인시험성적서 확보)
- Hyper 섬유 그물망 내화학적성 (인장강도 보유율)
 - 섬유 그물망의 내화학적성 측정결과, 시험편 손상 전후 인장강도 보유율이 92.1%로 기준 성능 (90% 이상)을 만족하는 것으로 확인 (연차실적계획서, 최종보고서 내 수록 및 공인시험성적서 확보)
- Hyper 섬유 그물망 생산 기법
 - 최종보고서, Hyper 섬유 그물망 생산기법 보고서 내 수록

● 평가방법

- 연차실적계획서 내 해당 내용 확인
- 공인시험성적서를 통한 목표치 달성여부 평가
- 자체평가보고서를 통한 목표치 달성여부 평가
- 각 성과지표에 대한 별권 보고서 내 해당 내용 확인

가. 질적 연구 성과목표 달성도

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과	성과점검기준							
				질적 성과지표		목표치	달성치	측정방법	검증방법	달성도	
주관-CAU	1	시공성 향상을 위한 일체형 지보 시스템 및 시공기술 개발	1-1 Hyper 섬유 그물망 숏크리트 일체형 지보재	①	문헌조사	1건	1건	문헌분석 보고서	보고서	100%	
				②	성능평가 방법(안)	1건	1건	평가방법(안) 작성여부	보고서	100%	
				③	부착강도 증가율	≥ 20%	20.1%	((F _H -F _{ref})/F _{ref}) > 0.2	자체평가	100%	
				④	인장강도 증가율	≥ 30%	60%	KS F 2566	공인시험성적서	100%	
				⑤	휨인성계수	≥ 75%	82%			100%	
			1-2	경제성 분석 보고서 작성	①	경제성 분석 보고서	1건	1건	분석보고서 확보여부	보고서	100%
			1-3	섬유 그물망 품질기준(안) 작성	①	섬유 그물망 품질기준(안)	1건	1건	품질기준(안) 작성여부	보고서	100%
			1-4	현장 적용성 기술 개발	①	시공지침(안)	1건	1건	시공지침(안) 작성여부	보고서	100%
					②	현장 적용성 부재실험	1건	1건	실험보고서 작성여부	보고서	100%
	2	터널 지보재 일체화 체결 기술	2-1	체결성능 및 시공 기술 개발	①	체결 기술 개발	1건	1건	체결기술 개발여부	보고서	100%
	②	시공 기술 개발	시공기술 개발여부								
공동-KCL	3	섬유 그물망 지보재용 숏크리트	3-1	섬유 그물망 지보재용 고성능 숏크리트 개발	①	섬유그물망-숏크리트 성능평가(안) 개발	1건	1건	성능평가(안) 작성여부	보고서	100%
					②	부착강도	≥ 1.3MPa	1.5MPa	KS F2423	공인시험성적서	100%
					③	압축강도	≥ 25MPa	28.2MPa	KS F2405		100%
					④	건조수축	≤ 700μ ϵ	350μ ϵ	KS F2424		100%
					⑤	리바운드율	< 10%	7.1%	JSCE-F563-2005	보고서	100%
					⑥	숏크리트 품질기준(안)	1건	1건	품질기준(안) 작성여부	보고서	100%
			3-2	균열저항 성능 향상 기술 개발	①	균열 자기치유	200μm	206μm	투수시험 (Rilem TC 221)	보고서	100%
			공동-(주)에스엠테크텍스	4	터널 지보용 Hyper 섬유 그물망	4-1	섬유 그물망 직조 기초 기술 개발	①	섬유 그물망 성능향상 기술	1건	1건
4-2	Hyper 섬유 그물망 개발	①				인장강도	≥ 60kN/m	172.5 kN/m	KS K ISO 10319	공인시험성적서	100%
		②				액체-미생물 저항성 (인장강도 보유율)	≥ 80%	98.0%	KS K ISO TR 12960		100%
		③				액체-미생물 저항성 (인장강도 보유율)	≥ 80%	92.1%	KS K ISO TR 12960		100%
		④				Hyper 섬유 그물망 생산 기법	1건	1건	생산기법 개발여부	보고서	100%

나. 양적 연구 성과목표 달성도

구분		목표건수	달성건수	달성도
1	SCI(E) 학술지 게재	5	7	100% 초과
2	일반 학술지 게재	1	2	100% 초과
3	국내 학술대회 논문발표	4	9	100% 초과
4	특허출원	4	7	100% 초과
5	특허등록	1	1	100%
6	신제품 인증	1	(심사중)	(심사중)
7	기술실시계약	1	1	100%
8	현장적용시험	1	1	100%

3-2. 관련 분야 기여도

● 기술적 측면

- ☐ Hyper 섬유 그물망 지보재 개발을 통한 국제 경쟁력 강화 및 터널 지보재 세계 시장 선도
 - 현재 섬유 그물망을 활용한 지보재 기술은 초기 연구단계 수준으로 이 연구개발을 통하여 터널 지보재 분야와 관련된 세계 시장 선도가 가능할 것으로 판단
 - Hyper 섬유 그물망과 숏크리트 배합 기술 연계를 통한 독자적 국내기술 확보
- ☐ 일체화 및 섬유 그물망을 통한 시공성 및 품질 개선
 - 일체화 연결방식 및 섬유 그물망을 활용한 시공성 향상 및 공사기간 단축
 - 일정한 그물망 간격으로 인해 강섬유 보강 숏크리트에 비해 균일한 성능 및 품질의 지보재 시공 가능
- ☐ 섬유 소재와 콘크리트 재료 분야 간의 기술 융합을 통한 신시장 창출
 - 기존 콘크리트 재료의 단점을 해결함과 동시에 성능 향상을 통한 신시장 창출 가능
 - 섬유 소재를 활용한 연구 분야의 다양화로 국내 관련 R&D 분야의 활성화 가능

● 경제적 · 산업적 측면

- ☐ 다양한 콘크리트 구조물의 보수·보강 공법 적용가능 및 사용처 확대
 - 사면안정 공법 등 다양한 보강 공법에 적용 가능
 - 도로공사, 철도공사 등 터널 및 사면 공사를 수행하는 수요처와 협력 및 적용 확대 추진 가능
 - 숏크리트를 활용한 보수, 보강 공법의 사업 확대 추진 가능
- ☐ 향후 첨단소재 분야와 융합을 통한 신기술 초석 마련
 - 친수성 섬유 적용을 통한 숏크리트 내구 성능 향상
 - 자기치유 무기질 혼화재료 배합으로 터널 수밀성 개선
- ☐ 본 기술 개발은 시공, 재료 및 폐기물 처리비의 절감을 기대할 수 있음.
 - 강섬유 보강 콘크리트에 비해 일체화 섬유 그물망 적용시 섬유 보강재의 최적비 50% 이상 절감 가능
 - 타설 탈락되는 강섬유를 방지하여 강섬유 보강 숏크리트 대비 10% 이상 건설폐기물 처리비 절감 가능
- ☐ 숏크리트 타설 장비 및 시공성 개선
 - 점성 및 압송성에 따른 노즐부 시스템 제어로 압출 효율 향상
 - 강섬유 막힘 현상 (fiber-ball) 방지로 숏크리트 시공성 향상
- ☐ 섬유 그물망 설치로 터널 발파 후 발생할 수 있는 낙반사고 방지

● 사회적 측면

- ☐ 국외에 일반화 되어 있는 숏크리트 장섬유 시장에 적극적인 참여를 통한 친환경 지보 기술 수출을 통해 국가 이미지 제고에 기여가 가능함.
- ☐ 리바운드로 배출되는 강섬유의 원천 방지, 건설 폐기물에 대한 효과적인 민원 대응이 가능함.
- ☐ 터널 시설물의 유지관리 비용 절감 효과 기대
 - 강섬유 보강 숏크리트 대비 인장성능 향상에 따른 유지관리비용 30% 절감 가능

VISION

국내외 터널 시공 핵심 기술 선도 및 신시장 창출

개발기술 활용방안



연구개발 기대효과

기술적 측면	경제·산업적 측면	사회적 측면
- 기술개발을 통한 터널 지보재 시장 선도 - 일체화 및 섬유 그물망을 통한 시공성 및 품질 개선 - 재료 분야간 기술 융합을 통한 신시장 창출	- 유사 사업의 다양한 보수·보강 공법에 적용 가능 - 첨단소재와의 융합을 통한 기술 개발 초석 마련 - 보수보강 공법의 기술적 파급효과 기대 가능	- 터널 시설물 유지관리비용 절감 - 개발 기술 적용을 통한 사용수명 증대 - 기술 수출을 통한 국가 이미지 제고에 기여

그림 3-1. 연구개발을 통한 기대효과

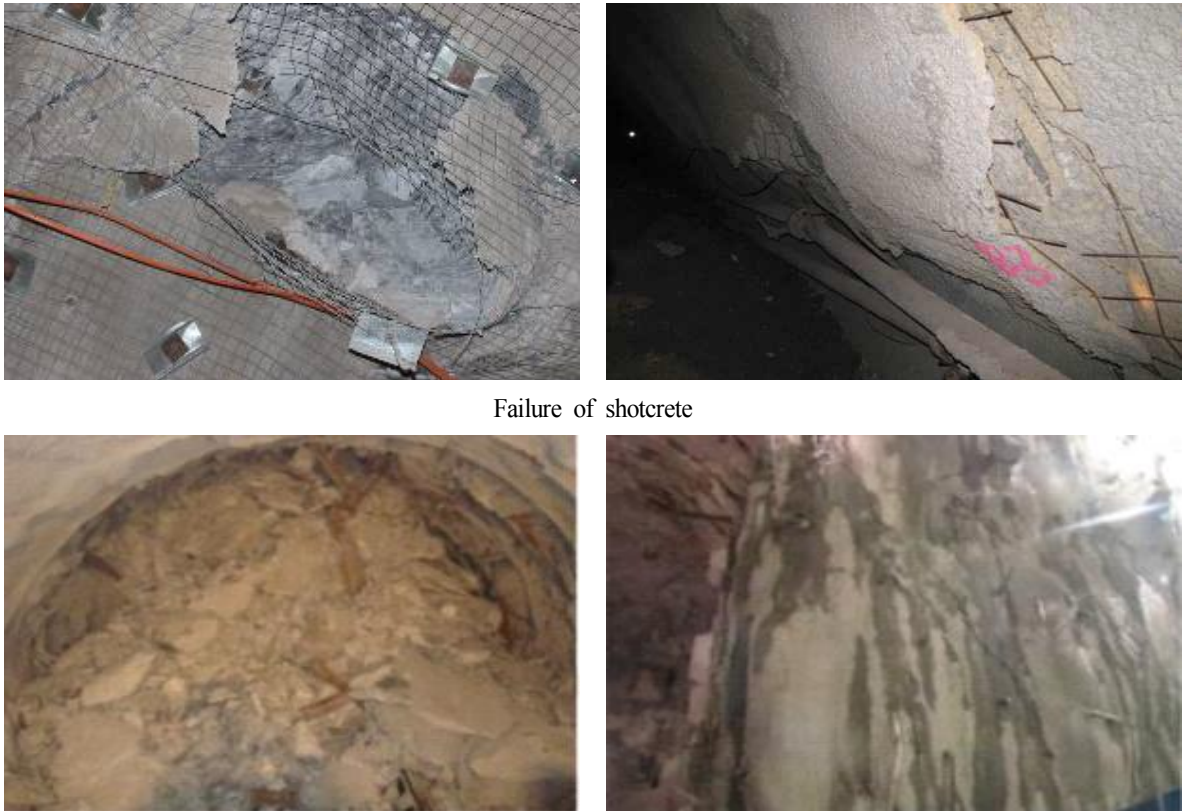
4. 연구개발성과의 활용 계획

4-1. 연구결과의 활용방안

● 시공성 향상을 위한 일체형 지보 시스템 및 시공기술 / 터널 지보재 일체화 체결 기술 개발

□ 시공 도중 발생 가능한 췁크리트의 붕괴 방지에 활용

- 본 연구에서 제안한 적용 지보패턴은 3등급 암반 조건이지만, 실제 시공 시 암반 조사의 오류, 터널 배면 암반 붕괴, 소규모 지진에 의한 붕괴, 시공 중 외부 환경 조건으로 인한 지반 연약화 등 (그림 4-1 참조) 예상치 못한 사고 발생 가능
- 본 연구 개발 성과물 적용 시, 향상된 역학적·내구적 성능으로 인하여 시공 도중 발생할 수 있는 이와 같은 붕괴 사고 방지 및 붕괴 도달 시간 지연 가능



Failure of shotcrete

Failure of rock

그림 4-1. 시공 도중 발생한 붕괴 사례

□ 와이어메쉬 시공 구간에 섬유 그물망 대체 적용

- 와이어메쉬는 현재에도 사용되고 있는 지보 재료로써, 주로 큰 변위 발생이 예상되는 구간에 강섬유 보강 췁크리트와 함께 적용됨.
- 해당 구간에 와이어메쉬 대신 섬유 그물망을 활용하여 재료비 절감 (섬유 그물망 사용으로 인한 강섬유 및 와이어메쉬 미사용), 섬유 그물망의 유연성으로 인한 시공성 개선, 역학적·내구적 성능 향상 개선 가능

□ 콘크리트 라이닝 시공 비용 절감 가능

- 본 연구 개발 성과물은 기존 지보 재료에 비해 성능이 향상된 제품으로 시공 중/후 구조적 안정성 향상에 기여
- 이에 따라 본 연구 개발 성과물 활용 시 추가적인 시공 공정인 콘크리트 라이닝 시공 물량 절감 가능

- 콘크리트 라이닝 시공 물량 절감으로 인한 추가적인 시공비 절감 가능 및 시공성 향상 기대
- 콘크리트 라이닝 시공 비용 산출에는 무근(철근) 콘크리트 타설, 거푸집, 철근 가공 조립, 신축이음, 철근 처짐 방지용 암거, 배면 그라우팅, 지수판 등의 항목 포함
- 이 중, 콘크리트 타설 비용만을 검토했을 때, 1 m³ 시공 시 무근 콘크리트의 경우 11,065 원, 철근 콘크리트의 경우 12,365 원 소요
- 콘크리트 라이닝 물량을 절감한다면 시공 비용 절감 효과 산출 가능

☐ 개발 기술 적용 대상 구조물 범위 및 유사분야 시장영역 확대

- 본 연구 개발을 통해 터널 구조물 대상 섬유 그물망 보강 췏크리트 지보재 시공 기술을 확보한 상태에서, 이와 유사한 지보 및 보수 보강 공법이 필요한 기타 구조물로 본 연구 개발 기술 활용 가능
- 현재 섬유 그물망을 활용한 지보재 기술은 초기 연구단계 수준이지만, 본 연구를 토대로 유사 기술 활용 구조물로 적용 가능하도록 지속적인 기술개발을 추진하여 섬유 그물망 활용 지보 기술 분야와 관련된 시장 선도 가능
- 확대 적용 대상
 - : 도로의 기층·보조기층의 보강, 연약지반 보강, 포장도로의 포장층 보강, 도로용 제방의 축조, 보강토 옹벽 및 보강성토사면, 폐기물 매립지 등

☐ 열악한 시공 환경에서의 개발 기술 적용

- 현재 본 연구 개발 기술의 적용 대상은 보통 암반 등급에 해당하는 지반이지만, 지속적인 연구 개발을 통한 시공기술의 성능 향상으로 더 열악한 시공 환경에서의 개발 기술 적용 추진
- 기존 공법과 비교하여 더 효과적인 경제성 확보 가능

☐ 개발 기술 관련 사업 추진

- 일체형 지보 시스템 시공기술과 관련된 사업 (섬유 그물망 자동 설치 장비 및 이와 관련된 기술 개발, 섬유 그물망 정착 부재 개발 등) 추진

● 섬유 그물망 지보재용 췏크리트

☐ 고성능 췏크리트 배합의 적용 대상 확대

- 높은 성능 (역학적/내구적)을 요구하는 구조물에 개발 콘크리트 배합 확대 적용 가능

☐ 유지보수 분야로의 무기계 자기치유 소재 활용 췏크리트 배합 적용

- 터널 구조물을 포함한 다양한 사회기반시설물에 균열 발생 시, 균열을 통한 누수 발생 및 수분 내 유해 인자의 이동으로 장기적인 내구성능 저감의 문제가 발생함. 이에 따라 1차 지보재인 췏크리트뿐만 아니라, 콘크리트 라이닝 및 구조물의 보수·보강재로 무기계 자기치유 소재 활용 콘크리트 배합 적용 시, 해당 문제 예방 가능

● 터널 지보용 Hyper 섬유 그물망

☐ 대량 생산 기술 확보 및 제품 성능 개선

- 개발 기술의 수요 증가에 따른 대량 생산 기술 확보 후, 이를 바탕으로 지속적인 섬유 그물망의 성능 개선
- 대량 생산 기술 이전을 통해 개발 기술 및 제품의 사업화 추진

☐ 지속적인 신제품 개발을 통한 관련 시장영역 확대

- 개발 제품을 다양한 시공 현장에 적용하여 그 성능을 입증하고, 수요를 점차 증진시킴에 따라 지속적인 신제품 개발 추진
- 이에 따라 관련 시장영역 선점 및 확대

표 4-1. 연구개발성과 활용방안

연번	핵심성과 (CTE)	목표성과물	기술수요처	활용 방안
1	시공성 향상을 위한 일체형 지보 시스템 및 시공기술 개발	논문	학교, 기업체, 연구소 등	- 향후 첨단소재 분야와 융합하여 터널 구조물 보강재 분야에 적용하며, 도로 및 사면 보강재로도 적용하여 사용처 확대 추진 : 대량생산 기술의 기술이전 등을 통해 제품의 상용화 및 사업 확대 추진 : 유사, 관련 산업 프로젝트 활용 가능
		섬유 그물망 제조 기술	기업체, 연구소 등	
2	터널 지보재 일체화 체결 기술	논문	학교, 기업체, 연구소 등	
		지식재산권	기업체, 연구소 등	
		일체화 연결방식 개발	기업체, 연구소 등	
3	섬유 그물망 지보재용 췁크리트	논문	학교, 기업체, 연구소 등	
		지식재산권	기업체, 연구소 등	
		췁크리트 배합 개발	기업체, 연구소 등	
4	터널 지보용 Hyper 섬유 그물망	지식재산권	기업체, 연구소 등	
		섬유 그물망 개발	기업체, 연구소 등	

■ 국내외 지하구조물 시공 핵심 기술

터널 / 지하철 / 지하
발전소 / 지하시설



■ 첨단소재와의 기술 융합

재료 성능 향상 / 신재료
개발 / 신시장 창출



■ 유사 사업의 보수 보강 공법에 적용

사면보강 / 내진보강 /
고속도로 / 교량 / 옹벽



그림 4-2. 최종성과물의 활용방안

4-2. 양적 성과 활용방안

표 4-2. 양적 성과 활용방안

양적 성과	추진 내용 및 일정	비고
특허 등록	- 특허명 : “터널 지보 췁크리트 보강용 섬유 그물망, 터널 지보 췁크리트 보강용 섬유 그물망 제조 방법 및 터널 지보 췁크리트 보강용 섬유 그물망을 이용한 터널 시공 방법 (특허출원 제10-2018-0045732호)” - 추진 일정 : 2020.01.13. 보정서 및 의견서 제출 완료 및 심사 대기	-
기술실시계약	- 계약명 : “터널 지보재 일체화를 위한 췁크리트용 Hyper 섬유 그물망 지보재 기술” 노하우 (know-how) 이전 계약 - 계약기간 : 2018.12.01. ~ 2019.11.30. - 계약범위 : 기술 계약	-
신제품 인증	- 제품명 : Hyper Grid - 제품 내용 : 기존 제품 대비 성능 개선된 그리드 제조 기술 - 추진 일정 : 2019.06.24. 신제품 인증 신청 완료	-

5. 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		○
결정 사유	본 연구개발사업은 [국토교통부소관 연구개발사업 운영규정] 제 7장 연구개발사업의 보완 및 정보관리 제 47조의 4 (보완 등급 분류기준)에 명시된 보안등급 분류에 따라 일반과제로 구분됨.	

6. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

○ 해당사항없음.

7. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명 /기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	특허 출원	탄성 멤브레인을 활용한 경화중인 시멘트 복합체의 열팽창계수 측정방법	중앙대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2016.12.29	단독	-
2	특허 출원	섬유 그물망을 이용한 터널 시공 방법	중앙대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2017.11.21	단독	-
3	특허 출원	섬유 그물망 인발 시험용 콘크리트 패널 시험체 및 그 제조 방법, 섬유 그물망의 인발 시험 방법 및 섬유 그물망의 인발 시험 장치	중앙대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2018.11.07	단독	-
4	특허 출원	섬유 그물망 부착용 췁크리트 조성물	(재)한국건설 생활환경시험 연구원	-	대한민국	-	2017.11.21	단독	-
5	특허 출원	췁크리트 보강용 섬유 그물망 및 이를 이용한 터널 시공 방법	중앙대학교 산학협력단, (주)에스엠테크 텍스	-	대한민국	-	2017.11.22	단독	-
6	특허 출원	시공성 향상을 위한 췁크리트 보강용 하이퍼 섬유 그물망, 그 섬유 그물망의 제조방법 및 그 섬유 그물망을 이용한 터널 시공 방법	중앙대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2019.12.12	단독	-
7	특허 출원	부착성능이 향상된 모르타르 췁크리트 분사장치 및 그 분사장치를 이용한 췁크리트 타설방법	중앙대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2019.12.23	단독	-

8	특허 등록	탄성 멤브레인을 활용한 경화중인 시멘트 복합체의 열팽창계수 측정방법	중앙대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2018.09.27	단독	-
9	논문	고로슬래그 미분말 혼입 시멘트 페이스트의 프래탈 특성에 관한 기초적 분석	중앙대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2017.02	중복	국내개제
10	논문	모르타르 쏿크리트의 역화성능 및 내구성능 평가	(재)한국건설 생활환경시험 연구원	-	대한민국	-	2019.09.23	중복	국내개제
11	논문	Modelling of chloride diffusivity in concrete considering effect of aggregates	(재)한국건설 생활환경시험 연구원	-	United Kingdom	4.046	2017.04.01	중복	SCI(E)
12	논문	Mercury intrusion porosimetry characterizati on of micropore structures of high-strength cement pastes incorporating high volume ground granulated blast-furnace slag	중앙대학교 산학협력단	-	United Kingdom	4.046	2017.04.15	중복	SCI(E)
13	논문	Use of ternary blended concrete to mitigate thermal cracking in massive concrete structures-A field feasibility and monitoring case study	중앙대학교 산학협력단	-	United Kingdom	4.046	2017.04.15	중복	SCI(E)
14	논문	Internal relative humidity and	중앙대학교 산학협력단	-	United Kingdom	4.046	2017.09.01	중복	SCI(E)

		drying shrinkage of hardening concrete containing lightweight and normal-weight coarse aggregates: A comparative experimental study and modeling							
15	논문	Fractal characteristics of pore structures in GGBFS-based cement pastes	중앙대학교 산학협력단	-	Netherlands	5.155	2018.01.15	중복	SCI(E)
16	논문	Prediction of self-healing potential of cementitious materials incorporating crystalline admixture by isothermal calorimetry	(재)한국건설 생활환경시험 연구원	-	Switzerland	2.111	2019.07.01	중복	SCI(E)
17	논문	Autogenous healing of early-age cracks in cementitious materials by superabsorbent polymers	중앙대학교 산학협력단	-	Switzerland	2.972	2020.02.01	중복	SCI(E)
18	기타	섬유 그물망 보강 콘크리트의 휨 인성 거동 특성	중앙대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2017.05.11	단독	학술대회 발표
19	기타	휨 부착 실험을 통한 섬유 그물망 보강 콘크리트의 부착 성능 평가	(재)한국건설 생활환경시험 연구원	-	대한민국	-	2017.10.19	단독	학술대회 발표
20	기타	코팅재에 따른 섬유 그물망 보강 콘크리트의 휨 인성 거동 특성	중앙대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2017.11.02	단독	학술대회 발표
21	기타	시멘트 페이스트의 자기수축 모델링	중앙대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2017.11.02	단독	학술대회 발표
22	기타	시멘트 페이스트의	중앙대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2018.05.03	단독	학술대회 발표

		메니스커스 반경 추정을 통한 자기수축 예측 모델							
23	기타	폴리머계 혼화제를 혼입한 숏크리트의 물성 평가	(재)한국건설 생활환경시험 연구원	-	대한민국	-	2018.05.03	단독	학술대회 발표
24	기타	섬유 그물망 보강 콘크리트의 휨 거동 이론적 예측	중앙대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2018.11.08	단독	학술대회 발표
25	기타	공극 구조의 프랙탈 특성을 이용한 시멘트 페이스트의 투수계수 예측 모델	중앙대학교 산학협력단	-	대한민국	-	2019.05.09	단독	학술대회 발표
26	기타	폴리머를 혼입한 숏크리트 모르타르의 역학적 특성에 관한 실험적 연구	(재)한국건설 생활환경시험 연구원	-	대한민국	-	2019.05.09	단독	학술대회 발표

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 건설기술연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 건설기술연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.