19TBIP-C125406-03

보안 과제( ), 일반 과제( O ) / 공개( O ), 비공개( )발간등록번호( )
국토교통기술사업화지원사업 제3차 연도 최종보고서

R&D / 19TBIP-C125406-03

# ICT기반 3종 시설물 전자야장 플랫폼 개발 최종보고서

2020.02.28.

주관연구기관 / (주)다음기술단
공동연구기관 / (주)바인테크
공동연구기관 / 한국건설기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

ICT기반 3종 시설물 전자야장 플랫폼 개발 최종보고서
2020
국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

# 제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

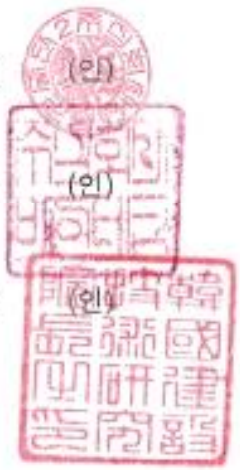
'ICT기반 3층 시설물 전자야장 플랫폼 개발'(연구개발 기간 : 2017.04.01 ~ 2019.12.12) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2020. 02. 28.

주관연구기관명 : ㈜다음기술단 (대표자) 박 철 (인)

공동연구기관명 : ㈜바인테크 (대표자) 김학기 (인)

공동연구기관명 : 한국건설기술연구원 (대표자) 한승헌 (인)



주관연구기관책임자: 박 철
공동연구기관책임자: 이석현
공동연구기관책임자: 이성원

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

# 보고서 요약서

| 과제 고유 번호 | | 해당 단계 연구 기간 | 2019.01.01. ~ 2019.12.12 | 단계구분 | 3/3 (해당단계)/(총단계) |
|---|---|---|---|---|---|
| 연구사업명 | 중사업명 | 국토교통기술사업화지원사업 | | | |
| | 세부사업명 | 기술사업화지원사업 | | | |
| 연구과제명 | 대과제명 | ICT기반 3종 시설물 전자야장 플랫폼 개발 | | | |
| | 세부과제명 | ICT기반 3종 시설물 전자야장 플랫폼 개발 | | | |
| 연구책임자 | | 해당단계 참여연구원 수 | 총: 20 명<br>내부: 19 명<br>외부: 1 명 | 해당단계 연구비 | 정부: 273,000천원<br>민간: 182,000천원<br>정부외: 천원<br>상대국: 천원<br>계: 455,000천원 |
| | | 총 연구기간 참여연구원 수 | 총: 20 명<br>내부: 19 명<br>외부: 1 명 | 총 연구비 | 정부: 995,000천원<br>민간: 664,000천원<br>정부외: 천원<br>상대국: 천원<br>계:1,659,000천원 |
| 연구기관명 및 소속 부서명 | ㈜다음기술단 부설연구소 | | | 참여기업명<br>㈜다음기술단, ㈜바인테크 | |
| 국제공동연구 | 상대국명: | | | 상대국 연구기관명: | |
| 위탁연구 | 연구기관명: | | | 연구책임자: | |

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

| 연구개발성과의 보안등급 및 사유 | 일반과제<br>연구과제와 관련 특허권을 확보하고 있으며 본 연구개발은 응용개발 분야임<br>과제 수행 중에 개발된 성과는 특허출원을 통해 지적재산권을 보호할 예정 |
|---|---|

9대 성과 등록·기탁번호

| 구분 | 논문 | 특허 | 보고서 원문 | 연구시설·장비 | 기술요약 정보 | 소프트웨어 | 화합물 | 생명자원 | | 신품종 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | 생명 정보 | 생물 자원 | 정보 | 실물 |
| 등록·기탁 번호 | 2 | 6 | | 2 | | 4 | | | | | |

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

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

| 요약 | 보고서 면수 |
|---|---|
| 기존 시설물점검 및 진단업무의 비효율성, 유지관리 관리자 및 점검자의 전문성 부족, 점검 후 기록, 보존에 대한 누락과 오류 등 시설물 상태평가의 문제점을 극복하고, 소규모 공공시설물은 지자체의 예산 부족 및 관리 부실로 위험성이 증가되며, 20년 이상의 시설물이 80% 이상 차지하여 시설물 노후화에 따른 위험성이 가중되고 있는 소규모 시설물을 효과적으로 관리 및 평가 | 139 면 |

# 요약문

| | |
|---|---|
| 연구의<br>목적 및 내용 | 본 연구의 목표는 기존의 시설물점검 및 진단업무의 비효율성, 유지관리 관리자 및 점검자의 전문성 부족, 점검 후 기록, 보존에 대한 누락, 오류등 시설물 상태평가의 문제점을 극복하고, 소규모 공공시설물은 지자체의 예산 부족 및 관리 부실로 위험성이 증가 되며, 20년 이상의 시설물이 80% 이상 차지하여 시설물 노후화에 따른 위험성이 가중되고 있는 소규모 시설물을 효과적으로 관리 및 평가하고자 ① ICT 기반 상태평가 Master Plan ② 통합관리 플랫폼 및 윈도우즈 모바일 앱 ③ 이미지 기반 손상 검출 알고리즘 개발을 통하여 유지관리 솔루션을 개발을 하고자 함이다. |
| 연구개발성과 | ■ 에너지하베스팅을 활용한 GPS 유실감지 센서모듈<br>■ ICT 기반 상태평가 Master Plan<br>■ 상태평가 QR코드 표준화<br>■ 통합 시설물 관리 플랫폼 체계 구축<br>■ 통합 시설물 관리 플랫폼 개발<br>■ 플랫폼 고도화<br>■ 이미지 기반 손상검출 알고리즘 개발<br>■ 3종 시설물 상태평가 프로그램 지침서 |
| 연구개발성과의<br>활용계획<br>(기대효과) | ❑ 성과물의 활용방안<br>■ 국토교통기술 사업화 지원사업을 통해 확보된 기술을 바탕으로 안전진단시장개척<br>■ 안전진단 시장 중 소규모 시설물 유지관리 시장을 적극적으로 공략 독점적인 시장을 선점<br>■ 기술개발과 특허기술 확보, 신기술인증, 관리주체 홍보<br>■ (대행제도 개편) 안전관리 대행기관을 사업장 안전관리시스템을 통한 종합 진단·평가하는 종합 컨설팅 기관으로 육성<br>❑ 기대성과 및 파급효과<br>■ ICT 기술을 이용한 소규모(3종)시설물 상태평가 플랫폼 개발 및 Test-bed 검증을 통하여 안전진단 시장에 새로운 페러다임을 제시함으로써 ICT기술의 타 분야 확산을 통한 기술 개발을 촉진할 것으로 기대됨<br>■ 최신 ICT 기반의 점검·진단시스템을 점검 및 안전진단 업무에 확고히 정착시켜 시설물 안전·유지관리 분야의 관리주체 및 안전진단전문기관에 스마트 워크를 확산보급 할 수 있는 기틀을 마련함<br>■ 시설물 Navigation을 시설물 관리자 및 이용자들에게 안전에 대한 중요성을 알리고 이를 통해 예방, 대비, 대응 및 사후관리 등을 실시하며 위험상황 발생시 알림서비스를 통해 신속한 초기 대응을 가능하도록 하여 국민을 지키고 보호할 수 있는 방안으로 기대됨<br>■ ICT 기술을 이용한 시설물 상태평가 플랫폼을 구축할 경우 체계적인 유지관리와 실시간 안전관리를 통하여 기존대비 구조물의 안전성 20% 향상, 구조물 수명 50%증대, 시설물 유지관리 효율성을 17% 증대, 유지관리 비용은 15% 감소될 수 있을 것이라 기대됨<br>■ 지자체가 주로 관리 주체인 소규모 시설물은 예산부족으로 유지관리 및 점검이 원활히 이루어지지 않지만, 초급기술자 수준의 관리자가 직접 점검이 가능하도록 하여 예산 절감 기대효과 및 재해 예방 효과가 기대됨<br>■ 소규모(3종)시설물이 포함된 시설물 안전 및 유지관리 특별법 법안 통과됨으로 소규모 시설물에 대한 안전 및 유지관리계획을 수립·시행 하는 관리주체의 지자체가 저예산으로 소규모 시설물을 관리하는 기틀을 마련 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 국문핵심어<br>(5개 이내) | 안전진단 | ICT | 소규모시설물 | 플랫폼 | QR코드 |
| 영문핵심어<br>(5개 이내) | Inspection | ICT | Infrastructure | Platform | QRcode |

# 〈 목 차 〉

제1장. 연구개발과제의 개요 ····· 1

제2장. 연구수행내용 및 성과 ····· 17

제3장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 125

제4장. 연구개발성과의 활용 계획 등 ····· 131

붙임. 참고 문헌 ····· 139

# 제1장. 연구개발과제의 개요

## 1. 최종목표 및 설정근거

- 본 기술의 사업화 최종 목표는 기존의 시설물점검 및 진단업무의 비효율성, 유지관리 관리자 및 점검자의 전문성 부족, 점검 후 기록, 보존에 대한 누락과 오류 등 시설물 상태평가의 문제점을 극복하고, 소규모 공공시설물은 지자체의 예산 부족 및 관리 부실로 위험성이 증가되며, 20년 이상의 시설물이 80% 이상 차지하여 시설물 노후화에 따른 위험성이 가중되고 있는 소규모 시설물을 효과적으로 관리 및 평가하고자

  ① ICT 기반 상태평가 Master Plan
  ② 통합관리 플랫폼 및 윈도우 앱
  ③ 이미지 기반 손상 검출 알고리즘 개발을 통하여 유지관리 솔루션을 개발을 하고자 함




<연구 목표>

- 기존의 시설물점검 및 진단업무의 비효율성, 유지관리 관리자 및 점검자의 전문성 부족, 점검 후 기록, 보존에 대한 누락, 오류 등 시설물 상태평가의 문제점을 극복하고, 소규모 공공시설물은 지자체의 예산 부족 및 관리 부실로 위험성이 증가 되며, 20년 이상의 시설물이 80% 이상 차지하여 시설물 노후화에 따른 위험성이 가중되고 있는 소규모 시설물을 효과적으로 관리 및 평가하고자 ICT 기반 소규모 상태평가 플랫폼을 현장에 적용하여 소규모(3종)시설물의 재해 예방 및 예산절감을 최종목표로 설정

- 본 사업을 통해 기술개발이 완성되면, 제품개발 완료 후 사업화를 위한 준비단계로 유관기관과 협조하여 Test Bed를 통한 기술 검증을 목표로 함




< 최종목표 설정 : 사업화 준비단계 >

## 2. 연구개발(사업화) 배경

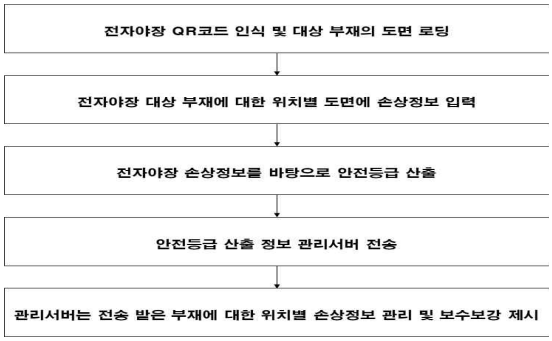
- 안전점검은 시설물의 물리적·기능적 결함을 발견하고, 그에 대한 신속하고 적절한 조치를 취하기 위하여 구조적 안전성과 결함원인 등을 조사, 측정, 평가하고 보수보강 등의 방법을 제시하는 행위를 의미한다. 이중 시설물의 물리적·기능적 결함을 초기에 발견하는 현장조사의 중요성이 국내외적으로 강조되고 있다.
- 국내의 경우 준공 20년 이상 시설물이 전체의 80%로 시설물 노후화에 따른 위험성이 가중되고 있으며, 이에 현장조사의 중요성이 더욱 강조되고 있지만, 현재 지자체 및 공사 등 관리주체의 안전진단 예산 부족으로 시설물 관리가 소홀한 상태이며, 현장조사 이후 2차·3차 기록 및 확인으로 효율성이 떨어지며, 오류로 인한 상태평가 및 물량산출 결과의 신뢰성 저하 등이 문제되고 있다.
- 따라서 이러한 문제를 해결하고자 'ICT기반 3종 시설물 전자야장 플랫폼' 사업화를 추진하였으며, 본 기술의 사업성을 분석한 결과 기존 기술 대비 기능 13%증가, 비용 36%감소, 가치 65%상승하는 것으로 나타나 기존 기술을 대체할 수 있는 기술로써 안전진단 시장 진입 및 사업화가 가능하다.
- 또한, 2018년 1월 18일 기존 재난안전법과 시특법으로 이원화된 시설물 안전관리를「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」으로 일원화함에 따라 업무 효율성과 전문성 강화 등의 기술적 수요가 증대되고 있어 'ICT기반 3종 시설물 전자야장 플랫폼' 사업화를 추진하였다.

## 가. 대상기술 정의

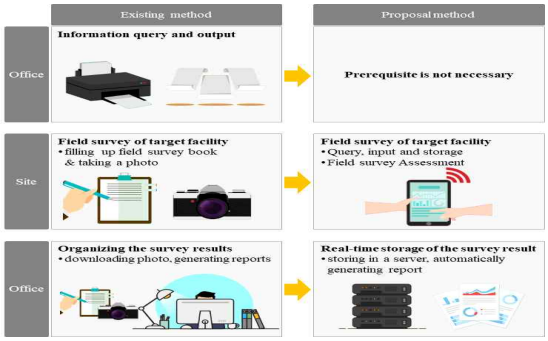
| 구분 | 사업화 기술 | | |
|---|---|---|---|
| 사업화 대상이 되는 기술의 지식재산권 | 특허 10-2017-0146897 | 특허 10-2017-0146626 | 특허 10-2018-0121325 |
| | 소규모 교량 시설물의 실시간 사고감지 및 유지관리 시스템 | 시설물 안전점검 시스템 및 방법 | 시설물 안전진단 및 유지관리 방법 및 이를 위한 시설물 진단장치 |
| | ㈜다음기술단 | ㈜바인테크 | ㈜다음기술단 |
| 기존기술과 비교하여 성능 개선 등 차별화 내용 | 차별화 1 | • 기존기술은 점검자가 시설물의 모든 부재 도면을 종이로 출력해 손상을 입력하는 방법<br>• 사업화기술은 점검자가 현장에서 시설물의 점검대상 부재의 도면을 로드하고 여기에 다양한 손상정보를 쉽게 기록 | |
| | 차별화 2 | • 기존기술은 종이 도면에 그려진 손상을 내업에서 캐드도면에 옮기고 이를 다시 비교하여 누락된 정보가 있는지 확인하는 3단계을 거친 후 상태평가 실시<br>• 사업화기술은 현장에서 로드한 도면에 바로 손상을 입력하여 내업이 없고, 현장에서 바로 상태평가 실시 | |
| | 차별화 3 | • 기존기술은 대략적인 면적산출로 부정확한 상태평가 결과 도출<br>• 사업화기술은 길이, 균열폭, 면적을 바탕으로 정확한 상태평가 도출 및 정확한 물량산출로 보수비용 절감 | |




<ICT기반 상태평가 플랫폼 개념도>




<플랫폼 흐름도>



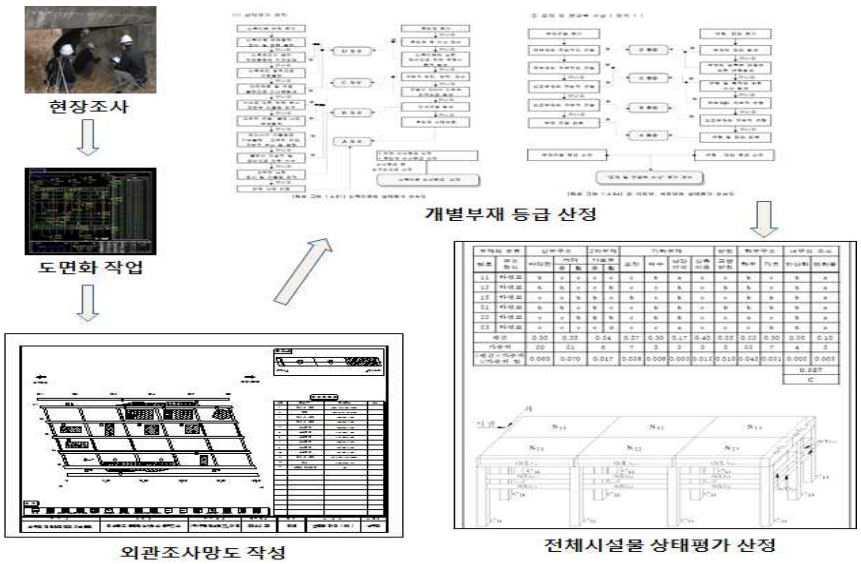

<사업성 비교>

## 나. 대상기술 요약

(1) 기술의 우수성

(가) 기존 과업 과정

- 종래 점검 방법으로 시설물 현장 조사 시 개별 부재의 외관조사망도를 출력하여 수기로 현장에서 기입하고 내업으로 도면화 작업을 실시하고 있음
- 현장에서 측점 분할(터널, 항만, 댐) 및 제원을 파악 후 손상을 야장에 기입하는 형태로 조사가 이뤄지고 있음
- 종래의 방법으로 점검 및 진단을 수행할 시 점검자에 따라 측점 분할의 오차가 발생될 수 있으며, 외관조사망도 작업 및 상태평가 산출 시 많은 내업 시간이 소요됨




<기존 과업 과정>

(나) QR(Quick Response)코드 및 전자야장

- QR은 'Quick Response'의 약자로 '빠른 응답'을 얻을 수 있다는 의미
- 기존의 바코드는 기본적으로 가로 배열에 최대 20여 자의 숫자 정보만 넣을 수 있는 1차원적 구성이지만, QR코드는 가로, 세로를 활용하여 숫자는 최대 7,089자, 문자는 최대 4,296자, 한자도 최대 1,817자 정도를 기록할 수 있는 2차원적 구성

- QR 코드는 다른 Tag와 달리 전력이 필요 없으며, 사용 시 별도의 Royalty가 붙지 않고 저렴하게 이용이 가능하다. 또한 QR코드는 오염과 손상되더라도 복원할 수 있는 장점이 있어 토목구조물에 적용하기 적합함

(다) QR(Quick Response)코드 및 전자야장의 활용

- 시설물의 각 개별 부재에 설계된 QR코드를 설치하여 각 개별부재의 정보를 서버와 연동 할 수 있도록 함
- 시설물의 전체 정보와 개별부재의 제원, 전차년도 점검 진단, 보수보강 이력 등의 정보를 현장에서 조회 가능
- 전자야장에 손상 기입, 상태평가 및 물량 산출 기능으로 객관적인 DB확보가 가능하며, 손상의 이력 추적이 가능
- 개별부재 현장조사 시 공용연수와 부재의 구조적 특성에 따라 손상 예측 및 주요 점검부위 안내를 통해 점검자의 전문적 판단 유도




<전자야장 및 QR코드의 활용>

(라) 소규모 시설물 Navigation

- 소규모(3종 시설물) 공공시설의 대부분이 시설의 노후화는 물론 통수단면 부족 등으로 홍수 시 인명피해 등 재해위험이 상존
- 20년 이상의 시설물이 80%이상 차지하여 시설물 노후화
- 지자체 예산 부족으로 안전점검과 보수·보강이 원활히 이루어지고 있지 않음



<청원구 북이면 소교량 붕괴('16년4월)>



<여주군 연양천 신진교 붕괴('10년10월)>



<인제군 아침가리골 교량 유실('06년6월)>



<곡성군 섬진강 출렁다리 붕괴('10년8월)>

- 자가발전식 GPS센서와 서버와 연동하여 소규모 시설물 Map에 유실 실태 현황 표기
- 관리주체의 대상 소규모 시설물에 대한 이벤트 알림
- 태양열 에너지를 전력원으로 사용하여 시설물 유실 감지 센서 작동




<소규모 시설물 Navigation 기능>

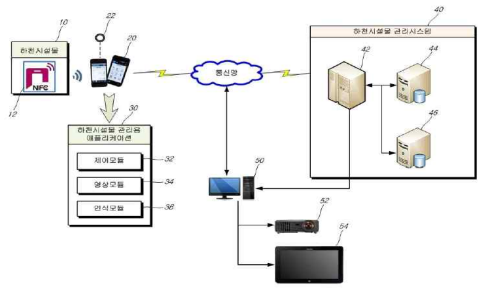
(2) 기술의 독창성

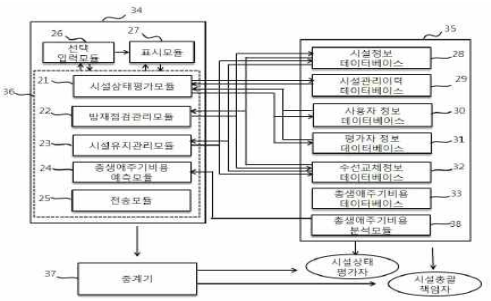
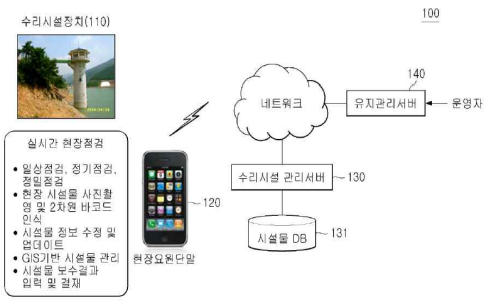
(가) 국내 유사기술과 수준 비교

| 구분 | ㈜다음기술단 (ICT기반 상태평가 시스템) | 한국시설안전공단 (모바일점검 진단 시스템) | 한국건설기술연구원 |
|---|---|---|---|
| UI |  |  |  |
| | ▪QR코드 + App/web | ▪App/web 접속<br>▪대상 시설물 선택 | ▪App/web 접속<br>▪대상교량 선택 |
| 서버연동 방법 | ▪CAD | ▪CAD | ▪없음 |
| 외관조사 망도 | ▪CAD 그리기<br>▪손상 수기 입력<br>▪손상길이 및 면적 자동 산출<br>▪이미지 기반 손상 검출 | ▪CAD 그리기<br>▪손상 수기 입력<br>▪사진 | ▪수기 입력<br>▪사진 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 상태평가 | ▪손상별, 개별부재별 상태평가 등급 산정<br>▪점검 및 진단 수준 | ▪손상별 상태평가 등급 산정<br>▪점검 및 진단 수준 | ▪대표 부재 상태평가 등급 산정 (간소화)<br>▪정기점검 수준 |
| 의사결정 | ▪전문가 피드백 가능 | - | ▪적기에 지속적 맞춤형 결과 제공 |
| 특징 | ▪점검 및 진단 수준의 상태평가 가능<br>▪초급기술자 수준의 조사자로 상태평가 가능<br>▪손상 추적 이력 관리<br>▪개별 부재별 전차년도 보고서 비교 가능<br>▪Icon 및 CAD 선택적 기입 방법으로 외관조사망도의 작업의 효율성 | ▪현장에서 모바일을 이용하여 외관조사망도를 직접 그려서 기입<br>▪도면을 직접 업로드 및 다운로드<br>▪측점분할 시 오류 가능성 | ▪상태평가의 간소화<br>▪정기점검 수준<br>▪손상 발견이 목적<br>▪손상 위치의 오류 가능성 |

(나) 기존 특허기술과의 차별성

| 번호 | 기존기술명<br>기존기술도면<br>기존기술내용 | 신청기술과의 차별성 |
|---|---|---|
| 1 | 근거리무선통신(NFC)을 이용한 하천 시설물 유지관리 방법<br>특허등록 제10-1480784호(소멸) | 모바일단말기를 이용하여 DB정보를 불러오는 방법은 유사하나, 신청기술의 경우 QRcode를 활용함으로서 NFC처럼 전력이 필요 없고, 시설물의 상태평가까지 완료가 가능하다. |
| |  | |
| | 하천 시설물의 유지관리 목적에 따라 하천 시설물의 기능을 보전하고 시설 이용자의 편의와 안전을 도모할 수 있도록 하는 근거리무선통신(NFC)을 이용한 하천 시설물 유지관리 방법 및 그 시스템에 관한 것이다. | |

| | | |
|---|---|---|
| 2 | 스마트폰을 이용한 시설상태평가 방법 및 시스템<br>특허등록 제10-1358673호 | 기존기술은 스마트폰으로 상태평가정보를 도출 한다는 점에서 유사하나, 투입 및 예측된 수선교체비용과 방재점검 감지수단으로 통합시설상태평가정보를 도출한다는 점에서 안전점검 · 진단의 상태평가는 아닌 것으로 판단된다. |
| |  | |
| | 스마트폰을 이용하여 기 축적된 시설정보와 수선 및 교체정보를 미치 제공받고, 실시간 입력된 시설상태평가 결과를 유지관리자 또는 총괄책임자에게 전송해주는 시설상태평가 방법이다. | |
| 3 | 이동 단말을 이용한 농촌 수리 시설물 관리 방법 및 장치<br>특허등록 제10-1095849호 | 이동 단말, 바코드, 도면 등을 활용하여 시설물을 관리하는 것은 유사하나, 도면에 직접 결함 · 손상을 입력하여 업로드 하는 방식이 아닌 확인하는 용도로 신청기술과 차별화 된다. |
| |  | |
| | 이동 단말에 무선식별시스템, 위성위치확인시스템, 근거리 통신모듈(지그비 등) 및 카메라를 구비하여 이들 장치로부터 얻어진 정보를 처리하여, 농촌용수의 체계적인 물 관리와 농촌수리시설의 효율적 안전관리를 위한 농촌 수리 시설물 관리 방법 및 장치에 관한 것이다. | |

(3) 기술의 활용성

○ 현장조사자의 Needs를 통해 편의성 · 신속성 · 정확성을 향상
  • CAD + ICON + 이미지기반 손상검출 = 전자야장 기입기법
  • QR 코드를 이용하여 부재의 전차년도 보고서, 보수 이력, 손상 진행사항 확인
  • 점검 프로세스 중 사전조사 기간 단축
○ 초급기술자 수준의 점검자의 신뢰성 있는 조사 환경 유도
  • 3종 시설물의 관리주체는 주로 지자체로서 안전점검에 생소한 공무원이 점검하는 경우
  • 상태평가 정보 및 매뉴얼 안내 기능
  • 공용연수와 부재의 구조적 특성에 따라 손상 예측 및 주요 점검부위 안내 기능
○ 유지관리 효율 및 재해 대처 능력 향상
  • 소규모 시설물 Navigation 기능으로 점검 이력 스케줄 관리
  • 유실감지 센서를 통해 재해 발생 시 즉각 대응 능력 가능

(가) 소규모 공공시설 안전관리 등에 관한 관리 체계 보완의 필요성

- 소규모 공공시설의 대부분이 시설의 노후화는 물론 통수단면 부족 등으로 홍수 시 인명피해 등 재해 위험이 상존
- 소규모 공공시설 안전관리 등에 관한 법률 제정 (2016년 07월 시행) 이후 체계적인 계획 및 시행 방안 미비하며, 지자체의 예산 부족 및 관리 부실로 위험성 증가
- 시설물 관리주체는 주로 지자체이며, 지자체의 담당 공무원의 잦은 인사이동 및 비전문가가 담당하게 되는 경우가 있어 시설물 관리의 효율성이 떨어짐

(나) ICT 기술 융합 및 빅데이터의 활용

- 시설물의 전체 생애비용주기 중 유지관리 비용이 80%이상을 차지할 정도로 매우 많은 부분을 차지하고 있으며, ICT 융합기술을 구축할 경우 유지관리 효율성 증대로 기존 대비 유지관리 비용의 15%를 절감할 수 있음(출처: 건설IT융합 시장 및 기술동향과 정책적 시사점, 2010, KIET)
- 현재 시설물의 정보관리는 1,2종 시설물은 FMS 에 등록되어 관리되고 있지만, 소규모시설물은 주로 paper형태 또는 저장매체로 보관되며, 이것 또한 관리 부실로 상당수 분실된 상태임
- 안전점검 및 정밀안전진단의 매뉴얼을 기반으로 1,2종 시설물은 무사고가 지속되고 있으며 95%가 안전등급 A,B로 매우 양호한 상태로 관리되고 있음. 따라서 체계적인 안전점검 및 정밀안전진단의 매뉴얼과 ICT 융합기술을 통해 빅데이터를 활용하기 위한 기반을 구축할 필요가 있음

(다) 기술개발 필요성 및 고객 요구사항

- 자료 분석의 수작업으로 능률이 저하되며 현장의 시설물 측점 분할 시 기진단 또는 현장조사자에 따라 오차가 발생
- 외관조사망도를 현장에서 수기로 기입하고 도면화하는 작업에서 손상 규모 및 위

치에 오차가 발생되며 균열 및 손상에 대하여 조사자의 주관적 견해가 반영

- 국토해양부에서 조사한 결과 시방서, 안전 및 유지관리 매뉴얼, 대형설비 설계도 등을 미보유한 시설물관계자가 상당수 이상으로 조사되었으며, Paper형태의 관리대장 및 안전매뉴얼에 의존하는 상당수 이상의 관계자가 관리 프로그램의 필요성을 제기
- 안전 및 유지관리에 대한 인식이 확산되면서 예산의 적정성을 파악하여 관리프로그램을 활용하겠다는 의견도 과반이상으로 조사됨

(라) 시설 안전 체계의 재검토 시기 도래

- (재검토 방향) 22년이 경과된 시설안전체계를 시대적인 트렌드(자발적 유지관리, 전문성 강화)에 맞게 재검토할 필요가 있음
- (자발적 유지관리) 관리주체의 수동적인 자세를 유발하는 규제 위주의 정책에서 탈피하여 자발적이고 능동적인 안전관리를 이끌어낼 필요
- (전문성 강화) 요구되는 높은 기술수준에 맞춰 관리주체, 안전진단전문기관 유지관리업체 소속 기술자의 전문성이 낮아 이를 보완할 필요

## 다. 기술동향 및 사업화 전망

(1) 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과

(가) 국가연구개발사업 유사연구 검토

- 국가연구과제 중복성 검토에서는 유사과제가 없었으나, 공공기관에서 수행했던 과제로서 한국건설기술연구원의 ‘생애주기를 고려한 교량통합관리시스템 구축 연구’와 한국시설안전공단에서 수행하였던 ‘교량·터널·건축물 등 상태평가 자동화 및 보고서 작성시스템 개발’, ‘모바일 기술을 활용한 시설물 점검 및 진단 지원시스템 개발’ 이 본 과제와 유사하나 적용 대상물 범위와 개발 목표 및 방향이 상이함

| 부처명 | 공공기관 | 과제명 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 국토교통부 | 한국건설기술연구원 | 생애주기를 고려한 교량통합관리시스템 구축 연구 | 연구 내용이 유사하나 대상물 범위와 개발 목표, 방향이 상이함 |
| 국토교통부 | 한국시설안전공단 | 교량·터널·건축물 등 상태평가 자동화 및 보고서 작성시스템 개발 | |
| 국토교통부 | 한국시설안전공단 | 모바일 기술을 활용한 시설물 점검 및 진단 지원시스템 개발 | |

(나) 사업화과제의 차별화 방안

| 과제명 | 검토 결과 및 차별성 |
|---|---|
| 생애주기를 고려한 교량통합관리 시스템 구축 연구 | • 교량정보의 체계적 관리 및 분석을 통해 교량의 전 생애주기 동안의 유지관리 전략 · 계획(조치 시기, 방법, 우선순위 등)을 수립함은 물론, 관리주체의 정책 수립과 시행을 지원하는 시스템<br>• 상태평가 수준이 기존 안전점검 기준에서 요구하는 방법과 상이하며, QR 코드와 스마트 패드의 연동으로 시설물의 상태평가와 점검 보수 이력 관리하는 방법이 상이함<br>• 지도로만 시설물의 위치를 알려주는 기존 연구와 달리 점검 스케줄 관리 및 시설물의 유실 및 재해사고 시 알림 기능이 상이함 |
| 교량·터널·건축물 등 상태평가 자동화 및 보고서 작성시스템 개발 | • 전자보고서 작성시스템(e-Report Builder)은 시설물의 정밀점검 및 정밀안전진단 보고서 작성용 소프트웨어로 다양한 소프트웨어(한글, Excel, Autocad외 특수목적의 프로그램)를 사용하는 것에 비해 단일 소프트웨어로써 현장조사 자료정리, 외관조사망도 작성, 보고서 작성 등의 업무를 수행함<br>• 대상시설물인 소규모(3종)시설물이 상이하며, 전자야장 및 QR 코드 기반으로 적용 기술이 상이함<br>• 전자야장을 통해 CAD+ICON+이미지 기반 손상검출 등을 활용한 기법으로 작업의 편의성 및 효율성이 높음<br>소규모 시설물 Navigation으로 시설물 점검 이력관리와 스케줄 관리, 재해발생 시 경보 서비스 등의 차별성이 있음 |
| 모바일 기술을 활용한 시설물 점검 및 진단 지원시스템 개발 | • 진단 자료 DB구축 및 태블릿 PC기반 정밀점검 · 정밀안전진단 현장조사 전 과정을 시스템으로 구축<br>• 서버와 연동하는 방법(QR코드 이용)이 상이하며, CAD를 현장에서 직접 그리는 방법을 Icon화된 기입기법과 이미지 기반으로 손상 검출하는 방법에서 차별화<br>• 자가발전 센서를 이용하여 재해 발생 시 경보 서비스와 시설물 점검 이력관리와 스케줄 관리 서비스에서 차별성이 있음 |

(2) 국내외 관련 기술 특허 동향

| 지식재산권명 | 지식재산권출원인 | 출원국/출원번호 |
|---|---|---|
| 무선 센서 네트워크를 이용한 시설물 관리시스템 | 한국건설기술연구원 | 한국/1020040104473 |
| 바일 기기를 이용한 지리정보 관리시스템 | 대림대학교 산학협력단 | 한국/1020070030899 |
| 무선주파수 인식 기술을 이용한 산업기간 시설물의 정보관리시스템 | 한국유지관리 주식회사 | 한국/1020040107487 |
| 산업시설 관리 시스템 | 주식회사 케이디파워 | 한국/1020010054842 |
| 웹기반 하수관거 통합 유지관리 시스템 및 그 제어방법 | 주식회사 수로텍 | 한국/1020020083265 |
| 공간모델을 이용한 시설물 유지관리 시스템 및 시설물 유지관리 방법 | 주식회사 티엠이앤씨 | 한국/1020100090228 |
| 방재모듈을 탑재한 건축물 유지관리 시스템 및 방법 | 목원대학교 산학협력단 | 한국/1020110060356 |
| 증강현실기반의 건물정보 통합관리시스템 | 버츄얼빌더스 주식회사 | 한국/1020050039868 |
| 네트워크 기반의 시설물 통합관리방법 및 그 시스템 | 박장호 | 한국/1020080055414 |
| BUILDING MANAGEMENT SYSTEM FOR MONITORING SITE EVENTSAT BUILDINGS | 갓윈, 애드리언 마이클 | 영국/1020027017132 |

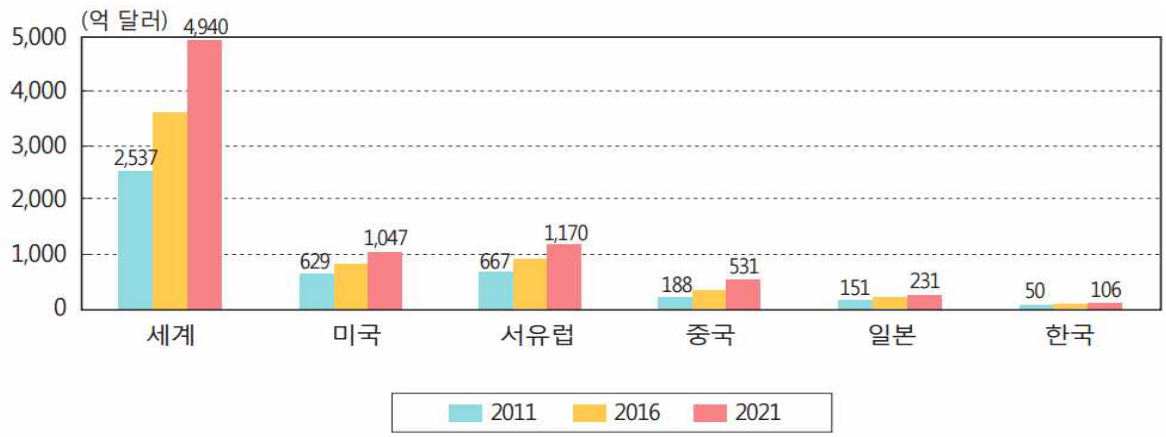
(3) 국내외 시장분석 및 사업화 전망

(가) 목표시장의 경쟁상황

- 지난 10년 사이에 시설물유지관리업의 시장은 3조원이 넘는 규모로 크게 성장하였으며( '01년 1.0조원, '10년 2.8조원), 관련 업체도 매년 20%이상 늘어 4천여개 기업이 운영되고 있음(2010년 기준). 또한 정부에서는 SOC 예산을 4%이상 증액했기 때문에 공공 공사로 인해 시설물 유지관리 분야의 수요도 증가할 전망임(출처: 국토교통부, 보도자료, 2013)
- 세계적인 컨설팅 및 기업조사기관인 프로스트 앤 설리번이 최근 발표한 '한국 통합시설관리 시장 보고서'에 따르면 국내 통합시설관리 시장은 이미 지난 2009년 134억3000만 달러의 수익을 올렸으며, 국내 통합시설관리(IFM) 시장은 앞으로 5년 동안 연평균 4%가 넘는 성장률을 기록, 2016년에는 시장규모가 185억 달러가 넘을 것으로 전망됨.(출처: 한국의 통합시설관리(IFM)시장 보고서, 2011, Frost & Sullivan)
- 대기업들과 해외 통합시설관리 기업들간의 협력이 통합시설관리 시장의 촉진요인으로 작용하고, 경제정책 규제 완화와 서비스 확장으로 2010년부터 2016년까지 연평균 4.1%씩 성장 할 것으로 예측됨(출처: 한국의 통합시설관리(IFM)시장 보고서, 2011)
- 고령화에 따른 실버타운, 레저시설, 그리고 의료 · 복지 시설 등의 지속적인 증가가 예상되며 비주거용 건축물들이 지속적으로 증가하게 되면 유지관리 대상 시설물의 증가를 수반하게 되므로 향후 비주거용 건축물에 대한 안전 및 유지관리 투자 수요도 지속적으로 증가할 것으로 예상됨

(나) 국내 · 외 시장 규모

- 안전장비와 서비스를 포함한 전체 시장은 2011년 기준 2,530억 달러이며 2021년까지 연평균 6.9%씩 성장하여 4,940억 달러 수준으로 성장할 것으로 전망




<세계 안전시장 규모추이>

- 2011년 기준 안전장비 시장은 829억 달러 수준으로, 2021년까지 연평균 6.6%씩 성장하여 1,570억 달러 수준에 이를 것으로 예상
- 안전서비스 시장은 장비시장의 2배 규모이며, 2011년 현재 1,708억 달러 수준
- 2021년까지 시장규모가 3,370억 달러 수준에 이를 것으로 예상되며 연평균 성장률은 7.0%로 추정됨

단위 : 억 달러

| | 안전 장비 | | | | 안전 서비스 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2011 | 2016 | 2021 | 연평균 증감률 (2011~2021) | 2011 | 2016 | 2021 | 연평균 증감률 (2011~2021) |
| 세계 | 829 | 1,163 | 1,570 | 6.6 | 1,708 | 2,435 | 3,370 | 7.0 |
| 미국 | 132 | 181 | 237 | 6.0 | 497 | 645 | 810 | 5.0 |
| 서유럽 | 274 | 418 | 607 | 8.3 | 393 | 473 | 563 | 3.7 |
| 중국 | 139 | 228 | 351 | 9.7 | 49 | 99 | 180 | 13.9 |
| 일본 | 54 | 68 | 83 | 4.4 | 97 | 123 | 148 | 4.3 |
| 한국 | 15 | 21 | 27 | 6.1 | 35 | 54 | 79 | 8.5 |

< 부문별 안전시장 규모 >

- 경제 성장 후 안전에 더욱 민감해진 중국과 우리나라는 세계 평균보다 높은 13.9%와 8.5%의 연평균 성장을 이룰 것으로 보임
- 건설과 IT기술의 발전으로 융합시장은 2020년 기준 세계시장규모 600조원, 국내 시장규모 10조원으로 성장할 것으로 예상

<건설 IT 시장 규모>

(단위 : 억원)

| 구 분 | 시장규모(2013년) | 예상 시장규모(2020년) |
|---|---|---|
| 세계 시장규모 | 300조원(건설 IT 시장) | 600조원(건설 IT 시장) |
| 국내 시장규모 | 5조원(건설 IT 시장) | 10조원(건설 IT 시장) |
| 산출 근거 | ○ 한국의 통합시설관리(IFM)시장 보고서, 2011, Frost & Sullivan<br>○ 건설 IT 융합기술 동향(KIST), 2013<br>○ 건설 IT 융합산업과 정책 동향, 기술개발 전략, 2012, BIR research group | |

(다) 소규모(3종)시설물이 포함된 시설물 안전 및 유지관리 특별법 법안 통과

- 정부에서는 소규모 안전취약시설물이 자연재해 등 환경변화의 위험에 노출돼 있어 약 17만 여개 시설물을 제3종 시설물로 지정하여 시설물 안전 및 유지관리에 관한 특별법이 국토교통부 중심으로 일원화 된 법안이 통과
- 안전진단 시장규모도 연간 1600억~2000억원 수준에서 3종 시설물 추가로 약 1200억원이 더 늘어 4000억원 규모까지 증가할 전망

(4) 사업화 전망 결론

- 한국 건설 산업은 지난 50년 동안 단기간의 높은 양적 성장에 비해 시설물의 급속한 고령화가 진행 중이며, 유지관리에 대한 사회적 필요성과 관심도가 높아짐
- 소규모(3종)시설물이 포함된 시설물 안전 및 유지관리 특별법 법안이 통과됨으로써, 진단 시장규모도 연간 1600억~2000억원 수준에서 3종 시설물 추가로 약 1200억원이 더 늘어 4000억원 규모까지 증가할 전망
- 그러나 소규모 시설물에 대한 안전 및 유지관리계획을 수립·시행하는 관리주체의 지자체 예산 확보가 어려움
- 저 비용으로 많은 소규모 시설물의 정확하고 체계적인 안전 및 유지관리계획이 필요




<SWOT 분석>

- 기존의 시설물점검 및 진단업무의 비효율성, 유지관리 관리자 및 점검자의 전문성 부족, 점검 후 기록, 보존에 대한 누락, 오류 등 시설물 상태평가의 문제점을 극복하고, 소규모 공공시설물은 지자체의 예산 부족 및 관리 부실로 위험성이 증가되며, 20년 이상의 시설물이 80% 이상 차지하여 시설물 노후화에 따른 위험성이 가중되고 있는 소규모 시설물을 효과적으로 관리 및 평가하고자 ICT 기반 소규모 시설물 상태평가 플랫폼을 개발하고자 함
- 초기 시범현장 적용을 통한 현장 검증 후 시스템 공급의 확산 적용으로 시장 점유율이 급속도로 높아질 것으로 판단 됨

## 3. 연구개발 범위

| 구분<br>(연도) | 사업화<br>목표 | 사업화 전략 및 방법 | 성과물 |
|---|---|---|---|
| 1차 연도<br>(2017) | ICT기반<br>상태평가<br>Master<br>Plan 설계 | ▪주관기관((주)다음기술단)<br>-유실감지 센서 설계 및 시작품 제작<br>-ICT상태평가 Logic 설계<br>-QR코드 적용 기술 설계 | ▪유실감지 센서 설계 보고서 1부<br>▪유실감지 센서 특허 1건<br>▪유실감지 센서 1차 시작품 1건<br>▪Logic 설계 보고서 1부<br>▪QR코드 최적화 보고서 1부 |
| | | ▪공동연구기관((주)바인테크)<br>-ICT기반 통합 시설물 관리 플랫폼 설계/구축<br>-전자야장 엔진 및 윈도우 앱 설계 | ▪물리서버 구축 1건<br>▪시설물 관리 플랫폼 특허 1건<br>▪전자야장 엔진 설계 보고서 1부<br>▪윈도우 앱 설계 보고서 1부 |
| | | ▪공동연구기관<br>(한국건설기술연구원)<br>-시설물의 손상 자료 DB화 및 이미지 분석기법 선정 | ▪손상유형별 자료 DB화 보고서 1부 |
| 2차 연도<br>(2018) | ICT기반<br>상태평가<br>플랫폼<br>기술 개발 | ▪주관기관((주)다음기술단)<br>-유실감지 센서 2차 시작품 제작 및 검증<br>-ICT기반 지능형 상태평가 기술 개발<br>-QR코드 적용성 검증 | ▪전자야장 상태평가 특허 1건<br>▪유실감지 센서 2차 시작품 1건<br>▪유실감지 센서 TTA시험 1건<br>▪상태평가 보고서 1부<br>▪QR코드 현장적용 보고서 1부<br>▪(주)신공항하이웨이 현장적용 |
| | | ▪공동연구기관((주)바인테크)<br>-ICT기반 통합 시설물 관리 플랫폼 개발<br>-전자야장 엔진 및 윈도우 앱 개발 | ▪특허출원 2건<br>▪특허등록 1건(1차년도)<br>▪GS인증 신청<br>▪(주)신공항하이웨이 현장적용 |
| | | ▪공동연구기관<br>(한국건설기술연구원)<br>-이미지 분석 기법을 이용한 시설물의 손상검출 알고리즘 개발 및 성능확인 | ▪손상검출 알고리즘 개발 및 성능확인 보고서 1건 |
| 3차 연도<br>(2019) | Test-bed<br>검증 및<br>기술의<br>고도화<br><br>사업화<br>관련 인증<br>신청 및<br>설명회<br>개최 | ▪주관기관((주)다음기술단) &<br>공동연구기관((주)바인테크)<br>-Test-Bed 및 플랫폼 고도화<br>-ICT상태평가 Logic 설계<br>-건설신기술 지정 신청<br>-공청회 및 현장설명회<br>-마케팅 전략 수립 | ▪특허등록 1건<br>▪GS 인증 등록 1건<br>▪SW등록 1건<br>▪신기술 신청서 1건<br>▪마케팅 전략수립 / 공청회 및 현장설명회 1회<br>▪매출액 5,000만원 달성 |
| | | ▪공동연구기관<br>(한국건설기술연구원)<br>-개발된 알고리즘 신뢰도 검증<br>-ICT 기반 시설물 상태평가 프로그램 매뉴얼 제시 | ▪SW등록 1건<br>▪상태평가 매뉴얼 1건 |

# 제2장. 연구수행내용 및 성과

## 1. 에너지하베스팅을 활용한 GPS 유실감지 센서모듈

### 가. 개요

(1) 배경 및 필요성

- 우리나라는 1970년대 지역사회 개발운동인 새마을운동을 시작으로 1990년대까지 국가주요시설이 집중적으로 건설되었으며, 특히 잘 포장된 도로 및 마을과 마을을 연결해 주는 소규모 교량은 농촌지역의 근대화를 이끌며 우리나라 경제성장에 일조하였다.
- 이러한 소규모 교량은 마을과 마을을 연결하는 주요 시설임에 불구하고, 현재 준공 30년 이상 노후화로 관리가 필요한 상황이지만 지자체 예산 부족으로 안전점검과 보수·보강이 원활히 이루어지고 있지 않은 상황이다. 실제 이러한 노후화 소규모 교량은 자연재해로 인해 아래 사진과 같이 붕괴사고가 빈번히 발생하고 있으나, 예산 및 인력의 부족으로 붕괴사실을 인지하고 보수·보강하는데 상당한 시간이 소요되고 있다.
- 따라서 본 연구는 자연재해로 인한 소규모 교량 시설물의 붕괴예측이 아닌 붕괴사후를 빠르게 인지 가능한 유실감지 센서모듈을 개발하고자 한다.



<청원구 북이면 소교량 붕괴('16년4월)>



<여주군 연양천 신진교 붕괴('10년10월)>



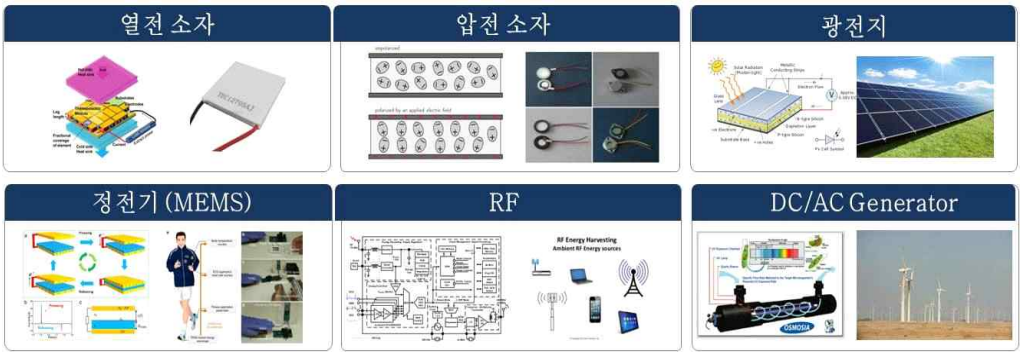
<인제군 아침가리골 교량 유실('06년6월)>



<곡성군 섬진강 출렁다리 붕괴('10년8월)>

(2) 에너지하베스팅

- 에너지하베스팅(자가발전)은 태양광, 열, 진동, 바람, 전자기파 등으로부터 전기에너지를 획득하는 기술로 기존의 상용화된 에너지 하베스팅 시스템은 효율 문제로 인해 범용화가 힘들어 특수 환경에서만 제한적으로 활용되어 왔다. 하지만 최근 나노 기술의 발전으로 에너지 변환소자의 효율 향상과 소형화를 이끌었고, 그에 따라 군사·우주항공 등에 국한되어 사용되던 에너지 하베스팅 기술의 활용도가 높아졌다.




<다양한 형태의 에너지 하베스팅 디바이스의 예>

- 현재 자가발전이 적용된 가장 일반적인 시스템은 Smart home 분야로, 조도센서나 온도센서, 습도센서 등을 바탕으로 공조를 제어하거나 재실자 유무를 확인하여 기기의 ON/OFF를 제어하는 시스템이다. 시설물 관리 분야에서는 일반적으로 온도와 진동 등을 모니터링하여 시설의 이상유무를 확인하는데, 대부분 기계설비의 고장 유무 판단에 사용한다. 본 연구에서 제안하는 '자가발전 GPS 모듈' 은 교량시설물의 위치 정보 및 유실을 실시간으로 모니터링 하여, 관리자가 즉각적인 피드백을 할 수 있도록 하는 것을 그 기능으로 한다.

<연구개요>

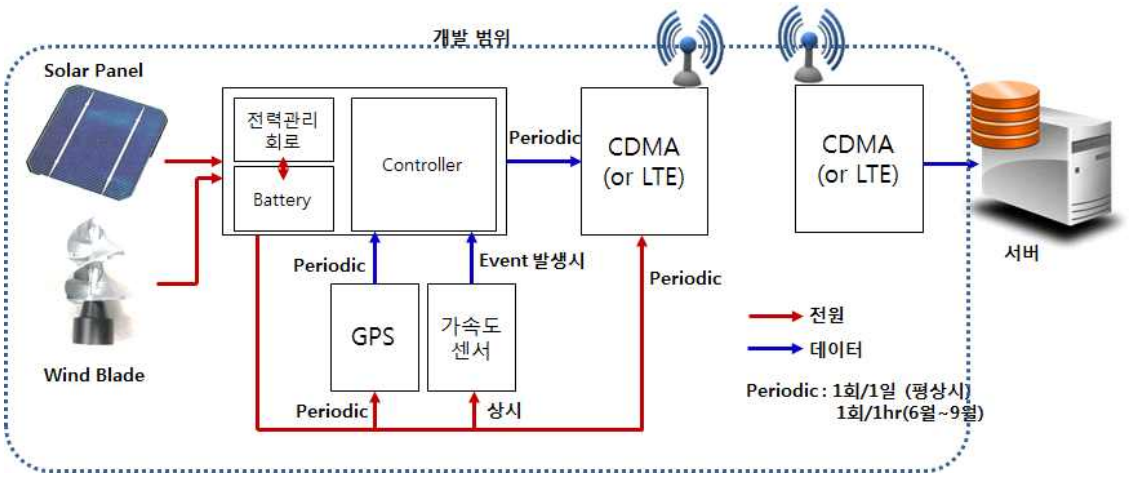
| 정의 | 시설물의 실시간 위치 정보 및 유실 감지 센서 시스템 |
|---|---|
| 목적 | • 소규모 시설물로부터 에너지 하베스팅을 통해 센서 전력 확보<br>• GPS 센서와 통신 모듈을 통한 서버 위치정보 전송 |
| 성능목표 | (기존기술 수준)<br>- 에너지하베스팅 기술은 있으나 전력원으로 적용성이 떨어짐<br>- 유실감지센서가 없음<br>(개발기술 수준)<br>- GPS 정보를 통한 유실 감지 알고리즘 개발<br>- 에너지 회수기술을 통해 반영구적인 GPS 유실 감지 센서 개발 |




<자가발전 GPS 모듈을 활용한 IoT 기반 점검·진단 통합시스템>

## 나. 시스템 구성안

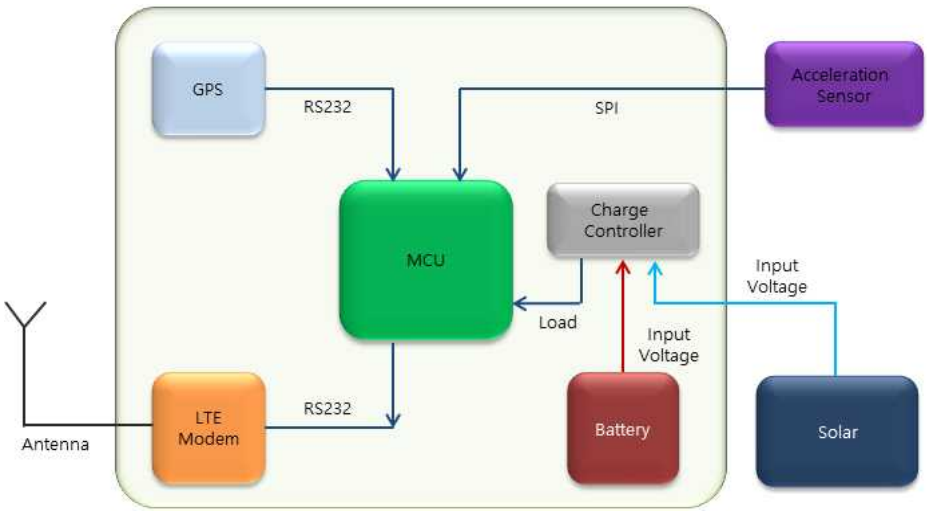
- 연구 초기에는 아래 그림에 나타난 대로, wind blade와 solar panel 두 가지의 에너지 하베스팅 방식으로 자가발전 GPS 모듈의 전력을 생성하여 배터리를 저장하고자 하였다. 하지만 이후 실험 과정을 거치면서, wind blade를 제외하고 solar panel을 단독으로 사용하는 것으로 시스템 구성을 수정하였다.(3.1 참조) Solar panel에 의해 발생·저장된 전력으로 센서를 포함한 모듈을 구동하고, GPS와 가속도 센서의 데이터(해당 포인트의 위치 및 현재 상태)를 송신하여 시설물의 이상유무를 판단할 수 있는 근거를 관리자에게 제시하여 즉각적인 피드백을 할 수 있게끔 시스템을 구성하였다. 이때, 데이터 송신은 LTE 모뎀을 사용하여 속도와 확장성을 확보하였다.




<자가발전 GPS 모듈을 활용한 IoT 기반 점검·진단 통합시스템 구성안>

## 다. 시스템 블록도 및 사양

(1) 시스템 블록도




<자가발전 GPS 모듈의 시스템 블록도>

(2) 주요 구성품 사양

<자가발전 GPS 모듈의 주요 구성품 >

| 구성요소 | 사양 | 제품사진 |
|---|---|---|
| GPS | • DC Supply Voltage(VCC): 6V<br>• I/O pin Voltage: 15V<br>• RF Input power: 15dbm<br>• Storage Temperature: -40~85℃<br>• Peak acquisition Current: 115mA<br>• Average acquisition Current: 53mA<br>• Average tracking Current: 43mA<br>• Shutdown Current: 37uA |  |
| LTE Modem | • DC Supply Voltage(VCC) : 5V<br>• Current : 1.2A<br>• 무선통신방식: LGU+ LTE B5/B7 FDD Cat.4<br>• KC 인증번호: MSIP-RMM-WJ7-890L<br>• Interface: DB9 RS232, RJ-45 Ethernet, GPIO |  |
| Battery | • Voltage(V): 12V<br>• 정력용량 (AH)<br>• 20HR(1.7V/Cell): 4A<br>• 1HR(1.6V/Cell): 2.4A |  |
| Charge Controller | • System Voltage: 12V<br>• Max. Power Voltage: 25V<br>• Rate Input Current: 6A<br>• PV Short Circuit Rating: 9A<br>• 25% Current Overload: 5min<br>• LVD (배터리 저전압 차단): 11.3V<br>• LVD Reconnet (배터리 저전압 복귀): 12.5V)<br>• Ambient Temp Range: -20~50℃ |  |
| Acceleration Sensor | • Wide Supply Voltage 1.71V to 3.6V<br>• Independent IO Supply(1.8V) and Supply Voltage compatible<br>• ±2g/±4g/±8g/±16g dynamically selectable full scale<br>• I2C/SPI Digital output interface<br>• 16-bit data output |  |

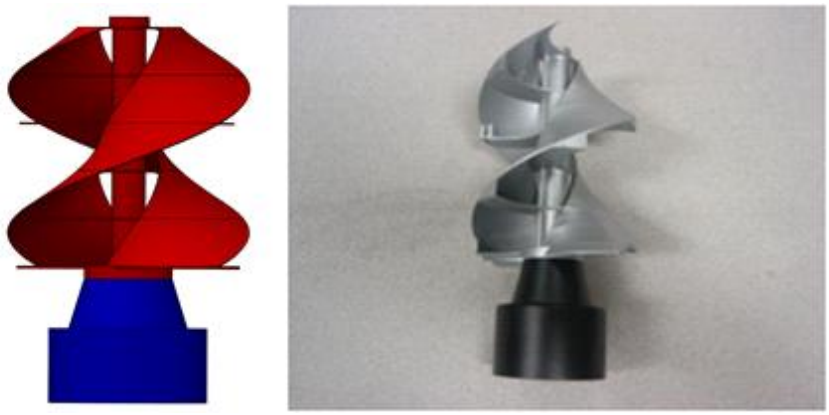
| | | |
|---|---|---|
| Solar | • Maximum Power (Pmax): 5W<br>• Voltage at Pmax (Vmp): 18.2V<br>• Current at Pmax (Imp): 0.28A<br>• Open-Circuit Voltage (Voc): 21.9V<br>• Short-Circuit Current (Isc): 0.29A<br>• Temperature coefficient of Voc : -(80±10)mV/℃<br>• Temperature coefficient of Isc : (0.065±0.015)%/℃<br>• Temperature coefficient of Power : -(0.5±0.05)%/℃<br>• Operating Temperature: -40~85℃<br>• Maximum System Voltage: 600VDC<br>• Power Tolerance: 0/+5% |  |

## 라. 가속도 및 GPS 모듈

- 유실감지센서모듈은 교량 붕괴 예측이 아닌 교량 붕괴 이후 인지 및 센서모듈이 부착된 교량 Span의 위치를 확인하기 위한 센서 모듈로, 가속도계를 통한 붕괴방지 기준 등의 별도 알고리즘이 적용되지 않는다. 다만, 가속도계는 초기 설치값을 기준으로 최대 ±16g의 동적범위를 측정하도록 하였으며, 이를 벗어났을 시 가속도와 GPS 데이터를 제공 및 1일1회 제공하도록 설정하였다.

## 마. 에너지하베스팅 성능 비교(Wind blade와 Solar panel)

- 아래 그림과 같이, 교량에서 발생하는 바람을 전기에너지로 변환 및 저장하기 위해 맞춤형 블레이드를 설계하여 제작하였다. 제작한 블레이드는 교량에서 발생하는 바람에 의해 회전하고. 이때 블레이드와 연결된 자석이 코일 주변의 자기장을 교란시켜 전기에너지를 생성한다.



<에너지 하베스팅을 위해 제작한 블레이드의 컨셉안(좌) 및 실제 모델(우)>

- 아래 표에 태양과의 각도에 따른 solar panel의 발생 전압 및 전류 값을 정리하였고, 이를 이후 wind blade와의 성능 비교에 이용하였다.

<태양과의 각도에 따른 solar 패널의 발생 전압 및 전류>

| | 0° | 45° | 90° |
|---|---|---|---|
| Output Voltage |  |  |  |
| | 21.68V | 21.32V | 20.28V |
| Output Current |  |  |  |
| | 262mA | 202mA | 83mA |

- 풍속 1.7m/s, 3m/s를 조건으로 상기 블레이드의 풍속에 따른 발생 에너지량을 측정하였다. 실험 결과, 1.7m/s의 바람이 부는 경우 약 8V(peak to peak) 전압이 발생하여 24mW의 전력을 생성하였고, 3m/s의 바람이 부는 경우 약 19.2V(pk-pk)의 전압이 발생하여 132mW의 전력을 생성함을 확인하였다.

<풍속에 따른 블레이드 발생 전압 및 전력량>

| 구분 | | Wind Speed 1.7m/s | Wind Speed 3m/s |
|---|---|---|---|
| 전압 | Peak to Peak(V) | 8 | 19.2 |
| | Rms(V) | 2.9 | 6.8 |
| Power | $\frac{V^2}{R}$(W) | 0.024 | 0.132 |

- 풍속을 3m/s, 공기 밀도를 1.25$kg/m^3$로 가정하였을 때, 실험에 사용한 블레이드의 면적은 $0.0154m^2$이므로 가능한 발전량은 약 260mW이다. 풍력 발전기의 경우, 이론적인 최대 효율을 Betz limit에 의해 약 0.6이다. 즉, 이론적으로 가능한 발전량은 156mW이다. 실험값과 비교하였을 때, 제작한 블레이드의 효율은 약 0.5이지만 실제 저장되는 에너지는 회로와 저장 매체의 손실에 의해서 효율은 0.5 미만일 것이다.

<자가발전 GPS 시스템의 발생 에너지>

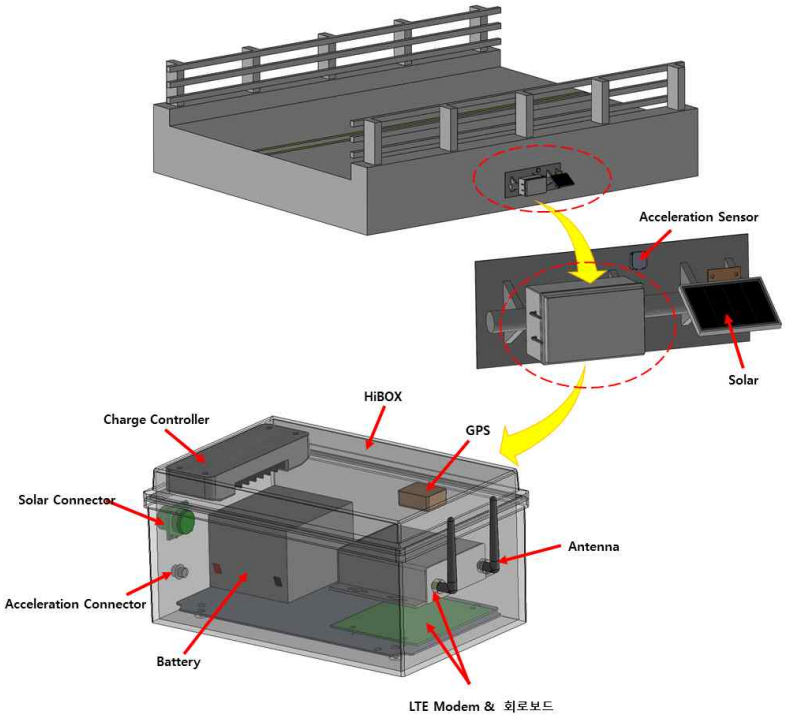
| 구분 | 전압(V) | 소비 전류(A) | 충전 시간 | 발생 에너지(J) |
|---|---|---|---|---|
| Solar | 7 | 0.6 | 2 Hour | 28,512 |
| Wind | 7 | 0.02 | 500 sec | 50 |

- 교량에 부착되는 자가발전 GPS 시스템에 solar panel과 블레이드를 사용하였을 때 발생할 것으로 예상되는 에너지량은 위의 표와 같다. solar panel을 사용하는 경우, 하루 평균 충전 가능 시간을 2시간으로 가정하였을 때 약 28kJ의 에너지를 얻을 수 있는 것과 대조적으로 블레이드 회전으로 얻는 에너지는 50J로 그 차이가 매우 크다. 즉, 블레이드를 사용한 풍력 발전은 그 효율이 좋지 않고, 발전량이 태양광 발전량에 비해 매우 적다, 따라서, 본 연구에서는 자가 발전을 위한 발전 방식에 solar panel을 사용한 태양광 발전을 단독으로 사용하였다.

## 바. 시스템 설계 및 제작

### (1) 시스템 컨셉

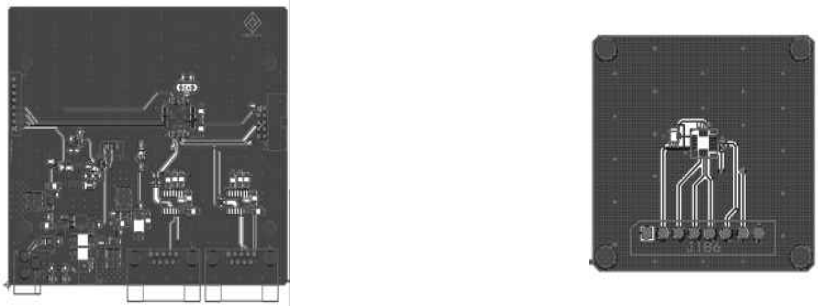
- 교량에 장착되는 자가발전 GPS 모듈의 3D 컨셉안을 아래 그림에 도시하였다. 모듈은 크게 자가발전을 위한 solar panel 부분과 에너지 저장 및 데이터 수집, 서버로의 송신을 담당하는 시스템 부로 구성된다. 교량의 이상 유무를 판단하는 가속도 센서는 solar panel 부와 마찬가지로 시스템 부 밖에 위치한다.




<자가발전 GPS 모듈의 3D 컨셉안 >

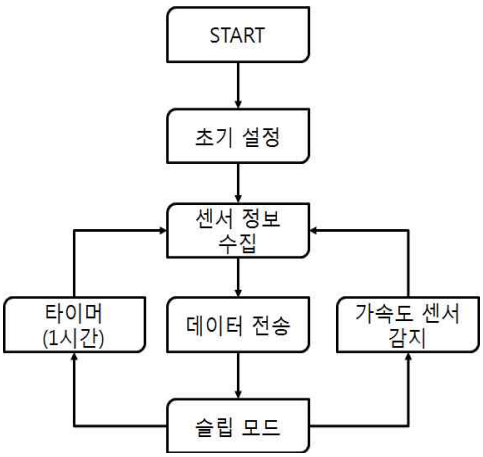
### (2) 설계도

- 자가발전 GPS 모듈은 Solar panel에서 생성된 전력을 배터리에 저장하고, 필요시 배터리에 충전된 에너지를 사용할 수 있도록 구성된다. 배터리 전원에 필요한 전원 관리 회로와 GPS 및 가속도 센서와의 인터페이스 회로, LTE 모듈과의 통신 인터페이스를 설계하였다. 아래 그림은 회로 설계도이다.



<회로 설계도>

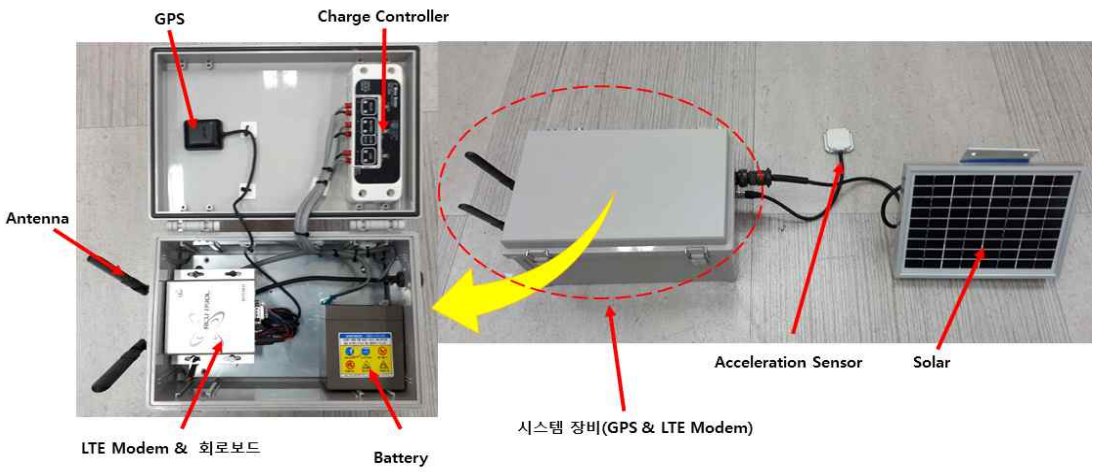
- 위와 같이 설계된 회로는 1시간 주기로 wake-up(하절기 시 1시간 1회, 그 외 1일 1회)하여 GPS 데이터를 LTE 모듈을 통해 전달 후 sleep 모드로 들어가 최소의 전력만을 사용하게 된다. sleep 모드 시 외부 충격이 가속도 센서에 의해 감지될 경우 wake-up 하여 GPS 정보를 전송하게 된다. 아래 그림은 F/W 내부 흐름도이다.




<F/W흐름도>

(3) 시작품(1차)

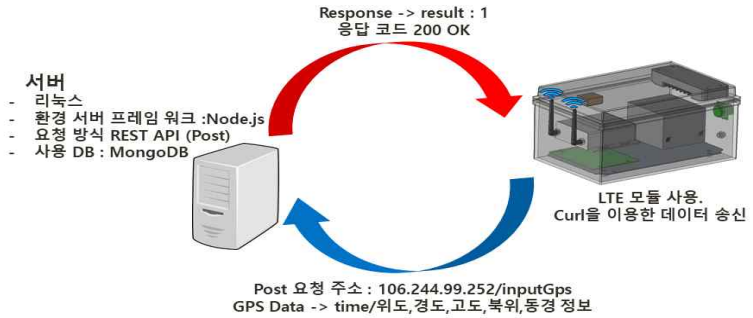
- 컨셉안과 회로 설계안을 바탕으로 시작품을 제작하였고 아래 그림과 같다.



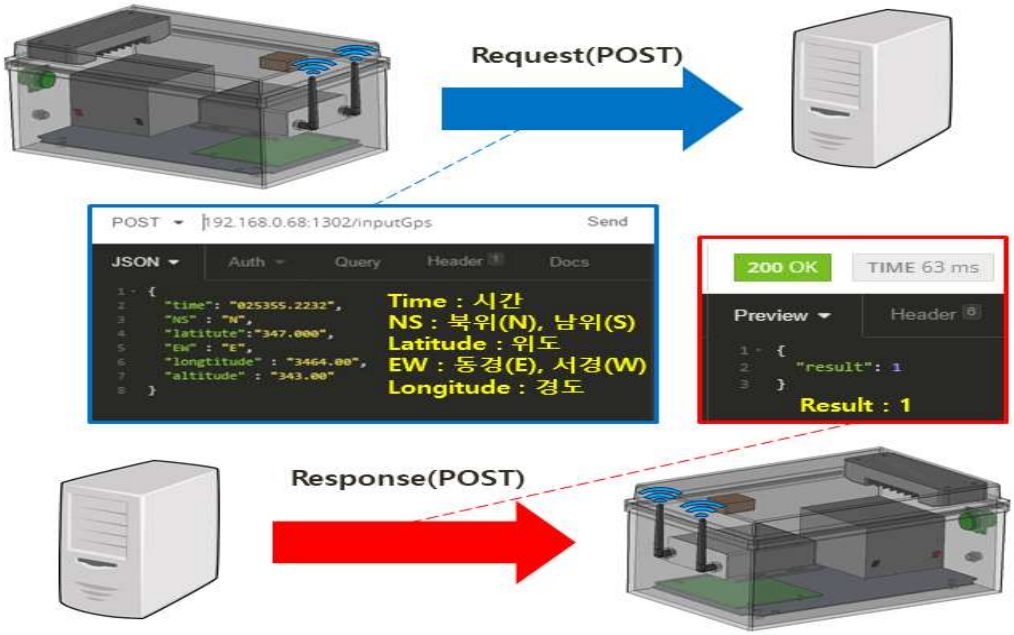

<자가발전 GPS 모듈 시작품 >

(4) 데이터 전송 및 저장

- 자가발전 GPS 모듈과 서버의 데이터 흐름과 프로토콜은 아래 그림과 같다. REST API 방식의 POST 방식으로 데이터를 서버로 전달하고, 서버는 이를 DB에 저장 후 자가발전 GPS 모듈에 응답한다.

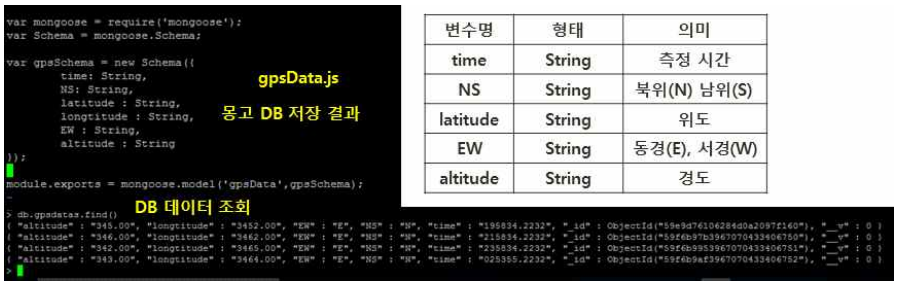



<서버 사양 및 자가발전 GPS 모듈과의 데이터 흐름 컨셉안>




<자가발전 GPS 모듈을 이용한 IOT 기반 점검 · 진단 통합시스템의 프로토콜>

- 이 과정에서 서버 DB에 저장되는 데이터 양식과 본 시스템에 사용되는 소스코드를 아래 그림으로 나타내었다.




| 변수명 | 형태 | 의미 |
|---|---|---|
| time | String | 측정 시간 |
| NS | String | 북위(N) 남위(S) |
| latitude | String | 위도 |
| EW | String | 동경(E), 서경(W) |
| altitude | String | 경도 |

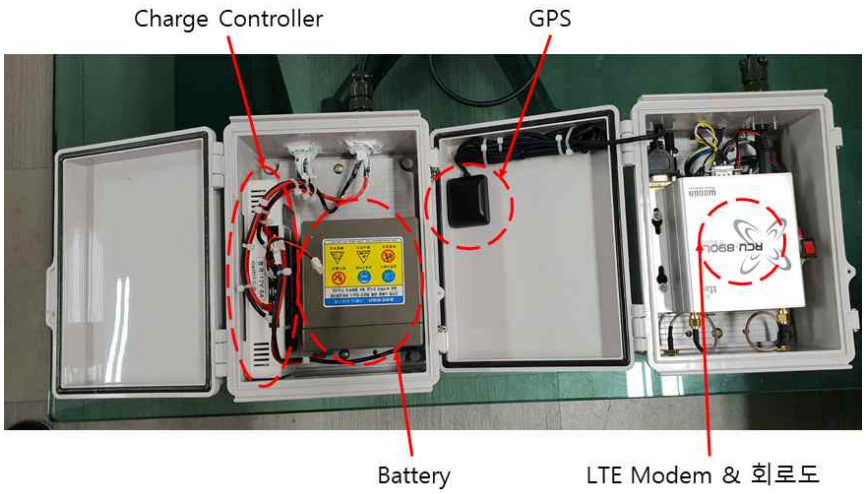
<몽고 DB 저장 방식/결과 및 데이터 조회의 예>




<자가발전 GPS 모듈을 이용한 IoT 기반 점검·진단 통합시스템에 사용되는 소스 코드 일부>

(5) 시작품 수정 보완(2차)

- 초기 시작품의 경우 배터리와 LTE모뎀, PCB가 함께 구성되어 있어 무겁고 컸다. 이러한 센서모듈은 솔라판넬의 위치에 따라 설치 위치 선정에 어려움이 많았으며, 이에 배터리를 별도의 케이스로 분리하여 센서모듈을 수정 보완하였다.




<자가발전 GPS 모듈 시작품 >

## 사. 공인시험

- 개발된 유실감지 센서 모듈을 공인시험기관인 한국정보통신기술협회(TTA)를 통해 공인시험을 실시하였으며, 시험항목 및 판정기준은 아래 표와 같다.

| 번호 | 시험항목 | 판정기준 |
|---|---|---|
| 1 | 서버 데이터 로깅 확인 | 가속도 센서 외력인가 시 서버 로깅 확인 |
| 2 | 유실감지 센서 모듈 GPS 성능 측정 | GPS 오차범위 10m 이하 |

- 시험결과 판정기준을 모두 만족하였으며, GPS오차범위의 경우 평균 4.76m로 측정되었다.



시험 성적서

한국정보통신기술협회
ICT융합산업단
주소: 경기도 성남시 분당구 분당로 47
전화: 031-724-0114, Fax: 031-724-0161

성적서번호: TTA-18-1952

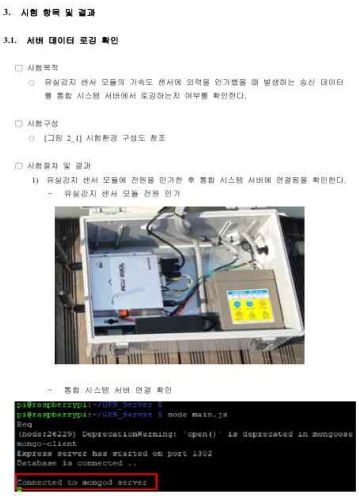
1. 의 뢰 자
o 기 관 명 : (주)다음기술단
o 주 소 : 경기도 성남시 분당구 판교역로 240, 309 호(삼평동, 삼환하이펙스 A 동)
2. 시료 : [ICT기반 3종 시설물 전자야장 플랫폼 개발] 결과물
3. 시험기간 : 2018. 10. 17.
4. 시험방법 : 시험 성적서 시험방법 참조
5. 시험결과 : 시험결과 참조

이 성적서의 시험결과는 의뢰자에 의해 제공된 시료에 한하며 참도 이외의 사용을 금합니다.

| 확 인 | 작성자 | 승인자 |
|---|---|---|
| | 성 명 : 이동호 | 직 위 : 팀 장<br>성 명 : 김재은 |

2018. 10. 19.
한국정보통신기술협회 회장 (인)

TPG-0024-1-A(01) 페이지 (1) / (총 14)



3. 시험 항목 및 결과

3.1. 서버 데이터 로깅 확인

□ 시험목적
○ 유실감지 센서 모듈의 가속도 센서에 외력을 인가했을 때 발생하는 송신 데이터를 통합 시스템 서버에서 로깅하는지 여부를 확인한다.

□ 시험구성
○ [그림 2_1] 시험환경 구성도 참조

□ 시험절차 및 결과
1) 유실감지 센서 모듈에 전원을 인가한 후 통합 시스템 서버에 연결됨을 확인한다.
- 유실감지 센서 모듈 전원 인가



- 통합 시스템 서버 연결 확인

```
pi@raspberrypi:~/GPS_Server $
pi@raspberrypi:~/GPS_Server $ node main.js
Req
(node:26229) DeprecationWarning: `open()` is deprecated in mongoose >= 4.11.0, use `openUri()` instead, or set the `useMongoClient` option if using `connect()` or `createConnection()`. See http://mongoosejs.com/docs/4.x/docs/connections.html#use-mongo-client
Express server has started on port 1302
Database is connected ..

Connected to mongod server
```



2) 유실감지 센서 모듈의 가속도 센서에 외력을 인가한다.



3) 통합 시스템 서버에 GPS 데이터가 로깅되는지 확인한다.

```
pi@raspberrypi:~/GPS_Server $
pi@raspberrypi:~/GPS_Server $ node main.js
Req
(node:26229) DeprecationWarning: `open()` is deprecated in mongoose >= 4.11.0, use `openUri()` instead, or set the `useMongoClient` option if using `connect()` or `createConnection()`. See http://mongoosejs.com/docs/4.x/docs/connections.html#use-mongo-client
Express server has started on port 1302
Database is connected ..

Connected to mongod server
inputGps
data
01S351.00
3723.91098
12706.67158
0.97
-8.19
-8.19
```



1. 유실감지 센서 모듈 GPS 성능 측정

□ 시험목적
○ 유실감지 센서 모듈에서 측정한 GPS 데이터의 오차범위가 10 m 이하임을 확인한다.

□ 시험구성
○ [그림 2_1] 시험환경 구성도 참조

□ 시험절차
1) 위치좌표가 명확한 시설 및 구조물에 에 유실감지 센서 모듈을 설치한 후 전원을 인가하여 통합 시스템 서버에 연결시킨다.
- 개나리교(위도:37.3985, 경도:127.11117)에 유실감지 센서 모듈 설치





2) 가속도 센서에 외력을 10 회 인가한 후 통합 시스템 서버에 로깅된 GPS 데이터를 확인하여 시설 및 구조물의 위치좌표와 오차를 계산한다.

□ 시험결과

| 횟수 | 측정 위치 좌표 [도/분] 형식 | | 측정 위치 좌표 [도] 형식 | | 기준 좌표와의 오차 (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| | 위도 | 경도 | 위도 | 경도 | |
| 1 | 3723.9126 | 12706.67126 | 37.39854 | 127.11119 | 5.02 |
| 2 | 3723.91095 | 12706.66995 | 37.39852 | 127.11117 | 1.78 |
| 3 | 3723.91183 | 12706.67146 | 37.39853 | 127.11119 | 3.85 |
| 4 | 3723.9117 | 12706.67214 | 37.39853 | 127.11120 | 4.26 |
| 5 | 3723.91338 | 12706.67163 | 37.39856 | 127.11119 | 6.56 |
| 6 | 3723.91239 | 12706.67185 | 37.39854 | 127.11120 | 5.03 |
| 7 | 3723.91225 | 12706.67352 | 37.39854 | 127.11123 | 6.47 |
| 8 | 3723.91243 | 12706.67272 | 37.39854 | 127.11121 | 5.84 |
| 9 | 3723.91166 | 12706.67184 | 37.39853 | 127.11120 | 3.91 |
| 10 | 3723.91259 | 12706.67091 | 37.39854 | 127.11118 | 4.87 |
| 평균 오차 길 (m) | | | | | 4.76 |

※ 위도 0.00001 당 1.1 m, 경도 0.00001 당 0.9 m 로 계산

4. 시험 결과 요약

(주)다음기술단에서 TTA 에 시험 의뢰한 "[ICT 기반 3 종 시설물 전자야장 플랫폼 개발] 결과물"에 대한 기능 및 성능 확인시험 결과로, (주)다음기술단에서 제시한 시험 방법과 절차에 따라 시험한 결과 요약은 다음 [표 4_1]과 같다.

[표 4_1] 시험 결과 요약

| 번호 | 시험대상 | 시험항목 | 시험결과 |
|---|---|---|---|
| 1 | [ICT 기반 3 종 시설물 전자야장 플랫폼 개발] 개발 결과물 | 서버 데이터 로깅 확인 | 가속도 센서 외력인가 시 서버로 로깅됨을 확인 |
| 2 | | 유실감지 센서 모듈 GPS 성능 측정 | GPS 오차범위 : 평균 4.76 m |

(6) 시작품 보완(3차)

- 방수기능이 있는 플라스틱 하드케이스로 제작한 기존 시작품을 Test-Bed 설치 후 장시간 방치한 결과 누수가 발생되어 이를 보완한 센서모듈을 제작하였다.
- 또한 센서모듈의 소비전력은 12V로 이에 맞는 solar panel을 사용 했으나, 센서모듈을 장시간 방치 시 방전되는 문제가 발생하여, 더 높은 전압을 공급하는 solar panel로 보완하였다.



<장도2교와 목상교에 설치한 센서모듈>

# 2. ICT기반 상태평가 Master Plan

## 가. ICT기반 상태평가 Logic 설계

### (1) 안전점검 관리항목별 분류체계 코드화

#### (가) 시설물별 부재구성

- 시설물별 부재구성은 안전점검 시 외관조사의 작업단위이자 시설물 상태평가 및 안전등급 결정의 근간이 되는 안전점검 분류체계의 핵심정보이다.
- 그러나 점검진단세부지침의 각 시설물편에 ‘안전진단 대상시설 범위’, ‘상태평가 기준 및 방법’ 등의 절에 일부 기술되어 있으나 부재종류가 누락된 경우가 많고 구체적이지 못해서 동일한 시설물에 대해서도 책임기술자의 주관에 따라 부재트리(Tree)가 상이하게 작성하는 경우가 많다. 이는 상태평가 결과에도 영향을 미칠 수 있는 중대한 문제일 것이므로 부재트리의 최하위 노드(Node)에 이르기까지 명확한 원칙하에 구성할 수 있는 기준을 마련할 필요가 있다.
- 따라서 본 연구에서는 시설물별 부재구성을 위한 분류체계를 정립하기 위해 교량시설물을 구성하는 모든 부재유형을 정의해서 각각의 부재유형에 대한 ID(엔터티 ID)를 부여하고 각 엔터티 ID별로 부재고유번호 부여규칙을 정의하였다. 또한 시설물을 구성하는 개별부재의 고유번호는 엔터티 ID별로 정의된 부재고유번호 부여규칙에 따라 상위부재에서 하위부재의 순서로 각 노드별 4자리씩 부여하고 각 노드와 노드사이에는 구분자(-) 기호로 연결해서 부여함으로써 외관조사에서부터 종합평가에 이르기까지 일관되게 사용할 수 있는 시설물별 부재구성 분류체계를 코드화하였다.
- 아래 표는 점검진단 세부지침 교량편에서 정의하고 있는 교량 시설물의 부재구성체계이다. 점검진단 세부지침에서는 일반교량과 케이블교량을 구분해서 주요 부재유형을 정리하였으나 ‘거더’와 ‘주형’이 혼용해서 사용되고 있고 교대/교각, 난간/연석과 같이 여러 개의 부재를 단일코드로 정의된 부재가 존재한다.

<점검진단 세부지침에서 정의된 교량 시설물의 부재구성체계 >

| 구분 | 일반교량 | 케이블교량 |
|---|---|---|
| 상부 | 주 형 | 케이블 |
| | | 거 더 |
| | 바닥판 | |
| | 2차부재 | |
| 하부 | 교대/교각 | 주탑 |
| | | 보조주탑 |
| | | 교대(앵커블럭) |
| | | 교각 |
| | 기초 | |
| 받침 | 교량받침 | |
| 기타 | 신축이음 ,교면포장, 배수시설, 난간/연석 | |

- 아래 표는 교량 안전점검보고서에서 사용된 교량 시설물의 부재종류이다. 표에서 보는 바와 같이 부재유형에 대한 체계화된 코드체계가 없는 탓에 동일한 부재유형을 교대·교각, 교대/교각, 교대 및 교각과 같이 보고서별로 다르게 표현하고 있거나 Arch, 아치, STEEL BOX, Steel Box, 중분대, 중앙분리대와 같이 한글/영문/대소문자/약어 표기 등 용어를 혼용해서 사용하는 경우가 많다.
- 또한, 교대 및 가로보, 난간, 연석, 보도부, 중앙분리대, 난간 및 방호벽, 방호벽 및 연석과 같이 여러 개의 부재를 서로 달리 조합해서 사용한 부재명칭이 존재하는 등 원칙적으로는 점검진단 세부지침의 정의를 따르고는 있으나 안전점검 실시자의 편의적인 분류체계에 의해 사용되는 경우가 많다.

<안전점검보고서에서 사용된 교량 시설물의 부재종류>

| 2차부재 | 교각 | 바닥판 | 옹벽 |
|---|---|---|---|
| Arch | 교대 | 바닥판상면 보도부 포장면 | 우물통기초 |
| PC BOX 내부 | 교대 및 가로보 | 바닥판하면 | 점검로 |
| PSC BOX GIRDER | 교대 및 교각 | 받침장치 | 점검시설 |
| PSC Beam | 교대,교각 | 방음벽 | 점등시설 |
| RC BOX내부 | 교대/교각 | 방호벽 | 접속옹벽 |
| RC BOX외부 | 교대하부 통로암거 | 방호벽 및 연석 | 주탑 |
| STB BOX 외부 | 교량받침 | 방호벽/중앙분리대 | 주형 |
| STEEL BOX GIRDER | 교면포장 | 배수시설 | 주형 및 가로보 |
| Steel Box 내부 | 기초 | 법면 | 주형내부 |
| Steel Box 외부 | 낙하물방지 휀스 | 법면보호공 | 주형외부 |
| 가로보 | 난간 | 보강거더 | 중분대 및 방호벽 |
| 가로보 및 세로보 | 난간 및 방호벽 | 보도 | 중앙분리대 |
| 가로보,세로보,브레이싱 | 난간 및 보도 | 부대시설 | 중앙분리대 및 방호벽 |
| 거더 | 난간 및 연석 | 부속시설(가로등) | 차량방호울타리 |
| 거더 및 가로보 | 난간 및 연석,중분대 | 세로보 | 케이블 |
| 거더/2차부재 | 난간 및 중분대, 방호벽 | 신축이음 | 포장부 |
| 거더내부 | 난간, 연석, 보도부, 중앙분리대 | 아치 | 행거 |
| 거더외부 | 난간, 연석, 중분대 | 연석 | 행어 |

- 본 연구에서는 점검진단 세부지침의 교량시설물 부재구성체계를 종합하고 실제 안전점검보고서에서 사용된 부재구성체계를 포함하여 아래 표와 같이 교량 시설물의 부재유형코드를 정의하였다.
- 교량 시설물의 부재유형은 최상위 부재를 경간, 지점으로 나누고, 바닥판, 거더, 교각, 교대 등 교량 시설물을 구성하는 모든 부재유형을 정의해서 엔터티 ID를 부여하고 상태평가부재, 대상구조형식, 부재고유번호, 부재위치 등의 속성을 관리한다.
- 교량 시설물의 부재유형에서 경간(지점)은 부재유형은 아니지만 교량 시설물을 나누는 기준이 되므로 가상의 ID를 부여해서 관리함으로써 교량 시설물을 구성하는 모든 부재에 대해서 부재고유번호를 부여할 수 있도록 하였다.
- 부재고유번호는 각 엔터티 ID가 실제 교량시설물의 부재트리를 구성할 때, 해당 부재의 고유번호 부여규칙을 정한 것으로 underbar(_)의 표기는 일련번호 자리수를 의미한다. 즉 부재유형 경간(BRSP11)의 부재고유번호(S___)는 'S' + '일련번호 3자리'로 부여하므로 S1경간의 부재고유번호는 'S001'이 되고, S6경간의 바닥판(BRBJ2101)의 고유번호는 'S006-0001'이 된다. 또한 하부구조의 지점은 교대(BRBJ220101)가 있는 지점이면 'A___'으로 부여하고, 교각(BRBJ220102)이 있는 지점이면 'P___'으로 고유번호를 부여하였다.
- 상태평가 부재는 엔터티 ID를 교량 시설물의 상태평가 기준에 의한 평가부재에 매핑하기 위한 정보를 관리한다. 예를 들어 부재유형의 교대(BRBJ220101)와 교각(BRBJ220102)은 상태평가 시에는 교대와 교각에 발생된 손상을 교대/교각(BRBJ2201) 부재로 통합해서 집계되어 상태평가를 자동으로 수행할 수 있게 된다.
- 대상 구조형식은 엔터티 ID가 사용될 수 있는 교량시설물의 구조형식을 관리하며 부재유형의 케이블(BRBJ2111), 주탑(BRBJ2203) 등은 현수교, 사장교, 아치교 등 케이블교량에서만 사용된다는 것을 의미한다.

<교량 시설물의 부재유형 정의>

| 노드 레벨 | 엔터티 ID | 부재유형 | 상태평가 부재 | 대상구조 형식 | 부재 고유번호 | 부재위치 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | BRSP11 | 경간 | | 공통 | S___ | 상부구조 |
| 1 | BRSP12 | 지점 | | 공통 | P___<br>A___ | 하부구조 |
| 2 | BRBJ21 | 상부구조 | | 공통 | | 상부구조 |
| 3 | BRBJ2101 | 바닥판 | BRBJ2101 | 공통 | S___-0001 | 상부구조 |
| 3 | BRBJ2102 | 거더 | BRBJ2102 | 공통 | S___-0002 | 상부구조 |
| 3 | BRBJ2103 | 거더(내부) | BRBJ2102 | 거더교 | S___-0003 | 상부구조 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | BRBJ2104 | 거더(외부) | BRBJ2102 | 거더교 | S___-0004 | 상부구조 |
| 3 | BRBJ2111 | 케이블 | BRBJ2111 | 케이블교량 | S___-0005 | 상부구조 |
| 3 | BRBJ2121 | 2차부재 | | 공통 | | 상부구조 |
| 4 | BRBJ212101 | 가로보 | BRBJ2121 | 공통 | S___-0011 | 상부구조 |
| 4 | BRBJ212102 | 세로보 | BRBJ2121 | 공통 | S___-0012 | 상부구조 |
| 2 | BRBJ22 | 하부구조 | | 공통 | | 하부구조 |
| 3 | BRBJ2201 | 교대/교각 | | 공통 | | 하부구조 |
| 4 | BRBJ220101 | 교대 | BRBJ2201 | 공통 | A___-0021 | 하부구조 |
| 4 | BRBJ220102 | 교각 | BRBJ2201 | 현수교제외 | P___-0022 | 하부구조 |
| 3 | BRBJ2202 | 기초 | BRBJ2202 | 공통 | P___-0023 | 하부구조 |
| 3 | BRBJ2203 | 주탑 | BRBJ2203 | 케이블교량 | P___-0024 | 하부구조 |
| 3 | BRBJ2204 | 보조주탑 | BRBJ2204 | 케이블교량 | P___-0025 | 하부구조 |
| 2 | BRBJ23 | 받침 | | 공통 | | 하부구조 |
| 3 | BRBJ2301 | 교량받침 | BRBJ2301 | 공통 | P___-0031 | 하부구조 |
| 2 | BRBJ24 | 기타부재 | | 공통 | | 공통 |
| 3 | BRBJ2401 | 신축이음 | BRBJ2401 | 공통 | P___-0041 | 하부구조 |
| 3 | BRBJ2402 | 교면포장 | BRBJ2402 | 공통 | S___-0042 | 상부구조 |
| 3 | BRBJ2403 | 배수시설 | BRBJ2403 | 공통 | S___-0043 | 상부구조 |
| 3 | BRBJ2404 | 난간/연석 | | 공통 | | 상부구조 |
| 4 | BRBJ240401 | 난간 | BRBJ2404 | 공통 | S___-0044 | 상부구조 |
| 4 | BRBJ240402 | 연석 | BRBJ2404 | 공통 | S___-0045 | 상부구조 |
| 4 | BRBJ240403 | 방음벽 | BRBJ2404 | 공통 | S___-0046 | 상부구조 |
| 4 | BRBJ240404 | 방호벽 | BRBJ2404 | 공통 | S___-0047 | 상부구조 |
| 4 | BRBJ240405 | 중앙분리대 | BRBJ2404 | 공통 | S___-0048 | 상부구조 |

- 위 부재유형 정의에 따라 교량 시설물의 부재구성을 작성할 때는 교량의 경간구성(경간수, 연장, 구조형식)을 입력하면 경간(S), 지점(A/P)이 자동으로 생성되고 또한 각 경간, 지점별로 대상구조형식, 부재위치에 따라 하위 부재가 결정되고, 부재고유번호가 자동으로 부여된다. 아래 표는 교량 시설물의 부재구성 트리의 예시를 보여준다.

<교량 시설물의 부재구성 트리 예시>

| 경간(지점) | 부재명 | 부재고유번호 | 부재트리 |
|---|---|---|---|
| S1 | S1경간 | S001 |  |
| | 바닥판 | S001-0001 | |
| | 거더 | S001-0002 | |
| | 가로보 | S001-0011 | |
| | 세로보 | S001-0012 | |
| | 교면포장 | S001-0042 | |
| | 배수시설 | S001-0043 | |
| | 난간 | S001-0044 | |
| | 연석 | S001-0045 | |
| | 방음벽 | S001-0046 | |
| | 방호벽 | S001-0047 | |
| | 중앙분리대 | S001-0048 | |
| A1 | A1지점 | A001 | |
| | 교대 | A001-0021 | |
| | 기초 | A001-0023 | |
| | 교량받침 | A001-0031 | |
| | 신축이음 | A001-0041 | |
| P1 | P1지점 | P001 | |
| | 교각 | P001-0022 | |
| | 기초 | P001-0023 | |
| | 교량받침 | P001-0031 | |
| | 신축이음 | P001-0041 | |
| 이하 중략 | | | |

(나) 손상유형코드

- 손상유형은 외관조사에서 시설물의 결함을 판단하는 가장 기준이 되고 상태평가의 근간이 되는 정보이다. 또한 콘크리트, 강재, 토사 등 시설물의 재료형식에 따라 매우 다양하게 발생할 뿐만 아니라 해당 결함을 표현하는 용어 또한 안전점검 실시자에 따라 주관적일 수가 있어서 안전점검결과 데이터의 DB화를 위해서는 명확한 기준이 마련될 필요가 있다.
- 이를 위해 본 연구에서는 점검진단 세부지침의 시설물편(교량)에서 기술되어 있는 손상유형을 정리하고 실제 수행된 안전점검보고서에서 사용된 손상유형을 종합해서 시설물유형에 관계없이 공통적으로 사용할 수 있는 손상유형코드를 정의하였다.
- 아랴 표는 점검진단 세부지침에서 제시된 교량 시설물의 손상유형을 보여주며. 터널, 댐, 상수도 등 자세한 내용은 부록에 기술하였다. 표에서 보는 바와 같이 각 부재유형별 손상유형이 매우 구체적으로 표현되어 있으며 균열, 파손, 철근노출, 부식 등 일반적인 손상은 거의 모든 부재에서 나타나고 있어서 코드의 개수가 너무 많아져서 관리가 매우 어려워진다.

<교량 시설물의 손상유형>

| 부재유형 | | | 손상유형 |
|---|---|---|---|
| 콘크리트 바닥판 | 공통 | | 균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출 |
| | | | 재료분리(공동, 공극) |
| | | | 누수 및 백태(유리석회) |
| | 거더교 | | 균열, 망상균열 |
| | 바닥판, 라멘상부 | 받침부 (단부) | 부스러짐 |
| | | | 사인장균열 |
| | | 중앙부 | 휨균열 |
| 강바닥판 ,강거더 및강교각 (강주탑) | 공통 | | 도장 손상 및 부식 |
| | | | 현장이음부 볼트손상, 누수 |
| | | | 신축이음 하면, 배수구 주변, 난간하면 누수, 부식 |
| | | | 이상음 발생 |
| | 피로강도등급 낮은 용접상세부(D, E급) | | 피로균열 |
| | 받침부 | | 복부판 부식 및 국부좌굴 |
| | | | 거더와 받침연결부 부식 |
| | | | 게르버교의 경우 핀 연결부 부식 |
| | | | 지점보강재 하단 용접부 균열 |
| | | | 박스내부 출입구 방치 |
| | | | 박스내부 바닥 물고임 및 부식 |
| | 중앙부 | | 부식 |
| | | | 플랜지 변형 및 처짐 |
| | | | 맞대기 용접부, 덮개판 덧댐부 끝부분 균열 |

| | | |
|---|---|---|
| | 주탑 | 주탑하단부 연결볼트 부식 및 파단 |
| | 보수부위 | 용접부 및 용접부 주변 균열 |
| | 부재연결판 | 트러스교, 아치교의 현재, 사재, 수직재 연결판의 부식,균열 및 변형 |
| | | 사장교, 현수교의 케이블 정착부 연결판의 부식, 균열 및 변형 |
| - 이하 생략 - | | |

출처 : 한국시설안전공단

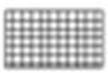
- 본 연구에서는 점검진단 세부지침의 시설물편(교량) 및 교량 안전점검보고서에서 사용된 손상유형을 총 망라한 후, ‘파손 및 손상’과 같이 2가지 이상의 손상유형을 단일코드로 사용하는 유형에 대해 ‘파손’, ‘손상’으로 코드를 분리하고, ‘수직균열’, ‘종방향균열’과 같이 동일한 손상유형을 용어를 다르게 사용하는 경우에는 용어를 통일해서 아래 표와 같이 모든 시설물에 대해서 공통적으로 사용할 수 있는 단일분류체계로 손상유형코드를 정의하였다. 각각의 손상유형코드는 각 시설물별로 사용여부를 표시하였고, 손상크기 입력형식을 정의함으로써 외관조사 시 대상 시설물의 유형에 따라 사용 가능한 손상유형코드를 분류할 수 있도록 하고, 입력된 손상크기에 의해 평가등급을 자동 부여하는데 사용할 수 있도록 설계하였다.

<손상유형코드 설계>

| 손상유형 | | 코드 | 도면코드 | 손상크기 입력형식 |
|---|---|---|---|---|
| 균열 | 균열 | D001 | KDF_LD_01 | 폭x길이 |
| | 수직균열 | D00101 | KDF_LD_01 | 폭x길이 |
| | 수평균열 | D00102 | KDF_LD_01 | 폭x길이 |
| | 사선균열 | D00103 | KDF_LD_01 | 폭x길이 |
| | 관통균열 | D00104 | KDF_LD_01 | 폭x길이 |
| | 단면방향균열 | D00105 | KDF_LD_01 | 폭x길이 |
| | 장변방향균형 | D00106 | KDF_LD_01 | 폭x길이 |
| | 망상균열 | D00107 | KDF_RC_01 | 가로x세로 |
| | 기타균열 | D00199 | KDF_LD_01 | 폭x길이 |
| 파손 | | D002 | KDF_RH_02 | 가로x세로 |
| 박리 | | D003 | KDF_RH_02 | 가로x세로 |
| 박락 | | D004 | KDF_LC_04 | 가로x세로 |
| 층분리 | | D005 | KDF_LC_04 | 가로x세로 |
| 시공이음분리 | | D007 | KDF_LC_04 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 포장의요철 | D008 | KDF_LC_02 | 가로x세로 |
| 누수 | D009 | KDF_RH_03 | 가로x세로 |
| 누수흔적 | D010 | KDF_RH_03 | 가로x세로 |
| 습윤 | D013 | KDF_RH_03 | 가로x세로 |
| 표면열화 | D014 | KDF_RH_01 | 가로x세로 |
| 좌굴 | D016 | KDF_LC_03 | |
| 변위,변형 | D017 | KDF_LC_03 | |
| 펀칭,공동 | D018 | KDF_RC_02 | |
| 백태 | D019 | KDF_RH_05 | 가로x세로 |
| 철근노출 | D020 | KDF_LC_01 | |
| 철근부식 | D021 | KDF_LC_05 | |
| 콘크리트변색,녹물 | D022 | KDF_RH_04 | 가로x세로 |
| 표면부식 | D023 | KDF_RH_08 | |
| 신축이음본체 | D024 | KDF_LC_07 | |
| 배수구 | D027 | KDF_PC_07 | |
| 받침장치부식 | D030 | KDF_RH_08 | |

- 또한 손상유형코드에는 도면코드를 정의하여 아래 그림과 같이 외관조사망도에 표시되는 심볼(symbol)이 지정될 수 있도록 하였다.

| 구분 | 균열 | 파손 | 누수 | 표면열화 | 펀칭·공동 |
|---|---|---|---|---|---|
| 손상유형코드 | D001 | D002 | D009 | D014 | D018 |
| 도면코드 | KDF_LD_01 | KDF_RH_02 | KDF_RH_06 | KDF_LC_04 | KDF_RC_02 |
| 도면표기심볼 |  |  |  |  |  |

<손상유형별 도면표기 심볼 예시>

(다) 손상유형별 상태평가 기준

- 점검진단 세부지침의 시설물편(교량) 및 교량 안전점검보고서를 참조하여 교량의 부재유형별로 발생한 손상유형에 대한 상태평가기준을 설계함으로써 외관조사 시, 대상 부재와 손상유형코드를 선택하고 손상크기를 입력하면 선택한 결함발생부재가 속하는 부재유형(엔터티 ID)과 손상유형코드에 의해 평가기준을 참조해서 평가유형 및 평가등급(a,b,c,d,e)을 자동으로 결정할 수 있도록 하였다.
- 손상유형에 대한 상태평가기준은 상태적 안전성 항목으로 분류하여 설계하였으며, 세부내용은 아래 표와 같다.

<상태적 안전성>

| 부재 | 재료 형식 | | 평가지표 (점검항목) | | 평가 등급 | 평가기준 | 평가값(측정치) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 바닥판 | 콘크리트 | | 균열 | 1방향균열 | a | 균열폭 0.1㎜미만 | 1.균열폭(수치㎜)<br>2.균열율(수치%) |
| | | | | | b | 균열폭 0.1㎜이상~0.3㎜미만<br>균열율 2%미만 | |
| | | | | | c | 균열폭 0.3㎜이상~0.5㎜미만<br>균열율 2%이상~10% 미만 | |
| | | | | | d | 균열폭 0.5㎜이상~1.0㎜미만<br>균열율 10%이상~20%미만 | |
| | | | | | e | 균열폭 1.0㎜이상<br>균열율 20%이상 | |
| | | | | 2방향균열 | a | 망상균열폭 0.1㎜미만 | 1.망상균열폭(수치㎜)<br>2.망상균열상태(선택)<br>① N/A, 해당없음<br>② 망상균열의 진전으로 인한 콘크리트 박리 발생<br>③ 망상균열에 인한 박리가 심하여 펀칭파괴 발생 가능성 있음 |
| | | | | | b | 망상균열폭<br>0.1㎜이상~0.3㎜미만 | |
| | | | | | c | 망상균열폭 0.3㎜이상 | |
| | | | | | d | 망상균열의 진전으로 인한 콘크리트 박리 발생 | |
| | | | | | e | 망상균열에 인한 박리가 심하여 펀칭파괴 발생 가능성 있음 | |
| | | | 열화 및 손상 | | a | 없음 | 1.표면손상면적(수치%)<br>2.철근부식손상면적(수치%)<br>3.데크플레이트박리및누수상태(선택)<br>① 데크플레이트 박리 및 누수 발생<br>② 데크플레이트 박리가 심하고 누수로 인한 부식 발생<br>4.부식으로인한철근의단면감소가 심하여바닥판의안전성저하여부(선택)<br>① 예<br>② 아니오 |
| | | | | | b | 표면 손상면적 2%미만 | |
| | | | | | c | 표면 손상면적 2%이상~10%미만<br>철근부식 손상면적 2%미만<br>데크플레이트 박리 및 누수 발생 | |
| | | | | | d | 표면 손상면적 10%이상<br>철근부식 손상면적 2%이상<br>데크플레이트 박리가 심하고 누수로 인한 부식 발생 | |
| | | | | | e | 부식으로 인한 철근의 단면감소가 심하여 바닥판의 안전성이 저하되는 경우 | |

- 이하 생략 -

출처 : 한국시설안전공단

(라) 손상발생 원인

- 손상발생원인은 시설물정보관리종합시스템에서 설계적 요인, 시공적 요인, 유지관리 요인, 제도/기준 요인, 기타 요인으로 구분하고 있고 점검진단 세부지침 및 안전점검보고서에서는 별도의 분류체계가 제시되지 않아서 안전점검 실시자가 자유롭게 기술하고 있다. 본 연구에서는 교량 안전점검보고서에서 사용된 손상 발생원인을 추출해서 분류체계를 아래 표와 같이 정의하였다.

<손상 발생원인코드 설계>

| 손상발생원인 | | 손상발생원인코드 |
|---|---|---|
| 설계/구조적 요인 | 설계/구조적 요인 | C001 |
| | 설계오류 | C00101 |
| | 내력부족 | C00102 |
| | 외부토압 | C00103 |
| | 외부수압 | C00104 |
| | 단면변화 응력집중 | C00105 |
| | 평면변화 응력집중 | C00106 |
| | 지반침하 | C00107 |
| | 집중하중 | C00108 |
| | 하중증가 | C00109 |
| 시공적 요인 | | C002 |
| 환경/재료적 요인 | | C003 |
| 관리적 요인 | | C004 |
| 제도적 요인 | | C005 |
| 기타 요인 | | C999 |

(마) 보수보강공법

- 보수보강공법은 시설물 유지관리방안을 결정하고 개략공사비를 산정하는 기준이 되는 정보이므로 안전점검결과 데이터의 DB화를 위해서는 명확한 기준이 마련될 필요가 있다. 이를 위해 본 연구에서는 시설물정보관리종합시스템에서 정의된 보수보강공법코드와 점검진단 세부지침의 시설물편(교량)에서 기술되어 있는 보수보강공법을 정리하고 실제 수행된 안전점검보고서에서 사용된 손상유형을 종합해서 시설물유형에 관계없이 공통적으로 사용할 수 있는 보수보강공법코드를 정의하였다.
- 본 연구에서는 점검진단 세부지침의 시설물편(교량) 및 교량 안전점검보고서에서 사용된 보수보강공법을 총 망라한 후, 2가지 이상의  보수보강공법을 단일코드로 사용하는 코드를 분리하고, 동일한 보수보강공법을 서로 다른 용어로 사용하고 있는 경우를 통일해서 아래 표와 같이 모든 시설물에 대해서 공통적으로 사용할 수

있는 단일분류체계로 보수보강공법코드를 정의하였다. 또한 보수보강공법코드를 손상유형코드와 매핑함으로써 외관조사 입력 시 손상유형코드를 선택하면 손상유형코드에 해당하는 보수보강공법코드를 선택할 수 있도록 설계하였다.

<보수보강공법코드 설계>

| 보수보강공법 | 코드 | 보수보강공법 | 코드 |
|---|---|---|---|
| 강판보강공법 | M0001 | 섬유보강공법 | M0037 |
| 강판부착공법 | M0002 | 섬유접착공법 | M0038 |
| 강판접착공법 | M0003 | 세굴방지공법 | M0039 |
| 경량재료치환공법 | M0004 | 소톱홀공법 | M0040 |
| 고압분사교반공법 | M0005 | 숏크리트공법 | M0041 |
| 교면방수공법 | M0006 | 쉬트파일(Sheet Pile)공법 | M0042 |
| 교정공법 | M0007 | 스타칭 및 쉬이트파일공법 | M0043 |
| 교체공법 | M0008 | 시일링공법 | M0044 |
| 균열보수공법 | M0009 | 시트방수공법 | M0045 |
| 균열주입공법 | M0010 | 실링공법 | M0046 |
| 그라우팅공법 | M0011 | 아스팔트 및 점토차수공법 | M0047 |
| 기초보강공법 | M0012 | 알칼리회복공법 | M0048 |
| 낙석방지공법 | M0013 | 압성토공법 | M0049 |
| 내면보강공법 | M0014 | 앵커공법 | M0050 |
| 단면보수공법 | M0015 | 에폭시주입공법 | M0051 |
| 단면보수보강공법 | M0016 | 용접보수공법 | M0052 |
| 단면복구공법 | M0017 | 유도배수공법 | M0053 |
| 단면복원공법 | M0018 | 인버트공법 | M0054 |
| 단면확대공법 | M0019 | 재도장공법 | M0055 |
| 단열공법 | M0020 | 재포장공법(오버레이 등) | M0056 |
| 도막방수공법 | M0021 | 저수위조절공법 | M0057 |
| 도장보수공법 | M0022 | 주입보수공법 | M0058 |
| 뒷채움주입공법 | M0023 | 지반그라우팅공법 | M0059 |
| 록볼트설치공법 | M0024 | 지수공법 | M0060 |
| 록앵커공법 | M0025 | 철근방청공법 | M0061 |
| 말뚝공법 | M0026 | 충전공법 | M0062 |
| 모르타르패칭공법 | M0027 | 치환공법 | M0063 |
| 방식공법 | M0028 | 콘크리트덧붙이기공법 | M0064 |
| 배면공동보수공법 | M0029 | 탄소섬유시트보강공법 | M0065 |
| 배수공법 | M0030 | 토목섬유공법 | M0066 |
| 부분개축공법 | M0031 | 팻치공법 | M0067 |
| 부분보수공법 | M0032 | 표면보호공법 | M0068 |
| 부식보수공법 | M0033 | 표면처리공법 | M0069 |
| 부재증설공법 | M0034 | 표면피복공법 | M0070 |
| 사면활동방지공법 | M0035 | 프리스트레스도입공법 | M0071 |
| 새들활용보강공법 | M0036 | 활동억제공법 | M0072 |

## 나. ICT기반 지능형 상태평가 기술개발

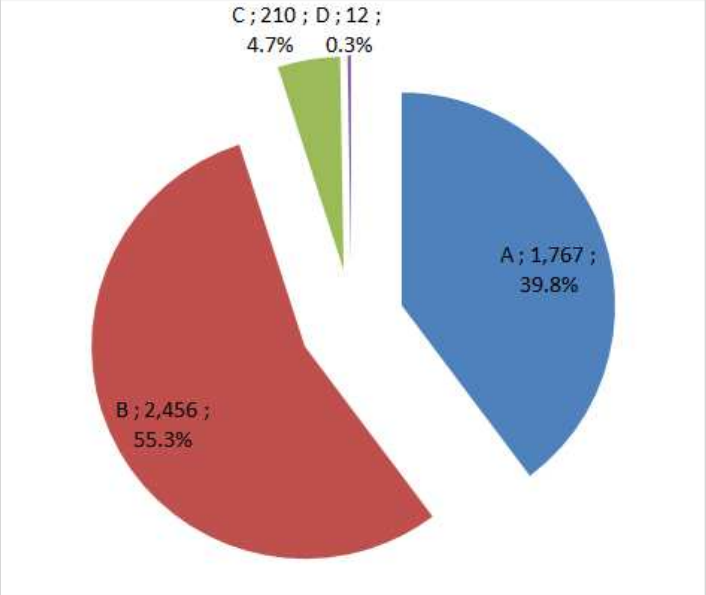
### (1) 지능협 상태평가 개요

- 시설물 유지관리는 설계와 시공단계부터 시작된다고 할 수 있다. 많은 점검 및 정밀안전진단 보고서에는 시설물에 발생된 설계와 시공시 내재되어 있던 문제가 공용 중에 나타난 경우가 많다는 것을 언급하고 있으며, 이러한 시공시의 문제점들은 최근 준공된 시설물에서도 하자 발생 정도는 크게 감소하였지만 지속적으로 나타나고 있다. 홍수, 폭설, 태풍 등 기상이변 등 빈번하게 자연재해가 발생되어 시설물에 피해를 입히고 있으며, 대형사고 및 인명피해는 물론 구조물에도 손상을 유발하고 있다. 이와 같이 시설물 유지관리는 설계나 시공에 기인한 문제, 자연재해로부터 야기되는 문제, 또는 준고객에 의하여 발생되는 문제 등이 동시다발적으로 발생하고 있으며, 유지관리 담당자들은 이러한 다양한 요인으로부터 구조물의 피해를 최소화하고, 사용 기간을 연장하기 위하여 일상적인 유지관리, 점검, 보수 · 보강을 시행하고 있다.
- 구조물에 대한 유지관리는 구조물의 준공과 함께 시작되어 개축 또는 폐쇄가 될 때까지 계속되지만, 국내의 유지관리 업무 체계화는 그 역사가 약 20년에 그치고 있다. 구조물의 합리적인 유지관리를 위해서는 구조물에 대한 전문 지식을 가진 인력과 예산이 필수적이지만, 유지관리를 위한 여건이 충분하게 마련되지 못하고 있다. 특히 구조물이 대형화되면서 담당자들의 점검에 많은 어려움이 있으며, 최근에 급격하게 증가한 구조물들에 손상이 발생되고 열화가 진행된다면 기존의 유지관리시스템만으로는 안전한 관리에 많은 장애가 있을 것으로 판단된다.
- 따라서 기존의 유지관리 즉 손상이 발생된 후 보수 또는 보강을 하는 사후 유지관리를 보완할 수 있는 새로운 유지관리의 틀이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 기존의 사후 유지관리를 보완하여 구조물의 합리적으로 유지관리 할 수 있는 대안을 마련하는 것을 목적으로 하였다.

### (2) 교량 유지관리 분석

#### (가) 보수 · 보강 자료 검토

- 교량 구조물에 대한 보수·보강 자료는 건설교통부(현 국토교통부)에서 1995년부터 교량관리시스템(BMS, Bridge Management System)을 만들어 관리한 자료를 축적하고 있으며, 이 BMS 자료를 한국건설기술연구원에서 2006년도에 전체 상태등급 및 손상부위별 상태등급을 분석하여 연구보고서를 발표하였다(한국건설기술연구원, 교량유지관리 계획수립 기초데이터 작성 용역, 2006). 이 보고서의 내용을 아래에 정리하고 교량의 보수·보강에 대한 자료를 분석하여 비법정교량의 유지관리 개선방안을 도출하고자 한다.
- 2005년 12월 31일 기준으로 준공된 관리교량은 4,576개소이며 이들 자료 중에서 2006년 6월까지 시스템 상에서 상태등급이 확인된 4,445개소 교량에 대한 전체 상태등급 분포는 아래 그림과 같다. 전체적으로 A 및 B등급 교량이 95.1%로 교량의 상태는 양호한 것으로 보고되었다.




<전체 상태등급 분포>

- 2006년 6월까지 입력된 점검 결과를 토대로 점검항목별로 구분하여 손상부위별 상태등급을 분석하여 아래 표에 나타내었다. 분석에 사용된 경간수는 12,958개소이다.

<손상부위별 상태등급>

| 상태 / 등급부위 | A | B | C | D | E | 합계 | C등급이하 (비율) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 교면포장 | 6758 | 5248 | 857 | 76 | 11 | 12950 | 944(7.3%) |
| 배수시설 | 7026 | 4270 | 1284 | 202 | 35 | 12817 | 1521(11.9%) |
| 난간, 연석 | 7173 | 4676 | 991 | 55 | 43 | 12938 | 1089(8.4%) |
| 바닥판 균열, 탈락 | 7716 | 4449 | 619 | 78 | 0 | 12862 | 697(5.4%) |
| 바닥판 누수, 백태 | 7248 | 4598 | 836 | 161 | 10 | 12853 | 1007(7.8%) |
| 콘크리트 거더 중앙부 | 4584 | 1669 | 508 | 43 | 2 | 6806 | 553(8.1%) |
| 콘크리트 거더 지점부 | 4602 | 1684 | 470 | 44 | 2 | 6802 | 516(7.6%) |
| 콘크리트 가로보 | 4950 | 979 | 245 | 44 | 7 | 6225 | 296(4.8%) |
| 강재거더 균열파손 | 5275 | 280 | 17 | 3 | 0 | 5575 | 20(0.4%) |
| 강재거더 연결 | 5274 | 275 | 16 | 1 | 0 | 5566 | 17(0.3%) |
| 강재거더 표면 | 5461 | 348 | 57 | 1 | 0 | 5867 | 58(1.0%) |
| 강재가로보 | 5280 | 208 | 13 | 1 | 0 | 5502 | 14(0.3%) |
| 신축이음본체 | 5303 | 2840 | 799 | 89 | 8 | 9039 | 896(9.9%) |
| 신축이음후타재 | 5910 | 2534 | 532 | 51 | 5 | 9032 | 588(6.5%) |
| 받침 | 7317 | 4759 | 1066 | 110 | 14 | 13266 | 1190(9.0%) |
| 교대 및 교각 구체 | 6800 | 7485 | 1280 | 95 | 2 | 15662 | 1377(8.8%) |
| 교대 및 교각 기초 | 6240 | 2138 | 282 | 34 | 0 | 8694 | 316(3.6%) |

• 공용년수에 따른 상태등급 분석 결과, 아래 표를 보면 공용년수 6년째부터 A등급보다 B등급의 교량 비율이 늘어나기 시작하였으며 7년째부터 C등급의 교량이 점차 늘어나기 시작함을 알 수 있다.

<공용년수별 전체 상태등급>

| 준공년도 | 공용년수 | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2004 | 1 | 433 | 72 | 0 | 0 | 0 |
| 2003 | 2 | 206 | 83 | 3 | 0 | 0 |
| 2002 | 3 | 260 | 93 | 0 | 0 | 0 |
| 2001 | 4 | 102 | 95 | 2 | 0 | 0 |
| 2000 | 5 | 130 | 94 | 0 | 0 | 0 |
| 1999 | 6 | 90 | 170 | 2 | 0 | 0 |
| 1998 | 7 | 65 | 185 | 10 | 0 | 0 |
| 1997 | 8 | 85 | 233 | 11 | 0 | 0 |
| 1996 | 9 | 41 | 180 | 6 | 0 | 0 |
| 1995 | 10 | 20 | 129 | 9 | 0 | 0 |
| 1994 | 11 | 9 | 114 | 8 | 0 | 0 |
| 1993 | 12 | 14 | 110 | 8 | 0 | 0 |
| 1992 | 13 | 15 | 138 | 7 | 0 | 0 |
| 1991 | 14 | 2 | 86 | 10 | 0 | 0 |
| 1990 | 15 | 4 | 52 | 10 | 1 | 0 |
| 1989 | 16 | 7 | 74 | 10 | 0 | 0 |
| 1988 | 17 | 5 | 77 | 10 | 0 | 0 |
| 1987 | 18 | 2 | 64 | 8 | 0 | 0 |
| 1986 | 19 | 3 | 51 | 12 | 0 | 0 |
| 1985 | 20 | 2 | 58 | 9 | 0 | 0 |
| 1984 | 21 | 1 | 31 | 3 | 1 | 0 |
| 1983 | 22 | 2 | 56 | 12 | 1 | 0 |
| 1982 | 23 | 1 | 22 | 8 | 0 | 0 |
| 1981 | 24 | 3 | 23 | 2 | 1 | 0 |
| 1980 | 25 | 1 | 22 | 7 | 1 | 0 |
| 1979 | 26 | 1 | 7 | 1 | 0 | 0 |
| 1978 | 27 | 1 | 24 | 8 | 0 | 0 |
| 1977 | 28 | 0 | 23 | 5 | 0 | 0 |
| 1976 | 29 | 0 | 9 | 1 | 2 | 0 |
| 1975 | 30 | 1 | 17 | 3 | 0 | 0 |

- 아래 표는 상부구조형식에 따른 상태등급으로 강교량 계열보다 콘크리트 계열 교량이 C등급이하가 더 많이 발생한 것을 알 수 있다. 이것을 보면 비법정교량에서 주로 사용하는 콘크리트 교량이 강교량 보다 더 쉽게 노화 및 열화하는 것으로 사료된다.

<상부구조형식에 따른 상태등급>

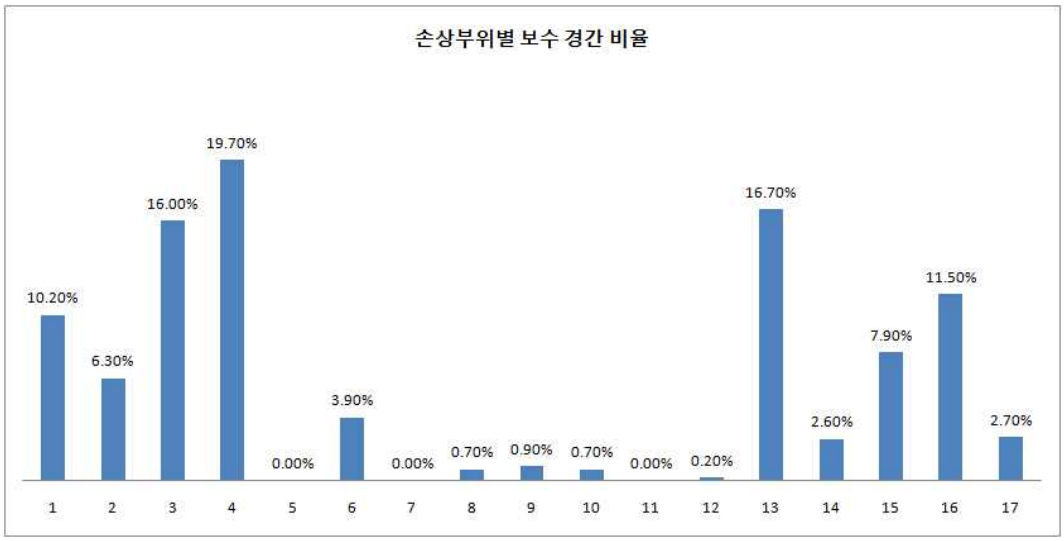
| 구 분 | | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|---|
| RC교 | RC슬래브교 | 307 | 885 | 87 | 9 | 0 |
| | RC중공슬래브교 | 2 | 34 | 4 | 0 | 0 |
| | RC T형교 | 6 | 46 | 17 | 2 | 0 |
| | RC상자형교 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| | 라멘교 | 537 | 525 | 14 | 0 | 0 |
| PSC교 | PSC상자형교 | 6 | 29 | 3 | 0 | 0 |
| | PSC I형교 | 376 | 503 | 68 | 0 | 0 |
| | PSC슬래브교 | 22 | 18 | 1 | 0 | 0 |
| | PSC중공슬래브교 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | 프리플렉스형교 | 37 | 49 | 3 | 0 | 0 |
| 강교 | 강상자형교 | 418 | 312 | 7 | 0 | 0 |
| | 강판형교 | 13 | 21 | 4 | 0 | 0 |
| | 강 I형교 | 5 | 13 | 1 | 1 | 0 |
| 특수교 | 아치교 | 2 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| | 사장교 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | 현수교 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 기타 | 기타 | 31 | 8 | 0 | 0 | 0 |

- 설계하중에 따른 상태등급을 아래 표에 나타내었다. DB-24는 C등급이하가 적지만, DB-13.5인 교량은 상대적으로 C등급이하가 많이 발생한 것을 알 수 있다. 이것은 최근들어 설계하는 교량이 대부분 DB-24로 설계되기 때문으로 사료된다.

<설계하중에 따른 상태등급>

| 구 분 | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| DB-13.5 | 3 | 12 | 10 | 6 | 0 |
| DB-18 | 37 | 554 | 94 | 6 | 0 |
| DB-24 | 1652 | 1876 | 104 | 0 | 0 |

- 연구보고서를 보면 아래 그림과 같이 전체 보수된 경간 중 약 59.7%의 경간이 배수구, 난간, 신축이음과 같은 교량의 부속물에 대한 보수였으며 약 40.3%가 바닥판이나 거더와 같은 교량의 구조부재에 대한 보수가 이루어진 것으로 나타났다. 교량 부속물에 대한 보수는 경간 단위 보다는 교량 단위로 이루어지다보니 보수비율이 높은 것으로 분석되었다. 이것을 보면 보수의 대부분이 구조물의 안전성보다는 사용성과 미관에 주안점을 두어 주로 이루어진 것을 알 수 있다.




<손상부위별 보수 경간 비율>

<손상부위 번호에 따른 손상부위>

| 손상부위 번호 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 손상부위 | 교면포장 | 배수시설 | 난간, 연석 | 바닥판 균열, 탈락 | 바닥판 누수, 백태 | 콘크리트 거더 중앙부 |
| 손상부위 번호 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 손상부위 | 콘크리트 거더 지점부 | 콘크리트 가로보 | 강재거더 파손 | 강재거더 연결부 | 강재거더 표면 | 강재 가로보 |
| 손상부위 번호 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | |
| 손상부위 | 신축이음 본체 | 신축이음 후타재 | 받침 | 교대 및 교각 구체 | 교대 및 교각 기초 | |

• 교량 부속물에 대한 보수비율은 보수경간비율(부재보수경간/총보수경간)로 정리되었으며, 신축이음 본체의 보수비율이 가장 높은 것으로 나타났다. 평균 공용년수는 17년이 대다수를 이루고 있으며 재료의 노화와 열화가 주요 손상원인임을 알 수 있다.

<교량 부속물의 공용년수 및 보수비율>

| 손상부위 | 표본수 | 평균공용년수 (년) | 최빈공용년수 (년) | 보수비율 (%) | 주요 손상원인 |
|---|---|---|---|---|---|
| 신축이음 본체 | 1,655 | 17 | 17 | 16.7 | 본체손상, 노화, 열화, 기능부족 |
| 난간, 연석 | 1,583 | 17 | 14 | 16.0 | 노화, 열화, 균열, 파손 |
| 교면포장 | 1,020 | 16 | 17 | 10.2 | 포장 균열, 노화, 열화, 요철 |
| 교량받침 | 795 | 17 | 14 | 7.9 | 강재 부식, 고무재 열화 |
| 배수시설 | 633 | 17 | 19 | 6.3 | 노화, 열화, 강재 파손 |
| 신축이음 후타재 | 269 | 17 | 14 | 2.6 | 균열, 콘크리트 파손 |

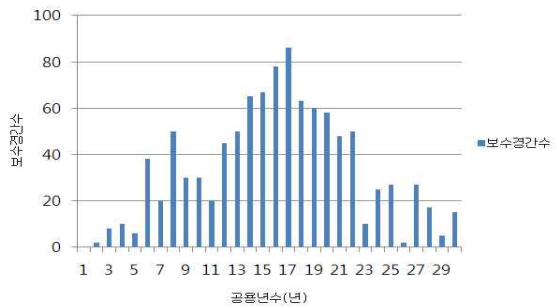
• 교량 구조부재에 대한 보수비율을 보수경간비율(부재보수경간/총보수경간)로 살펴보면, 바닥판 균열 및 탈락에 의한 보수가 19.7%로 가장 많으며, 주요 손상원인은 콘크리트의 휨균열과 누수 및 열화로 나타났다. 한국건설기술연구원의 연구보고서에서는 콘크리트 교량과 강재 교량에 대해 모두 분석하였으나 비법정교량은 콘크리트 교량이 주를 이루므로 콘크리트 부재에 대해서만 정리하였다.

<주요 구조부재의 공용년수 및 보수비율>

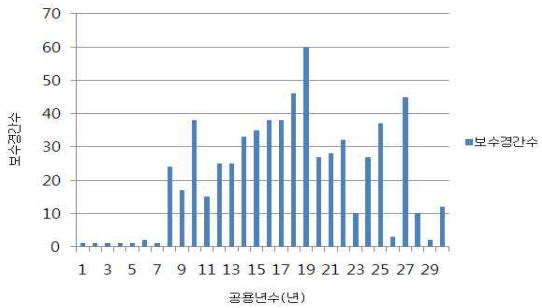
| 손상부위 | 표본수 | 평균공용년수 (년) | 최빈공용년수 (년) | 보수비율 (%) | 주요 손상원인 |
|---|---|---|---|---|---|
| 바닥판 균열 및 탈락 | 1,954 | 17 | 17 | 19.7 | 휨균열, 누수, 열화, 백태 |
| 교대 및 교각 구체 | 1,142 | 17 | 17 | 11.5 | 휨균열, 박리, 파손, 누수, 열화 |
| 콘크리트 거더 중앙부 | 366 | 17 | 17 | 3.9 | 휨균열, 누수, 열화, 백태 |
| 교대 및 교각 기초 | 201 | 17 | 27 | 2.7 | 하상 세굴, 구조체 침식 |
| 콘크리트 가로보 | 67 | 18 | 15 | 0.7 | 철근 노출, 박리, 파손 |

(나) 유지관리 시기 분석

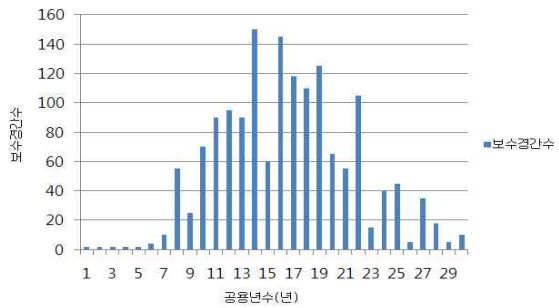
- 그교량의 부재별 보수·보강 실시시기를 예측하기 위해 한국건설기술연구원 연구보고서의 수요예측 검토사항을 정리하여 참조하고자 한다.
- 교면포장은 공용년수 8년이 경과한 시점에서 보수가 시작되었고 17년에 최고의 빈도값을 나타내었으므로, 현재 상태를 유지하기 위해서 공용 후 8년부터 20년 사이에 속한 교면포장 경간의 상태를 점검 후 D등급에 이르는 경간에 대하여 재포장을 실시하는 것을 추천하고 있다. 배수시설은 교면포장과 열화에 서로 영향을 미치는 시설로 교면포장과 열화정도가 비슷하므로 교면포장과 동일한 주기로 보수하는 것이 바람직한 것으로 제시되었다. 난간 · 연석의 공용년수별 보수경간수는 공용년수 8년부터 본격화되고 14년에 최고 빈도의 보수가 이루어졌으므로, 공용 후 11년부터 19년 사이에 정기점검을 통하여 D등급 이하로 저하되는 시점에서 난간 및 연석에 대한 보수를 실시하는 것이 바람직한 것으로 제시하고 있다. 신축이음장치는 공용년수 8년이 경과한 경우 상태등급 D등급 이하인 경우에 교체할 것을 제안하고 있다. 12년 이상인 교량의 받침은 고무패드와 강재가 주를 이루는데 부식으로 인해 기능이 저하되는 경우가 흔히 발생하는 것으로 분석하였다. 바닥판은 교량의 기능적 수명을 지배하는 구조재로 공용 후 8년 이후에 보수·보강 수요가 발생하기 시작하여 공용 후 17년에 최빈 경간수를 나타내었다. 콘크리트 거더는 바닥판과 유사하게 하중을 직접 받는 구조요소이며 동시에 교량의 상부구조 수명을 지배하는 요소로 공용 후 12년이 경과한 이후 보수·보강 수요가 발생하기 시작하여 공용 후 17년에 최빈 경간수를 나타내므로 공용년수 12년 이후부터 D등급 이하의 경간에 대한 보수·보강을 추천하고 있다. 교대 및 교각의 구체의 경우 8년 이후에 보수·보강 수요가 발생하기 시작하여 공용 후 17년에 최고의 빈도를 나타내는 것으로 나타났다.



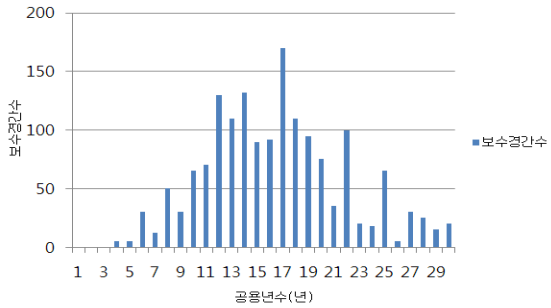

<교면포장의 공용년수별 보수경간수>



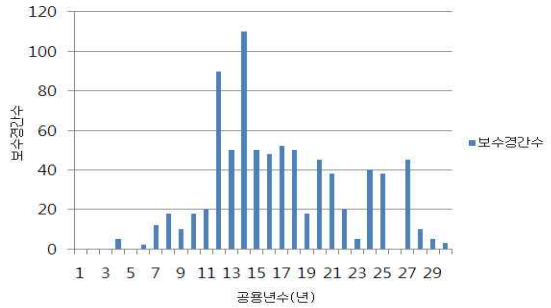

<배수시설의 공용년수별 보수경간수>



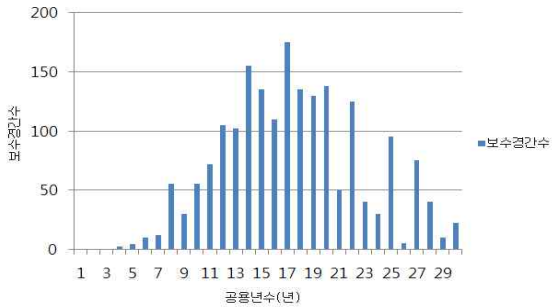

<난간 · 연석의 공용년수별 보수경간수>



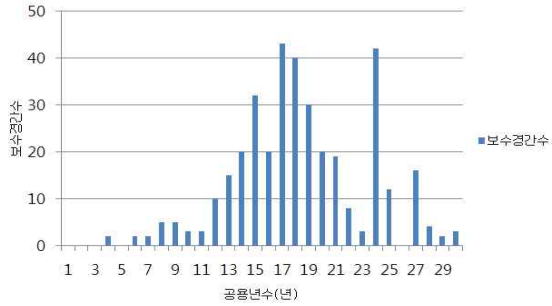

<신축이음 본체의 공용년수별 보수경간수>



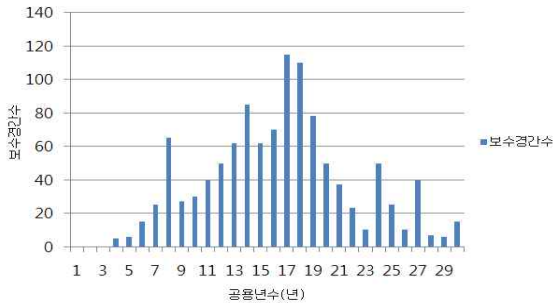

<교량받침의 공용년수별 보수경간수>




<바닥판의 공용년수별 보수경간수>




<거더의 공용년수별 보수경간수>




<교대 · 교각의 공용년수별 보수경간수>

(다) 보수 · 보강 빈도 분석

- 교량의 주요 부재에 대해 교량 준공 후 유지관리조치가 실시되는 시기에 대한 분석을 실시하였다. 교량의 손상특성과 보수 · 보강 시기를 검토하면 예방적 유지관리 없이 교량을 준공한 상태로 그대로 공용했을 때 교량에 손상이 발생되는 시기를 알 수 있으며, 적절한 유지관리 시기도 판단할 수 있을 것이다.
- 부재별 보수 · 보강 이력분석에 의한 공용년수를 분석하면 아래 표로 나타낼 수 있으며 교량 보조부재와 구조부재에 대한 점검부위별 보수, 보강 및 교체시의 평균 공용년수를 나타내었다. 표에 나타낸 보수, 보강시의 평균공용년수는 상호 연관된 것이 아닌 각 조치별 평균 실시시기를 의미한다. 즉, 받침의 경우에 7년에 보수가 되고 다시 14년째에 교체가 이루어지는 것이 아니라, 보수되는 받침은 평균 7년째에서 보수가 실시되는 것을 의미하며, 보수여부와 관계없이 평균 14년의 공용년수가 지나면 받침이 교체되는 것을 의미한다.

<교량 보조부재의 유지관리조치별 평균 공용년수>

| 점검부위 | | 평균공용년수 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 보수 | 보강 | 교체 |
| 교면포장 | | 12.2 | - | - |
| 배수시설 | | 11.1 | - | 11.5 |
| 난간 · 연석 | | 8.0 | - | 13.8 |
| 신축이음 | 본체 | 11.0 | - | 12.6 |
| | 후타재 | 9.3 | 9.8 | 12.1 |
| 받침 | | 7.0 | - | 14.6 |

<교량 구조부재의 유지관리조치별 평균 공용년수>

| 점검부위 | | 평균공용년수 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 보수 | 보강 | 교체 |
| 바닥판 | 균열 · 탈락 | 12.3 | 15.7 | 17.2 |
| | 누수 · 백태 | 10.6 | 15.7 | 13.0 |
| 콘크리트 | 주형 중앙부 | 17.9 | 17.7 | - |
| | 주형 지점부 | 16.3 | 15.0 | - |
| | 가로보 | 11.5 | - | - |
| 강재 | 주형 파손 | 18.0 | 35.0 | - |
| | 주형 연결부 | 11.2 | - | - |
| | 주형 표면 | 13.9 | 18.0 | - |
| | 가로보 | 5.0 | 36.0 | - |
| 교대 및 교각 | 구체 | 12.5 | 12.4 | - |
| | 기초 | 26.9 | 18.1 | - |

<교량 부재별 유지관리조치 시기>

| 점검부위 | | 평균공용년수 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 보수 | 보강 | 교체 |
| 교량 부속물 | 교면 포장 | 12.19 | - | - |
| | 배수 시설 | 11.07 | - | 11.49 |
| | 난간 · 연석 | 8.05 | - | 13.83 |
| | 신축이음 | 10.84 | - | 12.53 |
| | 받침 | 7.00 | - | 14.63 |
| 교량 구조부재 | 바닥판 | 12.09 | 15.70 | 17.15 |
| | 콘크리트주형 | 16.22 | 17.22 | - |
| | 강재주형 | 13.60 | 25.00 | - |
| | 교대 및 교각 | 13.04 | 15.22 | `- |

- 교량 보조부재의 유지관리조치별 평균 공용년수를 살펴보면 교면포장을 제외하고는 모두 교체시의 평균 공용년수가 보수시의 평균 공용년수보다 높은 것으로 나타났으며, 특히 받침의 경우는 보수시의 평균 공용년수보다 교체시 평균 공용년수가 약 2배 정도 큰 것으로 나타났다. 위의 표 <교량 구조부재의 유지관리조치별 평균 공용년수>를 보면 누수 · 백태에 대한 바닥판의 보수시기가 공용개시 후 10.6년으로 나타나 균열에 대한 보수보다 먼저 실시되는 것으로 분석되었으며, 주형에서는 가로보의 보수시기가 가장 먼저인 것으로 분석되었다.
- 표본의 수가 작았던 콘크리트 주형의 보수의 경우를 제외하고는 전체적으로 각 부

재에서 보수실시 시기가 보강 시기보다 앞선 것으로 분석되었다. 위의 표의 결과는 각 부재를 점검부위에 따라 분류하여 통계 분석한 것으로 각 부재에 대한 보수, 보강시의 평균 공용년수를 산정하기 위하여 이력자료를 부재별로 정리하여 분석하면 같은 부재별 유지관리조치 시기를 나타낼 수 있다.

- 부재별 유지관리조치시기를 보면 난간과 받침의 경우는 공용한지 10년도 안되어 보수를 실시하였고 대부분의 부재는 공용년수 약 10년이 경과하면 문제점이 발생되는 것으로 나타났다. 따라서, 교량이 보수가 시작되는 10년 이후부터는 교량의 열화와 손상이 급속히 진행되므로 평소 예방적 유지관리를 통하여 교량의 보수가 시작되는 시기를 20년 정도만 늦추어도 교량의 손상을 서서히 진행시켜서 공용기간을 연장할 수 있을 것이다.

(라) 부재별 손상 예측 3종 시설물 적용

- 본 연구는 시설물에 발생 또는 발생 가능한 손상을 관리 및 예측할 수 있도록 하고 이를 통해 효율적인 시설물 유지관리가 가능하도록 교량 시설물의 유지관리 시기와 보수 · 보강 빈도를 분석하였다.
- 따라서 본 장에서는 분석결과를 바탕으로 3종 시설물 부재별 손상을 예측하고자 하며, 이를 통해 기존 시설물점검 및 진단업무의 비효율성, 유지관리 관리자 및 점검자의 전문성 부족, 점검 후 기록, 보존에 대한 누락, 오류 등 시설물 상태평가 문제를 극복하고자 한다.
- 3종 시설물은 한국시설안전공단 ‘제3종시설물 안전등급 평가 매뉴얼 “에 따라 평가되며, 3종 시설물은 아래 표와 같이 토목시설과 건축시설로 구분되어 주요시설, 일반시설, 부대시설로 부재를 구분하고 있다.

<3종 시설물 부재 구분>

| 구분 | 부재 구분 | | |
|---|---|---|---|
| | 주요시설 | 일반시설 | 부대시설 |
| 토목시설 (교량, 육교) | 거더(주형)<br>바닥판(슬래브)<br>케이블 부재<br>교량받침(교좌장치)<br>교각 및 교대<br>기초<br>주탑<br>주요강재<br>(트러스교의 현재/사재/수직재,<br>아치교의 아치부재/수직재, 댐퍼 등) | 교면포장<br>신축이음<br>배수시설<br>난간(방호벽, 방호울타리) 및 연석<br>가로보, 세로보<br>강 부재 | 옹벽<br>축대<br>석축<br>비탈면<br>안전시설(중앙부 방호벽, 가드레일)<br>방음벽 등 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 토목시설 (터널, 지하차도) | 라이닝(벽체)<br>갱문 벽체 및 옹벽<br>주요강재 | 노면<br>배수시설<br>전기 및 전자시설<br>조명시설 | 갱구부 옹벽, 축대,<br>석축<br>비탈면<br>안전시설<br>환기구 등 |
| 건축시설 (건축물, 지하도상가) | 기둥<br>보<br>내력벽<br>슬래브(바닥슬래브)<br>주계단<br>주요강재 | 지붕(옥상)<br>계단실(복도)<br>외벽(타일 및 석재)<br>벽체(비내력벽)<br>시설 내외부 과하중<br>유발시설(물탱크 등)<br>강 부재 | 옹벽<br>축대<br>석축<br>담장<br>비탈면<br>마감재<br>환기구 등 |

- 아래 표는 교량 시설물 체크리스트로 표 3.13에서 구분된 부재를 16가지의 항목으로 평가하여 교량 시설물의 안전성을 평가한다.

<교량 3종 시설물의 평가항목>

| 순번 | 평가항목 |
|---|---|
| 1 | 거더의 균열 및 손상 상태 |
| 2 | 바닥판의 균열 및 손상 상태 |
| 3 | 주요강재(강구조물 등) 및 접합부 손상 상태 |
| 4 | 케이블 부재의 손상 상태 |
| 5 | 교량받침(교좌장치) 및 주변 손상 상태 |
| 6 | 교각(주탑 포함) 및 교대(날개벽 포함)의 균열 및 손상 상태 |
| 7 | 기초의 세굴 · 침하 및 손상 상태 |
| 8 | 교면포장(아스콘, 콘크리트 등)의 균열 및 손상 상태 |
| 9 | 신축이음 본체 및 후타재의 균열 및 손상 상태 |
| 10 | 가로보 및 세로보의 균열 및 손상 상태 |
| 11 | 배수시설(배수구, 배수관 등) 막힘 및 손상 상태 |
| 12 | 강 부재의 도장 및 녹 발생 상태 |
| 13 | 난간(방호벽, 방호울타리), 연석의 손상 상태 |
| 14 | 옹벽, 석축의 균열 및 손상 상태 |
| 15 | 안전 및 기타시설(중앙벽 방호벽, 가드레일, 방음벽 등)의 손상 상태 |
| 16 | 비탈면(사면, 절개지 등)의 배수 및 손상 상태 |

<3종 시설물 교량 부재별 유지관리 시기>

| 3종 시설물 체크리스트 (평가항목) | 3종 시설물 교량 부재 | 부재 코드 | 유지관리 시기 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 보수 | 보강 | 교체 |
| 01. 거더의 균열 및 손상 상태 | 거더 | BRBJ2102 | 16.22 | 17.22 | - |
| 02. 바닥판의 균열 및 손상 상태 | 바닥판 | BRBJ2101 | 12.09 | 15.70 | 17.15 |
| 03. 주요강재(강구조물 등) 및 접합부 손상 상태<br>12. 강 부재의 도장 및 녹 발생 상태 | 강 거더 | BRBJ2103 | 13.60 | 25.00 | - |
| | 강 바닥판 | BRBJ2103 | | | |
| | 강 교각(주탑) | BRBJ2103 | | | |
| | 강 가로보, 강 세로보 | BRBJ212103 | | | |
| 04. 케이블 부재의 손상 상태 | 케이블 | BRBJ2111 | 11.2 | - | - |
| 05. 교량받침(교좌장치) 및 주변 손상 상태 | 교량받침 | BRBJ2301 | 7.00 | - | 14.63 |
| 06. 교각(주탑 포함) 및 교대(날개벽 포함)의 균열 및 손상 상태 | 교대 | BRBJ2201 | 13.04 | 15.22 | - |
| | 교각 | BRBJ2201 | | | |
| | 날개벽 | BRBJ2201 | | | |
| | 주탑 | BRBJ2201 | | | |
| | 보조주탑 | BRBJ2201 | | | |
| 07. 기초의 세굴 · 침하 및 손상 상태 | 기초 | BRBJ2202 | 26.9 | 18.1 | - |
| 08. 교면포장(아스콘, 콘크리트 등)의 균열 및 손상 상태 | 교면포장 | BRBJ2402 | 12.2 | - | - |
| 09. 신축이음 본체 및 후타재의 균열 및 손상 상태 | 신축이음 | BRBJ2401 | 11.0 | - | 12.6 |
| 10. 가로보 및 세로보의 균열 및 손상 상태 | 가로보, 세로보 | BRBJ212101 | 11.5 | - | - |
| 11. 배수시설(배수구, 배수관 등) 막힘 및 손상 상태 | 배수시설 | BRBJ2403 | 11.1 | - | 11.5 |
| 13. 난간(방호벽, 방호울타리), 연석의 손상 상태 | 난간 | BRBJ2404 | 5.0 | 36.0 | - |
| | 연석 | BRBJ2404 | | | |
| | 방호울타리 | BRBJ2404 | | | |
| 14. 옹벽, 석축의 균열 및 손상 상태 | 옹벽 | BRBJ2405 | 8.05 | - | 13.83 |
| | 축대 | BRBJ2406 | | | |
| | 석축 | BRBJ2407 | | | |
| 15. 안전 및 기타시설(중앙벽 방호벽, 가드레일, 방음벽 등)의 손상 상태 | 안전시설 | BRBJ2409 | 17.9 | 17.7 | - |
| | 방음벽 | BRBJ2410 | | | |
| 16. 비탈면(사면, 절개지 등)의 배수 및 손상 상태 | 비탈면 | BRBJ2408 | 10.84 | - | 12.53 |

# 3. QR코드 표준화

## 가. 시설물별/부재별 QR코드 표준화

(1) QR코드 표준화 개요

- 본 연구는 점검자가 스마트패드로 교량시설물에 부착된 부재별 QR코드를 스캔하여 해당 부재 손상정보 및 이력관리 등의 정보를 공유하는 것으로, 본 장에서는 QR코드 인식률 실험을 통해 교량시설물 부재에 부착될 QR코드를 표준화 하였다.

(2) QR코드의 특징

(가) 대용량 정보 수납

- 기존의 바코드는 기본적으로 가로 배열에 최대 20여 자의 숫자 정보만 넣을 수 있는 1차원적 구성이지만, QR코드는 가로/세로를 활용하여 숫자는 최대 7,089자, 문자는 최대 4,296자, 한자 최대 1,817자를 기록 할 수 있는 2차원적 구성이다. 때문에 바코드는 특정 상품명이나 제조사 등의 정보만 기록할 수 있었지만, QR코드는 긴 문장의 인터넷 주소(URL)나 사진 및 동영상 정보, 지도 정보, 명함 정보 등을 모두 담을 수 있다.

<QR코드 정보 종류 및 정보량>

| 숫자 | 영숫자 | 8bit byte (baniry) | 한자, 한글 |
|---|---|---|---|
| 7,089문자 | 4,296문자 | 2,953문자 | 1,817문자 |




<영숫자 300자리 QR코드화>

(나) 작은 공간에 인쇄

- QR코드는 가로/세로 양방향으로 데이터를 표현하고 있기 때문에 바코드와 동일한 정보량이라면 10분의 1정도의 크기로 표시 할 수 있다.




<바코드와 QR코드 크기 비교>

(다) 훼손에 강함

- QR코드는 오류 복원 기능이 있어 코드 일부분이 오염되거나 손상되어도 데이터 정보를 복원할 수 있는 장점이 있다. 손상/오염 정도가 심하면 복원이 불가능하기도 하지만, 기존 바코드에 비해 인식률이 우수하며, 데이터 복원은 최대 약 30% 복구가 가능하다.




<QR코드 오염 및 손상>

(라) 360도 어느 방향에서도 인식 가능

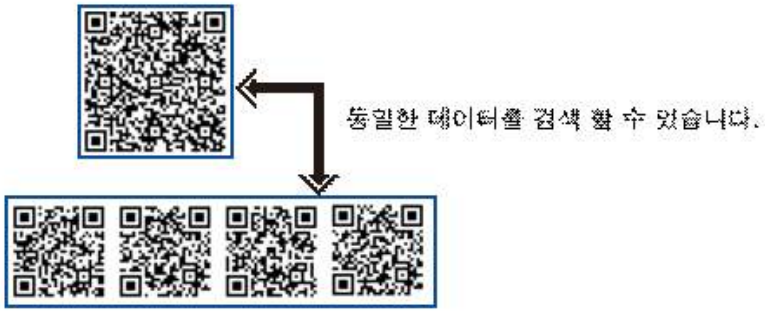
- QR코드는 360° 어느 방향에서든지 고속인식이 가능하다. 이는 QR코드 안에 3개의 '위치찾기 심볼' 이 있어 배경모양의 영향을 받지 않고 안정적인 고속인식이 가능하다.




<QR코드의 기본 형태>

(마) 연속기능 지원

- QR코드는 코드화 하고자 하는 데이터를 분할하여 표현할 수 있다. 여러 QR코드로 나뉘어 저장된 정보를 1개의 데이터로 연결하는 것이 가능하다. 최대 16분할 가능하며 이 기능을 사용하면 좁고 긴 영역에 인쇄가 가능하다.

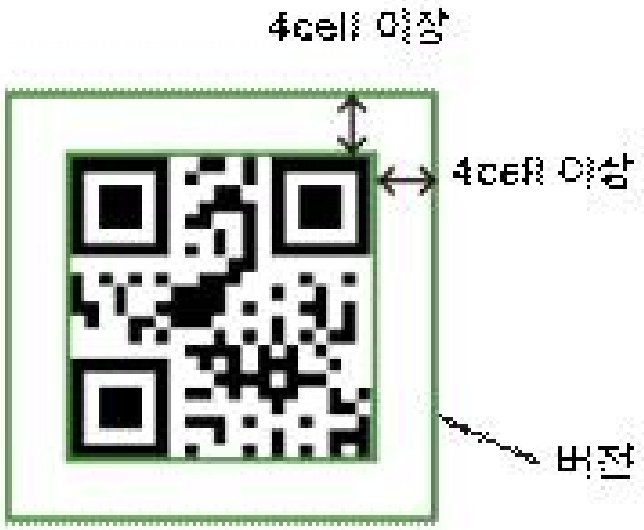


<QR코드 연속기능>

(3) QR코드 주의사항

(가) QR코드여백 확보

- QR코드 생성 시 코드 영역은 코드 주위에 여백을 확보해야한다. 여백과 심볼의 4면을 감싸는 아무것도 표시되지 않는 영역이 4cell 이상 확보되어야 한다.

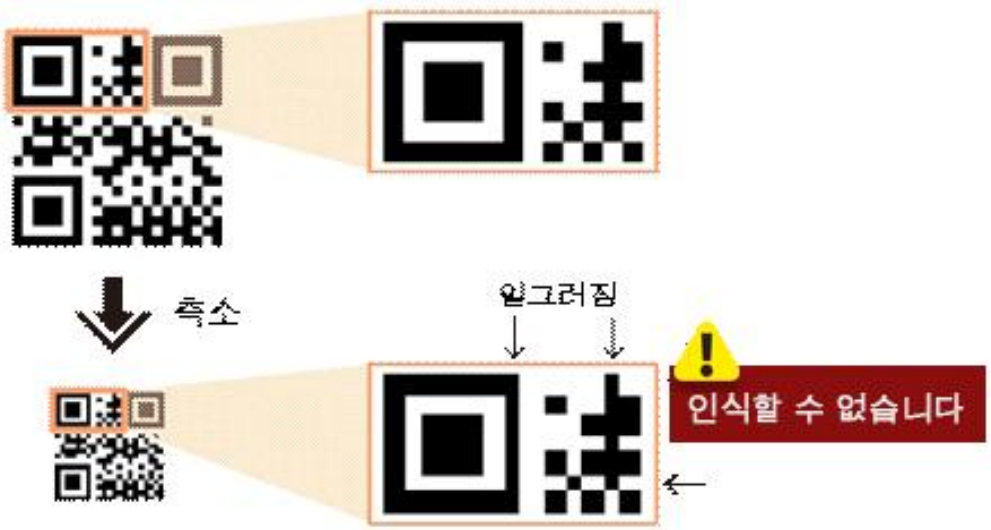



<QR코드의 여백>

(나) QR코드 인식 오류

① Cell 왜곡 QR코드

- QR코드를 이미지 편집 툴(Tool) 등으로 확대 축소하면 하나하나의 cell이 왜곡되며, 외관상 QR코드처럼 보이지만 인식이 어렵거나, 인식되지 않을 수 있다.




<Cell 왜곡 QR코드>

② 주변에 문자나 그림이 표시된 QR코드

- QR코드 주변에 문자나 그림을 배치하면 여백을 확보할 수 없어 인식이 어렵거나 인식할 수 없다.




<주변에 문자나 그림이 표시된 QR코드>

③ 문자나 그림 등의 이미지가 중첩된 QR코드

- QR코드와 중복되는 문자나 그림 등의 이미지를 배치하면 명암대비가 선명하지 못해 인식하기 어렵거나 인식할 수 없다.



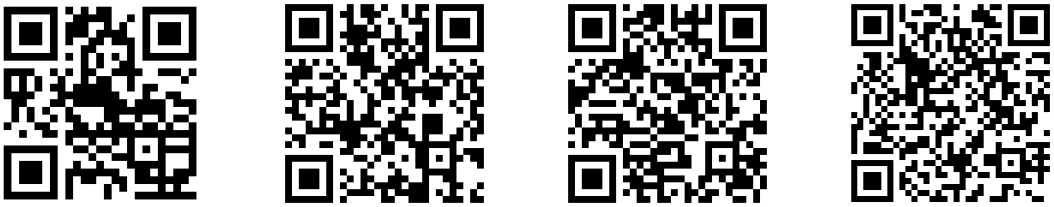

<문자나 그림 등의 이미지가 중첩된 QR코드>

(4) QR코드 생성

- QR코드 인식률 측정을 위해 당사 그룹웨어 URL(http://gw.daumeng.com:8000)을 사용하여 QR코드를 생성하였다. 또한 외부영향으로 손상된 QR코드 데이터를 복원할 수 있도록 오류복원 레벨을 Q레벨로 설정하였다.

<QR코드 오류복원 레벨>

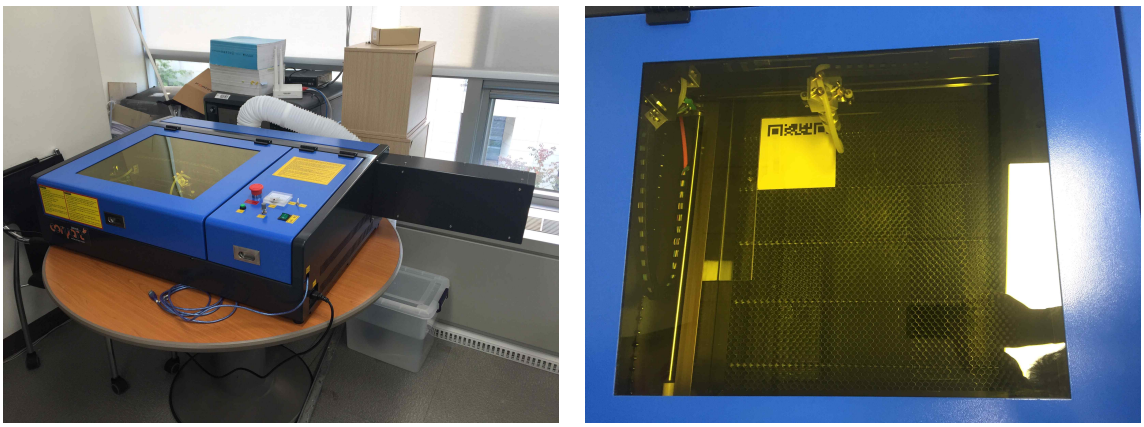
| 오류 복원레벨 | L | M | Q | H |
|---|---|---|---|---|
| 오류 복원율 | 약 7% | 약 15% | 약 25% | 약 30% |



L등급 M등급 Q등급 H등급

<QR코드>

- QR코드 생성은 레이저각인기를 사용해 스테인레스강(stainless steel)에 QR코드를 각인하였으며, 스테인레스강의 크기는 QR코드보다 가로/세로 20mm 크게 제작하여 QR코드 여백으로 인한 인식오류를 방지하였다.



<레이저조각기(좌) 및 QR코드 생성(우)>

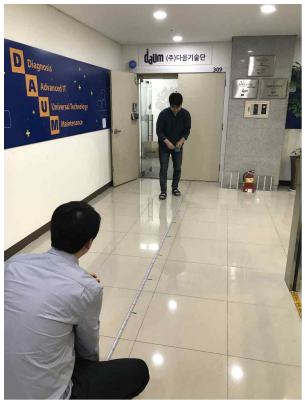
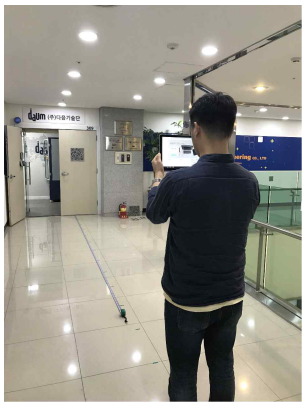
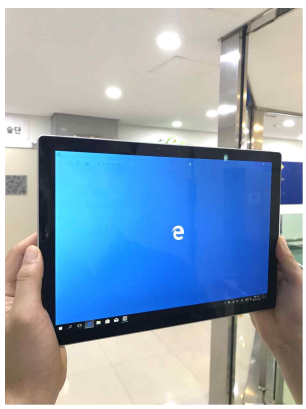
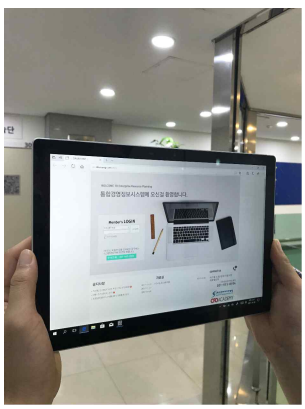
<크기별 QR코드 각인>

| | |
|---|---|
|  |  |
| 50×50 | 100×100 |
|  |  |
| 150×150 | 200×200 |
|  |  |
| 250×250 | 300×300 |

(5) QR코드 크기별/거리별 인식률 시험

- 본 장에서는 QR코드를 크기별/거리별 인식률 시험을 하였다. 인식률 시험을 위해 800만 화소 후방 카메라가 내장된 스마트패드를 사용하였으며, 현장 운용 시 동일한 모델로 전자야장 앱(App)을 구동 할 계획이다. 인식률 시험은 크기별로 50cm 간격씩 거리를 증가 시키며 측정하였다.

<QR코드 크기별/거리별 인식률 시험>

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 측정거리 마킹 | 50×50 QR코드 | 150×150 QR코드 |
|  |  |  |
| 1m 스캔 | 2m 스캔 | 6m 스캔 |
|  |  |  |
| QR코드 스캔 | QR코드 인식 | 홈페이지 연결 |

- 인식률 시험결과 QR코드 크기가 증가함에 따라 측정거리 또한 증가하였다. 그러나 측정거리가 일정 비율로 증가하지 않는 것으로 보아, QR코드 각인 품질저하 및 측정 시 손 떨림 등의 영향이 미친 것으로 판단된다. 또한 시험을 통해 측정 거리가 멀어짐에 따라 QR코드를 스캔하는 시간이 증가하거나 스캔이 이루어지지 않는 것으로 나타났다. 따라서 현장 운용 시 아래 표를 참고하여 부재에 따라 QR코드 크기와 최대 측정거리를 고려할 필요가 있다.

<Q레벨 QR코드 크기별 거리별 인식률>

| QR코드 크기 (㎜) | 측정거리(m) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | 5 | 5.5 | 6 | 6.5 | 7 | 7.5 | 8 |
| 50×50 | ○ | ○ | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × |
| 100×100 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × |
| 150×150 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × | × | × | × | × | × | × | × |
| 200×200 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × | × | × | × | × | × |
| 250×250 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | × | × | × | × |
| 300×300 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × |

(6) 결론

- 본 연구에서는 QR코드의 특성과 QR코드 생성 시 주의사항을 고려하여 ㈜다음기술단 그룹웨어 주소 QR코드를 레이저각인기로 스테인레스강(stainless steel)에 각인하였다. 각인된 6개 크기의 QR코드를 800만 화소 후방 카메라가 내장된 스마트패드로 크기별 거리별 인식률 실험을 하여 최대 측정거리를 도출하였다.
- 따라서 교량 시설물 구조형식별 QRcode를 설치할 위치는 달라질 수 있으나 점검난간 위치나 점검경로를 중심으로 QRcode 크기별 거리별 인식률을 참고하여 설치할 필요가 있다.

<형식별부재구성 트리>

| 구분 | 부재명 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 슬라브교량 (RCS) | S경간 | 상부구조 | 바닥판 | |
| | | 기타부재 | 교면포장 | |
| | | | 배수시설 | |
| | | | 난간/연석 | 난간 |
| | | | | 연석 |
| | | | | 방음벽 |
| | | | | 방호벽 |
| | | | | 중앙분리대 |
| | A지점 | 하부구조 | 교대/교각 | 교대 |
| | | | 기초 | |
| | | 받침 | 교량받침 | |
| | | 기타부재 | 신축이음 | |
| | P지점 | 하부구조 | 교대/교각 | 교각 |
| | | | 기초 | |
| | | 받침 | 교량받침 | |
| | | 기타부재 | 신축이음 | |
| 거더교량 (RCT) | S경간 | 상부구조 | 바닥판 | |
| | | | 거더 | |
| | | | 2차부재 | 가로보 |
| | | 기타부재 | 교면포장 | |
| | | | 배수시설 | |
| | | | 난간/연석 | 난간 |
| | | | | 연석 |
| | | | | 방음벽 |
| | | | | 방호벽 |
| | | | | 중앙분리대 |
| | A1지점 | 하부구조 | 교대/교각 | 교대 |
| | | | 기초 | |
| | | 받침 | 교량받침 | |
| | | 기타부재 | 신축이음 | |
| | P1지점 | 하부구조 | 교대/교각 | 교각 |
| | | | 기초 | |
| | | 받침 | 교량받침 | |
| | | 기타부재 | 신축이음 | |
| 라멘교량(RA) | S1경간 | 상부구조 | 바닥판 | |
| | | | 거더 | |
| | | | 2차부재 | 가로보 |
| | | 기타부재 | 교면포장 | |
| | | | 배수시설 | |
| | | | 난간/연석 | 난간 |
| | | | | 연석 |
| | | | | 방음벽 |
| | | | | 방호벽 |
| | | | | 중앙분리대 |
| | A1지점 | 하부구조 | 교대/교각 | 교대 |
| | | | 기초 | |
| | | 받침 | 교량받침 | |
| | | 기타부재 | 신축이음 | |

## 나. QR코드 현장적용

(1) QR코드 현장적용 개요

- 시설물 현장조사는 개별부재의 외관조사망도를 출력하여 수기로 현장에서 기입하는 방식으로 현장에서 측점 분할(터널, 항만, 댐) 및 제원을 파악 후 손상을 야장에 기입해야 하므로 점검자에 따라 측점 분할의 오차가 발생될 수 있어 외관조사망도 작업 및 상태평가 산출 시 많은 시간이 소요될 수 있다.
- 따라서 시설물의 각 부재 또는 현장조사 측점에 설계된 QR코드를 설치하여 부재의 정보를 서버와 연동 할 수 있도록 함으로써 시설물의 전체 정보와 개별부재의 제원, 전차년도 점검 진단, 보수보강 이력 등의 정보를 현장에서 조회 가능하고, 작업자가 현장조사 점검동선에 맞는 QR코드 설치 및 QR코드 정보를 수정함으로써 효율적인 안전점검과 점검자의 전문적 판단 유도가 가능하다.
- QR코드 현장적용을 위해 작업자 점검동선을 고려한 QR코드 주요 위치 및 위치별 QR코드 저장 정보를 도출하였다.

(2) QR코드 현장적용 분석

(가) QR코드 도면 분류

- 본 장에서는 현장조사 점검동선을 고려한 QR코드에 저장될 도면을 분류하였으며, 이를 위해 '제3종 시설물 안전등급 평가매뉴얼' (이하, 매뉴얼)의 시설물 체크리스트를 분석하였다. 매뉴얼을 살펴보면 시설물별 체크리스트가 존재하며, 교량 시설물에 대한 체크리스트 항목은 총 16개 항목으로 이 항목을 통해 약 20개 이상의 부재를 조사해야 한다. 현재 매뉴얼에 나타나 있는 교량 시설물의 부재는 주요시설, 일반시설, 부대시설로 구분되어 있다.

<제3종 시설물 부재 구분>

| 구분 | 부재 구분 | | |
|---|---|---|---|
| | 주요시설 | 일반시설 | 부대시설 |
| 토목시설<br>(교량, 육교) | • 거더(주형)<br>• 바닥판(슬래브)<br>• 케이블 부재<br>• 교량받침(교좌장치)<br>• 교각 및 교대<br>• 기초<br>• 주탑<br>• 주요강재(트러스교의 현재/사재/수직재, 아치교의 아치부재/수직재, 댐퍼 등) | • 교면포장<br>• 신축이음<br>• 배수시설<br>• 난간(방호벽, 방호울타리) 및 연석<br>• 가로보, 세로보<br>• 강 부재 | • 옹벽<br>• 축대<br>• 석축<br>• 비탈면<br>• 안전시설(중앙부 방호벽, 가드레일)<br>• 방음벽 등 |

- 매뉴얼에 따라 교량 시설물 부재가 주요시설, 일반시설, 부대시설로 구분되어 있으나 이러한 부재 구분은 현장조사 점검동선에 부적합하여 효율성이 떨어지고 이로 인해 공정이 길어지게 된다. 따라서 교량 시설물 부재를 아래 표와 같이 구조별로 분류하였으며, 구조별 부재분류를 위해 1·2종 교량 시설물의 대상시설 범위를 참고하였다. 1·2종 교량 시설물의 경우 상부구조, 하부구조, 받침, 케이블, 기타부재, 2차부재로 구분되어 있었으나, 본 연구에서는 작업자의 점검동선을 고려하여 상부구조, 하부구조, 케이블, 기타로 구분하였다. 구조별 부재분류에서 4가지 구분은 QR코드가 어느 구조에 설치될지를 나타내는 것이며, 분류는 QR코드에 들어갈 도면정보라 할 수 있다.
- 4가지 구분 중 기타에 속하는 부재의의 경우 상부, 하부, 케이블 어느 구분에나 포함될 수 있다. 예를 들어 상부구조 QR코드에 신축이음, 교면포장 도면을 저장하여 바닥판 현장조사시 함께 조사를 할 수 있다.

<구조별 부재분류>

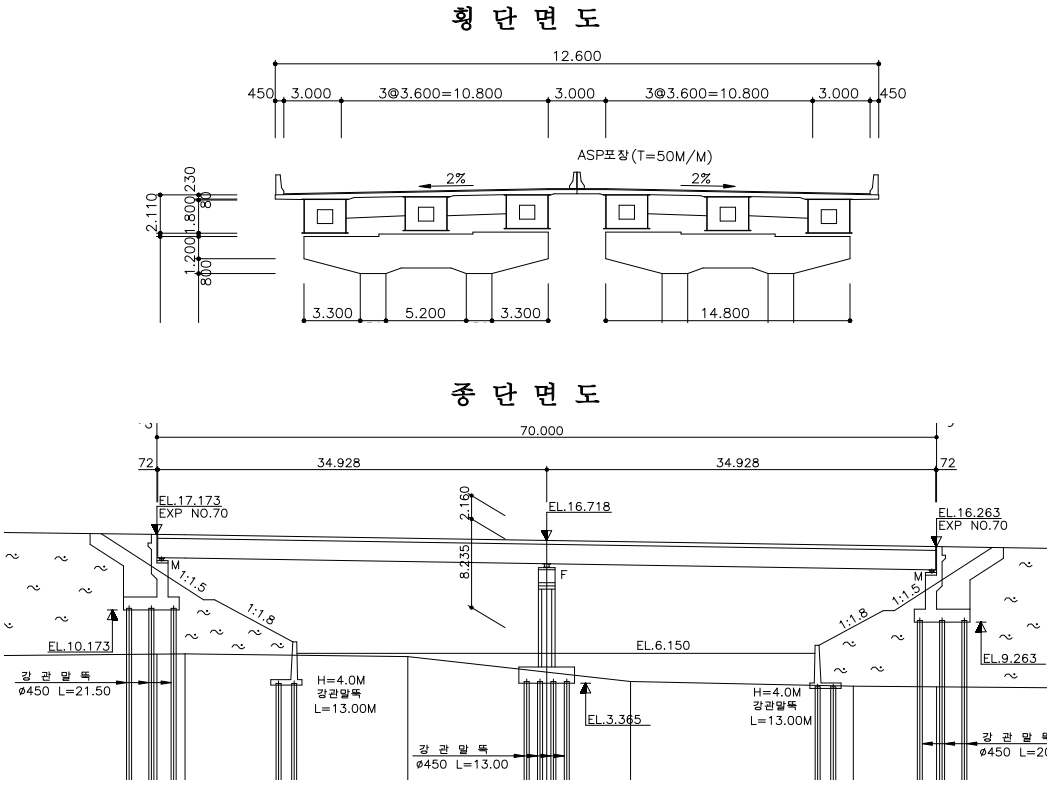
| 구분 | 분류 | |
|---|---|---|
| | 1·2종 | 3종 |
| 상부구조 | 바닥판 | 바닥판 |
| | 거더 | 거더 |
| | 가로보 및 세로보 | 가로보, 세로보 |
| | - | 주요강재 |
| | - | 강 부재 |
| 하부구조 | 교대 및 교각 | 교각 및 교대 |
| | 주탑 | 주탑 |
| | 기초 | 기초 |
| | 교량받침 | 교량받침(교좌장치) |
| | - | 주요강재 |
| 케이블 | 케이블 | 케이블 부재 |
| | - | 주요강재 |
| 기타 | 신축이음 | 신축이음 |
| | 배수시설 | 배수시설 |
| | 난간 및 연석 | 난간 및 연석 |
| | 교면포장 | 교면포장 |
| | - | 옹벽, 축대, 석축, 비탈면 |
| | - | 안전시설, 방음벽 |

(나) QR코드 설치위치

- 상기의 구조별 부재 분류에 따라 QR코드가 부착될 위치를 상부구조, 하부구조, 케이블, 기타 4가지 구역으로 구분하였다. 그러나 이러한 위치는 범위가 매우 넓어 명확히 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 제3종 시설물에 해당하는 테스트베드 ㅇㅇ소재 ㅇㅇ교량에 대하여 교량구조를 조사하여 이에 맞는 QR코드 위치를 선정하였다. 본 테스트베드의 시설현황은 아래 표와 같으며, 구조물도는 아래 그림과 같다.

<테스트베드 시설현황>

| 구분 | | 내용 | 구분 | 내용 |
|---|---|---|---|---|
| 연장 | | 70.0m | 폭 | 31.4m |
| 상부형식 | 형식 | STB | 신축이음장치 | Rail Joint |
| | 차선수 | 6차선 | 받침장치 | 포트받침 |
| 하부형식 | 교각 | 라멘식 | 교대 | 역T형 |
| 경간수 | | 2경간 | 설계하중 | DB-24 |



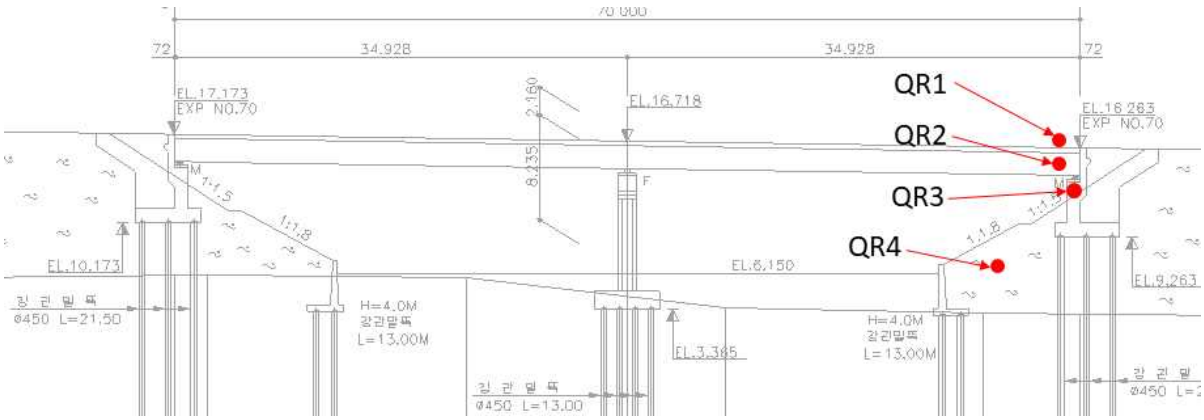

<테스트베드 구조물도>

- 상기 구조물도를 살펴보면 점검동선을 상부구조, 하부구조, 기타로 구분할 수 있으며, 상부구조에는 바닥판, 거더, 가로보, 세로보, 하부구조에는 교각 및 교대, 교량받침, 기타에는 신축이음, 배수시설, 난간 및 연석, 교면포장, 옹벽으로 구분할 수 있다. 그러나 작업의 효율성을 높이기 위하여 기타의 신축이음, 난간 및 연석, 교면포장, 배수시설을 상부구조에 포함시켜 점검동선을 계획하는 것이 효율적이다. 이러한 부재 구성은 구조형식, 현장조사 공정도 등에 따라 변경 가능하다.
- QR코드를 설치하기 위해서는 각 구분에서도 세분화가 필요하다, 예를들어 상부구조에서 바닥판과 거더는 같은 상부구조지만 점검동선이 명확하게 분리되어 있다. 따라서 상부구조라는 하나의 QR코드에 모든 도면 정보를 저장하는 것은 매우 비효율적이므로, 구분별로 QR코드를 세분화하고 또한 경간별로도 구분하여야 한다. 아래 표는 ㅇㅇ교량의 1경간에 해당하는 구분별 QR코드에 들어갈 부재를 구분한 것이다.

<1경간 QR코드별 부재 구분>

| 구분 | QR코드 | 부재 분류 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 상부구조 | QR1 | 바닥판 | |
| | | 신축이음 | 기타 |
| | | 교면포장 | 기타 |
| | | 난간 및 연석 | 기타 |
| | | 배수시설 | 기타 |
| | | 안전시설, 방음벽 | 기타 |
| | QR2 | 거더 | |
| | | 가로보, 세로보 | |
| 하부구조 | QR3 | 교각 및 교대 | |
| | | 기초 | |
| | | 교량받침(교좌장치) | |
| 기타 | QR4 | 옹벽, 축대, 석축, 비탈면 | |

- 4개의 QR코드는 점검자 현장조사 점검동선에 위치하여 효율적인 현장조사가 가능하도록 해야 한다. 아래 그림은 QR코드 설치위치 예시이다.



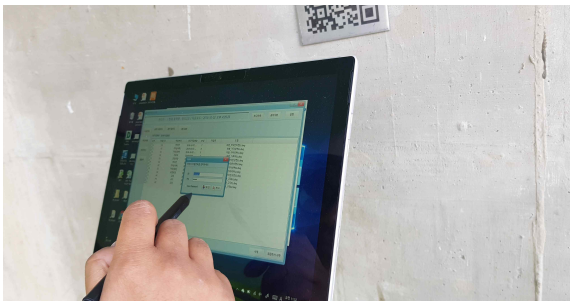

<QR코드 설치위치 예시>

(3) 현장적용

- 제3종 시설물에 해당하는 테스트베드 ㅇㅇ소재 ㅇㅇ교량에 QR코드를 부착하고 전자야장을 테스트 하였다. QR코드는 상기 설치위치 예시에 따라 해당 위치에 부착하였으며, QR코드는 전자야장 프로그램에 로그인 되어있을 때 실행되도록 URL을 생성하여 일반인이 휴대폰으로 QR코드를 스캔하여도 아무런 지장이 없다. 아래 사진은 하부구조 교대에 QR코드를 설치하고 전자야장 프로그램으로 테스트 한 것으로, 효율적인 현장조사가 가능하다.



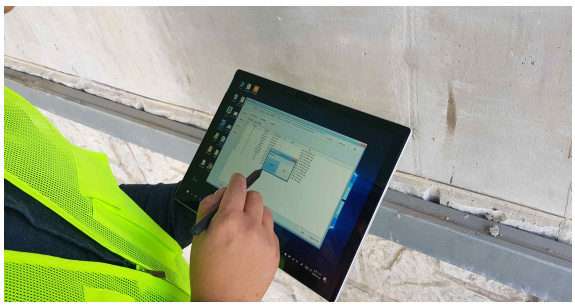

QR코드 위치



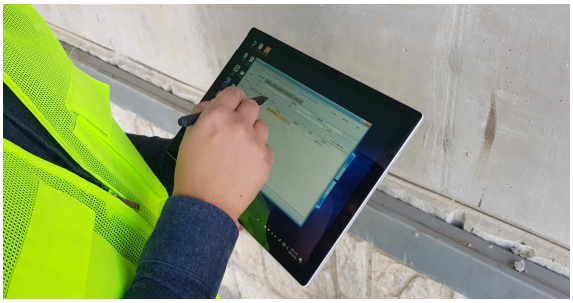
전자야장 로그인



QR코드 스캔

QR코드 팝업(시설정보/도면)



시설정보 화면(시설정보 선택시)



도면 화면(도면 선택시)

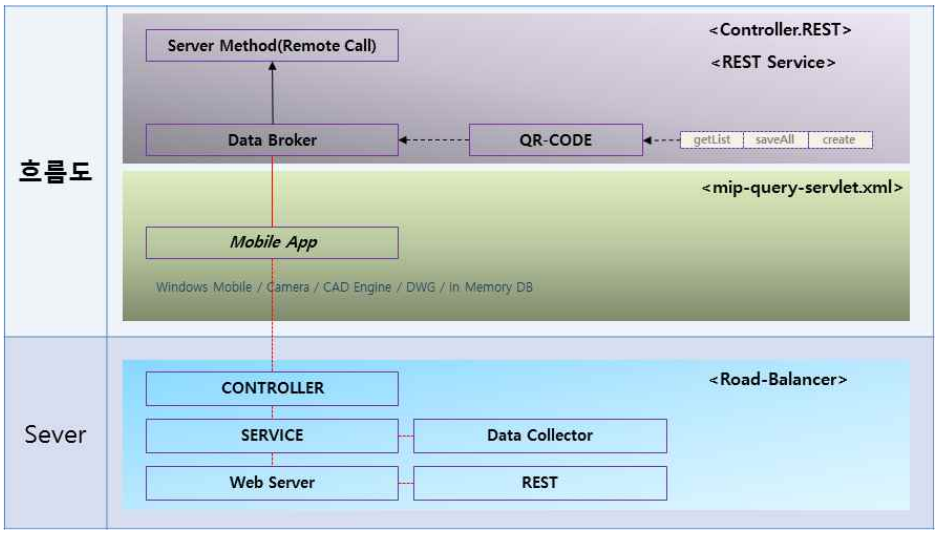
<QR코드 설치 위치 및 프로그램 구동>

# 4. 통합 시설물 관리 플랫폼 체계 구축

## 가. ICT기반 통합 시설물 관리 플랫폼

### (1) Back-End 서버 구축

- Back-End 서버는 윈도우즈 기반의 모바일 앱과 통신하도록 설계 및 구축하였다. Back-End 서버는 Apache Web Server가 기반이 되며 RESTful 서비스를 위하여 CodeIgniter가 웹 프레임워크 컨테이너로 설치하였다. CodeIgniter는 PHP 기반의 컨테이너이며 MVC 프레임워크를 지원한다. 데이터베이스는 MySQL를 사용하며 2차년도에 개발될 모바일 앱을 지원한다. 데이터베이스는 교량 2종 시설물의 유지관리를 위한 기반으로 설계하였고 데이터를 저장하기 위한 스키마를 설계하고 구축하였다. 모바일 앱에서 교량 데이터의 업로드 및 다운로드하기 위하여 RESTful 서비스를 사용하는데, CodeIgniter는 Http 기반의 REST 서비스를 쉽게 구축할 수 있는 개발 환경을 제공한다.




<Back-End 서버 시스템 구조도>

- Back-End 서버는 윈도우즈 기반의 모바일 앱과 통신하도록 설계 및 구축하였다. Back-End 서버는 Apache Web Server가 기반이 되며 RESTful 서비스를 위하여 CodeIgniter가 웹 프레임워크 컨테이너로 설치하였다. CodeIgniter는 PHP 기반의 컨테이너이며 MVC 프레임워크를 지원한다. 데이터베이스는 MySQL를 사용하며 2차년도에 개발될 모바일 앱을 지원한다. 데이터베이스는 교량 2종 시설물의 유지관리를 위한 기반으로 설계하였고 데이터를 저장하기 위한 스키마를 설계하고 구축하였다. 모바일 앱에서 교량 데이터의 업로드 및 다운로드하기 위하여 RESTful 서비스를 사용하는데, CodeIgniter는 Http 기반의 REST 서비스를 쉽게 구축할 수 있는 개발 환경을 제공한다.
- RESTful 서비스는 Back-End 서버가 가지고 있는 메서드를 원격으로 호출할 수 있고, 실제 구현 코드는 Back-End 서버가 가지고 있다. RESTful 서비스를 사용하는 것의 장점은 아래와 같다.

■ 가벼운 클라이언트

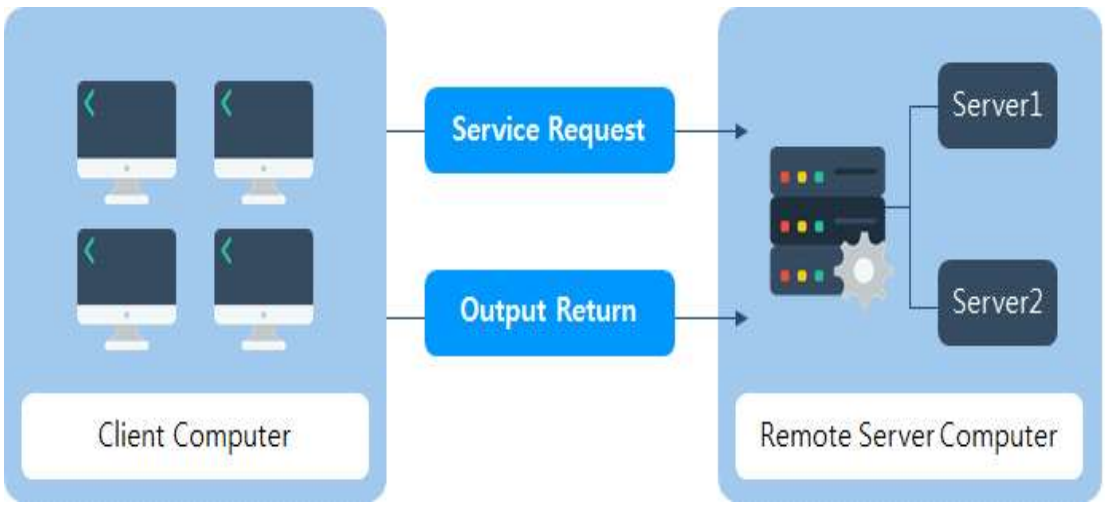
- 클라이언트는 사용자 인터페이스만 담당하고 주요 기능은 원격지에서 작동하기 때문에 작고 가벼운 모바일 클라이언트 어플리케이션을 만들 수 있다.

■ 설치, 배포 및 유지보수가 쉽다

- 클라이언트의 데이터베이스 접속 기능을 모두 Back-End 서버의 RESTful 서비스로 옮길 수 있기 때문에 데이터베이스 연결 엔진 설치나 배포 혹은 업그레이드 시의 문제점을 걱정하지 않아도 되며 따라서 유지, 보수, 관리 문제를 손쉽게 해결 할 수 있다.

■ 비즈니스 로직의 유연한 처리

- 비즈니스 로직도 Back-End 서버의 RESTful 서비스에서만 운영하기 때문에 비즈니스 로직의 업데이트도 유연하게 대처할 수 있다.




<Remote Server Flow>

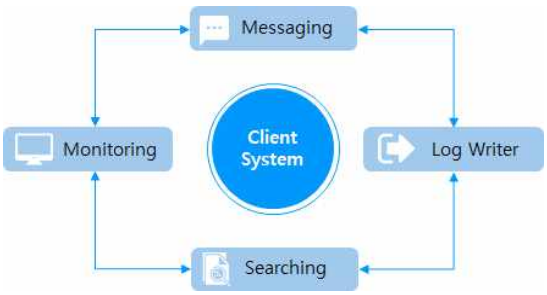
(가) Marshaling Module 개발

- Marshaling Module은 분산 환경 기술의 작동방식의 바탕에 있는 마샬링(marshaling) 개념을 바탕으로 개발될 Module을 가리킨다. 마샬링이란 클라이언트 내의 객체(stup 혹은 proxy)와 서버 내의 객체(skeleton) 사이에서 이루어지는 데이터 교환 처리를 말한다.
- 마샬링은 대체로 어떤 한 언어로 작성된 프로그램의 출력 매개변수들을, 다른 언어로 작성된 프로그램의 입력으로 전달해야하는 경우에 사용된다. 마샬링은 모바일 앱이 사용하고자 하는 객체의 형태에 관계없이 같은 방식으로 Back-End 서버의 RESTful 서비스를 사용할 수 있게 하는 방법이다. Marshaling Module은 프로그램의 환경에 맞게 최고의 성능을 발휘할 수 있는 언어를 선택하여 개발할 수 있도록 도와준다. 본 과제에서는 PHP 기반의 프레임워크를 사용하였다. 프로그램 성능의 증가는 물론 개발의 편의성과 개발기간의 단축에도 많은 도움을 준다.

(나) 모바일 클라이언트 앱 개발

① Client Component 설계(CAD Engine)

- 소프트웨어 개발 방법론 중 하나인 MVC 기반 개발(MVC, Model, View, Controller) 개념을 도입해서 Client System의 엔진을 MVC 형태로 설계 및 일부 모듈을 프로토타입 형태로 개발하였다. 여기서 MVC 기반 개발이란 소프트웨어를 구성하고 있는 각 구성 파트를 비즈니스 로직 별로 분리하여 새로운 어플리케이션을 만드는 개발 방법론 중에 하나로써, 기능을 한 곳에서 통합으로 개발하던 기존 방식과 달리 화면, 데이터, 제어 역할을 하는 컴포넌트를 각 분야별로 개발하고 각자에 필요한 역할을 분할함으로써 소프트웨어 개발에 드는 노력과 시간을 절약하는 방법이다. 아래에 나열한 요소들은 MVC 기반으로 소프트웨어를 개발했을 시에 나타나는 장점들이다.



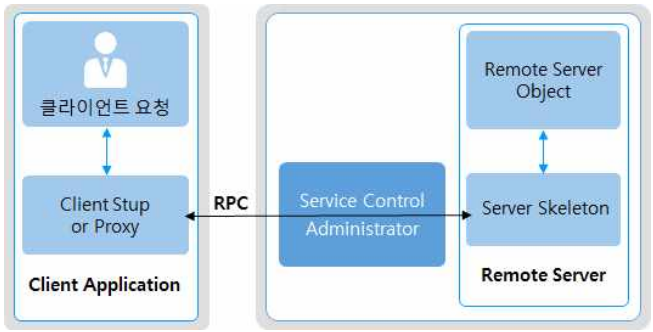

< Client Component 예시>

② Hosting Application 설계

- Hosting Application은 클라이언트 모바일 앱에서 Back-End 서버의 RESTful 서비스에 접속하는 미들 웨어 어플리케이션을 말한다. Back-End 서버에 접속해서 RESTful 서비스가 제공하는 명령들을 이용해서 Client Mobile Application의 기능이 작동되게 해주는 다리 역할을 담당하는 어플리케이션이다. 이러한 구조적 형태의 장점은 아래와 같다.

| |
|---|
| • 완벽한 호환성<br>• Windows 응용 프로그램 및 GUI를 그대로 활용.<br>• 최상의 성능<br>• 서버의 사양만을 Upgrade 함으로써 모든 클라이언트의 성능 향상<br>• 관리 비용 절감<br>• 새로운 S/W 배포 및 기존 프로그램 Upgrade시, 서버 프로그램만 교체함으로써, 관리, 유지 보수비용을 혁신적으로 절감할 수 있음.<br>• 가격 및 A/S 비용 절감<br>• PC의 주 고장 원인인 HDD, FDD, CD-ROM 및Cooling Fan 등의 기구적인 요소가 없기 때문에 구입가격이 저렴하고 A/S 발생이 거의 없음.<br>• 보안성 (Security)<br>• 모든 데이터가 서버에만 존재하기 때문에 타인에 의한 자료 유출 및 바이러스 감염위험이 낮음. |

- 효율적인 작업 관리 및 통제 환경
- 사용자마다 사용할 수 있는 업무의 종류나 접근권한을 제한.
- 쉽고 편리한 사용 환경
- 간편한 설치로 언제 어디서나 인터넷을 통해 서버에 접속만 하면 항상 동일한 환경에서 작업가능.



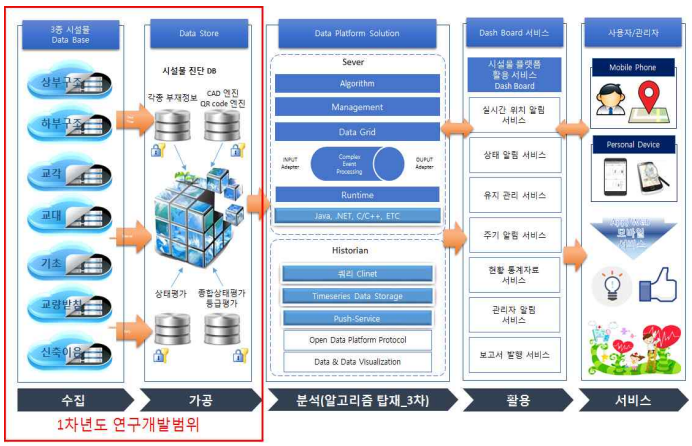

<RPC와 마샬링 개념도>

- 설정, 이벤트, 수신데이터 저장, 클라우드 데이터베이스 전송, 기타 통계 데이터를 관리 요청은 Proxy Server가 분산처리형태로 스크립트가 수행 가능하도록 설계 완료 RPC와 마샬링 개념도

- 개 발 도 구 : Rad Studio Berlin/WebStorm
- 실 행 플 랫 폼 : Windows Server/Windows Mobile
- 서 버 기 술 : Raw Socket/Clustering/Reverse Proxy/Http/RESTful/{HP
- 클라이언트 기술 : JavaScript/Delphi
- 데이터 베이스 : MySQL Database

(2) QR-CODE 기반의 제3종 시설물 분류체계 설계 및 구축

- 3종 시설물 통합관리를 위해 시설물별 분류체계화 하였다. 3종 시설물 구분은 기본 부재 유형, 슬라브 교량(RCS), 거더교량(RCT)를 라멘(RA) 교량을 DB화 하였다. 분류화 체계를 통해 기본 부재 유형별, 부재유형별, 부재번호별, 부재ID별 구분되어 Back-End 서버에 등록된다.




<3종 시설물 분류에 따른 DB 설계 및 구축>




<3종 시설물 통합 구조물 DB 구축>

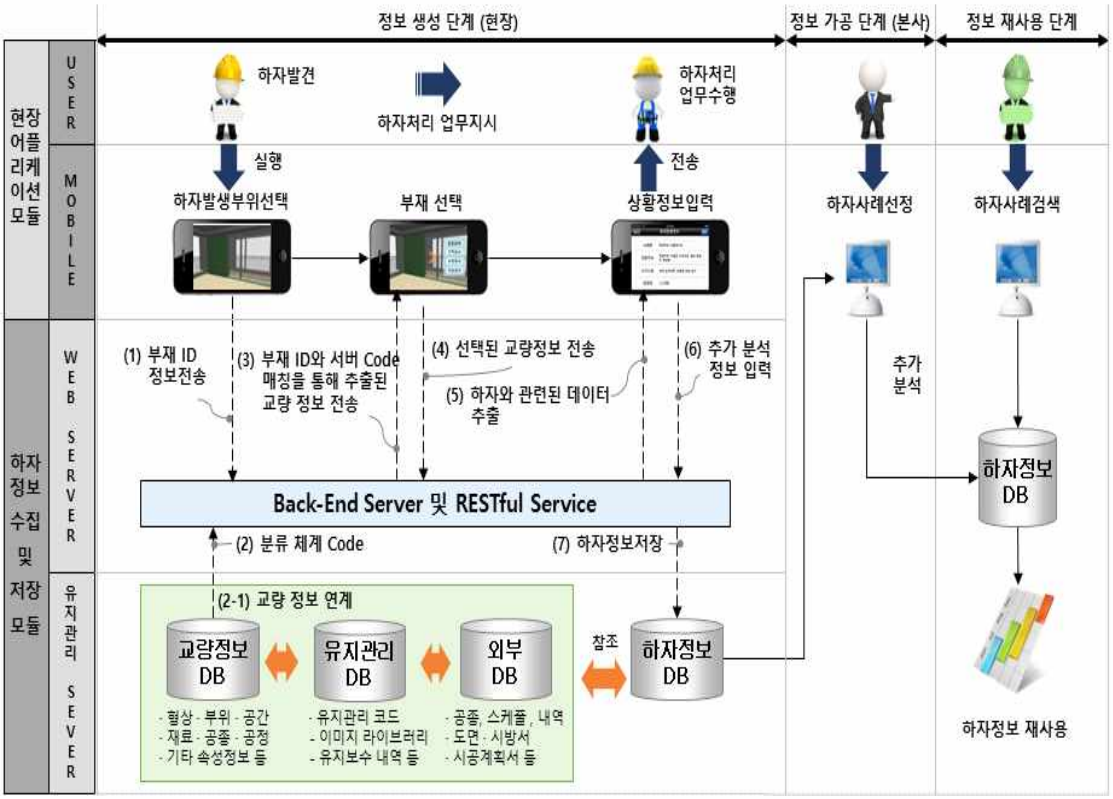
- 작업현장에서 작업자는 QR코드에 탑재된 각 부재 정보를 현장에서 불러 올수 있다. 통합 구조물 DB는 상부구조DB, 기타부재DB, 하부구조 DB로 크게 나뉘며 각 해당 부재에 대한 세부 부재에 대한 DB를 클라이언트에 저장하여 쉽게 불러올수 있도록 설계 되었다.

기본 부재유형

| 번호 | 부재유형 | 부재ID | 부재번호 | 부재유형 | 부재ID | 부재번호 | 부재유형 | 부재ID | 부재번호 | 부재유형 | 부재ID | 부재번호 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S1경간 | BRSP11 | S001 | 상부구조 | BRBJ21 | - | | | | | | |
| | | | | | | | 바닥판 | BRBJ2101 | S001-0001 | | | |
| | | | | | | | 거더 | BRBJ2102 | S001-0002 | | | |
| | | | | | | | 2차부재 | BRBJ2121 | - | | | |
| | | | | | | | | | | 가로보 | BRBJ212101 | S001-0011 |
| | | | | | | | | | | 세로보 | BRBJ212102 | S001-0012 |
| | | | | 기타부재 | BRBJ24 | - | | | | | | |
| | | | | | | | 교면포장 | BRBJ2402 | S001-0042 | | | |
| | | | | | | | 배수시설 | BRBJ2403 | S001-0043 | | | |
| | | | | | | | 난간/연석 | BRBJ2404 | - | | | |
| | | | | | | | | | | 난간 | BRBJ240401 | S001-0044 |
| | | | | | | | | | | 연석 | BRBJ240402 | S001-0045 |
| | | | | | | | | | | 방음벽 | BRBJ240403 | S001-0046 |
| | | | | | | | | | | 방호벽 | BRBJ240404 | S001-0047 |
| | | | | | | | | | | 중앙분리대 | BRBJ240405 | S001-0048 |
| 2 | S2경간 | BRSP11 | S002 | | | | | | | | | |
| | | | | 상부구조 | BRBJ21 | - | | | | | | |
| | | | | | | | 바닥판 | BRBJ2101 | S002-0001 | | | |
| | | | | | | | 거더 | BRBJ2102 | S002-0002 | | | |
| | | | | | | | 2차부재 | BRBJ2121 | - | | | |
| | | | | | | | | | | 가로보 | BRBJ212101 | S002-0011 |
| | | | | | | | | | | 세로보 | BRBJ212102 | S002-0012 |
| | | | | 기타부재 | BRBJ24 | - | | | | | | |
| | | | | | | | 교면포장 | BRBJ2402 | S002-0042 | | | |
| | | | | | | | 배수시설 | BRBJ2403 | S002-0043 | | | |
| | | | | | | | 난간/연석 | BRBJ2404 | - | | | |
| | | | | | | | | | | 난간 | BRBJ240401 | S002-0044 |
| | | | | | | | | | | 연석 | BRBJ240402 | S002-0045 |
| | | | | | | | | | | 방음벽 | BRBJ240403 | S002-0046 |
| | | | | | | | | | | 방호벽 | BRBJ240404 | S002-0047 |
| | | | | | | | | | | 중앙분리대 | BRBJ240405 | S002-0048 |
| 3 | S…경간 | BRSP11 | S003 | | | | | | | | | |
| | | | | 상부구조 | BRBJ21 | - | | | | | | |
| | | | | | | | 바닥판 | BRBJ2101 | S003-0001 | | | |
| | | | | | | | 거더 | BRBJ2102 | S003-0002 | | | |
| | | | | | | | 2차부재 | BRBJ2121 | - | | | |
| | | | | | | | | | | 가로보 | BRBJ212101 | S003-0011 |
| | | | | | | | | | | 세로보 | BRBJ212102 | S003-0012 |
| | | | | 기타부재 | BRBJ24 | - | | | | | | |
| | | | | | | | 교면포장 | BRBJ2402 | S003-0042 | | | |
| | | | | | | | 배수시설 | BRBJ2403 | S003-0043 | | | |
| | | | | | | | 난간/연석 | BRBJ2404 | - | | | |
| | | | | | | | | | | 난간 | BRBJ240401 | S003-0044 |
| | | | | | | | | | | 연석 | BRBJ240402 | S003-0045 |
| | | | | | | | | | | 방음벽 | BRBJ240403 | S003-0046 |
| | | | | | | | | | | 방호벽 | BRBJ240404 | S003-0047 |
| | | | | | | | | | | 중앙분리대 | BRBJ240405 | S003-0048 |

<기본부재 유형 분류체계/DB>

(3) 미들웨어 설계 및 구축




<미들웨어 설계 및 구축 구조도>

(가) 미들웨어 서버

- 미들웨어 서버는 UDP Port 4000을 개방하여 대기하다가 교량의 정보가 모바일 앱으로부터 수신되는 즉시 데이터를 파싱 하여 MySQL Database에 저장한다. 전송 시 미들웨어 서버와 MySQL Database 간에는 외부 프로세스와의 통신을 위하여 UDP Socket 통신을 이용하여 전송한다. Database Manager는 수신된 교량 유지보수 관련 데이터를 MySQL 데이터베이스에 실시간으로 저장한다.
- 미들웨어 서버는 컨트롤 센터에서 자동으로 관리된다. 미들웨어 서버는 모바일 앱으로부터 교량 유지관리 데이터를 실시간으로 수신하는데, 데이터를 고속으로 수신하기 위하여 자체적으로 개발한 UDP Socket을 사용한다. Advertising Packet 에는 프로젝트 별 부재의 ID, 결함 코드유지보수 내역, 도면정도 등의 값이 저장되어 있다.
- 미들웨어 서버는 4000번 포트를 사용하며, 방화벽에서 4000번 포트의 인 바운드 / 아웃 바운드 허용 설정을 해야 한다. 미들웨어 서버는 초당 10,000 커넥션 이상을 처리할 수 있도록 멀티 쓰레드 형태로 구현되어 있으며, 내부적으로 누락 없는 데이터 처리를 위하여 Queue 형태의 자료구조를 사용하고 있다. 모바일 앱으로부터 데이터가 수신되면, 수신부에서는 즉시 Queue형태의 버퍼에 기록을 한다. 쓰레드 풀에서는 무한 루프를 통하여 버퍼에서 데이터를 Pop하게 된다. 동시에 10개 이상의 쓰레드가 버퍼 내용을 확인하여 처리하기 때문에 10,000개 이상의 동시접속에

대해서도 문제없이 즉시 처리할 수 있다. Raw Byte Array 형태로 수신된 Advertising Packet 은 목적에 따라 파싱 되어 JSON 형태의 문자열로 변환되어 Database Manager 모듈로 전송한다. 전송방식은 윈도우 메시지인 WM_COPYDATA를 통하여 대량으로 전송하게 되며, 데이터의 손실은 이론상 없다. 미들웨어 서버는 컨트롤 센터에서 자동적으로 실행되지만, 포트 4000번이 사용할 수 없거나 프로세스가 비정상적으로 종료되었을 경우 다시 실행된다. 관리자는 컨트롤 센터에서 수동으로 실행할 수도 있다.

(나) Database Manager

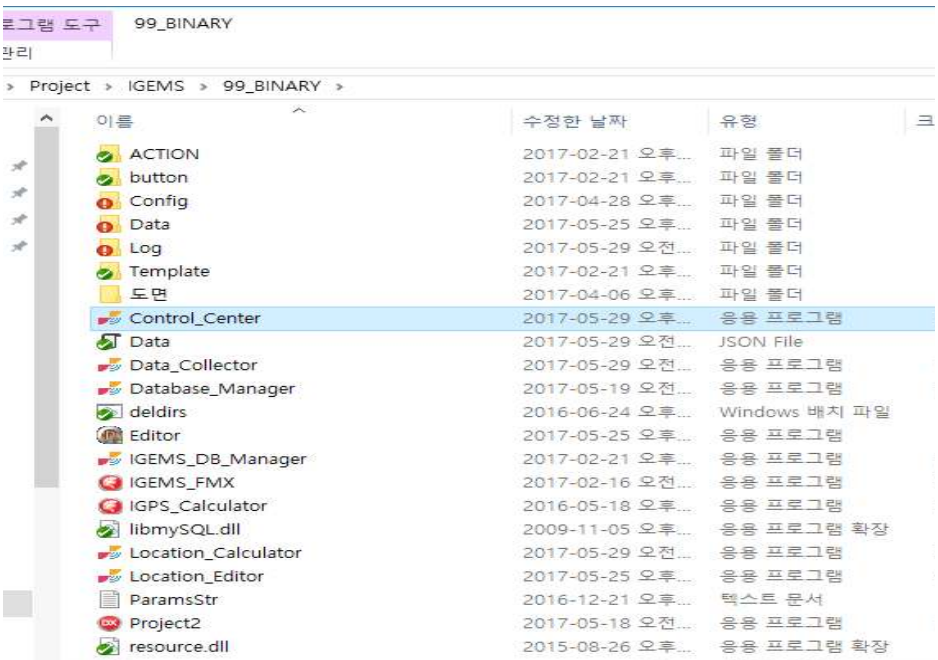
- Database Manager는 미들웨어 서버로부터 수신한 유지 관리 정보를 데이터베이스에 추가 한다. 데이터베이스에 저장하는 정보는 프로젝트 Id, 부재 Id, X, Y 좌표 등이다. 저장 간격은 실시간이다. 모바일 앱에서는 저장된 데이터베이스의 데이터를 REST 서비스를 통하여 호출한다.

(다) 컨트롤 센터

- 컨트롤 센터는 미들웨어 서버 운영 모듈에 대한 생애주기를 관리한다. 각 모듈별로 실행 및 종료 작업을 수행할 수 있으며 필요 시 새로운 프로세스를 등록할 수 있다. 현재 컨트롤 센터에 등록되어 있는 프로세스들은 미들웨어 서버를 운영하기 위한 필수 모듈에 해당된다. 입력 정보는 로컬 데이터베이스에 저장되어 프로그램 실행 시 정보를 읽어 들일 수 있으며, 수정할 수도 있다.

① 컨트롤 센터 실행

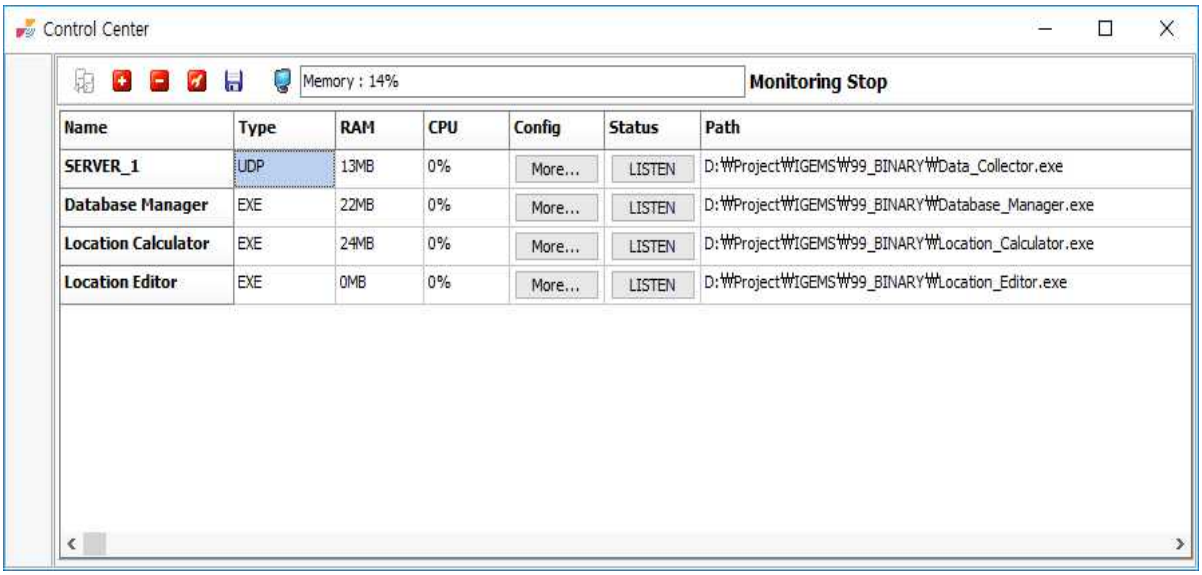
- 윈도우 탐색기에서 설치된 “Control Center.exe”를 실행한다.




<Binary 통합 화면>

② “Control Center.exe” 실행

- “Control Center.exe” 실행 시 필수적으로 가동되어야 할 프로세스가 자동으로 실행된다.




<Control Center.exe 실행 하면>

- 아래 화면처럼 미들웨어 서버 운영에 필요한 프로세스들이 자동으로 실행되었다.

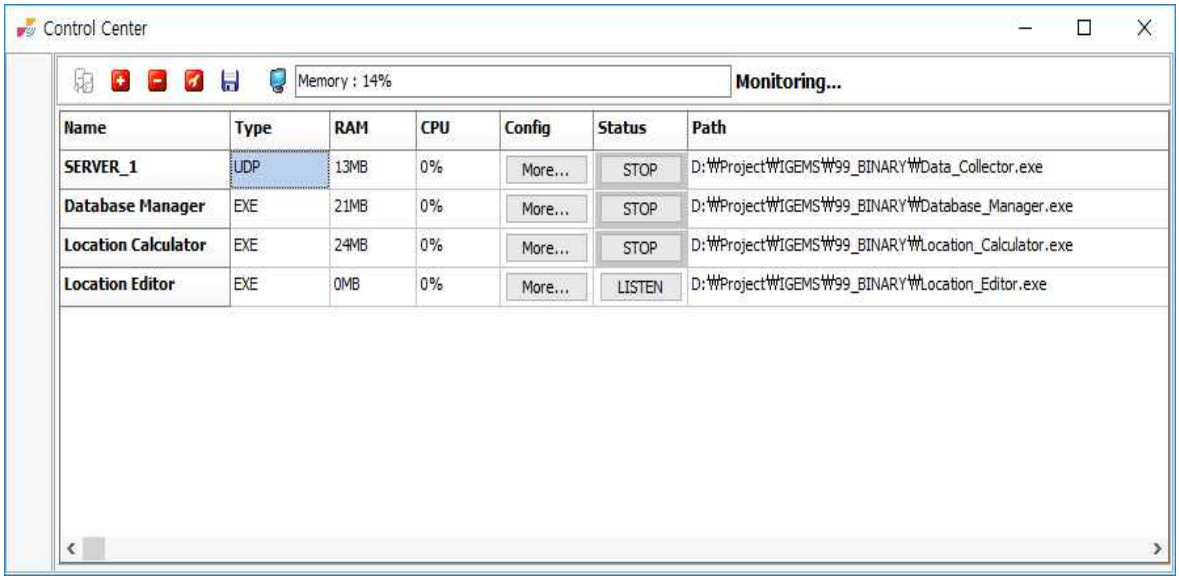






< “Control Center” 실행 자동 프로세스 화면>

- 그리고 컨트롤 센터는 각 프로세스들의 메모리, CPU 점유율을 모니터링 하며 위험 상황 발생 시 프로세스의 자동 재시작을 수행한다. 그리고 그리드의 각 Row에서는 개별적인 프로세스들의 RAM, CPU 상태를 사용자가 확인할 수 있다.




<Control Cental 관리 메인 화면>

- 위의 화면처럼 “Data Collector: SERVER_1”, “Database Manager”, 모듈이 실행된 상태이다. Status 열을 보게 되면 실행중인 프로세스는 중지할 수 있도록 Stop버튼이 활성화된 상태로 대기한다. Stop 버튼을 클릭하게 되면 해당 열에 해당하는 프로세스를 중지할 수 있는데, 현재는 전체 프로세스가 모니터링 중이므로 반드시 전체 모니터링 작업을 종료 후에 Stop버튼을 클릭해야 한다. 전체 프로세스 모니터링을 중단하지 않은 채로 개별 프로세스를 종료(Stop)하게 되면 자동으로 프로세스를 재시작 한다.

③ 전체 모니터링 활성화 / 비활성화

- “전체 모니터링 종료” 버튼은 아래창과 같다. (활성화 / 비활성화가 토글 형태로 작동한다.)




④ 프로세스의 추가 및 삭제

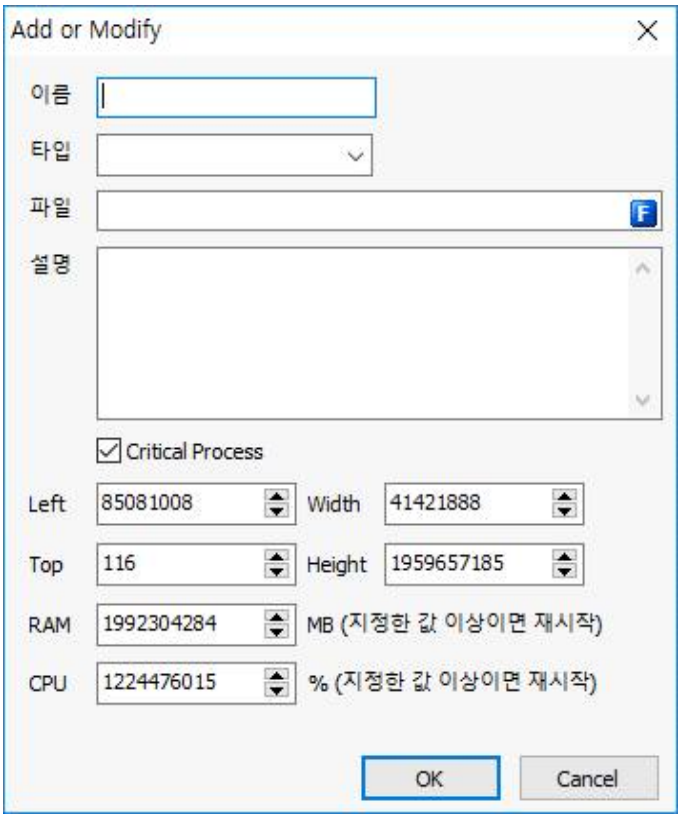
- 필요에 따라서 현재 운영중인 프로세스를 추가하거나 삭제할 수 있다. 미들웨어 서버는 현재 3가지 모듈을 핵심 프로세스로 규정하여 관리하고 있으나 관리자의 선택에 따라 새로운 프로세스를 등록하거나 기존 프로세스를 제거할 수 있다. 다만, 기존 프로세스를 제거하는 것은 권장되지 않는다.

⑤ 프로세스의 추가

- 아래 화면에서 “추가” 버튼을 클릭한다. 관리자가 원하는 프로세스를 추가할 수 있다.




- 아래 화면처럼 옵션창이 출력된다.



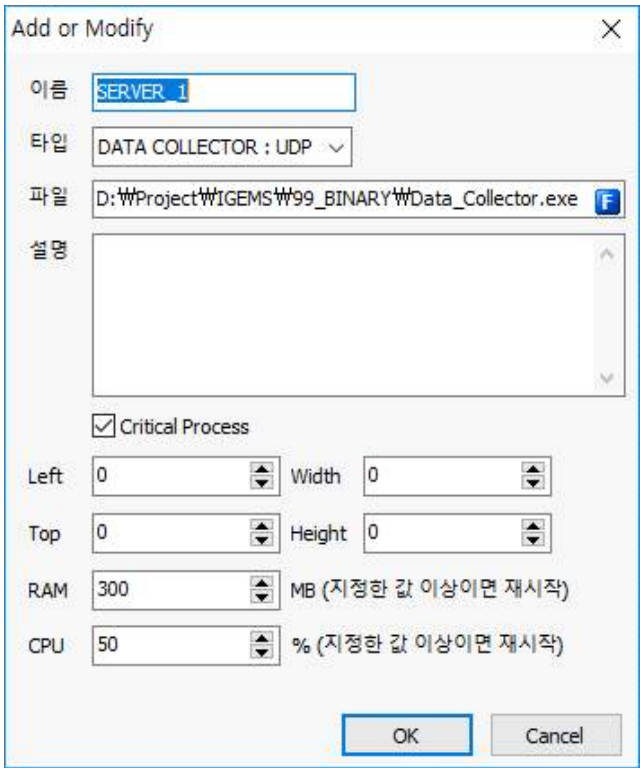

- 이름은 자유롭게 입력한다.
- 타입은 “Data Collector: UDP”, “Data Collector: TCP”, “Application: Exe” 세 가지 중에서 한 가지를 선택한다. 일반적인 윈도우 응용 프로그램이라면 “Application: Exe”를 선택한다.
- 다음은 파일명을 등록한다. 버튼을 클릭하여 경로에서 필요한 파일을 찾는다.
- Critical Process를 체크하면 프로세스를 감시하여 종료되었을 경우 재 시작한다. RAM 옵션은 최대 허용용량, CPU옵션은 입력한 %를 초과할 경우 프로세스를 재 시작한다.
- 모든 정보의 입력이 완료되면 OK 버튼을 클릭한다.

⑥ 프로세스의 수정

- 수정 버튼을 클릭하면 현재 프로세스에 할당된 모니터링 정보를 수정할 수 있다.



- 미들웨어 서버에 입력된 정보는 아래와 같다.
- 설치된 파일 경로, RAM 허용 범위, CPU % 허용 범위를 확인할 수 있다. 수정을 원할 경우 값을 재입력하도록 한다.




⑦ 프로세스 정보 저장




- 프로세스의 정보입력이 완료되면 저장버튼을 클릭하여 로컬데이터베이스에 옵션정보를 저장하도록한다.

⑧ 저장된 정보의 불러오기



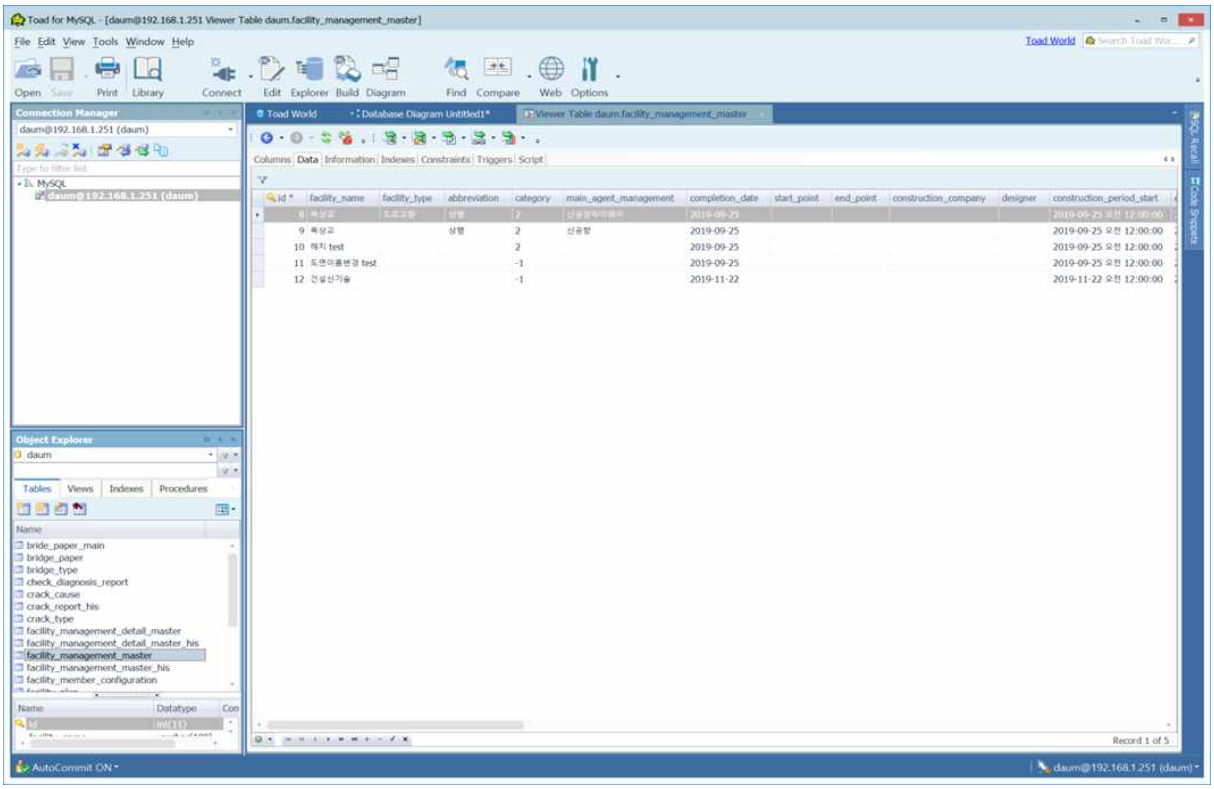

⑨ 전체 메모리 사용량 확인



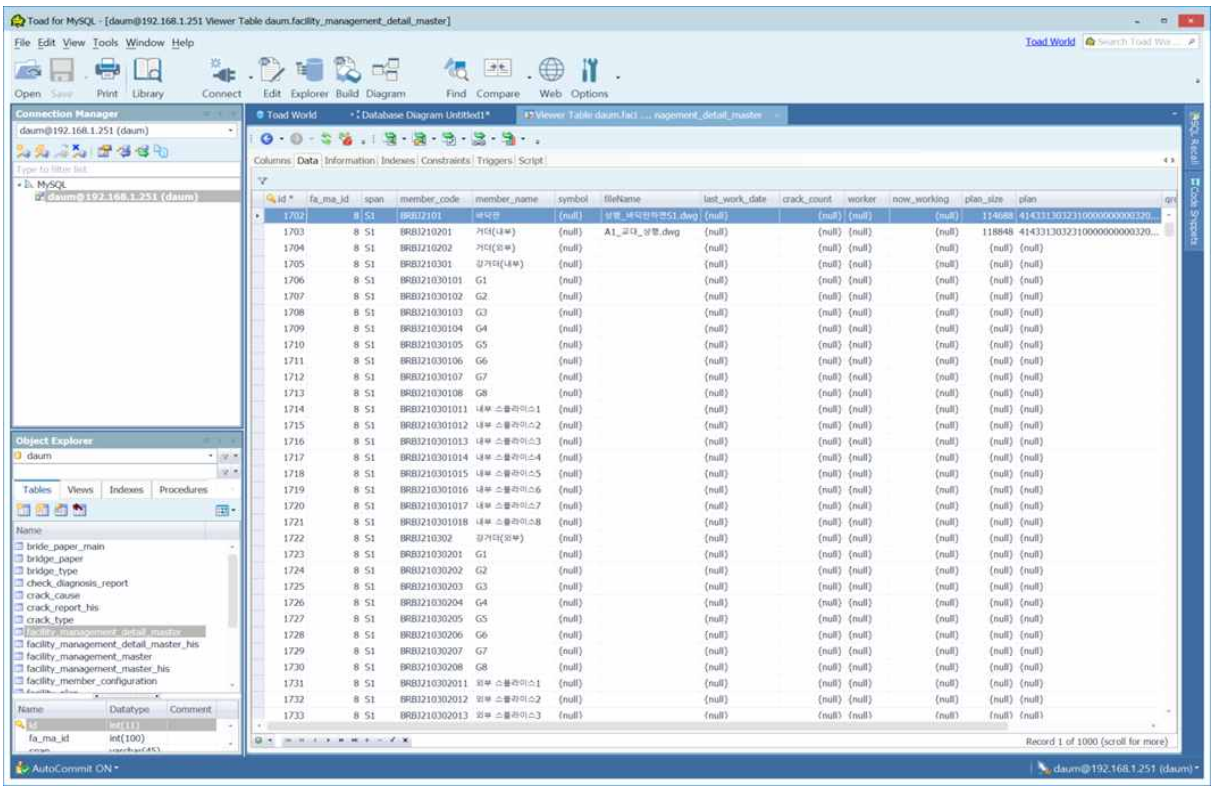

- 현재 시스템에서 사용 중인 전체 메모리 사용량을 확인 할 수 있다.

(4) 데이터베이스

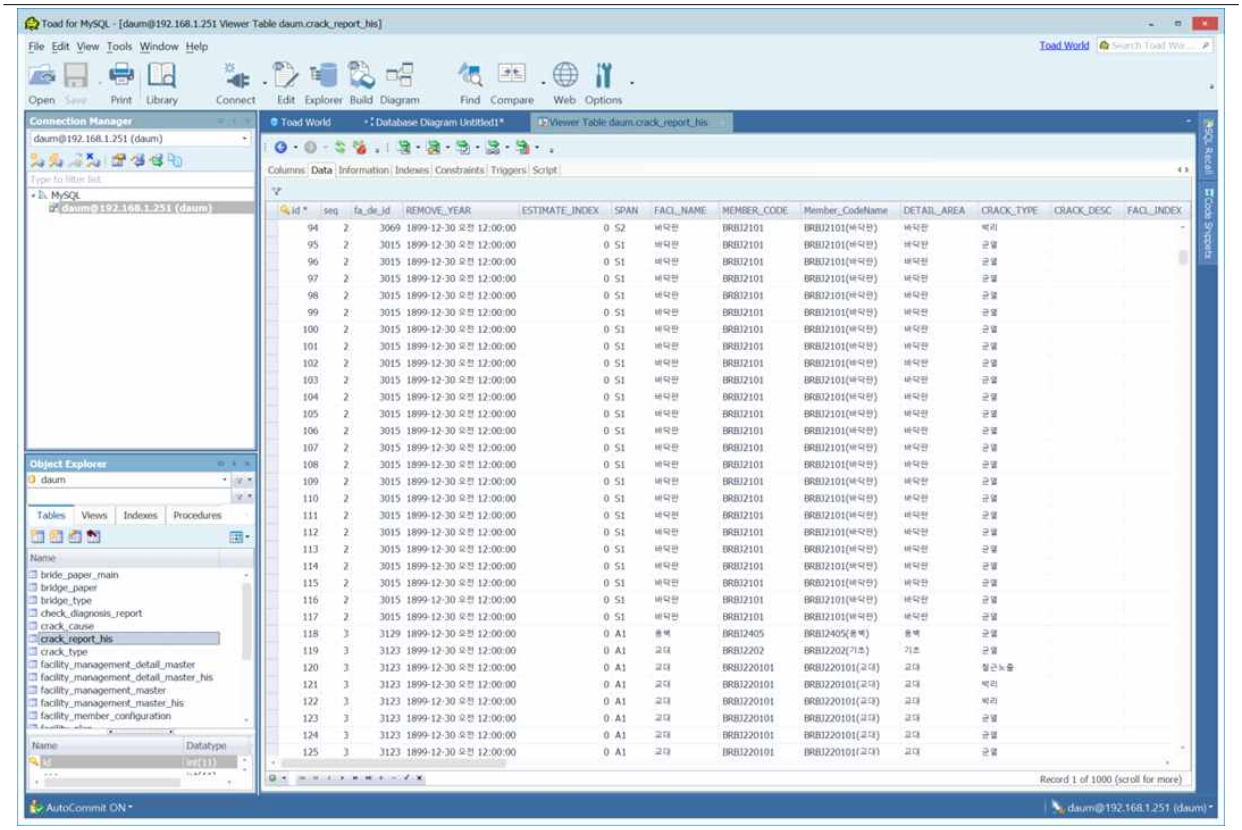
(가) 데이터베이스 스키마



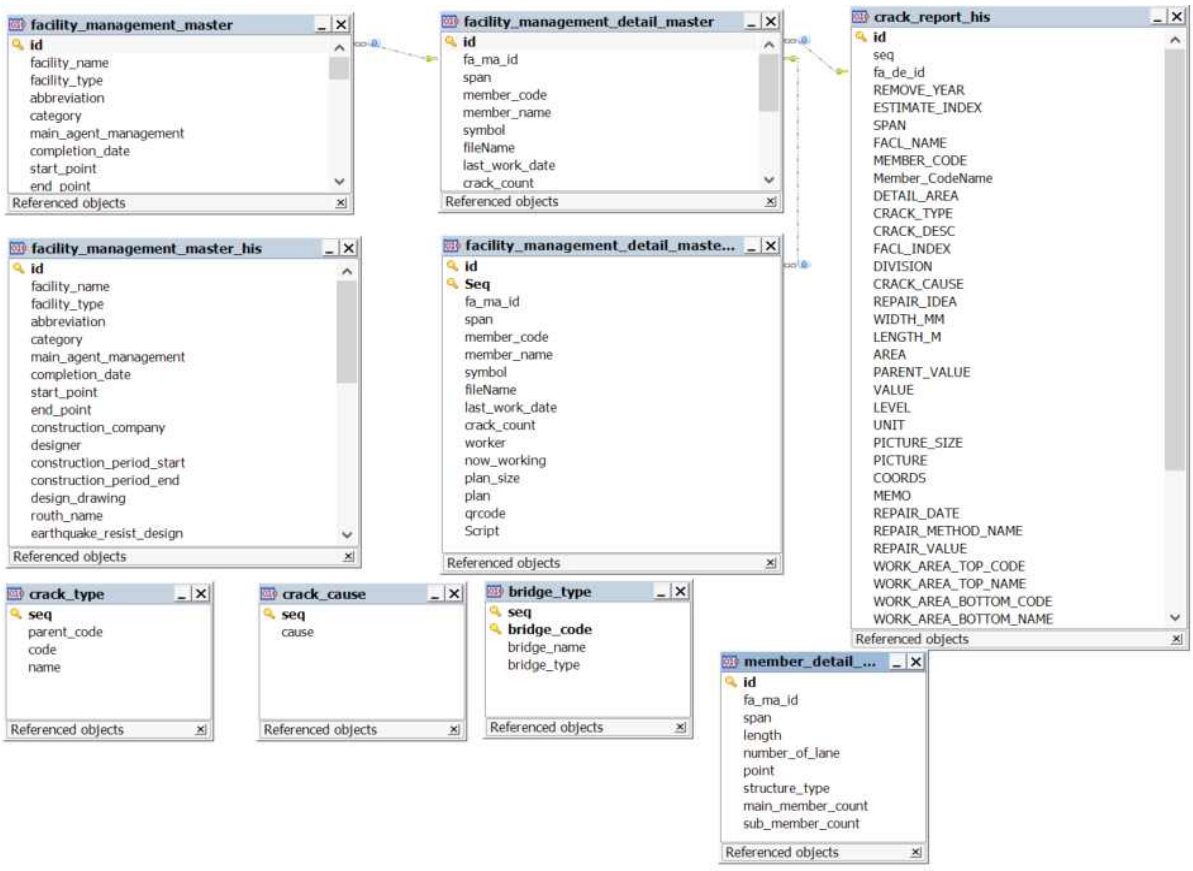
<데이터베이스 테이블 데이터(교량)>



<데이터베이스 테이블 데이터(경간별 도면)>




<데이터베이스 테이블 데이터(결함)>

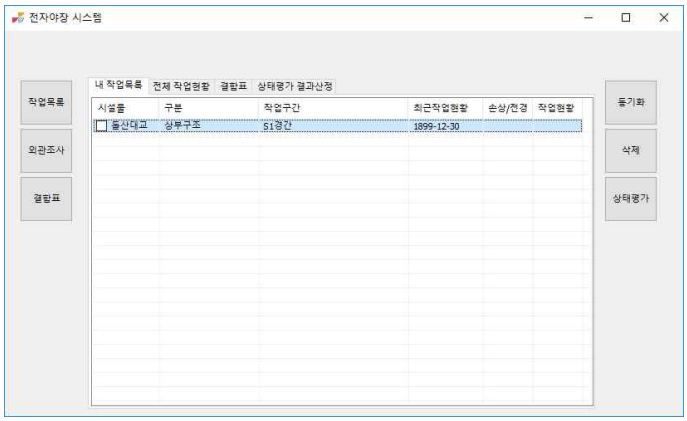



<데이터베이스 Relation Diagram>

## 나. 전자야장 엔진 설계

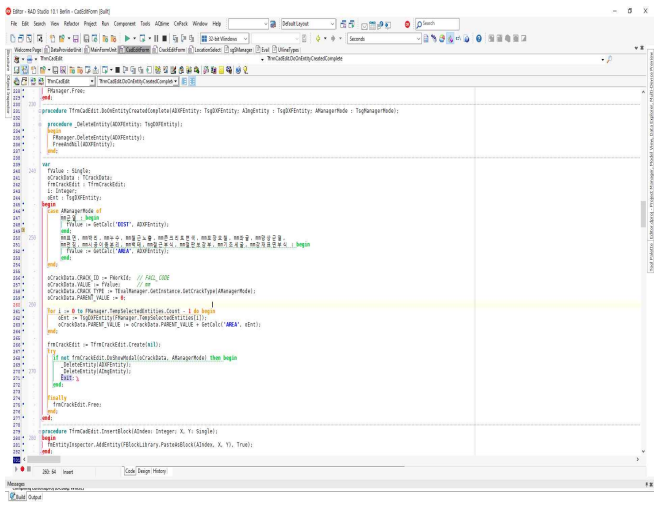
### (1) CAD 엔진 설계

- 전자 야장 엔진은 자체 개발한 윈도우즈 플랫폼 기반의 캐드 엔진으로 외부의 어떤 CAD 소프트웨어나 컴포넌트도 필요 없는 네이티브 엔진으로 개발할 예정이다. 유저의 다양한 요구사항에 적용할 수 있는 유연한 캐드엔진으로 AutoCAD의 DXF, DWG와의 호환을 제공해야 하며 1차년도에는 프로토타입 형태로 엔진을 설계하였고 구축된 미들웨어 서버와 통신 테스트를 위한 프로토타입 프로그램을 개발하였다.




<전자야장 엔진 기본 프레임>

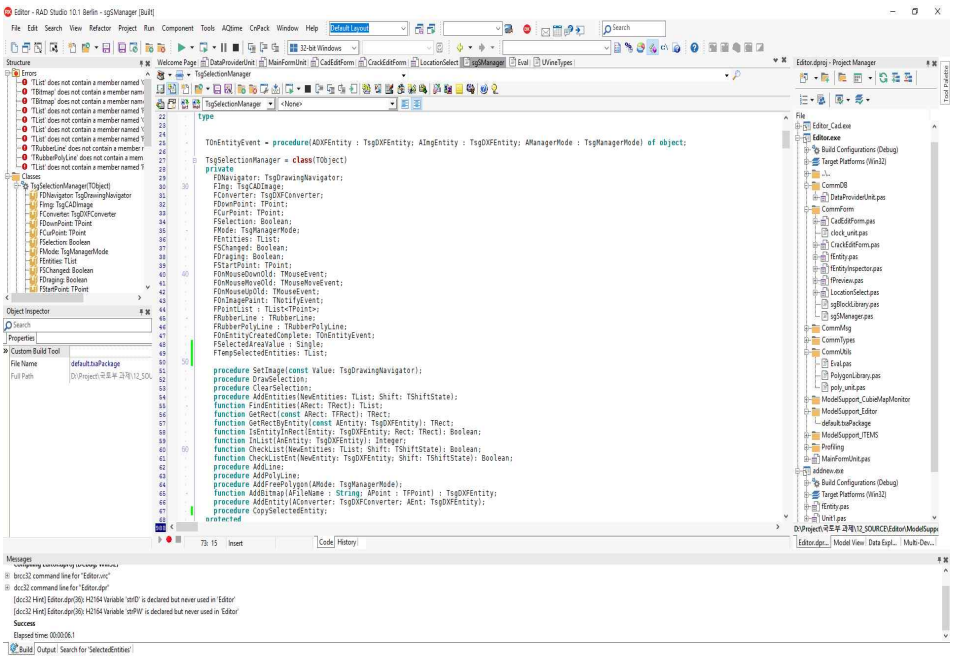
- 윈도우즈 플랫폼에서 캐드 엔진을 적절하게 표현 및 랜더링하고 미들웨어 서버로 업로드하기 위한 가벼운 엔진 개발
- 교량의 유지관리를 위한 전용 손상관리 및 상태평가 프로토타입 기술 개발
- 교량 부재에 최적화된 다단계 LOD(Level of Detail)에 교량 형상의 모델링 및 랜더링 기술 개발
- 윈도우즈 플랫폼기반의 GDI/GDI+ 기술을 통한 분석데이터의 비주얼한 그래픽스 기술 개발
- 2차원기반의 전자 야장 엔진과 손상 관련 해치 매핑 기술 개발



<기본 엔진 설계>

(가) 캐드 엔진 세부 설계

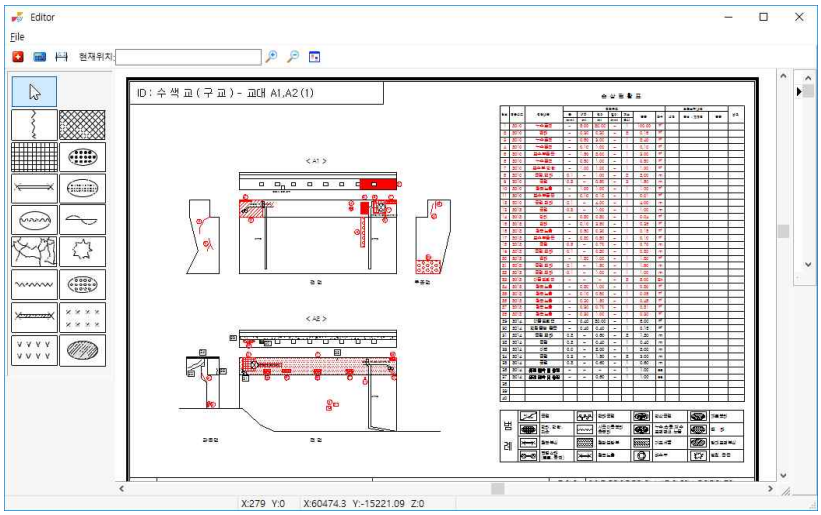
- 2D CAD Math 엔진 (2D: GDI+ 기반, 3D: DirectX 9)
- DirectX 기반의 Shader 기술
- 도면의 편집 및 DWG Import 엔진
- 객체지향적인 컴포넌트 개발 기법
- 동적 다단계 LOD 기술
- 벡터 CAD 기반의 컴포넌트 엔진 설계, 다계층의 Layer 알고리즘 설계로 교량의 손상을 추가할 때마다 별도의 레이어로 관리할 수 있도록 설계
- 자유곡선을 통하여 사용자가 지정한 영역의 면적 산출 및 상태평가를 적용하기 위한 등급 산정 기분 체계 작성 및 계산 알고리즘 설계 완료
- 다양한 결함을 그리기 위한 객체 도구 설계 완료



<벡터 캐드 기본 엔진 설계>

(나) DWG 도면 Import 모듈 설계

- 백엔드-서버에서는 프로젝트별로 교량을 관리하도록 설계하였다. 모바일 앱에서는 서버에 저장된 부재별 손상 목록을 실시간으로 확인할 수 있으며 다운로드할 목록을 선택한 후 모바일 앱으로 다운로드 작업을 수행 한다. 부재 코드별로 기본 도면 데이터가 링크되어 있으며 도면 파일의 링크는 서버에서 수정할 수 있다. 다운로드된 도면 파일은 모바일 태블릿 특정 폴더에 저장이 되어있다. 클라이언트 모바일 앱은 로컬 데이터베이스를 별도로 사용하는데, 서버와의 동기화 작업을 통하여 로컬 데이터베이스를 업데이트 하도록 설계하였다. 로컬 데이터베이스는 서버로부터 다운로드 된 프로젝트 별 부재 목록을 관리하는데, 현장에서 손상을 확인한 후 서버에 다시 업로드하도록 설계하였다. 클라이언트 모바일 앱은 DWG 도면을 서버에서 다운로드하여 수정후 다시 서버에 재 업로드 하는 개념이다.




<DWG Import 화면 설계>

## (2) 윈도우 앱 설계

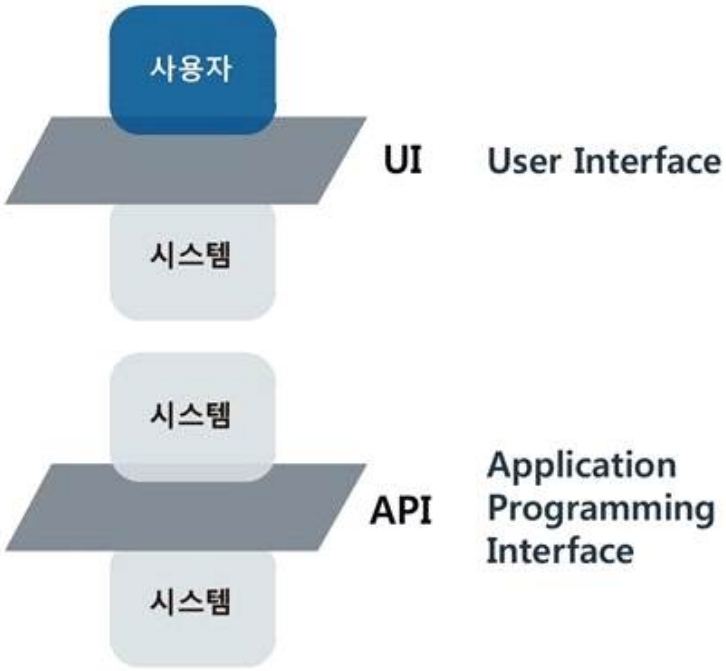
### (가) Windows Table 기반 UI / UX 설계

- 윈도우 앱 설계는 현장에서 관리가가 현장점검을 위해 간편하고 편리하게 사용하도록 설계 하였다. 관리자, 즉 사용자의 요구사항 분석을 통해 설계, 사용자 중심의 아이콘 배치, 직관적인 UI/UX 화면 구성, 인터랙션 통해 기초를 바탕으로 설계가 이루어진다.
- 전자야장 시스템은 외부의 환경에서 Window Tablet PC기반으로 무선 터치 팬을 사용하여 작업을 수행한다. 이때 악조건에서 발생할 수 있는 터치 펜의 미스 마킹, 저장. 펜의 오작동으로 인한 손상 위치 미스 마킹 등 여러 가지 변수들을 고려하여 아래와 같이 UI/UX를 설계하였다.
- 태블릿에서 사용자가 생성한 도형과 면적을 자동으로 산출하기 위한 알고리즘 설계와 전자야장 도면을 태블릿에서 편리하게 사용할 수 있는 사용자 중심의 설계(줌인 줌아웃, 패닝 기능 등)가 반영되었다.




<Windows Table UI / UX 화면 >

- 인터페이스의 화면 구성을 살펴보면 사용자와 전자야장 플랫폼 사이에 생기는 경계면이 UI(사용자 인터페이스)이고 시스템과 시스템 간에 생기는 경계면이 API다. 그러므로 UI는 사용자와 태플릿 기기, 사용자와 웹사이트 및 애플리케이션이 만나는 접점이다. UI 디자인은 사용자와과 만나는 시스템의 외형과 화면 구조, 버튼 모양 등을 설계하였다. (3차년도 고도화 적용)




<UI 와 API 관계도>

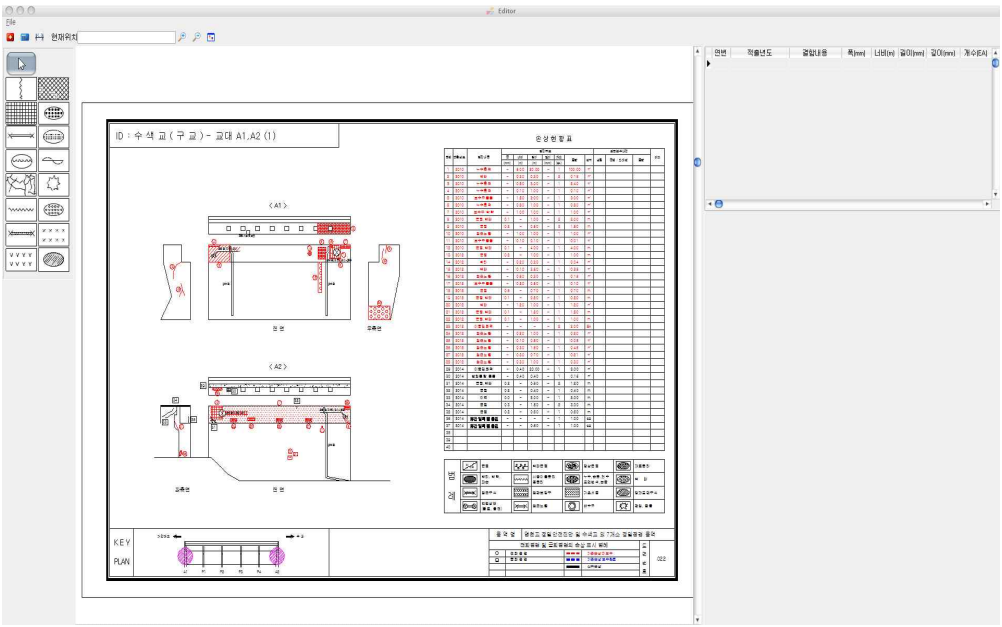


(나) 기본 프레임 웍 설계

- 3종 시설물 관리 플랫폼은 아래와 같이 프레임웍을 설계하였다. 모바일(태블릿) 사이즈에 맞는 고유 화면 및 반응체계 설계하였다. 아래 화면은 실제 Window Tablet PC에서 작동되고 있는 화면이다.
- 기본 프레임 웍 설계로는 내 작업목록, 전체 작업현황, 결함표, 상태평가 결과산정으로 구성되어 설계 되었다. 사용자의 편리하게 사용하기 위해 왼쪽 버튼은 작업목록, 외관조사, 결함표로 구성되었으며 우측기능으로는 동기화, 작업삭제, 상태 평가 버튼이 위치되도록 설계하였다.




<전자야장 시스템 기본 UI/UI(안)>




<캐드 엔진 탑재 전자야장 시스템 기본 UI/UI(안)>

(다) QR-CODE 인식 모듈 설계

- 윈도우즈 모바일 앱에서는 현장 작업자가 부재별로 손상 목록을 관리할 때 관련 데이터의 신속한 접근 및 검색을 위하여 QR-CODE 기반의 인식 모듈을 제공한다. 1차년도에는 모바일 앱 기반의 QR-CODE를 인식하기 위한 엔진 모듈을 설계하였으며 기본 엔진을 프토토타입 형태로 개발 및 테스트하였다.
- QR-CODE를 만들어주는 클래스는 Quricol이다. 오픈 소스이며, 핵심 코드는 dll로 구현되어 있다. 컴포넌트 형태가 아니라 클래스로 구현되어 있어서 등록할 필요도 없고 해당 유닛을 uses만 해서 사용한다. 클래스 형태이긴 하지만 주요 멤버들이 모두 클래스 메소드로 구현되어 있어서 객체를 만들지 않고 TQRCode의 멤버를 그대로 호출하면 된다.

- QR-CODE와 NFC는 초근거리에서만 통신이 가능하다.
- Blutooth와 Bump는 페어링(Paring)의 번거로운 절차가 필요하다.
- NFC와 Bluetooth는 특정 하드웨어 제공 단말이 필요하다.

<QR NFC Bluetooth Bump 기술 & 기능>

| 구분 | | QR | NFC | Bluetooth | Bump |
|---|---|---|---|---|---|
| 기술 | 최대전송속도 | N/A | 424Kbps | 2.1Mbps | WiFi/3G기반 동시 작동 기기 매칭 |
| | 최대전송거리 | 10cm | 10cm | 10cm | |
| | 주파수 대역 | N/A | 13.56MHz | 2.4GHz | |
| | 사용 하드웨어 | 카메라 | NFC칩 | Bluetooth칩 | WiFi/3G |
| 기능 | 데이터 교환방법 | 앱실행⇨카메라⇨촬영 | 앱실행⇨NFC On ⇨NFC태깅 | Bluetooth켬 ⇨페어링⇨앱실행 | 앱실행⇨ Action ⇨ Sync |
| | 감성 UI/UX | X | X | X | O |

- 부재에 설치된 QR-Code 인코딩/디코딩을 통하여 연결된 콘텐츠(이미지/도면)의 연동
- 서버에 콘텐츠 다운로드 및 매핑 관리
- 윈도우즈 모바일 기반 다양한 타입의 콘텐츠 업로드/다운로드

# 5. 통합 시설물 관리 플랫폼 개발

## 가. ICT기반 통합 시설물 관리 플랫폼 개발

### (1) 3종 시설물(교량, 터널) 관리(등록, 수정, 삭제) 플랫폼 엔진 개발

- 3종 시설물 관리 플랫폼은 윈도우즈 어플리케이션으로 개발한다. 관리 플랫폼의 핵심 기능은 교량 시설물 데이터를 클라우드 서버에서 관리하는 것이다. 사용자는 자신의 계정으로 로그인하는데, 권한에 따라 메뉴 설정이 바뀐다. 관리자는 교량 시설물 데이터에 직접 접근하여 교량 정보를 수정할 수 있다. 관리자가 수정 가능한 정보는 시설물 관리 대장, 기본 현황, 부재 구성, 도면 정보, 참여이력 지정 등이다. 일반 사용자는 시설 개요 항목을 열람할 수 없다. 오직 관리자만 조회 및 수정 가능하다.

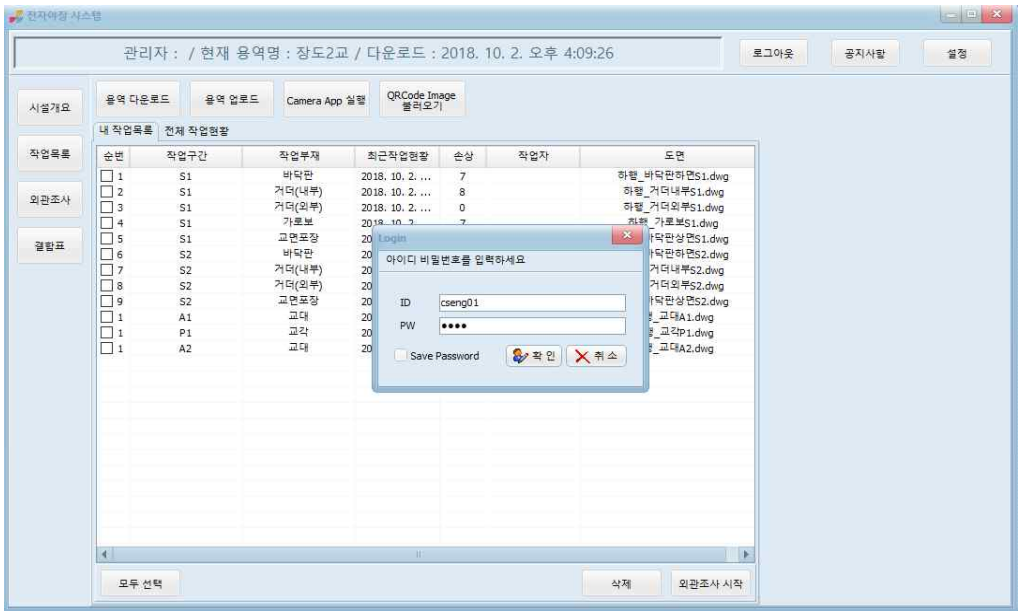



<기본 현황>

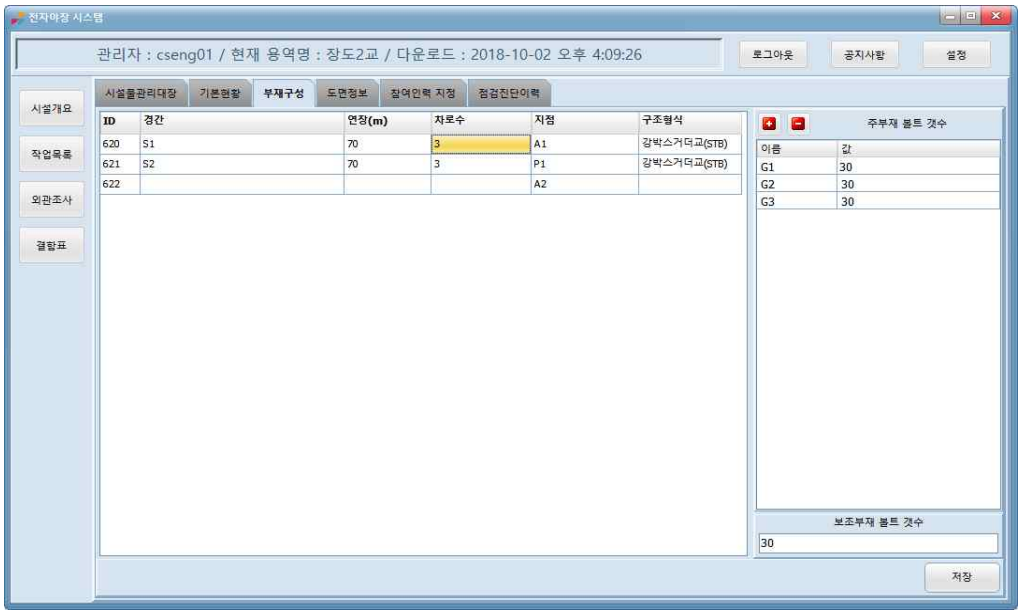
- 관리자는 교량 시설물을 신규 등록하거나 등록된 시설물 정보를 수정한다. 부재 구성에서는 경간 및 지점에 관한 정보를 입력하며, 도면 정보에서는 경간별로 도면을 직접 지정한다. 도면은 관리자가 보유한 것을 직접 지정하여 업로드 한다. 또한 각 도면별로 QRCode를 매핑할 수 있는데, 이것은 현장에서 작업자가 도면을 쉽게 열람하기 위하여 개발하였다.




<세부 시설물 현황>




<3종 시설물 통합관리 플랫폼 메인 개발1>




<3종 시설물 통합관리 플랫폼 메인 개발2>

(2) 원격 메소드 실행을 위한 미들웨어 소켓 서버 및 앱 클라이언트 모듈 개발

- 사용자가 사용하는 모바일 어플리케이션과 서버 플랫폼 간의 정보 교환 역할을 수행한다. 미들웨어 소켓 서버는 TCP/UDP 형태로 개발하였다. 모바일 앱에서 업로드하는 데이터는 JSON 형태의 문자열 데이터로 미들웨어 소켓 서버에 전송한다. 미들웨어 소켓 서버는 수신되는 데이터를 큐에 저장한다. 대기열에 입력된 데이터는 순차적으로 멀티스레드를 통하여 처리한다. 멀티스레드의 숫자는 동시간 접속 유저의 숫자에 따라 자동으로 늘어나고 줄어드는 형태로 운영된다.
- 앱 클라이언트 모듈은 미들웨어 소켓 서버로 데이터 업로드를 수행한다. 데이터는

서버에 차수별로 기록이 된다. 앱 클라이언트 모듈은 원하는 차수 데이터를 조회하여 클라이언트에서 운영하는 데이터베이스로 다운로드 한다. 미들웨어 소켓 서버는 클라이언트가 요청하는 프로토콜의 형태로 업로드와 다운로드 작업을 수행한다.




<미들웨어 소켓 서버 및 앱 클라이언트 모듈>

(3) H/W 연계 인터페이스 모듈 개발

- 교량 시설물에 부착된 QR-CODE와 서버 데이터베이스에서 관리되고 있는 부재와의 맵핑을 위한 인터페이스 모듈 개발(RESTful 서비스)
- 교량 시설물의 각 부재에는 QRCode를 부착한다. 앱 클라이언트 모듈은 카메라 촬영과 QRCode 인식 기술을 통하여 시설물의 아이디 정보를 획득한다. 획득한 아이디 정보는 서버에 저장된 교량 시설물의 도면 정보를 매칭하여 필요한 도면 정보를 열람하거나 해당 도면이 사용된 시설물 정보를 열람한다.




<3종 시설물 QR Code 선택 화면>

- 위의 화면처럼 인식된 QRCode에 따라서 시설정보를 열람하거나 원하는 도면에 접근한다. 사용자는 원하는 도면을 열람하기 위하여 목록에서 검색할 필요없이 원하는 도면에 신속하게 접근을 할 수 있다.

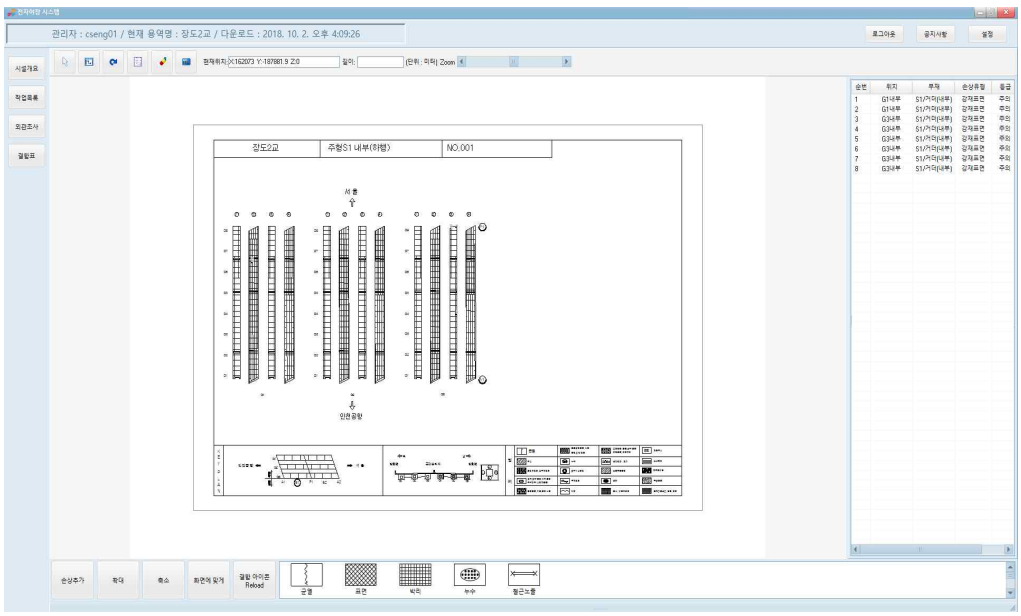
(4) 데이터베이스 CRUD 공통 서비스 모듈 개발

- 교량 시설물 정보는 MySQL 데이터베이스 형태로 관리한다. 앱 클라이언트와 서버 데이터베이스는 서로 독립된 형태로 관리하는데, 관리자는 시설물에 관련된 마스터 정보를 직접 관리한다. 일반 사용자는 원하는 교량 시설물 데이터를 이용하기 위하여 전체 데이터를 다운로드 해야 한다. 서버에 구축된 데이터베이스와 클라이언트 데이터베이스는 서로 동기화된다. 작업자의 편의를 위하여 데이터 업로드, 다운로드는 차수별로 관리하도록 별도의 이력 데이터 형태로 관리한다.
- 데이터베이스의 수정 삭제는 미들웨어 기술을 통하여 접근할 수 있다. 관리자는 직접 데이터베이스에 접근하는데, 별도의 드라이버 없이 직접적으로 데이터베이스에 접속하여 데이터를 추가하거나 수정, 삭제 작업을 수행한다.

## 나. 전자야장 엔진 개발

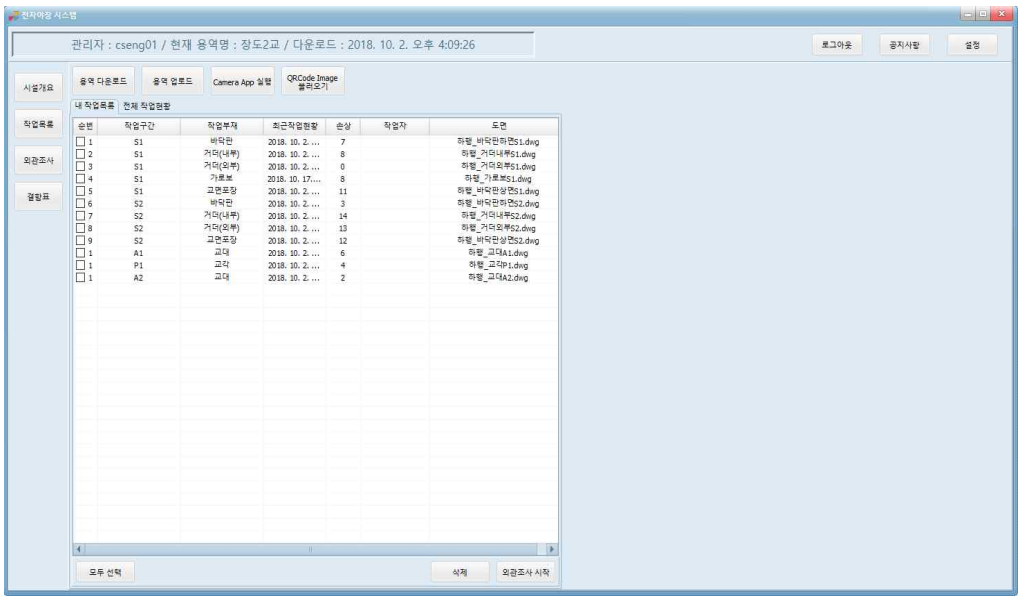
(1) 벡터 CAD 기반의 도면(도면의 편집, 줌인, 줌아웃, 패닝, 레이어, 그리기 객체 추가, 크랙지정, 텍스트 추가 등) 유지관리 모듈 개발

- 전자 야장 엔진은 자체 개발한 윈도우즈 플랫폼 기반의 캐드 엔진으로 외부의 어떤 CAD 소프트웨어나 컴포넌트도 필요 없는 네이티브 엔진으로 개발되었다. 유저의 다양한 요구사항에 적용할 수 있는 유연한 캐드엔진으로 AutoCAD의 DXF, DWG와의 호환을 제공해야 하며 관리자가 현장에서 편리하게 사용되어질 형태로 엔진을 설계하였고 구축된 미들웨어 서버와 운영 가능한 프로그램을 개발하였다.

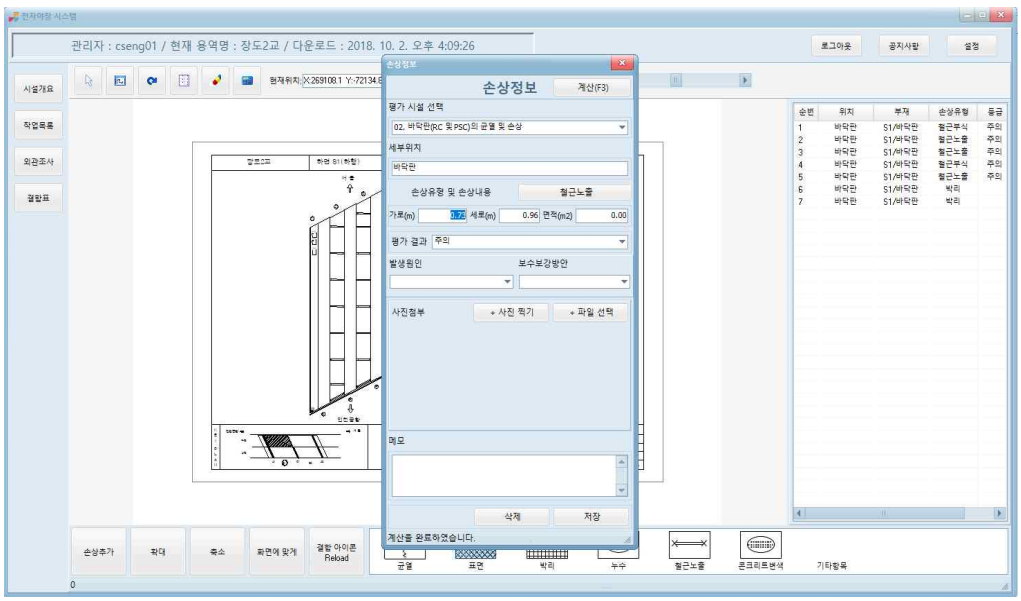



<전자야장 엔진 기본 프레임 메인 개발>

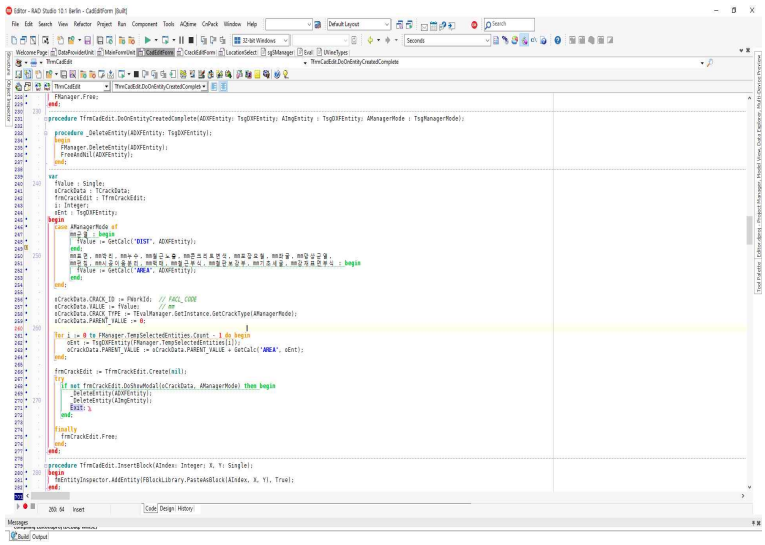
- 윈도우즈 플랫폼에서 캐드 엔진을 적절하게 표현 및 랜더링하고 미들웨어 서버로 업로드하기 위한 가벼운 엔진 개발
- 3종 시설물 교량의 유지관리를 위한 전용 손상관리 및 상태평가 입력툴 기술 개발
- 교량 부재에 최적화된 다단계 LOD(Level of Detail)에 교량 형상의 모델링 및 랜더링 기술 개발
- 윈도우즈 플랫폼기반의 GDI/GDI+ 기술을 통한 분석데이터의 비주얼한 그래픽스 기술 개발
- 2차원기반의 전자 야장 엔진과 손상 관련 해치 매핑 기술 개발




<현장 관리자 작업목록 서버 연동 화면>



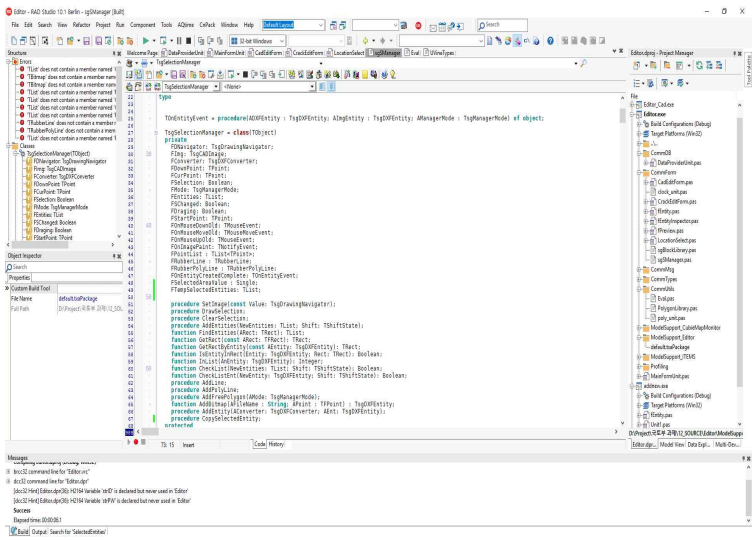

<손상정보 제공 화면>



<손상 기본 엔진 설계정보 제공 화면>

(가) 캐드 엔진 세부 개발

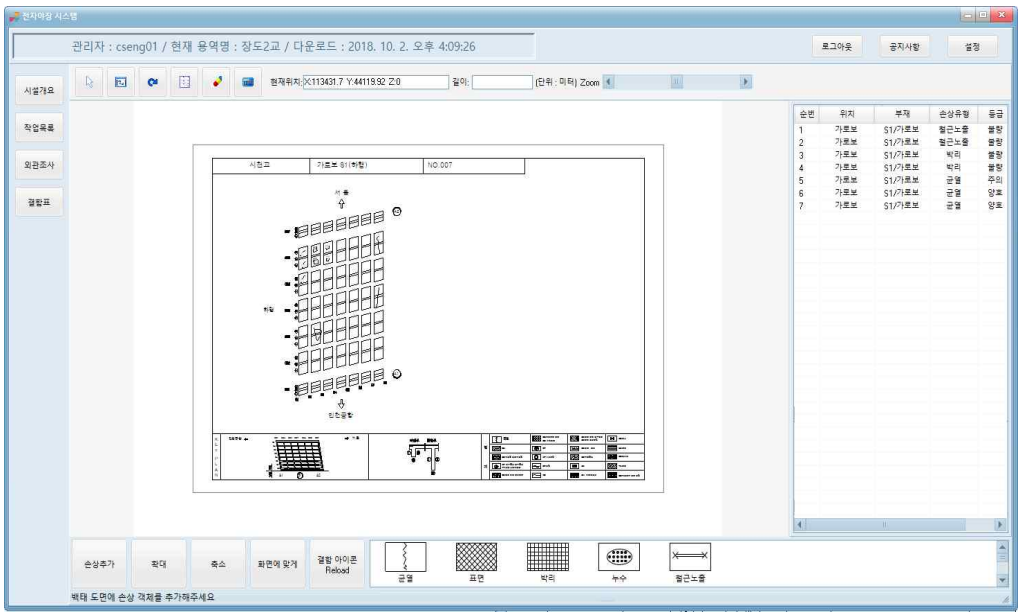
- 2D CAD Math 엔진 (2D: GDI+ 기반, 3D: DirectX 9)
- DirectX 기반의 Shader 기술
- 도면의 편집 및 DWG Import 엔진
- 객체지향적인 컴포넌트 개발 기법
- 동적 다단계 LOD 기술
- 벡터 CAD 기반의 컴포넌트 엔진 개발, 다계층의 Layer 알고리즘 설계로 교량의 손상을 추가할 때마다 별도의 레이어로 관리할 수 있도록 개발
- 자유곡선을 통하여 사용자가 지정한 영역의 면적 산출 및 상태평가를 적용하기 위한 등급 산정 기분 체계 작성 및 계산 알고리즘 설계 완료
- 다양한 결함을 그리기 위한 객체 도구 개발 완료



<벡터 캐드 기본 엔진 개발>

(2) DWG 도면 불러오기 및 내보내기 기능 개발

- 백엔드-서버에서는 프로젝트별로 교량을 관리하도록 개발하였다. 모바일 앱에서는 서버에 저장된 부재별 손상 목록을 실시간으로 확인할 수 있으며 다운로드할 목록을 선택한 후 모바일 앱으로 다운로드 작업을 수행 한다. 부재 코드별로 기본 도면 데이터가 링크되어 있으며 도면 파일의 링크는 서버에서 수정할 수 있다. 다운로드된 도면 파일은 모바일 태블릿 특정 폴더에 저장이 되어있다.
- 클라이언트 모바일 앱은 로컬 데이터베이스를 별도로 사용하는데, 서버와의 동기화 작업을 통하여 로컬 데이터베이스를 업데이트 하도록 개발하였다. 로컬 데이터베이스는 서버로부터 다운로드 된 프로젝트 별 부재 목록을 관리하는데, 현장에서 손상을 확인한 후 서버에 다시 업로드하도록 개발하였다. 클라이언트 모바일 앱은 DWG 도면을 서버에서 다운로드하여 수정후 다시 서버에 재 업로드 하는 개념이다.




<DWG Import 화면 개발>

(3) 윈도우 앱 개발

(가) 윈도우즈 모바일 기반의 유지관리용 관리자 앱 개발

- 모바일 앱 개발은 현장에서 관리가가 현장점검을 위해 간편하고 편리하게 사용하도록 개발 하도록 개발 하였다. 관리자, 즉 사용자의 요구사항 분석을 통해 개발, 사용자 중심의 아이콘 배치, 직관적인 UI/UX 화면 구성, 인터랙션 통해 기초를 바탕으로 개발 되었다.
- 전자야장 시스템은 외부의 환경에서 Window Tablet PC기반으로 무선 터치 팬을 사용하여 작업을 수행한다. 이때 악조건에서 발생할 수 있는 터치 펜의 미스 마킹, 저장. 펜의 오작동으로 인한 손상 위치 미스 마킹 등 여러 가지 변수들을 고려하여 아래와 같이 UI/UX를 개발하였다.
- 태블릿에서 사용자가 생성한 도형과 면적을 자동으로 산출하기 위한 알고리즘 설계와 전자야장 도면을 태블릿에서 편리하게 사용할 수 있는 사용자 중심의 개발

(줌인 줌아웃, 패닝 기능 등)가 반영되었다.




<Windows Table UI / UX 화면>

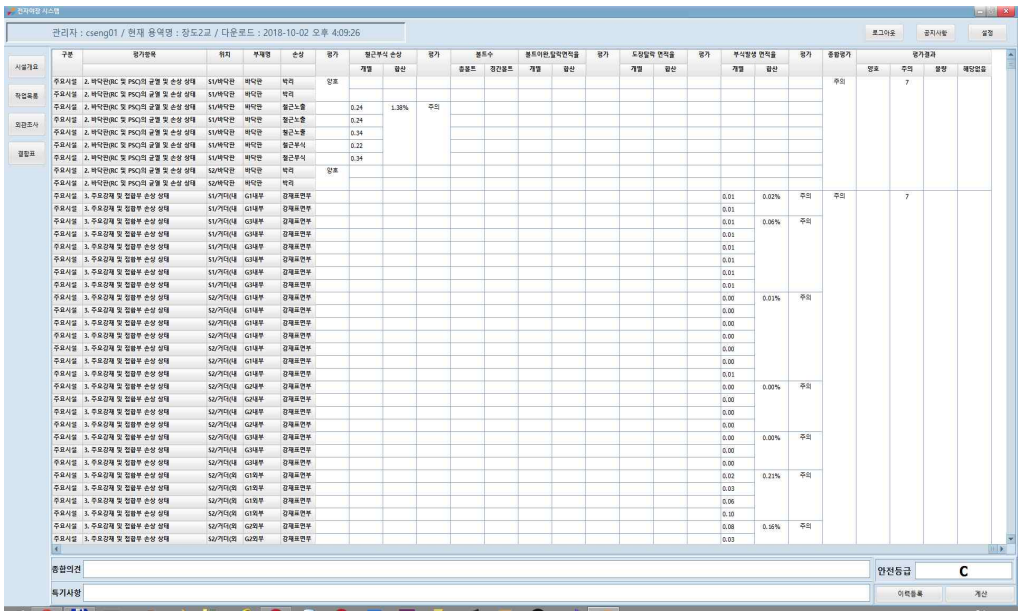
- 인터페이스의 화면 구성을 살펴보면 사용자와 전자야장 플랫폼 사이에 생기는 경계면이 UI(사용자 인터페이스)이고 시스템과 시스템 간에 생기는 경계면이 API다. 그러므로 UI는 사용자와 태플릿 기기, 사용자와 웹사이트 및 애플리케이션이 만나는 접점이다. UI 디자인은 사용자와과 만나는 시스템의 외형과 화면 구조, 버튼 모양 등을 설계에 반영하여 개발 하였다.

(나) 손상검출 알고리즘 탑재 및 관리 모듈 개발

- 손상검출을 위한 알고리즘은 각 시설물을 객체ID로 정리하여 다음과 같이 코드 분류 체계를 작성하였다, 작성된 코드 분류체계에 따라 교량에 손상 정보를 입력하면 해당 도면 객체의 면적 정보과 손상의 가로, 세로 길이와 면적을 자동으로 산출하여 결함 상태를 자동으로 계산한다.

| 시설물종류 | 객체ID | | | | | 객체명칭 | | | | 도면번호 | 부재트리 구성 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1순위 | 2순위 | 3순위 | 4순위 | 5순위 | 구분 | 주요시설 | 일반시설 | 부대시설 | | |
| BR | BRBJ21 | | | | | 상부구조 | | | | S | |
| BR | | BRBJ2101 | | | | | 바닥판 | | | S000-0000 | 바닥판 |
| BR | | BRBJ2102 | | | | | 거더 | | | S000-0000 | |
| BR | | | BRBJ210201 | | | | 거더(내부) | | | S000-0000 | 거더(내부) |
| BR | | | | BRBJ2102010n | | | Gn | | | S000-0000 | Gn |
| BR | | | BRBJ210202 | | | | 거더(외부) | | | S000-0000 | 거더(외부) |
| BR | | | | BRBJ2102020n | | | Gn | | | S000-0000 | Gn |
| BR | | BRBJ2103 | | | | | 주요강재 | | | S000-0000 | |
| BR | | | BRBJ210301 | | | | 강거더(내부) | | | S000-0000 | 강거더(내부) |
| BR | | | | BRBJ21030101 | | | G1 | | | S000-0000 | G1 |
| BR | | | | BRBJ21030102 | | | G2 | | | S000-0000 | G2 |
| BR | | | | BRBJ21030103 | | | G3 | | | S000-0000 | G3 |
| BR | | | | BRBJ21030104 | | | G4 | | | S000-0000 | G4 |
| BR | | | | BRBJ21030105 | | | G5 | | | S000-0000 | G5 |
| BR | | | | BRBJ21030106 | | | G6 | | | S000-0000 | G6 |
| BR | | | | BRBJ21030107 | | | G7 | | | S000-0000 | G7 |
| BR | | | | BRBJ21030108 | | | G8 | | | S000-0000 | G8 |
| BR | | | | | BRBJ210301011 | | 내부 스플라이스1 | | | S000-0000 | 내부 스플라이스1 |
| BR | | | | | BRBJ210301021 | | 내부 스플라이스2 | | | S000-0000 | 내부 스플라이스2 |
| BR | | | | | BRBJ210301031 | | 내부 스플라이스3 | | | S000-0000 | 내부 스플라이스3 |
| BR | | | | | BRBJ210301041 | | 내부 스플라이스4 | | | S000-0000 | 내부 스플라이스4 |
| BR | | | | | BRBJ210301051 | | 내부 스플라이스5 | | | S000-0000 | 내부 스플라이스5 |
| BR | | | | | BRBJ210301061 | | 내부 스플라이스6 | | | S000-0000 | 내부 스플라이스6 |
| BR | | | | | BRBJ210301071 | | 내부 스플라이스7 | | | S000-0000 | 내부 스플라이스7 |
| BR | | | | | BRBJ210301081 | | 내부 스플라이스8 | | | S000-0000 | 내부 스플라이스8 |
| BR | | | BRBJ210302 | | | | 강거더(외부) | | | S000-0000 | 강거더(외부) |
| BR | | | | BRBJ21030201 | | | G1 | | | S000-0000 | G1 |
| BR | | | | BRBJ21030202 | | | G2 | | | S000-0000 | G2 |
| BR | | | | BRBJ21030203 | | | G3 | | | S000-0000 | G3 |
| BR | | | | BRBJ21030204 | | | G4 | | | S000-0000 | G4 |
| BR | | | | BRBJ21030205 | | | G5 | | | S000-0000 | G5 |
| BR | | | | BRBJ21030206 | | | G6 | | | S000-0000 | G6 |
| BR | | | | BRBJ21030207 | | | G7 | | | S000-0000 | G7 |
| BR | | | | BRBJ21030208 | | | G8 | | | S000-0000 | G8 |
| BR | | | | | BRBJ210302011 | | 외부 스플라이스1 | | | S000-0000 | 외부 스플라이스1 |
| BR | | | | | BRBJ210302021 | | 외부 스플라이스2 | | | S000-0001 | 외부 스플라이스2 |

<객체별 교량 손상 검출 알고리즘 상태>



<3종시설물 프로그램 내 손상 결함 상태 표>

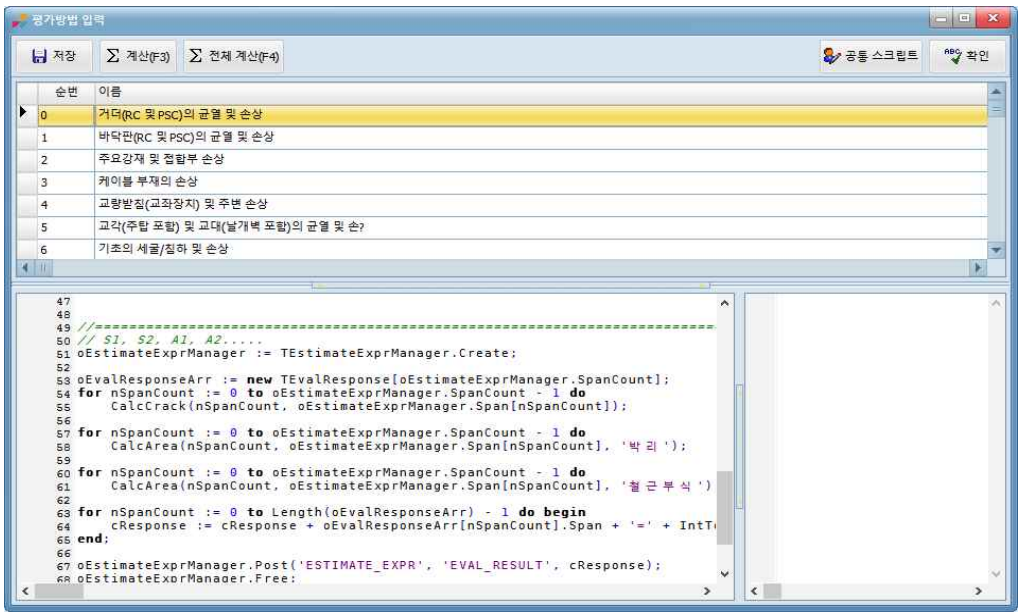
- 아래 화면이 실제 입력된 손상에 따라 자동으로 결함 점수표를 산출한 화면이다.
- 결함표는 1~2. 거더, 바닥판의 균열 및 손상상태부터 16번 비탈면의 배수 및 손상 상태 상태평가 기준에 따라 부재별로 입력된 손상 목록을 자동으로 추출하여 교량의 상태 등급을 산정한다. 지점별, 경간별로 두면 파일을 자동으로 입력하여 손상이 추가된 부모 캐드 객체의 면적을 합산하고 합산된 면적과 손상이 추가된 면적의 비율을 개별적으로 산출한다. 산출 로직은 교량 3종 시설물에 관한 평가 기준 목록표로부터 산출을 한다.

| 평가항목 | 등급 | 평가방법 |
|---|---|---|
| 1~2. 거더, 바닥판의 균열 및 손상 상태 | 양호 | 균열이 없거나 0.3mm 미만의 미세균열이 있는 경우(단, PSC 거더의 경우 0.2mm 미만) |
| | | 표면손상(파손, 박락, 층분리 등) 면적이 2% 미만이고 철근노출이 없는 경우 |
| | 주의 | 0.3mm 이상 ~ 0.5mm 미만의 균열이 발생하거나 균열면적률이 2%이상~10% 미만인 경우(단, PSC 거더의 경우 0.2 ~ 0.3mm 미만) |
| | | 표면손상 면적이 2% 이상이고 10% 미만인 경우 |
| | | 철근부식 손상면적이 2% 미만인 경우 |
| | 불량 | 0.5mm 이상의 균열이 발생하거나 균열 면적률이 10% 이상인 경우(단, PSC 거더의 경우 0.3mm 이상) |
| | | 표면손상 면적이 10% 이상이거나 철근부식 손상면적이 2% 이상인 경우 |
| | | 망상균열의 진전으로 박리가 발생한 경우 |
| | | 데크플레이트 박리가 심하고 누수로 인한 부식이 발생한 경우 |
| 3. 주요장재(강구조물 등) 및 접합부 손상 상태 | 양호 | 변형 및 부식, 균열이 없는 경우 |
| | 주의 | 주부재의 국부적 균열 또는 국부적인 변형이 발생한 경우 |
| | | 연결 볼트 이완, 탈락이 보조부재 10% 미만 또는 주부재 2% 미만인 경우 |
| | | 부식발생 면적이 10% 미만인 경우 |
| | 불량 | 주부재의 전반적 균열 또는 변형 및 파단이 발생한 경우 |
| | | 연결 볼트 이완, 탈락이 보조부재 10% 이상 또는 주부재 2% 이상인 경우 |
| | | 부식발생 면적이 10% 이상인 경우 |
| | | 용접연결부 균열진전 등으로 인한 안전성 저하가 우려되는 경우 |
| 4. 케이블 부재의 손상 상태 | 양호 | 변형 및 부식, 손상이 없는 경우 |
| | 주의 | 부식발생 길이가 2% 미만인 경우 |
| | | 보호관 파손 길이가 10% 미만인 경우인 경우 |
| | | 정착구의 표면부식, 열화, 변형이 발생한 경우 |
| | | 행어밴드, 새들에 부식 발생 또는 행어밴드 고정볼트 긴장력 감소가 발생한 경우 |
| | 불량 | 부식발생 길이가 2% 이상이거나 부식으로 케이블 소선에 단선이 발생한 경우 |
| | | 보호관 파손 길이가 10% 이상인 경우 |
| | | 정착구의 파손 및 부식으로 안전성 저하가 우려되는 경우 |
| | | 행어밴드, 새들의 볼트이완 및 탈락, 손상이 발생한 경우 |

<결함표 평가항목>

(다) 교량 상태평가 알고리즘 탑재 및 관리 모듈 개발

- 교량의 상태평가를 위하여 캐드 도면으로 작업을 실시한다. 사용자는 손상이 추가될 캐드 도면에 손상을 기입한다. 손상은 표면손상(파손, 박락, 층분리)또는 철근 부식등의 항목으로 정의된다. 상태 평가 알고리즘은 입력된 손상 목록을 기준으로 각 부재별로 등급을 산정한다. 상태 평가의 기준이 변경될 시를 대비하기 위하여 스크립트 형태로 알고리즘을 관리하도록 한다. 관리자는 스크립트 기능을 통하여 상태 평가 알고리즘을 필요에 따라 추가 및 변경이 가능하다.




<교량 상태평가 알고리즘 탑재/코딩화면>

(라) QR-CODE 인식 및 서비스 모듈 연계 매핑 모듈 개발

- 윈도우즈 모바일 앱에서는 현장 작업자가 부재별로 손상 목록을 관리할 때 관련 데이터의 신속한 접근 및 검색을 위하여 QR-CODE 기반의 인식 모듈을 제공한다. 2차년도에는 모바일 앱 기반의 QR-CODE를 인식하기 위한 엔진 모듈을 개발하였으며 기본 엔진을 프토토타입 형태로 개발 및 테스트하였다.




<관리자 작업 툴 中 QR Code 실행 카메라 App 기능>

- QR-CODE를 만들어주는 클래스는 Quricol이다. 오픈 소스이며, 핵심 코드는 dll로 개발되있다. 컴포넌트 형태가 아니라 클래스로 구현되어 있어서 등록할 필요도 없고 해당 유닛을 uses만 해서 사용한다. 클래스 형태이긴 하지만 주요 멤버들이 모두 클래스 메소드로 구현되어 있어서 객체를 만들지 않고 TQRCode의 멤버를 그대로 호출하면 된다. 아래는 델파이 프로토타입이다.

# 6. 이미지 분석 기법을 이용한 시설물 손상 검출 알고리즘 개발

## 가. 시설물의 손상자료 DB화 및 이미지 분석기법 선정

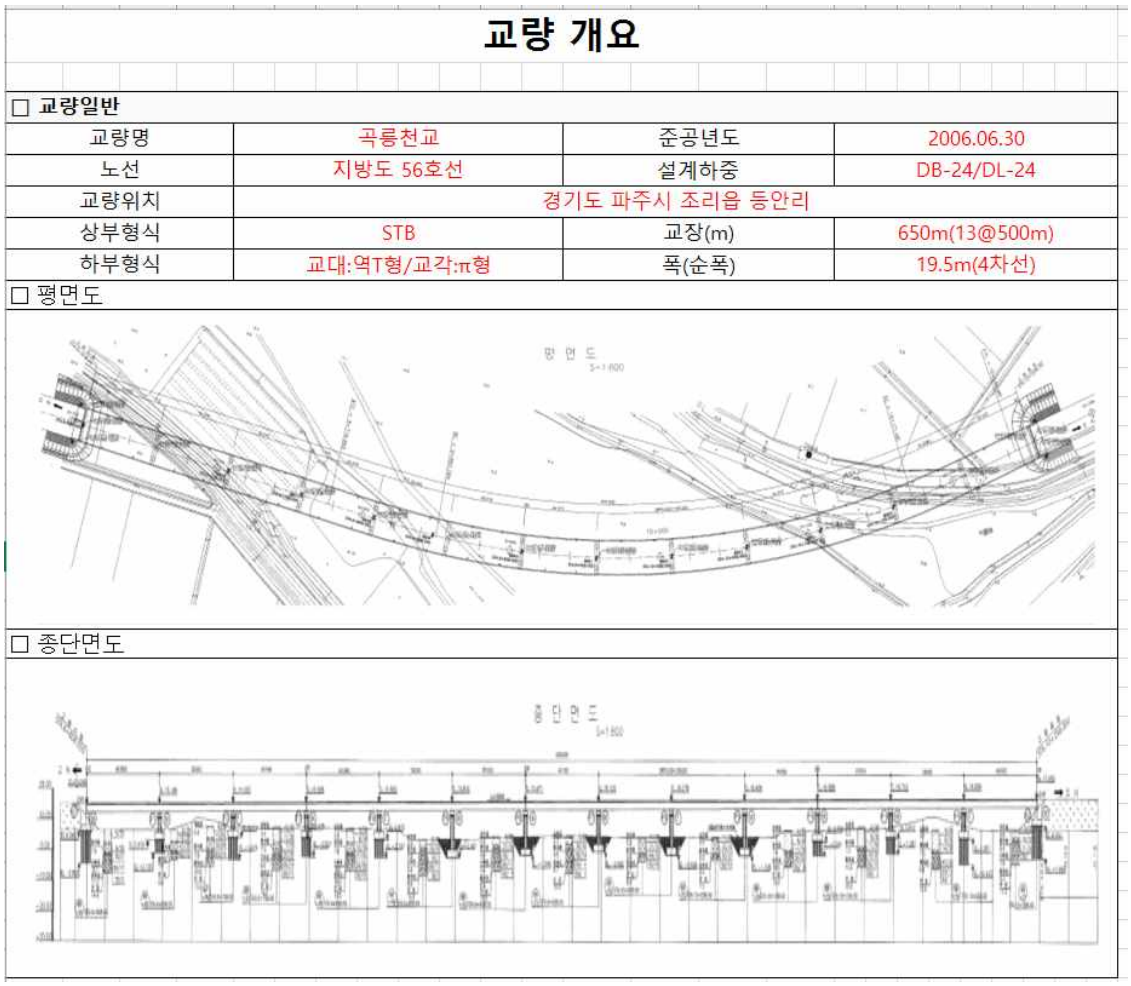
### (1) 시설물 손상 자료 DB화

(가) 세부지침 점검방법에 기반한 상태평가 자료 수집 및 손상 유형별 자료 DB화

- 차년도 연구개발 내용인 균열 검출 알고리즘을 구현하기 위해 기존 교량의 점검 자료 수집 및 분석을 통한 균열의 폭, 길이 등을 파악하고자 함
- 세부지침 점검방법에 기반한 상태평가 자료 수집
- 10개 교량(곡릉천교, 등원육교, 무리율교, 사마천교, 비룡대교, 눌차교, 신북교, 경안대교, 대쌍교, 양화대교) 점검자료 수집

(나) 손상 유형별 DB화 수행

- 6개 교량(곡릉천교, 등원육교, 무리율교, 사마천교, 비룡대교, 눌차교) 57개의 스팬에 대한 검토
- 세부지침 상태평가 항목에 따른 부재별 상태등급, 결함도, 손상규모 DB화



교량 개요

□ 교량일반

| 교량명 | 곡릉천교 | 준공년도 | 2006.06.30 |
|---|---|---|---|
| 노선 | 지방도 56호선 | 설계하중 | DB-24/DL-24 |
| 교량위치 | 경기도 파주시 조리읍 등안리 | | |
| 상부형식 | STB | 교장(m) | 650m(13@500m) |
| 하부형식 | 교대:역T형/교각:π형 | 폭(순폭) | 19.5m(4차선) |

□ 평면도

□ 종단면도

<곡릉천교 교량 점검자료>

(2) 이미지 분석기법 선정

- 기존 연구 및 참고문헌 조사를 통한 이미지 분석 기법 선정
- 균열검출을 위한 이미지 분석에 앞서 취득된 영상을 연산하기 원활한 형태로 처리하기 위해 이미지의 사전처리작업이 실시되며, 사전 처리작업에는 인접영역과의 픽셀 명도를 평균 처리하는 평균필터와 평균필터로 인해 저하된 이미지의 선명도를 보상하고 이미지의 노이즈를 감소시킬 목적으로 미디언 필터를 적용하고자 함
- 사전처리작업이 완료된 이미지에 대해서는 균열과 유사한 형상 패턴을 이미지에서 추출하기 위한 패턴인식  작업을 수행. 패턴인식작업에는 균열검출을 위해 균열유사형상을 1차적으로 원본에서 분할하는 분리기법, 분리된 형상 중 균열로 인식될 수 있는 중요 특징들을 추출하는 특징점 추출 기법, 그리고 추출된 특징점들을 상호비교 및 구분하는 분류기법을 적용하고자 함
- 균열검출 과정에서는 기존 연구 및 문헌들을 바탕으로 콘크리트 구조물의 비선형적인 균열을 검지하는데 효과적으로 적용할 수 있는 모폴로지 기법을 적용하고자 함
  - 모폴로지 기법은 사전적인 의미로 형태처리 또는 형태론 등으로 번역되고 있으며, 이 기법은 어떤 이미지의 형태적인 면을 조작하는 과정으로 경계, 골격, 블록과 같은 영역 형태를 표현하는데 있어 유용한 요소들을 추출하기 위한 도구로 수학적 형태론의 개념으로 사용됨

## 나. 이미지 분석 기법을 이용한 시설물의 손상 검출 알고리즘 개발

(1) 균열 검출 알고리즘 개발

(가) 딥러닝 기법과 기존 이미지분석기법  즉, 모폴로지(morphology) 비교 분석을 통한 최종 선정

- 1차년도에 선정된 모폴로지 기법은 룰 기반 방법(rule-based method)이었으나, 이 방법은 촬영기기의 해상도, 조도, 초점거리, 촬영 환경의 영향 등을 매번 고려해야 함
- 사용자가 휴대폰, 테블릿 PC 등 모바일 기기를 사용하여 촬영하여도 단시간에 균열을 검출하고 분석하기 위하여 딥러닝 기법이 필요함

(나) 콘크리트 균열 구획화를 위한 균열 판단 신경망과 균열 구획화 신경망으로 심층신경망 구성

- 균열 판단 신경망(classification): 영상을 패치단위로 나누고 해당 영상패치에 대하여 균열 유무를 판단
- 균열 구획화 신경망(segmentation): 균열이 있다고 판단되는 영상패치에 대해서 구획화를 실시
- 학습데이터의 부족을 하나의 영상에서 다수의 영상패치를 얻는 것으로 극복 가능
- 고해상도 영상에 대한 아키텍처 성능저하를 영상패치에서의 구획화를 하는 것으로

더 정밀한 신경망 결과를 얻을 수 있음

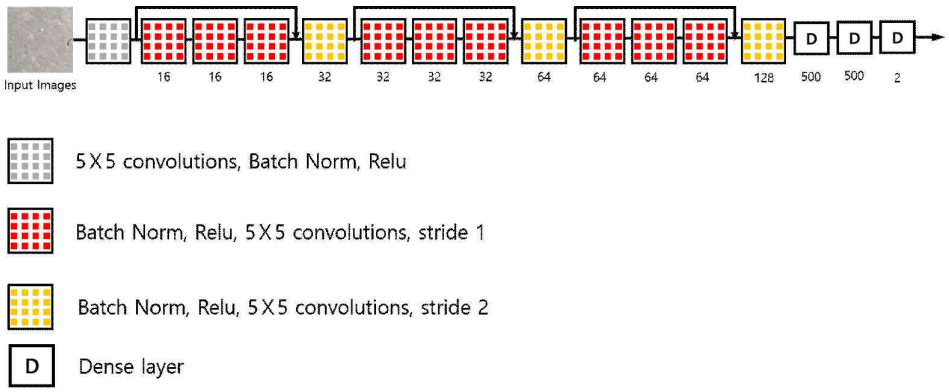
- 판단과 검출 신경망을 분리함으로서 고정된 영상사이즈만 처리 가능한 것이 아닌, 다양한 환경에서 얻은 데이터를 사용할 수 있음

(다) 학습용 균열 데이터베이스 구축

- 인공지능 초기 학습을 위하여 Çağlar Fırat Özgenel가 2018년도에 공유한 40,000장의 콘크리트 영상 (20,000: 균열영상, 20,000 콘크리트 영상)을 이용하여 균열 판단 신경망을 학습

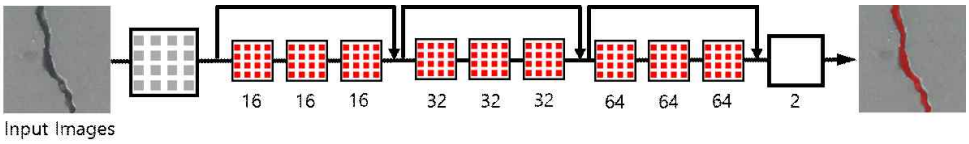
(라) 콘크리트 균열 판단 및 구획화 신경망 구성

- 콘크리트 균열 판단 신경망에서는 컨볼루션 필터(convolution filter) 크기를 최대 128개까지 늘렸고, 모든 컨볼루션 필터마다 스트라이드(stride)와 풀링(pooling)을 사용하는 것이 아닌, 컨볼루션 필터 그룹연산 이후에 한번만 풀링을 하여서 신경망이 학습할 수 있는 영상을 최대한 보전함
- 역전파(backpropagation)시 소멸 문제(gradient vanishing)를 방지하기 위하여 잔차 신경망(residual network)를 적용하였고, 마지막으로 배치 정규화(batch normalization)와 성능을 최대로 발휘할 수 있게 컨볼루션, 배치 정규화, 활성화(activation)의 순서를 조절하여 성능을 높이도록 구성하였음




<균열 판단 신경망의 구성>

- 신경망을 이용한 균열 구획화 신경망은 구획화 목적의 다양한 신경망 중 의료영상 구획화에 주로 사용되는 HiRes3DNet을 기반으로 작성이 되었다. 해당 아키텍처의 특징은 최신 신경망 기술인, (배치 정규화 배열, 스트라이드/풀링, 잔차 신경망, 컨볼루션 기반 구획화 등이 모두 적용된 신경망으로써 2차원 영상을 구획화하는 본 연구에 맞게 수정하여 사용하였음





5X5 convolutions, Batch Norm, Relu

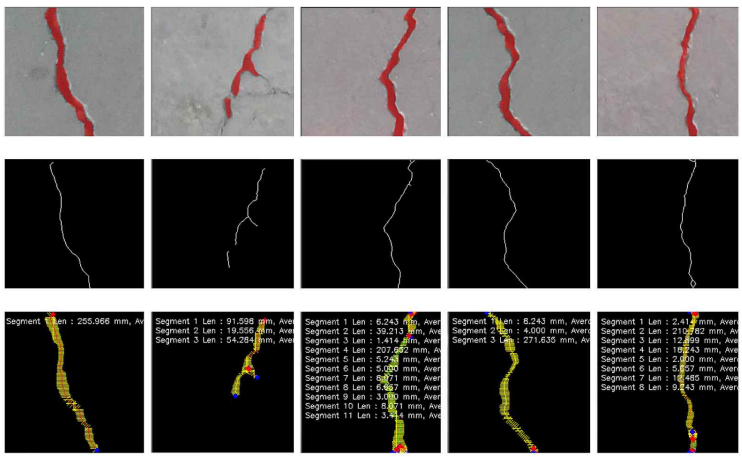

Batch Norm, Relu, 5X5 convolutions, stride 1


1X1 convolution, stride 1

<균열 구획화 신경망의 구성>

(마) 신경망을 통해 검출된 균열의 길이를 분석하기 위하여 세선화 방법(thinning algorithm)과 추적기법(tracking algorithm)과 같은 이미지분석기법이 적용되었음

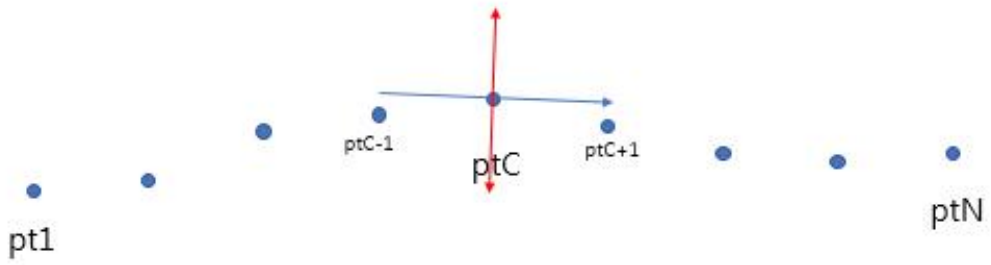
- 세선화 방법(thinning algorithm): 세선화 방법은 대상 물체의 표면을 조금씩 벗겨내어 최종적으로 두께가 1인 선으로 만드는 방법이며, 본 연구에서는 세선화 전 구획화 영상의 노이즈를 제어하기 위하여 오츠(Otsu)의 이진화 임계처리 이진화 임계처리(binary Othu's thresholding) 방법을 사용하여 전처리를 구성하였으며, 이후 보로노이 세선화(Voronoi Thinning) 알고리즘을 사용하여 세선화를 수행하였음
- 추적기법(tracking algorithm): 세선화 알고리즘을 이용하여 얻어진 영상은 객체의 길이를 효과적으로 얻을 수 있는 데이터로 바뀌며 해당 데이터를 이용하여 실질적인 균열의 길이 분석 가능
- 균열 길이 측정: 추적기법을 이용하여 얻어진 균열 결과는 1픽셀 두께의 자유 형태의 스플라인 형태의 데이터로 남게 되며, 이 스플라인 데이터의 길이를 측정하기 위해서 스플라인을 구성하는 픽셀의 길이를 계산



<균열 길이 분석>

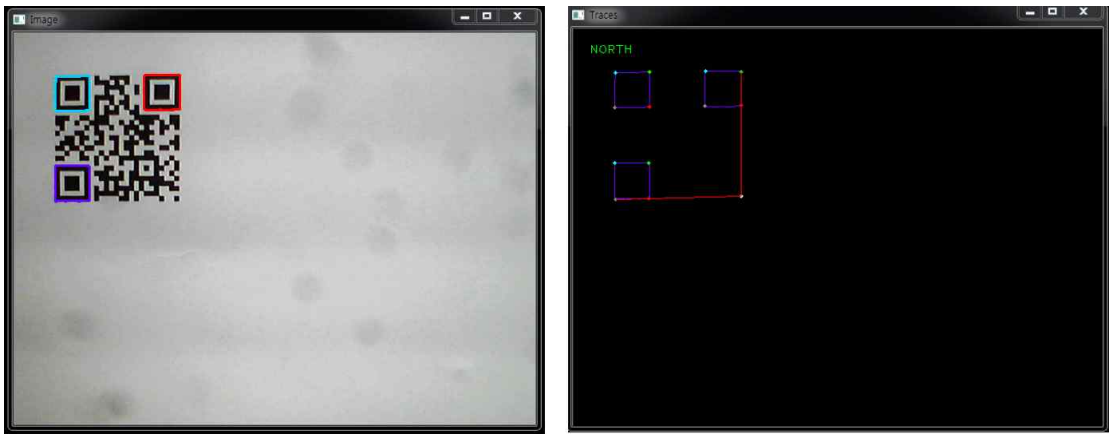
(바) 검출된 균열의 폭을 분석하기 위하여 프로파일링 알고리즘(profiling algorithm)이 적용되었음

- 프로파일링 알고리즘(Profiling algorithm): 균열 길이 분석 기술의 추적기법 결과의 전처리 단계, 균열 폭 프로파일링 단계 구현




<균열의 폭 분석을 위한 프로파일링 알고리즘>

- 이미지에서 얻어진 객체의 실제 길이와 폭을 계산하기 위해서는 이미지를 구성하고 있는 최소 단위인 픽셀의 실제 크기가 필요하므로, 균열의 실제 길이를 측정하기 위하여 균열 촬영시 QR코드를 이용하여 기준길이 (unit length)를 구하는 방법을 사용함




<QR코드를 활용한 기준단위 측정>

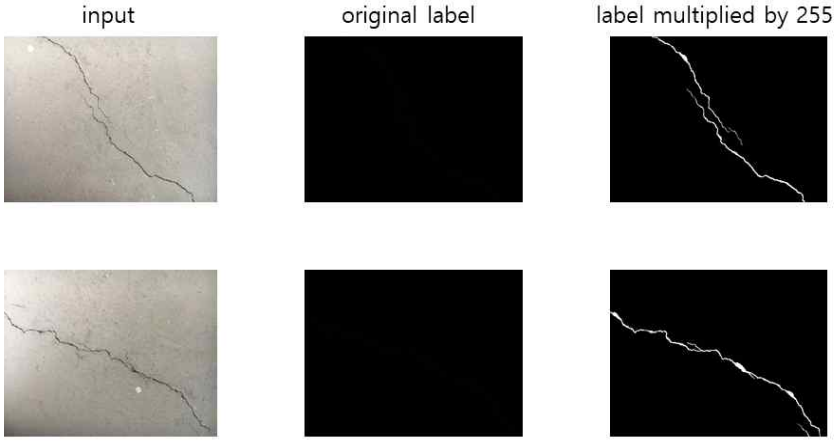
## 다. 개발된 알고리즘 신뢰도 검증 및 프로그램 매뉴얼 제시

### (1) 개발된 알고리즘 성능 개선 및 소프트웨어 개발

(가) 부족한 학습 데이터 보완

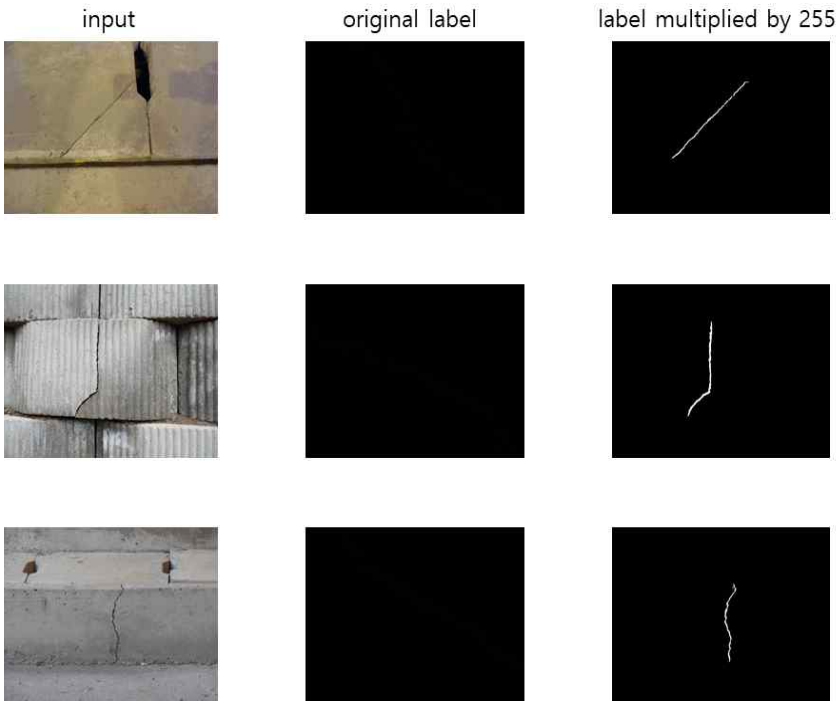
- 2차연도 연구에서 사용한 인공지능용 데이터는 균열 유무 판단을 위한 영상데이터 40,000장(균열영상 20,000, 비균열 영상 20,000)과 1,784장의 균열의 분할영상을 사용하였으나 구획화 성능을 높이기에 학습 데이터양이 부족하고 유사한 이미지만을 포함하고 있어 다양한 현장에 적용이 어려움

- 2019년에 추가적으로 공개된 458장의 콘크리트 균열 구획화 데이터셋(Özgenel, 2018)을 적용함. 이 데이터셋은 구획화에 적용되는 콘크리트 균열 RGB 이미지와 균열이 표기된 이미지로 구성되어 있음




<추가 적용된 콘크리트 균열 이미지(Özgenel, 2018)>

- 또한, 실제 현장에서 찍은 콘크리트 균열 이미지에 라벨링(균열 부분을 표기) 작업을 수행하여 112장의 실제 현장 데이터셋을 구성하여 학습에 적용함



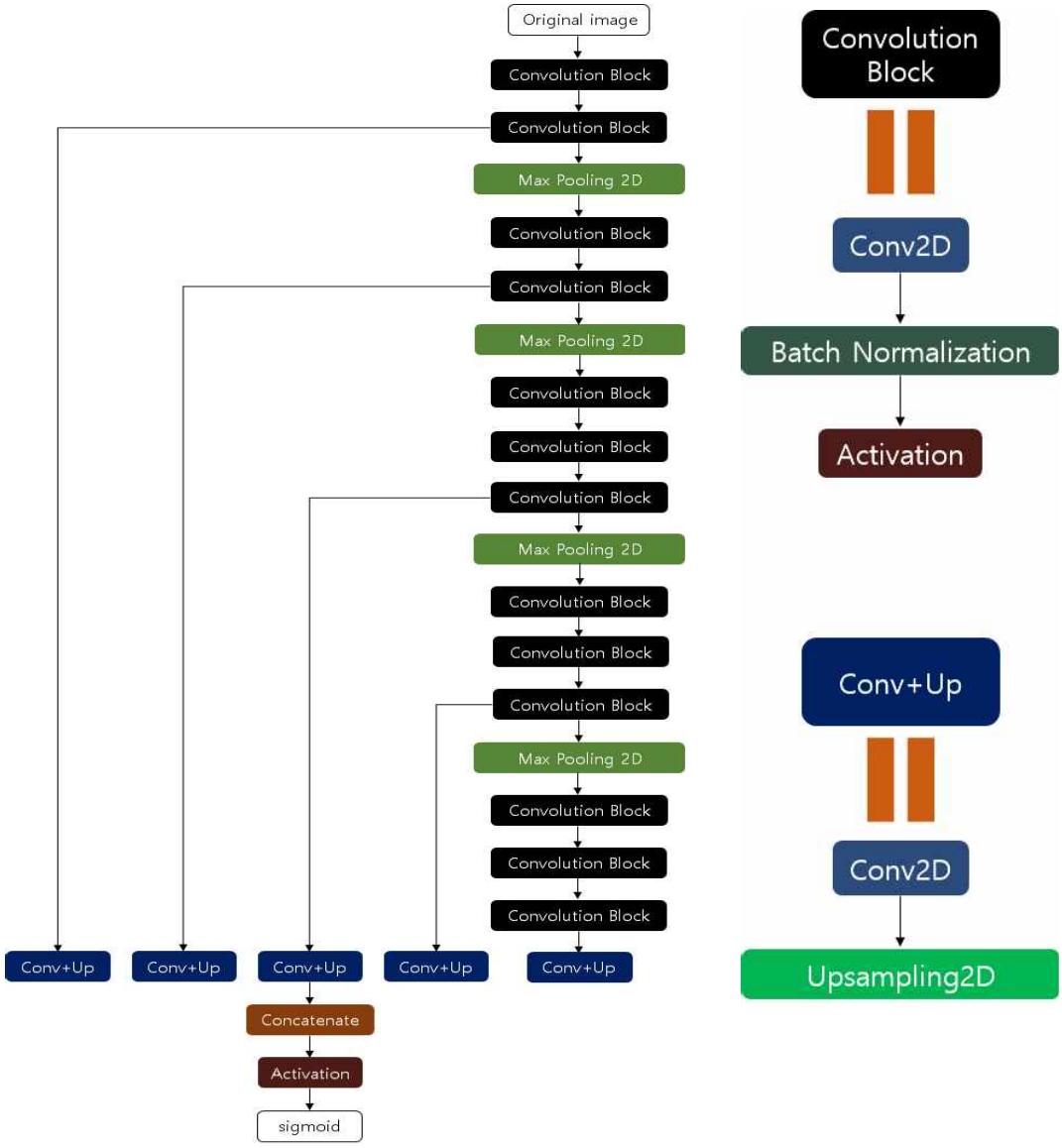

<실제 현장의 균열 이미지와 라벨링한 이미지>

(나) 인공지능 아키텍처 보완 및 성능 검증

- 콘크리트 균열 판단 신경망과 구획화 신경망 두 단계로 구성된 아키텍처가 아닌, 하나로 통합된 인공지능 아키텍처(DeepCrack)를 적용함. 해당 아키텍처는 컨볼루션 기반 인공지능 아키텍처로서 인공지능 파이프라인 중간 중간의 분할결과를 취

합하여 높은 정밀도를 가지는 콘크리트 분할 영상을 출력하는 인공지능 아키텍처로서, 이 자체만으로도 정밀도가 높기 때문에 따로 2단계의 신경망을 사용하는 경우보다 데이터에 대한 계산 효율이 좋음

- 인공지능 학습 시 학습과 검증의 비율을 8:2로 하였을 때, 학습 데이터의 binary cross entropy loss(BCE)는 0.1366, intersection over union(IoU)의 경우 0.9037이 나왔고, 검증 데이터를 이용하였을 때 BCE는 0.2408, IoU는 0.8375로 100%의 정밀도를 나타내는 1에 가까운 값이 도출되어 매우 높은 정확도의 결과를 확인함



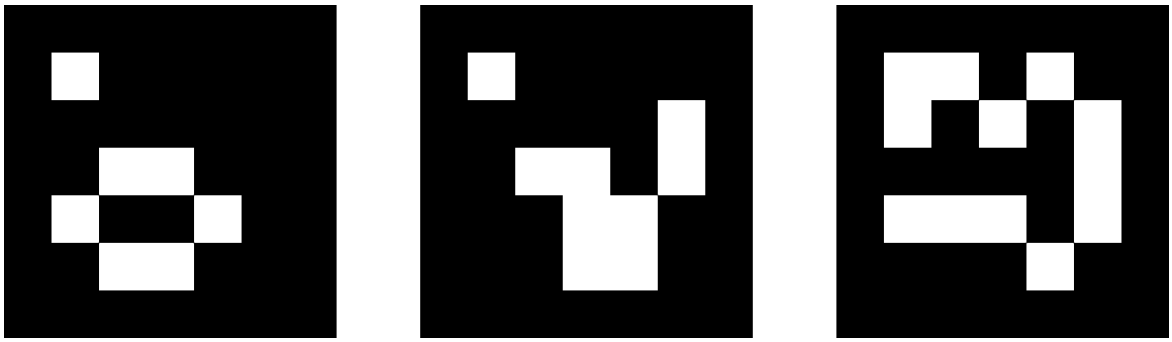

<DeepCrack 아키텍처>

(다) 검출된 균열의 길이 및 폭 분석 방법 알고리즘 보완

- 세선화와 프로파일링 알고리즘은 정교한 결과를 얻을 수 있으나, 다양한 균열패턴에 대해서 강건한 성능을 나타내지 못하였고, 목표로 하는 길이와 폭 정보 보다는 균열의 패턴을 분석하는데 더 적합한 방법론이므로 알고리즘을 수정 · 보완함

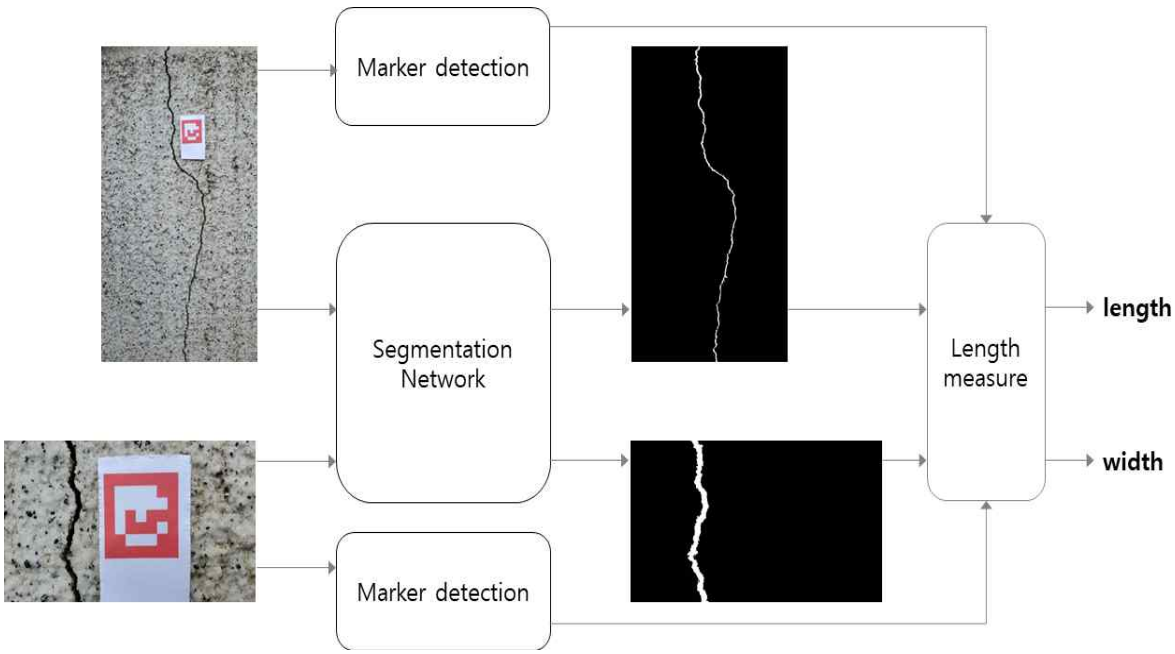
(라) 기준 길이 획득 방법 및 알고리즘 보완

- QR 코드는 근거리 인식률은 높지만, 중·장거리 인식률이 떨어지는 단점이 있으므로, 이를 보완한 마커와 인식률을 높이는 알고리즘을 고안함
- QR 코드의 한계점을 극복하기 위하여 해밍(hamming) 마커를 적용하여 원거리 인식률과 분석 프로그램의 신뢰도를 향상함



<해밍 마커 예시>

- 해밍 마커는 정사각형의 2차원 비트 패턴과 이를 둘러싸고 있는 검은색 테두리 영역으로 구성되어 있음. 검은색 테두리 영역은 마커를 빨리 인식하기 위한 것이며, 내부의 2차원 비트 패턴은 흰색 셀과 검정색 셀의 조합으로 마커의 고유 ID를 표현한 것으로 마커를 식별하는데 사용됨
- 딥러닝 모델을 이용해 균열의 길이와 두께를 비교적 정확히 얻기 위해선 해당 마커를 균열 근처에 부착한 후 원거리(길이 측정용) 및 근거리(폭 측정용) 촬영 이미지가 요구됨




<콘크리트 균열 정보 측정을 위한 프레임워크 기본 흐름도>

(마) 분석 소프트웨어 구현

- 당해연도 연구 성과물로써 촬영된 이미지 내 콘크리트 균열을 분할하고, 그 균열에 대한 길이와 폭을 얻을 수 있는 소프트웨어를 제작함

| 1. 프로그램 명 | | CAMSYS |
|---|---|---|
| 2. 요구사항 | CPU: | i3 이상의 인텔 혹은 AMD CPU |
| | RAM: | 8GB 이상 |
| | OS: | Windows 10 64bit |
| | 영상포맷: | png, jpg |
| | 촬영기기: | 1200만 화소 f/1.8 이상 |
| 3. 사용방법 | CAMSYS는 command line interface(CLI) 환경에서 작동되며 아래와 같은 입력 인자를 지닌다. | |

```
usage: CrackNet.exe [-h] [--in_img1 IN_IMG1] [--in_img2 IN_IMG2]
                    [--out_seg1_raw OUT_SEG1_RAW] [--out_seg2_raw OUT_SEG2_RAW]
                    [--out_seg1 OUT_SEG1] [--out_seg2 OUT_SEG2]
                    [--out_label1 OUT_LABEL1] [--out_label2 OUT_LABEL2]
                    [--marker_type MARKER_TYPE] [--marker_param MARKER_PARAM]
                    [--out_json OUT_JSON] [--crop_width CROP_WIDTH]
                    [--crop_height CROP_HEIGHT] [--crop_density CROP_DENSITY]
                    [--modelfile MODELFILE] [--testmode TESTMODE]
                    [--denoise1 DENOISE1] [--denoise2 DENOISE2] [--verbose VERBOSE]

KICT CrackNet v2

optional arguments:
  -h, --help            show this help message and exit
  --in_img1 IN_IMG1     Input image for crack width and height
  --in_img2 IN_IMG2     Input image for crack thickness
  --out_seg1_raw OUT_SEG1_RAW
                        raw output of out_seg1
  --out_seg2_raw OUT_SEG2_RAW
                        raw output of out_seg1
  --out_seg1 OUT_SEG1   Output segmentation image of image1
  --out_seg2 OUT_SEG2   Output segmentation image of image2
  --out_label1 OUT_LABEL1
                        Merged out_seg1
  --out_label2 OUT_LABEL2
                        Merged out_seg2
  --marker_type MARKER_TYPE
                        Marker type
  --marker_param MARKER_PARAM
                        Marker specified parameters
  --out_json OUT_JSON   json output filename
  --crop_width CROP_WIDTH
                        patch width
  --crop_height CROP_HEIGHT
                        patch height
  --crop_density CROP_DENSITY
                        crop density
  --modelfile MODELFILE
                        deep learning model weight file
  --testmode TESTMODE   testmode
  --denoise1 DENOISE1   denoising factor for in_img1
  --denoise2 DENOISE2   denoising factor for in_img2
  --verbose VERBOSE     Verbosity
```

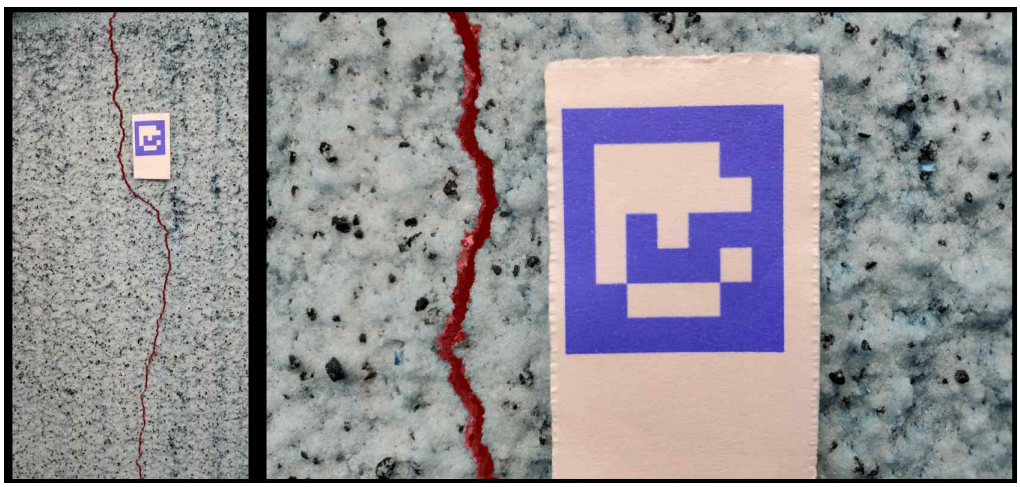
4.출력 정보

CAMSYS의 출력 포맷은 json이며, 각 필드별 정보는 아래다음과 같다.

| | |
|---|---|
| version: | 분석 시 CrackNet의 버전 정보 |
| date: | 분석시각 |
| in_img1: | 균열 길이(가로, 세로) 측정에 사용된 입력영상 이름 |
| in_img2: | 균열 두께 측정에 사용된 입력영상 이름 |
| out_seg1: | 균열 길이 측정을 위한 인공지능 분할결과 |
| out_seg2: | 균열 두께 측정을 위한 인공지능 분할결과 |
| marker_type: | 마커의 종류 |
| width_pixel: | 균열의 폭(픽셀단위) |
| height_pixel: | 균열의 높이(픽셀단위) |
| pixel_mm_1: | pixels per mm (균열길이 측정을 위한 영상 파일에 대해서) |
| width_mm: | 균열의 폭 (mm) |
| height_mm: | 균열의 높이 (mm) |
| thickness_pixel: | 균열의 두께 (픽셀단위) |
| pixel_mm_2: | pixels per mm (균열 두께 측정을 위한 영상 파일에 대해서) |
| thickness_mm: | 균열의 두께 (mm) |

5. 입출력 예시

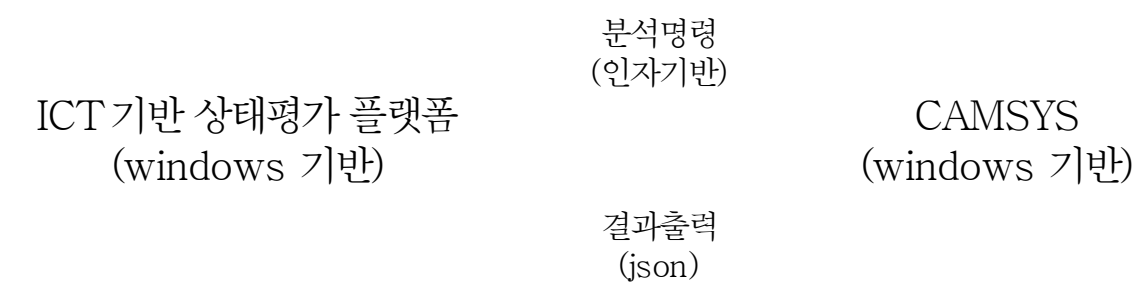




```
result.json{
        "version": 2,
        "date": "2019-10-26 20:12:47.835852",
        "in_img1": "test_data/1.0_length.jpg",
        "in_img2": "test_data/1.0_thicknesse.jpg",
        "out_seg1": "out1.jpg",
        "out_seg2": "out2.jpg",
        "marker_type": 1,
        "width_pixel": 618.0,
        "heght_pixel": 4031.0,
        "pixel_mm_1": 14.642857073129251,
        "width_mm": 42.2048782497561,
        "heght_mm": 275.2878061889431,
        "thickness_pixel": 96,
        "pixel_mm_2": 57.571428297278906,
        "thickness_mm": 1.6711085661770206
}
```

(2) ICT 기반 상태평가 플랫폼과의 연동

- ICT 기반 상태평가 플랫폼은 윈도우 기반의 소프트웨어로 구동되기 때문에 dll 연동, 웹 연동 등의 여러 가지 방법이 있지만, 향후 타 플랫폼과의 연동성을 위하여 균열 분석소프트웨어는 독립된 실행파일을 가진 '개별 소프트웨어'로 구성함
- 균열 검출 및 분석을 위해 개발된 CAMSYS에 대해 윈도우 기반의 플랫폼 소프트웨어가 입력인자를 조합하여 분석명령을 내릴 수 있으며, 이에 따른 결과는 데이터를 저장하는 포맷중 하나인 .json을 통하여 출력하도록 함




<균열 정밀안전진단 소프트웨어와 CAMSYS간 입출력 관계>

## (3) ICT 기반 상태평가 플랫폼 운영매뉴얼

<ICT기반 시설물 상태평가 플랫폼 매뉴얼>

부록 1

3차년도 연구보고서

ICT기반 시설물 상태평가 플랫폼
매뉴얼

2020. 01

목 차


1. Login ····· 1
2. 시설개요 ····· 2
2.1. 신규 시설물 등록(용역 등록) ····· 3
2.2. 시설물 검색(용역 검색) ····· 3
3. 작업목록 ····· 3
3.1. 용역 다운로드 ····· 3
3.2. 용역 업로드 ····· 3
4. 외관조사 ····· 5
4.1. 외관조사 시작 ····· 5
4.2. 손상입력 ····· 6
5. 결함표 ····· 8

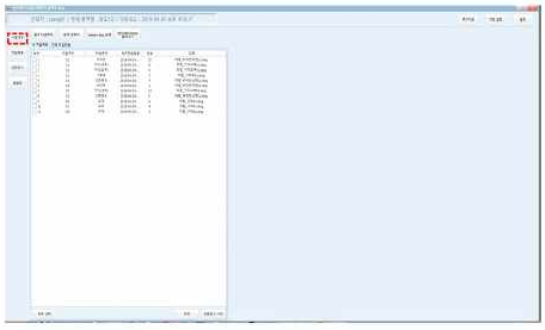

1. Login

① 프로그램 실행
② Login창에 아이디와 비밀번호 입력
③ 확인



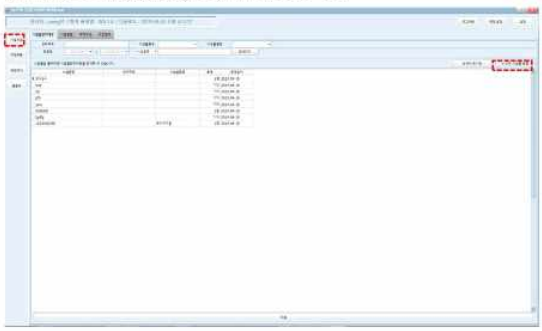
2. 시설개요

① Login 후 시설개요 클릭



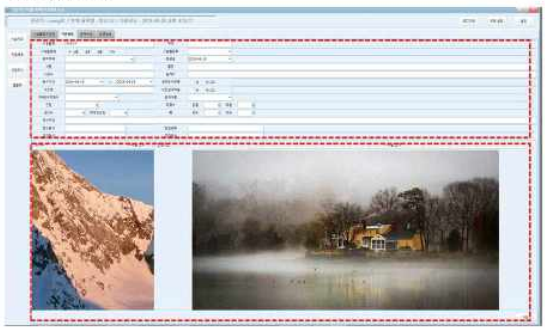
2.1 신규 시설물 등록(용역 등록)

① 시설개요 > 시설물관리대장 > 신규시설물 등록 클릭

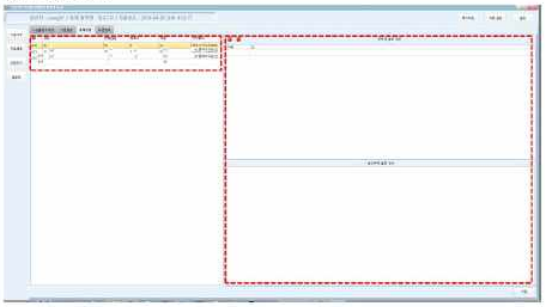


2.1.1 기본현황(신규시설물등록)

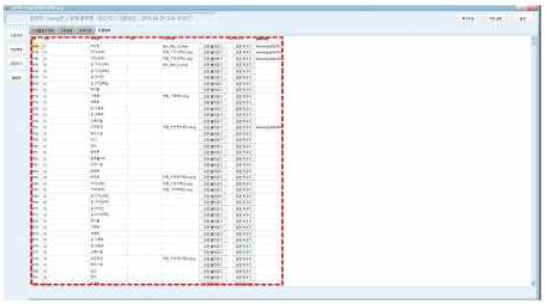
① 기본현황 작성 및 사진 업로드(ex : 구조형식 RC슬래브교, 경간수 3)
② 우측하단 저장



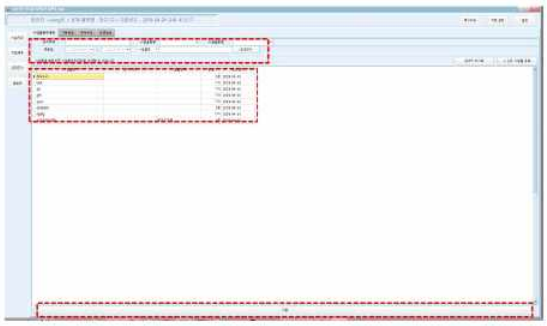
2.1.2 부재구성
① 경간, 연장, 차로수, 지점, 구조형식 확인
(기본현황 페이지에서 경간 수를 3으로 작성하여 4칸 생성됨)
② +, -를 통해 거더(G1, G2..)를 추가하고 볼트개수 입력, 보조부재 볼트 개수는 추가 없이 개수 입력
③ 우측하단 저장



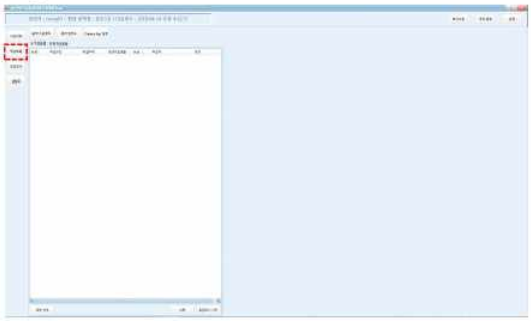
2.1.3 도면정보
① 경간 및 부재명에 맞는 도면파일 업로드(도면 불러오기를 통해 파일 업로드)
② 시설물 부착할 QR코드 주소 입력
③ 우측 하단 저장



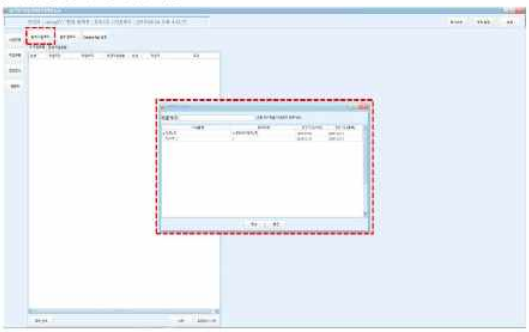
2.2 시설물 검색(용역 검색)
2.2.1 시설물관리대장
① 키워드를 통한 검색 (관리주체, 시설물종류, 시설물종별, 준공일, 시설물명)
② 2.1.1~2.1.3에서 등록한 리스트 확인
④ 선택 후 하단 이동 클릭
⑤ 기본현황, 부재구성, 도면정도 이동하면 확인



3. 작업목록
① Login 후 작업목록 선택



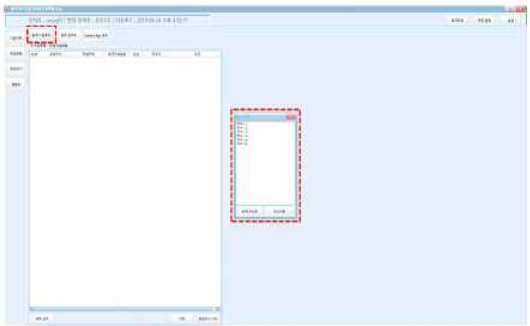
3.1 용역다운로드
3.1.1 용역선택
① 용역다운로드 클릭
② 다운로드 목록 팝업
③ 시설물(용역) 선택 및 확인



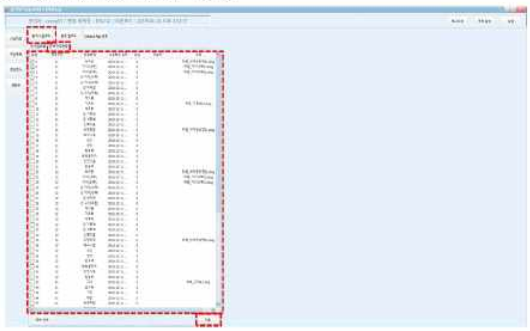
④ 최종확인 팝업
⑤ Yes 클릭



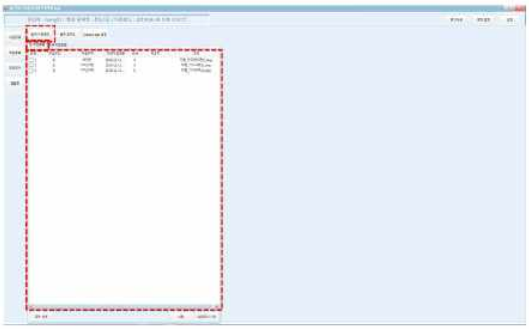
3.1.3 용역의 작업 선택
① 도면 불러오기 팝업
② 기존 작업 도면은 차수 선택 후 '선택 차수로' 클릭
③ 새로운 도면은 '마스터로' 클릭



④ '전체 작업현황'에서 작업 할 도면 선택
⑤ 이동 클릭('내작업목록'으로 이동됨)



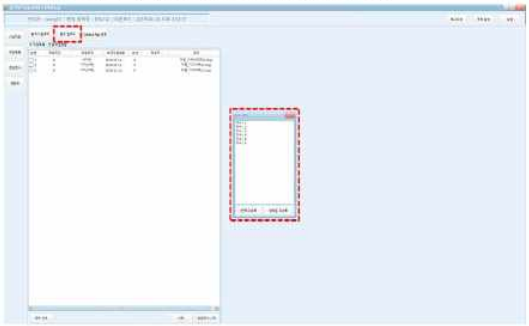
⑥ '내작업목록' 도면 확인



3.2 용역 업로드

① 용역업로드 클릭

② 팝업창의 목록 중 선택차수로 덮어쓰거나 새로운 차수로 저장

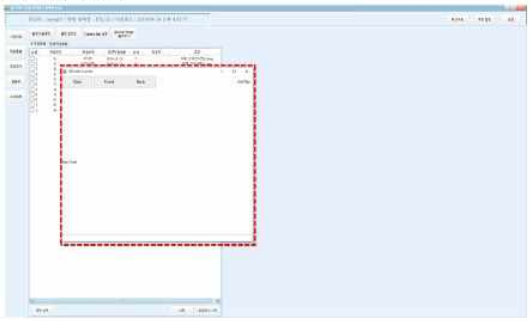


3.3 QRcode

3.3.1 QRcode 촬영

① 카메라 App 실행 클릭

② QRcode 사진촬영



3.3.2 QRcode 이미지 불러오기

① QRcode 이미지 불러오기 클릭

② 파일 선택

③ 파일 열기



3.3.3 QRcode 팝업

① 카메라 또는 이지미로 QRcode를 확인하면 팝업 생성

② '시설정보' 또는 '도면' 클릭



③ 시설정보를 클릭 시 시설개요 페이지로 이동




④ 도면을 클릭 시 외관조사로 이동

4. 외관조사

4.1 외관조사 시작

① '작업목록'의 '내작업목록'에서 도면 선택 후 '외관조사 시작'



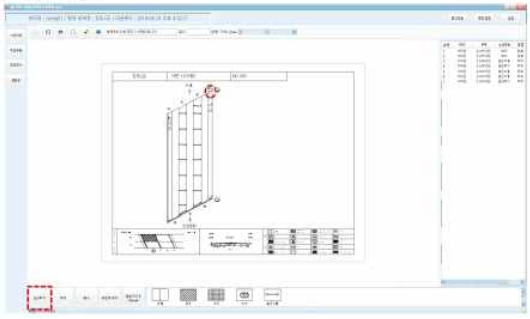
4.2 손상입력

4.2.1 균열 손상입력

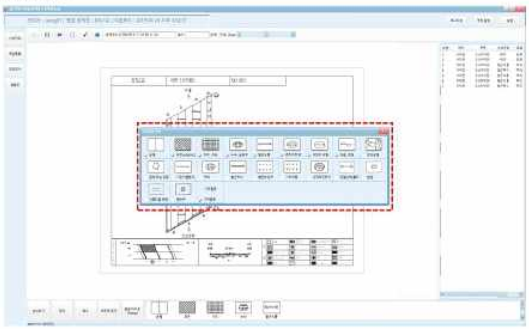
① 이동된 외관조사방도 확인

② 손상입력 부재 선택 (부재를 선택하면 왼쪽 하단에 부재 이름 나타남)

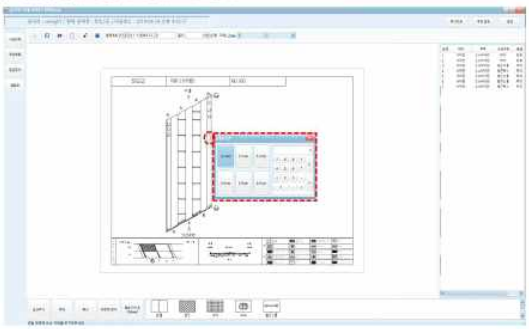
③ 손상추가 클릭



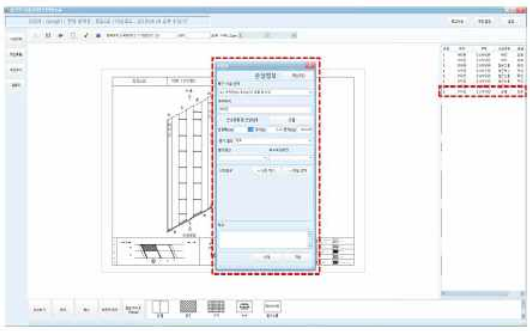
④ 손상유형 선택 팝업
⑤ 균열 선택



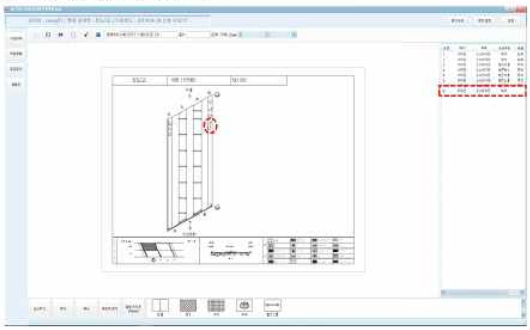
⑥ 선택한 부재에 균열손상 입력
⑦ 균열팝업에 균열 폭 선택 또는 입력



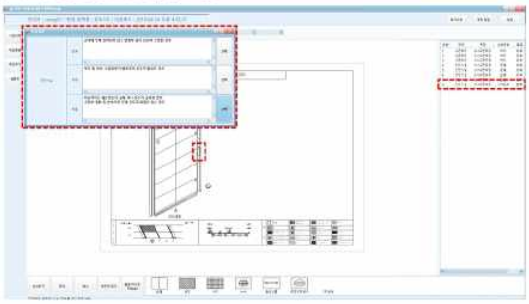
⑧ 우측 손상물량표에 손상정보 등록
⑨ 손상정보 더블클릭 시 손상정보 팝업



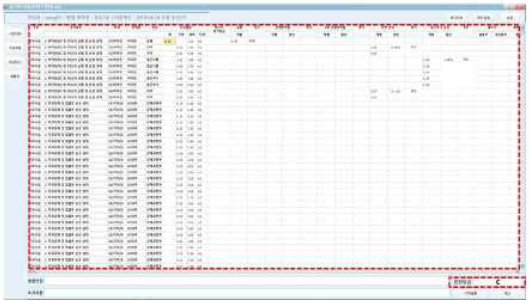
422 면적 손상입력
① 421의 ①~④ 과정과 동일
② 박리 선택 (균열을 제외한 모든 손상이 면적으로 계산됨)
③ 선택한 부재에 면적손상 입력
④ 우측 손상물량표에 손상정보 등록



422 기타 손상입력
① 421의 ①~④ 과정과 동일
② 기타항목 선택
③ 기타항목 팝업에서 해당하는 손상유형을 선택
④ 우측 손상물량표에 손상정보 등록



5. 결함표
① Login 후 시설개요 클릭
② 결함표 화면에서 계산 클릭
③ 해당 용역 도면에 입력된 모든 손상 확인
④ 우측 하단 안전등급 확인

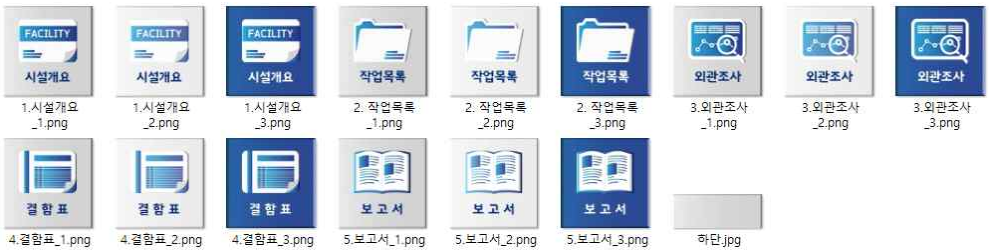
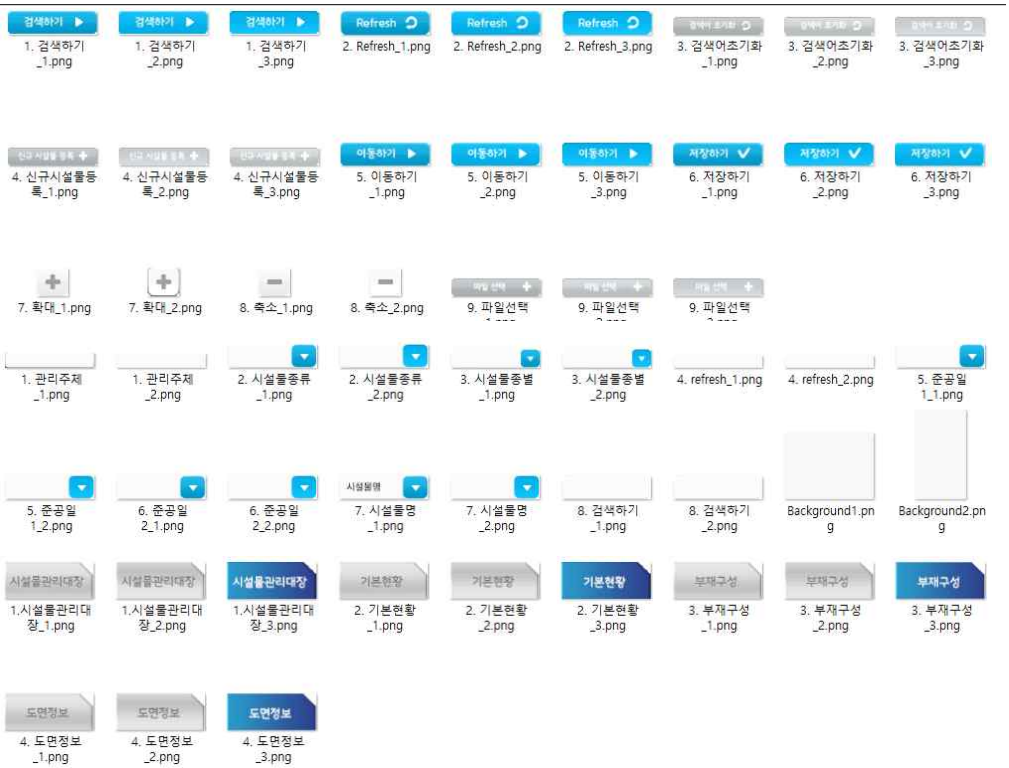


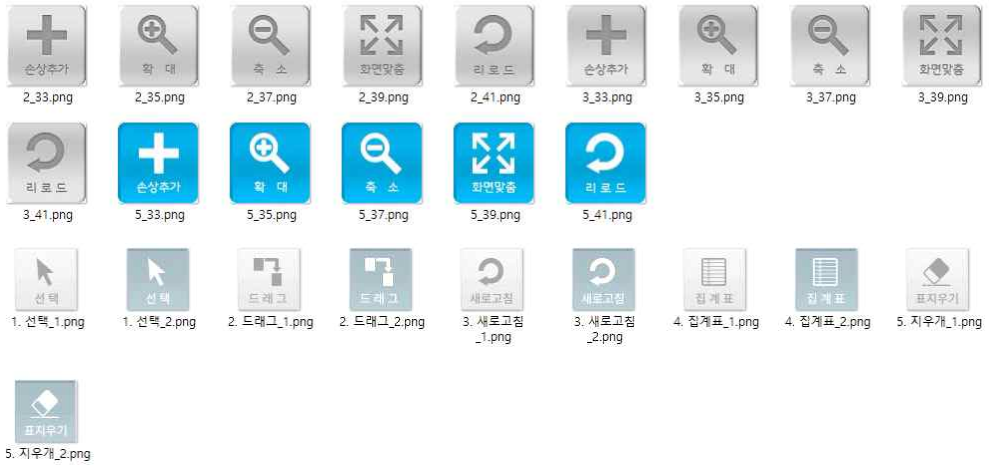
# 7. Test-Bed 및 검증

## 가. 플랫폼 고도화 및 검증

### (1) 플랫폼 디자인 고도화

- 기존 기본 도형 및 텍스트로 디자인 되었던 플랫폼을 사용자가 직관적으로 확인 가능하도록 특성에 맞는 아이콘을 적용하여 전반적인 플랫폼 디자인을 고도화 하였다.

| 구분 | 디자인 |
|---|---|
| 플랫폼 외곽 (상단) |  |
| 플랫폼 외곽 (좌측) |  |
| 시설개요 |  |

| | |
|---|---|
| 작업목록 |  |
| 외관조사 |  |
| 결함표 |  |

(2) 플랫폼 SW 고도화

- 본 연구는 한국정보통신기술협회(이하, TTA)에서 실시하는 소프트웨어산업진흥법 제13조에 의거한 소프트웨어의 품질 인증(GS인증)을 통해 기술적인 성능 및 검증을 실시하여 팰랫폼 SW 고도화를 실시하였다.
- GS인증은 프로그램 매뉴얼을 기준으로 성능검증을 실시하고, 프로그램 오류를 취합한 결함리포트를 작성하여 개발자에게 회신 후 수정·보완여부를 확인하는 방식으로 소프트웨어 품질을 향상시키는 인증이다. 이 신청기술이 GS인증을 획득한 내용은 아래 기능리스트와 같다.

<GS인증 기능리스트>

| 대분류 | 중분류 | 소분류 | 기능설명 |
|---|---|---|---|
| 시설물 관리 | 시설물 관리 | 등록/조회/삭제 | 시설물 정보를 등록/삭제하고, 등록된 시설물 목록을 조회하는 기능 |
| | 시설물 상세 정보 관리 | 조회/수정 | 시설물의 상세 정보(시설물 이름, 시설물 종류, 준공일 등)를 조회/수정하는 기능 |
| | 부재 구성 관리 | 등록/조회/수정/삭제 | 시설물의 부재 정보(경간, 차로 수, 구조 형식 등)를 조회하고, 주부재 개수를 등록/수정/삭제하는 기능 |
| | 도면 관리 | 등록/조회/삭제 | 시설물의 도면 정보를 등록/조회/삭제하는 기능 |
| 작업관리 | 작업 목록 관리 | 다운로드/업로드 | 시설물에 등록된 작업을 다운로드하고, 완료된 작업을 업로드하는 기능 |
| | | 전체 작업 목록 | 다운로드된 모든 작업 목록을 조회하고, 선택한 작업을 내 작업 목록으로 이동하는 기능 |
| | | 내 작업 목록 | 내 작업 목록을 조회하고, 선택한 작업을 삭제하는 기능 |
| | QR코드 불러오기 | 시설물 정보 조회 | 카메라 앱으로 QR코드 인식 또는 저장된 QR코드 이미지 파일을 통해 해당 시설물의 정보를 조회하거나 도면 파일을 불러오는 기능 |
| | | 도면 불러오기 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 시설물 외관 조사 | 시설물 손상 등록 | - | 시설물 객체의 손상(균열/표면/박리/누수/철근 노출 등) 정보를 등록하는 기능 |
| | 손상 목록(집계표) 관리 | 조회/수정/삭제 | 등록된 손상 목록을 조회하고, 손상 정보를 수정/삭제하는 기능 |
| | 작업 모드 변경 | - | 외관 조사 작업 모드(객체 선택 모드/도면 선택 모드)를 변경하는 기능 |
| | 도면 크기 설정 | - | 시설물 도면의 크기를 확대/축소하거나 화면에 맞게 설정하는 기능 |
| 시설물 평가 | 결함표 조회 | - | 외관 조사에서 추가한 손상에 대한 평가 결과(평가 점수 및 등급)를 조회하는 기능 |
| | 안전 등급 계산 | - | 결함표를 계산하여 시설물의 안전 등급(A~E)을 산출하는 기능 |

- GS인증은 1등급이 2등급 보다 높은 등급으로 본 연구는 GS인증 1등급을 받았다.




<GS인증서(국문/영문)>

(3) 플랫폼 Test-Bed를 통한 성능 검증

- 본 연구는 신공항하이웨이(주)에서 관리하고 있는 제3종 시설물 중 목상교와 장도교를 Test-Bed로 선정하여 플랫폼 성능을 검증하였다.

(가) 센서모듈 및 QRcode 설치

- 아래 사진은 본 연구의 플랫폼에 적용된 센서모듈과 QRcode를 설치한 것이다.



<목상교 유실감지센서모듈 설치>



<장도2교 유실감지센서모듈 설치>



<목상교 QRcode 설치>



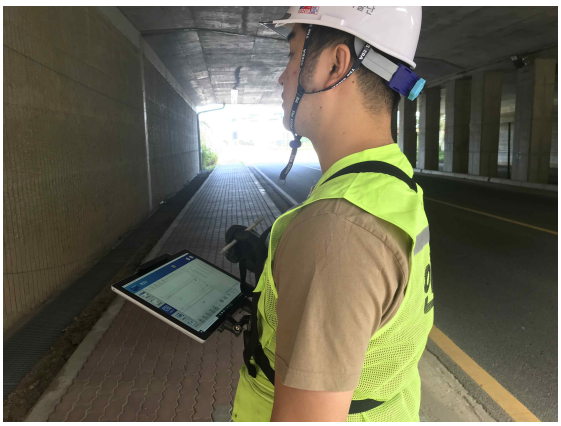
<장도2교 QRcode 설치>

(나) 현장조사 실시

- 목상교와 장도2교에 센서모듈 및 QRcode설치 후 현장조사를 실시하였다. 현장조사는 전차 정기안전점검 보고서를 참고하여 실시하였다.

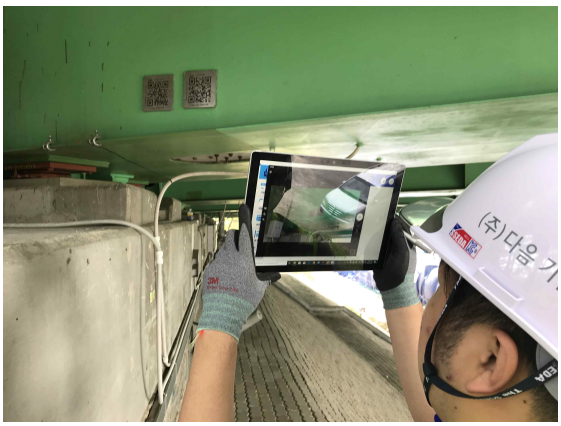


<교대 QRcode 스캔>



<교대 외관조사>

<목상교 현장조사>



<거더 QRcode 스캔>



<거더 외관조사>

<장도2교 현장조사>



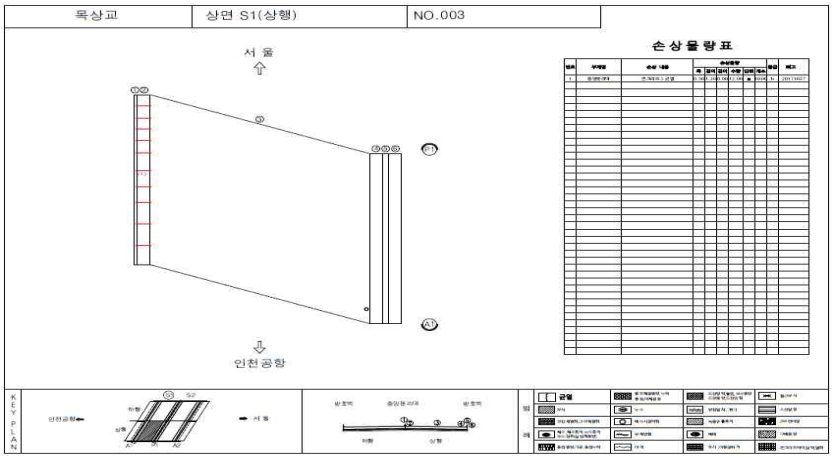
<웨어러블장비 1>

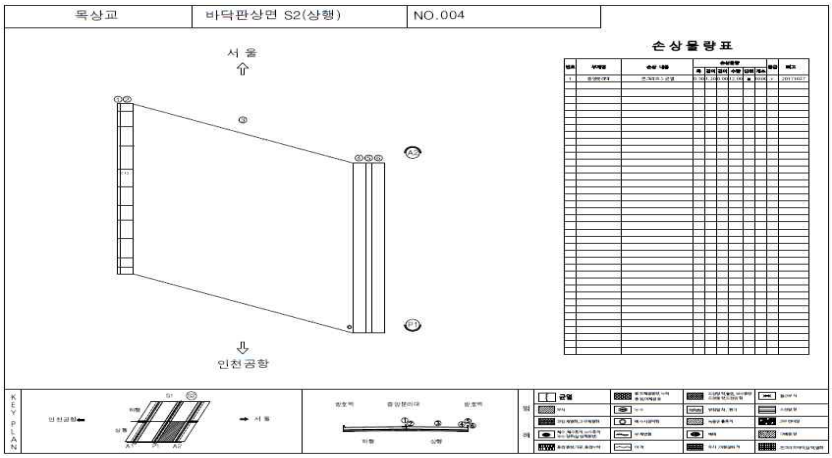


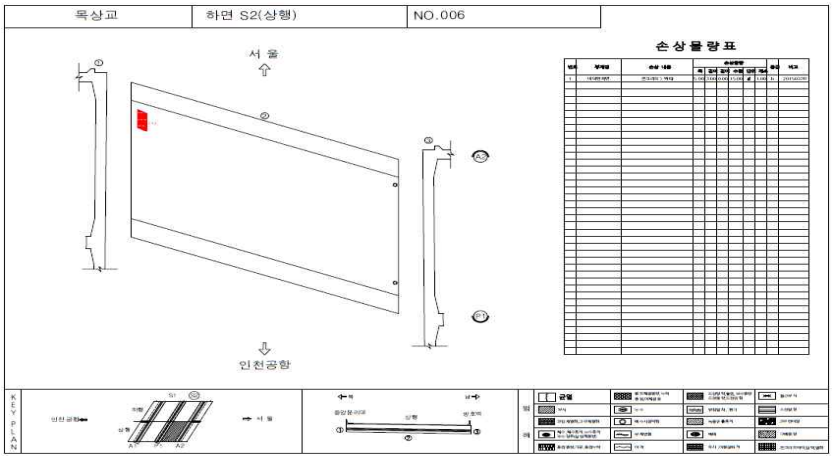
<웨어러블장비 2>

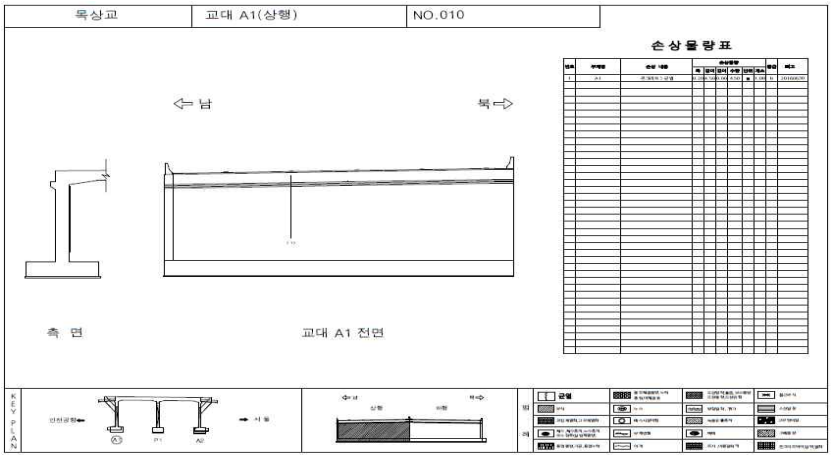
(다) 성능검증

- 성능 검증 방법은 전차 정기안전점검 보고서의 외관조사망도에 입력된 결함 · 손상을 플랫폼에 입력하여 동일한 상태등급이 산출되는지 확인하는 방식으로 진행하였다.
- Test-bed 중 목상교의 전차년도 정기안전검검 손상내역은 아래 그림과 같다. 목상교 상행 10개의 외관조사망도 중 4개의 도면에 29개소의 결함 · 손상이 입력되어 있었다.






<목상교 결함 · 송상 입력된 외관조사망도>

<외관조사망도 손상물량>

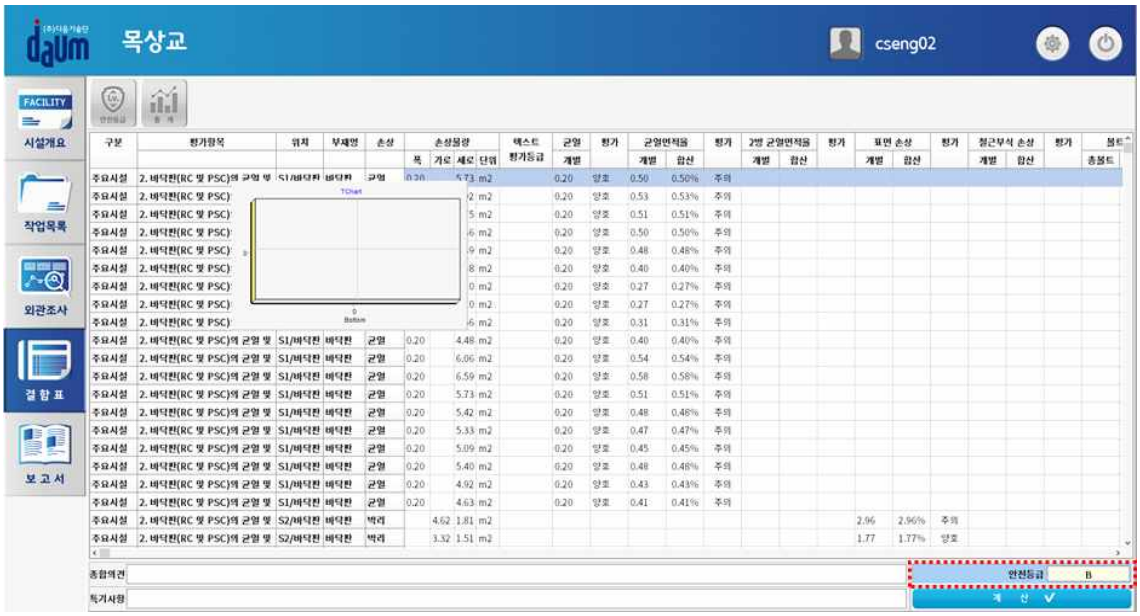
| 부재명 | 손상내용 | 손상물량 | | | 개소 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 폭 | 길이 | 깊이 | |
| S1 바닥판 상면 / 중앙분리대 | 균열(cw=0.3mm 이상) | 0.3 | 1.2 | - | 10 |
| S1 바닥판 상면 | 접속부 균열 | | 16 | - | 1 |
| S2 바닥판 상면 / 중앙분리대 | 균열(cw=0.3mm 이상) | 0.3 | 1.2 | - | 12 |
| S2 바닥판 상면 | 접속부 균열 | | 16 | - | 1 |
| S2 바닥판 상면 / 방호벽 | 균열(cw=0.3mm 이상) | 0.2 | 0.5 | - | 2 |
| S2 바닥판 상면 / 방호벽 | 균열(cw=0.3mm 이상) | 0.2 | 1 | - | 1 |
| S2 바닥판 하면 | 백태 | 5 | 3 | - | 1 |
| A1 교대 전면 | 균열(cw=0.3mm 이상) | 0.2 | 4.5 | - | 1 |

- 상기 물량을 기존방법(엑셀)과 플랫폼으로 상태등급을 평가하였다. 기존방법으로 상태등급을 평가한 경우 주요시설(7개)은 양호1개, 주의1개, 일반시설(7개)은 양호3개, 부대시설(3개)은 양호1개 주의1개로 상태점수 88점에 상태등급 B등급이 평가되었다.




<기존방법(엑셀) 상태평가 결과>

- 플랫폼은 전자도면에 결함 · 손상을 그린 후 손상내용에서 물량을 수정하는 방식으로 동일한 물량을 입력하였으며, 입력을 완료한 결과 상태등급이 기존방법과 동일하게 B등급으로 평가된 것을 확인하였다.




<sm-PED 상태평가 결과>

(4) 현장설명회

- 연구개발 종료 후 본 플랫폼의 실질적인 활용을 위해 서울시에서 주최한 서울시 도로기설안전포럼에 참석한 서울시 공무원 및 시설물 안전점검 · 진단 관련 산학관계자를 대상으로 현장설명회를 실시하였다.




<서울시 현장설명회>

## 나. 건설신기술 신청을 통한 플랫폼 고도화

- 본 연구는 고도화를 통해 2019년12월10일 건설신기술 신청 및 보완을 완료하여, 2020년 02월 초 공보기간을 가질 예정이다.
- 건설신기술은 플랫폼의 7개의 Tool을 범위로 지정하여 신청하였으며, 그 Tool은 아래 표와 같다.

■ 시설물 정보 저장 Tool
- 시설물 등록을 통해 시설물 정보를 저장하는 Tool

■ 시설물 정보 확인 Tool
- 종이출력 없이 현장에서 ICT를 활용하여 시설물정보와 도면을 다운로드 · 업로드 하는 Tool
- 다운로드 실시한 여러 도면을 부재와 비교하지 않고 QRcode를 활용하여 도면 확인가능

■ 결함 · 손상 입력 Tool
- 부재선택 > 손상추가 > 결함 · 손상 선택 > 결함 · 손상입력 > 손상정보 확인 및 수정 > 손상물량표 확인의 단계에 따라 전자도면을 작성하는 Tool

■ 결함 · 손상 상태구분 Tool
- 결함 · 손상 입력 Tool에서 입력된 결함 · 손상을 평가매뉴얼에 따라 양호 · 주의 · 불량 상태로 구분하는 Tool

■ 상태등급평가 Tool
- 각 결함 · 손상 상태와 결함 · 손상의 면적을 합만 면적율 상태 중 최젓값을 항목상태점수로 결정하고, 가중치를 고려하여 종합상태점수 산정 후 상태등급을 평가하는 Tool

■ 통계분석 Tool
- 결함 · 손상 물량을 도표를 활용하여 사용자친화적으로 표현한 Tool

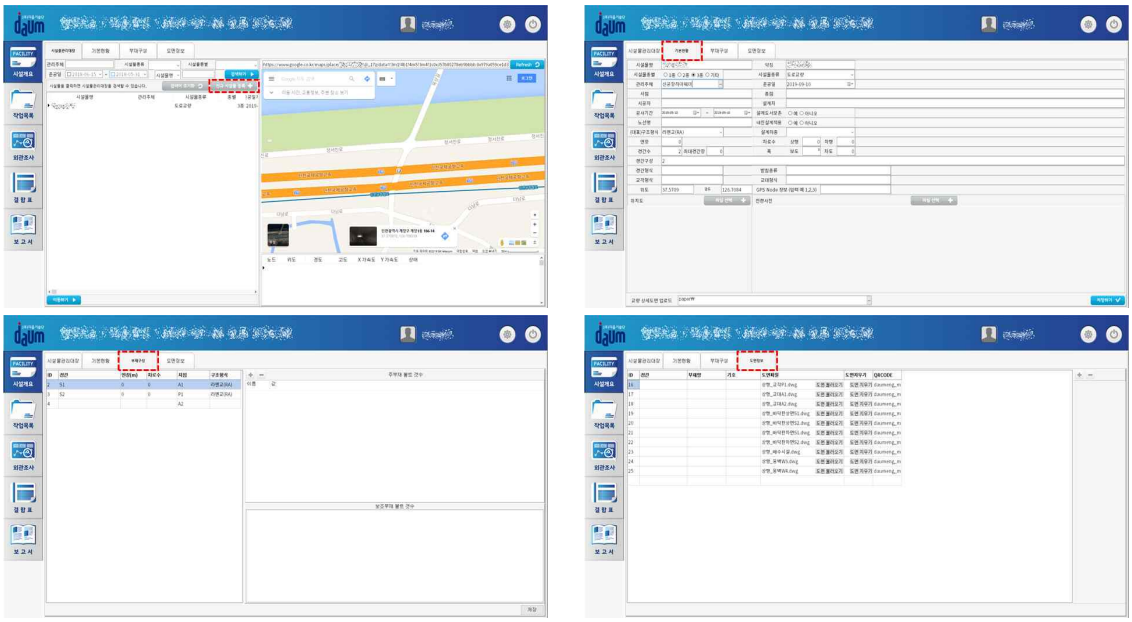
■ 보고서 Tool
- 점검자의견, 보수필요 유무를 포함한 체크리스트 양식의 보고서 Tool

(1) 시설물 정보 저장 Tool

- 현재 교량 시설물 상태평가 공정은 사전조사를 통해 시설정보를 수집하고 그 정보를 기반으로 현장조사를 실시하여 내업에서 상태등급을 평가하는 방식이다. 사전조사는 시설물 관리대장 등의 관련서류를 검토 하는 것으로 안전점검 · 진단 시마

다 매번 실시해야하는 어려움이 있다.

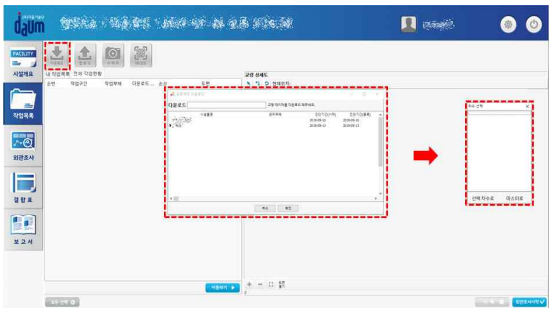
- 이 신청기술은 서버를 구축하여 최초 1회의 사전조사 정보를 저장하고 추후 안전점검 · 진단 시 서버에서 정보를 불러와 활용함으로써 사전조사에 소비되는 시간과 비용을 감소시킬 수 있다.
- 시설물 정보 저장은 sm-PED 기술에서 신규 시설물 등록을 통해 실시한다. 신규 시설물 등록은 기본현황, 부재구성, 도면정보 3단계로 구분되며, 1단계 기본현황은 FMS 구조와 동일하게 구성된 화면에 시설물명, 관리주체, 경간 등의 시설정보를 입력할 수 있다. 2단계 부재구성은 1단계에서 설정한 경간에 구조형식 및 길이 등을 입력하고, 강구조물의 경우 주부재와 보조부재의 볼트개수 입력한다. 3단계 도면정보는 도면파일을 등록하고 이 파일에 QRcode URL을 입력한다. 현장조사에서 QRcode를 활용하여 도면을 불러올 수 있다.



<시설물 정보 저장 Tool>

(2) 시설물 정보 확인 Tool (Wi-Fi 및 QRcode 활용)

- 기존 상태평가는 종이로된 시설물 정보와 외관조사망도를 출력하여 현장조사를 실시하는 방식이다. sm-PED 기술의 시설물 정보 확인 Tool은 종이출력 없이 현장에서 ICT기반의 Wi-Fi와 QRcode를 활용하여 시설물정보와 도면을 다운로드 · 업로드 할 수 있으며, 다운로드한 여러 도면을 부재와 하나하나 비교하지 않고 QRcode 스캔을 통해 해당 부재의 도면을 확인할 수 있다.
- 시설물 정보 확인 Tool의 다운로드 기능은 2단계로 구분된다. 1단계는 등록된 시설물 중 현장조사를 실시할 시설물을 선택하고, 2단계에서 차수 또는 마스터를 선택하여 도면을 다운받아 현장조사를 실시할 수 있다.
- 2단계의 차수는 전차년도 외관조사망도 목록을 나타내며 차수를 선택하여 다운로드 할 경우 과거 발생한 결함 · 손상을 확인할 수 있고, 마스터는 결함 · 손상이 입력되지 않은 외관조사망도로 새 작업을 실시할 때 다운로드하여 현장조사를 실시한다.



<다운로드>

- 시설물 정보 확인 Tool의 업로드 기능은 현장조사 완료 후 정보를 서버에 저장하는 기능으로 기존 정보에 덮어씌우거나 새로운 정보로 저장할 수 있다.

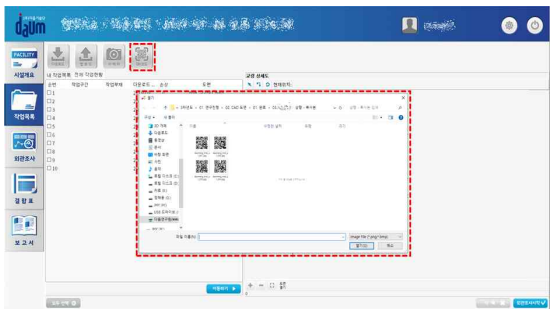


<업로드>

- 시설물 정보 확인 Tool의 QRcode 기능은 다운로드한 시설물정보와 도면을 편리하게 확인하고 작업할 수 있는 기능으로, 시설물에 설치한 QRcode를 카메라로 주사(Scan)하거나 카메라로 촬영한 QRcode 사진을 불러와 편리하게 시설정보 및 도면을 확인할 수 있다.



<QRcode 카메라>



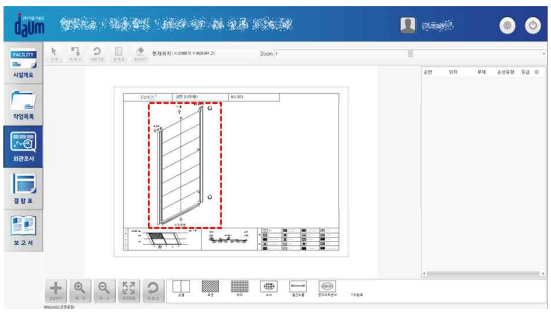
<QRcode 파일 불러오기>

(3) 결함·손상 입력 Tool

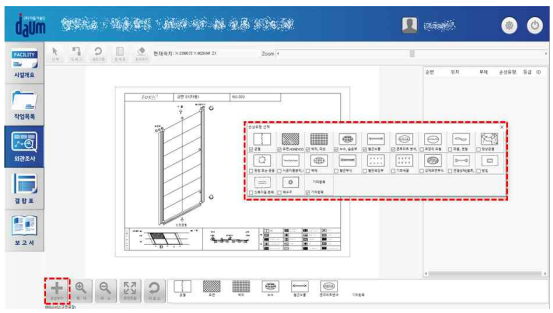
- 기존 상태평가 현장조사 공정은 시설물의 결함·손상을 종이 외관조사망도에 입력하는 1단계, 내업을 통해 현장조사 결과 정리 및 CAD에 기록하는 2단계, CAD에 기록된 정보를 외관조사망도와 비교·검토하는 3단계를 거쳐 완료되고 있다. 이 신청기술은 결함·손상 입력 Tool을 통해 전자 외관조사망도 작성이 가능하여 기존

공정의 내업을 간소화 하였다.

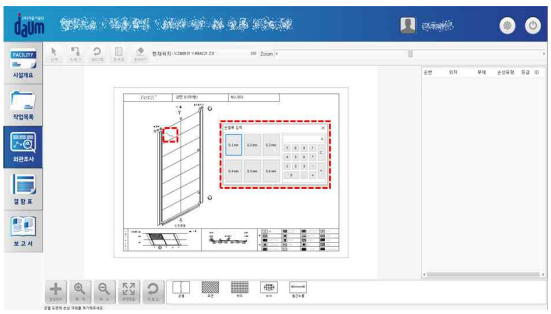
- 결함 · 손상 입력 Tool은 4단계로 다음과 같다. 1단계 결함 · 손상을 입력할 부재 선택, 2단계 손상추가에서 입력할 결함 · 손상 선택, 3단계 결함 · 손상입력, 4단계 손상정보 확인 및 수정, 5단계 손상물량표 붙여넣기의 단계를 거쳐 외관조사망도 작성이 완료된다.
- 3단계 결함 · 손상 입력은 선과 면 두 가지 방식으로 입력된다. 선은 균열에 적용되며, 면은 균열을 제외한 모든 결함 · 손상에 적용된다. 여기서 균열은 균열 폭을 선택해야 하고, 면은 시작과 끝이 폐합돼 결함 · 손상 면적이 자동으로 산출될 수 있도록 알고리즘화 하였다.
- 이렇게 입력한 결함 · 손상은 손상정보에 순서대로 기록되고, 개별적으로 확인 및 수정이 가능하다. 추후 보고서 출력을 위해 수정이 완료된 손상정보를 외관조사망도의 손상물량표 위치에 배치하여 외관조사망도 작성을 완료한다.



<부재선택>



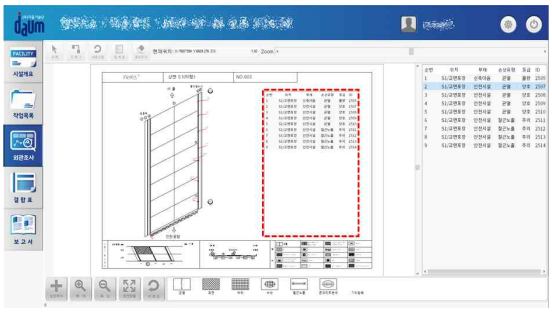
<결함 · 손상 선택>



<결함 · 손상 입력(균열)>



<손상정보 확인 및 수정>



<손상물량표 붙여넣기>

(4) 결함 · 손상 상태구분 Tool

- 기존 상태평가 현장조사는 외관조사망도 손상물량표에 각 결함 · 손상 물량을 입력하고, 내업에서 물량 검토 · 분석을 통해 양호 · 주의 · 불량의 상태를 각 결함 · 손상에 입력하고 있다. 이때 부재별로 결함 · 손상 평가방법이 달라 인적오류가 발생하는 문제가 있다.
- 이 신청기술은 결함 · 손상 입력 Tool에서 입력된 물량 정보를 결함 · 손상 상태구분 Tool을 통해 양호 · 주의 · 불량 상태로 자동 구분되도록 하여 내업과 인적오류 없이 각 결함 · 손상의 상태구분이 완료된다.
- 결함 · 손상 상태구분 Tool은 [제3종시설물 안전등급 평가 매뉴얼]에 따라 거더, 바닥판, 교각 등 16개 평가항목에 발생한 결함 · 손상을 양호 · 주의 · 불량의 생태로 구분하는 알고리즘이다. 여기에 제공되는 부재별 결함 · 손상 물량 정보는 결함 · 손상 입력 Tool에서 입력된 정보가 자동으로 반영되어 평가된다.



<균열 평가 상태>

(5) 상태등급평가 Tool

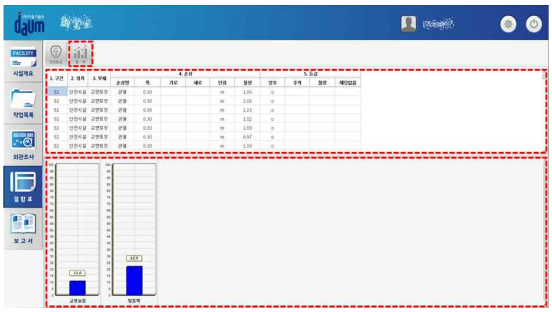
- 상태등급평가 Tool은 [제3종시설물 안전등급 평가 매뉴얼]에 따라 1단계 체크리스트 항목상태점수 결정, 2단계 가중치 부여한 종합상태점수 산정, 3단계 상태등급평가를 실시하는 알고리즘이다. 단계별 세부적인 내용은 아래와 같다.
- 1단계 결함 · 손상을 체크리스트 16개 항목으로 구분하여 각 항목의 결함 · 손상 상태와 결함 · 손상 면적율 상태 중 최젓값을 항목상태점수로 결정, 2단계 16개 항목 상태점수를 주요시설, 일반시설, 부대시설로 구분하고, 시설상태점수 산정 후 가중치를 부여해 종합상태점수 산정, 3단계 0~100점 종합상태점수를 A~E 다섯 등급으로 분류하여 상태등급평가가 완료된다.
- 상태등급평가가 완료되면 시설물의 대략적인 상태파악이 가능하도록 시설물의 종합의견 및 특기사항을 간략하게 기록할 수 있다.



<균열 평가 상태>

(6) 통계분석 Tool

- 통계분석 Tool은 상태평가를 실시한 시설물의 결함·손상 물량을 도표를 활용하여 사용자친화적으로 표현한 기능이다. 통계분석 Tool은 구간, 위치, 부재, 손상, 등급으로 구분하여 물량을 확인할 수 있다.



<통계분석>

(7) 보고서 Tool

- 보고서 Tool은 [제3종시설물 안전등급 평가 매뉴얼] 시설물별 체크리트 양식으로 제공되며, 부록으로 외관조사망도와 결함·손상 세부 데이터, 통계분석표를 첨부하여 보고서 발행이 가능하다.



<체크리스트 보고서>

# 제3장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

## 1. 목표

| 핵심연구성과 (level1) | 단위 성과 (level2) | 총괄 질적 성과 | | 총괄 양적 목표 | 달성 유무 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 질적 성과지표 | 목표치 | 목표치 | |
| 에너지 하베스팅을 활용한 GPS 유실감지 센서모듈 | 유실감지 센서모듈 개발 | 국내특허출원 | 1건 | 특허출원 1건 | 달성 |
| | | 시작품 (서버로깅, GPS 10m이내) | 1건 | 시제품 1건 | 달성 |
| | 시설물의 전력회수기술 개발 | 시작품 | 1건 | 시제품 1건 | 달성 |
| ICT 기반 상태평가 Master Plan | ICT기반 상태평가 Logic 설계 | 보고서 | 1건 | | 달성 |
| | ICT기반 지능형 상태평가 기술개발 | 국내특허출원 | 1건 | 특허출원 1건 | 달성 |
| | | 보고서 | 1건 | | 달성 |
| QR코드 표준화 | 시설물별/부재별 QR코드 표준화 | 보고서 | 1건 | | 달성 |
| | 현장적용 QR 코드 | 보고서 | 1건 | | 달성 |
| 통합 시설물 관리 플랫폼 체계 구축 | ICT 기반 통합 시설물 관리 플랫폼 설계 / 구축 | 서버구축 | 1건 | | 달성 |
| | | 특허출원 | 1건 | 특허출원 1건 | 달성 |
| | 전자야장 엔진 설계 | 설계서 | 1건 | | 달성 |
| | | 모바일 앱 설계 | 1건 | | 달성 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 통합 시설물 관리 플랫폼 개발 | ICT기반 통합 시설물 관리 플랫폼 개발 | 특허출원 | 2건 | 특허출원 2건 | 달성 |
| | 전자야장 엔진 개발 | 소프트웨어등록 | 1건 | S/W 1건 | 달성 |
| | | 모바일 앱 개발 | 1건 | | 달성 |
| 이미지 분석 기법을 이용한 시설물의 손상 검출 알고리즘 개발 | 손상 자료 DB화 | 손상유형별 자료 DB화 | 100% | | 달성 |
| | | 이미지 분석 기법 선정 | 100% | | 달성 |
| | 손상 검출 알고리즘 개발 | 손상 검출 방법 제시 | 100% | | 달성 |
| | | 손상의 특징이 되는 폭, 길이, 방향 등을 계산하는 알고리즘 제시 | 100% | | 달성 |
| | ICT 기반 시설물 상태평가 프로그램 매뉴얼 개발 | 신뢰도 검증 | 1건 | S/W 1건 | 달성 |
| | | 매뉴얼 개발 | 100% | | 달성 |
| Test-bed 및 검증 | 플랫폼 고도화 및 검증 | 플랫폼 고도화 | 1건 | 특허등록 1건 | 달성 |
| | | | | 출원 1건 | 달성 |
| | | TTA GS 인증 | 1건 | S/W 1건 | 달성 |
| | | 마케팅 전략수립 / 공청회 및 현장설명회 | 1회 | 매출액 20백만원 | 달성 |
| | | | | 신기술신청 1건 | 달성 |
| | | | | 특허 출원 : 6건<br>등록 : 1건<br>시제품 : 2건<br>SW : 3건<br>매출액 : 20백만원<br>신기술 신청 : 1건 | |

## 2. 목표 달성여부

### 가. 목표별 세부 내용

(1) 에너지하베스팅을 활용한 GPS 유실감지 센서모듈

- 에너지하베스팅을 활용한 GPS 유실감지 센서모듈의 개발목적은 제3종 시설물의 경우 사람이 접근하기 어려운 산골외지 또는 소규모 시설로써 태풍, 집중호우 등 자연재해로 유실될 우려가 있다.
- 이에 교량 슬래브에 GPS기반의 센서모듈을 설치하여 교량의 상태를 파악하고 상태변화 시 이를 관리자에게 알려 적절한 관리가 될 수 있도록 이를 적용하였다. 개발 시 윈드와 솔라 에너지를 비교하여 솔라 에너지를 적용하는 것을 최종적으로 도출하였으며, 시작품에 대해서 특허출원 및 디자인 등록, SW등록, TTA 공인 시험을 실시하였다. TTA공인 시험의 경우 경기도 성남시 판교에 위치한 개나리교에서 실시하였으며, 데이터 서버로깅과 10m 이하 오차범위를 측정하여 모두 만족하는 것으로 인증서를 받았다.
- Test-Bed인 장도2교와 목상교에 실제 적용하여 성능을 확인하였으며, 1차·2차·3차의 수정보완을 통해 센서모듈의 성능과 안전성을 향상시켰다.

(2) ICT 기반 사태평가 Master Plan / QR코드 표준화 / 통합 시설물 관리 플랫폼

- 본 목표는 전자야장 프로그램과 프로그램이 구동될 수 있는 서버 등 전자야장 기능에 대한 목표로 프로그램을 구성하는 Front end와 Back end, 프로그램 구성 및 로직, 상태평가 로직 등 개발단계를 보고서화 하여 목표를 달성하였으며, 특허 출원을 통해 개발품에 대한 권리를 보장받고 있다.
- 또한 QRcode 표준화를 통해 크기별 거리별 인식률을 확인하였으며, 이를 활용해 교량의 점검난간과 점검경로에 QRcode 설치 시 참고하여 효율적인 시설물 안전점검·진단을 실시할 수 있다.

(3) 이미지 분석 기법을 이용한 시설물의 손상검출 알고리즘 개발

- 본 목표는 광학 카메라를 통해 시설물의 균열을 촬영하여 손상등급을 평가하는 알고리즘 개발로 딥러닝 기반의 시설물 손상 검출 알고리즘 개발과정을 보고서화 및 SW인증을 받았다.

(4) Test-bed 및 검증

- 본 개발품에 대한 현장적용 과정으로 플랫폼 디자인, 플랫폼 기능 등을 TTA GS인증을 통해 프로그램의 전반적인 안전성을 확인하고, Test-Bed인 장도2교와 목상교에 현장적용을 실시하였다. 현장적용은 전차 정기점검 보고서를 기반으로 교량의 동일한 결함·손상을 확인 후 플랫폼에 입력하여 안전등급 결과를 확인하였으며, 확인결과 동일한 등급이 도출되어 플랫폼의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

# 3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

## 가. 목표 미달성 원인(사유) 및 대책

- 해당사항 없음

## 나. 후속연구의 필요성

(1) 안전진단 및 점검 DB구축 및 활용기술

- 4차 산업혁명 시대에 맞춰 그동안 첨단기술의 적용이 어려웠던 안전진단 분야에 스마트 건설기술이 활발히 적용되고 있다. 본 연구 또한 ICT 및 전자패드를 활용하여 그동안의 안전점검·진단의 재래식 방업을 탈피한 기술로써 시설물관리 분야 시장을 선도할 기술이라 판단된다.
- 본 연구는 시설물 안전점검·진단을 실시함과 동시에 그 결과를 서버에 저장하여 DB구축이 가능한 기술로써 향후 스마트 건설기술인 Big Data 및 AI기술을 적용하여 선제적인 시설물 유지관리가 가능하다.
- 따라서 ㈜다음기술단은 연구과제 종류 이후에도 성과를 적극적으로 활용하여 DB를 구축하고 이를 활용한 연구를 지속적으로 실시하고 사업화를 할 계획이다.

# 4. 관련 분야 기여도

## 가. 전자야장

- 전자야장은 안전진단 및 점검 현장조사 중 외관조사에 활용되는 기술로써, 기존 종이야장이 아닌 태블릿 PC를 이용하여 시설물 CAD 도면에 직접 손상을 입력함으로써 2차 3차의 내업을 감소시켜 진단 및 점검 업무의 고급화에 기여할 수 있다.
- 또한, 외관조사 평가결과를 내업에서 확인하는 것이 아닌, 현장에서 즉각적으로 확인할 수 있어 다양한 변수를 고려한 대응방안을 적용할 수 있으므로 진단결과의 품질을 향상시켜 점검자의인지도를 상승에 기여할 수 있다.
- 더 나아가 정보통신 기술을 토목분야에 적용함으로써 관련분야 전문인력이 토목분야로 진출할 수 있으며, 전자야장 활용하는 전문인력에 대한 수요가 요구되어 고용창출에 기여할 수 있다.

## 나. Bigdata / AI

- 본 플랫폼은 기존 종이야장을 전자야장으로 변경하는 기술로 전자야장에 입력된 정보는 DB화가 가능하다. 또한 상태평가 자동화를 위해선 시설물 각 부재에 코드를 입력해야 하며, 이를 위해 CAD사전 작업을 실시하고 있다.
- 제3종 시설물에 대한 관리가 시작되는 이 시점에 본 플랫폼을 통해 DB화를 실시하게 된다면 제3종 시설물 장수명화에 기여할 수 있으며, 더 나아가 본 플랫폼을 개선하여 제1종, 제2종 시설물에 확대 도입함으로써 국가차원의 시설물 관리에 기여할 수 있다. 또한, 축적된 Big data를 활용하여 AI 의사결정에 기여할 수 있다.

## 다. 기대성과 및 파급효과

(1) 과학기술적 측면

- ICT 기술을 이용한 소규모(3종)시설물 상태평가 플랫폼 개발 및 Test-bed 검증을 통하여 안전진단 시장에 새로운 페러다임을 제시함으로써 ICT기술의 타 분야 확산을 통한 기술 개발을 촉진할 것으로 기대됨
- 최신 ICT 기반의 점검·진단시스템을 점검 및 안전진단 업무에 확고히 정착시켜 시설물 안전·유지관리 분야의 관리주체 및 안전진단전문기관에 스마트 워크를 확산보급 할 수 있는 기틀을 마련함
- 시설물 Navigation을 시설물 관리자 및 이용자들에게 안전에 대한 중요성을 알리고 이를 통해 예방, 대비, 대응 및 사후관리 등을 실시하며 위험상황 발생 시 알림서비스를 통해 신속한 초기 대응을 가능하도록 하여 국민을 지키고 보호할 수 있는 방안으로 기대됨
- ICT를 활용한 현장관리시스템 도입으로 현장점검 활동의 정확성 및 업무의 경감 등 다양한 기술의 적용으로 고도화 기반을 마련하여 향후 특정관리대상시설물의 예방시스템으로 활용 가능함
- ICT 기술을 이용한 시설물 상태평가 플랫폼을 구축할 경우 체계적인 유지관리와 실시간 안전관리를 통하여 기존대비 구조물의 안전성 20% 향상, 구조물 수명 50% 증대, 시설물 유지관리 효율성을 17% 증대, 유지관리 비용은 15% 감소 될 수 있을 것이라 기대됨

(2) 사회·경제적 측면

- (산업의 활성화) 기존의 시설물 안전관리가 전문 지식을 가진 전문가 위주로 이루어진 반면, 본 시스템은 소규모 시설물의 관리자 및 이용자들의 참여를 가능하게 함으로서 국내 전반적 안전산업 시장에 대한 새로운 패러다임을 제공함과 동시에 관련 산업 전반의 활성화를 이룰 것으로 기대됨
- (지속적 수요증대) 향후 시설물의 노후화, 첨단화에 따른 자산 및 시설 데이터의 방대화, 다양화로 인하여 재해예방을 위한 안전관리를 위하여 일정규모 이상의 시설물 관리에 있어서 첨단 IT기술을 이용한 유지관리와 안전관리를 위한 통합 방재시스템의 구축이 필수적이며 이에 대한 수요는 지속적으로 증가할 것임
- (수입대체 및 수출증대) 건설IT융합분야 세계시장에서 우리나라의 점유율은 2.2% 수준이며(미국 41.8%, 영국 14.5%,2010년 기준)에 그치고 있고, 특히 BIM S/W를 포함한 AEC(Architectural, Engineering, Construction) S/W 시장은 90%이상을 특정 외산 S/W가 장악하고 있으나, 본 시스템의 개발을 통해 건물 안전관리 분야 S/W 시장점유율을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대함(출처: 유비쿼터스 건물 유지관리 기술, 2013, 국토해양지식정보센터)
- (비용절감) 시설물의 전체 생애비용주기 중 유지관리 비용이 80%이상을 차지할 정도로 매우 많은 부분을 차지하고 있으며, 본 시스템을 구축할 경우 이러한 유지관리 효율성 증대로 기존 대비 유지관리 비용의 15%를 절감할 수 있음.(출처: 건설

IT융합 시장 및 기술동향과 정책적 시사점, 2010, KIET)

- 지자체가 주로 관리 주체인 소규모 시설물은 예산부족으로 유지관리 및 점검이 원할이 이루어지지 않지만, 초급기술자 수준의 관리자가 직접 점검이 가능하도록 하여 예산 절감 기대효과 및 재해 예방 효과가 기대됨

(3) 정책적 측면

- 소규모(3종)시설물이 포함된 시설물 안전 및 유지관리 특별법 법안 통과로 소규모 시설물에 대한 안전 및 유지관리계획을 수립·시행하는 관리주체의 지자체가 저예산으로 소규모 시설물을 관리하는 기틀을 마련
- (관련분야 일자리 창출) 기존 시설물의 유지관리 분야에서는 전문성과 경제성의 부족으로 인하여 소방, 전기, 기계에 비하여 토목, 건축분야에 대한 인력채용이 거의 이루어지지 않고 있었으나, 본 시스템의 경우 시설물 유지관리 점검 매뉴얼과 첨단 ICT 기술을 적용하여 체계적이며 효율적인 유지관리를 가능하게 하여 경제성을 향상시켜 시설물 유지관리 분야에서 토목 건축분야의 인력채용을 확대할 수 있음
- (타 분야 일자리 창출) 본 연구과제를 통해 개발된 시설물 유지관리 및 안전관리 기술은 서비스 확장을 통하여 시설물 자재 및 시설공간과 연계되는 IT산업, 정밀가공 산업 등의 분야에 활용이 가능하며 이를 통해 IT융합 분야의 일자리 창출에 기여함
- (인력 양성 및 교육) 본 시스템의 연구개발을 통하여 건설 분야와 IT분야의 연구자 및 기술자간 정보와 노하우 공유/활용/확산을 도모함으로서 양질의 전문 인력 양성 및 교육증진효과를 가져옴

## 라. 사업화 기대효과

- ICT 기반의 점검·진단시스템을 점검 및 안전진단 업무에 확고히 정착시켜 시설물 안전·유지관리 분야의 관리주체 및 안전진단전문기관에 스마트 워크를 확산보급할 수 있는 기틀을 마련함
- 국가 주요시설물의 안전 및 유지관리 정보의 체계적인 DB화를 통한 안전성 향상 및 시설물의 과학적인 유지관리에 기여
- 안전점검·정밀안전진단 업무의 효율성 증대
- 현장조사 업무 프로세스 개선으로 업무의 효율성의 제고
- 점검·진단 자료의 DB화로 체계적인 통계분석이 가능
- 축적된 DB자료 통계분석을 통하여 설계, 시공, 유지관리에 피드백 자료제공으로 유지관리 비용 절감에 기여
- ICT 기반의 상태평가 플랫폼 활용도를 높이고 시설물 안전·유지관리 분야에 스마트 워크를 선도함으로써 경기도 건설본부의 위상제고에 기여

# 제4장. 연구개발성과의 활용 계획 등

## 1. 사업화 계획

### 가. 생산 계획

| 구분 | | ( 2020 년) 개발 종료 후 1년 | ( 2021 년) 개발 종료 후 2년 | ( 2022 년) 개발 종료 후 3년 |
|---|---|---|---|---|
| 국내 | 시장점유율(%) | 1 % | 5 % | 10 % |
| | 판매량(단위: 개소) | 5 | 15 | 35 |
| | 판매 단가(원) | 50,000,000 | 50,000,000 | 50,000,000 |
| | 국내 매출액(백만원) | 250 | 750 | 1,750 |
| 해외 | 시장점유율(%) | - | - | - |
| | 판매량(단위:개소) | - | - | - |
| | 판매 단가(달러) | - | - | - |
| | 해외 매출액(백만달러) | - | - | - |
| 당사 생산 능력1) | | 50% | 80% | 100% |

### 나. 투자 계획

- 본 연구개발 성과물은 당사 인력과 자원으로 사업화할 예정으로, SW 개발 인력 보유 및 추후 사업화에 따라 필요 인력을 추가 고용할 계획이다.
- 본 플랫폼은 제3종시설물 뿐만 아니라 제1종시설물, 제2종시설물에도 사용될 수 있도록 지속적으로 사용성과 알고리즘을 업그레이드 할 계획이며, 안전점검 · 진단 점검자뿐만 아니라 관리자를 위한 추가적인 기능을 지속적으로 시스템 업그레이드 하여 사업영역을 확장해 나갈 계획이다.

(단위: 백만원)

| 항목 | | ( 2020 년) 개발 종료 후 1년 | ( 2021 년) 개발 종료 후 2년 | ( 2022 년) 개발 종료 후 3년 |
|---|---|---|---|---|
| 매출원가 | | 250 | 750 | 1,750 |
| 판매관리비 | | 20 | 100 | 200 |
| 자본적 지출 | 토지 | - | - | - |
| | 건물/구축물 | - | - | - |
| | 기계 장치 등 | 20 | 100 | 200 |
| 자본적 지출 합계 | | 20 | 100 | 200 |

## 2. 사업화 전략

| 구분 | 구체적인 내용 |
|---|---|
| 형태/규모 | ○ 상용화 형태 : 서비스, 용역<br>○ 수요처<br>• 지자체 및 공사 : 경기도, 서울시, 부산시, 한국도로공사 등<br>• 민자 고속도로 : 신공항하이웨이, 천안-논산고속도로 등<br>○ 예상 단가 : 50,000,000원 / 개소<br>○ 개발 투입 인력 및 기간<br>• 연구인력 4인을 투입하여 제품 상용화(개발 종료 후 2년 이내)<br>• 제품 상용화 성공 후 영업(5인), 생산(3인) 추가 투입으로 양산 개시 |
| 상용화 능력 및 자원 보유 | ○ 신사업 창출을 위한 대표이사의 의지<br>○ 안전진단 전문기가관 종합 면허 보유<br>○ 토목구조 전문가 보유<br>○ KOICA ODA 사업 참여 경험 및 해외 인적네트워크 보유 |
| 상용화 계획 및 일정 | ○ 개발 종료 후 1차년도(2020년)<br>• 연구개발 및 MOU를 맺은 경기도건설본부의 Test-bed 검증 후 사업 개시<br>• 당사 운영 안전진단 및 점검 용역에 적용 방안 모색<br>• 지자체, 공공기관 영업 및 홍보<br>○ 개발 종료 후 2차년도(2021년)<br>• 시공사 대상으로 DEMO 지원 등 홍보영업 전개<br>• 발주 공공기관 대상 집중 홍보<br>• 건설신기술 신청<br>• 국내, 해외 전시회 참여를 통한 홍보<br>○ 개발 종료 후 3차년도(2022년)<br>• 건설신기술 등록으로 품셈 등록<br>○ 개발 종료 후 4차년도(2023년)<br>• 추가연구개발 재투자로 지속적인 추가기능 탑재로 고객만족을 통한 매출증대<br>• 계속적인 국내, 해외 전시회 참여를 통한 홍보<br>• 인도네시아 인적네트워크와 KOICA 해외지원 사업으로 해외 시장 진출 모색<br>○ 개발 종료 후 5차년도(2024년)<br>• 향후 국내 내수 포화상태를 대비한 해외 시범사업 진행 |

# 3. 사업화 모형 제시

## 가. 사업화 모형 수립(BM) 배경

- 기존의 시설물점검 및 진단업무의 비효율성, 유지관리 관리자 및 점검자의 전문성 부족, 점검 후 기록, 보존에 대한 누락, 오류 등 시설물 상태평가의 문제점을 극복
- 소규모 공공시설물은 지자체의 예산 부족 및 관리 부실로 위험성이 증가 되며, 20년 이상의 시설물이 80% 이상 차지하여 시설물 노후화에 따른 위험성이 가중되고 있는 소규모 시설물을 효과적으로 관리 및 평가 필요

## 나. 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

- 본 기술개발의 목표솔루션은 서버 및 클라이언트 소프트웨어로 구성될 예정이며, 현장 확인을 위한 QR코드 및 모바일 디바이스가 제공될 예정이다. 이는 건축구조물 관리를 위한 자동화솔루션으로 구성되어, 작업자로 하여금 시간과 노력을 줄여주고 인력비용을 절감함으로써, 장기적인 운영효율성을 확보하고 경쟁력 있는 현장솔루션으로써 해당시장에서 자력 할 수 있도록 하는 것이다.
- 구조물 전체의 안전성 확인과 점검시간 단축 및 점검비용 감소를 경쟁력으로 하여 전자야장 플랫폼을 활용한 안전진단 서비스를 각 지자체와 구조물 관리주체에 수행하여 수익을 창출한다.
- 본 기술은 전기·전자·기계 등 과학기술분야의 기술발전에 따른 것으로 평가 방법을 획기적으로 개선하여 기존의 복잡하고 제한적이던 점검 방법을 간편하고 전체적으로 실시 가능하게 하여 안전성 확보와 점검비용 감소를 가능하게 하는 경쟁력을 갖는다.
- 특·장점 요약
  - 플랫폼기반의 솔루션구성으로 유연한 확장이 용이
  - 알고리즘 기반 평가로 빠른 즉각적인 정보확인 가능
  - 자체 캐드엔진으로 효율적인 야장관리
  - 현장에서 필요한 기능의 알고리즘 개발 및 업데이트 예정

## 다. 목표 시장 구조

(1) 경쟁 기업 현황

- 본 기술의 경쟁 기업은 기존 안전진단을 수행하는 전문기관이나 소규모 구조물의 관리주체가 플랫폼을 구축함으로서 인건비 절감과 점검의 신뢰성 향상으로 오히려 이익이 증가하게 될 것이다.

(2) 시장 진입 장벽

- 본 플랫폼의 안전진단 시장 진입에 있어 문제점은 기존의 안전진단 체계의 문제점으로 인해 플랫폼 구축 후 안전진단 및 점검시기에 다시 수행해야 한다는 점임.

이에 대한 해결책은 전자야장 보고서 형태의 OUTPUT을 제시함으로서 상태평가 부분에 대한 용역비를 절감 할 수 있을 것이다. 또한 실시간 유실감지 센서모듈을 통해 재해 발생 시 신속성과 간편성 및 신뢰성을 확보하여 시장을 확보하도록 할 것이다.

- ㈜다음기술단은 안전진단 전문기관으로 현재 안전진단 업무를 진행하고 있으며, 본 기술의 개발 필요성을 관련자로서 절실히 느끼고 있다. 본 기술이 개발되면 안전진단에 있어 점검 업무의 편리성과 신속성을 직접 적용하고 홍보하게 될 것이다.
- 또한, 제3종시설물 정기안전점검 시 실측도면 작성을 선택과업으로 지정하여 외관조사망도 작성이 필수사항은 아니지만, 현장조사 요령으로 정기안전점검표(체크리스트)에 균열발생 위치, 균열의 유형 및 현상(종류), 균열의 크기(폭, 길이 등), 균열의 진행 상황, 균열부위의 누수여부 등의 점검결과를 상세히 기록하도록 하고 있어, 이러한 내용을 기록하기 위해선 외관조사망도 작성은 제3종시설물 정기안전점검에 필수불가결하다.

### 라. 수익 확보 전략

(1) 주요 고객군

- 안전진단 전문기관 (2015년 기준 등록업체 763개사)
- 한국시설물안전진단협회 (2017년 기준 회원사 879개사)
- 한국시설안전공단
- 각 도로공사 및 지자체

(2) 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안

- 안전진단 전문기관에게 플랫폼 판매
- 안전진단 시에 안전성 평가 플랫폼을 이용한 효율적인 안전진단 서비스를 수행하여 수익 향상

## 4. 판매계획 및 전략

### 가. 연도별 판매계획

(단위: 백만원)

| 연 도 별 | | 2020년 | 2021년 | 2022년 | 2023년 | 2024년 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 제품 1 | 국내 | 250 | 750 | 1,750 | 2,750 | 4,000 |
| | 해외 | - | - | - | - | 350 |
| 합계 | | 2,270 | 2,771 | 3,772 | 4,773 | 6,024 |

(1) 1차년도(2020년) : 예상매출 250백만원

- 개발 및 테스트 이후 국내 지자체 시범 사업 적용
- 매출구분

| |
|---|
| - 플랫폼 구축 비용 =250백만원 (소교량 100개소) |

(2) 2차년도(2021년) : 예상매출 750백만원

- 현장 검증을 통한 점진적 수요 증가 예상
- 추가 업그레이드 및 현장 적용성 증대
- 매출구분

| |
|---|
| - 국내매출 : 750백만원<br>- 플랫폼 구축 비용 = 300백만원 x 2개 지자체<br>- 유지관리 비용 = 150백만원<br>- 누계매출 총액 : 1,000백만원 |

(3) 3차년도(2022년) : 예상매출 1,750백만원

- 현장 검증을 통한 품질 신뢰도 확보로 지속적인 판매 증가 예상
- 플랫폼 적용 대상 시설물 증가
- 해외시장 진출을 위한 플랫폼 보완
- 매출구분

| |
|---|
| - 국내매출 : 1,750백만원<br>- 플랫폼 구축 비용 = 500백만원 x 3개 지자체<br>- 유지관리 비용 = 250백만원<br>- 누계매출 총액 : 2,750백만원 |

(4) 4차년도(2023년) : 예상매출 2,750백만원

- 안정적 매출 증가 추이 예상
- 가격 경쟁력과 향상된 품질을 통한 매출증가
- 해외시장에 개척
- 매출구분

| |
|---|
| - 국내매출 : 2,750백만원<br>- 플랫폼 구축 비용 = 500백만원 x 4개 지자체<br>- 유지관리 비용 = 750백만원<br>- 누계매출 총액 : 5,500백만원 |

(5) 5차년도(2024년) : 예상매출 4,350백만원

- 소규모 시설물 유지관리에 대한 필수 시스템 인식확산으로 큰 폭의 매출 성장 예상
- 해외시장 시범사업 시작
- 매출구분

| |
|---|
| - 국내매출 : 4,000백만원<br>- 플랫폼 구축 비용 = 500백만원 x 5개 지자체원<br>- 유지관리 비용 = 1,500백만원<br>- 해외매출 (시범 구축 사업) : 350백만원<br>- 누계매출 총액 : 9,850백만원 |

## 나. 연도별 판매 마케팅 전략

- 관리주체(지자체), 안전진단 전문기관, 국토부, 한국시설안전공단, 유관기관과의 유기적인 협조체계 구축
- 주기적인 미팅을 통해 Client의 Needs 분석을 통해 지속적인 플랫폼 update 실시




- KOICA의 ODA 사업과 인도네시아 사업경험을 통한 해외 진출 방안 모색






(1) 1차년도(2020년)

- 연구개발 및 MOU를 맺은 경기도건설본부의 Test-bed 검증 후 사업 개시
- 당사 운영 안전진단 및 점검 용역에 적용 방안 모색
- 지자체 영업 및 홍보

(2) 2차년도(2021년)

- 동종 안전진단 전문기관 대상으로 DEMO 지원 등 홍보영업 전개
- 발주 공공기관 대상 집중 홍보 및 한국시설물 안전진단협회를 통한 홍보
- 국내, 해외 전시회 참여를 통한 홍보
- 한국건설기술연구원과 한국시설안전공단과 유기적인 협조로 BMS 및 FMS 연동 방안 모색

(3) 3차년도(2022년)

- 시장 확대로 인한 플랫폼 구축 및 유지관리 비용으로 지속적인 매출 증액 도모
- 해외시장 진출을 위한 플랫폼 보완

(4) 4차년도(2023년)

- 추가연구개발 재투자로 지속적인 추가기능 탑재로 고객만족을 통한 매출증대
- 고객 만족도를 높여 매출증대
- 계속적인 국내, 해외 전시회 참여를 통한 홍보
- 인도네시아 인적네트워크와 KOICA 해외지원 사업으로 해외 시장 진출 모색

(5) 5차년도(2024년)

- 향후 국내 내수 포화상태를 대비한 해외 시범사업 진행
- 사용 의무화 추진

# 5. 사전 준비성

## 가. 기술 연구개발 주도능력

- ㈜다음기술단은 시설물 안전점검·진단 전문기관, ㈜바인테크는 소프트웨어 및 H/W개발 전문기관, 한국건설기술연구원은 건설분야 기술을 선도하는 국책연구기관으로 조화로 최적의 기술개발 가능
- ㈜다음기술단 및 한국건설기술연구원은 다양한 안전점검·진단 기술 및 서비스 유형 보유

## 나. 상용화 경험 및 사업화 추진의지

- 발주기관, 고객사, 유관기관 등 다양한 인적 네트워크를 확보
- 시설물 안전점검·진단은 ㈜다음기술단의 사업영역으로 시스템을 적용하는데 최적의 조건을 가지고 있음
- 본 연구개발의 구성은 다양한 고객사와 기술개발 상용화 경험을 가지고 있음

## 다. 연구개발 및 기술 검증 전략

- 본 대상기술 SW를 실제 환경에서 구현하여 기술적 완성도에 대한 성능검증(GS인증)
- 과제 종료 후 사업화를 위해 건설신기술 인증 추진



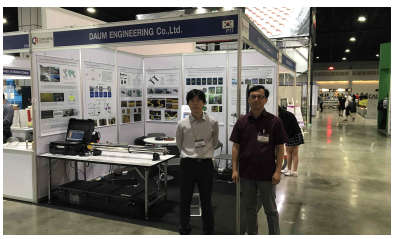

<GS 인증>




<신기술/신제품 인증>

## 라. 홍보실적

| No. | 참가시기 | 전 시 회 명 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 1 | 2018.09 | Concrete Asia in Bangkok | 기술홍보 |
| 2 | 2018.10 | 국토교통 해외기술로드쇼 | 기술홍보 |
| 3 | 2018.10 | Intertraffic Indonesia | 기술홍보 |
| 4 | 2018.11 | World of Concrete in SHANGHAI | 기술홍보 |
| 5 | 2019.01 | World of Concrete in LASVEGAS | 기술홍보 |
| 7 | 2019.11 | 스마트 건설기술안전 EXPO | 기술홍보 |




<Concrete Asia in Bangkok>



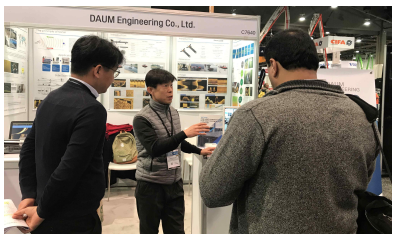

<국토교통 해외기술로드쇼>



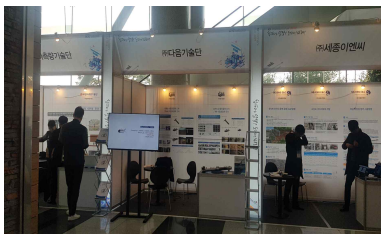
<Intertraffic Indonesia>




<World of Concrete in SHANGHAI>




<World of Concrete in LASVEGAS>



<스마트 건설기술안전 EXPO>

# 붙임. 참고 문헌


1. 강한모, 전귀현, 교량 유지관리 매뉴얼, 한국시설안전기술공단, 2002년 9월
2. 김영진, 진규남, 이상훈, 박선규, 윤정방, 박승희, 상시계측 시스템과 보수/보강 신기술에 의한 교량의 성능평가 및 유지관리기법 개발, 연구지원 2011-15호, 한국토지주택공사 토지주택연구원, 2011
3. 교량의 생애주기관리를 위한 전산시스템의 개발 (2016) 전산공학학회 Vol.29, No.1 pp.5~10
4. 박경훈, 선종완, 교량관리시스템과 연계된 실시간 교량 현장조사 프로그램 개발 (2015) 한국산학기술학회논문지, Vol.16 pp.7893~7901
5. 박병철, 홍수로 인한 교량 하부구조의 손상평가에 관한 기초연구, 소방방재청 국립방재연구소, 2004년 12월
6. 박 철, 정근순, 윤진용, 백영만, 정호섭, 사이드스캔소나를 이용한 교량 수중부의 안전점검, 2007년 대한토목학회 정기학술대회.
7. 시설물 효율적인 유지관리를 위한 전자보고서 작성시스템 개발 (2008) 한국시설안전공단
8. 소규모 유지·보수 시장의 정상화 방안 (2015) 시설물 저널
9. 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 건설교통부 안전정책과, 한국시설안전기술공단
10. 이호범 외. 이미지 분석기법을 이용한 콘크리트 구조물의 균열 검출 시스템 개발 (2012) 한국구조물진단유지관리공학회 논문집 제16권 제1호 pp.64~77
11. 이의호, 철근 콘크리트 교각의 수중보수방법의 문제와 대책, 대한토목학회지 제46권 제5호, 1998년 5월
12. 제3종시설물 안전등급 평가 매뉴얼, 한국시설안전공단, 2019.01
13. BIM기반 스마트 유지관리기술 도입방안 연구 (2012) 한국시설안전공단
14. SOC 시설물 성능평가기술 개발 기획 최종보고서 (2014) 국토교통과학기술진흥원
15. 2009 재해연보 소방방재청, 중앙재난안전대책본부, 2009
16. A statistical model for dynamic safety risk control on construction sites, Automation in Construction, 2016
17. An Evaluation of Indoor Location Determination Technologies, Journal of Location Based Services, 2011
18. Construction site safety roles, J.Constr. Eng. Manage, 2012
19. John Kattel, Merv Eriksson, Bridge Scour Evaluation : Screening, Analysis, & Countermeasures, USDA Forest Service San Dimas Technology and Development Center San Dimas, California, Septermber 1998
20. Real-time locating systems applications in construction, Automation in Construction, 2016
21. Stochastic state sequence model to predict construction site safety states through Real-Time Location Systems, Safety Science, 2016

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

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