

| 최종보고서(일반과제용)       |             |                                                                                                                                                                     |                        |               |             |                       |                   |              |         | 보안등급                                                                      |                   |
|--------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------|-------------|-----------------------|-------------------|--------------|---------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|                    |             |                                                                                                                                                                     |                        |               |             |                       |                   |              |         | 일반[ <input checked="" type="checkbox"/> ], 보안[ <input type="checkbox"/> ] |                   |
| 중앙행정기관명            | 국토교통부       |                                                                                                                                                                     |                        |               | 사업명         | 사업명                   |                   | 국토교통기술촉진연구사업 |         |                                                                           |                   |
| 전문기관명              | 국토교통과학기술진흥원 |                                                                                                                                                                     |                        |               |             | 내역사업명                 |                   | 국토교통기술혁신연구   |         |                                                                           |                   |
| 공고번호               | 공고-제05호     |                                                                                                                                                                     |                        |               | 총괄연구개발 식별번호 |                       | -                 |              |         |                                                                           |                   |
|                    |             |                                                                                                                                                                     |                        |               | 연구개발과제번호    |                       | 20CTAP-C158044-01 |              |         |                                                                           |                   |
| 국가과학기술<br>표준분류     | 건설교통        | 100%                                                                                                                                                                | 시설물안전/유지관리기술           | 50%           | 시설물설계/해석기술  |                       | 50%               |              |         |                                                                           |                   |
| 총괄연구개발명            | 국문          |                                                                                                                                                                     |                        |               |             |                       |                   |              |         |                                                                           |                   |
|                    | 영문          |                                                                                                                                                                     |                        |               |             |                       |                   |              |         |                                                                           |                   |
| 연구개발과제명            | 국문          | 지상5층 치장조적 건물의 상태판정(배부름, 균열, 앵커철물 등)과<br>보강안 도출을 8시간내에 수행가능한 솔루션 개발                                                                                                  |                        |               |             |                       |                   |              |         |                                                                           |                   |
|                    | 영문          | Development of investigation(bowing, cracks, wall tie classification etc) and seismic<br>strengthening drafting solution on the 5 story brick veneer within 8 hours |                        |               |             |                       |                   |              |         |                                                                           |                   |
| 주관연구기관             | 기관명         | 미래구조엔지니어링                                                                                                                                                           |                        |               |             | 사업자등록번호               | 220-86-17680      |              |         |                                                                           |                   |
|                    | 주소          | 서울 송파구 법원로 127, 대명벨리온<br>417호(문정동) (우)05836                                                                                                                         |                        |               |             | 법인등록번호                | 110111-2299570    |              |         |                                                                           |                   |
| 주관연구책임자            | 성명          | 김용남                                                                                                                                                                 |                        |               |             | 직위                    | 대표이사              |              |         |                                                                           |                   |
|                    | 연락처         | 직장전화                                                                                                                                                                | 02-558-6090            |               | 휴대전화        | 010-6288-8096         |                   |              |         |                                                                           |                   |
|                    |             | 전자우편                                                                                                                                                                | structurekim@gmail.com |               | 국가연구자번호     | 1103-1201             |                   |              |         |                                                                           |                   |
| 연구개발기간             | 전체          | 2020. 04. 13 - 2021. 12. 31( 21개월)                                                                                                                                  |                        |               |             |                       |                   |              |         |                                                                           |                   |
|                    | 1년차         | 2020. 04. 13 - 2020. 12. 31( 9개월)                                                                                                                                   |                        |               |             |                       |                   |              |         |                                                                           |                   |
|                    | 2년차         | 2021. 01. 01 - 2021. 12. 31( 12개월)                                                                                                                                  |                        |               |             |                       |                   |              |         |                                                                           |                   |
| 연구개발비<br>(단위 : 천원) | 정부지원        | 기관부담                                                                                                                                                                |                        | 그 외 기관 등의 지원금 |             |                       |                   | 합계           |         |                                                                           | 연구개발비<br>외<br>지원금 |
|                    | 연구개발비       | 연구개발비                                                                                                                                                               |                        | 자립자단체 기타( )   |             |                       |                   |              |         |                                                                           |                   |
|                    | 현금          | 현금                                                                                                                                                                  | 현물                     | 현금            | 현물          | 현금                    | 현물                | 현금           | 현물      | 합계                                                                        |                   |
| 총계                 | 370,000     | 20,000                                                                                                                                                              | 130,000                | -             | -           | -                     | -                 | 390,000      | 130,000 | 520,000                                                                   | -                 |
| 1년차                | 160,000     | 8,000                                                                                                                                                               | 62,000                 | -             | -           | -                     | -                 | 168,000      | 62,000  | 230,000                                                                   | -                 |
| 2년차                | 210,000     | 12,000                                                                                                                                                              | 68,000                 | -             | -           | -                     | -                 | 222,000      | 68,000  | 290,000                                                                   | -                 |
| 공동연구기관 등           | 기관명         | 책임자                                                                                                                                                                 | 직위                     | 휴대전화          |             | 전자우편                  |                   |              |         | 비고                                                                        |                   |
|                    |             |                                                                                                                                                                     |                        |               |             |                       |                   |              |         | 역할 기관유형                                                                   |                   |
| 공동연구기관             | 세종대학교 산학협력단 | 이기학                                                                                                                                                                 | 정교수                    | 010-9390-4005 |             | khalee@sejong.ac.kr   |                   |              |         | 공동 대학                                                                     |                   |
|                    | 피에스엔지니어링(주) | 김양중                                                                                                                                                                 | 대표이사                   | 010-3761-6595 |             | pseng041@charmail.net |                   |              |         | 공동 중소기업                                                                   |                   |
| 위탁연구기관             |             |                                                                                                                                                                     |                        |               |             |                       |                   |              |         |                                                                           |                   |
| 연구기관 외 기관          |             |                                                                                                                                                                     |                        |               |             |                       |                   |              |         |                                                                           |                   |
| 연구개발담당자            | 성명          | 함우정                                                                                                                                                                 |                        |               |             | 직위                    | Pro               |              |         |                                                                           |                   |
| 실무담당자              | 연락처         | 직장전화                                                                                                                                                                | 02-558-6090            |               | 휴대전화        | 010-5644-9602         |                   |              |         |                                                                           |                   |
|                    |             | 전자우편                                                                                                                                                                | hwj9602@naver.com      |               | 국가연구자번호     | 1191-8858             |                   |              |         |                                                                           |                   |

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

2021 년 12 월 31 일

주관연구책임자 :

김 용 남

(직인)

주관연구기관의 장 :

미래구조엔지니어링

김 용 남

(직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

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

## < 요약 문 >

|                           |       |                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |              |                                                                                                                                                                                                |                              |     |
|---------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----|
| 사업명                       |       | 국토교통기술촉진연구사업                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 총괄연구개발 식별번호  |                                                                                                                                                                                                | -                            |     |
| 내역사업명                     |       | 국토교통기술혁신연구                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 연구개발과제번호     |                                                                                                                                                                                                | 20CTAP-C158044-01            |     |
| 국가과학기술<br>표준분류            |       | 건설교통                                                                              | 100%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 시설물안전/유지관리기술 | 50%                                                                                                                                                                                            | 시설물설계/해석기술                   | 50% |
| 총괄연구개발명                   |       |                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |              |                                                                                                                                                                                                |                              |     |
| 연구개발과제명                   |       | 지상5층 치장조적 건물의 상태판정(배부름, 균열, 앵커철물 등)과<br>보강안 도출을 8시간내에 수행가능한 솔루션 개발                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |              |                                                                                                                                                                                                |                              |     |
| 전체 연구개발기간                 |       | 2020. 04. 13 - 2021. 12. 21( 21 개월)                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |              |                                                                                                                                                                                                |                              |     |
| 총 연구개발비                   |       | 총 520,000 천원<br>(정부지원연구개발비 : 370,000 천원, 기관부담연구개발비 : 150,000 천원)                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |              |                                                                                                                                                                                                |                              |     |
| 연구개발단계                    |       | 기초[ ] 응용[ <input checked="" type="checkbox"/> ] 개발[ ]<br>기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ] |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 기술성숙도        |                                                                                                                                                                                                | 착수시점 기준( 3 )<br>종료시점 목표( 6 ) |     |
| 연구개발과제 유형                 |       | 지정공모 [ ] 자유공모 [ <input checked="" type="checkbox"/> ]                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |              |                                                                                                                                                                                                |                              |     |
| 연구개발과제 특성                 |       | 실용화                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |              |                                                                                                                                                                                                |                              |     |
| 연구<br>개발<br>목표<br>및<br>내용 | 최종 목표 |                                                                                   | 현장조사와 관련한 적절한 표본조사 수량, 조사항목, 판정기준도 함께 제시될 예정이며,<br>보강을 위해서는 국내의 시공 상황 및 현장여건에 맞는 표준보강기준을 제시하고, 실제 시<br>공을 위한 표준시방서, 표준품셈 등을 제시를 8시간 내에 완료하여 예산집행 및 품질관리<br>에 활용할 수 있도록 하는 것을 목표로 한다.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |              |                                                                                                                                                                                                |                              |     |
|                           | 전체 내용 |                                                                                   | 본 연구개발은 치장조적이 적용된 5층 이하의 연면적 2,000m2(층당 교실4개가 있는 5<br>층 교사건물 규모) 내외의 독립된 건축물 1개동에 대하여 이미지 스캔과 기계학습을 통<br>하여 균열 및 배부름을 확인하고, 금속탐지장치를 통하여 앵커철물(벽연결철물;wall tie)<br>의 위치 및 간격을 확인 후, 기존의 벽연결철물의 부식상태를 확인하는 등 자료를 종합<br>하여 현재 상태를 분석하고 추가적인 보강여부, 개략적인 보강공법 제시까지를 8시간<br>내에 수행하기 위한 것이다                                                                                                                                                                                                                                                                         |              |                                                                                                                                                                                                |                              |     |
|                           | 1년차   | 목표                                                                                | - 배부름, 벽연결철물(wall tie) 등 현장조사 항목별 조사빈도, 판정기준 개발<br>- 조사항목별 위치정보 전산화<br>- 열화상 모듈을 활용하여 촬영된 열화상 및 실화상 이미지 분석<br>- 손상 유형 및 수준을 반영한 인공신경망 기반의 조적벽체의 내진성능평가 데이터 생<br>성 기술 개발<br>- 자료수집을 위한 현장조사방법 실제 조적조 건물에 적용 및 검증 후 피드백                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |              |                                                                                                                                                                                                |                              |     |
|                           |       | 내용                                                                                | - 항목별 현장조사 개소 산정 기준 개발<br>- 3D 스캔 등 조적조 배부름 등 데이터 생성 및 결함정보 도면화<br>- 금속탐지기를 사용한 연결철물위치 자동탐지 및 도면화 기술 개발<br>- 내시경카메라를 이용한 연결철물 상태 촬영, 위치 정보 등 조사 결과 자동 저장 기술<br>개발<br>- 열화상 모듈 기반 조적벽체의 탐사 및 이미지 데이터 확보 및 분석<br>- 열화상 이미지의 손상 유형/수준에 대한 데이터 레이블링<br>- 손상 유형/수준에 따른 조적벽체의 성능 저감율을 정량화<br>- 대상 조적벽체에 대한 핵심영향인자의 다변화를 통한 유한요소해석 기반의 학습데이<br>터 구축<br>- 이미지 학습 모델과 데이터 학습 모델을 결합한 딥러닝 모델 구축<br>- Pilot 현장조사, 시험 적용<br>- 균열탐사를 위한 열화상카메라 조사 방법 현장 검증<br>- 배부름 여부 판단을 위한 3D스캐닝 현장 검증<br>- 연결철물 상태 판단을 위한 금속탐지 및 내시경카메라 조사 방법 현장 검증<br>- 저비용, 시간단축을 위한 GPS 연계 현장 검증 |              |                                                                                                                                                                                                |                              |     |
|                           |       |                                                                                   | 2년차                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 목표           | - 조사결과 전산화 및 자동분류<br>- 기존 벽연결철물 및 보강용 벽연결철물을 활용한 보강기준 개발<br>- 데이터 학습 모델(ANN)을 활용한 내진성능평가와 보강전략 구축을 위한 신속의사결<br>정 툴 개발<br>- 조적벽체 관련 손상 및 내진성능 정보의 BIM 모델 연동 모듈 개발<br>- 보강공법의 실제 설계 적용을 위한 체계 수립 |                              |     |
|                           |       |                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 내용           | - 현장조사 내용을 별도의 후처리과정 없이 위치정보를 현장에서 직접인식하도록 함으<br>로써 현장조사 결과확인 속도 증가                                                                                                                            |                              |     |

|                       |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |          |                         |          |                       |          |                             |           |            |     |    |
|-----------------------|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|-------------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------------|-----------|------------|-----|----|
|                       |  |  | <ul style="list-style-type: none"><li>- 보강공법별 치장조적에 대한 내진보강기준 개발</li><li>- 치장조적조에 대한 신축줄눈(Movement Joint) 설치요령 및 관련 상세</li><li>- 치장조적조에 대한 중력하중 지지구조물 표준상세</li><li>- 핵심 영향인자 다변화를 통한 조적벽체의 내진성능 관련 빅데이터 생성</li><li>- 연성/강도/연성+강도 중심의 조적벽체 맞춤형 보강전략(안) 구축을 위한 신속의사결정 툴 구축 및 검증</li><li>- BIM 모델의 IFC 정보 기반 연동 기술 구축</li><li>- BIM의 표준언어인 IFC 기반 조적벽체의 손상 유형/정보의 시각화 및 내진성능 정보 연동</li></ul> |          |          |                         |          |                       |          |                             |           |            |     |    |
| 연구개발성과                |  |  | <ul style="list-style-type: none"><li>- 치장조적벽 연결철물 보강 기준 작성</li><li>- 웹플랫폼 구축</li><li>- GNSS를 활용한 연결철물 위치기록장치 개발</li><li>- “기존 건축물의 조적용 줄눈모르타르 접착강도 검사장치 및 이의 이용방법”등 7개의 특허 출원 및 등록</li><li>- 줄눈물탈접착강도 측정장치 시제품 제작</li><li>- 치장벽돌 보강기술 현장적용(10개 현장)</li><li>- 프로그램 개발 “조적조 균열 탐지를 위한 래퍼런스 객체 자동 탐지 프로그램” 등 3개</li></ul>                                                                   |          |          |                         |          |                       |          |                             |           |            |     |    |
| 연구개발성과 활용방안 및 기대효과    |  |  | 2018년 11월 ‘건축물의 구조기준등에 관한 규칙’ 개정에 의해 치장조적조의 내진성능 확보가 의무화되었다. 기존 치장조적조의 내진성능을 확보하기 위해서는 현장조사와 보강여부에 대한 판단을 신속히 수행할 필요가 있으며, 본 연구는 현장조사 결과를 신속히 수집하고, 정리함으로써 보강여부와 방법을 조기에 결정할 수 있도록 해 준다.<br>내진설계에 있어서 중요도가 높은 관공서나, 대피시설로 지정된 학교에 치장조적조가 적용된 경우가 많아서, 이 연구 성과를 통하여 신속하고, 객관적이며 정량적인 현장조사, 보강여부 판단이 가능해 질것으로 기대된다. 또, 종교시설과 같이 치장조적조가 많이 적용된 건물과 노후 상업시설에도 적용이 가능하다                        |          |          |                         |          |                       |          |                             |           |            |     |    |
| 연구개발성과의 비공개여부 및 사유    |  |  | 해당없음                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |          |          |                         |          |                       |          |                             |           |            |     |    |
| 연구개발성과의 등록·기탁 건수      |  |  | 논문                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 특허       | 보고서 원문   | 연구 시설·장비                | 기술 요약 정보 | 소프트웨어                 | 표준       | 생명자원                        |           | 화합물        | 신품종 |    |
|                       |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |          |                         |          |                       | 생명 정보    | 생물 자원                       |           |            | 정보  | 실물 |
|                       |  |  | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 5        |          |                         |          | 2                     |          | -                           | -         | -          | -   | -  |
| 연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황 |  |  | 구입기관                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 연구시설·장비명 | 규격 (모델명) | 수량                      | 구입 연월일   | 구입가격 (천원)             | 구입처 (전화) | 비고 (설치장소)                   | ZEUS 등록번호 |            |     |    |
|                       |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |          |                         |          |                       |          |                             |           |            |     |    |
| 국문핵심어 (5개 이내)         |  |  | 치장조적                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |          |          | 비구조요소                   |          | 내진보강                  |          | 안전진단                        |           | 자동화        |     |    |
| 영문핵심어 (5개 이내)         |  |  | Brick veneer                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |          |          | non structural elements |          | seismic strengthening |          | structural safety diagnosis |           | automation |     |    |

## 〈 목 차 〉

|                                   |         |
|-----------------------------------|---------|
| 1. 연구개발과제의 개요 .....               | 1       |
| 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 .....     | 3       |
| 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ..... | 108     |
| 4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성) .....    | 120     |
| 5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 ..... | 121     |
| 6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 .....       | 122     |
| <br>별첨자료(참고문헌 등) .....            | <br>123 |

## 1. 연구개발과제의 개요

### 1) 연구개발과제의 최종 목표

#### ○ 최종목표

- 본 연구개발은 치장조적벽이 적용된 5층 이하의 연면적 2,000m<sup>2</sup>(층당 교실4개가 있는 5층 교사건물 규모) 내외의 독립된 건축물 1개동에 대하여 이미지 스캔과 기계학습을 통하여 균열 및 배부름을 확인하고, 금속 탐지장치를 통하여 앵커철물(벽연결철물:wall tie)의 위치 및 간격을 확인 후, 기존의 벽연결철물의 부식상태를 확인하는 등 자료를 종합하여 현재 상태를 분석하고 추가적인 보강여부, 개략적인 보강공법 제시까지를 8시간 내에 수행하기 위한 것이다

#### ○ 세부목표

- 현장조사와 관련한 적절한 표본조사 수량, 조사항목, 판정기준도 함께 제시될 예정이며, 보강을 위해서는 국내의 시공 상황 및 현장여건에 맞는 표준보강기준을 제시하고, 실제 시공을 위한 표준시방서, 표준품셈 등을 제시하여 예산집행 및 품질관리에 활용할 수 있도록 하는 것을 목표로 한다.

### 2) 연구개발과제의 년차별 목표

#### ○ 치장조적벽의 건전성 평가를 위한 현장조사방법, 조사자료 통합처리 Solution 및 보강기준 개발

- 트랜스미터로 배부름 확인 및 결함정보 도면화
- 현장조사 개소, 방법, 판정기준 개발
- 현장조사결과를 신속히 확인할 수 있도록 하는 데이터 처리 기술
- 기존 벽연결철물의 상태평가 후 보강용 벽연결철물을 활용한 보강기준 개발
- 치장조적조에 대한 신축줄눈 설치요령 및 관련 상세 제시

#### ○ 이미지모듈을 통한 외관조사망도 작성 프로토콜과 기계학습을 통한 건전성 평가

- 열화상 모듈을 활용하여 촬영된 열화상 및 실화상 이미지 분석
- 손상유형 및 수준을 반영한 인공지능망 기반의 조적벽체의 내진성능평가 데이터 생성 기술 개발
- 데이터 학습 모델(ANN)을 활용한 내진성능평가와 보강전략 구축을 위한 신속의사결정 툴 개발
- 조적벽체 관련 손상 및 내진성능 정보의 BIM 모델 연동 모듈 개발

#### ○ 치장조적벽 현장조사, 시공관련 solution제공

- 자료시험을 위한 현장조사방법 실제 조적조 건물에 적용 및 검증 후 피드백
- 기존 벽연결철물 및 보강요 벽연결철물을 활용한 보강공법에 대한 표준시방 제시
- 보강공법의 공사비 산출을 위한 일위대가 제시
- 시공 품질관리를 위한 품질관리기준 정립
- 시공 완료 후 유지관리를 위한 기준 정립

| 구분            | 연구개발목표                                                                      | 핵심 연구개발성과<br>(연구개발성과물)                                    | 현재 국내·외<br>기술수준                                                | 연구개발<br>목표치                                                                    | 목표치<br>설정 근거                                                      | 가중치<br>(%) |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------|
| 1년차<br>(2020) | 배부름, 벽체 연결<br>철물(wall tie)등 현<br>장조사 항목별 조<br>사빈도, 판정기준<br>개발 및 현장조사<br>자동화 | 항목별 현장조사개소<br>산정기준개발 및 현장<br>조사 자동화                       | 현장적용 사례無                                                       | 보강기준 개발                                                                        | 국내에 정립되어<br>있지 않은 보강<br>기준을 개발                                    | 20         |
|               |                                                                             | 항목별 손상수준 판정<br>표 개발 및 전문가 검<br>증                          | 현장적용 사례無                                                       | 항목별 손상수<br>준 판정표 개<br>발                                                        | 국내에 정립되어<br>있지 않은 보강<br>기준을 개발                                    | 10         |
|               | 자료수집을 위한<br>현장조사방법 실제<br>조적조 건축물에<br>적용 및 검증 후<br>피드백                       | 연결철물 상태 조사<br><br>줄눈 몰탈 접착강도<br>조사                        | 현장적용 사례無                                                       | 해당없음                                                                           | 상태자료 수집<br>목표<br><br>측정값 수집 목<br>표                                | 10         |
| 2년차<br>(2021) | 기존 벽연결철물<br>및 보강용 벽연결<br>철물을 활용한 보<br>강기준 개발                                | 치장조적조에 대한 신<br>축 줄 눈 (Movement<br>Joint) 설치 요령 및<br>관련 상세 | 오래된 건물에는<br>적절히 시공되지<br>않은 경우가 많<br>음.                         | 보강부위 탄성<br>체 보강.<br>보강부 주위<br>200mm 이내<br>보강철물 설치                              | 신축줄눈이 설치<br>되지 않아 발생<br>하는 치장조적벽<br>의 균열에 따른<br>보강안 제시            | 20         |
|               | 데이터 학습 모델<br>(ANN)을 활용한<br>내진성능평가와 보<br>강전략 구축을 위<br>한 신속의사결정<br>툴 개발       | 핵심 영향인자 다변화<br>를 통한 조적벽체의<br>내진성능 관련 빅데이<br>터 생성          | 조적벽체의 이산<br>요소해석을 통한<br>데이터 생성 및<br>결함 판정에 대<br>한 기술 연구 부<br>족 | 치 장 조 적 벽 체<br>이 산 요 소 해 석<br>모델링 개발<br>및 빅데이터<br>생성, 조적조<br>균열 자동 탐<br>지 툴 개발 | 치장조적의 내진<br>성능 평가를 위<br>한 빅데이터 축<br>적 및 신속의사<br>결정을 위한 툴<br>개발 목표 | 20         |
|               | 치장조적 보강공법<br>시방서, 일위대가<br>및 품질관리 기준<br>개발                                   | 시방서 문서화<br><br>일위대가 문서화<br><br>품질관리기준 문서화                 | 실제 공사에 적<br>용되는 실용화<br>초기 단계<br><br>품질관리기준 無                   | 해당없음                                                                           | 문서화 목표                                                            | 20         |

## 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

---

가. 주관연구기관 : (주)미래구조엔지니어링

## 가. 주관연구기관 : 미래구조엔지니어링

### 가-1. 보강기준 작성

#### 가-1.1 보강기준의 목적



#### 가-1.2 현장조사 기준 (연결철물의 위치조사)

- 각 입면당 최소  $6m^2$ 의 면적을 금속 탐지기(페로스캔)을 이용하여 조사하고, 내시경 카메라로 조사할 위치를 표시한다. 입면당 최소 2개의 연결철물을 조사하며 입면의 개수와 증축여부를 고려하여 조사 표본수를 산정한다.
- 연결철물의 배치는 최소 2~3개 이상의 간격을 확인하는 것으로 하고, 연결철물이 나타나지 않거나, 조사가 불가능한 경우에는 영역을 옮겨 재조사 하여야 한다.

| 검사법                                                                                                                                                                                             | 벽체 20m <sup>2</sup> 당 | 입면 당       | 증축부       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------|-----------|
| 현장 육안 검사                                                                                                                                                                                        | 1개                    | 최소2개 최대 4개 | 증축부는 추가조사 |
| 제거/화학적 분석                                                                                                                                                                                       | 1개                    | 1개         | 증축부는 추가조사 |
| 1. 개구부도 벽 면적으로 하여 계산<br>2. 균열이 있거나, 변형이 있는 부위는 반드시 샘플을 채취<br>3. 눈에 보이는 손상이 없을 경우, 중간층의 중앙부에서 샘플을 채취<br>4. 대상건물의 규모가 작거나 중요도가 낮아서 연결철물의 제거 및 화학분석을 할 가치가 없는 경우, 연결철물을 채취하지 않고 내시경카메라만으로 확인할 수 있다 |                       |            |           |

[표 가-1.1] 연결철물의 최소 권장 샘플링 수

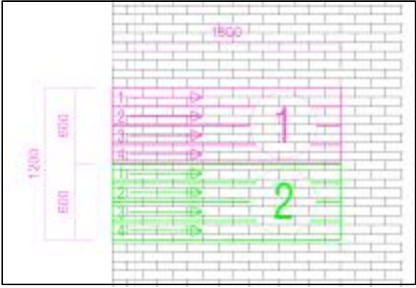
#### 가-1.2.1 현장조사 방법

기존 치장조적의 상태판정에 가장 중요한 변수는 벽 연결철물의 상태 및 설치간격인데, 각각의 변수를 현장에서 조사하는 방법을 정리하였다.

#### 가-1.2.2 금속탐지기를 활용하여 치장조적 연결철물의 설치 위치 조사

2개의 학교를 대상으로 3회에 걸쳐 현장조사를 진행하여, 연결철물의 종류와 시공 상태, 조사가가능여부 등을 확인할 수 있었고, 이러한 시행착오를 통하여 조사방법을 정리하였다.

치장조적 연결철물 위치를 찾기 위한 방법으로 금속 탐사기와 철근탐지기(FERROSCAN)로 조사를 진행하였다. FERROSCAN의 경우 Quick-scan 기능으로 깊이를 설정해 원하는 깊이의 철물을 확인한다.

|                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| 조사영역 표시                                                                           |                                                                                   |                                                                                     |

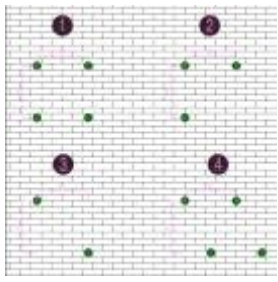
|                                                                                   |                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| 페로스칸                                                                              | 연결철물 위치 조사                                                                         |

연결철물의 배치는 해당 그림과 같이 최소 2~3개 이상 위치를 확인하여 간격을 확인하는 것으로 하고, 연결철물이 나타나지 않거나, 조사가 불가능한 경우에는 영역을 옮겨서 철물의 배치간격을 확인한다.

### 가-1.3 현장조사 기준 (내시경 조사)

치장조적 연결철물의 위치가 파악되면 해머드릴 등을 이용하여 조적벽돌에 손상이 가지 않도록 주의하면서 모르타르를 제거하고, 내부에 설치되어있는 연결철물의 상태를 확인한다.

연결철물의 표면 상태에 따라 사용가능 수명을 예측할 수 있다.

|        |                    |                                                                                      |                                                                                       |
|--------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Step 1 | 금속탐지기를 이용한 위치조사    |  |  |
| Step 2 | 외벽에서 중공위치까지 드릴로 천공 |  |  |
| Step 3 | 내시경카메라를 이용하여 조사    |  |  |

#### 가-1.4 현장조사 기준 (치장조적 제거 및 연결철물 직경 조사)

연결철물의 상태를 더욱 확실하게 확인하기 위하여 치장조적을 제거하는 등의 방법으로 연결철물에 직접 접근하여 직경 및 상태를 조사한다.

|        |                                                                   |                                                                                      |
|--------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Step 1 | 금속탐지기를 이용하여 위치를 확인한 후, 모르타르를 제거하여 벽돌제거(단열재 등으로 내시경카메라 이용이 곤란한 경우) |   |
| Step 2 | 벽돌을 제거한 후 연결철물의 외부쪽 부식상태 확인                                       |   |
| Step 3 | 부식상태에 따른 교체시공 / 연결재 추가설치 결정                                       |  |

붉은 녹이 발견되었을 경우, 이것을 즉각 재시공해야 할지 아니면 일정기간 경과 후에 보수해도 될지를 판단하기 위하여 다음 자료를 참고하면 된다.

#### 가-1.5 상태판정 방법

치장조적의 안전에 대한 상태판정은 보수 및 보강필요성의 관점에서 검토되었다. 보강공사비를 산출하는 관점에서 보면, 연결철물의 보수 및 보강이 가장 중요한 변수가 되고, 추가적으로 균열의 폭이나 길이, 수평줄눈의 간격 확인하여 추가적인 보강을 판정하도록 한다.

치장조적의 상태판정을 위하여 연결철물의 간격 및 내구연한을 확인한 후, 보강필요성을 확인하기 위한 내풍 및 내진구조검토는 기존의 구조설계기준을 적용하도록 하였으나, 실제로는 현장에서 조사한 결과 기존의 연결철물의 내력을 기대하기 어려운 경우가 많아서 기존의 연결철물이 활용되기 어려운 경우가 많다. 연결철물의 간격을 결정하기 위해서는 기존 조적물탈의 강도를 확인할 필요가 있으며, “학교시설 내진성능평가 기준”에서 제시하는 강도를 적용할 수 있다. 한편, 현장에서 물탈의 강도를 확인하기 위한 방법을 특허로 출원하였다.

##### 가-1.5.1 연결철물의 상태 판정 및 잔여수명 판정

외벽과 중공부위 두 곳의 단면에 대한 평가와 분류를 현장에서 수행하여 연결철물의 상태에 따른 예상 잔여수명과 후속 조치를 할 수 있도록 기준화 작업을 진행하였다.

| 참조                                                                                | 부식 수준     | 상태 설명                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------|
| 1                                                                                 | 아연 부식없음   | 아연/아스팔트 코팅 층이 여전히 반짝인다.                             |
| 2                                                                                 | 아연 가벼운 부식 | 고른 회색이지만 광택이 나지 않는 아연층.(흑색도 있지만 광택은 없다.)            |
| 3                                                                                 | 아연 중간 부식  | 일부 분리가 있는 중간 회색의 아연층.(약간 또는 어두운 영역)                 |
| 4                                                                                 | 아연 심한 부식  | 아연 층 짙은 회색에서 검은 매트 색상: 군데군데 녹이 슬거나 약간 녹이 슬었을 수도 있다. |
| 5                                                                                 | 아연 백색 녹   | 흰 화합물로 덮인 : 군데군데 녹이 슬거나 약간 녹이 슬었을 수도 있다.            |
| 6                                                                                 | 아연 완전 부식  | 아연이 부식되어 면적의 10%까지 붉은 녹이 슬었지만, 연결철물의 단면은 줄지 않았다.    |
| 7                                                                                 | 빨간 녹      | 아연이 상당 부분 사라졌고, 붉은 녹이 슬었지만 단면은 크게 줄어들지 않았다.         |
| 8                                                                                 | 빨간 녹 & 침식 | 대부분 붉은 녹이 슬고 산화철 층이 쌓이고 강철 단면 손실이 크다.               |
| 9                                                                                 | 완전 파손     | 강철 단면이 설계 단면의 3분의 1 미만이거나 완전히 침식된 상태.               |
| 1. 아스팔트 코팅(bitumen)은 과거 영국에서 아연도금의 대용으로 사용된 경우가 있다<br>2. 아연도금 대신 방청 도장이 사용될 수도 있다 |           |                                                     |

[표 가-1.2] 연결철물의 육안판정 등급

| 참조                                                                                                                                                                                                                                           | 부식수준              | 잔여 수명   |          |          | 권장 조치            |         |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------|----------|----------|------------------|---------|----------|
|                                                                                                                                                                                                                                              |                   | 년(별도계산) | 최고       | 최소       | 년 <sup>(3)</sup> | 최고      | 최소       |
| 1 <sup>(1)</sup>                                                                                                                                                                                                                             | 아연/아스팔트 코팅 부식없음   | > 10    | 10년 후 검사 | None     | < 10/ND          | 5년 후 검사 | 10년 후 검사 |
| 2 <sup>(1)</sup>                                                                                                                                                                                                                             | 아연/아스팔트 코팅 가벼운 부식 | > 10    | 10년 후 검사 | None     | < 10/ND          | 5년 후 검사 | 10년 후 검사 |
| 3                                                                                                                                                                                                                                            | 아연 중간 부식          | > 10    | 10년 후 검사 | None     | < 10/ND          | 철물 보강   | 5년 후 검사  |
| 4 <sup>(1)</sup>                                                                                                                                                                                                                             | 아연/아스팔트 코팅 심한 부식  | > 10    | 5년 후 검사  | 10년 후 검사 | < 10/ND          | 철물 보강   | 5년 후 검사  |
| 5                                                                                                                                                                                                                                            | 아연 백색 녹           | > 10    | 5년 후 검사  | 10년 후 검사 | < 10/ND          | 철물 보강   | 5년 후 검사  |
| 6 <sup>(1)</sup>                                                                                                                                                                                                                             | 아연 완전 부식          | > 10    | 5년 후 검사  | 10년 후 검사 | < 10/ND          | 철물 보강   | 2년 후 검사  |
| 7 <sup>(1)</sup>                                                                                                                                                                                                                             | 빨간 녹              | NA      | NA       | NA       | NA               | 철물 보강   | 보강계획 수립  |
| 8 <sup>(1)</sup>                                                                                                                                                                                                                             | 빨간 녹 & 침식         | NA      | NA       | NA       | NA               | -       | 철물 보강    |
| 9 <sup>(1)</sup>                                                                                                                                                                                                                             | 완전 파손             | NA      | NA       | NA       | NA               | -       | 철물 보강    |
| 1. 아스팔트 코팅으로 방청되는 제품에 적용<br>2. 모든 검체의 부식수준이 동일하거나 일부 검체가 최악의 검체보다 덜 부식된 경우에만 최소 옵션을 선택<br>3. 별도계산에 의해 잔여수명이 10년 미만으로 계산된 경우 또는 시각적으로만 확인한 경우<br>NA=not applicable.(해당되지 않음.)<br>ND=not determined by chemical analysis.(화학적 분석에 의해 결정되지 않음.) |                   |         |          |          |                  |         |          |

[표 가-1.3] 연결철물 상태에 따른 잔여수명 및 권장조치

## 가-1.6 구조검토 기준

구조검토는 치장조적의 상태판정과 벽연결철물의 구조검토로 진행되며 치장조적의 상태판정은 보강공사비를 산출하는 관점에서 보면, 연결철물의 보수 및 보강이 가장 중요한 변수가 되고 추가적으로 균열의 폭이나 길이, 수평줄눈의 간격을 확인하여 추가적인 보강을 판정하도록 한다.

치장조적의 상태판정을 위하여 연결철물의 간격 및 내구연한을 확인한 후, 보강의 필요성을 확인하기 위한 내풍 및 내진 구조검토는 건축구조설계기준을 적용한다.

구조검토는 국토교통부의 “건축구조기준(KDS 41 17 00:2019)”와 “LH공동주택 비구조요소 내진설계 매뉴얼”, “LH공동주택 비구조요소 내진설계 예제집”을 따른다.

벽연결철물의 구조검토에는 치장조적의 자중, 지반조건, 건물의 높이, 비구조요소의 최대 설치 높이 등을 고려하여 구조검토를 진행하며, 수평지진하중, 수직지진하중, 풍하중으로부터 구조적 안전성을 확보한다.

구조검토는 비구조요소 설계 지진하중, 치장 조적벽 휨강도 검토, 치장 조적벽 연결철물 검토 순으로 이루어진다.

비구조요소 설계 지진하중 계산 시 고려되어야 하는 항목으로는

지붕층의 평균 높이 (h)

비구조요소의 최대 설치높이 (z)

비구조요소의 중요도 계수 ( $I_p$ ) = 1.0 (피난경로 확보에 지장을 주지 않는 상황으로 가정)  
(건물에 대한 중요도계수  $I_e$ 와는 별개의 계수임.)

$m^2$ 당 치장조적의 중량 ( $W_p$ )

건축비구조요소의 설계계수

$a_p$  : 증폭계수

$R_p$  : 반응수정계수

$\Omega_p$  : 초과강도계수

등이 고려되어야 하며, 다음 식으로 수평 지진하중을 구할 수 있다.

$$F_p = \frac{0.4 \times a_p \times S_{DS} \times W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \times \left(1 + 2 \frac{z}{h}\right) \quad (\text{식 가.1})$$

단,  $0.3 S_{DS} I_p W_p \leq F_p < 1.6 S_{DS} I_p W_p$

수직 지진하중( $E_h$ )은

$E_h = F_p$

수직하중 계산 시에는 비구조요소의 중요도계수  $I_p$ 가 포함되지 않는다.

치장 조적벽 휨강도 검토는 단위 외팔보(캔틸레버) 구간 길이를 연결철물 수직 간격의 절반으로 가정할 경우 최대 휨모멘트는 상부 외팔보 지지점에서 발생한다.

$$M_u = \frac{w_u \times l^2}{2} \quad (\text{식 가.2})$$

강도감소계수  $\phi=0.6$  (비보강 조적조, 휨)

대한건축학회에서 발간한 “비구조요소 내진설계 예제집”를 따르면 비보강조적조의 강도감소계수는  $\phi=0.6$ 으로 적용하고 있다.

설계휨강도는 역학의 탄성이론으로부터

$$\phi M_n = \phi \times S \times f_r \text{ 를 적용할 수 있다.}$$

이때,  $f_r$ 은 공칭 휨인장강도로 “비구조요소 내진설계 예제집”을 따른다.

조적채움벽의 설계기준강도 기본값(MPa)

| 조적의 상태    |                             | 양호    | 보통    | 불량    |
|-----------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| 설계기준 압축강도 |                             | 6.2   | 4.1   | 2.1   |
| 설계기준 인장강도 |                             | 0.14  | 0.07  | 0     |
| 설계기준      | 수평 및 수직 줄눈이 밀실하게 채워진 경우     | 0.19  | 0.14  | 0.09  |
| 전단강도      | 수평 및 수직 줄눈이 밀실하게 채워지지 않은 경우 | 0.076 | 0.055 | 0.035 |

양호 : 조적개체와 줄눈에 열화가 나타나지 않고 육안으로 확인되는 균열이 없는 경우

보통 : 조적개체와 줄눈에 열화가 나타나지 않고 육안으로 확인되는 미세한 균열이 있는 경우

불량 : 조적개체와 줄눈에 열화가 나타나거나 심각한 균열이 있는 경우

[표 가-1.4]조적채움벽의 설계기준강도 기본값(MPa)

일반적인 현장의 치장조적벽체를 검토할 경우 보통 상태로 가정하여 0.07MPa를 적용한다.  
치장 조적벽 연결철물 검토는 취성에 의해 지배되므로  $\Omega_p$  (초과강도계수)를 2.0을 사용한다.

$\Omega_p$  (초과강도계수) 2

연결철물 소요강도  $w_u \times \Omega_p \times A$

$$w_u = E_h \quad (\text{식 가.3})$$

풍하중을 고려하여 설계 하중조합을 산정하여야 한다.

설계 하중은 지진하중과 풍하중 중 지배하중으로 설계하여야 하며, 다음의 하중조합으로 설계한다.

1.2D + 1.0E + 1.0L (KBC 2016 식 0301.5.5.)

0.9D + 1.0E (KBC 2016 식 0301.5.7.)

1.2D + 1.3W + 1.0L (KBC 2016 식 0301.5.4.)

0.9D + 1.3W (KBC 2016 식 0301.5.6.)

| 설계 대상      |             | 하중종류 | 1.0E     | $1.0E \times \Omega_p$ | 1.0W     | 1.3W     | 지배하중                   |
|------------|-------------|------|----------|------------------------|----------|----------|------------------------|
| 벽 면<br>4구역 | 치장 조적벽 설계   |      | 0.770kPa | -                      | 0.761kPa | 0.989kPa | 1.3W                   |
|            | 연결철물(앵커) 설계 |      | -        | 1.540kPa               | 0.761kPa | 0.989kPa | $1.0E \times \Omega_p$ |
| 벽 면<br>5구역 | 치장 조적벽 설계   |      | 0.770kPa | -                      | 0.761kPa | 1.258kPa | 1.3W                   |
|            | 연결철물(앵커) 설계 |      | -        | 1.540kPa               | 0.761kPa | 1.258kPa | $1.0E \times \Omega_p$ |

[표 가-1.5] 부압 기준 지진하중과 풍하중 비교 예시

위 표는 각 하중 조합에서 지배하중을 산정한 자료의 예시이다.

연결철물 설계 시 초과강도계수가 지배하중 산정에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

#### 가-1.7 연결철물 보수/보강 기준 일반사항

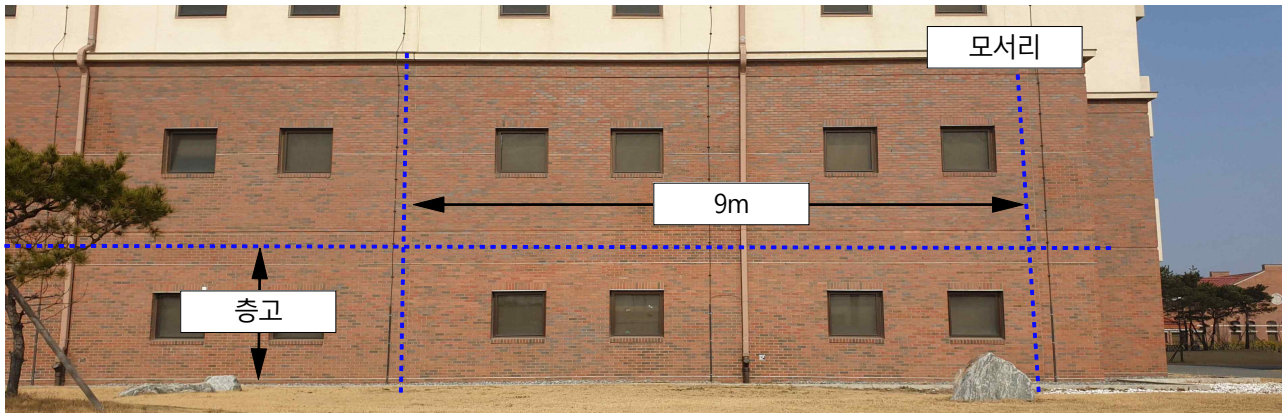
- 기존 설치되어있는 연결철물은 노후화로 인해 부식되거나 처음 시공할 당시 수량이 부족하게 시공이 되었거나 시공불량 등 연결철물의 역할을 제대로 수행하지 못하는 경우 보수 및 보강이 필요하게 된다.
- 연결철물은 기준에 따라 설치되어 있을 경우  $2.5\text{개}/m^2$ , 개구부 주위에서는 300mm이하로 배치가 되어 있어야 하며, 기준에 미치지 못할 경우 보수 및 보강을 하게 된다.
- 보수 및 보강으로 연결철물을 시공하게 될 경우, 시공 후 충분한 내력이 확보되었는지 현장 시험이 필요하다.
- 기존 연결철물은 외벽쪽에서 부식이 더 빨리 일어나기 때문에 내벽쪽은 상대적으로 부식이 더디게 일어
- 난다. 부식이 더 이상 일어나지 않도록 하는 작업을 isolation으로 표현하는데, 외측 철물을 잘라내고, 내부의 철물은 우레탄폼 등의 재료로 감싸서 부식의 진행을 막아준다.
- 부식의 진행이 빨라서 내벽 정착부까지 부식이 진행된 경우 해당 연결철물은 제거해야 한다.
- 외부 치장벽돌의 구조적 보강은 내부 벽체의 여건에 따라 보강방안이 달라진다. 내부가 철근콘크리트 벽체인 경우, 1.0B 미만인 조적벽체인 경우, 그리고 1.0B 이상인 조적벽체인 경우로 나누어 구조적 보강을 판단하여야 한다.
- 면외전도 보강 방안들은 모두 치장벽돌의 자웅이 안전하게 지지되는 것이 선행되어야 하며 자중지지 에 문제가 있을 경우 수직보강을 우선적으로 실시해야 한다.

가-1.7.1 연결철물 보수/보강 기준(줄눈 균열에 의한 단순 보수)

| 결함유형      | 보강안 개념도                                                                                        | 특징                         |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 균열이 작은 경우 | 에폭시 주입                                                                                         | · 콘크리트 부재와 동일한 일반적인 균열 보수법 |
| 균열이 큰 경우  | <br>줄눈 재시공    | · 상부 벽돌 손상에 주의 필요          |
| 누수        | <br>외부 발수제 도포 | · 일반적인 외벽 방수 보수법           |

가-1.7.2 연결철물 보수/보강 기준(신축줄눈 시공 불량에 의한 균열 보수)

신축줄눈(movement joint)이 설치되지 않아 온도에 따른 신축으로 인해 치장벽돌에 균열이 발생한 경우는 발생한 줄눈 균열을 탄성체로 보강하여야 한다.



[그림 가-1.1] 신설 건물의 줄눈 설치 위치

① 신축줄눈 설치요령

치장조적벽체의 신축줄눈(Movement joint)는 줄눈의 설치 간격(m) 보다 약 30% 추가된 수치적 값(mm)의 너비를 사용하여야 한다.

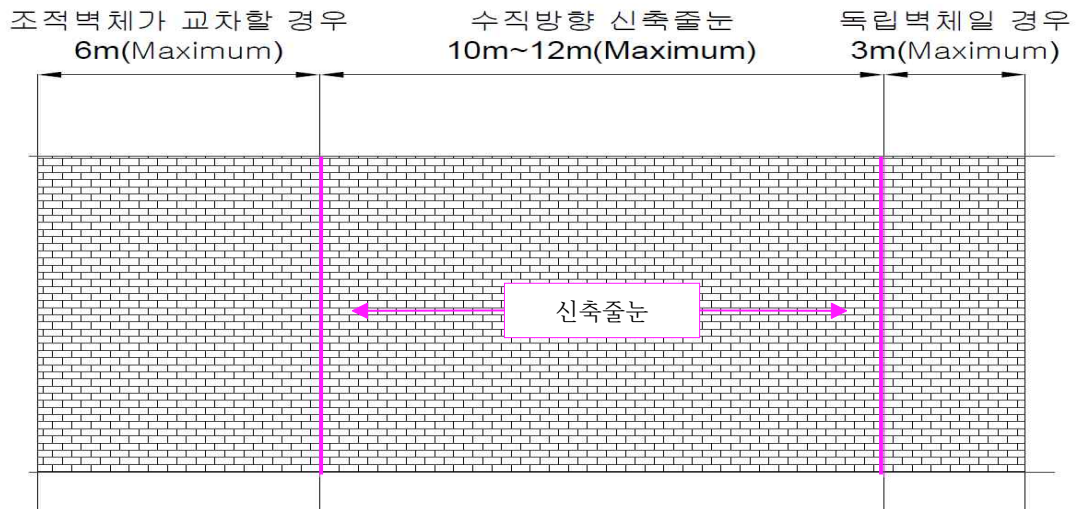
예시; 줄눈 설치 간격 = 12m

$$12 \times 1.3 = 15.6$$

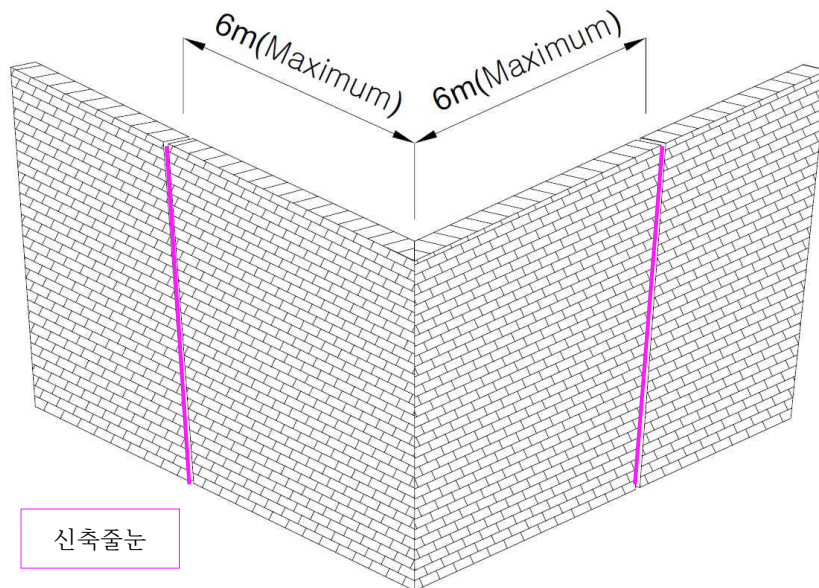
따라서, 약 16mm의 줄눈 너비가 필요하다.

② 수직 방향의 신축줄눈

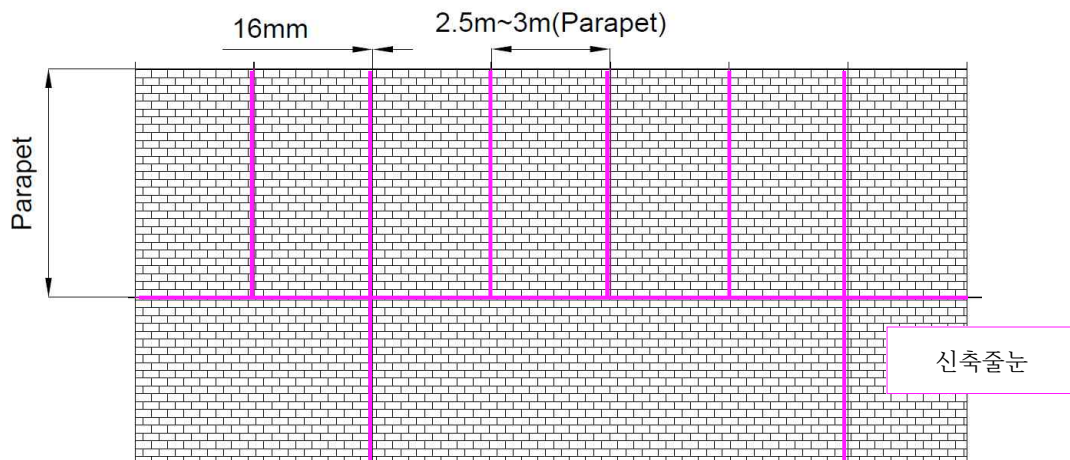
- 수직 방향의 신축줄눈은 10m~12m 간격으로 설치하며 최대설치간격은 12m를 넘지 않도록 한다.
- 독립벽체일 경우 단부 길이는 3m를 초과하지 않아야 한다.



- 치장조적이 교차되는 단부의 경우 최대 6m 이내에 신축줄눈을 설치하여야 한다.

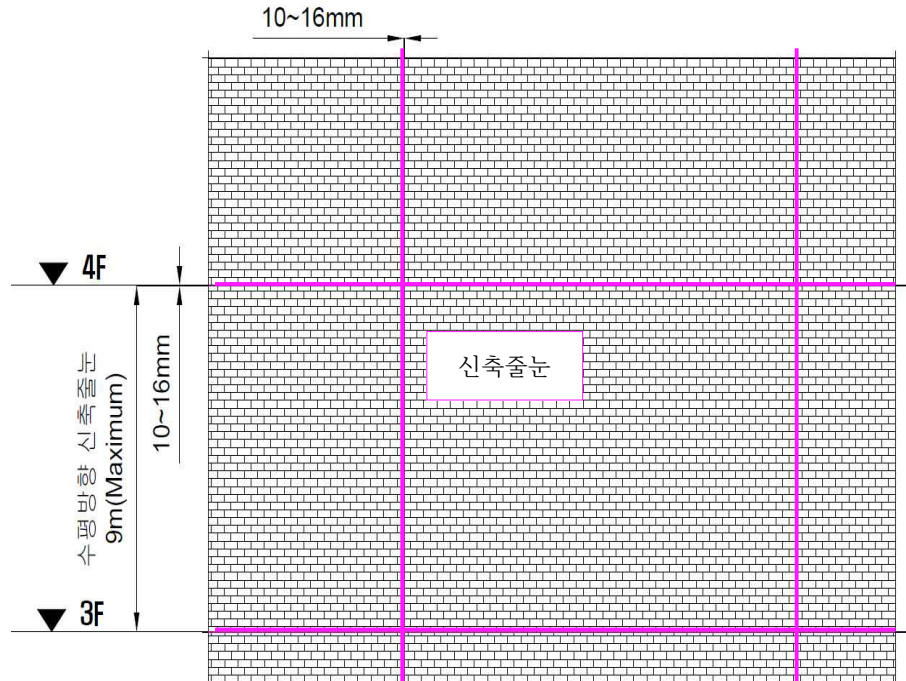


- Parapet의 경우 수직 방향의 신축줄눈의 간격은 최대 3m로 한다.

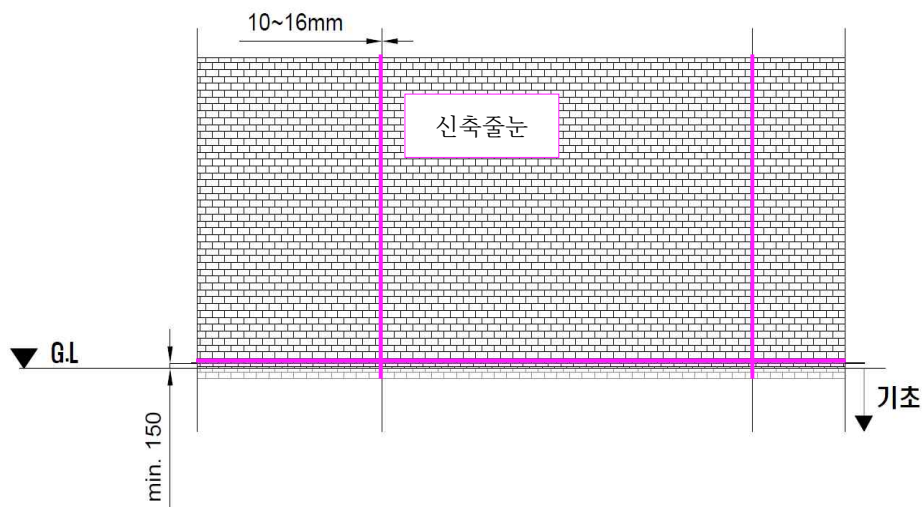


### ③ 수평 방향의 신축줄눈

- 수평 방향의 신축줄눈은 최대9m를 초과하지 않도록 한다.

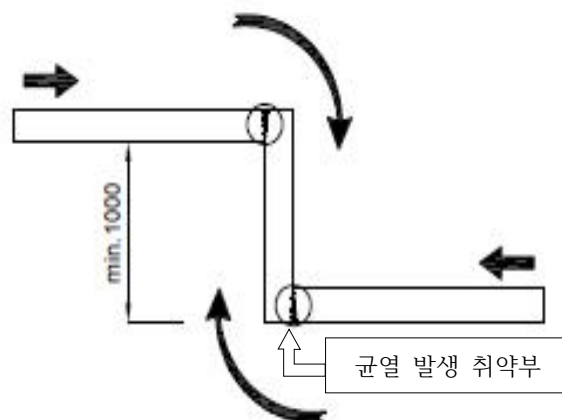


- 최하단의 신축줄눈은 G.L.에서부터 최소한 150mm를 이격시켜 설치하여야 한다.



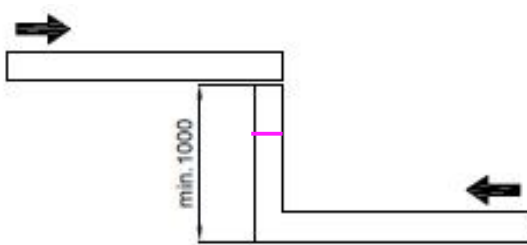
### ④ 신축줄눈의 구분 및 시공 시 주의사항

- 신축줄눈이 제대로 시공 되지 않을 경우 치장조적벽체의 변형에 의해 균열이 발생할 우려가 있다.

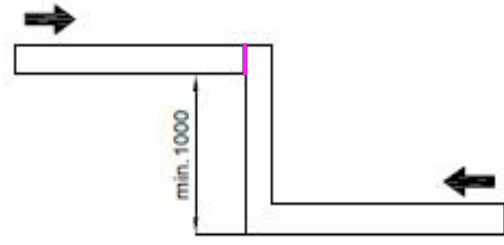


- 신축줄눈은 시공되는 형태에 따라 ‘미끄러짐 줄눈’, ‘압축허용 줄눈’, ‘양쪽 설치 줄눈’ 등으로 구분할 수 있다.

치장조적벽체가 꺾이는 부분은 모서리에서 최소 1m 이상 이격된 위치에 신축 줄눈을 설치하여야 한다.

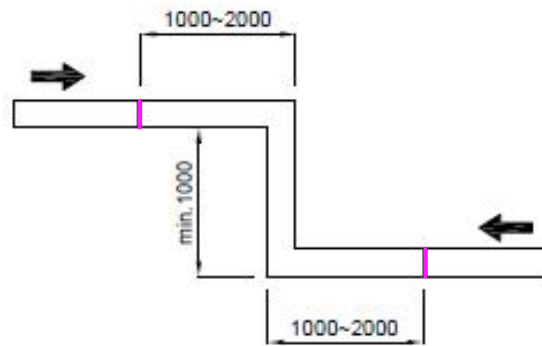


미끄러짐 줄눈('Slide by' joint)



압축허용 줄눈(compressible joint)

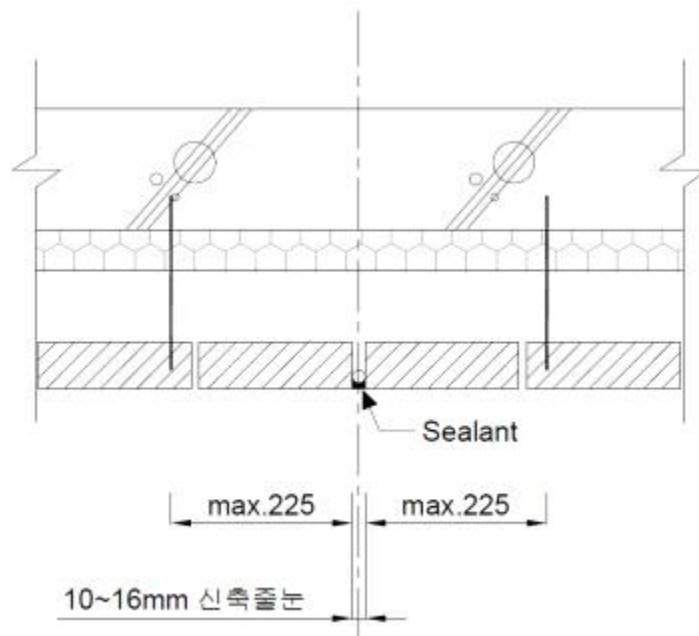
벽체의 모서리 양쪽으로 신축줄눈을 설치하는 경우에는 모서리에서 1~2m 이격된 위치에 신축줄눈을 설치하여야 한다.



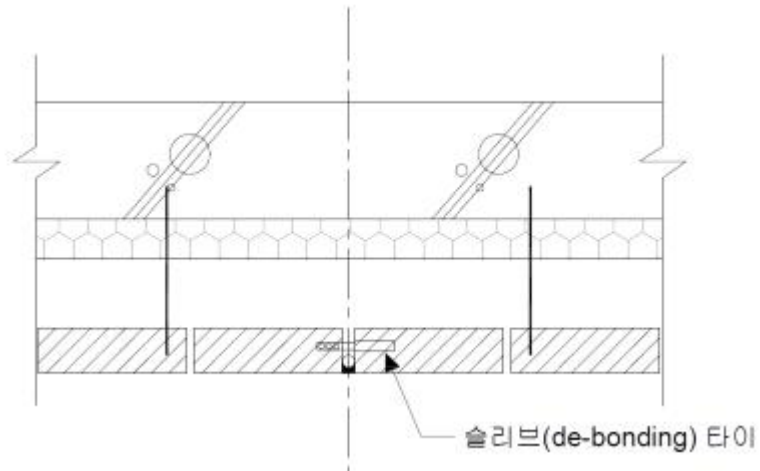
양쪽 설치 줄눈

##### ⑤ 신축줄눈 주변 치장조적 연결철물의 설치요령

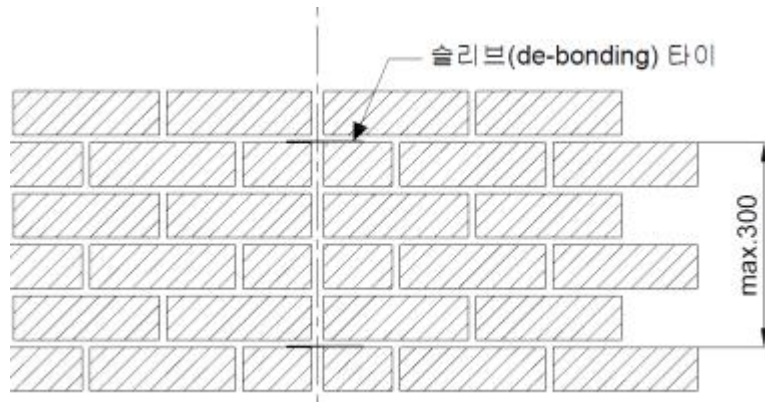
- 신축줄눈의 양쪽으로 최대 225mm 이내로 연결철물을 설치해야 한다.



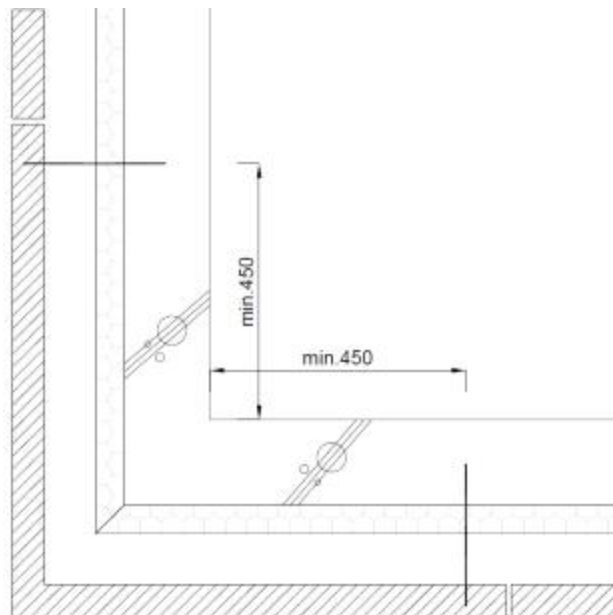
- 신축줄눈 영역의 치장조적 내부에는 길이방향으로 변형을 허용하는 슬리브 타이를 설치한다.



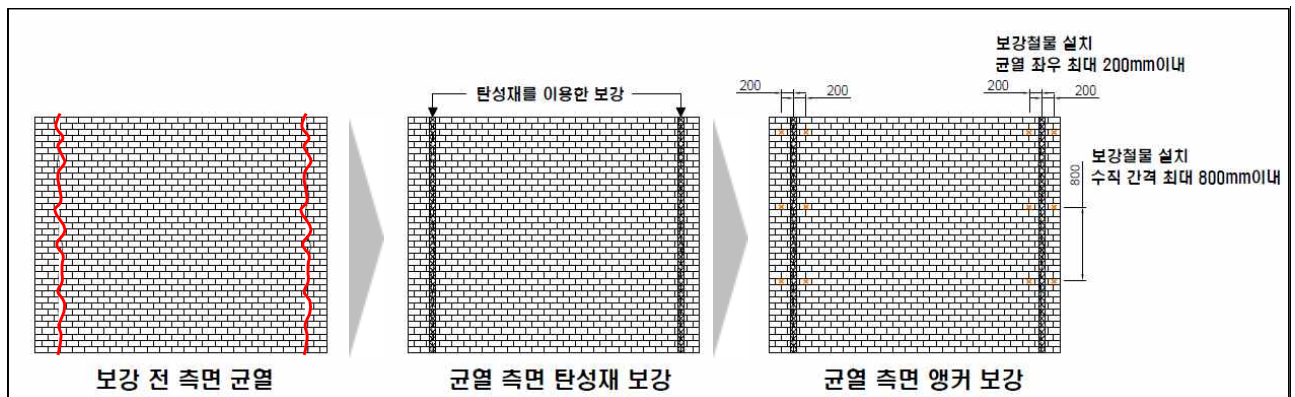
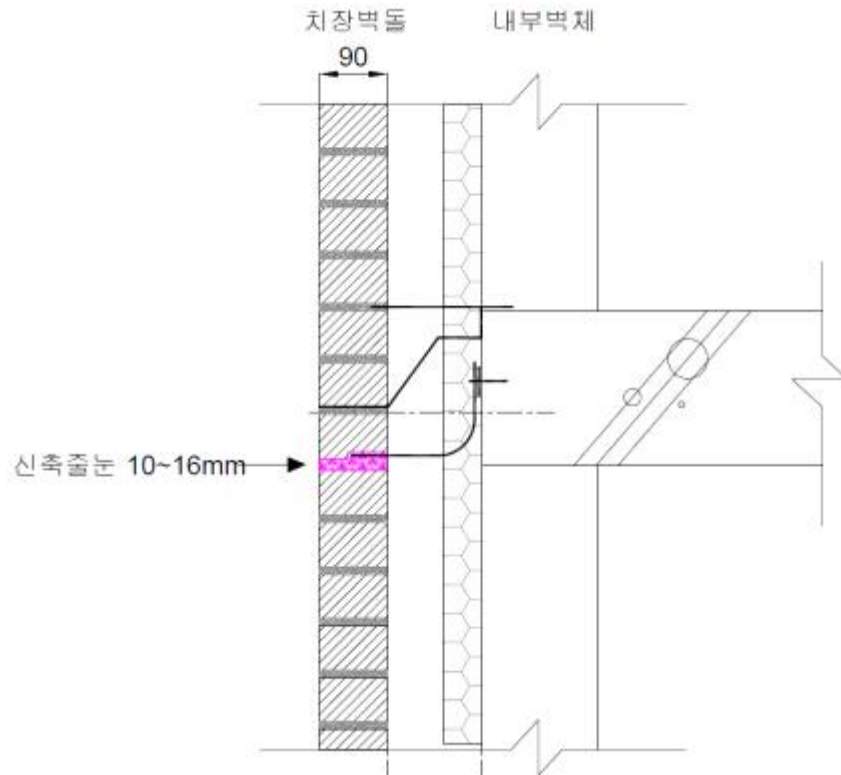
- 슬리브 타이의 수직 간격은 최대 300mm를 넘지 않도록 시공한다.



- 모서리 부분의 연결철물은 내부 구조체의 안쪽 면 기준으로 최소 450mm 이상 이격시켜 시공하여야 한다.



- 치장조적벽체와 내부 구조체에 시공된 연결철물은 수분이 직접적으로 접촉하지 않도록 적절한 조치를 취하여야 한다.



[그림 가-1.2] 신축줄눈 보수 및 보강 상세도

- 모서리 균열 발생 시 발생한 균열을 기준으로 좌우 200mm 이내, 수직간격으로는 800mm 이내로 보강용 앵커를 설치하여야 하며 균열부는 탄성퍼티 등을 사용하여 온도에 따른 조적벽체의 변화를 흡수 할 수 있는 탄성재를 이용하여 보강하여야 한다.

## 가-2. 보강기준을 반영한 현장조사

### 가-2.1 강릉제일고등학교 현장조사

#### 가-2.1.1 현장조사의 배경 및 목적

2018년 11월 ‘건축물의 구조기준 등에 관한 규칙’ 개정에 의해 치장조적조의 내진성능 확보가 의무화 되었다. 기존 치장조적조의 내진성능을 확보하기 위해서는 현장조사와 보강여부에 대한 판단을 신속히 수행할 필요가 있으며, 현재 시공된 치장조적 연결철물의 상태의 현장조사 결과를 신속히 수집하고 정리함으로써 보강여부와 방법을 조기에 결정하여 제안하는데 목적이 있다.

#### 가-2.1.2 건물 개요

|       |                   |
|-------|-------------------|
| 건 물 명 | 강릉제일고등학교 (생활관 2동) |
| 대지위치  | 강원 강릉시 화부산로 8길 37 |
| 규 모   | 지상3층              |
| 주 용 도 | 학교 (교육연구시설)       |
| 주요구조  | 철근콘크리트조           |
| 준 공 일 | 1938년 3월          |



#### 가-2.1.3 현장조사의 범위 및 내용

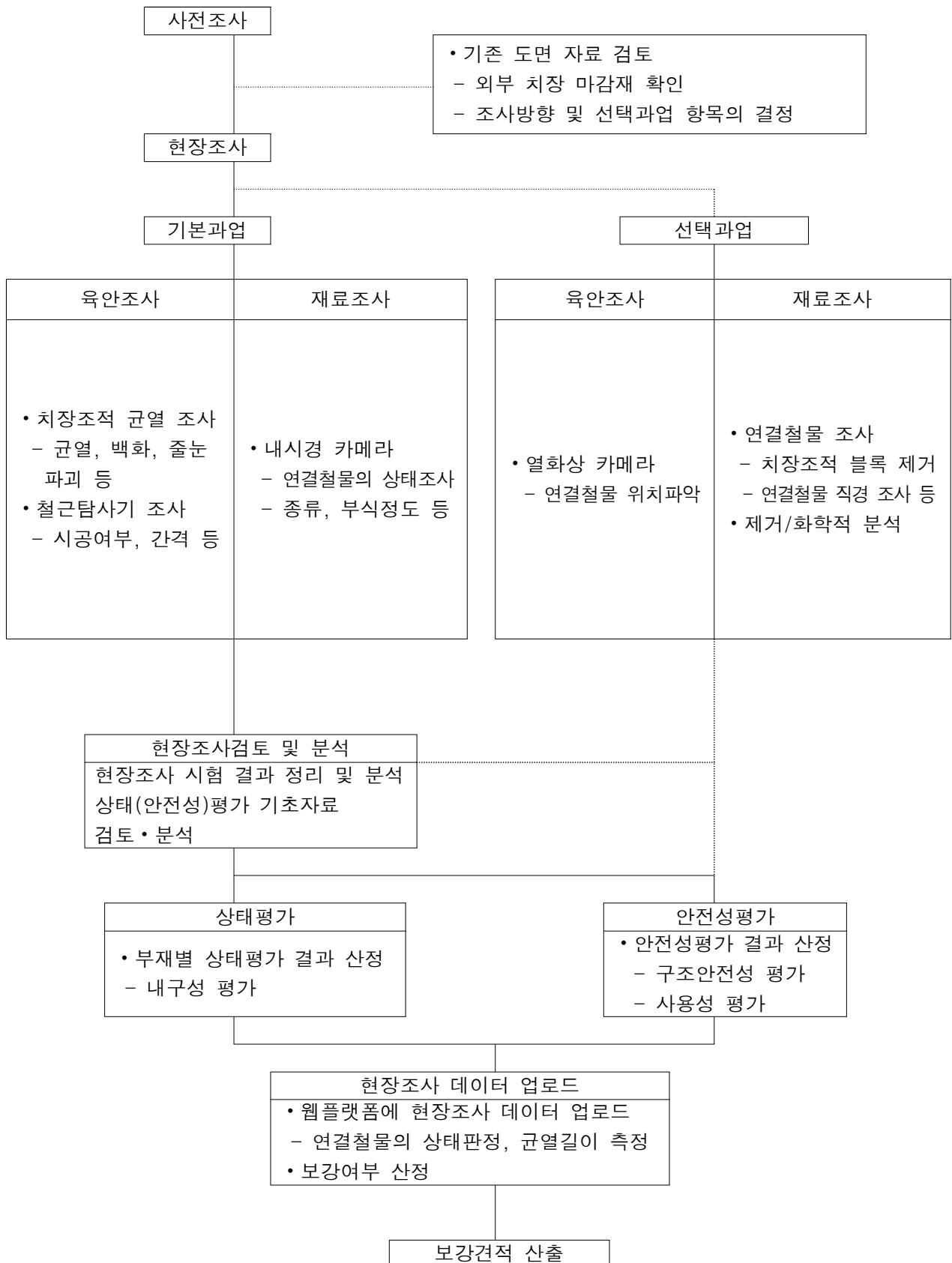
현장조사는 치장조적 연결철물의 시공 상태 및 현황을 육안조사와 구조검토 등을 통해 치장조적의 안전성을 평가하며, 보강여부와 방법을 결정 및 제안한다.

- 1) 기초자료(설계도서, 점검, 계측, 및 보수자료) 수집 및 분석
- 2) 치장조적의 균열 및 연결철물 현장조사
  - 철근탐사기 및 금속 탐지기
  - 내시경 카메라, 줄눈 천공 및 치장조적 블록제거
- 3) 상태평가
  - 육안조사, 버니어캘리퍼스
- 4) 연결철물 구조해석, 구조안전성 평가
  - 비구조요소 내진설계 예제집(한국건축구조기술사회, 2019년 5월 출판)에 따른 구조검토
- 5) 종합결론 및 보강안 제안

#### 가-2.1.4 사용 장비 및 기기

| 장 비 명         | 업 체 명     | 용 도 와 성 능               |
|---------------|-----------|-------------------------|
| FERROSCAN     | HILTI     | 철근탐사기                   |
| MT 6          | ZIRCON    | 금속탐지기                   |
| PS-EC2003(3M) | 주식회사 프레젠탈 | 내시경 카메라                 |
| 줄자, 버니어캘리퍼스   | -         | 부재 사이즈 측정,<br>중성화 깊이 측정 |
| EQUIP. ETC    | -         | 각종자료 촬영장비 등             |
| EXCEL         | MIRAEGUJO | 구조검토                    |

가-2.1.5 치장조적 연결철물 현장조사 흐름도



---

## 가-2.1.6 현장조사

### ① 육안조사

본 조사는 치장조적벽과 치장조적 연결철물의 상태 및 손상현황/ 노후상태 등을 정밀 조사하여 과업 대상 시설물에 작용되는 외적요인으로부터 구조물의 상태를 명확히 평가하기 위해 실시한다.

### ② 현장조사 방법

#### 1) 건물전경(동바리전경)

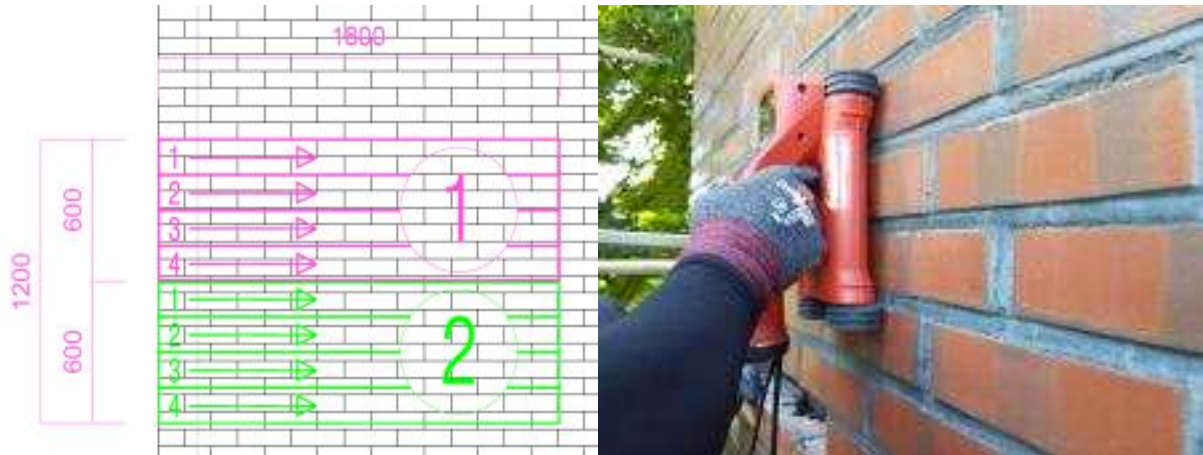
측면은 시스템 비계(500\*1850) 사용, 배면은 재래식 파이프 비계 사용



## 2) 철근 위치 탐사(FERROSCAN)

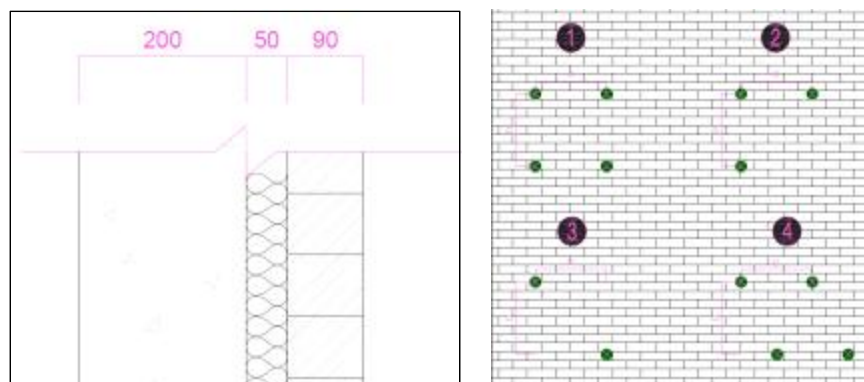
연결철물의 배치 간격 파악을 위해 최소 600\*1800 ~ 1200\*1800의 간격을 측정한다.

①~②의 영역에서 연결철물이 조사 되지 않을 경우, 해당부위 연결철물은 없는 것으로 간주하고, 상, 하, 좌, 우로 이동하여 연결철물의 배치를 조사한다.



Quick-scan 으로 깊이를 설정해 원하는 깊이의 철물을 확인 할 수 있다.

연결철물의 배치는 해당 그림과 같이 최소 2~3개 이상 조사되어야 하며, 이외의 경우 다른 영역으로 조사를 확대하여야 한다.



## 3) 내시경 카메라를 이용한 조사

연결철물 위치를 내시경 카메라로 촬영하여 연결철물의 상태를 판정한다.



---

#### 4) 치장조적 제거

연결철물의 조사를 위해 치장조적을 제거하여 연결철물의 상태 및 직경을 조사한다.



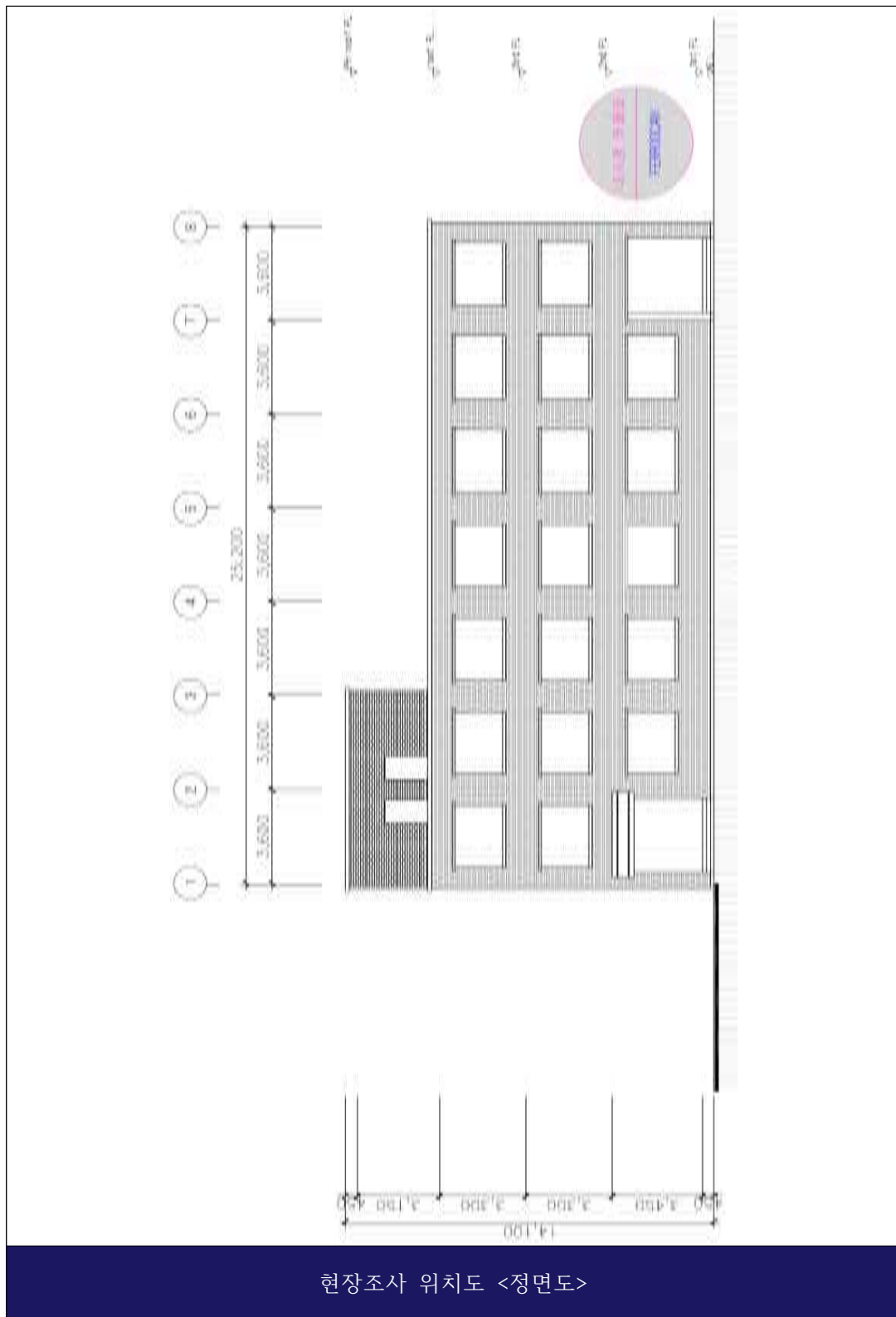
#### 5) 치장조적 연결철물 + 콘크리트 벽체 접합부

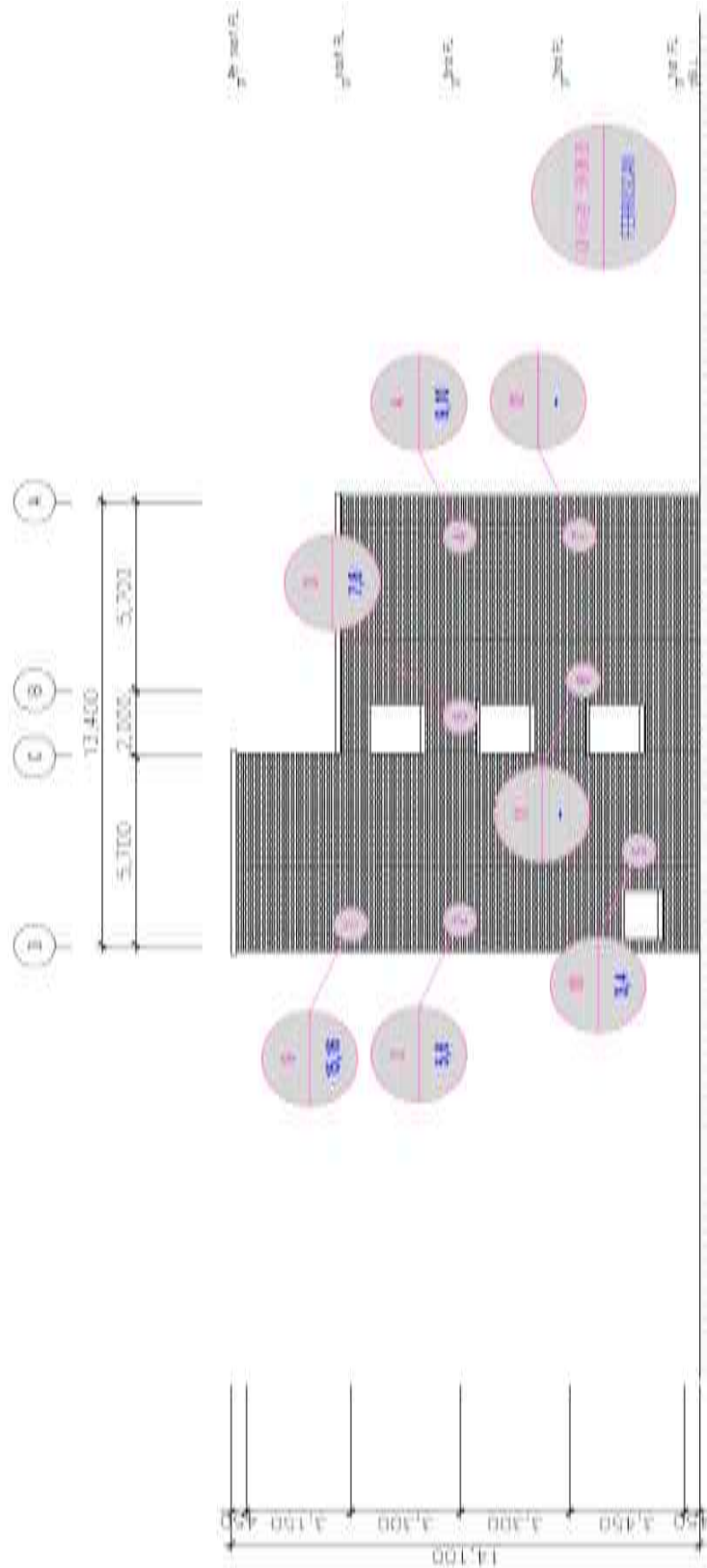
연결철물과 벽체의 접합상태를 파악하는 것이 중요하다.



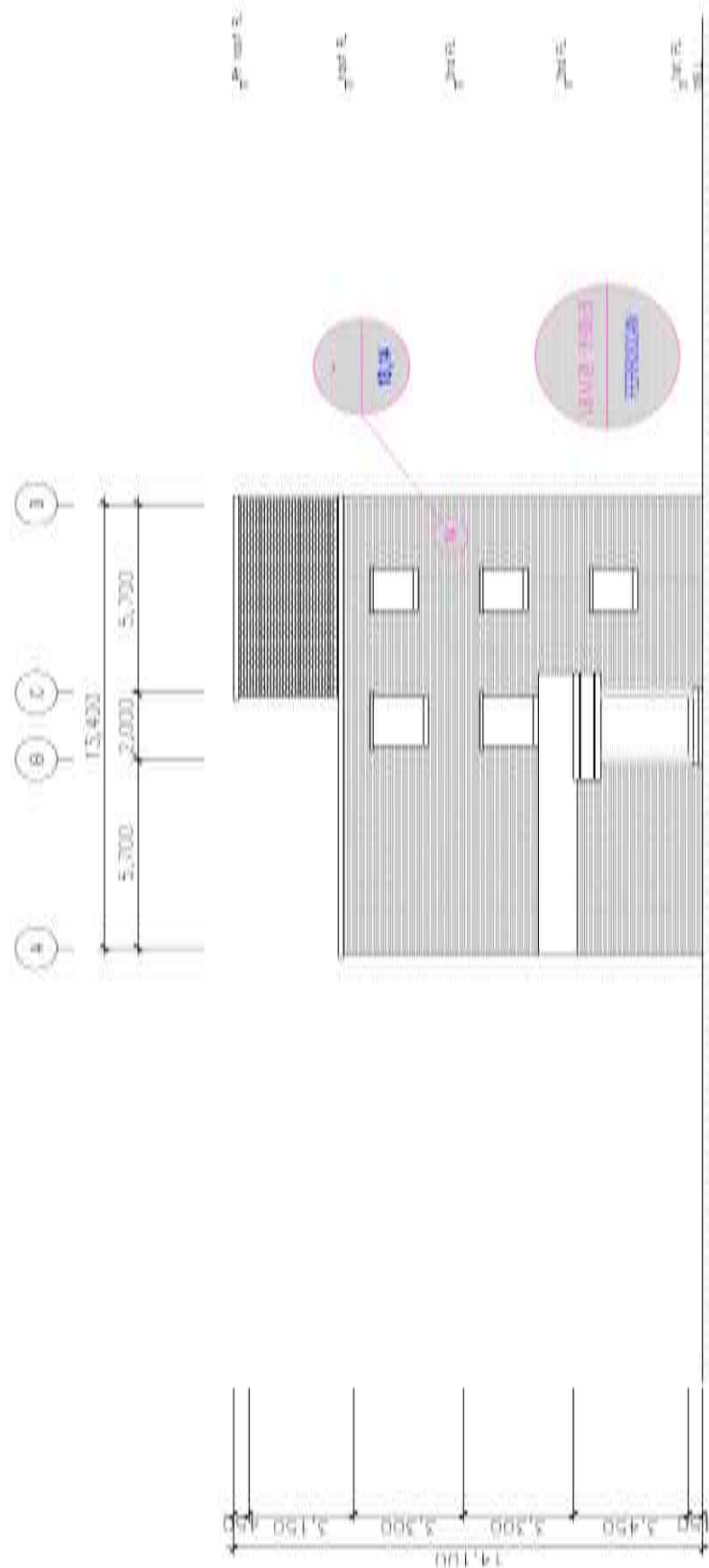
가-2.1.7 현장조사 위치도

1) 현장조사 위치도

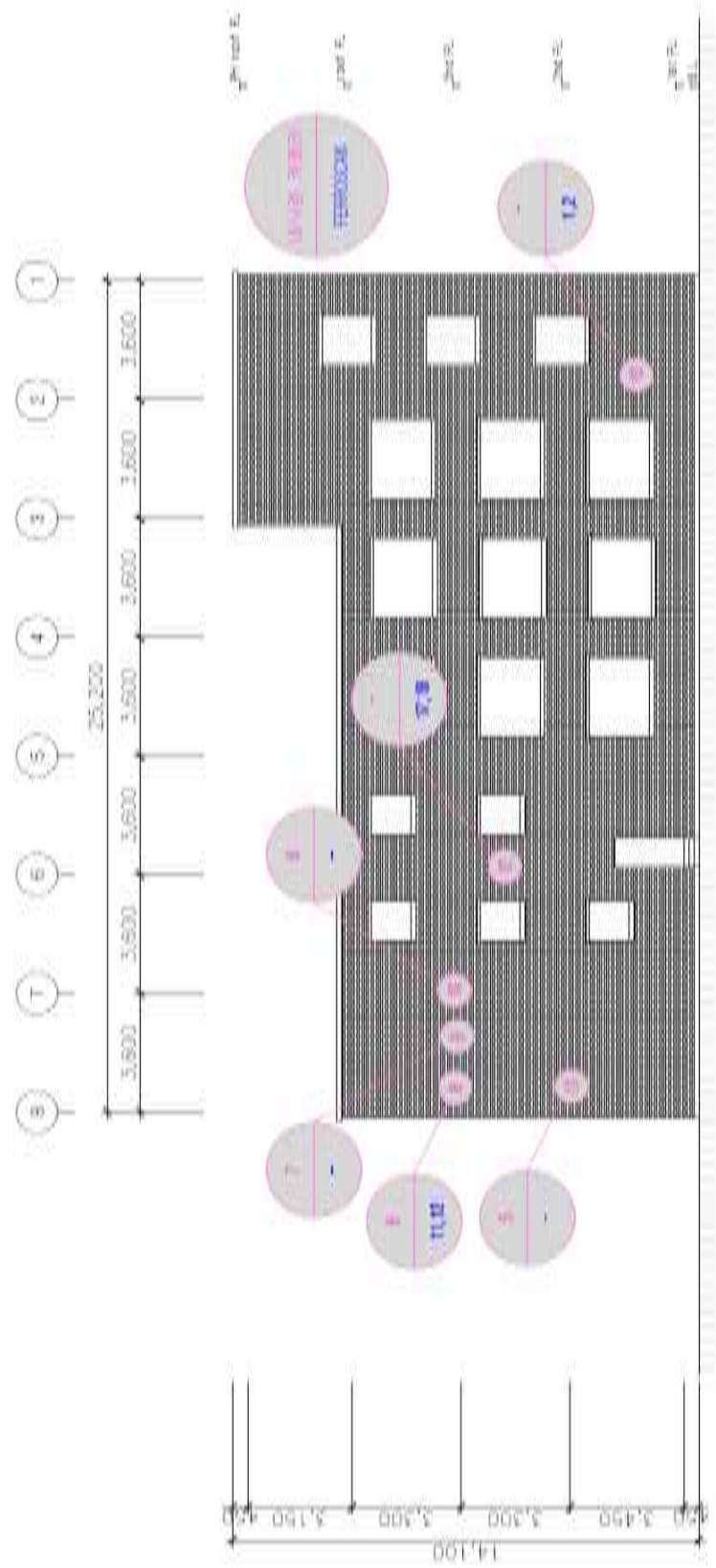




현장조사 위치도 <좌측면도>

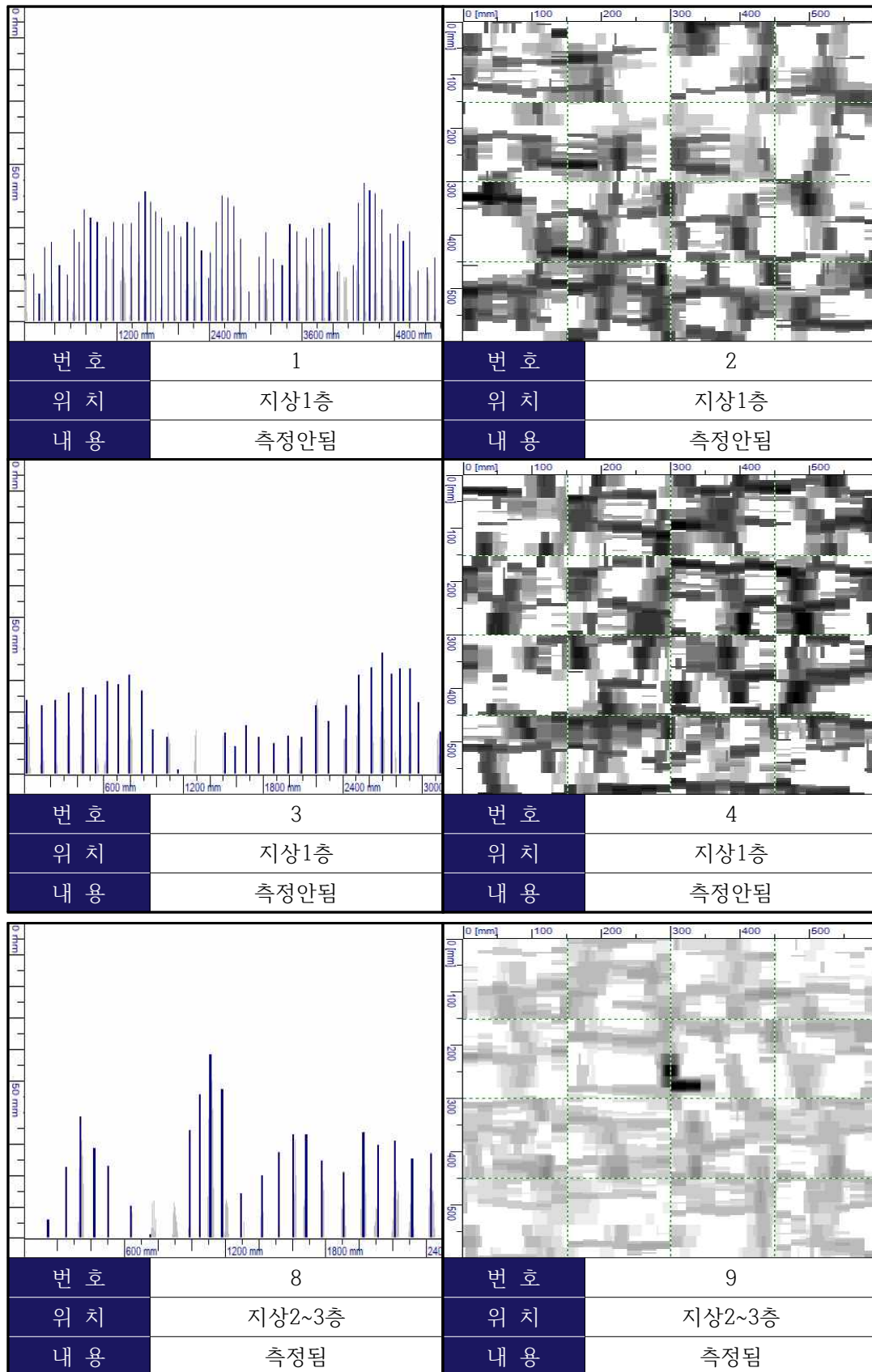


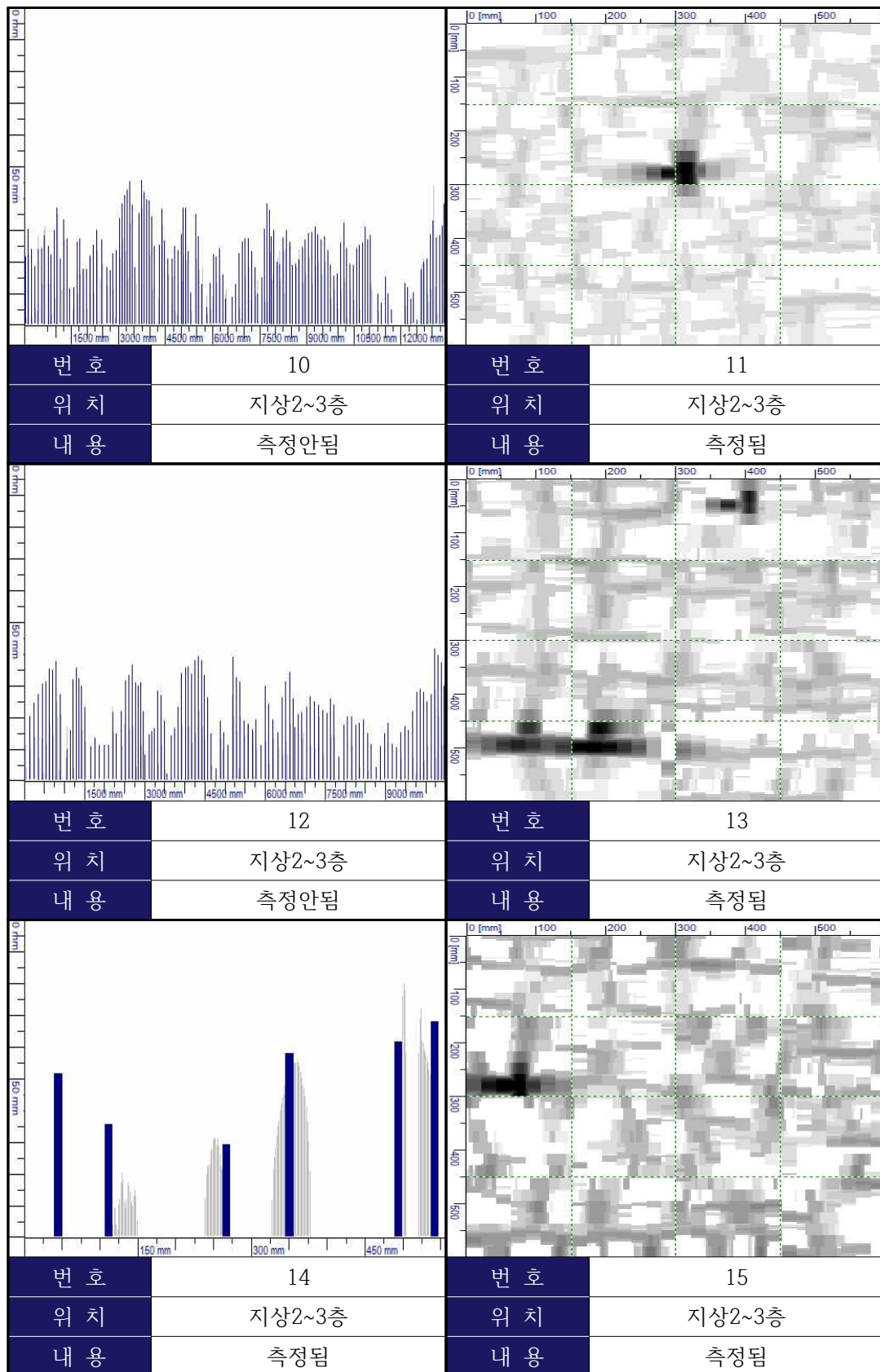
현장조사 위치도 <우측면도>

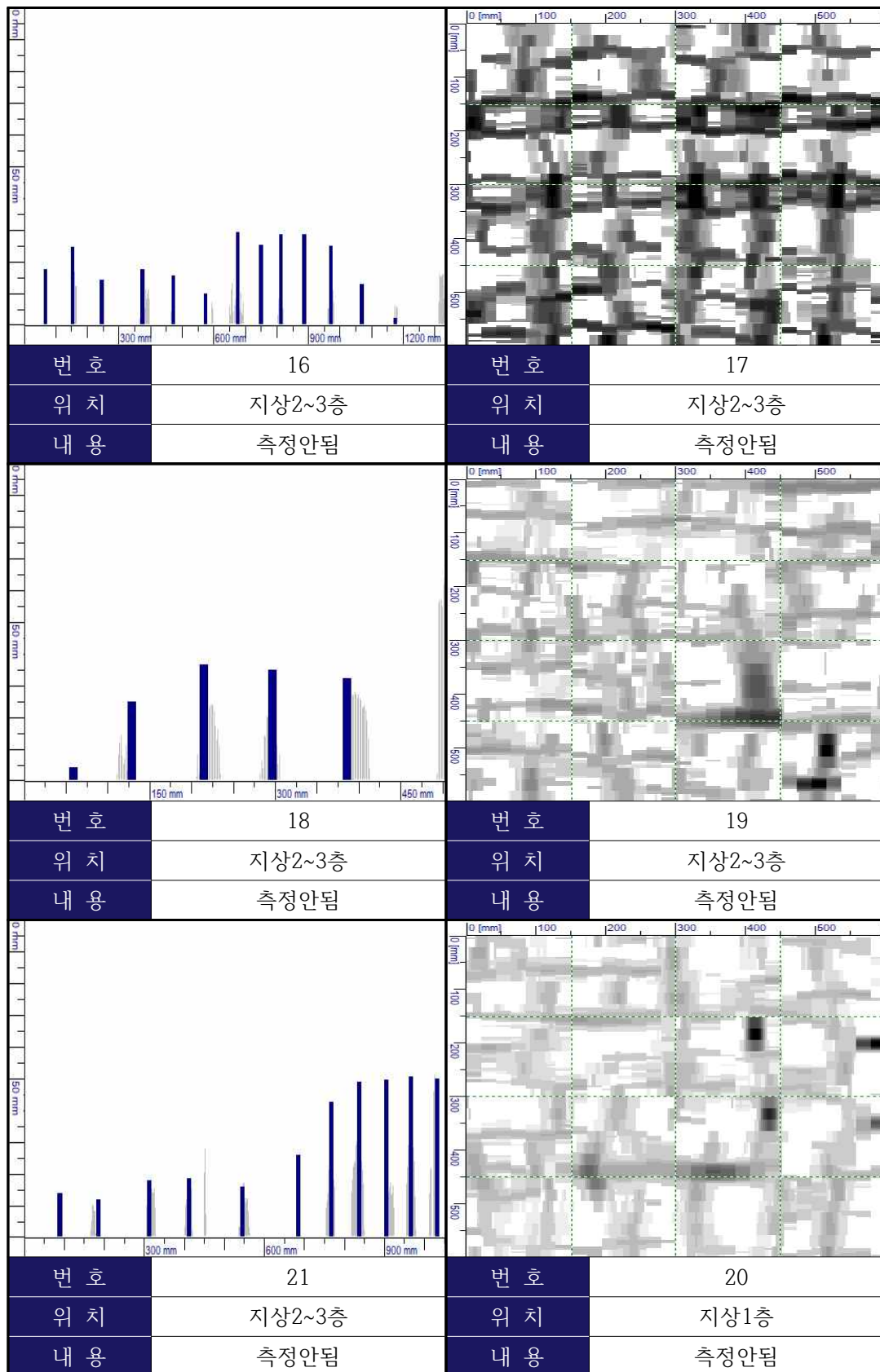


현장조사 위치도 <배면도>

## 2) FERROSCAN 조사







### 3) 내시경 카메라 조사

|                                                                                     |            |                                                                                      |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|    |            |    |            |
| 번 호                                                                                 | 2          | 번 호                                                                                  | 3          |
| 위 치                                                                                 | 지상2~3층     | 위 치                                                                                  | 지상2~3층     |
| 내 용                                                                                 | 빨간 녹       | 내 용                                                                                  | 빨간 녹       |
|   |            |   |            |
| 번 호                                                                                 | 4          | 번 호                                                                                  | 6          |
| 위 치                                                                                 | 지상2~3층     | 위 치                                                                                  | 지상2~3층     |
| 내 용                                                                                 | 빨간 녹(시공불량) | 내 용                                                                                  | 빨간 녹(시공불량) |
|  |            |  |            |
| 번 호                                                                                 | 7          | 번 호                                                                                  | 8          |
| 위 치                                                                                 | 지상2~3층     | 위 치                                                                                  | 지상2~3층     |
| 내 용                                                                                 | 빨간 녹       | 내 용                                                                                  | 빨간 녹       |

## 가-2.1.8 결론

### 가-2.1.8.1 현장조사 결과

#### ① FERROSCAN 조사

| 층             | No. | 부위   | 검사법       | 측정방법       | 결과   | 비고 |
|---------------|-----|------|-----------|------------|------|----|
| 1층            | 1   | 연결철물 | FERROSCAN | Quick-scan | 측정안됨 |    |
|               | 2   | 연결철물 | FERROSCAN |            | 측정안됨 |    |
|               | 3   | 연결철물 | FERROSCAN | Quick-scan | 측정안됨 |    |
|               | 4   | 연결철물 | FERROSCAN |            | 측정안됨 |    |
| 2층<br>~<br>3층 | 5   | 연결철물 | FERROSCAN | Quick-scan | 측정됨  |    |
|               | 6   | 연결철물 | FERROSCAN |            | 측정됨  |    |
|               | 7   | 연결철물 | FERROSCAN | Quick-scan | 측정안됨 |    |
|               | 8   | 연결철물 | FERROSCAN |            | 측정됨  |    |
|               | 9   | 연결철물 | FERROSCAN | Quick-scan | 측정안됨 |    |
|               | 10  | 연결철물 | FERROSCAN |            | 측정됨  |    |
|               | 11  | 연결철물 | FERROSCAN | Quick-scan | 측정됨  |    |
|               | 12  | 연결철물 | FERROSCAN |            | 측정됨  |    |
|               | 13  | 연결철물 | FERROSCAN | Quick-scan | 측정안됨 |    |
|               | 14  | 연결철물 | FERROSCAN |            | 측정안됨 |    |
|               | 15  | 연결철물 | FERROSCAN | Quick-scan | 측정안됨 |    |
|               | 16  | 연결철물 | FERROSCAN |            | 측정안됨 |    |
|               | 17  | 연결철물 | FERROSCAN | Quick-scan | 측정안됨 |    |
|               | 18  | 연결철물 | FERROSCAN |            | 측정안됨 |    |

#### ② 내시경 카메라

| 층             | No. | 부위   | 검사법    | 상태   | 예측 수명 | 권장 조치 | 비고   |
|---------------|-----|------|--------|------|-------|-------|------|
| 1층            | 1   | 연결철물 | 내시경카메라 | 없음   | 없음    | 철물 보강 |      |
| 2층<br>~<br>3층 | 2   | 연결철물 | 내시경카메라 | 빨간 녹 | 없음    | 철물 보강 |      |
|               | 3   | 연결철물 | 내시경카메라 | 빨간 녹 | 없음    | 철물 보강 |      |
|               | 4   | 연결철물 | 내시경카메라 | 빨간 녹 | 없음    | 철물 보강 | 시공불량 |
|               | 5   | 연결철물 | 내시경카메라 | 없음   | 없음    | 철물 보강 |      |
|               | 6   | 연결철물 | 내시경카메라 | 빨간 녹 | 없음    | 철물 보강 | 시공불량 |
|               | 7   | 연결철물 | 내시경카메라 | 빨간 녹 | 없음    | 철물 보강 |      |
|               | 8   | 연결철물 | 내시경카메라 | 빨간 녹 | 없음    | 철물 보강 |      |
|               | 9   | 연결철물 | 내시경카메라 | 없음   | 없음    | 철물 보강 |      |
|               | 10  | 연결철물 | 내시경카메라 | 없음   | 없음    | 철물 보강 |      |
|               | 11  | 연결철물 | 내시경카메라 | 없음   | 없음    | 철물 보강 |      |
|               | 12  | 연결철물 | 내시경카메라 | 없음   | 없음    | 철물 보강 |      |

## 가-2. 보강기준을 반영한 현장조사

### 가-2.2 동해 광희고등학교 현장조사

#### 가-2.2.1 현장조사의 배경 및 목적

1차년도에 정립한 현장조사의 보완과 추가로 진행된 연구 성과를 확인하기 위한 목적으로 동해 광희고등학교의 현장조사를 진행하였다.

2차년도에서 추가로 연구된 연결철물의 위치 기록 장치와 드론을 이용한 3D 모델 획득, 웹플랫폼을 활용한 보강안 제시와 개략 보강견적 제시까지의 연구 성과를 진행하였다.

#### 가-2.2.2 건물 개요

|       |                |
|-------|----------------|
| 건 물 명 | 동해광희고등학교 부속동   |
| 대지위치  | 강원 동해시 청운로 112 |
| 규 모   | 지상3층           |
| 주 용 도 | 학교 (교육연구시설)    |
| 주요구조  | 철근콘크리트조        |
| 준 공 일 | 1938년 3월       |



### 가-2.2.3 현장조사의 범위 및 내용

현장조사는 치장조적 연결철물의 시공 상태 및 현황을 육안조사와 구조검토 등을 통해 치장조적의 안전성을 평가하며, 보강여부와 방법을 결정 및 제안한다.

- 1) 기초자료(설계도서, 점검, 계측, 및 보수자료) 수집 및 분석
- 2) 치장조적의 균열 및 연결철물 현장조사
  - 철근탐사기
  - 내시경 카메라
- 3) 상태평가
  - 육안조사
- 4) 연결철물 구조해석, 구조안전성 평가
  - 비구조요소 내진설계 예제집(한국건축구조기술사회, 2019년 5월 출판)에 따른 구조검토
- 5) 종합결론 및 보강안 제안

### 가-2.2.4 사용 장비 및 기기

| 장 비 명         | 업 체 명     | 용 도 와 성 능    |
|---------------|-----------|--------------|
| FERROSCAN     | HILTI     | 철근탐사기        |
| PS-EC2003(3M) | 주식회사 프레젠텍 | 내시경 카메라      |
| Phantom 4 RTK | DJI       | 건물의 3D 모델 획득 |
| EQUIP. ETC    | -         | 각종자료 촬영장비 등  |
| EXCEL         | MIRAEGUJO | 구조검토         |

### 가-2.2.5 현장조사

#### ① 육안조사

본 조사는 치장조적벽과 치장조적 연결철물의 상태 및 손상현황/ 노후상태 등을 정밀 조사하여 과업 대상 시설물에 작용되는 외적요인으로부터 구조물의 상태를 명확히 평가하기 위해 실시한다.

#### 1) 균열조사

- 조적벽체의 균열을 AI를 활용한 균열 검측 소프트웨어를 이용하여 자동으로 균열의 길이를 측정하는 연구 성과를 이루었다.
- 다음과 같이 육안으로 관찰되는 균열에 대해서 촬영기기를 이용하여 균열을 조사하여 균열의 길이를 측정할 수 있다.



## 2) 철근 위치 탐사(FERROSCAN)

연결철물의 배치 간격 파악을 위해 최소 600\*1800 ~ 1200\*1800의 간격을 측정한다.

①~②의 영역에서 연결철물이 조사 되지 않을 경우, 해당부위 연결철물은 없는 것으로 간주하고, 상, 하, 좌, 우로 이동하여 연결철물의 배치를 조사한다.

연구 과정에서 특허 출원한 “GNSS를 활용한 연결철물의 위치 기록 장치”를 활용하면 연결철물의 위성 데이터를 실시간으로 보정하여 cm단위의 오차를 갖는 데이터를 획득할 수 있다.



## 3) 내시경 카메라를 이용한 조사

연결철물 위치를 내시경 카메라로 촬영하여 연결철물의 상태를 판정한다.



## ② 드론을 활용한 3D 모델 획득

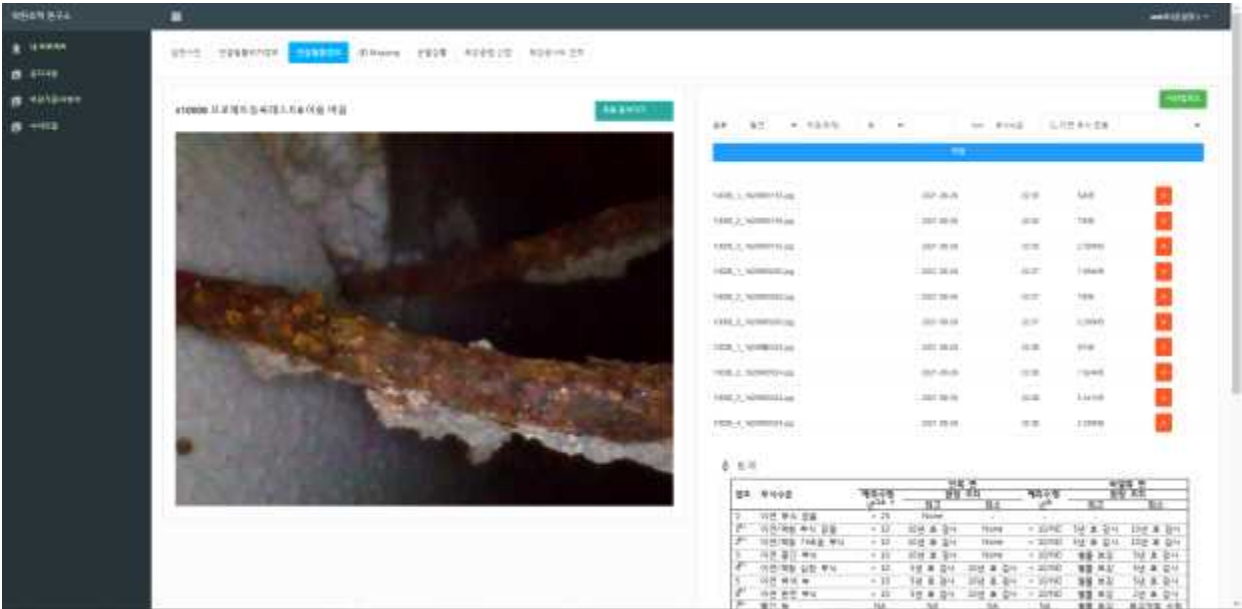
- 건물의 전체적인 형상과 각 입면의 치수 등을 측정하기 위한 목적으로 드론을 활용하여 건물의 사진을 촬영하여 3D모델을 획득할 수 있다.
- 추가로 드론이 아닌 촬영기기를 이용하더라도 건물의 3D 모델을 획득하는 데에 활용할 수 있으며 드론으로 촬영이 힘든 영역(예를 들면 나무나 주변 건물들로 인해 원거리 촬영이 힘든 장소)은 추가 촬영을 통해 기존 데이터를 보완할 수 있다.
- 드론이나 다른 촬영기기를 활용하여 촬영한 건물의 사진을 3D 모델 획득 프로그램(ex) Pix4Dmapper)에 입력하여 해당 프로그램의 처리작업을 수행, 3D모델을 획득 할 수 있다.



### ③ 보강안 도출 및 보강견적 작성

현장조사 데이터는 연구과제의 성과로 구축된 웹플랫폼을 통해 처리가 가능하다.

현장조사를 통해 획득한 데이터(입면사진, 균열조사, 연결철물조사, 건축물 측량 사진 등)를 웹플랫폼에 접속 후 프로젝트 폴더에 입력한다.



The screenshot shows a web application interface for managing project data. On the left is a sidebar with navigation options. The main area displays a project folder named 'etw0000 보강계획서작성용자료'. It contains a large photo of a concrete crack and a table titled '연결철물' (Reinforcement Bars). The table lists various reinforcement bars with columns for '번호' (No.), '특이사항' (Remarks), '개별구분' (Individual Classification), '연결철물' (Reinforcement Bars), and '보강계획' (Reinforcement Plan). The table has multiple rows of data, including bar types like '1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100. 101. 102. 103. 104. 105. 106. 107. 108. 109. 110. 111. 112. 113. 114. 115. 116. 117. 118. 119. 120. 121. 122. 123. 124. 125. 126. 127. 128. 129. 130. 131. 132. 133. 134. 135. 136. 137. 138. 139. 140. 141. 142. 143. 144. 145. 146. 147. 148. 149. 150. 151. 152. 153. 154. 155. 156. 157. 158. 159. 160. 161. 162. 163. 164. 165. 166. 167. 168. 169. 170. 171. 172. 173. 174. 175. 176. 177. 178. 179. 180. 181. 182. 183. 184. 185. 186. 187. 188. 189. 190. 191. 192. 193. 194. 195. 196. 197. 198. 199. 200. 201. 202. 203. 204. 205. 206. 207. 208. 209. 210. 211. 212. 213. 214. 215. 216. 217. 218. 219. 220. 221. 222. 223. 224. 225. 226. 227. 228. 229. 230. 231. 232. 233. 234. 235. 236. 237. 238. 239. 240. 241. 242. 243. 244. 245. 246. 247. 248. 249. 250. 251. 252. 253. 254. 255. 256. 257. 258. 259. 260. 261. 262. 263. 264. 265. 266. 267. 268. 269. 270. 271. 272. 273. 274. 275. 276. 277. 278. 279. 280. 281. 282. 283. 284. 285. 286. 287. 288. 289. 290. 291. 292. 293. 294. 295. 296. 297. 298. 299. 300. 301. 302. 303. 304. 305. 306. 307. 308. 309. 310. 311. 312. 313. 314. 315. 316. 317. 318. 319. 320. 321. 322. 323. 324. 325. 326. 327. 328. 329. 330. 331. 332. 333. 334. 335. 336. 337. 338. 339. 340. 341. 342. 343. 344. 345. 346. 347. 348. 349. 350. 351. 352. 353. 354. 355. 356. 357. 358. 359. 360. 361. 362. 363. 364. 365. 366. 367. 368. 369. 370. 371. 372. 373. 374. 375. 376. 377. 378. 379. 380. 381. 382. 383. 384. 385. 386. 387. 388. 389. 390. 391. 392. 393. 394. 395. 396. 397. 398. 399. 400. 401. 402. 403. 404. 405. 406. 407. 408. 409. 410. 411. 412. 413. 414. 415. 416. 417. 418. 419. 420. 421. 422. 423. 424. 425. 426. 427. 428. 429. 430. 431. 432. 433. 434. 435. 436. 437. 438. 439. 440. 441. 442. 443. 444. 445. 446. 447. 448. 449. 450. 451. 452. 453. 454. 455. 456. 457. 458. 459. 460. 461. 462. 463. 464. 465. 466. 467. 468. 469. 470. 471. 472. 473. 474. 475. 476. 477. 478. 479. 480. 481. 482. 483. 484. 485. 486. 487. 488. 489. 490. 491. 492. 493. 494. 495. 496. 497. 498. 499. 500. 501. 502. 503. 504. 505. 506. 507. 508. 509. 510. 511. 512. 513. 514. 515. 516. 517. 518. 519. 520. 521. 522. 523. 524. 525. 526. 527. 528. 529. 530. 531. 532. 533. 534. 535. 536. 537. 538. 539. 540. 541. 542. 543. 544. 545. 546. 547. 548. 549. 550. 551. 552. 553. 554. 555. 556. 557. 558. 559. 560. 561. 562. 563. 564. 565. 566. 567. 568. 569. 570. 571. 572. 573. 574. 575. 576. 577. 578. 579. 580. 581. 582. 583. 584. 585. 586. 587. 588. 589. 590. 591. 592. 593. 594. 595. 596. 597. 598. 599. 600. 601. 602. 603. 604. 605. 606. 607. 608. 609. 610. 611. 612. 613. 614. 615. 616. 617. 618. 619. 620. 621. 622. 623. 624. 625. 626. 627. 628. 629. 630. 631. 632. 633. 634. 635. 636. 637. 638. 639. 640. 641. 642. 643. 644. 645. 646. 647. 648. 649. 650. 651. 652. 653. 654. 655. 656. 657. 658. 659. 660. 661. 662. 663. 664. 665. 666. 667. 668. 669. 670. 671. 672. 673. 674. 675. 676. 677. 678. 679. 680. 681. 682. 683. 684. 685. 686. 687. 688. 689. 690. 691. 692. 693. 694. 695. 696. 697. 698. 699. 700. 701. 702. 703. 704. 705. 706. 707. 708. 709. 710. 711. 712. 713. 714. 715. 716. 717. 718. 719. 720. 721. 722. 723. 724. 725. 726. 727. 728. 729. 730. 731. 732. 733. 734. 735. 736. 737. 738. 739. 740. 741. 742. 743. 744. 745. 746. 747. 748. 749. 750. 751. 752. 753. 754. 755. 756. 757. 758. 759. 760. 761. 762. 763. 764. 765. 766. 767. 768. 769. 770. 771. 772. 773. 774. 775. 776. 777. 778. 779. 780. 781. 782. 783. 784. 785. 786. 787. 788. 789. 790. 791. 792. 793. 794. 795. 796. 797. 798. 799. 800. 801. 802. 803. 804. 805. 806. 807. 808. 809. 810. 811. 812. 813. 814. 815. 816. 817. 818. 819. 820. 821. 822. 823. 824. 825. 826. 827. 828. 829. 830. 831. 832. 833. 834. 835. 836. 837. 838. 839. 840. 841. 842. 843. 844. 845. 846. 847. 848. 849. 850. 851. 852. 853. 854. 855. 856. 857. 858. 859. 860. 861. 862. 863. 864. 865. 866. 867. 868. 869. 870. 871. 872. 873. 874. 875. 876. 877. 878. 879. 880. 881. 882. 883. 884. 885. 886. 887. 888. 889. 890. 891. 892. 893. 894. 895. 896. 897. 898. 899. 900. 901. 902. 903. 904. 905. 906. 907. 908. 909. 910. 911. 912. 913. 914. 915. 916. 917. 918. 919. 920. 921. 922. 923. 924. 925. 926. 927. 928. 929. 930. 931. 932. 933. 934. 935. 936. 937. 938. 939. 940. 941. 942. 943. 944. 945. 946. 947. 948. 949. 950. 951. 952. 953. 954. 955. 956. 957. 958. 959. 960. 961. 962. 963. 964. 965. 966. 967. 968. 969. 970. 971. 972. 973. 974. 975. 976. 977. 978. 979. 980. 981. 982. 983. 984. 985. 986. 987. 988. 989. 990. 991. 992. 993. 994. 995. 996. 997. 998. 999. 1000. 1001. 1002. 1003. 1004. 1005. 1006. 1007. 1008. 1009. 1010. 1011. 1012. 1013. 1014. 1015. 1016. 1017. 1018. 1019. 1020. 1021. 1022. 1023. 1024. 1025. 1026. 1027. 1028. 1029. 1030. 1031. 1032. 1033. 1034. 1035. 1036. 1037. 1038. 1039. 1040. 1041. 1042. 1043. 1044. 1045. 1046. 1047. 1048. 1049. 1050. 1051. 1052. 1053. 1054. 1055. 1056. 1057. 1058. 1059. 1060. 1061. 1062. 1063. 1064. 1065. 1066. 1067. 1068. 1069. 1070. 1071. 1072. 1073. 1074. 1075. 1076. 1077. 1078. 1079. 1080. 1081. 1082. 1083. 1084. 1085. 1086. 1087. 1088. 1089. 1090. 1091. 1092. 1093. 1094. 1095. 1096. 1097. 1098. 1099. 1100. 1101. 1102. 1103. 1104. 1105. 1106. 1107. 1108. 1109. 1110. 1111. 1112. 1113. 1114. 1115. 1116. 1117. 1118. 1119. 1120. 1121. 1122. 1123. 1124. 1125. 1126. 1127. 1128. 1129. 1130. 1131. 1132. 1133. 1134. 1135. 1136. 1137. 1138. 1139. 1140. 1141. 1142. 1143. 1144. 1145. 1146. 1147. 1148. 1149. 1150. 1151. 1152. 1153. 1154. 1155. 1156. 1157. 1158. 1159. 1160. 1161. 1162. 1163. 1164. 1165. 1166. 1167. 1168. 1169. 1170. 1171. 1172. 1173. 1174. 1175. 1176. 1177. 1178. 1179. 1180. 1181. 1182. 1183. 1184. 1185. 1186. 1187. 1188. 1189. 1190. 1191. 1192. 1193. 1194. 1195. 1196. 1197. 1198. 1199. 1200. 1201. 1202. 1203. 1204. 1205. 1206. 1207. 1208. 1209. 1210. 1211. 1212. 1213. 1214. 1215. 1216. 1217. 1218. 1219. 1220. 1221. 1222. 1223. 1224. 1225. 1226. 1227. 1228. 1229. 1230. 1231. 1232. 1233. 1234. 1235. 1236. 1237. 1238. 1239. 1240. 1241. 1242. 1243. 1244. 1245. 1246. 1247. 1248. 1249. 1250. 1251. 1252. 1253. 1254. 1255. 1256. 1257. 1258. 1259. 1260. 1261. 1262. 1263. 1264. 1265. 1266. 1267. 1268. 1269. 1270. 1271. 1272. 1273. 1274. 1275. 1276. 1277. 1278. 1279. 1280. 1281. 1282. 1283. 1284. 1285. 1286. 1287. 1288. 1289. 1290. 1291. 1292. 1293. 1294. 1295. 1296. 1297. 1298. 1299. 1300. 1301. 1302. 1303. 1304. 1305. 1306. 1307. 1308. 1309. 1310. 1311. 1312. 1313. 1314. 1315. 1316. 1317. 1318. 1319. 1320. 1321. 1322. 1323. 1324. 1325. 1326. 1327. 1328. 1329. 1330. 1331. 1332. 1333. 1334. 1335. 1336. 1337. 1338. 1339. 1340. 1341. 1342. 1343. 1344. 1345. 1346. 1347. 1348. 1349. 1350. 1351. 1352. 1353. 1354. 1355. 1356. 1357. 1358. 1359. 1360. 1361. 1362. 1363. 1364. 1365. 1366. 1367. 1368. 1369. 1370. 1371. 1372. 1373. 1374. 1375. 1376. 1377. 1378. 1379. 1380. 1381. 1382. 1383. 1384. 1385. 1386. 1387. 1388. 1389. 1390. 1391. 1392. 1393. 1394. 1395. 1396. 1397. 1398. 1399. 1400. 1401. 1402. 1403. 1404. 1405. 1406. 1407. 1408. 1409. 1410. 1411. 1412. 1413. 1414. 1415. 1416. 1417. 1418. 1419. 1420. 1421. 1422. 1423. 1424. 1425. 1426. 1427. 1428. 1429. 1430. 1431. 1432. 1433. 1434. 1435. 1436. 1437. 1438. 1439. 1440. 1441. 1442. 1443. 1444. 1445. 1446. 1447. 1448. 1449. 1450. 1451. 1452. 1453. 1454. 1455. 1456. 1457. 1458. 1459. 1460. 1461. 1462. 1463. 1464. 1465. 1466. 1467. 1468. 1469. 1470. 1471. 1472. 1473. 1474. 1475. 1476. 1477. 1478. 1479. 1480. 1481. 1482. 1483. 1484. 1485. 1486. 1487. 1488. 1489. 1490. 1491. 1492. 1493. 1494. 1495. 1496. 1497. 1498. 1499. 1500. 1501. 1502. 1503. 1504. 1505. 1506. 1507. 1508. 1509. 1510. 1511. 1512. 1513. 1514. 1515. 1516. 1517. 1518. 1519. 1520. 1521. 1522. 1523. 1524. 1525. 1526. 1527. 1528. 1529. 1530. 1531. 1532. 1533. 1534. 1535. 1536. 1537. 1538. 1539. 1540. 1541. 1542. 1543. 1544. 1545. 1546. 1547. 1548. 1549. 1550. 1551. 1552. 1553. 1554. 1555. 1556. 1557. 1558. 1559. 1560. 1561. 1562. 1563. 1564. 1565. 1566. 1567. 1568. 1569. 1570. 1571. 1572. 1573. 1574. 1575. 1576. 1577. 1578. 1579. 1580. 1581. 1582. 1583. 1584. 1585. 1586. 1587. 1588. 1589. 1590. 1591. 1592. 1593. 1594. 1595. 1596. 1597. 1598. 1599. 1600. 1601. 1602. 1603. 1604. 1605. 1606. 1607. 1608. 1609. 1610. 1611. 1612. 1613. 1614. 1615. 1616. 1617. 1618. 1619. 1620. 1621. 1622. 1623. 1624. 1625. 1626. 1627. 1628. 1629. 1630. 1631. 1632. 1633. 1634. 1635. 1636. 1637. 1638. 1639. 1640. 1641. 1642. 1643. 1644. 1645. 1646. 1647. 1648. 1649. 1650. 1651. 1652. 1653. 1654. 1655. 1656. 1657. 1658. 1659. 1660. 1661. 1662. 1663. 1664. 1665. 1666. 1667. 1668. 1669. 1670. 1671. 1672. 1673. 1674. 1675. 1676. 1677. 1678. 1679. 1680. 1681. 1682. 1683. 1684. 1685. 1686. 1687. 1688. 1689. 1690. 1691. 1692. 1693. 1694. 1695. 1696. 1697. 1698. 1699. 1700. 1701. 1702. 1703. 1704. 1705. 1706. 1707. 1708. 1709. 1710. 1711. 1712. 1713. 1714. 1715. 1716. 1717. 1718. 1719. 1720. 1721. 1722. 1723. 1724. 1725. 1726. 1727. 1728. 1729. 1730. 1731. 1732. 1733. 1734. 1735. 1736. 1737. 1738. 1739. 1740. 1741. 1742. 1743. 1744. 1745. 1746. 1747. 1748. 1749. 1750. 1751. 1752. 1753. 1754. 1755. 1756. 1757. 1758. 1759. 1760. 1761. 1762. 1763. 1764. 1765. 1766. 1767. 1768. 1769. 1770. 1771. 1772. 1773. 1774. 1775. 1776. 1777. 1778. 1779. 1780. 1781. 1782. 1783. 1784. 1785. 1786. 1787. 1788. 1789. 1790. 1791. 1792. 1793. 1794. 1795. 1796. 1797. 1798. 1799. 1800. 1801. 1802. 1803. 1804. 1805. 1806. 1807. 1808. 1809. 1810. 1811. 1812. 1813. 1814. 1815. 1816. 1817. 1818. 1819. 1820. 1821. 1822. 1823. 1824. 1825. 1826. 1827. 1828. 1829. 1830. 1831. 1832. 1833. 1834. 1835. 1836. 1837. 1838. 1839. 1840. 1841. 1842. 1843. 1844. 1845. 1846. 1847. 1848. 1849. 1850. 1851. 1852. 1853. 1854. 1855. 1856. 1857. 1858. 1859. 1860. 1861. 1862. 1863. 1864. 1865. 1866. 1867. 1868. 1869. 1870. 1871. 1872. 1873. 1874. 1875. 1876. 1877. 1878. 1879. 1880. 1881. 1882. 1883. 1884. 1885. 1886. 1887. 1888. 1889. 1890. 1891. 1892. 1893. 1894. 1895. 1896. 1897. 1898. 1899. 1900. 1901. 1902. 1903. 1904. 1905. 1906. 1907. 1908. 1909. 1910. 1911. 1912. 1913. 1914. 1915. 1916. 1917. 1918. 1919. 1920. 1921. 1922. 1923. 1924. 1925. 1926. 1927. 1928. 1929. 1930. 1931. 1932. 1933. 1934. 1935. 1936. 1937. 1938. 1939. 1940. 1941. 1942. 1943. 1944. 1945. 1946. 1947. 1948. 1949. 1950. 1951. 1952. 1953. 1954. 1955. 1956. 1957. 1958. 1959. 1960. 1961. 1962. 1963. 1964. 1965. 1966. 1967. 1968. 1969. 1970. 1971. 1972. 1973. 1974. 1975. 1976. 1977. 1978. 1979. 1980. 1981. 1982. 1983. 1984. 1985. 1986. 1987. 1988. 1989. 1990. 1991. 1992. 1993. 1994. 1995. 1996. 1997. 1998. 1999. 2000. 2001. 2002. 2003. 2004. 2005. 2006. 2007. 2008. 2009. 2010. 2011. 2012. 2013. 2014. 2015. 2016. 2017. 2018. 2019. 2020. 2021. 2022. 2023. 2024. 2025. 2026. 2027. 2028. 2029. 2030. 2031. 2032. 2033. 2034. 2035. 2036. 2037. 2038. 2039. 2040. 2041. 2042. 2043. 2044. 2045. 2046. 2047. 2048. 2049. 2050. 2051. 2052. 2053. 2054. 2055. 2056. 2057. 2058. 2059. 2060. 2061. 2062. 2063. 2064. 2065. 2066. 2067. 2068. 2069. 2070. 2071. 2072. 2073. 2074. 2075. 2076. 2077. 2078. 2079. 2080. 2081. 2082. 2083. 2084. 2085. 2086. 2087. 2088. 2089. 2090. 2091. 2092. 2093. 2094. 2095. 2096. 2097. 2098. 2099. 2100. 2101. 2102. 2103. 2104. 2105. 2106. 2107. 2108. 2109. 2110. 2111. 2112. 2113. 2114. 2115. 2116. 2117. 2118. 2119. 2120. 2121. 2122. 2123. 2124. 2125. 2126. 2127. 2128. 2129. 2130. 2131. 2132. 2133. 2134. 2135. 2136. 2137. 2138. 2139. 2140. 2141. 2142. 2143. 2144. 2145. 2146. 2147. 2148. 2149. 2150. 2151. 2152. 2153. 2154. 2155. 2156. 2157. 2158. 2159. 2160. 2161. 2162. 2163. 2164. 2165. 2166. 2167. 2168. 2169. 2170. 2171. 2172. 2173. 2174. 2175. 2176. 2177. 2178. 2179. 2180. 2181. 21

### 가-3. GNSS를 활용한 연결철물의 위치 기록 장치

#### 가-3.1 기반기술

cm단위의 오차범위로 비교적 정확한 위치를 조사할 수 있는 GNSS 안테나와 수신기를 활용하여 치장저적벽체의 연결철물 위치의 위성 좌표를 저장할 수 있다.



<㈜피피솔 사의 'RTAP2U'>

<연결철물의 위치정보 등록 화면>

위치정보를 기록하여 웹플랫폼에 등록을 진행하면 사진 클릭시 사진이 촬영된 위치의 평면, 입면을 확인할 수 있어 현장 조사 시 추가로 위치를 수기로 표기해야하는 불편함을 줄일 수 있다.

치장조적의 연결철물 조사 이외에도 건축공사 현장에서 현장 배근등을 촬영할 경우에도 각 위치를 바로 기록할 수 있는 장점이 있다.

#### 가-3.2 시제품 제작 및 특허출원

cm단위의 오차범위를 갖는 GNSS 안테나와 수신기가 있어도 이를 활용하여 위치를 촬영 할 경우 안테나와 촬영기기, 수신기를 따로 들고 움직여야 하는 불편함이 있다.



<시제품 안>

이를 개선하기 위하여 GNSS 안테나를 촬영기기와 결합하여 이동 및 촬영에 용이하도록 시제품을 구상하였다.

GNSS 안테나를 이용하여 실시간으로 위성 데이터를 수집하고, GNSS 수신기를 통해 오차범위를 실시간으로 조정하며 이동 및 촬영에 용이한 장비를 개발하여 'GNSS를 활용한 위치 파악 및 기록장치'라는 명칭으로 특허 출원을 진행하였다.

#### 가-3.3 현장적용

치장조적벽체에서 페로스캔, 금속탐지기 등으로 연결철물의 위치를 조사한 후 GNSS안테나를 결합한 촬영기기로 해당 위치의 위성 데이터(X,Y,Z)를 획득할 수 있다.



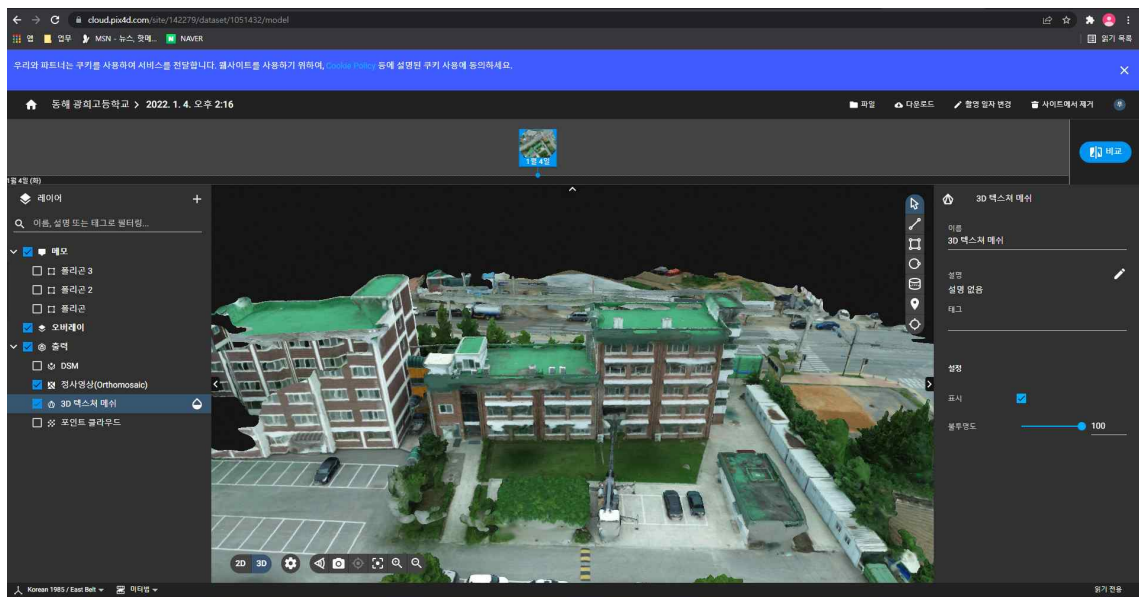
조사 시 촬영기기와 촬영 대상은 일정간격을 두고 촬영을 하여 추가로 발생할 우려가 있는 위치데이터의 오차를 최소화 하는 것이 바람직하다.

#### 가-4. 드론을 이용하여 건물의 3D 모델 획득

##### 가-4.1 드론을 활용하여 건물의 3D 모델 획득 Process







#### 가-4.2 대상 건물 촬영

건물의 전체적인 형상과 각 입면의 치수 등을 측정하기 위한 목적으로 드론을 활용하여 건물의 사진을 촬영하여 3D모델을 획득할 수 있다.

추가로 드론이 아닌 촬영기기를 이용하더라도 건물의 3D 모델을 획득하는 데에 활용할 수 있으며 드론으로 촬영이 힘든 영역(예를 들면 나무나 주변 건물들로 인해 원거리 촬영이 힘든 장소)은 추가 촬영을 통해 기존 데이터를 보완할 수 있다.

#### 가-4.3 3D 모델 획득

드론이나 다른 촬영기기를 활용하여 촬영한 건물의 사진을 3D 모델 획득 프로그램(ex) Pix4Dmapper)에 입력하여 해당 프로그램의 처리작업을 수행, 3D모델을 획득 할 수 있다.

획득한 3D모델에서는 건물의 규모를 측정할 수 있으며, 입면의 치수도 바로 확인 할 수 있어 보강견적 중 입면 사이즈를 측정하는 데에 용이하게 사용할 수 있다.



### 가-5. 웹플랫폼을 통해 현장조사자료 입력 및 보강안 도출, 보강견적 작성

#### 가-5.1 웹플랫폼을 활용한 업무 Process

기존 보강공사의 견적은 실제로 현장조사를 통해 이루어지지 않아 정확한 보강량을 산정할 수 없는 어려움이 있었다. 보강공사의 견적을 산정할 때는 현장조사 데이터를 수집하여 균열의 길이를 측정하고 연결철물의 설치유무와 설치된 간격, 연결철물의 부식정도를 확인하여야 한다. 이에 따라 구조검토를 진행하여 보강안을 산정하면 보강 견적을 산출할 수 있다.

이러한 일련의 과정을 단계별로 수행하게 되면 각각의 단계를 각각 다른 업체에서 진행 후 자료를 취합하여 조사결과 데이터를 작성하거나, 하나의 업체에서 진행을 하게 되도 각각 단계에 따른 정리하는 시간이 추가로 발생하기 때문에 약 2~3일 정도의 시간이 소요될 수 있다.

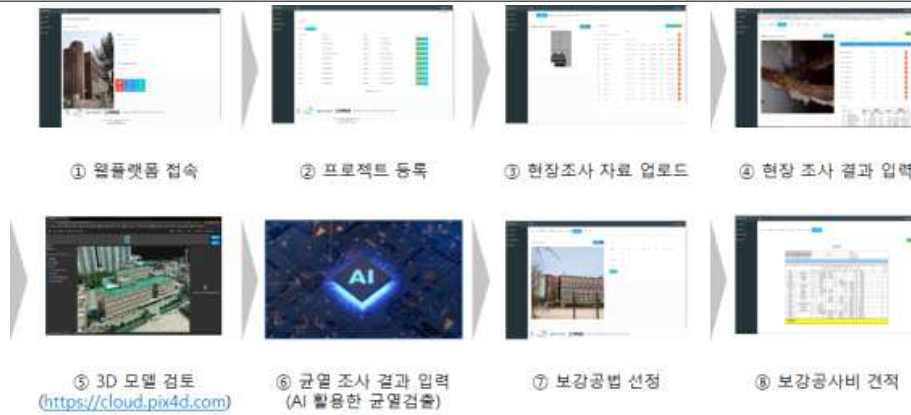
이번 연구 과제를 통해 개발한 웹플랫폼은 모든 현장 조사 자료를 일괄적으로 업로드 할 수 있으며 단계별 처리를 빠르고 간결하게 입력하여 8시간 이내에 보강안을 도출 할 수 있도록 구축하였다.

#### ○ 적정 규모

2개 현장에 대하여 실제 업무에 활용한 결과, 8시간 내에 수행가능한 건물의 규모는 다음과 같이 정리할 수 있었다.

| 내 용  | 기 준                | 비 고                                       |
|------|--------------------|-------------------------------------------|
| 층 수  | 지상 5층              |                                           |
| 외벽면적 | 5000m <sup>2</sup> | 평면상 교실 15개 해당(조사개소는 '가-1.2 현장조사기준'을 따른다.) |

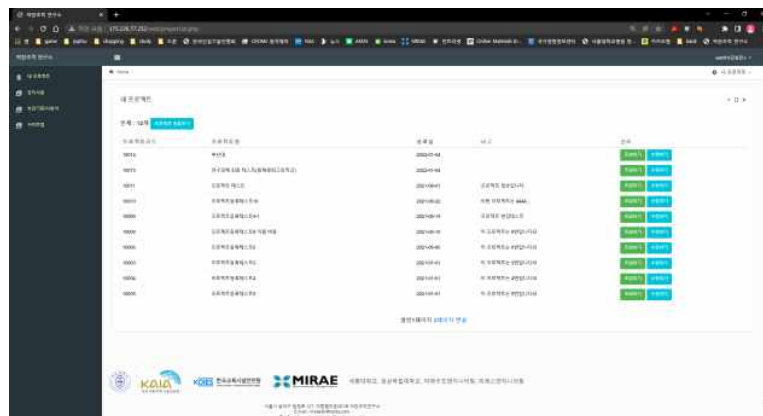
\* 학교시설물의 일반도면 기준 (폭 10.2m, 층고 3.5m 일 경우로 가정)



## 가-5.2 웹플랫폼 활용방법

보강 견적 산출을 위해 현장조사를 선행한 뒤 현장 조사 데이터를 수집하여 웹 플랫폼에 등록 후 보강 견적을 산출할 수 있다.

현장조사를 통해 획득한 데이터(입면사진, 균열조사, 연결철물조사, 건축물 측량 사진 등)를 웹플랫폼에 접속 후 프로젝트 폴더에 입력한다.

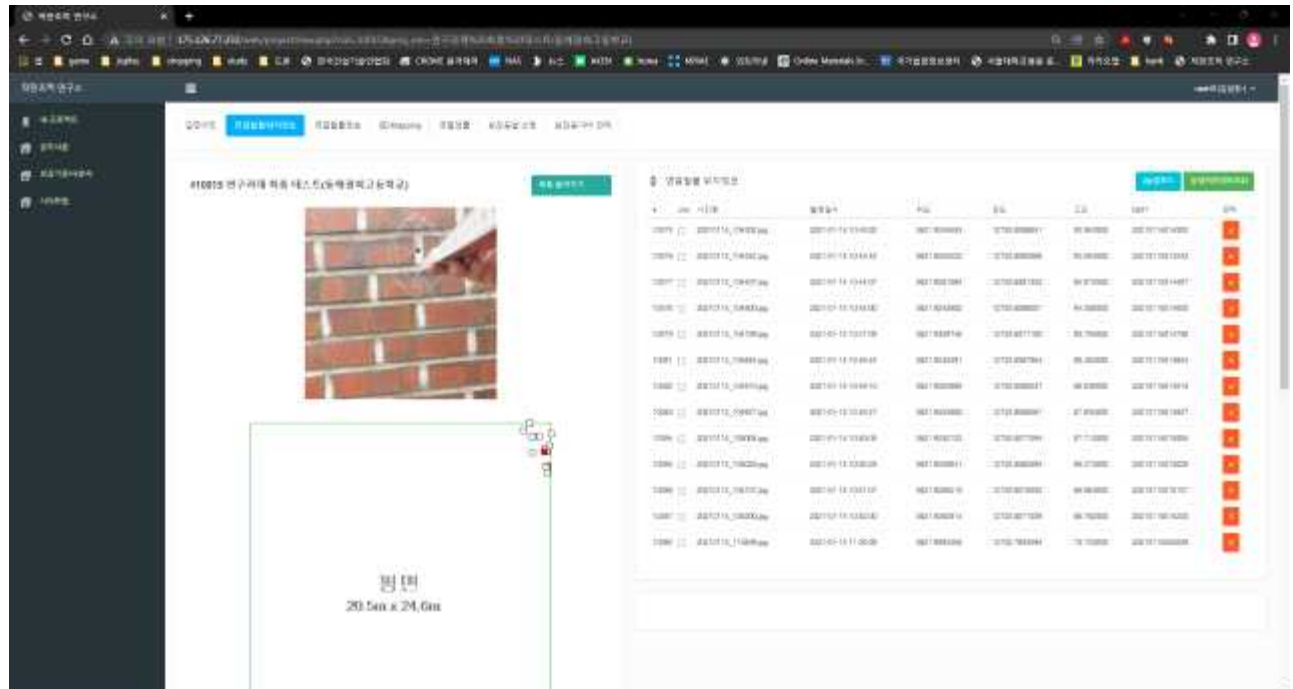


위 화면은 처음 로그인 후 프로젝트 리스트를 확인 할 수 있는 창으로 이용자가 프로젝트를 추가/삭제 및 수정을 할 수 있다.

프로젝트 등록은 프로젝트 명과 비고(간단한 프로젝트 내용)를 통해 간단한 등록이 가능하다.

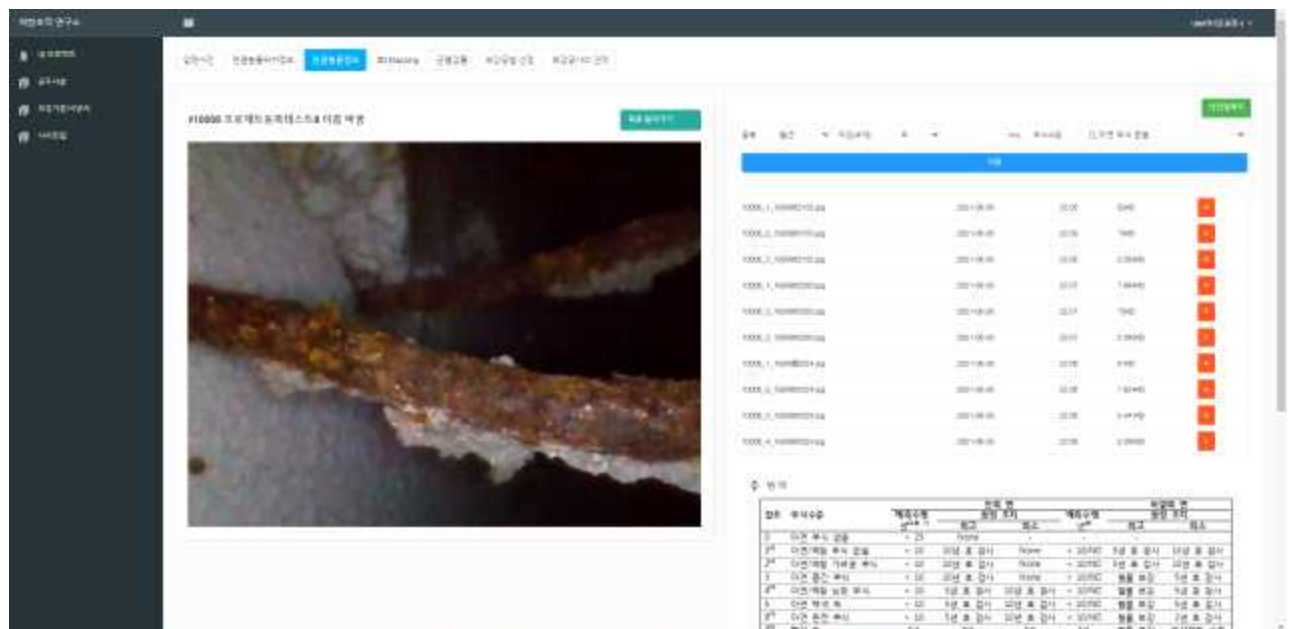
연결철물의 위치정보 사진은 zip 파일로 사진데이터와 GNSS 데이터를 한 번에 올릴 수 있다.

연결철물의 위치 조사 데이터를 업로드 할 경우에는 GNSS 수신기에서 실시간 보정받은 로그 데이터를 함께 업로드 해야 사진의 GNSS값을 웹플랫폼 상에 등록할 수 있다.



사진의 업로드가 끝나면 우측에 리스트로 정리가 된다.

리스트에서 원하는 사진을 선택하면 좌측에 사진 이미지와 평면, 입면에 조사 위치가 표시되어 해당 연결철물의 위치를 쉽게 확인할 수 있고 연결철물간의 거리를 “상대위치정보조회”를 이용하여 측정할 수 있다.

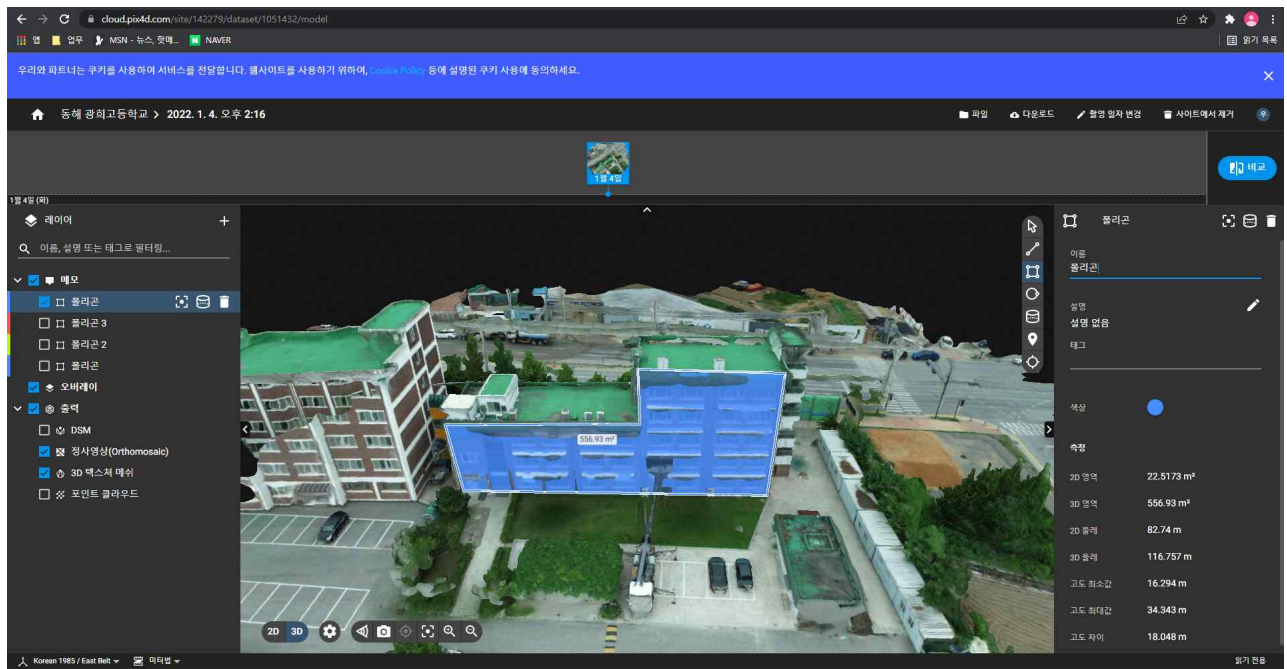


연결철물은 부식정도에 따라 지속 사용이 가능 한지, 즉시 보강을 해야 하는지 판단이 필요하다.

내시경 카메라로 촬영한 연결철물 사진을 업로드하면 각각의 연결철물의 부식정도를 입력할 수 있다.

연결철물의 상태를 판단하여 보강설계 시 추가로 설치해야 할 연결철물의 개수를 산정하는 구조계산 시 반영할 수 있다.

보강 견적을 산출할 때는 입면의 면적이 필요하게 되는데 드론을 이용하여 획득한 건물의 3D 모델을 활용하면 입면의 길이, 면적 등을 쉽게 확인할 수 있다.



상기 그림처럼 입면의 면적을 측정 한 뒤, 개구부의 면적을 제외하면 균열 등에 의한 보수/보강량을 산출할 수 있다. 면적 외에도 길이측정도 가능하다.



균열 조사한 사진은 “균열검출” 탭을 통해 AI를 활용한 균열검출 프로그램을 통해 균열의 길이를 산정하게 된다. 이에 관한 연구 내용은 공동연구기관인 세종대학교 산학협력단에서 진행하였으며, 세종대학교 산학협력단의 연구내용에 자세히 설명하고 있다.

연결철물의 간격, 부식정도, 균열의 길이의 산정이 끝나면 구조계산을 통해 필요한 보강량을 산정하게 된다.

구조계산에서 사용되는 식은 국토교통부의 “건축구조기준(KDS 41 17 00:2019)”와 “LH공동주택 비구조요소 내진설계 매뉴얼”, “LH공동주택 비구조요소 내진설계 예제집”을 따른다. 자세한 식의 설명은 별첨에 있는 치장조적 보강기준을 참고하면 좋다.

이후 “보강공법 선정” 탭에 측정한 입면 사이즈를 입력한 후 “보강공법 저장“하면 ”보강공사비 견적“ 탭을 통해 개략보강공사비 견적을 얻을 수 있다.

| 견 적 서 |  |  |      |  |  |               |  |  |  |  |  |
|-------|--|--|------|--|--|---------------|--|--|--|--|--|
| 부호    |  |  | 부호   |  |  | 문서번호          |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |
| 계 계호  |  |  | 계 계호 |  |  | 시정/시정공공사업 112 |  |  |  |  |  |

## 가-5. 활용방안

오래된 학교 시설의 치장조적벽체는 균열과 변형으로 인해 보수 및 보강이 필요한 실정이다.

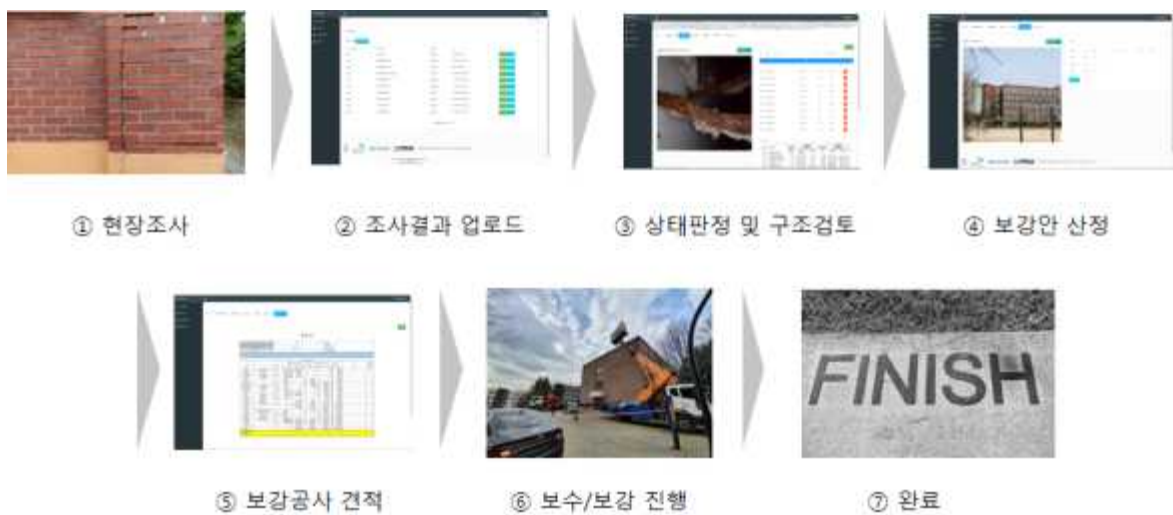
세계적으로 지진 발생빈도가 증가하는 추세와 더불어 대한민국에서 발생한 지진의 횟수 또한, 2008년 46회에서 2017년 223회로 대략 4.8배가 증가하였으며, 이 중 규모 3이상의 지진 발생 횟수는 2008년 10회에서 2017년 19회로 1.9배가 증가하였다. 특히, 최근5년 이내 발생한 ‘16.9.12경주지진(규모5.8) 및 17.11.15포항지진(규모5.4)에서 알 수 있듯이 더 이상 한반도는 지진으로부터 안전을 보장할 수 없는 지역이 되었다.

이러한 실정을 고려하여 국내의 건축구조 관련 법규 또한 내진성능을 반영한 개정이 이루어지고 있지만, 신축을 대상으로 하고 있어서, 기존 건물에 대한 보강에는 활용하기 어려운 실정이다.

경주, 포항 지진에서는 비구조요소 중 치장벽돌 탈락에 의한 피해가 대다수 였으며, 최근에는 지진동이 아닌 단순 노후화로 인한 치장벽돌 탈락 사고도 빈발하고 있다

실제 치장조적벽의 보강 공사에는 현장조사기준과 보강공사비 산정에 대한 기준이 없었기 때문에 견적을 산정하는데 어려움이 있었다.

본 연구 성과물을 이용하면 간단한 현장 조사를 통하여 보강방안과 보강공사비를 빠르게 얻을 수 있다.



<실제 현장 활용방안 예시>

---

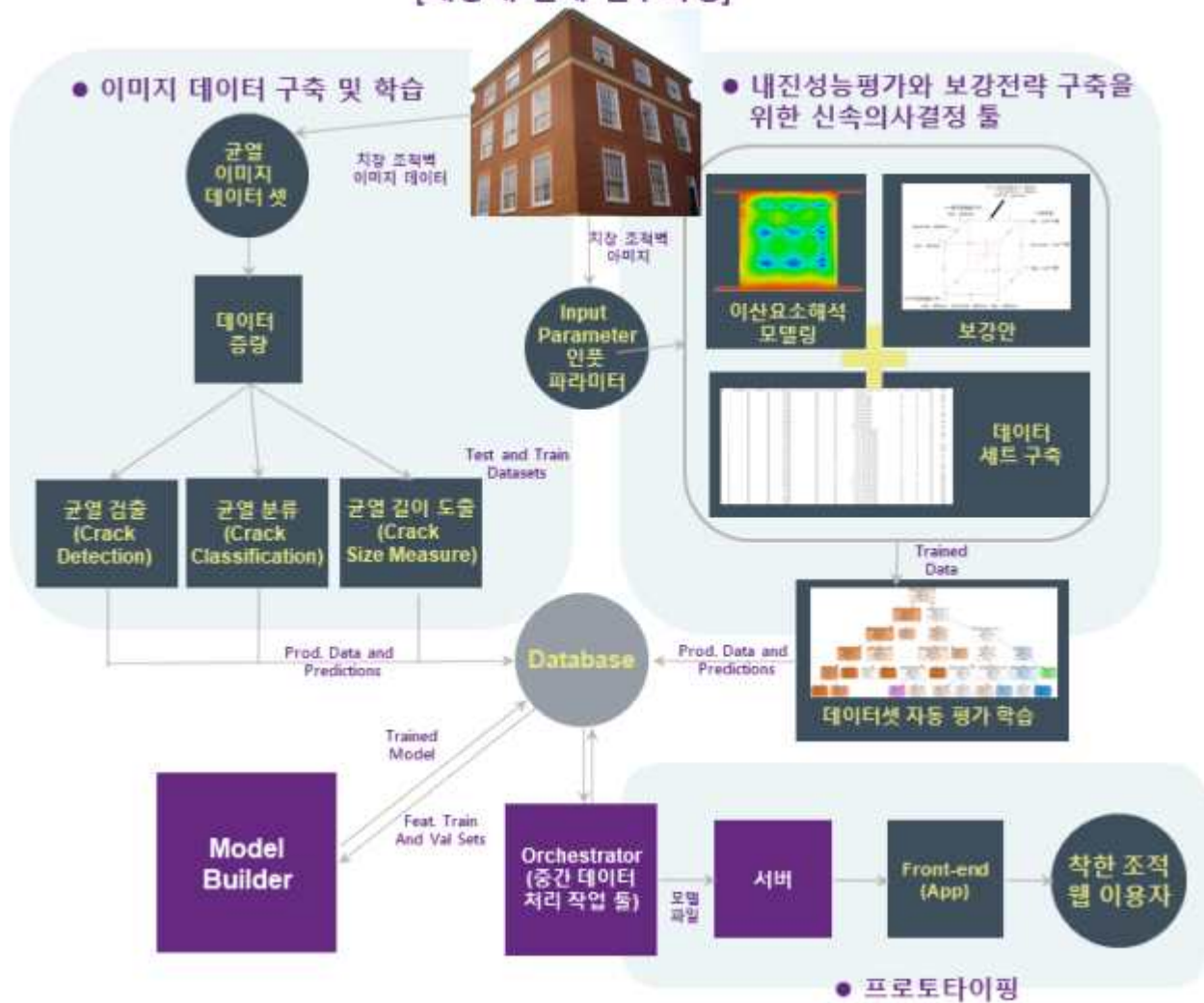
나. 공동연구기관 : 세종대학교 산학협력단

## 나. 공동연구기관 : 세종대학교 산학협력단

### ○ 세종대학교 전체 연구과정

- 아래의 그림은 세종대학교 1, 2차년도 전체 연구과정을 도식화한 것으로, 2차년도에는 1차년도의 이미지 데이터 구축 및 학습과정을 발전시킴. 또한 1차년도의 연구결과인 ‘조적이미지에서 균열 추출’ 연구에서 발전시켜 ‘균열길이 도출’ 까지 연구가 완료됨
- 이산요소해석을 수행하여 치장 조적조 모델링을 수행하였으며, 논문과의 비교 검증을 통하여 이산요소 해석모델을 수립함. 수립된 모델을 통해 치장조적조의 상태 판정을 위한 데이터 셋을 구축함
- 최종적으로 이렇게 만들어진 두가지 모듈을 착한조적연구소 웹 사이트에 제공하기 위해, 이에 알맞은 포맷으로 변경하는 과정까지 연구가 진행 완료됨

[세종대 전체 연구과정]



1, 2차년도 연구 과정 통합

## 나-1.1 핵심영향인자 다변화를 통한 조적벽체의 내진성능관련 빅데이터 생성

### 나-1.1.1 치장 조적조 손상 평가 관련 문헌 조사 및 분석 (핵심영향인자 도출과정)

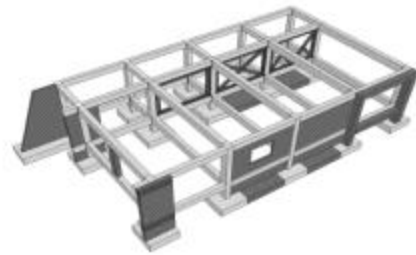
- 치장 조적벽의 면내방향 및 면외방향 손상 평가 관련 문헌은 ‘치장 조적 벽체의 내진성능 평가(김영강, 2008)’ 과 ‘학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼(교육부, 2018)’ 에서 발췌함

#### 치장 조적 벽체의 내진성능 평가

Seismic Performance Evaluation of Masonry  
Architectural Wall Systems

김 영 강

학교시설 내진성능평가  
및 보강 매뉴얼

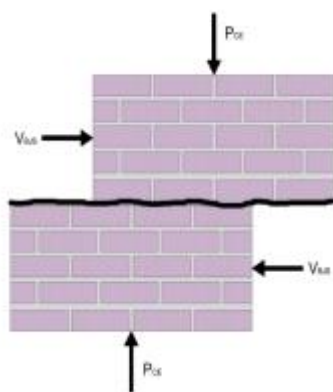


교 육 부

#### ○ 면내방향의 검토

횡하중을 받는 면내수직벽체의 거동모드와 강도식은 4가지 유형으로 분류됨. 연성 거동형태인 수평줄눈의 미끄러짐 파괴(Bed-Joint-Sliding Failure)와 강체회전 (Rocking Failure), 취성거동 형태인 사인장 파괴 (Diagonal Tension Failure)와 양단부 압축파괴 (Toe Crushing Failure)로 분류하고 있음. 이러한 거동형태들은 주로 조적개체의 강도, 벽체의 형상비와 수직하중의 크기에 따라 결정됨. 4가지 거동형태와 이에 대한 강도식은 FEMA273에 준하여 기술함

#### 1) 수평줄눈 미끄러짐 파괴거동



<수직벽체의 전단파괴거동>

$$V_{hjs} = v_{mc} A_n = \left\{ \frac{0.75(0.75v_{te} + \frac{P_{CE}}{A_n})}{1.5} \right\} A_n$$

여기서,  $V_{hjs}$  : 면내벽체 전단강도

$P_{CE}$  : 수직 축하중

$A_n$  : 줄눈 단면적

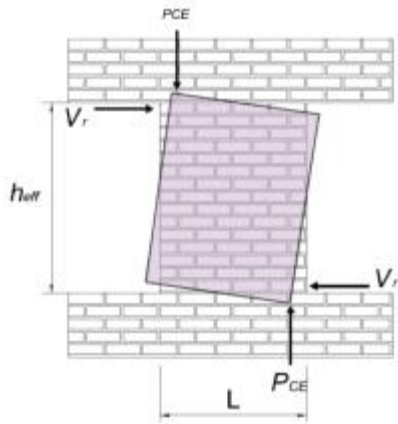
$v_{mc}$  : 조적 전단강도

$v_{te}$  : 수평줄눈 전단강도

<수직벽체의 전단파괴 강도식>

#### 2) 강제회전 파괴거동(Rocking)

휨 거동으로 인한 균열이 벽체 끝단 모서리에서 발생이 된 후 벽체는 벽체 끝단에 대해 회전 강체와 같이 거동함. Rocking은 재료의 전단강도가 높고 벽체가 세장하며 벽체 윗부분의 압축강도가 낮을 경우 발생하기 쉬움



$$V_r = 0.9\alpha P_{CE} \left( \frac{L}{h_{eff}} \right)$$

여기서,  $\alpha$  : 단부조건에 따른 계수

$L$  : 면내벽체 길이

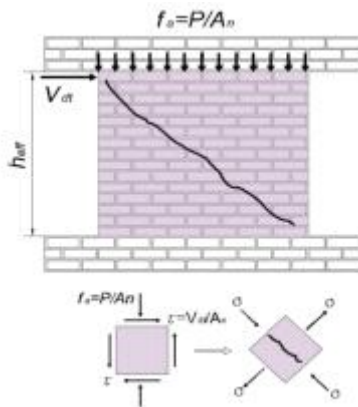
$h_{eff}$  : 면내벽체 높이

<수직벽체의 강체회전 파괴모드 거동>

<수직벽체의 강체회전 파괴모드 강도식>

### 3) 사인장파괴(Diagonal tension cracking)

사인장파괴는 아래 그림과 같이 거동은 수직벽체가 수평하중과 수직하중을 받을 경우 대각선 방향의 균열이 발생함. 균열은 줄눈의 접합부에서 일어나거나 또는 조적개체에서 일어날 수 있음



$$V_{dt} = f'_{dt} A_n \left( \frac{L}{h_{eff}} \right) \sqrt{1 + \frac{f_a}{f'_{dt}}}$$

여기서,  $f'_{dt}$  : 수직 압축응력

$b = \frac{h_{eff}}{L}$  : 전단응력 분배계수

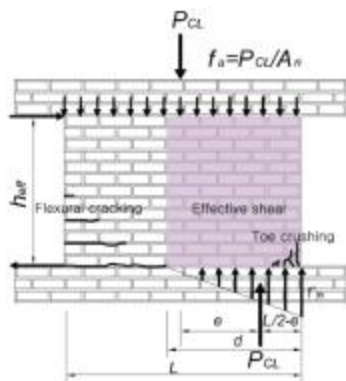
$\tau = \frac{V_{dt}}{A_n}$  : 평균전단응력

<수직벽체의 사인장파괴 거동>

<수직벽체의 사인장파괴 강도식>

### 4) 단부압축파괴

인장을 받는 벽체 끝단 모서리에서 휨균열이 일어나고 횡하중이 증가하면서 압축을 받는 벽체 끝단에서 압축파괴가 발생함. 일반적으로 종횡비  $L/h_{eff}$ 가 1.0에서 1.5사이의 벽체에서 발생함



$$V_{tc} = \alpha P_{CL} \left( \frac{L}{h_{eff}} \right) \left( 1 - \frac{f_a}{0.7f'_m} \right)$$

여기서,  $\alpha$  : 단부조건에 따른 계수

$P_{CL}$  : 수직하중

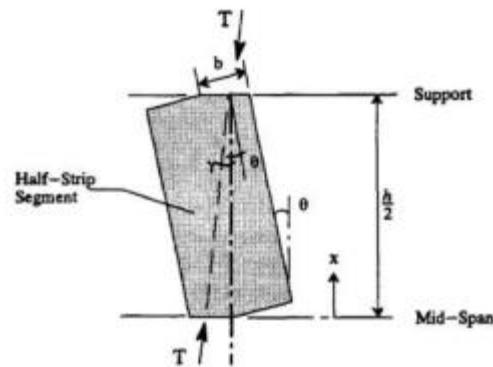
<수직벽체의 사인장파괴 거동>

<수직벽체의 사인장파괴 강도식>

## ○ 면외방향의 검토

면외방향 파괴는 비보강 조적조에서 주로 발생함. 따라서 비보강 조적조의 면외방향의 검토를 적용하였음

- 1) 면외방향 작용력은 하중지배 작용으로 간주
- 2) 조적채움벽의 면외방향의 강성은 전체 구조물의 해석모델에 포함하지 않음
- 3) 조적개체가 가로지르지 않고 완전히 구분되도록 쌓은 두 면 사이에 모르타르 사춤이 부족하거나 단열재 등으로 인해 일체화 되지 않은 경우 하나의 벽체로 보고 검토할 수 없음
- 4) 면외 강도
  - 아치 작용을 고려하여 면외 강도를 산정할 수 있음. 단, 아치 작용을 기대하기 위해서는 해당 벽체를 둘러싸고 있는 구조요소들이 충분한 강성을 갖고 있어야 하며, 벽체와 주변 구조요소는 완전히 접촉하고 있어야 함



<면외 아치작용>

- 아치작용을 고려할 수 없는 경우에는 경계조건을 고려하여 휨균열이 발생하는 수평하중을 면외방향 하중작용 시의 강도로 결정함. <표 1>, <표 2>에 따른 채움벽의 설계기준 인장강도를 적용하며, 축력과 편심하중의 영향을 고려함

<표 나-1> 조적조의 설계기준강도 기본값(MPa)

| 조적의 상태       |                                 | 양호    | 보통    | 불량    |
|--------------|---------------------------------|-------|-------|-------|
| 설계기준 압축강도    |                                 | 6.2   | 4.1   | 2.1   |
| 설계기준 인장강도    |                                 | 0.14  | 0.07  | 0     |
| 설계기준<br>전단강도 | 수평 및 수직 줄눈이 밀실<br>하게 채워진 경우     | 0.19  | 0.14  | 0.09  |
|              | 수평 및 수직 줄눈이 밀실<br>하게 채워지지 않은 경우 | 0.076 | 0.055 | 0.035 |

<표 나-2> 조적조의 탄성계수

| 종류     | 탄성계수(MPa)       |
|--------|-----------------|
| 탄성계수   | $E_m = 200f'_m$ |
| 전단탄성계수 | $G_m = 0.4E_m$  |

## 5) 허용기준

- 아치작용을 고려한 휨균열 강도는 FEMA 274(NEHRP Commentary on the Seismic Rehabilitation of Buildings)에서 제시한 약산식인 (식 1)을 적용할 수 있음. 벽체에 편심이 작용하는 경우 이를 고려하여야 함

$$q_{cr} = \frac{6Pt}{h^2} \quad (\text{식 1})$$

여기서,

$q_{cr}$  : 아치작용을 고려한 벽체의 면외 강도로서 단위 높이 당 횡력

$P$  : 벽체에 작용하는 축력

$t$  : 벽체의 두께

$h$  : 벽체의 높이

산정된 휨균열 강도는 (식 2)의 면외 관성력보다 커야 함

$$F_P = 0.4X S_{XS} W_P \geq 0.1X W_P \quad (\text{식 2})$$

여기서,

$F_P$  : 면외방향의 관성력

$S_{XS}$  : 중요도계수가 고려된 평가 대상 지진의 단주기 스펙트럼가속도

$W$  : 벽체의 무게 혹은 단위중량

$X$  : 목표성능수준에 따른 계수. 붕괴방지의 경우 1.0, 인명안전의 경우 1.3, 거주가능의 경우 2.0을 사용함

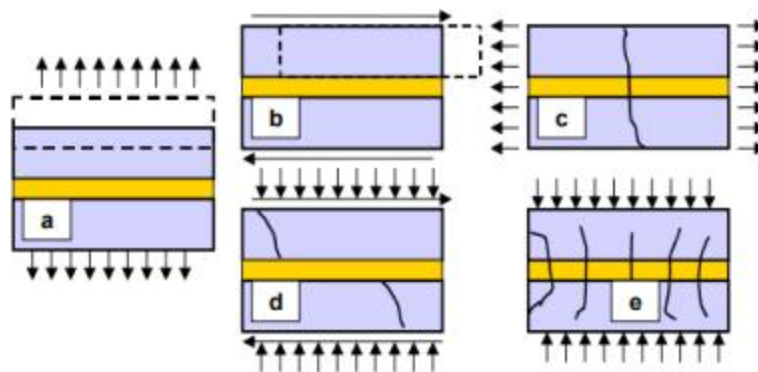
- 별도의 상세해석을 통해서 전도에 대한 벽체의 안정성이 인정되는 경우 인명안전 또는 붕괴방지 성능수준에 대해서 벽체의 휨균열을 허용함

⇒ 이를 기반으로 해당 파괴 유형에 영향을 줄 수 있는 핵심 변수는 무엇인지에 대한 입력과 그에 따라 파괴의 유무 및 손상 상태 판단에 대한 출력 과 같은 입출력정보/파라미터를 어떻게 설정할지에 대한 조사를 진행함

### 나-1.1.2 3DEC 프로그램 활용을 통한 치장 조적조 해석모델 개발 및 검증 연구

#### ○ 3DEC 모델 기반의 치장 조적조 해석모델 연구 분석

1) 조적조 파괴 유형 : 조적 벽돌 사이의 인터페이스/조인트(모르타르)에서 파괴 발생



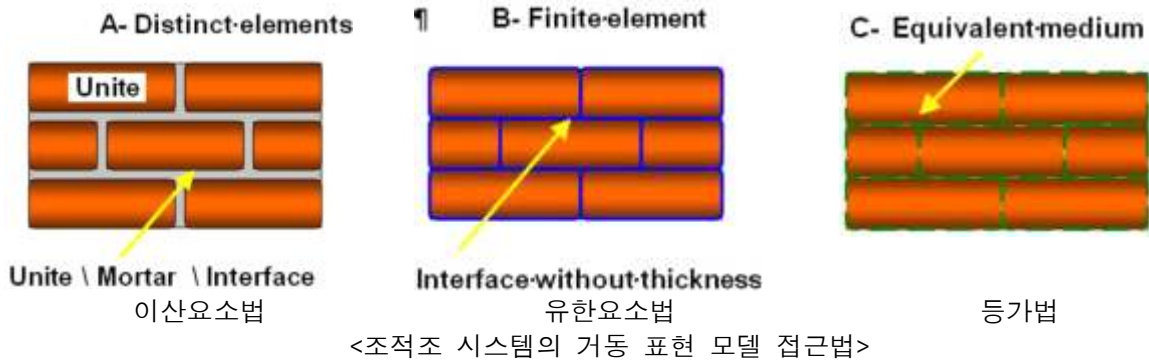
<3DEC 활용 구현 가능 조적조 파괴 유형>

- ① 조인트의 인장 균열
- ② 조인트를 따라 슬라이딩 균열
- ③ 벽돌과 조인트의 균열
- ④ 벽돌의 사인장 균열
- ⑤ mortar militancy로 인한 압축 균열

2) 치장조적 균열 연구에서 3DEC 모델의 장점

- 수치 모델은 비연속 시스템의 두가지 타입의 기계적 거동을 표현해야 함. 두가지 타입은 1) 비연속체의 거동 (ex, 전체 조적벽의 거동) 2) 솔리드(Solid)한 재료의 거동(ex, 조적벽돌의 거동)임

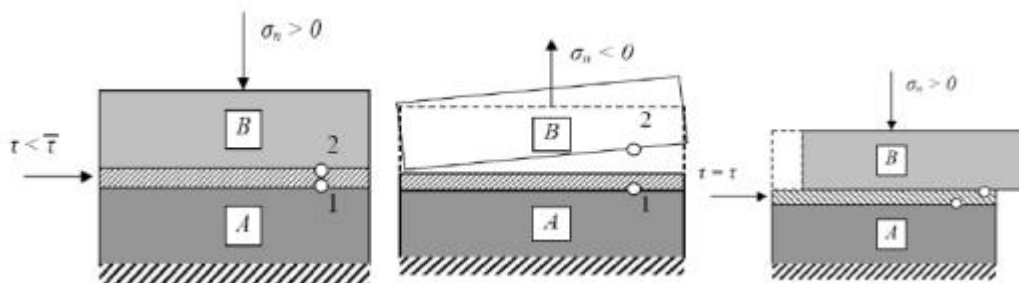
- 수치모델은 반드시 시스템을 대표하는 불연속체의 컨택(contact) 또는 접촉면의 존재를 반영해야함



- 이산요소법은 불연속 분석 기법의 대표적인 분류에 속함. 입자 또는 블록으로 구성된 구조의 분석을 위해 개발되었으며, 특히 블록 사이의 상대적인 움직임에 의해 일어나는 변형 문제에 적합함 (Tzamtzis et al, 2004)
- 조적조는 이러한 이산요소법 기술의 자연스러운 적용을 가능하게 함. 변형가능하며 균열이 일어나는 구조(조적조)에는 조인트(연결부)의 역할이 매우 중요하고, 그러므로 이산요소법의 접근 방식은 붕괴 분석에 매우 적합함

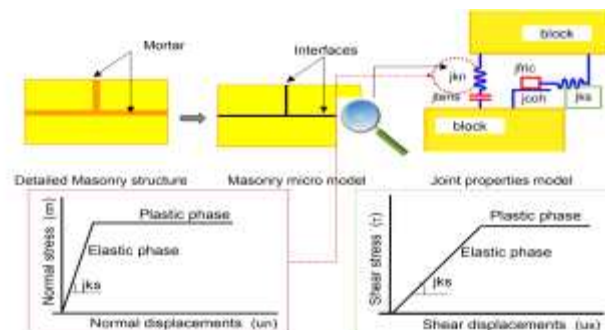
### 3) 3DEC 인터페이스 파괴 모델 설계 과정

- 이산요소해석법에서 블록 사이의 인터페이스의 표현은 컨택트 포인트 세트에 따라 달라짐(1. 일반적인 모서리 세트, 2. 꼭지점끼리 만나는 부분). 또한 각각의 접촉면에서 블록간의 기계적 거동은 압축응력과 전단응력 요소로 표현됨. 탄성범위 내에서 접촉응력과 변위는 접촉 강성 모수들(압축과 전단 강성)과 연관 되어 있음.



<잔류강도와 쿨롱 슬립 모델 (전단과 압축 거동)>

- 인터페이스 조인트의 기계적 거동은 아래의 요소들로 표현됨
  - 수직 강성(jkn) : 수직하중에 대한 인터페이스 조인트의 반응은 수직 강성으로 표현되며, 수직 강성값은 두 조인트 표면 사이의 접촉 면적 비율과 조인트 재료의 특성에 따라 달라짐
  - 전단 강성(jks) : 접합 표면의 거칠기에 따라 달라지는데, 접합부를 따라 마찰에 대한 거친 정도의 분포, 진폭 및 기울기, 연동으로 인한 응집력, 조인트 재료의 강도에 따라 결정됨
  - 마찰각(jfric) : 접합표면의 마찰각의 값을 나타냄
- 아래의 그림은 블록과 블록사이 인터페이스 조인트의 설계도를 보여줌



<3DEC 기반 조적조 해석모델의 인터페이스 모델링 기본 계획>

○ 조적 실험과의 비교를 통한 3DEC 모델 기반의 치장 조적조 해석모델 검증

- 압축, 전단 실험 기반 해석모델 개발 및 검증은 아래와 같이 이뤄짐

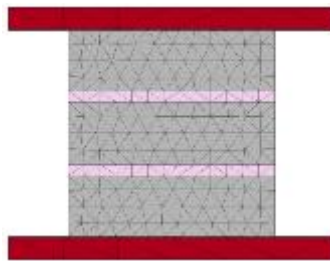
#### 1) 조적조 압축 실험 해석 모델 개발

이전에 수행된 조적조 압축, 실험결과를 바탕으로 하여 3DEC 해석모델을 개발하였으며 검증을 수행함.

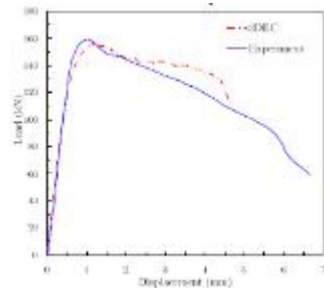
본 연구에서 수행된 joint model은 Mohr-Coulomb 조인트 모델이며 재료의 성질은 실험 수행을 바탕으로 진행됨



압축 실험



3DEC 해석모델  
<조적압축실험 3DEC 해석 검증>

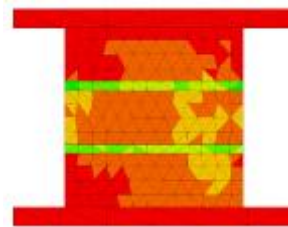


실험 VS 해석

⇒ 이산요소해석 결과 실험과 강성과 강도측면에서 상당히 일치함을 보여줌으로서 3DEC 해석모델의 개발이 우수함을 알 수 있음.



압축 실험 파괴 양상



3DEC Von-Mises 응력

<조적압축실험 3DEC 해석 파괴 양상 비교>

⇒ 실험의 파괴 양상과 이산요소해석의 결과로 나온 응력 집중 해석 그림을 비교한 결과 실험의 파괴 부분과 상당히 일치한 것을 알 수 있음. 이는 향후 추가 연구로 발전되었을 시, GAN 모델 활용 조적조 손상패턴 이미지 생성기술에 적용 가능함

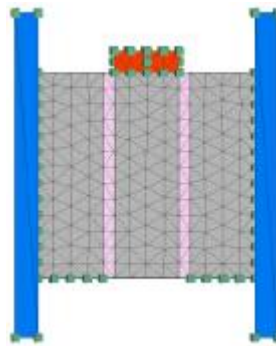
#### 2) 조적조 전단 실험 해석 모델 개발

이전에 수행된 조적조 전단 실험결과를 바탕으로 하여 3DEC 해석모델을 개발하였으며 검증을 수행함

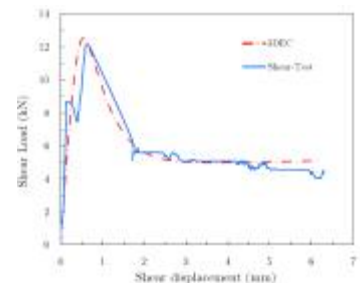
본 연구에서 수행된 joint model은 모어-쿨롱 조인트 모델이며 재료의 성질은 실험 수행을 바탕으로 진행됨



전단 실험

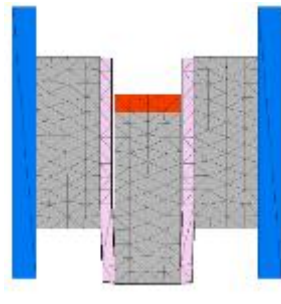


3DEC 해석모델  
<조적전단실험 3DEC 해석 검증 상세>



실험 VS 해석

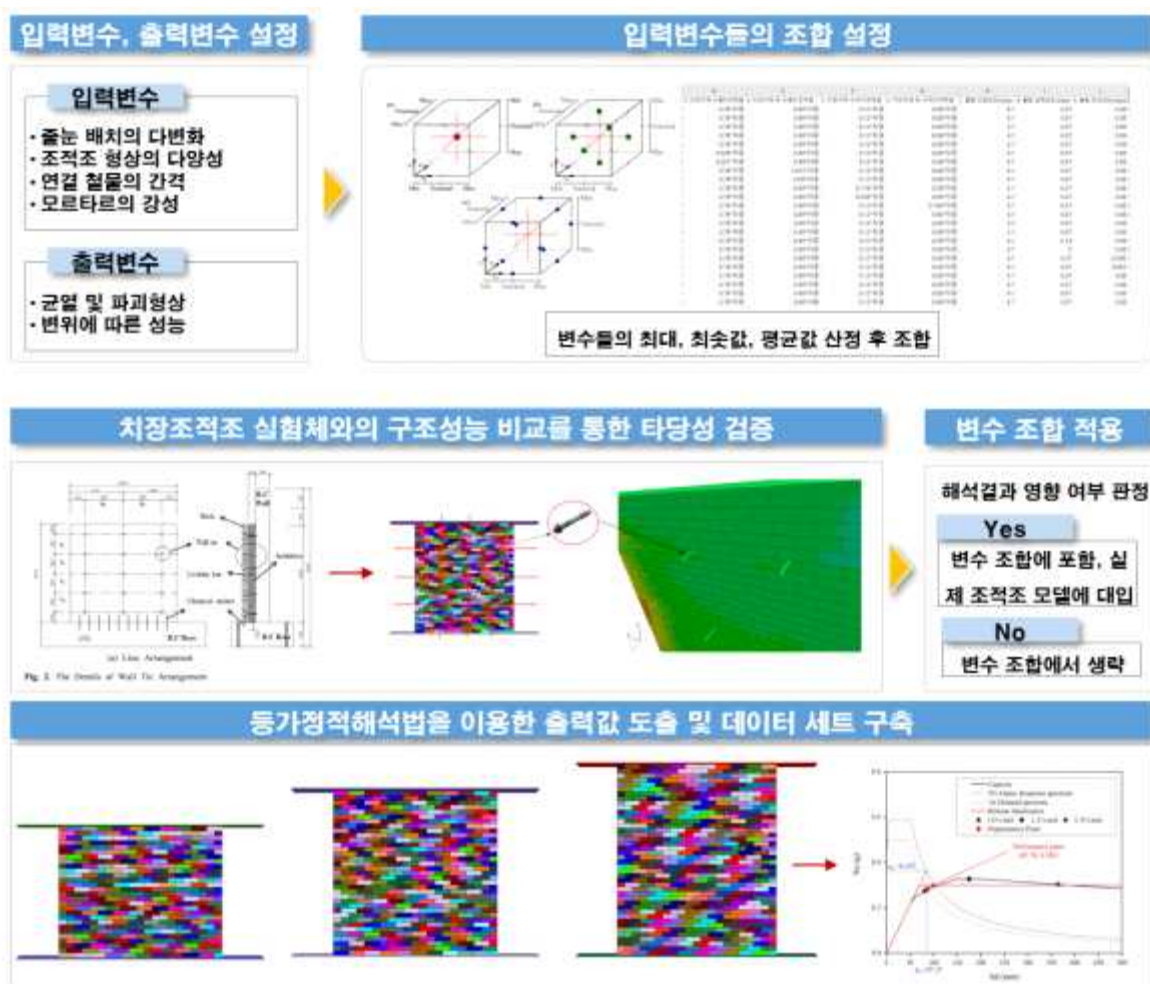
이산요소해석 결과 전단 실험에서의 강성과 강도측면에서 상당히 일치함. 따라서 3DEC 해석모델의 개발이 우수하며 신뢰성을 확보한 것으로 판단됨. 또한 이전에 ABAQUS로 개발하였던 유한요소해석 결과와 비교하였을 때, 3DEC 해석결과가 실험결과와 더 높은 일치성을 보여줌. 따라서 조적조 수치 해석시 3DEC 소프트웨어를 활용한 이산요소해석이 조적조 거동 예측에 더 적합하다는 것을 알 수 있음



전단 실험 파괴 양상      3DEC Von-Mises 응력  
<전단압축실험 3DEC 해석 파괴 양상 비교>

## 나-1.2 연성/강도/연성+강도 중심의 조적벽체 맞춤형 보강전략(안) 구축을 위한 신속의사결정 툴 구축 및 검증

### 나-1.2.1 3DEC 기반 조적조 입출력 모델링 계획



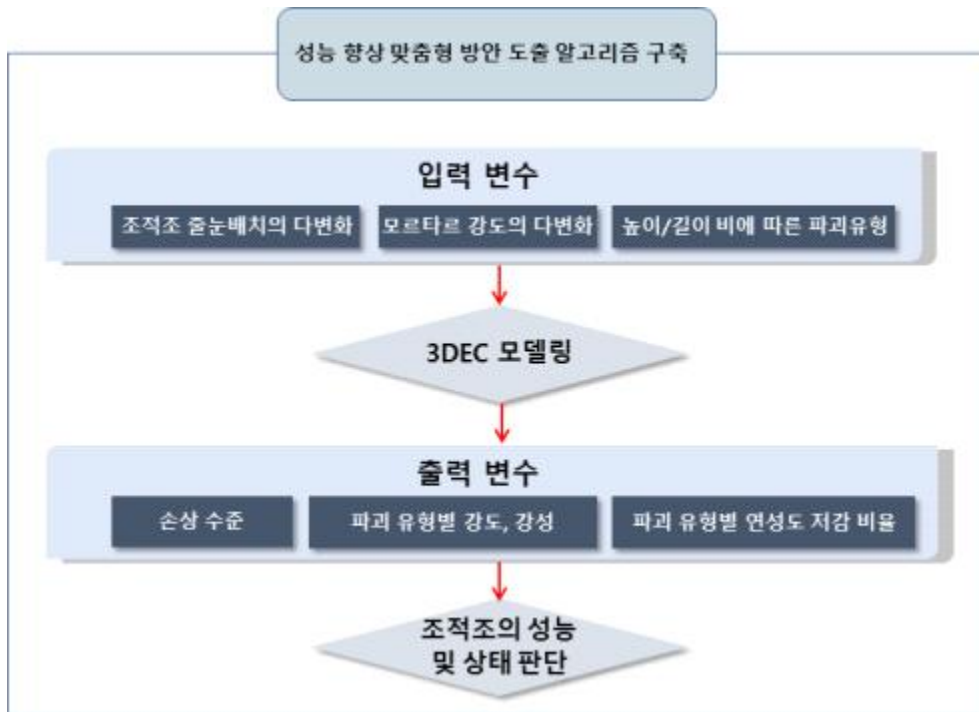
<입출력 모델링 상세 진행 과정>

### 나-1.2.2 3DEC 기반 최적보강전략 구축을 위한 입출력 변수 계획

#### ○ 3DEC 기반의 입출력 변수 설계

- (기본모델) 상기 파괴유형 별 검증된 모델링 기법 기반의 치장 조적조 전체 모델 개발 (높이-길이 비 1:1)
- (입력변수) 조적조 줄눈배치의 다변화 (시공오류 등 반영)
- (입력변수) 모르타르 강도의 다변화
- (입력변수) 기타 파괴에 영향을 줄 수 있는 변수 추가 발굴

- (입력변수) 높이-길이비 다변화하여 추가 변수 스터디
- (출력변수) (1) 손상 수준, (2) 파괴 유형별 강도, 강성, 연성도 저감 비율
- 입출력 데이터세트 기반의 데이터 확장 후, 출력변수에 따른 강도/강성/연성도 향상 맞춤형 방안 도출 알고리즘 구축



<알고리즘 구축 과정 상세>

<표 나-3> 입출력 변수 계획표

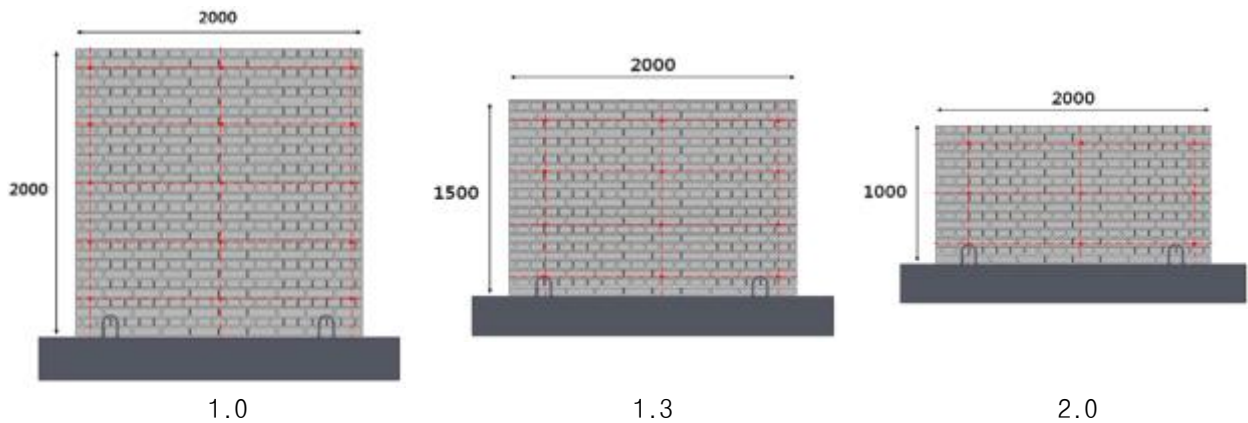
| 변수 종류     |               | 변수                                                             |                                                    | 모델 범위                                                                | 대푯값                          | 극한값                          |                               |
|-----------|---------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|           |               |                                                                |                                                    |                                                                      |                              | 최소                           | 최대                            |
| 면내,<br>면외 | 형상비           | L/H 값, (1.0이하: 세장)                                             |                                                    | 0.8, 1.0, 1.2                                                        | 1.0                          | 0.8                          | 1.2                           |
|           | 형상            | ㄱ형, ㄴ형, ㄷ형                                                     |                                                    | -                                                                    | -                            | -                            | -                             |
| 개구부 유무    |               | 일반적인 개구부 범위                                                    |                                                    | -                                                                    | -                            | -                            | -                             |
| 조적쌓기 방법   |               | 시공 상 발생할 수 있는 조적쌓기 방법의 오차 (상하 벽돌 모서리 기준 겹침 정도)                 |                                                    | 20mm~85mm                                                            | 44.5mm                       | 20mm                         | 85mm                          |
| 연결철물 간격   |               | 수평                                                             |                                                    | 800mm~1200mm                                                         | 1000mm                       | 800mm                        | 1200mm                        |
|           |               | 수직                                                             |                                                    | 400mm~800mm                                                          | 600mm                        | 400mm                        | 800mm                         |
| 물탈<br>강도  | 설계기준<br>인장 강도 | 양호, 보통, 불량                                                     |                                                    | 2.1~6.2 (MPa)                                                        | 4.1                          | 2.1                          | 6.2                           |
|           | 설계기준<br>압축 강도 | 양호, 보통, 불량                                                     |                                                    | 0~0.14 (MPa)                                                         | 0.07                         | 0                            | 0.14                          |
|           | 설계기준<br>전단 강도 | 줄눈이 밀실하게 채워진 경우                                                |                                                    | 0.09 ~ 0.19 (MPa)                                                    | 0.14                         | 0.09                         | 0.19                          |
|           |               | 줄눈이 밀실하게 채워지지 않은 경우                                            |                                                    | 0.035 ~ 0.076 (MPa)                                                  | 0.055                        | 0.035                        | 0.076                         |
| 하중        | 수평지진하중        | $F_{pmax} = 1.6S_{DS}I_p W_p$<br>$F_{pmin} = 0.3S_{DS}I_p W_p$ | $S_{DS}$<br>(지진지역 제외 전지역)<br>0.30 ~ 0.92<br>(지진지역) | (지진지역 제외 전지역)<br>0.09 $W_p$ ~1.472 $W_p$                             | 0.78 $W_p$                   | 0.09 $W_p$                   | 1.472 $W_p$                   |
|           |               |                                                                |                                                    | (지진지역)<br>0.057 $W_p$ ~0.928 $W_p$                                   | 0.49 $W_p$                   | 0.057 $W_p$                  | 0.928 $W_p$                   |
|           |               |                                                                |                                                    | (지진지역 제외 전지역)<br><b>0.06 <math>W_p</math>~0.184 <math>W_p</math></b> | <b>0.12 <math>W_p</math></b> | <b>0.06 <math>W_p</math></b> | <b>0.184 <math>W_p</math></b> |
|           | 수직지진하중        | $F_{pv} = 0.2S_{DS}W_p$                                        | $W_p$<br>$I_p$<br>자중<br>1.0                        | (지진지역)<br>0.038 $W_p$ ~0.116 $W_p$                                   | 0.08 $W_p$                   | 0.038 $W_p$                  | 0.116 $W_p$                   |
|           |               |                                                                |                                                    |                                                                      |                              |                              |                               |
|           |               |                                                                |                                                    |                                                                      |                              |                              |                               |

1) 연결철물 간격에 대한 근거

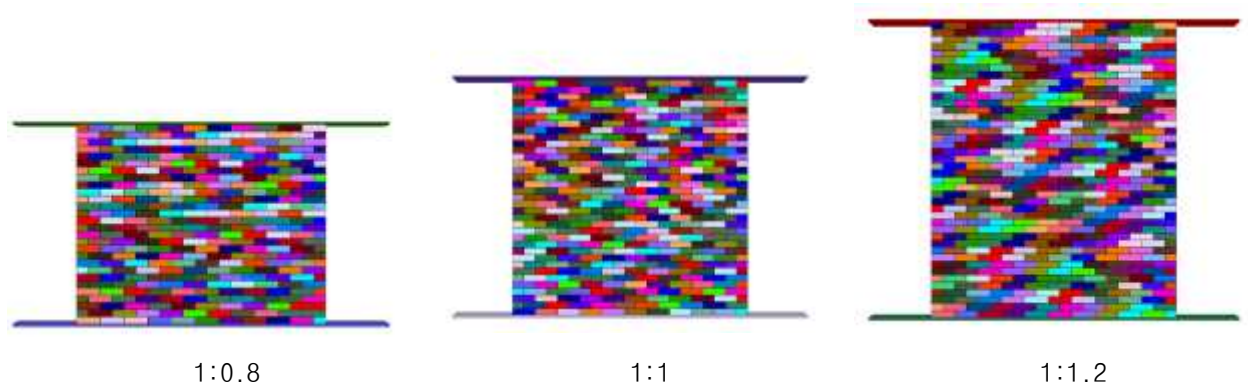
- 연결철물의 보강간격은 BIA (2003)에서 제시한 대로 최대수직간격은 457mm, 최대수평간격은 813mm을 참조하여 기본 간격은 800mm ( $s_h$ ) x 400mm ( $s_v$ )으로 설정하였고, 국내 시공 실정을 고려하여 수직간격( $s_v$ )을 늘린 800mm ( $s_h$ ) x 600mm ( $s_v$ )을 실험변수에 추가하였음

2) 형상비 기준에 대한 근거

- 일반적으로 면내하중을 받는 비보강조적조의 거동은 휨 거동과 전단 거동으로 크게 나눌 수 있으며 이에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 벽체의 형상비라 할 수 있음. 휨 거동은 벽체가 세장할 때, 즉 1.0의 형상비를 가지고 있을 때 가장 지배적이며 전단 거동은 형상비가 1.5 이상인 경우에 지배적임. 따라서 휨 거동과 전단 거동에 대한 변형을 고려하여 벽체의 형상비 변수는 0.8/1.0/1.2 3가지로 설정하였음



<치장조적조 형상비와 연결철물 위치 예시>



<형상비 변화에 따른 조적조 형상>

3) 하중에 대한 변수

- 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00) '13.4.3 면외하중 고려사항'에 따르면 외측에 배치된 비구조조적벽체는 풍하중을 포함하여 지진조건에 따라 안전성을 확보하여야 함. 따라서 풍하중과 지진하중에 대한 변수를 다음과 같이 고려하였음

① 수평지진하중

$$F_{pmax} = 1.6S_{DS}I_pW_p$$

$$F_{pmin} = 0.3S_{DS}I_pW_p$$

<표 1-15> 지진 구역 및 지역계수(S)

| 지진구역 | 행정 구역                 | 지역계수(S) |
|------|-----------------------|---------|
| 1    | 지진지역 2를 제외한 전지역       | 0.22    |
| 2    | 강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도 | 0.14    |

<표 1-17> 단주기 지반증폭계수,  $F_g$

| 지반 종류 | 지진지역            |              |             |              |              |
|-------|-----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
|       | $S_g \leq 0.25$ | $S_g = 0.35$ | $S_g = 0.5$ | $S_g = 0.55$ | $S_g = 0.75$ |
| $S_A$ | 0.8             | 0.8          | 0.8         | 0.8          | 0.8          |
| $S_B$ | 1.0             | 1.0          | 1.0         | 1.0          | 1.0          |
| $S_C$ | 1.2             | 1.2          | 1.2         | 1.18         | 1.1          |
| $S_D$ | 1.6             | 1.52         | 1.4         | 1.36         | 1.2          |
| $S_E$ | 2.5             | 2.26         | 1.9         | 1.78         | 1.3          |

\*  $S_g$  는 <표 1-15>의 S 를 2.5배한 값이다. 위 표에서  $S_g$ 의 중간값에 대해서는 직선보간한다.

<지역계수, 지반증폭계수>

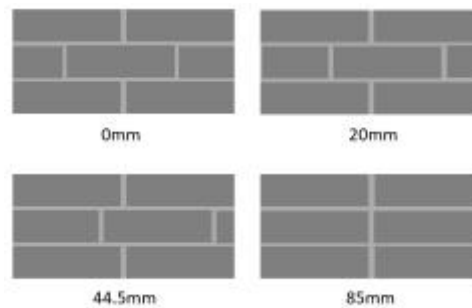
## ② 수직지진하중

- 수직 지진하중이 특별히 요구되는 경우 비구조요소의 수직 설계지진력은 다음과 같이 산정함

$$F_{pm} = 0.2 S_{DS} W_p$$

## ③ 조적쌓기 방법

- 시공 상 발생할 수 있는 조적쌓기 방법의 오차 (상하 벽돌 모서리 기준 겹침 정도)



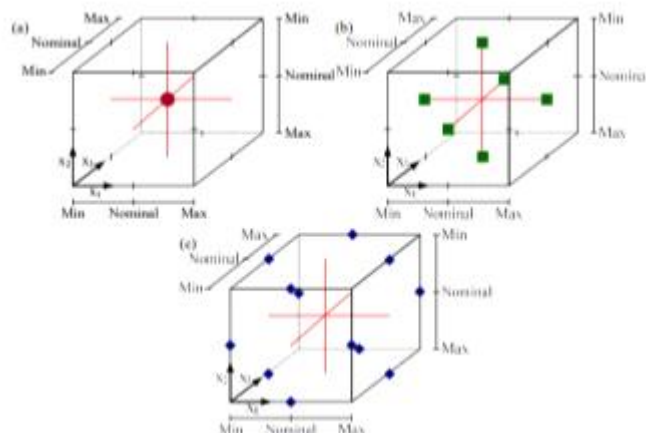
<조적 쌓기 방법>

## 나-1.2.3 데이터 세트 구축

- 형상비, 형상, 개구부 유무, 쌓기 방법 4가지 변수는 범위 설정보다는 모델링 자체를 변경해야 하는 조건이므로 파라미터 설정에서 제외하여 고려함

### 1) 물성치에 대한 데이터 세트 구축:

각 변수에 대한 근거를 바탕으로 각 변수의 대푯값을 산출한 후 조합하여 데이터 세트 구축



(a) 평균치 설정

(b) 한 가지 변수  
최대, 최소 설정

(c) 두 가지 변수  
최대, 최소 설정

① 모든 변수를 평균치로 설정한 입력 값 : 1가지

② 한 가지 변수의 최대, 최소값을 설정하여 조합, 이 외의 변수들은 평균치로 설정 : 18가지  
→ 총 19가지

③ 두 가지 변수의 최대, 최소값을 설정하여 조합, 이 외의 변수들은 평균치로 설정 : 144가지  
→ 총 163가지

2) 모델링 자체 변경에 따른 변수 개수 :  $3 \times 3 \times 2 \times 3 = 54$ 가지

물성치에 대한 데이터 세트와 각 변수에 맞게 변경된 모델링들을 결합하면 대략  $19 \times 54 / 163 \times 54$ 가지의 데이터를 모으게 되나 해석 진행 과정에서 결과에 큰 영향을 미치지 않는 변수들은 제외함. 이를 통해 데이터의 양은 최적화를 수행함

3) 출력값 산출 방법

- 등가 정적해석법 : CSM 방법에 비해 간단한 방법으로 변형 추적하기 위한 것으로, 치장 조적조의 면외/면내 방향의 주기와 매칭한 지진 하중을 산정 후, 하중으로 가력하는 방식으로 변형을 추정

4) 출력 변수

표 2 구조물의 성능수준에 따른 허용층간변형률(FEMA356)

| 구조 종류                      |           | 허용층간변형률   |           |           |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                            |           | 기능수행 (IO) | 인명안전 (LS) | 붕괴방지 (CP) |
| Concrete Frames            |           | 1.0%      | 2.0%      | 4.0%      |
| Steel Moment Frames        |           | 0.7%      | 2.5%      | 5.0%      |
| Braced Steel Frames        |           | 0.5%      | 1.5%      | 2.0%      |
| Concrete Walls             |           | 0.5%      | 1.0%      | 2.0%      |
| Unreinforced Masonry Walls | Infill    | 0.1%      | 0.5%      | 0.6%      |
|                            | Noninfill | 0.3%      | 0.6%      | 1.0%      |
| Reinforced Masonry Walls   |           | 0.2%      | 0.6%      | 1.5%      |
| Wood Stud Walls            |           | 1.0%      | 2.0%      | 3.0%      |

건물의 건전성을 평가하는 지표로 사용될 수 있는 층간변위비(interstory drift ratio)는  $n$ 과  $n+1$ 층의 수평변위를 각각  $\delta_n, \delta_{n+1}$ , 두 층사이의 높이를  $h$ 라고 하면 식 (2)와 같이 계산된다(National Disaster Management Research Institute, 2012).

$$\text{층간변위비} = \frac{\delta_{n+1} - \delta_n}{h} \quad (2)$$

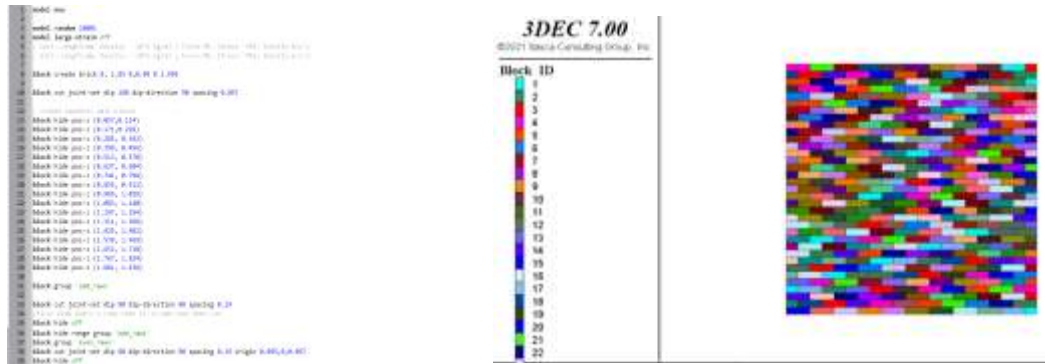
<구조물의 성능수준에 따른 허용층간변형률>

#### 나-1.2.4 3DEC 모델링 과정 및 구조성능 비교를 통한 타당성 검증

○ 3DEC 모델링 과정

1) 벽체 생성

- 프로그램의 기본 명령어 중 하나인 Block 요소를 활용하여 ① 전체 단일 벽체 생성 ② 생성된 벽체를 잘라가며(block cut joint-set 명령어) 개별의 조적벽돌을 생성 ③ 숨기기와 드러내기 기능을 활용하여 조적벽돌로 이루어진 벽체 생성



<3DEC 치장조적 모델링>

## 2) Block 의 종류 : Rigid vs. Deformable

- Line 43 : 치장조적벽의 손상은 보통 조인트에 의해서 나타나기 때문에 rigid model을 사용하지만 벽돌 자체의 손상까지 고려하기 위해서 deformable model 선택하여 모델을 완성함

```
40
41 ; deformable block model
42 ;zone model
43 block zone generate edglength 0.5
```

<3DEC 스크립트 예시>

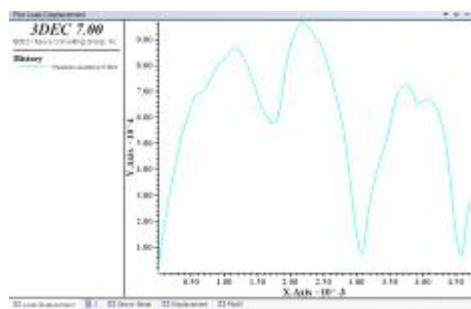
## 3) 조적벽의 물성치와 접촉면의 구성방정식 설정

● Line 47~ 52 : 치장 조적 벽돌의 물성치 입력

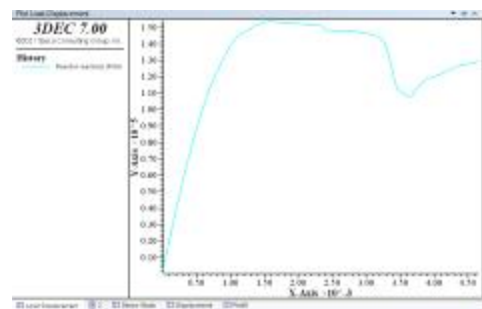
⇒ strain-softening model 사용

● Line 55~56 : 조적 벽돌의 접촉면 조인트 모델을 프로그램의 기본 설정인 Mohr-coulomb 조인트 선택 후 물성치 입력

⇒ Continuously yielding joint model : 모어 쿨롱 모델에 비해 조인트 전단 손상과 같은 비선형 거동의 관찰에서는 더욱 현실적으로 고려가 가능



Mohr-coulomb model



Continuously yielding joint model

<접촉면 구성방정식 설정에 따른 결과>

⇒ joint normal stiffness(조인트 수직강성), joint shear stiffness(조인트 전단강성)같이 입력 데이터의 형식이 강성으로 고정되어 있기 때문에 데이터 셋의 강도를 강성으로 전환하여 입력

⇒ 여러 논문 및 실험을 참고하여 최소/최대 수직,전단 강성을 조사하여 대입함. 예를 들어 joint normal stiffness(조인트 수직강성) : 50~620 GPa/m ; joint shear stiffness(조인트 전단강성) : 35~375 GPa/m

```
45 ; units: length - m, Density - kg/m3, Force - N, Stress - Pa
46 ; Assign Block properties
47 block zone cmodel assign strain-softening range group 'even_rows'
48 ;block zone prop dens 2400 y 1.41e10 p 0.2 friction-drucker II dilation-drucker II tension 1.38e6 cohesion-drucker 2.64e6 range group 'brick'
49 block zone prop dens 2200 y 15.5e9 p 0.2 friction 65.6 cohesion 2e6 dilation 4 flag-brittle true range group 'even_rows' ; cohesion 1.2e6
50 block zone cmodel assign strain-softening range group 'odd_rows'
51 ;block zone prop dens 2400 y 1.41e10 p 0.2 friction-drucker II dilation-drucker II tension 1.38e6 cohesion-drucker 2.64e6 range group 'brick'
52 block zone prop dens 2200 y 15.5e9 p 0.2 friction 65.6 cohesion 2e6 dilation 4 flag-brittle true range group 'odd_rows' ; cohesion 1.2e6
53
54 ; Assign mortar properties
55 block contact jmodel assign mohr
56 block contact property stiffness-normal 50000 stiffness-shear 20000 friction 30
57
```

<접촉면 구성방정식 3DEC 스크립트>

Table 1. Material Properties

| Properties               | Value  | Unit              |
|--------------------------|--------|-------------------|
| <b>Clay Brick</b>        |        |                   |
| Elastic modulus          | 13,000 | MPa               |
| Poisson's ratio          | 0.15   | -                 |
| Compressive strength     | 30.6   | MPa               |
| Tensile strength         | 3.6    | MPa               |
| Shear retention factor   | 0.2    | -                 |
| <b>Mortar Joint</b>      |        |                   |
| Mortar joint thickness   | 10     | mm                |
| Normal stiffness modulus | 458.7  | N/mm <sup>2</sup> |
| Shear stiffness modulus  | 199.0  | N/mm <sup>2</sup> |
| Tensile strength         | 1.56   | MPa               |
| Bond strength            | 0.4    | MPa               |
| <b>FRC Reinforcement</b> |        |                   |
| Tensile strength         | 6.0    | MPa               |

| Joint Normal Stiffness (GPa/m) | Joint Shear Stiffness (GPa/m) | Joint frictional resistance (deg.) | Joint cohesive strength (MPa) | Joint cohesive residual strength (MPa) | Joint tensile strength (MPa) |
|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|------------------------------|
| 648                            | 374                           | 15                                 | 1.4                           | 0.08                                   | 0.7                          |

Table 2: Material properties of the mortar to mortar and brick to mortar interface.

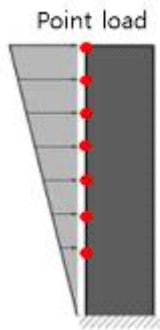
Range of material parameters.

| Unit parameters                   | Symbol | Value | Units             |
|-----------------------------------|--------|-------|-------------------|
| <b>Elastic parameters</b>         |        |       |                   |
| Density                           | $\rho$ | 2000  | kg/m <sup>3</sup> |
| Elastic modulus                   | $E$    | 6050  | MPa               |
| Poisson's ratio                   | $\nu$  | 0.14  | -                 |
| <b>Interface joint parameters</b> |        |       |                   |
| joint normal stiffness            | $JKn$  | 50-90 | GPa/m             |
| joint shear stiffness             | $JKs$  | 30-85 | GPa/m             |

## &lt;참고문헌의 물성치 설정&gt;

## 4) 경계조건 설정 및 해석 설정 변경

- 조적벽의 첫단과 마지막단을 고정으로 경계조건을 설정하였으며, 모델 전체에 Z축 방향으로 -10m/sec의 중력하중을 가력하는 것으로 설정
- 치장조적벽체에 point load로 벽체 상부에서 점차 하중을 줄여나가면서 수평하중 적용
- 수평하중을 0N에서부터 점차로 증가하면서 해석 실시
- 0.00044N을 500000번 사이클을 돌려서 마지막 220N의 하중이 가해졌을 때의 변위를 추출
- 사이클의 횟수를 변경해보면서 결과 값의 차이를 보아 적절한 사이클 횟수를 결정함



```

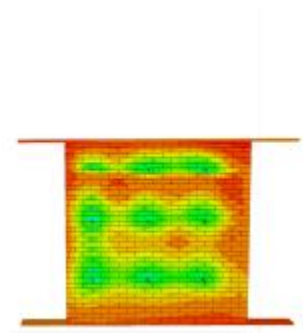
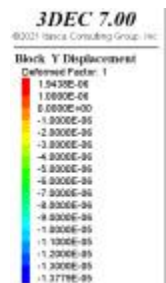
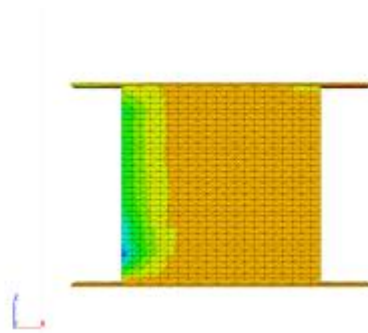
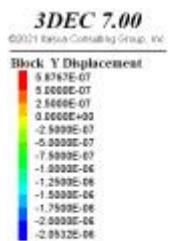
152 block face apply point-load-x 0.00044 location 0 0 1.995
153 block face apply point-load-x 0.00038 location 0 0 1.71
154 block face apply point-load-x 0.00032 location 0 0 1.425
155 block face apply point-load-x 0.00026 location 0 0 1.14
156 block face apply point-load-x 0.0002 location 0 0 0.855
157 block face apply point-load-x 0.00014 location 0 0 0.57
194 model cycle 500000

```

## &lt;3DEC 경계 설정 예시&gt;

## 5) 연결철물 모델링

- 1안 : 연결철물을 따로 모델링 하지 않고 고정되는 부분을 직접 좌표로 입력한 후, 그 곳을 속도 0으로 두어 고정시키는 방법
- 2안 : 연결철물을 간단한 형상으로 만들어낸 후, 블록들을 그룹지어서 직접적으로 고정할 수 있는 명령어를 사용



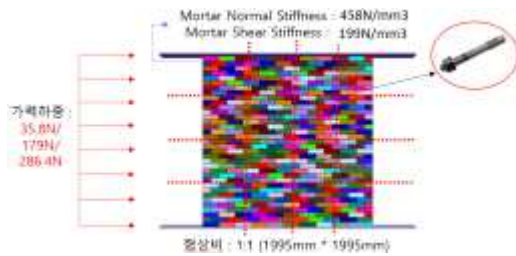
&lt;1안&gt; 해석 진행 중의 변위 형상

&lt;2안&gt; 해석 진행 중의 변위 형상

&lt;1안과 2안 비교 결과&gt;

케이스 1 : Normal Stiffness : 458 / Shear Stiffness : 199

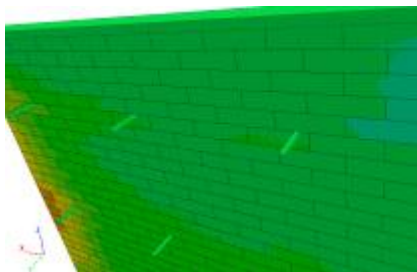
+ 연결철물 600mm(수직방향), 600mm(수평방향) -1안 적용 (연결철물을 따로 모델링 하지 않고 고정되는 부분을 직접 좌표로 입력한 후, 그 곳을 속도0으로 두어 고정시키는 방법)



| 가력 하중  | 최상층 변위  | shear force |
|--------|---------|-------------|
| 35.8N  | 9.6mm   | 0.49N       |
| 179N   | 124.8mm | 1.6kN       |
| 286.4N | 174mm   | 3.16kN      |

케이스 2 : Normal Stiffness : 458 / Shear Stiffness : 199

+ 연결철물 600mm(수직방향), 600mm(수평방향) -2안 적용 (연결철물을 간단한 형상으로 만들어낸 후, 블록들을 그룹지어서 직접적으로 고정할 수 있는 명령어를 사용)

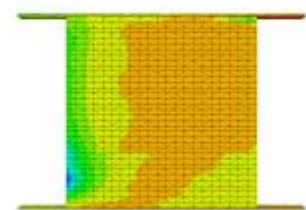
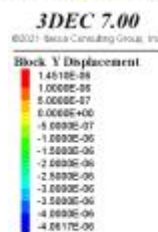
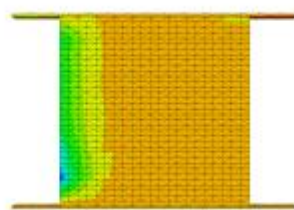
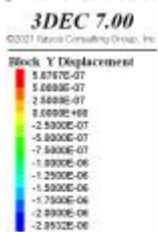


| 가력 하중  | 최상층 변위 |
|--------|--------|
| 35.8N  | 5mm    |
| 179N   | 54mm   |
| 286.4N | 59mm   |

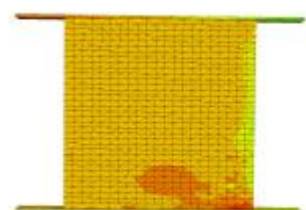
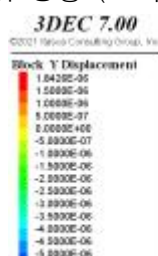
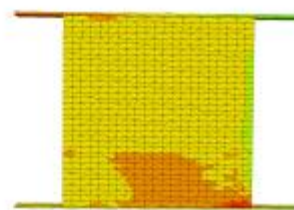
- 1안 모델링 해석 결과 > 해석 진행 중의 변위를 살펴보았을 때, 실제로 고정이 된 것인지에 대한 근거가 부족

```

block gridpoint apply velocity 0 0 0 range position-x 0.6 0.72 position-y 0 0.09 position-z 0.6 0.72
block gridpoint apply velocity 0 0 0 range position-x 0.6 0.72 position-y 0 0.09 position-z 1.2 1.32
block gridpoint apply velocity 0 0 0 range position-x 0.6 0.72 position-y 0 0.09 position-z 1.8 1.92
block gridpoint apply velocity 0 0 0 range position-x 1.2 1.32 position-y 0 0.09 position-z 0.6 0.72
block gridpoint apply velocity 0 0 0 range position-x 1.2 1.32 position-y 0 0.09 position-z 1.2 1.32
block gridpoint apply velocity 0 0 0 range position-x 1.2 1.32 position-y 0 0.09 position-z 1.8 1.92
block gridpoint apply velocity 0 0 0 range position-x 1.8 1.92 position-y 0 0.09 position-z 0.6 0.72
block gridpoint apply velocity 0 0 0 range position-x 1.8 1.92 position-y 0 0.09 position-z 1.2 1.32
block gridpoint apply velocity 0 0 0 range position-x 1.8 1.92 position-y 0 0.09 position-z 1.8 1.92
  
```



해석 진행 중의 변위 형상 (조적조 앞면)

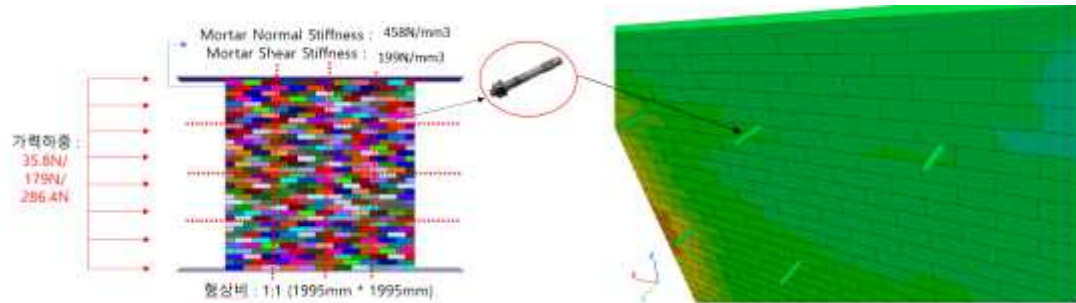


해석 진행 중의 변위 형상 (조적조 뒷면)

<1안 해석 진행 결과>

※ 조적조 연결철물 설정

연결철물 간격 : 600mm(수직방향), 600mm(수평방향)

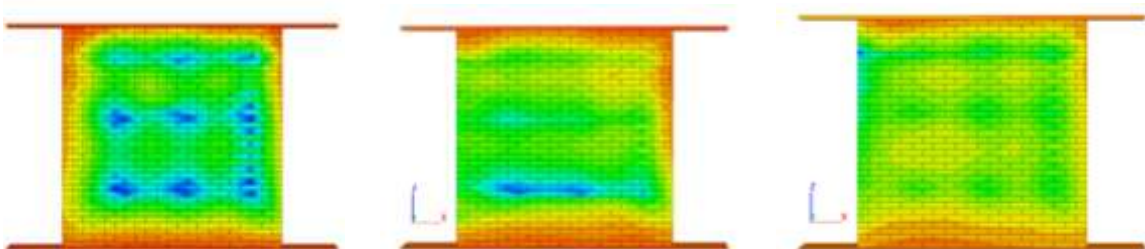


<3DEC 연결철물 모델링>

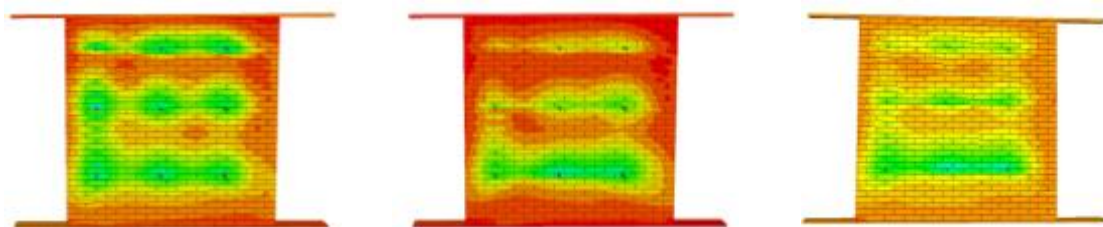
2안 : 연결철물을 간단한 형상으로 만들어낸 후, 블록들을 그룹지어서 직접적으로 고정할 수 있는 명령어를 사용

```
block create brick 0.5,0.512 -0.12,0 0.5,0.512
block create brick 0.5,0.512 -0.12,0 1.14,1.152
block create brick 0.5,0.512 -0.12,0 1.7,1.712
block create brick 1.1,1.112 -0.12,0 0.5,0.512
block create brick 1.1,1.112 -0.12,0 1.14,1.152
block create brick 1.1,1.112 -0.12,0 1.7,1.712
block create brick 1.7,1.712 -0.12,0 0.5,0.512
block create brick 1.7,1.712 -0.12,0 1.14,1.152
block create brick 1.7,1.712 -0.12,0 1.7,1.712

block group 'connect'
block fix range group "connect"
block zone cmodel assign elastic range group 'connect'
block zone prop dens 7830 y 11.7e10 p 0.2 range group 'connect'
```



해석 진행 중의 변위 형상 (조적조 앞면)

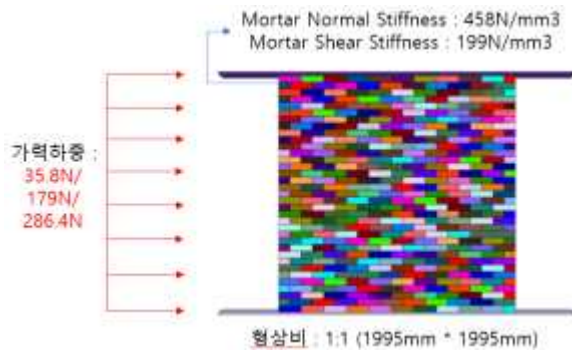


해석 진행 중의 변위 형상 (조적조 뒷면)

<2안 해석 진행 결과>

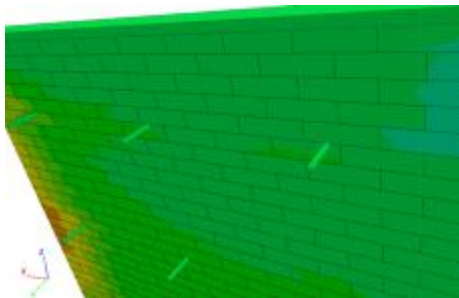
- 연결철물이 적용된 부분과 그렇지 않은 부분의 변위에 차이가 생기는 것을 시각적으로 확인 할 수 있었으므로 최종 모델링에 2안 대입. 앞서 진행하였던 연결철물 없이 모델링하여 하중을 가한 결과와 비교하여 완성함

- 연결철물 없는 모델링 > Normal Stiffness : 458 / Shear Stiffness : 199

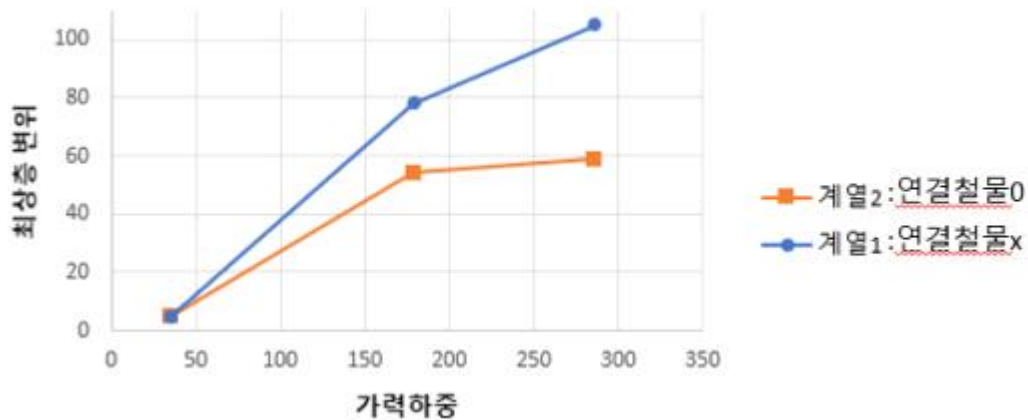


| 가력 하중  | 최상층 변위  | shear force |
|--------|---------|-------------|
| 35.8N  | 5.2mm   | 0.76N       |
| 179N   | 78.6mm  | 2.25kN      |
| 286.4N | 105.9mm | 3.58kN      |

- 연결철물 600mm(수직방향), 600mm(수평방향) 모델링 > Normal Stiffness : 458 / Shear Stiffness : 199



| 가력 하중  | 최상층 변위 |
|--------|--------|
| 35.8N  | 5mm    |
| 179N   | 54mm   |
| 286.4N | 59mm   |



<연결철물 유무에 따른 해석결과 비교>

- 연결철물은 현장에서 콘크리트 벽에 고정하여 조적조에 연결하는 용도임. 이를 구현한 2안 모델링 해석결과, 1안과 비교하였을 때, 치장조적조 최상층 변위가 0~40mm 정도 변위가 줄어든 것을 알 수 있음

○ 타당성 검증 - 실험결과와 비교를 통해 검증 수행

- 자체적으로 치장조적조 실험을 진행한 문헌을 참고하여 구조성능 비교를 통해 모델링이 적절하게 진행되었는지에 대한 판단근거로 사용

※ 타당성 검증-구조성능 비교

① 실험체 계획

|         | 참고 문헌      | 모델링         |
|---------|------------|-------------|
| 벽체 크기   | 2.2m*2.02m | 2.22m*2.05m |
| 연결철물 간격 | 800*600mm  | 800*600mm   |
| 연결철물 직경 | 3mm        | 3mm         |
| 연결철물 길이 | 150mm      | 150mm       |

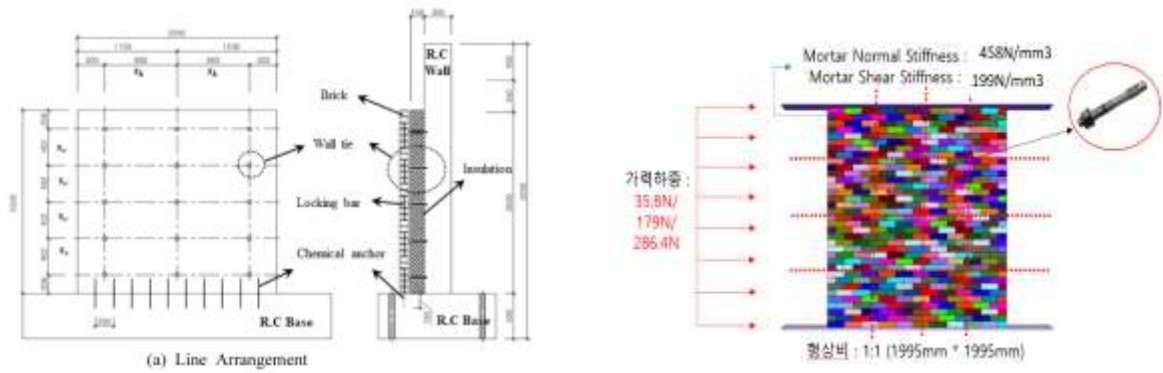


Fig. 2. The Details of Wall Tie Arrangement

<참고 문헌 실험체>

<검증을 위한 모델링>

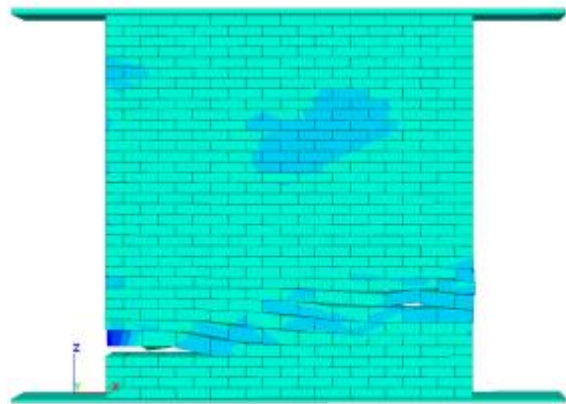
| Specimens ID |               | Arrangement of Wall tie | Space of Wall Tie |               | Size of Horizontal bar (mm) | Size of Vertical Locking bar (mm) | Thickness of Insulation (mm) |
|--------------|---------------|-------------------------|-------------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
|              |               |                         | Horizontal (mm)   | Vertical (mm) |                             |                                   |                              |
| 1            | EML-S600-L3-I | Line                    | 800               | 600           | ϕ3                          | ϕ3                                | 150                          |

<연결철물 간격 및 직경>

## ② 균열 및 파괴 양상



(a) Crack Pattern of EML-S600-L3-I



<실험과의 균열 양상 비교>

## ③ 최종 강도와 최종 변위

|       | 참고 문헌  | 검증 모델링 |
|-------|--------|--------|
| 최종 강도 | 14kN   | 21kN   |
| 최종 응력 | 42kPa  | 58kPa  |
| 최종 변위 | 56.9mm | 47mm   |

| Specimens ID  | $P_{R+}$ (kN) | $P_{R-}$ (kN) | $\Delta_{R+}$ (mm) | $\Delta_{R-}$ (mm) |
|---------------|---------------|---------------|--------------------|--------------------|
| EML-S600-L3-I | 14.0          | 13.3          | 48.2               | 56.9               |

<참고문헌의 최종 강도와 변위>

- 실험체와 모델링의 최종 변위를 살펴보면 각각 56.7mm, 47mm로 오차율 17%로 타당성을 확보한 것으로 판단됨

---

○ 변수에 따른 데이터 세트 구축

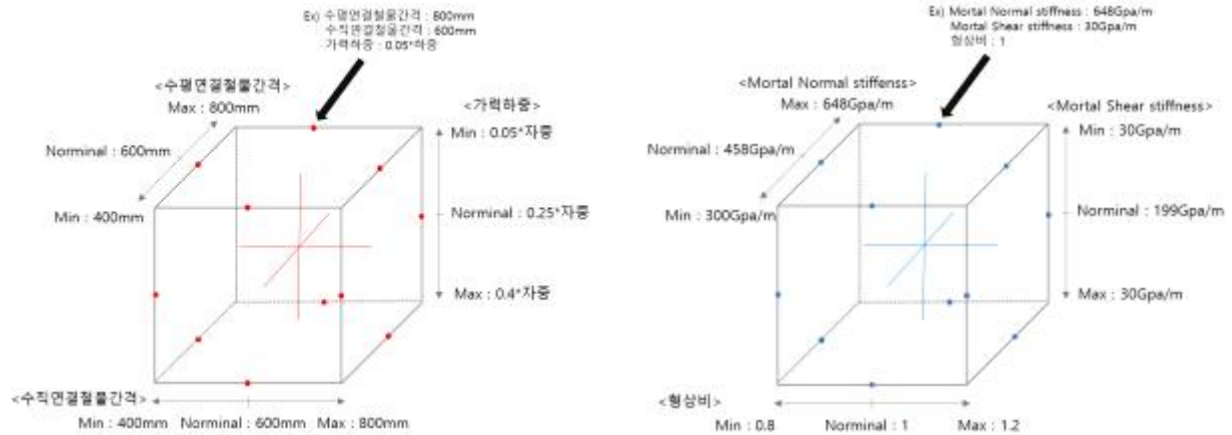
- 실제 변수 조건에 맞춰 다양한 형태의 조적조를 생성한 후 모르타르 강성 및 지진하중을 다양하게 대입
- 모델링은 완성된 것으로 판단되어, 변수 수정하여 대입하는 반복 작업을 통해 데이터 세트 구축작업을 진행
- 모든 변수에 대한 최상층 변위, 층간변위비와 성능수준을 정리한 엑셀 파일로 219가지 case로 데이터 세트 생성

| case | 1. 수평연결봉길기(mm) | 2. 수직연결봉길기(mm) | 3. 자진지역 수평자진하중 | 4. Mortal Normal Stiffness(Gpa/m) | 5. Mortal Shear Stiffnes | 6. 월상비 (1 : **) | Description of parameter combination | Displacement(X) | Displacement(Y) | 허용시간변형률 | 성능수준    |
|------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|---------|---------|
| 1    | 600            | 600            | 0.25*자중        | 458                               | 199                      |                 | 1 Rest nominal                       | 33              | 26              | 0.83    | CP      |
| 2    | 800            | 600            | 0.25*자중        | 458                               | 199                      |                 | 1 1_max, Rest nominal                | 79              | 23              | 1.98    | failure |
| 3    | 400            | 600            | 0.25*자중        | 458                               | 199                      |                 | 1 1_min, Rest nominal                | 96              | 22              | 2.40    | failure |
| 4    | 600            | 800            | 0.25*자중        | 458                               | 199                      |                 | 1 2_max, Rest nominal                | 61              | 13              | 1.53    | failure |
| 5    | 600            | 400            | 0.25*자중        | 458                               | 199                      |                 | 1 2_min, Rest nominal                | 17              | 5               | 0.43    | LS      |
| 6    | 600            | 600            | 0.4*자중         | 458                               | 199                      |                 | 1 3_max, Rest nominal                | 103             | 183             | 2.58    | failure |
| 7    | 600            | 600            | 0.05*자중        | 458                               | 199                      |                 | 1 3_min, Rest nominal                | 7               | 37              | 0.18    | IO      |
| 8    | 600            | 600            | 0.25*자중        | 648                               | 199                      |                 | 1 4_max, Rest nominal                | 62              | 17              | 1.55    | failure |
| 9    | 600            | 600            | 0.25*자중        | 300                               | 199                      |                 | 1 4_min, Rest nominal                | 93              | 163             | 2.33    | failure |
| 10   | 600            | 600            | 0.25*자중        | 458                               | 374                      |                 | 1 5_max, Rest nominal                | 29              | 9               | 0.73    | CP      |
| 11   | 600            | 600            | 0.25*자중        | 458                               | 30                       |                 | 1 5_min, Rest nominal                | 58              | 38              | 1.45    | failure |
| 12   | 600            | 600            | 0.25*자중        | 458                               | 199                      |                 | 1.2 6_max, Rest nominal              | 35              | 70              | 0.88    | CP      |
| 13   | 600            | 600            | 0.25*자중        | 458                               | 199                      |                 | 0.8 6_min, Rest nominal              | 73              | 28              | 1.83    | failure |
| 14   | 800            | 800            | 0.25*자중        | 458                               | 199                      |                 | 1 1_max, 2_max, Rest nominal         | 26              | 11              | 0.65    | LS      |
| 15   | 800            | 400            | 0.25*자중        | 458                               | 199                      |                 | 1 1_max, 2_min, Rest nominal         | 81              | 19              | 2.03    | failure |
| 16   | 400            | 800            | 0.25*자중        | 458                               | 199                      |                 | 1 1_min, 2_max, Rest nominal         | 76              | 19              | 1.90    | failure |
| 17   | 400            | 400            | 0.25*자중        | 458                               | 199                      |                 | 1 1_min, 2_min, Rest nominal         | 28              | 6               | 0.70    | CP      |
| 18   | 800            | 600            | 0.4*자중         | 458                               | 199                      |                 | 1 1_max, 3_max, Rest nominal         | 34              | 47              | 0.85    | CP      |
| 19   | 800            | 600            | 0.05*자중        | 458                               | 199                      |                 | 1 1_max, 3_min, Rest nominal         | 45              | 19              | 1.13    | failure |
| 20   | 400            | 600            | 0.4*자중         | 458                               | 199                      |                 | 1 1_min, 3_max, Rest nominal         | 66              | 24              | 1.65    | failure |
| 21   | 400            | 600            | 0.05*자중        | 458                               | 199                      |                 | 1 1_min, 3_min, Rest nominal         | 78              | 55              | 1.95    | failure |
| 22   | 800            | 600            | 0.25*자중        | 648                               | 199                      |                 | 1 1_max, 4_max, Rest nominal         | 18              | 6               | 0.45    | LS      |
| 23   | 800            | 600            | 0.25*자중        | 300                               | 199                      |                 | 1 1_max, 4_min, Rest nominal         | 92              | 67              | 2.30    | failure |
| 24   | 400            | 600            | 0.25*자중        | 648                               | 199                      |                 | 1 1_min, 4_max, Rest nominal         | 30              | 78              | 0.75    | CP      |
| 25   | 400            | 600            | 0.25*자중        | 300                               | 199                      |                 | 1 1_min, 4_min, Rest nominal         | 36              | 48              | 0.90    | CP      |
| 26   | 800            | 600            | 0.25*자중        | 458                               | 374                      |                 | 1 1_max, 5_max, Rest nominal         | 45              | 38              | 1.13    | failure |
| 27   | 800            | 600            | 0.25*자중        | 458                               | 30                       |                 | 1 1_max, 5_min, Rest nominal         | 75              | 55              | 1.88    | failure |
| 28   | 400            | 600            | 0.25*자중        | 458                               | 374                      |                 | 1 1_min, 5_max, Rest nominal         | 13              | 4               | 0.33    | IO      |
| 29   | 400            | 600            | 0.25*자중        | 458                               | 30                       |                 | 1 1_min, 5_min, Rest nominal         | 94              | 102             | 2.35    | failure |
| 30   | 600            | 600            | 0.25*자중        | 458                               | 199                      |                 | 1.2 1_max, 6_max, Rest nominal       | 35              | 70              | 0.88    | failure |
| 31   | 800            | 600            | 0.25*자중        | 458                               | 199                      |                 | 0.8 1_max, 6_min, Rest nominal       | 60              | 71              | 1.50    | failure |
| 32   | 400            | 600            | 0.25*자중        | 458                               | 199                      |                 | 1.2 1_min, 6_max, Rest nominal       | 109             | 29              | 2.73    | failure |
| 33   | 400            | 600            | 0.25*자중        | 458                               | 199                      |                 | 0.8 1_min, 6_min, Rest nominal       | 99              | 71              | 2.48    | failure |
| 34   | 600            | 800            | 0.4*자중         | 458                               | 199                      |                 | 1 2_max, 3_max, Rest nominal         | 270             | 540             | 6.76    | failure |
| 35   | 600            | 800            | 0.05*자중        | 458                               | 199                      |                 | 1 2_max, 3_min, Rest nominal         | 60              | 16              | 1.50    | failure |
| 36   | 600            | 400            | 0.4*자중         | 458                               | 199                      |                 | 1 2_min, 3_max, Rest nominal         | 450             | 145             | 11.26   | failure |
| 37   | 600            | 400            | 0.05*자중        | 458                               | 199                      |                 | 1 2_min, 3_min, Rest nominal         | 56              | 20              | 1.40    | failure |
| 38   | 600            | 800            | 0.25*자중        | 648                               | 199                      |                 | 1 2_max, 4_max, Rest nominal         | 48              | 14              | 1.20    | failure |
| 39   | 600            | 800            | 0.25*자중        | 300                               | 199                      |                 | 1 2_max, 4_min, Rest nominal         | 45              | 64              | 1.13    | failure |

|    |     |     |         |     |     |                                |      |      |       |         |
|----|-----|-----|---------|-----|-----|--------------------------------|------|------|-------|---------|
| 39 | 600 | 800 | 0.25*자중 | 300 | 199 | 1 2_max, 4_min, Rest nominal   | 45   | 64   | 1.13  | failure |
| 40 | 600 | 400 | 0.25*자중 | 648 | 199 | 1 2_min, 4_max, Rest nominal   | 34   | 7    | 0.85  | CP      |
| 41 | 600 | 400 | 0.25*자중 | 300 | 199 | 1 2_min, 4_min, Rest nominal   | 37   | 13   | 0.93  | CP      |
| 42 | 600 | 800 | 0.25*자중 | 458 | 374 | 1 2_max, 5_max, Rest nominal   | 23   | 5    | 0.58  | LS      |
| 43 | 600 | 800 | 0.25*자중 | 458 | 30  | 1 2_max, 5_min, Rest nominal   | 73   | 46   | 1.83  | failure |
| 44 | 600 | 400 | 0.25*자중 | 458 | 374 | 1 2_min, 5_max, Rest nominal   | 31   | 47   | 0.78  | CP      |
| 45 | 600 | 400 | 0.25*자중 | 458 | 30  | 1 2_min, 5_min, Rest nominal   | 32   | 47   | 0.90  | CP      |
| 46 | 600 | 800 | 0.25*자중 | 458 | 199 | 1.2 2_max, 6_max, Rest nominal | 74   | 30   | 1.85  | failure |
| 47 | 600 | 800 | 0.25*자중 | 458 | 199 | 0.8 2_max, 6_min, Rest nominal | 54   | 12   | 1.35  | failure |
| 48 | 600 | 400 | 0.25*자중 | 458 | 199 | 1.2 2_min, 6_max, Rest nominal | 54   | 14   | 1.35  | failure |
| 49 | 600 | 400 | 0.25*자중 | 458 | 199 | 0.8 2_min, 6_min, Rest nominal | 71   | 19   | 1.78  | failure |
| 50 | 600 | 600 | 0.4*자중  | 648 | 199 | 1 3_max, 4_max, Rest nominal   | 35   | 17   | 0.88  | CP      |
| 51 | 600 | 600 | 0.4*자중  | 300 | 199 | 1 3_max, 4_min, Rest nominal   | 46   | 46   | 1.15  | failure |
| 52 | 600 | 600 | 0.05*자중 | 648 | 199 | 1 3_min, 4_max, Rest nominal   | 90   | 17   | 2.25  | failure |
| 53 | 600 | 600 | 0.05*자중 | 300 | 199 | 1 3_min, 4_min, Rest nominal   | 33   | 22   | 0.83  | CP      |
| 54 | 600 | 600 | 0.4*자중  | 458 | 374 | 1 3_max, 5_max, Rest nominal   | 28   | 8    | 0.70  | CP      |
| 55 | 600 | 600 | 0.4*자중  | 458 | 30  | 1 3_max, 5_min, Rest nominal   | 54   | 43   | 1.35  | failure |
| 56 | 600 | 600 | 0.05*자중 | 458 | 374 | 1 3_min, 5_max, Rest nominal   | 37   | 22   | 0.93  | CP      |
| 57 | 600 | 600 | 0.05*자중 | 458 | 30  | 1 3_min, 5_min, Rest nominal   | 77   | 57   | 1.93  | failure |
| 58 | 600 | 600 | 0.4*자중  | 458 | 199 | 1.2 3_max, 6_max, Rest nominal | 1600 | 1300 | 40.04 | failure |
| 59 | 600 | 600 | 0.4*자중  | 458 | 199 | 0.8 3_max, 6_min, Rest nominal | 24   | 10   | 0.60  | LS      |
| 60 | 600 | 600 | 0.05*자중 | 458 | 199 | 1.2 3_min, 6_max, Rest nominal | 71   | 16   | 1.78  | failure |
| 61 | 600 | 600 | 0.05*자중 | 458 | 199 | 0.8 3_min, 6_min, Rest nominal | 54   | 30   | 1.35  | failure |
| 63 | 600 | 600 | 0.25*자중 | 648 | 374 | 1 4_max, 5_max, Rest nominal   | 28   | 7    | 0.70  | CP      |
| 64 | 600 | 600 | 0.25*자중 | 648 | 30  | 1 4_max, 5_min, Rest nominal   | 67   | 74   | 1.68  | failure |
| 65 | 600 | 600 | 0.25*자중 | 300 | 374 | 1 4_min, 5_max, Rest nominal   | 54   | 143  | 1.35  | failure |
| 66 | 600 | 600 | 0.25*자중 | 300 | 30  | 1 4_min, 5_min, Rest nominal   | 64   | 111  | 1.60  | failure |
| 67 | 600 | 600 | 0.25*자중 | 648 | 199 | 1.2 4_max, 6_max, Rest nominal | 25   | 23   | 0.63  | LS      |
| 68 | 600 | 600 | 0.25*자중 | 648 | 199 | 0.8 4_max, 6_min, Rest nominal | 22   | 6    | 0.55  | LS      |
| 69 | 600 | 600 | 0.25*자중 | 300 | 199 | 1.2 4_min, 6_max, Rest nominal | 98   | 41   | 2.45  | failure |
| 70 | 600 | 600 | 0.25*자중 | 300 | 199 | 0.8 4_min, 6_min, Rest nominal | 32   | 36   | 0.80  | CP      |
| 71 | 600 | 600 | 0.25*자중 | 458 | 374 | 1.2 5_max, 6_max, Rest nominal | 11   | 5    | 0.28  | IO      |
| 72 | 600 | 600 | 0.25*자중 | 458 | 374 | 0.8 5_max, 6_min, Rest nominal | 38   | 9    | 0.95  | CP      |
| 73 | 600 | 600 | 0.25*자중 | 458 | 30  | 1.2 5_min, 6_max, Rest nominal | 69   | 91   | 1.73  | failure |
| 74 | 600 | 600 | 0.25*자중 | 458 | 30  | 0.8 5_min, 6_min, Rest nominal | 75   | 73   | 1.88  | failure |

# <데이터 세트 구축>

## ○ 데이터 세트 분석



<데이터 세트 조합 요약도>

### 1) 전단강성에 따른 데이터 세트 분석

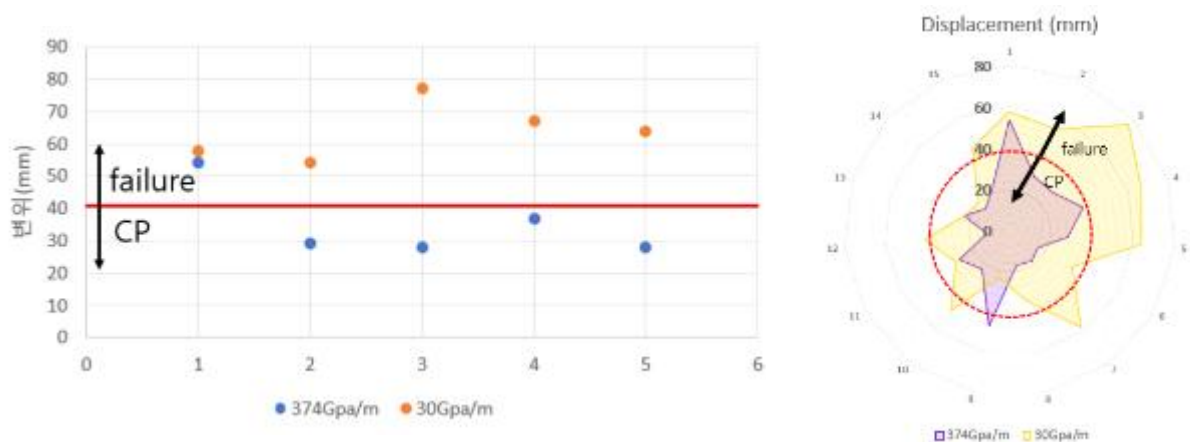
- Mortar shear stiffness의 값에 374Gpa/m와 30Gpa/m로 편차를 두어 모델링한 결과값을 표로 살펴보면, stiffness가 커질수록 층간변위가 줄어드는 경향을 보이고 있으며 성능수준은 각각 붕괴방지(CP), 붕괴(failure)로 규칙적인 값이 나오는 것을 보아 치장조적조에 큰 영향을 주는 변수 중 하나인 것으로 예상됨

<표 나-4> 전단강성에 편차를 두어 모델링한 결과표

| 변수  |         |     |         |                  |                 | 결과값 |         |
|-----|---------|-----|---------|------------------|-----------------|-----|---------|
|     | 연결철물 간격 |     | 가력하중    | Normal stiffness | Shear stiffness | 변위  | 성능수준    |
| (1) | 600     | 600 | 0.25*자중 | 300              | 374             | 54  | failure |
|     |         |     |         |                  | 30              | 64  | failure |
| (2) | 600     | 600 | 0.25*자중 | 458              | 374             | 29  | CP      |
|     |         |     |         |                  | 30              | 58  | failure |
| (3) | 600     | 600 | 0.05*자중 | 458              | 374             | 37  | CP      |
|     |         |     |         |                  | 30              | 77  | failure |
| (4) | 600     | 600 | 0.25*자중 | 648              | 374             | 28  | CP      |
|     |         |     |         |                  | 30              | 67  | failure |
| (5) | 600     | 600 | 0.4*자중  | 458              | 374             | 28  | CP      |
|     |         |     |         |                  | 30              | 54  | failure |

### 2) 수직강성에 따른 데이터 세트 분석

- Mortar normal stiffness의 값에 648Gpa/m와 300Gpa/m로 편차를 두어 모델링을 해보았을 때 변위와 성능수준에 큰 차이가 없는 것을 보아 조적조에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단됨



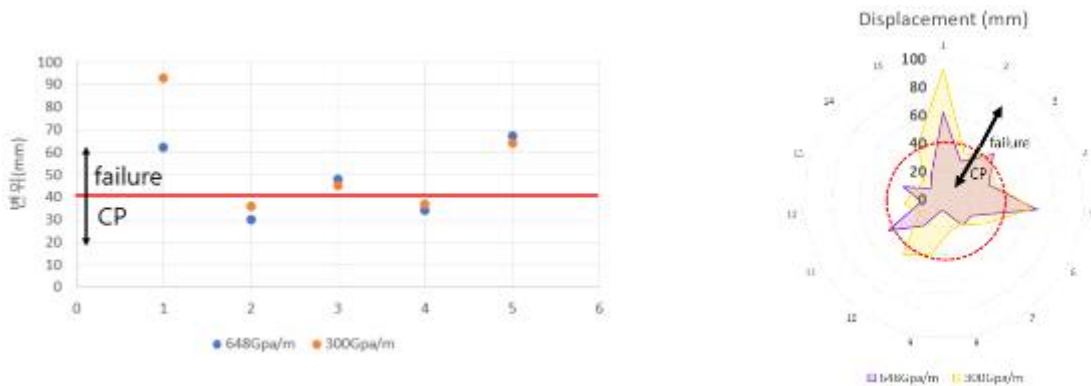
<전단강성 편차에 따른 결과 분석>

## 2) 수직강성에 따른 데이터 세트 분석

- Mortal normal stiffness의 값에 648Gpa/m와 300Gpa/m로 편차를 두어 모델링을 해보았을 때 변위와 성능 수준에 큰 차이가 없는 것을 보아 조적조에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단됨

<표 나-5> 수직강성에 편차를 두어 모델링한 결과표

| 변수  |         |     |         |                  |                 | 결과값 |    |         |
|-----|---------|-----|---------|------------------|-----------------|-----|----|---------|
|     | 연결철물 간격 |     | 가력하중    | Normal stiffness | Shear stiffness | 형상비 | 변위 | 성능수준    |
| (1) | 600     | 600 | 0.25*자중 | 648              | 199             | 1   | 62 | failure |
|     |         |     |         | 300              |                 |     | 93 | failure |
| (2) | 400     | 600 | 0.25*자중 | 648              | 199             | 1   | 30 | CP      |
|     |         |     |         | 300              |                 |     | 36 | CP      |
| (3) | 600     | 800 | 0.25*자중 | 648              | 199             | 1   | 48 | failure |
|     |         |     |         | 300              |                 |     | 45 | failure |
| (4) | 600     | 400 | 0.25*자중 | 648              | 199             | 1   | 34 | CP      |
|     |         |     |         | 300              |                 |     | 37 | CP      |
| (5) | 600     | 600 | 0.25*자중 | 648              | 30              | 1   | 67 | failure |
|     |         |     |         | 300              |                 |     | 64 | failure |



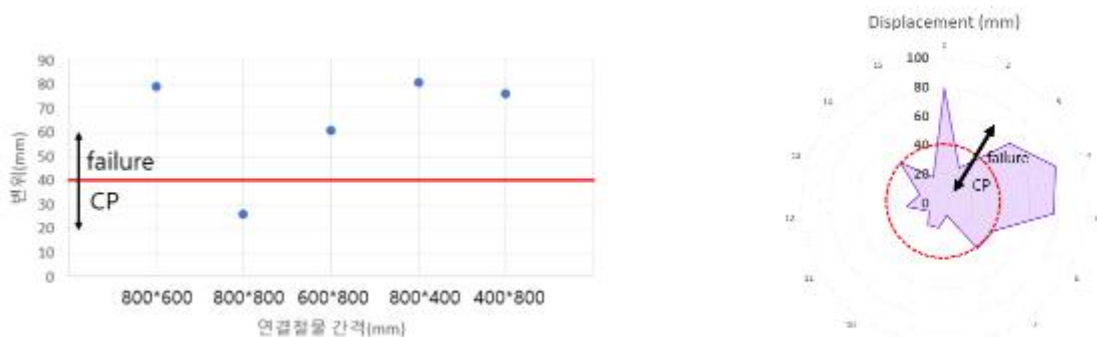
<수직강성 편차에 따른 결과 분석>

## 3) 연결철물 간격에 따른 데이터 세트 분석

- 연결철물의 간격이 800mm로 최대간격을 포함하고 있을 경우의 결과값을 살펴볼 때, 대부분의 성능수준이 붕괴(failure)로 나타났기 때문에 연결철물의 간격 증가는 조적조 안정성에 취약할 것으로 보임

<표 나-6> 연결철물 간격에 따른 결과표

| 변수  |         |     |         |                  |                 |     | 결과값 |         |
|-----|---------|-----|---------|------------------|-----------------|-----|-----|---------|
|     | 연결철물 간격 |     | 가력하중    | Normal stiffness | shear stiffness | 형상비 | 변위  | 성능수준    |
| (1) | 800     | 600 | 0.25*자중 | 458              | 199             | 1   | 79  | failure |
| (2) | 800     | 800 | 0.25*자중 | 458              | 199             | 1   | 26  | LS      |
| (3) | 600     | 800 | 0.25*자중 | 458              | 199             | 1   | 61  | failure |
| (4) | 800     | 400 | 0.25*자중 | 458              | 199             | 1   | 81  | failure |
| (5) | 400     | 800 | 0.25*자중 | 458              | 30              | 1   | 76  | failure |



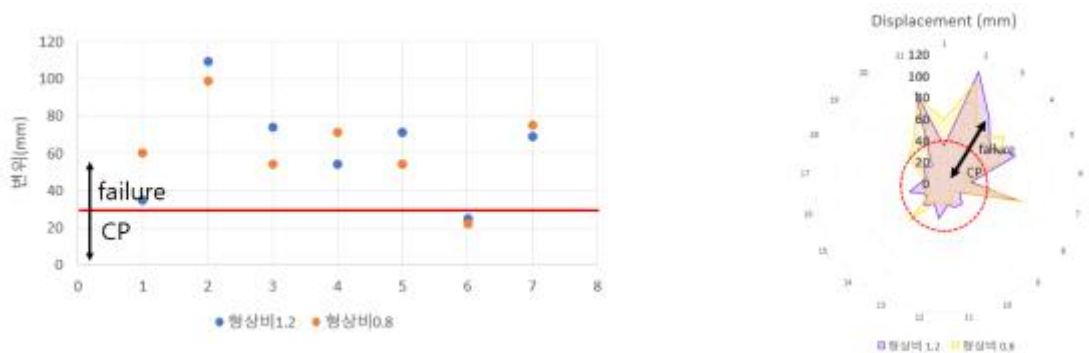
<연결철물 간격에 따른 결과 분석>

#### 4) 형상비에 따른 데이터 세트 분석

- 형상비를 1:1.2, 1:0.8로 고저를 주었을 때, 변위차이는 10~20mm로 성능수준에 영향을 미칠 정도의 큰 차이는 없었음. 하지만 대부분의 결과값이 붕괴(failure) 수준을 나타내는 것을 보아 형상비 1:1이 가장 조적조에 적절한 값이라고 판단됨

<표 나-7> 형상비에 따른 결과표

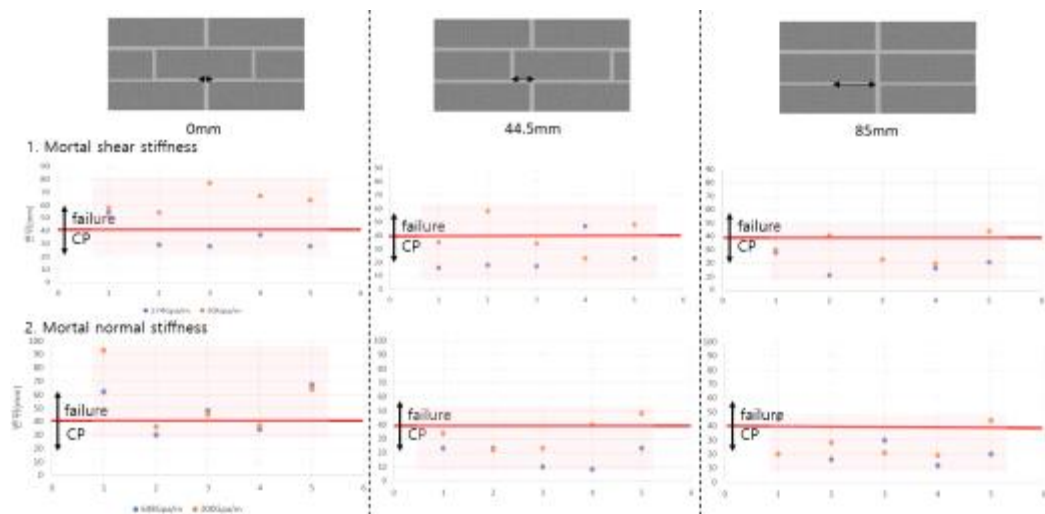
| 변수  |         |     |         |                  |                 | 결과값 |     |         |
|-----|---------|-----|---------|------------------|-----------------|-----|-----|---------|
|     | 연결철물 간격 |     | 가력하중    | Normal stiffness | shear stiffness | 형상비 | 변위  | 성능수준    |
| (1) | 800     | 600 | 0.25*자중 | 458              | 199             | 1.2 | 35  | failure |
|     |         |     |         |                  |                 | 0.8 | 60  | failure |
| (2) | 400     | 600 | 0.25*자중 | 458              | 199             | 1.2 | 109 | failure |
|     |         |     |         |                  |                 | 0.8 | 99  | failure |
| (3) | 600     | 800 | 0.05*자중 | 458              | 199             | 1.2 | 74  | failure |
|     |         |     |         |                  |                 | 0.8 | 54  | failure |
| (4) | 600     | 400 | 0.25*자중 | 458              | 199             | 1.2 | 54  | failure |
|     |         |     |         |                  |                 | 0.8 | 71  | failure |
| (5) | 600     | 600 | 0.25*자중 | 458              | 199             | 1.2 | 71  | failure |
|     |         |     |         |                  |                 | 0.8 | 54  | failure |
| (6) | 600     | 600 | 0.25*자중 | 648              | 199             | 1.2 | 25  | LS      |
|     |         |     |         |                  |                 | 0.8 | 22  | LS      |
| (7) | 600     | 600 | 0.25*자중 | 458              | 30              | 1.2 | 69  | failure |
|     |         |     |         |                  |                 | 0.8 | 75  | failure |



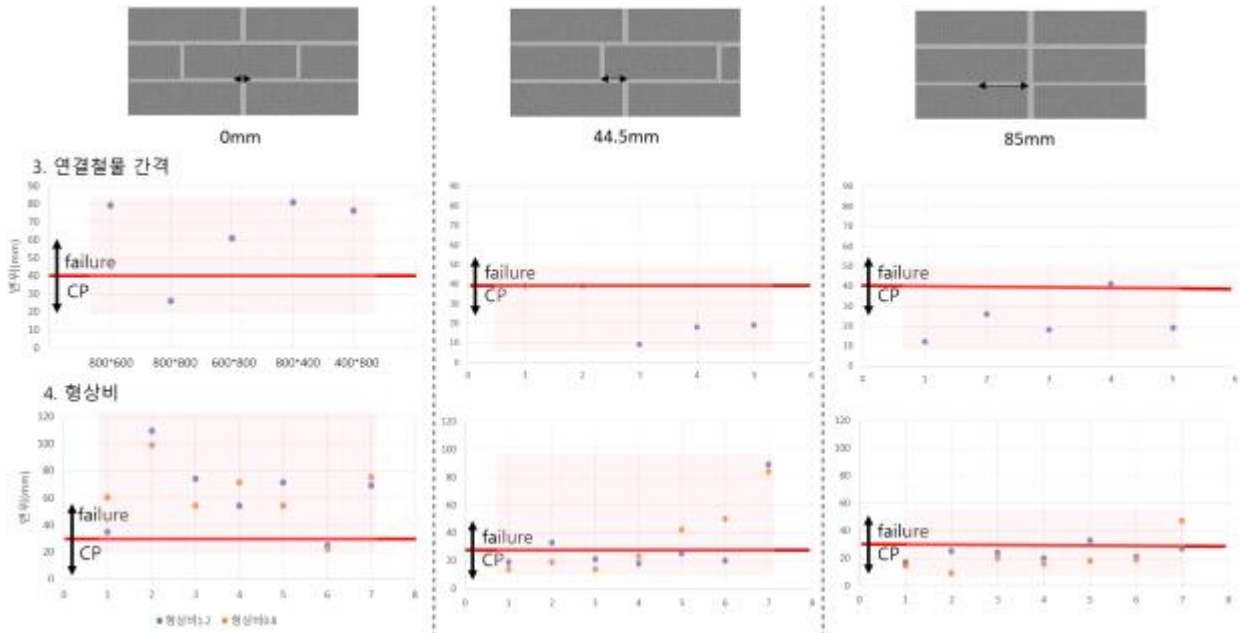
<형상비에 따른 결과 분석>

#### 5) 조적조 쌓기방법에 따른 데이터 세트 분석

- 조적조 쌓기방법에 따라 상하 벽돌 모서리 기준 겹침 정도를 0mm, 44.5mm, 85mm로 편차를 두었을 때, 전체적으로 변위가 40mm 이하로 줄어들며 벽돌의 겹침 정도가 커짐에 따라 변위 발생 정도가 감소하는 것을 알 수 있었음.

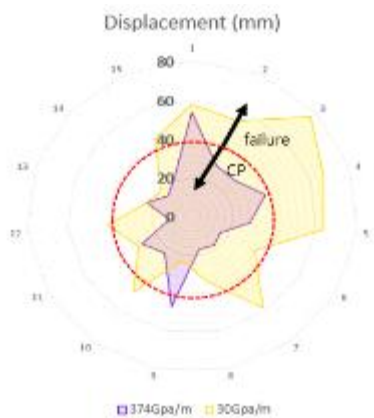


<겹침 정도에 따른 Mortar shear stiffness / normal stiffness 변형>

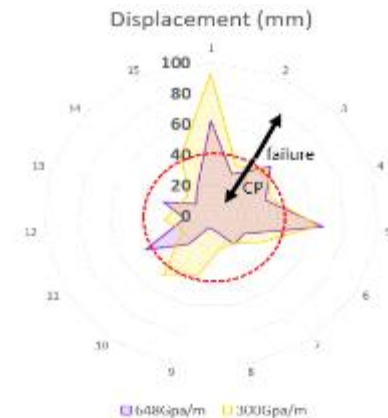


<겹침 정도에 따른 연결철물 간격 / 형상비 변형>

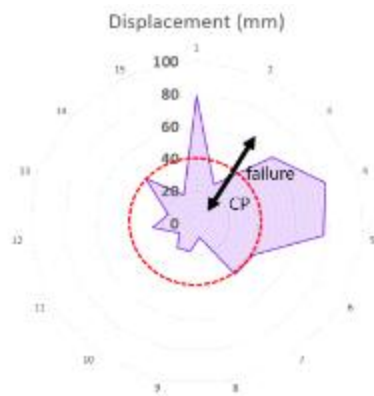
## ○ 결과 정리



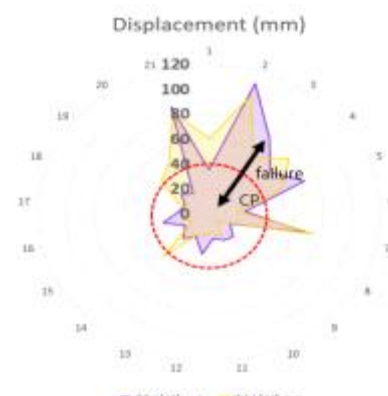
(a) Mortal shear stiffness



(b) Mortal normal stiffness



(c) Space between the connecting hardware



(d) Shape ration

<Radar chart of displacement depending on the variables>

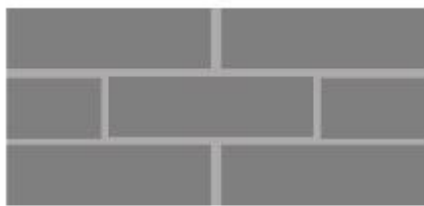
- Mortal shear stiffness가 374Gpa/m와 30Gpa/m로 고저차를 주어 모델링한 결과값을 표로 살펴보면, stiffness가 커질수록 층간변위가 줄어드는 경향을 보이고 있으며 성능수준은 각각 붕괴방지(CP), 붕괴(failure)로 규칙적인 값이 나오는 것을 보아 치장조적조에 큰 영향을 주는 변수 중 하나인 것으로 예상됨
- Mortal normal stiffness가 648Gpa/m와 300Gpa/m로 고저차를 주어 모델링을 해보았을 때 변위와 성능수준에 큰 차이가 없는 것을 보아 조적조에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 보임
- 연결철물의 간격이 800mm로 최대간격을 포함하고 있을 경우의 결과값을 살펴볼 때, 대부분의 성능수준이 붕괴(failure)로 나타났기 때문에 연결철물의 간격 증가는 조적조 안정성에 취약할 것으로 보임



### 나-1.2.5 착한조적 서비스 이용자를 위한 기준표 제시

- 아래의 표는 이산요소해석 프로그램인 3DEC 소프트웨어를 활용하여 생성한 조적벽의 성능에 대한 데이터 셋을 기반으로 하여 작성된 구조 안전성 기준표임
- 조적벽의 안전진단 시 도움을 주고자 작성되었으며, 아래 표에서 제시하는 성능기준은 FEMA356의 “구조물의 허용충간 변형률에 따른 구조물의 성능수준”을 따름. 데이터 셋의 변수 중 현장에서 알 수 있는 정보 위주로 표를 작성함
- 위의 변수 중 실제 현장에서 얻을 수 있는 값은 ①앵커의 수평간격, ②앵커의 수직간격, ③형상비임. 따라서 3가지 변수의 조합의 결과 중 해당 케이스에서 50%가 넘는 결과를 표에 기입하였으며 아래의 표는 웹 서비스를 이용하는 사람들의 판단에 도움을 줄 수 있도록 작성

#### 1) 겹침 0mm인 경우



0mm

표 2 구조물의 성능수준에 따른 허용충간변형률(FEMA356)

| 구조 종류 | 허용충간변형률      |              |              |
|-------|--------------|--------------|--------------|
|       | 기능수행<br>(IO) | 인명안전<br>(LS) | 붕괴방지<br>(CP) |

<겹침 0mm인 경우의 성능수준 판단 기준>

<표 나-8> 데이터 세트에 따른 겹침 0mm인 경우의 결과

|          | 형상비     |         |         |         |         |         |         |         |     |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----|
|          | 0.8     |         |         | 1.0     |         |         | 1.2     |         |     |
| 수평<br>수직 | 400     | 600     | 800     | 400     | 600     | 800     | 400     | 600     | 800 |
| 400      | -       | failure | -       | CP      | CP      | failure | -       | failure | -   |
| 600      | failure | failure | failure | failure | failure | failure | failure | failure | -   |
| 800      | -       | failure | -       | failure | failure | LS      | -       | failure | -   |

#### 2) 겹침 42.5mm인 경우



44.5mm

표 2 구조물의 성능수준에 따른 허용충간변형률(FEMA356)

| 구조 종류 | 허용충간변형률      |              |              |
|-------|--------------|--------------|--------------|
|       | 기능수행<br>(IO) | 인명안전<br>(LS) | 붕괴방지<br>(CP) |

<겹침 42.5mm인 경우의 성능수준 판단 기준>

<표 나-9> 데이터 세트에 따른 겹침 42.5mm인 경우의 결과

|          | 형상비 |         |     |     |              |     |     |     |     |
|----------|-----|---------|-----|-----|--------------|-----|-----|-----|-----|
|          | 0.8 |         |     | 1.0 |              |     | 1.2 |     |     |
| 수평<br>수직 | 400 | 600     | 800 | 400 | 600          | 800 | 400 | 600 | 800 |
| 400      | -   | LS      | -   | LS  | CP           | LS  | -   | LS  | -   |
| 600      | LS  | failure | LS  | CP  | F/CP         | CP  | LS  | LS  | LS  |
| 800      | -   | LS      | -   | LS  | IO/CP/<br>LS | CP  | -   | LS  | -   |

3) 겹침 85mm인 경우



85mm

표 2 구조물의 성능수준에 따른 허용충간변형률(FEMA356)

| 구조 종류 | 허용충간변형률      |              |              |
|-------|--------------|--------------|--------------|
|       | 기능수행<br>(IO) | 인명안전<br>(LS) | 붕괴방지<br>(CP) |

<겹침 85mm인 경우의 성능수준 판단 기준>

<표 나-10> 데이터 세트에 따른 겹침 85mm인 경우의 결과

|          | 형상비 |     |     |         |         |         |         |                |         |
|----------|-----|-----|-----|---------|---------|---------|---------|----------------|---------|
|          | 0.8 |     |     | 1.0     |         |         | 1.2     |                |         |
| 수평<br>수직 | 400 | 600 | 800 | 400     | 600     | 800     | 400     | 600            | 800     |
| 400      | -   | CP  | -   | CP      | CP      | failure | -       | CP             | -       |
| 600      | CP  | CP  | CP  | failure | failure | failure | failure | failure/<br>CP | failure |
| 800      | -   | CP  | -   | CP      | failure | failure | -       | failure        | -       |

## 나-2. 조적벽체 관련 손상 및 내진성능 정보의 BIM 모델 연동 모듈 개발

### 나-2.1 치장조적 균열크기 판단 알고리즘 설계

#### 나-2.1.1 이미지 기반 조적조 손상 탐지 알고리즘

##### ○ 균열탐지 이미지 학습방법 선택

##### 1) 이미지 데이터 세트 구축

- 조적 이미지 상에서 균열의 위치를 따로 표기하여 정답을 알려주는 지도학습(Supervised learning)을 이용함



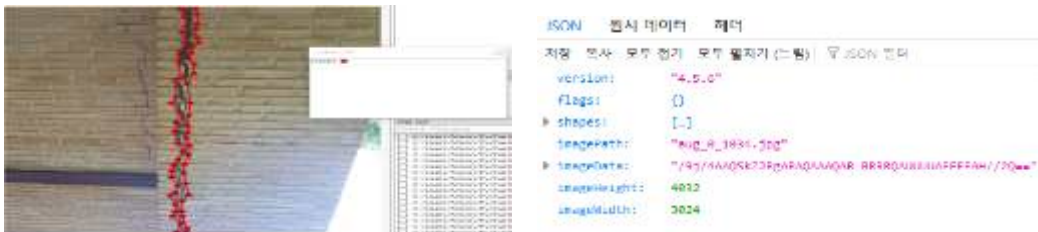
균열 이미지



균열 부위 마스크 이미지

<지도학습 이미지 데이터 세트>

- 이미지 상 균열의 위치를 직접 표기하여 균열의 클래스(균열의 양상)를 정의하는 라벨링 작업인 이미지 어노테이션(Image Annotation)작업을 실행함. 이후 Json 파일 형식으로 저장하였으며, 추후 균열 유형 분류 모델 학습 시 이용함



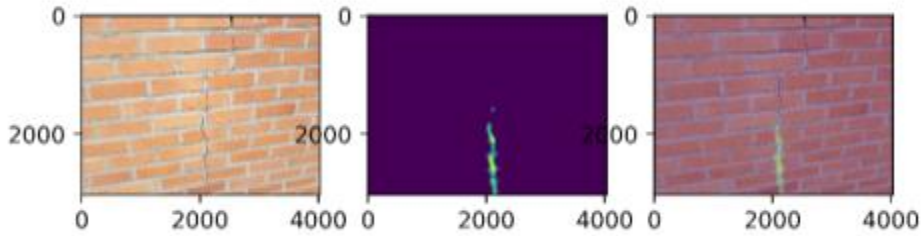
<JSON파일 형식으로 이미지 내의 균열 위치 저장>

##### 2) 모델 선택 및 학습과정

- ① Pre-Test를 통해 성능이 좋은 것으로 판명되었던 ResNet모델을 활용하여 학습을 진행함. ResNet모델은 152개의 레이어로 구성된 매우 깊은 네트워크 모델로 잔차(Residual)를 최소화한다는 특징을 갖고 있는 모델임
- ② 파이썬 딥러닝 프레임워크 중 하나인 파이토치(Pytorch) 라이브러리를 활용하여 모델의 이미지 학습을 진행함. 10번의 학습을 마친 후(epoch=10), 손실율(loss rate)은 약 0.0684의 값으로 나옴.
- ③ 학습이 끝난 후 현장 이미지로 평가를 진행하였을 때, 균열이 뚜렷한 이미지의 경우 균열 양상이 마스크 이미지로 도출되었으나, 현장 사진 중 균열이 미세한 이미지의 경우 균열 양상이 제대로 파악되지 않음
- ④ 1차년도 이미지 학습은 현장 조적균열 이미지가 포함되지 않은 학습이므로, 2차년도에 현장 균열 이미지 데이터를 추가하여 학습이 진행됨
- ⑤ 꾸준한 현장 데이터 구축 및 학습으로 균열도출 모델의 성능이 크게 향상됨

```
total images = 11298
create resnet101 model
Restored model at epoch 10. Min validation loss so far is : 0.06847900356163318
```

<10번의 학습 결과 및 손실을>



<학습된 모델에 PS엔지니어링 현장 사진으로 테스트한 결과>

## 나-2.1.2 조적조 이미지 내 리퍼런스 객체 인식

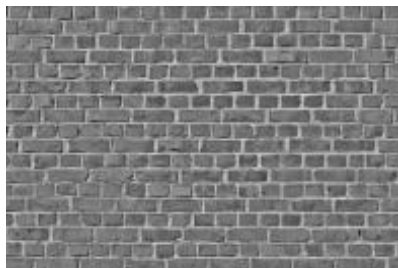
참조 물체를 활용하여 측정지표를 설정하는 알고리즘을 기반으로 하여, 벽돌의 크기가 규격값이므로 참조 물체로 활용가능하다고 판단함. 따라서 벽돌의 높이를 하나의 측정지표로 활용하였으며, 이 측정지표로 앞서 인식된 균열의 길이를 도출하고자 함

### ○ 이미지 내 리퍼런스 객체 인식

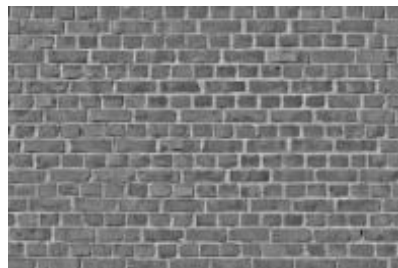
조적 이미지에서 벽돌 하나를 리퍼런스 객체로 인식하는 방법으로 ① 모포로지 연산을 이용한 벽돌인식 ② 이미지 오브젝트 디텍션을 통한 벽돌인식으로 두가지가 있음. 모포로지 연산을 이용하였을 경우, 정확도가 낮은 문제점이 발생하였으므로, 오브젝트 디텍션을 이용한 학습을 수행하여 벽돌을 인식하는 방법을 택함

#### 1) 모포로지 연산을 이용한 벽돌 인식

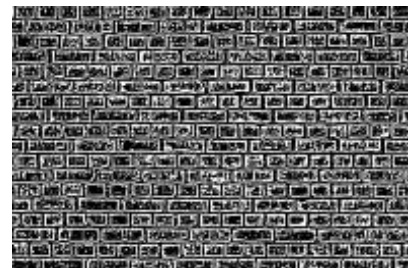
① 이미지 불러오기 > 그레이스케일로 전환 > 블러처리(일반적으로 가우시안블러 활용) > 이미지의 컨투어 정보 추출



① 이미지 다운 샘플링  
(그레이스케일로 전환)



② 이미지 블러 처리 (가우시안  
블러 활용)



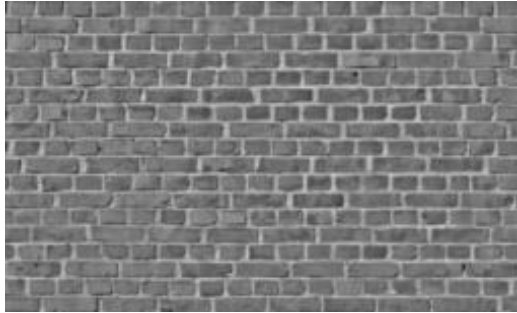
③ 컨투어 정보 추출

<모포로지 연산 과정>

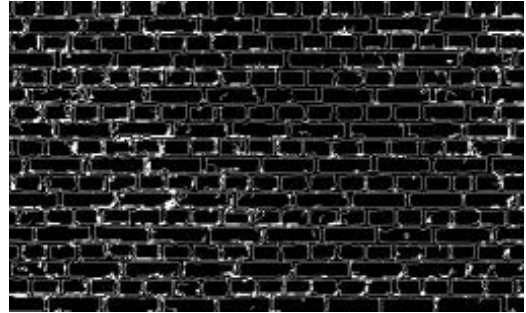
#### ② Thresholding (임계처리)

문턱값이라는 의미로 이 값을 기준으로 값이 급격하게 변하는 상황을 말함. 어느 한 이미지에서 이미지 픽셀값이 문턱값보다 크면 특정한 고정된 값을 할당하고, 작으면 다른 고정된 값을 할당함. 이미지 행렬에서 하나의 픽셀값을 사용자가 지정한 기준값 (threshold)을 사용하여 이진화(binanzation)하는 가장 단순한 필터임. 컨투어링 이전 단계로, 이미지 내 픽셀 값의 차이를 뚜렷하게 구분해주는 thresholding 값 처리 과정이 필요함. 흑백 처리된 이미지의 화소 값의 차이를 계산하여 일정 임계값을 기준으로 특정 값을 부여하는 방식으로 이루어짐. 아래에 Thresholding 유형에 따른 최종 결과를 나타냄

→ 기본 과정 (Thresholding 미적용)



흑백 처리 > 블러처리



Canny Edge 검출

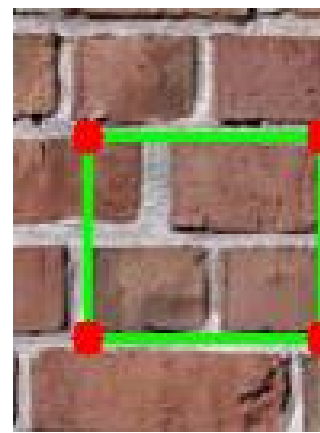
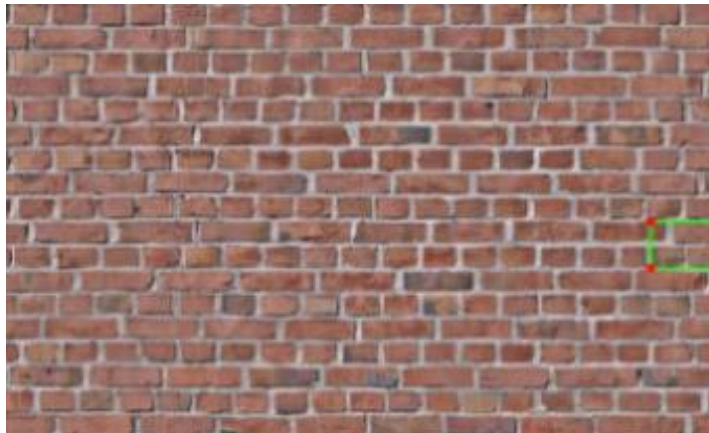
<Thresholding 미적용 에지검출 결과>

### ③ 임계값 조절 방법과 에지 추출

- 에지는 가장자리라는 개념으로, 영상의 밝기가 낮은 값에서 높은 값으로 또는 그 반대로 변하는 지점에 존재하는 부분을 가리킴. 칼라 값의 변화, 밝기의 변화가 큰 부분 등은 물체의 경계를 나타내고, 일정한 분포를 가진 부분은 경계면을 나타내는데 이에 따라 영상 내 밝기 변화 값의 차이가 큰 부분을 찾아 물체의 경계를 추출하는 법을 에지(edge) 검출이라함.

- 에지 추출을 하는 알고리즘은 이미지를 미분한 그래디언트(gradient) 벡터의 크기로 판단함. 본 이미지 전처리 과정에서는 그래디언트의 크기와 방향을 동시에 고려하는 방법인 Canny 에지 추출을 사용함

- 따라서 에지 검출 이전 단계에서 픽셀의 밝기 변화 값의 차를 크게 해주어 에지 검출이 더욱 용이하도록 하는 방법이 필요함. 이는 Thresholding (임계값) 조절을 통한 전처리 과정을 수행하여야함



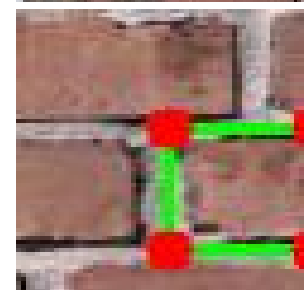
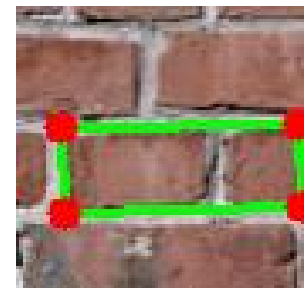
<최종 벽돌 판단 이미지>

THRESH\_BINARY  
Python: cv.THRESH\_BINARY

- 벽돌 마구리 두면을 하나의 가장 작은 영역으로 인식
- 벽돌 두 개를 하나의 영역으로 인식하였으므로, 정확한 영역 식은 실패

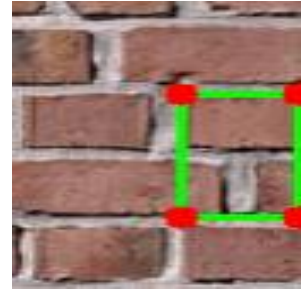
THRESH\_BINARY\_INV  
Python: cv.THRESH\_BINARY\_INV

- 벽돌 마구리 면 하나를 하나의 가장 작은 영역으로 인식
- 벽돌 하나를 하나의 영역으로 인식하였으므로 영역인식 성공



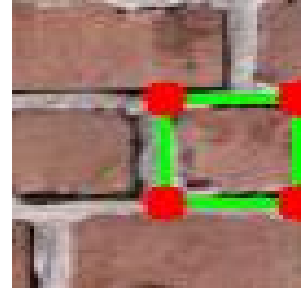
THRESH\_TRUNC  
Python: cv.THRESH\_TRUNC

- 벽돌 마구리 면 하나와 길이 면을 동시에 가장 작은 영역으로 인식
- 세 개의 벽돌을 하나의 영역으로 인식하였으므로 영역 인식 실패



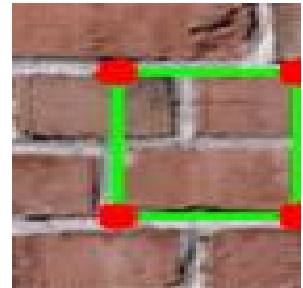
THRESH\_TOZERO  
Python: cv.THRESH\_TOZERO

- 벽돌 마구리 면 하나를 가장 작은 영역으로 인식
- 벽돌 하나를 하나의 영역으로 인식하여 영역 인식 성공



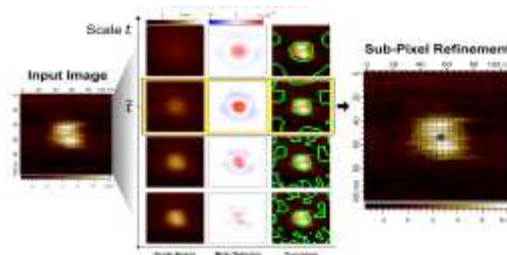
THRESH\_TOZERO  
Python: cv.THRESH\_TOZERO\_INV

- 벽돌 마구리 면 두 개와 길이 면 하나를 가장 작은 영역으로 인식
- 벽돌 3개를 하나의 영역으로 인식하였으므로 영역 인식 실패



#### ④ BLOB(Binary Large Object) 검출/감지방법

- 디지털 이미지에서 밝기나 색과 같은 특성을 주변 지역과 비교하여 다른 영역을 감지하는 것을 목표로 하는 방법으로, 이미지 내 픽셀 값이 일정하거나 대략적으로 일정한 이미지 영역을 검출함.
- 여기서 Blob은 Binary Large Object의 줄임말로, 이진 이미지의 연결된 pixel 그룹을 의미함. 또한 일정한 값을 갖는 픽셀 영역 중 작은 영역의 객체는 Noise로 판단해서 무시하고, 특정 크기 이상 영역의 객체만 검출함.
- BLOB 검출 방법을 이용하여 이미지 내 벽돌들을 하나의 영역으로 판단하여 하나의 벽돌을 검출함



<BLOB 검출 과정 예시>

#### ⑤ 모폴로지 연산

모폴로지의 침식과 팽창 연산만 진행하였을 때 이미지의 영상이 변형되는 문제점을 발견하였음. 문제점을 해결하기 위해 탑햇(Top hat)연산으로 진행함. 탑햇(Top hat)연산은 원본 영상에서 열림 연산의 결과를 뺀 결과로, 밝은 영역을 강조 할 수 있는 연산임

두 개의 연산 결과를 비교하였을 때, 탑햇 연산을 수행한 알고리즘이 좀더 정확한 결과를 나타냄. 하지만 일부 조적벽 이미지에서 그라우트 라인(grout line) 구분이 어려울 경우, 정확하게 탐지 못하는 경우가 발생됨. 정확하게 탐지 못하는 부분과 조적벽 크기를 정확하게 측정하는 방법에 대한 연구가 필요함



침식,팽창 연산결과



탐헛 연산 결과



경계선 구분이 어려운 이미지에 대한 결과

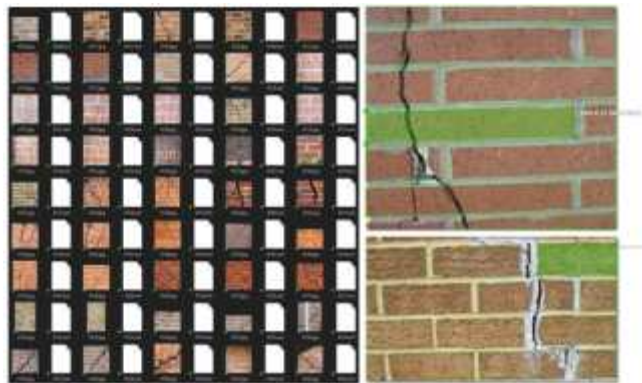


<모포로지 연산 비교>

## 2) 오브젝트 디텍션을 활용한 벽돌 인식

### ① 학습을 위한 이미지 데이터셋 구성

- 균열의 실제 길이 치환을 위한 딥러닝 모델의 학습에 사용될 학습 데이터셋 구축. 총 200장의 조적벽 이미지를 CVAT 툴을 사용해 라벨링 작업을 진행하였고, 구축을 완료함. 완료된 데이터셋으로 모델학습을 진행함

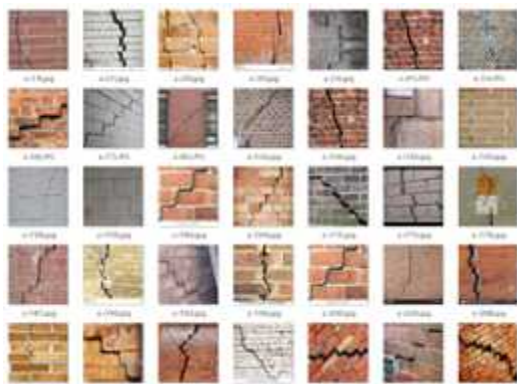


<오브젝트 디텍션 데이터셋 구축>

- 조적벽의 크랙을 검출 하기 위한 딥러닝 모델에 사용된 학습 데이터셋 구축.
- 총 1000장 데이터 셋은 조적벽과 콘크리트로 각 500장씩 구성되어 있음. 완료된 데이터 셋으로 모델 훈련을 수행함
- 총 988장의 이미지를 이용하여 모델 성능 검증을 실시함. 학습 데이터 셋과 테스트 데이터셋 분할은 다음 표와 같이 진행하였음. 조적벽 균열이 포함된 데이터가 상대적으로 부족하여 테스트 데이터 세트 양을 적게 구성함

<표 나-11> 이미지 데이터 세트 구성

| 총 데이터 셋<br>998장<br>(조적벽 488장 + 콘크리트 500장) | 학습 데이터 셋<br>968장<br>(조적벽 468장 + 콘크리트 500장) | 테스트 데이터 셋<br>35장<br>(조적벽 35장) |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------|
|-------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------|



테스트 데이터 셋



훈련 데이터 셋

<데이터 세트 구성 예시>

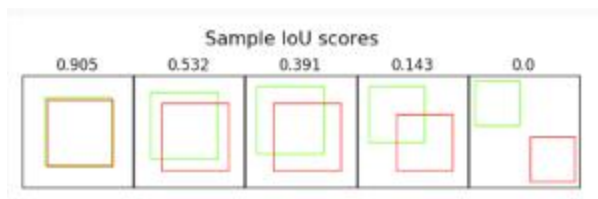
## ② 정확도 측정

조적벽 균열 검출 모델의 성능 검증은 Segmentation 문제에서 자주 사용되는 세 가지 평가지표를 이용해서 정확성을 측정하였음. 세 가지 평가 지표는 아래의 표와 같음

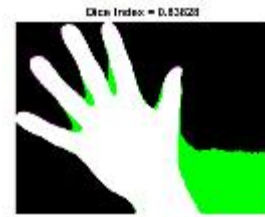
<표 나-12> 정확도 측정방법

| Metrics            | 의미                                         |
|--------------------|--------------------------------------------|
| Jaccard Index      | 예측 결과 이미지와 오리지날 이미지 간 유사성                  |
| Dice Coefficient   | 예측 결과 이미지와 오리지날 이미지 간 중첩된 비율               |
| Hausdorff Distance | 예측 결과 이미지와 오리지날 이미지의 표면 데이터 중 가장 멀리 떨어진 거리 |

Segmentation 문제에서는 Jaccard Index(IoU) 혹은 Dice Coefficient를 많이 사용함. Jaccard Index(IoU)는 객체 인식 모델에서 실제 물체의 위치와 예측된 물체의 위치를 평가하는 방법이며, Dice Coefficient는 Segmentation 문제에서 주로 사용되며, Jaccard Index와 비슷함



Jaccard Index (IoU)



Dice Coefficient

<정확도 측정방법 예시>

## ③ 학습 결과

- 조적벽 균열 검출 모델의 정확성 측정 결과는 다음과 같이 나타남. 조적벽 균열 검출에 대해서 정확성이 다소 낮게 나온 것을 확인할 수 있음.
- 하지만 비슷한 주제를 가지고 균열 검출을 연구한 사례 중 Jaccard Index와 Dice Coefficient를 비교하였을 때, 낮은 수치는 아니라는 것을 확인할 수 있음

<표 나-13> 조적벽 균열 검출 모델의 정확도 측정결과

| Metrics            | 결과(평균)    | 결과(표준)    |
|--------------------|-----------|-----------|
| Jaccard Index      | 0.39327   | 0.18476   |
| Dice Coefficient   | 0.573704  | 0.20876   |
| Hausdorff Distance | 160.26055 | 152.89548 |

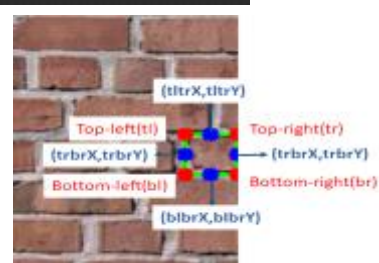
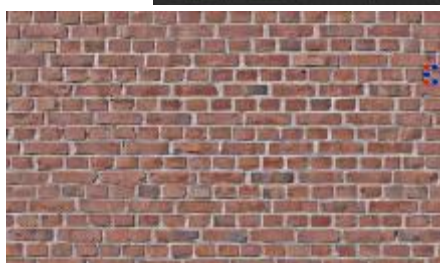
## 나-2.1.3 이미지 픽셀 단위 손상 규모 측정

### 1) 리퍼런스 객체의 실제 치수 입력

- ① 검출된 가장 작은 박스의 모서리 점을 지정하여 그 중앙점을 지정함

```
(tl, tr, br, bl) = box_# top-left, top-right, bottom-right, bottom-left
(tltrX, tltrY) = midpoint(tl, tr)
(blbrX, blbrY) = midpoint(bl, br)

# compute the midpoint between the top-left and top-right points,
# followed by the midpoint between the top-right and bottom-right
(tlbrX, tlbrY) = midpoint(tl, br)
(trbrX, trbrY) = midpoint(tr, br)
```

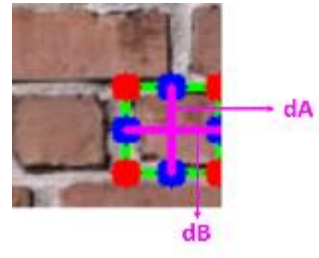
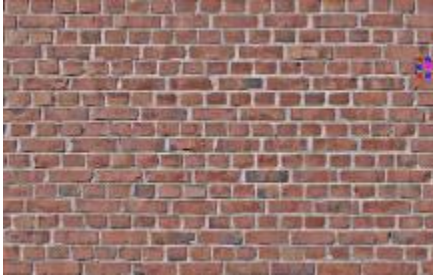


<중앙점 지정 방법>

② 중앙점간의 거리를 선(line)으로 표시한 후, 그 선의 길이를 계산

```
# draw the lines between the midpoints
cv2.line(orig, (int(tltrX), int(tltrY)), (int(blbrX), int(blbrY)), (255, 0, 255), 2)
cv2.line(orig, (int(tlbrX), int(tlbrY)), (int(trbrX), int(trbrY)), (255, 0, 255), 2)

# compute the Euclidean distance between the midpoints
dA = dist.euclidean((tltrX, tltrY), (blbrX, blbrY))
dB = dist.euclidean((tlbrX, tlbrY), (trbrX, trbrY))
```

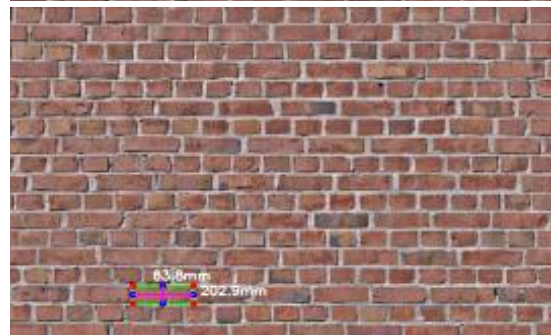
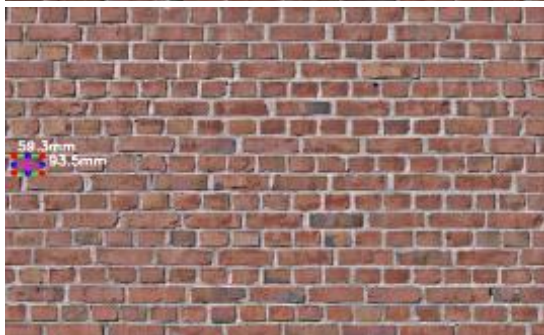
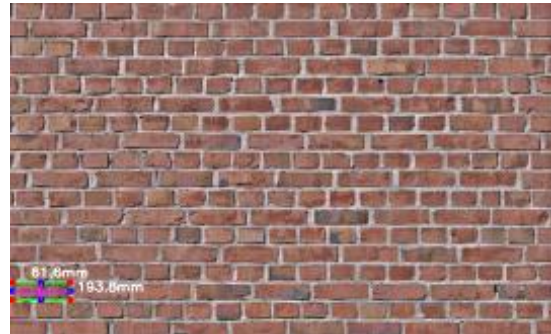
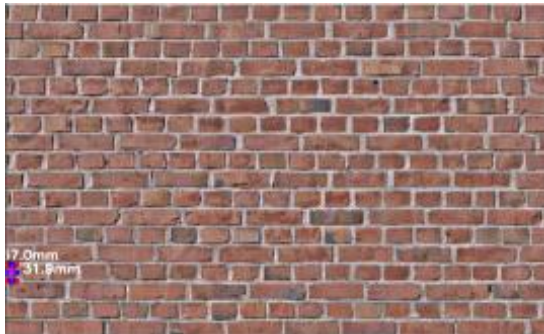


<중앙점 간 길이 계산>

③ dA(길이) 값을 벽돌의 길이인 57mm로 지정함 >pixelsPerMetric = dA/57. 이후 다른 벽돌의 사이즈를 측정했을 때 오차 범위 5mm이내의 결과를 보여줌

```
if pixelsPerMetric is None:
    pixelsPerMetric = dA / 57
# pixelsPerMetric = dB / args['width']

# compute the size of the object
dimA = dA / pixelsPerMetric
dimB = dB / pixelsPerMetric
```

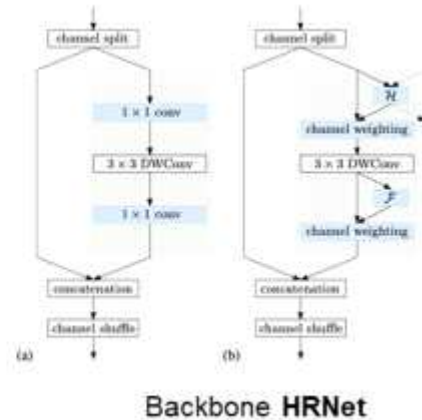
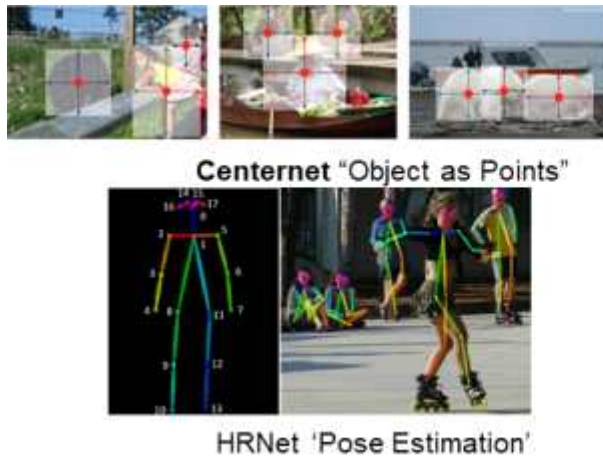


<벽돌 길이에 실제 길이 지정>

## 2) 리퍼런스 객체의 너비값을 활용한 균열크기 도출

- Model, Backbone

Masonry bricks Detection은 Centernet인 딥러닝 모델을 사용함. Centernet 모델은 객체 중심에 Key Point를 찍어 Detection하는 모델임. Key Point는 HRNet의 Pose Estimation을 이용하여 추정함



<키포인트 지정방법>

- 이전 균열 탐지 프로젝트에서 진행한 Crack Length Code를 활용하여 Crack Detection을 진행함
- Crack Segmentation을 이용하여 균열을 위치를 탐색하고, 균열을 skeletonize(골격화)하여 길이를 pixel 단위로 측정함



균열 위치 탐색

Skeletonize  
<균열 탐색과 예측>

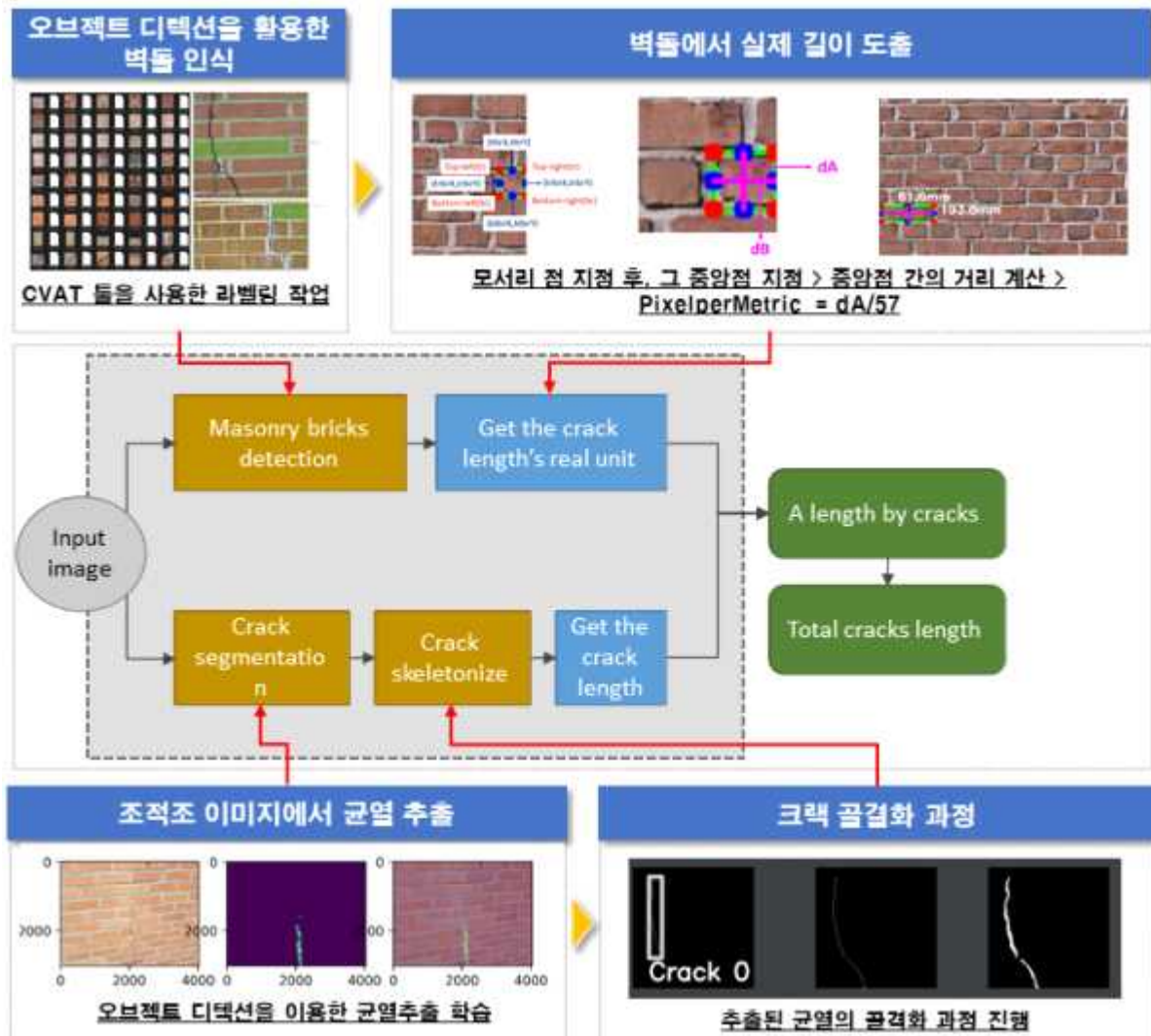
Crack Prediction

```
Explanation for image a (19).jpg
-----Measurements for crack number #0-----
Crack length: 308 pixels
This is a vertical crack because the crack height (285) is greater than two times the crack width (49).
There are a total of 1 cracks.
```

<측정결과>

## 나-2.2 조적조 균열탐지 알고리즘

- 아래는 위에서 설명한 균열을 탐지하는 전반적인 과정을 도식화한 것으로, 실제 균열이 있는 조적 이미지에서 균열을 도출하는 과정과 실제 길이 유닛을 도출하는 과정을 보여줌. 두 과정의 결합을 통해 실제 균열의 길이가 도출되는 과정을 알 수 있음



<조적조 균열탐지 알고리즘>

---

### 나-3. 소결

- 2년 동안의 연구를 통해, 신속하고 정확한 치장조적조의 안전성 검토를 위한 기술 개발이 완료됨. 치장조적조의 안전성 점검에 중요 요소인 균열을 탐지하고 그 길이를 자동으로 산출 가능한 기술이 완성됨. 또한 본 연구를 통해 치장조적조의 구조 안전 검토를 위한 이산요소해석 모델의 개발이 이루어짐. 이산요소해석 모델을 통한 구조적으로 검증된 데이터 세트 구축이 완료되었으며, 이는 향후 추가적인 연구에도 이어지기에 충분한 자료임
- 치장조적조의 내진성능관련 빅데이터 생성을 위해, 조적조에 가장 적합한 해석방법인 이산요소해석법을 활용하여 모델링을 수행함. 본 치장조적 모델링은 이전 조적조 실험과 발행된 실험 논문을 바탕으로 하여 검증하였으며, 조적조의 파괴양상과 상당히 일치하는 결과를 보여줌
- 개발된 이산요소해석 기반 치장조적조 모델링을 바탕으로, 치장조적조의 핵심 요소인 연결철물을 추가로 모델링하였으며, 조적벽의 거동을 제한하는 방법과 직접 연결철물을 모델링하는 방법의 비교를 통해 직접모델링 방법이 유효한 결과를 도출한다고 판단하여 연결철물을 모델링함
- 완성된 치장조적조 모델을 바탕으로 하여 현장 정보에 가장 적합한 변수를 도출하였으며, 변수의 범위에 차이를 두어 데이터 세트 219가지를 구성함. 구성된 데이터 세트를 분석하여, ‘착한조적웹사이트’ 이용자를 위한 기준표를 제시함
- 조적벽체의 손상 및 내진 정보를 현장에서 신속히 도출하기위해 치장조적벽의 이미지에서 그 정보를 도출할 필요가 있음. 따라서 컴퓨터 비전 기술을 활용하여 조적 이미지에서 균열을 탐지하는 기술을 개발함. 균열을 마스킹한 이미지를 통해 지도학습을 수행하였으며, 이미지에서 균열만을 지정한 데이터 세트(이미지 어노테이션)를 구축한 후, 오브젝트 디텍션 학습을 수행함
- 이미지에서 길이 산출 방법은 일반적으로 일정한 규격의 카드를 같이 촬영하여 그 길이를 계산함. 따라서 도출된 균열의 길이 산출을 위해 벽돌의 높이(57mm)를 레퍼런스 객체로 활용함. 이를 위해 오브젝트 디텍션을 이용하여 벽돌 하나를 인식하는 딥러닝 모델을 구축하여 벽돌 하나의 인식이 가능해짐. 앞서 도출된 균열 이미지의 골격화를 진행하여 그 길이를 픽셀단위로 측정함. 측정된 균열의 픽셀 수와 벽돌의 높이에 해당하는 픽셀값을 곱하여 균열의 실제 값을 도출함

---

다. 공동연구기관 : 피에스엔지니어링(주)

## 다. 공동연구기관 : 피에스엔지니어링(주)

### 다-1. 치장조적 결함사례 수집 및 분류

#### - 치장조적 결함 조사 결과

디지털카메라를 이용하여 국내 치장조적건물에 발생된 결함들을 촬영 및 조사한 후 수직균열, 경사균열, 배부름, 열, 배부름 및 기타(백태, 줄눈탈락 등)과 같이 네가지로 분류하였다. 발생된 비율은 다음과 같다.



| No. | 결함종류               | 원인              | 사진                                                                                    |
|-----|--------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 수직균열               | 수축팽창            |    |
| 2   | 경사균열               | 침하, 인방 미설치      |    |
| 3   | 배부름                | 연결철물 미설치 및 상태불량 |  |
| 4   | 기타<br>(줄눈탈락, 백태 등) | 노후화             |  |

#### - 소결

치장조적 결함들을 파악하기 위하여 실제 치장조적 학교건축물에 발생된 결함들을 조사 및 분류한 결과, 대부분 수직균열(77%)과 경사균열(16%)로 조사되었으며, 이는 학교건축물의 기본 평면이 직사각형으로 온도하중에 의한 수축팽창 거동이 직교방향으로 일어나며, 치장조적 하중을 분담하는 지지부재와 인방부재의 미설치가 원인으로 판단된다.

### 다-2. 현장조사 방법 실제 조적조 건축물에 적용

#### - 연결철물 설치위치 및 간격 조사

금속탐지기, 열화상카메라 및 페로스캔을 이용하여 실제 치장조적 건축물에 설치된 연결철물 위치와 간격을 조사한 결과, 페로스캔 장비가 금속탐지기보다 정밀도가 우수하였으며, 입면 중 6m<sup>2</sup>를 선정하여 긴결철물의 간격을 측정하였다.

|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                       |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |  |
| 금속탐지기                                                                               | 금속탐지기                                                                               | 페로스캔                                                                                | 열화상카메라                                                                                | 현장조사 모습                                                                               |

이때, 설치간격의 편차가 심하였는데, 이는 재령이 오래된 실제 건축물들은 연결철물 시공 상태가 설계도면 및 시방서에 따라 정밀 시공이 되지 않았기 때문으로 추정된다. 또한, 페로스캔을 사용하여 연결철물 탐지 시 스캔 깊이를 설정한 후 조사를 해야하는데, 치장벽돌과 내부 구조체와의 이격거리가 위치마다 다른 것이 스캔 정밀도를 저하시키는 원인으로 판단된다.



<단열공간 거리(15mm) 모습>



<단열공간 거리(300mm) 모습>

#### - 연결철물 상태조사

연결철물 설치 위치 조사 후 연결철물 직경 및 부식도 등 연결철물 상태파악을 위해 내시경카메라 및 직접육안 조사를 수행하였다.

먼저, 금속탐지기 및 페로스캔을 이용하여 연결철물의 위치를 파악한 후 햄머드릴로 줄눈몰탈을 천공(직경 10mm) 한 후 내시경카메라를 사용해 연결철물 상태를 촬영하였다. 연결철물의 직접 촬영을 위한 천공구멍의 수량과 소요시간이 계획보다 오래 걸렸는데, 이는 연결철물의 설치상태가 직선으로 곧게 설치되어 있지 않고 꺾여 설치되어 스캔 지점에 바로 위치하지 않았으며, 단열재가 밀실하게 설치되어 있는 경우 촬영공간이 확보되지 않은 것이 원인으로 판단된다.



<내시경카메라 촬영모습>



<치장벽돌 내 설치된 단열재 모습>



<기존 연결철물 설치 모습>

또한, 연결철물의 직경 및 부식정도를 확인하기 위해 치장조적을 제거하여 연결철물의 상태를 조사하였으며, 대부분 #10철선(반생이)를 사용한 것으로 확인되었으며, 붉은녹과 단면손실 등 부식이 상당히 진행된 것으로 파악되었다.



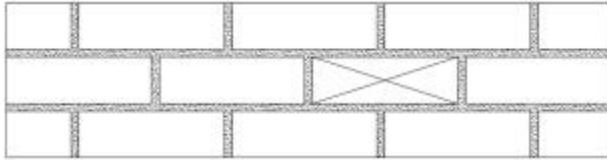
<연결철물 부식상태 모습>



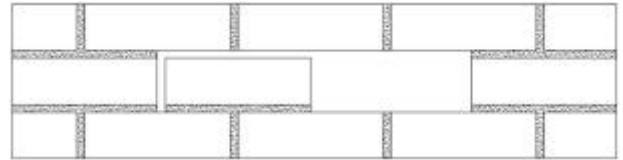
<연결철물 직경 측정>

## - 줄눈몰탈 강도 측정

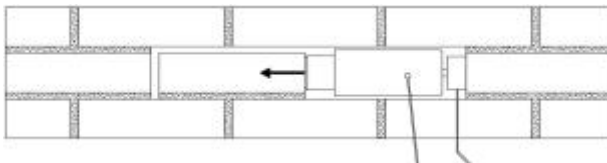
줄눈몰탈 강도는 해당 건축물에 대한 정확한 치장벽돌 내진보강설계 시 필요한 요소로 유압펌프, 유압실린더 및 로드셀을 이용하여 실제 치장조적 건축물의 줄눈강도를 측정하였다. 줄눈몰탈강도 측정 흐름도는 다음과 같다.



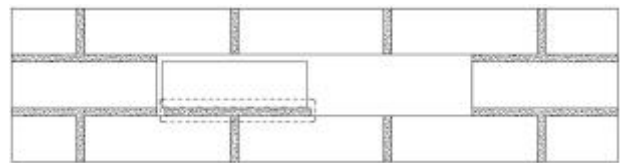
① 줄눈 몰탈 강도 측정 개소를 선정한다.



② 그라인더 및 치즐을 이용하여 최대한 기존 줄눈몰탈에 충격을 주지 않고 치장벽돌을 제거한다.



③ 유압실린더 및 로드셀을 설치한 후 가력한다.



④ 치장조적과 줄눈몰탈의 부착강도를 측정한다.

위와 같은 방식으로 측정한 강도값은 동일한 건물임에도 편차가 크게 나타났다. 그 이유는 치장벽돌 자체 파괴 등 예상파괴모드와 다른 파괴 결과가 나왔기 때문으로 추정되며, 이는 기존 치장벽돌 제거 시 손상을 주었기 때문으로 판단된다.



① 유압실린더 및 로드셀 설치 모습



② 가력 모습



③ 파괴강도 측정



④ 파괴 모습

<줄눈몰탈접착강도 측정결과>

| 현 장     | 벽돌 중공 | 강도(kgf) | 파괴형상 | 비 고                                                                                   |
|---------|-------|---------|------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 부산대     | 有     | 347     | 벽돌   |    |
|         | 有     | 290     | “    |                                                                                       |
|         | 有     | 315     | “    |                                                                                       |
|         | 有     | 335     | “    |                                                                                       |
|         | 有     | 353     | “    |                                                                                       |
|         | 有     | 323     | “    |                                                                                       |
| 경기상상캠퍼스 | 無     | 1,346   | 줄눈   |    |
|         | 無     | 311     | “    |                                                                                       |
|         | 無     | 1,200   | “    |                                                                                       |
|         | 無     | 325     | “    |                                                                                       |
|         | 無     | 1,143   | “    |                                                                                       |
|         | 無     | 1,257   | “    |                                                                                       |
| 강릉제일고   | 有     | 976     | 줄눈   |   |
|         | 有     | 898     | “    |                                                                                       |
|         | 有     | 342     | 벽돌   |                                                                                       |
|         | 有     | 911     | 줄눈   |                                                                                       |
|         | 有     | 1,021   | “    |                                                                                       |
|         | 有     | 250     | 벽돌   |                                                                                       |
| 호수돈여자중  | 有     | 798     | 줄눈   |  |
|         | 有     | 813     | “    |                                                                                       |
|         | 有     | 298     | 벽돌   |                                                                                       |
|         | 有     | 312     | “    |                                                                                       |
|         | 有     | 998     | 줄눈   |                                                                                       |
|         | 有     | 1,102   | “    |                                                                                       |
| 강원생활과학고 | 有     | 590     | 벽돌   |  |
|         | 有     | 498     | “    |                                                                                       |
|         | 有     | 979     | 줄눈   |                                                                                       |
|         | 有     | 324     | 벽돌   |                                                                                       |
|         | 有     | 945     | 줄눈   |                                                                                       |
|         | 有     | 227     | 벽돌   |                                                                                       |

(계속)

| 현 장  | 벽돌 중공 | 강도(kgf) | 파괴형상 | 비 고                                                                                   |
|------|-------|---------|------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 충남대  | 有     | 927     | 줄눈   |    |
|      | 有     | 914     | “    |                                                                                       |
|      | 有     | 301     | 벽돌   |                                                                                       |
|      | 有     | 316     | “    |                                                                                       |
|      | 有     | 898     | 줄눈   |                                                                                       |
|      | 有     | 270     | 벽돌   |                                                                                       |
| 광희고  | 有     | 305     | 벽돌   |    |
|      | 有     | 331     | “    |                                                                                       |
|      | 有     | 289     | “    |                                                                                       |
|      | 有     | 986     | 줄눈   |                                                                                       |
|      | 有     | 311     | 벽돌   |                                                                                       |
|      | 有     | 895     | 줄눈   |                                                                                       |
| 송라중  | 有     | 266     | 벽돌   |   |
|      | 有     | 867     | 줄눈   |                                                                                       |
|      | 有     | 303     | 벽돌   |                                                                                       |
|      | 有     | 278     | “    |                                                                                       |
|      | 有     | 294     | “    |                                                                                       |
|      | 有     | 287     | “    |                                                                                       |
| 광진구청 | 無     | 1197    | 줄눈   |  |
|      | 無     | 1221    | “    |                                                                                       |
|      | 無     | 997     | “    |                                                                                       |
|      | 無     | 456     | “    |                                                                                       |
|      | 無     | 1271    | “    |                                                                                       |
|      | 無     | 1156    | “    |                                                                                       |
| 중앙고  | 有     | 312     | 벽돌   |  |
|      | 有     | 1178    | 줄눈   |                                                                                       |
|      | 有     | 988     | 줄눈   |                                                                                       |
|      | 有     | 340     | 벽돌   |                                                                                       |
|      | 有     | 371     | “    |                                                                                       |
|      | 有     | 289     | “    |                                                                                       |

## - 소결

치장조적 상태판정을 위한 실제 현장적용 조사 시 선정 입면에 대한 연결철물 위치 및 설치간격 파악, 연결철물 굽기 및 부식도 확인 및 줄눈몰탈강도를 측정하였다. 1차년도 현장 조사 시, 스캔 장비의 낮은 정밀도, 제한적인 내시경카메라 촬영범위 및 기존벽돌 제거 시 시간지연 등으로 인해 최종 목표인 8시간 보다 많은 조사 시간이 소요되었으나, 2차년도 연구활동 시 장비들의 다변화 및 인력 추가 투입 등을 통해 시간을 단축하여 8시간 이내 치장조적 상태평가 후 보강안 제시가 이루어질 수 있도록 하였다.

## 다-3. 시제품 (개선)제작

### - 헬리핀

기존 치장벽돌 수평보강을 위한 보강재 선택시 완제품을 수입해 현장적용을 해오는 실정이었다. 이때, 실제 현장의 단열깊이가 설계수치와 상이한 부분이 많아, 수입한 보강재에 대한 로스가 상당하였으며, 즉각적인 현장 대응에 어려움이 있었다. 이러한 점을 개선하고자, 수입한 원재료를 직접 가공하여 현장 상황에 맞게 적용하도록 시제품을 제작하였으며, 지속적인 현장 적용을 통해 문제점을 보완하고자 한다.



<헬리핀 절단 장비>



<헬리핀 가공 장비>



<헬리핀 제작 모습>

### - 현장적용

| No. | 발주기관명      | 시공업체명       | 적용현장명                      | 공사시작일      | 공사종료일      | 공사금액(천원) |
|-----|------------|-------------|----------------------------|------------|------------|----------|
| 1   | 강릉교육지원청    | 피에스엔지니어링(주) | 강릉제일고<br>외벽치장벽돌보강공사        | 2020.06.30 | 2020.08.03 | 104,744  |
| 2   | 강릉교육지원청    | 피에스엔지니어링(주) | 하슬라유 본관동<br>외벽치장벽돌보강공사     | 2020.08.27 | 2020.09.19 | 21,417   |
| 3   | 홍천교육지원청    | 피에스엔지니어링(주) | 강원생활과학고 외1교<br>외벽치장벽돌 보강공사 | 2020.10.05 | 2020.10.21 | 70,790   |
| 4   | 구리남양주교육지원청 | 피에스엔지니어링(주) | 인창중 치장벽돌<br>안전개선공사         | 2020.09.10 | 2020.09.24 | 39,743   |
| 5   | 강릉교육지원청    | 피에스엔지니어링(주) | 강릉중앙고 외벽 보강공사              | 2020.10.12 | 2020.11.01 | 68,378   |
| 6   | 한국문화예술위원회  | 피에스엔지니어링(주) | 아르코미술관 벽돌 보강공사             | 2020.08.28 | 2020.09.18 | 88,400   |
| 7   | 재단법인경기문화재단 | 피에스엔지니어링(주) | 생생1990 외벽 치장벽돌<br>보수보강공사   | 2020.11.02 | 2020.12.04 | 132,667  |
| 8   | 부산대학교      | 피에스엔지니어링(주) | 부산대 제9공학관<br>치장벽돌보수보강공사    | 2021.02.08 | 2021.03.30 | 80,300   |
| 9   | 동해광희고등학교   | 피에스엔지니어링(주) | 동해광희고 정취관<br>외벽치장벽돌보강공사    | 2021.07.13 | 2021.08.08 | 94,578   |
| 10  | 동해 삼육초등학교  | 피에스엔지니어링(주) | 삼육초등학교<br>외벽치장벽돌보강공사       | 2021.07.19 | 2021.08.15 | 19,564   |

#### 다-4. 보강공법의 실제 설계 적용을 위한 체계수립

##### - 표준시방서 정립

## 1. 헬리핀 보강공법(수평보강)

### 1. 공법개요

헬리핀은 1.2t 두께의 스테인레스 편철중심부에  $\Phi 3.2$ 의 로드를 형성시키고 편철 양날을 날카롭게 갈아낸 후 트위스팅으로 꼬아 나선형태로 형성된 스테인레스 제품의 보강핀으로서, 공간쌓기 조적벽체의 외부 치장 적벽돌벽면에서 내부 시멘트벽돌벽 또는 옹벽까지 천공 후 전동드릴을 이용하여 헬리핀을 회전삽입함으로서 외부 적벽돌면과 내부 벽체를 서로 묶어 일체화시킴으로서 공간쌓기 조적벽체의 내력을 증진시키는 보강공법이다.

### 2. 사용 재료

#### 2.1 헬리핀

본 시방서의 헬리핀은  $\Phi 9$ mm규격 스테인레스 제품으로서 Thor-helical사의 “Helical Wall-tie”또는 이와 동등이상의 제품을 사용한다.

#### 2.2.1 헬리핀 규격

| 품 명              | 재 질       | Size        | 천공 굵기 | Mean Tensile strength | brick Tensile strength |
|------------------|-----------|-------------|-------|-----------------------|------------------------|
| Helical wall tie | Stainless | $\Phi 9$ mm | 6.5mm | 17kN                  | 1.94kN                 |

#### 2.2.2 에폭시 퍼티

헬리핀 설치 후 적벽돌 표면에 발생하는 구멍메꿈재로서 구조적 강도와 무관하므로 일반제품을 사용하도록 한다.

### 3. 시공 방법

#### 1) 사전조사 및 표시점

##### ① 사전조사

- 설계도에 명시된 설치간격 및 수량이 현장여건과 적합한지 사전조사하고, 실제 현장여건과 상이할 경우 현장에 적합하게 수정한다.
- 헬리핀의 설치간격은 @600~900간격이 일반적이며, 설계상의 설치 간격에 준하여 현장여건에 따라 조정하도록 하되 설계수량을 따르는 것이 바람직하다.

##### ② 표시점

- 설계간격 및 사전조사 결과에 따라 헬리핀을 설치하고자 하는 위치에 백묵 등으로 표시하도록 한다.

## 2) 천 공

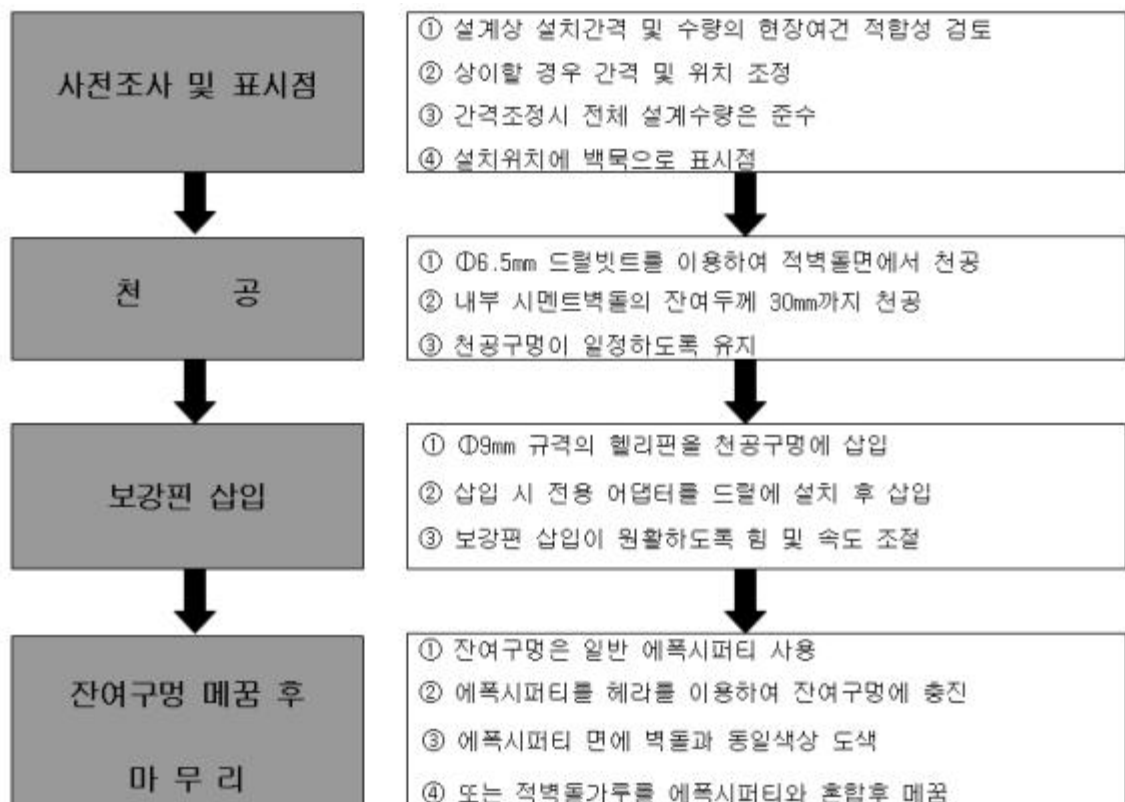
- ① 햄머드릴 전동공구에 헬리핀 전용 드릴비트를 장착하고 외부 적벽돌면에 표시된 표시점에 천공하되, 내부 시멘트벽돌벽의 잔여간격 30mm 위치까지 천공하도록 하며, 이때 사용하는 드릴бит는  $\varnothing 6.5\text{mm}$  규격품을 사용한다.
- ② 천공 시 적벽돌 및 시멘트벽돌의 천공깊이가 일정하도록 전동공구의 요동이 없도록 수평을 유지하며 천공하여야 한다.
- ③ 천공구멍의 시멘트 분진은 구조적 영향과 무관하므로 굳이 제거하지 아니하여도 무방하다.

## 3) 헬리핀 삽입

- ① 햄머드릴 전동공구에 헬리핀 전용 어댑터를 설치하고 어댑터에  $\varnothing 9\text{mm}$  규격의 헬리핀을 장착한다.
- ② 이미  $\varnothing 6.5\text{mm}$  규격으로 천공된 구멍에  $\varnothing 9\text{mm}$  규격의 헬리핀을 회전삽입하여 정격 깊이까지 박아 고정시킨다.

## 4) 잔여구멍 메꿈

- ① 헬리핀 삽입 설치후에 생기는 입구 잔여구멍은 에폭시퍼티를 헤라를 이용하여 메꿈질한다.
- ② 이때 메꿈구멍이 적벽돌 벽체색상과 동일하게 하기 위하여 에폭시 퍼티 메꿈 후 무기페인트를 도색하거나 또는 적벽돌가루를 에폭시퍼티에 혼합하여 메꾸도록한다.



<헬리핀 보강공사 흐름도>

## 4. 시공시 유의사항

### 1) 보강핀 길이 사전검토

- 외부 적벽돌벽체두께와 내부 단열재 두께 및 내부 시멘트벽돌벽 두께를 사전 조사하고 설계상의 보강핀의 길이가 적합한지 사전 검토한다.
- 보강핀은 내부 시멘트벽돌벽체의 잔여두께 30mm까지 삽입되는 것으로 검토한다.
- 단열재의 두께 및 단열재의 여유공간 등으로 설계상 보강핀의 길이가 적합하지 아니할 수가 있으므로 사전검토시 유의하여야 한다.

### 2) 천공구멍의 일정화

- 햄머드릴 전동공구를 이용하여 천공할 경우 전동공구의 수평을 제대로 유지하지 아니하면 천공구멍의 굽기가 일정하지 아니할 수가 있으므로 전동공구의 수평을 잘 유지하여야 한다.
- 천공구멍은 보강핀의 굽기보다 2.0mm가 작은 규격이어야 보강핀 삽입 시 정격규격의 정착을 유지할 수 있으므로 천공용 드릴비트는  $\phi 6.5\text{mm}$  규격을 사용한다.

### 3) 보강핀 삽입

- 헬리핀 삽입은 반드시 전용 어댑터를 햄머드릴에 장착하고 사용하여야 한다.
- 헬리핀은 2항에 명시된 사용재료 항의  $\phi 9\text{mm}$  규격품을 사용하여야 하며, 중심축에  $\phi 3.2\text{mm}$ 의 로드가 형성된 제품을 사용하여야 한다.
- 헬리핀 삽입 시 무리한 힘을 가하거나 삽입속도가 지나치게 빠른 경우 정착 인발력을 저하시킬 수 있으므로 서서히 삽입하여야 한다.

### 4) 잔여구멍 메꿈 및 마무리

- 잔여구멍은 일반 에폭시퍼티를 헤라를 이용하여 메꿈질하되 메꿈색상은 기존의 적벽돌색상과 동일하게 하는 것이 바람직하다.
- 메꿈색상을 동일하게 하기 위해선 기존의 적벽돌과 동일한 적벽돌을 갈아낸 분말을 에폭시퍼티에 혼합하여 메꿈질한다.
- 기존 조적건물의 시간경과가 오래되어 동일한 적벽돌을 구하지 못할 경우에는 철분재료 무기질인 적색 광명단을 도색하거나 또는 에폭시퍼티와 혼합 후 메꿈질할 수가 있다.
- 에폭시퍼티 메꿈질 면에 잔유 에폭시퍼티가 묻지 않도록 메꿈질면이 기존 적벽돌면과 일치하도록 매끄럽게 마무리한다.

### 5) 질의 응답

- 시공시 기술적 의문이 있는 경우에는 헬리핀 제조원에 문의 후 자문을 받도록 한다.

## II. 헬리바(Thor-Heli Bar) 매입 수평줄눈 및 인방 보강공법

### 1. 공법개요

헬리바는 1.2t 두께의 스테인레스 편철 중심부에  $\phi 3.0$ 의 로드를 형성시키고 편철 양날을 날카롭게 갈아낸 후 트위스팅으로 꼬아 나선형태로 형성된 스테인레스 제품의 보강선으로서, 조적조 외부 적벽돌의 수평줄눈에 홈을 파낸 후 무수축모르타르를 1차충진하고 보강선 매입 후 무수축모르타르를 재 충진하여 헬리바를 수평 줄눈에 삽입함으로써 수평줄눈의 적벽돌 개체들을 일체화하여 보강하는 공법이다.

### 2. 사용 재료

#### 2.1 헬리바 및 충전모르타르

##### 2.2.1 헬리바 규격

본 시방서의 헬리바는  $\phi 7.0\text{mm}$ 규격 스테인레스 제품으로서 Thor-helical사의 “Helical Bar”또는 이와 동등이상의 제품을 사용한다

| 품 명         | 재 질       | Size              | CSA               | Mean Tensile Capacity | brick Tensile strength |
|-------------|-----------|-------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|
| Helical Bar | Stainless | $\phi 7\text{mm}$ | 10mm <sup>2</sup> | 11kN                  | 1025N/mm <sup>2</sup>  |

##### 2.2.2 무수축 모르타르

무수축모르타르의 강도는 기존의 수평줄눈에 사용된 시멘트모르타르의 압축강도 이상이어야 한다

### 3. 시공 방법

#### 1) 사전조사 및 표시점

##### ① 사전조사

- 설계도에 명시된 설치간격 및 길이와 설치수량이 현장여건과 적합한지를 사전 조사라고, 실제 현장여건과 상이할 경우 현장에 적합하게 수정한다.
- 설계상의 설치 간격은 현장여건에 따라 조정하도록 하되 설치수량은 설계수량을 따르는 것이 바람직하다.

##### ② 표시점

- 본 현장의 헬리바 설치위치는 벽체 상단 및 하단부로 하며, 상단의 벽돌 3켜위치 및 하단의 벽돌 3켜위치로 하며, 설치위치를 미리 표시한다.

#### 2) 수평줄눈 홈파기

- ① 햄머드릴 전동공구에 수평줄눈 홈파기 전용 도구를 장착하고 수평줄눈 홈깊이 40mm까지 홈파기하되 기존의 적벽돌이 손상되지 않도록 유의하여야 한다.
- ② 수평줄눈 홈파기 완성 후 모든 분진은 공기압을 이용하여 제거하도록 하고 고압 살수기로 세척하며 수분을 공급한다.

#### 3) 1차 무수축모르타르 충전

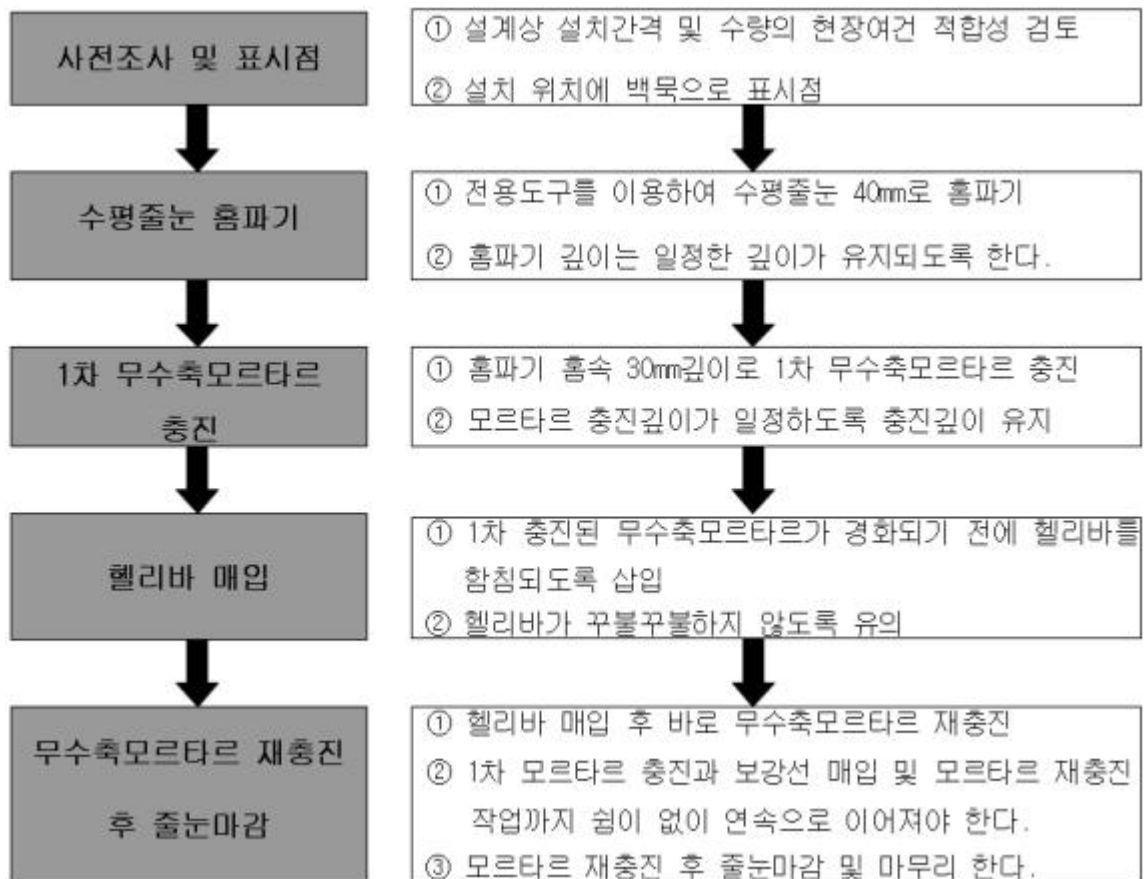
- ① 홈파기 후 홈속에 무수축모르타르를 그라우팅공구 또는 건을 이용하여 1차 충전 하되 40mm 홈깊이중 30mm 깊이만큼 충전한다.
- ② 충전되는 무수축모르타르의 깊이가 일정하도록 하여야 한다.

#### 4) 헬리바 삽입

- ① 1차 충전된 무수축모르타르가 경화되기 전에 바로 보강선을 매입하여야 하며, 전용도구를 이용하여 보강선이 무수축 모르타르에 합침시키도록 한다.
- ② 매입되는 보강선이 꾸불꾸불 휘어지지 않고 직선으로 곧바르게 하여야 한다.

#### 5) 무수축모르타르 재충진 마감

- ① 보강선 매입 후 잔여줄눈 깊이를 무수축모르타르로 재 충전해 줄눈 마무리한다.
- ② 1차 충전되는 무수축모르타르와 보강선 매입 및 무수축모르타르 재충진 작업에 힘이 없이 연속작업으로 이루어져야 한다.



<헬리바(Heli-bar) 수평줄눈 보강공사 흐름도>

#### 4. 시공시 유의사항

##### 1) 보강선 매입위치 사전검토

- 보강선 매입간격은 벽체상단 3켜 및 하단 3켜 위치로 한다.
- 조적벽체 코너부위에 설치하는 경우 적정위치에 90°로 꺾어서 매입한다.

##### 2) 수평줄눈 홈파기

- 수평줄눈의 홈파기는 홈파기 전용도구를 사용하도록 하며, 부득이한 경우 커팅디스크 전동공구를 이용할 수 있다.
- 홈파기의 깊이는 40mm로 일정한 깊이가 유지되도록 한다.
- 홈파기가 완성된 후에는 홈속에 있는 잔여 분진들을 공기압을 이용하여 모두 제거하여야 한다.

3) 1차 무수축모르타르 충전

- 흙속에 30mm깊이로 무수축모르타르를 충전하되 충전깊이가 일정하여야 한다.
- 무수축모르타르를 충전하기 전에 흙속에 살수방식으로 줄눈속이 습윤상태를 유지하여야 한다.

4) 헬리바 매입

- 1차 채워진 무수축모르타르에 헬리바가 함침되도록 삽입하여 매입하되, 꼬불거리지 않고 곧게 매입되도록 한다.

5) 무수축모르타르 재충진 및 마감

- 1차 무수축모르타르에 함침된 헬리바 위 잔여 흙속에 무수축모르타르를 재충진 한다.
- 1차 무수축모르타르 충전과 헬리바 매입 및 무수축모르타르 재충진 작업에 모든과정이 쉽이 없이 연속작업으로 이루어져야 한다.
- 무수축모르타르 재 충전 후 줄눈마감하여 마무리 한다.

6)질의 및 응답

- 시공 시 기술적 의문이 있는 경우에는 헬리바 제조원에 문의 후 자문을 받도록 한다.

### Ⅲ. 보강브라켓 보강공법(수직보강)

#### 1. 공법 개요

외부치장 적벽돌벽의 균열 또는 배부름 등의 주요 하자 원인은 과도한 수직 하중(연직하중)과 수평하중에 기인하는 경우가 많으며, 시공 시 보강철물 설치 등이 이루어지지 않아 내부의 콘크리트부재와 긴결이 아니되어 발생하는 경우가 많다. 이때, 각 층의 콘크리트 거더 위치의 적벽돌을 제거하고 단열재를 제거하면 콘크리트 거더를 확인할 수 있으며, 콘크리트 거더에 천공 후 철근 앵카링하고 거푸집 설치 후 고강도 무수축 모르타르를 주입함으로써 콘크리트 켄티레바를 형성시켜 적벽돌의 수직 및 수평하중을 부담하여 보강하는 공법이다.

#### 2. 사용 재료

##### 2.1 앵카링 철근

###### 2.2.1 철근

사용되는 철근은 D16 규격의 이형철근을 사용한다.

###### 2.2.2 앵카링 주입재

앵카링에 사용되는 에폭시수지 주입재는 HY200, 또는 이와 동등제품 이상을 사용하여야 한다.

##### 2.2 무수축 고강도 모르타르

철근앵카링 후 거푸집을 형성하고 그 빈 공간에 충전하는 그라우팅재로서 압축강도 210kg/cm<sup>2</sup>이상의 무수축성 모르타르를 사용한다.

#### 3. 시공 방법

##### 1) 사전조사 및 표시점

###### ① 사전조사

- 설계도에 명시된 설치위치 및 수량이 현장여건과 적합한지를 사전 조사하고, 실제 현장여건과 상이할 경우 현장에 적합하게 수정한다.
- 설계상의 설치 간격은 현장여건에 따라 조정하도록 하되 설치수량은 설계수량을 따르는 것이 바람직하다.

###### ② 표시점

- 설치간격은 수평방향 @1,200간격이 일반적이며, 설계상 명시된 간격에 준하되, 현장 사전조사 결과에 따라 보강선 설치위치에 백묵 등으로 표시하도록 한다.

## 2) 벽돌 제거

- ① 브라켓 설치위치의 적벽돌 2장의 줄눈을 커팅디스크 전동공구를 이용하여 적벽돌을 제거한다.
- ② 이때, 기존벽체에 진동 또는충격이 없도록 커팅하고 적벽돌을 제거하여야 한다.

## 3) 스티로폼 단열재 제거

- ① 적벽돌을 제거하면 스티로폼 단열재를 육안 확인할 수 있다. 단열재를 커팅칼날을 이용하여 벽돌 2장의 규격과 동일하게 커팅 제거한다.
- ② 단열재를 제거한 후 이격이나 틈새가 있는 경우 시멘트모르타르 또는 스티로폼을 이용하여 모든 틈새를 메꾼다.

## 4) 철근 앵카링

- ① 콘크리트 거더위치에 D16 규격의 철근을 앵카링하기 위하여  $\Phi 20\text{mm}$  굵기로 천공하되 천공깊이는 80mm 이상이어야 하며, 천공 후 모든 분진을 제거한다. 이때, 천공구멍은 가급적 수평 중심선 위에 설치하여야 한다.
- ② 천공구멍에 에폭시수지 앵카링재를 충전한다.
- ③ 앵카링재 충전 구멍에 D16이형철근을 삽입 정착시킨다.

## 5) 합판거푸집 설치

- ① 적벽돌 제거면에 3mm두께의 합판을 콘크리트 못을 이용하여 거푸집 설치한다.
- ② 이때, 충전모르타르를 주입 충전할 수 있는 주입구를  $\Phi 30\text{mm}$  규격으로 합판에 미리 천공하는 것이 바람직하다.
- ③ 적벽돌 편판마감을 하고자 하는 경우에는 합판 거푸집을 적벽돌 제거면에서 25mm 깊이 안으로 설치하여야 한다.

## 6) 무수축 고강도모르타르 주입

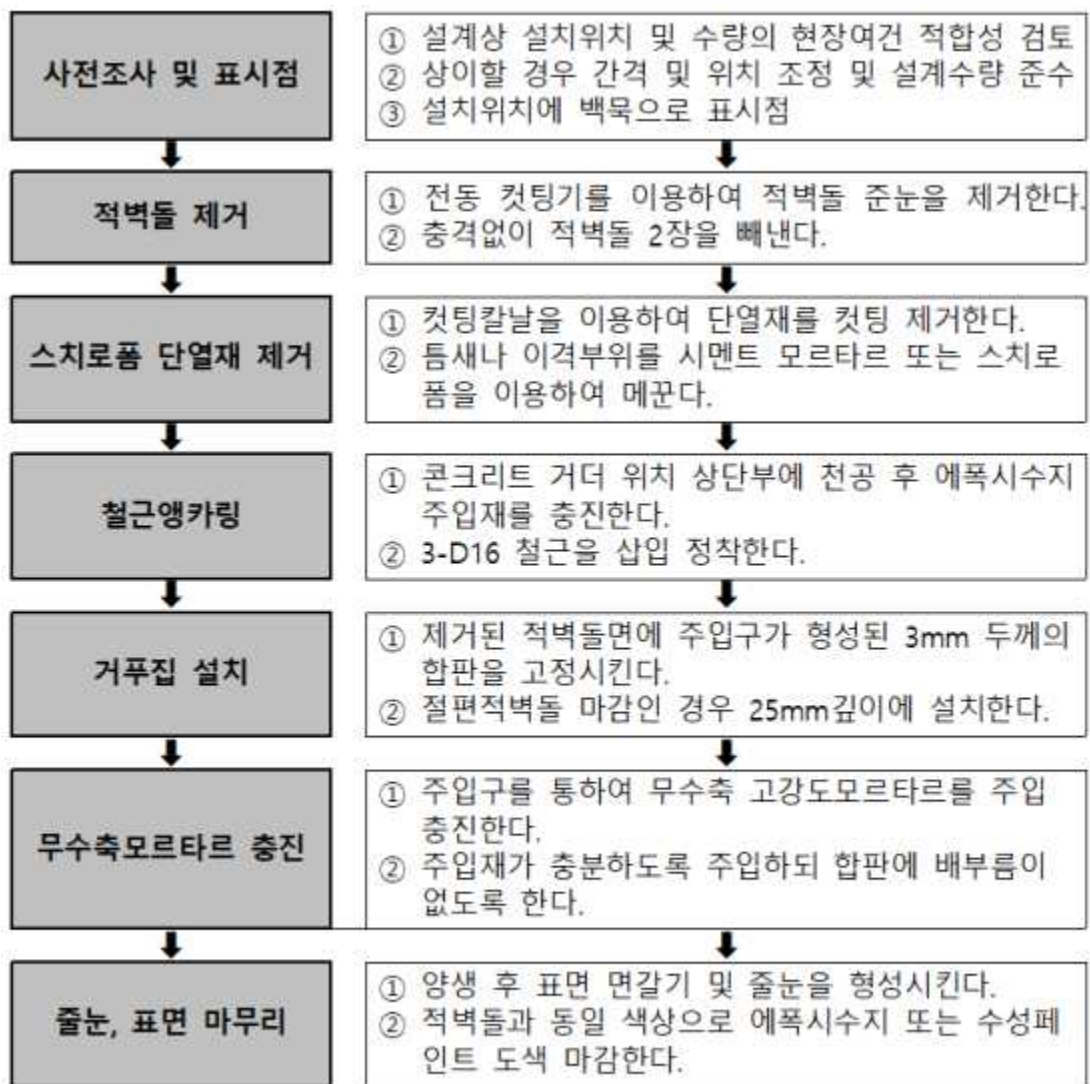
- ① 합판의 주입구를 통하여 무수축 모르타르를 주입 건을 이용하여 주입 충전한다.
- ② 이때, 주입압에 의하여 합판에 배부름이 없어야 한다.

## 7) 양생 후 합판거푸집 제거

- ① 주입모르타르가 충분히 양생된 후 합판 거푸집을 제거한다.

## 8) 면 마무리

- ① 거푸집 제거 후 콘크리트 면을 면갈이하고 줄눈을 형성시킨다.
- ② 적벽돌 색상과 동일하게 수성페인트 도색 마감하거나, 에폭시수지에 적벽돌가루를 혼합하여 표면에 도색 후 마감한다.



&lt;보강 브라켓 보강공사 흐름도&gt;

#### 4. 시공시 유의사항

##### 1) 진동, 충격손상 방지

- 적벽돌을 제거할 때 기존의 벽체에 손상이 없어야 한다.
- 충격을 방지하기 위해서는 전동 커팅날을 이용하는 것이 바람직하다.

##### 2) 철근앵카링

- 콘크리트 거더에 철근 앵카링을 위한 천공 구멍은 반드시 수평중심선 상단에 설치하여야 캔티레바 구조로서 내력을 발현할 수 있다.
- 에폭시수지 충전재는 충분히 주입하여 철근을 삽입할 때 주입재가 밀려나와야 한다.

**3) 단열재 틈새 메꿈**

- 스티로폼 단열재 단열재 제거 후 이격 또는 틈새가 있는 경우 무수축 고강도모르타르 충전 시 새어나갈 수 있으므로 모든 틈새나 이격을 시멘트모르타르 또는 스티로폼을 이용하여 메꿔야 한다.

**4) 합판 거푸집의 설치 위치**

- 합판 거푸집의 설치 위치는 최종 마감조건에 따라 다를 수 있다.
- 페인트도색 또는 적벽돌가루 혼합 에폭시수지 도포 마감인 경우에는 제거된 적벽돌면에 합판 거푸집을 설치한다.
- 절편 적벽돌 부착마감인 경우에는 절편의 두께 20mm를 감안하여 제거 적벽돌면에서 25mm 깊이 안에 설치하여야 한다.

**5) 무수축 고강도모르타르 충전**

- 충전재는 압축강도 210kg/cm<sup>2</sup>이상의 고강도 제품을 이용하여야 한다.
- 충분히 충전하되 합판 거푸집에 배부름이 있지 아니하여야 한다.

**6) 줄눈형성 및 면갈기**

- 기존의 적벽돌 줄눈과 동일하게 홈파기로 줄눈향상을 만들어야 한다.
- 표면의 마감은 기존의 적벽돌 형상과 동일하게 면갈기를 한다.

**7) 표면 마감**

- 기존의 적벽돌과 동일한 색상의 수성페인트 3회 도색 마감한다.
- 에폭시수지에 기존의 적벽돌 가루를 혼합하여 2회 도색 마감할 수 있다.
- 절편 적벽돌 마감인 경우 20mm 두께로 기존의 적벽돌과 동일한 적벽돌을 커팅하고 무수축 고강도모르타르 또는 에폭시 퍼티를 이용하여 삽입 한 후 줄눈 마감한다.

- 표준일위대가 정립

| 비 목               | 규 격            | 단 위 | 단 가     | 헬리핀 보강, (개소당)<br>(Thor-helical Wall-Tie, Ø9mm) |        | 헬리바 수평줄눈 보강, (m당)<br>(Thor-helical Bar, Ø7mm) |        | 보강브라켓, (개소당) |         | 비고 |
|-------------------|----------------|-----|---------|------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------|--------|--------------|---------|----|
|                   |                |     |         | 수량                                             | 금액     | 수량                                            | 금액     | 수량           | 금액      |    |
| 헬 리 핀             | Ø9mm x 350mm   | 개   | 9,800   | 1.0                                            | 9,800  |                                               |        |              |         |    |
| 드 릴 비 트           | Ø6.5mm         | 개   | 18,000  | 0.03                                           | 540    |                                               |        |              |         |    |
| 에 폭 시 퍼 티 잔여구멍매공용 |                | kg  | 9,500   | 0.030                                          | 285    |                                               |        |              |         |    |
| 헬 리 바             | Ø7mm           | m   | 18,000  |                                                |        | 1.05                                          | 18,900 |              |         |    |
| 물 탈 레 이 크         |                | 개   | 35,000  |                                                |        | 0.04                                          | 1,400  | 0.35         | 12,250  |    |
| 무수축 모르타르          | 고강도모르타르        | kg  | 850     |                                                |        | 1.50                                          | 1,275  | 6.65         | 5,651   |    |
| 케 미 칼 앵 커         | 절근앵커링          | kg  | 18,000  |                                                |        |                                               |        | 1.20         | 21,600  |    |
| 보 강 철 근           | HD-16          | kg  | 950     | 1.00                                           |        |                                               |        | 3.00         | 2,850   |    |
| 합 판               | 거푸집용 12T       | 매   | 6,500   | 1.00                                           |        |                                               |        | 0.20         | 1,300   |    |
| 페 인 트 마 감         | 조합페인트          | M2  | 854     |                                                |        |                                               |        | 0.03         | 25      |    |
| 장 개 로 비           | 재료비의 3%        | 식   |         | 1.00                                           | 318    | 1.00                                          | 647    | 1.00         | 1,310   |    |
| 공 구 손 로           | 인건비의 3%        | 식   |         | 1.00                                           | 316    | 1.00                                          | 1,614  | 1.00         | 15,170  |    |
| 재 로 비 소 계         |                |     |         |                                                | 11,259 | 0.12                                          | 23,836 | 0.12         | 60,156  |    |
| 조 직 공             | 기존벽돌제거/줄눈보강/마감 | 인   | 219,340 |                                                |        | 0.04                                          | 8,773  | 0.83         | 182,052 |    |
| 큰 크 리 트 공         | 모르타르 주입        | 인   | 220,755 |                                                |        |                                               |        | 0.17         | 37,528  |    |
| 행틀목공              | 거푸집설치          | 인   | 219,340 |                                                |        |                                               |        | 0.12         | 26,320  |    |
| 특별인부              | 컷팅/절근앵커/전공     | 인   | 230,766 | 0.03                                           | 6,923  | 0.12                                          | 27,691 | 0.75         | 173,074 |    |
| 보 통 인 부           |                | 인   | 144,481 | 0.025                                          | 3,612  | 0.12                                          | 17,337 | 0.6          | 86,688  |    |
| 인건비소계             |                |     |         |                                                | 10,535 |                                               | 53,801 |              | 505,662 |    |
| 합 계               |                |     |         |                                                | 21,794 |                                               | 77,637 |              | 565,818 |    |

품질관리기준

가. 항목

1. 현장조사(시공전)
2. 보강공사(시공 중)
3. 유지관리(시공완료 후)

나. 내용

1. 현장조사(시공 전)

1) 긴결철물 상태조사

(1) 내시경카메라

- ① 줄눈시멘트 천공(기존 조적 손상 최소화)
- ② 천공 직경 최소 10mm 이상(내시경카메라 관찰 공간 확보)
- ③ 천공 후 분진 청소(내시경카메라 시야 확보)
- ④ 조사 빈도:

(2) 긴결철물 직경 측정

- ① 줄눈 커팅 후 기존 벽돌 제거(주변 벽돌 손상 최소화)
- ② 표면 이물질 제거 후 측정
- ③ 측정 빈도:

(3) 긴결철물 부식정도 확인

- ① 표면 이물질 제거 후 관찰
- ② 측정 빈도:

2) 줄눈 모르타르 부착강도 측정

(1) 유압실린더

- ① 줄눈 커팅하여 벽돌 제거(강도 측정 모르타르면 손상 최소화)
- ② 유압실린더 설치 시 가력 면 중앙부에 수평을 유의하여 설치
- ③ 적정속도를 유지하며 가력

(2) 로드셀

- ① 유압실린더 중앙부에 위치
- ② 접촉면에 요철이 있을 경우 면정리하여 평탄화 확보

(3) 측정 빈도:

3) 현장조사 완료 후

- ① 기존 상태와 동일하게 마감 처리
- ② 마감 시 방수에 유의하여 밀실하게 시공

2. 보강공사(시공 중)

1) 수평보강(헬리핀보강)

(1) 치장벽돌 천공

- ① 설계 천공 직경 준수
- ② 중공벽돌일 경우 중공위치를 피하여 천공

- ③ 설계정착깊이 준수
- ④ 수평을 유지하며 천공
- (2) 헬리핀 설치
  - ① 회전설치가 아닌 압입설치 준수
  - ② 설계정착깊이까지 설치
  - ③ 수평을 유지하며 설치(힘에 유의할 것)
  - ④ 인발테스트 빈도: 200개소당 1회
- (3) 마감
  - ① 잔여 헬리핀이 돌출되지 않도록 커팅
  - ② 우수 유입 방지를 위해 충전재를 밀실하게 충전
  - ③ 심미성 확보를 위해 최대한 기존 색상과 동일하게 마감
- 2) 수직보강(보강브라켓)
  - (1) 기존벽돌 제거
    - ① 줄눈 커팅하여 벽돌 제거(주변 조적손상 최소화)
    - ② 분진 청소
  - (2) 콘크리트 천공
    - ① 설계천공깊이 및 직경 준수
    - ② 천공 후 분진청소
    - ③ 천공 시 수평유지
  - (3) 철근 케미컬앵커링
    - ① 설계 직경 및 강도이상 철근 사용
    - ② 설계강도 이상의 케미컬앵커 사용
    - ③ 철근 삽입 전 케미컬앵커 충분히 주입
    - ④ 소요강도 확보까지 양생 조건 만족시킬것
  - (4) 고강도무수축물탈 충전
    - ① 충전 전 신구접착제 도포할 것
    - ② 합판 거푸집 밀실하게 설치
    - ③ 배합비를 준수하여 배합
    - ④ 밀실하게 충전되도록 적정속도 유지
  - (5) 마감
    - ① 기존에 제거한 벽돌을 커팅하여 부착
    - ② 동일한 색상으로 줄눈 형성
- 3) 줄눈보강(헬리바)
  - (1) 기존 줄눈모르타르 제거
    - ① 줄눈모르타르 상하단부를 미리 커팅(40mm깊이 확보)
    - ② 전용치즐을 이용해 줄눈모르타르 제거(주변부 손상 최소화)
  - (2) 보수물탈 1차 충전
    - ① 시방서에 명시된 보수물탈을 사용할 것
    - ② 미리 살수하여 수분 손실 최소화

- ③ 보수물탈을 충분히 충전할 것

(3) 헬리바 삽입

- ① 삽입전 헬리바가 일직선을 이루도록 할 것
- ② 1차 충전한 보수물탈과 충분히 일체화를 시켜줄 것
- ③ 위치별 설치깊이가 일정하게 유지할 것

(4) 보수물탈 2차 충전

- ① 1차 충전한 보수물탈과 동일한 조건을 적용할 것
- ② 1차 충전 후 30분내에 수행하여 동일한 양생 조건을 형성

3. 유지관리(시공완료 후)

1) 재결함 여부

(1) 균열

- ① 보강 완료 된 부위에 결함이 재발견되는지 지속적인 관찰
- ② 재결함이 발견되는 즉시 진행정도를 파악
- ③ 재균열이 발생할 경우 주기적으로 균열 측정할 것

2) 보강성능

(1) 수평보강

- ① 내시경카메라를 이용해 설치 상태에 대한 지속적인 관찰
- ② 부식 등 열화 진행 여부를 지속적으로 관찰

(2) 수직보강

- ① 보강부위 주변에 경사균열 발생여부 관찰
- ② 추가적인 배부름 발생여부 관찰

(3) 줄눈보강

- ① 충전 물탈과 기존 벽돌과의 접합부 균열 발생여부 관찰
- ② 충전 물탈에 발생하는 건조수축균열 발생여부 관찰
- ③ 줄눈 보강부 백화현상 발생여부 관찰

## ※ 현장 조사 시 체크리스트

| 부 제                        | 측정 항목            | 측정 방법  | 조사<br>빈도 | 체크사항                    | Y                                          | N | 비고 |  |
|----------------------------|------------------|--------|----------|-------------------------|--------------------------------------------|---|----|--|
| 긴결철물                       | 설치 유무            | 내시경카메라 |          | 현공 구멍은 줄눈 시멘트에 위치하는가?   |                                            |   |    |  |
|                            |                  |        |          | 현공 직경은 10mm 이상 확보하였는가?  |                                            |   |    |  |
|                            |                  |        |          | 현공 후 분진을 제거하였는가?        |                                            |   |    |  |
|                            |                  |        |          | 스캔 시 적정 속도와 거리를 유지하였는가? |                                            |   |    |  |
|                            | 재질, 직경 및<br>부식상태 | GPS    |          | 상부 장애물이 없는 상태에서 측정하였는가? |                                            |   |    |  |
|                            |                  |        |          | 줄눈 컷팅 후 벽돌을 제거하였는가?     |                                            |   |    |  |
|                            |                  | 육안 관찰  |          | 표면 이물질을 제거하였는가?         |                                            |   |    |  |
|                            |                  |        |          | 기존 재료와 동일하게 마감하였는가?     |                                            |   |    |  |
|                            | 줄눈 모르타르          | 부착강도   | 유압실린더    |                         | 줄눈 컷팅 후 벽돌을 제거하였는가?<br>(강도 측정 모르타르 손상 최소화) |   |    |  |
|                            |                  |        |          |                         | 유압실린더 설치시 가력 부위 중앙에 위치하였는가?                |   |    |  |
| 유압실린더 설치시 가로줄눈과 평행을 이루었는가? |                  |        |          |                         |                                            |   |    |  |
| 가력 시 적정속도를 유지하였는가?         |                  |        |          |                         |                                            |   |    |  |
| 유압실린더 중심부에 설치하였는가?         |                  |        |          |                         |                                            |   |    |  |
| 접촉면 요철을 제거하고 평탄화를 이루었는가?   |                  |        |          |                         |                                            |   |    |  |
| 치장벽돌                       | 측정 완료 후          | -      |          | 기존 재료와 동일하게 마감하였는가?     |                                            |   |    |  |
|                            |                  |        |          | 계획된 입면을 모두 촬영하였는가?      |                                            |   |    |  |
|                            | 결합<br>(균열, 백태 등) | 육안관찰   |          | 균열 폭 및 길이를 근접하여 측정하였는가? |                                            |   |    |  |
|                            |                  |        |          | 최대 배부름면을 기준으로 측정하였는가?   |                                            |   |    |  |
|                            |                  |        |          |                         |                                            |   |    |  |

## ※ 치장벽돌 수평보강 체크리스트

| 공법    | 작업내용        | 체크사항                                  | Y | N | 비고 |
|-------|-------------|---------------------------------------|---|---|----|
| 헬리핀보강 | 보강재(헬리핀) 반입 | 반입 헬리핀 직경 $\geq$ 설계 헬리핀 직경            |   |   |    |
|       |             | 반입 헬리핀 길이 $\geq$ 설계 헬리핀 길이            |   |   |    |
|       |             | 천공 직경( $\phi 6.5\text{mm}$ )를 준수하였는가? |   |   |    |
|       | 치장벽돌 천공     | 천공 시 수평도를 유지하였는가?                     |   |   |    |
|       |             | 정착 깊이를 준수하여 천공하였는가?                   |   |   |    |
|       |             | 삽입 시 수평도를 유지하였는가?                     |   |   |    |
|       | 삽입          | 정착 길이까지 삽입하였는가?                       |   |   |    |
|       |             | 인발강도는 설계강도를 충족하는가?                    |   |   |    |
|       |             | 잔여 헬리핀은 절단하였는가?                       |   |   |    |
|       | 마감          | 마감 시 기존 마감과 동일하게 하였는가?                |   |   |    |
|       |             | 마감 시 충전재를 밀실하게 충전하였는가?                |   |   |    |

보강위치 선정

천공( $\phi 6.5\text{mm}$ )헬리핀 회전 압입( $\phi 9\text{mm}$ )

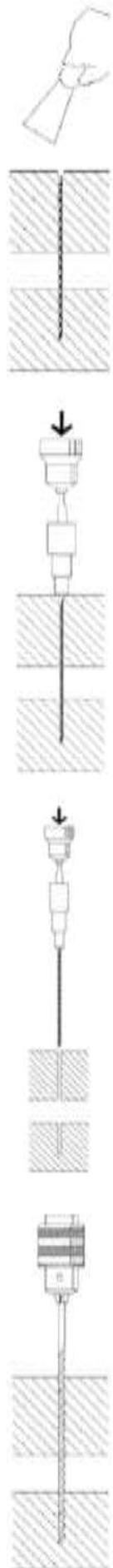
인발테스트



헬리핀 컷팅



동종 마감



※ 치장벽돌 수직보강 체크리스트

| 공법    | 작업내용      | 체크사항                      | Y | N | 비고 |
|-------|-----------|---------------------------|---|---|----|
| 보강보라켓 | 기준벽돌제거    | 기준 치장조적조에 손상이 생겼는가?       |   |   |    |
|       |           | 월근콘크리트부재 위치의 치장조적을 제거했는가? |   |   |    |
|       |           | 취핑을 적절히 하였는가?             |   |   |    |
|       | 월근 케미컬양커링 | 설계조건을 준수하여 월근을 사용하였는가?    |   |   |    |
|       |           | 천공길이 및 케미컬약액주입은 충분히 하였는가? |   |   |    |
|       |           | 보강 부위에 맞춰 거푸집을 제작했는가?     |   |   |    |
|       | 부수축물탈 충전  | 설계기준을 준수하는 부수축물탈을 사용했는가?  |   |   |    |
|       |           | 배합기준을 준수하여 시공하였는가?        |   |   |    |
|       |           | 충분히 밀실하게 충전하였는가?          |   |   |    |
|       |           | 주변부와 동일하게 마감하였는가?         |   |   |    |
| 월리바보강 | 마감면 마무리   | 치장표준을 형성시켜주었는가?           |   |   |    |
|       |           | 컷팅 후 전용치줄을 이용하여 제거했는가?    |   |   |    |
|       |           | 설계 길이까지 제거하였는가?           |   |   |    |
|       | 월눈모르타르 제거 | 기준 월눈모르타르면에 충분히 실수하였는가?   |   |   |    |
|       |           | 밀실하게 충분히 충전하였는가?          |   |   |    |
|       |           | 설계규격에 부합하는 월리바를 사용했는가?    |   |   |    |
|       | 월리바 삽입    | 설치길이를 일정하게 유지하였는가?        |   |   |    |
|       |           | 밀실하게 충분히 충전하였는가?          |   |   |    |
|       |           | 마무리 마감은 주변부와 이질감이 없는가?    |   |   |    |
|       | 2차 보수물탈충진 |                           |   |   |    |

## 라. 기관별 연구내용 및 연구성과

| 연구개발과제                                                        | 총 참여 연구원               |
|---------------------------------------------------------------|------------------------|
| 지상5층 치장조적 건물의 상태판정(배부름, 균열, 앵커철물)과 보강안 도출을 8시간내에 수행가능한 솔루션 개발 | 주관연구책임자<br>김용남 외 총 17명 |

| 기 관 별 참 여 현 황 |       |        |
|---------------|-------|--------|
| 구 분           | 연구기관수 | 참여연구원수 |
| 대 기 업         |       |        |
| 중견기업          |       |        |
| 중소기업          | 2     | 8      |
| 대 학           | 1     | 9      |
| 국공립(연)        |       |        |
| 출 연 (연)       |       |        |
| 기 타           |       |        |

| [주관연구기관] 미래구조엔지니어링                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 치장조적 현장조사 자동화 및 상태판정기준, 보강기준 개발                                                                                                                                                                        |
| 김용남 외 4명                                                                                                                                                                                               |
| 담당기술개발내용                                                                                                                                                                                               |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- 배부름, 벽체연결철물(wall tie) 등 현장조사 항목별 조사빈도, 판정기준 개발</li> <li>- 조사항목별 위치정보 자동화</li> <li>- 조사결과 전산화 및 자동분류</li> <li>- 기존 벽이음 철물 및 보강용 벽이음 철물을 활용한 보강기준 개발</li> </ul> |

| [공동연구기관]<br>세종대학교 산학협력단                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 손상 유형 및 수준을 반영한 인공신경망 기반의 조적벽체의 내진성능평가 데이터 생성 및 의사결정 툴 개발                                                                                                                                                               |
| 이기학 외 8명                                                                                                                                                                                                                |
| 담당기술개발내용                                                                                                                                                                                                                |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- 손상 유형 및 수준을 반영한 인공신경망 기반의 조적벽체의 내진성능평가 데이터 생성 기술 개발</li> <li>- 데이터 학습 모델(ANN)을 활용한 내진성능평가와 보강전략 구축을 위한 신속의사결정 툴 개발</li> <li>- 조적벽체 관련 손상 및 내진성능 정보의 BIM 모델 연동 모듈 개발</li> </ul> |

| [공동연구기관]<br>피에스엔지니어링                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 치장조적 보강공법 시방서, 일위대가 및 품질관리기준 개발                                                                                                                                                                    |
| 김양중 외 3명                                                                                                                                                                                           |
| 담당기술개발내용                                                                                                                                                                                           |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- 제시한 현장조사 방법을 실제 조적조 건축물에 적용 및 검증 후 피드백을 통한 실효성 확보</li> <li>- 제시한 보강공법의 실제 설계 적용을 위한 시방서, 일위대가 정립</li> <li>- 시공 및 완료 후 품질확보와 유지관리를 위한 품질관리기준 정립</li> </ul> |

### 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

#### 1) 연구수행 결과

##### (1) 정성적 연구개발성과

---

###### ○ 연결철물의 위치조사

- GNSS를 활용하여 연결철물의 위치정보를 실시간으로 보정하여 오차범위 cm내의 결과를 획득할 수 있는 결과를 얻음.

###### ○ 3D 모델링 획득

- 건물을 3D 모델링으로 획득하여 입면의 사이즈를 측정할 수 있어 보강안 도출 및 보강공사비 견적에 사용.

###### ○ 치장조적조의 이산요소해석모델링을 기반으로 한 내진성능 데이터 세트 구축

- 내진성능 관련 빅데이터 생성을 위해, 조적조의 거동 표현에 적합한 이산요소해석법을 활용하여 모델링을 수행함. 이전 조적조 실험과 발행된 조적 실험 논문을 바탕으로 모델링 검증을 완료함
- 개발된 이산요소해석 모델링에서 현장 정보에 가장 적합한 변수를 도출함. 변수의 범위에 차이를 두어 다양한 조합으로 219가지의 데이터 세트를 구성함. 구성된 데이터 세트를 분석하여 ‘착한조적웹’ 이용자를 위한 내진성능 기준표를 제시함

###### ○ 이미지 데이터를 이용한 치장조적조의 균열탐지 및 균열길이 산출 기술 개발

- 조적벽의 손상 정도를 신속히 도출하기 위해 현장 사진을 기반으로 한 균열 탐지 및 균열 길이 도출 기술을 개발함. 조적조 균열의 탐지는 오브젝트 디텍션 기술을 이용하여 학습을 수행함
- 현장 조적조 사진 촬영시 일정한 규격의 레퍼런스 객체와 동시 촬영의 필요가 없이 이미지 속 벽돌을 레퍼런스 객체로 활용한 이전에 없던 균열길이 산출 기술을 개발함

###### ○ 결함조사

- 국내 치장조적조에 발생한 결함을 수집하였으며, 대부분 수직균열(77%)과 경사균열(16%)의 형태로 발생된다는 결함분포 파악에 대한 성과를 얻음.

###### ○ 연결철물상태조사

- 기존 치장조적조에 시공된 연결철물 상태조사시, 다양한 장비(금속탐지기, 열화상카메라, 페로스캔)를 사용한 결과, 연결철물의 유무를 파악할 때 페로스캔의 정확도가 가장 높은 것으로 나타났으며, 육안으로 상태를 조사한 결과, 최근(10년 이하) 준공된 건물을 제외하고는 모두 부식이 상당한 것으로 조사되었다. 이는 앞으로, 치장조적조의 연결철물 상태조사 수행 시 적합장비 선택과 보강설계 시 활용할 수 있는 정보 습득 성과로 볼 수 있음.

###### ○ 줄눈물탈접착강도

- 기존 줄눈물탈의 접착강도 파악을 위해 시제품을 제작 후 현장적용 하였으며, 습득한 강도값은 향후 보강설계시 활용할 수 있는 정보 습득 성과로 볼 수 있음.
-

## (2) 정량적 연구개발성과

---

- 치장조적 보강기준 개발
    - 벽연결철물의 보강기준 개발로 현장조사 개소산정 및 조사방법 제시, 보강량 산정이 가능해짐.
  - 특허
    - 치장조적벽과 철물의 보강견적 산출 시스템 및 그 산출 방법에 대한 특허 등록 완료
    - 줄눈몰탈접착강도 측정을 위한 장치 및 시험방법에 대한 특허 등록 완료
    - GNSS를 활용한 위치 파악 및 기록장치에 대한 특허 출원 완료
    - 기존 조적조 구조물의 내진보강을 위한 내진보강방법에 대한 특허 출원 완료
    - 이미지 데이터를 활용한 조적조 건축물의 하이브리드 손상평가 시스템 및 그 방법
  - 시방서 문서화
    - 현장조사 후 치장조적 결함에 따른 보강공법 별 표준시방서를 문서화하여 향후 치장조적 보강설계에 적용하고자 한다.
  - 일위대가 문서화
    - 보강공법 별 표준 일위대가를 문서화하여 향후 보강설계시 합리적인 예산 집행에 반영하고자 한다.
  - 품질관리기준 문서화
    - 품질(유지)관리기준을 문서화하여 현장조사, 시공중 및 시공후에 일관성있는 품질을 확보할 수 있도록 하고자 한다.
  - 논문
    - SCI 논문 “Ultimate axial capacity prediction of CCFST columns using hybrid intelligence models – a new approach“, Steel and Composite Structures, An International Journal
  - 소프트웨어 등록
    - 이미지 기반 조적조 균열 크기 측정 프로그램 연구성과물로 등록절차 완료
    - 조적조 균열 탐지를 위한 레퍼런스 객체 자동 탐지 프로그램 연구성과물로 등록절차 완료
    - 2차년도 목표인 소프트웨어 등록 1건에 대해서 총 2건을 달성하였으며 이는 200%의 성과 달성을 확보함
-

### (3) 세부 정량적 연구개발성과

#### [과학적 성과]

##### ☐ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

| 번호 | 논문명                                                                                                                        | 학술지명                                 | 주저자명              | 호  | 국명 | 발행기관                                            | SCIE 여부<br>(SCIE/비SCIE) | 게재일        | 등록번호<br>(ISSN) | 기여율 |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|----|----|-------------------------------------------------|-------------------------|------------|----------------|-----|
| 1  | AI 이미지모듈을<br>통한 외관조사망도<br>작성 및 치장<br>조적벽의 건전도<br>평가                                                                        | 공간구조학<br>회지                          | 이기학               | 4  |    | 공간구조학회                                          | 비SCIE                   | 2020.12    | 15984095       | 100 |
| 2  | Ultimate axial<br>capacity<br>prediction of<br>CCFST columns<br>using hybrid<br>intelligence<br>models – a new<br>approach | Steel and<br>Composite<br>Structures | Nguyen Vu<br>Luat | 40 |    | Journal<br>Steel and<br>Composite<br>Structures | SCIE                    | 2021.08.10 | 12299367       | 100 |

##### ☐ 국내 및 국제 학술회의 발표

| 번호 | 회의 명칭                                                                       | 발표 내용                                                                                                                                 | 발표자               | 발표 일시      | 장소             | 국명 |
|----|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------|----------------|----|
| 1  | 한국차세대컴퓨팅학회<br>하계학술대회 2020                                                   | 설명가능한 인공지능 기반의 하수관로 결함<br>자동 인식 시스템                                                                                                   | 남준영               | 2020.08.21 | 온라인 화상         |    |
| 2  | 공간구조학회 2020년<br>가을학술발표대회                                                    | 폴리에틸렌계 막과 GFRP를 통한 조적조<br>시스템의 구조 성능평가                                                                                                | 문아해               | 2020.10.23 | 온라인 화상         |    |
| 3  | 2021 콘크리트<br>춘계학술대회                                                         | Proposing and investigation of the<br>performance of the new geopolymer<br>composites mixture with curing and<br>non-curing condition | Khoa Pham         | 2021.05.10 | 여수엑스포컨벤<br>션센터 |    |
| 4  | 2021 콘크리트<br>춘계학술대회                                                         | Tree-based model in predicting compressive<br>strength of high performance concrete                                                   | Nguyen Vu<br>Luat | 2021.05.10 | 여수엑스포컨벤<br>션센터 |    |
| 5  | The 7th International<br>Conference on Next<br>Generation Computing<br>2021 | Deep Learning based detection and<br>segmentation for masonry structural analysis :<br>crack length measurement                       | 나한일               | 2021.11.05 | 제주 그라벨<br>호텔   |    |

##### ☐ 기술 요약 정보

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

##### ☐ 보고서 원문

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

##### ☐ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

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

#### [기술적 성과]

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

| 번호 | 구분 | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)                                        | 국명   | 출원                                                      |             |                     | 등록                                                      |             |                | 기여율 | 활용<br>여부     |
|----|----|-----------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------|-------------|---------------------|---------------------------------------------------------|-------------|----------------|-----|--------------|
|    |    |                                                                 |      | 출원인                                                     | 출원일         | 출원번호                | 등록인                                                     | 등록일         | 등록번호           |     |              |
| 1  | 특허 | 치장조적벽과<br>철물의 보강견적<br>산출 시스템 및 그<br>산출방법                        | 대한민국 | (주)미래구조<br>엔지니어링,<br>피에스엔지<br>니어링(주),<br>세종대학교<br>산학협력단 | 2020.4.23.  | 2020-004<br>9106    | (주)미래구조<br>엔지니어링,<br>피에스엔지<br>니어링(주),<br>세종대학교<br>산학협력단 | 2021.11.23. | 10-23319<br>32 |     | 개선 후<br>활용예정 |
| 2  | 특허 | GNSS를 활용한<br>위치 파악 및<br>기록장치                                    | 대한민국 | (주)미래구조<br>엔지니어링                                        | 2021.11.22. | 10-2021-<br>0161523 |                                                         |             |                |     | 개선 후<br>활용예정 |
| 3  | 특허 | 기존건축물의<br>조적용<br>줄눈모르타르<br>접착강도 검사장치<br>및 이의 이용방법               | 대한민국 | 피에스엔지<br>니어링(주),<br>(주)미래구조<br>엔지니어링                    | 2020.10.16. | 10-2020-<br>0134347 | 피에스엔지<br>니어링(주),<br>(주)미래구조<br>엔지니어링                    | 2021.10.01. | 10-23107<br>74 |     | 개선 후<br>활용예정 |
| 4  | 특허 | 기존 조적조<br>구조물의 트러스형<br>내진보강을 위한<br>트라이앵글관 및<br>이를 이용한<br>내진보강공법 | 대한민국 | 피에스엔지<br>니어링(주)                                         | 2021.10.18. | 10-2021-<br>0138503 |                                                         |             |                |     | 개선 후<br>활용예정 |
| 5  | 특허 | 이미지 데이터를<br>활용한 조적조<br>건축물의<br>하이브리드<br>손상평가 시스템 및<br>그 방법      | 대한민국 | 세종대학교<br>산학협력단<br>외 1명                                  | 2021.10.19. | 10-2021-<br>0139448 |                                                         |             |                |     | 개선 후<br>활용예정 |

○ 지식재산권 활용 유형

| 번호 | 제품화 | 방어 | 전용실시 | 통상실시 | 무상실시 | 매매/양도 | 상호실시 | 담보대출 | 투자 | 활용 예정 | 기타 |
|----|-----|----|------|------|------|-------|------|------|----|-------|----|
| 1  |     |    |      |      |      |       |      |      |    | ✓     |    |
| 2  |     |    |      |      |      |       |      |      |    | ✓     |    |
| 3  | ✓   |    |      |      |      |       |      |      |    |       |    |
| 4  |     |    |      |      |      |       |      |      |    | ✓     |    |
| 5  |     |    |      |      |      |       |      |      |    | ✓     |    |

☐ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

| 번호 | 저작권명                                   | 창작일        | 저작자명 | 등록일        | 등록번호              | 저작권자명          | 기여율 |
|----|----------------------------------------|------------|------|------------|-------------------|----------------|-----|
| 1  | 치장 조적조 자동<br>균열 탐지 프로그램                | 2020.09.24 | 이기학  | 2020.10.13 | C-2020-03512<br>1 | 이기학            | 100 |
| 2  | 조적조 균열 탐지를<br>위한 레퍼런스 객체<br>자동 탐지 프로그램 | 2021.08.02 | 이기학  | 2021.09.30 | C-2021-03875<br>8 | 세종대학교<br>산학협력단 | 100 |
| 3  | 이미지 기반 조적조<br>균열 크기 측정<br>프로그램         | 2021.08.02 | 이기학  | 2021.09.30 | C-2021-03891<br>6 | 세종대학교<br>산학협력단 | 100 |

☐ 신기술 지정

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

☐ 기술 및 제품 인증

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

☐ 표준화

○ 국내표준

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

○ 국제표준

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

[경제적 성과]

☐ 시제품 제작

| 번호 | 시제품명               | 출시/제작일   | 제작업체명           | 설치장소  | 이용분야            | 사업화<br>소요 기간 | 인증기관<br>(해당 시) | 인증일<br>(해당 시) |
|----|--------------------|----------|-----------------|-------|-----------------|--------------|----------------|---------------|
| 1  | 웹플랫폼 구축            | 2021.06. | 브이비엑스퍼트         | 웹 사이트 | 보강견적            | 보완 작업 중      | -              | -             |
| 2  | 줄눈물탈 접착강도<br>측정 장치 | 2020.04. | 피에스엔지니어<br>링(주) | 해당 현장 | 줄눈물탈<br>접착강도 측정 | 현장 검증 중      | -              | -             |

## □ 현장적용

| 번호 | 적용기술명                                 | 적용일         | 발주기관명      | 적용 연구개발기관명                                   | 적용현장명(장소)      |
|----|---------------------------------------|-------------|------------|----------------------------------------------|----------------|
| 1  | 줄눈몰탈 접착강도 측정                          | 2020.06.30. | 강릉교육지원청    | 피에스엔지니어링(주)                                  | 강릉제일고등학교       |
| 2  | 줄눈몰탈 접착강도 측정                          | 2020.08.27. | 강릉교육지원청    | 피에스엔지니어링(주)                                  | 하슬라유치원         |
| 3  | 줄눈몰탈 접착강도 측정                          | 2020.10.05  | 홍천교육지원청    | 피에스엔지니어링(주)                                  | 강원생활과학고등학교     |
| 4  | 줄눈몰탈 접착강도 측정                          | 2020.09.10  | 구리남양주교육지원청 | 피에스엔지니어링(주)                                  | 인창중학교          |
| 5  | 줄눈몰탈 접착강도 측정                          | 2020.10.12  | 강릉교육지원청    | 피에스엔지니어링(주)                                  | 강릉중앙고          |
| 6  | 줄눈몰탈 접착강도 측정                          | 2020.08.28  | 한국문화예술회위원회 | 피에스엔지니어링(주)                                  | 아르코미술관         |
| 7  | 줄눈몰탈 접착강도 측정                          | 2020.11.02  | 재단법인경기문화재단 | 피에스엔지니어링(주)                                  | 경기상상캠퍼스 생생1990 |
| 8  | 줄눈몰탈 접착강도 측정                          | 2021.02.08  | 부산대학교      | 피에스엔지니어링(주)                                  | 부산대 제9공학관      |
| 9  | 줄눈몰탈 접착강도 측정,<br>웹플랫폼을 활용한 개략 보강견적 작성 | 2021.07.13  | 동해광희고등학교   | 피에스엔지니어링(주),<br>(주)미래구조엔지니어링,<br>세종대학교 산학협력단 | 동해광희고등학교       |
| 10 | 줄눈몰탈 접착강도 측정                          | 2021.07.19  | 동해 삼육초등학교  | 피에스엔지니어링(주)                                  | 삼육초등학교         |

## □ 기술 실시(이전)

| 번호 | 기술 이전 유형 | 기술 실시 계약명                                                   | 기술 실시 대상 기관 | 기술 실시 발생일  | 기술료   |         |
|----|----------|-------------------------------------------------------------|-------------|------------|-------|---------|
|    |          |                                                             |             |            | 발생 연도 | 발생액(천원) |
| 1  | 노하우      | 차장조적구조의 배부름, 균열, 앵커철물 등의 상태판정과 성능정보를 파악하기 위한 BIM 모델 연동모델 개발 | 토탈피씨(주)     | 2022.01.04 | 2022  | 6,000   |

## □ 사업화 투자실적

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

## □ 사업화 현황

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

## □ 매출 실적(누적)

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

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

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

☐ 고용 창출

| 번호 | 사업화명 | 사업화 업체명 | 고용창출 인원(명) |       | 합계(명) |
|----|------|---------|------------|-------|-------|
|    |      |         | yyyy년      | yyyy년 |       |
|    |      |         |            |       |       |
|    |      |         |            |       |       |
| 합계 |      |         |            |       |       |

☐ 고용 효과

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

☐ 비용 절감(누적)

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

☐ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

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

☐ 산업 지원(기술지도)

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

☐ 기술 무역

(단위 : 천원)

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

[사회적 성과]

☐ 법령 반영

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

☐ 정책활용 내용

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

☐ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

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

☐ 신진연구자 채용

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

☐ 전문 연구 인력 양성

| 번호 | 분류   | 연도   | 현황(명) |    |    |    |    |   |     |     |     |     |    |
|----|------|------|-------|----|----|----|----|---|-----|-----|-----|-----|----|
|    |      |      | 학위별   |    |    |    | 성별 |   | 지역별 |     |     |     |    |
|    |      |      | 박사    | 석사 | 학사 | 기타 | 남  | 여 | 수도권 | 충청권 | 영남권 | 호남권 | 기타 |
| 1  | 석사양성 | 2022 |       | 2  |    |    | 1  | 1 | 2   |     |     |     |    |

☐ 산업 기술 인력 양성

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

☐ 다른 국가연구개발사업에의 활용

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

☐ 국제화 협력성과

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

☐ 홍보 실적

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

☐ 포상 및 수상 실적

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

## [인프라 성과]

### □ 연구시설·장비

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

### [그 밖의 성과](해당 시 작성)

- 
- 
- 
- 

### (4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성)

- 세종대학교 특허 출원 완료
  - 치장 조적조 균열 이미지 데이터 기반의 조적조 균열판단 및 손상수준, 보강전략을 최종적으로 도출하는 종합 데이터엔진 시스템으로, 내진성능 데이터가 부족한 치장 조적조 건축물에 대한 다양한 보강전략을 제시할 수 있는 기술임
  - 출원을 완료하였으며, 계획대비 성과를 초과 달성함

<참고 1> 연구개발성과 실적 증빙자료 예시

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

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

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

## 2) 목표 달성 수준

| 연구 개발 목표                                                                                           | 달 성 내 용                                                                                                                                                         | 달성도(%) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| ○ 현장조사 항목별 조사빈도, 판정 기준 개발<br>- 연결철물 조사 개소산정 및 판정                                                   | ○ 연결철물 조사방법 및 상태판정 기준<br>- 연결철물 조사개소 및 조사방법, 상태판정 기준 개발<br>- 연결철물의 부식정도에 따른 보강방안 제시                                                                             | 100    |
| ○ 보강기준 개발<br>- 구조계산을 통해 보강공법 산정 및 보강량 산정                                                           | ○ 보강기준 개발<br>- 구조계산을 통해 실제 현장 보강안 제시<br>- 신축줄눈의 보수 및 보강방안 제시                                                                                                    | 100    |
| ○ 자료수집을 위한 현장조사방법 실제 조적조 건축물에 적용 및 검증 후 피드백<br>- 연결철물 상태판단<br>- 줄눈물탈접착강도 판단                        | ○ 현장조사방법 적용 및 검증<br>- 연결철물 상태판단을 위한 장비 및 조사방법 현장 적용 후 검증완료<br>- 줄눈물탈접착강도 판단을 위한 시제품 제작 및 현장 적용 후 검증완료<br>- 현장조사 방법 문서화 완료                                       | 100    |
| ○ 보강공법의 실제 설계 적용을 위한 체계 수립<br>- 표준시방서<br>- 표준일위대가<br>- 품질관리기준                                      | ○ 보강공법 체계 수립<br>- 보강성능검증(공인기관 시험의뢰)완료<br>- 보강재 (개선)시제품 제작 및 현장적용 완료<br>- 표준시방서 공법별 1건, 총 3건 작성 완료<br>- 표준일위대가 공법별 1건, 총 3건 작성 완료<br>- 품질(유지)관리기준 작성 완료          | 100    |
| ○ 데이터 구축을 통한 내진성능평가와 신속의사결정 툴 개발<br>- 핵심 영향인자 다변화를 통한 조적벽체의 내진성능 관련 빅데이터 생성<br>- 신속의사 결정 툴 구축 및 검증 | ○ 데이터 구축을 통한 내진성능평가와 신속의사 결정 툴 개발<br>- 실험 논문 검증을 통한 치장 조적조 이산요소해석 모델 개발<br>- 현장 정보를 고려한 변수 설정 및 이에 따른 219가지 케이스의 데이터 세트 구축<br>- 구축된 데이터 세트를 분석하여 의사결정을 위한 지표 제시 | 100    |
| ○ 조적벽체 관련 손상 및 내진성능 정보 도출 모듈 개발<br>- 조적벽체의 손상 유형/정보의 시각화 및 내진성능 정보 연동                              | ○ 조적벽체 관련 손상 및 내진성능 정보 도출 모듈 개발<br>- 현장 치장조적조 이미지 속 균열 정보를 인지하고 그 길이를 산출하는 기술 개발 완료                                                                             | 100    |

#### 4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성) (해당없음.)

##### 1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

---

○

-

○

-

---

##### 2) 자체 보완활동

---

○

-

○

-

---

##### 3) 연구개발 과정의 성실성

---

○

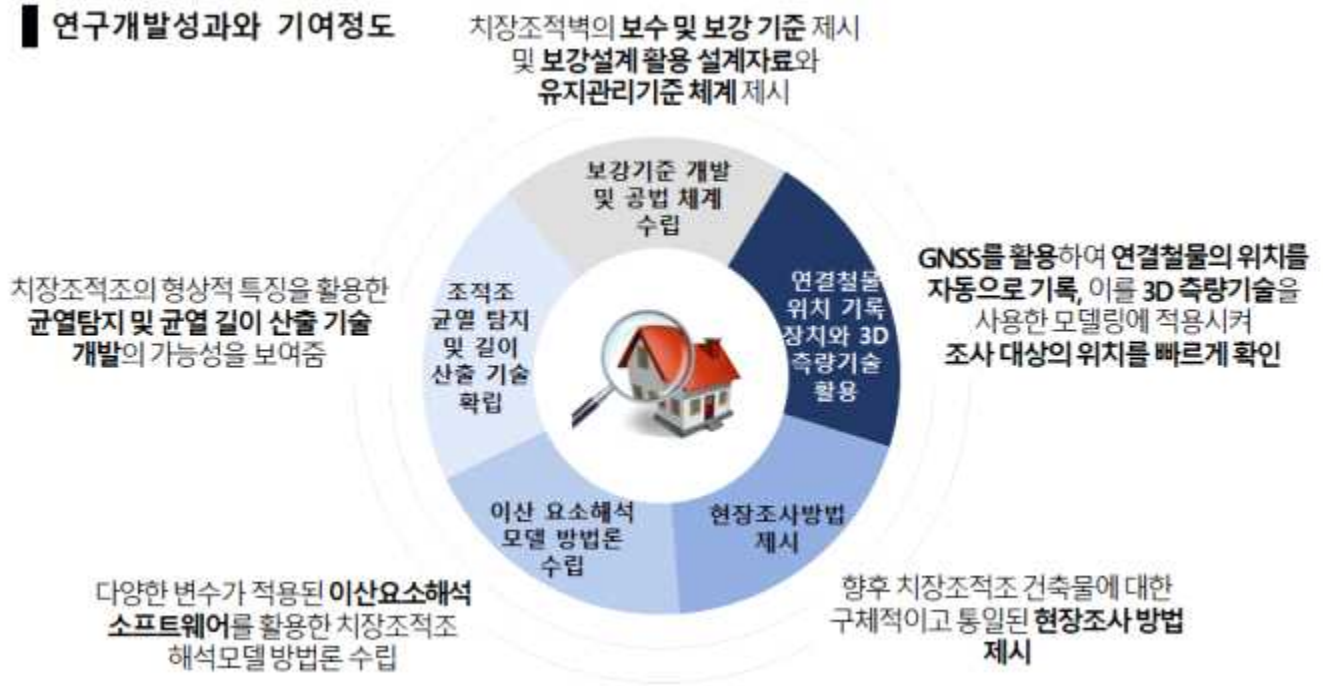
-

○

-

---

## 5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도



### ○ 보강기준 개발

- 국내 치장조적조는 현장 조사단계부터 조사 방법, 조사 개소, 보강량 산정 등 모든 기준이 정립되어 있지 않은 상태임을 고려할 때, 이번 보강기준의 개발을 통해 치장조적벽의 보수 및 보강에 기준을 제시할 수 있다.

### ○ GNSS를 활용한 연결철물의 위치 기록 장치

- 공사 현장과 같은 상황에서 철근 배근 등을 감리/감독 할 때, 해당 위치를 사진을 찍고 해당 위치를 도면등에 표시할 필요 없이 위치를 자동으로 기록해 주기 때문에 업무능력이 향상될 것으로 기대된다.

### ○ 건축물의 3D모델링 획득

- 기존 건축물에는 잘 사용되지 않던 3D 측량기술을 건물에 도입하여 건물의 전경을 3D모델로 확인할 수 있다. 이 모델링에 GNSS 위치 기록 장치를 결합하면 현장 조사결과를 바로 모델링에 적용시켜 조사 대상의 위치를 빠르게 확인 할 수 있는 기술을 기대할 수 있다.

### ○ 자료수집을 위한 현장조사방법 실제 조적조 건축물에 적용 및 검증 후 피드백

- 국내 치장조적조 보강설계 시 기존 건축물에 대한 현장조사가 실시되지 않고 있다는 현황을 고려할 때, 본 연구개발성과를 통해 향후 치장조적조 건축물에 대한 현장조사 시 구체적이고 통일된 현장조사 방법을 제시할 수 있다.

### ○ 보강공법 체계 수립

- 국내 치장조적조 보강설계 시 적용 공법 및 공사비에 대한 체계가 수립되지 않은 실정이나, 본 연구개발성과를 통해 치장조적조 보강설계 시 활용할 설계자료 및 유지관리기준 체계를 제시할 수 있다.

### ○ 조적조 이산요소해석 모델 방법론 수립

- 기존 조적조에 대한 이산요소해석 모델 방법론에 대한 연구가 미비했으나, 본 연구에서 범용 이산요소 해석 소프트웨어를 활용하여 다양한 변수가 적용된 치장조적조의 이산요소해석 모델링이 수행됨으로서, 조적조 이산요소해석 모델 방법론 수립에 기여함

### ○ 조적조 균열 탐지 및 길이 산출 기술 확립

- 구조물의 균열탐지 연구가 콘크리트 구조물에 치우쳐있으나, 본 연구에서 치장 조적조의 형상적 특징을 활용한 균열탐지 및 균열 길이 산출 기술 개발의 가능성을 보여줌

## 6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

---

- 현장조사방법 실제 조적조 건축물에 적용 및 검증 후 피드백
    - 활용분야: 치장조적조 점검 및 보강설계를 위한 기준으로 활용
    - 활용방안: 기존 건축물에 대한 치장조적 상태를 파악하고, 보강여부를 결정한 후, 보강설계, 시공방법, 품질관리 기준으로 활용
    - 추가연구의 필요성: 현장조사 정밀도를 높이고 소요시간을 단축할 방법에 대한 연구 필요, 다양한 보강 방법을 발굴하여, 현장 특성에 맞춰 선택 가능하도록
    - 타 연구에의 응용: 기존 치장조적조 외벽의 주요 파손양상을 정리하면, 신축 치장조적조 시공을 위한 시방서 및 설계기준에 반영가능
    - 기업화 추진방안: 주요 수요처에 본 연구개발성과를 홍보하여 안전점검 및 보강견적에 활용하도록 홍보
    - 기술 이전: 치장조적에 대한 현장조사가 활발해질 시 본연구개발성과를 기술이전하여 활용
  - 웹플랫폼을 활용한 현장조사자료 판정 및 보강안 도출, 보강견적 작성
    - 활용분야: 치장조적조 현장조사 후 보강안 및 보강견적 작성에 활용
    - 활용방안: 오래된 학교 현장을 간단한 현장 조사를 통하여 보강방안과 보강공사비를 빠르게 획득
    - 추가연구의 필요성: 다양한 사용자의 Feedback을 통하여 웹플랫폼 정비 및 기능 효율화필요
    - 타 연구에의 응용: 기존 치장조적조 외벽의 주요 파손양상을 정리하면, 신축 치장조적조 시공을 위한 시방서 및 설계기준에 반영가능
    - 기업화 추진방안: 웹플랫폼을 치장조적조 현장조사 및 보강견적에 활용할 수 있도록 상용화
    - 기술 이전: 치장조적 보강 시 본연구개발성과를 기술이전하여 활용
  - 치장조적 균열길이 판단 기술
    - 활용분야: 치장조적조 안전진단 및 보강 설계 판단 시 보강견적 기준으로 활용
    - 활용방안: 현장조사 완료 후 치장조적조에 대한 적절한 보강설계 시 보강견적 작성에 활용
    - 추가연구의 필요성: 균열의 길이 판독의 정확성 향상 및 다양한 환경에서 활용가능하도록 프로그램 고도화 필요
    - 타 연구에의 응용: 균열길이 판정기술은 철근콘크리트 구조는 물론 기타 외장재의 균열조사에도 응용가능
    - 기업화 추진방안: 치장조적조 보강 사업 시 해당 기업화 추진
    - 기술 이전: 균열길이 판단기술이 필요한 기업에 기술이전하여 활용
  - 본 연구를 통하여 확보한 치장조적벽의 상태평가 및 보강기준을 기초로하여, 뉴욕시의 Local law 11과 같이 외벽 점검 및 보강을 제도화 할 필요가 있음
    - 준공 후 일정 기간이상 경과한 건물을 대상으로 일정한 점검주기(ex: 5년)로 외벽의 상태를 조사하고, 안전/보수여부를 결정
    - 안전점검을 위한 전문가를 양성하고, 건물별로 외벽에 대한 점검여부를 전산화하여 관리
  - 향후 교육시설안전원을 통하여 치장조적조 학교 건물에 대한 현장조사에 활용하는 방안을 추진하고, 교회, 성당, 다세대주택 등 치장조적이 사용된 건물에 적용하여 발전시킬 계획임.
-

별첨 자료

1. 참고문헌

- 치장 조적 벽체의 내진성능 평가, 김영강, 한양대학교 학위논문, 2008
- 학교시설 내진성능평가, 교육부, 2018
- On the use of a regular yield surface for the analysis of unreinforced masonry walls, Tzamtzis et al, Electronic Journal of Structural Engineering, 2004
- 외벽조적벽체 연결철물의 내진성능에 관한 실험연구, 오명호, 한국방재학회논문집, 2018
- Distinct Element Method Applied on Old Masonry Structures, Marwan Al-Heib, Numerical Modeling, 2012
- Analysis of brick veneer on concrete masonry wall subjected to in-plane loads, Stephen A. Marziale, Structures, 2014
- 내진보강된 치장조적벽의 파괴특성과 전단강도, 진희종, 한상환, 한국콘크리트학회논문집, 2008
- 조적치장벽체의 내진거동, 진희종, 한상환, 박영미, 이정환, 대한건축학회논문집, 2008
- The Hessian Blob Algorithm: Precise Particle Detection in Atomic Force Microscopy Imagery, Brendan P. Marsh, Scientific Reports, 2018
- CNN-based Watershed Marker Extraction for Brick Segmentation in Masonry Walls, Yahya Ibrahim, International Conference on Image Analysis and Recognition, 2020
- Deep Learning-Based Masonry Wall Image Analysis, Yahya Ibrahim, Remote Sensing, 2020
- Review and Analysis of Crack Detection and Classification Techniques based on Crack Types, Sheerin Sitara. N., International Journal of Applied Engineering Research, 2018
- An innovative image processing-based framework for the numerical modelling of cracked masonry structures, Dimitrios Loverdos, Automation in Construction, 2021
- Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures
- BRE Digest 401

## 별첨 자료

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

- 헬리핀 인장강도 성능 평가서

BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD



# TEST REPORT

우 13810 경기도 과천시 교육원로 98(중앙동) TEL (032)5709-700 FAX (032)575-5613

접 수 일 자 : 2020년 10월 12일  
시험완료일자 : 2020년 10월 19일

정적시험번호 : TAK-2020-151590  
대 표 자 : 김양준, 문경희  
업 체 명 : 피에스엔지니어링(주)  
주 소 : 경기도 광주시 초월읍 용수길 64-36  
시 료 명 : 헬리핀

### 시험결과

| 시험항목 | 단위 | 시험구분 | 결과치  | 시험방법      |
|------|----|------|------|-----------|
| 인장하중 | kN | -    | 15.8 | 의뢰자제공시험방법 |

- 인장시험 ( 만능재료시험기(ZWICK Z 600, 시험속도 : 10 mm/min) )  
시험방법은 첨부사진 참조.

- 용 도 : 공급원승인용

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시험명으로 시험한 결과로써 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서와 진위확인용 홈페이지([www.ktr.or.kr](http://www.ktr.or.kr)) 또는 QR code로 확인 가능합니다.  
2. 이 성적서는 홍보, 사전, 광고 및 소송용 등으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.  
3. 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

*Park Geun Hyeok*

작성자 : 박근혁

Tel : 02-2092-3635

*Moon Suk Park*

기술책임자 : 박문석

Tel : 1577-0091(ARS ①→④)

2020년 10월 19일

**KTR** 한국화학융합시험연구원




위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 1

**KTR** KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE KTR-(3P-P09-F01)-02/001

A4(210 X 297)

- 헬리핀 인장강도 성능 평가서



BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

# TEST REPORT

우 13810 경기도 과천시 교육원로 98(중앙동)

TEL (032)5709-700 FAX (032)575-5813

정직서번호 : TAK-2020-151590

접 수 일 자 : 2020년 10월 12일

대 표 자 : 김명중, 문경희

시험완료일자 : 2020년 10월 19일

업 체 명 : 피에스엔지니어링(주)

주 소 : 경기도 광주시 초월읍 용수길 64-36

시 료 명 : 헬리핀

## 시험 시료 사진



Page : 1 of 1

**KTR** KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE

- 헬리핀 인발강도 성능 평가서

BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD



# TEST REPORT

우 22829 인천광역시 서구 기재물로 66(가좌동) TEL (032)5709-700 FAX (032)575-5613

성적서번호 : KTR-2020-068951  
 대 표 자 : 김양중, 문경희  
 업 체 명 : 피에스엔지니어링(주)  
 주 소 : 경기도 광주시 초월읍 응수길 64-36  
 시 료 명 : 헬리핀 (지정벽돌+엘리핀)

검 수 일 자 : 2020년 04월 25일  
 시험완료일자 : 2020년 05월 13일

## 시 험 결 과

| 시험항목 | 단위 | 시료구분 | 결과치  | 시험방법    |
|------|----|------|------|---------|
| 인발하중 | kN | n=1  | 3.91 | 만능재료시험기 |
| 인발하중 | kN | n=2  | 3.58 | 만능재료시험기 |
| 인발하중 | kN | n=3  | 4.76 | 만능재료시험기 |

\*\* 시험조건 의뢰자제공  
 - 삽입깊이 : 60mm  
 - 시험속도 : 10mm/min  
 \*\* 시험기준 및 방법  
 - 용 도 : 한국원승인용

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서, 전체 자품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위 확인은 홈페이지([www.ktr.or.kr](http://www.ktr.or.kr)) 또는 QR code로 확인 가능합니다.  
 2. 이 성적서는 복사, 선전, 광고 및 소송 등 다른 사용용 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.  
 3. 이 성적서는 원본(새변형 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

*An Seung-il*

작성자 : 안승일

Tel : 032-570-5647

*Jong-Ruk Kwon*

기술책임자 : 권종국

Tel : 1577-0091(ARS 011-4)

2020년 05월 13일



**한국화학융합시험연구원**




위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 1

**KTR** KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE (KTR-03P-P09-201-02001)

ADD : 215 Y 2071

- 헬리핀 인발강도 성능 평가서



## 별첨 자료

### - 헬리핀 인발강도 성능 평가서

BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD



# TEST REPORT

우 22829 인천광역시 서구 가재울로 68(가좌동) TEL (032)5709-700 FAX (032)575-5613

청적서번호 : TAK-2020-090274  
 대 표 자 : 김양준, 문강하  
 업 체 명 : 피에스엔지니어링(주)  
 수 소 : 경기도 광주시 초월읍 공수길 64-36  
 시 료 명 : 헬리핀 (시멘트버튼+헬리핀)

접수 일자 : 2020년 06월 12일  
 시험완료일자 : 2020년 06월 24일

### 시험결과

| 시험항목 | 단위 | 시험구분 | 결과치  | 시험방법     |
|------|----|------|------|----------|
| 인발하중 | kN | n=1  | 2.11 | 인능 재료시험기 |

\*\*시험조건 의뢰자제공  
 - 시험길이 : 60 mm  
 - 시험속도 : 10 mm/min  
 - 지지대간격 : 약 125 mm  
 \*\* 시험사진첨부  
 - 목 도 : 공급원승인용

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료영으로 시험한 결과로서, 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인으 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.  
 2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.  
 3. 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

*An Seung-il*  
 작성자 : 안승일  
 Tel : 032-570-9047

*Jong-Kuk Kwon*  
 기술책임자 : 권종국  
 Tel : 1577-0091(AKS 0-00)

2020년 06월 24일

## KTR 한국화학융합시험연구원



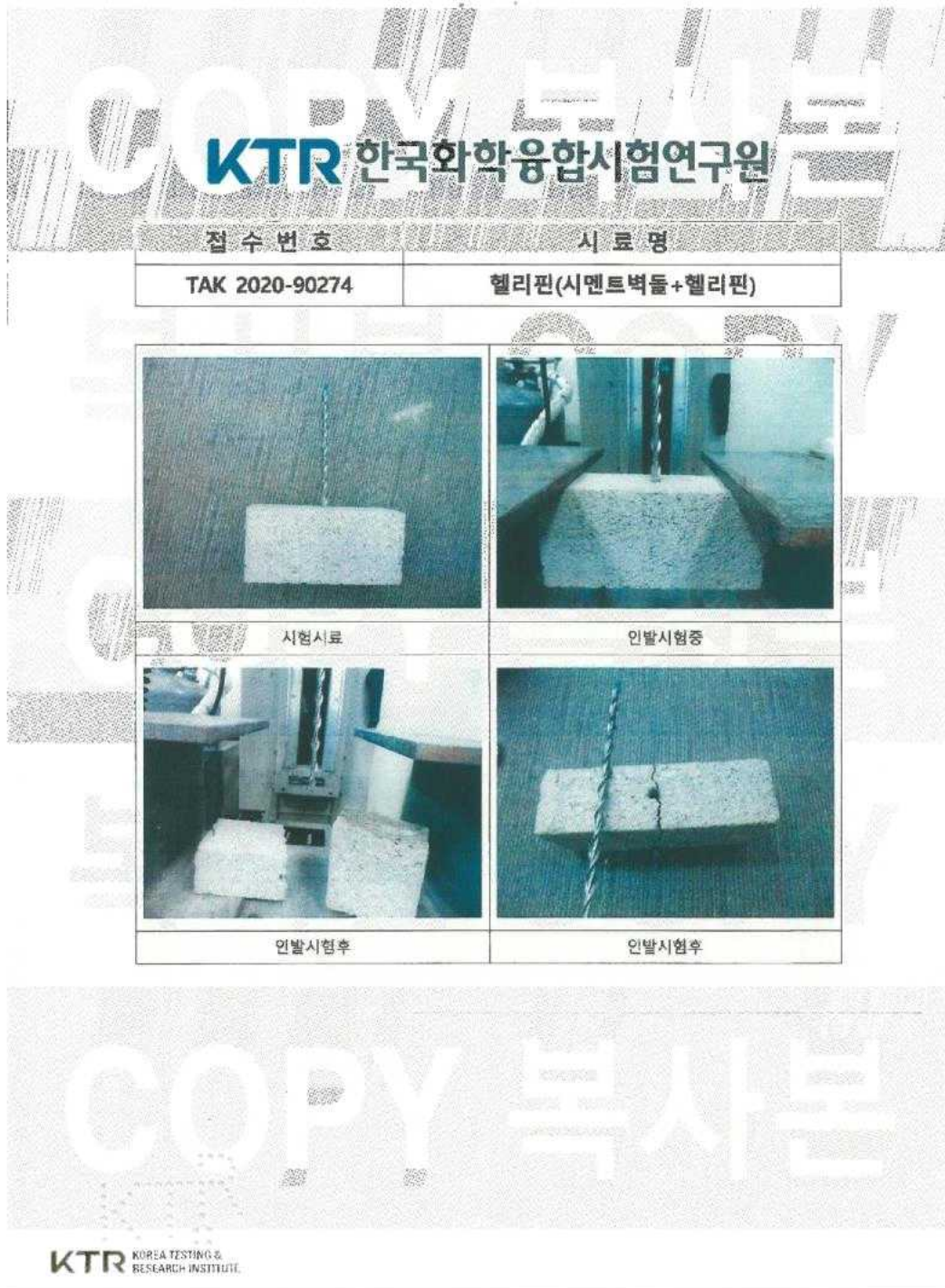

위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 1

**KTR** KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE (KTR-OP-P03-F01-02/20)

A4(210 x 297)

- 헬리핀 인발강도 성능 평가서



## 별첨 자료

### - 헬리핀 인발강도 성능 평가서

BEYOND ASIAN HUB-TOWARD GLOBAL WORLD



# TEST REPORT

우 22829 인천광역시 서구 가재울로 68(가좌동) TEL (032)5709-700 FAX (032)575-5613

실착서번호 : TAK-2020-069953  
 대 표 자 : 김안중, 문경희  
 업 체 명 : 에스에스엔지니어링(주)  
 주 소 : 경기도 광주시 초월로 64-36  
 시 료 명 : 헬리핀 (콘크리트+헬리핀)

접 수 일 자 : 2020년 04월 29일  
 시험완료일자 : 2020년 05월 13일

| 시 험 결 과 |    |      |      |         |
|---------|----|------|------|---------|
| 시험항목    | 단위 | 시료구분 | 결과치  | 시험방법    |
| 인발하중    | kN | n=1  | 2.26 | 만능재료시험기 |
| 인발하중    | kN | n=2  | 2.66 | 만능재료시험기 |
| 인발하중    | kN | n=3  | 3.15 | 만능재료시험기 |

\*\* 시험조건 의뢰자제공  
 - 시험길이 : 40 mm  
 - 시험속도 : 10 mm/min  
 \*\* 시험사진첨부  
 - 용 도 : 공급원승인용

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시험현으로 시험한 결과로써, 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 신뢰확인용 홈페이지([www.ktr.or.kr](http://www.ktr.or.kr)) 또는 QR code로 확인 가능합니다.  
 2. 이 성적서는 복본, 선전, 광고 및 소송증거용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.  
 3. 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

*An Seung-il*  
 작성자 : 안승일  
 Tel : (032)-570-9847

*Jong-Kuk Kwon*  
 기술책임자 : 권종국  
 Tel : 1577-0091(ARS 00-4)

2020년 05월 13일



**KTR 한국화학융합시험연구원**



위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 1



KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE KTR-03-006-F01-(2020)

A4(215 X 297)

- 헬리핀 인발강도 성능 평가서



- 보강브라켓 파괴강도 시험성적서

BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD



# TEST REPORT

우 22829 인천광역시 서구 가재울로 68(가좌동) TEL (032)5709-700 FAX (032)575-5613

성적서번호 : TBK-2020-002837  
 대 구 자 : 김양준·문경희  
 연 제 명 : 피에스엔지니어링(주)  
 주 소 : 경기도 김포시 초월읍 용수길 64-36  
 시 료 명 : PS보강브라켓

원 수 일 자 : 2020년 04월 29일  
 시험완료일자 : 2020년 05월 12일

---

## 시 험 결 과

| 시험항목   | 단위 | 자료구분 | 결과치 | 시험방법            |
|--------|----|------|-----|-----------------|
| 최대압축하중 |    |      |     | 보고서참조·의뢰자제공시험방법 |

\* 시험방법 및 조건 의뢰자제공

- 용 도 : 공급원승인용

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로써 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인란 홈페이지([www.ktr.or.kr](http://www.ktr.or.kr)) 또는 QR code로 확인 가능합니다.  
 2. 이 성적서는 홍보, 전전, 광고 및 소송용 등으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.  
 3. 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

*Ahn Seung-il*

작성자 : 안승일

Tel : 032-570-9647

*Jong-Ruk Kwon*

기술책임자 : 권종국

Tel : 1577-0091(ARS ①→④)

2020년 05월 12일



**한국화학융합시험연구원**



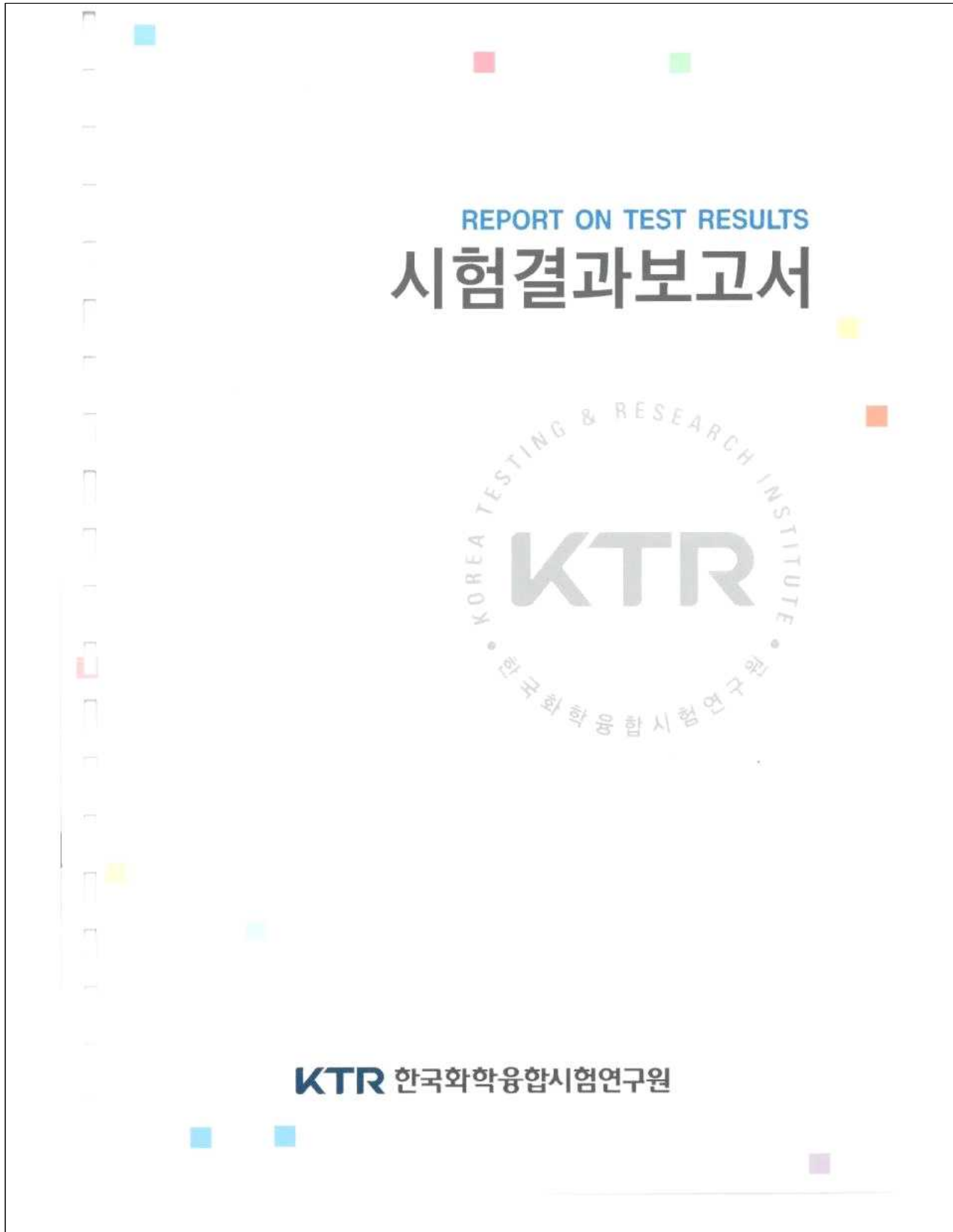

위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 1

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE KTR-OP-P09-F01-02(00)

A4(210 X 297)

- 보강브라켓 파괴강도 시험결과 보고서



- 보강브라켓 파괴강도 시험결과 보고서

**COPY 복사본**

시험결과보고서

발급번호 : TBK-2020-002837

신청인주소 : 경기도 광주시 초월읍 용수길 64-36

회사명 : 피에스엔지니어링(주)

대표자명 : 김양중, 문경희

품명 : PS보강브라켓

본 결과를 신청인으로부터 제공받은 시료에  
대한 보고서로 제출합니다.

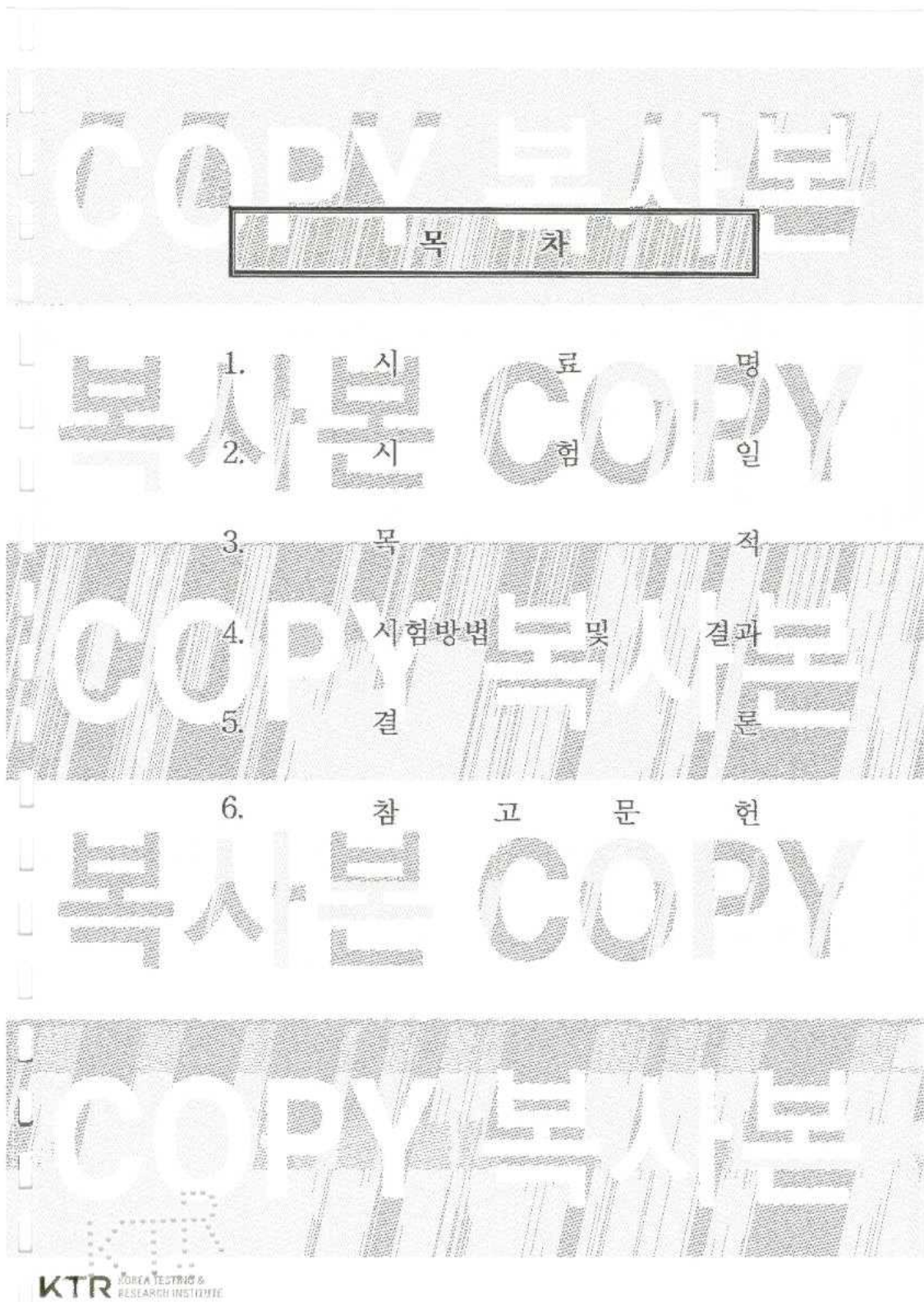
2020. 05. 12.

(재) 한국화학융합시험연구원

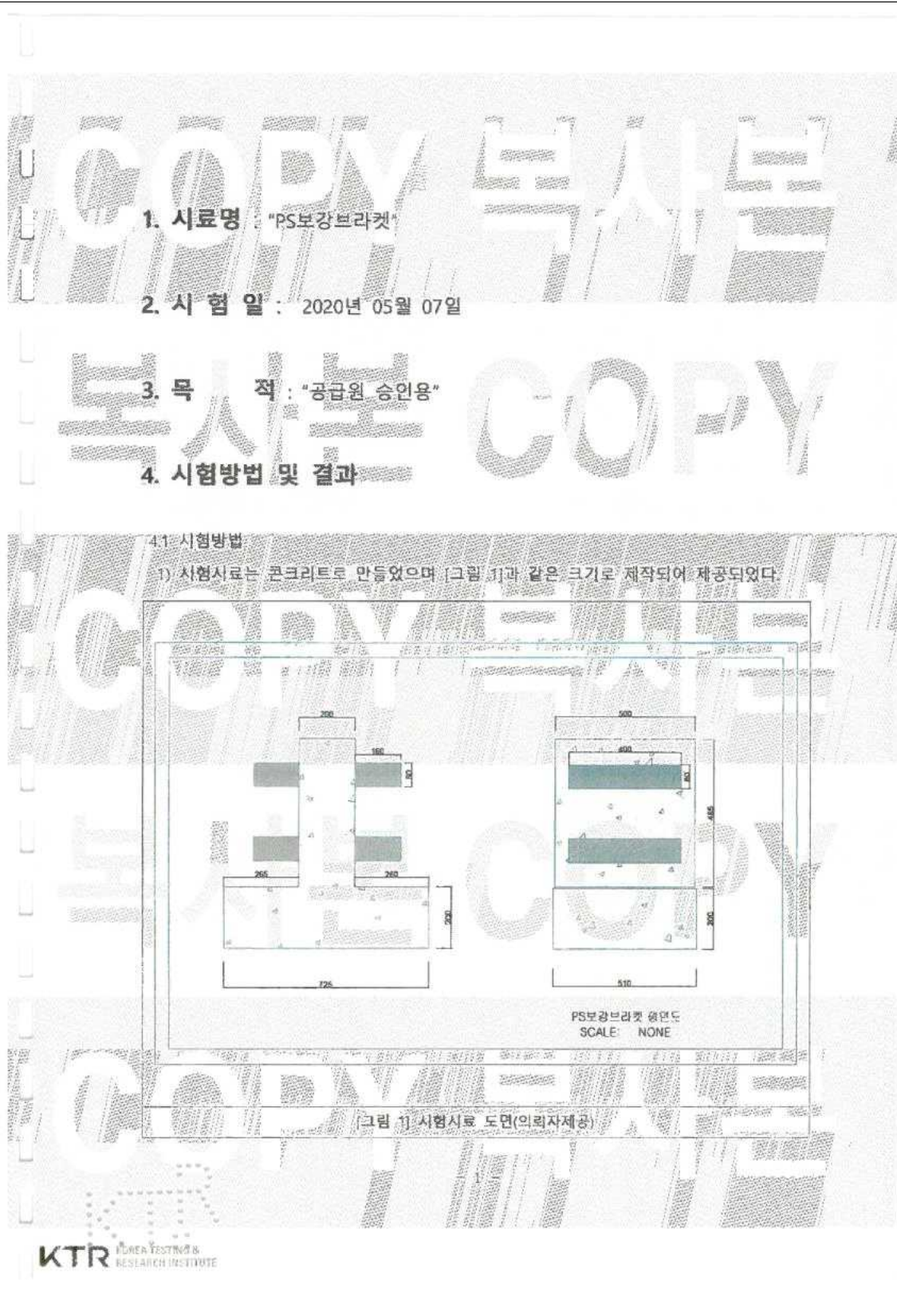


**KTR** KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE

- 보강브라켓 파괴강도 시험결과 보고서



- 보강브라켓 파괴강도 시험결과 보고서



- 보강브라켓 파괴강도 시험결과 보고서

2) 시험장비 및 자그

만능재료시험기(INSTRON)

- 재하지그 1

재하판 : 가로 400 mm, 세로 100 mm,

- 재하지그 2

재하봉 : 지름 50 mm

3) 재하판으로 시험시에 시료의 끝단에 맞추고, 재하봉으로 시험시는 시료의 중심(약 80 mm 자점)부를 시험속도 5 mm/min로 하중 시험을 진행한다.

4) 최대하중값을 시험결과값으로 한다.

5) 시험결과는 [표 1]과 같다.

[표 1] 시험결과

| 시험항목   | 구분  | 단위 | 시험결과  |       | 비고 |
|--------|-----|----|-------|-------|----|
|        |     |    | 1     | 2     |    |
| 최대압축하중 | 재하판 | kN | 24.22 | 34.48 |    |
|        | 재하봉 | kN | 36.99 | 34.13 |    |

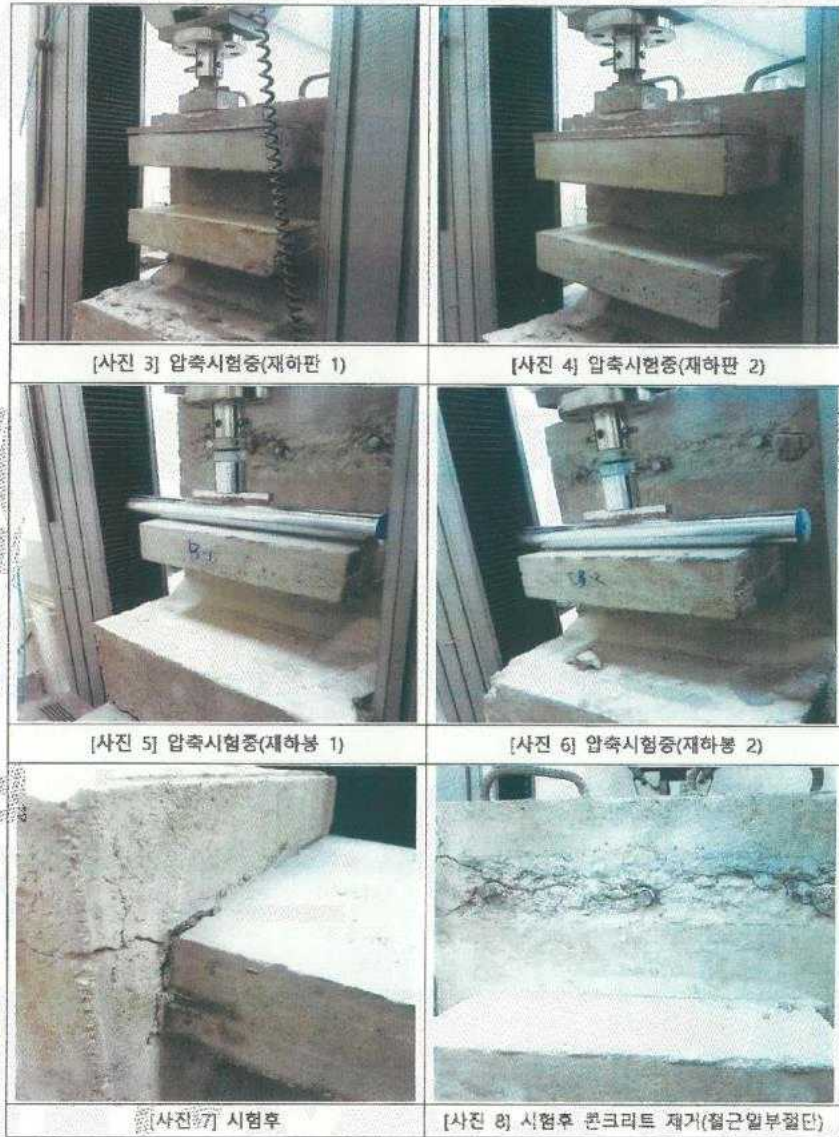


[사진 1] 시험시료 정면

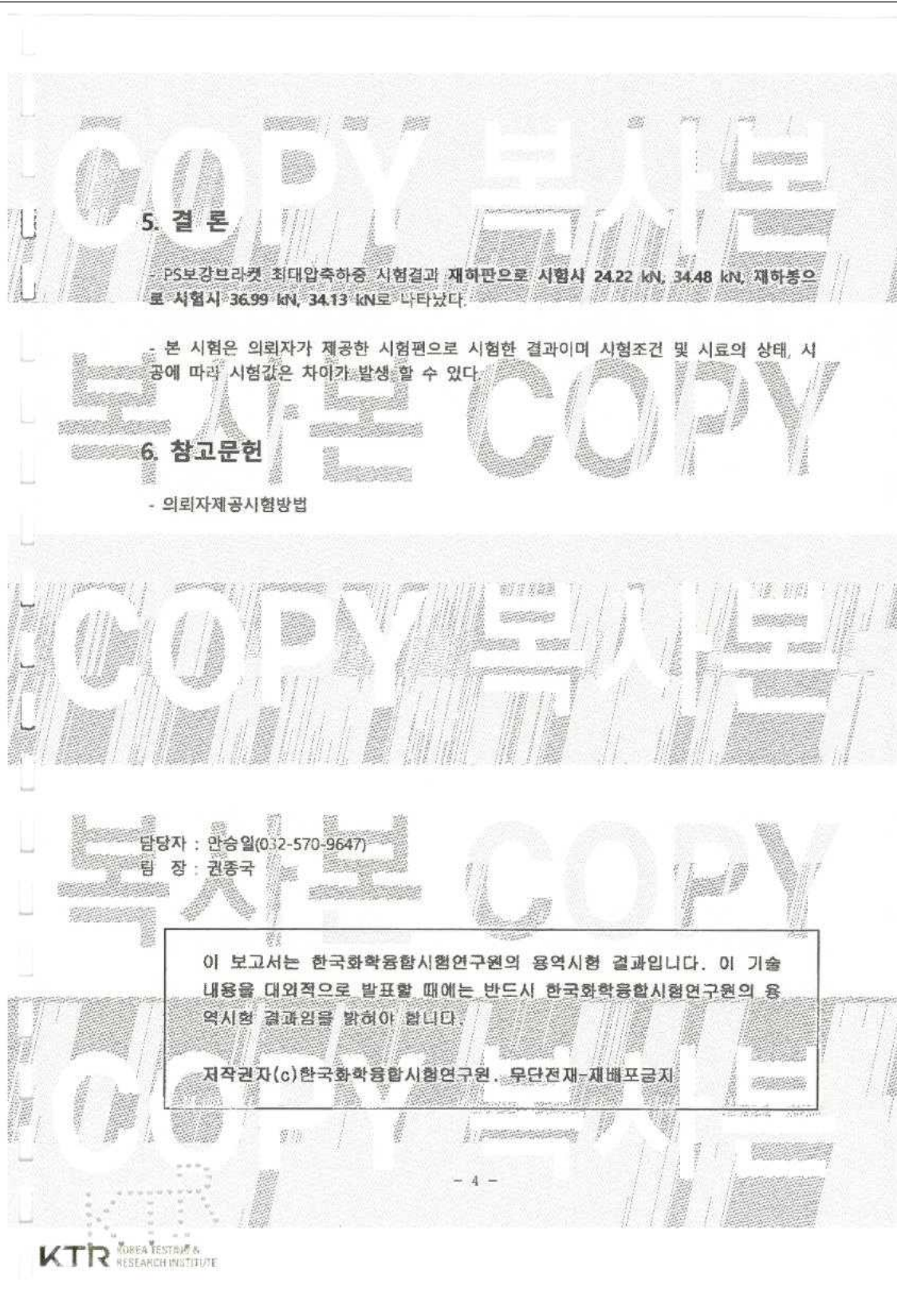


[사진 2] 시험시료 옆면

- 보강브라켓 파괴강도 시험결과 보고서



- 보강브라켓 파괴강도 시험결과 보고서



- 헬리바 린텔보강 파괴강도 시험결과 보고서

시험결과보고서

발급번호 : TBK-2020-010215

신청인주소 : 경기도 광주시 초월읍 용수길 64-36

회 사 명 : 피에스엔지니어링(주)

대표자명 : 김양중, 문경희

품 명 : 리텔보강재 (치장벽돌+헬리바)

본 결과를 신청인으로부터 제공받은 시료에  
대한 보고서로 제출합니다.

2021. 01. 19

(재) 한국화학융합시험연구원



- 헬리바 린텔보강 파괴강도 시험결과 보고서

## 목 차

1. 품 명
2. 시 험 기 간
3. 목 적
4. 시료방법 및 결과
5. 결 론
6. 참 고 문 헌

- 헬리바 린텔보강 파괴강도 시험결과 보고서

1. 품 명 : 린텔보강재 (치장벽돌+헬리바)

2. 시험일 : 2020.12.28.~2021.01.19

3. 시험 목적 : 의뢰자가 제공한 시료의 휨과파 하중의 차이분 확인한다.

4. 시험방법 및 결과

4.1 시험기기 : 만능재료 시험기(STM 5T)

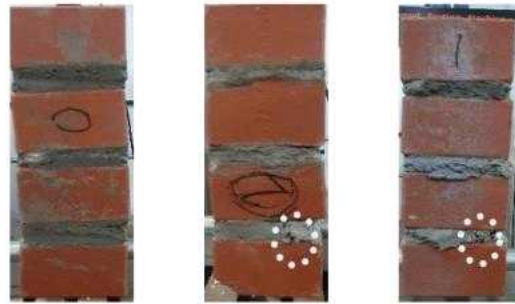
4.2 시험방법 : 의뢰자 제시방법

- 1) 휨과파하중 시험은 4점 제하시험법으로 진행한다.(KS F 2408 : 2016 준용)
- 2) 재하봉 및 지지봉의 지름은 30mm 압축재 원형봉으로 한다.
- 3) 시험속도는 5 mm/min로 하중 파괴된 때의 하중을 결과값으로 한다.
- 4) 시험편은 제일 아래 겹작층의 보강재의 개수에 따라 구분하며 3가지 TYPE 으로 다양과 같다.
  - TYPE 1 : NRL(보강재 없음)
  - TYPE 2 : ORL(보강재 1개)
  - TYPE 3 : TRL(보강재 2개)



[그림 1]휨과파하중 시험 장비

- 헬리바 린텔보강 파괴강도 시험결과 보고서



[그림 2] 시험편 종류 및 보강재 위치



[사진 3] 시험 전(NRL)



[사진 4] 시험 중(NRL)



[사진 5] 시험 후(NRL)



[사진 6] 시험 전(ORL)



[사진 7] 시험 중(ORL)



[사진 8] 시험 후(ORL)



[사진 9] 시험 전(TRL)



[사진 10] 시험 중(TRL)



[사진 11] 시험 후(TRL)

- 헬리바 린텔보강 파괴강도 시험결과 보고서

4.3 시험결과 : 시험결과는 아래 표와 같다.

[표 1] 휨파괴하중 시험결과

단위 : N

| 구분   | NRL-1 | NRL-2 | ORL-1 | ORL-2 | ORL-3 | TRL-1  | TRL-2  | TRL-3 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| 파괴하중 | 3 201 | 3 535 | 5 619 | 6 916 | 8 785 | 9 773  | 12 560 | 9 164 |
| 평 균  | 3 368 |       | 7 107 |       |       | 10 499 |        |       |

## 5. 결론

- NRL 휨파괴하중 시험결과 개별 3 201 N, 3 535 N이며 2개평균 3 368 N으로 측정되었다.
- ORL 휨파괴하중 시험결과 개별 5 619 N, 6 916 N, 8 785 N이며 3개평균 7 107 N으로 측정되었다.
- TRL 휨파괴하중 시험결과 개별 9 773 N, 12 560 N, 9 164 N이며 3개평균 10 499 N으로 측정되었다.
- 본 시험결과는 의뢰자가 제시한 자료에 사용하여 제작한 시험편을 제작하였으며, 제품의 시공상태 및 보강재의 위치 등 기타 여러 요인에 따라 결과 값은 차이가 있을 수 있다.

## 6. 참고문헌

- KS F 2408 : 2016
- 의뢰자제공시험방법

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘지상5층 치장조적 건물의 상태판정(배부름, 균열, 앵커철물 등)과 보강안 도출을 8시간내에 수행가능한 솔루션 개발’ 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.