

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘인공신경망 알고리즘과 디블러링 기법을 이용하여 40km/h 주행속도로 터널의 균열을 검출할 수 있는 촬영 장비 및 균열 분석, 작도 자동화 패키지 프로그램 개발’(연구개발 기간 : 2016.04. 27 ~ 2019.02.26) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2019. 5 13.

주관연구기관명 : (주)태명이씨앤씨

(대표자) 이철희



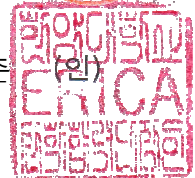
공동연구기관명 : (사)한국도로협회

(대표자) 이강래



공동연구기관명 : 한양대학교 에리카산학협력단

(대표자) 박태준



주관연구기관책임자: 김인수

공동연구기관책임자: 황훈희

공동연구기관책임자: 문영식

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	18TBIP-C111 806-03	해당 단계 연구 기간	2018.1.1. ~2019.2.26	단계구분	3/3
연구사업명	중사업명	국토교통기술사업화 지원사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	인공신경망 알고리즘과 디블러링 기법을 이용하여 40km/h 주행속도로 터널의 균열을 검출할 수 있는 촬영 장비 및 균열 분석, 작도 자동화 패키지 프로그램 개발			
	세부과제명				
연구책임자		해당단계 참여연구원 수	총: 16명 내부: 14명 외부: 2명	해당단계 연구비	정부:165,000천원 기업:111,000천원 정부 외: 천원 계:276,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 16명 내부: 14명 외부: 2명	총 연구비	정부:432,000천원 기업:289,400천원 정부 외: 천원 계:721,400천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)태명이씨앤씨 / 기술연구소			참여기업명 (주)태명이씨앤씨	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
공동연구	연구기관명: (사)한국도로협회 한양대학교 에리카산학협력단			연구책임자: 황훈희 문영식	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호	2	3				6					

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

보고서 면수 99

요약문

연구의 목적 및 내용	1. 40km/h 주행속도로 주행하면서 균열 인식이 가능한 촬영 기법 및 장비 개발 ① 카메라 및 조명시설 자동화 촬영 모듈 개발 ② 터널 라이닝 손상부위 사진 촬영 장비 개발 ③ 촬영 기법 매뉴얼 개발 ④ 현장 성능시험 및 보완을 통한 제품 상용화 2. 인공신경망 알고리즘과 디블러링 기법을 이용한 균열 분석 및 작도 자동화 프로그램 제작 ① 사진 데이터 자동화 분석 및 작도 프로그램 개발 ② 통합 프로그램 S/W 구현 및 성능 실험				
연구개발성과	1. 40km/h로 주행속도로 터널의 균열을 검출할 수 있는 터널 사진 촬영 장비 - 차량 차단 없이 주행하면서 터널 내부 라이닝의 손상부위를 사진 촬영할 수 있는 장비 개발 - 차량 차단 없이 주행하면서 점검하므로, 사회적 비용 절감 가능 - 대규모 인력 및 장비 투입이 없으므로, 안전하고 경제적인 터널 점검 장비 - 장비투입: 점검용 차량(1대) - 투입인원: 점검용차량 운전자(1인), 점검자 및 작업자(6인, 내업 포함) - 700m 2차로 작업시간: 2분(속도 40km/h) 2. 인공신경망 알고리즘과 디블러링 기법을 이용하여 균열의 분석, 작도를 자동화 할 수 있는 패키지 프로그램 - 알고리즘 자동 선택 적용에 의한 균열 인식의 정확도 검출 속도 향상 - 인공신경망 인식 및 검출 기능 구현 : 사진의 명암, 선명도, 노이즈, 현장의 조도에 따른 최적의 알고리즘 선택 및 조합 - 통합된 Manual 보정 기능 구현 : 노이즈 선택 제거 - 0.1mm 균열 검출 구현(20km/h 주행시), - 0.5mm 균열 검출 구현(30~50km/h 주행시, 검출률 90%) - 균열 계측 및 작도 프로그램 기능 포함 - 파노라마 사진 생성 프로그램 기능 포함 - 영상 기반의 외관조사망도 작성 프로그램 포함 - 영상 기반의 상태평가 프로그램 포함 - 패키지 프로그램을 적용한 소프트웨어 개발(G/S 인증 획득)				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	기술개발 이후, 콘크리트 관련 구조물의 모든 분야에 적용 및 실용화가 가능할 것으로 판단됨. 5년 이내에는 본 연구개발의 기술을 응용하여, 지하구조물(암거, 지하철 등), 도로포장의 균열 및 손상부위 정밀점검 용역에 활용할 계획임. 특히 차량의 접근이 불가능한 교량의 상부구조 및 하부구조, 측면부 하부를 소형무인비행장치(드론)를 활용하여 촬영한 후, 사진에 기록된 GPS정보와 영상데이터 자동화 분석 프로그램을 통해 균열 및 손상부위에 대한 보고서 작성 및 손상 관리 이력의 데이터베이스 구축에도 본 연구개발의 일부를 적용하여 개발을 추진할 계획임. 단체표준은 성과물의 공공성을 향상시키고 제품의 품질향상과 거래의 공정화, 단순화를 도모함으로써 소비자의 권익을 보호할 수 있음. 또한 최소 품질 기준으로 제품의 성능을 고급화할 수 있어 비용 절감 및 품질 안정 효과를 기대할 수 있음.				
국문핵심어 (5개 이내)	인공신경망	균열 인식	균열 검출	터널 점검	상태평가
영문핵심어 (5개 이내)	Artificial Neural Network	Crack Recognition	Crack Detection	Tunnel Inspection	Condition Assessment

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	5
2. 연구수행내용 및 성과	9
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	92
4. 연구개발성과의 활용 계획 등	95
붙임. 참고 문헌	98

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발 목적

(1) 목표

본 연구는 유지관리시 다수의 인력과 장비(리프트 등)를 이용하여 터널 라이닝을 육안으로 조사하여 손상(균열 등) 정보를 수집하는 기존기술과 달리, 고성능의 사진 촬영 장비를 이용하여 수집된 손상 정보를 인공지능 알고리즘과 디블러링 기법을 이용하여 40km/h 주행속도로 터널의 균열을 검출할 수 있는 촬영 장비 및 균열 분석, 작도 자동화 패키지 프로그램 개발하는 것이다.

이를 위해 터널 라이닝 손상부위 촬영 사진의 균열 검출 프로그램(검출률 90% 이상) 개발이 핵심 목표이며 그 외에 촬영 기법, 장비 개발 및 균열계측 및 작도 등 통합 프로그램 개발이 주요목표에 포함된다.

(가) 40km/h 주행속도로 주행하면서 균열 인식이 가능한 촬영 기법 및 장비 개발

- ① 카메라 및 조명시설 자동화 촬영 모듈 개발
- ② 터널 라이닝 손상부위 사진 촬영 장비 개발
- ③ 촬영 기법 매뉴얼 개발
- ④ 현장 성능시험 및 보완을 통한 제품 상용화

(나) 인공지능 알고리즘과 디블러링 기법을 이용한 균열 분석 및 작도 자동화 프로그램 제작

- ① 사진 데이터 자동화 분석 및 작도 프로그램 개발
- ② 통합 프로그램 S/W 구현 및 성능 실험

(2) 목적

(가) 도로터널의 안전점검 자동화 기술개발

0.1mm 이상 균열을 주행 중 검출하기 위한 조명 및 디지털(광학) 영상센서가 탑재된 촬영장치를 개발하고 영상으로부터 인공지능 기반으로 균열을 자동으로 검출·측정하는 프로그램을 개발하여 도로터널의 안전점검 전 과정을 자동으로 실행할 수 있는 기술 개발

(나) 사업화 최종목표

교량 안전점검 전문기업(약 1,000여개)에 개발기술을 공급하여 안전점검의 정확도를 향상시키고 점검시간을 50%이상 단축시키며 점검비용을 20%이상 절감 가능한 기술 개발

가. 연구개발의 필요성

(1) 기술적 측면

○ 글로벌 기술선도적인 인공지능 기반 객체인식 기술 확보

미국 및 중국에 주도권을 내주고 기술선진국과의 격차가 수 년 이상 발생해 있는 인공지능 및 영상처리 기반 객체인식 기술을 활용하는 공공시설물 안전점검을 위한 균열 검출과 관련된 원천기술을 확보하고, 미개척영역인 안전과 관련된 산업분야에서 자국의 위상을 드높이고 해외기술 의존도를 감소시킬 수 있는 기회이다.

특히, 과거의 국내외 연구가 경제성, 검출정확도 미달로 산업현장에서 활발히 사용되지 않았으므로, 목표시간 이내에 90% 이상의 검출률을 확보할 수 있는 개발기술은 기술적 가치가 국내외 시장에서 매우 높다고 판단된다.

(2) 사회적 측면

○ 건설현장 안전사고 방지 및 시민의 안전 도모

고위험 환경의 인력에 대한 의존도를 인공지능 기반의 점검자동화 기술로 낮출 수 있다.

(3) 경제적 측면

○ 공공시설(터널) 안전점검 비용을 연간 20% 이상 절감

도로터널의 안전점검 주기는 종류(1~3종) 및 상태(A~E등급)에 따라 1~3년이며 개발기술로 대체가 능한 안전점검 시장규모는 연간 210억원(시설안전공단 발표 도로터널의 현황자료를 기준으로 추정 함)으로 추정되며, 개발기술 적용시 연간 20% 이상 비용절감이 기대된다.



<그림 1-1> 현 터널 점검 방식의 개선

다. 연구개발 범위

(1) 구조물 점검 시스템 조사

- (가) 국내·외 구조물 사진 촬영 기법 조사
- (나) 국내·외 구조물 사진 촬영 장비 조사
- (다) 국내·외 구조물 점검 방법 및 제도 조사

(2) 자동화 촬영 모듈 개발

- (가) 카메라 원격 조종 모듈 제작
- (나) 조명 컨트롤 자동화 모듈 제작
- (다) 모듈 성능 시험
- (라) 특허 출원

(3) 사진 데이터 자동화 분석 프로그램 개발

- (가) 인공지능망 알고리즘을 이용한 균열 인식 및 검출 프로그램 개발
- (나) 균열 계측 및 작도 프로그램 개발
- (다) 프로그램 제품 인증 기술 개발
- (라) 사진 병합 및 파노라마 사진 생성 프로그램 개발
- (마) 외관조사망도 작성 프로그램 개발
- (바) 상태평가 프로그램 개발
- (사) 특허 출원

(4) 터널 라이닝 손상부위 사진 촬영 장비 개발

- (가) 사진 촬영 장비 장착 차량 보완 및 제작
- (나) 촬영 통합 시스템 개발
- (다) 장비 인증 기술 개발
- (라) 장비 현장 검증
- (마) 특허 출원

(5) 촬영 기법 매뉴얼 개발

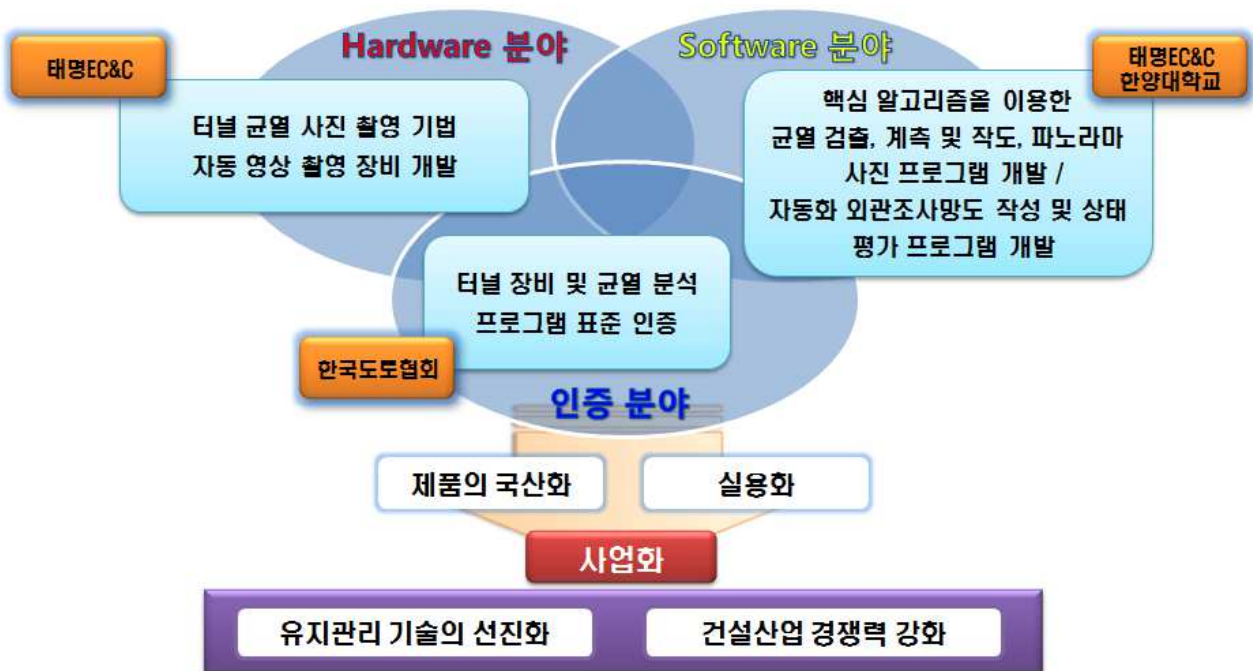
- (가) 촬영 기법 매뉴얼 작성 및 D/B 구축

(6) 현장 성능시험 및 보완

- (가) 현장 Test -bed 및 검증
- (나) 장비 운영 매뉴얼 개발
- (다) 장비 관리시스템 구축

(7) 프로그램 구현 및 성능 실험

- (가) 프로그램 통합 패키지 디자인, 개발 및 성능 실험
- (나) 프로그램 제품 인증
- (다) 소프트웨어 등록



<그림 1-2> 연구개발 추진 체계

2. 연구 수행 내용 및 성과

가. 터널 라이닝 균열 사진 촬영 기법 및 장비 개발

(1) 40km/h 주행속도로 주행하면서 균열 인식이 가능한 촬영 기법 및 장비 개발

(가) 기술조사 및 분석 (1차)

① 국내·외 사진 촬영 기법 및 장비조사

㉠ 터널 환경에 적합한 대조비 개선 기법 연구

○ 시험 촬영을 통한 카메라 ISO, F값, 셔터스피드, 조명시설 조도 비교 분석

㉡ 0.1mm 이상의 균열 검출을 위한 최적 촬영 해상도 산출

○ 시험 촬영을 통한 촬영 방식(정지영상 및 동영상) 비교, 촬영 이미지 크기 변화를 통한 이미지 픽셀 분석

㉢ 촬영면 상·하 중첩 범위 결정을 위한 촬영 방법론 정립

○ 시험 촬영을 통한 카메라 간 촬영 거리 및 촬영 각도 변화에 따른 카메라 간 중첩을 검토

㉣ 주행 중 구조물 촬영 장비 조사 및 분석

○ 국내외 현장 조사 및 구조물 촬영 장비 제품, 논문, 특허 조사 및 분석

〈표 2-1〉 국내·외 구조물 사진 촬영 기법 및 장비 비교

업체명	국가명	제품명	촬영 장비 종류	제품 사양	비 고
T社	일본	TC2(레이저측정차량)	레이저 스캐너	0.2mm 균열, 60km/h 주행	
N社	일본	eQdoctorT	라인 센서	0.1mm 균열, 100km/h 주행	
C社	일본	MIS, MMS	디지털 캠코더	0.1mm 균열, 10km/h 주행	
				0.5mm 균열, 50km/h 주행	
Pavemetrics	캐나다	LTSS(터널스캐너)	레이저 스캐너	균열검출, 20km/h 주행	
Dibit	미국	TSC(터널스캐너)	레이저 스캐너	균열검출, 저속 주행	
			디지털카메라		
A社	대한민국	-	라인센서	0.2mm 균열, 10km/h 주행	
태명EC&C	대한민국	TM Tunnel Scanner	디지털 카메라	0.1mm 균열, 20km/h 주행	
				0.5mm 균열, 40km/h 주행	

② 국내·외 구조물 점검 방법 및 제도 조사

㉔ 구조물 점검 기준, 매뉴얼 등 제도 조사 및 분석

○ 국내·외, 기준, 표준, 지침, 매뉴얼 검토를 통한 제도 조사 및 분석

<표 2-2> 구조물 점검 관련 기준 자료 조사 목록

번호	자료명	비고
1	시설물의 안전관리에 관한 특별법	법률제13799호,2016.1.19
2	시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 실시 등에 관한 지침	국토교통부,2015.7.6
3	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 해설서(공통편, 터널편 등)	국토해양부,2011.12
4	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침	국토해양부,2010.10
5	교량 유지관리 매뉴얼	국토교통부,2014.12
6	정밀점검 및 정밀안전진단 평가매뉴얼	한국시설안전공단,2013.11
7	터널 상태변화 진단보수·보강매뉴얼	한국시설안전공단,2009
8	시설물 안전관리 실태조사 및 개선방안 연구	전남대학교산학협력단,2011.10
9	Tunnel Operations, Maintenance, Inspection, and Evaluation(TOMIE) Manual	FHWA,2015.7
10	道路トンネル定期点検要領	国土交通省,平成26年6月

○ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(공통편, 터널편) 주요 내용 검토

- 균열조사 요령, 재료시험 요령, 시설물 점검 사항, 정밀점검/정밀안전진단, 상태평가 기준 및 방법(균열), 안전성평가 기준 및 방법

○ 국내·외 터널 안전점검 기준 비교 검토

<표 2-3> 국내 터널 점검시 조사 항목

Division	Inspection List
Lining Condition	- Crack - Leakage - Fail - Spalling, Desquamation, White Coating, Segregation, Rebar Exposure, Carbonation, Chloride
Condition around Tunnel	- Drainage - Ground - Portal - Utility Tunnel - Special Condition

출처) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(터널편), 국토해양부, 2011.12

<표 2-4> 국내 터널 상태평가 기준 (균열 폭)

Division Assesment Standards	Concrete Lining	
	Concrete	Reinforced Concrete
a	$a < 0.1\text{mm}$	$a < 0.1\text{mm}$
b	$0.1\text{mm} \leq b < 0.3\text{mm}$	$0.1\text{mm} \leq b < 0.3\text{mm}$
c	$0.3\text{mm} \leq c < 1.0\text{mm}$	$0.3\text{mm} \leq c < 0.5\text{mm}$
d	$1.0\text{mm} \leq d < 3.0\text{mm}$	$0.5\text{mm} \leq d < 0.7\text{mm}$
e	$3.0\text{mm} \leq e$	$0.7\text{mm} \leq e$

출처) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(터널편), 국토해양부, 2011.12

<표 2-5> 일본 터널 점검시 조사항목

Division	Daily	Routine, Damage, Temporary	Note
Portal	Desquamation, Leakage, Icicle, Freezing	Crack, Step, Separation, Spalling, Desquamation, Gradient, Settlement, Rebar Exposure, Colouring	
Lining	Desquamation, Icicle	Crack, Step, Separation, Spalling, Desquamation, Construction Joint, Leakage, Icicle, Freezing	
Interior Materials	Fail	Deformation, Fail	
Ceiling	Fail, Leakage	Deformation, Fail, Leakage	
Pavements /Drainage	Fall, Ice, Surface · Berm Change	Ice, Surface · Berm Change, Surface Ponding, Sediment Discharge, Crack, Step	
etc.	Affiliated Facilities Condition		

출처) Regular Inspection Method of Road Tunnel(道路トンネル定期点検要領)(MLIT, 2014.6)

<표 2-6> 일본 터널 상태평가 기준 (균열 폭 및 길이)

Division	Object	Part	Crack						Judgment Division
			Width			Length			
			5mm ≤	3~5mm	< 3mm	10m ≤	5~10m	5m <	
Crack progress can not be confirmed	Lining	Inner			○	○	○	○	I ~ II a
				○				○	II a
				○			○		III
				○		○			III
			○					○	II b~III
			○				○		III
			○			○			IV
Crack progress can be checked	Lining	Inner			○	○		○	II a~III
			○					○	III
			○			○			IV

출처) Regular Inspection Method of Road Tunnel(道路トンネル定期点検要領)(MLIT, 2014.6)

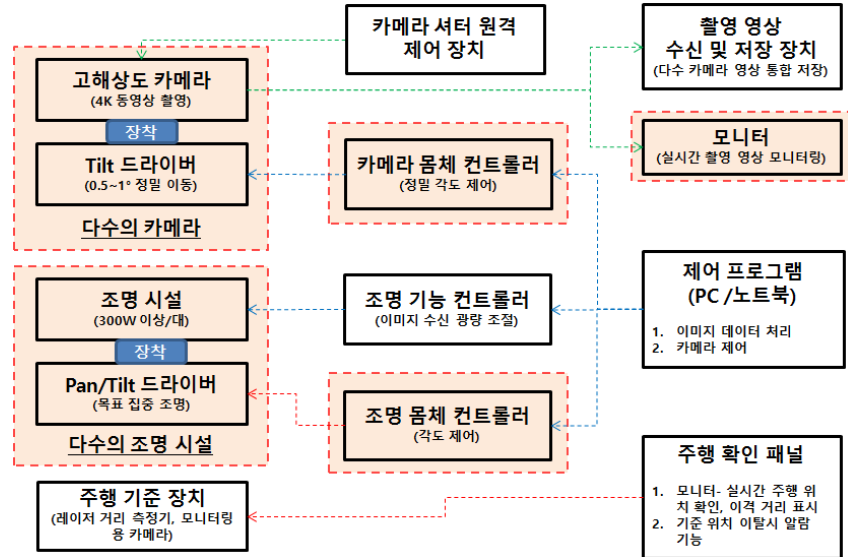
<표 2-7> 미국 터널 상태평가 기준 (균열)

Defect	Condition State 1	Condition State 2	Condition State 3	Condition State 4
Cracking (Liners)	Width less than 0.012 in. or spacing greater than 5.0 ft.	Width 0.012 - 0.10 in. below spring line or spacing of 1.0 - 5.0 ft.	Width greater than 0.10 in. below spring line or greater than 0.012 in. above spring line or spacing of less than 1 ft. Distortion	The condition warrants a structural review to determine the effect on strength or serviceability of the element or tunnel, OR a structural review has been completed and the defects impact strength and serviceability of the element or tunnel.

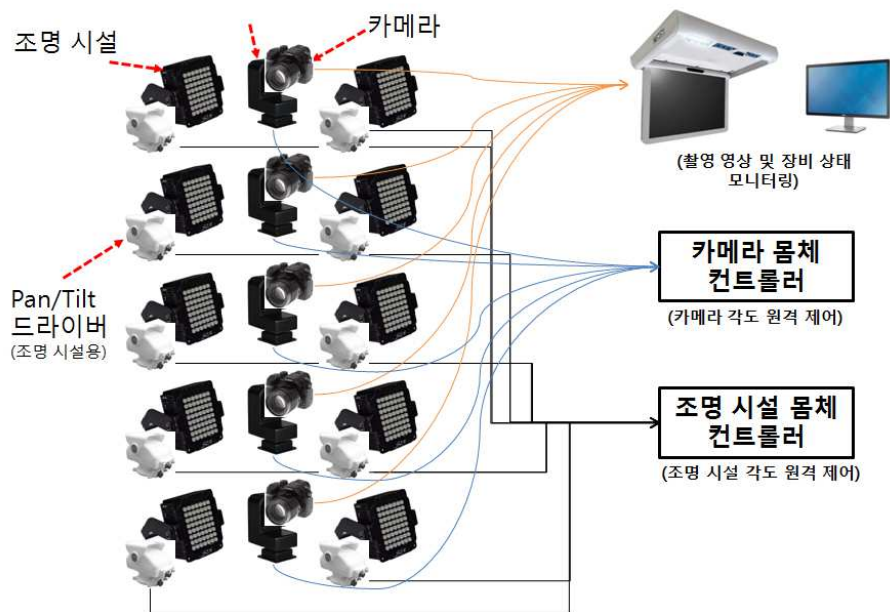
출처) ‘Specifications for the National Tunnel Inventory(FHWA, 2015)’ Section 3 : Elements

(나) 카메라 및 조명시설 자동화 촬영 모듈 개발 (1차)

① 개발계획 수립



<그림 2-1> 터널 라이닝 균열 사진 촬영 장비 개발(안)



<그림 2-2> 촬영 원격 제어 개념도

② 카메라 원격 조종 모듈 제작

㉓ 틸트(Tilt) 기능을 적용한 카메라 원격 제어 모듈 개발

- 카메라 원격 조종 모듈
- 카메라+틸트 장치+각도 원격 제어 장치



〈그림 2-3〉 카메라 원격 조종 모듈(팬틸트 헤드+컨트롤러)

③ 조명 컨트롤 자동화 모듈 제작

㉑ 팬틸트(Pan/Tilt) 기능 및 원격 컨트롤러를 이용한 조명 시설 원격 제어 모듈 개발

- 조명 원격 조종 모듈
- 조명시설+팬틸트 디바이스+조도 제어 및 각도 원격 제어 장치



〈그림 2-4〉 조명 원격 조종 모듈(팬틸트헤드+컨트롤러)

④ 촬영 보조장치 제작 및 설치

㉒ 모니터링 시스템

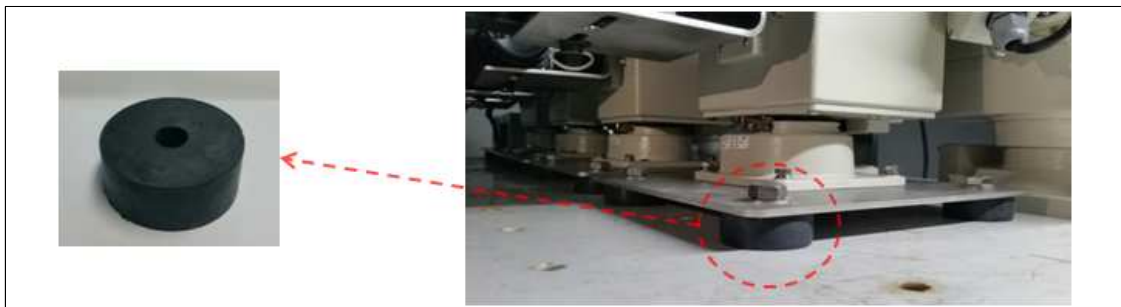
- 카메라 연결 촬영 영상 분할 모니터링용 모니터 설치
- 장비 상태 모니터링용 모니터 설치



〈그림 2-5〉 조명 원격 조종 모듈(팬틸트헤드+컨트롤러)

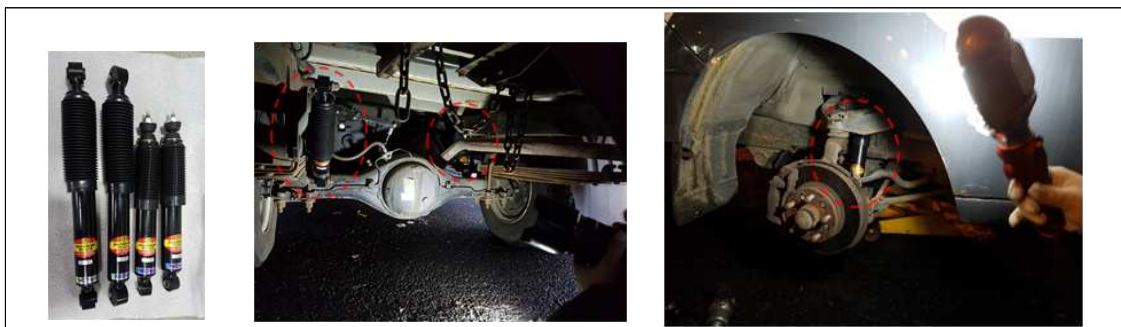
④ 진동 저감장치

○ 카메라 촬영시, 차량 엔진 및 발전기의 진동, 노면 불량에 의한 진동으로부터 미세한 흔들림을 저감시킬 수 있는 고무 패드를 카메라 Tilt 드라이버 브라켓과 차량 프레임 사이에 설치



〈그림 2-6〉 고무 패드 진동 저감장치 설치

○ 차량의 흔들림을 저감시킬 수 있는 차량 진동저감 서스펜션(Suspension) 설치



〈그림 2-7〉 차량 서스펜션(Suspension) 설치

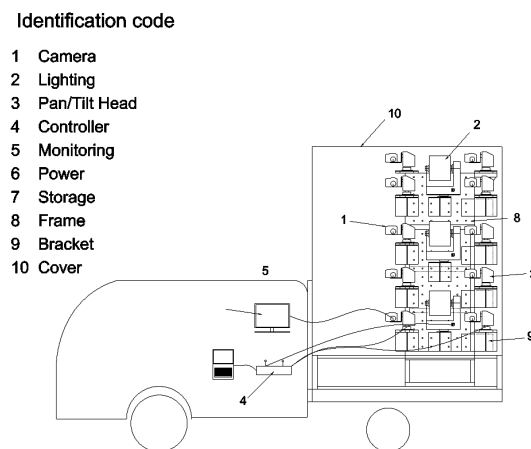
⑤ 결과

- 고성능 카메라(UltraHD급 동영상촬영)를 적용하여 0.1mm 이상의 균열인식이 가능한 영상을 확보하였고, 이를 통해 균열 검출 프로그램이 자동으로 균열 검출이 가능함.
- 터널 전단면 영상 촬영을 위한 다수의 카메라와 조명의 회전(Pan/Tilt)을 정밀하게 제어할 수 있는 원격 제어 시스템 구축
- 카메라와 조명시설을 차량 내부에서 원격으로 제어할 수 있는 시스템을 구축하여 촬영시간을 단축하고 고품질의 터널 라이닝 영상 확보가 가능함.

(다) 터널 라이닝 손상부위 사진 촬영 장비 개발 (2차)

① 터널 라이닝 사진 촬영 장비 구성

0.1mm 균열 등 결함정보를 획득하기 위해서는 고품질의 영상 데이터 확보가 가능한 영상 촬영 장비가 구비되어야 한다. 터널 영상 촬영 장비는 터널의 영상을 획득하는 다수의 카메라, 일정 밝기(명도) 이상의 영상을 획득하기 위한 다수의 조명시설, 그리고 다수의 카메라와 조명시설의 각도를 제어하는 팬 틸트 헤드 및 컨트롤러, 촬영된 영상을 저장할 수 있는 장치, 촬영 중 모니터링이 가능한 장치, 터널벽면과의 거리유지를 위한 주행기준장치(거리측정기), 전원 공급 장치 등으로 구성된다. 또한 다수의 카메라와 조명시설, 팬 틸트 헤드를 차량에 장착할 수 있는 프레임과 브래킷이 설치되고, 여러 장치 및 부속품 등을 외부 환경으로부터 보호할 수 있는 덮개나 보호장치를 설치할 수 있다.



<그림 2-8> 터널 라이닝 사진 촬영 장비 구성도

② 영상 촬영 장치(카메라) 선정

영상 촬영 장치는 정지영상 및 동영상 촬영이 가능한 카메라를 선택해야 하며, 촬영 영상 데이터는 0.1mm 균열 및 결함 확인이 가능한 화소(pixel)를 보유해야하므로, 본 연구에서는 Ultra HD급(4K; 약 830만 화소) 이상의 해상도로 정지영상 및 동영상 촬영이 가능한 제품을 사용하였다. 고품질의 영상을 확보하기 위해서 카메라는 흔들림이나 젤로 현상(Jello Effect)이 적어야 하며, 이동 중 촬영이 용이해야 한다. 또한 촬영 거리에 따라 균일한 촬영 면적을 촬영할 수 있어야 하므로, 촬영 거리에 따른 렌즈 선택이 용이한 제품이어야 한다.



<그림 2-9> 영상 촬영 장치(카메라)

③ 조명시설 제작

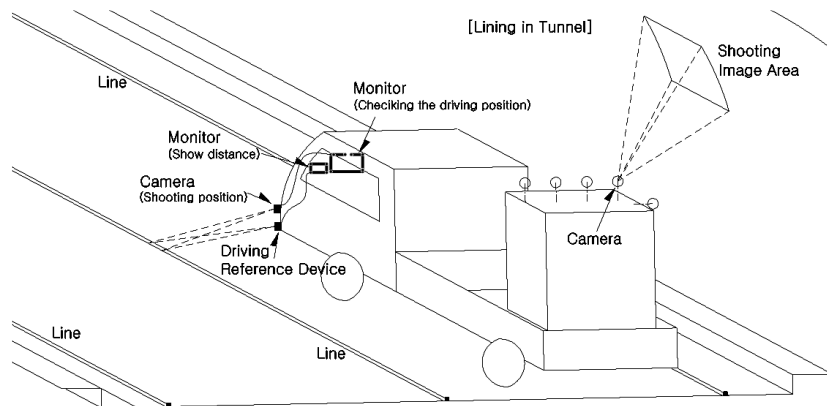
0.1mm 균열 등을 인식할 수 있는 고품질의 영상 데이터를 획득하기 위해서는 카메라 촬영시 충분한 광량이 필요하며, 터널의 상태와 촬영 거리에 따라 적합한 조명시설을 설치해야 한다. 빛을 내는 방식에 따라 LED, 형광, 할로젠, 백열 방식 등을 사용할 수 있으나, 본 연구에서는 충분한 광량과 전력 효율 및 빛 손실이 적은 LED 방식(출력 300W/개)의 조명시설을 촬영에 사용하였다.



<그림 2-10> 조명시설

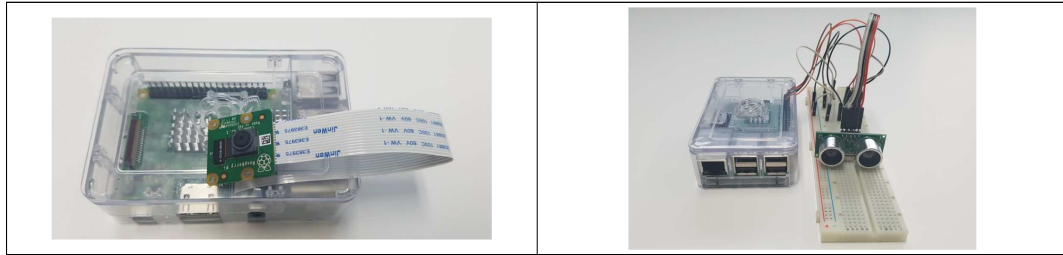
④ 주행기준장치 개발

터널 라이닝 영상 촬영 방법은 운전자가 터널 벽면과의 간격을 유지하며 일정하게 주행하면서 촬영해야 한다. 그렇지 하지 않으면 균일한 면적을 촬영하지 못하게 된다. 따라서 정밀한 조향정보를 제공하고 일정하게 촬영되지 않은 영상에 대한 스케일 보정을 위해서 주행기준장치를 설치해야 한다. 본 연구에서는 레이저 거리측정기, 초음파 거리측정기, 차선촬영용 디지털 카메라로부터 획득되는 멀티채널 정보를 분석하여 터널 벽면과의 간격을 일정하게 유지하는 방법을 적용하였다.



<그림 2-11> 주행기준장치 작동 개념도

○ 주행기준장치 설계 및 주문 제작



<그림 2-12> 주행 확인용 모니터링 카메라 모듈(좌), 초음파 및 레이저 거리측정기 모듈(우)

⑤ 카메라 촬영 각도 컨트롤러 제작

촬영 횟수에 따라 한 대의 카메라가 촬영하는 지점은 달라질 수 있다. 따라서 촬영하고자하는 지점의 촬영 각도에 맞추어 카메라를 고정시켜야 하는데, 이 때 필요한 장치가 팬/틸트 헤드(Pan/Tilt Head)이며, 이 장치를 원격으로 제어할 수 있는 컨트롤러가 있어야 한다. 팬/틸트 헤드 및 컨트롤러는 촬영각도가 1도 미만 단위로 변경되기 때문에 미세 각도 제어가 가능해야 한다. 본 연구에서는 5대의 카메라의 각도를 제어하기 위해서 5대의 팬/틸트 헤드를 설치하고 이를 컨트롤러에 연결하여 각 카메라를 원격으로 제어할 수 있도록 하였다.

⑥ 모니터링 장치 설치

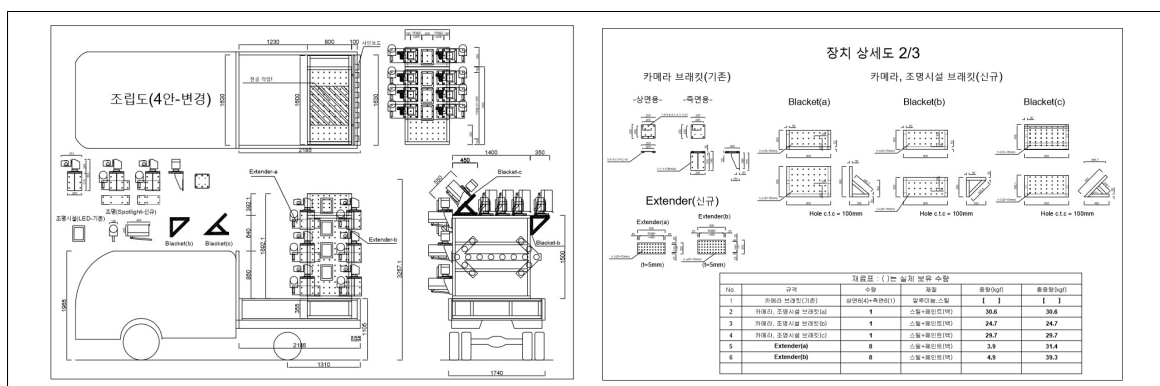
본 연구에서는 차량에 설치된 카메라가 제대로 촬영지점을 촬영하고 있는지를 차량 내부에서 확인하기 위한 모니터링 장치를 설치하였다.

⑦ 기타 부속장치 설치

영상 촬영시 조명시설 등에 지속적으로 전원을 공급할 수 있는 전원 공급장치와, 영상 촬영시 저장되는 영상 데이터의 원활한 저장을 위하여 대용량 저장장치를 설치하였다.

⑧ 카메라 및 조명시설 다수 설치를 위한 보완 부속장치 개발

다수의 카메라 동시 설치가 가능한 프레임 보완 부속장치(브래킷, 익스텐더)의 설계도면 작성을 통해 주문 제작하였다. 주문 제작 부속장치의 카메라 및 조명시설 설치 가능 여부 확인(성능 확인)하였으며, 제품 수령 후, 검수 및 직접 설치 가능 여부 확인하였다.



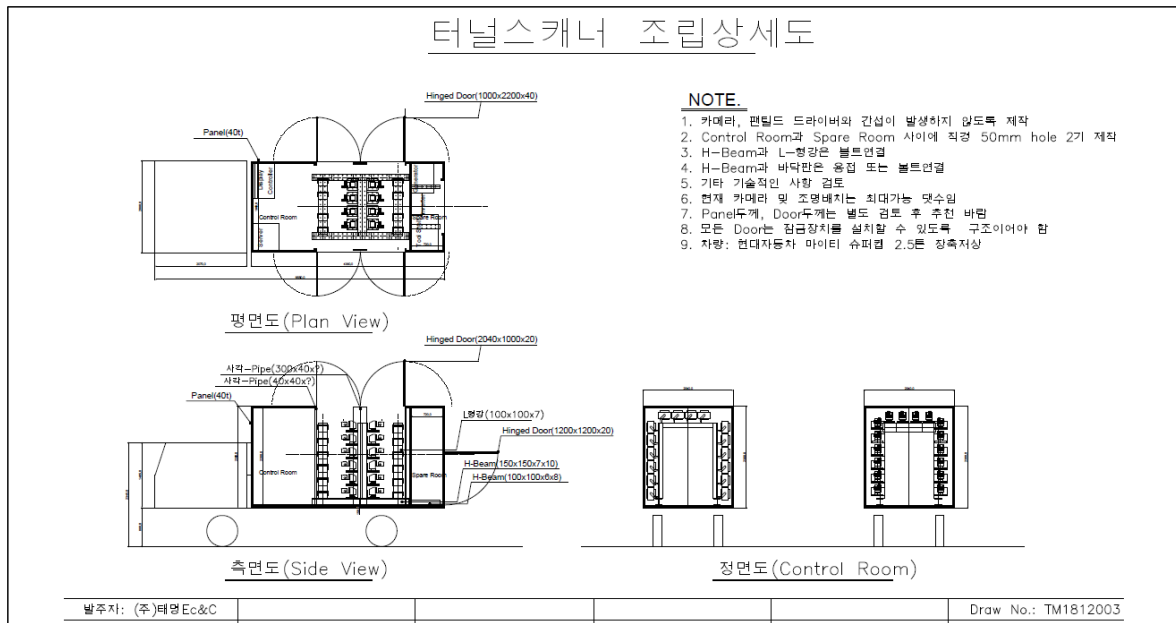
<그림 2-13> 프레임 보완 제작계획 안(좌)과 브래킷 및 익스텐더 상세도면(우)



〈그림 2-14〉 제작된 브래킷 및 익스텐더(좌), 프레임에 장착된 브래킷 및 익스텐더(우)

⑨ 촬영 장치를 보호하기 위한 장치(덮개) 개발

촬영 카메라 및 조명시설 등을 외부 환경으로부터 보호하기 위한 장치(덮개) 설계하여, 주문 제작을 통해 수령 후, 작동 여부 확인하였다.

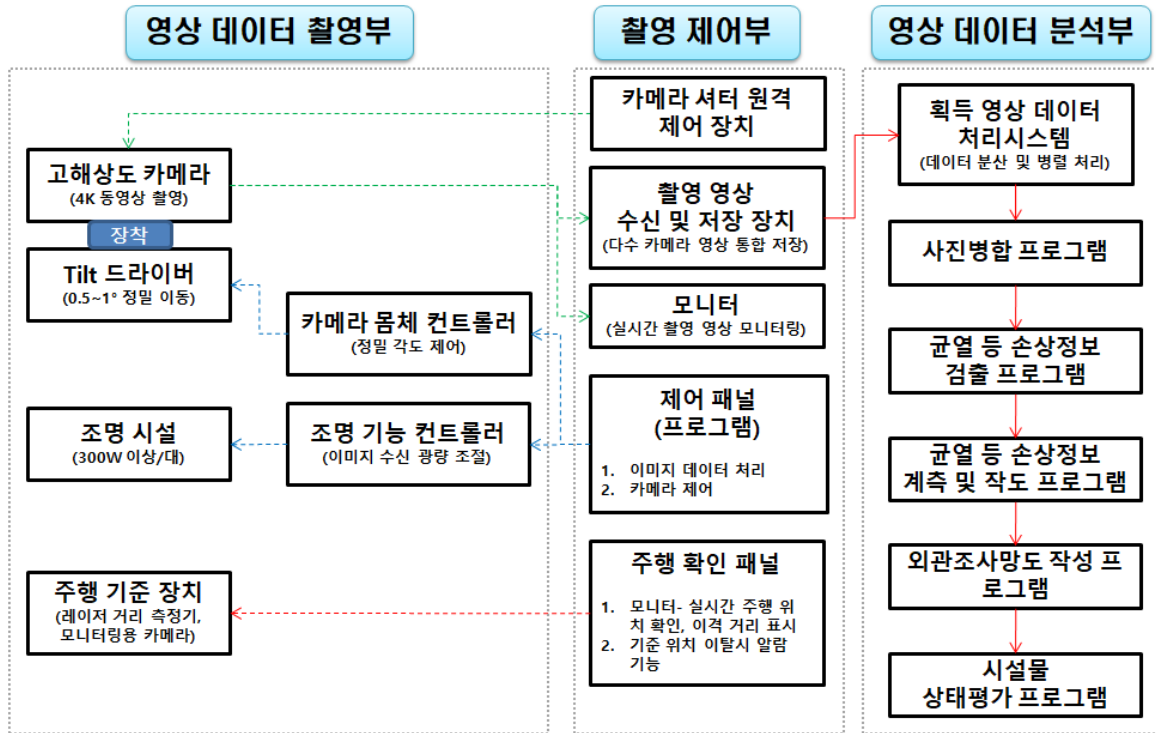


〈그림 2-15〉 촬영 장치 보호 덮개 개발 도면

(라) 촬영 통합 시스템 개발 (3차)

① 촬영 통합 시스템 개발 방안 정립

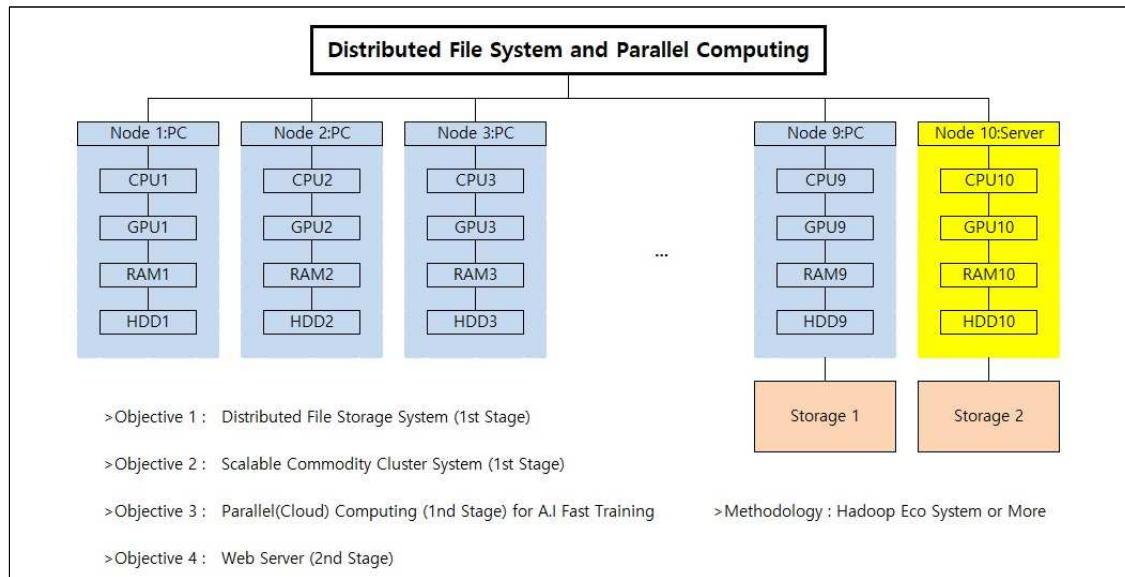
- 촬영 절차 및 촬영 영상 데이터 확보 방안 작성
- 영상 데이터 촬영부, 촬영 제어부, 영상 데이터 분석부로 구성



〈그림 2-16〉 영상 촬영 및 데이터 분석 시스템(안)

② 고품질 영상 데이터의 수집 및 저장, 처리를 위한 시스템 도입

- 고용량 영상 데이터의 효율적인 분석 및 처리를 위한 데이터 분산 병렬 처리 시스템 도입
- 고품질 영상 데이터의 수집 및 저장을 위한 대용량 저장장치(Network Hard) 설치



〈그림 2-17〉 데이터 분산 병렬 처리 절차 개념도



〈그림 2-18〉 데이터 분산 병렬 처리용 서버



〈그림 2-19〉 데이터 수집 및 저장장치 (Network Hard)

(마) 터널 라이닝 영상 촬영 기법 연구 (2차)

터널 라이닝에서 영상 데이터를 얻고자 하는 지점을 촬영하기 위해서는 해당 지점의 촬영 면적, 촬영 면적에 따른 촬영 각도 및 거리가 설정되어야 한다. 또한, 라이닝의 수직방향으로 다수의 카메라로 촬영하는 경우에는 촬영 영상 간 수직 정합을 위해서 카메라 간 일정 부분 겹쳐지게 촬영을 해야 한다. 그리고 카메라의 ISO, 셔터스피드, 조리개 값 등을 터널 내부 상황에 맞추어 설정해야 고품질의 영상 데이터를 확보할 수 있다. 본 연구에서는 도로 터널 라이닝의 0.1mm 균열 인식이 가능한 고품질의 영상 데이터 확보를 위해서 촬영 면적에 따른 촬영 각도 및 거리 산출 방법과 촬영 카메라 대수에 따른 촬영 횟수 및 절차에 대해서 제시하고자 한다. 또한 카메라의 설정값 변화에 따른 성능 테스트 촬영을 통해 최적의 카메라 ISO, 셔터스피드, 조리개 값을 제시하였다.

① 주행속도

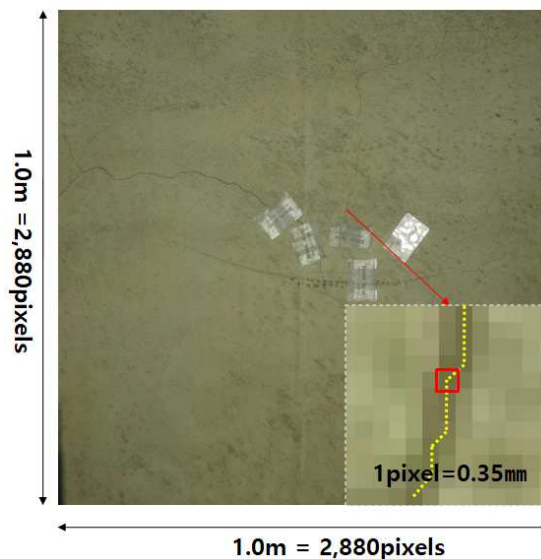
본 연구에서는 차량을 이용하여 주행 중 터널 라이닝 촬영을 실시하였으며, 차량의 주행속도를 20km/h, 40km/h로 주행하면서 영상 촬영을 수행하였다. 그 결과 40km/h로 주행하면서 촬영된 영상 보다는 20km/h로 주행했을 경우에 비교적 양호하고 고품질의 영상을 확보할 수 있었다. 그리고 일정한 주행속도를 유지하기 위해서 차량에 전자식 정속 주행 장치(Auto Cruise Control System)를 설

치하여 주행하였다. 40km/h 주행속도 촬영에서는 정속 주행 장치를 이용하여 차량의 속도를 유지하였으며, 20km/h 주행속도에서는 운전자가 가속 페달 조종을 통해 주행하였다. 최근 30km/h 이하에서도 작동하는 정속 주행 장치가 개발 및 판매되고 있어, 향후 저속 정속 주행 장치를 설치하여 30km/h 이하 속도에서도 좀 더 정교한 정속 주행이 가능하도록 할 예정이다.

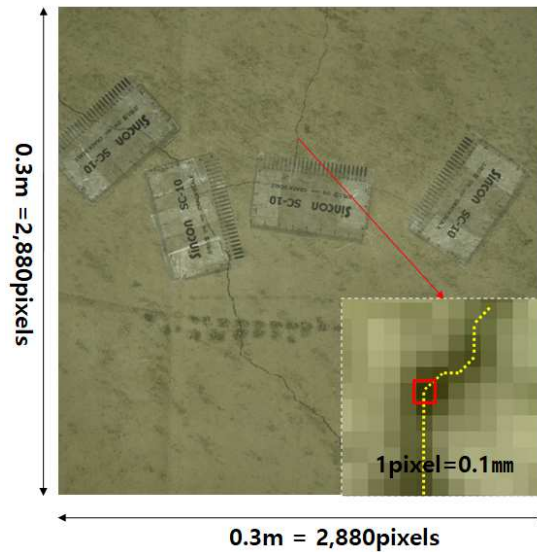
② 촬영 면적

0.1mm 이상의 균열 검출을 위한 픽셀단위의 영상을 얻기 위해서는 정해진 촬영면적으로 촬영해야 한다. 촬영 지점의 면적은 0.5mm 이상의 균열 등 결함정보를 획득할 경우, 1.0m×1.0m으로 촬영하며, 0.1mm 균열 정보를 획득할 경우에는 0.3m×0.3m으로 촬영한다. 카메라 설정에서 4K 동영상 촬영 시, 촬영 지점의 면적은 1.0m×1.0m로 촬영할 경우, 영상 데이터의 1pixel의 크기가 0.35mm이며, 0.3m×0.3m 촬영할 경우에는 영상 데이터 1pixel의 크기가 0.1mm를 갖는다(그림 2-20, 21). 이와 같이 촬영하는 이유는 자사가 보유한 균열검출 프로그램이 영상의 pixel 크기 미만의 균열을 검출할 확률이 매우 낮기 때문이다.

균열검출 프로그램의 원리는 촬영된 영상에서 균열과 균열 이외의 객체는 각각의 명도(밝기차이)가 있으며, 일반적으로 균열은 검정색에 가까운 색을 나타내며, 균열로 판단되는 픽셀을 이용하여 정답 영상을 만들어 인공지능 알고리즘에 학습시키면 자동으로 해당 부분을 균열로 인식한다. 그런데 균열 외에 비슷한 명도를 가진 노이즈(잡음)와 구분하기 위해서 균열의 특징(균열의 명도, 원형도, 면적 대비 둘레, 면적, 직경, 방향성 강도, 직진성, 두께) 및 균열의 각 특징 간의 상관관계를 입력변수로 한 Feed Forward 신경망 기법을 활용한 후처리 과정을 수행하여 노이즈 제거 후 최종 균열을 검출한다.



<그림 2-20> 0.3mm 균열 검출을 위한 촬영 면적(1.0m×1.0m)과 픽셀 크기



<그림 2-21> 0.1mm 균열 검출을 위한 촬영 면적(0.3m×0.3m)과 픽셀 크기

③ 카메라 촬영 각도 및 거리

촬영 대상 터널의 촬영 지점에 대한 촬영 각도 및 거리 산출은 도면 작성 프로그램을 이용하여 산출한다. 먼저 촬영 대상 터널의 횡단면도를 검토한 후, 터널 규모에 맞추어 촬영 각도 및 거리를 산출한다. 다음은 고속도로 편도 2차로 표준 터널을 대상으로 카메라 5대를 동원하여 촬영면적 1.0m×1.0m로 촬영할 경우, 촬영 각도 및 거리 산출의 순서이다.

㉓ 요구 촬영 면적 설정

㉓ AutoCAD 프로그램을 이용하여, 촬영 대상 터널 횡단면도 작성(그림 2-23)

㉓ 터널 횡단면도에 실물 크기 점검 차량 및 카메라 설치 도면 삽입(그림 2-24)

㉓ 터널 라이닝 촬영 구간 횡단 길이 설정(그림 2-24)

㉓ 1번 카메라 : 횡단면도상에서 라이닝의 오른쪽 시작점을 기준으로 촬영 면적 설정(그림 2-25, 가로×세로 1m×1m)

㉓ 1번 카메라 : 촬영 지점 면적의 중심을 기준으로 카메라 촬영 각도 산출(그림 2-25, 카메라1 37°)

㉓ 1번 카메라 : 카메라와 촬영 지점 면적의 중심까지 거리 계산(그림 2-25, 카메라1 2.5m)

㉓ 2번 카메라 : 1번 카메라와 2번 카메라와의 종방향(수직방향) 촬영 구역 겹침 비율 30% 설정

㉓ 2번 카메라 : ㉓~㉓번과 동일(그림 2-25, 카메라2 촬영각도 43°, 촬영거리 2.7m)

㉓ 3번 카메라 : 2번 카메라와 3번 카메라와의 종방향 촬영 구역 겹침 비율 30% 설정

㉓ 3번 카메라 : ㉓~㉓번과 동일(그림 2-25, 카메라3 촬영각도 53°, 촬영거리 3.0m)

㉓ 4번 카메라 : 3번 카메라와 4번 카메라와의 종방향 촬영 구역 겹침 비율 30% 설정

㉓ 4번 카메라 : ㉓~㉓번과 동일(그림 2-25, 카메라4 촬영각도 62°, 촬영거리 3.3m)

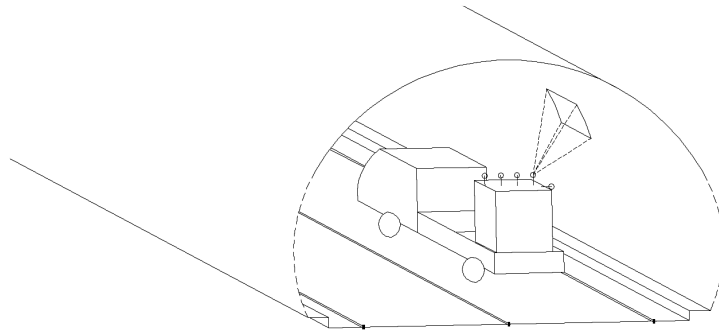
㉓ 5번 카메라 : 4번 카메라와 5번 카메라와의 종방향 촬영 구역 겹침 비율 30% 설정

㉠ 5번 카메라 : ㉢~㉣번과 동일(그림 2-25, 카메라4 촬영각도 69° , 촬영거리 3.5m)

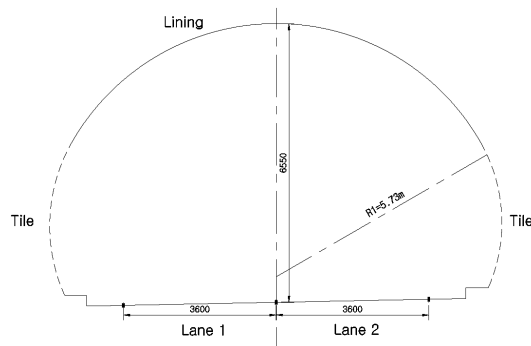
㉡ 1~5번 카메라가 동시에 촬영 가능한 1번째 횡방향 라이닝 길이 산출

카메라간 겹침 비율을 30% 이상으로 설정한 이유는 각 종방향으로 촬영된 영상을 횡방향으로 영상 정합시 파노라마 생성 프로그램이 영상을 안정적으로 정합할 수 있게 하기 위함이다.

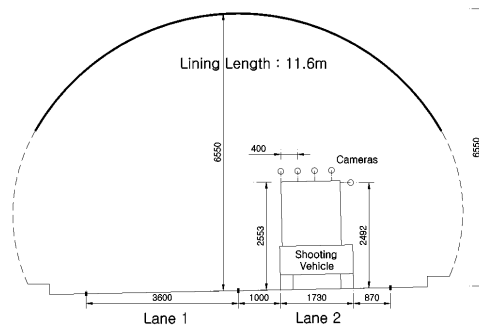
그리고 촬영거리에 따른 카메라 렌지의 초점거리는 다르며, 본 연구에서는 다수의 테스트를 통해 $1.0\text{m} \times 1.0\text{m}$ 촬영면적에서 3.5m 미만 촬영거리에서는 초점거리 12~35mm 렌즈를, 3.5m 이상 촬영거리에서는 초점거리 35~100mm 렌즈를 사용하였다. $0.3\text{m} \times 0.3\text{m}$ 촬영면적에서는 1.2m 이상 2.8m 미만 촬영거리에서는 초점거리 35~100mm 렌즈를, 2.8m 이상 촬영거리에서는 100~300mm 렌즈를 사용하였다.



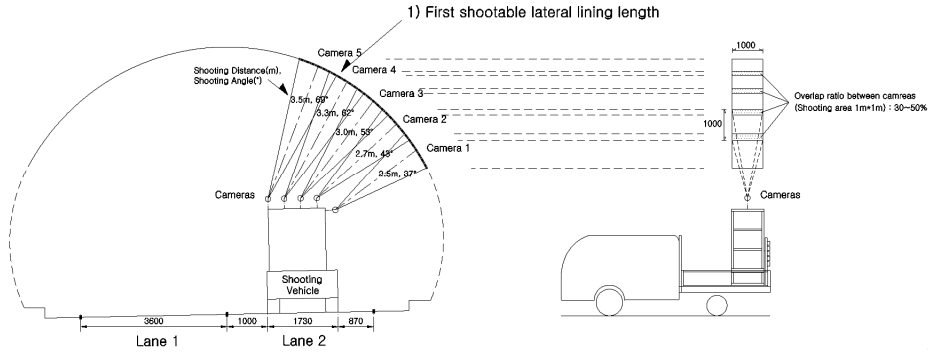
<그림 2-22> 터널 라이닝 점검 차량의 촬영 방법 개요



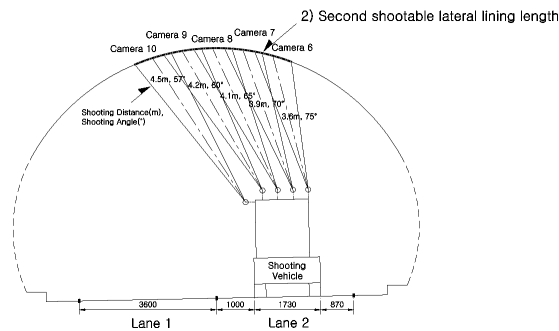
<그림 2-23> 촬영 대상 터널 횡단면도 작성(단위:mm)



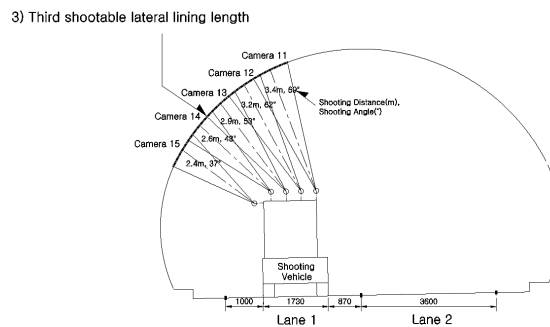
<그림 2-24> 터널 횡단면도에 실물 크기 점검 차량 및 카메라 설치 도면 삽입(단위:mm)



<그림 2-25> 첫 번째 촬영할 라이닝 길이 산정 및 촬영



<그림 2-26> 두 번째 촬영할 라이닝 길이 산정 및 촬영



<그림 2-27> 세 번째 촬영할 라이닝 길이 산정 및 촬영

④ 촬영 횟수

상기 ③항에서 횡방향 라이닝 길이 11.6m, 1~5번 카메라를 동시 촬영이 가능한 횡방향 라이닝 길이 4.2m일 경우, 총 3회 주행으로 전 단면의 촬영이 가능하다. 첫 번째 촬영 이후, 2번째 촬영 가능한 횡방향 라이닝 길이를 산출하고 촬영을 수행할 수 있으며, 카메라 촬영 위치를 바꾸어 상기의 ㉠~㉥번 순서대로 다시 수행한다(그림 2-26). 다음으로 3번째 촬영 가능한 횡방향 라이닝 길이를 산출하고 촬영을 수행하며, 카메라 촬영 위치를 바꾸어 상기의 ㉠~㉥번 순서대로 다시 수행한다(그림 2-27). 만일, 동일한 터널을 대상으로, 동시 촬영 카메라를 9대 사용할 경우, 2회 촬영 가능하며, 18대를 사용할 경우, 1회 촬영 가능하다. 그러나 편도 2차로 또는 양방 2차로 이상의 터널일 경우, 주행 중 촬영시, 다른 주행 차로의 차량으로 인해 촬영이 불가능할 경우에는 동시 촬영 카메라 수를 조절할 수 있으며, 주행 차로를 옮겨서 촬영할 수 있다. 또한 다른 터널을 대상으로 촬영할 경우에는 해당 터널의 횡방향 라이닝 길이와 상기 ③항의 1~5번 카메라 촬영 가능 횡방향 라이닝 길이와 비교하여 촬영횟수를 산출할 수 있다.

⑤ 촬영 방법

㉔ 특수조건에서의 카메라 설정 방법

터널 내부에서 영상 촬영시 카메라 설정은 일반 촬영방법과는 조건이 다르다. 터널 내부는 일반 야외 조건과 다르게 조도가 낮고, 주행 중 촬영하며, 다른 주행차량의 전조등에 의해 조도가 수시로 변화하고, 터널 라이닝에 설치된 시설물(터널 조명, 환기팬, 전선 등)들로 인해 초점 거리가 바뀌는 등 다양한 불확실성이 존재한다. 이러한 변수들을 해결하기 위해서는 카메라의 촬영 설정이 중요한데, 대표적으로 ISO, 셔터스피드, 조리개 값이 있다. ISO는 사진 감광재료의 사진 감도를 나타내는 것으로, 디지털 카메라에서는 센서의 감도를 칭하는 용어이다. ISO 수치가 높을수록 사진은 밝아지지만 노이즈가 발생하므로, 최상의 이미지를 획득하기 위해서는 가능한 낮은 ISO를 사용하는 것이 유리하다. 셔터스피드는 빛이 이미지 센서(CMOS)에 기록되는 속도를 말한다. 셔터스피드가 빠를수록 또렷한 영상 취득이 가능하며 느릴수록 잔상이 남게 되는데, 셔터스피드가 빠르면 센서에 기록되는 순간이 짧기 때문에 상대적으로 이미지가 어두워지며 피사계심도 또한 알아지게 된다. 조리개 값은 렌즈를 통해 들어오는 빛의 절대적인 양을 물리적으로 차단하는 막을 수치로 나타 낸 것으로 단위는 F를 사용한다. F가 높을수록 조리개는 조여져 빛의 양이 감소하게 되며 피사계 심도는 깊어진다. 반대로 F가 낮을수록 조리개는 열리게 되며 빛의 양은 증가 하나 피사계 심도는 얕아진다. 따라서 최적의 영상 데이터를 확보하기 위해 터널 내부에서 다양한 카메라의 설정값 성능 평가를 수행하였으며, 그 결과는 <표 2-8>과 같다.

㉕ 주행 중 촬영거리 유지 방법

주행기준장치를 이용하여 주행 중 촬영거리를 일정하게 유지할 수 있다. 차량 외부 전면에 디지털 영상 촬영 장치를 설치하고, 차선을 촬영하면, 해당 영상이 운전석에 설치된 이미지 디스플레이에 출력이 되어, 운전자가 수시로 차선을 확인하여 조향을 일정하게 유지할 수 있다. 또한 조향방향을 화살표 방향과 크기로 디스플레이에 출력해 주어 정교한 조향이 가능하도록 해준다. 그리고 차량 외부에 초음파 거리 측정기나 레이저 거리 측정기를 설치하여, 주행하는 동안 지속적으로 터널 라이닝을 향해 거리를 측정하게 되면, 주행 거리별 차량(또는 카메라)와 터널 라이닝과의 거리값을 확보하게 된다. 이 거리값을 이용하여, 촬영된 영상 데이터 상의 균열 등 결함정보의 계측값을 보정할 수 있다. 상기 초음파 거리 측정기, 레이저 거리 측정기, 디지털 영상 촬영장치 3가지 장치의 조합을 통해, 최종적으로 촬영 영상 데이터의 크기를 보정할 수 있다. 또한 차량 내부에는 노면 및 차선을 촬영하는 영상 데이터를 기록하는 장치와 차량과 터널 라이닝과의 거리값을 기록하는 장치가 구비되어 실시간을 데이터를 저장한다.

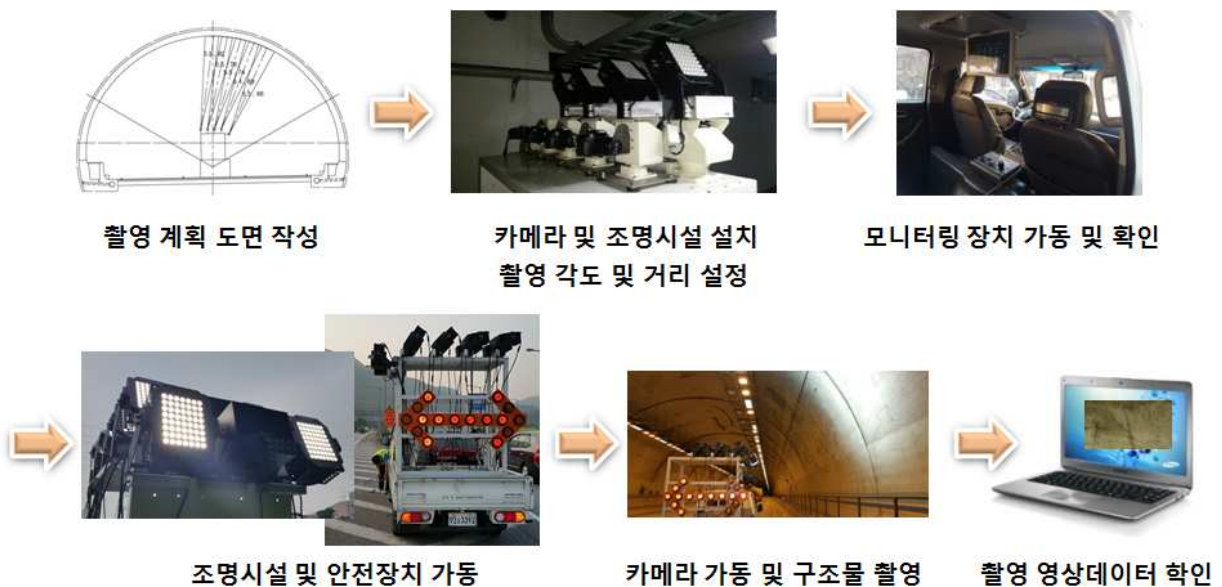
⑥ 촬영 절차

도로 터널의 대상으로 촬영절차는 <그림 2-28>과 같은 절차에 따라 수행한다. 먼저, 대상 터널의 평면도, 횡단면도 등의 도면을 작성해야 하며, 도면에는 터널의 크기와 촬영각도 및 촬영거리가 표시되어 있어야 한다. 그리고 차량에 카메라 및 조명시설을 차량에 설치한 후, 촬영 계획 도면에 따라 촬영 거리에 따른 촬영 각도를 설정한다. 그리고 촬영 영상을 실시간으로 확인할 수 있는 모니터링 장치와 촬영 영상 데이터를 저장하기 위한 저장장치를 설치한다. 그 다음 카메라가 터널의 균열 등 결함정보를 정확히 촬영할 수 있도록 조명시설을 가동하고 한다. 마지막으로 카메라와 주행기준장치를 가동하고, 운전자는 주행기준장치에 맞추어 일정한 속도로 운전을 하면서 터널 라이닝의 영상 데이터를 획득한다.

〈표 2-8〉 촬영거리 및 카메라 설정값에 따른 성능 평가 테스트 결과

Shooting Distance	Case No.	Shooting Area (lens(mm))	Camera Set up			Image Results (Focus)	Note
			ISO	Shutter	Diaphragm		
1.5m	1-1	0.3x0.3 (35~100)	200	1/8000	2.8	Good	
						Good	
	1-2	0.3x0.3 (35~100)	400	1/10000	2.8	Good	
						Good	
	1-3	0.3x0.3 (35~100)	800	1/8000	2.8	Good	
						Good	
	1-4	0.3x0.3 (35~100)	800	1/8000	5.6	Normal	
						Good	
2.6m	2-1	0.3x0.3 (35~100)	800	1/4000	5.6	Normal	
						Good	
	2-2	0.3x0.3 (35~100)	800	1/5000	5.6	Normal	
						Normal	
	2-3	0.3x0.3 (35~100)	1600	1/4000	5.6	Good	
						Good	
	2-4	0.3x0.3 (35~100)	1600	1/5000	5.6	Good	
						Normal	
4.0m	3-1	0.3x0.3 (100~300)	800	1/4000	5.6	Good	
						Good	
	3-2	0.3x0.3 (100~300)	800	1/5000	5.6	Normal	
						Normal	
	3-3	0.3x0.3 (100~300)	1600	1/5000	5.6	Good	
						Normal	
	3-4	0.3x0.3 (100~300)	1600	1/8000	5.6	Good	
						Normal	

※ Image Results Grade : Bad(Undetectable), Normal(Detectable: Crack Outline), Good(Detectable: Crack Pixel)
 ※ Vehicle Speed : 20km/h



〈그림 2-28〉 도로 터널 촬영절차

⑦ 촬영 장비 성능 평가 시험

본 연구에서는 최적의 터널 라이닝 영상 데이터를 획득하기 위해서, 촬영 장비의 성능 평가를 수행하였다. 상기 ⑥항의 촬영 절차에 따라, 국도 2차로 터널을 대상으로, 주행속도 20km/h, 촬영면적 0.3m×0.3m, 촬영거리 2.6m를 기준으로 설정하여 카메라의 ISO, 셔터스피드, 조리개 값 등을 조정하면서 촬영한 결과, 다음 <표 2-9>와 같은 결과를 얻었다. 이 시험 결과는 카메라 및 렌즈의 종류, 조명의 밝기, 촬영 거리에 따라 다를 수 있지만, <표 2-8>과 같이 다수의 성능 시험 중에서 0.1mm 균열을 명확히 확인할 수 있는 카메라의 설정이라고 판단되었다.

<표 2-9> 0.1mm 균열 검출에 적합한 카메라 성능 평가 테스트 결과

Division Shooting Area (Shooting Distance)	Camera Set up			Image Results			Vehicle Speed
	ISO	Shutter	Diaphragm	Lightness	Focus	Crack Inspect	
0.3m×0.3m (2.6m)	800~1,600	1/4000 ~1/5000	2.8~5.6	Brightness	Good	Possibility	20km/h

(바) 촬영 기법 매뉴얼 개발 (2차)

① 시설물 안전점검용 영상 촬영 기법 매뉴얼(안) 작성

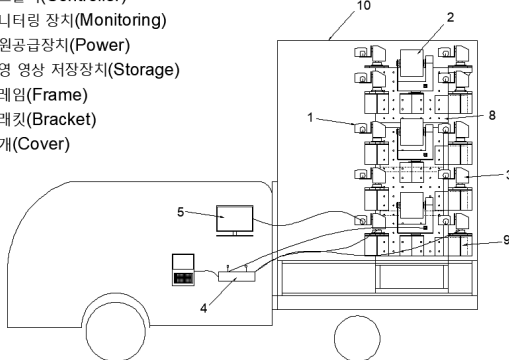
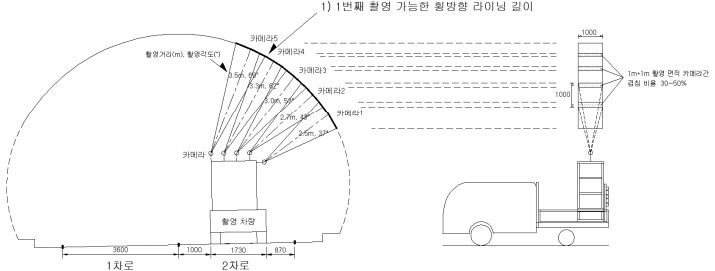
- 유사 분야 매뉴얼 수집 및 검토
- 터널 라이닝 촬영 절차 검토



목 차	
1. 개요	1
1.1 적용범위	1
1.2 목적	1
2. 장비의 구성	1
3. 터널 라이닝 영상 촬영 기법	3
3.1 기본 고려사항	3
3.2 촬영 각도 산출 기본방법	3
3.3 촬영 각도, 거리 산출, 촬영 빛수 산출 절차	3
3.3.1 카메라 5대 설치 시	3
3.3.2 카메라 9~18대 설치 시	5
4. 촬영 절차	8
4.1 촬영 계획 도면 작성	8
4.2 카메라 및 조명시설 설치	8
4.3 촬영 각도 및 촬영 거리 설정	9
4.4 모니터링 장치 및 촬영 영상 저장장치 설치	9
4.5 조명시설 및 안전장치 가동	9
4.6 카메라 가동 및 촬영	9
4.7 촬영 종료 및 영상 데이터 확인	9
4.8 결과의 활용	9
5. 장비 사용 전 체크리스트	10

<그림 2-29> 시설물 안전점검용 영상 장비 촬영 기법 매뉴얼

<표 2-10> 시설물 안전점검용 영상 촬영 기법 매뉴얼 주요 내용

구분	주요 내용	비고
구성	1. 개요 2. 장비의 구성 3. 터널 라이닝 영상 촬영 기법 4. 촬영 절차 5. 장비 사용전 체크리스트	총 5개 장으로 구성
적용범위	시설물 안전점검용 영상 촬영 장비에 대하여 기본구성과 촬영시 필요한 기법에 대한 사항을 기술	
목적	사용자 개인의 특성에 따른 품질변동 최소화	
장비의 구성	1 카메라(Camera) 2 조명시설(Lighting) 3 팬 틸트 헤드(Pan/Tilt Head) 4 컨트롤러(Controller) 5 모니터링 장치(Monitoring) 6 전원공급장치(Power) 7 촬영 영상 저장장치(Storage) 8 프레임(Frame) 9 브래킷(Bracket) 10 덮개(Cover)  [장비의 구성]	구성 장치 10가지 항목에 대하여 설명
촬영 기법	기본 고려사항, 촬영각도 산출 방법, 촬영 횟수 및 절차 상세 제시 카메라 5대 설치시와 카메라 9~18대 설치시를 구분하여 기술 OO터널 (OO방향)  [촬영 기법]	
촬영 절차	차량 이용 영상 촬영의 절차를 7단계로 구분하여 설명 ① 촬영 계획 도면 작성 ② 카메라 및 조명시설 설치 ③ 촬영 각도 및 촬영 거리 설정 ④ 모니터링 장치 및 촬영 영상 저장장치 설치 ⑤ 조명시설 및 안전장치 가동 ⑥ 카메라 가동 및 촬영 ⑦ 촬영 종료 및 영상 데이터 확인	
체크리스트	안전하게 목표 성과를 달성하기 위한 체크리스트 14항목 제시	

(2) 현장 성능시험 및 보완을 통한 제품 상용화

(가) 신기술 인증을 위한 현장 적용 현황(Test-bed) (3차)

〈표2-11〉 현장 적용 현황

연번	공사명(용역명)	발주자	용역기관	용역기간	용역규모	비고
1	AI기반의 감천터널 정밀안전점검 용역	SQ엔지니어링	(주)태명이씨앤씨	2018.12	• 감천터널 - 연장 : 하행(895m) - 폭 : 10m(편도 2차로) - 터널형식 : NATM	본 기술을 활용한 터널 라이닝 촬영 및 영상기반의 외관조사망도 작성
2	AI기반의 득성터널 정밀안전점검 용역	SQ엔지니어링	(주)태명이씨앤씨	2018.12	• 득성터널 - 연장 : 상행 391.5m, 하행 358m - 폭 : 9.98m(편도 2차로) - 터널형식 : NATM	
3	AI기반의 화산터널 정밀안전점검 용역	SQ엔지니어링	(주)태명이씨앤씨	2019.1	• 화산터널 - 연장 : 수원방향 330m, 오산방향 370m - 폭 : 13.5m(수원 3차로, 오산 3차로) - 터널형식 : NATM	
4	AI기반의 방교터널 정밀안전점검 용역	SQ엔지니어링	(주)태명이씨앤씨	2019.1	• 방교터널 - 연장 : 580.0m (150.0(U-Type) + 180.0(Box-Type) + 250.0(NATM) = 580.0m) - 폭 : 28.5m(U-Type), 27.9m(Box-Type), 28.338m(NATM), - 터널형식 : NATM + BOX	
5	AI기반의 봉산터널 정밀안전점검 용역	SQ엔지니어링	(주)태명이씨앤씨	2019.2	• 봉산터널 - 연장 : 상행 870m, 하행 870m - 폭 : 9.8m(편도 2차로) - 터널형식 : NATM	

① AI기반의 감천터널 정밀안전점검 용역



〈그림 2-30〉 감천터널 현장 영상 촬영

② AI기반의 득성터널 정밀안전점검 용역



<그림 2-31> 득성터널 현장 영상 촬영

③ AI기반의 화산터널 정밀안전점검 용역



<그림 2-32> 화산터널 현장 영상 촬영

④ AI기반의 방교터널 정밀안전점검 용역



<그림 2-33> 방교터널 현장 영상 촬영

⑤ AI기반의 봉산터널 정밀안전점검 용역

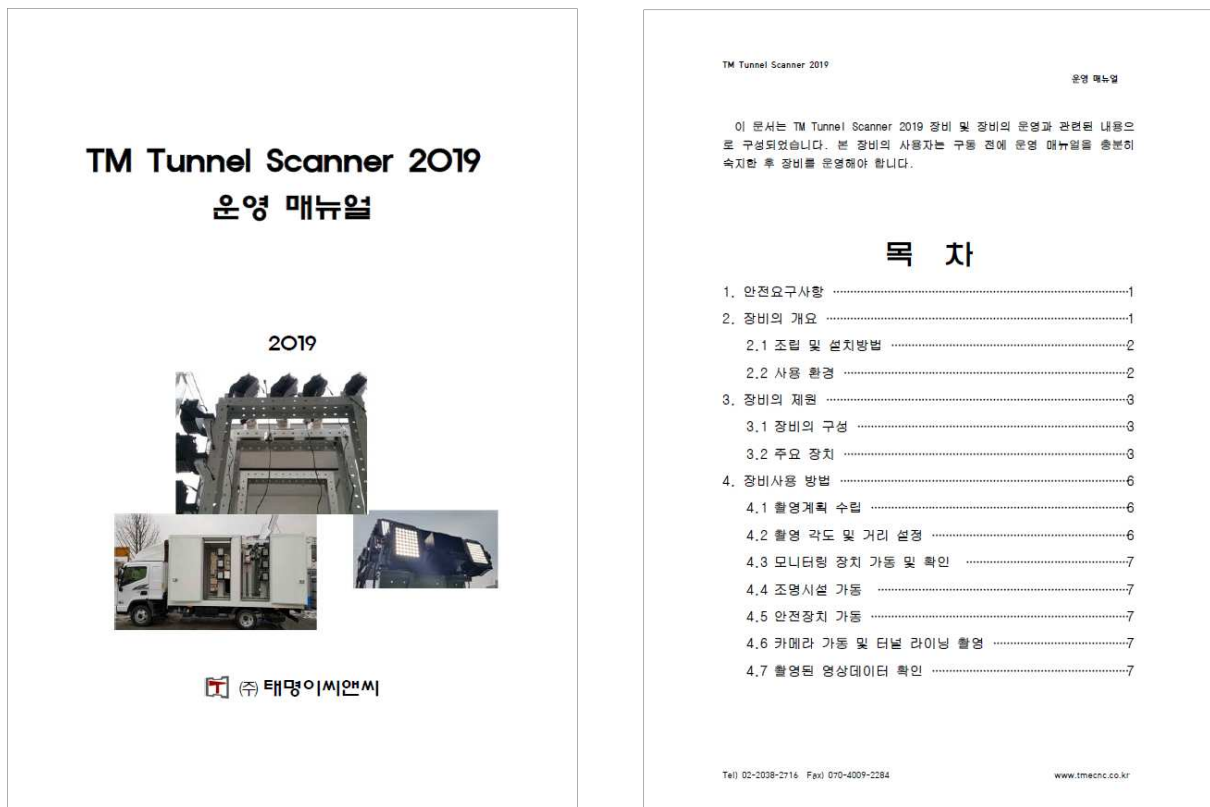


〈그림 2-34〉 봉산터널 현장 영상 촬영

(나) 장비 운영 매뉴얼 작성 (3차)

① 터널 안전점검용 TM Tunnel Scanner 2019 운영 매뉴얼(안) 작성

- 안전요구사항, 장비의 개요, 장비의 제원, 장비사용 방법 작성



〈그림 2-35〉 터널 안전점검용 TM Tunnel Scanner 2019 운영 매뉴얼

〈표 2-12〉 시설물 안전점검용 TM Tunnel Scanner 2019 운영 매뉴얼 주요 내용

구분	주요 내용	비고
안전요구사항	TM Tunnel Scanner 2019 운용시 안전 장비 사용과 사용자 안전에 대한 내용 기술 	
장비의 개요	장비의 조립 및 설치 방법 및 사용 환경에 대해서 기술	
장비의 제원	사용자 개인의 특성에 따른 품질변동 최소화	
장비의 제원	[장비의 구성] - 카메라 - 조명시설 - 팬 틸트 헤드 - 컨트롤러 - 모니터링 장치 - 전원공급장치 - 촬영영상 저장장치 - 프레임 - 브래킷 - 덮개 [주요 장치] - 상기 10개 장치에 대한 설명 기술	
장비사용 방법	TM Tunnel Scannel 2019 장비 사용 방법에 대해서 기술 [촬영 계획 수립] [촬영 각도 및 거리 설정] [모니터링 장치 가동 및 확인] [조명시설 가동] [안전장치 가동] [카메라 가동 및 터널 라이닝 촬영] [촬영된 영상데이터 확인]	

나. 사진 데이터 분석 및 작도 자동화 패키지 프로그램 개발

본 과제에서는 터널 라이닝을 자동적으로 점검하며 균열 인식의 정확도와 검출 속도를 향상시킨 터널 라이닝 자동화 점검 시스템을 위한 핵심 기술을 연구하였다. 년차별로 설정된 연구 목표에 따라 세부 연구가 진행되었으며 연구수행 결과 촬영된 터널 라이닝에 대한 균열 검출 및 균열 계측과 파노라마 정합 프로그램을 개발하였다.

(1) 인공지능망 알고리즘 및 딥러닝 기법을 이용한 균열 인식 및 검출 프로그램 개발(1차)

(가) 개요

터널 라이닝에서 획득된 영상을 기반으로 영상 간의 특징 파악 및 기존 균열 검출 논문들을 구현하여 기존의 방법들과 터널 라이닝 영상의 특징을 비교하였다. 기존 전통적인 영상처리 방법을 이용한 균열 검출 방식과 최근 널리 사용되고 있는 딥러닝(Deep learning) 기반의 균열 검출 방식의 비교를 통하여 촬영된 영상에 의존적인 알고리즘의 단점을 개선하고 반복적인 알고리즘 방식을 개선함으로써 균열 검출 성능과 알고리즘 처리 속도를 높였다.

(나) 전통적인 영상처리 방법 기반의 균열 검출 방법

(1) 필터링 기반 균열 검출 방법

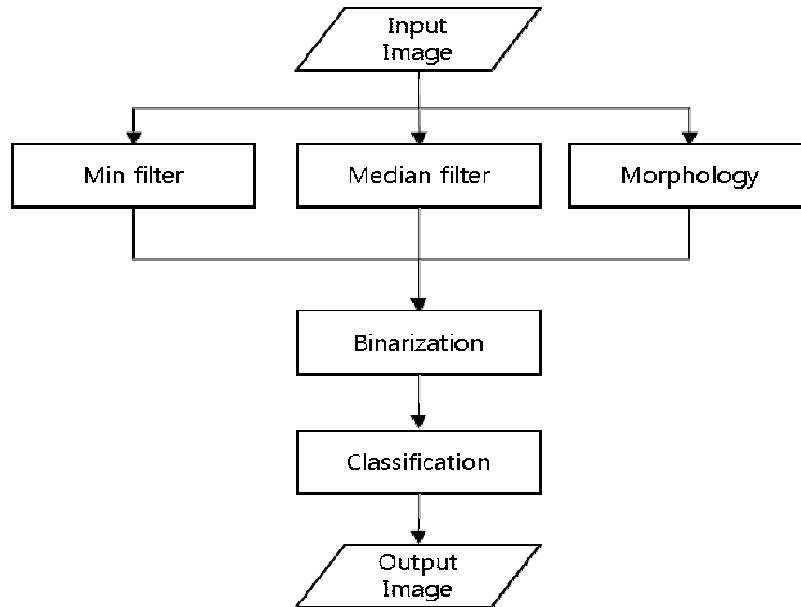
기존 필터링 기반 균열 검출 방법에는 많은 필터링 연산 및 모폴로지 방법들이 널리 사용된다. 필터링 기반의 방법의 기본적인 프로세스는 다음과 같다.

〈표 2-13〉 필터링 기반 균열 검출 방법의 기본 프로세스

단계	방법
1	입력된 원본 영역에서 균열을 제거한다. (블러 필터 및 모폴로지 연산 등을 사용)
2	원본 영상과 블러 영상의 차를 계산한다.
3	2단계에서 획득된 영상을 이진화 한다.
4	이진화된 영상을 기반으로 블롭(Blob)을 만든다.
5	각 블롭 별 특징을 추출하고 균열과 잡음을 판별한다. (Support Vector Machine, Neural Network 등을 이용)

필터링 기반 방법의 경우 균열 영역에 대한 필터링을 적용한 후 원본 영상과의 차를 이용한 방법으로 영역 확장 기반 균열 검출 방법보다 프로세스 수행 속도가 빠르며 비교적 알고리즘이 간단한 장점이 있다. 하지만 각 필터의 크기에 따라 균열 크기 및 폭이 의존적이며 이를 보완하기 위한 추가적인 연산이 필요하다. 또한 이진화 단계에서 수동적인 값의 설정이 필요하고 획득된 블롭에서

추출되는 각 균열의 특징의 선택이 어려운 단점이 있다. <그림 2-36>은 대표적인 필터링 기반 균열 검출 방법의 흐름도이다.

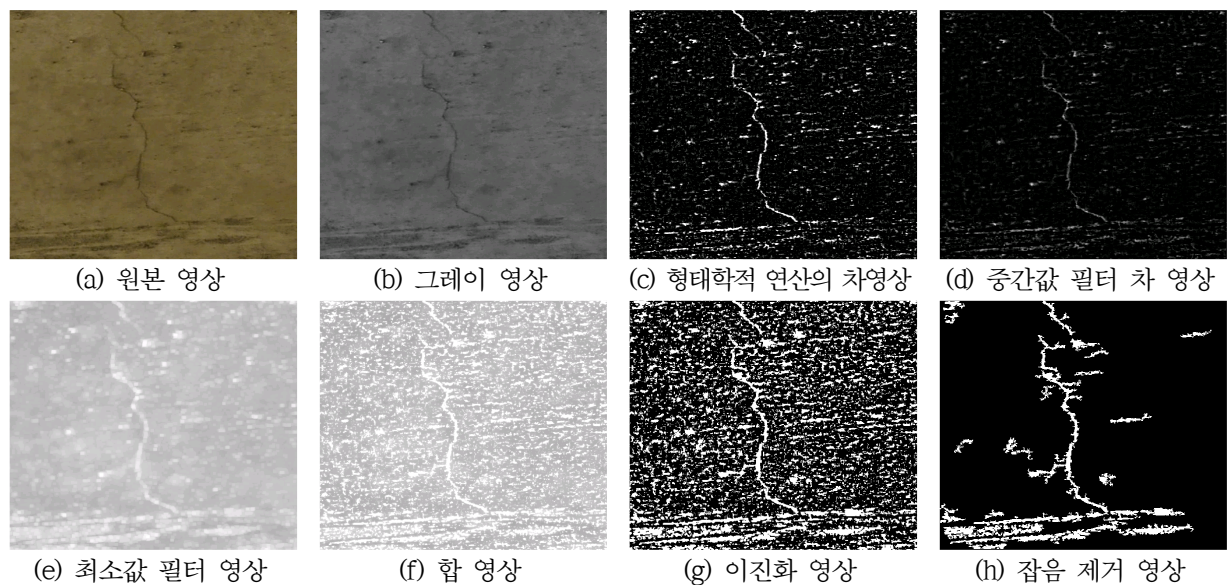


<그림 2-36> 필터링 기반 검출방법의 흐름도

<그림 2-36>의 방법은 다중 필터를 적용하여 균열의 확률을 계산한 후 균열 후보균을 검출하는 균열 후보 영역 검출 단계와 균열과 잡음을 분류하는 균열 검출 단계로 구성된다. 균열 후보 영역 검출 단계에서는 더욱 정확한 균열 영역을 검출하기 위하여 서로 다른 특성을 가지는 필터들을 병렬로 결합하여 사용한다. 전통적인 영상처리 방법에서 잡음 제거에 널리 사용되는 중간값 필터(Median filter)는 필터링 공간에서의 중간 값을 취하는 방식(Rank 기반)이다. 이를 통하여 영상에 나타나는 균열 및 잡음을 없애고 차 영상을 이용하여 균열 후보를 검출한다. 2번째 균열 후보를 검출하는 최소값 필터(Min filter)는 상대적으로 어둡게 표현되는 균열의 특성을 이용하여 균열 후보균을 찾는 역할을 한다. 모폴로지 연산(Morphology operation)기반 연산은 각 구조 요소들을 회전시켜 얻은 영상을 기준으로 한 픽셀에 대한 최대값을 이용하는 방법으로 균열의 형태에 따라 많은 구조요소들을 사용할 수 있다.

$$Y = \max[(X \circ S_{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ}) \bullet S_{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ}, X] - X \quad \text{식(1)}$$

식(1)에서 $\circ$, $\bullet$ 는 각각 열림 연산과 닫힘 연산을 나타내고, Y , X , S 는 각각 결과영상, 입력영상, 구조요소를 나타낸다. 연산에 사용되는 구조요소는 총 4방향에 대한 회전을 나타낸다. <그림 2-37>은 각 필터링 별 연산 결과를 보여준다.



〈그림 2-37〉 필터링 기반 검출 방법의 결과

획득된 필터링 기반의 각 결과들은 이진화를 통하여 균열 후보군으로 나타내어지며 이는 분류기 (Classifier)를 통하여 균열 및 잡음으로 분류된다. 각 균열 후보군은 원본 영상의 픽셀의 밝기 기반, 균열 후보군의 형태 기반 등으로 나눌 수 있다. <표 2-14>는 균열 및 잡음 분류에 사용되는 균열의 특징이다.

〈표 2-14〉 균열 분류에 사용되는 특징의 예

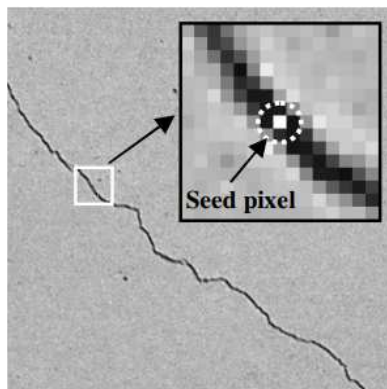
1	객체의 평균명도 [Brightness]	B	객체 영역에 해당하는 모든 화소의 평균 명도
2	길이 [Length]	L	객체의 중심 화소들의 총 길이를 합산하여 구함
3	면적 [Area]	A	객체 영역에 해당하는 모든 화소 수
4	직경 [Diameter]	D	객체의 경계에 존재하는 화소 중 가장 멀리 떨어진 화소간의 거리
5	두께 [Thickness]	t	중심화소로부터 양쪽 경계까지의 최소 거리 합(내접원의 지름) - 최대값 적용
6	폭 [Width]	W	객체 방향에 수직으로 투영시켜 투영 된 길이
7	방향 [Direction]	Dir	객체의 시작점의 좌표와 끝점의 좌표가 이루는 각도
8	둘레 [Circumference]	Cf	객체의 경계를 구성하는 화소 수
9	둘레-면적비 [Circumf. - Area]	$CA = \frac{Cf}{A}$	둘레와 균열 면적의 비율
10	패킹 밀도 [Packing Density]	$PI = \frac{A}{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2}$	균열 면적과 균열 최대 거리의 외접원 넓이의 비율
11	방향성 강도 [Directional Strength]	$ds = \frac{W}{A}$	객체의 면적과 폭의 비율
12	직진성 [Straight]	$S = \frac{L}{W}$	객체의 길이와 넓이의 비율

② 영역 확장 기반 균열 검출 방법

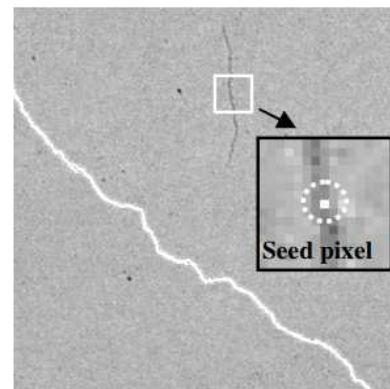
전통적인 균열 검출 방법에 널리 사용되고 있는 영역 확장 방법은 반복적인 픽셀 별 제한 방법을 이용하여 균열 영역을 확장시키는 방법이다. 이러한 영역 확장 방법은 기존 필터링 기반의 방법보다 검출되는 균열의 정확도가 높은 장점이 있지만 픽셀별 연산을 반복적으로 수행하기 때문에 연산 시간이 많이 소요된다는 단점이 있다. <표 2-15>는 균열 영역 확장 방법의 기본적인 수행 프로세스이다. <그림 2-38>은 각 수행 단계별 결과 영상이다.

<표 2-15> 균열 분류에 사용되는 특징의 예

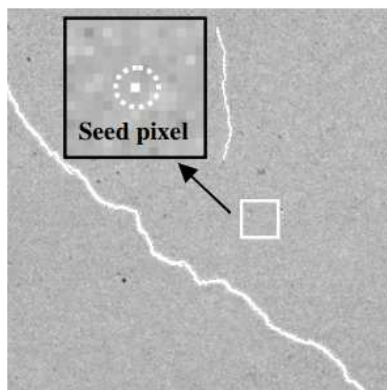
단계	방법
1	전체 영상에 기본적인 시드(Seed)를 생성한다.
2	생성된 시드를 기반으로 각 픽셀간의 관계를 파악한다. (명도 기반, 에지 기반 등)
3	선택된 시드 기반 영역을 확대해 나간다.
4	확대한 영역을 기반으로 단계 1부터 반복적으로 다시 수행한다.
5	최종 획득된 균열 영역을 기반으로 특징을 추출하여 균열과 노이즈를 분류한다. (Support Vector Machine, Neural Network 등을 이용)



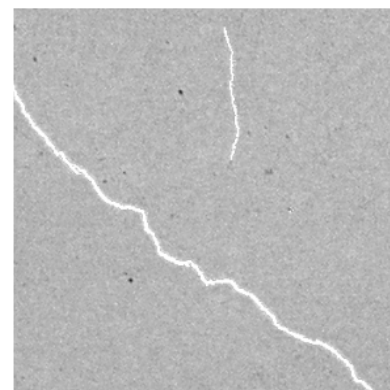
(a) 균열 영역의 시드 픽셀



(b) 시드 픽셀 기반 영역 확장 결과



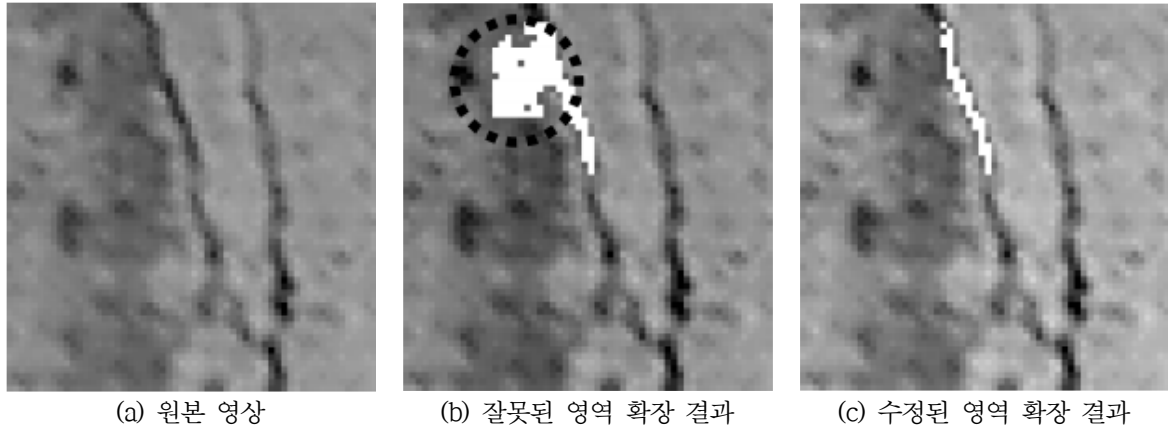
(c) 균열이 아닌 시드 픽셀



(d) 최종 결과

<그림 2-38> 영역 확장 방법의 예

영역 확장 방법을 이용한 균열 검출 방법은 생성된 시드 픽셀에 의존적인 단점이 존재하지만 기존 필터링 기법에서 나타날 수 있는 노이즈(균열 영역과 바탕 영역의 명도차가 많이 나지 않는 경우)를 사전에 방지함으로써 보다 정확한 균열 영역을 검출할 수 있는 장점이 있다. <그림 2-39>는 균열 검출 단계에서 오차를 방지하기 위한 영역 확장 방법의 예이다.

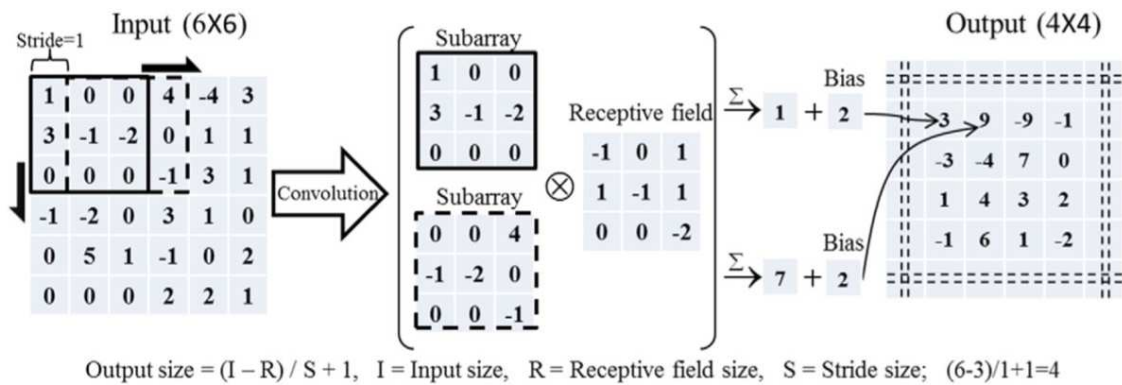


<그림 2-39> 영역 확장 방법을 통한 균열 오검출 방지의 예

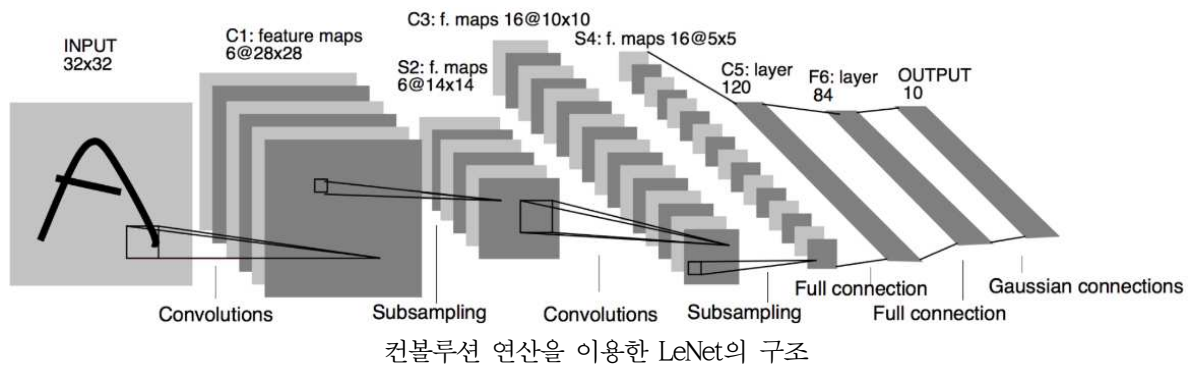
영역 확장을 이용한 균열 검출 방법은 상대적으로 높은 정확도를 보이지만 반복적인 프로세스를 통하여 균열을 검출하기 때문에 많은 연산을 필요로 하며 확장된 영역의 구분(확장, 멈춤, 균열과 노이즈의 구분)에 많은 어려움이 존재한다. 선택되는 시드픽셀의 선택적인 확장에 필요한 기본적인 알고리즘은 촬영된 영상 조건에 제한적인 결과를 보인다.

(다) 딥러닝 기반 균열 검출 방법

최근 영상 인식 분야에서 많이 사용되고 있는 CNN(Convolutional Neural Network)는 딥러닝의 한 기법으로 Y. Lecun에 의해 1989년 필기체 인식을 위해 제안되었다. 이 방법은 기본적인 컨볼루션 연산(Convolution operation) 및 풀링 연산 등을 이용하여 여러 학습 데이터의 특징을 추출하고 추상화하여 영상의 군집, 분류 등을 수행하는 기계학습의 한 방법이다. CNN을 이용한 많은 애플리케이션 중 대중적으로 이용되고 있는 분야는 영상인식(Image Recognition) 분야이다. CNN은 영상 인식 뿐만 아니라 객체 분류(Object Classification)와 영상 분할(Image Segmentation)분야에서도 적용되고 있다. CNN은 기존 의 분류기법과 다르게 영상에서 특징 벡터를 자동으로 학습하고 영상의 특징을 자동적으로 추출 할 수 있어 특징 벡터의 추출과 분류를 통합적으로 수행 할 수 있는 장점이 있다. <그림 2-40>은 컨볼루션의 기본적인 연산과 Y. Lecun이 제안한 Le-net의 예시이다.



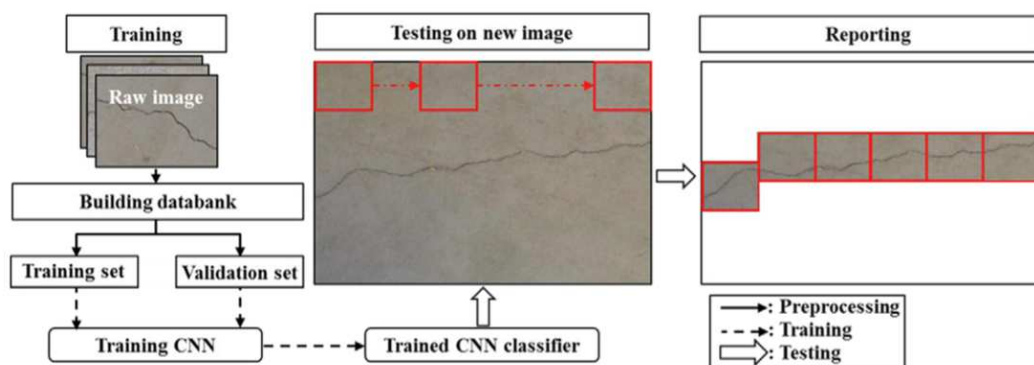
컨볼루션 연산의 예



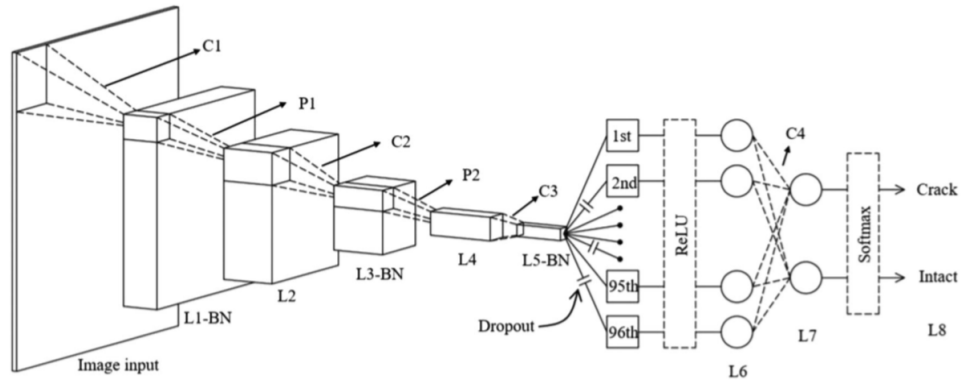
<그림 2-40> 컨볼루션 연산과 컨볼루션 연산을 이용한 LeNet 구조

① 패치 분류 기반 균열 검출 방법

패치분류 기반의 균열 검출 방법은 고화질로 촬영된 영상을 패치단위로 나누어 균열을 판별하는 방식을 사용한다. 패치 분류 기반 균열 검출의 경우 영상 패치 크기에 의존적이며 패치 단위의 결과를 사용하기 때문에 영상 내의 균열에 정확한 위치를 파악하지 못하는 단점이 있다. <그림 2-41>은 패치 단위 균열 분류를 통한 균열 검출 방법의 흐름도이다. 패치 기반 균열 검출에 사용되는 컨볼루션 네트워크는 기존 영상 분류 문제에서 많이 사용되는 네트워크인 VGG, Google-Net, ResNet의 구조 등이 널리 사용되고 있다. <그림 2-42>는 패치 기반 방법에서 사용된 균열 분류 네트워크의 구조이다.



<그림 2-41> 패치 분류 기반 균열 검출의 흐름도

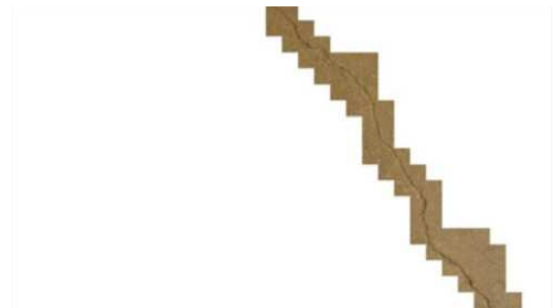


〈그림 2-42〉 균열 분류를 위한 분류 네트워크의 구조

분류 네트워크의 구조는 입력된 영상을 기반으로 컨볼루션 연산 및 풀링 연산을 적용하여 특징을 추상화 하고 최종적으로 획득된 특징 벡터들은 특징 벡터 간의 연관성을 파악하기 위하여 풀리 커넥티드 레이어(Fully-Connected layer)를 거치게 된다. 최종적으로 획득된 2개의 벡터는 균열, 비균열 영역에 대한 확률 값을 나타내며 이를 통해 전체 영상에 대한 균열 영역을 획득 할 수 있다. 최종적으로 획득된 균열 영상들은 원본 영상에 따라 맞추어지며 최종적인 결과를 나타내게 된다. 〈그림 2-43〉은 균열 분류 기반 균열 검출 방법의 최종 결과이다.



(a) 원본 영상



(b) 패치 분류 기반 균열 검출의 최종 결과.

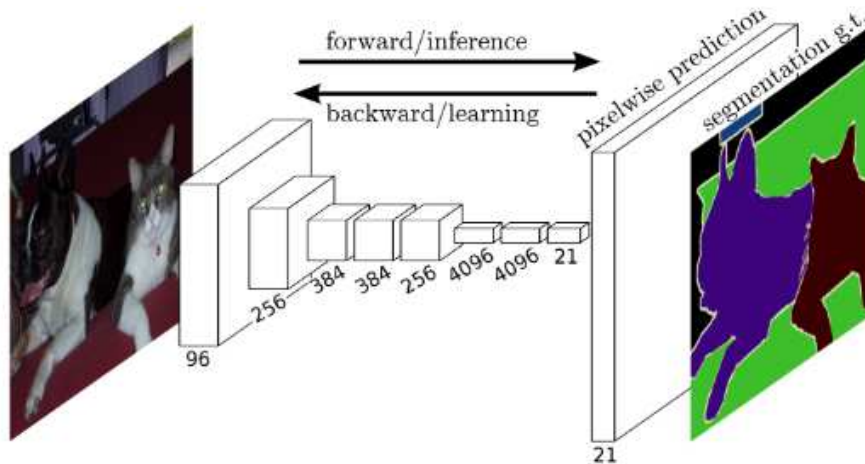
〈그림 2-43〉 패치 분류 기반 균열 검출의 결과

〈그림 2-43〉에서 확인 할 수 있듯이, 패치 분류 기반 균열 검출의 경우 패치 크기에 의존적이며 균열 이외의 영역을 패치크기에 기반 하여 많이 포함하는 것을 확인 할 수 있다. 패치의 크기가 작을 경우 균열에 대한 판별이 어려우며 패치의 크기가 커질 경우 균열 이외의 영역을 많이 포함하게 된다. 이러한 단점은 최종적으로 균열 계측에 어려움을 주며 감수 영역(Receptive Field)을 제한하여 균열 검출에 좋지 못한 성능을 보이게 된다.

② 영상 분할(Image Segmentation)기반 균열 검출 방법

영상 분할 문제는 전통적인 영상처리 분야의 한 분야이다. 전통적인 방법을 통한 영상 분할 방법은 3단계로 나누어지며 영역 분할(Region Segmentation), 특징 추출(Feature Segmentation), 영역 분류(Region Classification)의 단계로 이루어진다. 하지만 딥러닝을 이용한 영상 분할 문제는 학습 데

이터를 이용한 자동적인 특징 추출 및 분류를 수행하기 때문에 특징 추출, 영역 간 상관관계 고려 등을 할 필요가 없는 장점이 있다. 또한 균열 검출 문제에서 많이 사용되었던 패치 기반 분류 방법과 다르게 패치에 대한 크기 고려가 필요 없는 장점이 있다. <그림 2-44>는 영상 분할 문제에 널리 사용되는 FCN(Fully Convolutional Network)의 구조이다.



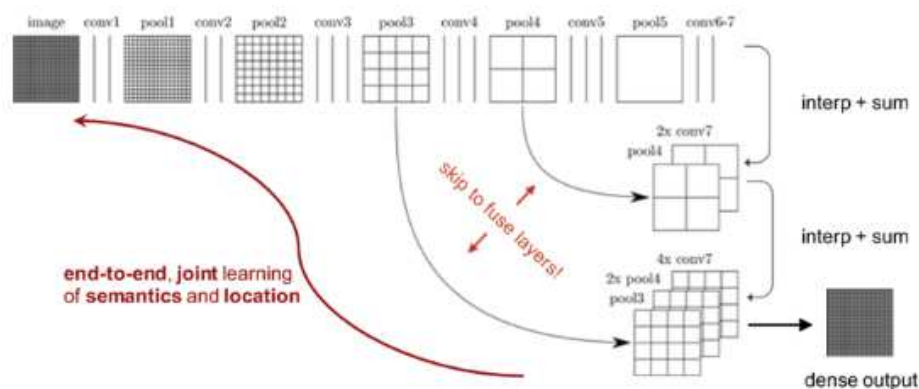
<그림 2-44> 딥러닝을 이용한 영상 분할 방법(FCN - Fully Convolutional Network)

<그림 2-44> FCN 네트워크는 여러 단계 컨볼루션, 풀링 레이어를 거쳐 특징맵(Feature map)의 크기가 줄어들게 된다. 영상 분할의 문제를 풀기 위하여 기존의 분류 문제와 다르게 픽셀 단위의 예측이 필요하다. 픽셀 단위 예측을 하려면, 줄어든 특징맵을 <그림 2-4>와 같이 원본 영상과 동일한 크기로 확장하는 과정이 필요하다. 최종적으로 축소된 특징맵의 값을 원 영상으로 확대하는 가장 간단한 방법은 일반적인 영상처리의 보간 방법을 사용하는 것이다. 하지만 학습 관점에서 고정된 값을 사용하는 것이 아닌 학습을 통해 최종 영상을 획득하는 것이 좋다. 따라서 FCN의 경우 디컨볼루션 연산(Deconvolution operation)을 이용하여 마스크의 계수를 결정하게 하였다.

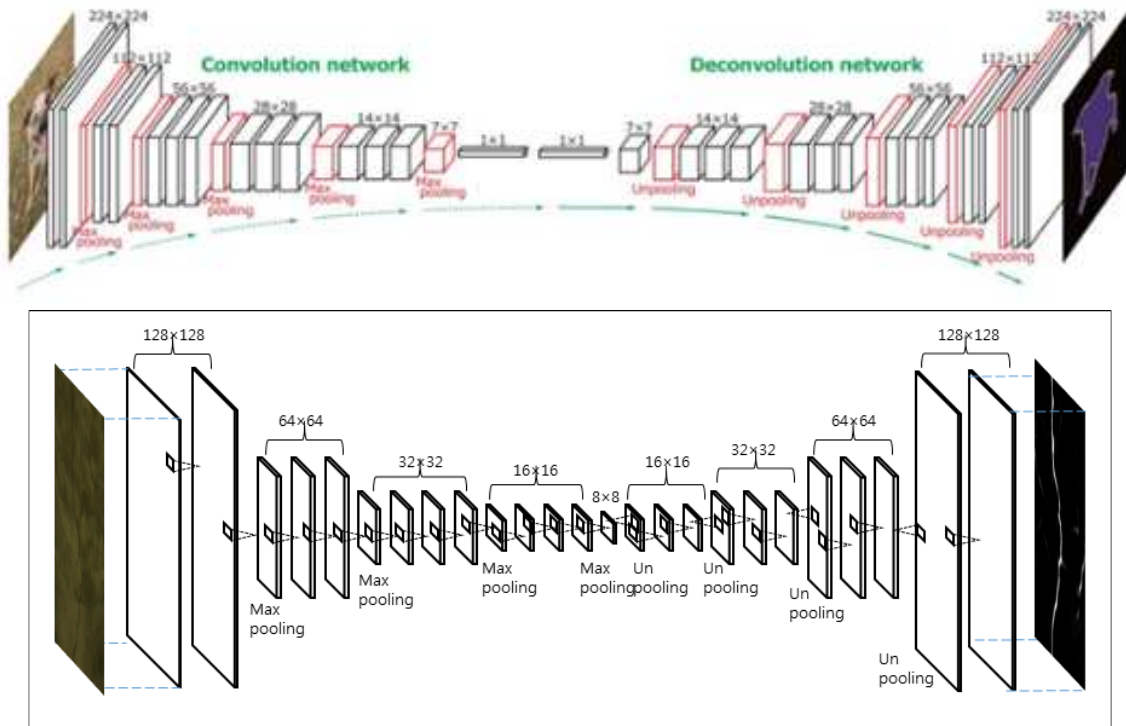
단순한 특징 맵을 크게 확장하게 되면 어느 정도 이상의 성능을 기대하긴 어렵다. 따라서 FCN 네트워크에서는 스킵커넥션(Skip-Connection)기법을 적용하여 최종적인 영상 분할 성능을 높였다. <그림 2-45>는 FCN 네트워크의 스킵 커넥션이다.

스킵커넥션의 기본 개념은 컨볼루션과 풀링 레이어를 여러 단계 거치면서 사라지는 특징맵의 디테일을 보장하는 것이다. 앞선 단계의 특징맵 결과를 이후 단계의 특징맵과 합쳐주면서 더욱 더 정교한 예측이 가능해진다. 하지만 줄어든 해상도를 원본 영상 크기로 확대시키는 부분에서의 정교함은 단순 디컨볼루션 연산을 사용하기 때문에 디테일이 사라지거나 스무싱 효과에 의하여 결과가 아주 정밀하지 못할 수 있다. 이러한 단점을 극복하고 보다 정확한 균열 영역을 검출하기 위하여 본 연구에서는 인코더-디코더 기반 네트워크를 사용하였다. 인코더-디코더 기반 네트워크는 기존 FCN 네트워크의 원본 크기 확대 방법에서 디컨볼루션 레이어를 단계적으로 추가하여 보다 정밀한 영상 분할 결과를 획득하는 장점이 있다. 하지만 인코더-디코더 네트워크의 경우 기존 FCN 기반의 방법보다 네트워크의 규모가 크고 그에 따라 학습 속도가 느린 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 스킵 커넥션, 잔차 네트워크 구조 사용, Axu 구조를 사용하였다. <그림

2-46>는 영상 분할에 사용되는 인코더-디코더 네트워크의 구조와 균열 검출에 사용하는 네트워크의 구조이다.



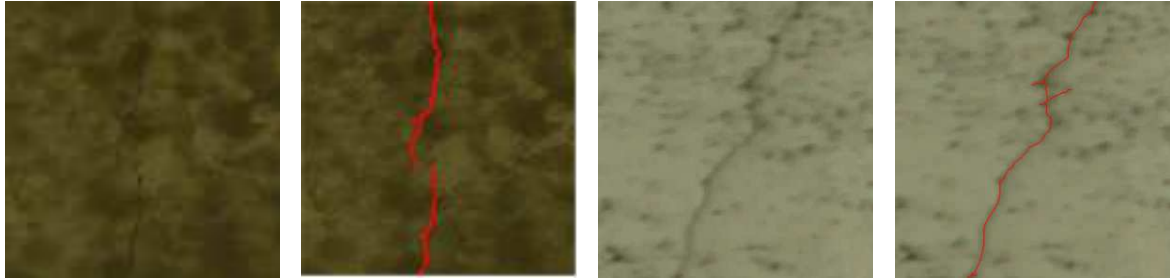
<그림 2-45> FCN의 스킵커넥션



<그림 2-46> Deconvolution Network와 인코더-디코더 기반 균열 검출 네트워크의 구조

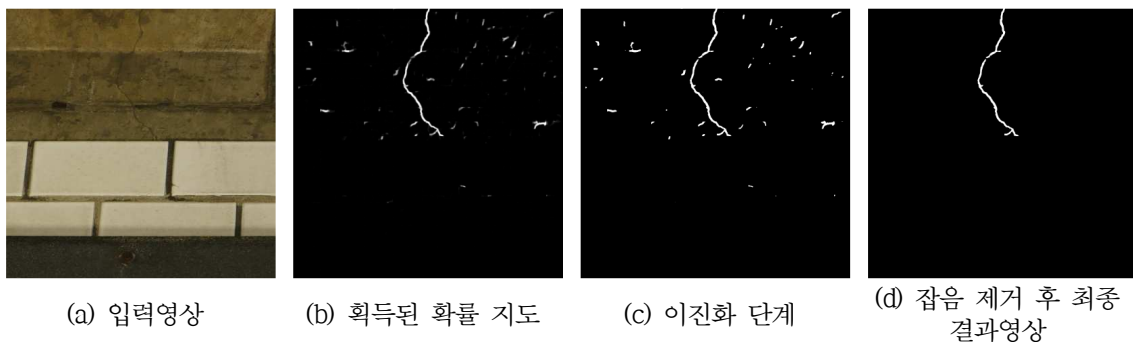
본 과제의 균열 영역 검출을 위하여 작성된 네트워크의 구조는 총 4개의 컨볼루션 블록(Block)과 3개의 디컨볼루션 블록으로 이루어져 있으며 각 블록의 특징맵은 균열 영역을 정확히 예측하기 위하여 동일한 크기의 특징맵에 해당하는 인코더-디코더 구조에 맞게 스킵커넥션을 연결하였다. 또한 보다 학습의 수렴 속도를 위하여 특징 맵이 가장 많이 줄어든 형태에서 Aux구조를 연결하여 사용하였다. 또한 깊은 학습에 필요한 수렴 속도 및 역전파(BackPropagation)을 위하여 잔차 네트워크(Residual Network)의 구조를 사용하여 각 블록을 연결하였다.

기존 영상 분할 문제와는 다르게 균열 검출 학습에는 데이터 불균형(Data Imbalance)가 크게 발생한다. 학습에 사용된 영상 중 균열 영역은 크게 영상 전체 픽셀 기준 2~3% 정도의 크기를 가지며 이를 학습시키기 위하여 본 연구에서는 학습시 배치의 절반은 균열 포함 영상, 나머지는 균열 불포함 영상을 기준으로 학습하였고 역전파시 균열 영역 그라디언트에 일정 가중치를 곱해주어 학습에 사용하였다. <그림 2-47>은 균열 검출 학습에 사용된 데이터의 예시이다.



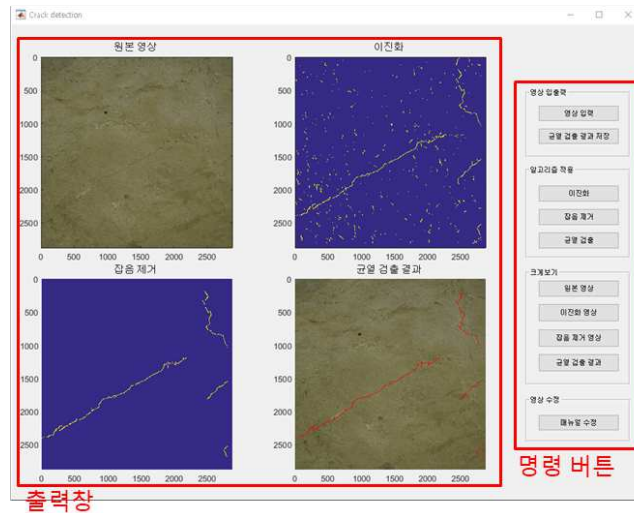
<그림 2-47> 학습 데이터의 예시

균열 검출에서 사용되는 많은 학습 영상들은 균열과 유사한 노이즈 영역을 포함하고 있다. 이는 균열 검출기에 상당한 악영향을 끼치며 검출기의 성능을 저하시키는 요인이 된다. 하지만 촬영된 영상 중 균열 자체에 대한 특징 자체가 노이즈와 상당히 유사하기 때문에 최종 검출된 특징맵에서의 노이즈 제거는 필수적이다. 본 연구에서는 균열과 노이즈를 제거하기 위하여 기존 전통적인 방법에서 널리 사용되었던 분류기를 통해 균열과 노이즈를 분류하였으며 분류기 학습에는 길이, 너비, 길이, 원형도, 둘레 면적비, 방향성 강도 등을 사용하였다. <그림 2-48>은 균열 검출 결과와 노이즈 제거의 예시이다.



<그림 2-48> 균열 검출 결과와 노이즈 제거의 예시

인공 신경망 알고리즘 개발의 최종 목표는 인공 신경망 및 영상처리 알고리즘을 이용한 균열 검출 및 입력된 영상에서 획득된 균열 정보를 사용자에게 전달하는 것이다. 사용자에게 획득된 균열을 보다 정확하게 전달하기 위하여 본 연구에서는 GUI 환경기반 균열 검출 프로그램을 개발하였다. <그림 2-49>는 개발 초기 GUI환경의 균열 검출 프로그램이다.

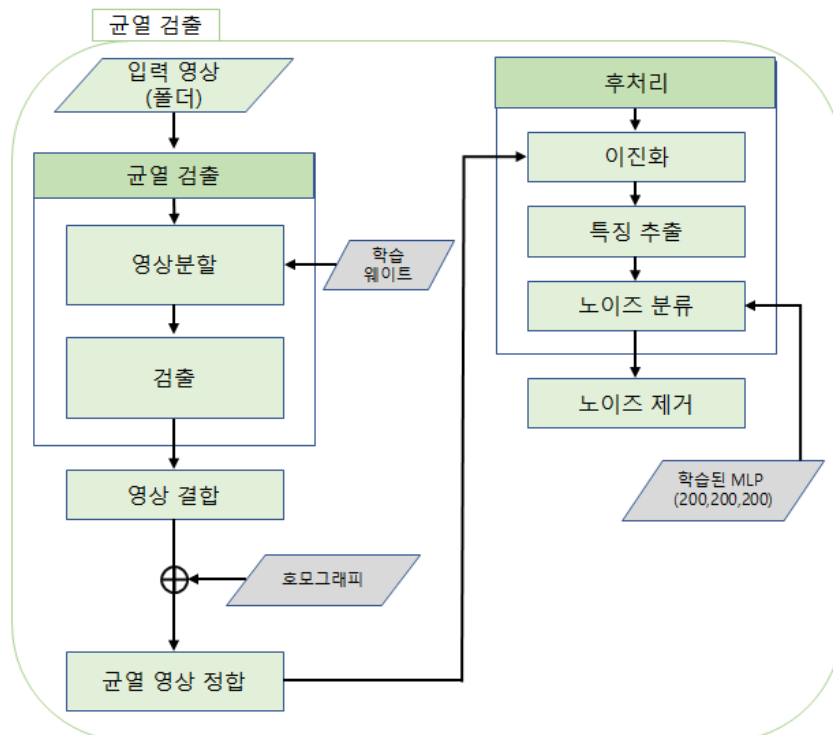


〈그림 2-49〉 균열 검출 프로그램(개발 초기)

(라) 균열 인식 및 검출 프로그램 개발

① Crack Detect Flow Chart

균열검출을 위해서는 원본 이미지 파일을 먼저 프로그램으로 로딩한 후에 진행해야 한다. 또한, 균열검출에 사용할 학습웨이트를 선택할 수 있는데, 이는 환경설정에서 설정을 할 수 있다. Crack Detect 후 생성된 crack 이미지에는 터널 내부의 오염물로부터 점/선/무늬 등 다양한 noise가 생성이 되는데, 이는 후처리 프로세스에서 노이즈를 분류하고 제거한다.

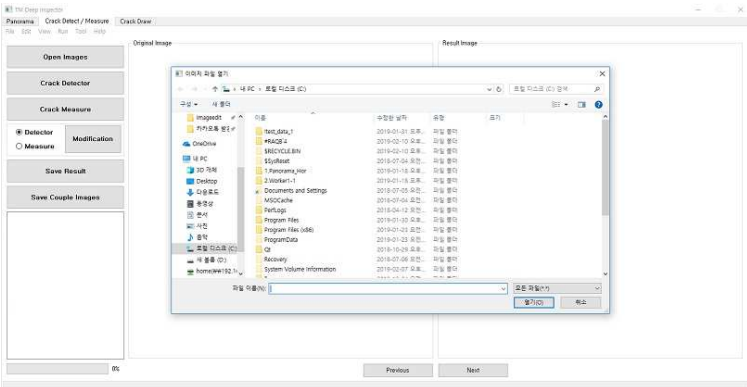
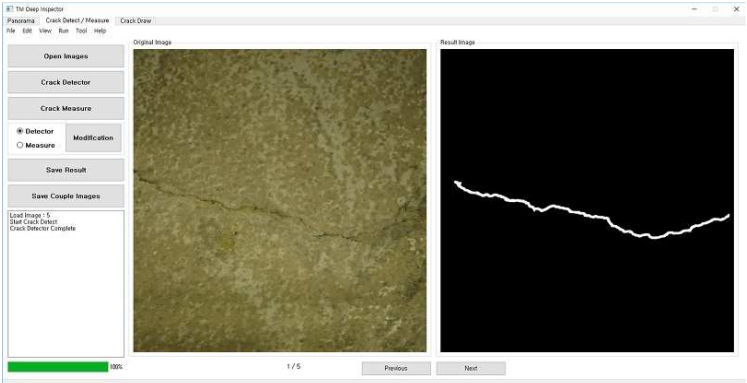


〈그림 2-50〉 Crack Detect Flow Chart

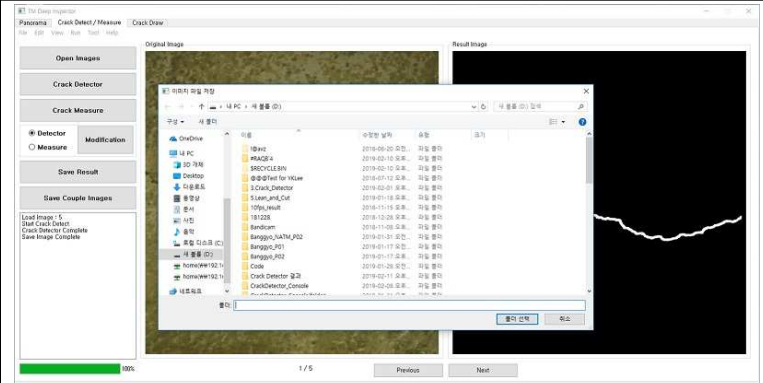
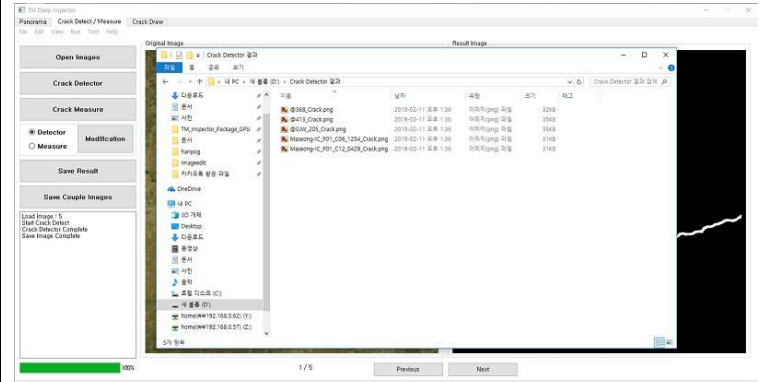
② Crack Detect GUI 프로그램 동작 흐름도

개발된 Crack Detect 프로그램을 이용해 균열을 검출하는 과정은 아래 <표 2-16>과 같다.

<표 2-16> Crack Detect GUI 프로그램 동작 흐름도

화면 흐름	화면 동작 내용
 The screenshot shows the main window of the Crack Detect GUI. It has a menu bar (File, Edit, View, Run, Tool, Help) and a toolbar. On the left, there are buttons for 'Open Images', 'Crack Detector', 'Crack Measure', 'Detector' (selected), 'Modification', 'Save Result', and 'Save Couple Images'. The main area is divided into 'Original Image' and 'Result Image'. A file selection dialog is open, showing a list of files and folders. The 'Previous' and 'Next' buttons are at the bottom.	파일선택 파일크기에 상관없이 단일 혹은 복수의 .png 파일을 입력합니다.
 The screenshot shows the 'Previous' screen of the Crack Detect GUI. The 'Original Image' is displayed, and the 'Result Image' is empty. The 'Previous' and 'Next' buttons are at the bottom.	화면 표시 선택한 파일을 GUI 상에 표시하며 중앙 하단에 Previous, Next 버튼을 사용하여 표시된 화면을 변경합니다.
 The screenshot shows the 'Running' screen of the Crack Detect GUI. The 'Original Image' is displayed, and the 'Result Image' is empty. A progress bar at the bottom indicates 40% completion. The 'Previous' and 'Next' buttons are at the bottom.	Crack Detector 실행 Crack Detector 실행화면입니다. 실행과정은 좌측 하단에 퍼센트바로 확인할수 있습니다.
 The screenshot shows the 'Result' screen of the Crack Detect GUI. The 'Original Image' is displayed, and the 'Result Image' shows the detected cracks. A progress bar at the bottom indicates 100% completion. The 'Previous' and 'Next' buttons are at the bottom.	Crack Detector 결과 Crack 결과를 화면 우측에 표시됩니다.

〈표 2-16〉 Crack Detect GUI 프로그램 동작 흐름도(계속)

화면 흐름	화면 동작 내용
	저장화면 폴더를 선택하여 폴더 안에 Crack 결과들을 저장합니다.
	저장결과 선택한 폴더 안에 Crack 결과들을 확인 할 수 있습니다. ※파일명은 입력한 파일을 기준으로 생성됩니다.

③ 균열 인식 및 검출 프로그램의 성능

인공신경망 알고리즘을 이용한 균열 인식 및 검출 프로그램의 성능 테스트 결과, 균열 검출률은 다음 〈표 2-17〉과 같다.

〈표 2-17〉 균열 검출률 결과

프로그램명	촬영 주행속도	촬영 균열폭	목표 검출률	달성 검출률*
인공신경망 알고리즘을 이용한 균열 인식 및 검출 프로그램	40km/h	0.5mm 이상	90% 이상	91.2%
	20km/h	0.1mm 이상	90% 이상	91.5%

* 학습세트 이미지 7,640장, 테스트세트 이미지 240장 적용

(2) 영상 기반의 균열 계측 및 작도 프로그램 개발 (1차)

(가) 개요

영상 기반의 균열 계측 및 작도 프로그램은 영상 기반의 균열 검출을 수행한 이후에 균열의 물리적 정보를 영상을 바탕으로 추정 및 작도하여 시각화하는 과정을 자동화하기 위한 프로그램이다. 터널의 균열에서 그 길이와 폭의 규모 등은 얼마나 큰지에 따라서 터널의 현재 상태를 진단하는데 활용될 수 있는 중요한 척도이다. 때문에 이 과정을 자동화하는 것은 영상 기반의 터널 점검을 위

하여 요구되는 중요한 요소 중의 하나이다.

터널에서 검출된 각 균열에 대한 계측 방법은 검출된 균열의 형태 및 픽셀의 명암에 상당히 의존적이며 내벽에 나타난 오염, 누수 등 균열 이외의 기타 요인들은 균열 계측에 어려움을 준다. 또한 반복적으로 수행되어야 하는 균열 계측의 시간적 문제를 해결하기 위하여 균열 및 노이즈에 대한 분류가 필요하며 이를 통해 균열 계측에 사용되는 소요시간을 감소시켰다. 또한 형태가 다른 균열 각각의 내접원을 추출하여 균열 최대폭을 추출하였으며 최단 거리를 이용하여 균열 최대 길이를 추하였다.

균열 계측은 크게 길이, 폭, 좌표를 계측하는 과정으로 구성된다. <그림 2-51>은 균열 계측 방법별 개념을 그림으로 나타낸 것이다. 균열의 길이와 폭은 균열의 규모를 판단할 수 있는 기준 중의 일부이다. 길이, 폭 및 좌표를 계측하는 기준은 몇 가지가 있을 수 있다. 본 과제에서 균열의 길이 계측은 균열이 먼저 검출되었을 때에 균열 영역 내의 가장 먼 두 픽셀을 균열 영역 상에서 이웃한 픽셀들로 연결한 경로 중 최단 거리로 정의하였다. 균열의 폭 계측은 균열이 먼저 검출 되었을 때에 균열 영역 중에서 가장 두꺼운 영역에 대한 내접원의 지름 길이를 그 기준으로 정하였다. 또한 균열의 좌표 계측은 입력 영상의 특정 좌표를 원점으로 할 때, 원점과 균열 영역을 대표하는 좌표 간의 상대적 거리의 좌표로 정의하였다. 본 과제에서는 균열의 시작점과 끝점을 포함한 5개의 좌표를 균열을 대표하는 좌표로 정의하였다.



<그림 2-51> 균열 계측 방법별 개념도

균열 작도는 균열 계측에서 얻어진 정보를 바탕으로 균열을 시각화하는 과정이다. 이를 위하여 균열의 좌표를 통해 균열의 위치와 형태를 표현하고, 균열의 폭의 정도에 따라 균열 작도시의 색상을 달리 표현함으로써 균열의 상태를 육안으로 쉽게 식별할 수 있도록 한다. <표 2-18>은 색을 이용한 균열의 구분 기준을 정의한 것이다.

〈표 2-18〉 색을 이용한 균열의 구분 기준

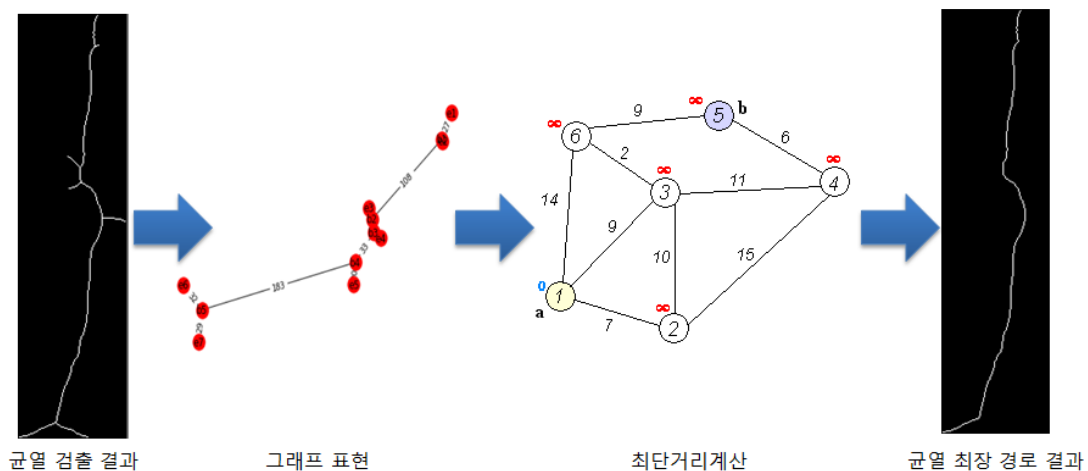
균열 두께	색 이름
0.1 mm 미만	파랑
0.1 mm 이상 0.3 mm 미만	초록
0.3 mm 이상 1.0 mm 미만	자주
1.0 mm 이상	빨강

(나) 균열 계측 및 작도 알고리즘

균열 계측 및 작도 프로그램은 영상 기반의 균열 검출 결과를 입력으로 하여 각각의 방법에 맞는 알고리즘으로 개발 및 구현하였다. 사용된 각각의 알고리즘은 그래프 이론, 머신러닝 알고리즘 등에 바탕으로 설계되었다. 상세한 알고리즘은 아래와 같다.

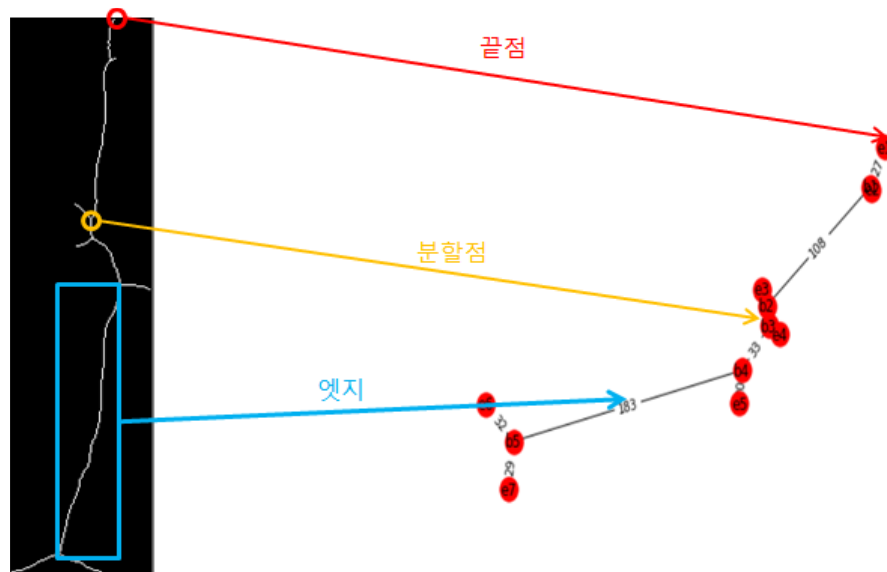
① 균열 길이 계측 알고리즘

균열의 길이 계측 알고리즘은 영상 기반의 균열 검출 결과를 바탕으로 각 균열의 길이를 추정하는 알고리즘이다. 〈그림 2-52〉는 균열 길이 계측 알고리즘의 개념도이다.



〈그림 2-52〉 균열 길이 계측 알고리즘의 개념도

균열 길이 계측 알고리즘의 수행 단계는 균열 검출 결과에서 각각의 균열 영상을 세선화하여 균열 영상을 얻는다. 얻어진 균열 영상은 〈그림 2-53〉과 같이 끝점, 분할점의 좌표를 획득하고 엣지의 길이를 추출하고 그 정보를 그래프로 표현한다. 그 뒤에 그래프로 표현된 끝점 간의 유클리드 거리 (Euclidean distance)를 계산하여 가장 먼 두 점을 찾는다. 이 점을 시작점과 끝점으로 하여 그래프 상에서의 최단거리를 다익스트라 알고리즘(Dijkstra algorithm)을 통해 구한다. 이렇게 획득된 경로를 바탕으로 균열의 길이를 추정한다.



〈그림 2-53〉 균열 영상의 그래프화 개념도

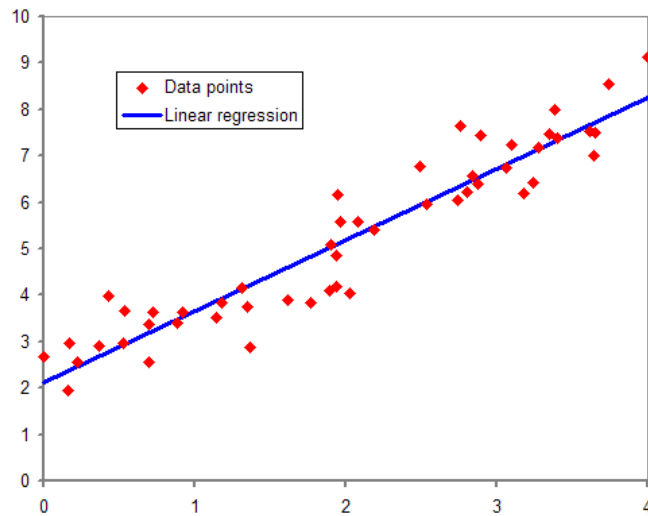
② 균열 폭 계측 알고리즘

균열 폭 계측은 균열 검출 세션화 영상과 그에 대응하는 원본 영상을 바탕으로 이루어진다. 〈그림 2-54〉는 균열 폭 계측 알고리즘의 개념도이다.



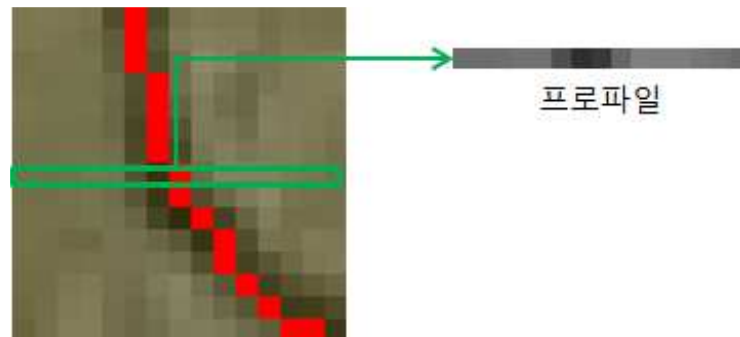
〈그림 2-54〉 균열 폭 계측 알고리즘의 개념도

균열 검출 세션화 영상은 균열의 중심선 위치를 파악하는데 활용되며, 각 위치에서 균열의 폭을 추정할 수 있다. 균열 폭 계측을 위해 사용되는 알고리즘은 신경망 회귀 분석이다. 신경망 알고리즘은 인간의 뇌의 정보 처리를 모방하는 계산 모형이다. 회귀 분석은 관찰된 변수들간의 모형을 구한 뒤 적합도를 측정해 내는 분석 방법으로 통계적 예측에 이용할 수 있다. 〈그림 2-55〉는 독립 변수 1개와 종속변수 1개를 가진 선형회귀의 예이다. 붉은 색으로 표시된 데이터들이 주어졌을 때, 선형 회귀 분석을 통해 파란색의 모델을 추정하였다. 마찬가지로 회귀 분석을 통해 일련의 특징들과 균열 폭의 데이터가 주어졌을 때, 그에 바탕으로 모델을 추정함으로써 어떤 특징에 대응하는 균열 폭을 예측할 수 있다.



〈그림 2-55〉 독립변수 1개와 종속변수 1개를 가진 선형회귀의 예

균열 폭 측정 알고리즘의 수행 과정은 먼저 균열 세션화 영상의 각 균열 픽셀을 중심으로 균열에 수직하는 방향으로 균열 프로파일을 획득한다. 〈그림 2-56〉은 균열 폭 측정용 프로파일 획득의 예시이다. 획득된 프로파일은 각 픽셀의 명도를 나타내며 균열이 있는 픽셀에서는 주변과 비교할 때 상대적으로 어두운 값을 띄게 된다.



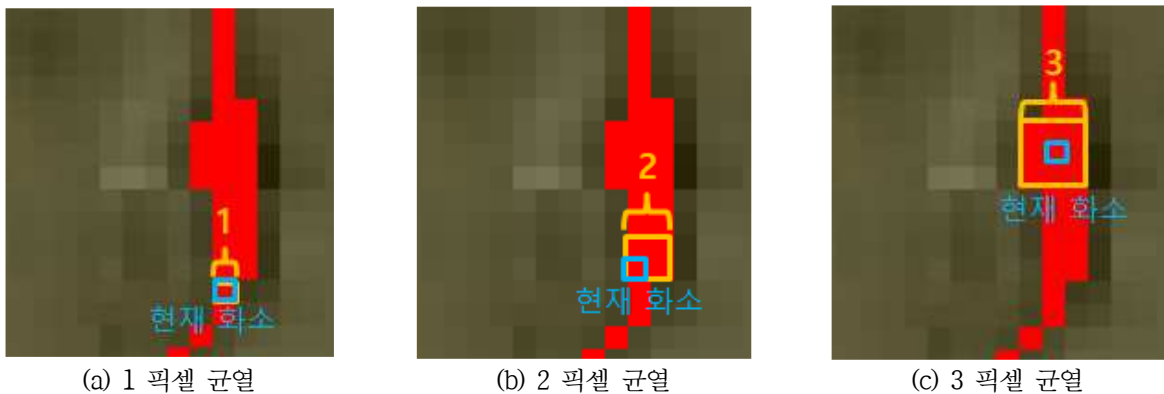
〈그림 2-56〉 균열 폭 측정용 프로파일 예시

이 프로파일을 바탕으로 최소값, 중간값, 평균값, 최대값, 표준편차의 등의 통계치를 계산하고, 프로파일 값, 정렬된 프로파일 값 등 총 51개의 특징값을 계산한다. 〈표 2-19〉는 균열 폭 측정 알고리즘에 활용된 특징 51개를 나타낸다. 통계치 중에서 중간값은 해당 프로파일 영역 상의 벽면 영역의 값으로 간주되었다. 또한 프로파일의 명도 값을 정렬시키고 중간값과의 차이를 고려함으로써 균열에 해당할 가능성이 높은 값 영역을 나타내었다.

〈표 2-19〉 균열 폭 계측 알고리즘에 활용된 특징

특징 종류	항목 수
최소값	1
중간값	1
평균값	1
표준편차	1
중간값-최소값	1
‘중간값-정렬된 프로파일 명도값’ 중 양수의 총합	1
정렬된 프로파일 명도값	15
중간값-정렬된 프로파일 명도 값	15
‘중간값-정렬된 프로파일 명도값’의 누적 히스토그램 값	15
총계	51

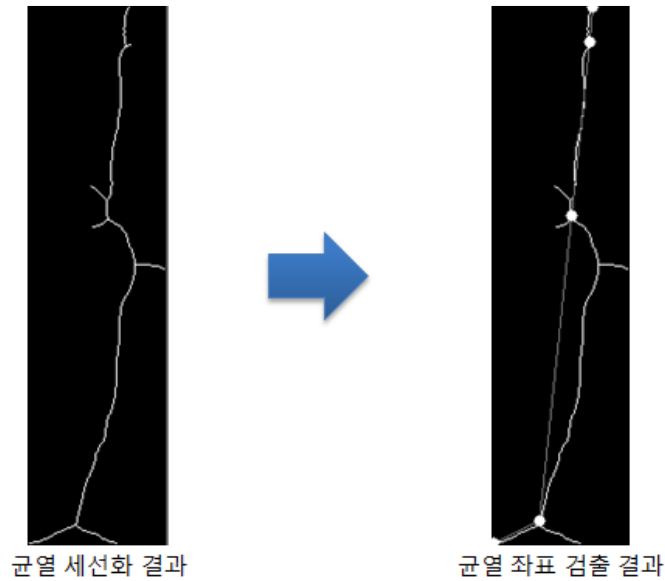
획득된 특징값은 미리 학습된 신경망에 입력하여 균열의 폭을 추정할 수 있다. 신경망의 학습은 균열 영역을 표시한 정답 영상을 바탕으로 이루어진다. 〈그림 2-57〉은 균열 폭 계측에 사용되는 정답의 예시이다. 정답 영상에는 균열 영역이 표시되어 있으므로 해당 정보에 바탕해서 각 픽셀의 균열 폭을 알 수 있으며, 각 균열 지점에서 앞서와 유사한 방법으로 프로파일을 획득하여 51개의 특징을 계산할 수 있다. 정답 영상에 표시된 균열 폭과 51개의 특징은 신경망의 학습에 활용된다.



〈그림 2-57〉 균열 폭 계측 정답 예시

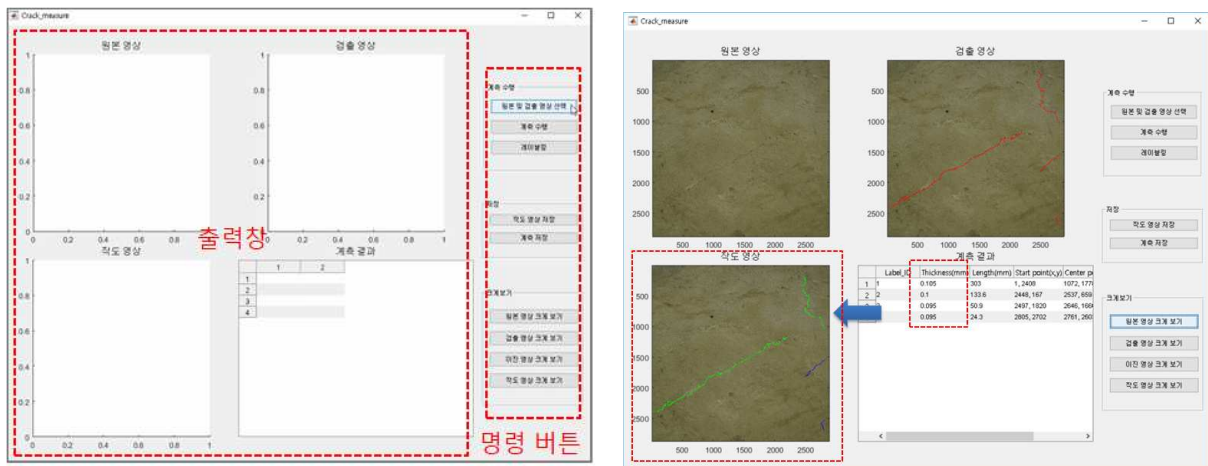
③ 균열 좌표 계측 알고리즘

균열 영상은 다수의 픽셀들로 구성되어 있다. 외관조사망도에 균열을 표시할 때에 이 픽셀들을 모두 나타내게 될 경우에는 파일의 용량이 커지고, 시각화 등의 연산 시간이 커질 수 있다. 때문에 균열의 폭과 길이 정보를 추출한 뒤에는 균열을 대표할 수 있는 소수의 대표 좌표를 획득함으로써 균열을 더욱 간략하게 표현할 수 있다. 균열 대표 좌표는 균열 길이 계측 과정에서 획득되는 균열의 중심선을 바탕으로 5개의 대표 좌표를 추출한다. 〈그림 2-58〉은 균열 좌표 계측 알고리즘의 개념도이다. 균열 세선화 결과 위에 균열 좌표를 검출한 결과를 나타내고 있다.



〈그림 2-58〉 균열 좌표 계측 알고리즘의 개념도

계측된 균열 정보는 균열 작도 알고리즘을 사용하여 시각화된다. 〈그림 2-59〉는 균열 작도 프로그램의 영상이다. 균열 검출 결과와 계측 결과를 출력할 수 있으며, 균열 계측을 통해 획득된 균열 폭이 있을 때 균열은 그 폭에 따라 서로 다른 색상으로 표현될 수 있다. 이는 점검자가 터널의 균열 상태를 직관적으로 확인하는데 도움을 준다.



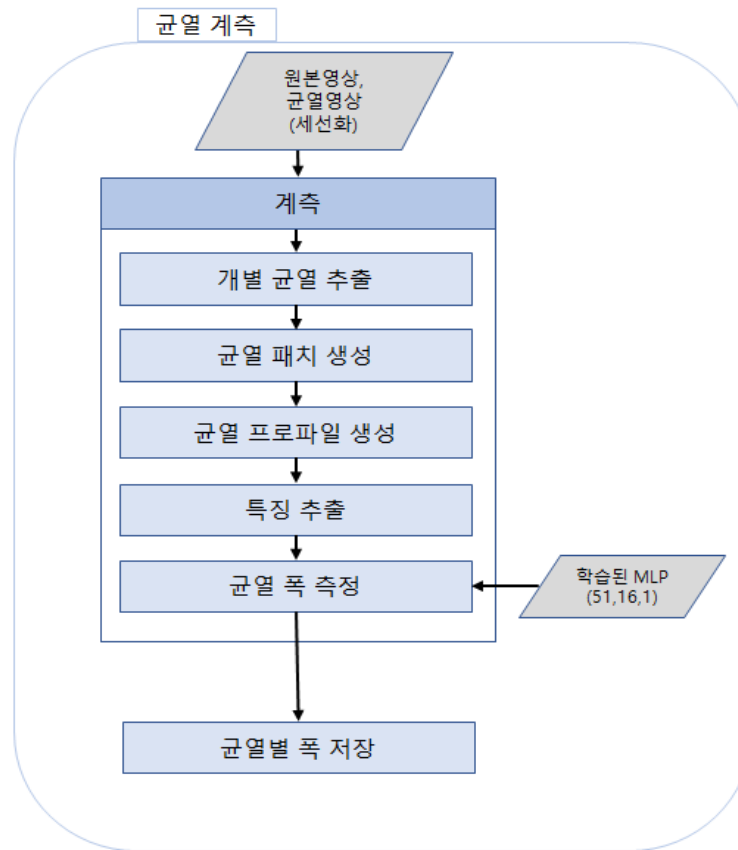
〈그림 2-59〉 균열 작도 프로그램 예시

(다) 균열 계측 및 작도 프로그램 개발

① Crack Measure Flow Chart

이미지로부터 검출된 균열의 폭과 길이를 균열계측 알고리즘에 따라 측정을 하는 Crack Measure 프로그램을 개발하였다. 개별 균열 이미지파일을 로딩해서 균열을 인식해 폭과 길이를 학습된 MLP를 이용해 측정하고 csv 파일로 균열 내용을 저장하고, 이미지 파일로 균열 개수 및 측정 순서를

기록한다.



<그림 2-60> Crack Measure Flow Chart

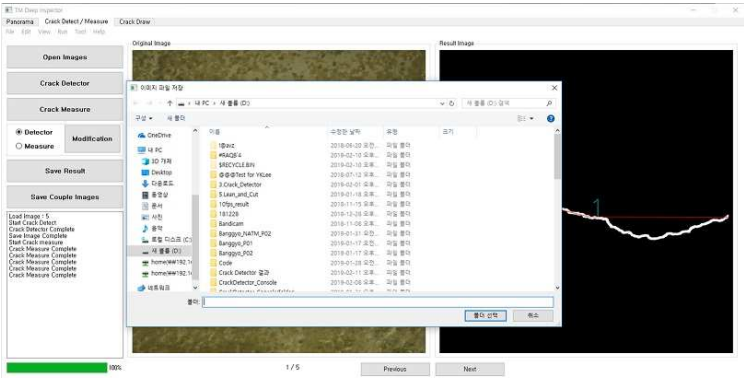
② Crack Measure GUI 프로그램 동작 흐름도

개발된 Crack Measure 프로그램을 이용해 검출된 균열의 폭과 길이를 측정하는 과정은 아래 <표 2-20>과 같다.

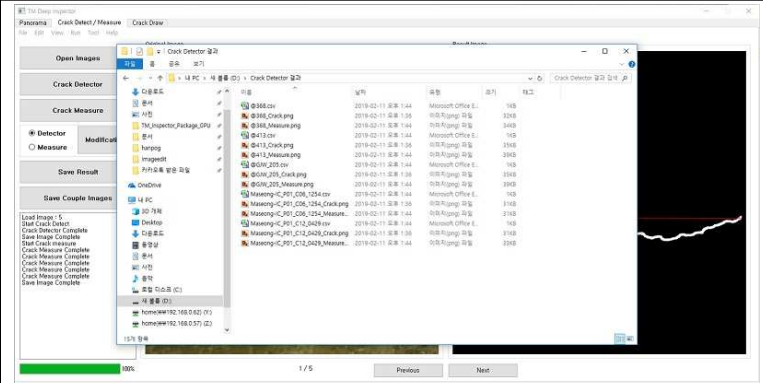
<표 2-20> Crack Measure GUI 프로그램 동작 흐름도

화면 흐름	화면 동작 내용
	파일선택 파일크기에 상관없이 단일 혹은 복수의 .png 파일을 입력합니다.

〈표 2-20〉 Crack Measure GUI 프로그램 동작 흐름도(계속)

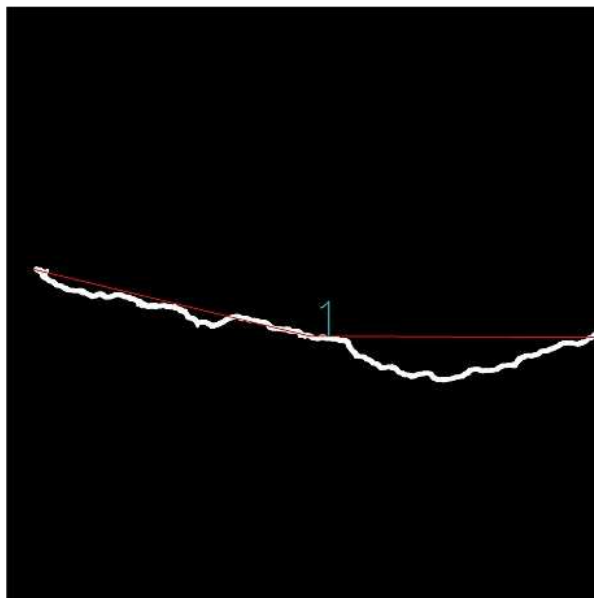
화면 흐름	화면 동작 내용
	화면 표시 선택한 파일을 GUI 상에 표시하며 중앙 하단에 Previous, Next 버튼을 사용하여 표시된 화면을 변경합니다.
	Crack Detector 실행 Crack Detector까지 Detector의 흐름도 따 라 실행을 합니다.
	Crack Measure 실행결과 Crack Detector 후 Crack Measure를 실행 하여 Crack Measure에 대한 결과를 우측 에 대해서 표시됩니다.
	저장화면 폴더를 선택하여 폴더 안에 Crack Measure 결과들을 저장합니다.

<표 2-20> Crack Measure GUI 프로그램 동작 흐름도(계속)

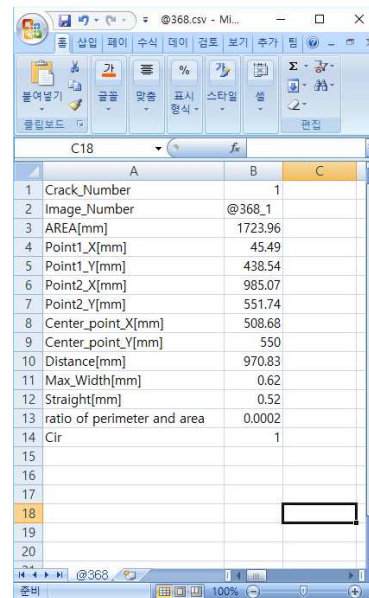
화면 흐름	화면 동작 내용
	저장결과 선택한 폴더 안에 Crack Measure 결과들 을 확인 할 수 있습니다. ※파일명은 입력한 파일을 기준으로 생성 됩니다.

③ 균열 정보를 포함한 CSV 파일 생성

Crack Measure 프로그램으로 균열의 폭과 길이를 측정하면, 아래 <그림 2-61>과 같이 측정한 균열 이미지와 함께 균열정보가 담긴 CSV 파일이 생성된다.



(a) 균열의 폭 및 길이 측정



	A	B	C
1	Crack_Number		1
2	Image_Number	@368_1	
3	AREA[mm]	1723.96	
4	Point1_X[mm]	45.49	
5	Point1_Y[mm]	438.54	
6	Point2_X[mm]	985.07	
7	Point2_Y[mm]	551.74	
8	Center_point_X[mm]	508.68	
9	Center_point_Y[mm]	550	
10	Distance[mm]	970.83	
11	Max_Width[mm]	0.62	
12	Straight[mm]	0.52	
13	ratio of perimeter and area	0.0002	
14	Cir	1	
15			
16			
17			
18			
19			
20			

(b) CSV 정보 생성

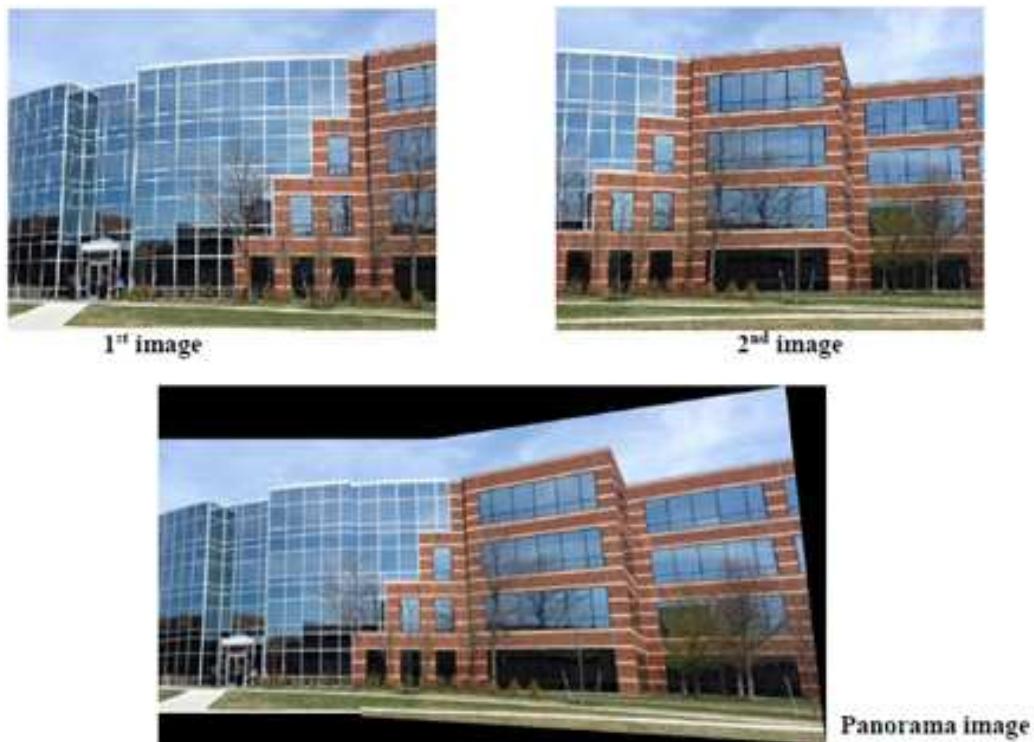
<그림 2-61> Crack Measure 결과 CSV 파일 생성

(3) 파노라마 영상 정합 프로그램 개발 (2차)

(가) 파노라마 영상

① 개요

파노라마 영상은 그림 <2-62>와 같이 연속으로 촬영된 이미지 혹은 다른 시점에서 촬영된 이미지를 연결하는 작업으로 이미지 스티칭(Image stitching)으로도 불린다. 터널과 같은 대형의 구조물에서 주행하며 획득된 사진은 한 번에 획득 가능한 영역이 전체 영역에서 매우 협소한 영역이다. 따라서 연속되는 여러 프레임의 영상을 획득한 후 결합하여 전체 영역에 대한 사진을 생성할 필요가 있다. 이때, 터널의 전체 면적을 최대한 손실 없이 획득하기 위해서는 사진들이 중첩되어 촬영되어야 하며, 중첩되어 촬영된 사진은 상당량의 중복 데이터를 포함하고 있으며, 중첩된 데이터를 효율적 관리와 전체 영역에 대한 사진 데이터 생성을 위한 파노라마 사진 생성 알고리즘의 연구가 필요하다. 파노라마 사진을 생성하기 위해서는 중첩된 영역 내에서 영역간의 일치 여부를 판별하기 위하여 특징적인 영역 혹은 표식을 포함하여 촬영하고, 촬영시의 카메라 및 차량의 움직임에 대한 정보와 획득된 사진의 배치와 순서에 대한 정보를 이용하여 병합할 사진간의 관계를 식별하는 것이 요구된다. 기존의 파노라마 사진 생성 알고리즘들은 주로 대량의 특징점을 획득한 뒤, 특징점 간의 매칭 관계를 파악해 활용함으로써 사진의 병합을 수행하였고, 이 과정에서 연산시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 본 연구에서는 고해상도의 사진을 사용하기 때문에 많은 연산량을 고려하여 최종적으로 디퓨전(Diffusion) 방식으로 스케일(Scale)을 표현하여 영상에서 중요한 특징점을 추출하는 KAZE 알고리즘을 사용함으로써 파노라마 알고리즘의 성능을 높였다.



<그림 2-62> 파노라마 영상 생성

② 파노라마 영상 정합 방법

파노라마 영상 정합 방법은 크게 두 종류가 있다. 첫 번째 방법인 직접 방법은 획득한 입력 영상에 대하여 픽셀 값의 차이를 최소화 하는 것을 목적함수로 하여 각 픽셀의 차이를 계산하는 방법이다. 이는 계산시간의 문제를 가지고 있고, 영상의 스케일, 이동에 영향을 받는다. 좀 더 상세하게는 푸리에 해석 방법과 멀티프레임 목적함수 최소화 방법이 있다.

두 번째 방법은 특징 기반 방법이다. 특징 기반 방법은 영상에서 획득된 특징점을 이용하여 영상을 정합하는 방법이다. 특징점을 획득하고 기술하는 방법에 따라서 영상의 노이즈, 스케일, 이동, 회전에 대한 강건성을 얻을 수 있다. 또한 특징 기반 방법은 앞의 직접 방법보다 속도면에서 우수하고, 장면의 이동에 강건하다. 따라서 본 과제에서는 특징 기반의 방법을 사용하여 파노라마 영상을 정합하였다.

파노라마 영상 정합에서는 <그림 2-63>과 같은 다양한 문제가 발생할 수 있다. 먼저 그림 (a)와 같이 정합되는 과정에서 정렬을 잘못하여 연결부가 어긋날 수 있고, 그림 (b)의 정합 과정에서 차량이 사라진 것처럼 두 영상이 합쳐지는 과정에서 특정 물체가 덮어지면서 사라짐 현상이 발생할 수 있다. 이런 문제점을 해결하기 위해서는 여러 조건에서 강건함을 가지는 특징점을 검출하고, 동질성을 정확하게 평가하여 연속된 영상을 알맞게 정렬할 필요가 있다. 또한 연속된 영상의 합성 작업과 정에서 사라짐과 같은 현상을 방지하기 위해서 블렌딩 방법에 대해 고민할 필요가 있다.



(a) 잘못된 정렬



(b) 사라짐

<그림 2-63> 파노라마 영상 정합의 어려움

(나) 파노라마 영상 정합 과정

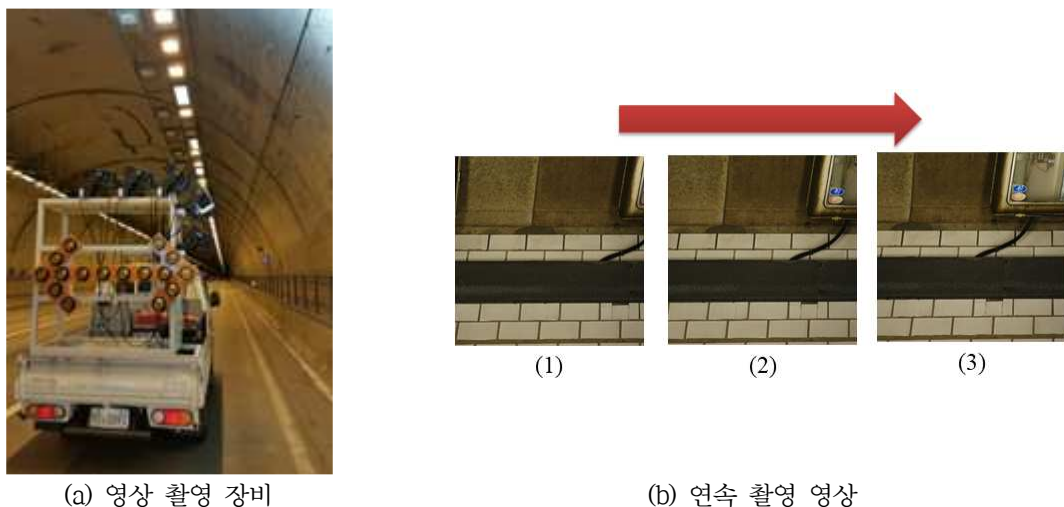
<그림 2-64>는 파노라마 본 연구에서 제안하는 영상의 정합 과정을 정리한 그림이다. 정합 과정은 획득한 입력 영상들로부터 특징점을 검출하고, 검출된 특징점들의 동질성을 평가하여 영상들을 정렬하고, 합성하는 과정을 거친다.



〈그림 2-64〉 파노라마 영상 정합 과정

① 영상 획득

영상 촬영 장비로는 〈그림 2-65.(a)〉와 같이 터널의 균열 검출을 위해 40km/h 속도로 주행하는 촬영 장비가 사용되었다. 촬영된 영상은 〈그림 2-65.(b)〉와 같이 일정 영역이 겹치는 연속 촬영 영상이다. 이와 같은 연속 촬영 영상의 특징점을 검출하여 연속된 사진의 동질성을 평가하고 올바르게 정렬, 합성함으로써 파노라마 영상을 정합할 수 있다. 단, 도로를 통제하지 않으므로 속도가 일정하지 않고, 따라서 이러한 환경에서도 강건한 파노라마 영상 정합 방법이 필요하다.



〈그림 2-65〉 영상 획득 과정

② 특징점 검출

특징점 검출 방법은 획득된 각 영상에서 특징점을 추출하는 과정이다. 추출된 특징점을 이용하여 영상의 올바른 위치를 찾아내기 위하여 사용되고, 특징점 검출 방법으로는 SIFT, SURF, KAZE, HOG, GLOH, PCA-SIFT, Pyramidal HOG (PHOG), and Pyramidal Histogram Of visual Words (PHOW) 등 다양한 방법이 사용된다. 각 방법들은 이동, 회전, 밝기변화, 스케일변화 등에 대한 강건함이 각기 다르고 특징점 검출, 기술, 비교에도 각기 다른 수행 속도를 가지기 때문에 문제에 따라 적합한 특징점 검출 방법이 사용될 필요성이 있다. 본 연구에서는 KAZE 알고리즘을 사용하였고, 이는 고해

상도의 사진을 사용하는 과제의 특성상 디퓨전(Diffusion) 방식으로 스케일(Scale)을 표현하여 영상에서 중요한 특징점을 추출하는 KAZE 알고리즘이 속도와 정확도 측면에서 더 적합하였기 때문이다.

③ 동질성 평가

동질성 평가에는 RANSAC (RANdom Sample Consensus) 방법이 사용되었다. 동질성 평가는 앞에서 검출된 특징점을 이용하여 전체 영상에서 현재 영상의 위치를 찾아내는 과정이고, RANSAC 방법은 획득된 특징점들 가운데 아웃라이어(Outlier)를 걸러내는 방법이다. <그림 2-66>은 두 영상으로부터 뽑아낸 SIFT 특징점을 RANSAC으로 매칭한 결과이고, RANSAC을 통한 올바른 매칭을 통해서 두 영상을 정렬하고 합성할 수 있다.



<그림 2-66> 두 영상의 SIFT특징점을 RANSAC으로 매칭한 결과

④ 전역 정렬

전역 정렬은 여러 영상을 이용하여 하나의 전역적 장면을 만들어 내는 작업이다. 전역 정렬의 목표는 여러 파라미터를 조절하여 전체 영상 중 잘못 정합되는 영역을 최소화하는 것이다.

⑤ 합성 작업

합성 작업은 모든 입력 영상을 기준으로 선택된 모양(예: 실린더, 면)으로 영상을 정합하는 작업이다. 일반적으로 합성된 영상의 자연스러운 연결을 위해 블렌딩 작업을 수행하지만, 본 과제에서는 블렌딩을 적용할 경우에는 균열이 없어지는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 이런 문제를 없애기 위해서 영상을 겹쳐서 쌓는 방식으로 합성 작업을 수행하였다.

(다) 파노라마 영상 생성 결과

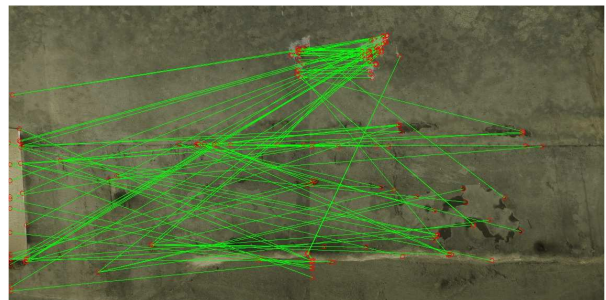
터널 영상의 수평 및 수직 파노라마 정합이 성공적으로 이루어짐을 확인하였고, 파노라마 정합을 위하여 A-KAZE 특징과 템플릿 매칭을 조합하여 사용하고 병렬 처리를 적용하여 속도를 향상시켰다. 파노라마 사진 생성의 목표 연산시간인 1분 보다 빠른 시간에 정합을 수행하였고, 파노라마 사진 생성 프로그램의 GUI를 통해 파노라마 영상의 생성이 가능하다.

<그림 2-67>은 파노라마 영상 생성의 단계별 결과 영상이다. 먼저 그림 (a),(b)와 같이 여러 장의 입력 영상으로부터 각 영상의 특징점을 검출한다. 그 다음에 그림 (c)와 같이 RANSAC 방법으로 영상들의 동질성을 추정하고, 최종적으로 그림 (d)와 같은 파노라마 영상을 생성한다.

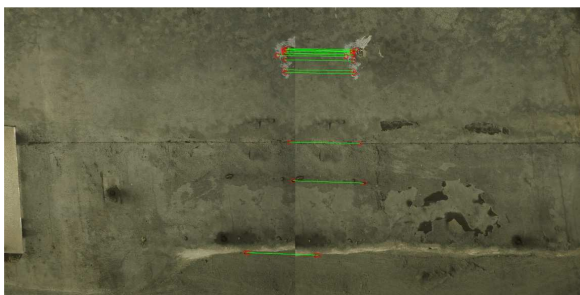
<그림 2-68>은 영상을 정합하는 과정을 좀 더 상세히 나타낸다. 본 과제에서는 영상을 먼저 수평 방향으로 정합한 이후에 수직 정합으로 연결하였는데, 이는 연속 촬영 영상이 수평 방향으로 더 강한 동질성을 가지기 때문이다. 따라서 그림 (a),(b)와 같이 수평 정합을 먼저 수행하고, 그 다음에 그림 (c)와 같이 수직 정합을 수행한다.



(a) 입력 영상



(b) 특징점 검출



(c) RANSAC 추정



(d) 파노라마 영상

<그림 2-67> 파노라마 영상 생성 단계별 결과



(a) 수평 정합 예시 1



(b) 수평 정합 예시 2



(c) 수직 정합 예시

<그림 2-68> 수평 정합 및 수직 정합 예시

(라) 파노라마 영상 생성 프로그램 개발

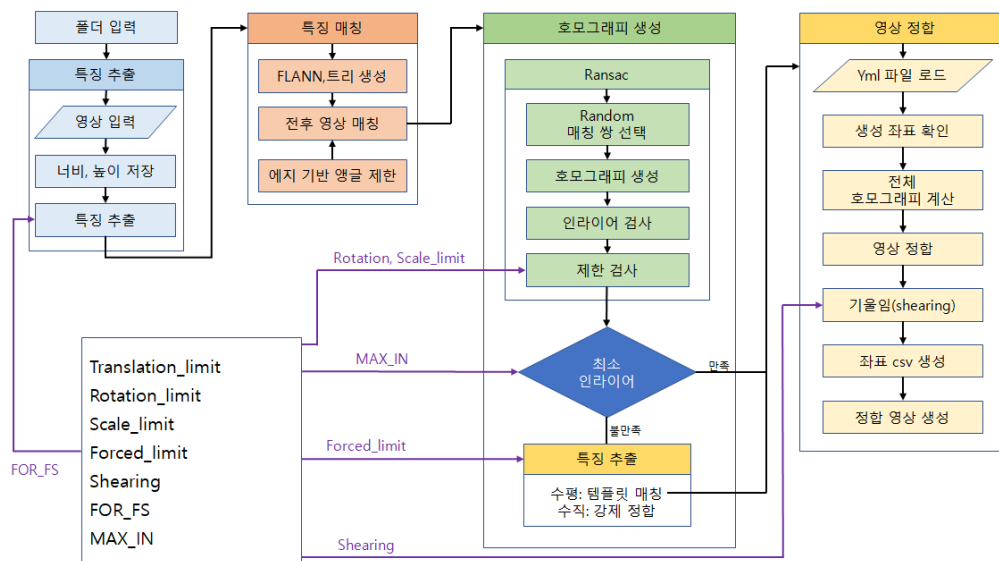
<그림 2-69>는 파노라마 영상 생성 프로그램의 GUI이다. 본 프로그램은 입력 영상들을 선택하고, 간단한 버튼을 조작하여 입력 영상들을 수평/수직 정합을 수행 할 수 있다.



<그림 2-69> 파노라마 사진 생성 프로그램 GUI (개발 초기)

① 파노라마 영상 생성 프로그램 Flot Chart

터널 이미지파일을 정합하는 프로그램은 입력 데이터를 개별 이미지를 선택하느냐, 폴더를 선택하느냐에 따라 파일 로딩 프로세스가 변경이 되고, 수평 혹은 수직 병합에 따라서도 내부 프로세스가 변경되어 아래 <그림 2-70>과 같은 다소 복잡한 Flow Chart 흐름을 갖는다.

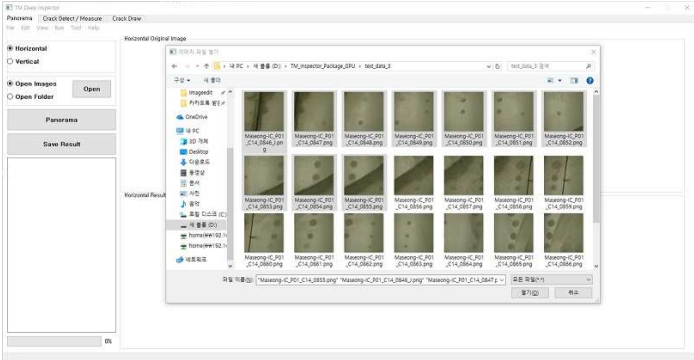
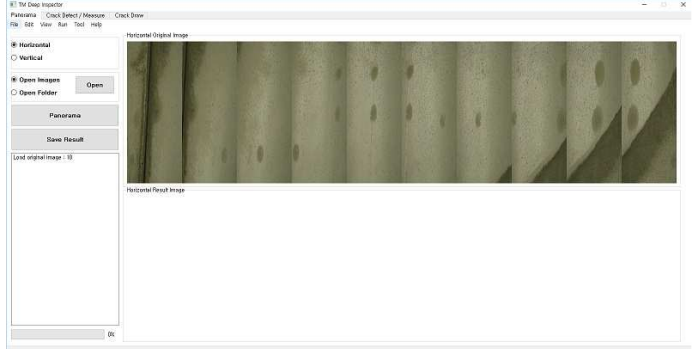
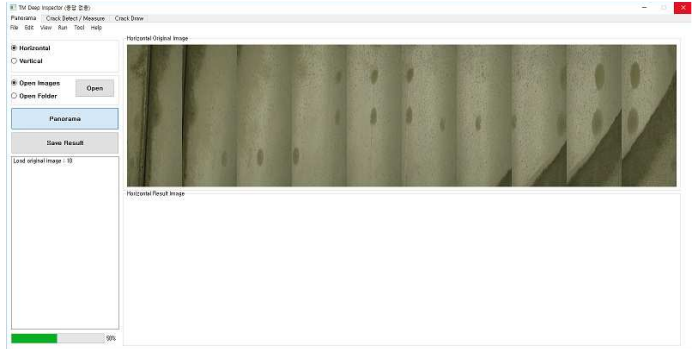
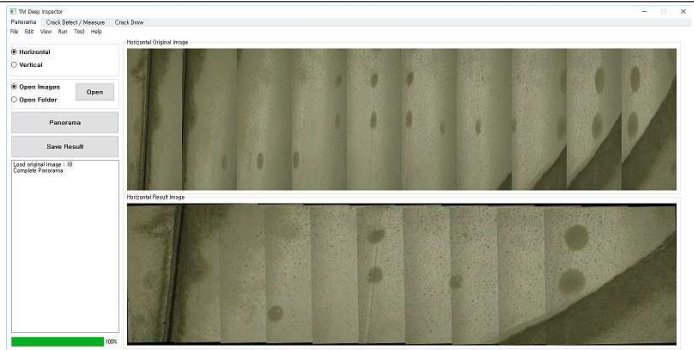


<그림 2-70> 파노라마 사진 생성 프로그램 Flot Chart

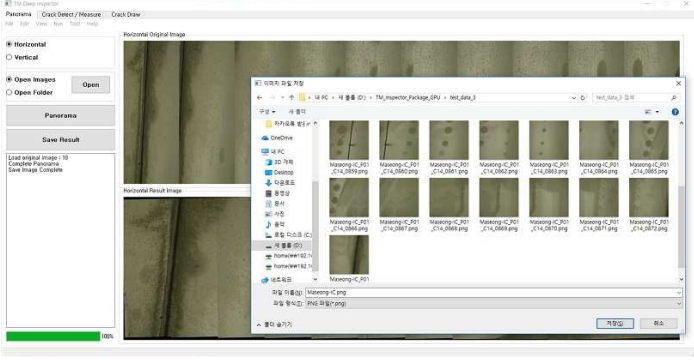
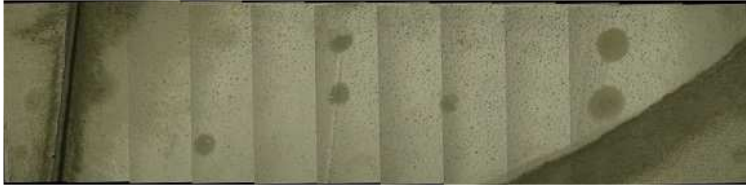
② 파노라마 영상 생성 프로그램 동작 흐름도

개발된 파노라마 영상 생성 프로그램을 이용해 다수의 영상 이미지를 정합하는 과정은 아래 <표 2-21>과 같다.

<표 2-21> 파노라마 영상 생성 프로그램 동작 흐름도

화면 흐름	화면 동작 내용
	파일 선택
	화면 표시
	파노라마 정합 실행
	파노라마 정합 실행 결과

〈표 2-21〉 파노라마 영상 생성 프로그램 동작 흐름도(계속)

화면 흐름	화면 동작 내용
	저장 화면
	저장 결과

(4) 영상 기반의 외관조사망도 작성 프로그램 개발 (2차)

(가) 개요

영상 기반의 프로그램은 영상 기반의 균열 계측 및 작도 프로그램과 파노라마 영상 정합 프로그램을 수행한 이후 영상 기반의 균열 계측 및 작도 프로그램에서 생성된 균열 계측 데이터와 파노라마 영상 정합 프로그램에서 생성된 균열 계측 데이터의 실질적인 좌표를 하나의 통합 데이터 시트로 만들어 균열 계측 데이터와 터널 세부항목을 사용하여 터널의 시설물 전체에 대한 외관조사망도 작성을 수행하였다.

(나) 외관조사망도 프로그램 작성 과정

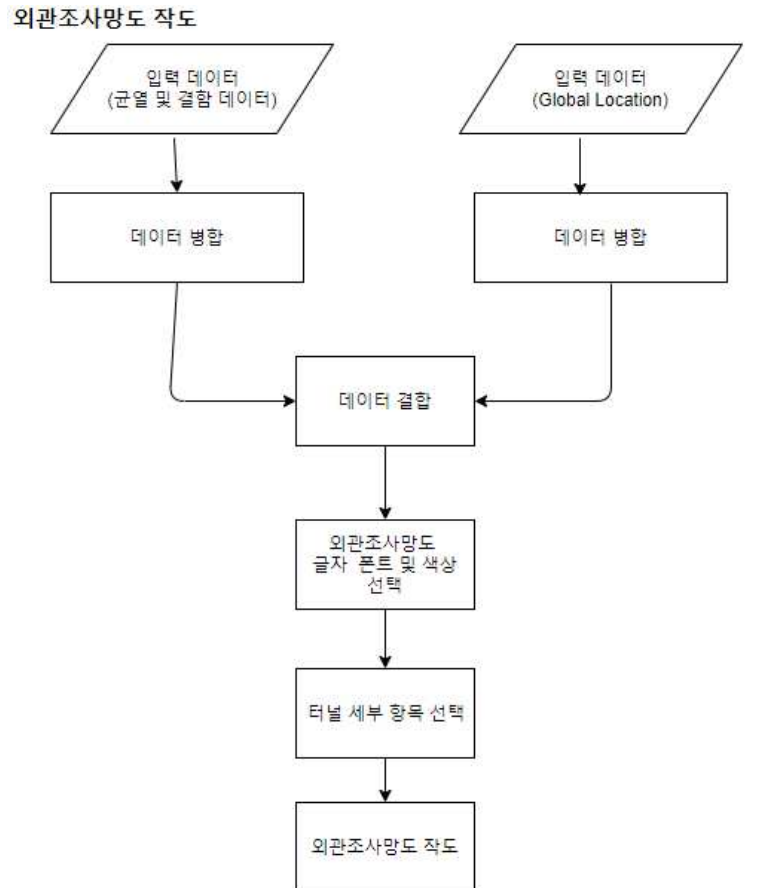
〈그림 2-71〉은 외관조사망도 작성 프로그램을 이용한 자동화 과정이다.

① 균열 및 결함 데이터 정합

이전 프로그램인 균열 계측 및 작도 프로그램에서 생성된 각각의 균열 계측 데이터를 상태평가 동화 프로그램에 사용할 통합데이터를 만들기 위해 하나의 균열 데이터로 정합한다.

② Global Location 병합

이전 프로그램인 파노라마 영상 정합 프로그램에서 생성된 Global Location 데이터를 외관조사망도 프로그램에 사용할 통합데이터를 만들기 위해 하나의 Global Location 데이터로 정합한다.



〈그림 2-71〉 외관조사망도 작성 자동화 과정

③ 병합된 균열 데이터 와 Global Location을 결합

병합된 균열 계측 데이터와 Global Location을 하나의 통합 데이터 시트로 결합한다.

④ 터널 세부항목 입력

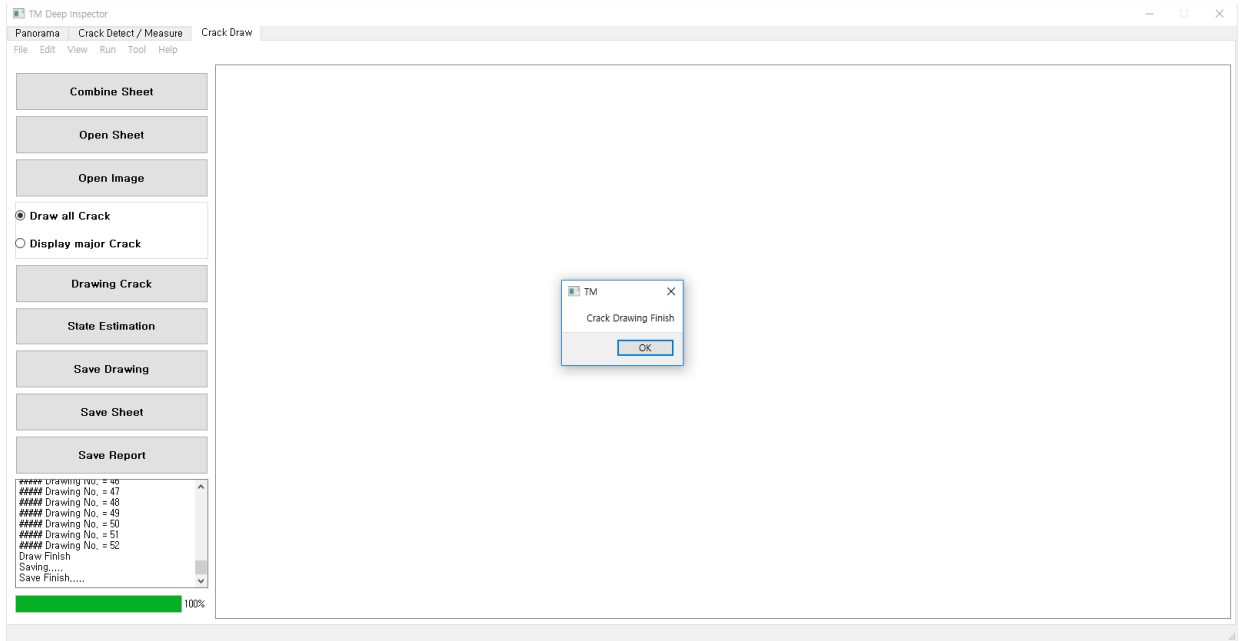
터널 총의 길이, 터널의 유형, Span간의 길이 등 터널에 대한 정보를 선택한다.

⑤ 결합된 통합 데이터 시트로 외관조사망도 출력

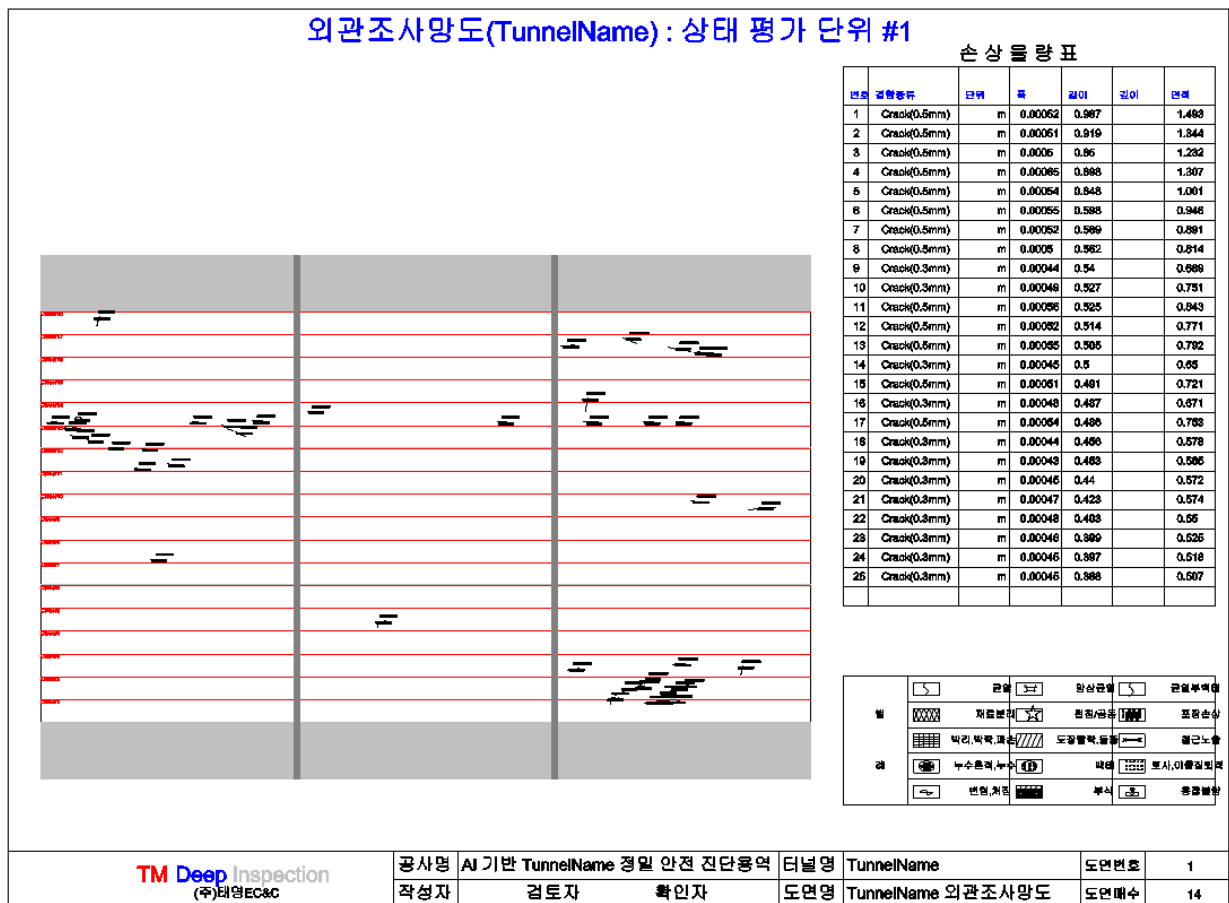
선택한 터널의 세부항목과 결합된 통합 데이터 시트를 사용하여 시설물 전체에 대한 외관조사망도 작성을 수행한다.

(다) 외관조사망도 작성 프로그램

〈그림 2-72〉는 외관조사망도 프로그램의 GUI이다. 본 프로그램은 통합 데이터 시트를 선택하고, 간단한 버튼을 조작하여 입력된 통합 데이터 시트로 〈그림 2-73〉과 같이 외관조사망도 작성할 수 있다.



〈그림 2-72〉 외관조사망도 작성 프로그램



〈그림 2-73〉 외관조사망도 작성 프로그램을 이용한 외관조사망도 작성 결과(예)

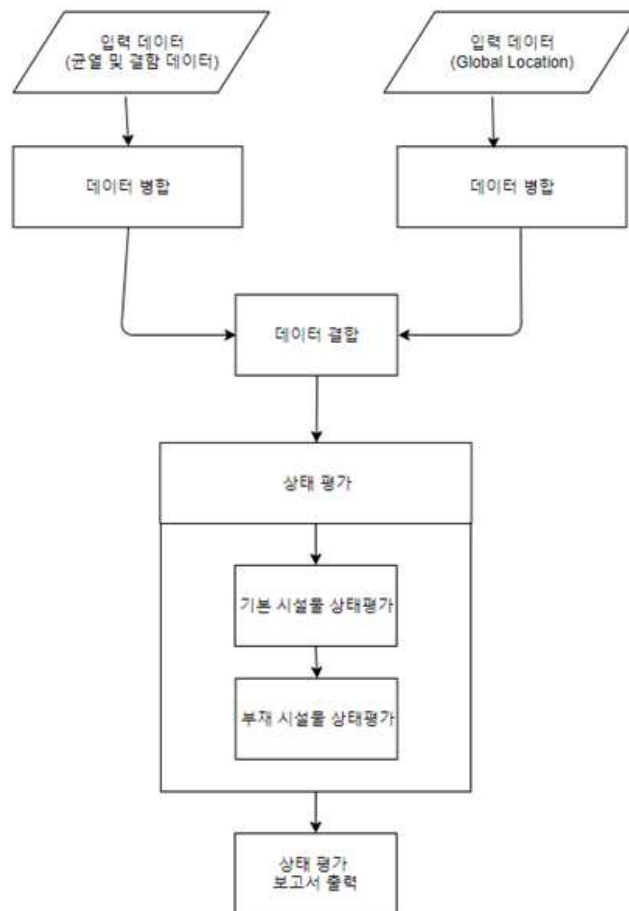
(5) 영상 기반의 상태평가 자동화 프로그램 개발 (2차)

(가) 개요

영상 기반의 상태평가 자동화 프로그램은 영상 기반의 균열 계측 및 작도 프로그램과 파노라마 영상 정합 프로그램을 수행한 이후 영상 기반의 균열 계측 및 작도 프로그램에서 생성된 균열 계측 데이터와 파노라마 영상 정합 프로그램에서 생성된 균열 계측 데이터의 실질적인 좌표를 하나의 통합 데이터 시트로 만들어 균열 계측 데이터를 사용하여 터널의 기본시설물을 상태평가 수행하고 부대시설물 상태평가 결과의 가중치를 곱하여 시설물 전체에 대한 상태평가를 수행한다.

(나) 상태평가 보고서 자동화 과정

<그림 2-74>는 상태평가 보고서 자동화 과정이다.



<그림 2-74> 상태평가 보고서 자동화 과정

① 균열 계측 데이터 병합

이전 프로그램인 균열 계측 및 작도 프로그램에서 생성된 각각의 균열 계측 데이터를 상태평가 자동화 프로그램에 사용할 통합데이터를 만들기 위해 하나의 균열 데이터로 정합한다.

② Global Location 병합

이전 프로그램인 파노라마 영상 정합 프로그램에서 생성된 Global Location 데이터를 상태평가 자동화 프로그램에 사용할 통합데이터를 만들기 위해 하나의 Global Location 데이터로 정합한다.

③ 병합된 균열 데이터 와 Global Location을 결합

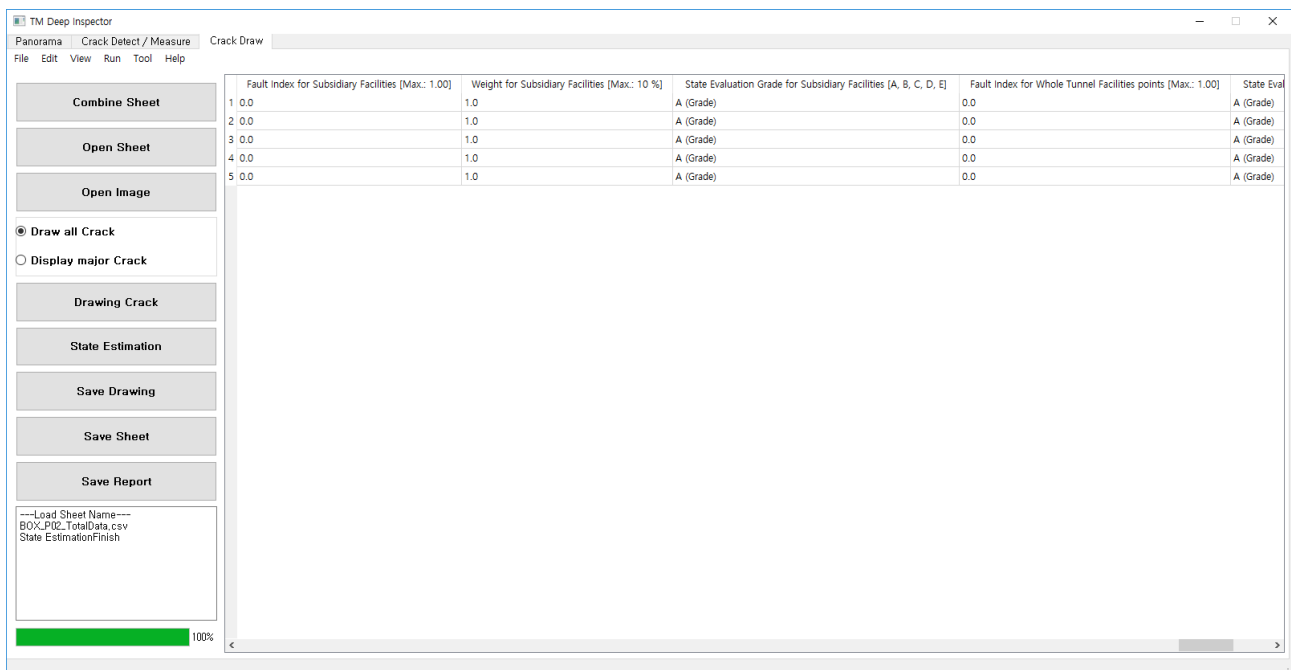
병합된 균열 계측 데이터와 Global Location을 하나의 통합 데이터 시트로 결합한다.

④ 결합된 통합 데이터 시트로 상태평가 보고서 출력

결합된 통합 데이터 시트를 사용하여 기본시설물에 대해 상태평가를 수행하고 부대시설물 상태평가 결과의 가중치를 곱하여 시설물 전체에 대한 상태평가를 수행한다.

(다) 상태평가 보고서 프로그램

<그림 2-75>는 상태평가 보고서 프로그램의 GUI이다. 본 프로그램은 통합 데이터 시트를 선택하고, 간단한 버튼을 조작하여 입력된 통합 데이터 시트를 상태평가 할 수 있다.



<그림 2-75> 상태평가 프로그램

(6) 프로그램 상용화(판매) 실적 (3차)

(가) 균열 검출 프로그램 판매

① 계약건명

○ 소프트웨어(TM Crack Detector 2018) 구매

② 구매처

○ KAIST 스마트 수중 터널 시스템 연구센터

③ 구매일

○ 2018년 8월 24일

④ 판매금액

○ 19,400,000원(V.A.T포함)

⑤ 판매내역

○ 프로그램 개발용 소프트웨어(TM Crack Detector 2018) 1copy

(나) 안전점검 자동화 소프트웨어 판매 1

① 계약건명

○ 안전점검 자동화 소프트웨어 구매

② 구매처

○ 에스큐엔지니어링(주)

③ 구매일

○ 2018년 12월 31일

④ 판매금액

○ 132,000,000원(V.A.T포함)

⑤ 판매내역

○ 도로터널 시설물에 대한 안전점검 자동화 S/W 1copy

(다) 안전점검 자동화 소프트웨어 판매 2

① 계약건명

- 안전점검 자동화 소프트웨어 구매

② 구매처

- 한국건설방재연구원

③ 구매일

- 2018년 12월 31일

④ 판매금액

- 132,000,000원(V.A.T포함)

⑤ 판매내역

- 도로터널 시설물에 대한 안전점검 자동화 S/W 1copy

(7) Good Software(GS) 인증 (3차)

(가) 개요

소프트웨어산업진흥법 제13조에 의거한 소프트웨어의 품질인증으로 한국정보통신기술협회(TTA)가 국내 SW 완성도를 평가해 일정 수준 이상의 기술적, 사용성, 신뢰성 등을 갖춘 제품에 부여하는 인증마크이다.

GS인증은 지난 2000년 9월에 한국전자통신연구원(ETRI)에 소프트웨어 인증센터가 설립돼 시범서비스에 들어갔으며, 지난 2001년 1월부터 본격적인 인증작업이 이뤄지고 있다. 같은 해 12월에는 ETRI에서 TTA로 사업이 이관되었다.

정부가 GS인증 소프트웨어에 대해 우선 구매제도와 조달청 제3자 단가계약이 가능하도록 지원하며, GS인증 우선구매제도 등의 정책적 지원도 활발히 진행되고 있다.

① 품질 개선 및 비용절감 측면

- 제 3자 시험인증을 통하여 단기간에 획기적인 품질개선과 시간 절감

② 홍보 및 마케팅 측면

- 소프트웨어 품질인증기관에서 공인된 제품으로 고객 신뢰도 확보
- TTA 소프트웨어시험인증연구소 및 SW산업정보종합시스템에 인증 제품 홍보
- TTA 저널에 인증획득제품 소개

③ 제도적 혜택

- 조달청 제3자 단가계약 체결 및 나라장터 등록을 통한 구매기관과의 수의계약 지원
- GS인증제품을 공공기관 우선구매 대상 기술개발 제품으로 지정
- 우선구매 대상 기술개발제품에 대한 구매자면책제도 및 성능보험제
- 행정 및 공공 정보화사업 구축·운영 시 우선 도입 대상 제품으로 지정
- 국가기관 등에서 상용SW 구매 시 GS시험 결과를 SW기술성 평가에 우선 반영
- 소프트웨어사업 하도급계약의 적정성 판단 시 가점 부여
- GS인증 제품을 분리발주 대상 소프트웨어로 지정

(나) GS 인증 시험방법

- ① ISO/IEC 25023, 25041, 25051 국제표준을 기반으로 기능적합성, 성능효율성, 사용성, 신뢰성, 보안성 등에 대한 시험 수행(국제표준 ISO/IEC 9126-2가 25023으로 개정됨에 따라 2018년 6월 22일부터 개정된 표준을 적용하여 품질 시험 수행)
- ② SW 유형별 테스트케이스를 개발, 적용하고 결함 발견시 결함리포트 및 보완 기회 제공 후 회귀시험 수행
- ③ 제품의 품질을 종합적으로 평가한 후 인증심의위원회를 통해 인증여부 결정. 인증 통과시 시험성적서 및 품질인증서 제공



<그림 2-76> GS 인증 시험방법

(다) 개발 소프트웨어의 GS인증 획득

- ① 인증신청기관 : (주)태명이씨앤씨
- ② 인증시험 계약체결일 : 2018년 11월 21일
- ③ 인증신청 소프트웨어 명칭 : 딥인텔리전트 안전점검 자동화 프로그램 v1.1
- ④ 인증등급 : 1등급
- ⑤ 인증번호 : 19-0083
- ⑥ 인증연월일 : 2019년 2월 21일



<그림 2-77> GS 인증서(소프트웨어품질인증서)

다. 촬영 장비 및 개발 소프트웨어 인증 시스템 개발

(1) 단체표준 개발 및 제정

(가) 표준 개요

① 표준

- ㉠ 정의 : 공통적이고 반복적인 사용을 위한 규칙, 지침 또는 특성을 제공하는 문서
 - 합의에 의해 작성 / 공인된 기관에 의해 승인
- ㉡ 목적 : 품질의 향상과 균일성, 단순화, 호환성 향상, 경제성, 안전/건강/환경/생명 보호, 권익보호 등
- ㉢ 예 : 국제표준, 국가표준, 지역표준, 단체표준 등

② 기술기준(기술규정)

- ㉠ 정의 : 정부가 안전, 환경, 보건 등 국민의 권리를 보호하기 위해 마련한 기술규범으로, 법률에 의해 강제
- ㉡ 목적 : 품질의 향상과 균일성, 단순화, 호환성 향상, 경제성, 안전/건강/환경/생명 보호, 권익보호 등
- ㉢ 특이사항 : 규제 도입으로 기업경영의 위축, 유사제도 중복에 의한 혼란방지를 위해 기술규제 영향평가 시행
- ㉣ 예 : 설계기준, 표준시방서 등

③ 인증

- ㉠ 정의 : 제품 등을 정해진 표준 등에 적합하다는 평가를 받는 행위
 - 해당 제품의 사용 및 출하에 문제가 없음을 입증
- ㉡ 특징 : 판단 여부는 자격을 갖춘 자가 직접 수행, 제3자 평가

④ 표준의 분류

표준의 분류는 제정 주체, 과학기술계, 문서 성격에 따라 달리 구분됨.

국제표준	- 국제적 협력 증진 목적 - 국제 표준화 기관이 제정	ISO, IEC
지역표준	특정 국가로 구성된 단체에서 채택한 기준	EN
국가표준	국가에서 통일적으로 준용하는 공공 기준	KS, JIS, BS
단체표준	- 학, 협회 등 공공성이 있는 단체에서 제정한 기준 - 국내에서는 한국표준협회에 등록된 표준	SPS, ASTM
사내표준	회사 내에서 사용되는 공통적 기준	회사 각종 규정

〈그림 2-78〉 제정 주체에 따른 표준 구분

〈표 2-22〉 과학기술계에 따른 표준 구분

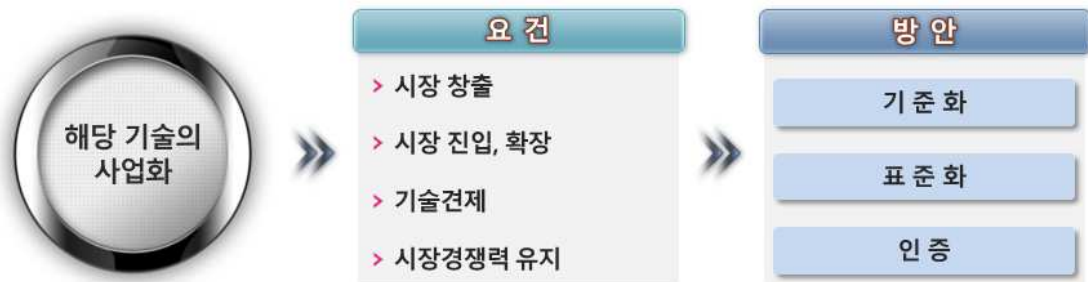
표준 구분	설명
측정표준 (measurement standards)	- 길이, 시간 등과 같은 물리적 양의 크기를 나타내기 위해 국제 공통으로 사용하고 있는 국제단위계 (international system of units, SI)의 7개 기본단위와 2개의 보충단위 및 이들의 조합으로 이루어지는 유도단위를 현시하기 위한 것 - 표준기준과 측정계량단위 및 표준기준물 등을 말함
참조표준 (reference standards)	- 표준참조자료(standard reference data, SRD)가 대표적인 - 데이터와 정보의 정확도와 신뢰도를 분석 심사하여 참조표준으로 설정하고, 이의 정확성과 신뢰성을 공인함으로써, 국가사회의 모든 분야에서 믿고 널리 지속적으로 사용 또는 반복 활용이 가능토록 마련된 자료
성문표준 (documentary standards)	국가사회의 모든 분야(생산, 유통, 소비, 교통, 통신, 무역, 서비스, 보건, 교육, 행정, 국방, 건설, 환경, 생활 등)에서 총체적인 이해성, 안전성, 효율성, 경제성을 높이기 위해 강제 또는 자율적으로 일정기간 적용하는 문서화된 규정, 사양, 용어, 부호, 기호 등을 말함.

〈표 2-23〉 문서 성격에 따른 표준 분류

표준 구분	설명
기본 표준	광범위한 범위의 일반적 규정을 담고 있는 표준 / 직접적 적용 또는 다른 표준의 기초가 됨.
용어 표준	용어의 정의 규정 / 경우에 따라 설명을 위한 주석, 그림, 예시 포함
제품 표준	제품의 사용 목적에 적합하도록 만족해야 하는 특별 충족 요건을 규정
공정 표준	공정의 목적에 적합하도록 만족해야 하는 요건을 규정
서비스 표준	서비스의 목적에 적합하도록 만족해야 하는 요건을 규정
인터페이스 표준	제품이나 시스템이 다른 제품이나 시스템과 접속할 때 호환성을 갖도록 하기 위한 특별한 요건을 규정
시험 표준	시험의 목적에 적합하도록 만족해야 하는 요건을 규정

⑤ 표준화 목적

- 성과물의 공공성 향상, 균열 인식 및 검출 시스템 시장 창출, 진입, 확장, 경쟁력 유지
- 최소 품질 기준으로 제품 성능 고급화, 비용 절감 및 품질 안정 효과 기대
- 단체표준에 따라 성과물에 대한 시험 인증을 통해 잠재적인 결함 식별 및 보완
- 성과물이 규정된 조건에서 사용될 때 규정된 성능 수준 유지 및 오류 방지



<그림 2-79> 표준의 목적

⑥ 표준화 추진 전략

- 연구 차년도별 달성되는 성과를 고려하여 단계별로 표준화 추진
- 도로터널 균열 검출 자동화 프로그램 제품의 개념과 기존 기술과의 차별성을 공적 성격의 문서로 제시
- 단체표준으로 추진
- 국가표준에 비해 신기술, 특수제품 등의 기술발전에 신속한 대응 가능
- 국가표준과 사내표준의 교량적 역할로 향후 필요에 따라 국가표준으로 전환 가능
- 세부 표준별 자문회의·심의를 통해 이견 완화 및 보다 완성도 높은 표준으로 제정

⑦ 단체표준화 항목

- 영상데이터를 활용한 시설물 점검 관련 용어
- 일반사항 및 절차
- 분석 방법 및 요구사항
- 촬영 장비 성능 규격

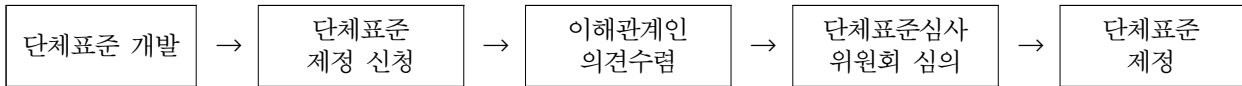
⑧ 시험 항목

- 균열 검출, 계측 등
- 영상데이터의 병합
- 외관조사망도 작성, 상태평가
- 촬영 장비 요구조건

(나) 단체표준 제정 절차 및 일정

이 연구에서는 한국도로협회 단체표준 제정을 목표로 하며, 제정 절차는 아래 <표2-24>와 같음.

<표 2-24> 한국도로협회 단체표준 제정 절차



(다) 단체표준 개발 현황

<표 2-25> 단체표준 개발 현황

단체표준번호	단체표준명	제정일
KROAD 0003	인공신경망 알고리즘을 이용한 영상 데이터 기반의 균열 검출	2017.02.22
KROAD 0004	영상 데이터 기반의 균열 계측 및 작도	2017.02.22
KROAD 0005	시설물 외관조사를 위한 파노라마 영상 생성 방법	2017.11.07
KROAD 0006	영상 데이터 기반의 시설물 외관조사망도 작성 방법	2017.11.07
KROAD 0007	영상 데이터 기반의 터널 상태평가 방법	2017.11.07
KROAD 0008	시설물 안전점검용 영상 촬영 장비	2017.11.07

(라) 이해관계인 의견수렴

① KROAD 0003 및 KROAD 0004

㉠ 기간 : 2017. 1. 31 ~ 2017. 2. 6 (7일간)

㉡ 방법 : 한국도로협회 홈페이지 공지

㉢ 의견 : 총 5건 중 반영 5건(1건은 부분반영), 반영률 100%

공지 현황	의견 주요내용	조치
	(의견) 균열 외 손상 조사에 대한 대책 마련 필요 (답변) 본 연구과제의 범위는 균열에 대한 검출이나, 2차년도에 손상검출 기능도 포함시킬 예정임	일부 반영
	(의견) 균열 계측 및 작도에 대한 신뢰성 평가 방법을 구체적으로 언급 (답변) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 해설서에 따라 균열 크기별 계측 평가 기준을 세분화하여 기준을 설정	반영
	(의견) 터널 영상 촬영시 다른 시설물 등에 가려지는 부분에 대한 대책 (답변) 다른 시설물에 의해 가려지는 라이닝은 교차 촬영하여 영상 확보 가능	반영
	(의견) 정확도 90~110%의 적정성, 신규개발업체 진입 제한이 아닌지 검토 (답변) 균열 검출률 범위를 90~150%로 완화	반영
	(의견) 벽면이 심하게 오염된 경우 영상으로 균열검출이 가능한 것인지 설명 필요 (답변) 대부분의 오염 등은 노이즈 제거 단계에서 인공신경망 알고리즘 등에 의해 제거	반영

② KROAD 0005 ~ KROAD 0008

㉠ 기간 : 2017. 9. 28 ~ 10. 12 (15일간)

㉡ 방법 : 한국도로협회 홈페이지 공지

㉢ 의견 : 총 5건 중 반영 5건, 반영률 100%

공지 현황	의견 주요내용	조치
공지사항 단체표준 제정(안) 의견조회(2017. 9. 28. ~ 2017. 10. 12.) 작성자 : 관리자 등록일 : 2017.09.28 우리 협회에서는 다음과 같이 단체표준 제정(안)에 대한 의견수렴을 시행하고자 합니다. 관련 단체 및 관련자께서는 많은 의견 부탁드립니다. 1) 표준명 : 1-1. 피노라다 영상 생성 프로그램 1-2. 영상 데이터 기반의 외관조사망도 작성 1-3. 영상 데이터를 활용한 상대행기 연계 자동화 방안 1-4. 구조물 안전행감을 영상 촬영 장비 2) 의견서 양식 일정 : 2017. 9. 28. ~ 2017. 10. 12. (15일간) 화신서 : sh@kroad.or.kr / 02-3490-1044	(의견) Ultra HD급(800만화소) 이상 확보 필요성 (답변) 0.1mm 균열 검출을 위한 성능 확보	반영
	(의견) 영상 촬영 장비의 외관조사 활용 의미 (답변) 장비를 통해 시설물 외관 영상 데이터 획득	반영
	(의견) 촬영장비 시험에서 균열 0.5mm와 0.1mm를 구분 확인하는 필요성이 분명치 않음 (답변) 불필요한 내용은 삭제하고 장비와 관련한 사항만 명시	반영
	(의견) 도로구조물 -> 시설물로 용어 변경 (답변) 시설물로 용어 통일	반영
	(의견) 외관조사망도 작성시 영상데이터의 자동, 반자동 이용에 대한 의미 (답변) 자동은 수동 기능 없이 결과 산출, 반자동은 수동 보정기능을 말함. 관련 내용 명확히 수정	반영

(마) 단체표준심사위원회 심의

① KROAD 0003 및 KROAD 0004

㉠ 일시 : 2017. 2. 20.(월), 15:30~17:00

㉡ 장소 : 한국도로협회 회의실

㉢ 심사위원 : 조건창 한국도로협회 운영위원장 등 5인

㉣ 심의의견 : 총 45건 중 반영 44건(일부반영 1건 포함), 원안 1건, 반영률 98%



〈그림 2-80〉 단체표준심사위원회 심의(KROAD 0003, KROAD 0004)

○ 심사의견 주요 내용

〈표 2-26〉 단체표준심사위원회 심사의견 주요 내용(KROAD 0003, KROAD 0004)

주요 의견	답변
• ‘노이즈’에 대한 정의를 명료하게 기술하여 표준문서 내에 용어와 정의가 일관성이 있도록 표준 수정 필요 • 0.1mm 미만의 균열에 대한 검출 유무와 균열폭 오차 범위 설정의 타당성 검토	• 객체는 균열, 손상, 노이즈로 구분이 되며, 객체를 최대한 검출한 후 균열만 남기는 것이 기술의 핵심임. ‘노이즈’에 대한 정의는 일관성 있도록 문서 수정. • 0.1mm 미만의 균열 검출 유무는 ‘안전진단 및 정밀 안전진단 세부지침’의 상태평가 항목 및 기준에 근거하며, 오차 범위는 점검자가 육안으로 식별 가능한 균열의 오차 범위를 고려하여 설정
• 오차범위의 평균값이 $\pm$포함 유무 및 오차 범위의 적정성 검토 • 시설물 안전점검에 최신 기술을 도입하는 시도는 바람직하며, 표준화를 통해 기술 품질을 향상시킬 필요가 있음. 그러나 표준제정 시 특정 방법 및 업체에 한정되지 않도록 유의	• 오차 범위는 $\pm$포함된 범위이며, 오차 범위를 줄일 수 있도록 외국 기준과의 비교·검토
• 터널 등 현장에서 균열을 검사하는 일은 매우 어려운 일이므로 이 기술이 개발되면 유용할 것으로 예상됨 • 균열 검출률 기준 최소 90%이상에 대한 적정성 검토 필요	• 이 표준은 해외 선진 기술 대비 높은 최소 검출률을 요구하고 있으며, 검출률에 대한 해외 연구 논문 및 관련 기준, 해외 기업의 기술자료 등을 검토하여 결정함
• 표준문서에 균열 검출률 검증시험 기준, 균열 계측 평가 기준 등의 내용을 필히 삽입하여야 하는지 의문임 • KS A 0001의 서식을 준용하고, 서식 등 일부 미비한 요소에 대하여 전체적으로 조정 및 수정 필요	• 검출률 검증시험 기준을 통하여 현장 적용 시 기술의 고성능·저비용을 기대함

② KROAD 0005 ~ KROAD 0008

㉠ 일시 : 2017. 10. 26.(목), 14:00~16:00

㉡ 장소 : 한국도로협회 회의실

㉢ 심사위원 : 조건창 한국도로협회 운영위원장 등 7인

㉤ 심의의견 : 총 85건 중 반영 83건(일부반영 3건 포함), 원안 2건, 반영률 98%



〈그림 2-81〉 단체표준심사위원회 심의(KROAD 0005-KROAD 0008)

○ 심사의견 주요 내용

〈표 2-27〉 단체표준심사위원회 심사의견 주요 내용(KROAD 0005 ~ KROAD 0008)

주요 의견	답변
표준명에 대한 구체적으로 아래와 같이 수정 -아래 - 제1호 시설물 외관조사를 위한 파노라마 영상 생성 방법 제2호 영상 데이터 기반의 시설물 외관조사망도 작성 방법 제3호 영상 데이터 기반의 터널 상태평가 방법 제4호 시설물 안전점검용 영상 촬영 장비	5건의 표준명을 모두 심의의견대로 수정
하부조건의 평탄성 문제 등으로 인한 영상의 흔들림에 대한 보완 필요	영상의 흔들림에 대하여 촬영 노하우 및 촬영 장비의 방진장치 등을 통해 보완 가능, 측정 가능 균열은 0.1mm, 0.3mm임
영상 데이터를 통한 외관조사의 신뢰성 확보 및 수작업보다 높은 효율성 필요	신뢰성 확보를 위하여 프로그램 개발 시 많은 자료를 학습시키고 있음
기술개발과 함께 동시다발적으로 표준을 제정하고, 추후 기술개발 완료 후에 표준을 개정하는 방법도 효과적인 방법임	연구단계를 고려하여 '18년도에 점검 방법 표준을 통합하는 방안 검토 예정
현재 기술은 터널에 국한되어 데이터의 이력관리 및 추적 관리가 가능한 것으로 보이나, 향후 다양한 구조물을 대상으로 하기 위한 체계적이고 합리적인 방법 필요	균열 검출 후 각 균열마다 관리번호가 부여됨, 제1호~제3호 표준은 다양한 시설물에 적용 가능하나 제4호 표준은 시설물별 상태평가 기준이 상이하므로 터널에 국한됨. 교량 및 옹벽등은 별도 표준으로 제정 가능

(바) 단체표준 제정

① KROAD 0003 및 KROAD 0004

제 목

“인공신경망 알고리즘을 이용한 영상 데이터 기반의 균열 검출” 단체 표준 제정

도로교통협의회 - 132(2017. 2. 22.)와 관련하여 다음과 같이 단체표준을 제정하고자 합니다.

- 다 음 -

표준번호	표준명	제정일
KROADS E 0003	인공신경망 알고리즘을 이용한 영상 데이터 기반의 균열 검출	2017. 2. 22.

붙

임 : 인공신경망 알고리즘을 이용한 영상 데이터 기반의 균열 검출 1부, 끝.

〈그림 2-82〉 단체표준 KROAD 0003 제공 공고

제 목 “영상 데이터 기반의 균열 계측 및 작도” 단체표준 제정

도로교통협의회 - 132(2017. 2. 22.)와 관련하여 다음과 같이 단체표준을 제정하고자 합니다.

- 다 음 -

표준번호	표준명	제정일
KROADS E 0004	영상 데이터 기반의 균열 계측 및 작도	2017. 2. 22.

붙 임 : 영상 데이터 기반의 균열 계측 및 작도 1부. 끝.

<그림 2-83> 단체표준 KROAD 0004 제공 공고

② KROAD 0005 ~ KROAD 0008

제 목 영상 데이터 기반의 시설물 점검 관련 단체표준 4종 제정

도로교통협의회 - 843(2017. 11. 07.)과 관련하여 단체표준심사위원회 심의의견에 대한 조치가 완료되었기에 다음과 같이 단체표준을 제정하고자 합니다.

- 다 음 -

표준번호	표준명	제정일
KROAD 0005	시설물 외관조사를 위한 파노라마 영상 생성 방법	2017. 11. 07.
KROAD 0006	영상 데이터 기반의 시설물 외관조사망도 작성 방법	2017. 11. 07.
KROAD 0007	영상 데이터 기반의 터널 상태평가 방법	2017. 11. 07.
KROAD 0008	시설물 안전점검용 영상 촬영 장비	2017. 11. 07.

붙 임 : 단체표준 각 1부. 끝.

<그림 2-84> 단체표준 KROAD 0005~0008 제공 공고

단체표준 KROADS 인공신경망 알고리즘을 이용한 영상 데이터 기반의 균열 검출 KROADS E 0003 : 2017 한국도로협회 2017년 2월 22일 제정 http://www.kroad.or.kr	단체표준 KROADS 영상 데이터 기반의 균열 계측 및 작도 KROADS E 0004 : 2017 한국도로협회 2017년 3월 22일 제정 http://www.kroad.or.kr	단체표준 KROAD 시설물 외관조사를 위한 파노라마 영상 생성 방법 KROAD 0005 : 2017 한국도로협회 2017년 11월 7일 제정 http://www.kroad.or.kr
단체표준 KROAD 영상 데이터 기반의 시설물 외관조사장도 작성 방법 KROAD 0006 : 2017 한국도로협회 2017년 11월 7일 제정 http://www.kroad.or.kr	단체표준 KROAD 영상 데이터 기반의 타널 상태평가 방법 KROAD 0007 : 2017 한국도로협회 2017년 11월 7일 제정 http://www.kroad.or.kr	단체표준 KROAD 시설물 안전점검용 영상 촬영 장비 KROAD 0008 : 2017 한국도로협회 2017년 11월 7일 제정 http://www.kroad.or.kr

<그림 2-85> 단체표준 KROAD 0003~0008

(2) 개발 프로그램 및 촬영 장비 성능 인증 (1~3차)

(가) 영상 데이터 기반의 균열 검출률 시험

- ① (시험대상) TM Crack Detecting Program ver.1.0
- ② (표준번호) KROADS E 0003 (KROAD 0003)
- ③ (표 준 명) 인공신경망 알고리즘을 이용한 영상 데이터 기반의 균열 검출
- ④ (요구성능) 최소 검출률 90% 이상, 최대 검출률 150% 이하
- ⑤ (결 과) 최소 검출률 100%, 최대 검출률 122%
- ⑥ 시험성적인증서 발급(인증서번호 17-001)

(나) 영상 데이터 기반의 균열 계측 및 작도 시험

- ① (시험대상) TM Crack Measuring Program Ver.1.0
- ② (표준번호) KROADS E 0004 (KROAD 0004)
- ③ (표 준 명) 영상 데이터 기반의 균열 계측 및 작도
- ④ (요구성능 및 결과)

〈표 2-28〉 영상 데이터 기반의 균열 계측 및 작도 시험 기준 및 결과

균열 길이 오차		균열폭 오차		균열 위치 오차		작도 기능	
기준	결과	기준	결과	기준	결과	기준	결과
10 %이내	9.9 %	30 %이내 ¹⁾	20.0 %	10 %이내	2.4 %	유·무	유
		20 %이내 ²⁾	17.6 %				

비고 1) 균열폭 : 0.1 mm이상 ~ 0.3 mm미만 2) 균열폭 : 0.3 mm이상 ~ 1.0 mm미만
상기 결과는 0.1~0.5 mm 균열폭을 대상으로 수행한 것임

⑤ 시험성적인증서 발급(인증서번호 17-002)

(다) 파노라마 영상 생성 프로그램 시험

- ① (시험대상) 시설물 외관조사를 위한 파노라마 영상 생성 프로그램 Ver.1
- ② (표준번호) KROAD 0005
- ③ (표 준 명) 시설물 외관조사를 위한 파노라마 영상 생성
- ④ (요구성능) 수평, 수직, 회전 허용치 $\pm 10\%$, 성공률 90%이상
- ⑤ (결 과) 가로 및 수직 병합 10회 시험 검사 실시, 모두 요구성능 만족
- ⑥ 시험성적인증서 발급(인증서번호 17-003)

(라) 상태평가 자동화 프로그램 시험

- ① (시험대상) 영상 데이터 기반의 터널 상태평가 프로그램 Ver.1
- ② (표준번호) KROAD 0007
- ③ (표 준 명) 영상 데이터 기반의 터널 상태평가 방법
- ④ (요구성능) 기본시설 및 부대시설별 결함지수와 상태평가 출력, 전체 시설물의 상태평가 등급 일치
- ⑤ (결 과) 기본시설 및 부대시설별 결함지수와 상태평가 출력, 전체 시설물의 상태평가 등급 일치
- ⑥ 시험성적인증서 발급(인증서번호 17-004)

(마) 외관조사망도 작성 프로그램 시험

- ① (시험대상) TM Crack Drawer V.1.1
- ② (표준번호) KROAD 0006
- ③ (표 준 명) 영상 데이터 기반의 시설물 외관조사망도 작성 방법
- ④ (요구성능) 결함정보 도면의 작도 및 화면 출력 여부, 손상물량표의 작성 및 화면 출력 여부 등
- ⑤ (결 과) 결함정보 도면의 작도 및 화면 출력, 손상물량표의 작성 및 화면 출력 등
- ⑥ 시험성적인증서 발급(인증서번호 19-001)

(바) 영상 촬영 장비 시험

- ① (시험대상) TM Tunnel Scanner 2019
- ② (표준번호) KROAD 0008
- ③ (표 준 명) 시설물 안전점검용 영상 촬영 장비
- ④ (요구성능 및 결과)

〈표 2-29〉 시설물 안전점검용 영상 촬영 장비 시험 기준 및 결과

항목	세부사항	비고
장비	카메라, 조명시설, 팬 틸트 헤드, 컨트롤러, 모니터링장치, 전원공급장치, 촬영영상 저장장치, 프레임, 브래킷, 덮개	구비 및 구동
안전	안전모, 안전조끼, 싸인보드	구비
촬영기능 및 영상 획득	촬영, 정지영상, 동영상	합격 및 획득
제출물	카메라 사양서, 차량 튜닝승인서, 촬영매뉴얼	제출

- ⑤ 시험성적인증서 발급(인증서번호 19-003)

(사) 통합 프로그램 시험

- ① (시험대상) TM Deep Inspector V.1.1
- ② (표준번호) KROAD 0007
- ③ (표 준 명) 영상 데이터 기반의 터널 상태평가 방법
- ④ (요구성능) 기본시설 및 부대시설별 결합지수와 상태평가 출력 여부, 전체 시설물의 상태평가 등급 일치 여부
- ⑤ (결 과) 기본시설 및 부대시설별 결합지수와 상태평가 출력, 전체 시설물의 상태평가 등급 일치
- ⑥ 시험성적인증서 발급(인증서번호 19-002)

시험 성적 인증서

1. 인증서 번호 : 17-001
2. 신청기관명 : ㈜태명이씨앤씨
3. 신청일자 : 2017. 2. 23.
4. 시험대상 : TM Crack Detecting Program ver.1.0
5. 단체표준 : KROADS E 0003
6. 시험결과

최소 검출률		최대 검출률	
기준	결과	기준	결과
90 % 이상	100 %	150 % 이하	122 %

비고) 상기 결과는 0.1~0.5 mm 균열폭을 대상으로 수행한 것임

7. 발급일자 : 2017. 2. 24.

위와 같이 신청기관의 시험대상이 단체표준에서 요구하는 기준에 적합함을 인증합니다.



한국도로협회
KOREA ROAD ASSOCIATION



시험 성적 인증서

1. 인증서 번호 : 17-002
2. 신청기관명 : ㈜태명이씨앤씨
3. 신청일자 : 2017. 2. 23.
4. 시험대상 : TM Crack Measuring Program ver.1.0
5. 단체표준 : KROADS E 0004
6. 시험결과

균열 길이 오차		균열 폭 오차		균열 위치 오차		작도 가능	
기준	결과	기준	결과	기준	결과	기준	결과
10 % 이내	9.9 %	30 % 이내 ¹⁾	20.0 %	10 % 이내	2.4 %	유·무	유
		20 % 이내 ²⁾	17.6 %				

비고 1) 균열폭 : 0.1mm이상 ~ 0.3mm미만 2) 균열폭 : 0.3mm이상 ~ 1.0mm미만
상기 결과는 0.1~0.5 mm 균열폭을 대상으로 수행한 것임

7. 발급일자 : 2017. 2. 24.

위와 같이 신청기관의 시험대상이 단체표준에서 요구하는 기준에 적합함을 인증합니다.



한국도로협회
KOREA ROAD ASSOCIATION



시험 성적 인증서

1. 인증서 번호 : 17-003
2. 신청기관명 : ㈜태명이씨앤씨
3. 신청일자 : 2017. 11. 8.
4. 시험대상 : 시설물 외관조사를 위한 파노라마 영상 생성 프로그램 Ver.1
5. 단체표준 : KROAD 0005
6. 시험결과 : 수평, 수직, 회전 허용치 ±10% 이내
정확 성공률 90% 이상
7. 발급일자 : 2017. 11. 10.

위와 같이 신청기관의 시험대상이 단체표준에서 요구하는 기준에 적합함을 인증합니다.



한국도로협회
KOREA ROAD ASSOCIATION



시험 성적 인증서

1. 인증서 번호 : 17-004
2. 신청기관명 : ㈜태명이씨앤씨
3. 신청일자 : 2017. 11. 8.
4. 시험대상 : 영상 데이터 기반의 터널 상태평가 프로그램 Ver.1
5. 단체표준 : KROAD 0007
6. 시험결과 : 기본시설 및 부대시설별 결함자수와 상태평가 출력
전체 시설물의 상태평가 등급 일치
7. 발급일자 : 2017. 11. 10.

위와 같이 신청기관의 시험대상이 단체표준에서 요구하는 기준에 적합함을 인증합니다.



한국도로협회
KOREA ROAD ASSOCIATION



〈그림 2-86〉 시험성적 인증서

시험성적인증서

1. 인증서 번호 : 19-001
2. 신청기관명 : 태명이씨앤씨
3. 신청일자 : 2019. 2. 19.
4. 시험대상 : TM Crack Drawer v.1.1
5. 단체표준 : KROAD 0008
6. 시험결과
 - ① 결함정보 도면의 작도 및 화면 출력
 - ② 손상물량표의 작성 및 화면 출력
 - ③ 결함정보와 손상물량표 동일
 - ④ 외관조사방도 외부 출력
 - ⑤ 손상물량표 외부 출력

7. 발급일자 : 2019. 2. 26.

위와 같이 신청기관의 시험대상이 단체표준에서 요구하는 기준에 적합함을 인증합니다.



한국도로협회
KOREA ROAD ASSOCIATION



시험성적인증서

1. 인증서 번호 : 19-003
2. 신청기관명 : 태명이씨앤씨
3. 신청일자 : 2019. 2. 19.
4. 시험대상 : TM Tunnel Scanner 2019
5. 단체표준 : KROAD 0008
6. 시험결과

항목	세부사항	비고
장비	카메라, 조영시설, 편 빛트 헤드, 컨트롤러, 모니터장치, 전광판장치, 촬영영상 저장장치, 프레임, 브래킷, 덮개	구비 및 구동
안전	안전모, 안전조끼, 싸인보드	구비
촬영기능 및 영상 획득	촬영, 정지영상, 동영상	합격 및 획득
저출물	카메라 사양서, 차량 투영송신서, 촬영매뉴얼	제출

7. 발급일자 : 2019. 2. 26.

위와 같이 신청기관의 시험대상이 단체표준에서 요구하는 기준에 적합함을 인증합니다.



한국도로협회
KOREA ROAD ASSOCIATION



시험성적인증서

1. 인증서 번호 : 19-002
2. 신청기관명 : 태명이씨앤씨
3. 신청일자 : 2019. 2. 19.
4. 시험대상 : TM Deep Inspector v.1.1
5. 단체표준 : KROAD 0007
6. 시험결과

기본시험 및 부대시험별 결함지수와 상태평가 출력,
전체 시설물의 상태평가 등급 일치
(* 이 시험은 군별에 대하여만 평가되었음.)

7. 발급일자 : 2019. 2. 26.

위와 같이 신청기관의 시험대상이 단체표준에서 요구하는 기준에 적합함을 인증합니다.



한국도로협회
KOREA ROAD ASSOCIATION



<그림 2-86> 시험성적 인증서(계속)

라. 연구 개발 성과

(1) 국내의 논문 게재 성과

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록 번호
1	컨볼루셔널 인코더-디코더 네트워크를 이용한 터널에서의 균열 검출	전자공학회 논문지	한복규	Vol.54 No.6	대한민국	대한전자공학회	비SCI	2017.08.04	2287-5026
2	주행 중 터널 라이닝의 미세 균열검출이 가능한 영상 촬영 시스템 및 기법 개발	한국방재학회 논문집	김인수	Vol.18 No.5	대한민국	한국방재학회	비SCI	2018.08.17	1738-2424 ;2287-6723

(2) 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	대한전자공학회 추계학술대회	한복규	2016.11.25	대구 EXCO	대한민국
2	대한전자공학회 추계학술대회	한복규	2017.11.24.~25.	송도컨벤시아(인천)	대한민국
3	영상처리 및 이해에 관한 워크숍	이호경	2019.02.13	제주도 메종글래드제주	대한민국

(3) 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록				기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록번호*	등록인	등록일	등록번호	등록번호*	
1	촬영영상과 인공지능 알고리즘 기반의 균열검출 자동화 프로그램을 이용한 터널 라이닝 표면의 균열 검출 방법 및 시스템	대한민국	한양대학교 에리카 산학협력단 외 1명	2016.12.30	10-2016-0183296		한양대학교 에리카 산학협력단 외 1명	2017.08.24	10-1772916	16TBIP-C111806-01	50%
2	다수의 카메라를 이용한 터널 라이닝 검사장치	대한민국	(주)태명이씨앤씨	2017.1.23	10-2017-0010125		(주)태명이씨앤씨	2018.03.26	10-1843923	16TBIP-C111806-01	50%
3	터널 라이닝 영상 데이터 분산 병렬 처리 방법, 영상 데이터 획득 장치, 및 통합 소프트웨어	대한민국	(주)태명이씨앤씨	2017.11.9	10-2017-0148799	16TBIP-C111806-01	(주)태명이씨앤씨	2018.11.20	10-1922238	16TBIP-C111806-01	100%

(4) 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율
1	TM Crack Detector 2018	2017.02.24	(주)태명이씨앤씨	2019.04.05	C-2019-009691	태명, 한양대	
2	TM Crack Measurer 2018	2017.02.24	(주)태명이씨앤씨	2019.04.05	C-2019-009692	태명, 한양대	
3	TM Panorama 2018	2017.12.29	(주)태명이씨앤씨	2019.04.05	C-2019-009693	태명, 한양대	
4	TM Crack Drawer 2018	2017.12.29	(주)태명이씨앤씨	2019.04.05	C-2019-009690	태명	
5	TM State Estimator	2017.12.29	(주)태명이씨앤씨	2019.04.05	C-2019-009694	태명	
6	TM Deep Inspector	2017.11.30	(주)태명이씨앤씨	2019.04.05	C-2019-009695	태명	

(5) 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별			성별			지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	석사졸업(조대진)	2017		1			1		1				
2	석사졸업(조성민)	2018		1			1		1				
3	석사졸업(심재준)	2019		1			1		1				

(6) 사업화 현황(**)

(단위: 명, 년)

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액 (공급가)		매출 발생 연도	기술 수명
							국내	국외		
1	개발 제품 판매	직접사업화 (기존업체 상품화)	서울	TM Crack Detector 2018	균열 검출 프로그램	KAIST- (주)태명이씨앤씨	17,636,364원		2018년	
2	개발 제품 판매	직접사업화 (기존업체 상품화)	서울	인공지능 기반 도로터널 안전점검 자동화 소프트웨어 패키지	S/W 패키지 개발 및 공급	에스큐엔지니어 링- (주)태명이씨앤씨	120,000,000원		2018년	3년
3	개발 제품 판매	직접사업화 (기존업체 상품화)	서울	인공지능 기반 도로터널 안전점검 자동화 소프트웨어 패키지	S/W 패키지 개발 및 공급	한국건설방재연 구원- (주)태명이씨앤씨	120,000,000원		2018년	3년

(7) 표준화

번호	수행 기관명	표준화 주제	표준화 기구	표준화 단계	관련 번호	제출(채택)일	국가
1	한양대학교 태명이씨앤씨	영상 데이터 기반의 균열 검출	한국도로협회	단체표준	KROAD 0003	2017.02.21.	대한민국
2	한양대학교 태명이씨앤씨	영상 데이터 기반의 균열 계측 및 작도	한국도로협회	단체표준	KROAD 0004	2017.02.21.	대한민국
3	한양대학교 태명이씨앤씨	시설물 외관조사를 위한 파노라마 영상 생성 방법	한국도로협회	단체표준	KROAD 0005	2017.11.07	대한민국
4	태명이씨앤씨	영상 데이터 기반의 시설물 외관조사망도 작성 방법	한국도로협회	단체표준	KROAD 0006	2017.11.07	대한민국
5	태명이씨앤씨	영상 데이터 기반의 터널 상태평가 방법	한국도로협회	단체표준	KROAD 0007	2017.11.07	대한민국
6	태명이씨앤씨	시설물 안전점검용 영상 촬영 장비	한국도로협회	단체표준	KROAD 0008	2017.11.07	대한민국

(8) 기타

(가) 시제품

번호	시제품명	개발일	개발기관	성능시험일	시험방법
1	인공신경망 알고리즘을 이용한 균열 검출 프로그램	2016.04.27. ~ 2017.02.26.	한양대학교 (주)태명이씨앤씨	2017.02.23	외부 심의 위원의 무작위영상 샘플에 대한 검출률 확인
2	균열 계측 프로그램	2016.04.27. ~ 2017.02.26.	한양대학교 (주)태명이씨앤씨	2017.02.23	외부 심의 위원의 무작위영상 샘플에 대한 계측오차 확인
3	카메라 원격 제어 모듈	2016.04.27. ~ 2017.02.26.	(주)태명이씨앤씨	2017.01.20 2017.02.03	카메라 설치를 통한 틸트 드라이버 각도 원격 제어 및 시험 촬영
4	조명시설 원격 제어 모듈	2016.04.27. ~ 2017.02.26.	(주)태명이씨앤씨	2017.02.03	조명시설 설치를 통한 팬틸트 드라이버의 원격 제어 및 시험 촬영
5	사진 촬영 장치 장착 차량	2017.02.27. ~ 2017.12.31	(주)태명이씨앤씨	2019.02.26	
6	파노라마 사진 생성 프로그램	2017.02.27. ~ 2017.12.31	한양대학교 (주)태명이씨앤씨	2017.11.09	외부 심의 위원의 무작위영상 샘플에 대한 사진 정합 여부 및 수평, 수직 회전허용치 확인
7	외관조사망도 작성 프로그램	2017.02.27. ~ 2017.12.31	(주)태명이씨앤씨	2019.02.26	
8	상태평가 프로그램	2017.02.27. ~ 2017.12.31	(주)태명이씨앤씨	2017. 11. 9	기본시설물 및 부대시설별 결함지수와 상태평가 출력 여부 확인
9	통합 프로그램 (TM Deep Inspector)	2018.01.01. ~ 2019.02.26	(주)태명이씨앤씨	2019.02.26	

마. 연구 결과

(1) 기술적 성과

(가) 국내외 경쟁사 기술과의 경쟁력 비교

기술적인 측면에서 개발 기술과 국내·외 경쟁사 기술과의 경쟁력 비교를 <표 2-30>에 나타내었으며, 개발 기술을 이용한 방법과 기존 인력에 의한 점검방법 비교를 <표 2-31>에 나타내었음.

<표 2-30> 국내·외 주요시장 경쟁사 제품 경쟁력 비교

경쟁사명	제품명	특징	개발제품의 경쟁력
① A社 (국내)	-	· 주행속도 10km/h · 균열 검출 범위 0.2mm · 검출률 50% 이하	· 균열 검출 범위 / 주행속도 0.1mm / 20km/h 0.5mm / 40km/h (검출률 90% 이상)
	-	· 자체 개발 제품 아님.	· 자체 균열 분석 및 작도 자동화 프로그램 개발 및 상용화
② B社 (국내)	-	· 실용화 실적 확인 안 됨.	· 터널 스캔 차량 제작 완료 · 실용화 3건 확보
③ D社 (국내)	-	· 실용화 실적 확인 안 됨.	· 터널 스캔 차량 제작 완료 · 실용화 3건 확보
④ J社 (일본)	이미지 스캐닝 시스템	· 철도 터널에 적용 · CCD 라인카메라 512 픽셀(1line) 해상도	· 도로 터널에 적용 · 고해상도 UHD 카메라(4K)를 이용하여 800백만화소의 해상도 구현
⑤ T社 (일본)	TC2 (레이저측정차량)	· 레이저 스캐너 이용	· 저렴한 고해상도 카메라를 이용하여 촬영하므로 경제성 우수 · 미세 균열 검출 구현
⑥ C社 (일본)	MIS, MMS	· 균열 검출 범위 / 주행속도 0.1~0.2mm / 10km/h 0.5~1.0mm / 50km/h	· 균열 검출 범위 / 주행속도 0.1mm / 20km/h 0.5mm / 40km/h (검출률 90% 이상)
⑦ Dibat Measuring Technique USA, Inc.(DMT) (미국,오스트리아)	TSC(터널스캐너)	· 20~50km/h 주행 불가	· 20~40km/h 주행 하면서 검출률 90% 이상의 균열 검출 가능
⑧ PavemetricsTM Systems Inc (캐나다)	LTSS(터널스캐너)	· 1*1mm 해상도 / 20km/h	· 균열 검출 범위 / 주행속도 0.1mm / 20km/h
⑨ SPACETEC Datengewinnung GmbH (독일)	TS3(스캐너)	· 터널 스캐닝 장비	· 미세 균열 검출 구현
⑩ AMBERG TECHNOLOGIES (스위스)	TMS(터널스캐너)	· 터널 스캐닝 장비	· 미세 균열 검출 구현

개발 기술은 주행속도에 따른 균열 검출 범위에 있어 국내·외 기술과 비교하면, 20km/h 주행시 촬영된 영상 데이터(30cm×30cm 촬영면적 기준)에서 0.1mm 이상의 균열폭을 검출할 수 있으며, 40km/h 주행시 촬영된 영상 데이터(1m×1m 촬영면적 기준)에서 0.5mm 이상의 균열폭을 검출 수 있음.

〈표 2-31〉 개발 프로그램을 이용한 방법과 기존 인력에 의한 점검방법 비교

항목	기존 인력에 의한 점검	개발 프로그램에 의한 점검
균열 조사 방법	- 점검자가 고소작업차를 이용하여 터널 라이닝 균열의 폭 및 길이를 측정 - 야장에 균열폭 및 길이를 기록	- 카메라로 터널 라이닝의 전단면을 촬영하여 균열포함 영상을 확보함. - 촬영된 이미지는 스케일의 맞는 왜곡되지 않는 균열정보를 포함함.
균열 검출 방법 [균열 검출 성능]	- 점검자가 육안에 의존하여 조사하므로 균열이 누락될 수 있음. - 특히 천단부는 원거리에서 조사하므로 누락 정도가 심함.	- 인공지능 알고리즘 기반의 균열 검출 프로그램이 터널 전단면 이미지를 분석하므로 매우 높은 정확도로 균열검출이 가능함.
균열 계측 방법 [균열 검출 정밀도]	- 점검자가 고소작업차를 이용하므로, 터널 라이닝의 균열폭 및 길이를 정확하게 잴 수 없음. - 특히 0.1mm 미세균열의 경우 오차가 크게 발생함.	- 인공지능 알고리즘 기반의 균열 계측 프로그램이 전단면의 이미지를 활용하여 측정하므로 정확한 균열폭 및 길이를 산정할 수 있음.
균열 작도 방법	- 점검자가 실내에서 야장에 근거하여 외관 조사망도를 개략적으로 작성함. - 야장에 근거하므로 정확한 위치에 그릴 수 없고 길이표현이 부정확함.	- 정확하게 측정된 균열폭 및 균열길이를 정해진 좌표에 따라 외관조사망도 프로그램이 자동으로 작성하므로 정확한 길이, 형상 및 위치표현 가능함.

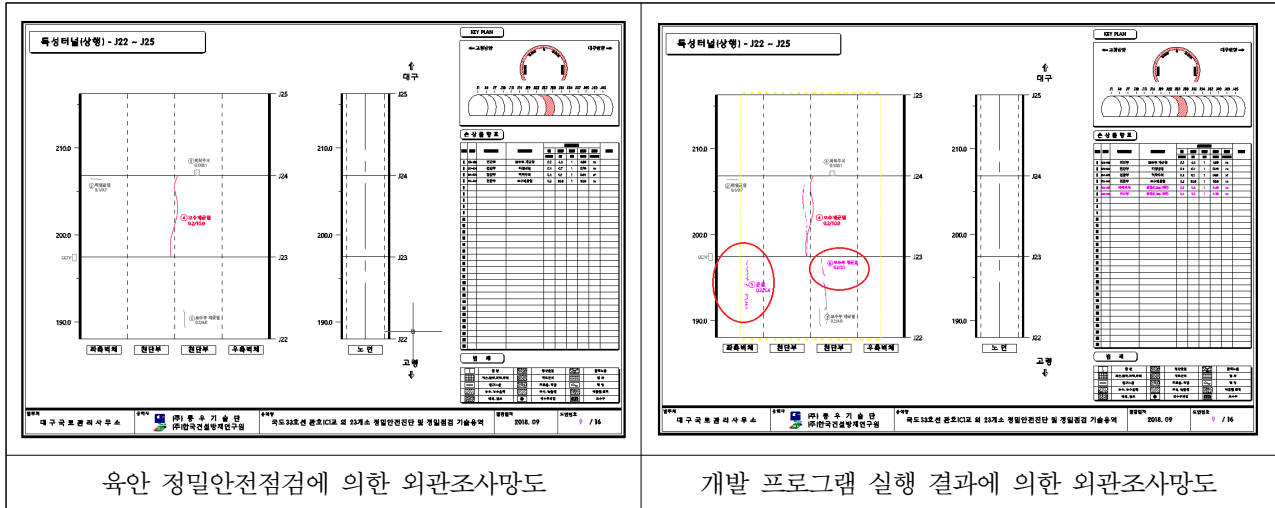
〈표 2-32〉 Test-Bed(화산터널, 봉산터널) 대상 균열 검출 정확도 예

No.	터널명	방향	터널연장 (m)	분석 영상 수 (장)	검출정확도 (픽셀단위) (%)	검출정확도		F1-Score (%)
						Recall (%)	Precision (%)	
1	화산터널	상행	370	200	98.2	89.1	67.7	76.5
2		하행	370	170	98.9	82.2	65.6	72.4
3	봉산터널	상행	870	500	98.4	94.8	74.2	83.1
4		하행	870	200	96.8	96.8	73.1	83.2
5	평균값		-	1,070	98.1	90.7	70.2	78.8

상기 표 2-32에서 분석영상은 균열을 포함하는 영상 중 무작위 추출을 통해 선별함. Recall은 정답픽셀 중 균열로 예측한 픽셀수/정답(균열) 픽셀수를 의미하며, Precision은 정답픽셀 중 균열로 예측한 픽셀수/균열로 예측한 픽셀수를 의미함.

(나) 기술 경쟁력 확보

본 연구개발을 통해 해외 기술도입 및 수입에 의존하던 건설분야 원천기술을 확보하였으며, 주기적이고 반복적인 작업에 대한 인력 의존도에서 탈피하여 자동화를 실현하였음. 〈그림 2-87〉은 Test-bed를 수행했던 덕성터널의 외관조사망도 작성 결과를 비교한 그림이며, 육안점검에 의한 외관조사망도 작성과 개발 프로그램에 의한 외관조사망도 작성에 차이가 있으며, 육안점검에서 찾지 못하는 관리대상의 균열을 개발 프로그램에서는 찾아내는 것을 알 수 있음.(우측 그림의 빨간색 원안의 균열이 추가된 균열임.)



〈그림 2-87〉 육안 점검에 의한 외관조사망도 작성과 개발 프로그램 실행에 의한 외관조사망도 비교

또한, 미국 및 중국에 주도권을 내주고 기술 선진국과의 격차가 수 년 이상 발생해 있는 인공지능 지능 및 영상처리 기반 객체인식 기술을 활용하는 공공시설물 안전점검을 위한 균열 검출과 관련된 원천기술을 확보함으로써, 미개척영역인 안전과 관련된 산업분야에서 자국의 위상을 드높이고 해외기술 의존도를 감소시킬 수 있는 기회를 확보하였음.

과거의 국내외 연구가 경제성, 검출정확도 미달로 산업현장에서 활발히 사용되지 않았으므로, 목표시간 이내에 90% 이상의 검출률을 확보할 수 있는 개발기술은 기술적 가치가 국내외 시장에서 매우 높다고 판단됨.

(다) 연구 성과

본 연구개발을 통해 3건의 특허 출원 및 등록을 완료하였으며, 2건의 논문(학술지) 게재 및 1건의 학술논문 발표를 수행 완료하였음. 더불어 2건의 학술논문 발표를 추가적으로 수행하여 본 기술의 기술적 파급 확대와 홍보를 적극적으로 진행하고 있음.

(2) 경제적 성과

(가) 개발 기술을 통한 생산성 향상

① 공공시설(터널) 안전점검 비용을 연간 20% 이상 절감

도로터널의 안전점검 주기는 종류(1~3종, 규모로 구분) 및 상태(A~E등급, 건전도에 따라 분류)에 따라 1~3년이며, 개발기술로 대체가능한 안전점검 시장규모는 연간 210억원(시설안전공단 발표 도로터널의 현황자료 및 한국시설물 안전진단협회 안전점검/진단 공식대가 기준)으로 추정되며, 개발기술 적용시 연간 20% 이상 비용절감이 기대됨. 따라서 안전점검에 대한 비용절감으로 별도의 추가예산확보 없이 안전점검 대상 시설물을 20% 이상 확대할 수 있음.

(나) 시장점유율

현재 3건(균열검출 및 측정 1건, 도로터널 안전점검 자동화 통합 패키지 2건)의 개발 프로그램의 판매 실적을 확보하였으며, 이를 기반으로 지속적인 영업과 홍보를 통해, 2020년에는 시설물 안전점검 및 진단 시장에서 20%의 영상 촬영 기반의 안전점검 용역 시장을 확보할 예정임.

(다) 매출액 증대

2018년부터 현재까지 3건의 개발 프로그램의 판매를 통해 259,400천원의 매출실적을 확보하였음.

(라) 고용 창출

본 연구개발을 통해, 3년 동안 총 5명의 고용 창출이 발생되었으며, 지속적으로 안전 점검 전문가, 영상 촬영 전문가, 전문 프로그래머 등 매년 3명 이상의 고용을 창출할 예정임.

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목 표

(가) 40km/h 주행속도로 주행하면서 균열 인식이 가능한 촬영 기법 및 장비 개발

- ① 카메라 및 조명시설 자동화 촬영 모듈 개발
- ② 터널 라이닝 손상부위 사진 촬영 장비 개발
 - TM Tunnel Scanner 2019
 - 특허 출원 및 등록
 - 논문집 게재
- ③ 촬영 기법 매뉴얼 개발
- ④ 현장 성능시험 및 보완을 통한 제품 상용화

(나) 인공지능망 알고리즘과 디블러링 기법을 이용한 균열 분석 및 작도 자동화 프로그램 제작

- ① 사진 데이터 자동화 분석 및 작도 프로그램 개발
 - 도로터널 안전점검 자동화를 위한 개별 프로그램 및 통합 프로그램 개발
 - 특허 출원 및 등록
 - 논문집 게재 및 학술 발표
- ② 통합 프로그램 S/W 구현 및 성능 실험

(다) 단체표준 및 인증

- 개별 프로그램에 대한 단체표준을 개발하고 성능시험 인증을 획득

(라) 사업화 실적

- 개별 프로그램 판매, 도로터널 안전점검 자동화 통합 패키지 판매

(마) 테스트베드

- 도로터널에 대한 촬영 및 프로그램을 이용한 안전점검을 실시

나. 목표달성 여부

- 촬영장비 개발 : 도로터널 스캐너를 개발하여 목표를 달성하였음.
- 프로그램 개발 : 도로터널 안전점검 자동화를 위한 개별 프로그램 및 통합 프로그램을 개발

완료하여 목표를 달성하였음.

- 특허출원 : 특허등록 3건을 완료하여 목표를 초과달성하였음.
- 논문제출 : 논문집 기재 1건, 논문 제출 2건을 실행하여 목표를 초과달성하였음.
- 사업화 실적 : 현재 3건(균열검출 및 측정 1건, 도로터널 안전점검 자동화 통합 패키지 2건)의 개발 프로그램의 판매 실적을 확보하여 목표를 초과달성 하였음.
- 단체표준 및 인증 : 개별 프로그램에 대한 단체표준을 개발하고 성능시험 인증을 획득하여 목표를 모두 달성하였음.
- 테스트베드 : 5개 터널에 대한 촬영 및 프로그램을 이용한 안전점검을 실시하였음.

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

- ① 테스트베드에 대한 촬영은 2018년 12월에 완료하였고 개발기술을 활용한 안전점검 자동화 업무는 2019년 2월에 완료되었음. 신기술 신청을 위해 현장적용 실적이 5건 이상 필요한데 연구개발의 일정상 통합프로그램이 2018년 하반기에 개발 완료되었고, 5개 도로터널에 대한 테스트베드가 2018년 12월부터 본격적으로 구축되어 연구기간 내에 신기술인증 획득을 달성하지 못하였으나, 빠른 시일 내에 신기술을 신청하여 연 내에 신기술 지정을 받을 예정임.
- ② 본 개발 기술은 터널 라이닝의 균열을 대상으로 인공지능 알고리즘 기반의 검출 및 계측을 수행할 수 있도록 개발되었으며, 추후 누수, 파손 및 손상, 재질열화 등의 결함도 인공지능 알고리즘을 적용하여 검출 및 계측을 수행할 수 있도록 후속 연구를 진행할 예정임.
- ③ 또한 라이다 계측 시스템을 도입하여, 박리나 박락의 깊이 등 계측 데이터의 확보 및 개발 프로그램에 적용함으로써, 터널 라이닝의 전체 결함에 대한 상태평가가 이루어질 수 있도록 후속 연구를 진행할 예정임.
- ④ 개발 기술의 성과물인 균열 검출 프로그램과 균열 계측 프로그램의 성능을 향상시키기 위해서, 개발 기술을 도로터널 안전점검 실무에 2019년부터 매년 다수 적용하여 도로 터널 영상데이터를 수집하고 인공지능 알고리즘을 지속적으로 훈련시킴으로써, 개발 기술을 확산시켜 나갈 계획임.

라. 관련 분야 기여도

(1) 기술적 파급효과

(가) 글로벌 기술선도적인 인공지능 기반 객체(균열)인식 기술 확보

- 해외 기술도입 및 수입에 의존하던 건설분야 원천기술 확보에 기여함.
- 주기적이고 반복적인 작업에 대한 인력 의존도에서 탈피하여 자동화를 실현함.
- 미국 및 중국에 주도권을 내주고 기술선진국과의 격차가 수 년 이상 발생해 있는 인공지능 및 영상처리 기반 객체인식 기술을 활용하는 공공시설물 안전점검을 위한 균열 검출과 관련된 원천기술을 확보함.
- 미개척영역인 안전과 관련된 산업분야에서 자국의 위상을 드높이고 해외기술 의존도를 감소시킬 수 있는 발판을 마련함.

- 과거의 공공시설물의 균열검출에 대한 국내외 연구가 경제성, 검출정확도 미달로 산업현장에서 활발히 사용되지 않았으므로, 목표시간 이내에 90% 이상의 검출률을 확보할 수 있는 개발기술은 기술적 가치가 국내외 시장에서 매우 높다고 판단됨.

(2) 경제·사회적 파급효과

(1) 경제적 파급효과: 공공시설(터널) 안전점검 비용을 연간 20% 이상 절감

- 도로터널의 안전점검 주기는 종류(1~3종, 규모로 구분) 및 상태(A~E등급, 건전도에 따라 분류)에 따라 1~3년 이며 개발기술로 대체가능한 안전점검 시장규모는 연간 210억원(시설안전공단 발표 도로터널의 현황자료 및 한국시설물 안전진단협회 안전점검/진단 공식대가 기준)으로 추정되며, 개발기술 적용시 연간 20% 이상 비용절감이 기대됨.
- 안전점검에 대한 비용절감으로 별도의 추가예산확보 없이 안점점검 대상 시설물을 20% 이상 확대할 수 있음.

(2) 사회적 파급효과: 건설현장 안전사고 방지 및 시민의 안전 도모

- 고위험 환경에서 종사하는 안전점검 업무의 인력에 대한 의존도를 영상촬영장비와 인공지능 기반의 균열검출 기술로 낮춰 안전사고를 미연에 방지함.
- 안점점검의 작업 기간을 줄이고 효율을 극대화하여 동일예산으로 안점점검 시설물의 확대를 촉진하므로 소규모 3종 시설물 등 안점점검 사각지대에 놓인 시설물을 정기적으로 안전점검/진단 할 수 있으므로 정부는 제 2의 성수대교 붕괴사고를 철저히 방지하고 있다는 신뢰 메시지를 시민들에게 전달하고 공공시설물을 이용하는 시민들의 안전을 확보할 수 있음.
- 인공지능 등 최첨단 4차산업 기술을 안전점검에 도입하여 시민들의 안전과 인공지능 기술에 대한 관심도를 끌어올려 선진국과의 4차 산업기술 격차를 해소하는데 일조함.

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

가. 연구성과 활용방안

1) 수요처(국내): 공공시설 관리 공기업 및 안전진단/점검 전문기업

- 국내에는 약 1,000여개의 면허를 보유한 안전진단/점검 전문기업이 활동중임. 이 중 매출 상위 20개사를 대상으로 적극적인 영업을 수행하여 당사 제품의 구매 및 대여를 촉진할 예정임.
- 공공시설 관리 공기업은 한국도로공사, 시설안전공단, 한국철도시설공단이 수행함.
- 국내 안전점검 관련 공공 및 민간기업에 터널라이닝 촬영장치 임대 및 판매, 인공지능 기반 안전점검 자동화 소프트웨어 임대 및 판매를 통해 개발기술을 공급하여 매출을 발생시킬 예정임.
- 소프트웨어의 경우 당사의 인력과 자원으로 제품화할 예정이며, 하드웨어의 경우 OEM 방식을 활용하여 생산 또는 공장 신설 시 당사의 인력과 자원으로 제품화할 예정임. 그리고 국내 박람회, 전시회 등을 통해 제품을 적극적으로 홍보할 것임.

2) 수요처(해외): 안전진단/점검 전문기업, 시설물 관리주체(정부)

- 이탈리아를 포함한 유럽 선진국 및 미국 일본의 경우 대한민국보다 본격적으로 SOC 사업을 20~30년 일찍 시작했으므로 공공시설물(교량 등)이 심하게 노후화되어 안전점검/진단 시장의 규모가 크고 관심도가 매우 높은 편임.
- 1967년 건설된 이탈리아 제노아 모란디 교량붕괴로(2018년 8월) 사회적 관심이 높아짐.
- 개발기술이 인공지능 기반의 SW인 측면을 고려할 때, 해외로의 수출 및 라이선스 판매가 단기간에 활발히 일어날 것으로 예상됨.
- 해외 수요처인 경우에는 국내 건설사가 시공중인 현장을 중심으로 건설사와 해당국가 정부에 당사 제품(터널 촬영 장비)을 적극 홍보하여 판로를 확보하고, 해외건설협회, 한국엔지니어링협회 등의 시장개척지원 및 국제교류협력 사업, 국내·외 토목 관련 장비박람회, 소프트웨어 박람회 등에 참여하여 지속적으로 개발 제품의 홍보 및 Network을 구축하여, 잠재성 있는 전 세계 바이어와 안정적 제품 공급 및 지속적인 관계와 신뢰성을 구축할 예정임.

3) 적용시스템 HW

- 터널라이닝 안전점검 자동화를 위한 균열 검출용 촬영장치

4) 적용시스템 SW

- 안전점검 자동화를 위한 인공지능 기반 터널라이닝 균열 검출 소프트웨어

5) 활용 내용

- 영상촬영(전용 촬영장치) 및 영상처리(전용 SW)를 통한 안전점검 자동화
- 개발기술의 사용을 통해 국내 약 1,000여개의 안전진단 전문기업의 작업 생산성 향상과 체질

개선을 기대할 수 있음.

나. 연구성과 실용화 계획

- 안전점검 자동화를 위한 도로터널 라이닝 촬영장치 판매
- 안전점검 자동화 소프트웨어 판매
- 안전점검 자동화 소프트웨어 임대
- 안전점검 자동화 관련 클라우드 서비스 개발 및 공급
- 도로터널 영상촬영 용역 수행 (개발기술인 터널촬영장치 활용)
- 도로터널 안전점검 자동화 용역 수행 (개발기술인 자동화 프로그램 활용)

다. 향후 추가 연구아이템

- 인공지능/딥러닝 및 UAV 기반 교량시설물 안전점검 자동화 소프트웨어 개발
- 인공지능/딥러닝 및 점검로봇 기반 댐 시설물 안전점검 자동화 소프트웨어 개발
- 인공지능/딥러닝 및 스테레오 카메라 기반 비탈면 안전점검 자동화 소프트웨어 개발
- 인공지능/딥러닝 및 AR(증강현실) 글라스기반 건축물 안전점검 자동화 소프트웨어 개발
- 시설물 안전점검 전용 인공지능/딥러닝 학습 플랫폼 개발
- 시설물 안전점검 전용 미래의 AI 기술인 설명가능한 인공지능 알고리즘 개발
- 인공지능 알고리즘의 트레이닝 코스트를 획기적으로 낮추는 강화학습 알고리즘 개발

라. 해외 기술 정보 수집 및 개발 기술의 홍보

(1) 방문장소 및 방문시기

- 일본 도쿄 빅사이트 전시장 / 2018년 07월 19일~20일

(2) 방문목적

- 일본의 유지관리전 참관을 통한 터널스캐닝 및 안전진단/점검 관련 해외 과학기술 정보 수집
- 개발 기술의 홍보 및 일본 영상 촬영 및 분석 기술 협의

(3) 방문업체(Booth)

- Tousetu, Nexco, Tonox, Kurabo : 터널스캐닝, 영상촬영, 영상처리
- 퍼시픽Eng. &계측검사: 터널스캐닝, 영상촬영, 인공지능 영상처리

(4) 정보수집 내용

- 터널스캐닝 기술 현황파악 및 정보수집(Nexco 외)
- 영상처리를 통한 객체인식기술 현황파악 및 정보수집
- 건설분야 인공지능/딥러닝기술 현황파악 및 정보수집(퍼시픽Eng. &계측검사 외)
- 건설분야 AR/VR 기술 현황파악 및 정보수집
- 안전진단, 점검, 관리분야 신기술 현황파악 및 정보수집

붙임. 참고 문헌

1. 보고서, 지침

- [1] 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(공통편), 국토해양부, 2011.12
- [2] 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(터널편), 국토해양부, 2011.12
- [3] Regular Inspection Method of Road Tunnel(道路トンネル定期点検要領), MLIT, 2014.6
- [4] Specifications for the National Tunnel Inventory, Section 3 : Elements, FHWA, 2015

2. 논문

- [1] J. Pynn, A. Wright, and R. Lodge, "Automatic identification of cracks in road surfaces," in Image Processing and Its Applications, 1999. Seventh International Conference on (Conf. Publ. No. 465), vol. 2, 1999, pp.671-675 vol.2.
- [2] P.-C. Tung, Y.-R. Hwang, and M.-C. Wu, "The development of a mobile manipulator imaging system for bridge crack inspection," Automation in Construction, vol. 11, no. 6, pp. 717-729, Oct. 2002.
- [3] I. Abdel-Qader, O. Abudayyeh, and M. E. Kelly, "Analysis of edge-detection techniques for crack identification in bridges," Journal of Computing in Civil Engineering, vol. 17, no. 4, pp. 255-263, 2003.
- [4] S. K. Sinha and P. W. Fieguth, "Automated detection of cracks in buried concrete pipe images," Automation in Construction, vol. 15, no. 1, pp.58-72, 2006.
- [5] Z. Liu, S. A. Suandi, T. Ohashi, and T. Ejima, "Tunnel crack detection and classification system based on image processing," in Electronic Imaging 2002. International Society for Optics and Photonics, 2002, pp. 145-152.
- [6] S. Yu, J. Jang, and C. Han, "Auto inspection system using a mobile robot for detecting concrete cracks in a tunnel," Journal of Computation in Civil Engineering, vol. 17, no. 4, pp. 255-263, 2006.
- [7] A. Mohanty and T. T. Wang, "Image mosaicking of a section of a tunnel lining and the detection of cracks through the frequency histogram of connected elements concept," vol. 8335, 2012, pp. 83351P-83 351P-9.
- [8] S. German, I. Brilakis, and R. DesRoches, "Rapid entropy-based detection and properties measurement of concrete spalling with machine vision for post-earthquake safety assessments," Advanced Engineering Informatics, vol. 26, no. 4, pp. 846-858, Oct. 2012.
- [9] M. R. Halfawy and J. Hengmeechai, "Automated defect detection in sewer closed circuit television images using histograms of oriented gradients and support vector machine," Automation in Construction, vol. 38, pp. 1-13, Mar. 2014.
- [10] M. R. Jahanshahi, S. F. Masri, C. W. Padgett, and G. S. Sukhatme, "An innovative methodology for detection and quantification of cracks through incorporation of depth perception," Machine Vision and Appli-cations, vol. 24, no. 2, pp. 227-241, Feb. 2013.
- [11] Z. Zhao and C. Chen, "A fuzzy system for concrete bridge damage diagnosis," Computers & structures, vol. 80, no. 7, pp. 629-641, 2002.
- [12] C. Koch, S. Paal, A. Rashidi, Z. Zhu, M. K" onig, and I. Brilakis, "Achievements and challenges in machine vision-based inspection of large concrete structures," Advances in Structural Engineering,

vol. 17, no. 3, pp. 303–318, Mar. 2014.

[13] Y. Lecun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner, “Gradient-based learning applied to document recognition,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 86, no. 11, pp. 2278–2324, Nov. 1998.

[14] G. E. Hinton and R. R. Salakhutdinov, “Reducing the dimensionality of data with neural networks,” *Science*, vol. 313, no. 5786, pp. 504–507, Jul. 2006. [Online]. Available: <http://www.sciencemag.org/content/313/5786/504>

[15] Y. Bengio, P. Lamblin, D. Popovici, and H. Larochelle, “Greedy layer-wise training of deep networks,” in *Advances in Neural Information Processing Systems 19*, B. Schölkopf, J. C. Platt, and T. Hoffman, Eds. MIT Press, 2007, pp. 153–160.

[16] D. Lowe, “Object recognition from local scale-invariant features,” in *The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision*, 1999, vol. 2, 1999, pp. 1150–1157 vol.2.

[17] F. Bastien, P. Lamblin, R. Pascanu, J. Bergstra, I. J. Goodfellow, A. Bergeron, N. Bouchard, and Y. Bengio, “Theano: new features and speed improvements,” *Deep Learning and Unsupervised Feature Learning NIPS 2012 Workshop*, 2012.

[18] O. Chapelle and A. Zien, “Semi-supervised classification by low density separation,” Sep. 2004.

[19] X. Zhu, J. Lafferty, and Z. Ghahramani, “Combining active learning and semi-supervised learning using gaussian fields and harmonic functions,” in *ICML 2003 workshop on the continuum from labeled to unlabeled data in machine learning and data mining*, 2003, pp. 58–65.

[20] 이방연, 이성태, and 김진근. “콘크리트 구조물의 표면 균열 평가 기법.” *비파괴검사학회지* 27.2 (2007): 173–182.

[21] 박태수, and 이승호. “레이저 스캐닝 기술을 이용한 기존 터널 상부굴착에 따른 라이닝 거동 분석,” *한국지반공학학회논문집* 31.10 (2015): 29–36.

[22] C. Koch, et al. “A review on computer vision based defect detection and condition assessment of concrete and asphalt civil infrastructure,” *Advanced Engineering Informatics* vol. 29, no. 2, pp. 196–210, 2015.

[23] Loupos, Konstantinos, et al. “Robotic System with Intelligent Vision for Tunnel Structural Assessment-System Architecture-The ROBO-SPECT EC project,” *SMAR 2015*, 2015.

[24] LOUPOS, Konstantinos, Anastasios DOULAMIS, and Angelos AMDITIS. “A Computer Vision System for Tunnel Inspection,” *SMAR 2015*, 2015.

[25] Juan, Luo, and Oubong Gwun. “SURF applied in panorama image stitching,” *Image Processing Theory Tools and Applications (IPTA)*, 2010 2nd International Conference on. IEEE, 2010.

3. 인터넷 사이트

[1] <http://www.tousetu.co.jp/>

[2] <http://www.w-e-kyushu.co.jp/>

[3] <http://www.kurabo.co.jp/>

[4] <http://www.dibit.at/>

[5] <http://www.pavemetrics.com/>

[6] <http://www.ntis.go.kr/>

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화 지원사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화 지원사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.