

최종보고서(일반과제용)										보안등급	
										일반[✓], 보안[]	
중앙행정기관명	국토교통부				사업명	사업명		국토교통기술촉진연구사업			
전문기관명	국토교통과학기술진흥원					내역사업명		국토교통기술혁신연구 (사회이슈해결 유형)			
공고번호	공고-제2호				연구개발과제번호		19CTAP-C152171-01				
국가과학기술 표준분류	EE1305	40%	EE0108	20%	EH1303	20%	EA1408	10%	EI1199	10%	
연구주제	(대분류) 정보/통신			(중분류) 재난정보관리			(소분류) 재난상황대응 의사결정시스템				
연구개발과제명	국문	0 Lux 초저도 야간 강우 환경에서 95% 이상의 감지 정확도를 가진 딥러닝 영상분석 기반의 산사태 감지 및 대응 시스템 개발									
	영문	Development of a landslide detection and response system based on a deep learning image analysis with detection accuracy of 95 percent or more in a night rain environment of 0 Lux ultra low light									
주관연구개발기관	기관명	씨티씨주식회사				사업자등록번호		135-81-37966			
	주소	(우)15807 경기 군포 엘에스로 172, 605호				법인등록번호		134511-0040359			
주관연구책임자	성명		전 준 창		직위		전무이사				
	연락처	직장전화	031-477-5182		휴대전화		010-7195-4808				
		전자우편	jcj@ctceng.co.kr		국가연구자번호		10966055				
연구개발기간	전체	2019. 04. 19 - 2021. 12. 31 (2년 9개월)									
	1년차	2019. 04. 19 - 2019. 12. 31 (0년 9개월)									
	2년차	2020. 01. 01 - 2020. 12. 31 (1년 0개월)									
	3년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31 (1년 0개월)									
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금 지방자치단체 기타()				합계		연구개발비 외 지원금	
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물		합계
총계	600,000	20,100	180,000	-	-	-	-	620,100	180,000	800,100	-
1년차	134,000	4,500	40,200	-	-	-	-	138,500	40,200	178,700	-
2년차	135,000	4,500	40,500	-	-	-	-	139,500	40,500	180,000	-
3년차	331,000	11,100	99,300	-	-	-	-	342,100	99,300	441,400	-
공동연구개발기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화		전자우편		비고			
								역할	기관유형		
공동연구개발기관	(주)유인프라웨이	박형순	부장	010-4596-3632		tanksoon@naver.com		공동	중소기업		
위탁연구개발기관											
연구개발기관 외 기관											
연구개발담당자 실무담당자	성명		국 선 미		직위		이사				
	연락처	직장전화	031-477-5182		휴대전화		010-8565-4241				
		전자우편	kukme72@hanmail.net		국가연구자번호		11816804				

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

2022 년 3 월 17 일

연구책임자 :

전 준 창



주관연구개발기관의 장 : 씨티씨 주식회사

이 희 현



공동연구개발기관의 장 : 주식회사 유인프라웨이

정 병 화



< 요약 >

사업명		국토교통기술촉진연구사업				연구개발과제번호			19CTAP-C152171-01		
내역사업명		국토교통기술혁신연구 (사회이슈해결 유형)									
국가과학기술표준분류		EE1305	40%	EE0108	20%	EH1303	20%	EA1408	10%	EI1199	10%
연구주제		(대분류) 정보/통신			(중분류) 재난정보관리		(소분류) 재난상황대응 의사결정시스템				
연구개발과제명		0 Lux 초저도 야간 강우 환경에서 95% 이상의 감지 정확도를 가진 딥러닝 영상분석 기반의 산사태 감지 및 대응 시스템 개발									
전체 연구개발기간		2019. 04. 19 - 2021. 12. 31 (2년 9개월)									
총 연구개발비		총 800,100천원 (정부지원연구개발비 : 600,000천원, 기관부담연구개발비 : 200,100천원, 지방자치단체 : 0천원, 그 외 지원금 : 0천원)									
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[☒] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]				기술성숙도		착수시점 기준 (TRL 6) 종료시점 목표 (TRL 8)			
연구개발과제 유형		지정공모 [] 자유공모 [☒]									
연구개발과제 특성		사회이슈 해결									
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표	0 Lux 초저조도 야간 강우 환경에서 95% 이상의 정확도로 산사태를 감시하고, 영상학 습 데이터와 카메라를 이용한 진동 측정 데이터를 기준으로 산사태 발생이 판단되면, 10초 이내에 사용자에게 알람을 송신하고, 사용자의 제어 명령에 맞춰 10초 이내에 시스템이 원격 응답하는 딥러닝 기반 실시간 영상 모니터링 및 알람 시스템 개발									
	전체 내용	• 딥러닝 학습용 영상 DB 구축 - 수집된 국내외 산사태 영상자료와 표층 붕괴 유형(탈락, 활동, 전도, 퍼짐, 유 동)별로 제작된 3D 시뮬레이션 영상자료로 구성된 딥러닝 학습용 영상 DB 구 축 • 딥러닝 기반 산사태 감지 모듈 제작 - 학습용 영상 DB를 GPU 장비를 이용하여 CNN(Convolution Neural Network)에 대한 학습을 진행한 후 학습 완료된 CNN을 분산형 영상분석 시스템에 사용할 수 있도록 DLL(Dynamic Linking Library)화 작업을 진행하여 딥러닝 기반 산사 태 감지 모듈 제작 • 분산형 영상분석 시스템 개발 - 카메라를 이용한 표층면 멀티 포인트 진동 측정, 가속도 분석을 위한 신호처리 기능 및 시스템 관리에 필요한 IP(Internet Protocol) 카메라 연결, 영상 스트리 밍, ROI(Region of Interest) 설정, 감시화면 분할, 이벤트 분석 옵션 설정, 이 벤트 기록 관리, 이벤트 정보 전송, CNN 입출력 데이터 처리 기능들을 현장 설치 PC에서 처리할 수 있는 분산형 영상분석 시스템 개발 • 알람 전송 및 원격제어용 게이트웨이 제작 - 분산형 영상분석 시스템과 연동되어 SMS 알람정보 전송, 내장된 미니 웹 서버 를 통한 원격제어 기능을 제공하는 게이트웨이 제작 • 설치·해체가 용이한 현장부품 제작 - 구조용 형강 지주 및 각종 부품과 모듈화된 IP 카메라, 적외선 투광기, 라우터, 허브스위치, PC, 전원공급 장치 등의 설치, 해체가 용이한 현장부품 제작									

연구개발성과	· 정성적 목표 : 100% 달성함.							
	<table> <tr> <th>구분</th><th>연구개발목표</th><th>핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)</th><th>연구개발 목표치</th><th>연구개발 실적치</th><th>확인기관</th><th>달성 정도 평가</th></tr> </table>	구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	연구개발 목표치	연구개발 실적치	확인기관	달성 정도 평가
구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	연구개발 목표치	연구개발 실적치	확인기관	달성 정도 평가		
1년차 (2019)	산사태 감지 시스템 개발	산사태 ^{※1} 감지 정확도	80% 이상	90%	한국시험인증원 (공인시험기관)	만족		
		표층 진동 동시측정 가능 포인트	1 point	1 point	한국시험인증원 (공인시험기관)	만족		
	게이트웨이 및 미니 웹 서버 개발	알람 전송 기능	20sec 이하	평균 8.284sec	한국시험인증원 (공인시험기관)	만족		
		제어 응답 기능	20sec 이하	평균 5.000sec	한국시험인증원 (공인시험기관)	만족		
2년차 (2020)	산사태 감지 시스템 개발	산사태 ^{※2} 감지 정확도	90% 이상	평균 100%	한국시험인증원 (공인시험기관)	만족		
		표층 진동 동시측정 가능 포인트	5 points	5 points	한국시험인증원 (공인시험기관)	만족		
	게이트웨이 및 미니 웹 서버 개발	알람 전송 기능	15sec 이하	평균 3.448sec	한국시험인증원 (공인시험기관)	만족		
		제어 응답 기능	15sec 이하	평균 0.244sec	한국시험인증원 (공인시험기관)	만족		
3년차 (2021)	산사태 감지 시스템 개발	산사태 ^{※3} 감지 정확도	95% 이상	평균 97.3%	한국시험인증원 (공인시험기관)	만족		
		표층 진동 동시측정 가능 포인트	10 points	10 points	한국시험인증원 (공인시험기관)	만족		
		현장 구축 시간	6hr 이하	32min.	한국시험인증원 (공인시험기관)	만족		
	게이트웨이 및 미니 웹 서버 개발	알람 전송 기능	10sec 이하	평균 1.954sec	한국시험인증원 (공인시험기관)	만족		
		제어 응답 기능	10sec 이하	평균 1.837sec	한국시험인증원 (공인시험기관)	만족		
연구개발성과 활용방안 및 기대효과		· 수요처						
		- 국토교통부 지방청 - 지자체 도로관리부서 - 한국도로공사 - 한국철도공사 - 도로 시공업체 - 사면 공사업체						
								
		· 활용분야						
		- 산지 및 도로/철도 사면 산사태 감시						
		· 경제적 파급효과						
		- 전국적으로 위험도 1등급 지역은 621,929ha에 달함. 위험도 1등급 면적 중 인명 과 재산 피해 위험이 특히 높은 지역을 0.1%로 가정할 경우 622ha이며, 제곱미 터(m²)로 환산할 경우 6,220,000 m²가 됨. 연구개발 시스템이 2,000m²(1/3인치 CCD, 초점거리 8mm, 감시거리 30m IP 카메라 8대 사용조건)를 감시할 수 있 다고 가정할 경우, 3,100개소가 필요함. 개소 당 구축비용이 1,000만원 정도로 예상되므로 개발시스템의 시장규모는 약 310억원임.						

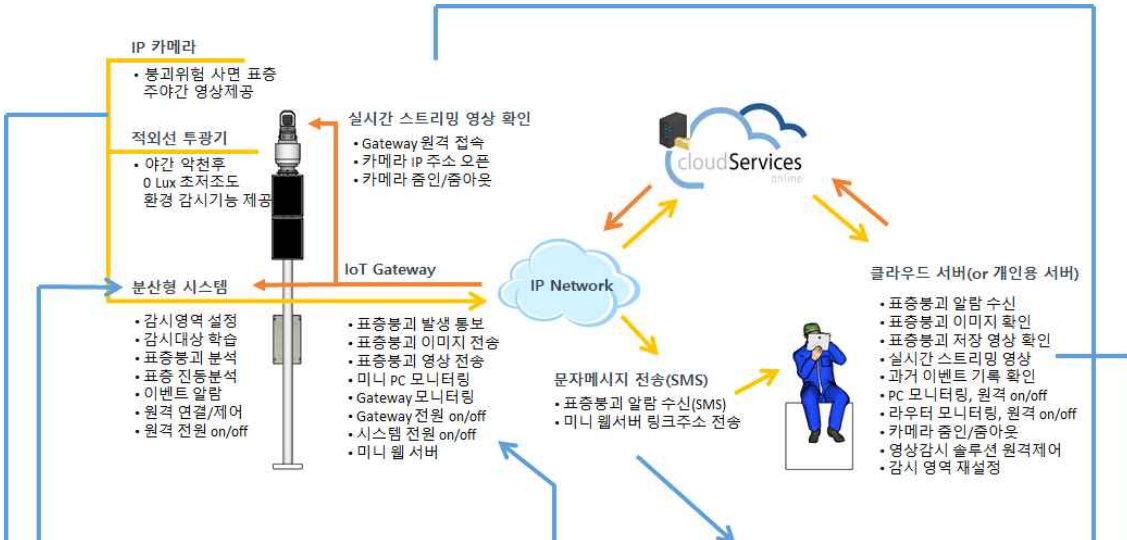
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당 없음											
연구개발성과의 등록· 기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설· 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신 품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
		5				2						
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설· 장비명		규격 (모델명)	수량	구입 연월일		구입가격 (천원)		구입처 (전화)	비고 (설치장 소)	ZEUS 등록번호
국문핵심어 (5개 이내)	산사태 감지			지도 학습		영상계측			초저조도		야간 강우 환경	
영문핵심어 (5개 이내)	landslide detection			supervised learning		vision-based measurement			ultra low light		night rainfall environment	

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용	6
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	68
4. 목표 미달 시 원인분석 (해당 시 작성)	83
5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도	84
6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획	91
7. 참고 문헌	95

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

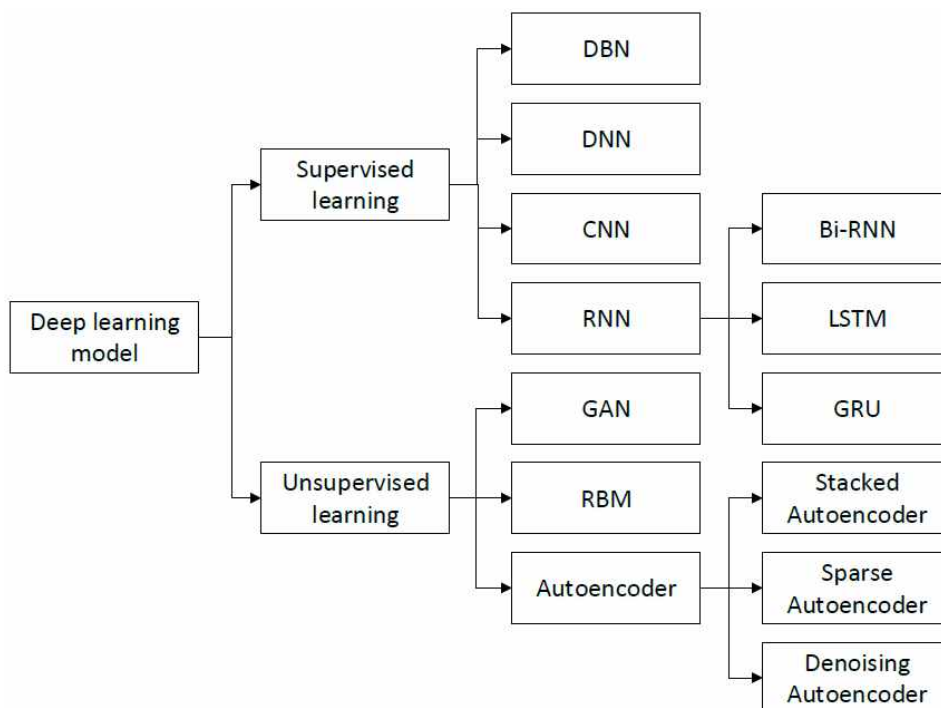
구분	내용
최종 목표	○ 0 Lux 초저조도 야간 강우 환경에서 95% 이상의 정확도로 산사태를 감시하고, 영상학습 데이터와 카메라를 이용한 진동 측정 데이터를 기준으로 산사태 발생이 판단되면, 10초 이내에 사용자에게 알람을 송신하고, 사용자의 제어 명령에 맞춰 10초 이내에 시스템이 원격 응답하는 딥러닝 기반 실시간 영상 모니터링 및 알람 시스템 개발  The diagram illustrates the system architecture. It starts with an IP Camera and a Wide-Angle Lens (적외선 투광기) which provide night vision and low-light detection. These are connected to an IoT Gateway. The gateway manages the Monitoring System (분산형 시스템), which includes setting monitoring areas, learning camera data, and analyzing vibration. The gateway also handles Real-time Streaming Video Confirmation (실시간 스트리밍 영상 확인) by connecting to the IP Network and Cloud Services. The cloud services manage the Cloud Server (or Personal Server) (클라우드 서버(or 개인용 서버)), which handles alarm reception, image confirmation, and video storage. The system also supports Text Message Transmission (SMS) (문자메시지 전송(SMS)) for alarms and server status. The final outputs are CNN Neural Network Data Learning (CNN 신경망 데이터 학습) showing various landslide images, Camera Video Data Input (IP Camera, Wide-Angle Lens) showing a road scene, Landslide Event Detection (Monitoring System) showing a detection interface, SMS Alarm showing a text message, Event Record Confirmation (Gateway Mini Web Server) showing a record interface, and Remote Power On/Off Control (Gateway Mini Web Server) showing a control interface. IP 카메라 • 붕괴위험 사면 표층 주야간 영상제공 적외선 투광기 • 야간 약천후 0 Lux 초저조도 환경 감시기능 제공 실시간 스트리밍 영상 확인 • Gateway 원격 접속 • 카메라 IP 주소 오픈 • 카메라 줌인/줌아웃 분산형 시스템 • 감시영역 설정 • 감시대상 학습 • 표층 붕괴 분석 • 표층 진동 분석 • 이벤트 알람 • 원격 연결/제어 • 원격 전원 on/off IoT Gateway • 표층 붕괴 발생 통보 • 표층 붕괴 이미지 전송 • 표층 붕괴 영상 전송 • 미니 PC 모니터링 • Gateway 모니터링 • Gateway 전원 on/off • 시스템 전원 on/off • 미니 웹 서버 cloudServices online 클라우드 서버(or 개인용 서버) • 표층 붕괴 알람 수신 • 표층 붕괴 이미지 확인 • 표층 붕괴 저장 영상 확인 • 실시간 스트리밍 영상 • 과거 이벤트 기록 확인 • PC 모니터링, 원격 on/off • 라우터 모니터링, 원격 on/off • 카메라 줌인/줌아웃 • 영상감시 솔루션 원격제어 • 감시 영역 재설정 문자메시지 전송(SMS) • 표층 붕괴 알람 수신(SMS) • 미니 웹서버 링크주소 전송 CNN 신경망 데이터 학습 카메라 영상 데이터 입력 (IP 카메라, 적외선 램프) 산사태 이벤트 발생 감지 (분산형 시스템) SMS 알람 이벤트 기록 확인 (게이트웨이 미니 웹 서버) 원격 전원 on/off 제어 (게이트웨이 미니 웹 서버)

구분	내용
세부 목표	○ 딥러닝 학습용 영상 DB 구축 - 수집된 국내외 산사태 영상자료와 표층 붕괴 유형(탈락, 활동, 전도, 퍼짐, 유동)별로 제작된 3D 시뮬레이션 영상자료로 구성된 딥러닝 학습용 영상 DB 구축 ○ 딥러닝 기반 산사태 감지 모듈 제작 - 학습용 영상 DB를 GPU 장비를 이용하여 CNN*(Convolution Neural Network)에 대한 학습을 진행한 후 학습 완료된 CNN을 분산형 영상분석 시스템에 사용할 수 있도록 DLL(Dynamic Linking Library)화 작업을 진행하여 딥러닝 기반 산사태 감지 모듈 제작 ○ 분산형 영상분석 시스템 개발 - 카메라를 이용한 표층면 멀티 포인트 진동 측정, 가속도 분석을 위한 신호처리 기능 및 시스템 관리에 필요한 IP(Internet Protocol) 카메라 연결, 영상 스트리밍, ROI(Region of Interest) 설정, 감시화면 분할, 이벤트 분석 옵션 설정, 이벤트 기록 관리, 이벤트 정보 전송, CNN 입출력 데이터 처리 기능들을 현장 설치 PC에서 처리할 수 있는 분산형 영상분석 시스템 개발 ○ 알람 전송 및 원격제어용 게이트웨이 제작 - 분산형 영상분석 시스템과 연동되어 SMS 알람정보 전송, 내장된 미니 웹 서버를 통한 원격제어 기능을 제공하는 게이트웨이 제작 ○ 설치·해체가 용이한 현장부품 제작 - 구조용 형강 지주 및 각종 부품과 모듈화된 IP 카메라, 적외선 투광기, 라우터, 허브스위치, PC, 전원공급 장치 등의 설치, 해체가 용이한 현장부품 제작

※ CNN (Convolution Neural Network)

딥러닝(deep learning)모델은 머신러닝(machine learning)의 일종으로서 지도학습모델(discriminative model)과 비지도학습모델(generative model)로 구분됨[1].

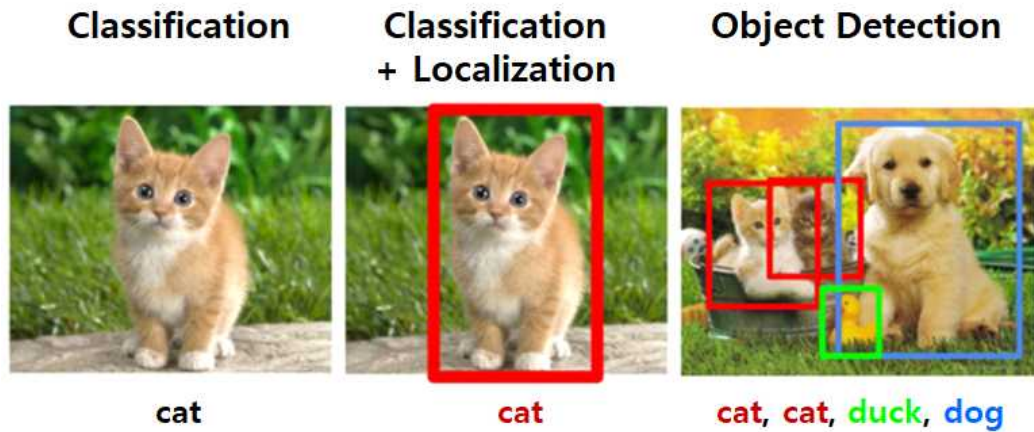
<딥러닝모델의 분류체계 [1]>



(DBN : Deep Brief Network, DNN : Deep Neural Network, CNN : Convolutional Neural Network, RNN : Recurrent Neural Network, GAN : Generative Adversarial Network, RBM : Restricted Boltzmann Machine)

지도학습모델 중의 하나인 CNN(Convolutional Neural Network)은 이미지의 공간 정보를 유지하면서 인접 이미지와의 특징을 효과적으로 인식하기 위해 도입된 방법으로서 일반 신경망 대비 학습 파라미터가 적음. 이미지의 특징을 추출하는 부분과 클래스를 분류(classification)하는 부분으로 나뉘며, deep learning에서 기본이 되는 단어임. object detection에 CNN이 적용되기 전까지는 object classification을 CNN으로 표현하였음.

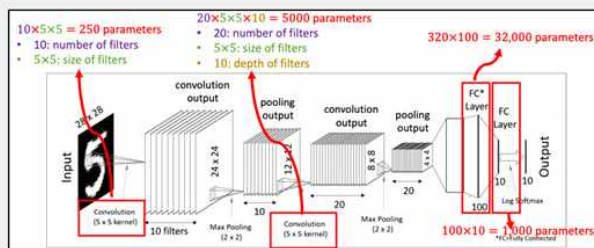
<Object classification and localization>



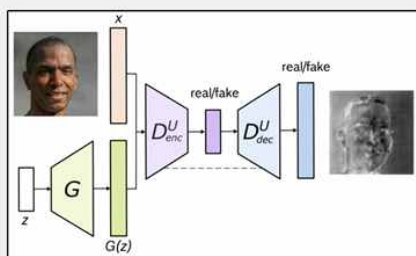
이후 object detection(R-CNN, SSD, YOLO, RefineDet, Retina-Net 등)에 convolution layer를 사용하게 되고, 이후 convolution layer를 구성하고 학습하는 대부분의 신경망 방식을 포괄적으로 CNN 기반 모델이라고 표현하게 됨. 분류모델(discriminative model)과 생성모델(generative model)을 사용하는 GAN(Generative Adversarial Network)도 이미지 분류를 위해 convolution layer를 사용하므로 넓은 의미에서 CNN 범주에 포함시키기도 함.

<CNN(Convolutional Neural Network)의 범주>

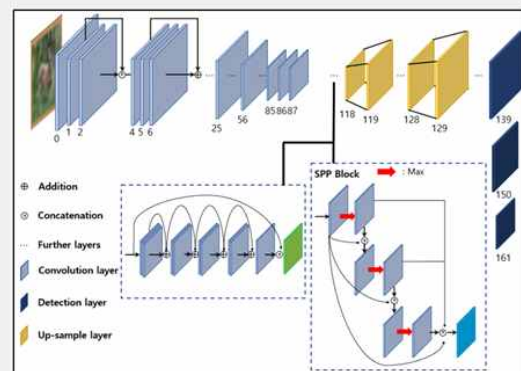
CNN (Convolutional Neural Network)



Object Classification



GAN(Generative Adversarial Network)



Object Detection (Yolov3, Yolov4)

ETC

2) 연구개발과제의 연차별 목표

- CNN 기반 표층 붕괴 인식기능과 영상기반 진동분석 기능을 갖춘 산사태 감지 통합모듈 개발 및 현장설치 부품 개발 (주관연구기관)
- 1차 연도
 - 탈락(fall) 감지(감지 정확도 80% 이상)
 - 표층 진동 측정 1 point
 - 2차 연도
 - 탈락/활동(sliding) 감지(감지 정확도 90% 이상)
 - 표층 진동 측정 5 points
 - 3차 연도
 - 탈락/활동/전도(topple)/퍼짐(spread)/유동(flow) 감지(감지 정확도 95% 이상)
 - 표층 진동 측정 10 points
 - 개발시스템 현장구축 시간 : 6hr 이하
- 산사태 이벤트 알람 전송 및 현장설치 시스템 원격제어 기능을 갖춘 게이트웨이 및 임베디드 미니 웹 서버 개발 (공동연구기관)
- 1차 연도 : 알람 전송 및 제어 응답 20sec 이하
 - 2차 연도 : 알람 전송 및 제어 응답 15sec 이하
 - 3차 연도 : 알람 전송 및 제어 응답 10sec 이하

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2019)	산사태 감지 시스템 개발	산사태* ¹ 감지 정확도	국내 : 50% 국외 : 95%	80% 이상	최종 목표 달성을 위한 연구과정 중의 단계별 목표치로서 설정	-
		표층 진동 동시측정 가능 포인트	국내 : 1 point 국외 : 10 points	1 point		-
	게이트웨이 및 미니 웹 서버 개발	알람 전송, 제어 응답 기능	국내 : 20sec 국외 : 10sec	20sec 이하		-
2년차 (2020)	산사태 감지 시스템 개발	산사태* ² 감지 정확도	국내 : 50% 국외 : 95%	90% 이상		-
		표층 진동 동시측정 가능 포인트	국내 : 1 point 국외 : 10 points	5 points		-
	게이트웨이 및 미니 웹 서버 개발	알람 전송, 제어 응답 기능	국내 : 20sec 국외 : 10sec	15sec 이하		-
3년차 (2021)	산사태 감지 시스템 개발	산사태* ³ 감지 정확도	국내 : 50% 국외 : 95%	95% 이상	국외 기술 대비 동등 이상 수준* ⁴	50
		표층 진동 동시측정 가능 포인트	국내 : 1 point 국외 : 10 points	10 points	국외 기술 대비 동등한 수준	25
		현장 구축 시간	국내 : 48hr 국외 : 24hr	6hr 이하	국외 기술 대비 동등 이상 수준	5
	게이트웨이 및 미니 웹 서버 개발	알람 전송, 제어 응답 기능	국내 : 20sec 국외 : 10sec	10sec 이하	국외 기술 대비 동등한 수준	20

- ※ 1. 산사태 유형 : 탈락
 2. 산사태 유형 : 탈락, 활동
 3. 산사태 유형 : 탈락, 활동, 전도, 퍼짐, 유동
 4. 3차 연도의 산사태 감지 정확도

– 설정 근거

일반적으로 인간의 사물 인식 정확도는 95% 이상으로 알려져 있지만, 2018년 발표된 R. Geirhos et al.[2, 3]의 논문에 의하면 인간의 사물 인식 정확도는 컬러인 경우 88.5%, 흑백인 경우 86.6%로 확인되고 있음. 5%의 색상대비(contrast)가 있는 경우와 노이즈가 심한 경우에는 인간의 사물 인식 정확도는 각각 47.6%와 45.6%로 급격히 떨어짐. Alexnet, GoogleNet, ResNet 등 CNN 알고리즘의 사물 인식 정확도는 평균적으로 컬러인 경우 약 97%, 흑백인 경우 약 96%, 색상대비(contrast)가 있는 경우 약 91%, 노이즈가 심한 경우 약 83%의 성능을 보여주고 있음. 이 연구과제는 0 Lux 초저조도 야간 강우 환경에서도 운용할 수 있는 시스템 개발을 목표로 하므로 흑백 영상을 기준으로 산사태 이벤트 감지를 고려해야 함. 따라서, 전술한 바와 같이 보편적이고 검증된 CNN 알고리즘의 흑백 사물 인식 정확도를 고려하여 산사태 감지 정확도를 95% 이상으로 설정함.

<인간과 CNN 알고리즘의 사물 인식 정확도>

Evaluation condition	human observers										Model																	
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	C1	C2								
colour	88.5	96.7	90.6	50.0	83.1	86.1	84.2	90.8	10.4	8.1	97.9	95.4	72.3	93.0	91.1	92.4	94.9	10.2	11.2	95.5	95.9							
greyscale	86.6	87.8	95.6	94.1	86.2	93.2	87.8	90.5	10.3	9.8	94.0	96.8	96.2	93.3	95.7	94.3	90.9	11.4	12.8	94.8	95.1							
contrast (5%)	47.6	13.1	14.2	89.4	19.6	39.8	17.1	10.2	28.6	29.0	46.3	51.7	95.1	50.5	79.1	59.4	45.2	34.6	37.9	90.9	88.2							
low-pass (std=7)	48.5	18.9	16.1	16.4	78.4	11.9	16.0	9.8	6.9	6.6	16.0	18.6	14.4	87.2	20.5	13.8	13.5	7.1	9.3	74.7	74.9							
high-pass (std=0.7)	49.8	21.1	24.7	29.9	11.7	92.6	27.7	8.3	10.4	20.6	25.1	22.8	29.2	25.0	94.3	27.5	28.3	18.9	19.8	91.4	90.7							
phase noise (90°)	57.4	23.3	28.3	31.2	27.0	46.6	81.4	24.4	7.4	8.9	30.8	31.4	30.6	31.4	43.4	87.4	24.1	7.8	7.6	82.9	82.6							
rotation (90°)	78.5	36.5	43.3	39.9	31.8	40.4	37.7	89.0	8.5	8.0	38.5	41.9	40.3	35.2	40.1	40.5	89.0	8.3	8.8	80.1	80.5							
salt-and-pepper noise (0.2)	NA	6.1	6.4	5.8	7.9	6.2	6.2	6.4	79.4	6.2	6.2	6.1	6.3	5.4	5.8	5.7	6.2	89.6	6.2	78.6	13.6							
uniform noise (0.35)	45.6	6.2	7.3	6.9	9.0	7.3	6.2	6.0	10.2	80.3	84.6	83.3	85.0	84.6	83.7	82.5	83.8	85.4	89.8	11.0	71.5							

= manipulation included in training data

= manipulation included in training data

※ A1~A9, B1~B9, C1~C2는 CNN 알고리즘에 의한 결과

– 정확도 산출방식

정확도(accuracy)는 아래의 식과 같이 전체 사례 수에서 올바른 분류(True Positive, True Negative)의 비율로 정의됨. 여기서, TP, TN, FP, FN는 각각 True Positive, True Negative, False Positive, False Negative를 의미함. 이 연구과제에서는 정확도 산출을 위해 수집한 산사태 영상과 제작한 3D 시뮬레이션 영상을 테스트 자료로 활용하여 TP, TN, FP, FN을 공인시험기관 확인검증시험을 통해 분석하고 정확도를 확인함.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

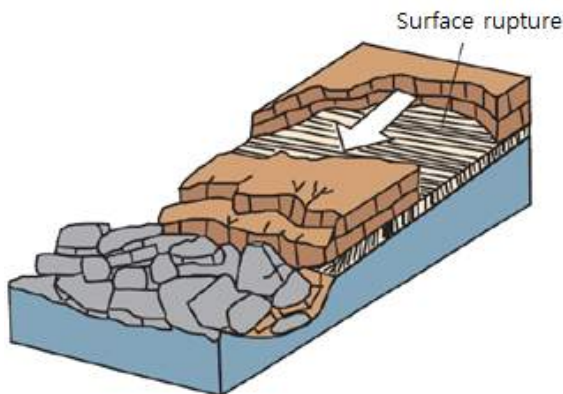
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 연구대상 산사태 유형

- 산사태는 사면활동의 한 형태로서 사면의 종류, 지반특성, 이동물질, 이동속도와 형태 그리고 발생 원인에 따라 다르게 정의되는데, 일반적으로 산지의 경사면에서 암석이나 토사가 중력의 작용에 의해 급속히 붕괴되는 상태를 의미함.
- D.J. Varnes[4]는 산사태 유형을 탈락(fall), 활동(sliding), 전도(topple), 퍼짐(spread) 및 유동(flow)의 5가지 형태로 크게 분류하고, 산사태 시의 이동물질(암석(rock), 세립토사(earth), 조립토사(debris))의 종류에 따라 15가지로 세분함. D.J. Varnes 분류에서 세립토사와 조립토사의 정의는 다음과 같음.
 - 세립토사 : 크기 2mm 이하의 입자가 80% 이상이고, 입자크기의 상한선은 모래 크기
 - 조립토사 : 크기 2mm 이상의 입자가 20~80%이고, 나머지의 입자크기는 2mm 이하
- 이 연구에서는 D.J. Varnes의 산사태 분류 중 발생빈도가 높은 암석 탈락, 암석 활동, 암석 전도, 세립토사 퍼짐 및 조립토사 유동(토석류)을 연구대상으로 함(그림 1 참조).



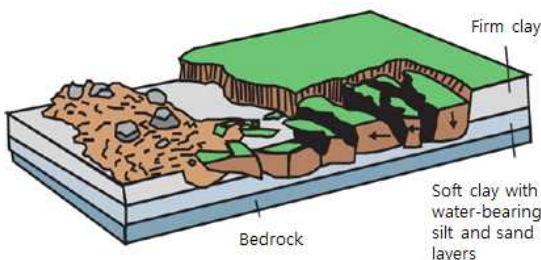
(a) 암석 탈락



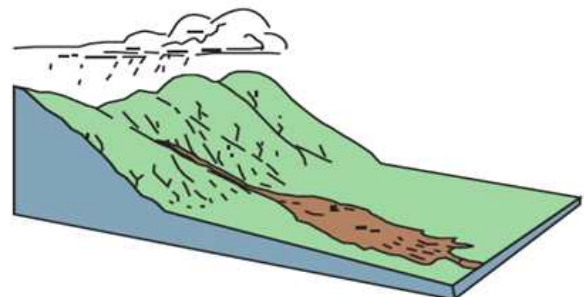
(b) 암석 활동



(c) 암석 전도



(d) 세립토사 퍼짐

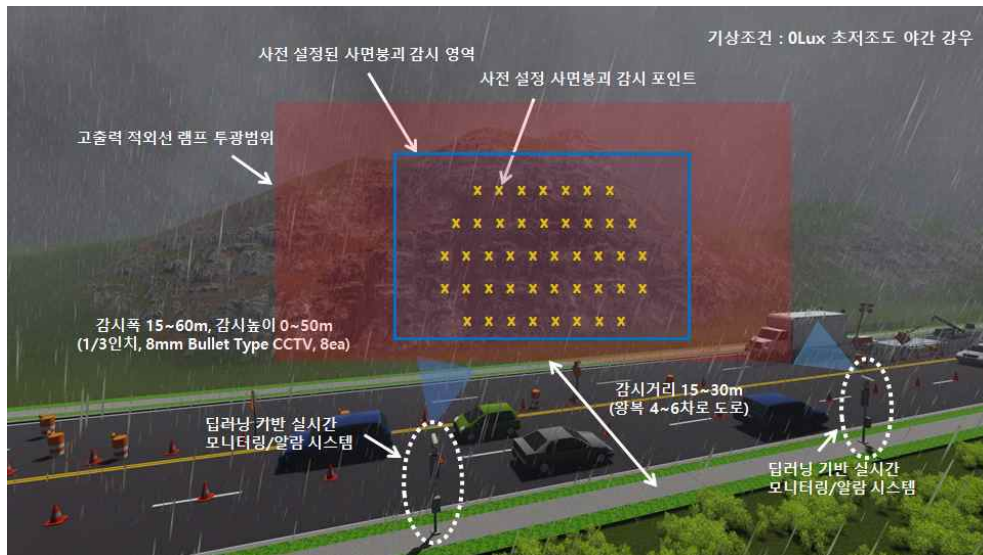


(e) 조립토사 유동

<그림 1> 연구대상 산사태 유형

2) 연구개발 시스템 개요

- 그림 2는 이 연구에서 개발된 야간 악천후에 산사태 위험이 높은 지역에 설치되는 산사태 감지 및 대응 시스템(이하 개발 시스템)의 예시임. 표층 붕괴 위험이 높은 지역은 인공조명이 없는 경우가 대부분이며, 특히, 야간 악천후의 경우는 0 Lux의 초저조도 환경이 되어 육안으로는 수 미터 앞의 물체도 식별하기 어려움. 기존 실외용 카메라는 적외선 램프가 내장되어 있지만, 램프의 출력이 적기 때문에 0 Lux의 초저조도 환경 하에서는 영상감시가 어려운 것이 현실임. 이 연구에서는 최적화된 고성능 적외선 램프를 이용하여 야간 악천후, 초저조도 환경 하의 영상감시 문제를 해결하였음.
- 감시 카메라 촬영범위는 적외선 램프 투광범위 보다 좁게 되며, 감시폭과 감시높이는 카메라 화상소자(CCD)의 크기와 초점거리에 따라 달라짐. 저렴한 1/3인치, 8mm 볼릿형(Bullet Type) 카메라를 8대 사용할 경우 15~30m 감시거리에서 폭 15~60m, 높이 0~50m 사면에 대한 감시가 가능함(감시영상 최대 폭과 높이). 사용자는 카메라 영상을 확인한 후 감시영역을 설정하고, 위험도가 높은 지점에 추가적으로 감시 포인트를 설정할 수 있음. 감시 포인트는 한 군데 이상 여러 곳을 설정할 수 있음. 그림 2는 감시대상 도로사면을 정면에서 감시하는 예를 보여주고 있지만, 필요 시 붕괴가 예상되는 도로사면 측면에 시스템을 설치하여 측면에서 관찰하는 형태로도 사용이 가능함.



(a) 표층 붕괴 전



(b) 표층 붕괴 후

<그림 2> 야간 악천후 기상조건의 딥러닝 기반 산사태 감지 시스템 작동 예

- 그림 2(b)는 표층 붕괴가 발생된 상태에 대한 예시임. 표층 붕괴가 시작되면 분산형 영상 분석 시스템이 이를 감지하고 붕괴유형을 분류한 후, 관리자에게 신속하게 알람을 전송함. 관리자는 알람 정보 수신 후 표층 탈락, 활동, 전도, 퍼짐, 유동 여부를 바로 확인할 수 있음. 또한, 분산형 영상 분석 시스템의 설정 상태에 따라 표층의 이상 진동에 대한 알람도 전송받을 수 있음. 표층 붕괴 알람 수신 후 관리자는 현장에 설치된 게이트웨이를 통해 현장의 IP 카메라에 접속하여 실시간으로 현장상황을 확인할 수 있고, 여러 관계자들도 현장을 확인하면서 신속하게 대책을 수립할 수 있음. 이 연구의 개발 시스템은 야간 악천후에도 현장을 신속하게 영상으로 확인할 수 있기 때문에 상황 전파 및 사고 대응 시간을 줄일 수 있는 장점이 있음.
- 이 연구의 개발 시스템은 그림 3에 나타난 바와 같이 표층 붕괴 위험이 높은 지역에서 신속하고 저렴한 비용으로 감시 포인트를 확보하는 것으로 목적으로 하고 있음. 따라서, 고정식이 아닌 신속한 설치·해체가 가능한 이동식으로 개발하였음. 구체적으로 소형 볼트 접합이 가능한 구조용 형강을 사용하여 개발 시스템의 지주를 제작하였음. 구조용 형강은 인력으로 운반이 가능하며, 크레인 사용이나 교통통제 작업 없이, 간단히 조립만으로 지주 구성이 가능함. 지주를 구성하는 하부구조는 간단한 바닥 고르기 작업 후 일정 두께의 강판을 소형 스파이럴 파일이나, 케미컬 앵커를 이용하여 지반에 고정시키면 기초 콘크리트 타설 없이도 충분한 지지력을 발휘할 수 있음. 소형 스파이럴 파일은 태양광 설비, 도로 표지판 등 기초부 단면력이 크지 않은 소규모 시설의 기초로서 활용되고 있으므로 개발 시스템 지주 설치에 적합함. 다만, 개발 시스템 지주의 설치 장소가 소형 스파이럴 파일 적용이 곤란한 심도가 깊은 연약지반 등 지반조건이 매우 불량한 경우에는 지반보강에 의해 지지력을 확보하여야 함. 연약지반 개량공법은 치환, 압밀 및 배수, 화학적/열적 고화, 보강, 다짐 등 매우 다양한데, 토질조건, 개량 목적, 시공범위, 환경조건 등에 대한 검토를 통해 적용되어야 함. 개발 시스템이 소형 시설물이므로 소규모 부지의 개량에 적합한 약액주입공법을 적용하는 것이 바람직하다고 판단되지만, 공법 선정 시 충분한 검토가 필요함. 약액주입공법은 그라우팅(grouting)이라고도 불리며, 지반 내에 주입관을 삽입하여 약액을 압력으로 주입하거나 혼합하여 지반을 고결 또는 경화시켜 강도 증대 또는 차수 효과를 높이는 공법임. 약액주입공법의 설계는 대상 지반의 특성 및 시공방법의 특징과 기존의 시공실적 또는 시험시공의 결과를 고려하여 수행해야 함.



<그림 3> 설치·해체가 용이한 개발 시스템 설치 예

- 구조용 형강 지주와 기초가 설치되면 IP 카메라, 카메라 방수용 하우징, 고성능 적외선 램프, 스위치 허브, 소형 합체, 미니 PC, 게이트웨이 등이 구조용 형강 지주에 부착됨. 지주, 기초, 하우징, 합체 등이 모듈화되어 있으므로 설치과정에서 발생하는 불필요한 시간 소모를 최소화할 수 있음. 현장작업자는 각 구성품을 미리 마킹된 위치에 부착, 조립만 하면 되므로 신속하게 시스템을 구축할 수 있고, 해체도 신속하게 진행할 수 있음.

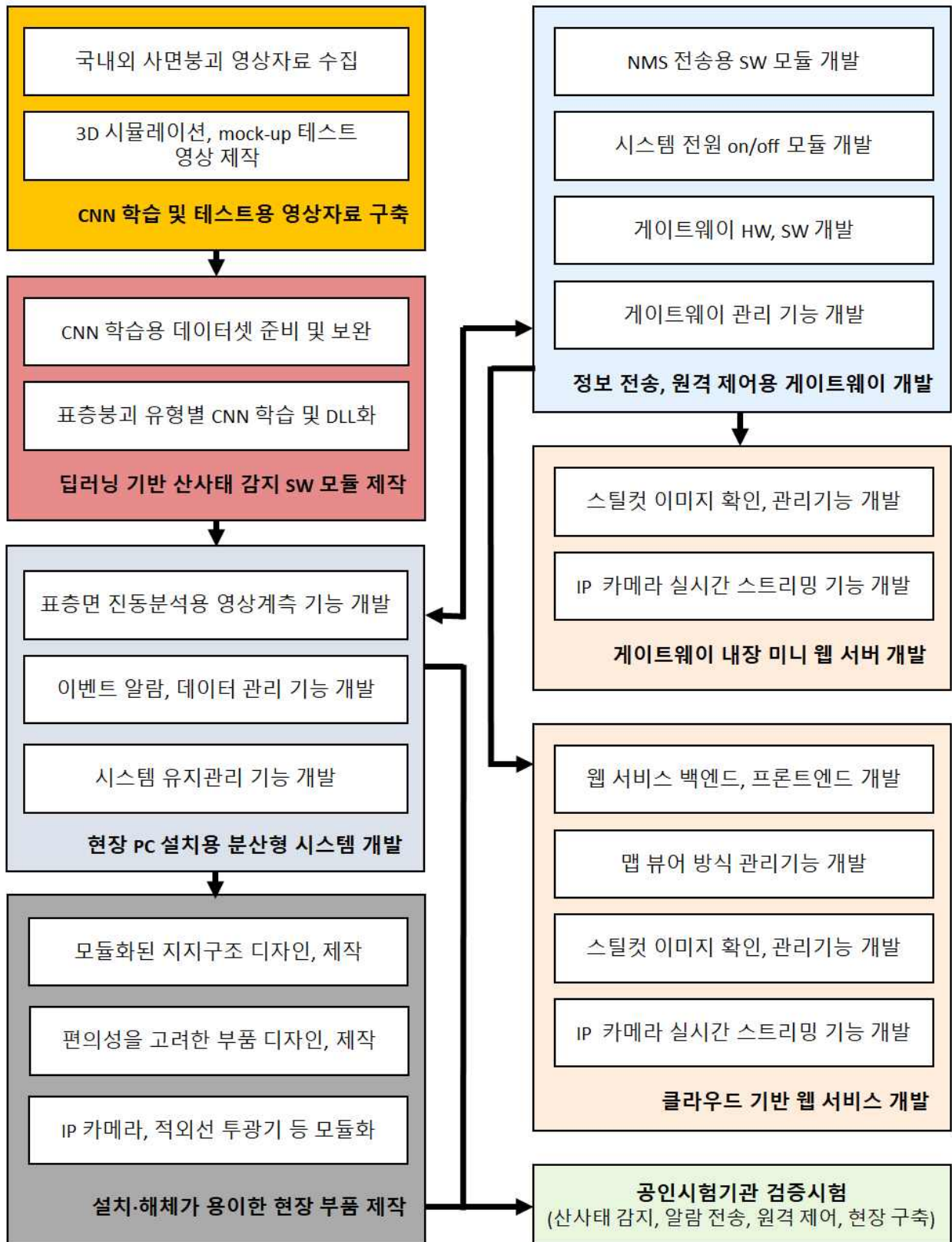
- 관리자는 SMS 알람문자와 함께 미니 웹 서버에 접속할 수 있는 링크주소를 전송받게 되며, 미니 웹 서버에 접속 후 표층 붕괴 정보와 이미지를 확인할 수 있음. 그리고, 필요한 경우 미니 웹 서버를 통해 거꾸로 IP 카메라에 접속하여 스트리밍을 통해 현장 상황을 실시간 확인할 수 있음. 또한, 개발 시스템이 여러 지역에 걸쳐 분산되어 있는 경우에는 현장 게이트웨이 링크주소를 모아놓은 클라우드 서버(또는 개인용 서버)를 구축할 수도 있으며, 이를 통해 간편하게 다수의 현장을 관리할 수도 있음.
- 예기치 않은 시스템의 셧다운에 대한 대응을 위해, 이 연구의 개발 시스템은 분산형 영상 분석 시스템과 게이트웨이에 대한 전원 on/off 기능을 제공하고 있음. 원격 전원 on/off 기능은 원격 관리의 핵심기능으로서 이 기능이 없는 경우는 시스템 셧다운 시 재부팅을 위해 현장에 관리자가 매번 방문해서 점검해야 하는 어려움이 있음. 개발 시스템은 관리자의 부담을 대폭 경감시킬 수 있는 안정적인 원격 전원 on/off 기능 제공함. 시스템 전체 전원 on/off는 게이트웨이를 통해 제어되며, 전원은 켜져 있지만, 분산형 영상 분석 시스템이 재부팅되지 않는 경우는 BIOS(Basic Input Output System) 레벨 제어를 통해 원격으로 재부팅할 수 있는 기능을 제공함.
- 이 연구의 개발 시스템은 그림 5와 같은 절차에 따라 기초자료 조사, 현장조사, 산사태 발생 가능성을 판단하여 표층 붕괴 위험지점에 설치되며, 신속한 설치/운용이 가능하도록 개발되었음.



<그림 5> 개발 시스템의 설치대상 표층 붕괴 위험지점 선정 절차

3) 연구개발 추진전략 · 방법

○ 이 연구의 최종 목표 달성을 위한 추진전략·방법은 그림 6과 같음.

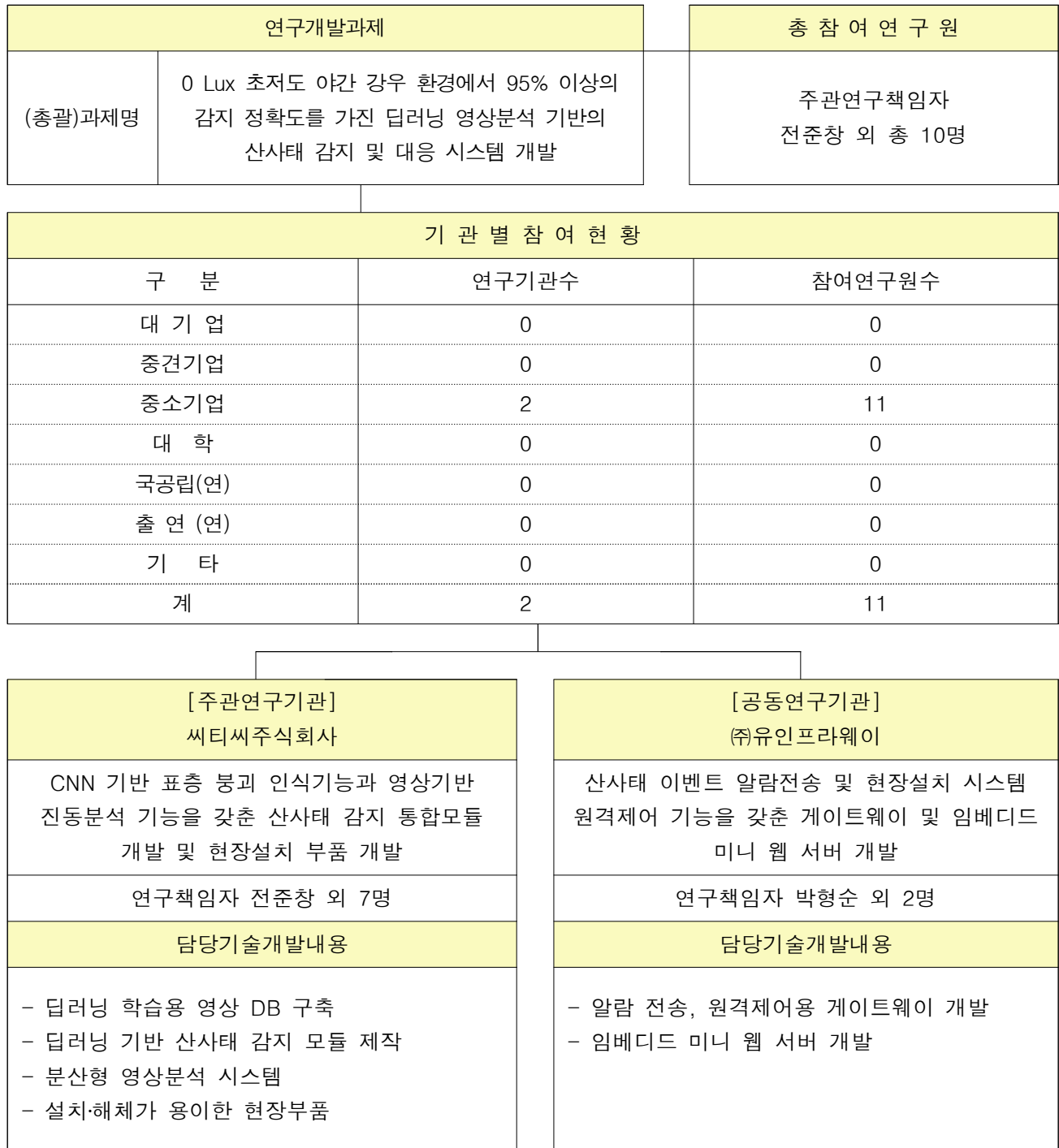


<그림 6> 추진전략 · 방법

4) 연구개발 추진체계

○ 이 연구의 내용은 크게 다음과 같이 구분되며, 연구추진체계는 그림 7과 같음.

- CNN 기반 표층 붕괴 인식기능과 영상기반 진동분석 기능을 갖춘 산사태 감지 통합모듈 및 현장 설치용 장비 부품 개발
- 산사태 이벤트 알람 전송 및 현장설치 시스템 원격제어 기능을 갖춘 게이트웨이 및 임베디드 미니 웹 서버 개발



<그림 7> 추진체계

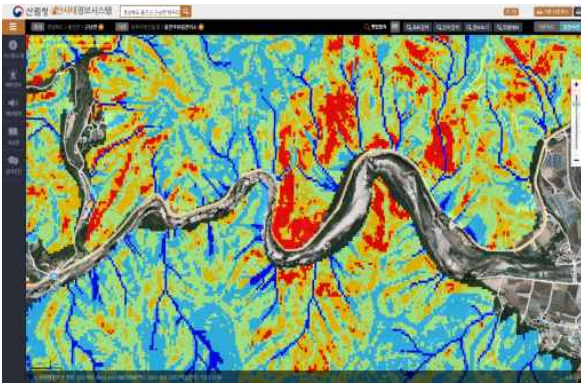
5) 연구개발 추진일정

1차 연도													
연구내용	추진일정												담당기관
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
· 딥러닝 학습용 영상 DB 1차 제작 (탈락 3D 영상 75개, 이미지 36,021개)													주관기관
· 딥러닝 기반 산사태 감지 모듈 1차 제작 (LH R-CNN 알고리즘에 의한 신경망 학습, 탈락 감지 기능 구현)													주관기관
· 분산형 영상 분석시스템 1차 제작 (영상계측 진동분석 측정 포인트 1개소)													주관기관
· 알람 전송, 원격제어 게이트웨이 1차 제작 (알람 전송 20초 이내, 제어 응답 20초 이내)													공동기관
· 설치·해체가 용이한 현장부품 1차 제작 (컨셉디자인, 박판구조해석)													주관기관
· 공인시험기관 검증시험											11/11		주관기관
2차 연도													
· 딥러닝 학습용 영상 DB 2차 제작 (활동 3D 영상 75개, 이미지 8,200개)													주관기관
· 딥러닝 기반 산사태 감지 모듈 2차 제작 (SSD 기반 FPN 알고리즘에 의한 신경망 학습, 탈락/활동 감지 기능 구현)													주관기관
· 분산형 영상 분석시스템 2차 제작 (영상계측 진동분석 측정 포인트 5개소)													주관기관
· 알람 전송, 원격제어 게이트웨이 2차 제작 (알람 전송 15초 이내, 제어 응답 15초 이내)													공동기관
· 설치·해체가 용이한 현장부품 2차 제작 (현장부품 구성, 단면설계법 검토, 지주 제작)													주관기관
· 공인시험기관 검증시험										10/23			주관기관
3차 연도													
· 딥러닝 학습용 영상 DB 3차 제작 (- 전도/퍼짐/유동 3D 영상 192개, 이미지 8,550개, - 실제 동영상 66개, 이미지 8,706개, - mock-up 테스트 영상 12개, 이미지 4,592개)													주관기관
· 딥러닝 기반 산사태 감지 모듈 3차 제작 (YOLOv4 알고리즘에 의한 신경망 학습, 탈락/활동/전도/퍼짐/유동 감지 기능 구현)													주관기관
· 분산형 영상 분석시스템 3차 제작 (영상계측 진동분석 측정 포인트 10개소)													주관기관
· 알람 전송, 원격제어 게이트웨이 3차 제작 (알람 전송 10초 이내, 제어 응답 10초 이내)													공동기관
· 설치·해체가 용이한 현장부품 3차 제작 (단면설계, 지주/부품 모듈화, 6시간 이내 현장 구축)													주관기관
· 공인시험기관 검증시험											11/2		주관기관

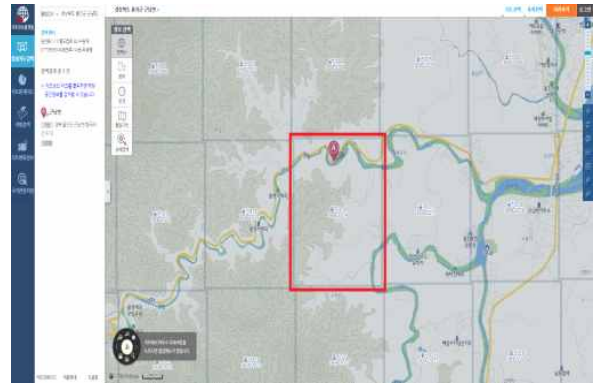
6) 1차 연도 연구내용

○ 딥러닝 학습용 영상 DB 1차 제작

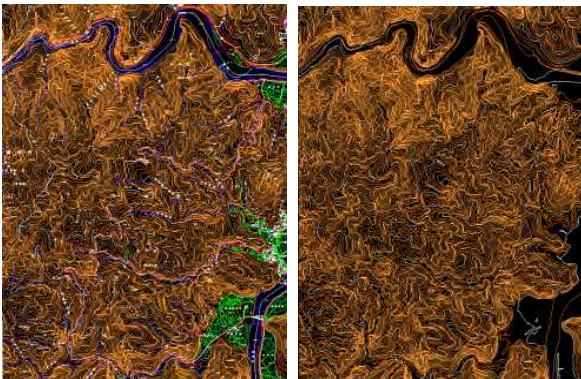
- 산림청 산사태정보시스템이 제공하는 위험지역 정보 중 암석 탈락 위험이 높고 물적, 인적손실의 위험이 높은 지역 선택함. 이 연구에서는 2019년의 태풍 다나스, 태풍 프란시스코, 태풍 크로사의 경로를 따라 발생한 산사태 위험지역 정보를 참고로 함. 위험지역이 결정되면, 국토정보지리원 국토정보플랫폼[5]에서 제공하는 수치지형도(DXF 파일) 정보를 바탕으로 위험지역의 3D Surface 데이터를 생성함. 3D Surface 데이터를 토대로 3D 지형을 생성한 후, 지형 위에 암석들을 배치한 후, 실제 암석의 탈락과 유사하게 모델링 작업을 진행함(그림 8 참조).



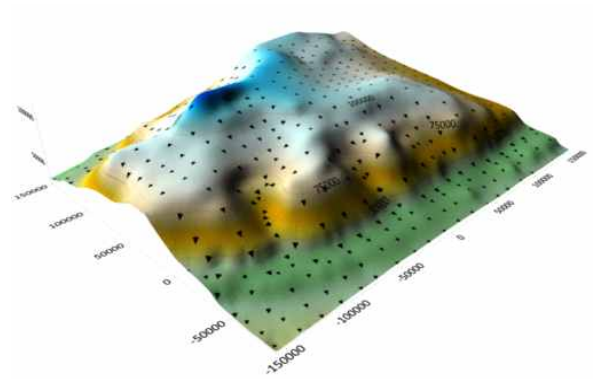
(a) 산사태 위험 1등급 예상지역 확인



(b) 국토지리정보원 1:5,000 수치지형도 확인



(c) 1:5,000 수치지형도 편집



(d) 3D 지형 생성을 위한 3D Surface 데이터 작성



(e) 3D 지형 모델링(수목, 시설물, 자동차 등)



(f) 암석 탈락 모델링(암석 탈락 속도/위치 등)

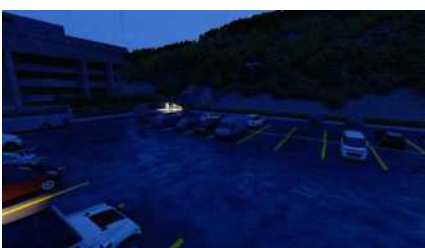
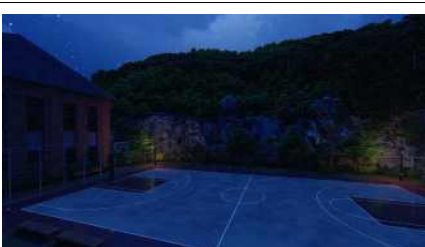
<그림 8> 딥러닝 학습용 암석 탈락 영상 제작 과정

- 주간 영상으로만 딥러닝 학습을 진행하면 야간환경과 강우환경의 인식률이 현저히 떨어지고, 오감지율이 증가함. 따라서, 이 연구에서는 주간, 야간 강우, IR(적외선) 강우 환경을 고려하여 암석 탈락 영상 75개 (FHD 1920×1080, 30 FPS)와 스틸컷 이미지(FHD 1920×1080) 36,021개를 제작함(표 1 참조).

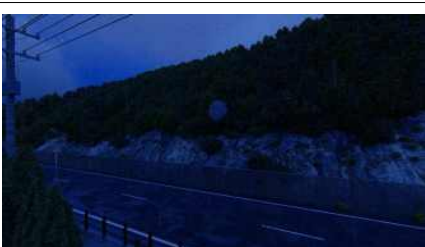
<표 1> 딥러닝 학습용 암석 탈락 영상/이미지

No.	주간	야간 강우	IR(적외선) 강우
1 — 2 — 3			
4 — 5 — 6			
7 — 8 — 9			
10 — 11 — 12			
13 — 14 — 15			
16 — 17 — 18			
19 — 20 — 21			

<표 1> 딥러닝 학습용 암석 탈락 영상/이미지 (계속)

No.	주간	야간 강우	IR(적외선) 강우
22 — 23 — 24			
25 — 26 — 27			
28 — 29 — 30			
31 — 32 — 33			
34 — 35 — 36			
37 — 38 — 39			
40 — 41 — 42			

<표 1> 딥러닝 학습용 암석 탈락 영상/이미지 (계속)

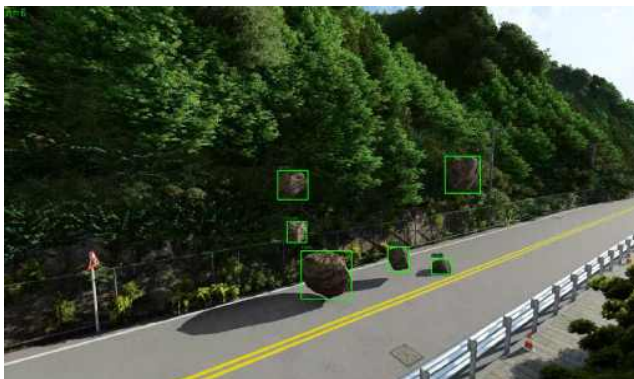
No.	주간	야간 강우	IR(적외선) 강우
43 — 44 — 45			
46 — 47 — 48			
49 — 50 — 51			
52 — 53 — 54			
55 — 56 — 57			
58 — 59 — 60			
61 — 62 — 63			

<표 1> 딥러닝 학습용 암석 탈락 영상/이미지 (계속)

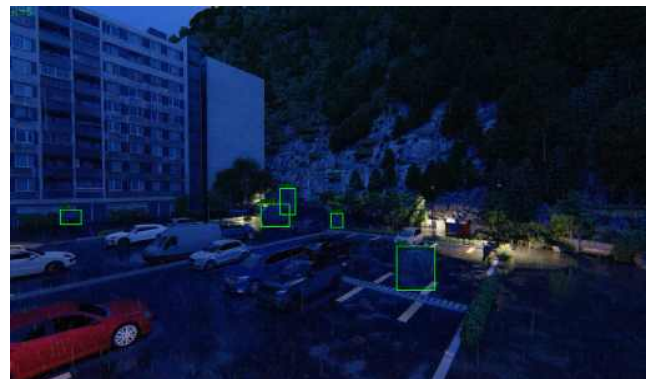
No.	주간	야간 강우	IR(적외선) 강우
64 — 65 — 66			
67 — 68 — 69			
70 — 71 — 72			
73 — 74 — 75			

○ 딥러닝 기반 산사태 감지 모듈 1차 제작

- 제작된 스틸컷 이미지 안의 암석 형상을 신경망이 학습할 수 있도록 라벨링 작업을 진행함. 충분한 학습량이 확보될 수 있도록 프레임마다 변화되는 암석의 형상을 정확하게 잡고, 불필요한 배경 픽셀은 라벨 처리된 박스 이미지에 들어가지 않도록 처리함(그림 9 참조).



(a) 주간환경의 암석 탈락 라벨링



(b) 야간 강우환경의 암석 탈락 라벨링

<그림 9> 신경망 학습을 위한 라벨링 작업 (계속)



(c) IR(적외선) 강우환경의 암석 탈락 라벨링

```
<object>
  <name>rock</name>
  <pose>Unspecified</pose>
  <truncated>0</truncated>
  <difficult>0</difficult>
  <bndbox>
    <xmin>279</xmin>
    <ymin>192</ymin>
    <xmax>321</xmax>
    <ymax>221</ymax>
  </bndbox>
</object>
```

(d) 암석 탈락 라벨링 데이터(XML 파일)

<그림 9> 신경망 학습을 위한 암석 탈락 라벨링 작업

- 제작된 영상과 수집된 영상을 이용하여 학습된 CNN의 성능 테스트를 진행함(그림 10 참조). 공인시험기관에 의한 평가결과, 암석 탈락 이벤트 감지 정확도가 80% 이상인 것으로 확인됨(그림 11 참조).



(a) 제작 영상 이용 이벤트 감지 테스트



(b) 수집된 영상 이용 이벤트 감지 테스트

<그림 10> 학습된 CNN의 성능테스트

1. 시험항목명 : 암석 탈락 감지 정확도

2. 시험목적

○ 암석 탈락 감지 정확도 측정

$$\text{암석 탈락 감지 정확도} = \frac{\text{암석 탈락 감지 성공 횟수}}{\text{암석 탈락 감지 총 횟수}} \cdot 100$$

3. 시험방법

- 1) 산사태 영상 파일 75개 자동 호출
 - 산사태 영상 파일 목록은 <붙임> 참조
- 2) 영상에서 암석 탈락이 감지되면 산사태 영상 화면 캡처
- 3) 캡처된 화면을 분석하여 암석 탈락 여부 확인

(a) 시험 목적 및 방법

○ 산사태 중 암석 탈락 감지 정확도 : 90%
 - 암석 탈락 감지 총 횟수 : 120번
 - 암석 탈락 감지 성공 횟수 : 108번

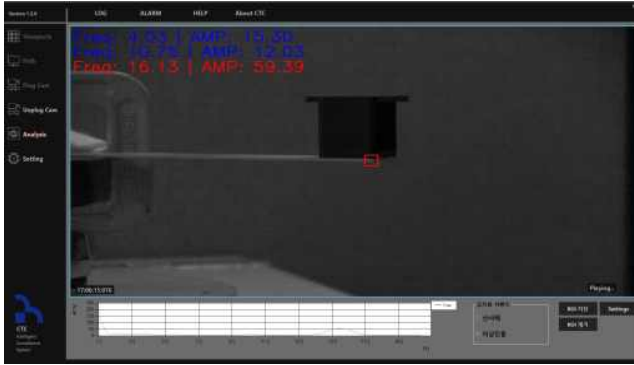
구분	암석 탈락 감지 화면	암석탈락 감지 성공여부	구분	암석 탈락 감지 화면	암석탈락 감지 성공여부
1		성공	8		성공
2		성공	9		성공
3		성공	10		성공
4		성공	11		성공
5		성공	12		실패
6		성공	13		실패
7		성공	14		성공

(b) 공인시험기관 성적서

<그림 11> 암석 탈락 감지 정확도에 관한 공인시험기관 평가결과

○ 분산형 영상분석 시스템 1차 제작

- 고속카메라 영상에서 획득되는 픽셀 데이터로 실시간 FFT 분석을 진행하여 진동체의 주파수를 즉시 확인할 수 있는 기능을 구현함(그림 12 참조). 해당 기능은 산사태 발생전후 예상되는 이상진동을 비접촉식 방법으로 감지할 수 있는 기능이며, 1차 연도에는 1개 포인트 분석이 가능함. 진동 분석 관련 객관적인 성능은 공인시험기관의 검증시험을 통해 확인함(그림 13 참조). 분산형 영상분석 시스템 현장운영에 필요한 IP 카메라 연결, RTSP 영상 스트리밍, ROI 설정, 이벤트 전송 등 각종 관리기능도 구현됨. 1차 연도에는 IP 카메라 1대 연결이 가능함.



(a) 이상진동 분석 기능



(b) IP 카메라, RSTP 스트리밍, 영상 파일 연결 기능



(c) ROI 설정 기능

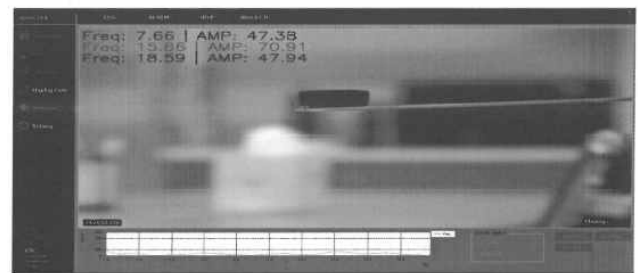


(d) 게이트웨이 연결 기능

<그림 12> 분산형 영상분석 시스템의 기능

- 표층 진동을 1 Point로 측정하여 수치 및 그래프를 출력함

1. 시험항목명 : 표층 진동 측정 기능
2. 시험목적
 - 표층 진동을 1 Point로 측정하여 수치 및 그래프를 출력하는지 확인
3. 시험방법
 - 1) 고속카메라를 이용하여 촬영된 영상 전송
 - 2) 고속 카메라 영상에서 진동 측정이 가능한 진동체에 1 Point로 측정 범위 설정
 - 3) 진동체에 진동 발생
 - 4) 설정된 측정 범위에서 진동을 측정하여 수치 및 그래프를 출력하는지 확인



(a) 시험 목적 및 방법

(b) 공인시험기관 성적서

<그림 13> 표층 진동 측정 기능에 관한 공인시험기관 평가결과

○ 알람 전송 및 원격제어용 게이트웨이 1차 제작

- 분산형 영상분석 시스템에서 전송되는 이벤트 정보를 받아 20초 이내에 SMS 알람을 전송하는 기능과, 게이트웨이를 원격 제어할 수 있는 기능을 구현함. 그리고 이벤트 정보를 실시간으로 확인할 수 있는 게이트웨이 내장 미니 웹서버도 개발함. 미니 웹서버에는 아이콘 형태의 제어기능 버튼, 이벤트 알람 사진 확인 메뉴, SMS 알람 수신 설정 메뉴, 이벤트 로그 관리창 등이 구현됨(그림 14 참조).



(a) 게이트웨이 내·외부



(b) 원격 전원 제어용 USB 동글, 노트



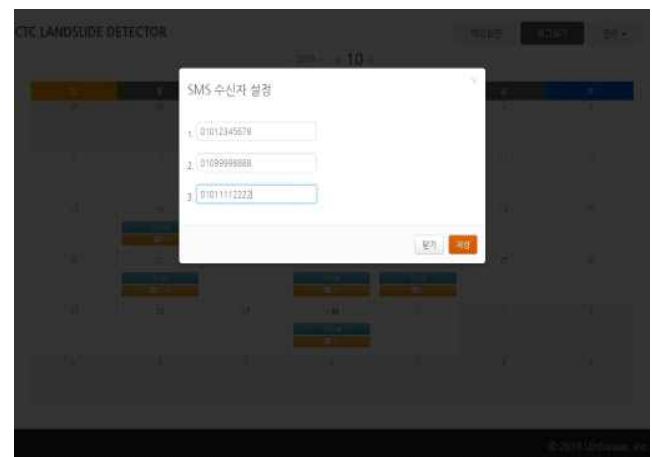
(c) 미니 웹 서버 전원 제어 화면



(d) 미니 웹 서버 이벤트 로그 관리 화면



(e) 전송된 이벤트 이미지 및 시간 확인 화면



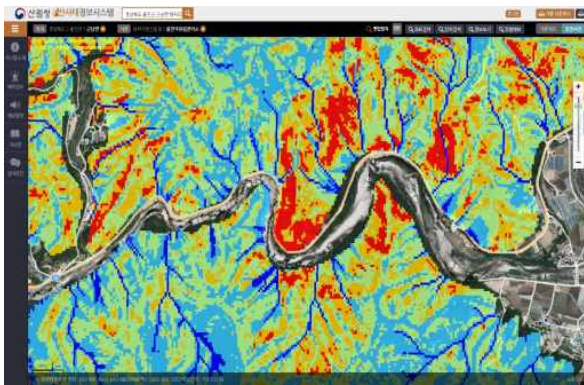
(f) SMS 알람 설정 화면

<그림 14> 알람 전송 및 원격제어용 게이트웨이

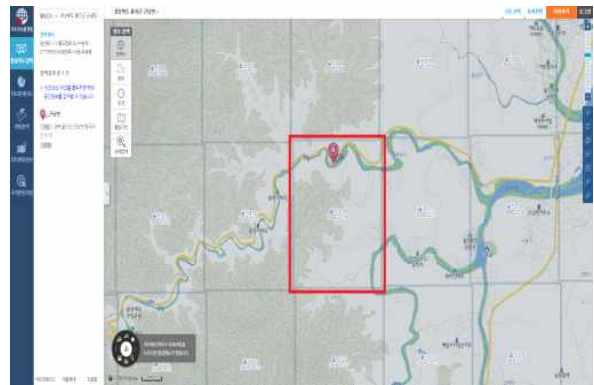
7) 2차 연도 연구내용

○ 딥러닝 학습용 영상 DB 2차 제작

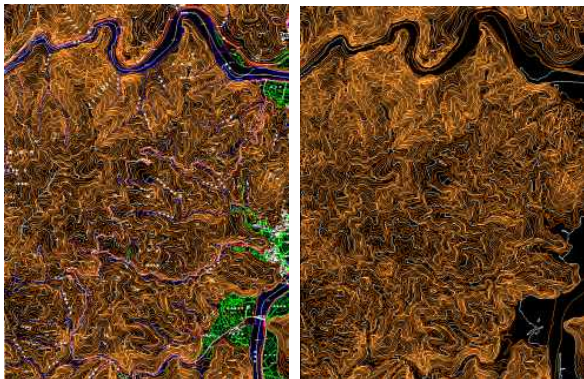
- 산림청 산사태정보시스템이 제공하는 위험지역 정보 중 암석 활동 위험이 높고 물적, 인적손실의 위험이 높은 지역 선택함. 이 연구에서는 2019년의 태풍 다나스, 태풍 프란시스코, 태풍 크로사의 경로를 따라 발생한 산사태 위험지역 정보를 참고로 함. 위험지역이 결정되면, 국토정보지리원 국토정보플랫폼[5]에서 제공하는 수치지형도(DXF 파일) 정보를 바탕으로 위험지역의 3D Surface 데이터를 생성함. 3D Surface 데이터를 토대로 3D 지형을 생성한 후, 지형 위에 암석들을 배치한 후, 실제 암석의 활동과 유사하게 모델링 작업을 진행함(그림 15 참조).



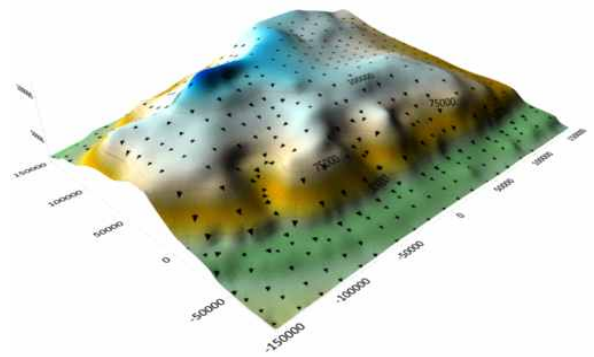
(a) 산사태 위험 1등급 예상지역 확인



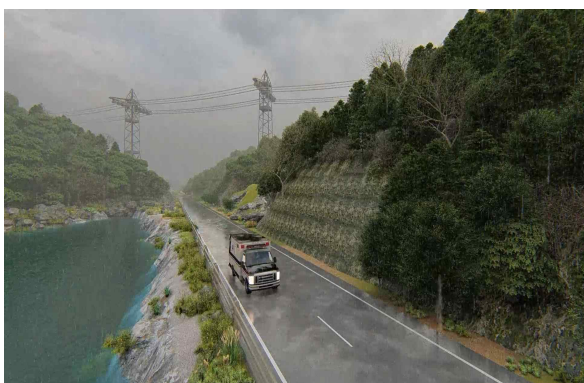
(b) 국토지리정보원 1:5,000 수치지형도 확인



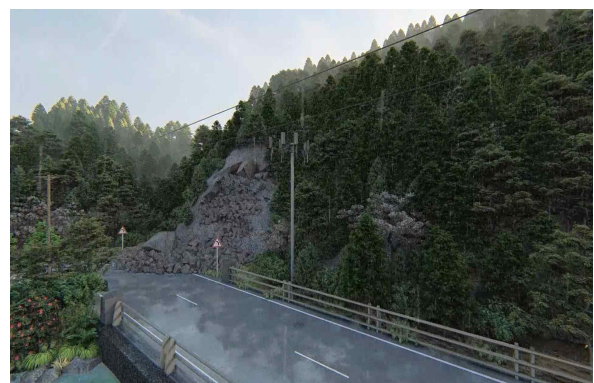
(c) 1:5,000 수치지형도 편집



(d) 3D 지형 생성을 위한 3D Surface 데이터 작성



(e) 3D 지형 모델링(수목, 시설물, 자동차 등)

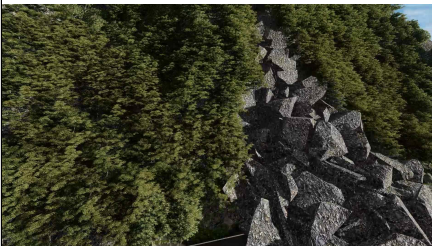
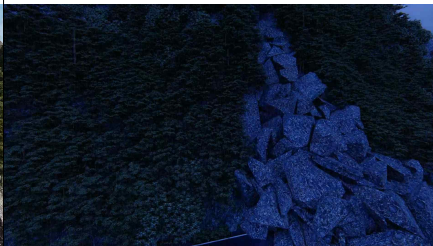
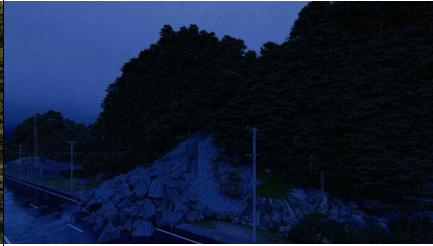
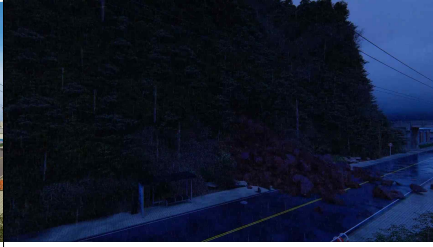
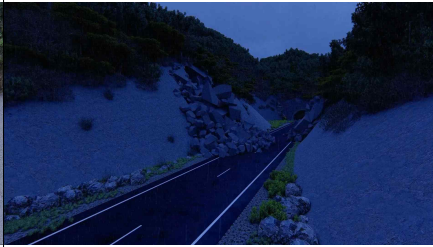
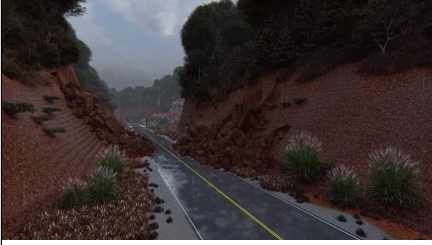
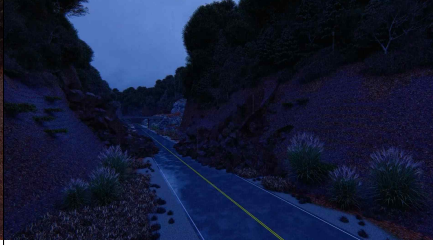


(f) 암석 활동 모델링(암석 활동 속도/위치 등)

<그림 15> 딥러닝 학습용 영상(암석 활동) 제작 과정

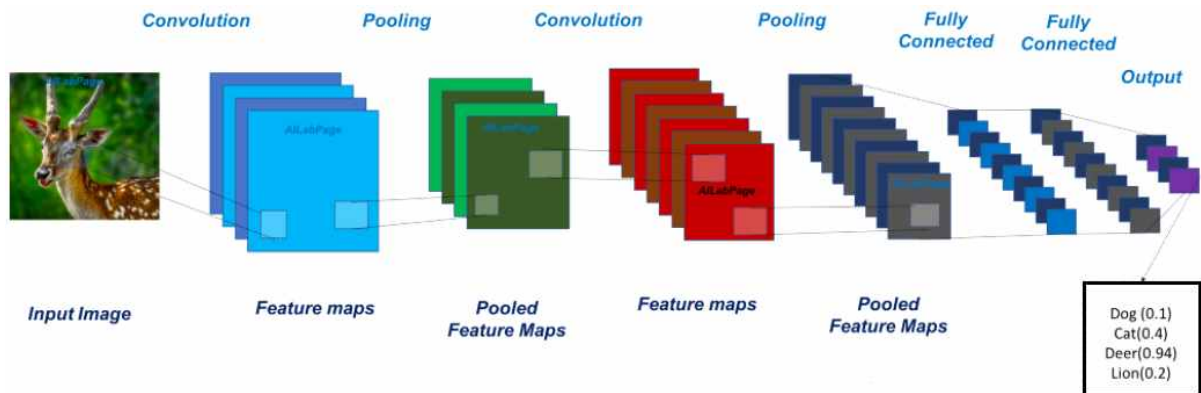
- 주간 영상으로만 딥러닝 학습을 진행하면 야간환경과 강우환경의 인식률이 현저히 떨어지고, 오감지율이 증가함. 따라서, 이 연구에서는 주간, 야간 강우, IR(적외선) 강우 환경을 고려하여 암석 활동 영상 75개 (FHD 1920×1080, 30 FPS)와 스틸컷 이미지(FHD 1920×1080) 8,200개를 제작함(표 2 참조).

<표 2> 딥러닝 학습용 암석 활동 영상/이미지

No.	주간	야간 강우	IR(적외선) 강우
1 — 2 — 3			
4 — 5 — 6			
7 — 8 — 9			
		· · · 종락 · · ·	
70 — 71 — 72			
73 — 74 — 75			

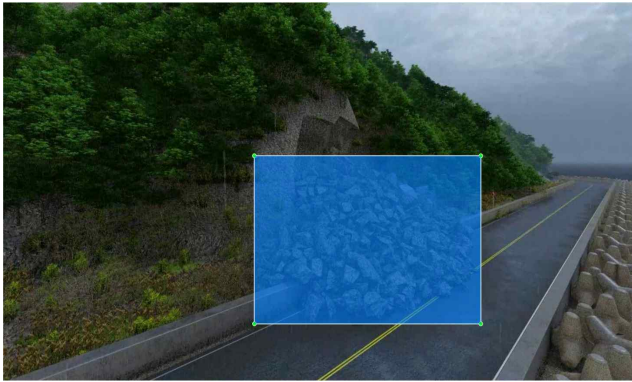
○ 딥러닝 기반 산사태 감지 모듈 2차 제작

- 영상분야에서 가장 많이 사용되는 딥러닝 알고리즘은 CNN(Convolution Neural Network)임. CNN은 입력층(input layer):컨볼루션층(convolution layer):풀링층(pooling layer):컨볼루션층:풀링층:전결합층(fully connected layer):전결합층:출력층(output layer)의 기본 구성을 가짐[6].

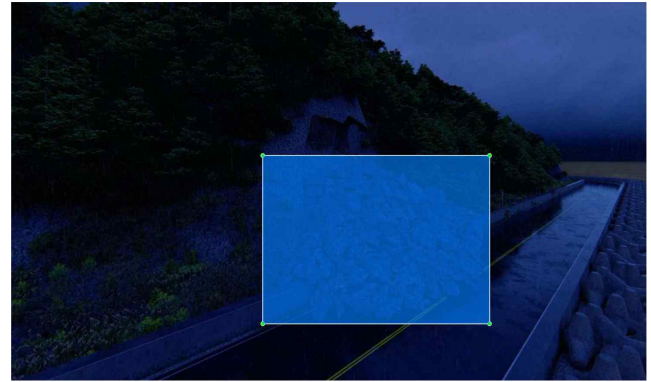


<그림 16> Convolution Neural Network의 기본 구성 [6]

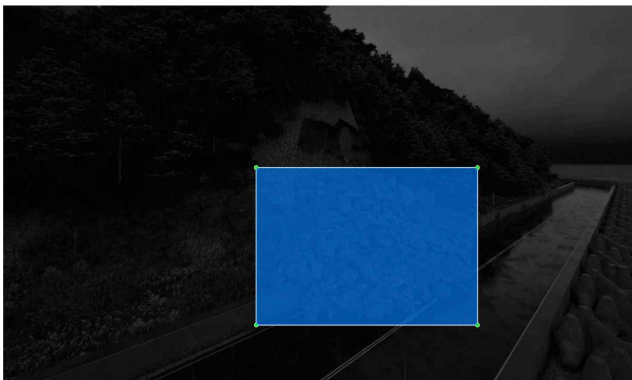
- 전결합층은 앞 층 노드와 자기 층의 노드가 모두 웨이트로 연결되어 있는 층임. 신경망이 전결합층으로만 구성되면, 층이 깊어져도 정밀도가 높아지지 않는 문제가 잘 발생함. 컨볼루션층이 있는 CNN은 전결합층만 있는 신경망과 비교해서, 신경망의 깊이가 깊어도 높은 정밀도가 나오는 특징을 가짐.
- 컨볼루션층은 앞 층에서 인접한 노드끼리의 집합과 자기 층의 노드가 웨이트로 연결되어 있는 층이며, 컨볼루션층의 노드 값은 노드값, 연결가중치, 활성화 함수로 계산됨. 컨볼루션층은 이미지 속 특징을 강조한 후, 즉 이미지에서 특징을 추출한 후 다음 층으로 넘기기 때문에 이미지에 필터를 사용하는 것과 동일한 효과를 줌. 컨볼루션층을 일종의 필터라고 생각할 수 있음.
- 풀링층은 앞 층과 국소적으로 연결되어 있다는 점에서는 컨볼루션층과 동일함. 하지만 노드 값의 계산방법이 전결합층이나 컨볼루션층과는 다름. 풀링층은 앞 층의 국소적인 노드에서 결정된 값을 자기 층의 노드 값으로 선택하며, 이미지의 작은 변화를 흡수해주는 효과를 가짐.
- CNN은 오류역전파법으로 학습을 진행하면, 입력데이터와 지도 학습 데이터를 쌍으로 하는 훈련 데이터를 준비하고 오류역전파법을 적용한 확률적 경사법 또는 미니배치법으로 학습을 진행함. 확률적 경사하강법과 미니배치법 모두 경사하강법의 일종이며, 계산량 감소를 위해 고안된 방법임.
- CNN을 바탕으로 객체의 위치를 판단하는 Localization과 해당 객체가 어떤 객체인지 판별하는 Classification으로 구분되는데, 1차 연도의 암석 탈락 감지에 적용한 알고리즘인 LH R-CNN[7]은 Two-stage detector에 해당됨. Two-stage detector는 개략적인 Localization을 수행하고 선출된 후보군들에 대한 Classification과 세밀한 Localization을 수행하므로 영상 안의 객체의 크기가 작아도 감지율이 우수하다는 특징을 가지고 있음.
- 제작된 8,200개의 스틸컷 이미지 안의 암석 형상을 신경망이 학습할 수 있도록 각 이미지별 암석 활동 영역에 대한 라벨링 작업을 진행함. 충분한 학습량이 확보될 수 있도록 프레임마다 변화되는 암석의 형상을 정확하게 잡고, 불필요한 배경 픽셀은 라벨 처리된 박스 이미지에 들어가지 않도록 처리함(그림 17 참조). 신경망 학습을 위한 준비과정은 그림 18과 같음.
- 앞서 언급한 바와 같이 1차 연도의 암석 탈락 학습에 사용한 LH R-CNN(Light-Head Regions with CNN) 알고리즘은 큰 이미지에서 미세한 객체를 인식하기 위한 알고리즘인데 Class간 데이터 수의 차이가 크게 발생할 경우에 비대칭성 현상이 발생할 수 있음. LH R-CNN 알고리즘은 특징 추출 시 pre-train 모델에 기반하는데, pre-train 모델에 학습되지 않은 객체(암석)의 경우는 불확실한 특징을 추출할 가능성이 증가함. 2차 연도에 암석 활동에 대해 신규로 준비한 CNN 학습용 데이터세트의 수는 8,200개이지만, 1차 연도의 암석 탈락의 경우는 데이터세트의 수가 36,021개로 암석 활동에 비해 많아 LH R-CNN 알고리즘의 암석 활동 인식률이 저하되는 문제가 발생함(그림 19 참조).



(a) 주간환경의 암석 활동 라벨링



(b) 야간 강우환경의 암석 활동 라벨링

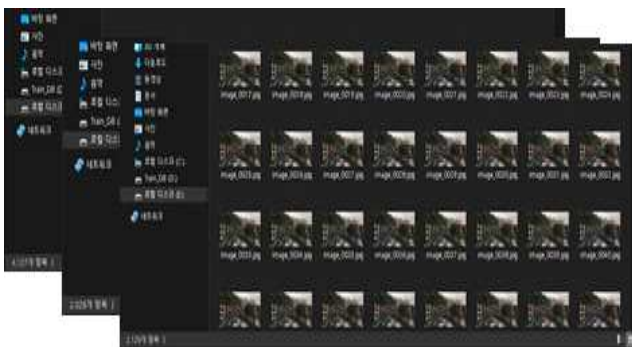


(c) IR(적외선) 강우환경의 암석 활동 라벨링

```
<object>
  <name>rocksliding</name>
  <pose>Unspecified</pose>
  <truncated>1</truncated>
  <difficult>0</difficult>
  <bndbox>
    <xmin>398</xmin>
    <ymin>301</ymin>
    <xmax>1280</xmax>
    <ymin>720</ymin>
  </bndbox>
</object>
```

(d) 암석 활동 라벨링 데이터 (XML 파일)

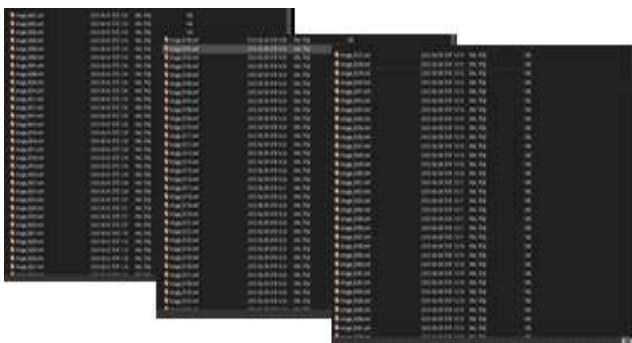
<그림 17> 신경망 학습을 위한 암석 활동 라벨링 작업



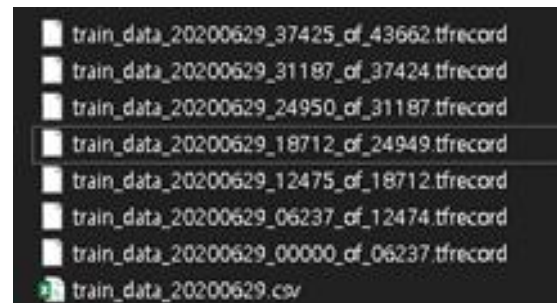
(a) 암석 활동 제작 영상에서 이미지 8,200개 추출



(b) 각 이미지별 암석 활동 영역 라벨링

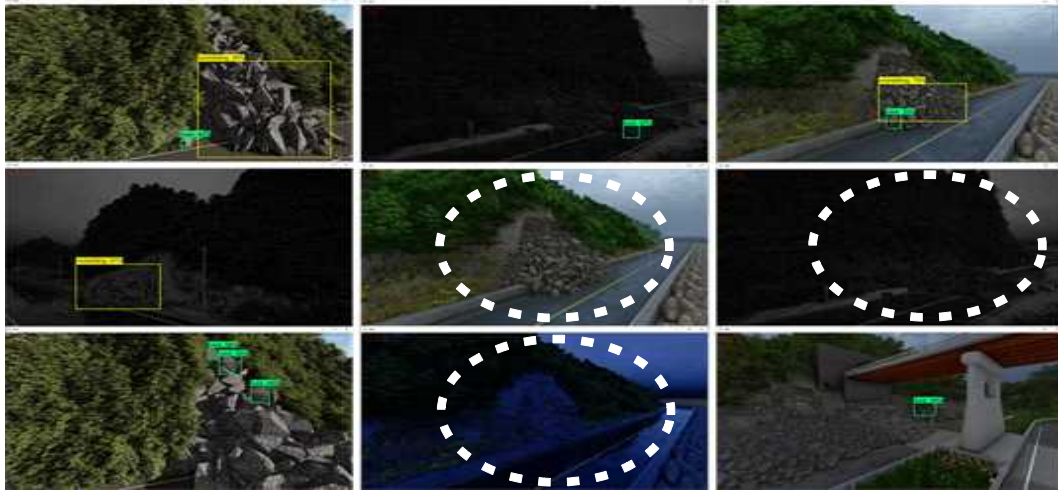


(c) 이미지별 GT 정보 데이터



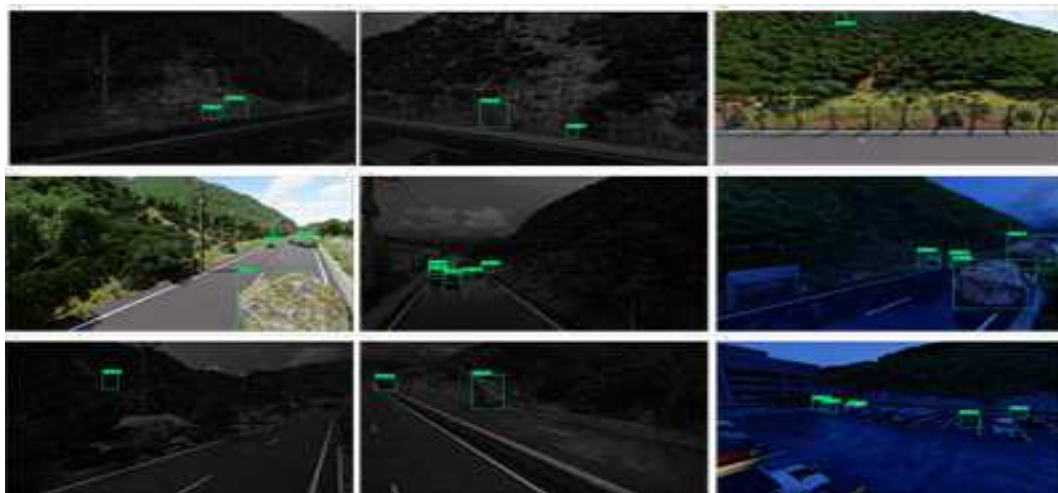
(d) 이미지와 GT 정보를 이용한 학습 모델 파일 생성

<그림 18> 신경망 학습 준비과정

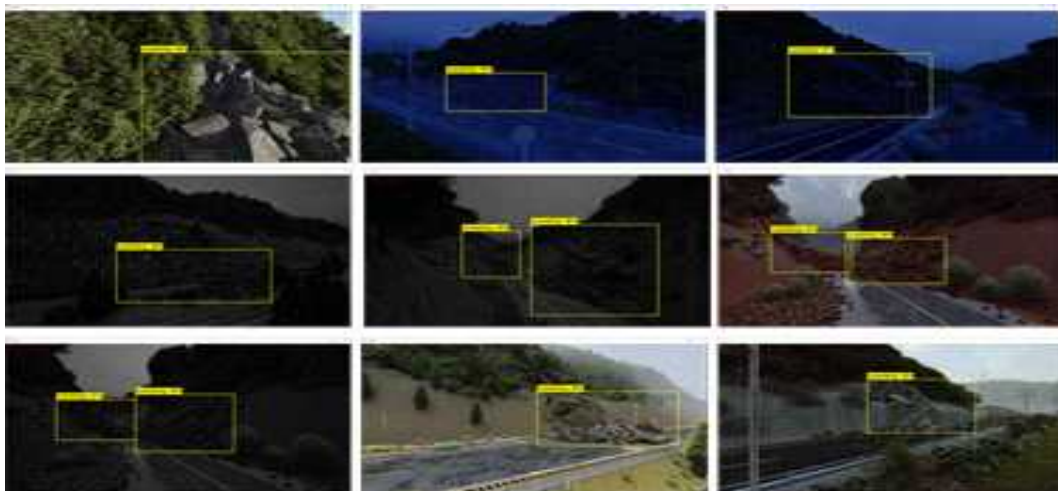


<그림 19> LH R-CNN 알고리즘의 암석 활동 인식을 저하 (점선의 원으로 표시한 경우는 암석 활동 자체를 인식 못함)

- 이러한 문제점을 해결하기 위해 2차년도에는 SSD(Single Shot MultiBox Detector) 기반 FPN(Feature Pyramid Network) 알고리즘[8-10]을 적용함. SSD에 기반한 one-stage 모델로서 pre-train 모델을 사용하지 않고 전체 모델에 대해 학습을 진행하며, FPN 알고리즘에 의해 Class간 불균등한 데이터 수에 기인하는 비대칭성을 해결함(그림 20 참조).



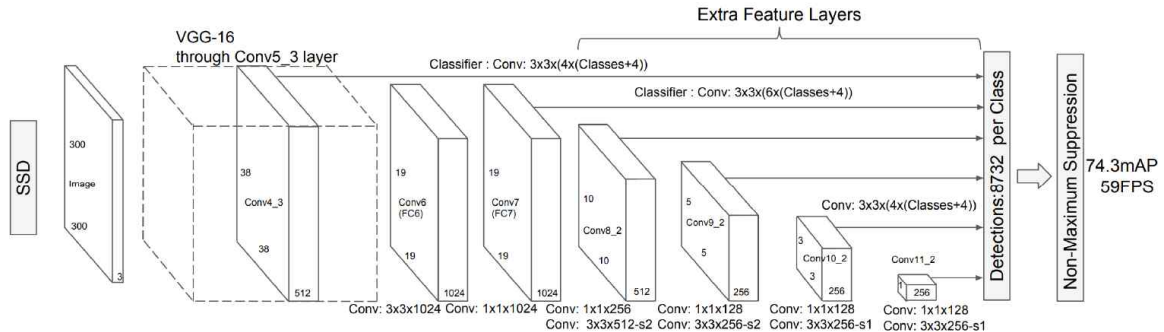
(a) 암석 탈락



(b) 암석 활동

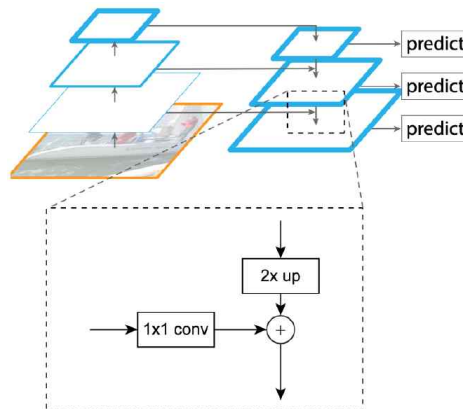
<그림 20> SSD_FPN 알고리즘에 의해 암석 탈락/활동 감지 정확도 향상

- 그림 21에 나타난 SSD(Single Shot MultiBox Detector) 모델은 One-stage detector에 해당하며, Localization과 Classification이 단일네트워크에서 진행됨. 한 장의 이미지를 학습함으로써 다양한 사이즈의 이미지에서 객체 감지가 가능하고, 다양한 이미지 사이즈의 분석을 위해 다음 그림과 같은 Pyramidal feature 계층을 적용함. 단일 이미지에서 모델을 통과하면서 spatial 사이즈가 축소되며, 추출된 모든 feature에서 객체 감지를 진행함.



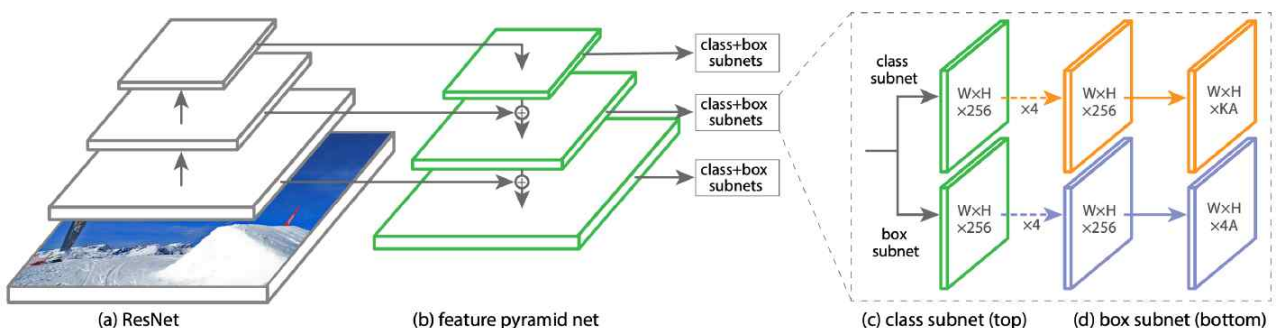
<그림 21> SSD (Single Shot MultiBox Detector) 모델 [9]

- 하지만, 크기가 작은 물체의 경우는 각각의 layer를 통과하면서 feature map 사이즈 및 차원이 축소되므로 feature가 사라지는 현상이 발생할 수 있으므로 이러한 문제를 해결하기 위해 Feature Pyramid Network 알고리즘이 제안됨. 그림 22와 같이 상위 layer에서 획득한 feature map과의 fusion을 통해 보다 강인한 feature를 이용할 수 있음.



<그림 22> Feature Pyramid Network 알고리즘의 feature fusion 방법 [8]

- SSD 기반 FPN 알고리즘은 SSD 모델의 단점인 상위 layer에서의 정보 사용 어려움을 FPN으로 보완한 것임. FPN에 의해 feature map을 생성한 후, 각 layer별로 SSD에서 사용하는 Detector와 Classifier를 사용하여 얻어진 결과값을 NMS(Non-Maximum Suppression)를 통해 최종 결과를 분석함(그림 23 참조).



<그림 23> SSD (Single Shot MultiBox Detector) 기반 FPN (Feature Pyramid Network) 알고리즘 [10]

- 암석 탈락 및 활동에 대해 제작/수집 영상을 이용하여 학습된 CNN의 성능 테스트를 자체적으로 진행하여 CNN 학습 오류를 보완함. 암석 탈락 및 활동에 대해 학습된 CNN에 대한 성능 테스트는 각각의 영상에 대한 산사태 감지결과 파일과 검증 자료인 GT(Ground Truth) 파일의 내용을 비교하는 방식으로 진행함. 개발 시스템의 결과 파일 및 GT 파일에는 각각 산사태 유형과 알람시작시간이 표시되므로 그림 24에 나타난 바와 같이 두 파일의 내용을 비교함으로써 산사태 감지 정확도를 평가할 수 있음. 알람시작시간은 오감지를 최소화하기 위해 인간이 시각적으로 산사태를 감지하는 순간에서부터 3초 경과 후에 알람이 작동하도록 시스템을 구성하였음. 참고로 배회, 침입, 유기, 방화 등을 영상 감시하는 지능형 CCTV 솔루션 성능시험·인증 업무를 담당하고 있는 한국인터넷진흥원(Korea Internet & Security Agency)에서도 이 연구와 동일하게 검증용 정보인 GT 파일을 이용하고 있음.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<KisaLibraryIndex>
  <Library>
    <Clip>
      <Header>
        <Filename>Rockslide01_night.mp4</Filename>
        <AlarmEvents>1</AlarmEvents>
      </Header>
    <Alarms>
      <Alarm>
        <StartTime>00:01:04</StartTime>
        <AlarmDescription>RockSliding</AlarmDescription>
      </Alarm>
    </Alarms>
  </Clip>
</Library>
</KisaLibraryIndex>
```

(a) 개발 시스템의 결과 파일

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<KisaLibraryIndex>
  <Library>
    <Clip>
      <Header>
        <Filename>Rockslide01_night.mp4</Filename>
        <AlarmEvents>1</AlarmEvents>
      </Header>
    <Alarms>
      <Alarm>
        <StartTime>00:01:04</StartTime>
        <AlarmDescription>RockSliding</AlarmDescription>
      </Alarm>
    </Alarms>
  </Clip>
</Library>
</KisaLibraryIndex>
```

(b) GT (Ground Truth) 파일

<그림 24> GT 파일을 이용한 감지 정확도 평가

- 공인시험기관에 의한 검증시험은 먼저 영상 스트리밍 중의 산사태 발생 및 알람을 시각적으로 확인하고, 개발 시스템의 결과 파일 및 GT 파일을 확인하는 방식으로 진행함. 공인시험기관에 의한 평가결과, 암석 탈락 및 활동 이벤트 감지 정확도가 90% 이상인 것으로 확인됨(그림 25 참조).

성적서번호 : KST-20-077 한국시험인증원 KOTCA	성적서번호 : KST-20-077 한국시험인증원 KOTCA															
3. 시험항목 별 시험방법 및 시험결과 3.1 산사태 감지 정확도 3.1.1 시험 목적 ○ 산사태 감지 정확도 측정 3.1.2 시험 절차 1) 시험대상제품 실행 2) 산사태 영상 파일 재생 - 산사태 영상 파일 • 산사태(슬라이딩) 영상파일 30개 • 산사태(암석탈락) 영상파일 30개 3) 영상 재생 중 산사태가 감지되면 '암석 탈락 감지' 경고 화면 캡처 4) 캡처된 화면을 분석하여 산사태 여부 확인	4. 시험결과에 따른 판정결과 씨티씨(주)에서 KOTCA에 시험 의뢰한 'CTC 산사태 감지 솔루션 프로그램 v1.4.0'에 대한 시험결과에 따른 판정결과는 다음과 같다. <table> <tr> <th>구분</th><th>시험항목</th><th>시험결과</th><th>판정기준</th><th>판정결과</th></tr> <tr> <td>1</td><td>산사태 감지 정확도</td><td>100%</td><td>90% 이상</td><td>Pass</td></tr> <tr> <td>2</td><td>산사태 알람전송 시간</td><td>3.448초</td><td>15초 이하</td><td>Pass</td></tr> </table>	구분	시험항목	시험결과	판정기준	판정결과	1	산사태 감지 정확도	100%	90% 이상	Pass	2	산사태 알람전송 시간	3.448초	15초 이하	Pass
구분	시험항목	시험결과	판정기준	판정결과												
1	산사태 감지 정확도	100%	90% 이상	Pass												
2	산사태 알람전송 시간	3.448초	15초 이하	Pass												

(a) 시험 목적 및 절차

(b) 공인시험기관 성적서

<그림 25> 암석 탈락/활동 감지 정확도에 관한 공인시험기관 평가결과

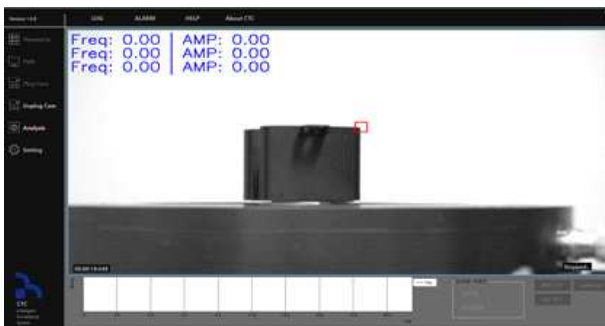
○ 분산형 영상분석 시스템 2차 제작

- 딥러닝 기반 산사태 감지를 위해 IP 카메라를 통해 영상이 수집되는데, IP 카메라를 구성하는 렌즈의 사양은 표 3과 같음. 렌즈의 포맷 크기(format size)와 초점거리(focal length)를 각각 1/3inch, 8mm로 설정하고, IP 카메라를 감시대상 사면으로부터 약 30m 정도 이격시켜 설치하면 250m² 정도의 면적을 1대의 IP 카메라로 감시할 수 있음. 따라서, 감시대상 면적이 2,000m²인 경우는 8대의 IP 카메라 설치가 필요함.

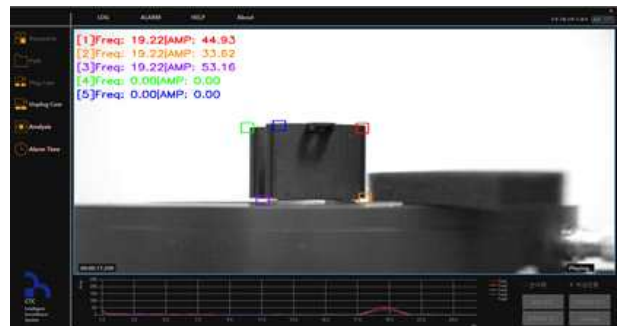
<표 3> IP 카메라 렌즈 사양

Items		Specifications
Format size		1/2, 1/3" format
Focal length		8~48 mm
Maximum aperture ratio		1:1.0~1.2
Iris range		1.0~22
Mount		C
Horizontal angle of view	1/4" format	24.9~4.4°
	1/3" format	33.0~5.8°
	1/2" format	43.3~7.7°
	2/3" format	-
Minimum object distance		0.75 m
Back focal length		13.65 mm
Filter size		55 P=0.75 mm
Dimensions		φ57×95 mm
Weight		430 g
Remarks		Manual Iris, Lock screws

- 고속카메라 영상에서 획득되는 픽셀 데이터에 대한 실시간 FFT(Fast Fourier Transform) 분석을 진행하여 진동체의 주파수를 즉시 확인할 수 있는 기능을 1개 포인트에서 5개 포인트로 고도화였으며, 이에 대해 공인시험기관으로부터 확인을 받음(그림 26, 그림 27 참조). 또한, 시간 영역에서 주파수 영역으로 변환하는 FFT 분석에 사용되는 데이터의 window size가 주파수 해상도 및 Nyquist frequency에 영향을 미침. 1차 연도에는 고정된 크기의 window size를 사용하여 분석하였는데, 카메라 영상의 경우는 PC 성능 및 구동 프로그램에 따라 초당 획득되는 이미지의 프레임 수(FPS(frames per sec))가 달라질 수 있어 FFT 분석결과와 정확도가 저하될 가능성이 있음. 따라서, 2차 연도에는 카메라 영상으로부터 획득되는 FPS를 계산하고 이에 맞는 적절한 window size를 적용함으로써 1차 연도 보다 정확한 주파수 분석이 가능함(그림 28 참조). IP 카메라 연결 대수는 1대에서 4대로 확장하였으며, 기타 영상분석 프로그램의 UI/UX를 개선함.



(a) 1차 연도 (1개 포인트 진동 측정)



(b) 2차 연도 (5개 포인트 진동 동시측정)

<그림 26> 연차별 진동 측정 포인트 수

3.4 표층진동 측정 기능

3.4.1 시험 목적

- 5개의 표층진동 값과 그래프 출력 확인

3.4.2 시험 절차

- 1) 표층진동 촬영 카메라와 시험대상제품 연결
- 2) 표층진동 촬영 카메라로 표층진동 대상물체 촬영
- 3) 시험대상제품 화면에서 5개의 ROI 설정
- 4) 표층진동 대상물체에 진동 발생
- 5) 시험대상제품 화면에서 설정한 5개의 ROI의 값과 그래프가 출력되는지 확인

4. 시험결과에 따른 판정결과

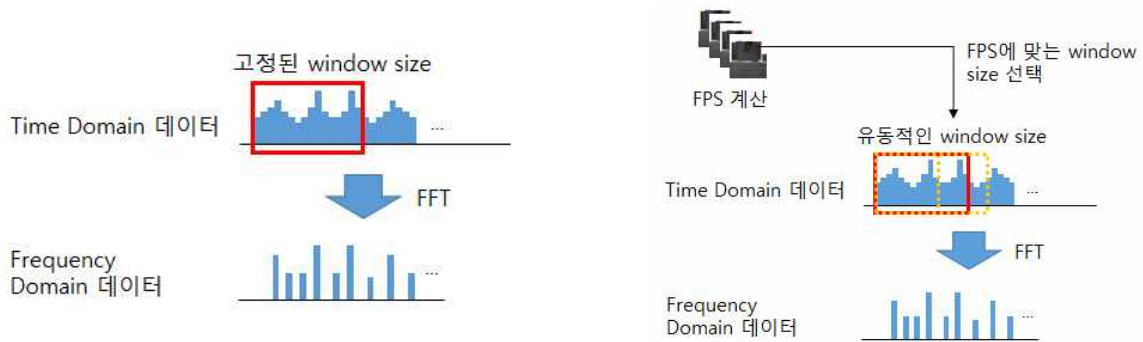
씨티씨(씨)에서 KOTCA에 시험 의뢰한 'CTC 산사태 감지 솔루션 프로그램 v1.4.0'에 대한 시험결과에 따른 판정결과는 다음과 같다.

구분	시험항목	시험결과	판정기준	판정결과
4	표층진동 측정 기능	5개의 표층진동 값과 그래프가 출력됨	5개의 표층진동 값과 그래프 출력	Pass

(a) 시험 목적 및 절차

(b) 공인시험기관 성적서

<그림 27> 5개소 진동 동시측정에 관한 공인시험기관 평가결과

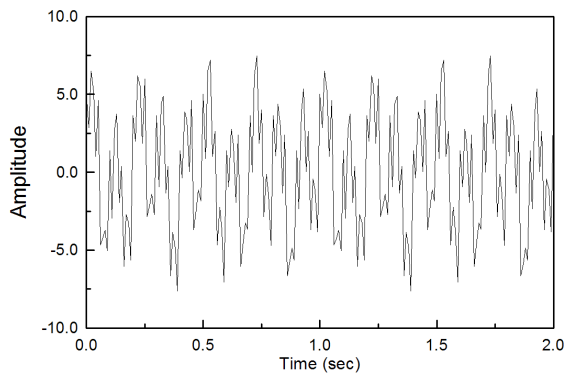


(a) 1차 연도 연구 (고정된 window size 사용)

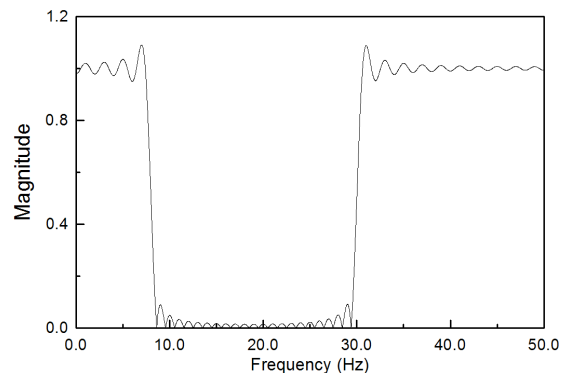
(b) 2차 연도 연구 (유동적인 window size 사용)

<그림 28> 진동분석 결과 개선

- 고속카메라로부터 획득되는 영상에는 산사태와 무관하게 감시 시스템 인근을 통행하는 교통하중 등에 의한 진동 및 바람 등의 자연현상에 의한 진동 성분도 포함될 개연성이 있음. 교통하중 및 바람 등에 의해 유발되는 개발 시스템 진동의 주파수 특성은 개발 시스템을 구성하는 지주의 고유진동수에 해당하므로 신호처리를 통해 배제할 수 있음. 그림 29는 대역 저지 필터(band stop filter)를 사용하여 특정 주파수 대역의 진동 성분을 제외시킨 예를 나타냄. 따라서, 개발 시스템 지주의 고유진동수에 해당하는 진동 성분을 대역 저지 필터로 제외시키면 산사태에 의해 유발되는 진동만을 고속카메라를 통해 획득할 수 있음.

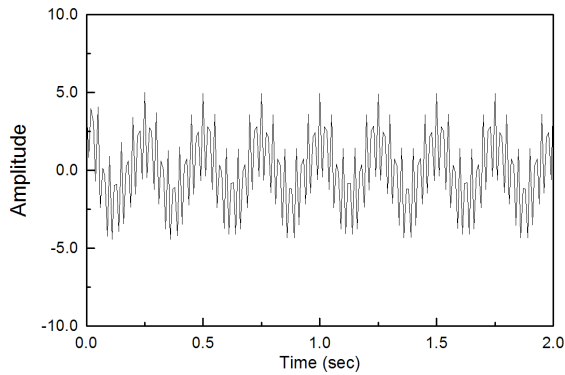


(a) 4, 10, 25, 40Hz의 주파수를 갖는 진동신호

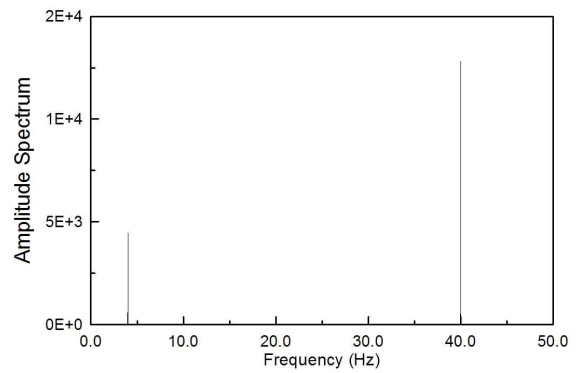


(b) 8~30Hz 대역 저지 필터

<그림 29> 대역 저지 필터에 의한 신호처리 예 (계속)



(c) 대역 저지 필터에 의해 필터링된 진동신호



(d) 필터링된 진동신호의 주파수 특성

<그림 29> 대역 저지 필터에 의한 신호처리 예

○ 알람 전송, 원격 제어용 게이트웨이 2차 개발

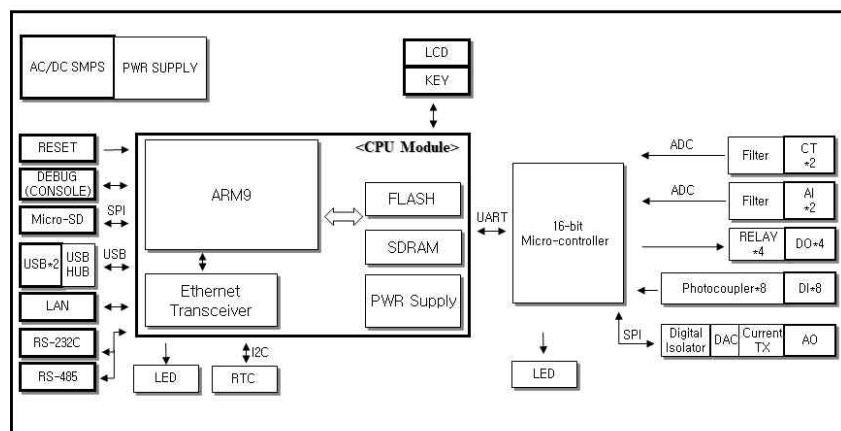
- 개요

- 1차 연도에 제작된 게이트웨이의 성능을 개선하여 2차 개발함.
- 2차 연도에서는 3G/LTE 무선 통신망을 이용하여 외부에서 현장의 장비의 상태 또는 현장의 영상 및 이미지를 실시간으로 모니터링하고, 현장 장비의 전원을 제어할 수 있는 기능을 제공하며, 현장 영상 카메라의 저조도 시 시계 확보를 위하여, 적외선 램프 또는 고휘도 LED 등의 조명을 원격으로 제어할 수 있는 기능을 제공함.
- Server-less 환경에서 사용자의 PC나 스마트폰 등에서 IoT 게이트웨이에 접속하여 감시 및 제어하기 위하여, 게이트웨이에 내장된 간이 웹 서버를 개선함.
- 문자 메시지 전송 기능의 성능 향상 및 제어 기능 향상을 위하여 내부 펌웨어의 전송 알고리즘 및 제어 알고리즘을 개선함.
- 1차 연도에 20초를 목표로 하였던 제어 및 문자 메시지 전송 기능을 평균 15초 이내로 목표로 개발하였음.

- IoT 게이트웨이 하드웨어

- IoT 게이트웨이는 ARM CPU 모듈을 중심으로 하여 감지기와의 연동 또는 시설물 제어를 위한 다양한 입출력 포트와 다양한 외부장비 등과 통신하기 위한 통신 포트를 내장하고 있으며, 사용자의 조작 편의성을 위하여 LCD 및 키패드, RTC 등을 내장하고 있음.
- IoT 게이트웨이의 ARM CPU 모듈은 참여기관에서 기 개발한 제품을 사용함.

<IoT Gateway Block Diagram>



<그림 30> IoT Gateway Block Diagram



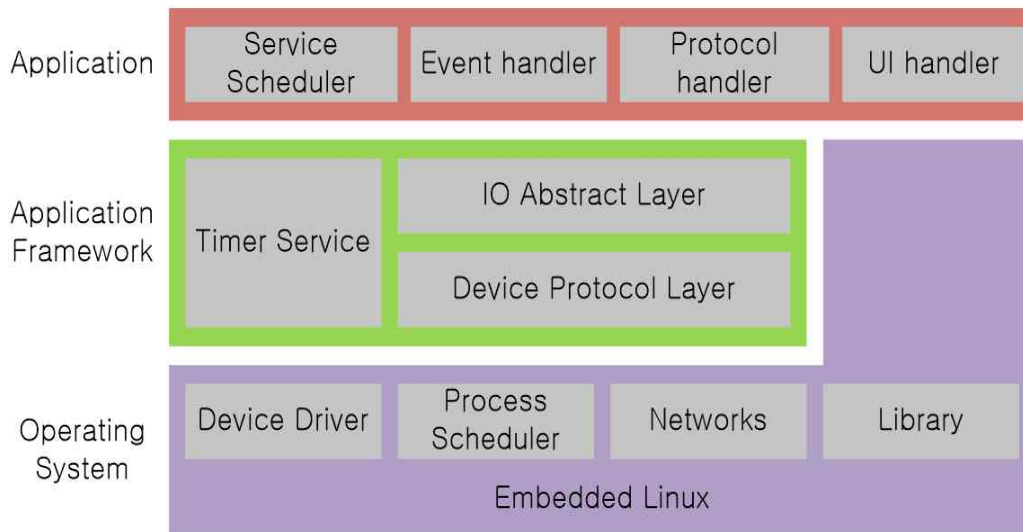
<그림 31> 개발된 IoT Gateway 사진

<표 4> USN 게이트웨이 하드웨어 사양

항 목	내 용
MCU 모듈	- AT91SAM9260 CPU (ARM9, 200MHz) - 32MB RAM - 256MB FLASH memory
IO 전용 마이컴	- MSP430F4784 (MSP430 16bit micom, 16MHz) - 2KB RAM - 48KB + 256B Flash memory
사용자 인터페이스	- 128x64 dot-matrix graphic LCD - 4 keypad - Operation LED
I/O	- 8-ch D.C (Dry-contact) - 4-ch D.O (Max 30V/5A DC) - 2-ch A.I (4~20mA) - 2-ch CT (0~5A) - 2-ch A.O (4~20mA)
통신 모듈	- 외부 유무선 게이트웨이 - 외부 장치 무선 통신용 LPWAN 모뎀 (USB, optional)
통신 포트	- Ethernet (100Mbps) - USB(Full-speed) x 2 - micro-SD card 슬롯 - RS-232C x 1 - RS-485 x 1 - DEBUG x 1
기타	- 백업 배터리가 장착된 RTC (Real-Time-Clock)
소비 전류	- 220V 50mA

- IoT 게이트웨이 소프트웨어

- IoT 게이트웨이는 임베디드 리눅스 시스템을 기반으로 하여, 타이머 서비스 및 각종 디바이스들에 대한 IO 추상화 계층, 센서 값을 수집하고 이에 대한 실시간 이벤트를 발생시키는 서비스 스케줄러, 임베디드 웹서비스와 통신하여, 원격 전원 장치에 On/Off 명령을 전달하는 프로토콜 핸들러, 정기적으로 또는 이벤트가 있을 경우 등록된 사용자에게 문자 메시지를 전송하는 역할을 담당하는 이벤트 핸들러, LCD 장치의 UI를 처리하는 UI 핸들러 등으로 구성되어 있음.



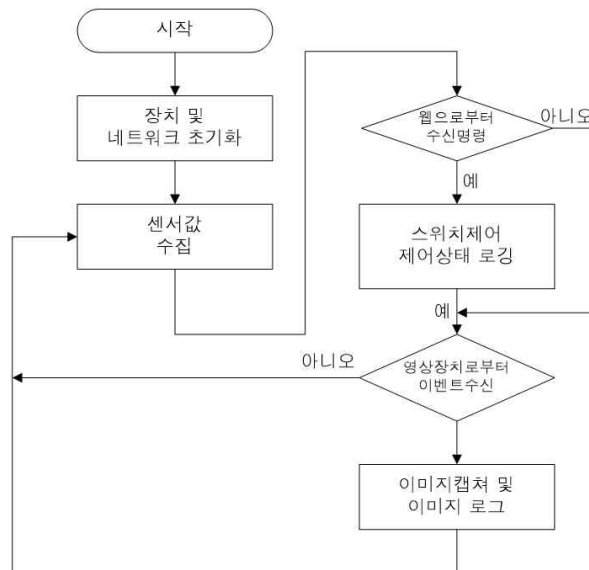
<그림 32> IoT 게이트웨이 SW 구조

<표 5> USN 게이트웨이 소프트웨어 기능

항 목	내 용
Linux kernel	- 임베디드 리눅스 (3.10.x)
Application Framework	- 애플리케이션에 각종 타이밍 관련 서비스를 제공하는 타이머 서비스 - 각종 센서 장비와 통신하여 센서값을 수집하고, 제어 장치에 제어 요청을 하는 디바이스 프로토콜 핸들러 - 각종 센서 디바이스들에 대한 입출력 방법을 단일화하여 다양한 센서 장치에 대한 애플리케이션의 접근을 간단하게 해주며, 향후 센서 장치 추가나 변경에도 유연하게 대비할 수 있도록 해주는 입출력 추상화 계층 (IO Abstract layer)
Application	- 각종 센서 장비로부터 센서값을 수집하고 임계치와 비교하여 이벤트를 발생시키며, 센서값을 정기적으로 로깅하여 저장하는 스케줄러 - 웹 서버로부터 수신되는 명령을 처리하여 원격 전원 장치를 On/Off 시키는 프로토콜 핸들러 - 정기적으로 또는 이벤트가 있을 경우, 등록된 사용자에게 문자 메시지를 전송하는 역할을 담당하는 이벤트 핸들러 - LCD 장치의 UI를 처리하는 UI 핸들러

- IoT 게이트웨이 동작

- IoT 게이트웨이는 초기 시작 시, 장치 및 네트워크를 초기화하고 자체 센서 인터페이스로부터 센서 값을 주기적 또는 실시간으로 수집함.
- IoT 게이트웨이는 웹 명령 인터페이스로부터 명령을 수신받아 지정된 전원 출력을 제어하며, 상태 값을 웹 인터페이스에게 전달함.
- IoT 게이트웨이는 영상 분석 장치로부터 요청을 받아서 사용자에게 긴급 이벤트 상황을 알리는 문자 메시지를 전송하며, 요청 시의 이미지를 영상 장치로부터 읽어 들여 향후 사용자가 임베디드 웹에 접속하여 이벤트 발생 시의 이미지를 확인 할 수 있도록 함.
- 문자 메시지 전송의 성능 향상을 위하여 내부에 전송 큐를 구현하고, 긴급한 메시지부터 처리하도록 성능 개선함.
- 제어 성능 향상을 위하여 실시간 제어 요청이 들어오면 해당 요청을 먼저 실행할 수 있도록 알고리즘을 개선함.



<그림 33> IoT 게이트웨이 동작 순서도

- IoT 게이트웨이 웹 연동 통신 프로토콜

- IoT 게이트웨이의 실행 프로세스와 웹과의 연동은 UDS(Unix Domain Socket)을 통하여 이루어지며, 메시지 포맷은 웹상에서 표준으로 사용되고 있는 JSON(JavaScript Object Notation) 포맷을 이용함.
- 메시지 포맷은 표 6과 같음.

<표 6> 메시지 포맷

Tag	유효값 <예제>	설명
"time"	"time": "2016-11-22T12:12:35+09:00"	게이트웨이의 현재 시간을 읽거나 설정함
"title"	"title": "원격스위치제어기"	게이트웨이의 이름을 읽거나 변경함
"sw:"	"sw": ["off", "off", "on", "off"]	게이트웨이의 스위치 상태를 읽음
	"sw": {"idx": 1, "ctrl": "on"}	개별 또는 전체 (idx:0) 스위치를 제어함

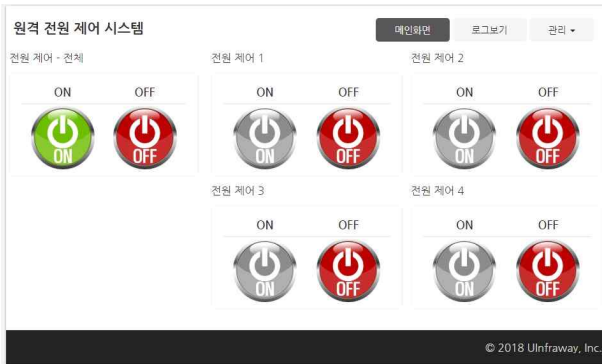
- IoT 게이트웨이 임베디드 웹

- IoT 게이트웨이의 임베디드 웹은 사용자의 PC 또는 스마트폰에서 IoT 게이트웨이로 직접 접속하여, 스위치를 On/Off하며 발생된 이벤트를 모니터링하고 로깅된 이미지를 확인할 수 있도록 구성되어 있음.
- IoT 게이트웨이를 처음 접속하면 로그인 화면이 나오는데, 미리 지정된 ID와 Password를 입력하여 로그인함.

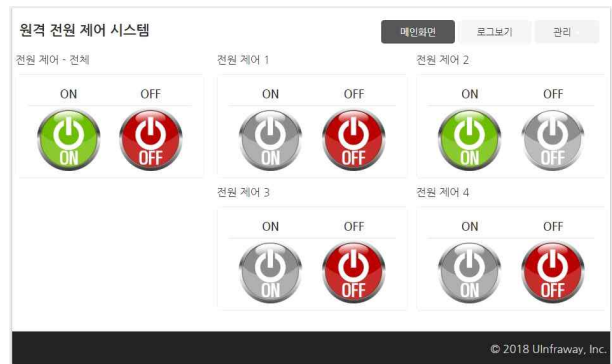


<그림 34> 로그인 화면

- 메인 화면에서는 각 개별 스위치 상태를 확인할 수 있으며, 각 개별 스위치를 On/Off할 수 있는 기능과 전체 스위치를 On/Off할 수 있는 기능을 제공함.



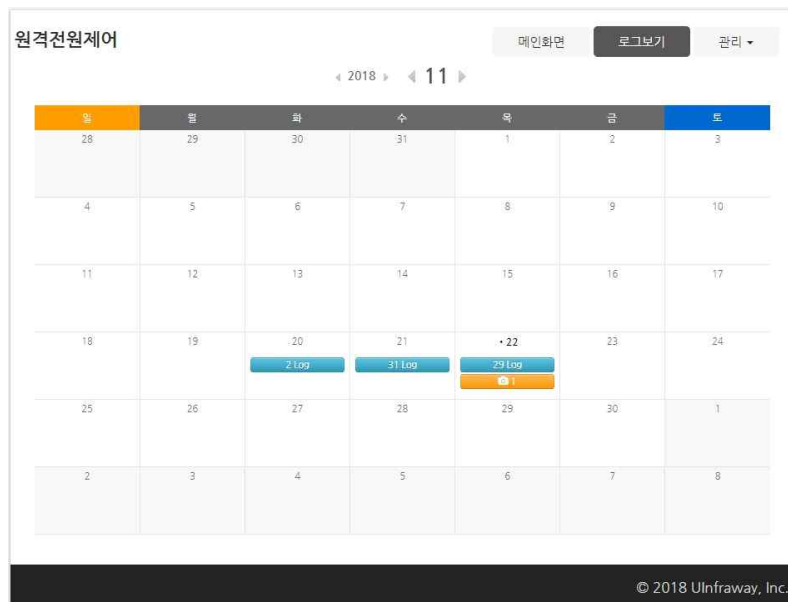
(a) 메인 화면



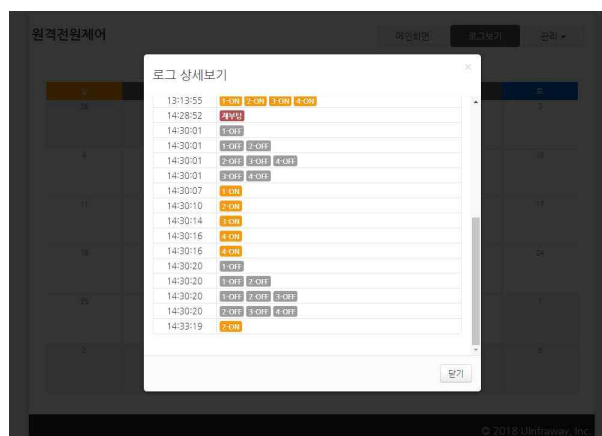
(b) 메인 화면 (2번 스위치 ON)

<그림 35> 임베디드 웹 화면

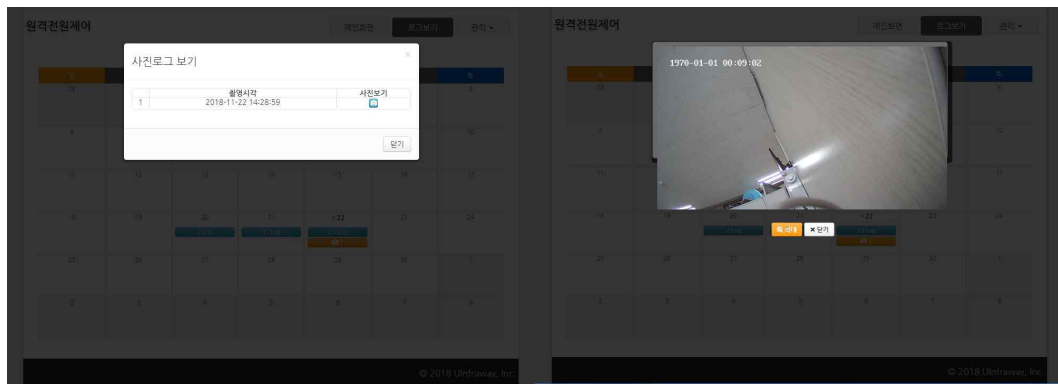
- 로그 보기 메뉴에서는 스위치를 On/Off한 로그를 확인할 수 있고, 영상 감시 장치로부터 이벤트 요청을 받았을 때에 캡처한 이미지를 확인할 수 있음.



<그림 36> 로그보기 메뉴



<그림 37> 스위치 동작 로그 보기



<그림 38> 이미지 로그 보기

- 관리 메뉴에서는 카메라의 네트워크 주소 및 사용자의 ID/Password 등을 변경할 수 있으며, IoT 게이트웨이를 재시작할 수 있는 기능을 제공함.

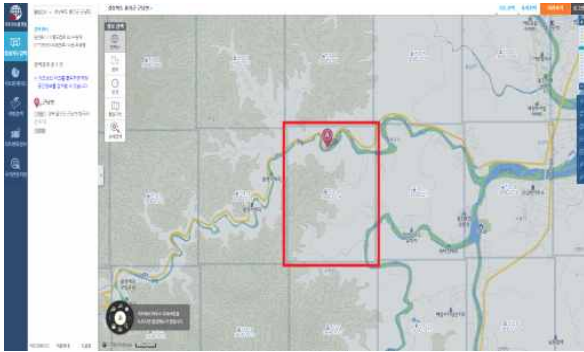


<그림 39> 관리 메뉴

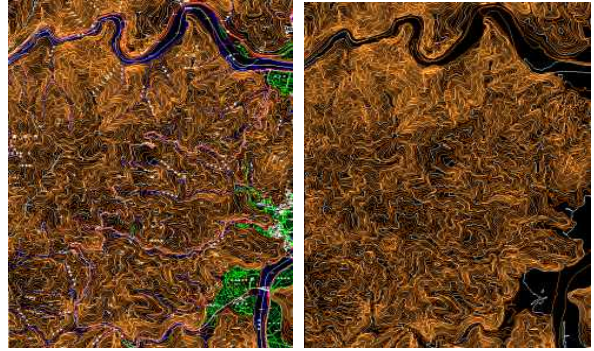
8) 3차 연도 연구내용

○ 딥러닝 학습용 영상 DB 3차 제작/구축

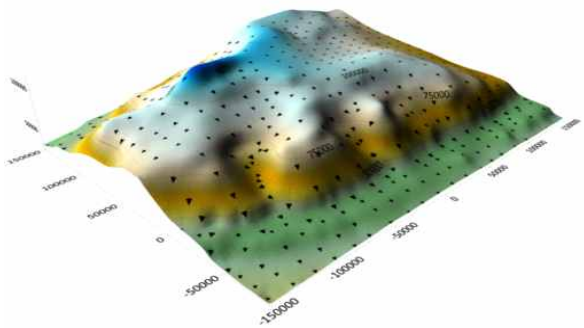
- 3차 연도의 연구대상 산사태 유형은 1차 및 2차 연도의 탈락(fall)과 활동(sliding)에 전도(topple), 퍼짐(spread) 및 유동(flow)이 추가되어 총 5가지임. 전도, 퍼짐 및 유동에 대한 각각의 발생특성을 고려하여 지형을 정하고, 국토정보지리원 국토정보플랫폼[5]에서 제공하는 수치지형도(DXF 파일)를 바탕으로 대상 지형의 3D Surface 데이터를 생성함. 3D Surface 데이터를 토대로 3D 지형을 생성한 후, 지형 위에 암석 또는 토사 등을 배치한 후, 실제 전도, 퍼짐 및 유동과 유사하게 모델링 작업을 진행함(그림 40 참조).



(a) 국토지리정보원 1:5,000 수치지형도 확인



(b) 1:5,000 수치지형도 편집



(c) 3D 지형 생성을 위한 3D Surface 데이터 작성



(d) 3D 지형 모델링 (수목, 시설물, 자동차 등)



(e) 전도 모델링



(f) 퍼짐 모델링

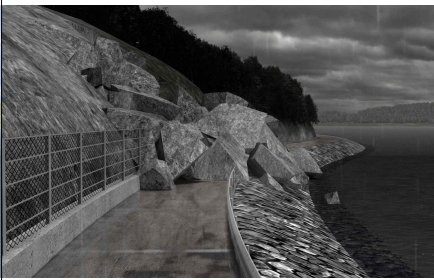
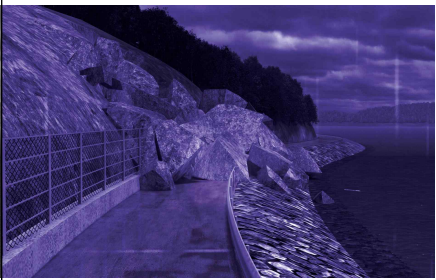
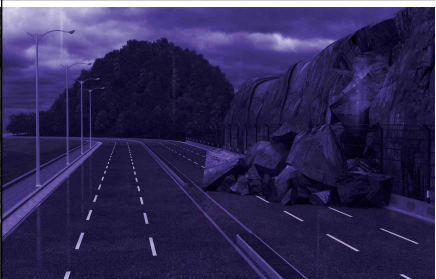
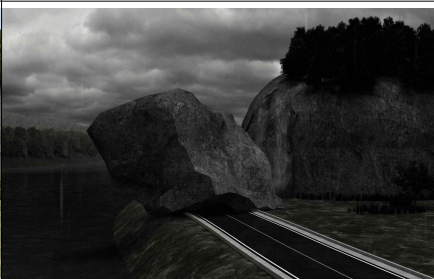
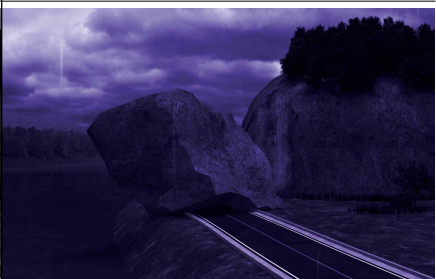
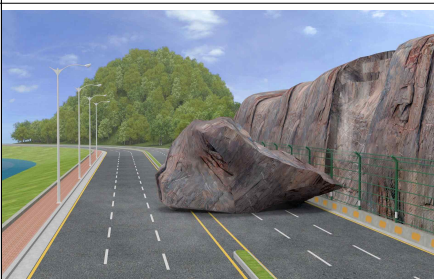
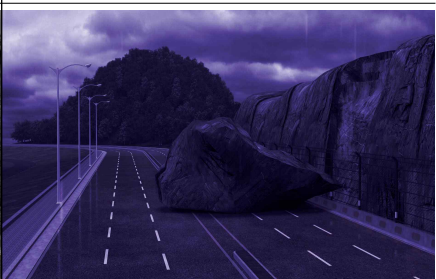


(g) 유동 모델링

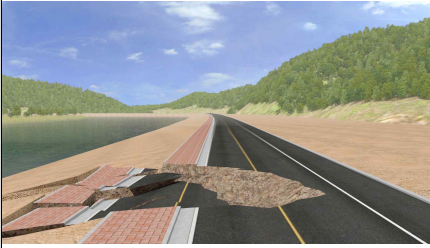
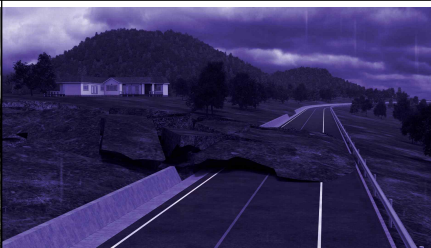
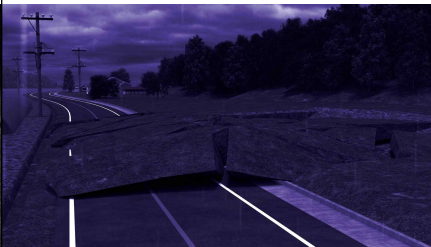
<그림 40> 딥러닝 학습용 3D 영상 (전도, 퍼짐, 유동) 제작 과정

- 주간 영상으로만 딥러닝 학습을 진행하면 야간환경과 강우환경의 인식률이 현저히 떨어지고, 오감지율이 증가함. 따라서, 이 연구에서는 주간, 야간 강우, IR(적외선) 강우 환경을 고려하여 전도 영상 57개, 퍼짐 영상 63개, 유동 영상 72개(FHD 1920×1080, 30 FPS)를 제작하였음(표 7~표 9 참조). 제작된 3D 전도, 퍼짐 및 유동 영상에서 생성한 스틸컷 이미지(FHD 1920×1080) 수량은 표 10과 같음.
- 3D 제작 영상에 강우 조건을 적용한 것은 초저조도에 가까운 환경을 상정하기 위한 것임. 3D 제작 영상의 강우 환경은 디지털 모션 그래픽 소프트웨어인 After Effects(Adobe사)를 이용한 시각적인 특수효과(VFX, visual effect)에 의해 시뮬레이션된 것이므로 실제 강우 환경을 정확히 재현하지 못하는 한계가 있지만 연구목적에 충분히 부합하는 효과를 얻을 수 있음.

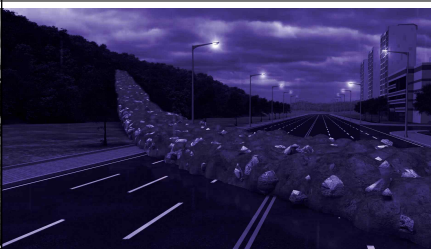
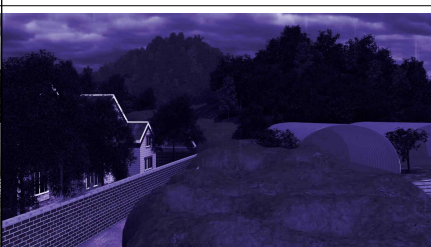
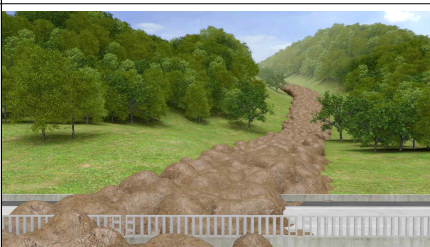
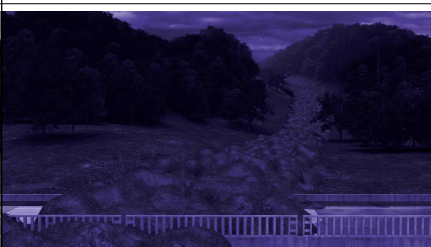
<표 7> 딥러닝 학습을 위해 제작한 3D 전도 영상/이미지

No.	주간	야간 강우	IR(적외선) 강우
1 — 2 — 3			
4 — 5 — 6			
7 — 8 — 9			
		... 중략 ...	
51 — 52 — 53			
54 — 56 — 57			

<표 8> 딥러닝 학습을 위해 제작한 3D 퍼짐 영상/이미지

No.	주간	야간 강우	IR(적외선) 강우
1 — 2 — 3			
4 — 5 — 6			
		... 종락 ...	
61 — 62 — 63			

<표 9> 딥러닝 학습을 위해 제작한 3D 유동 영상/이미지

No.	주간	야간 강우	IR(적외선) 강우
1 — 2 — 3			
4 — 5 — 6			
		... 종락 ...	
70 — 71 — 72			

<표 10> 3D 제작 영상으로부터 생성한 스틸컷 이미지 수량

구분	전도	퍼짐	유동	합계
스틸컷 수량	2,845	2,708	2,997	8,550

- 3D 모델링을 통해 제작된 영상은 다소 부자연스러워 현실감이 저하되는 문제가 있으므로 이를 보완하기 위해 동영상 서비스 플랫폼에서 실제 산사태 영상을 검색하여 다운로드하였음. 산사태 유형별 다운로드 파일의 수량은 다음 표 11과 같으며, 다운로드된 실제 산사태 영상은 딥러닝 학습 및 개발시스템 검증을 위한 인증시험에 활용하였음. 5가지 산사태 유형 중 전도와 퍼짐 영상의 비율이 다소 낮은 것은 발생빈도가 다른 유형에 비해 상대적으로 적기 때문임. 다운로드된 실제 산사태 영상에서 생성한 스틸컷 이미지의 예를 그림 41에 나타내었음.

<표 11> 실제 산사태 영상 수량

구분	탈락	활동	전도	퍼짐	유동	합계
다운로드 파일 수량	11	30	5	1	19	66
비율 (%)	16.7	45.5	7.6	1.5	28.7	100.0



(a) 탈락



(b) 활동



(c) 전도



(d) 퍼짐



(e) 유동

<그림 41> 실제 산사태 영상의 이미지 일례

- 3D 제작 영상과 실제 영상 외에 현장 테스트 및 mock-up 테스트를 통해 산사태를 모사한 영상 제작계획이 2차 연도(2020) 연차실적계획서에 수록되어 있음. 단, 현장 테스트 영상은 공공기관의 테스트베드 섭외가 가능한 경우이고, mock-up 테스트 영상(퍼짐 제외)은 연구에 활용 가능한 수준의 결과물이 얻어지는 경우라는 단서조항이 있음.
- 현장 테스트용 테스트베드를 확보하기 위해 스마트시티 실증도시(대구광역시 소재)의 재난/안전분야에 개발시스템의 설치를 신청하였으나 선정되지 못해 현장 테스트는 부득이하게 실시하지 못함.
- mock-up 테스트를 위해 모래, 흙, 자갈 및 모형 수목 등을 이용하여 경사지를 모형화하고, 실험을 진행함. mock-up 테스트는 탈락, 활동, 전도 및 유동에 대해 각각 3회씩 실시하였음. mock-up 테스트 영상에서 생성한 스틸컷 이미지의 예를 그림 42에 나타내었음.



(a) 탈락 (야간)



(b) 활동 (주간)



(c) 전도 (야간)



(d) 유동 (주간)

<그림 42> mock-up 테스트 영상의 이미지 일례

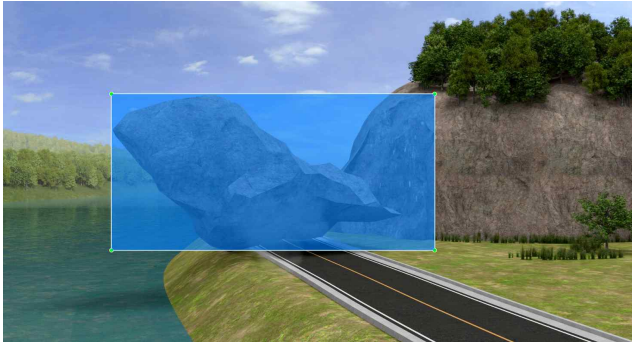
○ 딥러닝 기반 산사태 감지 모듈 3차 제작

- 딥러닝 기반 산사태(탈락, 활동, 전도, 퍼짐, 유동) 감지 모듈 제작을 위한 기초작업으로서 3D 제작 영상, 실제 영상 및 mock-up 테스트 영상으로부터 스틸컷 이미지를 생성하고 라벨링 작업을 진행하였음. 라벨링 작업에 사용된 스틸컷 이미지 수량은 표 12와 같고, 총 수량은 29,812임. 표 12에서 탈락 및 활동에 대한 3D 제작 스틸컷 이미지는 1차 및 2차 연도에 기 작업된 것(탈락 36,021개, 활동 8,200개)의 일부를 활용하였음.
- 계획된 스틸컷 이미지와 3D 제작 영상의 총 수량은 각각 30,000개와 300개인데, 1차~3차 연도에 걸쳐 누적된 실적은 스틸컷 이미지 66,069개(탈락 39,332개, 활동 11,493개, 전도 5,766개, 퍼짐 2,708개, 유동 6,770개, 실적/계획=220.2%), 3D 제작 영상 342개(실적/계획=114.0%)이므로 계획한 수량을 만족함.

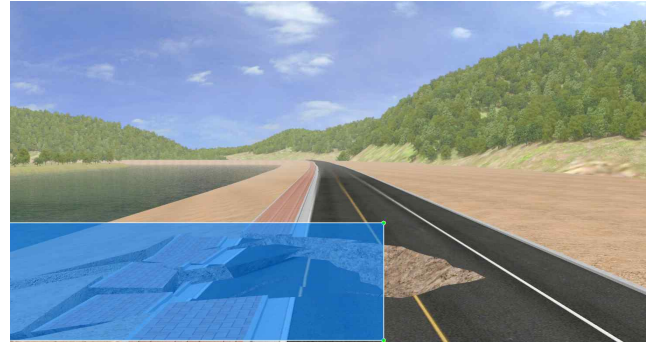
<표 12> 라벨링 작업에 사용된 스틸컷 이미지 수량

구분		탈락	활동	전도	퍼짐	유동	합계
3D 제작	영상	75	75	57	63	72	342
	스틸컷	3,940	4,024	2,845	2,708	2,997	16,514
실제	영상	6	16	4	0	11	37
	스틸컷	2,275	2,123	1,806	0	2,502	8,706
mock-up 테스트	영상	3	3	3	0	3	12
	스틸컷	1,036	1,170	1,115	0	1,271	4,592

- 29,812개의 스틸컷 이미지 안의 이벤트 형상을 신경망이 학습할 수 있도록 각 이미지별 활동 영역에 대한 라벨링 작업을 진행함. 충분한 학습량이 확보될 수 있도록 프레임마다 변화되는 형상을 정확하게 잡고, 불필요한 배경 픽셀은 라벨 처리된 박스 이미지에 들어가지 않도록 처리함(그림 43 참조). 스틸컷 이미지를 딥러닝 학습 및 검증 시 사용하기 위해 학습용 데이터와 자체 검증용 데이터를 9:1의 비율로 나누었으며, 신경망 학습을 위한 준비과정은 그림 44와 같음.



(a) 전도 라벨링



(b) 퍼짐 라벨링

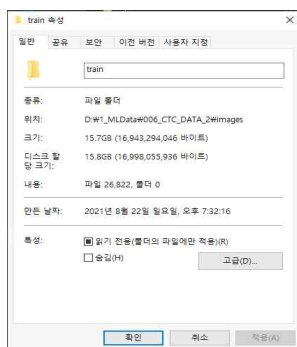


(c) 유동 라벨링

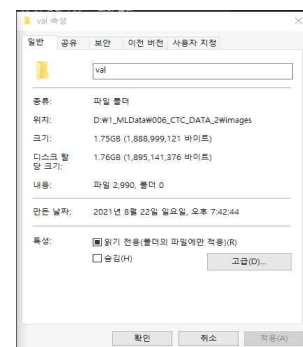


(d) 라벨링 데이터 (XML 파일)

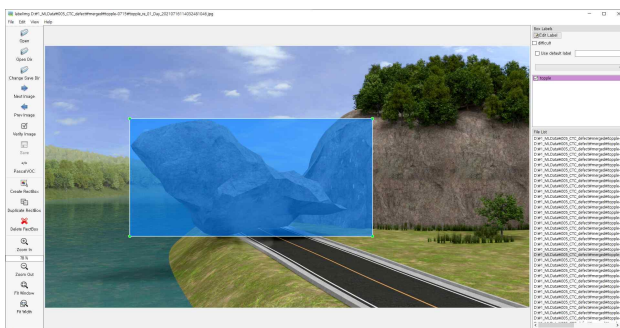
<그림 43> 신경망 학습을 위한 라벨링 작업



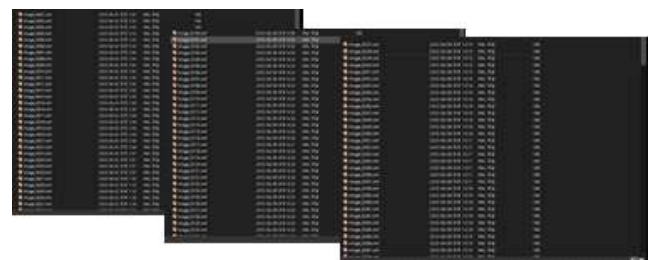
(a) 딥러닝 학습용 이미지 26,882개 준비



(b) 자체 검증용 이미지 2,990개 준비



(c) 이미지별 산사태 영역 라벨링

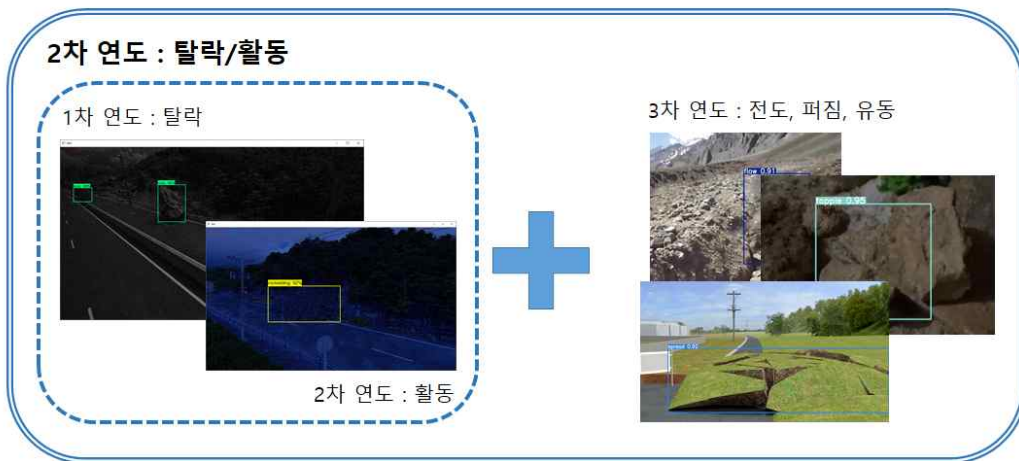


(d) 이미지별 GT 정보 데이터

<그림 44> 신경망 학습 준비과정

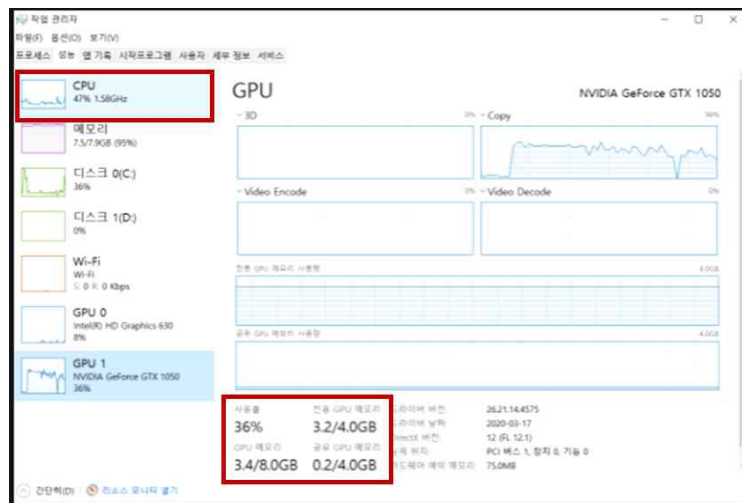
- 이 연구에서 대상으로 하는 산사태 유형은 1차 연도에 탈락, 2차 연도에 탈락/활동 그리고 3차 연도에 탈락/활동/전도/퍼짐/유동임(그림 45 참조). 1차 연도에는 LH R-CNN(Light-Head Regions with CNN) 알고리즘[7]을 이용하여 탈락을 학습시켰으나, 2차 연도에는 탈락에 활동이 추가되었는데 학습에 사용된 데이터 수량(탈락 36,021개, 활동 8,200개)의 차이에 의한 비대칭성을 해결하기 위해 SSD(Single Shot MultiBox Detector) 기반 FPN(Feature Pyramid Network) 알고리즘[8-10]을 도입하였음.

3차 연도 : 탈락/활동/전도/퍼짐/유동



<그림 45> 연차별 연구대상 산사태 유형

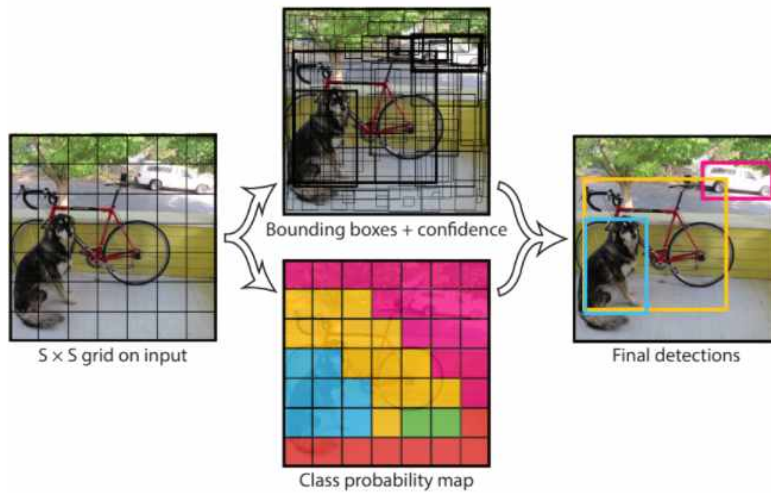
- 3차 연도에는 기존 1차 및 2차 연도의 탈락/활동 산사태 유형에 전도/퍼짐/유동 3개의 클래스가 추가되는데, 탈락, 활동 및 전도의 발생 형상이 유사하여 SSD 기반 FPN 알고리즘에 의한 학습에서 오감지하는 문제가 발생함. 또한, SSD 기반 FPN 알고리즘은 GPU가 포함된 고사양의 PC에서만 동작하기 때문에 프로그램의 범용성이 낮고 초기 HW 세팅에 어려움이 있음(그림 46 참조).



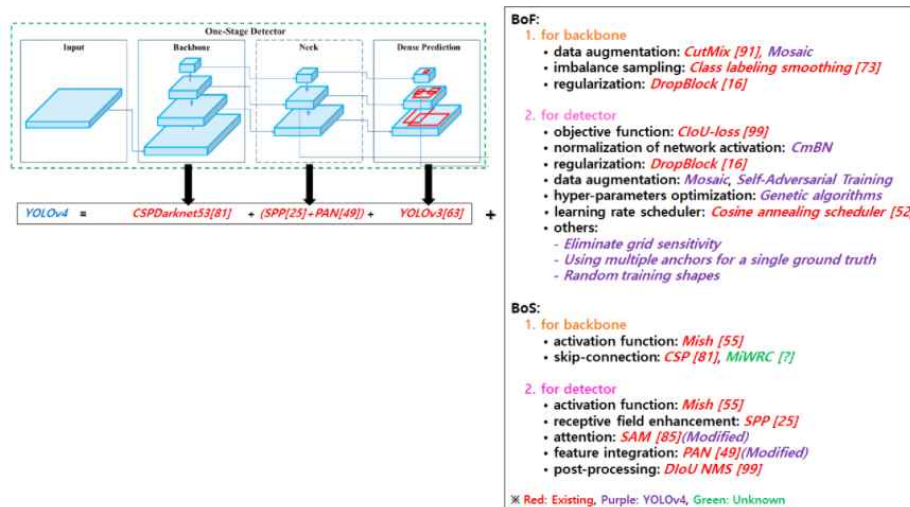
<그림 46> 고사양의 PC에서 작동하는 SSD 기반 FPN 알고리즘

- 이러한 문제점을 해결하기 위해 3차 연도에는 YOLO(You Only Look Once) 중 최신 모델인 YOLOv4를 적용함[11]. CNN에 기반한 YOLO 모델[11, 12]은 SSD와 동일하게 one-stage detector에 해당하며, localization과 classification이 단일 네트워크에서 진행됨. 기존의 localization, classification의 multi-task 문제를 하나의 회귀(regression) 문제로 재 정의하고, 이를 계산하는 모델을 학습함.
- 기존 one-stage detector와 동일하게 backbone network에서 feature 추출 후 neck network에서 객체의 외각 사각형과 클래스를 학습함. 하지만 다른 학습 모델과 다르게 이미지 내에서 학습하려는 객체를 중점적으로 학습시키도록 하는 알고리즘임.

- 입력 이미지를 $S \times S$ 의 격자(grid)로 나눈 후, 각 격자 셀은 N개의 바운딩 박스 후보군을 가지고 객체의 중심이 해당 격자 셀에 존재하는지의 유무를 학습시킴(그림 47 참조).



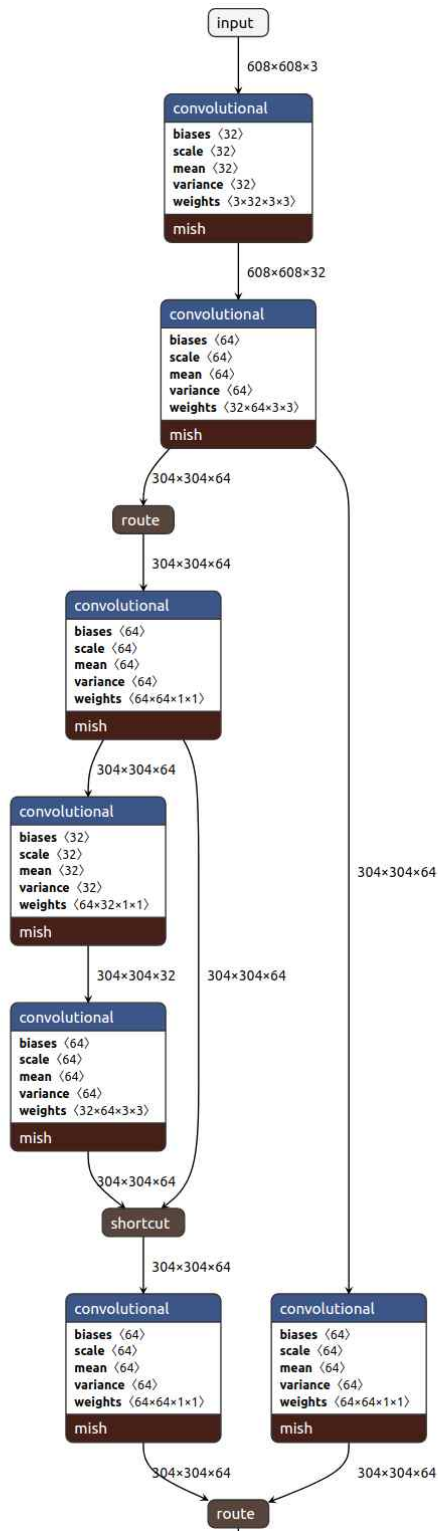
(a)



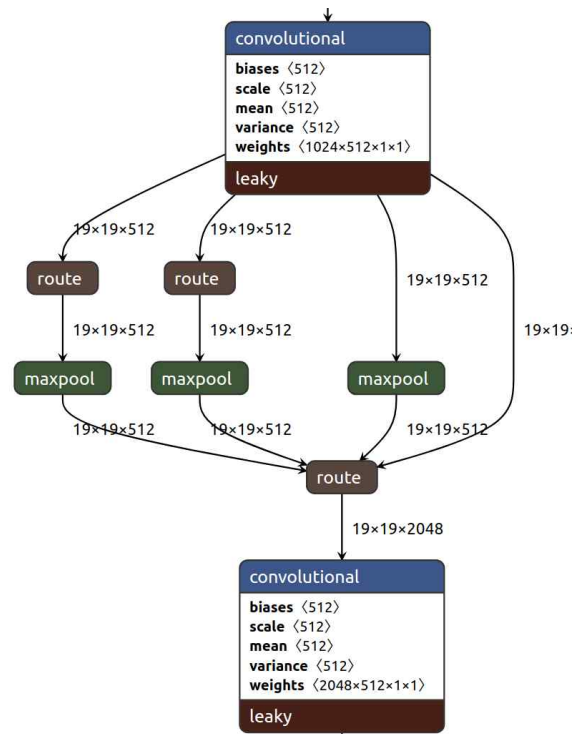
(b)

<그림 47> YOLO 모델의 클래스 확률 맵 생성 및 객체 감지 [12]

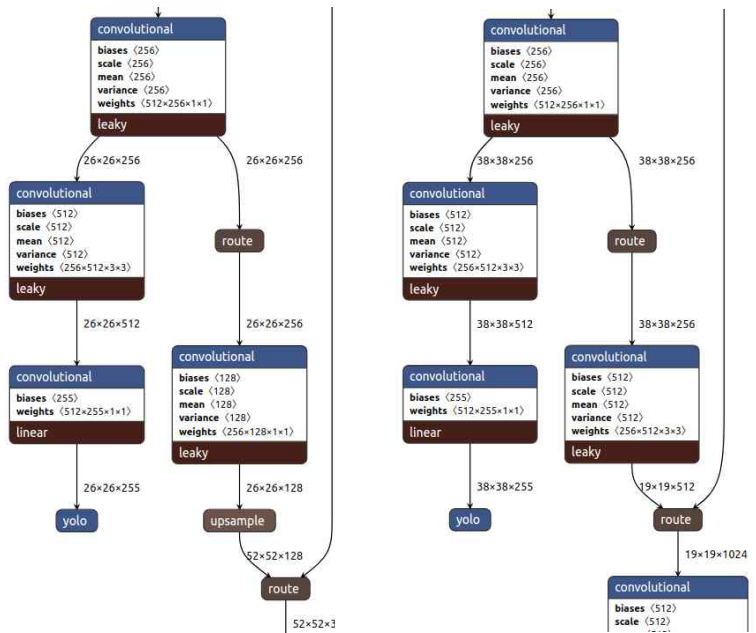
- YOLOv1 발표 이후 CPU에서 동작 가능하고 정확하게 인식 가능한 학습 모델을 개발하기 위해 많은 연구가 진행되었으며, 최신 YOLO 모델(YOLOv4)에서는 다양한 연구에서 제안하는 방법을 비교하여 최적의 속도와 인식률을 가지는 모델을 구축하였음.
- YOLOv4 알고리즘의 주된 목표는 빠른 동작 속도를 가지면서 연산량(flop)을 줄이기보다는 병렬적으로 최적화 하는 것임. CNN의 정확도 향상을 위해 다양한 모델들에서 범용적으로 사용하는 기술 (BatchNormalization, WRC(Weighted-Residual-Connections), CSP(Cross-Stage-Partial-Connections), CmBN(Cross mini-Batch Normalization), SAT(Self-Adversarial-Training))을 기반으로 YOLOv4 모델이 설계됨. 데이터 증강 기술 중 Mosaic, DropBlock Regularization 기법을 사용하며, 모델의 Backbone은 CSPDarkNet53에 SPP(Spatial Pyramid Pooling) block을 추가하고 Pyramid 방식은 FPN(Feature Pyramid Network)에서 추가된 PANet을 사용함.
- Backbone 모델은 CSP 기반으로 구성되며, CSP의 마지막 부분에 SPP를 추가하여 사용함(그림 48, 그림 49 참조).
- 한편, Detection Head는 그림 50과 같이 기존 YOLOv3 방식을 사용하고, 데이터 증강은 CutMix, Mosaic, DropBlock, Class label smoothing 기술을 적용함.



<그림 48> Backbone 모델 (CSP)



<그림 49> Backbone 모델 마지막 부분 (CSP-SPP)

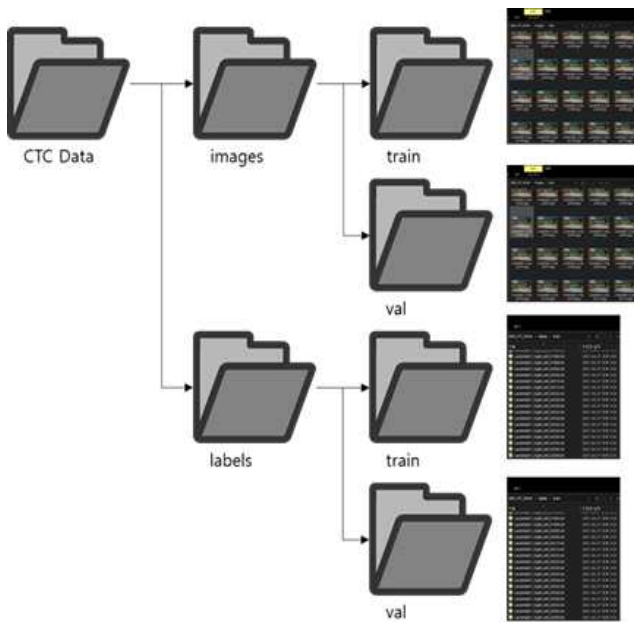


(a) YOLOv3

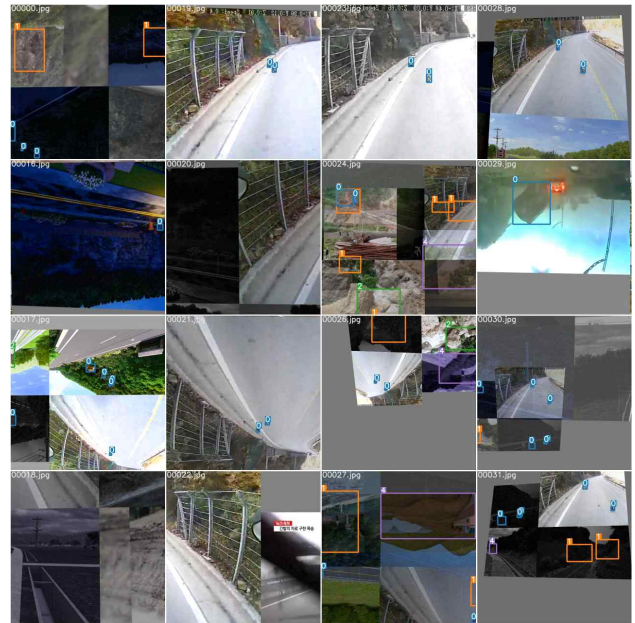
(b) YOLOv4

<그림 50> Detection Head

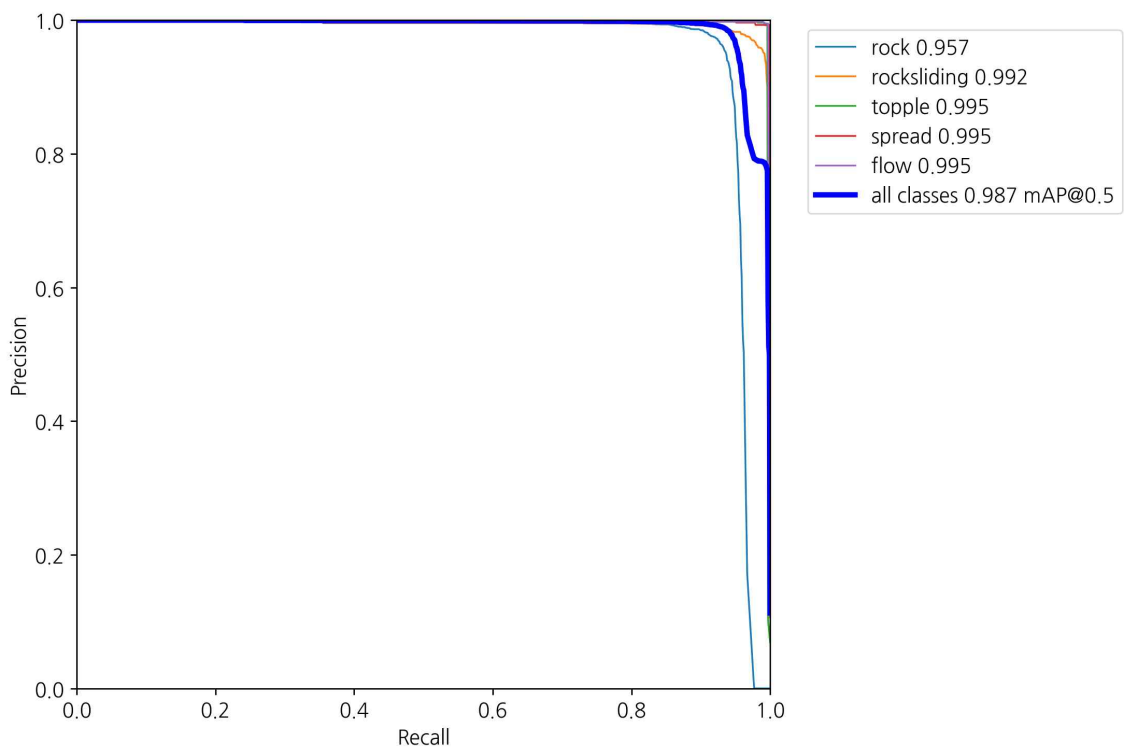
- YOLOv4에 의한 모델 학습을 위해 데이터 구조는 그림 51과 같이 구성하였음. 'images' 폴더와 'labels' 폴더로 구분하고, 각각의 폴더는 다시 'train', 'val'로 구분하였음. 'train', 'val' 폴더에는 산사태 유형별, 기상조건(주간 환경, 야간 강우 환경, IR 강우 환경)별로 비슷한 비율로 구성하였음.
- 모델의 input 사이즈는 640×640, learning rate는 0.01, epoch는 300, batch size는 60으로 학습을 진행함. 모델 학습 전에 데이터 증강(augmentation)을 통해 학습률을 높임. 모델 학습 시 검증 데이터에 대한 ROC(Receiver Operating Characteristic) Curve는 그림 53과 같으며, 5가지 클래스(rock-암석 탈락, rocksliding-암석 활동, topple-전도, spread-퍼짐, flow-유동)에 대해 최소 0.957(암석 탈락), 평균 0.98 이상의 정확도를 가짐.



<그림 50> 데이터 구조



<그림 51> 데이터 증강 (Mosaic 등)



<그림 53> ROC Curve

- CPU에서 동작 가능한 YOLO 모델 사용 및 sigmoid 기반 classification 기술을 적용하여 산사태 발생 형태가 유사한 탈락, 활동, 전도에 대한 오감지 문제를 해결하였음(그림 54, 그림 55 참조).
- 탈락, 활동, 전도, 퍼짐 및 유동에 대해 제작/수집 영상을 이용하여 학습된 모델 및 프로그램의 성능 테스트를 자체적으로 진행하여 학습 오류를 보완하였음. 5개 클래스에 대해 학습된 모델에 대한 성능테스트는 각각의 영상에 대한 감지 결과파일과 검증 자료인 GT(Ground Truth) 파일의 내용을 비교하는 방식으로 진행하였음. 개발 시스템의 결과파일 및 GT 파일에는 각각 산사태 유형과 알람시작시간이 표시되므로 그림 56에 나타난 바와 같이 두 파일의 내용을 비교함으로써 산사태 감지 정확도를 평가할 수 있음. 알람시작시간은 오감지를 최소화하기 위해 인간이 시각적으로 산사태를 감지하는 순간에서부터 3초 경과 후에 알람이 작동하도록 시스템을 구성하였음.



(a) 탈락 감지



(b) 탈락 감지



(c) 활동 감지



(d) 활동 감지



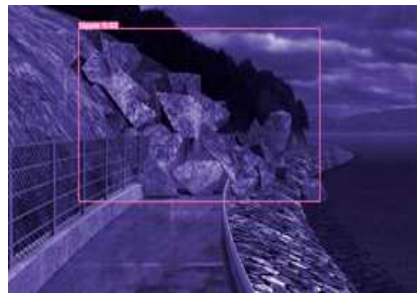
(e) 활동 감지



(f) 전도 감지



(g) 전도 감지



(h) 전도 감지



(i) 퍼짐 감지



(j) 퍼짐 감지

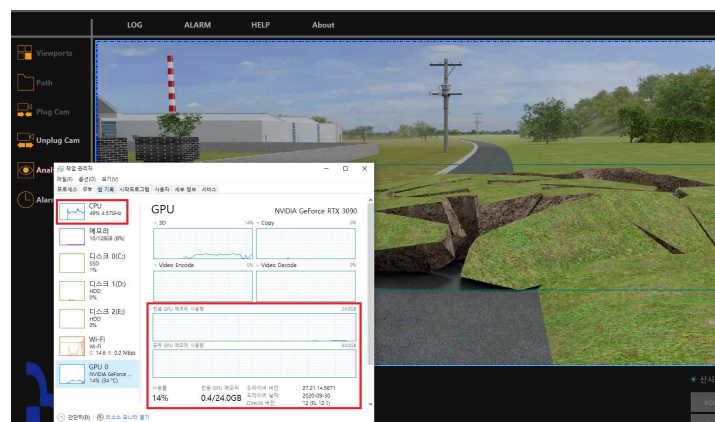


(k) 유동 감지



(l) 유동 감지

<그림 54> YOLOv4 모델을 적용하여 정확도 향상



<그림 55> YOLOv4 모델을 적용하여 CPU 환경에서도 동작 가능한 프로그램

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<KisaLibraryIndex>
  <Library>
    <Clip>
      <Header>
        <Filename>flow_02_Day.mp4</Filename>
        <AlarmEvents>1</AlarmEvents>
      </Header>
      <Alarms>
        <Alarm>
          <StartTime>00:00:24</StartTime>
          <AlarmDescription>Flow</AlarmDescription>
          <AlarmDuration>00:00:00</AlarmDuration>
        </Alarm>
      </Alarms>
    </Clip>
  </Library>
</KisaLibraryIndex>
```

(a) 개발 시스템의 결과파일

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<KisaLibraryIndex>
  <Library>
    <Clip>
      <Header>
        <Filename>flow_02_Day.mp4</Filename>
        <AlarmEvents>1</AlarmEvents>
      </Header>
      <Alarms>
        <Alarm>
          <StartTime>00:00:26</StartTime>
          <AlarmDescription>Flow</AlarmDescription>
          <AlarmDuration>00:00:00</AlarmDuration>
        </Alarm>
      </Alarms>
    </Clip>
  </Library>
</KisaLibraryIndex>
```

(b) GT(Ground Truth) 파일

<그림 56> 학습된 모델에 대한 성능 검증

- 개발 시스템의 산사태 감지 정확도에 대한 검증시험은 공인시험기관인 한국시험인증원에서 실시하였음. 검증시험은 먼저 영상 스트리밍 중의 유형별 산사태 발생이 시각적으로 확인된 후, 해당 산사태 알람 문구가 화면에 출력되는지 여부를 확인하는 방식으로 진행함. 검증시험의 객관성을 확보하기 위해 검증시험에는 딥러닝 학습에 사용되지 않았던 실제 영상을 포함시켰으며, 검증시험에 사용된 영상 수량 및 구성은 표 13과 같음. 공인시험기관에 의한 평가결과, 산사태 감지 정확도가 최소 95% 이상인 것으로 확인됨 (그림 57 참조).
- 한편, 영상 학습 여부에 따른 산사태 감지 정확도는 학습 영상의 경우에 탈락 96.4%, 활동/전도/퍼짐 100.0%, 유동 98.1%이고, 비학습 영상의 경우에 탈락/유동 100.0%, 활동 92.9%, 전도/퍼짐 0.0%임. 비학습 영상이 학습 영상에 비해 산사태 감지 정확도가 다소 떨어지는 것으로 나타났는데, 이에 대해서는 추가적인 영상 확보 및 학습을 통해 보완하고자 함(추가연구 계획은 pp.92-93 참조).

<표 13> 검증시험에 사용된 영상 수량 및 구성

구분	3D 제작 영상		실제 영상		합계	비학습 영상 비율 (%)	실제 영상 비율 (%)
	학습	비학습	학습	비학습			
탈락	49	0	6	5	60	8.3	18.3
활동	30	0	16	14	60	23.3	50.0
전도	24	0	0	1	25	4.0	4.0
퍼짐	19	0	0	1	20	5.0	5.0
유동	41	0	11	8	60	13.3	31.7

3.1.1 시험 목적

- 산사태 감지 정확도 측정

3.1.2 시험 절차

- 1) 시험대상제품 실행
- 2) 산사태 영상 파일 업로드 후 재생
 - 산사태 영상 파일
 - 산사태(암석탈락) 영상파일 60개(3D 제작영상 : 49개, 실제 영상 : 11개)
 - 산사태(슬라이딩) 영상파일 60개(3D 제작영상 : 30개, 실제 영상 : 30개)
 - 산사태(전도) 영상파일 25개(3D 제작영상 : 24개, 실제 영상 : 1개)
 - 산사태(유동) 영상파일 60개(3D 제작영상 : 41개, 실제 영상 : 19개)
 - 산사태(퍼짐) 영상파일 20개(3D 제작영상 : 19개, 실제 영상 : 1개)
- 3) 산사태 영상 재생 중 산사태 감지가 확인된 후 산사태 경고 문구 출력 확인

3.1.3 시험 결과

- 산사태 감지 정확도 : 97.3%

산사태 영상 구분	전체 영상 개수	산사태 감지 횟수	산사태 감지 정확도
암석탈락	60개	58회	96.7%
슬라이딩	60개	59회	98.3%
전도	25개	24회	96.0%
유동	60개	59회	98.3%
퍼짐	20개	19회	95.0%
전체 정확도			97.3%

구분	시험항목	시험결과	판정기준	판정결과
1	산사태 감지 정확도	97.3%	95% 이상	Pass

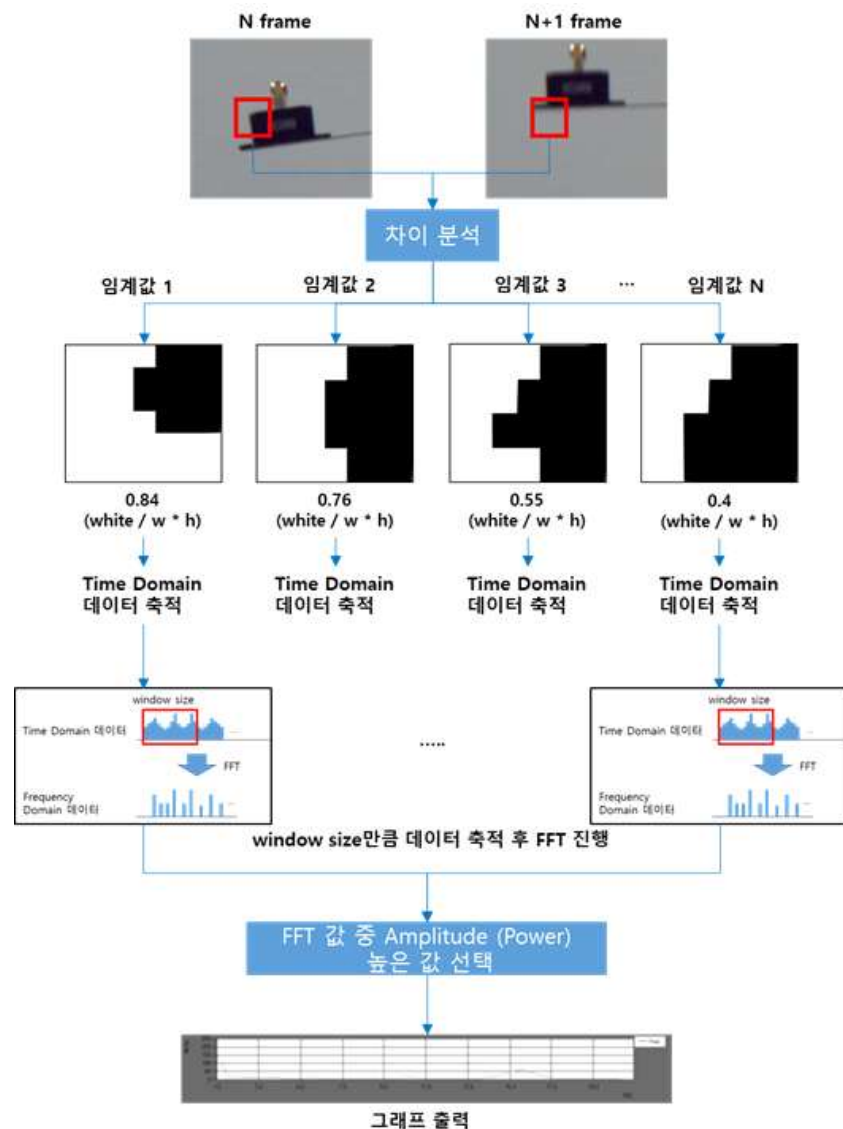
(a) 시험 목적 및 절차

(b) 공인시험기관 성적서

<그림 57> 산사태 감지 정확도에 관한 공인시험기관 평가결과

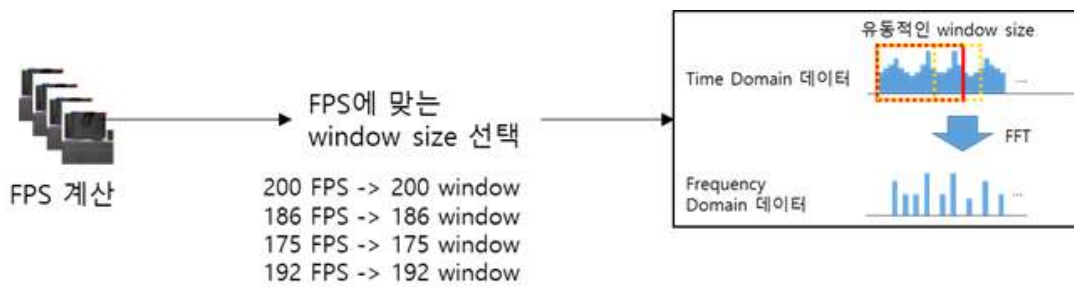
○ 분산형 영상분석 시스템 3차 제작

- 딥러닝 기반 산사태 감지와 아울러 사면 표층의 진동을 영상으로부터 측정하는 방법을 분산형 영상분석 시스템에 산사태 감지를 위한 보조적인 수단으로서 적용함.
- 영상 기반 진동 측정방법은 다음과 같이 두 가지로 크게 구분되는데, 이 연구의 대상이 자연조건의 경사면이고 마커(marker)를 설치하기 어려운 환경이므로 카메라를 통해 얻어지는 영상의 프레임간 차이를 분석하는 방법을 적용하였음.
 - 마커(marker)의 변위 차이를 분석
 - 영상 프레임간의 차이를 분석
- 1차 연도에는 관련 연구 동향 파악, 연구목적에 부합되는 카메라 사양 선정 및 영상분석 기반 진동 측정 알고리즘 구축에 관한 연구를 진행하였음.
- 영상분석 기반 진동 측정을 위해 시중에 판매되는 30 FPS(frames per second)의 카메라를 사용하면 Nyquist 주파수(folding frequency)에 의해 15Hz 이하의 저주파대역 주파수만 분석 가능하므로 고주파대역의 주파수(>15Hz) 분석을 위해 200 FPS의 속도를 가지는 산업용 카메라를 선정함.
- 카메라에서 획득한 영상에서 프레임간의 차이를 분석하기 위한 배경 제거, 히스토그램(histogram) 분석, 프레임간의 상관관계 분석 등 다수의 분석과정이 필요하지만 이 연구에서는 고속 카메라에서 얻어지는 영상에 대해 실시간 분석이 이루어져야 하므로 속도가 빠른 영상 프레임간의 차이를 분석하는 방법을 채택함.
- 그림 58에 이 연구의 주파수 분석 알고리즘을 나타내었음.



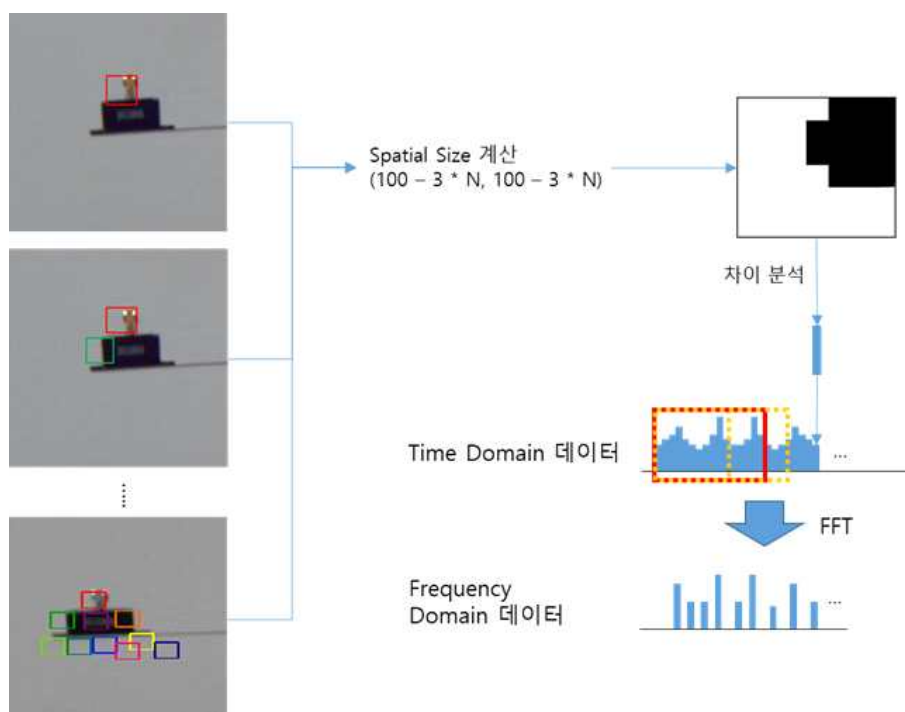
<그림 58> 주파수 분석 알고리즘

- 주파수 분석 알고리즘의 단계별 분석내용은 다음과 같음.
 - 1단계 : N 프레임과 (N+1) 프레임간의 차이(absolute difference) 분석
 - 2단계 : 차이 값은 N개(1차 연도 : 8개)의 임계값을 기준으로 Black/White 데이터로 변환
 - 3단계 : White의 비율을 계산하여 시간 영역 데이터를 축적
 - 4단계 : 일정 수량의 데이터가 축적된 후 임계값별 FFT 분석을 진행하여 주파수를 추출
 - 5단계 : N개의 추출된 주파수 정보 중 amplitude(power)가 높은 값을 선택하여 단일 FFT 분석결과로 취합하고, 이 주파수를 산사태에 의한 이상 진동 주파수로 프로그램 사용자에게 전달
- 2차 연도에는 기존 단일 개소 분석을 5개소로 확장하는 연구를 진행하였음. 1차 연도에 개발한 알고리즘을 1개 포인트에서 5개 포인트로 확장할 경우에 PC 성능 및 구동 프로그램에 따라 카메라에서 전달되는 고속의 프레임을 원활히 분석하지 못하는 문제가 발생할 수 있음. 이러한 문제점을 보완하기 위해 카메라 연결 후 일정 시간동안 프로그램에서 획득되는 FPS를 계산하고, 이후 window size를 유동적으로 변경시키는 방법으로 5개 포인트의 진동에 대한 주파수를 분석함(그림 59 참조).



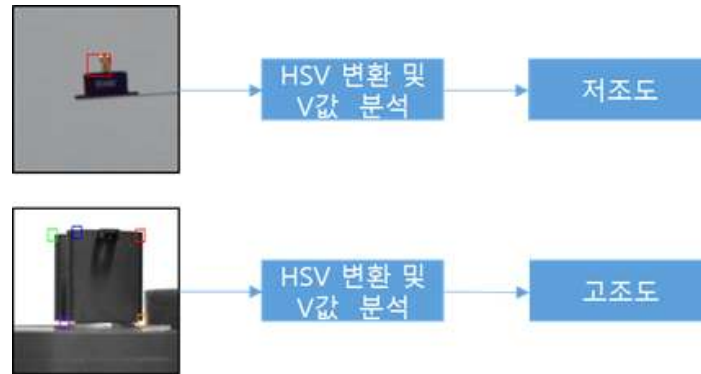
<그림 59> 유동적인 window size 계산

- 또한, 카메라 인근을 통행하는 교통 또는 바람 등 자연현상에 의한 진동 성분이 포함될 수 있기 때문에 이에 해당하는 N대역 저지 필터를 사용한 주파수 필터링 기능을 추가함.
- 3차 연도에는 진동 동시측정 가능 포인트 수를 5개에서 10개로 증가시키기 위해 공간적으로 분석하려는 포인트 영역을 유동적으로 변경함. 포인트 영역은 이미지 내 변위 차를 분석하기 위한 기본 영역으로서 해당 영역 내의 차이를 분석하도록 함. 10개 포인트에 대한 분석을 위해 그림 60과 같이 공간적 포인트를 사용자가 몇 개를 선택하느냐에 따라 사이즈를 변경시켜 처리 속도를 향상시킴.



<그림 60> 공간적 포인트 사이즈 변경

- 또한, 1차 연도에 사용한 8개의 임계값을 4개로 줄이면서 분석 성능을 유지시키기 위해 영상에서 명도 값을 분석하여 임계값을 산출함. 명도 값 분석은 영상에서 그림자를 제거할 때 주로 사용하는 방법으로서 그림 61과 같이 RGB 이미지를 HSV(Hue Saturation Value) 컬러 공간으로 변환하고, 이후 명도 값(V, value)의 히스토그램 분포를 파악하여 이미지가 저조도인지, 고조도인지 결정함. 저조도에 사용하는 하위 4개의 임계값과 고조도에 사용하는 상위 4개의 임계값을 사용하여 분석 성능을 유지시킴.



<그림 61> 이미지 조도 분석

- 분산형 영상분석 시스템의 진동 동시 측정 포인트 수에 대한 검증시험을 한국시험인증원에서 실시하였으며, 검증시험을 통해 10개소의 진동 동시 측정이 가능하다는 것을 확인하였음. 검증시험 목적, 절차 및 결과를 그림 62에 나타내었음.

3.4.1 시험 목적

- o 10개의 표층진동 값과 그래프 출력 확인

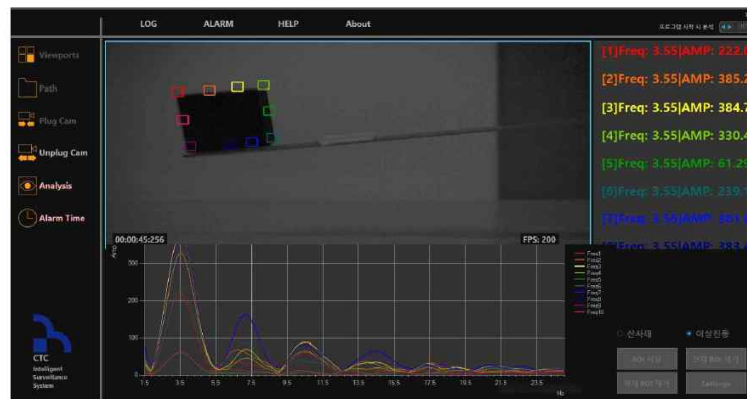
3.4.2 시험 절차

- 1) 표층진동 촬영 카메라와 시험대상제품 연결
- 2) 표층진동 촬영 카메라로 표층진동 대상물체 촬영
- 3) 시험대상제품 화면에서 10개의 ROI 설정
- 4) 표층진동 대상물체에 진동 발생
- 5) 시험대상제품 화면에서 설정한 10개의 ROI의 값과 그래프가 출력되는지 확인

(a) 시험 목적 및 절차

3.4.3 시험 결과

- o 10개의 표층진동 값과 그래프 출력 여부 : 출력됨
- 표층진동 값과 그래프 출력 화면

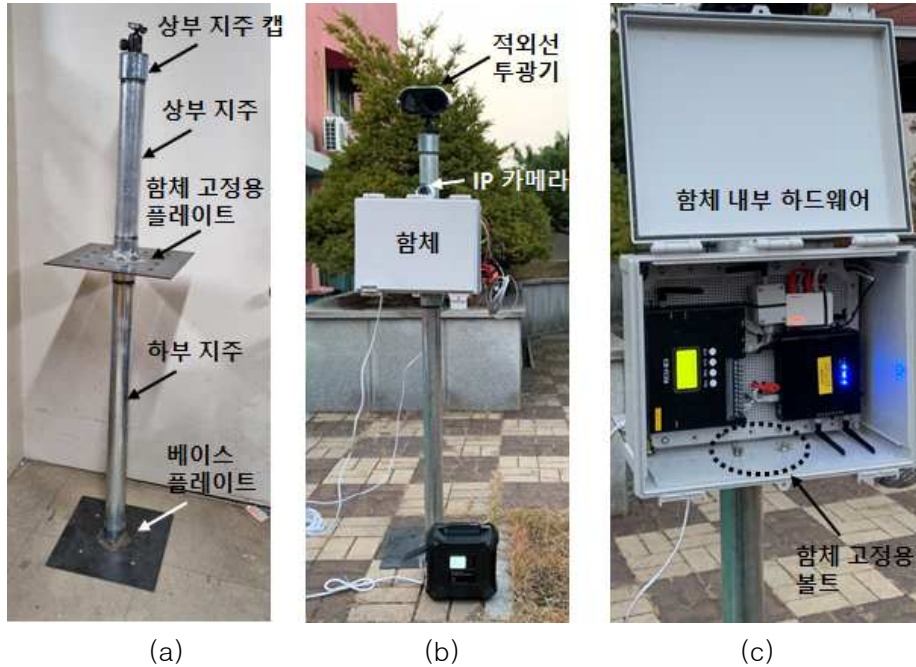


(b) 공인시험기관 성적서

<그림 62> 10개소 진동 동시 측정에 관한 공인시험기관 평가결과

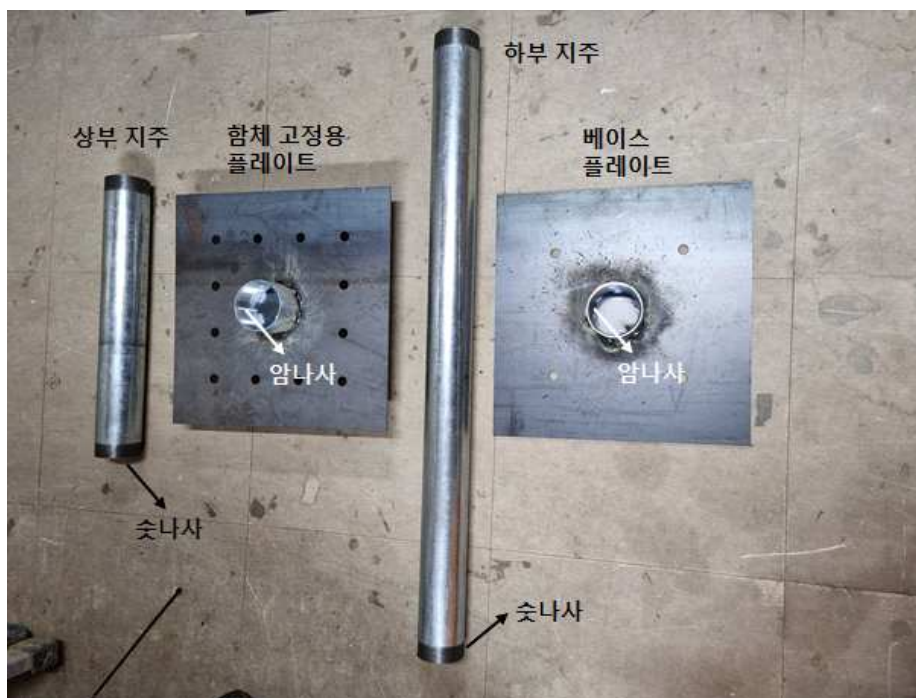
○ 설치·해체가 용이한 현장부품 제작

- 개발 시스템의 현장 설치를 위한 현장부품을 제작하였음. 현장 설치 부품은 그림 63에 나타난 바와 같이 상·하부 지주, 상부 지주 캡, 함체, 베이스 플레이트 및 함체 고정용 플레이트로 구성됨. 지주 상단에는 적외선 투광기가 설치되며, 함체 내부에는 개발 시스템과 관련된 각종 하드웨어(게이트웨이, 허브스위치, PC(노트북) 등)가 배치됨. 함체는 함체 고정용 플레이트에 볼트 및 너트를 이용하여 고정되는 구조임.



<그림 63> 현장 설치 부품의 구성

- 상·하부 지주, 베이스 플레이트 및 함체 고정용 플레이트는 인력에 의한 운반을 고려하여 각각 별개의 부품으로 제작되며, 상·하부 지주 단부에서 커플러 형태로 조립하여 완성되는 구조임(그림 64 참조). 각 구성품의 중량은 표 14와 같음. 전체 중량은 22.2kg이며, 부품 중 가장 무거운 부품은 함체 고정용 플레이트로서 중량은 6.3kg이므로 인력 운반이 가능한 수준임.



<그림 64> 현장 설치 부품의 구성품

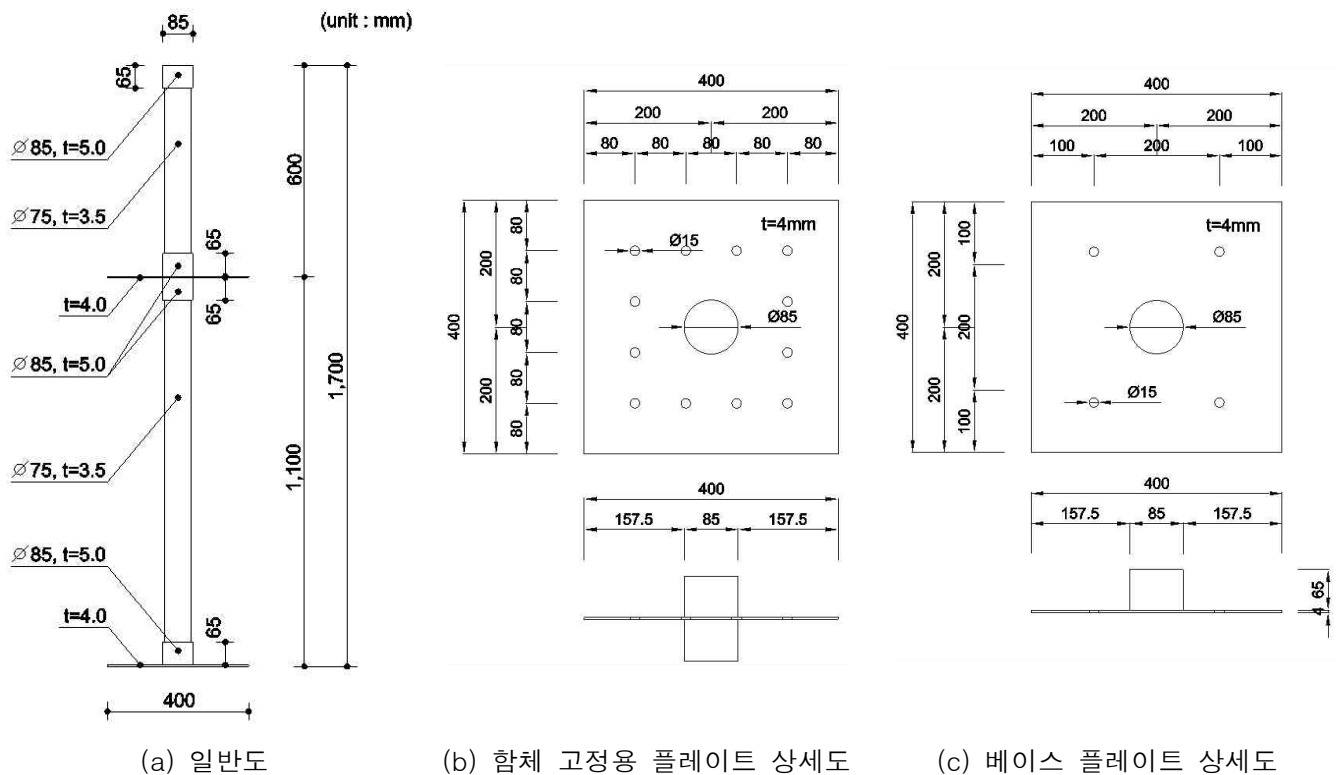
<표 14> 현장 설치 부품의 구성품 중량

중 량				
상부 지주 (캡 포함)	하부 지주	함체 고정용 플레이트	베이스 플레이트	전체
4.0kg	6.2kg	6.3kg	5.7kg	22.2kg

- 지주는 탄소 강관(SPP, KS D 3507)으로서 내식성을 고려하여 아연 도금을 적용하였으며, 플레이트는 일반 구조용 압연 강재(SS275, KS D 3503)임. 구성품의 기계적 성질 및 용도를 표 15에 나타내었으며, 이에 대한 상세도면은 그림 65와 같음.

<표 15> 현장 설치 부품의 기계적 성질 및 용도

구분		지주			플레이트	
		상부 지주	상부 지주 캡	하부 지주	함체 고정용 플레이트	베이스 플레이트
기계적 성질	항복강도 (MPa)	200			275	
	인장강도 (MPa)	340			410	
용도		지주 구성, 설계하중 지지	방수, 적외선 투광기 설치	지주 구성, 설계하중 지지	함체 설치, 고정 및 지지	기초 구성, 설계하중 지지



<그림 65> 현장 설치 부품의 구성품 도면

- 지주의 구조적 안전성을 검토하기 위해 범용 구조해석프로그램인 MIDAS Civil[13]에 의해 구조해석을 수행하였음. 구조해석은 표 16에 나타난 고정하중, 풍하중[14] 및 지진하중[15]에 대해 실시하였으며, 하중조합 및 허용응력 보정계수[16]는 표 17과 같음. 고정하중 및 풍하중에 대해서는 정적 구조해석, 지진하중에 대해서는 응답스펙트럼해석을 실시하였음.

<표 16> 검토대상 하중

고정하중	풍하중 ^{※1}	지진하중 ^{※2}
- 지주, 플레이트 등의 자중 - 개발 시스템 H/W가 탑재된 합체 중량 - 적외선 투광기 중량	- 지주 (원형 단면) : 1.5kPa - 합체 (각형 단면) : 3.0kPa (※ 기타 교량 부재(풍상측)에 작용하는 풍압 적용)	- 내진등급 : 내진 I 등급 - 성능수준 : 붕괴방지 - 재현주기 : 1,000년 - 지진구역 : I 구역 - 지반 : 얇고 단단한 지반 (S_2)

※1. KDS 24 12 21 : 2021 (교량 설계하중(한계상태설계법))

※2. KDS 17 10 00 : 2018 (내진설계 일반)

<표 17> 하중조합 및 허용응력 보정계수

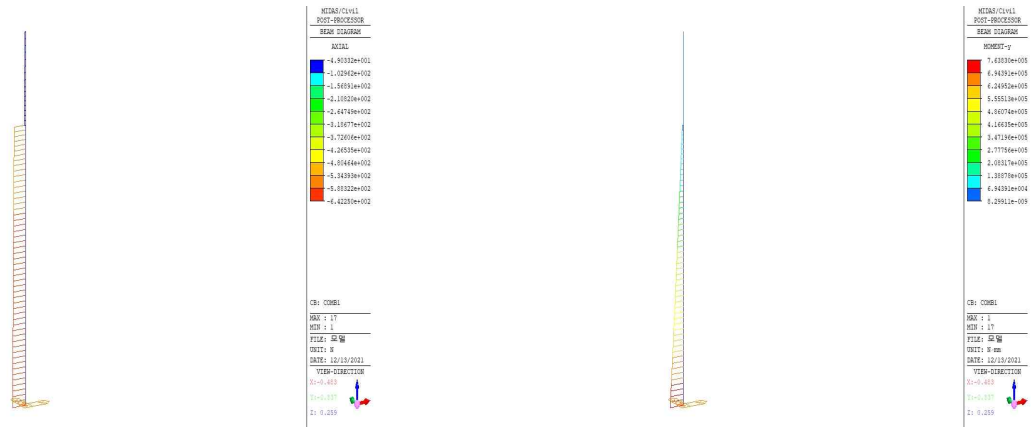
구분	하중조합	허용응력 보정계수 ^{※1}
하중조합 1	고정하중	1.00
하중조합 2	고정하중 + 풍하중	1.33
하중조합 3	고정하중 + 지진하중	1.33

※1. KDS 14 30 05 : 2019 (강구조 설계 일반사항(허용응력설계법))

- 구조해석을 통해 얻어진 지주 하단의 단면력은 표 18과 같음. 최대 단면력을 나타내는 하중조합 2에 대한 단면력도를 그림 66에 예로서 나타내었음.

<표 18> 구조해석에 의한 단면력

구분	축력 (N)	휨모멘트 (N·m)
고정하중	642.3	49,033.3
풍하중	-	714,796.9
지진하중	-	421,329.2
하중조합 1 : 고정하중	642.3	49,033.3
하중조합 2 : 고정하중+풍하중	642.3	763,830.2
하중조합 3 : 고정하중+지진하중	642.3	470,362.5



(a) AFD (axial force diagram)

(b) BMD (bending moment diagram)

<그림 66> 하중조합 2에 대한 단면력도

- 지주의 단면검토는 KDS 14 30 10 : 2019 (강구조 부재 설계기준(허용응력설계법))[17]에 따라 수행하였음. 지주는 압축력과 휨을 동시에 받는 강관단면의 부재로서 검토항목은 다음과 같음.
 - 폭두께비 : $D/t \leq \lambda_p (= 23,000/F_y)$
 - 세장비 : $KL/r \leq 200$
 - 응력비 : $\frac{f_c}{F_c} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1.0$ ($\frac{f_c}{F_c} \leq 0.15$ 인 경우)
- 지주의 단면특성은 다음 표 19와 같음.

<표 19> 지주의 단면특성

지주 길이, L (mm)	직경, D (mm)	강관 두께, t (mm)	단면적, A (mm ²)	단면2차모멘트, I (mm ⁴)	연단거리, y (mm)	단면계수, Z (mm ³)	회전반경, r (mm)
1,700	75	3.5	786.2	503,599.7	37.5	13,429.3	25.3

- 압축부재인 지주의 한계 폭두께비와 세장비 검토결과는 다음과 같으며, 기준을 만족하는 것을 알 수 있음.

$$\text{폭두께비 } D/t = 75/3.5 = 21.5$$

$$\text{한계 폭두께비 } \lambda_p = 23,000/F_y = 23,000/200 = 115$$

여기서, F_y : 항복강도

$$D/t \leq \lambda_p \quad \therefore \text{OK (조밀단면)}$$

$$\text{세장비 } KL/r = 2 \times 1,700/25.3 = 134.4$$

여기서, K : 좌굴길이계수로서 캔틸레버 형태이므로 2.0을 적용

압축부재 세장비 기준 = 200

$$KL/r \leq 200 \quad \therefore \text{OK}$$

- 압축부재의 허용압축응력은 한계 세장비, C_c 에 따라 다르게 정의되는데, $KL/r \leq C_c$ 인 경우의 허용압축응력, F_c 는 다음과 같음.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E_s}{F_y}} = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 210,000}{200}} = 144.0$$

여기서, E_s : 탄성계수

$KL/r (= 134.4) \leq C_c (144.0)$ 인 경우 ;

$$F_c = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2}\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(KL/r)}{8C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8C_c^3}} = \frac{112.9}{1.915} = 59.0 \text{ MPa}$$

- 지주는 조밀단면($D/t \leq \lambda_p$)으로서 L_b (횡방향 비지지길이, 1,700mm) $\leq L_c$ (한계 비지지길이)의 조건을 만족하므로 허용휨응력, F_b 는 다음과 같음.

$$L_c = \text{Max.} \left[\left(13,400 + 8,300 \frac{M_1}{M_2} \right) \frac{b}{F_y}, 8,300 \frac{b}{F_y} \right] = \text{Max.} [8,137.5, 3,112.5] = 8,137.5 \text{ mm} \leq 1,700 \text{ mm}$$

여기서, $M_1/M_2 = 1.0$ (횡지지가 안된 캔틸레버보)

b : 단면 폭 (= 강관 직경 $D = 75 \text{ mm}$)

$$F_b = 0.66 F_y = 132.0 \text{ MPa}$$

- 하중조합 1~3에 대한 응력비 검토결과는 표 20과 같으며, 설계하중에 대해 충분한 안전성을 확보하고 있음을 확인함.

<표 20> 지주의 응력비 검토결과

구분	압축			휨			조합응력비 $f_c/F_c + f_b/F_b$	평가
	f_c	F_c	f_c/F_c	f_b	F_b	f_b/F_b		
하중조합 1	0.817	59.0	0.014	3.651	132.0	0.028	0.042	OK
하중조합 2	0.817	59.0	0.014	56.878	132.0	0.431	0.445	OK
하중조합 3	0.817	59.0	0.014	35.025	132.0	0.265	0.279	OK

※ $f_c = P/A$, $f_b = M/Z$ (표 17, 표 18 참조)

- 개발시스템의 현장구축에 소요되는 시간에 대한 검증시험을 한국시험인증원에서 실시함. 정량적 목표는 6시간 내에 현장부품 설치/세팅, 영상 스트리밍, 게이트웨이 웹서버 접속, 산사태 감지 알람 전송 등이 가능한지 여부를 확인하는 것임. 검증시험의 절차 및 결과를 각각 그림 67과 그림 68에 나타냄. 검증시험 결과, 개발시스템의 현장설치 및 정상 운영에 소요되는 시간은 총 32분으로서 정량적 목표기준(6시간 이내)을 만족함.

3.5.2 시험 절차

- 1) 산사태 감지 현장 기기 준비
 - 산사태 감지 현장 기기 종류
 - 게이트웨이, 스위칭허브, CCTV카메라, LTE라우터, LoRa통신 모듈)
- 2) 현장 기기별 데이터 케이블 연결 및 상태 램프 확인
- 3) 시험대상제품 실행
- 4) 게이트웨이 접속 IP주소 설정
- 5) 산사태 자동 분석 설정
- 6) 알람 시작 시간, 알람 종료 시간 설정
- 7) 산사태 감지 임계값 설정
 - 산사태 감지 임계값
 - 암석탈락 : 0.86
 - 암석활동 : 0.86
 - 전도 : 0.949
 - 퍼짐 : 0.94
 - 유동 : 0.848
- 8) [3]모바일에서 게이트웨이 웹서버 접속가능여부 확인
- 9) 시험대상제품에서 산사태 3D영상을 업로드 후 [3]모바일에 산사태 감지 알람이 전송되는지 확인
- 10) 현장 기기 설치 시각부터 설치가 완료되어 [3]모바일에 알람이 전송된 시각 확인

<그림 67> 현장부품 구축시간에 관한 공인시험기관 검증시험 절차

구분	시험항목	시험결과	판정기준	판정결과
5	현장 설치용 장비 구축 시간	32분	6시간 이하	Pass

(a) 판정결과 sheet

<그림 68> 현장부품 구축시간에 관한 공인시험기관 검증시험 결과 (계속)



(b) 현장 설치 시작 전 시각 확인 사진



(c) 현장 설치 완료 후 현장 기기 램프 확인



(d) 현장 설치 완료 후 시각 확인 사진



(e) 현장 기기와 검증시험 대상제품 연결 사진

<그림 68> 현장부품 구축시간에 관한 공인시험기관 검증시험 결과

○ 알람 전송, 원격 제어용 게이트웨이 3차 개발

- IoT 게이트웨이 하드웨어 개발

- IoT 게이트웨이는 3G/LTE 무선 통신망을 이용하여 원격으로 현장의 장비와 연결할 수 있는 기능과 현장 장비를 제어할 수 있는 기능을 제공함. 사용자의 PC 또는 스마트폰 등에서 IoT 게이트웨이에 접속하여 게이트웨이에 내장된 미니 웹서버 기능도 제공함. 또한, 문자 메시지 전송기능을 탑재하여 신속한 이벤트 상황 전파가 가능함.
- 개발된 IoT 게이트웨이 사진 및 사양을 연차별로 그림 69 및 표 21에 나타냄.



(a) 1~2차 연도



(b) 3차 연도

<그림 69> 개발된 IoT 게이트웨이 사진

- IoT 게이트웨이 소프트웨어 개발

- IoT 게이트웨이는 임베디드 리눅스 시스템을 기반으로 하여, 타이머 서비스 및 각종 디바이스들에 대한 IO 추상화 계층, 센서 값을 수집하고 이에 대한 실시간 이벤트를 발생시키는 서비스 스케줄러, 임베디드 웹서비스와 통신하여, 원격 전원 장치에 On/Off 명령을 전달하는 프로토콜 핸들러, 정기적으로 또는 이벤트가 있을 경우 등록된 사용자에게 문자 메시지를 전송하는 역할을 담당하는 이벤트 핸들러, LCD 장치의 UI를 처리하는 UI 핸들러 등으로 구성되어 있음(표 22 참조).

<표 21> USN 게이트웨이 하드웨어 사양

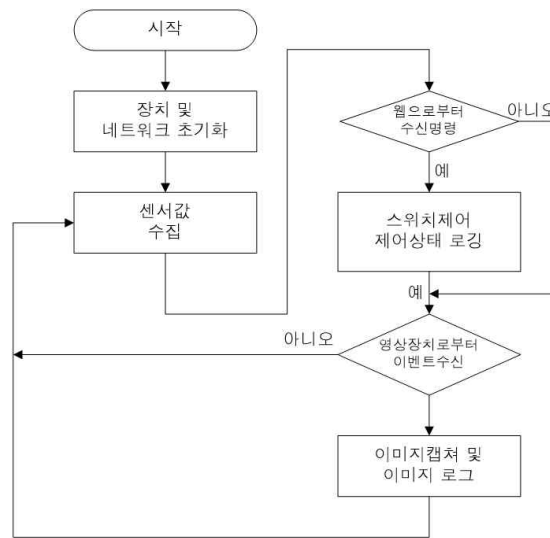
항 목	내 용	
	1~2차 연도	3차 연도
MCU 모듈	- AT91SAM9260 CPU (ARM9, 200MHz) - 32MB RAM - 256MB FLASH memory	작동
IO 전용 마이컴	- MSP430F4784 (MSP430 16bit micom, 16MHz) - 2KB RAM - 48KB + 256B Flash memory	작동
사용자 인터페이스	- 128x64 dot-matrix graphic LCD - Operation LED - 4 keypad	작동
I/O	- 8-ch D.C (Dry-contact) - 4-ch D.O (Max 30V/5A DC) - 2-ch A.I (4~20mA) - 2-ch CT (0~5A) - 2-ch A.O (4~20mA)	- 4-ch A.I (4~20mA)
통신 모듈	- 외부 유무선 게이트웨이 - 외부 장치 무선 통신용 LPWAN 모듈 (USB, optional)	- 외부 유무선 게이트웨이, LTE 모듈 - 외부장치 무선 통신용 LPWAN 모듈
통신 포트	- Ethernet (100Mbps) - USB(Full-speed) × 2 - micro-SD card 슬롯 - RS-232C × 1, RS-485 × 1 - DEBUG × 1	- Ethernet (100Mbps) - USB (Full-speed) × 2 - micro-SD card 슬롯 - RS-485 × 4 - DEBUG × 1
기타	- 백업 배터리가 장착된 RTC (Real-Time-Clock)	작동
소비 전류	- 220V 50mA	작동

<표 22> USN 게이트웨이 소프트웨어 기능

항 목	내 용
Linux kernel	- 임베디드 리눅스 (3.10.x)
Application Framework	- 애플리케이션에 각종 타이밍 관련 서비스를 제공하는 타이머 서비스 - 각종 센서 장비와 통신하여 센서값을 수집하고, 제어 장치에 제어 요청을 하는 디바이스 프로토콜 핸들러 - 각종 센서 디바이스들에 대한 입출력 방법을 단일화하여 다양한 센서 장치에 대한 애플리케이션의 접근을 간단하게 해주며, 향후 센서 장치 추가나 변경에도 유연하게 대비할 수 있도록 해주는 입출력 추상화 계층 (IO Abstract layer)
Application	- 각종 센서 장비로부터 센서값을 수집하고 임계치와 비교하여 이벤트를 발생시키며, 센서값을 정기적으로 로깅하여 저장하는 스케줄러 - 웹 서버로부터 수신되는 명령을 처리하여 원격 전원 장치를 On/Off 시키는 프로토콜 핸들러 - 정기적으로 또는 이벤트가 있을 경우, 등록된 사용자에게 문자 메시지를 전송하는 역할을 담당하는 이벤트 핸들러 - LCD 장치의 UI를 처리하는 UI 핸들러

- IoT 게이트웨이 동작 프로세스

- IoT 게이트웨이는 초기 시작 시, 장치 및 네트워크를 초기화하고, 자체 센서 인터페이스로부터 센서 값을 주기적 또는 실시간으로 수집함. 그리고 IoT 게이트웨이는 웹 명령 인터페이스로부터 명령을 수신받아 지정된 전원 출력을 제어하며 상태 값을 웹인터페이스에게 전달함.
- IoT 게이트웨이는 영상 분석 장치로부터 요청을 받아서 사용자에게 긴급 이벤트 상황을 알리는 문자 메시지를 저장하며, 요청 시의 이미지를 영상 장치로부터 읽어 들여 향후 사용자가 임베디드 미니 웹서버에 접속하여 이벤트 발생 시의 이미지를 확인할 수 있도록 함. 현장 실시간 동영상이 필요한 경우에는 웹인터페이스에서 영상 요청을 네트워크 카메라로 재전송하여 직접 카메라로부터 동영상을 읽을 수 있도록 함.
- 개발된 IoT 게이트웨이의 전체적인 동작 순서도는 그림 70과 같음.



<그림 70> 개발된 IoT 게이트웨이 동작 순서도

- IoT 게이트웨이 웹 연동 통신 프로토콜

- IoT 게이트웨이의 실행 프로세스와 웹과의 연동은 UDS(Unix Domain Socket)를 통하여 이루어지며, 메시지 포맷은 웹상에서 표준으로 사용되고 있는 JSON(JavaScript ObjectNotation) 포맷을 이용함(표 23 참조).

<표 23> 메시지 포맷

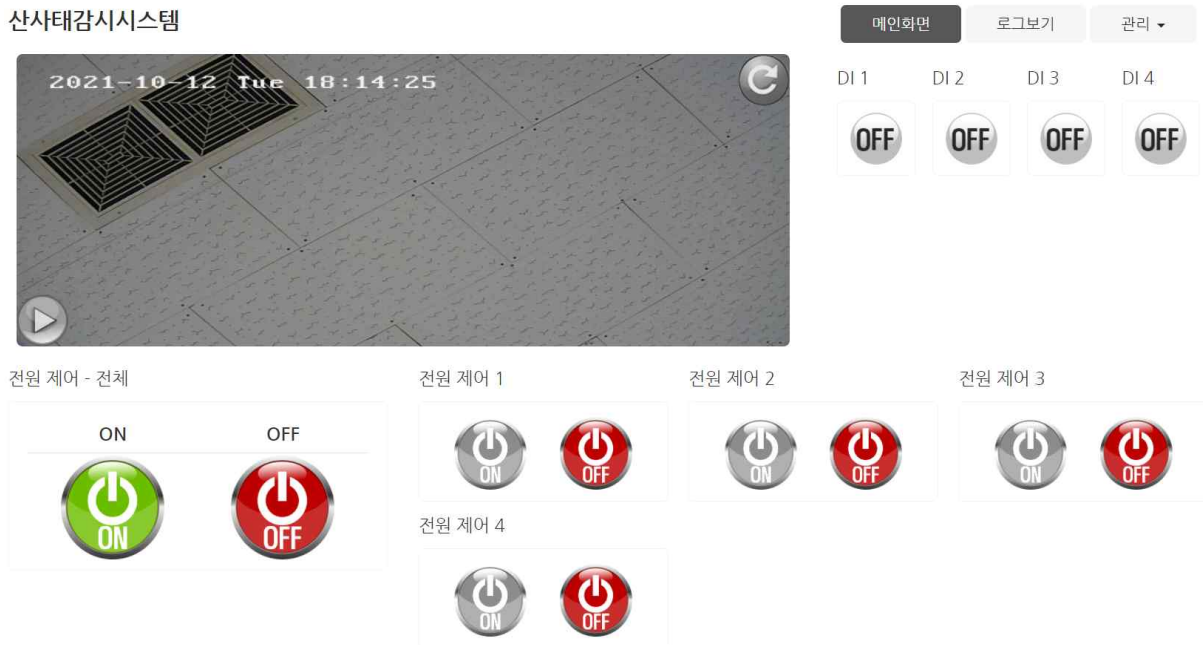
Tag	유효값 <예제>	설명
"time"	"time": "2016-11-22T12:12:35+09:00"	게이트웨이의 현재 시간을 읽거나 설정함
"title"	"title": "원격스위치제어기"	게이트웨이의 이름을 읽거나 변경함
"sw:"	"sw": ["off", "off", "on", "off"]	게이트웨이의 스위치 상태를 읽음
	"sw": {"idx": 1, "ctrl": "on"}	개별 또는 전체 (idx:0) 스위치를 제어함

- IoT 게이트웨이 웹 연동 통신 프로토콜

- IoT 게이트웨이의 임베디드 웹은 사용자의 PC 또는 스마트 폰에서 IoT 게이트웨이로 직접 접속하여, 스위치를 On/Off하며, 발생한 이벤트를 모니터링하고 로깅된 이미지를 확인할 수 있도록 구성되어 있음. IoT 게이트웨이를 처음 접속하면 로그인 화면이 나오는데, 미리 지정된 ID와 Password를 입력하여 로그인 함. 메인 화면에서는 각 개별 스위치 상태를 확인할 수 있으며, 각 개별 스위치를 On/Off할 수 있는 기능과 전체 스위치를 On/Off할 수 있는 기능을 제공함. 또한, 메인화면에서는 스위치를 On/Off한 로그를 확인할 수 있고, 영상 감시 장치로부터 이벤트 요청을 받았을 때에 캡처한 이미지를 확인할 수 있다(그림 71(a) 참조).

- 로그 보기 메뉴에서는 월별 이벤트 발생 수량 및 이미지 저장 수량이 날짜별로 표시되며, 해당 아이콘을 클릭하였을 경우에 이벤트로그창 및 사진로그창이 팝업되어 이력을 조회할 수 있다(그림 71(b) 참조).
- 이벤트로그는 시스템운영 시 발생되었던 이벤트(제어포함) 발생시간과 종류를 기록하고, 사진로그에서는 이벤트발생 시 자동적으로 캡처한 이미지 저장 및 사용자 요청에 의해서 생성된 이미지에 대해 발생 시점의 시간과 이미지를 저장한다(그림 71(c) 참조).
- 사용자 관리메뉴에서는 카메라의 네트워크 주소 및 사용자의 ID/Password 등을 변경할 수 있으며, IoT 게이트웨이를 재시작할 수 있는 기능을 제공함(그림 71(d) 참조).

산사태감시시스템



(a) 메인화면

산사태감시시스템

메인화면 **로그보기** 관리 ▾

◀ 2021 ▶ ◀ 10 ▶

일	월	화	수	목	금	토
26	27	28	29	30	1 40 Log	2 10 Log
3 18 Log	4 20 Log	5 15 Log 2	6 27 Log 3	7 93 Log 46	8 138 Log 276	9
10	11	12 4 Log	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31	1	2	3	4	5	6

(b) 로그보기 메뉴

<그림 71> 임베디드 웹 (계속)

로그 상세보기

17:20:50

이벤트수신: 카메라 1

퍼짐감지

17:21:32

이벤트수신: 카메라 1

퍼짐감지

17:22:39

이벤트수신: 카메라 1

퍼짐감지

17:23:16

이벤트수신: 카메라 1

퍼짐감지

17:24:03

이벤트수신: 카메라 1

퍼짐감지

17:34:11

이벤트수신: 카메라 1

퍼짐감지

17:39:21

이벤트수신: 카메라 1

퍼짐감지

17:40:12

이벤트수신: 카메라 1

퍼짐감지

17:41:31

이벤트수신: 카메라 1

퍼짐감지

17:41:59

이벤트수신: 카메라 1

퍼짐감지

17:42:35

이벤트수신: 카메라 1

퍼짐감지

17:42:57

이벤트수신: 카메라 1

퍼짐감지

17:43:40

이벤트수신: 카메라 1

퍼짐감지

17:44:25

이벤트수신: 카메라 1

퍼짐감지

17:49:22

이벤트수신: 카메라 1

유동감지

17:50:06

이벤트수신: 카메라 1

유동감지

사진로그 보기

259

2021-10-08 17:40:12

260

2021-10-08 17:40:13

261

2021-10-08 17:41:31

262

2021-10-08 17:41:32

263

2021-10-08 17:41:59

264

2021-10-08 17:42:01

265

2021-10-08 17:42:35

266

2021-10-08 17:42:37

267

2021-10-08 17:42:57

268

2021-10-08 17:42:59

269

2021-10-08 17:43:40

270

2021-10-08 17:43:42

271

2021-10-08 17:44:25

272

2021-10-08 17:44:26

273

2021-10-08 17:49:22

274

2021-10-08 17:49:23

275

2021-10-08 17:50:06

276

2021-10-08 17:50:08

닫기

닫기

(c) 이벤트로그 및 사진로그

산사태감시시스템

메인화면

로그보기

관리

사용자 관리

사용자 추가

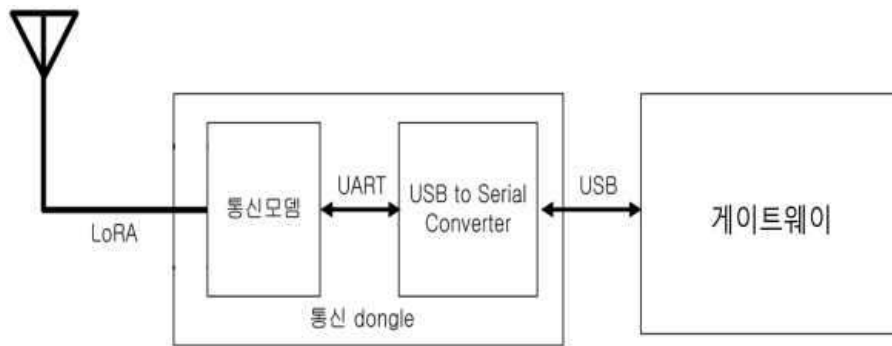
아이디	이름	전화번호	SMS수신여부	
admin	관리자		수신안함	수정 삭제
tanksoon	박형순		수신안함	수정 삭제
CTC	국선미		수신함	수정 삭제

(d) 사용자 관리메뉴

<그림 71> 임베디드 웹

- LoRa 동글 (USB 타입)

- IoT 게이트웨이에 연결하여 LoRa 노드와 무선 통신으로 연동하도록 개발함. IoT 게이트웨이와 USB 인터페이스로 연결하도록 구성하여 여러 개의 통신 모델을 게이트웨이에 장착할 수 있도록 구성(다중 통신 채널 구성)하여 다수의 LoRa 노드가 장착된 경우에도 무선 충돌을 방지하고 신뢰성있는 통신을 보장할 수 있도록 개발함(그림 72 참조). AES-128 보안알고리즘을 적용하여 무선 통신의 보안성을 확보하였음.
- 통신 송수신 강도확보를 위하여 안테나 일체형으로 현장설치 시 함체 외부에 설치할 수 있도록 방진/방수가 확보되는 외부케이스를 사용함(그림 73 참조).



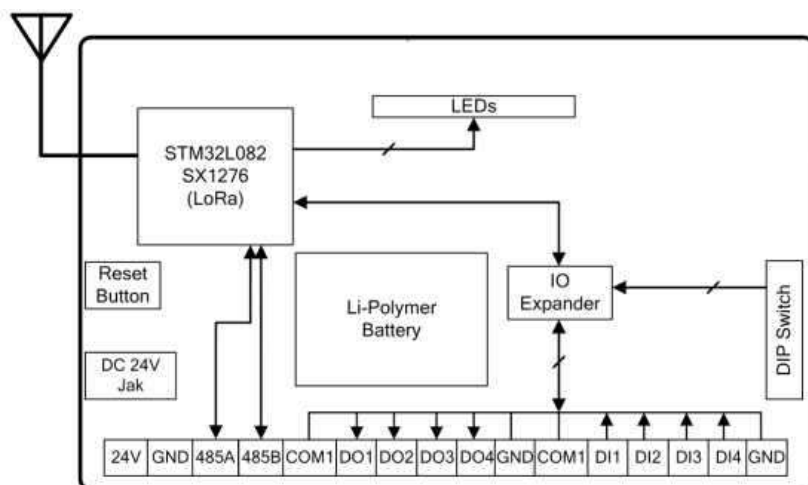
<그림 72> LoRa 통신 모듈 USB 동글 개념도



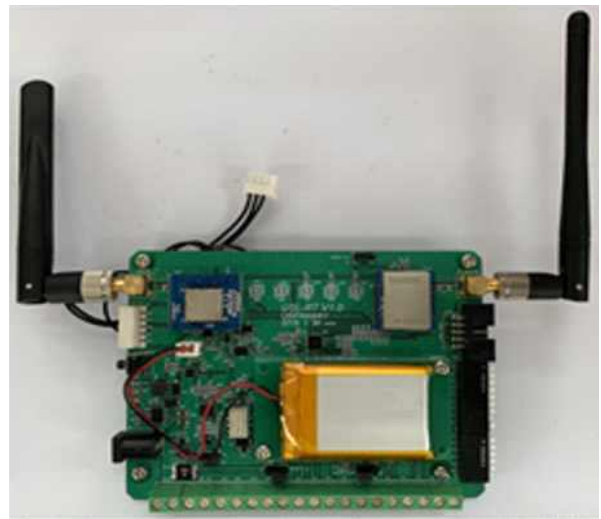
<그림 73> LoRa 통신 모듈 USB 사진

- LoRa 무선 노드 개발

- LoRa 노드는 입력 4회로, 출력 4회로의 입출력 포트를 제공하며, 24V 전원 입력 단자, RS-485 통신 단자 등을 제공함. 입력 포트를 통하여 디지털 센서(화재 감지 센서, 동작 감지 센서) 등의 신호를 입력 받아, 상태가 변하는 경우에 이를 IoT 게이트웨이로 즉시 전송함. IoT 게이트웨이로부터 제어 명령을 수신하여 출력포트의 제어 상태를 변경하고, 제어 상태 변경 즉시 이를 IoT 게이트웨이로 전송함.
- ID 및 채널을 설정하기 위하여 DIP 스위치를 구비하고 있으며, 통신 상태 및 전원 상태를 표시하기 위한 LED도 장착되어 있음. LoRa 노드는 Li-Polymer 배터리를 내장하여, 정전 상황 발생 시, 이를 즉시 IoT 게이트웨이로 전송함.



<그림 74> LoRa 무선 노드 블록 다이어그램



<그림 75> LoRa 무선 노드 사진

<표 24> LoRa 무선 노드 하드웨어 사양

항 목	내 용
MCU	STM32L082 ARM Cortex-M0 32MHz
RAM	20KB
FLASH	192KB
무선통신	LoRa
입력	4-port
출력	4-port
DIP switch	ID (8-bit), Channel (6-bit)
LED	Power Status (2), 485, SUB, MAIN (LoRa)
Battery	Li-Polymer 1500mA

<표 25> LoRa 무선 노드와 IoT 게이트웨이 사이의 통신 메시지 구조

필드	크기	설명	비고
STX	1	Start of TeXt	0x02
LEN	1	ADDR 필드부터 CRC-16 필드 이전까지의 길이	
NID	1	Network ID (Address)	
TID	1	RTU 주소 (Terminal ID)	
TYPE	1	메시지 타입	
LQI	1	무선 수신 패킷인 경우, 수신 감도 정보	
PAYLOAD	N	전송 데이터	
CRC-16	2	LEN 필드부터 PAYLOAD까지의 CRC-16 checksum	
ETX	1	End of TeXt	0x03

<표 26> LoRa 무선 노드와 LoRa 통신 모뎀 사이의 통신 메시지 구조

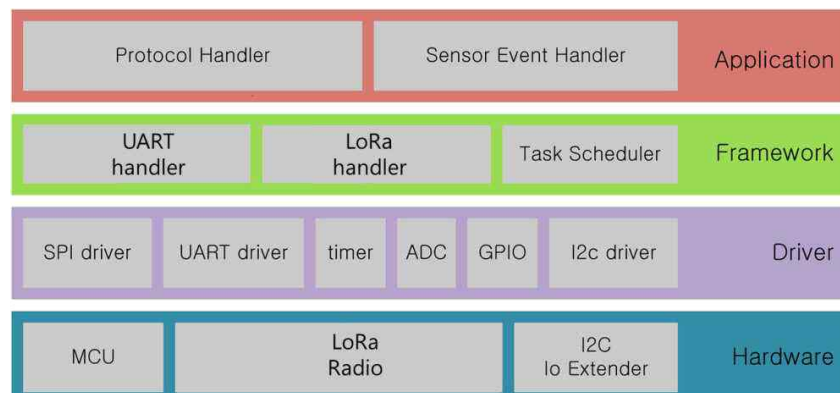
구분	Plain text			Encrypted text (E-PDU)			
Field	LEN (E-PDU len + 2)	NID	TID	TYPE	PAYLOAD LEN	PAYLOAD	MD5 sum
Size (bytes)	1	1	1	1	1	n bytes	16 bytes

<표 27> 메시지 타입과 설명

메시지 타입	CODE	설명	메시지 방향
REQ_MODEM_INFO	0×10	모뎀의 상태 요청	GW → 모뎀
RESP_MODEM_INFO	0×90	모뎀의 상태 반환	모뎀 → GW
REQ_RTU_INFO	0×20	노드의 상태 요청	GW → 모뎀, GW → 노드
SEND_TIME_INFO	0×21	노드에 현재 시간 정보 전송 (RF경로) UNIX time format	GW → 노드
SET_RTU_CONF	0×22	노드의 설정 요청	GW → 노드
CTRL_RTU	0×23	노드의 제어 요청	GW → 노드
REPORT_RTU_INFO	0×A0	노드의 상태 응답	노드 → 모뎀 → GW
EVENT_RTU_INFO	0×A1	노드의 이벤트 상태 보고	노드 → GW

- LoRa 통신 모뎀 및 LoRa 무선 노드 소프트웨어 구조

- LoRa 기반의 IoT 통신 모뎀 및 IoT 무선 노드의 소프트웨어는 각각 STM32L082 MCU하드웨어를 기반으로 구축되었음. 각각의 하드웨어를 기반으로 GPIO, SPI, UART, timer, ADC, i2c 등의 장치 드라이버들이 구동됨. UART 핸들러는 USB에 사용되며, IoT 게이트웨이가 USB-to-UART로 전송하는 패킷을 프로토콜 핸들러에 전달하거나 LoRa 통신을 이용하여 외부로 재전송하고, 무선 통신으로부터 들어오는 수신패킷에 대하여 게이트웨이로 전달해주는 역할을 수행함.
- LoRa 핸들러는 각각의 무선 네트워크 드라이버의 상태 머신을 관리하며, 수신되는 메시지를 프로토콜 핸들러로 전송하고 프로토콜 핸들러로부터 내려오는 메시지를 해당 무선 네트워크로 전송함. 태스크 핸들러는 메인 이벤트 루프로서 각각의 태스크에 대하여 스케줄링을 수행하며, 수행할 태스크가 없는 경우는 전체 시스템을 저전력 모드로 전환시킴. 프로토콜 핸들러는 LoRa의 통신 경로로부터 들어오는 수신 패킷을 처리하거나 외부로 데이터를 전송할 필요가 있는 경우, 해당 경로를 통하여 데이터를 송신하는 역할을 수행함. 센서 이벤트 핸들러는 정전이나 디지털 입력을 감시하여 상태가 변화하였는지 체크하고 상태가 변화하였을 경우에 이를 즉시 무선 통신을 통하여 전송하는 역할을 수행함.



<그림 76> LoRa 무선 노드의 계층적 구조

<표 28> LoRa 무선 노드 주요 구조의 세부 내용

항목	내 용
Drivers	네트워크 장치, 통신장치, 각종 센서 장치를 구동하고, 그 서비스를 애플리케이션에 전달
UART Handler	IoT USB Dongle의 경우, USB를 통해서 게이트웨이가 송신하는 메시지를 프로토콜 핸들러에 전달하고, 프로토콜 핸들러를 통하여 들어오는 네트워크 메시지를 게이트웨이에 전달하는 역할을 수행
LoRa Handler	각각의 통신 드라이버로부터 수신되는 메시지를 프로토콜 핸들러로 전송하거나 프로토콜 핸들러에서 각 통신 드라이버로 메시지를 전송
Task Handler	각 태스크를 event-driven 방식으로 스케줄링
Sensor Handler	정전이나 제어 신호등의 입력 상태를 감지하여 상태가 변화하였을 때 이를 기록하고, 즉시 무선 통신 드라이버를 통하여 송신하는 역할 수행

- LoRa 통신 모델과 LoRa 무선 노드 통신 거리 테스트

- IoT 무선 게이트웨이와 LoRa 노드 사이의 무선 통신 성능을 측정하기 위하여 실내, 도심, 장거리에서 통신 거리를 측정함. IoT 게이트웨이에서 IoT 노드로 Request 패킷(Tx)을 보내면 IoT 노드에서 IoT 게이트웨이로 Response 패킷(Rx)을 보내어 메시지가 정상적으로 송신되고 수신되는지를 확인하여 PER(Packet Error Rate)을 측정하였으며, 메시지가 수신될 때의 RSSI(Received Signal Strength Indicator)값을 측정하여 평균을 구함. 테스트 환경은 실내의 경우에 회사 내에서, 도심의 경우에 회사 앞 도로에서 각각 실험을 진행함.

<표 29> 실내 환경의 무선 거리 측정

Distance	TRX count	PER	RSSI (평균)
15m	100 / 100	0%	-68

<표 30> 도심/장거리 환경의 무선 거리 측정

Distance	TRX count	PER	RSSI (평균)
100m	100 / 97	3%	-78
200m	100 / 100	0%	-91
300m	100 / 100	0%	-94
400m	100 / 77	23%	-101
500m	100 / 61	39%	-101



(a) 게이트웨이부



(b) LoRa 모듈부

<그림 77> 테스트 장비 구성

- IoT 게이트웨이와 IP카메라 및 IoT 무선 노드 연동

- 게이트웨이와 IP카메라를 TCP/IP를 이용하여 연동
 - 원격지의 현장 상황을 어느 곳에서나 인터넷을 이용하여 확인하기 위하여, IoT 게이트웨이와 IP 카메라를 연동하여 현장의 사진이나 영상을 확인 가능
 - IoT 게이트웨이의 경우, 유선 인터넷 또는 LTE망 등을 이용한 인터넷을 통하여 어느 곳에서나 접속이 가능하며, IoT 게이트웨이의 웹을 통하여 실시간으로 현장 상황 및 스위치의 동작 상태 등을 파악
- 원격 스위치 On/Off 제어 시, 현장의 제어 상태를 IP 카메라를 이용하여 이미지 또는 영상을 IoT 게이트웨이의 웹 관제 화면을 통하여 확인 가능
 - IoT 게이트웨이 웹에서 원격으로 스위치를 On/Off할 경우, IoT 웹 관제화면의 스위치 동작상태 아이콘이 갱신되어 현장 상황을 즉시 확인 가능
 - IoT 게이트웨이 웹의 카메라 촬영 이미지의 우측 상단의 refresh 버튼을 누르면 카메라 촬영 이미지가 갱신되어 현장 사진을 실시간으로 확인 가능
 - IoT 게이트웨이 웹의 카메라 촬영 이미지의 좌측 하단의 “플레이”버튼을 클릭하면, RTSP 프로토콜을 이용하여 IP 카메라에서 제공하는 실시간 현장 동영상을 확인 가능
 - 웹 메인화면에서 현장 이미지 좌측 하단의 “플레이”버튼을 클릭하면, RTSP 프로토콜을 이용하여 원격지에 설치된 IP 카메라의 영상을 실시간으로 확인 가능
- IoT 무선 노드를 IoT 게이트웨이와 LoRa 무선 통신으로 연동
 - LoRa 무선 통신을 이용하여 원거리의 IoT 노드와 양방향 통신
 - LoRa 무선 통신을 위하여 USB 기반의 LoRa 무선 모뎀 개발
 - 원거리에 있는 LoRa 노드에 연결된 원격 스위치의 상태를 IoT 게이트웨이의 웹 화면에서 제어하거나 확인 가능
- 이벤트 발생 및 제어 시 촬영되는 현장 이미지를 게이트웨이에 저장
 - 스위치 On/Off 또는 디지털 센서의 이벤트 발생 시, 기록되는 이벤트 로그와 함께 IP 카메라에서 촬영된 이미지를 함께 게이트웨이의 저장장치에 저장하여, 제어 및 이벤트 발생 시 현장 상황 기록 및 확인 가능

- 산사태 감지 알람 전송시간 및 시스템 제어 응답시간 검증

- 산사태 감지 알람 전송시간 및 시스템 제어 응답시간에 대한 검증시험을 한국시험인증원에서 실시함. 산사태 알람 전송 및 시스템 제어에 소요되는 시간의 정량적 목표는 각각 10초 이내이며, 이에 대한 검증시험 목적 및 절차는 그림 78과 같음. 검증시험결과, 알람 평균 전송시간은 1.954초, 시스템 제어 평균 응답시간은 1.837초로서 정량적 목표기준(각각 10초 이내)을 만족함(그림 79, 그림 80 참조).

3.2 산사태 알람전송 시간

3.2.1 시험 목적

- 산사태 감지 후 알람전송 평균 시간 측정

3.2.2 시험 절차

- 1) 시험대상제품 실행
- 2) 알람(SMS)을 받을 휴대폰 정보 등록
- 3) 산사태 영상 파일 재생
 - 산사태 영상 파일
 - 산사태(암석탈락) 영상파일 10개
 - 산사태(슬라이딩) 영상파일 10개
 - 산사태(전도) 영상파일 10개
 - 산사태(유동) 영상파일 10개
 - 산사태(퍼짐) 영상파일 10개
- 4) 영상에서 최초 산사태 감지 시각부터 [3]모바일에서 알람을 받을 때까지 소요 시간 측정

3.3 시스템 제어 응답시간

3.3.1 시험 목적

- 시스템 제어 평균 응답시간 측정

3.3.2 시험 절차

- 1) 게이트웨이 전원 관리 페이지 접속
- 2) 전원제어 버튼 클릭
 - 전원제어 버튼 종류
 - 전원제어 전체 ON/OFF
 - 전원제어 1 ON/OFF
 - 전원제어 2 ON/OFF
 - 전원제어 3 ON/OFF
 - 전원제어 4 ON/OFF
- 3) 전원제어 버튼 클릭 시각과 게이트웨이에 연결된 전구에 불이 들어오는 시각 확인
- 4) 카메라 화면 갱신 버튼 클릭
- 5) 카메라 화면 갱신 버튼 클릭 시각과 화면이 변경되는 시각 확인
 - * 10회 시험하여 시스템 제어 평균 응답시간 계산

(a) 산사태 감지 알람 전송시간

(b) 시스템 제어 응답시간

<그림 78> 알람 전송시간 및 시스템 제어시간에 관한 공인시험기관 검증시험 목적 및 절차

시험 회차	암석탈락 일람전송 시간	슬라이딩 일람전송 시간	전도 일람전송 시간	유동 일람전송 시간	퍼짐 일람전송 시간
1	2.466초	1.599초	2.198초	2.563초	2.649초
2	1.068초	1.968초	2.264초	2.821초	2.266초
3	1.332초	1.948초	2.198초	2.534초	2.162초
4	2.133초	1.918초	1.772초	1.793초	2.333초
5	2.067초	1.477초	2.199초	2.891초	2.386초
6	2.149초	1.457초	0.408초	1.639초	1.999초
7	2.05초	1.5초	1.541초	2.001초	2.566초
8	1.098초	1.498초	1.572초	2.492초	1.8초
9	2.232초	1.37초	1.534초	1.692초	1.844초
10	2.633초	1.553초	1.427초	1.633초	2.999초
평균	1.954초				

<그림 79> 산사태 알람 전송시간에 관한 공인시험기관 검증시험 결과

시스템 제어 구분	ON 응답시간	OFF 응답시간
전원제어 전체 ON/OFF	1.995초	1.641초
전원제어 1 ON/OFF	1.02초	0.754초
전원제어 2 ON/OFF	2.298초	3.064초
전원제어 3 ON/OFF	1.835초	0.924초
전원제어 4 ON/OFF	2.798초	1.467초
카메라 화면 갱신	1.952초	
시스템 제어 평균 응답시간	1.837초	

<그림 80> 시스템 제어 응답시간에 관한 공인시험기관 검증시험 결과

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과 (질적 목표)

○ 딥러닝 기반 산사태 감지 모듈 정확도

- 산사태 (표층 붕괴) 유형 중 탈락, 활동, 전도, 퍼짐, 유동 이벤트에 대한 신경망 학습을 진행한 후, 학습이 완료된 신경망을 이용하여 95% 이상의 감지 정확도를 갖는 산사태 감지 모듈을 개발함.

구분	연구목표		연구결과 실적치		공인시험기관 검증시험	
	산사태 유형	정확도			시험기간	시험기관
1차 연도	탈락	80% 이상	90.0%		2019. 11. 11 - 11. 13	한국시험인증원
2차 연도	탈락	90% 이상	100.0%	평균 100%	2020. 10. 23 - 10. 27	한국시험인증원
	활동		100.0%			
3차 연도	탈락	95% 이상	96.7%	평균 97.3%	2021. 11. 02 - 11. 05	한국시험인증원
	활동		98.3%			
	전도		96.0%			
	퍼짐		95.0%			
	유동		98.3%			

※ 검증시험의 목적, 방법 등 시험 관련 세부 내용은 이 보고서의 별첨자료 참조.

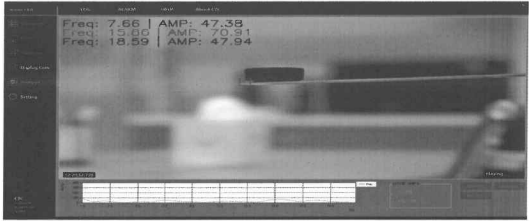
구분	시험결과 (시험성적서 내용 일부 발췌)																												
1차 연도	4. 시험 결과																												
	4.1 시험항목 1																												
	<table><tr><td>시험항목</td><td>산사태 중 암석 탈락 감지 정확도</td></tr><tr><td>시험목적</td><td>산사태 중 암석 탈락 감지 정확도 측정</td></tr><tr><td></td><td>○ 산사태 중 암석 탈락 감지 정확도 : 90%</td></tr><tr><td></td><td>- 암석 탈락 감지 총 횟수 : 120번</td></tr><tr><td></td><td>- 암석 탈락 감지 성공 횟수 : 108번</td></tr></table>	시험항목	산사태 중 암석 탈락 감지 정확도	시험목적	산사태 중 암석 탈락 감지 정확도 측정		○ 산사태 중 암석 탈락 감지 정확도 : 90%		- 암석 탈락 감지 총 횟수 : 120번		- 암석 탈락 감지 성공 횟수 : 108번																		
	시험항목	산사태 중 암석 탈락 감지 정확도																											
시험목적	산사태 중 암석 탈락 감지 정확도 측정																												
	○ 산사태 중 암석 탈락 감지 정확도 : 90%																												
	- 암석 탈락 감지 총 횟수 : 120번																												
	- 암석 탈락 감지 성공 횟수 : 108번																												
2차 연도	4. 시험결과에 따른 판정결과																												
	씨티씨(株)에서 KOTCA에 시험 의뢰한 'CTC 산사태 감지 솔루션 프로그램 v1.4.0'에 대한 시험결과에 따른 판정결과는 다음과 같다.																												
	<table><tr><td>구분</td><td>시험항목</td><td>시험결과</td><td>판정기준</td><td>판정결과</td></tr><tr><td>1</td><td>산사태 감지 정확도</td><td>100%</td><td>90% 이상</td><td>Pass</td></tr></table>	구분	시험항목	시험결과	판정기준	판정결과	1	산사태 감지 정확도	100%	90% 이상	Pass																		
	구분	시험항목	시험결과	판정기준	판정결과																								
1	산사태 감지 정확도	100%	90% 이상	Pass																									
3차 연도	3.1.3 시험 결과																												
	○ 산사태 감지 정확도 : 97.3%																												
	<table><tr><td>산사태 영상 구분</td><td>전체 영상 개수</td><td>산사태 감지 횟수</td><td>산사태 감지 정확도</td></tr><tr><td>암석탈락</td><td>60개</td><td>58회</td><td>96.7%</td></tr><tr><td>슬라이딩</td><td>60개</td><td>59회</td><td>98.3%</td></tr><tr><td>전도</td><td>25개</td><td>24회</td><td>96.0%</td></tr><tr><td>유동</td><td>60개</td><td>59회</td><td>98.3%</td></tr><tr><td>퍼짐</td><td>20개</td><td>19회</td><td>95.0%</td></tr><tr><td colspan="3">전체 정확도</td><td>97.3%</td></tr></table>	산사태 영상 구분	전체 영상 개수	산사태 감지 횟수	산사태 감지 정확도	암석탈락	60개	58회	96.7%	슬라이딩	60개	59회	98.3%	전도	25개	24회	96.0%	유동	60개	59회	98.3%	퍼짐	20개	19회	95.0%	전체 정확도			97.3%
	산사태 영상 구분	전체 영상 개수	산사태 감지 횟수	산사태 감지 정확도																									
	암석탈락	60개	58회	96.7%																									
	슬라이딩	60개	59회	98.3%																									
	전도	25개	24회	96.0%																									
	유동	60개	59회	98.3%																									
	퍼짐	20개	19회	95.0%																									
전체 정확도			97.3%																										

○ 영상계측 기반 표층면 진동분석 모듈의 동시측정 가능 개소 수

- 영상계측 기반 표층면 진동분석 모듈은 10개소의 표층면 진동을 동시에 고속 카메라로 촬영하고 분석 가능함. 고속 카메라에서 얻어지는 픽셀 데이터로부터 실시간으로 진동 주파수를 분석하며, 분석결과는 진동가속도계 측정치와 동일한 결과를 나타냄.

구분	연구목표	연구결과 실적치	공인시험기관 검증시험	
			시험기간	시험기관
1차 연도	1 point	1 point	2019. 11. 11 - 11. 13	한국시험인증원
2차 연도	5 points	5 points	2020. 10. 23 - 10. 27	한국시험인증원
3차 연도	10 points	10 points	2021. 11. 02 - 11. 05	한국시험인증원

※ 검증시험의 목적, 방법 등 시험 관련 세부 내용은 이 보고서의 별첨자료 참조.

구분	시험결과 (시험성적서 내용 일부 발췌)				
1차 연도	4.4 시험항목 4 <table border="1"> <tr> <td>시험항목</td><td>표층 진동 측정 기능</td></tr> <tr> <td>시험목적</td><td>표층 진동을 1 Point로 측정하여 수치 및 그래프를 출력하는지 확인</td></tr> </table> ○ 표층 진동을 1 Point로 측정하여 수치 및 그래프를 출력함 	시험항목	표층 진동 측정 기능	시험목적	표층 진동을 1 Point로 측정하여 수치 및 그래프를 출력하는지 확인
시험항목	표층 진동 측정 기능				
시험목적	표층 진동을 1 Point로 측정하여 수치 및 그래프를 출력하는지 확인				
2차 연도	3.4.3 시험 결과 ○ 5개의 표층진동 값과 그래프 출력 여부 : 출력됨 - 표층진동 값과 그래프 출력 화면 				
3차 연도	3.4.3 시험 결과 ○ 10개의 표층진동 값과 그래프 출력 여부 : 출력됨 - 표층진동 값과 그래프 출력 화면 				

○ 모듈화된 현장설치용 장비/부품의 현장구축 시간

- 모듈화된 개발시스템의 현장설치 및 정상 운영(영상 스트리밍, 게이트웨이 웹서버 접속, 산사태 감지 알람 전송 등)에 소요되는 시간은 총 32분으로서 정량적 목표기준인 6시간 이내를 만족함.

구분	연구목표	연구결과 실적치	공인시험기관 검증시험	
			시험기간	시험기관
3차 연도	6시간 이내	32분	2021. 11. 02 - 11. 05	한국시험인증원

※ 검증시험의 목적, 방법 등 시험 관련 세부 내용은 이 보고서의 별첨자료 참조.

구분	시험결과 (시험성적서 내용 일부 발췌)														
	<table><tr><th>구분</th><th>시험항목</th><th>시험결과</th><th>판정기준</th><th>판정결과</th></tr><tr><td>5</td><td>현장 설치용 장비 구축 시간</td><td>32분</td><td>6시간 이하</td><td>Pass</td></tr></table>					구분	시험항목	시험결과	판정기준	판정결과	5	현장 설치용 장비 구축 시간	32분	6시간 이하	Pass
	구분	시험항목	시험결과	판정기준	판정결과										
5	현장 설치용 장비 구축 시간	32분	6시간 이하	Pass											
	(a) 판정결과 sheet														
3차 연도															
	(b) 현장 설치 시작 전 시각 확인 사진														
															
	(c) 현장 설치 완료 후 현장 기기 램프 확인														
															
	(d) 현장 기기와 시험대상제품 연결 사진														

○ 분산형 시스템과 연동되는 게이트웨이의 산사태 알람 전송 시간

- 분산형 영상 분석 시스템에서 산사태(탈락, 활동, 전도, 퍼짐, 유동) 이벤트 감지 후 10 sec 이내에 이벤트 발생 알람과 미니웹 서버 링크 주소가 담긴 SMS가 전송됨.

구분	연구목표	연구결과 실적치	공인시험기관 검증시험	
			시험기간	시험기관
1차 연도	20 sec 이하	평균 8.284 sec	2019. 11. 11 - 11. 13	한국시험인증원
2차 연도	15 sec 이하	평균 3.448 sec	2020. 10. 23 - 10. 27	한국시험인증원
3차 연도	10 sec 이하	평균 1.954 sec	2021. 11. 02 - 11. 05	한국시험인증원

※ 검증시험의 목적, 방법 등 시험 관련 세부 내용은 이 보고서의 별첨자료 참조.

구분	시험결과 (시험성적서 내용 일부 발췌)				
1차 연도	4.2 시험항목 2				
	시험항목	알람 전송 시간			
	시험목적	암석 탈락감지 알람 전송 평균 소요 시간 측정			
		○ 암석 탈락감지 알람 전송 평균 소요 시간 : 8.284초			
2차 연도	4. 시험결과에 따른 판정결과				
	씨티씨(주)에서 KOTCA에 시험 의뢰한 'CTC 산사태 감지 솔루션 프로그램 v1.4.0'에 대한 시험결과에 따른 판정결과는 다음과 같다.				
	구분	시험항목	시험결과	판정기준	판정결과
	2	산사태 알람전송 시간	3.448초	15초 이하	Pass
3차 연도	4. 시험결과에 따른 판정결과				
	씨티씨(주)에서 KOTCA에 시험 의뢰한 'CTC 산사태 감지 솔루션 프로그램 v1.4.0'에 대한 시험결과에 따른 판정결과는 다음과 같다.				
	구분	시험항목	시험결과	판정기준	판정결과
	2	산사태 알람전송 시간	1.954초	10초 이하	Pass

○ 분산형 시스템과 연동되는 게이트웨이의 시스템 원격제어 응답시간

- 게이트웨이에 내장된 미니 웹 서버에 접속 후 전원제어용 on/off 스위치를 작동시키면 10 sec 이내에 반응하도록 개발함.

구분	연구목표	연구결과 실적치	공인시험기관 검증시험	
			시험기간	시험기관
1차 연도	20 sec 이하	평균 5.000 sec	2019. 11. 11 - 11. 13	한국시험인증원
2차 연도	15 sec 이하	평균 0.244 sec	2020. 10. 23 - 10. 27	한국시험인증원
3차 연도	10 sec 이하	평균 1.837 sec	2021. 11. 02 - 11. 05	한국시험인증원

※ 검증시험의 목적, 방법 등 시험 관련 세부 내용은 이 보고서의 별첨자료 참조.

구분	시험결과 (시험성적서 내용 일부 발췌)																																																		
1차 연도	○ 전원제어 동작 시간 <table><tr><th>분류</th><th>ON/OFF</th><th>전원 제어 버튼 클릭 시각</th><th>전구 확인 시각</th><th>소요시간</th></tr><tr><td rowspan="2">전원제어 전체</td><td>ON</td><td>12:21:27</td><td>12:21:33</td><td>6초</td></tr><tr><td>OFF</td><td>12:21:35</td><td>12:21:41</td><td>6초</td></tr><tr><td rowspan="2">전원제어 1</td><td>ON</td><td>12:21:44</td><td>12:21:51</td><td>7초</td></tr><tr><td>OFF</td><td>12:21:53</td><td>12:21:58</td><td>5초</td></tr><tr><td rowspan="2">전원제어 2</td><td>ON</td><td>12:21:59</td><td>12:22:03</td><td>4초</td></tr><tr><td>OFF</td><td>12:22:08</td><td>12:22:12</td><td>4초</td></tr><tr><td rowspan="2">전원제어 3</td><td>ON</td><td>12:22:13</td><td>12:22:16</td><td>3초</td></tr><tr><td>OFF</td><td>12:22:20</td><td>12:22:25</td><td>5초</td></tr><tr><td rowspan="2">전원제어 4</td><td>ON</td><td>12:22:26</td><td>12:22:31</td><td>5초</td></tr><tr><td>OFF</td><td>12:22:34</td><td>12:22:39</td><td>5초</td></tr></table>	분류	ON/OFF	전원 제어 버튼 클릭 시각	전구 확인 시각	소요시간	전원제어 전체	ON	12:21:27	12:21:33	6초	OFF	12:21:35	12:21:41	6초	전원제어 1	ON	12:21:44	12:21:51	7초	OFF	12:21:53	12:21:58	5초	전원제어 2	ON	12:21:59	12:22:03	4초	OFF	12:22:08	12:22:12	4초	전원제어 3	ON	12:22:13	12:22:16	3초	OFF	12:22:20	12:22:25	5초	전원제어 4	ON	12:22:26	12:22:31	5초	OFF	12:22:34	12:22:39	5초
분류	ON/OFF	전원 제어 버튼 클릭 시각	전구 확인 시각	소요시간																																															
전원제어 전체	ON	12:21:27	12:21:33	6초																																															
	OFF	12:21:35	12:21:41	6초																																															
전원제어 1	ON	12:21:44	12:21:51	7초																																															
	OFF	12:21:53	12:21:58	5초																																															
전원제어 2	ON	12:21:59	12:22:03	4초																																															
	OFF	12:22:08	12:22:12	4초																																															
전원제어 3	ON	12:22:13	12:22:16	3초																																															
	OFF	12:22:20	12:22:25	5초																																															
전원제어 4	ON	12:22:26	12:22:31	5초																																															
	OFF	12:22:34	12:22:39	5초																																															
2차 연도	3.3.3 시험 결과 ○ 시스템 제어 평균 응답시간 : 0.244초 <table><tr><th>시험회차</th><th>응답시간</th></tr><tr><td>1</td><td>0.133초</td></tr><tr><td>2</td><td>0.200초</td></tr><tr><td>3</td><td>0.233초</td></tr><tr><td>4</td><td>0.234초</td></tr><tr><td>5</td><td>0.267초</td></tr><tr><td>6</td><td>0.301초</td></tr><tr><td>7</td><td>0.167초</td></tr><tr><td>8</td><td>0.267초</td></tr><tr><td>9</td><td>0.267초</td></tr><tr><td>10</td><td>0.366초</td></tr><tr><td>평균</td><td>0.244초</td></tr></table>	시험회차	응답시간	1	0.133초	2	0.200초	3	0.233초	4	0.234초	5	0.267초	6	0.301초	7	0.167초	8	0.267초	9	0.267초	10	0.366초	평균	0.244초																										
시험회차	응답시간																																																		
1	0.133초																																																		
2	0.200초																																																		
3	0.233초																																																		
4	0.234초																																																		
5	0.267초																																																		
6	0.301초																																																		
7	0.167초																																																		
8	0.267초																																																		
9	0.267초																																																		
10	0.366초																																																		
평균	0.244초																																																		
3차 연도	3.3.3 시험 결과 ○ 시스템 제어 평균 응답시간 : 1.837초 <table><tr><th>시스템 제어 구분</th><th>ON 응답시간</th><th>OFF 응답시간</th></tr><tr><td>전원제어 전체 ON/OFF</td><td>1.995초</td><td>1.641초</td></tr><tr><td>전원제어 1 ON/OFF</td><td>1.02초</td><td>0.754초</td></tr><tr><td>전원제어 2 ON/OFF</td><td>2.298초</td><td>3.064초</td></tr><tr><td>전원제어 3 ON/OFF</td><td>1.835초</td><td>0.924초</td></tr><tr><td>전원제어 4 ON/OFF</td><td>2.798초</td><td>1.467초</td></tr><tr><td>카메라 화면 갱신</td><td colspan="2">1.952초</td></tr><tr><td>시스템 제어 평균 응답시간</td><td colspan="2">1.837초</td></tr></table>	시스템 제어 구분	ON 응답시간	OFF 응답시간	전원제어 전체 ON/OFF	1.995초	1.641초	전원제어 1 ON/OFF	1.02초	0.754초	전원제어 2 ON/OFF	2.298초	3.064초	전원제어 3 ON/OFF	1.835초	0.924초	전원제어 4 ON/OFF	2.798초	1.467초	카메라 화면 갱신	1.952초		시스템 제어 평균 응답시간	1.837초																											
시스템 제어 구분	ON 응답시간	OFF 응답시간																																																	
전원제어 전체 ON/OFF	1.995초	1.641초																																																	
전원제어 1 ON/OFF	1.02초	0.754초																																																	
전원제어 2 ON/OFF	2.298초	3.064초																																																	
전원제어 3 ON/OFF	1.835초	0.924초																																																	
전원제어 4 ON/OFF	2.798초	1.467초																																																	
카메라 화면 갱신	1.952초																																																		
시스템 제어 평균 응답시간	1.837초																																																		

○ IoT 무선 제어장치 개발

- LoRa 무선 통신을 이용한 원거리 무선 원격 제어 가능
- 무선 제어를 위한 USB 형태의 dongle 및 무선 제어장치 개발

○ 게이트웨이와 IP 카메라 연동

- TCP/IP에 의해 게이트웨이와 IP 카메라를 연동
- 사용자 웹환경에서 현장의 제어 상태 실시간 확인 가능
- 스틸컷 이미지 또는 RTSP를 이용한 실시간 영상 확인 가능

(2) 정량적 연구개발성과 (양적 목표)

○ 특허

- 총 5건의 특허 출원/등록을 계획하였으며, 계획된 특허 출원/등록건수를 달성함.

구분	정량적 목표	목표 달성치	특허		
			출원일	등록일	명칭
1차 연도	출원 2건	출원 2건	2019. 11. 2	-	가상공간을 이용한 영상정보 기반 급경사지 위험 감시 방법
			2019. 11. 2	-	진동 합성 영상정보를 이용한 급경사지 위험 감시 방법
2차 연도	등록 2건	등록 2건	-	2020. 7. 28	가상공간을 이용한 영상정보 기반 급경사지 위험 감시 방법
			-	2020. 7. 27	진동 합성 영상정보를 이용한 급경사지 위험 감시 방법
3차 연도	출원 3건, 등록 3건	출원 3건, 등록 3건	2021. 5. 12	2021. 9. 16	딥러닝-기반 산사태 분산 감지 시스템
			2021. 5. 12	2021. 9. 16	딥러닝-기반 산사태 분산 감지 방법
			2021. 5. 12	2021. 9. 16	딥러닝-기반 현장설치 산사태 감지 모듈

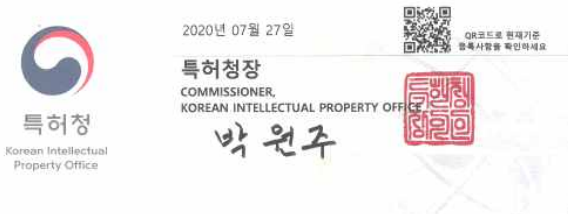
※ 특허 관련 세부 내용은 이 보고서의 별첨자료 참조.



<가상공간을 이용한 영상정보 기반 급경사지 위험 감시 방법>



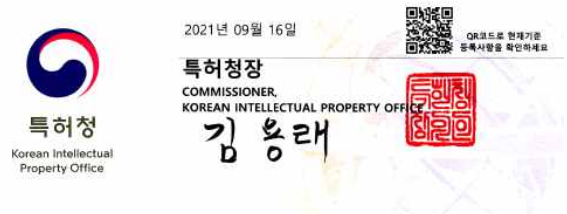
위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



<진동 합성 영상정보를 이용한 급경사지 위험 감시 방법>



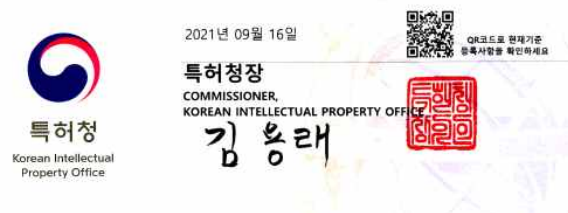
위의 발명은 「특허법」에 따라 특허원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



<딥러닝-기반 산사태 분산 감지 시스템>



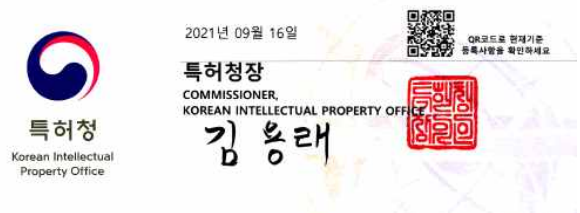
위의 발명은 「특허법」에 따라 특허원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



<딥러닝-기반 산사태 분산 감지 방법>



위의 발명은 「특허법」에 따라 특허원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



<딥러닝-기반 현장설치 산사태 감지 모듈>

○ 저작권 (소프트웨어)

- 총 2건의 저작권 (소프트웨어) 등록을 계획하였으며, 계획된 저작권 (소프트웨어) 등록건수를 달성함.

구분	정량적 목표	목표 달성치	저작권 (소프트웨어)		
			등록일	저작권자	명칭
3차 연도	등록 2건	등록 2건	2021. 11. 29	씨티씨(주)	영상계측 기반 표층면 진동 분석 프로그램
			2021. 11. 29	씨티씨(주)	딥러닝 기반 산사태 감지 프로그램



<영상계측 기반 표층면 진동 분석 프로그램>



<딥러닝 기반 산사태 감지 프로그램>

○ 시제품

- 총 1건의 시제품 제작을 계획하였으며, 계획된 시제품 제작건수를 달성함.

구분	정량적 목표	목표 달성치	시제품		
			제작일	제작업체	명칭
3차 연도	1건	1건	2021. 11. 2	씨티씨(주), (주)유인프라웨이	딤러닝 기반 산사태 감지 시스템



<강관 지주 및 베이스 플레이트>



<완성된 시제품>



<함체 내부에 설치된 부품 (게이트웨이, LoRa 통신 모듈 등)>

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

☐ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율

☐ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명

☐ 기술 요약 정보

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

☐ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호

☐ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

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

[기술적 성과]

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

번호	구분	지식재산권 등 명칭	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	가상공간을 이용한 영상정보 기반 급경사지 위험 감시 방법	한국	씨티씨(주)	2019. 11. 2	10-2019- 0139088	씨티씨(주)	2020. 7. 28	10- 2140606	100%	활용
2	특허	진동 합성 영상정보를 이용한 급경사지 위험 감시 방법	한국	씨티씨(주)	2019. 11. 2	10-2019- 0139090	씨티씨(주)	2020. 7. 27	10- 2139987	100%	활용
3	특허	딥러닝-기반 산사태 분산 감지 시스템	한국	씨티씨(주)	2021. 5. 12	10-2021- 0061534	씨티씨(주)	2021. 9. 16	10- 2305468	100%	활용
4	특허	딥러닝-기반 산사태 분산 감지 방법	한국	씨티씨(주)	2021. 5. 12	10-2021- 0061529	씨티씨(주)	2021. 9. 16	10- 2305467	100%	활용
5	특허	딥러닝-기반 현장설치 산사태 감지 모듈	한국	씨티씨(주)	2021. 5. 12	10-2021- 0061526	씨티씨(주)	2021. 9. 16	10- 2305464	100%	활용

○ 지식재산권 활용 유형

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

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
1	영상계측 기반 표층면 진동 분석 프로그램	2021. 11. 22	씨티씨(주)	2021. 11. 29	C-2021-051054	씨티씨(주)	100%
2	딥러닝 기반 산사태 감지 프로그램	2021. 11. 22	씨티씨(주)	2021. 11. 29	C-2021-051055	씨티씨(주)	100%

□ 신기술 지정

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

□ 표준화

○ 국내표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

○ 국제표준

번호	표준화단계 구분	표준명	표준기구명	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	딥러닝 기반 산사태 감지 시스템	2021. 11. 2	씨티씨(주), (주)유인프라웨이	씨티씨(주)	산사태 감시	3년	-	-

□ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)

□ 기술 실시(이전)

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

□ 사업화 투자실적

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

□ 사업화 현황

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

□ 매출 실적(누적)

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

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

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

☐ 고용 창출

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

☐ 고용 효과

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

☐ 비용 절감(누적)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

☐ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

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

☐ 산업 지원(기술지도)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

☐ 기술 무역

(단위 : 천원)

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

[사회적 성과]

☐ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

☐ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

☐ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

☐ 신진연구자 채용

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

☐ 전문 연구 인력 양성

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

☐ 산업 기술 인력 양성

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

☐ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)

☐ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

☐ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일

☐ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

☐ 연구시설·장비

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

2) 목표 달성 수준

연구 개발 목표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 딥러닝 기반 산사태 감지 분산형 시스템 개발 - 딥러닝에 기반하여 0 Lux 초저조도 야간 강우 환경에서 95% 이상의 정확도로 산사태(탈락, 활동, 전도, 퍼짐, 유동)를 감지 - 10개소의 표층면 진동을 동시에 고속 카메라로 촬영하고 분석 - 6시간 이내에 개발 시스템의 현장구축	○ 딥러닝 기반 산사태 감지 분산형 시스템 개발 - 산사태 (표층 붕괴) 유형 중 탈락, 활동, 전도, 퍼짐, 유동 이벤트에 대해 3D 제작 영상, 실제 동영상 및 mock-up 테스트 영상을 이용하여 YOLOv4 알고리즘을 적용하여 신경망 학습을 진행 - 주간, 야간 및 0 Lux 초저조도 야간 강우 환경에서 5가지 산사태 유형(탈락, 활동, 전도, 퍼짐, 유동)을 95% 이상의 정확도로 감지할 수 있음을 공인시험기관의 검증시험을 통해 확인(탈락 : 96.7%, 활동 : 98.3%, 전도 : 96.0%, 퍼짐 : 95.0%, 유동 : 98.3%) - 고속카메라 영상에서 획득되는 픽셀 데이터로부터 진동을 측정하고, 측정된 신호에 대한 실시간 FFT 분석을 진행하여 진동체의 주파수를 즉시 확인할 수 있는 영상계측 기반 표층면 진동분석 모듈 개발 - 영상계측 기반 표층면 진동분석 모듈은 10개소의 표층면 진동을 동시에 고속 카메라로 촬영하고 분석 가능하다는 것을 공인시험기관의 검증시험을 통해 확인 - 개발된 딥러닝 기반 산사태 감지 분산형 시스템의 현장설치를 위해 설치·해체가 용이하도록 현장부품을 모듈화하여 제작 - 공인시험기관의 검증시험을 통해 모듈화된 개발시스템의 현장설치 및 정상 운영(영상 스트리밍, 게이트웨이 웹서버 접속, 산사태 감지 알람 전송 등)에 소요되는 시간이 정량적 목표기준인 6시간 이내임을 확인(총 32분 소요)	100.0
○ 분산형 시스템과 연동되는 게이트웨이 개발 - 10초 이내의 게이트웨이 산사태 알람 전송 기능 - 10초 이내의 게이트웨이 분산형 시스템 원격제어 기능	○ 분산형 시스템과 연동되는 게이트웨이 개발 - 3G/LTE 무선 통신망을 이용하여 10초 이내에 원격으로 현장의 장비와 연결할 수 있는 기능과 현장 장비를 제어할 수 있는 임베디드 리눅스 시스템 기반의 IoT 게이트웨이를 개발 - 사용자의 PC 또는 스마트폰 등에서 IoT 게이트웨이에 접속하여 게이트웨이에 내장된 미니 웹서버 기능 제공 - 문자 메시지 전송기능을 탑재하여 10초 이내에 알람문자를 통해 이벤트 상황 전파가 가능 - 공인시험기관의 검증시험을 통해 10초 이내에 산사태 알람 전송 및 시스템 원격 제어가 가능하다는 것을 확인(알람 전송 : 평균 1.954초, 원격 제어 : 평균 1.837초)	100.0

4. 목표 미달 시 원인분석 (해당 시 작성)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

☐ 해당사항 없음

2) 자체 보완활동

☐ 해당사항 없음

3) 연구개발 과정의 성실성

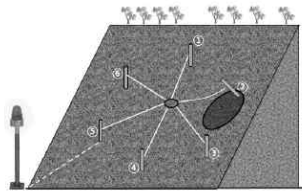
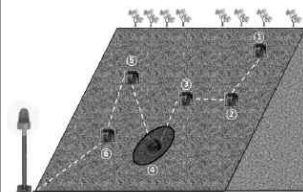
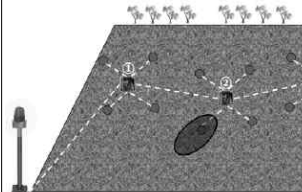
☐ 해당사항 없음

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 산사태 감시 시스템에 관한 국내 기술 현황

- 국내 산사태 감시 시스템 사례로 한국도로공사가 운영 중인 ‘사면 올빼미(이하 올빼미)’라는 고속도로 비탈면 경보시스템이 있음(표 31 참조). 올빼미 시스템은 다수의 변위센서를 위험사면에 설치하여 사면의 움직임 여부를 감시하는 방식임. 2013년 올빼미 1.0 개발을 시작으로 2014년 올빼미 2.0과 올빼미 3.0, 2017년 올빼미 4.0으로 발전된 상태임[18, 19]. 올빼미 1.0은 지주간 상대적 움직임을 감지하는 방식이고, 올빼미 2.0은 지주 자체의 움직임을 감지하는 방식임. 올빼미 3.0은 올빼미 2.0의 센서망을 업그레이드한 것으로서 디지털 모(母) 센서에 다수의 아날로그 자(子) 센서가 연결되는 방식임. 올빼미 4.0은 기울기, 가속도 측정 기능이 추가되었음. 통신방식은 올빼미 1.0~3.0은 CDMA를 이용하였고, 올빼미 4.0은 센서와 중계기는 LoRa, 중계기는 LTE를 사용함. 올빼미 4.0의 경우 데이터 전송량이 많아 LTE 통신방식으로 변경됨. 올빼미는 감지센서, 컨트롤 박스, 솔라경광등, 통신단말기, 서버로 구성됨. 컨트롤 박스는 감지센서에 한계값을 초과하는 신호가 들어오는 경우에 센서 위치와 번호를 관리자에게 문자 발송하고, 경광등을 작동시키는 기능을 함. 그리고 상황실에도 통신단말기를 통해 상황을 전파함. 상황실, 관리자, 순찰반에서는 위험신호 감지 후 현장조사를 거쳐 응급보수를 하는 순서로 사면 붕괴에 사전대응을 함.
- 올빼미는 접촉식 시스템으로 사면 변위를 직접 측정하므로 사전대응에 유리한 장점을 가지고 있음. 하지만, 붕괴위험 사면의 면적이 크거나, 감지 센서가 설치되지 않는 위치에서 낙석이나 토석류가 발생하는 경우는 이벤트 발생 정보를 제공하지 않는 단점이 있음. 또한, 관리자가 현장에 직접 방문하여 도로사면의 상태를 파악해야 하기 때문에 이벤트 발생 전후의 상태 변화를 신속히 확인하기 어렵다는 한계도 가지고 있음.

<표 31> 사면 올빼미의 주요 특성 [18, 19]

올빼미 1.0 (2013년)	올빼미 2.0 (2014년)	올빼미 3.0 (2014년)	올빼미 4.0 (2017년)
			
·지주간 와이어(장력) 평형 유지, 상대적 움직임 감지 ·아날로그 방식(와이어)	·지주당 평형센서 장착 ·지주자체 움직임 감지 ·디지털 방식(평형센서)	·디지털 모(母) 센서에 아날로그 자(子) 센서 연결 ·디지털+아날로그 방식	·센서-중계기 : LoRa 통신 ·중계기 : LTE 통신 ·기울기, 가속도 추가 측정

- 한국지질자원연구원에서도 산사태 감시시스템을 개발 운영 중에 있음[20]. 2014년부터 국립공원관리공단과 함께 지리산국립공원(천황봉 인근, 중산리 계곡), 설악산국립공원(백담사 계곡) 내 산사태 위험지역 및 상습 발생지역 4개소에 감시시스템을 설치하였음. 한국지질자원연구원의 산사태 감시시스템은 강우량, 지층 함수 상태, 지층 응력상태, 지층 움직임, 토석류 흐름 등을 측정하는 센서 정보와 사면 움직임을 실시간 관찰할 수 있는 레이더 위성(SAR) 정보를 함께 활용하는 특징을 가짐(표 32 참조).
- 통신방식은 CDMA를 활용하며, 측정된 데이터는 실시간으로 한국지질자원연구원과 국립공원관리공단으로 전송되고, 필요 시 현장장비를 원격으로 제어도 할 수 있음. 한국지질자원연구원의 산사태 감시시스템과 한국도로공사 ‘올빼미’의 가장 큰 차이점은 다양한 센서를 사용한다는 점과 레이더 위성(SAR)을 이용하여 지표면의 변화를 감시한다는 점임.

<표 32> 한국지질자원연구원 산사태 감시시스템을 구성하는 센서의 주요 특징 [20]

센서 종류	센서 기능
강우계	·현장에서 강우량을 실시간으로 측정
함수비/온도	·토층 내부의 함수비와 온도 변화 측정
유전율 센서	·흙의 함수 상태가 바뀌면서 발생하는 전기적 성질의 변화 측정
흡입응력 센서	·강우 시 흙 입자 사이의 모관흡수력 변화에 따른 흡입응력 변화 측정
지반변위 센서	·지층이 미끄러지면서 움직이는 정도 측정
토석류 감지 센서	·흙/암석/물이 흙탕물 형태로 흘러내리는 토석류 흐름 감지
SAR 위성	·인공위성에 부착된 레이더 관측센서로 지표면의 미세한 변위 감지 ·광학렌즈와 달리 주야간, 기상상황, 식생 등에 관계없이 변화 측정 가능

○ 지능형 영상처리에 관한 국내 기술 현황

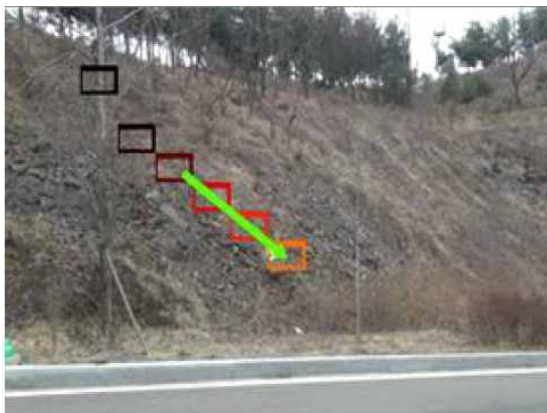
- 지능형 영상 처리기법을 이용한 경우로는 황웅 등의 연구사례[21]가 있음. 황웅 등은 촬영된 카메라 영상을 바탕으로 블록 단위 픽셀의 움직임을 측정하는 방식을 이용함. 차영상 기법을 활용하여 그림 81과 같이 현재 프레임 영상과 이전 프레임 영상의 차이를 비교하여 임계값(threshold) 이상이면 움직임이 발생한 것으로 추정하고, 움직임 맵에 해당 움직임이 발생한 순서를 기록함. 그리고, 시간 순서에 따라 블록의 경고 표시 색깔을 다르게 하여 밝기에 따라 산사태가 발생한 영역의 순서를 알 수 있게 알고리즘을 구성함. 만일 움직임 맵에 기록된 움직임이 중력방향인 경우 산사태로 판단하고, 알람을 통보하도록 처리함. 그러나 황웅 등의 연구에서는 야간 악천후 시 발생하는 오감지의 극복과 이벤트 감지에 대한 구체적인 설명은 되어 있지 않은 상태로서 이론적 연구수준에 머무름.



(a) 움직임 순서 측정



(b) 산사태 피해 지점 표시 (파란색 박스)



(c) 움직임 맵 표시



(d) 낙석 검출 (파란색 박스)

<그림 81> 산사태 검출 영상 [21]

- 국내의 지능형 영상감시 시스템은 공공기관의 수요에 맞춰 시장이 형성되어 있는 상태이며, 보통 대규모 SI (System Integration) 사업의 한 부분으로 구축되고 있음. 국내 시장은 공공기관 발주와 대기업 서비스 위주로 형성되어 있으므로 개인이나 소기업 사용자들은 접근하기 어려운 특징을 가지고 있음.



(a) 지방자치단체 CCTV 관제센터 사례

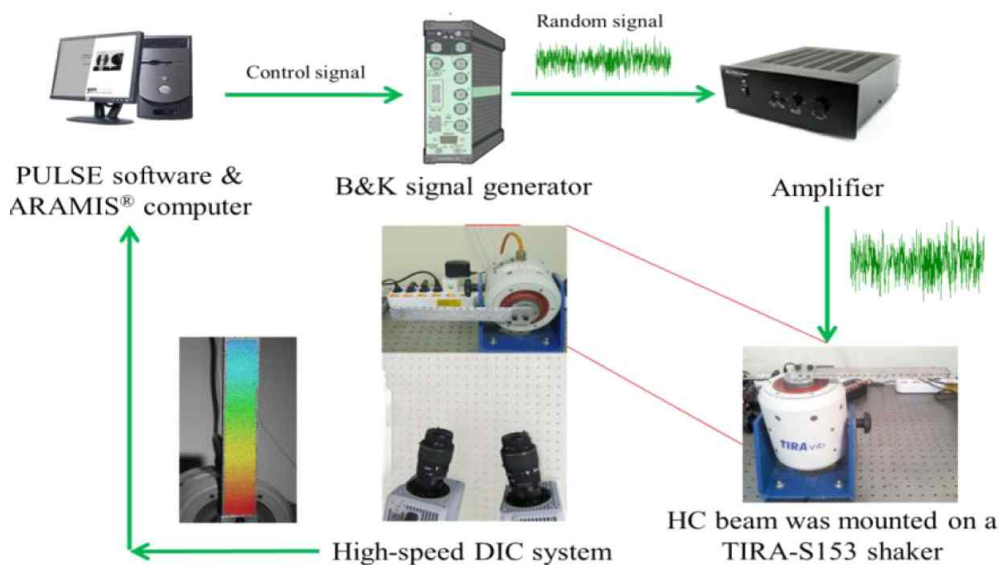


(b) 보안서비스기업 CCTV 관제센터 사례

<그림 82> 국내 중앙집중형 영상감시 시스템 사례

○ 영상기반 진동 계측에 관한 국내 기술 현황

- 영상기반 진동 계측은 지속적인 연구가 진행되고 있으며, 주로 기계구조물과 중요시설물의 진동계측에 초점을 맞추고 있음. 고속카메라 영상을 이미지 상관법이나 서브픽셀 알고리즘을 사용하여 분석한 후, 가속도계 측정데이터와 비교하는 방식의 연구들이 주로 수행되고 있음[22]. 하지만, 상용화된 시스템은 출시되지 않은 상태이며, 분석 데이터의 이상 유무를 판단하거나, IoT 장비와 연동되는 지능형 감시 시스템도 출시되지 않은 상태임.



<그림 83> 고속카메라 영상 디지털 이미지 상관법을 이용한 진동 계측 연구사례 [22]

○ IoT 응용 서비스 현황

- IoT 응용 서비스는 이동통신 3사와 중소기업의 서비스 전략에 따라 차이가 발생하고 있음. 이동통신 3사의 경우는 이미 구축된 통신망을 최대한 활용하는 전략에 따라 관련 제품 개발 및 서비스 상품을 출시하고 있음. 한편, 중소기업은 전국 단위 서비스보다는 특화된 서비스 발굴에 노력하고 있는 상태임.
- 국내에서 많이 사용되는 무선 프로토콜은 LoRa와 LTE임. 센서 노드의 송신 데이터량이 적고 샘플링 간격이 수십 초 이상인 경우는 저전력 LoRa 프로토콜이 많이 선호되며, 송신 데이터량이 많고 샘플링 간격이 짧은 경우는 LTE 프로토콜이 주로 사용됨. 대부분의 IoT 서비스가 정확도를 요구하지 않기 때문에, wirelessHart와 같이 시간동기화 기능을 갖춘 무선 프로토콜은 사용되지 않고 있음.

- 그리고 Zigbee 프로토콜의 경우는 회절성이 떨어져서 장거리 데이터 전송에 어려움이 많기 때문에 IoT 시스템에 많이 사용되지 않고 있음. 국내에 출시되고 있는 IoT 서비스의 특징은 개방형보다는 폐쇄형 전략이 선호된다는 점임. 회사마다 IoT 노드, 게이트웨이, 웹 서비스를 따로 만들고 있기 때문에 시장에 유사한 서비스가 다수 존재하고 있는 실정임. 소비자 기호에 맞춰 IoT 노드를 변경하거나, 게이트웨이 기능을 조정하고, 웹 페이지를 커스터마이징(customizing)하는 기능이 지원되지 않거나, 아예 없는 경우도 많아 사용자층을 확장시키는데 어려움을 겪고 있음.

<표 33> 국내 사용 IoT 프로토콜의 주요 특징

구분	Max. range	Data rate	Frequency	Topology
ZigBee	200m	250kbps	2.4GHz/868MHz	Star, Tree, Mesh
LTE-M	< 11km	< 1Mbps	700/800/900MHz	Star
LoRaWAN	2~15km	300bps~50kbps	433/868/780/915MHz	Star
Bluetooth 5.0	< 300m	2Mbps	2.4GHz	Master-slave
NB-IoT	< 15km	200kbps	700/800/900MHz	Point-to-point

- 전술한 바와 같이 국내 IoT 업체들은 오픈 소스, 오픈 소스 하드웨어 전략을 사용하지 않고 있으므로 개인이나 중소기업에서 간편하게 이용할 수 있는 IoT 제품과 서비스가 거의 없는 상황임. 개인과 중소기업 입장에서 국내에 출시된 IoT 시스템을 활용하고 싶어도 고가의 비용 때문에 결국 아두이노, 라즈베리파이 등과 같은 저가의 오픈 소스 하드웨어 시스템을 이용하여 독자적으로 시스템을 구성할 수 밖에 없는 어려움이 발생되고 있음. 또한, 전 세계적으로 클라우드 서비스를 이용한 PaaS(Platform As A Service) 환경으로 전환되고 있지만, 국내 소비자들은 여전히 On-Premises 방식을 선호하고 있음. 결국 국내 소비자들을 만족시킬 수 있는 DIY 방식의 IoT 서비스가 시장에 제공되지 못하고 있는 것이 현실임.

○ 기존 국내 기술 대비 우수성 및 관련 분야 기술에 대한 기여도

- 기존 접촉식 산사태 감시 시스템[18-20]의 문제점(광범위한 지역에 적용 곤란, 주기적인 센서 교정/교체 필요, 데이터 분석 전문가 필요, 현장 상태확인에 장시간 소요 등)을 해결할 수 있는 영상/진동계측 기반 산사태 감시 시스템 개발 (개발 시스템의 산사태 감지 정확도가 95% 이상임을 공인시험기관에서 확인).



<그림 84> 기존 산사태 감시 시스템과 연구개발 시스템 비교

- 산사태 감지 정확도 설정근거

- 일반적으로 인간의 사물 인식 정확도는 95% 이상으로 알려져 있지만, 2018년 발표된 R. Geirhos et al.[2, 3]의 논문에 의하면 인간의 사물 인식 정확도는 컬러인 경우 88.5%, 흑백인 경우 86.6%로 확인되고 있음. 5%의 색상대비(contrast)가 있는 경우와 노이즈가 심한 경우에는 인간의 사물 인식 정확도는 각각 47.6%와 45.6%로 급격히 떨어짐. Alexnet, GoogleNet, ResNet 등 CNN 알고리즘의 사물 인식 정확도는 평균적으로 컬러인 경우 약 97%, 흑백인 경우 약 96%, 색상대비(contrast)가 있는 경우 약 91%, 노이즈가 심한 경우 약 83%의 성능을 보여주고 있음. 이 연구과제는 0 Lux 초저조도 야간 강우 환경에서도 운용할 수 있는 시스템 개발이 목표이므로 흑백 영상을 기준으로 산사태 이벤트 감지를 고려해야 함. 따라서, 전술한 바와 같이 보편적이고 검증된 CNN 알고리즘의 흑백 사물 인식 정확도를 고려하여 산사태 감지 정확도를 95% 이상으로 설정함.

Evaluation condition	colour	88.5	96.7	90.6	50.0	83.1	86.1	84.2	90.8	10.4	8.1	97.9	95.4	72.3	93.0	91.1	92.4	94.9	10.2	11.2	95.5	95.9
	greyscale	86.6	87.8	95.6	94.1	86.2	93.2	87.8	90.5	10.3	9.8	94.0	96.8	96.2	93.3	95.7	94.3	90.9	11.4	12.8	94.8	95.1
	contrast (5%)	47.6	13.1	14.2	89.4	19.6	39.8	17.1	10.2	28.6	29.0	46.3	51.7	95.1	50.5	79.1	59.4	45.2	34.6	37.9	90.9	88.2
	low-pass (std=7)	48.5	18.9	16.1	16.4	78.4	11.9	16.0	9.8	6.9	6.6	16.0	18.6	14.4	87.2	20.5	13.8	13.5	7.1	9.3	74.7	74.9
	high-pass (std=0.7)	49.8	21.1	24.7	29.9	11.7	92.6	27.7	8.3	10.4	20.6	25.1	22.8	29.2	25.0	94.3	27.5	28.3	18.9	19.8	91.4	90.7
	phase noise (90°)	57.4	23.3	28.3	31.2	27.0	46.6	81.4	24.4	7.4	8.9	30.8	31.4	30.6	31.4	43.4	87.4	24.1	7.8	7.6	82.9	82.6
	rotation (90°)	78.5	36.5	43.3	39.9	31.8	40.4	37.7	89.0	8.5	8.0	38.5	41.9	40.3	35.2	40.1	40.5	89.0	8.3	8.8	80.1	80.5
	salt-and-pepper noise (0.2)	NA	6.1	6.4	5.8	7.9	6.2	6.2	6.4	79.4	6.2	6.2	6.1	6.3	5.4	5.8	5.7	6.2	89.6	6.2	78.6	13.6
	uniform noise (0.35)	45.6	6.2	7.3	6.9	9.0	7.3	6.2	6.0	10.2	80.3	84.6	83.3	85.0	84.6	83.7	82.5	83.8	85.4	89.8	11.0	71.5
		human observers A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7 A8 A9 B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 C1 C2																				

= manipulation included in training data

Model

※ A1~A9, B1~B9, C1~C2는 CNN 알고리즘에 의한 결과

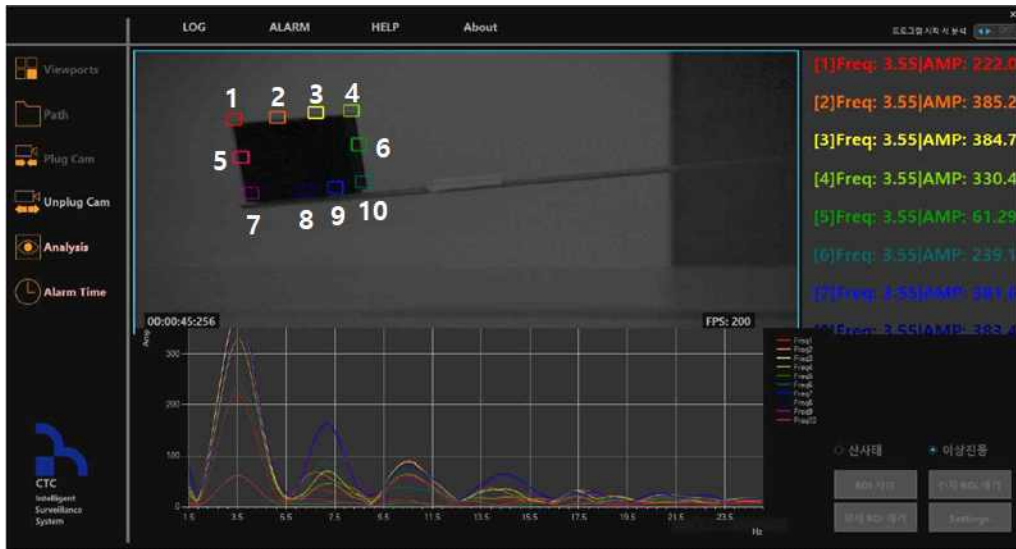
<그림 85> 인간과 CNN 알고리즘의 사물 인식 정확도

- 기존 중앙집중형 영상 감시가 아닌 현장 설치 PC에서 영상 감시가 가능한 분산형 영상분석 시스템 개발 (저비용의 영상 감시, 대규모 SI 사업 불필요)



<그림 86> 중앙집중형과 분산형 영상분석 시스템

- 1대의 카메라로 독립된 10개소의 진동을 동시에 측정하고 분석할 수 있는 영상계측 기반 표층면 진동분석 모듈을 개발하고, 이에 대해 공인시험기관에서 확인

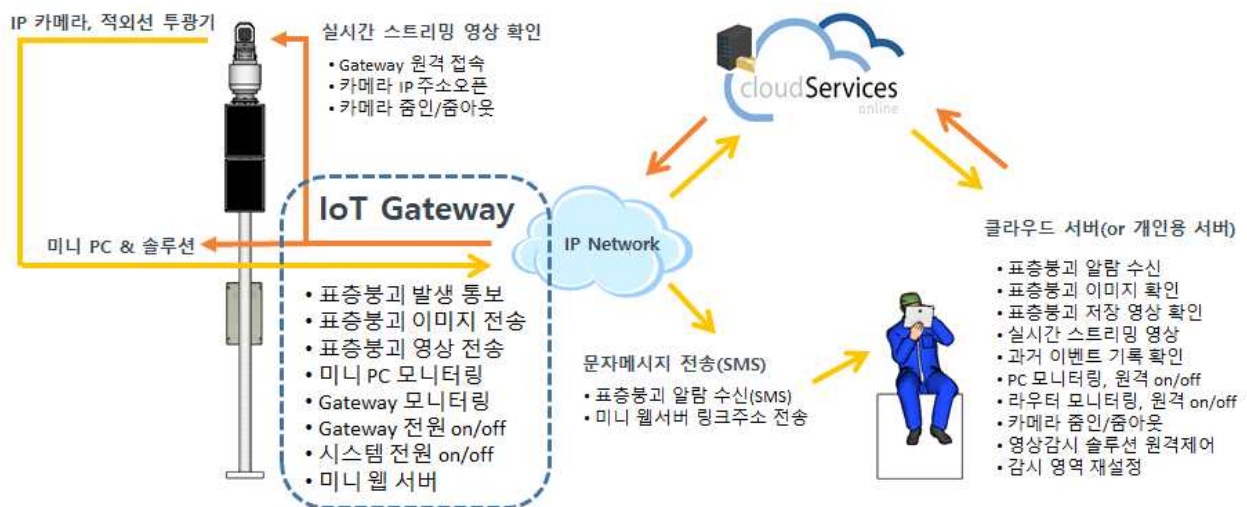


<그림 87> 영상계측 기반 진동분석 모듈 (10개소 동시 측정/분석)

- 분산형 영상분석 시스템과 연동되는 IoT 게이트웨이를 개발하였으며, 10초 이내에 알람 전송, 원격 제어가 가능하다는 것을 공인시험기관에서 확인



(a) IoT 게이트웨이



(b) IoT 게이트웨이 기능

<그림 88> 연구개발 IoT 게이트웨이

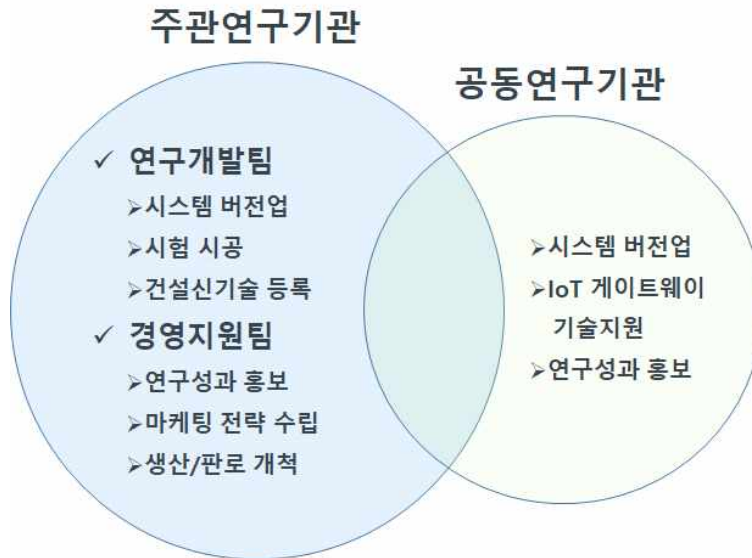
- 이 연구에서 개발된 분산형 영상분석 시스템은 설치가 용이하고, 사용이 편리하므로 기존 시스템과 달리 관리자에게 직관적인 정보를 신속히 제공할 수 있는 장점을 가지고 있음. 이러한 장점은 사면붕괴 발생 시 현장 조사 시간을 절약하고, 신속한 대응을 가능하게 만들어 줌.
- 센서를 설치하는 접촉식 감시 시스템의 경우, 주기적인 재교정, 노이즈 데이터 필터링, 데이터 분석 교육이 필요하며, 사면붕괴 알람 통보 후 현장을 방문하여 조사를 해야 하는 한계점을 가짐. InSAR 위성은 감시 주기가 6~12개월 단위로 매우 길며, 해상도가 약 1.0m 정도로 대규모 산사태 감시에는 적합하지만, 소규모 지역 감시에는 부적합함. 또한 복잡한 데이터 분석이 필요하다는 어려움이 있음. 그러나 이 연구를 통해 개발된 시스템은 산사태 영상감시 분야에서 표 34와 같은 효과가 있음.

<표 34> 연구개발 시스템의 기대효과

주요내용	기대효과
시스템 설치시간	6시간 이내 (경량화 부품으로 신속한 현장조립 가능)
시스템 설치비용	1,000만원 이내 (미니PC, Bullet형 카메라 4대, 경량형강 지주, 합체 등)
시스템 재활용성	철거 후 다른 감시 포인트로 이동 후 재사용 가능
표층붕괴 감시 범위	최대 2,000m ² (1/3인치, 8mm, 감시거리 30m Bullet형 카메라 8대 사용 시)
표층붕괴 감시 포인트	최대 10 포인트 (카메라 1대 기준, 카메라를 이용한 진동 측정)
표층붕괴 감시 정확도	95% (표층붕괴 유형인 탈락, 활동, 전도, 퍼짐, 유동 감시)
감시용 카메라 재교정	재교정 불필요 (기타 센서류는 주기적인 재교정 필수)
관리자 교육, 숙련여부	데이터 분석 교육 불필요 (영상 이미지로 직관적인 확인 가능)
노이즈 데이터	노이즈 데이터 처리 불필요 (영상 학습으로 노이즈 자동 필터링)
표층붕괴 현장 확인	원격으로 5분 이내 확인가능 (기존에는 현장 확인까지 30분~1시간 소요)
표층붕괴 대응방안 수립	30분 이내 가능 (원격으로 사고현장을 보면서 수습방안 협의 가능)
중앙관제센터 연계비용	0원 (분산형 시스템으로 독립 사용가능, 대규모 SI 사업 불필요)

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

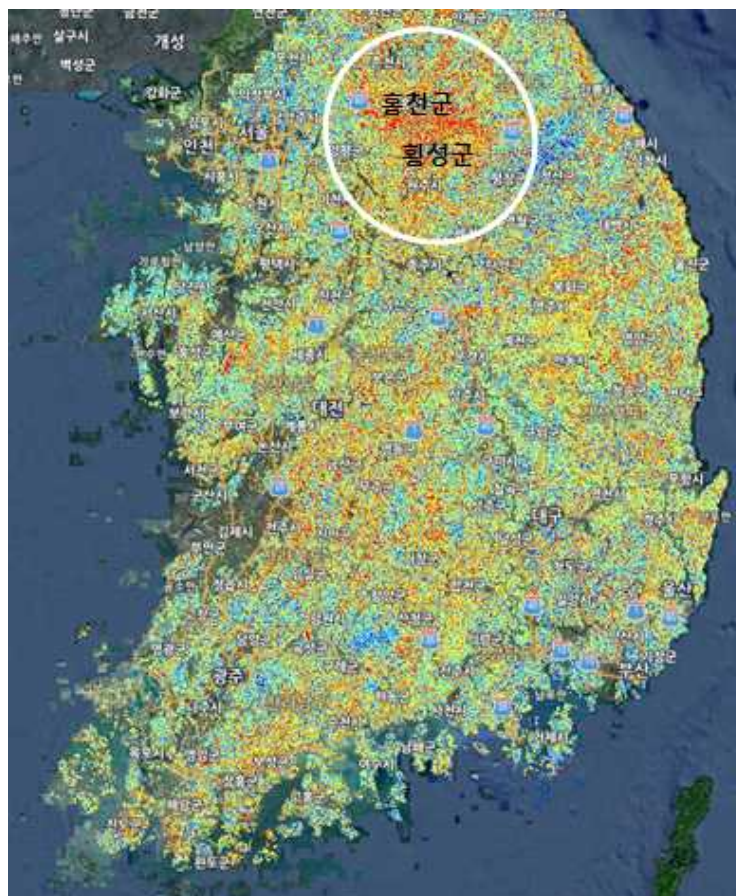
○ 연구성과 관리체계



<그림 89> 연구성과 관리체계

○ 연구성과 활용분야 및 방안

- 본 연구의 성과는 전국에 분포된 산사태 위험지역에 즉시 적용할 수 있음. 다음 그림은 산림청에서 제공하는 전국단위 산사태 위험지도이며, 강원도, 충청북도, 전라북도에 산사태 위험 1등급 지역(빨간색)이 집중되어 있는 것을 확인할 수 있음. 하얀 색 원으로 표시된 강원도 홍천군과 횡성군은 대부분 지역이 산사태 위험 1등급으로 분석되고 있는 상황임.



<그림 90> 전국 산사태 위험지도 (산림청)

- 표 35는 광역시/도별 산사태 발생 위험등급 통계 중 위험도 1등급 지역의 면적을 보여주고 있음. 전술한 바와 같이 전국적으로 위험도 1등급 지역은 621,929ha에 달함. 위험도 1등급 면적 중 인명과 재산 피해 위험이 특히 높은 지역을 0.1%로 가정할 경우 622ha이며, 제곱미터(m²)로 환산할 경우 6,220,000 m²가 됨. 연구개발 시스템이 2,000m²(1/3인치 CCD, 초점거리 8mm, 감시거리 30m IP 카메라 8대 사용조건)를 감시할 수 있다고 가정할 경우, 3,100개소가 필요함. 개소 당 구축비용이 1,000만원 정도로 예상되므로 개발시스템의 시장규모는 약 310억원임.

<표 35> 광역시/도별 산사태 발생 위험등급 통계

광역시/도	분석면적 (ha)	위험도 1등급	
		면적 (ha)	비율 (%)
서울특별시	12,978.70	1,221.30	9.4
부산광역시	33,239.00	1,537.50	4.6
대구광역시	45,397.00	3,875.00	8.5
인천광역시	10,209.80	591.8	5.8
광주광역시	16,403.20	805.6	4.9
대전광역시	25,770.60	2,619.20	10.2
울산광역시	64,016.80	5,934.70	9.3
세종특별자치시	21,855.00	1,592.00	7.3
경기도	423,915.50	35,565.40	8.4
강원도	1,145,382.90	168,943.00	14.7
충청북도	457,177.70	56,554.00	12.4
충청남도	345,632.40	32,797.60	9.5
전라북도	393,172.40	50,151.50	12.8
전라남도	601,961.70	64,419.20	10.7
경상북도	1,273,264.80	137,260.60	10.8
경상남도	630,356.90	58,058.20	9.2
제주특별자치도	56,208.00	3.4	0
합 계	5,556,942.50	621,929.80	11.2

<표 36> 연구개발 시스템의 국내 산사태 감시 예상 시장규모

산사태 위험도 1등급 면적	도로인접 산사태 위험도 1등급 면적(0.1% 가정)①	신개발 시스템 감시면적②	개소당 구축비용③	예상 시장규모 (④=①÷②×③)
621,929 ha	622 ha (=6,220,000m ²)	2,000m ²	1,000만원/ea	310억원

○ 신개발 시스템의 사업화(TRL9)를 위한 추가 연구개발 내용

- 학습 데이터 추가
 - 개발 시스템의 신뢰도 확보를 위해 추가 학습용 실제 산사태 영상(탈락, 활동, 전도, 퍼짐, 유동) 50개 이상을 추가적으로 확보
 - 추가 학습 데이터는 동영상 서비스 플랫폼을 활용하여 획득
- 학습 모델 고도화
 - 추가 실제 산사태 영상을 이용한 모델 학습
 - 기존 및 추가 산사태 영상을 이용한 산사태 감지 정확도 검증
- 영상분석 프로그램 개선
 - 여러 대의 카메라에서 얻어지는 영상을 하나의 PC에서 획득하고, 분석할 수 있도록 프로그램을 개선
- 테스트베드 확보 및 개발 시스템 설치

<표 37> 추가 연구 추진 일정계획

연구내용	2022년									
	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
학습 데이터 추가										
학습 모델 고도화										
영상분석 프로그램 개선										
테스트베드 확보 및 개발 시스템 설치										

※추가 연구개발 내용 및 일정계획은 사정에 따라 다소 변경될 수 있음.

○ 사업화 방안

- 그림 91에 나타난 비즈니스 모델 캔버스(Business Model Canvas, BMC) 작성을 통해 연구개발 시스템의 사업화 방안에 대해 검토함. BMC의 오른쪽 부분은 가치전달을 담당하고, 왼쪽 부분은 가치생산을 담당함. 가치전달은 1. 고객세그먼트, 2. 가치제안, 3. 전달채널, 4. 고객관계, 5. 수익원으로 구성됨.
- 연구개발 시스템의 경우, 주된 사용자가 사면을 관리하는 기관과 공사를 진행하는 업체이므로 국토교통부 지방청, 지자체 도로관리부서, 한국도로공사 지사/사업소, 한국철도공사, 도로 시공업체, 사면 공사업체 등으로 고객세그먼트에 위치하게 됨. 고객세그먼트에 대한 가치전달 방법은 나라장터 쇼핑몰과 온라인 쇼핑몰을 통한 시스템 판매와 임대로 구체화되며, 고객과의 상호작용은 방문홍보, 설명회 개최, 무료사용 기회제공을 통해 실현될 수 있음.
- 고객에게 연구개발 시스템의 합리적 가격, 편리한 설치, 다양한 기능, 저렴한 유지비용, 독립실행 분산형 구조 등 제품 가치에 대한 제안을 통해 고객의 구매와 임대를 유도하게 됨. 이와 같은 활동을 통해 수익원을 확보하면서 안정적인 수익 창출을 위한 가치전달의 선순환구조가 형성될 것으로 예상됨.



<그림 91> 연구개발 시스템 비즈니스 모델 캔버스 (Business Model Canvas)

- 가치생산은 그림 91에 나타난 6. 핵심자원, 7. 핵심활동, 8. 핵심파트너, 9. 비용구조, 2. 가치제안으로 구성됨. 시스템 개발에 필요한 핵심자원으로 본 연구의 컨소시엄은 SW 개발 능력, 엔지니어링 능력, 실시간 시각화 능력을 보유하고 있음. 그리고 이러한 핵심자원을 이용하여 지능형 SW 개발과 이에 필요한 학습용 영상 DB 구축, 모듈형 현장설치 부품을 개발하였음. 가치생산을 위한 핵심파트너는 지능형 시스템 개발을 위한 SW, HW 개발자와 시스템 사용자가 되며, 가치생산을 위한 비용구조는 인건비, R&D 비용, 마케팅 비용, 시스템 유지비용 등임.
- 비즈니스 모델 캔버스(Business Model Canvas)를 바탕으로 작성된 사업화 전략은 다음과 같음. 전술한 바와 같이 연구개발 시스템의 국내 주요 사용자가 도로사면을 관리하는 기관과 공사업체인 점을 감안하여, 시범사업을 거쳐 연구과제 종료 후 나라장터 쇼핑몰 입점을 조기 추진할 계획임. 그리고 건설신기술 지정신청 및 우수조달물품 지정획득을 추진하여 연구개발 시스템의 보급 확산에 노력할 계획임. 국내보급과 함께, 사면 붕괴, 적설 붕괴가 많은 일본에도 제품판매를 추진할 계획임. 구체적으로 동경도시대학교와 협력하여 동경고속도로주식회사와 시범사업을 추진하고, 이러한 실적으로 바탕으로 제품 홍보, 온라인 판매 등을 함께 진행할 계획임. 아울러 동남아 지역에 대한 시스템 판매도 추진할 계획임. 연구개발 종료 후 3개년도의 사업화 계획을 표 38에 나타냄.

<표 38> 사업화 계획 (3개 연도)

구 분	사 업 화 연 도		
	2022년 (개발 종료 후 1년)	2023년 (개발 종료 후 2년)	2024년 (개발 종료 후 3년)
국 내 시 장	▪ 관리기관과 공동 시범사업 추진 ▪ 시스템 무료사용 기회 제공 ▪ 설명회 개최, 전시회 참가 ▪ SNS, 온라인 마케팅 ▪ 나라장터 쇼핑몰 입점 추진 ▪ 공사 현장에 맞춘 제품 다양화	▪ 시스템 무료사용 기회 제공 ▪ 설명회 개최, 전시회 참가 ▪ 사용자 커뮤니티 활성화 ▪ 사면관리 현장 대상 제품 판매 ▪ 나라장터 쇼핑몰 입점 완료 ▪ 우수조달물품 지정 신청 ▪ 맞춤형 제품 공급 확대	▪ 시스템 무료사용 기회 제공 ▪ 설명회 개최, 전시회 참가 ▪ 사용자 커뮤니티 활성화 ▪ 사면관리 현장 대상 제품 판매 활성화 ▪ 나라장터 쇼핑몰 판매 활성화 ▪ 우수조달물품 지정 획득 ▪ 맞춤형 제품 공급 확대 지속
일 본 시 장	▪ 제품 홍보 ▪ 설명회 개최	▪ 시범사업 추진 ▪ 설명회 개최, 전시회 참가 ▪ SNS, 온라인 마케팅 ▪ 일본 내 협력회사 발굴	▪ 일본 내 협력회사와 공동 마케팅 ▪ 시스템 무료사용 기회 제공 ▪ 설명회 개최, 전시회 참가 ▪ 사용자 커뮤니티 활성화 ▪ 사면관리 현장 대상 제품 판매 ▪ 맞춤형 제품 공급 확대
동남아 시 장	-	-	▪ 설명회 개최, 전시회 참가 ▪ SNS, 온라인 마케팅 ▪ 동남아 협력회사 발굴

7. 참고 문헌

1. H. Liu and B. Lang (2019), Machine learning and deep learning methods for intrusion detection systems: A survey, *Applied Science*, pp.1–28.
2. R. Geirhos, D.H.J. Janssen, H.H. Schütt, J. Rauber, M. Bethge and F.A. Wichmann (2018), Comparing deep neural networks against humans: object recognition when the signal gets weaker, *arXiv:1706.06969v2*, pp.1–31.
3. R. Geirhos, C.R.M. Temme, J. Rauber, H.H. Schütt, M. Bethge, and F.A. Wichmann (2018), Generalisation in humans and deep neural networks, *arXiv:1808.08750v3*, *32nd Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2018)*, Montréal, Canada.
4. D.J. Varnes (1978), *Slope movement types and processes*. In: Schuster RL, Krizek RJ (eds) Landslides, analysis and control, special report 176: Transportation research board, National Academy of Sciences, Washington, DC., pp.11–33.
5. 국토정보지리원, <https://map.ngii.go.kr/>.
6. V. Sharma, <https://vinodsblog.com/2020/05/03/role-of-convolutional-layer-in-cnn/>.
7. Z. Li, C. Peng, G. Yu, X. Zhang, Y. Deng, and J. Sun (2017), Light-Head R-CNN: In Defense of Two-Stage Object Detector, *arXiv:1711.07264v2*, pp.1–9.
8. T. Lin, P. Dollár, R. Girshick, K. He, B. Hariharan, and S. Belongie (2017), Feature Pyramid Networks for Object Detection, *arXiv:1612.03144v2*, pp.1–10.
9. W. Liu, D. Anguelov, D. Erhan, C. Szegedy, S. Reed, C. Fu, and A.C. Berg (2016), SSD: Single Shot MultiBox Detector, *arXiv:1512.02325v5*, pp.1–17.
10. T. Lin, P. Goyal, R. Girshick, K. He, and P. Dollár (2018), Focal Loss for Dense Object Detection, *arXiv:1708.02002v2*, pp.1–10.
11. A. Bochkovskiy, C. Wang, and H.M. Liao (2020), YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection, *arXiv:2004.10934v1*, pp.1–17.
12. J. Redmon, S. Divvalay, R. Girshick, and A. Farhadi (2016), You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection, *arXiv:1506.02640v5*.
13. 마이더스아이티, *MIDAS Civil Users Manual*.
14. 국토교통부 (2021), *KDS 24 12 21 (교량 설계하중(한계상태설계법))*.
15. 국토교통부 (2018), *KDS 17 10 00 (내진설계 일반)*.
16. 국토교통부 (2019), *KDS 14 30 05 (강구조 설계 일반사항(허용응력설계법))*.
17. 국토교통부 (2019), *KDS 14 30 10 (강구조 부재 설계기준(허용응력설계법))*.
18. 이창봉, 박진원, 조래훈, 김낙영 (2016), 고속도로 비탈면 경보시스템, *한국지반공학회지*, Vol.32, No.5, pp.31–36.
19. BONSYS, <https://bonsys.co.kr/>.
20. 미래창조과학부 보도자료 (2015), *산사태 발생 1시간 이전에 예보 가능한 경보시스템 구축 추진*, 한국 지질자원연구원.
21. 황웅, 윤장혁, 정제창 (2013), 재난 방재 시스템을 위한 컴퓨터 비전기반의 지능형 산사태 검출 알고리즘, *한국방송 미디어공학회, 한국방송공학회 2013년 하계학술대회*, pp.300–302.
22. 구남서, 방호양미, 레빈통, 김태열 (2017), 고속 디지털 카메라를 이용한 알루미늄 하니콤 샌드위치 보의 고유 진동수 예측, *한국항공우주학회지*, Vol.45, No.1, pp.30–35.

< 별첨 >

별첨 자료

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

주 의

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