보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )발간등록번호()
국토교통기술사업화지원사업 최종보고서

R&D / 17TBIP-C125006-01

PSC교량의 진공그라우팅 시스템 개발

최종보고서

2020. 01. 22.

주관연구기관 / 컨텍이앤씨(주)
공동연구기관 / 서울과학기술대학교

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

17TBIP-C125006-01

PSC교량의진공그라우팅시스템개발 최종보고서

2020 국토교통부 국토교통과학기술진흥원

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )발간등록번호()
국토교통기술사업화지원사업 최종보고서

R&D / 17TBIP-C125006-01

PSC교량의 진공그라우팅 시스템 개발

최종보고서

2020. 01. 22.

주관연구기관 / 컨텍이앤씨(주)
공동연구기관 / 서울과학기술대학교

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'국토교통기술사업화지원사업'(연구개발 기간 : 2017.04.01 ~ 2019.12.31) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2020. 01. 22.

주관연구기관명 : 컨텍이앤씨 주식회사 (대표자) 김 기 현 (인)

공동연구기관명 : 서울과학기술대학교 산학협력단 (대표자) 권 용 재 (인)

위탁연구기관명 : 에스알이앤지 주식회사 (대표자) 권 태 환 (인)

주관연구기관책임자 : 김 기 현
공동연구기관책임자 : 권 용 재
위탁연구기관책임자 : 권 태 환

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>17TBIP-C125006-01</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2019.01.01 ~ 2019.12.31</td><td>단계구분</td><td>2019.01.01~2019.12.31/ 2017.04.01~2019.12.31</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">국토교통기술사업화지원</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">대과제가 있을 경우 기재합니다(단위과제일 경우에는 아래에 기재합니다)</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">PSC교량의 진공그라우팅 시스템 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">김 기 현</td><td>해당단계 참여연구원 수</td><td>총: 11명
내부: 11명
외부: 명</td><td>해당단계 연구비</td><td>정부: 307백만원
민간: 205백만원
정부외: 백만원
상대국: 백만원
계: 512백만원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여연구원 수</td><td>총: 13명
내부: 13명
외부: 명</td><td>총 연구비</td><td>정부: 788백만원
민간: 525백만원
정부외: 백만원
상대국: 백만원
계:1,313백만원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="2">컨텍이앤씨 주식회사</td><td colspan="3">참여기업명:해당사항 없음</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명:해당사항 없음</td><td colspan="3">상대국 연구기관명:해당사항 없음</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="2">연구기관명:에스알이앤지 주식회사</td><td colspan="3">연구책임자:권 태 환</td></tr>
<tr><td colspan="6">※ 국내・외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의 보안등급 및 사유</td><td colspan="5">일반과제</td></tr>
</table>

요약

■ PSC교량 시공용 진공그라우팅 장비 개발
■ PSC교량 유지·보수용 소형 진공그라우팅 장비 개발
■ IoT 기술을 적용한 무선제어 및 모니터링 기술개발
■ 국제 규정(ISO 14824)에 부합되는 고품질 그라우트 재료개발
■ 쉬스관 내부 공극 조사를 위한 비파괴조사 시스템 구축
■ PSC교량 유지보수 통합 기술시스템 구축

보고서 면수 100

요 약 문

연구의 목적 및 내용	■ 신규 PSC교량 건설 시 공극 없는 고품질 그라우팅 시공기술과 공용 중인 PSC교량 유지보수 시 쉬스관 내부의 공극을 조사하고 공극 부피를 측정한 후 그라우트를 재주입할 수 있는 진공그라우팅 기술을 개발하여 PSC 교량의 내구성 증대와 안전성 확보에 기여하고자 한다.
연구개발성과	■ **PSC교량 시공용 진공그라우팅 장비개발** - 공극 없이 그라우트를 주입할 수 있는 기술개발 - 진공장치, 그라우트 주입장치, 제어장치 개발 ■ **PSC교량 유지·보수용 소형 진공그라우팅 장비개발** - 쉬스관 내부의 공극 발견 시 공극 부피를 측정하고 재그라우팅할 수 있는 기술개발 - 진공장치, 그라우트 주입장치, 제어장치 개발 ■ **IoT 기술을 적용한 무선제어 및 모니터링 기술개발** - 모든 장치에 센서를 설치하여 입출력 제어를 자동으로 할 수 있는 제어시스템 개발 - IoT 모듈개발과 서버의 데이터 처리를 위한 소프트웨어개발로 스마트 기기에서 무선제어 및 모니터링 가능 ■ **국제 규정(ISO 14824)에 부합되는 고품질 그라우트 재료개발** - 유동성을 확보한 논블리딩 프리팩 그라우트 재료개발 ■ **쉬스관 내부 공극 조사를 위한 비파괴조사 시스템 구축** - 공극 위치 및 깊이 조사를 위한 초음파 장비 구축 - 쉬스관 내부 공극을 조사하기 위한 충격공진법(Impact-Echo) 장비 구축 및 분석 프로그래밍 개발 ■ **PSC교량 유지보수 통합 기술시스템 구축** - PSC교량 공극 조사 및 유지보수를 통합하여 수행할 수 있는 시스템 구축
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	■ PSC교량 건설 시, IoT 기술을 적용한 진공그라우팅 방법을 사용하여 공극이 없는 고품질그라우팅 시공과 공사기간 단축 및 작업인원 감축 효과 ■ PSC교량 유지보수 통합 기술시스템 구축으로 시장이 형성되는 초기단계인 쉬스관 공극 조사 및 유지보수공사에 적극 참여할 수 있어 시장 주도적인 기업으로 성장 가능

국문핵심어	진공그라우팅	IoT 기술	논블리딩 그라우트	비파괴 조사	충격공진법
영문핵심어	Vacuum grouting	IoT technology	Non-bleeding grout	Nondestructive testing	Impact-Echo

Summary

Purpose& Contents	Development of grouting construction technology without voids when constructing new PSC bridges and development of optimal grouting technology to investigate voids in the duct, measure void volume, and re-inject grout when maintaining PSC bridges. It will contribute to increasing the durability of the bridge and securing safety.
Development Results	■ Development of vacuum grouting equipment for PSC bridge construction - Development of technology to inject grout without voids - Development of vacuum equipment, grout injection equipment, and the main controller ■ Development of small vacuum grouting equipment for PSC bridge maintenance and repair work - Development of technology to re-grouting after measuring the volume of voids at the grouting failure in the duct - Development of vacuum equipment, grout injection equipment, and the main controller ■ Development of wireless control and monitoring using IoT technology - Development of control system to automatically control I/O by installing sensors on all equipment - Wireless control and monitoring in smart devices by developing IoT module and software for server data processing ■ Development of high-quality grout material by international specification (ISO 14824) - Development of non-bleeding pre-pack grout material with fluidity ■ Establish a nondestructive investigation system for the investigation of voids inside ducts - Establish ultrasonic equipment to investigate the location and depth of voids

Development Results	– Establish an impact-echo system to investigate the voids inside the duct and to develop analysis programming technology ■ **Establish integrated technology system for maintenance of PSC bridges** – Establish system maintenance of PSC bridges can be performed by integrating investigation and repair work on voids
Expected Contribution	■ When constructing PSC bridges, high-quality grouting without voids, shortening construction period, and workforce reduction effect are achieved by using vacuum grouting method with IoT technology. ■ It is expected the market-leading company by actively participating in the investigation and maintenance work on the voids of ducts, an early stage in which the market is formed by establishing an integrated maintenance system for PSC bridges.
Keywords	Vacuum grouting; IoT technology; Non-bleeding grout; Nondestructive testing; Impact-Echo

목 차

제 출 문 ····· 1
보고서 요약서 ····· 2
요 약 문 ····· 3
Summary ····· 4

목 차 ····· 6
표 목 차 ····· 8
그 림 목 차 ····· 11

제 1장 연구개발 과제의 개요 ····· 13
1. 연구개발 목적 ····· 13
2. 연구개발의 필요성 ····· 13
3. 연구개발의 내용 및 범위 ····· 19

제 2 장 연구수행내용 및 성과 ····· 22
1. 연구 개발 개요 ····· 22
2. PSC교량 시공용 진공그라우팅 장비 개발 ····· 23
2.1 장비 개요 ····· 23
2.2. 장비 구성 ····· 23
2.2 PSC교량 시공용 진공그라우팅 장비 성능실험 ····· 25
2.3 대형장비 개발 소결 ····· 37
3. PSC교량 유지 · 보수용 소형 진공그라우팅 장비 개발 ····· 38
3.1 장비 개요 ····· 38
3.2 PSC교량 유지 · 보수용 소형장비 성능 실험 ····· 40
4. 제어시스템 및 IoT(사물인터넷) 시스템 구축 ····· 53
4.1 개요 ····· 53
4.2 시스템 구성도 ····· 53
4.3 시스템 구성 요소 ····· 53

5. PSC 그라우트 재료 개발 ····· 56
5.1 개요 ····· 56
5.2 PSC 그라우트 재료 실험 ····· 59
5.3 그라우트 재료 실외 실험 ····· 64
5.4 환경요인에 의한 그라우트 재료 실험 ····· 66
5.5 그라우트 재료개발 소결 ····· 68
6. 쉬스관 공극 비파괴조사 시스템 구축 ····· 69
6.1 개요 ····· 69
6.2 비파괴조사 시스템 구축 ····· 70
6.3 충격공진법 시스템 ····· 71
6.4 공극 비파괴조사 실험(1차) ····· 74
6.5 공극 비파괴조사 실험(2차) ····· 78
6.6 쉬스관 공극 비파괴조사 실험 소결 ····· 81
7. 연구개발성과 ····· 82
8. 연구 결과 ····· 85

제 3 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 88
1. 목표 및 결과 ····· 88
2. 목표 달성여부 ····· 91
3. 목표 미달성 시 원인 및 차후대책 ····· 92

제 4 장 연구개발성과의 활용 계획 ····· 93
1. 국내외 시장분석 및 사업화 전망 ····· 93
2. 사업화 추진방안 ····· 95

붙임. 참고문헌 ····· 98

표 목 차

표 1.1 해외 PSC교량 사고 사례 ····· 15
표 1.2 국내 PSC교량 사고 사례 ····· 16
표 1.3 사업화 대상기술 요약 ····· 19
표 1.4 국내외 유사기술과 수준 비교 ····· 20
표 1.5 연구개발 내용 및 범위 ····· 21
표 2.1.1 연구 개발 개요 ····· 22
표 2.2.1 진공 장치 제원 ····· 24
표 2.2.2 주입장치 제원 ····· 24
표 2.2.3 제어장치 제원 ····· 24
표 2.2.4 실험 조건 ····· 26
표 2.2.5 대형장비 성능실험 CASE ····· 26
표 2.2.6 진공 도달 시간 결과 ····· 26
표 2.2.7 CASE별 그라우트 충전시간 측정 결과 ····· 27
표 2.2.8 그라우트 충전율 시편 위치 ····· 27
표 2.2.9 절단 시편 무게 측정 결과 ····· 28
표 2.2.10 점성에 따른 유체해석 ····· 30
표 2.2.11 점성과 시간에 따른 유체해석 ····· 30
표 2.2.12 배합조건 ····· 32
표 2.2.13 CASE별 실험 변수 ····· 35
표 2.2.14 실험체 구간별 충전율 결과 ····· 35
표 2.2.15 그라우트 충전 상태 비교 ····· 36
표 2.2.16 표면공극률 실험결과 ····· 37
표 2.2.17 대형장비 성능실험 결과 ····· 37
표 2.3.1 진공펌프 제원 ····· 39
표 2.3.2 진공탱크 제원 ····· 39
표 2.3.3 주입장비 제원 ····· 39
표 2.3.4 제어장치 제원 ····· 39
표 2.3.5 주입 시험 CASE ····· 41
표 2.3.6 이론 유체량 ····· 41
표 2.3.7 부피 산출을 위한 초기 진공압력 ····· 42

표 2.3.8 자연유하에 의한 물 주입량 ····· 42
표 2.3.9 가압에 의한 최종 주입량 ····· 42
표 2.3.10 압력별 물 주입 결과 ····· 43
표 2.3.11 자연유하에 의한 그라우트 주입량 ····· 44
표 2.3.12 가압에 의한 최종 그라우트 주입량 ····· 44
표 2.3.13 압력에 따른 그라우트 주입 결과 ····· 45
표 2.3.14 수직관 내부의 온도 및 압력 변화량 ····· 45
표 2.3.15 공극 부피 측정 결과 ····· 45
표 2.3.16 소형장비 충전실험 CASE ····· 48
표 2.3.17 물 주입 결과 ····· 49
표 2.3.18 그라우트 주입 결과 ····· 49
표 2.3.19 미세관 실험 조건 ····· 50
표 2.3.20 물을 이용한 미세관 실험 결과 ····· 51
표 2.3.21 믹스 직후 그라우트 재료를 이용한 미세관 실험 ····· 52
표 2.5.1 국내 그라우트 품질기준 비교 ····· 57
표 2.5.2 해외 그라우트 품질기준 비교 ····· 57
표 2.5.3 개발 그라우트 재료 제품사양 ····· 58
표 2.5.4 혼화재에 따른 블리딩, 플로 실험 조건 ····· 59
표 2.5.5 혼화재배합표 ····· 59
표 2.5.6 실험 방법 ····· 60
표 2.5.7 블리딩률 및 팽창률 실험 결과 ····· 61
표 2.5.8 플로 실험 결과 ····· 62
표 2.5.9 제품 성능 실험 결과 ····· 63
표 2.5.10 온도에 따른 블리딩, 유동성 실험 조건 ····· 66
표 2.5.11 온도에 따른 블리딩, 유하시간 측정 실험 결과 ····· 67
표 2.5.12 제품 성능 실험 결과 ····· 68
표 2.6.1 유지보수공사 기술 보유 현황 (2차년도 기준) ····· 69
표 2.6.2 초음파장비(GPR) 상세 제원 ····· 70
표 2.6.3 충격공진법 시스템 구성품 상세 제원 ····· 70
표 2.6.4 실험조건 및 CASE ····· 73
표 2.6.5 실험체별 이론 주파수 ····· 73
표 2.6.6 CASE별 이론 주파수 스펙트럼 실험결과 ····· 73
표 2.6.7 실험조건 및 CASE ····· 75
표 2.6.8 결함두께에 따른 이론 주파수 ····· 75

표 2.6.9 CASE별 주파수 측정결과 ····· 76
표 2.6.9 CASE별 주파수 측정결과 - 계속 ····· 77
표 2.6.10 실험조건 및 CASE ····· 79
표 2.6.11 실험체별 따른 이론 주파수 ····· 79
표 2.6.12 CASE별 주파수 측정결과 ····· 80
표 2.6.12 CASE별 주파수 측정결과 - 계속 ····· 81
표 2.7.1 논문 게재 현황 ····· 82
표 2.7.2 특허 출원 및 등록 현황 ····· 83
표 3.1 연차별 사업화 목표 및 결과 ····· 88
표 3.2 제안 당시 기술 수준 및 현재의 기술개발 성숙도 ····· 89
표 3.3 정량적 연구성과 목표 및 달성도 ····· 91
표 4.1 국내 공용년수별 PSC 교량건설 현황 ····· 94
표 4.2 연도별 판매계획 ····· 95
표 4.3 PSC교량 유지보수 시장규모 산정 ····· 95
표 4.4 연도별 판매계획 - 유지보수 ····· 96
표 4.5 SWOT 분석도 ····· 96

그 림 목 차

그림 1.1 교량붕괴 사고 사례 ····· 13
그림 1.2 포스트텐션 공법 개요도 ····· 14
그림 1.3 해외 PSC교량 사고사례 ····· 15
그림 1.4 국내 PSC교량 사고 사례 ····· 16
그림 1.5 블리딩 실험 결과 (블리딩수) ····· 17
그림 1.6 쉬스관 내부 그라우트 미충전 및 강연선 부식 현황 ····· 18
그림 1.7 특허 기술 개요도 ····· 19
그림 1.8 사업화 대상 기술의 개념도 ····· 20
그림 1.9 연구수행 흐름도 ····· 21
그림 2.2.1 대형 진공그라우팅 시스템 전개도 ····· 23
그림 2.2.2 대형 진공그라우팅 장비 ····· 23
그림 2.2.3 대형장비 실험체 ····· 25
그림 2.2.4 점성에 따른 유체해석 모델링 ····· 29
그림 2.2.5 점성과 시간에 따른 유체해석 모델링 ····· 29
그림 2.2.6 직선관 해석 결과 ····· 31
그림 2.2.7 곡선관 해석 결과 ····· 31
그림 2.2.8 점성과 시간과에 따른 해석 결과 ····· 31
그림 2.2.9 그라우트 충전 실험체 ····· 32
그림 2.2.10 그라우트 주입 양상 결과 ····· 33
그림 2.2.11 현장조건 그라우팅 충전 비교 실험체 ····· 34
그림 2.3.1 유지보수용 진공그라우팅 시스템 전개도 ····· 38
그림 2.3.2 소형 진공그라우팅 장비 ····· 38
그림 2.3.3 수직관 실험체 (수직관) ····· 40
그림 2.3.4 물 주입량과 수직관 내부 압력 상관관계 ····· 43
그림 2.3.5 그라우트 주입량과 수직관 내부 압력 상관관계 ····· 44
그림 2.3.6 초기 진공압력별 공극 부피 비교 ····· 46
그림 2.3.7 실험체 개요도 및 전경 ····· 47
그림 2.3.8 물주입시 비교 ····· 49
그림 2.3.9 그라우트 비교 ····· 50
그림 2.3.10 미세관 실험 제원 ····· 51
그림 2.4.1 무선제어 및 모니터링 시스템 구성 개념도 ····· 53

그림 2.4.2 IoT 모듈 회로도 ····· 54
그림 2.4.3 시스템 구성요소 사진 (하드웨어) ····· 54
그림 2.4.4 EC2 대시보드 및 터미널 접속 콘솔 ····· 55
그림 2.4.5 AWS RDS ····· 55
그림 2.4.6 기본 구성 화면 (휴대폰, PC 각각) ····· 56
그림 2.5.1 개발 그라우트 재료 (NB-CON) 개념도 ····· 58
그림 2.5.2 그라우트 재료 시험 기구 ····· 60
그림 2.5.3 그라우트 재료 시험 ····· 60
그림 2.5.4 블리딩률, 팽창률 실험 결과 비교 ····· 61
그림 2.5.5 KCI-PS102 적용 실험결과 비교 그래프 - 유동성 ····· 62
그림 2.5.6 재료 시험 성적서 ····· 63
그림 2.5.7 그라우팅 재료 실험체 개요도 ····· 64
그림 2.5.8 그라우트 충전양상 ····· 64
그림 2.5.9 그라우트 충전 사진 ····· 65
그림 2.5.10 그라우팅 실험체 ····· 65
그림 2.5.11 6구간 시편 절단면 ····· 66
그림 2.5.12 온도에 따른 블리딩 및 유동성 실험 전경 ····· 67
그림 2.6.1 PSC교량 공극 유지보수 통합시스템 ····· 69
그림 2.6.2 충격공진법의 개념 ····· 71
그림 2.6.3 충격공진법으로 공극을 조사하는 방법 ····· 72
그림 2.6.4 FFT 변환 사례 ····· 72
그림 2.6.5 비파괴조사 장비 구성 ····· 72
그림 2.6.6 실험체 제원 ····· 74
그림 2.6.7 실험체 전경 ····· 75
그림 2.6.8 초음파(GPR)조사 결과 - M1R ····· 76
그림 2.6.9 실험 결과 분석 ····· 77
그림 2.6.10 실험체 제원 ····· 78
그림 2.6.11 실험체 전경 ····· 78
그림 2.6.12 초음파(GPR)조사 결과 ····· 80
그림 2.7.1 매출 실적 계약서 ····· 84
그림 2.7.2 매출 실적 사진대지 ····· 84
그림 2.8.1 개발 장비시스템 개요도 ····· 85
그림 2.8.2 KCI-PS102 적용 경쟁사별 실험결과 비교 그래프 ····· 86
그림 4.1 국내 PSC교량 건설 현황 ····· 93
그림 4.2 서해선 철도 교량형식 현황 ····· 93
그림 4.3 아시아 건설시장 규모 ····· 94

제 1장 연구개발 과제의 개요

1. 연구개발 목적

사회기반 시설의 파손 및 붕괴는 사회적으로 큰 반향을 일으킬 뿐 아니라 막대한 경제적 손실이 발생한다. 특히 교량의 경우는 구조물 자체의 철거 및 재건설로 인한 직접비뿐 아니라 도시의 도로 연결망 단절로 인한 교통대란 등 엄청난 사회적 간접비가 발생한다.



a) 성수대교 붕괴 사고 b) 이탈리아 모란디교 붕괴 사고

그림 1.1 교량붕괴 사고 사례

교량은 성수대교 붕괴사고와 서해대교 화재 사고 등 외형적인 사고뿐 아니라 2016년에 발생한 정릉천고가교의 강연선 파단으로 인한 내부사고의 경우도 1개월간 전면 교통통제가 되어 사회적인 이슈가 되었다. 이러한 사고 사례는 국내 프리스트레스트 콘크리트(이하, PSC) 교량의 안전성 및 내구성 확보의 중요성 측면에서 큰 경각심을 일깨워 준 계기가 되었다. 이러한 계기로 인해, 현재 PSC교량의 안전성과 내구성 확보에서 가장 중요한 그라우트 품질관리 부분에 대한 연구개발이 학계, 산업계에서 진행되고, 관련 규정도 개정되고 있다. 따라서, 이러한 사회적 요구에 따라 PSC교량 쉬스관 내부에 충전되는 그라우트의 요구성능을 충분히 발휘할 수 있는 진공그라우팅 방법을 포함한 고품질 그라우팅 기술을 개발하여 PSC교량의 안전성을 확보하고 내구성을 증대시키고자 한다.

2. 연구개발의 필요성

가. PSC교량 개요

PSC교량은 프리스트레스트의 도입 시기에 따라 프리텐션 공법과 포스트텐션 공법으로 구분할 수 있다. 프리텐션 공법은 강연선을 먼저 인장하여 양 단부의 인장대에 위치한 지주에 정착시킨 후 콘크리트를 타설하는 방법이며, 포스트텐션 공법은 콘크리트를 타설한 후 강연선을 긴장하고 시멘트 그라우트를 주입하여 교량을 완성시키는 공법이다.

국내에서는 인장대의 설비 구축 등을 이유로 프리텐션 공법보다는 포스트텐션 공법을 적용한 교량이 많다. 그림 1.2은 일반적인 포스트텐션 공법을 적용한 PSC교량 개요도이다.

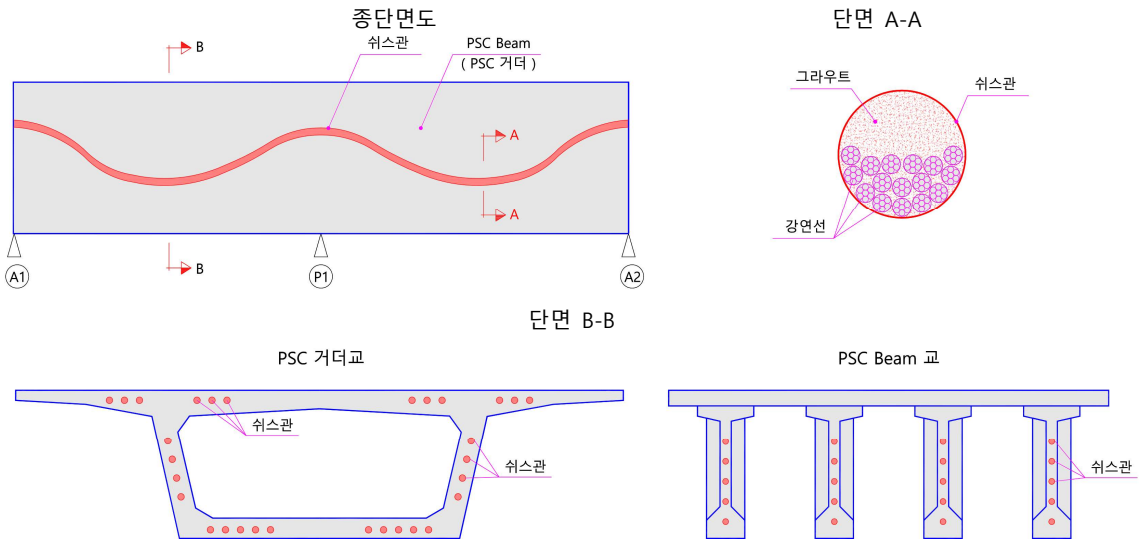


그림 1.2 포스트텐션 공법 개요도

나. 연구개발 배경

국내 교량 건설의 경우 프리스트레스트 콘크리트(Prestressed Concrete, 이하 PSC) 교량은 철근콘크리트(Reinforced Concrete) 교량에 비해 장경간화, 미관 우수 등으로 1980년대부터 건설하기 시작하여 1990년대 증가 추세를 보이다 2000년대에 기하급수적으로 증가하였다. 현재, PSC교량은 전체 교량 중 46%를 차지하고 있으며 향후 더욱 증가할 것으로 예상한다.

포스트텐션 PSC교량은 상기 설명한 바와 같이 콘크리트 타설 후 쉬스관 안에 강연선을 배치하고 그 사이에 그라우트 재료를 주입하여 강연선과 콘크리트를 부착시키며 강연선의 부식방지를 하는 방식이다. 그러나, 그라우트 미충전으로 인해 쉬스관에 공극이 발생하여 물, 염화칼슘 등이 침투할 경우 강연선이 부식되어 단면적이 감소하고 이에 따라 높은 인장력을 받고 있는 강연선은 쉽게 파단될 수 있다. 이러한 강연선의 파단은 교량붕괴까지 일으킬 수 있으므로 포스트텐션 PSC교량 시공 시 철저한 그라우트 품질관리가 필요하다.

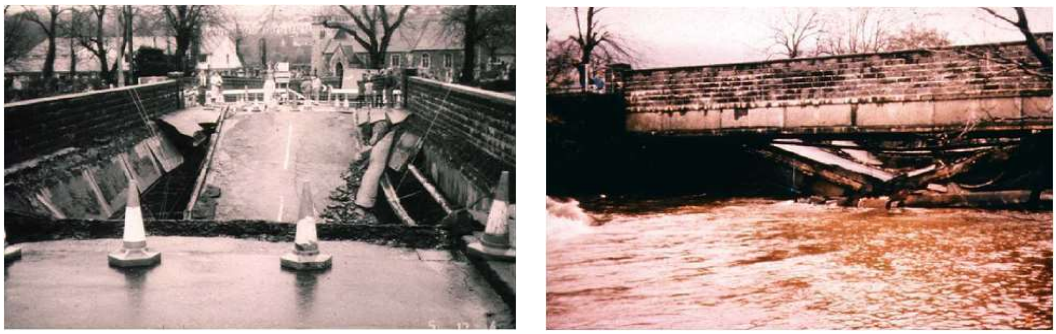
국내외 강연선의 부식 및 파단으로 인한 사고 사례는 다음과 같다.

(1) 해외 PSC교량 사고 사례

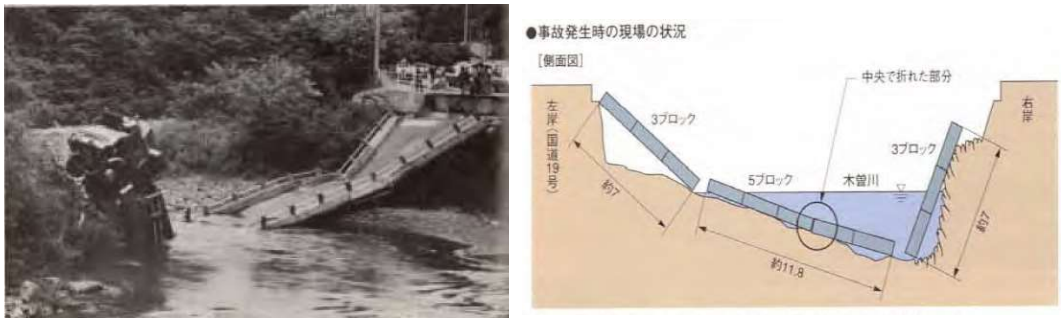
그라우트 미충전으로 인한 공극에 물과 제설제와 같은 염화물이 침투하여, 강연선이 부식 파단되어 발생한 사고 사례는 해외에서 많이 찾아볼 수 있으며 대표적인 사례는 표 1.1과 그림 1.3에 나타내었다.

표 1.1 해외 PSC교량 사고 사례

국가	교 량 명	손상 사례	원인
영국	The Ynys-y-Gwas bridge	교량 붕괴	강연선 부식
	Taf Fawi bridge	교량 붕괴	강연선 부식 및 파단
	Braidley road bridge	강연선 교체	강연선 부식
미국	Niles channel bridge	강연선 교체	강연선 부식 및 파단
	Mid-Bay bridge	강연선 교체	강연선 부식 및 파단
	Plymouth Avenue bridge	교량 붕괴	강연선 부식
일본	신관교	교량 붕괴	강연선 부식
	Myoukou교	강연선 교체	강연선 부식



a) Ynys-y-Gwas bridge 붕괴 (영국)



b) 新菅橋 붕괴 (일본)



c) The Malle Bridge 붕괴 (벨기에)

그림 1.3 해외 PSC교량 사고사례

(2) 국내 PSC교량 사고사례

강연선 파단 사례는 최근 국내에서도 발생하였다. 2016년 2월 서울시 정기 안전점검 시, 서울시 내부순환도로 중 정릉천고가교에서 강연선 파단이 그림 1.4 a)와 같이 발견되었으며, 이로 인해 내부순환도로가 1개월간 전면 차단되었다. 파단 원인에 대해 서울시와 관련 기관이 조사한 결과, 주원인은 쉬스관 내부의 텐던 부식을 방지하는 그라우트의 충전 부족 및 그라우트 재료에서 분리된 블리딩수에 의한 공극 발생, 그라우트 주입 후 염화물을 함유한 수분 침투가 원인일 수 있다고 분석하였다(서울시 2017). 대표적인 국내사례는 표 1.2과 그림 1.4에 나타내었다.

표 1.2 국내 PSC교량 사고 사례

국가	교 량 명	손상 사례	원인
한국	정릉천고가교	외부강연선 파단	강연선 부식
	서호교	외부강연선 파단	강연선 부식
	강동대교	전단 강봉 파단	전단 강봉 부식



a) 정릉천고가교



b) 서호교



c) 강동대교

그림 1.4 국내 PSC교량 사고 사례

다. PSC교량의 그라우팅 품질관리 현황

과거 해외와 현재 국내의 PSC교량의 하자 및 붕괴 사례를 살펴보면, 그라우트 재료에 대한 실험기준 미비와 그라우트 주입에 대한 공사시방서 기준 미준수로 인해 쉬스관 내 그라우트 미충전부(공극)가 원인이 되는 경우가 많이 있었다. 이를 재료적인 측면과 시공적인 측면, 제도적인 측면으로 분류하여 정리하면 다음과 같다.

(1) 재료적 측면

현재 사용되고 있는 PSC 구조물의 그라우트는 대부분 물-시멘트비가 약 40%대로 비교적 높고, 가스를 발생시키는 금속성 팽창재의 다량 사용으로 블리딩 발생 가능성이 높아 품질관리가 어려운 것으로 알려져 있다. 특히 실내실험 결과 강연선이 설치되는 PSC구조물은 소선 간 모세관 현상으로 블리딩이 촉진되어 그림 1.5와 같이 블리딩이 크게 발생하고 있다.



그림 1.5 블리딩 실험 결과 (블리딩수)

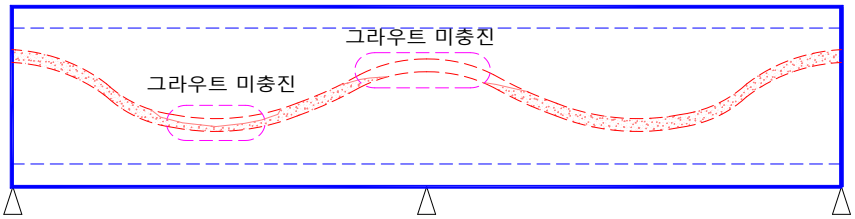
(2) 시공적 측면

그라우트 장비 고장, 주입능력 부족, 연결관 파손, 유량계 고장이 그라우트 충전 부족의 요인이 된다. 또한, 작업자의 작업 숙련도에 따라 주입장비에 대한 조작이 다르며, 주입구 및 배출구의 설치 방법과 서중, 한중에 대한 대응 등에 따라 차이가 크다. 이로 인해 시험실과 실제 현장에서 그라우트의 샘플링 블리딩 조사 결과 큰 차이가 발생함을 확인할 수 있다.

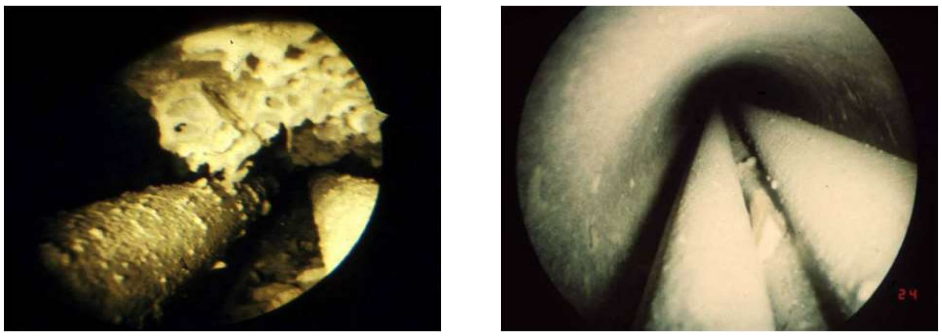
(3) 제도적 측면

그라우트 재료 및 장비와 관련하여 1990년대 후반부터 유럽 및 일본은 관련 규정 및 지침에 대해 재개정을 반복하며 고품질의 그라우팅이 될 수 있도록 제도적인 뒷받침이 되고 있다. 그러나, 국내에서는 1980년대에 PSC교량이 도입 이후 관련 규정의 재개정이 없었다.

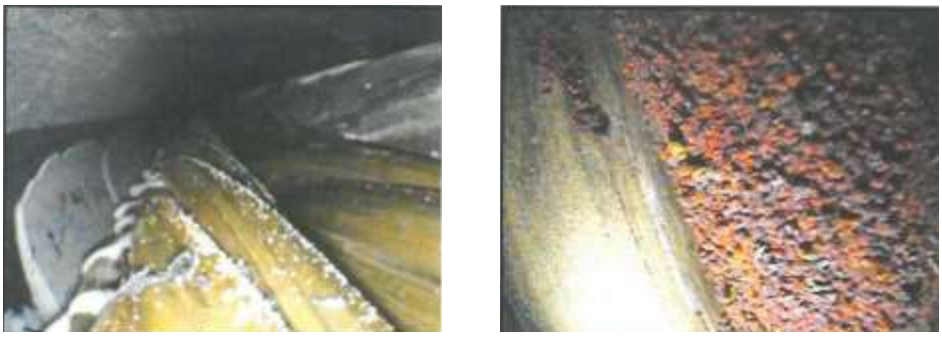
이와 같은 그라우팅 품질관리 문제점으로 발생한 국내의 강연선 부식현황을 그림 1.6에 나타냈다. 따라서 이러한 원인을 개선하기 위해 그라우팅의 시공방법 및 품질관리를 위한 연구개발이 시급한 시점이다.



a) 그라우트 미충전 현황 개요도



b) 쉬스관 내부 그라우트 미충전



c) 강연선 부식



d) 정착구 및 강연선 부식

그림 1.6 쉬스관 내부 그라우트 미충전 및 강연선 부식 현황

3. 연구개발의 내용 및 범위

가. 사업화 대상기술 요약

표 1.3 사업화 대상기술 요약

구 분	기존 보유기술	사업화 기술
■ 과제명		PSC교량의 진공그라우팅 시스템 개발
■ 사업화 기술 및 분야	■ 자체보유 □ (이전 받은 기관명)에서 기술이전	□ 공공기술 중소기업 이전 및 사업화 ■ 중소기업 보유기술 및 아이디어 사업화 □ 국토교통 안전기술 사업화 □ 서비스 R&D 융합기술 사업화
■ 사업화 대상이 되는 기술의 지식재산권 *특허, 실용신안 등 유형별 기재	(특허번호) 10-1503816	(특허번호) 10-1876420
	(특허명) 포스트텐션 교량의 쉬스관 내부 충전을 위한 진공그라우팅 공법	(특허명) PSC교량의 보수용 그라우트 충전 시스템 및 그 방법
	(권리자) 컨텍이앤씨(주)	(권리자) 컨텍이앤씨(주)
■ 기존기술과 비교하여 성능 개선 등 차별화 내용	PSC교량의 그라우팅 공정에 진공방법을 도입하여 쉬스관 내부가 공극없이 채워질 수 있도록 하는 기술	공용중인 PSC교량의 유지보수를 하기 위하여 진공시스템을 발전시켜 공극량을 측정하고 미충전부에 그라우트를 재주입 하는 방법

(1) 특허 주요 사항

① 포스트텐션 교량의 쉬스관 내부 충전을 위한 진공 그라우팅 방법

② 진공그라우팅 작업 중 주입구와 배출구, 중간 확인구에 측정 센서를 설치하여 쉬스관 내부 잔류공기가 최소화되도록 주입 압력 및 진공압력을 조정할 수 있는 제어시스템 개발

③ 쉬스관내 공극을 발생시키는 잔류공기를 제거하기 위해 잔류공기가 가장 많이 발생되는 곳에 중간 확인구를 설치하고, 이곳에 진공 펌프를 연결하여 쉬스관내의 잔류공기를 제거를 확인하는 방법

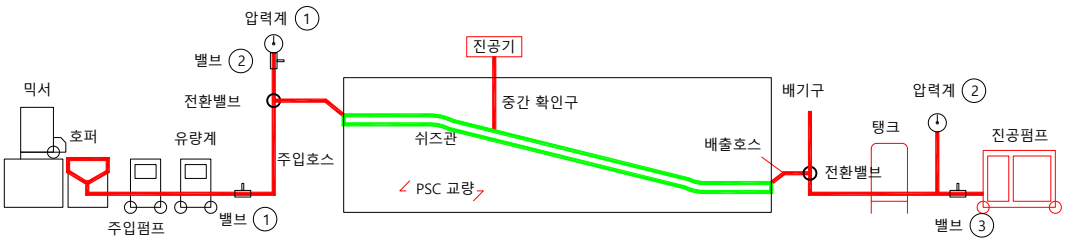


그림 1.7 특허 기술 개요도

(2) 사업화 대상기술의 개념도

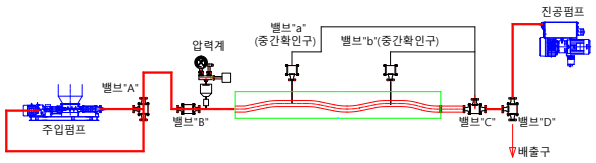
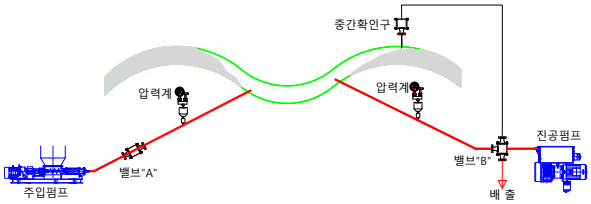
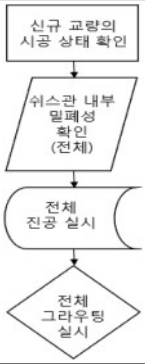
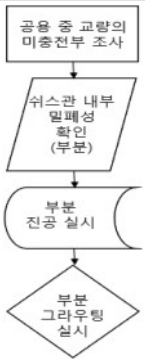
신규 PSC교량의 그라우팅 작업 시	PSC교량의 보수 작업 시
	
	
■ 에어벤트 설치가 어렵거나 철근 배근이 복잡한 경우 조사 ■ 시공 중 에어벤트가 콘크리트에 의해 막힐 경우 조사 ■ 쉬스관 내부의 밀폐성 확인 ■ 진공장비를 이용해 쉬스관 내 압력을 대기압 보다 낮춤 (전체 진공 실시) ■ 그라우팅 실시(전체 그라우팅)	■ 공용 중 교량의 쉬스관 내부 미충전부 조사(비파괴조사 등) ■ 미충전부 천공 후 밀폐성 확인 후 진공장비를 이용해 미충전부의 공기 제거 (부분 진공 실시) ■ 그라우팅 실시(부분 그라우팅)

그림 1.8 사업화 대상 기술의 개념도

(3) 국내외 유사기술과 수준 비교

표 1.4 국내외 유사기술과 수준 비교

구분	해당기술	유사기술1	유사기술2	유사기술3
PSC교량 적용	■ 가능 (구조물적용)	■ 불가능 (지반보강기술)	■ 불가능 (지하구조물적용기술)	■ 가능 (구조물적용)
제어 시스템	■ 자동/수동 가능	■ 없음	■ 없음	■ 없음
그라우트충전 확인	■ 가능	■ 불가능	■ 불가능	■ 가능

구분	특허번호	발명의 명칭
유사기술1	10-0982477	진공 배수에 의한 그라우트재의 주입방향 제어를 이용한 지중 그라우팅 구조물 시공방법
유사기술2	04956032	Method of grouting using a vacuum (진공을 이용하는 그라우팅의 방법)
유사기술3	16183233 (2004.07.02)	포스트텐션방식 PC구조물의 케이블 외피내로의 진공 배기(vacuum drawing) 공정을 포함한 그라우트의 주입 공법

나. 연구개발의 내용 및 범위

표 1.5 연구개발 내용 및 범위

구 분	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (2017)	■ 진공그라우팅 대형장비 개발 (신규 PSC교량 적용 장비) ▸ 시작품 제작 완성 ▸ 진공그라우팅 실험을 통한 장비 성능 확인 ▸ 진공 도달시간 확인 (이론값 · 실험값 비교) ▸ 실험을 통해 내부 진공압력 달성 및 유지 여부 확인(−0.09MPa) ■ 대형 진공그라우팅 장비 무선제어 및 모니터링 기술개발 ▸ 무선제어를 하기 위한 웹 기반 클라우드 개발(AWS Computing) ▸ 무선 통신 모듈 개발 착수 ▸ 진공 장비의 진공압력 설정이 가능한 제어기술 확보 ▸ 그라우트 주입 장비의 주입속도 설정이 가능한 제어기술 확보
2차년도 (2018)	■ 진공그라우팅 소형장비 개발 (PSC교량 유지 · 보수 시 적용 장비) ▸ 시작품 제작 완성 (운반 및 조작이 우수한 조립형 장비) ▸ 진공 이론 실험 검증을 통한 장비 성능 확인 ▸ 공극 부피 확인 성능 검증 ▸ 공극에 그라우트 재주입 가능성 여부 검증 ■ 소형 진공그라우팅 장비 무선제어 및 모니터링 기술개발 ▸ 공극 부피 측정 여부 검증 ▸ 진공 및 그라우트 재주입 무선제어 및 모니터링 가능 여부 검증 ■ 고품질 그라우트 재료개발 ▸ 논블리딩, 프리팩 그라우트 재료개발 ▸ 국제기준(ISO 14824)을 만족하는 그라우트 재료개발 및 검증
3차년도 (2019)	■ 진공그라우팅 대형/소형장비 업그레이드 완료 ▸ 현장조건 실험으로 현장 적용성 확인 ■ 진공그라우팅 무선제어 및 모니터링 기술개발 완료 ■ 쉬스관 내부 그라우트 공극 조사를 위한 비파괴조사 시스템 구축 ▸ 쉬스관 공극 위치 및 깊이를 조사할 수 있는 비파괴 장비 구축 ▸ 쉬스관 공극 여부를 조사할 수 있는 충격공진법 시스템 개발 및 구축 ■ 진공그라우팅 시스템 현장 적용(신규 PSC교량 시 적용)

그림 1.9 연구수행 흐름도

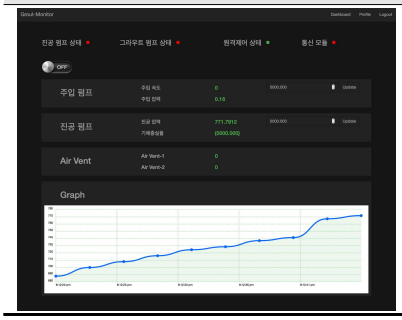
제 2 장 연구수행내용 및 성과

1. 연구 개발 개요

PSC교량 내부에 설치되는 쉬스관에 그라우트가 미충전되어 공극이 발생하고, 그 공극에 물과 염화물이 침투하여 강연선의 부식과 파단이 발생하는 사고를 방지하고자 ① 신규 PSC교량 시공에 적용할 수 있는 대형 진공그라우팅 장비와 ② 공용중인 PSC교량의 유지보수를 위해 이미 발생된 공극에 재그라우팅을 하기 위한 소형 진공그라우팅 장비를 개발하였을 뿐 아니라, ③ 진공그라우팅 장비를 무선제어할 수 있는 시스템을 구축했다.

또한, 추가개발로 ④ 국제수준의 고품질 그라우트 재료를 개발하였으며, ⑤ PSC교량의 공극을 조사할 수 있는 비파괴조사 시스템을 구축하여 PSC교량 유지보수 통합기술을 개발하게 되었다.

표 2.1.1 연구 개발 개요

<table>
<tr><td>① PSC교량 시공용
진공그라우팅 장비</td><td colspan="2">② PSC교량 유지보수용
진공그라우팅 장비</td></tr>
<tr><td>  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>③ 무선제어 및 모니터링
시스템 구축(IoT)</td><td>④ PSC 그라우트 재료</td><td>⑤ 비파괴조사 시스템 구축</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td><td>  </td></tr>
</table>

2. PSC교량 시공용 진공그라우팅 장비 개발

2.1 장비 개요

PSC교량의 시공에 사용할 수 있는 시공용 진공그라우팅 장비(이하, 대형장비)를 개발하였다. 대형장비는 그림 2.2.2와 같이 진공장치, 주입장치, 제어장치로 구분할 수 있다, 특히 제어장치는 시공 시 배합비와 주입속도가 작업자의 숙련도에 따라 정해지는 기존방법을 장비에 부착된 센서에 의해 일관된 품질관리가 가능하도록 매뉴얼화된 정량적인 시공이 될 수 있도록 하였다. 또한, IoT 기술 적용으로 스마트기기(PC, 모바일)를 이용하여 간단한 조작으로 제어할 수 있도록 함으로써 그라우팅 작업 인원의 절감을 할 수 있도록 하였다.

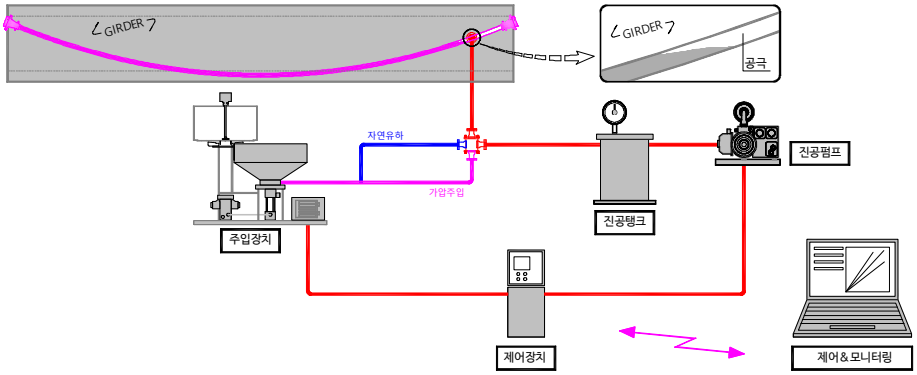


그림 2.2.1 대형 진공그라우팅 시스템 전개도



a) 진공펌프 b) 진공장치 c) 주입장치 d) 제어장치

그림 2.2.2 대형 진공그라우팅 장비

2.2. 장비 구성

(1) 진공장치

진공 장치는 진공펌프, 진공탱크, 진공센서로 이루어졌으며, 현장에서 직접 제어가 가능한 센서와 패널이 부착되어 있다. 진공그라우팅 시, 쉬스관 내부 압력을 진공압력 상태로 만들 수 있도록 개발되었으며 진공압력 상태에서 그라우트 주입 시에도 진공압력을 자동으로 조정할 수 있도록 설계되었다. 주요 제원은 표 2.2.1에 나타내었다.

표 2.2.1 진공 장치 제원

구 분	장치 제원
크 기	1,682(W)×2,386(D)×1,615(H)mm
전기 모터	3.4KW×60Hz
진공탱크	∅400mm
안전탱크	∅200mm
진공센서	진공도 −0.09MPa

(2) 주입장치

그라우트 주입장치는 2개의 믹서탱크, 주입탱크, 주입펌프를 포함하고 있으며 쉬스관 내부 그라우트 충전 시 사용된다. 주입속도(L/min), 주입유량(L)을 제어할 수 있는 센서와 패널이 부착되어 있으며, 그라우트 주입 압력을 모니터링할 수 있다. 주요 제원은 표 2.2.2에 나타내었다.

표 2.2.2 주입장치 제원

구 분	장비 제원
크 기	830(W)×1,700(D)×1,630(H)mm
전기 모터	3.4KW×60Hz
믹서 탱크	∅650mm×700L
주입 탱크	∅400mm×800L
그라우트 펌프	7.5KW×25L×20kg/㎠

(3) 제어장치(Main Control Box)

제어장치는 진공장치와 그라우트 주입장치에 설치된 센서와 데이터를 송수신할 수 있도록 하였으며, 통합적으로 제어할 수 있다. 제어장치의 데이터는 터치스크린 제어 화면으로 자동/수동 모드를 선택할 수 있다. 주요 제원은 표 2.2.3에 나타내었다.

표 2.2.3 제어장치 제원

구 분	장비 제원
크 기	830(W)×500(D)×1,630(H)mm
전송방식	무선통신 RS−232C, 전이중 통신방식
표 시 기 능	① 물시멘트비 W/C 배합조절 가능 ② 진공펌프 압력 제어 가능 ③ 주입 속도 제어 가능 ④ 실시간 진공 압력 확인 ⑤ 그라우트 주입량 확인 ⑥ 실시간 주입속도 및 압력 확인

2.2 PSC교량 시공용 진공그라우팅 장비 성능실험

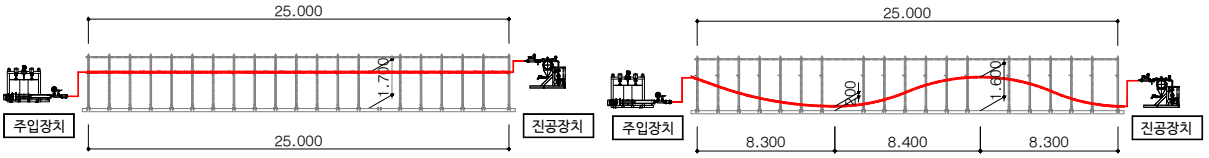
2.2.1 대형장비 성능실험

가. 실험 목표

시공용 진공그라우팅 장비(대형장비)를 이용하여 실구조물과 유사한 실험체에 일반그라우팅 방법과 진공그라우팅 방법으로 주입 실험을 수행하여 진공그라우팅 장비의 성능을 검증하였다.

나. 실험 제원

실험체는 그림 2.2.3과 같이 현재 국내에서 많이 사용하고 있는 PSC 거더 교량과 유사하게 길이 25m, 높이 2.0m로 제작하였으며, 쉬스관의 선형은 실구조물의 선형을 반영할 수 있도록 직선관, 곡선관으로 2가지로 하였다. 쉬스관은 그라우트 주입 시 주입 양상을 육안으로 확인하고 그라우팅 완료 후 블리딩 현상 및 공극을 확인하기 위해 투명관을 사용하였다. 투명관은 진공압력과 주입압력에 대해 압력저항성이 확보되면서 곡선 선형으로 설치가 가능하도록 유연하면서 강도가 높은 철선보강 PVC 투명관을 사용하였다.



a) TYPE-1 (직선관)　　b) TYPE-2 (곡선관)



c) 실험체 전경

그림 2.2.3 대형장비 실험체

다. 실험 방법

실험재료는 표 2.2.5와 같이 현재 국내에서 가장 많이 사용하고 있는 금속성 혼화재 1%, 물-시멘트비 43%의 그라우트 재료를 사용했으며, 보조적으로 물을 사용하였다. 진공그라우팅 방법을 적용 시 투명관 내부 진공압력은 -0.09MPa로 하였다.

표 2.2.4 실험 조건

구 분	물 온도	혼화재	혼화재 배합비	W/C (물/시멘트)	쉬스관	쉬스관 진공도
기 준	약 25℃	금속성 팽창제	1%	43%	PVC 투명 호스관	-0.09MPa

실험 CASE는 표 2.2.5와 같이 8개로 하였으며, 실험항목은 진공도달시간, 충전시간. 그라우트 충전율로 하였다.

표 2.2.5 대형장비 성능실험 CASE

실험체 종류	주입 재료	사용시스템	CASE
직선관 (TYPE-1)	물	일반그라우팅	T1-WO
	그라우트		T1-GO
	물	진공그라우팅	T1-WV
	그라우트		T1-GV
곡선관 (TYPE-2)	물	일반그라우팅	T2-WO
	그라우트		T2-GO
	물	진공그라우팅	T2-WV
	그라우트		T2-GV

라. 실험 결과

(1) 진공 도달시간

실험체 연장 L=25m, PVC투명호스관내 진공도는 -0.09MPa로 실험하였으며, 각 CASE별 실험결과는 다음과 같다.

표 2.2.6 진공 도달 시간 결과

실험체 선형	CASE	진공 도달 시간	이론 진공도달시간
직선관 (TYPE-1)	T1-WV	1분 26초	1분 23초
	T1-GV	1분 29초	
곡선관 (TYPE-2)	T2-WV	1분 25초	
	T2-GV	1분 32초	

모든 CASE의 실험값이 이론값보다 조금 느리나 거의 유사하였으며 직선관과 곡선관의 차이는 크게 차이가 나지 않았다. 따라서, 진공장비의 성능은 충분히 발휘되고 있음을 확인하였다.

(2) 충전시간 비교

일반그라우팅 방법과 진공그라우팅 방법에 대하여 충전시간을 측정한 결과를 표 2.2.7에 나타내었다.

표 2.2.7 CASE별 그라우트 충전시간 측정 결과

a) 물 주입시 충전시간 측정 결과

실험체 선형	CASE	사용 시스템	충전시간
직선관 (TYPE-1)	T1-WO	일반 시스템	3분
	T1-WV	진공 시스템	2분 50초
곡선관 (TYPE-2)	T2-WO	일반 시스템	3분 30초
	T2-WV	진공 시스템	3분 15초

b) 그라우트 주입시 충전시간 측정 결과

실험체 선형	CASE	사용 시스템	충전시간
직선관 (TYPE-1)	T1-GO	일반 시스템	3분 10초
	T1-GV	진공 시스템	2분 50초
곡선관 (TYPE-2)	T2-GO	일반 시스템	3분 05초
	T2-GV	진공 시스템	2분 45초

진공그라우팅 방법이 압력차에 의한 주입의 도움을 받아 기존 일반그라우팅보다 적은 압력으로 약 10~20초 빨리 주입되는 것을 확인하였다. 이로 인해 장비의 효율지수(시간당 작업량/ 장비 부피×1,000)를 향상시킬 수 있었다.

(3) 그라우트 충전율 비교

그라우트의 충전율을 확인하기 위해 공극이 많이 발생되는 구간을 표 2.2.8와 같이 선정한 후 시편을 절단하여 무게를 측정 비교하였다. 그 결과를 표 2.2.9에 나타내었다.

표 2.2.8 그라우트 충전율 시편 위치

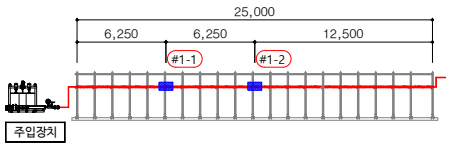
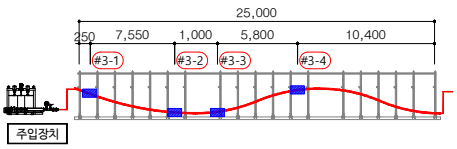
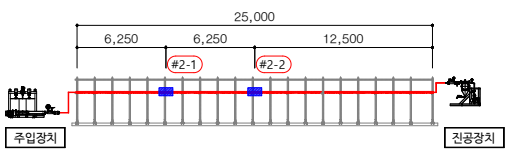
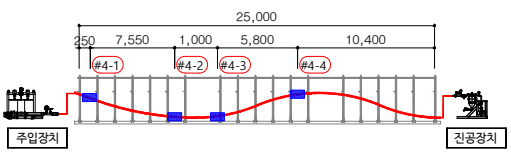
구분	시료 위치도	구분	시료 위치도
T1 -GO		T2 -GO	
T1 -GV		T2 -GV	

표 2.2.9 절단 시편 무게 측정 결과

구 분		L (mm)	D (mm)	무게 (kg)	환산 무게(kg) (280mm기준)	절단 시편 사진
T1 -GO	1-1	280	75	2.27	2.27	
	1-2	280	75	2.36	2.36	
T1 -GV	2-1	277	75	2.33	2.36	
	2-2	275	75	2.29	2.33	
T2 -GO	3-1	279	75	2.40	2.34	
	3-2	277	75	2.43	2.30	
	3-3	278	75	2.26	2.34	
	3-4	277	75	2.45	2.39	
T2 -GV	4-1	275	75	2.30	2.41	
	4-2	280	75	2.30	2.46	
	4-3	280	75	2.34	2.28	
	4-4	278	75	2.37	2.48	

실험결과 일반그라우팅 방법과 진공그라우팅 방법의 차이는 크지 않았다. 수치상으로 최대 7% 차이가 있으나, 실험 결과가 일관되지 않아 그 차이는 의미가 없다. 오히려 모든 구간에 이론치 무게(2.59kg)보다 적게 측정되어 공극이 발생되었음을 확인하였다. 이는 주입 작업 시에 육안으로 확인되었던 블리딩에 의한 공극으로 판단된다.

(4) 실험결과

진공그라우팅 장비의 성능을 확인하기 위한 실험 결과 진공도달시간 측정결과 이론값과 거의 유사하여 진공장치의 성능이 검증되었으며, 충전시간 비교 측정결과 진공그라우팅 방법이 주입시간을 단축시켜 장비 효율지수를 상승시킬 수 있는 좋은 방법임을 입증하였다. 그러나 충전율에 대한 조사결과 모든 실험체에 공극이 발생하여 진공그라우팅의 성능을 증명하진 못했다. 이는 그라우팅 시공방법 및 장비의 문제가 아니라 사용재료의 블리딩 발생이 주요 요인이었음을 확인하였다.

따라서, 진공그라우팅 장비개발의 성능검증에 앞서 블리딩이 발생하지 않는 고품질 그라우트 재료개발이 필요함을 확인하였다.

2.2.2 그라우트 주입 예측기술

가. 목표

PSC교량의 그라우트 재료를 주입할 때, 쉬스관이 콘크리트에 매설되어 있기 때문에 그라우트의 주입양상과 취약지점을 확인할 수 없었다. 이러한 문제를 해결하고자 범용 유체해석 프로그램인 FLOW-3D를 이용하여 점성과 시간에 따른 유동유체해석을 통해 주입양상을 확인하고, 이를 실험결과와 비교하여 그라우트 주입양상을 예측할 수 있는 기술을 확보하고자 한다.

나. 유체해석 개요

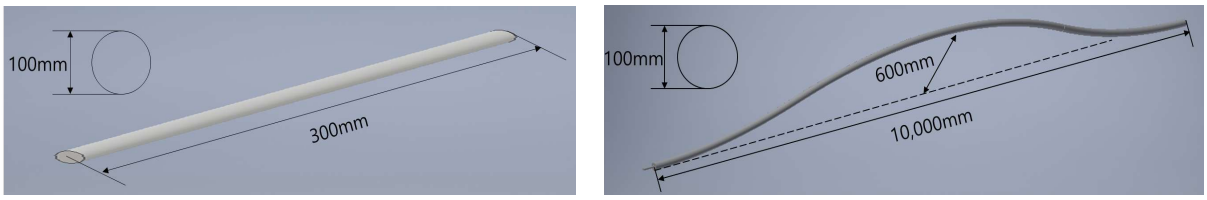
일반적인 시멘트 그라우트는 비 뉴턴 유체로서 Bingham 모델을 사용하여 해석을 실행하였다. Bingham 유체는 물체에 힘을 가할 때 정치마찰력을 넘어서기까지 움직이지 않다가 정지마찰력 이상의 힘이 되면 움직이는 것처럼 Yield stress(항복응력) 이상이 되어야 유동을 시작하는 유체이다. 해석 시 사용되는 프로그램인 FLOW-3D는 미국 뉴멕시코주(New Mexico) 로스알라모스(Los Alamos)에 위치한 Flow Scicence, Inc에서 개발한 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics) CFD 프로그램이다.

다. 해석 방법

(1) 모델링

(가) 유체의 흐름 특성 확인 모델링

그림 2.2.4과 같이 관 직경은 100mm로 하였으며, 직선관 길이는 30cm, 곡선관 길이는 10m로 하였다. 모델링은 그림 2.2.6~2.2.8에 나타내었다.



a) 직선관 b) 곡선관

그림 2.2.4 점성에 따른 유체해석 모델링

(나) 유체의 점성과 시간에 따른 흐름 특성 확인 모델링

그라우트 실험과 동일한 제원으로 모델링을 하였다. 길이는 12m이며 높이는 1.4m이고 관 직경은 75mm로 하였다. 모델링은 그림 2.2.5에 나타내었다.

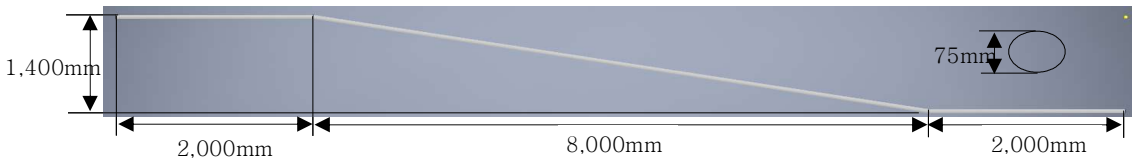


그림 2.2.5 점성과 시간에 따른 유체해석 모델링

(2) 해석조건

(가) 유체의 흐름 특성 확인 변수

해석은 비 뉴턴 유체 해석모델 중 콘크리트 흐름 특성과 가장 일치하는 Bingham 유체 해석을 사용하였다. Flow-3D 해석을 통해 점도에 따른 유체의 흐름 특성을 확인하였고, 정확한 유체의 흐름 특성의 확인을 위해 유체 주입 후 직선관은 4초, 곡선관은 55초일 때의 데이터를 사용하였다. 해석조건은 표2.2.10에 나타내었다.

표 2.2.10 점성에 따른 유체해석

구 분	점 성(P=g/cm · s)					경과 시간(초)
직선관(D)	0.01	1	5	20	50	4초
곡선관(R)	0.01	1	5	20	50	55초

(나) 유체의 점성과 시간에 따른 흐름 특성 확인 변수

유체의 점성뿐 아니라 주입 경과시간에 따른 주입 양상을 확인하기 위해 주입 후 3초와 20초에 대해 비교하였으며, 유체 점성은 4가지로 구분하여 비교하였다. 해석조건은 표 2.2.11에 나타내었다.

표 2.2.11 점성과 시간에 따른 유체해석

구 분	점 성(P=g/cm · s)	주입 후 경과시간(초)
C3-0.01	0.01	3초
C3-0.10	0.10	
C3-1.00	1.00	
C3-5.00	5.00	
C20-0.01	0.01	20초
C20-0.10	0.10	
C20-1.00	1.00	
C20-5.00	5.00	

라. 해석 결과

(1) 유체의 흐름 특성 확인 변수

점성에 따라 흐름의 양상은 다르다. 직선관인 경우 그림 2.2.6과 같이 저점성인(D-0.01) 경우는 배출구 쪽부터 채워지는 형상을 보이며, 고점성(D-50)으로 갈수록 주입부가 채워주면서 충전된다. 저점성인 경우, 볼록부를 넘어서 낮은 곳부터 채워오는 양상을 보였으며, 고점성인 경우에는 차례로 밀어내며 충전되기 때문에 갇힌 공기가 발생할 수 있음을 확인하였다.



a) 직선관-Viscosity-0.01



a) 곡선관-Viscosity-0.01



b) 직선관-Viscosity-1



b) 곡선관-Viscosity-1



c) 직선관-Viscosity-5



c) 곡선관-Viscosity-5



d) 직선관-Viscosity-20



d) 곡선관-Viscosity-20



e) 직선관-Viscosity-50

그림 2.2.6 직선관 해석 결과



e) 곡선관-Viscosity-50

그림 2.2.7 곡선관 해석 결과

(2) 유체의 점성과 시간에 따른 흐름 특성 확인 변수

주입 초기 단계인 3초 경과 시에는 주입구에 주입 양상이 다소 차이가 있었으나, 큰 영향은 없었다. 그러나 20초 경과 후 점성이 낮은 C20-0.01의 경우는 배출구부터 채워지는 양상을 보였다.



a) Viscosity-0.01-3초*



e) Viscosity-0.01,-20초*



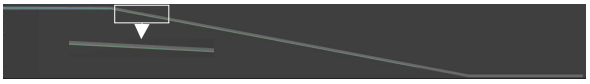
b) Viscosity-0.1-3초



f) Viscosity-0.1,-20초*



c) Viscosity-1,-3초*



g) Viscosity-1,-20초*



d) Viscosity-5,-3초*



h) Viscosity-5,-20초*

그림 2.2.8 점성과 시간과에 따른 해석 결과

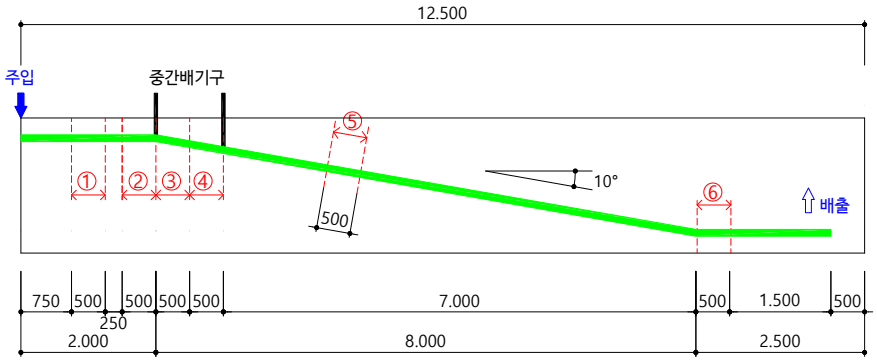
(3) 결과

점성에 따른 충전양상은 유체해석 결과 점성에 따라 취약부(공극발생부)를 예측할 수 있었으므로 이를 바탕으로 현장에서 중점 관리해야 할 부분을 결정할 수 있었다. 따라서, 현재 국내 그라우트 재료의 유동특성을 고려한 저점성 재료의 충전양상 실험과 비교하여 그라우트 주입 예측기술을 확립할 수 있을 것으로 판단된다.

마. 그라우트 충전실험

(1) 실험 방법

유체해석과 같은 제원을 가진 실험체에 일반그라우팅방법으로 주입실험을 수행하였다. 주입실험체의 제원은 그림 2.2.9에 나타내었다.



a) 실험체 개요도



b) 실험체 전경

그림 2.2.9 그라우트 충전 실험체

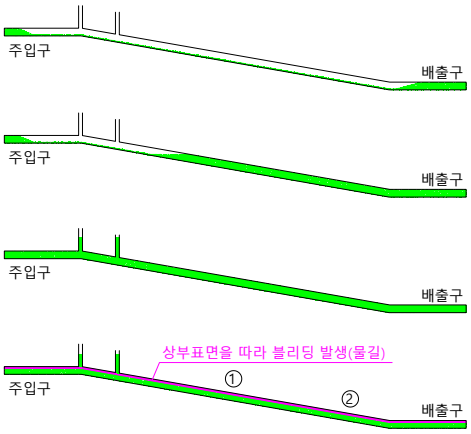
그라우트 재료는 현재 국내에서 제일 많이 사용하고 있는 배합을 적용하였다. 상세조건은 표2.2.12에 나타내었다.

표 2.2.12 배합조건

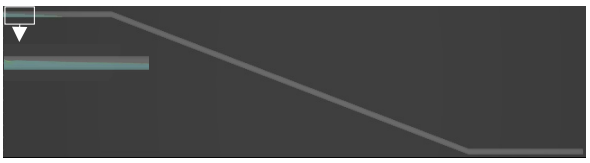
구 분	배합 조건 (%)		유동성 (유하시간)
	W/C	혼화재 (알루미늄 분말 팽창제)	
1~3회차	42	1.0 (A社)	45초

(2) 실험결과

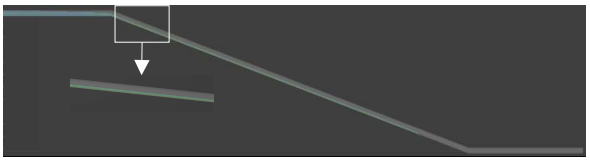
그라우트가 주입구로부터 배출구 방향으로 실험체의 하단부를 따라 그라우트가 충전되었다. 주입양상은 주입구측은 C20-0.1, 배출구측은 C20-0.01과 유사하였다. 주입양상 개념도와 는 그림 2.2.10에 나타내었다.



a) 그라우트 주입 개념도



b) 주입 3초 후



c) 주입 20초 후



① 1번구간 흐름양상



② 2번구간 흐름양상



③ 3번구간 흐름양상



④ 그라우팅 실험체 양생중

d) 그라우트 주입 양상 결과 사진

그림 2.2.10 그라우트 주입 양상 결과

바. 결론

그라우트 주입을 예측할 수 있도록 점성 및 시간에 따른 유체해석을 시행하고 이를 실제 실험결과와 비교하였다. 물-시멘트 42%의 그라우트의 실제 주입양상은 유체해석에 적용한 점성이 주입구 측은 1.0P, 배출구 측은 0.01P와 유사한 주입양상을 보였다. 이는 일반적으로 알려진 그라우트 재료의 점성 0.35~0.75P를 감안할 때 의미 있는 결과이다. 따라서, 개정되고 있는 그라우트 재료가 유동성 확보를 위해 저점성을 지향하므로 저점성의 특징을 반영할 수 있도록 0.1P의 경우를 이론 점성으로 결정하여 향후 그라우트 주입에 대해 예측할 수 있도록 유체해석을 수행하고자 한다.

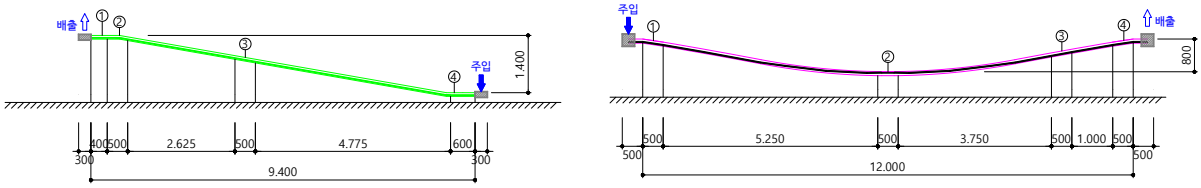
2.2.3 현장조건 그라우팅 충전 비교실험

가. 실험 목표

대형장비의 현장적용을 최종으로 확인하기 위해 현장조건과 같도록 강연선을 설치한 실험체에 진공그라우팅방법과 일반그라우팅 방법으로 그라우팅 충전 실험을 시행하였다.

나. 실험 제원

실험체의 선형은 실제 PSC 거더교량을 1/2로 모사한 13m의 곡선관과 이전에 강연선을 설치하지 않고 실시했던 실험과 결과를 비교하기 위해 10m 직선관 실험체를 제작하였다. 특히, 현장과 유사한 조건으로 실험하기 위해 투명관 내부에 강연선을 설치하였고, 콘크리트 구조물을 모사하기 위해 주입구와 배출구에 몰탈을 타설하여 콘크리트 블록을 형성하였다. 실험체 제원 및 전경을 그림 2.2.11에 나타냈다.



a) TYPE-1 (직선관)　　b) TYPE-2 (곡선관)



c) 실험체 전경

그림 2.2.11 현장조건 그라우팅 충전 비교 실험체

다. 실험 방법

투명관 안에 ∅15.2mm 강연선 7개를 배치하고 주입구와 배출구에 콘크리트 블록을 설치하였으며, 콘크리트 블록 내에 압력게이지와 진공게이지를 설치하였다. 그라우트 재료는 개발한 NB-CON(논블리딩 Pre-pack 제품)을 사용하였으며, 물시멘트비는 42%로 하였다. 각각 3개의 투명관 중 2개는 진공그라우팅 방법, 1개는 일반그라우팅 방법으로 진행하여 총 3회에 걸쳐 실험하였다.

표 2.2.13 CASE별 실험 변수

실험체 선형	사용시스템	CASE	비 고
직선관 (TYPE-1)	진공그라우팅	T1-V1	
	진공그라우팅	T1-V2	
	일반그라우팅	T1-O1	
곡선관 (TYPE-2)	진공그라우팅	T2-V1	
	진공그라우팅	T2-V2	
	일반그라우팅	T2-O1	

라. 실험 결과

(1) 충전율

양생 완료 후 시편을 절단한 후 무게를 통해 충전율을 조사하였다. 조사 결과는 표 2.2.14에 나타냈으며 그라우트 충전 상태 비교 사진은 표 2.2.15에 나타내었다.

표 2.2.14 실험체 구간별 충전율 결과

a) 직선선형 실험체 충전율

구분	T1-V1		T1-V2		T1-O1	
	무게(kg)	충전율(%)	무게(kg)	충전율(%)	무게(kg)	충전율(%)
①구간	8.07	98%	7.95	96%	5.97	72%
②구간	8.10	98%	7.89	96%	5.85	71%
③구간	8.23	100%	8.15	99%	8.15	99%
④구간	8.21	100%	8.07	98%	7.23	88%

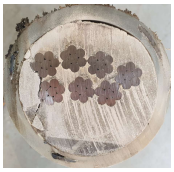
b) 곡선선형 실험체 충전율

구분	T2-V1		T2-V2		T2-O1	
	무게(kg)	충전율(%)	무게(kg)	충전율(%)	무게(kg)	충전율(%)
①구간	8.15	99%	8.09	98%	7.57	92%
②구간	8.11	98%	8.21	100%	7.66	93%
③구간	8.12	98%	8.25	100%	8.09	98%
④구간	8.22	100%	8.02	97%	5.27	64%

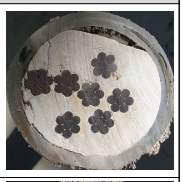
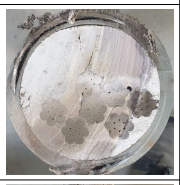
일반그라우팅 방법과 비교해 진공그라우팅 방법이 충전율이 높았다. 특히, 일반진공그라우팅 방법은 배출구의 위치와 투명관 선형 정밀도에 따라 충전율이 크게 차이가 났다.

표 2.2.15 그라우트 충전 상태 비교

a)직선선형 실험체 절단면 그라우트 충전 상태

구분	T1-V1		T1-V2		T1-O1	
	좌	우	좌	우	좌	우
① 구간						
② 구간						
③ 구간						
④ 구간						

b) 곡선선형 실험체 절단면 그라우트 충전 상태

구분	T2-V1		T2-V2		T2-O1	
	좌	우	좌	우	좌	우
① 구간						
② 구간						
③ 구간						
④ 구간						

(2) 표면공극률

표 2.2.16 표면공극률 실험결과

구분	T1-V1	T1-V2	T1-O1	T2-V1	T2-V2	T2-O1
①구간	0.08%	0.10%	25.71%	0.08%	0.10%	0.15%
②구간	0.09%	0.09%	28.57%	0.07%	0.07%	0.11%
③구간	0.07%	0.09%	0.07%	0.09%	0.07%	0.08%
④구간	0.06%	0.08%	0.17%	0.10%	0.08%	31.43%

표면공극률 측정 결과 일반그라우팅 방법에 비해 진공그라우팅 방법의 표면공극률이 낮아 밀실한 그라우트 주입이 가능함을 확인하였다.

(3) 실험결과

현장조건 실험결과 일반그라우팅 방법에 비해 진공그라우팅 방법의 충전율이 높고 표면공극율이 적게 측정되었다. 소선사이의 충전은 진공그라우팅 방법이 조금 개선되었지만, 큰 차이는 없었다. 오히려 투명관의 선형과 배출구의 위치가 공극 발생의 원인이었음을 확인할 수 있었다.

2.3 대형장비 개발 소결

대형장비의 성능실험을 통해 표 2.2.17과 같이 개발 장비의 성능을 확인하였으며, 진공그라우팅 방법이 일반그라우팅 방법에 비해 충전율 등 많은 장점이 있음을 확인하였다.

대형장비 성능실험결과 평균치는 모두 목표치를 달성하였으며 그 결과를 표 2.2.17에 나타냈다.

표 2.2.17 대형장비 성능실험 결과

구 분	목표치	진공그라우팅		일반그라우팅	
진공도 달성	-0.09MPa이하	-0.09MPa	OK		
진공펌프의 충실률	95%이상	98%	OK	84%	NG
진공펌프의 표면공극	0.1%이하	0.08%	OK	10.79%	NG

제어장치에 의한 진공그라우팅 방법은 기존의 현장여건상 작업자의 숙련도에 따라 배합, 주입속도, 주입압력, 추가 가압 등이 일관되지 않아 어려웠던 그라우팅 품질관리를 개선하여 고품질의 그라우팅 작업이 가능한 방법임을 확인하였다.

진공그라우팅 방법은 일반적인 조건에서도 고품질 그라우팅 시공이 가능하며, 특히, 잔류공기가 모이는 높은 지점이 없는 긴 수평 강연선, 쉬스관의 최상부가 격벽 안에 있는 경우 최상부의 배출구 위치가 복잡하거나 배출구가 막힌 경우는 반드시 진공그라우팅 방법을 사용하여야만 공극 없는 그라우팅이 가능함을 확인할 수 있었다.

3. PSC교량 유지·보수용 소형 진공그라우팅 장비 개발

3.1 장비 개요

PSC교량 유지보수 시, 쉬스관 공극부에 그라우트를 재주입하기 위해 개발한 소형 진공그라우팅 장비(이하, 소형장비)는 시간당 작업량이 많지 않기 때문에 장비의 효율지수(시간당작업량/ 장비부피×1,000)를 감안하여 소형화할 수 있었다.

특히, 구조물 내부의 운반 등을 감안하여 진공펌프, 진공탱크, 주입장치, 제어장치 등 각 부분을 16kg 이하의 무게로 분리할 수 있도록 제작하여 이동성을 향상시켰다. 시스템 전개도와 소형장비 구성품은 그림 2.3.1과 2.3.2에 나타내었다.

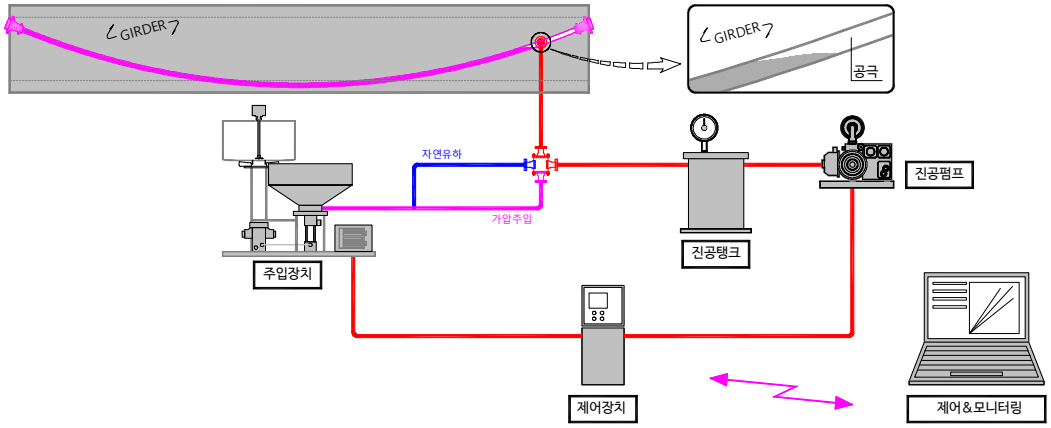


그림 2.3.1 유지보수용 진공그라우팅 시스템 전개도



a) 진공펌프 b) 진공탱크 c) 주입장치 d) 제어장치

그림 2.3.2 소형 진공그라우팅 장비

가. 장비구성

(1) 진공장치(진공펌프 + 진공탱크)

진공장치는 진공펌프와 진공탱크로 이루어져 있다. 진공펌프는 저진공에 적합한 소형 펌프를 사용하였으며, 진공탱크는 공극의 부피를 측정하기 위해 설치한 장치로서 압력 및 온도를 측정할 수 있는 센서가 부착되어 있다.

표 2.3.1 진공펌프 제원

구 분	장비 제원
크 기	80(W)×250(D)×150(H)mm
무 게	15kg
전기 모터	0.45KW
진공도	-0.09MPa 이하
전 원	220V x 2¢

표 2.3.2 진공탱크 제원

구 분	장비 제원
크 기	200(W)×200(D)×260(H)mm
무 게	16kg
저장공간	18 Liter
진공센서	진공도 -0.09MPa 이하
전 원	220V x 2¢

(2) 주입장치(믹서 탱크+그라우트 탱크)

그라우트 주입장비는 믹서 탱크와 주입 탱크와 주입 유압장치로 이루어져 있다. 믹서 탱크에는 적정한 교반장치가 설치되어 있으며 주입 탱크에는 그라우트량을 확인할 수 있는 측정 눈금이 부착되어 있다. 주입장치는 정확한 그라우트량을 주입하기 위해 스트로크가 일정한 유압 형식을 적용하였다. 주입 방법은 압력차 자연 유하 방식과 유압을 이용한 가압주입 방식 두 방법을 혼용해서 사용할 수 있도록 하였다.

표 2.3.3 주입장비 제원

구 분	장비 제원
크 기	690(W)×430(D)×900(H)mm
그라우트 펌프	압력 : 10kg/㎠, 토출량 : 약 5Liter/min
교반기	10 Liter/1회
전 원	220V x 2¢

(3) 제어장치(Main Control Box)

제어장치는 진공압력 및 감압 속도, 그라우트 주입량을 제어할 수 있으며, 정의된 공간 내부의 압력과 온도, 그라우트 장비의 압력과 속도를 모니터링 할 수 있어 정밀하면서 정량적인 측정이 가능하도록 하였다.

표 2.3.4 제어장치 제원

구 분	장비 제원
크 기	450(W)×500(D)×400(H)mm
전송방식	무선통신 RS-232C, 전이중 통신방식
표 시 기 능	① 물시멘트비 W/C 배합조절 가능 ② 진공펌프 압력 제어가능 ③ 주입 속도 제어가능 ④ 실시간 진공 압력 확인 ⑤ 그라우트 주입량 확인 ⑥ 실시간 주입속도 및 압력 확인

3.2 PSC교량 유지·보수용 소형장비 성능 실험

3.2.1 수직관 실험

가. 실험 목표

소형 진공그라우팅 장비의 성능 검증을 위해 진공압력에 따른 유체의 충전율 실험을 실시하였다. 또한, 공극의 부피를 측정하는 실험을 통해 유지보수용 장비로서의 성능도 확인하였다.

나. 실험체 제원

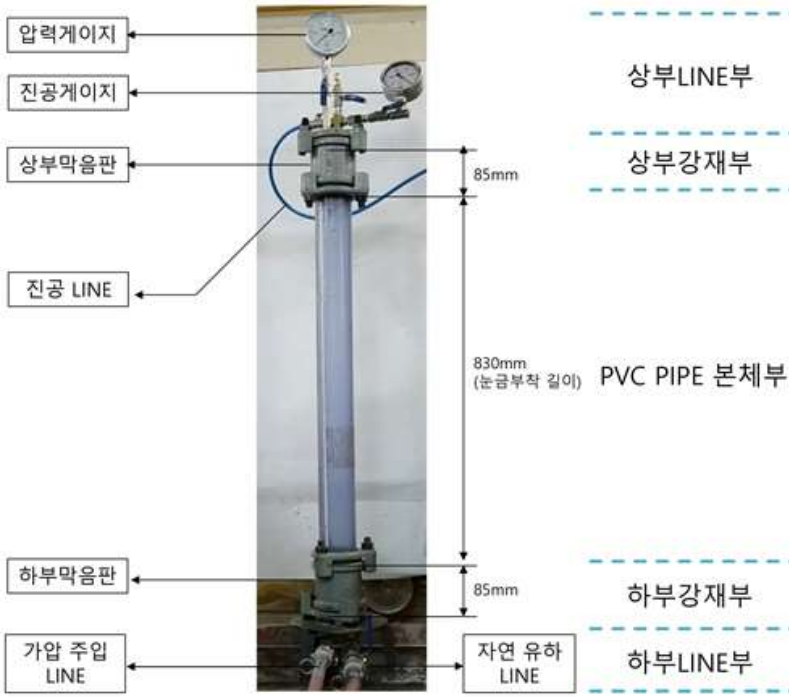


그림 2.3.3 수직관 실험체 (수직관)

수직관 실험체는 그림 2.3.3.과 같이 상부라인부, 상부강재부, 수직관 본체부, 하부강재부, 하부라인부 5개 부분으로 구성된다. 수직관인 PVC PIPE의 길이는 눈금이 부착된 830mm부분과 상 · 하부강재부에 삽입된 170mm를 포함한 총 길이는 1,000mm이며, 측정 가능한 높이는 상부강재부를 제외한 940mm이다.

나. 실험 방법

(1) 유체 주입실험

진공 그라우트 주입실험은 압력 차이에 의한 자연유하 주입방식으로 초기진공압력에 따른 주입량을 측정하여 이론값과 비교하였으며, 가압 주입방식으로 최종 PIPE

내부의 충전도를 확인하였다. 초기진공압력은 계기압력으로 -0.09MPa, -0.06MPa, -0.03MPa, 0.00MPa으로 하였다. 주입 유체는 일차적으로 실험의 용이성과 반복성을 위하여 물을 사용하였으며, 이차적으로 개발 그라우트재료(NB-CON)를 사용하였다. 자세한 실험 케이스는 표 2.3.5에 나타내었다. CASE W0~W9는 초기진공압력이 0, -0.03, -0.06, -0.09MPa에서 물 주입을, G0~G9은 같은 조건의 그라우트 주입을 의미한다.

표 2.3.5 주입 시험 CASE

사용 재료	수직관 내부 압력 (MPa)	CASE
물	-0.09	W9
	-0.06	W6
	-0.03	W3
	0	W0

사용 재료	수직관 내부 압력 (MPa)	CASE
그라우트	-0.09	G9
	-0.06	G6
	-0.03	G3
	0	G0

실험은 수직관 내부를 진공펌프를 이용하여 감압한 후 압력차 자연유하 밸브를 열어 유체(물, 그라우트)가 주입되도록 한다.

수직관에 설치된 진공게이지가 '0'에 도달할 때(수직관 내부 압력이 대기압 상태가 될 때) 주입은 중단되며 이때 주입량을 측정한다. 이후 유압을 이용하여 가압주입 방식으로 유체(물과 그라우트재)를 추가로 주입하여 최종 주입량과 주입압력을 측정한다. 측정은 PVC PIPE 내부 압력와 수직관 내부에 유입된 유체의 양을 단계별로 3회 측정하며, 실험값과 이론값을 비교한다. 주입 시에는 정확한 주입량을 확인하기 위해 각 주입 호스를 유체로 채운 상태에서 실험을 진행한다. 이론 주입 유체량은 표 2.3.6에 나타내었다.

표 2.3.6 이론 유체량

압력(MPa)	자연유하유체량(mm)	가압시 유체량(mm)	
		0.1MPa	0.15MPa
-0.09	846	893	902
-0.06	564	752	790
-0.03	282	611	677
0	0	470	564

(2) 공극부피 측정 실험

사전에 부피를 알고 있는 수직관에 대해 진공그라우팅 장비를 이용한 공극부피 측정실험을 수행하였다. 실험을 통해 산정한 공극부피는 보일-샤를 법칙을 활용한 이론치와 비교하여 측정치의 정밀도를 분석하였다. 초기 진공압력에 따른 공극부피 측정 정확도를 비교하기 위해 표 2.3.7과 같이 초기 진공압력별로 실험하였다.

표 2.3.7 부피 산출을 위한 초기 진공압력

구 분	수직관 초기 진공압력(MPa)
L9	−0.09
L6	−0.06
L3	0

다. 실험 결과

(1) 유체 주입실험

(가) 물 주입실험

초기 수직관 내부 진공압력별로 주입된 물의 양을 이론값과 비교하였다. 진공압력차에 의한 자연 유하 주입량은 표 2.3.8과 같으며, 평균 주입량은 표 2.3.9의 이론치와 비교하여 각각 +7.6%, +9.6%, +15.6%의 오차가 있었다.

표 2.3.8 자연유하에 의한 물 주입량

구 분	수직관 초기 진공압력 (MPa)	주입량(mm)				이론 비교
		Test−1	Test−2	Test−3	평 균	
W9	−0.09	912	910	909	910	+7.6 %
W6	−0.06	620	620	615	618	+9.6 %
W3	−0.03	330	330	317	326	+15.6 %
W0	0	0	0	0	0	0%

추가 가압압력은 W9 조건에서 100% 채워지는 압력인 0.1MPa로 결정하였다. 가압에 의한 최종 주입량은 표 2.3.9와 같다.

표 2.3.9 가압에 의한 최종 주입량

구 분	수직관 추가 가압압력 (MPa)	주입량(mm)				이론 비교
		Test−1	Test−2	Test−3	평 균	
W9	0.1	940	940	940	940	+5.3%
W6		785	779	755	773	+2.8%
W3		601	608	597	602	−1.5%
W0		431	440	415	429	−8.7%

동일한 압력(0.10MPa)으로 가압하는 조건에서 초기 진공압력별 주입량을 측정 분석한 결과 이론값과의 오차율은 +5.3%, +2.8%, −1.5%, −8.7%이었다.

수직관 내부 압력에 따른 물 주입량의 상관관계를 그림 2.3.4에 나타냈으며, 압력별 주입 사진을 표 2.3.10에 나타냈다.

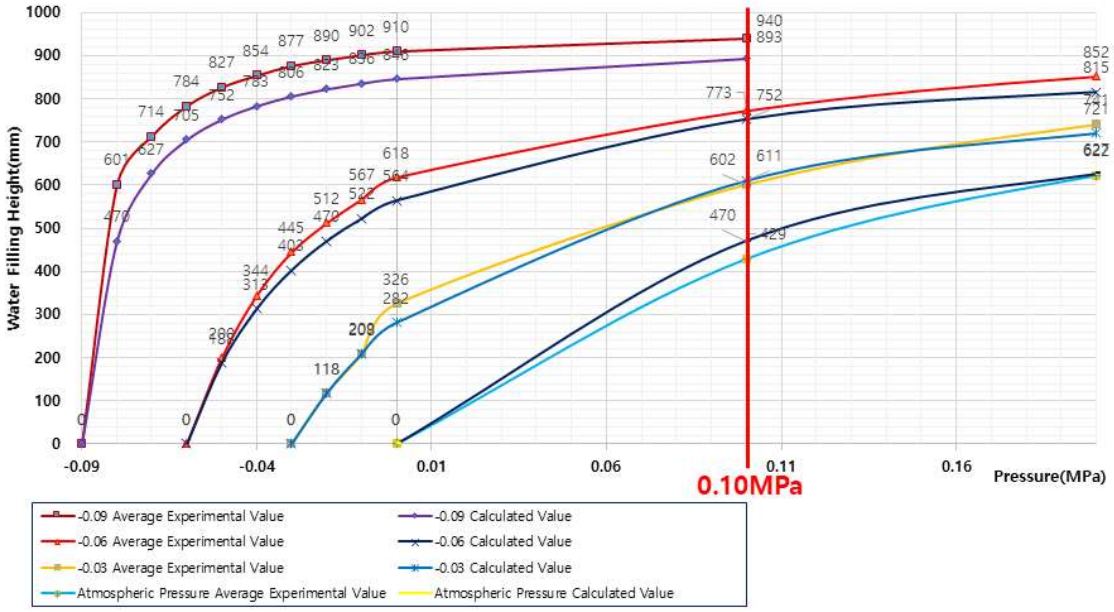


그림 2.3.4 물 주입량과 수직관 내부 압력 상관관계

표 2.3.10 압력별 물 주입 결과

구 분		초기 수직관 내부 진공압력(MPa)			
		−0.09	−0.06	−0.03	0
추가 가압압력 (MPa)	0 (자연유하)				
	0.1 (가압)				

(나) 그라우트 주입실험

초기 수직관 내부 진공압력별 주입된 그라우트의 양을 이론값과 비교하였다. 자연유하 주입량은 표 2.3.11과 같다. 압력차에 의한 자연유하 평균 주입량은 표 2.3.6의 이론치와 비교하여 자연유하에 의한 평균 주입량은 −0.09MPa에서 902mm, −0.06MPa에서 547mm, −0.03MPa에서 275mm로 이론값과 오차율은 각각 +6.6%, −3.0%, −2.5%로서 정확도가 높았다.

표 2.3.11 자연유하에 의한 그라우트 주입량

구 분	수직관 초기 진공압력(MPa)	주입량(mm)				이론 비교
		Test-1	Test-2	Test-3	평 균	
G9	-0.09	902	898	905	902	+6.6%
G6	-0.06	554	530	558	547	-3.0%
G3	-0.03	269	286	269	275	-2.5%
G0	0	0	0	0	0	0%

추가 주입압력은 G9 CASE가 100% 채워지는 조건을 기준으로 하기 위해 계기압력 0.15Mpa로 하였다. 최종 주입량은 표 2.3.12과 같다.

표 2.3.12 가압에 의한 최종 그라우트 주입량

구 분	수직관 추가 가압압력 (MPa)	주입량(mm)				이론 비교
		Test-1	Test-2	Test-3	평 균	
G9	0.15	940	940	940	940	+4.2%
G6		790	770	762	774	-2.0%
G3		623	577	585	595	-12.1%
G0		452	447	485	461	-18.2%

동일한 추가 가압압력(0.15MPa)으로 가압하는 조건에서 초기 진공압력별 주입량을 측정 분석한 결과 이론값과의 오차율은 +4.2%, -2.0%, -12.1%, -18.2% 이었다. 진공도가 낮을수록 그라우트의 주입량의 정확도가 낮은 것은 그라우트 재료의 점성에 의한 마찰의 영향으로 크기 때문으로 판단된다.

수직관 내부 압력에 따른 그라우트 주입량의 상관관계를 그림 2.3.5에 나타냈으며, 압력별 주입 사진을 표 2.3.13에 나타냈다.

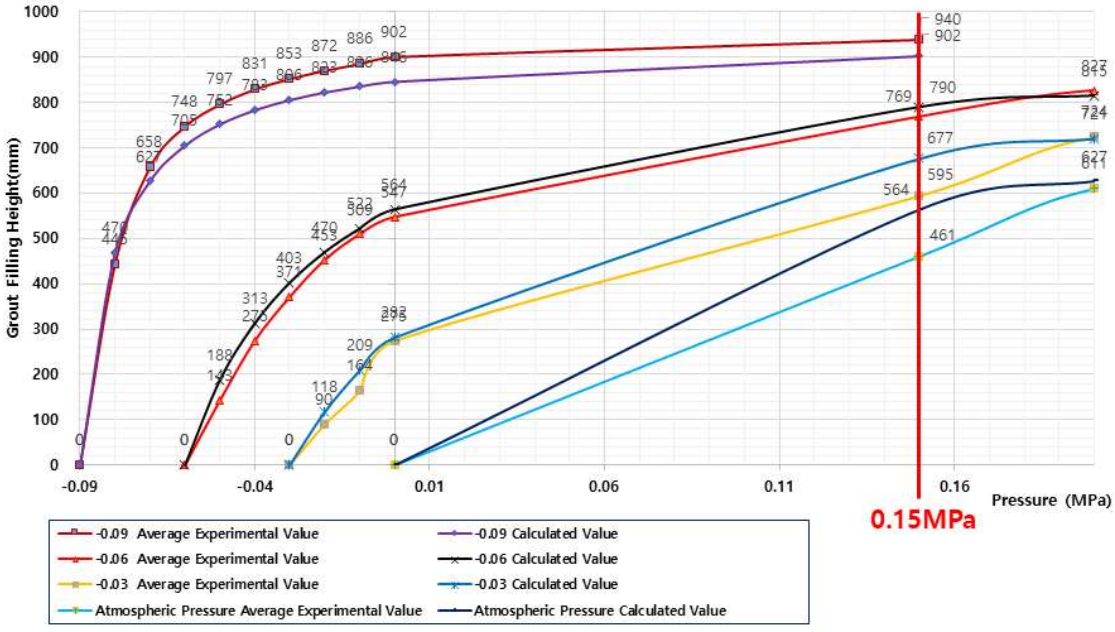


그림 2.3.5 그라우트 주입량과 수직관 내부 압력 상관관계

표 2.3.13 압력에 따른 그라우트 주입 결과

구 분		초기 수직관 내부 진공압력(MPa)			
		−0.09	−0.06	−0.03	0
추가 가압압력 (MPa)	0 (자연유하)				
	0.1 (가압)				

(2) 공극 부피 측정 평가

진공탱크의 초기 압력(P1)과 온도(T1), 수직관 내부의 압력(P2)과 온도(T2), 그리고 최종 진공탱크의 압력(P3)과 온도(T3)는 표 2.3.14과 같다.

표 2.3.14 수직관 내부의 온도 및 압력 변화량

구 분	진공탱크 초기 압력 P1 (MPa)	측정 온도(℃)			측정 압력(MPa)	
		T1	T2	T3	P2	P3
L3	−0.03	15	15	15	0.1	0.07
L6	−0.06	15	15	15	0.1	0.04
L9	−0.09	15	15	15	0.1	0.01

진공탱크 내부 진공압력별 계산된 공극 부피와 수직관의 부피를 비교한 결과는 표 2.3.15, 그림 2.3.6에 나타내었다. 초기 진공 탱크 압력이 -0.09MPa 에서는 4.88L, −0.06MPa 에서는 5.19L, −0.03MPa 에서는 5.10L로 측정되었다. 이는 수직관의 부피 4.9L와 각각 +4%, +6%, 0%의 오차를 보였다.

표 2.3.15 공극 부피 측정 결과

구 분	수직관 부피(L) ①	측정량(L) ②	증감 (①−②)	비율 (①/②)
L3	4.9	4.88	0.02	99.6%
L6		5.19	0.29	105.9%
L9		5.10	0.20	104.1%

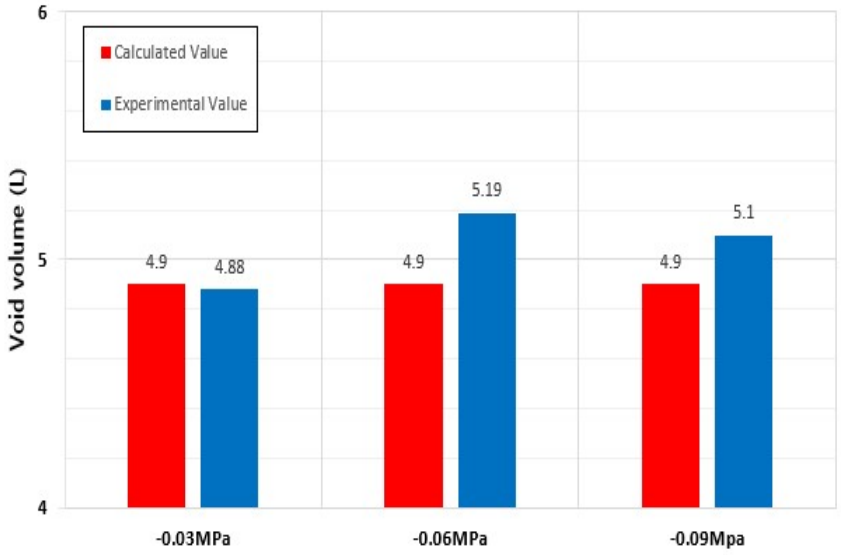


그림 2.3.6 초기 진공압력별 공극 부피 비교

(3) 실험결과

진공그라우트의 효과를 보기 위한 밀폐된 수직관의 진공그라우팅 실험결과는 다음과 같다.

(가) 진공그라우트의 압력차에 의한 자연유하방법으로 주입된 물과 그라우트량은 보일의 법칙에 의한 이론값보다 조금 많았다. 이는 물과 그라우트 내부에 공기가 갇혀 있어 그런 현상이 나타난 것으로 보인다. 그러나 전반적으로 이론값과 실험값의 추세는 일치하였으므로, 보일의 법칙을 이용하여 진공압력과 주입량의 상관관계식을 사용할 수 있는 것으로 확인하였다.

(나) 가압주입방법과 병행하여 주입한 결과, 물과 그라우트의 충실률은 초기 진공압력이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었으며, 초기 진공압력을 -0.09MPa으로 하고 추가 가압을 0.1, 0.15MPa을 한 경우 공극 없이 주입할 수 있음을 확인하였다. 이는 진공그라우트 방법을 사용하면, 낮은 주입압력으로도 현재 PSC구조물의 그라우트 최대 주입압력 2MPa 이하에서도 공극에 주입할 수 있음을 확인할 수 있었다.

(다) 진공장비를 사용하여 측정한 미 충전부 부피의 정밀도는 높았으며, 초기 진공 압력에 따른 정밀도의 차이가 크지 않았다. 따라서 실제 구조물에서 미 충전부 부피의 크기는 압력에만 영향이 있고 정밀도에는 영향이 없으므로 현재의 진공탱크의 부피로 측정이 가능함을 확인할 수 있었다.

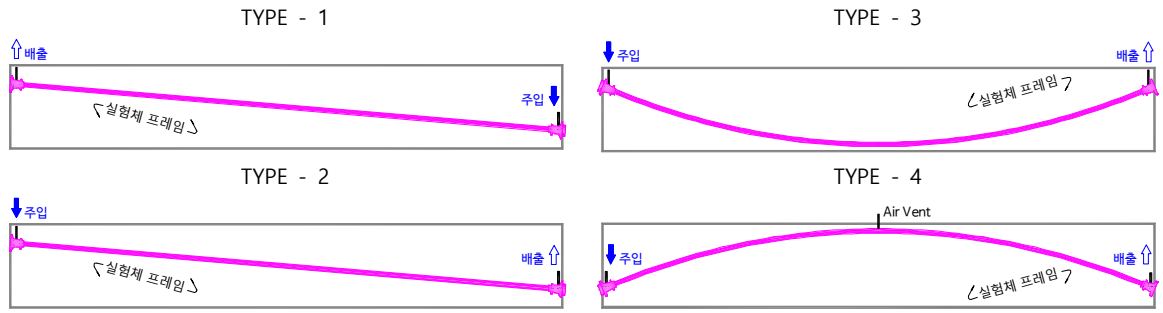
3.2.2 공극부 충전 실험

가. 실험 목표

유지보수 시 공극부의 그라우트 재주입 작업은 쉬스관 내부의 상태와 현장여건에 따라 선형과 에어벤트의 설치 가능 여부가 크게 다를 수 있다. 따라서, 여러 가지 조건에 따른 충전율 실험은 통해 가장 적합한 주입방법을 확인하고자 한다.

나. 실험체 제원

실험체 길이 4m, 투명관 직경 800mm로 하였으며, 투명관 선형을 그림 2.3.7과 같이 직선관과 곡선관으로 제작하였다.



a) 실험체 개요도



b) 실험체 전경

그림 2.3.7 실험체 개요도 및 전경

다. 실험 방법

반복 실험을 하기 위해 일차적으로 물을 재료로 하여 실험한 후 불리한 경우를 선정하여 그라우트 재료를 이용하여 실험하였다.

실험은 ① 그라우팅 방법, ② 주입구 및 배출구의 에어벤트 유무, ③ 가압주입 여부를 변수로 하였으며, 실험 CASE는 표 2.3.16과 같다.

(1) 그라우팅 방법

표 2.3.16 소형장비 충전실험 CASE

TYPE	주입재료	사용시스템	에어벤트 유무		가압여부	CASE
			주입구측	배출구측		
TYPE-1	물	일반	O	O	O	T1-WO1
			O	X	O	T1-WO2
			X	O	O	T1-WO3
		진공	O	O	O	T1-WV1
			O	X	X	T1-WV2
			X	O	X	T1-WV3
			X	X	O	T1-WV4
			X	X	X	T1-WV5
	그라우트	일반	X	X	O	T1-GO4
		진공	X	X	O	T1-GV4
TYPE-2	물	일반	O	O	O	T2-WO1
			O	X	O	T2-WO2
			X	O	O	T2-WO3
		진공	O	O	O	T2-WV1
			O	X	X	T2-WV2
			X	O	X	T2-WV3
			X	X	O	T2-WV4
			X	X	X	T2-WV5
TYPE-3	물	일반	O	O	O	T3-WO1
			O	X	O	T3-WO2
			X	O	O	T3-WO3
		진공	O	O	O	T3-WV1
			O	X	X	T3-WV2
			X	O	X	T3-WV3
			X	X	O	T3-WV4
			X	X	X	T3-WV5
	그라우트	일반	X	X	O	T3-GO4
		진공	X	X	O	T3-GV4
TYPE-4	물	일반	O	O(중앙)	O	T4-WO1
			O	X(중앙)	O	T4-WO2
		진공	X	O(중앙)	O	T4-WV1
			X	X(중앙)	O	T4-WV2
			X	X(중앙)	O	T4-WV3

라. 실험 결과

물과 그라우트 재료로 실험한 결과는 표 2.3.17에서 2.3.18에 나타냈으며, 대표적인 사진은 그림 2.3.8, 2.3.9에 나타내었다.

표 2.3.17 물 주입 결과

CASE	충전결과	CASE	충전결과
T1-WO1	충전완료	T3-WO1	공극발생
T1-WO2	공극발생	T3-WO2	공극발생
T1-WO3	공극발생	T3-WO3	공극발생
T1-WV1	충전완료	T3-WV1	충전완료
T1-WV2	충전완료	T3-WV2	공극발생
T1-WV3	충전완료	T3-WV3	충전완료
T1-WV4	공극발생	T3-WV4	공극발생
T1-WV5	충전완료	T3-WV5	충전완료
T2-WO1	충전완료	T4-WO1	충전완료
T2-WO2	충전완료	T4-WO2	공극발생
T2-WO3	공극발생	T4-WV1	충전완료
T2-WV1	충전완료	T4-WV2	충전완료
T2-WV2	충전완료	T4-WV3	충전완료
T2-WV3	충전완료		
T2-WV4	공극발생		
T2-WV5	충전완료		

표 2.3.18 그라우트 주입 결과

CASE	충전결과	CASE	충전결과
T1-GO4	공극발생	T3-GO4	공극발생
T1-VO4	충전완료	T3-GV4	충전완료



a) 공극 발생　　b) 충전 완료

그림 2.3.8 물주입시 비교



a) 공극 발생



b) 충전 완료

그림 2.3.9 그라우트 비교

물을 재료로 충전 실험한 결과, 일반그라우팅 방법을 사용할 경우 모든 선형에서 주입구 및 배출구 중 한 곳이라도 에어벤트가 없으면 공극이 발생하였다. 그러나 진공그라우팅 방법을 사용하면 에어벤트가 있으면 압력차에 의한 자연유하방법으로 공극 없이 충전이 되었으며, 에어벤트가 없더라도 가압주입을 병행하면 밀실한 충전이 가능하였다. 그라우트 재료를 사용한 실험결과도 진공그라우팅 방법을 사용하면서 가압주입을 병행하면 밀실한 충전이 가능하였다. 따라서 에어벤트를 적절한 위치에 설치할 수 없는 여건이 되는 유지보수 시 공극부 재주입 그라우팅은 반드시 진공그라우팅 방법을 적용해야 함을 확인할 수 있었다.

3.2.3 미세관 충전실험

가. 실험 목표

유지보수 시 공극의 재주입 그라우팅은 쉬스관 내부의 미세한 공극에 주입되어야 하므로 점성 및 선형에 따라 충전율 차이가 발생할 수 있다. 따라서 개발한 그라우트 재료를 사용하여 진공그라우팅 방법으로 주입할 경우 미세관 통과 여부를 확인하였다.

나. 실험체 제원

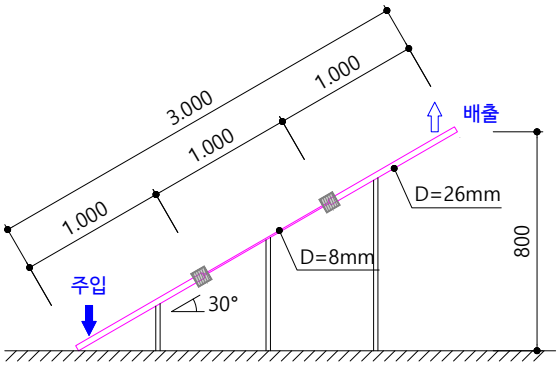
(1) 실험 조건

표 2.3.19 미세관 실험 조건

구 분	실험 조건	비 고
대기온도	25℃	
수직관	∅26mm, ∅8mm	
배합시간	3분	
그라우트 재료	물, NB-CON	W/C : 42%

(2) 실험체

실험체는 전체 길이 3m(상부, 하부 각각 ∅26mm×1.0m, 중간 : ∅8mm×1.0m)의 투명관을 4set 설치하였으며, 상세한 도면은 그림 2.3.10에 나타내었다.



a) 실험체 개요도



b) 실험체 전경

그림 2.3.10 미세관 실험 제원

나. 실험 방법

실험방법은 배출구에서 진공장치로 투명관을 진공상태(−0.09MPa)를 유지한 상태에서 주입구를 통해 물과 그라우트 재료를 주입시키면서 미세관의 통과를 육안으로 확인하였다.

다. 실험 결과

(1) 물을 이용한 실험

물을 이용한 주입실험 결과 모두 미세관을 통과하였으며, 추가 가압은 필요하지 않았다. 이는 물과 같은 저점성 유체이면 압력차에 의한 자연유하 방법으로 미세관을 통과할 수 있음을 확인하였다. 실험결과를 표2.3.20에 나타내었다.

표 2.3.20 물을 이용한 미세관 실험 결과

주입구	미세관	배출구
		

(2) 그라우트 재료를 이용한 실험

그라우트 재료를 이용한 주입실험 결과 추가 가압하지 않은 상태에서도 미세관을 통과하여 상부관이 모두 충전되었다. 실험결과는 표2.3.21에 나타내었다.

표 2.3.21 믹스 직후 그라우트 재료를 이용한 미세관 실험

주입구	미세관	배출구
		

따라서, 진공그라우팅 방법을 사용하고 개발한 그라우트 재료(NB-CON)를 사용하면 물시멘트비(W/C) 42%로 배합하여도 미세한 공극을 통과할 수 있으므로 유지보수시 재주입 그라우팅할 수 있음을 확인하였다. 단, 그라우트 주입 실험 중 4개의 실험체 중 3개의 실험체는 연결부가 파손되어 1개의 실험체만 실험을 하였다.

3.2.4 소형장비 개발 소결

소형 진공그라우팅 장비의 성능은 수직관실험, 충전실험, 미세관 충전실험을 통해 확인할 수 있었다.

수직관 실험을 통해 -0.09MPa의 진공압력에 의한 압력차 자연유하방법과 0.15MP의 가압으로 공극을 밀실하게 주입할 수 있음을 확인하였으며, 진공탱크를 이용하여 공극의 부피를 측정할 수 있었다. 충전실험을 통해 에어벤트의 설치 유무에 따른 충전률을 확인한 결과 현장 여건상 적절한 에어벤트가 설치할 수 없는 공극에 대한 재 그라우팅에는 진공그라우팅이 반드시 필요함을 확인하였다.

미세관실험을 통해서 개발된 그라우트 재료의 점성과 진공그라우팅 방법으로 공극과 같은 미세한 공간의 그라우트 주입이 가능함을 확인하였다.

따라서, 현재 국내의 공용 중인 PSC교량의 공극 조사가 이루어지면 공극 재주입 그라우팅을 위한 사업 확장성이 높을 것으로 기대된다.

4. 제어시스템 및 IoT(사물인터넷) 시스템 구축

4.1 개요

시공용 및 유지보수용 진공그라우팅 장비는 작업자의 숙련도에 따른 작업을 탈피하여, 일관된 작업이 될 수 있도록 모든 작업을 제어할 수 있는 시스템을 갖추었으며, 모든 작업 상태를 모니터링 할 수 있는 IoT(사물인터넷) 시스템을 구축하였다. 이로 인해 체계적이며 일관된 품질관리가 가능해졌을 뿐 아니라, 모든 제어를 모바일로 가능하게 하여 그라우팅 작업의 투입되는 작업자를 줄일 수 있는 경제적인 효과도 기대할 수 있게 되었다.

4.2 시스템 구성도

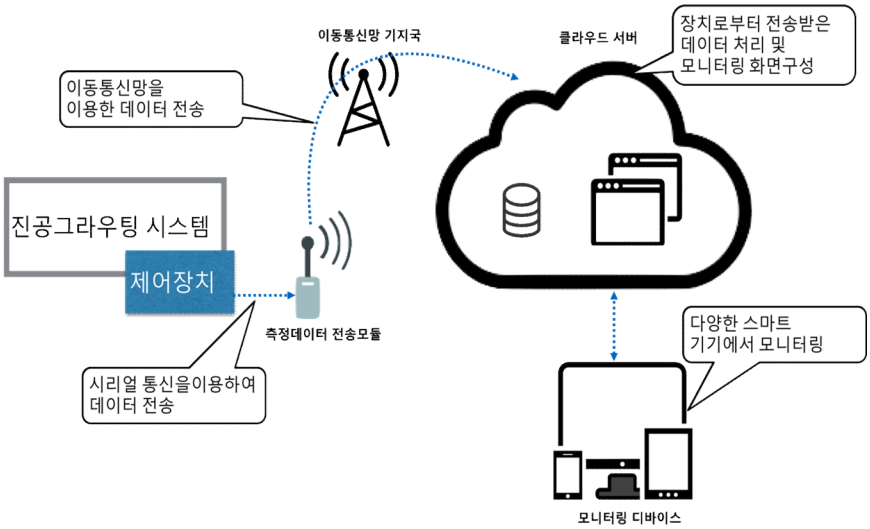


그림 2.4.1 무선제어 및 모니터링 시스템 구성 개념도

진공그라우팅 시스템 장비의 제어장치 내 별도의 IoT 기계를 제작, 연결하여 데이터를 클라우드 서버로 전송하게 된다. 장치로부터 전송받은 데이터 처리 등 Computing이 클라우드 서버내에서 이루어지며 처리된 데이터는 인터넷 연결망을 통해 스마트기기로 전송되고 이때의 정보를 모니터링 할 수 있다. 진공그라우팅 시스템 장비의 제어를 위해서 스마트기기에서 원하는 항목의 제어값을 입력하면 클라우드 서버를 통하여 진공그라우팅 시스템 장비의 제어장치 내 IoT 기계를 통해 전달되어 작동되는 원리이다.

4.3 시스템 구성 요소

가. IoT 모듈

이동 통신망을 이용하여 진공그라우팅 시스템 주 제어판(Main Controller)에서 받은 정보를 모니터링 서버로 전달하는 역할을 한다. 주 제어판에서 상시 전원을 공급받아 상시 통신이 가능한 상태를 유지한다. RS-485와 RS-232 시리얼 Interface로 접속하고,

외부 원격 서버와는 UMTS/HSDPA 무선 DATA망으로 접속하여 SMS 수신 및 무선 데이터 통신 (TCP/IP Packet) 기능을 지원하도록 설계된 단말장치이다.

(1) IoT 모듈의 기능

진공그라우팅을 하기 위한 장비 가동 시, 데이터 수신기능 및 외부 서버 데이터 송신기능이 있다.

(2) RJ-45 Port

RJ-45 Port는 외부장치 연결을 위한 2개의 RS-232 신호 인터페이스를 제공하며, Rain-Fall 3 (Option) 인터페이스를 제공한다.

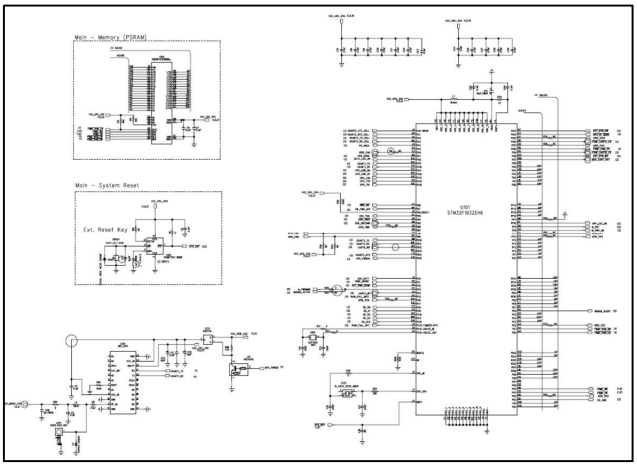


그림 2.4.2 IoT 모듈 회로도

(3) DC Power Input Port

일반 상전으로부터 AC/DC Adapter (기본 액세서리 제공) 를 통해 DC 5V/3A 전압을 인가하도록 설계되었다. Power Input Port는 신뢰성과 안정성을 위해 locking 기능이 있는 커넥터를 채용하여 착탈이 용이하고 유동성이 있는 사용처에서도 이탈을 방지할 수 있다. AC/DC 전원 Adapter는 액세서리 구성품으로 제공되는 제품을 반드시 사용하여야 한다.

(4) CELL Antenna

CELL Antenna는 WCDMA RF Interface를 제공하기 위한 커넥터로 Standard SMA (Female) 형식을 사용한다.

(5) USIM Socket

WCDMA 이동통신 사업자 망을 사용함을 전제로 해당 사업자의 인증이 완료된 6pin USIM Socket Interface를 제공합니다. Socket에 USIM 카드를 삽입하거나 제거할 경우 Socket에 쓰인 문구를 참조하여 Socket이 없어지지 않도록 주의하여야 한다.



a) RJ-45 Port b) DC Power Input Port c) CELL Antenna d) USIM Socket

그림 2.4.3 시스템 구성요소 사진 (하드웨어)

나. 서버

HTTP 서버를 구축하여 IoT 모듈에서 HTTP POST를 통해 데이터를 전달받아 데이터베이스를 갱신하고 모니터링 웹 페이지를 구성한다.

(1) 서버 구축

서버는 클라우드 서버를 이용한다. 클라우드 시스템에 리눅스를 구성하고 클라우드 제공 데이터베이스를 구성한다. 아마존 웹서비스(AWS)를 이용 하였으며 아래 그림 2.4.4는 EC2 대시보드와 터미널에서 접속한 콘솔이다.

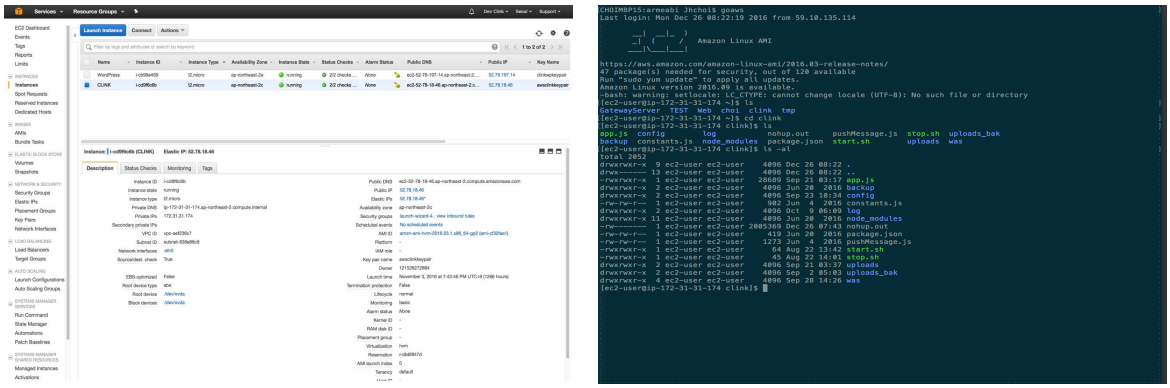


그림 2.4.4 EC2 대시보드 및 터미널 접속 콘솔

(2) AWS DATA BASE

MySQL을 이용하여 DB를 구성하며 다음 그림 2.4.5은 AWS RDS 정보 화면이다.

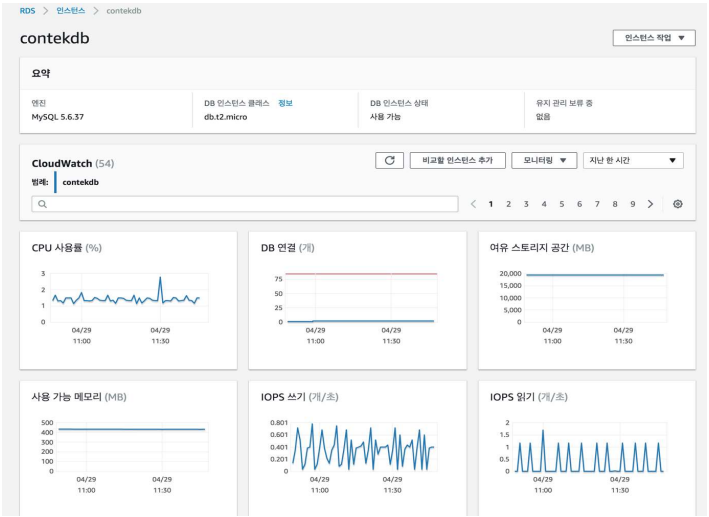
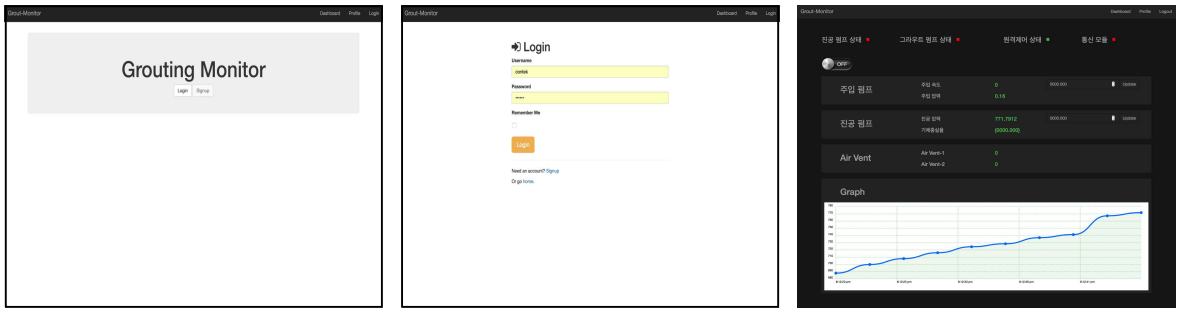


그림 2.4.5 AWS RDS

다. 기본 구성 화면

화면 구성은 크게 초기 화면, 로그인 화면, 모니터링 화면(대쉬보드)으로 구성되고 그 외에 가입화면, 프로파일 화면으로 구성된다. 대시보드에서는 시스템의 상태 정보, 실시간 모니터링되면 주입펌프의 속도 및 압력, 진공펌프의 압력을 표시하고 진공압력의 경우는 그래프로도 표시한다. 또한, 사용자가 주입속도와 진공압력을 설정하고 동작의 시작과 중지 명령을 주 제어판으로 내릴 수 있도록 하였다.



a) 초기 화면 b) 로그인 화면 c) 모니터링 및 제어 화면

그림 2.4.6 기본 구성 화면 (휴대폰, PC 각각)

5. PSC 그라우트 재료 개발

5.1 개요

가. 개발 필요성

1차년도의 실험[2.2 PSC교량 시공용 진공그라우팅 장비 성능실험] 결과 모든 실험체의 공극 발생은 그라우팅 시공방법 및 장비의 문제가 아니라 사용재료의 블리딩 발생이 주요 요인임을 확인하였다. 이를 통해 쉬스관에 공극이 없도록 그라우트를 주입하기 위해서는 진공 그라우팅 장비와 같은 하드웨어적인 개발에 앞서 그라우트 재료의 개발이 필요함을 확인할 수 있었다. 따라서, 연구개발 계획에 포함되어 있지 않던 그라우트 재료개발을 수행하게 되었다.

나. 국내 그라우트 재료 현황

현재 사용되고 있는 PSC 구조물의 그라우트는 대부분 물-시멘트비가 약 40%대로 비교적 높고, 가스를 발생시키는 금속성 팽창재의 다량 사용으로 블리딩 발생 가능성이 크고 품질관리가 어려운 것으로 알려져 있다. 특히 실내실험 결과 강연선이 설치되는 PSC구조물은 소선간 모세관 현상으로 블리딩이 촉진되어 블리딩이 크게 발생되고 있으며, 이러한 블리딩은 공극의 원인이 되고 있다.

(1) 그라우트 재료 관련 규정

해외의 경우 그라우트 재료와 관련된 상기의 문제점을 개선하기 위해 90년대 후반부터 관련 규정에 대해 여러 번의 재개정이 되고 있었으나, 국내는 80년대 PSC 교량이 도입되면서 제정되었던 규정의 개정이 없었다.

그러나, 최근 정릉천고가교 사고 이후 관련 규정의 제정 및 개정이 이루어지고 있다. 2019년 현재까지 개정 또는 제정된 규정으로는 한국콘크리트학회에서 2017년에 해외 수준(ISO 14824)의 KCI-PS102 지침 제정으로 그라우트 품질 실험기준을 도입하였으며, 이를 기본으로 도로교 표준시방서 및 콘크리트 표준시방서도 현재 재개정 중이다. 표 2.5.1에 국내 그라우트 품질기준과 표 2.5.2에 해외 그라우트 품질기준을 나타내었다.

표 2.5.1 국내 그라우트 품질기준 비교

항목		콘크리트표준시방서	KCI-PS102 (2017)
유동성	유하 시간	실험에 의해 정함	· 배합직후 : t0 ≤ 25초 · 배합후30분경과 : 1.2t0≥t30≥0.8t0 그리고 t30 ≤ 25초
	플로	-	· 배합직후 : a0≥140mm · 배합후30분경과 : 1.2a0≥a30≥0.8a0 그리고 a30≤ 140mm
체거름시험		-	
응결시간		-	
블리딩률	수직관	0%(20시간)	0.3% 이하, 3시간
	경사관	-	0.3% 이하, 3시간
	압력법	-	
팽창률		-0.5~0.5%(비팽창성), 0~10%(팽창성)	-1~+5%, 24시간
압축강도		≥30MPa(비팽창성), ≥20MPa(팽창성)	≥27MPa(7일), ≥30MPa(28일)
염화물이온 함유량		단위시멘트량의 0.08% 이하	단위시멘트량의 0.08% 이하

표 2.5.2 해외 그라우트 품질기준 비교

항목		미국	일본	유럽
		PTI, AASHTO	콘크리트표준시방서 (2013)	BS EN 445&447 ISO 14824
유동성	유하 시간	· 배합직후 : 5~30초 · 배합후30분경과 : 5~30초	고점도, 고점도-저점도, 저점도, 초저점도	25초(cone 방법) $1.2t_0 \geq t_{30} \geq 0.8t_0$ and $a_{30} \leq 140$mm
	플로	-	-	140mm(플로방법) $1.2a_0 \geq a_{30}$ and $a_{30} \leq 140$ mm
체거름시험		-	-	2mm 이하 모두 통과
응결시간		3 ~ 12시간	-	초결≥3시간 종결≤24시간
블리딩률	수직관	0%(3시간)	0%	0.3%(3시간)
	경사관	-	-	0.3%(3시간)
	압력법	· Schupack bleeding: 4%(140kPa) 2%(220kPa) 0%(360kPa) 0%(720kPa)	-	-
팽창률		0.0~0.1%(24시간) 0~0.2%(28일)	-0.5~0.5%(수직관시험)	-1~5%(24시간)
압축강도		≥21MPa(7일) ≥30MPa(28일)	≥30MPa(28일)	≥27MPa(7일) ≥30MPa(28일)
염화물이온 함유량		그라우트 중량의 0.08% 이하	· 일반 그라우트 : 시멘트 질량의 0.08%이하 · 프리믹싱 그라우트 : 0.30kg/m^3 이하	시멘트 중량의 0.1% 이하

(2) 그라우트 재료개발 현황

국내에서 정릉천고가교 사고 이후 그라우트 재료에 대한 개발이 산업계에서 이루어지고 있다. 현재 조사된 바에 의하면, 건설기술연구원에서 혼화재 배합비 조정을 통한 고품질 그라우트 재료를 개발하였으며, 외국계열 회사들이 혼화재 타입의 논블리딩 재료를 판매하고 있으나, 관련 규정이 개정되지 않아 본격적인 양산체제를 갖추고 있지 않은 실정이다.

다. 그라우트 재료개발 (NB-CON)

우리사는 해외수준(ISO 14824)으로 개정되고 있는 국내 관련 규정에 적합한 고품질 그라우트 재료를 개발하였다. 주요 특징은 물-시멘트비를 유지하여 유동성을 확보하면서도 블리딩이 발생하지 않도록 혼화재를 사용하며, 현장의 시공 변수에 영향을 받지 않도록 프리팩으로 생산하였다.

개념도는 그림 2.5.1에 나타내었으며, 주요 제원은 표 2.5.3에 나타내었다.

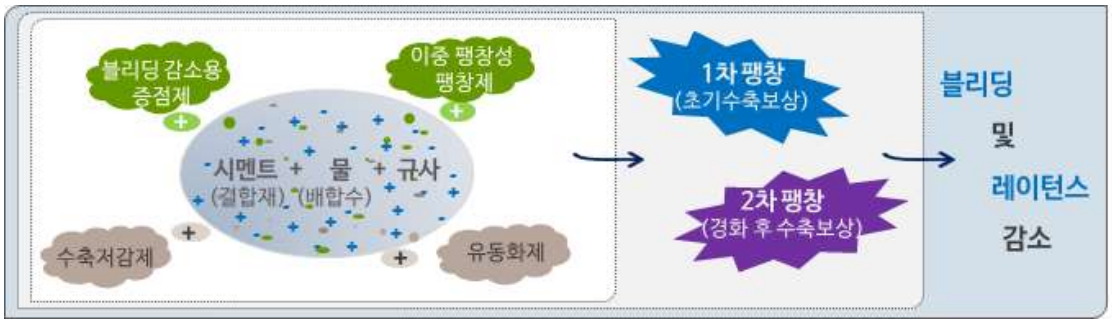


그림 2.5.1 개발 그라우트 재료 (NB-CON) 개념도

표 2.5.3 개발 그라우트 재료 제품사양

구 분	제품사양
포 장	25g/Bag(종이+비닐포장)
응결시간	초결 : 3시간, 종결 : 19시간
압축강도	재령 7일 : 32.7MPa, 재령28 : 40.8MPa
블리딩	수직관 : 0%
체적변화	수직관 : +1.2%

5.2 PSC 그라우트 재료 실험

가. 실험 목표

현재 국내에서 가장 많이 사용하고 있는 금속성 혼화재와 논블리딩 혼화재로 개발된 타사 제품, 우리사가 개발한 그라우트 재료(NB-CON)에 대해 주요 실험항목인 블리딩 및 팽창률, 유동성 실험을 수행하였다. 또한, 압축강도와 염화물 함유량 실험을 포함하여 국내 공인 시험기관에 의뢰하여 실험하였으며, 시험 성적서를 그림 2.5.7에 첨부하였다.

나. 실험 방법

(1) 실험 조건

서울과학기술대학 실험실에서 수행하였으며, 실험 조건은 표 2.5.4에 나타내었다.

표 2.5.4 혼화재에 따른 블리딩, 플로 실험 조건

구 분	실험 조건	구 분	실험 조건
대기온도	32℃	배합시간	3분
실내온도	29℃	30분 후 추가 배합시간	1분
습도	50%	배합 방법	전동 믹서 드릴 사용

(2) 실험 CASE

실험재료는 현재 대부분이 현장에서 사용하고 있는 혼화재인 금속성 팽창재(S사)를 사용한 경우와 논블리딩 혼화재로 개발된 혼화재 (A사, B사)를 사용한 경우, 그리고 개발한 제품(C사)을 사용하는 경우 총 4개의 CASE로 실험하였다.

표 2.5.5 혼화재배합표

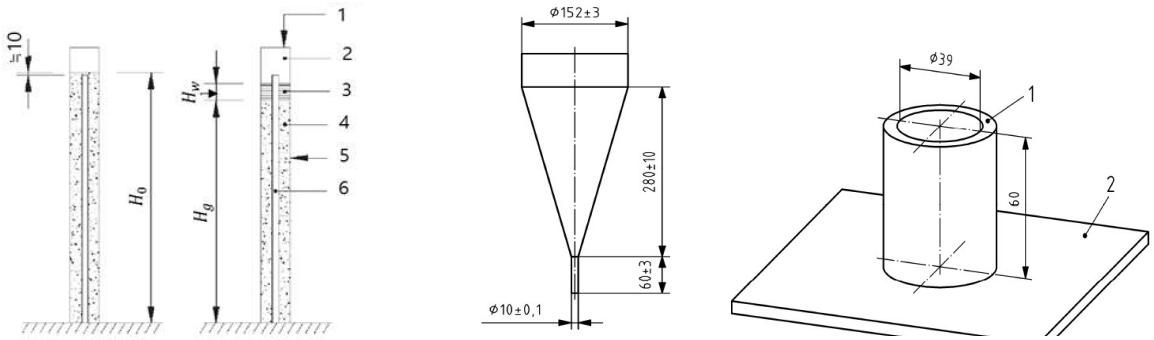
구 분	배합 조건 (%)		혼화재 특징
	W/C	혼화재	
CASE-1	42	1.0 (S사)	금속성 팽창제
CASE-2	35	1.2 (A사)	논블리딩 혼화재
CASE-3	31	1.0 (B사)	논블리딩 혼화재
CASE-4	42	프리팩(C사)	NB-CON

(3) 실험 방법

KCI-PS102 규정에 따른 블리딩률 및 팽창률, 유동성에 대해 실험을 수행하였다. 실험 방법은 표 2.5.6에 나타냈다.

표 2.5.6 실험 방법

측정 항목	사용 재료	제원	비고	설계 기준
블리딩 및 팽창률	투명실린더	1.0m (내경 60mm)	그라우트 900mm 채움	3시간동안 0.0%
	강연선	1.2m (7연선)		
	고정방법	덮개 및 실리콘		
유동성	유하측정 콘	ISO규격	1L 채움시간 측정	30초 동안 재비빔, 30분 경과 30초 이내
	플로측정 용기	ISO규격 60mm(내경 39mm)		



a) 블리딩 및 팽창률 b) 유하시간 측정 c) 플로 측정

그림 2.5.2 그라우트 재료 시험 기구



a) 블리딩 및 체적변화율 b) 유하시간 측정 c) 플로 측정

그림 2.5.3 그라우트 재료 시험

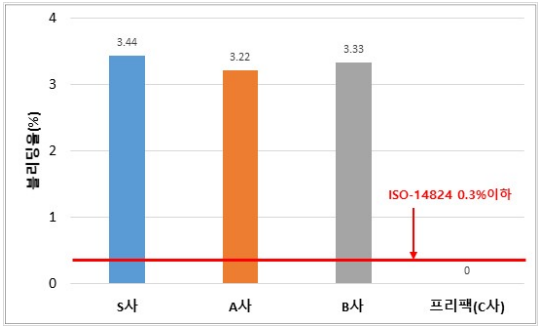
다. 실험 결과

(1) 블리딩률 및 팽창률

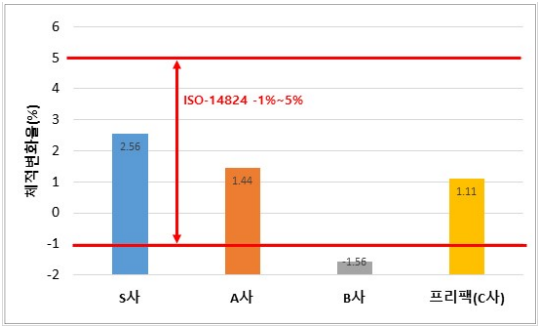
실험결과 블리딩률은 배합 3시간 후 각각 3.44%, 3.22%, 3.33%, 0%이며, 팽창률은 2.56%, 1.44%, −1.56%, 1.11%이었다. 블리딩률과 팽창률 모두 기준에 만족하는 경우는 CASE−4가 유일했다. 상세한 결과를 표 2.5.7와 그림 2.5.4에 나타내었다.

표 2.5.7 블리딩률 및 팽창률 실험 결과

구 분	CASE-1		CASE-2		CASE-3		CASE-4	
블리딩률								
	3.44%	N.G	3.22%	N.G	3.33%	N.G	0%	O.K
팽창률	2.56%	O.K	1.44%	O.K	-1.56%	N.G	1.11%	O.K



a) 블리딩율 결과



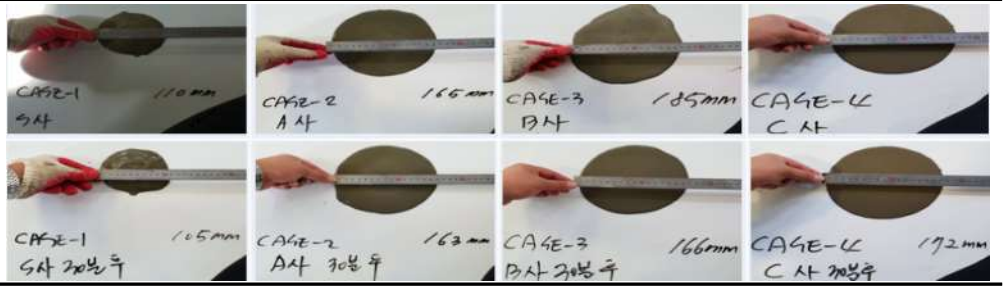
b) 팽창률 결과

그림 2.5.4 블리딩률, 팽창률 실험 결과 비교

(2) 유동성 실험

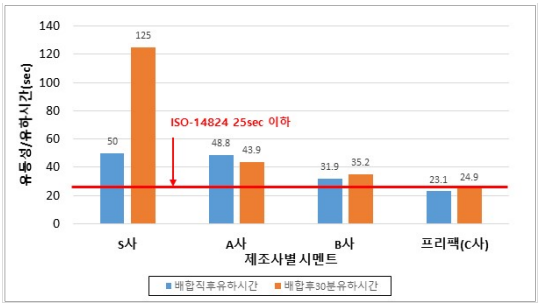
유동성 실험 결과 유하시간은 CASE-4만 만족하였고 플로실험은 CASE-2,3,4가 만족하였다. 실험결과는 표 2.5.8와 그림 2.5.5에 나타내었다.

표 2.5.8 플로 실험 결과

측정 항목	CASE-1		CASE-2		CASE-3		CASE-4	
	배합직후	30분경과	배합직후	30분경과	배합직후	30분경과	배합직후	30분경과
유하시간	50.0	125.0	48.8	43.9	31.9	35.2	23.1	24.9
	N.G	N.G	N.G	N.G	N.G	N.G	O.K	O.K
플로	110	105	165	163	185	166	172	172
	N.G	N.G	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
실험 결과 사진								



a) 유동성-플로



b) 유동성-유하시간

그림 2.5.5 KCI-PS102 적용 실험결과 비교 그래프 – 유동성

(3) 실험결과

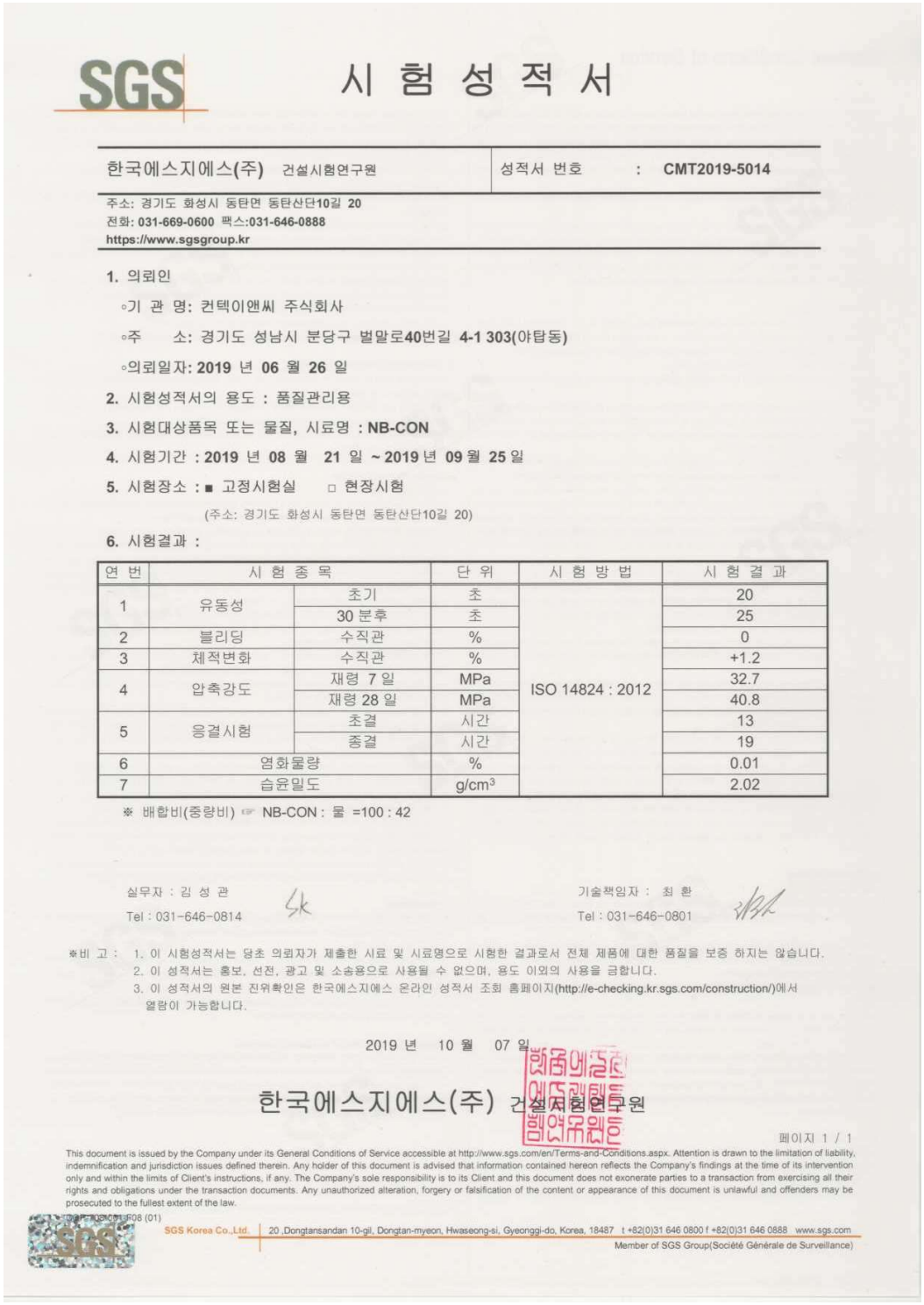
ISO 14824, KCI-PS102 실험규정에 의해 블리딩률 및 팽창률과 유동성 실험을 한 결과, 기존에 사용한 혼화재와 배합비인 경우 모든 조건을 만족하지 못하였고, 혼화재 계열로 개발된 타사 논블리딩 제품도 규정에 만족하지 못하였다.

이런 결과는 혼화재 형태로 사용할 경우 배합 조건에 따라 결과가 크게 차이가 발생할 수 있음을 확인할 수 있었다. 결국 규정을 충족하는 경우는 프리팩 타입으로 개발한 그라우트 재료(NB-CON)를 사용한 CASE-4가 유일했다.

추가적으로 국내 공인인증기관에 실험을 의뢰하여 ISO 14824 규정에 적합한 품질 보증을 받았다.(한국SGS 건설시험연구원, 2019.10.07.)

표 2.5.9 제품 성능 실험 결과

측정 항목			품질기준 (ISO 14824)	실험결과		비고
				자체	공인기관	
블리딩률(수직관)			0.3%이하, 3시간	0%	0%	O.K
체적변화률(수직관)			-1~5%, 24시간	1.1%	1.2%	O.K
염화물량			단위 시멘트량의 0.08%이하	-	0.01%	O.K
압축강도		재령7일	≥27MPa		32.7	O.K
		재령28일	≥30MPa		40.8	O.K
유동성	플로우	배합직후	$a_0 \geq$ 140mm	172mm		O.K
		30분경과	$1.2a_0 \geq a_{03} \geq 0.8a_0$ 그리고, $a_{30} \geq$ 140mm	172mm		O.K
	유하시간	배합직후	t0≤25초	23.11초	20초	O.K
		30분경과	$1.2t_0 \geq t_{30} \geq 0.8t_0$ 그리고, $t_{30} \leq$ 25초	24.93초	25초	O.K



SGS

시 험 성 적 서

한국에스지에스(주) 건설시험연구원	성적서 번호 : CMT2019-5014

주소: 경기도 화성시 동탄면 동탄산단10길 20
전화: 031-669-0600 팩스:031-646-0888
https://www.sgsgroup.kr

1. 의뢰인
   - ◦기 관 명: 컨텍이앤씨 주식회사
   - ◦주 소: 경기도 성남시 분당구 벌말로40번길 4-1 303(야탑동)
   - ◦의뢰일자: 2019 년 06 월 26 일
2. 시험성적서의 용도 : 품질관리용
3. 시험대상품목 또는 물질, 시료명 : NB-CON
4. 시험기간 : 2019 년 08 월 21 일 ~ 2019 년 09 월 25 일
5. 시험장소 : ■ 고정시험실 □ 현장시험
   (주소: 경기도 화성시 동탄면 동탄산단10길 20)
6. 시험결과 :

연 번	시 험 종 목		단 위	시 험 방 법	시 험 결 과
1	유동성	초기	초	ISO 14824 : 2012	20
		30 분후	초		25
2	블리딩	수직관	%		0
3	체적변화	수직관	%		+1.2
4	압축강도	재령 7 일	MPa		32.7
		재령 28 일	MPa		40.8
5	응결시험	초결	시간		13
		종결	시간		19
6	염화물량		%		0.01
7	습윤밀도		g/cm³		2.02

※ 배합비(중량비) ☞ NB-CON : 물 =100 : 42

실무자 : 김 성 관 Tel : 031-646-0814

기술책임자 : 최 환 Tel : 031-646-0801

※비 고 : 1. 이 시험성적서는 당초 의뢰자가 제출한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증 하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서의 원본 진위확인은 한국에스지에스 온라인 성적서 조회 홈페이지(http://e-checking.kr.sgs.com/construction/)에서 열람이 가능합니다.

2019 년 10 월 07 일

한국에스지에스(주) 건설시험연구원

This document is issued by the Company under its General Conditions of Service accessible at http://www.sgs.com/en/Terms-and-Conditions.aspx. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

SGS Korea Co.,Ltd. 20 ,Dongtansandan 10-gil, Dongtan-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi-do, Korea, 18487 t +82(0)31 646 0800 f +82(0)31 646 0888 www.sgs.com
Member of SGS Group(Société Générale de Surveillance)

그림 2.5.6 재료 시험 성적서

5.3 그라우트 재료 실외 실험

가. 실험 목표

실제 구조물과 유사한 선형을 가진 실험체에서 블리딩, 공극면적률 및 충전률을 확인하여 개발한 그라우트 재료에 대한 성능을 확인하였다.

나. 실험 방법

(1) 실험체

실험체는 길이 12.0m 높이 1.4m의 투명관에 일반그라우팅 방법으로 주입하였다.

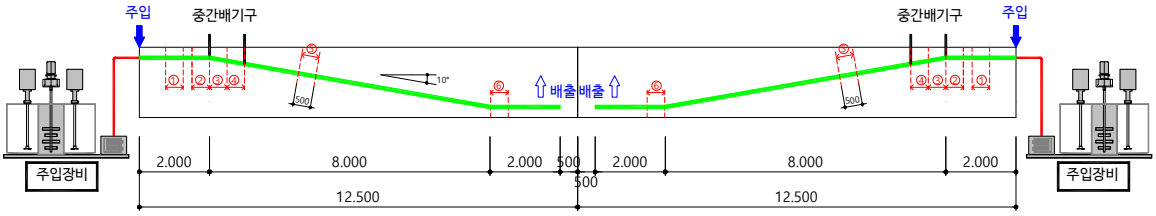


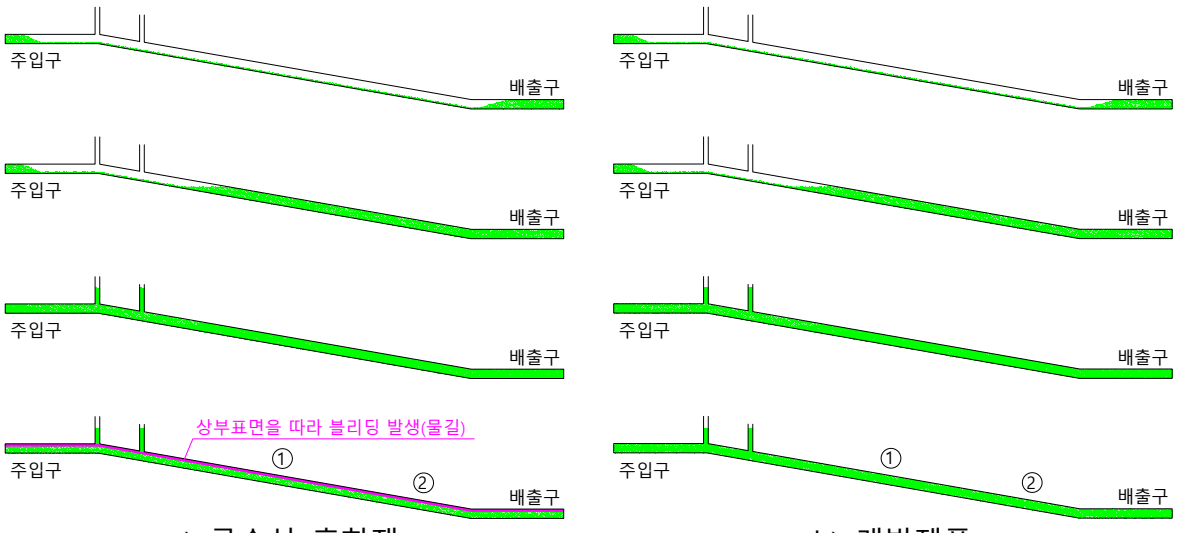
그림 2.5.7 그라우팅 재료 실험체 개요도

(2) 실험 방법

현재 국내에서 사용되고 있는 금속성 팽창제를 사용한 그라우트 재료와 개발한 그라우트 재료(NB-CON)를 물-시멘트 42%로 배합하여 동일한 주입압력으로 주입하였으며, 양생 후 절단하여 시편을 채취하여 비교하였다.

다. 실험 결과

(1) 충전 양상



a) 금속성 혼화재 b) 개발제품

그림 2.5.8 그라우트 충전양상

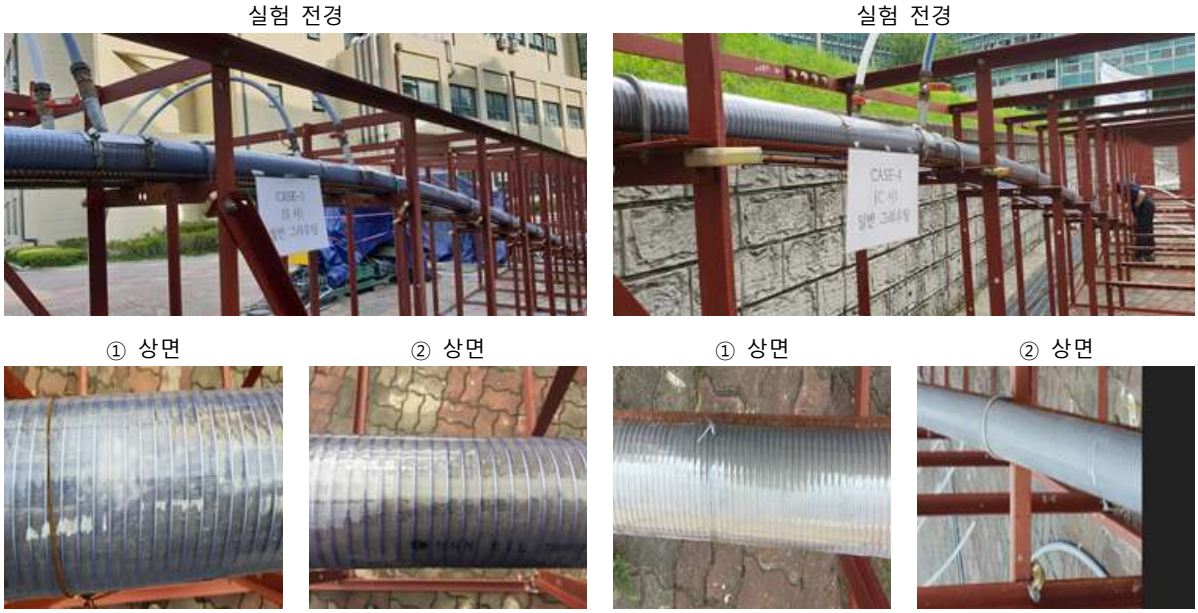


그림 2.5.9 그라우트 충전 사진

두 제품 모두 그라우트 주입양상은 유체해석과 같이 주입구에서는 그라우트가 채워진 상태로 배출구 방향에서 차오르는 듯한 양상을 보이며 충전되었다. 그러나 주입 시 기존 금속성 팽창제를 사용한 경우 PVC 호스의 상부 표면을 따라 블리딩이 발생하였으며, 개발한 그라우트 재료를 사용한 경우 블리딩이 발생하지 않았다.

(2) 절단 시편 비교

그라우트 재료의 충전성을 비교하기 위해 그림 2.5.10의 ⑥구간의 시편을 채취해 절단면을 비교하였다. 금속성 팽창제를 사용한 결과 절단부 우측 상단에 공극이 발견되었으나, 개발제품(NB-CON)을 사용한 경우는 모두 밀실하게 채워진 것을 확인하였다. 따라서 현장에 개발제품을 사용할 수 있음을 확인하였다.

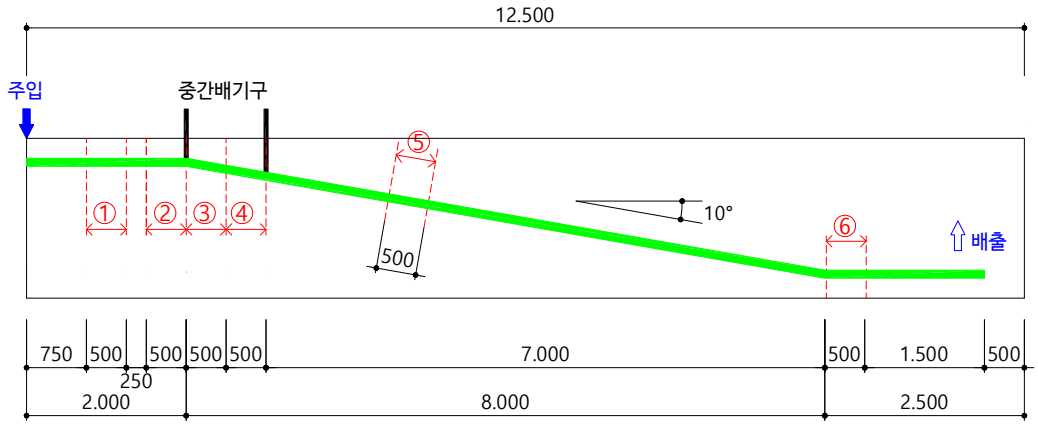


그림 2.5.10 그라우팅 실험체



a) 금속성 혼화재 b) 개발제품

그림 2.5.11 6구간 시편 절단면

5.4 환경요인에 의한 그라우트 재료 실험

가. 실험 목표

다양한 환경요인 중 그라우트의 재료적 특성에 가장 영향을 미치는 온도에 의한 블리딩 및 유하시간 측정 실험을 수행하였다.

나. 실험 방법

(1) 실험 조건

실험 조건은 표 2.5.10과 같다. 블리딩 실험의 배합시 수온은 5℃, 25℃, 35℃로 하였으며, 유하사간 측정 실험의 배합시 수온은 5℃, 15℃, 25℃, 35℃로 하였다.

표 2.5.10 온도에 따른 블리딩, 유동성 실험 조건

구 분	실험 조건	구 분	실험 조건
W/C	40%	배합시간	3분
그라우트재료	NB-CON	30분 후 추가 배합시간	1분
대기온도(습도)	4℃(50%)	배합 방법	전동 믹서 드릴 사용

(2) 실험 방법

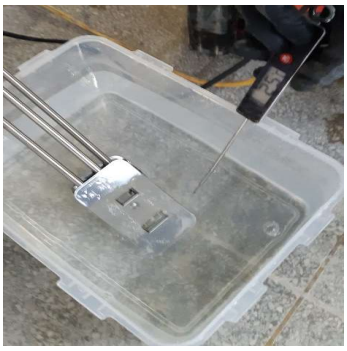
KCI-PS102 규정에 따라 실험을 수행하였다. 실험 방법은 표 2.5.6에 나타냈다.

(가) 블리딩 실험

실험체는 높이 1.0m 내경 75mm인 투명 수직관으로 중앙에 15.2mm 강연선 1.2m 1개를 설치하였다. 그라우트를 수직관의 900mm까지 채워 3시간 경과 후 블리딩을 측정하였다.

(나) 유하시간 측정 실험

그라우트를 깔때기에 가득 채운 후 스톱워치 작동과 동시에 배출구 하단을 열어 연속하여 배출된 그라우트 량이 1ℓ일때의 시간을 스톱워치로 측정하였다.



a) 수온 측정



b) 블리딩 실험



c) 유하시간 측정 실험

그림 2.5.12 온도에 따른 블리딩 및 유동성 실험 전경

다. 실험 결과

그라우트 배합시 수온에 따른 블리딩과 유하시간 측정 결과는 표 2.5.11과 같았다. 블리딩은 온도와 상관없이 모두 블리딩이 없었다. 그러나 유하시간은 5℃와 15℃일 경우 품질기준을 충족하지 못하였으며, 25℃와 35℃일 경우에는 품질기준을 충족하였다. 따라서 15℃이하의 냉온에서는 유동성이 확보되지 않으므로 현장적용 시 배합시 수온을 25℃이상으로 유지하여야 재료적 성능을 확보할 수 있음을 확인하였다.

표 2.5.11 온도에 따른 블리딩, 유하시간 측정 실험 결과

구 분	품질기준 (ISO 14824)	그라우트 배합시 수온							
		5℃		15℃		25℃		35℃	
블리딩률	0.3%이하, 3시간 경과			–					
		0%	OK			0%	OK	0%	OK
유하시간	배합직후 t0≤25초	34초	N.G	28초	N.G	22초	OK	23초	OK

5.5 그라우트 재료개발 소결

국내에서 사용되고 있는 그라우트 재료는 관련 규정이 개정되지 않아 블리딩이 상당히 높은 재료를 사용하고 있다. 따라서 이러한 재료를 사용하면 진공그라우팅 방법을 사용하여도 블리딩에 의한 공극 발생은 필연적이다. 따라서, 추가개발 항목으로서 고품질 그라우트 재료개발을 하게 되었다.

개발된 그라우트 재료(NB-CON)는 실내 및 실외 실험결과 유동성이 높으면서도 블리딩이 발생하지 않았다. 또한, 공인인증기관 시험에서도 해외수준의 규정을 모두 만족하였다.

실험결과를 다시 정리하면 표 2.5.12과 같다.

표 2.5.12 제품 성능 실험 결과

측정 항목			품질기준 (ISO 14824)	실험결과		비고
				자체	공인기관	
블리딩률(수직관)			0.3%이하, 3시간	0%	0%	O.K
체적변화률(수직관)			-1~5%, 24시간	1.1%	1.2%	O.K
염화물량			단위 시멘트량의 0.08%이하	-	0.01%	O.K
압축강도		재령7일	≥27MPa		32.7	O.K
		재령28일	≥30MPa		40.8	O.K
유동성	플로우	배합직후	$a_0 \geq$ 140mm	172mm		O.K
		30분경과	$1.2a_0 \geq a_{03} \geq 0.8a_0$ 그리고, $a_{30} \geq$ 140mm	172mm		O.K
	유하시간	배합직후	t0≤25초	23.11초	20초	O.K
		30분경과	$1.2t_0 \geq t_{30} \geq 0.8t_0$ 그리고, $t_{30} \leq$25초	24.93초	25초	O.K

6. 쉬스관 공극 비파괴조사 시스템 구축

6.1 개요

진공그라우팅 기술의 사업화 촉진과 확장을 위해서 비파괴조사 시스템 구축이 필요하였으며, 특히 2차년도 연구실적 평가 시에 이 부분에 관해 추가 연구 필요성에 대한 평가가 있어 3차년도에 진행하게 되었다.

비파괴조사 시스템 구축은 PSC교량의 공극부 유지보수 통합기술을 완성 시킬 수 있는 주요 기술로서, 표 2.6.1과 같이 현재(2차년도) 우리사가 개발 중이거나 보유하고 있는 기술과 통합하면 그 효과가 클 것으로 판단되어 개발하게 되었다.

이는 현재 시장형성 초기 단계인 해당 분야에서 기술개발을 확장하는 것이 추후 시장점유율을 높일 수 있을 것으로 판단했기 때문이다.

PSC교량의 공극부 유지보수 통합시스템 개요도는 그림 2.6.1에 나타내었다.

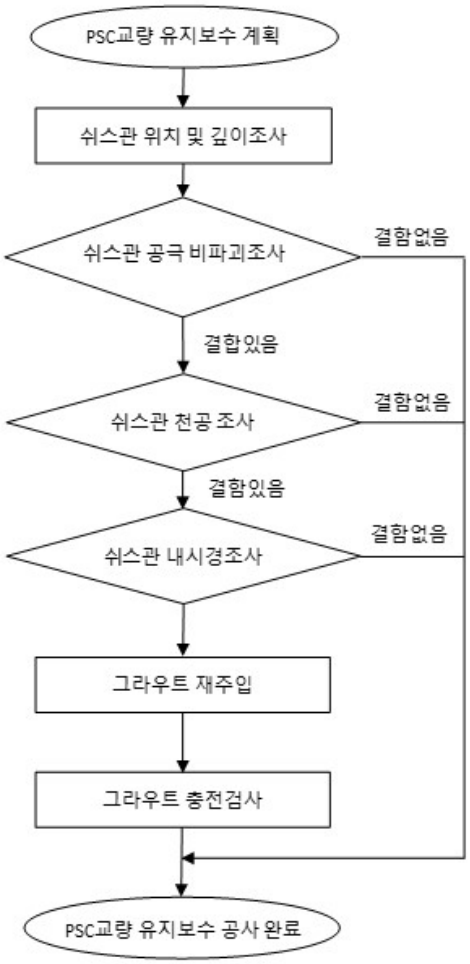


그림 2.6.1 PSC교량 공극 유지보수 통합시스템

표 2.6.1 유지보수공사 기술 보유 현황 (2차년도 기준)

조사 항목	조사 장비	비 고
쉬스관 위치 및 깊이 조사	비파괴 장비(GPR)	기술 미보유
쉬스관 공극 비파괴조사	비파괴조사 시스템 (충격공진법)	기술 미보유
쉬스관 천공 조사	전원차단장치 천공장비	특허 기술 보유
쉬스관 내부 내시경 조사	산업용 내시경 장비	장비 보유
그라우트 재주입	진공그라우팅 장비	기술 개발 중

6.2 비파괴조사 시스템 구축

PSC교량 내부 쉬스관 위치와 깊이를 조사하기 위한 초음파장비(GPR)와 쉬스관의 공극을 조사하는 충격공진법(Impact-Echo) 시스템을 갖추었다. 각 부분에 대한 상세 제원은 표 2.6.2, 2.6.3과 같다.

표 2.6.2 초음파장비(GPR) 상세 제원

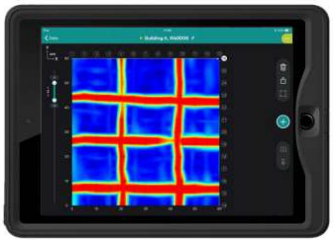
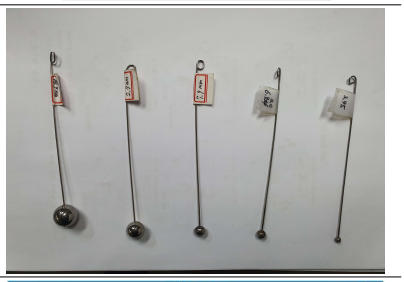
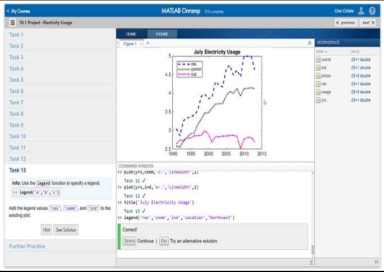
구 분	장비제원	사 진
Proceq GPR Live	■ 계단식 주파수 연속파 GPR ■ 주파수 범위 (0.2 ~ 4.0 GHz) ■ 대역폭 (2.85GHz) ■ iPad에서 화면 확인 가능	

표 2.6.3 충격공진법 시스템 구성품 상세 제원

구 분	장비 제원	사 진
데이터 수집장치	■ 8CH/One card ■ Sampling Frequency 1-2-5 series 1Hz~100kHz 2^n series 2Hz~65536Hz	
가속도계	■ 360 to 4000 m/s^2 ■ Rated Capacity $\pm 2000\,m/s^2$ ■ Voltage Sensitivity 1.0mV per $m/s^2 \pm 10\%$	
타격장치 (강재구슬)	■ 구슬 타격으로 인해 주파수 발생	
분석장치 (Matlab)	■ FFT변환을 통한 데이터 분석	

6.3 충격공진법 시스템

가. 개요

쉬스관 내부의 위치와 깊이는 초음파장비(GPR)로 조사가 가능하다. 그러나 공극부를 조사하는 방법은 복잡하며 많은 연구가 필요한 부분이다. 이러한 공극을 찾는 비파괴조사 방법은 크게 3가지가 있다. ① 물질의 밀도에 따라 X선의 투과도가 변화하는 성질을 이용하는 방사선(X선) 투과법, ② 콘크리트 내부를 다중 반사하는 종탄성파의 왕복 시간의 주파수 분석을 통해 조사하는 충격공진법, ③ 종탄성파의 왕복 시간을 측정하여 콘크리트 내부의 결함을 조사할 수 있는 초음파법 등이 있다.

3가지의 비파괴조사 방법 중 부재가 두껍고 철근 등 보강재가 많은 철근콘크리트 구조물에 가장 적합한 방법은 충격공진법이라고 판단되어 개발하게 되었다.

나. 충격공진법 원리와 방법

(1) 충격공진법 원리

충격공진법에 의한 공극 측정 원리는 그라우트 미충전에 의한 공극이나 판의 두께를 강재구슬 타격에 의해 얻어진 주파수 분포에서 찾을 수 있는 것이다. 간단한 이론은 식 (1),(2)에 나타냈으며 개념도는 그림 2.6.2에 나타냈다.

$$f_{판두께} = V / 2T \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \langle 식\ 1 \rangle$$

$$f_{void} = V / 2d \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \langle 식\ 2 \rangle$$

여기서, $f_{판두께}$: 두께에 의한 피크주파수

f_{void} : 공극에 의한 피크주파수

V : 수직 전파 속도(3,500~4,500m/sec)

T : 두께

d : 공극까지의 깊이

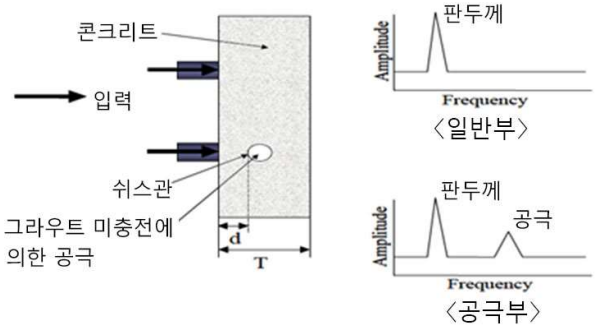


그림 2.6.2 충격공진법의 개념

(2) 충격공진법 조사 방법

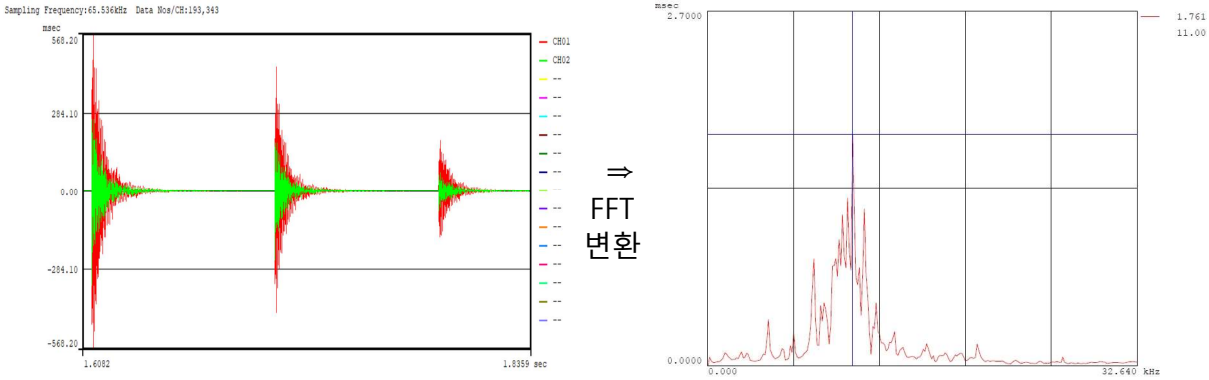
충격공진법으로 공극을 조사하는 방법은 그림 2.6.4와 같다.

1단계	쉬스관 위치에 해당하는 표면에 가속도 센서 부착
⇩	
2단계	타격장치(강재구슬)로 탄성파 입력
⇩	
3단계	구조물에서 발생하는 종파를 수신하여 데이터 수집장치로 전송
⇩	
4단계	데이터 수집장치에서 PC로 데이터 송신
⇩	
5단계	PC에 있는 소프트웨어(MATLAB)를 통해 FFT 변환(고속푸리에 변환)한 주파수 스펙트럼을 분석하여 공극조사

반복

그림 2.6.3 충격공진법으로 공극을 조사하는 방법

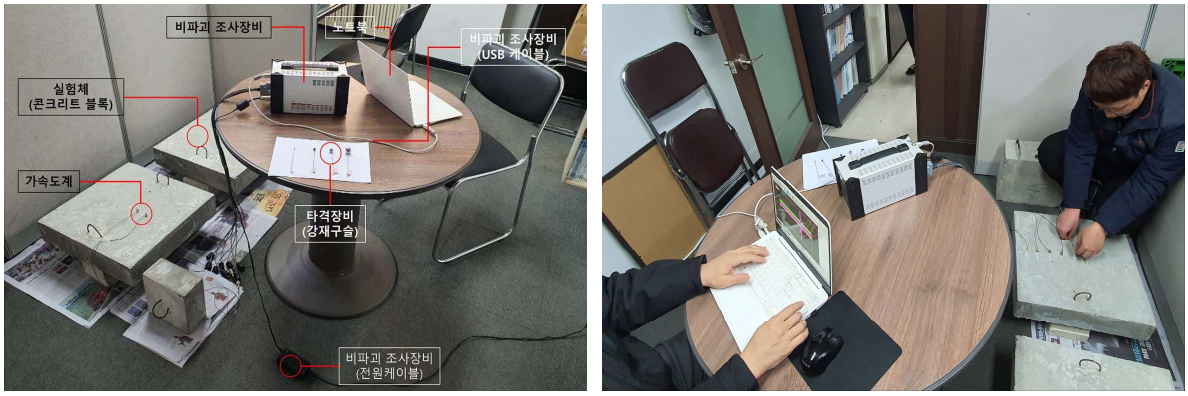
측정된 진동스펙트럼을 MATLAB을 통해 고속푸리에변환(FFT)한 주파수 스펙트럼의 사례를 그림 2.6.3에 나타냈다.



a) 측정 진동스펙트럼 b) 주파수 스펙트럼

그림 2.6.4 FFT 변환 사례

충격공진법 시스템은 장치 구성사진은 그림 2.6.5에 나타냈다.



a) 비파괴조사 장비 구성 b) 비파괴조사 전경

그림 2.6.5 비파괴조사 장비 구성

다. 충격공진 시스템 성능 실험

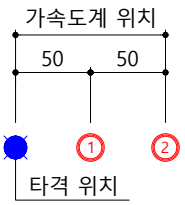
(1) 실험 목표

충격공진법을 이용해 콘크리트 블록 두께를 측정하여 현재 구축된 시스템으로 비파괴조사가 가능한지 성능을 확인하였다.

(2) 실험체 제원 및 실험 방법

실험체는 500(W)×500(D)mm, 두께(H) 100mm, 200mm로 하였으며, 강재구슬의 직경은 7.9mm, 12.7mm로 타격하였다. 실험체 상세는 그림 2.6.4에 나타냈다.

표 2.6.4 실험조건 및 CASE

구분	실험체 크기 W×D×H(mm)	구슬직경 (mm)	가속도계 번호	CASE	가속도계 위치도
M1	500×500×100	12.7	CH1	M1-CH1	
			CH2	M1-CH2	
M2	500×500×200		CH1	M2-CH1	
			CH2	M2-CH2	

공극 측정 방법은 실험체에 가속도계를 부착한 후, 타격장비를 이용하여 충격을 가해 탄성파를 발생시키고, 발생된 탄성파를 가속도계를 거쳐 데이터 수집장치로 보낸 후 노트북에 설치된 소프트웨어(MatLab)을 통해 FFT처리하여 분석한 주파수와 표 2.6.5의 부재 두께별 이론 피크주파수와 비교하였다.

표 2.6.5 실험체별 이론 주파수

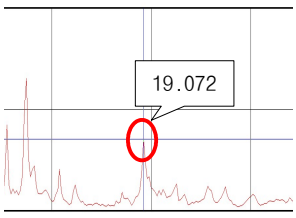
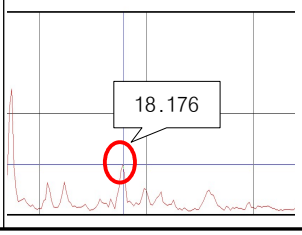
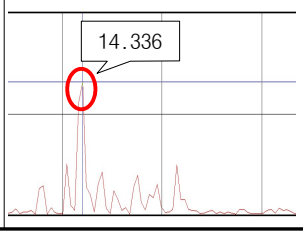
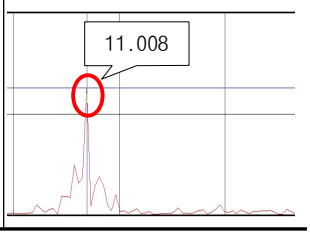
실험체 두께(mm)	100	150	200	300	400
이론주파수(kHz)	20	13.3	10	6.7	5

※ 수직전파속도 V≒ 4,000m/sec로 가정

(3) 실험 결과

측정된 진동스펙트럼을 MATLAB 프로그램을 이용하여 FFT변환한 주파수 스펙트럼을 표 2.6.6에 나타내었다.

표 2.6.6 CASE별 이론 주파수 스펙트럼 실험결과

M1-CH1	M1-CH2	M2-CH1	M2-CH2
			

다. 실험결과

표 2.6.6과 같이 두께 100mm, 200mm인 콘크리트 블록의 이론 주파수는 각각 20kHz, 10kHz이다. 구슬 직경 7.9mm를 통해 얻은 주파수 스펙트럼의 피크 주파수를 분석한 결과 두께 100mm에서는 18.176kHz, 19.072kHz로서 이론 주파수인 20kHz와 비슷한 주파수를 나타냈으며, 두께 200mm에서의 피크 주파수는 11.008kHz, 14.336kHz로 이론 주파수인 10kHz와 비슷한 결과값을 나타냈다. 따라서 현재 구축된 충격공진법 시스템은 비파괴조사에 적합한 방법임을 확인하였다.

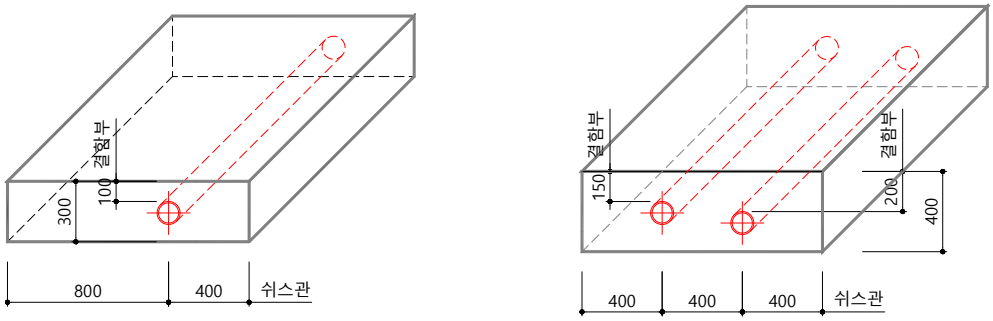
6.4 공극 비파괴조사 실험(1차)

가. 실험 목표

2.6.3에서 성능을 확인한 충격공진법 시스템과 초음파 장비(GPR)을 이용하여 콘크리트 블록 내부에 있는 공극을 조사하는 실험을 실시하였다.

나. 실험체 제원

실험체는 결함부의 길이에 비해 피복이 얇지 않도록 하며 탄성파의 산란을 최소화 할 수 있도록 1.2(W)×2.0(D)m 크기에 높이(H) 300cm, 400cm로 제작하였다. 또한, 결함부의 세부 깊이를 측정할 수 있는지 확인하기 위해 공극부를 100mm, 150mm, 200mm로 설치하였다. 상세한 실험체 제원은 그림 2.6.6과 같다.



a) 실험체 M1 b) 실험체 M2

그림 2.6.6 실험체 제원

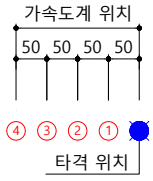
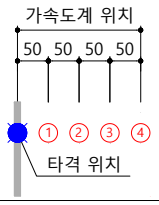
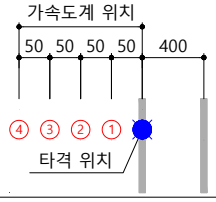
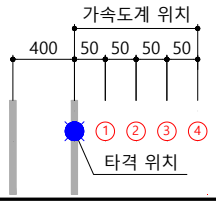
다. 실험 방법

(1) 초음파장비(GPR)을 통해 콘크리트 블록 내부에 설치된 쉬스관의 위치 및 깊이를 조사하였다.

(2) 충격공진법 실험은 강재 구슬의 타격을 통해 주파수를 수집하였고, 이를 MATLAB

의 프로그램을 이용한 FFT변환을 통해 주파수 스펙트럼을 분석하여 공극을 조사하였다. 실험 CASE는 표 2.6.7과 같으며, 이론 피크 주파수는 표 2.6.8과 같다.

표 2.6.7 실험조건 및 CASE

구분	실험체 크기 W×D×H (mm)	타격 위치	결함 두께 (mm)	가속도계 번호	CASE	가속도계 위치도	구슬 직경 (mm)
M1	1200×2000×300	좌측	0	CH1	M1L-CH1		12.7
				CH2	M1L-CH2		
				CH3	M1L-CH3		
				CH4	M1L-CH4		
		우측	100	CH1	M1R-CH1		
				CH2	M1R-CH2		
				CH3	M1R-CH3		
				CH4	M1R-CH4		
M2	1200×2000×400	좌측	150	CH1	M2L-CH1		
				CH2	M2L-CH2		
				CH3	M2L-CH3		
				CH4	M2L-CH4		
		우측	200	CH1	M2R-CH1		
				CH2	M2R-CH2		
				CH3	M2R-CH3		
				CH4	M2R-CH4		



a) M1



b) M2

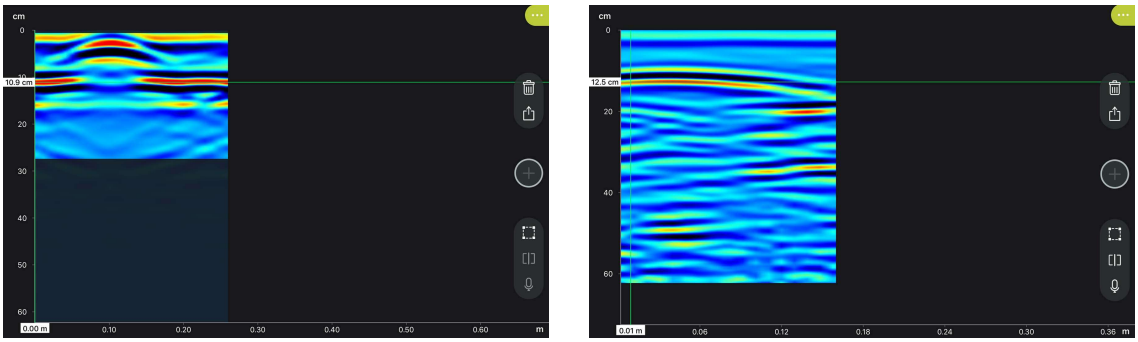
그림 2.6.7 실험체 전경

표 2.6.8 결함두께에 따른 이론 주파수

구 분	결함두께(mm)			
	100	150	200	300
이론주파수(kHz)	20	13.3	10	6.7

라. 실험 결과

(1) 초음파 장비(GPR 탐사)



a) 1차 조사 b) 2차 조사

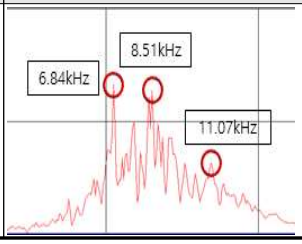
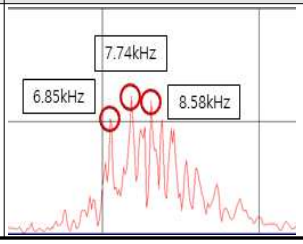
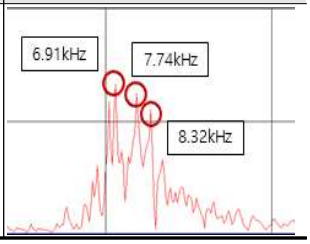
그림 2.6.8 초음파(GPR)조사 결과 - M1R

GPR조사는 M1의 우측만 실시하였다. 그 결과 콘크리트 블록 상부로부터 100mm에 지점에 쉬스관이 존재한다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 그림 2.6.8 a)에서 콘크리트 블록 상부로부터 쉬스관 상단까지 거리인 100mm와 동일하였다.

(2) 충격공진법 결과

측정된 진동스펙트럼을 MATLAB 프로그램을 이용하여 FFT변환 주파수 스펙트럼을 표 2.6.9에 나타내었으며, 주파수 스펙트럼의 피크점을 비교할 수 있도록 그림 2.6.9와 같이 그래프를 작성하여 분석하였다.

표 2.6.9 CASE별 주파수 측정결과

M1L-CH1	M1L-CH2	M1L-CH3	M1L-CH4
에러 발생			

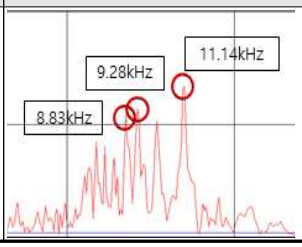
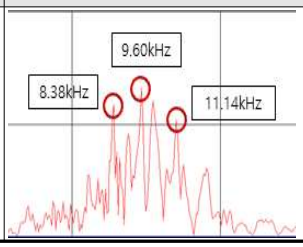
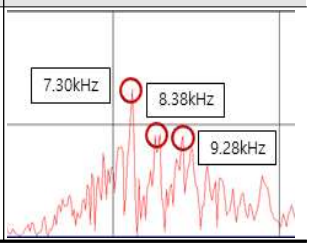
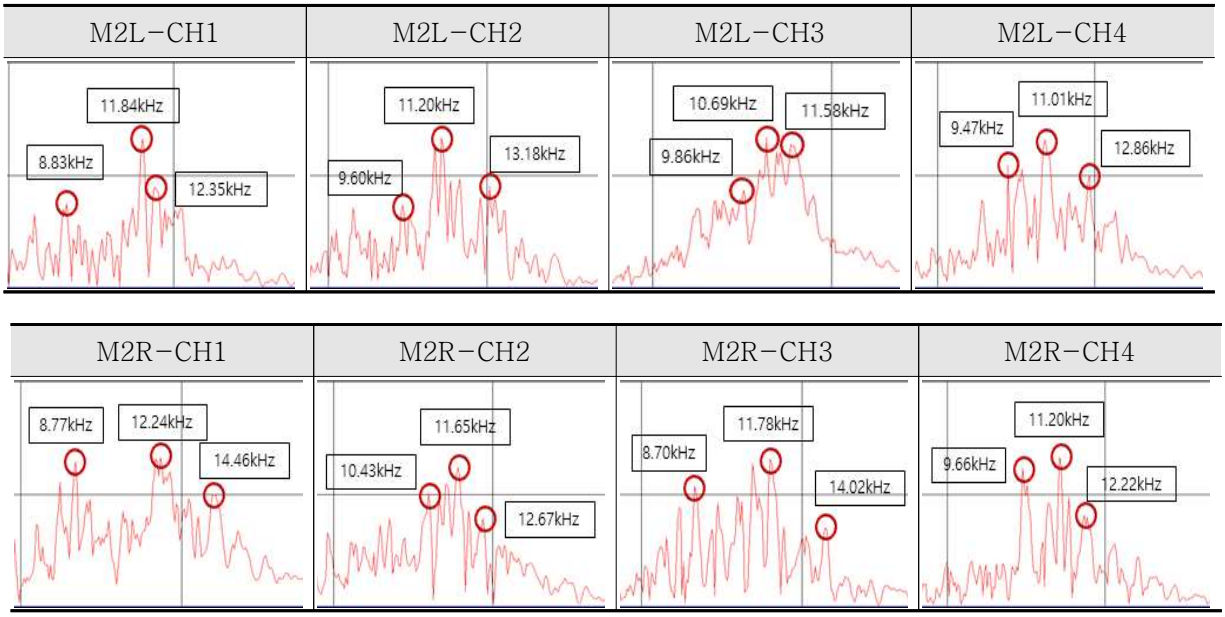
M1R-CH1	M1R-CH2	M1R-CH3	M1R-CH4
에러 발생			

표 2.6.9 CASE별 주파수 측정결과 – 계속



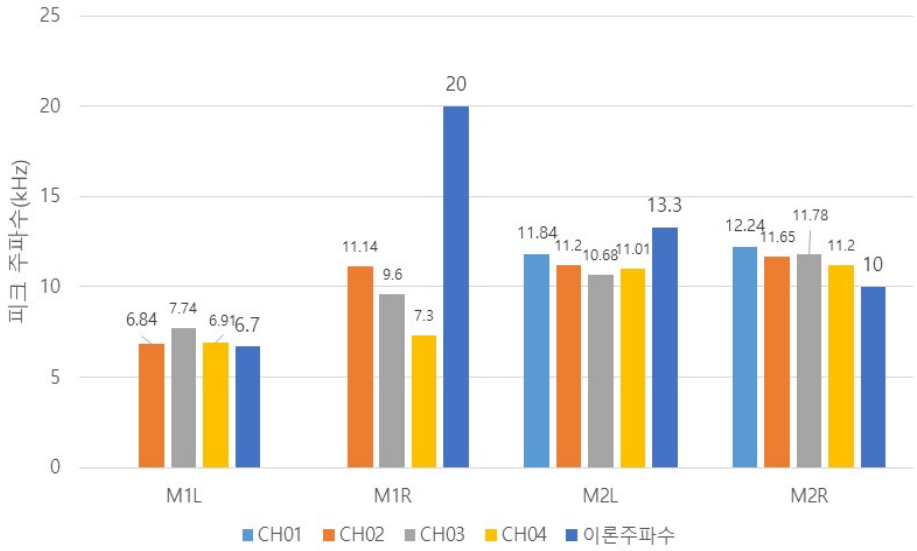


그림 2.6.9 실험 결과 분석

M1L의 경우 이론 주파수 6.7kHz와 유사한 분석결과가 나왔으나, M1R은 이론 주파수 20kHz에 비해 적은 피크 주파수의 결과가 나왔다. M2L은 이론 주파수 13.3kHz와 유사하였으며 M2R은 이론 주파수 10kHz와 유사한 분석결과가 나왔다. 이러한 분석결과는 다음과 같은 비파괴조사 방법을 제시할 수 있었다.

① 공극의 깊이가 100mm 이하인 경우 정확한 분석이 어렵다. 향후 필터링 기술개발로 정확도를 높이고자 한다. (일반적인 PSC 교량의 쉬스관 피복은 100mm를 초과한다.)

② 공극의 깊이 차이는 (150mm, 200mm) 분석하지 못하였다.

③ 그러나 공극의 유무는 주파수 스펙트럼의 피크주파수의 경향이 확연히 차이가 나기 때문에 분석이 가능하다.

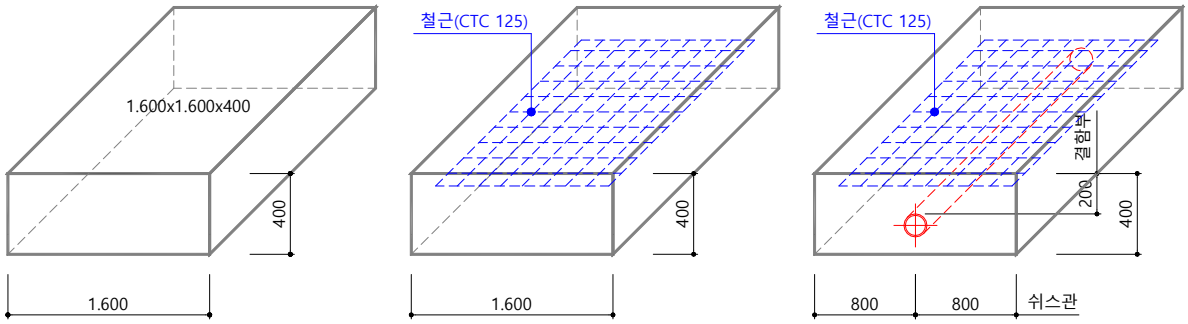
6.5 공극 비파괴조사 실험(2차)

가. 실험 목표

6.5.3의 1차 실험결과를 토대로 철근의 영향을 분석하기 위해 철근이 배근된 실험체에 대해 초음파 조사(GPR)와 충격공진법에 의한 조사 실험을 실시하였다.

나. 실험체 제원

실험체는 탄성파의 산란을 최소화하기 위해 1.6(W)×1.6(D)×0.4(H)m으로 하였다. 철근배근을 일반 PSC구조물의 철근 간격인 125mm로 하였으며 결함부 두께는 200mm로 하였다. 실험체 제원은 그림 2.6.10과 같다.



a) M1 b) M2 c) M3

그림 2.6.10 실험체 제원



a) M1, M2 b) M3

그림 2.6.11 실험체 전경

다. 실험 방법

(1) GPR 조사는 초음파 장비(GPR)을 통해 콘크리트 블록 내부에 설치된 쉬스관의 위치 및 깊이를 조사하였다.

(2) 충격공진법 실험은 강재구슬의 타격을 통해 주파수를 수집하였고, 이를 MATLAB의 프로그램을 이용한 FFT변환을 통해 주파수 스펙트럼을 분석하였고 이를 통해 공극을 조사하였다. 실험 CASE는 표 2.6.10에 나타냈다.

표 2.6.10 실험조건 및 CASE

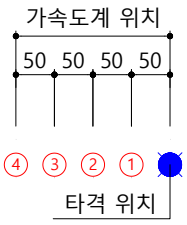
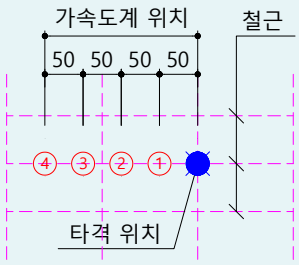
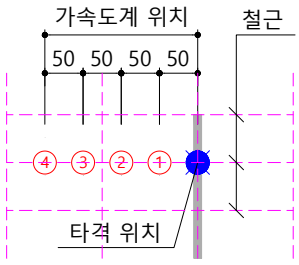
구분	매입물 유무		구슬 직경 (mm)	가속도계 번호	CASE	가속도계 위치도
	철근	쉬스관				
M1			7.9	CH1	M1-7.9-CH1	
				CH2	M1-7.9-CH2	
				CH3	M1-7.9-CH3	
				CH4	M1-7.9-CH4	
			12.7	CH1	M1-12.7-CH1	
				CH2	M1-12.7-CH2	
				CH3	M1-12.7-CH3	
				CH4	M1-12.7-CH4	
M2	O		7.9	CH1	M2R-7.9-CH1	
				CH2	M2R-7.9-CH2	
				CH3	M2R-7.9-CH3	
				CH4	M2R-7.9-CH4	
	O		12.7	CH1	M2R-12.7-CH1	
				CH2	M2R-12.7-CH2	
				CH3	M2R-12.7-CH3	
				CH4	M2R-12.7-CH4	
M3	O	O	7.9	CH1	M3RS-7.9-CH1	
				CH2	M3RS-7.9-CH2	
				CH3	M3RS-7.9-CH3	
				CH4	M3RS-7.9-CH4	
	O	O	12.7	CH1	M3RS-12.7-CH1	
				CH2	M3RS-12.7-CH2	
				CH3	M3RS-12.7-CH3	
				CH4	M3RS-12.7-CH4	

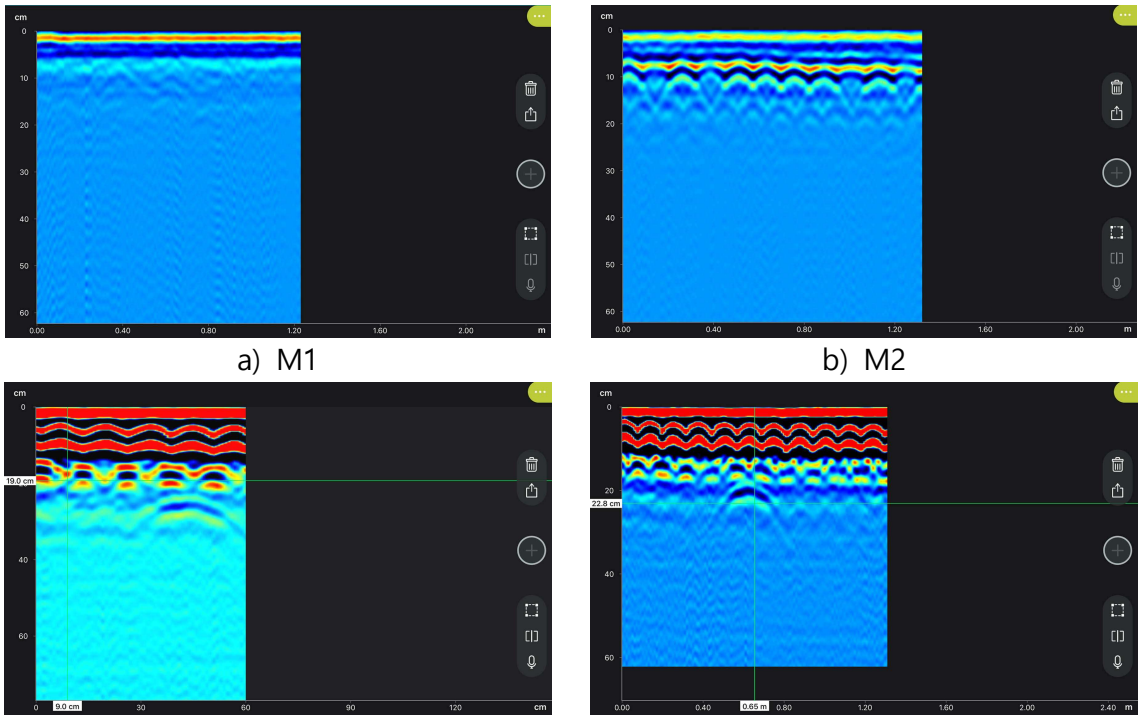
표 2.6.11 실험체별 따른 이론 주파수

구 분	M1	M2	M3
이론주파수(kHz)	5	5	10

라. 실험 결과

(1) 초음파장비(GPR 탐사)

그림 2.6.12의 M3의 쉬스관 위치를 보면 콘크리트 블록 상부로부터 쉬스관 상단까지 거리는 200mm이었고, GPR탐사 결과 역시 콘크리트 블록 상부로부터 200mm인 지점에 쉬스관이 존재한다는 것을 확인할 수 있었다. M1, M2의 경우 쉬스관이 존재하지 않는다는 것을 확인할 수 있었다.



a) M1 b) M2

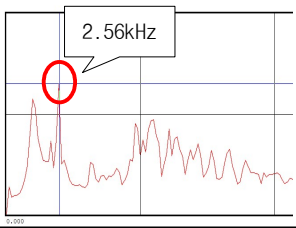
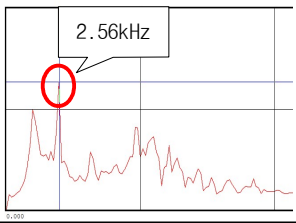
c) M3 d) M3

그림 2.6.12 초음파(GPR)조사 결과

(2) 비파괴조사

측정된 진동스펙트럼을 MATLAB 프로그램을 이용하여 FFT변환 주파수 스펙트럼을 표 2.6.12에 나타내었다.

표 2.6.12 CASE별 주파수 측정결과

M1-7.9-CH1~4	M1-12.7-CH1~4
	

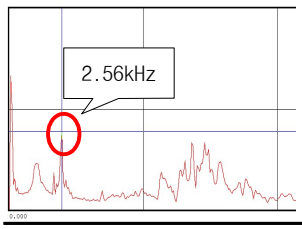
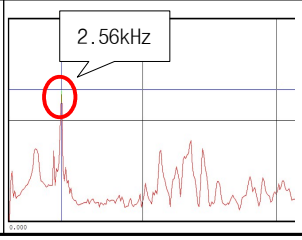
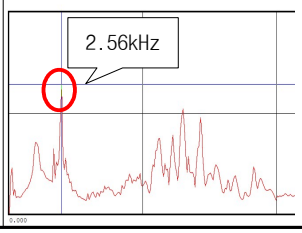
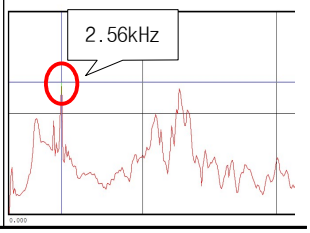
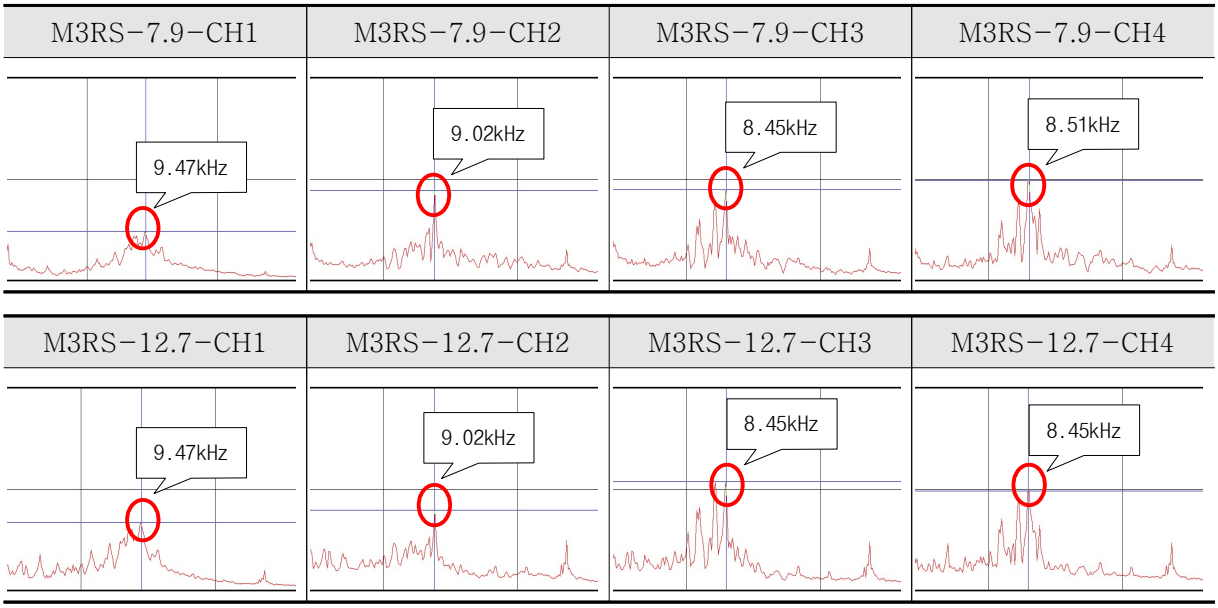
M2R-7.9-CH1	M2R-7.9-CH2	M2R-7.9-CH3	M2R-7.9-CH4
			

표 2.6.12 CASE별 주파수 측정결과 - 계속



실험체 M1의 경우 주파수 스펙트럼의 피크주파수 8.45~9.47kHz로 이론주파수 10kHz와 유사한 결과가 도출되었다. 철근이 배근된 실험체 M2와 철근이 배근되지 않은 M3는 모두 2.5kHz로 이론치와는 차이가 있었으나, 공극 유무는 확인할 수 있었다. 상기 이론치는 수직전파속도를 4,000m/sec으로 가정한 값이므로 공진 주파수의 이론값은 정확하지 않으므로 이론치와 일치를 확인하기보다 공극 유무의 피크 주파수 경향을 확인하는 것이 더 중요하다는 것을 확인하였다.

6.6 쉬스관 공극 비파괴조사 실험 소결

반복된 실험을 통해 비파괴조사 시스템으로 PSC교량의 공극 조사는 가능함을 확인하였다.

① 초음파장비(GPR)는 쉬스관의 위치와 깊이를 정확히 조사하였으며, 철근의 위치도 확인할 수 있었다. 또한, 유지보수 공사 시 천공에 의한 조사의 경우에 천공 위치 선정에도 사용할 수 있다.

② 충격공진법은 민감한 장치와 높은 주파수 영역대의 분석으로 정확한 이론 주파수와 일치하지 않았지만, 공극 유무를 확인할 수 있는 분석은 가능하였다, 또한 정확한 이론 주파수 산정을 위해 추후 수직전파속도를 직접 측정하고자 한다.

③ 향후 깊이가 얇은 공극조사 및 정밀한 분석을 위하여 필터링 프로그램(MATLAB 이용)을 개발하고자 한다.

7. 연구개발성과

가. 논문 게재 및 기술발표

(1) 한국콘크리트학회 가을학술대회 구두 발표 (김기현, 2019.11)

: 포스트텐션 텐던의 부식과 그라우팅 기술

(2) 공학석사 학위논문 (서울과학기술대학교 이송근, 2019.08)

: 포스트 텐션 구조물의 내부 공극 최소화 방안 연구

(3) 기술 발표

- 2019.06.05, 포스트텐션 PSC교량 그라우트의 문제점 및 개선방안, 한국도로공사
- 2019.08.29, PSC 구조물의 내구성, 한국도로공사 원주지사
- 2019.11.12, PSC 구조물의 내구성, LH 부산울산지역본부
- 2019.11.20, 포스트텐션 텐던의 부식과 그라우팅 기술, 서울시설공단

(4) 한국콘크리트학회 논문 게재 현황

표 2.7.1 논문 게재 현황

구 분	논문명	저자명	수록사항	시작페이지/총페이지	INSS	주제분류
2017.11	PSC 박스 거더 내·외부 긴장재 내시경 조사 (Endoscope survey of internal, external tendon in PSC Box Girder)	여창희, 김기현, 설대호, 윤석구	학술대회 논문집 제29권 2호	735 / 2	1738 – 298X	재료 구조
2018.05	진공그라우트를 이용한 쉬즈관내 그라우트 기초 유동해석 (Basic Analysis on the Grout Flow in the Sheath Using Vaccum Grout System)	이송근, 설대호, 윤석구	학술대회 논문집 제30권 1호	691 / 2	1738 – 298X	재료 구조
2018.11	그라우트 재료에 따른 충전율에 대한 연구 (A Study on the Filling Rate to Grout Materials)	이송근, 설대호, 김기현, 윤석구	학술대회 논문집 제30권 2호	397 / 2	1738 – 298X	재료 구조
2019.05	시멘트 제조사별 그라우트 재료 실험 (A test of the Grout Material in Cement by Maker)	이송근, 김기현, 윤석구	학술대회 논문집 제31권 1호	451 / 2	1738 – 298X	재료 구조
2019.07	포스트텐션 텐던의 부식과 그라우팅 기술 (Corrosion of Post-Tensioned Tendons and Technology of Grouting)	김기현, 윤석빈, 윤석구	콘크리트학회지 제31권 4호	18 / 6	1018 – 1415	재료 구조

(5) 2020년 SCI 논문 게재 및 대표이사 공학박사 학위논문 발표 예정

나. 특허 성과

표 2.7.2 특허 출원 및 등록 현황

순번	출원번호	특허번호	특 허 명	출원일	등록일	비 고
	10-2013-0078643	10-1503816	포스트텐션 교량의 쉬스관 내부 충전을 위한 진공 그라우팅 공법	13.07.05	15.03.12	대상기술
1	10-2017-0179355	10-1876420	PSC 교량의 보수용 그라우트 충전 시스템 및 그 방법	17.12.26	18.07.03	유지보수
2	10-2018-0113288	10-2000280	그라우트 시멘트 정량공급장치	18.09.20	19.07.09	소형장비
3	10-2017-0179346	10-2043390	전원차단장치와 드릴을 이용한 PSC 교량의 그라우팅 결함측정 시스템 및 그방법	17.12.26	19.11.05	유지보수
4	10-2018-0150427	10-1978151	이중팽창성 팽창재를 함유한 프리스트레스트 콘크리트 교량용 그라우트 조성물	18.11.29	19.05.08	그라우트
5	10-2019-0058206	-	포스트텐션 교량의 쉬스관 내부 충전을 위한 수두차 그라우트 충전공법	19.05.17		유지보수


특허증
CERTIFICATE OF PATENT
특허 제 10-1503816 호
위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.
2015년 03월 12일
특허청장 COMMISSIONER, KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE


특허증
CERTIFICATE OF PATENT
특허 제 10-1876420 호
위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.
2018년 07월 03일
특허청장 COMMISSIONER, KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE


특허증
CERTIFICATE OF PATENT
특허 제 10-2000280 호
위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.
2019년 07월 09일
특허청장 COMMISSIONER, KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE


특허증
CERTIFICATE OF PATENT
특허 제 10-2043390 호
위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.
2019년 11월 05일
특허청장 COMMISSIONER, KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE


특허증
CERTIFICATE OF PATENT
특허 제 10-1978151 호
위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.
2019년 05월 08일
특허청장 COMMISSIONER, KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE


출원사실증명원
CERTIFICATE OF APPLICATION
출원번호 Application Number 10-2019-0058206
출원일자 Filing Date 2019년 05월 17일 MAY 17, 2019
발명(고안)의 명칭 Title of Invention, Product(s) Embodied in Design, or Classification of Mark: 포스트텐션 교량의 쉬스관 내부 충진을 위한 수두차 그라우트 충진공법
Method of filling construction of Grout Using Differencial Head Where in Sh ouath Tube of Post-Tension Bridge
위 사실을 증명함.
This is to certify that the above applicant has filed as stated in this certificate at the Kore an Intellectual Property Office
발급일자 : 20191029 1/2

라. 매출 실적

왕궁보석대표관광지 정비사업 중 가람교(발주처 : 익산군, 시공사 : 홍지이앤씨) 시공시 대형장비와 개발 재료를 사용하여 그라우트 시공을 수행하였다. 이로서 개발제품의 현장 적용성과 성능을 확인하였으며, 매출액은 7백만원이었다.



「왕궁보석대표관광지 정비사업 관급자재 구입 제작,설치 중 진공그라우팅 공사」 계약서

계약대상자	발주자	>상호 또는 법인명칭: ㈜홍지이앤씨 (사업자번호: 223-81-12396) >주 소 : 경기도 성남시 분당구 황새울로200번길 34, 코오롱빌딩 701호 >전화번호 : 031-698-4100 >대 표 자 : 김희균
	수급인	>상호 또는 법인명칭: 건덕이앤씨㈜ (사업자번호: 129-86-74113) >주 소 : 경기도 성남시 분당구 벌말로40번길 4-1(야탑동, 제3층 303호) >전화번호 : 070-4335-3705 >대 표 자 : 김기환
계약내용	외주계약명	왕궁보석대표관광지 정비사업 관급자재 제작, 설치 중 진공그라우팅 공사에 관한 계약
	계약금액	금 칠백만 원정 (₩7,000,000) -V.A.T 별도-
	총부가금액	금 칠백칠십만 원정 (₩7,700,000) -V.A.T 포함-
	계약보증기간	2019-07-01 ~ 2019-10-16
	계약기간	2019-07-01 ~ 2019-10-16
	기타사항	- 가람교 (PDFT) 제작 및 설치 시, 진공그라우팅 공사를 실시하고, 계약서 도장 날인 후 일부 현금지급, 진공그라우팅 완료 후 잔여분을 지급한다. - 전북 익산시 왕궁면 들룸리 657-9 현장도착, 제작 및 설치 시, 진공그라우팅 공법 적용, 그라우팅 공사 실시 - 진공그라우팅을 하기 위한 모든 장비 시스템 및 운용 인력 컨덕이앤씨 제공.

계약당사자는 상호 대등한 입장에서 붙임의 계약문서에 의하여 위 외주제작에 대한 계약을 체결하고 신의에 따라 성실히 계약상의 의무를 이행할 것을 확약하며,이 계약의 증거로서 계약서를 작성하여 당사자가 기명날인한 후 각각 1통씩 보관한다.

붙임서류 : 1.계약 일반조건 1부

2019 . 07 . 01 .

계약대상자: (주)홍지이앤씨 대표이사 김 희 균 (인)

컨덕이앤씨(주) 대표이사 김 기 환 (인)



계약 내역서

왕궁보석대표관광지 정비사업 관급자재 구입 제작, 설치 중 진공그라우팅 공사

공 종 명	수 량	단 위	단 가	금 액	비 고
가람교 진공그라우팅 시공 (2本)					
1) 그라우트 주입(25만*4인)	1	일	1,000,000	1,000,000	
2) 진공 장비 사용료	1	일	1,500,000	1,500,000	
3) 그라우트 주입 장비 사용료	1	일	1,500,000	1,500,000	
4) 그라우트 자재비	2	ton	1,000,000	2,000,000	
5) 잡자재	1	식	1,000,000	1,000,000	
				-	
소 계				7,000,000	
합 계				7,000,000	
단수정리				-	
견 적 금 액				₩ 7,000,000	V.A.T 별도

그림 2.7.1 매출 실적 계약서



사 진 대 지

계약명	왕궁보석테마 대표관광지 조상사업	교량명	가람교
내 용	진공그라우팅 실시-1	일 자	2019.08



사 진 대 지

계약명	왕궁보석테마 대표관광지 조상사업	교량명	가람교
내 용	진공그라우팅 실시-2	일 자	2019.08

그림 2.7.2 매출 실적 사진대지

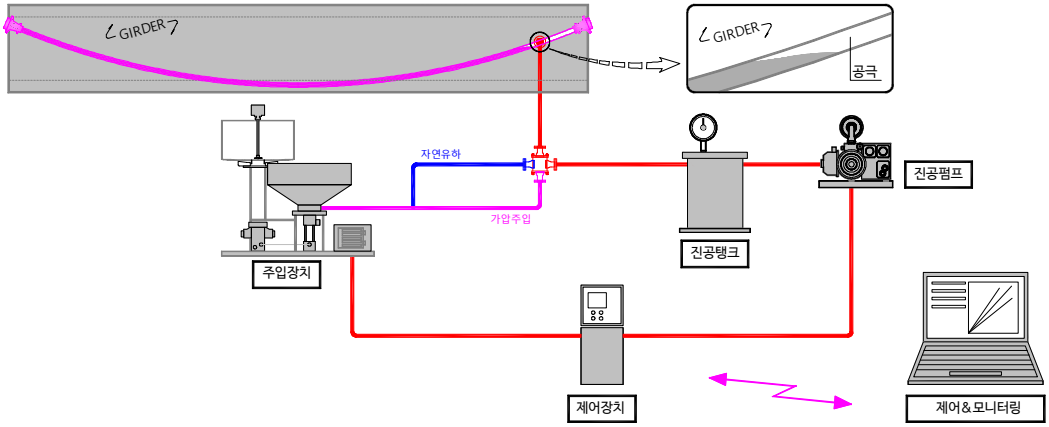
8. 연구 결과

가. 기술적 성과

개발된 기술에 대해서 국내 경쟁사의 기술과 비교를 통해 기술적 우월성을 증명하고자 한다.

(1) 진공그라우팅 장비

- 국내에는 진공그라우팅 장비를 개발 중이거나 생산한 경쟁사는 없다.
- 해외의 경우 대형장비는 일본, 소형장비는 유럽에서 유사한 기술을 가지고 있으나 IoT 기술을 적용한 기술은 없다.



a) 소형장비 시스템 개요도

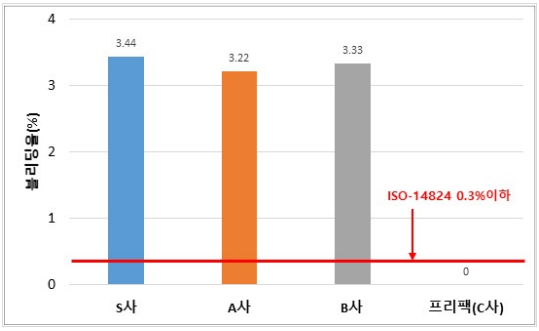


b) 장비 성능

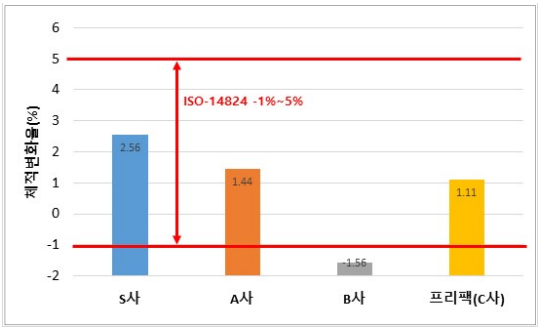
그림 2.8.1 개발 장비시스템 개요도

(2) 고품질 그라우트 재료(NB-CON)

- 국내에서 혼화재 계열로 판매하는 회사는 2개사가 있으며, 연구개발기관인 건설기술연구원에서 개발한 고품질 그라우트 재료가 있다. 그러나, 모두 양산체계를 갖추고 있지 않다.
- 논블리딩 제품으로 개발한 혼화재 제품(A사, BC사)와 개발제품(C사)의 그라우트재료 실험결과 그림 2.8.2와 같이 개발제품이 확연히 우수한 품질로 확인되었다.



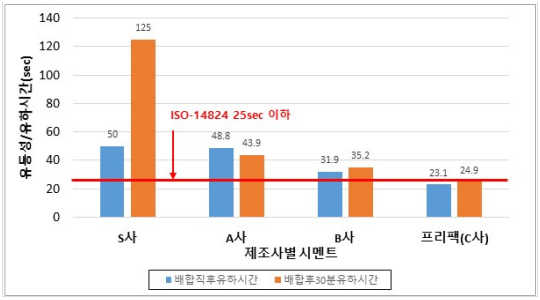
a) 블리딩율 결과



b) 팽창률 결과



a) 유동성-플로



b) 유동성-유하시간

그림 2.8.2 KCI-PS102 적용 경쟁사별 실험결과 비교 그래프

(3) 비파괴조사 시스템 구축

- 국내에서 콘크리트 내부 결함을 찾기 위한 시스템은 다수의 회사에서 보유하고 있으나, 강재 쉬스관 내부의 공극을 찾는 기술을 보유하거나 개발하고 있는 회사는 없다.
- 해외의 경우 충격공진법(Impact-Echo) 장비를 판매하는 회사가 있으나, 타격장치, 송수신장치, 분석장치 및 프로그램이 패키지화되어있다. 충격공진법의 주파수 분석은 민감한 고주파수 영역이기 때문에 측정장치의 정밀도는 한계가 있으므로 측정 결과에 대한 분석방법이 더 중요한 기술이다. 패키지로 판매하는 해외 장비는 분석에 관한 기술 확장성이 없는 반면 우리사의 분석방법은 범용프로그램(MatLab)을 이용하여 필터링기술, 후처리기술의 개발이 가능하므로 확장성이 있기 때문에 향후 조사 정밀도를 높일 수 있다.

나. 경제적 성과

(1) 생산성 향상

(가) 진공그라우팅 장비

대형장비의 경우, 그라우팅 작업을 IoT 기술적용으로 무선제어가 가능함으로 그라우팅 현장 작업자를 4명에서 3명으로 줄일 수 있다. 또한, 진공그라우팅 방법을 사용하여 그라우트 주입시간을 약 10% 단축시켰다.

소형장비의 경우, 장비를 조립형으로 제작하고 각 부품의 무게를 경량화(18kg 이하)하여 별도의 크레인 장비 없이 이동할 수 있어 생산성을 향상할 수 있다. 그리고 공극 부피 측정이 가능한 기술로 그라우트량을 배합 이전에 예측 가능하여 폐기되는 그라우트 재료를 최소화하였다.

(나) 고품질 그라우트 재료

특수 시멘트를 생산하는 회사와 제휴하여 개발하였으며, 양산체계를 수립하였다.

(다) 비파괴조사 시스템 구축

비파괴조사 시스템을 구축하여 PSC교량 유지보수 통합기술을 확보함으로써 일련의 과정을 패키지화하여 생산성을 향상시킬 수 있도록 하였다.

(2) 시장점유율 및 매출액 증대

(가) 진공그라우팅 장비

현재는 기술홍보가 부족하여 시장점유율이 낮지만 한국도로공사의 기술마켓, LH공사 기술마당에 기술등록하여 시장점유율을 확대하고자 한다.

공용중인 PSC교량 유지보수 공사 중 공극부 재그라우팅의 시장은 아직 활성화되지 않았으나, 공극부 조사 기술의 발전과 관련 규정의 개정에 의한 인식이 전환되면 시장을 확대될 것으로 판단된다. 또한, 2020년에 서울시설공단에서 공극부 그라우트 재주입 시공을 시행할 예정이며, 우리사도 참여하고자 담당부서와 협의중이다. 현재는 시장이 형성되는 단계로서 가격 결정권이 우리사에게 있으므로 매출이익을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

(나) 고품질 그라우트 재료

관련 규정이 현재 개정되지 않아 고품질 그라우트 재료시장이 미비한 상태이나 2020년 콘크리트 표준시방서, 도로교 표준시방서가 개정되면 시장이 기하급수적으로 확대될 것으로 판단된다.(대표이사 개정 시방서 집필위원임)

또한, 양산체계를 갖춘 우리사의 매출이 급성장할 것으로 기대된다.

(다) 비파괴조사 시스템 구축

쉬스관 공극 비파괴조사 시장도 현재 활성화 단계이다. 2020년 현재 시설관리공단과 한국건설기술연구원에서도 연구개발 중이다.

2020년을 기점으로 시장은 지속적으로 확대될 것이며 우리사는 시장을 선도할 수 있을 것으로 판단된다. 2020년 서울시설공단에서 관리 중인 PSC교량의 공극 비파괴조사에 참여예정이다.

(3) 고용계획

우리사의 사업 중점분야를 기존 PSC 구조물 기술컨설팅에서 시설물 유지관리 및 안전진단으로 방향을 전환하고자 하며, 안전진단업 특성상 최소 4명의 인력이 필요하므로 추가로 3명을 고용하고자 한다.

제 3 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 및 결과

가. 최종목표

(1) 신규 PSC 교량 건설 시 진공그라우팅 시스템 장비를 이용하여 쉬스관 내부를 완전하게 충전할 수 있게 한다. 특히, 2차년도에 개발 완료한 그라우트 재료를 이용, 진공그라우팅에 적용하여 궁극적으로 쉬스관 내부를 밀실하게 충전함으로써, 강연선 부식방지에 기여, 교량의 내구성 및 안전성을 확보할 수 있게 한다.

(2) PSC 교량 유지 · 보수 시 PSC 교량의 쉬스관 내 강연선의 부식을 방지하기 위해 공극의 정확한 체적을 산출하고 쉬스관 내에 그라우트를 재충전시키는 진공그라우팅 시스템 소형장비를 개발 및 실험하여 기술의 우수성을 확인하고자 한다. 해당 개발기술은 PSC 교량의 유지 · 보수를 위해 진공그라우팅을 위한 성능을 발휘하면서 이동성이 우수한 소형장비로써, 작업자가 협소한 작업 공간 내에서 직접 운반 및 조작이 가능하며, 쉬스관 내부 공극량을 정확하게 측정하고 밀실하게 재충전하여 강연선을 부식으로부터 보호하고 강연선 파단으로 인한 PSC 교량의 붕괴사고를 미연에 방지하고자 한다.

나. 연차별 사업화 목표 및 결과

표 3.1 연차별 사업화 목표 및 결과

구 분	사업화 목표	사업화 전략 및 방법	성과물
1차연도 (2017)	■진공그라우팅 시스템 장비 구축(시제품)	■위탁연구기관에서 제작	■진공그라우팅 시스템 장비
	■진공그라우팅 시스템 개발 관련 특허 출원	■진공그라우팅 시스템을 활용하기 위한 아이디어 특허 출원	■특허 출원 2건
2차연도 (2018)	■진공그라우팅 시스템 소형장비 개발 ■진공그라우팅 시스템에 적용될 그라우트 재료 개발	■장비제작 전문 업체에서 제작 ■그라우트 재료 성능 테스트 실시 ■그라우트 재료 특허 출원	■진공그라우팅 시스템 소형장비 ■특허 출원 2건, 등록 1건 ■국내 학술대회 논문 발표 (한국콘크리트 학회)
3차연도 (2019)	■개발 기술의 사업화를 위한 실물 검증 실험 ■시장진입 및 양산, 판로개척 ■사업화 관련 인증 신청	■실제 구조물을 활용한 현장 실험 실시 ■양산, 판로개척, IR자료 작성 ■도로공사 기술마켓 이용 ■서울시 건설알림이 등 각 지차체 신기술플랫폼 등록	■기술 적용 매출 발생 ■특허 출원 1건, 등록 3건 ■국내 학술대회 논문 발표 (한국콘크리트 학회) ■도로공사, LH, 서울시 기술 발표 ■ 확장기술 개발 (비파괴조사)

표 3.2 제안 당시 기술 수준 및 현재의 기술개발 성숙도

구분		1차 년도	2차 년도	3차 년도	단계별 설명
기초연구 단계	TRL 1	해당 없음	해당 없음	해당 없음	【기초실험】 기본원리발견
	TRL 2				【개념정립】 기술개념과 적용분야의 확립
실험 단계	TRL 3	■			【기본성능검증】 분석과 실험을 통한 기술개념 검증
	TRL 4	■			【부품/시스템 성능검증】 연구실 환경에서의 Working Model 개발
시작품 단계	TRL 5	□	■		【장치/시스템 시제품 제작】 유사 환경에서의 Working Model 검증
	TRL 6	□	■	■	【시제품 성능평가】 유사 환경에서의 프로토타입 개발
실용화 단계	TRL 7	□	■	■	【시제품 신뢰성평가】 실제 환경에서 시제품 데모
	TRL 8	□	□	■	【시제품 인증】 상용제품 시험평가 및 신뢰성 검증
양산단계	TRL 9	□	□	□	【사업화】 상용제품생산

다. 성과점검기준표 및 성과입력 현황

○ 1차년도 성과점검기준표 : 특허출원 2건, 논문 1건, 시제품 1건, 신규고용 1건

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		1차년도 질적 성과							해당 기관	예산 (백만)	1차년도 양적 목표		
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치			목표치	가중치	달성치
총괄	A	진공 그라우팅 시스템의 효과	A-1	진공 펌프	①	진공도	-0.09MPa 이하	-0.09MPa 이하	KSB6930	실험	3.0	서울과학기술대학교	355	특허 : 출원 건	20	특허 : 출원 2건
					②	표면공극률	0.1%이하		KSB6930	실험	2.0			등록 건	20	등록 건
					③	충실률	95% 이상		KSB6930	실험	4.0			논문 등재 : 건	20	논문 등재 : 1건
			A-2	주입 펌프	①	속도	12L/min이하	12L/min이하	KSB6930	실험	1.0			시제품 : 1건	20	시제품 : 1건
			A-3	기체 유량계	①	충실률	95% 이상		KSB6930	실험				S/W : 건	20	S/W : 건
			A-4	그라우트 유량계	①	충실률	95% 이상		KSB6930	실험						
	B	실험 결과	B-1	논문발표	①	관련학회	논문발표				10.0	콘크리트학회				
계											20		355	특허 : 출원 건	100	특허 : 출원 2건
														등록 건		등록 건
														논문 등재 : 건		논문 등재 : 1건
														시제품 : 1건		시제품 : 1건
														S/W : 건		S/W : 건

○ 2차년도 성과점검기준표 : 소형시제품1건, 특허출원(등록) 2(1)건, 논문 2건

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		2차년도 질적 성과							해당 기관	예산 (백만)	2차년도 양적 목표		
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치			목표치	가중치	달성치
총괄	A	진공 그라우팅 시스템의 효과	A-1	진공 펌프	①	진공도	-0.09MPa 이하	-0.09MPa 이하	KSB6930	실험	3.0	서울과학기술대학교	446	특허: 출원 건	20	특허: 출원 2건
					②	표면공극률	0.1%이하		KSB6930	실험	2.0			등록 건	20	등록 1건
					③	충실률	95% 이상		KSB6930	실험	4.0			논문 등재: 1건	20	논문 등재: 2건
			A-2	주입 펌프	①	속도	12L/min이하	12L/min이하	KSB6930	실험	1.0			시제품: 1건	20	시제품: 1건
			A-3	기체 유량계	①	충실률	95% 이상		KSB6930	실험				S/W: 건	20	S/W: 건
			A-4	그라우트 유량계	①	충실률	95% 이상		KSB6930	실험						
	B	실험 결과	B-1	논문 발표	①	관련학회	논문발표	논문발표			10.0	콘크리트학회				
계											20		446	특허: 출원 건	100	특허: 출원 2건
														등록 건		등록 1건
														논문 등재: 1건		논문 등재: 2건
														시제품: 1건		시제품: 1건
														S/W: 건		S/W: 건

○ 3차년도 성과점검기준표 : 특허출원(등록) 1(3)건, 인력양성 1건, 신규고용 1건, 매출발생 1건, 논문 3건(초과성과), 재료시제품 1건

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		3차년도 질적 성과					해당 기관	예산 (백만)	3차년도 양적 목표		
					질적 성과지표		목표치 달성치	측정방법	검증 방법	가중치			목표치	가중치	달성치
총괄	A	진공그라우팅 시스템의 효과	A-1	진공그라우팅 시스템	①	사업화 모델 및 전략 수립	내외부 환경분석을 통한 BM도출 및 타당성 검증, 사업화 전략 수립	보고서 작성	전문가 검증	10	서울과학기술대학교	511	특허 : 출원 2건 등록 2건 시제품 : 건 S/W : 1건 매출액 50백만원 신규고용 1명 신기술인증 건 인력양성(석부사) 1건	10 10 10 10 20 20 20	특허 : 출원 1건 등록 3건 시제품 : 건 S/W : 1건 매출액 7백만원 신규고용 1명 신기술인증 건 인력양성(석부사):1건 논문 게재 : 3건
					②	진공도달성	-0.09MPa이하	KS B 6930	실험	5					
					③	진공펌프의 충실률	95%이상	충전체적 확인	실측	2.0					
					④	진공펌프의 표면공극	0.1%이하	표면공극 확인	실측	2.0					
					⑤	소형장비의 무게	각 20kg 이하	무게측정	실측	1.0					
계										20		511	특허 : 출원 1건 등록 2건 시제품 : 건 S/W : 1건 매출액 50백만원 신규고용 1명 신기술인증 건 인력양성(석부사):1건	100	특허 : 출원 1건 등록 3건 시제품 : 건 S/W : 1건 매출액 7백만원 신규고용 1명 신기술인증 건 인력양성(석부사):1건 논문 게재 : 3건

○ 최종 성과목표 및 성과지표

초과성과 : 특허출원(등록) 2(1)건, 논문 5건, 시제품 1건(재료)

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		총괄 질적 성과					해당 기관	예산 (백만)	총괄 양적 목표		
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증 방법	가중치			목표치	가중치	달성치
총괄	A	진공그라우팅 시스템의 효과	A-1	진공그라우팅 시스템	①	사업화 모델 및 전략 수립	내외부 환경분석을 통한 BM도출 및 타당성 검증, 사업화 전략 수립	보고서 작성	전문가 검증	10	서울과학기술대학교 공인시험인증기관	1,313	특허 : 출원 3건 등록 3건 논문 등재 : 1건 시제품 : 2건 S/W : 1건 매출액 50백만원 신규고용 2명 신기술인증 건 인력양성(석부사) 1건	10 10 10 10 10 20 20	특허 : 출원 5건 등록 4건 논문 등재 : 6건 시제품 : 3건 S/W : 1건 매출액 7백만원 신규고용 2명 신기술인증 건 인력양성(석부사):1건
					②	진공도달성	-0.09MPa이하	KS B 6930	실험	5					
					③	진공펌프의 충실률	95%이상	충전체적 확인	실측	2.0					
					④	진공펌프의 표면공극	0.1%이하	표면공극 확인	실측	2.0					
					⑤	소형장비의 무게	각 20kg 이하	무게측정	실측	1.0					
계										20		1,313	특허 : 출원 3건 등록 3건 논문 등재 : 1건 시제품 : 2건 S/W : 1건 매출액 50백만원 신규고용 2명 신기술인증 건 인력양성(석부사):1건	100	특허 : 출원 5건 등록 4건 논문 등재 : 6건 시제품 : 3건 S/W : 1건 매출액 7만원 신규고용 2명 신기술인증 건 인력양성(석부사):1건

2. 목표 달성여부

가. 정량적 연구성과 목표 및 달성도

표 3.3 정량적 연구성과 목표 및 달성도

세부 연구 목표 (연구계획서의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
매출액 달성 (50백만원)	10	2	해당 과제는 사업화 과제로써, 매출액 달성이 가장 중요하다고 판단된다. 목표매출액 대비 14%인 7백만원의 매출이 발생하였다. 이러한 매출액 발생은 연구수행 종료 전에 발생한 성과로 제품의 우수성을 확인할 수 있었다. 또한, 신규 PSC 교량의 건설이 증가하고, 유지·보수에 대한 수요가 많이 요구되는 상황으로, 앞으로도 매출이 계속해서 발생할 것으로 예상한다.
특허 출원 3건	10	10	연구수행 제안 시, 총 3건의 특허 출원 및 등록을 계획하였다. 현재 총 5건의 특허를 출원하였으며, 이 중 4건의 특허가 등록되어 목표치인 3건을 모두 만족하였으며 추가로, 1건이 등록예정 상태이다.
특허 등록 3건	10	10	
논문 게재 1건	10	10	연구수행 제안 시, 총 1건의 논문 게재를 계획하였다. 현재 총 5건을 한국콘크리트학회지에 게재하였으며, 2019년 가을학술대회에서 구두 발표도 하였다.
시제품 2건	10	10	신규 PSC 교량용 진공그라우팅 장비와 공용 중인 PSC 교량 유지·보수용 소형 진공그라우팅 장비를 제작하였다. 또한, 추가 연구개발을 통해 품질이 우수한 논블리딩 프리팩 그라우트 재료를 개발하여 진공그라우팅에 적용하였다.
S/W 1건	10	10	진공그라우팅 장비에 IoT 기술을 접목하여 PSC 교량의 그라우팅 공정 시, 무선제어 및 모니터링이 가능하게 하였다.
인력양성 1명	20	20	해당 과제의 학생인건비를 통해 지원받은 학생 1명이 학위를 수여하였다. ■ 석사 1명 (2019.09) 배출
신규인력 고용 2명	20	20	해당 과제의 정부지원금으로 2명이 채용되어 연구수행 하였다.
합계	100	92	연구수행 계획에 없었던 특허를 2건 출원하고 그라우트 재료 추가개발을 통한 초과 달성.

3. 목표 미달성 시 원인 및 차후대책

가. 목표 미달성 시 원인

목표 계획 시 PSC 교량 시공에 진공그라우팅 장비를 사용한 시공이 가능할 것으로 판단하여 목표매출액을 5천만원으로 계획하였으나, 목표매출액 대비 14%인 7백만원의 매출이 발생하였다.

이러한 매출부진 원인은 관련 규정의 개정이 되지 않아 발주처 및 시공사의 고품질 그라우팅 시공에 대한 인식이 아직 부족한 부분이 있었으며, 연구기간 중 추가 연구개발로 인하여 홍보 및 영업 활동이 부족할 것으로 분석되었다.

나. 차후대책

현재 국내에서 그라우트 품질관리에 대한 규정이 개정되지 않아 인식변화가 없으며, 따라서 아직 관련 시장이 형성되지 않은 상태이므로 홍보 및 영업활동은 한계가 있었다. 오히려 홍보 및 영업활동보다 연구개발분야를 확대(비파괴조사 시스템 구축)하는 방향이 단기적인 성과보다는 장기적인 시장 지배력을 강화할 수 있는 계기가 될 것으로 판단되었다. 이러한 인식의 한계와 연구방향 전환이 목표매출액을 달성하지 못한 이유였다.

그러나, 2020년 관련 규정이 개정되고 고품질그라우팅 재료 및 품질관리가 엄격해지면서 이번 연구개발된 그라우트 재료 및 진공그라우팅 방법의 수요가 점차 증가할 것으로 예상된다.

특히, 시장형성이 가장 쉬운 그라우트 재료 분야를 중점적으로 판매 홍보 및 영업활동을 하고자하며, 이를 확장하여 그라우팅 시공 및 PSC교량 건설로 매출을 확대하고자 한다. 또한, 공용 중인 PSC 교량의 유지보수 시장도 서울시설공단의 주도로 시험시공이 이루어질 예정이므로 시장이 형성되고 있다. 따라서 구축이 완비된 유지보수 통합 기술시스템을 적극홍보하며 시험시공에 참여하면서 추후 형성되는 시장에 선두주자로 자리매김함으로 매출을 증대시켜, 건설신기술 등록을 추진하고자 한다.

제 4 장 연구개발성과의 활용 계획

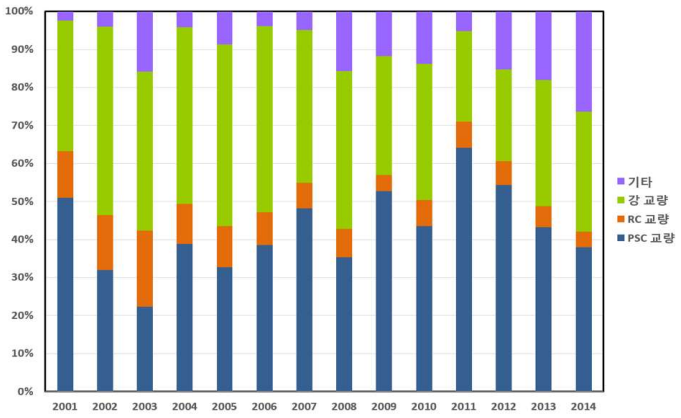
1. 국내외 시장분석 및 사업화 전망

가. 국내 시장규모 및 전망

국내 교량건설에서 PSC교량의 건설이 지속적으로 증가하고 있으며 그림 4.1과 같이 2018년 현재 PSC교량의 점유율은 46%이다.



a) 전체 교량 건설 현황



b) 연도별 교량 건설 현황

* 출처 : 2019 도로교량 및 터널 현황 조서, 국토교통부

그림 4.1 국내 PSC교량 건설 현황

특히, 2012년 설계된 서해선 철도(총연장=33.2km)의 PSC교량 형식은 그림 4.2와 같이 92%를 차지하고 있으므로 PSC교량의 시장점유율은 지속적으로 상승할 것으로 예상한다.

따라서, 그라우트 품질관련 규정이 개정되면 신규 PSC교량의 시공에 고품질 그라우트 재료 판매 및 고품질 그라우팅 시공방법(진공그라우팅) 수요는 증대될 것으로 전망된다.

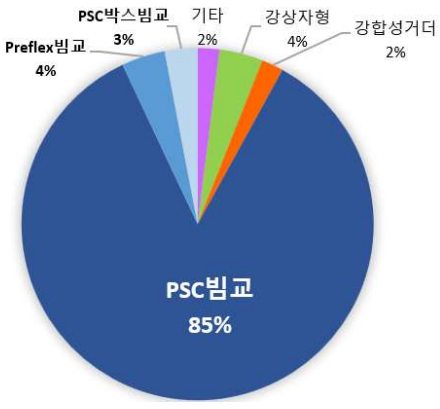


그림 4.2 서해선 철도 교량형식 현황

또한, 해외 PSC교량 사고사례를 참고하면 교량 건설 30년경과 후 강연선 관련 사고가 발생하기 시작하므로 국내에도 표 4.1의 국내 공용연수별 PSC 교량건설 현황과 같이 30년 이상 된 PSC교량이 2,699개, 481km로 유지보수 대상 교량이 많으며 그 수는 지속적으로 증가할 것으로 판단된다.

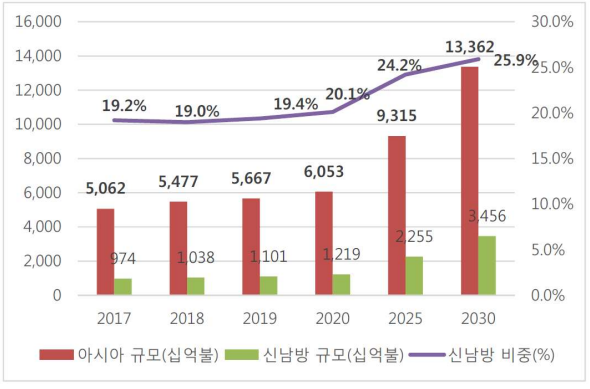
표 4.1 국내 공용년수별 PSC 교량건설 현황

구분		PSC박스거더교		PSC거더교	
완공년도	도로구분	총개소(ea)	총연장(m)	총개소(ea)	총연장(m)
1990년 이전	고속도로	21	5,460	82	10,028
	국도및광역시도	23	11,522	282	49,763
	일반도	9	2,669	286	38,146
	소계	53(7%)	19,651	650(7%)	97,937
1991년 ~ 2000년	고속도로	98	66,935	877	101,961
	국도및광역시도	43	60,188	517	63,324
	일반도	32	13,104	429	58,068
	소계	173(24%)	140,227	1,823(19%)	223,353
2001년 ~ 2010년	고속도로	224	144,906	1,953	274,600
	국도및광역시도	45	17,891	1,516	135,416
	일반도	41	14,373	719	66,224
	소계	310(43%)	177,170	4,188(43%)	476,240
2001년 ~ 2018년	고속도로	53	26,791	1,263	178,266
	국도및광역시도	72	42,533	1,376	139,490
	일반도	55	18,828	361	31,272
	소계	180(25%)	88,152	3,000(31%)	349,027
총계		716	425,200	9,661	1,146,556

나. 해외 시장규모 및 전망

유럽과 미국, 일본 시장은 국내 기술수준보다 앞서있기 때문에 시장진출에 한계가 있어 해외 진출 목표를 동남아시아 건설시장으로 설정하였다.

아시아 건설시장의 규모는 그림 4.3과 같다. 아시아 건설시장의 17%이며, 2030년까지 25%대로 확대될 것으로 예상된다.



* 출처 : IHS Global Insight('18.4Q)

그림 4.3 아시아 건설시장 규모

특히 신남방 주요국 7개국(인도, 인니, 태국, 말련, 필리핀, 베트남, 싱가포르)의 건설시장은 연평균 10%에 가깝게 성장하고 있으므로 신남방지역(ASEAN+인도)을 상대로 PSC교량 그라우트의 품질관리 중요성과 공용중인 PSC교량의 공극 조사 및 및 유지관리의 필요성에 대해 적극적으로 홍보하여 고품질 그라우팅 시장과 유지보수 시장을 형성하고자 한다.

※ 2018년부터 베트남 하노이국립건설대학에서 관련기술 교육을 진행하고 있음.

(공동연구기관 윤석구교수)

2. 사업화 추진방안

가. 판매계획 및 전략

(1) 시공용 진공그라우팅

시공용 진공그라우팅의 단위공사비는 그라우트 재료와 그라우팅 시공을 포함하여 1m^{3}당 5백만원으로 산정하였으며, 이를 근거로 표 4.2과 같이 연도별 판매계획을 수립하였다. 연도별 신설구조물의 평균 그라우트 공사비는 1.5만원으로 예상된다. 초기에는 홍보와 인식부족으로 매출이 크지 않으나, 지속적으로 시장점유율은 증가하여 시장의 10~25%의 점유율로 판매계획을 증대시키고자 한다.

표 4.2 연도별 판매계획

(단위 : 백만원)

구 분	2020년	2021년	2022년	2022년	2022년
국 내	150	400	1,000	1,500	2,000
해 외	-	200	300	500	700

(2) 쉬스관 공극 유지보수용 진공그라우팅

쉬스관 공극 유지보수공사의 시장규모는 국내 PSC교량 안전진단 시장규모에 대해 초기에는 5%로 설정하였으며, 지속적으로 성장할 것으로 예상한다.

표 4.3 PSC교량 유지보수 시장규모 산정

구 분	현재의 시장규모(2019)	예상 시장규모(2020년)
국 내	239.3	260
해 외	47.8	52

〈산출근거〉

① 1년 정밀안전 진단 교량 개소수 및 연장 (정밀안전진단 5년/1회)
(PSC - 거더의 경우 2종 시설물로서 10년/1회로 가정함)
- 교량 개소 : 3,719 / 5년 = 744개소/1년
- 교량 연장 : 668,575 / 5년 = 133,715m/1년

② 교량 정밀 안전진단 대가 산출 (1,000m / 1건 기준)
ⓐ 시설물별 직적 인건비 기준 인원 : 340인(외업 : 241인, 내업 : 99인)
- 340인 x 224,061 원 = 76,180,740 원(2019년 기준)
ⓑ 직접 경비 대가 기준
- 여비 및 현장 체재비 : 10인 1회 왕복 = 800,000원
- 현지 차량 운행비 : 10리터/일 = 340/4인 = 1,700,000원
ⓒ 현지 보조인부의 노임 : (외업인원의 40%) = 6,748,000원
ⓓ 기계, 기구손료 : (직접인건비의 10%) = 8,601,320원
ⓓ 보고서 등 인쇄비 : = 2,000,000원
계 = 96,000,000원

③ GPR 탐사 대가 산출 (1,000m / 1건 기준)
ⓐ 시설물별 직접 인건비 기준 인원 : 557 인
- 557 인 x 224,061 원 (2019년 기준) x 50% (교량에 대한 조정비) = 63,000,000원

④ 그라우팅 대가 산출 (1,000m / 1건 기준)
- 20,000 원 x 1,000 m = 20,000,000원

⑤ 정밀안전진단 및 GPR 탐사에 대한 1년 예상 사업비
- (96,000,000+63,000,000+20,000,000) x 133,715m/1년 / 1,000m = 23,935,000,000원

표 4.4 연도별 판매계획 - 유지보수

(단위 : 억원)

구 분	2020년	2021년	2022년	2023년	2024년
국 내	10	15	22	30	40
해 외	3	7	12	18	25

나. 사업화 전략

사업화 전략은 SWOT 분석으로 수립하였으며 표 4.6과 같다.

표 4.5 SWOT 분석도

강점(S)	약점(W)
• 국내 유일의 기술로 국내 시장 선점으로 경쟁력 우위 • PSC 교량에 대한 시공경험과 노하우가 있는 대표이사 및 직원 • PC 강재 부식과 관련된 국내 권위자인 윤석구 교수와 공동 개발 • 교량 현장 기술 지원 컨설팅 업무와 연계할 수 있어 사업분야 다양화	• 그라우트 품질관련 규정 미개정 • 관련기술 시장형성단계로서 매출증대까지 시간 소요 • 그라우팅 품질관리의 중요성에 대한 인식 부족 • 중소기업의 시장 점유율 한계
기회(O)	위협(T)
• 내부순환도로(정릉천교) 사고로 인한 사회적 관심 증대 • 국내 유일의 기술로서 수요처 증가 예상 • 그라우트 품질관련규정개정(2020년) • PSC교량 건설 증가 추세(PSC 특허교량 증가)	• 경쟁 기술 개발 • 특허 도용 가능성 • 국내 토목건설 부문의 발주량 감소로 매출 감소 및 수익성 악화 • 구조물 보수보다는 보강을 선호하는 시설물 유지관리 성향

SWOT 분석을 통해 도출할 수 있는 사업화 전략은 S-O전략, S-T 전략, W-O 전략, W-T 전략의 4가지로 당상의 사업화를 위해 도출된 각각의 세부전략은 다음과 같다.

■S-O전략(강점을 가지고 기회를 살리는 전략)

- 국내 유일의 기술보유로 내부순환도로 관리주체인 서울시설공단과 연계하여 공용중인 교량에 적용 예정
- 그라우트 품질관련 규정 개정에 대표이사가 참여하고 있으므로 대외 신뢰도 높음
- 기존의 사업분야인 PSC교량 현장기술지원 컨설팅에 보수공사 및 신규 그라우팅 시공으로 사업분야를 다양화할 수 있음
- 안전진단 업체인 위탁기관과 연계하여 PSC교량 유지관리 시스템 구축

■ S-T 전략(강점을 가지고 위협을 회피하거나 최소화하는 전략)

- 현장적용 경험이 있는 선두기업으로서 경쟁사와 차별화된 개발기술 보유 및 추가 기술개발 가능
- 신규건설 시장의 감소에 비해 유지보수 관련 발주물량은 증가할 것으로 예상됨으로 안전진단 업체인 위탁기관과 함께 적극적인 영업활동으로 매출분야 다양화
- 국내 주요 PSC 교량 특허업체와 협력을 강화하여 매출 유지
- 강연선 부식에 따른 PSC교량의 내하력 평가 관련 연구를 병행하여 구조물 보강보다 경제적인 보수방법으로 유도
- 그라우트 재료 가격은 초기에는 제품의 차별성으로 고가로 가격을 책정하고 향후 신규 교량용 재료는 시장가격으로 조정할 예정이며, 유지보수용 재료는 반드시 진공그라우팅방법으로 시공하여야 하므로 재료의 유동성을 보완하여 고가를 유지하고자 함

■ W-O 전략(약점을 보완하여 기회를 살리는 전략)

- 2020년 도로교 표준시방서, 콘크리트표준시방서 개정으로 기술적용에 대한 관련규정 근거가 됨
- 관련규정 개정 후 기술도입의 필요성과 우리사 보유기술에 대해 건설신문에 광고게재 및 국토교통대전 등 전시회 참가
- 시장인식 변화가 쉬운 고품질 그라우트 재료 판매 분야부터 시장진입 시도
- PSC교량 특허업체와 그라우팅 관련 업무 제휴

■ W-T 전략(약점을 보완하면서 동시에 위협을 회피하거나 최소화하는 전략)

- 전문 영업 인력의 확보로 국내외 경쟁기업과의 경쟁 대비
- 국내외 전시회, 세미나, 학술제 참가를 통한 기업홍보 및 시장 확대
- 공공 부문 등 중소기업 우대 사업 참여

다. 추가연구의 필요성

기술개발 완료 후 추가연구개발이 필요한 분야는 아래와 같다.

○ **비파괴조사 시스템 기술 추가 개발**

연구과제를 통해 구축된 충격공진법(Impact-Echo) 기술은 현재 쉬스관의 공극을 조사할 수 있는 수준이므로 주파수 분석 필터링 기술과 후처리기술(이미지화)을 추가로 개발하여 공극조사의 정확도를 상승시키고자 한다.

○ **그라우트 재주입 시 방청재료 개발**

쉬스관 내부 공극에 염화물 침투로 강연선이 부식되었을 경우, 그라우트를 재주입하기 전에 공극부를 방청처리해야 한다. 이를 위해 친환경적이고 사용이 편리한 방청재료 개발이 필요하다.

붙임. 참고문헌

1. 고경택, 류금성, 안기홍. (2017) 화학혼화재가 PSC용 그라우트 품질 특성에 미치는 영향. 한국건설순환자원학회 논문집.5(1). pp68~75

2. 고경택, 박영환, 류금성, 안기홍. (2016) 국내 PSC 교량용 그라우트 문제점 분석 및 향후 개선 방안. 한국콘크리트학회 학술대회 논문집. pp.39~51.

3. 국토교통부. (2017) 콘크리트표준시방서.

4. 국토교통부. (2019) 도로 교량 및 터널 현황조서. 국토교통부

5. 김기현, 윤석빈, 윤석구. (2019) 포스트텐션텐던의 부식과 그라우팅 기술. 한국콘크리트학회지 Vol.31 No.4. pp18~23

6. 산업통산자원부 국가기술표준원, (2003) KS B 6930 저진공 펌프 성능 시험 방법.

7. 산업통산자원부 국가기술표준원. (2004) KS F 2432 주입 모르타르의 컨시스턴시 시험 방법.

8. 산업통산자원부 국가기술표준원. (2004) KS F 4044 수경성 시멘트 무수축그라우트.

9. 산업통산자원부 국가기술표준원. (2018) KS F 2433 주입 모르타르의 블리딩률 및 팽창률 실험 방법.

10. 서울특별시. (2017) 서울시 관내 PSC 박스거더교긴장재 유지관리 방안 수립 학술용역 종합보고서

11. 신경준, 이미화, 장석윤, 이광영. (2007) PSC용 주입식 그라우트의블리딩 시험방법. 대한토목학회 학술대회. pp2306~2309

12. 신동우. (2019) 아시아 해외건설시장 주용 동향 및 진출전략. 해외건설협회

13. 윤석구. (2013) PS강연선이 부식된 PSC보의 극한휨강도 평가실험. 대한토목학회 논문집. Vol.33, No.3. pp843~854

14. 인상렬. (2013) 진공기술 기본이론. (사) 한국진공학회 기술강좌

15. 조은래, 박경순, 최광수, 정진우, 배동수. (2017) PSC 교량 장기 내구성 증진을 위한 고품질 PSC 그라우트 적용사례. 대한토목학회지65(7). pp64~69

16. 한국건설기술연구원. (2015) PSC 교량의 공극 제로 그라우팅 기술 개발. 경기도: 한국건설기술연구원 No. KICT 2015-190.

17. 한국건설기술연구원. (2016) PSC 교량의 공극 제로 그라우팅 기술 개발. 경기도: 한국건설기술연구원 No. KICT 2013-177.

18. 한국콘크리트학회, KCI-PS102 : 2017 프리스트레스트 콘크리트용 그라우트의 품질 규격.

19. 황성필, 정재형. (2015) 소형화 그라우트 믹서 제작을 위한 현황 연구. 한국지반환경공학회 학술발표회 논문집, pp274~278

20. AtorodAzizinamini, Jawad Gull (2012) , Improved Inspection Techniques for Steel Prestressing/ Post-tensioning Strand Volume1. Florida International University, Miami. FDOT Contract No. BDK80 977-13.

21. FDOT (2001 (b)) , Sunshine skyway bridge post-tensioned tendons investigation, Parsons Brinckerhoff Quade and Douglas, Inc., Florida Department of Transportation, Tallahassee, FL, USA.

22. FDOT (2001(a)), Mid-Bay bridge post-tensioning evaluation. Final Report, Corven Engineering, Inc., Florida Department of Transportation, Tallahassee, FL, USA.

23. FDOT (2002) , New Directions for Florida Post-Tensioned Bridges, FDOT Report, Florida Department of Transportation, Tallahassee, FL, USA.

24. FHWA-HRT-14-039 (2014) , An FHWA SPecialStudy:Post-Tensioning Tendon Grout Chloride Thresgolds, Long-Term Bridge Performance Program, Summary Report.

25. Florida Department of Transportation. (2002) New Directions for Florida Post-Tensioned Bridges. Corven Engineering, Inc, 1415 E. Piedmont Drive, Suite 2 Tallahassee, Florida 32308. Final Report Volume 1 of 10.

26. Guy Dickes (2008). Vacuum Grouting Repairs for Existing Post-Tensioned Structures and New Construction. In 2008 PCI Convention, 26-29 Octorber 2008. Scottsdale, Arizona. pp. 1-15.

27. Halsall, A.P., Welch, W.E., and Trepanier, S.M. (1996) Acoustic Monitoring Technology for post-tensioned Concrete Structures, FIP Symposium 1996 on Post-tentioned Concrete Structures, the Concrete Society, pp. 483-491.

28. Joris Van Roy(2017), Dossier: the 28 'crumble-bridges' of Flanders. *https://newmobility.news/2017/05/17/dossier-28-crumble-bridges-flanders/*

29. Seung-KyoungLee and James Zielske. (2014) An FHWA Special Study: Post-Tensioning Tendon Grout Chloride Threshold. Office of Infrastructure Research and Development Fedaral Highway Administration 6300 Georgetown Pike Mclean, VA 22101-2296. FHWA-HRT-14-039.

30. VSL INTERNATIONAL LTD. (2002) Grouting Of Post-Tensioning Tendons. LYSSACH: VSL INTERNATIONAL LTD. VSL Report Series 5.

31. William H. hartt, Siva Venugopalan. (2002) Corrosion Evalaution of Post-Tensioned Tendons on the Mid Bay Bridge in Destin, Florida. Florida Department of Transportation Research Center 605 Suwannee Street MS30 Tallahassee, Florida 32399. Final Report.

32. Woodward, R. (1981) "Conditions within ducts in post-tensioned prestressed concrete bridges." LR 980 , Transport and Road Research Laboratory, Department of Transport, Crowthorne, Berkshire, UK.

33. 山口光俊., 辻裕治., 野田一路. (2009) 真空ポンプを併用したPCグラウトの施工 (前橋渋川バイパス利根川橋上部工事(下り線)). In プレストレストコンクリート技術協会第18回シンポジウム論文集 출pp. 361-362.

34. 長尚, (2015), 近年の日本における落橋事故について, *http://www.avis.ne.jp/~cho/knkr.html*

35. 寺田 典生.(2016) プレストレストコンクリ1ート橋におけるPCグラウト充填状況に着目した維持管理のあり方に関する研究. 京都大学.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.

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

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