

| 최종보고서(일반과제용)       |                         |                                                                                             |                      |               |                  |                   |                           |               |         | 보안등급              |    |
|--------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------|------------------|-------------------|---------------------------|---------------|---------|-------------------|----|
|                    |                         |                                                                                             |                      |               |                  |                   |                           |               |         | 일반[✓], 보안[ ]      |    |
| 중앙행정기관명            | 국토교통부                   |                                                                                             |                      | 사업명           | 사업명              |                   | 국토교통기술촉진연구사업              |               |         |                   |    |
| 전문기관명              | 국토교통과학기술진흥원             |                                                                                             |                      |               | 내역사업명            |                   | 국토교통기술혁신연구<br>(사회이슈해결 유형) |               |         |                   |    |
| 공고번호               | 공고-제00호                 |                                                                                             |                      | 연구개발과제번호      |                  | 21CTAP-C153189-03 |                           |               |         |                   |    |
| 국가과학기술<br>표준분류     | 친환경 토목시설물 설계<br>시공 관리기술 | 50%                                                                                         | 자연재해 저감기술            | 25%           | 도로               |                   | 25%                       |               |         |                   |    |
| 연구주제               | (대분류) 걱정없는 안심사회         |                                                                                             | (중분류) 생활안전           |               | (소분류) 교통안전       |                   |                           |               |         |                   |    |
| 연구개발과제명            | 국문                      | 도로 침수예방 및 비점오염 저감을 위한 배수 구조체 개발                                                             |                      |               |                  |                   |                           |               |         |                   |    |
|                    | 영문                      | Development of drainage structure to prevent road flooding<br>and reduce nonpoint pollution |                      |               |                  |                   |                           |               |         |                   |    |
| 주관연구개발기관           | 기관명                     | 경희대학교 산학협력단                                                                                 |                      |               | 사업자등록번호          |                   | 135-82-10789              |               |         |                   |    |
|                    | 주소                      | (우)17104 경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732                                                              |                      |               | 법인등록번호           |                   | 134571-0003856            |               |         |                   |    |
| 주관연구책임자            | 성명                      | 이석근                                                                                         |                      |               | 직위               |                   | 정교수                       |               |         |                   |    |
|                    | 연락처                     | 직장전화                                                                                        | 031-201-2900         |               |                  | 휴대전화              |                           | 010-4569-2901 |         |                   |    |
|                    |                         | 전자우편                                                                                        | skrhee@khu.ac.kr     |               |                  | 국가연구자번호           |                           | 1007-8725     |         |                   |    |
|                    |                         |                                                                                             |                      |               |                  |                   |                           |               |         |                   |    |
| 연구개발기간             | 전체                      | 2019. 04. 19 - 2021. 12. 31( 2년 9개월)                                                        |                      |               |                  |                   |                           |               |         |                   |    |
|                    | 1년차                     | 2019. 04. 19 - 2019. 12. 31( 9개월)                                                           |                      |               |                  |                   |                           |               |         |                   |    |
|                    | 2년차                     | 2020. 01. 01 - 2020. 12. 31( 1년 개월)                                                         |                      |               |                  |                   |                           |               |         |                   |    |
|                    | 3년차                     | 2021. 01. 01 - 2021. 12. 31( 1년 개월)                                                         |                      |               |                  |                   |                           |               |         |                   |    |
| 연구개발비<br>(단위 : 천원) | 정부지원<br>연구개발비           | 기관부담<br>연구개발비                                                                               |                      | 그 외 기관 등 지원금  |                  |                   |                           | 합계            |         | 연구개발비<br>외<br>지원금 |    |
|                    |                         |                                                                                             |                      | 자녀채택 기타( )    |                  |                   |                           |               |         |                   |    |
|                    | 현금                      | 현금                                                                                          | 현물                   | 현금            | 현물               | 현금                | 현물                        | 현금            | 현물      |                   | 합계 |
| 총계                 | 600,000                 | 20,500                                                                                      | 179,700              | -             | -                | -                 | -                         | 620,500       | 179,700 | 800,200           | -  |
| 1년차                | 134,000                 | 4,700                                                                                       | 40,000               | -             | -                | -                 | -                         | 138,700       | 40,000  | 178,700           | -  |
| 2년차                | 155,000                 | 5,400                                                                                       | 47,000               | -             | -                | -                 | -                         | 160,400       | 47,000  | 207,400           | -  |
| 3년차                | 311,000                 | 10,400                                                                                      | 92,700               | -             | -                | -                 | -                         | 321,400       | 92,700  | 414,100           | -  |
| 공동연구개발기관 등         | 기관명                     | 책임자                                                                                         | 직위                   | 휴대전화          | 전자우편             | 비고                |                           |               |         |                   |    |
|                    |                         |                                                                                             |                      |               |                  | 역할 기관유형           |                           |               |         |                   |    |
| 공동연구개발기관           | ㈜동성엔지니어링                | 백유진                                                                                         | 과장                   | 02-2041-8717  | 17004@dsen.co.kr |                   |                           |               |         |                   |    |
|                    | 무진(주)                   | 안진홍                                                                                         | 부장                   | 010-2363-6832 | gate44@naver.com |                   |                           |               |         |                   |    |
| 위탁연구개발기관           |                         |                                                                                             |                      |               |                  |                   |                           |               |         |                   |    |
| 연구개발기관 외 기관        |                         |                                                                                             |                      |               |                  |                   |                           |               |         |                   |    |
| 연구개발담당자<br>실무담당자   | 성명                      | 서우람                                                                                         |                      |               | 직위               |                   | 연구원                       |               |         |                   |    |
|                    | 연락처                     | 직장전화                                                                                        | 031-201-2923         |               |                  | 휴대전화              |                           | 010-7455-3750 |         |                   |    |
|                    |                         | 전자우편                                                                                        | adfh123456@khu.ac.kr |               |                  | 국가연구자번호           |                           | 1257-1047     |         |                   |    |

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

2022 년 03 월 18 일

연구책임자 :

이 석 근

주관연구개발기관의 장 :

경희대학교 산학협력단 김 윤 혁

공동연구개발기관의 장 :

(주)동성엔지니어링

이 상 규

공동연구개발기관의 장 :

무진(주)

이 현 호

국토교통과학기술진흥원장 귀하



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

## < 요약 문 >

|              |       |                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |  |                          |    |     |
|--------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--|--------------------------|----|-----|
| 사업명          |       | 국토교통기술촉진연구사업                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 연구개발과제번호   |  | 21CTAP-C153189-03        |    |     |
| 내역사업명        |       | 국토교통기술혁신연구                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |  |                          |    |     |
| 국가과학기술표준분류   |       | 친환경 토목시설물 설계 시공 관리기술                                                                        | 50%                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 자연재해 저감기술  |  | 25%                      | 도로 | 25% |
| 연구주제         |       | (대분류) 걱정없는 안심사회                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                      | (중분류) 생활안전 |  | (소분류) 교통안전               |    |     |
| 연구개발과제명      |       | 도로 침수예방 및 비점오염 저감을 위한 배수 구조체 개발                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |  |                          |    |     |
| 전체 연구개발기간    |       | 2019. 04. 19 - 2021. 12. 31( 2년 9개월)                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |  |                          |    |     |
| 총 연구개발비      |       | 총 800,200 천원<br>(정부지원연구개발비 : 600,000 천원, 기관부담연구개발비 : 200,200 천원, 지방자치단체 : 천원, 그 외 지원금 : 천원) |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |  |                          |    |     |
| 연구개발단계       |       | 기초[ ] 응용[ ] 개발[✓]<br>기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 기술성숙도      |  | 착수시점 기준( )<br>종료시점 목표( ) |    |     |
| 연구개발과제 유형    |       | 지정공모 [ ] 자유공모 [✓]                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |  |                          |    |     |
| 연구개발과제 특성    |       | 사회이슈 해결                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |  |                          |    |     |
| 연구개발 목표 및 내용 | 최종 목표 |                                                                                             | 도로 길어깨부 및 중앙분리대에 통수단면 추가 확보를 통한 원활한 배수기능 확보와 비점오염을 저감할 수 있는 구조체를 개발하고자 한다. 이를 위해 페타이어 등을 이용한 콘크리트 구조체 개발 및 필터층 적용방안 도출 시제품 제작 및 도로 배수 구조체의 성능검증과 현장적용을 통한 실용화의 타당성을 검증하여 시작품 제작을 목표로 한다.                                                                                             |            |  |                          |    |     |
|              | 전체 내용 |                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"><li>배수구조체 및 경계석 적용 재료 최적배합비 도출</li><li>도로용 길어깨부/중앙분리대 적용 배수구조체 최적단면 도출</li><li>경계석 및 배수시설 재료 분리 적용에 따른 연결 상세부 도출</li><li>배수구조체 하부 비점오염 필터층 설계 및 적용</li><li>재료 적용 타당성 검증을 위한 배수 구조체(경계석, 배수시설) 성능검증</li><li>실용화 타당성 검증 및 시공·유지관리 가이드라인 개발</li></ul> |            |  |                          |    |     |
|              | 1년차   | 목표                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"><li>제안기술 적용 최적재료 선정을 위한 재료별 재료시험</li><li>배수구조체 설계</li><li>재료별 재료시험결과 분석</li></ul>                                                                                                                                                                  |            |  |                          |    |     |
|              |       | 내용                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"><li>국내·외 문헌조사</li><li>배수구조체 및 경계석용 콘크리트 배합비 검토</li><li>재료별 강도·물성시험</li><li>제안기술의 단면 및 연결부 상세구조 구체화</li><li>재료시험결과 분석</li></ul>                                                                                                                     |            |  |                          |    |     |
|              | 2년차   | 목표                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"><li>최적재료 선정 후 배수구조체 구조성능시험</li><li>배수구조체 설계 및 제작방안 검토</li><li>시험결과 분석 및 시작품 제작</li></ul>                                                                                                                                                           |            |  |                          |    |     |
|              |       | 내용                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"><li>배수구조체 및 경계석용 콘크리트 최적배합비 도출</li><li>배수구조체 구조성능시험</li><li>배수구조체 통수단면 설계</li><li>비점오염 저감 필터층 적용(안) 제시</li><li>시작품 제작방안 제시</li><li>배수구조체 구조성능시험</li><li>배수구조체 시공방안 검토</li><li>배수구조체 유지관리 용이성 검토</li></ul>                                          |            |  |                          |    |     |
|              | 3년차   | 목표                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"><li>현장적용검증을 통한 최종 구조상세 도출</li><li>사업성 검토 및 건설신기술 신청</li></ul>                                                                                                                                                                                      |            |  |                          |    |     |

|                    |  |    |                                                                                                                                                                                 |    |                  |          |                  |       |                      |       |                    |     |     |    |
|--------------------|--|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|------------------|----------|------------------|-------|----------------------|-------|--------------------|-----|-----|----|
|                    |  | 내용 | • 제안제품 적용 시공/유지관리 가이드라인 작성                                                                                                                                                      |    |                  |          |                  |       |                      |       |                    |     |     |    |
|                    |  |    | • 배수측구 시작품 현장적용 및 실험<br>• 실험결과 및 해석결과를 고려한 최종 개선상세 도출<br>• 노면배수 불량구간 및 사고위험구간 등 현장적용 타당성 구간 분석<br>• 건설신기술 신청<br>• 제안제품 적용 시공/유지관리 가이드라인 작성                                      |    |                  |          |                  |       |                      |       |                    |     |     |    |
| 연구개발성과             |  |    | 본 연구의 최종 성과물은 순수 배수목적으로 이용된 L형 측구의 기능을 개선시킨 우수배수 기능, 홍수유출 및 비점오염 저감이 가능한 통합형 구조의 친환경 도로 배수 구조물을 개발하는 것이다.                                                                       |    |                  |          |                  |       |                      |       |                    |     |     |    |
| 연구개발성과 활용방안 및 기대효과 |  |    | 도로의 신설정비 또는 유지관리에 있어 신속히 배수시설로 유출시킴과 동시에 집중호우 시 도로침수 예방과 토사 및 이물질로 인한 배수기능 저하를 예방하고 저류조의 역할을 함으로 빗길 교통사고 유발을 줄이고 비점오염 저감 등 사회적 문제점 해소 및 도로 이용자의 안전성과 편의성 제공에 기대효과가 높을 것으로 판단된다. |    |                  |          |                  |       |                      |       |                    |     |     |    |
| 연구개발성과의 비공개여부 및 사유 |  |    | 해당없음                                                                                                                                                                            |    |                  |          |                  |       |                      |       |                    |     |     |    |
| 연구개발성과의 등록·기탁 건수   |  |    | 논문                                                                                                                                                                              | 특허 | 보고서 원문           | 연구 시설·장비 | 기술 요약 정보         | 소프트웨어 | 표준                   | 생명자원  |                    | 화합물 | 신품종 |    |
|                    |  |    |                                                                                                                                                                                 |    |                  |          |                  |       |                      | 생명 정보 | 생물 자원              |     | 정보  | 실물 |
|                    |  |    |                                                                                                                                                                                 | 2  | 1                | -        | -                | -     | -                    | -     | -                  | -   | -   | -  |
| 국문핵심어 (5개 이내)      |  |    | 이상기후                                                                                                                                                                            |    | 교통사고             |          | 노면배수             |       | 배수시설                 |       | 비점오염               |     |     |    |
| 영문핵심어 (5개 이내)      |  |    | abnormal climate                                                                                                                                                                |    | traffic accident |          | surface drainage |       | drainage manufacture |       | nonpoint pollution |     |     |    |

## < 목 차 >

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 1. 연구개발과제의 개요 .....               | 01 |
| 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 .....     | 03 |
| 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ..... | 46 |
| 4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성) .....    | 56 |
| 5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 ..... | 57 |
| 6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 .....       | 58 |

별첨자료(성과 증빙자료 등)

## 1. 연구개발과제의 개요

### 1) 연구개발과제의 최종 목표

| 구분    | 내용                                                                                                                                                                                                              |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 최종 목표 | 도로 길어깨부 및 중앙분리대에 적용하여 통수단면 추가 확보를 통한 원활한 배수기능 확보와 비점오염 저감이 가능한 배수구조체 개발                                                                                                                                         |
| 세부 목표 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 배수구조체 적용 건설 및 산업 폐기물 재활용 재료 개발</li> <li>○ 배수구조체 하부 비점오염 필터층 설계 및 적용</li> <li>○ 도로용 길어깨부/중앙분리대 적용 배수구조체 최적단면 도출</li> <li>○ 구조해석 및 구조실험을 통한 성능검증 및 건 특허 출원/신청</li> </ul> |

### 2) 연구개발과제의 연차별 목표

| 구분            | 연구개발목표         | 핵심 연구개발성과<br>(연구개발성과물)           | 현재 국내·외<br>기술수준         | 연구개발<br>목표치                                                         | 목표치<br>설정 근거                                       | 가중치<br>(%) |
|---------------|----------------|----------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------|
| 1년차<br>(2019) | 배수구조체<br>재료개발  | 최적재료 선정을 위한<br>국내외 문헌자료          | -                       | 10건                                                                 | 문헌자료조사                                             | 3          |
|               |                | 배수구조체 및<br>경계석용 콘크리트<br>배합비      | -                       | 재료성분 및 비율<br>2case                                                  | 페로니켈슬래그<br>혼입 콘크리트배합비                              | 4          |
|               |                | 재료별 물성값                          | 페로니켈슬래그<br>혼입시<br>OPC미만 | 압축강도 21MPa<br>할렬강도 2MPa<br>내마모성 0.1mm<br>내충격성 30%<br>내화학적성 2000cmbs | 기존<br>페로니켈슬래그를<br>사용한 콘크리트보다<br>높은 물성값을 갖는<br>콘크리트 | 4          |
|               | 배수구조체<br>단면설계  | 배수구조체 관련<br>국내외 문헌자료             | -                       | 5건                                                                  | 문헌자료조사                                             | 2          |
|               |                | 단면 및 연결부<br>상세구조 구체화             | -                       | 보고서                                                                 | -                                                  | 3          |
|               |                | 재료별 물성값                          | 페로니켈슬래그<br>혼입시<br>OPC미만 | 압축강도 21MPa<br>할렬강도 2MPa<br>내마모성 0.1mm<br>내충격성 30%<br>내화학적성 2000cmbs | 기존<br>페로니켈슬래그를<br>사용한 콘크리트보다<br>높은 물성값을 갖는<br>콘크리트 | 4          |
|               | 배수구조체<br>시작품제작 | 배수구조체 관련<br>국내외 특허 및<br>적용사례     | -                       | 10건                                                                 | 문헌자료조사                                             | 3          |
|               |                | 재료별 물성값                          | 페로니켈슬래그<br>혼입시<br>OPC미만 | 압축강도 21MPa<br>할렬강도 2MPa<br>내마모성 0.1mm<br>내충격성 30%<br>내화학적성 2000cmbs | 기존<br>페로니켈슬래그를<br>사용한 콘크리트보다<br>높은 물성값을 갖는<br>콘크리트 | 6          |
|               | 배수구조체<br>재료개발  | 배수구조체 및<br>경계석용 콘크리트<br>최적배합비 도출 | -                       | 1case                                                               | 페로니켈슬래그<br>혼입 콘크리트배합비                              | 4          |
|               |                | 배수구조체 물성시험                       | 페로니켈슬래그<br>혼입시<br>OPC미만 | 압축강도 30MPa<br>인장강도 5MPa<br>내마모성 1%<br>내화학적성 2000cmbs                | 배수구조물에<br>사용되는 콘크리트의<br>압축강도기준<br>30MPa으로 목표<br>설정 | 4          |
| 2년차<br>(2020) | 배수구조체          | 배수구조체 통수단면                       | -                       | 설계유량 산정 1건                                                          | -                                                  | 6          |

|               |                |                                   |                         |                                                      |                                                |    |
|---------------|----------------|-----------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----|
|               | 단면설계           | 설계                                |                         | 설계유속 산정 1건                                           |                                                |    |
|               |                | 비점오염 저감 필터층 적용(안) 제시              | -                       | 보고서                                                  | 필터층을 적용한 시공법                                   | 4  |
|               |                | 시작품 제작방안 제시                       | -                       | 보고서                                                  | -                                              | 4  |
|               | 배수구조체<br>시작품제작 | 배수구조체 시공방안                        | -                       | 보고서                                                  | 필터층을 적용한 시공법                                   | 10 |
|               |                | 배수구조체<br>유지관리용이성                  | -                       | 보고서                                                  | 유공관 삽입으로<br>유지관리용이성 향상                         | 4  |
|               |                |                                   |                         |                                                      |                                                |    |
| 3년차<br>(2021) | 배수구조체<br>재료개발  | 배수측구 시작품<br>구조성능 시험 및<br>실내실험 진행  | -                       | 유입시간 당 배수속도<br>기존제품대비 20%향상/<br>구조성능시험 공인성적서         | 3d프린터를 통한<br>실내시험 및 구조체<br>실물을 이용한<br>하중시험     | 4  |
|               |                | 시험결과 및<br>해석결과를 고려한<br>최종 개선상세 도출 | -                       | 보고서                                                  | -                                              | 5  |
|               |                | 배수구조체 물성시험                        | 페로니켈슬래그<br>혼입시<br>OPC미만 | 압축강도 30MPa<br>인장강도 5MPa<br>내마모성 1%<br>내화학적성 2000cmbs | 페로니켈슬래그<br>미분말을 잔골재로<br>사용하여 배합한<br>콘크리트의 물성시험 | 2  |
|               | 배수구조체<br>단면설계  | 배수측구 시작품<br>구조성능검토                | -                       | 허용압축응력, 허용휨응력<br>허용범위이내                              | FEM해석을 통한<br>구조성능검토                            | 3  |
|               |                | 현장적용 타당성<br>분석(안)                 | -                       | 보고서                                                  | -                                              | 6  |
|               |                | 특허 출원 및 등록                        | -                       | 특허증                                                  | -                                              | 3  |
|               | 배수구조체<br>시작품제작 | 배수측구 시작품                          | -                       | 보고서                                                  | 시작품 제작 및<br>시공방안에 따른<br>단순시공                   | 6  |
|               |                | 제안제품 적용<br>시공/유지관리<br>가이드라인       | -                       | 보고서                                                  | 시공 추적조사를<br>통한 유지관리<br>가이드라인 작성                | 6  |
|               |                |                                   |                         |                                                      |                                                |    |
|               |                |                                   |                         |                                                      |                                                |    |

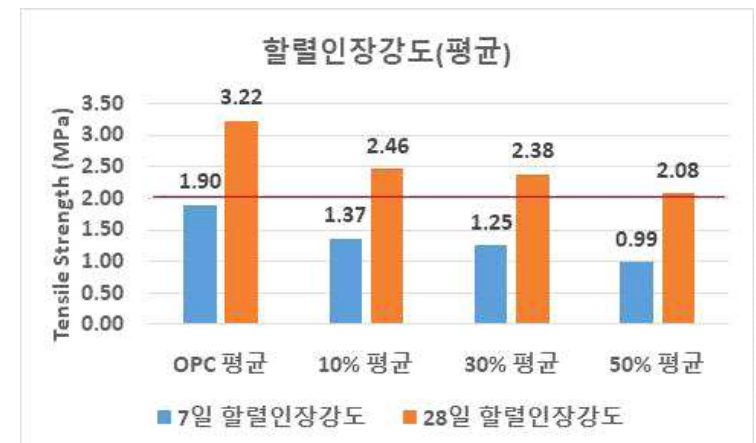
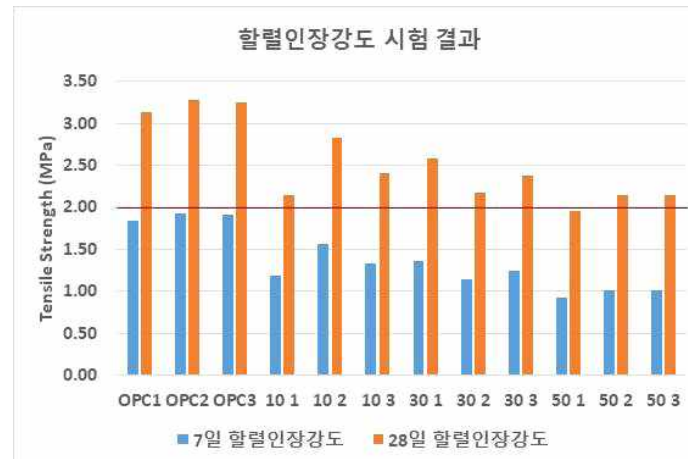
## 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

| 구분<br>(연도/단계) | 세부<br>과제<br>명                                                  | 세부<br>연구<br>목표                        | 연구개발<br>수행 내용      | 연구 결과                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
|---------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|----------------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|----|---------------|----------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|------|-------|--------|------|-------|----|-------------|-----|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
|               | 배수<br>구조<br>체<br>최적<br>배합<br>비<br>도출<br>및<br>개선<br>상세(안)<br>도출 | 배수<br>측구<br>재료<br>최적<br>배합<br>비<br>도출 | 배합비별<br>압축강도<br>시험 | <p>○ 배합비별 압축강도 시험 결과(1차 배합, 2차 배합, 3차 배합)</p> <div><div><p>압축강도 시험 결과</p><table><caption>압축강도 시험 결과 (추정값)</caption><thead><tr><th>배합</th><th>7일 압축강도 (MPa)</th><th>28일 압축강도 (MPa)</th></tr></thead><tbody><tr><td>OPC1</td><td>13.33</td><td>22.66</td></tr><tr><td>OPC2</td><td>13.33</td><td>22.66</td></tr><tr><td>OPC3</td><td>13.33</td><td>22.66</td></tr><tr><td>10 1</td><td>12.00</td><td>21.00</td></tr><tr><td>10 2</td><td>12.00</td><td>21.00</td></tr><tr><td>10 3</td><td>11.00</td><td>20.00</td></tr><tr><td>30 1</td><td>10.00</td><td>18.00</td></tr><tr><td>30 2</td><td>9.00</td><td>17.00</td></tr><tr><td>30 3</td><td>10.00</td><td>18.00</td></tr><tr><td>50 1</td><td>7.00</td><td>14.00</td></tr><tr><td>50 2</td><td>7.00</td><td>14.00</td></tr><tr><td>50 3</td><td>7.00</td><td>14.00</td></tr></tbody></table></div><div><p>압축강도 (평균)</p><table><caption>압축강도 (평균)</caption><thead><tr><th>배합</th><th>7일 압축강도 (MPa)</th><th>28일 압축강도 (MPa)</th></tr></thead><tbody><tr><td>OPC 평균</td><td>13.33</td><td>22.66</td></tr><tr><td>10% 평균</td><td>11.76</td><td>21.16</td></tr><tr><td>30% 평균</td><td>9.55</td><td>18.14</td></tr><tr><td>50% 평균</td><td>6.83</td><td>14.35</td></tr></tbody></table></div></div> <p>1차 배합 시험 결과 목표치인 설계기준강도 21MPa를 만족하는 배합비는 OPC와 시멘트에 FNS를 10% 대체한 배합비뿐인 것으로 나타났으며, 30%와 50%를 치환한 배합비의 경우 기준을 만족하지 못함.</p> <div><p>28일강도시험결과</p><table><caption>28일강도시험결과</caption><thead><tr><th>배합</th><th>28일강도 (MPa)</th></tr></thead><tbody><tr><td>OPC</td><td>22.63</td></tr><tr><td>FNS 3%</td><td>15.07</td></tr><tr><td>FNS 5%</td><td>17.83</td></tr><tr><td>FNS 7%</td><td>15.36</td></tr><tr><td>FNS 10%</td><td>25.91</td></tr><tr><td>FNS 30%</td><td>15.64</td></tr><tr><td>FNS 50%</td><td>11.70</td></tr></tbody></table></div> <p>2차배합의 28일 압축강도 시험 결과 OPC의 압축강도는 22.63MPa이었으며, FNS를 10% 첨가한 배합의 강도가 25.91MPa로 가장 높은 강도를 나타냄. 반면 FNS 함량이 늘어날수록 강도가 선형적으로 감소했던 1차년도 시험 결과와 달리, FNS 함량을 10%미만으로 치환한 배합의 경우 각각 15.07MPa, 17.83MPa, 15.36MPa로 다시 감소하는 경향을 보임.</p> | 배합             | 7일 압축강도 (MPa) | 28일 압축강도 (MPa) | OPC1 | 13.33 | 22.66 | OPC2 | 13.33 | 22.66 | OPC3 | 13.33 | 22.66 | 10 1 | 12.00 | 21.00 | 10 2 | 12.00 | 21.00 | 10 3 | 11.00 | 20.00 | 30 1 | 10.00 | 18.00 | 30 2 | 9.00 | 17.00 | 30 3 | 10.00 | 18.00 | 50 1 | 7.00 | 14.00 | 50 2 | 7.00 | 14.00 | 50 3 | 7.00 | 14.00 | 배합 | 7일 압축강도 (MPa) | 28일 압축강도 (MPa) | OPC 평균 | 13.33 | 22.66 | 10% 평균 | 11.76 | 21.16 | 30% 평균 | 9.55 | 18.14 | 50% 평균 | 6.83 | 14.35 | 배합 | 28일강도 (MPa) | OPC | 22.63 | FNS 3% | 15.07 | FNS 5% | 17.83 | FNS 7% | 15.36 | FNS 10% | 25.91 | FNS 30% | 15.64 | FNS 50% | 11.70 |
| 배합            |                                                                |                                       |                    | 7일 압축강도 (MPa)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 28일 압축강도 (MPa) |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| OPC1          | 13.33                                                          | 22.66                                 |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| OPC2          | 13.33                                                          | 22.66                                 |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| OPC3          | 13.33                                                          | 22.66                                 |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| 10 1          | 12.00                                                          | 21.00                                 |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| 10 2          | 12.00                                                          | 21.00                                 |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| 10 3          | 11.00                                                          | 20.00                                 |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| 30 1          | 10.00                                                          | 18.00                                 |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| 30 2          | 9.00                                                           | 17.00                                 |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| 30 3          | 10.00                                                          | 18.00                                 |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| 50 1          | 7.00                                                           | 14.00                                 |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| 50 2          | 7.00                                                           | 14.00                                 |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| 50 3          | 7.00                                                           | 14.00                                 |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| 배합            | 7일 압축강도 (MPa)                                                  | 28일 압축강도 (MPa)                        |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| OPC 평균        | 13.33                                                          | 22.66                                 |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| 10% 평균        | 11.76                                                          | 21.16                                 |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| 30% 평균        | 9.55                                                           | 18.14                                 |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| 50% 평균        | 6.83                                                           | 14.35                                 |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| 배합            | 28일강도 (MPa)                                                    |                                       |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| OPC           | 22.63                                                          |                                       |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| FNS 3%        | 15.07                                                          |                                       |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| FNS 5%        | 17.83                                                          |                                       |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| FNS 7%        | 15.36                                                          |                                       |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| FNS 10%       | 25.91                                                          |                                       |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| FNS 30%       | 15.64                                                          |                                       |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |
| FNS 50%       | 11.70                                                          |                                       |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |               |                |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |       |       |      |      |       |      |       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |       |    |               |                |        |       |       |        |       |       |        |      |       |        |      |       |    |             |     |       |        |       |        |       |        |       |         |       |         |       |         |       |



공인인증시험기관에 의뢰한 3차배합 시험결과 기존의 1차, 2차 배합결과와 마찬가지로 FNS 함량 10%가 가장 높았으며, FNS 함량 10% 이전까지는 증가하고 10% 이상부터는 다시 감소하는 경향을 나타내어 FNS 함량 10%가 최적함량으로 판단됨.

○ 할렬 인장강도 시험



시험 결과 모든 배합비가 목표치인 2MPa를 만족하는 것으로 나타남. OPC에 비해 FNS의 함량이 증가할수록 콘크리트의 인장강도가 낮게 나타나 압축강도와 동일한 경향을 나타냄. 압축강도 시험 결과와 마찬가지로 OPC에 비해 FNS를 혼입한 콘크리트의 장기강도 발현이 상대적으로 더 큰 것을 확인.

할렬  
인장강도  
시험

|                                 |                  |                                  | 슬럼프 및 공기량 시험                                  | <div>○ 슬럼프 및 공기량 시험결과</div> <div><div><div>슬럼프 시험 결과</div><table><thead><tr><th>시료</th><th>슬럼프 값 (mm)</th></tr></thead><tbody><tr><td>OPC</td><td>~155</td></tr><tr><td>FNS 10</td><td>~155</td></tr><tr><td>FNS 30</td><td>~150</td></tr><tr><td>FNS 50</td><td>~148</td></tr></tbody></table></div><div><div>공기량 시험 결과</div><table><thead><tr><th>시료</th><th>공기량 (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>OPC</td><td>~6.5</td></tr><tr><td>FNS 10</td><td>~6.6</td></tr><tr><td>FNS 30</td><td>~6.3</td></tr><tr><td>FNS 50</td><td>~6.4</td></tr></tbody></table></div></div> <div>슬럼프 시험은 FNS의 치환율이 증가할수록 슬럼프값이 감소하는 것으로 보이나, OPC에 비교하여 큰 차이를 보이지 않아 유의미한 차이는 없음. 공기량 시험의 경우 모든 배합비가 목표 공기량 기준값인 6%를 만족하였으며, OPC와 FNS 혼입 콘크리트 모두 ±0.5의 공기량 차이를 보여 슬럼프값과 마찬가지로 거의 유사함.</div> | 시료 | 슬럼프 값 (mm) | OPC | ~155 | FNS 10 | ~155 | FNS 30 | ~150 | FNS 50 | ~148 | 시료 | 공기량 (%) | OPC | ~6.5 | FNS 10 | ~6.6 | FNS 30 | ~6.3 | FNS 50 | ~6.4 |
|---------------------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|------------|-----|------|--------|------|--------|------|--------|------|----|---------|-----|------|--------|------|--------|------|--------|------|
| 시료                              | 슬럼프 값 (mm)       |                                  |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |            |     |      |        |      |        |      |        |      |    |         |     |      |        |      |        |      |        |      |
| OPC                             | ~155             |                                  |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |            |     |      |        |      |        |      |        |      |    |         |     |      |        |      |        |      |        |      |
| FNS 10                          | ~155             |                                  |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |            |     |      |        |      |        |      |        |      |    |         |     |      |        |      |        |      |        |      |
| FNS 30                          | ~150             |                                  |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |            |     |      |        |      |        |      |        |      |    |         |     |      |        |      |        |      |        |      |
| FNS 50                          | ~148             |                                  |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |            |     |      |        |      |        |      |        |      |    |         |     |      |        |      |        |      |        |      |
| 시료                              | 공기량 (%)          |                                  |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |            |     |      |        |      |        |      |        |      |    |         |     |      |        |      |        |      |        |      |
| OPC                             | ~6.5             |                                  |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |            |     |      |        |      |        |      |        |      |    |         |     |      |        |      |        |      |        |      |
| FNS 10                          | ~6.6             |                                  |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |            |     |      |        |      |        |      |        |      |    |         |     |      |        |      |        |      |        |      |
| FNS 30                          | ~6.3             |                                  |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |            |     |      |        |      |        |      |        |      |    |         |     |      |        |      |        |      |        |      |
| FNS 50                          | ~6.4             |                                  |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |            |     |      |        |      |        |      |        |      |    |         |     |      |        |      |        |      |        |      |
| 배수 구조 체 구조 성능 검토 및 단면 설계 (안) 도출 | 배수 구조 체 통수 단면 설계 | 서울시(도로포장면, 보도면)을 기준으로 한 통수단면적 산출 | <div>○ 서울시(도로포장면, 보도면)을 기준으로 한 통수단면적 산출</div> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |            |     |      |        |      |        |      |        |      |    |         |     |      |        |      |        |      |        |      |

기본 설정

- 지역 : 서울특별시
- 도로포장 : 아스팔트 포장
- 차로폭 : 3.25m / 길어깨 폭 : 1.5m / 보도 폭 : 2.0m
- 도로의 형태 : 오목구간, 회전구간

설계빈도 결정 : 10년

유역면적 산출

설계홍수량 산출

$$Q_d = \frac{1}{3.6} \times C \times I \times A$$

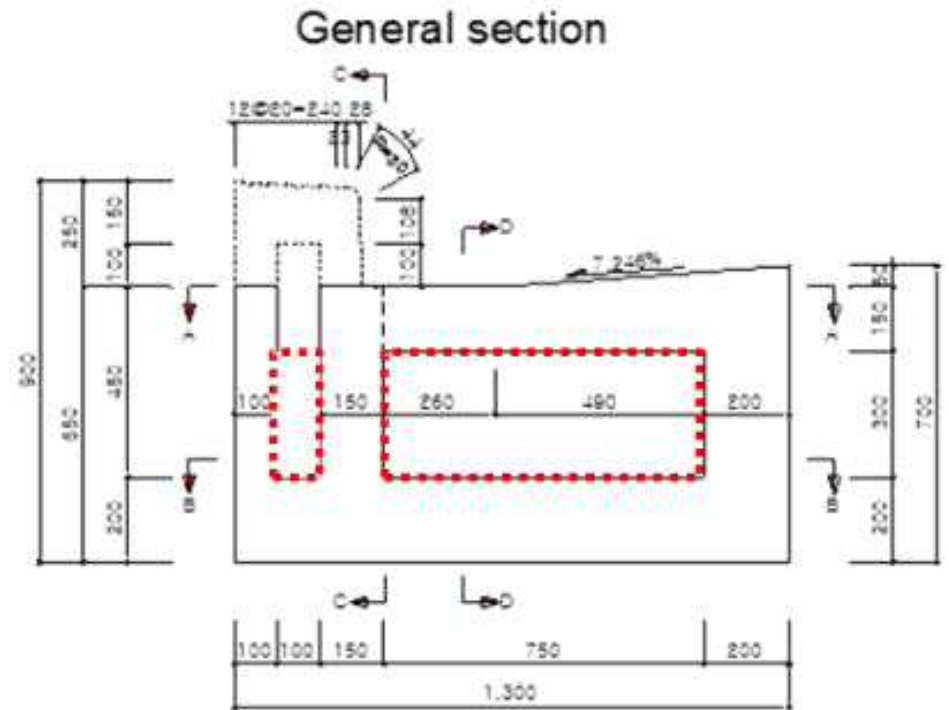
- 유출계수 : 0.95
- 강우강도 : 188.1 (10년 설계빈도), 237.1 (50년 설계빈도)

Manning 공식에 설계 홍수량을 적용하여  
통수단면적을 산출

$$Q = A \times \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

$$= (B \times H) \times \frac{1}{0.17} \times \left( \frac{B \times H}{B + 2H} \right)^{\frac{2}{3}} \times 0.07^{\frac{1}{2}}$$

- 조도계수 : 0.17
- 수로경사 : 7%



통수단면은 다음 그림과 같이 빨간 점선 부분을 의미하며, 1차년도의 단면 및 연결부 상세구조(안)을 참고하여 B는 600mm(0.6m)로 임의 설정하였으며 이에 따라 H를 결정하여 통수단면적을 계산함.

| 편도 차로수 | B(m) | H(m)  | A(m <sup>2</sup> ) | 설계 홍수량<br>(m <sup>3</sup> /sec) | Manning 공식<br>유량 (m <sup>3</sup> /sec) | 결과  |
|--------|------|-------|--------------------|---------------------------------|----------------------------------------|-----|
| 1 차로   | 0.6  | 0.030 | 0.018              | 0.020103                        | < 0.02538                              | o.k |
| 2 차로   | 0.6  | 0.035 | 0.021              | 0.029783                        | < 0.03249                              | o.k |
| 3 차로   | 0.6  | 0.040 | 0.024              | 0.039462                        | < 0.04019                              | o.k |
| 4 차로   | 0.6  | 0.046 | 0.028              | 0.049141                        | < 0.05014                              | o.k |

차로별 통수단면에 따른 설계유량 검토

오목구간에 대하여 설계빈도 10년에 대하여 통수단면을 산출한 결과, 가장 유역면적이 넓은 왕복 8차선의 경우 통수단면적은 0.028㎡로 폭을 600mm로 가정하였을 때 높이는 약 46mm 산출.

| 편도 차로수 | B(m) | H(m)  | A(㎡)  | 설계 홍수량<br>(㎡/sec) | Manning 공식<br>유량(㎡/sec) | 결과  |
|--------|------|-------|-------|-------------------|-------------------------|-----|
| 1 차로   | 0.6  | 0.030 | 0.018 | 0.02534           | < 0.02538               | o.k |
| 2 차로   | 0.6  | 0.040 | 0.024 | 0.03754           | < 0.04019               | o.k |
| 3 차로   | 0.6  | 0.047 | 0.028 | 0.04974           | < 0.04974               | o.k |
| 4 차로   | 0.6  | 0.053 | 0.032 | 0.06194           | < 0.06265               | o.k |

차로별 통수단면에 따른 설계유량 검토

오목구간에 대하여 설계빈도 50년에 대하여 통수단면을 산출한 결과, 가장 유역면적이 넓은 왕복 8차선의 경우 통수단면적은 0.032㎡로 폭을 600mm로 가정하였을 때 높이는 약 53mm 산출.

| 편도 차로수 | B(m) | H(m)  | A(㎡)  | 설계 홍수량<br>(㎡/sec) | Manning 공식<br>유량 (㎡/sec) | 결과  |
|--------|------|-------|-------|-------------------|--------------------------|-----|
| 1 차로   | 0.6  | 0.025 | 0.015 | 0.01703           | < 0.01892                | o.k |
| 2 차로   | 0.6  | 0.032 | 0.019 | 0.02670           | < 0.02815                | o.k |
| 3 차로   | 0.6  | 0.038 | 0.023 | 0.03633           | < 0.03704                | o.k |
| 4 차로   | 0.6  | 0.045 | 0.027 | 0.04596           | < 0.04843                | o.k |

차로별 통수단면에 따른 설계유량 검토

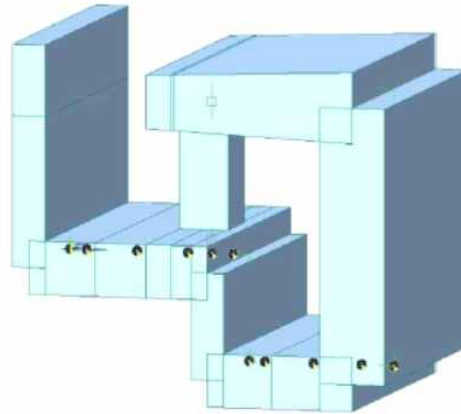
회전구간에 대하여 설계빈도 10년에 대하여 통수단면을 산출한 결과, 가장 유역면적이 넓은 왕복 8차선의 경우 통수단면적은 0.027㎡로 폭을 600mm로 가정하였을 때 높이는 약 45mm 산출.

| 편도 차로수 | B(m) | H(m)  | A(㎡)   | 설계 홍수량<br>(㎡/sec) | Manning 공식<br>유량 (㎡/sec) | 결과  |
|--------|------|-------|--------|-------------------|--------------------------|-----|
| 1 차로   | 0.6  | 0.028 | 0.0168 | 0.02146           | < 0.02146                | o.k |
| 2 차로   | 0.6  | 0.037 | 0.0222 | 0.03366           | < 0.03550                | o.k |
| 3 차로   | 0.6  | 0.044 | 0.0264 | 0.04580           | < 0.04674                | o.k |
| 4 차로   | 0.6  | 0.051 | 0.0306 | 0.05794           | < 0.05899                | o.k |

차로별 통수단면에 따른 설계유량 검토

회전구간에 대하여 설계빈도 50년에 대하여 통수단면을 산출한 결과, 가장 유역면적이 넓은 왕복 8차선의 경우 통수단면적은 0.031m<sup>2</sup>로 폭을 600mm로 가정하였을 때 높이는 약 51mm 산출. 서울특별시의 통수단면적을 산출한 결과, 오목구간, 설계빈도 50년의 경우 통수단면적은 0.032m<sup>2</sup> 가장 큰 것으로 나타났으므로, 배수구조체 설계 시 이를 고려하여 이보다 큰 통수단면을 확보 할 수 있도록 설계적용.

○ 배수구조체 통수단면 설계(Open Section)



| 단면재원   |        |        | unit : m |          |          |
|--------|--------|--------|----------|----------|----------|
| 구분     | B'(폭원) | H'(높이) | 적용기둥     | B (적용폭원) | H (적용높이) |
| 상부 슬래브 | 1.000  | 0.200  | -        | 1.000    | 0.200    |
|        | 1.000  | 0.150  | -        | 1.000    | 0.150    |
| 하부 슬래브 | 1.000  | 0.150  | -        | 1.000    | 0.150    |
| 도로부 벽체 | 1.000  | 0.200  | -        | 1.000    | 0.200    |
| 보도부 벽체 | 1.000  | 0.100  | -        | 1.000    | 0.100    |
| 하부 벽체  | 1.000  | 0.100  | -        | 1.000    | 0.100    |
| 내부기둥   | 0.200  | 0.150  | 1.0ea    | 0.200    | 0.150    |

배수구조체  
통수단면  
설계

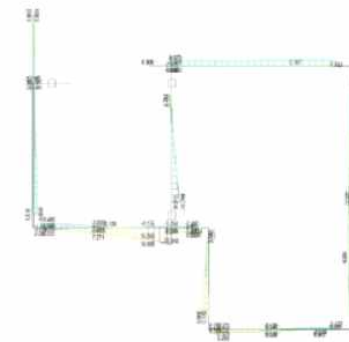
배수구조체 통수단면 (Open Section)

단면 재원 (Open Section)

| 구분     |     | 극한하중 조합    |               |            | 사용하중 조합       | 비고 |
|--------|-----|------------|---------------|------------|---------------|----|
|        |     | Axial (kN) | Moment (kN.m) | Shear (kN) | Moment (kN.m) |    |
| 상부 슬래브 | Pos | -          | 0.134         | 159.569    | 0.000         |    |
|        | Neg | -          | 7.670         |            | 4.770         |    |
| 하부 슬래브 | Pos | -          | 5.730         | 82.015     | 5.026         |    |
|        | Neg | -          | 23.043        |            | 14.258        |    |
| 도로부 벽체 | Pos | 9.647      | 3.941         | 42.984     | 2.754         |    |
|        | Neg |            | 6.086         |            | 4.095         |    |
| 보도부 벽체 | Pos | 4.883      | 5.698         | 12.000     | 4.956         |    |
|        | Neg |            | 1.616         |            | 1.083         |    |
| 하부 벽체  | Pos | 59.055     | 6.890         | 30.651     | 4.337         |    |
|        | Neg |            | 1.251         |            | 0.902         |    |
| 내부 기둥  |     | 160.201    | 10.768        | 46.062     | 6.658         |    |

단면 하중조합 (Open Section)

- Moment (kN.m)



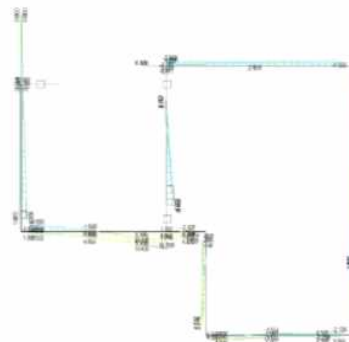
전단해석(Open Section)

- Shear (kN)



전단해석(Open Section)

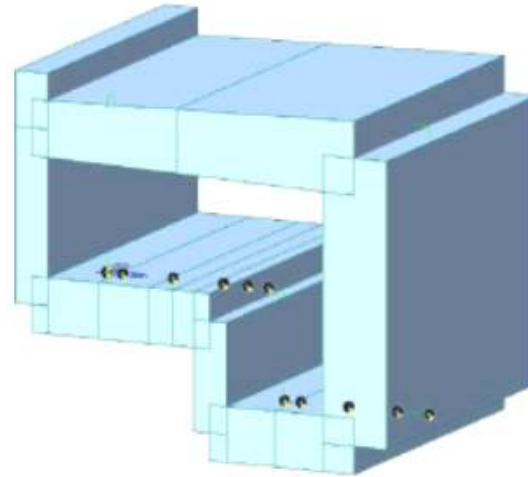
- Moment (kN.m)



전단해석(Open Section)

본 연구개발 배수구조체에 대하여 단면을 가정하고, 프로그램을 통해 전산해석을 수행하였다. 전단해석을 통해 극한 휨 모멘트(Moment(kN.m)), 전단력(Shear(kN)) 및 사용 휨 모멘트(Moment(kN.m))를 산출.

○ 배수구조체 통수단면 설계(Close Section)



- 단면재원

unit : m

| 구분     | B'(폭원) | H'(높이) | 환산단면 변수 | B (적용폭원) | H (적용높이) |
|--------|--------|--------|---------|----------|----------|
| 상부 슬래브 | 1.000  | 0.200  | -       | 1.000    | 0.200    |
|        | 1.000  | 0.150  | -       | 1.000    | 0.150    |
| 하부 슬래브 | 1.000  | 0.150  | -       | 1.000    | 0.150    |
| 도로부 벽체 | 1.000  | 0.200  | -       | 1.000    | 0.200    |
| 보도부 벽체 | 1.000  | 0.100  | -       | 1.000    | 0.100    |
| 하부 벽체  | 1.000  | 0.100  | -       | 1.000    | 0.100    |

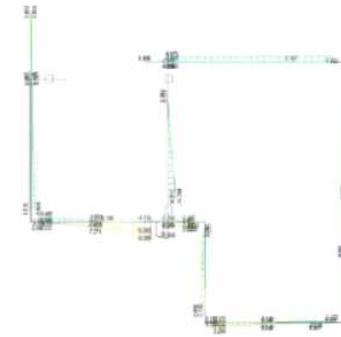
배수구조체 통수단면(Close Section)

단면 재원(Open Section)

| 구분      |     | 극한하중 조합    |               |            | 사용하중 조합       | 비고 |
|---------|-----|------------|---------------|------------|---------------|----|
|         |     | Axial (kN) | Moment (kN.m) | Shear (kN) | Moment (kN.m) |    |
| 상부 슬래브  | Pos | -          | 0.134         | 159.569    | 0.000         |    |
|         | Neg | -          | 7.670         |            | 4.770         |    |
| 하부 슬래브  | Pos | -          | 5.730         | 82.015     | 5.026         |    |
|         | Neg | -          | 23.043        |            | 14.258        |    |
| 도로부 벽체  | Pos | 9.647      | 3.941         | 42.984     | 2.754         |    |
|         | Neg |            | 6.086         |            | 4.095         |    |
| 보도부 벽체  | Pos | 4.883      | 5.698         | 12.000     | 4.956         |    |
|         | Neg |            | 1.616         |            | 1.083         |    |
| 하부 벽체   | Pos | 59.055     | 6.890         | 30.651     | 4.337         |    |
|         | Neg |            | 1.251         |            | 0.902         |    |
| 내부 기둥_L |     | 160.201    | 10.768        | 46.062     | 6.658         |    |

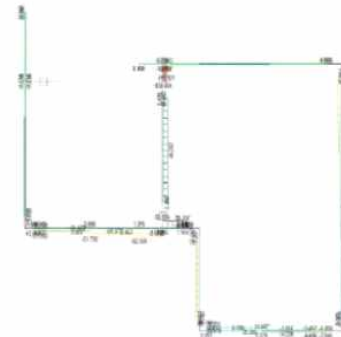
단면 하중조합(Close Section)

- Moment (kN.m)



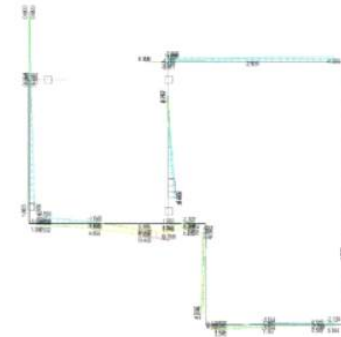
전단해석(Close Section)

- Shear (kN)



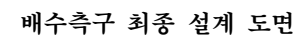
전단해석(Close Section)

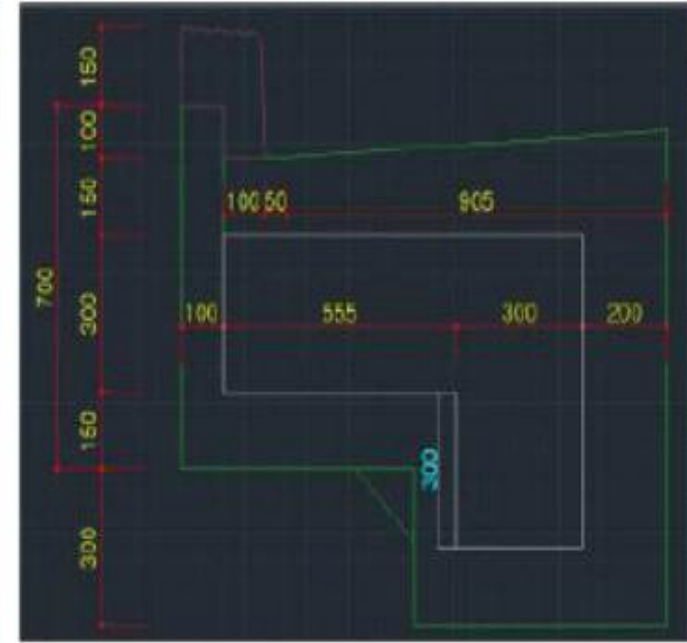
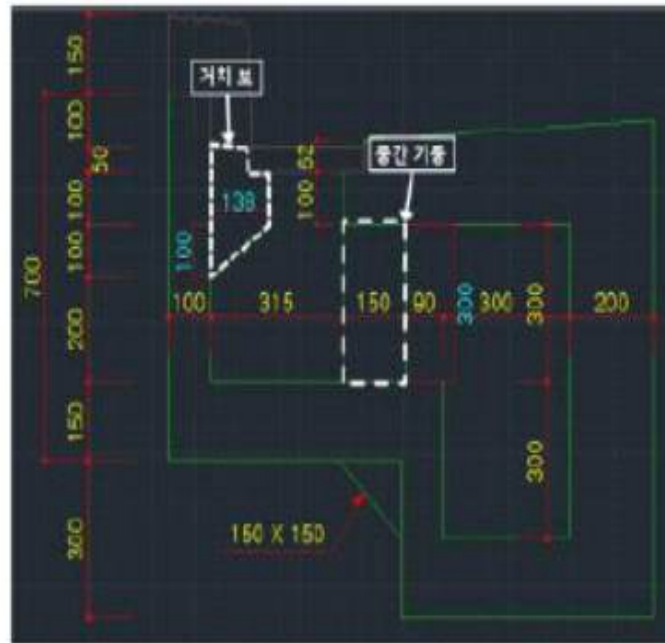
- Moment (kN.m)



전단해석(Close Section)

○ 배수구조체 최종 설계 도면





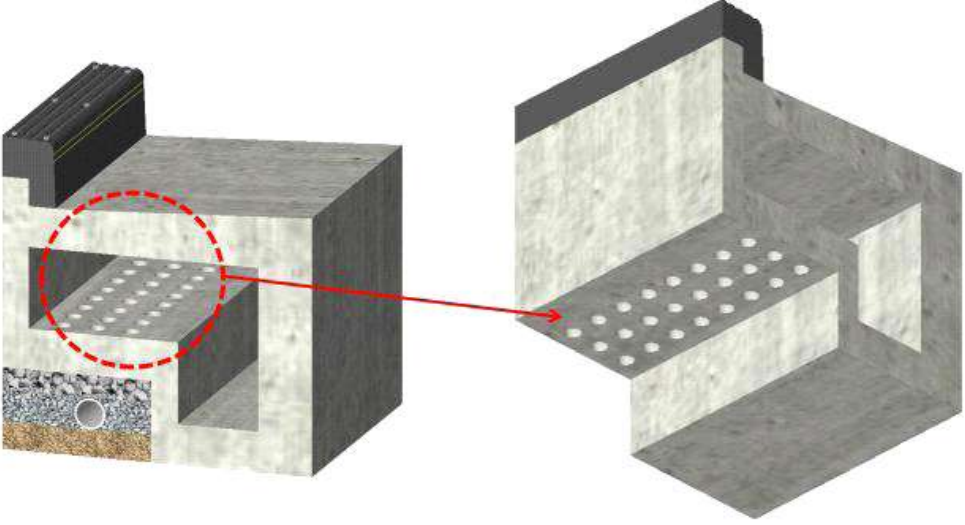
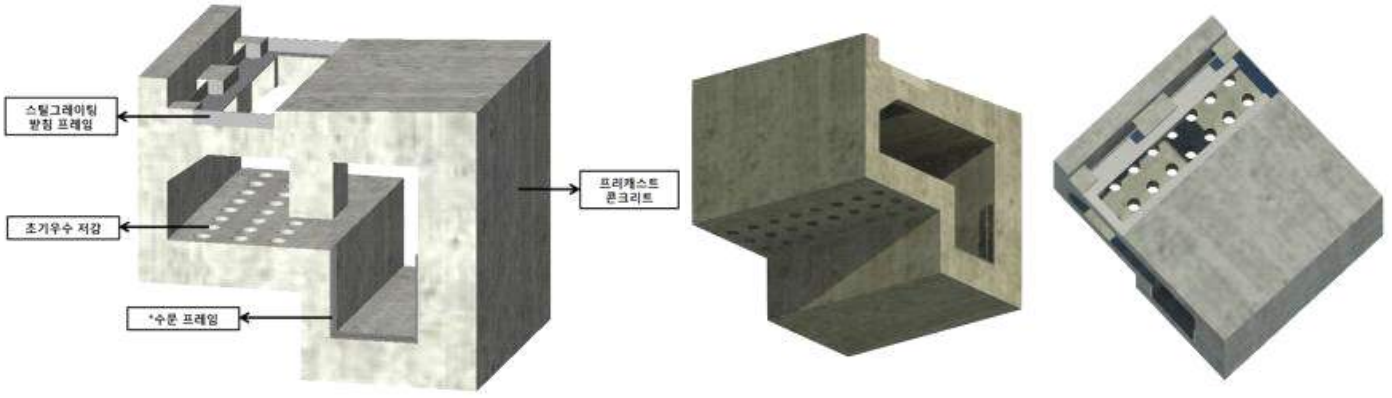
배수측구 최종 설계 도면

배수측구 최종 설계 도면

| 구분            | m'     | Maning 공식에 의한 부피 m' | 비고    |
|---------------|--------|---------------------|-------|
| Open Section  | 0.3524 | ≥ 0.032 : o.k       | 11.0배 |
| Close Section | 0.3465 | ≥ 0.032 : o.k       | 10.8배 |

## 균열 검토

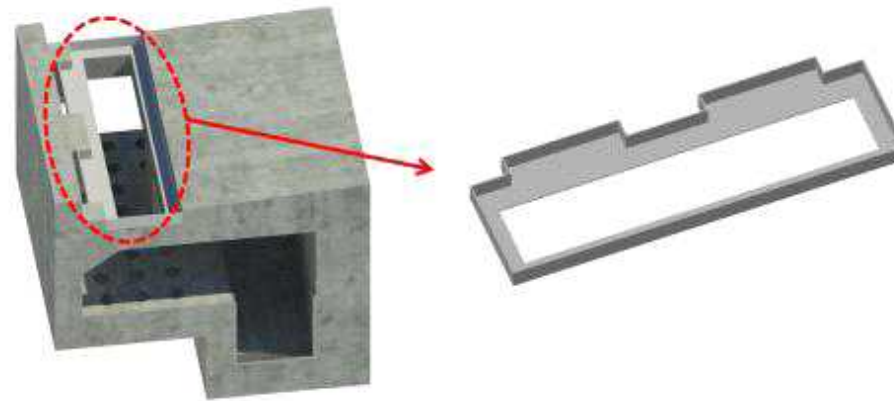
서울특별시의 통수단면적을 산출 한 결과, 오목구간-설계빈도 50년에서  $0.032\text{m}^2$  으로가장 크게 나타났으므로 이보다 큰 통수단면을 확보할 수 있도록 단면을 가정하고 이를 적용하여 전산해석을 통해 휨모멘트 및 전단력, 사용성(균열)에 대한 검토를 수행하였음.

|                                      |  |                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                      |  | <p>비점<br/>오염<br/>저감<br/>필터<br/>층<br/>적용(안)제<br/>시</p> <p>배수구조체<br/>하부에<br/>비점비점오<br/>염 저감<br/>필터층<br/>적용(안)</p> | <p>○ 비점오염 저감 방안 적용(안)</p>  <p style="text-align: center;">비점오염 저감 필터층</p> <p>그림과 같이 개발하고자 하는 배수측구의 통수단면 하부에 구멍을 만들어 강우시 빗물을 집수정으로 흘려보낼 뿐만 아니라 구멍을 통해 지하로 침투시키켜 지하수로 유입되도록 설계함. 비점오염 저감 효과를 향상시키기 위하여 구멍이 뚫려있는 배수측구 구조체 아래에 자갈, 쇄석, 모래 등으로 이루어진 필터층을 적용.</p> |
| <p>시작<br/>품<br/>제작<br/>방안<br/>제시</p> |  | <p>스틸그레이<br/>팅<br/>적용/미적<br/>용<br/>배수구조체<br/>제작방안<br/>제시</p>                                                    | <p>○ 스틸그레이팅 적용 배수구조체</p>  <p style="text-align: center;">배수구조체 (Open Case)</p>                                                                                                                                                                             |



배수구조체 (Open Case) 도면

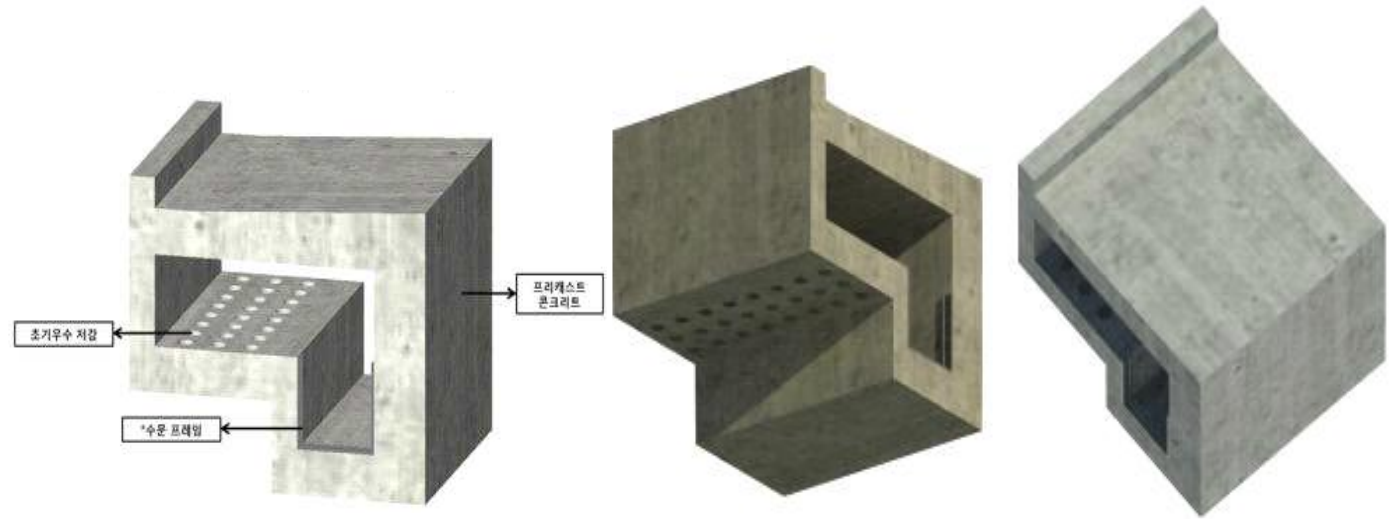
스틸그레이팅 적용 콘크리트 배수구조체는 페로니켈슬래그를 혼합한 콘크리트를 사용하여 프리캐스트 콘크리트를 제작.



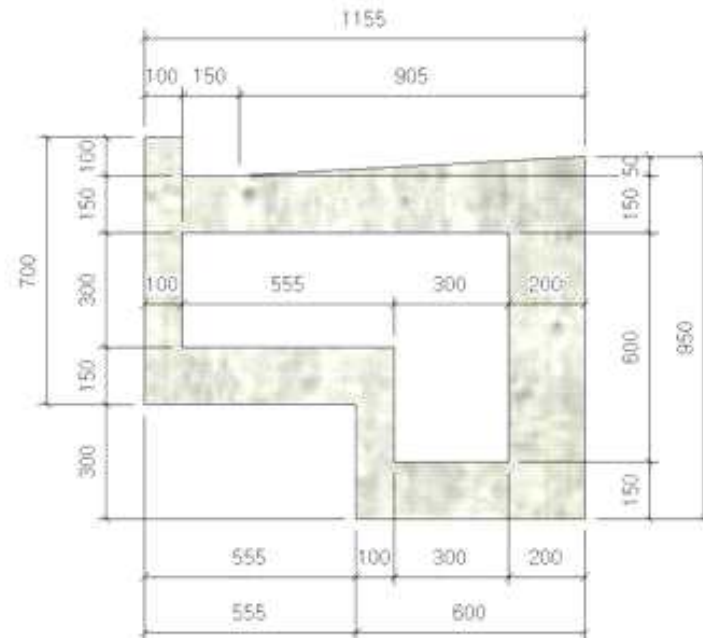
스틸그레이팅 적용

배수구조체 프리캐스트 콘크리트 제작 시 스틸그레이팅 적용을 위한 스틸그레이팅 받침 프레임에 대한 고려가 요구됨.

○ 스틸그레이팅 미적용 배수구조체



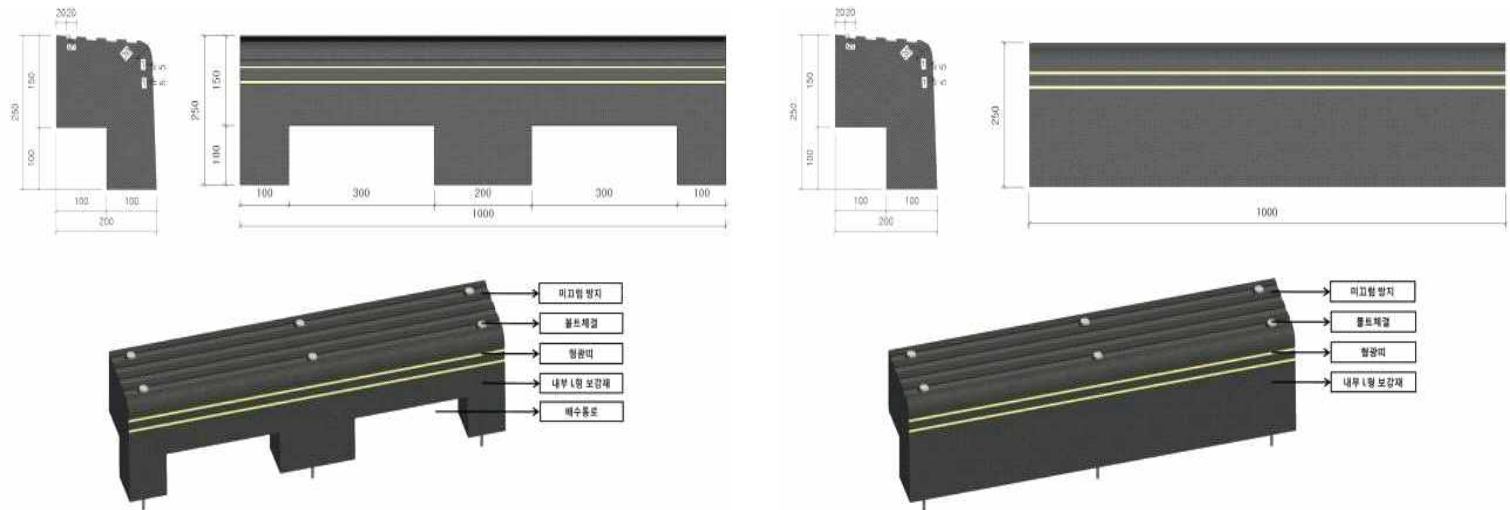
배수구조체 (Close Case)



배수구조체 (Open Case) 도면

스틸그레이팅 미적용 콘크리트 배수구조체는 페로니켈슬래그를 혼합한 콘크리트를 사용하여 프리캐스트 콘크리트를 제작.

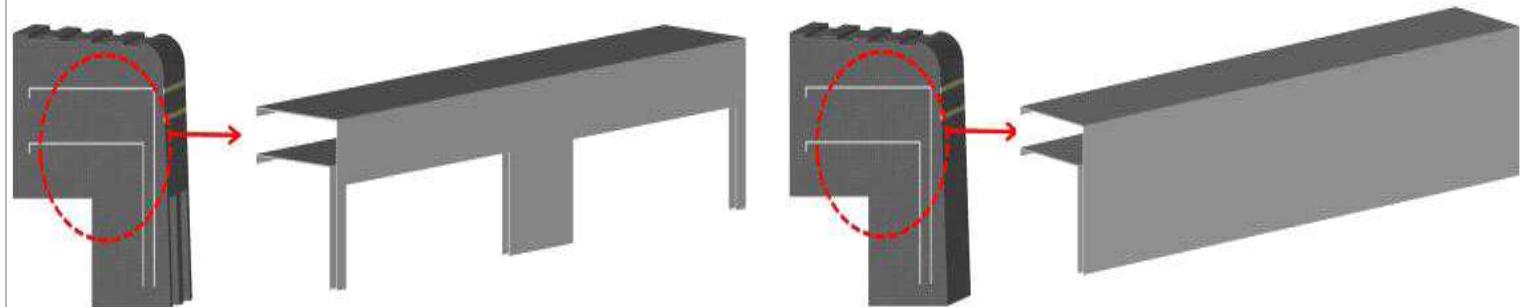
○ 경계석 제작방안



고무경계석 도면

경계석  
제작방안제  
시

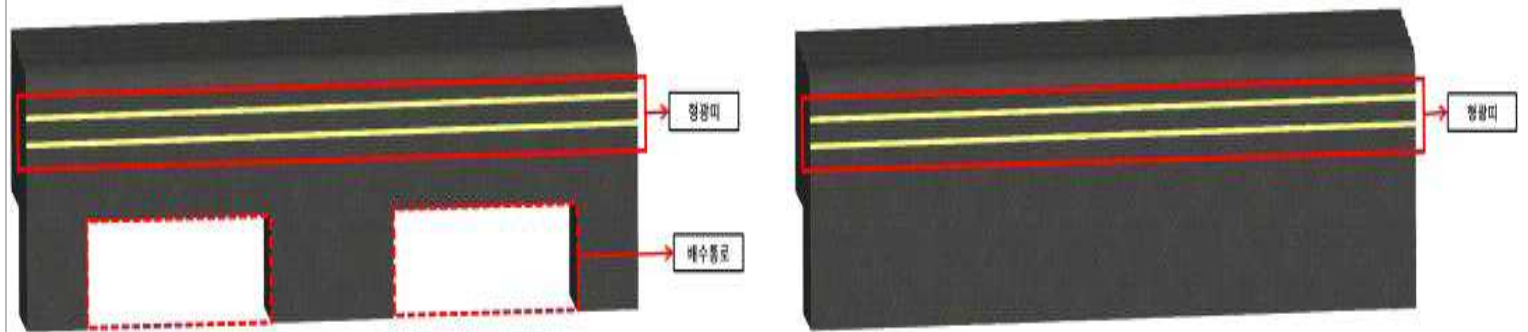
경계석은 페타이어 분말을 활용하여 제작하고자 하며, 콘크리트 배수구조체와 동일하게 두 가지 종류가 있음. 경계석 측면에 배수 통로가 있는 형상과 배수 통로가 없는 형상이 있으며, 측면에 배수 통로가 있는 경계석의 경우 콘크리트 배수구조체와 동시에 L형 스틸그레이팅이 적용되어야 함.



경계석 내부 방안

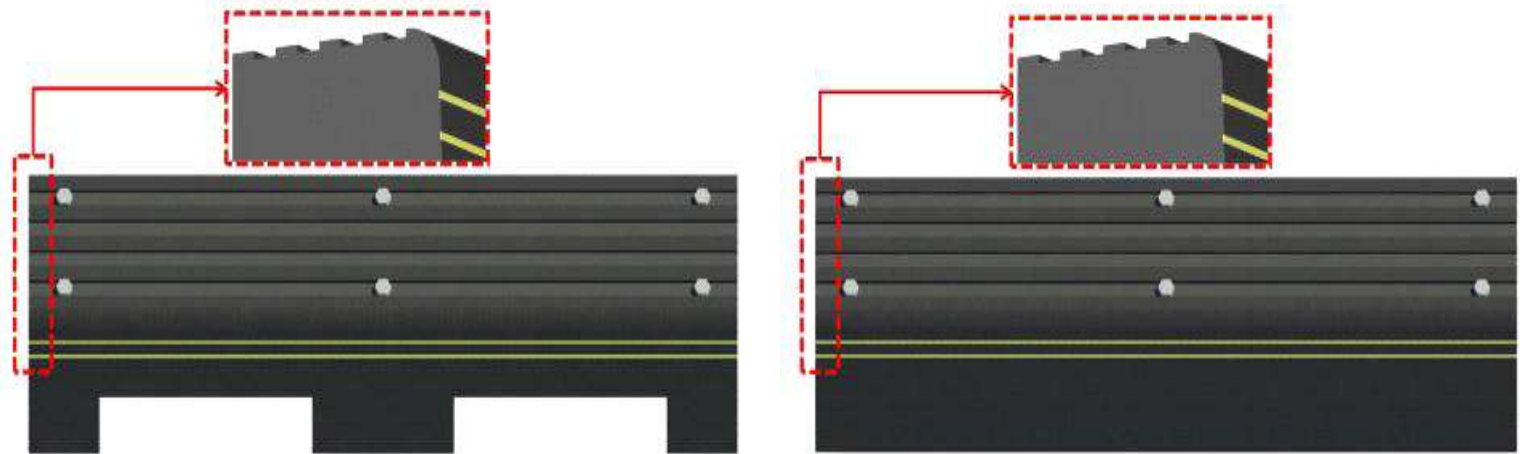
경계석 내부에는 L형 판재를 삽입하여 샌드위치 구조로 제작하고자하며 이는 경계석에 외력이 가해졌을 때 L형 판재와 경계석 재료의 부착력이 휨 응력을 받아주는 역할을 하여 경계석의 강성을 증가시킬 수 있음.

보도쪽을 향하는 L형 판재 끝부분은 경계석에 충격이 가해졌을 때 판 형태일 경우 경계석이 찢어지는 문제가 발생할 수 있으므로 이를 방지하고자 L형 판재 끝부분을 꺾은 형상으로 제작하고자 함.



시안성 방안

측면 상측에는 형광띠를 부착하여 야간에 운전자의 시인성과 안전성을 확보.

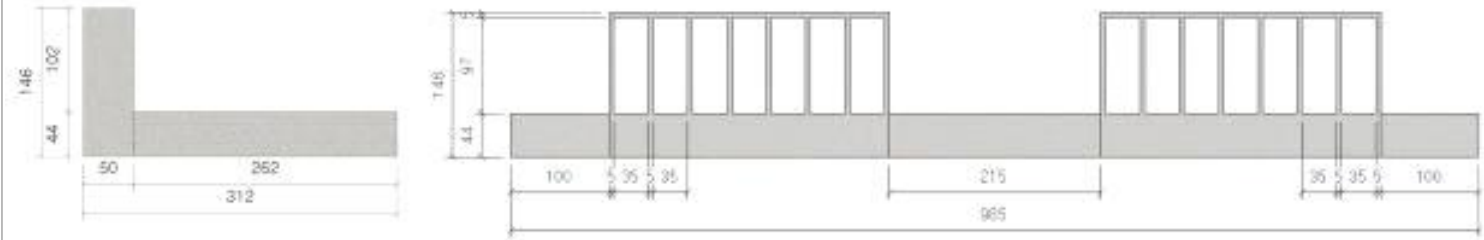


안전성 확보

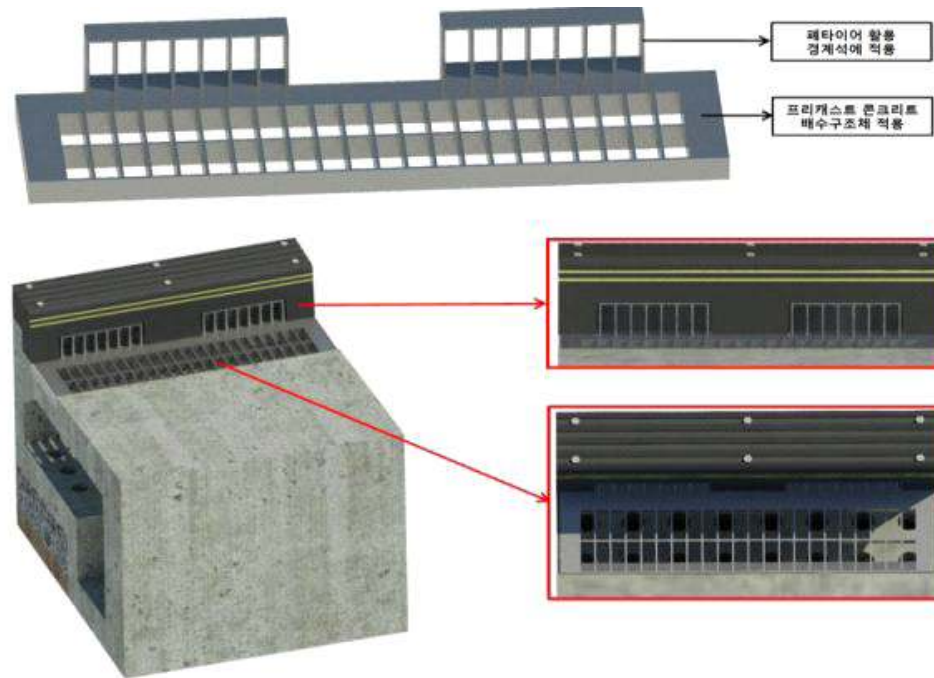
경계석 상부에 굴곡을 주어 강우강설 시 미끄럼의 우려를 방지하여 보행자의 안전사고를 예방할 수 있음.

L형  
스틸그레이  
팅  
제작방안제  
시

○ L형 스틸그레이팅 제작방안



L형 스틸그레이팅 도면



스틸그레이팅 적용 방안

배수 통로가 있는 경계석에 적용되는 스틸그레이팅의 간격은 경계석의 배수 통로 간격과 동일하게 하고, 콘크리트 배수구조체에 적용되는 스틸그레이팅은 기존 스틸그레이팅의 간격 및 형상을 참고하여 본 연구개발 배수측구에 적합한 L형 스틸그레이팅을 개발.

배수구조체  
시작품  
제작  
및  
시공  
유지  
관리  
지침  
(안)  
제시

배수구조체  
시공  
방안

배수구조체  
시공방안  
검토

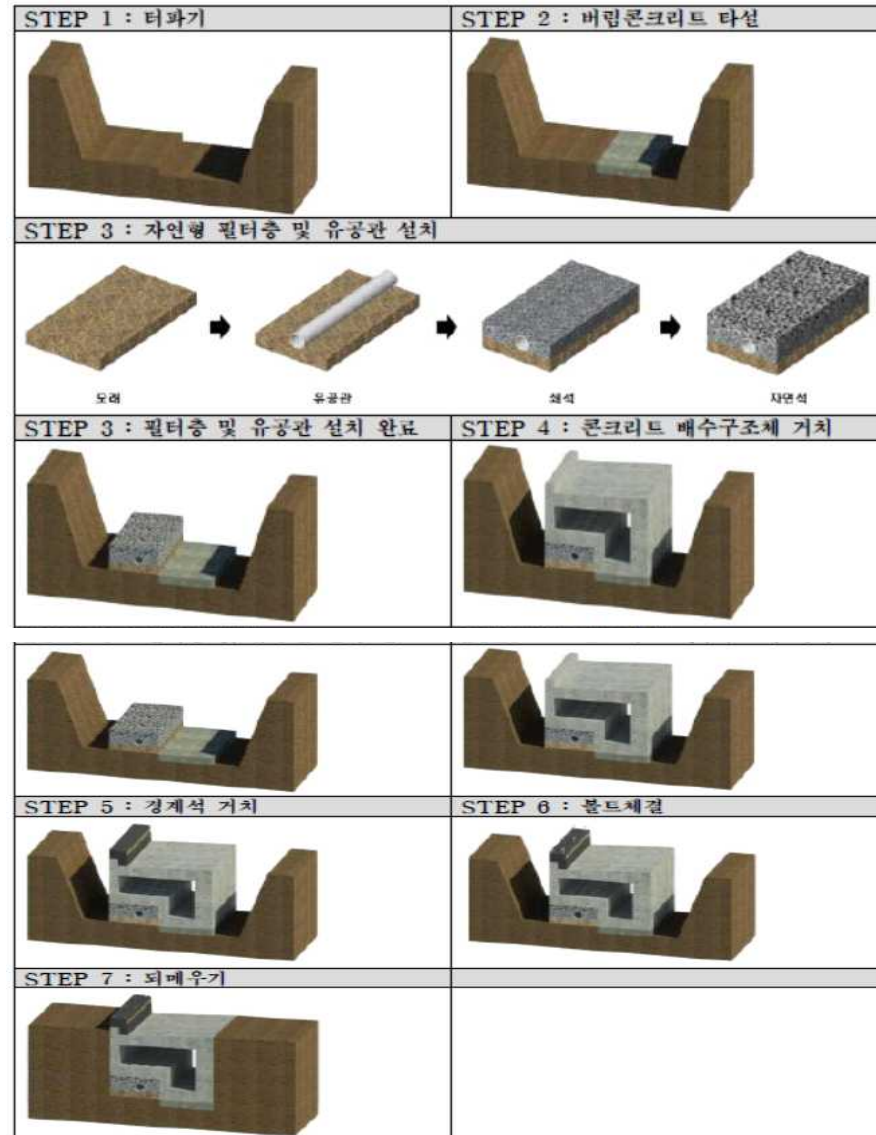
○ 스틸그레이팅 적용 콘크리트 배수구조체 시공방안



배수구조체 시공 방안(Open Case)

본 연구개발 배수측구는 페타이어를 활용한 경계석과 페로니켈 슬래그를 혼합한 콘크리트를 사용한 배수구조체로 콘크리트 배수구조체와 페타이어 경계석 모두 공장에서 제작하여, 현장에서는 터파기 후 콘크리트 배수구조체와 페타이어 경계석을 거치하고 볼트를 이용하여 체결하는 방식으로 시공. 배수구조체 아래에는 초기우수에 대한 비점오염원 저감을 위해 필터층을 적용하고 필터층유지관리를 위한 유공관을 삽입.

○ 스틸그레이팅 미적용 콘크리트 배수구조체 시공방안



배수구조체 시공 방안(Close Case)

스틸그레이팅 미적용 배수구조체는 스틸그레이팅 적용 배수구조체 시공방안과 동일하나, 'L형 스틸그레이팅 거치' 단계만 생략함.

배수  
구조  
체  
유지  
관리  
용이  
성

배수구조체  
유지관리용  
이성 검토

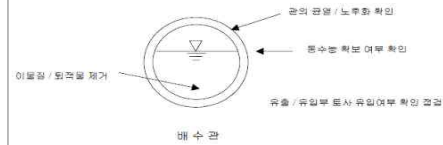
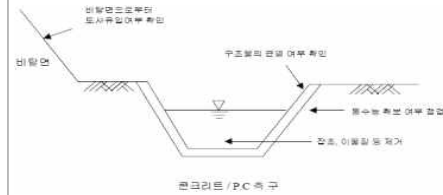
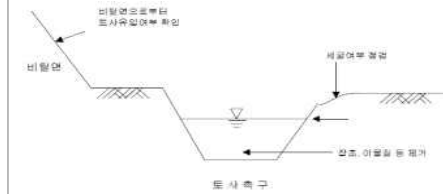
○ 측구 청소 및 유지관리 불량사례 검토

| 위치                  | 원인                                                                                                                                                | 현장 사진                                                                                |                                                                                      | 대책                                                                                                                                                       |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 경상북도 문경시<br>동로면 적성리 | <ul style="list-style-type: none"> <li>비탈면 소단부내 표층유실을 잔류</li> <li>소단배수구 근열 및 다이크 파손으로 인하여 하부 비탈면 세굴 발생</li> </ul>                                 |   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>소단배수구 청소 및 보수</li> <li>다이크 설치 : 근열부 보수 및 원활한 지표수 유출을 위한 다이크 설치</li> </ul>                                         |
| 충청남도 금산군<br>부리면 관천리 | <ul style="list-style-type: none"> <li>비탈면경사의 수직확기의 영향으로 자연비탈면 경계부에서 지속적인 표층유실이 진행</li> <li>유실로 인해 발생한 유실물은 일부 U형측구 상단부에 걸림</li> </ul>            |   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>비탈면 제단식 옹벽 시공</li> <li>U형 측구 청소하여 원활한 배수 능력 확보</li> </ul>                                                         |
| 전라북도 임실군<br>성수면 오류리 | <ul style="list-style-type: none"> <li>집중강우로 인한 지파부 붕괴</li> <li>붕괴로 인한 많은 토석류 (debris flow)가 발생</li> <li>산마루측구 양쪽에 에프론 미설치로 인하여 토사류 적재</li> </ul> |   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>붕괴산물이 걸려진 산마루측구 정비</li> <li>산마루 측구 에프론 설치 : 지표수의 빠른 배수를 유도</li> <li>수평배수관 추가 설치 : 지하수 다량 함유지반의 배수차리 유도</li> </ul> |
| 전라남도 진도군<br>진도읍 포서리 | <ul style="list-style-type: none"> <li>I형측구 조인트 균열 및 식생 서식으로 인한 유수가 평면부 하단부로 유입</li> <li>횡배수시설 훼손 및 길수부 청소 불량</li> </ul>                          |  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>종배수구 정비 및 길수점 : 원활한 배수 능력 향상</li> <li>종배수관 및 I형측구가 상단 훼손 되어 원활한 배수를 위해 J형측구 시공 제안</li> </ul>                      |

○ 배수측구 청소방안 검토

○ 배수측구의 유지방안 검토

노면배수시설의 점검은 배수구조물의 배수능 확보, 토사 및 이물질에 퇴적으로 인한 통수기능 부족 등에 유의하며 주기적인 점검을 실시. 노면배수시설이 파손된 것이나 본래 기능을 다하고 있지 않는 것이 발견되면, 즉시 보수나 청소 등을 하고, 교통 장애가 되지 않도록 해야 함.



노면배수  
구조물

토사축구

- 배수능 확보여부 점검
- 빠른 유속으로 인한 세굴여부 점검
- 축구내 이물질, 잡초 등 제거
- 비탈면에서 토사유입여부 확인

콘크리트축구  
P.C 축구

- 구조물의 균열/파손 여부 점검
- 축구내 이물질, 잡초 등 제거
- 구조물의 침하 여부 확인
- 비탈면에서 토사유입여부 확인

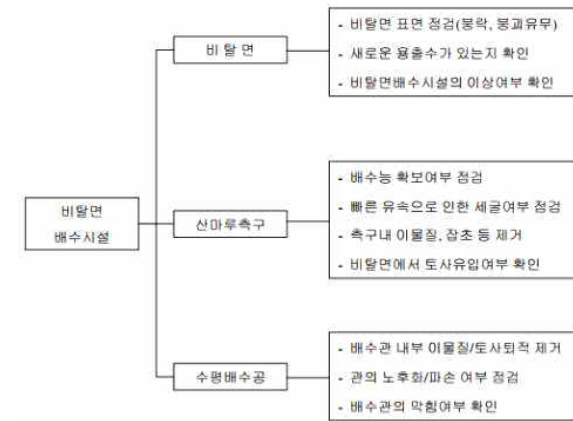
배수관

- 배수관 내부 이물질/토사퇴적 제거
- 관의 노후화/파손 여부 점검
- 배수관으로의 토사유입 여부 확인

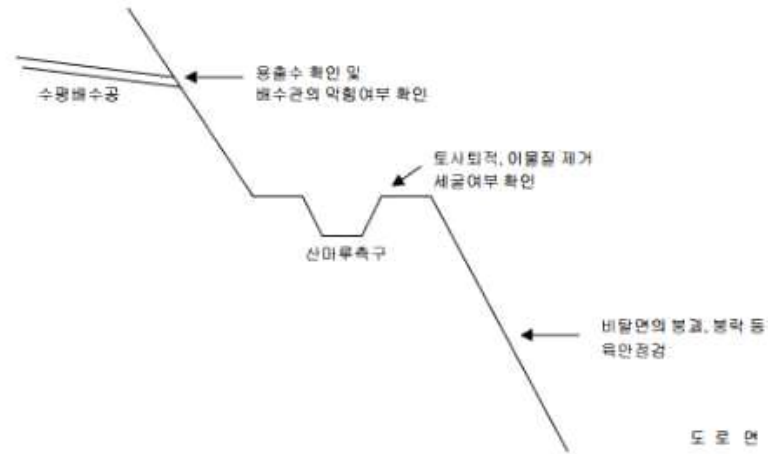
○ 지하배수시설의 유지관리방안 검토

○ 비탈면 배수시설의 유지관리방안 검토

| 목 적               | 원인이 되는 것            | 점 검 항 목                                                                                                    |
|-------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 비탈면의 세굴·<br>붕괴 방지 | 표면수의 배수공으로부터의<br>유출 | 강우 직후의 배수 시설의 배수 상황<br>배수공 내의 토사, 유목의 퇴적 상황<br>비탈면의 침식 상황<br>배수공의 경사 및 이동 상황<br>배수공의 파손<br>배수홈 양측의 움푹 패인 곳 |
| 비탈면의 붕괴<br>방지     | 침투수로 인한 비탈면 용수      | 강우 직후의 비탈면의 습윤 상태<br>비탈면으로부터의 용수 상황의 변화<br>배수 구멍으로부터의 유출량 변화<br>배수 구멍내의 막힘 상황<br>배수공 바닥부의 균열 및 손상          |



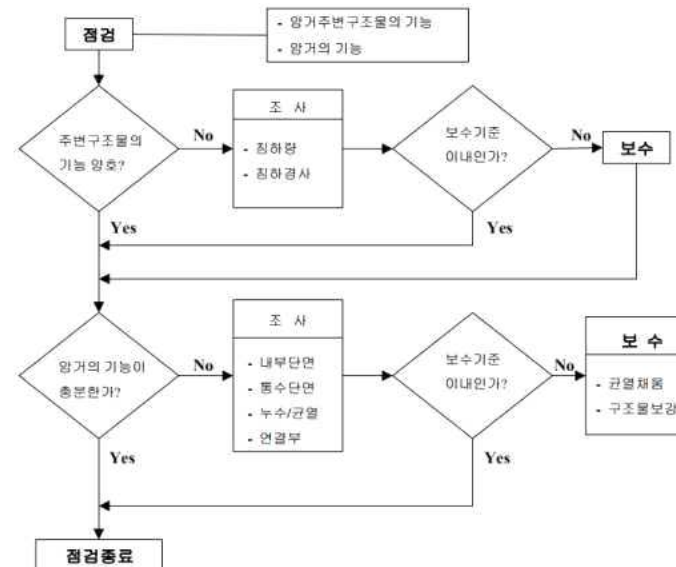
비탈면 배수시설은 노면에서는 그 상황을 정확히 파악할 수 없는 위치에 만들어져 있는 경우가 많으므로 이런 경우에는 비탈면을 직접 올라가서 점검하는 적극적인 자세가 요구됨.



비탈면배수시설의 유지 및 보수는 주기적으로 비탈면을 점검하며 이상유무를 확인하며 유지 및 보수를 실시한다.

비탈면배수시설에 이상이 발견되었을 경우 신속히 적절한 복구조치를 시행해야함.

#### ○ 횡단배수시설의 유지관리방안 검토



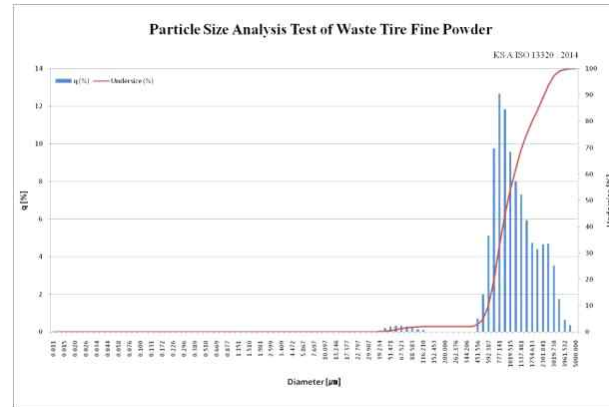
횡단배수시설은 개략적으로 파악할 수 있지만, 기존의 수로를 확보하기 위해서 만든 칼버트등은 흙쌓기 아래에 설치되어 있는 경우가 많고, 노면위에서는 이상을 확인할 수 없었음. 이에 대하여 위와 같은 새로운 유지관리 절차를 만들어 점검 할 필요가 있음.

○ 구조물 배수시설의 유지관리방안 검토

○ 입도분석 실험 (미분말 및 분말) 결과

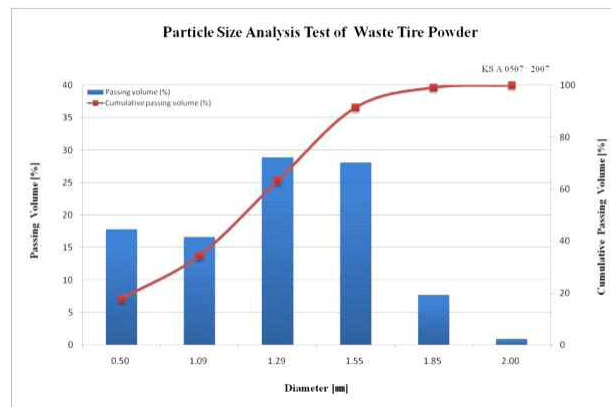
배수  
측구  
경계  
석재  
료  
물성  
시험

입도분석  
(미분말 및  
분말)실험



페타이어 미분말 입도분석 그래프

페타이어 미분말의 입도분포 그래프의 q는 입자 크기에 해당되는 부피의 비율, Undersize는 누적 부피를 의미함. 페타이어 미분말의 평균 입경은 1.2 mm로 측정되었으며, 고르지 못한 페타이어 미분말의 형상을 시험기기가 인식하는 각도에 따라 입도가 달라지므로 큰 사이즈의 입도 또한 분석된 것으로 판단.



페타이어 분말 입도 분포 그래프

페타이어 분말의 입도 분포 그래프는 'KS A 0507 기준의 9 결과표시'에 따라 체 잔량 백분율과 누적 체잔량 백분율을 활용하여 작성하였고, 페타이어 분말의 평균 입도는 가중평균 계산방법을 적용하여 페타이어 분말의 평균입도 결과 값 1.3 mm을 도출.

| 페타이어 미분말 |         |       |     |          |        |          |          |       |
|----------|---------|-------|-----|----------|--------|----------|----------|-------|
| No.      | 입도 (μm) | q (%) | No. | 입도 (μm)  | q (%)  | No.      | 입도 (μm)  | q (%) |
| 1        | 39.234  | 0.115 | 10  | 451.556  | 0.739  | 19       | 1531.914 | 5.947 |
| 2        | 44.938  | 0.207 | 11  | 517.200  | 2.007  | 20       | 1754.613 | 4.742 |
| 3        | 51.471  | 0.299 | 12  | 592.387  | 5.131  | 21       | 2009.687 | 4.412 |
| 4        | 58.953  | 0.348 | 13  | 678.504  | 9.763  | 22       | 2301.841 | 4.667 |
| 5        | 67.523  | 0.341 | 14  | 777.141  | 12.675 | 23       | 2636.467 | 4.709 |
| 6        | 77.339  | 0.306 | 15  | 890.116  | 11.834 | 24       | 3019.738 | 3.539 |
| 7        | 88.583  | 0.246 | 16  | 1019.515 | 9.579  | 25       | 3458.727 | 1.753 |
| 8        | 101.460 | 0.179 | 17  | 1167.725 | 7.996  | 26       | 3961.532 | 0.669 |
| 9        | 116.210 | 0.119 | 18  | 1337.481 | 7.309  | 27       | 4537.433 | 0.372 |
| 입도 평균    |         |       |     |          |        | 1,223 μm |          |       |

페타이어 미분말 입도분석 결과

| 페타이어 분말 |              |         |
|---------|--------------|---------|
| 입도 (mm) | 체 잔량 백분율 (%) | 가중평균 계산 |
| 2.00    | 0.90         | 1.80    |
| 1.85    | 7.70         | 14.25   |
| 1.55    | 28.10        | 43.56   |
| 1.29    | 28.90        | 37.28   |
| 1.09    | 16.60        | 18.09   |
| 1.00    | 17.80        | 17.80   |
| 입도 평균   |              | 1.33 mm |

페타이어 분말 입도 분포

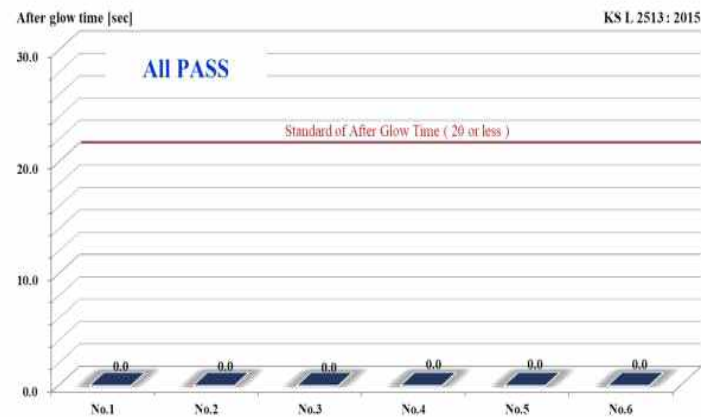
○ 연소 실험: KS L 2513 (유리 섬유 일반 시험방법) 결과

|      | After Glow<br>Time [s]<br>(20 or less) | After Flame<br>Time [s]<br>(30 or less) | Carbonization Area<br>[cm]<br>(50 or less) | Carbonization<br>Length [cm]<br>(20 or less) |
|------|----------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|
| No.1 | 0.0                                    | 0.0                                     | 27.3                                       | 6.8                                          |
| No.2 | 0.0                                    | 0.0                                     | 29.1                                       | 6.9                                          |
| No.3 | 0.0                                    | 0.0                                     | 32.3                                       | 7.7                                          |
| No.4 | 0.0                                    | 0.0                                     | 30.5                                       | 7.5                                          |
| No.5 | 0.0                                    | 0.0                                     | 33.3                                       | 7.6                                          |
| No.6 | 0.0                                    | 0.0                                     | 39.5                                       | 8.6                                          |

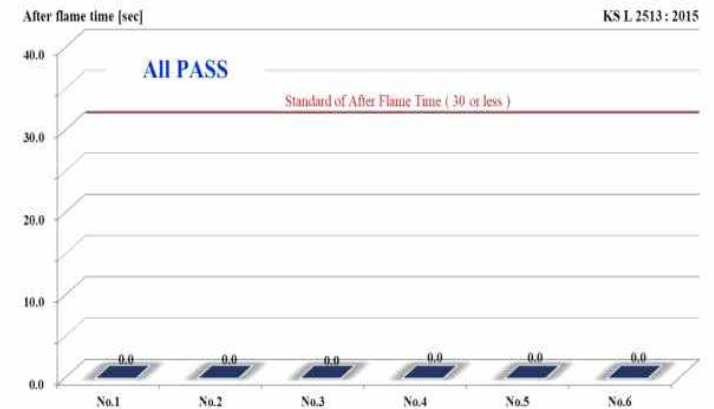
연소 실험:  
KS L  
2513

유리 섬유 시험 결과

After Glow Time Result through Combustion Test of Boundary Stone Materials

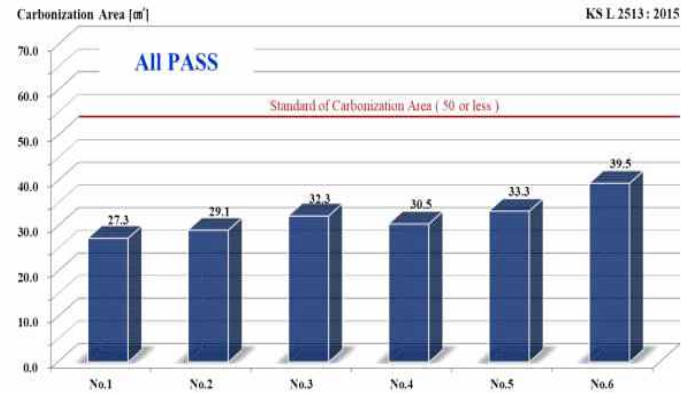


After Flame Time Result through Combustion Test of Boundary Stone Materials

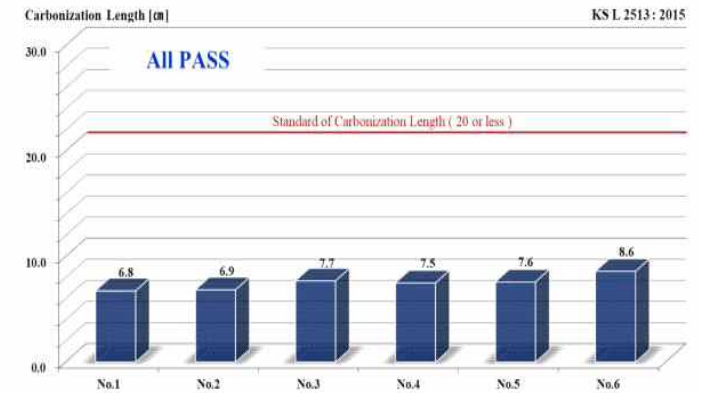


흡음재 연소성 평가 시험

Carbonization Area Result through Combustion Test of Boundary Stone Materials



Carbonization Length Result through Combustion Test of Boundary Stone Materials

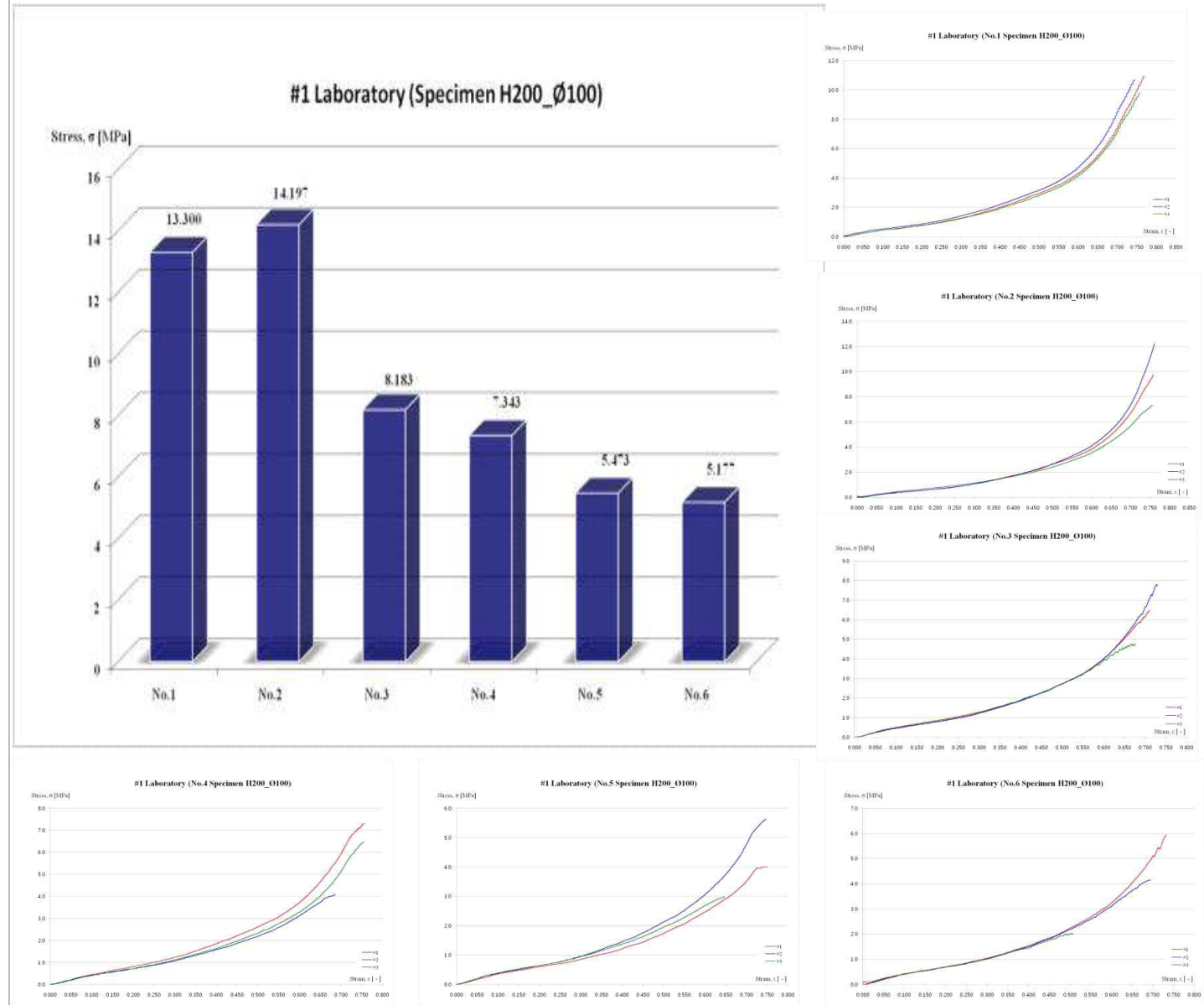


#### 흡음재 연소성 평가 시험

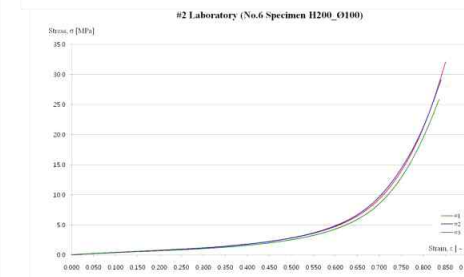
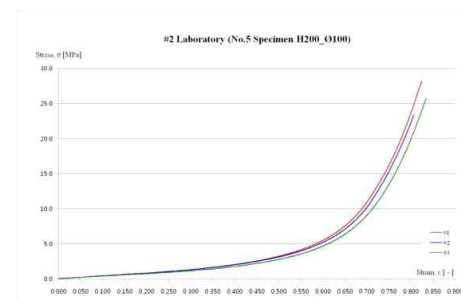
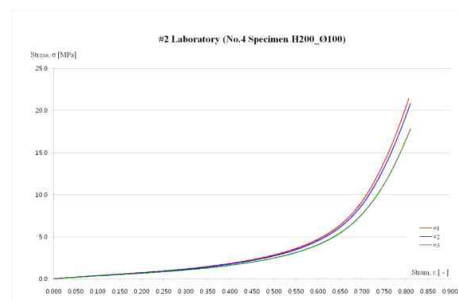
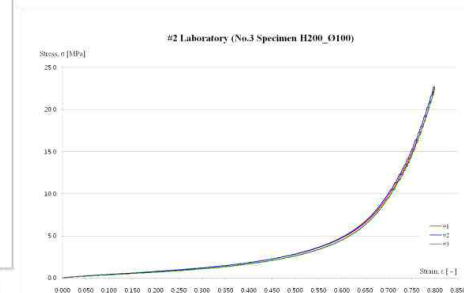
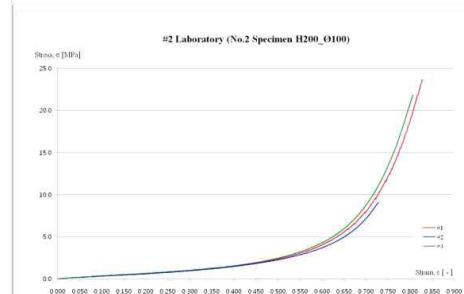
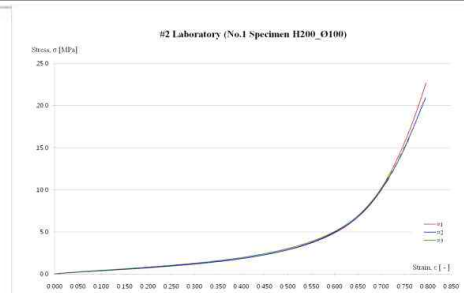
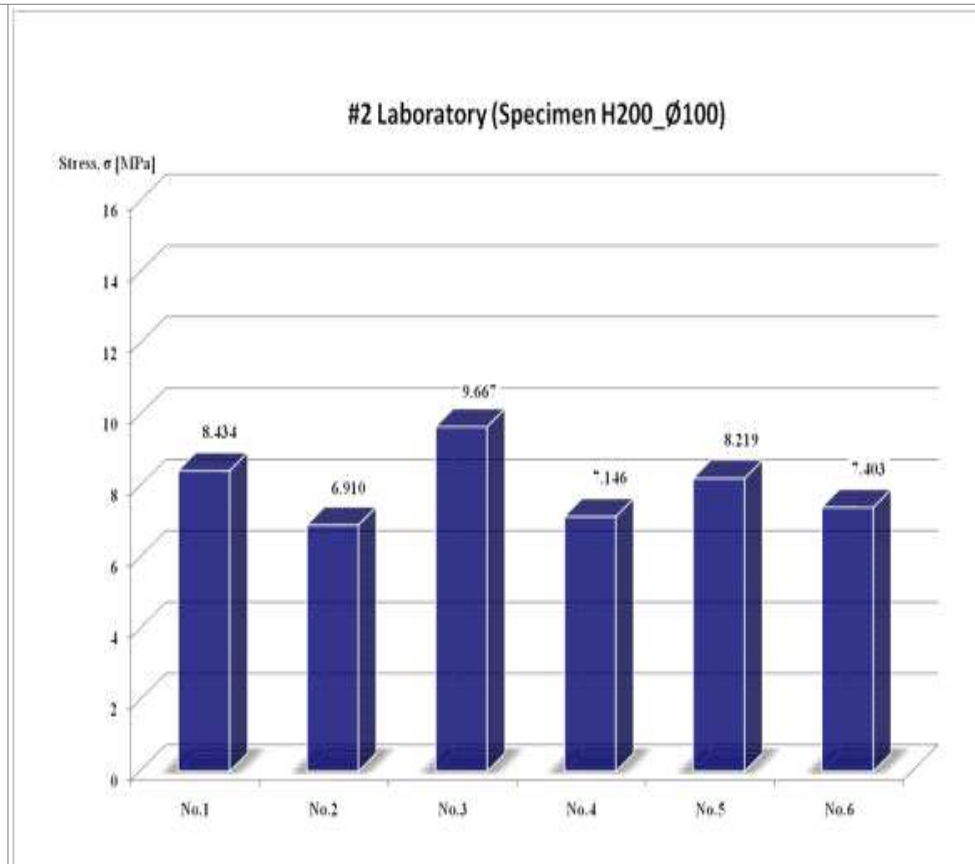
KS F 4770-3에 고시된 흡음재의 연소성 평가 기준에 경계석용 페타이어 재료 6개 모두 기준을 충분히 만족하였으므로 이를 통해 도로에서 화재가 발생할 경우 페타이어로 제작된 경계석의 훼손의 정도가 미미할 것으로 판단.

○ 압축강도 시험 (1Laboratory, 2Laboratory) 결과

압축강도  
시험



압축강도 시험 결과

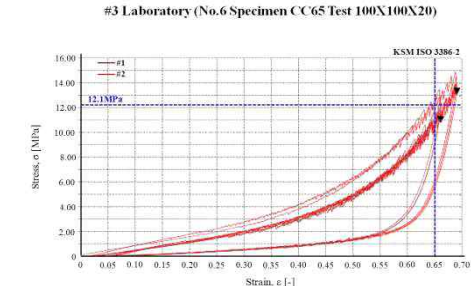
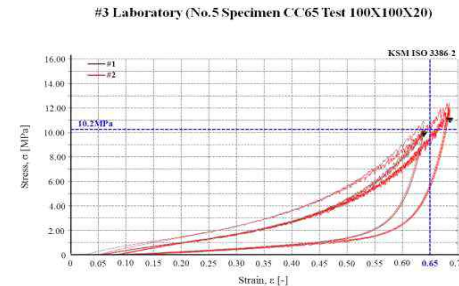
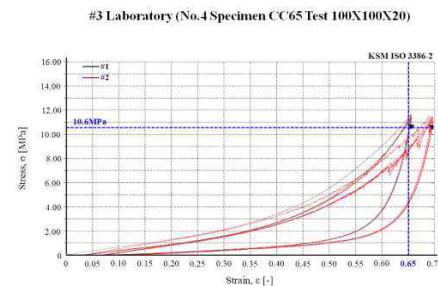
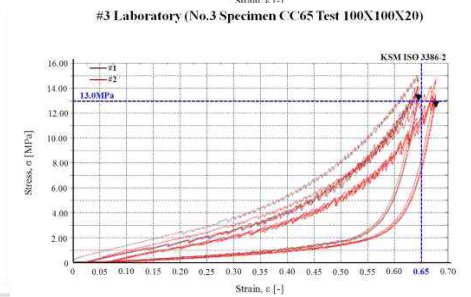
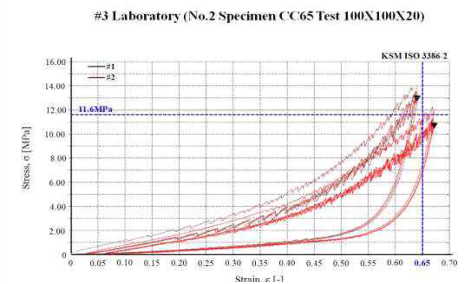
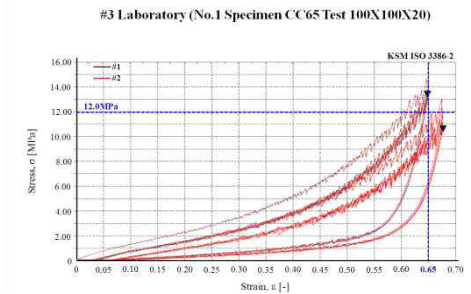
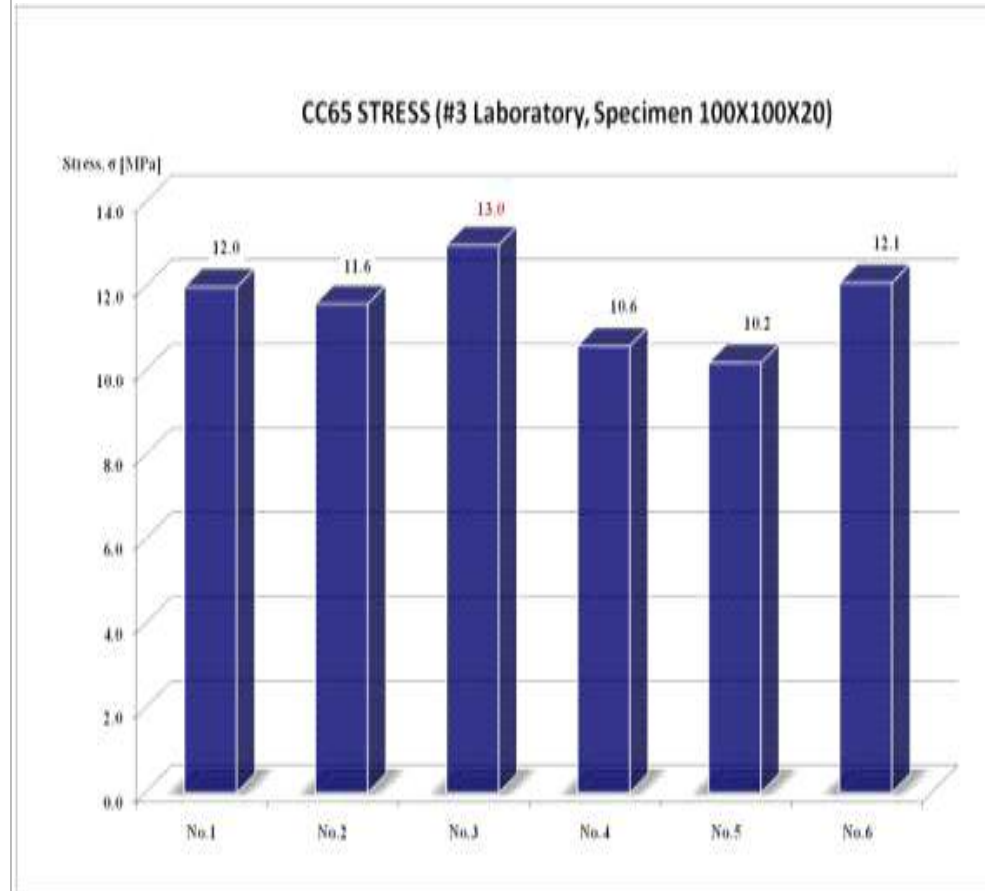


### 압축강도 시험 결과

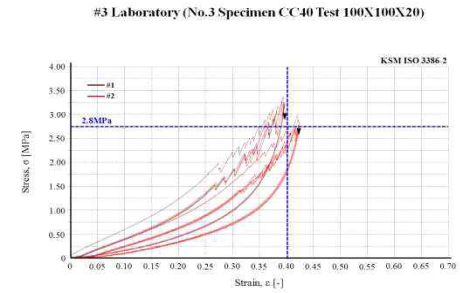
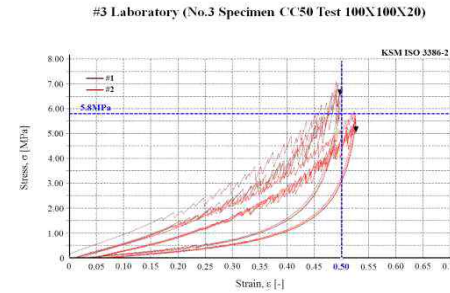
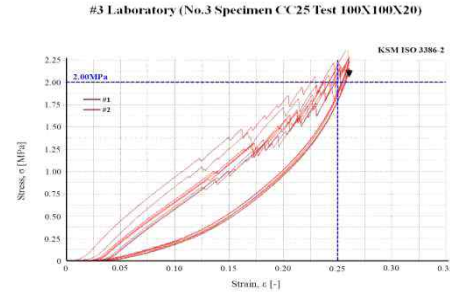
동일한 배합과 동일한 형상의 시편으로 실험을 진행하였으나, 두 시험기관의 결과는 유사하지 않았음. 페타이어 재료가 연성재료 유사한 성질을 가지고 있으므로 압축강도 시험 기준으로 재료의 특성을 비교하기엔 어려움

○ 연질 발포 고분자 재료 — 압축 응력 — 변형 특성 측정 방법-제2부 : 고밀도 재료 (KS M ISO 3386-2)  
(CC25, 40, 50, 65)

연질발포  
고분 재료  
압축 응력  
변형특성  
측정



압축강도 시험 결과



CC65의 경우 경계석용 페타이어 재료의 모든 배합에 대해 실험을 진행하였으며, CC25, 40, 50의 경우 압축강도 결과가 가장 우수한 No.3 배합의 재료에 대해 실험을 진행하였음. 본 연구개발 재료의 특성상 압축 변형률이 80% 되는 지점까지 시험이 진행되어도 파괴가 발하지 않고, 시험이 종료되는 순간 시편에 파손이 발생함. 이에 따라 하중을 가하였을때 X축 변형률 측정이 어려움. 또한, 포아송비가 0.45를 넘어갈 경우 탄성체로 분석에 어려움이 발생하므로 본 연구에서는 경계석용 페타이어 재료로 선택한 No.3의 포아송비 값이 0.45가 되는 지점의 압축 변형률 값을 도출하여 재료의 물성치값을 역산출함.

○ 포아송비 0.45에 해당되는 압축 변형률 도출

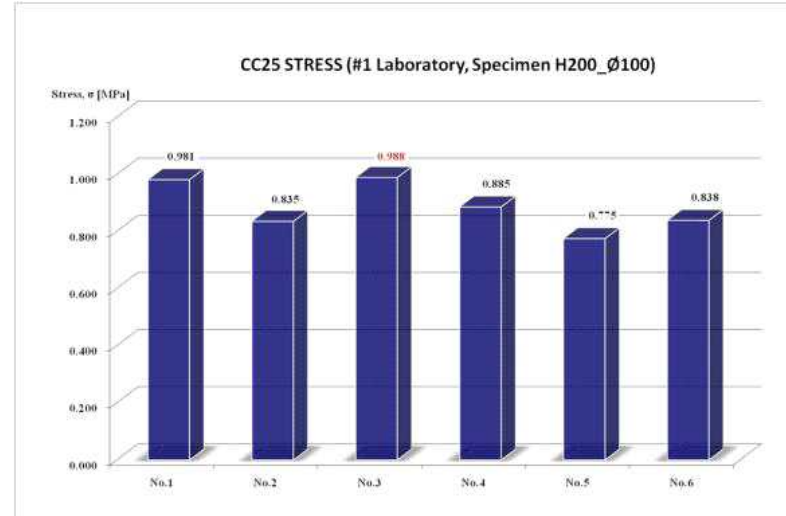
포아송비  
0.45에  
해당되는  
압축  
변형률  
도출

| 구 분     | X축 압축률 | Y축 압축률 | Poisson's ratio |
|---------|--------|--------|-----------------|
| No.1    | 9.60%  | 21.33% | 0.450           |
| No.2    | 22.26% | 49.46% | 0.450           |
| No.3    | 12.90% | 28.67% | 0.450           |
| No.4    | 12.69% | 28.19% | 0.450           |
| No.5    | 11.42% | 25.38% | 0.450           |
| No.6    | 12.53% | 27.84% | 0.450           |
| Average | 12.39% | 27.52% | 0.450           |

#### 압축 변형률

No.3 배합의 Ø100×200 mm 시편 6개를 10 mm씩 압축하여, 변형률을 5%씩 증가시켜 실험을 진행하였음. 6개 시편의 raw data를 활용하여 포아송비가 0.45일 때의 압축 변형률 값을 유추하여 값을 도출하였으며, 도출된 압축 변형률 값 중 최대값(No.2 배합)과, 최소값(No.1 배합)을 제외한 후 평균 압축 변형률 27.52%를 도출.

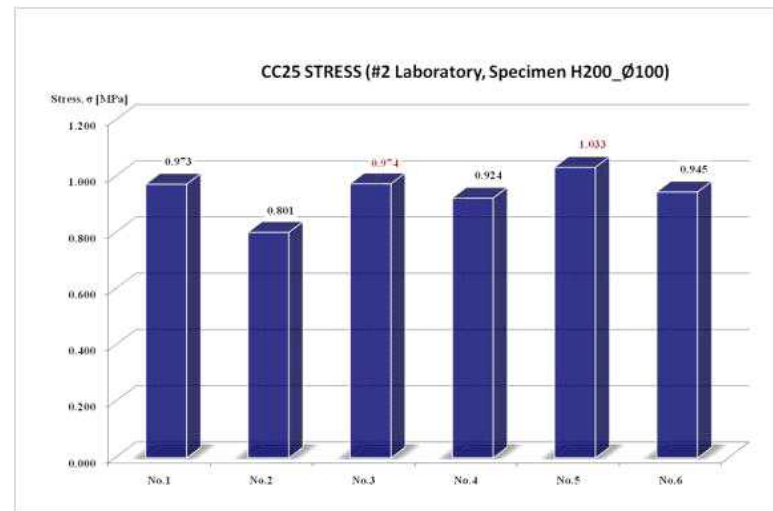
○ 압축변형률 25% 적용 응력 값 비교·분석 결과



압축 응력 값 도출

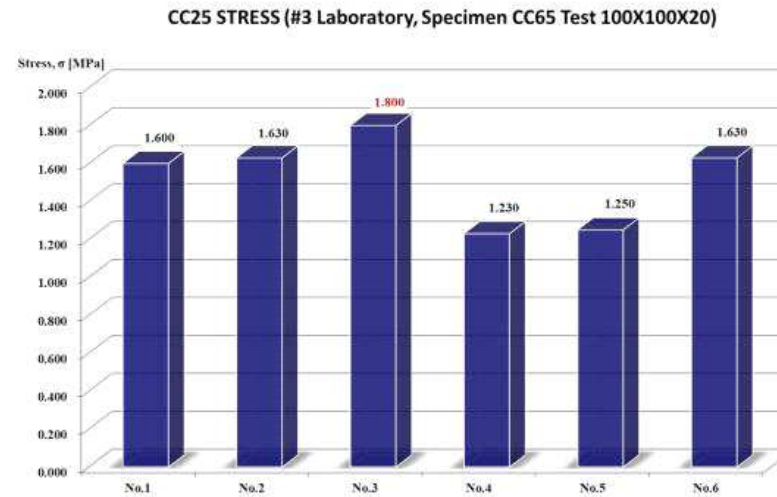
압축변형률  
25% 적용  
응력 값  
비교 분석

시험기관에서 제공한 raw data를 정리하여 압축 변형률이 25%에 해당되는 응력 값을 도출하였다. 6개의 배합 중 No.3의 응력 값이 가장 우수한 것을 확인할 수 있다.

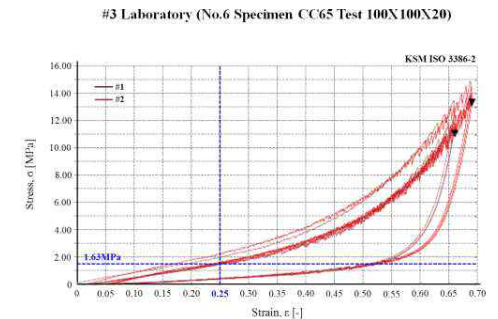
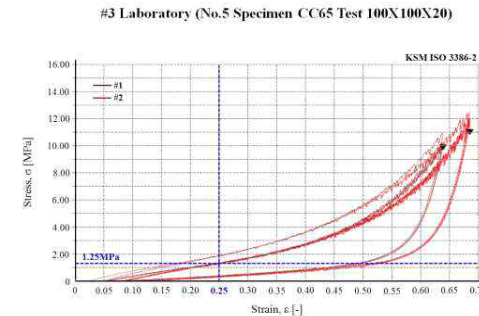
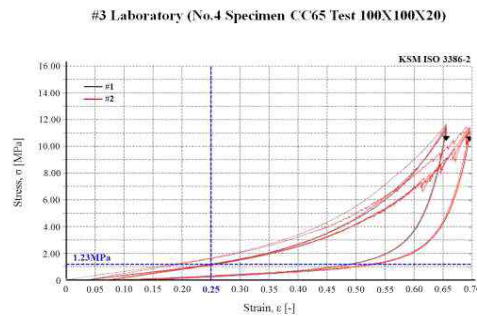
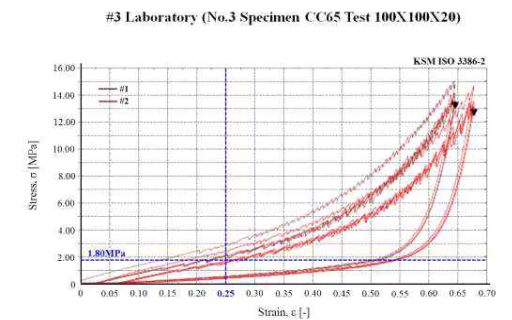
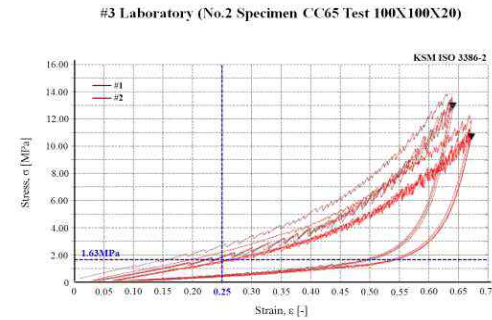
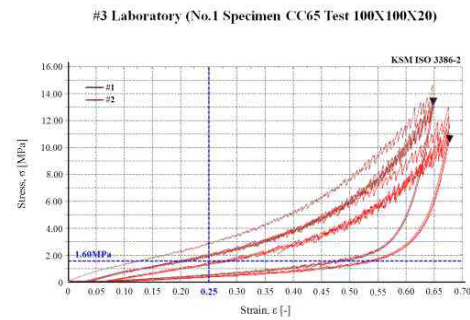
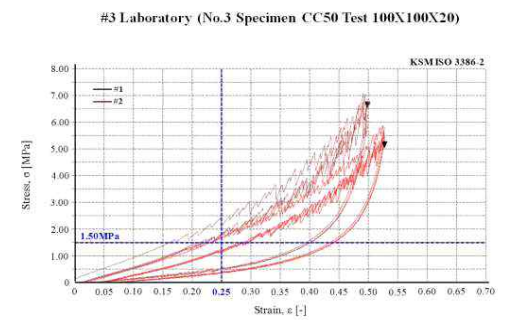
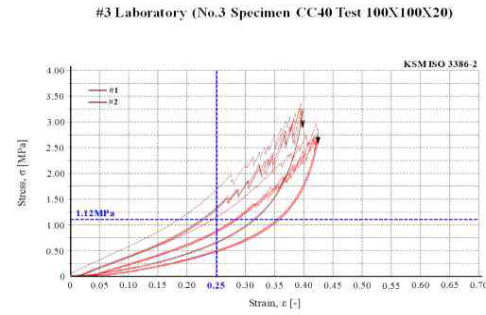
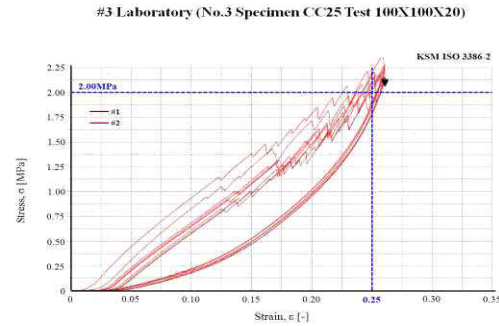


압축 응력 값 도출

시험기관에서 제공한 raw data를 정리하여 압축 변형률이 25%에 해당되는 응력 값을 도출함. 6개의 배합의 압축 응력 값을 확인해보면 No.5의 응력값이 가장 우수한 것으로 나타났지만, No.3의 응력 값도 우수한 것으로 나타남

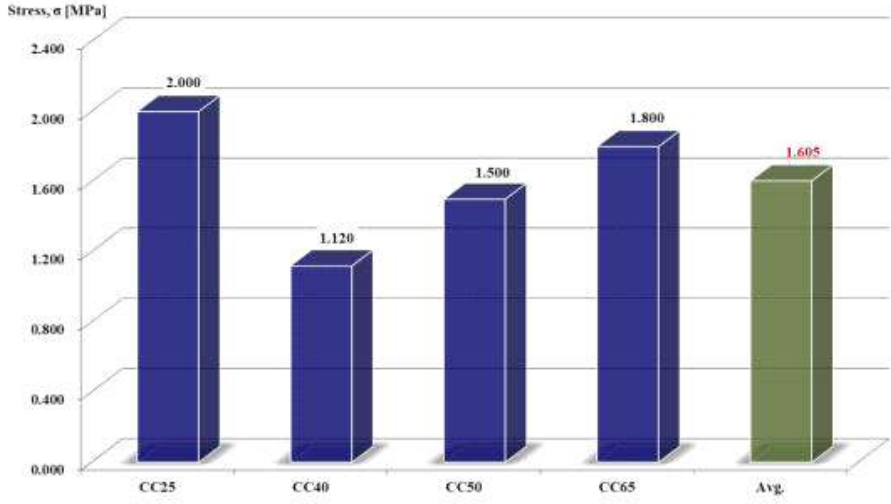


압축 응력 값 도출



#### 압축 응력 값 도출

시험기관 3에서는 raw data를 제공하지 않아 CC25, CC40, CC50, CC65의 압축응력 실험 결과 그래프를 활용하여 압축 변형률 25%에 해당되는 응력 값을 도출하여 비교분석. CC25, CC40, CC50의 경우 경계석용 페타이어 재료로 활용하고자 하는 No.3의 실험 결과를 확인할 수 있으며, CC65의 경우 전체 배합에 대한 실험 결과의 확인. CC65의 압축 응력 결과를 보면, 압축 변형률 25%의 결과 값에서 No.3의 응력 값이 가장 우수한 것을 확인할 수 있다. No.3에 대하여 CC25, CC40, CC50, CC65의 압축 변형률 25% 일 때의 결과 값은 2 MPa, 1.12 MPa, 1.5 MPa, 1.8 MPa로 평균값은 1.605 MPa이며, 탄성계수 산출 시 적용하였음.

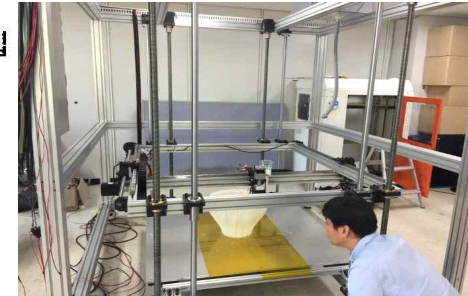
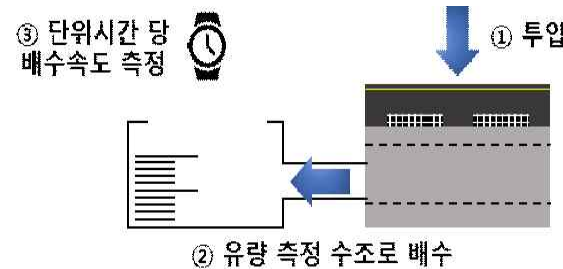
|  |  |  |        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--|--|--|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  | 탄성계수도출 | <p style="text-align: center;"><b>CC25 STRESS (#3 Laboratory, Specimen 100X100X20)</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>압축 응력 값 도출</b></p> <p>시험기관 3에서 수행한 연질 발포 고분자 재료의 압축 응력 값과 포아송비 0.45가 되는 압축응력 시험 결과를 분석한 결과 탄성계수는 응력 1.605 MPa, 변형률 0.25를 적용하여 6.42 MPa값을 도출.</p> |
|--|--|--|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|      |                           |                                                              |                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------|---------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3차년도 | 배수<br>구조<br>체<br>재료<br>개발 | 배수<br>측구<br>시작<br>품<br>구조<br>성능<br>시험<br>및<br>실내<br>시험<br>진행 | 배수구조체<br>구조성능시<br>험 | <p>제작된 배수구조체 시작품을 인장 및 압축시험기를 이용하여 구조성능시험을 진행<br/>건설표준시험원의 ‘가설기자재 시험기’를 사용하였으며 그림과 같이 open case 및 close case 두 가지 구조체<br/>시작품을 각각 시험</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>open case 시험</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>close case 시험</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>open case 시험 후</p> </div> </div> |
|------|---------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

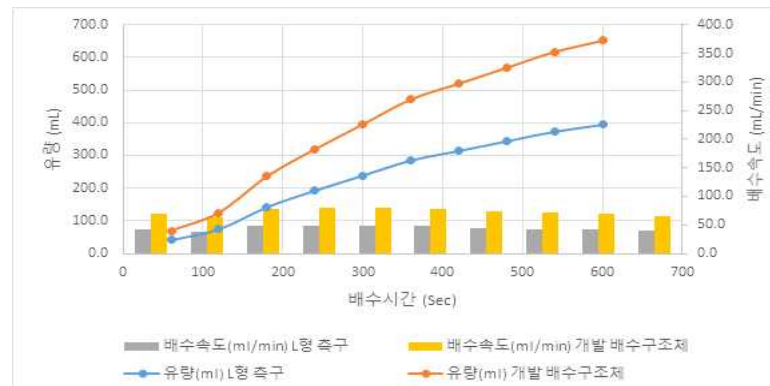
- 구조해석을 통해 ①하중재하 위치 결정, ②게이지 설치 위치 결정, ③재하 하중 결정
- 재하판 가압면적: 200\*500mm
- open형 재하 결과 : 설계하중 160kN 실험하중 402kN / 측정된 변위량 약 9.81mm  
과손· 변형 없음, 설계하중보다 2배 이상 높은 하중으로 약간의 균열 발생
- close형 재하 결과 : 설계하중 160kN 실험하중 402kN / 측정된 변위량 약 7.73mm  
과손· 변형 없음

단위시간당 배수속도 측정은 3D 프린터를 통해 약 4:1 스케일의 모형을 제작하였으며, 각각 기존 L형 측구와 개발 배수구조체에 대하여 1m 분량으로 시험을 진행  
배수속도 측정 결과, 개발 배수구조체의 경우 분당 평균 73mL의 물을 처리 가능한 것으로 나타났으며, L형 측구의 경우 평균 44mL의 물을 처리 가능한 것으로 나타나 개발 배수구조체의 배수능력이 상대적으로 L형 측구에 비해 우수  
단, 이는 실제 우천시의 유량을 고려하지 않은 단순 비교시험이므로 실제 현장 적용 결과와는 다를 수 있으며, 향후 실제 현장 적용시에는 대상 구간의 평균 강수량을 고려하여 유량계산을 통해 통수단면을 결정한 뒤 적용할 필요가 있음

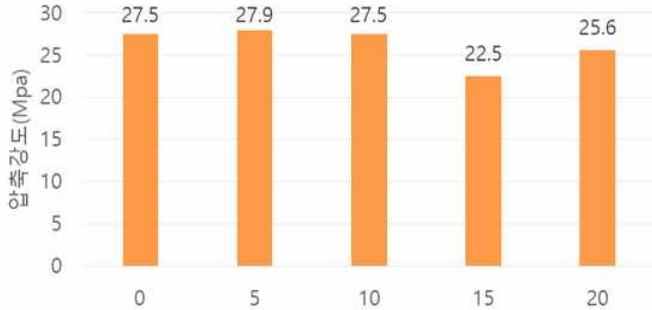
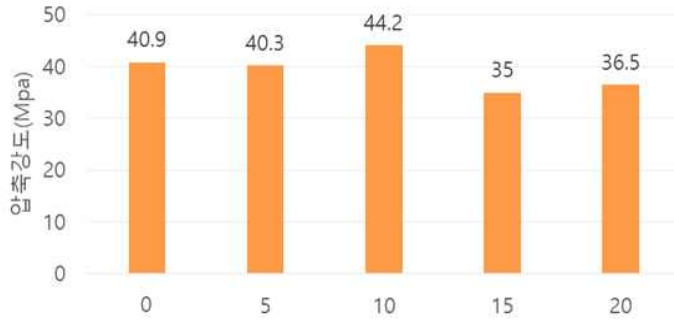
단위시간당  
배수속도  
측정시험



단위시간 당 배수속도 측정 시험

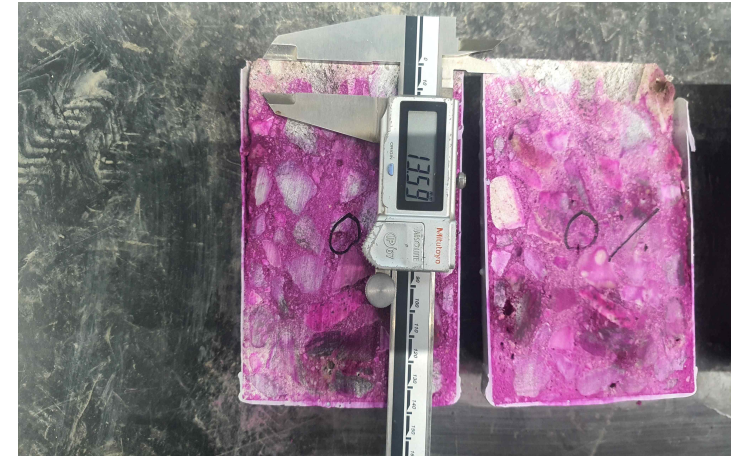


배수속도 측정 시험 결과

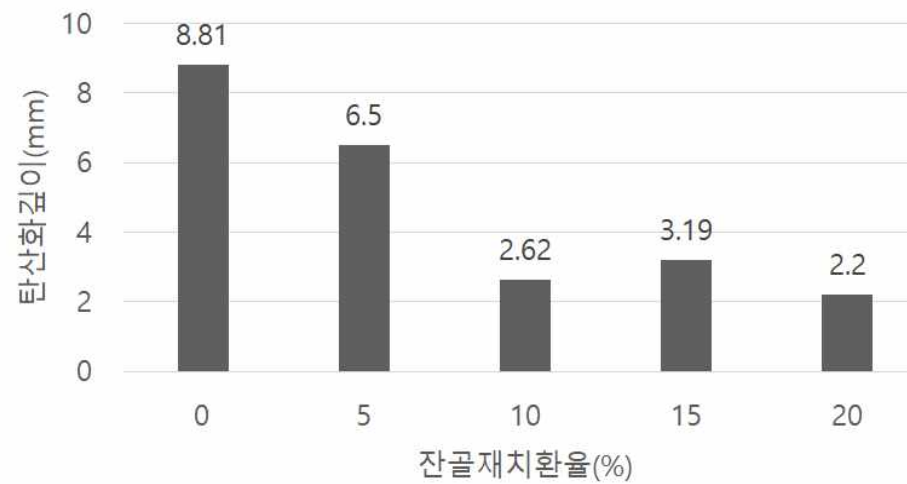
|           |              |                               | <p>본 연구에서 제작된 시제품의 경우 크기가 가로*세로 1m 이상으로 크기가 다소 커 일반적인 UV램프 폭로시험 시험기기에 수용이 불가능하므로 별도의 자외선 램프를 구비하여 자체적으로 폭로시험을 진행</p> <p>‘KS M ISO 16474-3 도료와 바니시-실험실 광원에 의한 폭로 시험방법 제3부: 형광UV램프’의 방법B에 근거하여 블랙 패널 온도 <math>50\pm3^{\circ}\text{C}</math>, 방사조도 <math>0.76\text{W/m}^2/\text{nm}</math>, 파장 340nm의 조건으로 실시</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |           |            |   |      |   |      |    |      |    |      |    |      |           |            |   |      |   |      |    |      |    |    |    |      |
|-----------|--------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------|---|------|---|------|----|------|----|------|----|------|-----------|------------|---|------|---|------|----|------|----|----|----|------|
|           |              | 장기공용성 평가를 위한 폭로시험             | <div><div><p>Atlas사의 CI4000      Q-Lab사의 QUV</p><p>기존 폭로시험기</p></div><div><p>폭로시험 진행</p></div><div><p>폭로시험 결과</p></div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |           |            |   |      |   |      |    |      |    |      |    |      |           |            |   |      |   |      |    |      |    |    |    |      |
|           | 배수 구조체 물성 시험 | 페로니켈슬래그 잔골재 치환 콘크리트 최적 배합비 도출 | <p>○ 압축강도 시험</p> <p>페로니켈슬래그 미분말을 잔골재로 사용한 콘크리트의 경우 수채 페로니켈슬래그의 잔골재 대체재에 대한 선행 연구에서 제시한 최적 혼합율 40%를 참고하여 밀도가 큰 미분말이라는 점을 고려해 20%이하의 치환율을 적용하여 잔골재의 중량 대비 각 5%, 10%, 15%, 20%의 중량으로 치환하여 배합설계를 진행</p> <p>설계기준강도 30MPa 공시체의 압축강도 시험 결과 잔골재 치환율 10% 공시체에서 28일 양생 공시체의 강도가 크게 증가</p> <div><div><table><caption>설계기준강도 30MPa 7일양생 압축강도</caption><thead><tr><th>잔골재치환율(%)</th><th>압축강도 (Mpa)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>27.5</td></tr><tr><td>5</td><td>27.9</td></tr><tr><td>10</td><td>27.5</td></tr><tr><td>15</td><td>22.5</td></tr><tr><td>20</td><td>25.6</td></tr></tbody></table></div><div><table><caption>설계기준강도 30MPa 28일양생 압축강도</caption><thead><tr><th>잔골재치환율(%)</th><th>압축강도 (Mpa)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td>40.9</td></tr><tr><td>5</td><td>40.3</td></tr><tr><td>10</td><td>44.2</td></tr><tr><td>15</td><td>35</td></tr><tr><td>20</td><td>36.5</td></tr></tbody></table></div></div> | 잔골재치환율(%) | 압축강도 (Mpa) | 0 | 27.5 | 5 | 27.9 | 10 | 27.5 | 15 | 22.5 | 20 | 25.6 | 잔골재치환율(%) | 압축강도 (Mpa) | 0 | 40.9 | 5 | 40.3 | 10 | 44.2 | 15 | 35 | 20 | 36.5 |
| 잔골재치환율(%) | 압축강도 (Mpa)   |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |           |            |   |      |   |      |    |      |    |      |    |      |           |            |   |      |   |      |    |      |    |    |    |      |
| 0         | 27.5         |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |           |            |   |      |   |      |    |      |    |      |    |      |           |            |   |      |   |      |    |      |    |    |    |      |
| 5         | 27.9         |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |           |            |   |      |   |      |    |      |    |      |    |      |           |            |   |      |   |      |    |      |    |    |    |      |
| 10        | 27.5         |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |           |            |   |      |   |      |    |      |    |      |    |      |           |            |   |      |   |      |    |      |    |    |    |      |
| 15        | 22.5         |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |           |            |   |      |   |      |    |      |    |      |    |      |           |            |   |      |   |      |    |      |    |    |    |      |
| 20        | 25.6         |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |           |            |   |      |   |      |    |      |    |      |    |      |           |            |   |      |   |      |    |      |    |    |    |      |
| 잔골재치환율(%) | 압축강도 (Mpa)   |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |           |            |   |      |   |      |    |      |    |      |    |      |           |            |   |      |   |      |    |      |    |    |    |      |
| 0         | 40.9         |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |           |            |   |      |   |      |    |      |    |      |    |      |           |            |   |      |   |      |    |      |    |    |    |      |
| 5         | 40.3         |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |           |            |   |      |   |      |    |      |    |      |    |      |           |            |   |      |   |      |    |      |    |    |    |      |
| 10        | 44.2         |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |           |            |   |      |   |      |    |      |    |      |    |      |           |            |   |      |   |      |    |      |    |    |    |      |
| 15        | 35           |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |           |            |   |      |   |      |    |      |    |      |    |      |           |            |   |      |   |      |    |      |    |    |    |      |
| 20        | 36.5         |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |           |            |   |      |   |      |    |      |    |      |    |      |           |            |   |      |   |      |    |      |    |    |    |      |

○ 탄산화촉진시험

콘크리트의 촉진 탄산화 시험은 'KS F 2584 : 콘크리트의 촉진 탄산화 시험방법'에 의거하여 실시  
페로니켈슬래그 미분말을 첨가하지 않은 기준배합에 비하여 페로니켈슬래그 함유량이 커질수록 탄산화깊이가  
급격히 줄어들었으며 이는 CaO 성분이 적어 수화반응의 영향을 적게 받아 철근 부식을 지연시키는 효과



탄산화촉진시험 과정



설계기준강도 21MPa 7일 촉진 탄산화깊이

|  |              |                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--|--------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |              |                   | <p>-장기강도 발현에 기여</p> <p>콘크리트 공시체의 압축강도는 설계기준강도 21Mpa 조건의 잔골재 치환율 10~15%에서 높은 강도발현을 보였으며, 양생기간이 7일에서 28일로 늘어남에 따라 강도발현이 커지는 것으로 확인.</p> <p>설계기준강도 30Mpa에서도 양생 기간이 늘어남에 따라 강도발현이 커지는 것을 확인할 수 있으며 이는 페로니켈슬래그를 활용한 타 연구의 결과와 마찬가지로 장기강도발현이 높은 것으로 확인.</p> <p>이는 페로니켈슬래그의 함량이 다른 시멘트나 고로슬래그와 달리 1차 수화반응을 유발하는 CaO 성분이 적고, 수산화칼슘 등과 계 내의 SiO2 등이 2차 장기반응으로 결합하여 C-S-H를 형성하기 때문으로 판단.</p>                                                                                                                                                                                    |
|  | 배수 구조체 단면 설계 | 배수 측구 시작품 구조성능 검토 | <p>○ 콘크리트 배수 구조체에 대한 구조성능검토</p> <p>Open Section의 단면검토 결과 요약 (상세보고서 참고)</p> <p>○ 페타이어를 이용한 경계석에 대한 구조성능검토</p> <p>① 형상 및 재료모델링</p> <p>배수측구 경계석의 전체 너비는 1,000mm, 폭은 180mm이며 강관 삽입구의 직경은 34mm</p> <p>내부플레이트, 강관, 이형철근에 사용된 재료 특성은 탄성계수 <math>E=210,000\text{MPa}</math>, 프아송 비 <math>\nu=0.3</math>을 적용</p> <p>배수측구 경계석은 8절점 Solid 요소(3D8R)를 사용하였으며 내부플레이트 및 강관은 4절점 Shell 요소 (S4R), 이형철근은 2절점 Beam 요소 (B31)을 사용</p> <p>② 하중 및 경계조건</p> <p>상세보고서 참고</p> <p>○ 유한요소 해석(FEM)</p> <p>유한요소 해석은 이형철근이 1EA와 2EA일 때 두 가지 경우를 고려하였으며 각 경우에서 하중 Case가 2가지이므로 4가지 경우에 대하여 해석을 수행</p> |
|  |              | 현장 적용 타당성 분석(안)   | <p>○ 강우특성의 변화</p> <p>집중호우 발생빈도 증가를 검증하기 위해 기상청 통계자료 분석을 통해 1981~2020년 서울특별시에 발생한 30mm 이상의 1시간 최다강우량의 발생빈도 파악을 통해 집중호우의 발생빈도 증가 추세를 확인</p> <p>국내 수자원관련 구조물의 경우 과거 수문기상자료의 통계적 특성이 미래에도 유지된다는 정상성 가정을 기본으로 구조물 설계가 이루어졌으나 최근 급격한 기상변동성 증가는 과거자료에 근거한 해석 방법이 더 이상 유효하지 않음을 의미</p> <p>○ 중점관리 도로구간</p> <p>도로유형과 관련해서 차량이 고속 주행하여 대형사고 위험이 높은 자동차 전용도로 및 주요 간선도로 등을 물고임을 방지해야할 중점 관리 구간으로 선정</p> <p>유동인구가 많은 시가지 지역, 통행이 잦은 도로 구간에 해당함으로 본 연구에서 개발한 배수 구조체가 현장 적용됨에 타당한 구간임을 입증한다고 판단</p>                                                                                   |

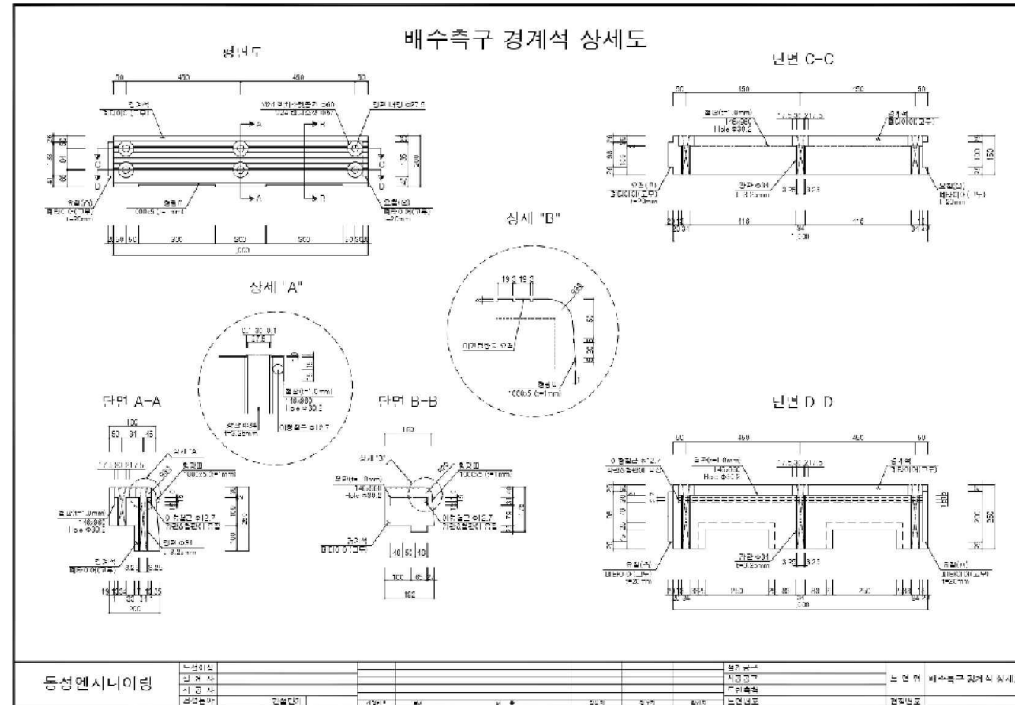
배수  
구조  
체  
시작  
품  
제작  
및  
시공  
유지  
관리  
지침  
(안)  
제시

배수  
측구  
시작  
품

배수구조체  
시작품  
제작

자동차와 사람의 거리가 가까운 버스정류장, 1차선 도로 및 이면도로 등으로 배수 구조체 현장적용 타당성 구간을 구체화

○ 경계석 제작

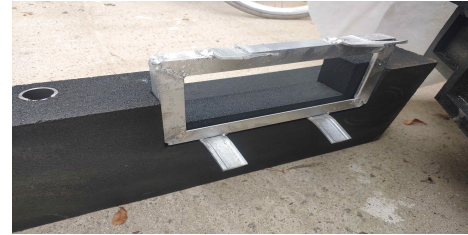
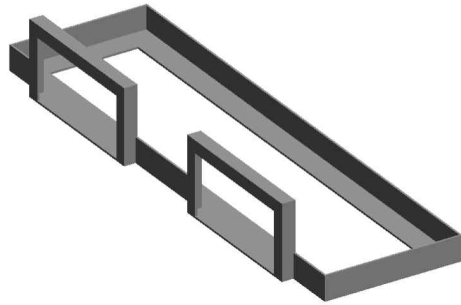


경계석 상세도



경계석 및 내부 프레임

○ L형 스틸그레이팅 제작



L형 스틸그레이팅

○ 콘크리트 구조체 제작



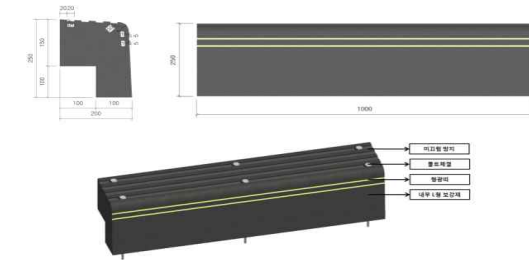
구조체 형상



콘크리트 구조체 제작

○ 볼트 체결

본 연구개발 배수측구는 페타이어 분말을 활용하여 제작한 경계석과 콘크리트 배수구조체를 일체화하는 구조로 적용되는 경계석과 배수구조체의 재료가 상이하므로 볼트 체결이 필요



○ 시공방법

실제 시공 전 시공 방안 검토 시의 경우 콘크리트 배수구조체와 페타이어 경계석, 스틸그레이팅을 모두 별도로 운반한 뒤 현장에서 조립하는 경우로 상정하였으나, 본 시험시공의 경우 현장에서의 조립과정을 생략하고 사전에 일체화로 조립이 완료된 배수구조체를 설치  
(상세 시공방안 12pg 참조)



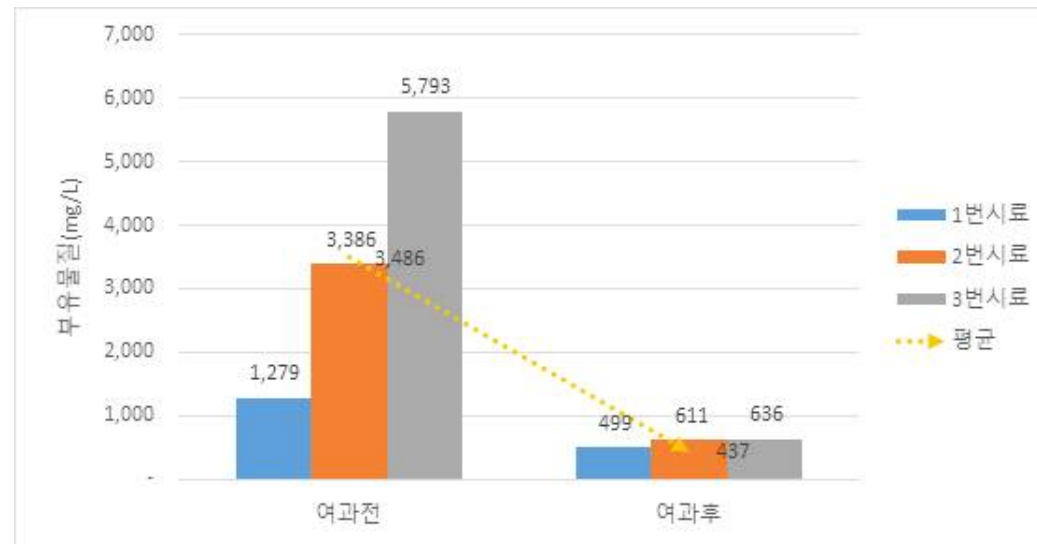
구조물 시공 과정

|  |  |                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--|--|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |                                                 | <p>배수구조체 시험시공</p> <p>본 배수구조체의 시험시공은 경희대학교(수원) 내 부지에서 2021년 12월에 수행되었으며, 기존 배수로 설치구간에 4m 분량의 배수구조체(Open형 2EA, Close형 2EA)를 시공 대상구간의 경우 도로외측의 L형 배수측구 설치구간이 아닌 관계로 기존 배수로 구간에 설치된 U형 배수측구의 철거 및 터파기를 동시에 진행, 기제작된 프리캐스트 배수구조체의 운반 및 설치, 마무리의 순서로 진행</p>                                                                                                                                                                                 |
|  |  | <p>배수측구 적용<br/>비점오염<br/>저감<br/>필터층<br/>성능평가</p> | <p>○ 3D프린터 모형 제작</p> <p>50cm × 250cm × 250cm 크기의 3D 프린트 모형을 제작하고 Open section과 Close section을 각 3개씩 교차 접합</p> <div data-bbox="1041 499 1646 877" data-label="Image"> </div> <p>3D프린터 모형</p> <p>○ 성능평가방법</p> <p>3D 프린트 모형의 필터성능 시험을 위해 수질오염공정시험기준의 부유물질 (ES 04303.1b)를 참고 해당 기준에 근거하여 모래, 나뭇잎 등의 부유물질이 포함된 물을 투입한 뒤 필터층을 통과한 시료를 채취하여 총 3회 시험을 실시</p> <div data-bbox="869 1139 1818 1461" data-label="Image"> </div> <p>부유물질 시험 과정</p> |

○ 부유물질 측정실험을 통한 필터층 성능평가 결과  
여과 전후의 부유물질량을 구하여 3D 프린트 모형의 필터성능을 시험  
필터층을 통해 강우 시 초기우수에 대하여 적극대응이 가능하다는 것을 확인



부유물질 시험 과정



부유물질 시험 결과

|  |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  | <div data-bbox="421 113 2110 359"> <p><b>배수구조체 시공</b></p> <p>본 연구개발 배수측구는 일반적으로 적용되는 기존 배수측구와 달리 페타이어를 활용한 경계석과 페로니켈 슬래그를 혼합한 콘크리트를 사용한 배수구조체로 콘크리트 배수구조체와 페타이어 경계석 모두 공장에서 제작하여, 현장에서는 터파기 후 콘크리트 배수구조체와 페타이어 경계석을 거치하고 볼트를 이용하여 체결하는 방식으로 시공</p> <p>배수구조체 아래에는 초기우수에 대한 비점오염원 저감을 위해 필터층을 적용하고 필터층 유지관리를 위한 유공관을 삽입</p> </div> <div data-bbox="421 359 2110 1460"> <p><b>제안 제품 적용 시공/유지관리 가이드라인</b></p> <p><b>유지관리 가이드라인</b></p> <p>○ 필터층 유지보수 관련 가이드라인</p> <p>배수측구 아래 적용되는 필터층은 오염물질을 포함한 빗물이 침투하며 여과되어 오염물질은 필터층에 걸러지고, 빗물을 지하로 침투되는 비점오염 저감시설로 필터층에 대한 관리가 미흡할 경우 침전물로 인해 공극이 막히는 현상이 발생하게 되어 오염물질은 집수정으로 흘러가고 소량의 빗물은 지하로 침투되는 구조가 될 우려가 있으므로 필터층의 공극이 막히지 않도록 주기적인 유지관리가 필요</p> <p>○ 필터층 유지관리 방안</p> <p>필터층에 대한 청소를 위해 유공관을 이용한 역세척 방법을 적용.</p> <p>배수측구 구조체의 아래에 적용되는 필터층으로 작업공간이 협소하며, 길이가 길다는 현장여건을 고려하여 본 연구에서는 다음 그림과 같이 필터층 아래에 유공관을 삽입하고, 고압수를 살수하여 필터층 공극을 막고있는 오염물질, 오니들이 위로 부상하게 하여 배수측구 구조체로 역으로 올라가게 한 후, 배수측구 구조체에 고압수를 살수하여 오염물질, 오니들을 집수정으로 이동시켜 청소하는 방안을 적용.</p> <p>○ 유공관</p> <p>유공관은 다음 그림과 같이 상부, 즉 필터층이 적용되는 쪽으로 구멍이 뚫린 관이며, 적용구간은 집수정과 집수정까지 이다. 유공관은 양쪽에 마개를 적용하여 열고 닫음이 가능토록 하고, 고압수는 한쪽 집수정에서 마개를 열고 살수하여 필터층을 청소 할 수 있도록 하였다.</p> <div data-bbox="600 1082 996 1407"> </div> <div data-bbox="1220 1109 2049 1316"> <p>필터층 유지관리 주기 : 5년</p> <p>필터층을 적용하였을 경우, 일반적으로 필터층의 공극이 막혀 비점오염 저감시설로서의 기능을 상실하는 수명주기는 약 5년~6년으로 본 연구에서는 5년주기마다 필터층에 대한 유지관리를 수행</p> </div> <p><b>&lt;그림 3.93&gt; 자연형 필터층 및 유공관 적용</b></p> </div> |
|--|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

#### 1) 연구수행 결과

##### (1) 정성적 연구개발성과

##### 1차년도

| 구분   | 세부<br>연구목표             | 질적 성과지표                              | 세부 연구개발 내용                                                                                                    | 평가목표<br>및 착안점 | 달성도<br>(%) |
|------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------|
| 1차년도 | 최적재료 선정을 위한 국내외 문헌자료   | 콘크리트 재료 관련 국내외 논문 및 보고서              | 최적재료선정을 위한 국내외 문헌조사 실시                                                                                        | 보고서           | 100        |
|      | 배수구조체 및 경계석용 콘크리트 배합비  | 재료성분 및 비율                            | 페로니켈슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 최적 배합비 도출                                                                                | 보고서           | 100        |
|      | 재료별 물성값                | 압축강도<br>할렬강도<br>내마모성<br>내충격성<br>내화학적 | 하중시험을 통한 압축강도 및 할렬강도 측정<br>페로니켈슬래그 미분말을 사용할 경우 기존 콘크리트보다 압축강도가 낮은 것을 확인<br>페로니켈슬래그 미분말을 잔골재로 대체한 새로운 배합비 도출계획 | 보고서           | 100        |
|      | 배수구조체 관련 국내외 문헌자료      | 배수구조체 관련 국내외 논문 및 보고서                | 배수구조체를 통한 도로 침수예방 및 비점오염저감 방안모색을 위해 국내외 문헌조사 실시                                                               | 보고서           | 100        |
|      | 단면 및 연결부 상세구조 구체화      | 단면 및 연결부 상세구조설계(안)                   | 단면 및 연결부 상세구조설계 및 타당성 검토                                                                                      | 보고서           | 100        |
|      | 배수구조체 관련 국내외 특허 및 적용사례 | 배수구조체 관련 국내외 특허 및 적용사례               | 국내외 특허 및 적용사례 조사                                                                                              | 보고서           | 100        |

##### 2차년도

| 구분   | 세부<br>연구목표                 | 질적 성과지표                 | 세부 연구개발 내용                                                                                               | 평가목표<br>및 착안점   | 달성도<br>(%) |
|------|----------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------|
| 2차년도 | 배수구조체 및 경계석용 콘크리트 최적배합비 도출 | 배수구조체 및 경계석용 콘크리트 최적배합비 | 페로니켈슬래그 미분말을 잔골재로 치환하여 콘크리트 공시체 제작 및 물성시험 결과 기존 콘크리트 대비 20%이상의 강도발현. 탄산화축진시험을 통한 내구성 향상 검증               | 보고서             | 100        |
|      | 배수구조체 구조성능시험               | 허용압축응력<br>허용휨응력         | 구조성능검토 후 제작한 배수구조체를 이용하여 하중시험을 통한 구조성능시험 실시<br>400kN이상에서 최대하중변위 10mm미만                                   | 구조성능 시험성적서      | 100        |
|      |                            | 배수측구 파손율                | 바퀴면적을 고려하여 200mm x 500mm의 가압판으로 취약 부위인 스틸그레이팅 부분 직접 가압 시 파손 없음                                           | 보고서             | 100        |
|      | 배수구조체 통수단면 설계              | 설계유량 산정<br>설계유속 산정      | 노면배수시설의 설계흐름도를 고려하여 설계유량 및 설계유속 산정                                                                       | 구조계산서/수량 산출서/도면 | 100        |
|      | 비점오염 저감 필터층 적용(안) 제시       | 비점오염 저감 필터층 적용(안)       | 비점오염원 저감시설의 자연형 중 침투형 형식을 적용 지하침투와 집수정 이동 두 가지 방법으로 우수 처리 구멍이 뚫린 배수측구 구조체 아래에 자갈, 쇄석, 모래 등으로 이루어진 필터층 적용 | 보고서             | 100        |
|      | 시작품 제작방안 제시                | 시작품 제작방안                | 스틸그레이팅 적용 측구와 미적용 측구 두 가지 종류 스틸그레이팅 적용 시 L형 제작                                                           | 보고서             | 100        |
|      | 배수구조체 구조성능시험               | 허용압축응력<br>허용휨응력         | 구조성능검토 후 제작한 배수구조체를 이용하여 하중시험을 통한 구조성능시험 실시<br>400kN이상에서 최대하중변위 10mm미만                                   | 구조성능시험성 적서      | 100        |
|      | 배수구조체 시공방안                 | 배수구조체 시공방안 검토           | 스틸그레이팅 적용 및 미적용 구조체의 교차적용으로 두 가지 시공방안 제시.                                                                | 보고서             | 100        |
|      | 배수구조체 유지관리용이성              | 배수구조체 유지관리 용이성 검토       | 청소방안, 배수측구, 지하배수시설, 비탈면배수시설, 횡단배수시설, 구조물배수시설 등의 유지관리 내용을 통하여 용이성 검토                                      | 보고서             | 100        |

### 3차년도

| 구분   | 세부<br>연구목표                        | 질적 성과지표                                      | 세부 연구개발 내용                                                              | 평가목표<br>및 착안점 | 달성도<br>(%) |
|------|-----------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------|------------|
| 3차년도 | 배수측구 시작품<br>성능검증시험                | 유입시간 당<br>배수속도                               | 3d프린터 모형을 이용한 축소실험으로 배수속도 측정<br>동 모형을 이용한 부유물질시험을 통해 필터층 성능평가           | 보고서           | 100        |
|      | 실험결과 및<br>해석결과를 고려한<br>최종 개선상세(안) | 실험결과 및<br>해석결과 제시                            | 실험결과 및 구조해석결과를 통한 최종 시작품제작<br>방안제시                                      | 보고서           | 100        |
|      | 배수측구 시작품<br>구조성능검토                | 허용압축응력<br>허용휨응력                              | FEM해석을 통한 배수구조체 구조성능검토<br>페타이어를 이용한 경계석에 대한 구조성능검토                      | 보고서           | 100        |
|      | 현장적용 타당성<br>분석(안)                 | 노면배수 불량구간<br>및 사고위험구간 등<br>현장적용 타당성<br>구간 분석 | 강우특성구간, 노면배수불량구간, 교통혼잡비용,<br>노면침수로 인한 통행제한사례 분석 등을 통하여<br>현장적용 타당성 판단   | 보고서           | 100        |
|      | 특허 출원 및 등록                        | 특허 출원 및 등록                                   | 특허 출원 및 등록                                                              | 특허증           | 100        |
|      | 배수측구 시작품                          | 배수측구 시작품<br>개발                               | 최종 도출된 콘크리트 배합비, 고무경계석, L형<br>스틸그레이팅등을 이용 배수측구 시작품 제작<br>경희대학교 교내 시공 실시 | 시작품 보고서       | 100        |
|      | 제안제품 적용<br>시공/유지관리<br>가이드라인       | 제안제품 적용<br>시공/유지관리<br>가이드라인 작성               | 시공방법, 불량사례 검토, 청소방안, 유지관리방안 등을<br>종합하여 가이드라인 작성                         | 보고서           | 100        |

### (2) 정량적 연구개발성과

| 구분              |         | 목표   | 달성 | 달성도 | 비고 |
|-----------------|---------|------|----|-----|----|
| 국외 논문<br>게재     | SCI     | 1    |    |     |    |
| 국내 논문<br>게재     | 비SCI    | 2    | 1  |     |    |
| 특허 출원           | 국내      | 2    | 2  |     |    |
|                 | 국외      |      |    |     |    |
| 특허 등록           | 국내      | 1    | 1  |     |    |
|                 | 국외      |      |    |     |    |
| 인력 양성           | 석사      |      |    |     |    |
|                 | 박사      |      |    |     |    |
| 기술 이전           | 계약 건수   |      |    |     |    |
|                 | 계약액     |      |    |     |    |
|                 | 징수액     |      |    |     |    |
| 국제 표준화          | 기고서 제출  |      |    |     |    |
|                 | 기고서 채택  |      |    |     |    |
|                 | 표준안 채택  |      |    |     |    |
| 국내 표준화          | 기고서 제출  |      |    |     |    |
|                 | 기고서 채택  |      |    |     |    |
|                 | 표준안 채택  |      |    |     |    |
| 등록·기탁 대상<br>성과물 | 보고서 원문  |      |    |     |    |
|                 | 연구시설·장비 |      |    |     |    |
|                 | 기술요약정보  |      |    |     |    |
|                 | 생명자원    | 생명정보 |    |     |    |
|                 |         | 생물자원 |    |     |    |
|                 |         | 신품종  |    |     |    |

| 구분  |           | 목표 | 달성 | 달성도 | 비고 |
|-----|-----------|----|----|-----|----|
| 기타  | 소프트웨어     |    |    |     |    |
|     | 화학물       |    |    |     |    |
|     | 시작품       |    |    |     |    |
|     | 시제품       |    |    |     |    |
|     | 가이드라인     |    |    |     |    |
|     | T/B 적용    |    |    |     |    |
|     | 성과 홍보     |    |    |     |    |
|     | 일자리 창출    |    |    |     |    |
|     | 현장시험 및 검증 |    |    |     |    |
|     | 학술발표      | 4  | 5  |     |    |
|     | 포상 및 수상   |    |    |     |    |
| 총 계 |           | 10 | 9  |     |    |

### (3) 세부 정량적 연구개발성과

#### [과학적 성과]

##### □ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

| 번호 | 논문명                      | 학술지명           | 주저자명 | 호          | 국명   | 발행기관       | SCIE 여부<br>(SCIE/비SCIE) | 게재일     | 등록번호<br>(ISSN) | 기여율  |
|----|--------------------------|----------------|------|------------|------|------------|-------------------------|---------|----------------|------|
| 1  | 페로니켈슬래그 미분말이 ASR에 미치는 영향 | 한국건설순환자원학회 논문집 | 김민석  | Vol.10 No1 | 대한민국 | 한국건설순환자원학회 | 비SCIE                   | 2022.03 | 2288-3320      | 100% |

##### □ 국내 및 국제 학술회의 발표

| 번호 | 회의 명칭                | 발표 내용                                   | 발표자 | 발표 일시      | 장소  | 국명   |
|----|----------------------|-----------------------------------------|-----|------------|-----|------|
| 1  | 2019 도로학회 가을학술대회     | 도심지 도로측구의 배수불량사례에 대한 고찰                 | 안진홍 | 2019-09-19 |     | 대한민국 |
| 2  | 도로학회 가을학술대회          | 페로니켈 슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 강도발현 특성 연구        | 곽대열 | 2020-09-25 |     | 대한민국 |
| 3  | 2020 한국도로학회 온라인 학술대회 | 경계석 및 배수 구조체가 일체화된 배수측구 형상 개발 연구        | 백유진 | 2020-09-25 | 온라인 | 대한민국 |
| 4  | 2021 한국도로학회 학술대회     | 페로니켈 슬래그 미분말 잔골재 치환 콘크리트의 강도발현 및 탄산화 특성 | 서우람 | 2021-10-28 | 경주  | 대한민국 |
| 5  | 한국건설순환자원학회 가을 학술발표   | 페로니켈슬래그 미분말이 ASR에 미치는 영향                | 김민석 | 2021-10-14 | 제주  | 대한민국 |

##### □ 기술 요약 정보

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

##### □ 보고서 원문

| 번호 | 연도 | 보고서 명 | 발간일 | 등록 번호 |
|----|----|-------|-----|-------|
|    |    |       |     |       |

##### □ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

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

#### [기술적 성과]

##### □ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

| 번호 | 구분 | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재) | 국명 | 출원         |           |                 | 등록         |           |            | 기여율  | 활용<br>여부 |
|----|----|--------------------------|----|------------|-----------|-----------------|------------|-----------|------------|------|----------|
|    |    |                          |    | 출원인        | 출원일       | 출원번호            | 등록인        | 등록일       | 등록번호       |      |          |
| 1  | 특허 | I형 배수홀이 형성된 콘크리트 배수구조물   |    | (주)동성엔지니어링 | '20.10.19 | 10-2020-0135304 | (주)동성엔지니어링 | '21.09.06 | 10-2300996 | 100% |          |
| 2  | 특허 | 페타이어를 이용한 친환경 콘크리트 배수구조물 |    | (주)동성엔지니어링 | '21.12.30 | 10-2021-0193178 |            |           |            | 100% |          |
|    |    |                          |    |            |           |                 |            |           |            |      |          |

##### ○ 지식재산권 활용 유형

| 번호 | 제품화 | 방어 | 전용실시 | 통상실시 | 무상실시 | 매매/양도 | 상호실시 | 담보대출 | 투자 | 활용 예정 | 기타 |
|----|-----|----|------|------|------|-------|------|------|----|-------|----|
| 1  | √   |    |      |      |      |       |      |      |    | √     |    |
| 2  | √   |    |      |      |      |       |      |      |    | √     |    |

☐ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

| 번호 | 저작권명 | 창작일 | 저작자명 | 등록일 | 등록번호 | 저작권자명 | 기여율 |
|----|------|-----|------|-----|------|-------|-----|
|    |      |     |      |     |      |       |     |

☐ 신기술 지정

| 번호 | 명칭 | 고시일 | 보호기간 | 지정번호 |
|----|----|-----|------|------|
|    |    |     |      |      |

☐ 기술 및 제품 인증

| 번호 | 인증 분야 | 인증기관 | 인증 내용 |      | 인증 획득일 | 국가명 |
|----|-------|------|-------|------|--------|-----|
|    |       |      | 인증명   | 인증번호 |        |     |
|    |       |      |       |      |        |     |

☐ 표준화

○ 국내표준

| 번호 | 인증구분 | 인증여부 | 표준명 | 표준인증기구명 | 제안주체 | 표준종류 | 제안/인증일자 |
|----|------|------|-----|---------|------|------|---------|
|    |      |      |     |         |      |      |         |

○ 국제표준

| 번호 | 표준화단계 구분 | 표준명 | 표준기구명 | 표준분과명 | 의장단<br>활동여부 | 표준특허<br>추진여부 | 표준개발<br>방식 | 제안자 | 표준화<br>번호 | 제안일자 |
|----|----------|-----|-------|-------|-------------|--------------|------------|-----|-----------|------|
|    |          |     |       |       |             |              |            |     |           |      |

[경제적 성과]

☐ 시제품 제작

| 번호 | 시제품명 | 출시/제작일 | 제작업체명 | 설치장소 | 이용분야 | 사업화<br>소요 기간 | 인증기관<br>(해당 시) | 인증일<br>(해당 시) |
|----|------|--------|-------|------|------|--------------|----------------|---------------|
|    |      |        |       |      |      |              |                |               |

☐ 현장적용

| 번호 | 적용기술명 | 적용일 | 발주기관명 | 적용 연구개발기관명 | 적용현장명(장소) |
|----|-------|-----|-------|------------|-----------|
|    |       |     |       |            |           |

□ 기술 실시(이전)

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

□ 사업화 투자실적

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

□ 사업화 현황

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

□ 매출 실적(누적)

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

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

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

□ 고용 창출

| 번호 | 사업화명         | 사업화 업체명    | 고용창출 인원(명) |       | 합계(명) |
|----|--------------|------------|------------|-------|-------|
|    |              |            | 2019년      | 2020년 |       |
| 1  | 국토교통기술촉진연구사업 | (주)동성엔지니어링 | 2          | 1     | 3     |
| 합계 |              |            | 2          | 1     | 3     |

□ 고용 효과

| 구분    |      |      | 고용 효과(명) |
|-------|------|------|----------|
| 고용 효과 | 개발 전 | 연구인력 |          |
|       |      | 생산인력 |          |
|       | 개발 후 | 연구인력 |          |
|       |      | 생산인력 |          |

□ 비용 절감(누적)

| 번호 | 사업화명 | 발생 연도 | 산정방법 | 비용 절감액(천원) |
|----|------|-------|------|------------|
|    |      |       |      |            |
|    |      |       |      |            |
| 합계 |      |       |      |            |

□ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

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

□ 산업 지원(기술지도)

| 번호 | 내용 | 기간 | 참석 대상 | 장소 | 인원(명) |
|----|----|----|-------|----|-------|
|    |    |    |       |    |       |
|    |    |    |       |    |       |

□ 기술 무역

(단위 : 천원)

| 번호 | 계약 연월 | 계약 기술명 | 계약 업체명 | 계약업체 국가 | 총 계약액 | 기 징수액 | 해당 연도 | 징수액 | 향후<br>예정액 | 수출/<br>수입 |
|----|-------|--------|--------|---------|-------|-------|-------|-----|-----------|-----------|
|    |       |        |        |         |       |       |       |     |           |           |

[사회적 성과]

□ 법령 반영

| 번호 | 구분<br>(법률/시행령) | 활용 구분<br>(제정/개정) | 명 칭 | 해당 조항 | 시행일 | 관리 부처 | 제정/개정 내용 |
|----|----------------|------------------|-----|-------|-----|-------|----------|
|    |                |                  |     |       |     |       |          |

☐ 정책활용 내용

| 번호 | 구분<br>(제안/채택) | 정책명 | 관련 기관<br>(담당 부서) | 활용 연도 | 채택 내용 |
|----|---------------|-----|------------------|-------|-------|
|    |               |     |                  |       |       |

☐ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

| 번호 | 구분<br>(설계 기준/설명서/지침/안내서) | 활용 구분<br>(신규/개선) | 설계 기준/설명서/<br>지침/안내서 명칭 | 반영일 | 반영 내용 |
|----|--------------------------|------------------|-------------------------|-----|-------|
|    |                          |                  |                         |     |       |

☐ 신진연구자 채용

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

☐ 전문 연구 인력 양성

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

☐ 산업 기술 인력 양성

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

☐ 다른 국가연구개발사업에의 활용

| 번호 | 연도 | 중앙행정기관명 | 사업명 | 연구개발과제명 | 연구책임자 | 연구개발비(천원) |
|----|----|---------|-----|---------|-------|-----------|
|    |    |         |     |         |       |           |

☐ 국제화 협력성과

| 번호 | 구분<br>(유치/파견) | 기간 | 국가 | 학위 | 전공 | 내용 |
|----|---------------|----|----|----|----|----|
|    |               |    |    |    |    |    |

☐ 홍보 실적

| 번호 | 홍보 유형 | 매체명 | 제목 | 홍보일 |
|----|-------|-----|----|-----|
|    |       |     |    |     |

☐ 포상 및 수상 실적

| 번호 | 종류 | 포상명 | 포상 내용 | 포상 대상 | 포상일 | 포상 기관 |
|----|----|-----|-------|-------|-----|-------|
|    |    |     |       |       |     |       |

## [인프라 성과]

### □ 연구시설·장비

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

#### <참고 1> 연구개발성과 실적 증빙자료 예시

| 성과유형                | 첨부자료 예시                                               |
|---------------------|-------------------------------------------------------|
| 연구논문                | 논문 사본(저자, 초록, 사사표기를 확인할 수 있는 부분 포함, 연구개발과제별 중복 첨부 불가) |
| 지식재산권               | 지식재산권 등록증(또는 출원서) 사본(발명인, 발명의 명칭, 연구개발과제 출처 포함)       |
| 제품개발(시제품)           | 제품개발사진 등 시제품 개발 관련 증빙자료                               |
| 기술이전                | 기술이전 계약서, 기술실시 계약서, 기술료 입금 내역서 등                      |
| 사업화<br>(상품출시, 공정개발) | 사업화된 제품사진, 매출액 증빙서류(세금계산서, 납품계약서 등 매출 확인가능 내부 회계자료) 등 |

#### <참고 2> 국가연구개발혁신법」 시행령 제33조 제4항 및 별표 4에 따른 연구개발성과의 등록·기탁 대상과 범위

| 구분 | 대상          | 등록 및 기탁 범위                                                                                                            |
|----|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 등록 | 논문          | 국내외 학술단체에서 발간하는 학술(대회)지에 수록된 학술 논문(전자원문 포함)                                                                           |
|    | 특허          | 국내외에 출원 또는 등록된 특허정보                                                                                                   |
|    | 보고서원문       | 연구개발 연차보고서, 단계보고서 및 최종보고서의 원문                                                                                         |
|    | 연구시설·장비     | 국가연구개발사업을 통하여 취득한 3천만 원 이상(부가가치세, 부대비용 포함) 연구시설·장비 또는 공동 활용이 가능한 모든 연구시설·장비                                           |
|    | 기술요약정보      | 연차보고, 단계보고 및 최종보고가 완료된 연구개발성과의 기술을 요약한 정보                                                                             |
|    | 생명자원 중 생명정보 | 서열·발현정보 등 유전체정보, 서열·구조·상호작용 등 단백질체정보, 유전자(DNA)칩·단백질칩 등 발현체 정보 및 그 밖의 생명정보                                             |
|    | 소프트웨어       | 창작된 소프트웨어 및 등록에 필요한 관련 정보                                                                                             |
|    | 표준          | 「국가표준기본법」 제3조에 따른 국가표준, 국제표준으로 채택된 공식 표준정보(소관 기술위원회를 포함한 공식 국제표준화기구(ISO, IEC, ITU)가 공인한 단체 또는 사실표준화기구에서 채택한 표준정보를 포함) |
| 기탁 | 생명자원 중 생물자원 | 세균, 곰팡이, 바이러스 등 미생물자원, 인간 또는 동물의 세포·수정란 등 동물자원, 식물세포·종자 등 식물자원, DNA, RNA, 플라스미드 등 유전체자원 및 그 밖의 생물자원                   |
|    | 화합물         | 합성 또는 천연물에서 추출한 유기화합물 및 관련 정보                                                                                         |
|    | 신품종         | 생물자원 중 국내외에 출원 또는 등록된 농업용 신품종 및 관련 정보                                                                                 |

## 2) 목표 달성 수준

| 연구개발목표                                                                                                                               | 달성내용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 달성도(%) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>제안기술 적용 최적재료 선정을 위한 재활용 재료 성능평가</li> <li>배수구조체 설계</li> <li>재활용재료 성능평가 결과 분석</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>페로니켈슬래그 미분말 혼입 콘크리트 배합 성능평가 시 압축강도 기준미달 확인. 차년도 페로니켈슬래그 미분말 활용방법 변경 후 재시험 계획 수립</li> <li>배수구조체 관련 국내외 문헌조사를 통한 단면 및 연결부 상세구조설계와 타당성 검토</li> <li>국내외 문헌조사를 통한 재활용재료의 평가기준 확립. 평가기준에 따른 페로니켈슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 물성시험 실시</li> </ul>                                                                                          | 100%   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>최적재료 선정 후 배수구조체 구조성능시험</li> <li>배수구조체 설계 및 제작방안 검토</li> <li>시험결과 분석 및 시작품 제작</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>페로니켈슬래그 미분말을 잔골재로 치환하여 물성시험을 통한 콘크리트 최적배합비 도출</li> <li>3d프린터 모형을 이용한 축소실험으로 배수속도 측정 시 20% 향상 효과 확인</li> <li>3d프린터 모형을 이용하여 부유물질시험을 통해 필터층 성능평가 결과 비점오염 물질의 저감 확인</li> <li>배수구조체 통수단면 설계 및 시작품 제작방안 제시. 해당 내용의 특허 출원</li> <li>배수구조체 시작품을 제작하여 압축하중 시험을 통한 최대 하중변위량 측정 결과 구조해석에서 계산한 소요하중보다 큰 하중에서 안전한 것으로 확인</li> </ul> | 100%   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>현장적용검증을 통한 최종 구조상세 도출</li> <li>사업성 검토 및 건설신기술 신청</li> <li>제안제품 적용 시공/유지관리 가이드라인 작성</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>배수구조체의 형상에 적절한 시공방안 제시</li> <li>시공방안에 따라 경희대학교 내 시공 실시</li> <li>시공 후 추적조사를 통한 유지관리 가이드라인 작성</li> <li>노면배수 불량구간 및 사고위험구간 등 타당성 구간 분석 후 특허 출원 및 등록</li> </ul>                                                                                                                                                            | 100%   |

## 4. 목표 미달 시 원인분석

### 1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

---

○ SCI 논문 1건

- 페로니켈슬래그 탄산화촉진시험 설계강도 30MPa 조건에서 28일 촉진 결과 공시체의 탄산화 진행도가 너무 적어 시험결과 데이터 부족으로 추가 시험을 진행하여 충분한 실험 데이터 수집 필요

○ 비SCI 논문 1건

- 시험 지연으로 현재 투고 시기가 늦춰짐
- 

### 2) 자체 보완활동

---

○ SCI 논문 1건

- 페로니켈슬래그 탄산화촉진시험 외의 SCI논문 작성을 위한 실험 진행 및 실험 결과 분석은 모두 마쳤으며 SCI논문 작성 중. 탄산화촉진시험의 결과분석을 추가하여 SCI논문 투고예정.

○ 비SCI 논문 1건

- 현재 한국건설순환자원학회 게재예정
-

## 5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

---

### ○ 기술적 효과

- 최근 친환경 재료에 대한 관심 증가로 시멘트 또는 천연골재 등 기존 건설재료의 사용량을 줄이기 위한 각계의 노력이 지속되고 있으며, 환경 훼손의 원인이 되는 폐기물에 대한 처리를 위한 기술 개발이 요구되고 있는 실정임
- 본 제안 기술의 경우 산업폐기물인 페로니켈 슬래그와 폐타이어를 각각 배수구조체용 콘크리트, 도로경계석으로 재활용한 기술로써, 관련 분야의 경우 실용화 사례가 전무하여 관련 산업 및 연구 분야에 선도적인 역할을 할 수 있을 것으로 판단되며, 관련 제품 개발에 대한 선택적 다양성을 제공할 수 있을 것으로 판단됨

### ○ 경제적 효과

- 서울특별시의 경우(노후 포장정비 구간 측구정비 계획, 2016) 각 사업소 관리도로의 노후화 측구를 대상으로 실태조사를 실시한 결과 정비가 필요한 측구 연장은 총 31,344m로 소요예산은 2,685백만원에 달하는 것으로 나타남
- 본 제안 기술의 경우 배수구조체의 단가가 기존 콘크리트형 L형 측구에 비해 다소 높아 재료비 상승에 따른 총괄 공사비용은 상승함. 단, 기존 현장타설 방식에 비해 프리캐스트 시공방식으로 운반 및 시공 비용이 적고 공기 단축이 가능하며, 장기공용성이 우수하므로 장기간의 유지관리 비용 저감이 가능하여 경제성이 우수함
- 시멘트의 핵심 연료인 유연탄의 가격 상승으로 인해 매년 시멘트값은 큰 폭으로 인상중이며, 2022년 역시 18%가량 증가됨. 또한 천연골재 자원의 고갈로 잔골재로 쓰이는 천연모래 역시 높은 단가를 형성중. 반면 페로니켈슬래그 미분말은 니켈생산 과정에서 발생하는 부산물로, 오히려 처리비용을 들여 처리하고 있는 실정임. 페로니켈슬래그 미분말을 시멘트 및 잔골재 대체재로 사용할 경우 페로니켈슬래그 미분말의 처리비용을 절감하며 시멘트 및 천연골재의 사용을 줄일 수 있으므로 기존 L형 측구보다 많은 재료를 사용하는 본 제안 기술의 배수구조체에서 재료비를 절감할 수 있음.
- 폐타이어 분말 역시 재활용이 힘든 폐타이어 고무를 사용하여 경계석을 제작함으로써 폐타이어 고무의 처리비용을 절감하고 형틀을 이용한 대량생산으로 경계석의 제작비용 절감

### ○ 사회적 효과

- 본 제안 기술은 산업폐기물인 페로니켈 슬래그와 폐타이어를 다량 사용 가능한 기술로 폐자원의 재활용에 기여도가 크며, 현행 점배수 방식의 배수시스템을 선배수 방식으로 전환하여 여름철 빗물고임 및 겨울철 노면동결을 최소화 간오하며, 노면수의 흐름지체, 월류, 지하수의 유입 등으로 인한 도로 하부 지반의 약화와 포장손상을 저감 가능함
  - 또한 본 제안 기술은 비점오염 문제 저감을 위해 배수구조체 하부에 비점오염 필터층을 설치하였으며, 이를 통해 고농도의 비점오염물질이 지하수 및 하천으로 직접 유입되는 양을 획기적으로 저감가능
-

## 6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

---

### ○ 연구 개발 성과의 적용 대상

- 본 연구개발에서 설계한 배수 구조체는 도시화가 진행되어 불투수 면적과 유동인구가 많은 도시의 시가지 지역, 통행이 잦은 도로의 오목구간, 회전구간 등 배수불량 구간에 현장적용 되는 것이 타당하다고 판단됨.
- 설문조사 결과 보행자 측에선 버스정류장, 인도와 밀접한 1차선 도로 및 이면도로 등의 차와 보행자와의 거리가 가까운 구간을 많이 언급하였고, 도로유형과 관련해서 차량이 고속 주행하여 대형사고 위험이 높은 자동차 전용도로 및 주요 간선도로 등을 물고임을 방지해야할 중점 관리 구간으로 선정하였음.
- 이는 모두 유동인구가 많은 시가지 지역, 통행이 잦은 도로 구간에 해당함으로 본 연구에서 개발한 배수 구조체가 현장 적용됨에 타당한 구간임을 입증한다고 판단되며 자동차와 사람의 거리가 가까운 버스정류장, 1차선 도로 및 이면도로 등으로 배수 구조체 현장적용 타당성 구간을 구체화할 수 있음.

### ○ 연구 개발 성과의 관리 방안

- 본 연구개발 성과에 대한 특허 출원 및 등록을 완료하였으며, 향후 국토교통부 국토관리사무소, 서울특별시 도로사업소 및 구청, 한국도로공사의 도로 배수측구 입찰 시 본 개발제품을 납품을 검토
- 또한 향후 필요시 건설신기술 신청을 통해 인증서류를 확보하고, 조달청의 환경친화제품(녹색제품) 등록을 통하여 관급자재 납품을 적극적으로 검토할 계획임

## 7. 참고 문헌

---

고속도로 설계 실무 지침서(2008)

도로설계요령(2009)

도로배수 취약구간의 개선방안에 대한 연구(2011)

도로설계편람(2012)

도로 배수시설 설계 및 관리지침(2012)

도로설계기준 도로배수시설(2016)

국토건설공사 설계실무 요령(2016)

고속도로 표준표(2017)

KS F 2502. (2020) 굽은 골재 및 잔 골재의 체가름 시험방법. Korea.

KS F 2405. (2017) 콘크리트의 압축강도 시험방법. Korea.

KS F 2584. (2020) 콘크리트의 촉진 탄산화 시험방법. Korea.

---

### < 별첨 >

| 별첨 자료 |
|-------|
|-------|

|                            |
|----------------------------|
| 1. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료 |
|----------------------------|

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

---

주 의

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