18SCIP
-B06598
5-06

피해복구를위한 원스톱 수변구조물 통합관리기술 개발 최종보고서

2019

국토교통부 국토교통과학기술진흥원

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )발간등록번호()
건설기술연구사업 제6차 연도 최종보고서

R&D / 18SCIP-B065985-06

피해복구를 위한 원스톱 수변구조물 통합관리기술 개발 최종보고서

2019 . 07 . 23.

협동연구기관 / 한국철도기술연구원
공동연구기관 / (주)지구환경전문가그룹
공동연구기관 / (주)피씨엔
공동연구기관 / (주)티아이랩
공동연구기관 / (주)네이버시스템

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'피해복구를 위한 원스톱 수변구조물 통합관리기술 개발' (연구개발 기간 : 2013.06.01 ~ 2019.03.31) 과제의 최종보고서 3부를 제출합니다.

2019. 07. 23.

협동연구기관명 : 한국철도기술연구원 (대표자) 나희승 (인)

공동연구기관명 : (주)지구환경전문가그룹 (대표자) 한상재 (인)

공동연구기관명 : (주)피씨엔 (대표자) 송광헌 (인)

공동연구기관명 : (주)티아이랩 (대표자) 신진수 (인)

공동연구기관명 : (주)네이버시스템 (대표자) 임병조 (인)

협동연구기관책임자: 윤 혁 진
공동연구기관책임자: 한 상 재
공동연구기관책임자: 송 광 헌
공동연구기관책임자: 신 진 수
공동연구기관책임자: 장 휘 정

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>18SCIP-B065985-06</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2018.04.01 ~ 2019.03.31</td><td>단계구분</td><td>(6) / (6)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">건설기술연구사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">건설기술연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">재난 시나리오(태풍, 호우, 지진)기반 수변구조물 통합안전관리 기술 개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">피해복구를 위한 원스톱 수변구조물 통합관리기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">윤 혁 진</td><td>해당단계 참여연구원 수</td><td>총: 49명
내부: 49명
외부: 명</td><td>해당단계 연구비</td><td>정부:497,000천원
민간:165,670천원
정부외: 천원
상대국: 천원
계: 662,670천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여연구원 수</td><td>총: 99명
내부: 99명
외부: 명</td><td>총 연구비</td><td>정부:6,573,511천원
민간:2,191,814천원
정부외: 천원
상대국: 천원
계:8,765,325천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="3">한국철도기술연구원 자율주행제어연구팀</td><td colspan="2">참여기업명
㈜지구환경전문가그룹, ㈜피씨엔, ㈜네이버시스템, ㈜티아이랩</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명:</td><td colspan="2">연구책임자:</td></tr>
<tr><td colspan="6">※ 국내・외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의 보안등급 및 사유</td><td colspan="5">일반</td></tr>
</table>

9대 성과 등록・기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설・장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정보	생물자원	정보	실물
등록・기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설・장비 현황

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

<table>
<tr><td>○ 재난시나리오 기반 통합안전관리 플랫폼(연구단)과 연계하여, 재해발생시 수변구조물의 피해 상황을 신속하게 파악하고 분석하여 피해복구 의사결정을 수행하기 위한 체계적인 시스템을 구축하였음
○ 수변구조물의 피해상황을 신속하게 파악하기 위한 항공/지상 수변구조물 피해 영상정보 획득 시스템, 획득된 영상정보를 기반으로 피해정보를 분석하기 위한 다차원 피해정보 분석 및 지원 모듈, 복구 시나리오를 기반으로 피해복구 의사결정을 지원하기 위한 분산정보 공유형 피해복구 의사결정 지원 시스템을 개발하였음</td><td>보고서 면수

250쪽</td></tr>
</table>

요약문

연구의 목적 및 내용	○ 재난시나리오 기반 통합안전관리 플랫폼(연구단)과 연계하여, 재해발생시 수변구조물의 피해 상황을 신속하게 파악하고 분석하여 피해복구 의사결정을 수행하기 위한 체계적인 시스템을 구축하는데 그 최종적인 목표가 있음 - 수변구조물의 피해상황을 신속하게 파악하기 위한 항공/지상 피해영상정보 획득 기술, 획득된 영상정보를 기반으로 피해정보를 분석하기 위한 다차원 피해정보 분석시스템, 복구 시나리오를 기반으로 피해복구 의사결정을 지원하기 위한 기술 개발 ○ 피해복구를 위한 원스톱 수변구조물 통합관리기술 개발 - 분산정보 공유형 피해복구 의사결정 지원 시스템 개발 - 항공/지상 수변구조물 피해 영상정보 획득 시스템 개발 - 영상기반 다차원 피해정보 분석 및 지원 모듈 개발
연구개발성과	3-1. 분산정보 공유형 피해복구 의사결정 지원 시스템 개발 - 수변구조물 피해복구 의사결정 지원 시스템 설계 - 수변구조물 피해보고 및 복구지원을 위한 e-문서 개발 - 피해유형별 복구 시나리오 및 운용 프로세스 개발 - 복구지원 리소스 연계 복구 우선순위 도출 모듈 개발 - 피해복구 의사결정지원 시스템 구현 3-2. 항공/지상 수변구조물 피해 영상정보 획득 시스템 개발 - UAV기반 항공영상 취득 시스템 개발 - 피해영상정보 전송 및 표출 시스템 개발 - 수변구조물 항공영상 전처리(Pre-Processing) 모듈 개발 - 항공영상기반 지상영상 융합처리 모듈 개발 - 지상영상정보 획득장비 및 배치 효율화 기술 개발 3-3. 영상기반 다차원 피해정보 분석 및 지원 모듈 개발 - 실시간 피해정보 분석 시스템 설계 - Test Bed내 수변구조물 Reference 데이터 구축 - 실시간 피해정보 분석 파일럿 시스템 개발 - 피해복구를 위한 최적 접근루트 선정 모듈 개발 - 실시간 피해정보 분석 시스템 개발 - 실시간 피해정보 분석 시스템 실용성 평가 및 개선
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 현장적용방안 - K-Water 재난대응 안전한국훈련에 연구 내용이 포함되어 훈련이 수행되었으며, K-Water 수변구조물 통합안전관리센터에서 지속적으로 활용 예정 - 충주댐, 영천댐, 미호천철교를 대상으로 현장시연회를 개최하였으며, 수변구조물 관리기관(K-Water)의 피해복구 의사결정 체계로 활용 계획 - 항공 지상영상정보 획득 기술은 점검자의 접근이 어려운 댐, 보, 교량 등 수변구조물의 유지관리에 확대 적용 - 영상기반 피해정보 인식 및 분석시스템은 UAV 및 지상장비에서 획득된 영상을 GIS기반으로 자동으로 관리하고, 수변구조물의 3차원 형상을 기반으로 형상변화를 탐지하는 기술로 평상시에는 수변구조물의 유지관리, 재난시에는 피해분석에 활용 - 피해복구 의사결정 지원시스템은 Web 및 모바일로 접속이 가능하도록 구성되어 있어 현장에서

	즉각적인 대응 및 복구 의사결정에 활용 ○ 실용화·제품화 방안 - 기술이전이 4건 완료되어 개발된 기술의 제품화가 진행중이며, CIVIL EXPO, 세계 지반공학회 등에 시작품 전시, 기술상담, 홍보 플라이어 배포 등을 통하여 실용화 추진중 - 재난 상황에 대한 대응 및 복구를 위하여 스마트 피해복구 지원 시스템으로 통합하여 실용화 예정이며, 항공/지상 피해영상정보 획득 시스템, 다차원 피해정보 분석 및 지원 시스템, 피해복구 의사결정 지원 시스템으로 구성됨. 또한 각각 분리하여 개별 제품별로도 실용화 예정임 - 항공영상정보 획득시스템은 저고도 및 근접정밀영상 획득을 위한 UAV 탑재체, 이동형 지상국으로 구성되며 즉각적인 실용화 및 판매 가능 - 항공 영상정보 전처리 SW는 저고도 및 근접정밀영상의 외부표정요소를 실시간으로 자동 보정하기 위한 알고리즘을 탑재하여, 항공영상정보 획득시스템과 같이 제품화 - 피해정보 인식 및 분석시스템은 다중영상매칭 엔진, 객체기반 영상매칭 엔진을 탑재하고 있으며 수변구조물의 3차원 형상변화를 정량적으로 분석, 도출하는 솔루션으로 실용화 **○ 기대효과** **기술적 기대효과** - 재해피해 발생시 항공, 지상 피해영상정보 획득 및 분석을 통해 피해를 통합 분석하고, 피해복구 의사결정을 통한 재해의 유연하고 신속한 대처를 가능하게 하는 선진국형 시설물 안전관리 체계 구축 - 항공/지상영상 감시기술 적용을 통해 피해복구 의사결정지원의 고도화 실현 - 타 분야의 3차원 GIS 성과와 연계한 시너지 효과 도출 기반 마련 - 기존에 현장에 직접 나가 감시해오던 피해탐지를 자동인식 및 판단 기능으로 보완 **경제적 기대효과** - 피해상황 획득, 분석, 복구 의사결정 지원기술 개발을 통한 2차 피해예방 및 복구비용 절감 기대 - 중·저고도 영상정보처리 시장점유 기대 (국내 25% 점유시 약 77억원) **사회적 기대효과** - 국제사회의 재난안전 관련 분야의 국가위상 향상 - 재난 재해 대응을 위한 기술적 지원으로 안전한 생활환경 조성 - 빈발하고 있는 재난재해에 대한 신속한 복구관리체계 구축으로 국민 삶의 질 향상 - 신속한 피해상황 분석을 통한 복구활동 지원 및 재해복구 소요시간 단축

국문핵심어 (5개 이내)	재난	복구	의사결정	무인항공기	피해분석
영문핵심어 (5개 이내)	Disaster	Recovery	Decision Support	UAV	Damage analysis

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

< 목 차 >

제1장 연구개발과제의 개요 ····· 1
제1절 연구 필요성 ····· 1
제2절 연구개발 목표 ····· 2
제3절 연구개발 범위 ····· 4
1. 기술 구현 ····· 4
2. 인증 ····· 4
3. Test Bed 구축 및 모의훈련 수행 ····· 5
4. 홍보 ····· 5

제2장 연구 수행 내용 및 성과 ····· 7
제1절 분산정보 공유형 피해복구 의사결정 지원 시스템 ····· 7
1. 수변구조물 피해복구 의사결정 지원 시스템 설계 ····· 7
2. 수변구조물 피해보고 및 복구지원을 위한 e-문서 개발 ····· 18
3. 피해유형별 복구 시나리오 및 운용 프로세스 개발 ····· 29
4. 복구지원 리소스 연계 복구 우선순위 도출 모듈 개발 ····· 62
5. 피해복구 의사결정지원 시스템 구현 ····· 75
제2절 항공/지상 수변구조물 피해 영상 정보 획득 시스템 ····· 87
1. UAV기반 항공영상 취득 시스템 개발 ····· 87
2. 피해영상정보 전송 및 표출 시스템 개발 ····· 95
3. 수변구조물 항공영상 전처리(Pre-Processing) 모듈 개발 ····· 100
4. 항공영상기반 지상영상 융합처리 모듈 개발 ····· 124
5. 지상영상정보 획득장비 및 배치 효율화 기술 개발 ····· 134
제3절 영상기반 다차원 피해정보 분석 및 지원 모듈 ····· 142
1. 실시간 피해정보 분석 시스템 설계 ····· 142
2. Test Bed내 수변구조물 Reference 데이터 구축 ····· 153
3. 실시간 피해정보 분석 파일럿 시스템 개발 ····· 159
4. 피해복구를 위한 최적 접근루트 선정 모듈 개발 ····· 174
5. 실시간 피해정보 분석 시스템 개발 ····· 183
6. 실시간 피해정보분석 시스템 실용성 평가 및 개선 ····· 214
제4절 연구 개발 성과 ····· 227
1. 연구개발 핵심성과 ····· 227
2. 국내외 학술지 게재 ····· 228
3. 국내외 학술발표 ····· 230
4. 특허출원 및 등록 ····· 232
5. 기타성과 ····· 233
제5절 연구 결과 ····· 236
1. 기술적 성과 ····· 236

2. 경제적 성과 ····· 236

제3장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 237
제1절 연구개발 목표 및 달성도 ····· 237
제2절 관련분야 기여도 ····· 239
1. 기술적 측면 ····· 239
2. 사회·경제적 측면 ····· 240
3. 정책적 측면 ····· 240

제4장 연구개발성과의 활용 계획 등 ····· 241
제1절 연구개발 결과물 활용방안 ····· 241
1. 산업계 활용계획 ····· 241
2. 국가 정책 관련 활용계획 ····· 242
3. 연구개발 관련 활용계획 ····· 242
제2절 성과물 확대적용 방안 ····· 243

붙임. 참고문헌 ····· 244

표 목차

표 2.1.1 피해사례 및 유형조사를 위한 검토 도서 ····· 7
표 2.1.2 태풍, 호우 등에 의한 수변구조물 피해유형 및 사례 ····· 8
표 2.1.3 수변구조물별 피해 유형 ····· 9
표 2.1.4 수변구조물 재해피해 분류 코드 체계 ····· 10
표 2.1.5 피해복구 절차 분석 ····· 11
표 2.1.6 피해조사 및 복구계획 수립 체계 ····· 12
표 2.1.7 국가재난관리 업무기능 ····· 13
표 2.1.8 운용 시나리오 ····· 15
표 2.1.9 피해복구 지원 시스템 기능 설명 ····· 16
표 2.1.10 데이터 모델링을 통한 1차 개체 ····· 18
표 2.1.11 개념 모델링 설계 ····· 18
표 2.1.12 개체별 정규화 실행 ····· 19
표 2.1.13 피해항목 관리 모듈 기능 정의 ····· 20
표 2.1.14 피해항목 관리 프로그램 기능 명세서 ····· 20
표 2.1.15 피해정보 보고 기존 문서 분석 ····· 22
표 2.1.16 피해정보 e-문서 항목 도출 ····· 24
표 2.1.17 복구지원 요청 기존 문서 분석 ····· 25
표 2.1.18 복구지원 e-문서 항목 도출 ····· 26
표 2.1.19 e-문서 관리 프로그램의 기능 ····· 27
표 2.1.20 기존 복구계획과 피해복구 시나리오 기반 복구 계획의 차별성 ····· 29
표 2.1.21 피해복구 시나리오 작성 방법 및 내용 ····· 30
표 2.1.22 피해복구 시나리오에서의 긴급복구 기준(교량) ····· 31
표 2.1.23 피해복구 시나리오에서의 긴급복구 기준(제방) ····· 33
표 2.1.24 피해복구 시나리오에서의 긴급복구 기준(절토사면) ····· 35
표 2.1.25 피해복구 시나리오에서의 긴급복구 기준(옹벽) ····· 37
표 2.1.26 피해복구 시나리오에서의 긴급복구 기준(댐) ····· 39
표 2.1.27 피해복구 시나리오에서의 긴급복구 기준(보) ····· 41
표 2.1.28 피해유형에 따른 복구 공종 코드(조달청, http://pccs.g2b.go.kr/) ····· 43
표 2.1.29 긴급복구공법 선정 시나리오 ····· 44
표 2.1.30 자재, 장비, 노부, 공종 코드 DB Table 구축 현황 ····· 45
표 2.1.31 피해복구 시나리오 ProModel 시뮬레이션 결과표 ····· 47
표 2.1.32 피해복구 시나리오 사례검증 예시(교량, 제방, 사면, 옹벽, 댐, 보 등 총 53건 수행) ····· 48
표 2.1.33 피해복구 시나리오 사례검증 결과 ····· 49
표 2.1.34 피해복구 시나리오 현장검증 예시(교량, 제방, 사면, 옹벽, 댐, 보 등 총 136건 수행) ····· 50
표 2.1.35 피해복구 시나리오 현장검증 결과 ····· 50
표 2.1.36 복구 공종명 용어 적절성 검토 ····· 51
표 2.1.37 긴급복구 시나리오에서 도출된 공법의 신뢰성 검증 ····· 53
표 2.1.38 긴급 복구 실행계획 보고서 구성 ····· 54
표 2.1.39 피해유형별 연계 IoT 센서 ····· 56
표 2.1.40 현장 균열 분석사진 ····· 59
표 2.1.41 피해복구 시나리오 적용 ····· 61
표 2.1.42 현장 적용성 검토 결론 ····· 61
표 2.1.43 복구지원 리소스 범주 및 역할 ····· 62
표 2.1.44 1차 정보 관리 항목 ····· 63
표 2.1.45 각 항목의 점수할당 척도 ····· 64
표 2.1.46 군집 분석의 최종 산출물 (예시) ····· 65
표 2.1.47 PCA 분석을 통한 성분 도표 ····· 66

표 2.1.48 군집별 특성 ····· 67
표 2.1.49 할당 휴리스틱 ····· 69
표 2.1.50 알고리즘에 의한 대처가 가능한 돌발상황 대응 순서도 ····· 71
표 2.1.51 피해복구 의사결정지원 시스템 요구사항 ····· 75
표 2.1.52 기능 명세서 ····· 75
표 2.1.53 피해복구 공법, 자원, 업체 등 DB 입력 현황 ····· 80
표 2.1.54 복구 자원 리소를 위한 모바일 App ····· 84
표 2.1.55 현장 운용자를 위한 모바일 App ····· 85
표 2.1.56 상황관리자를 위한 모바일 App ····· 86
표 2.2.1 Sensor Control & Sync Module ····· 87
표 2.2.2 Data Storage & Communication Module ····· 88
표 2.2.3 단방향 및 스트립 방식의 고도별 정확도 비교 ····· 92
표 2.2.4 양방향 중복도에 따른 정확도 비교 ····· 93
표 2.2.5 30m 고도 3D 점군의 절대위치 정량 평가 ····· 93
표 2.2.6 공간해상도와 중복도에 따른 촬영 간격 ····· 100
표 2.2.7 데이터 개선 전, 후 비교 ····· 101
표 2.2.8 초기 외부표정요소와 조정된 외부표정요소의 차이에 대한 분석 ····· 109
표 2.2.9 지오레퍼런싱 전·후 공액점에 대한 잔차 분석 ····· 110
표 2.2.10 저고도 광학영상 데이터 셋 비교 ····· 114
표 2.2.11 저고도 광학영상 데이터 셋 처리 소요시간 비교 ····· 120
표 2.2.12 근접 정밀 영상 데이터 셋 비교 ····· 122
표 2.2.13 근접 89.3m 데이터 셋의 시스템 거리환산 후 외부표정요소에 대한 RMS 비교 ····· 123
표 2.2.14 근접 89.3m 데이터 셋의 시스템 지오레퍼런싱 전후 개선율 ····· 123
표 2.2.15 근접 93.3m 데이터 셋의 시스템 거리환산 후 외부표정요소에 대한 RMS 비교 ····· 123
표 2.2.16지상기준점을 활용하여 번들조정을 수행한 결과 검사점에 대한 정확도 ····· 127
표 2.2.17 지상기준점 없이 번들조정을 수행한 결과 검사점에 대한 정확도 ····· 127
표 2.2.18 기준 영상 융합처리 모듈의 검사점 정확도 검증 ····· 133
표 2.2.19 기준 영상 융합처리 모듈의 외부표정요소 정확도 검증 ····· 133
표 2.2.20 융합처리를 통해 개선된 지상 영상 외부표정요소의 정확도 검증 ····· 133
표 2.3.1 영상 판독이 가능한 수변구조물 피해유형 및 기준 ····· 142
표 2.3.2 피해정보 분석시스템의 모듈별 기능 정의(데이터 관점) ····· 143
표 2.3.3 실험을 통해 생성된 8단계 레벨별 타일영상 사양 ····· 146
표 2.3.4 UAV 테스트 영상 속성 ····· 149
표 2.3.5 영상 축소 비율에 따른 정합 성공률 및 처리시간 ····· 149
표 2.3.6 탐색 영역 크기에 따른 정합 성공률 및 처리시간 ····· 150
표 2.3.7 정사영상 검수표 ····· 154
표 2.3.8 항공라이다 원시자료 검수표 ····· 154
표 2.3.9 다차원 피해정보분석 시스템 요구기능정의 ····· 161
표 2.3.10 기능 관점의 시스템 모듈 구성 ····· 164
표 2.3.11 서버시스템 구성 소프트웨어 기능 ····· 170
표 2.3.12 서버시스템 아키텍처 요건 ····· 170
표 2.3.13 서버시스템 연계대상 정보 ····· 171
표 2.3.14 입출력 소프트웨어의 구성 및 주요 클래스 ····· 172
표 2.3.15 DB 표준화 및 명명규칙 ····· 172
표 2.3.16 최적경로탐색 모듈 구성을 위한 개발 함수(Library) 목록 ····· 178
표 2.3.17 재난 및 사고유형과 도로피해 ····· 180
표 2.3.18 자동피해분석 결과 ····· 184
표 2.3.19 측정기능 결과 ····· 184
표 2.3.20 영상피해탐지 결과 ····· 186
표 2.3.21 지상기준점 후처리 결과 ····· 189

표 2.3.22 모의시험편 정량적 분석 결과 ····· 192
표 2.3.23 피해현장 12개소 분석결과 ····· 195
표 2.3.24 근접영상 자동피해탐지 결과비교(면적) ····· 203
표 2.3.25 품질오차보정 관측결과(DSC00580) ····· 207
표 2.3.26 품질오차보정 보정결과(DSC00580) ····· 207
표 2.3.27 품질오차보정 관측결과(DSC00581) ····· 207
표 2.3.28 품질오차보정 보정결과(DSC00581) ····· 207
표 2.3.29 품질오차보정 검사점 ····· 208
표 2.3.30 검사점의 영상관측좌표 ····· 208
표 2.3.31 영상관측좌표로부터 계산된 3차원 지상좌표(공간전방교회방법 사용) ····· 209
표 2.3.32 검사점과 품질오차보정좌표의 오차 ····· 209
표 2.3.33 검사점을 이용한 품질오차보정의 통계정보 ····· 210
표 2.3.34 피해분석정보의 단면 표출 방법 구성 ····· 214
표 2.3.35 수직 영상과 reference data를 이용한 피해탐지 프로세스 정의서 ····· 218
표 2.3.36 수직 영상과 reference data를 이용한 피해탐지 프로세스 흐름도 ····· 218
표 2.3.37 피해 전/후 수직 영상을 이용한 피해탐지 프로세스 정의서 ····· 219
표 2.3.38 피해 전/후 수직 영상을 이용한 피해탐지 프로세스 흐름도 ····· 219
표 2.3.39 근접 영상과 reference data를 이용한 피해탐지 프로세스 정의서 ····· 220
표 2.3.40 근접 영상과 reference data를 이용한 피해탐지 프로세스 흐름도 ····· 220
표 2.3.41 영상 기반 피해탐지 프로세스 정의서 ····· 221
표 2.3.42 영상 기반 피해탐지 프로세스 흐름도 ····· 221
표 2.3.43 점 데이터 기반 피해탐지 프로세스 정의서 ····· 222
표 2.3.44 점 데이터 기반 피해탐지 프로세스 흐름도 ····· 222

그림 목차

그림 1.1.1 자연재해 피해 저감 수변구조물 재난 안전관리 체계필요성 ····· 1
그림 1.3.1 피해복구 의사결정 지원 시스템 소프트웨어시험인증 결과서 ····· 4
그림 1.3.2 통합 상황실내 3세부 시스템 구축 사진 ····· 5
그림 1.3.3 Test Bed 모의훈련 시나리오 및 전경 ····· 5
그림 1.3.4 홍보 플라이어 3종 ····· 6
그림 1.3.5 성과물 부스 전시 ····· 6
그림 1.3.6 기술 현장 시연 ····· 6
그림 2.1.1 검토 도서 ····· 7
그림 2.1.2 수재해에 의한 수변구조물 피해 사진 ····· 8
그림 2.1.3 하천에서 발생하는 대표적인 피해 유형 ····· 9
그림 2.1.4 국토교통부 건설정보분류체계 ····· 10
그림 2.1.5 수변구조물 재해피해 분류 코드 체계 구성 ····· 11
그림 2.1.6 피해복구 절차 내용 ····· 12
그림 2.1.7 수변구조물 피해복구 지원 프로세스 개념설계도 ····· 13
그림 2.1.8 통합안전관리플랫폼과 피해복구 지원시스템과의 연계도 ····· 14
그림 2.1.9 Test Bed대상 운용 개념도 ····· 15
그림 2.1.10 수변구조물 피해복구 지원 프로세스 기본설계도 ····· 16
그림 2.1.11 수변구조물 피해복구 지원 시스템 물리설계도 ····· 17
그림 2.1.12 요구사항 정의체계 ····· 18
그림 2.1.13 테이블 목록 정의서 및 테이블 정의서 ····· 19
그림 2.1.14 피해항목 관리 데이터베이스 설계 및 명세서 ····· 21
그림 2.1.15 2차 피해항목 관리 UI 구현 ····· 21
그림 2.1.16 XML전자문서개발지침을 따른 피해정보 e-문서 설계 절차 ····· 24
그림 2.1.17 피해정보 e-문서 스키마 및 생성된 피해제보 및 피해상황보고 문서 ····· 25
그림 2.1.18 복구지원 e-문서 스키마 및 생성된 복구지원요청 문서들 ····· 26
그림 2.1.19 피해발생 상황보고 및 피해제보 모바일 UI 화면 ····· 27
그림 2.1.20 e-문서 관리 모듈 UI ····· 28
그림 2.1.21 복구지원 리소스 요청 모듈 UI 6종 ····· 28
그림 2.1.22 피해복구 의사결정 지원 시스템 소프트웨어시험인증 결과서 ····· 28
그림 2.1.23 교량의 피해복구 시나리오 ····· 31
그림 2.1.24 제방의 피해복구 시나리오 ····· 33
그림 2.1.25 사면의 피해복구 시나리오 ····· 35
그림 2.1.26 옹벽의 피해복구 시나리오 ····· 37
그림 2.1.27 댐의 피해복구 시나리오 ····· 39
그림 2.1.28 보의 피해복구 시나리오 ····· 41
그림 2.1.29 복구공법 자동화 프로세스 ····· 44
그림 2.1.30 ProModel 검증방법 ····· 46
그림 2.1.31 시나리오별 ProModel 시뮬레이션 구동화면 ····· 46
그림 2.1.32 긴급복구공법 신뢰성 검토 ····· 52
그림 2.1.33 통합 현장 의견을 통한 설계서 작성 ····· 54
그림 2.1.34 긴급복구 공법 자동선택 프로세스 ····· 55
그림 2.1.35 IoT 센서 플랫폼 디바이스 케이스 3D 설계도 ····· 56
그림 2.1.36 IoT 센서 플랫폼 제작 케이스 ····· 57
그림 2.1.37 IoT 센서 플랫폼 테스트베드 현장 위치 및 전경 ····· 57
그림 2.1.38 IoT 센서 플랫폼 설치 전경 ····· 57
그림 2.1.39 IoT 센서 운영관리 프로그램 ····· 57

그림 2.1.40 IoT 센서 스마트폰 앱 ····· 58
그림 2.1.41 균열 측정 및 이력관리 툴 사용 시나리오 ····· 58
그림 2.1.42 균열 측정 툴 실내테스트 화면 ····· 59
그림 2.1.43 현장 균열 측정 툴 전경 ····· 59
그림 2.1.44 균열 이력관리 프로그램 메인화면 ····· 60
그림 2.1.45 균열 영상 측정 데이터베이스 ····· 60
그림 2.1.46 피해복구 시나리오 적용 ····· 61
그림 2.1.47 복구지원 리소스 투입 우선순위 도출 프로세스 ····· 62
그림 2.1.48 피해복구 지원 리소스의 예시 ····· 62
그림 2.1.49 피해복구 지원 리소스 분류 알고리즘 순서 ····· 63
그림 2.1.50 정적 정보와 동적 정보의 분류 ····· 64
그림 2.1.51 PCA 방법론 적용 예시 ····· 65
그림 2.1.52 복구지원 리소스 데이터 세트 ····· 66
그림 2.1.53 복구지원 리소스 평가의 절차 ····· 67
그림 2.1.54 복구지원 리소스 할당 알고리즘의 작동 개요 ····· 68
그림 2.1.55 리소스 할당 알고리즘의 결과 예시 ····· 68
그림 2.1.56 할당 알고리즘의 절차 ····· 69
그림 2.1.57 Tabu Search 알고리즘의 절차 ····· 70
그림 2.1.58 최적 해와 금지 목록 갱신의 개요 ····· 70
그림 2.1.59 재해 복구 시 돌발 상황의 상세 분류도 ····· 71
그림 2.1.60 돌발상황 대응 매뉴얼 예시 ····· 72
그림 2.1.61 재해 발생 전, 복구지원 리소스 정보 관리 프로세스 ····· 72
그림 2.1.62 재해 발생 후, 복구지원 리소스 현황 모니터링 프로세스 ····· 73
그림 2.1.63 복구지원 리소스 행동 인지 모델 ····· 73
그림 2.1.64 굴삭기 팔(ARM) 및 운전석 부착 실험 전경 ····· 74
그림 2.1.65 굴삭기 팔에 부착 시 각 행동에 대한 실험 결과 ····· 74
그림 2.1.66 피해복구 의사결정지원 시스템 구성도 ····· 76
그림 2.1.67 피해 현황 선택 및 피해 등록 ····· 77
그림 2.1.68 관리수변구조물 조회 ····· 77
그림 2.1.69 수변구조물 피해보고 e-문서 연계 ····· 78
그림 2.1.70 지상영상정보 관리 모듈 ····· 78
그림 2.1.71 피해상황 분석 모듈 ····· 79
그림 2.1.72 복구공법 도출 모듈 ····· 79
그림 2.1.73 복구지원 리소스 도출 및 평가 ····· 80
그림 2.1.74 복구지원 리소스 최적화 할당 모듈 ····· 81
그림 2.1.75 피해복구 실행계획(안) 도출 모듈 ····· 81
그림 2.1.76 피해복구 실행관리 모듈 ····· 82
그림 2.1.77 FMRES와 현장 지원시스템과의 연계 ····· 83
그림 2.1.78 현장 상황에 따른 FMRES 프로세스 변화 시나리오 ····· 83
그림 2.1.79 피해현장 및 상황실간 시스템 및 모바일 앱 시퀀스 다이어그램 ····· 84
그림 2.2.1 항공영상 취득시스템 구성도 ····· 87
그림 2.2.2 저고도 항공영상 취득용 UAV 탑재체 ····· 88
그림 2.2.3 멀티센서 데이터 동기화 시스템 성능검증 ····· 89
그림 2.2.4 근접정밀 항공영상 취득용 UAV 탑재체 ····· 89
그림 2.2.5 UAV에 탑재된 근접정밀영상 취득 시스템 ····· 90
그림 2.2.6 여주(TB)의 교량 피해 항공영상 데이터 ····· 90
그림 2.2.7 여주(TB)의 제방피해 항공영상 데이터 ····· 91
그림 2.2.8 대구 강정고령보 항공 영상취득 ····· 91
그림 2.2.9 대구 강정고령보 3차원 영상 ····· 91
그림 2.2.10 단방향 촬영에 따른 고도별(130m, 100m, 70m) 정밀 지도 결과 비교 ····· 92

그림 2.2.11 스트립 촬영에 따른 고도별(130m, 100m, 70m) 정밀 지도 결과 비교 ····· 92
그림 2.2.12 양방향 촬영에 따른 고도별(130m, 100m, 70m) 정밀 지도 결과 비교 ····· 93
그림 2.2.13 안테나 배치를 고려한 통신모듈 위치 ····· 94
그림 2.2.14 UAV 탑재체 시작품 ····· 94
그림 2.2.15 이동형 관제 시스템 ····· 95
그림 2.2.16 수변구조물이 고려되지 않은 일반적인 계획 루트 ····· 96
그림 2.2.17 3차원 수변구조물을 고려한 계획 루트 ····· 96
그림 2.2.18 분할된 웨이포인트 ····· 96
그림 2.2.19 자동모드로 순차 비행을 시작한 무인기들 ····· 97
그림 2.2.20 LTE와 WiFi를 이용한 이동형 관제시스템 통신 구성 ····· 97
그림 2.2.21 이동형 관제시스템의 원통형 WiFi 안테나 ····· 98
그림 2.2.22 고정형 지상국 서버 ····· 98
그림 2.2.23 고정형지상국 SW ····· 99
그림 2.2.24 누적된 영상의 위치와 이미지 리스트 ····· 99
그림 2.2.25 위치마크를 클릭시 해당 영상 표출 ····· 99
그림 2.2.26 품질 검사/개선 모듈 구성도 ····· 101
그림 2.2.27 영상 매칭 알고리즘의 순서도 ····· 102
그림 2.2.28 특징점으로부터 공액점 추정 원리 ····· 103
그림 2.2.29 영상 매칭 모듈 구조 ····· 103
그림 2.2.30 영상 매칭 처리 ····· 104
그림 2.2.31 출력된 공액점 텍스트 파일 ····· 104
그림 2.2.32 추출된 공액점 비교 ····· 105
그림 2.2.33 추출된 공액점의 미스매치 ····· 105
그림 2.2.34 번들 블록 조정의 원리 ····· 106
그림 2.2.35 번들 블록 조정 알고리즘의 순서도 ····· 107
그림 2.2.36 영상 지오레퍼런싱 모듈 구조 ····· 107
그림 2.2.37 영상 지오레퍼런싱 처리 ····· 108
그림 2.2.38 출력된 요약 텍스트 파일 ····· 108
그림 2.2.39 초기 지상점(좌)과 조정된 지상점(우) 텍스트 파일 ····· 109
그림 2.2.40 공액점의 초기 잔차 ····· 110
그림 2.2.41 공액점의 조정후 잔차 ····· 110
그림 2.2.42 미분 편위 수정의 원리 ····· 111
그림 2.2.43 영상 재배열(nearest neighbor)의 원리 ····· 112
그림 2.2.44 정사보정 모듈 구성도 ····· 112
그림 2.2.45 Google Earth의 정사영상(좌)과 Daum Map의 정사영상(우) ····· 113
그림 2.2.46 Daum Map의 정사영상(좌)과 개발 소프트웨어로 생성된 정사영상(우)의 비교 ····· 113
그림 2.2.47 생성된 정사영상 샘플 ····· 113
그림 2.2.48 저고도 항공 광학영상 전처리 소프트웨어 흐름도 ····· 114
그림 2.2.49 강정고령보의 지상 기준점 측량 모습 ····· 115
그림 2.2.50 강정고령보 지상 기준점의 위치 ····· 115
그림 2.2.51 사문진교 지상 기준점의 위치 ····· 115
그림 2.2.52 강정고령보1의 영상 매칭 ····· 116
그림 2.2.53 강정고령보1의 영상 매칭 결과 추출된 공액점 비교 ····· 116
그림 2.2.54 강정고령보1의 미스 매치된 공액점 ····· 117
그림 2.2.55 강정고령보1의 영상 지오레퍼런싱 처리 ····· 117
그림 2.2.56 강정고령보1의 원시영상(좌)와 정사영상(우)의 비교 ····· 118
그림 2.2.57 Daum Map과 개발된 소프트웨어로 생성된 정사영상의 비교 ····· 118
그림 2.2.58 강정고령보1의 정사영상 샘플 ····· 119
그림 2.2.59 사문진교의 영상 매칭 결과 추출된 공액점 비교 ····· 119
그림 2.2.60 사문진교의 원시영상(좌)와 정사영상(우)의 비교 ····· 120

그림 2.2.61 사문진교의 정사영상 샘플 ····· 120
그림 2.2.62 근접 정밀 영상 전처리 소프트웨어 과정별 상세 설계 ····· 121
그림 2.2.63 기하보정 개념도 ····· 121
그림 2.2.64 지오레퍼런싱된 외부표정요소 ····· 122
그림 2.2.65 UAV에서 취득된 원시영상과 개별 정사영상 ····· 122
그림 2.2.66 근접 93.3m 영상의 정사영상 샘플 ····· 123
그림 2.2.67 기준 영상 기반 융합처리 모듈 구성도 ····· 124
그림 2.2.68 기준 영상의 예시 ····· 125
그림 2.2.69 강정고령보 지상기준점 분포 ····· 125
그림 2.2.70 잘못 결정된 지상 영상의 외부표정요소와 미스매치된 점 ····· 126
그림 2.2.71 수동으로 설정한 기준 영상과 지상 영상의 공액점 ····· 126
그림 2.2.72 번들 조정 수행 후 획득된 지상 영상의 외부표정요소(위에서 바라보았을 때) ····· 127
그림 2.2.73 번들 조정 수행 후 획득된 지상 영상의 외부표정요소(측면에서 바라보았을 때) ····· 127
그림 2.2.74 영상정보 레지스트레이션 모듈 개념도 ····· 128
그림 2.2.75 영상정보 레지스트레이션 모듈 구성도 ····· 128
그림 2.2.76 영상정보 레지스트레이션 모듈 설계도 ····· 129
그림 2.2.77 대상 객체면을 정의하기 위한 점과 투영된 지상 영상의 점과의 관계 ····· 130
그림 2.2.78 체면 좌표계에서 투영된 지상 영상과 투영된 영상의 범위 ····· 130
그림 2.2.79 기하보정된 지상 영상 ····· 131
그림 2.2.80 지상 영상과 대상 객체면과 기하보정 결과 ····· 131
그림 2.2.81 기준 영상 기반 융합처리 모듈 검증 구성도 ····· 132
그림 2.2.82 영상정보 레지스트레이션 모듈 검증 구성도 ····· 132
그림 2.2.83 기하보정 영상에서 측정할 대상 지점 ····· 133
그림 2.2.84 구현된 지상 영상 획득 시스템 ····· 134
그림 2.2.85 지상영상 개선 알고리즘(a)안개영상, (b) 빗방울 영상 ····· 134
그림 2.2.86 지상영상 개선 전후 비교 (a)안개영상, (b) 빗방울 영상 ····· 135
그림 2.2.87 피해 의심 지역 표출 구현 결과 ····· 135
그림 2.2.88 좌표 획득 오차 ····· 136
그림 2.2.89 실외 좌측, 우측 카메라 촬영 이미지 ····· 136
그림 2.2.90 강정고령보 및 사문진교 일대 지상영상 획득장비 위치 ····· 137
그림 2.2.91 지상영상 획득장비의 효율적 배치를 위한 SW ····· 137
그림 2.2.92 지상영상 획득장비에 따른 커버리지 표현 ····· 138
그림 2.2.93 지상영상 획득장비 배치 표출 모듈 웹 페이지 구성 ····· 138
그림 2.2.94 지상영상 획득장비의 영상 보정 ····· 139
그림 2.2.95 영상 Stitching ····· 139
그림 2.2.96 피해의심상황 검지 기법 ····· 139
그림 2.2.97 9개 채널로 분할(RGB, CIELUV, HSI)하여 Input layer 사용 ····· 140
그림 2.2.98 범람에 따른 경계면의 이동 예시 ····· 140
그림 2.2.99 수변구조물 지상영상 획득 시스템 ····· 141
그림 2.2.100 수변 구조물 지상영상 획득 시스템 성능 검증 결과 ····· 141
그림 2.2.101 수변 구조물 지상영상 획득 시스템 현장적용 사진 ····· 141
그림 2.3.1 다차원 피해정보분석 시스템의 모듈별 데이터 연계 정의 ····· 144
그림 2.3.2 대용량 다차원 데이터 가시화 플랫폼(엔진) 구성도 ····· 145
그림 2.3.3 대용량 영상 가시화 모듈 흐름도 ····· 146
그림 2.3.4 대용량 영상 데이터 가시화 모듈(뷰어) ····· 147
그림 2.3.5 대용량 3차원 지형 가시화 모듈(뷰어): 지형 화면도시 결과 ····· 147
그림 2.3.6 대용량 3차원 수변구조물 가시화 모듈(뷰어) : 강정고령보 3D 모델 도시 ····· 148
그림 2.3.7 알고리즘 별 DSM 생성 결과 테스트 ····· 148
그림 2.3.8 UAV 영상 샘플 ····· 149
그림 2.3.9 테스트영상과 2배 축소된 DSM 생성결과 ····· 150

그림 2.3.10 다중영상정합 기법 ····· 151
그림 2.3.11 개별 스테레오 영상 처리결과 (해상도 : 12.5cm, Interpolation/TIN 구성 이전) ····· 151
그림 2.3.12 생성된 DSM (총 사용영상:38장, 해상도:12,5cm) ····· 151
그림 2.3.13 수동 공액점으로 EO값을 수정한 Pair 처리결과 ····· 152
그림 2.3.14 일반 카메라 영상을 활용한 정합결과 ····· 152
그림 2.3.15 항공사진측량 공정 ····· 153
그림 2.3.16 테스트베드 지역 정상영상 성과물 ····· 153
그림 2.3.17 테스트베드 지역의 DSM과 음영기복도 ····· 154
그림 2.3.18 수변구조물 정밀 3차원 데이터 구축 프로세스 ····· 156
그림 2.3.19 지상라이다 데이터 구축 성과물 ····· 156
그림 2.3.20 설계도면 기반 수변구조물 모델링(강정고령보) ····· 157
그림 2.3.21 지상라이다와 설계도면을 활용한 모델정확도 확보 ····· 157
그림 2.3.22 현장사진을 활용한 테스트베드 텍스처링 ····· 158
그림 2.3.23 정밀 3D 수변구조물 데이터 제작 성과(강정고령보) ····· 158
그림 2.3.24 다중영상매칭과 상용 S/W 결과 비교 (다중영상매칭 - 흰색, PhotoScan 결과 - 녹색) ····· 159
그림 2.3.25 다중영상매칭과 참조데이터 비교 (다중영상매칭 - 흰색, 참조데이터 - 노란색) ····· 160
그림 2.3.26 객체기반매칭 프로세스 ····· 161
그림 2.3.27 자동 피해정보분석 프로세스 ····· 163
그림 2.3.28 사용자 개입이 포함된 피해정보분석 프로세스 ····· 164
그림 2.3.29 다차원 피해정보분석 시스템 아키텍처 ····· 164
그림 2.3.30 다차원 피해정보 분석 시스템 모듈 구조 ····· 165
그림 2.3.31 피해정보 관리 모듈 화면설계 ····· 165
그림 2.3.32 점군기반 피해정보 추출 모듈 화면설계 ····· 166
그림 2.3.33 점군기반 피해정보 추출 프로세스 ····· 166
그림 2.3.34 점군기반 피해정보 추출 결과(좌:피해 추출 전, 우:피해 추출 후) ····· 166
그림 2.3.35 영상기반 피해정보 추출 모듈 화면설계 ····· 166
그림 2.3.36 영상기반 피해정보 추출 프로세스 ····· 167
그림 2.3.37 파일럿시스템 메인 화면 ····· 167
그림 2.3.38 촬영 영상들의 입력 및 기능구성 화면 ····· 167
그림 2.3.39 점군기반 피해정보 추출모듈 기능구성 화면 ····· 168
그림 2.3.40 영상기반 피해정보 추출모듈 기능구성 화면 ····· 168
그림 2.3.41 객체기반매칭 모듈 기능구성 화면 ····· 168
그림 2.3.42 다차원 피해정보분석 통합시스템 구성 ····· 169
그림 2.3.43 서버시스템 설계 구성도 ····· 170
그림 2.3.44 서버 데이터 연계 흐름도 설계 ····· 171
그림 2.3.45 데이터베이스 ERD ····· 173
그림 2.3.46 서버시스템 데이터검색 속도 실험 ····· 173
그림 2.3.47 최적접근경로 탐색 프로세스 ····· 174
그림 2.3.48 네트워크 데이터 ····· 175
그림 2.3.49 A* search algorithm 경로탐색 과정(출처: http://withmule.tistory.com/13) ····· 176
그림 2.3.50 최적접근경로 알고리즘 테스트프로그램 구현 ····· 176
그림 2.3.51 경로탐색 기준 별 UI 및 실험결과 ····· 177
그림 2.3.52 최적접근루트 탐색 프로세스 ····· 178
그림 2.3.53 네트워크 데이터 ····· 181
그림 2.3.54 최적접근루트 탐색 실험결과(대구공업고등학교→강정고령보) ····· 181
그림 2.3.55 최적접근루트 탐색 실험결과(들안길초등학교→사문진교) ····· 182
그림 2.3.56 자동피해탐지 단계 ····· 183
그림 2.3.57 피해포인트 탐지 방법 ····· 183
그림 2.3.58 피해포인트 그룹화 과정 ····· 183
그림 2.3.59 자동피해분석 결과 화면 ····· 184

그림 2.3.60 측정 기능 테스트 화면(좌: 피해위치, 우: 측정기능 테스트화면) ····· 185
그림 2.3.61 영상피해탐지 단계 ····· 185
그림 2.3.62 영상탐지결과 화면(좌: 피해위치, 우: 피해탐지화면) ····· 185
그림 2.3.63 피해정보 보고서 출력 화면 ····· 186
그림 2.3.64 현장검증을 위한 모의시험편 제작 ····· 187
그림 2.3.65 교량 모의시험편의 형상변화 설계도 ····· 187
그림 2.3.66 제방 모의시험편의 형상변화 설계도 ····· 187
그림 2.3.67 모의시험편 UAV 영상 샘플 ····· 188
그림 2.3.68 모의시험편 매칭결과 (형상변화 전/후) ····· 189
그림 2.3.69 교량 모의시험편 피해탐지 결과 ····· 190
그림 2.3.70 제방 모의시험편 피해탐지 결과 ····· 191
그림 2.3.71 모의시험편 정량적 분석 실험 ····· 191
그림 2.3.72 피해현장 12개소 물량 산정 ····· 192
그림 2.3.73 촬영 DB의 서버 전송을 위한 연계모듈 ····· 195
그림 2.3.74 근접영상 처리 모듈의 메인화면 ····· 196
그림 2.3.75 UAV 촬영 시점 변경 화면(좌: 자유시점, 우:촬영시점) ····· 197
그림 2.3.76 측면자동피해탐지 실행 화면 ····· 197
그림 2.3.77 수직영상 기반 프로세스 ····· 198
그림 2.3.78 근접영상 기반 프로세스 ····· 198
그림 2.3.79 근접영상의 3차원 좌표 계산방법 ····· 198
그림 2.3.80 근접영상의 Footprint 표출방법 ····· 199
그림 2.3.81 강정고령보 근접데이터의 Footprint 표출 ····· 199
그림 2.3.82 근접영상 기반의 수동측정 ····· 200
그림 2.3.83 근접영상 기반 측정모듈 ····· 200
그림 2.3.84 근접영상 입력을 위한 프로젝트 화면 ····· 201
그림 2.3.85 근접영상데이터의 자동피해탐지 프로세스 ····· 201
그림 2.3.86 피해포인트 탐지 방법 ····· 202
그림 2.3.87 피해포인트의 그룹화 방법 ····· 202
그림 2.3.88 근접영상 피해에 대한 수동측정 결과(강정고령보) ····· 203
그림 2.3.89 근접영상 피해의 자동피해탐지 결과(강정고령보) ····· 203
그림 2.3.90 매칭데이터의 노이즈와 수변구조물 안쪽의 불필요 데이터 ····· 204
그림 2.3.91 포인트 기반의 근접영상 측정결과 ····· 204
그림 2.3.92 품질정확도 검증모듈 메인화면 ····· 205
그림 2.3.93 품질정확도 보정전/후 외부표정요소를 이용한 Footprint 도시화면 ····· 205
그림 2.3.94 품질정확도 검증모듈 – 검사점 비교 화면 ····· 206
그림 2.3.95 영상품질 오차 보정 프로세스 ····· 206
그림 2.3.96 강정고령보 품질 오차보정에 사용된 영상(DSC00580, DSC00581) ····· 206
그림 2.3.97 품질오차보정 보정결과(영상/모델 중복도시) - 보정전(좌), 후(우) ····· 207
그림 2.3.98 품질오차보정 보정결과(영상/모델 중복도시) - 보정전(좌), 보정후(우) ····· 208
그림 2.3.99 검사점 비교를 통한 정확도 검증 프로세스 ····· 208
그림 2.3.100 검사점의 공간전방교회를 이용한 3차원 좌표 결정 결과 ····· 209
그림 2.3.101 보정 전/후 UAV 영상과 모델데이터의 중첩 기능 ····· 210
그림 2.3.102 카메라위치와 자세정보 가시화 모듈 ····· 211
그림 2.3.103 현장데이터의 3D 매칭 데이터 ····· 211
그림 2.3.104 현장데이터 탈락 지점 거리측정 결과 ····· 212
그림 2.3.105 탈락 영역의 3D 기반 길이 측정 ····· 212
그림 2.3.106 탈락 영역이 2D 기반 면적 측정 ····· 213
그림 2.3.107 균열영역의 근접영상 분석 ····· 213
그림 2.3.108 피해분석정보의 3차원 단면 표출 방법 화면 ····· 214
그림 2.3.109 피해분석정보의 3차원 단면 표출 방법 화면 ····· 214

그림 2.3.110 단면분석 영역 생성 프로세스 ····· 214
그림 2.3.111 단면분석 영역 생성 방법 ····· 215
그림 2.3.112 3차원 단면분석의 길이 측정 결과 ····· 215
그림 2.3.113 3차원 단면분석의 배부름 현상 측정 결과 ····· 216
그림 2.3.114 2차원 단면분석 결과(구간 분할: 30) ····· 216
그림 2.3.115 실시간 피해정보 분석 시스템의 운용 시나리오 ····· 216
그림 2.3.116 수직 영상을 이용한 정사영상 제작 프로세스 ····· 224
그림 2.3.117 다양한 방향에서 촬영한 영상 통합처리 프로세스(1) ····· 225
그림 2.3.118 다양한 방향에서 촬영한 영상 통합처리 프로세스(2) ····· 225
그림 2.3.119 UAV 영상과 수변구조물 BIM을 이용한 수변구조물 점검 프로세스 ····· 226

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구 필요성

우리나라 기후변화는 전 지구 평균보다 빠르게 진행되고 있으며, 기온 및 강수량이 해마다 증가하여 자연재난 위험이 상존하고 있다. 시설물의 노후화・고층화・대형화로 인한 위험요인이 증가하고 있고, 국내 재난환경은 더욱 악화되고 있는 반면, 재난관리 국가경쟁력은 OECD 국가 중 하위권 (25위/34개국, 2014) 수준이다. 이에 따라 범정부 차원에서 지진방재 개선대책을 마련하였다. 지진방재 개선대책은 실제상황에서 작동하는 지진방재체계 구축을 목표로 재정 여건상 막대한 재원을 일시에 투자할 수 없는 점을 고려, 예산소요 사업은 합리적인 투자방향을 설정하여 순차적으로 추진하고, 가시적 성과 달성이 가능한 매뉴얼 및 대응체계는 조속히 시행한다는 정책이 마련되었다. 각종 재난 및 사고로부터 국민의 생명・신체・재산을 보호하기 위하여 국가의 재난 및 안전관리의 기본방향을 설정하는 최상위 계획인 국가안전관리기본계획('15~'19년)도 제정되었다. 자연 및 사회재난, 재난관리에 대한 사항을 정리하고 있으며, 국가가 국민의 안전을 위한 국가 및 기관의 책무를 정의하고 있다.

경주시에서 발생한 규모 5.8의 강진('16.09.02)으로 많은 피해가 발생하였으며 국민들의 안전에 대한 불안감 증가함으로 대형 SOC 구조물에 대한 안전 관리기술에 관한 연구 필요성이 대두되었다. 국내에서 대형 SOC 구조물의 경우 시설물 중요성에도 불구하고 자연재해에 대한 취약도 평가에 관한 연구사례가 많지 않으며 그 중 대다수가 원전 구조물, 교량, 매설관로 등에 집중되어 있고 수변 구조물의 경우 전무하다고 할 수 있다.

UAV를 활용한 수변구조물 재난재해 감시 및 분석 기술은 과학적・체계적 재난관리 시대를 앞당길 수 있는 중요한 분야이다. 무인비행체를 기반으로 접근성 취약 시설물, 태풍・산사태・지진 등 자연재해지역등을 정밀 3D좌표로 지형, 면적, 부피, 물량, 유체해석 등의 결과물을 도출해 국방・해양・국토관리 등 지형감시분야 지형정보 생성, 자연재해 환경감시예측시스템, 공간정보연계 도시정보유지관리 등 다양한 분야에 활용이 가능하다.

무인비행체 관련 산업은 2013년 7조원에서 매년 1조6000억원씩 성장해 2023년에는 13조원 규모로 성장할 것으로 예상되며, UAV를 활용한 재난재해 감시사업은 신속한 피해상황 획득 및 분석을 통해 재해에 의한 2차 피해를 예방할 수 있는 중요한 사업이다. 공간정보와 무인비행체(UAV)・IT 등 다양한 결합을 통해 수변구조물 등 SOC 시설물 재난대응 및 복구 분야의 신산업이 창출될 수 있는 기반 마련이 시급하다.

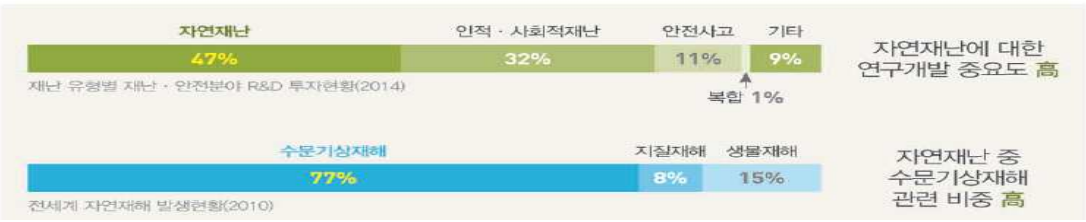


그림 1.1.1 자연재해 피해 저감 수변구조물 재난 안전관리 체계필요성

제2절 연구개발 목표

수변구조물 통합안전관리 기술 개발 연구단은 자연재난 중 인명과 재산피해를 크게 일으키는 태풍, 호우 및 지진 등의 재난에 대하여 수변지역의 주요 SOC시설물(댐(보), 교량, 하전제방, 옹벽 및 절토사면 등)의 안전도 정보를 실시간으로 파악 · 표출할 뿐만 아니라 피해현황 분석 및 복구의사결정 등이 일괄적으로 이루어지는 통합안전관리기술의 개발을 목표로 한다. 재난시나리오(호우,태풍,지진) 기반 수변구조물 통합안전관리 기술 개발 연구단은 최근 기후변화에 따른 기상이변에 대응하는 ICT 기반 첨단 예방적·통합적 재해 및 유지관리 체계를 구축하고 이를 통한 안전사회 구현을 비전으로 한다. 수변구조물 위험도 정보를 실시간으로 제공하여 재난 대응의사 결정 정보 30분내 제공, 재해대응 시간을 1시간 단축 및 피해복구 실행계획 3시간 내 제공 등을 통한, 재해 대응능력 강화 기술을 개발한다.

상기 비전 목표를 달성하기 위하여 다음과 같이 최종목표를 설정하였다.

- 수변구조물 Risk 정보 제공을 위한 감시 및 안전도 확보기술 개발

- 다중시나리오 기반 재난대응 의사결정 체계(DRiMSS) 기술 개발

- 피해복구를 위한 원스톱 수변구조물 통합관리기술 개발

본 연구단은 5년간 연구 일정을 3단계로 구분지어 진행하였다.

- 1단계(1~2차년도) : 핵심요소기술 설계 단계로써, 연구단 목표 및 방향을 설정하고, Test-Bed 대상시설물을 선정하며, 실시간 수변구조물 안전도 평가 기술, 다중시나리오 기반 의사결정 체계, 원스톱 수변구조물 피해복구 지원 기술, 재난 시나리오 기반 통합 안전관리 플랫폼 등의 설계가 이루어지는 단계이다.

- 2단계(3~4차년도) : 핵심요소기술 개발 및 Test-Bed 적용·검증단계로써, 실시간 수변구조물 안전도 평가 기술, 다중시나리오 기반 의사결정 체계, 원스톱 수변구조물 피해복구 지원 기술, 재난 시나리오 기반 통합 안전관리 플랫폼 등의 구체적인 개발 및 구축 그리고 고도화가 이루어지는 단계이다.

- 3단계(5~6차년도) : 통합안전관리 플랫폼 Test-Bed 적용 및 최적화 단계로써, 각 핵심기술들을 Test-Bed에 적용하고 확장방안을 수립하는 단계이다.

국민안전처 유사과제와의 차별성 및 연계성은 다음과 같다.

- 차별성 : 국민안전처의 복합재난시나리오 관련 과제의 경우 큰 범주에서 분석을 목적으로 진행되고 있다. 즉, 특정주요시설에 대한 문제로 인해 타시설로 파급되는 형태의 시나리오 개발을 주로 다루고 있으며, 본 과제의 경우 하천주변의 수재해로 인한 복합재해·재난을 평가하는 연구로서 기존 연구들과 차별성을 가진다. 또한 기존 과제들이 취약도, 하중개념에 머무르고 있는 반면 본 과제의 경우 피해정도를 확률 및 피해액 등을 통해 종합적

으로 평가할 수 있는 기반을 제시한다는 점에서 차별성을 가진다.

- 연계성 : 범정부적 재난 시나리오 융합을 통하여 부처별 연구결과를 공동활용 함으로써 위험기상에 대한 사전대피 및 피해복구를 효과를 극대화 할 수 있다.

“재난 시나리오(태풍, 홍수, 지진) 기반 수변구조물 통합안전관리 기술 개발 연구단”의 3세부 과제인 “피해복구를 위한 원스톱 수변구조물 통합관리기술 개발 연구”는 효율적인 국가 수변구조물 유지관리 및 방재시스템에 기여할 수 있도록 각 기술 간의 상호 연관성 및 미래기술이 접목된 핵심기술개발이 도출되도록 3개의 핵심성과(CTE)로 구성하였다.

- 분산정보 공유형 피해복구 의사결정 지원 기술 개발

- 항공/지상 수변구조물 피해 영상정보 획득 시스템 구축 기술 개발

- 영상기반 다차원 피해정보 분석 및 지원 모듈 개발

재난 시나리오 기반 통합안전관리 플랫폼(연구단)과 연계하여, 재해발생시 수변구조물의 피해 상황을 신속하게 파악하고 분석하여 피해복구 의사결정을 수행하기 위한 체계적인 시스템을 구축하는데 그 최종적인 목표가 있다. 재해발생 후 신속한 피해 영상 획득 및 다차원 피해정보 분석, 복구 시나리오를 통한 피해복구 실행계획 3시간 이내 도출(Test Bed 대상)등을 통한 수변구조물의 통합관리를 목적으로 한다. 보다 세부적으로는 수변구조물의 피해상황을 신속하게 파악하기 위한 GIS기반 피해영상정보 획득 기술 개발과 획득된 영상정보를 기반으로 피해정보를 분석하기 위한 다차원 피해정보 분석시스템 개발 및 복구 시나리오를 기반으로 피해복구 의사결정을 지원하기 위한 기술 개발을 실행목표로 한다.

최종목표의 성격 및 설정근거는 다음과 같다.

- 피해복구를 위한 원스톱 수변구조물 통합관리기술 개발성과를 한국수자원공사 관리 수변시설에 적용하여 수변구조물의 유지관리 및 재해발생시 피해복구 의사결정 향상을 목적으로 한 연구사업이다.

- 항공・지상 영상정보를 이용한 수변구조물 피해영상 획득 2시간, 다차원 피해정보 분석에 30분이 소요된다. 또한 피해복구 의사결정 지원시스템에서 복구시나리오에 따른 복구실행계획 도출에 30분이 소요되어, 총 3시간이 소요될 것으로 기대한다.

제3절 연구개발 범위

1. 기술 구현

피해복구를 위한 원스톱 수변구조물 통합관리기술 개발은 아래 3가지 핵심성과로 이루어지며, 각각 기술이 개발되어 K-Water 수변구조물 통합안전관리센터에서 재난 시나리오 기반 통합안전관리 플랫폼을 중심으로 통합되었다.

- 분산정보 공유형 피해복구 의사결정 지원 시스템

- 항공/지상 수변구조물 피해 영상정보 획득 시스템

- 영상기반 다차원 피해정보 분석 및 지원 모듈



2. 인증

피해복구 의사결정지원 시스템 v1.0은 한국정보통신기술협회(TTA) 소프트웨어시험인증연구소의 SW시험인증(GS 1등급) 완료하였다.

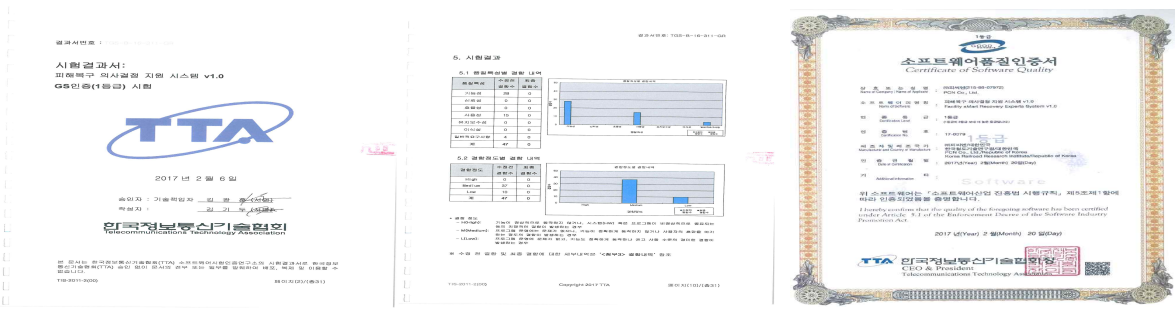


그림 1.3.1 피해복구 의사결정 지원 시스템 소프트웨어시험인증 결과서

3. Test Bed 구축 및 모의훈련 수행

3세부 시스템은 모두 K-Water 수변구조물 통합안전관리센터에 구축하였다.

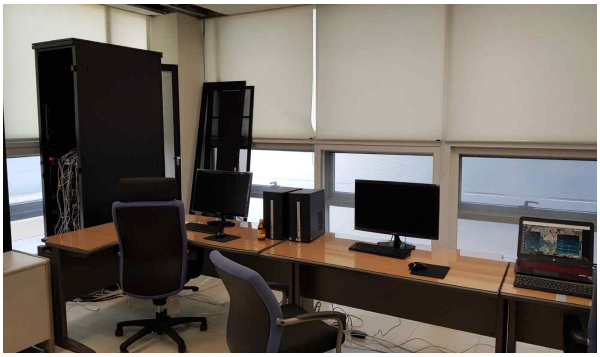
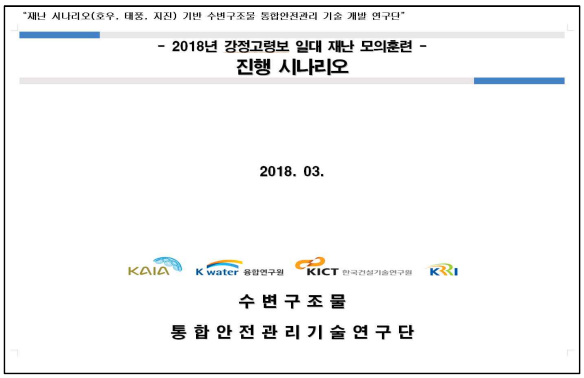



그림 1.3.2 통합 상황실내 3세부 시스템 구축 사진

Test Bed를 대상으로 태풍 피해를 가정하여 피해 발생 상황 확인, 영상획득, 피해분석, 복구실행계획 도출, 복구 실행관리의 전 과정에 대한 모의 훈련을 수행하였다. 모의훈련 진행을 위하여 담당자별로 구체적인 수행내용을 포함한 세부 진행 시나리오를 작성하였고, 연구단 모의훈련 진행 시나리오에 포함시켰다. 모의훈련 진행 시나리오를 가지고, K-Water 수변구조물 통합안전관리센터에서 모의훈련을 수행하였다.


"재난 시나리오(호우, 태풍, 지진) 기반 수변구조물 통합안전관리 기술 개발 연구단"

- 2018년 강정고령보 일대 재난 모의훈련 -

진행 시나리오

2018. 03.

KAIA K water 융합연구원 KICT 한국건설기술연구원 KRRI

수 변 구 조 물

통 합 안 전 관 리 기 술 연 구 단



그림 1.3.3 Test Bed 모의훈련 시나리오 및 전경

4. 홍보

핵심성과물 3종의 연구성과 홍보를 위하여 기술개요, 기술의 적용분야, 주요기능, 본 기술의 특징 및 차별점이 포함된 홍보 플라이어를 각 500부씩 제작하였고, CIVIL EXPO 등 관련 전시회에서 시작품 전시와 같이 관람객들에게 홍보 플라이어를 배포하여 기술의 이해도를 높일 수 있었다.



그림 1.3.4 홍보 플라이어 3종

각 차년도에 연구성과를 대내외로 확산하기 위하여 대한토목학회, 한국방재학회 등에 부스전시 및 연구단 세션을 개최하였다. 부스에 3세부 성과물을 전부 전시하였고, 홍담당자가 배치되어 관람객들을 대상으로 기술상담을 수행하였다.

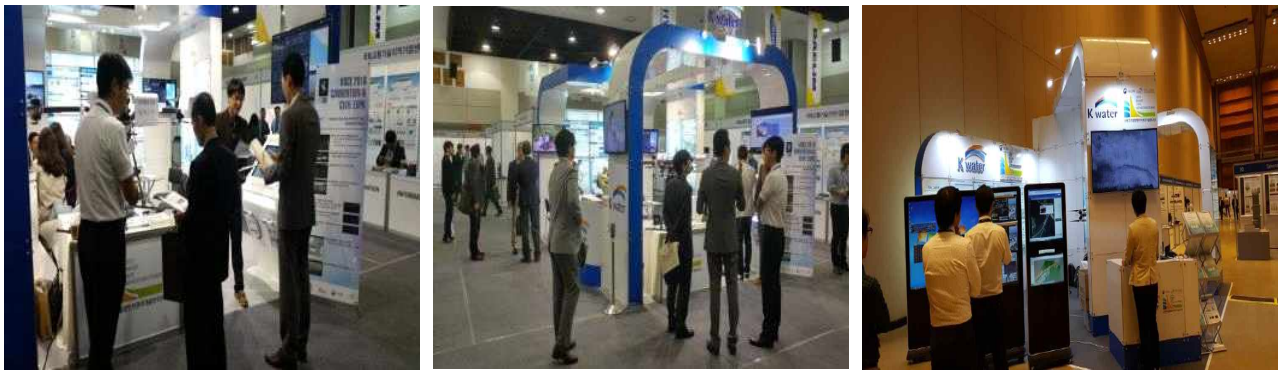


그림 1.3.5 성과물 부스 전시

수변구조물 관리기관인 K-Water를 대상으로 기술 현장시연회를 개최하였다. 지진대응 취수탑 안전점검 현장시연에서는 영천댐 취수탑의 항공 영상정보를 획득하고 3차원 형상화 작업을 시연하였고, K-Water 관계자들에게 정보를 제공하였다. 또한, 안계댐 석축 및 취수탑의 항공 영상정보를 획득하고 3차원 형상화 작업을 시연하기도 하였다.

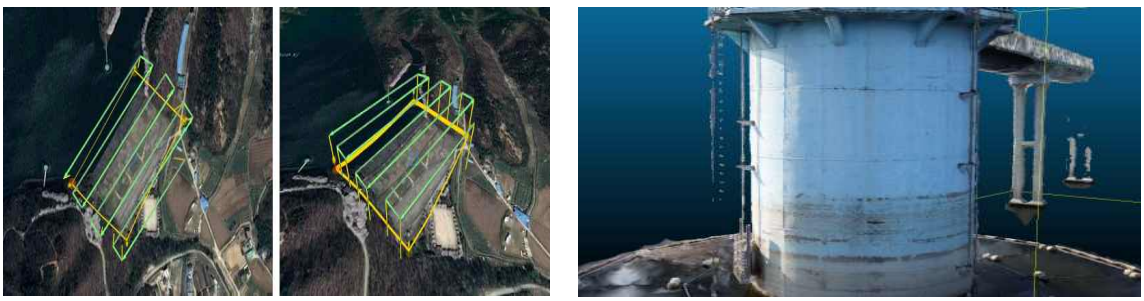


그림 1.3.6 기술 현장 시연

제2장 연구 수행 내용 및 성과

제1절 분산정보 공유형 피해복구 의사결정 지원 시스템

1. 수변구조물 피해복구 의사결정 지원 시스템 설계

가. 수변구조물 재해피해 분류 및 항목설계

(1) 피해 사례 및 유형 조사

재해연보, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 해설서 등 8종을 검토하여, 기존 재해 피해 사례 및 유형을 조사하였다.

표 2.1.1 피해사례 및 유형조사를 위한 검토 도서

검토 도서	내 용
재해연보 (2004-2012)	■ 연차별 수재해에 의한 시설물 피해 현황 및 통계 조사 ■ 시설물 피해사진 수집
안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 및 해설서	■ 시설물별 형식분류 및 부재 구성 조사 ■ 시설물의 점검사항 및 손상 유형 조사 ■ 보수·보강 방법(공법선정 및 우선순위 결정) 조사
유비쿼터스 기법을 활용한 하천시설물 재해종합관리시스템 개발 보고서	■ 하천시설물의 피해유형 분석
예방복구계획 수립기준 및 효과측정연구 보고서	■ 하천, 교량, 사면등 피해유형 및 사례 조사 ■ 피해 및 복구를 위한 유형화 도감 분석
댐유지관리매뉴얼	■ 댐의 구성 및 손상유형 조사
시설물별 손상 및 보수보강사례	■ 댐, 하천시설의 주요손상 및 보수보강사례 조사
경주시 안강 산대저수지 제방 붕괴사고 상황 보고	■ 높은 저수율에 의한 수압으로 부분적 파이핑에 의해 발생된 사례 조사 (2013.04.12.)
2013년 7월 호우에 의한 급경사지 붕괴 현장조사 보고서	■ 집중호우로 인한 급경사지 붕괴 현황 및 원인분석



그림 2.1.1 검토 도서

표 2.1.2 태풍, 호우 등에 의한 수변구조물 피해유형 및 사례

시설물	피해유형	피해사례
교량	■ 하천정비계획대비 교량설계 기준미달에 의한 피해 ■ 하천 만곡부에서의 교량 하부구조 세굴에 의한 피해 ■ 부유물 유하에 따른 경간장에 의한 피해 ■ 세굴, 유실, 표층붕괴, 활동파괴	■ 고흥군 포두면(호우, 2011.7.7-16) ■ 파주시 파평면(호우, 2011.7.26-29) ■ 부여군 외산면(호우, 2010.7.23-24) ■ 익산시 왕궁면(호우, 2010.8.13-18) ■ 곡성군 고달면(호우, 2010.8.13-18) ■ 여주군 여주읍(호우, 2010.9.21-22) ■ 홍천군 동면(호우, 2009.7.11-16)
사면	■ 유하물에 의한 사방시설의 유실 및 파손 ■ 양압력에 의한 사면의 붕괴 ■ 유수에 의한 급경사지 붕괴	■ 목포시 유달동(태풍, 2012.8.25-30) ■ 거제시 거제면(태풍, 2012.9.15-17) ■ 춘천시 신북읍(호우, 2009.7.11-16)
제방	■ 하천 만곡부의 침식에 의한 제방 피해 ■ 제방 유실로 인한 유수 범람 피해 ■ 제방유실, 하상변동, 토사호안유실, 저수호안유실, ■ 제방월류, 제방누수 ■ 호안의 유실, 제방의 붕괴, 제방의 유실, 제방의 변형	■ 공주시 사곡면(호우, 2012.8.12-16) ■ 진도군 의신천(태풍, 2012.8.25-30) ■ 남해군 서면(태풍, 2012.9.15-17) ■ 파주시 적성면(호우, 2011.7.26-29) ■ 순천시 주암면(태풍, 2011.8.6-10) ■ 진안군 부귀면(호우, 2010.8.13-18) ■ 정선군 신동읍(호우, 2010.9.21-22) ■ 화순군 하천면(호우, 2009.7.7-8) ■ 양평군 양서면(호우, 2009.7.11-16)
댐	■ 필댐 : 여수로 측벽 여유고 부족, 댐마루 균열, 여수로 터널 누수, 전도, 방류능력 부족, 용접비이드 균열 및 박리, 케이블피트의 피해 ■ 콘크리트댐 : 세굴, 균열, 노후화, 전도	■ 연천댐(호우, 1999.8)
옹벽	■ 콘크리트 옹벽 : 침하, 활동, 전도, 세굴, 파손 및 손상, 균열 ■ 보강토 옹벽 : 파손, 손상 및 균열, 전면판의 유실, 전면부 배부름 ■ 석축 : 침하, 파손, 손상 및 균열, 활동, 이격, 전도/경사, 유실, 세굴 ■ 돌망태 옹벽 : 침하, 채움재 유실, 활동, 변형, 파손	■ 밀양시 부북면(호우, 2013.06.21) ■ 울산시 북구(태풍, 2012.9.15-17) ■ 곡성군 목사동면(태풍, 2011.8.6-10) ■ 춘천시 교통(호우, 2010.8.18)



그림 2.1.2 수재해에 의한 수변구조물 피해 사진

(2) 피해 유형 분석

‘피해조사체계 개선방안 지침서’에는 하천 및 하천시설물의 대표적 피해유형 및 피해조사 방법에 대해서 제시하고 있다. 하천시설물의 대표적인 피해유형으로는 그림과 같이 호안피해, 제방유실, 하상변동, 저수호안유실, 제방월류, 제방누수, 사면활동, 붕괴피해 등이 있으며, 아래 표에 구조물별 대표적인 피해유형을 정리하였다.



그림 2.1.3 하천에서 발생하는 대표적인 피해 유형

표 2.1.3 수변구조물별 피해 유형

수변구조물		피해 유형	사진
댐	필댐	■ 종・횡방향 균열, 침하, 부등침하, 침식, 변형, 유실, 누수, 손상, 세굴, 파손, 월류	
	콘크리트댐	■ 종・횡방향 균열, 단차, 박리, 박락, 침투, 누수, 월류, 파손	
제방	표준제방	■ 침하, 누수, 균열, 세굴(침식), 유실, 손상, 월류, 붕괴	
	특수제방	■ 침하, 전도, 균열, 변형, 파손, 월류, 박리, 박락, 이격, 세굴	
교량		■ 수직・수평균열, 박리, 박락, 층분리, 손상, 누수, 좌굴, 변형, 처짐, 파손, 전도, 침하, 이격, 붕괴	

옹벽	콘크리트 옹벽	■ 파손, 손상, 균열, 마모, 침식, 누수, 박리, 박락, 침하, 세굴, 전도/경사	
	보강토 옹벽	■ 파손, 손상, 균열, 유실, 이격, 배부름, 침하, 전도/경사, 세굴	
	석축		
	돌망태 옹벽	■ 유실, 파손, 변형, 침하, 세굴	
사면		■ 인장균열, 변형, 단차, 배부름, 융기, 누수	

(3) 재해피해 분류 코드 체계 설정(분산정보 공유형 의사결정 지원 모듈내 사용)

국토교통부 건설정보분류체계(부위분류)를 기반으로, 피해유형을 세세분류에 1자리로 추가하여 구성하였으며, 시설물 분류를 국토교통부 부위분류체계와 일치시켜 일관성을 유지하였다.

대·중·소·세 분류

0. 지반 및 지하구조
    08. 옹벽부위
        081. 옹벽기초
        082. 옹벽구체
        083. 활동방지벽
        084. 옹벽헌치
        085. 뒷채움부
        089. 기타 옹벽부위
1. 토목시설 부위
    13. 교량시설부위
        131. 교량하부구조
            13110. 교량기초
            13115. 세굴방지부
            13120. 교대
            13130. 교각
            13140. 주탑
            13150. 앵커리지
            13160. 주케이블
            13190. 기타 교량하부구조

그림 2.1.4 국토교통부 건설정보분류체계

표 2.1.4 수변구조물 재해피해 분류 코드 체계

기호	분류체계상의 주제	기본분류 자릿수	대분류 자릿수	중분류 자릿수	소분류 자릿수	세분류 자릿수	세세분류 자릿수
E	부위	6	1	1	1	2	1



그림 2.1.5 수변구조물 재해피해 분류 코드 체계 구성

나. 수변구조물 피해복구 지원 프로세스 설계

(1) 피해복구 절차 및 프로세스 분석

자연재난조사 및 복구계획 수립 지침의 자연재난보고 및 복구계획 수립절차를 조사하였고, 국토교통부의 위기관리표준매뉴얼상 위기관리활동과 한국철도공사의 위기대응흐름도 및 광주도철의 위기관리 업무수행체계 등을 분석하였다.

표 2.1.5 피해복구 절차 분석

절 차	내용	관련기관 및 문서
위기관리활동	■ 대응단계에서 신속한 상황파악・전파 및 재난관리체계 가동, 구호활동, 범정부차원의 대책기구 설치 및 지휘체계 운영 절차를 규정 ■ 복구단계에서 복구지원팀 구성, 피해복구 통합지원체계 가동 등의 절차를 규정	위기관리 표준매뉴얼 (국토교통부, 2011)
위기대응 흐름도	■ 피해상황 발생시 역장・관제사에게 급보, 자체복구, 자체 위기대응조치, 순차적복구, 종합 시운전의 절차를 규정 ■ 국토교통부의 위기관리 표준매뉴얼에 근거하여 한국철도공사가 적용할 세부 대응절차와 제반 조치사항을 규정	한국철도공사 위기대응 실무매뉴얼 (2011)
위기관리 업무수행체계	■ 피해발생시 상황급보, 전파, 위기관리체제 전환, 대응/복구 업무수행의 절차를 규정 ■ 해당 역사에서 수행하여야 할 담당자별 업무 및 주요 유관기관 관리	광주광역시도시철도공사 현장조치 행동매뉴얼 (2011)
자연재난보고 및 복구계획 수립 절차	■ 피해발생시 중앙합동피해조사, 복구계획(안) 작성, 심의 확정, 관계부처 재해복구비 배정, 재난복구사업 실시의 절차를 거침 ■ 피해발생으로부터 복구사업 실시까지의 정부차원의 프로세스를 규정	자연재난조사 및 복구계획 수립 지침 (소방방재청, 2012)

(2) 상위 법령 검토 및 피해복구 절차/프로세스 분석

재난 및 안전관리 기본법 제4조, 제14조, 제59조 등, 자연재해대책법 제34조, 제46조, 제49조 등, 시설물의 안전관리에 관한 특별법, 재난구호 및 재난복구비용 부담기준 등에 관한 규정, 규칙, 자연재난조사 및 복구계획 수립 지침 등의 관련 법령을 검토하였다. 또한, 자연재난조사 및 복구계획 수립 지침, 국토교통부의 위기관리표준매뉴얼상 위기관리활동, 한국철도공사의 위기대응흐름도 및 광주도철의 위기관리 업무수행체계 등의 피해복구 절차를 분석하였다.

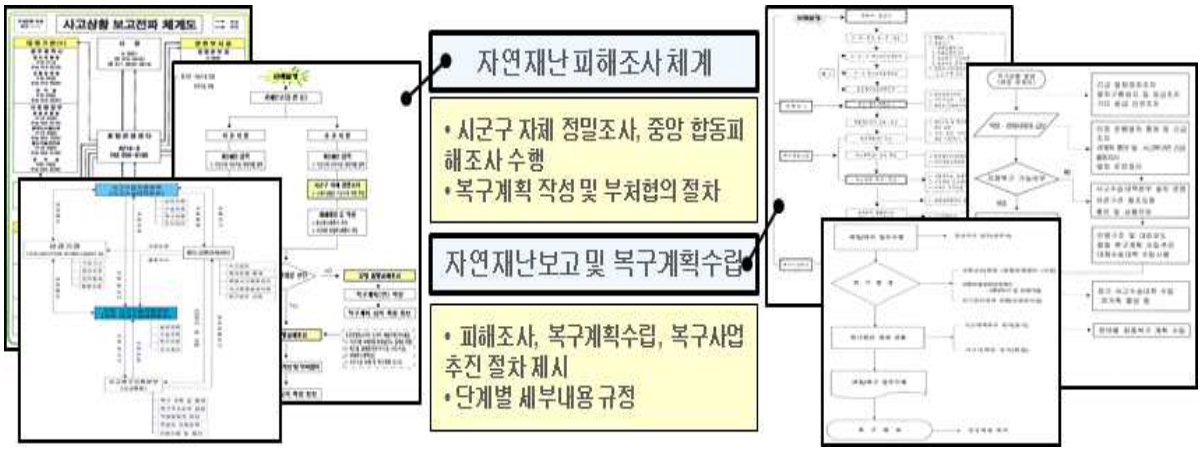
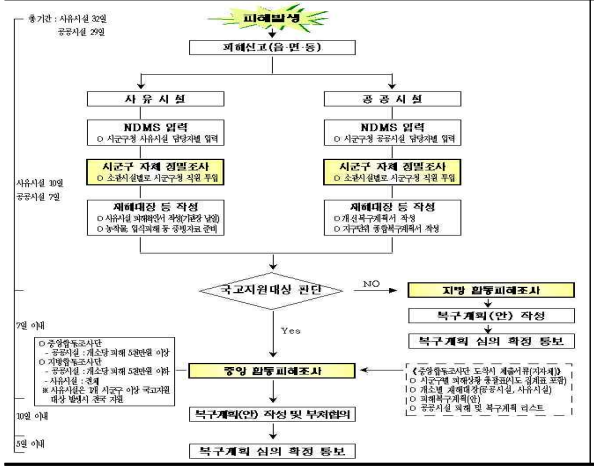
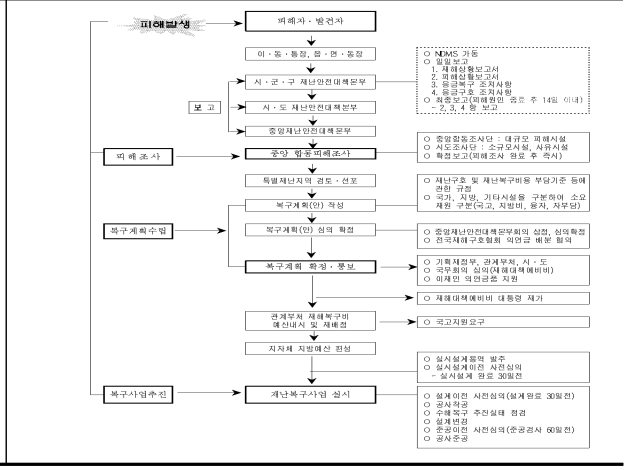


그림 2.1.6 피해복구 절차 내용

자연재난 피해조사 체계는 시군구 자체 정밀조사, 중앙 합동피해조사 수행, 복구계획 작성 및 부처협의 절차를 명시하고 있다. 자연재난보고 및 복구계획 수립 프로세스는 피해조사, 복구계획수립, 복구사업 추진절차 제시 및 단계별 세부내용을 규정하고 있다.

표 2.1.6 피해조사 및 복구계획 수립 체계

자연재난 피해조사 체계	자연재난보고 및 복구계획 수립
	

(3) 국가재난관리 업무중 피해복구 지원 기술 적용 시점 분석

예방, 대비, 대응, 복구, 지원 단계별 수행내용을 분석하였으며, 대응 및 복구 단계에서 3세부과제에서 개발하고 있는 복구지원 기술을 활용할 수 있다.

표 2.1.7 국가재난관리 업무기능

구 분	설 명
예방	■ 위험요소를 사전에 제거하거나 축소하여 재해·재난의 발생 억제 및 재발 방지 ■ 지역위험성파악 및 저감계획 수립, 시설물 단위 점검 및 관리, 지구단위 점검 및 관리, 재난관리체계 심사/평가, 재해영향도 평가 등
대비	■ 최악의 사태를 상정하여 유사시 신속원활하고 효과적인 대응을 할 수 있도록 대비 태세를 확립 ■ 인력조직 동원준비, 물자동원준비, 장비/시설 동원준비, 교육·훈련 등
대응	■ 실제로 재해재난이 발생했을 때 현장을 중심으로 수행되는 활동으로 현장의 인명과 재산의 피해를 최소화 ■ 상황관리, 응급조치, 응급복구, 긴급구조구난 등
복구	■ 피해보상·시설물 복구 등 사회의 기능을 재해재난이 발생하기 이전의 상태로 환원시키는 활동 수행 ■ 이재민관리, 구호활동, 복구계획, 복구사업 등
지원	■ 안전관리 전반에 걸친 계획, 예산, 자금관리 및 지원을 통하여 예방·대비·대응·복구 활동이 원활하게 진행되도록 지원 ■ 기획재정관리, 안전문화활동, 국제협력 및 연구개발 등

(4) 피해복구 지원 프로세스 개념설계

ISO 31000을 참조하여 국제 표준에 맞게 피해복구 지원 프로세스를 정립하였다.

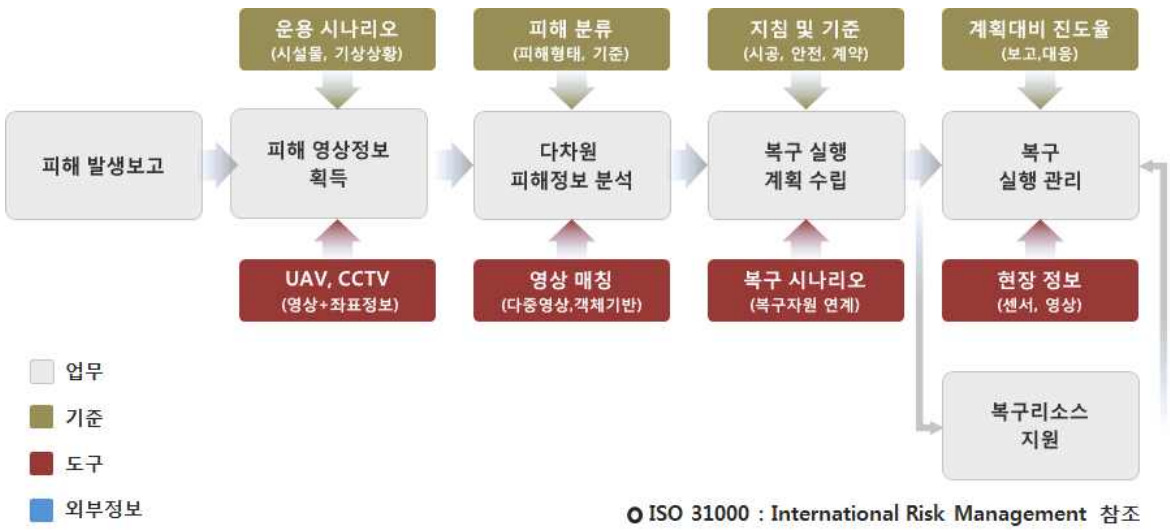


그림 2.1.7 수변구조물 피해복구 지원 프로세스 개념설계도

업무로는 피해발생보고, 피해 영상정보 획득, 다차원 피해정보 분석, 복구 실행계획 수립, 복구 실행관리, 복구 리소스 지원의 6가지를 정의하였다. 해당 업무를 수행하기 위한 기준

은 운용 시나리오, 피해분류, 지침 및 기준, 계획대비 진도율의 4가지를, 도구로는 UAV 및 CCTV, 영상 매칭, 복구 시나리오, 현장 정보의 4가지를 정의하였다.

피해 영상정보 획득 업무는 기상상황에 따라 정해진 운용 시나리오를 기준으로, UAV와 CCTV로부터 수변구조물 피해영상 및 좌표정보를 획득하는 것으로 정의하였다. 다차원 피해정보 분석 업무는 수변구조물별 피해분류를 기준으로 삼아, 다중영상 매칭 및 객체기반 매칭 등의 영상매칭 기법을 사용하여 피해 규모 정보를 정성적으로 추출하는 것이다. 복구 실행계획 수립 업무는 시공 및 계약 지침을 기준으로, 피해 유형별 복구 시나리오를 사용하여 복구 실행계획을 도출하는 것이다. 그리고, 복구 실행 관리 업무는 계획대비 진도율 기준으로 수행중인 복구를 관리하는 업무로, 복구 리소스의 투입변경 및 지원을 수행하게 된다.

(5) 통합안전관리 플랫폼과 3세부 시스템과의 연계 설정

3세부 과제에서는 최종 성과물로 원스톱 수변구조물 피해복구 지원 시스템을 개발하며, 연구단에서 구축하고 있는 재난 시나리오기반 통합안전관리 플랫폼(WiNS⁺)을 지원하여 사용될 수 있도록 연계한다. 피해복구를 위한 원스톱 수변구조물 통합관리기술은 항공/지상 수변구조물 피해 영상정보 획득 시스템, 영상기반 다차원 피해정보 분석 및 지원 모듈과 분산정보 공유형 피해복구 의사결정 지원 시스템으로 구성된다.



그림 2.1.8 통합안전관리플랫폼과 피해복구 지원시스템과의 연계도

분산정보 공유형 피해복구 의사결정 지원 시스템은 피해복구 시나리오, 복구지원 리소스 평가 및 할당 모듈, 피해복구 실행계획 수립 모듈로 구성된다. 영상기반 다차원 피해정보 분석 및 지원모듈로부터 수변구조물 피해상황 정보를 받아, 복구 시나리오를 이용하여 복구 실행계획을 수립할 수 있도록 의사결정을 지원하고, 복구지원 리소스로의 자원 동원요청을 수행한다. 항공/지상 피해영상정보 획득 시스템은 센서를 탑재한 UAV, 지상 CCTV, 영상 및 좌표정보 고속 전처리 SW로 구성된다. 항공 및 지상에서 수변구조물의 피해 영상을 신속하

게 획득하고 좌표정보를 전처리하여 출력한다. 영상기반 다차원 피해정보 분석 및 지원 모듈은 다차원 영상기반 피해탐지 시나리오, 3차원 영상데이터 처리 엔진, 피해전·후 3차원 자동매칭 모듈로 구성된다. 수변구조물의 피해 영상으로부터 피해전후 변화를 추적하여 3차원으로 피해 영역을 표출하여 피해복구 의사결정 지원시스템으로 정보 전달을 수행한다.

(6) 운용 시나리오 작성

Test Bed 지역을 대상으로 재해발생을 가정하여 피해복구 실행계획 도출까지의 시간목표를 3시간으로 하고 운영 시나리오를 작성하였다.



그림 2.1.9 Test Bed대상 운용 개념도

재해 피해발생시 피해상황은 지상 피해영상정보와 항공 피해영상정보를 이용하여 2시간 이내에 획득한다. 이후 다차원 피해정보 분석 시스템을 통하여 피해 유형 및 규모를 30분 이내에 파악한다. 피해 유형 및 규모에 따라 가장 적절한 피해복구 실행계획을 30분 이내에 도출하게 된다.

표 2.1.8 운용 시나리오

시스템 구분	운용 시나리오
지상 피해영상정보 획득 시스템	① 피해 의심지역 센터 알림 ② 운용 조건하에서 센터에서 이동형 관제국 준비 및 파견 ③ 지상 피해영상 획득 및 선명도 향상 전처리
항공 피해영상정보 획득 시스템	① 피해 발생 지역 근처까지 이동 ② UAV 비행중비 및 피해 지역 촬영 ③ 촬영 DATA 수신 및 영상매칭
다차원 피해정보 분석 시스템	① 항공/지상 피해영상 수신 ② 분석 엔진(1~3) 결정 ③ 피해지역 데이터 매칭 ④ 형상변화 탐지 ⑤ 형상변화 영역 정량화 ⑥ 피해정보 분석 결과 3D 가시화

피해복구 의사결정지원 시스템	① 피해정보 분석결과 수신 ② 복구/공종/공법 도출 ③ 소요자원 산출 및 평가 ④ 후보자원 할당 ⑤ 긴급복구 실행계획 도출 ⑥ 복구 실행 관리 ⑦ 돌발상황 대응

(7) 피해복구 의사결정 지원 시스템 기본 설계서 개발

개념설계를 바탕으로, 수행 주체를 조사단, 피해복구 관리자, 관계기관으로 분류하고, 상황분석, 1단계복구(긴급복구), 2단계복구(장기복구)로 구분하여 상세설계를 수행하였다.

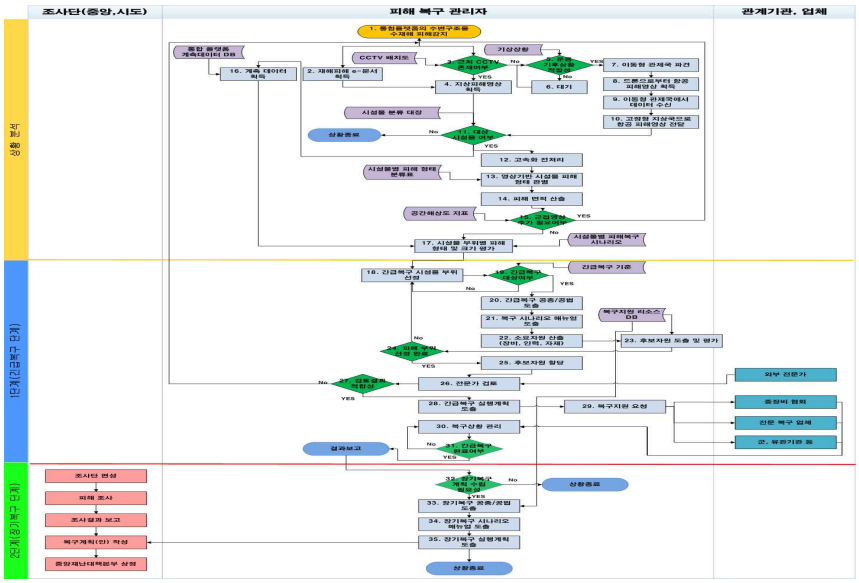


그림 2.1.10 수변구조물 피해복구 지원 프로세스 기본설계도

통합플랫폼의 피해의심상황 감지로부터 복구 상황종료까지 총 37개의 기능으로 구성되며, 각각의 기능에 대한 상세 설명은 아래와 같다.

표 2.1.9 피해복구 지원 시스템 기능 설명

시스템 구분	운용 시나리오
1. 통합플랫폼의 수변구조물 수재해 피해감지	1~2세부로부터 대상 수변구조물의 수재해 피해 감지 통보
2. 지해피해 e-문서 획득	수변구조물 관리자 및 현장 배치자로부터 급보, 피해보고를 모바일 또는 전산을 통해 획득
3 ~ 4. 지상영상 획득	CCTV 배치도로부터 대상 수변구조물 근처 CCTV의 피해 영상 획득
5 ~ 10. 항공영상 획득	운용 기후상황 적합성을 판단하여, 이동형 관제국을 파견하고, UAV(드론)로부터 대상 수변구조물의 항공 영상을 획득하고 고정형 지상국으로 영상정보 전달

11 ~ 17. 피해정보 분석	영상정보와 좌표정보를 융합한 후 피해형태 및 규모를 3D화하여 분석
18 ~ 19. 긴급복구 판단	긴급복구가 필요한 수변구조물 부위를 선정하고 긴급복구 기준에 따라 대상여부를 판단
20 ~ 22. 복구 시나리오 선택	긴급복구 공종/공법, 복구 시나리오 매뉴얼, 소요자원 등을 산출 (자동화 의사결정트리 사용)
23 ~ 25. 후보자원 할당	복구지원 리소스 DB를 이용하여, 현재 사용 가능한 복구지원 리소스를 도출하고, 할당 우선순위를 산정하여 할당안을 생성
26 ~ 28. 긴급복구 실행계획 도출	전문가 검토를 거쳐 도출된 결과를 확인하고, 복구 실행을 위한 실행계획을 수립
29. 복구지원 요청	복구 실시 업체에 공사 실시 요청
30. 복구 실행 관리	복구 공사의 진행 및 완료여부를 체크하고 결과를 관리
31 ~ 33. 돌발상황 대응	현장에서 돌발상황이 발생하였을 경우 대응 알고리즘 및 매뉴얼에 의해서 대응
34 ~ 37. 장기복구 실행계획 도출	합동 조사단의 현장 피해 조사자료를 바탕으로 복구유형, 복구공종, 복구공법, 피해액, 복구비 등이 포함된 장기 복구 실행계획(안) 도출

해당 기능은 이를 수행하기 위한 H/W와 S/W로 구성되며, 본 과제의 성과는 모두 기능 구현에 사용될 수 있도록 하였다.

(8) 시스템 구현을 위한 물리 설계

수변구조물 스마트 피해복구 지원 시스템은 아래 3가지 모듈로 구성되며, 모듈별 기능은 아래와 같다.



그림 2.1.11 수변구조물 피해복구 지원 시스템 물리설계도

2. 수변구조물 피해보고 및 복구지원을 위한 e-문서 개발

가. 피해정보 DB 기반 수변구조물 피해항목 관리 모듈 개발

(1) 피해정보 DB기반 피해항목 설계(안) 작성

입출력, 모듈 기능/비기능, 사용자 일반/서비스 요구사항 분석 및 정의를 수행하고 요구사항 관리를 위한 번호체계를 설정하였다.

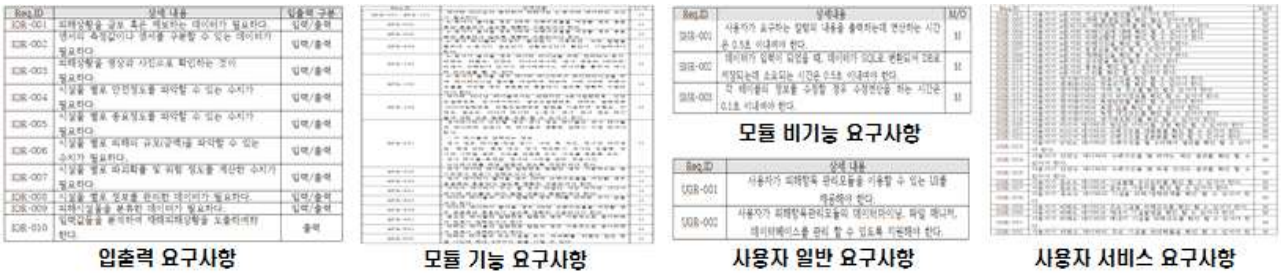


그림 2.1.12 요구사항 정의체계

요구사항 정의를 중심으로 입출력 데이터 구분하고 이를 이용하여 1차 개체(entity) 도출하는 데이터 모델링 수행하였다.

표 2.1.10 데이터 모델링을 통한 1차 개체

요구사항	구분	개체명
피해상황을 급보 또는 제보하는 데이터가 필요하다.	입력데이터	e문서
피해상황을 영상과 사진으로 확인하는 것이 필요하다.		미디어
수변구조물별로 정보를 관리하는 데이터가 필요하다.		수변구조물
피해 수변구조물을 분류한 데이터가 필요하다.		피해시설
입력값들을 분석하여 재해피해상황을 도출하여야 한다.	출력데이터	재해피해상황

1차 개체를 바탕으로 하여 핵심 개체를 추출하였고, 추출된 개체들의 관계는 다음과 같이 설계하였다.

표 2.1.11 개념 모델링 설계

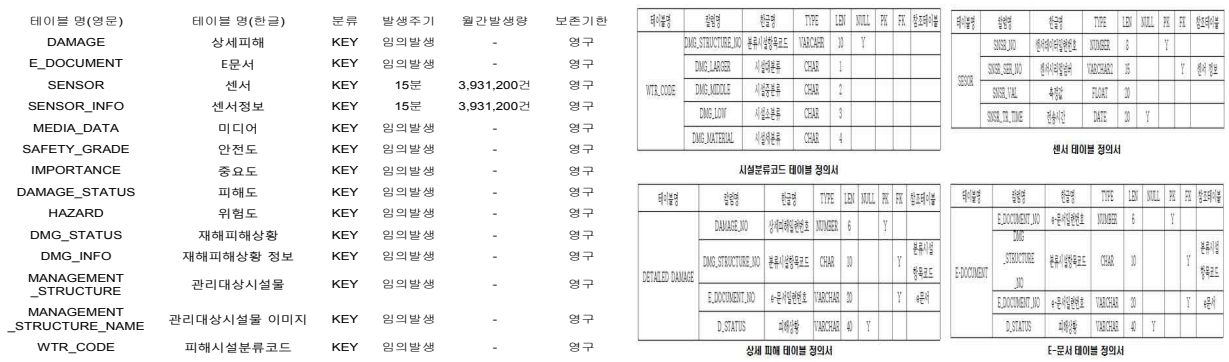
개체명	관계
관리대상 수변구조물	- 관리대상수변구조물 개체와 관리대상 수변구조물 이미지 개체는 1:N 관계 - 관리대상 수변구조물을 구분하기 위한 수변구조물 일련번호를 외래키(FK)로 보유
관리대상 수변구조물 이미지	
미디어	- 미디어 개체와 e-문서 개체는 1 : N 관계 - 미디어 개체의 경우 e-문서 시리얼 번호를 외래키(FK)로 보유
e-문서	
재해피해 상황정보	- 재해피해상황정보 개체와 재해피해상황 개체는 1 : N 관계 - 재해피해상황정보 개체의 경우 재해피해상황의 시리얼 번호를 외래키(FK)로 보유
재해피해상황	

개체들의 속성을 정의하고, 각 테이블을 정규화 형태로 다음과 같이 구축하였다.

표 2.1.12 개체별 정규화 실행

개체명	정규화	정규화 이유
관리대상 수변구조물	제 3정규형	- 관리대상수변구조물 테이블은 수변구조물 사진, 구조도와 같은 이미지가 복수개의 값을 보유 가능 - 데이터가 하나만 들어갈 수 있도록 설정되어 제 1정규형 만족 - 중복되는 정보를 관리키 위하여 2개의 테이블로 분리되어 중복되는 정보가 없으므로 제 2정규형 만족 - 분리되면서 이행적 종속성이 사라짐에 따라 제 3정규형에 해당
관리대상 수변구조물 이미지	제 3정규형	
미디어	제 3정규형	- 정규화 진행시 테이블이 늘어남에 따라 4개의 외래키로 인한 JOIN이 가능할 것으로 분석 - 데이터가 하나만 들어갈 수 있도록 설정되어 제 1정규형 만족 - 외래키로 중복이 되지만 각 행의 형태로 볼 경우 중복이 적용되지 않기 때문에 제 2정규형 만족 - 테이블의 속성값은 복합속성(EX) 미디어구분 : I,M을 동시에 가짐)을 가지지 않아 원자성을 띄고 주 키에 의존되는 데이터가 없으므로 제 3정규형에 해당
상세피해	제 3정규형	- 데이터가 하나만 들어갈 수 있도록 설정되어 제 1정규형 만족 - 하나의 e-문서에 다수의 피해상황이 들어오는 경우가 있기 때문에 중복을 배재하기 위하여 피해 테이블과 e-문서 테이블로 분리되어 중복되는 정보가 없으므로 제 2정규형 만족 - 상세피해 테이블에서는 공통적인 사항을 저장하고 e-문서 테이블에서는 피해상황에 적용되는 피해시설과 피해상황을 저장 - 분리되면서 이행적 종속성이 사라짐에 따라 제 3정규형에 해당
e-문서	제 3정규형	
재해피해 상황	제 3정규형	- 재해피해상황 테이블은 재해피해상황과 관련된 e-문서 및 수변구조물에 대한 정보를 관리하고 피해상황, 피해규모, 복구상태와 같은 정보들은 재해피해상황 정보 테이블에서 관리하므로 제 1정규형, 제 2정규형을 만족 - 각각의 일련번호로 인해 테이블의 요소들은 제 3정규형에 해당
재해피해 상황정보	제 3정규형	
피해시설 분류코드	제 3정규형	- 피해시설분류 데이터는 대분류, 중분류, 소분류, 세분류 모두 중복된 값 없이 독립적인 값을 보유하도록 설계되어 있으므로 제 1정규형, 제 2정규형을 만족 - 이를 조합하여 나타내는 피해시설분류코드 또한 중복없이 원자적이기에 제 3정규형에 해당

논리적 설계(ERD)와 물리적 설계가 수행되었고, 결과적으로 작성된 테이블 목록 정의서 및 테이블 정의서는 다음과 같다.



테이블 명(영문)	테이블 명(한글)	분류	발생주기	월간발생량	보존기한
DAMAGE	상세피해	KEY	임의발생	-	영구
E_DOCUMENT	E문서	KEY	임의발생	-	영구
SENSOR	센서	KEY	15분	3,931,200건	영구
SENSOR_INFO	센서정보	KEY	15분	3,931,200건	영구
MEDIA_DATA	미디어	KEY	임의발생	-	영구
SAFETY_GRADE	안전도	KEY	임의발생	-	영구
IMPORTANCE	중요도	KEY	임의발생	-	영구
DAMAGE_STATUS	피해도	KEY	임의발생	-	영구
HAZARD	위험도	KEY	임의발생	-	영구
DMG_STATUS	재해피해상황	KEY	임의발생	-	영구
DMG_INFO	재해피해상황 정보	KEY	임의발생	-	영구
MANAGEMENT _STRUCTURE	관리대상시설물	KEY	임의발생	-	영구
MANAGEMENT _STRUCTURE_NAME	관리대상시설물 이미지	KEY	임의발생	-	영구
WTR_CODE	피해시설분류코드	KEY	임의발생	-	영구

시설분류코드 테이블 정의서

센서 테이블 정의서

상세 피해 테이블 정의서

E-문서 테이블 정의서

그림 2.1.13 테이블 목록 정의서 및 테이블 정의서

(2) 피해항목 관리 모듈 개발

외부에서 수집 또는 제공되는 각종 피해 관련 데이터 및 미디어 데이터들을 종합적으로 수집 및 관리하는 모듈을 개발하였다. 모듈내 세부 내용은 다음과 같다.

표 2.1.13 피해항목 관리 모듈 기능 정의

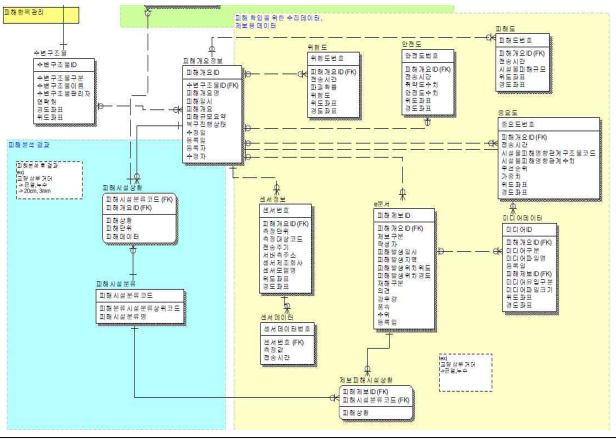
기 능	정 의
피해 정보 수집	e문서를 통한 제보 데이터, 다차원 영상정보기반 피해정보 분석 데이터 등 수집된 데이터를 축적한다.
피해 정보 추출	수집 또는 축적된 피해 정보 데이터를 피해 분석 알고리즘을 통하여 데이터 유효성 검사를 한 후 이미지, 동영상, 센서데이터 등의 다양한 형태의 데이터로 추출한다.
재해피해 항목 분류	분석한 데이터로부터 범람, 유실, 파손, 붕괴, 침수, 균열 등의 피해항목을 분류함으로써 재해 피해를 세분화 하여 분류한다.
재해피해 정보 관리	재해 피해에 대한 개요정보를 관리하고 해당 개요에 대한 각 피해데이터를 조건별로 매핑할 수 있는 대화형 모듈을 제작한다.

항공영상 취득시스템에서 받은 영상정보는 영상기반 다차원 피해정보 피해정보 분석 시스템으로 전달하고, 분석 결과와 수재해 관제 센터 등에서 오는 수재해 급보 등의 제보 데이터는 e-Document 관리 시스템을 거쳐 입력된다. 웹기반 시스템 아키텍처로 구성되며, 크게 3개의 영역인 DBMS, Application, Interface로 구성된다. 요구사항을 바탕으로 분석된 항목을 기능별로 분리하여 기능명세서를 작성하였다.

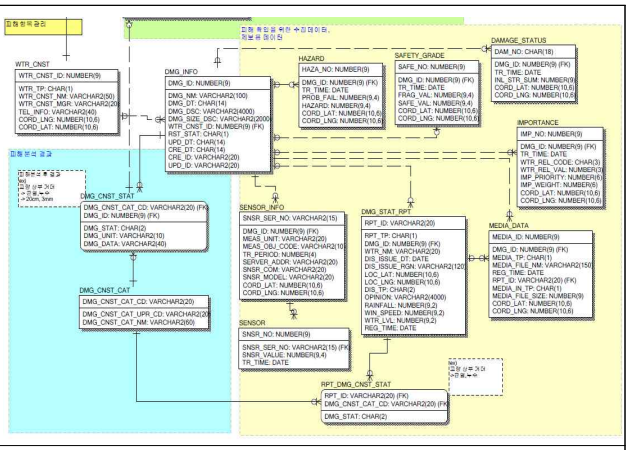
표 2.1.14 피해항목 관리 프로그램 기능 명세서

IA			기능명	입력	출력
대분류	중분류	소분류			
피해항목	피해 분류	피해분류항목 관리	피해항목 저장	피해항목명	
		피해유형 관리	피해유형 저장	피해유형명	
피해정보	피해상황	피해내역	피해내역 조회		피해개요명, 피해일시, 수변구조물, 피해유형, 피해개요
		피해상세정보	피해 상세정보 조회	피해개요ID	피해개요명,피해일시, 수변구조물,피해유형, 피해개요,피해규모요약
			피해 관련 미디어 조회	피해개요ID	미디어구분,미디어명, 등록일시
			피해 데이터 조회	피해개요ID	피해유형, 피해데이터
			피해 정보 저장	피해개요명,피해일시, 피해개요,피해규모	
			수변구조물 조회		수변구조물이름, 수변구조물분류, 수변구조물관리자,연락처, 위도좌표,경도좌표

기능에 따른 개체를 도출하여 논리 ERD와 구현에 필요한 물리 ERD를 개발하였다.



논리 ERD



물리 ERD

테이블 명세서

Entity Name	피해시설분류
Table Name	DMG_CNST_CAT

Column Name	Data Type	Null Opt
DMG_CNST_CAT_CD	VARCHAR2(20)	NOT NU
DMG_CNST_CAT_UPR_CD	VARCHAR2(20)	NULL
DMG_CNST_CAT_NM	VARCHAR2(60)	NULL

Entity Name	피해시설상황
Table Name	DMG_CNST_STAT

Column Name	Data Type	Null Opt
DMG_CNST_CAT_CD	VARCHAR2(20)	NOT NU
DMG_ID	NUMBER(9)	NOT NU
DMG_STAT	CHAR(2)	NULL
DMG_UNIT	VARCHAR2(10)	NULL
DMG_DATA	VARCHAR2(40)	NULL

Entity Name	복구자원 사용현황
Table Name	RSC_USAGE

Column Name	Data Type	Null Option	Attribute Name	Primary Key	Default
USE_ID	NUMBER(9)	NOT NULL	사용 ID	PK	
RST_ORD_ID	NUMBER(9)	NOT NULL			
RSC_ID	NUMBER(9)	NULL			
USE_NUM	NUMBER(9)	NULL			
USE_DT	CHAR(14)	NULL			

Entity Name	복구지시
Table Name	RST_ORD

Column Name	Data Type	Null Optio
RST_ORD_ID	NUMBER(9)	NOT NULL
DMG_CNST_CAT_CD	VARCHAR2(20)	NOT NULL
DMG_ID	NUMBER(9)	NOT NULL
RST_ORD_REQ_DT	CHAR(18)	NULL
CONST_ID	NUMBER(9)	NULL
JOB_NM	VARCHAR2(200)	NULL
CRE_ID	VARCHAR2(20)	NULL
CRE_DT	CHAR(14)	NULL

Entity Name	피해개요정보
Table Name	DMG_INFO

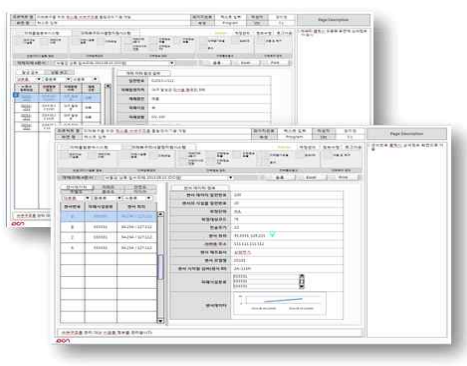
Column Name	Data Type	Null Option	Attribute Name	Primary Key	Default
DMG_ID	NUMBER(9)	NOT NULL	피해개요 ID	PK	
DMG_NM	VARCHAR2(100)	NULL	피해개요명		
DMG_DT	CHAR(14)	NULL	피해일시		
DMG_DSC	VARCHAR2(4000)	NULL	피해개요		
DMG_SIZE_DSC	VARCHAR2(2000)	NULL	피해규모요약		
WTR_CNST_ID	NUMBER(9)	NULL	수변구조물 ID	FK	
RST_STAT	CHAR(1)	NULL	복구진행상태		
UPD_DT	CHAR(14)	NULL	수정일		
CRE_DT	CHAR(14)	NULL	등록일		
CRE_ID	VARCHAR2(20)	NULL	등록자		
UPD_ID	VARCHAR2(20)	NULL	수정자		

그림 2.1.14 피해항목 관리 데이터베이스 설계 및 명세서

DB 설계를 이용하여 사용자의 직관적인 인지 및 사용의 효율성을 고려하여 1,2차로 UI를 구현하였다.



1차 UI



2차 UI

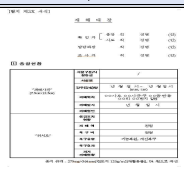
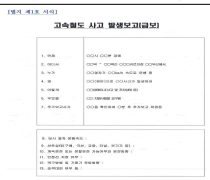
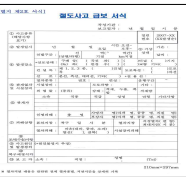
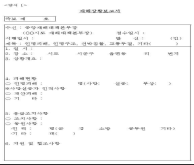
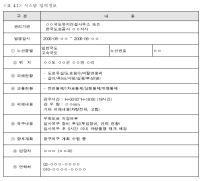
그림 2.1.15 2차 피해항목 관리 UI 구현

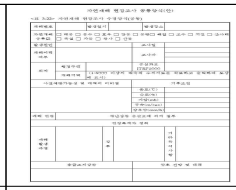
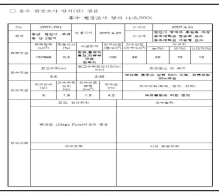
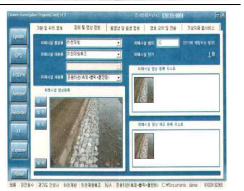
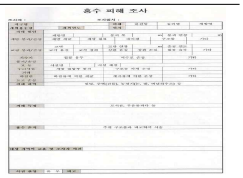
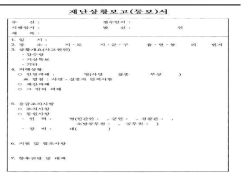
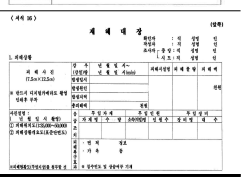
나. 피해보고 및 복구지원 e-문서 설계

(1) 피해정보 e-문서 설계

피해정보 수집관련 법령 지침과 매뉴얼, 연구보고서 등 관련된 문서 17건을 육하원칙에 의거하여 항목을 구분하여 비교분석을 수행하였다.

표 2.1.15 피해정보 보고 기존 문서 분석

구분	문서명	주요항목	비고
자연재난조사및복구계획수립지침	재해대장	재난일시,재난원인,재난으로인한피해내용,응급조치사항,대응및복구활동사항	
	자연재난피해신고서	피해자정보,피해위치,피해시설명,피해물량,피해구분,피해원인	
현장조치행동메뉴얼	고속철도사고발생보고(전화급보)	발생시간,발생장소,피해시설,피해상황	
	철도사고급보(서면보고)	사고종류,일련번호,발생일시,기상상태,발생장소,피해상황,조치사항,복구예정시각,보고자	
GIS기술을활용한기간도로수해응급복구효율화연구	재해상황보고서(서면보고)	피해현황(인명피해,재산피해,기타),동원사항(인력,조치사항)	
	수해응급복구지원시스템입력정보(전산입력)	피해유형,피해내용,복구내용(우회도로지정,인력현황),담당자,연락처	
국지피해지역조사기술개발보고서	피해액산정프로그램(전산보고)	작성자,장소,일시,지역,원인,사진,피해길이,피해물량,피해단가,시설물등급	

사이버자연재해기술정보통합센터구축보고서	자연재해현장조사양식(서면보고)	재해번호,일시,장소(위치),재해종류,발생원인,재해이력,조사일,조사자,기후조건,피해내용,피해사진	
	홍수현장조사양식(서면보고)	재해번호,일시,장소(위치),재해종류,지역특성,재해특징,침수사진,홍수특성	
지상영상기반 현장조사 시스템 시범운용 보고서	전산화 재해대장	발생일시,발생원인,피해지역,총피해액(천원),피해시설명,피해물량,피해액,응급조치,피해복구효과,항공사진,위치도	
통합피해조사시스템 환경개선 보고서	피해조사 자동화 시스템	발생일시(달력),강우,피해시설피해규모,피해이미지,지형도,동영상	
Mobile GIS 기반 현장조사 시스템 개발	Mobile GIS를 이용한 피해조사 플랫폼	조사자 및 확인자,발생일시(달력),발생원인,발생지역,위치좌표,피해시설명,피해물량,피해액,조사의견,응급조치,복구효과,피해이미지,지형도	
웹-GIS를 이용한 피해조사 위치자료의 실시간 표출방안 연구 보고서	휴대용피해조사입력 플랫폼	재해원인(유형),피해상황,피해지역,피해위치(좌표),피해시설분류(대중소세분류)	
유비쿼터스 기법을 활용한 하천시설물 재해종합관리시스템 개발 보고서	홍수피해조사(서면보고)	작성자,일시,피해위치,피해원인,피해시설물,피해내역,피해특징,의견,피해사진	
수해대비업무매뉴얼, 재난 및 안전관리기본법 시행규칙 5조	재난상황보고서	일시,장소,상황개요,피해상황,응급조치사항,지원 및 협조사항,향후전망 및 대책	
지역방재계획	피해상황보고서(발생보고)	초기대응,서면제출,작성자,일시,강우량,피해원인,발생일시,피해지역,피해내용,응급조치내용,기타	
	재해대장(연말보고)	서면제출,작성자,발생일시,발생지역,강우량,피해시설,피해액,응급조치,피해사진,지형도,복구계획(공종,용량,복구비)	

재해피해 발생제보와 관리자의 재해피해 상황보고 2가지 타입을 육하원칙에 따라 아래와 같이 도출한다

표 2.1.16 피해정보 e-문서 항목 도출

구분		재해피해발생제보	재해피해상황보고
Who	From	현장제보자	수변구조물관리담당자
	To	피해분석시스템	피해분석시스템
When		피해발생파악즉시	재해피해 발생시 또는 발생 우려가 있는 경우
Where		재해피해발생현장	수변구조물관리센터
What		일련번호 발생일시 피해발생지역 피해시설 피해상황 피해사진및영상정보 기타의견	일련번호 작성자 발생일시 피해발생지역 피해시설 피해상황 피해사진 및 영상정보 기타의견 재난유형 피해상세위치 기상상태(강수량, 풍향, 풍속) 수위
Why		재해피해복구지원요청	재해피해복구지원요청
How		스마트폰App.이용	전산입력

XML 전자문서 개발지침(한국전자거래진흥원,2009)에 따라 개념적 모델링, 비즈니스 정보 개발, XML 스키마 개발 및 구현 모델 설계 과정을 수행하였다. 설계 절차는 다음과 같다.

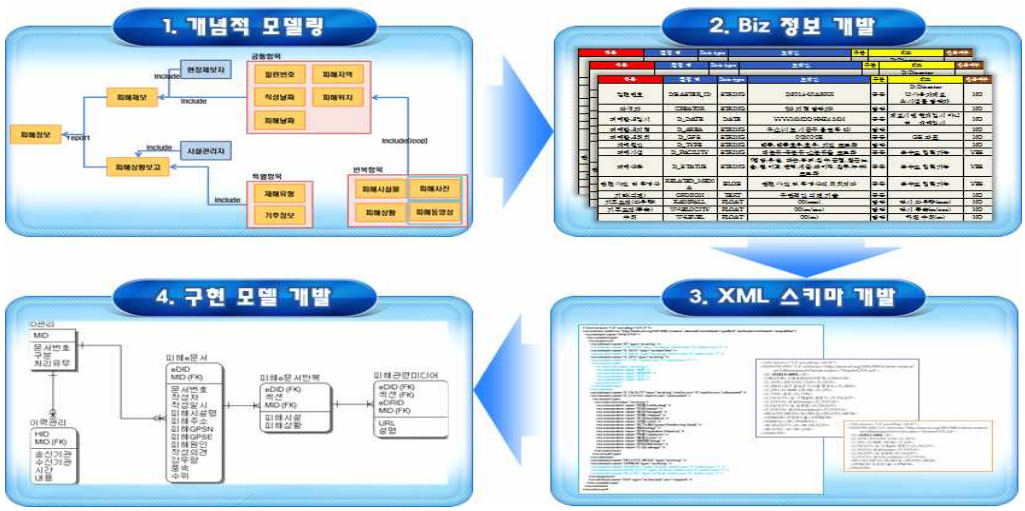


그림 2.1.16 XML전자문서개발지침을 따른 피해정보 e-문서 설계 절차

피해정보 e-문서를 ebXML 규격을 따르는 문서로 설계하였다. 속성 ID로 모바일 및 컴퓨터로 수신되는 문서를 구분하며, 하나의 스키마로 2가지 타입의 e-문서 생성 및 유효성 체크가 가능하다.



피해정보 e-문서 스키마



피해발생 상황보고 e-문서



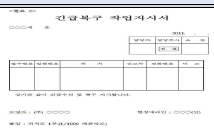
피해발생 제보 e-문서

그림 2.1.17 피해정보 e-문서 스키마 및 생성된 피해제보 및 피해상황보고 문서

(2) 복구지원 e-문서 설계

복구지원 요청관련 법령 지침과 작업지시서, 협조요청서 등 관련된 문서 6종을 수집하고 분석하였다.

표 2.1.17 복구지원 요청 기존 문서 분석

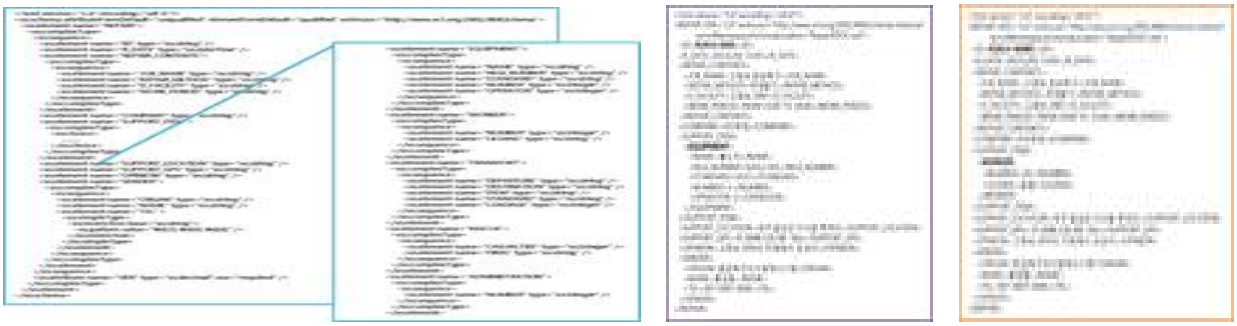
구분	문서명	주요항목	비고
상수도긴급복구공사특별시방서	긴급복구작업지시서	일련번호,위치,관려자,전화번호,비고,위치(지도)	
2010재난사전대비및응급복구임차장비단가계약	응급복구지시	일시,작업명,위치,조치사항(작업내용)/처리사항(처리년월일,위치,사업량,조치사항(작업내용),작업장비,작업시간	
재난및안전관리기본법시행규칙	동원발령요청서(인력,장비,물자,기타)	대상기관,일시,동원대상,동원지역,동원사유(작업내용)	
	응급조치종사명령서(인력)	일련번호,대상자,종사명령사유(내용),종사업무및자격,지원기간,장소,기타/수령증(일련번호,성명,생년월일,주소)	
작업통보결과	수해복구지원실적통보양식	업체명,지원지역,인력,장비명,대수,기타	
장비,인력현황	수해복구지원가능장비및인력현황	지원가능장비(인력),대수,지원가능지역,비고	

장비, 물자, 인력, 수송, 구호, 행정의 6개로 항목을 분류하였고, 육하원칙에 따라 전달 항목을 정의하였다.

표 2.1.18 복구지원 e-문서 항목 도출

구분		장비지원요청	물자지원요청	인력지원요청	수송지원요청	구호지원요청	행정지원요청
Who	From	피해복구의사결정지원시스템					
	To	장비보유업체	물자보유업체	군부대 및 인력 송출 기관	철도, 화물, 도로	119등 구호기관 (민간포함)	지자체 등기 필요 행정기관
When		피해복구 실행계획 수립이후					
Where		통합플랫폼관리센터					
What		①문서번호 ②일시 ③작업내용 : 작업명,복구공법 ④업체명 ⑤장비:장비명,등록번호,규격,대수,운용인력 ⑥지원위치 ⑦발신자:기관명,담당자,연락처	①문서번호 ②일시 ③작업내용 : 작업명,복구공법 ④업체명 ⑤물자:물자명,등록번호,규격,수량,운용인력 ⑥지원위치 ⑦발신자:기관명,담당자,연락처	①문서번호 ②일시 ③작업내용 : 작업명,복구공법 ④업체명 ⑤인력:인원수,소지자격 ⑥지원위치 ⑦발신자:기관명,담당자,연락처	①문서번호 ②일시 ③작업명 ④업체명 ⑤수송 : 출발지,도착지,품목,규격,수량,인원 ⑥지원위치 ⑦발신자:기관명,담당자,연락처	①문서번호 ②일시 ③작업명 ④업체명 ⑤구호:사상자,화재여부 ⑥지원위치 ⑦발신자:기관명,담당자,연락처	①문서번호 ②일시 ③작업명 ④기관명 ⑤행정:인력 ⑥지원위치 ⑦발신자:기관명,담당자,연락처
Why		복구리소스 지원요청					
How		전산발송					

피해정보 e-문서와 같은 방식으로 ebXML 규격을 따르는 문서로 설계하였다.



복구지원 e-문서 스키마



복구지원요청(장비) e-문서



복구지원요청(물자) e-문서

그림 2.1.18 복구지원 e-문서 스키마 및 생성된 복구지원요청 문서들

(3) e-문서 관리 모듈 개발

피해발생 상황보고 및 제보 UI, 데이터 처리시스템, 복구지원 UI로 구성하였으며, 세부 기능은 다음과 같다.

표 2.1.19 e-문서 관리 프로그램의 기능

기 능	설 명
피해발생 상황보고 및 제보 UI	■ 수변구조물 피해발생 상황보고 및 제보(전산, 어플) ■ 보고내용은 XML 문서로 전환되어 수신
e-문서전송 이력관리	■ 시스템 간 e-문서 송수신 현황 및 전송 상황을 기록 ■ 시스템들의 전송률 등 네트워크 추이 분석
수신문서 분석	■ 전송된 e-문서를 분석 및 스키마 변경 전송 ■ e-문서 유효성 체크
사용자 인증 및 관리	■ 시스템 사용자 정보, 사용자의 IP(사무실, 집)와 연락처(휴대폰) 정보 관리 ■ 전문 전달 경로의 다양화 및 신뢰성 관리
사용자 앱관리 및 API 관리	■ 피해제보 web과 피해상황 보고시스템 버전 체크 및 업데이트 전파
통신 관리	■ 통신, DB서버IP, PORT 관리 및 연계 시스템들의 네트워크 상황 체크
복구리소스 지원 요청 UI	■ 해당 복구 리조스에 지원 요청 ■ XML 문서를 복구리소스 지원 요청으로 전환시켜 송신

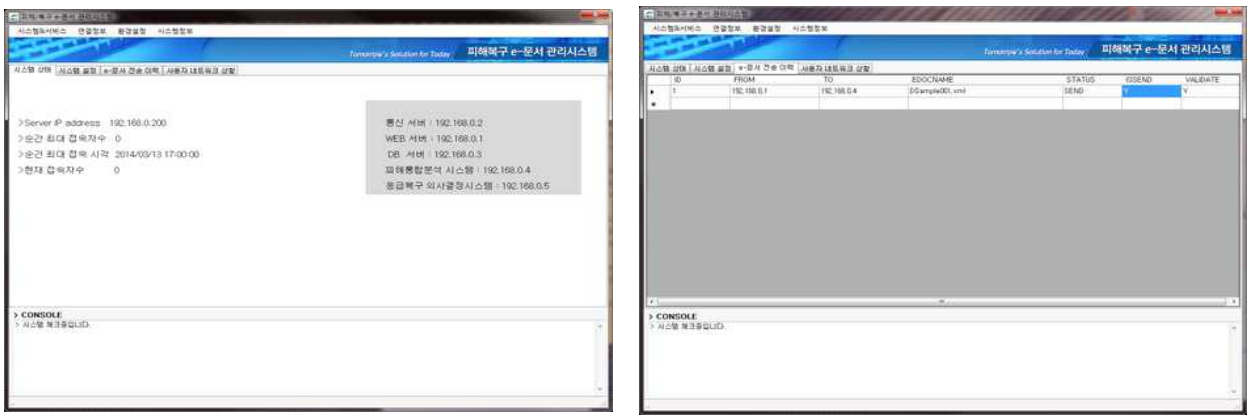
수변구조물 재해발생시 사용할 수 있는 수변관리자가 입력하는 피해발생 상황보고 UI 및 현장에서 사용할 수 있는 피해제보 모바일 UI 등 2종의 모듈을 제작하였다.



피해발생 상황보고 입력 UI　　e-문서 전송 이력 화면

그림 2.1.19 피해발생 상황보고 및 피해제보 모바일 UI 화면

e-문서 전송현황과 각 시스템 연동 상태를 파악할 수 있는 e-문서 관리 모듈의 기능을 구현하였다. 또한, 복구지원 리소스업체에 재해복구 지원요청을 바로 알릴 수 있도록 장비, 물자, 인력, 수송, 구호, 행정 기관별 피해복구지원 리소스 요청 모듈 6종을 개발하였다.



관리시스템 초기 화면 e-문서 전송 이력 화면

그림 2.1.20 e-문서 관리 모듈 UI

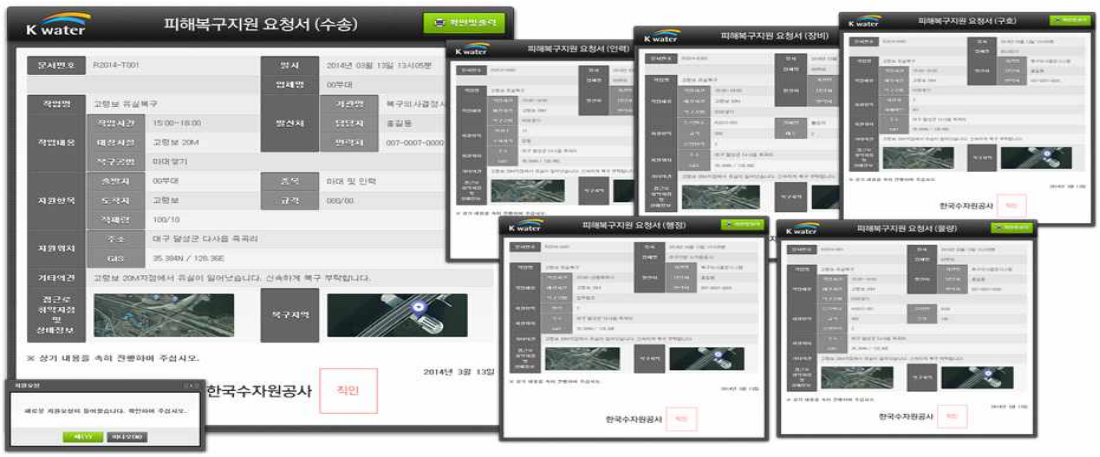


그림 2.1.21 복구지원 리소스 요청 모듈 UI 6종

(4) 피해복구 e-문서 설계안 검증

피해복구 의사결정지원 시스템 v1.0은 한국정보통신기술협회(TTA) 소프트웨어시험인증연구소의 SW시험인증(GS 1등급) 완료하였다. 피해복구 e-문서의 설계안 기능시험을 같이 병행하여 시스템을 통합테스트를 진행하였다.

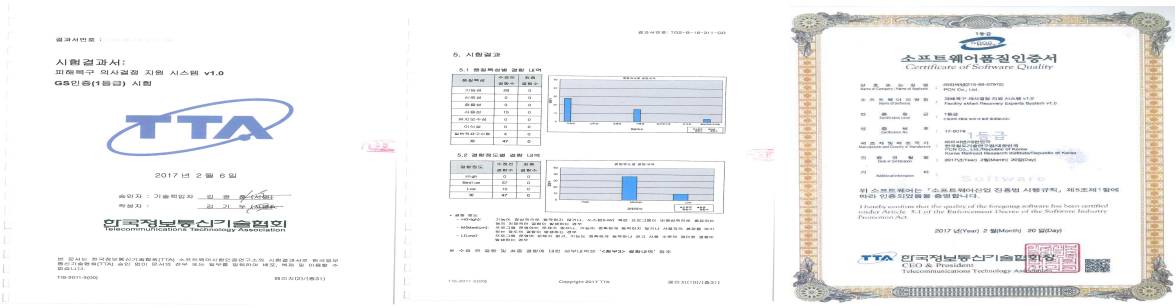


그림 2.1.22 피해복구 의사결정 지원 시스템 소프트웨어시험인증 결과서

3. 피해유형별 복구 시나리오 및 운용 프로세스 개발

가. 피해복구 시나리오 개발

(1) 피해 유형별 복구 시나리오 개발

(가) 개요

① 목적

피해 유형별 실무에서 활용 가능한 피해 복구 시나리오 개발, 피해복구 시나리오를 자동으로 운용할 수 있는 관련 절차 및 코드 정의 개발이 목적이다.

본 시나리오에서 산출되는 복구 계획은 표 2.1.20과 같은 차별성을 가진다. 비록 실시설계서에 산출되는 복구계획서와 같이 정밀한 계획은 아니지만 피해확산을 방지하기 위한 긴급 복구 시에 활용될 수 있는 수준을 목표로 하고 있다.

표 2.1.20 기존 복구계획과 피해복구 시나리오 기반 복구 계획의 차별성

항목	피해복구 시나리오 기반 복구 계획서(본 연구)	일선 실무자의 피해보고 (피해 14일 이내)	합동 조사단의 복구계획(안) (예산 편성 전)	실시설계시 복구계획서 (예산 편성 후)
피해내용	영상, 사진, 제보내용	간략 기술	조사단 기술	상세기술
피해유형	자동 생성	간략 기술	전문가, 자문의견	조사, 시험, 해석에 근거한 원인 규명
피해규모	피해물량 산정	간략 기술	전문가, 자문의견	-
피해원인	간략 기술	간략 기술	전문가, 자문의견	조사, 해석, 시험에 의한 원인 규명
응급 복구 방안	신속한 복구 계획 수립	현황 간략 기술	현황 간략 기술	상세기술
중장기 복구방안	복구 시나리오에 따라 장기 복구 인계	-	간략 검토(자문)	적용성, 환경, 미관, 경제성, 시공성, 안전성, 지역균형발전을 고려한 복구 공법 선택
복구비	자동 계산	추정	추정	실시 설계 내역서
측량 및 조사	-	-	-	측량, 물리탐사, 현장시험
실내시험	-	-	-	토질시험, 암석시험 등
공법	표준 공법 설명	-	-	상세도면
유지관리계획	-	-	-	계측관리, 점검항목

(나) 피해유형별 피해복구 시나리오

① 목적

피해유형별 복구 시나리오, 피해복구 시나리오 검증, 긴급복구 실행관리 모듈의 내용이 포함되어 수변구조물 스마트 피해복구 지원시스템의 운영과 실무 운용에 활용 가능하다.

피해유형별 복구 시나리오는 실무에서 활용 가능한 시나리오로 피해확산을 방지하고 긴급 복구 시에 활용될 수 있는 수준을 목표로 작성되었다.

피해복구 시나리오의 공법 도출 정확도 향상을 위하여 사례검증, 시뮬레이션검증, 현장모의검증 등을 통하여 평가 및 개선하였다.

② 시나리오 작성 방법 및 내용

표 2.1.21은 복구 시나리오의 작성 방법 및 내용을 기술한 것이다. 토목 공사의 복구와 같은 경우 기존 설계기준, 시방서, 진단기준 등이 있으며 관련 기준에 의해 복구공사를 시행해야 한다. 기준이 존재하지 않거나 정성적인 경우 관련 전문가의 의견을 반영하였으며 자문의견을 통해 시나리오의 적정성을 검토하였다.

표 2.1.21 피해복구 시나리오 작성 방법 및 내용

항 목	방 법	내 용
대상	-	재난 시나리오 : 태풍, 호우, 지진으로 인한 수변구조물 피해 대상수변구조물 : 제방, 사면, 댐, 보, 옹벽, 교량 등 수변구조물 6개
작성법	Flowchart 및 의사결정트리 복합형	거시 흐름 : Flowchart 방식 세부(기술적) 의사결정 : Decision Tree 방식
피해유형의 결정	통계, 문헌, 논문 조사결과를 바탕으로 선별	국내외 피해 사례 분석 전문가 의견 반영
판별 기준	정부발간 기준집, 사례집, 전문가 의견 수렴	피해 판정 기준 : 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 “d” 등급(한국시설안전공단), 전문가 의견 작업환경조건 기준 : 산업기상기준(기상청) 설계기준 및 지침 : 하천설계기준, 자연재난조사 및 복구계획수립지침(2013 소방방재청), 공공시설 수해복구지침(지자체), 시설물의 손상 및 보수보강 사례집(한국시설안전공단)
검증방법	전문가, 실무자 검증	전문가 자문(7인), 실무자 자문(1인) 시뮬레이션(6건), 사례검증(53건) 및 현장검증 (136건) 테스트베드 적용(1건)

본 연구에서 수변구조물의 긴급복구를 위한 단계를 안전등급 D등급으로 설정하였다. 이유는 D등급은 사용 제한 전 단계로써 신속한 보수·보강이 필요한 시기이기 때문이다. C등급은 경미한 결합으로써 수변구조물 일상 보수에 포함되는 경우가 많고, 장기복구와 이중투자 문제, 구조적으로 중요치 않은 보조부재의 피해 등이기 때문에 좀 더 중요한 부재에 복구 역량을 집중하기 위하여 D등급을 긴급복구 기준으로 설정하였다.

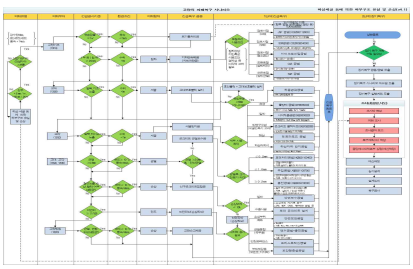
③ 교량

표 2.1.22는 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 교량, 건축물 등을 참고하여 긴급복구에 대한 판정기준을 제시한 표이다. 교량의 전도는 구조물 전도 기준과 유사함으로 건축물 편의 기준을 준용하였다.

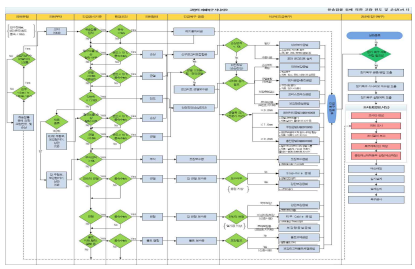
표 2.1.22 피해복구 시나리오에서의 긴급복구 기준(교량)

수변구조물	소분류	피해형태	판정기준	관련근거	비고
교량	상판, 교대, 교각	균열	≥0.5 mm	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(교량)	“d” 등급
	기초지반	침하	≥20 mm	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(교량)	“d” 등급
	기초지반	세굴	말뚝,케이슨 전반 노출	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(교량)	“d” 등급
	교각	전도	≥(1/150)	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 건축물편 각변위의 한계 (Bjerrum,1963), 전문가 자문의견	“e” 등급 긴급보수필요

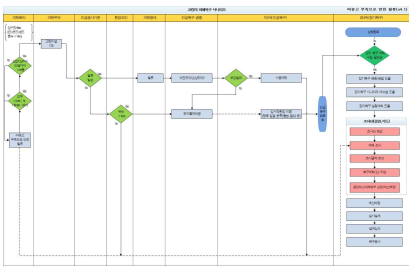
교량의 피해복구 시나리오는 교량 주요 붕괴원인인 하상세굴에 의한 하부구조 유실, 여유고 부족으로 인한 유수 월류, 유송잡물에 의한 교량전도, 교량 연장 부족, 교대 보호공 부실로 인한 접속부 유실 등 대표적 피해유형 5개와 이를 통합한 통합본 1개로 작성하였다. 그림 2.1.23은 교량의 피해복구 시나리오이다.



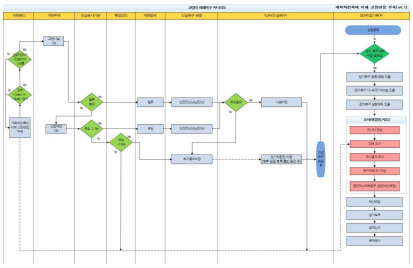
(a)하상 세굴 등에 의한 하부구조 유실 및 손상



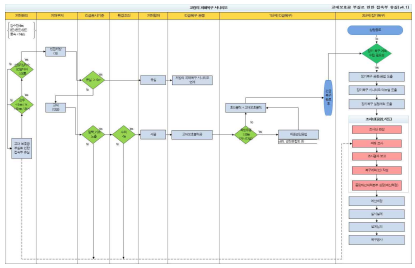
(b)유송잡물 등에 의한 교량전도 및 손상



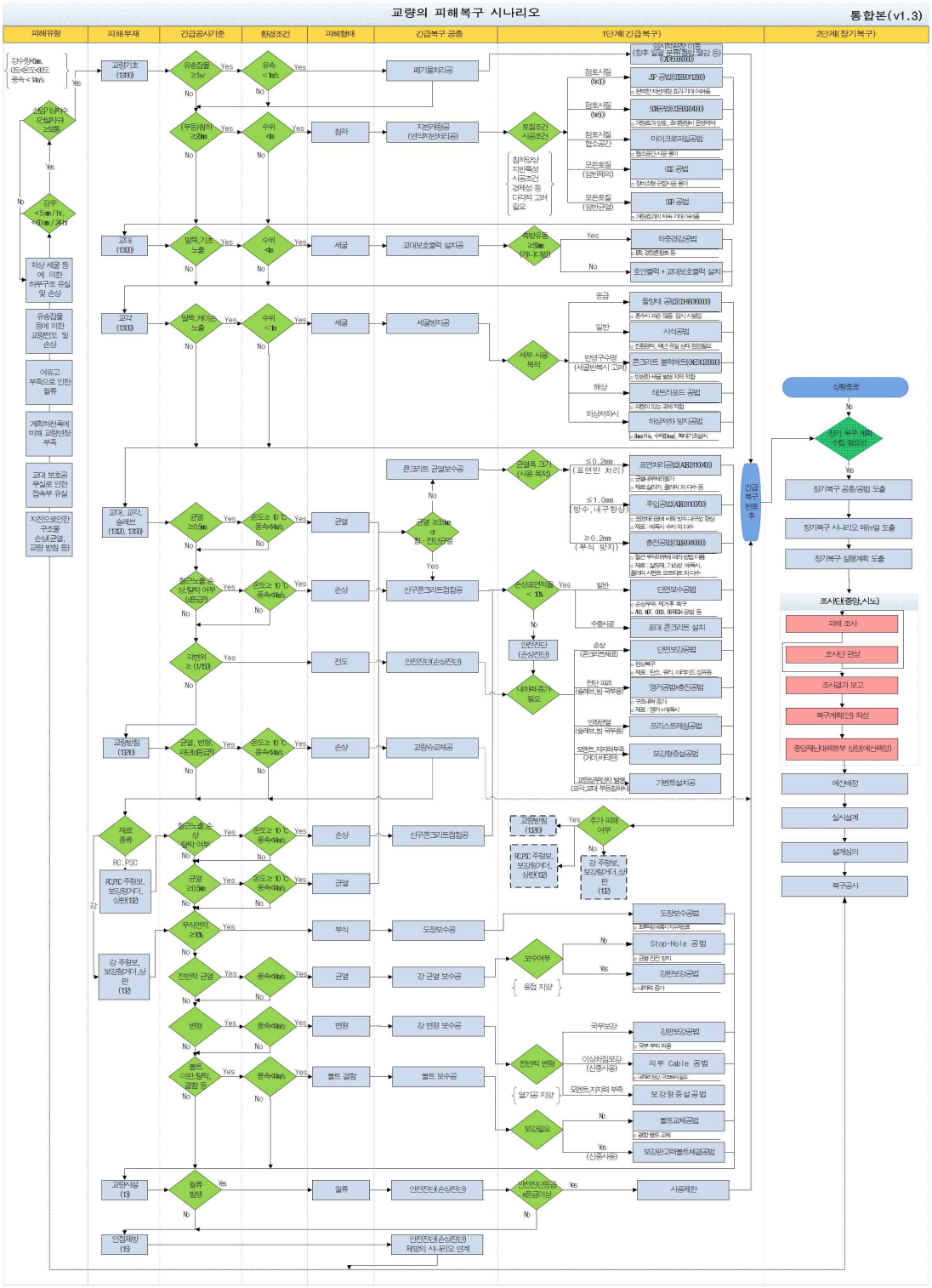
(c)여유고 부족으로 인한 월류



(d)계획하천폭에 비해 교량연장 부족



(e)교대 보호공 부실로 인한 접속부 유실



(f) 교량의 구조물 형식별 피해복구 시나리오(통합본)

그림 2.1.23 교량의 피해복구 시나리오

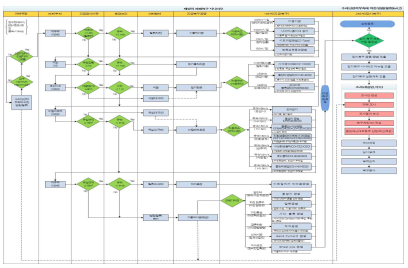
④ 제방

제방의 피해기준은 하천설계기준 및 유사시설물의 정밀안전진단 세부지침해설서를 참고하여 긴급복구에 대한 판정기준을 제시하였다. 표 2.1.23는 긴급복구 기준표(제방)이다. 댐과 사면 같은 경우 비교 판정기준이 정량적으로 제시하고 있기 때문에 제방에 준용하였다.

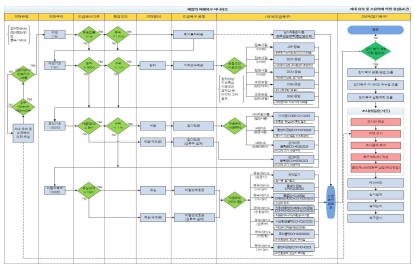
표 2.1.23 피해복구 시나리오에서의 긴급복구 기준(제방)

수변구조물	소분류	피해형태	판정기준	관련근거	비고
제방	둑마루	여유고 부족	≤ 1.0m	하천설계기준·해설 계획홍수량에 따라 0.6~2.0m	-
	앞비탈, 밑다짐	세굴 침식	≥ $5m^2$	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(절토사면) 준용	D등급
	앞비탈, 제체	유실	≥ $15m^2$	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(댐) 준용	D등급
	뒷비탈, 제체	누수	≥ 75L/min	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(댐) 준용	D등급
	댐마루, 기초지반	침하	≥ 50cm	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(댐) 준용	D등급
	댐마루, 앞비탈,뒷비탈	인장 균열	≥ 5mm	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(절토사면) 준용	D등급

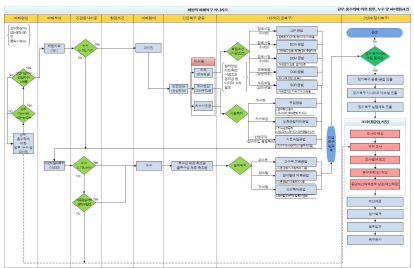
제방의 피해복구 시나리오는 피해유형인 월류(수리단면적 부족에 의함 벌람), 침식(과대유속 및 소유력에 의한 유실), 제체불안정(홍수위에 의한 침투, 누수 및 파이핑), 구조물에 의한 파괴(하천구조물 접합부에서 파괴로 인한 붕괴) 등 4개와 통합본 1개로 작성하였다. 그림 2.1.24는 제방의 피해복구 시나리오이다.



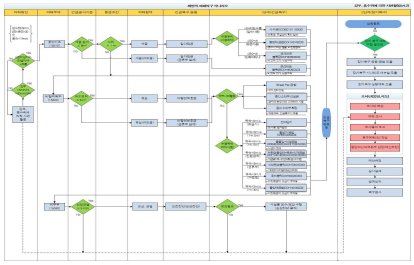
(a)수리단면적 부족에 의한 범람(월류)



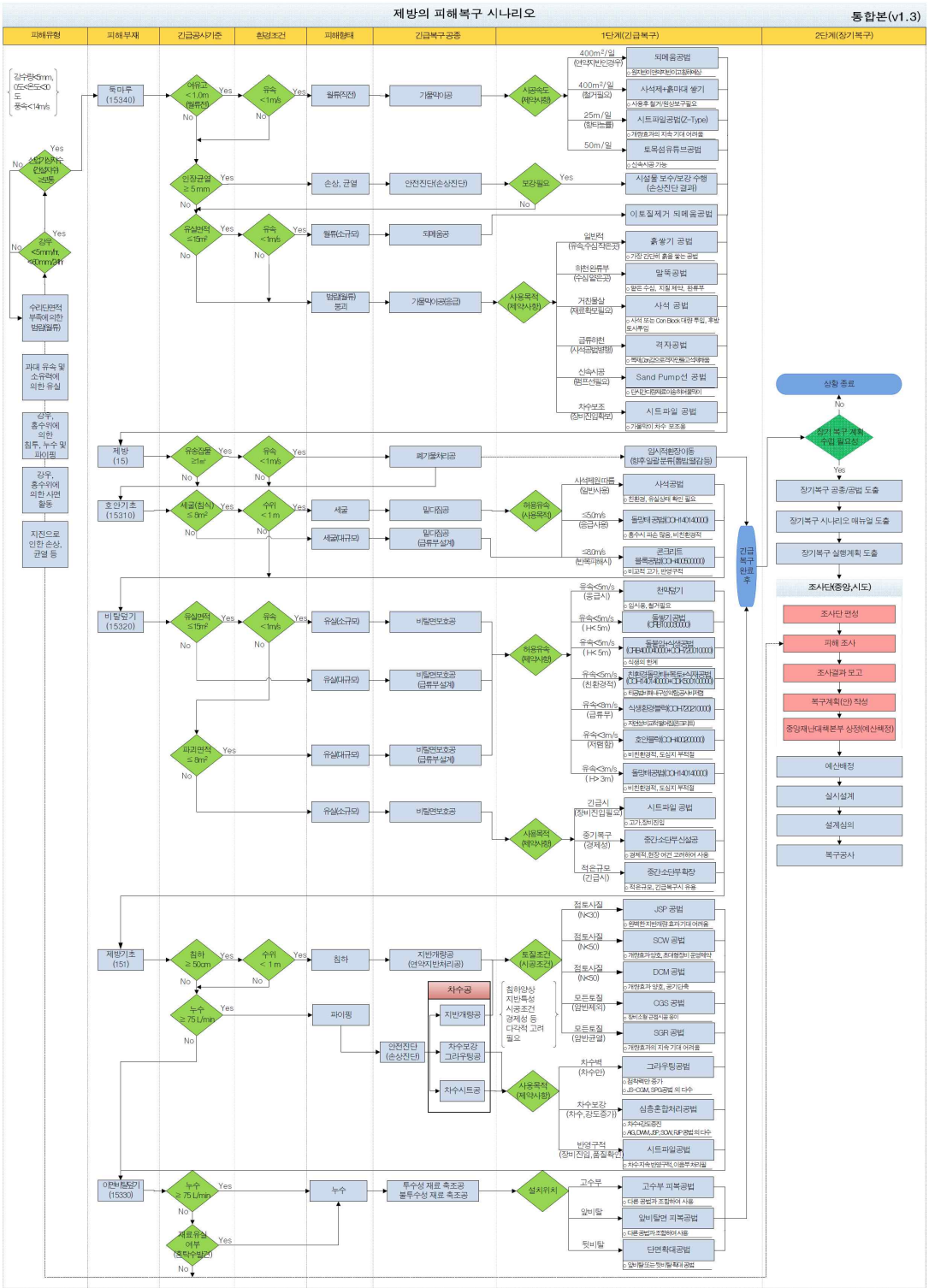
(b)과대 유속 및 소유력에 의한 유실



(c)강우, 홍수위에 의한 침투, 누수 및 파이핑



(d)강우, 홍수위에 의한 사면 활동



(e) 제방의 구조물 형식별 피해복구 시나리오(통합본)

그림 2.1.24 제방의 피해복구 시나리오

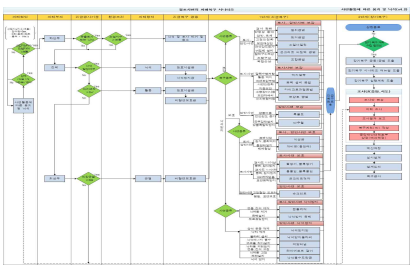
⑤ 사면

표 2.1.24는 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(절토사면) 부분을 참조하여 제시한 기준이다. 댐과 사면과 같은 경우 비교 판정기준이 정량적으로 제시하고 있기 때문에 제방에 준용하였다. 인장균열과 침식의 긴급공사 판정기준은 댐, 제방, 옹벽 등 사면을 포함하고 있는 수변구조물에 적용 될 수 있다.

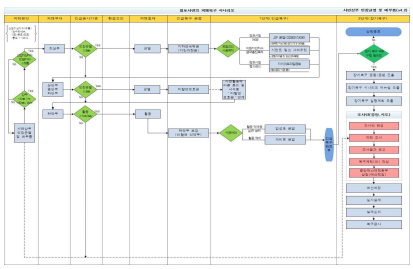
표 2.1.24 피해복구 시나리오에서의 긴급복구 기준(절토사면)

수변구조물	소분류	피해 형태	판정기준	관련근거	비고
절토사면	상면	인장균열	≥5mm	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(절토사면) 준용	D등급
	상면, 하부	침식	$\geq 8m^3$	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(절토사면) 준용	D등급

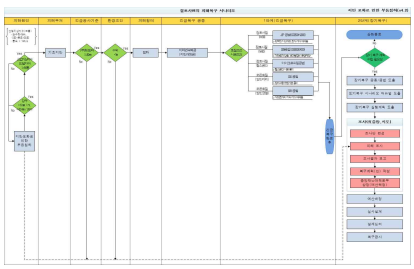
사면의 피해복구 시나리오는 피해유형인 붕괴(사면활동에 따른 낙석 및 붕괴), 균열(사면 상부 인장균열 및 배부름), 침하(기초지반 포화로 인한 부등침하), 세굴유실(수면 접속부 세굴에 의한 유실, 배수(배수공 불량) 등 5개와 통합본 1개로 작성하였다. 그림 2.1.25는 사면의 피해복구 시나리오이다.



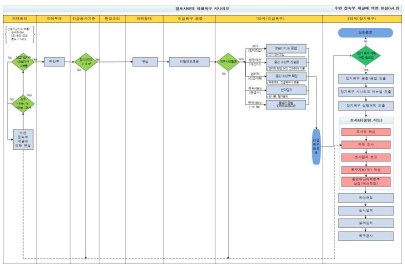
(a)사면활동에 따른 붕괴 및 낙석



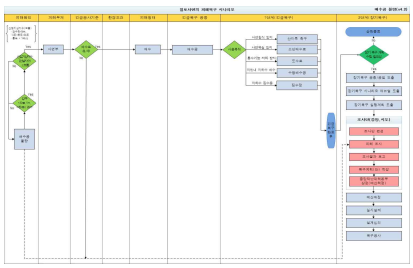
(b)사면상부 인장균열 및 배부름



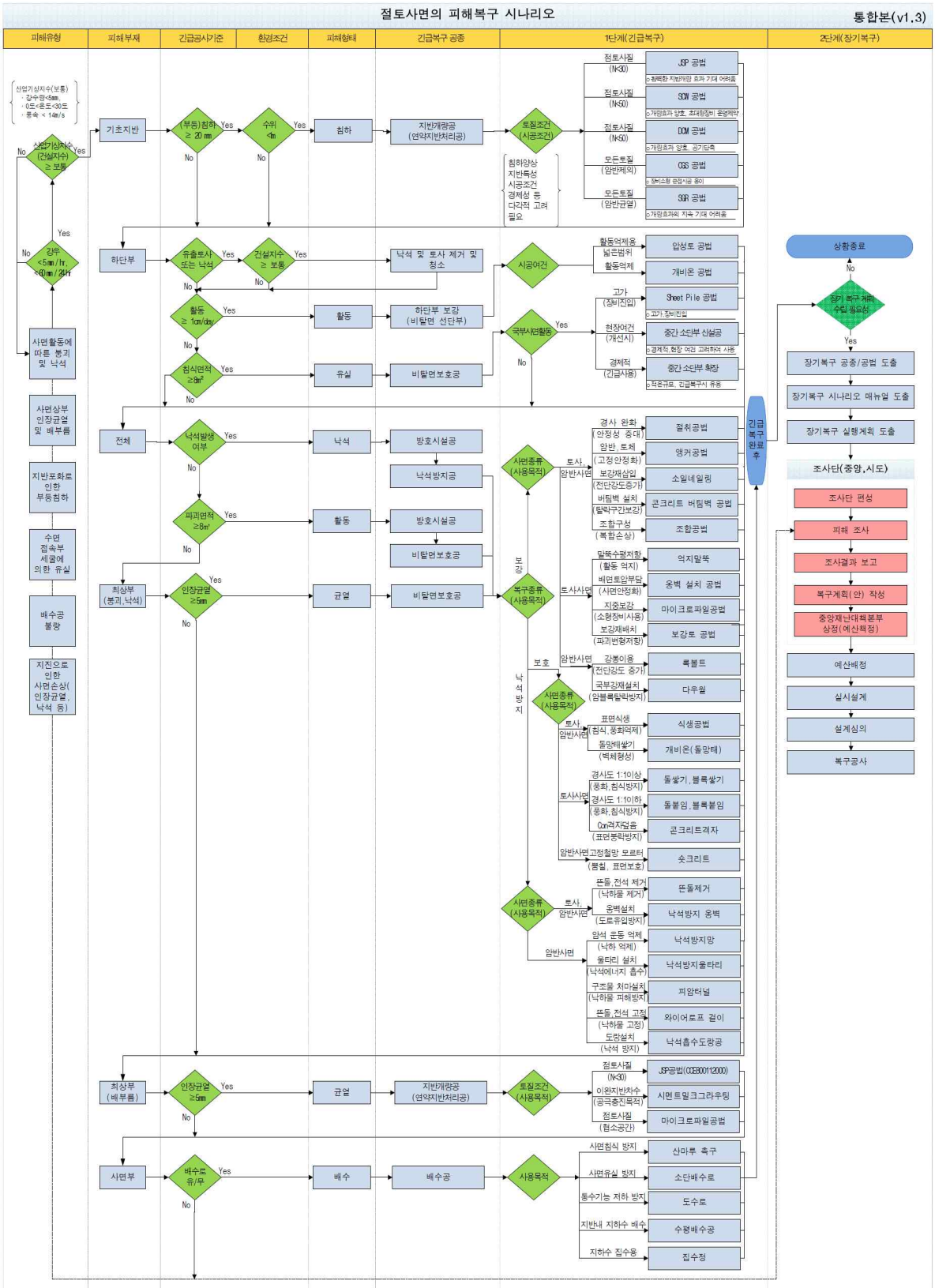
(c)지반포화로 인한 부등침하



(d)수면 접속부 세굴에 의한 유실



(e)배수공 불량



(f) 사면의 구조물 형식별 피해복구 시나리오

그림 2.1.25 사면의 피해복구 시나리오

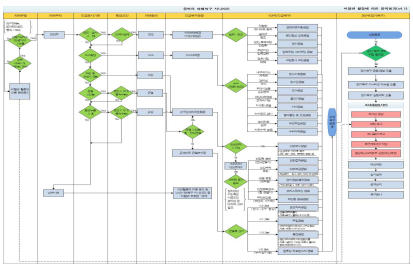
⑥ 옹벽

표 2.1.25은 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 옹벽, 사면 등을 참고하여 긴급복구에 대한 판정기준을 제시한 표이다. 교량의 전도는 구조물 전도 기준과 유사함으로 건축물 편의 기준을 준용하였다.

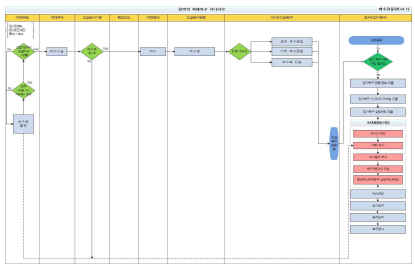
표 2.1.25 피해복구 시나리오에서의 긴급복구 기준(옹벽)

수변구조물	소분류	피해형태	판정기준	관련근거	비고
옹벽	기초, 전면 콘크리트	균열	≥0.3mm	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(옹벽) 준용	D등급
	기초지반	침하	≥8cm	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(옹벽) 준용	D등급
	뒷채움부	균열	≥5mm	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(옹벽) 준용	D등급
	뒷채움부 상부사면	파손	$\geq 8m^2$	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(절토사면) 준용	D등급

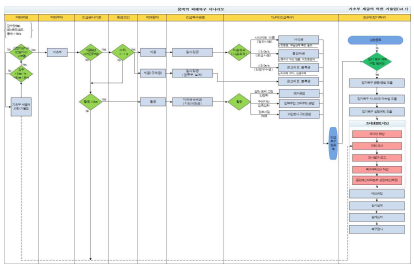
옹벽의 피해복구 시나리오는 피해유형인 사면활동(비탈면 활동에 따른 옹벽붕괴), 전도(배면 토사 포화로 인한 옹벽 전도, 침하(기초 지반 포화로 인한 부등침하), 세굴(기초부 세굴에 의한 기울림) 등 4개와 통합본 1개로 작성하였다. 그림 2.1.26은 옹벽의 피해복구 시나리오이다.



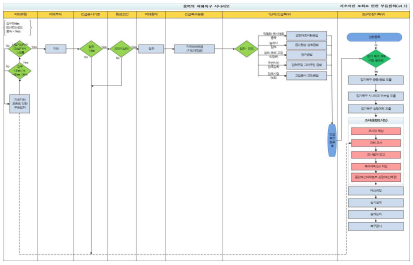
(a)비탈면 활동에 따른 옹벽붕괴



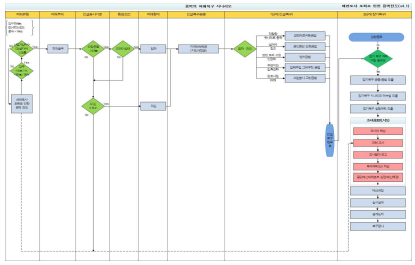
(b)배수공 불량



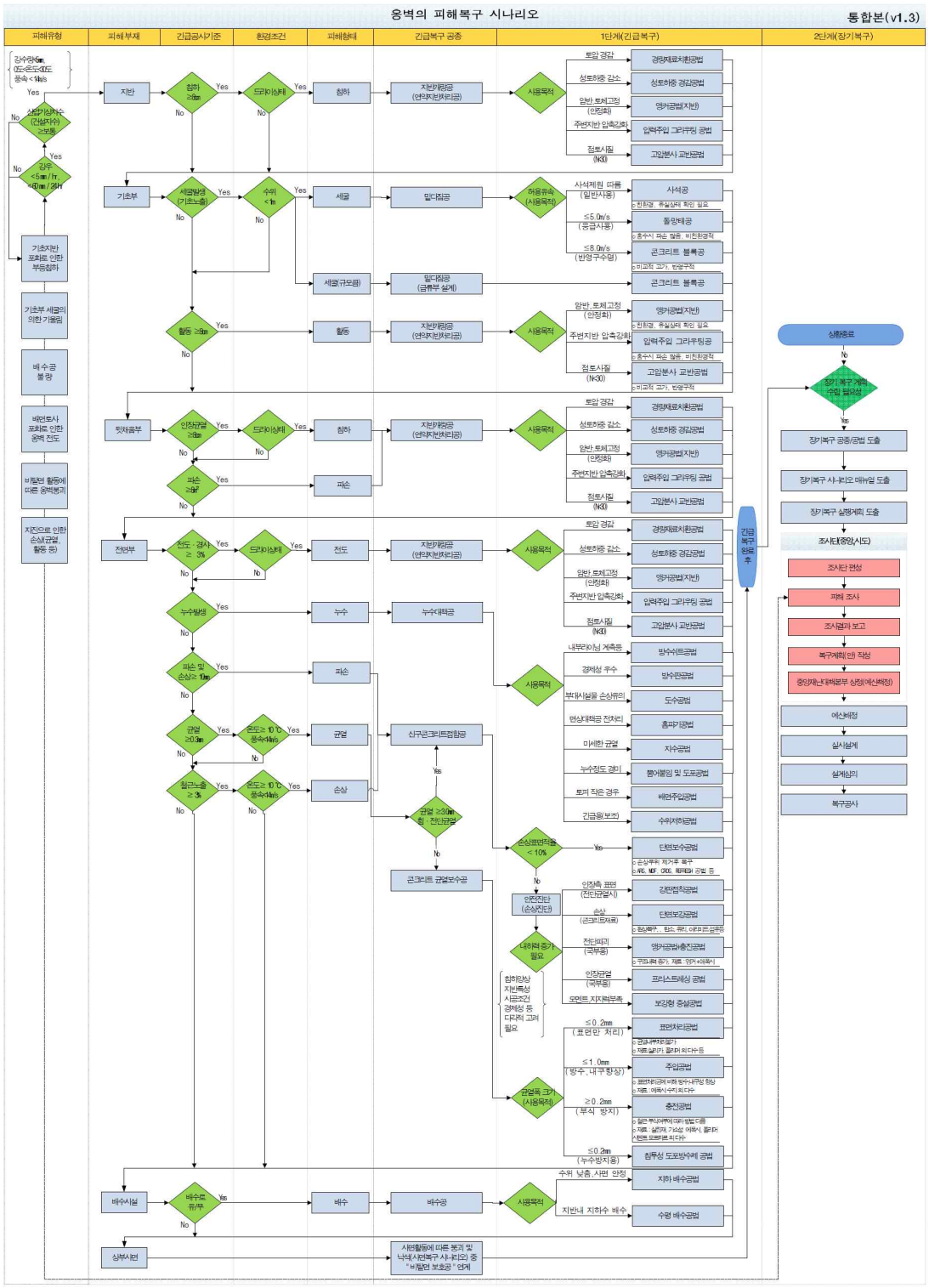
(c)기초부 세굴에 의한 기울림



(d)기초지반 포화로 인한 부등침하



(e)배면토사 포화로 인한 옹벽 전도



(f) 옹벽의 구조물 형식별 피해복구 시나리오

그림 2.1.26 옹벽의 피해복구 시나리오

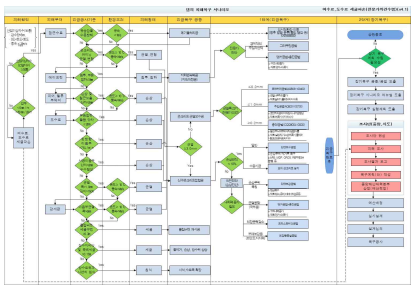
⑦ 댐

표 2.1.26은 콘크리트댐의 안전등급 중 D등급의 기준표를 정리한 것이다. 기준을 살펴보면 콘크리트의 파손 깊이, 균열, 누수량, 균일깊이 등을 정량적으로 제시하고 있다. 교량의 전도는 구조물 전도 기준과 유사함으로 건축물 편의 기준을 준용하였다. 댐의 기준은 비교적 다른 수변구조물에 비해 판정기준이 명확하기 때문에 유사 기준 준용 없이 사용하였다.

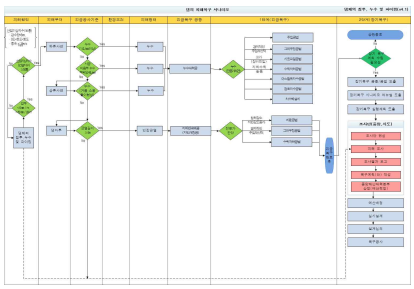
표 2.1.26 피해복구 시나리오에서의 긴급복구 기준(댐)

수변구조물	소분류	피해형태	판정기준	관련근거	비고
댐	기초지반, 댐마루	침하	≥50cm	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(댐)	D등급
	전체	파손	≥50mm(파손깊이)	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(댐)	D등급
	하류사면	누수	≥1L/min	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(댐)	D등급
	댐마루, 상류사면, 제체	유실	≥15m^2	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(댐)	D등급
	상류사면	활동, 침식	≥2m(슬라이딩길이, 침식고)	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(댐)	D등급

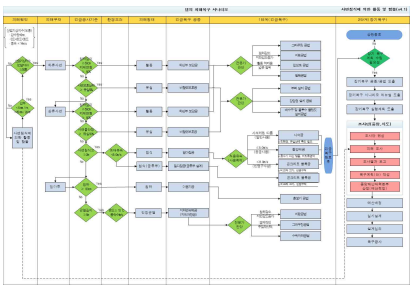
댐의 피해복구 시나리오는 피해유형인 월류(월류로 인한 제체 및 양안부 유실), 활동(사면침식에 의한 활동 및 함몰), 누수(댐체의 침투, 누수 및 파이핑), 세굴(여수로, 도수로 세굴파손), 세굴(기초부 세굴) 등 5개와 통합본 1개로 작성하였다. 그림 2.1.27은 댐의 피해복구 시나리오이다.



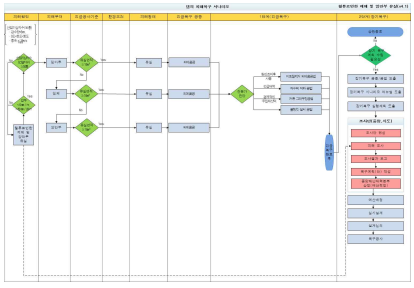
(a)여수로, 도수로 세굴파손



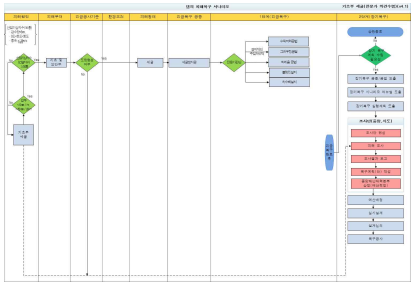
(b)댐체의 침투,누수 및 파이핑



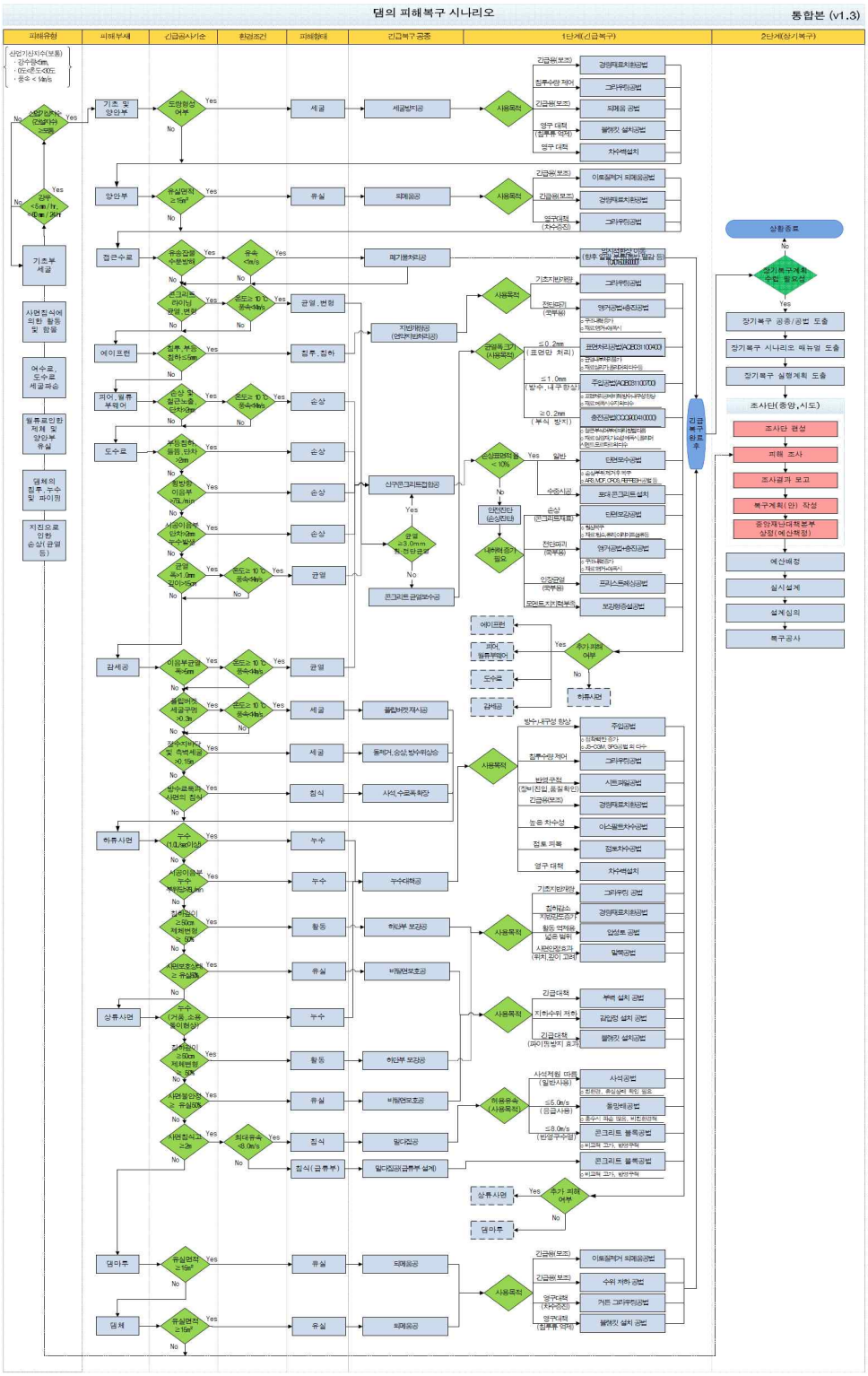
(c)사면침식에 의한 활동 및 함몰



(d)월류로 인한 제체 및 양안부 유실



(e)기초부 세굴



(f) 댐의 구조물 형식별 피해복구 시나리오

그림 2.1.27 댐의 피해복구 시나리오

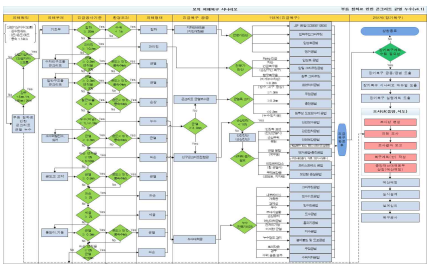
⑧ 보

표 2.1.27은 보의 안전등급 중 D등급의 기준표를 정리한 것이다. 보의 교량은 교량의 피해복구 시나리오를 참조하면 된다. 보와 같은 경우에는 콘크리트 구조물과 흙 구조물로 구성되어 있기 때문에 교량의 콘크리트 기준과 세굴 기준을 준용하였다.

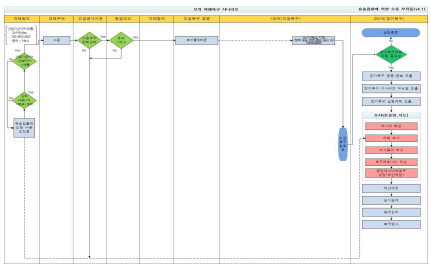
표 2.1.27 피해복구 시나리오에서의 긴급복구 기준(보)

주변구조물	소분류	피해 형태	판정기준	관련근거	비고
보	본체	균열	≥0.5 mm	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 교량편	D등급
	기초 지반	침하	≥20 mm	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 교량편	D등급
	기초 지반	세굴	말뚝, 케이슨 전반 노출	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(교량)	D등급
	본체	전도	≥(1/150)	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 건축물편 각변위의 한계 (Bjerrum,1963), 전문가 자문의견	D등급
	바닥 보호공	세굴	$\geq 5m^2$	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(사면) 준용	D등급

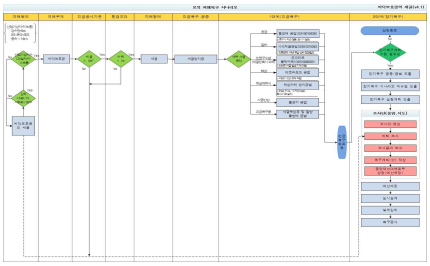
보의 피해복구 시나리오는 피해유형인 균열(부등 침하로 인한 콘크리트 균열 누수), 파손(유송잡물에 의한 수문 오작동), 세굴(바닥호보공의 세굴, 감세공의 세굴) 등 4개와 통합본 1개로 작성하였다. 그림 2.1.28은 보의 피해복구 시나리오이다.



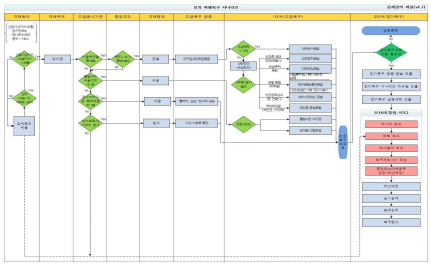
(a)수리단면적 부족에 의한 범람(월류)



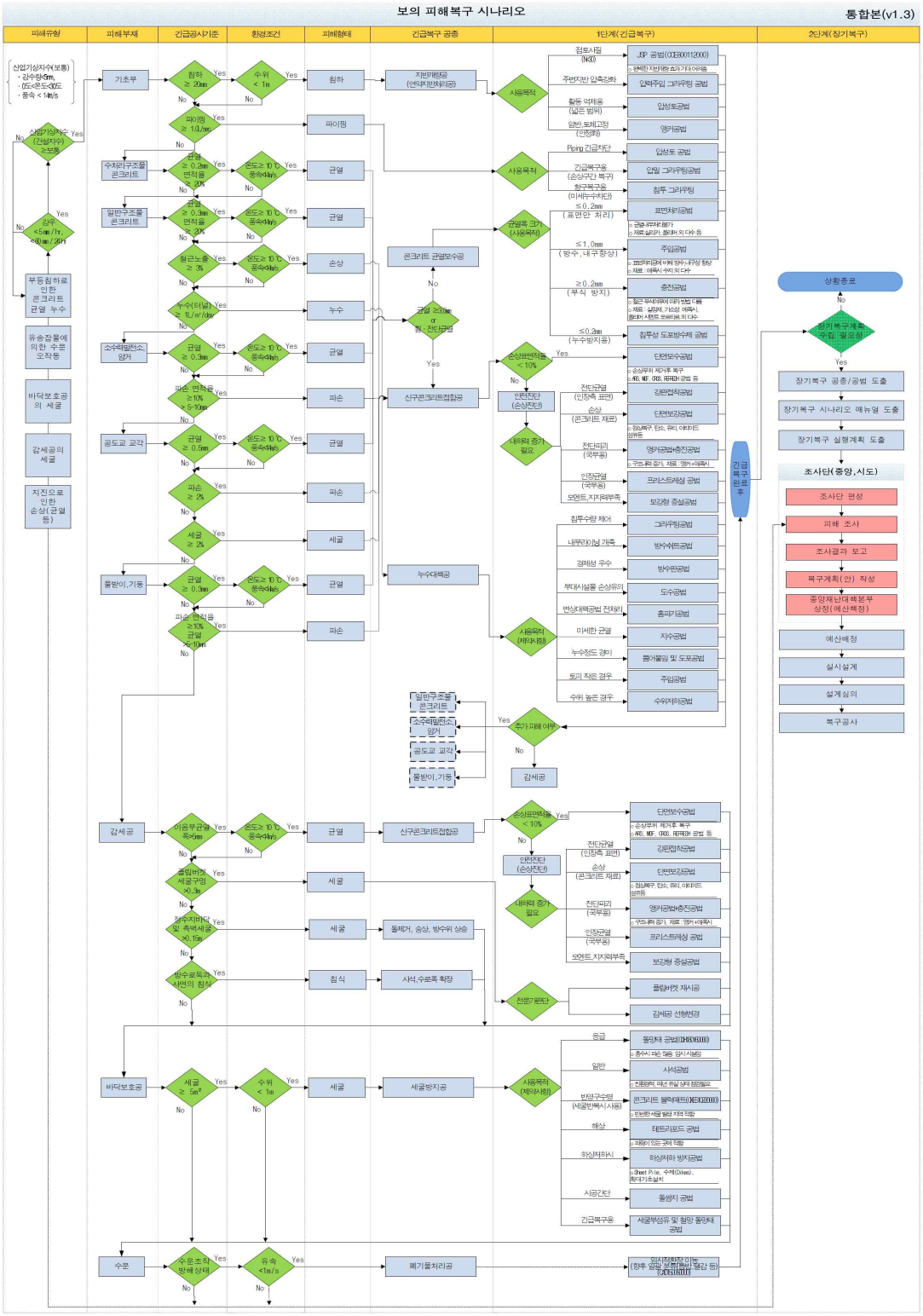
(b)과대 유속 및 소유력에 의한 유실



(c)강우, 홍수위에 의한 침투, 누수 및 파이핑



(d)강우, 홍수위에 의한 사면 활동



(e) 보의 구조물 형식별 피해복구 시나리오

그림 2.1.28 보의 피해복구 시나리오

(2) 복구 리소스를 고려한 복구 시나리오 의사결정 지원 프로세스 개발

(가) 개요

개발한 피해복구 시나리오에 대하여 복구 리소스를 고려하여 전산적으로 구축 할 수 있도록 관련 프로세스를 개발하였다.

(나) 의사결정 지원 프로세스 개발

① 표준 코드 사용

기준・시방서별 공종, 시설, 자재, 노무, 기계 등 명칭이 상이하여 표준코드를 사용하였다. 공사 및 공종명을 표준공사코드(조달청)로 통일, 나라장터 연계하였다. 시설물 및 부재명을 건설 정보 분류체계(국토교통부)로 통일하였다. 복구자원(자재, 노무, 기계 등) 명칭: 통합 원가관리 시스템(조달청)로 통일하였다. 표 2.1.28은 피해유형에 따른 복구 공종코드이다.

표 2.1.28 피해유형에 따른 복구 공종 코드(조달청, http://pccs.g2b.go.kr/)

명칭	복구공종 및 공법			
	대상	공종명	표준공종코드	비 고
범람	지반	천단잡석 부설공	COH90001	
	-	호안 천단공	COH90002	
유실	지반	P.P마대 쌓기 및 헐기공	CAA2109	
파손 (부유물충돌)	콘크리트	신구 콘크리트 접합공	CER4000	
	콘크리트	무수축 몰탈공	CER5000	
	콘크리트	무수축 콘크리트공	CER6000	
	교량받침	교량받침보수공	CKB9003	
	지반	지반개량공(연약지반처리공)	CC*****	
침투	지반	지반개량공(연약지반처리공)	CC*****	
	지반	JSP공	CCE800*	
	지반	비탈면 보호공	CDJ****	
세굴	지반	사석공	COB0***	
	지반(교각)	세굴방지용 사채움공	CKE51001	
	교대	교대 보호블럭 설치공	CKE5203	
침식	지반	비탈면 보호공	CDJ****	
	지반	사석공	COB0***	
	지반	돌망태공	COH1***	
	지반	거적덮기공	CDJ****	
균열	콘크리트	콘크리트 균열 보수공	CQQ9004	
	지반	지하연속벽공	CCE****	
	지반	JSP시공	CCE800*	
침하	지반	JSP공	CCE800*	
	지반	지하연속벽공	CCE****	
철근노출	콘크리트	신구 콘크리트 접합공	CER4000	
누수	콘크리트	콘크리트 균열 보수공	CQQ9004	
	지반	JSP공	CCE800*	
슬라이딩	지반	비탈면 보호공	CDJ****	
	지반	절토부방호시설공	CAA25001	

② 소요 복구 자원 산출 프로세스 및 자동선정

소요 복구자원 산출 프로세스는 신속한 복구공사를 위하여 자원(전문 업체, 자재, 기계) 비용이 필요하다. 자원 산출 방안은 통합 원가관리 시스템 및 토목 적산 프로그램 일위대가 DB 연계하였다. DB현행화 방안은 조달청 인증 토목 적산 프로그램 DB(물가정보)로 최신으로 유지하도록 하였다.

표 2.1.29는 복구 공법의 선정 시나리오를 설명한 것이다. 그림 2.1.29와 같이 공법 선정 시나리오는 입력 데이터와 의사 결정 트리를 이용하여 복구 공법을 산출토록 하였다. 이때 R-Package의 Predict 기능을 사용하여 최종적으로 공법을 산정한다.

표 2.1.29 긴급복구공법 선정 시나리오

No	기 능 명	기 능 설 명
①	데이터 관리	데이터 DB 테이블 관리 - 입력/삭제/수정 - DB 테이블 저장
②	의사결정 입력	의사결정 입력 - 입력/삭제/수정 - DB 테이블 저장
③	의사결정 분석, 예측	의사결정 분석 - ① 의 데이터를 이용하여 의사결정트리 작성(PDF, PNG 출력) - 의사결정트리와 ② 입력 값을 이용하여 “복구공법＂예측 - 예측 값을 DB 저장
④	의사결정 결과 표출	의사결정 결과 표출 - 입력값, 출력값, 의사결정트리화면 표출 - 엑셀 저장 기능
⑤	의사결정 결과 관리	의사결정 결과물의 수정, 삭제 기능

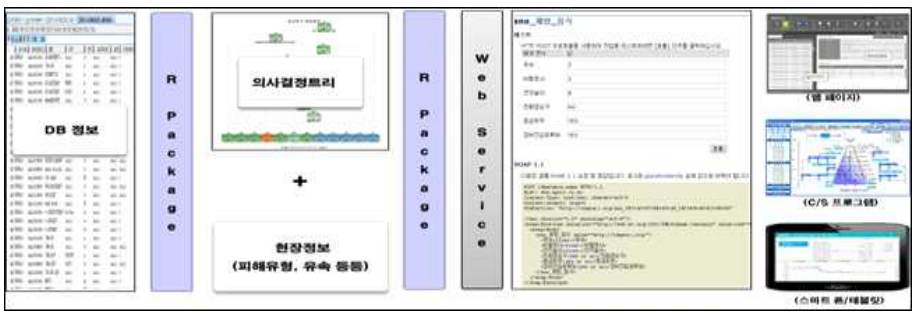


그림 2.1.29 복구공법 자동화 프로세스

③ 표준 자재, 장비, 노무, 공종 코드의 DB 구축

표 2.1.30은 표준공사코드의 DB 테이블 구축 현황이다. DB입력 구축 개수는 155,660개이다. 데이터는 조달청 홈페이지에를 통해 최신 데이터로 업데이트할 수 있다. 복구 공종 및 자원에 대하여 표준 명칭 및 코드를 사용으로 용어 통일, 단가 현행화, 처리 단축할 수 있다.

표 2.1.30 자재, 장비, 노부, 공종 코드 DB Table 구축 현황

항목	테이블명	개수	주요 항목	활 용 내 용
복구 공종	RCV_국가표준코드_공종	7,878	공사구분, 공종 분류코드, 상위 공종 코드분류, 레벨, 공종명, 공정설명	복구공사 중 공종명을 국가 표준 코드에 맞춰 작성 예> 토목공사, 주형보 받침
복구세부 공종	RCV_국가표준코드_세부공종	32,951	공사구분, 세부 공종코드, 품명, 규격, 단위, 시설 자재코드, 설명, 규격화여부	복구공사 중 세부 공종명을 국가 표준 코드에 맞춰 작성 예>토목공사, 조립식강관동바리, H=20~30m, 6개월공㎥
복구공종 설명	RCV_국가표준코드_물품분류	2,120	물품 관리구분, 물품 분류번호, 상위 물품 분류번호, 레벨, 분류명, 분류설명	복구공사 중 필요한 물품을 국가 표준 코드에 맞춰 작성 예> 자재, 그라우팅 펌프, 댐, 건축물, 터널, 항만 등의 공사에서 연약한 지반을 굳히거나 암반의 틈을 메우기 위하여 시멘트
자재,노무,기계 코드	RCV_국가표준코드_자원	56,489	물품 관리구분, 물품 분류번호, 상위 물품 분류번호, 레벨, 분류명, 분류설명	복구공사 중 필요한 자원을 국가 표준 코드에 맞춰 작성 노무, 자재, 건설기계 등으로 구분됨 예> 자재, 토목용 부직포, 보강포, PP망
노임 단가	RCV_노임단가	230	코드, 명칭, 규격, 단위, 단가 예> 보통 인부, 특별인부 등	복구공사 중 발생되는 노임(인건비)을 산출하기 위한 단가표 예> 보통 인부, 특별 인부 등
자재 단가	RCV_자재단가	55,115	코드, 명칭, 규격, 단위, 단가	복구공사 중 발생되는 자재를 산출하기 위한 단가표 예> 잡석, 화강 경계석 등
중기 단가	RCV_중기단가	877	코드, 명칭, 규격, 단위, 단가	복구공사 중 발생되는 중장비의 사용 시 발생되는 단가표 예> 불도저 (타이어) 15 TON 재노경 등
합 계		155,660		

(3) 복구 시나리오 검증

(가) 시뮬레이션 검증

① 개요

개발된 복구 시나리오에 대한 정확도에 대한 정량적 지표가 필요하여 시뮬레이션 전용 S/W(ProModel)를 이용해 논리흐름 및 무한 루프 여부, 입·출력 정확도(화이트테스트)를 검증하였고, 개발된 복구 시나리오와 과거 복구 사례를 대조하여 실제 긴급복구 사례에서 사용했던 복구 공종 및 공법과의 일치도를 확인하였다.

(나) 시뮬레이션 검증

① 피해복구 시뮬레이션 검증 방법

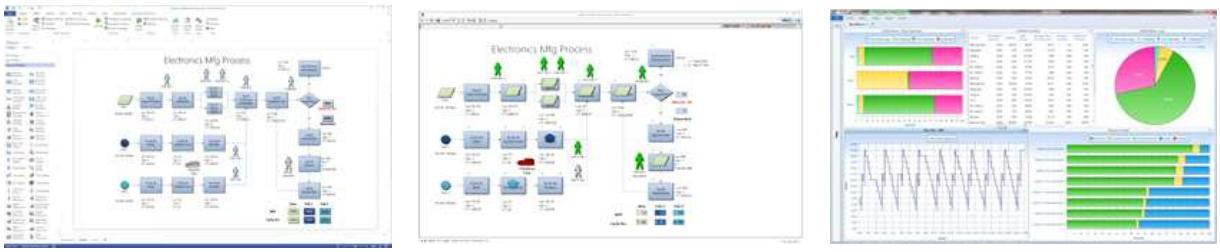
복구 시나리오를 정량적으로 검증하기 위하여 시뮬레이션 S/W(ProModel)를 사용했다.

② 시뮬레이션 S/W(ProModel)

ProModel은 다양한 운영 시스템을 개선하기 위해 사용되는 시뮬레이션 S/W로서 활용분야로는 항공우주, 정부 및 국방부, 제조, 제약, 서비스에 활용되고 있다.

③ 검증 방법

복구 시나리오를 ProModel에 적용해 복구 시나리오의 논리 흐름 결함(무한 루프 여부, 입력 개수와 출력개수 일치 여부)과 설계의도 시뮬레이션 결과를 확인하는 방법이다. 그림 2.1.30은 시뮬레이션 검증방법이다.

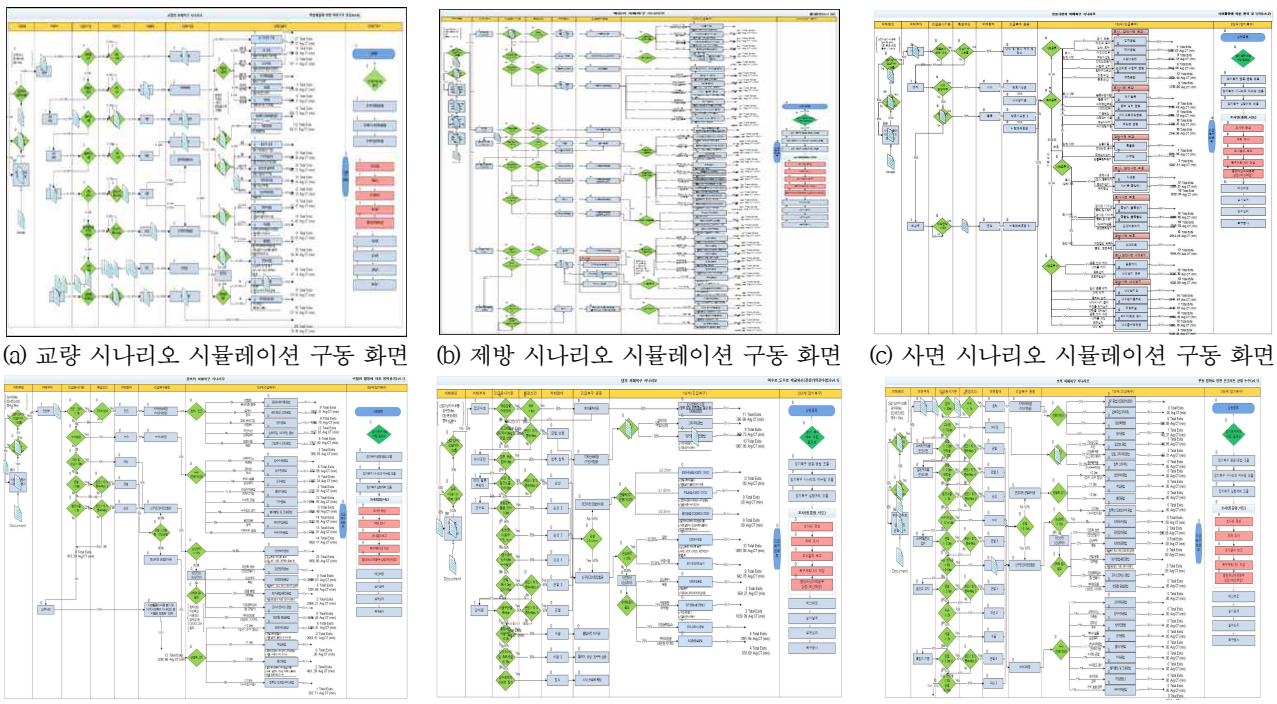


(a) Visio에 모델작성 또는 기존의 차트 추가 (b) 실행 후 애니메이션화 (c) 동적 출력 통계

그림 2.1.30 ProModel 검증방법

④ 검증 결과

그림 2.1.31은 각 시나리오별 시뮬레이션 구동 그림이다. 표 2.1.31은 무한 루프 여부, 입·출력 정확도(화이트 테스트), 설계의도와 시뮬레이션 정합성을 확인한 결과표이다.



(a) 교량 시나리오 시뮬레이션 구동 화면 (b) 제방 시나리오 시뮬레이션 구동 화면 (c) 사면 시나리오 시뮬레이션 구동 화면

(d) 옹벽 시나리오 시뮬레이션 구동 화면 (e) 댐 시나리오 시뮬레이션 구동 화면 (f) 보 시나리오 시뮬레이션 구동 화면

그림 2.1.31 시나리오별 ProModel 시뮬레이션 구동화면

표 2.1.31 피해복구 시나리오 ProModel 시뮬레이션 결과표

구조물	무한 루프 여부	입력/출력 정합성	비고
교량	없음	정합	
제방	없음	정합	
사면	없음	정합	
옹벽	없음	정합	
댐	없음	정합	
보	없음	정합	

따라서, 개발된 6개의 피해복구 시나리오는 시뮬레이션 검증을 통해 프로그램에 의해 자동화 프로세스로 적용 가능함을 확인 하였으며, 피해복구 의사결정지원 시스템의 자동 복구 공법 산출 프로세스에 코드화 하여 탑재하였다.

(다) 피해복구 사례검증

① 개요

피해복구 시나리오를 구조물 형식별(6), 피해유형별(28) 등 총 34개의 피해사례에 대하여 피해복구 시나리오와 대조하여 시나리오의 정확도를 정량적으로 평가하였다.

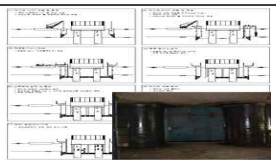
② 검증 방법

실제 사례와 시나리오는 공법간 용어상 차이가 존재하고 사례에서 정밀하게 다루지 않은 부분(균열 폭, 깊이, 안전 진단 여부 등)이 많아 공법이 다소 차이가 있어 보였다. 같은 공법이나 용어상 차이가 있는 공법은 ‘일치’로 판단하였다. 또 사례는 주관적 판단이 개입되어 일관성 있는 공법, 공종이 제시되지 않았다. 사례의 특수한 상황에서의 복구는 설계 변경, 구조 검토가 필요한 사항이 있어 시나리오와는 다소 차이가 있어 ‘상이’로 처리하였다. 피해 상황이 뚜렷한 경우는 복구 시나리오에서는 일반적인 공종, 공법을 제시하였다. 긴급공사기준(안전진단 D등급)을 기준으로 적합하지 못한 피해는 시나리오에서는 다루지 않았다. 긴급공사기준에 적합하지 못한 피해는 일상 유지보수 기준으로 긴급복구대상으로 간주하지 않는다. 표 2.1.32는 피해복구 시나리오 사례검증 예시이다.

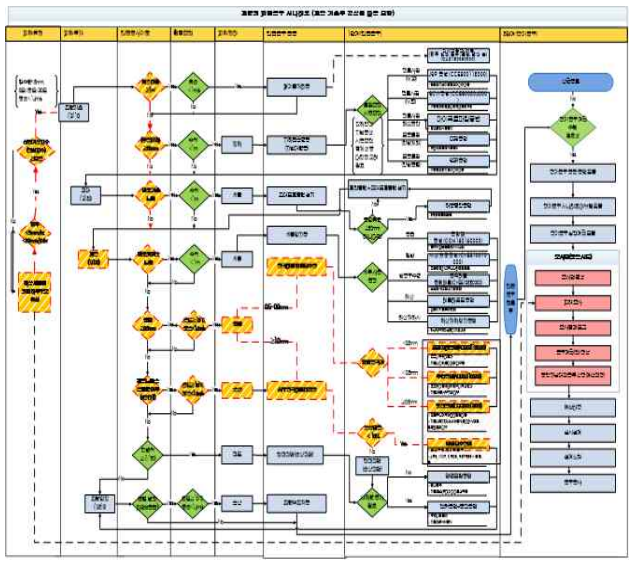
표 2.1.32 피해복구 시나리오 사례검증 예시(교량, 제방, 사면, 옹벽, 댐, 보 등 총 53건 수행)

교량 긴급복구 사례검증
사례명 : 교각 기초부 침식
출처 : 보수·보강사례(한국 시설안전공단)
공법 비교결과 : 일치(시나리오가 보다 정밀)


(말뚝 손상 사진)


(보수·보강 개요도)

구분	보강 사례	피해복구 시나리오
피해유형	교각 기초부 침식	하상 세굴에 의한 하부구조 유실
피해부재	교각 P7,P8의 말뚝 균열, 철근노출	교각
긴급공사 기준	말뚝의 콘크리트 유효단면이 1/3이상 유실	철근노출, 손상, 탈락 등
현장조건	수중 작업은 피하도록 권고	
피해형태	손상	손상 전도 가능성 있음
긴급복구 공종	단면 보수공 균열 보수공	콘크리트 균열 보수공 신구 콘크리트 접합공
긴급복구 공법	단면 보수공 균열 보수공	콘크리트 균열 보수공 -표면처리공법 -주입공법 -충전공법 신구 콘크리트 접합공 -단면보수공법



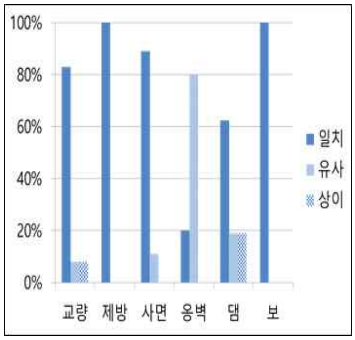
③ 사례 검증 결과

복구 사례 검증은 총 53여건 수행하였으며 사례별 상세는 “피해복구 시나리오 검증” 관련 논문 등에 게재하였다.

복구사례와 시나리오의 복구 공법의 일치는 73%, 유사는 22%, 상이는 5%로 분석 되었다.

사례와 시나리오 도출 공법이 ‘상이’한 경우는 구조검토가 필요, 특수 공법 등, ‘유사’한 경우는 부분 일치, 기술자의 주관적 판단에 의존한 공법이다. 다음 표 2.1.33은 피해복구 시나리오 사례검증 결과 표 및 그래프이다. (2018 한국 산학기술학회 ‘현장복구사례를 이용한 긴급복구 시나리오의 적용성 검증’ 게재)

표 2.1.33 피해복구 시나리오 사례검증 결과

구분	사례	조사개수	복구사례 비교			일치도	비고
			일치	유사	상이		
교량	교각 기초부 침식 외 11건	12	10	1	1	83%	
제방	하천 제방 호안공 슬라이딩 붕괴 외 3건	4	4	-	-	100%	
사면	강우의 의해 붕괴된 비탈면 보강 외 8건	9	8	1	-	89%	
옹벽	동소문 재개발 아파트 옹벽 붕괴 외 9건	10	2	8	-	20%	
댐	댐체 상부 횡방향 균열 외 7건	8	5	1	2	63%	
보	수중보 중 고정보 상류부 피복석 세굴 외 9건	10	10	-	-	100%	
소계		53	39	11	3	73%	

(4) 복구 시나리오 현장 검증

(가) 개요

① 목적

피해복구 시나리오 현장 검증의 목적은 피해복구 시나리오의 복구 공법과 실제 현업 실무자와 전문가가 제시하는 복구 공법을 현장에서 확인하고 검토함으로써 시나리오의 실무 활용성 및 정확도 향상시키기 위함이다.

(나) 현장검증

① 피해복구 시나리오 현장검증

현장에서 피해 구조물에 대하여 피해 부재·유형, 피해 물량을 현장평가 하였다.(교량(3개), 제방(4개), 사면(4개), 옹벽(3개), 댐(2개), 보(4개) 등 20개 구조물에 대하여 136개 피해항목)

복구 전문가(전문복구업체, 안전진단업체)가 제시한 복구공법과 피해복구 시나리오의 복구공법과 대조하였다.

② 현장검증 방법

현장에서 피해 구조물의 피해 유형, 부재, 피해 물량을 평가하고 전문 복구업체의 출동시간, 작업 준비시간, 시공 소요시간(추정) 등을 측정하여 현장 피해복구 공법(전문 복구업체, 전문가 의견)과 피해복구 시나리오와의 도출 공법을 비교하여 검증하였다. 표 2.1.34는 현장검증 예시 표이다.

표 2.1.34 피해복구 시나리오 현장검증 예시(교량, 제방, 사면, 옹벽, 댐, 보 등 총 136건 수행)

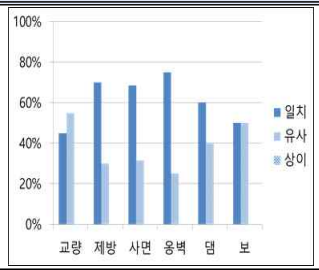
구분	해안교	동작대교	잠실대교
위치	경기도 안산시 단원구 초지동	서울시 용산구 이촌동	서울시 송파구 잠실대교 주차장
피해유형			
피해복구 시나리오			
현장 복구공법			
	단면 보수공법, 단면 보강공법 보강형 증설공법	단면 보수공법, 단면 보강공법 보강형 증설공법, 주입공법, 충전공법	단면 보수공법, 단면 보강공법 보강형 증설공법

③ 현장검증 결과

긴급복구 현장 검증은 총 136건 수행하였으며 사례별 상세는 “피해복구 시나리오 검증” 관련 논문 등에 게재하였다.

다음 표 2.1.35는 피해복구 시나리오 현장검증 결과 표 및 그래프이다. 총 20개 구조물의 136건 피해 항목 중 일치는 67%, 유사는 33%, 상이는 0%로 분석 되었다. 사례와 시나리오 도출 공법이 ‘유사’ 한 경우는 공법이 부분일치, ‘상이’ 한 경우는 일치공법 없음(특수공법)으로 선정 하였다.(2017 한국방재학회 ‘수변구조물의 긴급 복구공법 도출 시나리오 개발 및 검증’ 게재)

표 2.1.35 피해복구 시나리오 현장검증 결과

구분	현장 피해 유형	건수	현장검증 비교			일치도	비고
			일치	유사	상이		
교량	철근노출, 균열, 세굴, 부식, 파손	20	9	11	-	45%	
제방	세굴, 콘크리트 파손, 유실, 균열	20	14	6	-	70%	
사면	낙석, 토사 유실, 균열, 파손	32	22	10	-	69%	
옹벽	균열, 파손	32	24	8	-	75%	
댐	손상, 균열, 붕괴	20	12	4	-	60%	
보	누수, 균열	12	6	6	-	50%	
소계		136	91	45	-	67%	

(5) 공종 명칭의 적절성 및 도출 공법의 신뢰성 검토

(가) 용어 적절성 검토

① 개요

조달청 원가관리시스템의 표준공종명을 사용하였으나 현장에서 사용하는 공종명칭과 차이가 있어 현장에서 이해하기 쉬운 용어로 변경을 검토하였다. 표 2.1.36은 공종 용어 적절성을 검토한 표이다.

표 2.1.36 복구 공종명 용어 적절성 검토

조달청 원가관리시스템		설명	현장 공종명
공종명	표준공사코드		
천단 잡석 부설공	COH90001	하안의 토질, 높이, 유황 등에 따라 잡석 등을 부설하는 것	호안 천단 보호공
호안 천단공	COH90002	저수호안의 상단부와 고수부지의 접합을 확실하게 하고 저수호안이 유수에 의해 이면에서 파괴하지 않도록 보호하는 것	호안 천단 보호공
P.P마대 쌓기 및 헐기공	CAA2109	마대에 흙을 담아 쌓는 것	마대쌓기 및 헐기
신구 콘크리트 접합공	CER4000	철근 및 무근 콘크리트로 건설된 구조물의 노후부를 보수, 보강하는 것	신구콘크리트 접합공
무수축 몰탈공	CER5000	콘크리트에 주입재를 충전하여 고결시키는 것(점착력만 증가)	무수축 몰탈공
무수축 콘크리트공	CER6000	콘크리트에 주입재를 충전하여 고결시키는 것(점착력만 증가)	무수축 콘크리트공
교량받침보수공	CKB9003	열화피해 등 교량받침을 보수 하는 것	교량받침보수공
지반개량공 (연약지반처리공)	CC*****	지반을 개량하거나 경량 재료를 사용하여 지반의 강도 증가와 압축성을 감소시키는 것	지반 개량공 연약지반 처리공
JSP공	CCE800*	에어제트를 경화제와 함께 분사해 지반 절삭능력을 증진시켜서 고결체의 직경을 크게하는 고압분사하는 것	JSP시공
비탈면 보호공	CDJ****	비탈면의 장기적인 안정유지, 풍화방지, 미관, 토사 및 암반비탈면의 보강을 위하여 지층상태 및 비탈면의 상태에 따라 시공하는 것	비탈면 보호공
사석공	COB0***	호안, 안벽 등을 토목 공사시 사석으로 시공하는 공사로 사석 고르기를 하지 않고 아무렇게나 쌓아 올리는 것	사석공
세굴방지용 사석채움공	CKE51001	바닥에 부직포와 같은 여과막 설치 사석포설 (부설면 가장자리는 하상보다 약간 낮게 시공)	세굴방지용 사석채움공
교대 보호블럭 설치공	CKE5203	교량의 지지 기반인 하부 토사의 유실 등을 방지할 목적으로 하부에 설치 하는 것	교대 보호블럭 설치공
돌망태공	COH1***	철망으로 만든 상자나 원형, 타원형 등의 통에 돌을 채워 지반을 안정시키기 위한 것	돌망태공
거적덮기공	CDJ****	성토법면의 녹화를 이루기 위하여 인위적으로 혼합종자를 살포하고 그 위에 볏짚거적을 덮어 성토법면을 보호하고 토량의 유실을 방지하는 것	거적덮기공 천막덮기공

콘크리트 균열 보수공	CQQ9004	콘크리트 부재에 발생된 균열을 장기적인 내구성 및 유지관리를 위해 보수하는 것	콘크리트 균열 보수공
절토부방호시설공	CAA25001	암괴 및 토석의 도로 유입을 차단시키고 절취로 인해 발생하는 암괴 및 토석의 임시적재, 유용토 반출을 위한 통행로 확보 등을 위한 시설물을 설치하는 것	방호시설공

(나) 도출공법 신뢰성 검토

① 개요

긴급복구 시나리오에서 도출된 긴급복구공법이 최적인지 신뢰성을 검토하기 위하여 시뮬레이션 검증, 사례 검증, 현장 검증 등 3가지 방법으로 수행하였다. 그림 2.1.32는 시나리오를 통해 도출된 공법의 신뢰성 검토 내용이다.



그림 2.1.32 긴급복구공법 신뢰성 검토

② 신뢰성 검토결과

시뮬레이션 검증은 6종 시설물(교량, 제방, 사면, 옹벽, 댐, 보)에 대하여 시나리오의 무한루프 여부, 입력에 따른 출력 정확성 여부 등의 정합성을 ProModel(시뮬레이션 프로그램)를 이용하여 검토하였다. 사례 검증은 과거 복구사례에 적용된 복구공법을 연구개발한 시나리오와 비교·검토하였다. 총 53건의 복구사례 중 복구공법이 일치하는 경우는 73%, 유사는 22%, 상이는 5%로 분석되었다. 현장검증은 실제 피해현장을 대상으로 복구전문가(전문복구업체, 안전진단업체)가 제시한 복구공법과 개발 시나리오의 복구공법을 비교하였다. 비교결과는 총 136건의 피해유형을 대상으로 일치 67%, 유사 33%, 상이 0%로 분석되었다.

긴급복구시나리오에서 도출되는 공법의 신뢰성 검토 결과, 시뮬레이션 검토 결과는 입/출력결과는 정합되었으며, 복구사례에 따른 도출 공법의 일치도는 평균 73%이며 현장검증에

따른 공법 일치도는 67%로 분석되었다. 현장 검증에서 전문가가 도출한 공법과의 일치도가 67%로 상대적으로 낮은 이유는 전문가가 제시하는 복구공종은 일치하나 복구공법이 특수공법(특허 및 신기술적용) 및 복합공법 등을 제시하는 경우에는 유사로 처리하여 상대적으로 공법 일치도가 낮아졌다. 검증결과는 표 2.1.37과 같다.

표 2.1.37 긴급복구 시나리오에서 도출된 공법의 신뢰성 검증

구분	검증 방법	검증결과	결과
시뮬레이션 검증	대상 구조물 시나리오를 대상으로 시뮬레이션 모듈을 이용하여 입/출력 정합성, 무한루프 등을 검증	교량, 제방, 사면, 옹벽, 댐, 보의 시나리오 검증 결과 무한루프 없음, 입력/출력 정합으로 검증	정합됨
사례검증	실제 복구된 사례의 복구공법과 개발 시나리오에서 도출된 복구공법을 비교하여 검증	교량, 제방, 사면, 옹벽, 댐, 보에 대하여 총 53건의 복구사례를 대상으로 일치 73%, 유사 22%, 상이 5%로 검증(일치도: 교량 83%, 제방 100%, 사면 89%, 옹벽 20%, 댐 63%, 보 100%)	공법 일치도 73%
현장검증	실제 피해현장에 방문하여 복구전문가(전문복구업체, 안전진단업체)가 제시한 복구공법과 개발 시나리오의 복구공법을 비교하여 검증	교량, 제방, 사면, 옹벽, 댐, 보에 대하여 총 136건의 피해유형을 대상으로 일치 67%, 유사 33%로 검증(일치율: 교량 45%, 제방 70%, 사면 69%, 옹벽 75%, 댐 60%, 보 50%)	공법 일치도 67%

※긴급복구 : 재난이 발생하였을 때 수방·진화 구조 및 구난, 그 밖에 긴급한 복구 및 수습 활동

나. 현장 운용성 개선기술 개발

(1) 피해복구 시나리오 운용 프로세스

(가) 사용 환경 분석

① 목적

피해복구 시나리오 실행 관리 및 사용 환경 분석 파악이 되지 않아 개발이 필요하다. 그리고, 피해 접수 시부터 복구 완료까지의 상황 관리가 필요하다.

② 통합 현장 의견

그림 2.1.33은 통합 현장 의견(복구 자원의 현재 위치, 연락처, 가용여부 등을 확인 기능, 피해 현황, 복구계획, 전문가 의견 열람 기능, 복구 장비 도착, 복구 착수, 복구 완료 여부 등 복구 상황관리 확인 기능)을 통해 작성한 설계서이다.

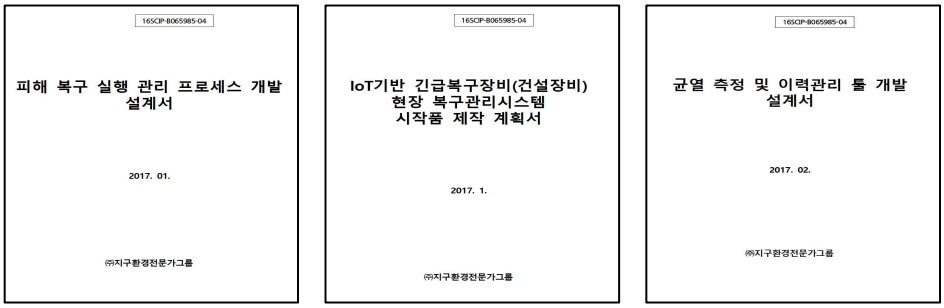


그림 2.1.33 통합 현장 의견을 통한 설계서 작성

③ 복구실행계획 보고서의 구성

본부, 비상대책 근무조, 실무 전문가, 지원 전문가, 복구 업체 등이 활용할 수 있도록 내용 구성하였다. 표 2.1.38은 긴급 복구 실행계획 보고서 항목 및 내용이다.

표 2.1.38 긴급 복구 실행계획 보고서 구성

구분	주요 항목	내용	비고
피해개요	피해개요, 기상상태, 피해정보, 피해위치, 피해이미지, 피해영상	피해 위치의 개요 및 영상	
피해분석	피해분석 일반, 피해분석 내용, 피해 수량 산출	영상을 이용하여 피해 부재, 피해항목, 수량을 분석 및 산출	
긴급복구 계획	복구일반, 복구대상 (부재) 및 공법, 복구를 위한 시공여건 검토, 전문가 의견, 복구 자원 및 물량 내역서, 최적화	복구 실행을 위한 공법, 물량(자원), 자원 최적화 할당 표출	
긴급복구 실행계획	단계별 실행계획(사고발생접수, 현장 확인, 초동대응, 긴급복구 시공, 긴급복구 완료)	복구 실행에 관련된 업무를 단계적이며 조직별로 제시	
부록	공법설명서, 위기대응시나리오, 주요임무 업무 분장표, 긴급복구공사 판단기준	위 내용에 대한 상세설명, 근거 등 제시	

(나) 피해복구 시나리오의 자동선택 프로세스 개선

① 목적

피해복구 시나리오의 복구공법 도출시 피해에 맞는 공법 도출을 위함이다.

② 방법

구성은 피해복구 시나리오와 마찬가지로 피해부재, 노드타입, 환경조건, 피해형태, 긴급복구공종, 긴급복구공법으로 구성되어있다.

피해부재는 피해복구 시나리오에 따라 입력을 하게 된다. 노드타입은 해당항목의 타입(피해부재, 긴급공사기준 등)을 정할 수 있다. 긴급공사기준은 피해유형을 설정하고 조건을 입력한다. 환경조건은 긴급공사기준에 따른 시공여건을 설정한다. 피해형태는 앞서 설정한 값에 따라 설정된다.(ex. 균열, 파손 등) 긴급복구공종은 피해를 고려하여 적합한 긴급복구공종을 입력한다. 1단계(긴급복구)는 긴급복구공종에 따라 입력한다.

③ 복구공법 자동선택 프로세스 개선

그림 2.1.34는 구조물별(6종) 피해복구 시나리오의 공법 자동선택 프로세스이다. 구조물별 복구 시나리오를 대상으로 긴급공사기준에 맞는 복구공법이 자동도출 될 수 있도록 개선하였다.



그림 2.1.34 긴급복구 공법 자동선택 프로세스

(2) IoT를 이용한 복구장비의 스마트 센서 플랫폼 개발

(가) 개요

① 목적

긴급복구 전/중/후에 구조물의 상태를 실시간으로 모니터링하기 위함이다. IoT 센서 플랫폼 설치로 구조물 모니터링을 통한 2차 피해를 감지하고 피해별 측정값을 분석한다.

(나) IoT 센서 플랫폼 설계 및 개발

① 구조물별 모니터링 방법 및 연계방안 조사

안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(시특법), 선로유지관리지침(한국철도공사), 건축시설물유지보수시행세칙(한국철도공사), 재해업무처리규정(한국철도공사)를 참조하여 구조물별 모니터링 방안 및 연계여부를 도출하였다.

② 피해별 연계가능 센서 도출

표 2.1.39는 피해유형별 연계 센서표이다. 연계되는 센서로는 가속도센서, 변위센서, 경사센서, GPS센서 등이다. 센서의 측정이 불가능한 피해유형은 현장조사 및 계측조사가 필요하다. 현재 구조물 모니터링방안은 안전진단(인력)에 의해 이루어지고 있다.

표 2.1.39 피해유형별 연계 IoT 센서

센싱방안		
피해 유형	**연계여부**	**연계센서**
침하	○	GPS센서
균열	○	변위센서
손상	○	변위센서
전도	○	경사센서
경사	○	경사센서
활동	○	가속도센서

③ IoT 센서 플랫폼 디바이스 설계 및 제작

IoT 센서 플랫폼 구성품 : 아두이노, SKT Lora 모듈, 가속도 센서, 온도센서, 위치센서 등

그림 2.1.35는 케이스 3D 설계도이다. 외관케이스와 내부케이스로 조립형으로 설계하였다.

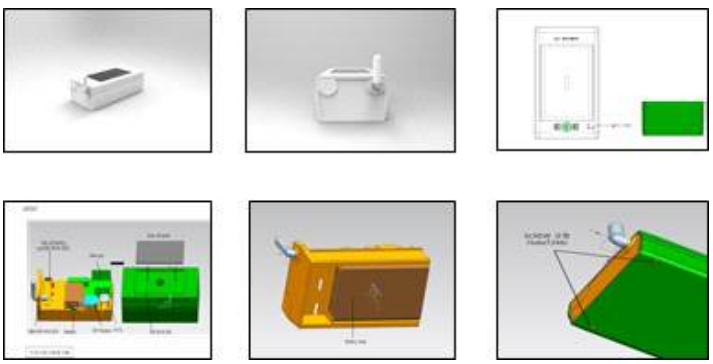


그림 2.1.35 IoT 센서 플랫폼 디바이스 케이스 3D 설계도

그림 2.1.35는 제작 케이스 및 내부구성 사진이다. 표면에 태양셀을 부착하여 전원공급을 한다.(6개월 이상 사용) 센서, 통신(Lora), 전원을 모두 포함한 일체형제품으로 현장 운용을 위해 방수처리를 하였다.



그림 2.1.36 IoT 센서 플랫폼 제작 케이스

(다) IoT 센서 플랫폼 현장 설치 및 운영프로그램 개발

① IoT 센서 플랫폼 테스트베드 구축

목적 : 실제 복구된 구조물을 대상으로 제작된 시작품에 대한 환경 테스트 및 통신 운용 안정성 시험을 위한 현장 테스트베드 구축

설치 장소 : 호남선 일로-임성리(우측) STA. 240k746 ~ 240k950

설치 시스템 : 지중경사계 2ea, 강우량계 1ea, 지표변위계 6ea, IoT 센서 플랫폼 3ea





그림 2.1.37 IoT 센서 플랫폼 테스트베드 현장 위치 및 전경

그림 2.1.37은 IoT 센서 플랫폼 설치 전경이다. 사면 경사면에 3개설치를 한 모습이다. 설치된 센서는 경사면의 위치에 따른 경사변화, 미세진동을 감지한다. 그림 2.1.38은 IoT센서 운영관리 프로그램 화면이다. 운영관리 프로그램은 센서관리, 측정값, 그래프, 보고서를 조회 가능하게 한다.

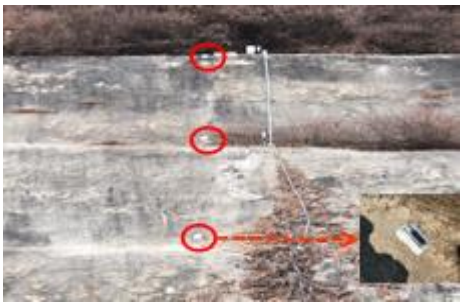


그림 2.1.38 IoT 센서 플랫폼 설치 전경



그림 2.1.39 IoT 센서 운영관리 프로그램

그림 2.1.40은 IoT 센서 스마트폰 앱이다. 앱은 웹 프로그램과 마찬가지로 현장에서 설치한 IoT 센서 플랫폼에 연계되고 관리기준치 및 자동경보(SMS, EMAIL 등) 등을 제공한다. 또한 GIS맵상 센서 확인, 센서데이터 측정, 그래프 등 기능을 제공한다.



그림 2.1.40 IoT 센서 스마트폰 앱

(3) 균열 측정 및 이력관리

(가) 개요

① 목적

근거리(1m이내) 균열 측정, 균열관리(측정결과 조회/수정/삭제 기능), 균열 검색(폭 및 길이, 위치, 시간 등) 기능을 확보한다.

② 사용자 시나리오

그림 2.1.41과 같이 사용 시나리오는 현장 균열 측정과 균열 관리 프로그램으로 나뉜다. 현장 균열 측정은 이미지를 이용한 균열 측정 툴을 이용하여 균열번호, 이미지, 균열 폭 및 길이를 획득한다. 통신을 이용하여 자동 동기화 한다. 균열 관리 프로그램은 현장으로부터 측정된 균열 정보를 GIS에 도시하고 이력을 분석하여 보고서를 출력한다.

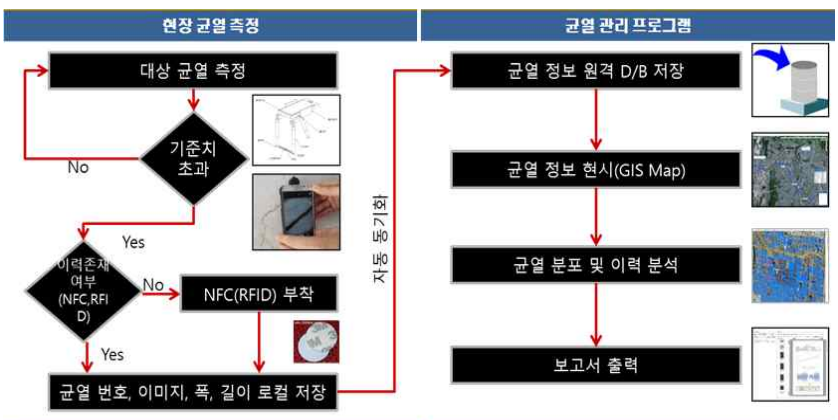


그림 2.1.41 균열 측정 및 이력관리 툴 사용 시나리오

(나) 균열 측정 및 이력관리 구축 테스트

① 균열 측정 툴 구축

균열측정 모듈, 균열측정 분석 모듈을 이용하여 균열을 측정하는 툴을 제작하였다.

② 실내 및 현장 테스트

그림 2.1.42는 실내테스트 화면이다. 균열 영상취득 장비, 프로그램 운용화면이다. 그림 2.1.43은 현장테스트 시험 사진이다. 균열 현장은 실제 균열이 있는 안산 해안교로 하였다.



그림 2.1.42 균열 측정 툴 실내테스트 화면

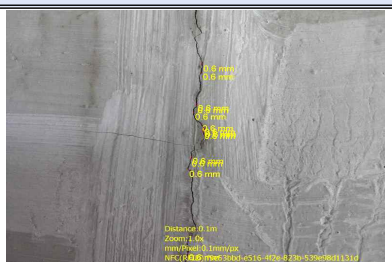
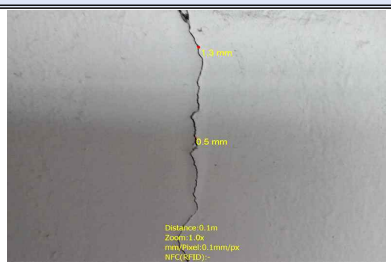
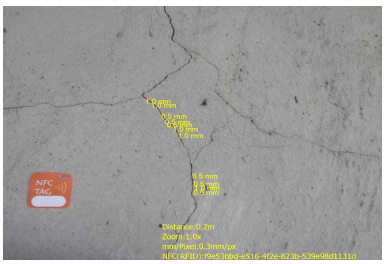
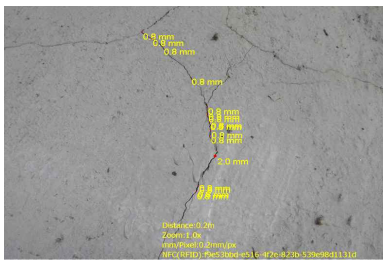


그림 2.1.43 현장 균열 측정 툴 전경

③ 현장 영상취득 균열 분석

표 2.1.40은 현장에서 영상을 획득하여 균열을 분석한 표이다.

표 2.1.40 현장 균열 분석사진

위치	분석 이미지
안산 해안교	 (a) 균열 측정 화면(1)  (b) 균열 측정 화면(2)  (c) 균열 측정 화면(3)  (d) 균열 측정 화면(4)

균열 영상이미지를 취득한 후 균열측정분석모듈을 이용하여 균열 폭을 계산, 분석 하였

다. NFC 태그는 현장 구조물이나 균열 부위에 붙여 놓으면 코드를 통해 균열의 상세 위치를 알 수 있다.

④ 균열 이력관리 프로그램

그림 2.1.44는 균열 이력관리를 위한 프로그램이다. 프로그램의 메뉴로 균열 측정, 균열 조회, 자료실로 구성되어 있다. GIS맵상(GPS정보 탑재)에 측정한 균열 자료가 조회가 가능하다. 실제 안산 해안교에서 측정한 균열이 화면상에 아이콘으로 표출되어있다. 그림 2.1.45는 측정한 균열 데이터가 D/B에 저장된 그림이다. 측정하면 DB로 데이터가 연동된다.



그림 2.1.44 균열 이력관리 프로그램 메인화면

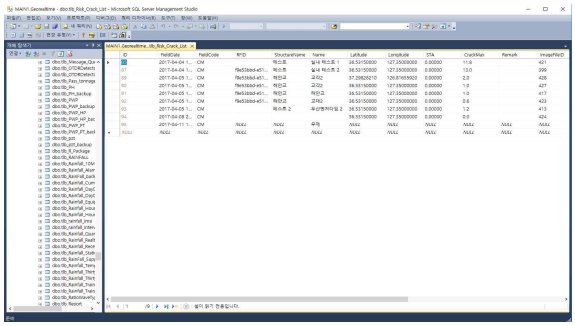


그림 2.1.45 균열 영상 측정 데이터베이스

(4) 피해복구 시나리오의 현장 적용성 개선

(가) 현장 적용성 검토

① 개요

개발된 피해복구 시나리오의 현장 적용성을 검토하고 개선사항을 도출 및 적용하여 현장 적용성 개선을 위함이다.

② 검토 방법

대상 수변구조물 : 안계댐 석축(옹벽), 모의교량, 모의제방 등 3개소

대상 수변구조물의 손상을 피해복구시나리오에 적용하여 긴급복구공법 도출하고, 긴급복구 실행계획서를 작성한다. (피해개요, 피해분석, 긴급복구 계획, 긴급복구 실행계획)

본부, 비상대책 근무조, 실무전문가, 지원전문가, 복구업체 등이 활용할 수 있도록 내용을 구성하여 실제 현장으로의 적용성을 검토한다.

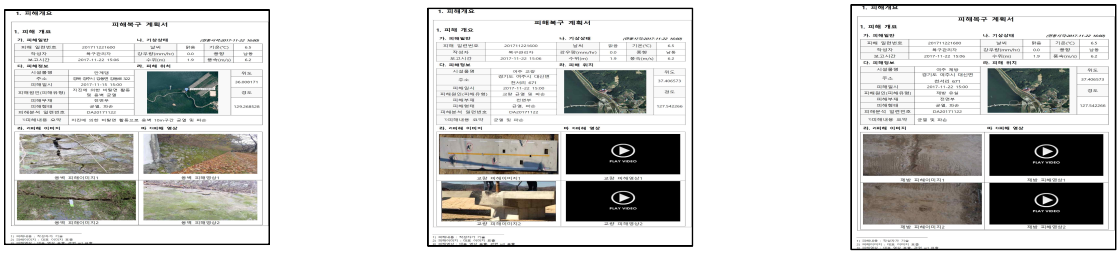
③ 긴급복구공법 도출

표 2.1.41은 피해수변구조물의 정보를 피해복구시나리오에 적용한 표이다. 안계댐 석축의 도출된 긴급복구공법은 단면보수공법, 안전진단(손상진단)이다. 모의교량의 도출된 긴급복구공법은 단면보수공법이다. 모의제방의 도출된 긴급복구공법은 사석공법이다.

표 2.1.41 피해복구 시나리오 적용

구분	안계댐 석축	모의교량(여주)	모의제방(여주)
피해유형	지진 비탈면 활동에 따른 옹벽 붕괴	모의시험에 의한 콘크리트 표면 파손/탈락	모의시험에 의한 제방유실 및 붕괴
피해부재	전면부	교대, 교각, 슬래브	둑마루
긴급공사기준	파손 ≥ 10cm 균열 ≥ 0.3mm	균열 ≥ 0.5mm 철근노출, 손상, 탈락여부	유실면적≤15㎡
현장조건	온도 ≥ 10℃ 풍속 <14m/s	온도 ≥ 10℃ 풍속 <14m/s	유속<1m/s
피해형태	균열 파손	균열 손상	범람(월류)붕괴
긴급복구 공종	신구 콘크리트 접합공	신구 콘크리트 접합공	가물막이공(응급)
긴급복구 공법	신구 콘크리트 접합공 - 단면보수공법	신구 콘크리트 접합공 - 단면보수공법	가물막이공(응급) - 사석공법

그림 2.1.46은 3가지 수변구조물을 대상으로 작성한 긴급복구계획서이다.



(a) 안계댐 석축 (b) 모의 교량 (c) 모의 제방

그림 2.1.46 피해복구 시나리오 적용

작성한 긴급복구계획서를 이용하여 현장 적용성을 검토하고 문제점을 도출하였다. 검토결과를 통해 보완사항을 도출하고 개선사항을 복구 시나리오 및 시스템에 적용하였다.

표 2.1.42 현장 적용성 검토 결론

적용성 검토결과	보완사항 도출	적용성 개선 사항
제방의 유실 및 붕괴 등의 피해규모 산출	UAV를 이용한 영상 분석시 최소 피해감지크기 분석	UAV영상은 피해크기 20 x 20cm 이상시 피해감지(시나리오 적용)
피해크기에 대한 복구크기 산출 어려움	피해크기와 복구크기(물량) 상관성 분석 통해 기본계산식 도출	각 피해유형별 복구물량 계산(자동/수동)입력툴 적용
옹벽의 배부름 및 전도 측정 어려움	배부름 및 전도 등 초기치를 확보해야하는 피해는 현장조사 필요	피해 크기 산정시 초기치가 필요한 피해유형을 정리
균열피해 측정 어려움	UAV는 콘크리트 미세 균열 조사에 적합하지 않음	UAV영상은 피해크기 20 x 20cm 이상 되는 유실, 붕괴, 파손 등에 적용하고 이외 피해는 현장피해조사, 계측 등을 통해 파악
일위대가 최신화 문제	매년 단가가 변경됨으로 이를 반영할 필요 있음	단가 추가/삭제/변경 관리 창 시스템 적용
피해이미지 설명 부족	피해이미지에 대한 상세설명이 필요함	피해이미지에 대한 상세설명 추가 (수변구조물명, 위치정보, 피해유형, 크기 등)
복구공법 연계 업체 부족	각 지역별 복구업체에 대한 정보 부족	각 지역별 복구업체 DB 추가 입력 및 관리페이지 추가

4. 복구지원 리소스 연계 복구 우선순위 도출 모듈 개발

여러 재해지역의 신속한 복구를 위해서는, 적기·적소에 복구지원 리소스를 투입하는 것이 중요하다. 이를 위하여 복구지원 리소스의 정보를 수집하고, 현재상태를 고려한 평가, 적절한 할당을 수행하여, 복구 지원 리소스의 투입 우선순위를 도출할 수 있도록 하는 모듈을 개발하였다.

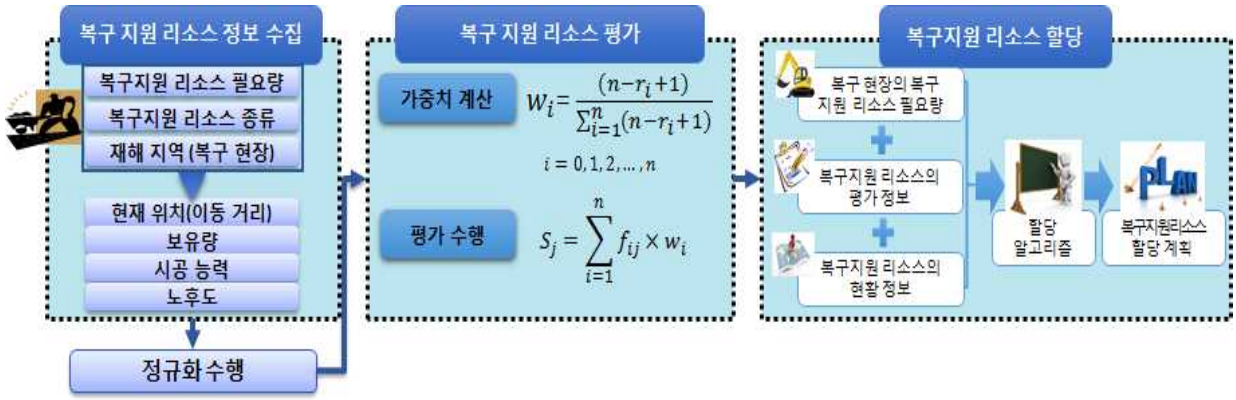


그림 2.1.47 복구지원 리소스 투입 우선순위 도출 프로세스

가. 복구지원 리소스 분류 및 정보관리 모듈 개발

(1) 기존 복구지원 리소스의 범주

재해가 발생한 직후부터 사용되는 리소스로서, 재해에 대처하고 피해를 입은 구조물을 수리하기 위해 사용된다. 7가지 범주(장비,물자,민간업체,수송,인력,구호,행정)로 나누어 관리하고, 자원의 규격, 위치 주소, 담당자 연락처 등의 정보를 관리하게 되며 자원과 수변 구조물 사이의 취약지점도 같이 관리하게 되어 향후 활용성을 높인다.



그림 2.1.48 피해복구 지원 리소스의 예시

표 2.1.43 복구지원 리소스 범주 및 역할

	정의	피해복구 실행계획에서의 역할	분류 여부
장비	업체나 관리기관에서 직접 관리하거나, 대여가 가능하여 직접 운용 가능한 장비	- 피해 종류와 그에 따른 대응 공종에 의해 선택됨	분류 대상

물자	재해 대응을 위해 사용되는 소모품	- 대응을 위한 주된 자원	
민간업체	재해 대응을 위한 긴급 대응 특수 공법을 시공하거나 , 대응 장비를 소유한 업체		분류 대상 아님
수송	재해 피해지역에서 멀리 떨어진 위치의 자원을 옮기기 위한 수송수단을 소유한 기관이나 단체	- 위의 주된 자원을 보조하기 위한 자원 - 주된 자원의 이동이나 사용에 보조하기 위해 사용됨	
인력	물자나 자원을 사용하기 위해 필요한 추가 보조 인력을 제공할 업체나 단체		
구호	부상자를 돕기 위한 구조, 구급, 응급 수송을 수행하는 단체나 기관	- 계획에는 포함되지 않음 - 재난 발생시 관련 사항을 통보하고, 협조를 요청하는데 사용	
행정	재해 대응을 위해 협조해야 할 지방자치 단체와 행정기관		

(2) 피해복구 지원 리소스 분류 알고리즘 개발

피해복구 지원 리소스 분류 알고리즘은 정보 수집, 2차 정보 생성 및 상세화, PCA 생성, 군집분석, 결과 해석의 총 5 단계로 수행되도록 한다.



그림 2.1.49 피해복구 지원 리소스 분류 알고리즘 순서

(가) 피해복구 지원 리소스 정보 수집

1차 정보는 가공되지 않은 자원의 기초 정보로 현재 일반적으로 관리가 이루어지고 있는 정보라 할 수 있다. 1차 정보 수집으로는 자원을 등록하는 자원정보 등록 부분에서 직접 입력을 받아 정보를 수집하는 것으로 한다. 장비와 물자 정보의 경우에는 피해 복구계획의 가장 큰 부분을 차지하며, 피해복구 자원의 속도, 무게, 자격증 필요 유무 등 많은 피해 복구 자원의 상세한 정보를 제공하고 있다. 민간업체 정보의 경우, 계획의 일부를 차지하나 분류 대상은 되지 않으며, 정보의 양이 장비나 물자보다 적은 특성을 가지고 있고 수송, 인력, 구호 및 기관 의 경우에는 보조자원으로서 2차 정보를 가지지 않으며, 분류의 대상이 되지 않으나 참고 사항으로서 정보를 수집하도록 한다. 1차 정보에 대한 관리항목은 아래와 같다.

표 2.1.44 1차 정보 관리 항목

장비	물자	민간업체	수송	인력	구호, 기관
가능 공종목록	시공가능 공종 목록	시공가능 공종 목록	수송수단 명	인원수	분류 코드

보관 위치와 구조물 간의 거리	보관 위치와 구조물 간의 거리	보관 위치와 구조물 간의 거리	규격	소지자격	
규격	규격	시공능력	수량		
사진	사진	사진	사진		
대수	수량				
속도	속도				
소유기업ID	소유기업ID				
준비시간					

(나) 2차 정보의 수치화

2차 정보는 장비, 물자, 민간업체의 경우에만 관리하는 것으로 한다. 2차 정보는 입력된 1차 정보를 기반으로 생성되며, 4가지 항목(전문성, 적용성, 접근성, 긴급성)으로 구분한다. 피해복구 지원 리소스의 정보는 크게 자원의 특성에 의한 정보인 정적 정보와 계속해서 갱신되는 정보인 동적 정보로 분류할 수 있으며, 그 개략적인 구조는 아래의 그림과 같다.

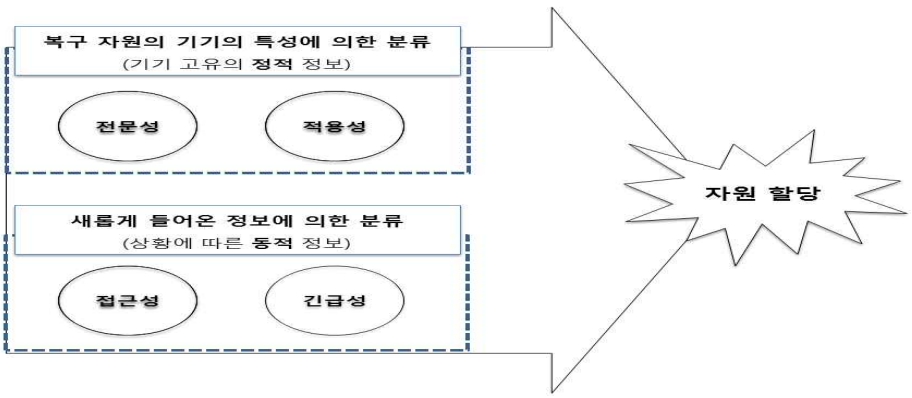


그림 2.1.50 정적 정보와 동적 정보의 분류

각 항목에 대하여 자원 분류에 사용할 정보를 정리하면 아래의 표와 같다.

표 2.1.45 각 항목의 점수할당 척도

	상위항목	하위항목	점수할당 척도(Scale)	점수할당 방법론
정적 정보	전문성	전문성	1 or 0 (자격유무)	전문가 자문 및 기존 점수 할당연구 자료 활용
		난이도	3 - Likert scale	
	적용성	시공성	비율 척도	본 연구에서 작성한 수식
		범용성	비율 척도	
		시공능력	비율 척도	
동적 정보	접근성	이동시간	시간(min)	본 연구에서 작성한 수식
		준비시간	3 - Likert scale	

		접근 용이성	1 or 0	
	긴급성	긴급성	서열척도 or 시간(min)	

(다) 주성분(PCA) 분석

주성분 분석은 상관을 가지는 변수들을 상관이 제거된 주성분들로 변수들을 변화하여 차원의 수를 감축해주는 기법으로 변동성을 최대화하는 방향으로 차원을 감축한다. 본 분류시스템에서는 분류를 수행하기 전 PCA를 사용하여 변수를 정리하는데, 이를 통해 중복되는 정보를 가진 변수의 수를 최대한으로 줄이도록 한다.

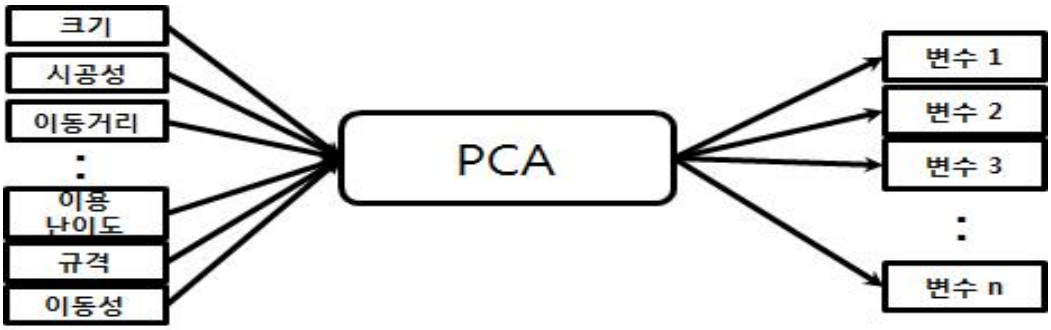


그림 2.1.51 PCA 방법론 적용 예시

(라) 군집 분석

PCA를 통해 새롭게 도출된 변수를 사용하여 군집 분석에 사용할 수 있도록 표준화한 후에 군집 분석을 수행하도록 한다. 같은 종류의 복구자원이더라도 기기의 세부 상세에 따라 사용처가 다르므로 모두 별도의 자원으로 보고 분류한다. 현재의 데이터는 복구 자원에 대한 상세 설명보다는 조달 및 관리에 맞추어져 있으므로, 추가적인 복구 자원의 특성 및 기기의 상세 속성을 파악할 필요가 있다. 수행 결과는 다음의 표와 같은 형태로 분류된다.

표 2.1.46 군집 분석의 최종 산출물 (예시)

군집 (자원수)	그룹화 된 자원들의 특성
1 (78)	시공성, 공종적용성, 시공 능력이 높은 자원으로 다양한 상황에 사용가능
2 (40)	물품의 이동성이 높은 자원으로서 이동이 용이한 자원
3 (70)	시공성은 높지만, setup-time이 길어 다양한 상황에 사용가능하나, 사용에는 많은 준비를 요하는 자원
4 (75)	낮은 시공성과 높은 setup-time을 가져, 특정 상황에 한해 사용될 수 있는 자원

유사한 2차 정보를 가진 피해복구 자원들을 그룹화하여 각 그룹별 특징을 정의하고, 이를 통해 비슷한 2차 정보를 가진 자원들을 그룹화하여 복구 계획 시에 기초 자료로 제공하고

자 한다.

(마) 결과 해석

시뮬레이션을 위하여 복구지원 리소스를 총 23종류의 중장비로 구성하였으며, 9가지 항목(동적정보, 정적 정보 등)으로 구성하여 무작위로 생성하여, 총 263개의 데이터 세트를 생성하였다.

장비명	자격 여부	이용 난이도	피해 적용성	공종 적용성	시공능력	배치소속	이동거리	이동 속도	준비시간	규격	차량 폭
덤프트럭	0	1	0.39	0.45	0.42	영광중기	9.45	20.06	26.53	9.11	1.10
착암기	1	3	0.35	0.76	0.36	대구종합기계	3.54	20.33	40.20	10.63	1.18
양수기	0	1	0.54	0.75	0.50	삼인중기	9.54	20.35	31.87	10.68	1.03
크레인	1	2	0.31	0.53	0.57	이삭중기	5.58	20.62	20.16	9.26	1.10
그라우팅믹서	1	3	0.28	0.37	0.21	대구종합기계	3.54	20.67	58.38	9.31	1.13
화물트럭	0	1	0.86	0.76	0.21	부성중기	2.03	20.93	59.17	11.26	1.59
화물트럭	0	1	0.01	0.39	0.19	동양건기	16.34	21.66	22.30	12.97	1.25
청소차	0	1	0.76	0.57	0.27	부성중기	2.03	21.72	30.77	9.33	1.19
기중기	1	3	0.43	0.53	0.30	삼인중기	9.54	22.04	41.51	9.63	1.15
크레인	1	2	0.59	0.16	0.37	혜원중기	9.31	22.06	51.44	12.43	1.40
덤프트럭	0	1	0.80	0.21	0.40	대구종합기계	3.54	22.50	38.68	9.63	1.09
렉카	0	1	0.34	0.65	0.50	일성기업	13.30	22.77	32.38	10.46	1.26
굴삭기	1	3	0.95	0.13	0.58	연희중기	17.13	22.77	41.39	9.16	1.06

그림 2.1.52 복구지원 리소스 데이터 세트

PCA를 수행할 경우, 현장의 환경과 자원의 상태에 따라 기존에는 알 수 없었던 정보의 중복 여부를 알 수 있으며, 이를 줄여 데이터를 압축할 수 있다. 피해복구 자원의 항목의 값들이 타 항목들과 상관관계를 가질 경우, 요인 분석을 통해 압축할 수 있다. 이는 중복된 정보와 잡음을 제거하면서도 정보의 손실을 최소화하여 군집 분석 수행을 더 용이하게 할 수 있다.

표 2.1.47 PCA 분석을 통한 성분 도표

		자격여부	이용 난이도	피해 적용성	공종 적용성	시공능력	이동거리	이동속도	준비시간	규격	차량폭
상관계수	자격여부	1.00	.92	-.043	-.100	.013	-.02	-.01	.073	.015	-.03
	이용난이도	.92	1.00	.010	-.100	.001	-.05	.029	.031	.033	-.03
	피해적용성	-.04	.010	1.00	.01	-.03	-.15	-.02	.108	-.05	-.05
	공종적용성	-.10	-.10	.001	1.000	.064	.045	.088	.094	.034	.094
	시공능력	.013	.01	-.035	.064	1.00	.061	.054	.026	.093	.074
	이동거리	-.02	-.057	-.14	.045	.061	1.00	.000	.046	.053	.052
	이동속도	-.01	.029	-.022	.088	.054	.000	1.00	-.04	.858	.80
	준비시간	.073	.031	.108	.094	.026	.046	-.04	1.00	-.06	-.08
	규격	.015	.033	-.055	.034	.093	.053	.858	-.06	1.00	.74
	차량폭	-.03	-.033	-.059	.094	.074	.052	.802	-.08	.748	1.00

PCA로 압축한 7개의 정보를 분석하여, 군집분석을 통해 작성된 군집에 속한 개별자원의 속성을 분석하였다. 군집 수는 4개로 설정하고, 비계층적 방식인 k-평균 군집분석을 이용하였다. 분석한 결과, 군집 1에는 65 종류, 군집 2에는 69 종류, 군집 3에는 71 종류, 군집 4에는 58 종류의 피해복구 자원들이 그룹화 되었다.

표 2.1.48 군집별 특성

군집	그룹화 된 자원들의 특성
1	다양한 상황에서 사용가능하나, 이동 속도가 느리고 사용에는 많은 준비를 요하는 자원 (굴삭기, 기중기, 사다리차 등)
2	시공 능력은 떨어지나, 짧은 준비시간을 요하여 빠른 대응이 가능한 자원 (덤프트럭, 지게차, 화물트럭 등)
3	빠른 이동속도를 가지며, 비교적 짧은 준비시간과 다양한 피해 상황에 대응 가능한 자원 (양수기, 배수펌프, 청소차 등)
4	빠른 이동 속도를 가지나, 피해 지역과 멀리 떨어져있으며, 준비 시간이 오래 걸려 대응에 시간이 오래 걸리는 자원 (크레인, 발전기, 기중기 등)

복구 단계에서 군집 분석을 통해 자원의 속성 혹은 단순한 분류체계로 분류되었던 기존의 자원 관리와는 달리 각 자원 개개의 특성을 고려한 자원 분류가 가능함을 확인하였다. 복구지원 리소스 분류 결과는 현재상태를 고려한 평가에 활용된다.

나. 복구지원 리소스 평가 및 할당 최적화

(1) 복구지원 리소스 평가 절차

평가 요소는 필요한 복구지원 리소스 수량, 복구지원 리소스의 현재 위치를 고려한 이동거리, 복구지원 리소스의 노후도 및 시공 능력 총 4가지로 선정하였다. 복구지원 리소스 평가의 절차는 다음과 같은 절차를 거쳐 수행되며, 평가 결과는 할당 알고리즘에서 사용한다.



그림 2.1.53 복구지원 리소스 평가의 절차

피해 발생 시, 피해 분석 결과를 바탕으로 산출된 필요한 복구지원 리소스(장비, 인력, 자재)의 수량, 종류, 복구 현장(사용처) 정보를 이용하여, 각 재해 지역에 필요한 후보 복구지원 리소스 목록을 도출하여 가져온다. 이후 각 후보 복구지원 리소스들을 평가하기 위해 해당 리소스별로, 평가 요소에 대한 값을 산출하기 위해 필요한 데이터를 수집한다. 현재 위치를 고려한 이동 거리, 노후도, 시공 능력, 보유 수량 4가지 평가 요소에 대한 기본 정보를 복구지원 리소스 DB table에서 가져오게 된다. 각 평가 요소 값의 스케일을 조정하고, 최종

결과로 얻어질 평가치를 비교 가능하도록 맞추기 위해 정규화를 수행한다. 전문가들의 의견을 수집하여, 각 평가 요소에 대한 우선순위를 결정한 다음, 각 평가 요소에 반영될 가중치를 산정한다. 표준 정규화된 수치를 이용하여, 가중합 방식을 통한 최종 평가치를 도출하게 된다. 재해 지역별로 최적화된 복구지원 리소스 할당을 위해 복구지원 리소스 할당 알고리즘에 이 최종 평가치를 이용한다.

(2) 복구지원 리소스 할당 알고리즘

여러 지역에서 재해가 발생하여 대응이 필요할 시에 개별 복구지원 리소스가 어느 지역에서 작업을 수행할지에 대한 의사결정이 필요하다. 복구 지원 리소스 할당 알고리즘은 복구 리소스의 필요량, 리소스의 평가 정보, 리소스의 상태 및 현황정보를 활용하여 리소스의 절당한 할당을 수행하는 알고리즘을 수행하고, 알고리즘의 결과로 얻어진 할당안을 기반으로 상세 복구 계획을 작성하는 체계이다.



그림 2.1.54 복구지원 리소스 할당 알고리즘의 작동 개요

복구지원 리소스에 대한 평가 자료를 바탕으로 리소스와 복구 현장간의 관계를 고려하여, 가장 효과적으로 수행 가능한 지역에 리소스를 할당한다. 알고리즘에서 사용하는 자원에 대한 기초 정보는 복구지원 리소스의 상태에 대한 정보와 2차 정보 및 상태정보에서 얻어낸 평가 정보를 적용한다. 산출물은 각 복구지원 리소스를 언제 어디에 얼마나 할당할지에 대한 계획으로서, 다음과 같은 형태가 된다.

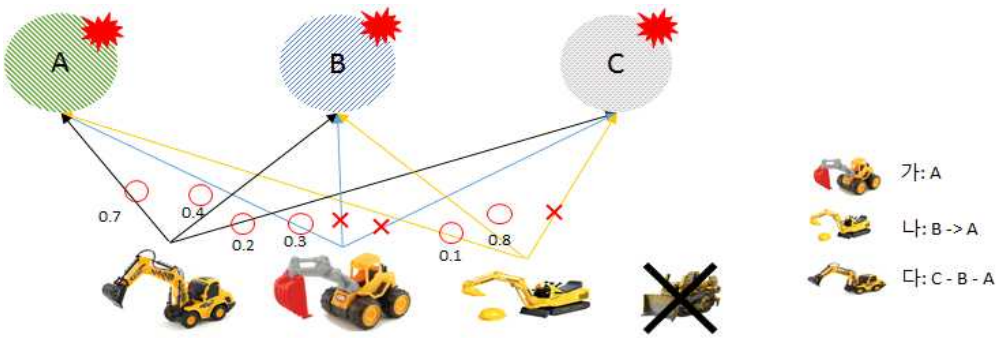


그림 2.1.55 리소스 할당 알고리즘의 결과 예시

할당 알고리즘은 다음과 같은 절차를 거쳐 할당 안과 세부 할당계획을 작성한다.



그림 2.1.56 할당 알고리즘의 절차

휴리스틱을 사용하여 최적 할당안을 작성한다. 할당을 위한 휴리스틱을 모두 정리하면 다음과 같다. 3단계의 할당 과정을 거쳐 할당이 이루어지며, 복구 현장의 선택 단계에서의 6가지 규칙, 복구 공종 선택에서의 3가지 규칙, 복구 지원 리소스 선택 단계에서의 3가지 규칙을 조합하여 총 54가지의 규칙이 가능할 것으로 예상된다. 실제 적용에서는 54가지의 규칙을 모두 적용하여 각각의 할당안을 완성한 이후, 완성된 할당안을 목적함수에 따라 평가하여 최고의 할당안만을 사용하거나, 소수의 상위 할당안을 사용하는 형태로 적용된다.

표 2.1.49 할당 휴리스틱

규칙		내용
복구 현장	잔여 공종의 수	현재까지 할당 및 수행완료가 되지 않은 공종의 수
	가중 잔여 공종의 수	“1/공종의 작업 순서” 를 곱한 공종의 개수
	최우선 순위 잔여 공종 수	현재 작업 중인 단계의 남은 공종의 수
	잔여 작업 시간	잔여 공종에서 필요로 하는 리소스의 작업 시간의 합
	가중 잔여 작업시간	“1/공종의 작업순서 “ 곱하여 계산한 잔여 작업시간
	피해의 심각성	(현재 피해 발생 수/전체 가능한 피해 위치)의 값
공종	공종의 작업량	필요 리소스의 전체 사용 시간
	공종의 우선순위	복구 공종 시나리오에서의 확인 순서
	피해의 정도	복구 공종의 수행 기준이 되는 피해량의 초과 정도
리소스	평가치 활용	기존 평가치가 큰 쪽을 사용
	Regret 규칙	최고 평가치와 차순위 평가치의 차이
	완료 예상 시각	작업이 완료되는 예상 시각이 빠른 쪽을 할당

(3) Tabu search 알고리즘을 이용한 할당 알고리즘 고도화

Tabu Search 알고리즘은 이웃 탐색 알고리즘 기반 알고리즘으로서, 이웃 탐색 알고리즘과 같은 방식으로 작동하나, 이전까지 이동해왔던 경로를 저장하는 금지 목록을 통하여 지역 최적해로의 수렴을 방지하는 형태로 작동하는 알고리즘이다.

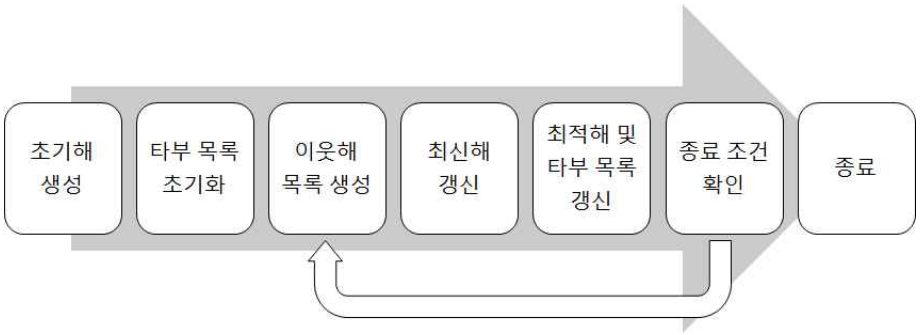


그림 2.1.57 Tabu Search 알고리즘의 절차

휴리스틱을 사용하여 Tabu Search의 초기해로 사용할 할당 방안을 작성한다. 이어지는 Tabu Search 알고리즘에서 사용할 금지 목록을 초기화하는 과정을 거치며, 금지 목록의 첫 머리에는 우선 초기해가 들어간다. 최후의 결과물이 될 역대 최고 해에 초기 해를 대입한다. 역대 최고 해는 이어지는 Tabu Search의 과정에서 찾아지는 최신 해와 계속해서 비교되며, 가장 좋은 해로 갱신되는 과정을 거친다. 해당 과정은 다음과 같은 방식으로 진행된다. 해당 그림에서 붉은 선은 금지 목록, 파란색별은 현재 해, 붉은 별은 최적 해를 의미한다.

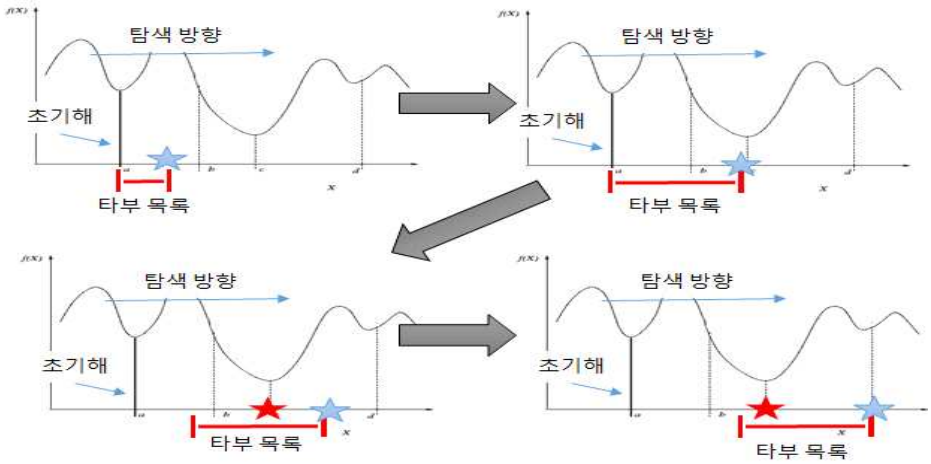


그림 2.1.58 최적 해와 금지 목록 갱신의 개요

종료 조건을 확인하여, 충분한 탐색이 이루어 졌다고 생각된다면 탐색을 종료한다. 종료 조건은 현재 해가 이동한 탐색의 횟수와 최적해가 갱신되지 않은 연속 탐색 횟수에 기반으로 한다.

다. 피해 복구시 돌발상황 대응

(1) 돌발상황 개요 및 분류

복구 계획 수립 또는 실행 시, 기존 복구 계획대로 진행되지 않고 그것을 벗어난 일들이 빈번히 발생할 가능성이 높다. 예를 들어, 복구 지원 리소스 고장 및 피해, 리소스 적합도

부족, 복구 현장 상황의 악화로 복구 지연 등이 일어났을 경우 복구에 작업이 원활하지 않게 될 것이다. 예상되는 돌발 상황을 분류하고 그에 따른 체계적인 대응 절차(매뉴얼)를 개발하였고, 이를 복구 계획 시스템에 반영하였다.

돌발 상황에 대한 분류를 돌발 상황의 주체를 기준으로 자원 관점, 현장 및 피해 관점, 인력 관점, 기타(etc.) 관점의 총 4가지 관점으로 분류하였다. 각 4가지 관점에서 총 19가지의 세부 항목으로 분류 항목간의 중첩성, 모호성을 최소화하여 분류하였다. 더불어 항목들간의 계층구조를 알고리즘에 의한 대처가 가능한지, 관제 센터 수준의 직접적인 대응이 필요한지, 즉각적인 대처가 필요하지 않은지로 나누었다.

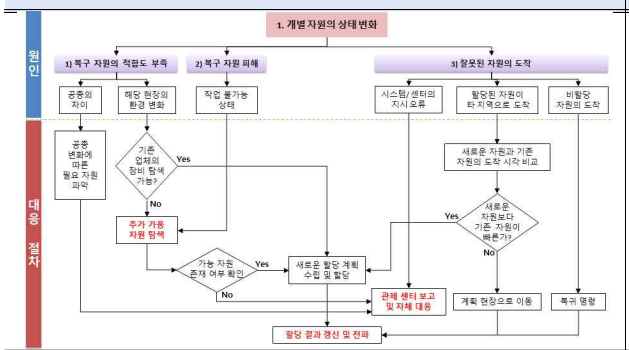
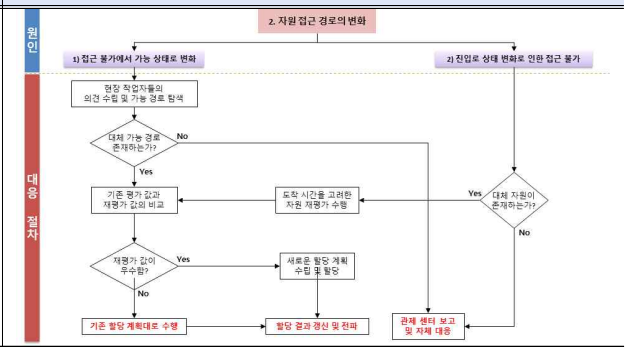


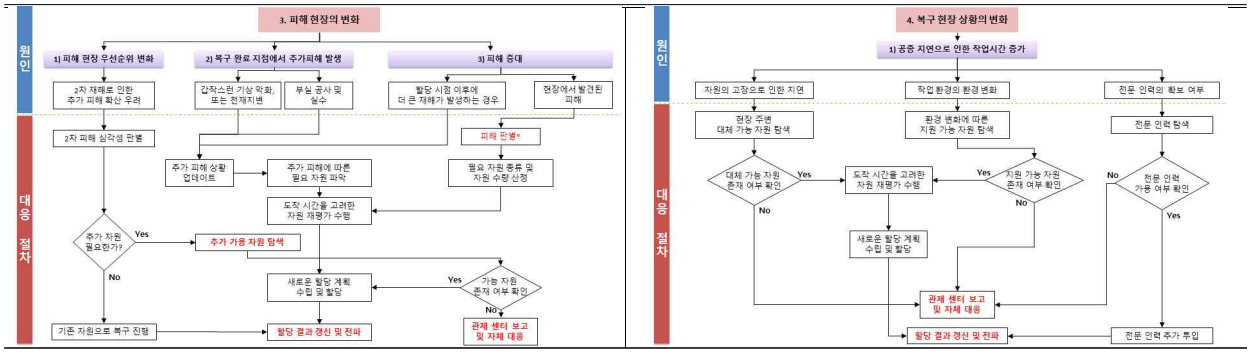
그림 2.1.59 재해 복구 시 돌발 상황의 상세 분류도

(2) 돌발 상황 대응 순서도 및 매뉴얼

분류 항목 중 복구 계획상에서 수행하는 알고리즘에 의한 대처가 가능한 것들의 경우 2가지 관점(자원 관점, 현장 및 피해 관점)을 중심으로 총 9가지의 돌발 상황 세부 항목에 대해 대응 순서도와 매뉴얼을 작성하였다.

표 2.1.50 알고리즘에 의한 대처가 가능한 돌발상황 대응 순서도

개별 자원의 상태 변화	자원 접근 경로의 변화
	
피해 현장의 변화	**복구 현장 상황의 변화**



매뉴얼은 정의, 원인, 예시 상황, 대응 절차로 나누어 작성하였다.

1. 자원 관점 – 1.1. 개별 자원의 상태 변화 – 복구 자원의 적합도 부족

* **정의:** 복구 계획에 있던 공법(공종)이 실질적으로 사용되어야 할 공법(공종)과 상이하여 피해 복구를 실행치 못하거나, 피해 발생 지역에 할당된 자원이 활용되지 못하고 활용도가 현저히 떨어지는 상황

* **원인:** 1. 할당된 자원이 도착했으나, 현장에서 필요로 하는 공법(공종)과는 맞지 않는 상황
2. 할당된 자원이 도착했으나, 현장의 공간, 진입로 등 환경과 맞지 않아 사용할 수 없는 상황

* **예시 상황 :** 낙석, 붕락으로 인한 00양수장의 흡수정의 파이프가 파손되어 교환해야 할 상황
피해복구 자원 할당 알고리즘을 통해 파이프 교체에 필요한 자원이 해당 피해지역으로 할당되었음
1. 교환해야 할 파이프의 무게가 예상보다 커서, 할당된 자원으로는 작업이 불가능한 상황
2. 파이프의 무게를 감당할 수 있는 용량의 자원이 재배치 될 필요성 파악

* **대응 절차**
1. 요구되는 공종 또는 공법의 변화에 따른 필요한 자원을 파악함.
(1) 추가 가용 자원이 있을 경우, 대체 자원을 포함한 새로운 할당 계획을 수립함
(2) 추가 가용 자원이 없을 경우, 관제센터에 보고하고 이후 대응을 맡김
2. 필요한 자원을 감당할 수 있는 자원이 진입 가능한 환경인지 파악한 후, 기존 복구 업체를 통한 필요한 장비 탐색
(1) 기존 복구 업체에 필요한 자원이 있을 경우
① 탐색된 자원을 포함하여, 알고리즘을 통한 새로운 할당 계획을 세움
② 자원이 피해 현장으로 다시 배치되는 과정이기에 다른 긴급피해복구지역보다 큰 가중치를 부여하여 복구 진행이 빠르게 진행되도록 유도
(2) 만약 기존 복구 업체에 필요한 자원이 없을 경우, 추가 가용 자원을 탐색함
① 추가 가용 자원이 있을 경우, 대체 자원을 포함한 새로운 할당 계획을 수립함
② 추가 가용 자원이 없을 경우, 관제센터에 보고하고 자체적인 대응을 요청함

그림 2.1.60 돌발상황 대응 매뉴얼 예시

라. 복구지원 리소스 현행화

(1) IoT 기반 복구지원 리소스 정보 수집 및 현행화 프로세스 작성

재해가 진행되는 상황에서 초기 대응 또는 긴급 복구하기 위해서는, 필요한 복구 지원 리소스들을 빠르게 호출하고 신속하게 재해 지역으로 배치해야 한다. 이를 위해서는 재해가 발생하기 전에 복구 지원 리소스에 관한 충분한 정보들이 수집되고 관리되어야 한다. 재해 발생 전, 복구 지원 리소스 정보 관리 프로세스는 다음과 같다.

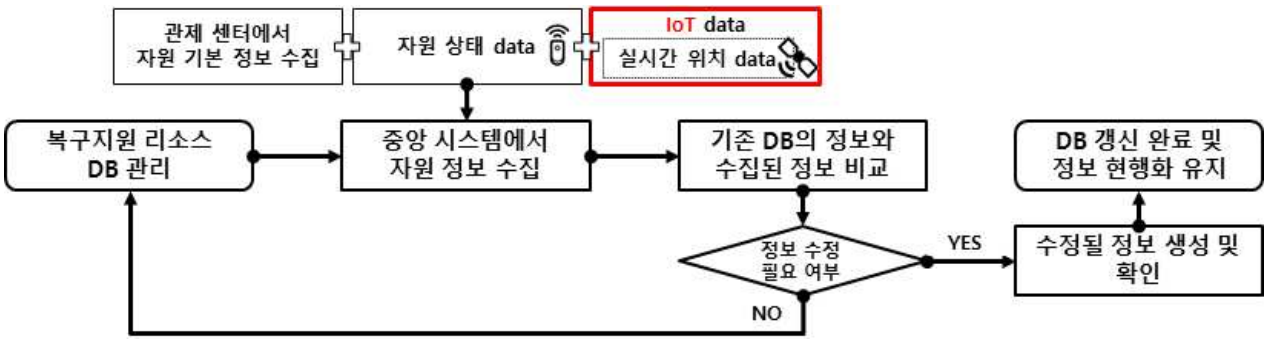


그림 2.1.61 재해 발생 전, 복구지원 리소스 정보 관리 프로세스

재해가 발생하고, 긴급한 복구 작업이 필요할 때, 복구 지원 리소스 관리 데이터베이스를 통해 복구 작업에 적합한 복구 지원 리소스들을 검색하여 신속하게 호출해야 한다. 더불어 호출된 복구 지원 리소스들이 재해 지역으로 정확하게 움직이고 있는지 실시간으로 확인되어야 한고, 그 복구 지원 리소스들이 재해 지역에 도착한 후, 복구 작업이 원활하게 이루어지는지도 확인되어야 한다. 재해 발생 후, 복구 지원 리소스 현황 모니터링 프로세스는 다음과 같다.

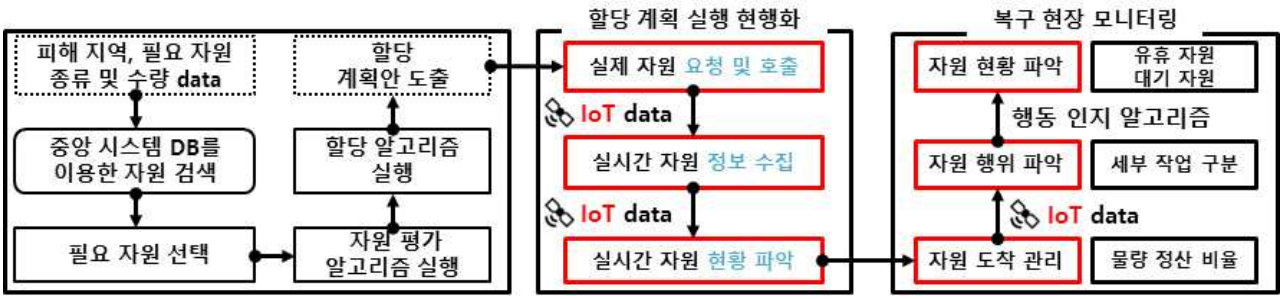


그림 2.1.62 재해 발생 후, 복구지원 리소스 현황 모니터링 프로세스

(2) IoT 기술을 이용한 복구 자원 행동 인지 모델 개발

긴급 복구가 필요한 상황에서는 복구 지원 리소스에 대한 관리가 철저히 이루어져야 신속한 복구가 이루어질 수 있다. 만약 유휴 리소스가 파악되면 이를 다른 복구 작업에 투입할 수 있을지를 빠르게 의사결정을 해야 할 때도 있다. IoT 기술을 활용하면 실시간으로 복구 지원 리소스의 움직임을 파악할 수 있다. 다만 IoT를 통한 데이터만으로는 장비의 움직임을 상세히 분류하는데 한계가 있어, IoT 장비에 탑재할 수 있는 자원 행동 인지 모델을 개발하였다. 분류기 학습을 위한 알고리즘으로는 ID3 의사결정나무 알고리즘을 사용하였다.

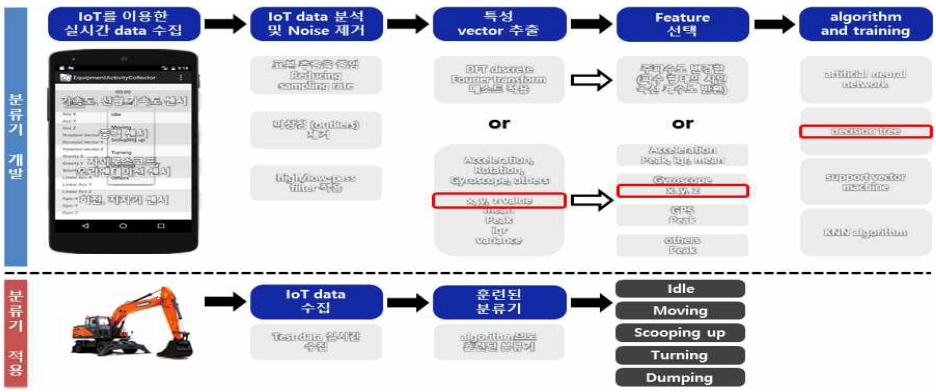


그림 2.1.63 복구지원 리소스 행동 인지 모델

스마트폰에 탑재된 7가지 센서를 이용하여 훈련을 위한 데이터를 충분히 수집하고, 수집된 데이터셋에서 결측값이나, 이상점, 또는 실험 환경에서 잡음으로 들어간 것들을 분석하고 제거하였다. 데이터셋 속성은 모든 센서들의 공통된 값으로서, 3축 x, y, z 값과, 그 값들의 평균, 최대값, 사분위수 등 많은 특징 벡터를 추출할 수 있으나, 본 연구에서는 가장 기

본 값인 x, y, z 값으로 설정하였다. 훈련 알고리즘은 시간이나, 정확도 면에서 높은 성능을 보이는 의사결정나무를 사용하였다.

(3) 시뮬레이션 실험

먼저 스마트폰으로 각 센서 값들을 받아 올 안드로이드 Application을 개발하였다. 7가지 동작 인식을 위한 센서들을 x, y, z 값으로 받도록 하였고, 지도 학습을 사용하기 때문에 굴삭기의 다섯 가지 동작(idle, moving, scooping up, turning, dumping)으로 라벨링 할 수 있도록 하였다. 개발 언어는 JAVA를 이용하였으며, 실험 환경은 CPU i5-4690, RAM 8GB에서 진행하였다. 센서값은 데이터를 받는 위치로부터 굉장히 달라지기 때문에 다음과 같이, 운전석과 굴삭기 팔에 부착한 총 2개 경우로 나누어 데이터를 수집하고 실험하였다.



그림 2.1.64 굴삭기 팔(ARM) 및 운전석 부착 실험 전경

굴삭기 팔 및 운전석에 부착하였을 경우 모두 97%의 정확도 매우 우수한 인식율을 보였고, confusion Matrix에서 scooping과 dumping 동작은 다른 동작보다 정확도가 떨어지는데, 실제 실험을 진행할 때도 이 둘은 연속 동작이라 겹치는 부분이 많다. 하지만 모두 94% 이상의 정확도를 가지고 있기 때문에, 실제 움직임을 파악하는데 큰 문제가 없었다.

```
Class Details performance:
=== Detailed Accuracy By Class ===

                 TP Rate   FP Rate   Precision   Recall   F-Measure   MCC      ROC Area  PRC Area  Class
                 1.000     0.000     0.999       1.000    1.000       0.999    1.000     0.999     Idle
                 0.961     0.011     0.957       0.961    0.959       0.948    0.985     0.954     Scooping up
                 0.959     0.011     0.960       0.959    0.960       0.948    0.987     0.957     Dumping
                 0.994     0.002     0.994       0.994    0.994       0.992    0.998     0.994     Turning
                 0.992     0.001     0.995       0.992    0.994       0.992    0.997     0.994     Moving
Weighted Avg.    0.980     0.005     0.980       0.980    0.980       0.975    0.993     0.978

Matrix performance:
=== Confusion Matrix ===

    a    b    c    d    e   <-- classified as
 8136    0    0    0    0 |    a = Idle
    3 8691  347    6    0 |    b = Scooping up
    0  372 9142    9    9 |    c = Dumping
    0   12   12 8402   30 |    d = Turning
    4    2   17   39 7906 |    e = Moving
```

그림 2.1.65 굴삭기 팔에 부착 시 각 행동에 대한 실험 결과

굴삭기 실험 결과를 통해 복구작업 진행중, 실시간으로 복구지원 리소스의 현행화를 위한 데이터 수집이 가능한 것으로 판단된다.

5. 피해복구 의사결정지원 시스템 구현

가. 피해복구 의사결정지원 시스템 주요 구조 설계

분산정보 공유형 피해복구 의사결정 지원 모듈을 위한 기본 설계가 반영된 것으로, 핵심 구성 모듈 설계(상황분석, 복구지원, 복구자원관리, 전문가 의견수렴)를 통한 피해 복구 시나리오 기반 복구실행 계획 도출 및 복구지원 리소스 평가 및 할당 기능 제공한다. 시스템 설계를 위한 주요 요구사항 및 시스템 구성도는 다음과 같다.

표 2.1.51 피해복구 의사결정지원 시스템 요구사항

대분류	중분류	요구사항명	요구사항 및 상세설명 및 고려사항
수변구조물	수변구조물	수변구조물 관리	수변구조물에 대한 등록, 조회, 삭제, 수정이 필요 수변구조물 조회시 지도서비스와 연계가 필요
	피해분류	코드 정의	수변구조물 부위분류, 피해유형, 피해형태에 대한 코드 정의 필요
	피해개요	피해개요 관리	과거 이력을 조회하여 향수 유사 사례인 경우 참조 가능
상황분석	정보관리	e문서 관리	현장 사용자가 사용한 e문서를 본 시스템에 통합하여 관리
		지상영상 관리	피해지역의 지상영상 정보를 관리
	통합분석	피해판별	영상, e-문서, 피해분석 정보를 바탕으로 피해 판별
복구실행계획 도출	복구공법 도출	공종 및 공법 도출	복구 시나리오를 근거로 해서 복구 공법을 도출
	복구 지원 리소스	복구지원 리소스 산출	복구공법 실행계획 수립을 위해 필요한 복구지원 리소스를 산출한다.
		복구지원 리소스 표출	복구지원 리소스를 4가지 항목(거리, 시공능력, 노후도, 보유량)으로 비교 할 수 있으며 지도 서비스를 통하여 직관적인 정보를 제공
		최적화 할당 결과	피해 수변구조물을 기준으로 최종 자원을 할당
		전문가 의견 수렴	피해 상황 발생시, 자원 할당시 등 언제든지 시스템에 접속하여 해당 분야의 전문가들끼리 자유롭게 의견 및 정보를 교환 가능.
관리		복구 공종 및 공법 관리	복구 공종 및 공법 정보를 등록, 수정, 삭제, 조회와 같이 관리 할 수 있다.
		업체관리	복구지원 리소스를 보유하고 있는 업체를 등록, 수정, 삭제, 조회 등의 관리
		자원Pool관리	업체와 복구지원 리소스를 매핑함으로써, 할당시 다양한 정보를 제공

전체 요구사항을 바탕으로 분석된 항목을 기능별로 분리하여 다음과 같이 기능 명세서를 작성하였다.

표 2.1.52 기능 명세서

Depth1	Depth2	Depth3	Sub Depth	기능 명세서
계정관리				시스템 사용자의 계정을 관리(추가, 삭제, 변경, 조회)한다
재난피해이력				수변구조물에 대한 피해상황 및 상태정보를 제공 및 신규 제공한다
수변구조물	관리 수변구조물			댐, 사면, 보, 옹벽, 제방, 교량에 해당하는 수변구조물을 관리한다
	피해분류		수변구조물 부위분류	건설교통부 공고 제2006-281호에 근거한 부위분류코드 제공한다.

			피해유형	피해유형별 코드를 제공한다.
			피해형태	피해형태별 코드를 제공한다.
	피해개요			과거의 피해 정보를 조회한다.
상황분석	정보관리	e-문서		피해보고 및 복구지원 e-문서 시스템 사용자가 제공한 정보를 관리한다.
		지상영상		해당지역의 지상영상 정보를 관리한다.
	통합분석	피해판별		각종 데이터(영상, e-문서, 피해분석 정보)바탕으로 피해 상황 분석한다.
복구 실행계획 도출	복구공법 도출			피해수변구조물 정보를 분석함으로써, 향후 사용될 복구공법을 제공한다.
	소요자원	복구지원 리소스 산출		복구공법 도출을 바탕으로 해당 복구공법 수행을 위해 필요한 복구지원 리소스를 산출한다.
		복구지원 리소스 평가		복구지원 리소스 산출로 나온 정보를 바탕으로 복구지원 리소스 후보를 평가할 수 있다.
		최적화할당		현 피해 수변구조물에서 도출된 복구지원 리소스를 바탕으로 복구지원 리소스를 할당할 수 있다.
		최적화할당 결과		최적으로 할당된 복구지원 리소스의 결과를 도출한다.
	복구실행	전문가의견 수렴		복구 및 상황 분석 등을 위해 참여한 전문가들에게 시스템에서 도출된 다양한 정보를 제공하며, 도출된 정보를 바탕으로 전문가들끼리 의견을 교환할 수 있다.
관리	복구지원 리소스 관리			복구지원 리소스를 관리한다.
	복구공종 관리			복구공종, 복구공법을 관리한다.
	업체 pool 관리			업체와 자원 매핑을 관리한다.

나. 피해복구 의사결정지원 시스템 구현

기능명세서를 바탕으로 데이터베이스 관리를 위한 물리 ERD와 논리 ERD를 각각 작성하였다. 전체 시스템의 DB는 9개의 주요 모듈로 구성되어 있고, 데이터베이스의 테이블들을 기능별로 그룹화 함으로써 향후 시스템 변경 및 유지보수 작업을 보다 효율적으로 진행 할 수 있게 하였다. 웹기반으로 개발되었으며 전체 시스템 구성 및 주요 모듈은 다음과 같다.

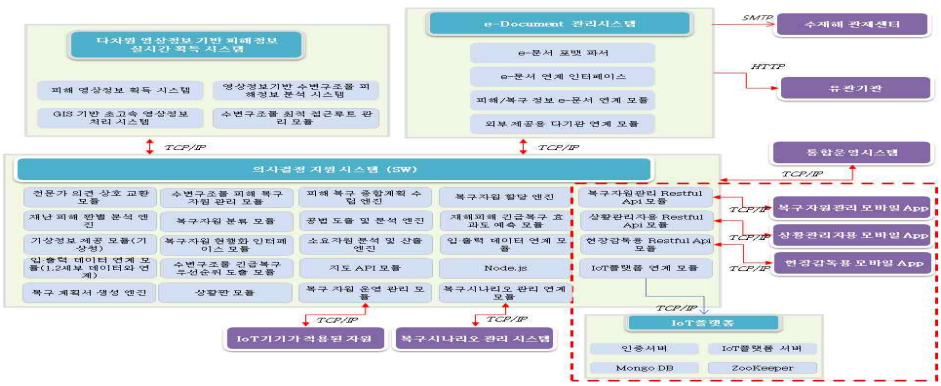


그림 2.1.66 피해복구 의사결정지원 시스템 구성도

(1) 재난 피해 현황 선택 및 등록 모듈

기존에 발생한 재난 피해 이력을 확인 또는 새로운 재난 피해를 등록 및 관리하는 기능으로 등록되어 있는 재난 피해 수변구조물 중 복구 수행을 위한 수변구조물을 선택하거나(재난현황 선택) 없을 경우 새로운 피해 등록 작업(재해일시, 피해지역, 수변구조물, 피해상황)을 수행한다.

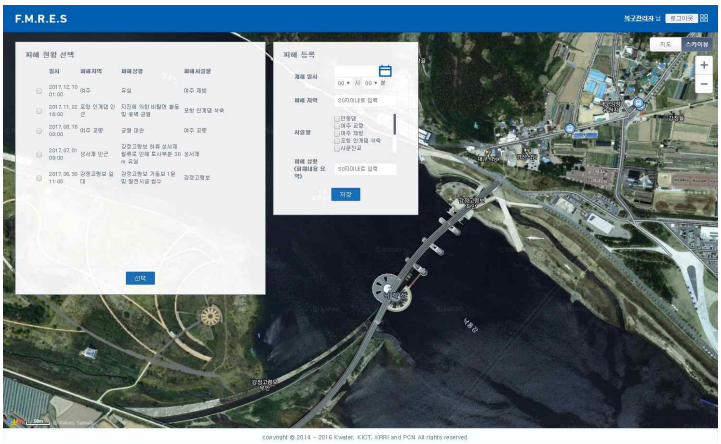


그림 2.1.67 피해 현황 선택 및 피해 등록

(2) 관리 수변구조물 조회 모듈

수변구조물(댐, 보, 사면, 제방, 옹벽, 교량)을 관리(등록, 조회, 삭제, 수정)하며 선택 수변구조물의 자세한 정보(수변구조물, 관리자정보, 위치, 사진 등)를 제공 및 수정 관리를 하며, 리스트에서 검색 가능하다. 또한 해당 수변구조물을 지도에 표시하여 직관적으로 수변구조물을 관리하도록 구성하였다.

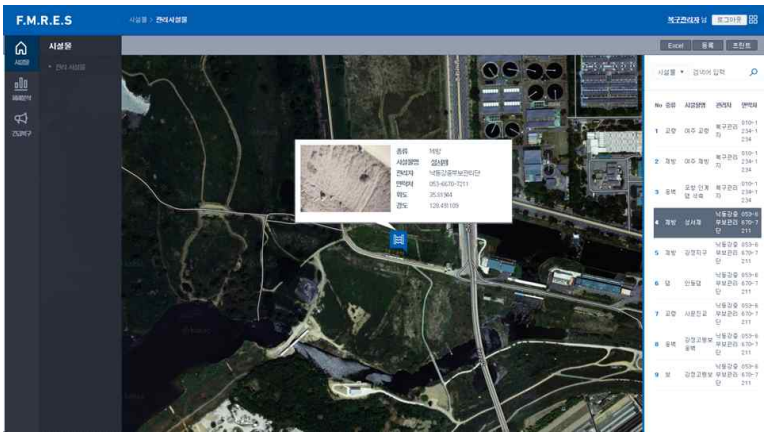


그림 2.1.68 관리수변구조물 조회

(3) 수변구조물 피해보고 e-문서 관리 모듈

현장에서 발생한 정보를 e-문서를 통하여 의사결정지원 시스템에 제공함으로써, 현장과의

실시간으로 수집이 가능하다. 현장에서의 발생급보와 상황보고 정보가 시스템에 즉시 연계되도록 구성하였다.



그림 2.1.69 수변구조물 피해보고 e-문서 연계

(4) 지상영상정보 관리 모듈

지상영상정보 획득장치의 위치 및 화면, 침수율 표시, 피해의심지역 위치좌표 영상 및 위치 좌표를 보여준다. 지도상으로 피해의심지역의 위치좌표를 연결하여 직관적으로 피해위치를 알 수 있도록 지도상에 해당 위치좌표를 연결하여 영역을 제공한다. 따라서 해당 피해의심지역의 면적을 파악할 수 있어 향후 복구를 진행함에 있어서 효율적인 계획 수립이 가능하다. 아래 그림은 Test Bed인 강정고령보에서의 지상영상정보 관리 모습을 나타낸다.

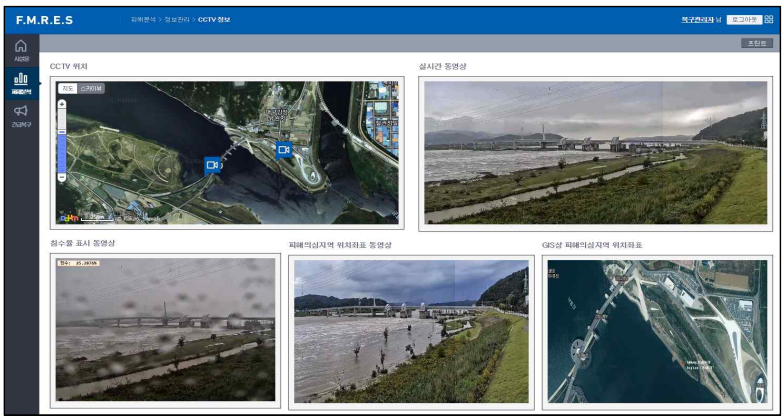


그림 2.1.70 지상영상정보 관리 모듈

(5) 상황분석 모듈

상황분석 모듈은 피해지역에서 획득된 지상영상 및 사진정보, UAV 영상기반 피해분석 정보, 그리고 피해상황 e-문서를 이용하여 수변구조물의 재해피해 상황 분석을 수행한다. TB에 구축된 CCTV 영상은 넓은 지역의 상시감시를 통해서 주야간의 피해의심 상황 감시를 위해서 사용되고, UAV는 근접 촬영 영상을 획득하여 피해정보 분석에 주로 사용된다. 상황분석 모듈은 이 영상정보를 모두 받아들여 상황분석에 활용한다.

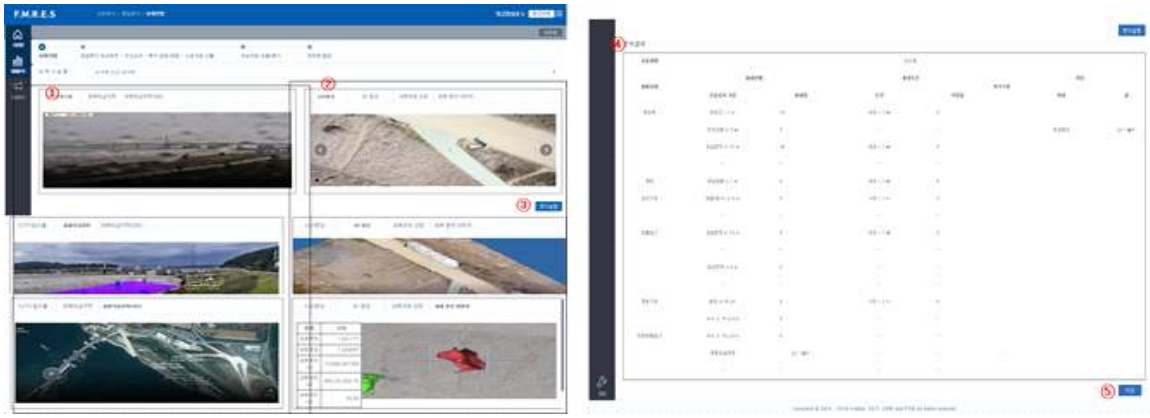


그림 2.1.71 피해상황 분석 모듈

① 지상영상 획득장비에서 제공된 지상영상으로부터 피해지역 침수율, 피해의심지역 및 GIS 정보 확인

② 수변구조물의 UAV 영상을 기반으로 한 3D영상, 다차원 피해정보 분석시스템의 피해규모 산정 결과, 피해분석 이미지 정보 확인

③ 해당 수변구조물 복구 시나리오의 입력 데이터 테이블 표출

④ 해당 수변구조물의 복구 시나리오 입력치인 피해량, 측정값, 기타 정보를 데이터 연계 및 사용자가 입력 및 수정

⑤ 상황 분석 내용 저장이후 다음 단계인 긴급복구->공법도출 화면으로 이동

(6) 복구공법 도출 모듈

수변구조물 피해 상황을 기반으로 복구 시나리오를 반영하여 복구 실행계획에 사용할 복구 공법을 도출한다. 개발된 복구 시나리오는 모두 시스템에 반영하였다.

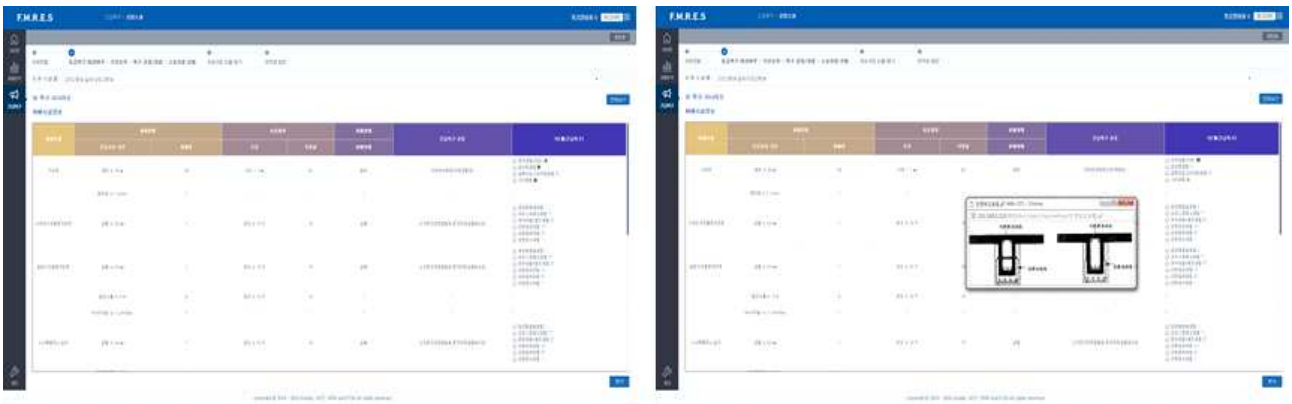


그림 2.1.72 복구공법 도출 모듈

공법에 대한 설명을 그림으로 나누어 보여주며, 공법 선택 시 링크를 만들어 선택하기 전

에 미리 보고 선택할 수 있다. 아래 표는 복구공법, 시공업체, 일위대가 등 시스템에 입력되어 있는 DB 현황이다.

표 2.1.53 피해복구 공법, 자원, 업체 등 DB 입력 현황

구분	설명	입력현황	비고
복구공법	피해 유형 및 손상 수준에 따른 현장 복구 공법	단면보수공법 등 131개	131개
시공 업체(면허)	복구공법에 대하여 전문 면허를 소지한 시공 업체 (토목건축 공사업, 토목 공사업, 시설물유지관리업)	토목건축 공사업(3,225개) 토목 공사업(2,492개) 시설물 유지관리업(761개)	6478개
자재, 인력 연계 업체	공법에 따른 자재, 인력 연계 업체	대구인근지역 144개	144개
공법별 일위대가	한 개의 단위당 기본이 되는 재료 및 인력품 등의 단위 수량을 나타낸 값	굴삭기 등 1,103개	1103개
공사 공종 코드	공사 종류의 표준공사코드	공종: 7,878개 세부공종: 32,959개	40837개
물품 단가 코드	물품의 품명, 규격, 포장단위 등을 비롯하여 책정된 표준공사코드	노임 : 340개 자재 : 54,224개 중기 : 807개	55371개
자원 코드 (재료, 장비, 인력 등)	공사에 필요한 순수 자원의 표준공사코드	H빔 등 56,489개	56489개

(7) 복구지원 리소스 평가 모듈

공법도출 및 소요 복구지원 리소스에서 산출된 정보를 바탕으로 현재 현장에서 사용할 수 있는 복구지원 리소스를 산출하며, 해당 복구지원 리소스간의 거리, 보유량, 시공능력, 노후도 및 이동거리를 비교하여 최적 안을 도출할 수 있다.

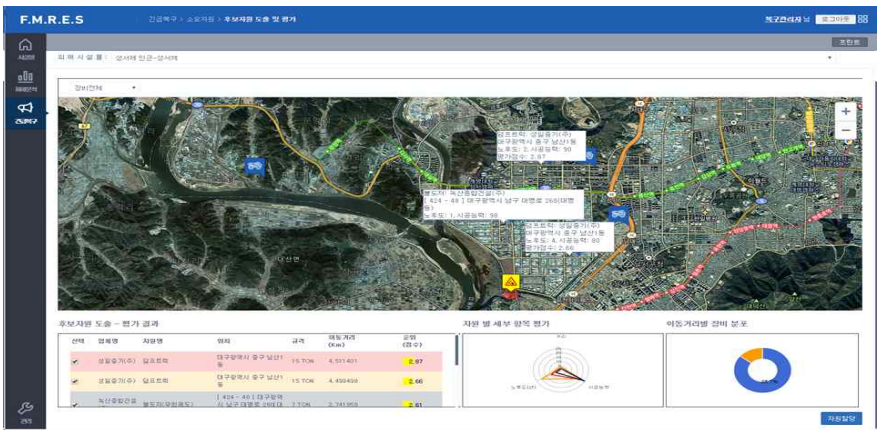


그림 2.1.73 복구지원 리소스 도출 및 평가

(8) 복구지원 리소스 최적화 할당 모듈

상황분석을 통하여 도출된 정보를 바탕으로 피해 수변구조물이 한군데 이상인 경우, 그 피해 수변구조물들을 선택하여 복구지원 리소스의 최적화 할당을 수행할 수 있다. 최적화 할당을 통해 할당된 자원을 지도API와 연계하여 직관적으로 피해 수변구조물과 자원의 이동경로까지 확인 할 수 있다. 경로탐색 알고리즘(A* 알고리즘)을 적용하였고, 복구지원 리소스의 피해지역까지의 경로를 설정할 수 있도록 하였다.

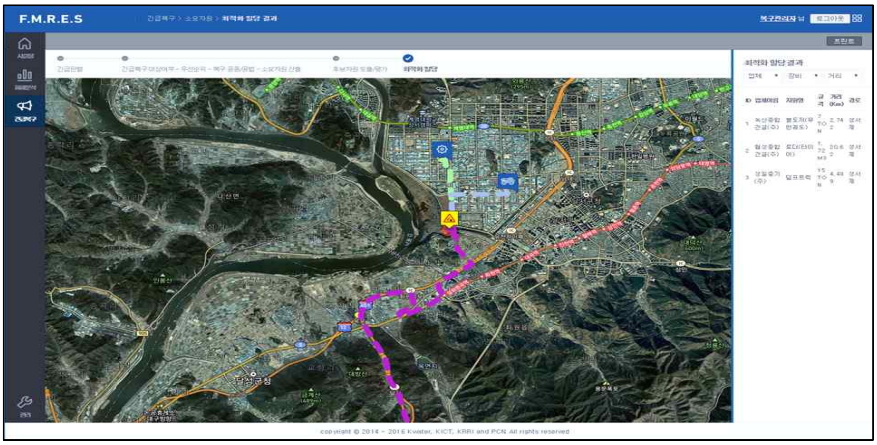


그림 2.1.74 복구지원 리소스 최적화 할당 모듈

할당된 복구지원 리소스는 해당 정보가 저장되어 언제 어떻게 할당되었는지 DB를 통하여 향후 확인이 가능하다.

(9) 피해복구 실행계획(안) 도출 모듈

피해 수변구조물의 피해개요, 상황분석 및 예상 복구지원 리소스 및 복구지원 리소스 할당 상황 등 정보 및 피해 이미지 등을 피해복구 실행계획안으로 도출하고, 화면에서 직접 확인하거나 PDF로 출력할 수 있다.

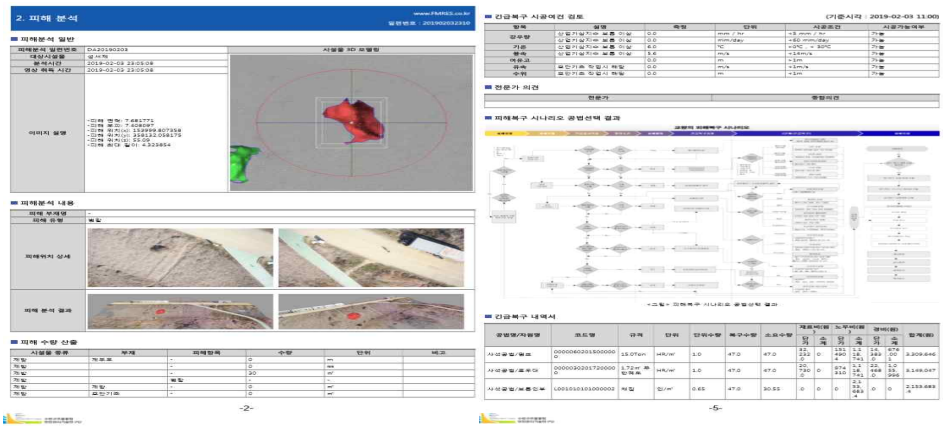


그림 2.1.75 피해복구 실행계획(안) 도출 모듈

(10) 피해복구 실행관리 모듈

피해 수변구조물들의 피해개요 및 복구 상황 및 현재 복구 위치 정보, CCTV정보, 피해사진 및 영상 등 전반적인 정보를 제공하여 효율적인 복구 대응이 가능하도록 구성하였다. 아래 그림은 피해복구 실행관리 모듈이다.

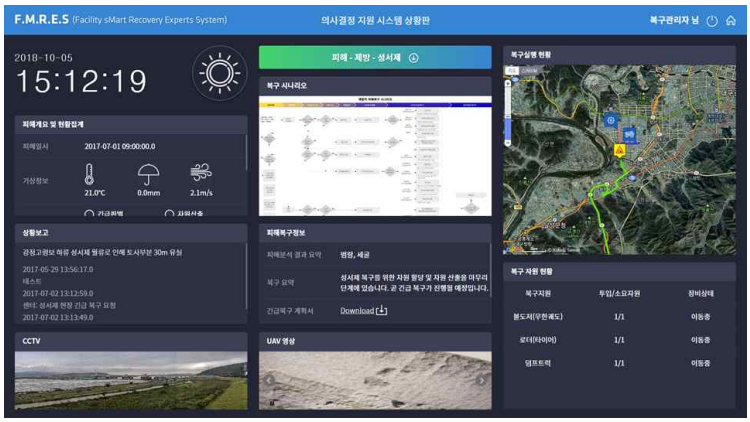


그림 2.1.76 피해복구 실행관리 모듈

- 피해현황 집계 : 피해시 피해현황을 실시간으로 보여주는 화면이다. 피해접수, 상황분석, 복구준비, 복구중, 복구완료로 피해의 상황을 알 수 있다.

- 피해 수변구조물 : 수변구조물 화면은 각 구조물의 피해에 대한 정보를 알 수 있다.

- 의견게시판 : 각 피해 현장마다의 진행사항에 대한 의견을 알 수 있다.

- 피해 개요 : 피해 개요는 선택한 해당 피해의 일시, 기상정보, 대응단계를 표시하여 기본적인 정보를 알 수 있다.

- 복구 정보 : 피해발생시 상황분석의 결과를 요약하여 보여주고 복구 상황에 대한 요약정보를 나타낸다. 피해복구 실행계획서의 다운로드기능과 복구진행 상태 정보를 나타내어 복구 상황을 보다 자세히 알 수 있다.

- 복구지원 리소스 현황 : 해당 피해복구 현장의 투입된 복구지원 리소스의 현황을 보여주고 상태를 보여준다.

- 복구위치정보 : 피해의 위치를 나타내고 아이콘으로 복구지원 리소스 요청, 복구지원 리소스 이동중, 복구작업 실시, 복구완료를 표시하여 알려준다.

- 피해영상/사진 : 등록된 해당 피해지역의 영상 및 사진을 볼 수 있다.

다. 피해 현장 운용 모듈 개발

(1) 피해 현장 지원 시스템 설계

피해복구의사결정지원 시스템(FMRES)과 피해 현장에서 운용하는 복구자원관리, 모바일 현장운용자, 상황관리자용 APP간 연계 흐름도를 작성하였다.



그림 2.1.77 FMRES와 현장 지원시스템과의 연계

복구자원관리용 APP은 복구지원 리소스의 위치 및 운용 상황에 대한 정보를 FMRES에 보고하고, 돌발상황(접근불가 및 자원 피해)에 대한 보고 및 지시를 받는 용도이다. 모바일 현장운용자 APP은 복구현장에서의 복구지원 리소스 상황 및 복구 상황을 FMRES에 보고하고 돌발상황(공법 변경 및 리소스의 변경) 요청을 하여 해당 작업의 응답 및 후속조치를 받을 수 있다. 상황 관리자용 APP로는 상황 관리자가 상황실의 업무진행 상황을 간단히 확인할 수 있도록 FMRES에서 정보를 수신하며, 피해복구 계획안 문서를 열람할 수 있다.

피해 현장에서 발생할 수 있는 복구지원 리소스의 상태변화와 접근경로 변경 등에 대하여 FMRES의 프로세스 변화 시나리오를 다음과 같이 작성하였다.

분류	원인1	원인2	대응절차	FMRES 프로세스 변화점	현장관리자 상황전파/지시	자원 상황전파/지시	센터 상황 지시	비고
1.개별 자원의 상태변화	복구 자원의 적합도 부족	공법 부적합	공법 변경	1. 현장에서 원하는 공법에 필요한 자원 도출 2. 기존 배치 자원과 비교 후 상이점 센터 상황판에 표기 하여 판별 요청 3. 상황 판별 후 변경이 승인되면 추가 자원 및 변경 자원에 배치 지시 4. 변경 불가하면 해당 상황을 현장관리자에게 전파	복구 공종의 재고요청 (원하는 공종 입력)	변경 상황 전파 및 자원 재배치 지시	변경 상황 전파	수동
		해당 현장의 환경 변화 (환경여건부적합)	환경 변화에 따른 추가 자원 투입	1. 해당 피해복구계획서의 할당자원 변경가능하도록 기능 수정(상황관리자 및 전문가 작업) 2. 재할당 결과 추가 자원의 선정 및 소요비용을 상황판에 표출후 배치 여부 판별 3. 추가자원 가능 판별시 해당 추가 자원 및 현장관리자에게 상황전파 및 자원 배치 지시	추가 자원 요청 및 응답	추가 자원에게 상황 전파 및 배치 지시	추가 자원 포함 재할당 및 결과 전파	수동
	복구 자원의 피해	작업 불가능 상태	추가 자원 탐색	1. 불용 자원의 후보자원리스트에서 배제 후 할당 알고리즘 재실행 2. 대체 자원을 포함한 복구계획을 센터 상황판에 표기 및 배치 여부 판별 3. 대체 자원 배치 가능 판별시 해당 추가 자원 및 현장관리자에게 상황전파 및 자원 배치 지시	자원의 고장 상태 상황 전파	변경 상황 전파 및 자원 재배치 지시	변경 상황 전파	자동
	잘못된 자원의 도착	할당된 자원이 타 지역으로 도착	해당 현장으로의 복귀 지시	1. 해당 자원에게 목표 현장으로 복귀 지시(자동)	할당 자원의 미도착/ 타지역 비할당 자원의 도착 상황전파	해당 현장으로의 복귀 지시	변경 상황 전파	자동
		비할당 자원의 도착		2. 해당 상황 상황판에 표시				
2. 자원 접근 경로의 변화	접근불가에서 가능상태로 변화	현장 작업자들의 의견 수렴	자원 이동 경로의 복구 완료 보고 후 자원 이동 경로 재계산	1. 자원 경로변경 모듈 수행후 해당 경로 이미지를 자원 APP에 전송	현장 복구 완료 보고 및 이동 가능 상황	변경 자원 경로 전송	변경 상황 전파	자동
	진입로 상태변화로 인한 접	현장 자원 접근 불가	자원 이동 경로 재계산	1. 자원 경로변경 모듈 수행후 해당 경로 이미지를 자원 APP에 전송	현장접근불가 상황 전파	변경 자원 경로 전송	변경 상황 전파	자동

그림 2.1.78 현장 상황에 따른 FMRES 프로세스 변화 시나리오

작성된 시나리오는 상황별 현장감독, 상황실, 복구 지원리소스 별 행동 및 전파에 대한 내용을 정의하였으며, 해당 행위들을 수행하기 위하여 현장감독, 상황실, 복구리소스 용 모바일 App을 개발하였다. FMRES와 현장 지원시스템간의 시퀀스 다이어그램은 아래와 같다.

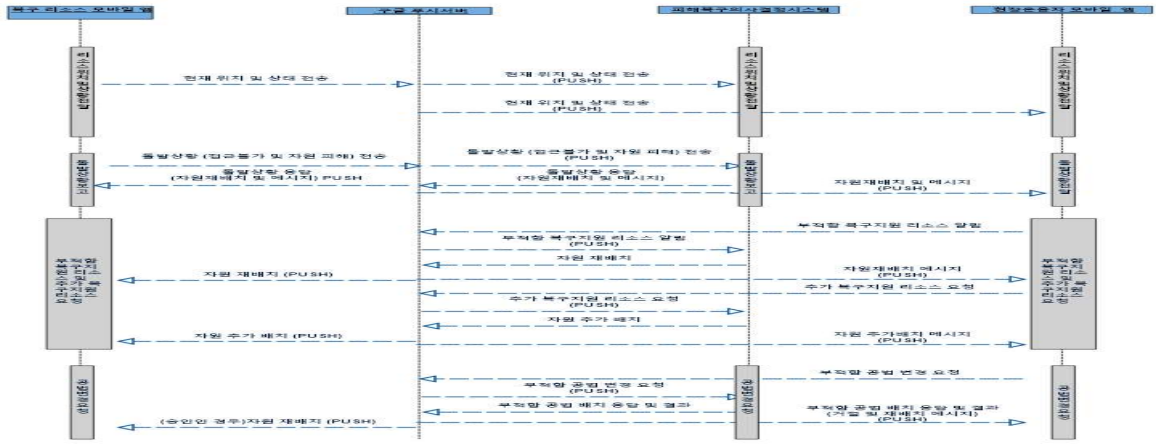


그림 2.1.79 피해현장 및 상황실간 시스템 및 모바일 앱 시퀀스 다이어그램

(2) 복구 지원 리소스 상태 정보 수집용 모바일 App개발

피해 시설물의 복구를 수행하기 위해서는 다양한 복구지원 리소스(예, 굴삭기, 불도저 등)가 필요하며, 또한 상기 복구 지원리소스의 현재 상태를 상황실에서 실시간으로 파악할 수 있는 경우 효율적인 복구가 가능하다. 현재 자원 상태 정보를 파악할 수 있도록 하는 모바일 어플을 개발하였다. 자원의 위치정보(좌표값)가 실시간으로 상황실과 연동됨으로써, 상황실에서 해당 자원의 이동경로를 파악할 수 있으며, 이를 통하여 복구 계획을 체계적으로 수립할 수 있다. 돌발변수가 발생하였을 경우, 간편한 조작으로 현재의 상태를 상황실로 알릴 수 있어 상황실에서는 상기 이슈를 파악할 수 있으며, 이를 바탕으로 다른 복구 전략을 수립 할 수 있다.

표 2.1.54 복구 자원 리소를 위한 모바일 App

화면설계서	내용	화면설계서	내용
	자원현황정보: 현 자원의 GPS위치, 이동 속도 등에 관한 정보 제공		자원출동정보: 현 자원의 위치에서 피해시설물까지의 길안내 정보

(3) 피해복구 의사결정지원 시스템 현장 운용자를 위한 모바일 App개발

효율적인 복구 진행을 위해서는 현장에 있는 감독자를 위한 모바일 App이 필요하다. 상황실과는 다르게 복구현장에서는 예상하지 못한 다양한 변수들이 발생할 수 있으며, 실제로도 더 다양하고 복잡한 상황들이 발생한다. 이럴 경우, 상황실과 유기적인 연계를 통해서 현재의 복구 진행 상황을 알려주며, 이를 바탕으로 상황실은 빠른 의사결정을 통해서 현장을 지원해 줄 수 있도록 한다.

표 2.1.55 현장 운용자를 위한 모바일 App

화면설계서	내용	화면설계서	내용
	**현재 상황 정보**: 선택된 피해 시설물의 상세 정보 제공		현재 상황 정보(**복구 공정 정보**): 피해 시설물의 복구 정보 제공(부재, 복구 공종명 및 복구 공법)
	현재 상황 정보(**할당 자원 정보**): 피해 시설물의 할당된 자원 정보 제공		**부적합한 복구지원 리소스 알림**: 할당된 복구지원 리소스 중 현장 감독자가 판단할 때, 부적합 경우 해당 복구지원 리소스를 선택하여 상황실로 요청
	**추가 복구지원 리소스 요청**: 현 피해 수변구조물의 복구를 위해서 추가 복구지원 리소스가 필요할 경우 기 등록되어 있는 복구지원 리소스를 선택하여 상황실로 요청		공법 변경 요청: 의사결정지원 시스템에서 제공한 복구 공법이 현장에 적합하지 않을 경우 **다른 공법으로 변경하도록 요청**

(4) 피해복구 의사결정지원 시스템 상황관리자를 위한 모바일 App개발

현장에서는 상황실의 상황을 알 수 있는 방법이 제한적이라서, 의사소통을 하는데 있어서 상당한 문제가 발생할 수 있다. 이를 보완하기 위해서는 상황실의 정보를 현장에 있는 사람들과 같이 공유하는 방법이 최선이다. 이를 위해서는 상황실과 유사한 시스템을 모바일 App을 통해서 제공하게 되면 상기 문제를 상당부분 해소할 수 있을 것이다. 상황관리자가 이동 중이거나 현장에서 지휘할 때 상황실의 상황을 실시간으로 알도록 지원해 줄 수 있도록 상황관리자용 모바일 App을 개발하였다.

표 2.1.56 상황관리자를 위한 모바일 App

화면설계서	내용	화면설계서	내용
	복구 실행 계획서: 의사결정 지원 시스템에서 도출된 **“피해 복구 계획서”** 문서를 모바일 상으로도 볼 수 있도록 제공		**상황 내역: 모바일 APP(현장 감독용 APP, 복구자원관리용APP)과 의사결정지원시스템간의 상호 요청 공법 변경요청 등)에 대한 상황 내역 제공**

제2절 항공/지상 수변구조물 피해 영상 정보 획득 시스템

1. UAV기반 항공영상 취득 시스템 개발

항공영상 취득 시스템은 항공부분시스템, 이동형 관제시스템, 고정형 지상시스템으로 구성된다. 항공부분시스템은 수변구조물의 피해영상 촬영을 위한 저고도 및 근접정밀영상 취득 시스템으로 이루어진다. 이동형 관제시스템은 UAV, 전원장치, 센서데이터의 송수신을 위한 안테나 및 통신장비를 탑재하여 항공과 지상의 실시간 상호작용이 가능하도록 한다. 이동형 관제시스템의 정보를 무선으로 받아 데이터를 표출하는 고정형 지상시스템은 K-water 수변구조물 통합안전관리센터내에 구축되어 연구단의 재난 시나리오기반 통합안전관리 플랫폼(WiNS^{+})와 연계되도록 하였다.

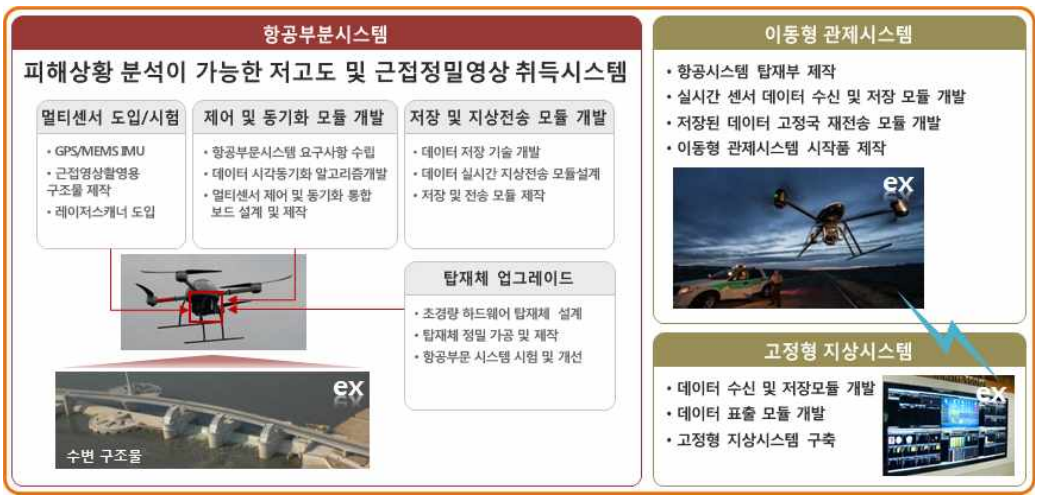


그림 2.2.1 항공영상 취득시스템 구성도

가. 저고도 항공영상 취득 시스템 개발

저고도에서 UAV에 탑재되어 영상 및 외부표정요소를 취득하기 위한 저고도 항공영상 취득 시스템은 다음과 같은 기능을 갖도록 구성하였다.

표 2.2.1 Sensor Control & Sync Module

기능구성	단위처리기능	기능정의
GPS수신	PPS, NMEA 수신 전원공급	UAV의 위치 확인 및 센서 데이터 동기화 기준 시각(고정밀) 설정을 위한 GPS데이터 수신
자세센서 제어/수신	데이터 출력 명령 송신 TOV 신호 수신 데이터 수신	UAV의 실시간 촬영 자세를 측정하여 촬영된 결과와 함께 제공
센서 동기화	정밀초기시각 세팅 5분 단위 재확인 TOV 신호 해석	GPS로부터 기준시각을 설정하고 센서들의 측정시각을 계산
고해상 카메라제어	촬영신호 촬영 시각 동기화	Sync 방식의 촬영 신호 송출 및 촬영 신호 수신하는 센서동기화
데이터 전송	GPS, 자세센서, 동기화 결과 저장 데이터 저장 모듈에 전달	모든 센서 데이터, 동기화 결과, 내부 장비들의 상태를 저장하고 데이터 저장 모듈에 실시간 저장

통합보드 시스템은 모든 센서의 제어와 실시간 동기화 및 저장을 담당하는 모듈(Sensor Control & Sync Module)을 기반으로 한 시스템으로 주요 기능은 다음과 같다.

표 2.2.2 Data Storage & Communication Module

기능구성	단위처리기능	기능정의
GPS수신	NIMEA 수신	장비 운용시간 설정 외부적인 이유 (비, 낙뢰, 추락 등)로 인한 장비 오동작 발생시 고정밀 시각과 비교용
SCSM 데이터 저장	센서 제어 및 동기화 모듈 데이터 저장	Ethernet을 이용하여 SCSM 데이터를 저장
카메라 데이터 저장	고해상, 열화상, 근접영상 데이터 저장	내장 스토리지에 카메라로부터 전달되는 고용량 영상과 동영상을 저장
LTE 통신 기능	LTE 모듈을 통해 저장된 데이터 서버 전송	실시간으로 저장되는 SCSM 데이터와 영상 데이터를 LTE 통신으로 서버에 저장
Wifi 통신기능	Wifi 모듈을 통해 저장된 데이터 서버 전송	LTE 통신 상태에 따라서 실시간으로 저장되는 SCSM 데이터와 영상 데이터를 Wifi 통신을 통해 이동형 관제국 PC에 저장
저장 데이터 확인	저장 용량 확인 기능	남아 있는 용량 확인 기능
원격제어 기능	원격 PC에서 장비 제어	원격지에서 DSCM을 제어할 수 있는 기능

GPS데이터는 모듈과 RS232를 통해 수신하며 MEMS IMU는 모듈에 임베디드 장착되어 직렬 주변기기 통신(SPI, Serial Peripheral Interface) 통신을 통해 모듈로 직접 수신 및 저장하도록 구성하였다. 디지털 카메라는 모듈에서 송출되는 트리거 신호를 통해 주기적으로 촬영을 수행하도록 설계하였으며, 모듈에서 동기화 된 모든 센서 데이터 및 로그들은 모듈에 포함된 플래쉬 메모리에 저장되며, Host PC는 USB 케이블을 통해 모듈을 제어하고 저장된 데이터를 다운로드 받을 수 있도록 전체 시스템을 구성하였다.

전문설계 SW인 CATIA를 사용하여 탑재체를 설계하였다. 멀티센서를 UAV에 탑재하기 위한 탑재체는 개발된 보드 2개와 위치자세 센서, 통신장비 등을 슬롯형태로 탈착이 편리하게 제작하였다. 향후 장비 업그레이드와 교체를 쉽게하여 유지보수 편리성을 향상시켰고, 방수가 가능하도록 케이스를 별도로 제작하였다.



그림 2.2.2 저고도 항공영상 취득용 UAV 탑재체

멀티센서 데이터 동기화 모듈(SCSM)의 성능 검증을 위하여 고정밀 시간 측정 장비인 POS LV(10㎲급, GPS week data)의 로그와 개발한 동기화 모듈간의 저장 시각 차이를 비교하였다. 비교 결과 1ms 미만의 오차가 발생하였으며, 일반적인 항공측량 장비의 필요 정확도 1/1,000초를 만족하는 수준이었다.



그림 2.2.3 멀티센서 데이터 동기화 시스템 성능검증

나. 근접정밀 항공영상 취득 시스템 개발

수변구조물에 근접하여 근접정밀 영상을 촬영할 수 있는 UAV 탑재체를 설계하였다. UAV 진행방향 기준으로 수평/수직 방향으로 모두 카메라 촬영이 가능하도록 하였고, 근접정밀영상은 x, y의 위치보다는 z 방향으로의 수직적 변화가 중요하기 때문에 높은 정확도의 위치/자세 센서를 적용하였다. 또한, 촬영대상 수변구조물과의 정확한 거리 측정을 위하여 저전력으로 운용 가능한 LiDAR를 탑재하였다. 제작한 통합보드 및 개별 센서(디지털 카메라, GPS, IMU)를 UAV 플랫폼에 장착하기 위한 알루미늄 탑재체에서 강한 플라스틱으로 개선하여 무게를 약 300g으로 경량화 하였고, UAV의 진동에 의한 영향을 최소화 하기 위해 방진구를 추가하였다.



그림 2.2.4 근접정밀 항공영상 취득용 UAV 탑재체

UAV는 바람과 같은 주위환경이나 진동에 민감하기 때문에 멀티센서의 데이터 저장 당시의 위치/자세가 불안정하여 고정밀 센서가 필요하다. 따라서, Applanix의 APX-15를 탑재하였고 비행 진입 전에 8자턴을 수행하거나 5m/s이상의 비행속도로 직선 주행을 통하여 GPS와 IMU의 상대적 위치 및 방향을 계산하기 위하여 필수적인 초기화(initialize) 과정을 수행하였다.



그림 2.2.5 UAV에 탑재된 근접정밀영상 취득 시스템

다. 현장 시험평가

(1) 여주 테스트베드 항공영상 취득 및 3차원 모델링

수변구조물 피해를 시뮬레이션하기 위해 경기도 여주에 교량과 제방을 모사한 테스트베드를 구축하고 해당 수변구조물에 대한 데이터 취득 실험을 실시하였다. 여주(TB)의 교량과 제방의 피해영상을 항공영상 취득시스템으로 획득하고, 영상과 외부표정요소를 이용하여 3차원 가시화 처리한 결과는 다음과 같다.



그림 2.2.6 여주(TB)의 교량 피해 항공영상 데이터



그림 2.2.7 여주(TB)의 제방피해 항공영상 데이터

(2) 대구 강정고령보(Test Bed) 항공영상 취득

강정고령보의 측면을 약 30m 거리에서 촬영하여 3차원 모델을 생성하였다. 이를 위해 레이저스캐너를 통해 실시간 거리를 측정하였으며, 이 결과를 GNSS/INS와 통합한 결과를 도출하였다.



그림 2.2.8 대구 강정고령보 항공 영상취득



그림 2.2.9 대구 강정고령보 3차원 영상

(3) 영상 획득 방법과 고도에 따른 정확도 분석

UAV로 도로 영상을 획득하고 정확도를 측정하였다. 도로는 국가 시설로 재난 재해시 사람들의 이동을 위한 중요한 시설이다. 이러한 도로의 침하나 융기를 봄으로서 안전에 대한 모니터링이 가능하다. 촬영방법(스트립, 양방향, 단방향)과 고도(130m, 100m, 70m)에 따라서 획득되는 위치좌표값의 정확도 평가를 하는 것을 목표로 진행하였다.

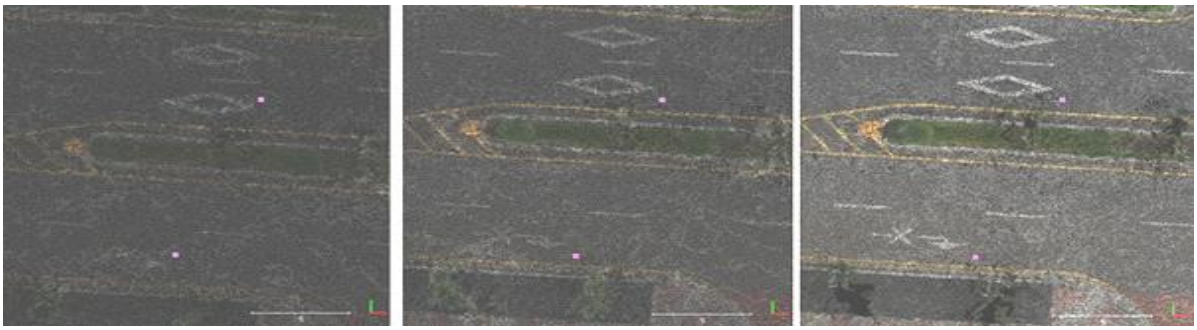


그림 2.2.10 단방향 촬영에 따른 고도별(130m, 100m, 70m) 정밀 지도 결과 비교

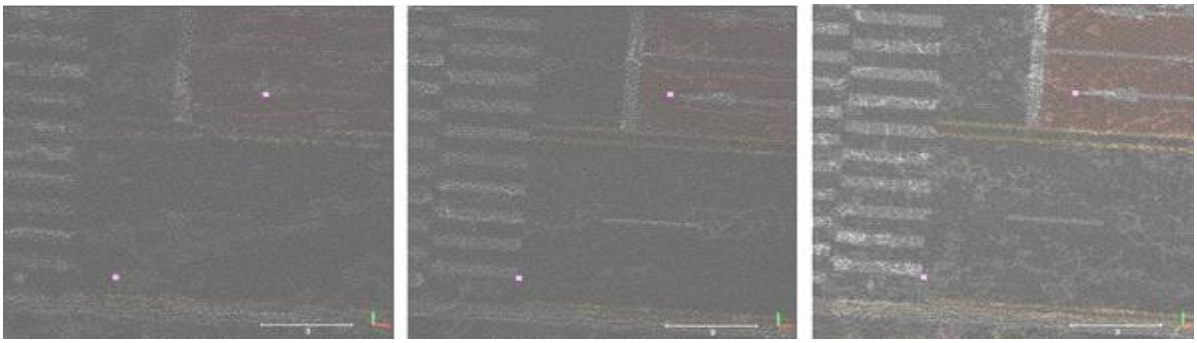


그림 2.2.11 스트립 촬영에 따른 고도별(130m, 100m, 70m) 정밀 지도 결과 비교

표 2.2.3 단방향 및 스트립 방식의 고도별 정확도 비교

촬영방식	Data set		XY(cm)		Z(cm)	
	Altitude	GSD	Average	Max	Average	Max
단방향	130m	27cm	73	99	212	327
	100m	21cm	173	266	233	345
	70m	15cm	178	310	226	356
스트립	130m	27cm	144	171	295	412
	100m	21cm	35	61	40	94
	70m	15cm	7	13	9	14

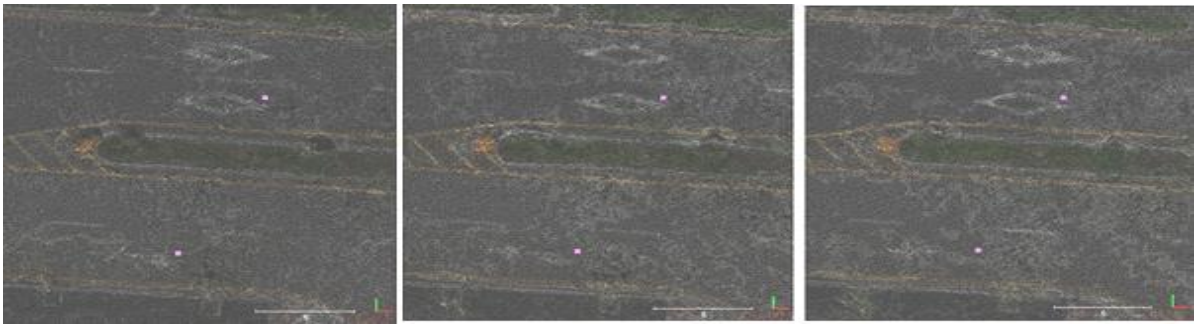


그림 2.2.12 양방향 촬영에 따른 고도별(130m, 100m, 70m) 정밀 지도 결과 비교

표 2.2.4 양방향 중복도에 따른 정확도 비교

data set.		XY(cm)		Z(cm)	
overlap	GSD	Average	Max	Average	Max
60% 30%	2.1cm	65	97	69	130
80% 30%	2.1cm	59	91	76	137
90% 30%	2.1cm	63	90	79	132
60% 50%	2.1cm	42	63	111	179
80% 50%	2.1cm	33	57	118	149
90% 50%	2.1cm	10	19	25	47

영상획득 방식은 스트립 방식이 높은 정확도를 보였으며, 70m의 경우 Z는 평균 9cm, 평면은 7cm의 오차를 보였다. 수변구조물에 근접하여 촬영하는 경우를 모사하기 위해 안전 접근 거리인 30m 지점에서도 정확도를 측정하였다.

표 2.2.5 30m 고도 3D 점군의 절대위치 정량 평가

No.	비교데이터(MMS)			30m			잔차		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
0	285096.64	4128986.29	26.20	285096.61	4128986.26	26.20	0.03	0.03	0.00
1	285097.86	4128989.64	26.22	285097.86	4128989.62	26.23	0.00	0.02	-0.01
2	285200.91	4129298.53	26.10	285200.89	4129298.56	26.08	0.02	-0.03	0.02
3	285206.97	4129296.34	26.07	285206.97	4129296.34	26.07	0.00	0.00	0.00
4	285202.08	4129301.86	26.10	285202.11	4129301.85	26.07	-0.03	0.01	0.03
5	285212.43	4129312.26	26.05	285212.43	4129312.23	26.08	0.00	0.02	-0.03
6	285209.59	4129313.67	26.09	285209.57	4129313.69	26.06	0.02	-0.02	0.03
12	285217.19	4129347.56	26.10	285217.17	4129347.56	26.12	0.02	0.00	-0.02
13	285224.46	4129348.72	26.14	285224.48	4129348.75	26.12	-0.01	-0.02	0.02

30m 고도에서 점군 데이터와 기준 데이터를 비교한 결과 최대 평면 오차는 3.5cm 이내였으며, 최대높이 오차도 3cm였다. 이는 비교데이터인 MMS의 정확도에 준하는 결과로 실질적으로 오차가 거의 없음을 나타내었다.

라. 멀티센서 탑재체 고도화

다양한 현장 적용과 테스트 결과를 바탕으로, 멀티센서 탑재체를 고도화하였다. 무게와 부피를 줄이기 위해 기존에 가장 큰 부피를 차지하고 있던 GNSS/INS 인터페이스 보드를 제거하고 GNSS/INS를 직접 장착할 수 있는 구조로 개선하였다. 또한 이동형 지상국과의 WiFi 망 구축을 위한 통신보드가 추가되었다. 카메라 조작과 상태 확인 등을 위해 상부가 개방된 형태로 설계하였다.

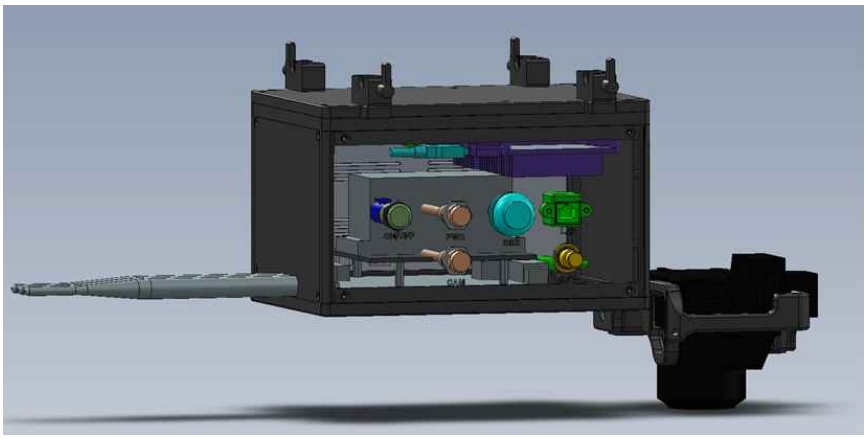


그림 2.2.13 안테나 배치를 고려한 통신모듈 위치

최하단의 통신모듈은 안테나가 비행중 지상을 향해 접힐 수 있는 구조를 만들기 위한 배치를 갖는다. 안테나 방향으로는 상대적으로 통신 속도가 낮기 때문에 지상의 안테나와 직각이 되도록 배치해야 하며, 이를 위해 무인기의 안테나는 아래를 향해 있는 것이 최적이다. 또한, 안테나는 탑재체가 가리지 않아야 하기 때문에 안테나는 무인기의 최하단에 위치해야 한다. 탑재체 우측면에 외부 연결 인퍼테이스와 버튼 배치하여 운용성을 높였다.



그림 2.2.14 UAV 탑재체 시작품

2. 피해영상정보 전송 및 표출 시스템 개발

가. 이동형 관제 시스템 제작

이동형 관제 시스템은 수변구조물의 이상 징후 발견으로 피해지역의 항공영상 취득을 필요로 할 시, UAV 운용팀의 신속한 현장으로의 이동에 활용한다. 이동형 관제시스템은 이동형 지상국 차량 안에 UAV(무인항공기), UAV 배터리, 서버, 노트북 등의 전원을 공급해 줄 수 있는 전원장치, 운용장비의 수납공간을 포함한다. 또한, 실시간으로 취득된 영상 및 센서 데이터를 수신 후, 현장에서 이동하면서 전처리 및 실시간 수변구조물 피해분석시스템으로의 송신하는 역할을 수행할 수 있도록 하였다.

차량 후면에 무인기 격납을 위한 공간이 있고, 후석(2열)에는 무인기 관제를 위한 GIS기반 피해영상정보획득시스템용 모니터와 무인기에서 구동되는 재해 및 수변구조물별 피해 영상정보 전송 및 표출 시스템용 모니터가 두대 설치되어 있다.



그림 2.2.15 이동형 관제 시스템

무인기에서 촬영된 영상은 실시간으로 이동형 지상국의 서버에 WiFi망으로 전송된다. 전송된 데이터는 3D 모델링 엔진을 거쳐서 1차 매칭된다. 이 결과를 전처리 고속화 모듈을 거쳐 최종 EO, IO로 저장한다. 최종 EO, IO를 3D 모델링 엔진에 넣어서 최종 모델(LAS)를 생성한다. 이동형 관제국에서 처리된 3차원 모델링 결과는 FTP 서버에 저장된다.

나. 원격 운영 시스템 구축

무인항공기(UAV)를 이용하여 재난 상황을 파악하고자 할 때, 단시간에 장애물을 회피하면서 비행경로를 계획할 수 있는 시스템 개발하였다. 회피 비행경로 결정을 위한 알고리즘으로는 3차원 Graham scan(Convex hull 볼록껍질)을 사용하였다. 이는 유한개의 점 중 다른 점을 가둘 수 있는 외곽점을 찾는 알고리즘으로 현장테스트를 위하여 대구 강정고령보(TB)를 대상으로 3차원 모델링으로 만들었으며, 장애물을 회피하면서 비행경로를 자동으로 생성하였다. 개발된 시스템을 이용하여 재난 사고로 긴급 출동이 필요한 상황에서 비행계획을 세울 때 사용자가 장애물을 고려하지 않고 이륙지점부터 수변구조물까지를 비행경로를 계획하고 착륙하기까지 단시간에 가능하다.



그림 2.2.16 수변구조물이 고려되지 않은 일반적인 계획 루트



그림 2.2.17 3차원 수변구조물을 고려한 계획 루트

또한, 다수의 무인기를 이용하여 넓은 면적의 촬영을 빠르게 수행하기 위해 멀티드론을 사용하여 비행계획을 수행할 수 있도록 하였다.

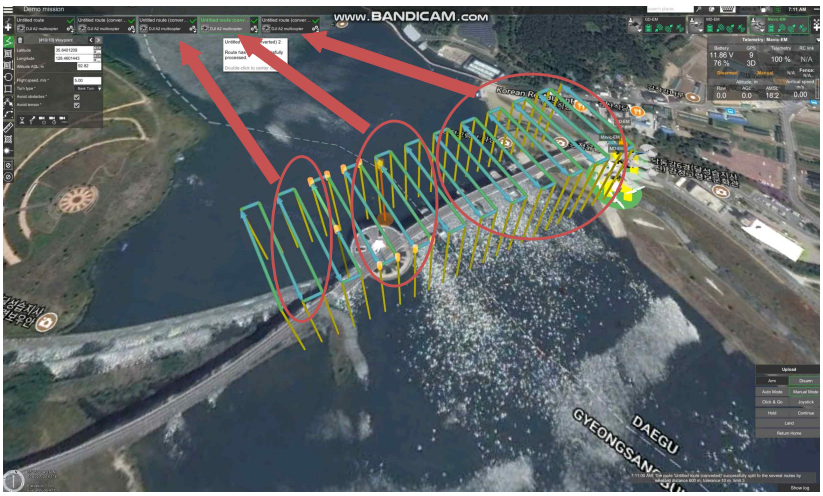


그림 2.2.18 분할된 웨이포인트

일반적인 촬영계획(입력:횡중복, 종중복, 카메라와 렌즈 사양, 목표 지상해상도등)을 위한 툴

로 2차원적인 면적을 그리고, 그려진 면적을 촬영하기 위한 1차 비행 루트 생성한다. 비행 루트를 비행대수(거리별 균등 분할), 비행거리(최대 거리로 순차 분할)을 입력 받아 다수의 루트를 생성하고 해당 루트를 비행할 무인기를 선택하게 된다. 무인기별로 자동 비행을 시작하게 되며, 이때 무인이간의 충돌을 피하기 위하여 현장 상황에 따라서 순차 비행을 하게 된다.

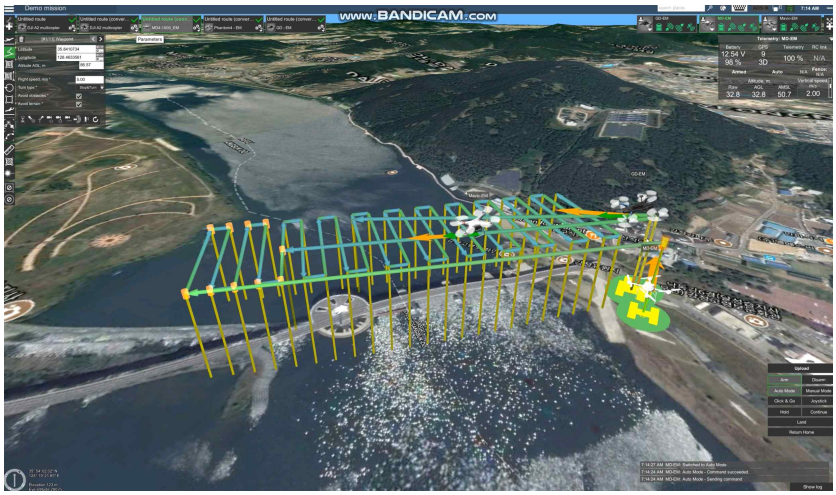


그림 2.2.19 자동모드로 순차 비행을 시작한 무인기들

다. 피해영상정보 재전송 모듈 개발

무인기에서 촬영된 영상은 LTE 망을 통해 서버로 바로 전송될 수 있다. 하지만, 여러번의 현장 테스트에서 고도 30m 이상 올라갈 경우 LTE 통신이 불통이 되는 경우가 발생하였다. 이에 따라 현장의 이동형관제시스템과 무인기는 WiFi 망을 이용하고 이동형관제시스템에서 지상국의 서버로 데이터를 전송하는 피해영상정보 재전송 모듈을 개발하였다.

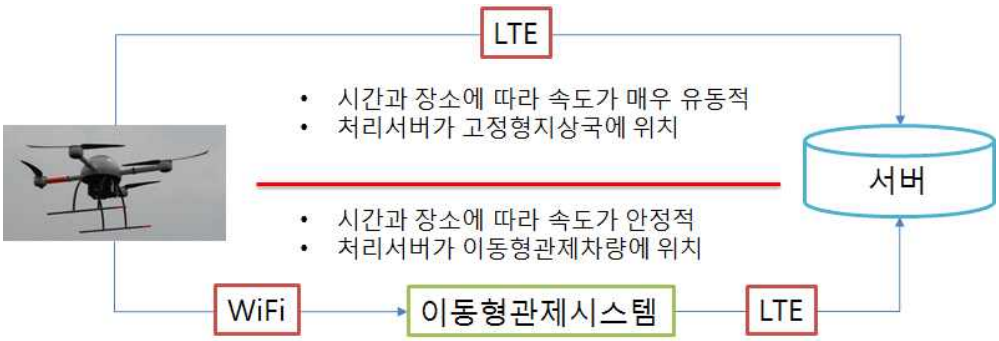


그림 2.2.20 LTE와 WiFi를 이용한 이동형 관제시스템 통신 구성



그림 2.2.21 이동형 관제시스템의 원통형 WiFi 안테나

일반 다이폴 안테나와 원통형 형태의 안테나를 사용하여 동작반경을 확인하였다. 다비폴 안테나의 경우 최장 거리는 약 300m 이었고, 원통형 안테나의 경우에는 1km에서 정상적인 동작을 하였다. 따라서 이동형 관제시스템에는 원통형 안테나를 부착하였다.

라. 고정형 지상시스템 구축

고정형 지상국은 현장에서 LTE로 전송되어 온 영상과 3D모델 생성 결과물을 취합하는 역할을 한다. 이를 위해서는 가장 먼저 영상 및 결과물 파일을 수신할 수 있는 서버 환경이 구축되어야 한다. 수변구조물 통합안전관리센터내에 고정형 지상국 서버를 구현하였다.



그림 2.2.22 고정형 지상국 서버

수변구조물 통합안전관리센터는 국가기간망으로 구분되어 보안망을 사용하고 있다. 보안망 안의 서버에 데이터를 전송하는 절차상, 기술상의 문제로 인해 인터넷 망과 보안망 사이에 DMZ를 설치하고 DMZ에 FTP 서버를 두고 보안망 안의 서버에서 DMZ의 FTP로 접속하여 데이터를 가져가는 방식으로 구성하였다.

고정형 지상국 SW는 이동형 관제국에서 LTE로 전송되어 온 영상과 메타데이터를 해석하여 지도위에 수신 상황을 표현하는 SW이다. 초기화면에는 왼쪽에 지도가 표시되고, 오른쪽

에 수신되는 리스트가 표현된다.

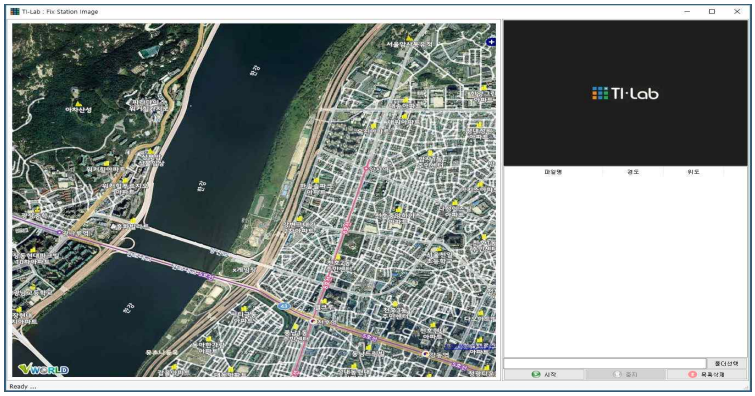


그림 2.2.23 고정형지상국 SW

가장 먼저 데이터가 수신되는 폴더를 선택하고 해당 날짜를 선택한다. 폴더가 선택이 된 후 시작을 누르게 되면 해당 폴더를 실시간 확인하며 이미지가 수신될 경우 영상을 좌상단 이미지 창에 표출하고 메타데이터의 위치 정보를 이용하여 해당 지점을 지도위에 표시하게 된다. 무인기가 이동함에 따라 수신되는 모습을 확인하면서 영상도 함께 볼 수 있다.

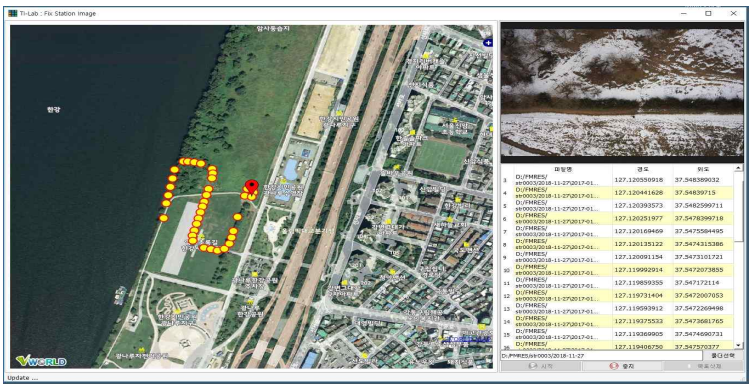


그림 2.2.24 누적된 영상의 위치와 이미지 리스트

지도상에서 위치마크를 클릭하면 해당 영상이 표출되어 수신 영상을 확인할 수 있다.

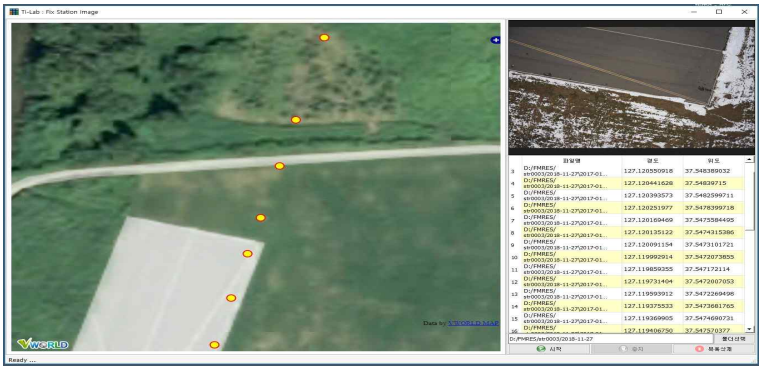
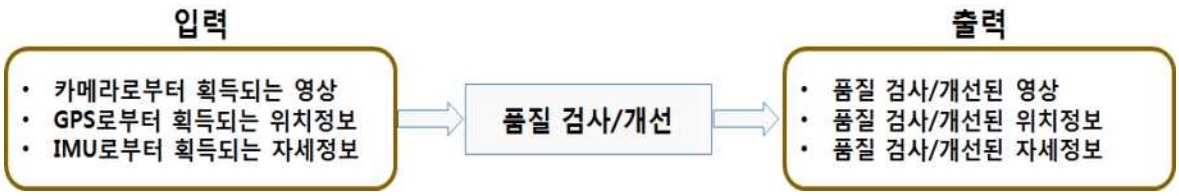


그림 2.2.25 위치마크를 클릭시 해당 영상 표출

3. 수변구조물 항공영상 전처리(Pre-Processing) 모듈 개발

가. 저고도 항공 광학영상 품질 검사/개선 모듈 개발

영상 품질 검사/개선 모듈은 효율적인 데이터 처리를 위하여 취득된 데이터의 품질을 검사함으로써 불필요하게 중복된 영상이나 회전량이 큰 영상, 경사 영상을 제거하여 처리 대상이 되는 데이터의 품질을 개선한다.



UAV 시스템을 운용하여 취득된 센서 데이터로는 광학영상과 GPS/IMU 데이터가 있으며, 광학영상이 취득되는 시점의 GPS/IMU 데이터가 영상에 태깅되어 영상의 초기 외부표정요소를 알 수 있다. 초기 외부표정요소는 평면 위치좌표(X,Y 또는 경위도), 수직 위치좌표(Z 또는 타원체고)와 자세에 대한 3개의 각(omega, phi, kappa)으로 구성된다. UAV 시스템을 운용하여 센서 데이터를 취득하기 전에는 비행경로를 계획한다. 일반적으로 계획된 비행경로는 일련의 수평·수직의 위치좌표로 표현되며 일정한 수직좌표 즉, 고도 값을 가진다. 따라서 사전에 계획된 고도 값을 기준으로 어느 정도 범위 이상을 벗어난 위치에서 취득된 영상은 영상의 초기 외부표정요소 중 수직 위치좌표를 분석하여 불필요한 중복도로 이착륙 시 취득된 영상으로 간주하여 제거할 수 있다. 그 밖의 스트립의 변경을 위하여 같은 위치에서 UAV가 회전할 때, 강풍에 의하여 UAV가 앞으로 진행하지 못하는 경우에 높은 중복도의 취득된 영상은 다음 표와 같이 영상의 요구 해상도 및 중복도에 따른 비행고도, 영상 간 거리 등을 사전에 계산해 놓은 데이터베이스를 이용해서 제거할 수 있다.

표 2.2.6 공간해상도와 중복도에 따른 촬영 간격

중복도 80%				
공간해상도	비행고도	비행속도	촬영 간격	영상 간격
1cm	48m	7m/s	1.37s	9.60m
		8m/s	1.20s	
		9m/s	1.06s	
		10m/s	0.96s	
1.5cm	72m	7m/s	2.05s	14.40m
		8m/s	1.80s	
		9m/s	1.60s	
		10m/s	1.44s	
2cm	96m	7m/s	2.74s	19.20m
		8m/s	2.40s	
		9m/s	2.13s	
		10m/s	1.92s	

아래 그림과 같이 UAV로부터 취득된 영상(Data1), GPS 데이터(Data2), IMU 데이터(Data3)를 입력으로 처리에 부적합한 데이터를 제거하여 품질 검사/개선된 영상(Data4), GPS 데이터(Data5), IMU 데이터(Data6)을 출력하도록 설계하였다.

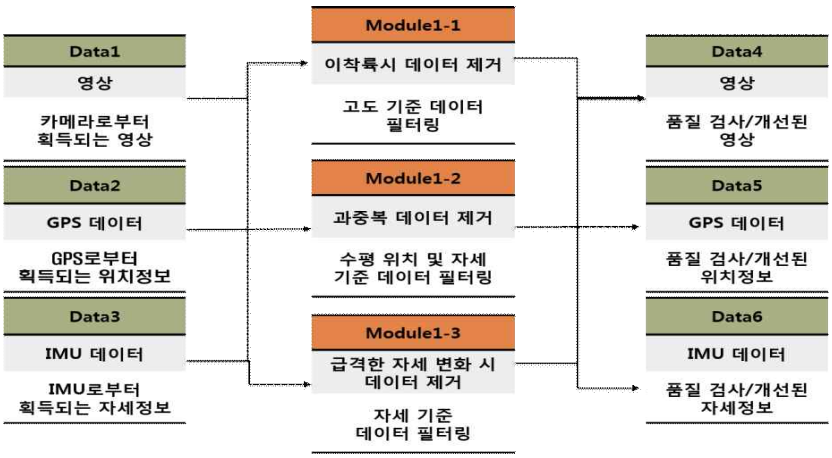


그림 2.2.26 품질 검사/개선 모듈 구성도

Test bed인 사문진교에서 UAV 매핑 시스템을 운용하여 취득된 데이터에 대하여 품질 검사/개선 모듈을 적용하였다. 취득된 데이터로는 83장의 영상과 각 영상에 대한 GPS/IMU 데이터이다. 품질 검사/개선 모듈을 적용하지 않은 데이터에는 이착륙 시에 촬영된 초 근접영상과 비행경로가 바뀔 때 크게 기울여져서 취득된 영상이 존재한다. 품질 검사/개선 모듈을 적용한 후에는 데이터 처리에 부적합한 48개의 영상과 이에 상응하는 GPS/IMU 데이터가 제거 되었다. 아래의 표는 데이터 개선 전, 후의 비교이다.

표 2.2.7 데이터 개선 전, 후 비교

개선 전	개선 후
	
	

나. 저고도 항공 광학영상 영상매칭 모듈 개발

영상매칭 모듈은 UAV로부터 취득된 연속된 영상 간의 상대적인 관계를 수립하기 위해서 영상과 GPS/IMU 데이터를 입력으로 동일한 객체로부터 투영된 영상점 즉, 공액점을 추출한다. 본 연구에서는 처리 속도 측면에서 KLT 알고리즘의 장점을 취하고, UAV 영상 처리에 있어서의 한계를 극복하기 위하여, 영상과 함께 취득되는 GPS/IMU 데이터 즉, 초기 외부표정요소를 활용하는 KLT 알고리즘 기반의 개선된 매칭 알고리즘을 채택하였다. 채택된 영상매칭 알고리즘을 활용하여 본 시스템에서 개발한 영상 매칭 모듈의 주요 과정은 아래 그림과 같이 크게 2 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서는 개선된 KLT 알고리즘을 적용하여 연속 영상 간의 공액점들을 추출하고, 두 번째 단계에서는 추출된 공액점들의 오차 크기를 고려하여 신뢰도가 낮은 공액점은 제거하여 정확도를 향상시킨다.

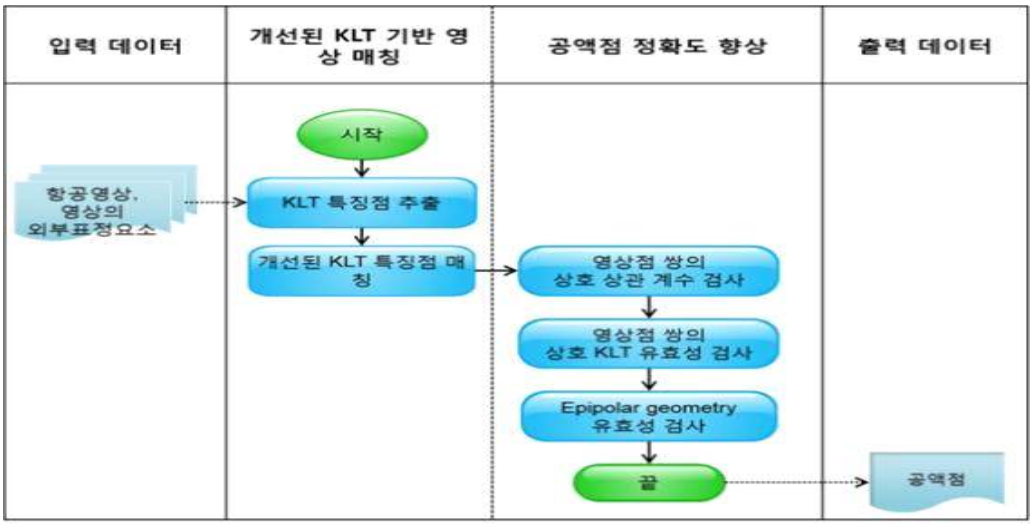


그림 2.2.27 영상 매칭 알고리즘의 순서도

개선된 KLT 알고리즘은 이전 영상에서 특징점을 추출하고, 추출된 특징점과 동일한 지상점으로부터 투영된 영상점을 새로운 영상 상에서 검색할 때, 카메라 투영의 중심, 투영된 영상점과 지상점은 한 직선 상에 존재한다는 공선조건식에 기반하여 GPS/IMU로 취득한 개별 영상의 외부표정요소를 이용하여 검색 영역을 효율적으로 한정할 수 있다.

예를 들어, 영상 1에서 추출한 특징점 A와 영상 2 상에 동일한 지상점이 투영된 영상점 B의 초기 위치를 다음 그림과 같이 추정하고, 추정된 위치로부터 일정 영역에 대해서 실제 공액점을 추출하기 위한 매칭을 수행한다.

이와 같은 방법을 적용하게 되면, 영상 2의 전체에 대해서 매칭을 시도하는 것보다 훨씬 빠른 속도로 공액점을 추출할 수 있으며, 영상 1과 2 사이의 이동, 회전, 스케일의 변화가 크더라도 각 영상의 외부표정요소를 고려하면 그 변화량을 예측하여 영상점 B에 대한 정확한 초기 위치를 산출할 수 있다.

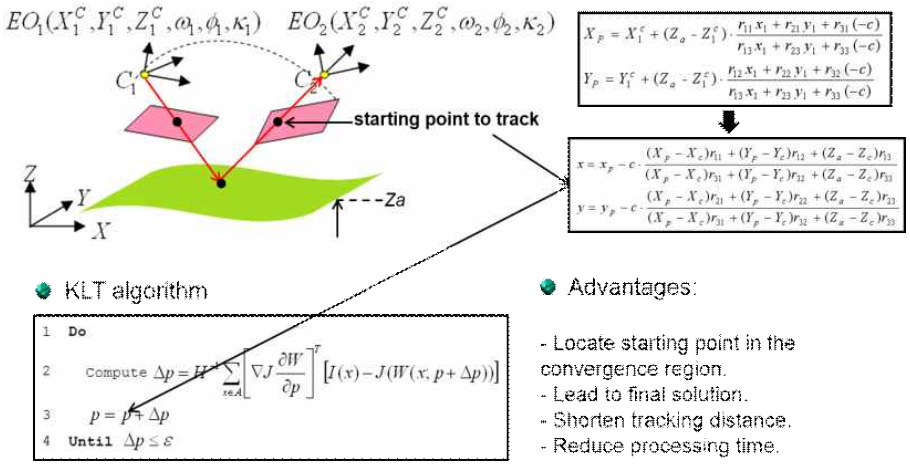


그림 2.2.28 특징점으로부터 공액점 추정 원리

개선된 KLT 알고리즘을 통해 추출된 공액점은 번들 블록 조정의 입력으로 사용되기 때문에, 높은 정확도가 요구된다. 따라서 추출된 공액점의 정확도를 향상시키기 위하여 (1) 영상점 쌍의 상호 상관 계수 검사, (2) 영상점 쌍의 상호 KLT 유효성 검사, (3) Epipolar geometry 유효성 검사를 수행하여 오차가 큰 공액점들은 제거한다.

영상 매칭 모듈은 품질 검사/개선 모듈로부터 선별된 영상과 GPS, IMU 데이터를 입력으로 동일한 객체를 나타내는 영상상의 좌표쌍인 공액점을 출력할 수 있도록 다음과 같이 설계하였다.

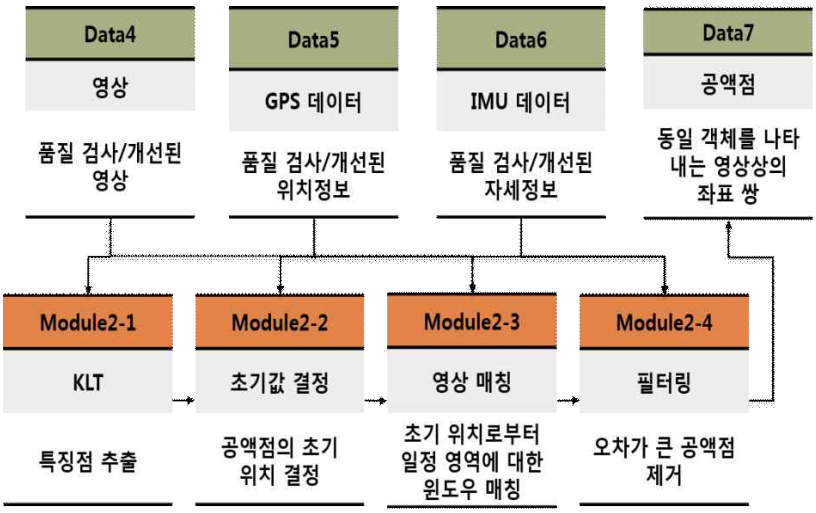


그림 2.2.29 영상 매칭 모듈 구조

구현된 영상 매칭 모듈의 성능을 검증하고자 Testbed 중 강정고령보에서 UAV 매핑 시스템을 운용하여 취득한 27장의 영상과 각 영상취득 시점의 GPS, IMU 데이터를 적용하였다. 적용 결과, 두 장의 영상 쌍에 대해 총 26번의 매칭을 트래킹하면서 수행하였고, 약 103초의 처리 시간이 소요되었다.

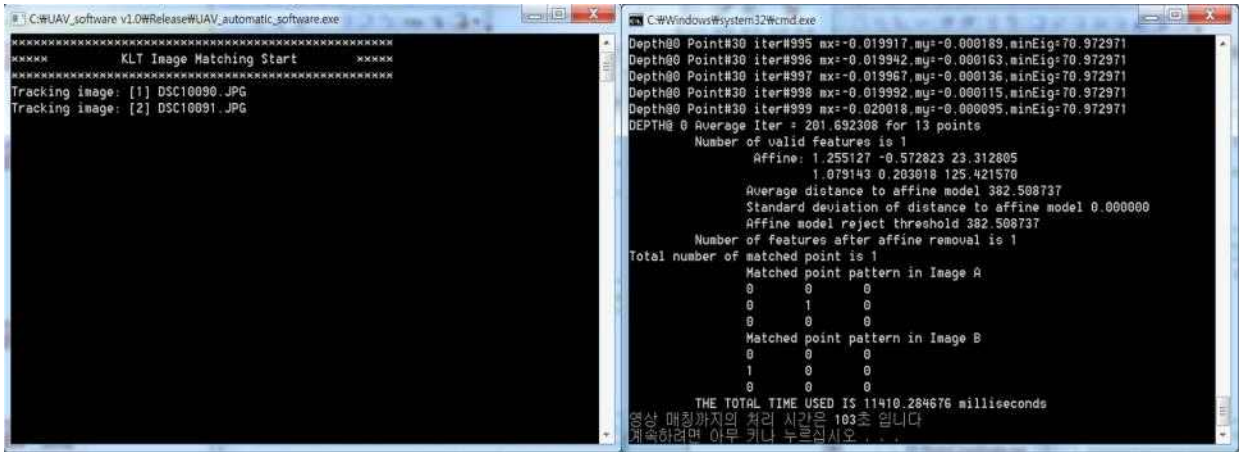


그림 2.2.30 영상 매칭 처리

영상 매칭 모듈은 영상 매칭의 출력으로써, 공액점 좌표의 리스트를 픽셀(pixel) 좌표계를 기준으로 표현한 것(Tiepoint_fcs.txt)과 사진 좌표계를 기준으로 표현한 것(Tiepoint_ics.txt)의 2 가지 텍스트 파일을 내보내기 한다.

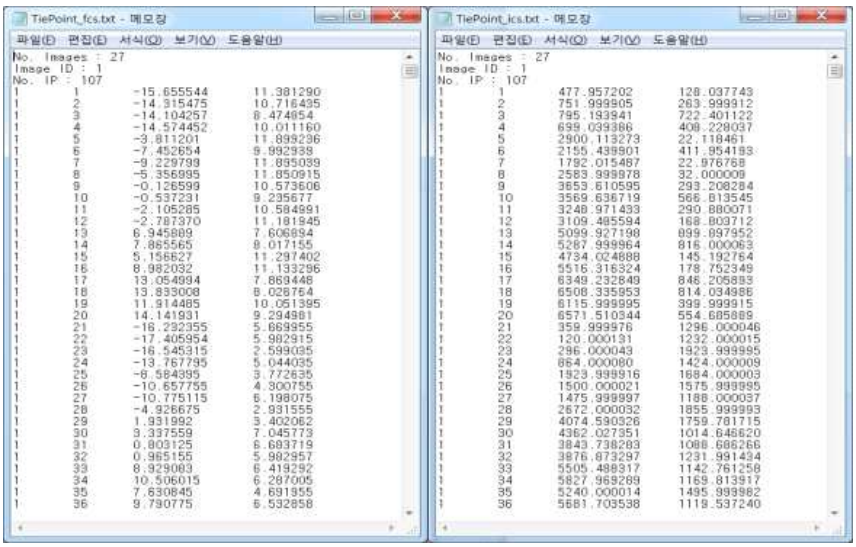


그림 2.2.31 출력된 공액점 텍스트 파일

공액점을 출력한 텍스트 파일의 첫 번째 행은 영상 매칭을 수행한 총 영상의 개수, 두 번째 행은 영상 매칭을 수행한 회차, 세 번째 행은 각 회차 당 추출된 공액점의 개수를 나타낸다. 네 번째 행부터는 4개의 열로 구성되어 각 행은 추출된 공액점의 영상 번호, 지상점 번호, 공액점의 X, Y 좌표를 보여준다.

영상 매칭 수행으로 출력된 일부 공액점을 지상점 번호와 함께 영상 상에 표현하면 아래 그림과 같다.

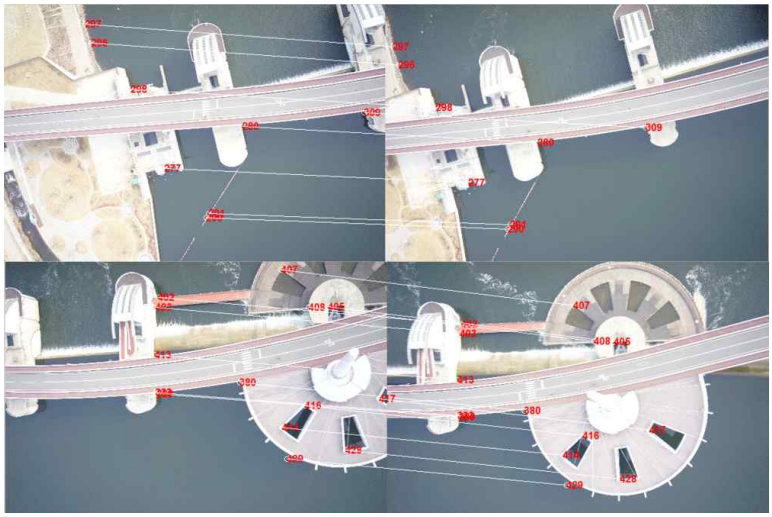


그림 2.2.32 추출된 공액점 비교

영상 한 쌍에 대하여 평균 5.7개의 공액점이 추출되었고, 처리 시간은 약 3.82 초 소요되었다. 추출된 공액점들을 육안으로 검수한 결과, 총 154 개의 공액점 중 34개의 미스 매치가 발견되어 약 78 %의 정확도가 성취되었다.

미스 매치는 주로 수평 위치는 공유하면서 수직위치가 다른 객체 예를 들어, 기둥(바닥점과 지붕점의 수평 위치는 같으나 수직 위치가 다르다)이 존재하는 곳이나 물보라(배경으로부터 식별이 용이하여 추출되지만 동적인 객체점으로써 실제는 동일한 지상 좌표를 갖지 않는 경우가 많다)가 발생하는 곳에서 발견되었다.

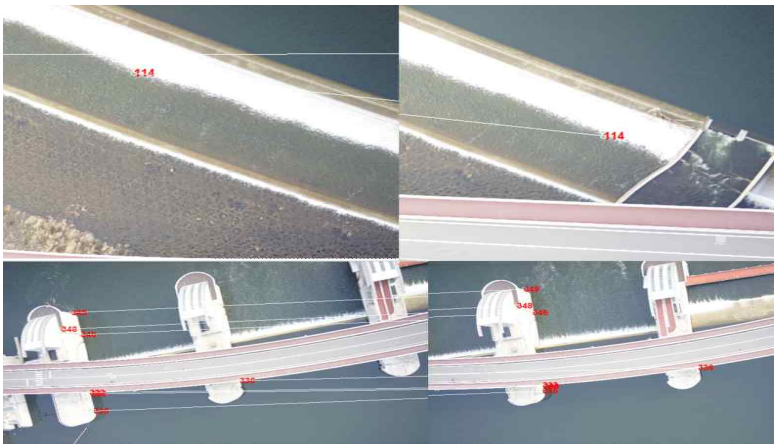
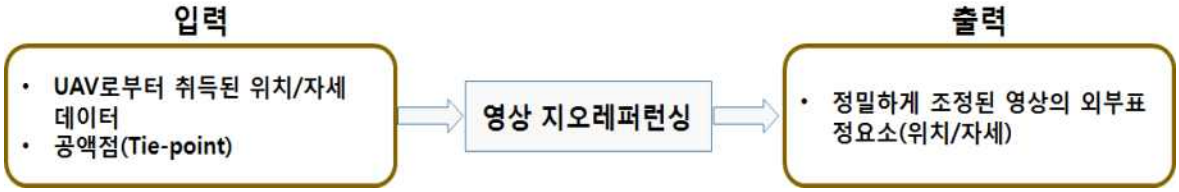


그림 2.2.33 추출된 공액점의 미스매치

영상의 지오레퍼런싱을 위한 번들 블록 조정을 수행하기 위하여 요구되는 공액점을 산출하는 것이 목적이었기에, 영상 매칭 모듈에 의해 산출된 공액점 중 미스 매치를 제거한 후 이를 입력으로 번들 블록 조정을 수행하였다. 번들 블록 조정 수행 결과 정상적으로 수렴하여 영상의 정밀한 외부표정요소를 산출할 수 있었다.

다. 저고도 항공광학영상 지오레퍼런싱 모듈 개발

UAV 시스템으로부터 취득된 GPS/IMU 데이터와 영상 매칭 모듈로부터 추출된 공액점을 입력으로 개별 영상의 외부표정요소를 정밀하게 결정한다.



본 시스템에서 영상 지오레퍼런싱은 영상으로부터 대상지역의 3차원 공간정보를 생성하기 위하여 요구되는 개별 영상의 외부표정요소를 고속으로 자동 산출하는 것이 중요하다. 영상 지오레퍼런싱의 다양한 방법론들 중에 번들 블록 조정은 다수의 영상으로부터 공액점을 관측하고, 전체 영역에 대해 소수의 기준 데이터를 활용하여, 영상의 외부표정요소와 공액점에 상응하는 지상점의 좌표를 결정하는 과정으로써, 다른 방법들과 비교하여 정확도 높은 결과를 산출하기 때문에 공간정보생성 분야에서 가장 널리 활용되고 있다.

번들은 영상점과 투영의 중심, 지상점을 연결하는 광선들의 집합으로 번들 블록 조정은 이와 같은 번들이 기준 데이터와 일치하도록 일괄적으로 조정함으로써 영상의 외부표정요소와 지상점을 결정하게 된다.

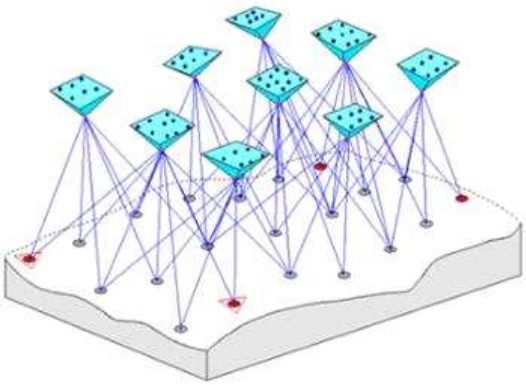


그림 2.2.34 번들 블록 조정의 원리

고속 자동 처리를 위하여 지상기준점의 사용 없이 GPS/IMU 데이터로부터 산출되는 영상의 초기 외부표정요소를 확률제약조건으로 활용하고, 미지수를 일괄적으로 추정하는 것이 아니라 연속적으로 관측값과 미지수를 추가해가면서 연산량을 최소화하여 추정하는 연속조정 모델 기반의 고속 번들 블록 조정 알고리즘을 채택하였다.

고속 번들 블록 조정 알고리즘 기반의 영상 지오레퍼런싱은 다음 그림과 같이 크게 ① 준비, ② 조정, ③ 정리의 3 단계로 구성된다.

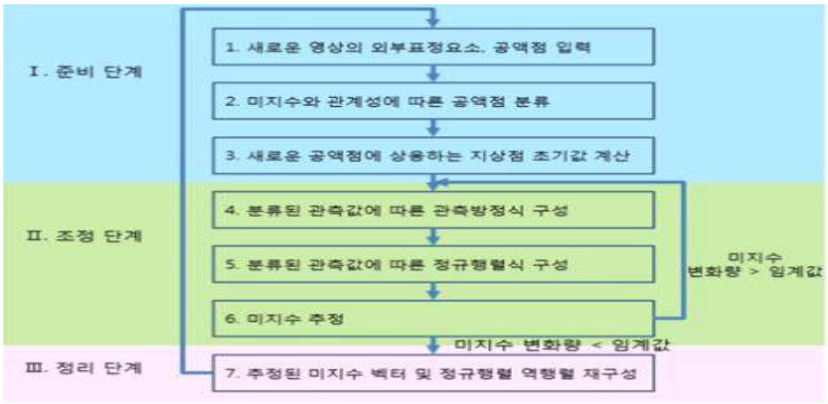


그림 2.2.35 번들 블록 조정 알고리즘의 순서도

준비 단계에서는 (1) GPS/IMU 데이터로부터 결정된 새로운 영상의 외부표정요소와 영상 간의 새로운 공액점을 입력받고, (2) 입력받은 관측값을 기존의 미지수와 새로운 미지수 간의 관계성에 따라 분류하고, (3) 미지수에 대한 초기값을 계산한다.

조정 단계에서는 준비 단계에서 분류된 관측값에 따라 (1) 관측방정식을 구성하고 최소제곱법에 의해 (2) 정규행렬식을 유도하여 (3) 미지수를 추정한다.

정리 단계에서는 조정 단계에서 추정된 미지수벡터의 구조를 미지수의 종류별로 재배열하고, 재배열된 미지수벡터에 상응하도록 정규행렬 역행렬을 재구성하여 다음 단계의 연산에 활용하도록 한다.

영상 지오레퍼런싱 모듈은 품질 검사/개선 모듈로부터 선별된 GPS, IMU 데이터와 영상 매칭 모듈의 출력인 공액점을 입력으로 영상이 취득된 시점에 절대 좌표계 상의 카메라의 위치와 자세를 의미하는 영상의 외부표정요소를 정밀하게 결정할 수 있도록 다음과 같이 설계하였다.

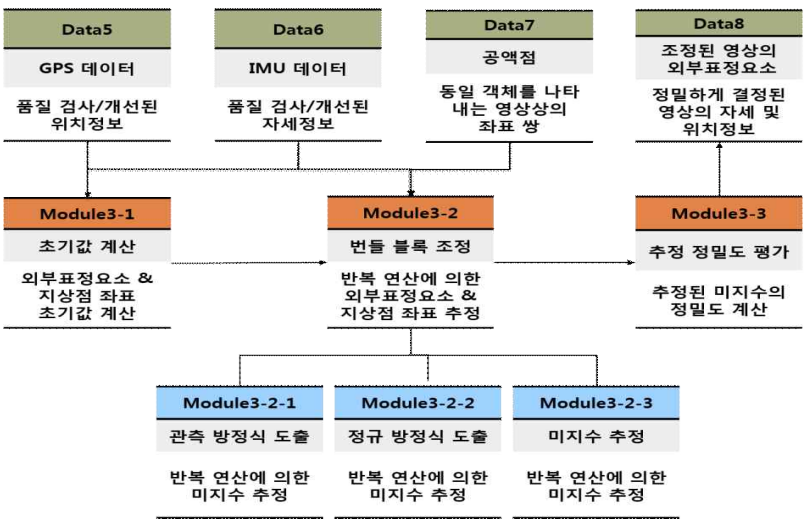


그림 2.2.36 영상 지오레퍼런싱 모듈 구조

구현된 영상 지오레퍼런싱 모듈의 성능을 검증하고자 영상 매칭 모듈의 시험 영상이었던 27장의 영상에 대하여 추출된 공액점과 해당 영상의 초기 외부표정요소를 적용하였다.

번들 블록 조정 수행 결과 아래 그림에서 확인할 수 있듯이, 9번의 반복 연산에 의하여 총 27장의 영상에 대한 외부표정요소와 함께 64개의 지상점에 대한 3차원 좌표가 결정되었으며, 처리시간은 약 1초 소요되었다.

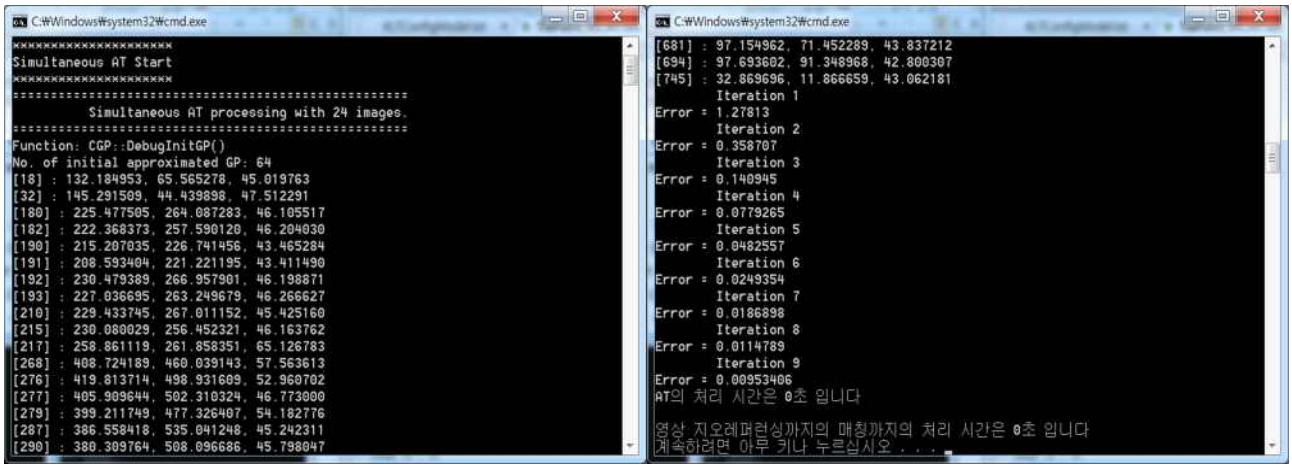


그림 2.2.37 영상 지오레퍼런싱 처리

번들 블록 조정이 완료되면, 번들 블록 조정 과정에서 설정되는 주요 변수 값과 조정된 영상의 외부표정요소, 그 밖의 조정 결과에 대한 요약적인 정보를 담고있는 Summary.txt 파일과 지상점 좌표의 초기값이 기록된 GP_i.txt 파일, 조정된 값이 기록된 GP_e.txt 파일이 각각 생성된다. Summary.txt 파일은 아래 그림과 같이 입력된 영상의 개수, 반복 연산의 횟수, 반복 연산에서 수렴을 위한 임계값, 총 연산 시간, 그리고 정밀하게 조정된 개별 영상의 외부표정요소를 포함하고 있다.

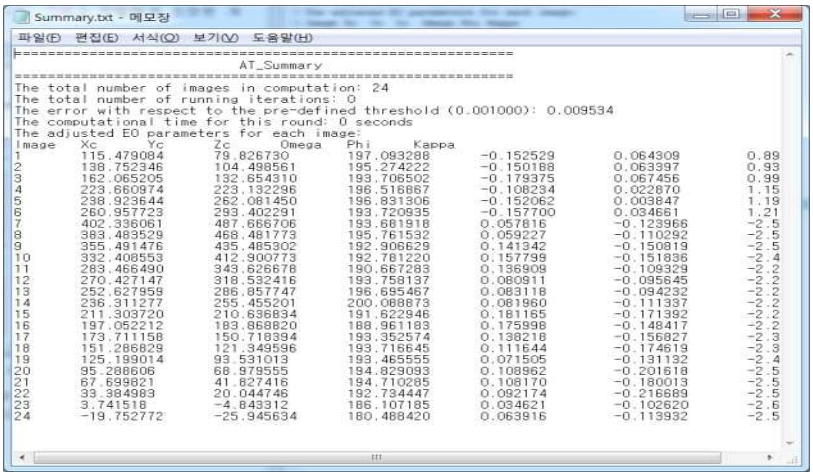


그림 2.2.38 출력된 요약 텍스트 파일

번들 블록 조정 과정에서 산출되는 공액점에 상응하는 지상점의 좌표의 초기값과 반복 연산을 통해 최종적으로 조정된 지상점의 좌표는 다음 그림과 같이 각각 GP_i.txt, GP_e.txt 파일로 저장된다.

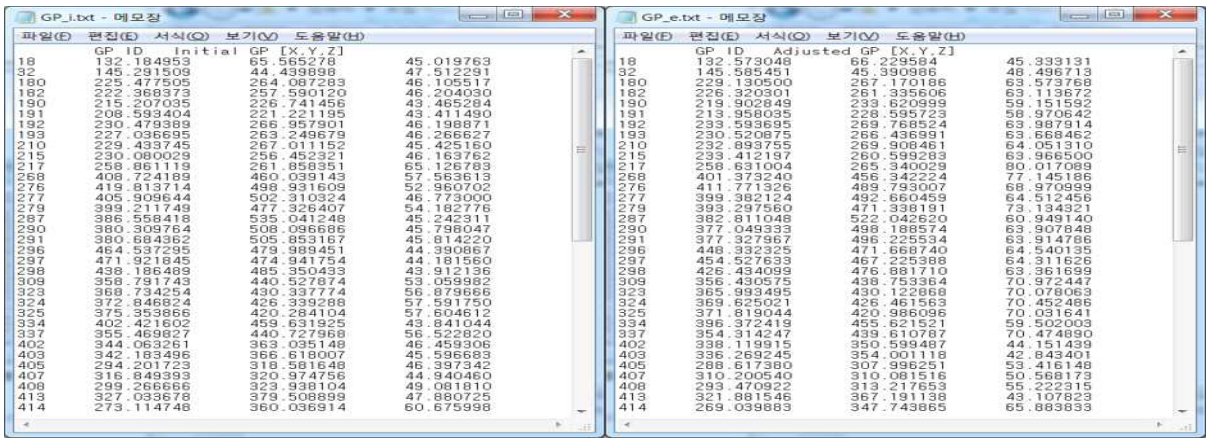


그림 2.2.39 초기 지상점(좌)과 조정된 지상점(우) 텍스트 파일

27장 영상의 초기 외부표정요소와 조정된 외부표정요소 간의 차이에 대한 평균, 최대, 최소값 등의 통계는 아래 표와 같이 요약된다. 외부표정요소 중 위치 값의 차이에 대한 RMS는 0.6~0.7m, 자세 값의 차이에 대한 RMS는 0.4~0.9도 정도이다.

표 2.2.8 초기 외부표정요소와 조정된 외부표정요소의 차이에 대한 분석

	X(m)	Y(m)	Z(m)	Omega(도)	Phi(도)	Kappa(도)
최소	-0.518	-0.515	-0.424	-0.451	-0.396	-0.480
최대	0.728	0.600	0.518	0.495	0.227	0.595
평균	0.000	0.000	0.000	0.011	-0.009	0.033
표준편차	0.231	0.190	0.223	0.172	0.135	0.240
RMS	0.231	0.190	0.223	0.172	0.136	0.243

영상 지오레퍼런싱 전후의 영상점 좌표에 대한 잔차를 분석한 결과, 초기 외부표정요소와 지상점 좌표에 의하여 계산된 영상점 좌표와 영상 매칭 모듈에 의하여 측정된 영상점 좌표 간의 차이는 다음의 첫 번째 그림과 같고, 조정된 외부표정요소와 지상점 좌표에 의하여 계산된 영상점 좌표와 영상 매칭 모듈에 의하여 측정된 영상점 좌표 간의 차이는 두 번째 그림과 같다.

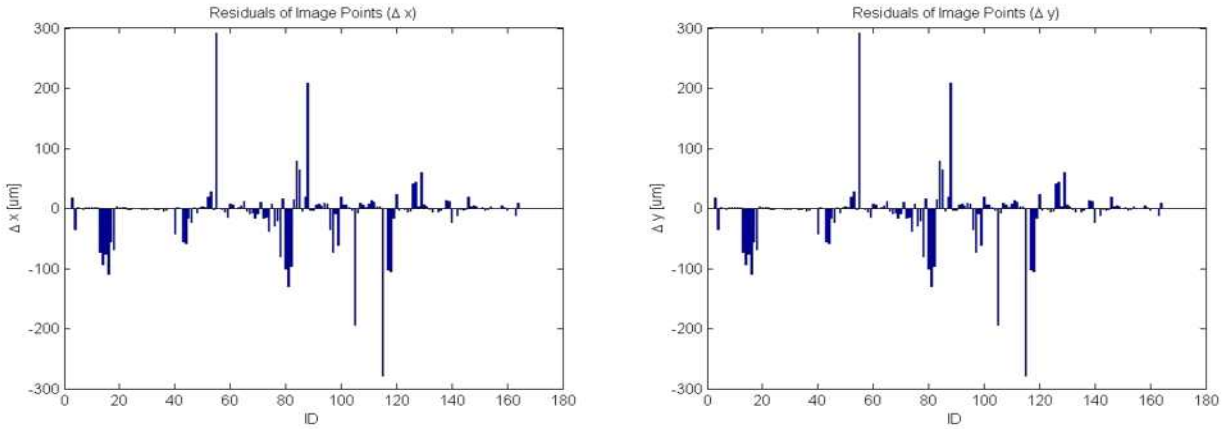


그림 2.2.40 공액점의 초기 잔차

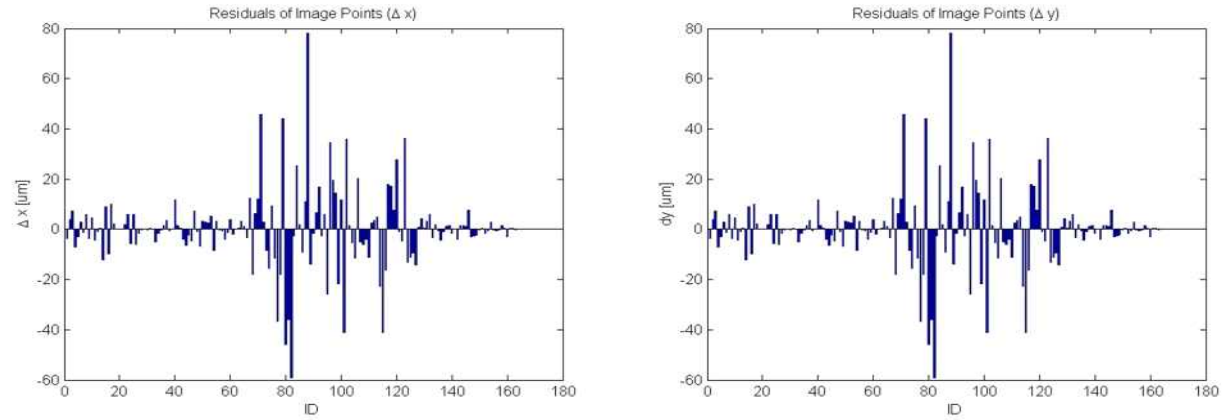


그림 2.2.41 공액점의 조정후 잔차

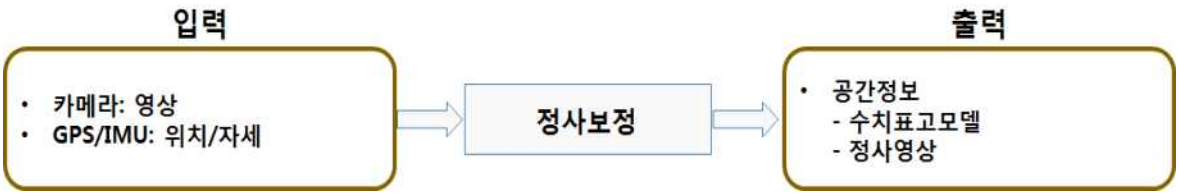
영상 지오레퍼런싱 전 공액점에 대한 잔차는 -0.3 ~ 0.3 mm이었으나, 지오레퍼런싱 후에 -0.06 ~ 0.08 mm로 감소한 것을 확인할 수 있다.

표 2.2.9 지오레퍼런싱 전・후 공액점에 대한 잔차 분석

	초기 잔차		조정된 잔차	
	X(mm)	Y(mm)	X(mm)	Y(mm)
최소	-0.2791	-0.1281	-0.0590	-0.1049
최대	0.2917	0.1416	0.0780	0.0685
평균	-0.0068	-0.0003	0.000	0.0000
표준편차	0.0489	0.0386	0.0148	0.0213
RMS	0.0494	0.0386	0.0148	0.0213

라. 저고도 항공 광학영상 정사보정 모듈 개발

정사보정 모듈은 영상 지오레퍼런싱 모듈의 산출물인 개별 영상의 외부표정요소와 영상, GPS/IMU 데이터를 입력으로 지도와 동일한 좌표체계를 갖는 수치표고모델, 정사영상과 같은 공간정보를 생성한다.



본 연구에서는 기복 변위 제거를 위해 대상지역의 수치표고모델(DEM)과 공선조건식에 기반한 미분 편위 수정 방법을 채택하였다. 앞서 생성된 DEM의 각 픽셀에는 지상의 3차원 좌표 X, Y, Z가 내재되어 있다. 각 픽셀의 3차원 지상 좌표와 해당 지상점이 나타난 영상의 외부표정요소, 내부표정요소를 공선조건식에 대입하여 지상점이 투영된 영상점의 위치를 찾아 그 밝기 값을 해당 DEM 픽셀에 할당하는 방법이다.

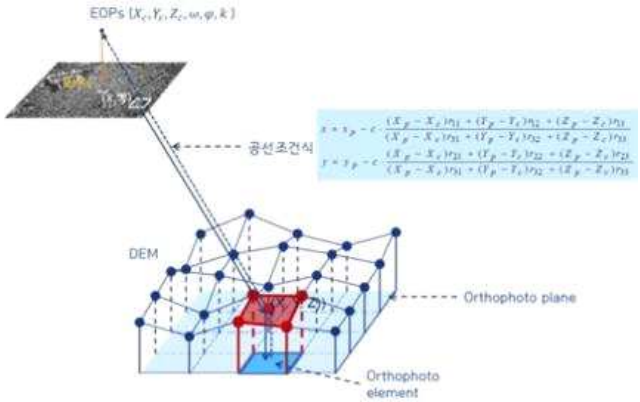


그림 2.2.42 미분 편위 수정의 원리

미분 편위 수정을 통하여 정사영상의 밝기 값을 결정할 때 각 지점마다 스케일이 다르고, 스케일을 고려했을 때 정사영상과 원시영상의 픽셀 사이즈가 다를 수 있으며, 영상의 방향이 달라지는 등의 이유로 지상의 모든 격자점들에 하나의 영상 픽셀이 대응되지 않을 수 있다.

대부분의 경우에는 지상에 정의되는 격자점과 영상의 격자점 간의 일대일 대응이 어렵기 때문에 미분 편위 수정에 의하여 산출되는 영상 상의 위치를 기준으로 주변의 영상 밝기 값을 고려하여 정사 영상의 밝기값을 결정하는 영상 재배열의 과정이 요구된다.

영상 재배열시 적용될 수 있는 보간법으로는 nearest, bilinear, cubic convolution 등의 다양한 방법들이 존재한다. 본 연구에서는 고속 처리를 위하여 정사영상의 격자에 상응하는

원영상의 위치에서 가장 가까운 거리에 있는 픽셀의 밝기 값을 그대로 활용하는 Nearest neighbor 방법을 채택하였다.

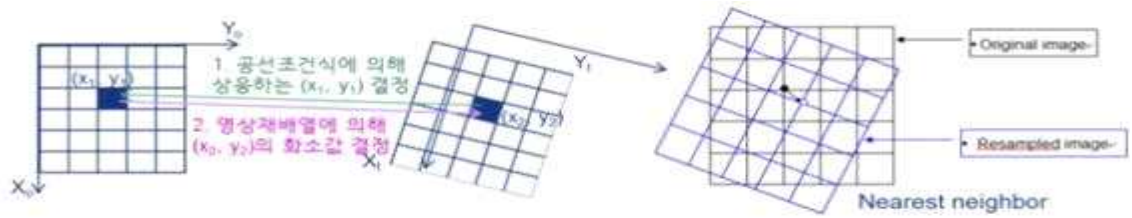


그림 2.2.43 영상 재배열(nearest neighbor)의 원리

정사보정 모듈은 영상 지오레퍼런싱 모듈로부터 산출된 영상의 외부표정요소와 지상점 좌표 또는 기준점, 그리고 영상을 입력으로 신속하게 DEM과 개별 정상영상을 생성할 수 있도록 다음과 같이 설계하였다. 정사보정 모듈은 세부적으로 평균 고도 DEM을 생성하는 격자화 모듈, 생성된 DEM과 영상 외부표정요소, 내부표정요소를 이용하여 미분 편위 수정을 수행하는 모듈, 영상 재배열을 통해 정사영상을 생성하는 모듈로 구성된다.

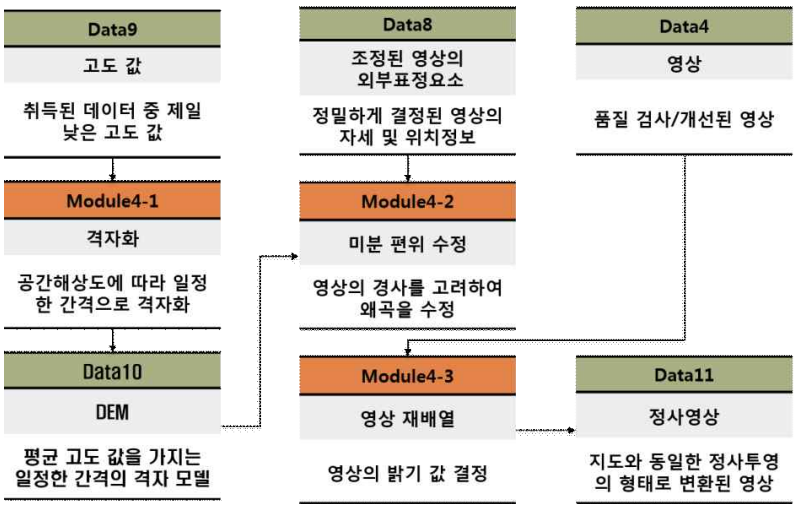


그림 2.2.44 정사보정 모듈 구성도

구현된 정사보정 모듈의 성능을 검증하고자 test bed 중 강정고령보 일대에서 약 150m의 고도에서 UAV 매핑 시스템을 운용하여 취득한 27장의 영상과 지오레퍼런싱 결과를 적용하였다. 27장에 대한 개별 정사영상을 생성하는데 약 27분이 소요되어 영상 1장당 약 60초의 처리 시간을 소요한 것으로 판단된다. 또한 생성된 정사영상의 공간해상도는 약 2cm이었다.

개발된 정사보정 모듈로 생성된 정사영상과 Google Earth, Daum Map에서 서비스하는 동일 지역의 정사영상을 비교하였다. 아래 그림은 Google Earth, Daum map에서 서비스하고 있는 경기도 광명시 하안동 일대의 정사영상이다. Google Earth의 정사영상과 비교하여 Daum Map의 정사영상이 공간 해상도 측면에서 더 좋은 것을 알 수 있다.



그림 2.2.45 Google Earth의 정사영상(좌)과 Daum Map의 정사영상(우)

아래 그림은 개발된 정사보정 모듈로 생성된 정사영상과 Daum map에서 서비스하는 정사영상을 함께 보여준다. 데이터 취득 시점이 상이하여 지형·지물 측면에 약간의 차이가 발견되고 있다. Daum map에서 서비스하는 정사영상은 고령보 일대의 공사가 완료되기 전에 취득한 영상으로부터 생성된 것이며, 개발된 모듈로 생성된 정사영상은 공사 완료 후 최근에 취득된 영상으로부터 생성된 것임을 확인할 수 있다. 정사보정 모듈로 생성된 정사영상의 해상도가 Daum map을 통해 서비스되는 것보다 훨씬 높은 시간 및 공간 해상도를 갖는 것을 정성적으로 확인할 수 있다.

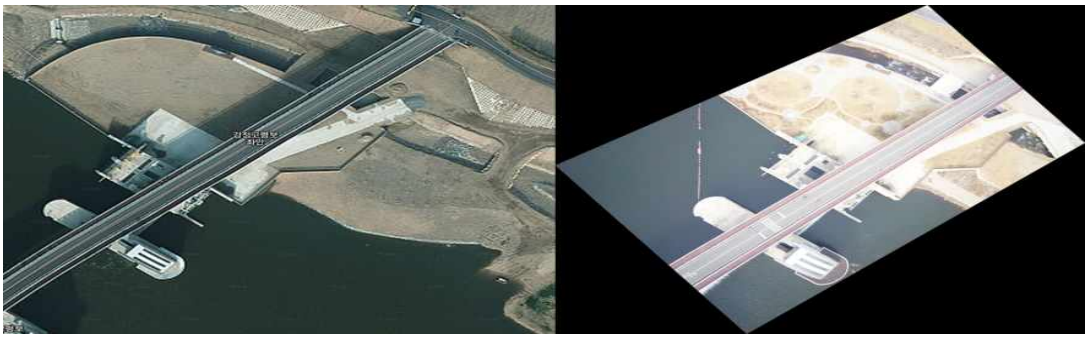


그림 2.2.46 Daum Map의 정사영상(좌)과 개발 소프트웨어로 생성된 정사영상(우)의 비교

아래 그림은 생성된 27장의 개별 정사영상들 중 샘플 영상이다.

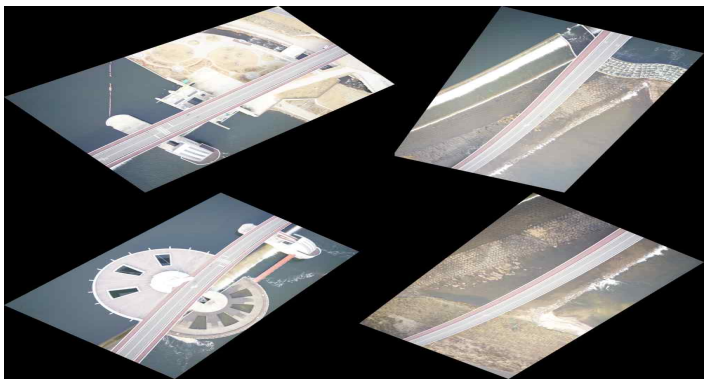


그림 2.2.47 생성된 정사영상 샘플

마. 저고도 항공 광학영상 전처리 소프트웨어 평가 및 개선

저고도 항공 광학영상 전처리 소프트웨어는 입력된 저고도 항공 광학영상의 품질을 검사/개선하고 영상 매칭과 번들 조정을 통한 지오레퍼런싱을 수행한 뒤, 평균 DEM을 기준으로 기하보정함으로써 고속으로 정사영상을 생성한다. 저고도 항공 광학영상 전처리 소프트웨어의 서브 모듈인 품질 검사/개선 모듈, 영상 매칭 모듈, 번들 조정 모듈, 정사보정 모듈을 개별적으로 구현하고 각 모듈 간의 입출력을 연계하여 통합 소프트웨어를 구현하였다.

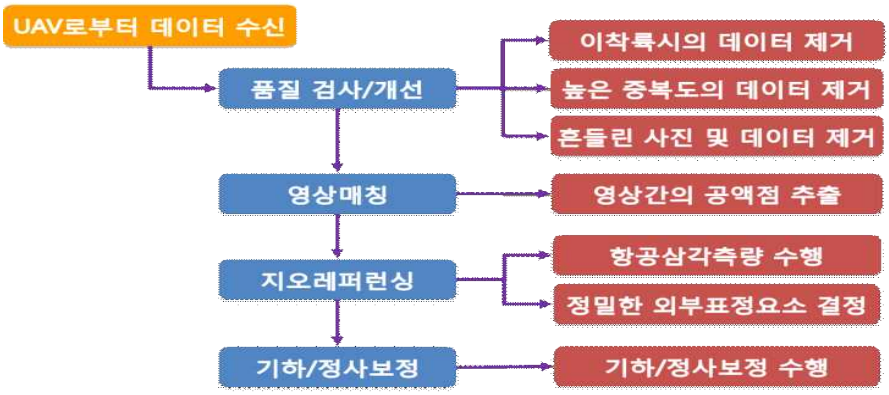


그림 2.2.48 저고도 항공 광학영상 전처리 소프트웨어 흐름도

저고도 항공 광학영상 전처리 소프트웨어의 실험 데이터를 위하여 테스트베드에 대하여 3회 데이터 취득을 수행하였다. 강정고령보를 대상으로 2개의 데이터 셋을 구축하였고, 사문진교를 대상으로 1개의 데이터 셋을 구축하였다. 강정고령보에서는 비행 고도를 달리하여 두 개의 데이터 셋을 취득하였다. 첫 번째(강정고령보1: 빨강색)는 고도 140m에 104장의 영상과 GPS/IMU 데이터를 취득하였으며, 두 번째(강정고령보2: 노랑색)는 100m 고도에서 93장의 영상과 GPS/IMU 데이터를 취득하였다.

저고도 항공 광학영상 전처리 소프트웨어 실험에 사용된 데이터 셋의 주요 정보는 다음과 같다.

표 2.2.10 저고도 광학영상 데이터 셋 비교

	강정고령보1	강정고령보2	사문진교
영상취득구간 길이(m)	700	400	600
촬영고도(m)	140	100	100
해상도(cm/pix)	2.62	1.86	1.88
영상개수(개)	81	63	59

항공에서 저고도 영상 취득과 동시에 지상에서 GPS-RTK 장비를 활용하여 지상 기준점 측량을 수행하였다. 다음은 지상 기준점을 측량하는 모습이다.



그림 2.2.49 강정고령보의 지상 기준점 측량 모습

강정고령보에서 취득된 지상 기준점(빨강색)의 위치는 다음과 같다. 개발된 소프트웨어로 처리한 결과를 검증하기 위하여 이 중의 일부는 검사점(노랑색)으로 활용하였다.

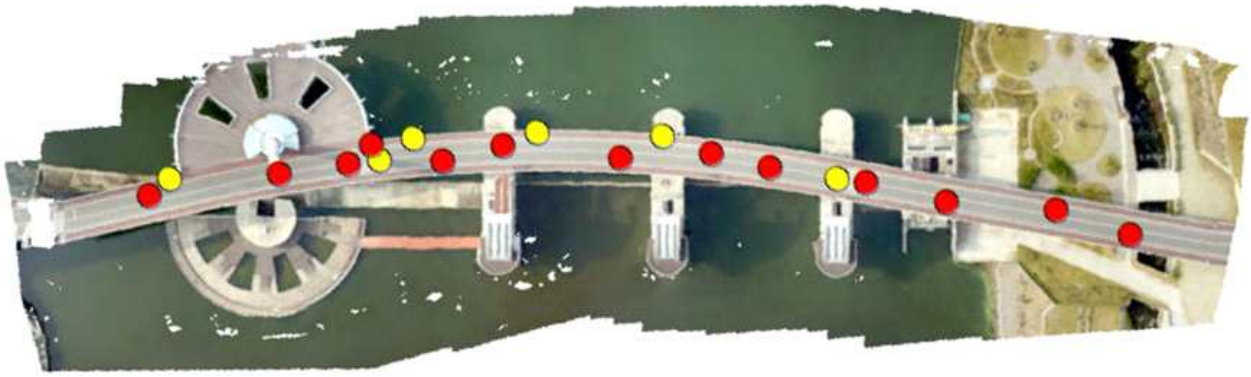


그림 2.2.50 강정고령보 지상 기준점의 위치

사문진교에서 취득된 지상 기준점(빨강색)의 위치는 다음과 같다. 개발된 소프트웨어로 처리한 결과를 검증하기 위하여 이 중의 일부는 검사점(노랑색)으로 활용하였다.

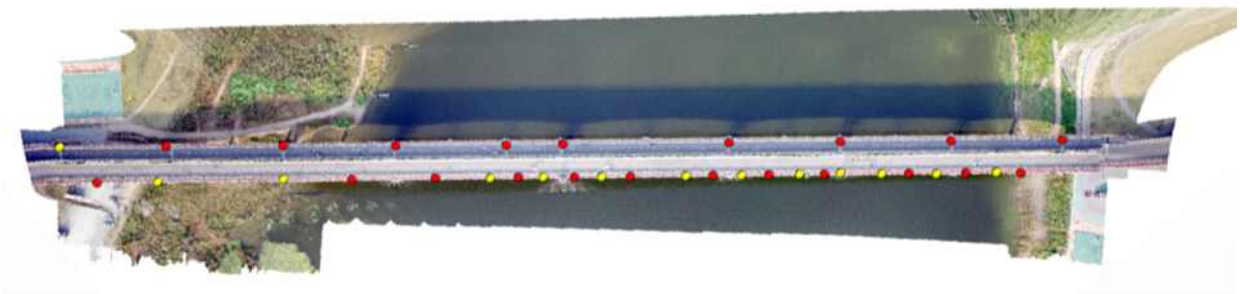


그림 2.2.51 사문진교 지상 기준점의 위치

각 데이터 셋에 대하여 구현된 영상 매칭 모듈을 적용하였다. 강정고령보1 데이터 셋에 대하여 UAV 매핑 시스템을 운용하여 취득한 81장의 영상과 각 영상취득 시점의 GPS/IMU

데이터를 입력하였다.

강정고령보1에 대하여 영상매칭을 수행한 결과 81장에 대해서 80번의 영상 매칭을 수행하였고 약 74초의 시간이 소요되었다.

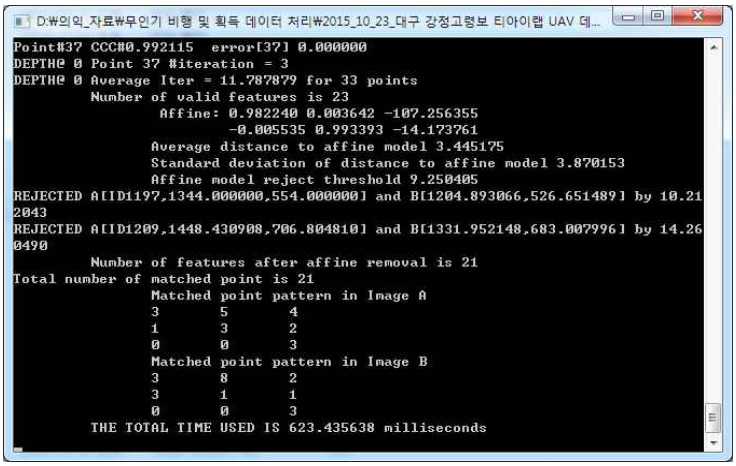


그림 2.2.52 강정고령보1의 영상 매칭

영상 매칭 모듈은 산출된 공액점을 카메라 좌표계와 영상 좌표계의 두 가지 좌표계를 기준으로 표현하여 출력한다. 매칭 결과로써 연속된 영상 간에 동일한 객체점에 대하여 추적하고 있는 것을 가시적으로 확인할 수 있다. 다음은 강정고령보1에 대한 결과이다.

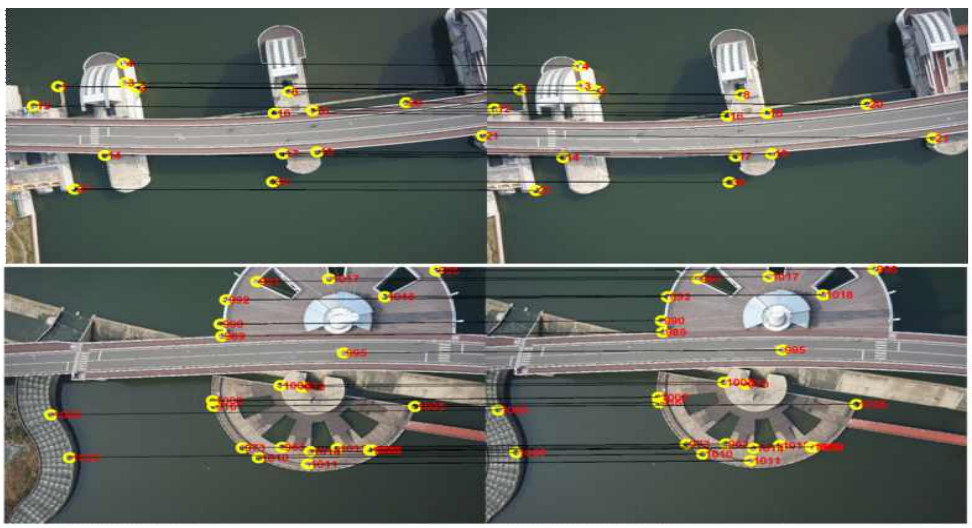


그림 2.2.53 강정고령보1의 영상 매칭 결과 추출된 공액점 비교

전반적으로 정확하게 공액점을 산출하였으나, 일부 물영역에 비친 구조물의 그림자에서 미스 매치가 발견되기도 하였다.

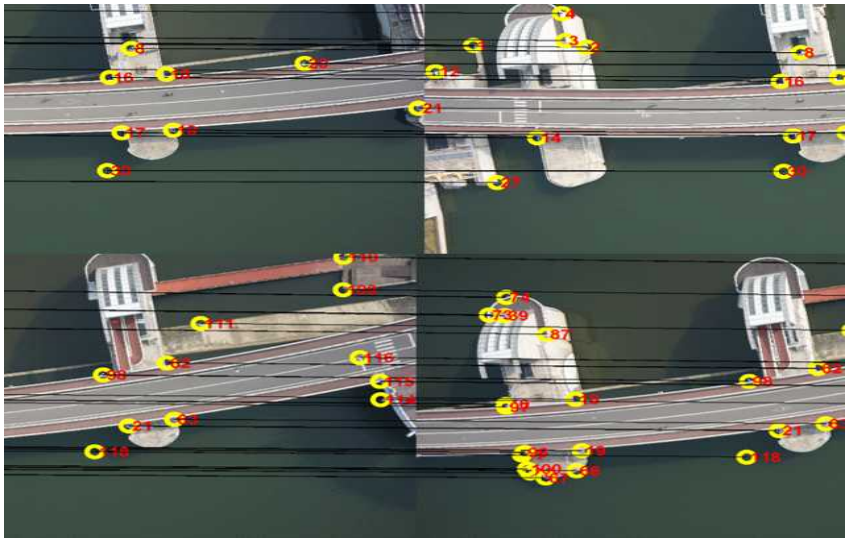


그림 2.2.54 강정고령보1의 미스 매치된 공액점

각 데이터 셋에 대하여 영상취득 시점의 GPS/IMU 데이터와 영상 매칭 결과의 공액점을 입력으로 번들 조정을 수행하였다. 번들 조정을 통하여 정밀하게 조정된 외부표정요소와 공액점에 상응하는 지상점의 좌표를 얻을 수 있었다.

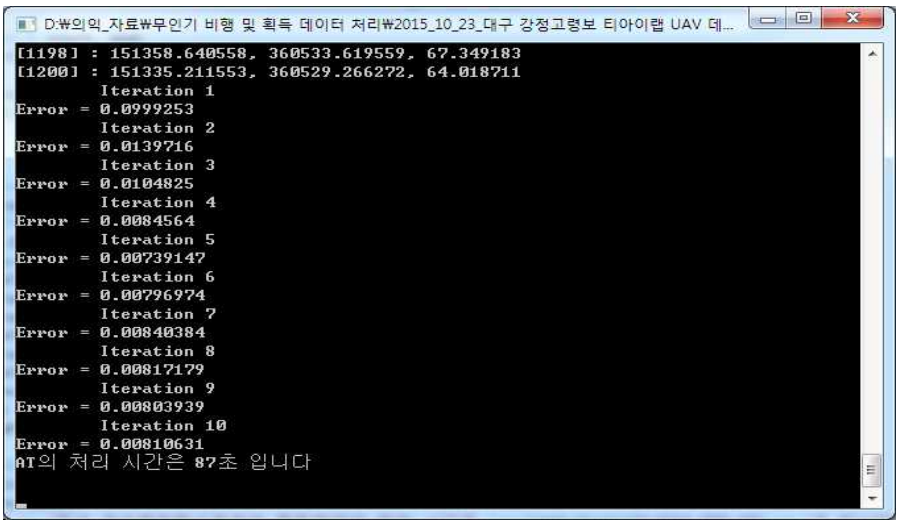


그림 2.2.55 강정고령보1의 영상 지오레퍼런싱 처리

번들 조정 결과 산출된 정밀한 외부표정요소와 대상 영역에 대한 평균고도 DEM을 기준으로 정사보정을 수행하였다. 공간해상도가 약 2.62cm인 강정고령보1의 81 장의 영상에 대하여 개별 정사영상을 생성하는데 총 535 초가 소요되었으며 영상 1 장당 처리시간은 약 6.5 초로 상정할 수 있다.

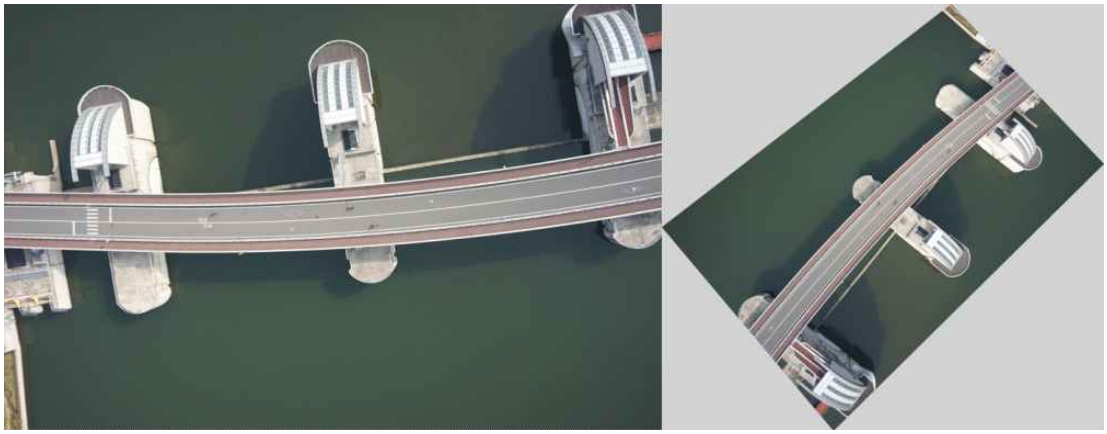


그림 2.2.56 강정고령보1의 원시영상(좌)와 정사영상(우)의 비교

개발된 정사보정 모듈로 생성된 정사영상과 Daum Map에서 서비스하는 동일 영역의 정사영상을 비교하였다. 개발된 정사보정 모듈로 생성된 정사영상의 해상도가 Daum Map을 통해 서비스되는 것보다 훨씬 높은 공간 및 방사 해상도를 갖는 것을 확인할 수 있다.

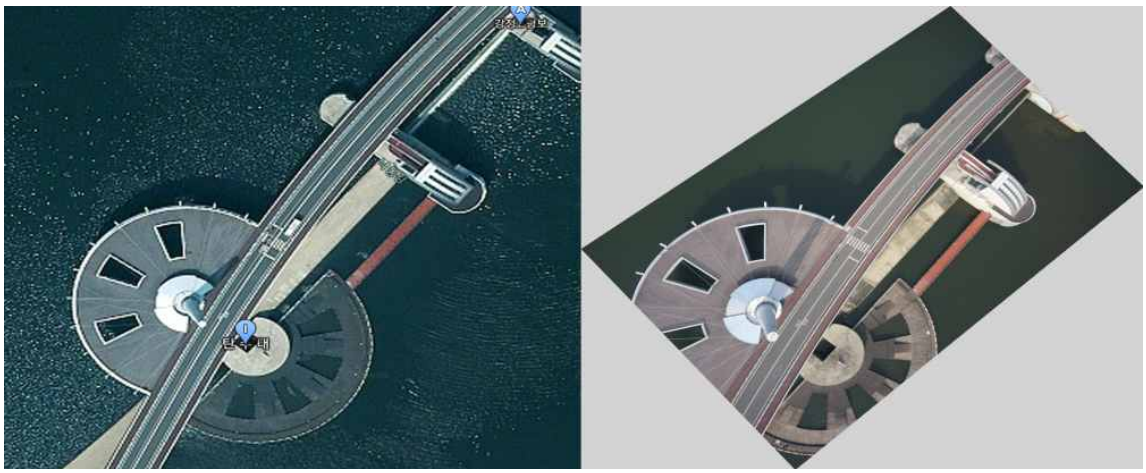


그림 2.2.57 Daum Map과 개발된 소프트웨어로 생성된 정사영상의 비교

아래 그림은 생성된 81장의 개별 정사영상들 중 모자이크한 샘플 영상이다. 개별 정사영상과 같은 이름을 갖는 world 파일(.jgw)을 생성하여 절대좌표에 참조 시킨다. 고밀도 매칭(dense matching)에 의한 DEM이 아니라 평균고도 DEM을 활용하였기 때문에 영상 간에 정밀하게 정합되지는 않았지만 고속으로 처리된 결과임에도 불구하고 영상 간 상대적/절대적 위치가 어느 정도로 맞는 것을 확인 할 수 있다.

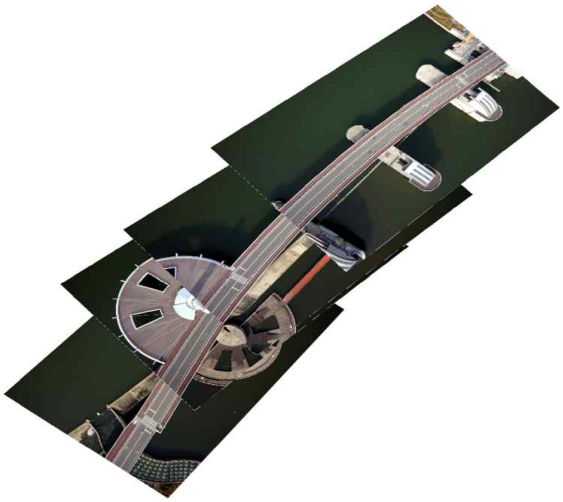


그림 2.2.58 강정고령보1의 정사영상 샘플

사문진교에 대하여 영상 매칭을 수행한 결과 59장의 영상에 대해서 58번의 영상 매칭을 수행하였고 약 88초의 시간이 소요되었다. 강정고령보1, 강정고령보2와 같은 과정을 거쳐서 공액점 파일을 결과물로 출력하였다. 그 결과도 다음과 같이 가시적으로 확인할 수 있다.

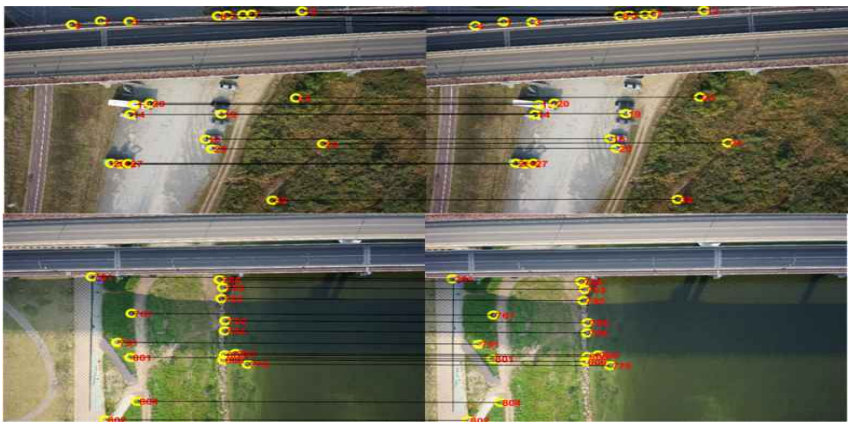


그림 2.2.59 사문진교의 영상 매칭 결과 추출된 공액점 비교

사문진교는 수변구조물 상에 반복되는 패턴이 많고 형상 상에 큰 변화가 없기 때문에 교량 상에서보다 다리의 초입부분 지형에서 많은 특징점이 추출되었다. 이러한 이유로 강정고령보 데이터 처리 결과와 다르게 영상 매칭 결과에 많은 미스 매치가 포함되었다.

번들 조정 결과 산출된 정밀한 외부표정요소와 대상 영역에 대한 평균고도 DEM을 기준으로 정사보정을 수행하였다. 공간해상도가 약 1.88cm인 사문진교의 59장의 개별 정사영상을 생성하는데 총 390초가 소요되었으며 영상 1장당 처리시간은 약 6.5초로 강정고령보의 경우와 동일하다.



그림 2.2.60 사문진교의 원시영상(좌)와 정사영상(우)의 비교

아래 그림은 생성된 59장의 개별 정사영상들 중 모자이크한 샘플 영상이다. 개별 정사영상과 같은 이름을 갖는 world 파일(.jgw)을 생성하여 절대좌표에 참조 시킨다. 고밀도 매칭(dense matching)에 의한 DEM이 아니라 평균고도 DEM을 활용하였기 때문에 영상 간에 정밀하게 정합되지는 않았지만 고속으로 처리된 결과임에도 불구하고 영상 간 상대적/절대적 위치가 어느 정도로 맞는 것을 확인 할 수 있다.



그림 2.2.61 사문진교의 정사영상 샘플

데이터 처리 시간의 검증을 위하여 테스트 베드에서 취득한 영상에 대한 전처리 수행하고, 전처리 과정의 각 단계별 처리 시간을 확인하였다. 그 결과 모든 과정이 목표였던 15분(900초) 이내에 수행되었음을 확인할 수 있었다.

표 2.2.11 저고도 광학영상 데이터 셋 처리 소요시간 비교

단위 : 초	강정고령보1	강정고령보2	사문진교
영상 매칭	74	62	88
번들 조정	152	40	5
기하 보정	535	417	390
합계	761	519	483

마. 근접 정밀 영상 전처리 소프트웨어 개발

근접 정밀 영상 전처리 소프트웨어는 수변구조물의 어느 위치에서 어떠한 피해가 발생하였는지를 파악하기 위해서 구조물에 근접하여 취득한 UAV 영상을 해당 구조물의 3차원 모델에 투영하기 위한 소프트웨어이다.



그림 2.2.62 근접 정밀 영상 전처리 소프트웨어 과정별 상세 설계

기하보정은 UAV 취득 영상에 나타나는 구조물의 3차원 모델 평면에 영상을 투영하는 과정이다. 영상의 외부표정요소를 이용하여 영상에 나타난 구조물의 3차원 평면을 탐색하고, 탐색된 평면의 그리드 포스트마다 공선조건식에 기반하여 영상을 투영한다.

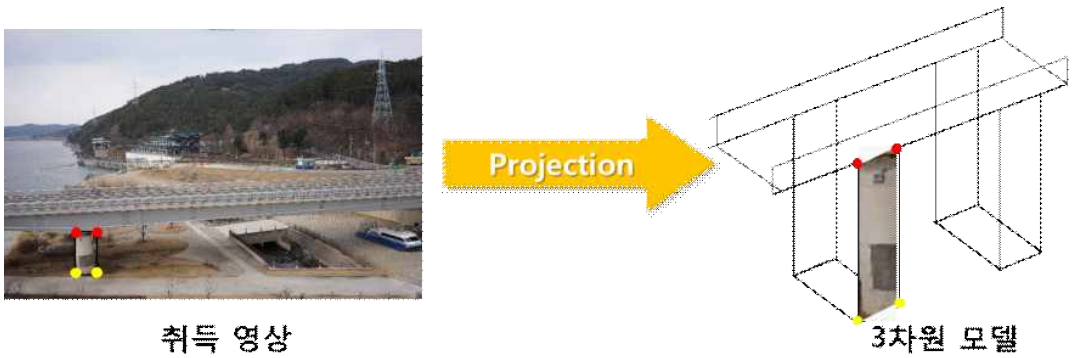


그림 2.2.63 기하보정 개념도

근접 정밀 영상 전처리 소프트웨어는 입력된 근접 정밀 영상의 품질을 검사/개선하고 지오레퍼런싱을 수행한 뒤, 구조물의 3차원 모델 평면을 기준으로 기하보정함으로써 취득된 영상을 모델면 상에 투영하는 것을 목표로 한다. 근접 정밀 영상 전처리 소프트웨어의 서브 모듈인 품질 검사/개선 모듈, 지오레퍼런싱 모듈, 기하보정 모듈을 개별적으로 구현하고 각 모듈 간의 입출력을 연계하여 통합 소프트웨어를 구현하였다.

근접 정밀 영상 전처리 소프트웨어의 실험 데이터를 위하여 테스트베드에 대하여 2회 데이터 취득을 수행하였다. 그 결과 강정고령보의 한 쪽 면을 촬영한 2개의 데이터 셋을 구축하였다. 근접 정밀 영상 전처리에 사용된 데이터 셋의 주요 정보는 다음과 같다.

표 2.2.12 근접 정밀 영상 데이터 셋 비교

	강정고령보 근접 89.3m	강정고령보 근접 93.3m
구조물과의 거리(m)	89.3	93.3
영상취득구간 길이(m)	175	175
영상개수(개)	55	30

강정고령보에서 취득한 근접 정밀 영상에 대하여 지오레퍼런싱을 수행하였다. GPS/INS로 취득하여 후처리된 플랫폼의 위치/자세로부터 카메라의 탑재 방향을 고려하여 초기 외부표정요소를 결정하였다. 초기 외부표정요소를 51개의 지상기준점을 이용하여 번들 조정함으로써 정밀하게 조정하였다. 정밀하게 조정된 외부표정요소와 플랫폼의 위치/자세 간의 상대적인 관계를 수립함으로써 탑재변수를 산출하였다. 산출된 탑재변수를 이용하여 지오레퍼런싱한 결과는 다음 그림과 같다.

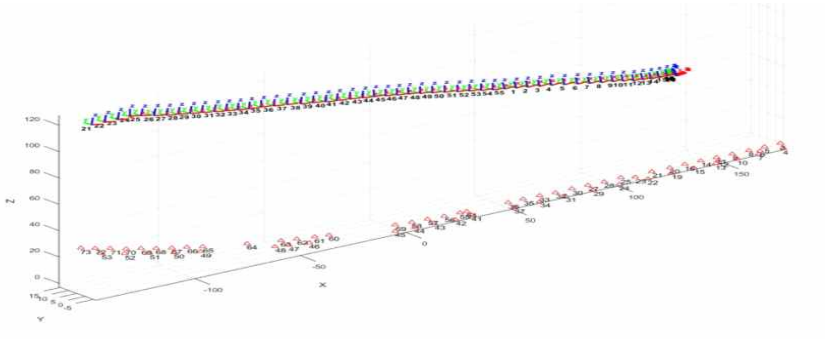


그림 2.2.64 지오레퍼런싱된 외부표정요소

UAV에서 취득된 원시영상과 기하보정 모듈에 의하여 구조물을 대표하는 3차원 평면을 기준으로 기하보정된 영상을 비교하면 다음과 같다.



그림 2.2.65 UAV에서 취득된 원시영상과 개별 정사영상

아래 그림은 93.3m 거리에서 취득된 근접 영상을 입력하여 처리한 결과 생성된 30장의 기하보정 영상들 중 일부를 모자이크한 샘플 영상이다. 고속으로 처리된 결과임에도 불구하고 영상 간 상대적/절대적 위치가 어느 정도로 맞는 것을 확인 할 수 있다.

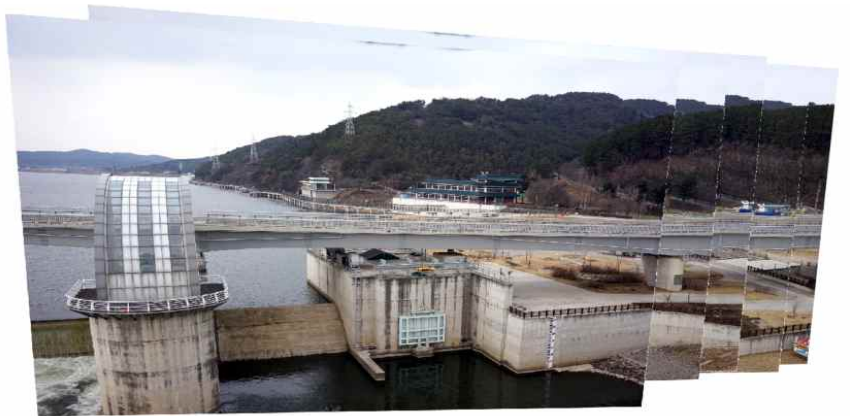


그림 2.2.66 근접 93.3m 영상의 정사영상 샘플

이와 같은 근접 정밀 영상 전처리 결과에 대하여 정확도 검사를 수행하였다. 시스템 캘리브레이션을 기반으로 하는 지오레퍼런싱을 수행하였을 때와 수행하지 않았을 때를 비교하여 개선율을 산출하였다.

표 2.2.13 근접 89.3m 데이터 셋의 시스템 거리환산 후 외부표정요소에 대한 RMS 비교

구분	X(m)	Y(m)	Z(m)	Roll(m)	Pitch(m)	Yaw(m)	전체(m)
지오레퍼런싱 전	0.124	0.161	1.274	25.807	7.468	30.145	40.400
지오레퍼런싱 후	0.098	0.146	1.272	8.691	0.445	8.695	12.369

표 2.2.14 근접 89.3m 데이터 셋의 시스템 지오레퍼런싱 전후 개선율

	지오레퍼런싱 전(m)	지오레퍼런싱 후(m)		개선율 (%)
RMS	40.400	12.369	개선율	226.63

표 2.2.15 근접 93.3m 데이터 셋의 시스템 거리환산 후 외부표정요소에 대한 RMS 비교

구분	X(m)	Y(m)	Z(m)	Roll(°)	Pitch(°)	Yaw(°)	전체(m)
지오레퍼런싱 전	0.862	1.406	2.221	15.269	19.159	12.384	27.591
지오레퍼런싱 후	0.920	1.415	2.224	2.125	0.163	1.462	3.805

지오레퍼런싱을 수행했을 때와 하지 않았을 때 외부표정요소 정확도의 개선률은 150% 이상을 상회하였다.

4. 항공영상기반 지상영상 융합처리 모듈 개발

가. 기준 영상 기반 융합처리 모듈 개발

지상의 영상 취득 시스템으로부터 획득되는 영상의 외부표정요소(위치 및 자세)를 사전에 처리한 항공 기준 영상을 기반으로 결정하는 모듈을 개발한다. 고속 자동 처리를 위하여 지상기준점의 활용을 지양하는 대신 산출 결과의 정확도를 확보하기 위하여 관측 대상이 사전에 정해져 있기 때문에 이에 대한 기준 영상을 구축하여 활용하기로 한다. 기준 영상은 항공사진측량을 기반으로 정밀하게 외부표정요소가 결정된 영상을 의미한다.

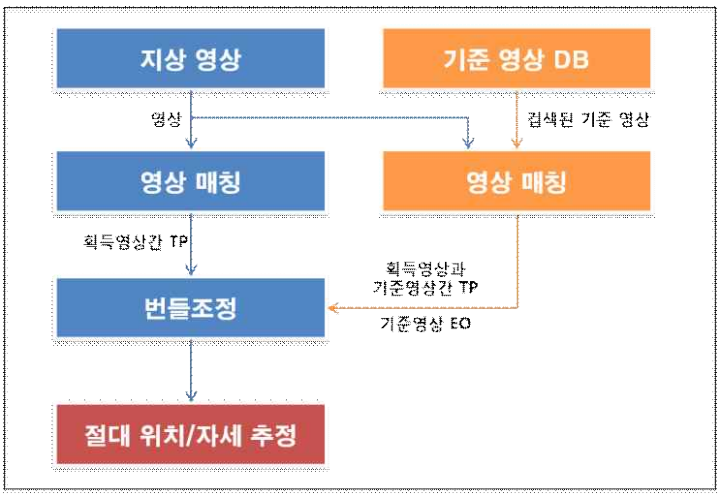


그림 2.2.67 기준 영상 기반 융합처리 모듈 구성도

기준 영상 기반 융합처리 모듈은 지상 영상과 기준 영상의 공액점을 찾고, 기준 영상의 외부표정요소를 제약조건으로 고정하여 이를 기준으로 번들 조정을 수행함으로써 지상 영상의 외부표정요소를 정밀하게 결정한다. 상기 설명된 방법론에 기초하여 운영 체제는 Windows 7, 프로그램 언어로 MATLAB를 사용하여 소프트웨어로 구현하였다.

기준 영상 기반 융합처리 모듈을 검증하기 위한 실측 데이터로써 테스트베드인 강정고령보에서 스마트폰을 활용하여 지상 영상을 취득하였다. 지상 영상은 강정고령보의 초입부터 약 70 m 구간에서 강정고령보를 아래에서 위로 바라보는 방향으로 촬영되었고, 촬영하는 위치와 강정고령보를 촬영하는 수평각을 다르게 하였다. 촬영한 영상의 수는 25 장이고, 강정고령보와의 거리는 약 20 m 정도 이다.

기준 영상은 UAV 시스템을 운용하여 취득된 데이터를 처리하여 구축하였다. 강정고령보의 초입부터 약 300 m 구간에서 강정고령보와 비슷한 높이에서 촬영되었다. 촬영한 영상의 수는 55 장이고, 강정고령보와의 거리는 약 87 m 정도 이다.



그림 2.2.68 기준 영상의 예시

UAV 영상 처리에 기준 데이터로 활용하거나 처리 결과의 정확도 검증을 수행하기 위하여 61개의 위치에 대하여 GPS 측량을 수행하였다. 61 개의 측량 성과 중 43 개는 영상 처리에 지상기준점으로 활용하였고, 18 개는 검사점으로 활용하였다. 55 장의 UAV 영상에 대하여 43 개의 지상기준점을 이용하여 번들 조정을 수행하였다. 번들 조정 수행 시 지상기준점의 정밀도는 약 2 cm로 설정하였으며, 영상 마다 약 8 개의 지상기준점이 분포하였다. 번들 조정 결과 산출된 18 개의 검사점에 대한 좌표와 GPS측량으로 측정된 검사점의 좌표를 비교한 결과 RMSE는 7.02 cm이었다.

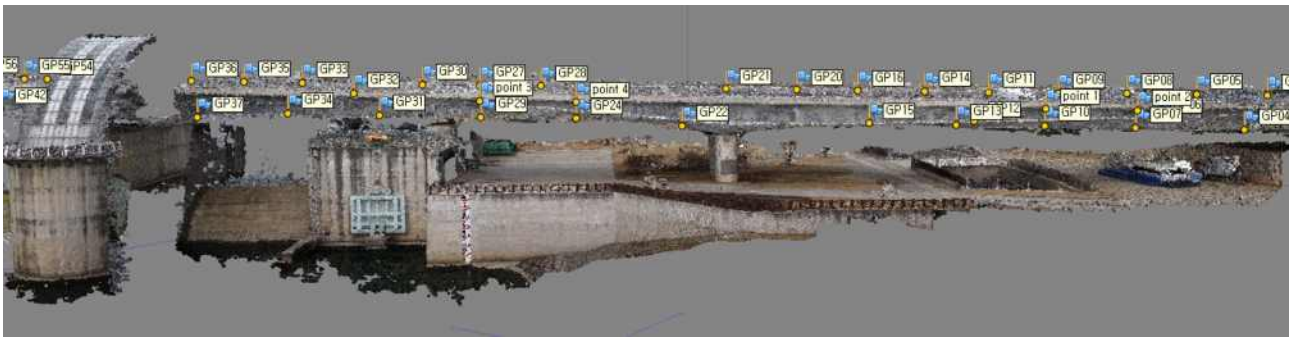


그림 2.2.69 강정고령보 지상기준점 분포

지상 영상에 대하여 기준 영상을 기반으로 융합처리를 수행하였다. 자동 매칭 방법에 의해서는 지상 영상과 기준 영상 사이의 매칭이 이뤄지지 않는 경우가 많았다. 또 매칭이 이뤄진 경우에도 미스매치된 점들이 많이 발생하여 지상 영상의 외부표정요소가 잘못 결정되었다. 이를 보완하기 위하여 수동으로 공액점을 설정할 수 있는 영상에 대해 공액점을 설정하였다.



그림 2.2.70 잘못 결정된 지상 영상의 외부표정요소와 미스매치된 점



그림 2.2.71 수동으로 설정한 기준 영상과 지상 영상의 공액점

기준 영상 외부표정요소의 가중치를 위치 0.01 cm, 자세 0.0001 ° 로 설정하여 기준 영상의 외부표정요소를 고정하면서, 셀프 캘리브레이션은 적용하지 않고 실험하였다. 그 결과 기준 영상의 정확도와 비슷한 결과(약 9.67 cm)를 나타내었다. 특히 지상 영상에 나타나지 않은 검사점에 대하여 정확도를 산출했을 때는 기준 영상의 정확도와 더욱 비슷한 결과(약 7.44 cm)를 보였다.

기준 영상 외부표정요소의 가중치를 위치 0.01 cm, 자세 0.0001° 로 설정하여 기준 영상의 외부표정요소를 고정하고, 셀프 캘리브레이션을 적용하지 않는 조건으로 실험을 진행하였다. 기준 영상 기반의 번들 조정의 정확도를 검증하기 위하여 두 가지 번들 조정을 수행하였다.

(1) 지상기준점을 이용하여 지상 영상과 기준 영상에 대하여 번들 조정을 수행하였고, 산출된 지상 영상의 외부표정요소를 참값으로 가정하여 정확도 검증을 수행하였다.

(2) 제안된 방법에 의하여 지상기준점 없이 지상 영상과 기준 영상에 대하여 번들 조정을 수행하였다.

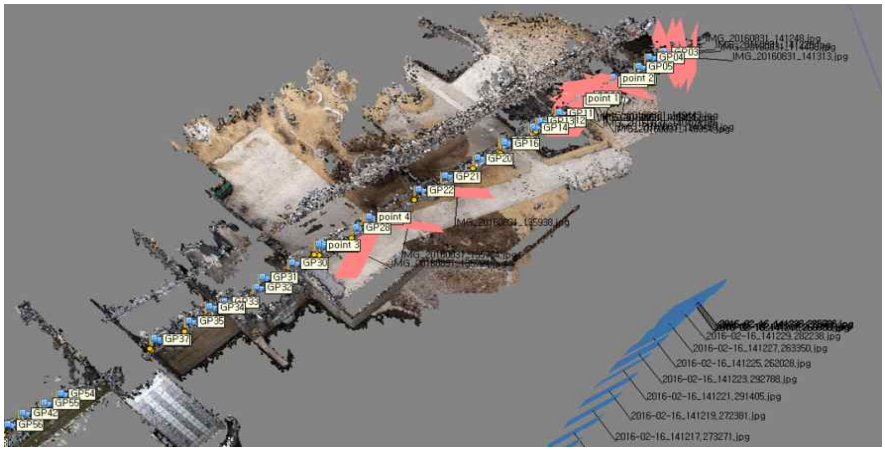


그림 2.2.72 번들 조정 수행 후 획득된 지상 영상의 외부표정요소(위에서 바라보았을 때)



그림 2.2.73 번들 조정 수행 후 획득된 지상 영상의 외부표정요소(측면에서 바라보았을 때)

지상 영상이 번들 조정 정확도에 미친 영향을 알아보기 위해 지상 영상에 포함되는 검사점과 그렇지 않은 검사점을 나누어 정확도를 살펴보았다. 표 2.2.16은 첫 번째 지상기준점을 활용한 번들 조정 결과의 정확도를 보여준다. 검사점 18개의 RMSE는 9.12 cm이었다.

표 2.2.16지상기준점을 활용하여 번들조정을 수행한 결과 검사점에 대한 정확도

	X 오차 (cm)	Y 오차 (cm)	Z 오차 (cm)	총합 (cm)
스마트폰 영상에 포함되는 검사점	4.92	10.46	2.28	11.78
스마트폰 영상에 포함되지 않는 검사점	5.66	3.26	3.54	7.44
총합	5.43	6.60	3.18	9.12

표 2.2.17은 두 번째 지상기준점 없이 제안된 방법으로 번들 조정을 수행한 결과의 정확도를 보여준다. 지상 영상에 포함되는 검사점을 이용하여 계산한 RMSE는 13.05 cm이었다.

표 2.2.17 지상기준점 없이 번들조정을 수행한 결과 검사점에 대한 정확도

	X 오차 (cm)	Y 오차 (cm)	Z 오차 (cm)	총합 (cm)
지상(스마트폰) 영상에 포함되는 검사점	5.18	11.76	2.26	13.05
지상(스마트폰) 영상에 포함되지 않는 검사점	5.67	3.26	3.54	7.44
총합	5.51	7.29	3.17	9.67

나. 영상정보 레지스트레이션 모듈 개발

중심투영으로 취득된 영상을 정사투영으로 변환하고, 절대좌표계로 참조시키는 과정을 기하보정이라고 한다. 촬영된 지상 영상을 수변구조물 3차원 모델에 투영하기 위하여 모델 상에 투영면을 정의하고 공선조건식에 따라 화소값을 재배열하는 기하보정을 수행하는 모듈을 개발한다.

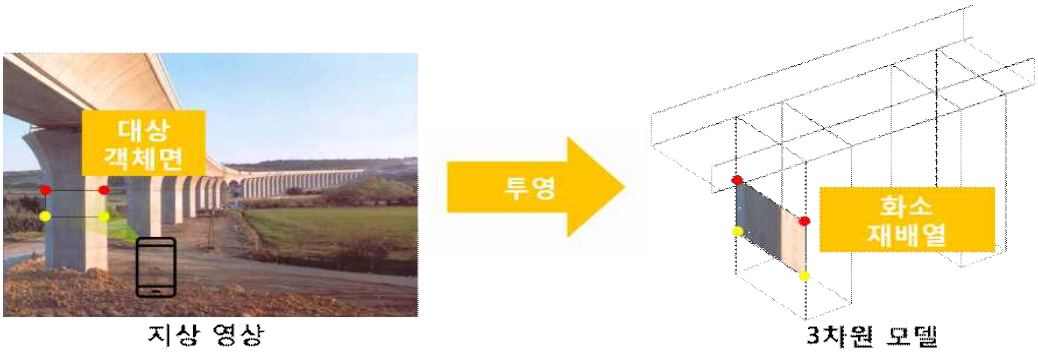


그림 2.2.74 영상정보 레지스트레이션 모듈 개념도

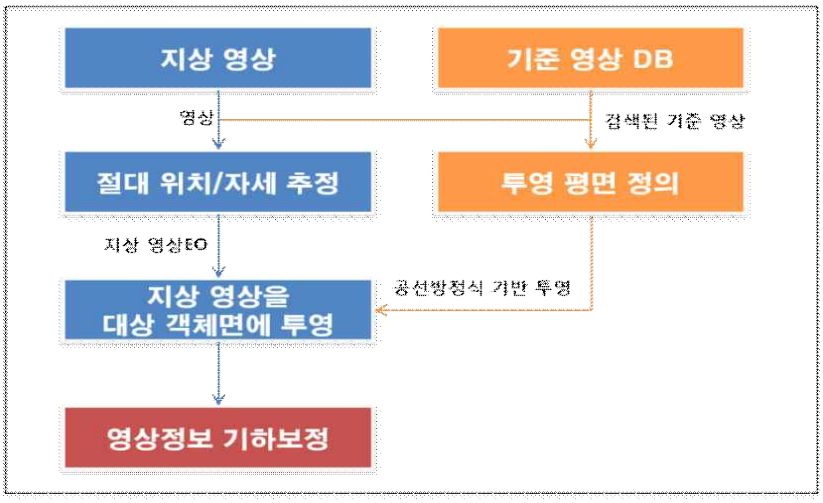


그림 2.2.75 영상정보 레지스트레이션 모듈 구성도

영상의 투영은 번들 조정과 같이 공선조건식을 기반으로 이루어진다. 지상 영상을 대상 객체면에 투영하여 객체면에서 지상좌표를 설정하고, 객체면의 지상좌표를 이용하여 지상 영상의 화소값을 재배열한다.



그림 2.2.76 영상정보 레지스트레이션 모듈 설계도

어떠한 지상점을 두 개 이상의 영상에서 관측이 가능하면 영상점만으로 해당 지상점의 좌표를 결정할 수 있다. 단일 영상만으로는 영상점이 투영되는 지상점의 좌표를 획득할 수 없다. 그러나 항공/지상 영상 융합처리에서는 지상 영상이 투영되는 대상 객체면을 가정하고 있기 때문에 단일 영상만으로 영상점이 투영되는 지상점의 좌표를 계산할 수 있다.

영상정보 레지스트레이션 모듈은 기준영상 기반 융합처리 모듈에서 결정한 지상 영상의 외부표정요소를 이용하여 지상 영상을 대상 객체면에 대하여 기하보정한다. 상기 설명된 방법론에 기초하여 운영 체제는 Windows 7, 프로그램 언어로 MATLAB를 사용하여 소프트웨어로 구현하였다.

지상 영상을 대상 객체면에 투영하기 위해서는 영상의 외부표정요소와 대상 객체면에 대한 정보가 필요하다. 융합처리 과정을 통해 지상 영상의 외부표정요소를 획득하였고, 대상 객체면에 대한 정보는 객체면에 대한 평면의 방정식을 정의하여 얻을 수 있다. 평면의 방정식은 평면 위의 최소 세 개의 점으로 표현이 가능하다. 그림 2.2.77에서와 같이 번들 조정 과정에서 입력으로 사용하였던 지상기준점, 검사점(P1, P2)과 번들 조정을 통해 추정된 지상점(P3)을 이용하여 대상 객체면을 정의하는 평면의 방정식을 산출할 수 있다.

네모형태의 점 세 개(P1, P2, P3)는 객체면을 정의하기 위해 사용된 점으로 투영면의 축을 구성하고, 원형의 점 네 개는 지상 영상의 네 모서리 점이 투영된 점들로 지상 영상이 투영되었을 때의 객체면 상의 커버리지를 보여준다.

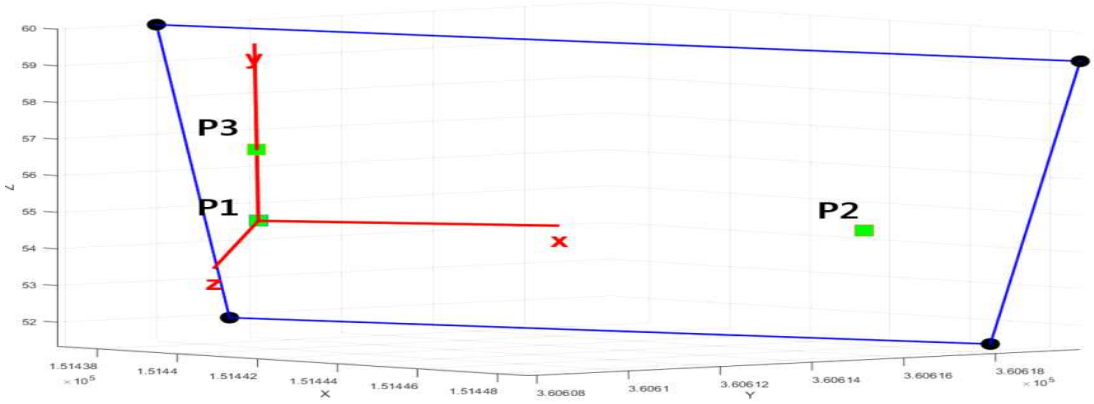


그림 2.2.77 대상 객체면을 정의하기 위한 점과 투영된 지상 영상의 점과의 관계

지상 영상의 투영된 객체면에 격자를 생성하기 위하여 지상좌표계로 표현된 객체면의 지상점 좌표를 객체면 좌표계로 변환하였다. 객체면 좌표계로 재정의된 투영된 지상 영상과 투영된 영상의 격자 생성 범위는 그림 2.2.78과 같다. 투영된 지상 영상은 사다리꼴 형태와 같고 격자 생성 범위는 직사각형과 같다. 직사각형 영역에 대하여 일정 간격으로 격자를 생성한다.



그림 2.2.78 체면 좌표계에서 투영된 지상 영상과 투영된 영상의 범위

격자마다 객체면 좌표계 기준의 각 좌표를 지상좌표계로 다시 변환한 후, 공선조건식에 대입하여 영상으로 역투영하였다. 영상으로 역투영할 때 역투영된 영상좌표가 영상의 범위 내에 존재하는지 파악하고, 범위 내 존재하는 경우 지상 영상의 화소값을 격자에 재배열하여 기하보정한다. 최종적으로 그림 2.2.74를 기하보정한 결과는 그림 2.2.79와 같다.

그림 2.2.80은 지상 영상 상에 나타난 주된 대상 객체면 설정하고, 각 영상을 설정된 객체면으로 기하보정한 결과이다.



그림 2.2.79 기하보정된 지상 영상

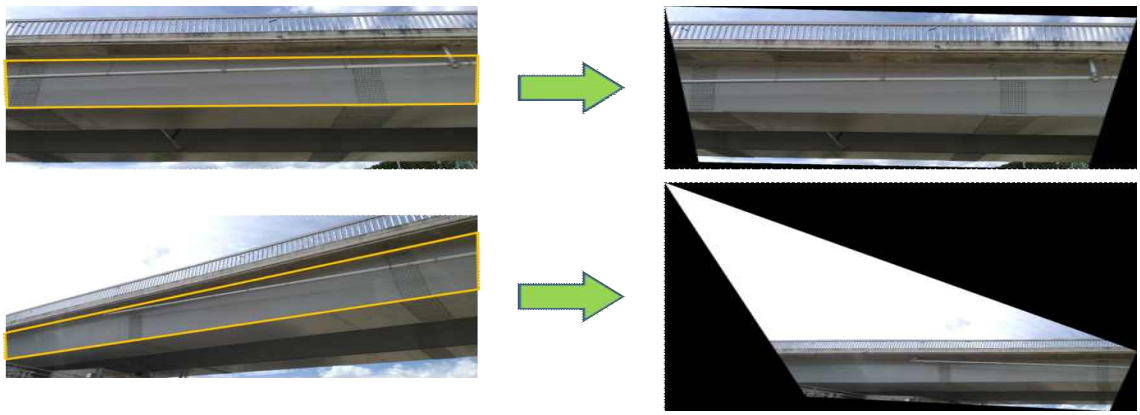


그림 2.2.80 지상 영상과 대상 객체면과 기하보정 결과

다. 융합처리 결과 검증 모듈 개발

기준 영상 기반 융합처리 결과와 영상정보 레지스트페이션 결과에 대한 정확도를 산출함으로써 융합처리 결과를 검증한다. 본 연구에서는 기준 영상 기반 융합처리 모듈을 통해 산출된 결과와 기준 영상 구축 시 산출된 결과를 비교함으로써 융합처리 결과의 정확도를 평가한다. 정확도 평가의 기준이 되는 기준 영상 구축 시 산출된 결과는 다수의 지상기준점을 활용하여 정밀하게 처리하여 추정된 지상점 좌표와 검사점을 비교한 RMSE를 의미한다.

정확도 평가의 대상이 되는 기준 영상 기반 융합처리 모듈을 통해 산출된 결과는 지상기준점을 이용하지 않고 기준 영상을 활용하여 지상 영상을 처리하여 추정된 지상점 좌표와 검사점을 비교한 RMSE를 의미한다. 기준 영상 기반 융합처리 모듈에 의해 산출되는 정확도는 기준 영상의 정확도에 의존될 것이다. 또한 기준 영상 기반 융합처리 모듈에 의하여 결정된 지상 영상의 외부표정요소의 정확도를 평가한다.

다수의 지상기준점을 사용하여 번들조정에 의해 산출된 지상 영상의 외부표정요소를 정

확도 평가의 기준으로 설정한다. 지상기준점을 이용하여 처리한 지상영상의 외부표정요소를 기준 영상 기반 융합처리 모듈에 의해 결정된 외부표정요소와 비교하여 RMSE를 계산한다.

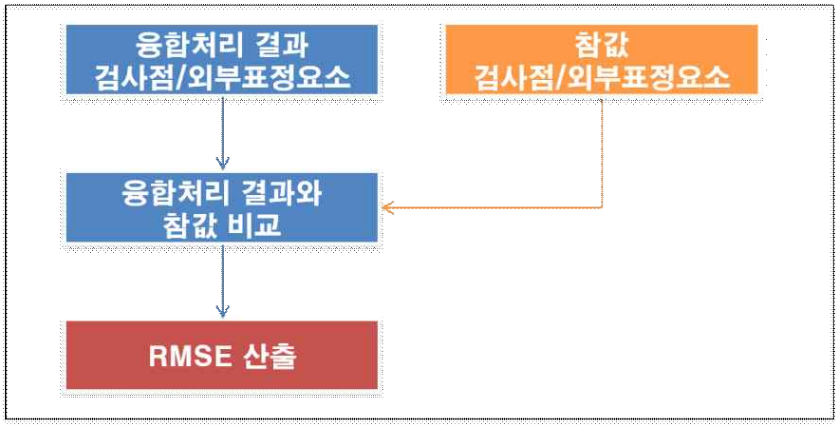


그림 2.2.81 기준 영상 기반 융합처리 모듈 검증 구성도

영상정보 레지스트페이션 결과의 정확도 검증을 위하여 영상정보 레지스트레이션 모듈로부터 생성된 기하보정된 영상 상에서 측정된 지상점의 좌표 또는 객체의 길이를 실제 측량을 통해 획득한 지상점의 좌표 또는 객체의 길이와 비교한다. 좌표의 경우 측량한 지상점 좌표를 기준으로 RMSE를 구한다. 길이의 경우 측정한 길이를 기준으로 RMSE를 구하고, 객체의 길이가 길수록 RMSE가 크게 나타날 수 있기 때문에 객체의 길이에 대하여 정규화한다.

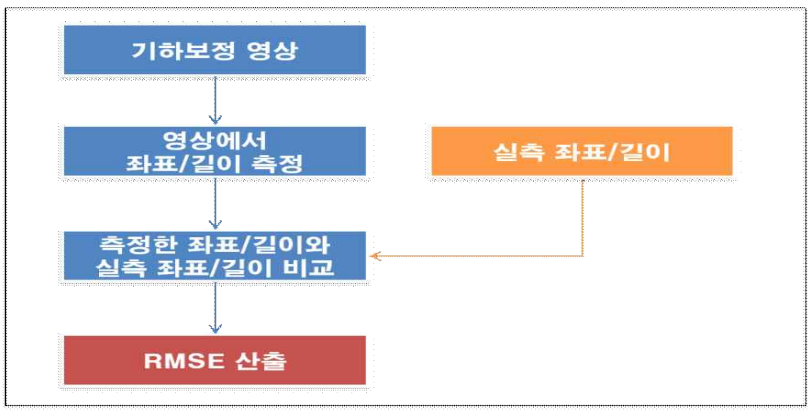


그림 2.2.82 영상정보 레지스트레이션 모듈 검증 구성도

융합처리 결과 검증 모듈은 운영 체제는 Windows 7, 프로그램 언어로 MATLAB를 사용하여 소프트웨어로 구현하였다. 기준 영상을 구축할 때 산출된 검사점에 대한 RMSE와 기준 영상 기반 융합처리에 의하여 산출된 검사점에 대한 RMSE를 비교한다. 기준 영상 기반 융합처리 결과 검사점에 대한 RMSE가 기준 영상의 RMSE에 어느 정도 근접한지 확인한다. 융합처리 결과 검사점에 대한 RMSE는 약 9.6 cm로 융합처리에 활용된 기준 영상의 RMSE인 7 cm와 유사하게 나타났다.

표 2.2.18 기준 영상 융합처리 모듈의 검사점 정확도 검증

	지상영상 융합처리(cm)				기준영상(cm)			
검사점	X	Y	Z	총합	X	Y	Z	총합
RMSE	5.51	7.29	3.17	9.67	5.33	3.41	3.04	7.02

기준 영상 기반 융합처리를 통해 산출한 지상 영상의 외부표정요소의 정확도를 검증하였다. 지상기준점을 이용하여 번들 조정을 통해 결정된 지상영상의 외부표정요소를 기준으로 계산된 RMSE를 확인하였다. 지상 영상 외부표정요소 중 위치정보는 약 5 cm, 자세정보는 약 0.28° 의 정확도를 나타내었다.

표 2.2.19 기준 영상 융합처리 모듈의 외부표정요소 정확도 검증

	X(m)	Y(m)	Z(m)	총합(m)	ω(°)	ϕ(°)	κ(°)	총합(°)
RMSE	0.006	0.049	0.012	0.051	0.192	0.043	0.202	0.281

영상정보 레지스트레이션 모듈을 통해 획득한 기하보정 영상에서 측정한 대상 지점의 좌표 및 길이를 실측 좌표 및 길이와 비교하였다. 그림 3.10.226에서와 같이 기하보정 영상 상에서 측정된 좌표를 실측 좌표와 비교하였을 때 약 10 cm의 차이를 보였다.



그림 2.2.83 기하보정 영상에서 측정할 대상 지점

융합처리를 통해 획득한 지상 영상의 외부표정요소 중에 위치 정보에 대한 정확도를 검증하였다. 지상 영상 외부표정요소에 대한 RMSE를 계산한 결과, GPS 센서 데이터를 이용하여 결정한 외부표정요소의 정확도가 약 10 m이었으나, 융합처리에 의해 추정된 지상 영상의 외부표정요소의 정확도는 약 5 cm로 나타났다.

표 2.2.20 융합처리를 통해 개선된 지상 영상 외부표정요소의 정확도 검증

	개선 전(m)				개선 후(m)			
	X	Y	Z	총합	X	Y	Z	총합
정밀도	6.097	3.288	8.374	10.868	0.007	0.053	0.013	0.055

5. 지상영상정보 획득장비 및 배치 효율화 기술 개발

가. 지상영상 획득 모듈 개발

지상영상 획득 모듈을 개발하기 위하여 Full HD급 이상의 고화질 일반 영상을 추출할 수 있고, 조도가 낮은 야간과 같은 조건에서도 원활한 피해 영상을 확보하기 위한 적외선 영상 모드가 있는 IP 카메라를 활용하였다. 구현한 지상 영상 획득 시스템 외부는 시스템 본체와 적외선 투광기로 구성되어 있다. 시스템 본체의 내부에는 영상 획득용 카메라와 영상 전처리기, 네트워크 스위치로 구성되었다.



외부 사진 내부 사진

그림 2.2.84 구현된 지상 영상 획득 시스템

악천후 환경에서는 수변구조물의 피해나 피해규모를 파악하는데 어려움이 있다. 따라서 수변구조물의 상태를 정확히 파악하기 위해서는 획득된 영상에서 악천후(안개, 비)를 제거해야 한다.

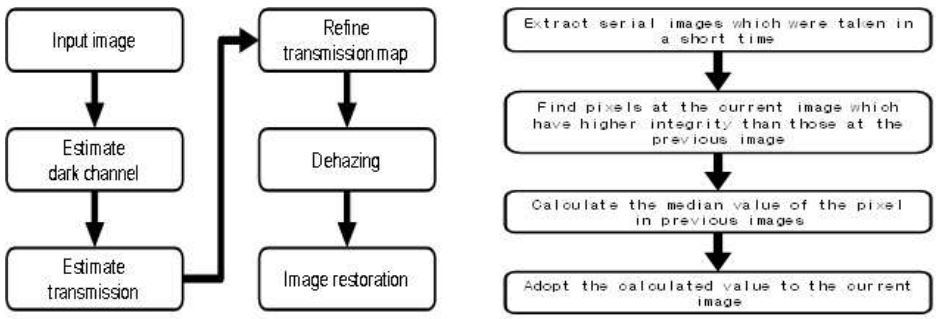


그림 2.2.85 지상영상 개선 알고리즘(a)안개영상, (b) 빗방울 영상

영상에서 안개를 제거하기 위해서 Dark Channel Prior를 이용하여 연구를 수행하였다. Dark Channel Prior는 Kaiming He에 의해 고안된 방법이다. He의 이론에 의하면 안개가 없는 맑은 영상에서 일정 구간 내 한 픽셀은 RGB중 어느 한 값이 대부분 0에 가까운 값을 가진다는 것에 기반을 둔다. 또한, 영상에서 비를 제거하기 위해서 n개의 이미지를 추출하였다. 제일 최신의 이미지와 이전의 이미지를 비교하여 빗방울 부분 픽셀을 추출한다. 이전의

n-1개 이미지에서 빗방울로 추출된 픽셀의 위치와 동일한 픽셀들의 중간 값, 평균 값, 최빈도 값으로 치환하는 방법을 이용한다.



그림 2.2.86 지상영상 개선 전후 비교 (a)안개영상, (b) 빗방울 영상

획득한 영상정보에서 표준 영상과 현재 영상을 지능적으로 비교 분석하여 피해 의심 지역 및 상황에 대한 영상을 표출하는 알고리즘을 구현하였다. 이 알고리즘에서는 $\triangle t$ 시간 간격을 추출된 이미지 프레임인 F_{t-2}, F_{t-1}, F_t을 이용하여 F_{t-2}과 F_{t-1}프레임에서는 현재 시간 t_c 프레임의 그레이스케일화한 픽셀 $p[t_c-2\triangle t]$와 $p[t_c-2\triangle t]$의 차이가 임계 값 thd을 초과하는 경우 픽셀 영역을 추출하고, 추출된 영역에서 F_t프레임까지 유지되지 않는 움직임 픽셀 영역을 제외하여 최종적으로 피해 의심 영역을 표출한다. 이러한 알고리즘을 수행할 시에는 설정한 임계 값 thd에 따라 피해 의심 지역을 다르게 표출하게 된다. 예를 들면 thd이 1일 경우에는 피해 지역과 상관없는 상당부분의 픽셀이 빨간 색으로 표출된 것을 확인할 수 있었다. 또한 thd값이 2, 5으로 증가함에 따라 피해지역과 상관없는 부분이면서 빨간 색으로 표출된 픽셀의 개수가 줄어들고, thd이 10이 되면서 피해와 상관없지만 피해의심지역으로 표출된 영역을 보기 어려워진 것을 확인할 수 있었다.

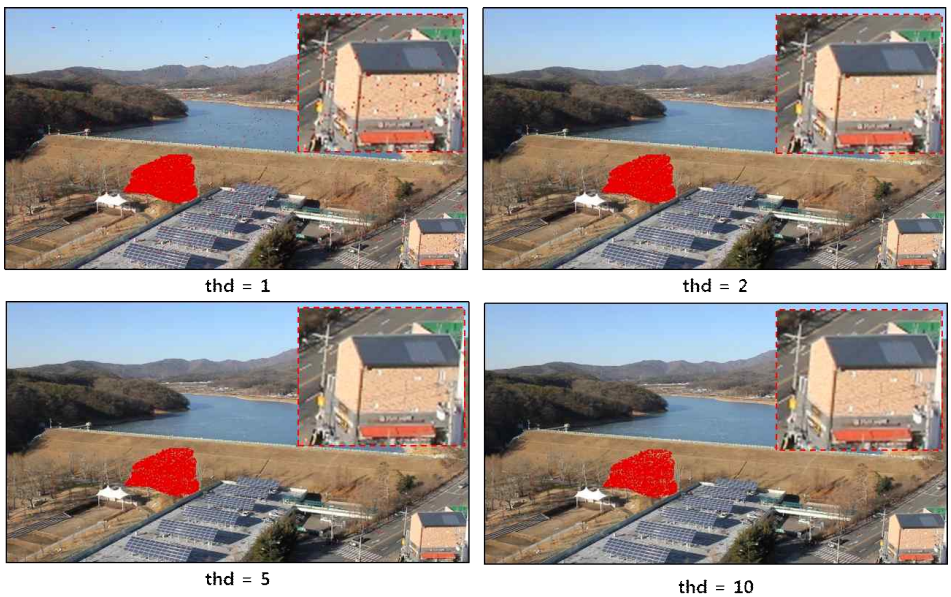


그림 2.2.87 피해 의심 지역 표출 구현 결과

2개의 영상을 통해 피해 의심 지역의 3차원 좌표를 자동으로 추출하는 피해의심지역 자동 추적 기술을 구현하였다. 초기에 마커에 대한 좌표를 입력하면 카메라가 회전한 후에도 자동으로 마커를 추적하여 피해의심지역 위치를 자동으로 계산하도록 하였고, 피해의심지역의 오차를 줄이기 위해 여러 개의 마커 중 오차를 가장 작게 포함하는 마커만을 탐색하여 오차를 최소화 하였다. 알고리즘은 카메라 2대의 내부 파라미터를 계산하고, 내부 파라미터를 사용하여 최적의 카메라 외부 파라미터를 계산한다. 이렇게 계산된 카메라 2대의 외부 파라미터를 이용하여 삼각측량하여 피해 의심지역의 3차원 좌표를 획득한다.

좌표 획득 오차는 (측정좌표와 실제좌표간의 거리 / 카메라에서 실제 좌표까지의 거리) * 100 로 나타내었다. 사용된 마커의 반경 내에서는 적은 오차를 나타내며 사용된 마커의 범위에서 벗어날수록 오차가 상승한다.

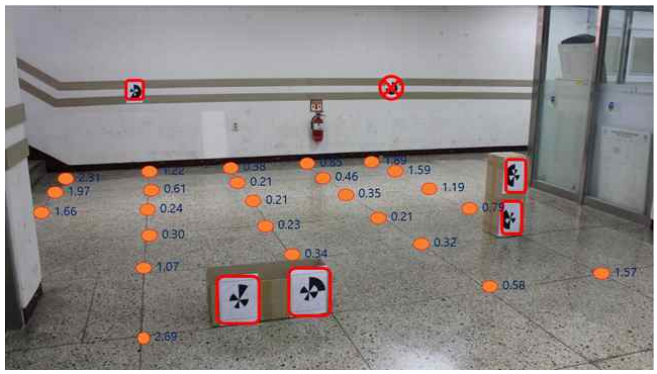


그림 2.2.88 좌표 획득 오차

실내에서 실험한 것과 같이 실외에서 마커 6개를 사용하여 피해지역 좌표를 획득하였다. 아래 그림은 실외에서 좌측, 우측 카메라가 촬영한 이미지이다.



그림 2.2.89 실외 좌측, 우측 카메라 촬영 이미지

계산결과 첫 번째 마커를 제외한 마커들을 사용하여 좌표를 구할 때 오차가 최소가 되는 것을 확인할 수 있었다. 실외 특성상 실내보다 오차가 상승하였지만 1.5~2% 이내로 성능을 보였다.

나. 지상영상 장비 배치효율화 SW 개발

아래 그림은 강정고령보 일대를 현장 방문하여 각종 카메라의 제원과 위치 등을 나타낸 지도이며 실제 위치에 별 표시를 하였고 구분하기 쉽게 순서를 표기하였다.



그림 2.2.90 강정고령보 및 사문진교 일대 지상영상 획득장비 위치

장비의 가능한 위치와 대상 구조물의 위치를 그리드 형식으로 구별하고, 수변구조물 등의 대형구조물을 감시하기 위해서는 합리적인 시간에 해를 구할 수 있는 유전알고리즘으로 장비의 배치를 효율화할 수 있는 방법과 소프트웨어를 개발하였다. 모델 및 알고리즘의 목적은 주어진 대상 구조물의 커버리지에 대하여 카메라 비용을 최소화하는 것이다. 또한, 그 비용을 최소화하는 감시장비의 종류, 감시장비의 위치와 그 위치에 설치되는 감시장비의 방향을 구하는 것이 최종 목적이다. 이를 위하여 감시장비의 제원과 비용뿐만 아니라 대상 구조물과 카메라의 배치 가능 위치와 방향을 입력하여 해를 구한다. 좌표로 구성되는 구조물의 도면과 장비의 배치 위치 및 자세 정보를 기반으로 프로그램 상에 영상장비가 구조물을 감시할 수 있는 영역을 2차원으로 표출하고, 장비의 위치와 자세를 변경할 때 커버리지를 재계산할 수 있는 도구를 개발하였다.

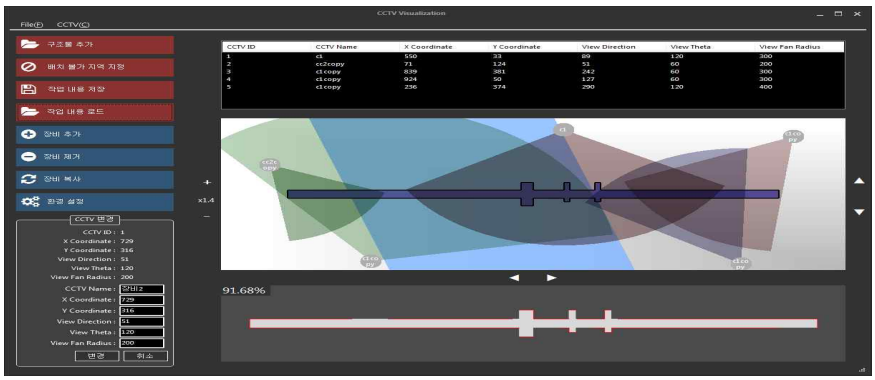


그림 2.2.91 지상영상 획득장비의 효율적 배치를 위한 SW

2차원의 기존 SW를 3차원으로 확장하여 3차원상의 공간에 카메라를 배치하고 구조물을 감시할 수 있는 영역을 3차원으로 표출하는 모듈을 개발하였다.

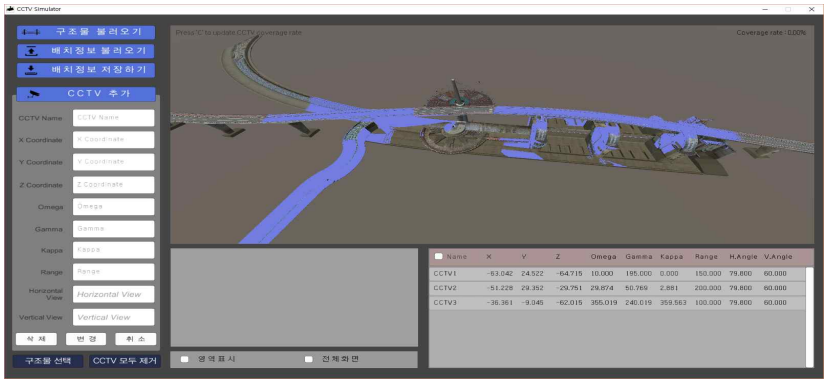


그림 2.2.92 지상영상 획득장비에 따른 커버리지 표현

유동적인 공간을 사용한 시스템 개발을 목적으로 웹 기반의 맵(Daum 지도)에서 제공하는 API를 이용한 웹 프로그래밍을 통하여 범용적인 모듈로 고도화하였다.



그림 2.2.93 지상영상 획득장비 배치 표출 모듈 웹 페이지 구성

원하는 구조물의 경계 좌표를 입력하여 객체화함으로써 구조물을 시각화하였다. 본 기능은 Daum API의 다각형 객체를 이용해 커버리지 계산이나 객체의 넓이, 길이 등의 정보를 저장할 수 있다. 다각형을 이용한 배치 불가 지역 설정은 마우스 클릭을 통해 다각형의 좌표 정보를 입력하고 다각형을 표시하여 배치 불가 지역으로 지정하는 기능을 구현하였다.

수변 구조물의 감시를 대상으로 지상영상장비 배치 위치 결정이 요구되는 상황에서 구조물 전체 중 일정 비율 이상의 커버리지가 요구될 때 지상영상장비의 대수와 비용을 고려하여 효율적으로 배치하기 위해 CPLEX을 이용하여 지상영상장비의 배치를 결정한다. CPLEX에서 지상영상장비 설치비용을 최소화해주는 목적함수와 제약 조건을 입력해주면 브라우저에 설치대수, 설치비용이 출력된다. CPLEX는 고성능 최적화 엔진으로 비즈니스 의사결정을 최적화하며, 유연한 인터페이스와 미리 빌드한 배치 시나리오를 사용하여 최적화 모델을 빠르게 개발하고 배치한다. 비즈니스 성과를 크게 향상할 수 있는 실제 에플리케이션을 작성해주는 프로그램이다.

다. 지상영상 획득 장비 현장적용

하나 이상의 지상영상 획득 장비에서 영상이 입력되면, 영상은 각 프레임별 이미지별로 형성되어 들어오게 되고, 이때 각 이미지는 아래와 같이 이미지 보정단계를 거치게 된다.



그림 2.2.94 지상영상 획득장비의 영상 보정

획득된 다수의 영상은 비슷한 장면에 대해 획득한 영상이라고 가정하여 영상들에서 기하학적인 특성 곧 maker point와 같은 모서리(edge), 모퉁이(corner)등의 특징점의 위치는 비슷한 분포를 가지게 되고 검출된 특징점 중에서 서로 대응되는 쌍을 찾아 영상 정합을 수행하게 된다.



그림 2.2.95 영상 Stitching

정합된 영상에 뉴럴 네트워크(신경망 학습 방법)를 적용하여 피해의심지역 검지 및 면적비율을 계산하는 방법을 사용하였으며, 아래 그림은 피해의심상황 검지 및 면적계산의 전체 구조를 보여 준다.

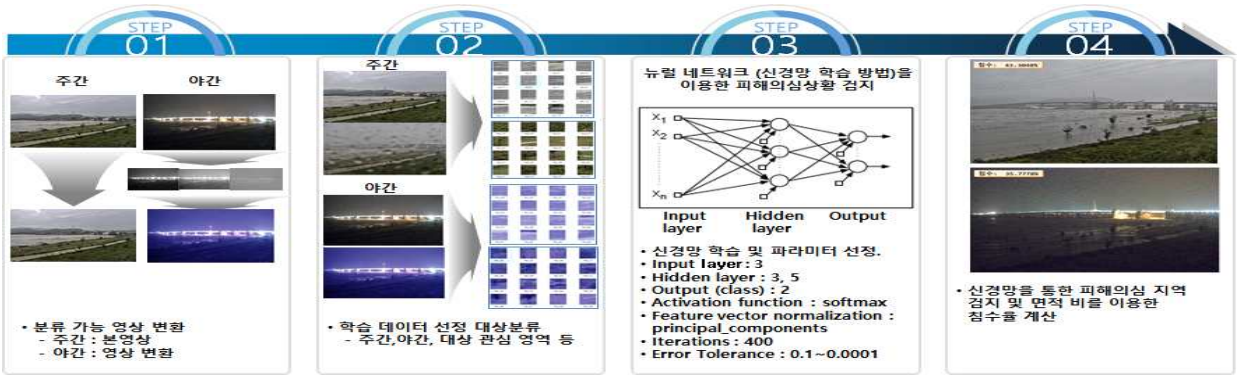


그림 2.2.96 피해의심상황 검지 기법

야간 영상은 하천과 제방과의 색상 표현력이 떨어진다. 단순 RGB 색 좌표의 표현으로는 침수된 영역과 제방 영역 구분에 한계가 있다. 주·야간 침수된 영역과 제방 영역 RGB 값을 비교하여 보면, 주간에 비해 야간엔 하천 영역과 제방영역의 RGB 차이가 미미하였다. 따라서 본 연구에서는 RGB 색상 공간을 확장하여 총 9개 채널로 분할(RGB, CIELUV, HSI)하여 사용하였다.

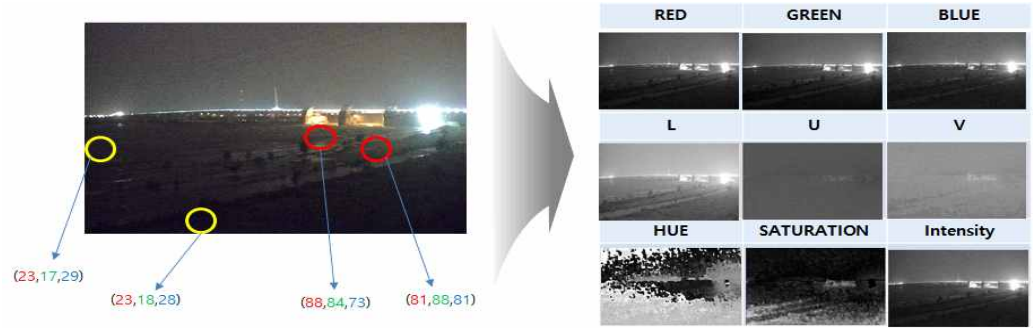


그림 2.2.97 9개 채널로 분할(RGB, CIELUV, HSI)하여 Input layer 사용

기존 9채널 색 정보 기반에서는 단순히 화소 단위의 이진 분류 결과를 영역단위로 카운트 하였지만, 수면 영역과 지표면 영역의 경계면이 물리적으로 가지는 제약조건을 활용하여 정확도를 개선하였다. 본 연구에서는 레벨셋에 기반한 방법을 이용하여 수면이 상승하는 과정을 반영할 수 있도록 하였다. 이를 위해서 이진으로 분류된 결과를 미결정 영역 전체에 대하여 레벨셋을 기준점으로 정하고 진화시킴으로 지표면 영역을 세그멘테이션 하는 방법을 사용하였다. 아래 그림과 같이 범람 전 영상의 경우 범람 영역에 해당되는 폐곡선이 범람에 따라 지표면 영역이 축소되면서 폐곡선이 축소한 형태로 진화하게 된다.



그림 2.2.98 범람에 따른 경계면의 이동 예시

수변구조물 같은 광범위한 지역을 모니터링 할 경우 다수의 CCTV의 영상을 모니터링하게 되고 이를 영상분석에 사용하면 다채널 영상분석은 필수적으로 필요하므로 멀티프로세스 기반 모듈 설계와 소프트웨어를 구현하였다.

강정고령보에 현장적용된 지상영상정보 획득 시스템은 아래와 같다.

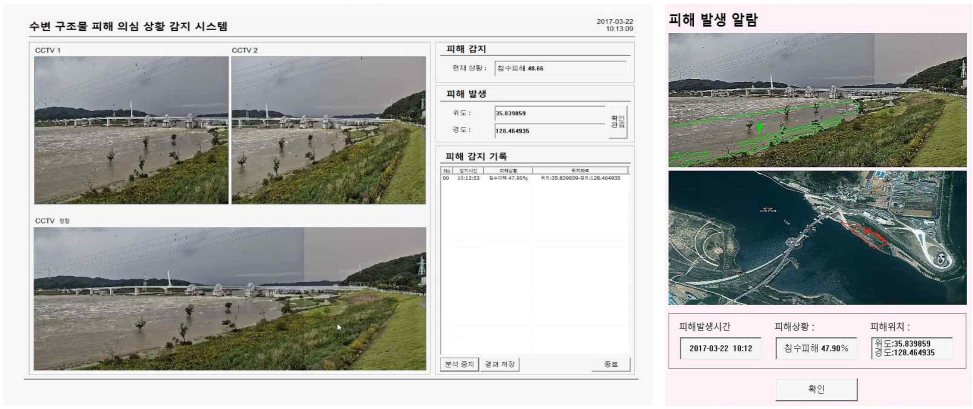


그림 2.2.99 수변구조물 지상영상 획득 시스템

기본적으로 변화된 상황이 연속적으로 일어나지 않으며, 일어난 상황 또한 자주 일어나는 상황이 아니므로 성능 검지를 위한 영상은 작년에 침수 예상 공간에 침수피해가 일어난 녹화영상을 사용하였으며, 이때 일어나는 실제 침수 공간 대비 자동 영역 검지율을 계산하여 검지율 90%이상인지를 알아보는 검증을 실시하였다.

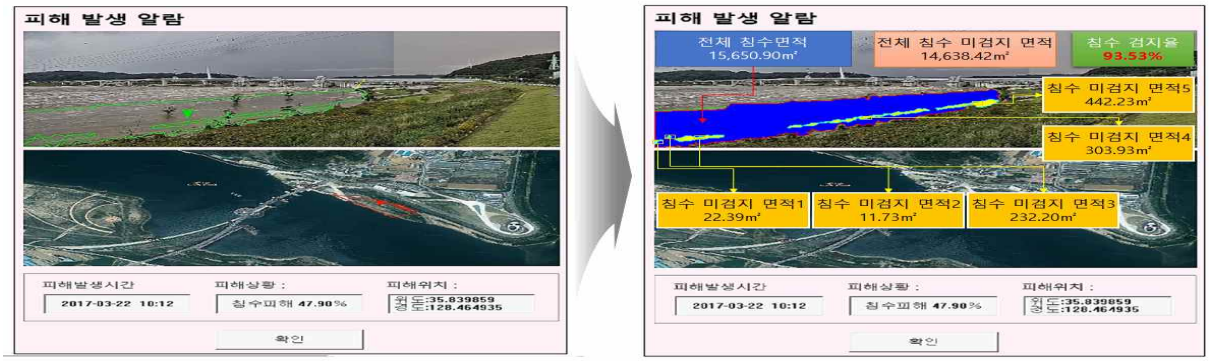


그림 2.2.100 수변 구조물 지상영상 획득 시스템 성능 검증 결과

테스트 전체 침수 면적 15,650.90㎡중 14,638.42㎡을 검지하는 것으로 나타나 93.53%를 검지율을 보이는 것으로 나타났다.



그림 2.2.101 수변 구조물 지상영상 획득 시스템 현장적용 사진

제3절 영상기반 다차원 피해정보 분석 및 지원 모듈

1. 실시간 피해정보 분석 시스템 설계

가. 영상기반 수변구조물 피해식별기술 개발

(1) 영상기반 수변구조물 피해식별항목 정의

본 연구에서는 영상기반의 수변구조물 피해식별항목을 정의하기 위하여 국토교통부 한국시설안전공단에서 출간한 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서를 기반으로 하여 교량, 옹벽, 댐, 제방, 절토사면, 보의 피해유형을 부재별로 분석하였다.

피해유형의 기준은 정밀점검 및 정밀안전진단의 안전등급 기분에서 긴급하게 수변구조물의 보수나 보강이 필요한 'D'등급 이하의 수변구조물 상태를 기준으로 도출하였다.

수변구조물들의 피해식별항목의 분류기준은 해당 수변구조물을 이루는 부재별로 그리고 피해유형별로 유형이 상이하였으며, 본 연구에서는 이를 영상으로 탐지 가능한 항목을 도출하였다.

또한 피해 판정기준이 1mm 이하의 매우 미세한 피해의 경우 영상으로 판독 가능한 것과 불가능한 것이 혼재되어 있어 '△'로 표시하여 구분하였다. 일부 피해유형의 경우는 판정기준이 수치화되어 있지 않고, 전문가의 육안식별에 의존하는 정성적 기준을 가지므로 이러한 경우도 '△'표시하여 구분하였다.

분석한 자료를 바탕으로 관련 전문가 자문과 수차례 내부회의를 통해 영상으로 판독이 가능하다고 판단되는 수변구조물의 피해유형, 피해 판정기준 그리고 영상 활용가능 여부를 다음 표 2.3.1과 같이 정리하였다.

표 2.3.1 영상 판독이 가능한 수변구조물 피해유형 및 기준

수변구조물	피해유형	판정기준	영상판독	요구 해상도
교량	균열	전체면적 2%~10% 이상	O	10cm
		0.3mm~0.5mm 이상	△	1cm 이하
	파손	기울기 3% 이상 변형 및 8cm이상 침하	O	10cm
	변형(침하)	전체면적 2%~10%이상	O	10cm
	침식	전체면적 2% 이상 (교대, 교각, 기초)	O	10cm
옹벽	균열	부재에 따라 0.3~5mm 이상	△	1cm 이하
	파손	전체면적 10% 이상	O	10cm
		손상면적 8㎡ 이상	O	1m
	변형(침하)	기울기 3% 이상 변형 및 8cm 이상 침하	O	5cm
	침식	전체면적 10% 이상	O	10cm
	세굴	저판 최대두께의 1/2 이상	O	10cm
댐	균열	전체 면적율 20% 이상	O	1m
		부재에 따라 0.3~0.5mm 이상	△	1cm 이하

		깊이 30~150cm 이상	O	10cm
제방	파손(침식)	비탈덮기 붕괴가 예상된 상태	△	1cm
		전체면적율 10% 이상	O	10cm
		건전부 모재두께의 20~50% 점부식	O	10cm
	변형(침하)	단차, 균열 관찰 (빗물고임)	△	1cm
		구조안전에 영향을 미칠 수 있는 상태	△	10cm
		문틀에 밀착되지 않음	△	1cm
절토사면	균열	균열 폭 5.0mm 이상	△	1cm 이하
	누수	불연속면 사이로 물방울 떨어짐	△	1cm
	파손(침식)	전체면적 8㎡ 이상	O	1m
보	균열	부재에 따라 0.3~0.5mm 이상	△	1cm 이하
		부재에 따라 2~20% 이상	O	10cm
	파손(침식)	부재에 따라 전체면적율 2~10% 이상	O	10cm
		부재에 따라 5~10mm 이상	O	1cm 이하
	변형(침하)	구조안전에 영향을 미칠 수 있는 상태	△	1cm
		부재에 따라 전체면적 2~10% 이상	O	10cm
		두께의 0.3배 이상	△	10cm
		20mm 이상	O	1cm
	세굴	기초하부 국부적 노출	O	1cm

‘△’ 표시를 한 피해기준은 추후 카메라나 위치자세 센서의 업그레이드를 통해 탐지가 가능할 것으로 기대되기 때문이며, 지침에서 규정한 균열의 기준인 0.3mm 혹은 0.5mm 등은 현실적으로 아직 탐지가 어려운 것으로 판단된다.

하지만 많은 수변구조물들의 균열, 파손, 침식 등은 전체면적율의 2~10% 등을 기준으로 하고 있으며, 사회기반시설인 수변구조물의 특성 상 면적율 단위의 피해는 cm급의 해상도를 가진 본 UAV 영상으로 충분히 탐지할 수 있다.

즉, 본 연구에서는 최소 cm급 이상으로 표현되는 수변구조물의 면적 기준 피해유형과 육안으로 식별이 가능한 수변구조물의 현저한 피해를 정량적으로 정확히 탐지하는데 중점을 둔다.

나. 대용량 다차원 데이터 처리 및 가시화 엔진 개발

(1) 대용량 다차원 데이터 처리/가시화 요구사항 분석

신속하고 효율적인 피해정보 분석을 지원하는 대용량 다차원 데이터 가시화 플랫폼(엔진) 개발을 목적으로 피해정보 분석시스템의 각 모듈에서 요구되는 데이터 관점의 기능 요구사항을 분석하여 정의하였다.

표 2.3.2 피해정보 분석시스템의 모듈별 기능 정의(데이터 관점)

세부모듈	설명	기능
피해지역 통합관리 모듈	피해 정보 분석 시스템의 메인 모듈로서 이전의 피해지역 및 신규피해지역 위치를 2차원 지도상에 표시하며 각 모듈에서 계산된 피해정보 및 최적의 접근루트 등을 2차원 혹은 3차원으로 가시화 하는 모듈	• 이전 혹은 신규 피해지역위치 2차원 도시 • 신규 피해지역의 3차원 도시 • 피해정보 및 유형 2차원 혹은 3차원으로 도시 • 최적의 접근 루트 2차원 도시
피해지역 영상 관리 모듈	피해지역의 CCTV및 UAV영상의 육안확인을 통하여 잘못된 영상을 확인하는 모듈	• 피해 지역의 영상 검색 • 피해 지역의 영상 썸네일 도시 • 피해 지역의 영상 삭제
피해정보 추출 모듈	피해지역의 영상을 기반으로 피해식별항목을 도출하여 피해정보를 추출하여 가시화 하는 모듈	• 피해식별항목 도출 • 피해정보 추출
피해정보 분석 모듈	피해 유형 및 정보를 자동/반자동/수동으로 산정	• 피해유형 및 정보 자동 산정 • 피해유형 및 정보 반자동/수동 산정 • 피해정보 분석 결과 레포트 생성
최적의 접근 루트 선정 모듈	복구 우선순위에 따라 피해 수변구조물의 위치를 선정하여 피해 유형별로 최적의 복구자원의 위치를 선정하는 모듈	• 최적의 접근 루트 계산
데이터 관리 모듈	피해지역의 영상과 피해정보를 DB서버를 통하여 입출력 관리하는 모듈	• 피해지역 영상 관리 • 피해정보 관리
대용량 다차원 데이터 가시화 모듈	피해지역의 Reference DB와 네트워크 정보를 DB서버를 통하여 입출력 관리하며 2차원 혹은 3차원으로 가시화 하는 모듈	• 2차원 지도(영상+벡터) 도시 • 3차원 지도(지형+수변구조물) 도시

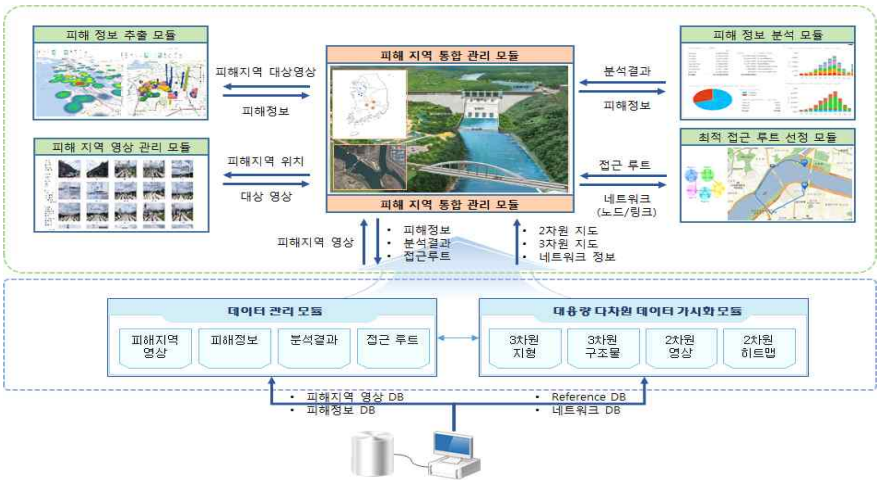


그림 2.3.1 다차원 피해정보분석 시스템의 모듈별 데이터 연계 정의

피해정보 분석시스템의 모듈별 데이터 연계 분석은 피해정보 분석시스템의 모듈별 데이터 연계 분석을 통해 네트워크를 통한 데이터베이스와 데이터간의 송/수신 기능을 분석하여 정의한다(그림 2.3.1 참조).

3차원 지형 데이터의 효율적인 가시화를 위해서는 지형 데이터의 타일맵 구축이 필요하며 구축된 타일맵은 웹서비스를 통한 연결 방법과 폴더공유를 통한 연결 방법 등 2가지 방안으로 적용이 가능하다.

3차원 수변구조물은 대용량 3차원 수변구조물의 효율적인 가시화를 위해서 LOD 단계별 메시(Mesh) 정보와 텍스처(Texture) 정보가 필요하다. LOD 단계별 메시 정보는 데이터베이스에 저장하여 관리하며, 상대적으로 용량이 커서 데이터베이스 저장에 부담이 되는 LOD 단계별 텍스처 정보는 파일로 관리하여 폴더를 공유하는 접근방식이 효율적인 것으로 분석된다.

3차원 수변구조물 데이터 구축을 위해 테스트베드 지역의 3차원 수변구조물 데이터의 구축환경에 대한 조사를 수행하였으며, 피해정보 분석시스템의 데이터 관점의 모듈별 기능 및 데이터 연계 분석 결과와 3차원 지형 및 수변구조물의 데이터 연결방법 및 구축환경 분석 결과를 기반으로 대용량 다차원 데이터 가시화 플랫폼(엔진)의 아키텍처를 설계하였다.

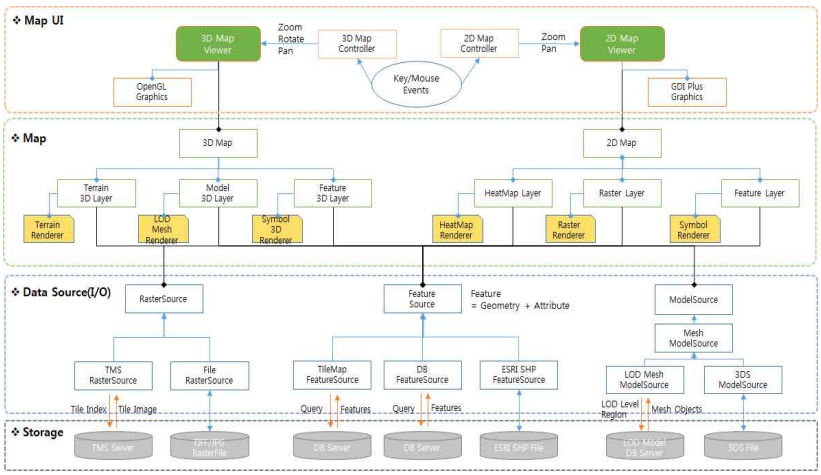


그림 2.3.2 대용량 다차원 데이터 가시화 플랫폼(엔진) 구성도

아키텍처는 크게 4개 부분으로 구성되며, Storage는 피해분석을 위한 다차원 데이터 관리, Data Source(I/O)는 데이터 시각화 및 피해분석을 위해 필요로 하는 정보를 Storage로부터 빠르게 읽고 쓰는 입출력 기능을 담당한다.

Map 부분은 대용량 영상/지형/벡터 데이터를 레이어 기반으로 관리하고 각 레이어를 효율적으로 가시화하는 렌더링 관리 기능, Map UI 부분은 입력 및 화면장치의 상호작용을 통해 사용자가 대용량 다차원 데이터를 시각화하고 피해분석을 수행하는 2차원 및 3차원 뷰어 기능을 담당한다.

(2) 대용량 영상 가시화 모듈 개발

대용량 영상 데이터 타일맵 생성 모듈은 대용량 영상을 빠르고 효과적으로 시각화하기

위해 영상의 전체영역을 일정한 타일영역으로 나누어 구조화하는 타일맵 기술의 적용이 필요하다. 타일맵은 기본적으로 2n x 2n 크기로 제작되고 타일의 레벨은 다음의 수식으로 결정된다.

$$\text{Tile Level} = Max\left(Log_2\left(\frac{Image\ Width}{TileSize}\right), Log_2\left(\frac{Image\ Height}{TileSize}\right)\right)$$

개발된 타일맵 생성 모듈에 대해 1:5,000 축척으로 제작된 9개 도엽의 영상지도 데이터(12GB)를 이용하여 성능검증을 수행하였다. 성능검증을 위한 실험조건으로 타일의 최소 크기는 256 x 256 최대 레벨은 8을 적용하였고, 이에 따라 58,002 x 72,102 크기의 원본영상에 대해 65,536 x 65,536 크기를 갖는 8단계 레벨의 타일영상이 생성되었다.

표 2.3.3 실험을 통해 생성된 8단계 레벨별 타일영상 사양

타일레벨	영상크기(pixel)	해상도(m)	폴더명	타일개수
0	256 x 256	30.72	0	1
1	512 x 512	15.36	1	4
2	1,024 x 1,024	7.68	2	16
3	2,048 x 2,048	3.84	3	64
4	4,096 x 4,096	1.92	4	256
5	8,192 x 8,192	0.96	5	1,024
6	16,384 x 16,384	0.48	6	4,096
7	32,768 x 32.768	0.24	7	16,384
8	65,536 x 65,536	0.12	8	262,144

생성된 타일영상들은 구조화된 폴더를 자동으로 생성하여 저장되며, 이러한 타일영상 저장방법은 피해분석시스템의 데이터 연결 효율성을 높일 수 있다. 대용량 영상 가시화 모듈은 대용량의 영상 데이터를 타일맵으로 접근하여 신속하고 정확하게 화면상에 도시할 수 있는 구조로 설계/구현되었으며, 개발된 모듈에서 이벤트 메시지(Event Message)에 따른 내부 인터페이스(Interface)의 상호연계 흐름은 그림 2.3.3과 같다.

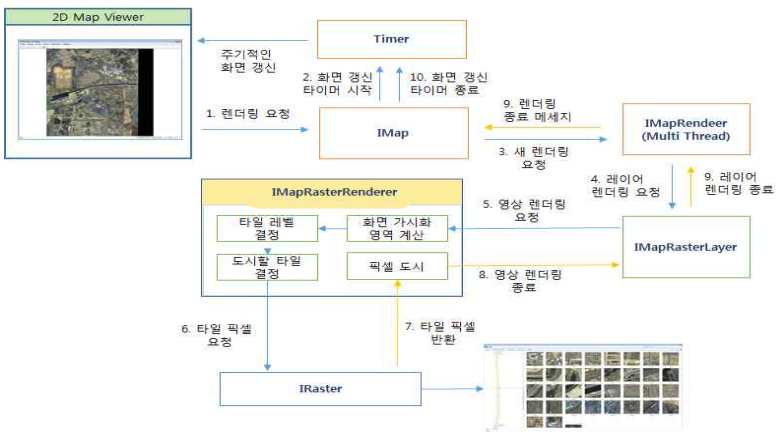
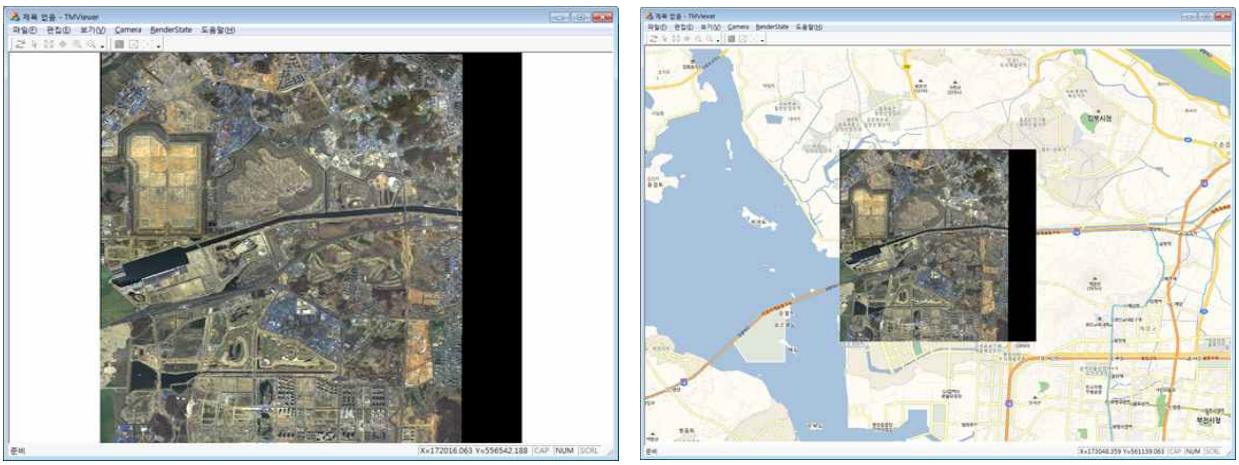


그림 2.3.3 대용량 영상 가시화 모듈 흐름도

대용량 영상 가시화 모듈 시제품(뷰어)은 타일맵 생성 모듈과 영상 가시화 모듈의 성능을 검증하기 위한 목적으로 개발되었으며, 그림 2.3.3의 좌측은 타일맵 모듈을 통해 생성된 대용량의 타일영상을 시제품을 통해 가시화한 화면이다. 시제품은 네이버 TMS(Tile Map Service) 지도와 연동되도록 구현하였으며, 이를 통해 그림 2.3.4의 우측과 같이 입력된 타일맵과 네이버지도를 중첩하여 도시함으로써 생성된 타일맵의 위치정확도 검증에 활용되었다.



<타일맵 도시> <네이버 TMS 지도 연동>

그림 2.3.4 대용량 영상 데이터 가시화 모듈(뷰어)

(3) 대용량 3차원 지형 및 수변구조물 가시화 모듈

3차원 지형 가시화 모듈은 영상의 카메라정보, 3차원 지형, 3차원 수변구조물을 관리하는 CWorld클래스를 기반으로, 지형을 표현하는 CTerrain 클래스, 3차원 구조물을 표현하는 CModelGroupLayer 클래스로 구성된다.

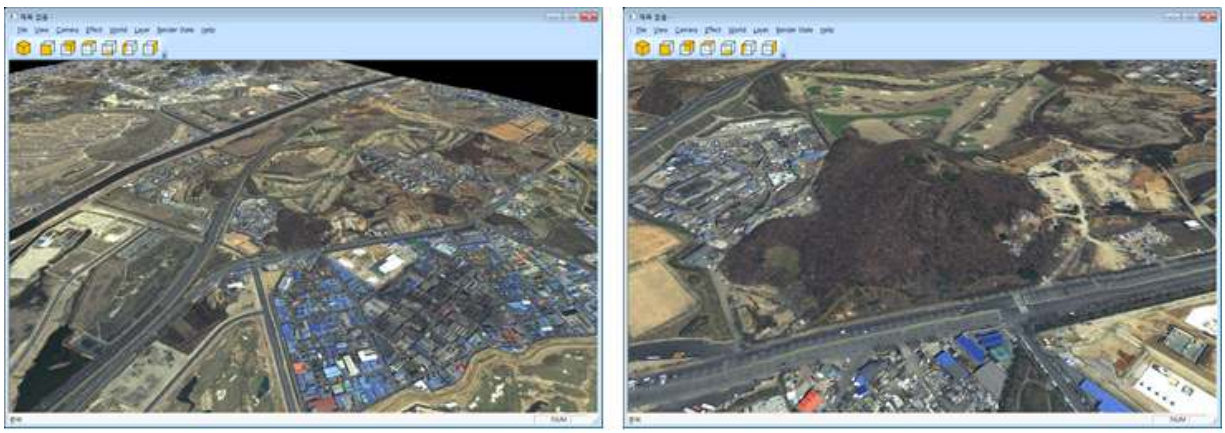


그림 2.3.5 대용량 3차원 지형 가시화 모듈(뷰어): 지형 화면도시 결과

3차원 수변구조물 가시화 모듈은 메시 정보를 갖고 있는 CMEditMesh클래스와 구조물 객체를 정의하고 있는 CMMeshGroup 클래스, 구조물 객체를 관리하는 CMGroupManager 클래

스 등으로 구성된다.

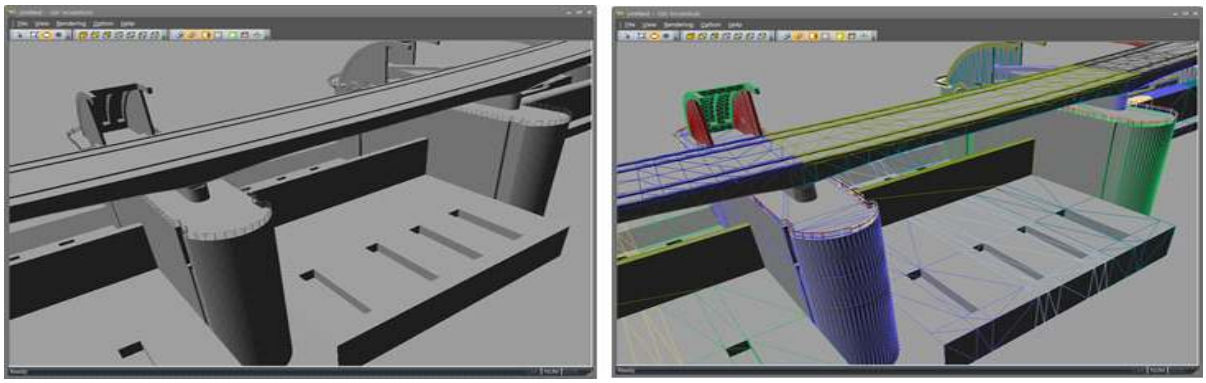


그림 2.3.6 대용량 3차원 수변구조물 가시화 모듈(뷰어) : 강정고령보 3D 모델 도시

다. 다차원 영상기반 피해탐지 기술 개발

(1) 다중영상 정합기법

다중 영상 정합기법은 스테레오 영상 조합끼리 개별적으로 영상정합을 수행한 후 나온 결과들을 하나의 3D모델로 취합하여 처리하는 방식이다. 각각의 영상 조합간의 정합을 위해서 에피폴라 영상 기반의 정합기법을 적용하였다. 3차원 정보의 취득이 완료될 경우 정밀하게 구축되는 테스트베드 레퍼런스 데이터와 피해영상과의 비교를 통한 영상기반의 피해탐지가 가능할 것으로 예상된다. 개발 기술의 신뢰성을 입증하기 위해 상용소프트웨어에 탑재되어있는 알고리즘들과 비교하여 성능 검증을 완료하였다. 성능검증은 각 알고리즘별 생성된 DSM과 레퍼런스 DSM과의 높이차이의 RMSE 값으로 산출하였으며, 다음 그림 2.3.7에서 가장 우측의 결과가 본 과제에 적용된 정합기법을 사용한 결과이다. 결과를 보면 개발된 영상정합 기술이 육안으로 볼 경우와, 실제 정확도를 분석한 결과 모두에서 높은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

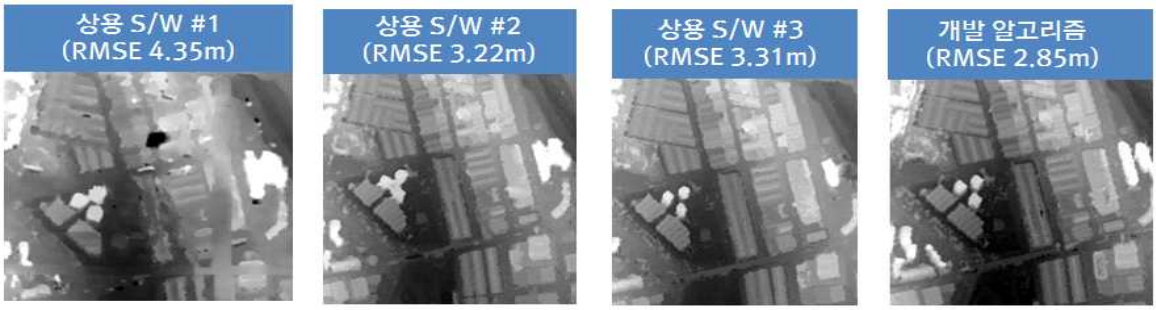


그림 2.3.7 알고리즘 별 DSM 생성 결과 테스트

개발된 스테레오 영상정합기술을 적용하기 위해 UAV에서 취득된 두 종류의 데이터 셋을 사용하였다. 각 영상별 세부 내용은 다음 표 3.11.17과 같다. 센서모델을 수립하기 위해 주

어진 외부표정요소(Exterior orientation parameters)는 지상기준점과 상용 소프트웨어를 사용하여 조정하였다.

표 2.3.4 UAV 테스트 영상 속성

ID	Test1	Test2
지형	건물	다리
영상크기	4912x3264	4800x3200
영상 개수	48	10
촬영 고도	75m	120m
영상 해상도 (GSD)	1.5cm	2.5cm
촬영 영역	50m x 39m	105m x 70m

UAV 영상의 경우 cm 급의 공간 해상도를 가지고 있으므로, 텍스처가 존재하지 않는 지역, 움직이는 사물, 반복패턴의 구조물들이 항공사진이나 위성영상에 비해 많이 발견된다. 이는 오정합의 원인이 되므로 반복패턴이나, 움직이는 사물의 영향을 줄이기 위한 최적의 정합 파라미터를 도출하는 것이 중요하다.



그림 2.3.8 UAV 영상 샘플

첫 번째 방안으로 영상 크기를 축소시켜 처리하는 방법을 적용하였다. 다음 표 2.3.5는 영상 축소 비율에 따른 정합 성공률 및 처리시간을 나타낸 것이다. 영상을 많이 축소될수록 정합률은 높아지고, 처리시간은 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 정합성공률이 높아지는 것은 영상이 축소되어 상대적으로 텍스처가 없는 지역이 줄어들게 된 영향으로 판단된다.

표 2.3.5 영상 축소 비율에 따른 정합 성공률 및 처리시간

축소비율	Test1	Test2
8배 축소	92.5%, 0.17msec	93.7%, 0.29msec
4배 축소	81.7%, 0.31msec	90.2%, 0.23msec
2배 축소	75.3%, 0.52msec	80.3%, 0.33msec

다음 그림 2.3.9는 각 테스트 영상들을 이용해 생성된 DSM 결과이다.



그림 2.3.9 테스트영상과 2배 축소된 DSM 생성결과

두 번째 실험으로 영상간의 유사도를 비교하기 위한 탐색영역(Patch)의 크기를 13 x 13 픽셀에서 37 x 37 픽셀 크기로 변경시켜 가며 DSM을 생성하고 정합 성공률을 비교해 보았다. 결과는 다음 표 2.3.6과 같다.

표 2.3.6 탐색 영역 크기에 따른 정합 성공률 및 처리시간

탐색 영역 크기	Test1	Test2
13 x 13	42.9%, 0.14msec	53.3%, 0.09msec
17 x 17	67.1%, 0.16msec	79.5%, 0.12msec
21 x 21	77.5%, 0.23msec	87.0%, 0.17msec
25 x 25	81.7%, 0.31msec	90.2%, 0.23msec
29 x 29	74.1%, 0.30msec	91.;9%, 0.30msec
33 x 33	77.6%, 0.29msec	92.8%, 0.38msec
37 x 37	79.6%, 0.35msec	93.2%, 0.47msec

결과를 통해 탐색영역이 커지면 처리시간이 더 오래 걸리고 정합률이 높아지는 것을 확인할 수 있다. 그러나 Test1과 Test2에서 탐색영역으로 인해 발생하는 경향은 다르게 나타나는데 Test2의 경우, 탐색영역이 커질수록 정합률도 함께 높아졌으나, Test1의 경우 탐색영역이 커졌는데도 오히려 정합률이 떨어지는 현상이 발생하였다.

다중영상정합을 위해 스테레오 영상 정합기술을 응용하여 관심영역을 설정하고 이 영역내에 들어가는 모든 영상들을 이용하여 영상정합을 수행하였다.

다중영상처리를 위해서는 2장 이상의 영상에서 최적의 정합 쌍을 찾는 과정이 필요하며, 3D모델을 생성하기 위한 다중영상 정합 기법은 다음과 같은 순서로 수행된다.

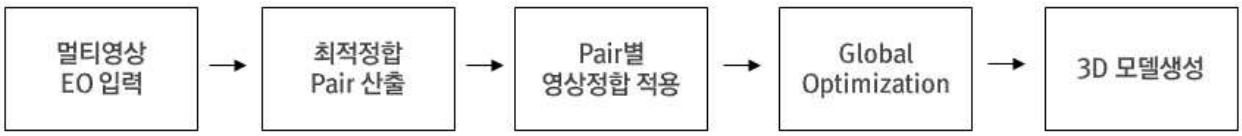


그림 2.3.10 다중영상정합 기법

최적의 정합쌍은 관심영역, 중복도 및 Convergence Angle 즉 두 영상이 이루는 각도를 계산하여 구해진다. 정합을 위한 최적의 정합쌍이 구해지면 각 정합쌍 별로 영상정합을 수행한다. 모든 정합쌍에서 영상정합이 완료되면 각각의 DSM이 추출된다. 추출된 정합 결과들을 하나의 결과로 결합하고, 관심영역전체에 대한 최적화, 보간(interpolation)작업을 수정하여 최종적인 3D모델을 생성한다. 그림 2.3.11은 개별 스테레오 영상 처리결과이며, 좌상단 오류들을 제외하면 대부분 지역에서 성공적으로 영상의 정합이 이루어짐을 확인할 수 있다.

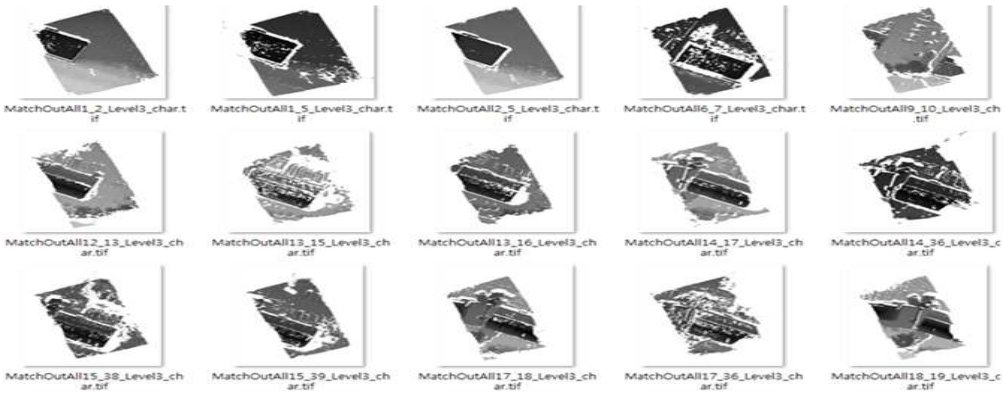


그림 2.3.11 개별 스테레오 영상 처리결과 (해상도 : 12.5cm, Interpolation/TIN 구성 이전)

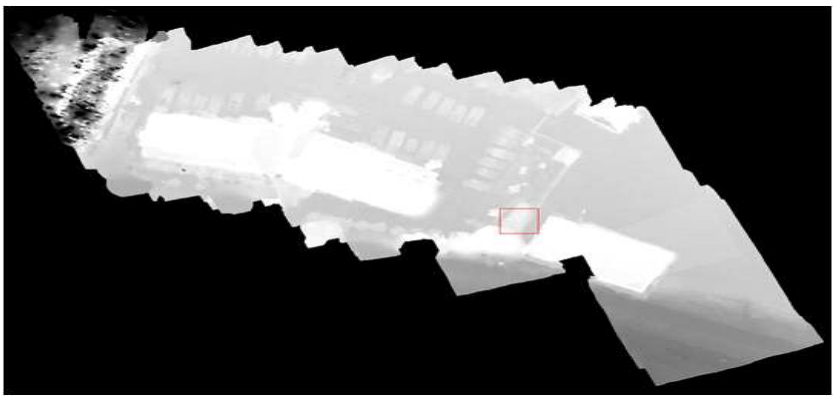


그림 2.3.12 생성된 DSM (총 사용영상:38장, 해상도:12,5cm)

Test2 데이터 셋의 경우, Test1에 비해 정합 결과가 좋지 않았다. 그 이유로 영상의 위치/자세정보인 EO값이 잘 설정되어 있지 않은 것을 들 수 있다. 이를 해결하기 위해 각각의 영상에서 수동으로 공액점을 취득하여 영상들의 상대표정을 수행하였다. 이렇게 생성된 DSM 결과는 다음 그림 2.3.13과 같다.

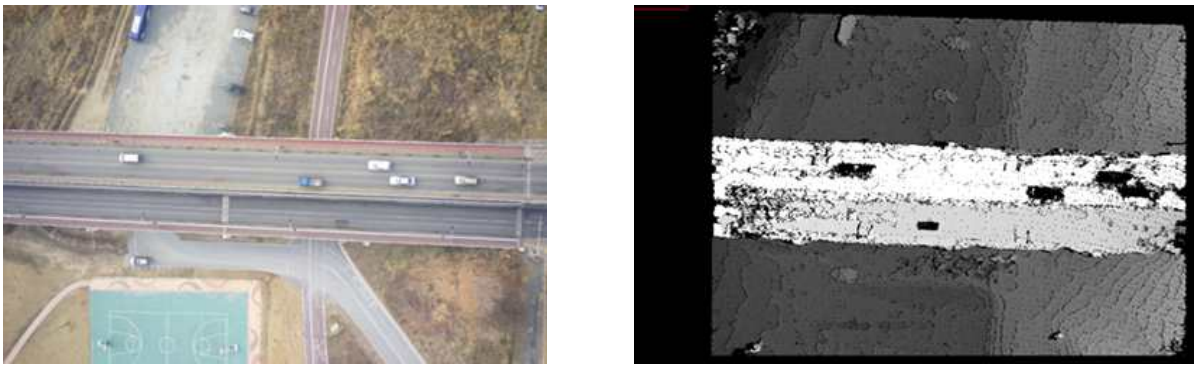


그림 2.3.13 수동 공액점으로 EO값을 수정한 Pair 처리결과

(2) 일반 카메라(CCTV) 영상에서의 기술적용 결과

실제 수변구조물들은 가정하여 영상정합기술을 일반 카메라에서 취득된 구조물 영상에 적용시켜 보았으며, 탐색 공간 제한 조건은 다음과 같다.

① 스테레오 영상간의 Convergence angle을 이용한 제한

② 탐색 영역을 영상 크기의 1/2로 제한 (예: -500픽셀~ 500픽셀)

③ ROI(관심영역) 마스크를 추가로 적용하여 탐색 공간을 제한함

다음 그림 2.3.14는 휴대용 카메라에 취득된 구조물 영상을 이용하여 영상정합을 수행한 후 그 결과를 나타낸 것이다.



그림 2.3.14 일반 카메라 영상을 활용한 정합결과

정합 결과를 보면 일반 카메라에서 취득된 영상으로도 특정 건물의 3차원 정보의 추출이 가능함을 확인할 수 있다. 구조물의 형태나 깊이 등이 성공적으로 나타났으며, 이를 통해 개발된 정합기술이 UAV영상 외에도 지상영상에 적용도 가능함을 알 수 있다.

2. Test Bed내 수변구조물 Reference 데이터 구축

가. 테스트베드 지역에 대한 3차원 Reference 데이터 구축

다차원 피해정보분석 시스템에서 활용하는 피해영상 탐지 알고리즘을 검증하기 위하여 본 연구에서는 강정고령보, 사문진교를 포함하는 일대를 테스트베드 지역으로 선정하여 3차원 Reference 데이터를 구축하였다.

(1) 디지털 항공사진측량을 통한 정사영상 제작

테스트베드 지역의 정사영상을 제작하기 위하여 촬영계획을 수립하고 항공사진 촬영을 수행하고, 정사영상을 제작하였다. 정사영상 제작을 위한 항공사진측량 공정은 다음 그림 2.3.15와 같다.

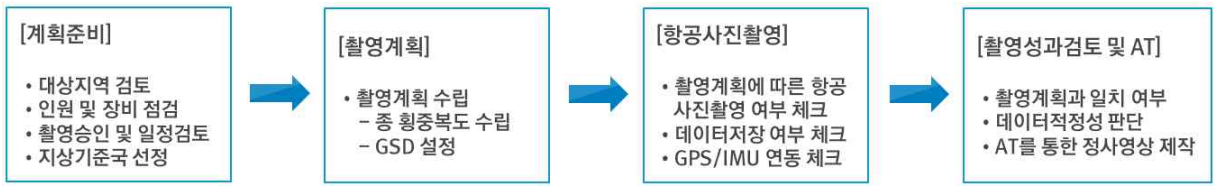


그림 2.3.15 항공사진측량 공정

취득된 데이터는 GPS/INS에 의한 외부표정요소를 얻어 영상과 초기 EO값을 바탕으로 항공삼각측량(Aerial Triangulation)작업을 수행하여 정사영상 제작을 진행하였다.



〈테스트베드 지역 정사영상〉 〈강정고령보〉 〈사문진교〉

그림 2.3.16 테스트베드 지역 정상영상 성과물

구축한 정사영상은 지상기준점 측량으로 정확도를 평가하였으며, 결과는 표 2.3.7과 같이 RMSE 23.9(cm)이며, 이는 1/1000 축척을 기준으로 매우 정확한 결과를 보여준다.

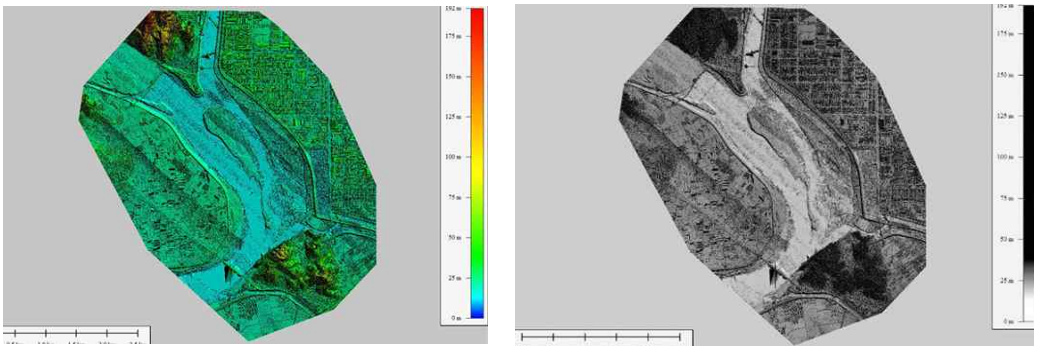
표 2.3.7 정사영상 검수표

(단위 : m)

점번호	지상기준점		정사영상점		잔차	
	X	Y	X	Y	X-X1	Y-Y1
TL01	150103.671	360355.840	150103.603	360356.016	0.068	-0.176
TL05	153540.101	360925.108	153539.878	360925.295	0.223	-0.187
TL06	154089.163	360473.928	154088.978	360474.137	0.186	-0.210
TL07	154282.970	359353.601	154283.092	359353.461	-0.123	0.140
TL08	154713.466	358120.625	154713.653	358120.400	-0.187	0.224
TL10	154177.164	356620.519	154177.138	356620.544	0.026	-0.025
TL11	152614.732	356021.102	152614.756	356021.024	-0.024	0.078
TL12	152484.313	356727.635	152484.449	356727.459	-0.136	0.176
TL13	151329.544	357266.388	151329.197	357266.574	0.347	-0.185
TL14	151051.059	358466.426	151051.221	358466.370	-0.162	0.056
TL15	150850.114	359314.444	150850.070	359314.555	0.044	-0.111
TL16	150016.660	359772.172	150016.805	359771.996	-0.145	0.176
				평균값	0.207	0.052
				최대값	0.393	0.155
				최소값	0.036	0.001
				표준편차	0.239	

(2) 항공라이다 측량을 통한 DSM 제작

테스트베드 지역의 DSM(Digital Surface Model)을 제작하기 위하여 스캐닝 중복율을 50% 이상으로 설정하여 항공라이다 촬영을 수행하였다. 촬영 데이터는 필터링, 분류를 거쳐 좌표 보정을 실시하고 50cm급의 DEM 및 DSM을 구축한다. 처리된 데이터는 3차원 점 형태로 추출되며, 오차점을 제거하고 그림 2.3.17과 같이 DSM을 구축하였고, 기준점 측량 성과의 검사점을 통한 정확도 평가를 수행하였다.



<대상지역 DSM> <대상지역 음영기복도>

그림 2.3.17 테스트베드 지역의 DSM과 음영기복도

표 2.3.8 항공라이다 원시자료 검수표

(단위: m)

점이름	구분	기준점/검사점 좌표			레이저측량	H-Z
		X	Y	타원체(H)	타원체고(Z)	(m)
FG0001	기준점	152842.37	357104.23	49.97	49.88	0.09
FG0002	기준점	152798.61	357048.93	49.92	49.80	0.12
FG0003	기준점	152677.79	357129.38	46.79	46.72	0.06
FG0004	기준점	152732.43	357191.09	47.07	47.01	0.06
FG0005	검사점	152849.54	357056.02	57.22	57.14	0.08
FG0006	기준점	152720.89	357160.80	57.91	57.89	0.02
FG0007	기준점	152615.43	357246.96	58.18	58.10	0.08
FG0008	기준점	152474.91	357361.24	58.15	58.06	0.09
FG0009	기준점	152333.96	357475.86	57.72	57.61	0.11
FG0010	기준점	152238.59	357553.85	57.11	56.98	0.13
FG0011	검사점	152278.35	357582.28	55.77	55.69	0.08
FG0013	기준점	152270.80	357455.85	48.56	48.47	0.09
FG0014	기준점	152197.67	357501.89	55.47	55.29	0.18
FG0015	기준점	152224.24	357541.75	60.39	60.30	0.09
FG0016	검사점	152368.76	357423.85	61.52	61.40	0.12
FG0017	기준점	152438.68	357366.90	61.86	61.73	0.13
FG0018	기준점	152544.57	357280.65	62.05	61.93	0.12
FG0019	기준점	152652.80	357192.52	61.74	61.62	0.12
FG0020	기준점	152741.91	357119.83	61.19	61.10	0.09
FG0021	기준점	152836.91	357042.90	60.53	60.46	0.07
FG0022	검사점	152868.54	357062.22	53.95	53.82	0.13
FG0023	기준점	152311.74	357422.85	44.73	44.58	0.15
FG0024	기준점	152443.90	357442.14	43.93	43.75	0.18
FG0025	기준점	152378.56	357684.87	50.39	50.29	0.10
FG0026	기준점	152490.63	357859.96	50.00	50.18	-0.18
FG0027	검사점	152502.95	358428.09	50.76	51.07	-0.31
FG0028	기준점	152179.22	358978.35	43.40	43.71	-0.31
FG0029	기준점	151897.31	359267.44	45.00	45.24	-0.24
FG0030	검사점	151531.93	359771.83	45.20	45.28	-0.08
FG0031	기준점	150869.16	360117.68	44.60	44.83	-0.23
FG0032	기준점	152240.89	360729.07	47.84	48.07	-0.23
FG0033	기준점	152240.01	360664.65	47.92	48.05	-0.13
FG0034	기준점	152339.08	360454.68	47.79	47.93	-0.14
FG0035	기준점	152912.99	360061.78	48.76	48.88	-0.12
FG0036	검사점	153185.80	359793.48	49.08	49.13	-0.05
FG0037	기준점	153592.82	359343.31	48.69	48.85	-0.16
FG0038	기준점	153809.32	358661.27	48.45	48.43	0.02
분 석		최대			0.18	
		최소			(0.31)	
		평균			0.01	
		표준편차			0.15	
		RMSE			0.15	

현재 국토지리정보원에서 규정하는 항공라이다의 재측량 기준은 평균제곱근오차(RMSE)가 25cm이며, 본 연구에서 구축한 결과물인 원시자료는 RMSE 1.5cm로 매우 정확한 결과를 보여주었다.

(3) 정밀 3차원 수변구조물 데이터 제작

다차원 피해정보분석 시스템 피해영상 정합 및 분석모듈 결과를 검증하기 위한 테스트베드 지역의 수변구조물(강정고령보, 사문진교) 정밀 3차원 데이터를 구축하였다.

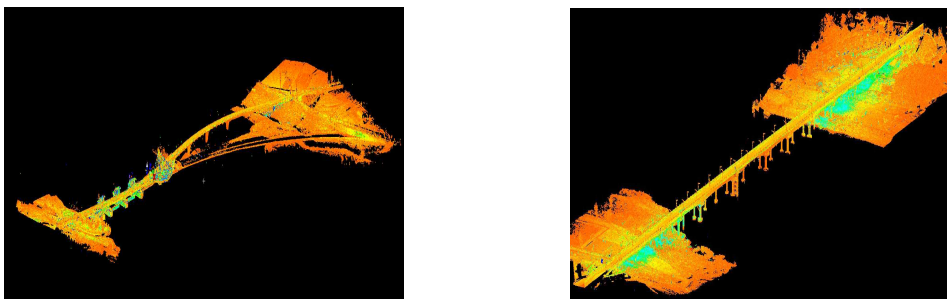
구축되는 수변구조물 정밀 3차원 데이터는 실제와 거의 유사하게 구축되며, 해당 수변구조물의 설계도면, 지상스캐닝 자료 그리고 텍스처링 작업을 통해 구축된다.

수변구조물의 정밀 3차원 데이터 구축 프로세스는 다음 그림 2.3.18과 같다.



그림 2.3.18 수변구조물 정밀 3차원 데이터 구축 프로세스

지상라이다는 수변구조물의 상세 모델링을 위하여 근접 스캐닝을 수행하였으며, 강정고령보와 사문진교 일대 193개 지점을 스캐닝하였다. 스캐닝된 지상라이다 데이터들은 각 인접 영상 두 장씩 접합하는 과정을 거치며, 상용 S/W의 ICP(Iterative Closest Point)알고리즘을 통해 자동정합을 수행하게 된다. 모든 접합된 데이터들은 하나로 연결하여 하나의 3D Pointcloud 데이터로 구축되며, 본 연구에서 구축한 테스트베드 지역의 지상라이다 결과물은 다음 그림 2.3.19와 같다.

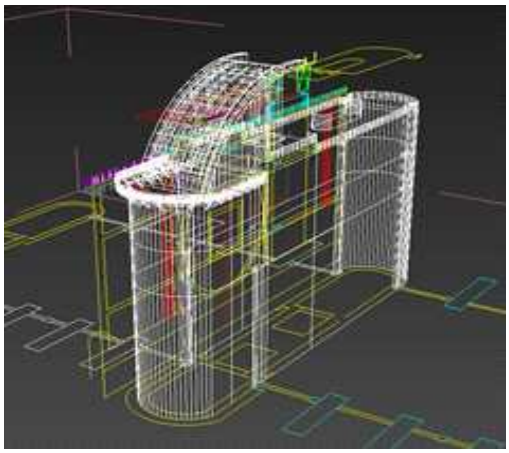


<강정고령보> <사문진교>

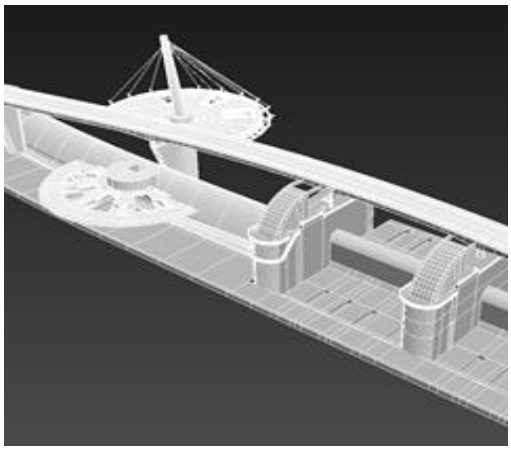
그림 2.3.19 지상라이다 데이터 구축 성과물

취득된 지상라이다는 정합이 완료된 최종 데이터와 실제 측량한 GPS기준점 좌표 15점과 비교하여 X, Y, Z 위치오차를 비교하여 정확도를 측정하였으며, 1cm 이하의 매우 우수한 결과를 보여주었다. (* XYZ 평균오차 : 0.886cm, 0.568cm, 0.720cm)

동시에 수변구조물의 설계도면을 활용하여 테스트베드 구조물의 각 구성요소에 대한 정밀 3차원 모델링을 수행하였다.



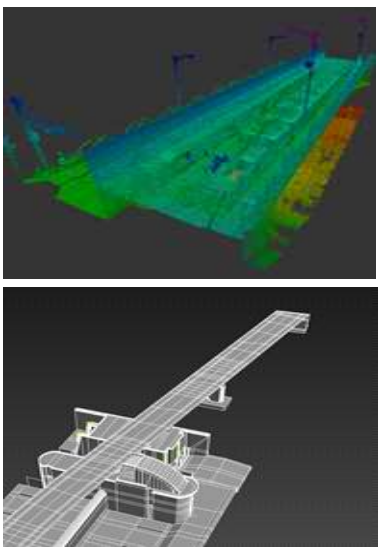
<설계도면 기반 수변구조물 구성>



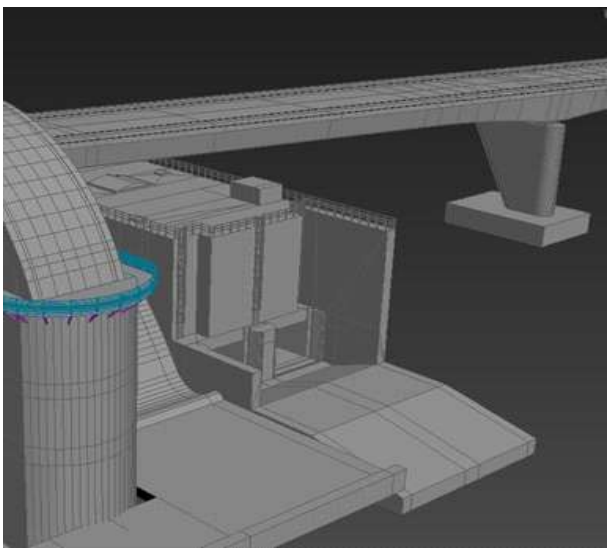
<설계도면 기반 3D 모델링>

그림 2.3.20 설계도면 기반 수변구조물 모델링(강정고령보)

취득한 지상라이다 데이터와 설계도면 기반 3차원 모델 비교 분석을 통해 보다 정확하고 상세한 모델링 데이터를 구축하였다.



<지상라이다와 설계도면 모델링 매칭>



<정확도가 확보된 3D 모델링>

그림 2.3.21 지상라이다와 설계도면을 활용한 모델정확도 확보

실사와 유사한 정밀 3차원 모델을 만들기 위하여 텍스처링 작업을 수행하였으며, 텍스처

는 현장에서 촬영한 사진을 편집하여 새로운 이미지로 제작하였다.

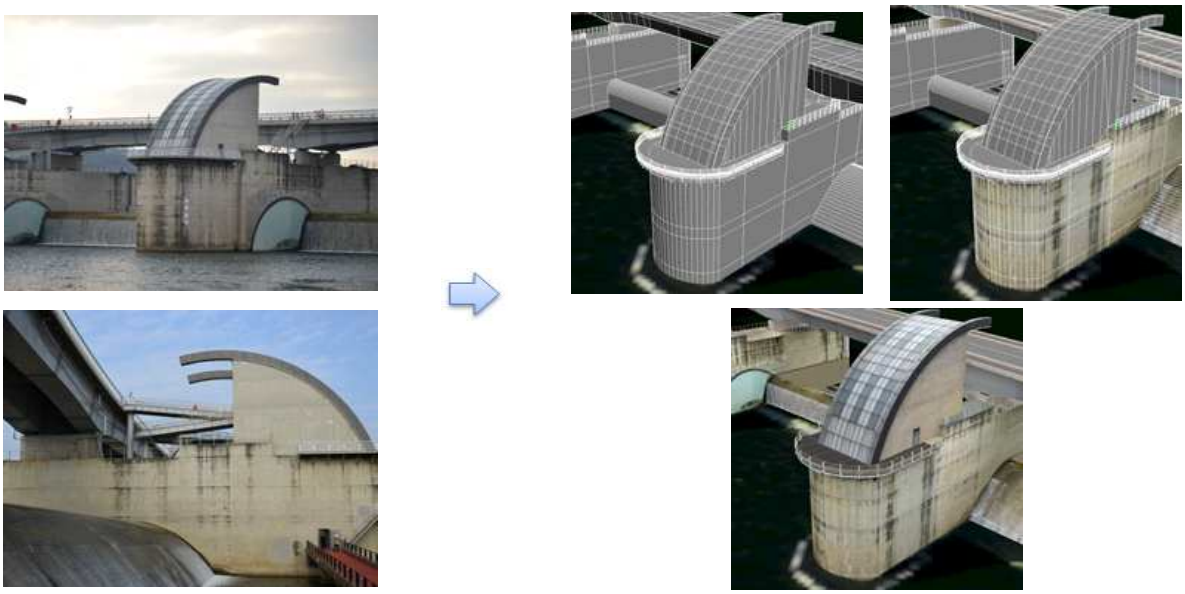


그림 2.3.22 현장사진을 활용한 테스트베드 텍스처링

텍스처링 작업을 거쳐 최종적으로 수변구조물의 3차원 데이터를 구축하게 되며, 그림 2.3.23은 본 연구에서 실제와 유사하게 제작한 강정고령보의 Reference 데이터이다.



그림 2.3.23 정밀 3D 수변구조물 데이터 제작 성과(강정고령보)

3. 실시간 피해정보 분석 파일럿 시스템 개발

가. 다차원 영상기반 피해정보추출 기술개발

(1) 피해정보추출 정의

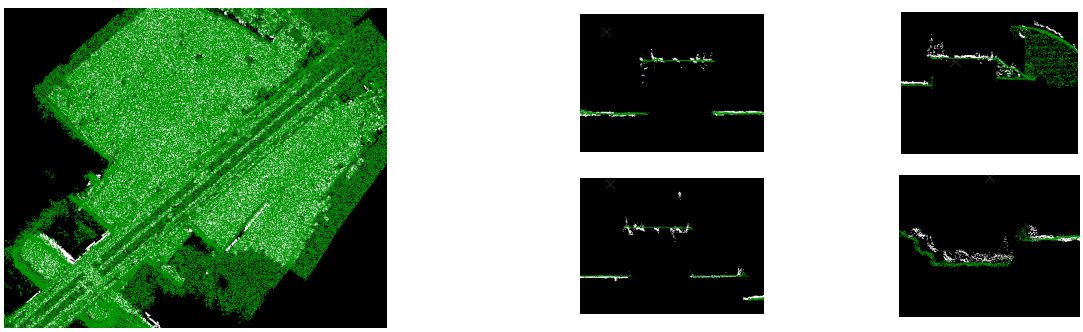
다중영상매칭을 통해 추출되는 3차원 객체는 레퍼런스 데이터와 비교를 통해 형상 변화 영역을 추출하며, 비교를 위해 3차원 객체를 추출하는 단계가 매우 중요하다. 피해정보는 정확한 다중영상매칭 결과와 사전에 구축한 동일 영역의 참조 데이터 비교를 통해 추출되며, 두 데이터의 높이 차가 피해 영역으로 판별된다.

(2) 다중영상매칭 기술개발

다중영상매칭은 연속으로 촬영된 영상을 이용하여 영상들 간의 상대적인 관계와 기하학적인 특성을 고려하여 3차원 형상을 재현하는 기법으로, 본 연구에서는 Feature based 매칭 방식을 채택하여 영상 내의 에지(edges), 코너 (corners)와 같은 고유 형상들을 추출하는 방법론을 적용하였다.

다중영상매칭은 컴퓨터비전, 영상처리 분야에서 우수한 성능을 보이는 SIFT, Bundler, PMVS ver.2 등의 알고리즘들을 조합하여 영상매칭을 수행하게 된다. 점군 데이터를 구성하는 각 매칭점은 여러 개의 영상에 대한 영상좌표와 하나의 상대 공간좌표를 갖는다. 특정 매칭점에 대한 공액점(conjugate point)과 외부표정요소를 이용하여 공간전방교회법(space intersection)을 적용하면 공간상의 3차원 좌표를 계산할 수 있다.

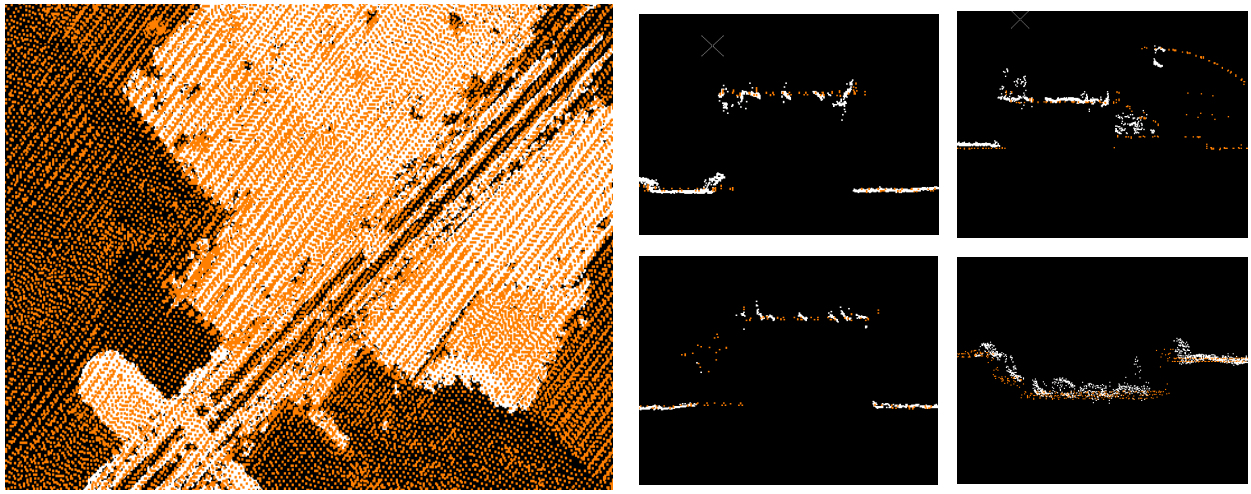
다중영상매칭 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 테스트 베드 지역인 강정고령보를 촬영한 UAV영상을 사용하여 실험을 진행하였다. 사용한 영상은 중복 영상 16장이며, 촬영고도는 100m이다. 외부표정요소를 GCP를 이용하여 정확히 보정하였으며(서울시립대학교 LSM 연구실 제공), 가장 널리 활용되는 상용 소프트웨어인 Agisoft사의 PhotoScan Pro의 프로세싱 결과와 비교하였다. 테스트 결과, 두 데이터는 일부 비매칭 영역이나 오류영역의 경우를 제외하고 수평·수직 위치오차가 대체로 20-30cm 이내로 분석되었다.



비교 도시(Top view)　　단면 비교 도시(Section view)

그림 2.3.24 다중영상매칭과 상용 S/W 결과 비교 (다중영상매칭 - 흰색, PhotoScan 결과 - 녹색)

상용 S/W와의 비교와 더불어 다중영상매칭 결과의 위치오차를 검증하기 위하여, 정밀하게 측량된 참조데이터인 항공라이다 성과와 비교하였다.



비교 도시(Top view)　　단면 비교 도시(Section view)

그림 2.3.25 다중영상매칭과 참조데이터 비교 (다중영상매칭 - 흰색, 참조데이터 - 노란색)

정밀하게 후처리된 참조데이터와 비교하면 매칭결과는 일부 비매칭영역이 발생하나, 이 실험에서도 역시 수평수직 위치오차는 20~30cm 이내로 분석되었다.

개발된 다중영상매칭 방법론은 촬영 영상의 품질과 외부표정요소 정확도에 좌우된다는 한계는 가지고 있으나, 수변구조물의 일정규모 이상 파손이나 제방 유실과 같은 피해를 탐지하는 목적에 매우 부합한 것으로 검증되었다.

(3) 객체기반 매칭 기술 개발

객체기반매칭 기술은 피해가 발생한 수변구조물을 측면에서 근접 촬영하는 경우, 비행체의 불안정 등으로 다소 부정확한 외부표정요소를 가지는 UAV영상의 위치 및 자세를 보정하는 방법론이다.

측면에서 근접 촬영된 UAV영상은 자체적으로 가진 외부표정요소를 이용하여 동일하게 중첩되는 영역의 3차원 객체모델을 검색·로딩한다. 두 데이터는 동시에 에지(Edge) 매칭을 수행하여 영상과 객체모델에서 동일 에지들을 탐색하여, 추출된 에지를 기준으로 측면 영상의 위치를 보정한다. UAV 영상은 객체모델을 기준으로 이동(shift), 회전(rotation)을 수행하는 형태로 정밀하게 위치가 보정된다.

3차원 객체모델에는 정확한 좌표가 내재되어 있으므로 객체의 특징점 좌표를 기준점으로 사용하여 측면 영상의 6개 외부표정요소는 공선조건에 의한 공간 후방교회법을 이용하여 계산된다. 알고리즘에서는 3점 이상의 기준점 좌표를 이용, 최소제곱법에 의하여 측면 근접

영상의 외부표정요소들을 산출한다.

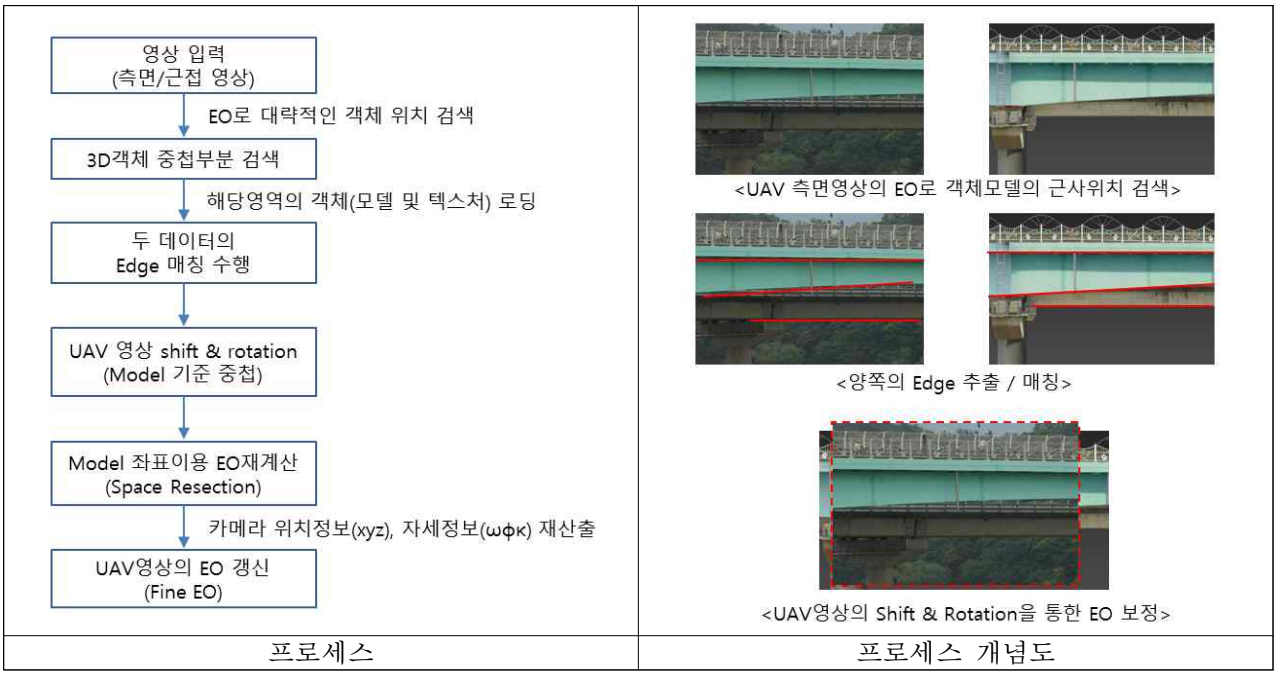


그림 2.3.26 객체기반매칭 프로세스

나. 다차원 피해정보 분석 파일럿 시스템 개발

(1) 요구기능 정의

수변구조물의 피해를 분석하기 위한 방법론들을 개발하고 이를 직접 시스템 형태로 구현하기 위한 요구기능을 정의하였다.

표 2.3.9 다차원 피해정보분석 시스템 요구기능정의

피해정보 관리 & 가시화			
단위 기능	**세부 기능**	**세세부 기능**	**기능 설명**
데이터 수신 & 관리	메타데이터 수신		■ 서버로부터 메타데이터 요청 및 수신
	데이터 수신		■ 서버로부터 피해(영상) & 참조데이터 요청 및 수신
	과거 분석데이터 수신		■ 서버로부터 과거 피해이력자료 요청 및 수신
	데이터/정보 관리 (File DB)		■ 메타데이터, 참조데이터, 분석데이터 등 관리
데이터 레이어 관리	Reference 레이어 관리		■ 참조데이터를 분류하여 레이어 관리
	피해 전/후 영상 레이어 관리		■ 피해 전후 영상데이터를 분류하여 레이어 관리
	데이터 속성정보 나열		■ 참조데이터 및 피해 전후 데이터의 속성정보 나열
	피해분석결과 나열		■ 피해분석 결과에 대한 정보들을 나열
데이터 도시	입력 데이터	영상	■ UAV영상, CCTV영상, 정사영상 데이터 도시
		수치지도	■ 수치지도 데이터 도시

	도시	포인트 데이터	■ 포인트 데이터 도시
		모델링 데이터	■ 3D 모델링 데이터 도시
	중첩 도시	피해 후 영상중첩	■ 참조데이터, 영상데이터 및 Footprint 중첩 도시
		DSM 중첩	■ 점 데이터와 DSM을 비교하여 도시
		중복영상 중첩	■ 피해 전후의 영상들을 비교하여 도시
		객체모델 중첩	■ 영상과 3D 객체모델을 비교하여 도시
	속성정보 도시	속성정보 도시	■ 선택 데이터들의 속성정보 도시
	피해분석결과 도시	피해분석 화면도시	■ 피해분석 결과(3D 폴리곤, 최적접근루트, 피해복구 우선순위 등) 화면 도시
		피해분석 Report 도시	■ 피해위치(좌표), 피해영역의 길이, 면적, 부피 등 도시
	화면 제어	2D 도시 및 제어	■ 화면 이동, 회전, 확대, 축소 등
		3D 도시 및 제어	■ 화면 이동, 회전, 확대, 축소 등
데이터 검색	관심 데이터 검색		■ DB에서 관심지역의 데이터 검색 (좌표 이용)
피해정보 리포트	피해정보 리포트 출력		■ 피해분석결과 보고서 출력 (특정 포맷)
분석 시나리오 결정	피해정보 분석 시나리오 결정		■ 메타데이터 기반으로 분석시나리오 결정
피해정보 분석			
피해정보 자동분석	정밀 EOP 결정		■ 객체기반매칭 수행
	다중영상매칭	다중영상매칭	■ 다중영상매칭으로 점 데이터 생성
		과대오차 제거	■ 매칭 결과에서 과대오차(Outlier) 제거
	DSM 생성		■ 점 데이터를 통해 DSM을 생성
피해정보 수동분석	영상 검색		■ 입력 좌표와 일자를 이용한 영상 검색
			■ 사용자 육안식별을 통한 영상 검색
피해정보 추출	자동 변화탐지		■ 점 데이터와 DSM 비교를 통한 변화영역 추출
	영상기반 변화탐지	영상 상호 위치보정	■ 영상 기반의 변화탐지 수행을 위해 영상의 상호 위치를 보정
		변화탐지	■ 영상들 간의 비교를 통한 변화영역 추출
	객체기반 변화탐지	객체 영상투영	■ 영상을 3D 객체에 투영
		변화탐지	■ 영상과 3D 객체모델 비교를 통한 변화영역 추출
피해정보 측정			
피해정보 측정	피해유형 및 위치정보 결정		■ 피해정보 분석을 위해 피해유형 및 위치정보 결정
	피해지역 폴리곤 생성	자동 생성	■ 정량적인 피해분석 정보 도시를 위한 폴리곤 생성
		수동 생성	■ 사용자가 수동으로 선과 다각형을 생성
	정량적 피해정보 계산		■ 정량적인 피해정보의 계산 (넓이, 부피, 좌표 등)

(2) 다차원 피해정보 분석 시스템 설계

요구기능정의와 사전에 기획한 피해정보분석 시나리오를 반영하여 실제 시스템 구축을 위한 시스템 프로세스를 설계하였으며, 시스템 상에서의 작업흐름은 자동 피해분석과 사용자의 수작업이 개입된 피해분석 두 가지 형태로 진행된다.

자동 피해분석은 입력된 피해지역의 영상을 대상으로 다중영상매칭을 수행하며, 매칭 결과는 3차원 점군 데이터로 추출된다. 추출된 점군 데이터는 동일 영역의 참조 데이터와 변화탐지를 수행하게 되며, 변화탐지 결과 형상변화 영역을 추출하여 피해로 인한 변화지역을 탐지한다. 변화지역으로 탐지된 부분의 추출 데이터는 해당 지점의 위치좌표, 면적, 부피 등의 정량적 값을 계산하여 최종적으로 피해정보를 분석하게 된다.

입력된 영상의 품질이나 외부표정요소의 정확도에 따라 다중영상매칭이 수행되지 않는 데이터의 경우는 객체기반매칭을 수행하여 다중영상매칭이 가능한 영상으로 제작한다.

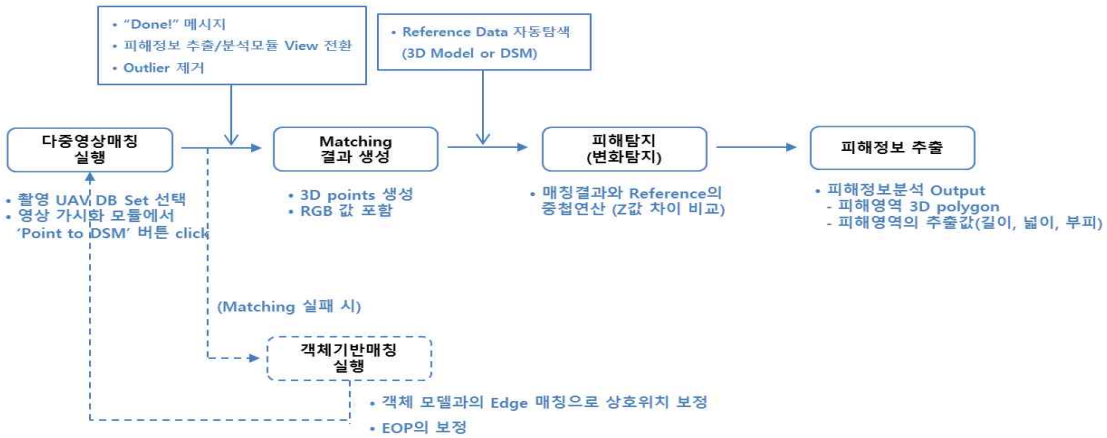


그림 2.3.27 자동 피해정보분석 프로세스

시스템에서는 다중영상매칭이 어려운 입력 영상을 고려하여 사용자 개입에 의한 수동 및 반자동 프로세스를 고려하였다. 사용자는 입력영상에서 피해로 의심되는 특정 영상과 인접 중복영상을 선택하여 수작업으로 피해영역을 직접 그리게 되며, 사용자에 의해 그려진 영역은 내부적으로 피해정보를 계산한다. 또 다른 방법으로는 중복영상이 아닌 과거 정사영상, 3D 객체모델의 텍스처영상 등을 이용하여 영상기반 피해분석을 수행하며 프로세스는 그림 2.3.28과 같다.

요구기능정의와 시스템 프로세스를 고려하여 다차원 피해정보분석의 시스템 아키텍처는 그림 2.3.29과 같이 설계하였다.

수변구조물에 피해추출 활용 시나리오 관점을 기준으로 다음과 같이 세부 모듈로 구성하였으며, 세부모듈의 설명 및 기능은 다음 표 2.3.10과 같다.

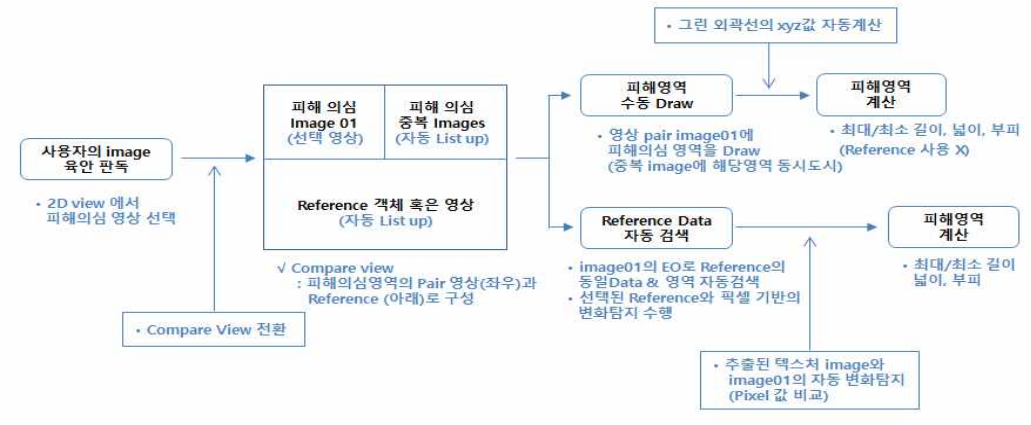


그림 2.3.28 사용자 개입이 포함된 피해정보분석 프로세스

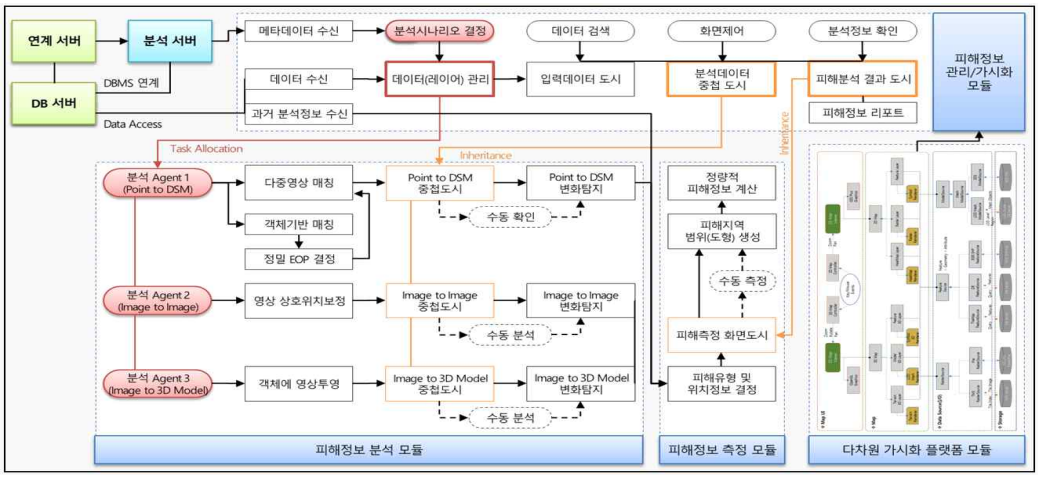


그림 2.3.29 다차원 피해정보분석 시스템 아키텍처

표 2.3.10 기능 관점의 시스템 모듈 구성

세부모듈	설명	주요기능
피해정보 관리모듈	피해 정보 분석 시스템의 메인 모듈로서 이전의 피해지역 및 신규피해 지역 위치를 2차원 지도상에 표시하며 각 모듈에서 계산된 피해정보 등을 2차원으로 가시화 하는 모듈	• UAV 영상 및 궤적 도시 • 이전 혹은 신규 피해정보 2차원 도시 • 피해정보 추가 및 삭제 등의 관리 • 화면 조작(확대, 축소, 이동, 선택 등)
점군기반 피해정보 추출모듈	피해지역의 영상 매칭 데이터를 기반으로 피해정보를 추출하고 가시화 하는 모듈	• 자동/수동 피해 탐지 및 피해정보 도시 • 영상 매칭 데이터 및 레퍼런스 DSM 도시 • 화면 조작(확대, 축소, 이동, 회전 등)
영상기반 피해정보 추출모듈	피해지역의 영상데이터를 기반으로 피해정보를 추출하고 가시화 하는 모듈	• 자동/수동 피해 탐지 및 피해정보 도시 • 신규 및 기존 영상 데이터 도시 • 화면 조작(확대, 축소, 이동 등)
모델기반 피해정보 추출모듈	피해지역의 모델데이터를 기반으로 피해정보를 추출하고 가시화 하는 모듈	• 자동/수동 피해 탐지 및 피해정보 도시 • 모델 데이터 및 레퍼런스 DSM 도시 • 화면 조작(확대, 축소, 이동, 회전 등)

다차원 피해정보 분석 시스템의 모듈 구조는 그림 2.3.30과 같이 피해 전/후 획득한 데이터를 활용하여 점군기반 피해정보 추출, 영상기반 피해정보 추출, 모델 기반 피해정보 추출로 나뉘며, 추출된 피해정보 및 피해 전/후 획득 데이터를 관리하는 구조로 구성하였다.

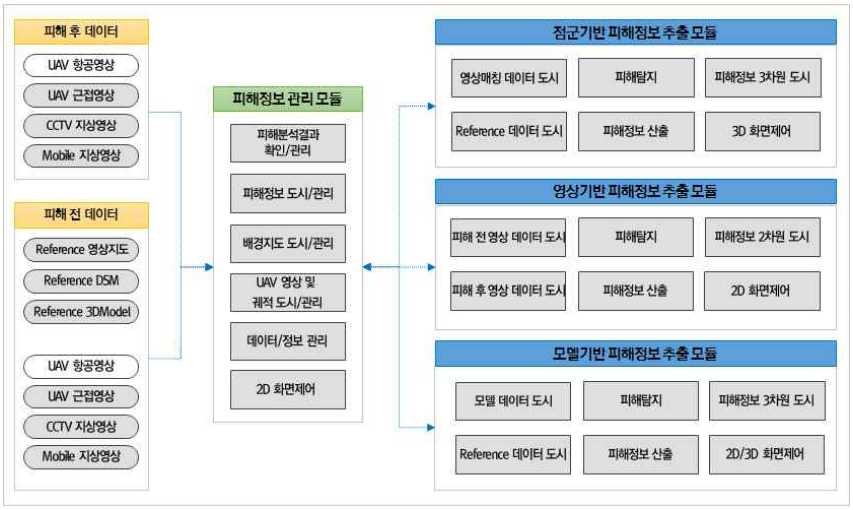


그림 2.3.30 다차원 피해정보 분석 시스템 모듈 구조

피해추출 활용 시나리오에 중점을 두어 피해정보 관리 모듈, 점군기반 피해정보 추출 모듈, 영상기반 피해정보 추출 모듈, 모델기반 피해정보 추출 모듈로 시스템을 설계하였다.

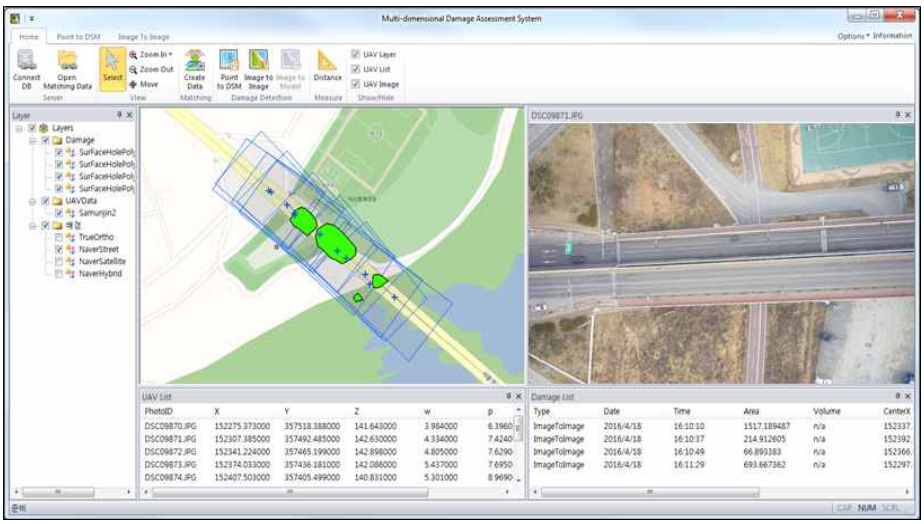


그림 2.3.31 피해정보 관리 모듈 화면설계

점군기반 피해정보 추출 모듈은 피해지역의 영상매칭 데이터(UAV 스테레오 영상에 대한 자동매칭)를 기반으로, 정밀하게 구축되는 참조 데이터와의 비교를 통해 피해탐지를 수행하는 모듈이다.

또한 효과적인 시각화를 위해 피해정보와 영상매칭 데이터 및 Reference 참조 데이터를 3차원 점군 또는 Surface 형태로 가시화 할 수 있도록 설계하였다.

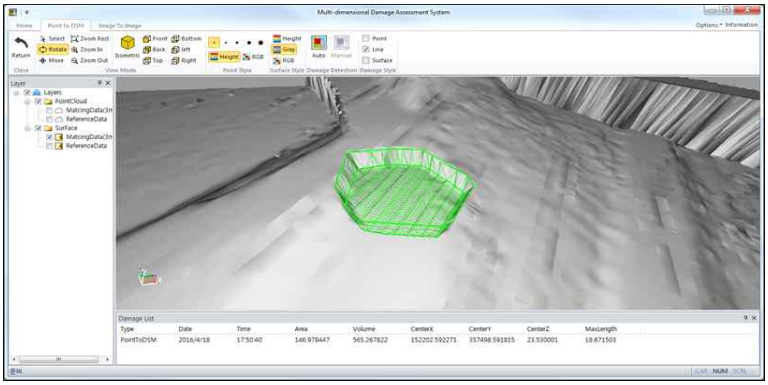


그림 2.3.32 점군기반 피해정보 추출 모듈 화면설계

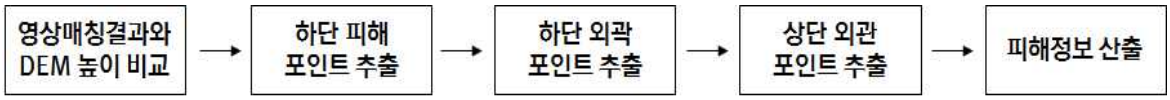


그림 2.3.33 점군기반 피해정보 추출 프로세스

점군데이터를 기반으로 피해정보 추출을 위해 그림 2.3.34와 같은 단계로 피해정보 추출을 진행하였다.

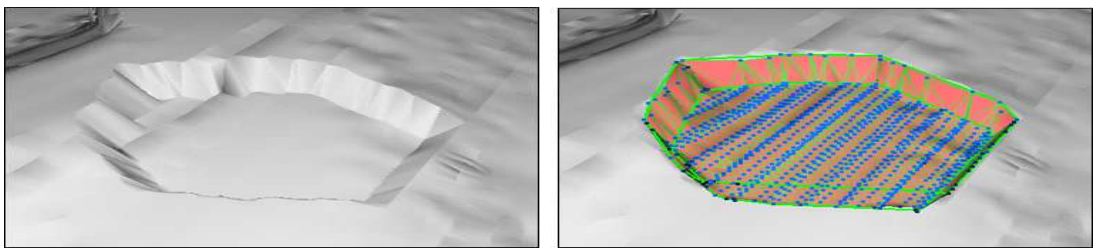


그림 2.3.34 점군기반 피해정보 추출 결과(좌:피해 추출 전, 우:피해 추출 후)

영상기반 피해정보 추출 모듈은 피해지역의 영상 데이터를 기반으로 2차원 피해 정보를 추출하고 가시화하는 모듈이다. 영상을 이용하여 피해정보를 추출하기 위해서는 입체모델을 구성하는 두 장의 영상이 필요하며, 따라서 신규영상과 기존영상을 2차원으로 도시하고 화면조작이 가능하도록 개발하였다.

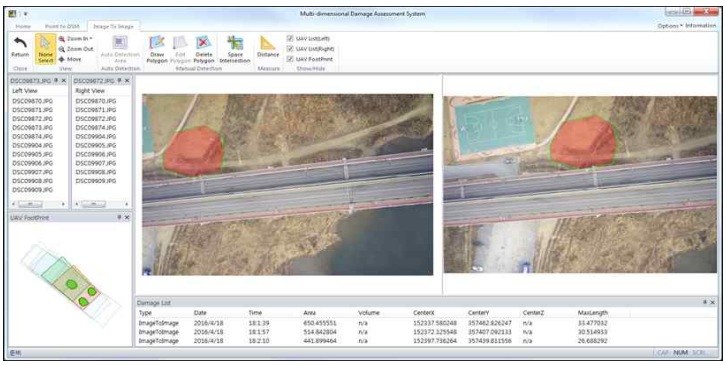


그림 2.3.35 영상기반 피해정보 추출 모듈 화면설계

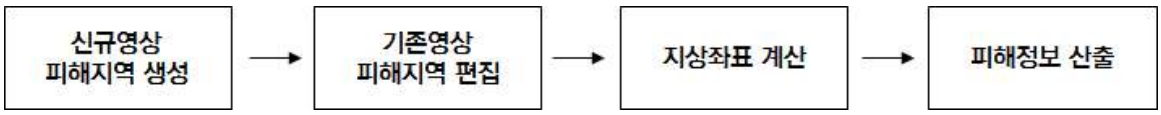


그림 2.3.36 영상기반 피해정보 추출 프로세스

영상을 기반으로 피해정보를 추출하기 위해서 그림 2.3.36과 같은 단계로 피해정보 추출을 진행하였다.

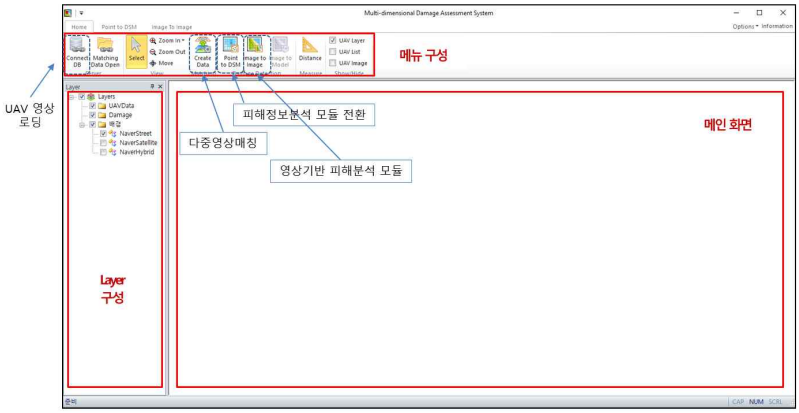


그림 2.3.37 파일럿시스템 메인 화면

UAV영상과 개별 영상의 외부표정요소 등이 입력되면 그림 2.3.38과 같이 영상리스트와 궤적(Footprint)이 도시되며 사용자는 원하는 영상을 선택하여 핸들하고 동시에 다중영상매칭 및 피해분석을 수행하기 위한 준비과정이 수행된다.

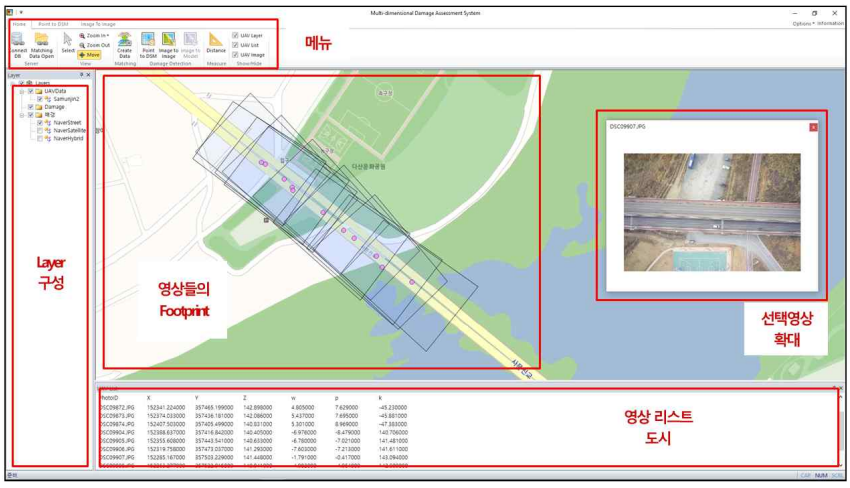


그림 2.3.38 촬영 영상들의 입력 및 기능구성 화면

메인화면에서 다중영상매칭이 수행된 이후에는 자동으로 점군기반 피해정보 추출모듈로 UI가 전환되며, 피해분석 이후의 화면은 그림 2.3.39와 같이 구성된다.

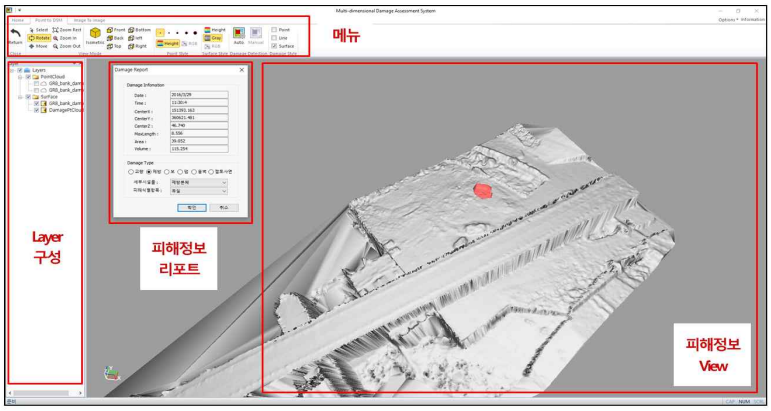


그림 2.3.39 점군기반 피해정보 추출모듈 기능구성 화면

다중영상매칭 적용이 어려운 경우의 영상기반 피해정보 추출모듈은 실행 시, 다음 그림 2.3.40과 같은 UI로 전환된다.

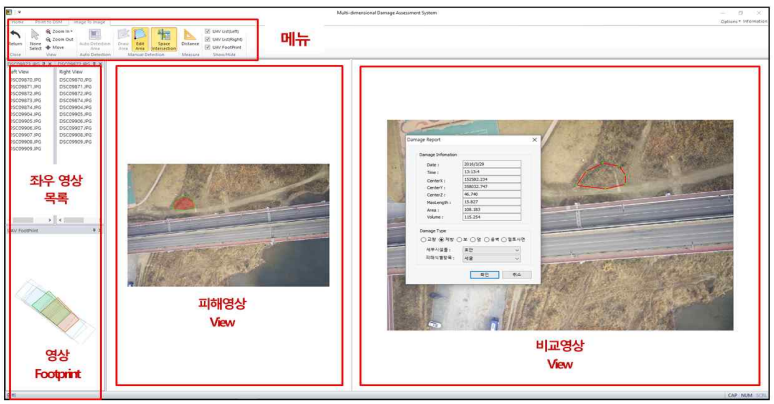


그림 2.3.40 영상기반 피해정보 추출모듈 기능구성 화면

입력된 영상의 상호위치보정과 정밀 외부표정요소 보정을 위한 객체기반매칭 모듈은 그림 2.3.41과 같은 화면으로 구성되며, 좌측의 영상과 우측의 객체모델은 에지 매칭을 통해 동일 선(Line)을 추출한다.



그림 2.3.41 객체기반매칭 모듈 기능구성 화면

다. 피해 전·후 영상정보 관리를 위한 DB설계 및 서버시스템 구축

(1) 서버시스템 설계

다차원 피해정보분석 시스템은 여러 하위 모듈들로 구성된 통합 시스템이므로 안정적인 시스템 운영을 위해서는 통합 DB 설계와 표준화가 필수적이며, 피해정보분석 과정에서 요구되는 대용량 데이터의 처리를 위한 고속 네트워크 기반 시스템의 구축이 필요하다. 또한 중앙 통합관제 서버와 이동·고정 데이터 수집국과의 원활한 인터페이스를 위하여 표준화 연계 기술 및 시스템 연계 인터페이스의 개발이 필요하다.

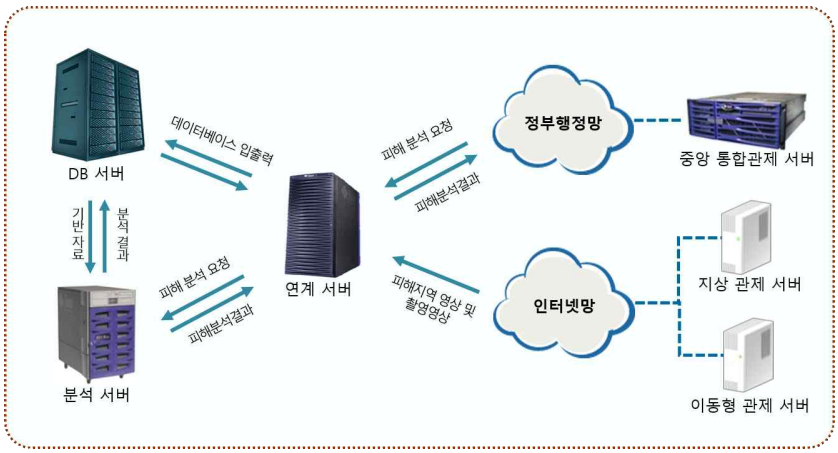


그림 2.3.42 다차원 피해정보분석 통합시스템 구성

그림 2.3.42는 다차원 피해정보 분석 시스템의 내외부 인터페이스를 나타낸다. 내부망은 1G L3 스위치로 연계서버, DB서버, 분석서버가 연결되며 외부망은 정부행정망과 인터넷망을 모두 사용한다. 외부망은 보안이 매우 중요하므로 DB서버 및 분석서버를 사설망으로 구축하여 외부에서의 접근을 원천 차단하고, 연계서버를 통한 인터페이스를 구축함으로써 보안성 향상을 만족하도록 구성하였다.

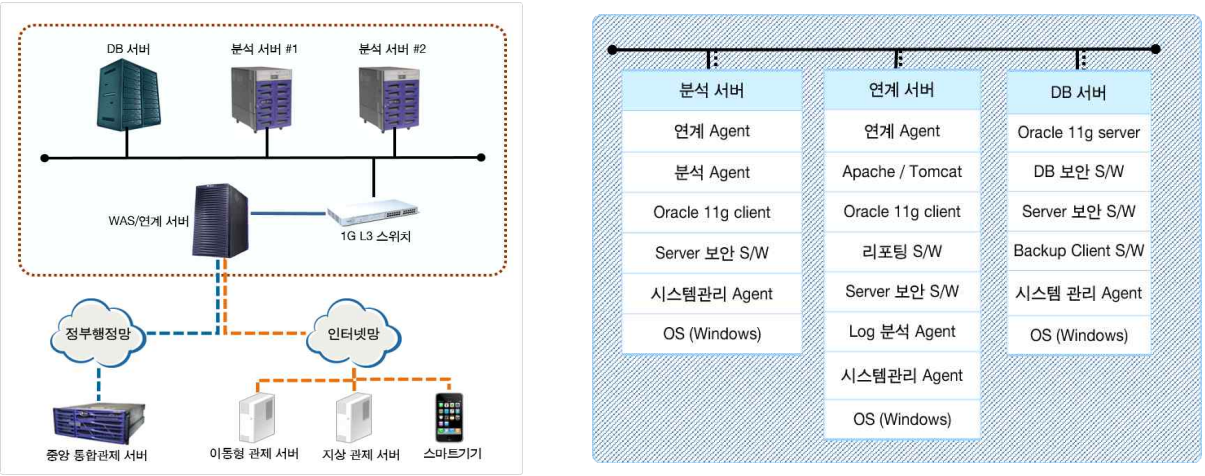
그림 2.3.43은 서버시스템의 물리적, 논리적 설계 구성도이다. 구성도에서 DB서버는 피해정보 분석기반 데이터 및 결과 데이터를 통합적으로 관리하며, 분석서버는 피해정보의 분석을 담당한다. 연계서버는 보안 및 시스템 표준화를 위하여 DB 서버의 직접 접근은 허용하지 않으며 연계 서버를 통하여만 접근을 허용하며 접근시 ID/패스워드를 입력하여 ID 별로 권한이 허용된다.

서버시스템의 논리적 구성에서는 3개의 서버 별로 필요한 소프트웨어를 나열하였으며, 구성 소프트웨어의 기능은 아래 표 2.3.11과 같다.

시스템의 목표, 기능, 품질 요구사항으로부터 아키텍처 영향 요소를 검토하고 정의가 필요한 사항에 대해 아키텍처 요건으로 구체화한다.

정제된 요건을 분석하여 아키텍처에 영향을 미칠 수 있는 주요 요건을 품질속성 유형별

로 도출한 결과는 표 2.3.12와 같다.



<물리적 설계> <논리적 설계>

그림 2.3.43 서버시스템 설계 구성도

표 2.3.11 서버시스템 구성 소프트웨어 기능

소프트웨어	기능 상세
연계 Agent	DBMS의 정보에 대한 접근 제어 및 데이터 송수신 기능을 제공
분석 Agent	피해정보의 분석을 수행
Oracle 11g Client	DB 서버에 접근하기 위한 Client 모듈
서버 보안 S/W	서버의 보안을 담당하는 인증된 S/W 사용
시스템 관리 Agent	서버들의 상태 관리 및 모니터링 기능 제공
Apache/Tomcat	시스템 확장성을 위한 외부 웹 인터페이스 연계용 WAS
리포팅 S/W	로그 및 분석 결과의 가시화를 위한 리포팅 기능 제공
로그 분석 Agent	분석 요청, 분석 결과 및 시스템 송수신에 대한 로그를 저장 및 관리
DB 보안 S/W	DBMS 에 대한 보안 및 접근 제어 기능을 제공
Oracle 11g Server	피해정보 분석 기반 데이터 및 결과 데이터를 통합적으로 관리
Backup S/W	NAS, SAN 등을 통한 데이터 백업 스케쥴링 기능을 제공

표 2.3.12 서버시스템 아키텍처 요건

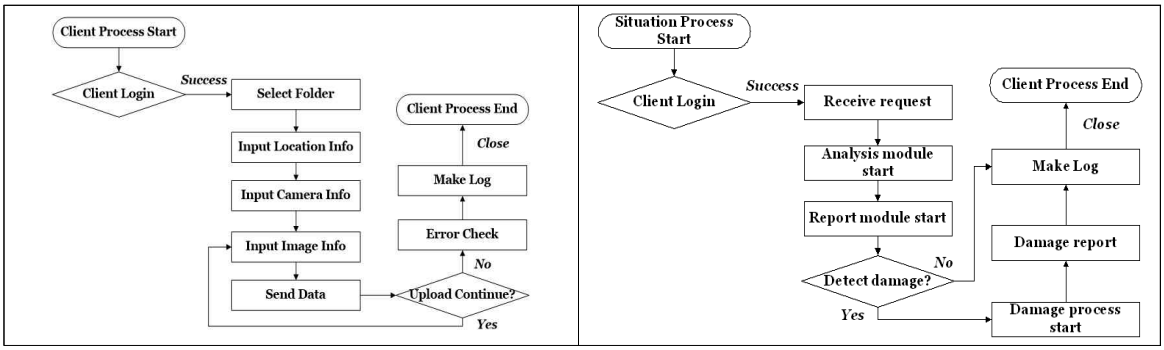
유형	상세유형	처리내용	순위
상호운용성	타 시스템과의 연동방안-소프트웨어	연계시스템 및 DB를 공유하고 타 시스템에서 구현한 아키텍처 표준을 준수	상
	호환 기술 적용 및 설계사항 준수	호환 기술 적용 및 설계사항 준수	상
	데이터베이스 표준화	데이터 베이스 표준화 지침 준수	상
운영성	관리지침	시스템관리지침 및 표준방안 적용	상
	운영지침	백업, 장애복구 등 시스템 운영에 대한 표준 방안을 적용	상
보안성	사용자ID/비밀번호 암호화방안	사용자ID/비밀번호를 암호화하여 DB 서버에 저장	상
	권한 정보 확인	Client Agent 와 Server Agent 간에 ID 별로 권한을 할당하여 관리	상

개별 서버들은 상호 연계되어 목표를 수행하며, 다음 표 2.3.13은 연계되는 서버와 연계대상에 대한 정보이다.

표 2.3.13 서버시스템 연계대상 정보

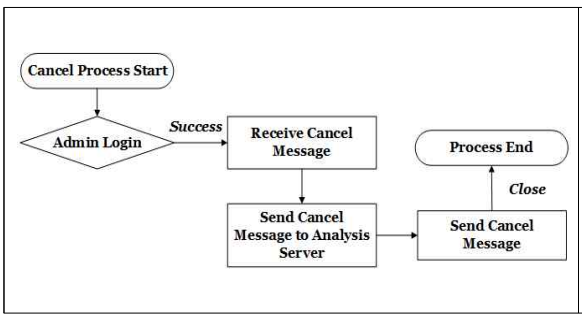
구분	연계대상 정보
연계 서버	내외부 데이터 요청 관리 및 처리
DB 서버	피해정보 분석 기반 데이터 및 결과 및 로그 데이터 관리
분석 서버	외부 피해정보 분석 요청 처리 및 기반 데이터에 대한 접근 및 관리, 분석 결과에 대한 저장 및 전송 기능
중앙통합 관제 서버	피해정보 분석 요청 및 결과 정보에 대한 접근
이동/고정형 관제 서버	피해정보 기반 데이터 입력 기능 제공

다음은 다차원 피해정보분석 시스템 프로세스에서 DB 검색, 영상정보, 피해이력정보 검색 등 서버 별로 기능이 연계되는 절차에 대한 흐름도를 설계하였다.

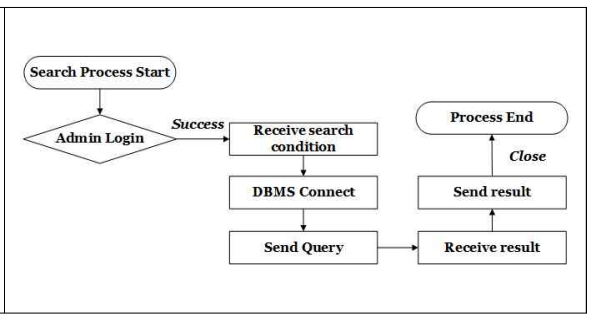


< 영상 입력 흐름도 >

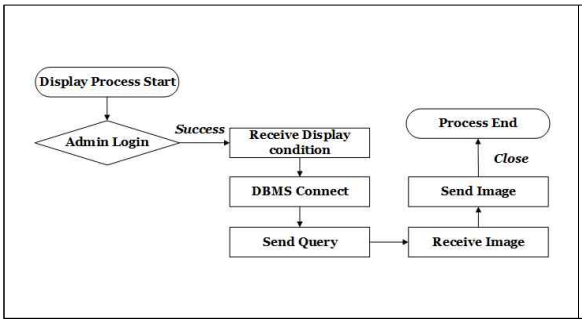
< 피해정보 분석 흐름도 >



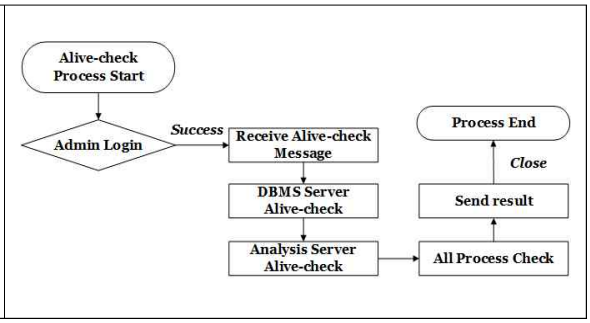
< 분석 중지 명령 흐름도 >



< 검색 명령 흐름도 >



< 영상 디스플레이 흐름도 >



< Alive-check 흐름도 >

그림 2.3.44 서버 데이터 연계 흐름도 설계

서버 시스템들은 구축되는 DBMS와 연계 입출력 소프트웨어를 통해 연결을 구성하며, 이를 통해 보안성 강화 및 데이터표준화를 도모한다. 모든 데이터의 접근은 연계 입출력 소프트웨어를 통해 접근되며, 주요 클래스는 다음 표 2.3.14와 같다.

표 2.3.14 입출력 소프트웨어의 구성 및 주요 클래스

주제 영역명	MDAS IO Module	구분	데이터 연계
모듈 기능 설명	DBMS 와 서버들 간의 연결을 구성하며 이를 통해 보안성 강화 및 데이터 표준화를 도모한다.		

NO	클래스명	기능	상속 클래스	비고
1	MDASIOApp	어플리케이션 클래스	WinAppEx	
2	MDASIODlg	메인 프레임 클래스	Dialog	
3	SetupDlg	환경설정 클래스	Dialog	
4	ServerSock	서버 소켓 클래스	AsyncSocket	
5	ClientSock	클라이언트 소켓 클래스	AsyncSocket	
6	CommThread	송수신 쓰레드 클래스		
7	Queue	전송 대기 큐 클래스		

(2) DB구조 및 스키마 설계

서버시스템에 구축될 데이터베이스를 정의하기 위하여 사전에 표준화 및 명명규칙을 다음 표 2.3.15와 같이 설정하였다.

표 2.3.15 DB 표준화 및 명명규칙

구분	명명규칙	비고
테이블/뷰	- 뷰 업무구분자(4)+V+특성구분(1)+테이블설명 (3~15) - 연계 테이블 업무구분자(4)+L+특성구분(1)+테이블설명 (3~15) - 테이블 업무구분자(4)+T+특성구분(1)+테이블설명 (3~15)	- 업무구분자 (4) MDAS: 다차원피해분석시스템 - 특성구분(1) N:Normal, D:File Data C:Code Table, T:임시작업용 S:통계, E:기타
Constraints (PK / FK)	- PK : 테이블명 + _PK - FK : Child 테이블 + FK + 일련번호(1)	
Index	테이블명 + _IDX + 일련번호(2)	
Sequence	“SQ_” + 테이블명 + “_” + 컬럼명	
기타	함수(FC), 프로시져(SP), 패키지 (PG) Object구분값+”_” +업무시스템(4)+기능설명(3~10)	

데이터베이스는 논리적 설계와 물리적 설계로 구분하였으며, 저장 및 활용 데이터의 테이블 및 컬럼을 정의하였다.

정의된 데이터베이스의 ERD는 그림 2.3.45와 같다.

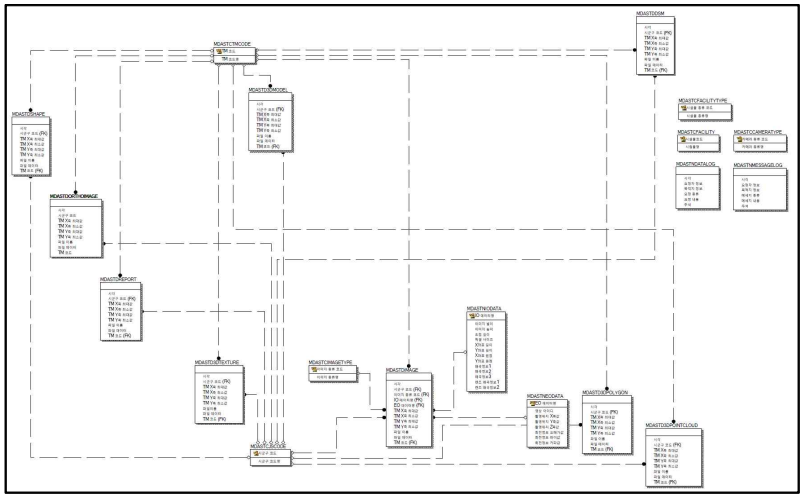
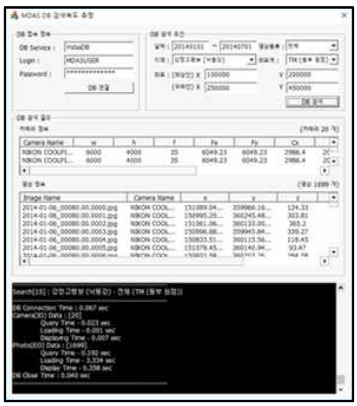


그림 2.3.45 데이터베이스 ERD

데이터베이스 설계에 따라 구성된 서버는 실제 클라이언트 시스템에서 활용 데이터들을 검색하고 송수신하는 실험을 수행하였다.

쿼리 검색조건은 구축일자, 촬영지역, 영상종류, 좌표의 조합을 사용하였으며, 실험 결과 5초 이내에 데이터 탐색이 가능함을 검증하였다.



< DB 검색 모듈 개발 >

데이터 수	DB 검색	쿼리 실행	Reading	표출 시간	Total(초)
1,868개	0.123	0.204	3.955	0.417	4.699
1,827개	0.082	0.233	3.851	0.402	4.568
1,693개	0.068	0.175	3.274	0.355	3.872
1,737개	0.078	0.236	3.682	0.378	4.374
1,884개	0.190	0.177	3.968	0.444	4.779
1,737개	0.059	0.211	3.355	0.372	3.997
1,699개	0.067	0.192	3.334	0.358	3.951
1,737개	0.072	0.170	3.291	0.376	3.909
1,750개	0.079	0.176	3.179	0.389	3.823

< 데이터탐색 속도 테이블 >

그림 2.3.46 서버시스템 데이터검색 속도 실험

4. 피해복구를 위한 최적 접근루트 선정 모듈 개발

가. 최적접근경로 탐색을 위한 Routing 알고리즘 개발

(1) 최적접근경로 탐색 및 프로세스 정의

다차원 피해정보분석시스템에서 최종적으로 분석된 피해정보를 이용하여 피해를 신속하게 복구하기 위해서는 피해 발생 지역에 복구 물자 및 자원을 신속히 수송할 수 있는 최적 접근경로의 탐색이 반드시 필요하다.

이를 위해 도로네트워크(노드-링크 데이터), 지도 기반의 배경데이터, 관심지역(Point Of Interest, POI) 정보, 새주소 데이터 등을 활용하여 최적접근경로 탐색을 위한 Routing 알고리즘과 이를 구현하기 위한 모듈을 개발하였다.

경로탐색의 기준으로는 위치좌표, 주소, 명칭을 각각 개발, 최적의 경로탐색 기준을 찾기 위한 테스트를 수행하여 위치좌표를 선정하였으며, 개발된 알고리즘과 개발 프로그램은 연구단에서 기준으로 설정한 GRS80 타원체의 TM좌표계 동부원점을 기반으로 제작하였으나 특정 좌표계에 구애받지 않는 범용적인 알고리즘을 개발하였다.

분석된 피해정보를 기반으로 수행되는 경로안내 프로세스는 기본적으로 그림 2.3.47에 나타나있는 바와 같다. 일단 피해지역과 복구 자원의 위치정보(좌표, 지번 주소, 새주소, 명칭 등)가 결정되면 이들 간의 최적 접근경로를 탐색하게 되며, 이때 상황에 따라 최적, 최단, 고속도로 우선, 회피지역 우회 등과 같은 선택 옵션을 실시간으로 반영하여 적용할 수 있도록 구성하였다.

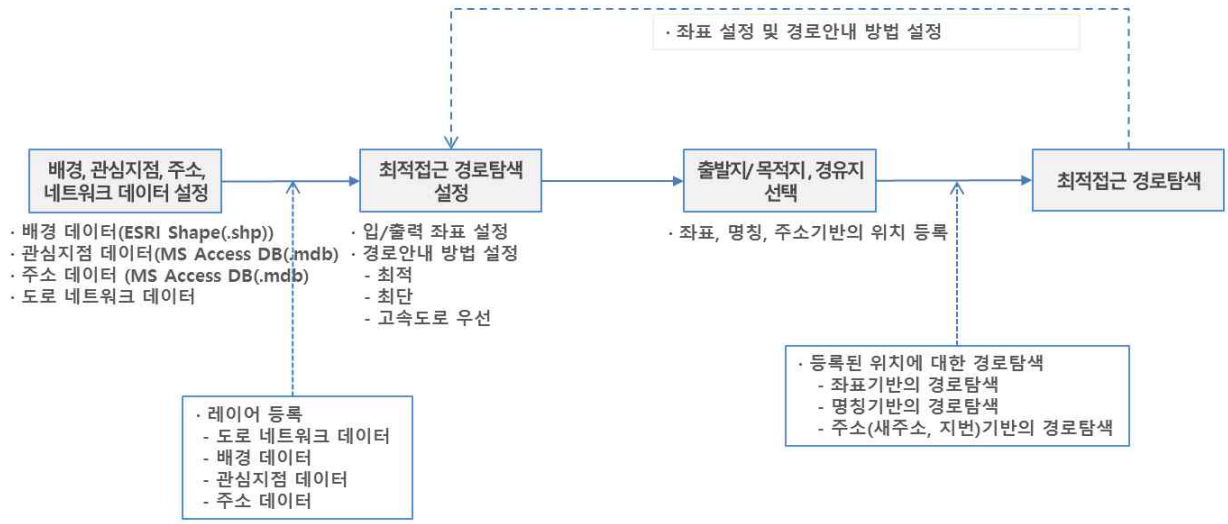


그림 2.3.47 최적접근경로 탐색 프로세스

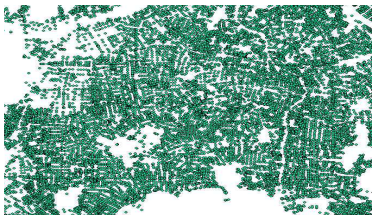
(2) 네트워크 DB 구축

본 연구를 통해 개발된 최적경로탐색 알고리즘 테스트를 위해 테스트베드(강정고령보, 사문진교) 지역이 포함된 대구광역시 전체 네트워크 데이터를 구축하였다.

네트워크 데이터는 Routing 알고리즘을 적용하기 위한 노드-링크 형태의 데이터로 구성되어 있으며 도로등급, 도로유형, 회전제한정보, 도로명, 제한속도 등 탐색에 필요한 속성정보들이 구축되어 있다. 네트워크 데이터는 국토교통부의 “지능형교통체계 표준 노드·링크 구축기준”을 준수하여 구축되었으며 노드, 링크, 속성정보들 간에는 노드식별자, 링크식별자를 기준으로 관계성을 유지하도록 설계되었다.



<네트워크 링크(LINK) 데이터>



<네트워크 노드(NODE) 데이터>

그림 2.3.48 네트워크 데이터

노드(node) 데이터는 네트워크의 교차점 및 관련 속성을 표현하는 데이터로 도로에서 속도의 변화가 발생되는 곳을 표현한다. 주요 유형은 도로교차점, 도로시종점, 교통통제점, 도로구조 변환점, 행정구역 변환점 등이 있으며 네트워크 데이터의 속성이 변하는 구간들을 구획하여 준다.

링크(link) 데이터는 네트워크 자체의 표현을 위한 선형 레이어로 노드와 노드를 연결한 도로중심선을 일정간격 이격시켜 생성한 데이터이다. 도로 구간에 대한 정보를 포함하고 있으며, 주요 유형은 도로, 교량, 고가도로, 지하차도, 터널 등이 있다.

(3) 최적접근경로 선정모듈 및 Routing 알고리즘

최적접근경로 알고리즘을 위해 본 연구에서는 가장 좋은 경로를 추정하기 위하여 각 노드에 랭킹을 부여하는 ‘휴리스틱 추정값’을 사용하는 에이스타(A*) 알고리즘을 채택·적용하였다. 에이스타(A*) 알고리즘은 기본적으로 일대일 경로탐색 방식을 적용하며, 출발지에서 도착지까지의 경로를 탐색할 때, 출발지에서 인접한 절점(노드)의 간선 거리와 인접한 절점(노드)에서 도착지까지의 직선거리 합을 계산하여 최소거리 값을 가지는 절점을 확장해가면서 도착지를 탐색하는 방법이다(Heo, et al., 2013 cited in Hart, et al., 1968).

에이스타(A*) 알고리즘을 이용한 경로탐색의 기본적인 원리는 F = G + H 계산 값을 사용해 이동할 경로를 결정하는 방식이다. 여기서 G(Goal,목표)는 시작노드로부터 끝노드까지 도

달하는데 소모되는 비용으로 시작노드에서 끝노드까지 오는 경로들은 여러 개가 있을 수 있는데, 그 경로들 중 비용이 가장 낮은 하나를 의미한다.

H(Heuristic, 경험에 기초한 추측)는 시작노드에서 목표까지 도달하는데 소모되는 추정된 비용으로 G(목표)까지의 실제 비용을 알지 못하지만 휴리스틱을 계산하는데 일반적으로 현재 위치에서 목표까지의 일직선 거리 값을 사용한다.

F(Fitness,적합도)는 G와 H의 합으로 끝노드까지 경유해서 도달하는 경로의 비용에 대한 최선의 추측을 의미하며, F값이 낮을수록 이 경로가 최단 경로일 가능성이 크다.

결과적으로 F는 출발지와 목적지 사이의 총 비용, G는 시작점으로부터 새로운 지점까지의 이동비용, H는 현재지점에서 목적지점까지의 예상이동 비용을 의미하며, 이와 같은 휴리스틱 추정값을 이용한 알고리즘의 경로탐색 과정은 아래 그림 2.3.49에 나타내었다.

이 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 B지점까지의 비용은 10(F)=5(G)+5(H)로 나타낼 수 있으며, C지점까지의 비용은 14(F)=7(G)+7(H)로 계산되어 전체적인 총 비용이 작은 B지점이 최종적으로 최적경로로 탐색된다. 결국 경로탐색은 출발지를 0으로 시작하여 인근 모든 링크들을 계산하여 비용이 가장 낮은 지점들을 계속적으로 탐색하며 진행함으로써 최종적인 경로를 산출하게 된다.

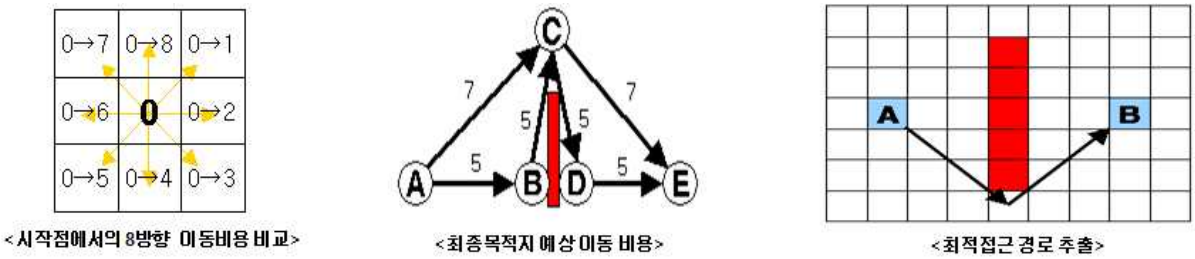


그림 2.3.49 A* search algorithm 경로탐색 과정(출처: http://withmule.tistory.com/13)

개발된 함수와 Routing 알고리즘은 성능 검증을 위하여 자체적으로 모듈을 개발하였으며, 화면 구성은 그림 2.3.50과 같다. 메인 UI는 최적접근경로탐색 뷰, 데이터레이어 뷰, 경로정보안내 뷰로 구성하였다.

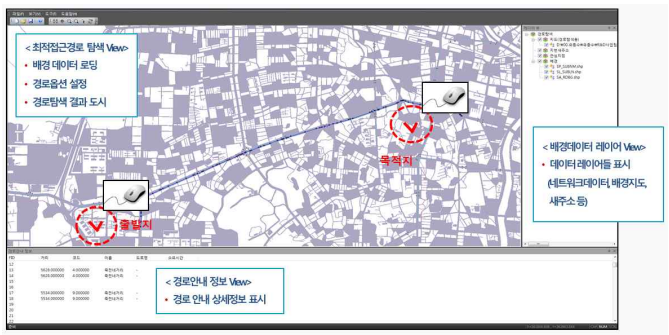
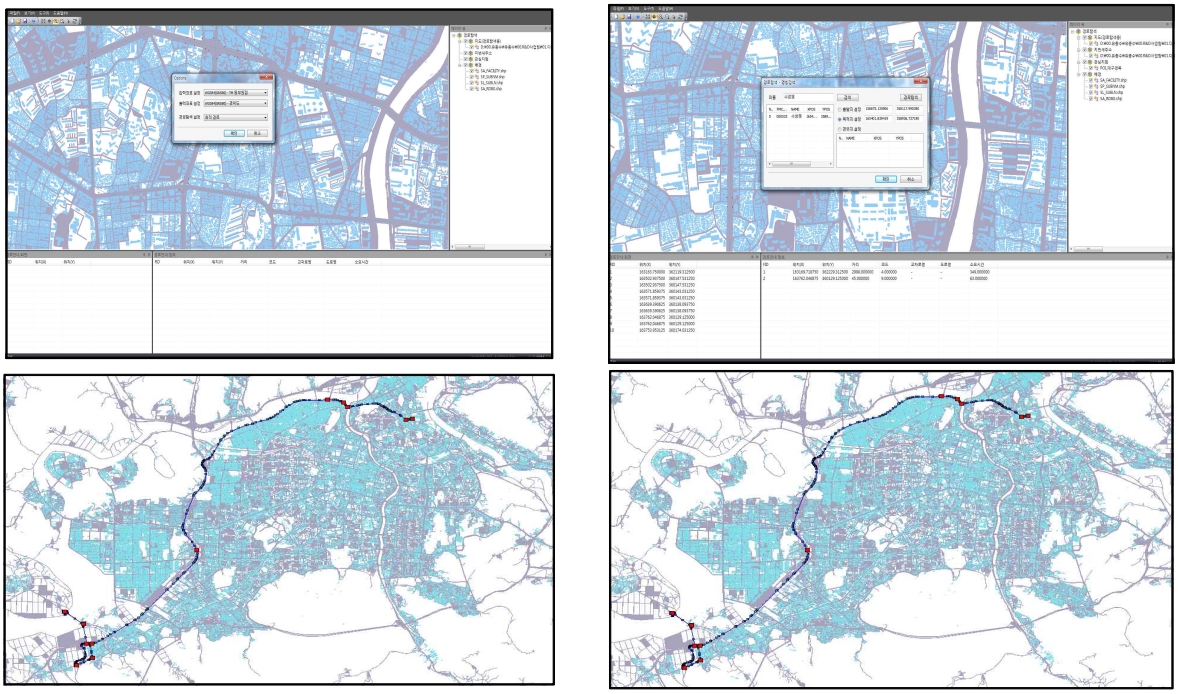


그림 2.3.50 최적접근경로 알고리즘 테스트프로그램 구현

최적경로탐색을 위해 구현된 알고리즘의 정확도 평가를 위해 좌표, 명칭(POI), 주소 기반으로 경로탐색 실험을 수행하였으며 모든 기준으로 경로탐색이 정상적으로 수행되었다.

비교 검토 결과, 좌표 기반의 경우 다른 기준보다 입출력 값이 명확하여 경로탐색 수행과정이 매우 간단하고 신속하게 진행되었으며, 피해지역에 대한 정보가 부족한 사용자도 손쉽게 경로탐색이 가능하여 가장 우수하다고 판단된다. 명칭 기반이나 주소 기반의 경로탐색은 출발지/목적지 인근의 주요 건물, 교차로 등을 기준정보로 활용하는 방법으로 피해지역 인근 거주자 및 해당 지역을 잘 아는 사용자에게 적절한 방법이다.



좌표 기준의 최적경로탐색 명칭/주소 기준의 최적경로탐색

그림 2.3.51 경로탐색 기준 별 UI 및 실험결과

나. 최적 접근루트 선정 모듈 고도화

(1) 위험 및 회피지역을 고려한 최적 접근루트 개발

피해복구현장으로 투입되는 복구자원의 신속한 이동과 접근을 위하여 위험 및 회피지역을 고려한 최적접근루트 탐색 알고리즘을 개발하는 것이 본 연구의 목적이다. 이를 위해 도로네트워크(노드-링크 데이터), 지도 기반의 배경데이터, 관심지역(Point Of Interest, POI), 도로명주소 정보를 활용한 기 구축된 네트워크 DB를 기반으로 위험 및 회피지역을 우회하기 위한 최적접근루트 탐색 알고리즘을 개발하였다.

본 연구에서는 위험 및 회피지역 탐색을 위한 실험수행을 목적으로 자체적으로 검증모듈을 개발하여 연구결과를 검증하였다.

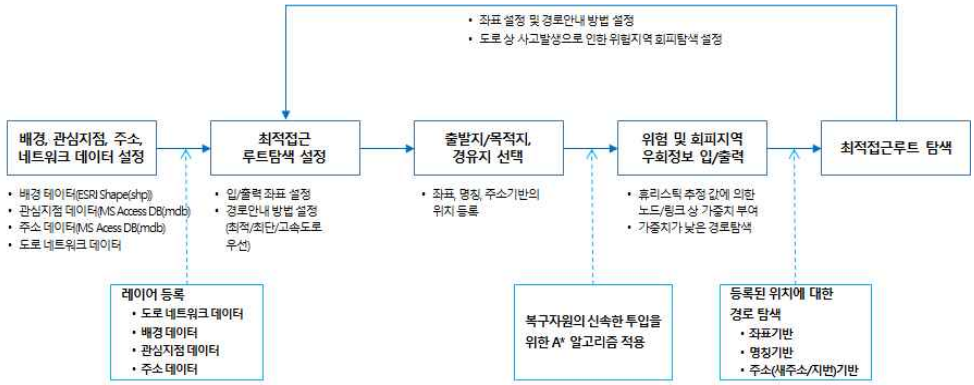


그림 2.3.52 최적접근루트 탐색 프로세스

위험 및 회피지역을 고려한 최적 접근루트 탐색과정은 그림 2.3.52에 나타나있는 바와 같으며, 이를 위해 본 연구에서는 에이스타 알고리즘을 수정/적용하여 경로탐색 알고리즘을 보완하였다. 해당 알고리즘에 대해 아래 표 2.3.16과 같은 함수(Library)들을 개발하여 최적경로탐색 모듈을 구성하였다.

표 2.3.16 최적경로탐색 모듈 구성을 위한 개발 함수(Library) 목록

함수		기능 설명
구분	명칭	
입/출력 좌표설정	SetCoords (short _inType = PROJTYPE _WGS84, short _outType =PROJTYPE_WGS84)	입/출력 좌표 설정
	SetInputCoord(short _Type)	입력 좌표 설정
	SetOuputCoord(short _Type)	출력 좌표 설정
경로탐색 옵션	SetOptions (short _nOpt =ROUTEMAP_OPTS_DEFAULT)	탐색옵션 설정
	ROUTEMAP_OPTS_DEFAULT	최적경로탐색 (Default)
	ROUTEMAP_OPTS_SHORT	최단경로탐색
	ROUTEMAP_OPTS_HIGHWAY	고속도로 우선탐색
	ROUTEMAP_OPTS_AVOIDANCE	회피지역 우회탐색
출발지 목적지 등록	SetStart(float _fX, float _fY)	출발지 등록
	SetGoal(float _fX, float _fY)	목적지 등록
경유지 등록	AddWayPoint (float _fX, float _fY)	경유지 등록
좌표 지원	PROJTYPE_WGS84	WGS84 (GRS80)
	PROJTYPE_TM_WEST , CENTER, EAST	TM 서부, 중부, 동부
	PROJTYPE_KATEC	KATECH
	PROJTYPE_UTMK	UTM_K

경로 탐색	SearchSync()	경로탐색 시작
경로정보 안내	GetResult (long* _lDist, long* _lTime, long* _lFare)	경로탐색 결과 리턴
	GetTopoCount()	탐색경로의 좌표 리턴
	GetTopo(long _lInx, float* _fX, float* _fY)	경로탐색 상의 위치좌표 리턴
	GetInfoCount()	경로안내 정보의 수 리턴
	GetSummaryInfo(long _lInx, long* _lDist, long* _lTime, float* _fX, float* _fY, long* _nSCode, unsigned short* _pCrsName, unsigned short* _pRodName)	해당 위치의 경로안내 정보 리턴

(2) 발생 가능한 위험 및 회피지역 유형 및 고려요소 설계

수변구조물의 피해상황 발생 시, 도로의 교통상황을 고려한 복구자원의 신속한 투입을 위해 도로 상 위험 및 회피지역의 선(先)탐색이 매우 중요하다. 아래의 표 2.3.17과 같이 예측하지 못한 도로 상황을 고려하여 최적접근루트 알고리즘을 설계하였다.

위험 및 회피지역을 우회할 수 있는 최적접근루트의 탐색을 위해 도로네트워크의 이동성과 접근성 수준을 평상시와 동일한 수준으로 설정하였고, 도로의 사고발생유형과 피해규모, 영향범위의 파악을 위해 다음과 같은 사항을 고려하였다.

① 신속성: 도로 등급(고속국도, 일반국도, 지방도 등)에 따라 단계적으로 접근

② 연결성: 사고발생 유형별 도로의 피해특성을 반영하여 연속되는 경로 설정

③ 대체성: 피해현장으로의 최단경로 이용불가 시, 사고유형별로 최적접근루트 설정

④ 다중성: 예기치 못한 도로 교통상황을 고려하여 최소 2개 이상의 경로 설정

⑤ 내재해성: 재난유형별 취약성 평가를 통해 내구성이 강한 도로 위주로 안전하게 복구자원이 투입될 수 있는 진입경로를 확보

⑥ 또한 Routing 알고리즘의 개발 시, 피해복구현장으로 투입되는 수변구조물 복구자원들의 분류 및 재원, 도로 통행 기준을 고려

⑦ 수변구조물 복구자원은 수변에 위치한 댐, 보, 교량 등 구조물의 파손 시, 피해복구를 위해 투입되는 물적 자원으로써 덤프트럭, 굴삭기, 콘크리트 믹서 트럭, 하이드로크레인 등 대부분이 건설기계에 해당

표 2.3.17 재난 및 사고유형과 도로피해

구분	도로 피해 유형	1차 피해	2차 피해
태풍, 호우	• 도로 침수 및 유실 • 교량 및 터널 파괴 • 토사물 등 도로침해	• 접근성 제약 • 이동속도 저하 • 네트워크 기능저하	• 고립지역 발생 • 인명구조 지연 • 구호물품 도달지연 • 응급복구자원 도달지연 • 생활안정화 지연 • 기능회복 지연 • 도로 위 장애물 • 교통통제 • 교통량 증가 • 도로파손
지진	• 도로 및 도로시설 파괴 • 터널, 교량 파괴 • 붕괴잔해 도로침해		
대설	• 이동곤란 • 대규모 도로상 고립		
안개	• 교통제한, 교통사고 등		
화재	• 차량 화재		
붕괴・폭발	• 차량, 교량 및 터널 • 주변 건물 폭발		
교통사고	• 버스, 대형차량 사고		
건설현장 사고	• 시공 중 붕괴 • 낙반사고		
교통・수송	• 도로 시위점거 • 교통사고		

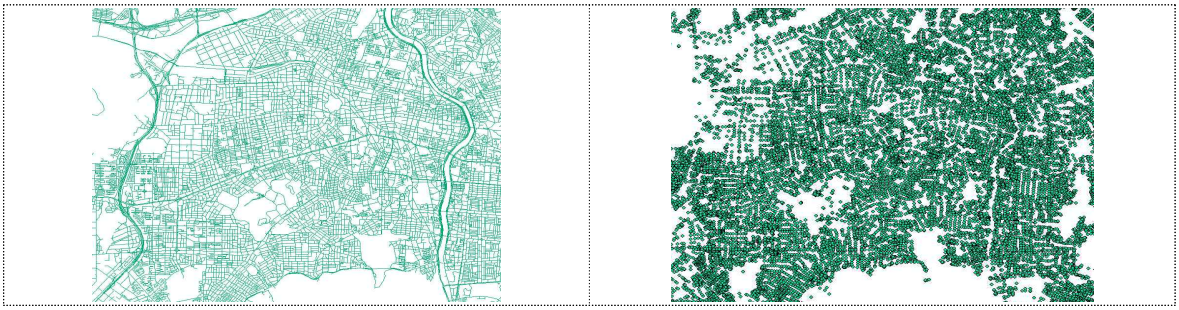
위와 같이 도로 통행 기준과 복구자원의 재원을 고려하여 복구자원들이 도로등급에 따라 신속・안전하게 단계적으로 진입할 수 있도록 노드와 링크에 가중치를 주어 Routing 알고리즘을 개발하였다.

(3) 피해복구 수변구조물 최적접근루트 데이터베이스 구축 및 관리모듈 개발

위험 및 회피지역의 우회탐색을 위한 에이스타(A*) 알고리즘의 적용을 위해 테스트베드(강정고령보, 사문진교)가 포함된 대구경북 전체의 도로 네트워크 데이터를 구축하였다. 최적접근경로 탐색을 위한 도로 네트워크 DB는 국토교통부 “지능형교통체계 표준 노드·링크 구축기준”을 준수하여 그림 2.3.51과 같이 구축하였다.

노드와 링크 형태의 네트워크 데이터는 도로 상의 사고발생 지역을 회피 및 우회 탐색하기 위해 도로등급, 도로유형, 회전제한정보, 도로명, 제한속도 등 최적접근루트 선정에 필요한 속성정보들을 입력하였다. 노드와 링크, 속성정보들 간에는 노드식별자, 링크식별자를 기준으로 관계성을 유지하도록 설계하였다.

위험 및 회피지역을 고려한 최적접근루트 탐색 모듈의 검증을 위해 6곳의 실험지역을 실험한 결과, 최적접근루트 상에 입력한 위험 및 회피지역을 그대로 통과하지 않고 목적지까지의 우회경로를 신속·정확하게 탐색하여 최적화된 경로를 탐색하였다. 개발 모듈은 해당 지역의 좌표계를 설정하고 좌표, 명칭(POI), 도로명주소 중 사용자 편의에 따라 선호하는 경로탐색 방법을 선택하여 경로정보를 제공한다.

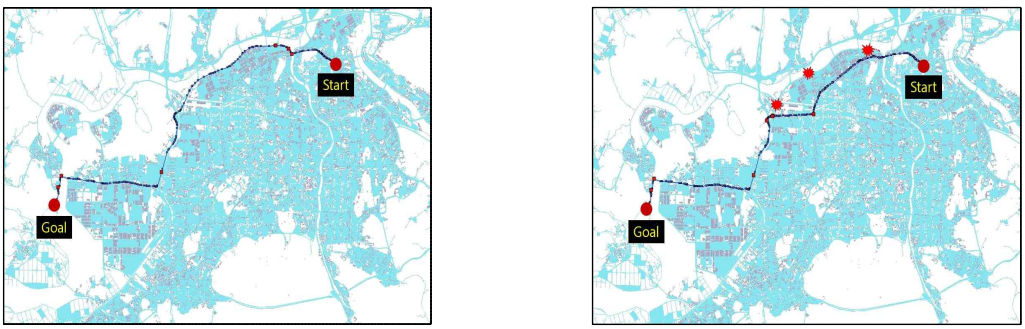


<네트워크 링크(LINK) 데이터> <네트워크 노드(NODE) 데이터>

그림 2.3.53 네트워크 데이터

그림 2.3.53과 같이 Routing 알고리즘 개발의 기능평가를 위한 테스트베드실험을 위해 대구경북 전체를 실험대상지역으로 설정하였다.

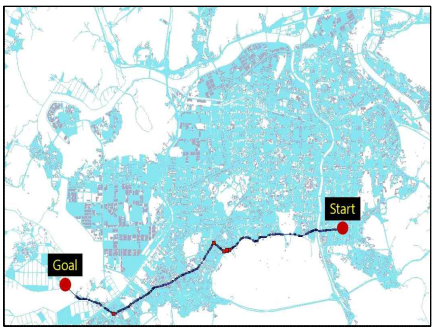
첫 번째 실험지역은 목적지인 강정고령보에 피해가 발생하여 복구자원의 신속한 투입을 위해 복구자원의 출발지를 대구공업고등학교로 설정하였다. 피해지역인 강정고령보까지의 최적접근루트 탐색을 위해 해당 지역 네트워크 DB의 좌표계를 설정하고, 복구자원의 현 위치(대구공업고등학교)와 피해지역(강정고령보) 두 지점의 좌표정보를 입력하여 그림 2.3.52의 왼쪽 그림과 같이 최적경로를 탐색하였다. 위험 및 회피지역을 고려한 우회 탐색을 위해 위험 및 회피지역 3곳을 임의로 지정한 후, 그림 2.3.54의 오른쪽 그림과 같이 우회경로를 탐색하였다.

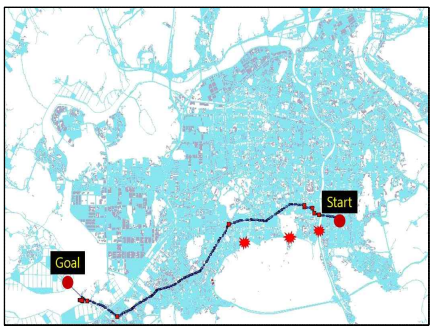


<최적접근루트 탐색 결과> <위험 · 회피 적용 탐색 결과>

그림 2.3.54 최적접근루트 탐색 실험결과(대구공업고등학교→강정고령보)

두 번째 실험지역은 목적지인 강정고령보에 피해가 발생하여 복구자원의 신속한 투입을 위해 복구자원의 출발지를 동대구역으로 설정하였다. 피해지역인 강정고령보까지의 최적접근루트 탐색을 위해 해당 지역 네트워크 DB의 좌표계를 설정하고, 복구자원의 현 위치(동대구역)와 피해지역(강정고령보) 두 지점의 좌표정보를 입력하여 그림 2.3.54의 왼쪽 그림과 같이 최적경로를 탐색하였다. 위험 및 회피지역을 고려한 우회 탐색을 위해 최적접근경로상의 위험 및 회피지역 3곳을 임의로 지정한 후, 그림 2.3.55와 같이 우회경로를 탐색하였다.





〈최적접근루트 탐색 결과〉 〈위험 · 회피 적용 탐색 결과〉

그림 2.3.55 최적접근루트 탐색 실험결과(들안길초등학교→사문진교)

우회경로를 탐색하는 경우, 교통체증지역, 교통사고다발지역, 공사지역 등 도로 상에서 발생 가능한 예기치 못한 상황들을 고려하여 복구자원을 고속도로부터 일반도로까지 단계적으로 진입하도록 설계하였다. 대상지역의 위험 및 회피지역 설정을 위해 3곳의 우회 지역 중 1)교통체증 우회, 2)공사구역 우회, 3)교통사고 우회를 가상으로 설정하여 최적접근루트 탐색의 정확도를 실험하였다.

좌표정보입력을 통한 경로탐색은 명칭(POI) 및 도로명주소 경로탐색과 비교하여 출발지와 목적지에 대한 위치를 비교적 신속하고 정확하게 탐색 가능하였다. 좌표정보를 이용한 경로탐색은 피해지역에 대한 추가정보가 없는 사용자도 손쉽게 경로탐색이 가능한 가장 우수한 방법으로써, 정밀한 좌표정보가 전제되어야 하며, 잘못 입력된 좌표는 경로탐색 시, 거리증대와 도착시간을 가중시킨다.

명칭 기반의 경로탐색은 출발지와 목적지 인근의 주요 건물, 교차로 등을 기준정보로 설정하는 경로탐색 방법으로써, 인근지역 거주자 및 해당 지역을 잘 아는 사용자에게 유리한 방법이다. 해당지역을 잘 모르는 사용자의 경우, 도로명주소 또는 좌표정보를 입력한 경로탐색 방법을 수행하는 것이 효과적이다.

대구경북 전체지역의 테스트베드실험을 통한 개발모듈의 검증결과, 앞에서 설정한 위험 및 회피지역을 모두 통과하지 않고 우회하여 목적지까지의 최적접근루트를 신속 · 정확하게 경로를 탐색하였다.

5. 실시간 피해정보 분석 시스템 개발

가. 실시간 피해정보분석 시스템 고도화

(1) 자동피해분석 모듈 고도화

수변지역에 피해가 발생하는 경우 실제 피해는 여러 곳에 발생할 것으로 판단되며, 따라서 자동피해분석 모듈 또한 단일 피해탐지에서 다중으로 피해를 탐지하는 방법으로 모듈을 고도화 하였다.

자동피해탐지 과정의 전체 단계는 다음 그림 2.3.56과 같다.

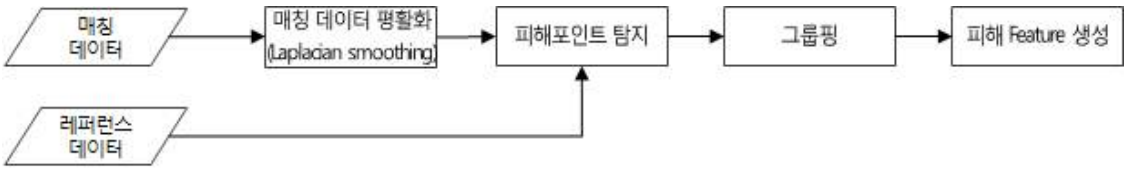


그림 2.3.56 자동피해탐지 단계

매칭데이터와 레퍼런스 데이터가 입력되면 매칭데이터 전처리 과정을 진행한다. 자료의 급격한 변화를 억제하여 전반적으로 부드러운 변화 양상을 갖도록 하여 불연속성 등에 의한 오탐지를 방지한 후 피해 포인트를 탐지한다. 피해 포인트 탐지는 매칭데이터와 레퍼런스데이터의 높이 차이를 기준으로 피해포인트와 피해 후보 포인트로 분류한다.

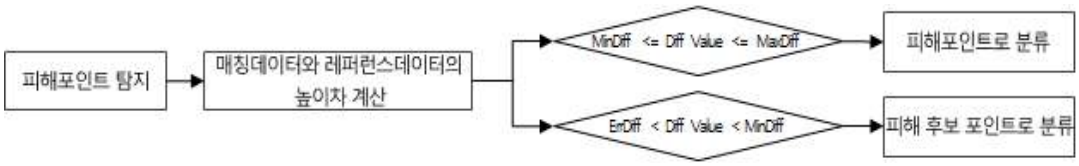


그림 2.3.57 피해포인트 탐지 방법

그룹핑 단계는 다중 피해에 대해 피해로 분류된 포인트의 연속성, 점밀도, 피해규모 등을 이용하여 다중 피해를 그룹화 하는 단계이며 그림 2.3.58과 같은 단계로 진행된다. 피해 포인트를 기준으로 그룹화를 진행하며 후보 그룹들로부터 거리, 면적 등의 조건을 확인하여 최종 그룹을 확정한다. 그룹핑이 완료되면 그룹의 경계 포인트를 검색하여 피해 위치, 면적, 체적 등의 속성정보와 모델정보를 생성한다. 경계폴리곤의 영역을 피해면적으로 계산하며, 동일 그룹의 삼각망 면적의 합산으로 피해지역에 대한 면적을 산출한다.



그림 2.3.58 피해포인트 그룹화 과정

개발된 자동피해분석 모듈은 다음 그림 2.3.59와 같이 피해포인트와 후보포인트들의 임계치를 적용하여 기능 테스트를 수행하였다.

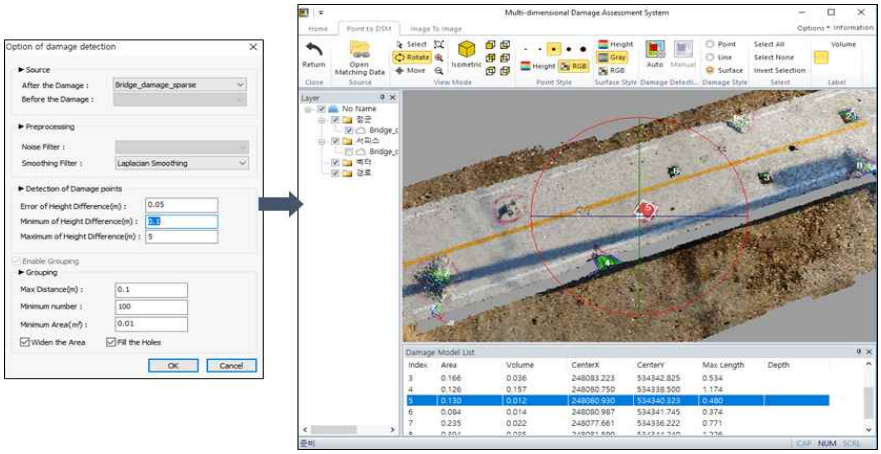


그림 2.3.59 자동피해분석 결과 화면

표 2.3.18 자동피해분석 결과

구분	실측	넓이	체적	오차(넓이)	오차(체적)
1	가로, 세로 50cm(넓이:0.25㎡)	0.246㎡	0.054㎥	0.004㎡	0.004㎥
2	가로, 세로 20cm(넓이:0.04㎡)	0.021㎡	0.001㎥	0.019㎡	0.007㎥
3	가로, 세로 40cm(넓이:0.16㎡)	0.135㎡	0.031㎥	0.025㎡	0.001㎥
4	가로, 세로 30cm(넓이:0.09㎡)	0.051㎡	0.012㎥	0.039㎡	0.006㎥

(2) BIM기반 근접영상 피해측정 모듈 개발

영상매칭데이터의 측정기능을 통해 수동으로 사용자가 피해지역의 길이 또는 면적을 측정하기 위하여 매칭결과는 3차원 불규칙 데이터로 사용자가 피해를 측정할 때 생성한 위치가 동일한 평면상에 존재해야 면적 계산이 가능하다.

따라서 사용자가 생성한 폴리곤을 구성하는 포인트를 기준으로 평면을 구성하고, 평면에 각 점을 투영해서 동일 평면상에 존재하는 위치를 재계산한다. 측정 포인트를 기준으로 평면을 구성하는 방법은 최소제곱법(Method of least squares)을 적용하였으며, 이를 이용해 면적을 산출하였다.

현장실증을 위해 구축한 여주시 모의시편 데이터를 대상으로 측정기능을 테스트하였고, 결과는 다음 그림 2.3.60 및 표 2.3.19와 같다.

표 2.3.19 측정기능 결과

피해	실측	넓이	오차
1	가로, 세로 50cm(넓이:0.25㎡)	0.257㎡	0.003㎡
2	가로, 세로 40cm(넓이:0.04㎡)	0.043㎡	0.007㎡
3	가로, 세로 40cm(넓이:0.16㎡)	0.152㎡	0.008㎡
4	가로, 세로 30cm(넓이:0.09㎡)	0.084㎡	0.006㎡

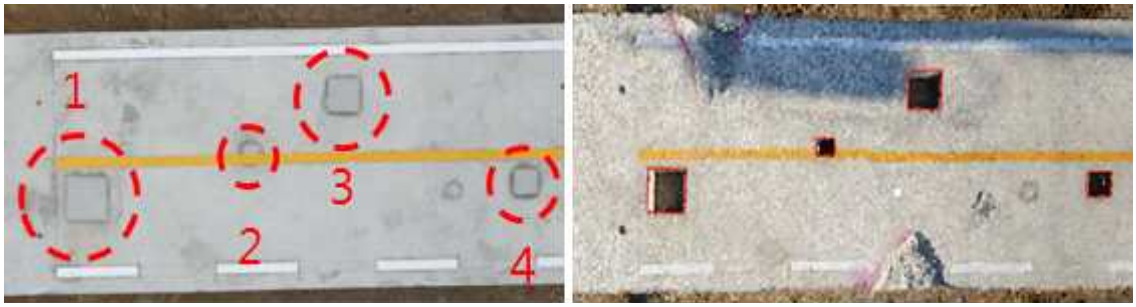


그림 2.3.60 측정 기능 테스트 화면(좌: 피해위치, 우: 측정기능 테스트화면)

(3) 영상정보 분석을 통한 피해분석 모듈 개발

영상정보 분석을 통한 피해분석 모듈은 영상을 기반으로 피해정보를 추출하는 모듈로 UAV 촬영 영상데이터를 기반으로 피해분석을 수행한다. 영상피해탐지는 공간전방교회법을 통해 피해지역의 위치를 계산한다. 영상피해 분석의 절차는 신규영상에서 피해 지역을 수동으로 생성하며, 공선조건식을 이용해 기존영상에 대략의 피해영역을 생성한다.

생성된 기존영상의 피해영역을 편집하고 Space Intersection 방법을 통해 정확한 지상좌표를 계산하고 피해정보를 산출하며, 그림 2.3.61은 해당 프로세스의 개념을 보여준다.

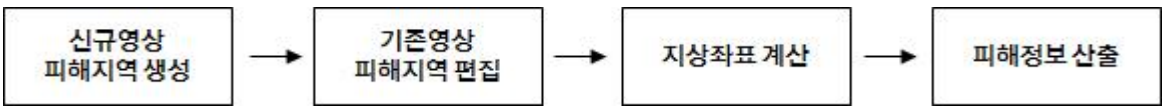


그림 2.3.61 영상피해탐지 단계

영상피해 분석 모듈은 두 영상뷰어와 영상리스트, UAV FootPrint뷰어, 피해정보리스트로 구성하였으며, 좌측영상은 신규영상으로 피해 발생이후의 영상을 도시하며, 우측영상은 기존영상을 도시한다. 모듈은 신규 영상목록에서 원하는 영상을 선택하고 선택한 영상과 중첩되는 영상이 기존 영상목록에 나열된다. 영상의 폴리곤 그리기 및 수정 기능을 통해 피해지역을 생성할 수 있도록 수동탐지 메뉴를 구성하였다. 영상피해탐지 결과는 다음 그림 2.3.62와 같다.

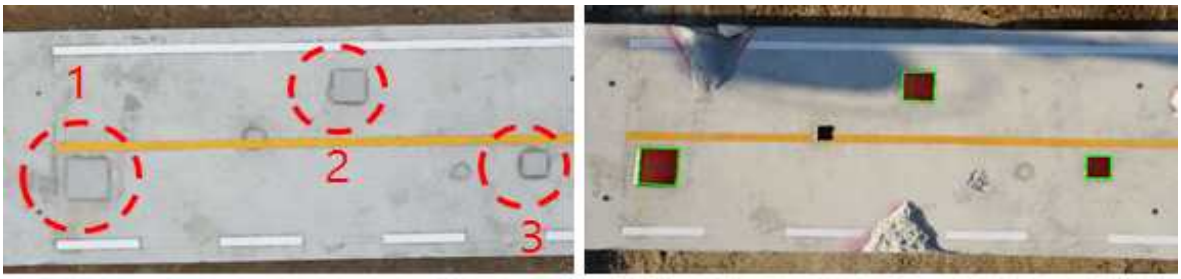


그림 2.3.62 영상탐지결과 화면(좌: 피해위치, 우: 피해탐지화면)

영상피해탐지 테스트를 수행하여 도출한 결과는 다음 표 2.3.20과 같이 매우 정확한 결과를 보여주었다.

표 2.3.20 영상피해탐지 결과

구분	실측	넓이	오차
1	가로, 세로 50cm(넓이:0.25㎡)	0.251㎡	0.001㎡
2	가로, 세로 40cm(넓이:0.16㎡)	0.156㎡	0.004㎡
3	가로, 세로 30cm(넓이:0.09㎡)	0.083㎡	0.007㎡

(4) 피해정보 분석보고서 출력모듈 개발 (피해정보 레포트 설계 및 정보표출 원리 등)

피해정보 분석보고서는 자동피해탐지 및 영상기반 피해탐지를 통해 분석된 결과를 전달하기 위해 요약된 정보를 출력하는 기능으로, 탐지된 여러 개의 피해 중 사용자가 선택한 피해에 대해 분석보고서가 출력된다. 분석보고서에 포함되는 내용은 다음 그림 2.3.61과 같이 자동피해분석 또는 영상피해분석의 결과로 피해시간, 위치, 면적, 체적, 피해유형(사용자 지정)등이며 피해 위치에 해당하는 UAV 영상이 출력된다.

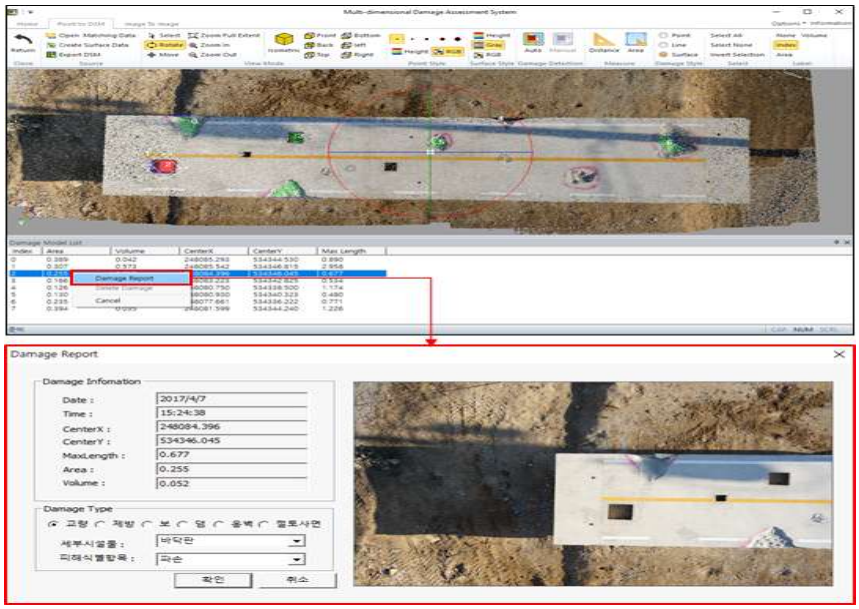


그림 2.3.63 피해정보 보고서 출력 화면

나. 현장 시범적용을 통한 실증 수행

(1) 모의현장 구현을 통한 저고도 영상의 형상변화 자동탐지 성능 검증

다차원 피해정보분석 시스템의 주요 기능인 수변구조물의 피해정보를 정량적으로 분석하고 검증하기 위하여 현장데이터인 모의시험편을 제작하였다. 모의시험편은 실제 교량의 형태와 재질로 구축한 콘크리트 구조물과 실제 제방과 유사한 흙 구조물을 각각 제작하였다.

피해로 전제하는 형상변화는 교량의 경우, 사전에 크기를 알고 있는 규격화된 형상변화와

실제 피해와 유사한 형태를 의도한 불규칙적인 형상변화 두 가지 형태로 적용하였다. 제방을 가정한 흙 구조물의 형상변화는 불규칙적인 형태의 피해만 전제하여 형상변화를 적용하였다.

그림 2.3.64 및 2.3.65는 피해로 가정한 형상변화를 적용한 설계도이다.

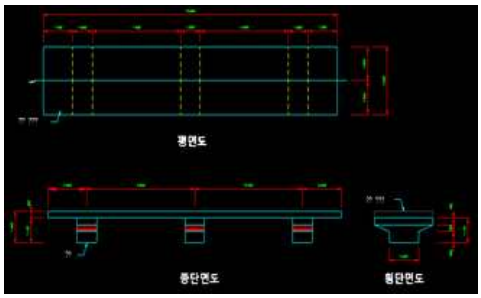
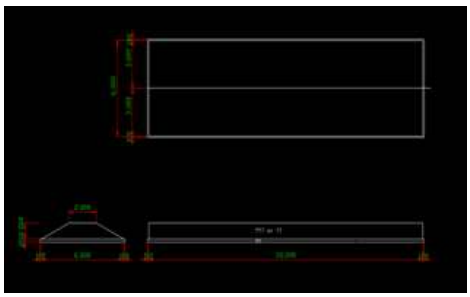
콘크리트 구조물	흙 구조물
	
	

그림 2.3.64 현장검증을 위한 모의시험편 제작

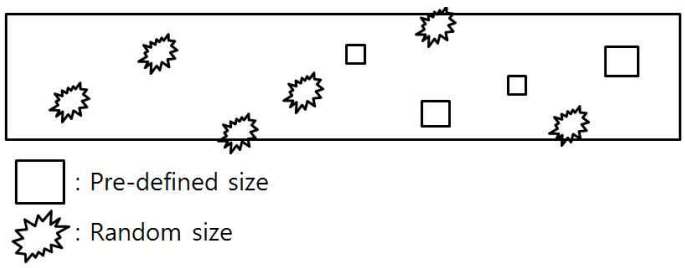


그림 2.3.65 교량 모의시험편의 형상변화 설계도

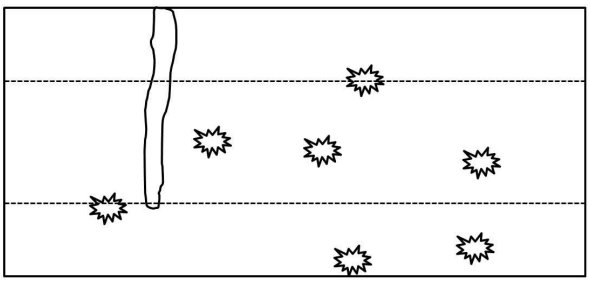


그림 2.3.66 제방 모의시험편의 형상변화 설계도

규격화된 피해는 가로세로 크기를 동일하게 단계적으로 적용하였으며, 높이 값은 동일하게 적용하였다. 크기는 50 X 50 X 22 (cm), 40 X 40 X 22 (cm), 30 X 30 X 22 (cm), 20 X 20 X 22 (cm)로 제작하여 분석 값의 결과를 정량적으로 비교가능 하도록 하였다.

모의시험편의 영상매칭과 3차원 형상 재현을 위하여 UAV 영상을 취득하였으며, 아래와 같이 총 4차례 비행을 통해 실험에 충분한 데이터를 확보하였다.

모의시험편 형상변화 전 2회 촬영 : 2016. 11. 10 / 2016. 11. 14

모의시험편 형상변화 후 2회 촬영 : 2016. 11. 24 / 2016. 12. 08

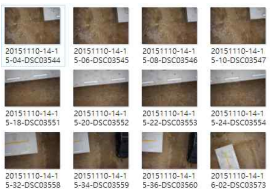
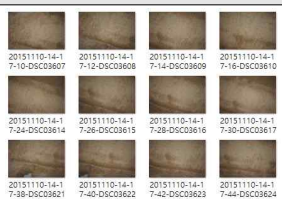
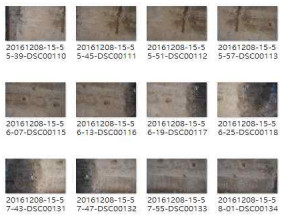
구분	콘크리트 구조물	흙 구조물
Before		
After		

그림 2.3.67 모의시험편 UAV 영상 샘플

영상의 외부표정요소(Exterior Orientation Parameter, EOP)는 촬영 기체에서 GPS/INS로 취득한 초기 값에 후처리를 수행하여 보정된 값을 사용하였으며, Geo-referencing 작업을 위해 사전에 기준점을 매설하여 측량을 실시하였다.

고해상도의 UAV 영상, 보정된 외부표정요소, 기준점을 통한 정확한 지오레퍼런싱 등의 작업을 통해 매우 정밀한 매칭 결과를 생성하였다. 제작된 3차원 형상을 이용하여 개발된 시스템에 적용하여 형상변화를 탐지하는 실험을 진행하였으며, 실험은 두 가지 형태로 진행하였다.

첫째, 전체적인 모의시험편의 피해를 정확히 탐지해내는지 검증하기 위하여 탐지 오차율을 측정하였다. 둘째, 사전에 그 크기를 알고 있는 규칙적 형태의 형상변화를 대상으로 면적과 부피 값이 얼마나 정확히 측정되는지 확인하기 위하여 정량적 분석을 실시하였다.

표 2.3.21 지상기준점 후처리 결과

측점	N(m) [GRS80 TM중부]	E(m) [GRS80 TM중부]	정표고(m) [말뚝높이보정]
C01	534,352.1521	248,089.3294	36.88316
C02	534,358.5970	248,082.2920	38.06400
C03	534,329.3820	248,068.7580	35.57300
C04	534,335.7180	248,058.3650	35.61500
C05	534,336.4476	248,086.2719	35.84408
C06	534,363.5835	248,060.1597	39.63676
C07	534,336.3747	248,076.0908	38.00106
C08	534,335.1446	248,077.2467	38.00138
C09	534,341.5389	248,080.0979	38.01749
C10	534,340.6570	248,081.5229	38.03354
C11	534,346.7699	248,084.4216	38.00295
C12	534,345.7845	248,085.6040	37.99092
N13	534,345.2140	248,062.7286	42.14983
N14	534,343.1860	248,065.5246	41.26635
N15	534,351.7035	248,068.8412	44.25869
N16	534,349.6346	248,071.7008	41.72988
N17	534,357.7438	248,073.5129	42.29699
N18	534,356.1639	248,076.6751	42.26278
N20	534,338.7240	248,084.4880	40.57700
N21	534,334.1820	248,080.3400	42.56200
N23	534,339.2705	248,074.1568	40.02879
N24	534,343.4454	248,077.8231	41.54172
N31	534,354.7279	248,061.3404	38.59799
N32	534,360.2563	248,068.0265	39.90368

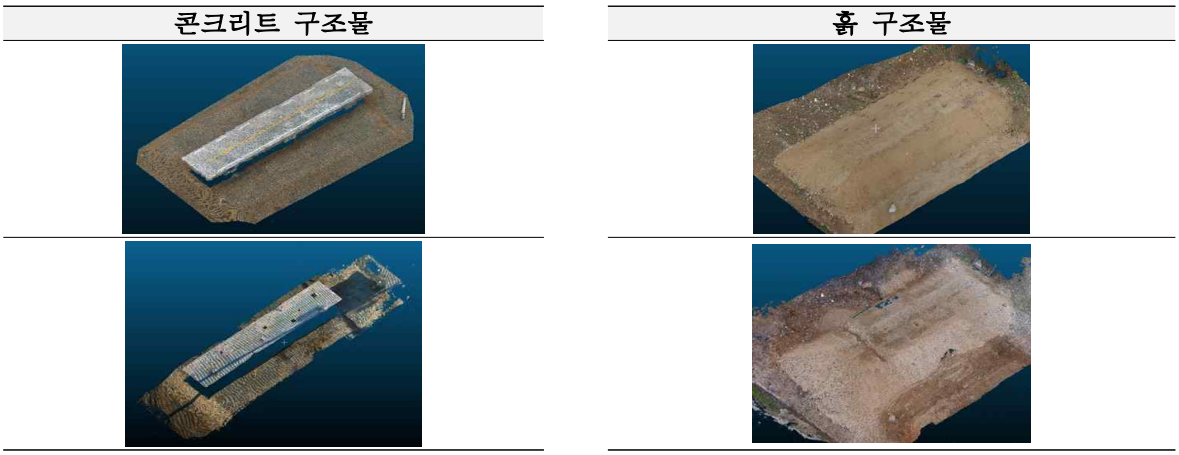


그림 2.3.68 모의시험편 매칭결과 (형상변화 전/후)

교량 모의시험편은 총 10개의 형상변화 영역을 실험하였고, 그림 2.3.67과 같이 형상변화를 정확히 탐지한 영역은 총 8개 영역이었다. 탐지가 누락된 영역은 두 영역으로 하나는 피해 규모가 매우 협소하여(20cm 이하의 크기) 매칭 결과로 탐지하는 것에 한계를 보였고, 다른 하나는 매우 얕은 피해를 적용하여 본 연구의 알고리즘에서 설정한 10cm 높이 차보다

낮아서 발생한 오류였다. 결과적으로 10cm 이상의 피해와 일정 규모 이상의 피해크기는 모두 개발된 알고리즘과 시스템을 적용하면 적절히 피해로 판별되었다.

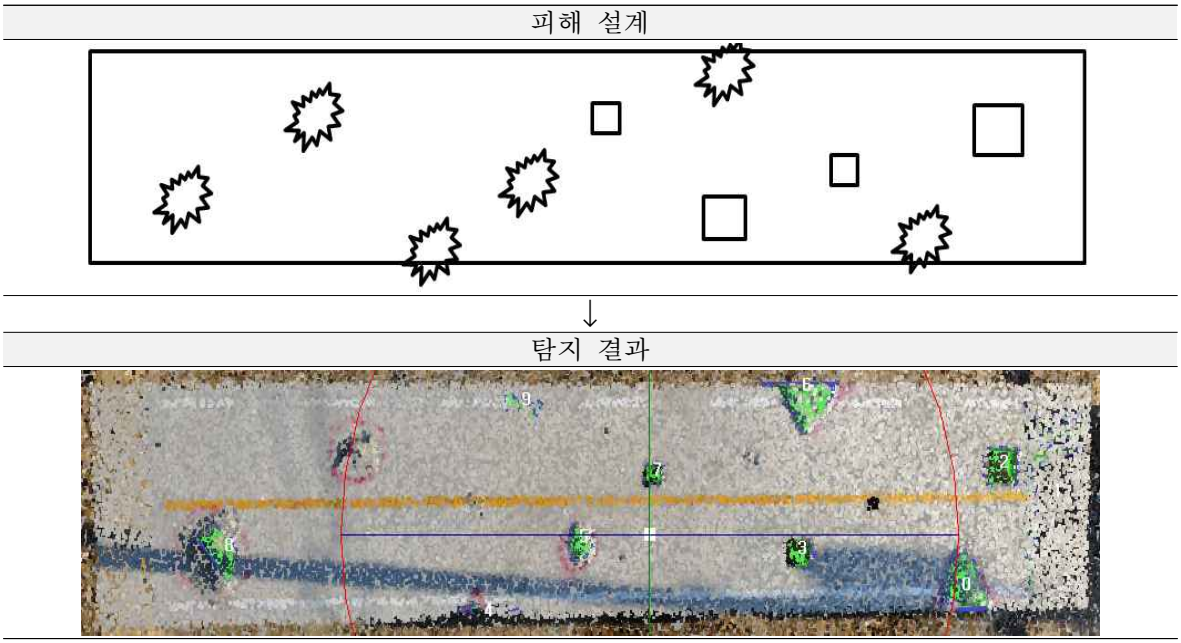


그림 2.3.69 교량 모의시험편 피해탐지 결과

제방 모의시험편은 총 8개의 형상변화 영역을 실험하였고, 그림 2.3.68과 같이 형상변화를 정확히 탐지한 영역은 총 7개 영역이었다.

하지만 제방 모의시험편의 피해탐지 결과에서는 일부 피해가 아닌 영역들이 피해로 판별되어 원인을 파악한 결과, 피해영역의 적용을 위해 포크레인이 모의시험편 위로 이동하면서 생긴 파손이 결과에 영향을 미쳤다.

또한 피해가 탐지되지 않은 1개 영역도 교량 모의시험편의 경우와 마찬가지로 10cm 미만의 파손이 적용되어 본 시스템의 알고리즘으로 탐지가 되지 않았다.

다음은 연구결과로 개발된 시스템이 피해로 판별한 영역의 면적과 부피를 얼마나 정확히 측정하는지에 관한 실험을 진행하였다. 본 실험은 사전에 정의된 크기로 형상변화를 적용한 규칙적 형상변화 영역을 대상으로 실험을 하였고, 결과는 아래 그림 2.3.69 및 표 2.3.21과 같다.

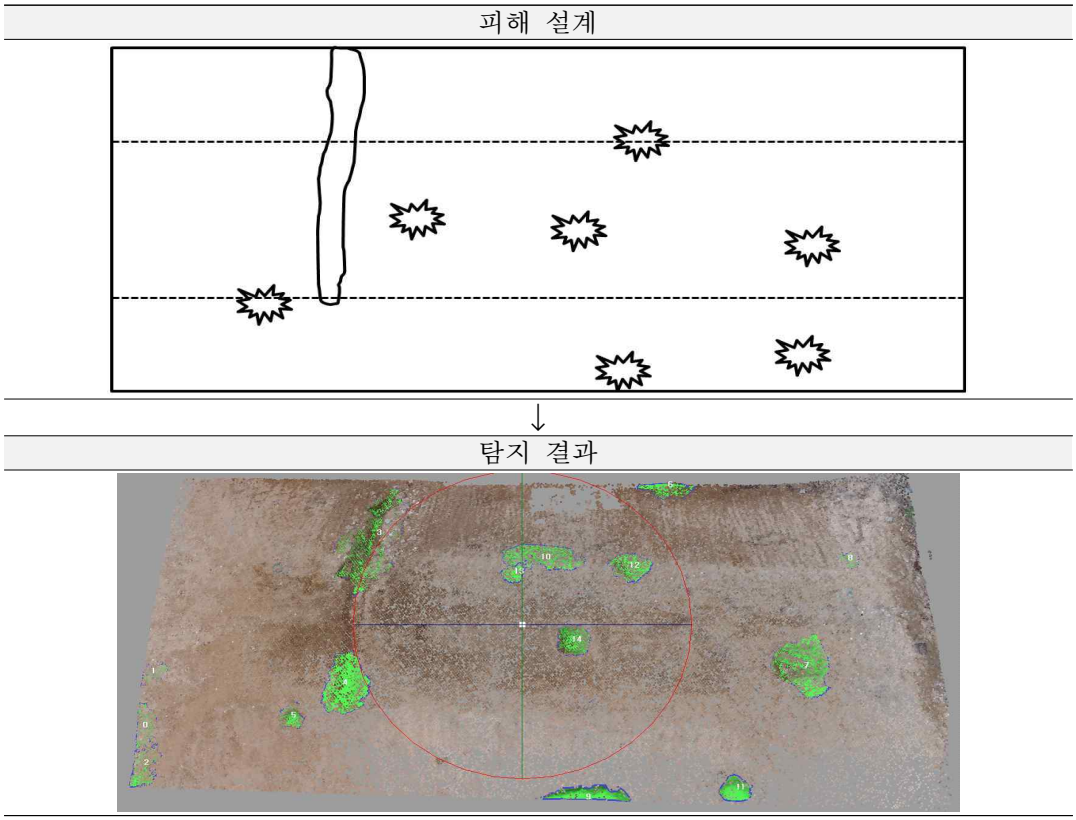


그림 2.3.70 제방 모의시험편 피해탐지 결과

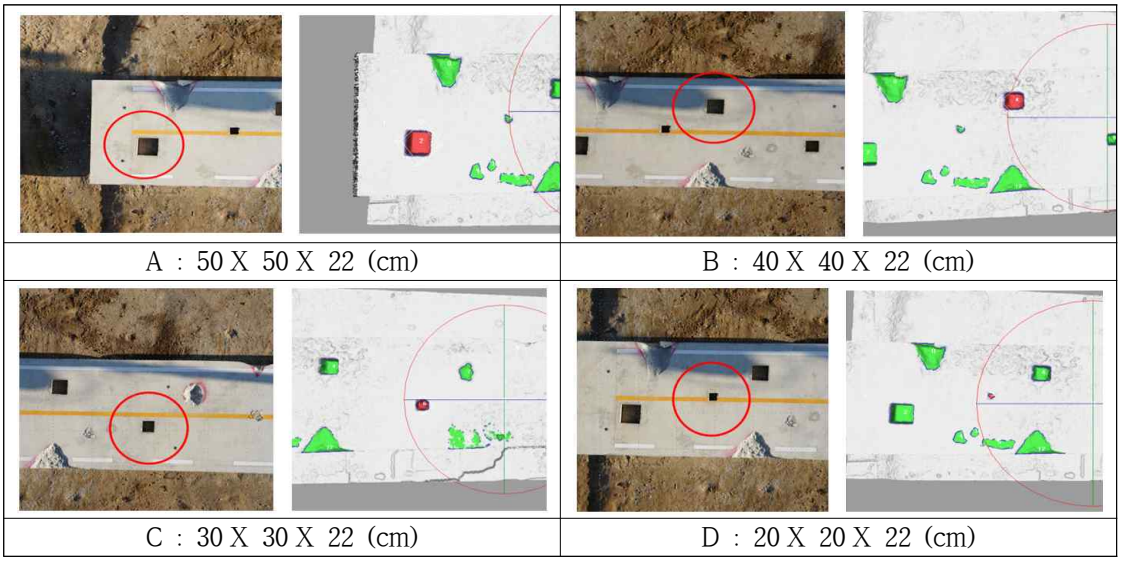


그림 2.3.71 모의시험편 정량적 분석 실험

현장 데이터인 모의시험편 실험결과, 30cm 이상의 크기에서는 오차율 1.6%, 8.75%, 4.44% 등 비교적 높은 정량적 분석결과를 보여주었으나, D영역인 20cm 영역에서는 큰 오차가 발생하였다.

표 2.3.22 모의시험편 정량적 분석 결과

구분		실제 크기	분석 크기	차이값	오차율(%)
면적 (㎡)	A	0.250	0.246	0.004	1.60
	B	0.160	0.174	-0.014	8.75
	C	0.090	0.086	0.004	4.44
	D	0.040	0.021	0.019	47.5
부피 (㎥)	A	0.050	0.053	-0.003	6.00
	B	0.032	0.038	-0.006	18.75
	C	0.018	0.015	0.003	16.67
	D	0.008	0.001	0.007	87.50

변화영역이 클수록 대체로 오차율이 작고 탐지율이 높은 경향성을 가지나 B영역의 경우 크기가 더 작은 C영역보다 오차율이 크게 나와 일부 경향성을 벗어난 결과를 보여주었다. 이는 B영역의 영상에서 보듯이 주변 전봇대에 의해 생긴 그림자가 영상매칭 결과물에 일부 오류를 발생시킨 것으로 확인되었다.

결과적으로 일정크기 이상(본 실험에서는 30cm)의 형상변화는 연구결과로 개발된 알고리즘으로 충분히 변화량을 측정할 수가 있음을 알 수 있다. 현장 실험을 통해서 개발된 피해분석 시스템은 수십미터에서 크게는 수백미터의 크기를 가진 수변구조물 등과 같은 사회기반 수변구조물의 형상변화나 피해영역 분석에 매우 효과적임을 알 수 있었다.

(2) 근접영상에 의한 피해유형 및 피해물량 산정 현장실증

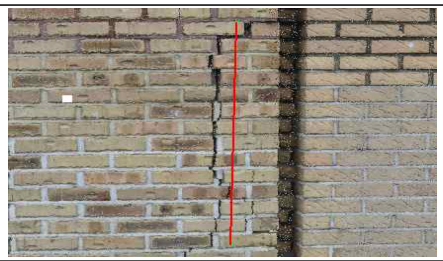
본 연구에서는 레퍼런스 데이터의 부재 시, 현장에서 즉시적으로 취득되는 영상 데이터만을 이용하여 피해분류가 가능한지, 피해량은 산정이 가능한지를 실제 현장데이터를 이용하여 실험하였다.

레퍼런스의 부재를 전제한다는 것은 촬영된 근접영상의 절대좌표를 생성할 수 없다는 것을 의미한다. 결국 촬영된 영상의 카메라정보를 바탕으로 외부표정요소를 이용한 측면영상 결과를 가지고 상대적인 거리와 면적 등 정량적 정보를 산정하여야 한다.

개발된 시스템은 절대좌표의 취득없이 특정 영역의 상대적 매칭결과를 이용하여 피해영역을 자동으로 측정할 수 있으며, 이를 위해 다음 그림 2.3.70과 같이 취득한 피해영상의 매칭결과를 생성하고 피해물량을 산정하였다.

피해 현장 12개소 취득 및 분석을 통해 개발된 시스템의 성능을 검증해 보았으며, 길이 측정을 통한 검증을 통해 대체로 신뢰할만한 결과를 도출할 수 있었다.

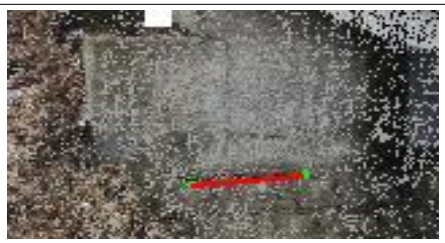
면적 정보는 비교할 대상이 없었으나, 줄자를 이용한 길이 측정을 통해 정확도의 검증을 수행할 수 있었다.

피해현장 01 : 파손길이 0.991(m)



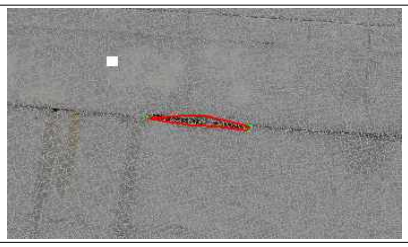

피해현장 02 : 파손면적 0.016(㎡)

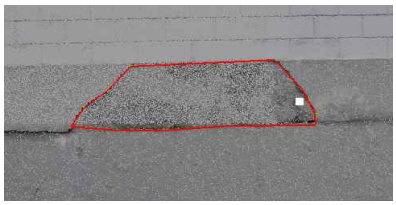
피해현장 03 : 파손길이 0.805(m)




피해현장 04 : 파손면적 0.040(㎡)

피해현장 05 : 파손면적 0.030(㎡)

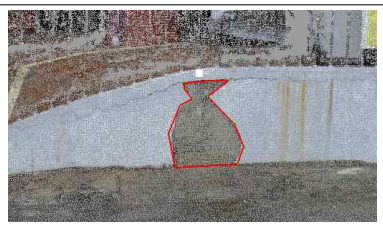
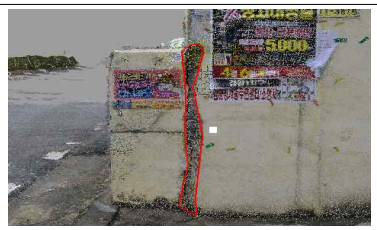
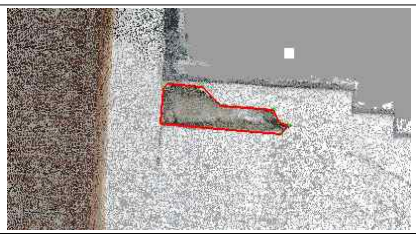
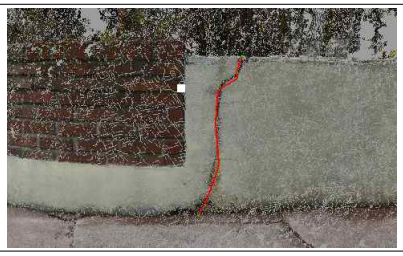
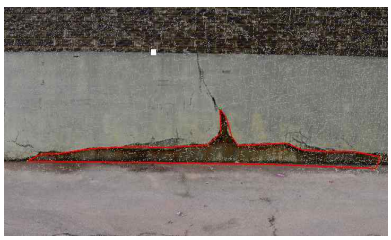
피해현장 06 : 파손면적 0.670(㎡)	
	
피해현장 07 : 파손면적 0.248(㎡)	
	
피해현장 08 : 파손면적 1.704(㎡)	
	
피해현장 09 : 파손길이 1.223(m)	
	
피해현장 10 : 파손면적 0.092(㎡)	
	
피해현장 11 : 파손길이 0.912(m)	
	
피해현장 12 : 파손면적 0.121(㎡)	

그림 2.3.72 피해현장 12개소 물량 산정

다음 표 2.3.23은 실측치와 비교한 분석치의 길이 비교 결과이다.

표 2.3.23 피해현장 12개소 분석결과

구분	실제 길이(m)	분석 길이(m)	차이값	오차율(%)
1	0.980	0.991	-0.011	1.12
2	0.210	0.207	0.003	1.43
3	0.810	0.805	0.005	0.62
4	0.120	0.118	0.002	1.67
5	0.760	0.750	0.010	1.31
6	0.990	0.994	-0.004	0.40
7	0.790	0.782	0.008	1.01
8	1.010	1.016	-0.006	0.59
9	1.210	1.223	-0.013	1.07
10	0.830	0.822	0.008	0.96
11	0.910	0.912	-0.002	0.22
12	3.180	3.193	-0.013	0.41

다. 피해복구 의사결정지원시스템 연계 모듈 개발

(1) 이동형 지상국 및 지상영상 획득장비 연계 데이터관리 시스템 구축

수변구조물 피해분석을 위한 전체 프로세스는 UAV영상 취득 후, 지상국 전송 그리고 FTP를 이용한 촬영 데이터의 전송, 촬영 데이터 분석을 통한 수변구조물 피해정보의 분석, 분석된 피해정보를 기반으로 한 의사결정 정보의 제공으로 구분할 수 있다.

생성된 피해분석 결과는 후속 시스템인 의사결정지원시스템으로 분석 결과를 전달하며, 제공되는 분석결과는 피해가 발생한 좌표정보와 면적/부피 등 정량적 분석값을 포함한다. 동시에 피해 위치를 기반으로 복구자원의 위치와의 거리를 계산 후, 복구자원이 피해지역까지 효과적으로 이동하는 최적접근루트를 탐색한다. 이를 위해 이동형 지상국에서 분석 서버로 분석 데이터를 전송하기 위한 데이터 입력모듈을 개발하였다.



그림 2.3.73 촬영 DB의 서버 전송을 위한 연계모듈

(2) 통합플랫폼과 데이터 연계망 구축

다차원 피해정보분석 시스템의 재난재해 발생 후, 복구단계에서 피해영역의 위치를 정량적으로 분석하는 시스템으로써 수변구조물 통합안전관리 연구단의 통합플랫폼과의 연계가 필요하다. 이를 위해 연구단과 통합플랫폼 시스템과 연계를 위한 수차례 논의와 모의훈련을 시행하였다. 피해분석 결과는 적절한 형태로 재가공되며 통합플랫폼 구성에 따라 필요로 하는 의사결정 지원 정보들을 전달하는 역할을 수행하도록 구축되었다.

라. 근접영상 피해분석 처리 전용 모듈 개발

(1) 근접영상 및 궤적정보(Footprint) 표출 UI 개발

근접영상 피해분석 모듈은 UAV 근접촬영 데이터를 통해 피해를 탐지하고 분석하는 모듈을 말하며, 기존 수직영상 모듈과 다른 UI와 데이터 도시가 필요하다. 근접영상은 수직영상과는 다르게 지도 기반으로 그 데이터가 표시되지 않으므로 다음 그림과 같이 3차원 모델링 데이터 혹은 레퍼런스 모델링 데이터를 배경으로 UAV 근접영상을 표출하는 방안을 적용하였다.

메인화면은 기본적으로 3차원 뷰로 구성하였으며, 매칭데이터 / 3차원모델데이터 / 영상데이터 / Footprint 정보 등이 중첩도시 되도록 개발하였다. 기존 수직영상처리 모듈은 메인화면이 지도를 배경으로 하는 2D 기반의 메인화면으로 구성되나, 근접영상처리 모듈은 위 그림과 같이 3D 기반의 메인화면으로 구성된다.

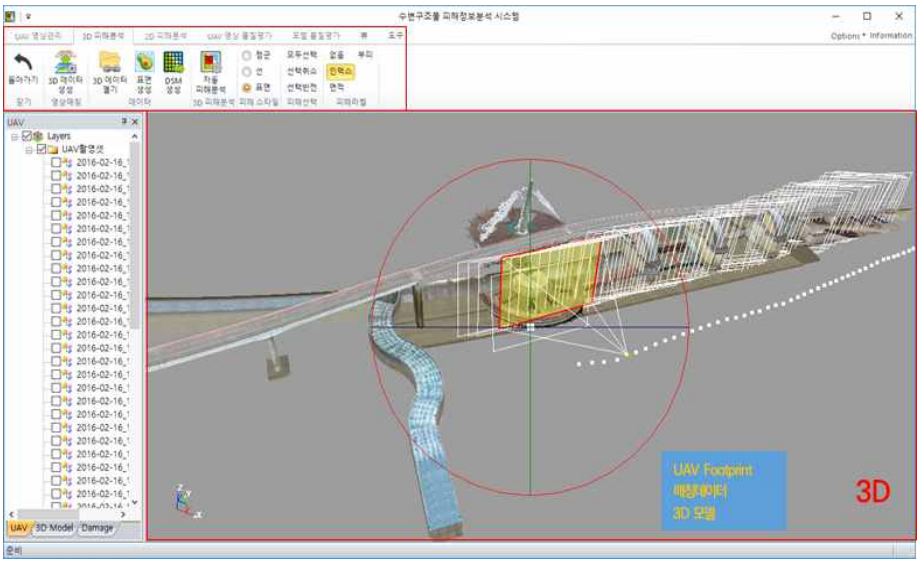


그림 2.3.74 근접영상 처리 모듈의 메인화면

또한 영상의 촬영형태를 알 수 있는 영상궤적(Footprint) 정보를 화면에 실시간으로 표시되도록 개발하여, 그림과 같이 카메라 중심위치, 영상크기, 궤적정보 등이 동시에 표출되도록 하였다.

다음 그림과 같이 본 모듈은 촬영영상의 Footprint 위치에 영상이 도시되며, 촬영위치에서 촬영된 방향을 바라 볼 수 있도록 하였다. 사용자가 마우스를 통해 여러 방향으로 볼 수 있도록 하는 화면을 ‘자유시점’이라 명명하였고, 촬영 위치에서 촬영된 방향을 바라보는 기능은 ‘촬영시점’이라 명명하였다.

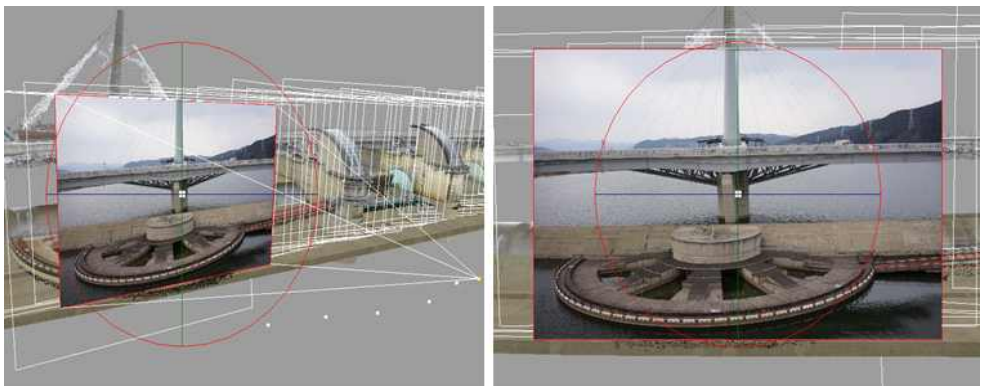


그림 2.3.75 UAV 촬영 시점 변경 화면(좌: 자유시점, 우:촬영시점)

근접영상처리 모듈에서도 기존 수직영상처리와 같은 피해분석 프로세스를 적용하여 모듈을 개발하였다. 자동 피해탐지기능은 피해탐지파리미터를 입력한 후 수행, 단일 또는 다중 피해가 자동으로 탐지되며 피해분석정보가 데이터베이스에 저장되는 기존 수직영상처리 모듈과 동일한 흐름으로 구상하였다.

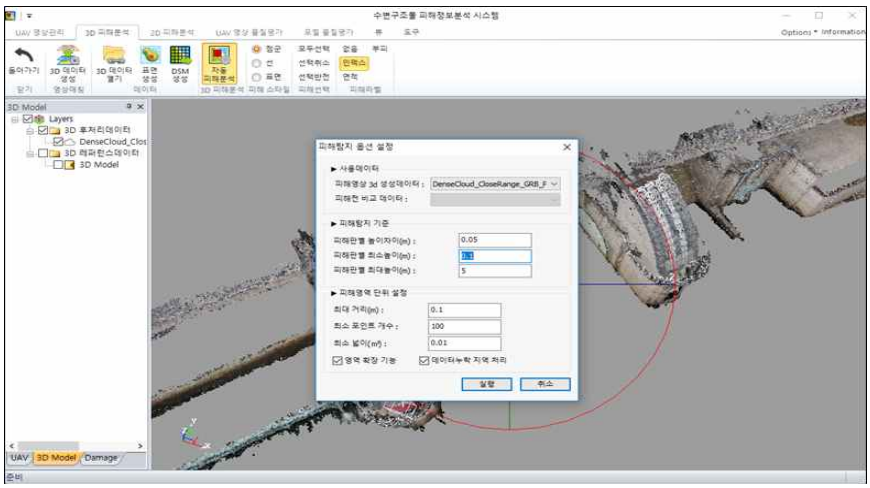


그림 2.3.76 측면자동피해탐지 실행 화면

피해탐지에 입력되는 파라미터도 기존과 유사하게 피해탐지기준(피해판별 높이차이/최소높이/최대높이), 피해영역 단위설정(최대거리/최소포인트갯수/최소넓이)로 설정하였다.

피해정보 레포트에는 피해 분석결과(피해탐지일/시간/최대거리/면적/부피/위치정보),피해종류(세부세설물/피해식별항목), 피해화면(피해위치와 가장가까운 영상/3차원 피해영상)가 표출된다.

근접영상은 피해지역을 측면에서 촬영한 데이터로 영상의 2차원좌표를 3차원 지상좌표로 변환하는 과정에서 정밀3D 모델 또는 매칭데이터가 사용된다.

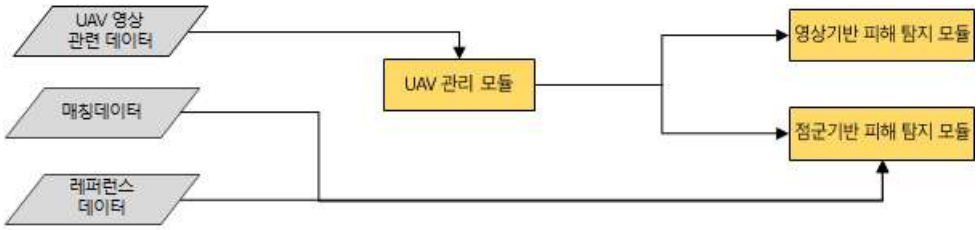


그림 2.3.77 수직영상 기반 프로세스

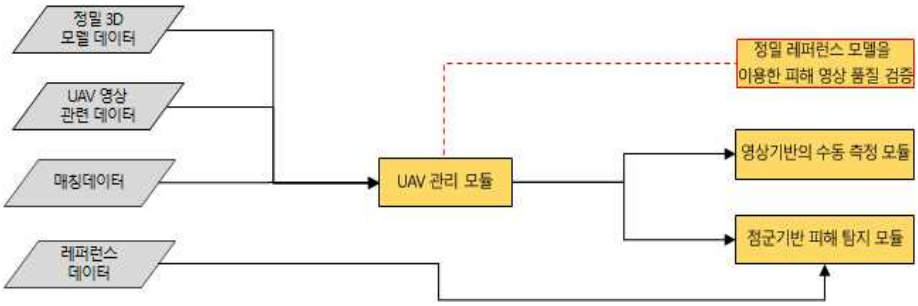


그림 2.3.78 근접영상 기반 프로세스

방식은 기존 수직영상과 동일하게 공선조건식(collinearity equation)을 사용하나, 근접영상은 측면에서 촬영한 데이터이므로 조건식의 축적계수에 대한 파라미터 수정이 필요하다.

정밀 3D모델/3차원 매칭 데이터를 이용하여 영상과의 거리(depth)정보를 계산하여 축적계수를 계산하는데 사용하였으며, 자세한 계산방법 및 설명은 아래 그림과 같다.

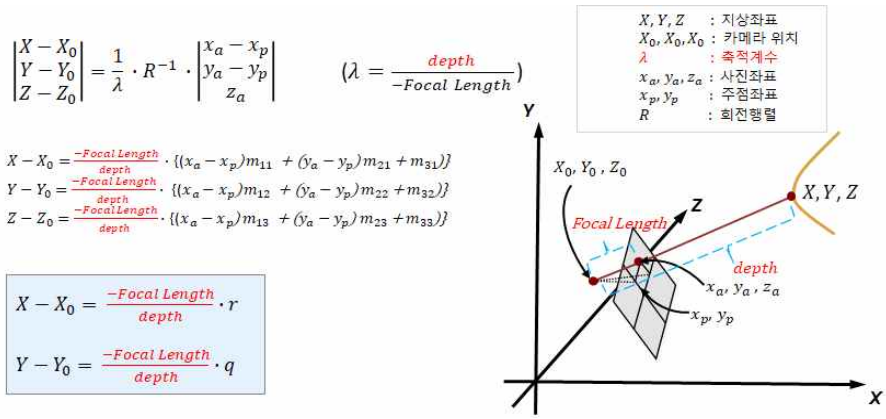


그림 2.3.79 근접영상의 3차원 좌표 계산방법

기존 공선조건에서는 수식에서 지면과 영상의 거리 계산을 위해 평균해수면 값을 이용한다. 하지만 측면 근접영상에서는 영상이 지면을 바라보는 형태가 아니고, 구조물 자체를 바라보기 때문에 영상과 지도 사이의 거리가 아닌 대상체와의 거리인 거리정보 Depth 개념을

적용하여 알고리즘을 적용한다. 여기서 Depth는 카메라 위치에서 영상이 바라보는 방향으로 반직선(ray)를 투사하여 대상체까지의 거리를 의미한다.

근접영상의 Footprint 표출을 위하여 위의 방법을 사용하였으며 자세한 알고리즘 적용 방법은 아래와 같다.

① UAV의 촬영 궤도 중심 검색

② 촬영방향 벡터 계산(공선조건식 : 초기 Depth 값)

③ 매칭데이터를 사용한 경우

④ 방향벡터가 모델과 교차하는 위치 검색(모델데이터를 사용한 경우) 또는 영방향 벡터 반직선과 일정거리(버퍼) 안에 포함되는 포인트 검색(매칭데이터를 사용한 경우)

⑤ 모델위치와 촬영궤도 중심을 이용하여 Depth 값 계산 및 Fooprint 좌표 계산(모델데이터를 사용한 경우) 또는 버퍼안의 포인트로부터 Depth 값 계산 및 Fooprint 좌표 계산(매칭데이터를 사용한 경우)

위의 방법에 따라 매칭데이터를 이용하여 근접영상의 Footprint를 도시한 결과는 그림 아래 그림 2.3.81과 같다.



그림 2.3.80 근접영상의 Footprint 표출방법

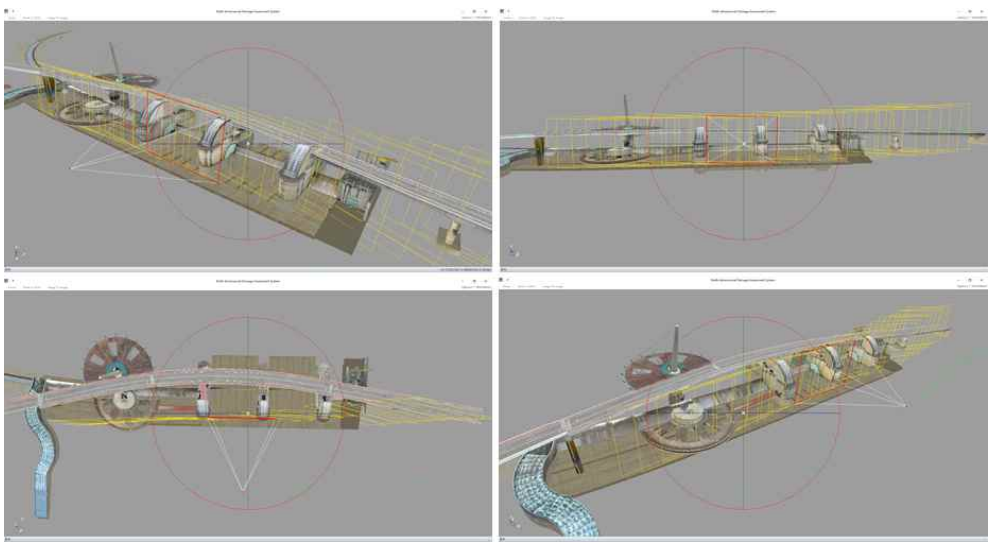


그림 2.3.81 강정고령보 근접데이터의 Footprint 표출

(2) 스테레오 근접영상 기반 정량적 피해측정 기술개발

근접영상처리 모듈에서 인접한 중복영상 처리를 통해 영상 기반으로 피해를 탐지하는 알고리즘과 모듈을 개발하였다. 영상 기반의 분석에서는 기존 수직영상에서 사용하는 전방교회법(Space intersection) 방식을 적용하였다.

근접영상처리 모듈에서 사용하는 근접영상 기반의 수동 측정 과정은 아래 그림 2.3.80과 같다. 중복된 두 영상에서 좌측 영상은 피해지점 혹은 사용자 관심 지점의 영역을 표시하고, 우측 영상은 공간전방교회법으로 선택지점을 자동으로 표시하게 된다.

이러한 모듈을 개발하기 위하여 2D 기반의 듀얼 영상 표시 UI를 개발하였으며, 하단에는 영상들이 포함된 지점의 영상궤적정보, 하단 우측에는 계산된 측정값들을 표시되도록 모듈을 구성하였다.



그림 2.3.82 근접영상 기반의 수동측정

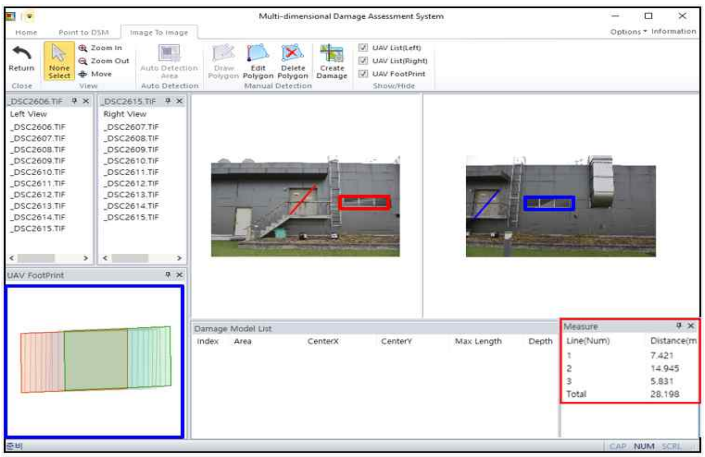


그림 2.3.83 근접영상 기반 측정모듈

이러한 스테레오 근접영상을 입력데이터로 사용하기 위해서는 기존과 다른 메인화면 구성이 필요하며, 기존 수직영상과 다른 입력형식을 적용하거나 선택적 입력방식을 적용하여야 한다. 이를 위해 아래 그림 2.3.84와 같은 프로젝트 구성을 개발하였다.

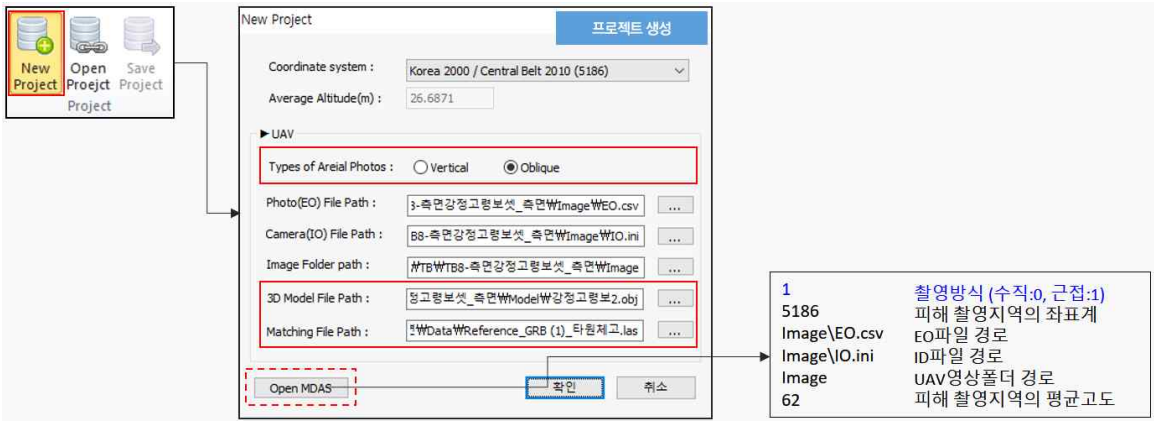


그림 2.3.84 근접영상 입력을 위한 프로젝트 화면

(3) 근접영상 정량적 피해분석 모듈 개발

자동피해탐지는 지금까지 매칭데이터와 레퍼런스데이터의 높이값 차이를 이용하였으나, 근접영상데이터의 자동피해탐지는 기존의 수직영상데이터와 방법이 동일하나 높이 값 차이를 계산하기위해 데이터의 회전변환이 필요하다.

근접영상데이터의 자동피해탐지 방법론은 아래와 같다.

① 매칭 점군 데이터로부터 데이터의 평활화 진행(Laplacian smoohing방법 적용)

② 매칭 점군 데이터의 회전변환(UAV 촬영위치와 촬영방향을 이용)

③ 레퍼런스 점군 데이터의 데이터 회전변환

④ 레퍼런스 점군 데이터로부터 DSM 생성

⑤ 매칭점군 데이터와 DSM을 이용하여 피해포인트 탐지

⑥ 피해포인트의 그룹화

⑦ 피해 Feature 생성 및 분석 진행

매칭 데이터의 평활화는 입력된 매칭 데이터 자료의 급격한 변화를 억제하여 전반적으로 부드러운 변화 양상을 갖도록하여 불연속성 등에 의한 피해 오탐지를 방지하기위한 전처리 과정이다.



그림 2.3.85 근접영상데이터의 자동피해탐지 프로세스

피해포인트 탐지는 매칭데이터와 레퍼런스데이터의 높이값의 차이를 이용하여 피해 포인트를 분류하는 과정으로 방법은 아래와 같다.

① 피해포인트 탐지

② 매칭 점군 데이터와 레퍼런스 DSM간의 높이차이 계산

③ 입력된 파라미터 값을 기준으로 피해포인트와 피해 후보 포인트로 분류

그룹핑 단계는 다중피해가 발생시 피해를 그룹화하는 과정으로 피해로 분류된 포인트의 연속성, 점밀도, 피해규모 등을 이용한다.

피해 Feature 생성 단계는 피해포인트의 그룹화가 완료되고 그룹의 경계 포인트를 검색하여 피해위치, 면적, 볼륨 등의 속성정보와 모델정보를 생성하는 단계이다.

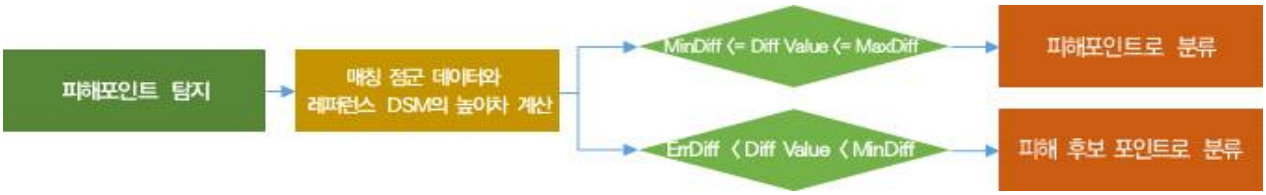


그림 2.3.86 피해포인트 탐지 방법



그림 2.3.87 피해포인트의 그룹화 방법

근접영상데이터의 자동피해 탐지 결과는 측면에서 분석되며, 이해를 위해 강정고령보 측면데이터에 가상의 피해를 생성하여 수동측정기능을 활용하여 측정한 결과와 자동피해탐지 기능 결과를 비교하였다.

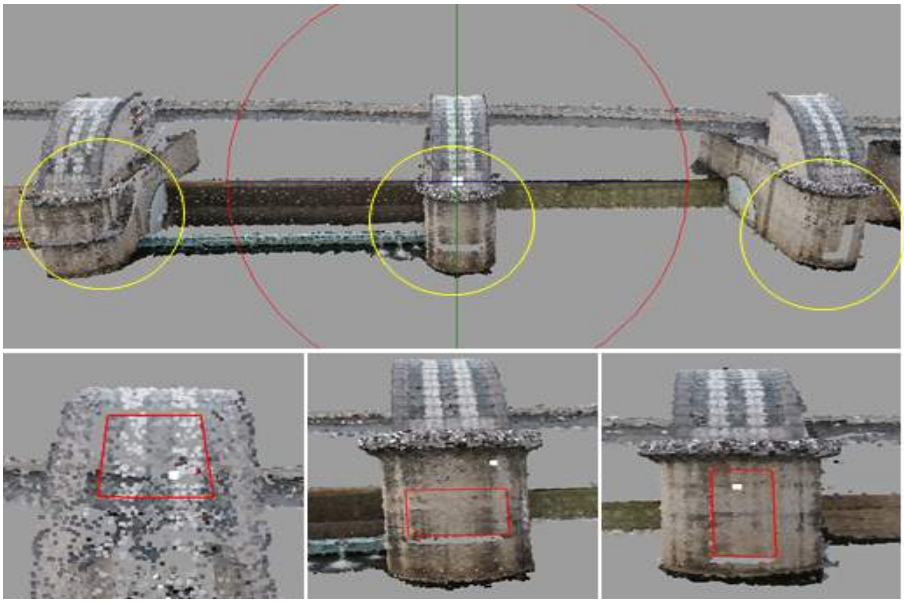


그림 2.3.88 근접영상 피해에 대한 수동측정 결과(강정고령보)

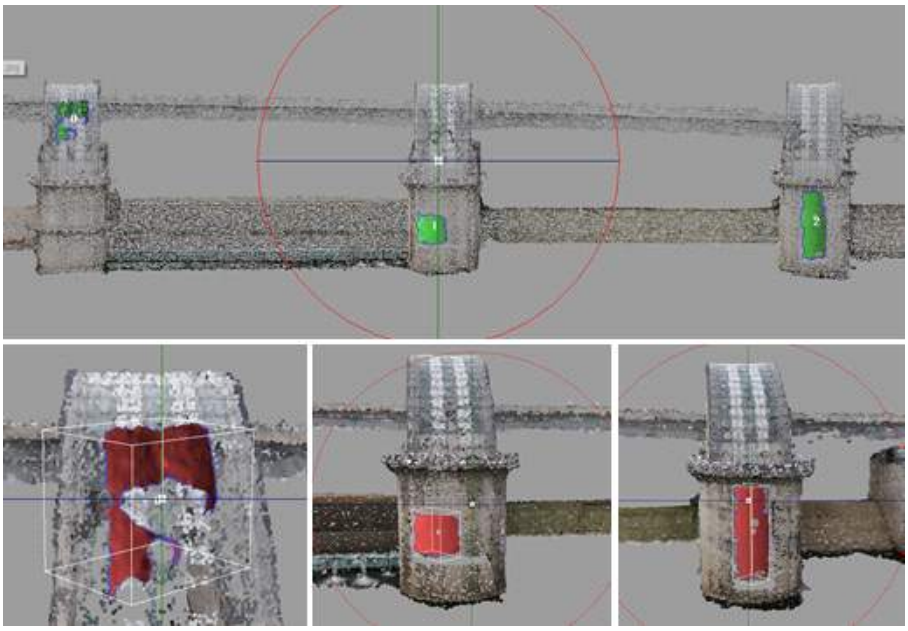


그림 2.3.89 근접영상 피해의 자동피해탐지 결과(강정고령보)

표 2.3.24 근접영상 자동피해탐지 결과비교(면적)

구분	피해1 지역(면적)	피해2 지역(면적)	피해3 지역(면적)
수동피해측정	40.2㎡	32.12㎡	36.92㎡
자동피해탐지	12.6㎡	16.62㎡	28.9㎡

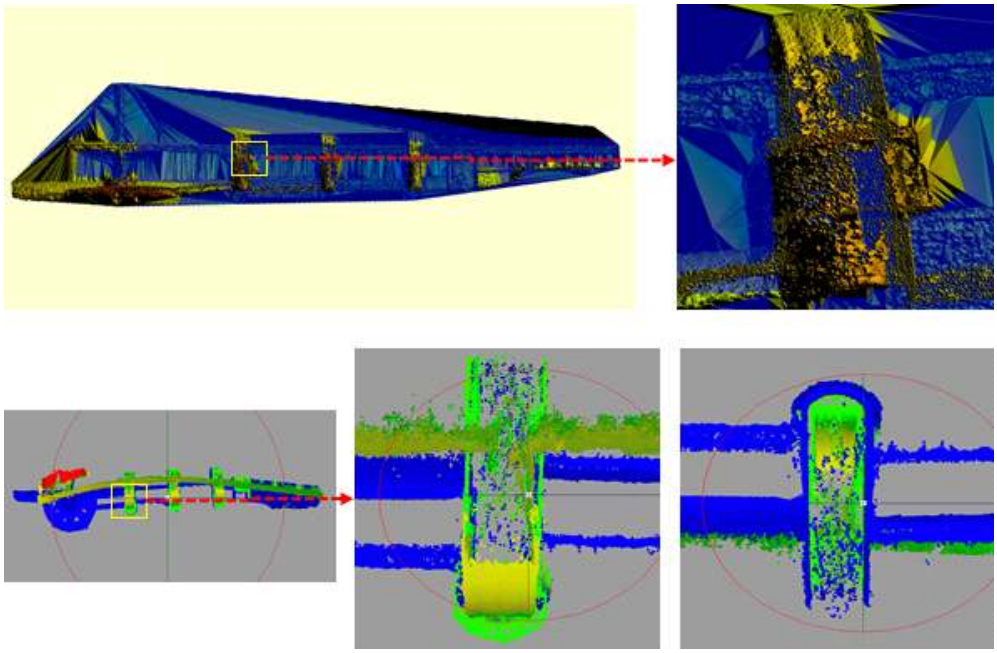


그림 2.3.90 매칭데이터의 노이즈와 수변구조물 안쪽의 불필요 데이터

수동피해측정결과와 자동피해탐지 결과의 면적에 대한 차이가 크게 발생하였으며 발생한 문제는 다음과 같다.

① 근접촬영영상에서 매칭점군 데이터와 레퍼런스 점군데이터의 노이즈의 문제

② 구조물 안쪽 불필요한 점군 데이터로 인한 DSM생성 문제

결국 수동 계산에 의한 영상기반의 근접영상 피해탐지는 잘 나오나, 자동탐지는 측면 매칭데이터의 높은 노이즈로 인하여 적절한 방법이 아니라는 것이 확인되었다.

이를 보완하기 위하여 3D 기반의 피해영역 탐지를 위해 측정 기능을 추가하였다. 측정은 3D포인트 클라우드 데이터에 특정 점들을 선택하여 원하는 지점의 거리를 유클리드 거리공식을 활용하여 정확한 거리 정보를 산출해낸다. 또한 세 점 이상을 평면에 근사하여 선택된 전체 평면의 면적정보를 산출해낸다.



그림 2.3.91 포인트 기반의 근접영상 측정결과

마. 품질정확도 검증 모듈 개발

(1) 정밀 레퍼런스 모델을 이용한 실시간 피해영상 품질검증 알고리즘 개발

피해영상 품질정확도 검증 모듈은 UAV로 촬영되어 입력된 영상들의 오차를 보정하고 품질의 정확도를 검증하는 모듈을 말한다. 피해영상 품질정확도 검증 모듈의 UI는 아래 그림과 같이 구성하였으며, UAV 촬영위치/자세정보의 보정전/후의 정보는 보정 정보 리스트에 나열된다. 또한 관측정보에 대한 정량적인 분석을 위해 관측점에 대한 통계정보가 통계정보 리스트에 나열된다(최소오차/최대오차/평균오차/표준편차/평균제곱근오차).

품질을 검증하거나 보정하기 위한 선택된 영상은 개발된 모듈에서 보정 전/후의 외부표정요소를 이용한 Footprint가 중첩으로 도시되며, UAV 시점 보기를 통해 정확도에 대한 정성적인 평가가 가능하다. 검사점 비교모드기능은 품질정확도 검증을 위해 검사점(GCP 또는 사용자관측)과 보정전/후의 외부표정요소를 이용한 3차원 좌표를 비교하는 기능이다. 검사점 파일을 열어 리스트와 화면에 도시되며 사용자가 모델에서 관측하여 검사점을 추가할 수 있도록 개발되었다. 두 영상에서 모델점을 관측하면 3차원 모델점이 계산되며 관측정보리스트에 좌표와 차이 값이 나열되어 표시된다. 보정 전의 UAV 영상과 보정 후의 UAV 영상은 모듈 내부에서 검사점 검사를 통해 외부표정요소 정확도 평가가 수행되며, 외부표정요소의 정확도로 품질을 평가하고 검증하게 된다.



그림 2.3.92 품질정확도 검증모듈 메인화면

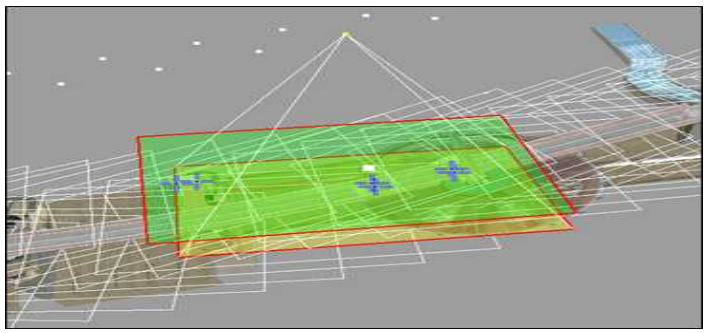


그림 2.3.93 품질정확도 보정전/후 외부표정요소를 이용한 Footprint 도시화면



그림 2.3.94 품질정확도 검증모듈 - 검사점 비교 화면

(2) 정밀 레퍼런스 모델을 이용한 실시간 피해영상 외부표정요소 보정 모듈 개발

품질정확도 검증은 촬영당시 UAV의 촬영위치 및 자세정보의 오차를 보정하는 것이 핵심 알고리즘을 구성하는 기본 개념이다. 이를 위해 영상좌표와 모델좌표를 이용하여 외부표정요소 (촬영위치- X,Y,Z, 자세정보- W,P,K)를 결정하기 위해 공간후방 교회법(Sapce Resection)방법을 사용한다.



그림 2.3.95 영상품질 오차 보정 프로세스

영상 품질 오차보정 모듈은 강정고령보 수직데이터로 테스트를 진행하였으며, 촬영 영상 중 검사점(GCP)을 포함하며 중복도가 있는 DSC00580, DSC00581을 선택하여 이용하였다.

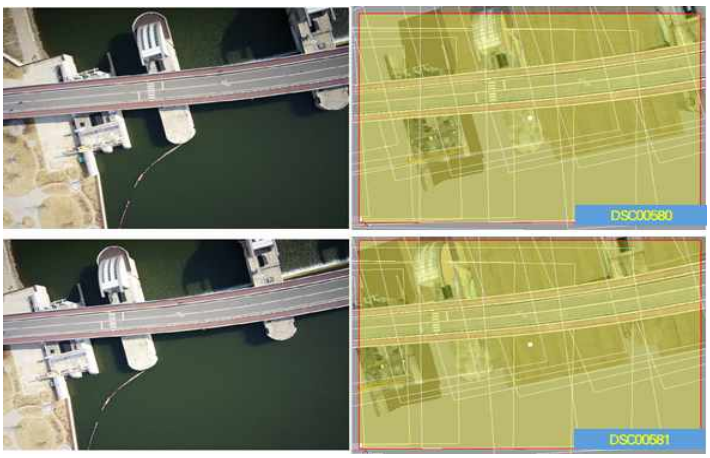


그림 2.3.96 강정고령보 품질 오차보정에 사용된 영상(DSC00580, DSC00581)

DSC00580 영상과 3차원 정밀 모델데이터에서 각각 4점을 관측하여 모듈을 테스트하였다.

표 2.3.25 품질오차보정 관측결과(DSC00580)

갯수	영상좌표X	영상좌표Y	모델좌표X	모델좌표Y	모델좌표Z
1	3051.267	-1877.040	151357.226	360549.300	32.286
2	3063.967	-2040.980	151355.255	360551.707	32.248
3	3529.233	-1642.675	151352.510	360541.076	32.391
4	3541.933	-1807.769	151350.638	360543.293	32.434

표 2.3.26 품질오차보정 보정결과(DSC00580)

구분	X	Y	Z	W	P	K
보정전	151330.852	360531.084	156.413	9.090	-5.082	-144.023
보정량	4.114	17.395	3.368	-7.900	2.053	-0.858

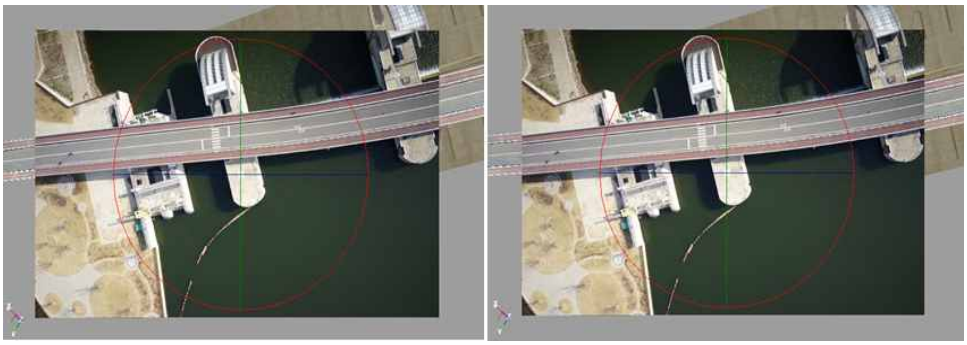


그림 2.3.97 품질오차보정 보정결과(영상/모델 중복도시) - 보정전(좌), 후(우)

DSC00580 영상의 품질오차 보정 결과는 위의 표와 같으며 UAV가 촬영된 위치와 자세를 고려하여 영상과 3차원 모델을 중복하여 도시한 결과는 위의 그림 2.3.97과 같다.

영상품질 검증의 정확도를 검증하기 위해서 중복도가 있는 영상 DSC00581도 위의 방법과 동일하게 품질오차 보정을 수행하였다.

표 2.3.27 품질오차보정 관측결과(DSC00581)

갯수	영상좌표X	영상좌표Y	모델좌표X	모델좌표Y	모델좌표Z
1	2113.319	-1927.448	151357.149	360549.304	32.288
2	2127.284	-2085.052	151355.219	360551.690	32.251
3	2564.187	-1704.009	151352.542	360541.000	32.393
4	2580.146	-1863.603	151350.581	360543.247	32.437

표 2.3.28 품질오차보정 보정결과(DSC00581)

구분	X	Y	Z	W	P	K
보정전	151317.124	360518.396	155.408	10.121	-4.927	-143.693
보정량	14.247	16.972	12.956	-8.075	6.947	-1.249

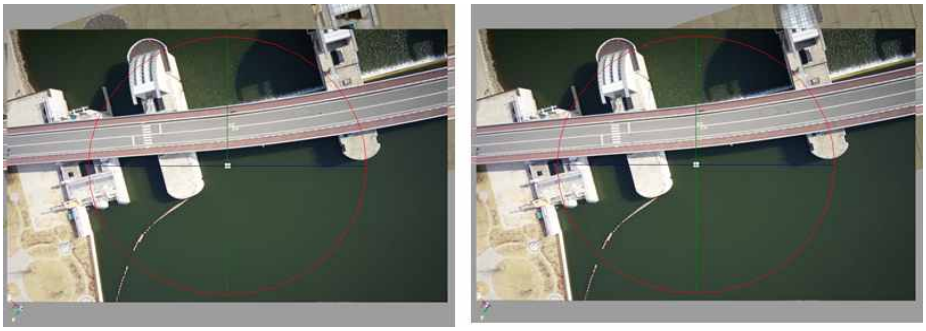


그림 2.3.98 품질오차보정 보정결과(영상/모델 중복도시) - 보정전(좌), 보정후(우)

보정전 외부표정요소와 품질오차를 보정한 외부표정요소의 정확도 평가를 위해 검사점(GCP)를 활용하여 평가를 진행하였다. 검사점과 보정전/보정후 외부표정요소를 이용하여 3차원 좌표간의 정확도를 평가하였으며, 검증을 위한 프로세스는 아래 그림 2.3.99와 같다.



그림 2.3.99 검사점 비교를 통한 정확도 검증 프로세스

보정에 사용된 두 영상에 포함되는 검사점(GCP 1,2/사용자 관측 3,4)을 사용하였으며 아래의 표와 같다.

표 2.3.29 품질오차보정 검사점

갯수	영상좌표X	영상좌표Y	모델좌표X	비고
1	151357.524	360549.615	32.261	GCP
2	151350.438	360543.344	32.441	GCP
3	151354.631	360543.129	32.354	모델관측점
4	151350.842	360547.713	32.331	모델관측점

품질오차 보정의 검사점을 DSC00580와 DSC00581 영상에서 각각 관측한 영상좌표는 아래 표와 같다.

표 2.3.30 검사점의 영상관측좌표

관측점	영상좌표X	영상좌표Y	관측영상
1	3021.474	-1879.797	DSC00580
	2082.196	-1928.978	DSC00581
2	3542.438	-1809.694	DSC00580
	2577.015	-1868.331	DSC00581
3	3344.414	-1669.485	DSC00580
	2387.171	-1731.646	DSC00581
4	3373.053	-2000.099	DSC00580
	2421.665	-2054.830	DSC00581

검사점의 영상관측좌표를 공간전방교회방법으로 3차원 지상좌표로 변환한 결과는 아래표와 같으며 품질오차를 보정함으로써 검사점과의 오차가 더 낮아졌다.

표 2.3.31 영상관측좌표로부터 계산된 3차원 지상좌표(공간전방교회방법 사용)

관측점	지상좌표X	지상좌표Y	지상좌표Z	보전전/후
1	151356.861	360549.463	33.650	보정전
	151357.121	360549.472	32.003	보정후
2	151349.838	360543.073	34.141	보정전
	151350.041	360543.104	32.512	보정후
3	151354.088	360543.121	34.077	보정전
	151354.466	360543.062	32.282	보정후
4	151350.478	360547.586	33.556	보정전
	151350.465	360547.632	32.978	보정후

표 2.3.32 검사점과 품질오차보정좌표의 오차

관측점	dX	dY	dZ	보정전/후
1	-0.663	-0.152	-1.389	보정전
	-0.403	-0.143	-0.258	보정후
2	-0.600	-0.271	1.700	보정전
	-0.397	-0.239	0.071	보정후
3	-0.544	-0.088	1.723	보정전
	-0.165	-0.067	-0.072	보정후
4	-0.365	-0.127	1.224	보정전
	-0.378	-0.081	0.647	보정후

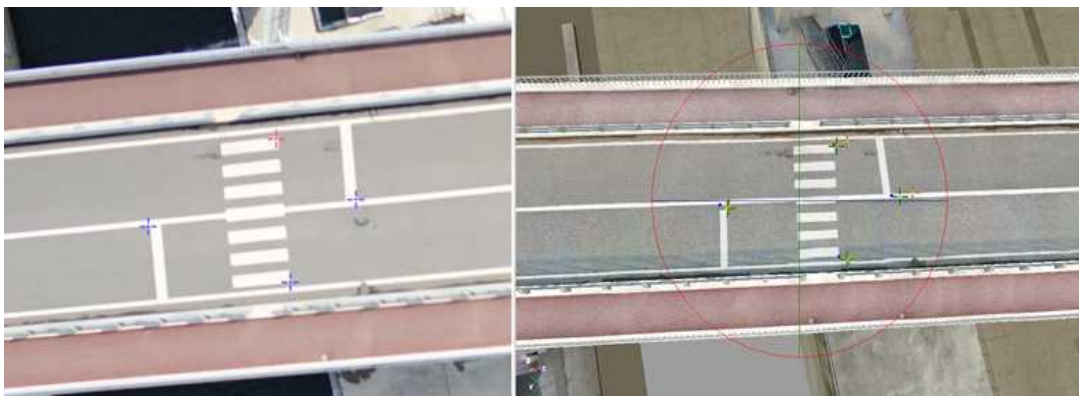


그림 2.3.100 검사점의 공간전방교회를 이용한 3차원 좌표 결정 결과

품질오차보정에 사용된 검사점에 대해 공간전방교회방법으로 3차원 좌표를 결정한 결과는 위의 그림과 같다.(좌측의 영상은 영상에서 검사점을 관측한 결과이며 우측 모델에서는 검사점(파란색), 3차원 좌표를 나타낸다.(노란색:보정전, 녹색:보정후)

품질오차보정좌표와 검사점을 비교하여 통계정보(최소오차,최대오차,평균오차,표준편차,평균제곱근오차)를 산출하였으며, 보정전의 평균오차는 X:0.542, Y: 0.139, Z: 1.509에서 보정후 X:0.335 ,Y:0.132 ,Z:0.261로 오차가 낮아짐을 확인하였다.

표 2.3.33 검사점을 이용한 품질오차보정의 통계정보

관측점	dX	dY	dZ	보정전/후
최소오차 (MAX)	0.364	0.088	1.224	보정전
	0.165	0.067	0.071	보정후
최대오차 (MIN)	0.662	0.270	1.723	보정전
	0.402	0.239	0.646	보정후
평균오차 (MEAN)	0.542	0.139	1.509	보정전
	0.335	0.131	0.261	보정후
표준편차 (STDEV)	1.259	0.339	0.243	보정전
	0.783	0.316	0.434	보정후
평균제곱근오차 (RMSE)	0.307	0.028	2.322	보정전
	0.122	0.022	0.124	보정후

(3) 실시간 피해영상의 카메라 배치 및 자세정보 가시화모듈 개발

품질 검증이 수행된 UAV 영상은 그 품질 정확도에 따라 보정이 수행되므로, 두 영상의 통계정보를 산출하는 정량적 분석과 더불어 육안평가가 가능한 정성적 분석을 위한 모듈이 필요하다. 이를 위해 품질평가 수행결과로 보정된 영상과 초기 입력 그대로의 영상을 실시간으로 레퍼런스 모델 데이터에 표출하기 위한 카메라 배치 및 자세정보 가시화 모듈을 개발하였다.

본 연구에서는 보정 전/후 영상의 표출과 정성적 육안 평가를 위한 표출 모듈 두 가지 형태로 개발을 진행하였다. 먼저 보정 전 영상과 보정 후의 영상을 표출하고 비교 평가하기 위한 방법으로 아래와 같이 영상을 모델 위에 중첩 표출하는 기능을 개발하였다.

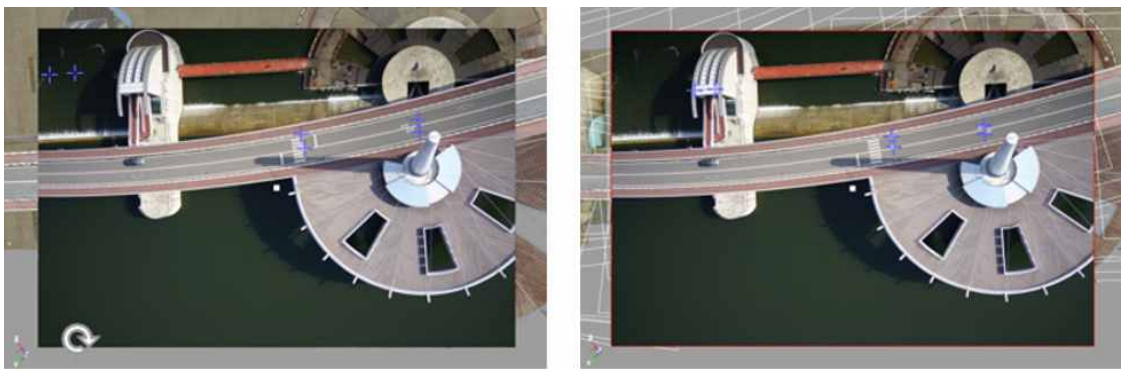


그림 2.3.101 보정 전/후 UAV 영상과 모델데이터의 중첩 기능

그림 2.3.101에서 보듯이 좌측영상은 보정 전 외부표정요소로 모델 기반위에 중첩한 데이터이며, 실제 모델과 상당히 이격된 거리에 영상이 표출됨을 알 수 있다.

반면에 우측 영상은 품질검증 모듈을 통해 외부표정요소가 보정이 수행된 영상이며, 실제 영상이 배경 모델 데이터와 비교할 때 정확한 위치에 표시가 됨을 볼 수 있다.

보정 전/후 영상 표시기능과 더불어 과업 목적인 카메라 위치와 표출되는 영상, 자세정보가 반영된 데이터를 비교하기 위한 가시화 모듈도 개발되었으며, 해당 기능은 아래 그림 2.3.102와 같이 표출된다.

보정 전과 후의 자세정보가 반영된 UAV 영상은 동시에 표출이 되며, 상단의 풋프린트가 기존 영상이며 실제 모델과는 상당한 높이차를 가지고, 자세정보도 오차가 있는 것을 보여준다. 반면, 아래 풋프린트는 실제 모델 위에 잘 표출되었으며, 비행체의 자세정보도 잘 보정되어 실제 데이터와 잘 일치하는 것을 보여준다.

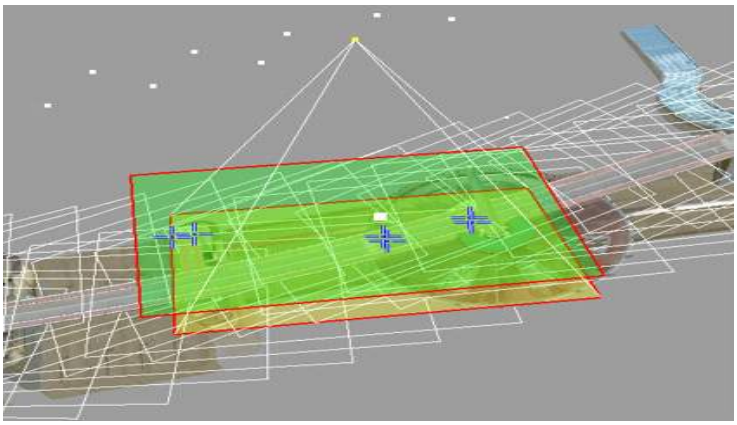


그림 2.3.102 카메라위치와 자세정보 가시화 모듈

바. 연구개발 결과의 현장적용 수행 (포항 지진발생 지역)

개발된 근접영상 모듈과 알고리즘을 실제 현장적용을 통해 그 기능을 점검하였으며, 실제 지진발생 지역인 포항 안계댐 인근의 옹벽 피해영역 데이터를 취득하였다. 사전에 구축된 레퍼런스 데이터가 없지만, 피해데이터 그 자체만으로 근접영상 기반의 피해탐지, 3D 모델링 데이터 기반의 피해탐지 기능을 적용하였다.

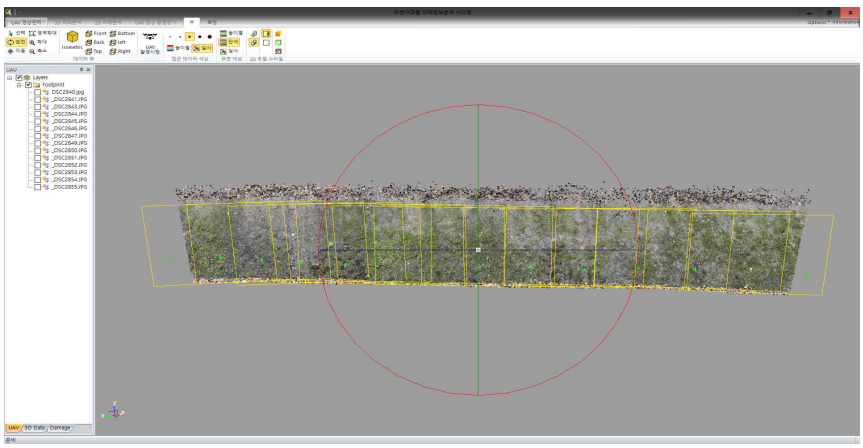


그림 2.3.103 현장데이터의 3D 매칭 데이터

먼저 피해지점에서 발견한 손바닥 크기의 탈락영역의 피해를 분석하기 위한 실험을 진행하였다. 해당 지점의 최대거리를 근접영상기반 모듈로 좌우측의 영상을 차례로 수동 측정하였으며, 결과는 아래 그림 2.3.104와 같다. (측정결과 :0.134 m = 13.4 cm)



그림 2.3.104 현장데이터 탈락 지점 거리측정 결과

해당 탈락 지점은 3D 모델링 데이터 기반으로 측정을 수행하였으며, 3D 포인트 기반으로 최대거리를 측정하였다. (측정결과 :0.135 m = 13.5 cm)

영상기반 탐지 결과인 13.4 cm 와 유사한 결과 값을 보여주었다.

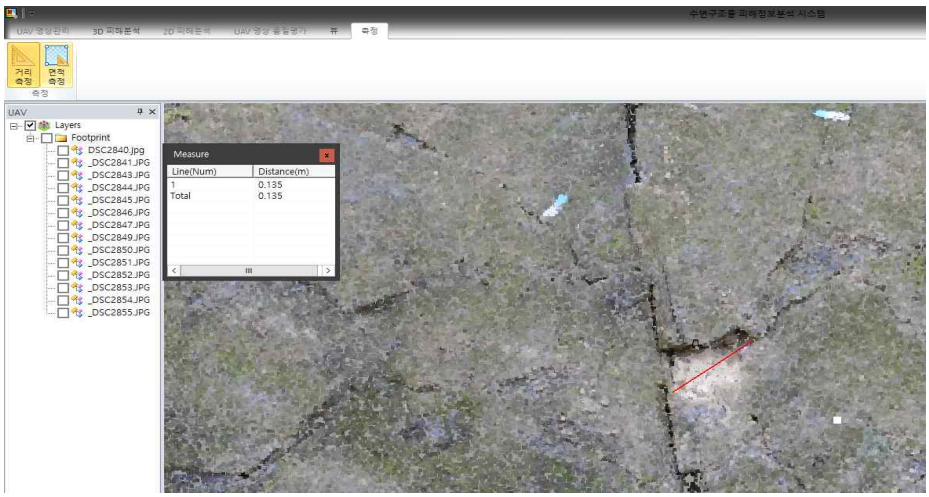


그림 2.3.105 탈락 영역의 3D 기반 길이 측정

또한 해당 탈락 지점을 대상으로 면적 측정을 수행하였다. (측정 결과 : 0.005 ㎡= 50 ㎠)

동일한 지점의 면적을 3D 포인트 기반으로 측정하였으며, 측정결과는 52 ㎡로 측정되었다. 또한 균열 피해가 확인된 지점을 확대하여 그 범위를 근접영상 기반으로 측정하였으며, 2D 기반의 피해탐지에서는 선택 지점의 면적이 4410 ㎠, 점군데이터 기반 분석에서는 4560 ㎠으로 분석되었다.



그림 2.3.106 탈락 영역이 2D 기반 면적 측정

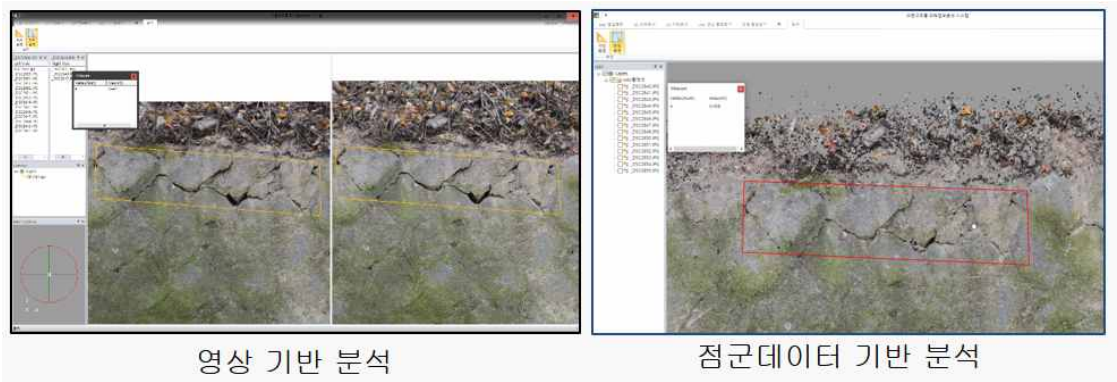


그림 2.3.107 균열영역의 근접영상 분석

실험을 통해 Depth 개념을 적용하여 변형한 공선조건 알고리즘은 근접영상 표출이나 피해분석에 적합한 알고리즘으로 검증되었으며, 특히 영상 기반 피해탐지에서는 수직영상에서 활용하는 알고리즘도 활용이 가능하였다. 특히 Space Intersection 알고리즘은 근접영상에서도 길이나 면적이 측정 가능한 일반화된 알고리즘으로써의 기능을 보여주었다. 또한 잘 알려진 유클리드 거리공식, 평면피팅 알고리즘도 3D 기반의 피해분석에서 근접영상을 이용한 정량적 분석에 적합한 것을 확인할 수 있었다.

6. 실시간 피해정보분석 시스템 실용성 평가 및 개선

가. 피해분석정보의 단면 표출 기능 개발

피해분석정보의 단면 표출 기능은 다중영상매칭의 결과인 점군데이터를 기반으로 단면을 표출하고 분석을 수행한다. 3차원 피해분석모듈에서 수직 및 측면 촬영의 점군 데이터를 대상으로 수행되도록 구성하였으며, 단면의 표출방법은 3차원 단면분석과 2차원 단면분석으로 별도의 화면에 도시되도록 개발하였다. 각각의 주요기능은 표 2.3.33과 같다.

표 2.3.34 피해분석정보의 단면 표출 방법 구성

표출방법	설명	주요기능
3차원 단면 분석	다중영상매칭 결과인 점군데이터의 단면에 대하여 점군데이터를 3차원으로 가시화	• 3차원 점군데이터 도시 • 점군데이터의 색상 변경(높이별, 실사) • 점군데이터의 크기 변경 • 피해정보의 측정 기능(길이, 면적) • 화면 조작(확대, 축소, 이동, 회전 등)
2차원 단면 분석(그래프)	다중영상매칭 결과인 점군데이터의 단면에 대하여 점군데이터를 그래프화하여 2차원으로 가시화	• 그래프 높이 값 변경(최대, 최소, 평균) • 종류 변경(직선형, 곡선형, 막대형) • 모양 변경(원형, 네모형, 마름모형, 세모형) • 투명도 변경(그래프 면적의 투명도)

그림 2.3.108, 109는 수변피해지역을 대상으로 피해가 발생한 위치의 단면을 3차원 상에 점군과 2차원 상에 그래프로 표출한 화면이다.

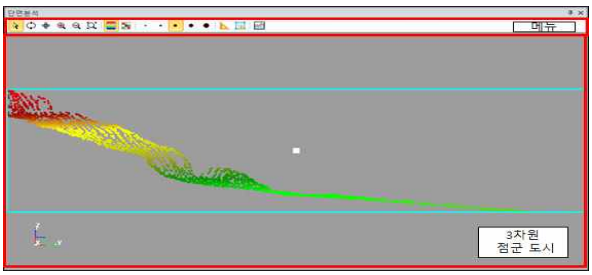


그림 2.3.108 피해분석정보의 3차원 단면 표출 방법 화면

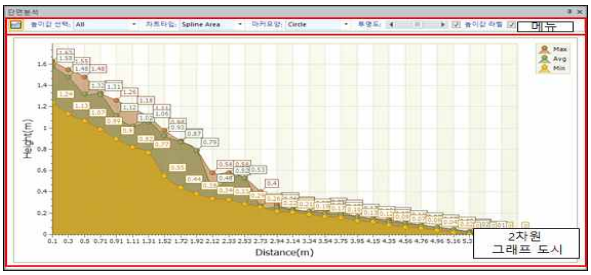


그림 2.3.109 피해분석정보의 3차원 단면 표출 방법 화면

3차원 피해분석모듈에서 점군데이터를 대상으로 [단면분석] 기능을 이용하여 원하는 단면 분석 영역의 길이와 폭을 설정할 수 있다. 단면분석의 영역을 설정하는 방법은 그림 2.3.110과 같이 4단계로 진행된다.

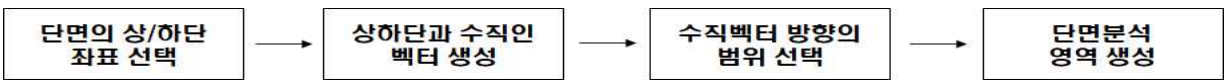


그림 2.3.110 단면분석 영역 생성 프로세스

생성한 단면영역의 단면 방향을 X축, 높이를 Y축, 단면의 중심을 원점으로 설정하여 단면 안에 포함되는 3차원 점군데이터를 대상으로 데이터의 높이를 표현하는 Z축을 기준으로 회전량을 계산하여 회전변환을 적용하였다.

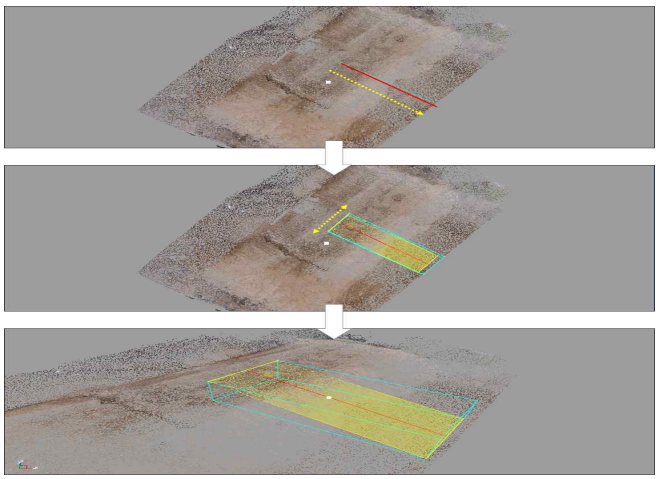


그림 2.3.111 단면분석 영역 생성 방법

회전변환 과정을 통해 3차원 점군과 단면영역의 좌표에 대해 회전변환을 적용하면 단면 표출화면에 점군데이터와 단면영역이 표출되며, [그래프보기] 기능을 통해 2차원 그래프로 화면전환을 할 수 있다. 3차원 단면분석의 측정 기능을 통해 수변 피해지역의 거리와 면적을 측정할 수 있다. 정확한 측정결과를 위해 사용자가 측정한 측정좌표를 2차원 평면상에 투영하여 측정한다.

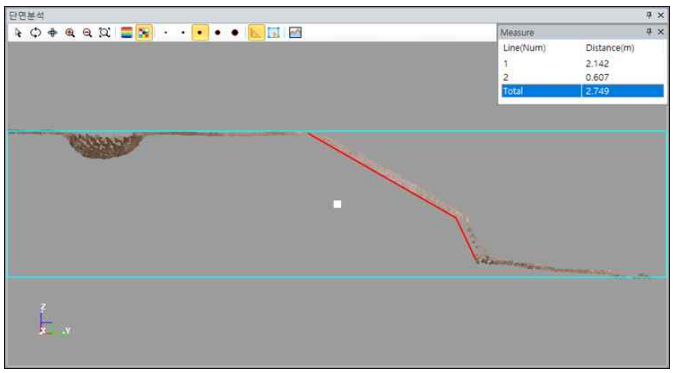


그림 2.3.112 3차원 단면분석의 길이 측정 결과

단면분석의 측정기능을 이용하여 피해가 발생한 옹벽의 배부름 현상이나 사면의 침하량 등을 측정할 수 있다. 옹벽 또는 사면에서 사용자가 가상의 단면(선분)을 생성하여, 단면으로부터 수직방향으로 피해 변화량이 가장 큰 지점과 변화량을 측정한다. 다음 그림은 사면지역에 대해 모의피해의 배부름을 측정한 결과이며, 배부름은 0.32m로 측정되었다.

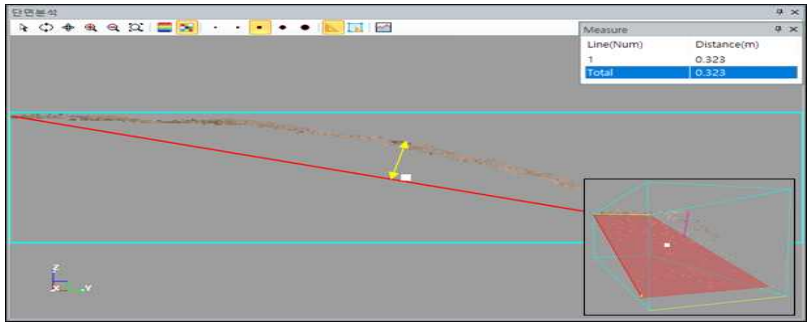


그림 2.3.113 3차원 단면분석의 배부름 현상 측정 결과

3차원 단면의 점군데이터를 2차원 상에 그래프로 도시하기 위해서 점군데이터를 일정한 거리로 분할하고, 각 등급의 최대, 최소, 평균 높이 값을 계산하여 다음 그림과 같이 도시한다.



그림 2.3.114 2차원 단면분석 결과(구간 분할: 30)

나. 운용 시나리오에 따른 시스템 프로세스 정의서 개발

실시간 피해정보 분석 시스템은 피해지역을 촬영한 데이터의 종류(수직영상/근접영상)나 피해지역 reference 데이터의 존재여부에 따라 다음 그림과 같이 크게 5가지 시나리오에 따라 피해정보를 탐지하고 분석한다.

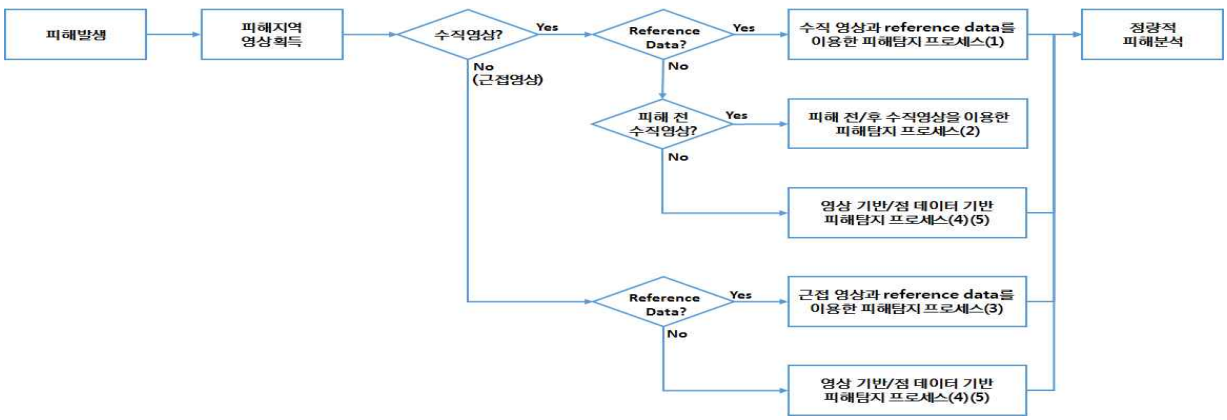


그림 2.3.115 실시간 피해정보 분석 시스템의 운용 시나리오

첫 번째 시나리오(1)은 수직영상과 reference data를 이용한 피해탐지 프로세스로 수직영상을 다중영상정합한 결과물인 3D point cloud를 기존에 구축된 피해지역의 reference data(DSM)와 비교하여 피해정보를 탐지하고 분석한다.

두 번째 시나리오(2)는 피해 전/후 수직영상을 이용한 피해탐지 프로세스로 피해 전/후의 수직영상에 각각 다중영상매칭을 적용하여 3D point cloud를 생성하고 피해 전 영상으로 생성된 point cloud를 DSM으로 변환하여 두 데이터를 비교해서 피해정보를 탐지하고 분석한다.

세 번째 시나리오(3)는 근접 영상과 reference data를 이용한 피해탐지 프로세스로 수변구조물의 reference data를 이용하여 근접영상의 EOP(외부표정요소)를 정밀하게 보정한 후 피해정보를 탐지하고 분석한다.

네 번째 시나리오(4)는 피해지역의 영상만을 이용하여 피해정보를 탐지하는 영상기반 피해탐지 프로세스로 수직영상과 근접영상에 모두 적용할 수 있으며, 피해지역을 포함하는 중복영상을 이용하여 사용자가 피해지역을 선택/수정하는 작업을 거쳐 피해정보를 탐지하고 분석한다.

다섯 번째 시나리오(5) 역시 피해지역의 영상만을 이용하여 피해정보를 탐지할 수 있는 점 데이터 기반 피해탐지 프로세스로 수직영상과 근접영상에 모두 적용할 수 있으나, 네 번째 시나리오(4)와는 달리 피해지역의 수직/근접 영상을 영상매칭한 결과물인 3D point cloud 상에서 피해정보를 탐지하고 분석한다.

(1) 수직 영상과 reference data를 이용한 피해탐지 프로세스

(가) 프로세스 정의서

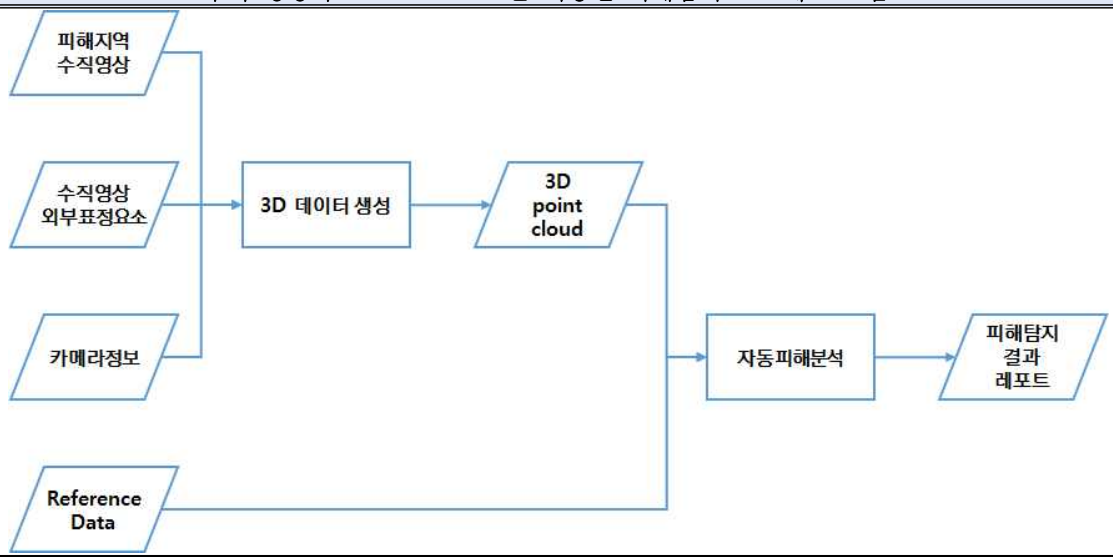
표 2.3.35 수직 영상과 reference data를 이용한 피해탐지 프로세스 정의서

프로세스명	수직 영상과 reference data를 이용한 피해탐지 프로세스
정의	수직 영상과 reference data를 이용한 피해탐지 프로세스는 피해지역을 촬영한 수직 UAV 영상, 그 영상의 EOP(외부표정요소)와 영상을 촬영한 카메라 정보를 이용하여 다중영상매칭기법을 적용해 피해지역의 3D point cloud를 생성하고, 이 point cloud와 기존에 구축된 피해지역의 reference data를 비교하여 피해를 탐지하고 분석하는 프로세스
입력데이터	• 피해지역을 촬영한 수직 UAV 영상 • 수직 UAV 영상의 외부표정요소 • 영상을 촬영한 카메라 정보 • 기존에 구축된 피해지역의 reference data(DSM)
출력데이터	• 피해탐지 결과 레포트 • 피해지역의 3D point cloud
제약조건	• 3D 데이터 생성에 다중영상매칭 기법을 이용하기 때문에 영상의 품질이나 EOP의 정확도에 따라 피해탐지의 정확도가 다름 • 자동피해분석으로 피해지역의 reference data가 미리 구축되어 있어야 함

(나) 프로세스 흐름도

표 2.3.36 수직 영상과 reference data를 이용한 피해탐지 프로세스 흐름도

프로세스명	수직 영상과 reference data를 이용한 피해탐지 프로세스
수직 영상과 reference data를 이용한 피해탐지 프로세스 흐름도	



(2) 피해 전/후 수직 영상을 이용한 피해탐지 프로세스

(가) 프로세스 정의서

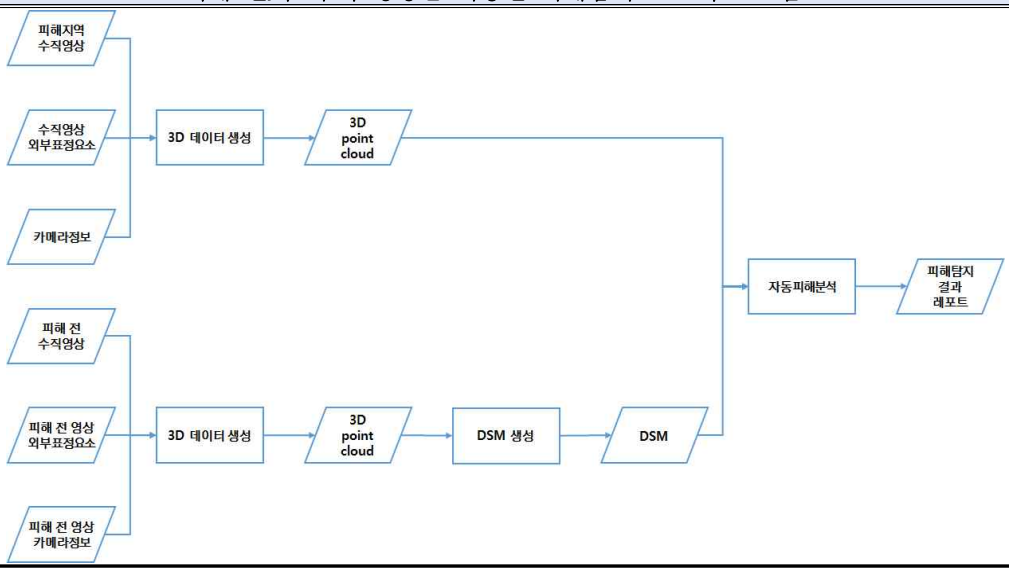
표 2.3.37 피해 전/후 수직 영상을 이용한 피해탐지 프로세스 정의서

프로세스명	피해 전/후 수직 영상을 이용한 피해탐지 프로세스
정의	피해 전/후 수직 영상을 이용한 피해탐지 프로세스는 피해 전/후의 수직 UAV 영상을 정합하여 각각의 3D point cloud를 생성하고 피해 전 영상으로 생성된 3D point cloud를 DSM으로 변환한 후 두 데이터를 비교해서 피해정보를 탐지하고 분석한다.
입력데이터	• 피해지역을 촬영한 수직 UAV 영상 • 수직 UAV 영상의 외부표정요소 • 영상을 촬영한 카메라 정보 • 피해지역을 피해발생 전에 촬영한 수직 UAV 영상 • 피해 전 수직 UAV 영상의 외부표정요소 • 피해 전 영상을 촬영한 카메라 정보
출력데이터	• 피해탐지 결과 레포트 • 피해지역의 3D point cloud • 피해지역의 피해발생 전 3D point cloud
제약조건	• 3D 데이터 생성에 다중영상매칭 기법을 이용하기 때문에 영상의 품질이나 EOP의 정확도에 따라 피해탐지의 정확도가 다름 • 피해지역을 피해발생 전에 촬영한 수직 영상이 존재해야 함 • 영상정합 결과끼리 비교하기 때문에, reference data와 비교하는 프로세스보다 정확도가 낮을 가능성이 있음

(나) 프로세스 흐름도

표 2.3.38 피해 전/후 수직 영상을 이용한 피해탐지 프로세스 흐름도

프로세스명	피해 전/후 수직 영상을 이용한 피해탐지 프로세스
피해 전/후 수직 영상을 이용한 피해탐지 프로세스 흐름도	



(3) 근접 영상과 reference data를 이용한 피해탐지 프로세스

(가) 프로세스 정의서

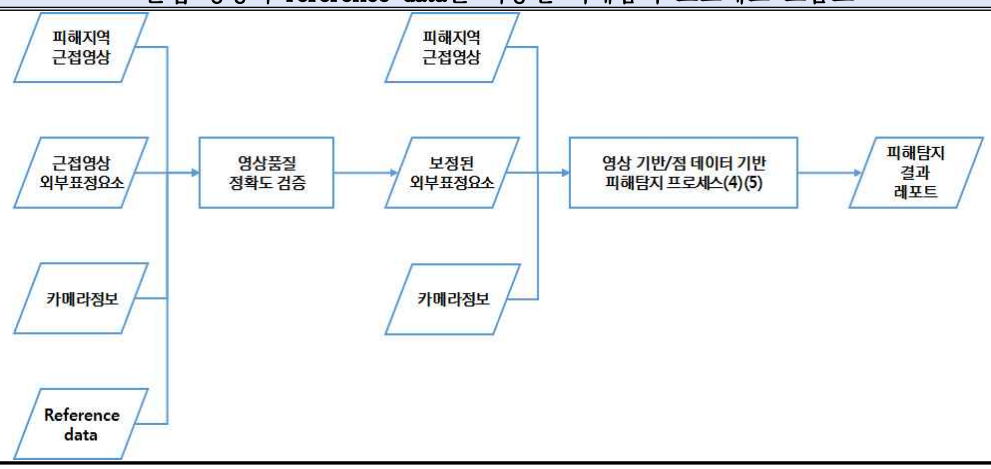
표 2.3.39 근접 영상과 reference data를 이용한 피해탐지 프로세스 정의서

프로세스명	근접 영상과 reference data를 이용한 피해탐지 프로세스
정의	근접 영상과 reference data를 이용한 피해탐지 프로세스는 피해지역을 촬영한 근접 영상과 피해지역의 reference data가 존재하는 경우에 적용할 수 있으며, 피해발생 전에 구축되어 있는 수변구조물의 reference data(3D model)를 이용하여 근접영상의 EOP(외부표정요소)를 보정한다. 근접 영상과 보정된 EOP를 이용하여 영상 기반 피해탐지 프로세스 또는 점 데이터 기반 피해탐지 프로세스를 통해 피해를 탐지하고 분석한다.
입력데이터	• 피해지역을 촬영한 근접 UAV 영상 • 근접 UAV 영상의 외부표정요소 • 영상을 촬영한 카메라 정보 • 피해발생 전체 구축된 피해지역의 reference data(3D model)
출력데이터	• 피해탐지 결과 레포트 • 근접영상의 보정된 EOP(외부표정요소)
제약조건	• 피해발생 전에 구축된 수변구조물의 reference data(3D model)가 존재해야 함 • EOP 보정을 위해 근접영상과 3D model(reference data)에 공액점을 수동으로 선정하는 과정이 필요하며, 이 과정에서 작업자의 숙련도에 따라 작업의 결과 및 소요시간이 상이할 수 있음 • 근접 영상과 보정된 EOP를 이용하여 영상 기반 피해탐지 프로세스 또는 점 데이터 기반 피해탐지 프로세스를 적용하게 되며, 영상 기반/점 데이터 기반 피해탐지 프로세스에 대한 내용은 (4) 영상기반 피해탐지 프로세스, (5) 점 데이터 기반 피해탐지 프로세스에 설명되어 있음

(나) 프로세스 흐름도

표 2.3.40 근접 영상과 reference data를 이용한 피해탐지 프로세스 흐름도

프로세스명	근접 영상과 reference data를 이용한 피해탐지 프로세스
근접 영상과 reference data를 이용한 피해탐지 프로세스 흐름도	



(4) 영상기반 피해탐지 프로세스

(가) 프로세스 정의서

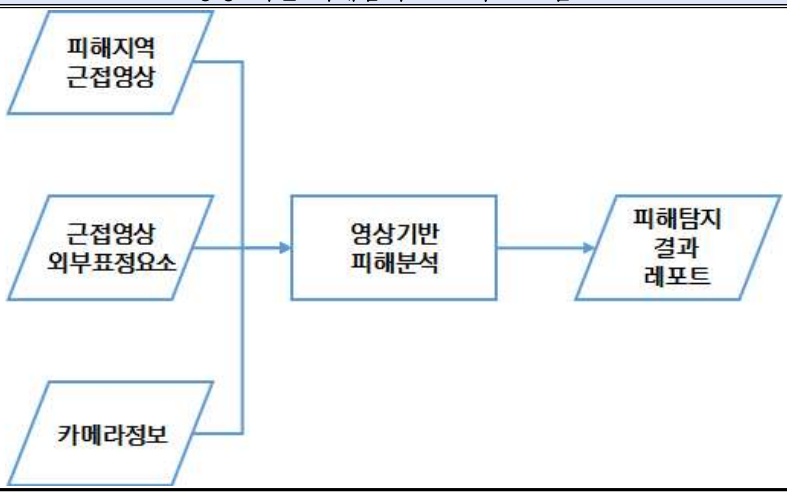
표 2.3.41 영상 기반 피해탐지 프로세스 정의서

프로세스명	영상 기반 피해탐지 프로세스
정의	영상기반 피해탐지 프로세스는 DSM이나 3D model과 같은 reference data없이 피해발생 후에 촬영한 영상만을 이용하여 피해정보를 탐지하는 프로세스로 별도의 영상정합 과정이 필요하지 않으며 수직영상과 근접영상 모두에 적용할 수 있다. 영상기반 피해탐지 프로세스에서는 피해지역을 촬영한 중복영상을 이용하여 사용자가 피해지역을 선택하고 수정하는 작업을 거쳐 피해정보를 탐지하고 분석한다.
입력데이터	• 피해지역을 촬영한 수직 또는 근접 UAV 영상 • UAV 영상의 외부표정요소 • 영상을 촬영한 카메라 정보
출력데이터	• 피해탐지 결과 레포트
제약조건	• 중복영상에서 피해지역을 선택하고 수정하는 작업이 필요하기 때문에 작업자의 숙련도에 따라 작업의 결과 및 소요시간이 상이할 수 있음 • DSM이나 3D model과 같은 reference data없이 피해발생 후에 촬영한 영상만을 이용하기 때문에 피해 전 수변구조물의 형태/형상 등을 알고 있거나 육안으로 피해정도를 식별할 수 있어야 적용 가능함 • 점 데이터 기반 피해탐지 프로세스도 피해발생 후에 촬영한 영상만으로 피해정보를 탐지하지만, 영상 기반 피해탐지 프로세스는 피해지역의 중복영상에서 피해를 관측하고, 점 데이터 기반 피해탐지 프로세스는 영상정합 후 생성된 점 데이터에서 피해를 관측한다는 차이가 있음

(나) 프로세스 흐름도

표 2.3.42 영상 기반 피해탐지 프로세스 흐름도

프로세스명	영상 기반 피해탐지 프로세스
영상 기반 피해탐지 프로세스 흐름도	



(5) 점 데이터 기반 피해탐지 프로세스

(가) 프로세스 정의서

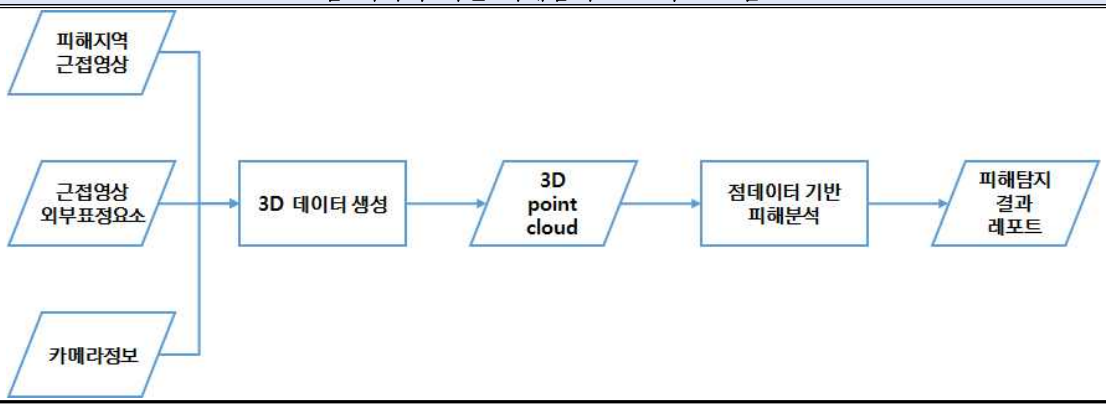
표 2.3.43 점 데이터 기반 피해탐지 프로세스 정의서

프로세스명	점 데이터 기반 피해탐지 프로세스
정의	점 데이터 기반 피해탐지 프로세스는 DSM이나 3D model과 같은 reference data없이 피해발생 후에 촬영한 영상만을 이용하여 피해정보를 탐지하는 프로세스로 수직영상과 근접영상 모두에 적용할 수 있다. 점 데이터 기반 피해탐지 프로세스는 피해발생 후에 촬영한 영상, EOP, 카메라 정보를 이용하여 영상을 정합하고, 영상정합 결과로 생성된 3D point cloud 상에서 피해정보를 측정한다.
입력데이터	• 피해지역을 촬영한 수직 또는 근접 UAV 영상 • UAV 영상의 외부표정요소 • 영상을 촬영한 카메라 정보
출력데이터	• 피해탐지 결과 레포트 • 3D point cloud
제약조건	• 3D point cloud 상에서 피해지역을 선택하고 수정하는 작업이 필요하기 때문에 작업자의 숙련도에 따라 작업의 결과 및 소요시간이 상이할 수 있음 • DSM이나 3D model과 같은 reference data없이 피해발생 후에 생성된 3D point cloud를 이용하여 피해를 탐지하기 때문에 피해 전 수변구조물의 형태/형상 등을 알고 있거나 육안으로 피해정도를 식별할 수 있어야 적용 가능함 • 영상 기반 피해탐지 프로세스도 피해발생 후에 촬영한 영상만으로 피해정보를 탐지하지만, 영상 기반 피해탐지 프로세스는 피해지역의 중복영상(2D)에서 직접 피해를 측정하는 것과 달리 점 데이터 기반 피해탐지 프로세스는 피해발생 후에 촬영한 영상을 정합하고, 영상정합 결과로 생성된 3D point cloud(3D) 상에서 피해정보를 측정한다는 차이가 있음

(나) 프로세스 흐름도

표 2.3.44 점 데이터 기반 피해탐지 프로세스 흐름도

프로세스명	점 데이터 기반 피해탐지 프로세스
점 데이터 기반 피해탐지 프로세스 흐름도	



다. 실용화모델 및 프로세스 세분류에 따른 매뉴얼 개선

(1) 실용화를 위한 시스템 개선방향

드론활성화 지원 로드맵 연구(2017)에서는 해외시장 사례 및 전망을 고려하여 건설 과정, 수변구조물 점검, 측량 및 3차원 지도, 농·임업, 영상, 감시 및 방재, 수송을 드론 유망 활용 분야로 선정하였다. 유망 활용분야 중 시스템에 적용된 기술과 유사점이 있는 분야를 다음과 같이 선정하였다.

다차원 피해정보 분석 시스템에는 UAV 영상의 영상정합을 통한 3D point cloud 기술이 적용되었으며, 이 기술은 드론 영상을 이용하여 3차원 정보를 획득하는 측량분야에 적용할 수 있다. 또한 시스템에는 기하보정영상 제작 기능이 구현되어 있기 때문에 UAV 영상 촬영을 통해 정사영상 이나 사진지도를 제작하는 측량분야에도 적용가능하다.

다차원 피해정보 분석 시스템은 평시에는 수변구조물의 유지관리, 재해발생시 재해대응 지원을 목표로 개발되었기 때문에 시스템에 적용된 수변구조물의 피해정보 탐지 방법은 다른 시설이나 구조물의 점검에도 적용할 수 있다.

결과적으로 다차원 피해정보 분석 시스템은 드론의 유망 활용분야 중 측량 및 3차원 지도, 수변구조물 점검 분야에 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 두 분야에서 다차원 피해정보 분석 시스템의 활용성을 높이기 위해서는 다음과 같은 시스템의 개선이 필요할 것으로 보인다.

(가) 정사영상 제작기술 개선

다차원 피해정보 분석 시스템에는 기하보정영상 제작 기능이 구현되어 있으므로, 이를 이용하여 측량의 한 분야인 정사영상 제작 분야에 시스템을 활용할 수 있다.

UAV 영상을 이용한 정사영상 제작은 유인기를 이용했을 경우에 비해 크게 두 가지의 장점이 있다.

첫째, UAV 영상촬영은 유인기를 이용한 사진측량에 비해 촬영비용이 저렴하다는 장점이 있고, 둘째, 회전익 UAV의 경우에는 저속 및 정지 상태에서의 비행이 가능하기 때문에 정사영상 제작에 필요한 중복도를 유인기에 비해 훨씬 높일 수 있다는 장점이 있다.

또한, 정사영상 제작에는 DSM(Digital Surface Model)이 필요한데, 다차원 피해정보 분석 시스템에서는 영상정합을 통해 고해상도 3D point cloud를 자체 생산할 수 있고, 3D point cloud를 이용하여 DSM을 생성하는 기능 또한 구현되어 있기 때문에 이를 이용하면 정사영상 제작 분야에서 충분한 경쟁력이 있다고 판단된다.

현재 시스템에는 과제 내용과 상관없이 기하보정영상 제작기능이 구현되어 있으나, 생성

된 정사영상의 위치정확도, 모자이크 품질, 폐색지역 처리 등의 품질 확인은 되어 있지 않다.

따라서, 측량 및 3차원 지도 분야에서의 활용성을 높이기 위해 다차원 피해정보 분석 시스템에 구현된 정사영상 제작 기능에 대한 위치정확도 검증, 정사영상의 모자이크 방법이나 폐색지역 처리방법 등에 대한 기술 적용이 필요할 것으로 보인다.

개선된 프로세스에서는 다음 그림과 같이 수직영상, 영상의 EOP, 영상의 카메라 정보를 입력으로 하여 정사영상을 생성한다. 먼저 영상, EOP, 카메라정보를 이용하여 영상정합 과정을 통해 3D point cloud를 생성하고, 3D point cloud를 이용하여 DSM을 생성한다. 생성된 DSM과 영상, EOP, 카메라 정보를 이용하여 수치미분편위수정 과정을 거쳐 최종적으로 정사영상을 생성한다.

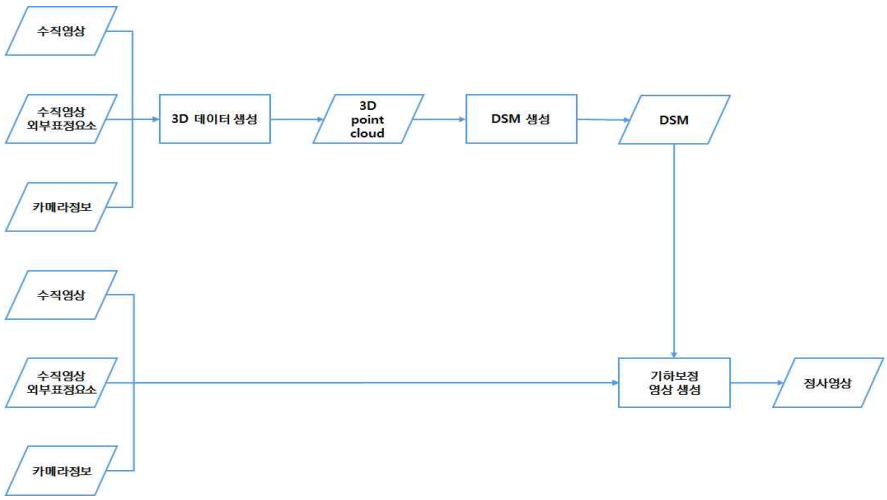


그림 2.3.116 수직 영상을 이용한 정사영상 제작 프로세스

(나) 다양한 방향에서 촬영한 영상의 통합처리 기술

다차원 피해정보 분석 시스템은 수직 및 근접 UAV 영상을 모두 사용하도록 개발되었으나, 획득한 영상의 종류에 따라 분석 시나리오가 다르기 때문에 다른 종류의 영상을 혼용하여 영상정합을 하지는 않는다.

수직과 근접영상은 거의 90도에 가까운 촬영방향의 차이가 있기 때문에 중복영상에서 공액점을 찾는 일반적인 영상정합 방법을 적용하기 어렵다.

다차원 피해정보 분석 시스템의 변화탐지 기능을 건물, 교량, 철로, 송전탑 등 다양한 시설 점검 분야에 적용하기 위해서는 다양한 각도에서 촬영한 영상을 통합 처리하여 3D point cloud를 생성할 수 있는 기술이 필요하다.

다양한 방향에서 촬영한 영상을 통합처리하여 3D point cloud를 생성하는 기술에는 크게

두 가지 방법이 있을 것으로 보인다.

첫 번째는 UAV가 수변구조물 주변을 선회하며 지속적으로 영상을 촬영하는 상황으로 이 같은 경우에는 인접영상 간에는 촬영방향 차이가 크지 않기 때문에 다음 그림과 같이 인접영상끼리 정합해 나가는 방식으로 전체 영상을 하나의 3D point cloud로 생성할 수 있을 것으로 보인다.

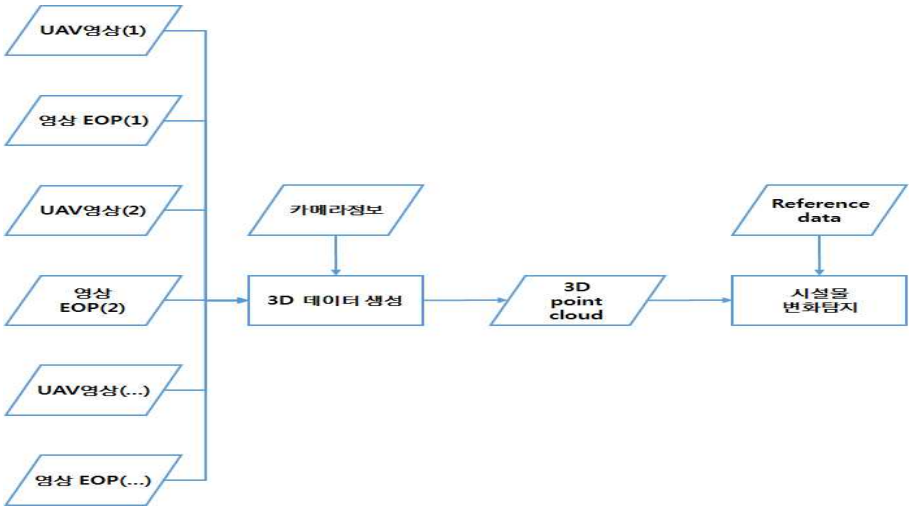


그림 2.3.117 다양한 방향에서 촬영한 영상 통합처리 프로세스(1)

두 번째는 수직영상과 근접영상처럼 각각의 영상이 큰 촬영방향 차이를 갖고 개별적으로 촬영된 상황이며, 이 같은 경우에는 수직영상과 근접영상 사이에 공액점을 찾기 어렵기 때문에 다음 그림과 같이 다른 방향에서 촬영된 영상들을 정합하여 각각의 3D point cloud를 생성한 후, 여러 개의 3D point cloud를 co-registration하여 최종적으로 하나의 3D point cloud를 생성할 수 있을 것으로 보인다.

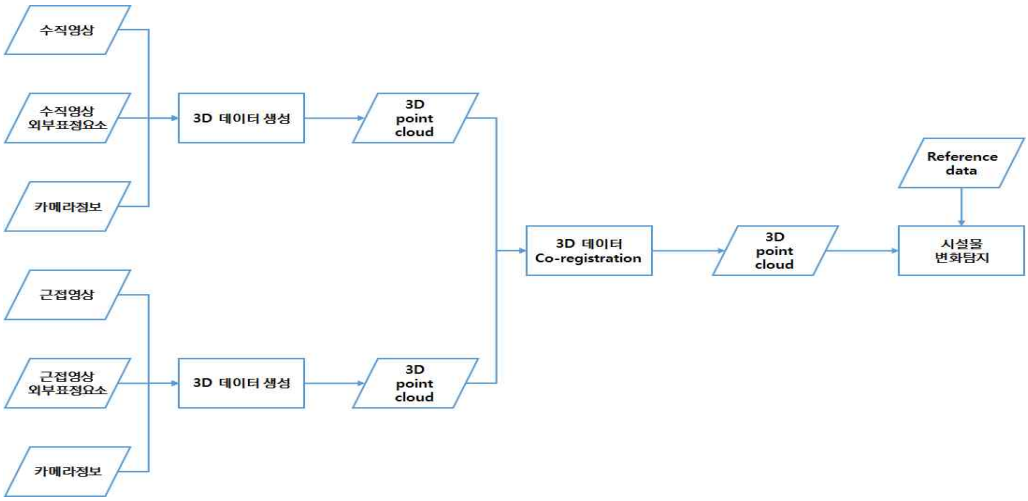


그림 2.3.118 다양한 방향에서 촬영한 영상 통합처리 프로세스(2)

(다) BIM을 이용한 reference data 추출기술

다차원 피해정보 분석 시스템은 UAV 영상을 정합하여 3D point cloud를 생성하고 이를 기 구축된 reference data와 비교하여 변화정보를 탐지한다.

따라서 시스템을 다양한 시설 점검 분야에 적용하기 위해서는 각각의 수변구조물에 대한 reference data가 구축되어 있어야 하나, 이는 reference data 구축에 소요되는 시간/비용을 고려할 때 불가능하다.

그러나 수변구조물에 대한 BIM이 구축되어 있다면, BIM을 이용하여 reference data를 생성하고 이를 영상정합으로 생성한 3D point cloud와 비교할 수 있다.

정부에서는 BIM 인프라를 활성화하기 위해 다음과 같이 공공발주 사업에 대한 BIM 의무화를 확대하고 있다. 정부에서는 2020년까지 정부 토목 프로젝트의 20%까지 BIM 의무화를 적용하겠다는 로드맵을 제시했고, 건축은 2012년부터 500억 이상의 공공건물에 의무 적용해 왔으며, 2016년부터는 조달청이 발주하는 모든 맞춤형서비스 공공건물 프로젝트까지 BIM 의무화가 확대되었다.

따라서, BIM을 이용하여 수변구조물의 reference data를 추출하고, UAV 영상을 정합한 3D point cloud와 비교하는 방식으로 드론을 이용한 수변구조물 점검 분야에서 경쟁력을 갖출 수 있을 것으로 보인다.

UAV 영상과 수변구조물의 BIM을 이용한 수변구조물 점검 프로세스는 다음 그림과 같다.

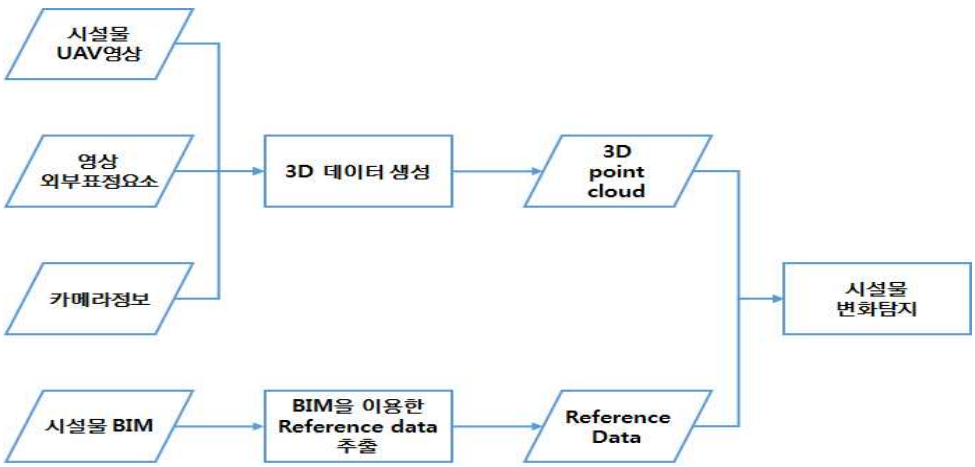


그림 2.3.119 UAV 영상과 수변구조물 BIM을 이용한 수변구조물 점검 프로세스

제4절 연구 개발 성과

1. 연구개발 핵심성과

연구기관	과제명	최종 성과명	최종 성과물형태	기술수준		경제성		성과 우수성	
				연구 전 ('13)	연구 후 ('19)	연구 전 ('13)	연구 후 ('19)	기존 기술과의 차별성	정량적 성과
한국철도기술연구원 부산대학교 (주)트라이언소프트 서울대학교 ㈜피씨엔 ㈜지구환경전문가그룹	피해복구 통합 지원기술 개발 수변구조물 피해 통합 분석 기술 개발 피해정보 및 복구지시 e-문서 표준화 기술개발 피해복구를 위한 복구 리소스 관리 체계 개발 피해복구 의사결정 지원 기술 개발 피해복구 시나리오 운용 프로세스 개발	분산정보 공유형 피해복구 의사결정 지원 시스템	시스템	재산피해입력, 상황관리, 복구진도 관리 등 행정적인 부분만 지원하여, 피해복구 의사결정에 사용되지 못하고 재해관리에만 사용 (미국 HazusMH, 대비 60% 수준)	피해상황에 맞춘 복구공법 선정, 복구자원 할당, 복구 실행계획 수립 등 기술적인 부분 지원을 통해 신속한 피해복구 의사결정 수행이 가능한 기술 확보 (미국 HazusMH, 대비 80% 수준)	자연재난의 의한 피해로 매년 복구비가 증가(1,959,355백만, '12년)하고 있으나 이를 저감할 기술이 부족	수변구조물 안전 및 유지관리 시장에 진출 자연재난 피해 복구를 위한 복구비 저감(499,672백만, '17년)에 기여	- 실질적인 피해복구 의사결정이 가능하도록 기술적 지원을 수행하는 선도적 시스템 - 돌발상황 대응을 포함한 복구상황 관리 가능 - 여러 지역에 피해가 발생한 경우에도 대처 가능 - 골든타임에 피해 확산을 최소화하기 위한 기술적 지원 가능	-논문게재(SCI) 5건 -논문게재(비SCI) 14건 -논문발표 51건 -특허출원 9건 -특허등록 2건 -GS인증 1건 -기술이전 1건 -현장적용 3건 -홍보 1건 -S/W 17건
㈜티아이랩 서울시립대학교 경기대학교 (주)서울기전/(주)코티스	수변구조물 항공영상정보 획득 시스템 개발 수변구조물 피해영상 처리 기술 개발 지상영상장비 배치 효율화 기술 개발 지상영상 획득 장비를 이용한 수변 구조물 피해 의심 상황 감지 기술 개발	항공/지상 수변구조물 피해영상 정보 획득 시스템	시스템	주로 CCTV 기반의 영상획득 기술을 사용하며, UAV 도입을 위한 기술 부재	지능형 CCTV와 초소형 GPS/INS 및 디지털카메라가 결합된 UAV를 활용한 입체감시 시스템 구축 기술 확보	관련장비의 대부분 해외 의존으로 경제성 낮음	소형무인기 기반 긴급매핑 시스템의 사업화를 통해 국내시장 잠식예방 및 해외시장 진출 (세계시장 1% 점유시 연간 154억원의 시장진출)	- 중저가의 센서 및 플랫폼을 채택하고 전처리 소프트웨어를 적용함으로써 요구 성능을 달성할 수 있도록 하여 저가/경량 시스템 개발 - 신속하게 시스템을 운용하고 영상을 획득하여 빠른 시간에 공간정보 생성	-논문게재(SCI) 4건 -논문게재(비SCI) 12건 -논문발표 27건 -특허출원 7건 -특허등록 5건 -시작품 3건 -기술이전 2건 -현장적용 5건 -S/W 19건
(주)건설품질시험원 ㈜네이버시스템	영상기반 수변구조물 피해 식별기술 개발 다차원 피해정보분석 시스템 개발	영상기반 다차원 피해정보 분석 및 지원 모듈	소프트웨어	영상정보 획득 이후 장시간의 지상보정을 수행하거나, 고가의 센서 정확도에 의존하므로, 신속한 분석에는 한계	피해영상정보를 이용하여 3차원 피해정보의 정량적 분석 가능 기술 확보 Test Bed에 적용함으로써 시작품 단계까지 진행	관련SW는 대부분 해외에 의존하고 있어 경제적 효과 발생 미미	중·저고도 영상정보처리 시장점유 기대 (국내 25% 점유시 약 77억원) 재난 피해 대처에 필요한 시간 및 금전적 필요 최소화	- 대표적인 GIS 및 공간분석 시스템들과 비교하여, 다차원 피해정보 분석에 최적화된 시스템 - 항공 피해영상정보 획득 시스템과 연계하여 피해규모의 정량적 평가 가능	-논문게재(비SCI) 4건 -논문발표 7건 -특허출원 6건 -기술이전 1건 -현장적용 7건 -시작품 8건 -S/W 11건

2. 국내외 학술지 게재

차년도	번호	논문명	학술지명	주저자명	권, 호	SCI 여부	게재일	등록번호
1	1	조도 및 측정거리에 따른 영상 모니터링 시스템의 콘크리트 구조물 균열 인식 특성에 관한 실험적 연구	한국방재학회 논문집	조현우	14(1)	비SCI	2014.02	1738-2424
	2	통계적 기법을 활용한 피해대응자원 분류 알고리즘 연구	한국방재학회 논문집	한수민	14(1)	비SCI	2014.02	1738-2424
	3	수변구조물 통합관리를 위한 피해정보 시스템 구현 및 설계	전기전자학회 논문집	윤권영	18(1)	비SCI	2014.03	1226-7244
2	4	Development of vibration simulator to evaluate vibration characteristics for railway structure	Applied Mechanics and Materials	윤혁진	607	비SCI	2014.07	1660-9336
	5	Comparison of Crack Extraction Performance according to Different Edge Detectors	Applied Mechanics and Materials	조현우	607	비SCI	2014.07	1660-9336
	6	Experimental Investigation on Image-Based Crack Recognition Characteristics	Advanced Materials Research	조현우	1110(1)	비SCI	2015.03	1662-8985
	7	A Study on Scenarios for Derivation of Emergency Recovery Method of Waterfront Structures	International Journal of Engineering Research And Management	윤혁진	2(3)	비SCI	2015.03	2349-2058
	8	A study of the effective disaster resources assessment and allocation for emergency response	International Journal of Engineering and Technical Research	한수민	2(12)	비SCI	2014.12	2321-0869
	9	실내 정밀 매핑을 위한 회전식 스테레오 라인 카메라 시스템의 캘리브레이션	대한원격탐사학회지	오소정	31(2)	비SCI	2015.05	1225-6161
	10	재난피해복구정보 전자문서 및 관리시스템 개발	한국전자상거래학회지	윤혁진	20(2)	비SCI	2015.05	2288-3908
	11	Design and Implementation of an ONVIF Proxy Server	International Journal of Control and Automation	지한솔	8(2)	비SCI	2015.02	2005-4297
	12	UAV 영상을 활용한 수변구조물의 DSM 생성 및 정확도 분석	대한원격탐사학회지	이수암	31(2)	비SCI	2015.04	1225-6161
3	13	Probabilistic prognosis of fatigue crack growth for asphalt concretes	Engineering Fracture Mechanics	이승정	141	SCI (mrnIF:79.7)	2015.10	0013-7944
	14	CCTV Coverage Index Based on Surveillance Resolution and Its Evaluation Using 3D Spatial Analysis	Sensors	최경아	15(9)	SCI (mrnIF:75)	2015.09	1424-8220
	15	A Deformed Shape Detection Scheme using Time Series Images	International Journal of Security and Its Applications	정회정	9	비SCI	2015.07	1738-9976
	16	Optimization and Simulation Tool for Placement of Surveillance Cameras	ICIC Express Letters Part B: Applications	장태우	6(12)	비SCI	2015.12	2185-2766
	17	멀티센서 초소형 무인항공기 기반의 고속 자동 매핑 시스템	한국공간정보학회지	전의익	23(3)	비SCI	2015.10	2287-9242
	18	UAV 영상을 활용한 수변구조물 피해분석 및	한국지형공간정보학	김민철	24(1)	비SCI	2016.03	2287-9242

		정확도 평가	회지					
	19	사물인터넷을 활용한 돌발 상황 대응 단계에서의 피해복구 자원 활용 계획 수립 시스템 개발	한국방재학회 논문집	황규선	16(2)	비SCI	2016.04	1738-2424
	20	웹기반 SOC 시설물 재난피해복구지원시스템 설계 및 구현	한국전자거래학회지	윤혁진	20(4)	비SCI	2015.11	2288-3908
	21	명암 묘사 균열과 실제 균열의 촬영 조건에 따른 명암적 유사성 분석	한국방재학회 논문집	조현우	16(2)	비SCI	2016.04	1738-2424
4	22	Two-phase algorithm for optimal camera placement	Scientific Programming	안준우	2016	SCI (mrnIF:50.5)	2016.09	1881-803X
	23	Analysis of crack image recognition characteristics in concrete structures depending on the illumination and image acquisition distance through outdoor experiments	Sensors	조현우	2016	SCI (mrnIF:75)	2016.10	1424-8220
	24	Real-time distributed strain monitoring of a railway bridge during train passage by using a distributed optical fiber sensor based on Brillouin optical correlation domain analysis	Journal of Sensors	윤혁진	2016(1)	SCI (mrnIF:52.9)	2016.09	1687-725X
	25	An R-based Genetic Algorithm for Placement of Surveillance Cameras	ICIC Express Letters	장태우	10(6)	비SCI	2016.06	1881-803X
	26	A Technique to Improve Shadow Areas for an Intelligent Facility-Surveillance System	International Journal of Smart Home	김남기	10(7)	비SCI	2016.10	1975-4094
	27	Deployment of Multiple Visual Devices for 3D Surveillance of Big Structure	ICIC Express Letters Part B: Applications	장태우	7(9)	비SCI	2016.09	2185-2766
	28	시설물 모니터링을 위한 기준영상 기반 스마트폰 영상의 기하보정	대한원격탐사학회지	김휘영	33	비SCI	2017.03	1225-6161
	29	UAV 영상정합을 통한 구조물 형상변화 측정 정확도 연구	한국지형공간정보학회지	김민철	25(1)	비SCI	2017.03	1598-2955
	30	수변구조물의 긴급복구공법 도출 시나리오 개발 및 검증	한국방재학회 논문집	윤혁진	17(2)	비SCI	2017.04	1738-2424
5	31	Camera Placement in Smart Cities for Maximizing Weighted Coverage with Budget	IEEE Sensors Journal	전성범	17(23)	SCI (mrnIF:66.4)	2017.12	1530-437X
	32	Placing visual sensors using heuristic algorithms for bridge surveillance	Applied Sciences	전성범	80	SCI (mrnIF:47.6)	2018.01	2076-3417
	33	사물인터넷 기반 재난복구자원 관리 및 실시간 행동인지 모듈 개발	한국전자거래학회지	최상윤	22(4)	비SCI	2017.11	2288-3908
	34	현장복구사례를 이용한 긴급복구 시나리오의 적용성 검증	한국산학기술학회 논문집	윤혁진	19(2)	비SCI	2018.02	1975-4701
	35	UAV 영상을 이용한 무기준점 3D 형상 점군 데이터 활용 연구	한국산학기술학회 논문집	김민철	19	비SCI	2018.02	1975-4701
	36	적외선 열화상기법을 이용한 균열 깊이에 따른 온도특성에 관한 연구	한국산학기술학회 논문집	정주영	19	비SCI	2018.03	1975-4701
6	37	Effects of the Ground Resolution and Thresholding on Crack Width Measurements	Sensors	조현우	18(8)	SCI (mrnIF:75)	2018.08	1424-8220
	38	Image-Based Crack Detection Using Crack Width Transform (CWT) Algorithm	IEEE Access	조현우	2018(6)	SCI (mrnIF:84.4)	2018.10	2169-3536
	39	드론 영상 기반 시설물 점검 - 기준 영상을 활용한 자동 처리 중심으로	한국지형공간정보학회지	김휘영	26(2)	비SCI	2018.06	1598-2955

3. 국내외 학술발표

차년도	번호	발표명	학술회의명	국내/국외
1	1	재해현장의 구호물류를 위한 분산계획 시스템에 대한 연구	한국경영과학회 2013 추계학술대회	국내
	2	피해복구를 위한 SOC 시설물 통합관리시스템 개발	한국방재학회 춘계학술대회	국내
	3	새로운 분류 알고리즘을 적용한 응급대응자원관리 시스템에 관한 연구	한국방재학회 춘계학술대회	국내
	4	수변구조물 방재를 위한 피해정보 데이터베이스 구축	한국방재학회 춘계학술대회	국내
	5	수변구조물 피해정보 및 복구지시의 빠른 전파를 위한 e-문서 표준화 기술개발	한국방재학회 춘계학술대회	국내
	6	SOC 시설물 피해 응급복구 의사결정 지원시스템 개발 방안 수립	한국방재학회 춘계학술대회	국내
	7	SOC 시설물 균열인식을 위한 영상분석 파라미터 연구	대한기계학회 신뢰성부문 춘계학술대회	국내
	8	A Damage Information System for Waterfront Structures	DBSW 2014	국내
2	9	교량의 구조건전성 모니터링 기법 비교분석	2014 년도 한국철도학회 추계학술대회	국내
	10	콘크리트 구조물 균열 인식 알고리즘 개발	2014년도 대학기계학회 추계학술대회	국내
	11	Dynamic Analysis of Girder Bridge Based on Electrical Sensor Data	ICNAAM 2014	국외
	12	Crack Recognition According to Image Acquisition Condition	ISGMA 2014	국외
	13	영상기반 균열인식 알고리즘 검증을 위한 모의균열 특성 분석	2015 한국방재학회 학술발표대회	국내
	14	수재해에 의한 교량의 피해메커니즘에 대한 고찰	2015 한국방재학회 학술발표대회	국내
	15	수변구조물 스마트 피해복구 지원시스템 개발	2015 한국방재학회 학술발표대회	국내
	16	수변 철도시설물 피해복구 지원시스템 설계	2014년도 한국철도학회 추계학술대회	국내
	17	콘크리트구조물 균열측정을 위한 영상획득거리 영향분석	2014년도 한국철도학회 추계학술대회	국내
	18	의사결정트리를 이용한 응급복구공법 자동 결정 프로세스 개발	2014년도 한국철도학회 추계학술대회	국내
	19	피해복구 의사결정 지원시스템의 대화식 인터페이스 적용 연구	2014년도 한국철도학회 추계학술대회	국내
	20	복구지원 리소스 현황 파악을 위한 관리 체계 설계	2014년도 한국철도학회 추계학술대회	국내
	21	A Study on emergency logistics problem after massive natural disaster	Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS)	국외
	22	긴급상황시 무인항공기의 야간촬영을 위한 조명시스템의 활용방안	2015 한국측량학회 정기학술대회	국내
	23	Indoor Modeling Using Omni-directional Images Acquired by a Rotating STEREO Frame Camera System	ISRS 2015	국외
	24	초소형 무인기를 활용한 수변구조물 매핑	한국측량학회 춘계학술대회	국내
	25	AUTOMATIC EXTRACTION OF 3D SURFACE MODELS FROM UAV IMAGES FOR DISASTER DAMAGE ANALYSIS	ISRS 2015	국외
	26	UAV 영상과 3차원 참조데이터를 이용한 수변구조물 피해분석방안 연구	2015 한국방재학회 학술발표대회	국내
	27	A Study on ONVIF Proxy Server	SIP 2014	국외
	28	유전알고리즘을 이용한 구조물 모니터링 장비 배치 효율화	대한산업공학회 추계학술대회	국내
3	29	수변구조물에서 획득한 초소형 무인기 영상의 데이터 처리 및 분석	KSCE 2015 CONVENTION 2015 CIVIL EXPO & CONFERENCE	국내
	30	저고도 무인항공측량을 통한 시설물 모니터링 정확도 검증	2016 한국방재학회 학술발표대회	국내
	31	수변구조물의 긴급복구공법 도출 시나리오 개발 및 사례검증	2016 한국방재학회 학술발표대회	국내
	32	복구사례와 피해복구 시나리오의 도출 공법 비교 연구	2016 한국구조물진단유지관리공학회 봄 국제학술발표회	국내
	33	피해복구 시나리오 및 복구 자원할당 모듈을 이용한 의사결정 지원 시스템 개발	2016 한국구조물진단유지관리공학회 봄 국제학술발표회	국내
	34	A Study on Detecting a Deformed Shape in Static Structures	CES-CUBE 2015	국외
	35	Simulation Tool for Placement of Surveillance Cameras	ICICIC2015	국외
	36	An R-based Genetic Algorithm for Placement of Surveillance Cameras	BMFSA2015	국외
	37	A Shadow Region of Improvement Scheme for Fixed Structures by using a Light Source	ICONI2015	국외

	38	UAV 영상을 이용한 수변구조물 피해분석시스템 구축방안 연구	2016 한국방재학회 학술발표대회	국내
	39	UAV 영상을 이용한 시설물 형상변화 추출 기법 연구	2016 한국구조물진단유지관리공학회 봄 국제 학술발표회	국내
	40	A study on makeshift recovery planning in emergency logistics considering disaster scene's risks and uncertainties	10th Triennial Conference of the Association of Asia-Pacific Operational Research Societies (APORS 2015)	국외
	41	재해 복구 시 사물인터넷을 활용한 돌발 상황 대응 시스템 구축에 관한 연구	2016 한국방재학회 학술발표대회	국내
	42	초소형 UAV기반 저고도 레이저스캐너 시스템 설계	2016 한국지형공간정보학회 학술대회	국내
	43	소나기반 수중점검을 위한 주파수 특성에 관한 연구	2016 한국구조물진단유지관리공학회 학술발표대회	국내
	44	반사 모델을 이용한 조명에 따른 균열의 명암 변화 예측	2016 한국구조물진단유지관리공학회 학술발표대회	국내
	45	2차원 영상 기반 원기둥형 콘크리트 교각의 표면 균열 측정 방법	2016 한국방재학회 학술발표대회	국내
	46	이동형 이미지소나기반 교량하부 세굴인식 기법 연구	2016 한국방재학회 학술발표대회	국내
	47	항공·ICT 융합기술을 활용한 수변구조물 피해분석 및 관리 기술 개발	2016 한국방재학회 학술발표대회	국내
	48	구조물 표면균열 측정을 위한 균열영상 선명도 분석	2015 대한토목학회 학술대회	국내
	49	무인항공기(UAV)로 촬영된 시설물 측면의 영상 처리	2016 한국측량학회 정기학술발표회	국내
	50	Deployment of Multiple Visual Devices for 3D Surveillance of Big Structure	ICICIC 2016	국외
	51	수변구조물 모니터링을 위한 기준영상기반 스마트폰 영상의 기하보정	2016 공동추계학술대회	국내
	52	Georeferencing and Rectification of Smartphone Images using UAV Reference Images for Monitoring Infrastructure close to a River	ACRS 2016	국외
	53	UAV를 이용한 실시간 시설물 피해 규모 산정의 촬영 시스템 설계 및 구현	2016 대한토목학회 학술대회	국내
	54	IoT 기반 긴급 복구 장비 관리 디바이스 플랫폼 개발 연구	2016 대한토목학회 학술대회	국내
	55	UAV 영상을 이용한 수변구조물의 정밀 피해관리 기법	2016 대한토목학회 학술대회	국내
	56	재난현장의 구호 자원 운송 차량 경로 작성 및 조정에 관한 연구	2016 한국시뮬레이션학회 추계학술대회	국내
4	57	재난 발생 시 사물인터넷을 활용한 대응 시스템 구축에 관한 연구	2016 대한산업공학회 추계학술대회	국내
	58	콘크리트 균열 인식을 위한 문자 노이즈 제거 방법	2017 한국방재학회 학술발표대회	국내
	59	소나를 이용한 수중구조물의 원격점검 기법	2017 한국방재학회 학술발표대회	국내
	60	다중 피해복구 시나리오 기반 피해복구 스마트 지원 시스템	2017 한국방재학회 학술발표대회	국내
	61	시설물 모니터링을 위한 무인항공측량 영상 기반 스마트폰 영상의 지오레퍼런싱 및 기하보정	2017 한국방재학회 학술발표대회	국내
	62	무인항공기의 장애물 회피를 위한 비행경로 계획 시스템 개발	2017 한국방재학회 학술발표대회	국내
	63	환경요인을 고려한 영상감시장비 배치 방안	2017 한국방재학회 학술발표대회	국내
	64	UAV 영상을 이용한 수변구조물 피해 정량적 측정 방안	2017 한국방재학회 학술발표대회	국내
	65	사물인터넷을 활용한 재난복구 현장 모니터링 시스템 구축에 관한 연구	2017 한국방재학회 학술발표대회	국내
	66	피해복구 시나리오와 현업 복구 공법의 비교 검증	2017 한국방재학회 학술발표대회	국내
	67	스마트폰을 이용한 복구 현장관리	2018 한국방재학회 학술발표대회	국내
	68	재난 물류를 위한 거점 선정에 대한 연구	2017 한국SCM학회 춘계컨퍼런스	국내
	69	환경요인을 고려한 구조물 감시용 CCTV 배치 최적화	2018 한국방재학회 학술발표대회	국내
	70	시설물 유지보수를 위한 무인항공기 기준영상 기반 스마트폰 영상의 기하보정	2017 공동추계학술대회	국내
5	71	시설물 점검을 위한 드론 영상 기반 스마트폰 영상 자동 처리와 정확도 분석	2018 한국방재학회 학술발표대회	국내
	72	구조물 재난 및 안전 관련규정을 고려한 IoT 센싱방안	2017 한국철도학회 추계학술대회	국내
	73	긴급복구 시나리오의 적용 사례 연구	2018 한국방재학회 학술발표대회	국내
	74	멀티드론을 이용한 대규모 공간정보 구축을 위한 비행계획 프로그램 개발	2018 한국방재학회 학술발표대회	국내

	75	UAV 측면 근접영상의 정량적 분석 방안	2018 한국방재학회 학술발표대회	국내
	76	적외선 카메라를 이용한 균열시편의 온도특성 분석	2018 한국방재학회 학술발표대회	국내
	77	모션 캡쳐 정보를 활용한 응답 모드 식별	2017 지진공학회 학술발표대회	국내
	78	인적 편향성을 배재한 열화 모델 개발을 위한 교량 검사 데이터 분류	2017 대한토목학회 학술대회	국내
	79	무인항공기(UAV)의 시설물 회피를 위한 비행경로 계획 시스템	2017 대한토목학회 학술대회	국내
	80	감시 영상에서 Level set 방법을 이용한 하천 범람 영역 추정	2018 한국방재학회 학술발표대회	국내
	81	지진응답을 이용한 다자유도 구조물의 시스템 식별	2018 지진공학회 학술발표대회	국내
6	82	Development of IoT Device and Program for Slope Landsliding Monitoring	The 2nd Asian Conference on Railwya Engineering and Transportation	국내
6	83	명암차이를 이용한 시설물 균열 깊이 추정 방법	2019 한국방재학회 학술발표대회	국내
	84	멀티드론을 이용한 실시간 장거리 통신 시스템 구현	2019 한국방재학회 학술발표대회	국내
	85	IoT 디바이스 플랫폼을 이용한 사면 모니터링	2019 한국방재학회 학술발표대회	국내

4. 특허출원 및 등록

차년도	번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록		
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호
2	1	무인 항공기의 야간 촬영을 위한 조명 위치 결정 시스템 및 방법	대한민국	㈜티아이랩	2015.04	10-2015-0054709			
	2	복수의 센서를 탑재한 무인 비행체를 이용하는 매핑 방법 및 시스템	대한민국	서울시립대학교	2014.12	10-2014-0192665			
	3	수변구조물 피해탐지를 위한 대용량 다차원 영상정보 가시화 모듈개발	대한민국	㈜네이버시스템	2015.04	10-2015-0050213			
	4	지상라이다와 설계도면을 이용한 정밀 3차원 수변구조물 데이터 구축기법	대한민국	㈜네이버시스템	2015.04	10-2015-0050255			
	5	감시장비 배치장치 및 방법	대한민국	경기대학교	2015.04	10-2015-0053399			
3	6	사물 인터넷 기반의 긴급 복구 방법 및 시스템	대한민국	㈜지구환경전문가그룹	2016.03	10-2016-0031144			
	7	보수공사 대응 시스템 및 그 방법	대한민국	㈜피씨엔	2016.01	10-2016-0007486			
	8	영상 내 구조물 음영영역 개선 시스템 및 방법	대한민국	경기대학교	2016.03	10-2016-0036964			
	9	영상 내 빗방울 제거 시스템	대한민국	경기대학교	2016.03	10-2016-0036961			
	10	수변구조물 피해정보 분석을 위한 정보시스템 구축방안	대한민국	㈜네이버시스템	2016.03	10-2016-0032637			
	11	영상 기반 휴대용 표면 균열 측정 장치	대한민국	한국철도기술연구원	2015.12	10-2015-0186425			
	12	무인항공기의 위치인식 방법 및 시스템	대한민국	㈜티아이랩	2016.04	10-2015-013332-9			
4	13	감시장비 배치장치 및 방법	대한민국				경기대학교	2017.02	10-1711521
4	14	UAV 영상매칭 기술을 이용한 구조물 형상 변화 탐지 알고리즘	대한민국	㈜네이버시스템	2017.02	10-2017-0018477			
	15	스마트폰을 이용한 균열측정 관리장	대한민국	㈜지구환	2017.04	10-2017-0047163			

		치 및 방법		경전문가 그룹					
	16	무인항공기의 관찰수행 위치 인식방법 및 장치	대한민국	㈜티아이랩	2017.04	10-2017-0048691			
5	17	재난재해 복구를 위한 복구 자원 관리 방법 및 시스템	대한민국	㈜PCN	2017.12	10-2017-0166513			
	18	무인항공기의 야간 촬영을 위한 조명 위치 결정 시스템 및 방법	대한민국				㈜티아이랩	2017.06	10-1746636
	19	영상 내 빗방울 제거 시스템	대한민국				경기대학교	2017.09	10-1784485
	20	복수의 센서를 탑재한 무인 비행체를 이용하는 매핑 방법 및 시스템	대한민국				서울시립대학교	2017.08	10-1771492
	21	수재해로 인한 피해 대응 의사결정 지원 시스템 및 방법	대한민국	한국철도기술연구원	2017.07	10-2017-0096415			
	22	SOC 시설물 피해복구 실행계획 수립 시스템 및 방법	대한민국	한국철도기술연구원	2017.09	10-2017-0118356			
	23	UAV 측면영상 분석을 위한 알고리즘 및 도구 개발	대한민국	㈜네이버시스템	2017.11	10-2017-0160523			
	24	영상 내 구조물 음영영역 개선 시스템 및 방법	대한민국				경기대학교	2017.11	10-1797711
6	25	구조물의 균열 인식 장치 및 방법	대한민국	한국철도기술연구원	2018.08	10-2018-0097433			
	26	경계선 기반 구조물의 균열 검출 장치 및 방법	대한민국	한국철도기술연구원	2018.08	10-2018-0102893			
	27	재난재해 복구를 위한 복구 자원 관리 방법 및 시스템	대한민국				㈜피씨엔	2018.07	10-1876717
	28	스마트폰을 이용한 균열 측정 관리 장치 및 방법	대한민국				㈜지구환경전문가그룹	2018.07	10-1876887
	29	3차원 점군데이터의 단면분석을 통한 구조물 변형탐지 알고리즘 및 도구 개발	대한민국	네이버시스템(주)	2019.01	10-2019-0006211			

5. 기타 성과

차년도	번호	구분	성과명	게재지/등록번호/제작업체	성과등록일
1	1	프로그램 등록	피해복구의사결정 지원 시스템	C-2014-006647	2014.03
2	2	프로그램 등록	시설물 스마트 피해복구 전문가 시스템	C-2015-009160	2015.04
	3	프로그램 등록	스마트 피해복구 의사결정지원 시스템	C-2015-007072	2015.03
	4	프로그램 등록	실시간 멀티센서 데이터 동기화 프로그램	C-2015-010214	2015.04
	5	프로그램 등록	초소형 무인항공기 영상 품질 검사, 개선 소프트웨어	C-2015-006385	2015.03
	6	프로그램 등록	수변지형 타일맵 영상 생성도구	C-2015-006652	2015.03
	7	프로그램 등록	수변지형 대용량 타일맵 뷰어	C-2015-006653	2015.03
	8	프로그램 등록	지상영상 개선 및 표출 소프트웨어	C-2015-009098	2015.04
	9	프로그램 등록	감시장비 위치자세 탐색 프로그램	C-2015-009210	2015.04

	10	프로그램 등록	감시장비 배치 시뮬레이터	C-2015-009209	2015.04
	11	현장적용	수변구조물 데이터 구축기법 T/B 적용	㈜네이버시스템	2015.01~03
	12	시작품	멀티센서 탑재체 디자인 설계 및 제작	㈜티아이랩	2015.01
3	13	프로그램 등록	멀티센서 시스템 캘리브레이션 소프트웨어	C-2016-007487	2016.03
	14	프로그램 등록	수변 저고도 광학 영상 자동처리 소프트웨어	C-2016-007488	2016.03
	15	프로그램 등록	의사결정트리를 이용한 긴급복구공법 의사결정 프로그램	C-2016-004220	2016.02
	16	프로그램 등록	분산정보 공유형 피해복구 의사결정 지원 시스템	C-2016-004929	2016.02
	17	프로그램 등록	지상영상에서 피해지역 위치 추적 표출 프로그램	C-2016-008384	2016.04
	18	프로그램 등록	무인항공기(UAV) 영상 관리 및 가시화 도구	C-2016-008429	2016.04
	19	프로그램 등록	피해복구를 위한 최적경로탐색 소프트웨어	C-2016-008428	2016.04
	20	프로그램 등록	무인항공기(UAV) 영상기반 피해탐지도구	C-2016-008981	2016.04
	21	프로그램 등록	수변지형 변화탐지 및 가시화 소프트웨어	C-2016-007902	2016.03
	22	프로그램 등록	무인항공기용 영상 및 위치자세센서 동기화 프로그램	C-2016-009356	2016.04
	23	프로그램 등록	구조물 감시장비 배치 결정 프로그램	C-2016-010771	2016.05
	24	프로그램 등록	무인항공기용 근접 전자광학/적외선 정밀영상 촬영 프로그램	C-2016-009528	2016.03
	25	시작품	다차원 피해정보분석 파일럿 프로그램	㈜네이버시스템	2016.03
	26	시작품	무인항공기 영상기반 피해탐지도구	㈜네이버시스템	2016.04
	27	시작품	최적접근경로 탐색 프로그램	㈜네이버시스템	2016.03
	28	현장적용	다차원 피해정보분석시스템 테스트베드 적용 실험	㈜네이버시스템	2016.03
	29	현장적용	최적접근경로 탐색 프로그램	㈜네이버시스템	2016.03
	30	기술이전	감시장비 배치장치 및 방법	경기대학교	2016.03
4	31	프로그램 등록	재해 상황 위도/경도 좌표 생성 S/W	C-2017-009501	2017.04
	32	프로그램 등록	피해복구의사결정 지원시스템 v1.0	C-2016-030694	2016.12
	33	프로그램 등록	콘크리트 균열 측정 모바일 관리 프로그램	C-2016-032927	2016.12
	34	프로그램 등록	무인항공기(UAV) 영상 외부표정요소 정확도 보정 프로그램	C-2017-004949	2017.03
	35	프로그램 등록	점군데이터 기반의 면적 및 부피계산 프로그램	C-2017-004950	2017.02
	36	프로그램 등록	단일 영상 기하보정 소프트웨어	C-2017-009770	2017.04
	37	프로그램 등록	회피지점을 고려한 최적경로탐색 프로그램	C-2017-004951	2017.02
	38	프로그램 등록	무인항공기용 정밀영상 촬영 및 실시간 송수신 프로그램	C-2017-009275	2017.04
	39	프로그램 등록	웹기반 영상장비 배치 표출 모듈	C-2017-008360	2017.04
	40	프로그램 등록	기준영상 기반 번들 조정 소프트웨어	C-2017-009771	2017.04
	41	프로그램 등록	재해 상황 감지 S/W	C-2017-009500	2017.04
	42	기술이전	UAV 영상기반 수변지형 변화 탐지 기술	한국철도기술연구원	2016.06
	43	기술이전	감시장비 배치장치 및 방법	경기대학교	2017.02
	44	현장적용	2017년 강정고령보 일대 재난 모의훈련	한국철도기술연구원	2015.05
	45	현장적용	다차원 피해정보분석 시스템 모의시험편 실험	㈜네이버시스템	2017.05
	46	현장적용	위험/회피 알고리즘을 적용한 최적 접근경로 테스트베드 실험	㈜네이버시스템	2017.03
	47	시작품	수변구조물 다중피해정보 분석 프로그램	㈜네이버시스템	2017.02
	48	시작품	위험・회피지점을 적용한 최적접근경로 탐색 프로그램	㈜네이버시스템	2017.02
	49	시작품	무인기 탑재형 근접 정밀 촬영 카메라 시스템 탑재체	㈜티아이랩	2017.02
	50	GS인증	피해복구의사결정 지원시스템 v1.0	한국철도기술연구원, ㈜PCN	2017.04
5	51	프로그램 등록	의사결정지원 시스템(F.M.R.E.S) 복구자원관리용 모바일 앱	C-2018-001160	2018.01
	52	프로그램 등록	의사결정지원 시스템(F.M.R.E.S)상황관리자용 모바일 앱	C-2018-001159	2018.01
	53	프로그램 등록	의사결정지원 시스템(F.M.R.E.S)현장관리자용 모바일 앱	C-2018-001161	2018.01
	54	프로그램 등록	항공/지상 영상 3차원 가시화 소프트웨어	C-2017-035526	2017.12

	55	프로그램 등록	IoT(사물인터넷)센서 운영관리 프로그램	C-2018-001787	2018.01
	56	프로그램 등록	시스템 상태 확인 및 복원 프로그램 S/W	C-2018-003872	2017.12
	57	프로그램 등록	다채널 피해 의심지역 감지 영상분석 플랫폼 S/W	C-2018-003873	2018.03
	58	프로그램 등록	무인항공기(UAV) 측면촬영 영상 표출 프로그램	C-2017-028495	2017.11
	59	프로그램 등록	무인항공기(UAV) 영상 품질검증 프로그램	C-2018-004571	2018.02
	60	프로그램 등록	항공/지상 영상 융합 처리 소프트웨어	C-2018-006920	2018.03
	61	프로그램 등록	IoT 센서노드 운영관리 프로그램	C-2018-006365	2018.03
	62	프로그램 등록	수변구조물 손상 인식 및 현시 S/W	C-2018-006834	2018.03
	63	시작품	무인항공기 측면촬영 영상 표출 프로그램	㈜네이버시스템	2017.11
	64	시작품	무인항공기 촬영 영상 품질평가 프로그램	㈜네이버시스템	2018.01
	65	현장적용	포항지진 데이터 현장 실험	㈜네이버시스템	2017.11
	66	기술이전	피해복구 의사결정 지원 기술	㈜피씨엔	2017.10
	67	홍보	세계지반 공학관련 시제품 시연, 기술 상담, 발표 등	㈜피씨엔	2017.09
	68	현장적용	2017년 수자원공사 모의훈련	㈜피씨엔	2017.12
	69	현장적용	복구자원관리용 모바일 App 성능 테스트	㈜피씨엔	2017.12
	70	현장적용	항공영상획득을 통한 고정밀 지도 제작	㈜티아이랩	2017.07
	71	현장적용	항공영상획득을 통한 시설물의 현장적용	㈜티아이랩	2017.05
	72	현장적용	항공영상획득을 통한 지진 발생 지역 긴급 모델링	㈜티아이랩	2017.11
	73	현장적용	다채널 피해감지 영상분석 플랫폼 연속 구동 실험	㈜코티스	2018.01
6	74	프로그램 등록	외부 연계 모듈 적용 피해복구 의사결정 지원 시스템	C-2018-031471	2018.11
	75	프로그램 등록	피해정보 단면 분석 프로그램	C-2018-039624	2018.12
	76	시작품	피해정보 단면 분석(profile) 프로그램	네이버시스템(주)	2018.11
	77	시작품	무인기 탑재형 정밀 촬영시스템	㈜티아이랩	2019.02
	78	현장적용	고정밀지도제작	㈜티아이랩	2018.11
	79	현장적용	현장데이터를 이용한 단면 분석 프로그램 실험	네이버시스템(주)	2019.01

제5절 연구 결과

1. 기술적 성과

연번	핵심성과	정 의	목 적	기술적 완성도
1	분산정보 공유형 피해복구 의사결정 지원 시스템	재해(호우, 태풍, 지진 등)에 의한 수변 구조물의 피해 발생시, 피해확산을 방지하고 신속한 피해 복구를 위하여 피해 복구 의사결정권자의 의사결정을 기술적으로 지원하기 위한 시스템	수변구조물의 피해발생시 피해정보를 신속하게 수집하고, 재해에 의한 현재 피해 정보를 추출 및 분석하여 피해복구 시나리오기반의 의사결정을 수행하고 이를 바탕으로 한 피해복구 실행계획을 수립하여 복구를 실행할 수 있도록 피해복구 의사결정권자를 지원	기술 자립 시작품 단계까지 진행
2	항공/지상 수변구조물 피해 영상정보 획득 시스템	재해 피해 발생시 수변구조물의 피해상황을 파악하기 위하여, 수변 구조물의 피해 영상정보를 신속히 획득하기 위한 항공/지상 영상정보 획득 장치, 이동형 지상국, 피해영상 전처리 소프트웨어로 이루어진 시스템	재해 발생시, 대상 수변구조물의 피해 영상정보를 신속하게 획득하여, 피해 상황을 신속히 파악하고, 피해 전후 영상정보를 이용하여 다차원 피해분석 및 복구지원 시스템을 지원	기술 선도 시작품 단계까지 진행
3	영상기반 다차원 피해정보 분석 및 지원 모듈	피해지역의 다차원 영상정보를 기반으로 수변구조물의 정확한 피해위치, 유형, 크기 등의 정보를 신속하게 정량적으로 분석하고 그 결과를 의사결정지원시스템에 제공하기 위해 피해탐지 및 피해정보추출 모듈, 실시간 피해정보 분석 모듈, 피해 구조물 복구를 위한 최적 접근루트 선정 모듈과 관련 DB로 구성된 시스템	재해 발생 시 피해 전/후 다차원 영상정보를 이용하여 수변구조물의 피해유형 및 크기를 정량적으로 분석함으로써 피해복구 의사결정 시스템에 피해분석 정보 제공	기술 선도 시작품 단계까지 진행

2. 경제적 성과

개발된 기술은 총 4건의 기술실시계약이 체결되었으며, 실용화 추진 단계에 있다. K-Water 수변구조물 통합안전관리센터에서의 모의훈련 및 현장시험 결과를 바탕으로 관련 기업에 기술제안을 수행할 예정이다. 과제기간내 수행하였던 기술 홍보는 과제 종료이후에도 지속적으로 수행하여 매출액 증대를 달성하도록 하겠다. 소형무인기 기반 긴급매핑 시스템의 사업화를 통해 국내시장 잠식예방 및 해외시장 진출이 가능하며, 세계시장 1% 점유시 연간 154억원의 시장에 진입할 수 있다. 또한, 고가・고성능 분야인 군수용 무인기 및 촬영영상 시장과 저가·저성능 분야인 민간용·취미용 무인기 및 촬영영상 시장 사이의 현재 시장이 활성화되지 않은 중간 가격의 무인기와 촬영영상 기반의 솔루션을 제공함으로써 관련 시장에 진입하여 중・저고도 영상정보처리 시장점유를 기대해 볼 수 있다. 국내시장 25% 점유시 약 77억원의 경제적 이익을 기대할 수 있다.

제3장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제1절 연구개발 목표 및 달성도

구분	성과목표	최종성능목표	목표치	전체항목에서 차지하는 비중(%)	개발목표 달성도(%)						달성도 평가 방법
					1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	
분산정보 공유형 피해복구 의사결정 지원 시스템	수변구조물 피해복구 의사결정 지원 시스템 설계 및 구축	□ 피해복구 의사결정 지원시스템 개발 및 성능평가	□ TTA의 SW 시험인증(GS인증 1등급) 완료	13	10	20	40	60	80	100	· Test Bed 대상 시스템 구현 및 모의훈련, K-water 수변구조물 통합 안전관리센터내 구축 여부 · GS 인증, 관련 논문, 특허 출원·등록, S/W, 보고서 등 달성 여부
	피해유형별 복구 시나리오 및 운용 프로세스 개발	□ 피해복구 시나리오 및 시스템내 운용 프로세스 제시	□ 수변구조물별 복구 시나리오 6식 및 운영프로세스 도출	10	10	20	40	60	80	100	· 모의훈련을 통해 피해복구 실행계획서 도출, 피해복구 의사결정 지원 시스템 내 반영 여부 · 관련 논문, 특허 출원·등록, S/W, 보고서 등 달성 여부
	복구지원 리소스 연계 복구 우선순위 도출 모듈 개발	□ 복구지원 리소스 지원 및 피해복구 실행계획내 운용 모듈 개발	□ 피해보고 및 복구지원 e-문서 6식, 복구지원 리소스 평가 및 할당 모듈 도출	10	20	40	60	80	100		· Test Bed 대상 모듈 구현 및 피해복구 의사결정지원 시스템 내 반영 여부 · 관련 논문, 특허 출원·등록, S/W, 보고서 등 달성 여부
항공/지상 수변구조물 피해 영상정보 획득 시스템	UAV기반 항공영상 취득 및 피해영상정보 전송 시스템 개발	□ UAV기반 항공영상 취득 및 영상정보 전송 시스템 시작품 개발	□ Test Bed 모의훈련을 통해 2시간 이내 영상획득 처리	13		20	40	60	80	100	· Test Bed 대상 시스템 구현 및 모의훈련, K-water 수변구조물 통합 안전관리센터내 구축 여부 · 관련 논문, 특허 출원·등록, S/W, 시작품, 보고서 등 달성 여부
	수변구조물 영상정보 전처리 모듈 개발	□ 항공영상정보 전처리 모듈 및 항공영상기반 지상영상 융합처리 모듈 개발	□ 근접영상 외부 표정요소 및 항공/지상영상 정합 정밀도 개선율 각 150% 달성	11		25	50	75	100		· UAV기반 항공영상 취득 시스템과 연동, 영상정보 전송 시스템 내 반영 여부 · 관련 논문, 특허 출원·등록, S/W, 보고서 등 달성 여부

	지상영상정보 획득 장비 및 배치 효율화 기술 개발	□ 지상영상 획득 시스템 현장적용 및 배치 효율화 모듈 개발	□ TB대상 시뮬레이션 및 시범운용	10		25	50	75	100		· Test Bed대상 시스템 운용 및 모의훈련 여부 · 관련 논문, 특허 출원·등록, S/W, 보고서 등 달성 여부
영상기반 다차원 피해정보 분석 및 지원 모듈	영상기반 피해정보 추출 모듈 개발	□ 다차원 영상기반 피해정보 추출 및 분석 기법 개발 및 성능평가	□ 모의현장 시험을 통해 형상변화 탐지율 75% 확보	12		20	40	60	80	100	· 모의현장 시험을 통한 성능검증, 다차원 피해정보 분석시스템 내 반영 여부 · 관련 논문, 특허 출원·등록, S/W, 시작품, 보고서 등 달성 여부
	다차원 피해정보 분석시스템 개발	□ 피해전후 영상을 이용한 피해정보 분석 시스템 구축	□ 강정고령보 인근 Reference 데이터 및 센터 구축 완료	13		20	40	60	80	100	· Test Bed 대상 시스템 구현 및 모의훈련, K-water 수변구조물 통합 안전관리센터내 구축 여부 · 관련 논문, 특허 출원·등록, S/W, 시작품, 보고서 등 달성 여부
	피해복구를 위한 최적 접근루트 선정 모듈 개발	□ 수변구조물 최적 접근루트 탐색 알고리즘 개발	□ Test Bed 대상 경로 DB 구축 및 시스템 탑재	8		25	50	75	100		· Test Bed 대상 모듈 구현 및 피해복구 의사결정지원 시스템 내 반영 여부 · 관련 논문, 특허 출원·등록, S/W, 보고서 등 달성 여부

제2절 관련분야 기여도

1. 기술적 측면

재해피해 발생시 항공, 지상 피해영상정보 획득 및 분석을 통해 피해를 통합 분석하고, 피해복구 의사결정을 통한 재해의 유연하고 신속한 대처를 가능하게 하는 선진국형 시설물 안전관리체계를 구축하였다. 기존에 피해상황 및 복구진도 관리에 한정된 시스템을, 신속한 피해복구가 가능하도록 피해복구 실행계획 수립 기능을 확장하였다.

본 연구에서는 다양한 센서의 통합을 위한 기술적 접근을 통해 공간정보 구축관련 장비 개발의 기반 기술을 확보하였고 현장에서의 활용성을 높이기 위해 실시간 전송이 가능한 기술을 개발하였다. 현장 활용도 높은 고정밀 공간정보 구축 장비를 개발하여, 향후 피해조사 현장 뿐만 아니라 각종 재난재해원인조사, 고정밀 지도 제작, 안전성 검사 등 다양한 방면으로 활용 가능한 장비로 확대 개발 가능하다.

다차원 피해정보 분석 시스템은 재난 발생 시 피해지역의 영상정보를 기반으로 수변구조물의 정확한 피해위치, 유형, 크기 등의 정보를 신속하게 정량적으로 분석하여, 효과적인 피해복구 계획 및 피해복구 지원리소스 관리를 지원하기 위해 개발되었으며, 피해지역을 촬영한 수직 또는 근접 UAV 영상을 정합하여 3D point cloud를 생성하고, 기 구축된 피해지역 수변구조물의 reference data와 비교하여 피해정보를 탐지하고 분석한다.

UAV 영상을 활용하여 3차원 공간정보를 생성하는 자동매칭 기술은 국내에서 최초로 자체 개발되었다. 또한, 피해지역을 촬영한 영상으로부터 구조물의 피해정보를 자동으로 추출하는 시스템이 없기 때문에, 각각의 공정마다 작업자가 다른 소프트웨어를 사용해야 하는 현재의 작업방식을 개선하여 작업의 소요시간 및 비용을 크게 감축시켰으며, 우수한 형상변화 탐지율을 보인다. 대표적인 GIS 및 공간분석 시스템들과 비교하여 본 연구에서 개발된 시스템은 다차원 피해정보 분석에 최적화된 유일한 시스템이며, 테스트베드 지역을 대상으로 피해정보의 정량적 분석을 완료하였다. 시스템과 동시에 개발된 다중영상정합 기술, 영상의 EOP(외부표정요소) 보정기술, 피해정보 추출 기술, 대용량 데이터 처리 기술 등은 여러 분야에 적용할 수 있는 범용적인 기술이기 때문에 UAV 영상을 활용하는 분야 또는 UAV 영상을 기반으로 다양한 시설물들의 피해정보를 탐지하는 분야에 적용할 수 있다.

2. 사회・경제적 측면

피해상황 획득, 분석, 복구 의사결정 지원기술 개발을 통한 2차 피해예방 및 복구비용 절감에 기여할 수 있다. 무인기 및 CCTV 기반의 고품질 위치 취득 및 공간정보 구축이 가능해져서 토목 공사 현장이나 지질조사 등에 활용이 가능하며, 기존 보다 현장감 있고 신속한 관리가 가능하게 되었다. 세계적으로 활발히 개발되고 있는 무인기 기반 솔루션에 대응할 수 있는 토대를 마련하여 해외 시장 개척 및 수입 대체 할 수 있다. 빠르고 정확하게 피해상황을 모니터링할 수 있어서 재난이나 재해가 발생한 해당 지역에 대한 복구를 지원한다. 소형무인기 기반 긴급매핑 시스템의 사업화를 통해 국내시장 잠식예방 및 해외시장 진출이 가능하다. 세계시장 1% 점유 시 연간 154억원의 시장에 진출할 수 있다.

기존에 현장에 직접 나가 수집하던 피해정보를 영상을 이용하여 빠른 시간 내에 정량적으로 분석하기 때문에, 피해 복구 과정에서의 2차 피해를 예방할 수 있으며, 피해복구에 필요한 시간과 비용을 최소화 할 수 있다. 또한, 점점 수요가 증가하고 있는 영상 획득 및 전처리 분야에 고속 및 자동화된 영상 전처리 시스템 구축을 통한 시장점유를 기대할 수 있다. 즉, 고가・고성능 분야인 군수용 무인기 및 촬영영상 시장과 저가·저성능 분야인 민간용·취미용 무인기 및 촬영영상 시장 사이의 현재 시장이 활성화되지 않은 중간 가격의 무인기와 촬영영상 기반의 솔루션을 제공함으로써 관련 시장에 진입하여 중・저고도 영상정보처리 시장점유를 기대해 볼 수 있다. 국내시장 25% 점유시 약 77억원의 경제적 이익을 기대할 수 있다.

3. 정책적 측면

국제사회의 재난안전 관련 분야의 국가위상을 향상하고, 재난 재해 대응을 위한 기술적 지원으로 안전한 생활환경 조성하는데 기여할 수 있다. 신속한 피해획득 및 상황 분석을 통한 복구활동을 지원하고, 재해복구 소요시간 단축하여 유연한 재해 대응이 가능하다.

전 세계적으로 지속적인 시장 확장과 기술이 개발되고 있는 무인기와 CCTV 에 대한 국가적 관심과 투자가 이어지고 있으며, 이를 위한 다양한 정책이 만들어 지고 있다. 기술적 가능성과 실용성을 증명한 본 연구는 정책적 지원을 통한 시장 발전과 해외 기술과의 기술격차를 좁힐 수 있다는 근거를 보여주고 있다. 또한 재난재해 관련 기술 발전 방향으로서의 최신 ICT기술과의 접목이 가능하다는 것을 보여주고 있어서 새로운 시장을 창출할 수 있는 근거가 마련되었다.

신속한 피해상황 분석을 통한 복구활동 지원 및 재해복구 소요시간을 단축할 수 있으며, 빈발하는 재난재해에 대한 신속한 복구관리체계 구축으로 국민 삶의 질을 향상시킬 수 있다. 또한, 개발된 기술은 국민이 안심하고 생활할 수 있는 안전한 생활환경을 조성에 기여할 것으로 보인다.

제4장 연구개발성과의 활용 계획 등

제1절 연구개발 결과물 활용방안

1. 산업계 활용계획

본 연구성과물은 K-Water 수변구조물 통합안전관리센터에 구축되었으며, 센터내에서 지속적으로 활용할 예정이다. 센터를 중심으로 모의훈련을 수행하여 기술완성도 및 적용가능성을 검증하였으며, 1차년도부터 K-Water 연구단의 요구사항과 피드백을 받아서 개발되었다. 따라서 관계자의 이해도가 높아 지속적으로 활용하고 현업에 확대하여 적용할 예정이다.

무인기를 이용하여 고정밀 공간정보를 구축하는 기술은 이미 많은 부분 상용화되어 활용되고 있다. 하지만, 본 연구를 통해 개발된 실시간 데이터 전송과 고속 생성 기술은 아직 활용도가 낮으며 새로운 시장 창출의 가능성이 높다. 특히 재난재해나 시설물 안전과 관련하여 신속한 정보 취득이 필요한 산업 현장의 경우 연구를 통해 개발된 기술이 직접적으로 적용될 수 있는 영역이다. 특히 복잡한 3차원 형상의 시설물이나 지형 위를 비행해야 하는 경우 본 연구 결과물인 GIS기반 피해 영상정보 획득 시스템을 통해 안전한 데이터 취득이 가능하다. 또한 고정밀 지도나 공사현장 모니터링과 같이 신속한 데이터의 필요성은 낮으나 정확한 데이터가 요구되는 곳의 경우 본 연구에서 개발된 고정밀 GNSS/INS 동기화 기술을 통해 수cm의 정확한 데이터 구축이 가능하여 활발한 활용이 예상된다.

다차원 피해정보 분석시스템은 UAV 및 지상장비에서 획득된 영상을 GIS기반으로 자동으로 관리하고, 시설물의 3차원 형상을 점군데이터 기반으로 형상변화를 탐지하는 기술로 평상시에는 시설물의 유지관리, 재난 시에는 피해분석에 활용한다. 작업자의 접근이 어려운 시설물의 안전진단, 수변구조물 관리, 피해시설물 복구 및 관리 등을 수행하는 유관 기관에 UAV와 영상 데이터의 활용 가능성을 제시하여 3차원 공간정보 생성 S/W, 피해분석 시스템, 기술 컨설팅을 패키지로 하는 비즈니스를 수행하여 실용화시킬 예정이다. UAV 촬영을 통해 분석정보만을 얻고자하는 수요처에는 자체적으로 분석 용역도 수행할 계획이다.

상용화 추진과 동시에 시스템 홍보책자와 브로슈어를 제작 및 배포하고, 추후 해외진출을 위해 국제 전시회, 산업대전과 같은 곳에 적극 참여하여 시스템의 우수성을 광고하며, 국내외 예상 수요처와 공공·민간 유관기관을 대상으로 홍보메일을 발송하여 관심을 유도하고, 유투브(Youtube), 페이스북(Facebook) 등 글로벌 SNS 도구를 사용하여 제품의 활용 사례 및 성능 홍보 등을 정기적으로 수행할 예정이다. 국내 활용저변 확대 후, 민간기관 판매와 해외시장 진출을 통해 재난재해, 안전관리, 국방, 물류, 레저 등 다양한 분야에 신규시장을 창출하는 시스템으로 확대시킬 계획이다.

2. 국가 정책 관련 활용계획

4차 산업혁명과 관련하여 다수의 국가 정책이 도출되고 있다. 4차 산업혁명의 중심에 있는 무인기 사업은 향후 더욱 다양한 분야에 활용될 것으로 예상되기 때문에 그 중요성이 매우 높으며 해당 정책 방향 결정은 매우 중요한 일이다. 본 연구를 통해 만들어진 국내 기술은 향후 이과 같은 정책의 방향을 결정하는 데에 기준이 될 수 있다. 또한 개발된 기술을 재난재해가 발생할 수 있는 국가 SOC시설에 확대 적용하여 국가적 재난에 대응할 수 있는 토대를 마련하였다.

민간용 무인항공기 시장은 아직 영상촬영의 제한지역 및 고도 등 다양한 규제로 실질적인 시장 확대가 제한되고 있지만 최근 민관이 협력하여 다양한 관련 사업들을 진행하고 규제제한에 대한 사회적인 의견들이 많아지면서 국가 차원에서의 정책적인 지원이 확대되는 등 향후 점차 상황이 개선이 될 것으로 보인다.

시설물 관리 기관에서 유지관리하고 있는 시설물을 대상으로 본 시스템의 시설물 진단 및 파손 분석을 자동으로 수행하고, 시계열 기반의 시설물 관리 방법을 시범적으로 보급·활용함으로써 본 시스템이 정책적으로 활용될 수 있도록 하고, 재난재해가 발생한 지역의 정량적인 피해정보를 시범적으로 실시간 추출하여 제공함으로써 시간 및 비용 절감의 측면에서 시스템의 장점을 부각시킬 계획이다.

3. 연구개발 관련 활용계획

K-Water의 수변구조물의 재해복구 의사결정 지원 시스템 고도화 연구에 활용이 가능하다. 4차 산업혁명 시대의 주요 기술인 드론은 다양한 분야에서 사용되고 있으며, 드론을 활용분야의 시장규모 또한 점점 증가하고 있다. 정부에서도 드론산업에 관한 다양한 정책을 도입하고 있으며, 공공기관에서도 드론의 활용에 관한 다양한 연구를 수행하고 있어 해당 연구개발에 활용이 가능하다.

다차원 피해정보 분석 시스템에는 UAV 영상의 영상정합을 통한 3D point cloud 생성 기술 및 기하보정영상 제작 기능이 구현되어 있기 때문에, 드론 영상을 이용하여 3차원 정보 획득 또는 정사영상을 제작하는 측량분야에 적용할 수 있으며, 다차원 피해정보 분석 시스템은 평시에는 수변구조물의 유지관리, 재해발생시 재해대응 지원을 목표로 개발되었기 때문에 시스템에 적용된 수변구조물의 피해정보 탐지 방법은 다른 시설이나 구조물의 점검에도 적용할 수 있다. 따라서, 본 연구를 통해 축적된 기술과 구현된 시스템을 발판으로 UAV를 이용한 측량 및 시설물 점검분야의 연구개발에 기술적인 우위를 가지고 참여가 가능할 것으로 보인다.

제2절 성과물 확대적용 방안

영상기반 다차원 피해정보 분석시스템은 항공 및 지상 피해영상 정보 획득 시스템에서 취득된 영상정보를 받아들여 이를 3차원화하여 피해 규모를 판독하는 시스템이다. 피해복구 의사결정 지원 시스템에서는 영상기반 다차원 피해정보 분석시스템의 결과를 받아 피해복구 실행계획을 수립하게 된다. 주로 영상기반 다차원 피해정보 분석 모듈로부터 피해 정보를 수집하나, 피해발생 상황 보고 및 피해제보 모듈로부터 피해 상황을 입력받을 수 있도록 2종의 추가 모듈을 개발하여 부족한 상황은 추가적으로 입력이 가능하도록 하였다. 운용기관인 K-water 등에서 활용하고 있는 수중소나를 이용한 교각 하부 피해상황 데이터 등은 이를 모듈에서 결과 입력이 가능하며, 이를 활용하면 K-Water 현업으로 파급이 가능하다.

또한, 본 연구에서는 수변구조물에 발생한 피해 중 영상으로 판독 가능한 항목들에 대해 UAV 등의 센서를 이용해 정량적인 피해현황을 신속하게 파악하는 것을 목적으로 하고 있다. 복구 이동 경로를 제시하는 부분에서 경로 상의 단절정보를 실시간적으로 반영하여 탐색할 수 있도록 개발하였다. 추가적으로 유송잡물 등에 의한 경로의 단절을 파악하여 새로운 회피경로를 설정하기 위해서는 소방방재청, 행정안전부 등 유관기관의 정보를 K-Water 수변구조물 통합안전관리센터에서 제공받아 활용하면 유연하게 확대 적용이 가능하다.

본 연구에서 개발된 성과물은 기능 위주로 개발이 되었으므로 테스트베드 이외에도 즉시 적용이 가능하다. K-Water 연구단과는 기술개발 초기부터 상호 협력하여 개발되어 이해관계를 상호 조율하여 실용화 가능성이 높다. 다만 타 지역에 확장하여 적용할 경우에는 소요복구지원 리소스 DB와 최적 접근루트 선정모듈의 도로 네트워크 DB를 해당 지역에 맞게 추가하여야 하며, 피해전 대상 수변구조물의 3차원 Reference 데이터를 구축하여야 한다. 이 외에는 시스템 수정없이 활용이 가능하다. 개발된 시스템은 K-Water 수변구조물 통합안전관리센터에 구축되어 있다.

이후 K-Water 수변구조물 통합안전관리센터를 중심으로 재난상황에서의 UAV 운용, 촬영 곤란 개소의 영상 확보, 개발 SW의 유지관리, 타 시설물 적용 확대 등에 대한 지속적인 검토를 수행하여, UAV 촬영영상을 활용한 수변구조물의 피해정보 분석 기술의 현업 활용도를 향상시키는 방안을 추진할 계획이다. 또한, 기존에 K-Water에서 활용하고 있는 수변구조물 CCTV 촬영영상 등을 관리하는 시스템과 UAV 촬영영상 기반 수변구조물 피해정보 분석 시스템의 연계를 확대 추진하여 피해정도 분석의 확장이 필요하다.

붙임. 참고문헌

1. 국토교통부 (2017), 국토교통 4차 산업혁명 대응 전략, 보도자료.
2. 국토교통부 (2011), 위기관리 표준매뉴얼.
3. 한국철도공사 (2011), 위기대응 실무매뉴얼.
4. 광주광역시 도시철도공사 (2011), 현장조치 행동매뉴얼.
5. 소방방재청 (2012), 자연재난조사 및 복구계획 수립 지침.
6. Mraz, A., Gunaratne, M., and Nazef, A. (2005), Guidelines for performance assessment of digital imaging systems used in highway applications.
7. Smith, S.W. (1997), The scientist and engineer's guide to digital signal processing.
8. Gruber, Roland Perko., Andreas Klaus Michael. (2004), Quality comparison of digital and film-based images for photogrammetric purposes.
9. Boreman, G.D. (2001), Modulation transfer function in optical and electro-optical system s.
10. Pelli, D.G., and Bex, P. (2013), Measuring contrast sensitivity.
11. Munsell, A., Sloan, L., and Godlove, I. (1933), Neutral value scales. I. Munsell neutral val ue scale.
12. Yu, C., Klein, S.A., and Levi, D.M. (2004), Perceptual learning in contrast discrimination and the (minimal) role of context.
13. Legge, G.E. (1981), A power law for contrast discrimination.
14. 정우영. (2013), 지반세굴 유형에 따른 교량 하부구조의 해석적 거동 예측.
15. 박병철. (2006), 홍수로 인한 교량 피해 및 교량이 주변에 미치는 영향.
16. 도로교통연구원 (2013), 교량 개축우선순위 결정방법 연구, 연구보고서.
17. 신복승. (2008), 홍수위 저감을 위한 철도교량의 장경간화에 대한 연구.
18. 김봉근. (2000), 중소하천 홍수시 유송잡물의 집적이 교각에 미치는 영향.
19. J. G. Han., and J. Y. Lee. (2008), Case Study on AHP Technique Application for the Rein forcing Method Selection on a Cut-Slope.
20. S.M. Han., and G.S Hwang. (2014), A study on the effective disaster resources assessme nt and allocation for emergency response.
21. 김훈, 안상로, 정상섬. (2003), 옹벽의 안전점검 요령.
22. 이송. (1191), 지반공학과 자연재해(II) 석축 및 옹벽.
23. 한국시설안전기술공단 (2010), 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침.
24. 한국시설안전기술공단 (2012), 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(교량).
25. 한국시설안전기술공단 (2012), 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(댐).
26. 한국시설안전기술공단 (2012), 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(수문).
27. 한국시설안전기술공단 (2012), 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(옹벽).
28. 한국시설안전기술공단 (2012), 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(절토사면).
29. 한국시설안전기술공단 (2012), 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(제방).
30. 한국시설안전기술공단 (2012), 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(하구둑).
31. 화학물질사고 대응 정보 시스템 (2010) 사용자 매뉴얼.

32. 응급의료통합 정보망 구축 4차 사업, 통합 응급의료정보 인트라넷 사용자 매뉴얼(보건복지부/지방자치단체).
33. 응급의료통합 정보망 구축 4차 사업, 통합 응급의료정보 인트라넷 사용자 매뉴얼(지역보건소).
34. 응급의료통합 정보망 구축 4차 사업, 사용자 매뉴얼(병의원 및 이송업체).
35. 응급의료통합 정보망 구축 4차 사업, 사용자 매뉴얼(소방 119).
36. 응급의료통합 정보망 구축 4차 사업, 사용자 매뉴얼(응급의료기관).
37. 김덕인. (2014), 무인항공기의 국토모니터링분야 적용을 위한 연구.
38. 최경아. (2011), 저고도 무인 항공기 기반의 근접 실시간 공중 모니터링 시스템 구축.
39. WESTER-EBBINGHAUS, W. (1980), Aerial photography by radio controlled model helicopter.
40. Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., & Sarazzi, D. (2011), UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling-current status and future perspectives.
41. Eisenbeiß, H. (2009), UAV photogrammetry.
42. Voigt, S., Kemper, T., Riedlinger, T., Kiefl, R., Scholte, K. and Mehl, H. (2007), Satellite image analysis for disaster and crisis-management support.
43. Jihun, L., Kyoungah C. and Impyeong L. (2011), Developments of a real-time aerial monitoring system and its application in emergency mapping teams.
44. Tokmakidis, K. and Scarlatos, D. (2002), Mapping excavations and archaeological sites using close range photos, International archives of photogrammetry remote sensing and spatial information sciences.
45. Ries, J. B. and Marzolff, I. (2003), Monitoring of gully erosion in the Central Ebro Basin by large-scale aerial photography taken from a remotely controlled blimp.
46. Eisenbeiss, H., Lambers, K., Sauerbier, M. and Zhang, L. (2005), Photogrammetric documentation of an archaeological site (Palpa, Peru) using an autonomous model helicopter.
47. Jizhou, W., Zongjian, L. and Chengming, L. (2004), Reconstruction of buildings from a single UAV image.
48. Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M. and Sarazzi, D. (2011), UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling-current status and future perspectives.
49. Hosik, J. (2008), Process of Digital Elevation Model Using RC Helicopter Surveying System.
50. Seokgu K., Yeondong S., and Gwonook K. (2012), A study on methods of utilizing unmanned aerial vehicle(UAV) in the area of spaial information.
51. Deokin K., Yeongsun S., Gihong K. and Changwoo K. (2014), A Study on the Application of UAV for Korean Land Monitoring, Journal of the Korean Society of Surveying.
52. Hernandez-Lopez, D., Felipe-Garcia., B., Gonzalez-Aguilera, D. and Arias-Perez, B. (2013), An Automatic Approach to UAV Flight Planning and Control for Photogrammetric Applications.
53. Niethammer, U., Rothmund, S., Schwaderer, U., Zeman, J. and Joswig, M. (2011), Open source image-processing tools for low-cost UAV-based landslide investigations.
54. Turner, D., Lucieer, A. and Wallace, L. (2014), Direct georeferencing of ultrahigh-resolution uav imagery.
55. Sona, G., Pinto, L., Pagliari, D., Passoni, D. and Gini, R. (2014), Experimental analysis of different software packages for orientation and digital surface modelling from UAV images.

56. Tanathong S. and Impyeong L. (2010), Speeding up the KLT Tracker for Realtime Image Georeferencing using GPS/INS Data.
57. 박성용. (2013), 실내공간의CCTV카메라 배치효율화에 관한 연구.
58. 이승재, 강석진. (2012), 공간구문론을 이용한 도시 주거지 방범용 CCTV 배치 방법에 관한 연구.
59. 조윤원, 최형욱, 최수영, 조명희. (2014), 수변구조물 재해 위험에 대응하기 위한 피해 평가 인벤토리 개념 설계.
60. 최경아, 이임평. (2014), 카메라 모델링과 3차원 공간 분석에 기반한 CCTV 시스템 감시 성능의 정량적 평가.
61. 국립방재연구원 (2012), 재난분석 평가 기술 개발을 위한 사전기획 연구.
62. 국립재난안전연구원 (2013), 스마트 CCTV기반 재난관리 중장기 기획연구.
63. 국토안보조사기업 (2013), 지능형 비디오 감시, ISR & 비디오 분석: 기술 & 세계 시장.
64. 배기태, 정민영, 이칠우. (2005), 고속 영상 정합을 위한 보르노이 거리 기반 분할 검색 기법.
65. 송낙현, 이성훈, 오금희. (2007), 자동 모자이크 영상제작을 위한 접합선 추출기법에 관한 연구.
66. 장성갑, 김재신. (2005), 보간 검색을 이용한 Panning 비디오 영상에서의 모자이크 기법.
67. 차은정. (2007), 기상청의 태풍정보를 읽는 법과 바람과 비의 알기 쉬운 표현.
68. Robotics Institute. (2000), Carnegie Mellon University, http://www.cs.cmu.edu/~vsam/index.html
69. Woo, H.-S. (2009), Quality Assessment of Mosaic Image of Airborn Digital Frame Camera Image.
70. Sakuldee, R. and S. Udomhunakul. (2008), Objective measurements of distorted image quality evaluation.
71. Yang, J., Zhongming Zhao. (2009), A Fast Geometric Rectification of Remote Sensing Imagery Based on Feature Ground Control Point Database.
72. Jian Zhao, Ruriko Yoshida, Sen-ching Samson Cheung, and David Haws. (2013), Approximate Techniques in Solving Optimal Camera Placement Problems.
73. van den Hengel, A., Hill, R., Ward, B., Cichowski, A., Detmold, H., Madden, C., Dick, A. and Bastian, J. (2009), Automatic Camera Placement for Large Scale Surveillance Networks.
74. Xing Chen, James Davis. (2000), Camera Placement Considering Occlusion for Robust Motion Capture.
75. Indu Sreedevi, Nikhil R Mittal, Santanu Chaudhury and Asok Bhattacharyya. (2011), Camera Placement for Surveillance Applications.
76. C. Piciarelli, C. Micheloni and G. L. Foresti. (2010), Occlusion-aware multiple camera reconfiguration.
77. Enes Yildiz, Kemal Akkaya, Esra Sisikoglu and Mustafa Y. Sir. (2014), Optimal Camera Placement for Providing Angular Coverage in Wireless Video Sensor Networks.
78. Gonzalez-Barbosa, J.-J., Garcia-Ramirez, T., Salas, J., Hurtado-Ramos, J.-B. and Rico-Jimenez, J.-d.-J. (2009), Optimal Camera Placement for Total Coverage.
79. Al-Hmouz, R. and Challa, S. (2005), Optimal Placement for Opportunistic Cameras Using Genetic Algorithm, Proceedings of the 2005 International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, pp.337-341.

80. Nam, Y. and Hong, S. (2014), Optimal placement of multiple visual sensors considering space coverage and cost constraints, Multimedia Tools and Applications, Vol.73, No.1, pp.129-150.
81. Vikram P. Munishwar, Nael B. Abu-Ghazaleh. (2010), Scalable Target Coverage in Smart Camera Networks.
82. Haigang Sui, Jihui Tu, Zhina Song, Qiongyu Li. (2014), A Novel 3D Building Damage Detection Method Using Multiple Overlapping UAV Images.
83. J. Fernandez Gralareta. (2014), Urban Structural Damage Assessment Using Object -Oriented Analysis and Semantic Reasoning.
84. Blaschke, T. (2010), Object based image Analysis for Remote Sensing, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.
85. F. Nex, E. Rupnik, I. Toschi, F. Remondino. (2014), Automated Processing of High Resolution Airborne Images for Earthquake Damage Assessment.
86. Gerke, M. and Kerle, N. (2011), Automated Structural Seismic Damage Assessment with Airborne Oblique Pictometry Imagery.
87. Thomas, J. (2010), Automated Damage Assessment from High Resolution Remote Sensing Imagery.
88. Chen, ZhiQiang. (2009), Identifying Structural Damage from Images, UC San Diego Electronic Theses and Dissertations, University of California.
89. F. Bovolo, L. Capobianco, A. Garzelli, S. Marchesi, and F. Nencini. (2008), Change Detection from Pan-sharpened images: A Comparative Analysis, In Image Information Mining: pursuing automation of geospatial intelligence for environment and security.
90. Chen, ZhiQiang. (2009), Identifying Structural Damage from Images.
91. C. Eschmann, M. Kuo, C. Boller. (2014), Unmanned Aircraft Systems for Remote Building Inspection and Monitoring.
92. 국립방재교육연구원 방재연구소 (2006), 공간영상정보의 재해관리 업무적용 방안 연구
93. 국립방재교육연구원 방재연구소 (2009), 재난영상정보를 활용한 자동인식 기술개발에 관한 기초연구
94. 국립방재교육연구원 방재연구소 (2008), 지상영상정보기반의 피해조사시스템 실용화방안 연구
95. 국립방재교육연구원 방재연구소 (2008), 항공·위성영상기반 피해조사 자동화 실용시스템 개발
96. 국립방재교육연구원 방재연구소 (2010), 지능형영상정보 인식기술을 이용한 재난관리 고도화기법 개발
97. 박영진, 정갑용. (2014), 고정익 무인항공기를 이용한 공간정보 구축의 활용성 평가.
98. 김덕인, 송영선, 김기홍, 김창우. (2014), 무인항공기의 국토모니터링분야 적용을 위한 연구.
99. 곽근호, 김계현, 이철용, 오성광. (2014), TMDL에서의 토지피복지도 활용 제고를 위한 GIS기반 현행화 방법 연구.
100. 김대영, 이정삼, 김도훈. (2011), 수자원회복계획의 성과평가 개선방향에 관한 연구.
101. 김용근. (2009), 정보 가시화에서 현행화와 표현의 문제.
102. 이문규, 장병현. (2008), ITA/EA 현행화 방법론 및 성공적 수행 사례.
103. 이상윤, 김화중. (2011), 전사 아키텍처(EA)의 효율적 현행화에 관한 연구.

104. 한예령, 박희성, 장철기. (2009). 시뮬레이션에 의한 건설기계 시공능력 산정;굴삭기&로우더의 사이클타임.

105. B. Kusumasari, Q. Alam and K. Siddiqui. (2010), Resource capability for local governmen t in managing disaster.

106. Choi, S.P., Cho, J.H., Kim, Y., and Kim, J.S. (2011), Classification of Terrestrial LiDAR Data Using Factor and Cluster Analysis, Journal of Korean Society for Geospatial Inform ation System.

107. D. Guha-Sapir, Ph. Hoyois and R. Below. (2014), Annual Disaster Statistical Review 201 3.

108. F. Fiedrich and F. Gehbauer, U. Rickers. (2000), Optimized resource allocation for emer gency response after earthquake disasters.

109. Jo, Y.J. and Kim, Y.H. (2007), A strategy Through Segmentation Using Factor and Cluste r Analysis: focusing on corporations having a special status.

110. Koo, J.Y., Yu, M.J., Kim, S.G., and Shim, M.H. (2005), Estimation of Long-term Water De mand by Principal Component and Cluster Analysis and Practical Application.

111. Korea Institute of Construction Technology. (2006), A study on efficient flood disaster recovery method for main road using GIS technology.

112. Kwon, H.H., Moon, Y.I., and Khalil, A.F. (2009), Nonparametric Monte Carlo Simulation for Flood Frequency Curve Derivation.

113. Lee, C.Y. (2011), Efficient Methods for the Distributed Disaster Prevention Resources.

114. Lee, C.Y., Kim, T.H., and Park, G.J. (2013), A study of the classification and Identificatio n of the Disaster Protection Resources.

115. Li, P.H., Kwon, H.H., Sun, L., Lall, U., and Kao, J.J. (2010), A modified support vector machine based prediction model on stream flow at the Shihmen Reservoir.

116. PE. Hayes, A Hammons. (2000), Disaster Recovery Project Management.

117. R. Kondaveti and A. Ganz. (2009), Decision support system for resource allocation in dis aster management.

118. Rim, C.S. (1998), Characterization of water quality in Kansas river using multivariate an alysis.

119. Rim, C.S. and Shin, J.K. (2002). Cluster and Factor Analyses Using Water Quality Data in the Sapkyo Reservoir Watershed.

120. S.B. Lee, M.S. Park and H.S. Lee. (2013), Research on the Priority of Resource Allocatio n for Disaster Restoration Planning of Facilities.

121. Steenbergen, H.M.G.M., Lassing, B.L., Vrouwenvelder, A.C.W.M., and Waats, P.H. (2004), Reliability analysis of flood defence system.

122. TL. Moe and P. Pathranarakul. (2006), An integrated approach to natural disaster manag ement.

123. David, G. L. (2004) Distinctive image fratures from scale-invariant keypoints.

124. Fernandez, G., Kerle, N. and Gerke, M. (2015), UAV-based urban structural damage ass essment using object-based image analysis and semantic reasoning.

125. Harwin, S. and Lucieer, A. (2012), Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via multi-view stereosis from unmanned aerial vehicle(UAV) imagery.

126. Haala, N. and Rothernel, M. (2012) Dense multiple stereo matching of highly overlappin g UAV imagery.

127. Lee, Y. C. (2015), Assessing the positioning accuracy of high density point clouds produc ed from ratary wing quadrocopter unmanned aerial system based imagery.

128. Yasutaka, F. and Jean, P. (2010), Accurate, dense and robust multi-view stereopsis.
129. C. Eschmann, C.-M. KUO and C. Boller. (2012). Unmanned Aircraft Systems for Remote Building Inspection and Monitoring.
130. A. Ellenberg, A.Kontsos, I.Bartoli, and A.Pradhan. (2014). Masonry Crack Detection Application of an Unmanned Aerial Vehicle.
131. Martin I. (2011), A UAV-Based Roe Deer Fawn Detection System. International Archives of the Photogrammetry.
132. Andrew S., Sonia W., Simon J., Niki T. (2010), Probabilistic Target Detection by Camera-Equipped UAVs.
133. 문현석, 이우식. (2016), 붕괴지역의 매몰자 위치측위를 위한 모듈 개발 및 검증.
134. 이영대, 조성윤, 김경, 이동규. (2012), 스테레오 카메라와 측정에 의한 3D 대상체 포인트 클라우드의 불규칙 삼각 매싱 기반 체적 계산.
135. 정갑용, 윤희천. (2012), 효율적인 자연재해 피해조사를 위한 실시간 공중자료획득시스템의 활용성 평가.
136. D. I. Kim, Y. S. Song, G. H. Kim and C. W. Kim. (2014), A study on the application of UAV for korean land monitoring.
137. Barry, P. and Coakley, R. (2013), Field accuracy test of rpas photogrammetry.
138. L. Peter, Y. Albert, H. Yin-Nan, H. Jen-Yu and L. Jihn-Sung, “A review of rotorcraft unmanned aerial vehicle(UAV) developments and applications in civil engineering”, Smart Structures and Systems, vol. 13, no. 6, pp. 1065-1094, 2014.
139. Y. H. Yoo, J. W. Choi, S. K. Choi and S. H. Jung. (2016), Quality evaluation of orthoimage and DSM based on fixed-wing UAV corresponding to overlap and GCPs.
140. DroneDeploy Accuracy in drone mapping : what you need to know[cited 2017 Dec. 10], Available From: https://blog.dronedeploy.com/accuracy- in-dronemapping- what-you-need-to-know
141. 국토교통부 (2017), 드론활성화 지원 로드맵 연구
142. 국토교통부 (2017), 드론산업 발전 기본계획(안)
143. 조달청 (2017), 시설사업 BIM 적용 기본지침서 v1.32
144. 대한건축학회 (2016), BIM 설계도서 작성 지침
145. 항공안전기술원 (2018), https://www.kiast.or.kr

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 건설기술연구사업의 연구보고서입니다.

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

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