20CTAP
-C142899
-03

프리폼
크리트
(Free
-Form
-Crete)를
활용한
기상재해
신속
대응 및
복구
기술
개발

최
종
보
고
서

2020

국
토
교
통
과
학
기
술
진
흥
원

국
토
교
통
부

보안 과제( ), 일반 과제(○)/공개(○), 비공개( )
발간등록번호(11-B552989-000365-01)
국토교통기술촉진연구사업 제3차 연도 최종보고서

R&D / 20CTAP-C142899-03

프리폼크리트 (Free-Form-Crete)를 활용한 기상재해 신속 대응 및 복구 기술 개발

최종보고서

2021. 02. 09.

주관연구기관 / (주)콘텍이엔지
협동연구기관 / (주)대흥미래기술

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

‘프리폼크리트(Free-Form-Crete)를 활용한 기상재해 신속 대응 및 복구 기술 개발’
(연구개발 기간 : 2018. 04. 17. ~ 2020. 12. 31.) 과제의 최종보고서 2부를 제출합니다.

2021. 02. 09.

주관연구기관명 : ㈜콘텍이엔지 (대표자) 박 성 기 (인)
협동연구기관명 : ㈜대흥미래기술 (대표자) 김 성 태 (인)

주관연구기관책임자: 박 성 기
협동연구기관책임자: 김 성 태

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	20CTAP-C142899-03	해당 단계 연구 기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31	단계구분	3 / 3
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	창의도전연구 분야			
연구과제명	대과제명	-			
	세부과제명	프리폼크리트(Free-Form-Crete)를 활용한 기상재해 신속 대응 및 복구 기술 개발			
연구책임자	박성기	해당단계 참여연구원 수	총: 11명 내부: 11명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 250,000천원 민간: 85,000천원 정부외: - 천원 상대국: - 천원 계: 335,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 21명 내부: 21명 외부: 명	총 연구비	정부: 600,000천원 민간: 203,000천원 정부외: - 천원 상대국: - 천원 계: 803,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	㈜콘텍이엔지			참여기업명 ㈜콘텍이엔지, ㈜대흥미래기술	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 제24조의4에 해당하지 않음

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정보	생물자원	정보	실물
등록·기탁 번호	2	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

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

요약

<연구목표>
급속시공이 가능하고 거푸집 설치가 필요 없는 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 개발 및 시공기술 개발

<연구내용>
프리폼크리트(Free-Form-Crete) 재료 개발
프리폼크리트(Free-Form-Crete) 구조(형태) 개발
프리폼크리트(Free-Form-Crete) 품질기준 확립
프리폼크리트(Free-Form-Crete) 제조 기술 개발
프리폼크리트(Free-Form-Crete)의 현장적용방안 개발
실용화를 위한 표준화 및 설계/시공 매뉴얼 작성

보고서 면수 176

요약문

연구의 목적 및 내용	본 연구는 기후변화로 인한 집중호우 발생시 기상재해 취약지역이나 장기간 공용된 수리구조물 등의 피해 예방 및 신속한 복구를 위하여 시간적, 공간적 제약이 최소화될 수 있고, 거푸집 설치 및 양생 과정 없이 콘크리트 시공이 가능한 시공기술(프리폼크리트, Free-Form-Crete)을 개발하고, 개발된 재료의 효율적인 활용을 위한 현장 적용 기술을 개발하고자 함. - 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 소재 및 제조기술 개발 - 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 재료 개발 및 품질기준 정립 - 프리폼크리트(Free-Form-Crete)의 현장적용방안 개발 - 실용화를 위한 제품 표준화 및 매뉴얼 작성				
연구개발성과	본 연구를 통해 도출될 핵심 연구성과는 2개이며, 양적성과는 지식재산권(특허등록) 4건, 논문 2건, 시제품 2건, 현장적용 1건, 시험시공 1건, 제품화 매출 2건 등의 성과를 달성함.				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	본 연구에서 개발하는 프리폼크리트(Free-Form-Crete)는 초속경 재질로써, 콘크리트의 초기강도 발현이 가능하며, 탁월한 유연성을 확보로 기상재해에 따른 취약지역이나 장기간 공용된 수리구조물의 피해 예방 및 신속 대응 복구 지역에 활용할 계획임. 원천기술 및 생산능력 부재로 인하여 현재 전면 해외기술 의존하고 있으며, 이에 따른 외화유출 발생과 동시에 원자재 단가 상승으로 인한 과도한 공사비가 발생하고 있으나 본 연구 개발을 통해 과다한 공사비를 절감할 것으로 기대됨.				
국문핵심어 (5개 이내)	프리폼크리트	수리구조물	사면보강	숏크리트	수로

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1
 가. 연구개발의 필요성 ····· 1
 나. 연구개발 범위 ····· 4
  (1) 1차 연도 ····· 4
  (2) 2차 연도 ····· 5
  (3) 3차 연도 ····· 6

2. 연구수행내용 및 성과 ····· 7
 가. 연구개발 방법 ····· 7
  (1) 연구 개발 추진 전략 및 방법 ····· 7
  (2) 연구 개발 추진 체계 ····· 8
  (3) 연구 개발 추진 일정 ····· 9
 나. 연구수행내용 및 결과 ····· 10
  (1) 1차년도 연구내용 및 결과 ····· 10
  (2) 2차년도 연구내용 및 결과 ····· 52
  (3) 3차년도 연구내용 및 결과 ····· 112
 다. 연구개발 성과 ····· 158
 라. 연구결과 ····· 163
  (1) 기술적 성과 ····· 163
  (2) 경제적 성과 ····· 165

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 166
 가. 목표 ····· 166
  (1) 양적성과 목표 ····· 166
  (2) 질적성과목표 ····· 167
 나. 목표 달성여부 ····· 168
  (1) 양적성과목표 달성도 ····· 168
  (2) 질적성과목표 달성도 ····· 171
  (3) 관련 분야 기여도 ····· 172
 다. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책 ····· 173

4. 연구개발성과의 활용 계획 등 ····· 174

붙임. 참고 문헌 ····· 176

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발의 필요성

○ 최근 기후변화의 영향으로 국지성 집중호우가 발생하고 있으며, 이에 따른 사면붕괴 등의 피해가 매년 발생하고 있다. 특히 사면붕괴는 토사유출로 인한 하천오염의 환경문제, 도로 통제에 따른 2차 피해가 발생하고 있어 이에 따른 대책이 필요한 실정이다.



그림 1 연구배경

○ 일반적으로 거푸집을 설치하여 시공되는 콘크리트 구조물은 매우 정형화된 형태로 시공되는 것이 일반적이며, 이로 인해 콘크리트 구조물이 거대해지거나 불필요한 재료가 투입되는 경우가 빈번하게 발생할 수 있다.

○ 구조물을 설치하기 위한 거푸집 설치작업은 거푸집 설치를 위한 전처리 작업, 거푸집 설치작업, 거푸집 해제 작업의 단계로 이루어지며, 전체 공사기간에 있어 많은 비중을 차지하게 된다.

○ 또한, 구조물의 설치위치에 따라 거푸집의 설치가 용이하지 않을 수 있으며, 장비의 진입이 어려운 현장의 경우 시공이 불가능할 수도 있다.

○ 따라서, 일반 현장타설 콘크리트 공법으로는 기상재해에 따른 신속 대응 및 복구 기술에는 적용하기가 어려운 실정이며, 이에 대응할 수 있는 숏크리트 공법이 적용되고 있다.



그림 2 거푸집 설치사례(수로)



그림 3 숏크리트 공법 적용(사면)

○ 사면보호공법에 적용하는 숏크리트 공법은 일반 콘크리트에 급결제를 사용하여 초기강도를 증진시키는 공법이나 급결제 사용으로 인한 장기강도 및 내구성 저하가 많이 발생하고 있으며, 특히 콘크리트를 뿜어 붙일 때 발생되는 반발재로 인한 오염 및 폐기물이 발생 등의 환경문제가 발생하고 있다.



그림 4 숏크리트 반발재

○ 따라서, 기상재해로 인한 피해를 저감하고 대응할 수 있는 비교적 간편하고 인력시공이 가능하며, 특히 거푸집이나 레미콘 사용없이 시공기간을 단축할 수 있는 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 개발이 필요하다.



사면보강



수로공사

그림 5 프리폼크리트(Free-Form-Crete)를 적용 예

나. 연구개발 범위

(1) 1차 연도

(가) 개발 목표

- 주관연구기관(콘텍이엔지)
  : 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 재료・구조(형태) 및 성능기준 검토

- 공동연구기관(대흥미래기술)
  : 공정별 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 적용방안 연구

(나) 개발 내용 및 범위



그림 6 1차년도 연구내용 및 범위

(2) 2차 연도

(가) 개발 목표

- 주관연구기관(콘텍이엔지)
  : 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 개발 및 제조기술 개발

- 공동연구기관(대흥미래기술)
  : 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 적용기술 개발

(나) 개발 내용 및 범위



그림 7 2차년도 연구내용 및 범위

(3) 3차 연도

(가) 개발 목표

- 주관연구기관(콘텍이엔지)
  : 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 시제품 제작 및 현장 적용

- 공동연구기관(대흥미래기술)
  : 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 시험시공 및 실용화

(나) 개발 내용 및 범위



그림 8 3차년도 연구내용 및 범위

2. 연구수행내용 및 성과

가. 연구개발 방법

(1) 연구 개발 추진 전략 및 방법

○ 프리폼크리트의 소재 및 연결, 정착방법을 개발하기 위해 해외에서 적용하고 있는 기술 시공사례 조사 및 분석
○ 프리폼크리트 생산을 위한 제조 공정 및 생산설비 등을 분석, 검토하고 실제 생산 시설을 갖춘 국내 업체 조사
○ 국내에서 수입하여 적용한 현장을 방문하여 연결 및 정착방법 검토 및 분석
○ 실용화를 위한 프리폼크리트의 실생산품 제작 및 분석
○ 실제 현장에 시험시공 및 모니터링을 실시하여 제작성, 시공성 검증 실시
○ 국내 생산 자재의 규격과 현장조건을 토대로 프리폼크리트 매뉴얼 및 표준도면을 작성하여 설계표준화 구축

(2) 연구 개발 추진 체계

○ 본 연구진은 핵심 목표인 프리폼크리트 적용 기술 개발을 위해 실무 경험, 기술, 정책 및 산업과의 연계성을 고려하여 산·학 관련 전문가로 다양하게 구성
○ 본 연구과제 참여기관별 연구내용의 특성을 고려한 전문 연구인력 투입
○ 위탁연구기관 1(공주대학교), 위탁연구기관 2((주)건설표준시험원)는 1, 2차년도에 연구 참여

연구개발과제	
과제명	프리폼크리트(Free-Form-Crete)를 활용한 기후재해에 신속 대응 및 복구 기술 개발

기 관 별 참 여 현 황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계	3	17	21
대 학	1	4	
국공립(연)			
출 연 (연)			
기 타			

주 관 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	위 탁 연 구 기 관 1	위 탁 연 구 기 관 2
㈜콘텍이엔지	㈜대흥미래기술	공주대학교	㈜건설표준시험원
참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원
주관연구책임자 (박성기)외 5명	공동연구책임자 (김성태)외 6명	위탁연구책임자 (박찬기)외 3명	위탁연구책임자 (반용현)외 3명
담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용
-프리폼크리트 구조(형태) 및 제조 기술 개발 -프리폼크리트 시제품 제작 및 현장 적용	-프리폼크리트 적용기술 개발 및 성능검증 -프리폼크리트 시험시공 및 실용화	-프리폼크리트 혼합물 조사 및 분석 -프리폼크리트 재료 개발	-프리폼크리트 품질 기준 조사 및 분석 -프리폼크리트 품질 기준 확립

(3) 연구 개발 추진 일정

구분	연구과제명 (연구수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	1차년도				2차년도				3차년도			
		핵심성과	단위성과	질적 성과지표				1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
주관	프리폼크리트 소재 및 제조기술 개발 ((주)콘텍이엔지)	1	1-1	1-1-①	프리폼크리트 재료 특허 출원	출원서	30												
			1-2	1-2-②	프리폼크리트 재료 관련 학술발표	발표 논문	40												
			1-3	1-3-③	프리폼크리트 재료 및 형태 검토	보고서	50												
			2-1	2-1-①	프리폼크리트 제조기술 특허 출원	출원서	40												
			2-2	2-2-②	프리폼크리트 재료 특허 등록	등록증	40												
			2-3	2-3-③	프리폼크리트 형태 관련 학술발표	발표 논문	30												
			2-4	2-3-④	프리폼크리트 최적타입 결정	보고서	64												
			3-1	3-1-①	시제품 제작 및 현장적용	시제품	100												
			3-2	3-2-②	프리폼크리트 문제점 분석	보고서	61												
			3-3	3-3-③	프리폼크리트 제조기술 특허 등록	등록증	40												
공동	프리폼크리트 현장적용기술 개발 ((주)대흥미래기술)	2	2-1	2-1-①	프리폼크리트 시공관련 특허출원	출원서	80												
			2-2	2-2-①	프리폼크리트 시공관련 특허등록	등록증	43												
				2-2-②	프리폼크리트 연결부 시제품제작	시제품	50												
			2-3	2-3-①	프리폼크리트 시공관련 학술발표	발표 논문	40												
				2-3-②	프리폼크리트 시험시공	시공 일지	60												
				2-3-③	프리폼크리트 매뉴얼 제작	매뉴얼	34												

나. 연구수행내용 및 결과

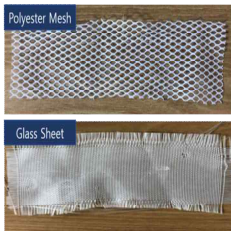
(1) 1차년도 연구내용 및 결과

1차년도 연구내용 및 결과 요약

(1) 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 재료·구조(형태) 및 성능기준 검토

○ 프리폼크리트 구조(형태) 검토 및 요구성능 검토

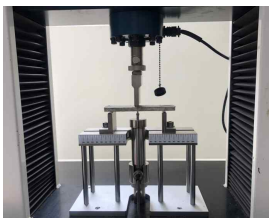
1. 프리폼크리트 구조(형태)재료 검토

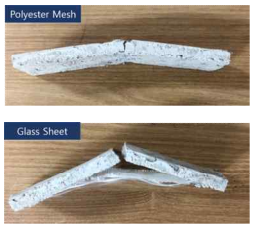




- 프리폼크리트 중간층의 인성을 증가시키기 위한 재료로 PP섬유와 PVA 섬유와 상하부 층 재료로 시트 형태의 폴리에스테르 메쉬와 유리섬유 시트를 고려
- 시멘트, 규사, 섬유를 배합 후 몰드에 붓고 다짐을 하였으며, 그리고 물을 분사기로 분사하여 시편을 제작

2. 프리폼크리트 재료별 성능 평가





- 프리폼크리트 시편 제작 후 휨성능 실험
- 시트 부착성은 폴리에스테르 Mesh를 적용했을 때는 분리현상이 없었지만 Glass Sheet를 적용했을 때는 분리현상이 일어남.

3. 프리폼크리트 요구성능 검토

프리폼크리트의 소재 성능 기준 검토

구분	목표성능 기준
압축강도	20MPa/1day, 45MPa/10days
휨강도	5MPa/10days
염화물 침투저항성	Low (1,000쿨롱 이하)

프리폼크리트의 제품 성능 기준 검토

구분	목표성능 기준
휨강도	4MPa / 10days
휨 탄성계수	180MPa / 10days
화학적 저항	산성도 / 통과 알칼리성도 / 통과 황산저항 / 통과
제품 두께	8 ~ 12mm

○ 프리폼크리트 혼합물 검토 및 배합설계, 기초 실험

1. 프리폼크리트 혼합물 선정 및 배합설계



배합변수

구분		변수
시멘트 : 규사		4:6, 5:5, 6:4
광물질 섬유	월라스토나이트	결합재 × 5, 10, 15, 20%
	세피올나이트	결합재 × 5, 10, 15, 20%

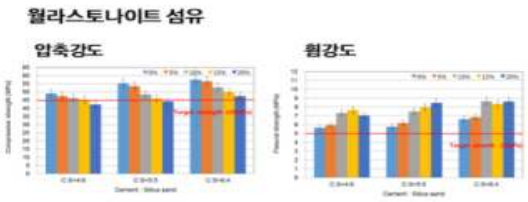
- 프리폼크리트의 품질은 항상 일정해야 하며 재료에 영향을 받아서는 안되므로 일반 잔골재를 적용하기 않고 항상 일정한 품질을 확보할 수 있는 규사(6호사)를 골재로 적용
- 프리폼크리트 소재의 강도특성 및 내구성을 확보하기 위하여 광물질 섬유 고려, 광물질섬유는 월라스토나이트섬유와 세피올라이트섬유 사용

2. 프리폼크리트 기초실험(실험방법)



- 프리폼크리트의 역학적 특성을 평가하기 위하여 KS F 4042 콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르의 규정에 따라 압축강도 및 휨강도 측정

3. 프리폼크리트 기초실험(실험결과)



- 광물질 섬유인 월라스토나이트 섬유 및 세피올라이트의 초속경 결합재 치환율에 따른 압축강도 시험결과 치환율이 증가할수록 압축강도는 감소하나 휨강도는 증가함
- 월라스토나이트섬유와 세피올라이트섬유의 압축강도 및 휨강도 시험결과, 월라스토나이트섬유를 적용하는 것이 프리폼크리트의 성능 향상에 유리함

○ 프리폼크리트 성능기준 검토 및 품질평가방법 조사

- 영국의 Concrete canvas사에서 개발한 콘크리트 캔버스의 한 쪽면에 코팅된 PVC는 불투수성 재료로서 방수성을 확보하여 배수로 라이닝 재료로 사용될 수 있으며 내기후성과 자외선에 대한 저항성이 우수한 내화학성 제품임. 또한 기존의 콘크리트 압축강도(24~27MPa)와 휨강도(3MPa)보다 높은 재령10일 압축강도(40MPa)와 휨강도(3.4MPa)로 인해 사면보호 시공재료로 사용되고 있음
- 국내의 신승이앤씨에서는 콘크리트 캔버스 자재를 전량 수입하여 사용하고 있음. 신승이앤씨에서는 화재안정성(BS EN 13501-11:2007), 해빙시험(ASTM C 1185), 포화건조시험(BS EN 12467:2004), 불투수성(BS EN 12467 :2004), 발아억제(DD CEN/TS 14416), 마모저항(DIN 52108), 배관코팅의 충격저항(ASTM G 13)과 같은 방법으로 콘크리트 캔버스의 품질을 평가하였음.

(2) 공정별 프리폼크리(Free-Form-Crete) 적용방안 연구

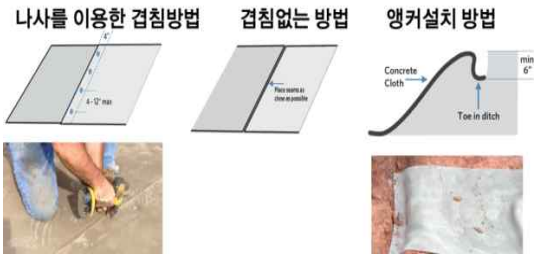
○ 프리폼크리트 관련 기술 및 시장조사

1. 프리폼크리트 관련 시장조사
• 프리폼크리트는 건설 자재 응용제품으로 신규 건설 자재 분야에 해당되며, 현재 관련 시장을 지배하는 기업은 영국의 Concrete Canvas사로, 콘크리트 충진 직물 제품인 Concrete Canvas와 응용제품인 Concrete Canvas Shelter 등을 판매하고 있음 • 해당 시장은 신규 제품의 특성상 경쟁사가 적고 그 진입 장벽이 낮은 것으로 나타나며, 현재 시장의 초기단계를 이루고 있기에 대상기술을 조속히 개발, 출시한다면 국내 프리폼크리트의 기술 산업적 선두자의 입장으로 국내시장의 선점이 가능할 것으로 전망됨.

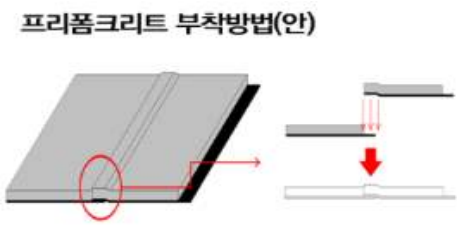
2. 프리폼크리트 관련 기술		
		• Concrete Canvas(CC)는 물과 접촉하여 경화되는 3차원 연성 시멘트 직물이며, CC는 수화 작용을 위해 물이 침투되는 직물로 구성된 상부 표면과 시공 뒤, 지반에 물이 침투하는 것을 막아주는 방수역할을 하는 PVC막으로 구성된 바닥 표면을 가지고 있음 • Concrete Mat Cloth(CMC)는 공사장비 없이 경사면, 수로 등 기타 중장비가 도달하기 어려운 곳에 콘크리트를 사용할 수 있도록 개발됨. 롤 형태로 제공되며, 콘크리트의 강도와 내구성을 제공함.

○ 기존기술의 적용방안 검토

1. 프리폼크리트 해외 제품의 구성 재료 특성 조사	
콘크리트 캔버스 상단부  콘크리트 캔버스 방수층 	• 콘크리트 캔버스를 시공하기 전에는 압축되고 매끄러운 노상의 준비가 필요하며, 시공을 위해 대상 지반의 평탄화 작업을 실시해야함 • 설치 시 방수층인 PVC면이 지반 쪽으로 설치되어야 상부에 수분을 공급해 경화시킬 수 있음.

2. 프리폼크리트 겹침방법 조사	
	• 콘크리트 캔버스간의 연결은 겹침방법을 이용하며, 겹침방법으로는 나사를 이용한 겹침, 접착제를 이용한 겹침이 있음. 겹침 시, 겹침 간격은 최소 10cm 이상으로 겹칠 수 있도록 해주어야 함 • 나사를 이용하여 겹침을 시행할 시, 겹침은 4인치 이상으로 배치하고, 나사는 겹침부에 따라 직선으로 배치하며, 겹침부 상단자리에서 1인치 이상 떨어지게 시공함
3. 프리폼크리트 시공방법 조사	
	• 프리폼크리트의 시공순서는 대상지역의 수목 제거, 터파기, 설치할 면 고르기 실시, 프리폼크리트 배치. 겹침부 연결, 겹침부 물공급, 전체 물공급의 순서로 진행됨

○ 공정별 프리폼크리트 적용방안 개발

	• 프리폼크리트 적용방안은 기존 시공방법과 유사하게 진행하고자 하며, 겹침연결에 있어 보다 효율적으로 시공할 수 있도록 개선하고자 함 • 적용하고자 하는 방안은 겹침방법을 적용하고 있으나, 프리폼크리트에 방수층을 연장하여 연결되는 추가 프리폼크리트에 방수층과 직접 접착제를 사용하여 부착함

(가) 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 구조(형태) 및 성능기준 검토

① 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 구조(형태) 및 소재 선정

프리폼크리트의 구조(형태)는 그림 9와 같이 패브릭 소재 사이에 속경성 Dry mortar를 넣어서 만든 콘크리트를 매트 형식으로 개발하고자 한다.

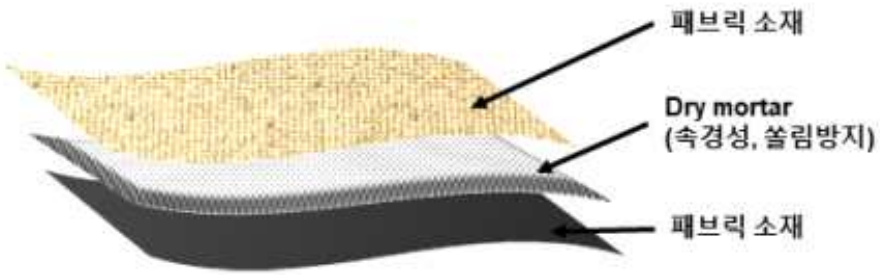


그림 9 프리폼크리트 개발(안)

프리폼크리트 중간층의 인성을 증가시키기 위한 재료로 PP섬유와 PVA 섬유와 상하부 층 재료로 시트 형태의 폴리에스테르 메쉬와 유리섬유 시트를 고려하였다. 프리폼크리트에 사용한 섬유와 패브릭소재는 그림 10, 11과 같다.



그림 10 섬유 종류

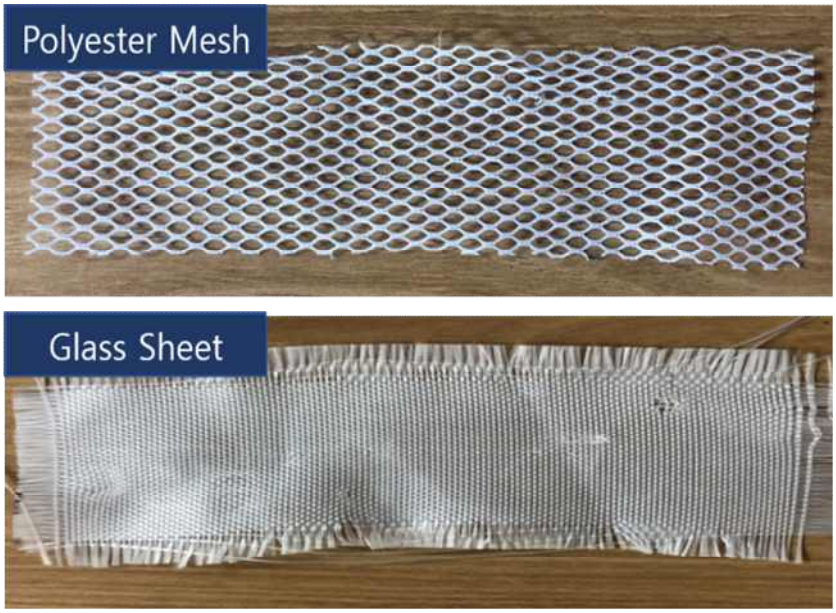


그림 11 패브릭 소재 종류

② 프리폼크리트(Free-Form-Crete)의 소재 검토

㉮ 프리폼크리트 시편 몰드 제작

패브릭 프리폼크리트 시편 제작을 위한 몰드는 아크릴소재의 볼트조립식 몰드로 제작하여 1개의 몰드에 4개의 시편이 제작 가능하도록 하였으며, 그 모습은 그림 12와 같다.



그림 12 프리폼크리트 시편 몰드

㉰ 프리폼크리트 시편 제작

프리폼크리트 휨성능 실험을 위한 배합은 위탁연구기관의 시험결과를 토대로 시멘트, 규사 비율을 6:4로 하였으며, 물-시멘트비는 40%로 하였다. 실험 배합에는 초속경시멘트와 6호사 규사를 사용하였으며, 배합설계는 표 1과 같다. 섬유는 PP(폴리프로필렌) 섬유를 4.5kg/㎥(체적×0.1%)로 사용하였으며, PVA(폴리비닐알코올) 섬유는 6.3kg/㎥(체적×0.1%)로 사용하였다.

표 1 프리폼크리트 배합설계

배합명	단위중량 (kg/㎥)					패브릭
	물	시멘트	규사	PP섬유	PVA섬유	
PP	400	1000	669	4.5		
PVA					6.3	
PP+Mesh				4.5		Mesh
PVA+Mesh					6.3	Mesh
PP+Glass Sheet				4.5		Glass Sheet
PVA+Glass Sheet					6.3	Glass Sheet

프리폼크리트 휨성능 실험을 위한 시편은 배합별로 2개의 시편을 제작하였다. 초속경시멘트, 규사, 섬유를 배합 후 건비빔 상태로 몰드에 붓고 다짐을 한다. 그리고 물을 분사기로 분사하여 시편을 제작하였다.



그림 13 프리폼크리트 시편 제작 모습

㉰ 프리폼크리트의 소재별 휨성능 평가 방법

프리폼크리트 휨성능 평가는 160×40×10mm의 시편을 제작하여 재령 1일, 10일에 대하여 각각 2개의 시편으로 휨강도 및 휨성능을 평가하였다. 휨성능 평가는 최대 용량 5 ton의 만능재료시험기(UTM)을 이용하였으며, UTM은 컴퓨터로 하중 및 변위량이 표시되며, 기능제어가 가능하다.

휨성능 실험모습은 하부의 지지롤러 위에 프리폼크리트 시편을 위치하게 한 후 3점 재하하였다. 1개의 변위센서(LVDT)를 하부에 설치하여 수직변위를 측정하였다.



그림 14 휨성능 평가 실험 모습

휨인성 및 등가휨강도는 ASTM C 1609에 준하여 계산하였으며, 하중-변위 곡선의 최대 하중(P_P)과 첫 피크 하중(P_1)이 상이한 경우에는 각 하중에 대한 휨강도 f_1과 f_P를 구하고 P_{600}과 P_{150}을 읽고 그에 해당하는 휨강도 f_{600}, f_{150}을 산정하였다.

휨인성은 처짐이 지간 l의 l/150이 되기까지의 하중-변위 곡선 아래의 면적(A_b)이며, 등가 휨강도는 다음 식에 따라 산정하였다.

$$f'_r = \frac{A_b}{\delta_{tb}} \times \frac{l}{bh^2}$$

여기서, δ_{tb}는 지간의 l/150의 처짐(mm), A_b는 그림 15에 나타낸 l/150까지의 면적, l은 지간(mm), b는 파괴 면적의 평균 폭(mm), h는 파괴 면적의 평균 높이(mm)이다.

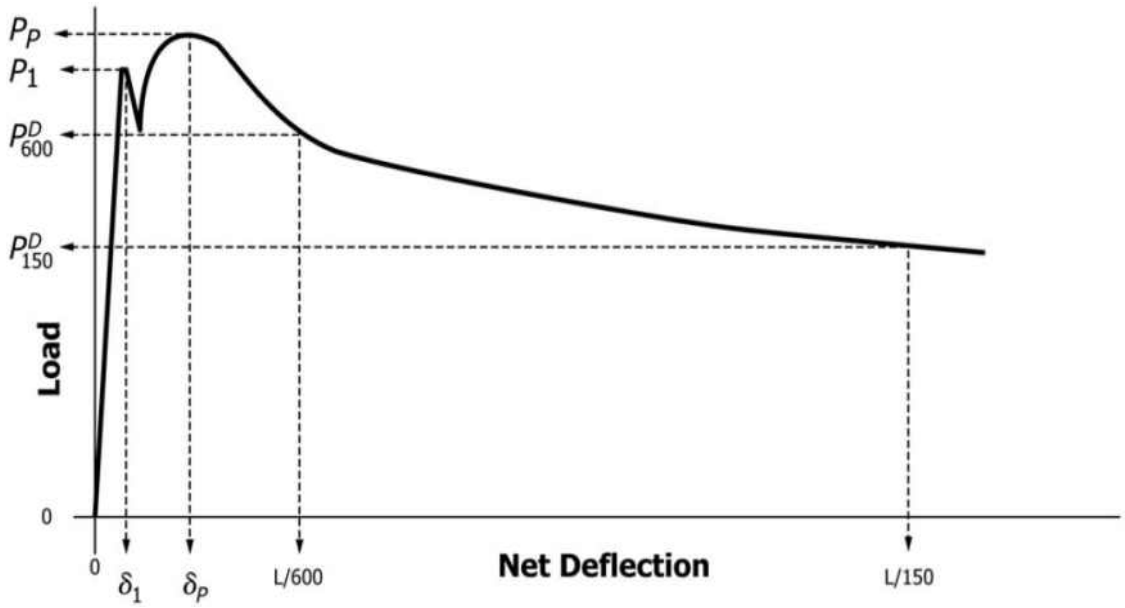


그림 15 하중-변위 곡선

㉱ 프리폼크리트의 소재별 휨성능 평가 결과

프리폼크리트의 1일 휨강도는 아래 표 2와 같으며, 1일 휨강도와 10일 휨강도 비교 결과, PVA 배합을 제외한 모든 배합에서 휨강도 증진이 나타났다.

PP 배합은 8.8%, PP+Mesh 배합은 10.4%, PVA+Mesh 배합은 21.1%, PP+Glass Sheet 배합은 38.8%, PVA+Glass Sheet 배합은 15.9%의 휨강도가 증진되었다.

PVA 배합의 경우, 약 1.9%의 휨강도가 감소하였는데 이는 PVA섬유의 뭉침현상으로 강도 발현이 제대로 되지 않은 것으로 판단된다.

표 2 프리폼크리트 1일 휨강도

배합명	1	2	휨강도 (MPa)
PP	3.44	3.16	3.30
PVA	3.22	-	3.22
PP+Mesh	3.95	-	3.95
PVA+Mesh	2.56	2.84	2.70
PP+Glass Sheet	2.52	2.56	2.54
PVA+Glass Sheet	2.91	-	2.91

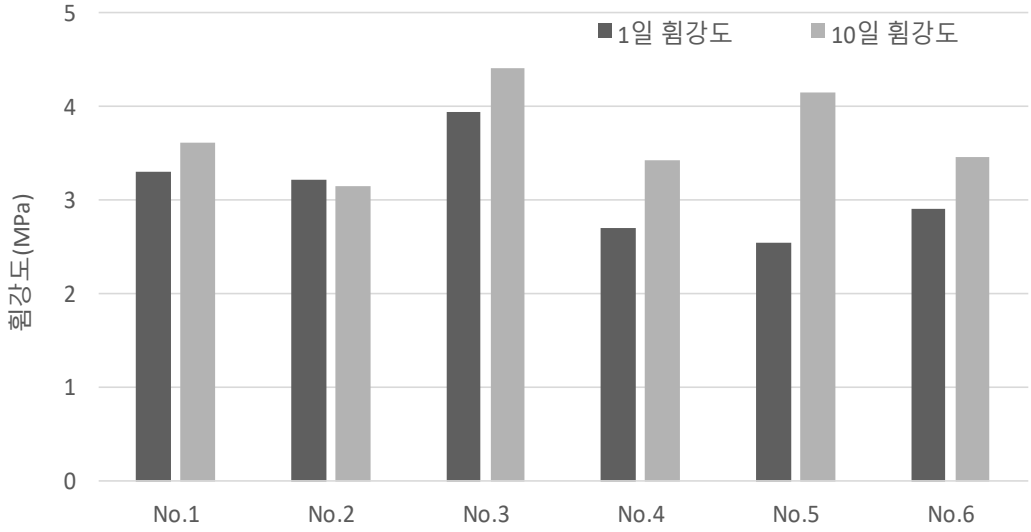


그림 16 1일, 10일 휨강도 비교

프리폼크리트의 휨하중-변위곡선은 그림 17과 같으며, 변위 2.5 mm까지의 휨하중-변위곡선 면적으로 계산한 휨인성과 휨하중-변위곡선 면적에서의 평균 휨강도 값인 등가휨강도를 계산한 결과는 표 3과 같다.

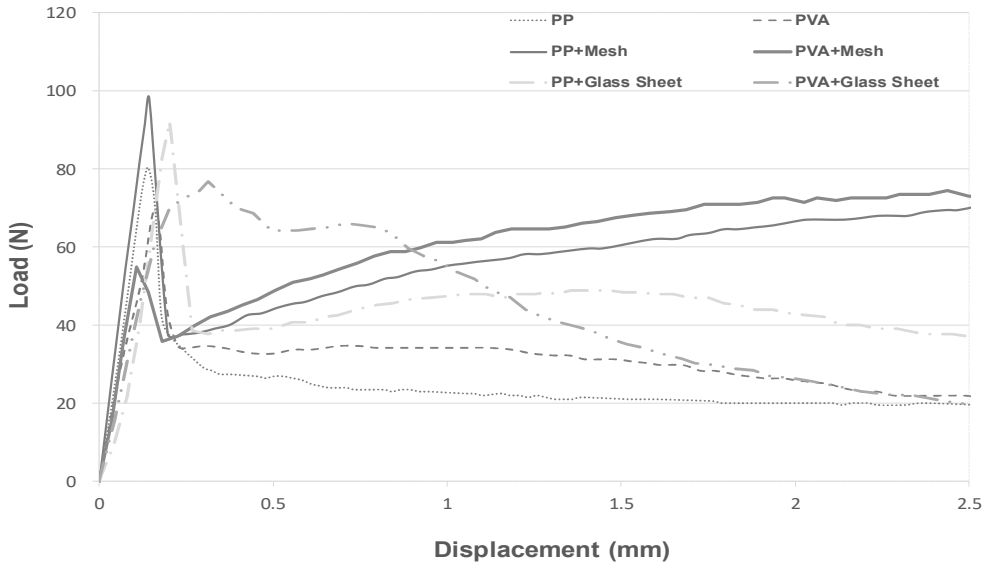


그림 17 프리폼크리트 휨하중-변위 곡선

표 3 프리폼크리트 휨인성 결과

배합명	휨인성(N・mm)	등가휨강도(MPa)
PP	61.51	0.77
PVA	78.14	0.98
PP+Mesh	144.68	1.81
PVA+Mesh	154.33	1.93
PP+Glass Sheet	111.14	1.39
PVA+Glass Sheet	109.40	1.37

PP섬유와 PVA섬유 배합을 비교한 휨하중-변위곡선은 그림 18와 같다. PP섬유와 PVA섬유 배합의 경우, PP섬유 배합의 휨강도가 높았으나 휨인성, 등가휨강도는 PVA 섬유 배합이 약 27% 더 높은 것으로 나타났다.

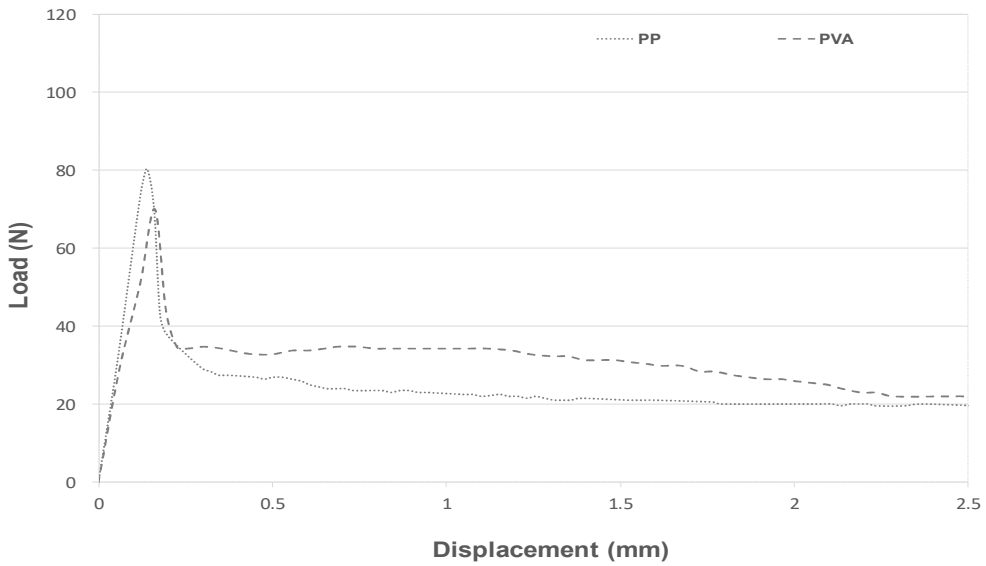


그림 18 PP, PVA 휨하중-변위 곡선

PP+Mesh와 PVA+Mesh 배합을 비교한 휨하중-변위곡선은 그림 19과 같다. PP+Mesh와 PVA+Mesh 배합의 경우, PP+Mesh 배합의 휨강도가 높았으나 휨인성, 등가휨강도는 PVA+Mesh 배합이 약 7% 더 높은 것으로 나타났다.

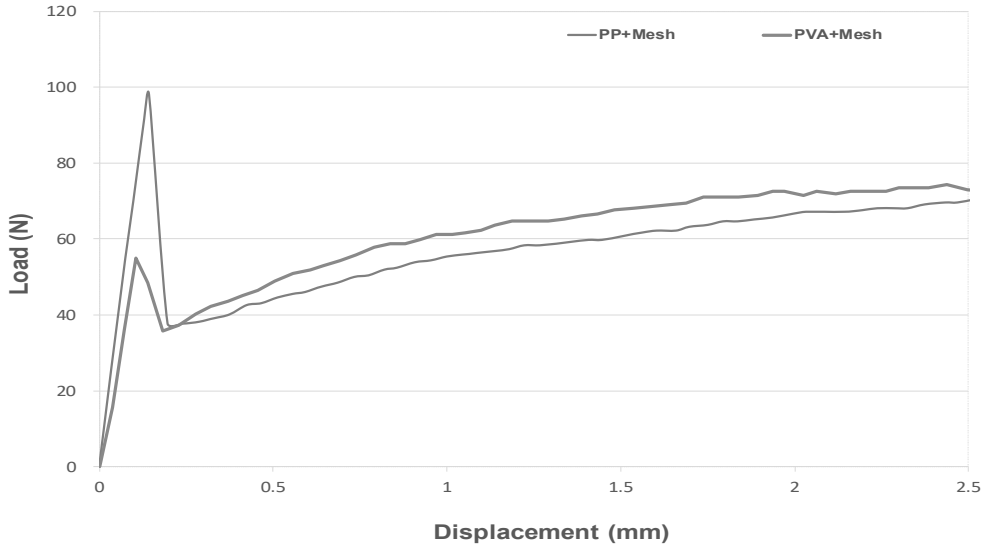


그림 19 PP+Mesh, PVA+Mesh 휨하중-변위 곡선

PP+Glass Sheet와 PVA+Glass Sheet 배합을 비교한 휨하중-변위곡선은 그림 20와 같다. PP+Glass Sheet와 PVA+Glass Sheet 배합의 경우, PP+Glass Sheet 배합이 휨강도, 휨인성, 등가휨강도가 모두 PVA+Glass Sheet 배합보다 더 높은 것으로 나타났다. PP+Glass Sheet 배합이 PVA+Glass Sheet 배합보다 휨인성 및 등가휨강도가 약 2% 더 높았다.

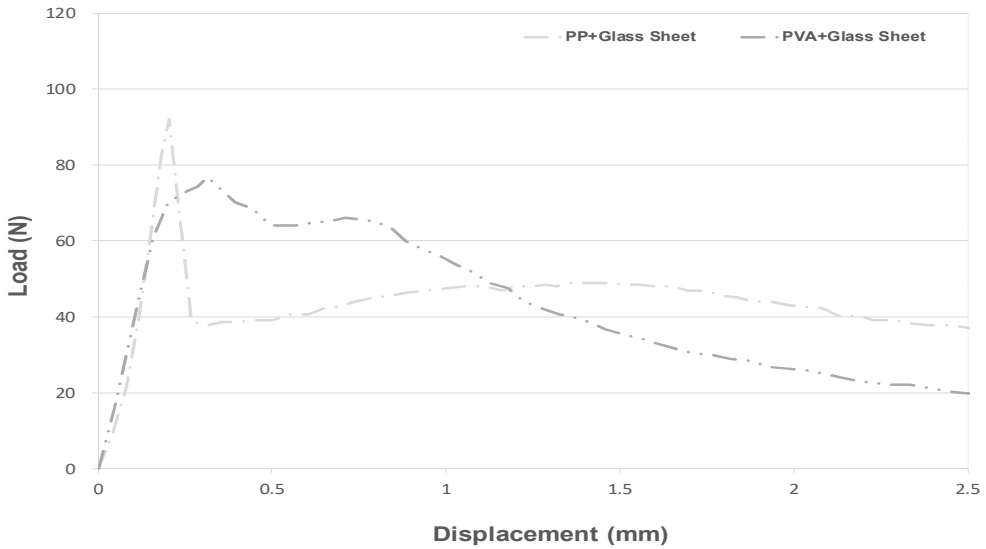


그림 20 PP+Glass Sheet, PVA+Glass Sheet 휨하중-변위 곡선

각각의 섬유에 따른 배합별로 비교해보았을 때, PP섬유를 사용한 배합들의 휨하중-변위곡선은 그림 21와 같다. PP섬유를 사용한 배합에서는 Mesh를 사용하였을 때 휨강도와 휨인성이 높은 것으로 나타났다. PVA섬유를 사용한 배합들의 휨하중-변위

곡선은 그림 22과 같다. PVA섬유를 사용한 배합에서는 Mesh를 사용하였을 때 휨강도는 가장 낮았으나 휨인성은 가장 높은 것으로 나타났다. 섬유만 사용하거나 Glass Sheet를 사용할 때보다 Mesh가 인성을 높여주는 것으로 나타났다.

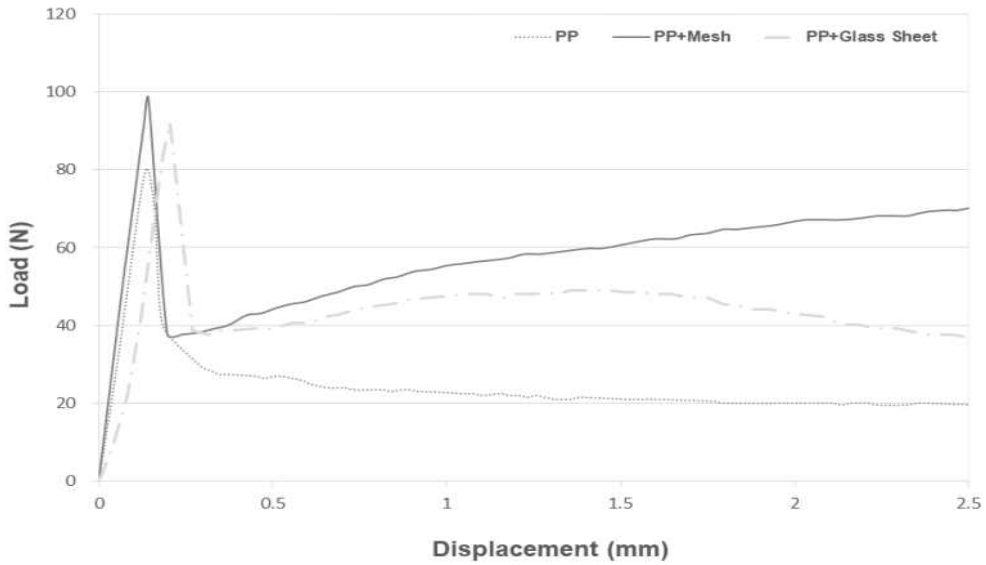


그림 21 PP섬유 사용 배합의 휨하중-변위 곡선

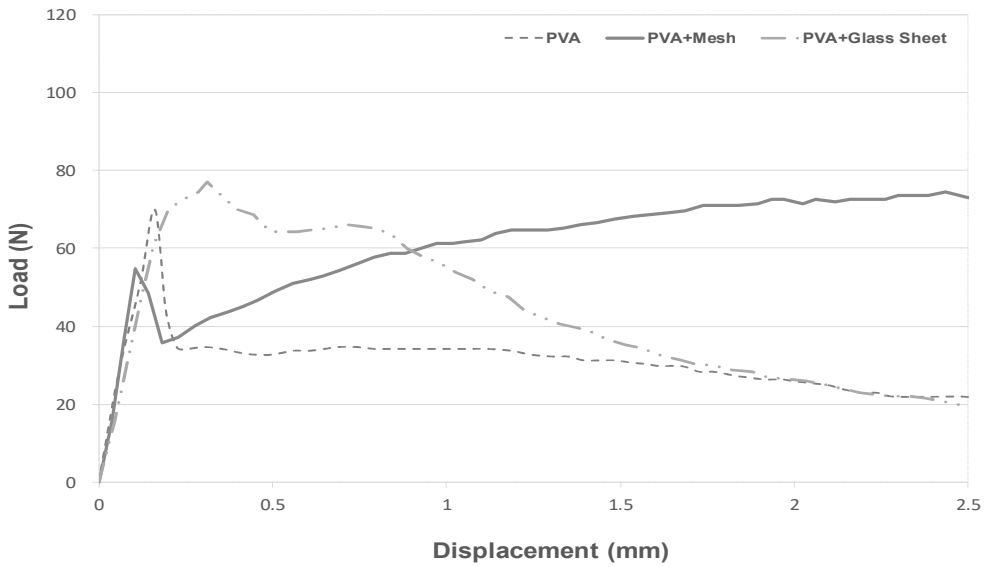


그림 22 PVA섬유 사용 배합의 휨하중-변위 곡선

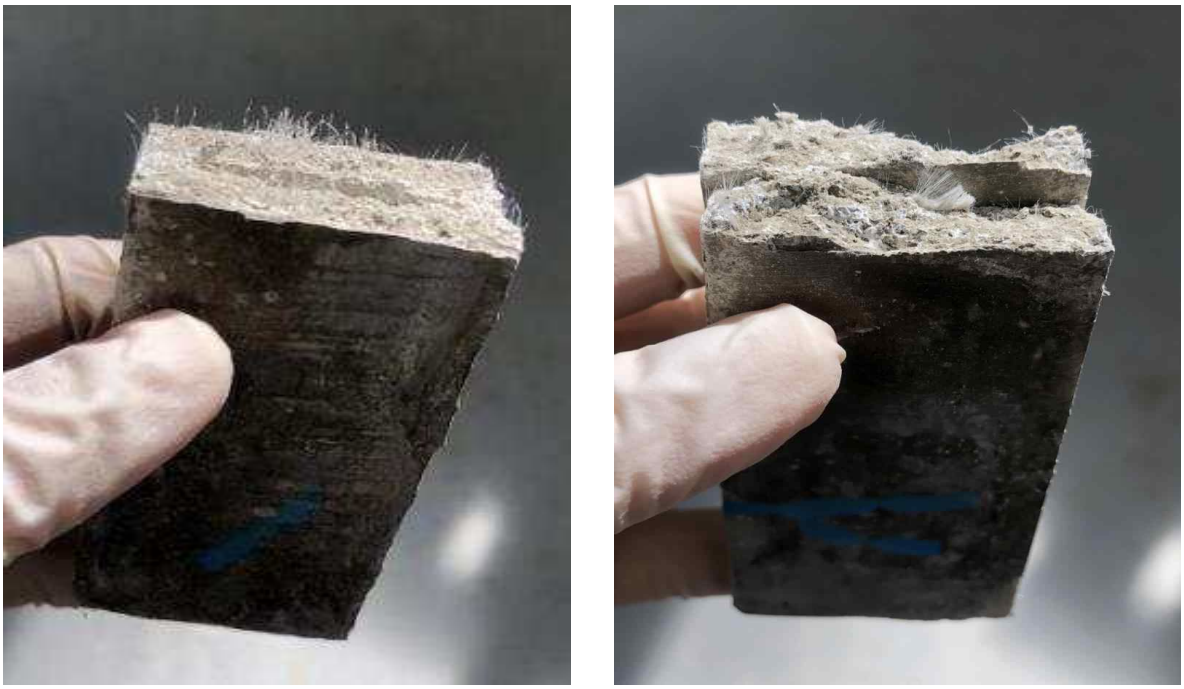
프리폼크리트 실험배합 중 Mesh와 Glass Sheet를 사용한 배합들의 콘크리트와 패브릭소재의 부착성 및 섬유를 사용한 모든 배합에서의 섬유분포도를 확인하였다. 휨성능 실험 후 Mesh와 Glass Sheet를 사용한 배합의 시편 모습은 그림 23과 같다. 콘크리트와 패브릭소재의 부착성을 확인결과, Mesh를 적용했을 때는 분리현상이 없었지만, Glass Sheet를 적용했을 때는 분리현상이 일어났다.



(a) Mesh 배합 (b) Glass Sheet 배합

그림 23 휨성능 실험 후 시편

프리폼크리트의 섬유 분포도는 그림 24와 같다. PP섬유 배합은 섬유의 뭉침현상없이 골고루 잘 분포되어있는 반면에 PVA섬유 배합은 섬유가 뭉쳐 한 곳에만 분포되어 있음을 알 수 있었다. 따라서, 섬유 분포도는 PP섬유가 PVA섬유에 비해 좋은 것으로 나타났다.



(a) PP섬유 배합 (b) PVA섬유 배합

그림 24 섬유 분포도

③ 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 재료 개발을 위한 기초 실험

㉮ 실험계획

본 연구과제의 최종성과물은 프리폼크리트(Free-Form-Crete)를 활용한 기상재해 신속 대응 및 복구 기술로써 프리폼크리트의 형상, 재료 개발 및 시공기술 개발을 통한 시제품 제작과 현장적용에 따른 성능 테스트 등 프리폼크리트 실용화를 목표로 하고 있다.

이를 위하여 본 연구에서는 프리폼크리트의 재료 개발 및 최적배합비를 도출하고자 하였다. 이를 위하여 목표성능을 기존 기상재해 신속 대응 복구를 위한 재료 및 공법을 조사 분석하여 표 4과 같은 프리폼크리트이 소재 성능을 결정하였다. 압축강도는 1일 기준 20MPa, 10일 기준 45MPa로 하였으며 휨강도는 10일 기준 5MPa로 하였다.

표 4 프리폼크리트 소재의 목표성능

구 분	목표성능 기준	평가방법
압축강도	20MPa/1day, 45MPa/10days	KS F 4042 콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르
휨강도	5MPa/10days	
염화물 침투저항성	Very Low (1,000 쿨롱 이하)	

프리폼크리트의 역학적 성능 및 내구성을 향상시키기 위하여 섬유보강재의 적용을 검토하였다. 또한, 프리폼크리트의 특성인 프리믹스 타입을 고려하여 섬유의 분산성을 고려하여 광물질 섬유를 적용하는 것을 고려하였다.

광물질섬유의 첨가는 프리폼크리트의 휨성능 향상 및 분산성을 향상시킬 수 있다. 따라서 프리폼크리트의 우수한 역학적 성능 및 내구성을 확보할 수 있을 것이다. 이를 위하여 본 연구에서는 광물질섬유의 종류 및 혼합비에 따른 압축강도 및 휨강도를 평가하고 압축강도와 휨강도가 성능 기준을 만족하면서 가장 우수한 배합을 선정할 것이다. 그 후 선정된 배합에 역학적 특성 뿐만 아니라 염소이온투과저항성 및 다양한 환경 노출 후 내구성 평가를 실시하고자 한다. 또한, 구조용 PVA섬유와 구조용 나이론섬유를 광물질섬유와 혼합하여 적용하는 하이브리드섬유의 성능을 평가하고자 한다.

㈏ 사용재료

프리폼크리트의 목표성능을 만족하는 배합을 선정하기 위하여 초기강도를 확보할 수 있는 초속경 바인더를 적용하였다. 또한, 프리폼크리트의 품질은 항상 일정해야 하며 재료에 영향을 받아서는 안된다. 따라서 일반 잔골재를 적용하지 않고 항상 일정한 품질을 확보할 수 있는 규사(6호사)를 골재로 적용하였다. 본 연구에서는 프리폼크리트 소재의 성능 특히 강도 특성 및 내구성을 확보하기 위하여 광물질 섬유를 적용하였다.

광물질섬유는 월라스토라이트섬유와 세피올라이트섬유를 적용하여 성능을 비교하였다. 월라스토나이트섬유와 세피올라이트섬유는 천연광물질섬유로 최근 들어 석면섬유를 대체하여 적용이 증가하고 있는 섬유이다. 광물질섬유의 특성은 표 7와 같다. 월라스토나이트섬유는 해외에서 콘크리트 및 시멘트 제품에 적용하여 우수한 역학적 성능 및 내구성을 확보할 수 있다는 많은 연구결과를 가지고 있다. 월라스토나이트섬유의 특성은 표 8과 같다.

세피올라이트는 섬유질, 자연 적이고, 수화한 마그네슘 silicate.it이며, 마그네슘에서 부유한 섬유에 있는 규산염 찰흙 무기물이다. 또한, 습기 사슬 층에 있는 마그네슘과 규산염 무기물 불리고 그것은 단단한 세피올라이트 및 연약한 세피올라이트로 분할될 수 있다. 세피올라이트 섬유의 색깔은 백색, 담황색, 밝은 회색, 까만 녹색이다. 세피올라이트 섬유의 주요 화학적 구성은 표 9와 같다.

표 5 초속경시멘트의 물성

Chemical Composition(%)							Blaine (㎠/g)	Specific gravity
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	SO_3		
13±3	17.5±3	3>	50±3	2.5>	0.21	14±3	5,400	2.95

표 6 규사(6호사)의 물리적 성질

No.	Size (mm)	Density (20℃)	Organic Impurities	F.M
6	≤0.3	2.62	Nill	1.95

표 7 광물질섬유의 특성

특성	월라스토나이트	세피올라이트
길이 (mm)	<10	4-5
직경 (㎛)	25-40	30-80
밀도 (g/㎥)	2.9	2.0

표 8 월라스토나이트 섬유의 주요 구성성분

성분	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O
혼합비 (%)	40-55	40-50	3-5	<1.0	<1.0	<1.0

표 9 세피올라이트 섬유의 주요 구성성분

성분	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO
혼합비 (%)	48.51	17.60	20.33	0.35	0.36	0.01

㈐ 배합설계

본 연구에서는 프리폼크리트 소재의 최적배합비를 결정하기 위하여 실험계획을 세웠다. 광물질섬유, 초속경바인더/규사비의 결정을 실험계획을 세웠다. 또한, 광물질섬유를 초속경바인더를 대체하는 혼화재료의 개념으로 적용하는 배합과 광물질섬유를 배합에 추가하여 보강섬유의 개념으로 적용하는 배합이다. 첫 번째 단계의 배합비는 표 10～표 15와 같다.

표 10 시멘트:규사(4:6)의 배합비: 광물질섬유 치환

배합	시멘트	물	규사	광물질섬유	
				월라스토나이트	세피올라이트
1	309.84	124.00	464.76	0.00	-
2	294.35	124.00	464.76	15.49	-
3	278.86	124.00	464.76	30.98	-
4	263.37	124.00	464.76	46.48	-
5	247.87	124.00	464.76	61.97	-
6	294.35	124.00	464.76	-	15.49
7	278.86	124.00	464.76	-	30.98
8	263.37	124.00	464.76	-	46.48
9	247.87	124.00	464.76	-	61.97

표 11 시멘트:규사(5:5)의 배합비: 광물질섬유 치환

배합	시멘트	물	규사	광물질섬유	
				월라스토나이트	세피올라이트
1	387.30	155.00	387.30	0.00	-
2	367.94	155.00	387.30	19.37	-
3	348.57	155.00	387.30	38.73	-
4	329.21	155.00	387.30	58.10	-
5	309.84	155.00	387.30	77.46	-
6	367.94	155.00	387.30	-	19.37
7	348.57	155.00	387.30	-	38.73
8	329.21	155.00	387.30	-	58.10
9	309.84	155.00	387.30	-	77.46

표 12 시멘트:규사(6:4)의 배합비: 광물질섬유 치환

배합	시멘트	물	규사	광물질섬유	
				월라스토나이트	세피올라이트
1	464.76	185.00	309.84	0.00	-
2	441.52	185.00	309.84	23.24	-
3	418.29	185.00	309.84	46.48	-
4	395.05	185.00	309.84	69.71	-
5	371.81	185.00	309.84	92.95	-
6	441.52	185.00	309.84	-	23.24
7	418.29	185.00	309.84	-	46.48
8	395.05	185.00	309.84	-	69.71
9	371.81	185.00	309.84	-	92.95

표 13 시멘트:규사(4:6)의 배합비: 광물질섬유 추가

배합	시멘트	물	규사	광물질섬유	
				월라스토나이트	세피올라이트
1	309.84	124.00	464.76	0.00	-
2	309.84	124.00	464.76	15.49	-
3	309.84	124.00	464.76	30.98	-
4	309.84	124.00	464.76	46.48	-
5	309.84	124.00	464.76	61.97	-
6	309.84	124.00	464.76	-	15.49
7	309.84	124.00	464.76	-	30.98
8	309.84	124.00	464.76	-	46.48
9	309.84	124.00	464.76	-	61.97

표 14 시멘트:규사(5:5)의 배합비: 광물질섬유 추가

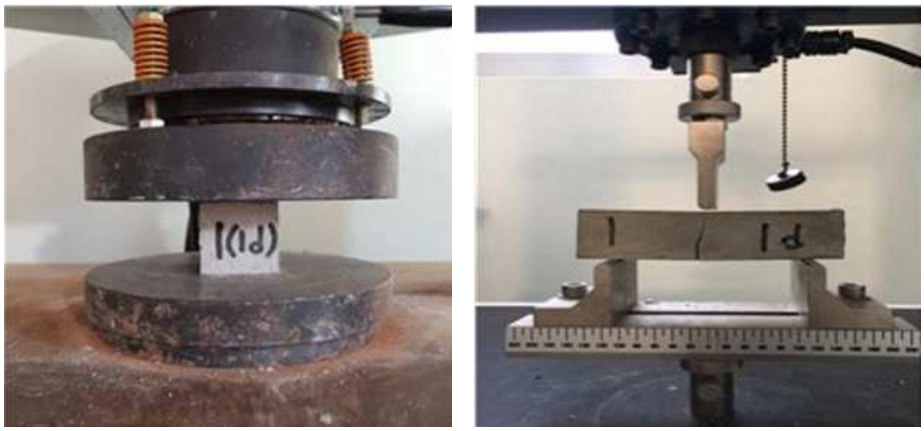
배합	시멘트	물	규사	광물질섬유	
				월라스토나이트	세피올라이트
1	387.30	155.00	387.30	0.00	-
2	387.30	155.00	387.30	19.37	-
3	387.30	155.00	387.30	38.73	-
4	387.30	155.00	387.30	58.10	-
5	387.30	155.00	387.30	77.46	-
6	387.30	155.00	387.30	-	19.37
7	387.30	155.00	387.30	-	38.73
8	387.30	155.00	387.30	-	58.10
9	387.30	155.00	387.30	-	77.46

표 15 시멘트:규사(6:4)의 배합비: 광물질섬유 추가

배합	시멘트	물	규사	광물질섬유	
				월라스토나이트	세피올라이트
1	464.76	185.00	309.84	0.00	-
2	464.76	185.00	309.84	23.24	-
3	464.76	185.00	309.84	46.48	-
4	464.76	185.00	309.84	69.71	-
5	464.76	185.00	309.84	92.95	-
6	464.76	185.00	309.84	-	23.24
7	464.76	185.00	309.84	-	46.48
8	464.76	185.00	309.84	-	69.71
9	464.76	185.00	309.84	-	92.95

㉱ 실험방법

본 연구에서는 프리폼크리트의 역학적 특성을 평가하기 위하여 KS F 4042 콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르의 규정에 따라 압축강도 및 휨강도를 측정하였다. 그림 25은 압축강도 및 휨강도 시험 모습이다.



(a) 압축강도 (b) 휨강도

그림 25 압축 및 휨강도 시험모습

㉲ 실험결과

○ 월라스토나이트섬유 치환에 따른 결과

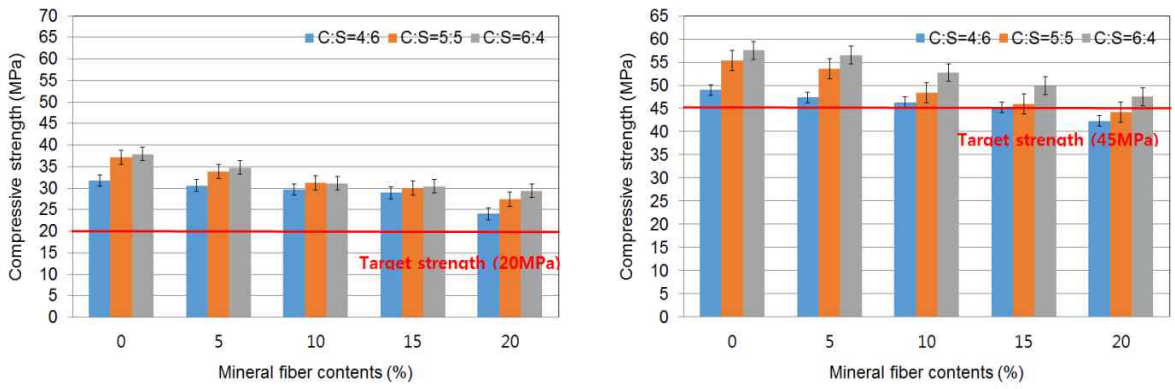
광물질 섬유인 월라스토나이트 섬유의 초속경 결합재의 치환율에 따른 압축강도 시험결과는 그림 26과 같다. 시험결과 치환율이 증가할수록 압축강도는 감소하고 있다. 이와 같은 결과는 초속경 결합재는 초기에 강도발현을 하는 특성을 가지고 있어 이를 다른 재료로 치환하면 압축강도가 감소하게 된다. 따라서 압축강도가 감소하는 결과를 보여주었다. 그러나 1일강도 목표 20 MPa은 모든 배합에서 만족하였다. 이와 같은 결과는 상대적으로 초속경 결합재의 양이 많기 때문에 일부를 치환하여 적용하여도 강도 발현에는 큰 문제가 없는 것으로 보인다. 10일 목표 강도 45MPa은 월라스토나이트섬유의 치환율 10%는 만족하였으나 15% 이상이 되면 부분적으로 만족하지 못하는 결과를 보였다. 15% 치환율에서는 초속경 바인더와 규사의 비가 4:6은 만족하지 못하였고 나머지 배합은 목표강도를 만족하였다. 치환율 20% 배합에서는 초속경 바인더와 규사 비가 4:6 및 5:5는 만족하지 못하였고 6:4 배합에서만 만족하였다. 이와 같은 결과로 볼 때 프리폼크리트의 압축강도는 초속경 바인더의 함량에 영향을 받는 것으로 나타났다.

그림 27는 월라스토나이트섬유의 치환율에 따른 휨강도 시험결과를 보여준다. 모든 배합에서 양생 4시간부터 목표로 한 10일 5MPa 만족하는 결과를 보여주었다. 따

라서 프리폼크리트의 목표 휨강도를 발현하는데는 큰 문제가 없는 것으로 보인다. 월라스토나이트섬유의 치환율에 따른 결과를 보면 치환율이 증가할수록 휨강도는 증가하는 결과를 보였다. 이와 같은 결과는 보강섬유의 첨가는 일반적으로 콘크리트의 압축강도 보다는 휨강도의 증가에 효과적이며 이와 같은 시멘트 매트릭스 내에서 섬유의 작용은 섬유의 가교작용, 섬유의 인발작용, 섬유의 파괴작용 및 섬유의 분리작용이 복합적으로 발생하기 때문이며, 이와 같은 작용으로 인하여 프리폼크리트 내에 발생하는 미세균열의 발생 및 성장을 억제하기 때문이다.

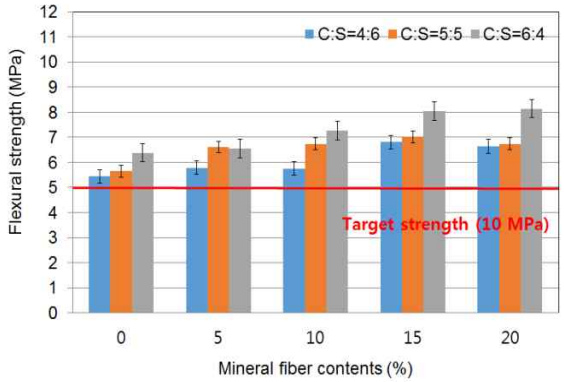
그림 28은 초속경 바인더와 규사의 사용비에 따른 압축강도 시험결과이다. 초속경 바인더의 사용량이 큰 배합이 모든 월라스토나이트섬유 첨가량에서 압축강도가 큰 결과를 보였다. 초속경바인더와 규사의 사용비가 6:4인 모든 배합에서는 목표강도 1일 20MPa, 10일 45MPa를 모두 만족하였다. 그러나 초속경바인더와 규사의 사용비가 5:5인 경우에는 월라스토나이트섬유 첨가율 20%에서 10일 목표강도를 만족하지 못하였으며, 사용비가 4:6인 경우에는 월라스토나이트섬유 첨가량 15%이상이되면 10일 목표강도를 만족하지 못하였다.

그림 29은 초속경바인더와 규사의 사용비에 따른 휨강도시험결과를 보여준다. 모든 배합에서 10일 목표 휨강도 10MPa를 만족하고 있다. 특히 월라스토나이트섬유를 사용한 배합은 섬유를 사용하지 않은 배합과 비교하여 휨강도가 증가하는 결과를 보여주었다. 따라서 월라스토나이트 섬유의 적용은 휨강도의 증가에 효과적이라는 것을 알 수 있다.

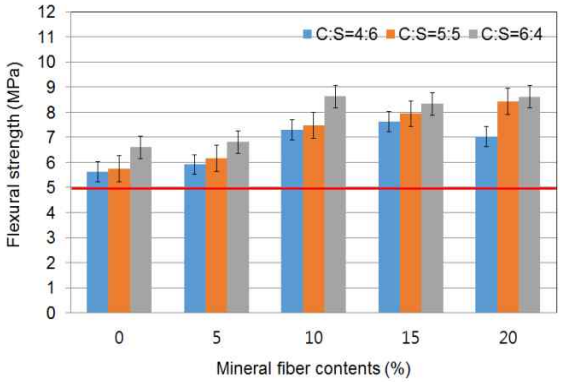


(a) 1 day (b) 10 days

그림 26 월라스토나이트섬유 첨가량에 따른 압축강도 시험결과

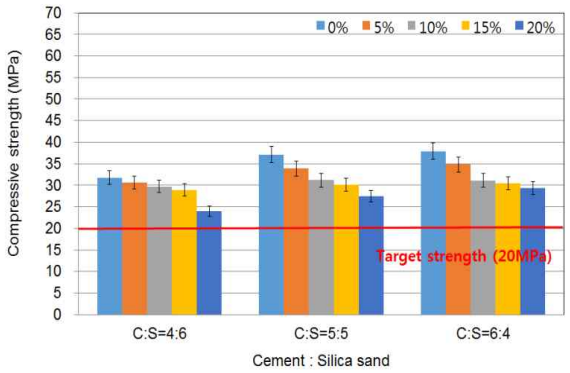


(a) 1 day

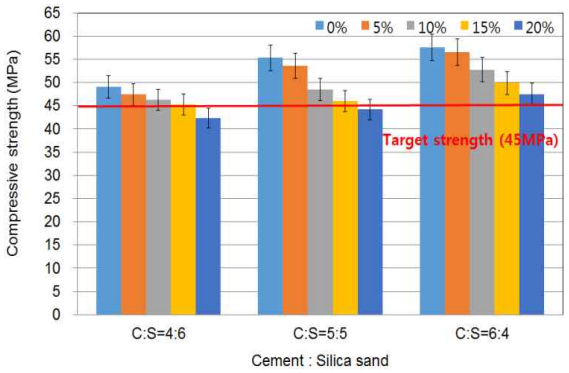


(b) 10 days

그림 27 월라스토나이트섬유 첨가량에 따른 휨강도 시험결과

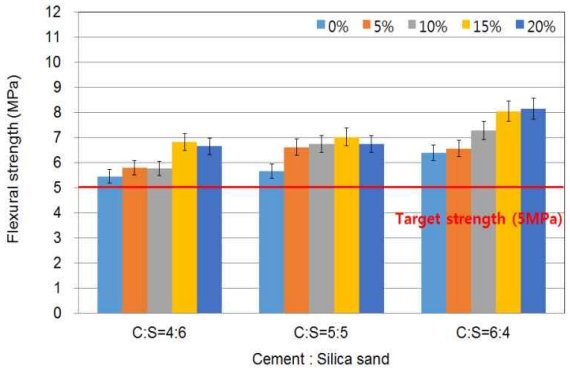


(a) 1 day

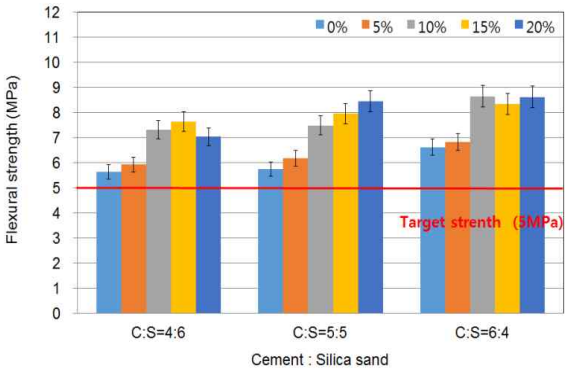


(b) 10 days

그림 28 초속경바인더 : 규사비에 따른 압축강도 시험결과



(a) 1 day



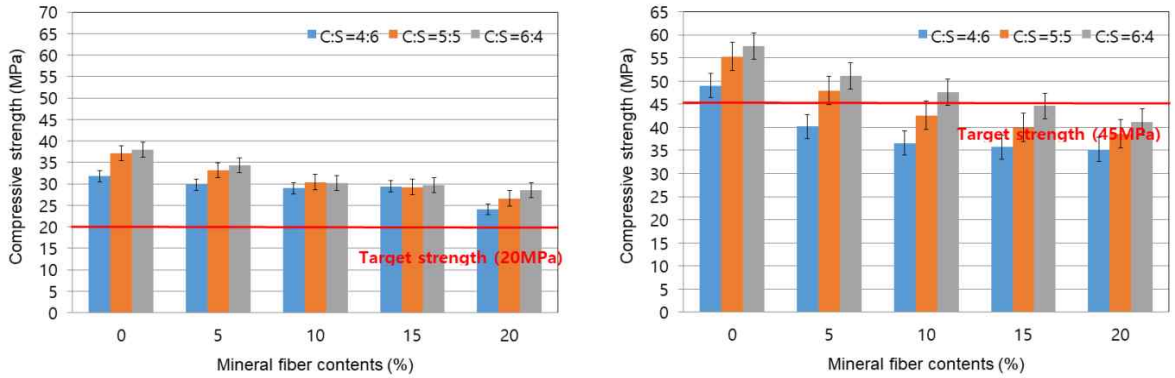
(b) 10 days

그림 29 초속경바인더 : 규사비에 따른 휨강도 시험결과

○ 세피올라이트 섬유치환에 따른 결과

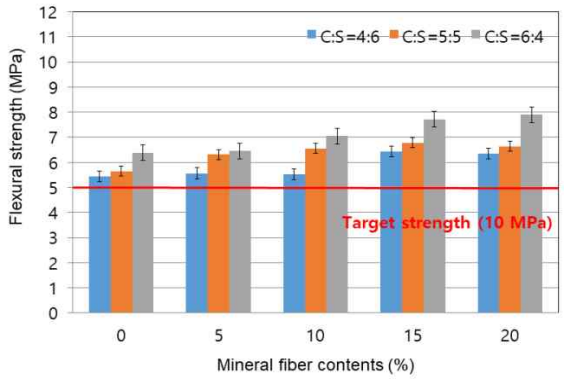
세피올라이트섬유의 치환율에 따른 압축강도 시험결과 그림 30과 같다. 시험결과 세피올라이트섬유의 치환율이 증가할수록 압축강도는 감소하였다. 1일 목표강도 20MPa는 모든 배합에서 만족하였으나 10일 목표강도 45 MPa는 세피올라이트섬유는 15% 치환율에서는 모두 만족하지 못하였으며, C:S=5:5에서는 치환율 5%까지만 만족하였고, C:S=4:6 배합은 세피올라이트를 치환하면 목표강도를 전체적으로 만족하지 못하는 결과를 보였다. 그러나 휨강도 시험결과는 모든 배합에서 목표강도 10일 5MPa 이상을 만족하는 결과를 보여주었다. 이와 같은 결과는 세피올라이트섬유의 첨가로 조기에 강도를 발현하는 현상이 감소하여 10일 목표강도를 만족하지 못한 것으로 보인다. 그러나 휨강도는 세피올라이트섬유가 섬유의 작용인 섬유의 인발, 파괴, 분리 및 가교 작용에 의하여 프리폼크리트의 휨강도를 증진시키는 것으로 나타냈다.

초속경바인더와 규사 사용비에 따른 휨강도 시험결과를 보면 초속경 바인더의 사용량이 클수록 압축강도 및 휨강도가 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 초속경시멘트가 초기 강도 발현효과가 크기 때문이다. 다만 10일 목표 압축강도 45 MPa를 만족시키는 배합에서는 따라서 세피올라이트섬유를 적용하는 경우는 초속경 바인더와 규사비가 6:4를 사용할 때 세피올라이트섬유 첨가량 10%까지 임으로 이와 같은 결과를 고려하여야 한다.

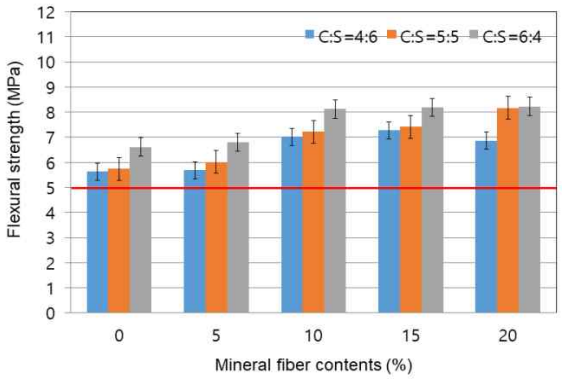


(a) 1 day (b) 10 days

그림 30 세피올라이트섬유 첨가량에 따른 압축강도 시험결과

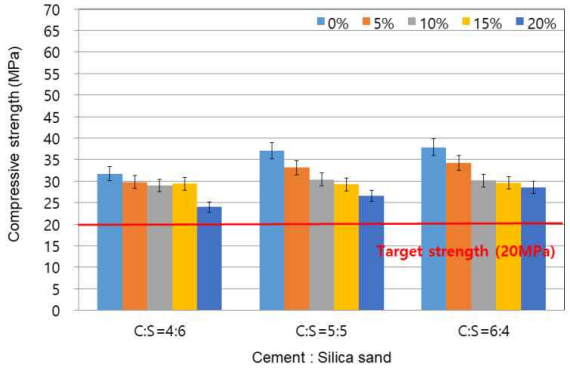


(a) 1 day

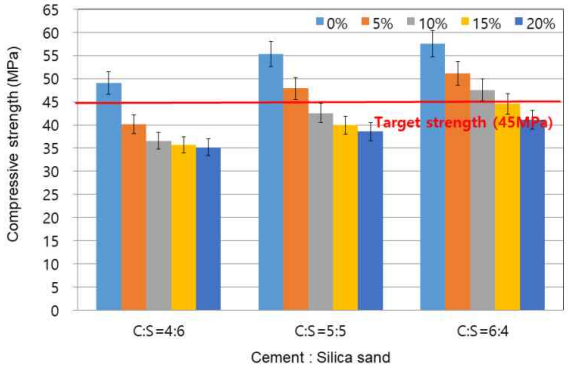


(b) 10 days

그림 31 세피올라이트섬유 첨가량에 따른 휨강도 시험결과

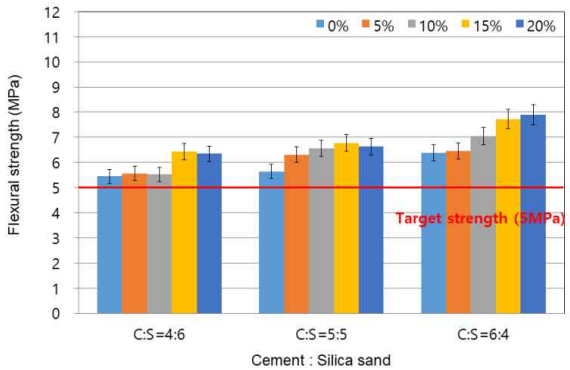


(a) 1 day

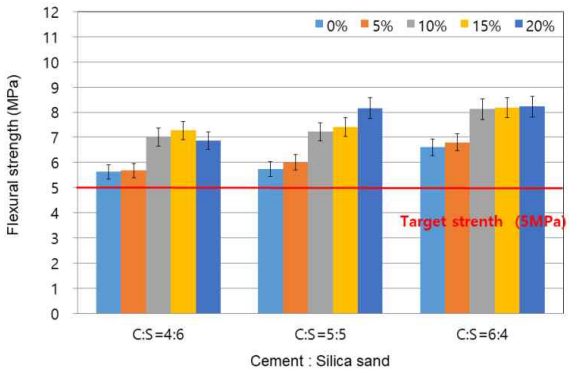


(b) 10 days

그림 32 초속경바인더 : 규사비에 따른 압축강도 시험결과



(a) 1 day

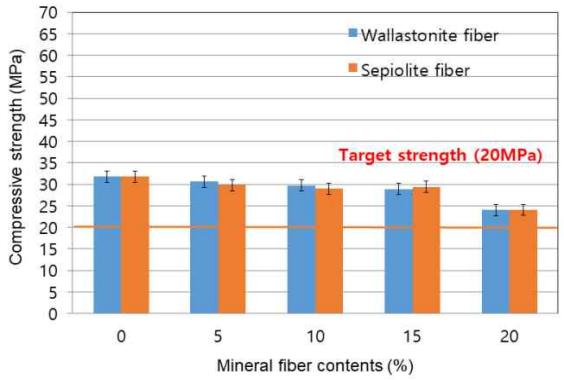


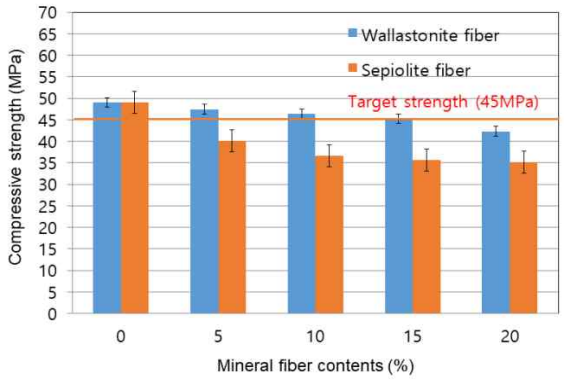
(b) 10 days

그림 33 초속경바인더 : 규사비에 따른 휨강도 시험결과

○ 월라스토나이트 섬유와 세피올라이트 섬유의 비교

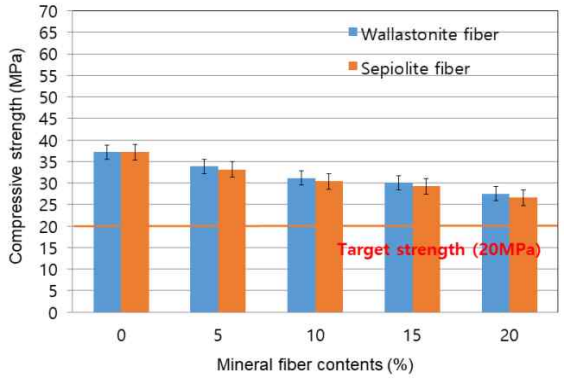
월라스토나이트섬유와 세피올라이트섬유의 압축강도 및 휨강도 시험결과를 비교해 보면 월라스토나이트섬유를 적용하는 것이 프리폼크리트의 성능 향상에 유리하다는 것을 알 수 있다. 따라서 세피올라이트섬유보다는 월라스토나이트섬유를 적용하는 것으로 결정할 수 있다. 목표강도를 만족하는 배합은 C:S=5:5일 경우 월라스토나이트섬유 첨가량 15%가 효과적이며 C:S=6:4인 경우 월라스토나이트섬유 20%를 적용하여도 목표 10일 압축강도 45MPa를 만족시키는 결과를 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 C:S=5:5일 때 월라스토나이트섬유 첨가량 15%, C:S=6:4일때 월라스토나이트섬유 20%를 첨가하여 2단계의 역학적 특성 평가를 실시하고자 한다. 즉 두 배합에 구조용 나이론섬유 및 구조용 PVA섬유를 혼입하여 하이브리드 섬유를 적용한 프리폼크리트의 배합의 성능을 평가하고자한다.

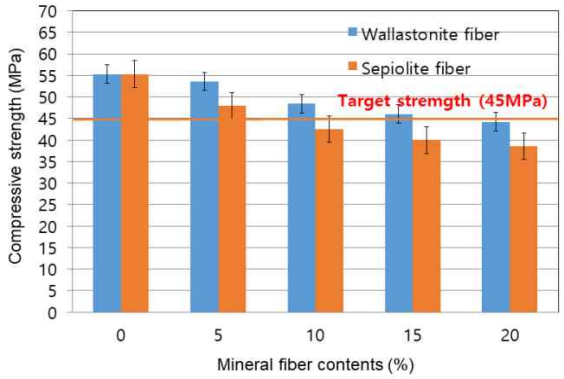




1 day 10 days

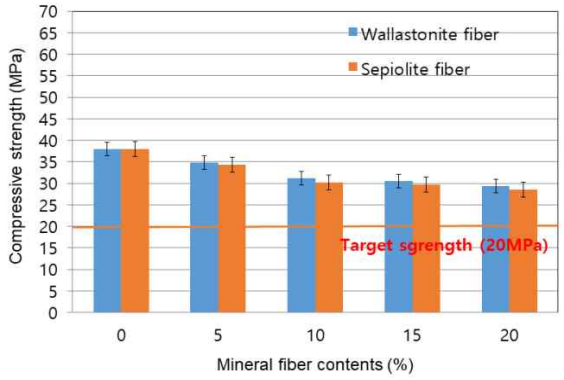
(a) (C:S = 4:6)

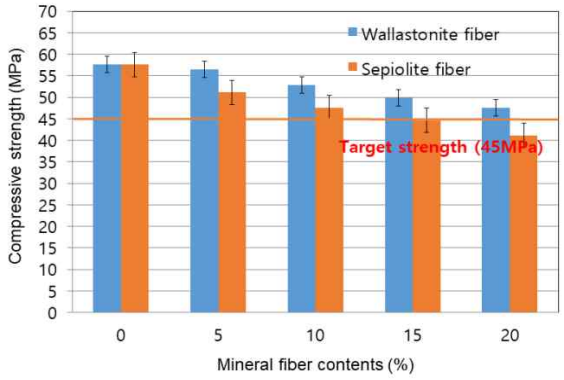




1 day 10 days

(b) (C:S = 5:5)

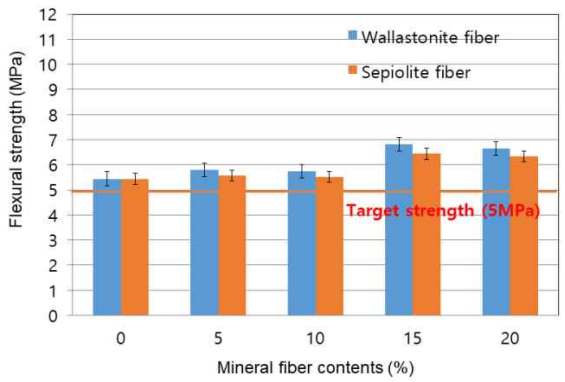




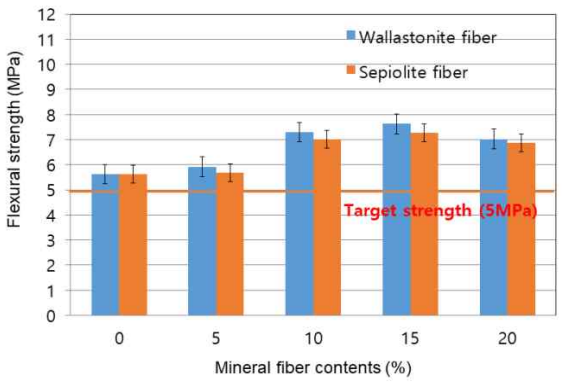
1 day 10 days

(c) (C:S = 6:4)

그림 34 재령 및 배합비에 따른 압축강도 결과 비교

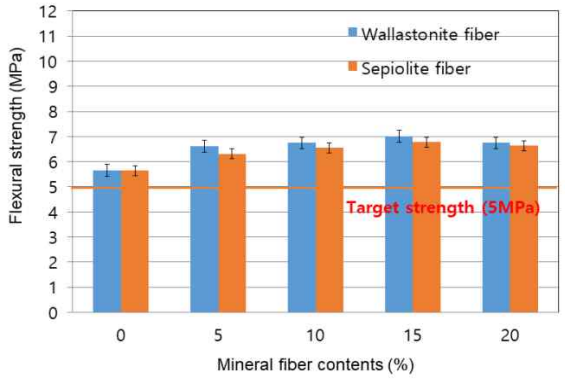


1 day

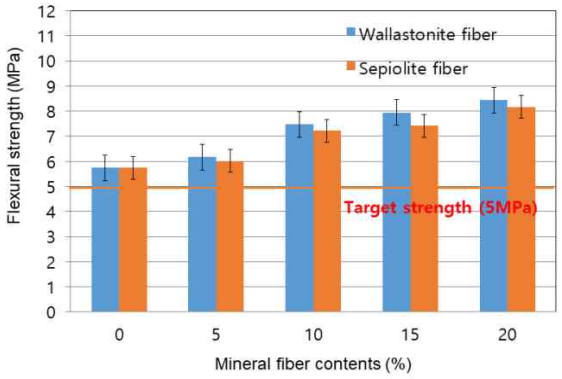


10 days

(a) (C:S = 4:6)

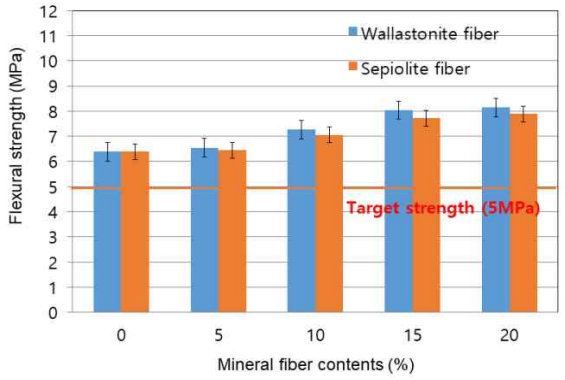


1 day

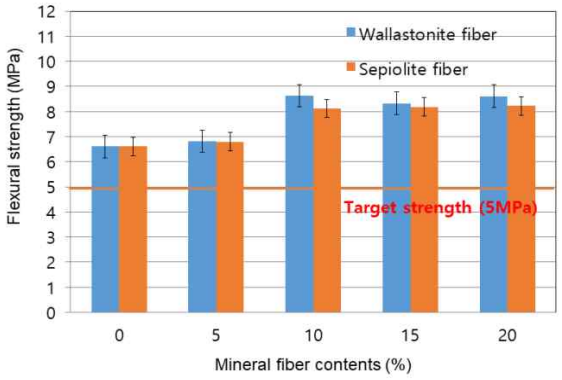


10 days

(b) (C:S = 5:5)



1 day



10 days

(c) (C:S = 6:4)

그림 35 재령 및 배합비에 따른 휨강도 결과 비교

④ 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 성능기준 검토 및 품질평가방법 조사

㉮ 국내·외 캔버스 재료에 대한 자료조사

프리폼크리트와 관련하여 자료조사를 한 결과, 국외의 경우 영국의 Concrete canvas사에서 수로 설치 및 사면 보강공사의 신속한 시공을 위하여 콘크리트 천을 개발하였다. 이 기술은 특수부품을 포함하는 3차원 섬유 매트릭스로 구성된다. 섬유면과 PVC 방수 재료 사이에 복잡한 단섬유의 연결로 매트릭스를 형성하고 그 사이 공간에 초속경시멘트를 결합하여 보수보강이 용이하며 빠른 시공이 가능한 것으로 알려져 있다.

국내의 경우 신승이앤씨에서 영국의 콘크리트 캔버스를 수입하여 실제 배수로, 사면공사에 적용한 사례가 있다.

○ 영국 Concrete canvas사 제품의 장점

영국의 Concrete canvas사에서 개발한 콘크리트 캔버스는 초속경시멘트를 적용하여 개발한 제품으로써 기존의 콘크리트 재료를 사용하는 경우보다 공기를 10배 이상 단축할 수 있는 급속시공 재료이다. 또한, 카펫 형태로 만들어져 손쉽게 운반 및 도포가 가능하다. 장비가 필요없어 소수의 인력으로도 어디서든 시공이 가능하기 때문에 기존의 콘크리트보다 효율적인 시공비로 시공이 가능하다.

콘크리트 캔버스는 섬유 매트릭스 사용으로 재료절감이 가능하고 저탄소를 사용하여 뿜어붙이는 숏크리트 공법에 비해 반발재 오염이 없어 친환경적이다.

○ 영국 Concrete canvas사 제품의 특징

콘크리트 캔버스의 한쪽면에 코팅된 PVC는 불투수성 재료로서 방수성을 확보하여 배수로 라이닝 재료로 사용될 수 있으며 내기후성과 자외선에 대한 저항성이 우수한 내화학성 제품이다. 또한, 기존의 콘크리트의 압축강도(24~27MPa)와 휨강도(3Mpa)보다 높은 재령10일 압축강도(40Mpa)와 휨강도(3.4Mpa)로 인해 사면보호 시공재료로 사용되고 있다.



그림 36 콘크리트 캔버스

○ 영국 Concrete canvas사 제품의 분석

- 내구성

콘크리트 캔버스는 집중호우 발생시 기상재해 취약지역이나 장기간 공용된 수리구조물 등의 피해 예방 및 신속한 복구를 위하여 시간적, 공간적 제약이 최소화될 수 있고, 거푸집 설치 및 양생 과정 없이 시공이 가능한 기술이 필요하다. 또한, 사면공법에서 콘크리트에 급결제를 사용하여 초기강도를 증진시키는 공법이나 급결제 사용으로 인한 장기강도 및 내구성 저하가 많이 발생하고 있다.

프리폼크리트 기술 개발에 있어서 품질평가에서 내구성이 가장 중요하다. 국내·외 콘크리트 캔버스는 일반적인 OPC로 만든 콘크리트보다 두배 이상 큰 내구성을 가진다. BS EN 12467에 근거한 수명예측 시험에서 콘크리트 캔버스는 영국 기후에서 최소한 50년 이상 수명을 나타낸다. 콘크리트 캔버스 내부의 보강섬유들은 저온에서 우수한 성능을 보장하고 ASTM C 1185 규정의 200회 이상의 해빙시험을 수행했다.



그림 37 콘크리트 캔버스의 내구성

- 화학적 저항

콘크리트 캔버스는 화학적인 침범에 우수한 저항성을 나타낸다. 그리고 기존의 OPC로 제작된 콘크리트 보다 다중화합물에 대한 저항성이 우수하다.

콘크리트 캔버스는 pH12.5 이상의 알칼리 반응 시험과 pH4.0 이하의 산성용액에 잠기는 시험을 3일간 성공적으로 테스트하였다.

콘크리트 캔버스는 또한 황산, 황산용액, 지반과 해수에 극히 우수한 저항성을 보여준다. 그리고 OPC에 피해를 주는 오수, 염화물, 썬텐 오일, 식물성 오일과 많은 화합물들에 대한 우수한 저항성을 보여준다.



그림 38 콘크리트 캔버스의 화학저항성

- 화재

콘크리트 캔버스는 배수로, 사면 외에도 쉘터형태로 사용할 수 있다. 방공호, 산업용 또는 군용기지로도 매우 적합하고 자연재해를 겪은 난민수용시설이나 의료시설로 사용할 수 있다. 그러기 위해서는 고온에서의 기능이 탁월하여 화재를 예방할 수 있어야한다.

콘크리트 캔버스는 화재반응 시험을 받았으며 BS EN 13501 규정에서 유로등급 B 자격을 획득하였다. US 광산안전과 건강협회의 30CFR, PART7, subchapter B, Section 7.24로 인증받았다.



그림 39 콘크리트 캔버스의 화재성

- 불투수성

콘크리트 캔버스는 탁월한 불투수성이 있고 점토에 해당되는 정도이다. 토질 공학적으로 재료의 단위면적을 통과하여 흐르는 물의 비율을 나타내는 투수계수 K를 사용하여 측정된다. 콘크리트 캔버스는 BS1377로 시험하는데 시험재료는 불투수로 분류되는 평균K값 $K=1X10^{-8}m/s$로 그 이상의 불투수성을 나타내야한다.



그림 40 콘크리트 캔버스의 불투수성

- 환경

사면공법에 일반적으로 적용하는 숏크리트 공법을 사용하는데, 특히 콘크리트를 뿜어붙일 때 발생되는 반발재로 인한 오염 및 폐기물 발생 등의 환경문제가 발생한다.

콘크리트 캔버스는 저탄소 제품을 사용하여 환경적인 이익을 제공한다. 콘크리트 캔버스에 포함된 시멘트는 제한적인 알칼리 보존성이 있으며 수중에서의 수명을 덜 감소시키며 대부분의 콘크리트와 달리 콘크리트 캔버스는 물에 잘 씻겨 없어지지 않는다.



그림 41 콘크리트 캔버스의 환경성

표 16 콘크리트 캔버스 품질평가 시험내용 및 시험 방법

시험 내용	시험 방법	비고
화재 안정성	BS EN 13501-11:2007	B급
해빙시험	ASTM C 1185	200회
	BS EN 12467:2004	통과
포화건조시험	BS EN 12467:2004	통과
불투수성	BS EN 12467 :2004	통과
마모저항	DIN 52108	OPC 값의 2배와 유사
발아억제	DD CEN/TS 14416	통과
배관코팅의 충격저항	ASTM G 13	통과
내구성	BS EN 12467	통과
화학적시험	pH 12.5 이상의 알칼리 반응	통과
	pH 4.0 이하의 산성 반응	통과

㉰ 프리폼크리트 적용부위별 성능기준 및 평가방안

본 연구에서는 개발된 제품이 사용될 수 있는 구조물의 시공 관련 매뉴얼 제작을 통해 현장에 바로 적용될 수 있도록 적용부위별 요구 성능 기준과 평가방안을 조사하였다.

프리폼크리트를 사면보강에 사용하기 위해 고려해야할 사항을 정리하였다. 사면 및 연약지반상 구조물의 지반은 불확실성이 내포되어 있는 지반상태를 고려해야하며 지반정수는 실내 및 현장의 측정값을 신뢰성 분석을 통해 결정하여 설계에 적용할 수 있다. 특히, 지반정수의 불확실성, 해석심도 및 지반의 불확실성 등을 고려한 발생가능한 리스크를 분석해야 한다. 즉, 지반의 변동성 및 불확실성을 고려한 리스크 분석이 필요하며 사면 구조물 및 연약지반상 구조물의 공사 및 유지관리시 발생하는 모든 위험요소에 대한 분석이 필요하다. 이러한 경우에는 신뢰성 이론을 바탕으로 추론치와 설계치를 반영하여 계측치로 확인될 수 있는 방법이 필요하다. 설계 및 시공시 나타날 수 있는 항목을 분석하여 하나의 통합된 시스템으로 분석되어 최적의 공법이 선정될 수 있는 값을 나타낼 수 있는 성능설계 항목이 필요한 것이다.

○ 비탈면 안전성능 평가 기준 및 방법

- 상태안전성능 평가 기준 및 방법

안전성능은 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 평가하는 상태 안전성능과 공학적인 안정성을 평가하는 구조적 안전성능으로 구분한다. 상태 안전성능은 사면의 내적상태와 외적상태의 관찰을 통해 평가하며, 사면 내적상태는 사면을 구성하는 재료의 특성(토층・암반) 및 형상에서 관찰되는 특징을 의미하며 육안관찰, 실내실험, 현장실험 등으로 평가한다. 사면 외적상태는 사면 내・외에서 외부요인(지하수, 식생, 시설물 등)이 요인이 되어 관찰되는 특징을 의미하며 주로 육안관찰을 통해 평가한다. 구조 안전성능은 공학적인 관점에서 평가할 수 있는 안전 수준이다.

- 평가범위

절토사면의 상태안전성능 평가 적용범위는 도로 및 철도의 부대시설로 「시특법」상 연적높이 30m이상 (옹벽이 있는 경우 옹벽상단으로부터의 높이)을 포함한 절토부로서 단일 수평연장 100m 이상인 절토사면에 적용한다.

- 상태안전성능 평가 성능지표 및 기준

절토사면의 상태안전성능 평가 시 형식별 고려해야 할 주요 성능지표는 다음 표 17와 같다.

표 17 사면 형식별 성능지표

구분	성능지표		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	・집수지형 ・지반변형 ・지하수 ・배수조건 ・사면상부 상태 ・붕괴이력	・집수지형 ・불안정지질 ・불연속면 특성 ・지반변형 ・지하수 ・배수조건 ・낙석 ・붕괴이력	・집수지형 ・불안정지질 ・불연속면 특성 ・지반변형 ・지하수 ・배수조건 ・낙석 ・붕괴이력 ・사면상부 상태

○ 비탈면 내구성능 평가 기준 및 방법

절토사면에 대한 내구성능 정의로는 ‘외부환경 및 하중에 대해 원래의 사면상태가 시간에 따라 변형되거나 변질되지 않고 안전성능을 저하시키지 않도록 유지하는 성질’과 같다. 이와 같은 정의에 따라 사면 고유의 성질 및 성질을 유지하도록 하는 지표 중에서 시간에 따라 변화하여 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대해 내구성능 평가를 수행한다. 선정된 지표에 대해 평가기준에 따라 등급산정을 하고, 각 등급산정 결과에 사면형식별 중요도를 고려한 가중치를 적용하여 절토사면의 시설물에 대한 최종등급을 결정한다.

- 내구성능 평가 항목 및 기준

절토사면 시설물은 형식별로 토사사면, 암반사면, 혼합사면으로 구분할 수 있으며, 형식 구분에 대한 기준은 토층심도율이 적용된다. 토사사면에 대해서는 지반상태(토질), 표면보호공 및 사면보호공에 대해 평가하고, 암반사면에 대해서는 지반상태(암반), 절리상태 및 풍화도, 표면보호공 및 사면보호공에 대해 평가한다. 토층심도율이 0.2~0.4인 혼합사면에 대해서는 토질 및 암반 각각에 해당하는 지표에 대해 평가하고, 이 중 낮은 등급을 최종등급으로 결정한다.

각 평가지표에 대한 등급분류 기준은 다음과 같은 사항이 고려되었다. 공용중인 절토사면 시설물에 대해서 관련 평가지표가 실제로 점검이 가능한 조사방법에 의해 측정 및 평가될 수 있는지를 고려한 것이다. 예를 들어, 토사사면의 지반상태를 평가하기 위해 표준관이시험이 적용될 수 있겠으나, 공용중인 사면에 대해서 장비의 진

입 및 설치가 용이하지 않다. 따라서 이러한 경우 휴대가 용이한 동적콘관입시험기를 사용하여 조사하며(정밀점검 수준 시 토양경도계 사용 가능), 등급분류 기준은 해당 시험법으로부터 얻을 수 있는 측정값을 고려하여 결정하였다.

- 사면 형식별 평가지표

절토사면 내구성능 평가지표를 형식별로 구분하여 나타내면 표 18와 같다.

표 18 사면 형식별 내구성능 평가지표

구분	평가지표
토사사면	· 지반상태 · 표면보호공 · 사면보강공
암반사면	· 지반상태(암반) · 표면보호공 · 사면보강공 · 절리상태 및 풍화진행도
혼합사면	· 토사사면과 암반사면의 지표 고려

(나) 공정별 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 적용방안 연구

① 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 관련 기술 및 시장조사

프리폼크리트는 건설 자재 응용제품으로 신규 건설 자재 분야에 해당되며, 현재 관련시장을 지배하는 기업은 영국의 Concrete Canvas사로, 콘크리트 충진 직물 제품인 Concrete Canvas와 응용제품인 Concrete Canvas Shelter 등을 판매하고 있다.

해당 시장은 신규 제품의 특성상 경쟁사가 적고 그 진입 장벽이 낮은 것으로 나타나며, 현재 시장의 초기단계를 이루고 있기에 대상기술을 조속히 개발, 출시한다면 국내 프리폼크리트의 기술 산업적 선두자의 입장으로 국내시장의 선점이 가능할 것으로 전망된다. 또한 이를 바탕으로 적절한 진입장벽을 설정한다면 이 같은 경쟁우위를 지속할 수 있을 것이라 판단된다.

관련기술로는 영국의 Concrete Canvas사의 Concrete Canvas와 중국 Pioneertex사의 Concrete Mat Cloth가 있다.

Concrete Canvas(CC)는 물과 접촉하여 경화되는 3차원 연성 시멘트 직물이며, CC는 수화 작용을 위해 물이 침투되는 직물로 구성된 상부 표면과 시공 뒤, 지반에 물이 침투하는 것을 막아주는 방수역할을 하는 PVC막으로 구성된 바닥 표면을 가지고 있다.

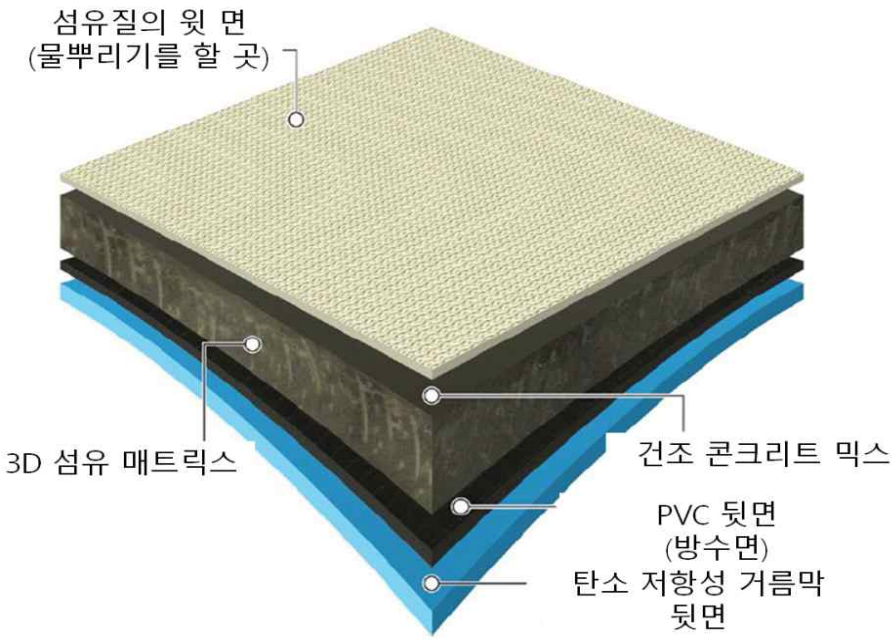


그림 42 Concret Canvas 구성

Concrete Mat Cloth(CMC)는 공사장비 없이 경사면, 수로 등 기타 중장비가 도달하기 어려운 곳에 콘크리트를 사용할 수 있도록 개발됨. 롤 형태로 제공되며, 콘크리트의 강도와 내구성을 제공한다. 신속하게 절단하거나 고정할 수 있어 수로나 배수로, 보 또는 다른 구조물을 보강하거나 복원하는데 이상적이다.



그림 43 Concrete Mat Cloth 구성

② 기존기술의 적용방안 검토

㉮ 프리폼크리트의 해외 제품의 구성 재료 특성 조사

콘크리트 캔버스를 시공하기 전에는 압축되고 매끄러운 노상의 준비가 필요하며, 시공을 위해 대상 지반의 평탄화 작업을 실시해야한다. 평평하지 않은 부분은 콘크리트 캔버스 아래 간격을 두어 지반 지지도를 낮출 수 있으나, 가능한 적용되는 지표면과 접촉되어야 한다. 설치 후에 온도가 동결온도 아래로 크게 떨어질 것으로 예상되는 경우에는 수화 과정에서 동결되어 수화가 원활히 일어나지 않을 수 있으므로 주의가 필요하다. 설치 시 방수층인 PVC면이 지반쪽으로 설치되어야 상부에 수분을 공급해 경화시킬 수 있다.



그림 44 콘크리트 캔버스 상단부



그림 45 콘크리트 캔버스 방수층

㉰ 프리폼크리트의 겹침방법 조사

콘크리트 캔버스간의 연결은 겹침방법을 이용하며, 겹침방법으로는 나사를 이용한 겹침, 접착제를 이용한 겹침이 있다. 겹침 시, 겹침 간격은 최소 10cm 이상으로 겹칠 수 있도록 해주어야 하며, 나사를 이용하여 겹침을 시행할 시, 겹침은 4인치 이상으로 배치하고, 나사는 겹침부에 따라 직선으로 배치하며, 겹침부 상단자리에서 1인치 이상 떨어지게 시공한다.

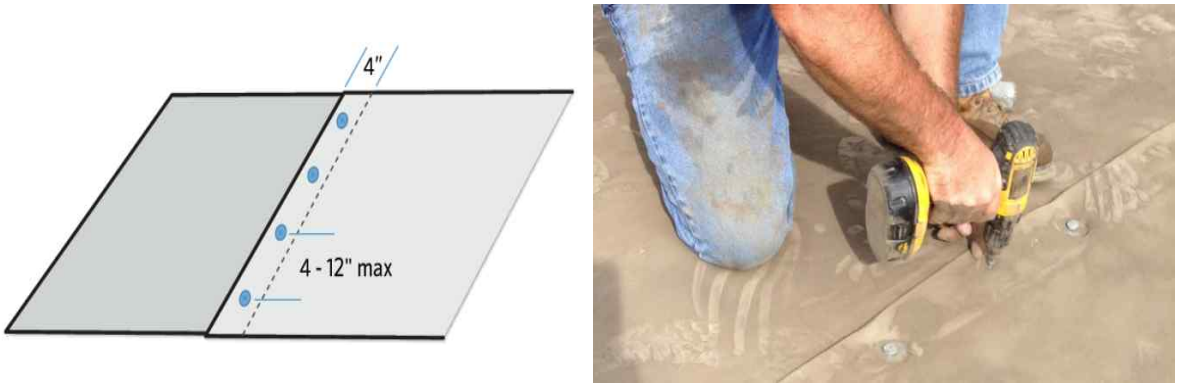


그림 46 나사를 이용한 겹침방법

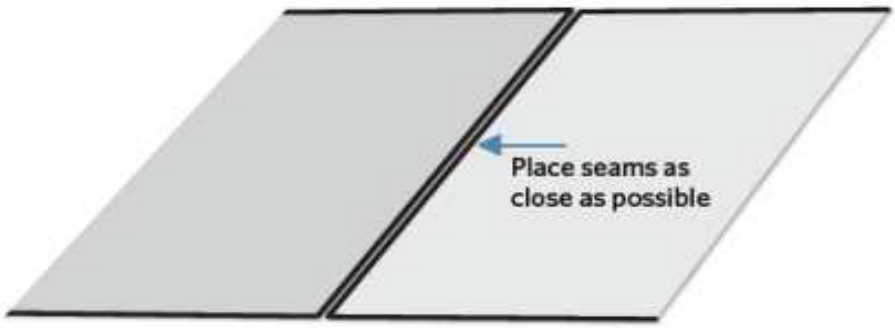


그림 47 겹침없는 방법

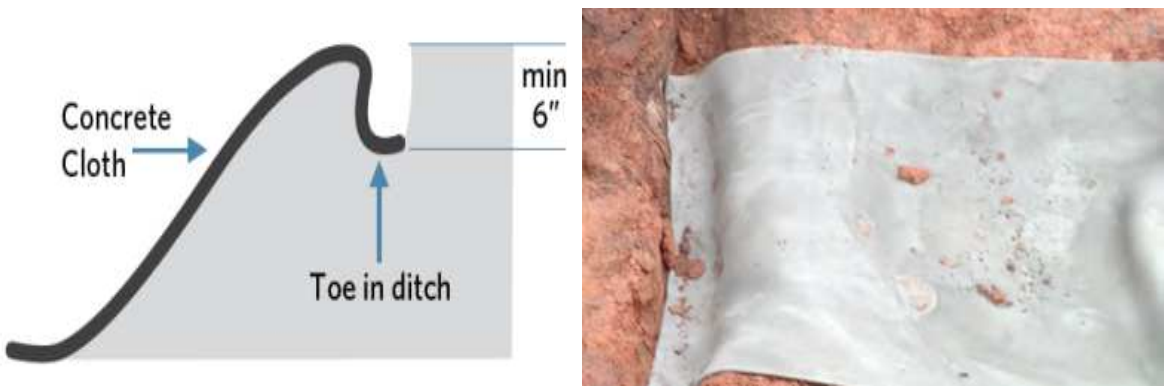


그림 48 앵커설치

㉱ 프리폼크리트의 시공방법 조사

프리폼크리트의 시공순서는 대상지역의 수목 제거, 터파기, 설치할 면고르기 실시, 프리폼크리트 배치. 겹침부 물뿌리기, 겹침부 연결, 전체 물 뿌리기의 순서로 진행된다.



그림 49 프리폼크리트의 시공방법

③ 공정별 프리폼크리트 적용방안 개발

기존제품을 살펴본 결과, 프리폼크리트 적용방안은 기존 시공방법과 유사하게 진행하고자 하며, 겹침연결에 있어 보다 효율적으로 시공할 수 있도록 개선하고자 한다. 겹침 방식을 통한 시공을 하기 때문에 자재의 면적을 100%활용할 수 없고, 자재의 면적을 100% 사용할 시, 자재 뒷면의 PVC를 통한 방수기능을 사용할 수 없음을 해결하기 위해 다음과 같은 시공법을 고려하게 된다. 적용하고자 하는 방안은 겹침 방법을 적용하고 있으나, 프리폼크리트에 방수층을 연장하여 연결되는 추가 프리폼크리트에 방수층과 직접 접착제를 사용하여 부착한다.

콘크리트가 맞닿는 부분에 물의 침투를 방지하기 위해 실리콘을 도포하고자 하며 추가적인 결속력 확보를 위해 일정간격으로 나사못을 설치한다. 이러한 방식을 적용할 경우, 한쪽면에 방수층의 여유를 두어 기존의 겹침 시공이 아닌 자재의 면적을 100% 활용할 수 있고, 방수기능 또한 활용할 수 있다.

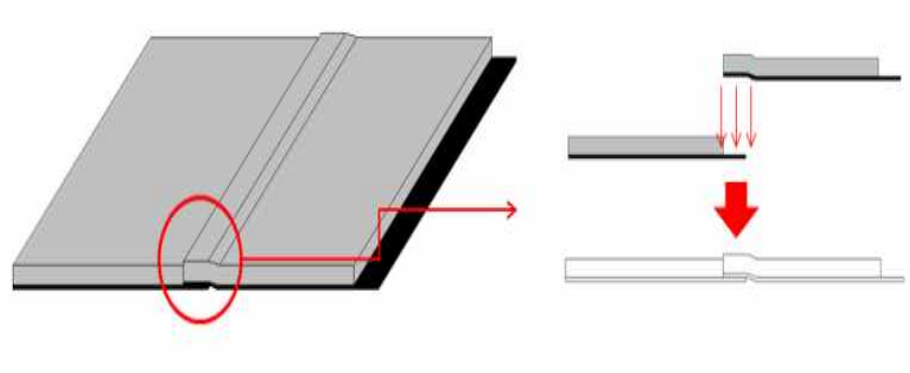


그림 50 프리폼크리트 부착방법

(2) 2차년도 연구내용 및 결과

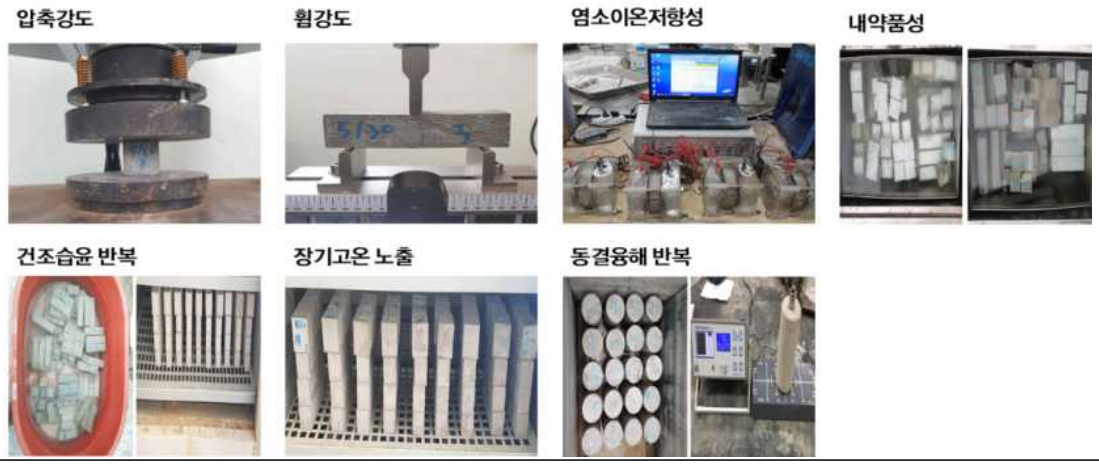
2차년도 연구내용 및 결과 요약

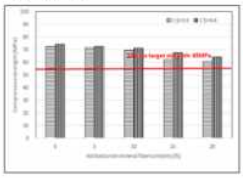
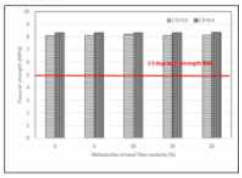
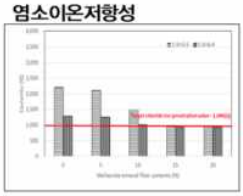
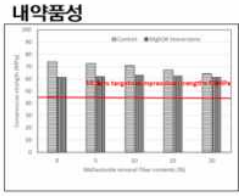
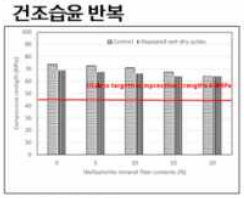
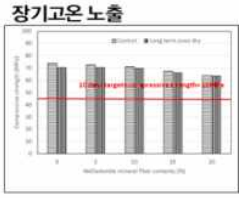
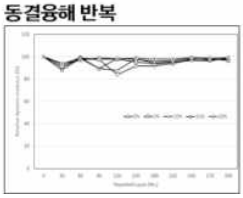
(1) 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 개발 및 제조기술 개발

○ 프리폼크리트 혼합물 성능 검토 및 분석

1. 프리폼크리트 혼합물 성능 검토 방법

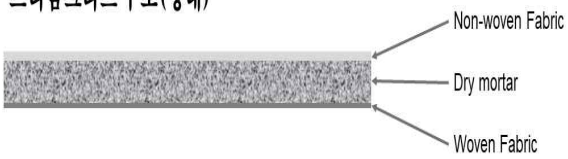
- 1차년도 연구결과 목표성능을 만족하는 성능을 나타내는 시멘트:규사의 혼합비 5:5, 6:4 배합에 월라스토나이트 광물질섬유를 시멘트 중량에 0, 5, 10, 15 및 20%를 대체하는 배합을 선정
- 1차년도에 적용배합에 비하여 물/시멘트비를 낮춰 단위시멘트량은 증가시키고, 단위수량은 감소시켜 모든 적용배합에서 목표강도를 확보하도록 배합을 조정
- 2차년도 배합선정은 목표강도 확보 및 내구성 확보 측면을 고려하여 실시



2. 프리폼크리트 혼합물 성능 검토 및 분석	
압축강도  휨강도  염소이온저항성  내약품성  건조습윤 반복  장기고온 노출  동결융해 반복 	• 압축강도 시험결과: 압축강도 시험결과 1일 및 10일 목표 강도를 모두 만족함. 그러나 월라스토나이트 광물질섬유의 치환은 압축강도를 감소시킴 • 휨강도 시험결과 10일 목표강도 5MPa를 모든 배합에서 만족함. 다만 월라스토나이트 광물질섬유의 치환에 따른 영향은 크지 않음 • 염소이온투과량은 월라스토나이트 광물질섬유 치환율 15% 및 20%에서만 만족함. • 내약품성 시험결과 재령 10일 목표압축강도를 노출후에도 모두 만족함. 또한 잔류강도 역시 70%이상을 나타냄 • 건조습윤반복 시험 후 재령 10일 목표압축강도를 모두 만족함. 또한 잔류압축강도 90% 이상을 나타냄 • 장기고온건조시험결과 재령 10일 목표압축강도를 모두 만족함. 또한 잔류압축강도 90% 이상을 나타냄 • 동결융해 반복시험 결과 모든 배합에서 상대동탄성계수 80% 이상을 나타냄 • 프리폼크리트 혼합물의 성능 시험결과, 시멘트:규사비 6:4, 월라스토나이트 치환율 15% 및 20%를 적용할 시 목표성능과 내구성이 가장 우수한 결과를 나타냄

○ 프리폼크리트 구조(형태) 및 최적타입 결정

1. 프리폼크리트 구조(형태) 및 최적 타입 결정





- 프리폼크리트의 구조(형태)는 패브릭 섬유 사이에 초속경시멘트, 규사 및 광물질 섬유를 혼합한 Dry mortar 넣어서 제작한 매트 형식

○ 프리폼크리트 제조기술 개발

1. 프리폼크리트 제조기술 개발





- 프리폼크리트 제작을 위한 다양한 소재와 구조의 제품을 고려하여 제작방식을 검토함
- 프리폼크리트의 제작방식은 충남 예산군에 위치한 토목매트 제작업체인 B사와 자문 및 협의를 통하여 진행하였으며, 이미 B사에서 보유하고 있는 시설 및 장비를 최대한 활용하여 바닥층인 직포 위에 혼합물이 투입되면 그 위로 부직포가 니들 펀칭하여 혼합물과 고정되는 방식으로 제작

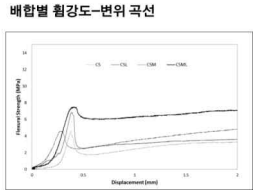
2. 프리폼크리트 성능평가

프리폼크리트 배합변수

구분	내용
시멘트 : 규사비	5(시멘트) : 5(규사), 6(시멘트) : 4(규사)
광물질 치환율	시멘트량의 10%



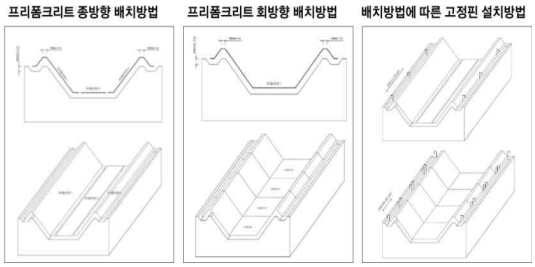
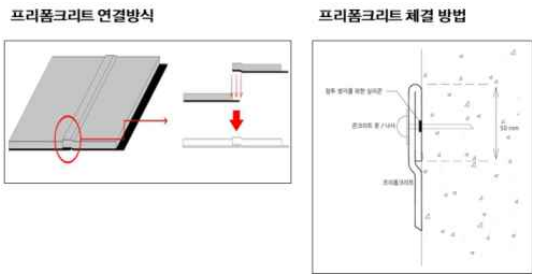




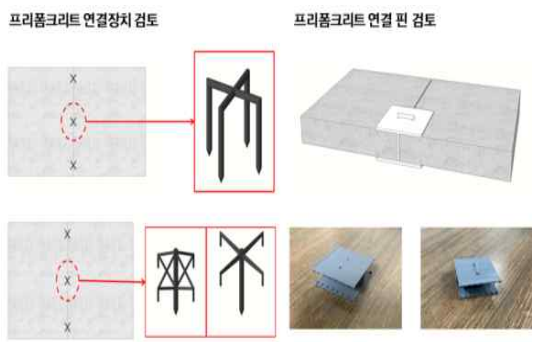
- 사용된 배합비는 도출된 최적배합비로 시멘트:규사비 5:5 배합과 6:4 배합으로 제작, 월라스토나이트 광물질 섬유는 시멘트량의 10% 치환함
- Dry concrete로 분말상태인 시제품에 물만 공급한 시편과 물과 액상형 폴리머를 8:2로 혼합하여 사용한 시편을 각각 제작
- 강도를 비교 분석한 결과, 시멘트:규사비의 6:4 비율과 광물질섬유와 액상형 폴리머를 혼입한 배합에서 휨성능이 우수하게 나타남

(2) 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 적용기술 개발

○ 거치형 및 앵커형 적용방법 개발

1. 거치형 적용방법 개발	
	• 프리폼크리트는 기본적으로 롤형태로 생산되어 현장에 납품되므로 시점부에서부터 롤 형태를 풀어 배치하는 방식으로 시공 • 폭 2m로 생산되는 프리폼크리트는 시공목적 및 현장여건에 따라 배치하는 방향을 조절해야하며, 수로공사의 경우 하천흐름 방향에 주의하여 시공
2. 앵커형 적용방법 개발	
	• 앵커형 프리폼크리트 적용은 콘크리트 구조물의 부분 보수 시에 해당하며, 사면 및 수로에 거치하는 형태가 아닌 콘크리트 벽체에 앵커를 이용하여 부착하는 방식 • 시점부와 종점부가 구분되는 거치형 적용방법과 달리 앵커형은 구분 없이 모든 면이 동일한 방식으로 설치하는 것이 특징

○ 연결 및 정착기술 개발

	• 좌/우로 배치되는 프리폼크리트에 모두 체결되는 연결장치를 검토 • 연결핀을 이용하여 프리폼크리트를 연결하는 경우 핀 설치 위치에서 굴곡이 발생하거나, 핀 설치로 인한 프리폼크리트 손상이 발생하여 물의 침투가 발생할 수 있다는 의견이 제기되어 이를 보완하기 위해 단순히 연결핀을 활용한 연결이 아닌 별도의 연결장치를 고안 후 시제품을 제작함

(가) 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 개발 및 제조기술 개발

① 프리폼크리트 혼합물 성능 검토 및 최적배합비 도출

㉮ 프리폼크리트 혼합물 성능 검토

프리폼크리트의 혼합물의 역학적 특성 및 내구성능을 평가하였다. 특히 본 연구에서는 월라스토나이트 광물질섬유의 혼입률을 고려하였다. 1차년도 연구결과 광물질섬유로 고려하였던 세피올라이트섬유는 목표성능을 만족하지 못하였기 때문에 본 연구에서는 1차년도 연구결과 성능 목표를 만족시킨 월라스토나이트 광물질섬유를 이용하여 프리폼크리트 혼합물의 성능을 평가하였다. 또한, 1차년도 시험결과 압축강도 및 휨강도를 만족하는 월라스토나이트 치환율이 있어 2차년도 연구에서는 물/시멘트비를 1차년도에 비하여 작게 하고 단위시멘트량을 증가시켜 압축강도 향상을 도모하였다. 즉 시멘트:규사의 혼합비는 5:5, 6:4로 유지하면서 물시멘트비를 낮춰 단위수량을 감소시키고, 시멘트량을 증가시켜 목표 압축강도를 확보하도록 하였다. 이와 같은 방법을 적용한 것은 목표강도뿐만 아니라 2차년도 연구범위인 염소이온 투과량의 경우 기존 연구결과에서 보면 물/시멘트비 및 단위수량이 많으면 증가하는 경향이 있어 이를 해결하기 위하여 물/시멘트비 및 단위수량을 감소시켰다.

또한 1차년도 연구결과 월라스토나이트 광물질섬유는 프리폼크리트의 혼합물에 적용되어 다른 섬유보강재와 비교하여 혼합 및 분산이 쉽고 일반적인 섬유보강 콘크리트에서 발생하는 섬유 뭉침 현상 등이 발생하지 않는다. 또한 섬유의 혼입으로 인한 역학적 특성 및 내구성능 향상에 효과를 줄 수 있다. 본 연구에서는 특히 조기에 강도를 확보하기 위하여 수화열 발생이 초기 재령에서 높은 속경성 시멘트계 재료를 사용함으로써 수화열 등에 의한 내구성 저하가 발생할 수 있다. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 월라스토나이트 광물질 섬유를 적용하였다.

㉯ 사용재료

본 연구에서는 프리폼크리트 혼합물의 물성을 평가하기 위하여 속경성 결합재료, 규사 및 월라스토나이트 광물질섬유를 적용하였다. 속경성 결합재료는 긴급보수용으로 충분한 강도를 발현할 수 있는 재료로 결정하였으며, 본 연구에서는 규사는 6호사를 적용하였다. 월라스토나이트 섬유는 형상비가 최소 3에서 최대 20인 제품을 사용하였으며, 주요 물리적 특성은 표 19과 같다. 그림 51과 그림 52는 월라스토나이트 광물질섬유의 일반적인 형상과 SEM 사진을 보여준다. SEM 사진은 기존 월라스토나이트 광물질섬유를 생산하는 업체의 홈페이지 (https://www.tradeindia.com/fp575963/Wollastonite-Mineral-Fiber.html)의 자료를 이용하였다.

표 19 월라스토나이트의 주요 물리적 특성

특성	값
색상	백색
형상	침상
길이	0.4 - 0.6 mm
가로 치수	25 μm ~ 150 μm
최대 종횡비	3~20
확장계수 (mm/mm/℃)	6.5×10^{-6}
밀도 (g/㎣)	2.9
수용성 (g/100cc)	0.0095
pH	9.9



그림 51 월라스토나이트 광물질섬유

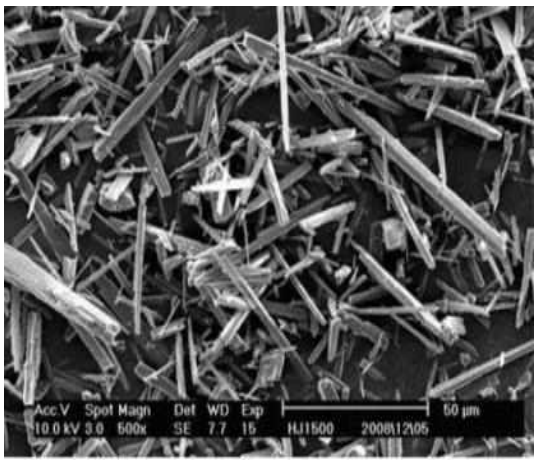


그림 52 월라스토나이트 SEM 사진

㉰ 배합설계

1차년도 시험결과 시멘트:규사의 혼합비가 4:6에서는 목표로 한 강도를 충분히 만족하지 못하는 결과를 나타냈다. 또한 세피올라이트 광물질섬유를 적용하였을 때도 목표 강도를 만족하지 못하였다. 따라서 1차년도 연구결과 목표성능을 만족하는 성능을 나타내는 시멘트:규사의 혼합비 5:5, 6:4 배합에 월라스토나이트 광물질섬유를 시멘트 중량에 0, 5, 10, 15 및 20%를 대체하는 배합을 선정하였다. 또한 1차년도에 적용배합에 비하여 물/시멘트비를 낮춰 단위시멘트량은 증가시키고, 단위수량은 감소시켜 모든 적용 배합에서 목표강도를 확보하도록 배합을 조정하였다. 즉 물/시멘트비는 시멘트:규사비에 관계없이 0.50에서 0.38로 감소시키고, 단위시멘트량은 시멘트:규사 비 5:5 배합에서는 780kg/㎥에서 900kg/㎥으로 증가시키고, 단위수량은 429kg/㎥에서 342kg/㎥으로 감소시켜 적용하였다. 또한 시멘트:규사비 6:4 배합에서도 단위시멘트량은 900kg/㎥에서 1020kg/㎥으로 증가시키고 단위수량은 450kg/㎥에서 397kg/㎥으로 감소시켰다. 특히 본 연구에서는 2차년도 배합선정은 목표강도 확보 및 내구성 확보 측면을 고려하여 실시하였다. 아래의 표는 본 연구에서 적용한 배합비를 보여주고 있다.

표 20 배합설계 (C:S = 5:5)

배합명	시멘트	물	규사	월라스토나이트
1	900	342	900	0
2	855	342	900	45
3	810	342	900	90
4	765	342	900	135
5	720	342	900	180

표 21 배합설계 (C:S = 6:4)

배합명	시멘트	물	규사	월라스토나이트
1	1020	387	680	0
2	969	387	680	51
3	9189	387	680	102
4	867	387	680	153
5	816	387	680	204

㈑ 시험방법

○ 압축강도

프리폼크리트의 혼합물의 압축강도 시험은 KS L 5105에 따라 실시하였다. 프리폼크리트의 목표 압축강도는 1일 20MPa, 10일 45MPa이다. 따라서 실험은 공시체 제작 후 1일 및 10일 후에 실시하였다. 그림 53은 압축강도 시험 모습을 보여준다.



그림 53 압축 강도 시험

○ 휨강도

프리폼크리트의 휨강도 시험은 KS L ISO 679에 따라 실시하였다. 프리폼크리트 혼합물의 목표휨강도는 재령 10일 5MPa이다. 휨강도 시험은 양생재령 10일에 실시하였으며, 그림 54와 같다.



그림 54 휨 강도 시험

○ 염소이온투과시험

프리폼크리트의 투수성을 평가하기 위하여 ASTM C1202에 따른 급속염화물 투과시험을 실시하였다. ASTM C1202는 직접적인 프리폼크리트의 투수성을 평가하기는 어렵지만 간접적인 투수성을 평가할 수 있다. 본 연구에서는 1,000 Coulombs를 목표값으로 하였으며, 그림 55는 급속염화물 투과시험의 모습을 보여준다.

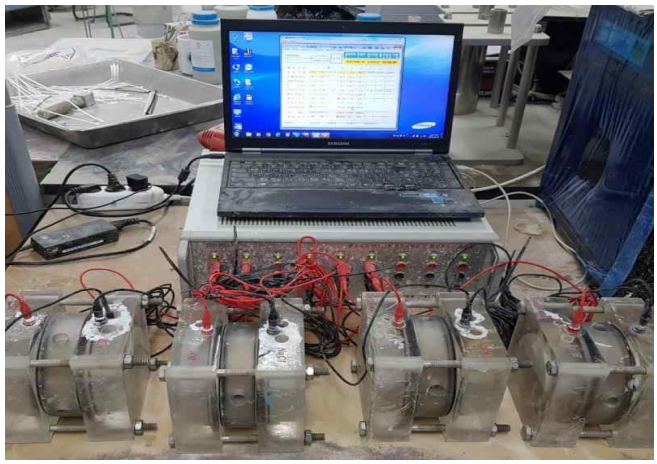


그림 55 염소이온 침투 시험

○ 내약품성 시험

본 연구에서는 프리폼크리트 혼합물의 염해 등 화학적 환경에 노출되었을 때의 성능저하 저항성을 평가하기 위하여 약품용액에 침지 후 중량변화 및 역학적 특성 시험을 실시하였다. 시험은 10% 황산마그네슘 용액과 4% 황산나트륨 용액을 이용하였다. 재령 10일 공시체를 용액에 노출 후 50일간 중량을 측정하였으며, 50일간 침지 후 압축강도 시험을 실시하였다. 그림 56은 황산마그네슘 및 황산나트륨 용액에 침지시킨 공시체의 모습을 보여준다.



그림 56 염화물 이온 침지 시험

○ 건조습윤 반복 시험

프리폼크리트의 건조습윤이 반복되는 환경에 노출되었을 시 혼합물에 미치는 영향을 평가하기 위하여 건조습윤 반복시험을 실시하였다. 시험은 재령 10일 공시체를 60℃의 오븐에 24시간 노출시킨 후 20℃의 물에 24시간 노출시키는 것을 1회 반복으로 하여 총 25회 반복시험을 실시한 후 압축강도 시험을 실시하여 잔류 압축강도를 평가하였다. 그림 57은 건조습윤 반복시험 모습을 보여준다.



그림 57 건조습윤 반복 시험

○ 장기고온 노출 시험

프리폼크리트의 여름철 장기간 고온에 노출되는 상황을 고려하여 장기고온 노출 시험을 실시하였다. 시험은 재령 10일 공시체를 60℃ 오븐에서 50일간 노출시킨 후 압축강도 시험을 실시하여 잔류압축강도를 평가하였다. 그림 58은 장기고온 노출 시험 모습을 보여준다.



그림 58 장기고온 노출 시험

○ 동결융해 반복 시험

본 연구에서는 프리폼크리트 혼합물의 동결융해가 반복되는 계절적 영향을 고려하여 KS F 2456에 따른 급속 동결융해 반복시험을 실시하였다. 시험은 재령 14일 공시체를 이용하여 실시하였다. 그림 59는 급속 동결융해반복 시험 모습을 보여준다.



그림 59 동결융해 시험 및 동탄성 계수 시험

㉲ 시험결과

○ 압축강도

프리폼크리트 혼합물의 압축강도 시험결과 그림 60, 그림61과 같다. 시험결과 모든 배합에서 목표 압축강도인 1일 20MPa와 10일 45MPa를 만족시키고 있다. 압축강도는 월라스토나이트 광물질섬유의 속경시멘트 치환율이 증가할수록 감소하고 있다. 이와 같은 결과는 결과적으로 압축강도에 영향을 미치는 것은 시멘트의 양이며 월라스토나이트 섬유는 시멘트를 치환하여 사용하고 있기 때문에 시멘트량이 감소하기 때문이다. 또한 시멘트:규사비에 따른 영향은 시멘트:규사비가 증가할수록 압축강도가 크게 나타났다. 그러나 결과적으로 월라스토나이트 광물질 섬유 치환율, 시멘트:규사비에 관계없이 목표로 한 1일, 10일 압축강도는 모든 사용배합에서 만족하였다.

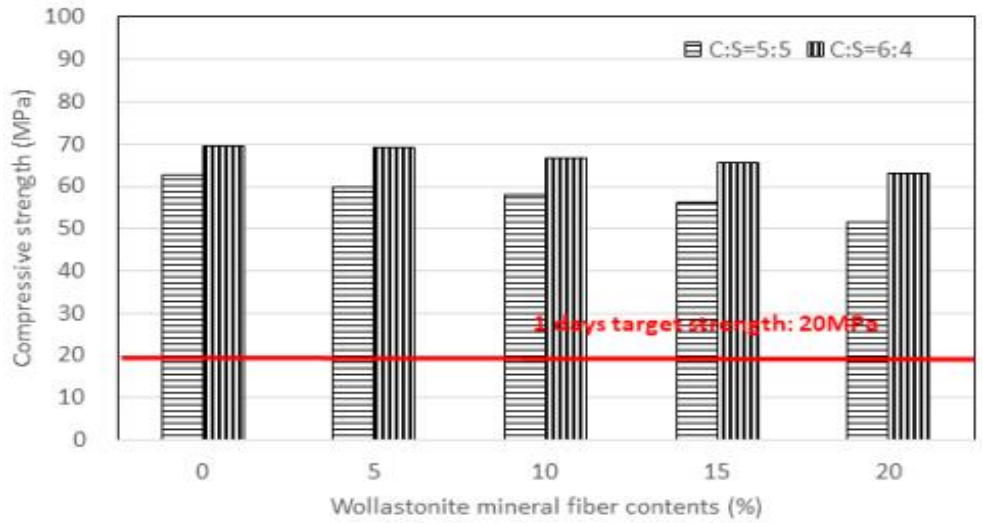


그림 60 월라스토나이트 섬유 함량과 시멘트:규사비에 대한 압축강도 시험 결과(1 day)

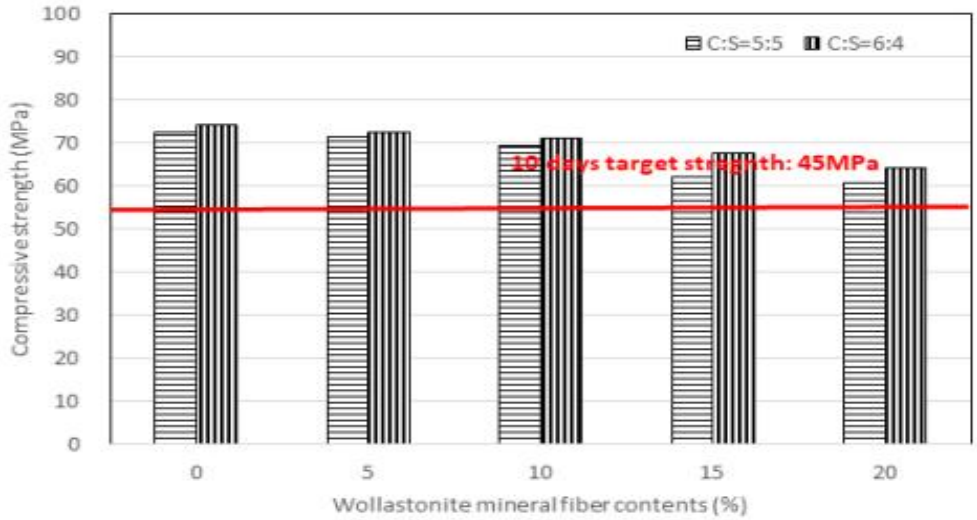


그림 61 월라스토나이트섬유 함량과 시멘트:규사비에 대한 압축강도 시험결과 (10 days)

○ 휨강도

프리폼크리트 혼합물의 휨강도 시험결과는 그림 62와 같다. 시험결과 월라스토나이트 광물질섬유 치환율 및 시멘트:규사비에 상관없이 목표로 한 10일 휨강도 5MPa를 만족하였다. 월라스토나이트 광물질섬유의 치환율에 따른 영향을 살펴보면 휨강도의 경우는 월라스토나이트 광물질섬유의 치환율이 증가할수록 휨강도는 약간씩 증가하나 거의 치환하지 않은 경우와 비교하여 거의 유사한 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 월라스토나이트 광물질섬유가 치환율이 증가할수록 휨강도 증가에는 효과가 있으나 상대적으로 시멘트량을 대체하기 때문에 시멘트 사용량 감소에 따른 강도 감소가 동시에 발생하여 강도의 증가율이 크지 않은 결과를 나타냈다.

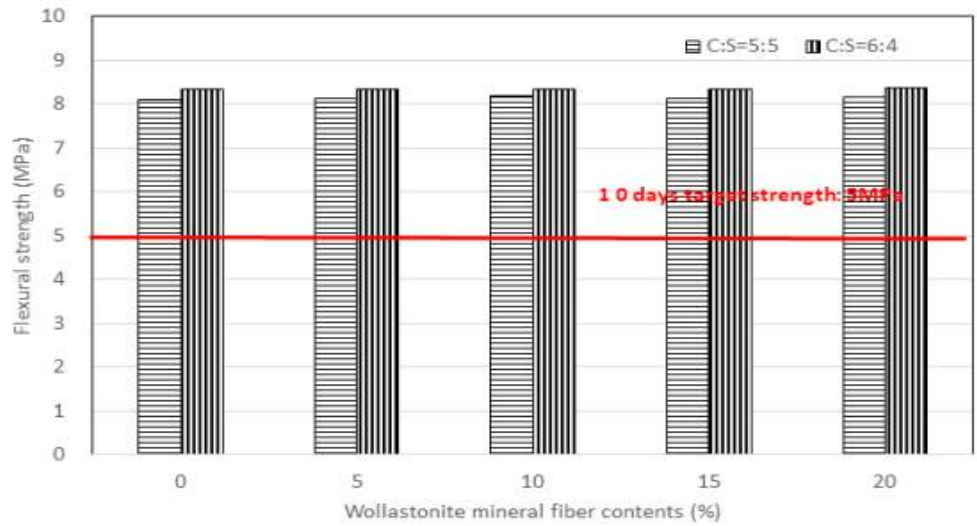


그림 62 월라스토나이트섬유 함량과 시멘트:규사비에 대한 휨강도 시험결과

○ 염소이온투과시험

본 연구에서는 프리폼크리트 혼합물의 투수성을 평가하기 위하여 염화물이온투과시험을 실시하였으며, 그림 63은 염화물투과시험결과를 보여준다. 시험결과 염화물 목표 염소이온 투과량 1,000 coulombs를 만족하는 배합은 월라스토나이트 광물질섬유 치환율 15% 및 20%에서 나타났다. 월라스토나이트 광물질섬유는 속경성 시멘트를 치환하여 사용하기 때문에 프리폼크리트 혼합물의 강도에 미치는 영향은 크지 않지만 내구성 측면에서 투수성은 감소시키는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 월라스토나이트 광물질섬유가 미소섬유이지만 형상비가 3~20을 갖는 섬유로 프리폼크리트 내부의 수화열로 인한 균열을 제어할 수 있기 때문이다. 따라서 월라스토나이트 광물질섬유는 프리폼크리트 혼합물의 투수저항성을 향상시킴을 알 수 있다.

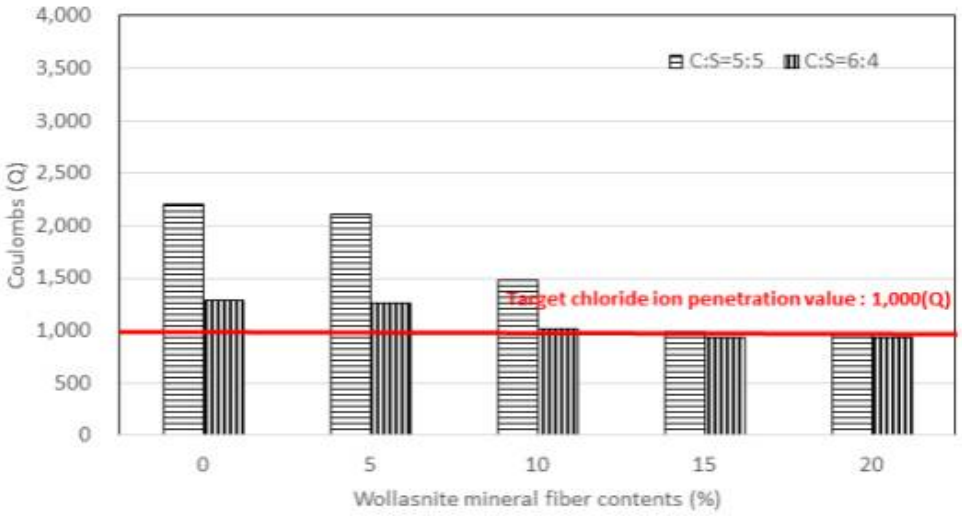
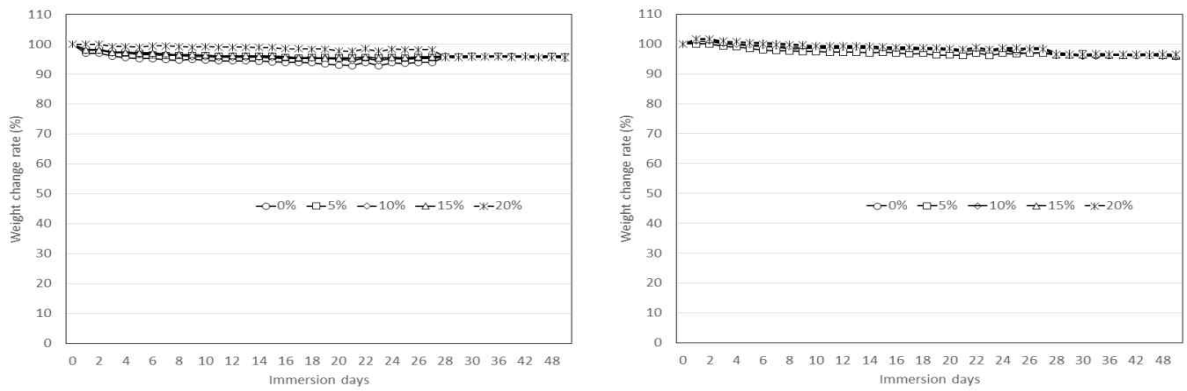


그림 63 염소이온 침투 시험 결과

○ 내약품성 시험

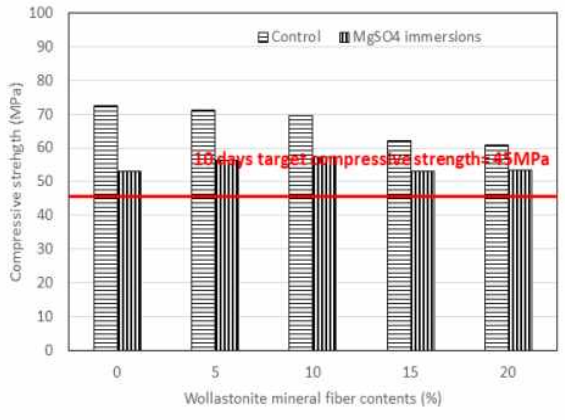
프리폼크리트 혼합물의 화학적 환경에 대한 저항성을 평가하기 위하여 황산마그네슘 및 황산나트륨 용액에 노출 후 중량변화와 잔류 압축강도를 평가하였다. 그림 64~그림 66는 황산마그네슘 용액에 노출 후의 중량변화율과 압축강도, 잔류압축강도 시험결과를 각각 보여준다. 시험결과 중량변화율은 월라스토나이트 광물질섬유 치환율 및 시멘트:규사비에 상관없이 모두 10 %이내의 변화율을 나타내어 큰 영향이 없을 알 수 있다. 또한 압축강도 역시 목표로 한 10일 압축강도를 황산마그네슘 용액에 노출 후에도 유지하고 있으며, 잔류압축강도도 모두 70% 이상을 보여주어 황산마그네슘 용액 노출에는 큰 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 특히 노출 후에도 목표 압축강도를 모두 만족하였기 때문에 황산마그네슘 환경에서의 저항성은 우수하다고 할 수 있다. 또한 시멘트:규사비 5:5 보다는 시멘트:규사비 6:4에서 보다 높은 잔류 압축강도결과를 보여주었다.

그림 67~그림 69는 황산나트륨 용액에 노출 후 중량변화율, 압축강도 및 잔류 압축강도 결과를 보여준다. 시험결과 모든 배합에서 황산나트륨 용액 노출 후 압축강의 감소가 나타났지만 목표로 한 설계압축강도 10일 45MPa를 만족하였다. 또한 중량변화율도 10%이내이며, 잔류압축강도는 시멘트:규사비 5:5에서는 70%이상 시멘트:규사비 6:4에서는 80% 이상을 나타내어 우수한 내약품성을 나타냈다.

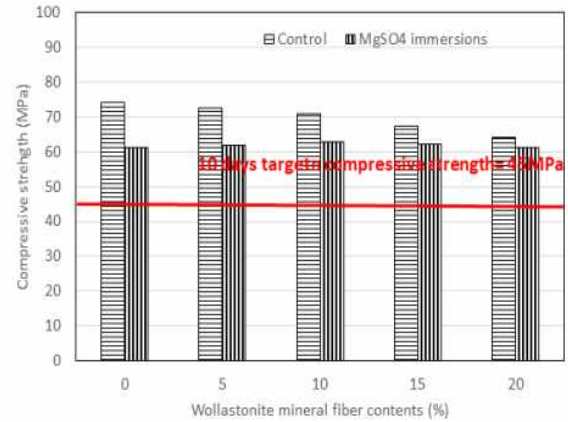


(a) C:S=5:5 (b) C:S=6:4

그림 64 MgSO4 용액 침지 후 중량 변화율

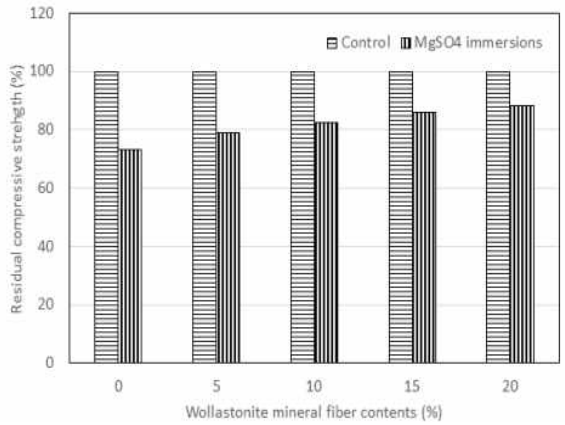


(a) C:S=5:5

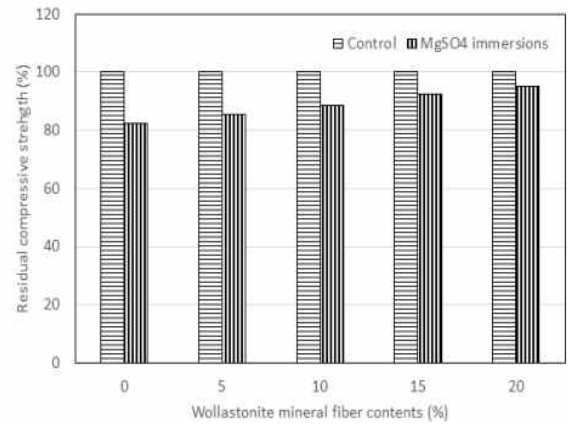


(b) C:S=6:4

그림 65 MgSO4 용액 침지 후 압축강도

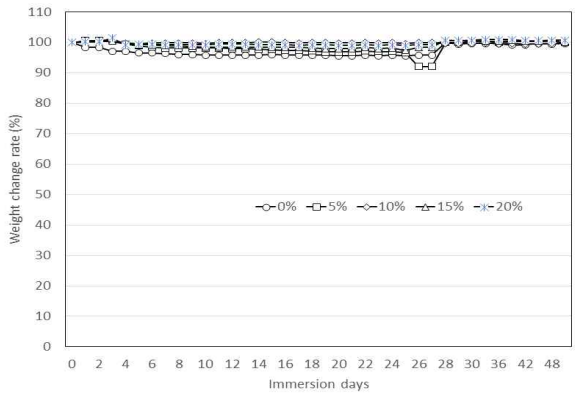


(a) C:S=5:5

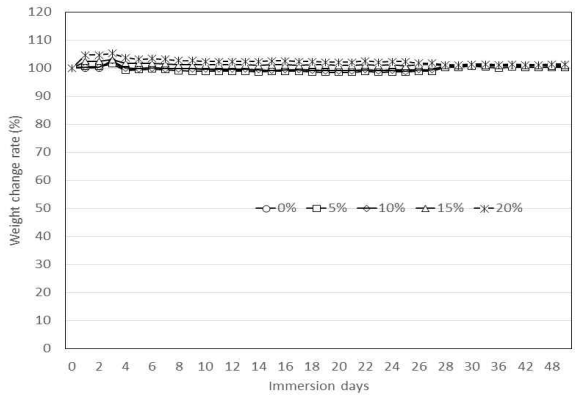


(b) C:S=6:4

그림 66 MgSO4 용액 침지 후 잔류압축강도

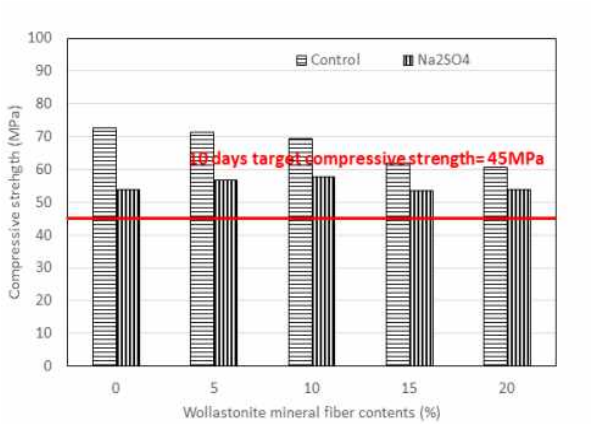


(a) C:S=5:5

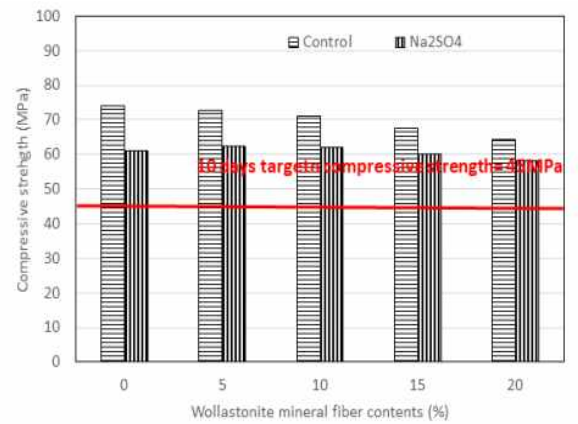


(b) C:S=6:4

그림 67 Na2SO4 용액 침지 후 중량 변화율

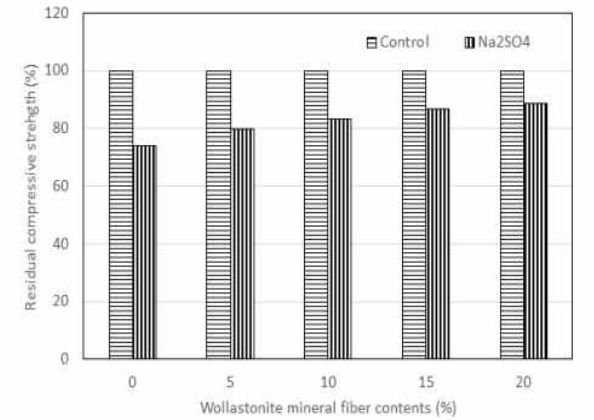


(a) C:S=5:5

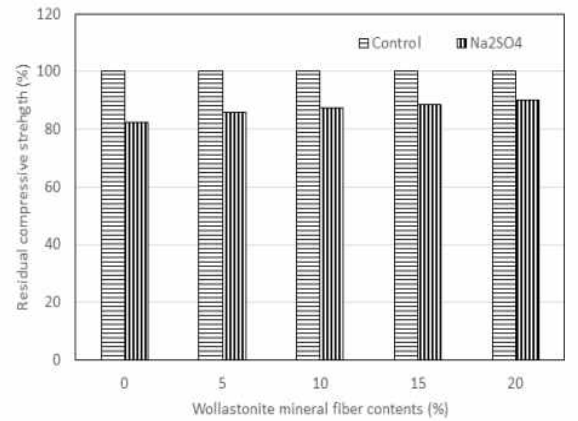


(b) C:S=6:4

그림 68 Na2SO4 용액 침지 후 압축강도



(a) C:S=5:5

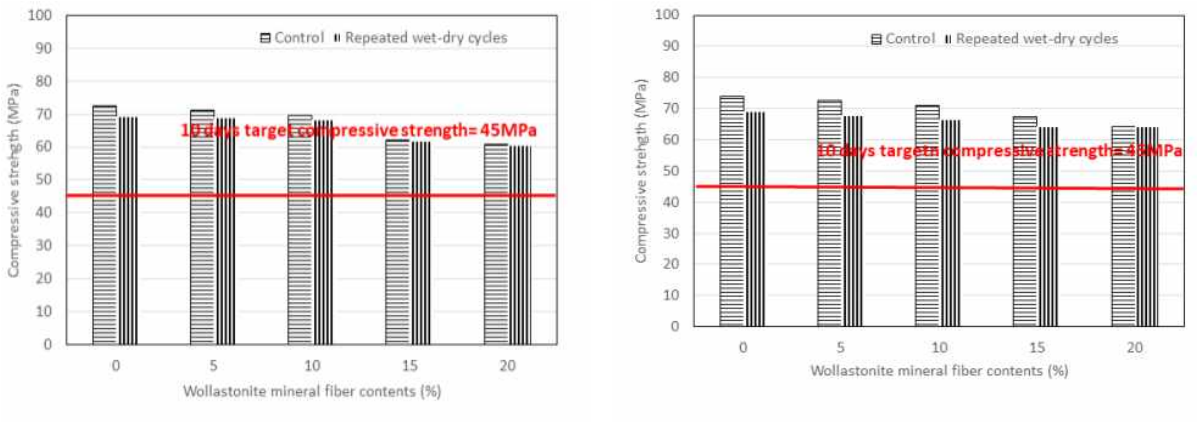


(b) C:S=6:4

그림 69 Na2SO4 용액 침지 후 잔류압축강도

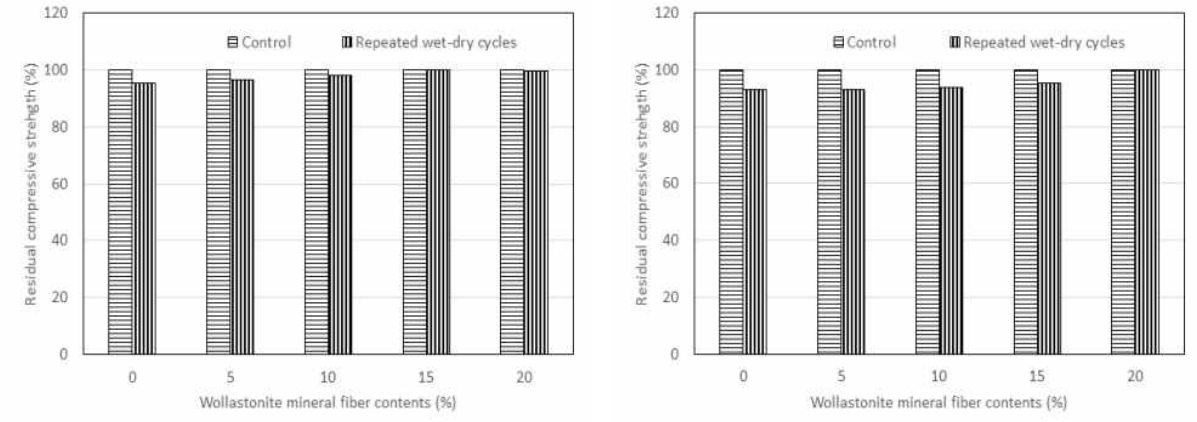
○ 건조습윤 반복 시험

건조습윤 반복 후 압축강도 시험결과는 그림 70, 그림 71와 같다. 시험결과 건조습윤 반복 후 압축강도는 10일 설계기준 강도 10MPa 이상을 모두 만족하였다. 또한 잔류 압축강도도 90% 이상을 만족하여 건조습윤 반복에 대한 저항성은 매우 우수하였다. 따라서 건조습윤 환경에 노출된 프리폼크리트 혼합물은 큰 영향이 없다는 것을 알 수 있었다. 또한, 잔류압축강도는 월라스토나이트 광물질섬유의 치환율이 증가할수록 약간씩 증가하는 경향을 보여주어 월라스토나이트 광물질섬유는 내구성 향상에 영향을 미침을 알 수 있었다.



(a) C:S=5:5 (b) C:S=6:4

그림 70 건조습윤 반복 후 압축강도

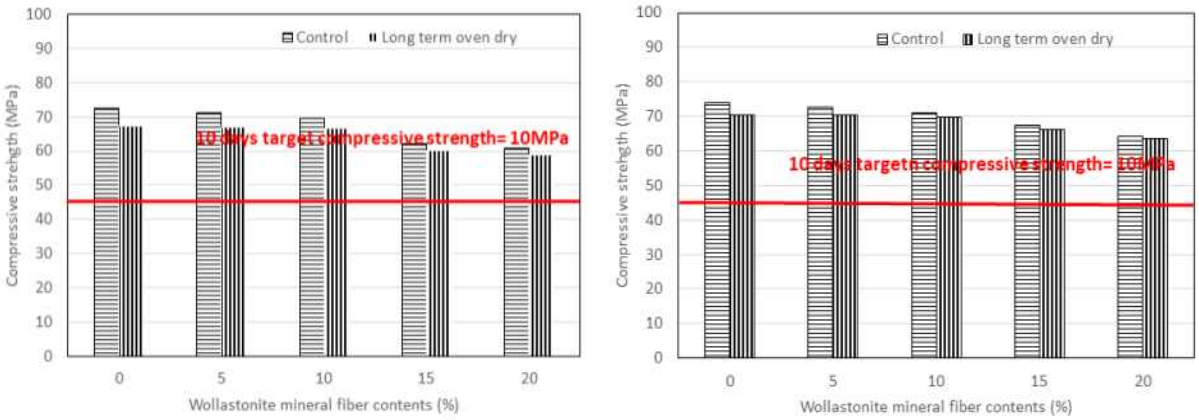


(a) C:S=5:5 (b) C:S=6:4

그림 71 건조습윤 반복 후 잔류압축강도

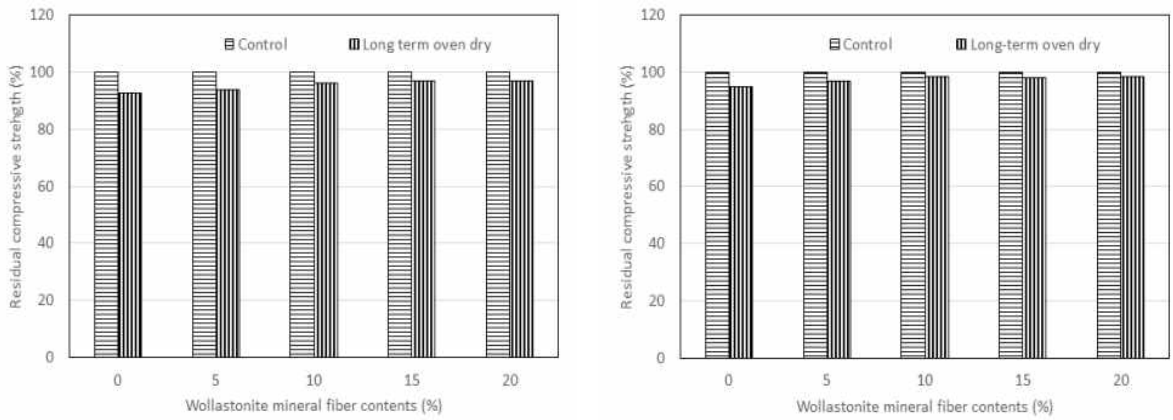
○ 장기고온 노출 시험

여름철 장기간 고온에 노출된 환경에서 프리폼크리트 혼합물의 내구성을 평가하기 위하여 고온건조시험을 실시하였다. 시험결과는 그림 72, 그림 73과 같다. 시험결과 50일간의 고온노출 후 압축강도는 10일 목표 강도 45MPa를 모두 만족하였으며, 잔류압축강도는 90% 이상을 모두 만족하였다. 따라서 여름철 장기간 고온에 노출된 경우에도 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 시멘트:규사비 및 월라스토나이트 광물질섬유의 치환율에 상관없이 나타났다. 다만 잔류압축강도는 월라스토나이트 광물질섬유의 치환율이 증가할수록 약간씩 증가하는 경향을 보여주어 월라스토나이트 광물질섬유는 프리폼크리트의 혼합물의 내구성 향상에 효과가 있음을 알 수 있다.



(a) C:S=5:5 (b) C:S=6:4

그림 72 장기 고온 건조 후 압축강도



(a) C:S=5:5 (b) C:S=6:4

그림 73 장기 고온 건조 후 잔류압축강도

○ 동결융해 반복 시험

프리폼크리트의 동결융해가 반복되는 겨울철에 대한 영향을 평가하기 위하여 동결융해 반복시험을 실시하였으며, 시험결과는 그림 74, 그림 75와 같다. 시험결과 시멘트:규사비 및 월라스토나이트 광물질섬유의 치환율에 상관없이 모두 상대 동탄성계수 80% 이상을 모두 만족하는 결과를 보여주었다. 따라서 동결융해 반복에 대한 충분한 저항성을 확보할 수 있는 것으로 나타냈다.

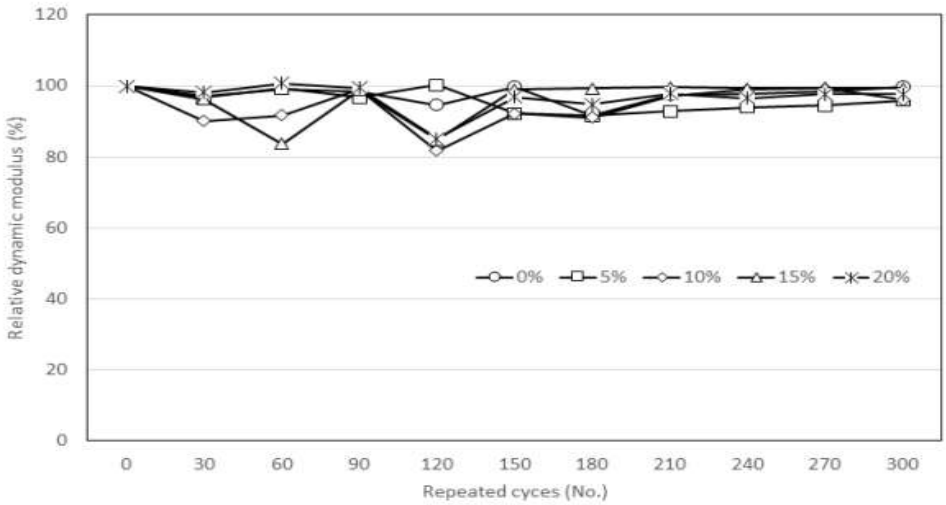


그림 74 동결 융해 반복 후 상대 동탄성 계수 (C:S=5:5)

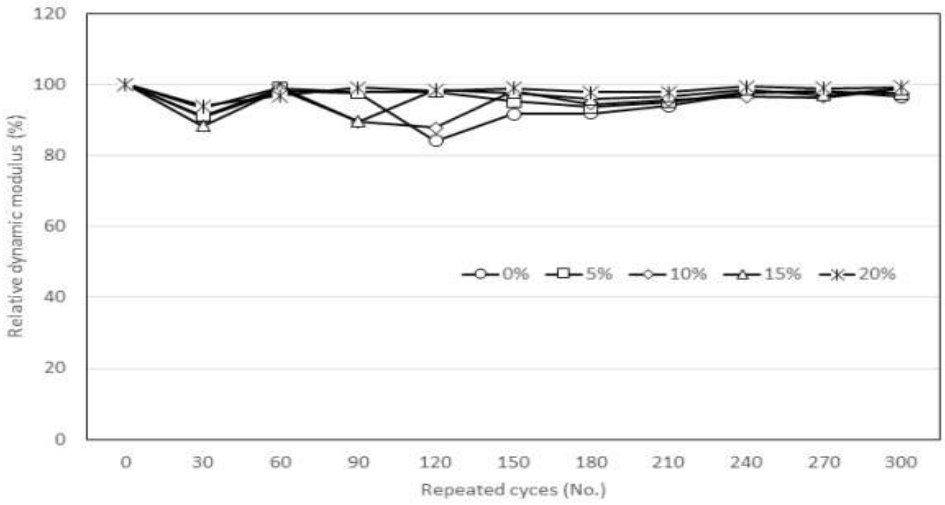


그림 75 동결 융해 반복 후 상대 동탄성 계수 (C:S= 6:4)

㈐ 요약 및 결론

1차년도 연구결과 월라스토나이트 광물질섬유가 세피올라이트 광물질섬유보다 우수한 성능을 나타내어 2차년도에는 월라스토나이트 광물질섬유만을 고려하였다. 또한 시멘트:규사비 역시 1차년도에서 고려한 4:6 배합을 제외하고 5:5 및 6:4 배합을 고려하였으며, 안정적인 목표강도 확보 및 성능 향상을 위하여 1차년도 배합과 비교하여 단위시멘트량을 증가시키고, 단위수량 및 물시멘트비는 감소시켰다. 시험변수를 이용하여 프리폼크리트 혼합물의 역학적 특성 및 내구성을 평가하였으며, 시험결과를 요약하면 다음과 같다.

압축강도 시험결과 모든 배합에서 목표로 한 1일(20MPa) 및 10일(45MPa) 강도를 모든 배합에서 만족하는 결과를 나타냈다. 월라스토나이트 광물질섬유는 속경성 시멘트의 양을 치환하여 사용하였기 때문에 압축강도에는 큰 영향을 미치지 않았다. 또한 압축강도는 속경성 시멘트 사용량에 영향을 받아 시멘트:규사비 6:4에서 보다 우수한 결과를 보여주었다. 휨강도 시험결과 모든 배합에서 목표로 한 10일강도 5MPa를 만족하였다. 월라스토나이트 광물질섬유는 휨강도를 증가시키지만 큰 영향을 미치지 못하였으며, 월라스토나이트 광물질섬유보다는 시멘트 사용량에 더 큰 영향을 받았다.

염화물이온 투과 시험결과 월라스토나이트 광물질섬유는 염소이온 투과량에 영향을 미치고 있으며 목표 염화물 투과량 1,000 Coulombs를 만족시키는 배합은 월라스토나이트 광물질섬유 치환율 15%, 20%에서 나타났다. 따라서 투수성 측면에서는 월라스토나이트 광물질섬유의 치환이 효과가 있음을 알 수 있다.

내약품성 시험결과 프리폼크리트 혼합물은 황산마그네슘 및 황산나트륨 용액 노출 후에도 10일 목표압축강도 45MPa를 만족하고 있으며 잔류압축강도도 70% 이상을 모두 나타내어 화학적 환경 노출에 큰 영향이 없음을 알 수 있었다. 또한 잔류 압축강도 시험결과 월라스토나이트 광물질섬유의 치환은 잔류압축강도를 약간 증가시키는 것으로 나타났다.

건조습윤 반복 및 장기고온 노출 시험결과, 10일 목표압축강도 45MPa를 모두 만족하여 잔류 압축강도 시험결과도 90% 이상을 나타내어 큰 영향이 없었다. 또한 월라스토나이트 광물질섬유의 치환은 잔류압축강도를 약간씩 증가시키는 것을 알 수 있었다.

동결융해 반복 시험결과, 프리폼크리트 혼합물은 동결융해 반복 후 상대동탄성계수가 모두 80% 이상의 값을 나타내어 동결융해 반복 환경에 노출되었을 때에도 충분한 내구성을 확보할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

상기와 같은 프리폼크리트 혼합물의 성능 시험결과, 시멘트:규사비 6:4, 월라스토나이트 치환율 15% 및 20%를 적용할 시 목표성능과 내구성이 가장 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

② 프리폼크리트 구조(형태) 및 최적타입 결정

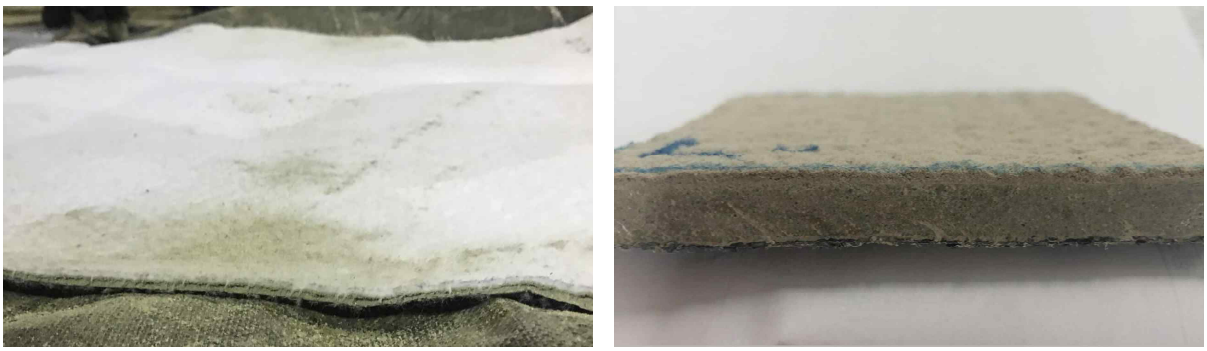
프리폼크리트의 구조(형태)는 패브릭 섬유 사이에 초속경시멘트, 규사 및 광물질 섬유를 혼합한 Dry mortar 넣은 매트 형식이다. 방수를 요하는 경우는 하부 패브릭 소재에 방수소재인 HDPE를 부착하여 제작이 가능하다.

Dry mortar의 배합은 위탁연구기관인 공주대학교의 실험결과를 토대로 초속경시멘트, 규사, 광물질 섬유를 동시 혼합한 배합으로 설계하였다.



(a) 일반용 (b) 방수용

그림 76 프리폼크리트 구조



프리폼크리트 경화 전 프리폼크리트 경화 후

그림 77 프리폼크리트의 최종 구조(형태)

③ 프리폼크리트 제조기술 개발

㉮ 프리폼크리트 제조기술 개발

○ 프리폼크리트 제작 방식 검토

프리폼크리트 패브릭 섬유 선정을 위하여 다양한 소재와 구조의 제품을 고려하였다. 프리폼크리트의 특성상 Dry mortar가 외부로 빠져나오지 못하도록 코일매트와 벌집매트를 고려하였으나, 국내에서 제작이 불가하고 프리폼크리트에 맞춰 제작하기에 어려움이 있었다. 따라서, 패브릭 섬유를 시중에서 판매 중인 토목섬유로 선정하여 기초실험을 진행하였다. 단일 구조시트(폴리에스테르, 유리섬유) 와 이중구조 시트(폴리에스테르)로 성능실험을 진행한 결과, 우수한 부착성능과 휨인성은 확보되었으나, 상하부 구조와의 연결기술 부족 및 제작업체의 부재 등으로 시제품 제작과 사업화 추진에 어려움이 있었다.



그림 78 프리폼크리트 구조(형태) 및 제작 방식 검토

프리폼크리트의 제작방식은 충남 예산군에 위치한 토목매트 제작업체인 B사와 자문 및 협의를 통하여 진행하였으며, 이미 B사에서 보유하고 있는 시설 및 장비를 최대한 활용하여 바닥층인 직포 위에 혼합물이 투입되면 그 위로 부직포가 니들펀칭하여 혼합물과 고정되는 방식으로 제작하는 방법을 채택하였다.

프리폼크리트의 성능시험용 시편 제작은 충남에 위치한 매트 제작하는 B업체와의 회의 및 자문을 통하여 진행하였으며, 이미 업체에서 보유하고 있는 시설장비를 최대한 활용하여 제작하였다.

○ 재료의 계량 및 혼합

재료 계량은 로드셀을 이용한 중량계량으로 하였으며, 혼합은 강제식 기계믹서를 사용하여 결합재 및 섬유를 혼합하였다. 사용된 배합비는 도출된 최적배합비로 시멘트:규사비 5:5 배합과 6:4 배합으로 제작하였으며, 월라스토나이트 광물질 섬유는 시멘트량의 10% 치환하였다. 또한, 부직포와 직포로 제작된 기본 배합과 HDPE 소재의 방수포를 부착한 배합으로 제작하였다.

표 22 프리폼크리트 배합 변수

구분	내용
시멘트 : 규사비	5(시멘트) : 5(규사), 6(시멘트) : 4(규사)
광물질섬유 치환율	시멘트량의 10%

표 23 패브릭 소재(부직포, 직포)의 물성

질량 (g/㎡)	
직포	부직포
146.6	306.3

○ 혼합물 투입 및 생산

강제식 기계믹서로 원재료가 혼합된 혼합물을 호퍼에 부은 후 부직포와 직포 사이에 Dry concrete 혼합물을 투입(그림 79 및 80)하면서, 부직포를 니들펀칭하여 혼합물을 고정(그림 81)하였다. 그림 82는 프리폼크리트가 Roll 형식으로 생산이 완료된 모습을 나타내었다.



그림 79 프리폼크리트 생산 전경



그림 80 Dry concrete 혼합물 투입부



그림 81 니들펀칭



그림 82 프리폼크리트 Roll

○ 방수포 부착

프리폼크리트 뒷면에 접착제를 분사한 뒤 방수소재인 HDPE를 부착하였으며, 그림 83과 같다.



그림 83 HDPE 방수포 부착

○ 제품 재단 및 마감작업

기존 시제품은 폭 2.4m × 길이 8m로 제작되었으며, 제작 시에는 끝부분이 마감처리가 된 상태지만 시제품의 성능평가를 위하여 500 × 500㎝ 사이즈로 재단하였다. 재단 후에는 끝부분에 Dry concrete가 빠져나오지 않도록 마감작업을 진행하였으며, 그 모습은 그림 84와 같다.



그림 84 프리폼크리트 마감작업

○ 포장 및 보관

생산된 제품은 Roll형식으로 말려 비닐필름으로 포장하여 보관하였다. 그림 85은 최종 생산된 제품의 모습이다.



그림 85 프리폼크리트 최종생산 모습

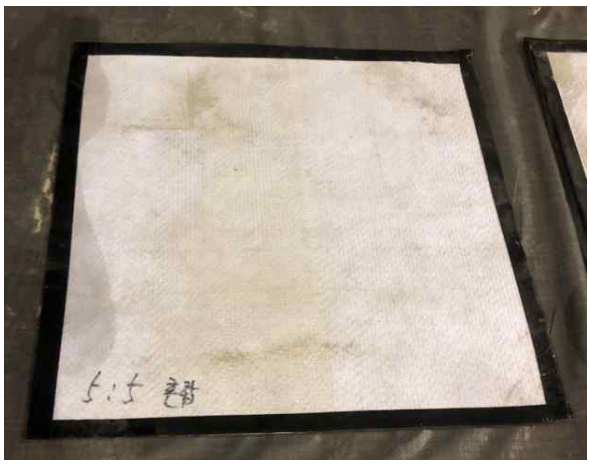


그림 86 프리폼크리트 시제품

㉰ 프리폼크리트 시제품 성능 평가

○ 성능실험용 시편 제작

프리폼크리트의 경우 분말 상태에서 물을 공급할 경우 중력에 의해 자연적으로 침투되기 때문에 물 공급이 원활하지 않을 수가 있으며, 또한 다짐을 하지 않기 때문에 실험실에서 제작한 배합보다 강도저하가 우려될 수 있다. 따라서 휨강도에 개선이 있고, 물보다 침투성이 좋은 액상형 폴리머를 물과 혼합하는 것을 고려하였다. Dry concrete로 분말상태인 시제품에 물만 공급한 시편과 물과 액상형 폴리머를 8:2로 혼합하여 사용한 시편을 각각 제작하였다. 그림 87은 프리폼크리트 시제품에 물을 분사하는 모습이며, 물 공급 후 10일 후에 휨강도 측정을 위하여 160×40mm으로 컷팅 하였다(그림 88).

일반적으로 시멘트 수화반응에 필요한 물은 시멘트량의 양의 25%정도이며, 나머지는 작업성 확보를 위하여 추가로 사용되는 물이다. 프리폼크리트는 작업성을 필요로 하지 않기 때문에 물량을 줄여도 될 것으로 판단되어 기본 물/시멘트비인 38%와 비교군인 30%를 사용한 배합을 설정하였다.



그림 87 프리폼크리트 물 분사모습



그림 88 프리폼크리트 성능실험용 시편

○ 시험방법

프리폼크리트 휨성능 평가는 재령 10일에 대하여 각각 2개의 시편으로 휨강도 및 휨성능을 평가하였다. 휨성능 평가는 최대 용량 5 ton의 만능재료시험기(UTM)을 이용하였으며, UTM은 컴퓨터로 하중 및 변위량이 표시되며, 기능제어가 가능하다.

휨성능 실험은 하부의 지지롤러 위에 프리폼크리트 시편을 위치하게 한 후 3점 재하하였으며, 1개의 변위센서(LVDT)를 하부에 설치하여 수직변위를 측정하였다.



그림 89 프리폼크리트 휨성능 실험

㉮ 프리폼크리트 휨성능 평가 결과

○ 휨강도

프리폼크리트의 10일 휨강도는 아래 표 5와 같으며, 시멘트:규사비 5:5, 6:4 배합을 비교한 결과, 6:4 비율의 모든 배합의 휨강도가 높게 나타났다. 6:4 배합의 물/시멘트비 38%일 때와 30%일 때 비교한 결과, 물/시멘트비 30%일 때, 시멘트+규사+라텍스 배합을 제외한 모든 배합에서 휨강도가 높게 나타났다.

표 24 프리폼크리트 10일 휨강도

배합명	휨강도 (MPa)		
	5:5 배합	6:4 배합	
	W/C=38%	W/C=38%	W/C=30%
CS	3.33	4.64	5.92
CSF	3.57	5.01	5.40
CSL	4.83	6.72	6.05
CSLF	4.18	6.04	5.82
CSM	3.45	4.63	6.31
CSMF	3.77	4.51	6.78
CSML	6.34	7.52	8.18
CSMLF	6.06	7.35	9.53

C: 시멘트, S: 규사, M: 광물질 섬유, F: 방수필름, L: 폴리머(액상형)

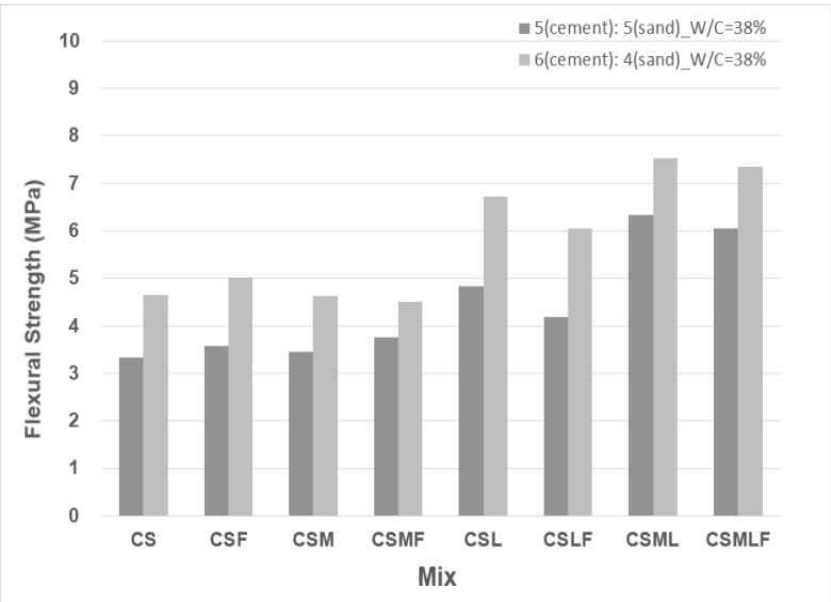


그림 90 5:5배합, 6:4배합 휨강도 결과

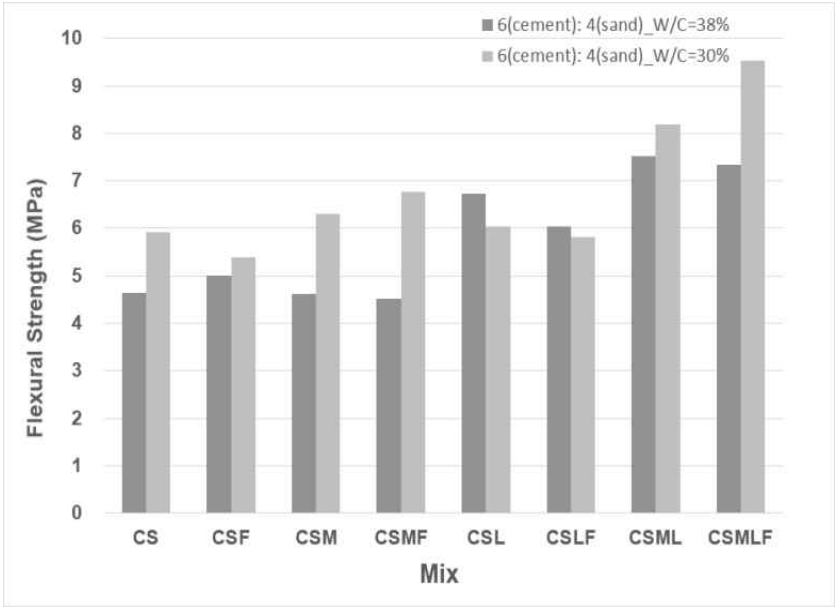


그림 91 6:4배합 W/C=38%, 30% 휨강도 결과

시멘트:규사비 5:5일 때와 6:4일 때의 변수에 따른 휨강도는 그림 92과 같으며, 휨강도 비교한 결과, 광물질섬유와 액상형 폴리머를 같이 사용한 배합에서 강도가 확연히 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 광물질 섬유와 액상형 폴리머를 혼합하여 사용할 경우 프리폼크리트의 휨성능 효과가 우수할 것으로 판단된다.

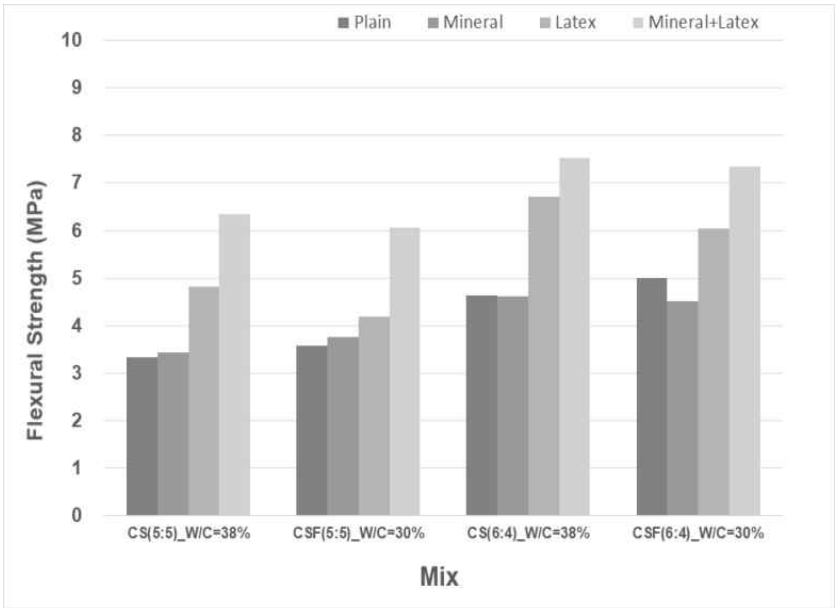


그림 92 5:5배합, 6:4배합 변수에 따른 휨강도 비교

시멘트:규사비 6:4 배합에서 물시멘트비가 38%와 30%일 때 변수에 따른 휨강도는 그림 93와 같으며, 휨강도 비교한 결과, 물시멘트비 감소에 따른 강도 증진 효과가 나타나지는 않았다. 추후 현장시험 시공시 현장사항을 고려하여 물 공급량을 결정해야 될 것으로 판단된다.

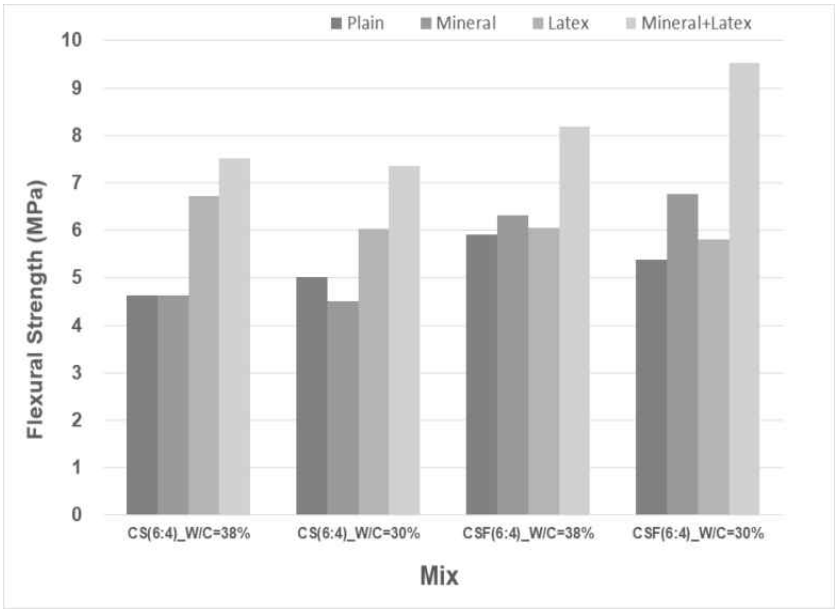


그림 93 6:4배합 W/C=38%, 30% 변수에 따른 휨강도 비교

모든 배합에서 HDPE 방수포의 유무에 따른 휨강도를 비교한 결과, 방수포 유무에 따른 휨강도의 영향은 없음을 알 수 있었다.

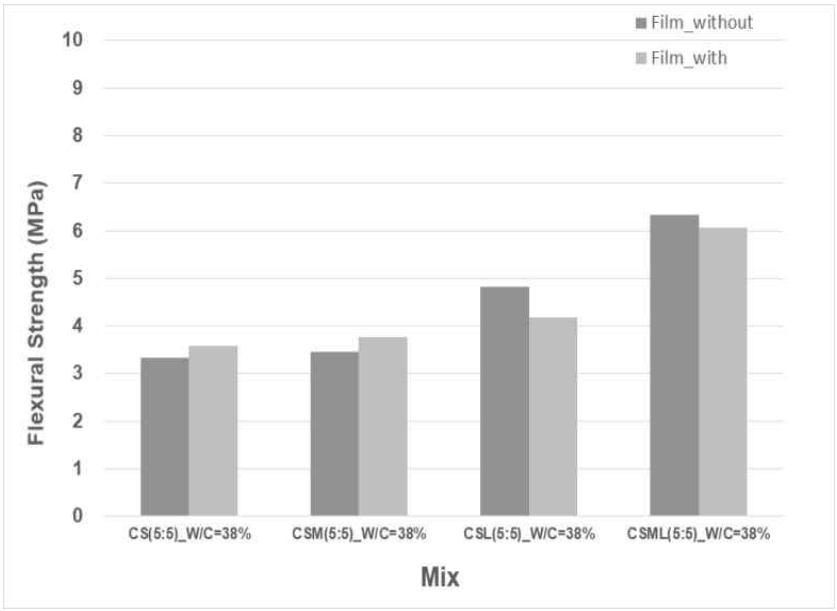


그림 94 HDPE 방수포 유무에 따른 휨강도 결과 (1)

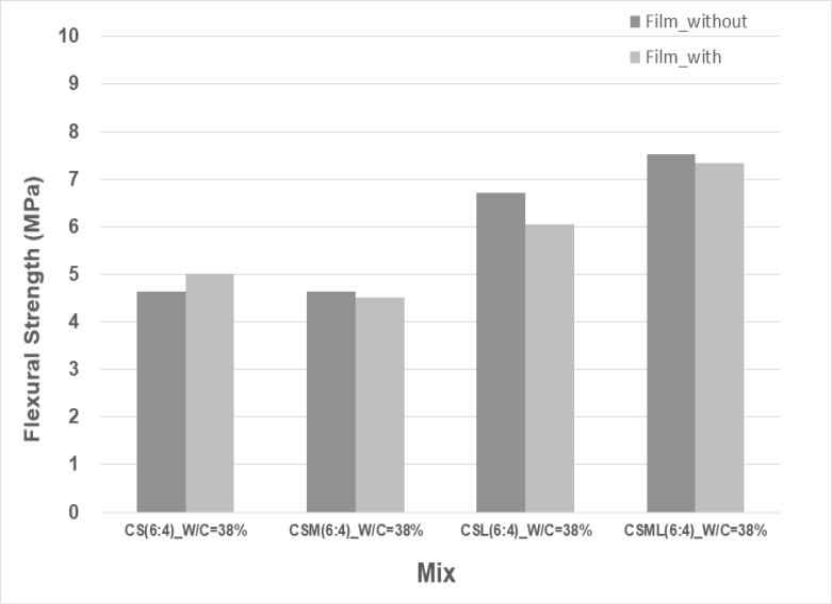


그림 95 HDPE 방수포 유무에 따른 휨강도 결과 (2)

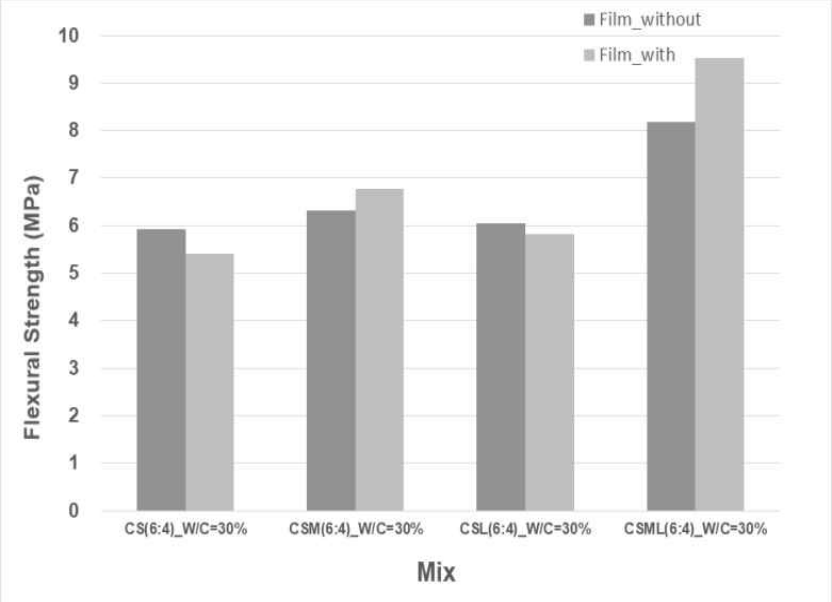


그림 96 HDPE 방수포 유무에 따른 휨강도 결과 (3)

따라서 휨강도를 비교 분석한 결과, 시멘트:규사비의 6:4 비율과 광물질섬유 월라스토나이트와 액상형 폴리머를 혼입한 배합에서 휨강도가 대체적으로 높게 나타났으며, HDPE 방수포 유무에 따른 휨강도의 영향은 뚜렷하게 나타나지 않았다.

○ 휨하중-변위

물/시멘트비 38%인 시멘트:규사비 6:4배합 프리폼크리트의 수직변위 2mm까지의 휨강도-변위곡선은 그림 97과 같다. 시험결과 액상형 폴리머를 사용한 배합에서는 휨강도 증진 효과가 있었으며, 광물질 섬유를 사용한 배합에서는 휨인성이 높게 나타났다. 액상형 폴리머와 광물질 섬유를 혼합하여 사용한 경우 휨강도 및 휨인성이 기본 배합에 비하여 우수한 휨성능 결과를 보여주었다.

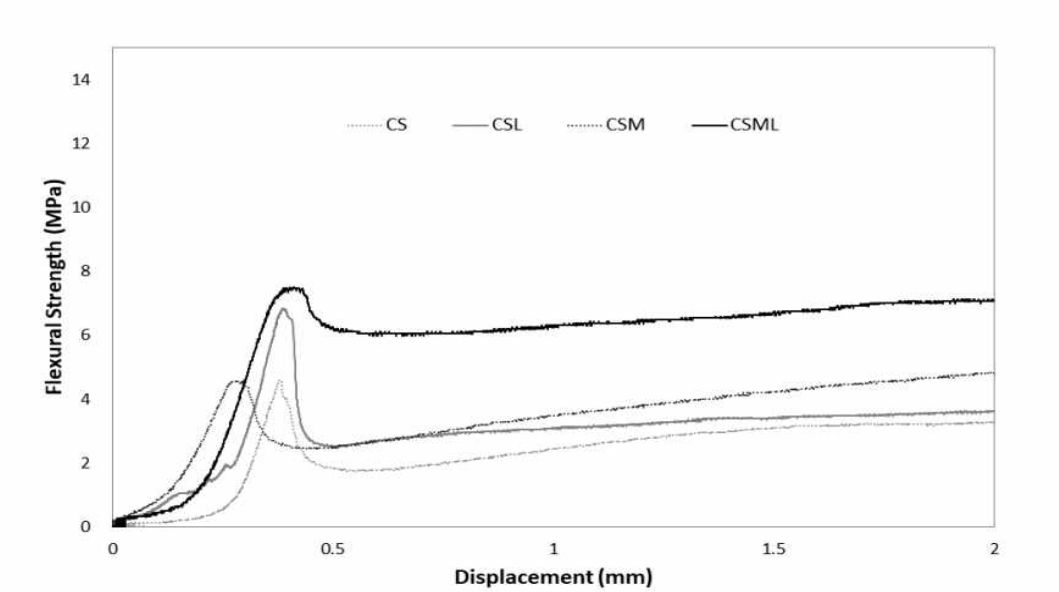


그림 97 휨강도-변위곡선

④ 프리폼크리트 품질기준 및 품질시험방법 정립

㉮ 프리폼크리트 품질기준 정립

국내에서 사용되고 있는 기존의 숏크리트 공법들은 재료손실이 크고 내구성을 기대할 수 없으며 강알칼리성 물질을 사용하여 작업자의 건강을 해칠 뿐 아니라 환경오염을 가중시키는 등의 많은 문제점이 대두되어 왔다. 이러한 문제의 해결을 위해 개발된 프리폼크리트는 국내에 연구사례가 없어 그에 따른 품질기준 또한 마련되어 있지 않다.

프리폼크리트는 시공완료 후 사면의 안전성을 확보해주는 역할로 품질이 사면 안전성에 직접적인 영향을 미치게 되므로 프리폼크리트 품질을 확보하기 위해 품질기준 및 품질시험 방법을 정립하여 성능을 향상시키는 것이 본 연구의 목적이다.

이러한 목적을 달성하기 위해 본 연구에서는 프리폼크리트와 타설 목적이 같은 숏크리트 공법의 품질관리를 비교 검토하여 적용 현장 여건에 맞는 품질기준을 정립하였다.

“국토교통부 표준시방서(2016)” 숏크리트의 현장 품질관리 사항으로 아래의 표 25을 따른다.

표 25 숏크리트의 현장 품질관리 사항

종별	관리항목		관리내용 및 시험	시험빈도	비고
일상관리	배합		배합비 및 사용량 검사	타설할 때 마다	현장배합시험 기준
	시공상태		숏크리트의 부착, 성상, 반발, 분질발생 등의 관찰	타설할 때 마다	
	두께		핀 등의 의한 확인	타설할 때 마다	
	변상		변형 및 균열 등의 관찰	매일	현장계측결과에 다라 대책을 강구
정기관리	두께		숏크리트 두께의 검측	터널연장 20m 마다	아치부 5개소 측벽좌우 각 1개소
	강도	재령 1일 강도	압축강도 시험	1회/200 ㎡	KS F 2405
		재령 28일강도	압축강도 시험 휨강도 및 휨인성시험 (보강섬유 사용할 때)	1회/200 ㎡ • 코어채취 1회/1000㎡	KS F 2408, (코어 KS F 2422)
기타	강도		단기재령 압축강도 시험 장기재령 압축강도 시험	• 공사 착수 전 • 골재원, 급결제 및 현장 배합설계가 바뀔 때마다 1회 • 필요할 때 마다	• 보 거푸집 KS F 2422
	반발률		반발률 측정		

숏크리트는 설계기준강도가 발휘되어야 하며, 리바운드율을 적게 하고, 양호한 작업성을 가지도록 관리하여야한다. 또한, 현장 코어채취로부터 압축강도 및 강섬유 보강숏크리트의 진행을 진행한다.

숏크리트와 프리폼크리트의 현장 품질관리 사항을 비교해보면, 숏크리트와 달리 프리폼크리트는 사전 제작되어 현장에서 배합비 및 사용량 검사는 시행할 필요가 없다.

숏크리트와 프리폼크리트는 소요의 강도, 내구성, 수밀성과 함께 강재를 보호하는 성질을 가지고, 품질의 변동이 적은 것이어야 한다. 현장에서 콘크리트의 품질변동을

고려해야하는 숏크리트와 달리 사전 제작으로 프리폼크리트는 품질변동을 고려하지 않는다.

프리폼크리트의 압축강도는 숏크리트와 동일하게 KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험방법 규격에 의해 실시한다. 아래의 표 26은 숏크리트의 현장 품질관리 사항을 비교 분석하여 작성한 프리폼크리트 현장 품질관리 사항이다.

표 26 프리폼크리트 현장 품질관리 사항

종별	관리항목	관리내용 및 시험	시험빈도	비고
일상관리	시공상태	숏크리트의 부착, 성상, 반발, 분진발생 등의 관찰	타설할 때 마다	
	변상	변형 및 균열 등의 관찰	매일	현장계측결과에 따라 대책을 강구
기타	강도	압축강도 시험	합성 후 진행하는 것이 적합	KS F 2405 콘크리트 압축강도 시험
		휨강도 시험	합성 후 진행하는 것이 적합	10일 휨파괴응력 3.4㎫

프리폼크리트의 강도는 영국의 콘크리트 캔버스를 참고하여 현재 시방에 규정되어 있는 숏크리트 강도 기준보다 높은 재령 10일 압축강도 40㎫ 정도의 합리적인 수준으로 향상시키는 것이 바람직하다고 판단된다.

본 연구에서는 현장타설 및 숏크리트 공법의 현장품질 기준 사항을 참고하여 프리폼크리트의 품질관리 기준에 맞게 수정 보완하였다. 품질관리 기준은 대부분 설계기준강도 및 품질기준 강도에 대한 내용으로 숏크리트 압축강도 및 휨강도 보다 높은 강도를 제시하였다. 현장에서 코어채취 후 시험을 진행하는 숏크리트 공법과는 달리 프리폼크리트의 경우 사전 제작되므로 합성 후의 강도를 측정해야할 것으로 판단된다.

㉰ 프리폼크리트 품질시험방법 정립

프리폼크리트 기술개발에 있어서 내구성은 품질평가에서 가장 중요한 부분이다. 또한, 사면보호 시공재료 및 배수로 라이닝 재료로 사용될 수 있으므로 방수성 확보와 자외선에 대한 저항성이 우수해야한다.

영국의 Concrete canvas사에서 개발한 프리폼크리트와 유사제품인 콘크리트 캔버스를 참고하여 분석해본 결과, 일반적인 OPC로 만든 콘크리트보다 두 배 이상 큰 내구성을 가졌다. 또한, 기존의 콘크리트 압축강도(24~27㎫)와 휨강도(3㎫)보다 높은 재령 10일 압축강도(40㎫)로 우수한 제품이다. 아래의 표 27은 콘크리트 캔버스의 품질평가 시험내용 및 시험방법을 나타낸 것이다.

표 27 콘크리트 캔버스의 품질평가 시험내용 및 시험방법

시험 내용	시험 방법	비고
화재 안정성	BS EN 13501-11:2007	B급
해빙시험	ASTM C 1185	200회
	BS EN 12467:2004	통과
포화건조시험	BS EN 12467:2004	통과
불투수성	BS EN 12467 :2004	통과
마모저항	DIN 52108	OPC 값의 2배와 유사
발아억제	DD CEN/TS 14416	통과
배관코팅의 충격저항	ASTM G 13	통과

본 연구에서는 콘크리트 캔버스의 품질평가 시험내용 및 시험방법을 분석하고 적용부위인 사면과 배수로에 국내 실정에 맞게 적용될 수 있는 프리폼크리트 품질시험방법을 정립하고자한다.

○ 내구성

내구성 평가에는 염해, 탄산화, 동결융해, 화학적 침식, 알칼리 골재반응 등을 주된 성능저하 원인으로 고려하며, 시공할 구조물이 갖게 될 성능저하환경을 조사하여 이에 따라 성능저하원인별 내구성 평가 항목을 선정한다.

프리폼크리트는 집중호우 발생 시 기상재해 취약지역이나 장기간 공용된 수리구조물 등의 피해 예방 및 신속한 복구를 위하여 시간적, 공간적 제약이 최소화 될 수 있고, 거푸집 설치 및 양생 과정 없이 시공이 가능한 기술이 필요하다. 또한, 사면공법에서 콘크리트에 급결제를 사용하여 초기강도를 증진시키는 공법이나 급결제 사용으로 인한 장기강도 및 내구성 저하가 많이 발생하고 있다. 프리폼크리트 기술 개발

에 있어서 내구성이 가장 중요하다. 국내·외 콘크리트 캔버스는 일반적인 OPC로 만든 콘크리트 보다 두 배 이상 큰 내구성을 가진다. BS EN 12467에 근거한 수명예측 시험에서 콘크리트 캔버스는 영국 기후에서 최소한 50년 이상 수명을 나타낸다. 콘크리트 캔버스 내부의 보강섬유들은 저온에서 우수한 성능을 보장하고 ASTM C 1185 규정의 200회 이상의 해빙시험을 수행했다.

콘크리트 캔버스는 화학적인 침범에 우수한 저항성을 나타낸다. 그리고 기존의 OPC로 제작된 콘크리트보다 다중화합물에 대한 저항성이 우수하다. 콘크리트 캔버스는 pH12.5 이상의 알칼리 반응 시험과 pH4.0 이하의 산성용액에 잠기는 시험을 3일간 성공적으로 테스트하였다. 콘크리트 캔버스는 또한 황산, 황산용액, 지반과 해수에 극히 우수한 저항성을 보여준다. 그리고 OPC에 피해를 주는 오수, 염화물, 썬텐 오일, 식물성 오일과 많은 화합물들에 대한 우수한 저항성을 보여준다.



그림 98 프리폼크리트 내구성

내구성 평가는 내구성에 영향을 미치는 성능저하원인에 대해서 시공될 콘크리트에 대하여 수행하여야 한다.

프리폼크리트의 내구성 품질평가시험 방법으로 국내 실정에 맞는 KS F 2456 급속동결 융해에 대한 콘크리트 저항 시험 방법, KS F 2545 골재의 알칼리 잠재 반응 시험 방법(화학적 방법), KS F 2546 골재의 알칼리 잠재 반응 시험 방법(모르타르봉 방법), KS F 2585 콘크리트의 알칼리 실리카 반응성 판정 시험방법 규격에 적용하여 내구성 평가를 수행할 수 있다.

○ 화재성

프리폼크리트는 배수로, 사면 외에도 쉘터 형태로 사용할 수 있다. 방공호, 산업용 또는 군용기지로도 매우 적합하고 자연재해를 겪은 난민수용시설이나 의료시설로 사용할 수 있다. 그러기 위해서는 고온에서의 기능이 탁월하여 화재를 예방할 수 있어야한다. 국내·외 콘크리트 캔버스는 화재반응 시험을 받았으며 BS EN 13501 규정에서 유로등급 B 자격을 획득하였다.

프리폼크리트가 적용할 수 있는 국내 화재등급시험은 아래 표 28와 같이 정리하였다.

표 28 국내 화재등급시험

등급	규격
불연재료 (1급)	KS F ISO 1182 (건축재료의 불연성시험방법)
	KS F 2271 (가스유해성시험)
준불연재료 (2급)	KS F ISO 5660-1 (콘칼로리미터법)
	KS F 2271 (가스유해성시험)
난연재료 (3급)	KS F ISO 5660-1 (콘칼로리미터법)
	KS F 2271 (가스유해성시험)

콘크리트 고온에 있어서는 내화시험방법으로 KS F 2257 규격에 의한 표준 화재온도곡선을 참조하여 온도영역의 범위를 정하고 각 온도에서 노출시간을 1시간을 유지한 후 냉각시켜 콘크리트 압축강도를 조사 연구하는 방법이 있으므로 프리폼크리트의 화재반응 시험방법으로 적합하다고 판단된다.



그림 99 프리폼크리트 화재성

○ 불투수성

프리폼크리트는 빗물이 사면 및 배수로에 스며드는 것을 방지하기 위해 콘크리트와 같이 견고하고 불투수성 표면을 가져야 시공이 가능하다. 콘크리트 캔버스는 탁월한 불투수성이 있고 점토에 해당되는 정도이다. 토질 공학적으로 재료의 단위면적을 통과하여 흐르는 물의 비율을 나타내는 투수계수 K를 사용하여 측정된다. 콘크리트 캔버스는 BS EN 12467 규격으로 시험하는데 시험재료는 불투수로 분류되는 평균 K값 $K = 1X10^{-8} m/s$로 그 이상의 불투수성을 나타내야 한다.

○ 환경적용

사면공법에서 일반적으로 적용하는 숏크리트 공법을 사용하는데, 특히 콘크리트를 뿜어붙일 때 발생되는 반발재로 인한 오염 및 폐기물 발생 등의 환경문제가 발생한다. 콘크리트 캔버스는 저탄소 제품을 사용하여 환경적인 이익을 제공한다. 콘크리트 캔버스에 포함된 시멘트는 제한적인 알칼리 보존성이 있으며 수중에서의 수명을 덜 감소시키며 대부분의 콘크리트와 달리 콘크리트 캔버스는 물에 잘 씻겨 없어지지 않는다.



그림 100 프리폼크리트 환경적용성

개발하고자하는 프리폼크리트 또한 환경문제 확인이 필요하다. 규격 KS F 2545 골재의 알칼리 잠재 반응 시험 방법(화학적 방법), KS F 2546 골재의 알칼리 잠재 반응 시험 방법(모르타르봉 방법)을 통해 보존성을 확인하고, 환경친화적으로 사용할 수 있는 방안 마련이 중요하다.

본 연구에서는 콘크리트 캔버스의 특성을 분석하여 프리폼크리트에 적용할 수 있는 시험방법을 조사하고 정립하였다. 콘크리트 캔버스의 성능을 평가하기 위한 시험에서는 화재 안정성, 해빙시험, 포화건조시험, 불투수성 등을 진행하였고 시험결과를 반영하여 품질시험 방안을 마련하였다.

콘크리트 캔버스의 성능을 평가하기 위해 진행했던 시험방법 중 국내 규격을 조사하여 수정 및 보완하였고 국내 실정에 맞게 시험방안을 마련하였다. 품질시험방법 정립을 통해 프리폼크리트의 명확화 및 품질의 안정화에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

(나) 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 적용기술 개발

① 프리폼크리트 거치형 적용방법 개발

프리폼크리트는 적용하고자 하는 상황에 따라 거치형과 앵커형으로 구분되며, 각 상황에 맞도록 적용방법을 달리하여 사용하여야 한다. 거치형 적용방법은 수로, 사면 등 일반적인 프리폼크리트 적용 시 사용되며 가장 기본적인 시공방법이라 할 수 있다. 앵커형 적용방법은 제방과 같은 콘크리트 구조물의 부분 보수 시 프리폼크리트를 적용할 수 있는 시공방법이다.

프리폼크리트는 공장에서 생산할 때 롤 형태로 가공되어 나오기 때문에 시점부에서 종점부까지 롤 형태를 풀어 배치하는 방식으로 설치된다. 프리폼크리트의 배치는 종방향과 횡방향 2가지 형태로 구분할 수 있으며, 일반적으로 사면 공사에서는 횡방향 배치를 적용하고, 수로공사에서는 상황에 따라 종방향, 횡방향 설치를 선택하여 적용한다.

횡방향 설치는 사면 방향을 따라 프리폼크리트를 배치하여 설치하는 것으로써, 사면 상단에 근입을 통해 프리폼크리트를 고정한 후 사면하단 또는 반대편 사면 상단까지 배치하며 시공한다. 종방향 설치는 폭이 좁은 수로 공사에서 주로 사용하는 방식으로써, 수로의 시점부에서부터 종점부까지 유수 흐름의 방향대로 프리폼크리트를 배치하여 설치한다. 수로의 폭이 프리폼크리트 제품 폭보다 넓은 경우에는 종방향으로 연결하여 시공하기도 하나, 일반적으로는 폭이 넓은 경우에는 횡방향 설치를 주로 적용하고 있다.

프리폼크리트의 적용방법을 개발하기에 앞서 해외기술인 콘크리트 캔버스 기술을 국내 적용한 대상지를 조사하여 시공방법 및 문제점을 검토하였다.

㉮ 기존 기술의 개선점 검토

현재 콘크리트 캔버스 (국내 도입 명칭 콘크리트 카펫)를 국내 수입하여 일부 현장에 적용하고 있으며, 시공현장 답사를 통해 개선사항을 검토하고자 하였다.



그림 101 강원도 인제군 콘크리트 캔버스 시공현장

강원도 인제군에 시공된 콘크리트 캔버스는 보강토옹벽 상부에 도수로를 개설하기 위한 용도로 적용되었다. 폭은 약 1m 가량 되었으며, 종방향으로 배치하여 설치한 것을 확인할 수 있었다. 콘크리트 캔버스 위에 식생매트를 추가 배치하여 시공방법을 정확하게 확인하기에는 어려움이 있었으나, 몇 가지 문제점을 발견하였다.



그림 102 강원도 인제군 콘크리트 캔버스 시공현장 문제점

보강토옹벽 상단에 설치함에 따라 한쪽 사면은 앵커로 고정한 것으로 추측되나, 반대쪽은 보강토옹벽 블록에 콘크리트 못을 사용하여 고정시키는 방식을 사용하였다. 보강토옹벽이 높이가 일정치 않고 계단식으로 변화함에 따라 콘크리트 캔버스도 그에 맞춰 시공되었으나, 굴곡이 지고 단차가 지는 부분에서 보강토 블록과 캔버스 사이에 들뜸이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

콘크리트 캔버스의 마감부는 내부 재료의 유실방지를 위해 일정부분을 접은 후 고정핀으로 고정한 것을 확인할 수 있었으며, 이러한 처리로 인해 미관상 깔끔한 인식을 줄 수 있었다. 그러나 시공과정에서의 인위적인 처리인 듯 보이는 모서리부분 파손은 앞서 재료 이탈을 위해 마감처리를 하는 방식과 다소 맞지 않는 것으로 보인다.

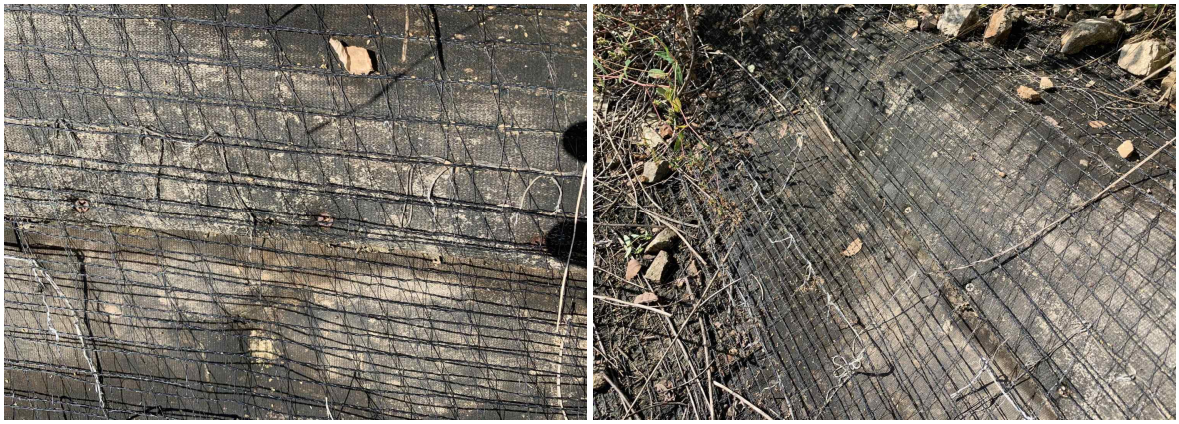


그림 103 강원도 인제군 콘크리트 캔버스 연결부 처리

수로의 폭은 약 1m 가량 되었으나, 콘크리트 캔버스 1개 제품으로는 설치 폭을 만족하지 못하여 2개를 종방향으로 설치하였으며, 연결부는 실란트 등의 접착제와 나사못을 이용하여 시공하였다. 나사못은 약 10~15cm 정도의 간격으로 매우 촘촘하게 설치되어 있는 것으로 보아 실란트로 인한 연결은 다소 연결성능이 부족한 것으로 판단된다. 프리폼크리트 연결부에도 접착제로 끝내는 것이 아닌 연결핀을 이용해 추가적인 연결성능 보강을 해주는 것이 좋을 것이라 생각된다.



그림 104 강원도 양양군 콘크리트 캔버스 시공현장

양양군 시공현장은 도수로 일부를 콘크리트 캔버스로 구성한 형태였으며, 기존 콘크리트 도수로의 파손으로 인해 보강을 위해 적용한 것으로 판단된다. 앞서 인제군 현장과 마찬가지로 수로 흐름방향을 따라 종방향 설치를 적용하였으며, 시점부와 종점부를 명확히 파악할 수 있었다.

시점부의 경우 기존 콘크리트 수로 위로 캔버스를 배치한 후 시멘트를 발라 틈새를 막으려 한 것으로 보이며, 시공 후 시간이 지남에 따라 그 부분이 파손되어 수로와 캔버스가 분리되어 있는 것을 확인하였다.



그림 105 강원도 양양군 콘크리트 캔버스 시공현장 문제점

시공된 콘크리트 캔버스는 일부분이 파손된 상태였으며, 지반과 캔버스 수로 간의 이격이 발생하여 이동 시 흔들리는 상황이었다. 설치된 현장이 사람의 접근이 어렵고 별도의 외력이 작용할 수 없는 곳이기 때문에 외력에 의한 파손이 아닌 시공과정에서의 문제가 있던 것으로 추측된다. 겨울에 시공하였거나 하여 건조하는 과정에서 얼고 녹는 과정으로 인해 파손되었을 가능성이 있는 것으로 예상되며, 이 점을 주관기관과 함께 상의하여 보완책을 마련할 예정이다.



그림 106 강원도 양양군 콘크리트 캔버스 시공현장 파손

㉯ 거치형 프리폼크리트 적용방안 개발

거치형 적용방식의 시공순서는 설치하고자 하는 지반의 평탄화, 시점부 고정, 프리폼크리트 배치, 연결부 체결, 종점부 마감, 물 분사로 진행된다.

수로 공사의 경우 상시 물이 흐르기 때문에 침식을 주의하여야 하며, 프리폼크리트 시공 후 지반과의 틈새로 물이 흐르지 않도록 하여야 한다. 따라서 프리폼크리트와 지반 사이의 공간을 최소화해야 하므로 기초 지반을 최대한 굴곡 없이 평탄하게 하는 것이 중요하다. 수로 형태의 터파기 진행 후 가능하다면 롤러 등의 장비로 다짐 및 평탄화 작업을 해주는 것이 좋으며, 불가할 경우 최대한 다짐 및 잡석 등의 장애물을 제거해주는 것이 좋다.

지반의 평탄화 과정이 마무리 되면 프리폼크리트를 고정하기 위한 시점부 터파기를 수행하여야 한다. 터파기는 프리폼크리트가 충분히 근입될 수 있도록 하여야 하며, 고정핀이 되메우기 후 노출되지 않도록 깊이를 최소 20cm 이상 실시할 것을 권장한다. 시점부는 수로 사면 끝에서 최소 15cm 이상 이격해서 배치하도록 하며, 자재는 시점부 근입 길이까지 고려하여 사면 길이보다 50cm 이상 여유를 가지는 것이 좋다.

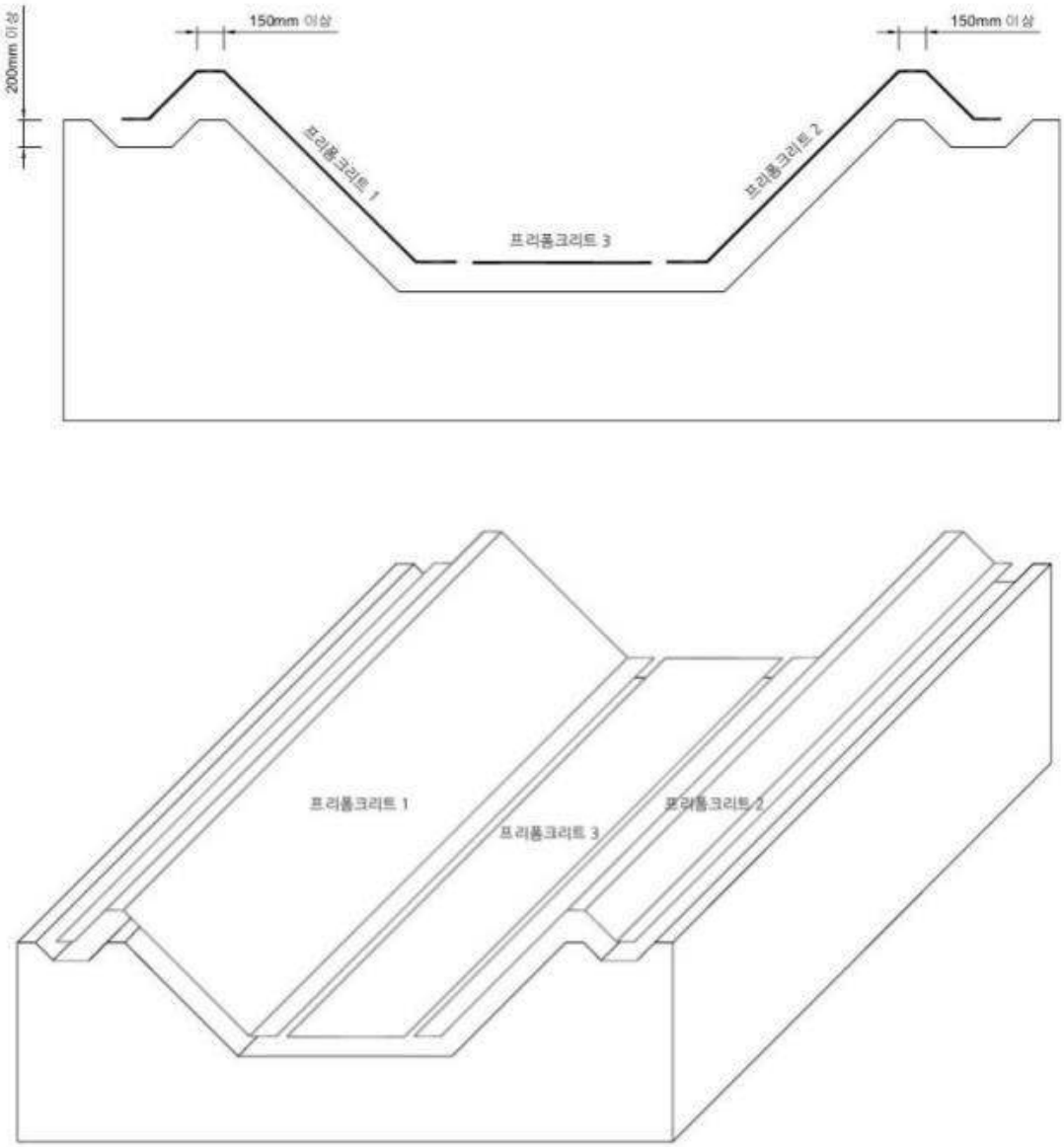


그림 107 프리폼크리트 종방향 배치 방법

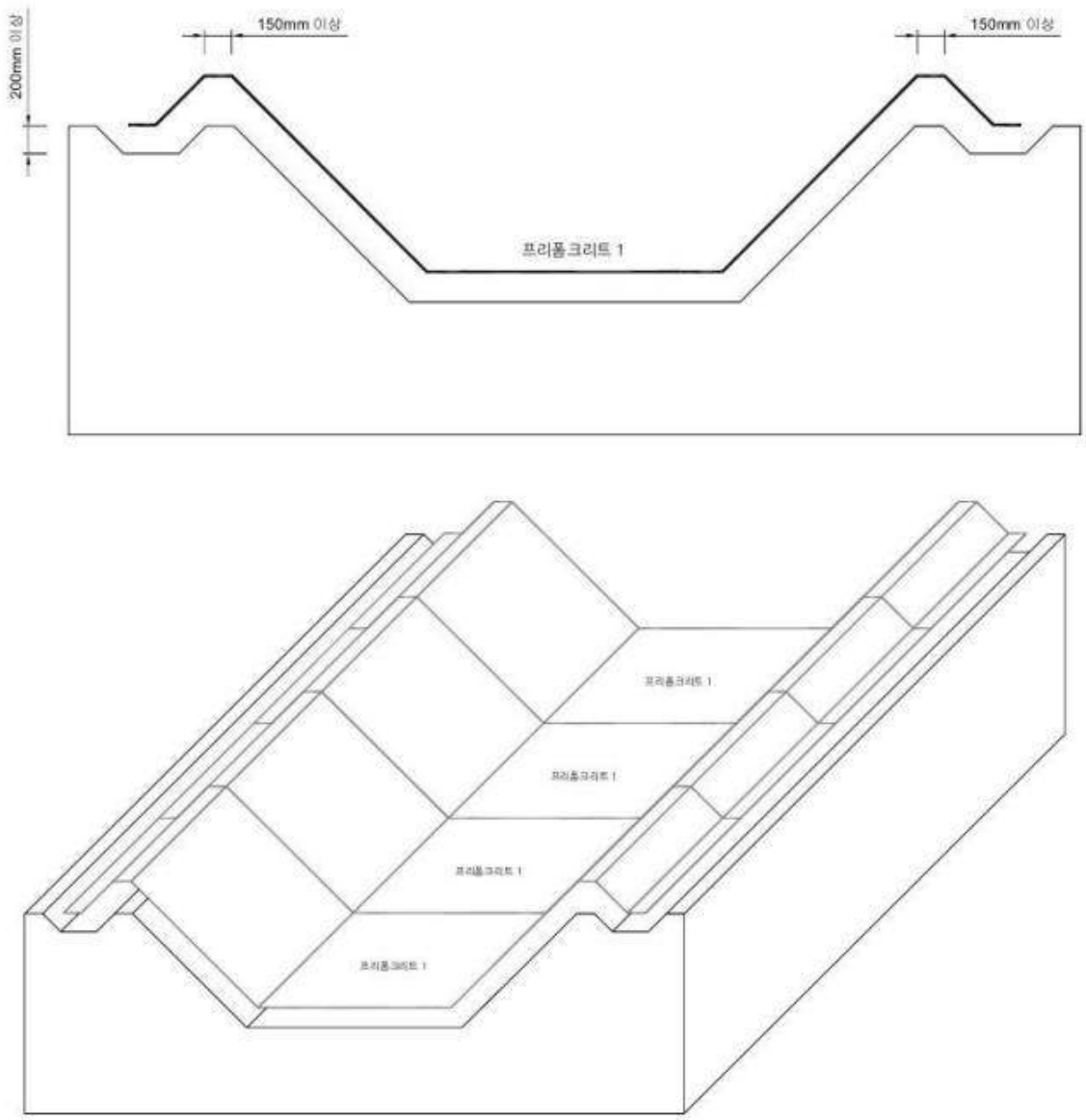


그림 108 프리폼크리트 횡방향 배치 방법

시점부에서 프리폼크리트를 고정할 고정핀은 일반적인 철근을 가공하여 사용해도 무방하며, 가급적이면 지반과의 결속 강화를 위해 갈고리 형태의 핀을 사용하기를 권장한다. 고정핀의 근입깊이는 지반 상태에 따라 달라지겠으나 대략 250~380mm 이상 근입하는 것이 좋으며, 핀의 설치간격은 종방향 배치는 약 2m, 횡방향 배치는 각각의 프리폼크리트 양 끝단마다 배치한다.

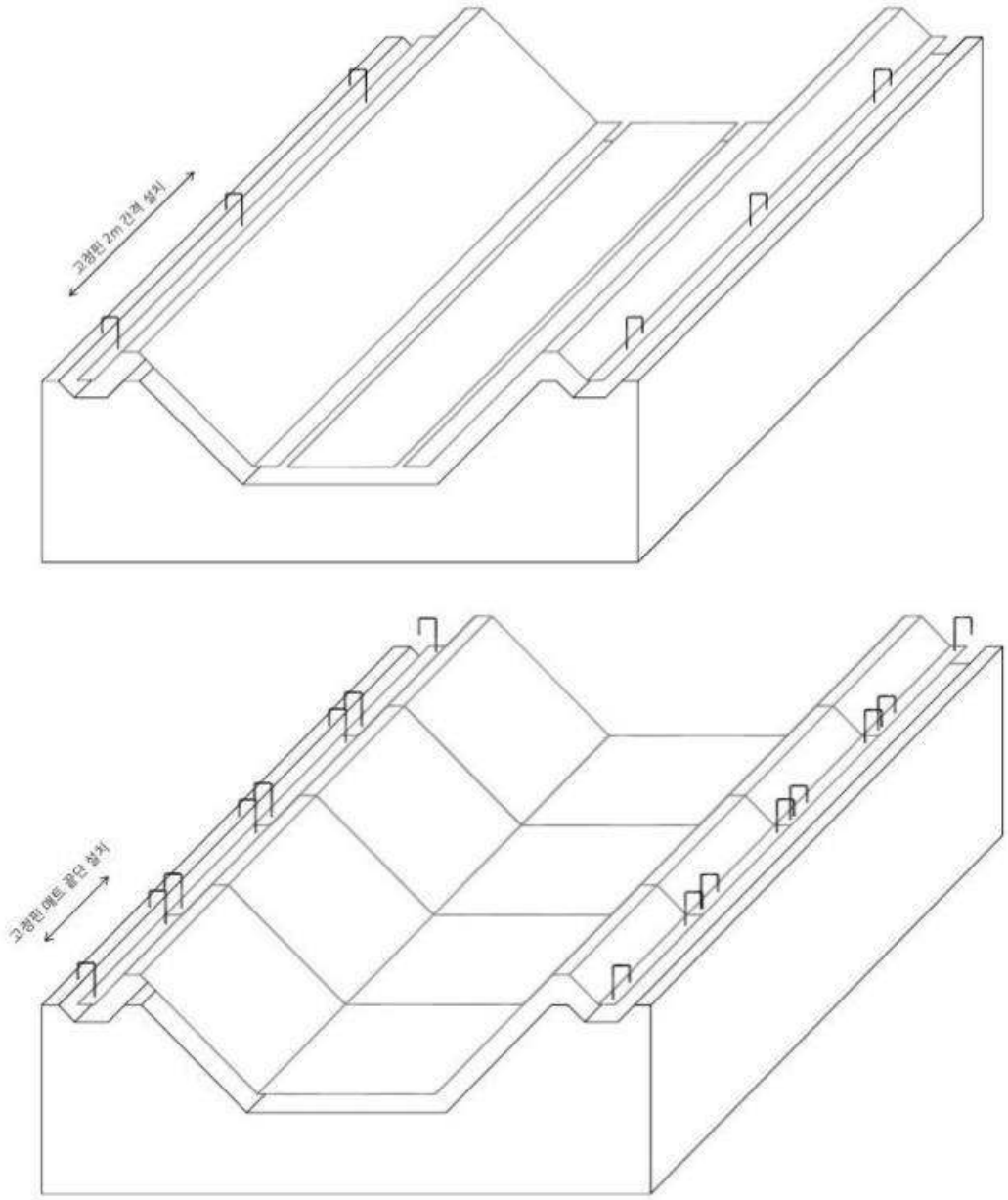


그림 109 프리폼크리트 배치방향에 따른 고정핀 설치 방법

고정핀 설치 후에는 터파기부를 되메우기하여 프리폼크리트 시점부를 근입시켜야 하며, 되메우기 후 충분한 다짐작업을 수행하여 근입된 프리폼크리트가 이탈되지 않도록 하여야 한다.

시점부 고정 후 프리폼크리트를 수로 사면에 맞게 배치하되 횡방향 배치인지 종방향 배치인지에 따라 그 방법에 일부 차이가 있다. 횡방향 배치를 적용할 경우에는 반대편 수로 사면도 시점부와 동일하게 터파기 후 근입하여야 하므로 사전에 설치 길이를 산정하여 미리 절단해두어야 한다. 수로의 좌/우 사면 상단이 시점부가 되므로 프리폼크리트를 수로를 따라 배치한 후에 일괄적으로 고정핀 설치 및 되메우기를

실시하는 것이 좋다.

종방향 배치의 경우에는 수로 길이를 따라 프리폼크리트를 배치해야 하므로, 롤 형태의 프리폼크리트를 수로 길이에 맞게 풀어 배치하고 모든 배치가 끝난 후에 고정핀 설치 및 되메우기를 실시하는 것이 좋다.

일반적으로 수로 공사는 설치 폭과 길이가 길기 때문에 프리폼크리트 한 제품으로 전체를 설치할 수 없다. 따라서 프리폼크리트 연결은 필수적이며, 연결부에서의 파손이나 침투가 발생하지 않도록 해야 한다. 종방향 배치와 횡방향 배치 모두 연결 방식은 같으며, 앞서 1차년도에 개발했던 형태를 적용한다. 프리폼크리트는 콘크리트 캔버스와 다르게 방수층인 PVC층을 보다 연장하여 같은 층끼리 접착하도록 하여 접착성능을 향상시켰으므로 이 점을 고려하여 배치해야한다.

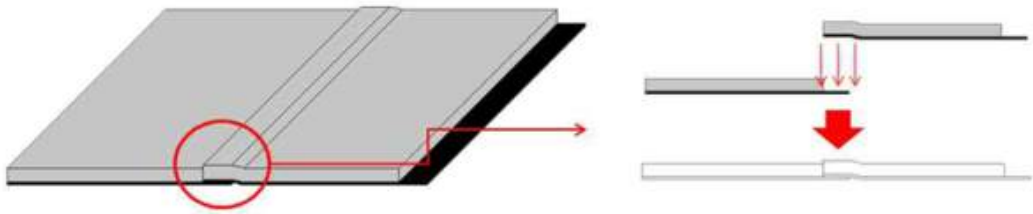


그림 110 프리폼크리트 연결방식

연장되는 PVC층을 10cm 이상 되도록 하여 연결부분에서 충분히 접착될 수 있도록 해야 한다. 콘크리트 캔버스의 경우 연결부분에서 10cm 가량 겹쳐서 시공하고 있으므로 접착력이 보다 우수한 프리폼크리트는 더 감소시킬 수 있으나 안정성을 고려하여 10cm 가량 접촉하도록 한다. 연결부에서 접착제가 굳는 데까지 시간이 소요되므로 횡방향 배치의 경우에는 시점부에서부터 종점부까지 순차적으로 연결부 접착을 수행한다. 종방향 배치의 경우 수로 길이에 따라 연결부 길이가 길어질 수 있으므로 시점부에서부터 다음 연결부까지 한 번에 접착을 수행한다.

연결부의 연결성능을 보다 확장시키기 위해 연결핀을 추가로 설치할 수 있다. 연결핀은 연결부 10cm 폭 내에 설치해야 하며, 약 20cm 간격으로 연결핀을 설치하는 것이 좋다.

거치형 적용방식의 종점부는 현장상황에 따라 그 방식이 차이가 있다. 수로 공사는 종점부가 콘크리트 구조물과 접하는 경우가 많으므로 프리폼크리트 배치 시 콘크리트 구조물이 있다면 해당 구조물과 연결하여 마무리하는 것이 좋다. 콘크리트 수로와 접하는 경우에는 프리폼크리트를 해당 수로 상부에 덮어지도록 배치하여야 하며, 경우에 따라 콘크리트 못 등을 이용하여 결속하거나 시멘트를 타설하여 일체화할 수 있다. 이때 프리폼크리트의 마감부는 내부 시멘트 이탈 방지를 위해 5cm 이상

접어서 연결 못을 설치해야 한다. 몰탈이나 시멘트로 마감처리를 할 경우에는 프리폼크리트의 물을 분사한 이후 또는 충분히 물을 흡수한 후에 바로 진행하는 것을 권장한다.

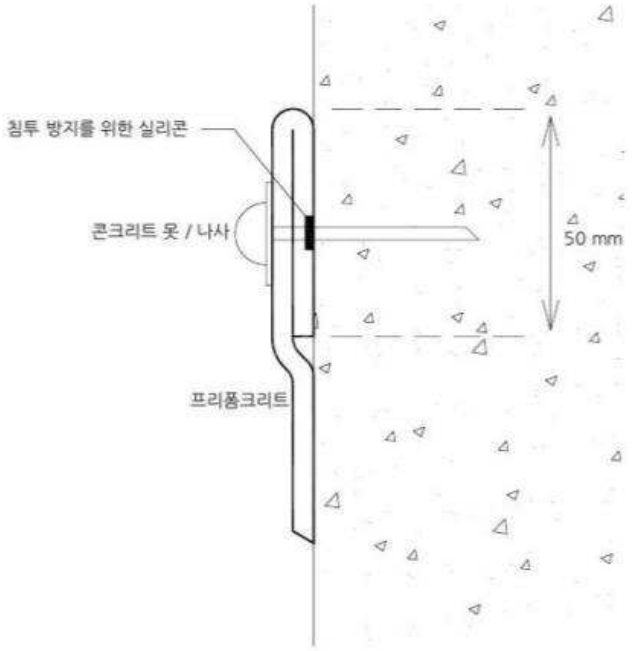


그림 111 프리폼크리트 콘크리트 체결 방법

종점부에 콘크리트 구조물이 없다면 시점부와 마찬가지로 터파기 후 근입하는 방식을 적용하거나 콘크리트 구조물 마감처리와 동일하게 5cm 이상 접은 후 지반에 고정핀을 설치하는 방식을 적용할 수 있다.

② 프리폼크리트 앵커형 적용방법 개발

앵커형 프리폼크리트 적용은 콘크리트 구조물의 부분 보수 시에 해당하며, 사면 및 수로에 거치하는 형태가 아닌 콘크리트 벽체에 앵커를 이용하여 부착하는 방식이다. 주로 하천 제방의 균열로 인한 침투가 발생할 우려가 있는 경우 이를 보완하기 위해 사용하고 있다.

기본적인 큰 방식은 거치형 프리폼크리트와 유사하나, 시점부와 종점부가 구분되는 거치형 적용방법과 달리 앵커형은 구분 없이 모든 면이 동일한 방식으로 설치하는 것이 특징이다. 모든 면은 프리폼크리트를 접어 약 5cm 가량 겹치도록 하여 마감처리 하여야 하며, 앵커와 체결 시 최소 직경 15mm 이상의 앵커 플레이트 또는 와셔를 같이 사용하여 넓은 면이 고정되도록 해야 한다. 이는 콘크리트 구조물이 아닌 사면보강 공사가 진행되는 현장에서도 동일하게 적용된다. 단, 앵커 플레이트의 경우 사각형과 같이 각이 진 형태로 구성하게 되면 모서리에 의해 프리폼크리트가 파손될 우려가 있으므로 가급적 원형의 플레이트를 사용할 것을 권장한다.

앵커에 의해 부착되는 적용방법의 특성상 프리폼크리트를 배치하기 이전에 앵커볼트의 시공이 먼저 진행되어야 한다. 프리폼크리트는 앵커 설치 위치에 맞게 현장에서 미리 구멍을 내어 앵커볼트에 삽입하는 것이 효율적이며, 얇은 두께의 프리폼크리트 시공 시에는 사전 가공 없이 앵커볼트를 이용하여 배치와 동시에 구멍을 내어 결속할 수도 있다. 또한 앵커와 프리폼크리트 사이에는 물의 침투를 방지하기 위해 실리콘 등의 방수제를 충분히 도포하여야 한다.

콘크리트 구조물이 아닌 사면에 프리폼크리트를 시공할 경우에는 기본적으로 거치형 적용방식을 사용하며, 사면의 길이가 길어질 경우에는 락볼트를 이용하여 사면과 프리폼크리트를 결속시켜주는 것이 필요하다. 락볼트는 지반 암질에 따라 다소 차이가 있을 수 있으나 100mm 이상 근입하는 것을 권장하고 있으며, 약 2m 간격으로 프리폼크리트 연결부분에 시공한다.

앵커형 적용방식에서도 프리폼크리트간의 연결은 거치형과 동일하게 진행한다. 단, 지반이 콘크리트일 경우에는 연결핀을 콘크리트용 나사못을 이용하는 것이 좋다.

③ 프리폼크리트 연결 및 정착기술 개발

프리폼크리트의 연결부는 전체적인 시공과정에 있어 가장 중요한 부분이므로, 연결을 효과적으로 수행할 수 있는 연결기술의 개발이 필요하다. 프리폼크리트 연결기술 개발에 앞서 해외기술인 콘크리트 캔버스의 연결기술을 조사하였다.

㉮ 기존 기술의 연결방법 조사

콘크리트 캔버스의 연결부 구성은 기본적으로 겹침 이음 방식을 사용한다. 최소 10cm 이상 서로 겹쳐지도록 배치한 후 실란트 및 연결핀을 사용하여 결속하고 있으며, 그 외에 접착제를 이용한 방식과 열 접합을 이용한 방식 등 다양하게 적용하고 있다.

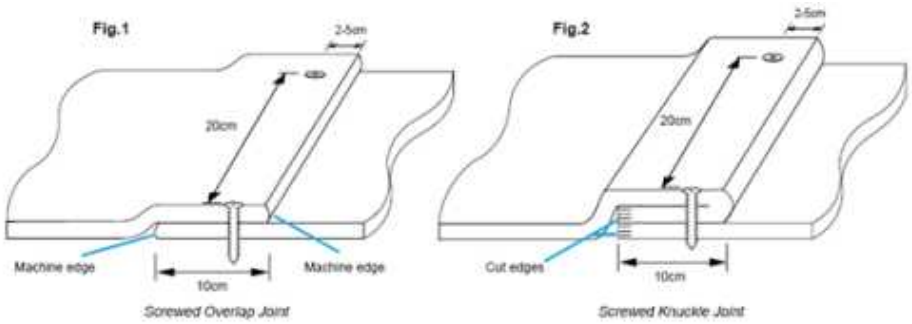


그림 112 콘크리트 캔버스 기본 연결방식

연결핀의 경우 자재 끝단에서부터 2~5cm 가량 떨어진 위치에 설치하고 있으며, 서로 겹쳐지는 연결부인 10cm 이내 공간에 설치하도록 하고 있다. 연결핀은 서로 20cm 간격을 두고 설치하며, 실란트를 사용할 경우에는 실란트 도포 위치에 연결핀을 설치하여야 한다.

콘크리트 캔버스는 연결부를 겹쳐서 구성하는데, 이때 방수층과 부직포 면이 맞닿게 되어 서로 다른 재질을 접착제나 실란트로 부착하다보니 그 부착력이 떨어지는 문제가 발생하고 있다. 이 점을 보완하기 위해 보다 강한 연결력이 필요한 경우에는 연결부의 하부 자재를 안쪽으로 한번 접어 같은 방수층끼리 맞닿게 하여 부착하는 방식도 사용하고 있다. 그러나 콘크리트 캔버스의 두께가 보통 5~10mm 가량 되기 때문에 접어서 겹칠 경우 3배가량 연결부분의 두께가 상승하게 되어 단차가 생기는 단점이 있다.

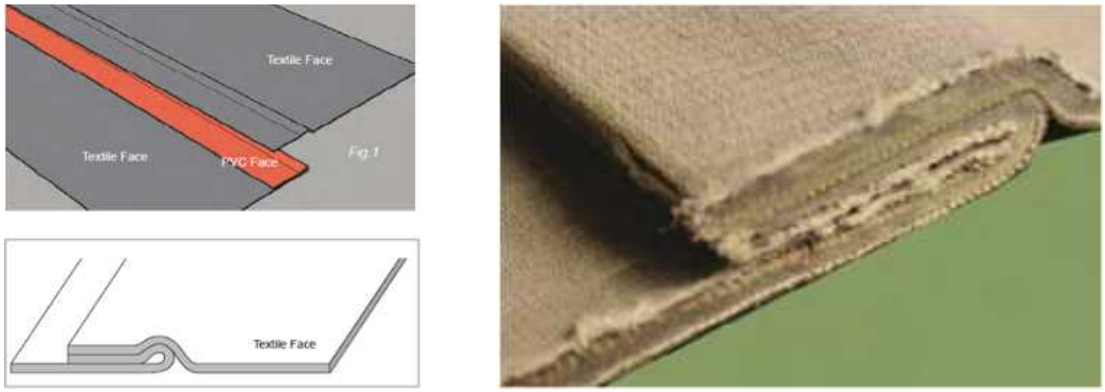


그림 113 콘크리트 캔버스 방수층 접합 방식

방수층의 경우 일반적으로 PVC재질을 사용하고 있기 때문에 열에 약하다는 특징이 있다. 이를 응용하여 방수층끼리 맞닿는 연결방식 사용 시 접착제를 사용하지 않고 PVC면을 일부 녹여 그대로 접착하는 방식을 사용하기도 한다. 별도의 열 접합 장치를 사용하여 6m/분 속도로 접합이 가능하며, 직접적으로 두 자재를 일체화시키는 방식이므로 연결력과 침투방지 성능이 가장 우수한 방법이다.

다른 방식으로는 콘크리트 캔버스 자체가 시멘트로 이루어져 있으므로 연결부에 몰탈 또는 시멘트를 추가 도포하여 각 자재를 일체화시키는 방식이 있다. 상하부 자재 모두를 덮도록 몰탈을 타설하고 건조시키는 방식으로 진행하며, 캔버스 자재의 두께에 따라 그 양을 조절하여 시공한다. 이러한 방법은 연결부마다 몰탈로 구성된 단차가 생기게 되고, 몰탈이 건조되는데 시간이 소요되기 때문에 일반적으로 잘 사용하지 않는다.

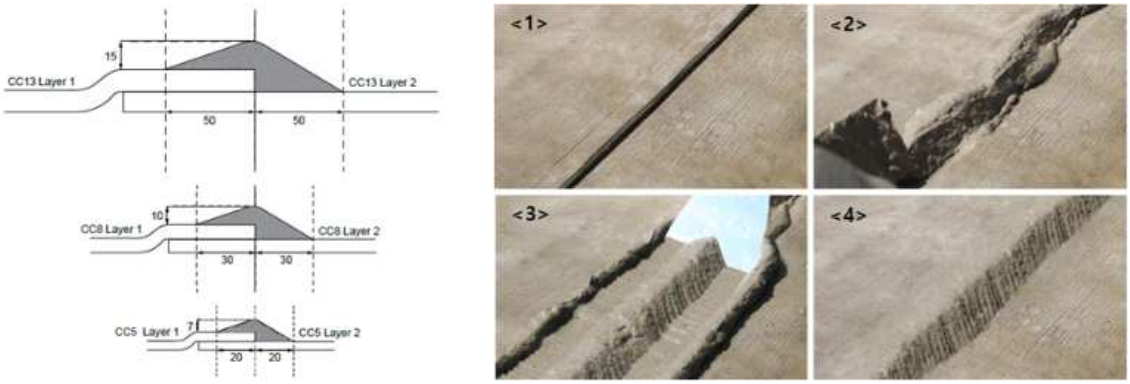


그림 114 콘크리트 캔버스 몰탈 접합 방식

연결부에 설치하는 연결핀은 별도의 핀이 아닌 일반적인 스테인레스 재질의 못 또는 나사못을 사용하고 있다. 연결핀은 단순히 겹쳐지는 자재를 연결하는 목적으로 사용되는 것을 확인할 수 있다. 연결핀의 경우 20cm 간격으로 설치하고 있으며, 자재 끝단에서부터 2~5cm 이상 이격하여 설치하도록 권장하고 있다. 현장 상황에 따라

연결부에 연결핀을 2열로 설치하는 경우도 있다.



그림 115 콘크리트 캔버스 연결핀

연결부에 도포하는 실란트는 연결핀 시공 전에 사용해야 하며, 연결핀 직경을 고려하여 약 6~9mm 폭으로 설치한다. 연결핀을 2열로 배치할 경우에는 실란트 또한 2열로 구성해야하며, 연결핀의 직경이 클 경우 실란트 도포 폭 또한 동일하게 증가해야 한다. 실란트 적용 시 연결핀은 실란트가 배치된 위치에 맞춰 설치해야하며, 이는 연결핀 시공에 의해 발생하는 캔버스의 공극을 실란트로 채우기 위함이다. 연결핀은 두 자재 모두를 관통해야 하므로 25~30mm 길이의 스테인레스 나사못을 사용한다.

표 29 콘크리트 캔버스 연결방식 비교

연결 방식	연결력 (5점)	침수방지 성능 (5점)	시공관련				시공법
			속도	난이도	필요장비	적용상황	
연결핀	3	1	상	하	드릴	일반적인 상황	25~30mm 연결핀 20cm 간격 설치
실란트 +연결핀	3	2	중	하	코킹건 드릴	침수방지 요구될 때	실란트 도로 후 25~30mm 연결핀 20cm 간격 설치
몰탈	4	4	하	중	몰탈	실란트로 부족할 때	그라우트 가이드에 따라 최소두께 타설
열 접합	5	5	상	중	열 접합장치	고하중이 예상될 때	자동접합 기계 사용

㉰ 프리폼크리트 연결장치 개발

콘크리트 캔버스의 연결방식을 참고하여 프리폼크리트의 연결부를 구성하고자 한다. 프리폼크리트는 콘크리트 캔버스와 다르게 연결부에서 자재 간에 겹침 이음을 최소화하였고 PVC방수층을 연장하여 같은 재질끼리 접착하도록 하였기 때문에, 일반적인 나사못이 아닌 별도의 연결장치를 사용하고자 한다. 아이디어 구상을 통해 몇 가지 연결장치 안을 도출하였다.

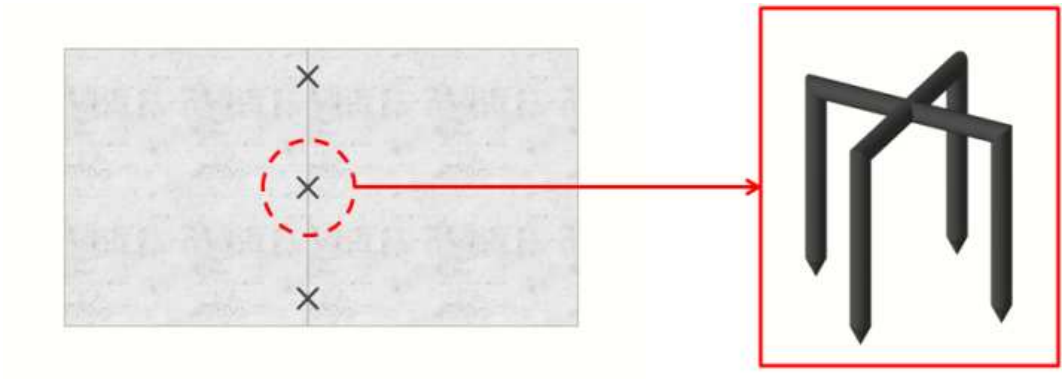


그림 116 프리폼크리트 연결장치 1안

프리폼크리트는 겹침 이음이 없고 시멘트 층이 바로 붙어 접합되기 때문에 일반 나사못을 사용할 경우 두 자재 모두를 관통할 수 없다. 따라서 좌/우로 배치되는 프리폼크리트에 모두 체결되는 연결핀을 사용하고자 하였으며, 위의 1안은 X형태로 구성된 핀을 프리폼크리트 접합부를 중심으로 하여 설치하도록 하였다. 접합부 중심에 배치된 연결핀은 양 옆으로 2곳에 프리폼크리트를 관통하여 결합하게 되므로 두 자재를 서로 연결시킬 수 있게 된다. 이러한 연결핀을 앞서 정의한대로 20cm 간격으로 설치하여 프리폼크리트를 연결하고자 한다.

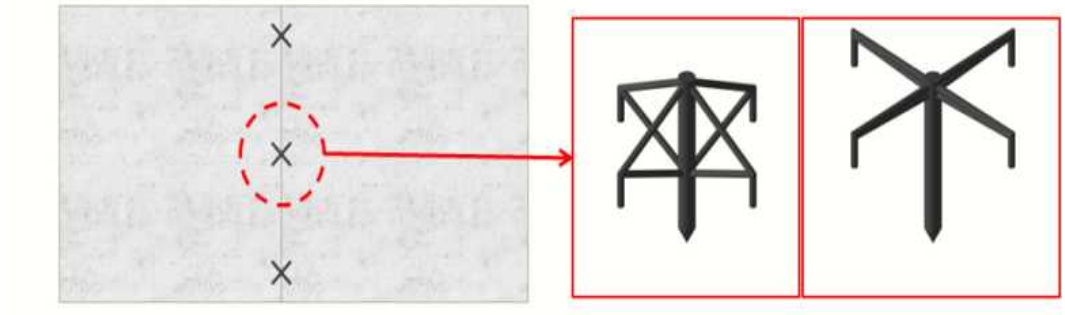


그림 117 프리폼크리트 연결장치 2안

2안은 앞서 1안과 마찬가지로 좌/우 프리폼크리트를 X자 형태로 결속시키는 것은 같으나 1안이 연결핀을 4곳 설치해야 한다면 2안은 한 곳에 핀을 설치하고 핀에 결

합된 갈퀴 형태로 연결하고자 하는 방식이다. 갈퀴 형태는 접었다 폈다 할 수 있도록 되어 있으며, 핀을 설치하면서 좌/우 프리폼크리트에 압착되어 삽입되도록 하였다. 단, 갈퀴가 프리폼크리트의 내부 깊숙이 삽입되기 위해서는 수화 작업 전 설치가 되어야 하고, 완전한 관통이 아닌 표면에 삽입될 경우 연결성능을 온전히 구현할 수 없다는 단점이 있다.

연결핀을 이용하여 프리폼크리트를 연결하는 경우 핀 설치 위치에서 굴곡이 발생하거나, 핀 설치로 인한 프리폼크리트 손상이 발생하여 물의 침투가 발생할 수 있다는 의견이 제기되었다. 이를 보완하기 위해 단순히 연결핀을 활용한 연결이 아닌 별도의 연결장치를 만들고자 하였으며, 다음과 같은 방안을 구상하였다.

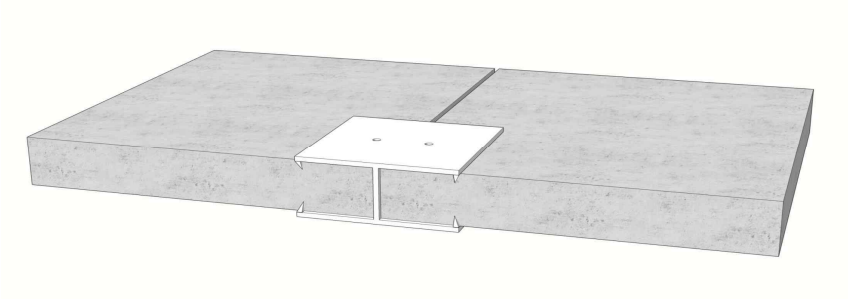


그림 118 프리폼크리트 연결장치 제안

H형강과 유사한 형태를 가진 연결클립을 프리폼크리트 연결부에 배치하고 플랜지 내부 공간에 프리폼크리트 자재를 삽입하는 방식으로 설치한다. 연결장치의 끝단은 갈퀴 형태의 돌기가 일정간격으로 생성되어 프리폼크리트 표면의 패브릭 재질에 결착됨으로써 이탈을 방지하도록 하였다. 연결장치는 최소한의 크기로 제작하여 시공자로 하여금 운반의 어려움이 없도록 하고자 하며, 프리폼크리트 연결부 전 구간에 설치하는 것이 아닌 일정 간격마다 설치하고자 한다. 연결장치의 갈퀴만으로 연결하기에는 연결력이 다소 부족할 수 있으므로 연결장치에 삽입된 프리폼크리트에 ㄷ자 형태의 햄머 타카핀 등을 시공하여 결속력을 높일 수 있다.

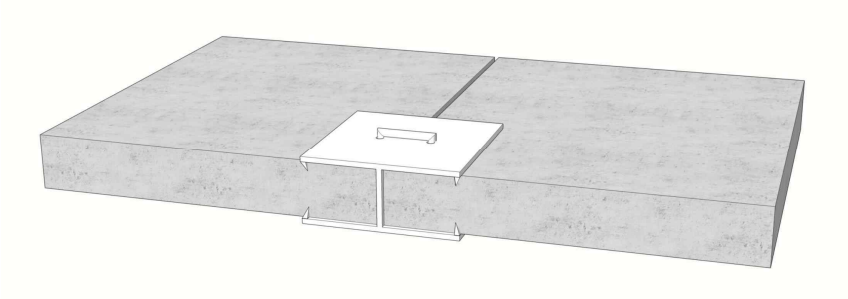


그림 119 프리폼크리트 연결장치 연결핀 시공

또한, 연결장치가 일정 간격마다 설치되면서 발생하는 미설치 구간의 틈으로 물의 침투가 발생할 수 있으므로, 실리콘과 같은 방수제를 바르고자 하며, 그 외에도 전체적인 연결부분에 PVC층이 없는 프리폼크리트를 제작하여 상부에 덮어 추가 시공하는 방식으로 침투를 제어하고자 한다.

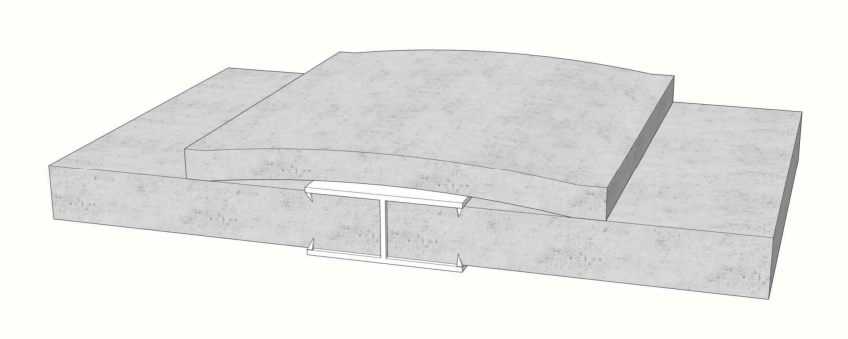


그림 120 프리폼크리트 연결장치 침투방지 대책

제안한 연결장치에 대하여 시제품 제작을 통해 제작성과 시공 가능성을 검토해보고자 하였다. 실물 제작에 앞서 도면 작업과 3D프린터를 이용한 모형을 제작하였다. 제작된 도면과 모형을 토대로 제작공장에 의뢰하였으며, 현재 연결장치 제작에 사용할 재료와 제작가능 여부를 조율하고 있는 상황이다.

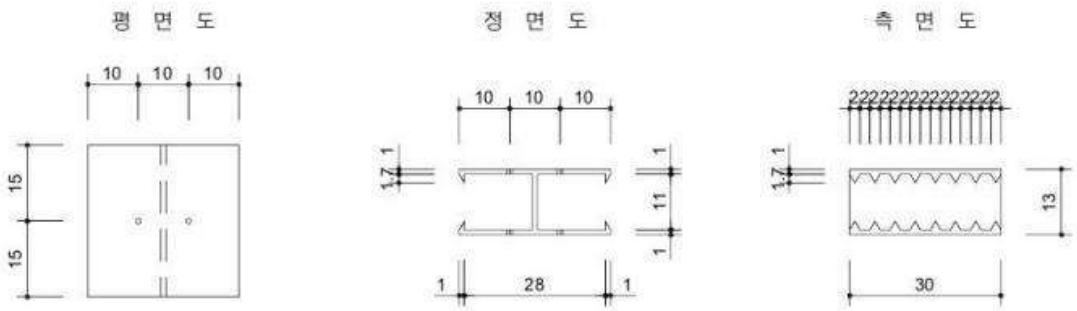


그림 121 프리폼크리트 연결장치 도면

프리폼크리트 연결부 틈을 최소화하기 위해 연결장치의 두께를 1mm로 결정하였으며, 생산되는 프리폼크리트 두께 10mm를 기준으로 높이를 오차를 감안한 11mm로 하였다. 갈퀴는 한곳만 존재하지 않고 모서리 전체에 걸쳐 배치하여 결속력을 높이고자 하였으며, 전체 크기를 30mm x 30mm 로 하여 제작검토를 하였다. 크기가 너무 클 경우, 작업자가 다수를 소지하며 시공하기에 어려움이 있고 굴곡진 지반에 적용하는 사례가 많은 프리폼크리트에 적합하지 않기 때문에, 결속력을 확보함과 동시에 쉽게 소지가 가능한 크기인 30mm 정도로 결정하였다.

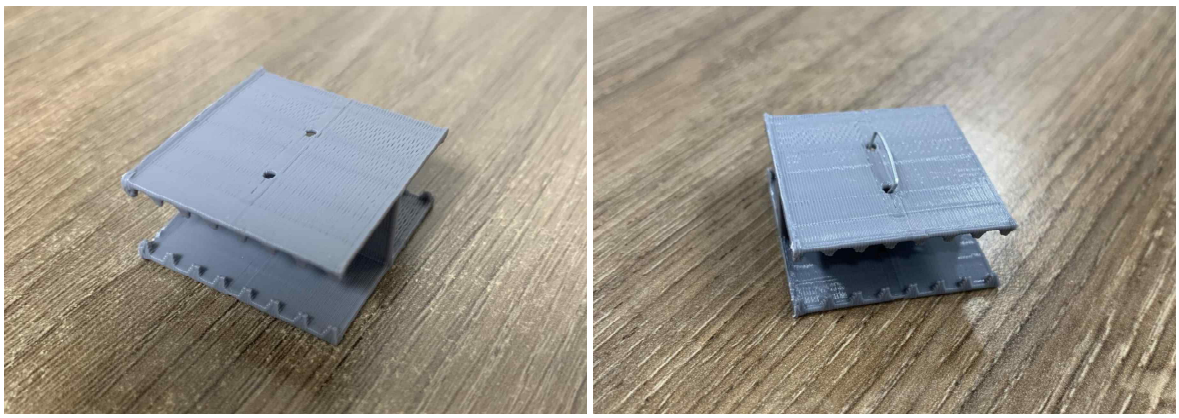


그림 122 프리폼크리트 연결장치 모형

3D 프린터를 이용하여 연결장치를 제작해 본 결과, 30mm의 크기는 적당한 것으로 보이며, 갈퀴 역시 프리폼크리트의 패브릭 표면에 잘 결합될 것으로 보인다. 다만, 연결장치 체결 후 햄머 타카핀 또는 나사못 시공을 위해 제작한 홀의 직경이 다소 부족해보이므로 이 부분에 대한 보완이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 현장에서 프리폼크리트를 연결함에 있어 연결장치의 홀에 맞춰 연결핀을 시공하는 것이 다소 번거로울 수 있다는 의견이 있어, 홀 가공을 사전에 하지 않고 천공이 가능한 재질로 생산하여 연결핀 시공과 동시에 천공되도록 하는 방안도 고려하고 있다. 남은 과제 기간 동안 제작공장과의 협의를 통해 연결장치의 사용 재료를 결정하고 실물 시제품을 제작하여 프리폼크리트 시제품에 직접 설치해보도록 할 계획이다.

(3) 3차년도 연구내용 및 결과

3차년도 연구내용 및 결과 요약

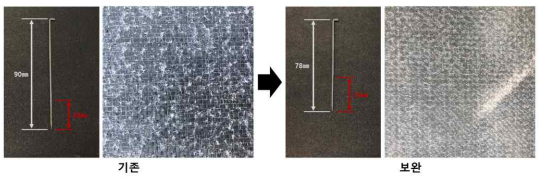
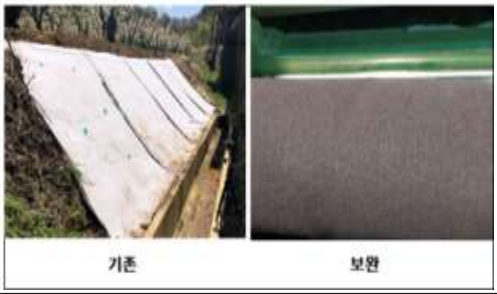
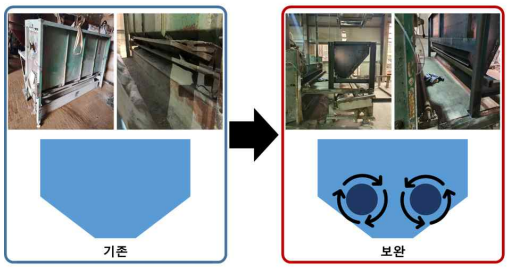
(1) 프리폼크리트 시제품 제작 및 현장 적용

○ 프리폼크리트 시제품 제작 및 문제점 검토

1. 시제품 제작시 문제점

(1) 상하부 소재 접합 문제 	• 두께 10mm 이상의 프리폼크리트 제작시 니들펀칭이 제대로 이루어지지 않아 상하부 패브릭 소재가 완전하게 접합되지 않음 • 완전히 접합되지 않은 제품은 혼합물 유실이 발생함 • 혼합물의 유실로 일정한 제품의 두께를 확보하는데 어려움 발생함
(2) 부직포 찢김 문제 	• 부직포의 내구성이 약해 약간의 혼합물 뭉침현상이나 두께 10mm 이상으로 높일 시에 니들펀칭부에서 부직포 찢김이 발생함 • 또한, 프리폼크리트의 경우 표면이 흰색으로 기존 자연경관 훼손 초래
(3) 혼합물 공급장치 문제 	• 혼합물의 분말도가 높아 원활한 공급이 이루어지지 않으며, 뭉침현상 발생함 • 혼합물의 공급 문제로 일정한 제품의 두께를 확보하는데 어려움 발생함

2. 문제점 보완

(1) 상하부 소재 접합 보완  	• 두께 10mm 이상의 프리폼크리트 제작을 위해 바늘 길이를 12㎜ 늘려 두께가 두꺼워져도 니들펀칭이 가능하여 상하부 소재 접합에 용이함
(2) 부직포 보완  	• 내구성이 좋은 부직포로 변경하여 찢김현상 방지함 • 부직포의 실이 얇고 밀도가 높아 촘촘한 니들펀칭이 가능하여 상하부 소재 접합이 우수함 • 흰색에서 갈색으로 색상 변경하여 자연경관 훼손 최소화
(3) 혼합물 공급장치 보완  	• 혼합물 공급장치에 스크류를 설치하여 원활한 혼합물 공급이 이루어지도록 보완함

○ 현장적용 및 모니터링

1. 현장 적용

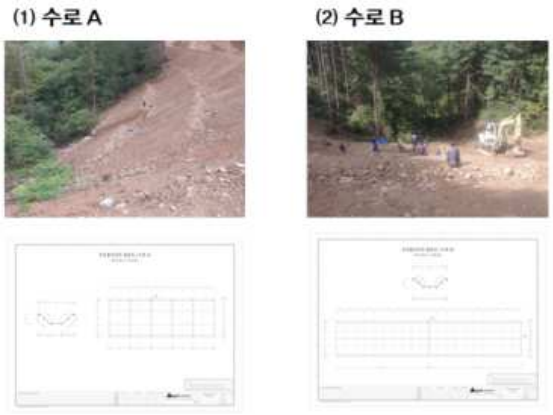


• 프리폼크리트의 현장적용은 충남 예산군에 위치한 B사 공장 인근 사면으로 경사각은 40°로 급경사 구역이며, 사면 아래에는 농수로가 위치하고 있음
• 성토부 700㎜, 사면길이 2,700㎜로 제품 폭 2,400mm 4장을 사용하여 시공함

2. 현장모니터링	
	• 프리폼크리트 현장적용 시공 4개월 이후 2020년 8월에 기록적인 폭우가 발생 • 현장 위치와 가장 가까운 기상관측지점인 충남 홍성에서 일일강수량 최대 89.6㎜까지 내림. 전년 대비 2020년 1월부터 11월 2일까지 강수량은 69.9% 증가한 연강수량을 보였으며, 8월은 전년 대비 202.9% 증가한 많은 양의 강수가 내림 • 프리폼크리트 설치 부위는 사면 붕괴가 발생하지 않았으며, 폭우에 대한 영향이 없었다. 하지만 프리폼크리트 미설치 부위는 사면 붕괴가 심각하였으며, 토사들이 쓸려 내려가 수로에 많은 양이 쌓임

(2) 프리폼크리트 시험시공 및 실용화

○ 프리폼크리트 시험시공

1. 현장 적용	
	• 강원도 춘천시 품걸리 인근 임도 수로현장 2 곳을 시험시공 대상지로 선정하여 설계를 진행 • 수로 A : 폭 3.5m, 연장 12m • 수로 B : 폭 3.5m, 연장 19m • 수로의 상장 폭이 3.5m인 관계로 생산한 프리폼크리트(폭 2.4m)를 한번에 배치하기 어려워 수로 중간에 연결부를 구성하여야 했으며, 배치방향에 따른 시공성을 검토하기 위해 각각 배치방법을 달리 적용

2. 시험시공

(1) 수로A 시공



- 수로A 현장은 프리폼크리트를 5m 길이로 절단하여 횡방향으로 배치함
- 프리폼크리트의 절단은 일반적으로 공사현장에서 사용하는 커터칼을 활용하여 절단
- 고정핀은 좌우 끝단과 수로의 절곡부, 사면부, 바닥부에 걸쳐 설치하였으며, 토사지반이므로 안정성과 결착력 보강을 위해 당초 설계기준보다 좁은 간격으로 작업

(2) 수로B 시공



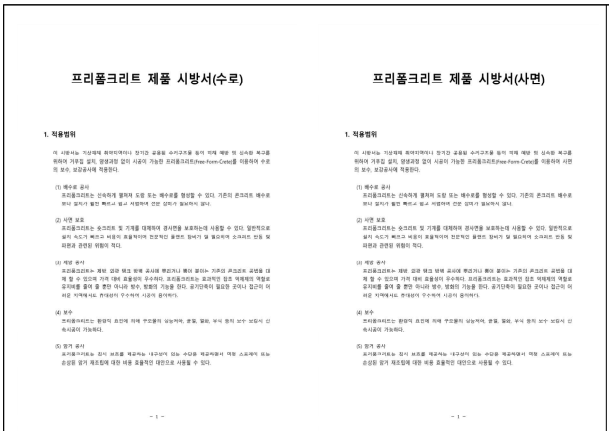
- 프리폼크리트 배치 방식에 따른 시공성 비교를 위해 앞서 수로 A와 달리 수로 진행 방향으로 프리폼크리트를 배치하는 종방향 방식을 적용
- 수로 폭이 3.5m이므로 프리폼크리트 폭 2.4m로 한계가 있어 수로 중앙부에서 연결부를 구성하여 2장을 포개 배치

○ 프리폼크리트 성능평가



- 프리폼크리트의 성능평가를 위하여 국가공인시험기관에 시험을 의뢰하여 평가완료
- 프리폼크리트 소재 및 제품의 목표성능 기준을 모두 만족하는 결과를 나타냄

○ 실용화를 위한 설계 표준화 및 매뉴얼 작성



프리폼크리트 제품 시방서(수로)

1. 적용범위

(1) 해수로 공사

(2) 사면 보호

(3) 제방 공사

(4) 보수

(5) 방기 공사

- 1 -

프리폼크리트 제품 시방서(사면)

1. 적용범위

(1) 해수로 공사

(2) 사면 보호

(3) 제방 공사

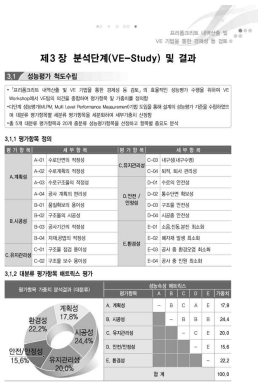
(4) 보수

(5) 방기 공사

- 1 -

- 기상재해 취약지역이나 장기간 공용된 수리구조물 등의 피해 예방 및 신속한 복구를 위하여 거푸집 설치, 양생과정 없이 시공이 가능한 프리폼크리트(Free-Form-Crete)를 이용하여 사면, 수로 등의 보수, 보강공사에 적용하고자 제품 시방서를 적용 현장에 따라 작성

○ VE 기법을 통한 프리폼크리트 시공의 경제성 검토

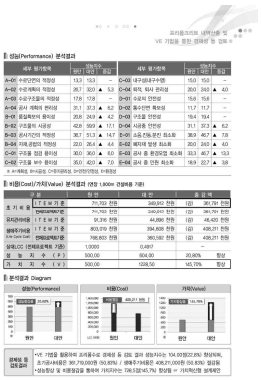


제3장 분석단계(VE-Study) 및 결과

3.1 성능평가 척도수립

3.1.1 평가항목 정의

3.1.2 대분류 평가항목 웨트릭스 평가



- 19 -

- 23 -

- VE 기법을 활용하여 프리폼크리트 경제성 등 검토 결과 기존 기술인 큰돌쌓기에 비하여 성능지수는 22.8% 향상되며, 초기공사비용은 50.83%, 생애주기비용은 50.83% 절감됨을 확인
- 성능향상 및 비용절감을 통하여 가치지수는 145.7% 향상

(가) 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 시제품 제작 및 보완

① 프리폼크리트 시제품 제작

프리폼크리트 두께는 시멘트 페이스트 8~9㎜, 부직포, 직포 1~2㎜로 총 10㎜이며, 폭 2.4m, 1Roll 당 최대 길이 30m로 제작하였다. 시제품 무게는 약 12kg/㎡ 이상으로 규격은 표 1에 나타내었다. 프리폼크리트 시제품 제작 직후 경화 전 모습은 그림 123과 같으며, 폴리머 혼화제와 물을 뿌려 경화시킨 모습은 그림 124과 같다.

표 30 프리폼크리트 규격

시제품 두께	시제품 크기	시제품 무게
총 10 ㎜ 이상 (시멘트 페이스트 8~9㎜)	폭 2.4 m × 길이 30 m	약 12 kg/㎡ 이상



그림 123 프리폼크리트 시제품의 경화 전 모습

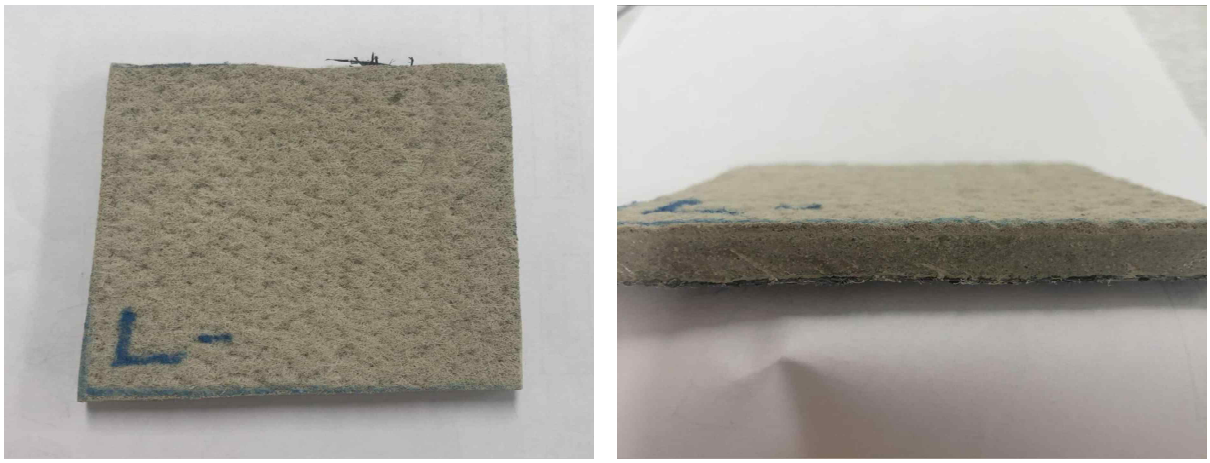
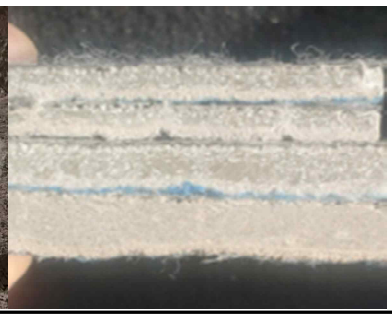


그림 124 프리폼크리트 시제품의 경화 후 모습

② 프리폼크리트 생산시 문제점 검토

프리폼크리트 제작시 프리폼크리트 상하부 소재의 접합문제와 부직포의 내구성 문제, 혼합물 공급장치 문제가 발생하였다. 문제점 발생원인과 그 모습은 표 31에 나타내었다.

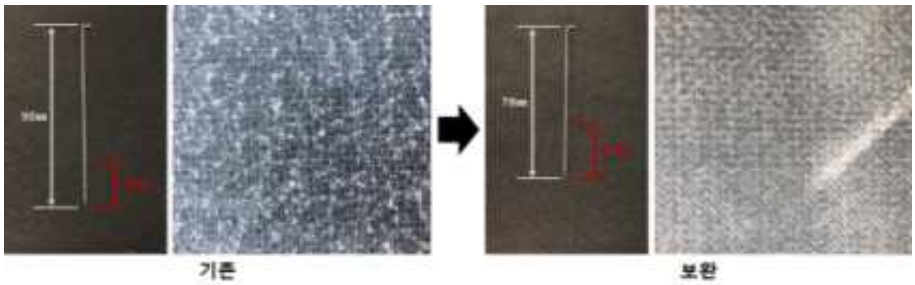
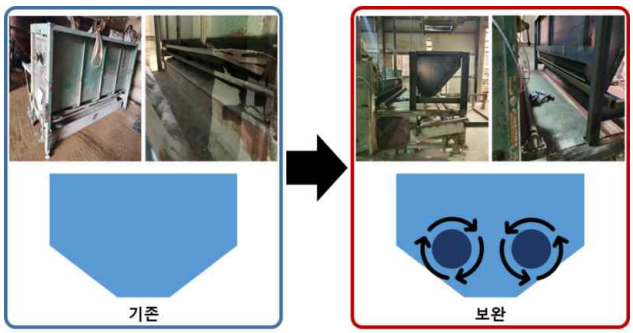
표 31 프리폼크리트 제작시 문제점

구분	문제점
상하부 소재 접합	• 두께 10mm 이상의 프리폼크리트 제작시 니들펀칭이 제대로 이루어지지 않아 상하부 패브릭 소재가 완전하게 접합되지 않음 • 완전히 접합되지 않은 제품은 혼합물 유실이 발생함 • 혼합물의 유실로 일정한 제품의 두께를 확보하는데 어려움 발생함 
2. 부직포	• 부직포의 내구성이 약해 약간의 혼합물 뭉침현상이나 두께 10mm 이상으로 높일 시에 니들펀칭부에서 부직포 찢김이 발생함  
3. 혼합물 공급장치	• 혼합물의 분말도가 높아 원활한 공급이 이루어지지 않으며, 뭉침현상 발생함 • 혼합물의 공급 문제로 일정한 제품의 두께를 확보하는데 어려움 발생함  

③ 프리폼크리트 생산시 문제점 보완

프리폼크리트 제작시 발생되는 문제점을 보완하여 제품의 완성도를 높이고자 표 32과 같이 보완하였다.

표 32 프리폼크리트 제작시 문제점 보완사항

<table>
<tr><th>구분</th><th>보완사항</th></tr>
<tr><td>1. 상하부 소재 접합</td><td>• 바늘 sub(코) 길이를 5㎜ 증가시켰으며, 톱니 모양이 더 날카롭고 조밀하게 하여 프리폼크리트의 두께가 10 mm 이상으로 두꺼워져도 니들펀칭이 가능하여 상하부 소재 접합에 용이함
<기존>
<table><tr><td>바늘규격
(길이×두께×Sub)</td><td>90×3×20 ㎜</td></tr><tr><td>sub 특징</td><td>• 톱니 모양이 평평함</td></tr><tr><td>문제점</td><td>펀칭이 약함</td></tr></table>
<보완>
<table><tr><td>바늘규격
(길이×두께×Sub)</td><td>78×3×25 ㎜</td></tr><tr><td>sub 특징</td><td>• 기존대비 5 ㎜ 길이 증가함
• 톱니 모양이 날카롭고 조밀함</td></tr><tr><td>보완점</td><td>펀칭효과 큼</td></tr></table>
 
기존 보완</td></tr>
<tr><td>2. 부직포</td><td>• 내구성이 향상된 부직포로 변경하여 찢김 및 박리현상 방지함
• 부직포의 실이 얇고 밀도가 높아 촘촘한 니들펀칭이 가능하여 상하부 소재 접합이 우수함
<기존>
<table><tr><td>부직포 규격</td><td>300 g/㎡</td></tr><tr><td>문제점</td><td>찢김 및 박리발생</td></tr></table>
<보완>
<table><tr><td>부직포 규격</td><td>350 g/㎡</td></tr><tr><td>보완점</td><td>찢김 및 박리현상 미발생</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>3. 혼합물 공급장치</td><td>• 혼합물 공급장치에 스크류를 설치하여 원활한 혼합물 공급이 이루어지도록 보완함
 
기존 보완</td></tr>
</table>

(나) 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 현장 적용

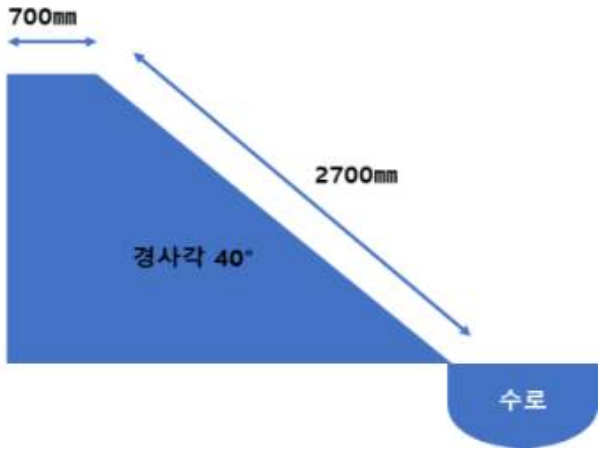
① 프리폼크리트 현장 적용

프리폼크리트의 현장 적용은 충남 예산군에 위치한 B사 공장 인근 사면으로 그림 125과 같다. 경사각은 40° 로 급경사 구역이며, 사면 아래에는 농수로가 위치하고 있었으며, 성토부 700㎜, 사면길이 2,700㎜로 제품 폭 2,400mm 4장을 사용하였다. 겹침부는 300㎜를 두어 총 폭 7,800㎜로 시공하였으며, 현장 및 시공 특징을 그림 126에 나타내었다.



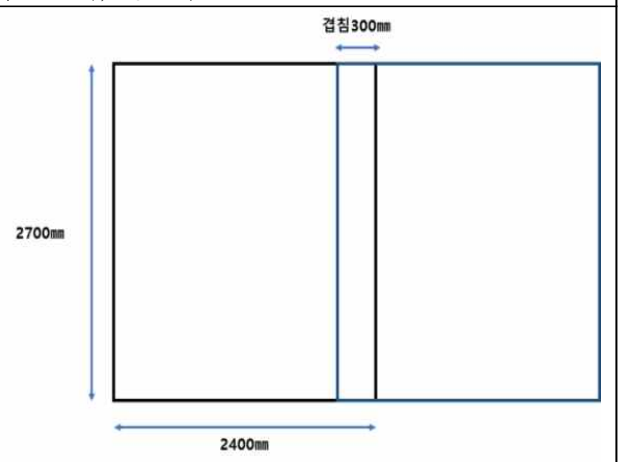
그림 125 프리폼크리트 적용 현장





현장 특징(경사각, 사면길이, 성토부)





시공 특징(제품 사양 및 겹침부)

그림 126 프리폼크리트 현장 및 시공 특징

프리폼크리트의 시공순서는 그림 127과 같이 시공면에 돌출물이나 고르지 못한 부위가 없도록 굴착기를 이용하여 정리한 후 프리폼크리트의 중심지관을 관통하는 강봉 양단에 줄을 매어 달아 견인줄이 자재에 손상을 입히지 않도록 강봉에는 스프레드바(Spreader bar)를 거치하였다.

프리폼크리트의 직포면이 지면, 부직포면은 하늘을 향하도록 하여 설치 후 시공부위 길이에 맞춰 재단하였다. 프리폼크리트의 이음부는 300㎜ 중첩되도록 설치한 후 연속적으로 시공을 진행하면서, 프리폼크리트가 중력에 의해 아래로 흘러내리거나 위치가 틀어지지 않도록 상부에서부터 프리폼크리트를 고정하였다.

프리폼크리트에 물을 살수하여 경화시킨 후, 마지막으로 상부를 성토하여 시공을 완료하였다.



(a) 시공면 정리



(b) 프리폼크리트 거치



(c) 프리폼크리트 시공



(d) 프리폼크리트 재단





(e) 겹침부 조정 및 연속 시공



(f) 고정장치 설치



(g) 살수





(h) 상부 성토 및 시공완료

그림 127 프리폼크리트 시공 순서

② 현장 모니터링

프리폼크리트 현장 적용 시공 4개월 이후 2020년 8월에 기록적인 폭우가 발생하였다. 현장 위치와 가장 가까운 기상관측지점인 충남 홍성의 2019년, 2020년 월강수량 및 연강수량은 표 33와 같다. 전년 대비 2020년 1월부터 11월 2일까지 강수량은 69.9% 증가한 연강수량을 보였으며, 8월은 전년 대비 202.9% 증가한 많은 양의 강수가 내렸다.

2020년 8월 1일부터 10일까지의 일강수량은 표 34와 같으며, 2020년 연강수량의 약 23%의 비가 10일간 내려 많은 양의 강수임을 확인할 수 있다.

표 33 2019년, 2020년 연강수량(㎜)

월별	2019년	2020년
1월	0.3	73
2월	23.2	85.2
3월	36.6	26.6
4월	46.6	13.8
5월	21.7	91.3
6월	46.7	191.7
7월	228.6	353.6
8월	150.7	456.4
9월	141.6	251.2
10월	77	19.5
11월	119.7	4.8
12월	29.6	-
총 강수량	922.3	1,567.1

표 34 2020년 8월 일강수량(㎜)

일자	8/1	8/2	8/3	8/4	8/5	8/6	8/7	8/8	8/9	8/10
일강수량	6.5	34.8	89.6	0.9	2.4	67.6	3.1	20.1	77.1	73.1

폭우 발생 이후 2020년 8월 13일에 현장을 모니터링한 모습은 그림 128과 같다. 프리폼크리트 설치 부위는 사면 붕괴가 발생하지 않았으며, 폭우에 대한 영향이 없었다. 하지만 프리폼크리트 미설치 부위는 사면 붕괴가 심각하였으며, 토사들이 쓸려 내려가 수로에 많은 양이 쌓인 것으로 보였다. 현장 모니터링 결과, 프리폼크리트의 사면 안정 효과 및 토양 유실 방지 효과가 우수한 것으로 판단된다.




프리폼크리트 설치 부위




프리폼크리트 미설치 부위

그림 128 프리폼크리트 현장 적용 모니터링

(다) 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 성능평가 및 경제성 분석

① 프리폼크리트 장기 노출시험

프리폼크리트의 장기간 표면변화와 수축상태를 확인하고자 2019년 12월 10일부터 2020년 10월 30일까지 약 11개월간의 프리폼크리트 시험체를 야외에 두어 장기 노출 시험을 실시하였다. 시험체의 종류는 프리폼크리트에 물을 살수한 시험체 1개와 프리폼크리트에 물+라텍스를 혼합한 용액을 살수한 시험체 1개로 총 2가지 변수로 시험하였다.

2019년 12월 10일 장기 노출시험 시험체에 살수 전, 후 모습은 그림 129와 같으며, 살수 전, 후는 동일 시험체로 차이는 없었으며, 살수 시에는 물 또는 물+라텍스 혼합한 용액을 살수하여 물+라텍스 혼합한 용액을 살수한 시험체의 경우, 라텍스의 영향으로 표면이 하얀색으로 변하였다.

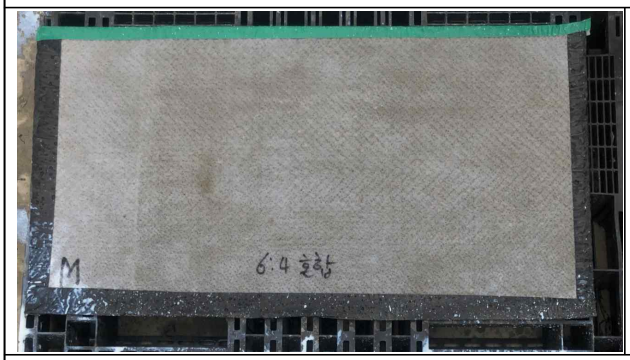
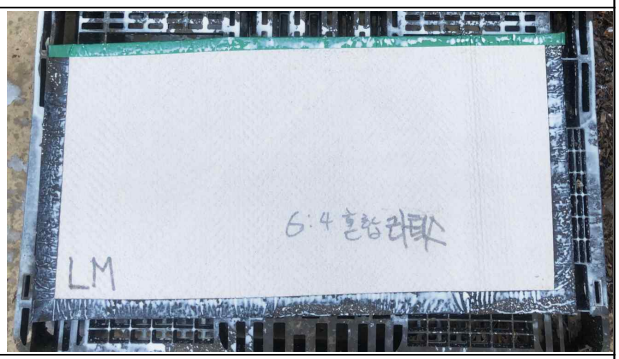
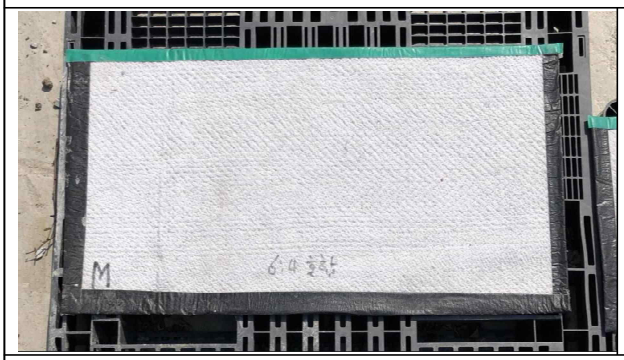
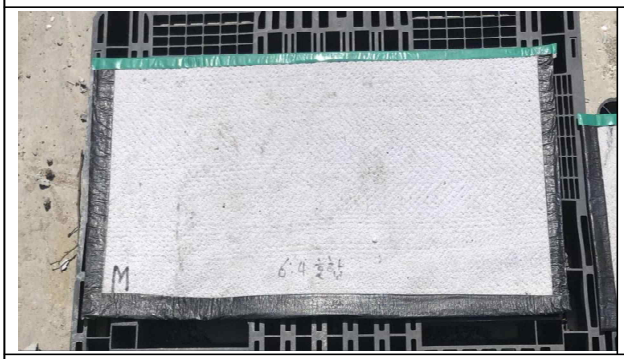
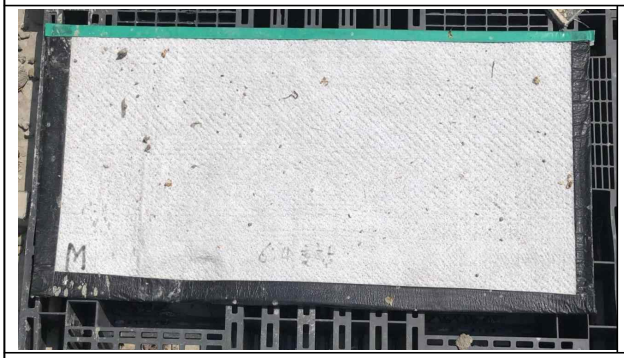
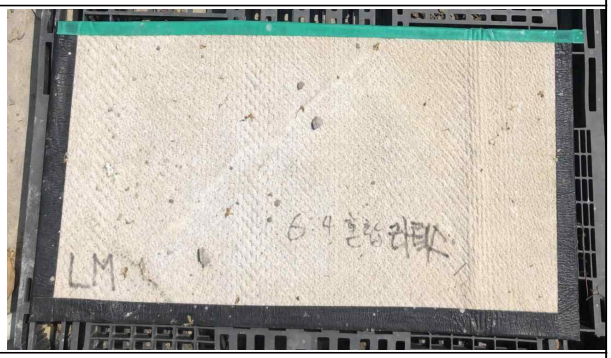
Plain(물 살수 시험체)	Latex(물+라텍스 살수 시험체)
	
2019년 12월 10일(살수 전)	
	
2019년 12월 10일(살수 후)	

그림 129 프리폼크리트 장기 노출 시험체 살수 전, 후 모습

이후 경화된 시험체를 약 1개월 간격으로 표면변화 및 수축상태를 확인하였으며, 그 모습은 그림 130과 같다.

약 11개월간의 표면변화 및 수축상태를 확인한 결과, 모든 시험체는 수축변화가 나타나지 않았으며, 물을 살수한 시험체의 경우, 표면변화도 나타나지 않았다. 다만, 물+라텍스 혼합한 용액을 살수한 시험체의 경우, 라텍스가 자외선에 노출되면서 표면이 노란색으로 변화하는 것이 확인되었다.

물 살수 시험체와 물+라텍스 혼합한 용액 살수 시험체를 비교해보면, 2020년 2월 14일(67일 경과)에는 차이가 없었으나, 2020년 3월 18일(100일 경과)부터는 물+라텍스 살수 시험체가 표면이 노란색을 변화하였으나 2020년 8월 26일(261일 경과)부터는 표면의 색이 동일해지는 것을 확인하였다. 따라서, 프리폼크리트의 장기 노출 시험에는 이상이 없는 것으로 판단된다.

Plain(물 살수 시험체)	Latex(물+라텍스 살수 시험체)
	
2020년 2월 14일(67일 경과)	
	
2020년 3월 18일(100일 경과)	
	
2020년 4월 18일(131일 경과)	
	
2020년 5월 28일(171일 경과)	

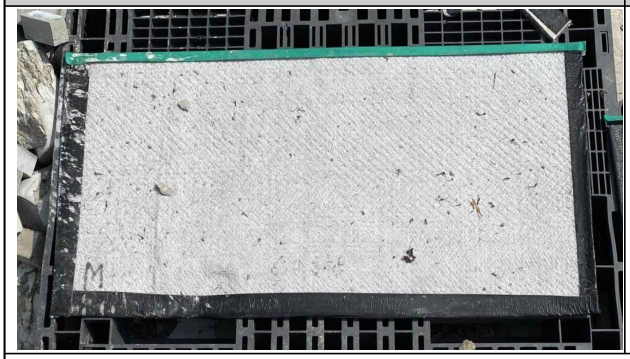
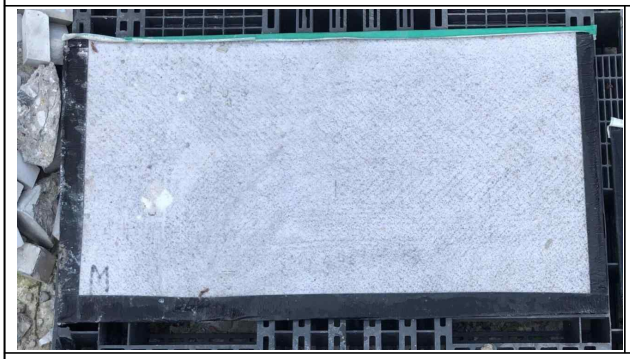
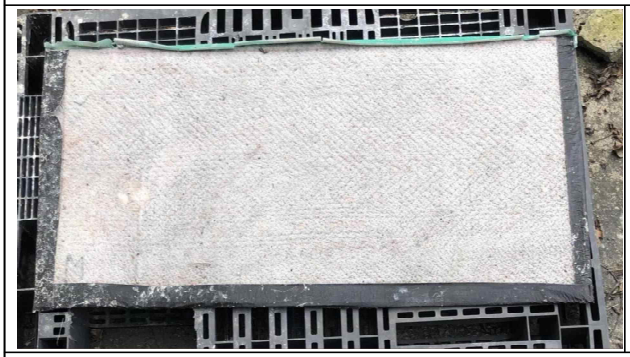
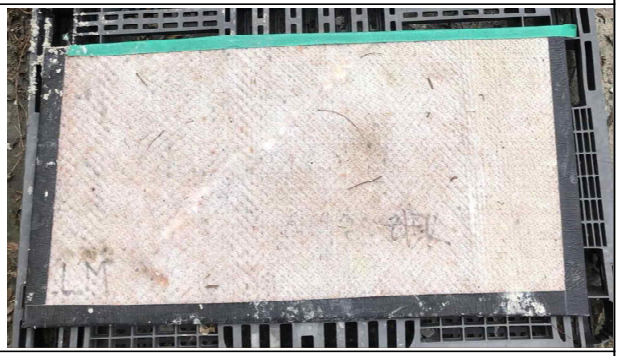
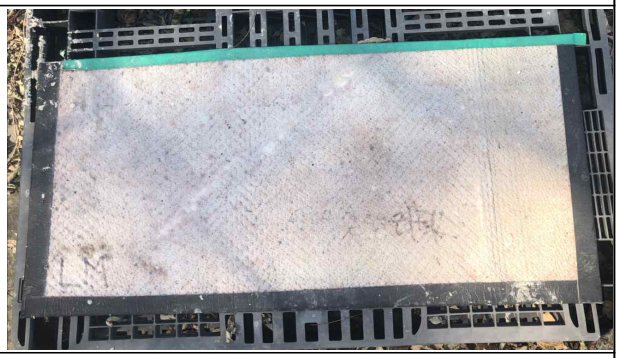
Plain(물 살수 시험체)	Latex(물+라텍스 살수 시험체)
	
2020년 6월 26일(200일 경과)	
	
2020년 8월 26일(261일 경과)	
	
2020년 9월 24일(290일 경과)	
	
2020년 10월 30일(326일 경과)	

그림 130 프리폼크리트 장기 노출시험 모습

② 프리폼크리트 성능평가

프리폼크리트의 개발 목표성능 기준 및 평가방법은 표 35과 같으며, 성능평가를 위하여 국가공인시험기관에 시험을 의뢰하여 평가를 완료하였다.

표 35 프리폼크리트 개발 목표성능 기준 및 시험결과

구분			목표성능 기준	시험결과	평가방법
소재 성능 기준	압축강도	1일	20 MPa	47.1 MPa	KS L 5105
		10일	45 MPa	56.8 MPa	
	휨강도	10일	5 MPa	13.5 MPa	KS L ISO 679
	염화물 침투저항성		Very Low (1,000쿨롱 이하)	Very Low (176.2 쿨롱)	KS F 2711
제품 성능 기준	휨강도	10일	4 MPa	5.67 MPa	ASTM D 8058
	휨 탄성계수	10일	180 MPa	2086.85 MPa	
	화학적 저항	산성도 (pH 4.0, 50℃ 56일간 침수)	통과	통과	BS EN 14414
		알칼리성도 (pH 12.5, 50℃ 56일간 침수)	통과	통과	
		황산 저항성 (pH 7.2, 28일간 침수)	통과	통과	

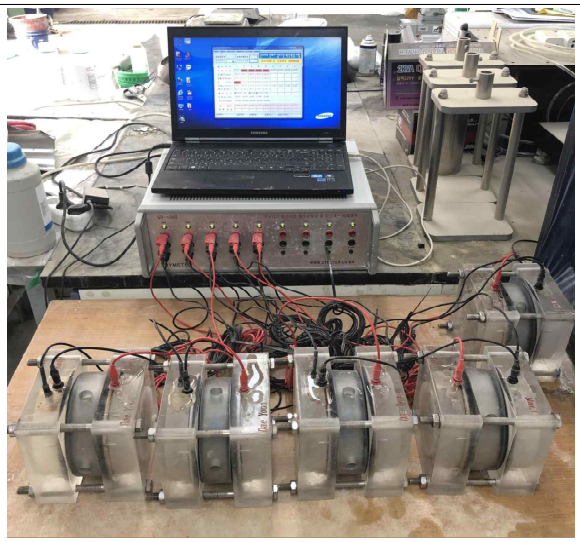



(a) 압축강도



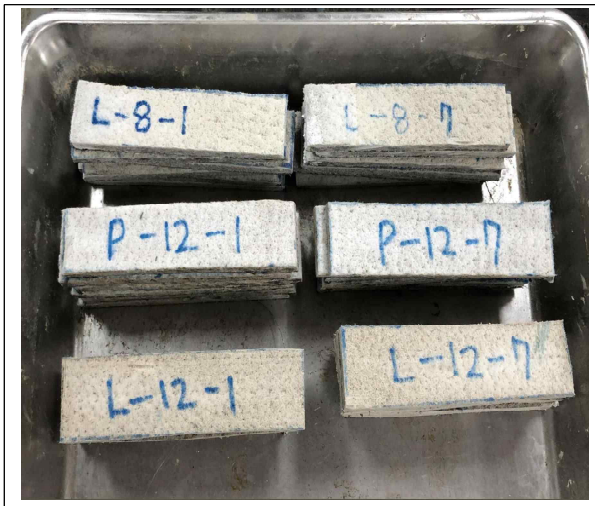

(b) 휨강도

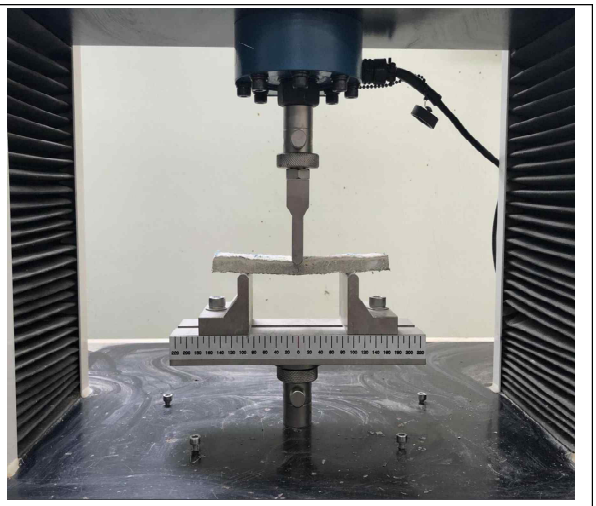




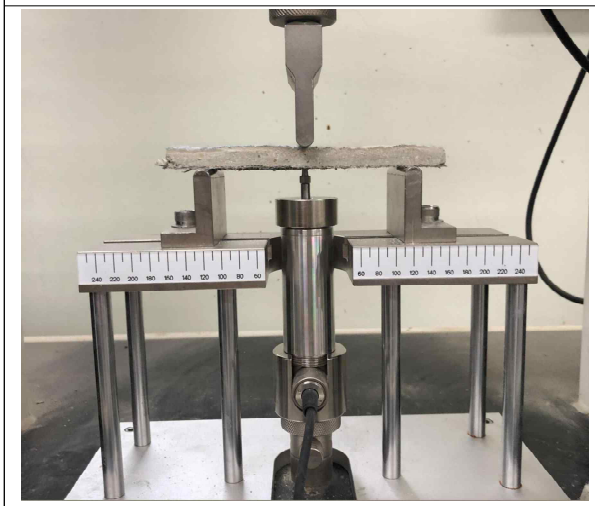
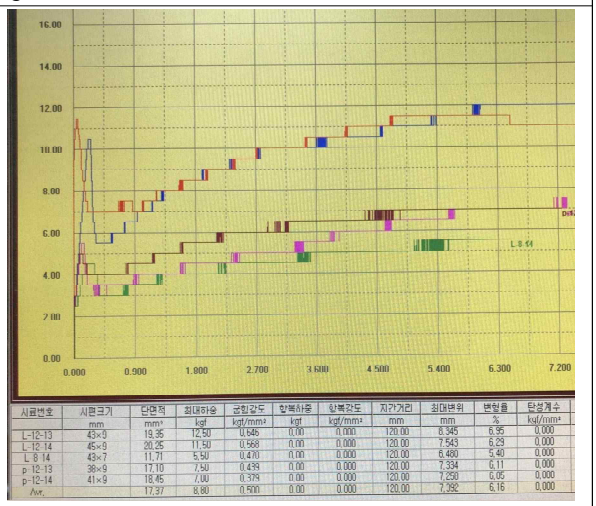
(c) 염화물 침투저항성

그림 131 프리폼크리트(소재) 성능시험 모습



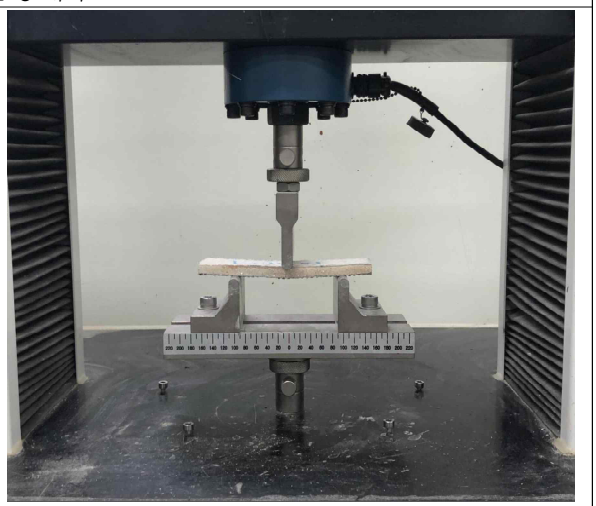


(a) 휨강도

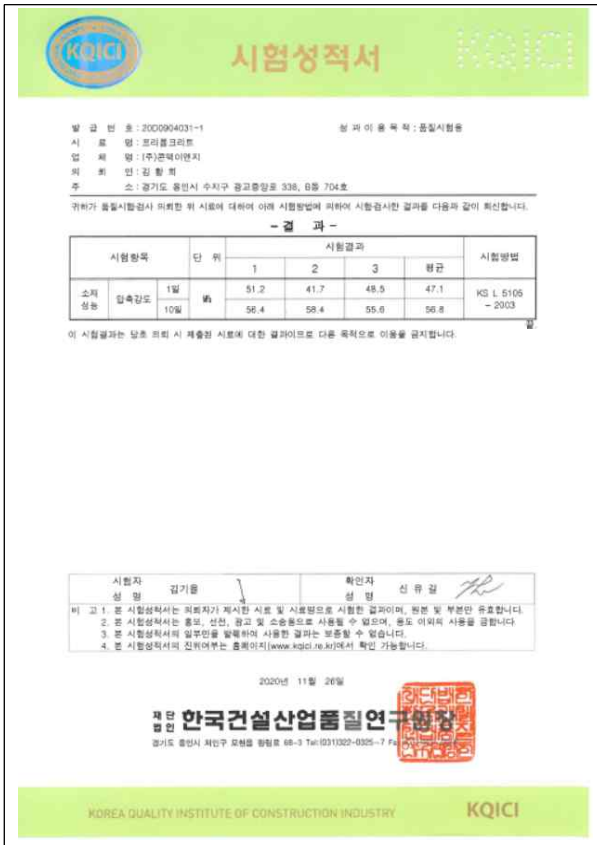
시료번호	시편크기	단면적	최대하중	굽힘강도	항복하중	항복강도	지간거리	최대변위	변형률	탄성계수
	mm	mm²	kgf	kgf/mm²	kgf	kgf/mm²	mm	mm	%	kgf/mm²
L-12-13	45×9	19,35	12,50	0,646	0,00	0,000	120,00	6,345	6,95	0,000
L-12-14	45×9	20,25	11,50	0,568	0,00	0,000	120,00	7,543	6,29	0,000
L-8-14	43×7	11,71	5,50	0,470	0,00	0,000	120,00	6,480	5,40	0,000
p-12-13	36×9	17,10	7,50	0,439	0,00	0,000	120,00	7,334	6,11	0,000
p-12-14	41×9	18,45	7,00	0,379	0,00	0,000	120,00	7,250	6,05	0,000
Avr.		17,37	8,80	0,500	0,00	0,000	120,00	7,392	6,16	0,000

(b) 휨 탄성계수

(c) 화학적 저항

그림 132 프리폼크리트(제품) 성능시험 모습



시험성적서

발 급 번 호 : 20D0904031-1
시 료 명 : 프리폼크리트
업 체 명 : (주)콘텍이엔지
의 뢰 인 : 김 황 희
주 소 : 경기도 용인시 수지구 광교중앙로 338, B동 704호

성 과 이 용 목 적 : 품질시험용

귀하가 품질시험검사 의뢰한 위 시료에 대하여 아래 시험방법에 의하여 시험검사한 결과를 다음과 같이 회신합니다.

- 결 과 -

시험항목		단 위	시험결과				시험방법
			1	2	3	평균	
소재 성능	압축강도	1일	51.2	41.7	48.5	47.1	KS L 5105 - 2003
		10일	56.4	58.4	55.6	56.8	

이 시험결과는 당초 의뢰 시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

시험자 성 명 김기윤 확인자 성 명 신 유 길

비 고 1. 본 시험성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과이며, 원본 및 부본만 유효합니다.
2. 본 시험성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 본 시험성적서의 일부만을 발췌하여 사용한 결과는 보증할 수 없습니다.
4. 본 시험성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kqici.re.kr)에서 확인 가능합니다.

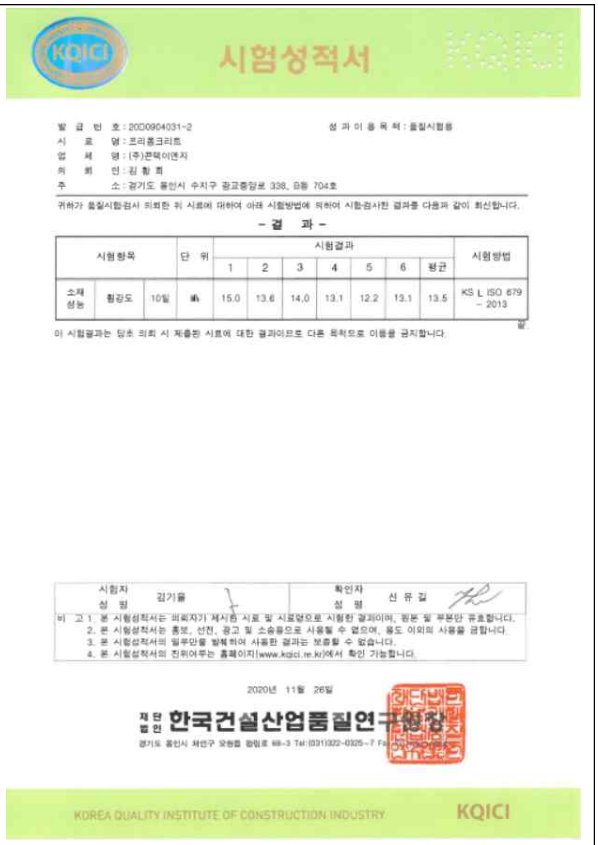
2020년 11월 26일

재단법인 한국건설산업품질연구원장

경기도 용인시 처인구 모현읍 왕림로 68-3 Tel:(031)322-0325~7 Fax

KOREA QUALITY INSTITUTE OF CONSTRUCTION INDUSTRY KQICI

(a) 압축강도



시험성적서

발 급 번 호 : 20D0904031-2
시 료 명 : 프리폼크리트
업 체 명 : (주)콘텍이엔지
의 뢰 인 : 김 황 희
주 소 : 경기도 용인시 수지구 광교중앙로 338, B동 704호

성 과 이 용 목 적 : 품질시험용

귀하가 품질시험검사 의뢰한 위 시료에 대하여 아래 시험방법에 의하여 시험검사한 결과를 다음과 같이 회신합니다.

- 결 과 -

시험항목		단 위	시험결과							시험방법
			1	2	3	4	5	6	평균	
소재 성능	휨강도	10일	15.0	13.6	14.0	13.1	12.2	13.1	13.5	KS L ISO 679 - 2013

이 시험결과는 당초 의뢰 시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

시험자 성 명 김기윤 확인자 성 명 신 유 길

비 고 1. 본 시험성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과이며, 원본 및 부본만 유효합니다.
2. 본 시험성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 본 시험성적서의 일부만을 발췌하여 사용한 결과는 보증할 수 없습니다.
4. 본 시험성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kqici.re.kr)에서 확인 가능합니다.

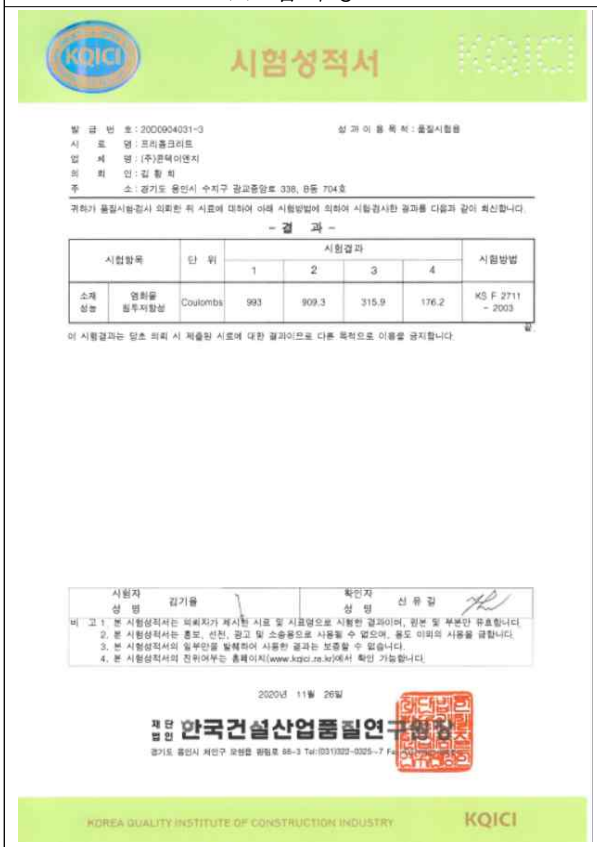
2020년 11월 26일

재단법인 한국건설산업품질연구원장

경기도 용인시 처인구 모현읍 왕림로 68-3 Tel:(031)322-0325~7 Fax

KOREA QUALITY INSTITUTE OF CONSTRUCTION INDUSTRY KQICI

(b) 휨강도



시험성적서

발 급 번 호 : 20D0904031-3
시 료 명 : 프리폼크리트
업 체 명 : (주)콘텍이엔지
의 뢰 인 : 김 황 희
주 소 : 경기도 용인시 수지구 광교중앙로 338, B동 704호

성 과 이 용 목 적 : 품질시험용

귀하가 품질시험검사 의뢰한 위 시료에 대하여 아래 시험방법에 의하여 시험검사한 결과를 다음과 같이 회신합니다.

- 결 과 -

시험항목		단 위	시험결과				시험방법
			1	2	3	4	
소재 성능	염화물 침투저항성	Coulombs	993	909.3	315.9	176.2	KS F 2711 - 2003

이 시험결과는 당초 의뢰 시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

시험자 성 명 김기윤 확인자 성 명 신 유 길

비 고 1. 본 시험성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과이며, 원본 및 부본만 유효합니다.
2. 본 시험성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 본 시험성적서의 일부만을 발췌하여 사용한 결과는 보증할 수 없습니다.
4. 본 시험성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kqici.re.kr)에서 확인 가능합니다.

2020년 11월 26일

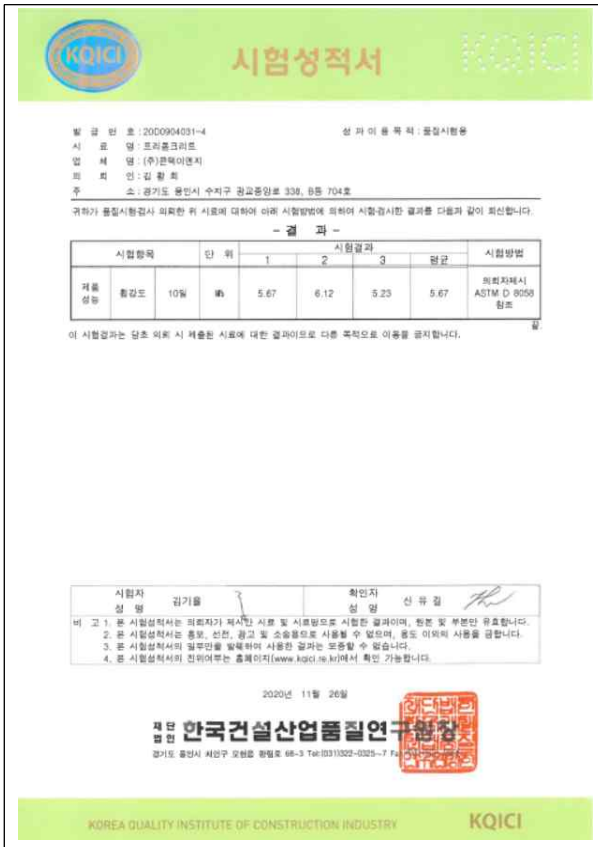
재단법인 한국건설산업품질연구원장

경기도 용인시 처인구 모현읍 왕림로 68-3 Tel:(031)322-0325~7 Fax

KOREA QUALITY INSTITUTE OF CONSTRUCTION INDUSTRY KQICI

(c) 염화물 침투저항성

그림 133 프리폼크리트(소재) 성능시험성적서



시험성적서

발 급 번 호 : 20D0904031-4
시 료 명 : 프리폼크리트
업 체 명 : (주)콘텍이엔지
의 뢰 인 : 김 황 희
주 소 : 경기도 용인시 수지구 광교중앙로 338, B동 704호

성 과 이 용 목 적 : 품질시험용

귀하가 품질시험검사 의뢰한 위 시료에 대하여 아래 시험방법에 의하여 시험검사한 결과를 다음과 같이 회신합니다.

- 결 과 -

시험항목		단 위	시험결과 1	2	3	평균	시험방법
제품 성능	휨강도 10일	㎫	5.67	6.12	5.23	5.67	의뢰자제시 ASTM D 8058 참조

이 시험결과는 당초 의뢰 시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

시험자 성 명 김기을 확인자 성 명 신 유 길

비 고 1. 본 시험성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과이며, 원본 및 부본만 유효합니다.
2. 본 시험성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 본 시험성적서의 일부만을 발췌하여 사용한 결과는 보증할 수 없습니다.
4. 본 시험성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kqici.re.kr)에서 확인 가능합니다.

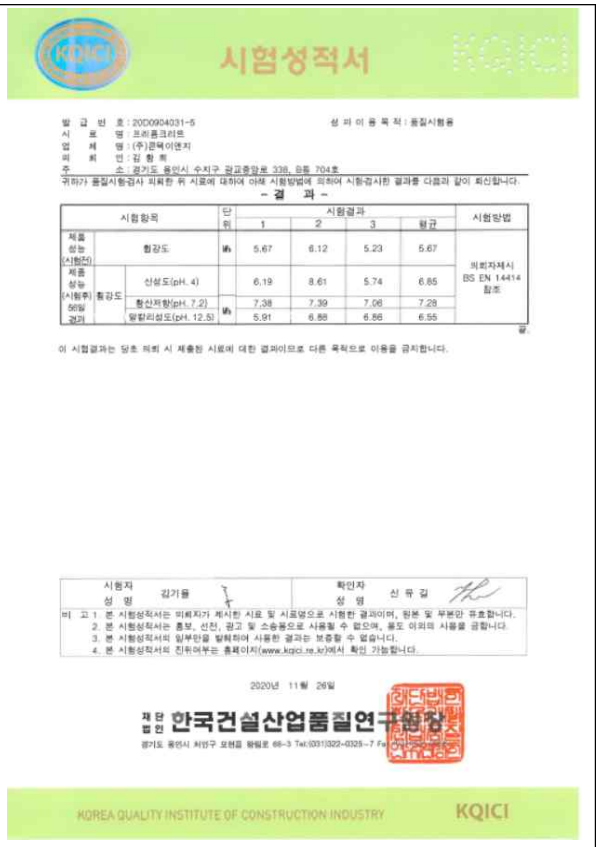
2020년 11월 26일

재단법인 한국건설산업품질연구원장

경기도 용인시 처인구 모현읍 왕림로 68-3 Tel:(031)322-0325~7 Fax

KOREA QUALITY INSTITUTE OF CONSTRUCTION INDUSTRY KQICI

(a) 휨강도



시험성적서

발 급 번 호 : 20D0904031-5
시 료 명 : 프리폼크리트
업 체 명 : (주)콘텍이엔지
의 뢰 인 : 김 황 희
주 소 : 경기도 용인시 수지구 광교중앙로 338, B동 704호

성 과 이 용 목 적 : 품질시험용

귀하가 품질시험검사 의뢰한 위 시료에 대하여 아래 시험방법에 의하여 시험검사한 결과를 다음과 같이 회신합니다.

- 결 과 -

시험항목		단 위	시험결과 1	2	3	평균	시험방법
제품 성능 (시험전)	휨강도	㎫	5.67	6.12	5.23	5.67	의뢰자제시 BS EN 14414 참조
제품 성능 (시험후) 56일 경과	휨강도		6.19	8.61	5.74	6.85	
	황산저항(pH. 7.2)	㎫	7.38	7.39	7.06	7.28	
	알칼리성도(pH. 12.5)		5.91	6.88	6.86	6.55	

이 시험결과는 당초 의뢰 시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

시험자 성 명 김기을 확인자 성 명 신 유 길

비 고 1. 본 시험성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과이며, 원본 및 부본만 유효합니다.
2. 본 시험성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 본 시험성적서의 일부만을 발췌하여 사용한 결과는 보증할 수 없습니다.
4. 본 시험성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kqici.re.kr)에서 확인 가능합니다.

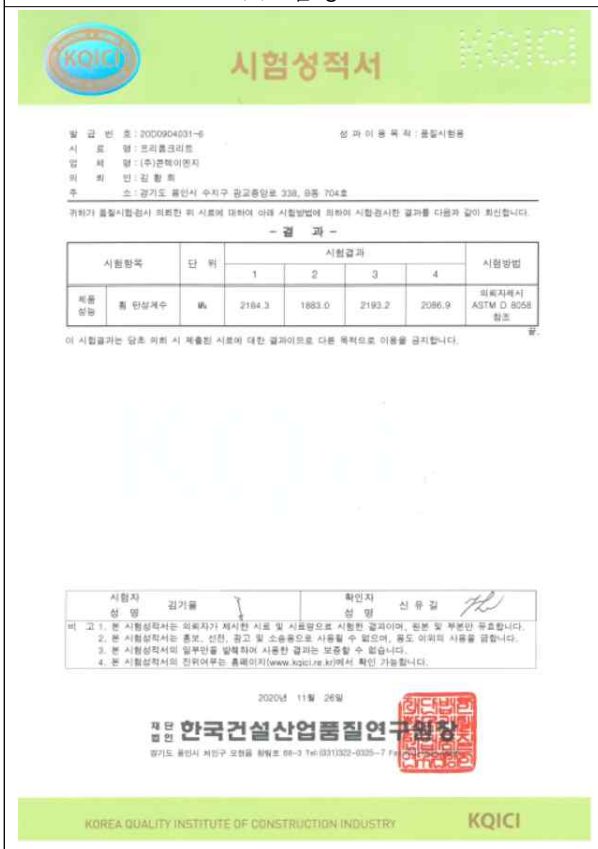
2020년 11월 26일

재단법인 한국건설산업품질연구원장

경기도 용인시 처인구 모현읍 왕림로 68-3 Tel:(031)322-0325~7 Fax

KOREA QUALITY INSTITUTE OF CONSTRUCTION INDUSTRY KQICI

(b) 화학적 저항



시험성적서

발 급 번 호 : 20D0904031-6
시 료 명 : 프리폼크리트
업 체 명 : (주)콘텍이엔지
의 뢰 인 : 김 황 희
주 소 : 경기도 용인시 수지구 광교중앙로 338, B동 704호

성 과 이 용 목 적 : 품질시험용

귀하가 품질시험검사 의뢰한 위 시료에 대하여 아래 시험방법에 의하여 시험검사한 결과를 다음과 같이 회신합니다.

- 결 과 -

시험항목		단 위	시험결과 1	2	3	4	시험방법
제품 성능	휨 탄성계수	㎫	2184.3	1883.0	2193.2	2086.9	의뢰자제시 ASTM D 8058 참조

이 시험결과는 당초 의뢰 시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

시험자 성 명 김기을 확인자 성 명 신 유 길

비 고 1. 본 시험성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과이며, 원본 및 부본만 유효합니다.
2. 본 시험성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 본 시험성적서의 일부만을 발췌하여 사용한 결과는 보증할 수 없습니다.
4. 본 시험성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kqici.re.kr)에서 확인 가능합니다.

2020년 11월 26일

재단법인 한국건설산업품질연구원장

경기도 용인시 처인구 모현읍 왕림로 68-3 Tel:(031)322-0325~7 Fax

KOREA QUALITY INSTITUTE OF CONSTRUCTION INDUSTRY KQICI

(c) 휨 탄성계수

그림 134 프리폼크리트(제품) 성능시험성적서

③ 프리폼크리트 경제성 분석

현재 시중에 판매되는 국외 제품의 경우 비교적 고가로 판매되어 사용이 제한적이기에 공사비 절감을 위하여 국내생산이 가능한 프리폼크리트를 개발하였다.

본 연구에서 개발한 프리폼크리트의 제조원가를 산정하였으며, 기존 해외기술과 단가를 비교·분석하여 프리폼크리트의 경제성 분석을 진행하였다. 프리폼크리트는 일반 제품과 폴리머를 사용한 고내구성 제품으로 구분하여 단가 산정을 실시하였으며, 고내구성 제품의 경우 폴리머를 혼합한 용수를 살수하여 시공하는 방식이다.

프리폼크리트의 사용재료는 내부 소재인 드라이 모르타르와 구조(형태)를 구성하는 패브릭 소재로 구분된다. 드라이 모르타르 재료는 속경성 시멘트, 규사, 광물질 섬유가 사용되고 있으며, 매트 형식을 조성할 수 있는 패브릭 소재로는 부직포, 직포가 사용되며, 각 원재료의 단가는 표 36과 같다.

표 36 프리폼크리트 원재료 단가

드라이 모르타르		패브릭 소재		폴리머 (원/kg)
모르타르 (원/kg)	광물질섬유 (원/kg)	부직포 (원/㎡)	직포 (원/㎡)	
500	4,000	750	1200	2,000

프리폼크리트의 제조원가 산정절차는 표 37과 같으며, 프리폼크리트 1㎡ 생산을 위한 직접비를 산정하였으며, 간접비(생산 및 관리비 등)는 OEM 생산공장에서 제시한 금액을 사용하였다. 회사 이윤은 재료비를 제외한 비용의 최고 상한선인 25%를 적용하여 산정하였다.

표 37 프리폼크리트 제조원가 산정 절차

구분	드라이 모르타르		패브릭 소재		폴리머 (kg)
	모르타르 (kg)	광물질섬유 (kg)	부직포 (㎡)	직포 (㎡)	
단가(원)	500	4,000	750	1200	2,000
㎡당 투입량	14.1	0.9	1	1	-
소계(원)	7,050	3,600	750	1,200	0
간접비(원/㎡)					10,000
회사이윤(원/㎡)					2,500
제조단가(원/㎡)					25,100

프리폼크리트의 제품별 제조단가는 약 25,000~30,000원/㎡으로 상세내역은 표 38와 같다. 현재 시중에서 판매되는 해외기술 제품의 경우는 두께별로 50,000~80,000원/㎡에 판매되므로 기존기술 대비 50%~62.5% 우수한 경제성 절감 효과를 보여주었다.

표 38 프리폼크리트 제품별 제조단가

구분		단가(원/㎡)							
		드라이 모르타르		패브릭 소재		폴리머	간접비	회사 이윤	합계
		모르타르	섬유	부직포	직포				
일반 제품	T=10㎜	7,050	3,600	750	1,200	-	10,000	2,500	25,100
	T=12㎜	8,460	4,320	750	1,200	-	10,000	2,500	27,230
고내구성 제품	T=10㎜	7,050	3,600	750	1,200	2,400	10,000	2,500	27,500
	T=12㎜	8,460	4,320	750	1,200	2,880	10,000	2,500	30,110

표 39 프리폼크리트 제조원가 비교 및 비용절감 효과

구분	프리폼크리트	해외기술	비용절감 효과
제조원가	25,000~30,000원/㎡	50,000~80,000원/㎡	50~62.5%

(라) 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 시험시공

① 프리폼크리트 시험시공 대상지 선정 및 설계

○ 대상지 현장조사 및 선정

프리폼크리트의 시험시공을 위해서 적절한 대상지를 물색하였으며, 현재 국내에서 콘크리트 캔버스가 가장 많이 활용되고 있는 분야인 수로 현장 위주로 조사하였다. 여러 대상지를 조사한 결과, 임도 현장에 적용하는 수로를 대상으로 하는 것이 적합하다고 판단하였으며, 강원도 춘천시 품걸리의 인근 임도 수로현장으로 선정하였다.

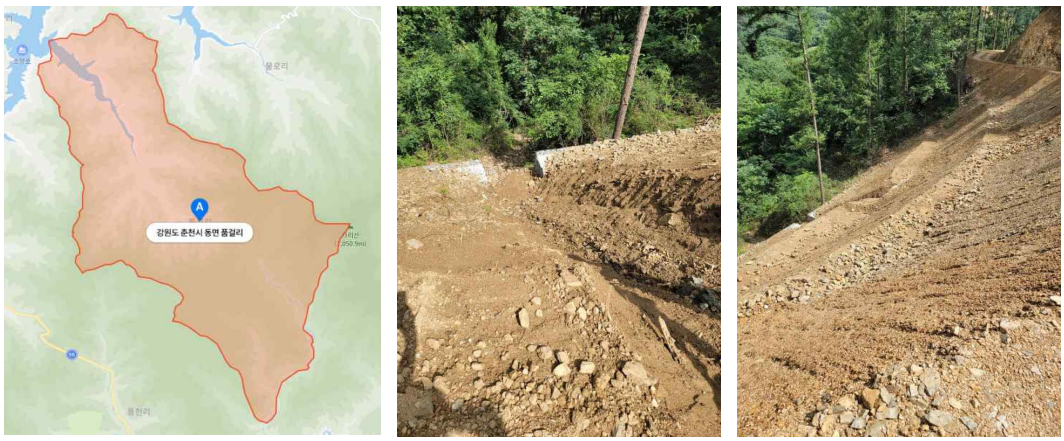


그림 135 시험시공 대상지(수로 A, B)

해당 대상지는 현재 임도를 개설하고 있는 곳으로서, 임도를 통과하는 계곡의 흐름을 유지하기 위해 배수관 및 수로를 조성하고자 계획한 상황이다. 기존 돌쌓기 형태의 수로를 프리폼크리트를 활용한 수로로 대체하고자 하며, 발주처와 협의를 진행하였다.

프리폼크리트를 적용하고자 하는 수로는 총 2개소로서, 편의상 수로 A와 B로 구분하여 명기하였다. 수로 A의 경우 폭 3.5m, 연장 12m 규모이며, 수로 B의 경우 폭 3.5m, 연장 19m로 확인하였다. 수로 B 현장은 수로 중간에 소단이 형성되어 경사의 변화가 있어 시공 시 이를 감안하여 진행하였다.

각 대상지에 맞는 시험시공을 위해 현장조사 데이터를 토대로 설계를 실시하였다.

○ 현장여건을 고려한 프리폼크리크리트 설계

현장조사한 수로 A와 B 조건에 맞춰 프리폼크리트 배치를 고려하였으며, 그에 따른 자재 수량과 내역을 산정하였다. 프리폼크리트의 원활한 시공방식 비교를 위해 배치방식을 서로 다르게 적용하고자 하였다.

수로 A 현장은 연장이 12m로 짧고 소단과 같은 경사의 변화가 없으므로 횡방향 배치를 적용하였으며, 롤 형태로 생산되는 프리폼크리트를 수로의 횡단에 맞춰 약 5m 길이로 절단해 사용하도록 하였다. 프리폼크리트의 폭이 2.4m로 생산되므로 연결부 겹침길이를 고려하여 6장 정도가 소요될 것으로 예상되며, 고정핀의 경우 수로 양 끝단과 연결부 위주로 설치하도록 하였다.

수로 B 현장은 연장이 19m로 수로 A에 비해 길고 중간에 소단이 존재하여 프리폼크리트의 절곡부가 존재하므로 종방향 배치를 적용하여 시공하기로 하였다. 단, 프리폼크리트가 폭 2.4m 이므로 수로 폭 3.5m를 한번에 배치할 수 없어 두번 배치하고 중간에 연결부를 두는 방식으로 계획하였다.

각 수로 형태에 따른 시공도면과 공사내역은 다음과 같다.

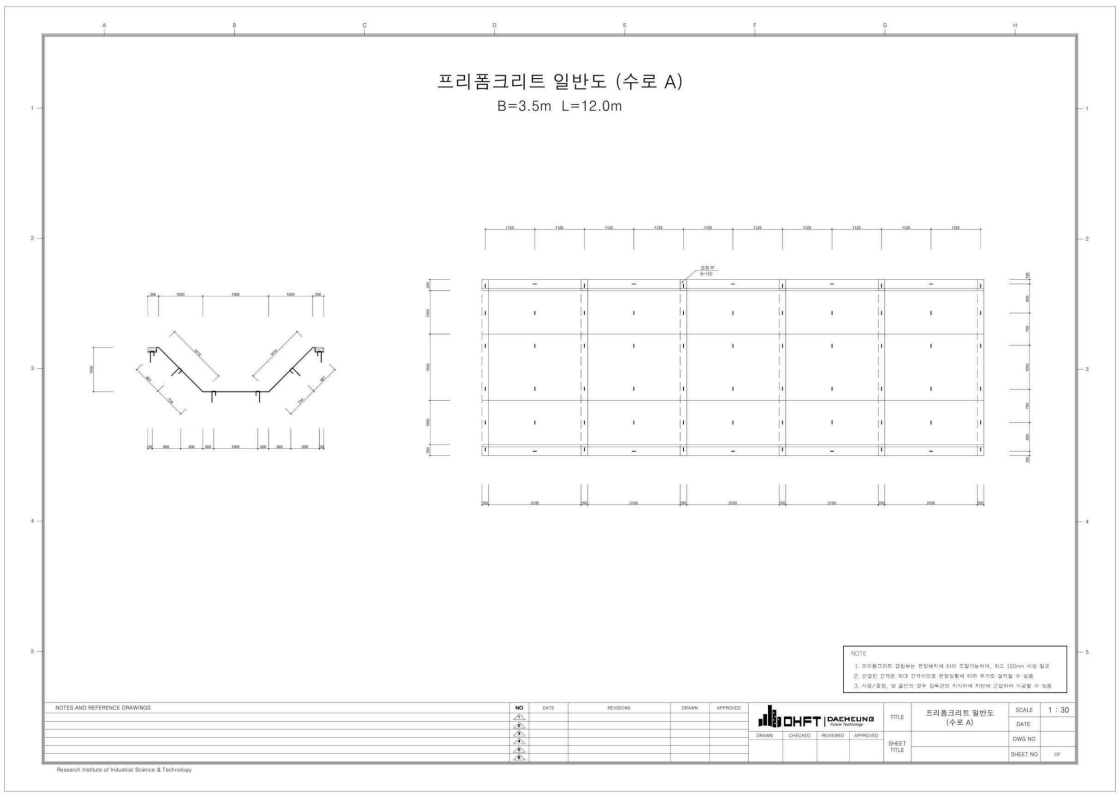


그림 136 프리폼크리트 시험시공 수로 A 도면

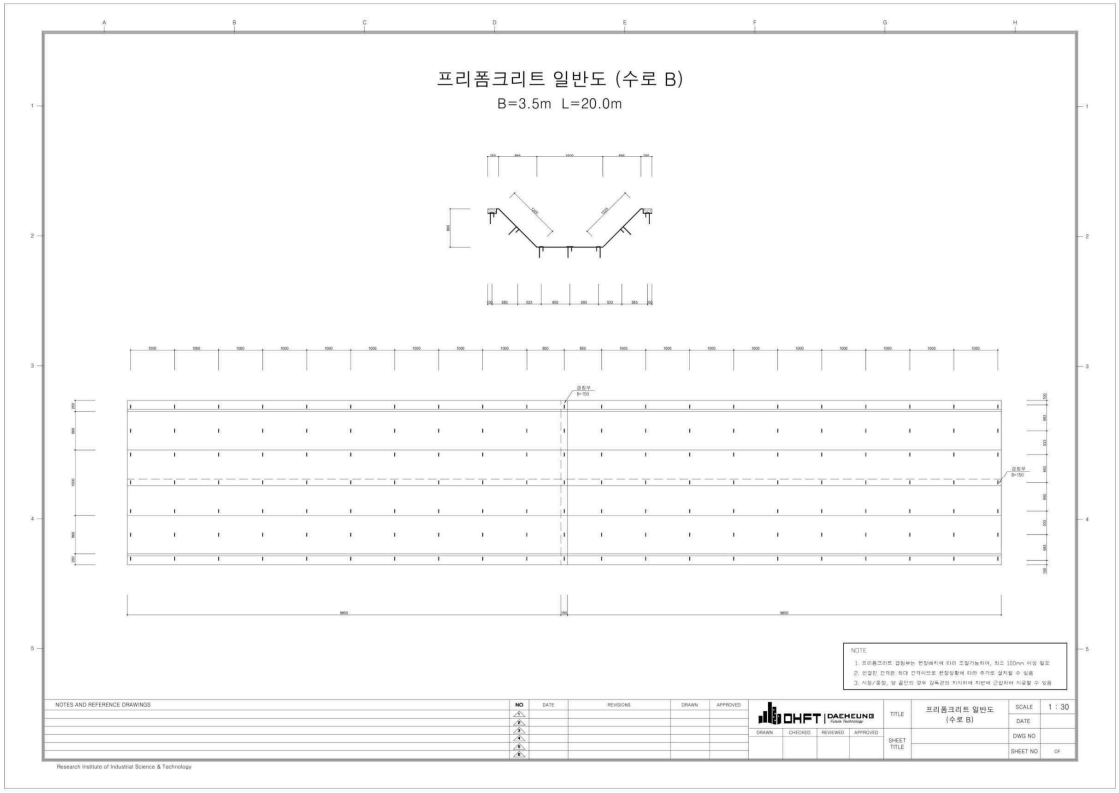


그림 137 프리폼크리트 시험시공 수로 B 도면

설 계 내 역 서

순번	명칭	규격	수량	단위	합계		재료비		노무비		경비		비고
					단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액	
	순공사비 총액					4,343,674		2,983,789		1,246,086		113,938	
1.	프리폼크리트	B=3.5m, L=12.0m				1,486,014		125,989		1,246,086		113,938	
1)	면고르기		60	m2	3,073	184,374	356	21,349	2,269	136,146	448	26,879	
2)	프리폼크리트 설치		60	m2	21,694	1,301,640	1,744	104,640	18,499	1,109,940	1,451	87,060	
2.	자재					2,857,800		2,857,800	-	-	-	-	
1)	프리폼크리트	2400B	66	m2	40,000	2,640,000	40,000	2,640,000	-	-	-	-	
2)	고정핀	Φ10	73	개	3,000	217,800	3,000	217,800	-	-	-	-	

(a) 수로 A

설 계 내 역 서

순번	명칭	규격	수량	단위	합계		재료비		노무비		경비		비고
					단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액	
	순공사비 총액					7,086,722		4,910,683		1,993,738		182,301	
1.	프리폼크리트	B=3.5m, L=20.0m				3,377,622		291,583		1,993,738		182,301	
1)	면고르기		96	m2	3,073	294,998	356	34,159	2,269	217,834	448	43,005	
2)	프리폼크리트 설치		96	m2	21,694	2,082,624	1,744	167,424	18,499	1,775,904	1,451	139,296	
2.	자재					4,709,100		4,709,100		-		-	
1)	프리폼크리트	2400B	106	m2	40,000	4,224,000	40,000	4,224,000	-	-	-	-	
2)	고정핀	Φ10	162	개	3,000	485,100	3,000	485,100	-	-	-	-	

(b) 수로 B

그림 138 프리폼크리트 시험시공 내역서

② 프리폼크리트 시험시공

○ 1차 시험시공

프리폼크리트를 시공하려는 두 대상지 모두 시공순서는 설치하고자 하는 지반의 평탄화 → 프리폼크리트 배치 → 시점부 고정 → 연결부 체결 → 종점부 마감 → 물 분사 순서로 진행하였다.

첫번째 대상지인 수로 A 현장은 프리폼크리트를 횡방향으로 배치하고자 계획하였기 때문에 10m 길이로 제작된 프리폼크리트를 현장에서 5m 길이로 절단하였다. 절단은 별도의 장비없이 일반 공업용 커터칼을 사용하여도 손쉽게 가능하였으며, 절단한 프리폼크리트는 굴삭기를 이용하여 수로까지 운반하였다.

수로 위치까지 운반된 프리폼크리트는 굴삭기를 활용하여 대략적으로 배치한 후, 인력으로 정밀하게 배치 및 위치조정을 하였다. 이때, 배치가 완료된 후 작업 시 흐트러지는 것을 방지하기 위해 양 끝단에 고정핀을 설치하였다.

프리폼크리트 배치 작업을 반복적으로 수행하되 접합부에서는 상부(수로 유입부)에 배치한 프리폼크리트가 위로 올라오도록 배치하였으며, 겹침부 설치 기준에 따라 최소 100mm 이상 겹쳐지도록 하였다. 수로에서 물의 흐름 방향에 맞춰 프리폼크리트가 상단으로 배치되도록 하였으며, 이는 겹침부가 물 흐름방향에 노출될 경우 틈새로 물이 침투하여 누수가 발생할 수 있기 때문이다.

배수관을 통해 물이 유입되는 시점부의 경우, 다량의 물이 통과할 시 유수의 낙차로 인해 프리폼크리트가 침식되거나 파손될 수 있으므로 배치하고 남은 프리폼크리트를 사용해 추가로 겹쳐 시공하였다. 종점부의 경우 사면보호를 위해 기 설치된 게비온 옹벽이 위치하고 있어 형상에 맞게 프리폼크리트를 절단하여 배치하였다.

고정핀은 좌우 끝단과 수로의 절곡부, 사면부, 바닥부에 걸쳐 설치하였으며, 토사지반이므로 안정성과 결착력 보강을 위해 당초 제안한 설치 기준보다 좁은 간격으로 작업하였다. 수로의 좌우 끝단부는 고정핀의 노출을 방지하고 사면의 표면수가 틈새로 유입되는 것을 막기 위해 성토하여 프리폼크리트가 사면에 근입되도록 하였다.

프리폼크리트 경화를 위한 물 분사는 1ton 살수차를 활용하여 전체면에 골고루 분사하였으며, 1회 분사가 아닌 다회에 걸쳐 실시하였다. 물 분사와 동시에 프리폼크리트가 경화되어 강도가 구현되는 것을 확인할 수 있었으며, 하루 뒤 완전히 경화된 것을 확인하였다.

프리폼크리트 배치부터 물 분사까지 수로 A 대상지에 시공을 완료하는데 소요된 시간은 약 4시간으로 기존 돌쌓기 방식을 적용할 때의 소요시간인 1~2일에 비해 효과적으로 단축한 것을 확인할 수 있었다.



(a) 프리폼크리트 자재 현장반입



(b) 프리폼크리트 배치



(c) 고정핀 설치



(d) 끝단 마감 처리



(e) 경화를 위한 물 분사



(f) 시공 완료

그림 139 시공순서(수로 A)

○ 2차 시험시공

프리폼크리트 배치 방식에 따른 시공성 비교를 위해 앞서 수로 A와 달리 수로 B는 수로 진행방향으로 프리폼크리트를 배치하는 종방향 방식을 적용하였다. 수로의 폭이 3.5m 이므로 프리폼크리트 폭 2.4m로 한계가 있어 수로 중앙부에서 연결부를 구성하여 2장을 포개어 배치하였다. 제작된 프리폼크리트는 10m 단위로 되어있어 수로 총 연장인 19m를 한번에 배치할 수 없으므로, 중간부분에서 겹침이음을 통해 프리폼크리트를 연결하였다.

롤 형태로 생산된 프리폼크리트를 굴삭기로 운반하여 수로의 상류(유입부)에서부터 하류 방향으로 작업자가 풀어가며 배치하였으며, 배치하면서 발생한 오차를 수정 후 고정을 위해 사면부 끝단에 고정핀을 일정간격으로 설치하였다. 마찬가지로 반대쪽 수로사면에서도 동일한 방법으로 프리폼크리트를 배치하였으며, 수로 폭 중간지점에서 최소 100mm 이상 포개어 배치하고 고정핀을 설치하여 좌우로 배치된 프리폼크리트를 연결하였다.

1차로 배치한 프리폼크리트의 끝단에서 연장을 위해 새로운 프리폼크리트를 앞서 배치한 방법과 동일하게 상류에서부터 롤 형태를 풀어가며 배치하였으며, 연장을 위한 연결부는 상류측 프리폼크리트가 위로 배치하도록 하고 최소 100mm 이상 겹쳐지도록 하여 구성하였다.

고정핀은 수로의 좌우 끝단과 중앙 연결부에 우선적으로 설치하고 안정성 향상을 위해 좌우 사면과 바닥부에 추가로 설치하였다. 횡방향으로 배치한 수로 A에 비해 프리폼크리트 연결부가 적어 고정핀이 적게 사용되는 것을 확인할 수 있었다.

종방향 배치를 적용한 수로 B 대상지 시공에 걸린 시간은 약 3시간으로 횡방향 배치를 적용한 수로 A 대상지보다 더욱 단축시켰으며, 이는 프리폼크리트 절단에 소요되는 시간을 절약한것과 더불어 작업자들이 수로 A 대상지 작업을 통해 프리폼크리트 시공 방식에 적응하였기 때문으로 판단된다.

횡방향 배치와 종방향 배치 모두 시험시공을 진행한 결과, 횡방향 배치의 경우 공장에서 롤 형태로 생산되어 오는 프리폼크리트를 현장조건에 맞게 절단해야 하므로 공정이 추가되어 상대적으로 불편한 점이 있었으며, 종방향 배치의 경우 현장에서 바로 롤 형태를 풀어가며 설치하여 시공이 빠르고 간편하다는 장점이 있으나 장비의 사용이 필수적이라는 점을 확인할 수 있었다. 따라서 수로의 폭이 넓을 경우에는 횡방향 배치를 적용하는 것이 효과적으로 보이며, 수로 폭이 좁은 현장에서는 종방향 배치를 적용하여 빠르게 시공을 완료하는 것이 적합할 것으로 판단된다.



(a) 프리폼크리트 자재 배치



(b) 배치 위치 조정



(c) 고정핀 설치



(d) 끝단 마감 처리



(e) 경화를 위한 물 분사



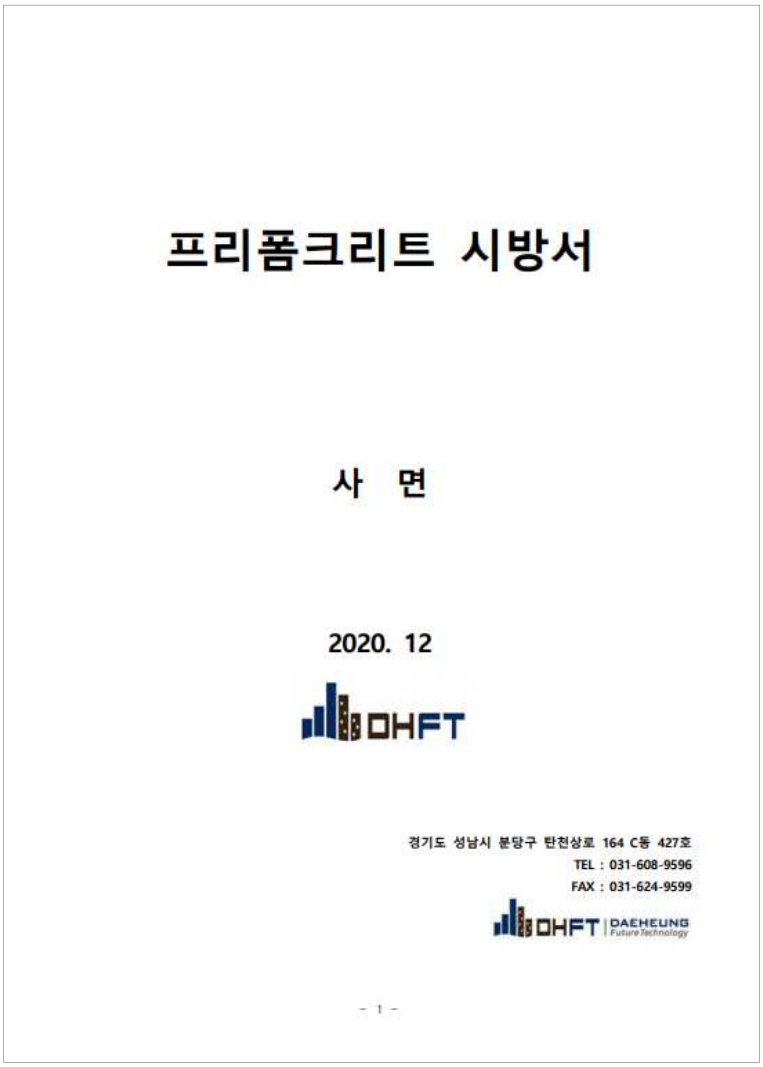
(f) 시공 완료

그림 140 시공순서(수로 B)

(마) 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 설계 표준화 및 매뉴얼 작성

① 프리폼크리트 사면설치 시방서

기상재해 취약지역의 피해 예방 및 사면의 신속한 복구를 위하여 거푸집 설치, 양생과정없이 프리폼크리트(Free-Form-Crete)를 이용하기 위하여 시방서를 제작하였다.



프리폼크리트 시방서

사 면

2020. 12

DHFT

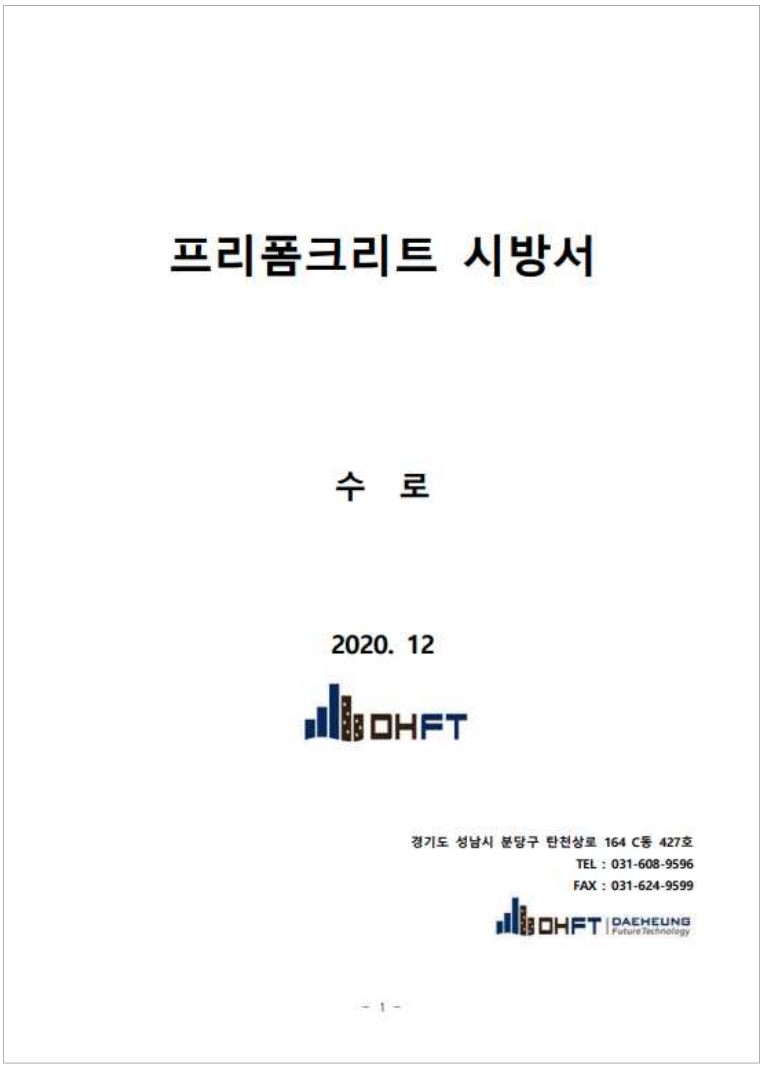
경기도 성남시 분당구 탄천상로 164 C동 427호
TEL : 031-608-9596
FAX : 031-624-9599

DHFT | DAEHEUNG Future Technology

- 1 -

② 프리폼크리트 수로설치 시방서

기상재해 취약지역이나 장기간 공용된 수리구조물 등의 피해 예방 및 신속한 복구를 위하여 거푸집 설치, 양생과정 없이 시공이 가능한 프리폼크리트(Free-Form-Crete)를 이용하여 수로의 보수, 보강공사에 적용하고자 시방서를 제작하였다.



프리폼크리트 시방서

수 로

2020. 12

DHFT

경기도 성남시 분당구 탄천상로 164 C동 427호
TEL : 031-608-9596
FAX : 031-624-9599

DHFT | DAEHEUNG Future Technology

- 1 -

(바) VE 기법을 활용한 경제성 검토

프리폼크리트 내역산출 및 VE 기법을 통한 경제성 검토를 통하여 최소의 생애주기비용으로써 시설물의 필요한 기능을 확보하기 위하여 설계내용에 대한 경제성 검토(이하 VE)를 수행하였다.

설계VE란 최소의 생애주기비용으로 시설물의 필요한 기능을 확보하기 위하여 설계내용에 대한 경제성 및 현장적용의 타당성을 기능별, 대안별로 검토하는 것을 말한다. 검토 대상의 기능이 가지는 성능과 이를 얻기 위한 비용 사이의 관계를 정성적, 정량적으로 나타내는 것을 가치(Value)라고 표현하며, VE활동의 궁극적인 목표는 가치향상이며, 시간, 비용, 기능의 적정한 안배를 통하여 이루어진다.

VE검토를 통해 프리폼크리트의 기본적 기능 규명, 기능별 성능에 대한 정량적 평가, 대안에 대한 상대적 가치 향상에 대한 객관적 평가가 가능하며, 설계 전반에 대한 신뢰성 있는 점검으로 설계 품질을 향상시킬 수 있다. 또한 현재 사용되고 있는 기존 기술보다 우수한 대안을 결정하여 비용 절감효과를 기대할 수 있다.

기존 원안(돌수로 공법)을 대안(프리폼크리트)으로 변경 시 가치 상승 효과를 검토하기 위해 다단계 성능평가(Multi-Level Performance Measurement) 기법을 도입하여 정량적인 성능평가를 수행하고 합리적인 비용평가(LCC분석)를 통해 가치를 산정하였다.

효과적인 경제성 검토를 위해 적용한 VE 프로세스는 국토해양부(2006) “VE 업무 매뉴얼” 및 미국 캘리포니아 교통국(Caltrans) [Value Analysis Report Guide] (2003)의 VE Job Plan을 기본 모델로 프리폼크리트 특성에 부합되는 집중 타겟(Target)형 Job Plan을 적용하였다.



원안인 큰돌쌓기 수로를 대안인 프리폼크리트로 변경하였을 때 사업의 성능, 비용 등을 고려하여 가치가 어느 정도 향상되는지 검토하였으며, 비교에 앞서 각 기술에 대한 분석을 실시하였다.

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th colspan="2">개 요</th></tr>
<tr><td rowspan="2">제안
내용</td><td rowspan="2">원안</td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td colspan="2">· 수로 양안에 일정 크기의 석재를 적층하여 침식방지 및 흐름 유도
· 석재를 적층하면서 발생하는 공극에 시멘트를 타설하여 석재간 접착
· 미관을 위해 비교적 큰 크기의 석재 및 조경석 활용
· 석재 운반을 위한 굴삭기, 시멘트 타설을 위한 펌프카 등 중장비 활용</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">원안의
장단점</td><td>장점</td><td>단점</td></tr>
<tr><td>· 자연친화적인 석재 사용으로 인한 시각적 안정성 및 미관이 우수
· 석재와 시멘트를 사용하여 유수에 의한 침식 대처 가능</td><td>· 석재 운반 및 시공을 위한 중장비 필수적
· 석재 적층 시 붕괴방지를 위해 모양을 맞춰야 하므로 시공 난해
· 시멘트를 사용하므로 환경오염 우려가 있으며 양생을 위한 기간 필요</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th colspan="2">개 요</th></tr>
<tr><td rowspan="3">제안
내용</td><td>대안</td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">· 패브릭 소재 사이에 광섬유 및 초속경 시멘트가 혼합된 콘크리트 믹스를 삽입하여 물 분사를 통해 급속 경화
· 충분한 물 분사 시 1시간 이후 강도의 70% 이상 발현
· 롤 형태로 생산된 자재를 현장에 맞춰 배치하고 고정핀을 이용하여 지반과 결속
· 인력운반 및 시공이 가능하여 중장비 필요성 감소</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">대안의
장단점</td><td colspan="2">장점</td><td>단점</td></tr>
<tr><td colspan="2">· 현장배치부터 콘크리트 경화까지 하루에 완료가능하여 공사시간 단축
· 인력운반 및 시공이 가능하여 적용현장 제약 없음
· 현장가공이 가능하여 최적화 시공 가능
· 파손 시 부분 보수가 가능
· 시공을 위한 장비 진입로 개설 등 최소화</td><td>특이사항 없음</td></tr>
<tr><td>시공시
고려사항</td><td colspan="3">현장 여건에 따라 고정핀 수량 및 배치방법 결정 필요</td></tr>
<tr><td>효과
(기술성)</td><td colspan="3">초속경시멘트로 인해 물 분사 시 바로 경화되어 긴급 복구 시 활용 가능
기존 방안 대비 약 하루만에 콘크리트 수로 구축 가능</td></tr>
</table>

원안과 대안에 대하여 성능(Performance) 분석을 수행하였으며, 총 20가지의 세부 평가항목을 토대로 성능지수의 증감 여부를 판단하였다. 세부 평가항목은 크게 계획성, 시공성, 유지관리성, 안전/안정성, 환경성 5가지로 분류하였고, 각 분류에서도 4가지 항목으로 상세히 검토하였다.

표 40 평가항목에 따른 성능지수

세부 평가항목		성능지수			세부 평가항목		성능지수		
		원안	대안	증감			원안	대안	증감
A-01	수로단면의 적정성	13.3	13.3	-	C-03	내구성(내구수명)	15.0	15.0	-
A-02	수로계획의 적정성	26.7	32.0	+5.3	C-04	퇴적,퇴사 관리성	20.0	24.0	+4.0
A-03	수로구조물의 적정성	17.8	17.8	-	D-01	수로의 안전성	15.6	15.6	-
A-04	공사계획의 편리성	31.1	37.3	+6.2	D-02	통수단면 확보성	11.7	11.7	-
B-01	품질확보의 용이성	20.8	24.9	+4.2	D-03	구조물 안전성	19.4	19.4	-
B-02	구조물의 시공성	42.8	59.9	+17.1	D-04	시공중 안전성	31.1	37.3	+6.2
B-03	공사기간의 적정성	39.7	51.3	+14.7	E-01	소음,진동,분진 최소화	38.9	46.7	+7.8
B-04	자재,공법의 적정성	22.0	26.4	+4.4	E-02	폐자재 발생 최소화	20.0	24.0	+4.0
C-01	구조물 점검 용이성	30.0	36.0	+6.0	E-03	환경오염 최소화	33.3	46.7	+13.3
C-02	구조물 보수 용이성	35.0	42.0	+7.0	E-04	민원 최소화	18.9	22.7	+3.8

※ A=계획성, B=시공성, C=유지관리성, D=안전/안정성, E=환경성

비용(Cost)과 가치(Value)에 대해서도 분석하였으며, 비용은 원안과 대안 모두 연장 1,000m를 공사하는 것을 기준으로 진행하였다. 초기비용과 유지관리비용을 고려한 생애주기비용(LCC)을 산정하고 앞서 분석한 성능지수를 이용하여 가치 비교를 수행하였다.

표 41 생애주기비용 산정(연장 1,000m 기준)

구분		원안	대안	증감액
초기비용	ITEM 기준	711,703 천원	349,912 천원	(감) 361,791 천원
	전체프로젝트 기준	711,703 천원	349,912 천원	(감) 361,791 천원
유지관리비용	ITEM 기준	91,316 천원	44,896 천원	(감) 46,420 천원
생애주기비용	ITEM 기준	803,019 천원	394,808 천원	(감) 408,211 천원
	전체프로젝트 기준	768,803 천원	360,592 천원	(감) 408,211 천원
상대LCC(전체프로젝트 기준)		1.0000	0.4917	-
성능지수(P)		500.00	604.00	20.80% 향상
가치지수(V)		500.00	1228.50	145.70% 향상

VE 기법을 활용하여 프리폼크리트 수로와 큰돌쌓기 수로를 비교한 결과, 프리폼크리트로 대체 시 성능지수는 104.00점(20.8%) 향상되고, 초기공사비용은 361,719,000원(50.83%) / 생애주기비용은 408,211,000원(50.83%) 절감되는 것으로 나타났다. 즉, 성능향상 및 비용절감을 통하여 가치지수는 728.5점(145.7%) 향상되므로, 프리폼크리트의 사업화 가능성이 매우 높을 것으로 판단된다. 프리폼크리트에 대한 VE 검토 상세 보고서는 다음과 같다.

프리폼크리트 내역산출 및 VE 기법을 통한 경제성 등 검토 보고서

2020. 12

대흥미래기술

CONTENTS

제1장 경제성 등 검토(VE) 개요

1.1 과업의 이해 ····· 1
1.1.1 제안배경 ····· 1
1.2 경제성 등 검토(VE) 개요 ····· 2
1.2.1 기본 개요 ····· 2
1.2.2 수행 목적 ····· 2
1.2.3 VE 단계별 활동사항 ····· 2
1.2.4 기대 효과 ····· 2
1.3 VE수행 방법 ····· 3
1.3.1 가치평가 기법 ····· 3
1.3.2 다단계 성능평가(MLPM)기법 ····· 3
1.3.3 생애주기비용(LCC: Life Cycle cost)분석 ·4
1.4 VE Job Plan ····· 5
1.4.1 Job Plan을 통한 VE업무 수행 ····· 5
1.5 VE단계별 수행방안 ····· 6
1.5.1 준비단계(Pre-Study) 수행방안 ····· 6
1.5.2 분석단계(VE-Study) 수행방안 ····· 8
1.5.3 이행단계(Post-Study) 수행방안 ····· 12
1.6 단계별 예상문제점 및 대책 ····· 14
1.6.1 준비단계(Pre-Study) ····· 14
1.6.2 분석단계(VE-Study) ····· 14
1.6.3 이행단계(Post-Study) ····· 14

제2장 준비단계(Pre-Study)

2.1 VE대상 프로젝트 현황 ····· 15
2.1.1 VE대상 개요 ····· 15
2.2 VE 수행계획 ····· 16
2.3 사전 정보수집 ····· 17
2.4 원안 비용분석 ····· 17
2.4.1 파레토(Pareto) 분석 ····· 17
2.4.2 원안의 생애주기비용(LCC) 산정 ····· 18
2.5 품질모델 작성 ····· 18
2.5.1 품질모델 작성절차 ····· 18
2.5.2 본 프로젝트의 품질모델 작성결과 ····· 18

제3장 분석단계(VE-Study) 및 결과

3.1 성능평가 척도수립 ····· 19
3.1.1 평가항목 정의 ····· 19
3.1.2 대분류 평가항목 매트릭스 평가 ····· 19
3.1.3 평가항목 가중치 산정 ····· 20
3.2 대안별 경제성(VE)검토 결과 ····· 21
3.2.1 큰돌수로 VS 프리폼수로 ····· 21

[부록]

- 부록#1. 비용산정 근거

01 경제성등 검토(VE) 개요

1.1 과업의 이해
1.2 경제성 등 검토(VE) 개요
1.3 VE수행 방법
1.4 VE Job Plan
1.5 VE단계별 수행방안
1.6 단계별 예상문제점 및 대책

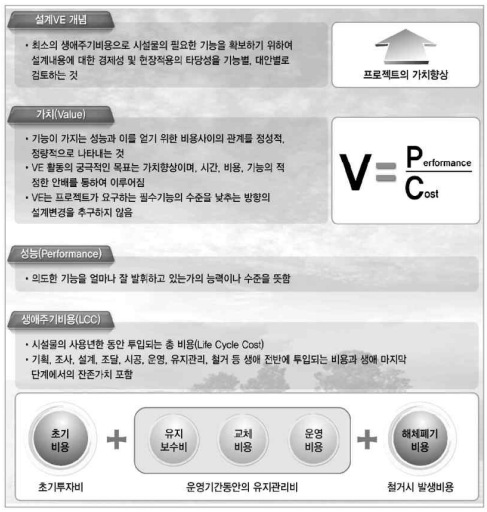
제 1 장 경제성 등 검토(VE) 개요

1.1 과업의 이해

1.1.1 제안배경

경제성 등 검토(VE)의 이론적 배경

• 「 프리폼크리트 내역산출 및 VE 기법을 통한 경제성 검토」 를 통하여 최소의 생애주기비용으로써 시설물의 필요한 기능을 확보하기 위하여 설계내용에 대한 경제성 검토(이하 VE)를 수행함



1.2 경제성 등 검토(VE) 개요

1.2.1 기본 개요

- 경제성 등 검토(VE)의 추진방법에 대한 다소간의 개선을 통한 많은 아이디어의 발굴을 유도
- 「프리폼크리트」의 주변이용자 및 발주처 등의 요구사항을 엄밀히 분석하여 VE검토 시 반영하고, 원설계자의 의도를 충분히 검토하여 VE수행 시 이를 고려하고자 함
- VE제안의 100%의 성과를 거두기 위하여 전문 관계자 적극적 참여 유도
- 도출된 아이디어의 정량화를 위해 국토해양부 "VE 업무 매뉴얼" (2006) 및 기술선진국인 미국 캘리포니아 교통국(Caltrans)의 VE Job Plan의 체계적인 VE적용절차에 따라 최대한의 가치창출 노력을 수행

1.2.2 수행 목적

- 설계내용에 대한 경제성 및 현장적용 타당성을 기능별, 대안별로 검토
- 평가항목에 대한 기술적 접근성 및 전문성 확보
- 경제적인 대안개발을 통한 원가절감과 성능향상을 통한 가치향상 도모
- 최소의 생애주기비용으로 시설물의 필요한 기능 확보
- 주관적 판단을 배제한 VE 및 LCC의 정식화

1.2.3 VE 단계별 활동사항

분 야	준비단계					분석단계						실행단계		
	사전예비회의	조직편성	사전조사지	오리엔테이션	현장답사	자료수집	성능분석	기능분석	아이디어창출	대안구체화	기술검토	실행회의	제안서작성	결과보고
발주처	참여	승인				지원			지원	지원	참여/비용	협의		심의/승인
VE리더	참여	참여	주관	주관	주관	주관	주관	주관	주관	주관	주관	협의	주관	주관
VE 퍼실리테이터	지원	지원	지원	지원	지원	지원	지원	지원	지원	지원	지원	지원	지원	지원
각 분야 VE팀원	참여	참여	참여	참여	참여	참여	참여	참여	참여	참여	참여	협의	지원	지원
원설계사	지원			참여	참여	지원				지원	지원	협의	지원	반영

1.2.4 기대 효과

- 대상 시설물의 기본적 기능 규명, 기능별 성능에 대한 정량적 평가 대안에 대한 상대적 가치 향상에 대한 객관적 평가 가능
- 설계 전반에 대한 신뢰성 있는 점검으로 설계 품질 향상
- 원안설계안 보다 우수한 대안 결정
- VE/LCC 측면에서 유리한 대안 검토로 비용 절감 효과 기대

1.3 VE수행 방법

1.3.1 가치평가 기법

- 효율적인 성능(Performance) 비용(Cost) 분석을 통한 가치 평가를 위해 본 용역에서는 다단계 성능평가(MLPM : Multi-Level Performance Measurement)기법을 도입하여 정량적인 성능평가를 수행하고 합리적인 비용평가(LCC분석)를 통해 가치를 산정하여 최적의 대안을 제안하고자함



1.3.2 다단계 성능평가(Multi-Level Performance Measurement) 기법

수행목적 •프로젝트의 범위에 잘 부합되고 프로젝트 성능과 연계성을 고려한 기준수립·사용자 중심 기준수립

- 대규모 건설프로젝트의 경우 다양한 성능속성에 대한 평가를 위한 다단계 성능평가가 필요함
  → 다단계 성능평가(Multi-Level Performance Measurement) 적용
- 정성적 매개변수의 경우 캘리포니아 교통국(Caltrans)의 10등급 평가척도를 적용
- 정량적 매개변수의 경우 각 성능속성의 특성에 따라 5개의 유틸리티 커브를 적용

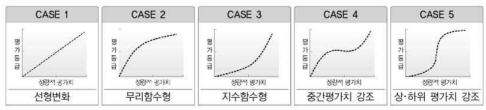
다단계 성능평가 수행

대분류		중분류		
성능속성	가중치	성능속성		가중치
구조안정성	26.0	C-1	구조물 안정성	5.2
		C-2	공법선정의 안정성	2.0
		C-3	기초지지력 안정성	4.0
시공성	15.0	M-1	자재수급 용이성	3.0
		M-2	품질확보 용이성	3.0
		M-3	공사차량 진출입 용이성	5.0
효율성	19.0	S-1	교통처리 효율성	5.0
		S-2	가압방식의 효율성	5.0
		S-3	토공처리의 효율성	7.5
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮



정량적 성능속성의 매개변수(평가척도)

- VE Workshop 수행 시 이해관계자의 협의를 통하여 각 CASE별 정량적 평가척도 수립하여 적용



1.3.3 생애주기비용(LCC: Life Cycle cost)분석

LCC 정의

- 본 용역에서 생애주기비용(Life Cycle Cost : 이하 LCC라 칭함)은 시설물의 기획단계부터 유지관리단계까지 기대수명동안 발생하는 모든 비용을 나타내며, 본 용역은 일반 시설물에 공히 적용 가능한 NIST(Ehlen & Marshall, 1996) 모델을 적용하고 LCC 산정방법은 실질 할인율을 적용한 현재가치화법을 사용

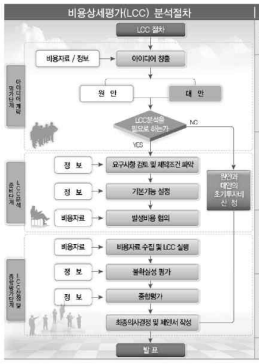
$$LCC = CI + CM + CF - B$$

CI : 초기건설비용 CM : 수명기간동안의 유지관리비용
CF : 파괴비용(구조물 손상 또는 재건설 시 발생할 수 있는 직·간접비용) B : 재활용에 따른 이익 비용

- LCC분석 목적 : 비용 산정이 가능한 대안에 대해 분석을 수행하여 대안별 실행결과로 인해 변경될 대상의 비용만을 포함하여 상대적 차이값을 구하고 LCC를 최소화 할 수 있는 의사 결정을 지원함

LCC 분석절차

현황분석	모델정립	LCC 분석	결과적용
• 주요변수 분석 → Data수집/적용 • 전문가 자문/설문조사 • LCC분석모델 수립	• 비용분류체계 정립 • 비용함수의 정식화 • 확정적분석 방법의 정식화	• LCC분석 프로그램 활용 • 비용의 적정성 검토	• 적정 유지관리계획을 위한 시설물 계획 • 전략계획, 예산할당, 운영시간 등의 의사 결정 지원

비용상세평가(LCC) 분석절차	주요 비용요소	
	취득비용	• 부동산 비용, 부동산 수수료, 환경처리비용 등
	프로젝트 개발비용	• 계획, 설계 입찰, 시공, 점검, 시설물이나 생산품 또는 공정의 초기 개시와 관련된 비용, 프로젝트 관리, 계획, 설계와 엔지니어링, 프로젝트 지원(구매, 마케팅, 회계 등), 재설계비용
	교체비용	• 프로젝트의 일부를 변경하거나 교체하는 미래 비용, 대개 장비의 특정 부품들이 교체 비용의 주된 원인이 됨, 구성요소 중 기대수명이 지나 교체하는 것은 프로젝트의 전체 수명동안 발생
	잔존가치	• 임의의 미래 시점에서 프로젝트나 생산품의 가치, 잔존가치는 통상 생애주기의 마지막 단계에서 판매를 통해 얻는 가격임
	운영비용	• 어떤 것을 운영하기 위해 필요한 비용, 직원고용, 연료나 에너지, 화학약품과 공급품, 운영 일정, 외부 용역, 자재 확보, 운송
	제 잡 비	• 세금, 보험, 감가상각, 인플레이션 등

1.4 VE Job Plan

1.4.1 Job Plan을 통한 VE업무 수행

- 본 사업의 효과적인 경제성(VE) 검토를 위해 적용할 VE 프로세스는 국토해양부(2006) "VE 업무 매뉴얼" 및 미국 캘리포니아 교통국(Caltrans) 「Value Analysis Report Guide」(2003)의 VE Job Plan을 기본 모델로 본 사업의 특성에 부합되는 집중 타겟(Target)형 Job Plan을 적용



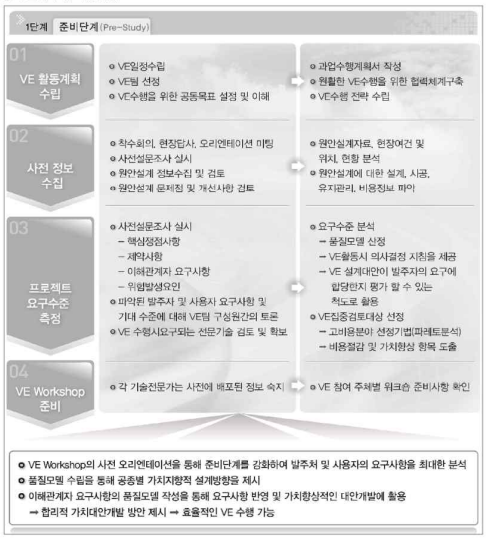
1.5 VE단계별 수행방안

1.5.1 준비단계(Pre-Study) 수행방안

기본방향

- 전문가 팀을 구성하여 발주처의 요구사항 분석을 통해 효과적인 VE대상 선정
- VE대상 용역의 합리적인 경제성 등 검토를 위한 분야별 기술전문가와 VE전문가 등으로 VE팀을 구축

주요절차 및 수행내용

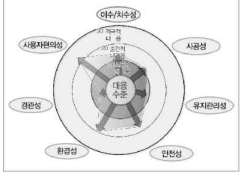


- VE Workshop의 사전 오리엔테이션을 통해 준비단계를 강화하여 발주처 및 사용자의 요구사항을 최대한 분석
- 품질모델 수립을 통해 공종별 가치지향적 설계방향을 제시
- 이해관계자 요구사항의 품질모델 작성을 통해 요구사항 반영 및 가치향상적인 대안개발에 활용

→ 합리적 가치대안개발 방안 제시 → 효율적인 VE 수행 가능

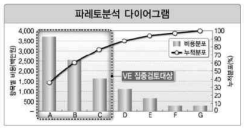
품질모델 산정

- 발주처 및 사용자의 요구사항 파악, 아이디어 발상의 방향설정 및 평가기준을 마련하기 위해 중요항목 도출
- 품질모델은 요구 항목별로 적극적대응, 중간적대응, 소극적대응, 최소대응으로 분류하여 설정하나 본 프로젝트에서는 모든 요구사항에 대해 적극적인 대응으로 분류함으로써 모든 요구항목에 대해 적극적으로 대응하여 그 수준을 최대한 만족시키는 것을 최우선 목표로 함
- 이러한 사용자 요구측정의 결과는 후속 VE운용에서 VE팀이 기능정의, 기능정리, 기능평가, 대체안 평가 시 참고사항으로 활용함

품질모델 작성 절차	품질모델 다이어그램 (예시)
1. 발주처, 이용자의 프로젝트 성능에 대한 요구와 기대를 파악 2. 파악된 요구와 그에 대한 대응 수준에 관하여 설계자, VE팀 구성원들 간의 토론을 통하여 합의 3. 합의에 의해 도출된 사항을 품질모델 다이어그램에 도식적으로 표현 4. 발주자와 사용자 요구정도를 적극적 대응, 중간적 대응, 소극적 대응으로 구분하여 대응함으로써 요구사항 반영 5. 산정된 품질모델을 바탕으로 VE대상분야의 선정, 기능평가 및 아이디어 창출/평가 시 지속적으로 활용	

파레토분석을 통한 VE집중검토대상 산정

- Pareto 법칙(일반적으로 소수의 요소 20%가 비용의 큰 비중인 약 80%를 차지함) 적용
- 각 요소를 비용항목의 순서대로 배열하면 총 비용에 영향을 많이 주는 소수의 항목에 집중할 수 있음
- 본 사업의 특이사항 도출 및 공사비 비중 검토
- 고비용 항목이 가치개선의 여지가 크다는 가정을 기반으로 비용의 비율 순서로 VE집중검토대상 산정

Pareto 분석 절차	파레토분석 다이어그램
1. 프로젝트를 상위수준 항목에서 하위수준 항목으로 분류 2. 분류된 항목에 대한 비용을 산정 3. 위에서 분류된 항목 중에서 가장 높은 비용항목 순으로 VE 대상분야 선정	

경제성 등 검토(VE) 워크숍 수행 시 발표주체, 내용 및 효과

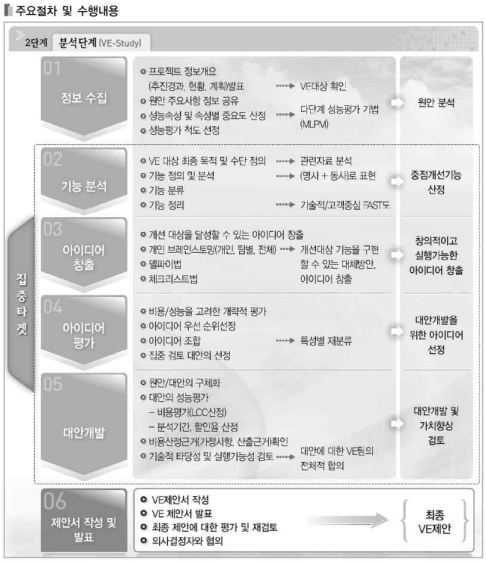
발표주체	내 용	효 과
발주청 담당자	•설계VE 활동 목표 및 시행의지	•프로젝트에 대한 거시적 목표제시 •VE팀과 유관그룹의 단합
VE팀 리더	•설계VE 프로세스 및 업무내용의 개략설명	•모든 설계VE 관련자에 설계VE 프로세스 인지
원설계자	•대상프로젝트의 설계진행 현황 및 전문분야별 설계방향	•VE팀의 설계제약요건에 대한 논리적 배경 이해 및 숙지

1.5.2 분석단계(VE-Study) 수행방안

기본방향

- VE Workshop 수행이 공식적으로 이루어지는 단계로 VE팀원간의 Team Approach를 통한 체계적·효율적 VE 분석을 수행함
- 대규모 시설물의 아이디어 접근방법의 효율적 방안을 위한 성능속성 산출 및 개선여지 기능성 분석수행

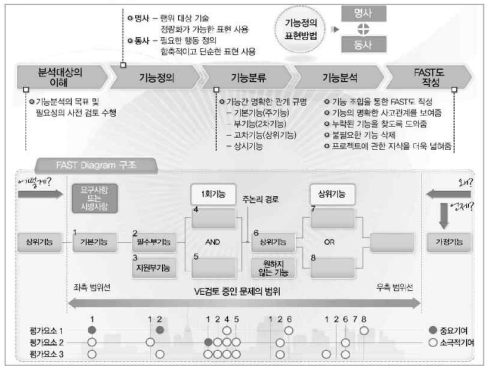
주요절차 및 수행내용



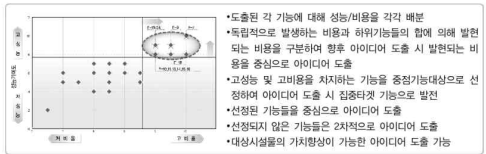
기능분석 수행방법

수행목적	•VE대상 프로젝트의 모든 요소를 기능으로 표현할 수 있으며, 프로젝트 전반 → 공종 → 구성시스템 → 구성 요소 순으로 프로젝트의 구성물들에 대해 정의 할 수 있음

기능분석 단계별 수행내용



기능분석을 통한 핵심기능 도출



- 도출된 각 기능에 대해 성능/비용을 각각 배분
- 독립적으로 발생하는 비용과 하위기능들의 합에 의해 발현되는 비용을 구분하여 향후 아이디어 도출 시 발현되는 비용을 중심으로 아이디어 도출
- 고성능 및 고비용을 차지하는 기능을 중점기능대상으로 선정하여 아이디어 도출 시 집중타겟 기능으로 발전
- 선정된 기능들을 중심으로 아이디어 도출
- 선정되지 않은 기능들은 2차적으로 아이디어 도출
- 대상시설물의 가치향상이 가능한 아이디어 도출 가능

활용효과	•VE 수행 중 기능정의 단계를 통하여 대상시설물의 주요 기능을 찾을 수 있게 함 •기능분석을 통해 중점 기능대상으로 선정하여 집중 타겟 기능으로 선정하여 아이디어 도출 가능

아이디어 창출 수행방법

창의적 사고를 위한 기술

구 분	개 요	절차 및 특징	적용방안
브레인 스토밍	•Ales F. Osborn박사가 개발 일명 '오스본법' •VE Job Plan중 가장 일반적인 방법	•아이디어 창출용이 •거의 모든 경우에 적용가능 •개인 / 리더에 따라 성과 좌우	적극 적용
브레인 라이팅	•자극단계(Trigger Sessions)로 불리기도 함 •숙련이 되어있지 않고, 거부감이 있는 참여자로부터 아이디어를 모으는데 좋은 방법	•집중할 기능을 명확히 할 수 있음 •각각의 그룹 구성원은 간단한 문장을 써서 자신의 아이디어를 기술함(5분간) •한 구성원이 자신의 아이디어 목록을 읽음 – 다른 사람들은 큰소리로 읽은 아이디어에 "편승한" 아이디어를 적음 •두 번째 구성원이 아직 나오지 않은 아이디어를 읽음 – 모든 구성원이 자신들의 아이디어 목록을 읽을 때까지 이러한 과정을 반복함 •마지막 구성원이 자신의 원래 목록과 "편승한" 아이디어도 같이 읽음(이 절차는 반대방향으로 반복됨)	적극 적용

아이디어 평가 수행방법

•본 과정은 도출된 많은 아이디어들 중 본 과업에 적용 가능한 아이디어를 선택 및 평가하는 단계로 독창성, 기술적 유효성(실행가능성), 창의성, 비용 등을 종합적으로 고려하여 아이디어를 선별
•이러한 아이디어들에 대한 실행 가능 여부를 평가하여 구체적인 아이디어로 발전시키기 위한 단계로서 개략평가를 수행 → 실행가능 아이디어 선정

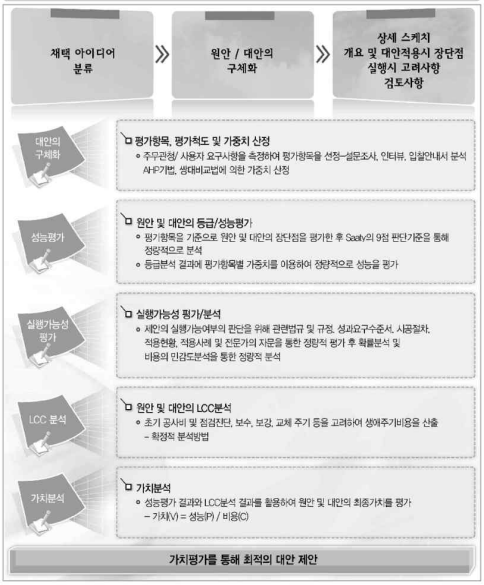




•아이디어 창출단계에서 도출된 아이디어들 중 시행 가능성 위주로 재선별
•제안자를 존중하는 자세로 팀 구성원 전원이 평가에 참여
•아이디어 평가는 아이디어의 취합 후 개략평가

대안의 구체화 세부수행방법

•아이디어 개략평가단계에서 1차 채택한 아이디어에 대해 구체화 과정 실시
•도출된 아이디어에 대해 우선순위를 결정하여 가치향상이 기대되는 아이디어를 각 공종과 연계하여 반영
•향후 대안의 구체화 과정인 VE평가의 대상이 되는 아이디어는 대안의 구체화 과정을 거쳐 VE분석 제안

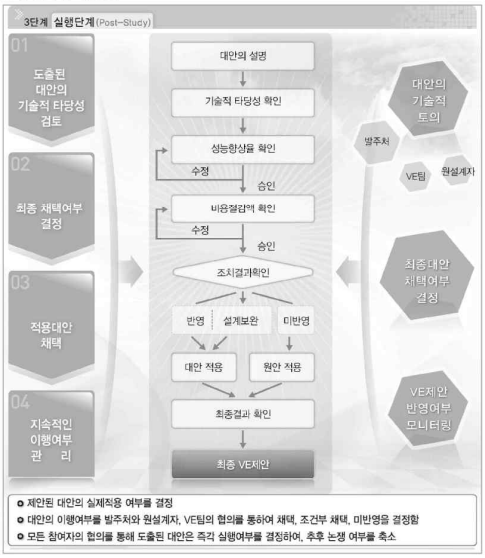


1,5,3 실행단계(Post-Study) 수행방안

기본방향

• VE제안의 최종 실행단계이며, 발주처가 VE활동의 주체가 되어야 하고 VE팀과 지속적인 협의가 필요
• 설계자와의 마찰을 최소화하기 위해서는 준비단계부터 설계자의 참여와 VE담당자의 적극적인 지원이 필수적임

주요절차 및 수행내용



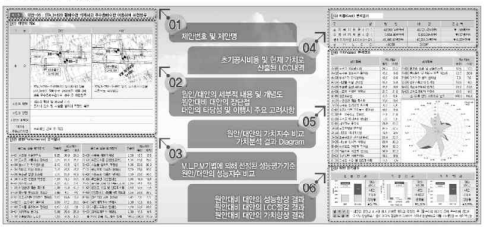
• 제안된 대안의 실제적용 여부를 결정
• 대안의 이행여부를 발주처와 원설계자, VE팀의 협의를 통하여 채택, 조건부 채택, 미반영을 결정함
• 모든 참여자의 협의를 통해 도출된 대안은 즉각 실행여부를 결정하여, 추후 논쟁 여부를 축소

VE제안서 작성

• VE수행 전체 과정을 정리/요약하기 위한 제안서 작성 및 제안내용의 구체화

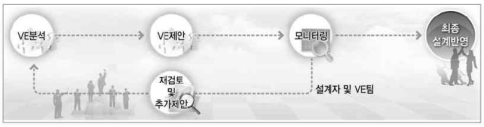


VE제안서 구성(안)



설계반영 및 모니터링/후속조치

• 설계자의 설계반영 중 VE팀의 계속적인 모니터링(Monitoring)을 실시함
• 추가 개선사항 및 설계변경에 따른 Feed-Back 실시로 설계 VE제안의 신뢰성 확보
• 채택된 VE제안을 수정설계에 반영한 후 실제적인 효과를 제안 당시의 예상효과와 비교
• 실행과정상 발생된 제반 문제점들을 분석하여 향후 VE활동에 반영
• 실행이 되지 않은 제안일지라도 VE분석단계로부터 얻어진 기술정보들을 축적하여 재활용 할 수 있는 방안을 발주자 차원에서 마련
• 시공 이후 사용자의 만족도 및 시설물의 효율성을 점검하는 POE(Post Occupancy Evaluation)을 활용하여 장기적인 제안 적용 효과의 평가도 필요함



1.6 단계별 예상문제점 및 대책

1.6.1 준비단계(Pre-Study)

주요문제점	•VE업무의 시작단계인 준비단계(Pre-Study)에서는 프로젝트의 정보수집(시설물, 주변현황, 이해관계자 등)이 매우 중요한 단계이나, 참여기술자들의 무관심 및 중요도의 이해 부족으로 발주처 및 사용자의 불만이 발생할 여지가 있으며 참여기술자들의 원활하지 못한 의사소통이 문제가 됨

예상되는 문제점	문제해결을 위한 방안
◦ 원안에 대한 이해부족 ◦ 발주청 및 사용자의 요구사항 불충족 ◦ 사전 명확하지 않은 VE업무범위 선정 ◦ VE팀원간 원활한 의사소통 불능	◦ 현장답사 및 모변검토 ◦ 이해관계자 요구사항 파악 ◦ 설문조사를 통한 품질모델 작성 ◦ VE Workshop수행(사전오리엔테이션 미팅)

발주처 및 사용자의 요구조건 충족 및 VE팀원간 Team Approach의 효율성 증대

1.6.2 분석단계(VE-Study)

주요문제점	•분석단계(VE-Study)에서는 개선 가능한 주요핵심기능을 도출하고 각 기능별 아이디어를 창출하여 원안의 성능향상 및 공사비를 절감하여야 하나 체계적인 VE Job plan 미적용으로 가치향상 효과 미비

예상되는 문제점	문제해결을 위한 방안
◦ 복합적인 성능속성에 대한 평가적도 미비 ◦ 프로젝트의 핵심기능 파악 부족 ◦ 프로젝트의 성능 및 가치를 저감시키는 아이디어 ◦ 프로젝트 성격에 맞지 않는 대안개발 ◦ 확률적인 비용에 대한 고려 미비	◦ 체계적인 VE Job Plan 적용 ◦ 성능(Performance)을 고려한 기능 분석 ◦ 비용(Cost)을 고려한 기능 분석 ◦ 기술적(Technical-FAST)다이어그램 작성 ◦ 확정적/확률적 LCC분석 수행

개선가능한 핵심기능을 도출하고 분석된 핵심기능을 중심으로 비용 및 성능개선에 유리한 가치향상적 아이디어 창출 가능

1.6.3 실행단계(Post-Study)

주요문제점	•실행회의 시 의견수렴 미비 및 타당성 검토 부족으로 실제적인 대안검토 및 시행이 어려움 •제안된 대안에 대한 설계반영 절차 및 모니터링 제도 미비로 실제적인 효과를 거두기 어려움

예상되는 문제점	문제해결을 위한 방안
◦ 실행회의 미실시로 인한 대안의 실행 가능성 검토 부족 ◦ 설계반영절차 및 모니터링 제도 부족에 의한 실질적인 효과 얻기 힘듦	◦ VE팀, 발주처, 설계사를 포함한 실행회의 실시 ◦ 설계제안 반영을 위한 모니터링제도 실시

실질적인 대안적용으로 원안시설물의 가치향상 확보

02 준비단계(Pre-Study)

2,1 VE대상 프로젝트 현황
2,2 VE 수행계획
2,3 사전 정보수집
2,4 원안 비용분석
2,5 품질모델 작성

제 2 장 준비단계(Pre-Study)

2.1 VE대상 프로젝트 현황

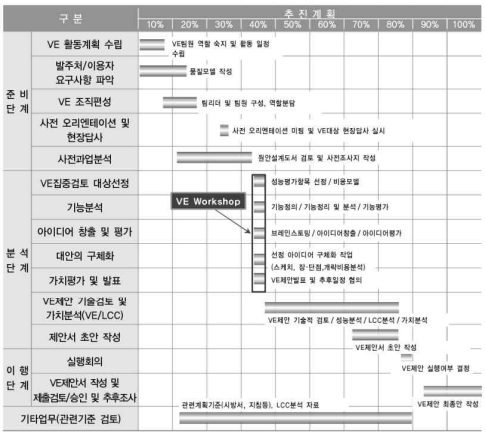
2.1.1 VE대상 개요

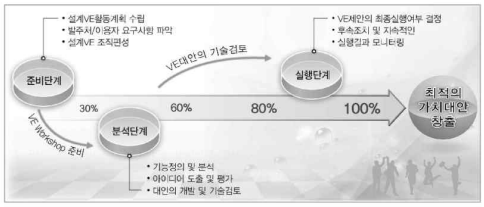
•프로젝트명 : 프리폼크리트를 활용한 가상재해 신속대응 및 복구기술 개발 (돌쌓기 → 프리폼크리트)

과업의 개요

구 분	내 용	비 고
연 구 필 요 성	• 산지 수로 개설을 위한 공정 대부분 자연친화적인 미관을 위해 돌쌓기 형태로 수로 구성 • 돌쌓기 작업 수행 시 석재간의 맞물림을 위해 돌을 수작업으로 적층 • 석재 운반 및 시공을 위한 중장비가 필수적이므로 적용 현장 제약 • 석재 고정을 위해 시멘트를 사용하므로 양생이 필요하여 긴급복구 등의 현장 부적합	
연 구 내 용	• 전/후면은 물이 흡수, 침투할 수 있는 패브릭 소재 적용 • 소속경시멘트가 혼합된 콘크리트 믹스를 패브릭 소재 사이에 배치 • 물 분사 후 1시간 이내 경화 및 강도 70% 이상 발현되도록 재료 선정 • 설치 시 지반과의 고정을 위한 별도 고정핀 개발 • 현장 여건에 맞춰 적용 가능한 배치 및 시공방법 개발 • 장비를 최소화하고 운반 및 시공이 용이하도록 롤(Roll)형태 생산	
개 념 도		

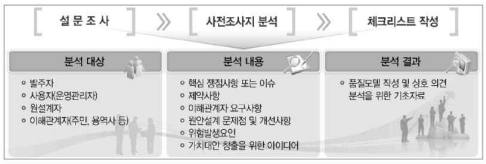
2.2 VE 수행계획





2.3 사전 정보수집

•본 프로젝트의 사용자 및 이해관계자의 요구사항, 핵심쟁점사항, 원안설계의 문제점을 파악하기 위해 원안설계도서 및 관련자료 검토한 후 VE Workshop에 앞서 사전설문조사를 통해 실시
•세부내용은 아래와 같이 제시

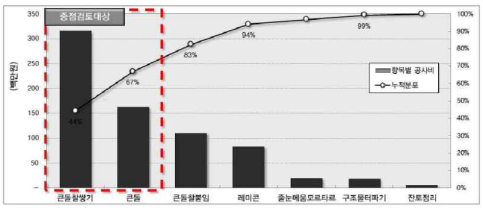


2.4 원안 비용분석

2.4.1 파레토(Pareto) 분석

•일반적으로 소수의 요소(20%)들이 비용의 큰 비중(80%)을 차지하고 있음
•각 요소를 고비용 항목으로부터 저비용 항목의 순서로 배열하면 총 비용에 영향을 많이 주는 소수의 항목에 집중 할 수 있음
•전체 공종의 파레토(Pareto)분석은 「큰돌수로」의 연장 : 1,000m 설치 내역서 기준으로 작성되었으며, VE 기법 분석 수행을 위해 수신된 연구지료(2020. 12)를 기준으로 분석함
•이래의 파레토 분석 그래프와 같이 「큰돌찰쌓기」, 「큰돌(자재」 공종이 큰 비중을 차지하고 있으며, 「큰돌 설치/자재 공종을 「프리폼크리트」로 개선하여 프리폼수로 공사의 경제성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단됨.

공종별 공사비 분석



2.4.2 원안의 생애주기비용(LCC) 산정

•본 과업의 경우 원안의 LCC산정을 위하여 유지관리비 산정은 "수자원 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 연구" (KDI, 2011)에 의거하여 초기공사비의 0.5%에 해당하는 비용이 연간 유지관리비용으로 발생하는 것으로 분석하였음
•분석기간은 40년(2011년도 수자원 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 연구, KDI)을 적용하였으며, 할인율은 한국연구개발원(KDI)의 일반지침에 따라 5.5%를 적용함
•초기공사비용은 현재 VE검토 시점인 2020년 12월을 기준으로 설계내역에 반영된 금액을 기준으로 정함

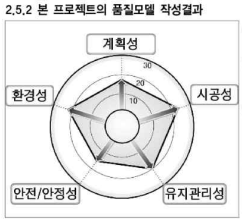
분석기간	할인율	원안설계의 비용분석 결과(현재가치화:NPV)		
		초기공사비용	유지관리비용	생애주기비용
40년	5.5%	711,703,000 원	57,100,375 원	768,803,375 원

2.5 품질모델 작성

2.5.1 품질모델 작성절차



2.5.2 본 프로젝트의 품질모델 작성결과



구성	사전조사 및 전문가의 자문을 통하여 이용자/발주처 요구사항을 도식화된 품질모델 구성
도출	발주처 및 사용자의 프로젝트 성능에 대한 요구와 기대를 파악한 결과 성능개선을 위한 5개의 항목
분석	시공성, 유지관리성, 환경성은 적극적 대응으로, 계획성, 안전/안정성은 중간적 대응으로, 분석됨
활용	선정된 항목은 이후 VE대상분야의 선정, 기능평가 및 아이디어 창출, 아이디어 평가 시 활용

03 분석단계(VE-Study)

3.1 성능평가 척도수립
3.2 경제성 등 검토(VE) 결과

제3 장 분석단계(VE-Study) 및 결과

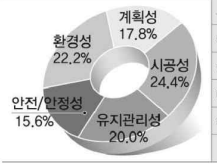
3.1 성능평가 척도수립

•「프리폼크리트 내역산출 및 VE 기법을 통한 경제성 등 검토」의 효율적인 성능평가 수행을 위하여 VE Workshop에서 VE팀의 의견을 종합하여 평가항목 및 가중치를 정의함
•다단계 성능평가(MLPM, Multi Level Performance Measurement)기법 도입을 통해 설계의 성능평가 기준을 수립하였으며 대분류 평가항목별 세분류 평가항목을 세분화하여 세부가중치 산정함
•총 5개 대분류 평가항목과 20개 중분류 성능평가항목을 선정하고 항목별 중요도 분석

3.1.1 평가항목 정의

평 가 항 목	세 부 항 목		평 가 항 목	세 부 항 목	
A.계획성	A-01	수로단면의 적정성	C.유지관리성	C-03	내구성(내구수명)
	A-02	수로계획의 적정성		C-04	퇴적, 퇴사 관리성
	A-03	수로구조물의 적정성	D.안전 / 안정성	D-01	수로의 안전성
	A-04	공사 계획의 편리성		D-02	통수단면 확보성
B.시공성	B-01	품질확보의 용이성		D-03	구조물 안전성
	B-02	구조물의 시공성		D-04	시공중 안전성
	B-03	공사기간의 적정성	E.환경성	E-01	소음,진동,분진 최소화
	B-04	자재,공법의 적정성		E-02	폐자재 발생 최소화
C.유지관리성	C-01	구조물 점검 용이성		E-03	공사 중 환경오염 최소화
	C-02	구조물 보수 용이성		E-04	공사 중 민원 최소화

3.1.2 대분류 평가항목 매트릭스 평가

평가항목 가중치 분석결과 (대분류)	성능속성 매트릭스						
	평가항목	A	B	C	D	E	가중치
	A. 계획성	–	B	C	A	E	17.8
	B. 시공성		–	B	B	B	24.4
	C. 유지관리성			–	C	E	20.0
	D. 안전/안정성				–	E	15.6
	E. 환경성					–	22.2
	합 계						100.0

3.1.3 평가항목 가중치 산정

- 프로젝트의 특성을 고려하여 중분류의 평가항목을 세분화하였으며, 각 세부평가항목의 비중을 고려하여 세부평가 항목의 가중치를 개별 분석함
- 각 평가항목의 특성에 따라 정량적 평가가 가능한 항목을 선정하여 분석하였으며, 세분류 평가척도는 아이디어별 성능평가분석에 제시함

성능속성 선정 → 성능속성별 가중치선정

대분류 평가항목		중분류 세부평가항목				측정방법
성능평가항목	가중치	세부성능속성		가중치	Diagram	정성/정량
A.계획성	17.8	A-01	수로단면의 적정성	2.7 %		정성적
		A-02	수로계획의 적정성	5.3 %		정성적
		A-03	수로구조물의 적정성	3.6 %		정성적
		A-04	공사 계획의 편리성	6.2 %		정성적
B.시공성	24.4	B-01	품질확보의 용이성	4.2 %		정성적
		B-02	구조물의 시공성	8.6 %		정성적
		B-03	공사기간의 적정성	7.3 %		정성적
		B-04	자재,공법의 적정성	4.4 %		정성적
C.유지관리성	20.0	C-01	구조물 점검 용이성	6.0 %		정성적
		C-02	구조물 보수 용이성	7.0 %		정성적
		C-03	내구성(내구수명)	3.0 %		정성적
		C-04	퇴적, 퇴사 관리성	4.0 %		정성적
D.안전 및 안정성	15.6	D-01	수로의 안전성	3.1 %		정성적
		D-02	통수단면 확보성	2.3 %		정성적
		D-03	구조물 안전성	3.9 %		정성적
		D-04	시공중 안전성	6.2 %		정성적
E.환경성	22.2	E-01	소음,진동,분진 최소화	7.8 %		정성적
		E-02	폐자재 발생 최소화	4.0 %		정성적
		E-03	공사 중 환경오염 최소화	6.7 %		정성적
		E-04	공사 중 민원 최소화	3.8 %		정성적
합 계		총 20개 성능평가항목		100.0 %	2% 4% 6% 8% 10%	

3.2 경제성 등 검토(VE) 결과

3.2.1 원안 : 큰돌수로 vs 대안 : 프리폼수로

대안의 구체화

구 분		개 요
제안 내용	원안	 • 수로 양안에 일정 크기의 석재를 적층하여 침식방지 및 흐름 유도 • 석재를 적층하면서 발생하는 공극에 시멘트를 타설하여 석재간 접착 • 미관을 위해 비교적 큰 크기의 석재 및 조경석 활용 • 석재 운반을 위한 굴삭기, 시멘트 타설을 위한 펌프카 등 중장비 활용
원안의 장단점	장점	• 자연친화적인 석재 사용으로 인한 시각적 안정성 및 미관이 우수 • 석재와 시멘트를 사용하여 유수에 의한 침식 대처 가능
	단점	• 석재 운반 및 시공을 위한 중장비 필수적 • 석재 적층 시 붕괴방지를 위해 모양을 맞춰야 하므로 시공 난해 • 시멘트를 사용하므로 환경오염 우려가 있으며 양생을 위한 기간 필요

구 분		개 요
제안 내용	대안	 • 패브릭 소재 사이에 광섬유 및 초속경 시멘트가 혼합된 콘크리트 믹스를 삽입하여 물 분사를 통해 급속 경화 • 충분한 물 분사 시 1시간 이후 강도의 70% 이상 발현 • 롤 형태로 생산된 자재를 현장에 맞춰 배치하고 고정핀을 이용하여 지반과 결속 • 인력운반 및 시공이 가능하여 중장비 필요성 감소
대안의 장단점	장점	• 현장배치부터 콘크리트 경화까지 하루에 완료가능하여 공사시간 단축 • 인력운반 및 시공이 가능하여 적용현장 제약 없음 • 현장가공이 가능하여 최적화 시공 가능 • 파손 시 부분 보수가 가능 • 시공을 위한 장비 진입로 개설 등 최소화
	단점	• 특이사항 없음
이행시 고려사항		• 현장 여건에 따라 고정핀 수량 및 배치방법 결정 필요
효과 (기술성)		• 초속경시멘트로 인해 물 분사 시 바로 경화되어 긴급 복구 시 활용 가능 • 기존 방안 대비 약 하루만에 콘크리트 수로 구축 가능

성능(Performance) 분석결과

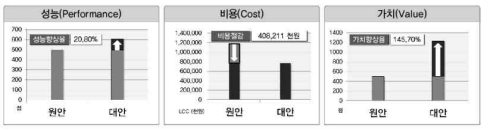
세부 평가항목		성능지수 원안	대안	증감	세부 평가항목		성능지수 원안	대안	증감
A-01	수로단면의 적정성	13.3	13.3	–	C-03	내구성(내구수명)	15.0	15.0	–
A-02	수로계획의 적정성	26.7	32.0	▲ 5.3	C-04	퇴적, 퇴사 관리성	20.0	24.0	▲ 4.0
A-03	수로구조물의 적정성	17.8	17.8	–	D-01	수로의 안전성	15.6	15.6	–
A-04	공사 계획의 편리성	31.1	37.3	▲ 6.2	D-02	통수단면 확보성	11.7	11.7	–
B-01	품질확보의 용이성	20.8	24.9	▲ 4.2	D-03	구조물 안전성	19.4	19.4	–
B-02	구조물의 시공성	42.8	59.9	▲ 17.1	D-04	시공중 안전성	31.1	37.3	▲ 6.2
B-03	공사기간의 적정성	36.7	51.3	▲ 14.7	E-01	소음,진동,분진 최소화	38.9	46.7	▲ 7.8
B-04	자재,공법의 적정성	22.0	26.4	▲ 4.4	E-02	폐자재 발생 최소화	20.0	24.0	▲ 4.0
C-01	구조물 점검 용이성	30.0	36.0	▲ 6.0	E-03	공사 중 환경오염 최소화	33.3	46.7	▲ 13.3
C-02	구조물 보수 용이성	35.0	42.0	▲ 7.0	E-04	공사 중 민원 최소화	18.9	22.7	▲ 3.8

※ A=계획성, B=시공성, C=유지관리성, D=안전/안정성, E=환경성

비용(Cost)/가치(Value) 분석결과 (연장 1,000m 건설비용 기준)

구 분		원 안	대 안	증 감 액	
초 기 비 용	I T E M 기 준	711,703 천원	349,912 천원	(감)	361,791 천원
	전체프로젝트기준	711,703 천원	349,912 천원	(감)	361,791 천원
유지관리비용	I T E M 기 준	91,316 천원	44,896 천원	(감)	46,420 천원
생애주기비용 (Life Cycle Cost)	I T E M 기 준	803,019 천원	394,808 천원	(감)	408,211 천원
	전체프로젝트기준	768,803 천원	360,592 천원	(감)	408,211 천원
상대LCC (전체프로젝트 기준)		1.0000	0.4917	–	
성 능 지 수 (P)		500.00	604.00	20.80%	향상
가 치 지 수 (V)		500.00	1228.50	145.70%	향상

분석결과 Diagram



경제성 등 검토결과

- VE 기법을 활용하여 프리폼수로 경제성 등 검토 결과 성능지수는 104.00점(22.8%) 향상되며, 초기공사비용은 361,719,000원 (50.83%) / 생애주기비용은 408,211,000원 (50.83%) 절감됨
- 성능향상 및 비용절감을 통하여 가치지수는 728.5점(145.7%) 향상됨 ☞ 가치혁신형 설계제안

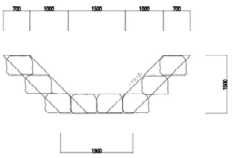
부 록

부록#1. 비용산정 근거

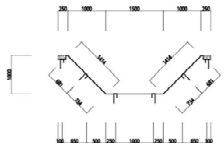
부 록 #1.

비용 산정근거

큰돌수로 및 프리폼수로 단가비교



정 면 도
SCALE : 1/60



정 면 도
SCALE : 1/60

재 료 표 (m당)

공 종	규 격	단 위	수 량	산출근거	단가
큰돌	40~60cm	㎡	4.50	사면적 : 2.12m x 2연 = 4.24㎡	큰돌 : 72,480원/㎡ x 1.14㎡ = 82,627원
				폭 : 길 : 1.60m x 2연 = 3.00㎡	큰돌 : 26,991톤/ton x 6.0ton = 161,946원
				바 닥 : 1.50㎡	인력품셈기준 : 105,000원/㎡ x 3.00㎡= 315,018원
				계 : 4.50㎡ 6.0ton	큰돌품셈참조 : 73,498원/㎡ x 1.50㎡= 110,244원
철망콘크리트	25-21-12	㎡	1.14	5.74㎡ x 0.20㎥/㎡ = 1.14㎥	콘크리트단가표 : 374,484원/㎥ x 0.051㎥= 19,097원
보 강 재		kg	108.48	5.74㎡ x 0.009㎥/㎡ = 0.051㎥ x 2100kg	구조물설치기 : 4,098원/㎡ x 4.35㎡= 17,817원
인 력 비		㎡	4.35	(3.80m + 1.80m)x2 x 1.0m x 1.0m	관보품셈 : 1,130원/㎡ x 4.35㎡= 4,864원
계		㎡	4.35		합계 : 711,703원/m

재 료 표 (m당)

공 종	규 격	단 위	수 량	비 고
프리폼라인트	10mm	㎡	5.00	프리폼라인트 : 43,000원/㎡ x 5.0㎡ = 215,000원
앵 콜 릿	Ø10mm	EA	6.00	앵콜릿 : 3,000원/EA x 6.0EA = 18,000원
구조물 설치기		㎡	2.50	프리폼설치 : 20,796원/㎡ x 5.0㎡ = 103,825원
품	일	㎡	2.50	구조물설치기 : 4,098원/㎡ x 2.50㎡= 10,240원
				관보품셈 : 1,130원/㎡ x 2.50㎡= 2,847원
				합계 : 349,912원/m

수림(산림기술사사무소) 부산 강서구 르노시 명지동 91-1 Tel : 033932-3409 Fax. 033932-3401	2020년 화명시설 (주) 건설업체 기본화	A3=1/40 A2=1/20	28
	파키폼 수량		

다. 연구개발 성과

구분			1차년도 (목표치/달성치)	2차년도 (목표치/달성치)	3차년도 (목표치/달성치)	계 (목표치/달성치)
국외 논문 게재	SCI					
	비SCI					
	계					
국내 논문 게재	SCI					
	비SCI			-/1	-/1	-/2
	계			-/1	-/1	-/2
특허 출원	국내		2/2	1/2	-/1	3/5
	국외					
	계		2/2	1/2	-/1	3/5
특허 등록	국내			1/1	3/3	4/4
	국외					
	계			1/1	3/3	4/4
인력 양성	학사			-/1		-/1
	석사			-/1		-/1
	박사					
	계			-/2		-/2
기술 이전	계약건수					
	계약액					
	징수액					
국제 표준화	기고서 제출					
	기고서 채택					
	표준안 채택					
국내 표준화	기고서 제출					
	기고서 채택					
	표준안 채택					
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문					
	연구시설·장비					
	기술요약정보					
	생명자원	생명정보				
		생물자원				
		신품종				
	소프트웨어					
	화학물					
기타	시제품			1/1	1/1	2/2
	성과 홍보					
	일자리 창출					

(1) 국내・외 논문 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록 번호
2-1	고성능 콘크리트의 재령에 따른 강도 및 내구성능 발현 특성	한국도로학회논문집	박성기	Vol. 21, No. 3	대한민국	한국도로학회	비SCI	2019.06	1
3-1	기상재해 대응 긴급보수용 패브릭 콘크리트 혼합물의 역학적 특성 및 내구성능 평가	한국농공학회 논문집	전상민	Vol. 62, No. 4	대한민국	한국농공학회	비SCI	2020.06	2

(2) 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1-1	한국농공학회 (용・배수로의 보수재료로서 광물질 섬유보강 프리폼크리트의 압축강도 특성 평가	박찬기	2018.11.01	충남 예산	대한민국
2-1	한국농공학회 학술발표회 (프리믹스 타입 패브릭 콘크리트의 적정 배합비 도출을 위한 역학적 성능 평가)	전상민	2019.10.10	강원도 홍천군 비발티파크, 메이플 동	대한민국
2-2	한국농공학회 학술발표회 (프리믹스타입 패브릭 콘크리트의 배합변수에 따른 기본 특성 평가)	전상민	2019.10.11	강원도 홍천군 비발티파크, 메이플 동	대한민국
3-1	한국콘크리트학회 학술대회 (신속한 보수보강이 가능한 매트형 콘크리트의 휨성능 평가)	김황희	2020.06.25	온라인개최	대한민국
3-2	대한토목학회 정기학술대회 (급속시공이 가능한 프리폼크리트 개발 및 현장적용성 평가)	김성태	2020.10.22	온라인개최	대한민국

(3) 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

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

(4) 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종 등)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록				기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록번호*	등록인	등록일	등록번호	등록번호*	
1-1	프리폼크리트	대한민국	㈜콘텍이엔지	2018.11.06	10-2018-0135130	1					100
1-2	고화매트 시공방법	대한민국	㈜대흥미래기술	2018.11.26	10-2018-0147528	4					100
2-1	광물질 섬유를 포함하는 보수용 모르타르 조성물	대한민국	㈜콘텍이엔지	2019.02.12	10-2019-0016130	2	㈜콘텍이엔지	2019.09.17	10-2024036	1	100
3-1	광물질 섬유를 포함하는 프리 폼 크리트 조성물 및 이를 포함하는 프리 폼 크리트	대한민국	㈜콘텍이엔지	2020.02.05	10-2020-0013472	3	㈜콘텍이엔지			4	100
3-2	수중구조물 보수공사용 지지장치 및 이를 이용한 수중구조물 보수공법	대한민국	㈜콘텍이엔지	2020.02.07	10-2020-0014959	-	㈜콘텍이엔지	2020.10.26	10-2172324	2	100
3-3	매트연결장치 및 이를 이용한 콘크리트 함침매트 시공방법	대한민국	㈜대흥미래기술	2019.11.26	10-2019-0152894	5	㈜대흥미래기술	2020.06.12	10-2124306	3	100

* 연구개발성과 관리 · 유통 전담 기관에 등록한 번호 기재

마. 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율

바. 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별			성별			지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	인력 양성	2019		1	1		1	1		2			

사. 산업 기술 인력 양성

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

아. 기술 거래(이전) 등

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황

자. 사업화 투자 실적

번호	연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격

차. 사업화 현황

(단위: 명, 년)

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내	국외		
1	제품 판매	제품화	강원도	프리폼 크리트	제품 판매	㈜성재	2,860	-	2020	10
2	제품 판매	제품화	강원도	프리폼 크리트	제품 판매	㈜성재	1,540	-	2020	10

카. 표준화

번호	수행 기관명	표준화 주제	표준화 기구	표준화 단계	관련 번호	제출(채택)일	국가
						yyyy.mm.dd	

타. 기술요약정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호

파. 보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

하. 기타

라. 연구결과

(1) 기술적 성과

<table>
<tr><th>구분</th><th>핵심성과</th><th>기술적 성과</th></tr>
<tr><td>주관
(㈜콘텍이엔지)</td><td>프리폼크리트 소재 및 제조 기술 개발</td><td>(기존기술)
- 프리폼크리트 재료 및 제조 기술 국내 전무
- 해외기술에서 자재 수입하여 현장적용

(개발기술)
- 국내 재료를 활용한 프리폼크리트 재료 및 형태 개발
- 국내 현장여건을 고려한 프리폼크리트 개발
- 국내 생산이 가능한 제조 기술 개발
- 탁월한 유연성을 확보하여 사면과의 우수한 일체성 확보
- 기존 철근콘크리트 공법이나 숏크리트 공법에 비해 간편하고, 균일한 품질 확보
- 초속경 재질로써, 콘크리트의 초기강도 발현이 가능하여 홍수에 취약한 시설에 활용
- 세계 최고 수준 기술의 성능 수준 이상을 만족하는 제품 개발</td></tr>
</table>

평가 항목 (주요성능 Spec1))			단위	전체 항목에서 차지하는 비중 (%)	세계최고 수준 보유국/ 보유기업 (영국/concrete canvas)	연구개발 전 국내수준	개발 목표치	평가 방법
					성능수준	성능수준	성능수준	
1. 소재	휨강도		MPa	20	-	-	5 이상	KS L ISO 679
	압축강도		MPa	10	45 이상	40 이상	45 이상	KS L 5105
	염소이온		Coulombs	10	-	-	1,000이하	KS F 2711
2. 제품	휨강도		MPa	20	4 이상	3.4 이상	4 이상	ASTM D 8058
	휨 탄성계수			10	180 이상	-	180 이상	
	화학적 저항	산성도	-	10	통과	-	통과	BN EN 14414
		알칼리 성도	-	10	통과	-	통과	
		황산 저항	-	10	통과	-	통과	



구분	핵심성과	기술적 성과
공동 (㈜대흥미래기술)	프리폼크리트 현장 적용기술 개발	(기존기술 수준) - 급속시공이 가능한 프리폼크리트 기술이지만 국산화 기술 전무 - 자재를 전량 수입하여 자재확보 시간 소요 - 관련 설계 및 시공 기준이 없어 해외 기준 적용 (개발기술 수준) - 국내에서 생산되는 소재를 활용한 국산화 기술 - 국내 생산 콘크리트 규격에 맞는 설계방법 구축 - 현장여건을 반영한 최적 설계기술 마련 - 공정별 설계 및 시공 기준(안) 마련

(2) 경제적 성과

구분	핵심성과	경제적 성과
주관 (㈜콘텍이엔지)	프리폼크리트 소재 및 제조 기술 개발	(기존기술) - 자재 전량수입으로 인한 자재 단가 상승 (50,000~80,000원/㎡) (개발기술) - 국산화로 자재 단가 약 50~62.5% 절감가능 (25,000~30,000원/㎡) - 콘크리트 공법 대비 공사기간 단축에 의한 응급복구 현장적용으로 2차 피해 저감 - 계절, 날씨, 온도의 영향을 받지 않아 반영구적 제품으로 유지관리 용이 및 유지관리비 절감
공동 (㈜대흥미래기술)	프리폼크리트 현장 적용기술 개발	(기존기술) - 해외기술 도입으로 인한 외화유출 발생 - 국내 생산이 아닌 수입 자재 사용으로 공사비 상승 (개발기술) - 자재 발주부터 시공까지 해외기술 대비 공사기간 약 30% 이상 단축 가능 - 국내 생산을 통한 공사비 약 30% 이상 절감

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표

(1) 양적성과 목표

○ 최종 양적성과 목표 및 평가방법

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준						양적성과 목표치
					질적 성과지표		목표치	측정 방법	검증 방법	가중치	
주관 (㈜콘텍이엔지)	A	프리폼크리트 소재 및 제조기술 개발	A-1	프리폼크리트 소재 개발	①	특허출원	1건	출원	출원번호 통지서	7.5	특허 : 출원 1건
					②	학술발표	1건	발표논문	학술발표논문	2.5	
					③	프리폼크리트 재료, 형태 검토	1건	실내실험분석	보고서	5	
			A-2	프리폼크리트 제조기술 개발	①	특허출원	1건	출원	출원번호 통지서	7.5	특허 : 출원 1건 등록 1건
					②	특허등록	1건	등록	특허등록증	10	
					③	학술발표	1건	발표논문	학술발표논문	2.5	
					④	프리폼크리트 재료, 형태 검토	1건	실내실험 분석	보고서	5	
			A-3	프리폼크리트 시제품 제작 및 현장 적용	①	시제품 제작 및 현장 적용	1건	시제품	시제품	7.5	특허 : 등록 1건 시제품 : 1건
					②	문제점 분석 및 검토	1건	자체평가	보고서	5	
					③	특허등록	1건	등록	특허등록증	10	
공동 (주)대흥미래기술	B	프리폼크리트 현장 적용 기술 개발	B-1	공정별 콘크리트 캔버스 적용방안 연구	①	특허출원	1건	출원	출원번호 통지서	7.5	특허 : 출원 1건
			B-2	프리폼크리트 적용기술개발 및 성능 검증	①	특허등록	1건	등록	특허등록증	10	특허 : 등록 1건 시제품 : 1건
					②	시제품	1건	시제품	시제품	7.5	
			B-3	프리폼크리트 시험시공 및 실용화	①	학술발표	1건	발표논문	학술발표논문	2.5	
					②	시험시공	1건	시험시공	시공일지	5	
					③	매뉴얼 제작	1건	매뉴얼	매뉴얼	5	
계										100	특허 : 출원 3건 등록 3건 논문 : 건 시제품 : 2건

(2) 질적성과목표

○ 최종 질적성과 목표 및 평가방법

평가 항목 (주요성능 Spec[1])			단위	전체 항목에서 차지하는 비중[2] (%)	세계최고 수준 보유국/ 보유기업	연구개발 전 국내수준	개발 목표치			평가 방법[3]
					성능수준	성능수준	1차년도 (2018년)	2차년도 (2019년)	3차년도 (2020년)	
소재	휨강도		MPa	20	-	-	-	-	5 이상	KS L ISO 679
	압축강도		MPa	10	45 이상	40 이상	-	-	45 이상	KS L 5105
	염소이온		Coulombs	10	-	-	-	-	2,000 이하	KS F 2711
제품	휨강도		MPa	20	4 이상 (영국)	3.4 이상	-	-	4 이상	ASTM D 8058
	휨 탄성계수		MPa	10	180 이상	-	-	-	180 이상	BN EN 14414
	화학적 저항	산성도	-	10	통과	-	-	-	통과	BN EN 14414
		알칼리성도	-	10	통과	-	-	-	통과	
		황산저항	-	10	통과	-	-	-	통과	

나. 목표 달성여부

(1) 양적성과목표 달성도

- 특허출원 목표 3건 대비 5건, 특허등록 목표 3건 대비 4건 달성
  (특허출원 2건, 특허등록 1건 초과달성 : 달성도 150%)
- 비SCI논문 목표 0건 대비 2건 달성 (2건 초과 달성 : 달성도 200%)
- 시제품 목표 2건 대비 2건 달성 (달성도 100%)
- 학술발표 목표 3건 대비 5건 달성 (2건 초과달성 : 달성도 166.7%)
- 시험시공 목표 1건 대비 1건 달성 (달성도 100%)
- 매뉴얼 목표 1건 대비 1건 달성 (달성도 100%)

○ 최종 양적성과 목표 및 평가방법

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준							양적성과 현황	
						질적 성과지표	목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	목표치	달성치
주관(주)콘텍이엔지	A	프리폼크리트 소재 및 제조기술 개발	A-1	프리폼크리트 소재 개발	①	특허출원	1건	1건	출원	출원번호 통지서	7.5	특허 : 출원 1건	특허 : 출원 1건
					②	학술발표	1건	1건	학술발표	학술발표	2.5		
					③	프리폼크리트 재료, 형태 검토	1건	1건	실내실험분석	보고서	5		
			A-2	프리폼크리트 제조기술 개발	①	특허출원	1건	1건	출원	출원번호 통지서	7.5	특허 : 출원 1건 등록 1건	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 1건
					②	특허등록	1건	1건	등록	특허등록증	10		
					③	학술발표	1건	2건	학술발표	학술발표	2.5		
					④	프리폼크리트 재료, 형태 검토	1건	1건	실내실험 분석	보고서	5		
			A-3	프리폼크리트 시제품 제작 및 현장 적용	①	시제품 제작 및 현장 적용	1건	1건	시제품	시제품	7.5	특허 : 등록 1건 시제품 : 1건	특허 : 출원 1건 등록 2건 논문 : 1건 시제품 : 1건
					②	문제점 분석 및 검토	1건	1건	자체평가	보고서	5		
					③	특허등록	1건	2건	등록	특허등록증	10		
공동(주)대흥미래기술	B	프리폼크리트 현장 적용 기술 개발	B-1	공정별 콘크리트 캔버스 적용방안 연구	①	특허출원	1건	1건	출원	출원번호 통지서	7.5	특허 : 출원 1건	특허 : 출원 1건
			B-2	프리폼크리트 적용기술개발 및 성능 검증	①	특허등록	1건	1건	등록	특허등록증	10	특허 : 등록 1건 시제품 : 1건	특허 : 출원 1건 시제품 : 1건
					②	시제품	1건	1건	시제품	시제품	7.5		
			B-3	프리폼크리트 시험시공 및 실용화	①	학술발표	1건	1건	학술발표	학술발표	2.5		특허 : 등록 1건
					②	시험시공	1건	1건	시험시공	시공일지	5		
					③	매뉴얼 제작	1건	1건	매뉴얼	매뉴얼	5		
계											100	특허 : 출원 3건 등록 3건 논문 : 건 시제품 : 2건	특허 : 출원 5건 등록 4건 논문 : 2건 시제품 : 2건

○ 1차년도 성과목표 및 달성현황

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준							양적성과 현황	
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	목표치	달성치
주관(㈜콘텍이엔지)	A	프리폼크리트 소재 및 제조기술 개발	A-1	프리폼크리트 소재 개발	①	특허출원	1건	1건	출원	출원번호 통지서	60	특허 : 출원 1건	특허 : 출원 1건
					②	학술발표	1건	1건	학술발표	학술발표			
					③	프리폼크리트 재료, 형태 검토	1건	1건	실내실험분석	보고서			
공동(㈜대흥미래기술)	B	프리폼크리트 현장 적용 기술 개발	B-1	공정별 콘크리트 캔버스 적용방안 연구	①	특허출원	1건	1건	출원	출원번호 통지서	40	특허 : 출원 1건	특허 : 출원 1건
계											100	특허 : 출원 2건	특허 : 출원 2건

○ 2차년도 성과목표 및 달성현황

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준							양적성과 현황	
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	목표치	달성치
주관(㈜콘텍이엔지)	A	프리폼크리트 소재 및 제조기술 개발	A-2	프리폼크리트 제조기술 개발	①	특허출원	1건	1건	출원	출원번호 통지서	60	특허 : 출원 1건 등록 1건	특허 : 출원 1건 등록 1건 논문 : 1건
					②	특허등록	1건	1건	등록	특허등록증			
					③	학술발표	1건	2건	학술발표	학술발표			
					④	프리폼크리트 재료, 형태 검토	1건	1건	실내실험 분석	보고서			
공동(㈜대흥미래기술)	B	프리폼크리트 현장 적용 기술 개발	B-2	프리폼크리트 적용기술개발 및 성능 검증	①	특허등록	1건	1건	등록	특허등록증	40	특허 : 등록 1건 시제품 : 1건	특허 : 출원 1건 시제품 : 1건
					②	시제품	1건	1건	시제품	시제품			
계											100	특허 : 출원 1건 등록 2건 시제품 : 1건	특허 : 출원 2건 등록 1건 논문 : 1건 시제품 : 1건

○ 3차년도 성과목표 및 달성현황

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준							양적성과 현황	
						질적 성과지표	목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	목표치	달성치
주관 (주)콘텍이엔지)	A	프리폼크리트 소재 및 제조 기술 개발	A-3	프리폼크리트 시제품 제작 및 현장 적용	①	시제품 제작 및 현장 적용	1건	1건	시제품	시제품	60	특허 : 등록 1건 시제품 : 1건	특허 : 출원 1건 등록 2건 논문 : 1건 시제품 : 1건
					②	문제점 분석 및 검토	1건	1건	자체평가	보고서			
					③	특허등록	1건	2건	등록	특허등록증			
공동 (주)대흥미래기술)	B	프리폼크리트 현장 적용 기술 개발	B-3	프리폼크리트 시험시공 및 실용화	①	학술발표	1건	1건	학술발표	학술발표	40		특허 : 등록 1건
					②	시험시공	1건	1건	시험시공	시공일지			
					③	매뉴얼 제작	1건	1건	매뉴얼	매뉴얼			
계											100	특허 : 등록 1건 시제품 : 1건	특허 : 출원 1건 등록 3건 논문 : 1건 시제품 : 1건

(2) 질적성과목표 달성도

○ 최종 질적성과 목표 및 평가방법

평가 항목 (주요성능 Spec[1])			단위	전체 항목에서 차지하는 비중[2] (%)	세계최고 수준 보유국/ 보유기업	연구개발 전 국내수준	개발 목표치	개발 달성치	평가 방법[3]
					성능수준	성능수준			
소재	휨강도		MPa	20	-	-	5 이상	13.5	KS L ISO 679
	압축강도		MPa	10	45 이상	40 이상	45 이상	56.8	KS L 5105
	염소이온		Coulombs	10	-	-	2,000 이하	176.2	KS F 2711
제품	휨강도		MPa	20	4 이상	3.4 이상	4 이상	5.67	ASTM D 8058
	휨 탄성계수		MPa	10	180 이상	-	180 이상	2086.85	
	화학적 저항	산성도	-	10	통과	-	통과	통과	BN EN 14414
		알칼리성도	-	10	통과	-	통과	통과	
		황산저항	-	10	통과	-	통과	통과	

(3) 관련 분야 기여도

○ 기술적 측면

- 기존 철근콘크리트 공법이나 숏크리트 공법에 비해 간편하고, 균일한 품질 확보
- 거푸집, 레미콘 믹서와 같은 장비를 사용하지 않고 인력시공이 가능하므로 공사기간 단축 및 비용절감
- 우수한 국내 기술력 확보를 통한 기술 경쟁력 확보 및 해외시장 진출 가능
- 배수로 공사 현장 중 중장비의 진입이 어렵거나 레미콘 타설이 불가능한 지역에 프리폼크리트(Free-From-Crete)를 도입하여 별도의 중장비 없이 배수로 구축 가능
- 사면보호 및 배수로 공사 외에도 콘크리트 구조물 보수보강, 내진보강 등 다른 분야로의 확장 응용 가능

○ 경제적 · 산업적 측면

- 배수로 공사에 있어 공사기간이 단축되므로 공사로 인한 주변 주민 불만 감소
- 공사비가 절감되어 국가 예산의 효율적 사용 가능
- 관련 사업과 관련된 중소기업의 기술 실용화 및 노하우 축적으로 타 산업의 활성화 효과
- 숏크리트 타설로 인해 비산된 콘크리트를 제거하기 위한 작업이 불필요하며, 그로 인한 경제적 손실 경감

○ 사회적 측면

- 기존 철근 콘크리트 공법 또는 숏크리트 공법에 비해 산업폐기물, 토양오염이 적은 친환경적 공법이므로 관련 산업에 대한 부정적 인식 변화
- 급속시공을 통한 응급복구가 필요한 현장에 적용할 수 있으며, 이를 통한 2차 피해 저감
- 국가 재난으로 인한 피난민 발생 시 프리폼크리트(Free-From-Crete)를 활용한 임시 피난처 제공 가능



그림 141 프리폼크리트(Free-From-Crete) 임시피난처

다. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책

- 해당없음

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

○ 본 연구개발성과는 프리폼크리트(Free-From-Crete)를 활용한 기후재해 신속 대응 및 복구 기술로써 프리폼크리트(Free-From-Crete)의 재료 및 구조(형태) 개발과 시공기술 확보로 시제품 제작 후 현장적용에 따른 성능 테스트를 진행하였다.

○ 프리폼크리트(Free-From-Crete)는 기상재해 발생 시 긴급복구가 필요한 사면 및 수로의 보수, 보강에 우선적으로 활용한다. 또한, 산림지역, 급경사로 등 시공현장 특성상 중장비의 진입이 어려운 경우, 적극 활용한다.

○ 연구종료 후 1년부터 산지 배수로 현장 위주로 적극 활용할 계획이다.



프리폼크리트를 활용한 사면보강



프리폼크리트를 활용한 수로공사

그림 142 프리폼크리트(Free-From-Crete) 활용분야

○ 프리폼크리트(Free-From-Crete) 기술의 설계 및 시공 기준(안)을 제공하여 보다 국내 실정에 맞는 설계를 진행할 수 있으며, 수로공사, 사면보호공사 외 다른 공사로 확대하여 적용할 수 있다.

○ 탁월한 유연성 기능을 가지는 프리폼크리트(Free-From-Crete)는 사면과의 우수한 일체성 가지므로, 강우발생시 침식으로 인한 사면 토사유실이 자주 발생하는 유속이 심한 하천 호안 공사에 활용이 가능하다.

○ 프리폼크리트(Free-Form-Crete)는 초속경 재질로써, 콘크리트의 초기강도 발현이 가능하여 홍수에 취약한 교량 하부 및 제방 붕괴의 예방 공사와 저수지의 제방, 바닥판, 산마루 측구, 배수로, 농수로, 수로라이닝, 암거라이닝 등에 활용이 가능하다. 그리고 구조물의 성능 저하 및 균열, 열화 부식 등의 보수·보강 시 급속시공이 가능하다. 또한 형태변환의 유연함으로 인한 디자인 블록 제품 활용 등 타 분야로 시장성 확대가 가능할 것으로 판단된다.



하천 호안 분야



교량 교각 하부



해안 제방



수로라이닝



수리구조물 보수・보강



콘크리트 디지안 블록(의자)

그림 143 프리폼크리트(Free-Form-Crete) 활용 가능한 타 분야

붙임. 참고 문헌

1. Dey, V., R. Kachala, A. Bonakdar, and B. Mobasher, 2015. Mechanical properties of micro and sub-micron wollastonite fibers in cementitious composites. Construction and Building Materials 82: 351-359. doi:10.1016/j.conbuild mat.2015.02.084.
2. Han, F., H. Chen, W. Zhang, T. Lv, and Y. Yang, 2016a. Influence of 3D spacer fabric on drying shrinkage of concrete canvas. Journal of Industrial Textiles 45(6): 1457-1476. doi:10.1177/1528083714562087.
3. Han, F., H. Chen, X. Li, B. Bao, T. Lv, W. Zhang, and W. H. Duan, 2016b. Improvement of mechanical properties of concrete canvas by anhydrite-modified calcium sulfoaluminate cement. Journal of Composite Material 50(14): 1937-1950. doi:10.1177/0021998315597743.
4. Hui, L., C. Huisu, L. Lin, Z. Fangyuan, H. Fangyu, T. Lv, Z. Wulong, and Y. Yujie, 2016. Application design of concrete canvas (CC) in soil reinforced structure. Geotextiles and Geomembranes 44(4): 557-567. doi:10.1016/j.geotexmem.2016.03.003.
5. Kim, J. M., 2010. Mix proportion and performance evaluation of ultra rapid hardening roller compacted concrete. MS thesis, Seoul: Konkuk University.
6. Kim, J. S., 2016. An experimental study on protection performance improvement of concrete of military facilities using concrete canvas, MS thesis, Seoul: Hanyang University.
7. Shim, G. O., 2008. Disaster countermeasures considering climate change. Journal of Disaster Management 8(3): 20-26.
11. Shinseung E&C. Concrete Carpet. http://www.ss4588.co.kr/.2020.
12. Soliman, A. M., and M. L. Nehdi, 2014. Effects of shrinkage reducing admixture and wollastonite microfiber on early age behavior of ultra-high performance concrete. Cement and Concrete Composites 46: 81-89. doi:10.1016/j.cem concomp.2013.11.008.
13. Zhang, F., H. Chen, X. Li, H. Li, T. Lv, W. Zhang, and Y. Yang, 2017. Experimental study of the mechanical behavior of FRP-reinforced concrete canvas panels. Composite Structures 176: 608-616. doi:10.1016/j.comp struct.2017.05.072.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.