최종보고서(일반과제용)

보안등급
일반[✔], 보안[ ]

중앙행정기관명	국토교통부	사업명	사업명	국토교통기술촉진연구사업	
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		내역사업명	국토교통기술혁신연구(사회이슈해결 유형)	
공고번호	공고-제2호		연구개발과제번호	21CTAP-C152073-03	
국가과학기술 표준분류	EA0502	20%	EA0504	20%	EA0803	20%
연구주제	(대분류)걱정없는 안심사회		(중분류)생활안전,재난재해,에너지,주거,교통		(소분류)불량 주택 및 시설물	

연구개발과제명	국문	고공, 밀폐, 분진노출, 협소공간(높이0.6m이하)에서 강교량 재도장 공사 생산성 향상을 위한 이동형 작업 장치 개발			
	영문	Development of Mobile Work Device for Productivity improvement of Steel Bridge Repaint Work in High-Rise, Closed-Free, Dusty, and Narrow Space (less than 0.6m Height)			
주관연구개발기관	기관명	(주)이레하이테크이앤씨		사업자등록번호	215-86-61224
	주소	(우)경기도 성남시 분당구 장미로 42, 야탑리더스 빌딩 510, 511호		법인등록번호	110111-307667
주관연구책임자	성명	장 병 하		직위	부사장(연구소장)
	연락처	직장전화	031-423-7493	휴대전화	011-362-8223
		전자우편	gobhwd@daum.net	국가연구자번호	11181871
연구개발기간	전체	2019. 04. 19 - 2021. 12. 31.(2년 8.4개월)			
	1년차	2019. 04. 19 - 2019. 12. 31.(년 8.4개월)			
	2년차	2020. 01. 01 - 2020. 12. 31.(년 12개월)			
	3년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31.(년 12개월)			

연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
				지방자치단체		기타( )					
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	600,000	30,000	170,001	-	-	-	-	630,000	170,001	800,001	-
1년차	134,000	6,700	37,967	-	-	-	-	140,700	37,967	178,667	-
2년차	135,000	6,750	38,250	-	-	-	-	141,750	38,250	180,000	-
3년차	331,000	16,550	93,784	-	-	-	-	347,550	93,784	441,334	-

공동연구개발기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
공동연구개발기관	에프엠글로벌	황세연	사장	055-232-5352	fm4496@naver.com	공동	중소기업
	건설기계부품연구원	이호연	책임연구원	063-447-2574	hoyeon0602@kocaf.re.kr	공동	전문연
위탁연구개발기관							
연구개발기관 외 기관							

연구개발담당자 실무담당자	성명	장동욱		직위	과장
	연락처	직장전화	070-4667-7052	휴대전화	010-9258-3560
		전자우편	jdw23@naver.com	국가연구자번호	12591002

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

2022 년 03 월 18 일

연구책임자 : 장 병 하 (직인)

주관연구개발기관의 장 : (주)이레하이테크이앤씨 이 동 현 (직인)

공동연구개발기관의 장 : 에프엠글로벌(주) 황 세 연 (직인)

공동연구개발기관의 장 : 건설기계부품연구원 김 민 희 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요 약 문 >

<table>
<tr><td colspan="2">사업명</td><td colspan="2">국토교통기술촉진연구사업</td><td colspan="2" rowspan="2">연구개발과제번호</td><td colspan="2" rowspan="2">21CTAP-C152073-03</td></tr>
<tr><td colspan="2">내역사업명</td><td colspan="2">국토교통기술혁신연구</td></tr>
<tr><td colspan="2">국가과학기술표준분류</td><td>EA0502</td><td>20%</td><td>EA0504</td><td>20%</td><td>EA0803</td><td>20%</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구주제</td><td colspan="2">(대분류)걱정없는 안심사회</td><td colspan="2">(중분류)생활안전,재난재해,
에너지,주거,교통</td><td colspan="2">(소분류)불량 주택 및 시설물</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제명</td><td colspan="6">고공, 밀폐, 분진노출, 협소공간(높이0.6m이하)에서 강교량 재도장 공사 생산성 향상을 위한 이동형 작업 장치 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">전체 연구개발기간</td><td colspan="6">2019. 4. 19. - 2021. 12. 31.(2년 8.4개월)</td></tr>
<tr><td colspan="2">총 연구개발비</td><td colspan="6">총 800,001천원
(정부지원연구개발비 : 600,000천원, 기관부담연구개발비 : 200,001천원,
지방자치단체 : 천원, 그 외 지원금 : 천원)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발단계</td><td colspan="3">기초[ ] 응용[ ] 개발[○]
기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]</td><td>기술성숙도</td><td colspan="2">착수시점 기준(TRL 3)
종료시점 목표(TRL 6)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 유형</td><td colspan="6">지정공모 [ ] 자유공모 [✔]</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 특성</td><td colspan="6">사회이슈 해결</td></tr>
<tr><td rowspan="4">연구개발목표 및 내용</td><td>최종 목표</td><td colspan="6">밀폐, 분진, 작업높이 0.6m~2m 이내의 협소한 작업공간인 강교량 재도장 공정(도장 및 블라스팅)에 적용 가능한 이동형 다목적 작업장치 개발</td></tr>
<tr><td>전체 내용</td><td colspan="6">- 강교량 재도장 작업의 안전을 고려한 시공법 개발
- 다관절 작업기 시스템 구성
- 무한궤도식 주행체 시스템 개발
- 생산성 향상을 위한 분사 노즐 및 블라스팅 노즐 장비개발
- 실시간 작업 모니터링이 가능한 비전시스템 개발
- 현장 테스트를 통한 장비 성능 테스트</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1년차</td><td>목표</td><td colspan="6">○ 주관연구기관((주)이레하이테크이앤씨):
1) 국내/외 강교 유지보수 공법에 대한 분석
2) 강교 연마작업에 효율적인 숏 블라스팅 공법 개발
3) 공기단축을 위한 생산성 향상에 기반을 둔 재도장 공법 개발
○ 참여기관 1(에프엠글로벌):
1) 국내/외 강교 유지보수 장비에 대한 현장조사
2) 해외 선진사들의 강교 유지보수 장비 벤치마킹
3) 강교 유지보수 장비에 대한 레이아웃 설계 및 제작
4) 장비 구동에 필요한 주행체 시스템 구성
○ 참여기관 2(건설기계부품연구원):
1) 강교 유지보수 장비의 기술적 현황에 대한 문헌조사
2) 강교 유지보수 장비의 레이아웃에 대한 구조 및 기구학적 분석
3) 작업현장 모니터링을 위한 비전시스템 설계 및 시제품 개발</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="6">○ 주관연구기관((주)이레하이테크이앤씨):
1) 국내/외 강교 유지보수 공법에 대한 분석
- 강교에 대한 유지보수 공법에 대한 국내/외 선진사 분석
- 기존 유지보수 공법에 대한 절차 및 생산성 분석
2) 강교 연마작업에 효율적인 숏 블라스팅 공법 개발
- 강교의 부식 및 오염물질을 제거하는 숏 블라스팅 공법 분석
- 강교 재도장 장비에 효율적으로 적용이 가능한 숏 블라스팅 공법 개발</td></tr>
</table>

			3) 공기단축을 위한 생산성 향상에 기반을 둔 재도장 공법 개발 - 기존 재도장 공법에 대한 분석 및 생산성 향상을 위한 개선 작업 방안 도출 - 강교 재도장 장비에 적용이 가능한 재도장 공법 개발 ○ 참여기관 1(에프엠글로벌): 1) 국내/외 강교 유지보수에 대한 현장조사 - 기존 강교의 유지보수 관리 비용 현황에 대한 조사 - 강교 유지보수 공법 및 절차에 대한 현장 조사 2) 해외 선진사들의 강교 유지보수 장비 벤치마킹 - 해외 강교 유지보수 장비의 현황 분석 - 국내/외 유지보수 장비의 장단점 분석 3) 강교 유지보수 장비에 대한 레이아웃 설계 및 제작 - 다관절 유지보수 장비에 대한 레이아웃 개념 설계 - 협소 공간에서의 작업 효율성 높인 장비 레이아웃 상세 설계 및 제작 4) 장비 구동에 필요한 무한궤도식 주행체 시스템 구성 - 유지보수 장비의 이동 및 유지보수 작업에 필요한 파워 용량 분석 - 유지 보수 장비에 적용하게 될 동력 선정 작업 수행 - 험지 및 장애물 이동에 적합한 무한 궤도식 주행체 시스템 설계 - 현장 작업가의 편의를 고려한 컨트롤러 및 제어시스템 개발 ○ 참여기관 2(건설기계부품연구원): 1) 강교 유지보수 장비의 기술적 현황에 대한 문헌조사 - 강교 유지보수 장비의 기술 성숙도 및 향후 기술 개발 방향에 대한 분석 - 강교 유지보수에 대한 법규 및 특허 분석 2) 강교 유지보수 장비의 레이아웃에 대한 구조 안정성 분석 - 장비의 레이아웃에 대한 구조적 취약부 분석 - 구조 안정성 분석을 통한 취약부에 대한 개선 설계안 도출 3) 작업현장 모니터링을 위한 비전시스템 설계 및 시제품 개발 - 환경 조건 및 사양 분석을 통한 센서 및 모듈 선정 - 모니터링 효율을 고려한 장착 위치 선정과 장착 지그 설계 - 센서 보호를 위한 고압 에어커튼 하우징 설계 및 시제품 개발
	2년차	목표	○ 주관연구기관((주)이레하이테크이앤씨): 1) 강교 유지보수 장비에 적용하고자 하는 숏 블라스팅 공법 시나리오 개발 2) 생산성 향상을 위한 재도장 공법 시나리오 개발 ○ 참여기관 1(에프엠글로벌): 1) 공법 시나리오를 기반으로 하는 분사 노즐 및 숏 블라스팅 노즐 제작 2) 작업 생산성에 기반을 둔 다관절 작업기 시스템 구성 3) 강교 유지보수 장비에 대한 레이아웃 개선 설계 및 재제작 4) 구동부, 레이아웃 및 다관절 작업기의 통합 작업 및 제어성 확보 ○ 참여기관 2(건설기계부품연구원): 1) 개발품 장비의 레이아웃에 대한 구조적 취약부 분석 2) 작업현장 환경 모니터링을 위한 비전시스템 개발
		내용	○ 주관연구기관((주)이레하이테크이앤씨): 1) 강교 유지보수 장비에 적용하고자 하는 숏 블라스팅 공법 시나리오 개발 - 기존 숏 블라스팅 공법에 생산성 향상을 위한 시나리오 개발 - 유지보수 장비의 작업기에 적용하고자 하는 숏 블라스팅 시나리오 개발 2) 생산성 향상을 위한 재도장 공법 시나리오 개발 - 작업자들에 이루어지는 재도장 공법 분석에 따른 생산성 향상 공법 시나리오 개발 - 다관절 작업기에 적용하고자 하는 재도장 시나리오 개발

			○ 참여기관 1(에프엠글로벌): 1) 공법 시나리오를 기반으로 하는 분사 노즐 및 숏 블라스팅 노즐 제작 - 생산성 향상에 기반을 둔 분사 노즐 및 숏 블라스팅 노즐 제작 - 다관절 작업기에 부착이 용이한 설계를 통한 제작 2) 작업 생산성에 기반을 둔 다관절 작업기 시스템 구성 - 다관절 작업기의 효율적인 움직임을 위한 시스템 레이아웃 설계 - 개발된 공법 시나리오를 적합하게 수행할 수 있는 다관절 작업기 제어시스템 구성 3) 강교 유지보수 장비에 대한 레이아웃 개선 설계 및 재제작 - 다관절 작업기가 부착되는 장비의 상판 레이아웃에 대한 개선 설계 제작 - 구동부가 장착되는 장비의 하판 레이아웃에 대한 개선 설계 및 제작 4) 구동부, 레이아웃 및 다관절 작업기의 통합 작업 및 제어성 확보 - 하부체의 구동부와 상부체의 다관절 작업기에 대한 통합작업 수행 - 유지보수 장비에 대한 전반적인 제어시스템 통합 작업 및 제어성 확보 ○ 참여기관 2(건설기계부품연구원): 1) 개선된 장비의 레이아웃에 대한 구조적 취약부 분석 - 작업기가 부착되는 상판 레이아웃에 대한 구조 강건성 확보방안 분석 - 구동부가 장착되는 하판 레이아웃에 대한 구조적 취약부 분석 2) 작업현장 환경 모니터링을 위한 비전시스템 개발 - 영상 센서 및 모니터링 모듈 개발 - 고압 공기를 이용한 센서보호 하우징 개발 - 불완전한 조명과 많은 먼지 상태에서 영상 가시성 향상을 위한 알고리즘 개발
	3년차	목표	○ 주관연구기관((주)이레하이테크이앤씨): 1) 강교 유지보수 장비에 대한 성능테스트 방안 도출 2) 강교 유지보수 장비의 성능테스트를 기반으로 하는 개선방안 도출 ○ 참여기관 1(에프엠글로벌): 1) 현장 성능테스트를 통한 장비의 구조적 개선 방안 도출 2) 성능테스트를 기반으로 하는 분사 노즐 및 숏 블라스팅 노즐 개선 설계 및 제작 3) 레이아웃에 대한 개선 설계 및 제작 ○ 참여기관 2(건설기계부품연구원): 1) 다관절 작업기의 개선 설계에 대한 구조적 취약부 분석 2) 작업현장 모니터링 장치 성능 보완
		내용	○ 주관연구기관((주)이레하이테크이앤씨): 1) 강교 유지보수 장비에 대한 성능테스트 방안 도출 2) 강교 유지보수 장비의 성능테스트를 기반으로 하는 개선방안 도출 ○ 참여기관 1(에프엠글로벌): 1) 현장 성능테스트를 통한 장비의 구조적 개선 방안 도출 2) 성능테스트를 기반으로 하는 분사 노즐 및 숏 블라스팅 노즐 개선 설계 및 제작 3) 레이아웃에 대한 개선 설계 및 제작 ○ 참여기관 2(건설기계부품연구원): 1) 다관절 작업기의 개선 설계에 대한 구조적 취약부 분석 2) 강교 유지보수 장비의 핵심부품 개선 설계에 따른 구조 시뮬레이션 분석 3) 작업현장 모니터링 장치 성능 보완 - 작업 효율 향상을 위한 작업 환경 및 장비 상태 디스플레이 기술 개발 - 사용자 편의 향상을 위한 모니터링 모듈 인터페이스 보완 - 영상 자동 보정을 통한 영상 가시성 향상 기술 개발

연구개발성과	○ 임펠라 블라스트, 무한궤도식 주행체가 다관절로 결합되고, 무선영상 전송장치와 착탈식 분사 노즐을 장착할 수 있는 강교량 재동장 공상용 이동형 작업장치 시제품 제작 1) 작업높이 0.6m이하의 협소공간에서 작업이 가능한 무게 200kg이하이며, 단차 극복 높이 7cm 만족하며, 원격조종 및 반자율 주행의 자동작업 기능을 갖춤 2) 영상 및 무선 리모콘 전송범위 100m(개활지 기준) 확보 ○ 작업효율 향상을 위한 작업 시나리오 문서
연구개발성과 활용방안 및 기대효과	○ 활용 계획 1) 국토교통부 산하기관, 한국도로공사 산하기관 및 서울시 등 지자체의 국내 주요 구조물 유지보수 기관에서 발주하는 강교량 재도장 공사에 활용 2) 고위험 강교량 보수현장에서 반복적인 블라스팅 작업과 페인트 재도장 작업 공정을 원격제어 로봇을 통해 작업자 안전성 문제를 해결하고, 공기 단축으로 생산성을 20% 이상 향상시킴 ○ 기대 효과 1) 기술적 측면 - 원격제어 로봇을 통한 작업자 안전성 확보 - 친환경적 유지관리 요소기술 확보 - 유사 산업의 개발기술 확대로 인한 유지보수 기술의 고도화 2) 경제적·산업적 측면 - 기존 수작업 대비 경제적인 공법으로 교량 유지보수 비용 절감 - 교량 보수 작업의 자동화 기반 기술 확보로 국내 업체의 기술 경쟁력 강화 3) 사회적 측면 - 노후교량의 안전성 확보 - 고위험(분진, 추락, 질식 등) 작업환경 개선에 따른 작업자 안전사고 저감
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당없음

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명정보	생물자원		정보	실물
	3	4				1						1

연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호

국문핵심어 (5개 이내)	강교량 관리	블라스팅	재도장	매니퓰레이터	원격 제어
영문핵심어 (5개 이내)	Steel Bridge Management	Blasting	Re-painting	purpose manipulator	Remote Control

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 01

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 ····· 09

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ····· 83

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성) ····· 92

5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 ····· 93

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 ····· 94

7. 참고 문헌 ····· 95

별첨자료(성과 증빙자료 등)

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

○ 밀폐, 분진, 작업높이 0.6m~2m 이내의 협소한 작업공간인 강교량 재도장 공정(도장 및 블라스팅)에 적용 가능한 이동형 다목적 작업장치 개발

- 강교 재도장 작업의 안전성을 고려한 시공법 개발
- 항온 -20≤x≤45, 방수/방진 등급 56 IP, EMS 합격하는 강교 유지보수 장비에 대한 최종 시제품 구성
- 단차 극복 높이 7cm을 만족하는 무한궤도식 주행체 시스템 개발
- 분사량 15Kg/min 이상인 노즐 개발
- 장비 무게 200Kg이하, 연속 작업시간 35분이상, 작업높이 0.6m 이하인 이동형 다목적 작업장치 개발
- 작업환경 실시간 모니터링이 가능한 비전시스템 개발

○ 연구개발 배경

- 국내 교량은 약 36,0000 여개소이며, 그중 강교량은 전체 교량의 15% 로 약 5,300개소이다. 특히 1996년부터 2005년까지 건설된 강교량이 전체 강교량의 44%를 차지하고 있어 (국토교통부 도로 교량 및 터널 현황 정보시스템, 2020.12.31. 기준) 최초 강교량 도장수명을 20년으로 감안할 때 2016년부터 강교량 재도장 공사에 대한 요구가 증가하고 있다.
- 또한 2006년부터 2010년 까지 건설된 강교량도 1,288개소 이며, 2011년부터 2015년 까지 703개소로 파악되었는데 이는 1996년부터 2015년 까지 20년간 건설된 교량을 매년 **약 200 여개씩 지속적으로 전면 재도장** 하여야 하는 것으로 조사되어 **향후 30년 이상 강교량 재도장 공사 물량이 지속적으로 유입될 것으로 예상됨**.

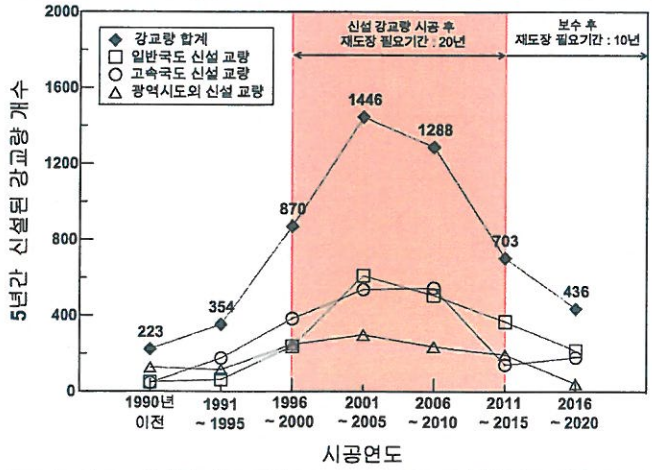


그림 1. 시공연도에 따른 5년간 신설된 강교량 개수

건설시기	계	일반국도	고속국도	광역시도외
1990년이전	223	50	46	127
1991~1995	354	63	176	115
1996~2000	870	238	384	248
2001~2005	1,446	610	537	299
2006~2010	1,288	507	545	236
2010~2015	703	368	141	194
2016~2020	436	215	180	41
계	5,320	2,051	2,009	1,260

- 최근 환경오염과 기후 변화로 강교량 재도장 공사의 수명이 단축되어 **13년으로 추정 되었던** 재도장수명이 최근에는 10년으로 감소하여 재도장 횟수 및 비용이 증대되고 있는 추세에 있어, 강교량 재도장 공사관련 시장은 더욱 확대될 것으로 예상됨.
- **강교 재도장은** 작업을 위해 교량에 공중비계를 설치하고, 외부환경 오염을 방지하기 위해 **작업공간이 밀폐된 협소한 공간의 극한 환경에서 작업이 이루어 짐.**
- 강교 재도장 작업은 공중비계 작업공간 내에서 작업하는 **고소작업으로 안전에 매우 취약함.**
- 해외는 전통적인 샌드 블라스팅 장비 및 도료 등을 개발하는 업체가 다수 있으며 로봇암 형태의 작업기를

바탕으로 무인 자동화 블라스팅 및 도장 로봇을 개발하고 실용화하고 있음

- 국내는 다수 업체가 전통적인 샌드 블라스팅 장비 및 도료 등을 개발하고 있으며 2000년대 중반부터 대학 연구소를 중심으로 원격 교량검사 및 보수용 로봇차량을 개발하고 있으나 자동화된 장비 개발사례 없음
- 강교의 부식 방지를 위한 강교 재도장 공사는 열악한 작업환경과 생산성 저하로 산업재해위험, 공사 비용 증가 하므로 작업환경 및 방법 개선이 절실함



고공 밀폐



높이 0.6m 협소공간



작업자 방호복

그림 2. 강교량 재도장 공사 작업 조건

- **강교 도장 유지보수에 적용 하고 있는 국내 표면처리 방법은 가격 문제로 대부분 SP3 수준인 동력공구 세정(전동공구) 수준**
- 해외의 경우 **Blast Cleaning을 실시하나 오픈 공간으로 밀폐 공간인 국내와 작업조건이 상이함**
- 최근 국내에 도입되는 표면처리 방법인 **PS볼을 이용한 블라스트 크리닝은 국내 2-3개의 업체만 시공이 가능할 정도로 아직 기술도입 초기에 있으며 비산먼지로 인한 민원이 빈번하게 발생**하여, 비산먼지의 확산을 막기위한 작업공간의 밀폐는 작업자의 건강을 위협과 작업효율 저하의 문제가 발생
- PS볼을 이용한 블라스트 클리닝 작업은 30분 작업 후 10분 이상의 필수 휴식 시간을 취해야 작업이 가능
- 특히 강재 거더의 하부는 높이 60cm정도의 공간에서 작업이 이루어지므로, 밀폐되고, 분직이 가득한 공간에서 작업자가 누워 작업을 해야 하는 열악한 상황

○ 적용 대상 (강교량 재도장 공사)

- 고속도로, 국도, 지방도 등에 위치한 STEEL BOX GIRDER의 재도장 공사 또는 보수공사
- 특히 교량 아래로 차량 및 사람통행으로 교량 하부 작업공간 확보가 용이하지 않은 교량 고공, 밀폐, 협소(높이 0.6m 이하) 분진발생하는 강교량 재도장 공사에 적용
- 비산분진 발생으로 대기오염에 따른 공사장 주변 민원이 발생하는 지역

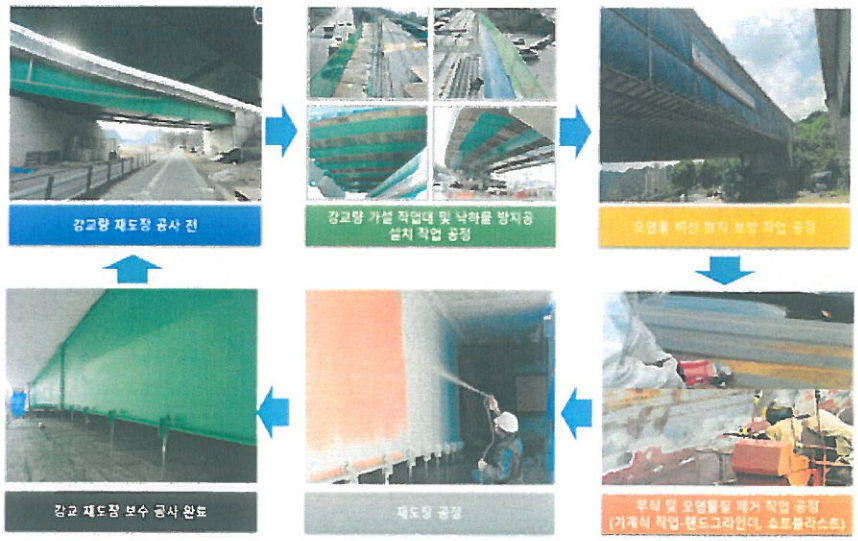


그림 3. 교량 유지보수 공법의 절차 예시

작업방법	오픈 블라스트 (샌드블라스트)	P.S볼 블라스트 (순환형)	Steel 블라스트
단위 폐기물 발생량	30-50Kg/㎡	15-25Kg/㎡	4-5Kg/㎡



그림 4. 숏 블라스트 공법

- 폐기물 발생량 감소 및 비산 분진 발생 감소에 유리한 STEEL 블라스트 장치 개발
- 연마재의 이송 및 재사용을 위해 임펠라 블라스트 장치 적용

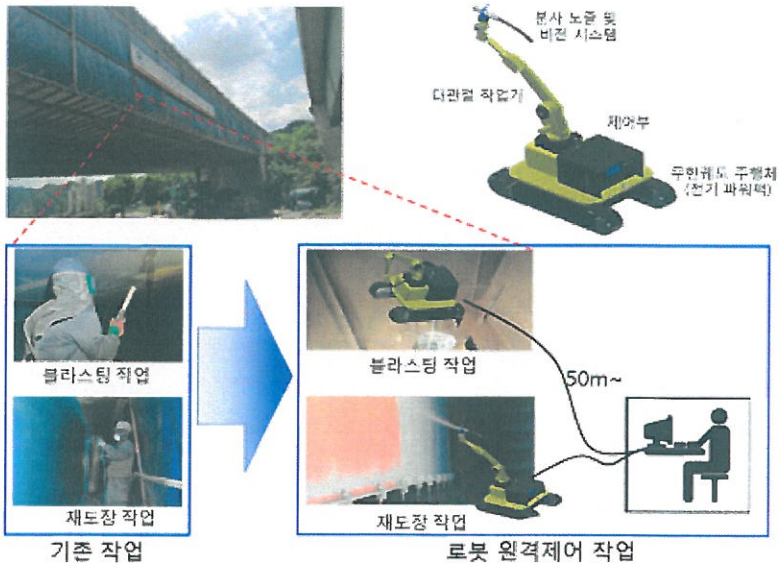
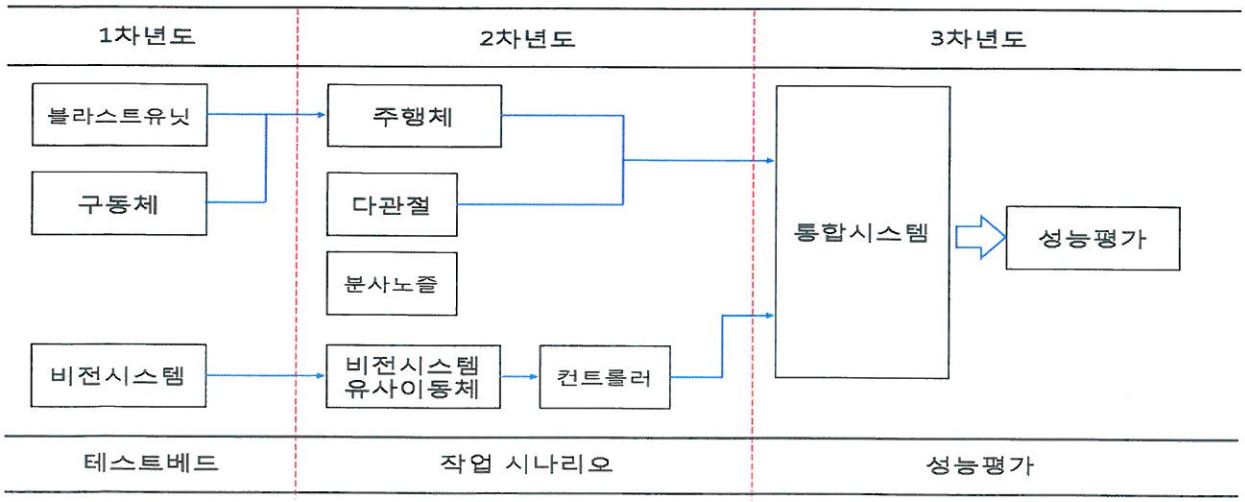


그림 5. 강교량 재도장 공사 로봇 예시

○ 개발 일정



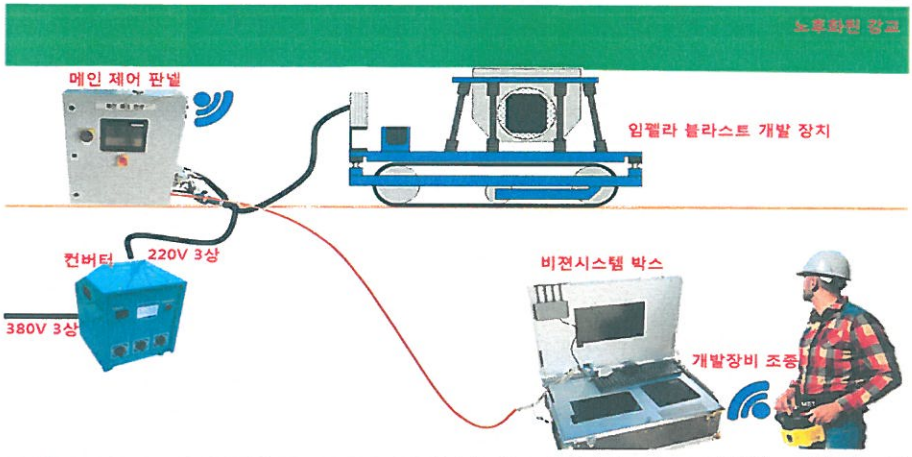


그림 6. 강교량 재도장 공사용 작업장치 개발 일정

개발 모듈	1차 연도(9개월)	2차 연도 12개월	3차 연도 (12개월)
주행체 (전기파워팩)	1차 시제품	2차 시제품	
다관절 작업기		레이아웃/3D 모델링	시제품
로봇 제어부 (컨트롤러 포함)	1차 시제품		2차 시제품
노즐 (블라스팅,도장)	1차 시제품		2차 시제품
비전 시스템	1차 시제품	2차 시제품	

(※ 2차 연도 개발비 변경에 따라 개발 일정 변경)

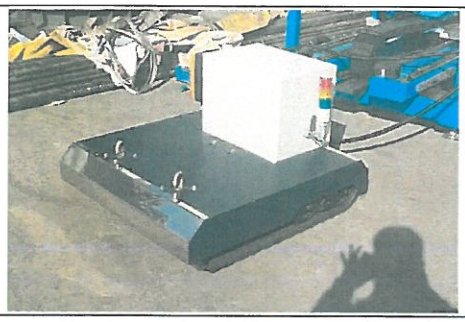
2) 연구개발과제의 연차별 목표

○ 1차 연도 목표

- 주관연구기관((주)이레하이테크이앤씨):
  - 국내/외 강교 유지보수 공법에 대한 분석
  - 강교 연마작업에 효율적인 숏 블라스팅 공법 개발
  - 공기단축을 위한 생산성 향상에 기반을 둔 재도장 공법 개발

- 참여기관 1(에프엠글로벌):
  - 국내/외 강교 유지보수 장비에 대한 현장조사
  - 해외 선진사들의 강교 유지보수 장비 벤치마킹
  - 강교 유지보수 장비에 대한 레이아웃 설계 및 제작
  - 장비 구동에 필요한 주행체 시스템 구성

- 참여기관 2(건설기계부품연구원):
  - 강교 유지보수 장비의 기술적 현황에 대한 문헌조사
  - 강교 유지보수 장비의 레이아웃에 대한 구조 및 기구학적 분석
  - 작업현장 모니터링을 위한 비전시스템 설계 및 시제품 개발

<table>
<tr><td> 
</td><td>  </td></tr>
<tr><td>블라스트유닛</td><td>구동체</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>  </td></tr>
<tr><td>비전시스템</td><td>테스트베드</td></tr>
<tr><td colspan="2">그림 7. 1차 연도 주요 개발 내용</td></tr>
</table>

○ 2차 연도 목표

- 주관연구기관((주)이레하이테크이앤씨):
  - 강교 유지보수 장비에 적용하고자 하는 숏 블라스팅 공법 시나리오 개발
  - 생산성 향상을 위한 재도장 공법 시나리오 개발

- 참여기관 1(에프엠글로벌):
  - 공법 시나리오를 기반으로 하는 분사 노즐 및 숏 블라스팅 노즐 제작
  - 작업 생산성에 기반을 둔 다관절 작업기 시스템 구성
  - 강교 유지보수 장비에 대한 레이아웃 개선 설계 및 재제작
  - 구동부, 레이아웃 및 다관절 작업기의 통합 작업 및 제어성 확보

- 참여기관 2(건설기계부품연구원):
  - 개발품 장비의 레이아웃에 대한 구조적 취약부 분석
  - 작업현장 환경 모니터링을 위한 비전시스템 개발

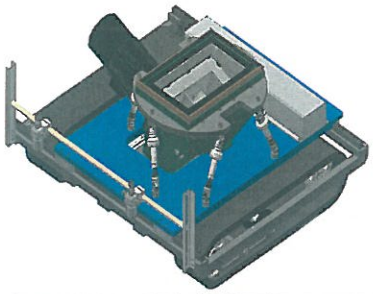
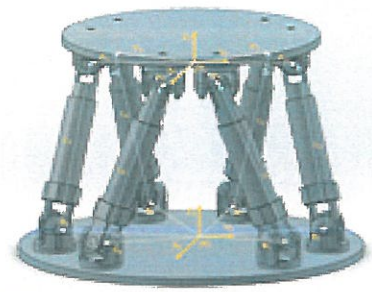
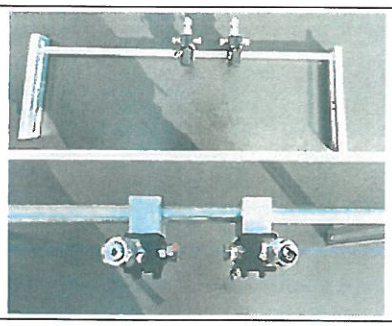
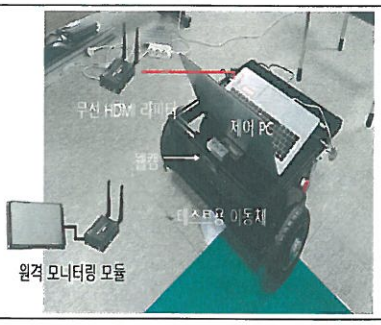
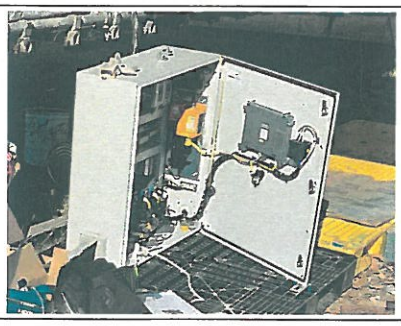
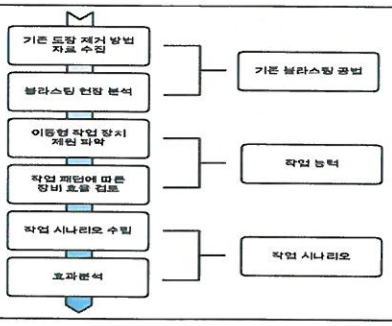
<table>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>주행체</td><td>다관절</td><td>분사노즐</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>비전시스템 유사이동체</td><td>컨트롤러</td><td>작업시나리오</td></tr>
</table>

그림 8. 2차 연도 주요 개발 내용

○ 3차 연도 목표

- 주관연구기관((주)이레하이테크이앤씨):
  - 강교 유지보수 장비에 대한 성능테스트 방안 도출
  - 강교 유지보수 장비의 성능테스트를 기반으로 하는 개선방안 도출

- 참여기관 1(에프엠글로벌):
  - 현장 성능테스트를 통한 장비의 구조적 개선 방안 도출
  - 성능테스트를 기반으로 하는 분사 노즐 및 숏 블라스팅 노즐 개선 설계 및 제작
  - 레이아웃에 대한 개선 설계 및 제작

- 참여기관 2(건설기계부품연구원):
  - 다관절 작업기의 개선 설계에 대한 구조적 취약부 분석
  - 작업현장 모니터링 장치 성능 보완

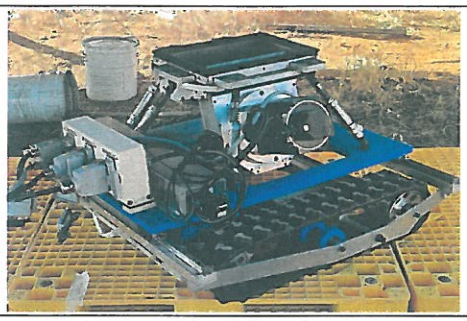
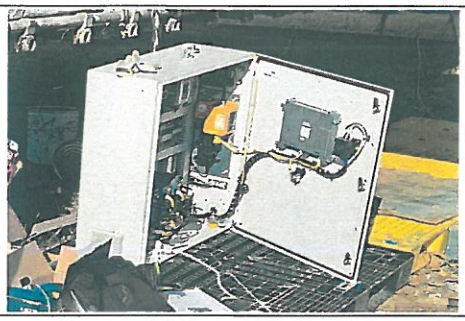
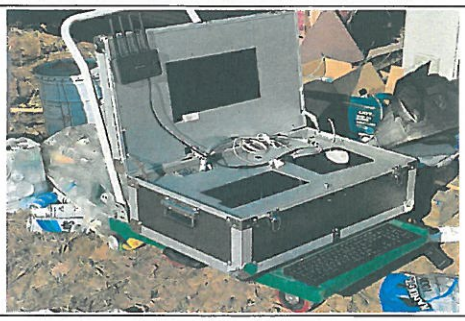
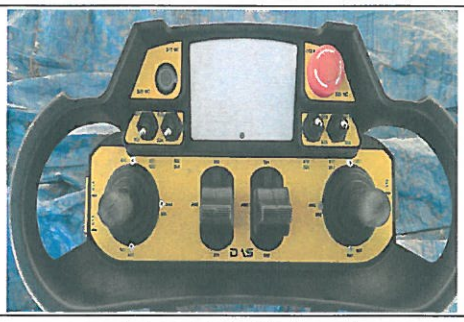
<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>통합장치(블라스, 주행, 다관절, 카메라)</td><td>통합시스템(판넬)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>원격 모니터링 시스템</td><td>원격 조종장치(리모콘)</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>장치 설정 및 셋팅</td><td>성능평가</td></tr>
<tr><td colspan="2">그림 9. 3차 연도 주요 개발 내용</td></tr>
</table>

표 1. 연구 과제의 연차별 목표

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2019)	강교유지보수 환경을 모사한 테스트 베드 구성	- 블라스팅/ 재도장 작업을 할 수 있는 테스트 베드 구성		- 테스트 베드 시제품 - 벤치마킹 보고서		10
	강교 유지보수 장비에 대한 레이아웃 및 주행체 구동부 제작	- 레이아웃 시제품 - 구동부 시제품		- 구동부 Ass'y레이아웃 2D도면/3D모델링 - 전기파워팩 구동부 시제품		20
2년차 (2020)	강교유지보수장비에 적용하고자 하는 재도장 및 블라스팅 공법 시나리오	- 블라스팅 작업을 수행할 수 있는 시나리오 작성 - 재도장 작업을 수행할 수 있는 시나리오 작성	- 기존기술 100%	- 블라스팅 작업인원이 기존 기술 대비 90%이하인 작업 절차서 및 수행방법 명기 - 재도장 작업에 대한 작업 절차서 및 수행 방법 명기	- 10%작업성 개선	5

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
2년차 (2020)	분사노즐 및 숏블라스팅 노즐개발	- 분사노즐 제작 - 숏블라스팅노즐 제작		- 분사노즐 시제품 - 숏블라스팅 노즐 시제품 (연속작업시간 30분이상 분사량 15kg/min이상)		10
	장비레이아웃 및 구동부 제작	- 레이아웃 설계 및 구동부 제작	- 장비무게 ≤ 100 (호주/SABRE) - 방수/방진 65 (호주/SABRE	- 구동부 시제품 (장비무게 250kg이하 작업높이 0.8m이하 단차극복 7cm이상 항온: -20<x<45 방수/방진 : 56)		5
	다관절 작업기 시스템 구성	- 다관절 작업기 시스템 구성		- 제어알고리즘 개발 - 3D 시뮬레이션		10
3년차 (2021)	다관절 작업기 시스템 구성	- 다관절 작업기 제작		- 다관절 작업기 시제품		10
	강교 유지보수 장비에 대한 최종 시제품	- 강교유지보수 장비 시제품	- 장비무게 ≤ 100 (호주/SABRE) - 방수/방진 65 (호주/SABRE	- 강교 유지보수 장비 시제품 (연속작업시간: 35분이상, 작업높이 0.6m이하,무게 200kg이하, 항온 -20< X <45, 방수/방진 : 56, EMS 합격		20
	강교 유지보수에대한 성능테스트 방안 도출	- 성능테스트 방안	-기존기술 100% -작업공간 h=0.6m	- 성능테스트 방안에 대한 지침서 및 절차서 (작업인원 80%이하, 작업높이 60cm이하)	-20% 작업 성 개선 -작업현장 높이 0.6m	10

○ 연차별 정량적 목표

표 2. 연차별 정량적 목표

평가 항목 (주요성능 Spec)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 (%)	세계최고 수준 보유국/ 보유기업 (/)	연구개발 전 국내수준	개발 목표치			평가 방법
			성능수준	성능수준	1차년도 (2019년)	2차년도 (2020년)	3차년도 (2021년)	
1.장비 무게 (노즐 제외)	kg	20	≤ 100 (호주/SABRE)	-	-	≤ 250	≤ 200	공인기관 입회시험
2.작업인원	%	15	-	0.08인/m^2	-	0.07인/m^2	0.06인/m^2	공인기관 입회시험
3.연속작업시간	분	15		-		30	≥ 35	공인기관 입회시험
4.작업높이 (최저 높이)	m	20	-	-	-	≤ 0.8	≤ 0.6	공인기관 입회시험
5.분사량 (노즐)	kg/min	5	-	-	10	15	-	공인기관 입회시험
6.단차극복 높이	cm	5	-	-	5	7	-	공인기관 입회시험
7.항온 (제어부)	℃	5	-	-	-	-10≤x≤40	-20≤x≤45	공인인증
8.방수/방진 (제어부)	IP	10	65 (호주/SABRE)	-	-	55	56	공인인증
9.EMS (제어부)	-	5	-	-	-	-	합격	공인인증

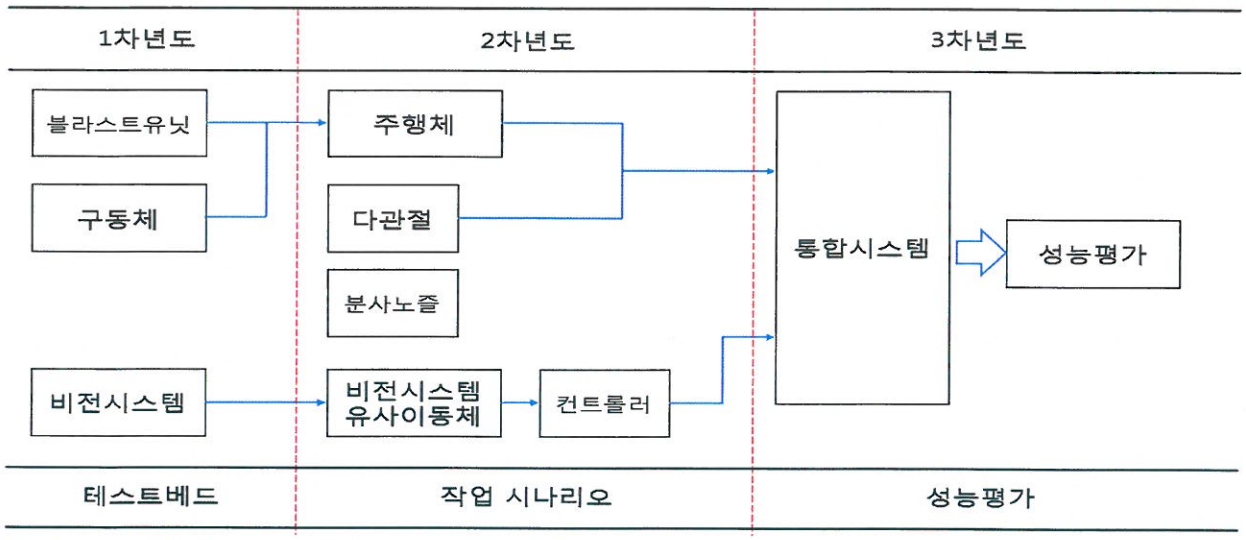
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 연구개발 과제 수행 절차

○ 연구 과제 수행 절차 요약

- 기존 재도장 공사 방법 조사
- 개발 장비의 컨셉설정 및 제작방안 수립
- 개발 장비의 성능평가 및 개발 장비에 적합한 공법 개발

→ 협소한 작업공간인 강교량 재도장 공정(도장 및 블라스팅)에 적용 가능한 이동형 작업 장치 개발



○ 강교량 재도장 장비개발의 배경

- 1995년부터 강교 설치 급증으로 인해 강교 재도장 시기가 도래하는 **2015년부터** 강교의 **재도장 요구가 크게 증가**함
- 최근 강재 부식 요인(해양 구조물, 제설용 염화물계 사용 등) 증가로 인해 강교 도장 수명이 13년에서 10년으로 급속하게 단축
  - 항만 및 항구 등의 개발로 인한 강교 설치가 급증하고 있으며, 이에 따른 해양 환경하에서의 염분으로 인해 강재 부식이 급속하게 이루어짐
  - 도로의 재설작업을 위한 염화물계 제설제가 살포되어 강교의 부식이 유발함
  - 기존 13년으로 추정되는 강교의 도장 수명은 최근에는 10년으로 감소하여 **재도장 횟수 및 비용이 증대되고 있는 추세**임
- **강교 재도장은** 작업을 위해 교량에 공중비계를 설치하고, 외부환경 오염을 방지하기 위해 작업공간이 밀폐된 협소한 공간의 극한 환경에서 작업이 이루어 짐.
- 강교 재도장 작업은 공중비계 작업공간 내에서 작업하는 **고소작업**으로 안전이 매우 취약함.
- **밀폐된 공간에서 실시되는 기존 도장을 제거하는 블라스팅 작업은 많은 분진이 발생하여 작업자의 호흡기 질환을 유발함.**
- **교량하부의 형하공간을 확보하기 위해 작업공간 높이가 0.6m이하로 작업자가 누워 작업하므로 작업효율이 저하됨.**
- 강교의 부식 방지를 위한 **강교 재도장 공사는** 열악한 작업환경과 생산성 저하로 **산업재해위험**, 공사 비용 증가 하므로 **작업환경 및 방법 개선이 절실함**.

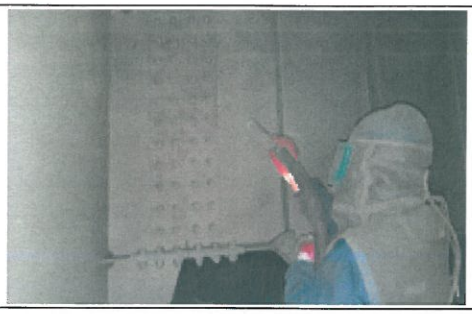



그림 10. 비계작업 및 보양작업

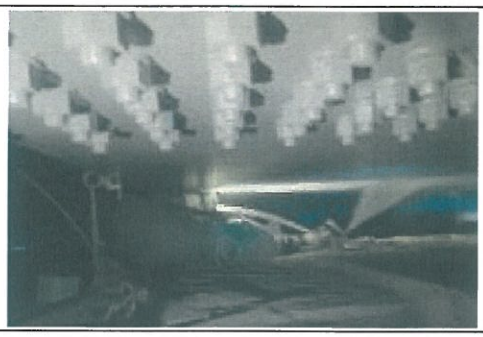



그림 11. 재도장 현장의 열악한 환경

○ 강교 재도장 공정

- 강교 재도장 공정은 크게 4단계로 구분되며, 전체 공정 중 1 단계 비계 및 보양 설치와 **2단계 도장층&오염물 제거 공정이 전체 비용 80% 이상으로 차지하고 작업 위험도 매우 높음**

구분	내용	공정 및 소요 비용	작업 위험도
1단계	비계 설치&유해물질 비산 방지 보양 작업	25%	40%
2단계	도장층, 가용성 염류 및 오염물 제거 (인력 - 핸드 그라인딩, 기계식 - 쇼트 블라스트 등)	45%	40%
3단계	강교 도장 작업 및 양생 처리 (상,중,하도 및 코팅 작업)	20%	10%
4단계	1단계 작업환경 조성 비계 해체 작업	10%	10%

그림 12. 강교 재도장 공사의 공정 소요비용 및 작업 위험도

○ 국외 기술 현황

- 전통적인 샌드 블라스팅 장비 및 도료 등을 개발하는 업체가 다수 있으며 교량 유지보수 사업뿐만 아니라 오일/가스, 선박 사업 등에서 활용되고 있음. 일부 선두 업체에서는 로봇암 형태의 작업기를 바탕으로 무인 자동화 블라스팅 및 도장 로봇을 개발하고 실용화하고 있음
- 독일 torbo 社는 천연석, 콘크리트 또는 다양한 금속에 적용 가능한 습식 샌드블라스팅 장비 제조업체로, 업체 장비는 세계적으로 오일/가스 산업, 역사 유적지, 건물 크리닝, 선박 유지 보수 등에 사용되고 있음



그림 13. 독일 torbo 社의 습식 블라스팅

- 호주 Burwell 社와 BLASTONE 社는 표면처리 선두업체로 주로 전통적인 블라스팅, 블라스트 룸, 먼지 추출 시스템 등 다양한 표면처리 모듈 및 장비를 제조하고 있음. 특히 BLASTONE 社는 Blastman 로보틱스 社와의 협업을 통해 자동화 페인팅 로봇을 개발함

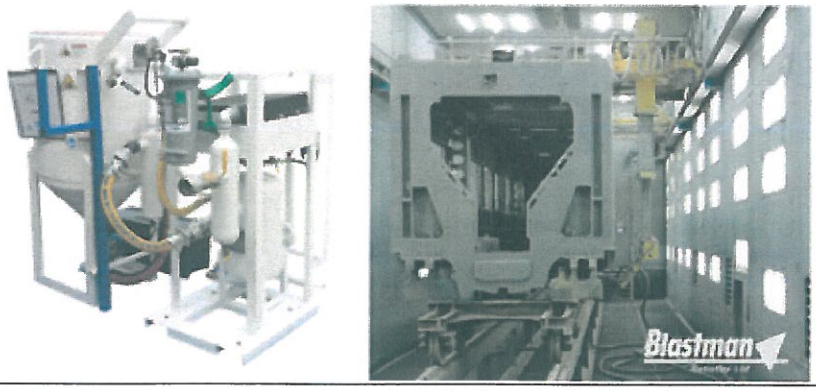


그림 14. 호주 BLASTONE 社의 블라스팅 사업

- 호주 SABRE Autonomous Solutions 社는 두 개의 Schunk lightweight 암과 블라스터 피스톨을 장착한 블라스팅 로봇을 개발함. 현재 Sydney Harbor 교량(485,000 sq meters)의 샌드 블라스팅 작업과 리페인팅 작업에서 사용되고 있음.

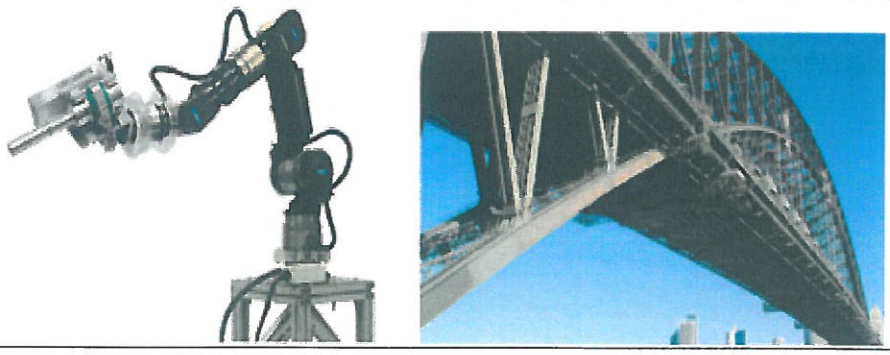


그림 15. 호주 SABRE Autonomous Solutions 社의 블라스팅 로봇

○ 국내 기술 현황

- 해외 업체와 마찬가지로 다수 업체가 전통적인 샌드 블라스팅 장비 및 도료 등을 개발하고 있으며 2000년대 중반부터 대학 연구소를 중심으로 원격 교량검사 및 보수용 로봇차량을 개발하고 있음
- ㈜케이닉스공사는 내구성 구현 및 세균번식 억제등 내구 연한을 향상시키는 친환경 도료를 전문으로 개발하는 업체로 최근에 철재구조물용 도장 공법을 제시하였음. 이 공법은 유화제를 포함하지 않는 상온 가교형 수성

아크릴 수지를 메탈컴플렉스시켜 고기능성 도료를 철구조물 표면에 도포하여 피막을 형성함으로써 친환경, 초중방식, 초내후성 방식을 개발함



그림 16. 주식회사 케이닉스공사의 철재구조물 도장 공법 시공과정

- 국내 교량검사 로봇 개발 연구단(Bridge Inspection Robot Development Interface; BIRDI)에서는 교량의 정기검검 및 정검을 자동화하여 객관이고 신뢰성이 높은 데이터를 획득하고 통합할 수 있는 **첨단굴절로봇차를 개발함**



그림 17. 교량검사 로봇 개발 연구단의 굴절 로봇차

- 국내 강교량 재도장 공사 현장 및 공법

표 3. 강교량 재도장 공사 바탕면 처리 공법 비교

공법	방법1	방법2	방법3	방법4	방법5
	전동공구(그라인더)	샌드블라스트	고주파 열처리	레이저 처리	PS볼 블라스트
작업 방법	기존 도장은 전동연마 공구를 이용하여 연마 제거	모래를 고압분사장비로 고속 분사하여 기존 도장 제거	유도가열장치를 이용하여 도장면을 가열함으로써 기존 도장면 제거	도장의 색상주파수를 증폭하는 파장으로 레이저를 투사하여 기존 도장을 태우는 방법	샌드블라스트 대체공법으로 모래 대신 P.S Ball을 고압분사 장비로 고속 분사하여 기존 도장 제거
특징	· 인력 작업으로 속도가 느림 · 전동공구에 의한 작업자 사고 위험 · 비산먼지 발생. · 기존 강판 손상 우려 · **재도장 공사의 대부분(90%) 적용**	· 폐기물 수량과다(모래+폐도장재) · **재활용 불가** · 비산먼지 등 환경오염 과다 발생 · 작업자 건강 위협 · 샌드블라스트용 모래 수급 곤란 · 가격 고가 · 환경오염 문제로 사용 불가	· 효율 우수 · **원하지 않은 부위(강교내부)와 외부가 동시 탈락** · 하자발생 많음 · 볼트 등 요철 부위 적용 불가	· 도입초기 · 장비고가 · **색상별 별도의 주파수를 알아야 사용가능** · 부품등 소형 강재의 녹을 제거하는 용도로 적용 사례있으나 교량등 대형 구조물에 적용 사례 없음	· 샌드블라스트 대체용으로 도입 · 1~2회 정도 재사용 가능하나 폐기물 발생량 많음 · 외부에서 재료를 공급 하므로 설비가 큼 · 폐도장재+PS볼 혼합 폐기물 처리 곤란

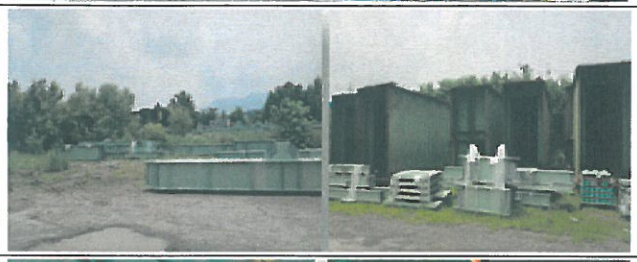
공법	방법1	방법2	방법3	방법4	방법5
	전동공구(그라인더)	샌드블라스트	고주파 열처리	레이저 처리	PS볼 블라스트
기술 개발 배경	• 강교 도장 유지보수에 적용 하고 있는 국내 표면처리 방법은 가격 문제로 **대부분 SP3 수준인 동력공구 세정(전동공구) 수준** • **해외의 경우** Blast Cleaning을 실시하나 작업속도가 매우 늦어 **국내 실정에 맞지 않음**(4㎡/hr) • 최근 국내에 도입되는 표면처리 방법인 PS볼을 이용한 블라스트 크리닝은 국내 2-3개의 업체만 시공이 가능할 정도로 아직 기술도입 초기에 있으며 비산먼지로 인한 민원이 빈번하게 발생하여, 비산먼지의 확산을 막기위한 **작업공간의 밀폐는 작업자의 건강을 위협과 작업효율 저하**의 문제가 발생 • PS볼을 이용한 블라스트 클리닝 작업은 **30분 작업 후 10분 이상의 필수 휴식** 시간을 취해야 작업이 가능 • 특히 강재 거더의 하부는 높이 **60㎝정도의 공간**에서 작업이 이루어지므로, 밀폐되고, 분직이 가득한 공간에서 **작업자가 누워 작업**을 해야 하는 열악한 상황				
PS볼 블라스팅					

2) 공기 단축을 위한 생산성 향상에 기반을 둔 재도장 공법 개발

○ 재도장 공사현장 방문

- 기존 재도장 공사 현장 방문을 통해 공사현장의 환경, 작업조건, 사용장비, 작업순서, 효율을 파악함.

표 4. 재도장 공사 현장 방문 일정

일 정	과 정	수 행
2019.07.12		-교량과 합판 사이 거리측정 -블라스팅 작업 현장 실사 -작업 시 조건 및 환경 파악 -트랙장비 구조 파악
2019.07.16		-강교 제작 공장 방문
2019.09.04		-강교량 측면 통로 및 작업 환경실측 -강교량 위보기 작업 환경 실측

○ 강교 재도장 공사 절차

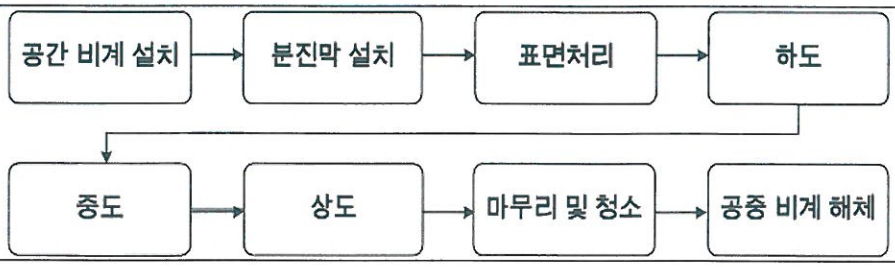


그림 18. 강교량 재도장 공사 절차도

○ 기존 도장 제거 작업 품질 규정

- 교량 외부(볼트 및 연결단 포함) - SSPC-SP3(전동공구 사용)
- 블라스트 - Sa2 ½ 이며, 육안으로 페인트 관찰시 기름, 그리스, 먼지 및 스케일, 녹, 페인트 도막, 기타 이물질이 없어야 한다.

○ 블라스팅 관련 품셈 기준

- 2020년 건설 표준 품셈 12-1-1, 강교 보수 바탕처리

표 5 강교량 바탕면 처리품

구 분	규 격	단 위	수 량(m^2)		
			A급	B급	C급
도장공	-	인	0.23	0.14	0.09
보통인부	-	인	0.1	0.06	0.04
트럭탑재형 크레인	5ton	hr	0.3	0.18	0.12

※ A급 : 기존 도장의 탈락이 극히 심하고 부식이 심한 기타 부착물을 완전히 연마하여 철판의 전면을 노출시켜야 할 정도

B급 : 재래 도장의 탈락이 심하고 부분적으로 부식이 되어 대부분의 도막 및 기타 부착물의 완전 제거를 요하는 정도

C급 : 재래도장이 누출되어 있는 녹을 제거하고 기타는 와이어 브러쉬로 청소할 정도

- 우리나라 강교는 1990년대 이후부터 2000년대 초반에 건설 수량이 급증하여 최근까지 부분적인 보수에 해당하는 C급 수준의 바탕처리가 주를 이루었으나 최근 A급 수준의 전면 재도장 요구가 증가하고 있다.
- 최근 강교 재도장 공사에 주로 적용되는 바탕처리 수준은 B급으로 적용되고 있다.

○ 강교량 유지 보수 도장면 바탕처리 공법 생산성 비교

표 6 강교량 바탕면 처리 일일 작업량

공법	전동공구 (그라인더)	샌드블라스트	고주파 열처리	레이저 처리	PS볼 블라스트
작업량	50㎡/일	90㎡/일	36㎡/일	(실적 없음)	90㎡/일
바탕처리 방법	 전동공구(그라인더)		 샌드 블라스트		
	 고주파 열처리		 레이저 (녹제거에 적용)		
	 PS Ball 블라스트				

○ 강교량 재도장 공사의 블라스팅 작업 분석(기존 작업현장 방문)

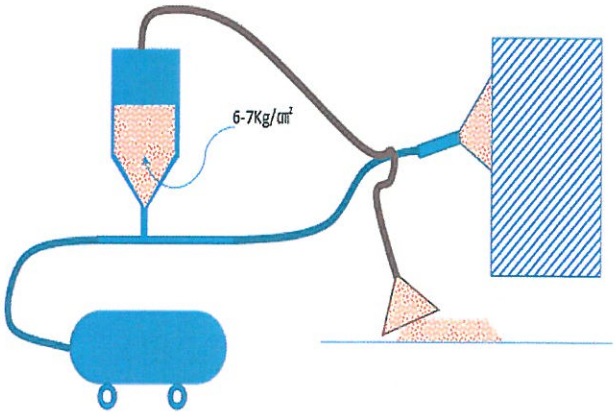
- 작업조 구성

블라스팅Set	+	분사노즐(1) 연마재회수(1)	+	분사노즐(2) 연마재회수(2)	+	분사노즐(3) 연마재회수(3)
(보통인부)		(도장공 2인)		(도장공 2인)		(도장공 2인)

- 투입 장비 및 인원 / 일

표 7 바탕면 처리 작업조 구성

항목	장비명	수량	작업내용
장비 구성	· 블라스팅Set (분사노즐 3조)	1	· Blast 연마재 이송 및 가압 · 연마재 회수 · 작업 동력 공급
인력 구성	· 도장공 · 보통인부	6 1	· Blasting 및 폐연마재 회수 · 연마재 공급 및 장비관리



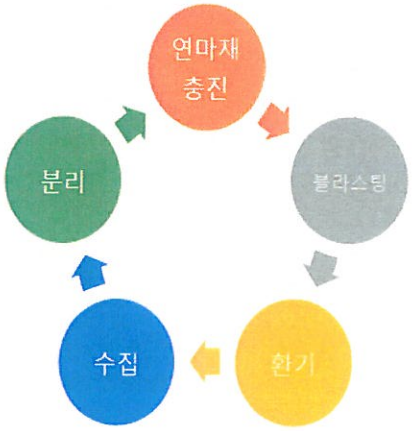


그림 19. 블라스팅 작업도

- 현장 측정 작업 시간

표 8 작업시간 측정

작업내용	작업시간	대기시간	측정 시간
현장 투입(연마재 충진)		10분	08:00-08:10
Blast 작업	33분		08:10-08:43
연마재 충진 (800Kg)- 감압 1분포함		5분	08:43-08:48
Blast 작업	33분		08:48-09:21
연마재 충진 (800Kg) -감압 1분포함		5분	09:21-09:26
Blast 작업	33분		09:26-09:59
이동 후 휴식 (작업장 -> 외부)		30분	09:59-10:29
현장 투입(연마재 충진)		10분	10:29-10:39
Blast 작업	35분		10:39-11:14
연마재 충진 (800Kg) -감압 1분포함		5분	11:14-11:19
Blast 작업	31분		11:19-11:50
현장 정리		10분	11:50-12:00
식사 및 휴식			12:00-13:00
현장 투입(연마재 충진)		10분	13:00-13:10
Blast 작업	33분		13:13-13:43
연마재 충진 (800Kg)- 감압 1분포함		5분	13:43-13:48
Blast 작업	33분		13:48-14:21
연마재 충진 (800Kg) -감압 1분포함		5분	14:21-14:26
Blast 작업	33분		14:26-14:59
이동 후 휴식 (작업장 -> 외부)		30분	14:59-15:29
현장 투입(연마재 충진)		10분	15:29-15:39
Blast 작업	35분		15:39-16:14
연마재 충진 (800Kg) -감압 1분포함		5분	16:14-16:19
Blast 작업	31분		16:19-16:50
현장 정리		10분	16:50-17:00
계	330분	150분	

- 작업 흐름도

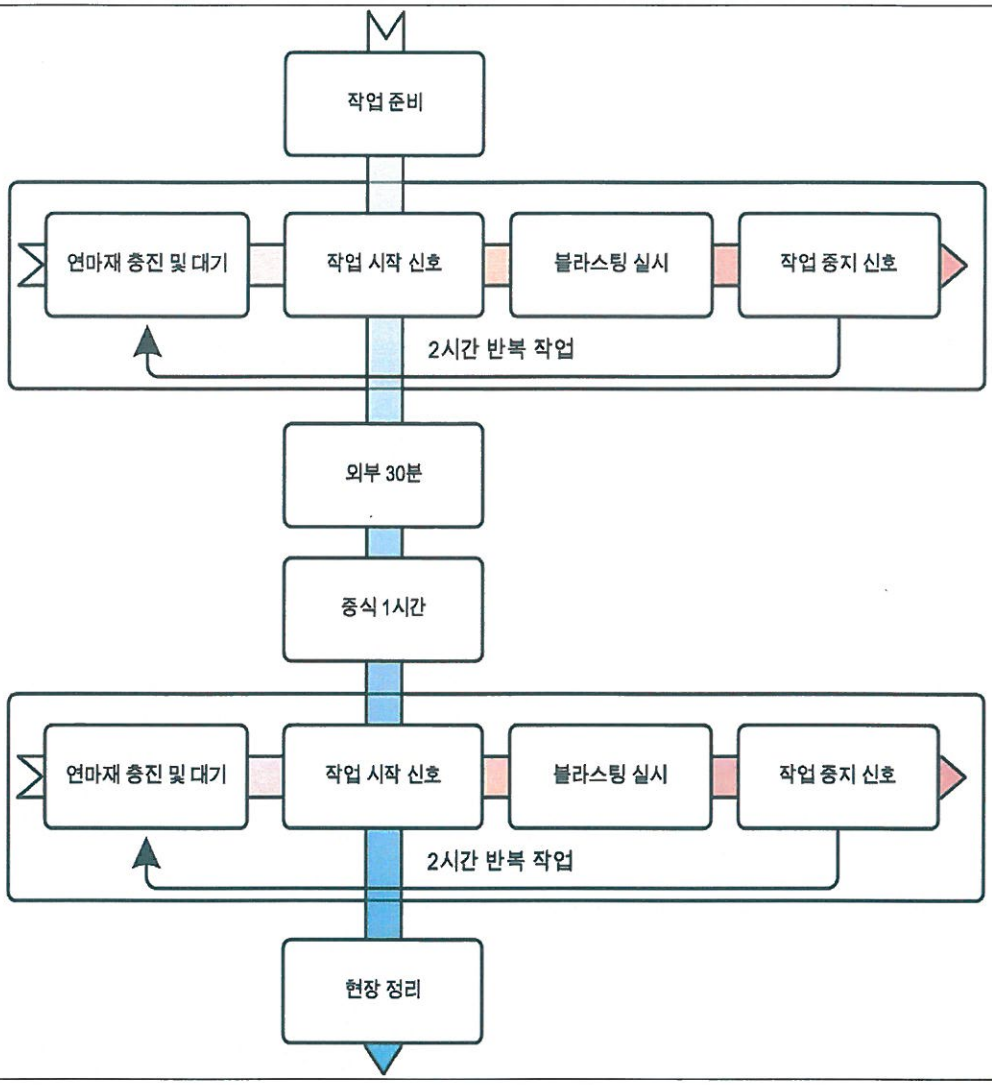


그림 20. 기존 블라스팅 작업 흐름도

표 9 일일 작업시간 분류

공정	실작업시간	대기	비고
작업준비 및 대기		60분	
연마재 충진 및 대기		30분	
Blasting	330분		
휴식		60분	
계	**330분**	**150분**	**중식 시간 제외**

- 측면작업/ 하부작업 구간별 작업 속도
  - 현장 작업자와 인터뷰를 통한 현장 작업 경험치를 적용함
  - 하부작업은 작업여건상 누워서 작업을 하며 이동에 제약이 많고 작업자의 자세교정이 어려워 작업속도가 지연되는 것으로 확인됨
  - 일반적으로 하부 작업이 측면 작업을 실시할 때 보다 동일 면적 작업시 3배의 시간이 소요되는 것으로 나타남

표 10 구간별 작업속도

구 분	측면 작업	하부작업	합계
작업속도비(1)	3	1	
작업 면적비(A)	① ② 2	① 1	
작업속도 비	3	1	
작업조 구성	블라스팅 3개조(6명)	블라스팅 3개조(6명)	블라스팅 3개조(6명)
일일 작업시간	132분/60㎡	198분/30㎡	330분(1일)/90㎡

○ 이동형 작업장치를 이용한 재도장 공사작업 시나리오 작성을 위한 절차도

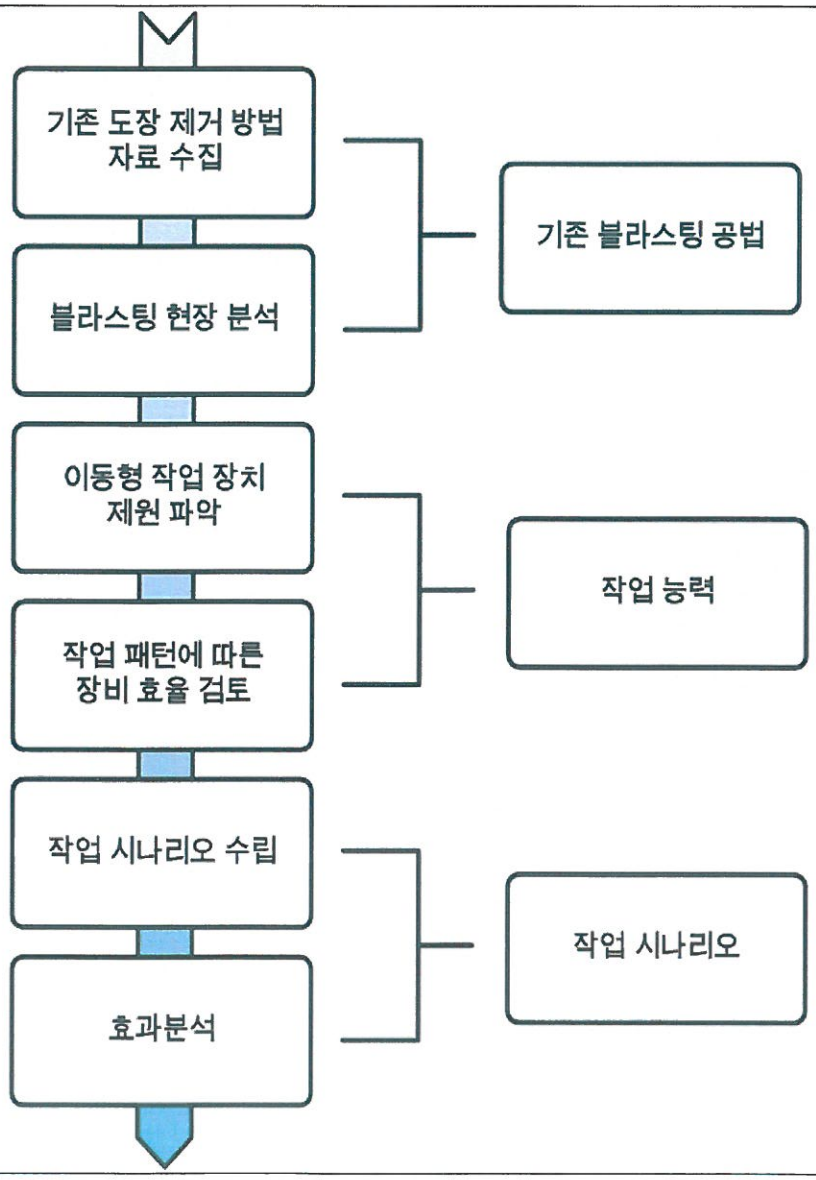
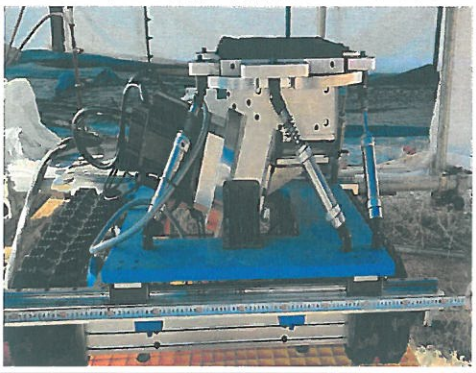


그림 21. 공사 작업 시나리오 작성 절차도

○ 이동형 작업장치 제원

표 11 작업장치 제원



구분	내용
외관	B = 1,101mm, L = 1,320mm, H = 609mm
작업장치 (Blasting)	폭 50mm, 길이 250mm (유효길이 210mm)
자동이동거리	이동거리 350mm, 최대 작업폭 420mm, 유효작업폭 400mm
작업속도	12.5mm/sec
이동속도	수동 148.5mm, 자동 5m/min (83.33mm/sec)

○ 작업효율에 영향을 미치는 요소 파악 및 실험

- 충돌 에너지
  - 숏블라스트는 피도면에 고속으로 연마재를 충돌 시켜 충돌에너지로 기존 도막을 제거한다. 따라서 충돌 에너지는 작업효율과 직접적인 영향이 있다.

$$KE = 0.5mV^2 \qquad (1)$$

여기서, **m은 스틸볼의 질량, V는 스틸볼의 투사속도**를 나타낸다.

m : Steel Ball의 크기, V : 임펠라 회전속도

- 연마재의 입형 및 크기
  - 임펠라 블라스트의 연마재는 구 형태의 Steel Ball을 사용하며 크기는 0.6mm ~ 2.0mm로 다양하다
  - 연마재의 크기에 따라 연마재의 질량에 변화가 있고, 피도면의 조도에 관계가 있다.
  - 연마재의 크기가 증가 할 수록 피도면의 조도가 증가한다.
  - 피도면의 조도 기준은(강교량 도장 시방서 기준) 25~75㎛ 이다

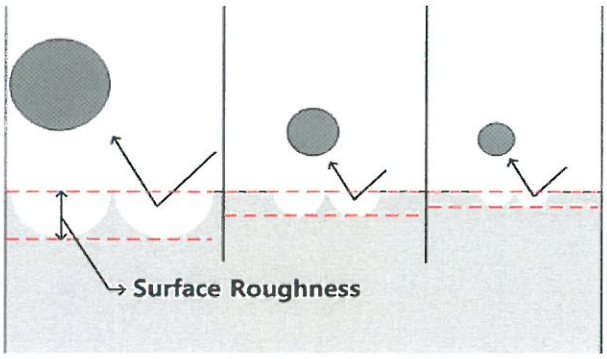


그림 22. 연마재(STEEL BALL)크기와 바탕면 조도

- 연마재의 투사시간
  - 블라스트가 정지한 조건에서 연마재의 투사 시간이 증가함에 따라 블라스트 면적이 증가한다.

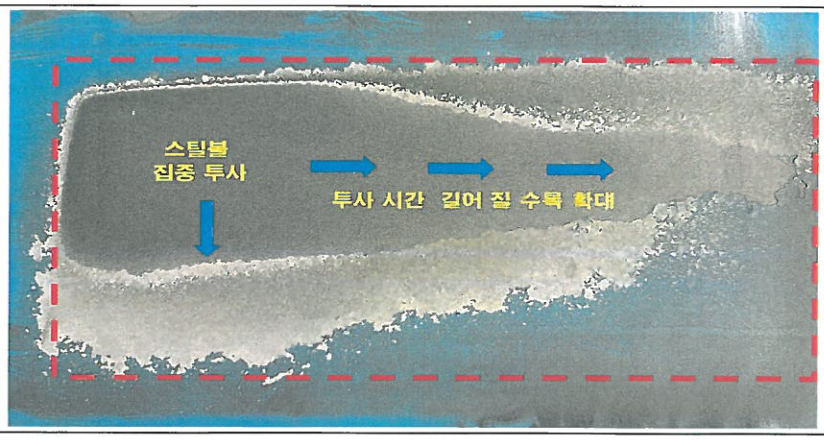


그림 23. 노출시간과 블라스트 면적

- 임펠라 회전속도, 연마재의 크기, 투사시간을 변경하여 블라스트 작업면적과의 관계 분석을 위한 실험

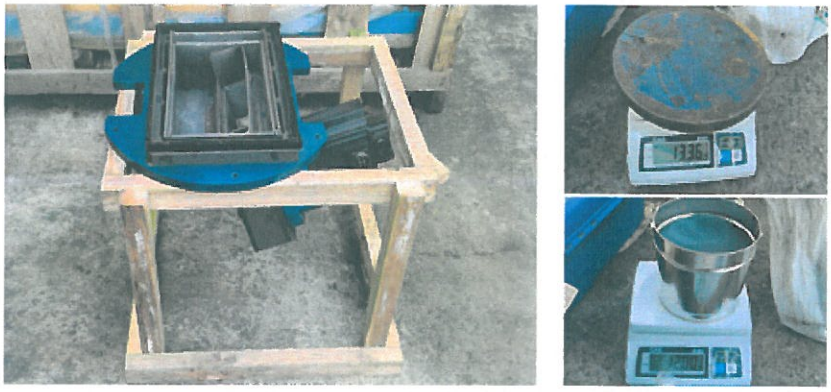


그림 24. 임펠라 블라스트 성능 평가를 위한 시험 준비

• 스틸볼 직경과 표면조도

·· 회전속도 2500rpm시 2.0mm 직경의 스틸볼은 각각 1.0mm, 0.6mm 직경의 스틸볼보다 조도 기준으로 각각 56.8%, 46.8% 상승하는 것을 확인 했으며 1.0mm과 0.6mm 직경의 스틸볼 간의 비교에서는 1.0mm직경의 스틸볼이 6.8% 표면조도가 상승하는 것을 확인하였다.

• 임펠라의 회전 속도와 유효면적

·· 회전 속도가 높을수록 전반적으로 유효 면적이 증가하는 것으로 나타났다.

표 12 연마재 크기, 회전속도와 표면조도 시험결과

직경 (mm)	회전 속도 (rpm)	표면 조도		
		하부	상부	평균
2.0	3000	75	70	72.5
	2500	70	68	69
	2000	67	65	66
1.0	3000	45	48	46.5
	2500	44	50	47
	2000	42	49	45.5
0.6	3000	46	45	45.5
	2500	43	45	44
	2000	41	44	42.5

표 13. 연마재 크기, 회전속도와 유효면적 시험결과

직경 (mm)	회전 속도 (rpm)	유효면적(cm^2)
2.0	3000	292
	2500	224
	2000	170
1.0	3000	155
	2500	189
	2000	104
0.6	3000	166
	2500	113
	2000	59

• 노출시간

·· 노출시간이 증가함에 따라 스틸볼 직경과 관계없이 표면처리 면적이 증가하는 경향을 확인할 수 있었고, 직경 2.0mm의 스틸볼이 가장 큰 유효 면적의 표면처리가 가능함을 확인할 수 있었다.

표 14. 유효폭 유효길이 측정 결과

직경 (mm)	회전속도 (RPM)	노출시간 (sec)	유효면적 (cm2)	유효폭 (cm)	유효길이 (cm)
2.0	3000	8.5	220.32	7.2	30.6
		7.0	202.15	6.5	31.1
		5.5	173.46	5.9	29.4
		4.0	161.28	5.6	28.8
1.0	3000	8.5	139.86	6.3	22.2
		7.0	133.76	6.4	20.9
		5.5	131.48	7.6	17.3
		4.0	114.84	5.8	19.8
0.6	3000	8.5	132.6	6.8	19.5
		7.0	102.44	5.2	19.7
		5.5	86.4	6	14.4
		4.0	78.1	5.5	14.2

표 15. 노출시간과 초당 유효면적의 관계

직경 (mm)	회전 속도 (rpm)	노출시간 (sec)	초당 유효면적(cm^2/sec)
2.0	3000	8.5	25.9
		7.0	28.9
		5.5	31.5
		4.0	40.3
1.0	3000	8.5	16.5
		7.0	19.1
		5.5	23.9
		4.0	28.7
0.6	3000	8.5	15.6
		7.0	14.6
		5.5	15.7
		4.0	19.5

- 블라스트 장비의 작업 조건 결정

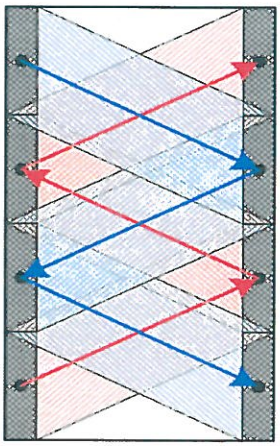
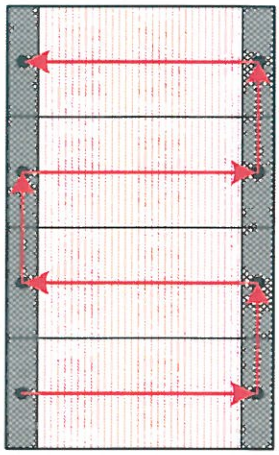
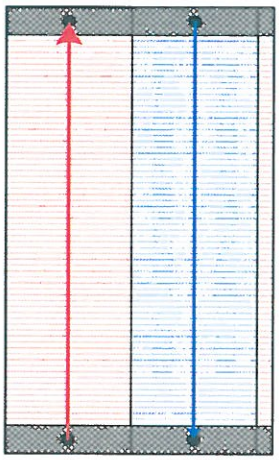
표 16. 블라스트 장치 적용값

항목	최대	적용	비고
Steel Ball 크기	2.0mm	2.0 mm	
임페라 회전 속도	5,000 rpm	3,000 rpm	
블라스트 이동 속도	14.0 mm/sec	12.5mm/sec	
유효길이	288 mm	200 mm	겹침 반영

○ 실험결과를 바탕으로 한 작업패턴에 따른 작업효율 검토

- 작업조건
  - 강교연장 14m, 폭 2.5m 작업(A=35m²)
  - 좌우 작업유효폭 400mm, 이동 작업속도 12.5mm/sec
  - 종방향 이동속도 5,000mm/min = 83.3mm/sec

표 17. 작업효율 검토 비교표

항목	작업방법 1	작업방법 2	작업방법 3
작업방법			
장비회전 시간	· 작업구간 끝 부분에서 장비 방향 180° 회전 소요시간(2분)	· 작업구간 끝 부분에서 장비 방향 180° 회전 소요시간(2분)	· 작업구간 끝 부분에서 장비 방향 180° 회전 소요시간(2분)
결과	• 작업시간 방법1 : 438분. **방법2 : 244분**, 방법3 : 269분		

○ 이동형 작업장치를 적용한 작업방법(시나리오) 제안

표 18. 작업효율 검토 비교표

구 분	기존방법	이동형 작업장치 포함 작업	비고
작업팀구성	· 인력 Blast 3개조	· 인력 Blast 2개조 · 이동형 작업장치 1개조	
작업인원	7명	7명	
일일작업량	90m²/일	142m²/일	· 작업효율 58%향상
작업시간	· 인력 330분	· 인력 314분 · 이동형 작업장치 320분	· 인력과 장비 동시 작업

- 인력 블라스팅 작업 시간을 실제 작업시간 기준으로 기존 330분/일 에서 314분/일로 줄일 수 있다.

- 하면(下面) 작업 (47.5㎡/일)을 기계작업으로 실시하여 작업효율을 36% 개선할 수 있다.

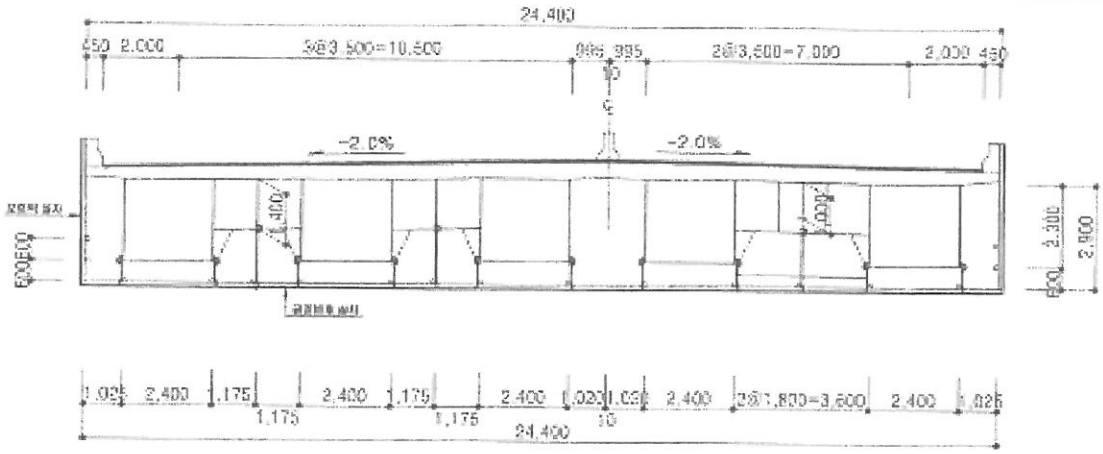
표 19. 작업인원 비교

항목	기존방법	이동형작업장치 포함 작업	비고
인력 작업품	7명 ÷ 90㎡/일	7명 ÷ 142.5㎡/일	-
단위면적당 작업인원	0.077인/㎡	0.049인/㎡	기존 대비 64%

3) 개발 장비 시험을 위한 테스트 벤치 구축

○ 실제 작업환경을 모사하여 개발 장비의 성능 평가를 위한 테스트베드 제작

- 작업현장 도면 확인



* 외부에 설치되는 비계 구조물 중, 설치조건이 불리한 구간에 대하여 해석을 통한 안전성 검토를 수행한 것으로 설치높이와 작업조건이 유리한 기타 구간에 대해서도 등등 이상의 안전도를 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

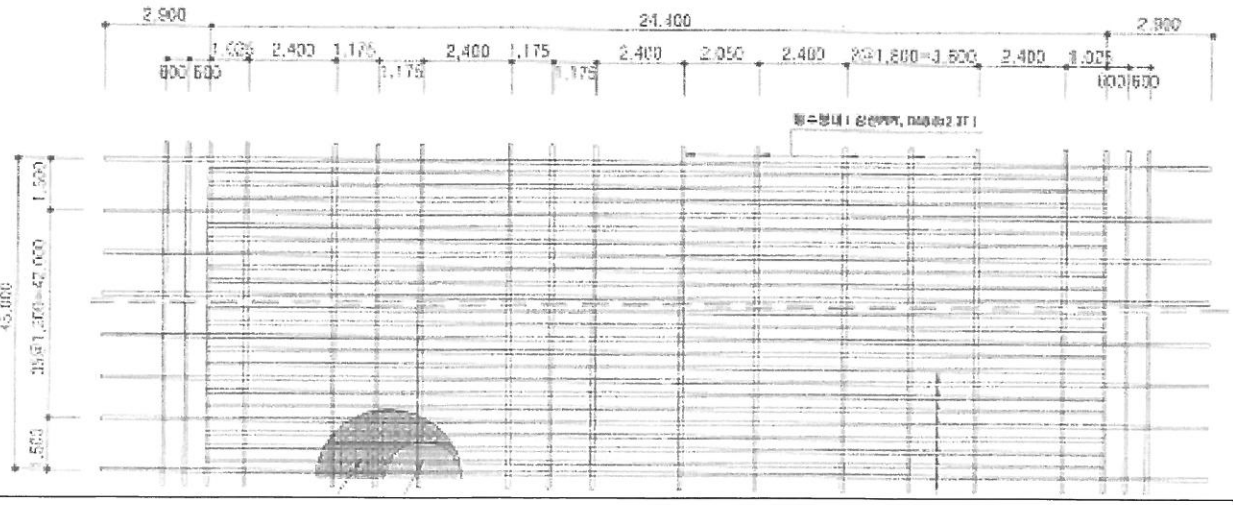
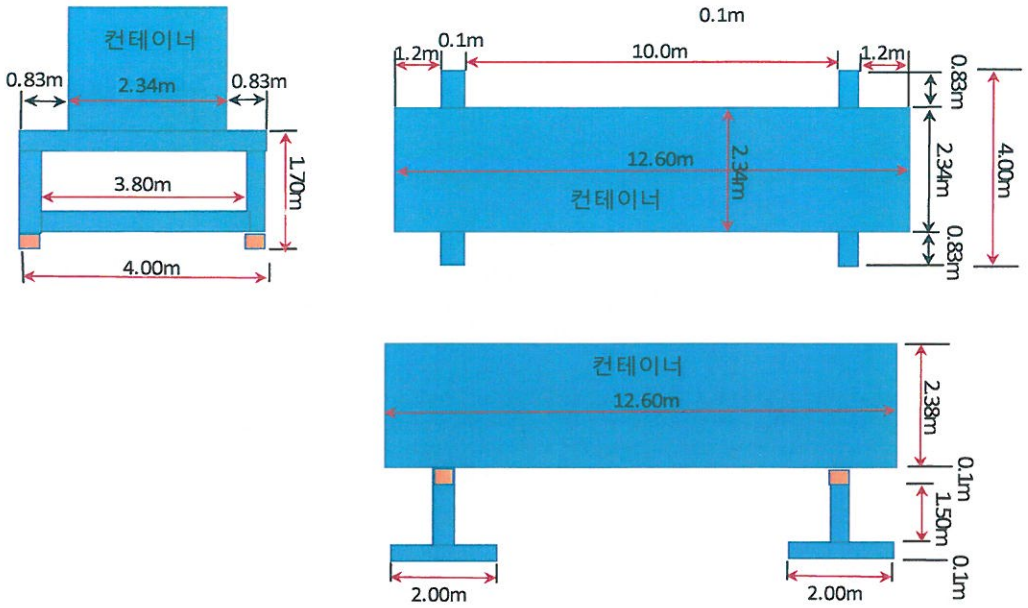
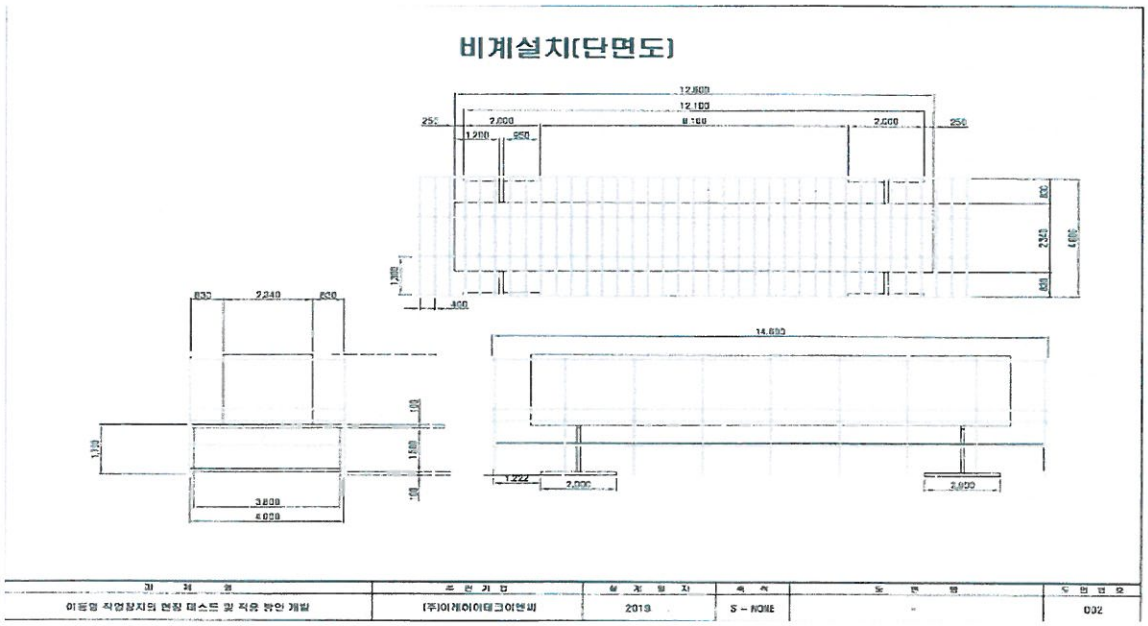


그림 25. 강교량 재도장 공사 비계 설치 도면

- 테스트 베드 제작을 위한 도면 작성





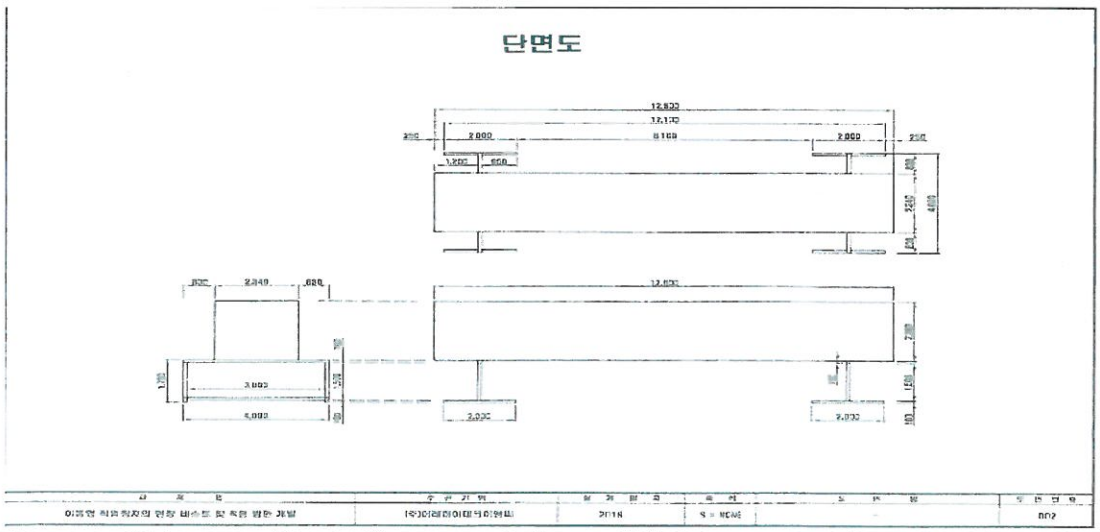


그림 26. 테스트 베드 제작 설치 도면

- 강교량 재도장 공사 작업현장을 반영한 테스트 베드 제작

항목	실물 작업현장	테스트 베드
밀폐 고공		
	밀폐된 고공 작업현장	외부 천막 밀폐 및 공중비계 설치
협소 공간		
	강 거더와 공중비계 작업 공간 제약	작업공간 60cm 확보
지장물		
	작업 공간내 수직 지장물	작업 공간내 수직 지장물 설치
단차		
	테스트베드내 바닥판 설치	테스트베드내 바닥판 설치

그림 27. 실물 작업현장과 테스트 베드 비교

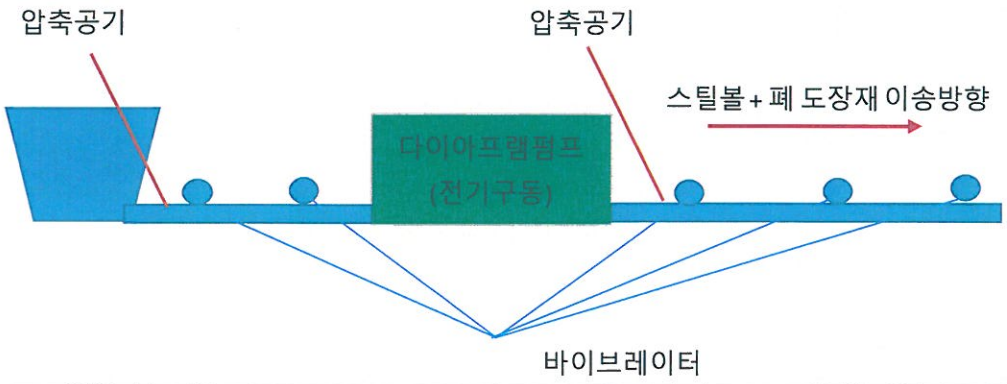
○ 테스트 베드내 개발 장비 성능 시험을 위한 준비

- 에어 블라스트 및 임펠라 블라스트의 성능을 테스트 베드내에서 모사하기 위한 항목을 설정하였으며, 특히 연마재 재사용이 가능한 스틸볼의 적용을 검토함

표 20. 테스트베드 성능 시험 항목

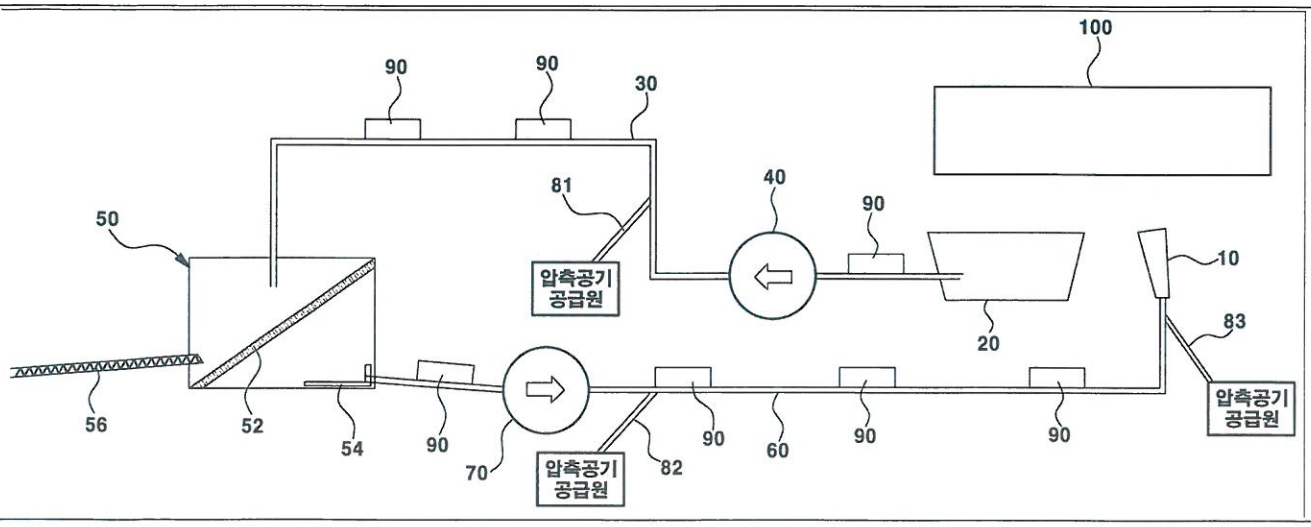
항목	에어 블라스트		임펠라 블라스트
연마재	PS볼	스틸볼	스틸볼
특징	• 폐기물 및 비산분진 발생량 많음 • 연마재의 단위 중량이 적어 이송중 막힘현상 없음	• 폐기물 재활용이 가능하고 비산 분진 발생이 샌드 및 PS볼에 비해 적음 • 연마재의 단위 중량이 커 고압의 공기 압축기 필요	• 폐기물 및 비산분진 발생 최소 • 연마재의 이송이 없어 장치 간단
성능 시험	시연 가능	장치개선 필요	개발 예정

- 테스트베드 성능 시험 항목에 따라 스틸볼을 연마재로 하는 에어 블라스트를 모사하기 위해 장치 개선안 도출 및 특허 출원
  - 스틸볼 연마재를 바이브레이터로 진동 후 고압의 에어를 분사하여 스틸볼이 유동화 하여 쉽게 이송 할수 있는 원리를 이용한 장치 고안



- 스틸볼을 연마재 사용하는 발명특허 출원
  - 특허 출원 번호 : 10-2019-0149409 (일자 : 2019년 11월 20일)
  - 명칭 : 교량에 설치된 스틸박스거더의 노후 도장막 제거 시스템

- 특허 출원 장치 구성 내용



○ 소규모 테스트 베드

- 고정식 다관절 장치의 성능 평가에 적합한 바닥 단차 없는 테스트 베드 제작



제작



완성



시험

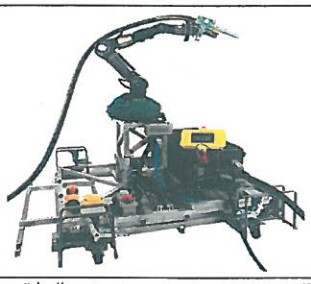
그림 28. 소형 테스트 베드 제작

4) 강교량 재도장 공정(도장 및 블라스팅)에 적용 가능한 이동형 다목적 장치 설계

○ 국내외 선진사 제품에 대한 벤치마킹

- 해외 강교 유지 보수 장비 조사

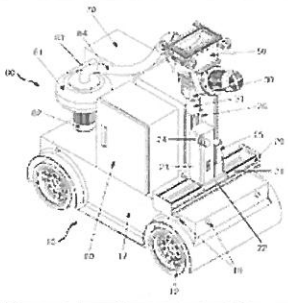
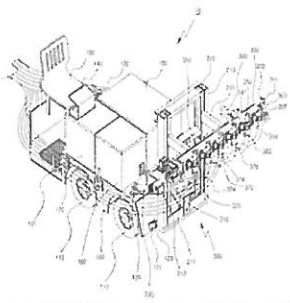
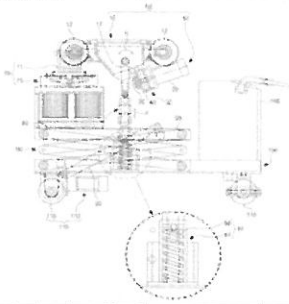
표 21. 해외 강교 유지 보수 장비

구분		호주	체코	영국
제조사		SABRE AUTONOMOUS SOLUTIONS	PKIT PRAHA SRO	ECOBLAST SUPPLIES
장비명		Seibeo Lobos Beullaeseuteo	Mobile Robot	Torbo Mate Crawler
장비사진				
주요기능		- 현재 Sydney Harbor 교량(485,000sq meters)의 샌드 블라스팅 작업과 리패인팅 작업에서 사용 - 레일을 이용하여 이동하며 총 중량은 300kg 이하 - 블라스트 노즐을 고정 후 다관절을 이용하여 원하는 곳에 작업 가능	- 노즐부는 다관절로 되어 있어 어떤 위치든 작업 가능 - 협소 공간 및 작업자가 작업하기 힘든 위치 작업 가능	- 원격 제어 세척기계로 수직 또는 역방향 표면을 사용할 수 있어 송풍세척 공정을 자동화 - 바퀴로 이용하여 이동하며 전자석을 부착하여 수직 방향도 작업 가능 - 무선 원격 장비
분석	장점	- 다관절을 사용 하여 어떤 작업 면이든 작업이 용이 - 중량이 가벼워 설치 가능한 곳이 다양	- 다관절을 사용하여 어떤 작업면이든 작업이 용이 - 바퀴로 이동 하므로 왠만한 작업공간은 이동 가능	- 바퀴로 이동하므로 왠만한 작업공간은 이동 가능 - 전자석을 이용하여 수직 방향으로 이동 가능 - 원격 장비로써 협소 공간 작업 시 작업자가 들어갈 필요가 없음
	단점	- 레일을 설치 할 수 없는 바닥면일 경우 작업성이 용이하지 않음 - 작업 도중 블라스트 연마제 수거 불가능	- 단차가 높은 장애물은 이동 불가능 - 작업 도중 블라스트 연마제 수거 불가능	- 작업 후 쇳가루가 전자석에 붙어 있는 경우가 자주 발생 - 전자석이 닿는 부분이 자성이 없는 경우 수직 방향 작업 불가능

- 다관절 형태의 원격 제어하는 장치가 있으나, 강교량 재도장 공사 작업중 가장 작업이 어려운 협소공간(높이 0.6m) 이하의 조건을 만족하지 못했다.

- 협소공간 높이 0.6m 이하에서 작업가능의 조건을 만족하는 장치를 개발하기 위해 이동형 블라스팅 장치관련 국내 특허를 조사하였다.

표 22. 블라스트 특허 조사

명칭	선박의 위보기 전처리 작업용 이동식 블라스팅 장치	이동형 블라스팅 장치	상향 블라스팅 장치
특허 출원번호	10-2004-0079342	10-2006-0104721	10-2010-0127589
대표도면			
기술요약	- 장방형의 기대 양측 전후방에 구동바퀴가 감속기 및 주행모터로 연결된 상태로 연결아암 및 쇽업쇼바로 고정 설치되고 보호커버에 의해 기대의 각 측면 및 상면이 밀폐되는 주행부 - 블라스팅 작업을 수행 하기위해 상기 주행부의 보호 커버의 전방 상부에 구성된 조절부와, 상기 지지프레임 상부에 승강 가능하게 설치되어 작업 대상물의 표면에 전처리 연마재를 투사 및 보충하기 위해 설치 - 구동모터와 연결된 임펠러 장치가 설치되어 연마재 공급관으로 연결된 투사부와, 이물질 포집을 위해 설치되는 집진조가 보호커버의 후방에 설치되어 송풍모터가 결합된 블로워가 연결관으로 상기 집진조와 연결됨과 동시에 투사부와 집진호스로 연결된 송풍부 - 상기 각 부분의 제어를 위해 보호커버의 상면 중앙에 설치되는 콘트롤 박스	- 상부 일단에 운전자 의자가 배치된 몸체 하단에 배터리와 구동모터에 의해 동력을 인가받고 조향핸들과 조향장치의 조작에 따라 구동되는 구동수단 및 장치의 전체 조작을 할 수 있도록 조작부를 구비시켜 그 몸체 및 틸팅부가 운전자의 조작에 의해 전, 후, 좌, 우 자유로운 이동이 가능하도록 구성한 것 - 상기 몸체의 선측에는 원하는 방향과 위치로 그리트 분사노즐을조절대응시키기위한분사노즐틸팅부를 장착하여 선박표면 특히 선박의 하측면에 그리트를 분사하여 용접 슬래그 및 부식물 등의 이물질들을 제거하는 그리트 분사노즐이선박의구배형상에 따라X, Y, Z축으로 자유자재로 유동이 되면서 신속하고 깔끔하게 선박의 표면에 있는 슬래그 및 부식물을 이동하면서 제거할 수 있도록 하는 이동형 블라스팅 장치	- 그릿을 상향 토출하는 블라스팅 헤드부와 상기 블라스팅 헤드부의 일측에 결합되어 분진을 수집하는 집진 유닛 및 상기 블라스팅 헤드부를 회동 가능하게 지지하는지지 프레임을 구비 - 상기 블라스팅 헤드부를 승강시킴과 동시에 전, 후 방향으로 주행 가능하도록 구성함으로써, 복잡한 오일 저장 탱크 내를 주행하면서 블라스팅 작업이 가능하여 작업 효율을 현저히 향상 - 블라스팅 헤드부와 집진유닛을 모듈화하여 링크 연결로 탑재시킴으로써, 탱크 내의 바닥면 단차에도 효과적으로 대응하며 블라스팅 작업을 수행할 수 있는 상향 블라스팅 장치
분석	- 바닥면에 단차 또는 바닥면과 평행하지 않은 작업면에 대응하기 어려움	- 밀폐구조가 아닌 그리트 회수함으로 인해 그리트가 분사되면서 분진 등이 발생할 수 있고 이로 인해 조작에 어려움이 발생	- 바닥면 단차에 대해 전, 후 방향에서 단차 대응이 가능하지만 좌, 우 방향에 대한 단차 대응이 어려움

○ 강교 유지보수용 개발 장비 개념 결정

표 23. 기존 장비와 개발장비의 차별성

구분	호주(SABRE)	개발 장비
장비구성	작업 로봇 + 엔진, 컴프레셔, 연마재 공급장치	작업 로봇 + 전기 공급장치
	 	 
무 게	작업 로봇 (100kg), 이동레일, 동력 및 연마재공급장치(별도 약5ton)	작업 로봇 (200kg이하) 전기 공급 발전기 (별도 약 300kg)
특징	- 다관절을 사용 하여 어떤 작업 면이든 작업이 용이 - 중량이 가벼워 설치 가능한 곳이 다양 - 레일을 설치 할 수 없는 바닥면일 경우 작업성이 용이 하지 않음 - 작업 도중 블라스트 연마제 수거 불가능 - 연마재 재활용 불가하여 폐기물 다량 발생 - 고압 공기에 의한 비산 분진 고다 발생 - 밀폐공간 작업 불가	- 전원 공급장치를 제외하고 별도의 장치가 필요 없어 운용이 용이함. - 연마재의 재사용으로 폐기물 발생량 적음 - 밀폐된 작업공간, 높이 60cm 이하 협소 공간 작업에 최적화 - 장치 무게만 비교시 개발장비는 200kg이고 호주(SABRE) 장비는 무게(100kg)으로 장비 무게 무거우나 전체적으로 경량임.
결론	- 밀폐된 국내 작업 현장에 적용 가능한 장비 개발 필요 - 폐기물 발생량 및 비산 분진량 감소를 환경오염 및 민원발생 최소화 - 작업장치 무게는 증가하나, 국내 작업환경에 적용이 가능한 임펠라 블라스트 방식 장비 개발 필요 - 공중비계 허용 하중을 고려하여 200kg 이하의 장치 개발	

○ 강교 유지보수 장비 설계

- 다관절 유지보수 장비에 대한 1차 레이아웃 개념 설계
  - 바닥면 단차에 따른 일정한 작업면을 유지하기 위해 다관절 작업기를 사용하고 2개의 실린더와 링크를 이용하여 전후방에 대한 자세 제어
  - 바닥면 단차 극복이 용이한 무한궤도식 주행 방법 채택
  - 주행체 구동은 좌우에 설치된 모터와 감속기를 이용하여 제어
  - 임펠라를 이용하여 상부 작업면을 전처리하는 임펠라 블라스트 장치 적용

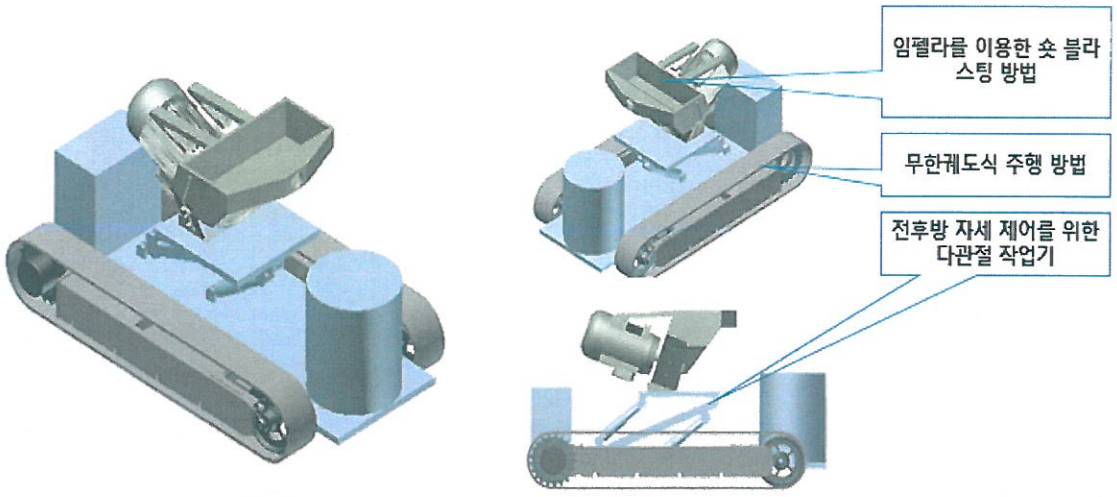


그림 29. 3D 레이아웃

○ 장비 구동에 필요한 무한궤도식 주행체 설계

- 유지보수 장비 이동에 필요한 파워 용량 분석
  • 바퀴의 직경을 21cm(D)라고 하고 모터가 1,800rpm, 장비의 최대속도를 1m/s(도보 속도)이면 바퀴의 회전 속도는 다음과 같음

$$\text{바퀴의 등속회전속도}(f) = \frac{\text{최대속도}}{D \times \pi} = 1.52\,[rev/s]$$

  • 장비의 무게를 200kg(W)이라고 할 때 부하관성모멘트(J)는 다음과 같음

$$\text{부하관성모멘트}(J) = \frac{W \times D^2}{8} = 11{,}025\,[kg\,cm^2]$$

  • 중력가속도(g)는 980cm/s², 가속시간(t) 1sec라고 하면 가속 토크(Ta)는 다음과 같음

$$\text{가속토크}(Ta) = \frac{J \times 2 \times \pi \times f}{g \times t} = 107.14\,[kg\,cm]$$

  • 마찰계수(μ)는 0.1이라고 하면 등속토크(마찰 부하 토크, Tm)은 다음과 같음

$$\text{등속토크}(Tm) = \frac{\mu \times W \times D}{4} = 105\,[kg\,cm]$$

  • 따라서 전체 토크(T)는 다음과 같음

$$\text{전체토크}\,(T) = Ta + Tm = 212.14\,[kg\,cm]$$

  • 여기서 안전계수 1.6, 감속비 80:1, 기어 효율 60%로 선정하고 차륜 구동을 고려하면 전체 토크는 다음과 같음

$$\text{전체토크}\,(T) = 1.2348\,[Nm]$$

  • LS 메카피온의 제품 중 정격토크로 1.27Nm를 갖는 ARM-FBL04AMK(400W)로 선택

- 2D/ 3D 도면 제작

  • 주행체 2D 도면/ 3D 기구부 설계 도면

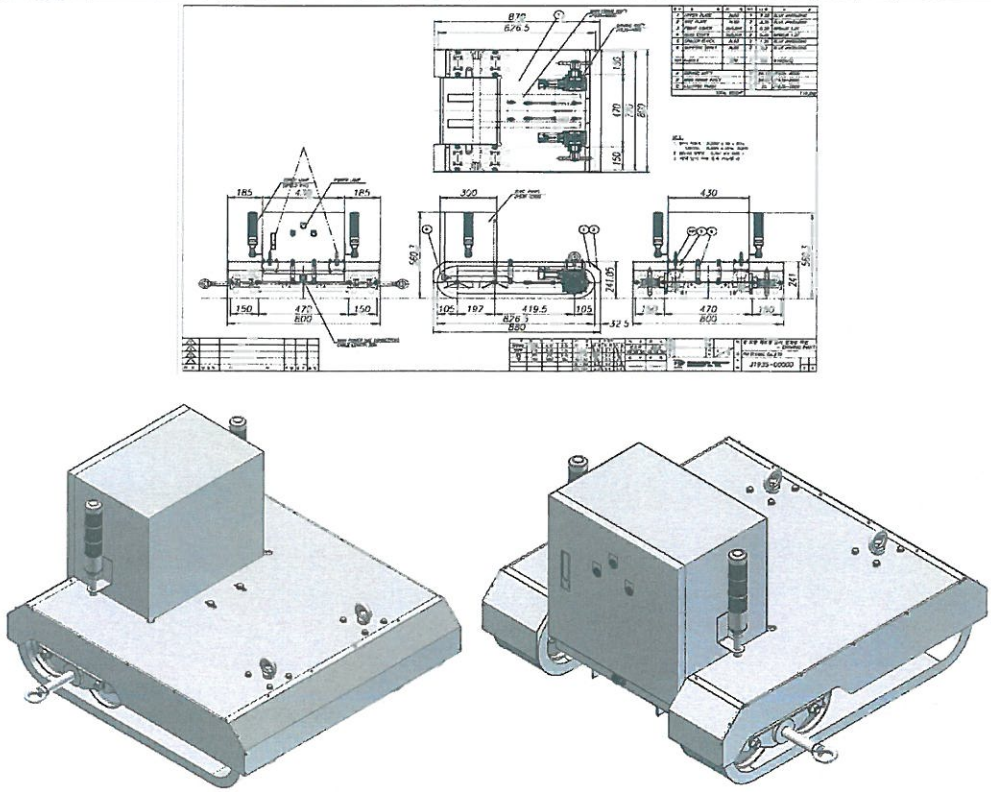


그림 30. 주행체 2D/3D 도면

○ 1차 레이아웃에 따라 1차 주행체 제작

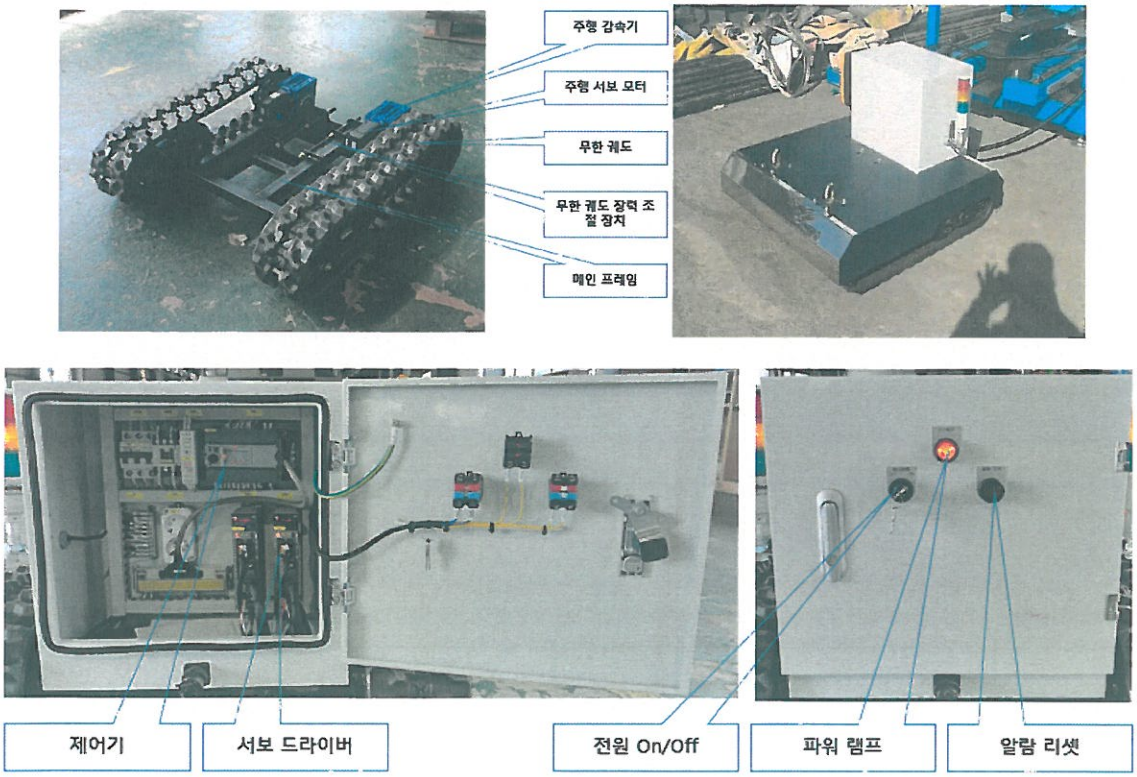
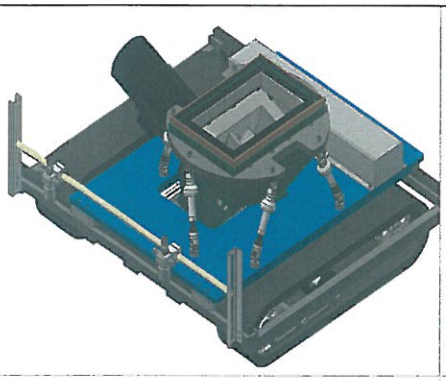


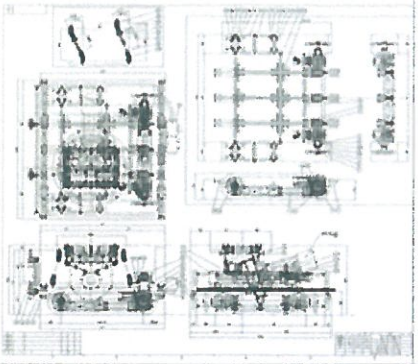
그림 31. 주행체 제작

○ 구동부와 블라스트 장치 결합을 위한 컨트롤러 및 운영체계 수정 설계 및 2차 시제품 제작

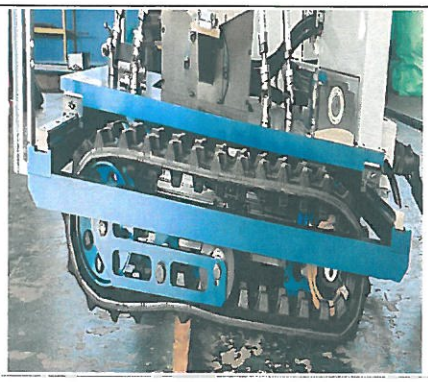
- 구동부와 노즐제어 시스템 개발에 따른 구조설계
- 구성품
  - SERVO MOTOR 3SET, 좌.우 바퀴와 볼스크류 구동, 정격출력(400W), 정격토크(1.27Nm),
  - REDUCER 2SET, 좌우바퀴 감속기 감속비 1/80
- 단차 이동시 무한궤도 바퀴로 인한 순간 무게 중심의 이동발생으로 주행몸체 프레임 개선 (알루미늄 소재 & 알루미늄 프로파일 적용)



3D 모델링



2D 도면화

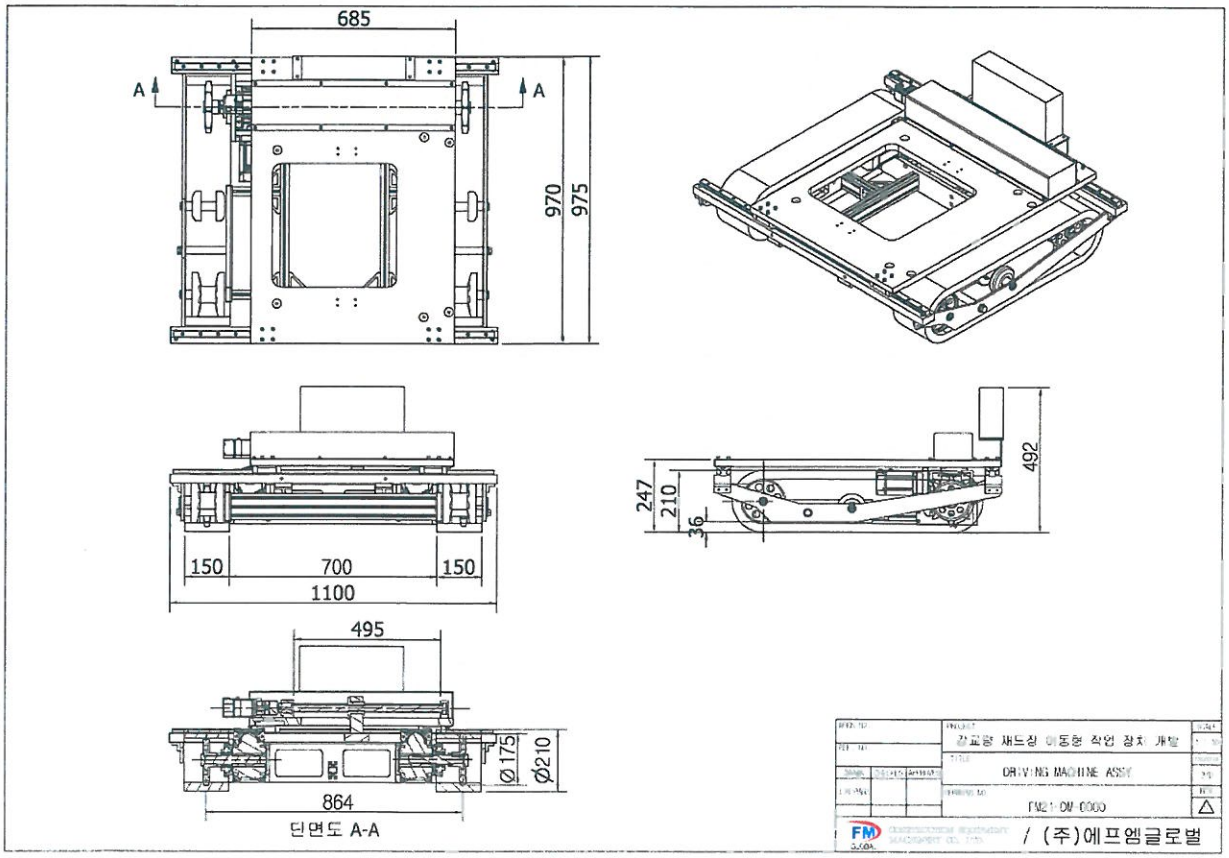


주행체 제작

그림 32. 3D/2D 모델링 및 주행체 제작

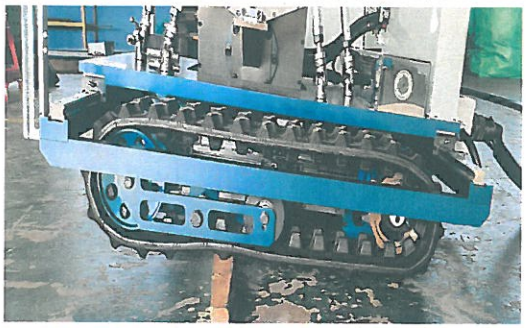
○ 무게 감량 및 주행 모터 과부화 보완을 위한 구동부 레이아웃

- 구동부 레이아웃(DRIVING MACHINE ASSY)

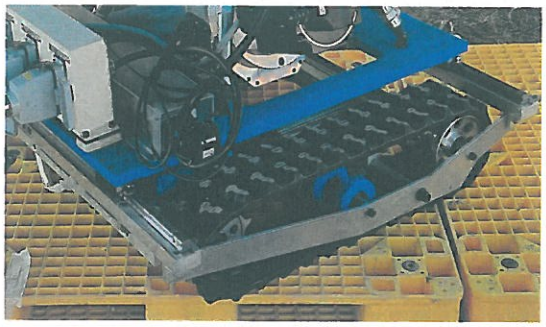


○ 무게 감량 및 주행 모터 과부화 보완을 위한 3차 시제품 제작

- 구조 변경을 통해 지면사이의 간격을 증가시켜 단차 주행의 문제점을 해결(7.2cm->8cm)
- 2차년도 주행모터 과부화 보완을 위한 주행모터 교체
  - 기존 : 출력 400W, 토크 1.27Nm, 회전수 3000rpm, 감속비 1/80
  - 변경 : 출력 750W, 토크 2.39Nm, 회전수 3000rpm, 감속비 1/100
- 트랙 굴절시 롤러가이드와 마찰로 인한 과부화 방지를 위해 롤러 가이드 위치 변경
  - 기존 : 롤러가이드 트랙 내부
  - 변경 : 롤러가이드 트랙 외부
- 경량화를 위한 외부 프레임 변경



- 롤러 가이드가 트랙 내부에 위치



- 롤러 가이드를 트랙 외부로 변경

그림 33. 롤러 가이드 위치 변경

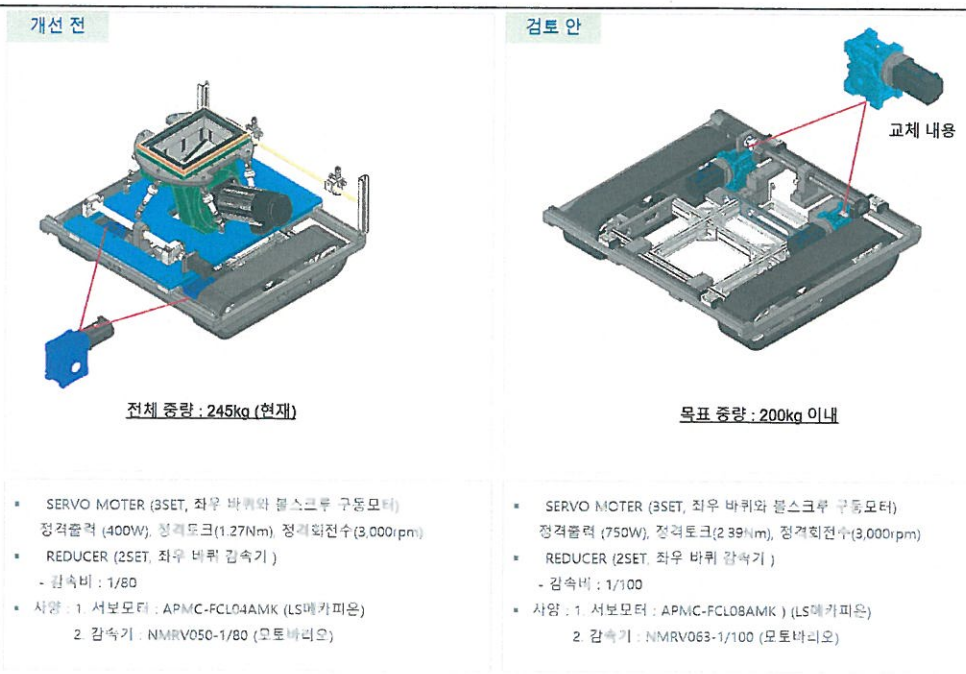
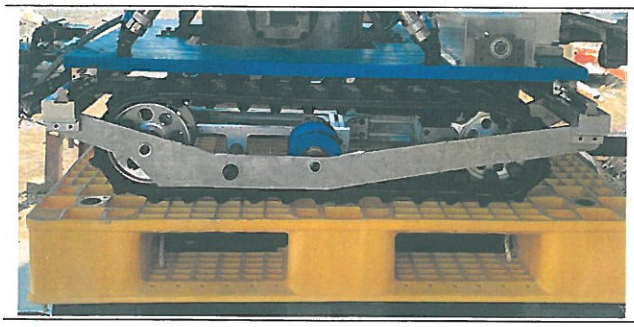


그림 34. 주행 모터 개선

○ 구동부 시제품 제작

표 24. 최종 제작된 구동부 시제품에 대한 제원



제원	설명
사이즈	1,100mm × 975mm × 247mm
출력	출력 750W,
토크	토크 2.39Nm,
회전수	회전수 3000rpm,
감속비	감속비 1/100

○ 상향식 임펠라 블라스트 장비 설계

- 유지보수 작업에 필요한 파워 용량 분석(숏 블라스팅)
  - 임펠라 회전을 위한 모터는 고주파 모터이며 7.5kW 적용
- 2D 기구부 설계 도면 제작

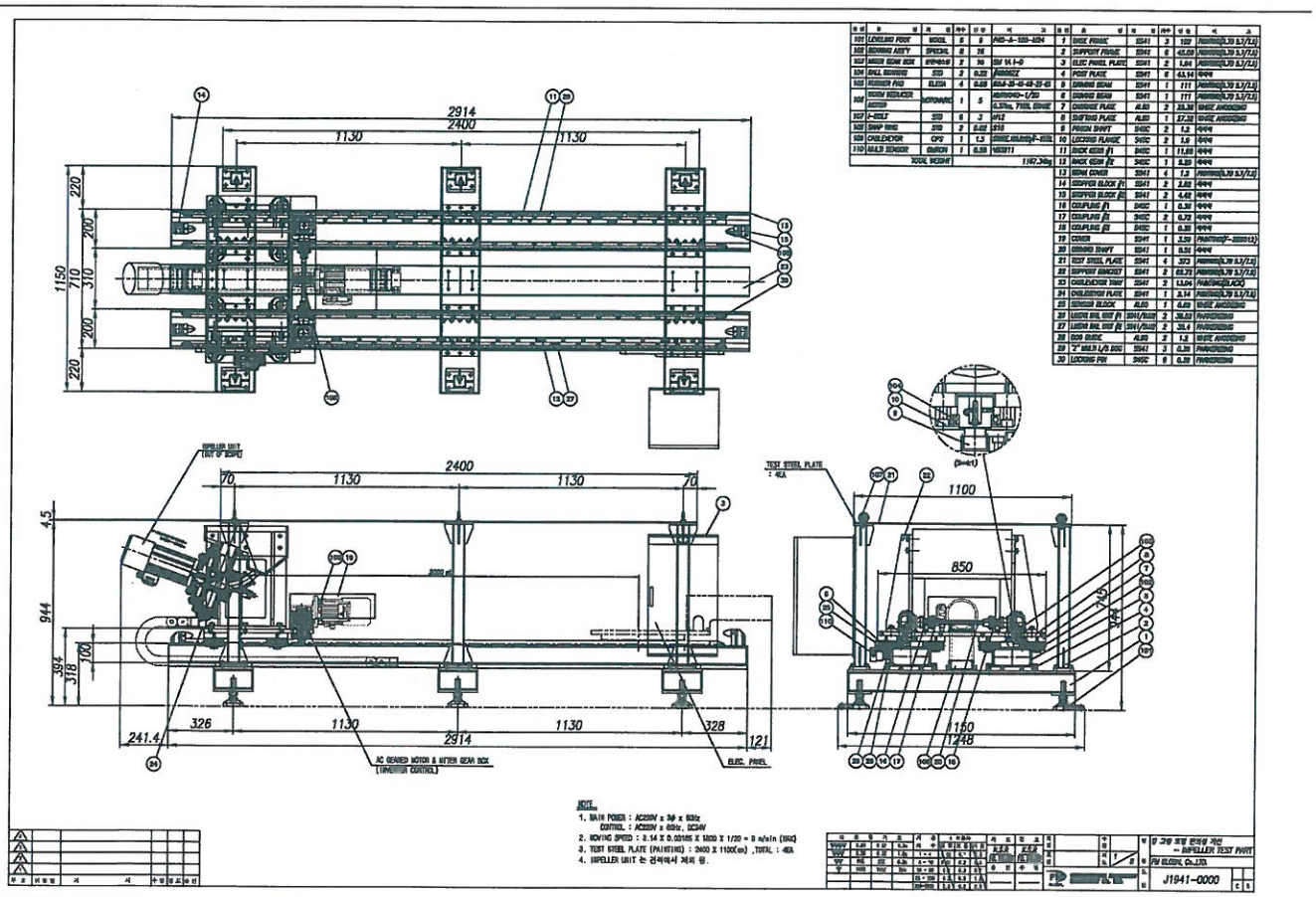


그림 35. 상향식 임펠라 블라스트 장비 2D 설계 도면

- 3D 기구부 설계 도면 제작

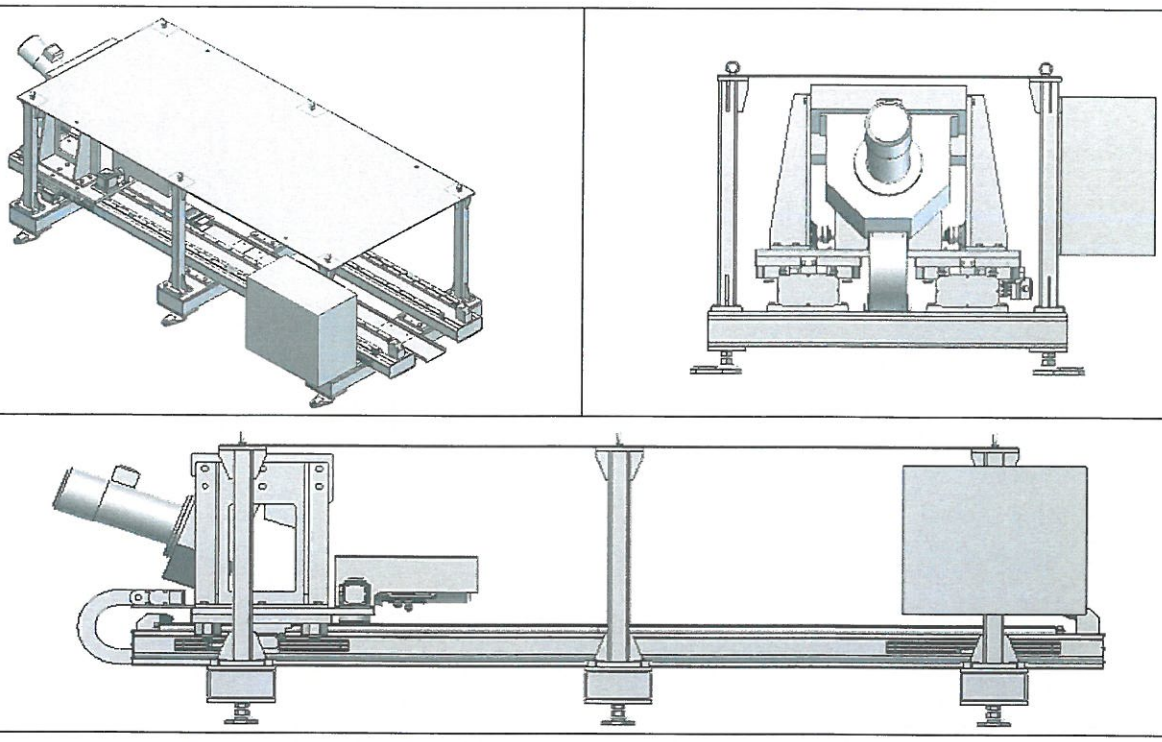


그림 36. 상향식 임펠라 블라스트 장비 3D 설계 도면

- 설계 Spec.

표 25. 상향식 임펠라 블라스트 설계 Spec.

MAIN POWER	AC220V X ∅3 X 60Hz
CONTROL	AC220V X 60Hz, DC24V
MOVING SPEED	9.5 m/min (MAX.)
길이 X 넓이 X 높이 (mm)	3276.4 x 800 x 560
중량	1167.34 kg

○ 상향식 임펠라 블라스트 장비 1차 제작

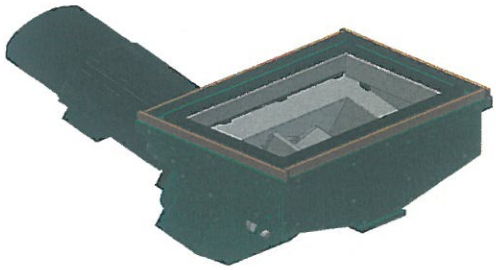
- 임펠라 모터 :
  - 고주파모터 7.5kw, 400Hz, Max. 12,000rpm (작업시rpm 7,000), 토크 65.23kgf/cm
- 전/후진 모터 : 정격회전속도 (3,000rpm)



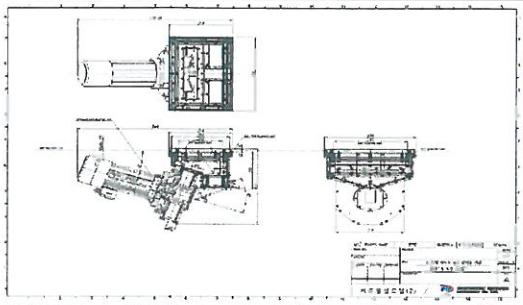
그림 37. 상향식 임펠라 블라스트 장비 1차 시제품

○ 임펠라 블라스트와 주행장치 결합을 위한 도면화 작업 및 모델링 2차 제작

- 장비무게 250kg 이하의 조건을 맞추기 위한 다운 사이징
- 숏블라스트 노즐 그리트 누출 및 비산먼지 발생을 방지하기 위한 구조적 설계, 원활한 그리트 순환구조
  • 3중 차단막 스틸 & 고무 블러쉬를 적용하여 설계에 반영됨
- 블라스팅 모듈장착 공간 확보
- 모터 사양 변경
  • 당초 : 고주파 모터 7.5Kw
  • 변경 : 고주파 모터 2.238kW (3마력)



3D 모델링



2D 도면

그림 38. 임펠라 블라스트 장비 모델링

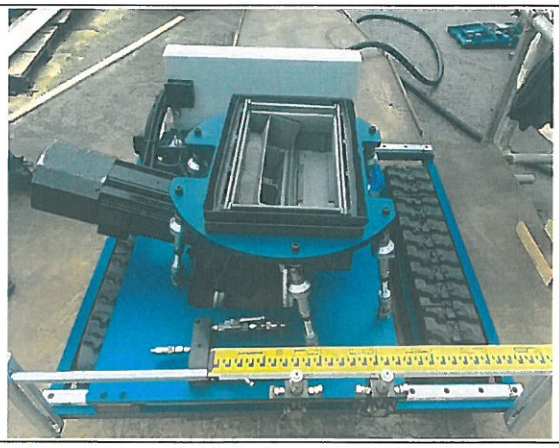
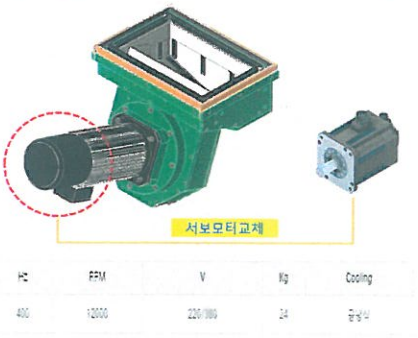


그림 39. 임펠라 블라스트와 주행장치 결합

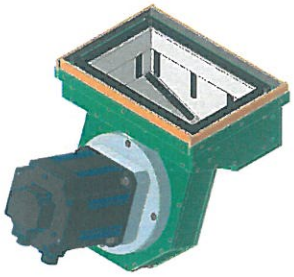
○ 임펠라 블라스트 성능 개선을 위한 3차 제작

- 무게 감량을 위한 블라스팅 모터 변경
  • 당초 : 고주파모터 (24kg)
  • 변경 : 서보모터 (17.7kg)
- 쇼트볼의 끼임에 의한 과부하 원인 분석 및 플레이트 폭조절로 개선
  • 당초 : 전체공간 66㎜, 블라스팅 날개 두께 62㎜이므로 양쪽 2㎜ 여유공간으로 쇼트볼 순환 공간이 충분치 않고 끼임현상 발생.
  • 변경 : 전체공간 66㎜, 블라스팅 날개 두께 56㎜로 양쪽 각각 6㎜, 4㎜ 여유공간 확보로 쇼트볼 순환 및 임펠라 작동이 원활하게 개선
- 숏블라스팅 노즐 소재 재질 변경으로 3중 차단막 구조적 문제점 개선
  • 당초 : 스프링형 스틸 (1차), 고무(2차), 스틸브러쉬 (3차)구조의 차단막으로 구성 되었으나, 스프링에 스틸볼과 먼지 끼임으로 작동 불가
  • 변경 : 스프링형 스틸 (1차) 제거, 다관절 장치에 의해 보완되어 분진비산 감소

- 마모 취약부 개선
  - 당초 : 숏블라스팅부 마모 취약 부분 재질을 SS275 (브리넬 경도 160HB)
  - 변경 : 숏 블라스팅부 마모 취약 부분 재질을 AR400 (브리넬 경도 400HB) 내마모성 강화.

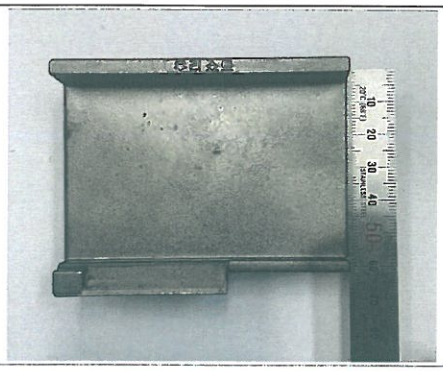


모터 교체 검토(24kg)

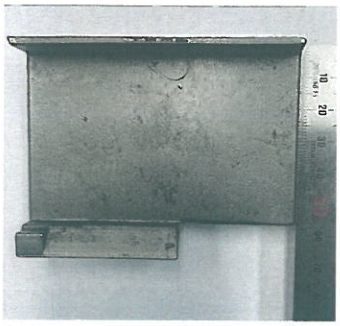


모터 교체 후(17.7kg)

그림 40. 무게감량을 위한 블라스터 모터 변경



플레이트 변경 전 62mm



플레이트 변경 후 56mm

그림 41. 플레이트 폭조절



그림 42. 숏블라스팅 노즐 소재 재질 변경

- 통합제어 시스템에 자율주행 구동속도, 좌우이송 속도, 블라스팅 속도 추가

○ 비산 분진 방지를 위한 집진장치 설치 방안 모색

- 장치 설계를 위한 사전 실험
  - 블라스트 장치 측면에 분진 흡입을 위한 천공
  - 진공 청소기와 결합

• 블라스트 장치와 진공청소기 작동

- 사전실험 결과

• 임펠라의 높은 RPM으로 블라스트 장치 내부 공기 순환이 너무 빨라 분진 흡수 안됨

• 분진 흡수 장치를 위한 진공흡입 장치로 인한 무게 증가 (200kg 기준 충족 못함)



- 분진 흡수 테스트를 위한 구멍 가공



- 분진 흡수용 공업 청소기

그림 43. 비산 분진 방지를 위한 집진장치 설치방안

○ 다관절 장치를 결합하기 위한 1차 레이아웃 제작

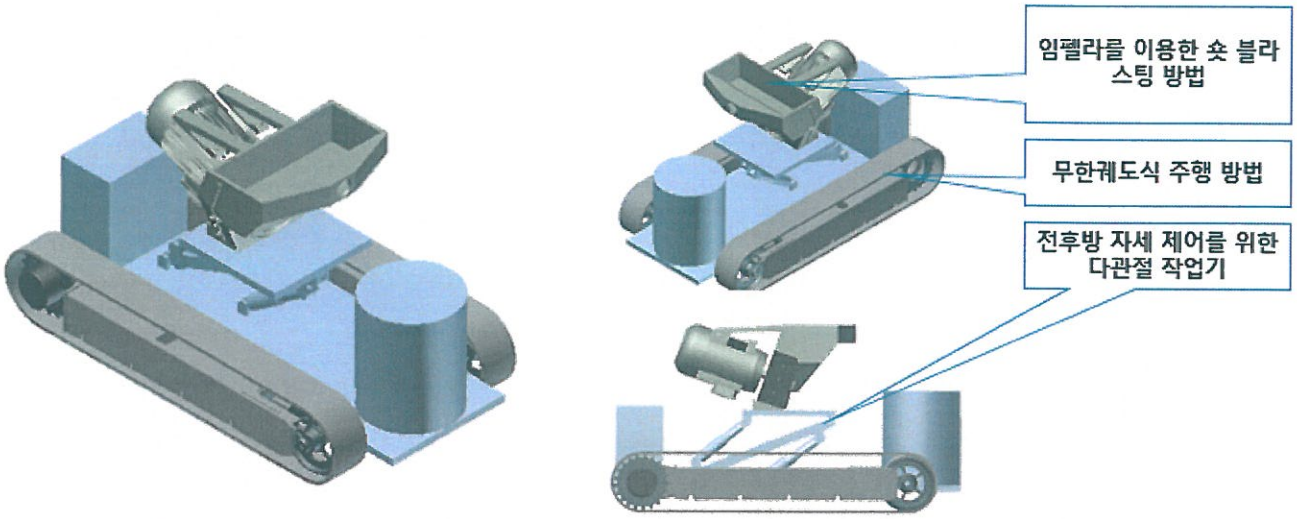


그림 44. 다관절 유지보수 장비 레이아웃의 개념 설계

○ 다관절 장치 제작을 위한 선정

- (주)썬에어로시스 파워액추에이터 상용품 중 본 개발 장비에 적용이 가능한 정격 추력 75kgf로 선정, SPA-T070-SX-P004-B10(400W)



Mode	Rated Thrust (kgf)	Rated Speed (mm/s)	Stroke (mm)
SPA-T035-SX-P004-B20	36	1,000	50 ~ 300
SPA-T070-SX-P004-B10	73	500	50 ~ 300
SPA-T145-SX-P004-B05	146	250	50 ~ 300
SPA-T065-SX-P005-B20	66	666	100 ~ 600
SPA-T130-SX-P005-B10	137	333	100 ~ 600
SPA-T130-SX-P005-B05	306	250	100~600
SPA-T065-SX-P007-B20	68	1,000	50 ~ 300
SPA-T130-SX-P007-B10	137	500	50 ~ 300
SPA-T270-SX-P007-B05	274	250	50 ~ 300

그림 45. 파워 엑츄에이터 규격

○ 다관절 작업기 제어알고리즘 개발 3D 시뮬레이션

- 다관절 작업기의 효율적 움직임을 위해 기구학 해석 및 제어 알고리즘을 적용한 3D 시뮬레이션, 이를 통한 검증 작업 수행
  - 검토자 : 홍대선 공학박사, 창원대 기계공학 교수
  - 주요 검토 내용
    - 다관절 작업기의 기구학 해석을 통해 제어 알고리즘을 개발
    - MATLAB을 통해 3D 시뮬레이션으로 검증
    - 3D 시뮬레이션을 통해 다관절 작업기의 통합 작업 및 제어성 확보



제 C-2022-013066 호

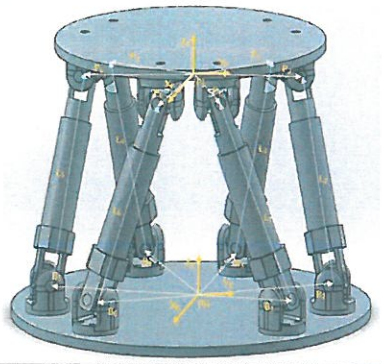
저작권 등록증

1. 저작물의 제호(명칭)	다관절 작업기 제어 시스템
2. 저작물의 종류	컴퓨터프로그램저작물>응용프로그램>과학기술>시뮬레이션 S/W
3. 저작자 성명(법인명)	에프엠글로벌 주식회사 경상남도 창원시 마산회원구 내서읍 중리공단로
4. 생년월일(법인등록번호)	194311-0028919
5. 창작연월일	2020년07월10일
6. 공표연월일	-
7. 등록연월일	2022년03월14일
8. 등록사항	저작자 : 에프엠글로벌 주식회사, 창작 : 2020.07.10

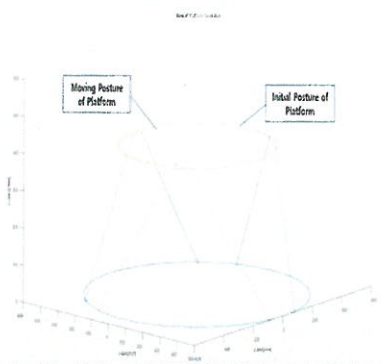
『저작권법』 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2022년 03월 14일

한국저작권위원회



시뮬레이션 3D 모델링



기구학 해석

```
% Base, Platform 크기 정의
rb = 500; %mm
rp = 350; %mm
alpa_b = 20; %degree
alpa_p = 20; %degree
Pos_BP = [0;0;400]; % Base, Platform 원점의 거리

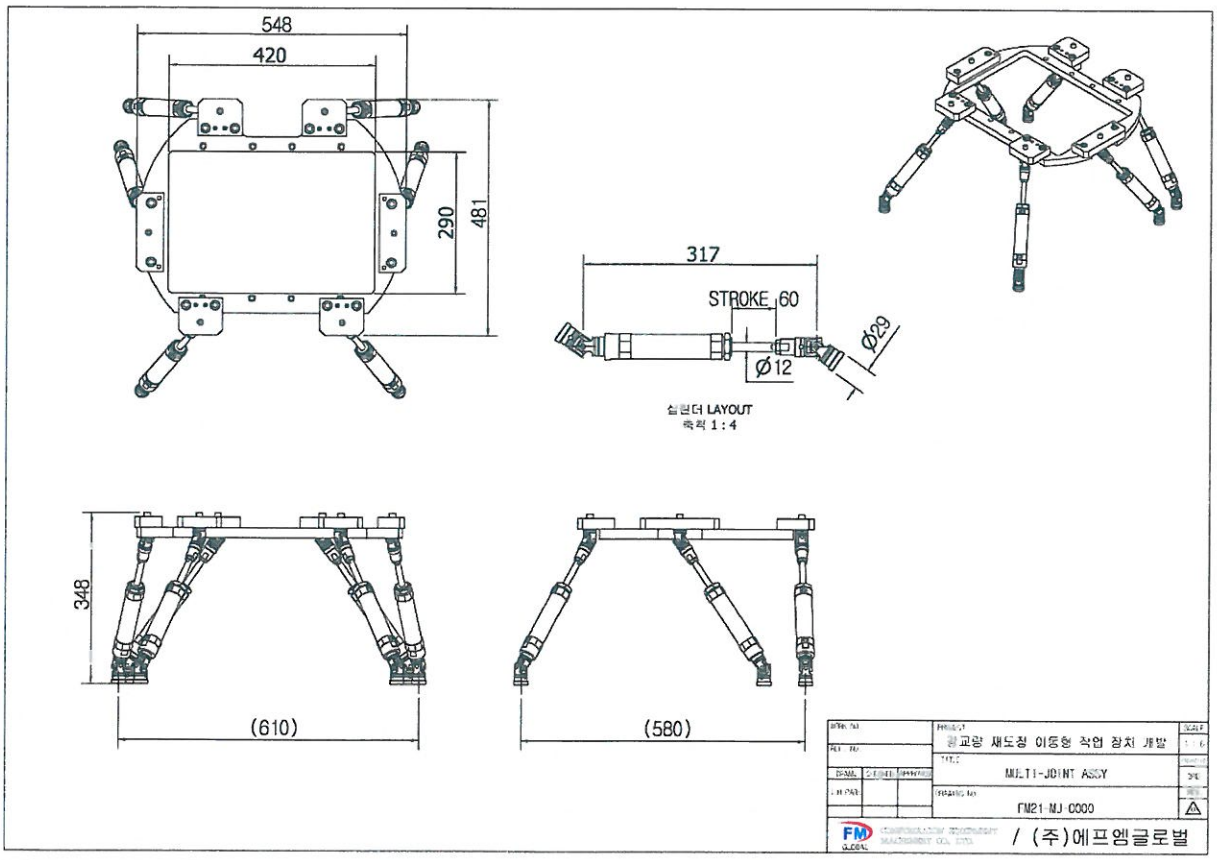
% 각 Joint 별 베이스 프레임 벡터의 정의
Pos_B1 = [ rb*cosd(alpa_b/2)) ; -rb*sind(alpa_b/2)) ; 0];
Pos_B2 = [ rb*cosd(alpa_b/2)) ;  rb*sind(alpa_b/2)) ; 0];
Pos_B3 = [-rb*cosd((60-alpa_b/2)) ;  rb*sind((60-alpa_b/2)) ;
0];
Pos_B4 = [-rb*cosd((60-alpa_b/2)) ; -rb*sind((60-alpa_b/2)) ;
0];
Pos_B5 = [-rb*cosd((60-alpa_b/2)) ; -rb*sind((60-alpa_b/2)) ;
0];
Pos_B6 = [-rb*cosd((60-alpa_b/2)) ; -rb*sind((60-alpa_b/2)) ;
```

소스코드

그림 46. 다관절 작업기 3D 시뮬레이션

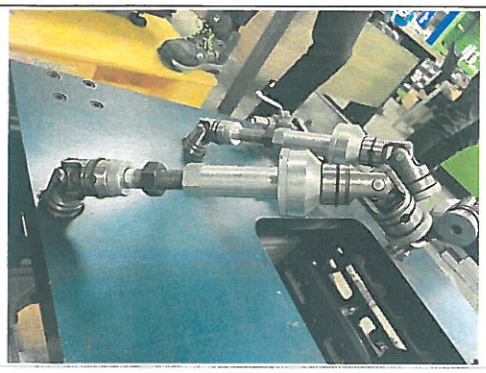
○ 다관절 작업기 레이아웃 제작

- 다관절 작업기 레이아웃(MULTI-JOINT ASSY)

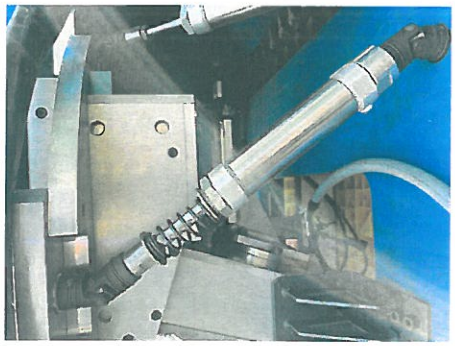


○ 다관절 장치 제작

- 테스트를 통해 분진 등의 작업환경과 장비의 구조, 무게의 문제로 다관절의 레이저 센서인식 문제 대두
- 단동실린더와 스프링을 사용한 다관절 사용으로 설계 변경하여 제작
- 1차 차단막의 스프링 구조는 분진과 이물질로 효율적인 작동이 불가
- 실린더를 단동실린더와 스프링 타입 변경으로 작업면 밀착도가 증가하여 차단 효과 증가한 다관절 장치제작



기존 다관절 구조
- 블라스팅부 높이 수동 조절
- 1차 차단막의 스프링으로 작업면 밀착

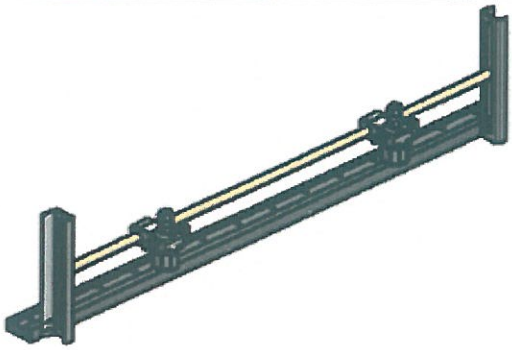


변경 다관절 구조
- 단동실린더와 스프링으로 자동 압착
- 작업면 밀착으로 차단막 효과 증가

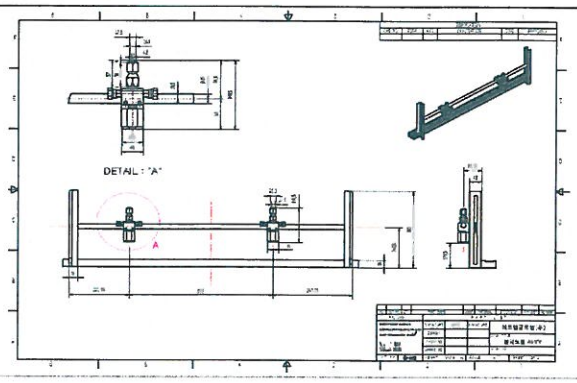
그림 47. 다관절 장치 제작

○ 도장용 분사노즐 2D 도면화 작업 및 3D 모델링 작업

- 생산성 향상을 위해 2개 이상의 멀티 분사 노즐 적용
- 멀티 분사노즐의 사용이 탈부착이 용이한 구조로 설계 되었고 노즐의 상, 하 조절도 가능하도록 설계
- 분사노즐과 작업면의 거리가 일정하여 도막 작업을 균일하게 할 수 있음.



3D 모델링

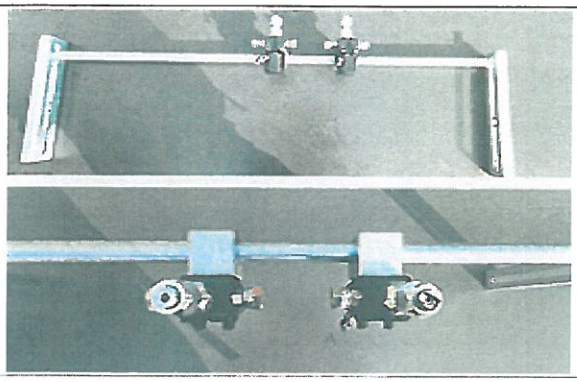


2D 도면

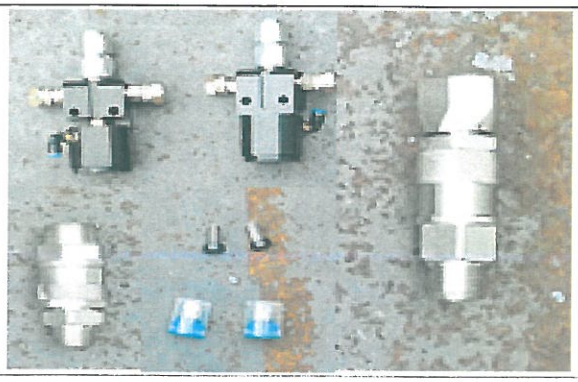
그림 48. 도장용 분사노즐 3D / 2D 설계 도면

○ 멀티 분사노즐 제작

- 분사노즐 SPEC :
  - 분사 노즐 구경 : 0.013~0.017inch(0.33~0.43mm)
  - 피도면 거리 : 250~350mm
  - 이송속도 : 40~80cm/sec
  - 주제 경화제 비율 : 1:1
  - 건도막 : 85㎛×2회
  - 구성품 : AUTO GUN, HOSE SWIVEL, TIP, TIP FILTER, GUN SWIVEL



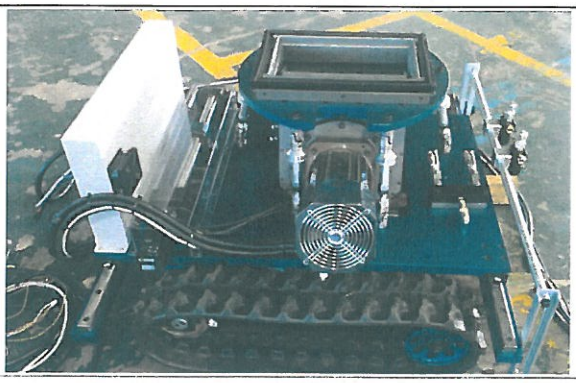
분사노즐 개발



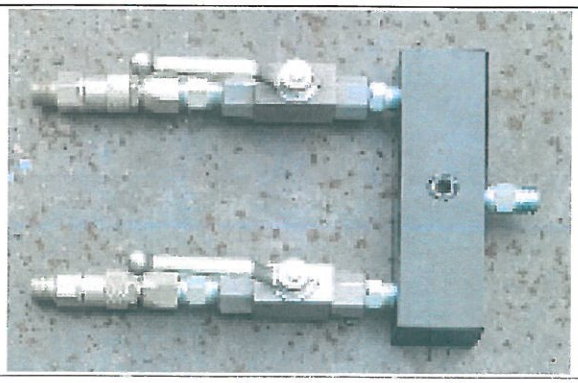
분사노즐 구성품

그림 49. 멀티 분사노즐

- 도료 공급을 위한 공급 라인 매니폴드 제작



분사노즐 공급라인

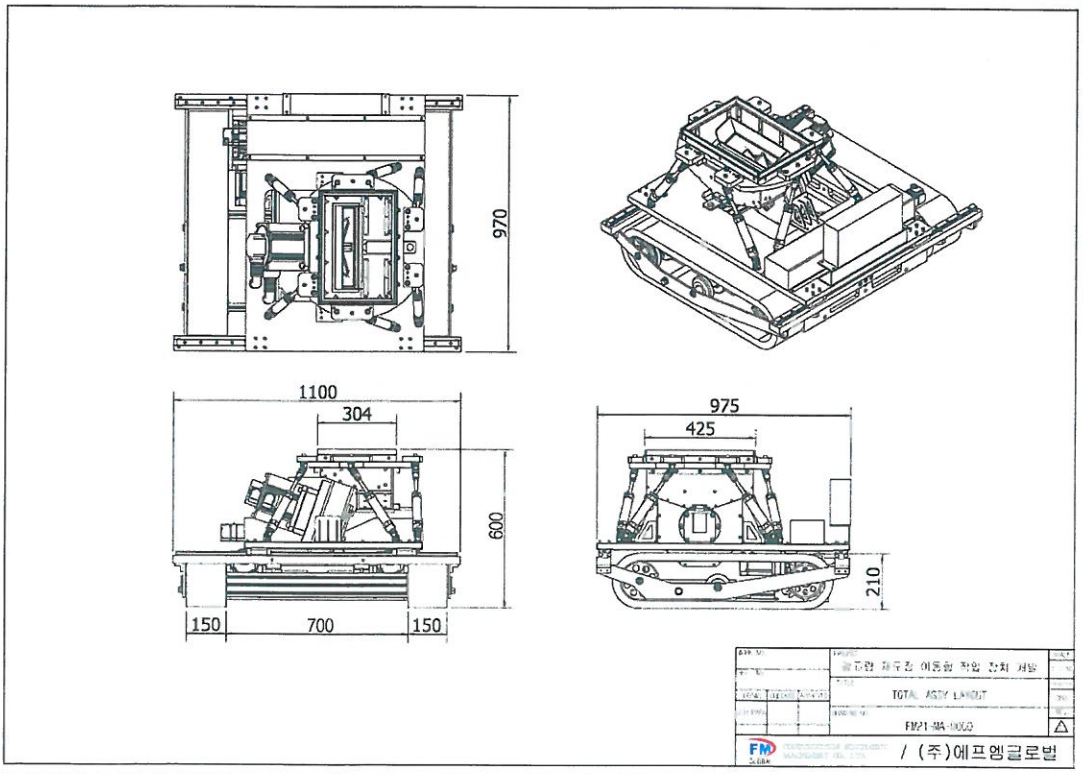


매니 폴드

그림 50. 도료 공급을 위한 공급 라인 매니폴드

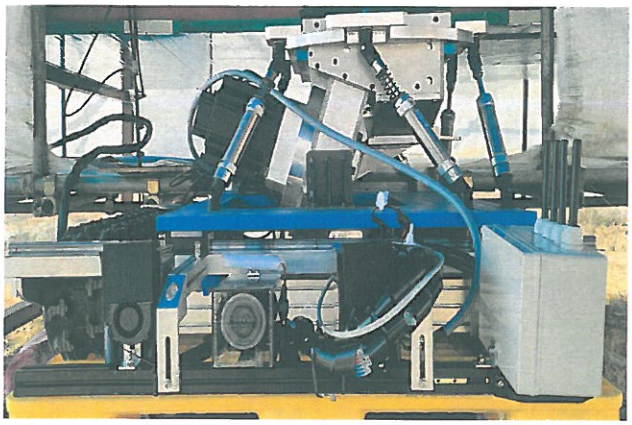
○ 강교 유지보수 장비 최종 레이아웃 및 시제품

- 강교 유지보수 장비(TOTAL ASSY LAYOUT)



- 최종 제작된 강교 유지보수 장비 시제품 제작

표 26. 최종 제작된 강교 유지보수 장비 시제품에 대한 제원



제원	설명
외관	1,100mm × 1,000mm × 60mm
입력전원	7kW, 220V, 3상(AC)
작업반경	15m
유표작업	폭 50mm, 길이 210mm, 좌우이동 유효작업폭 400mm
좌우이동	이동거리 350mm, 최대 작업폭 420mm
작업속도	12.5mm/sec
전후진속도	5m/min (83.33mm/sec)

○ 작업현장 모니터링을 위한 비전시스템 설계 및 제작, 테스트

- 환경 조건 및 사양 분석을 통한 센서 및 모듈 선정
  - 폐쇄적인 작업현장에서는 측면과 윗면의 조명 조건이 다름. 전체적으로 작업이 진행되는 강교 하부는 조명 조건이 불안정함.
  - 작업 바닥은 5cm 이내의 불규칙한 지면으로 로봇 이동시 기울기가 변화됨



그림 51. 불안정한 작업 환경

- 60cm 이내의 협소 공간에서 주변 환경 및 작업면 모니터링용 카메라의 설치가 제약되며, 카메라는 근접, 광각 측정이 가능해야 함
- 중단거리(~50m) 모니터링을 위한 유무선 원격 통신이 가능해야 함
- 작업환경 모니터링 및 위치 인식용 카메라는 최소 50cm 이내 근접촬영이 가능하고, 작업품질 검사용 카메라는 20cm 이내 근접 및 130도 이상의 광각 촬영이 가능한 센서로 선정함

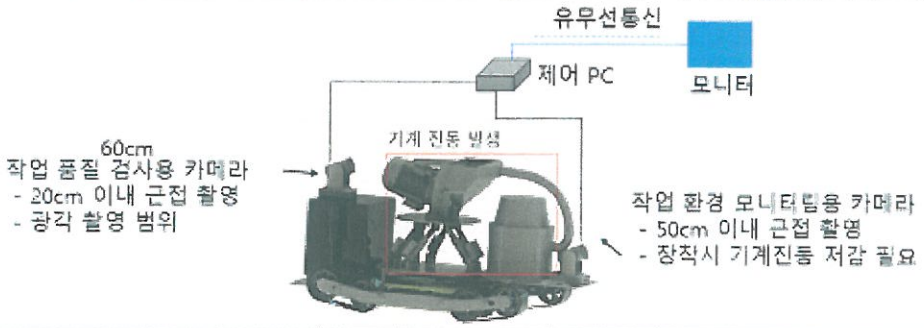


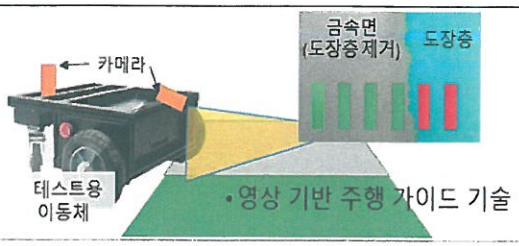
그림 52. 모니터링 모듈 구성 및 무선 영상 모니터링

○ 비전센서 기반의 작업환경 모니터링 모듈 설치 및 통합

- 전면 카메라 : 도장면 상태 분석, 주행 방향 가이드
- 후방 카메라 : 블라스팅 후 작업 상태 확인
- 주행 방향 기준 : 강박스 거더 모서리 및 도장층과 금속면의 경계



유사 이동체를 이용한 비전시스템 시제품 개발

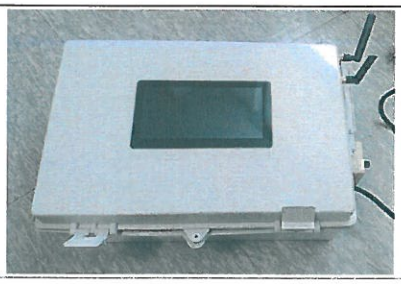


영상의 영역 색상 기반 주행 가이드

그림 53. 비전시스템 유사이동체

○ 무선 컨트롤러에 디스플레이 모듈 및 수신기 통합

- 구성 : 하부이동체, 전후방 카메라, 제어PC, 원격 모니터링 모듈, 무선 영상 송수신기



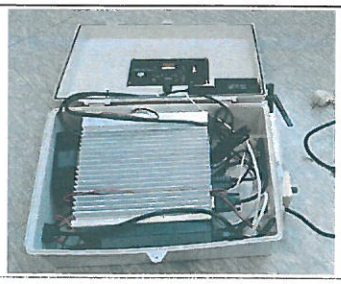
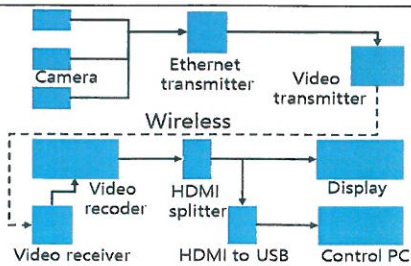


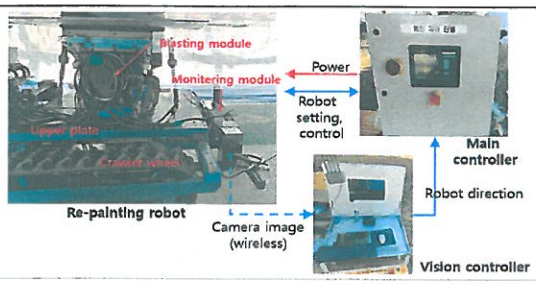
그림 54. 로봇 주행 및 모니터링 컨트롤러

○ 최종 비전시스템의 모니터링 모듈과 비전 제어부

- CCTV 시스템 기반의 무선 비전시스템
  - 강교로봇의 모니터링 모듈은 실외용 CCTV용 카메라 3대와 무선송신부로 구성
  - 비전 제어부는 무선영상수신기, DVR, 제어용 PC로 구성
- 전방 좌우 카메라: 로봇이 작업영역을 왕복하는 과정에서 도장층의 경계를 획득
- 전방 정면 카메라: 장애물과 충돌을 방지하기 위한 이동 방향의 전방 영상 제공
- 비전 제어부
  - 통합 제어부를 통해 로봇의 주행 방향을 원격(50m 이상)으로 제어
  - 무선영상수신기로 수신된 3대 카메라의 영상은 CCTV 모니터에 재생되는 동시에 모니터 화면과 동일한 영상이 제어기 PC에 제공되고 제어 프로그램에서는 좌우 영상과 전방 영상을 각각 분리하여 처리



비전시스템의 영상 흐름



비전시스템 통합

그림 55. 비전 제어부

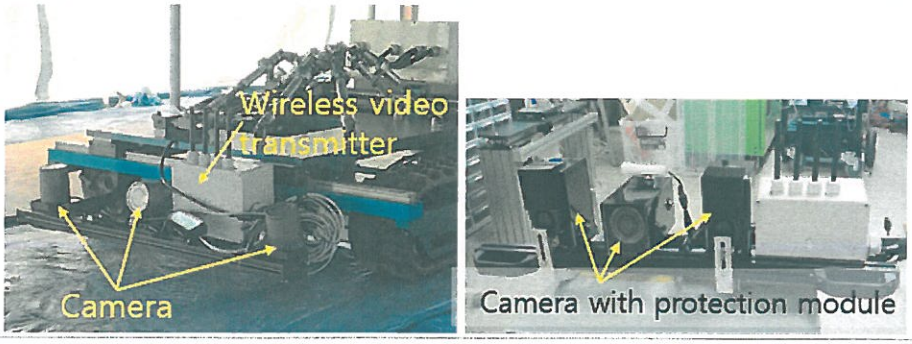


그림 56. 비전시스템의 모니터링 모듈

○ 로봇 주행 방향 가이드 기술 개발

- IMU 센서를 활용한 위치 추적 기술 개발
  - 폐쇄된 공간은 GPS 사각지대로 위치 추정이 불가능함.
  - 로봇의 위치 추적을 위해 IMU 센서를 활용함. 폭 30m, 너비 65m 인 영역에서 저가형 IMU 센서를 이용한 위치 추정 시험에서는 약 0.5m 오차를 보임.
  - 기존 저가형 IMU 센서은 헤딩(heading) 값 오차가 심하고, 정지 상황에서 발산하는 문제가 있어서 이종 센서(영상+마커)를 통한 보정이 추가로 필요함

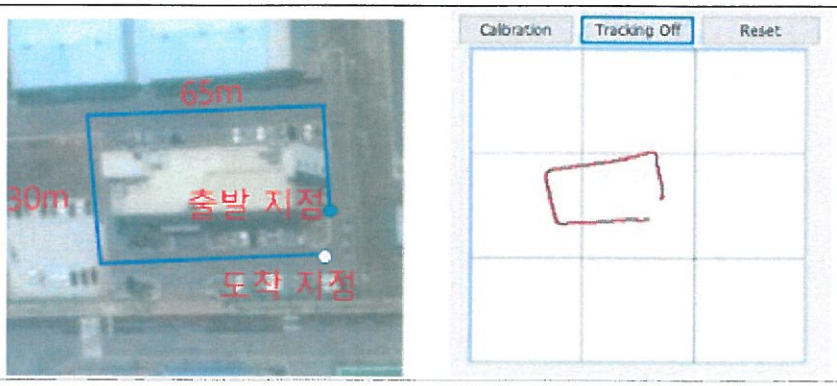


그림 57. IMU 센서를 활용한 위치 추적

- IMU 센서 및 기타 센서를 활용한 위치 추정 기법 보완
  - 문제 : IMU센서 측정 시, 중력 가속도도 포함되어 정지 상태에서도 움직임
  - 해결방안 : 팬틸트 모듈(Tilting, Panning + Tiliting 조건) 적용 후 성능 시험 실시
    → 정지 상태의 가속도 성분 보정



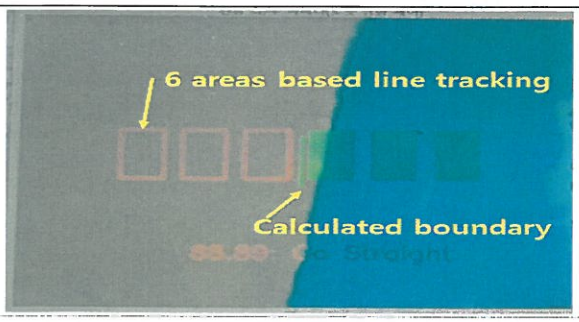
IMU 센서 성능 확인 | 중력 보상 시뮬레이터

그림 58. IMU 센서 팬틸트 모듈 적용 후 성능 시험

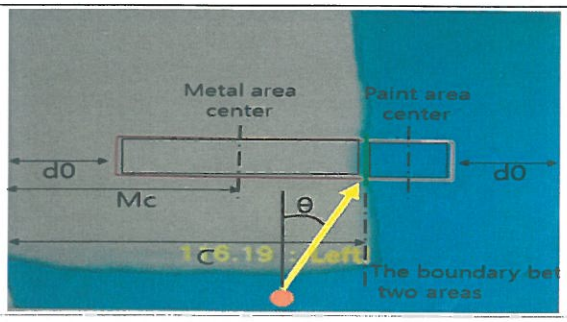
- 영상기반 경계 검출 알고리즘: 조명 변화 및 잡음 정도에 따라 검출되는 경계 위치와 수가 달라져서 경계가 일관되게 검출되지 않음
- 영상의 6지점 기반 라인 트래킹 기법: 6지점의 색상을 기준으로 도장면과 금속면을 구분하여 안정적인 경계 검출이 가능. 단, 각 지점 내부 및 지점 간 방향 변위를 고려하지 못하기 때문에 정밀도가 낮아 계간

형태로 방향을 제어

- 평균 위치 기반 주행가이드
  - 도장면과 금속면의 각 평균 위치를 계산하고, 왼쪽에 있는 면을 기준으로 경계위치를 도출
  - 안정적으로 로봇의 이동 방향을 제어하기 위해서 6지점 기반 라인 트래킹 기법과 융합하여 작동
  - 기본으로 평균 위치 기반 주행 방향으로 가이드하며, 계산된 평균 위치 값이 사전 설정한 6지점 기반 라인 트래킹 기법에서의 주행 각도 범위를 벗어 날 경우에는, 6지점 기반 라인 트래킹 기법에서 설정한 방향을 적용함



융합된 주행 방향 가이드 기술(6지점+평균위치)



평균 위치 기반 주행 기법

그림 59. 평균 위치 기반 주행가이드 시험

○ 불완전한 조명과 많은 먼지 상태에서 영상 가시성 향상을 위한 알고리즘 개발

- 저조도 환경에서의 가시성 향상을 위한 알고리즘 개발
  - 불안정한 조명환경에서 주변 환경과 작업면 품질을 모니터링하기 위해서 저조도 영상에서 가시성을 향상시키는 보정 알고리즘을 개발
  - 영상 보정 알고리즘은 영상의 컬러 히스토그램을 조정하여 밝기를 향상시킴. 보정 알고리즘은 카메라 초기 영상의 밝기에 따라 적용 여부가 결정되며, 보통 영상 밝기가 10%이하로 떨어지면 적용됨



카메라 초기 영상



카메라 자체 영상 보정



히스토그램 기반 영상 보정

그림 60. 저조도 환경에서 영상 가시성 향상

- 조명 변화 및 명암차이 보정이 가능한 영상 가시성 향상 알고리즘 개발
  - 조도 부족 해결
    - 불안정한 조도 상황에서 인식률 문제 해결 필요
      → 감마 보정(고휘도 영역(80%이상)을 제외한 나머지 영역의 평균 명도값 30~70%범위 유지)
    - 결과 : 보정을 통한 어두운 영역 가시성 향상

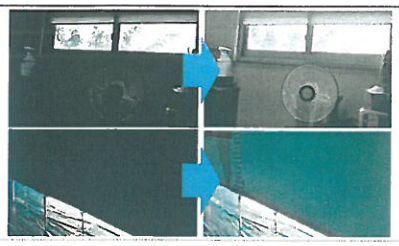


그림 61. 감마 보정을 통한 영상 가시성 향상

• 반사광 영역 감지 문제 해결
·· 1차적으로 편광필름을 활용하여 반사광 제거.
·· 편광필름을 통한 입사하는 빛 손실을 감마보정을 통해 보완



빛 반사에 의한 영상 인식 오류 | 편광 필름을 이용한 반사광 제거

그림 62. 반사광 영역 감지 문제 해결

• 분진으로 인한 시인성 약화 해결
·· 안개(haze) 제거 알고리즘 적용
·· 적용시 도장층 영역(녹색계열)의 채도 향상, 명도 감소는 감마 보정으로 보완

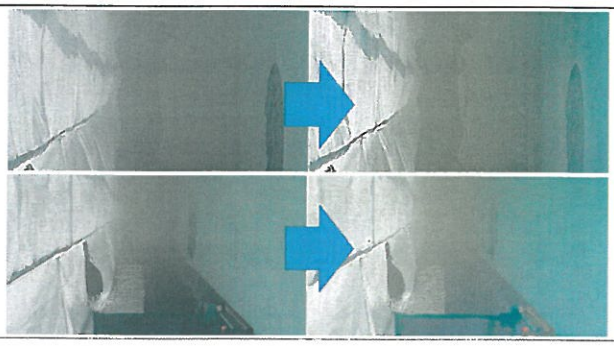


그림 63. 연무(먼지) 제거 결과

• 저조도 환경시 도장층 영역 인식, 영상 보정 알고리즘 성능 검증
·· 시험 조건 : 녹색, 진회색 50%의 패턴 이미지
3가지 조도(1Lux, 2Lux, 3Lux)
40cm 거리에서 평광 필름 부착 카메라 촬영
·· 결과 : 3Lux 이상 환경 10초 이상 안정적

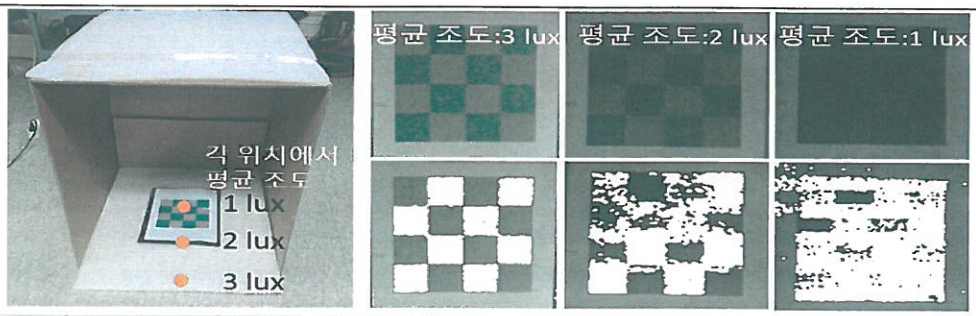


그림 64. 저조도 환경에서의 영역(색) 인식 결과

○ 카메라 왜곡 보정을 통한 영상 품질 향상

- 버드뷰 시점 변환(도장면, 금속면 구분 후 이동 방향 결정)

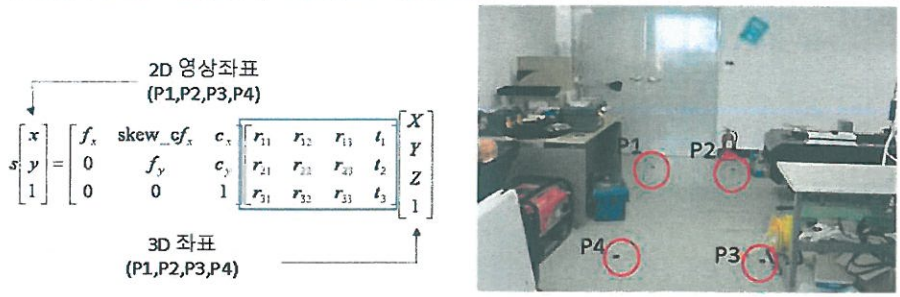


그림 65. 지면 4지점을 이용한 영상 버드뷰 시점 변환

○ 안정적 영상 모니터링을 위한 장착 지그 및 모듈 개발

- 센서 보호를 위한 고압 에어커튼 하우징 설계 및 시제품 개발
  - 분진 및 이물질이 많이 발생하는 환경에서는 고압 에어커튼을 생성하여 하우징이 필요함. 고압의 공기가 카메라 렌즈 부위에 분사되어 이물질이 달라붙는 것을 차단함.
  - 개발 중인 로봇은 차폐형식의 블라스팅 모듈을 적용하여 이물질 발생이 거의 없는 방식임. 따라서 고압 에어커튼 하우징 대신에 실내외용 카메라 하우징을 사용하는 것이 적합하며, 향후 실제 작업 환경을 고려하여 카메라 하우징 적용 여부를 결정함

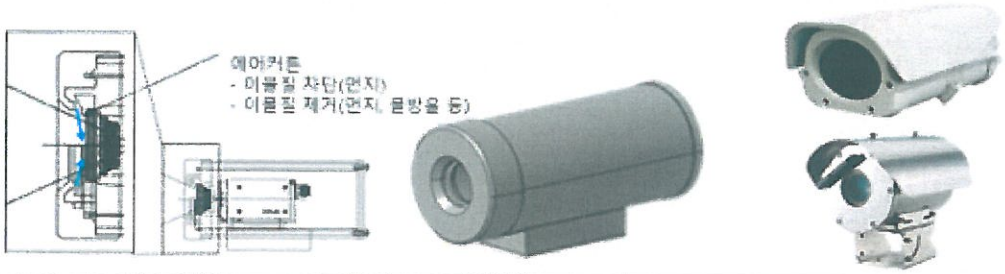
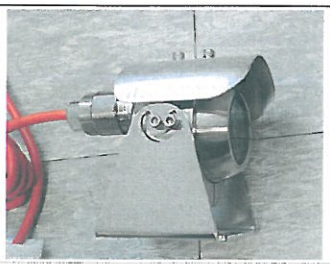
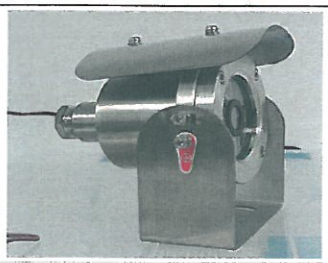


그림 66. 고압 에어커튼 방식이 적용된 카메라 하우징과 상용 CCTV용 하우징

- 방진 기능을 가지면 충격에 강인한 금속 재질의 하우징을 선정



방진/방수/방폭 성능이 인증된 하우징



기본 방수/방진 하우징

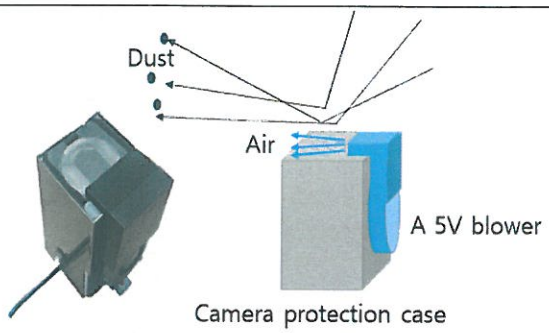
그림 67. 방진 기능에 따른 하우징 선정

○ 작업환경요소로부터 모니터링 모듈 보호를 위한 하우징/지그 보완

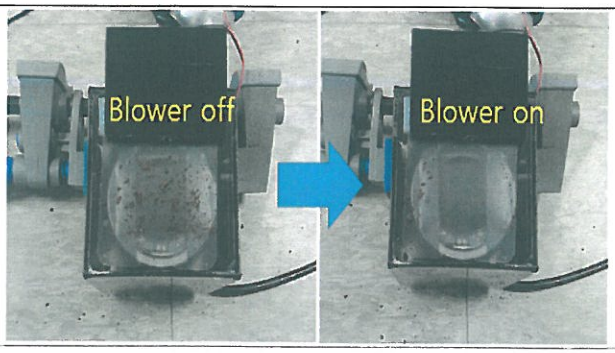
- 최종 카메라 보호 모듈: 로봇의 무게 최소화를 위해 보호케이스는 아크릴로 제작. 측면에 카본 필름으로 씌워 내구성을 향상시키고, 카메라 렌즈 방향 면에는 흠집방지 보호필름을 부착하여 철가루로부터의 잔

흠집이 발생하는 것을 방지

- 분진 방지 모듈: 오염물이 카메라 렌즈 면에 쌓이거나, 부착되는 것을 방지하기 위해서 방진 모듈을 장착, 5V급 소형 송풍기와 공기 분출기로 구성된 방진 모듈은 렌즈부위에 압축 공기를 분출하여 오염물 부착을 방지함



카메라의 보호케이스 및 분진 장지 모듈

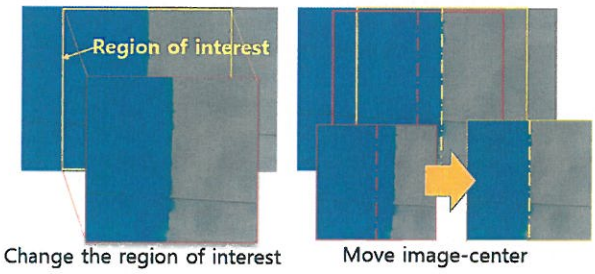


분진 방지 성능

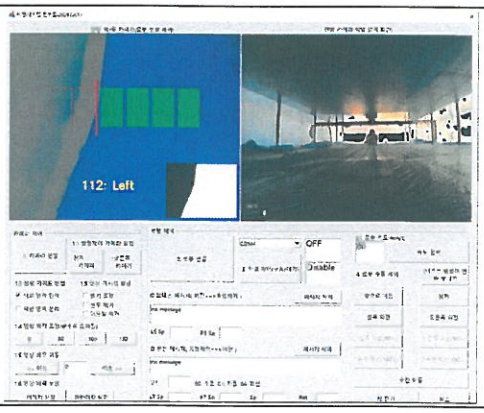
그림 68. 모니터링 모듈 보호를 위한 하우징/지그 보완

○ 사용자 편의 향상을 위한 모니터링 모듈 인터페이스 보완

- 카메라 좌우 인식 범위 조정 UI
  - 작업 현장에 따라 영상에 가장자리가 빛 반사와 편광필름의 영향으로 무채색으로 나타나는 현상이 발생. 영상 처리 기법인 관심영역(region of interest) 설정을 통해 환경에 따라 영상 좌우 인식 범위를 조정하는 UI를 추가
  - 좌우 카메라 위치 조정 없이 영상의 관심영역을 좌우로 이동 가능하도록 하여, 카메라의 영상 중심이 블라스팅 모듈의 좌우 이동 끝점에 일치시킬 수 있도록 하는 UI 추가



사용자 편의 향상이 가능한 영상처리 기법



비전제어기 디스플레이 화면

그림 69. 모니터링 모듈 인터페이스 보완

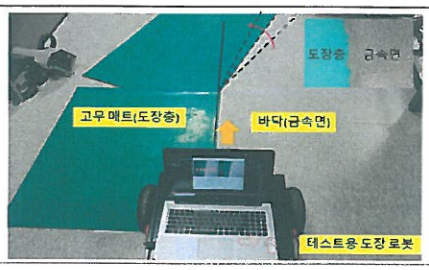
○ 유사 이동체를 이용한 비전시스템 성능 시험

- 목적 : 과도한 중복 작업 및 이동 동선 이탈 최소화
- 로봇 이동 속도 분석(실내 시험)
  - 영상기반 로봇 이동가이드의 방향 제어 성능을 파악하기 위한 주행 성능시험 수행
  - 시험 결과

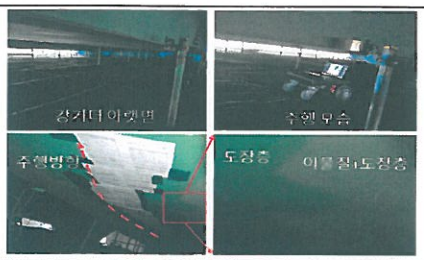
표 27. 비전시스템 유사 이동체 성능 시험 결과

로봇 속도(mm/s)	방향 전환 가능 각도(degree)
10	40
12	35
14	30
16	30
18	20
20	20

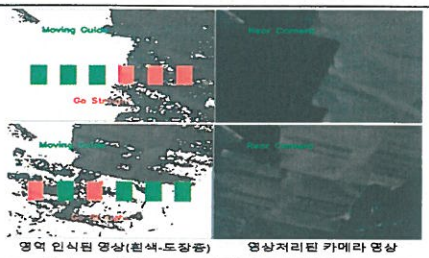
- 현장 시험을 통한 주행방향 가이드 기술 검증
  - 현장 조건 : 평균도조 1~2Lux, 도장층 색상 오염.
  - 시험 조건 : 100W LED 조명 온 · 오프 상태
  - 시험 결과
    - 조명off : 도로 안쪽 오인률 상승, 색상 인식 어려움.
    - 조명on : 일부 이물질이 두껍게 형성된 부분을 금속면으로 오인식, 대부분 금속면과 도장층 경계 구분



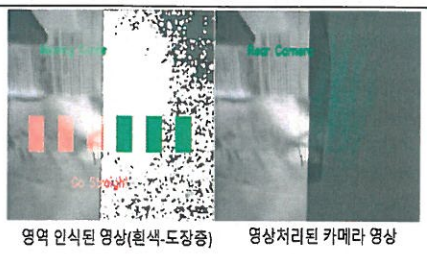
테스트 로봇을 이용한 방향 전환 시험



실제 작업 환경에서의 로봇 주행 성능 시험



조도 부족으로 인한 도장면과 금속면의 인식 오차

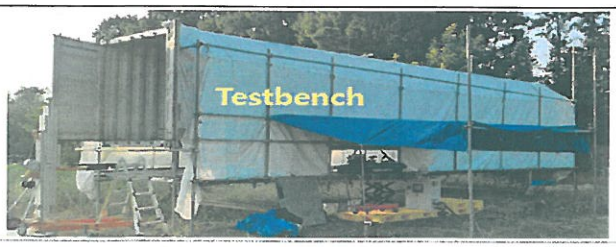


조명 보완으로 인한 영상 인식 정확도 향상

그림 70. 주행방향 가이드 기술 검증 시험

○ 테스트벤치에서의 비전시스템 성능 시험

- 테스트벤치: 컨테이너 밑면에는 샌드위치 판넬을 부착하여 평평한 면을 구성. 판넬에 도장면과 금속면을 모사하기 위해 청색 페인트와 회색 페인트를 직선과 곡선으로 구성된 경계를 7m 가량 도장



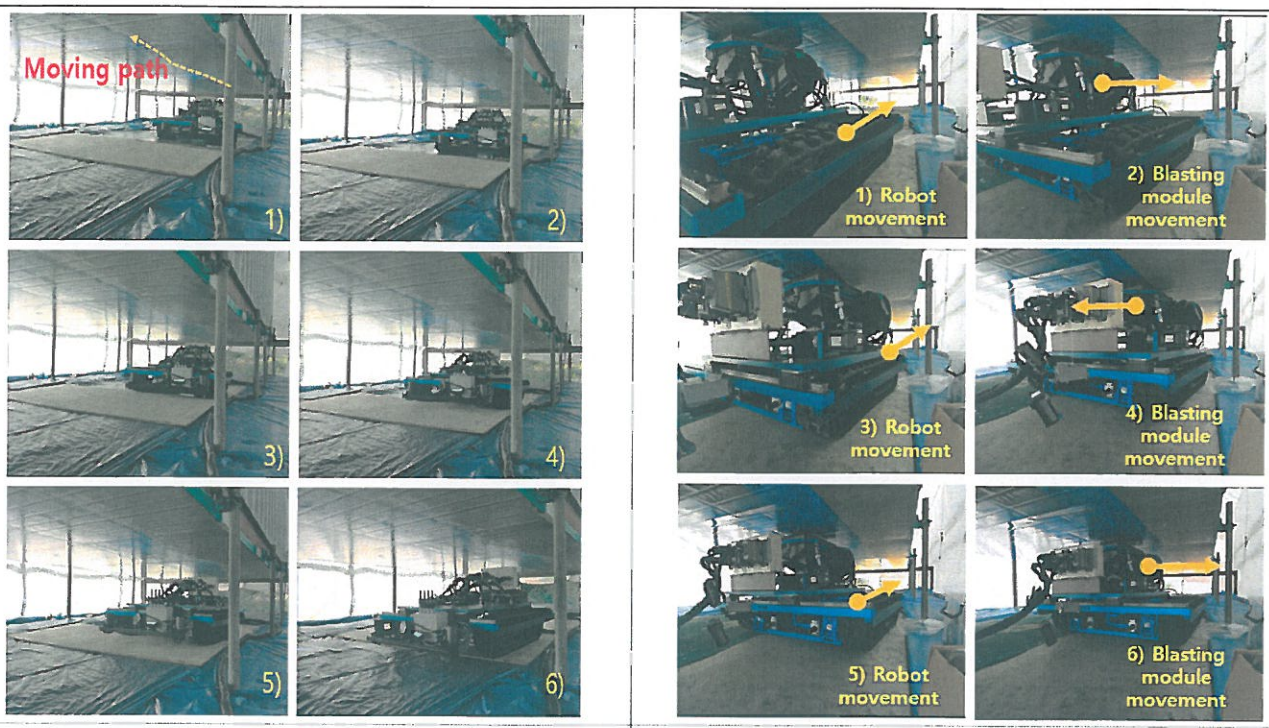
주행 성능 시험용 테스트벤치



도장면과 금속면

그림 71. 비전시스템 성능 시험을 위한 테스트벤치

- 주행 시험: 직선과 곡선으로 이루어진 경로에 따라 100mm/s 속도로 7m 구간을 멈춤 없이 주행하는 시험에서 도장로봇은 정해진 경로에 따라 이동하는 것을 확인
- 복합 주행 시험: 로봇이 전진 이동 후, 블라스팅 모듈이 좌 또는 우측으로 이동하는 복합 동작에서도 정해진 경로를 따라 이동하는 것을 확인. 로봇의 설정 경로의 주행 여부는 도장면의 경계 위치와 블라스팅 모듈의 측면 위치를 비교하여 판단

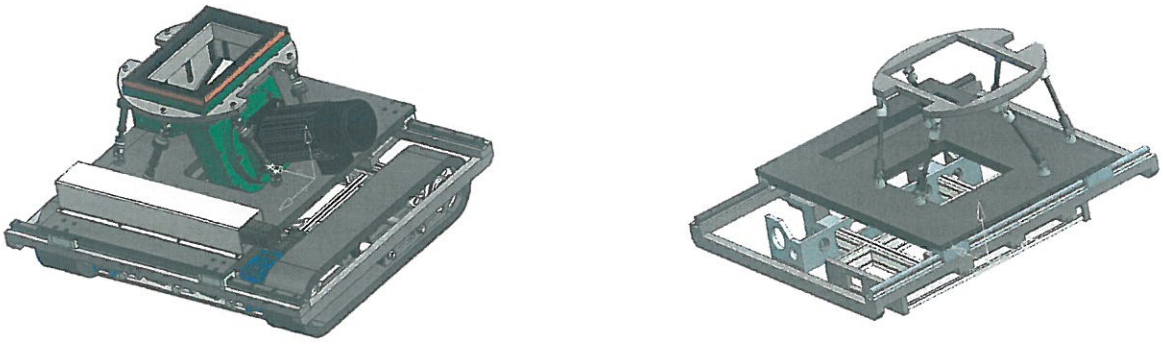


주행 성능 시험 | 복합 주행 성능 시험

그림 72. 테스트벤치에서의 주행 성능 시험

○ 개발품 장비의 레이아웃에 대한 구조적 취약부 분석

- 모달 해석을 통한 고유진동수 분석
  - 도장 장비에 대한 모달(Modal) 해석을 통해 개발품의 설계단계에서의 고유진동수 파악
  - 모달 해석은 ANSYS 19.1로 진행하였으며, pre-processing 및 meshing 작업 또한 ANSYS 19.1로 진행
  - 도장 장비의 3D 모델링 간략화 및 경계 조건은 아래 그림과 같음

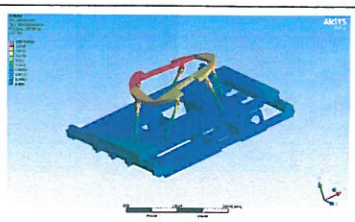


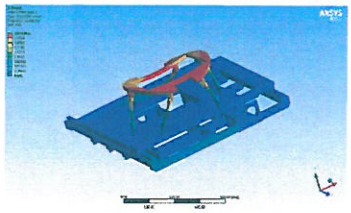
기존 3D 모델링 | 수정된 3D 모델링

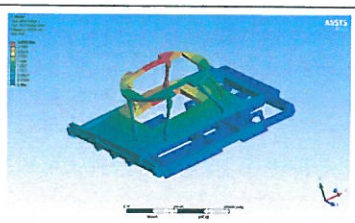
그림 73. 도장 장비의 3D 모델링 간략화 작업 예시

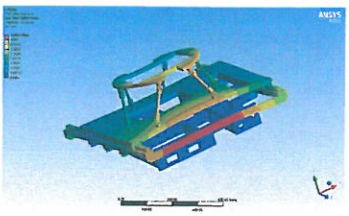
- 작업기를 부착하는 상판과 구동기가 장착되어지는 하판의 구조적 특징은 유지하고, 작업기의 모터 및 구동부의 모터는 point mass를 적용하여 3D 모델링 간략화 작업을 수행

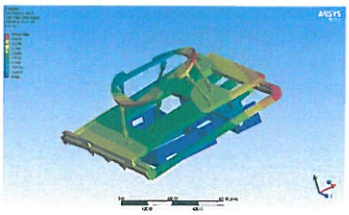
• 경계 조건으로는 구동부를 지지하고 있는 하판의 모터 지지부를 고정하여 해석을 수행하였음
• 또한 모달해석 결과는 아래와 같음


1차 모드: 20.79Hz


2차 모드: 23.48Hz


3차 모드: 43.67Hz


4차 모드: 73.79Hz


5차 모드: 83.41Hz

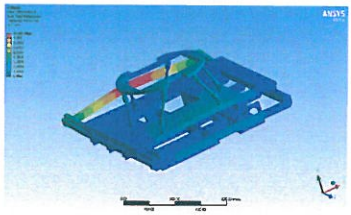
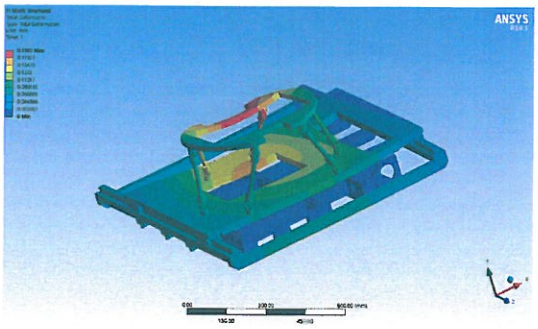

6차 모드: 113.04Hz

그림 74. 도장 장비 모달 해석 결과

• 1차 모드는 20.79Hz로 도장 장비가 주행하거나 작업 시에 발생하는 가진주파수와 고유진동수가 겹치는 구간은 발생하지 않음
• 도장장비는 시속 4km/h 이하의 저속으로 움직이는 장비이므로, 가진주파수에 비해서 고유진동수가 높게 형성되어 고유 진동수에 따른 도장 장비의 구조적 문제가 발생하는 것은 매우 낮을 것으로 판단됨

- 구조 해석 시뮬레이션을 통한 구조적 취약부 분석
• 도장 장비에 대한 자중 해석을 위해 구조 시뮬레이션을 수행
• 3D 모델링 및 경계 조건은 위의 모달 해석 조건과 동일하게 수행
• 자중 해석 결과는 아래와 같음


Max Deformation: 0.198mm

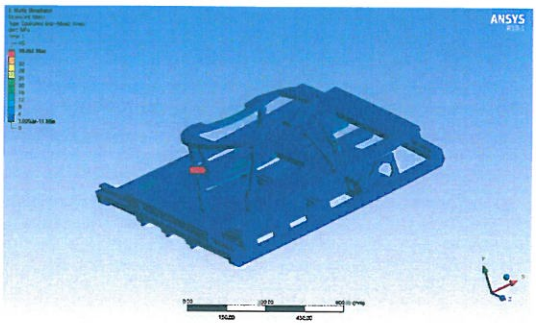

Max Stress: 39.26MPa

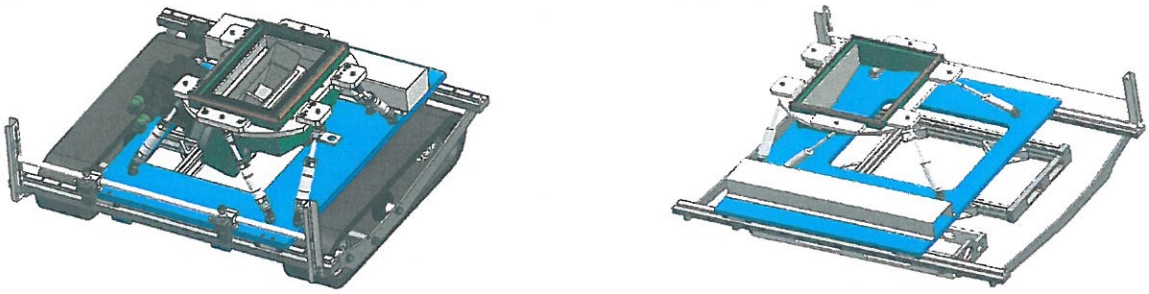
그림 75. 도장 장비의 구조 해석 시뮬레이션 결과 예시

• 자중 해석 결과 최대 응력이 유니버설 조인트와 구동부를 지지하는 하판과의 연결부위에서 39.26MPa이 발생함
• 또한 최대응력 부위를 제외한 다른 부위에서는 10MPa 이하의 응력이 발생하는 결과 도출
• 도장 장비의 설계에 대한 구조적 취약부 분석 결과 구조적 문제점이 발생하는 것은 매우 낮을 것으로 판단됨

○ 개선된 장비의 레이아웃에 대한 구조적 취약부 분석

- 작업기 및 구동부가 장착되는 상/하판 레이아웃에 대한 구조적 취약부 분석
• 강교량 도장장비에 대한 구조 해석을 통해 장비 레이아웃의 구조적 취약부 분석

• 구조 해석은 ANSYS로 진행하였으며, pre-processing 및 meshing 작업 또한 ANSYS로 진행
• 강교량 장비에 대한 3D 모델링 간략화 및 경계 조건은 아래와 같음



기존 3D 모델링 수정된 3D 모델링

그림 76. 도장 장비의 3D 모델링 간략화 작업 예시

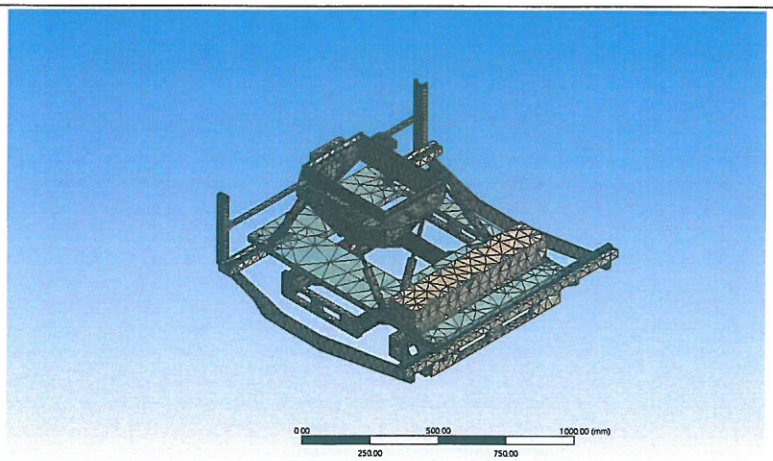
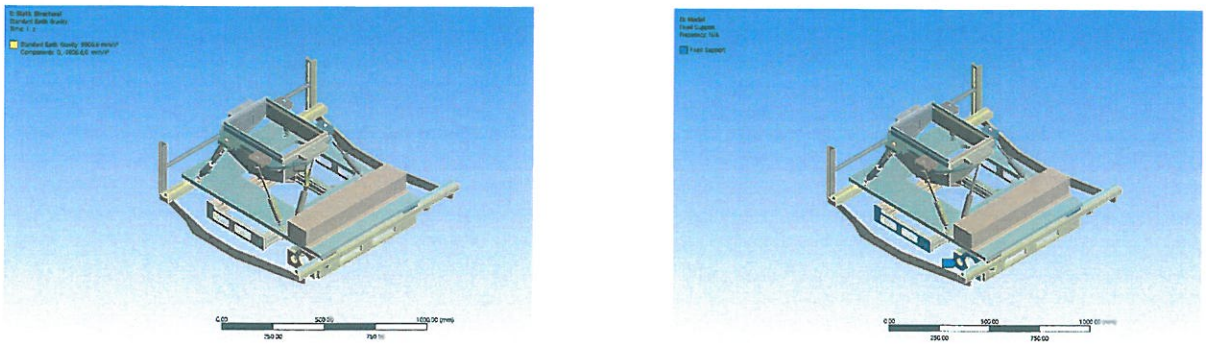


그림 77. 강교량 장비에 사용된 격자계

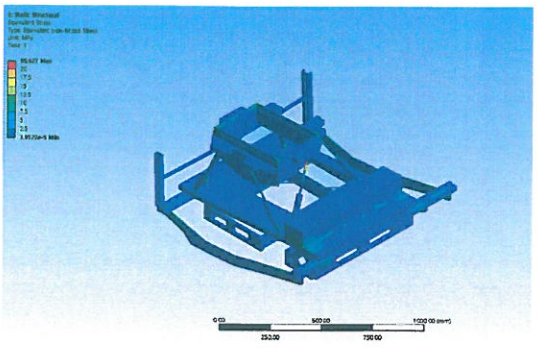
• 강교량 장비에 대한 기본적인 구조적 특징은 유지하고, 3D 모델링에서 구현된 볼팅부 및 엣지에 대한 부분은 간략화 작업을 수행함
• 강교량 장비에 사용된 격자계는 사면체 격자와 육면체 격자를 사용하였으며 해석에 사용된 노드 수는 약 40만개, 요소 수는 19만개이다. 강교량 장비의 작업환경을 고려하여 모달 및 구조 해석에 적합한 격자 생성을 수행함
• 경계 조건으로는 강교량 장비의 구동부인 모터에 부착되어지는 부분에 자유도를 구속하였음.
• 또한 부하조건으로는 강교량 장비의 자중으로 부여하여 구조해석을 수행함.
• 구동부의 모터 및 작업기의 모터는 point mass를 적용하여 해석을 진행함.



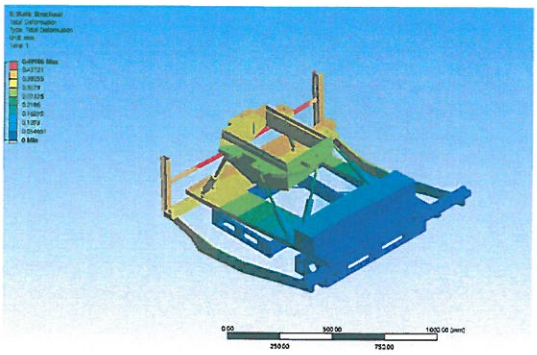
부하조건 구속조건

그림 78. 강교량 장비의 경계조건

• 강교량 장비에 자중 조건을 부과하여 구조적 취약부를 분석함
• 구조해석 결과는 아래와 같음



MAX Stress: 95.6MPa



MAX Deformation: 0.49mm

그림 79. 강교량 장비의 구조해석 결과

• 구조 해석 결과 최대 응력은 강교량 장비의 작업기 모터를 지지하고 있는 부위에서 95.6MPa의 응력이 발생함
• 또한 최대응력 부위에서 응력 분포가 높게 형성되었으며, 다른 부위에서는 20MPa로 낮게 발생하는 결과를 도출
• 강교량 장비의 개선 설계에 대한 구조적 취약부 분석 결과 구조적 문제점이 발생하는 것은 낮을 것으로 판단되며, 응력 분포 또한 구조적으로 안정할 것으로 판단됨

- 모달 해석을 통한 고유진동수 분석
• 강교량 장비에 대한 모달(Modal) 해석을 통해 강교량 장비의 레이아웃에 대한 고유진동수 파악
• 3D 모델링 및 경계 조건은 우의 구조 해석 조건과 동일하게 수행
• 모달 해석 결과는 아래와 같음

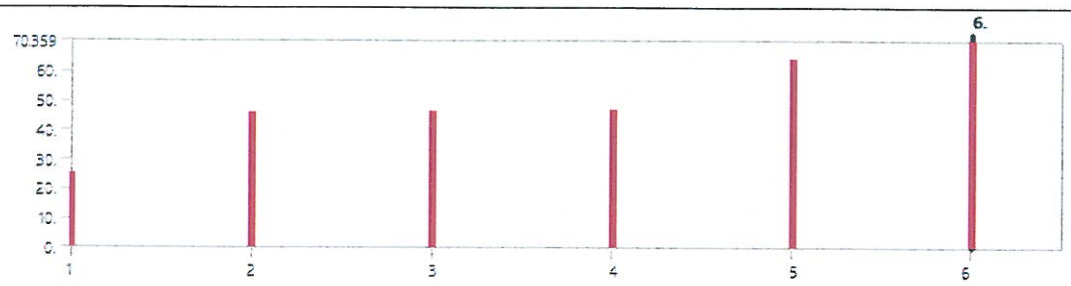
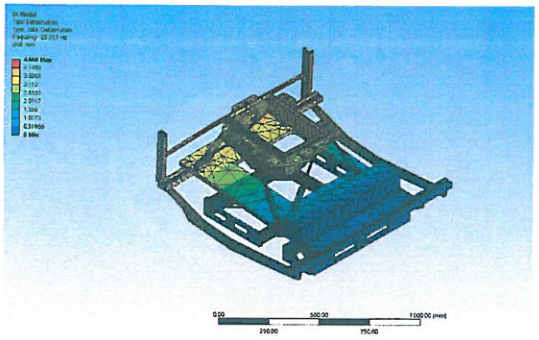
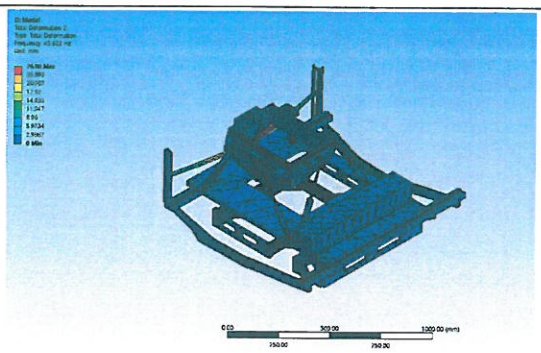


그림 80. 강교량 장비의 모달 해석 그래프

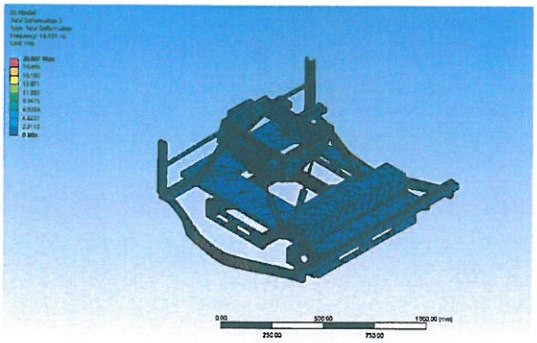
• 모달 해석 결과 1차 모도는 25.2Hz로 작업기의 모터 및 구동부의 모터가가 작동할 시에 발생하는 가진주파수와 고유진동수가 겹치는 구간은 발생하지 않음
• 또한 1차 모드부터 고주파수의 고유진동수가 발생하는 결과가 도출되었기에 강교량 장비는 고유진동수로 발생하는 구조적인 문제점을 적을 것으로 판단됨
• 각 모드별 고유진동수 및 변위는 아래의 그림과 같음



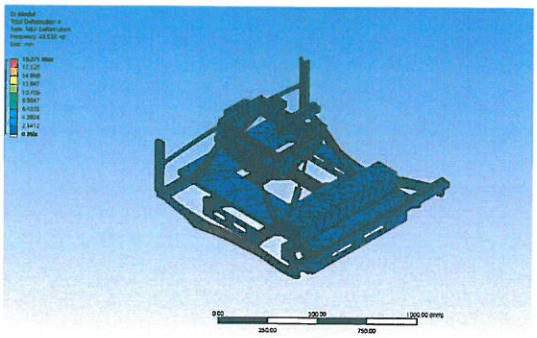
1차 모드: 25.2Hz



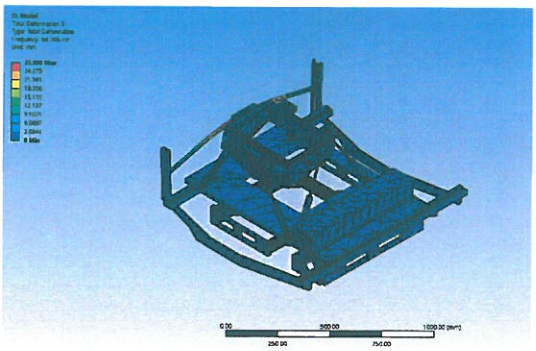
2차 모드: 45.6Hz



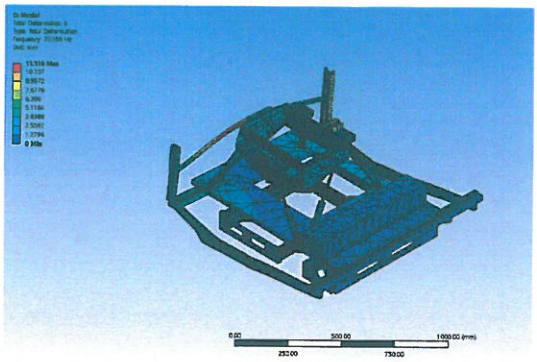
3차 모드: 46.5Hz



4차 모드: 46.9Hz



4차 모드: 64.3Hz



5차 모드: 70.3Hz

그림 81. 강교량 장비의의 모달 해석 결과

표 28. 강교량 장비의 모달 해석 결과

MODE	Frequency(Hz)
1	25.2
2	45.6
3	46.5
4	46.9
5	64.3
6	70.3

○ 통합 장치 개념 수립

- 개발 장치 구성

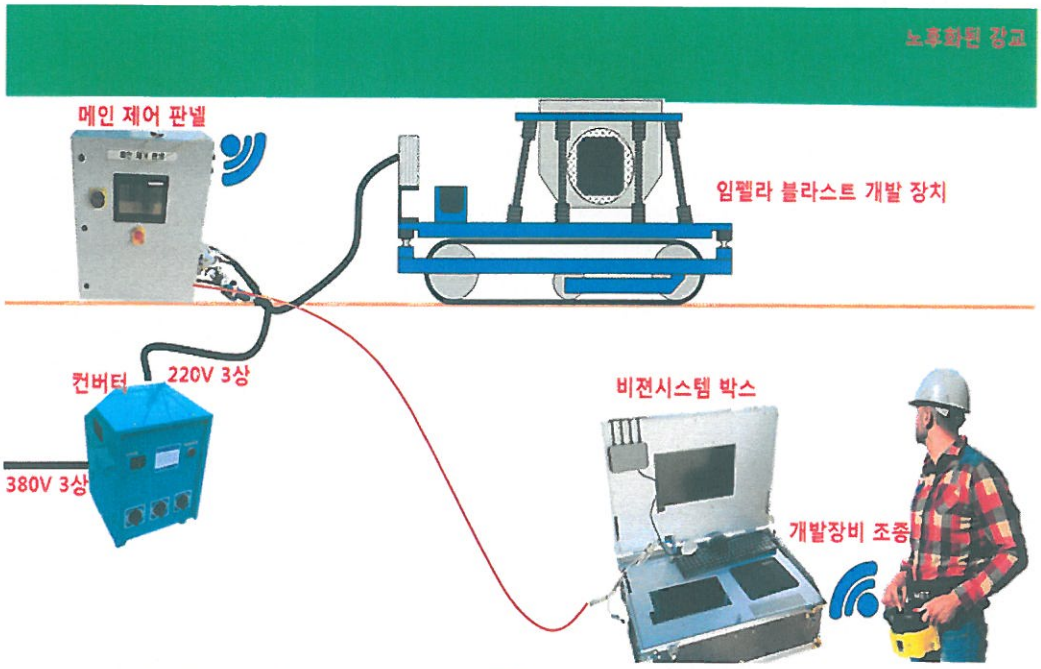


그림 82. 통합 장치 개념 수립

- 블라스트 장치, 주행장치, 비젼시스템, 동력 공급선, 통합제어 시스템, 원격제어 장치로 구성된 강교량 재도장 공사용 이동형 작업장치 연결체계 수립
- 작업장치의 간편한 연결을 위해 통신 장치는 무선을 적용하는 것을 원칙으로 하였으나, 명령체계의 전달은 전파의 간섭과 차폐막에 의한 신호강도 감소를 고려함

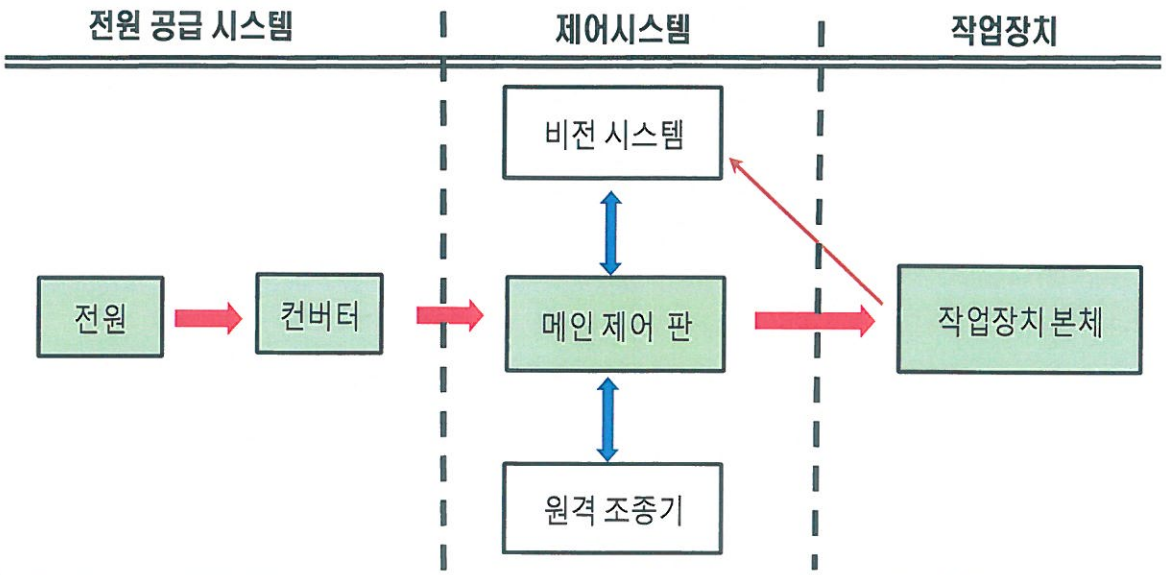


그림 83. 작업장치 명령체계

○ 강교량 재도장 공사용 작업장치 시제품 제작

- 통합제어시스템 항온 EMS, 방수/방진 성능 검증을 통해 적합한 부분품을 적용하였다.

표 29. 통합제어시스템의 성능 검진 결과

시험항목	시료명	
1. 항온	컨트롤판넬	디스플레이
저온시험 -20℃	적합	적합
고온시험 +45℃	적합	적합
2. EMS	컨트롤판넬/ 리모콘	
방사성RT전자기장	적합	
순간정전시험	적합	
전압강하시험	적합	
3. IP 등급(방진/방수)	컨트롤판넬 사용부품	방진 6, 방수 5

항온 (저온/ 고온)

16.1 외관 검사

표 1-1 시료의 시험 결과

검사항목	내용	결과	
		시험 전	시험 후
외관 검사	시료에 대해 시험 전, 후에 크랙, 변색, 변형, 부식 등을 육안으로 검사한다.	적합	적합
Note - 신청자의 요구사항에 따라 외관 검사 실시			

16.2 작동 시험

표 1-2 시료의 시험 결과

검사항목	내용	결과		
		시험 전	시험 중	시험 후
작동 시험	시료가 디스플레이되는지 확인한다.	적합	적합	적합
Note - 신청자의 요구사항에 따라 작동 시험 실시				

26.1 외관 검사

표 2-1 시료의 시험 결과

검사항목	내용	결과	
		시험 전	시험 후
외관 검사	시료에 대해 시험 전, 후에 크랙, 변색, 변형, 부식 등을 육안으로 검사한다.	적합	적합
Note - 신청자의 요구사항에 따라 외관 검사 실시			

26.2 작동 시험

표 2-2 시료의 시험 결과

검사항목	내용	결과		
		시험 전	시험 중	시험 후
작동 시험	시료가 디스플레이되는지 확인한다.	적합	적합	적합
Note - 신청자의 요구사항에 따라 작동 시험 실시				

EMS

■ 시험 결과 요약

구분	시험항목	시험규격	결과[1]
1	방사성 RF 전자기장 시험	IEC 61000-6-2:2016 Part 6-2: Generic standards - Immunity standard for industrial environments	적합
2	순간 정전 시험		적합
3	전압 강하 시험		적합

1) 대상 제품은 KOMSEC 의사결정규칙에 따라 측정불확도를 고려하지 않음

방진, 방수(IP)

3차년도 IP 목표 : IP65



DMS3102 [IP 67]

LAPP 베이스 [IP65]

Lapp 하우징 [IP65]

PG 커넥터 [IP68]

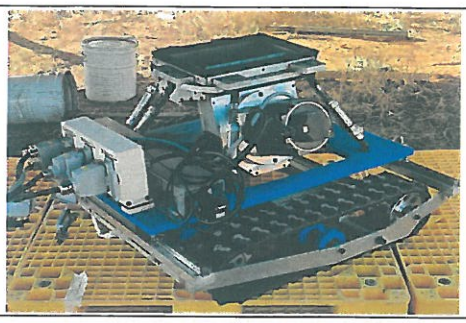
비상버튼 : KPB 25W ER-R11 [IP65]

화신 Model : AC-LP 7080 30 [IP65]

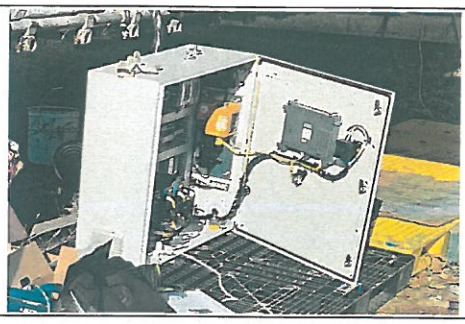
터치 스크린 : eXP60-TTA/DC [IP65]

메인스위치 : MAS-125 [IP65]

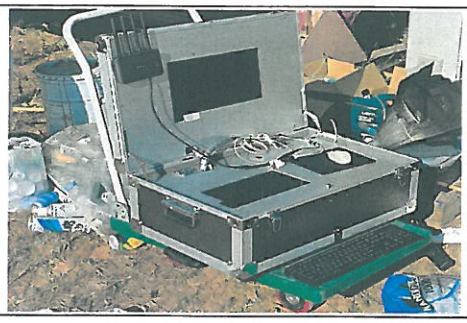
- 통합 시스템 제작(시제품 제작)



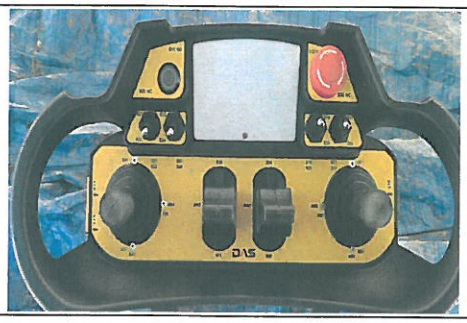
통합장치(블라스트,주행,다관절,카메라)



통합시스템(판넬)



원격 모니터링 시스템



원격 조종장치(리모콘)

그림 84. 3차 연도 주요 개발 내용

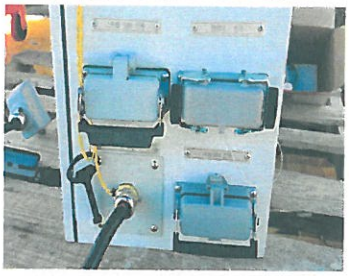
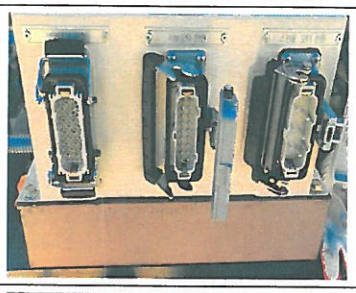
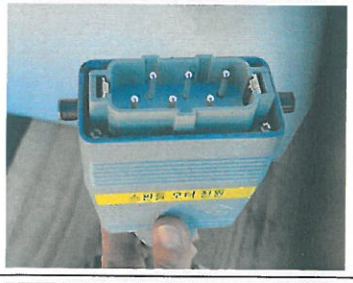
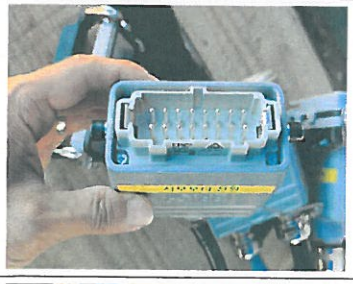
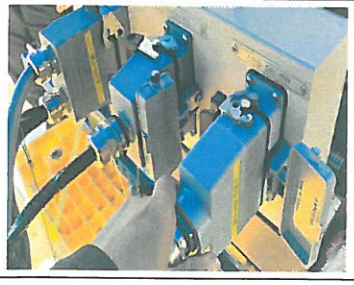
- 전원공급장치 구성

표 30. 전원 공급 장치

번호	구분	설명
1		- [필요시] 380V 3상 - 220V AC 3상 트렌스 설치 · 현장에서 380V 3상 전압이 있는 경우에는 220 V AC 3상 트렌스 필요
2		- 220V AC 3상 전원(메인전원) · 가운데 T형 모양에 맞춰서 설치 후 고정밸브를 돌려 빠지지 않도록 고정 · 전원 공급 수행

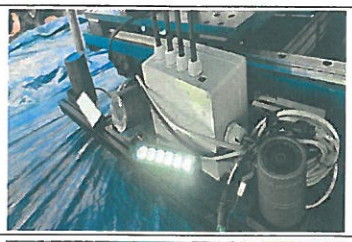
- 통합 제어 시스템 연결 구성

표 31. 통합 제어 시스템

번호	구분	설명
1		- 통합제어판넬 연결부 구성 · 스핀들 모터 전원 · 엔코더 / 신호 · 서보모터 전원 · 220V AC 3상 전원(메인전원)
2		- 이동식 임펠라 블라스트 장치 연결부 구성 · 스핀들 모터 전원 · 엔코더 / 신호 · 서보모터 전원
3		- 엔코더 / 신호 연결선 · 비젼시스템 및 통제신호 관련 연결
4		- 스핀들 모터 전원선 · 임펠라 블라스트 모터 연결(5kw DC서보모터)
5		- 서보모터 전원선 · 구동 모터 및 좌우이송 모터 전원선 (700W DC 서보모터 2개, 좌우이송 서보모터)
6		- 이동식 임펠라 블라스트 장치 - 엔코더 결합선SET 연결 · 스핀들 모터 전원 : 소켓 삽입 - 고정락 결속 · 엔코더 / 신호 : 소켓 삽입 - 고정락 결속 · 서보모터 전원 : 소켓 삽입 - 고정락 결속

- 비젼 젼시스템 장치 및 구성 (무선연결)

표 32. 비전시스템

순서	구분	설명
1		- 비전시스템 모니터링 및 무선모니터 - 통합제어기와 RS232 연결 · 로봇에 장착된 무선 모니터링 모듈로부터 50m 이상의 거리에서도 안정적으로 영상 획득 · 작업 영역의 영상 정보 디스플레이 · 로봇의 주행 방향 제공
2		

○ 장비설정 초기화





그림 85. 통합제어장치 모니터 운전 화면 및 설정 화면

- 이동형 임펠라 블라스트 작업장치 설정 매뉴얼
  • 조작 방법 : 자동모드 설정 화면 클릭하면 해당 화면이 나타남.

  • 스핀들 속도 설정
  ·· 임펠라 블라스트 모터 속도 조정(가동시 해당 속도 적용)

  • 좌우 이송 설정
  ·· 자동 속도 : 임펠라 블라스트 좌우이송 속도
  ·· 위치 MIN : 영점 위치 구동 방향 좌측 시작점
  ·· 위치 MAX : 영점 위치 구동 방향 우측 종료점

  • 자율 주행 설정
  ·· 주행 거리 : 임펠라 블라스트 좌우 이송 후 하부주행체 전진시 이동 거리 조정
  ·· 주행 속도 : 하부주행체 전진시 이동 속도 조정
  ·· 회전 거리 : 작업라인 종료 후 다음 작업라인으로 회전시 회전거리 반경 조정
  ·· 회전 속도 : 작업라인 종료 후 다음 작업라인으로 회전시 회전속도 조정

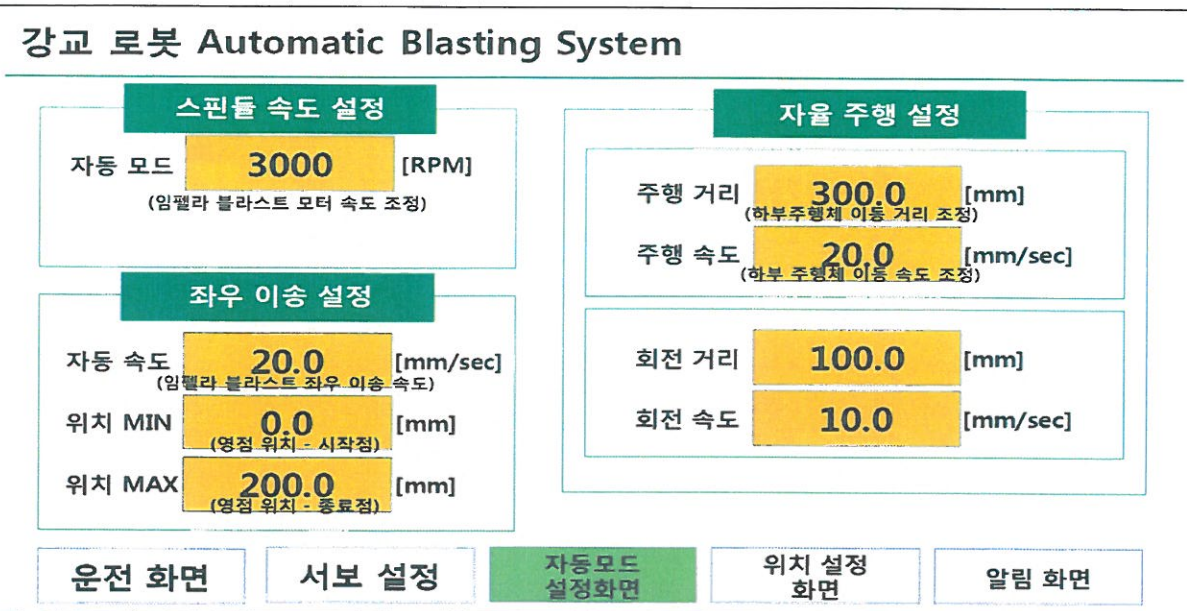
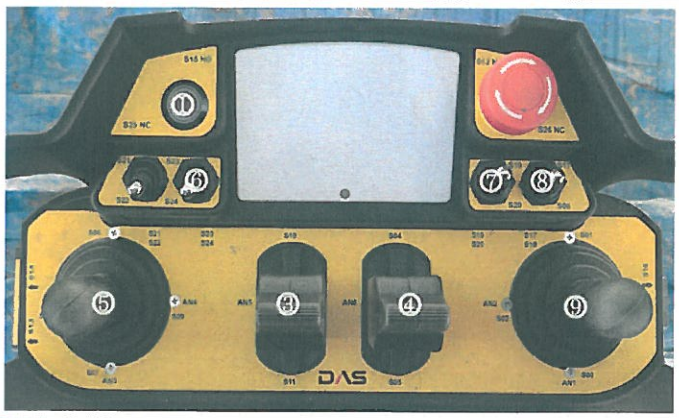


그림 86. 통합 제어장치 설정 매뉴얼 화면 설명

- 무선 조종장치 설정



정 면



측 면

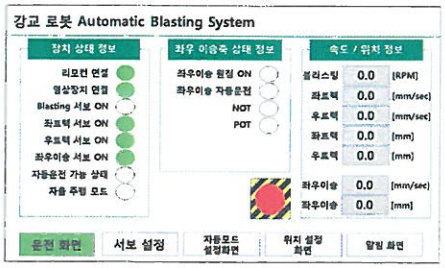
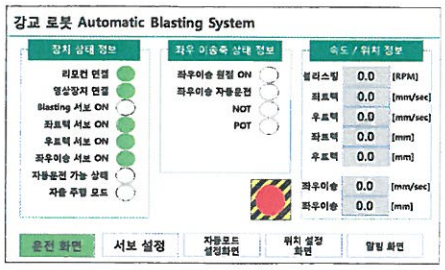
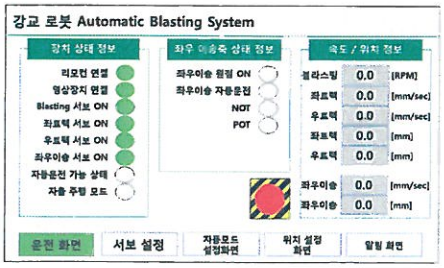
그림 87. 무선 조정장치

• 버튼 기능

표 33. 무선 조종장치 버튼 기능

구 분		설 명
수동 주행	①	전원 스위치
	②	리모컨 판넬 연결 스위치(리모컨 우측부)
	③	하부 구동체 구동 레버(좌측) / [위] 전진방향, [아래] 후진방향
	④	하부 구동체 구동 레버(우측) / [위] 전진방향, [아래] 후진방향
	⑤	임펠라 블라스트 위치 조절 레버 / [위] 우측방향, [아래] 좌측방향
	⑥	임펠라 블라스트 작동 레버 / [위] ON, [아래]OFF
자율주행	⑦	임펠라 블라스트 영점 스위치 / [위] 영점 적용
	⑧	자율 주행 준비 스위치 / [위] 자율주행 준비 완료 [아래] 자율주행 종료
	⑨	자율 주행 시작 스위치 / [위] 자율주행 시작

표 34. 무선조종장치 설정 방법

순서	패널 : 운전 화면	설명
1		- 무선리모컨과 통합제어판넬 연결 · ①번 전원 스위치 누름. (빨강색 조명이 점등 및 부저 소리 3회 까지) · ②번 스위치를 누름. - 통합제어판넬 모니터 화면 · 연결시 리모컨 연결 녹색 점등 및 서보모터 ON
2		- 하부주행체 무한궤도 작동 · ③번 위아래 조작시, 왼쪽 무한궤도 전진 후진 · ④번 위아래 조작시, 오른쪽 무한궤도 전진 후진 - ③,④번 조작으로 원하는 위치로 이동
3		- 임펠라 블라스트 위치 조정 및 작동 · ⑤번 위아래 조작시, 임펠라 블라스트 좌우 이송 · ⑥번 위로 올려 임펠라 블라스트 가동, 아래로 내리면 종료됨.

○ 측면 블라스트 및 분사 노즐 거치대

- 장치가 갖춰야 할 조건
  - 노즐을 거치하는 장치이며 노즐을 반복하여 상하로 흔들어 준다. 구동 모터에 의해 작동한다.
  - 노즐은 구동 모터와 벨트로 구성된 가이드를 따라 이동하도록 하는 가이드 장치를 가지고 있다.
  - 노즐 가이드는 수직 기둥에 거치되거나, 이동장치에 거치하기 위한 브라켓을 가지고 있다
  - 노즐 가이드가 수직 기둥에 거치될 때 직각으로 또는 수평방향으로 회전이 가능한 브라켓을 가지고 있다.
  - 수직 기둥은 수평방향으로 360도 회전이 가능하며, 수직방향으로 90도 회전이 가능하다.

- 블라스트 및 분사노즐 거치대 제작

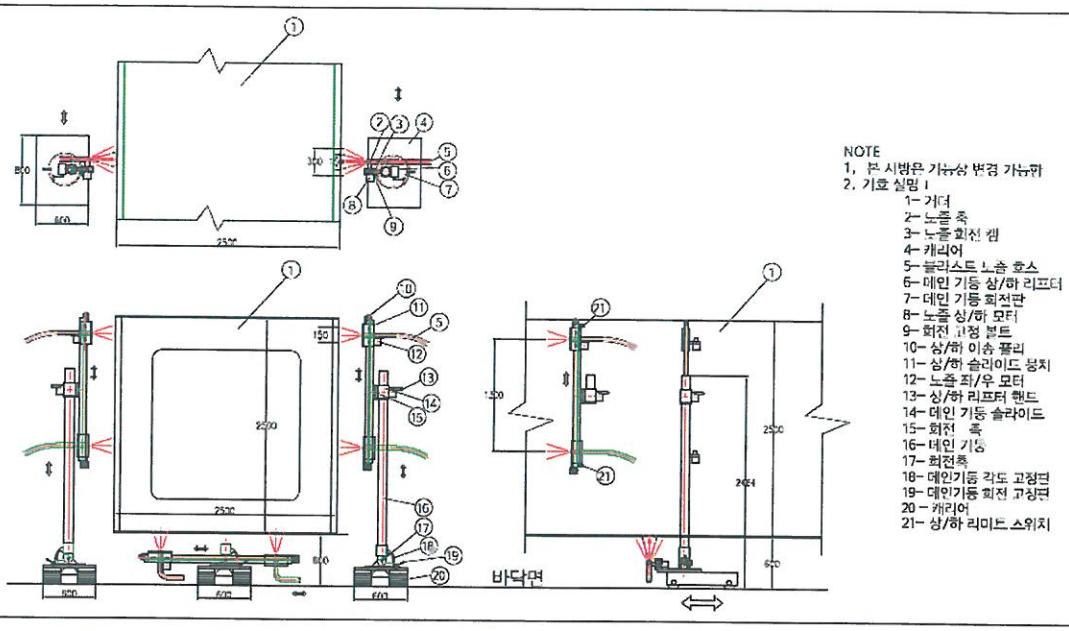


그림 88. 블라스트 및 분사노즐 제작 도면



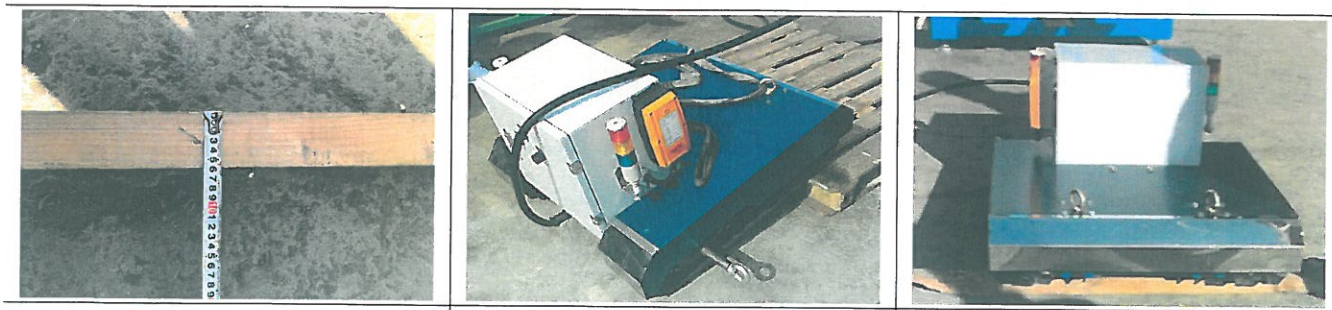
그림 89. 블라스트 및 분사 노즐 거치대 제작

- 특허 출원 및 등록
  • 특허 제 10-2295556 강교량 재도장 공사용 블라스팅 및 페인팅 노즐의 이동식 거치장치

5) 성능평가

○ 주행 단차 극복 테스트

- 1차 시제품



단차(5cm)	단 차 주 행	완 료

그림 90. 1차 시제품 단차 극복 테스트

- 2차 시제품

표 30. 주항장치 2차 시제품 단차 극복 테스트 결과

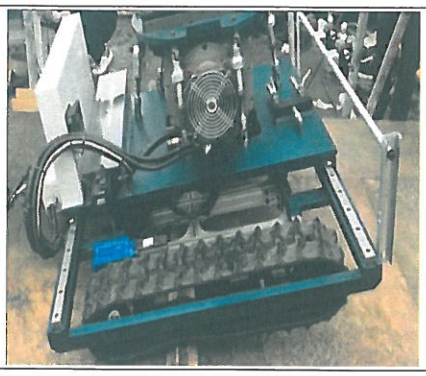
시험항목	목표	시험 결과
단차 극복 높이	7cm 단차	7.2cm 단차 극복 확인



단차



단 차 주 행



완 료

그림 91. 2차 시제품 단차 극복 테스트

- 3차 시제품



단차 (8cm)



단 차 주 행



완 료

그림 92. 3차 시제품 단차 극복 테스트

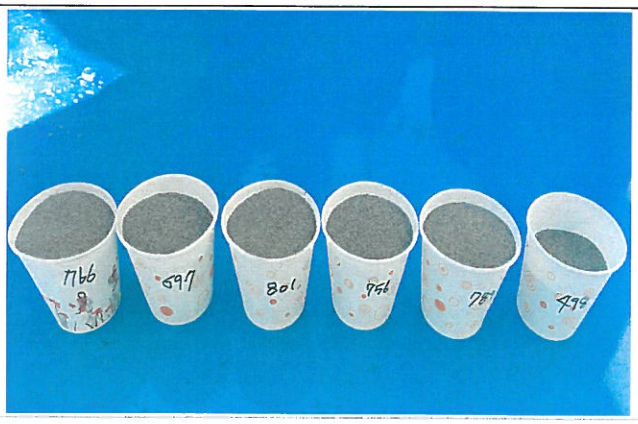
○ 연마재 분사량 측정 테스트

- 1차 시제품

• 회수 시간 : 20초, 총 무게 : 4.307kg, 분사량 : 12.921kg/min



연마재 공급



연마재 Test & 수거

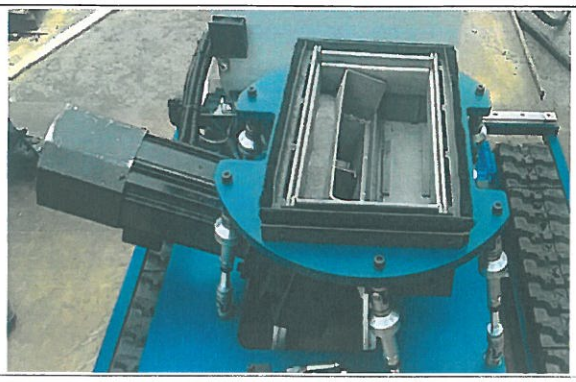
그림 93. 1차 시제품 분사량 측정 테스트

- 2차 시제품

• 숏블라스팅 분사량 TEST

·· 시험을 통해 연마재의 토출량과 작업속도를 파악하는 시험실시 하였고 시험결과 정량적 평가 항목을 만족하는 결과를 가져옴

·· 숏 블라스팅 테스트 장비를 활용하여 분사량 측정, 30초 동안 분사되는 연마재 수거 후 무게를 측정한 결과 블라스팅 노즐 분사량 18.9kg/min으로 목표값 15kg/min 이상 달성

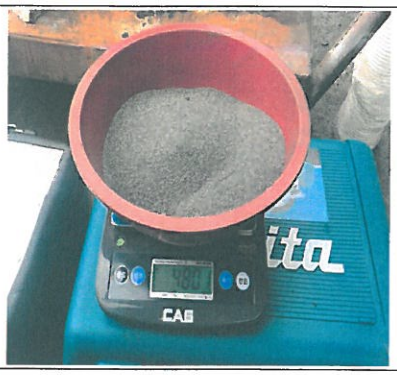


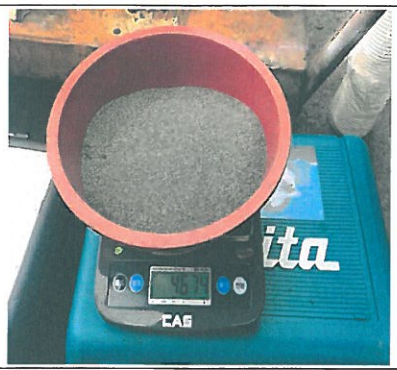
연마재 공급



분사량 Test & 수거

그림 94. 2차 시제품 분사량 측정 테스트





분사량 측정 결과 사진 (30.5초동안)



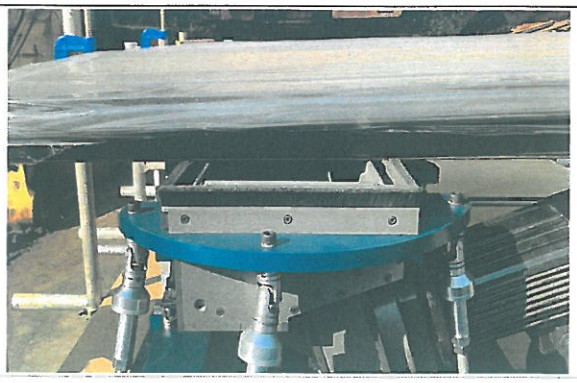
분사량 측정 시험 사진

그림 95. 2차 시제품 분사량 무게 측정

- 숏블라스팅 연속작업 시험 TEST

• 정량적 평가 시험 TEST를 목적으로 설치한 테스트베드 내부에서 연속작업 30분 이상 시험한 결과, 블라스팅 작업 성능 검증

• 특징 : 연마재가 순환되어 작동됨으로써 연마재 소모 최소화 및 연마재 수거 작업 불필요



블라스팅 시험

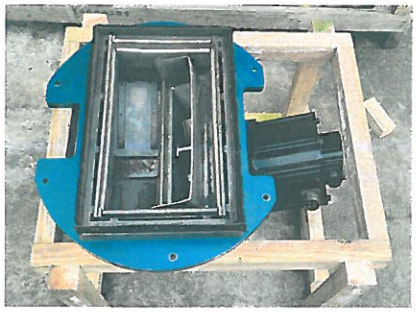


블라스팅 작업 결과

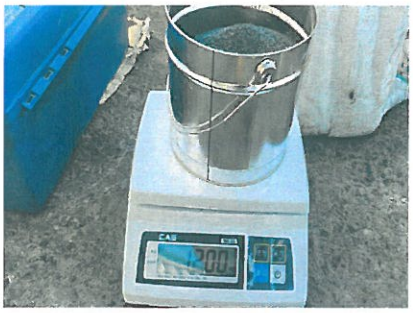
그림 96. 숏 블라스팅 연속작업 테스트

- 3차 시제품

• 임펠라 회전속도, 연마재의 크기, 투사시간을 변경하여 블라스트 작업면적과의 관계 분석을 위한 실험



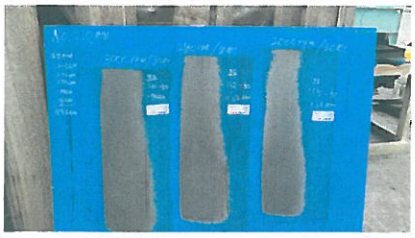
블라스트 장치 준비

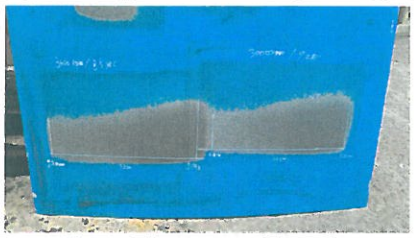


연마재 투입



시험





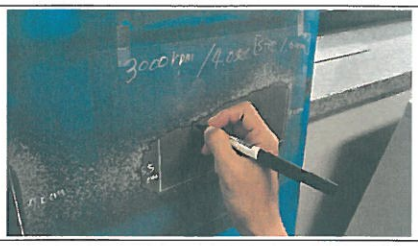


실험 후 시편

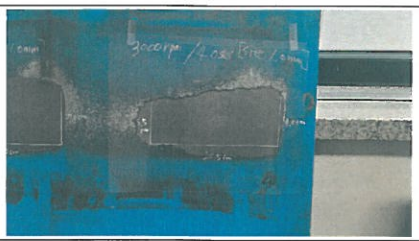
그림 97. 블라스트 작업면적과의 관계 분석 실험 진행



조도 측정



블라스트 면적 측정



유효면적 산출

그림 98. 3차 시제품 분사량 및 작업 유효면적 테스트

• 스틸볼 직경과 표면조도

회전속도 2500rpm시 2.0mm 직경의 스틸볼은 각각 1.0mm, 0.6mm 직경의 스틸볼보다 조도 기준으로 각각 56.8%, 46.8% 상승하는 것을 확인 했으며 1.0mm과 0.6mm 직경의 스틸볼 간의 비교에서는 1.0mm직경의 스틸볼이 6.8% 표면조도가 상승하는 것을 확인하였다.

• 임펠라의 회전 속도와 유효면적

회전 속도가 높을수록 전반적으로 유효 면적이 증가하는 것으로 나타났다.

표 35. 볼의 직경과 회전속도에 따른 표면조도

직경 (mm)	회전 속도 (rpm)	표면 조도		
		하부	상부	평균
2.0	3000	75	70	72.5
	2500	70	68	69
	2000	67	65	66
1.0	3000	45	48	46.5
	2500	44	50	47
	2000	42	49	45.5
0.6	3000	46	45	45.5
	2500	43	45	44
	2000	41	44	42.5

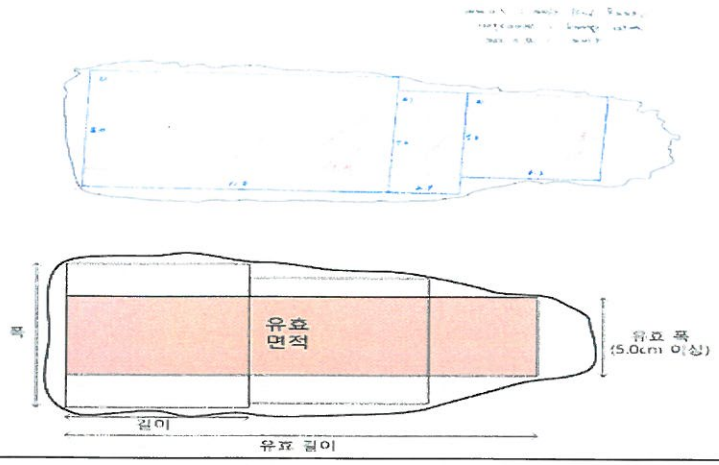


그림 99. 유효면적 계산

표 36. 볼의 직경과 회전속에 따른 표면처리 유효면적

직경 (mm)	회전 속도 (rpm)	유효면적(cm2)
2.0	3000	292
	2500	224
	2000	170
1.0	3000	155
	2500	189
	2000	104
0.6	3000	166
	2500	113
	2000	59

• 노출시간

·· 노출시간이 증가함에 따라 스틸볼 직경과 관계없이 표면처리 면적이 증가하는 경향을 확인할 수 있었고, 직경 2.0mm의 스틸볼이 가장 큰 유효 면적의 표면처리가 가능함을 확인할 수 있었다.

표 37. 노출시간과 유효면적 과의 관계

직경 (mm)	회전속도 (RPM)	노출시간 (sec)	유효면적 (cm2)	유효폭 (cm)	유효길이 (cm)
2.0	3000	8.5	220.32	7.2	30.6
		7.0	202.15	6.5	31.1
		5.5	173.46	5.9	29.4
		4.0	161.28	5.6	28.8
1.0	3000	8.5	139.86	6.3	22.2
		7.0	133.76	6.4	20.9
		5.5	131.48	7.6	17.3
		4.0	114.84	5.8	19.8
0.6	3000	8.5	132.6	6.8	19.5
		7.0	102.44	5.2	19.7
		5.5	86.4	6	14.4
		4.0	78.1	5.5	14.2

표 38. 노출시간과 유효면적

직경 (mm)	회전 속도 (rpm)	노출시간 (sec)	초당 유효면적(cm2/sec)
2.0	3000	8.5	25.9
		7.0	28.9
		5.5	31.5
		4.0	40.3
1.0	3000	8.5	16.5
		7.0	19.1
		5.5	23.9
		4.0	28.7
0.6	3000	8.5	15.6
		7.0	14.6
		5.5	15.7
		4.0	19.5

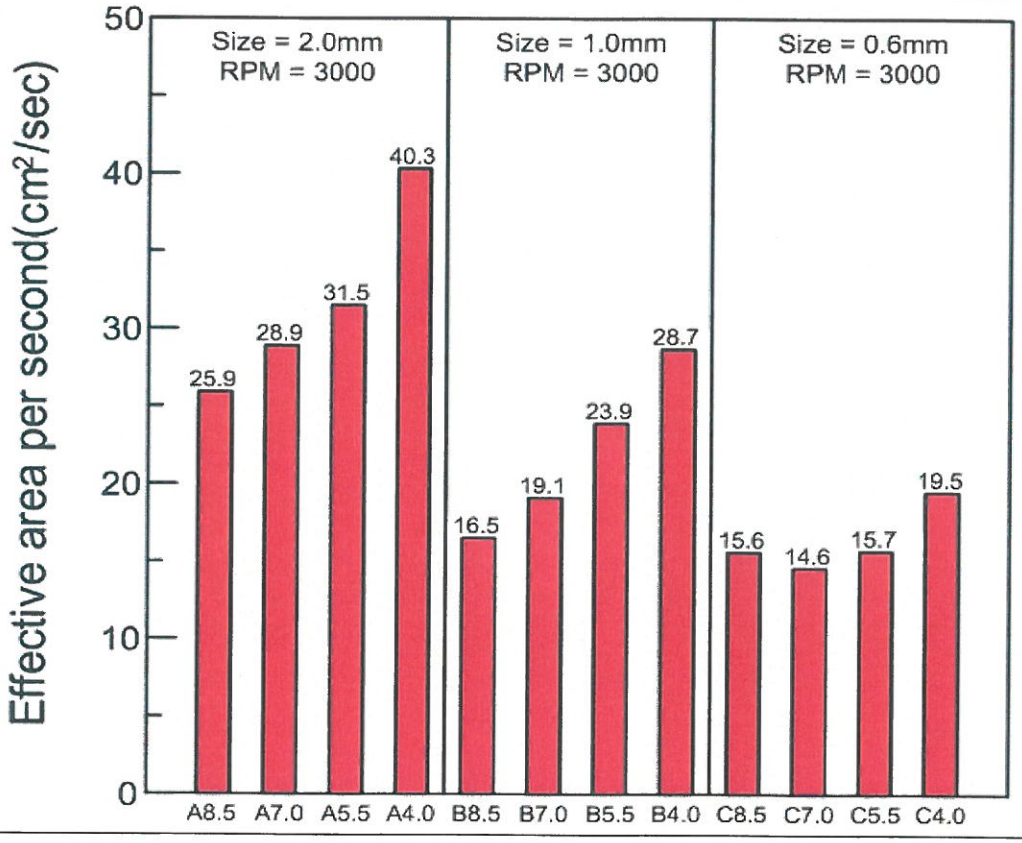


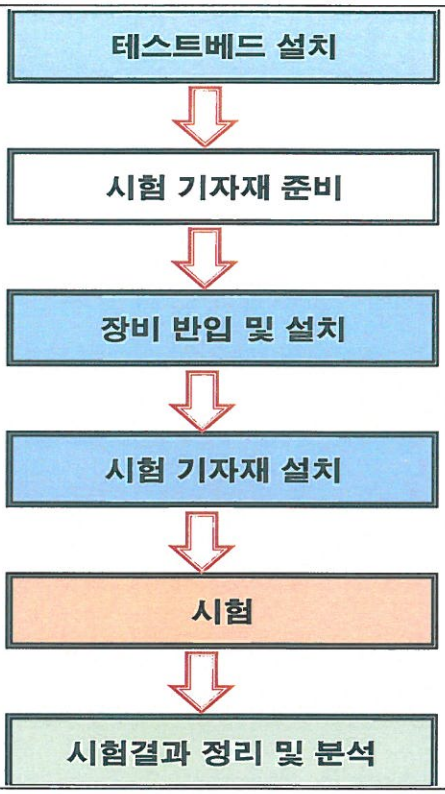
그림 100. 볼의 직경과 노출시간에 따른 작업 효율 관계

※ 시험 결과로부터 블라스트 유효폭 5cm을 만족하는 조건을 설정 하였다.
임펠라 블라스트 회전속도 3,000rpm(정격), 볼사이즈 2.0mm, 유효면적 40.3㎠/sec

※ 장비이동 속도 설정
5cm / 4sce = 12.5mm/sec

○ 강교량 재도장 공정(도장 및 블라스팅)에 적용 가능한 이동형 다목적 장치 성능시험

- 장비 성능 테스트를 위한 절차를 수립



- 수립된 절차를 따라 장비 성능테스트를 실시 하였다

• 테스트 베드 설치



그림 101. 테스트베드 설치



그림 102. 테스트베드내 장비 투입구 설치

• 비전 시스템 성능 평가를 위한 준비

·· 직진 주행 성능 평가

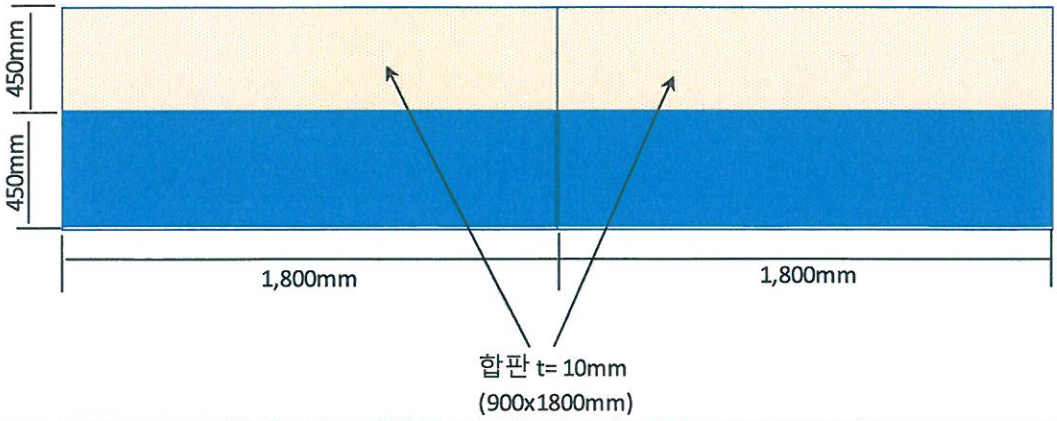


그림 103. 테스트베드내 비전시스템 평가위한 직진면 설치

·· 굴절면 주행 성능 평가

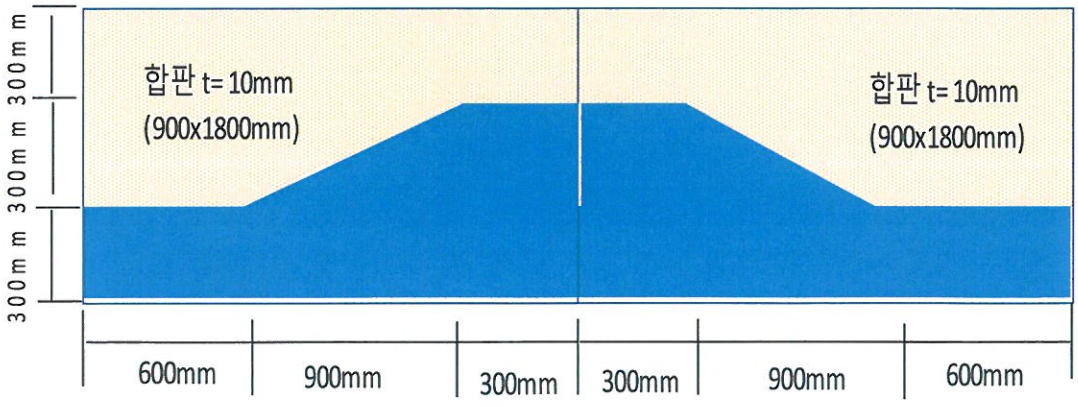


그림 104. 테스트베드내 비전시스템 평가위한 굴절면 설치

• 장비 반입 및 설치

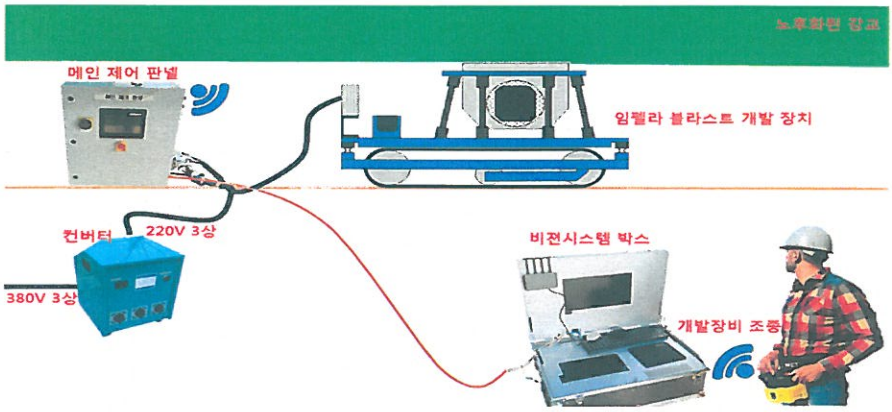
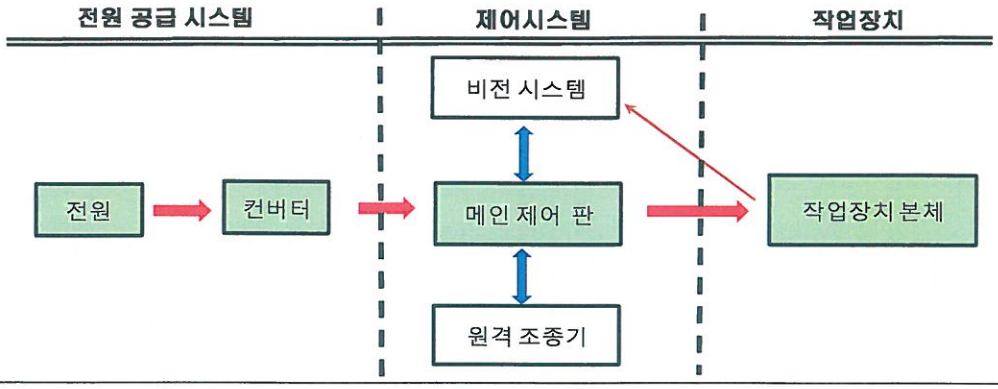


그림 105. 장비 반입 및 설치

• 장비 연결



• 시험 기자재 설치

·· 주행성능 평가

·· 비젼 시스템 시험용 도색

·· 장비 무게 측정을 위한 저울 설치

·· 비산 분진 측정을 위한 가림막 설치

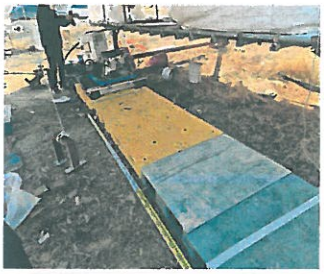
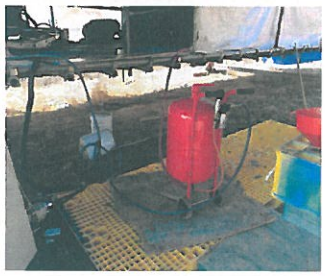
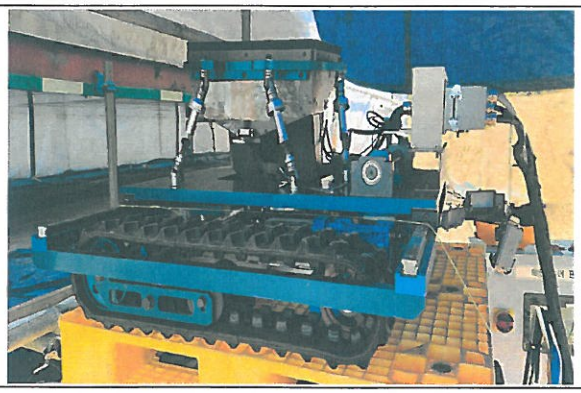
시험내용	사진 1	사진 2	사진 3
주행성능			
비젼 시스템			
비산분진 측정			

그림 106. 통합시스템 성능평가

- 시험 및 시험 결과

표 39. 장비 제원



항 목	평균 치수(mm) 3회측정
· 폭	· 1101 mm
· 길이(카메라포함)	· 1320 mm
· 높이	· 609 mm
· 무게	· 197.4 kg

• 주행 속도 (평지)

표 40. 평지 성능 테스트

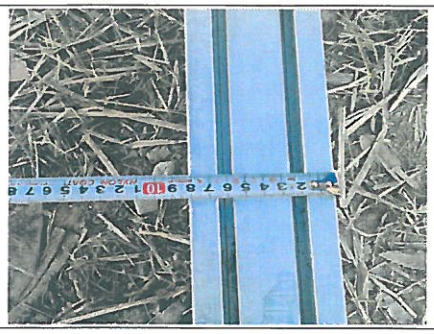
구 분	번 호	이동거리	소요시간 (sec)	평 균	속도 (mm/sec)
전 진	1	300cm	20.15	20.2	148.5
	2	300cm	20.35		
	3	300cm	20.21		
후 진	1	300cm	20.21	20.1	149.2
	2	300cm	20.01		
	3	300cm	20.03		

• 주행 속도 (작업장 내)

표 41. 작업장내 성능 테스트

구 분	번 호	이동거리	소요시간 (sec)	평 균	속도 (mm/sec)
전 진	1 2 3	300cm 300cm 300cm	20.63 20.59 20.72	20.6	145.6
후 진	1 2 3	300cm 300cm 300cm	20.23 20.39 20.12	20.2	148.5

• 단차 극복 높이 - 8cm 통과



단차(8cm)



주 행



완료

그림 107. 통합시스템 단차 극복 테스트

• 회전시간

표 42. 회전 성능 테스트

회전	번호	측정시간 (sec)	평균 (sec)	비고
180도	1 2 3	10.53 10.25 10.09	10.3	

• 싸이클 타임

표 43. 싸이클/이동거리 성능 테스트

싸이클	번호	측정시간 (sec)	평균 (sec)	비고
1	1 2 3	60.21 60.34 60.27	60.3	

이동거리	번호	측정시간 (mm)	평균 (mm)	비고
2회 전진	1 2 3	423 421 425	423	

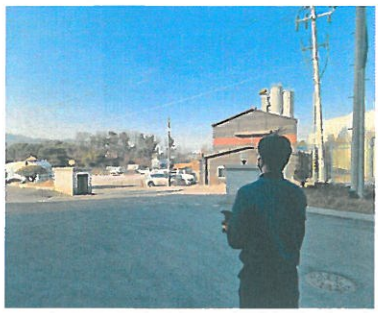
• 무선 송수신 범위

표 44. 영상전송범위

항목	영상전송 범위	리모콘 작동 범위
측정 값 (m)	100m	100m



연상전송 범위



리모콘 작동 범위

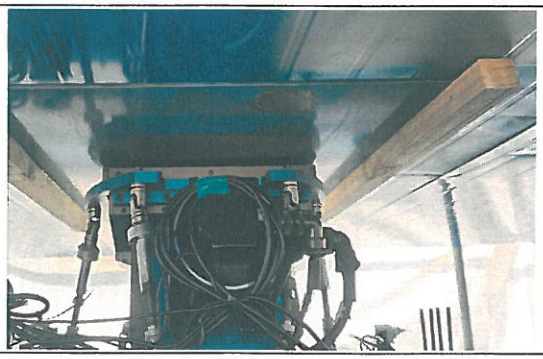


범위 100m

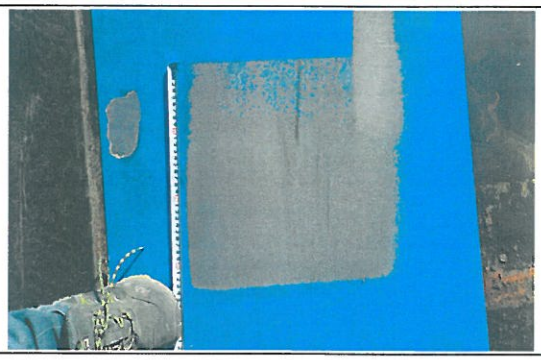
그림 108.통합시스템 무선송수신 거리 테스트

○ 작업효율 측정

- 유효 작업량 측정
- 측정결과 유효 폭 400mm, 유효 길이 200mm

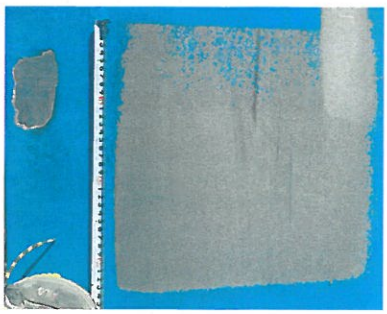


블라스팅

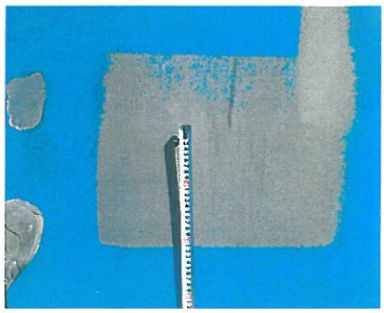


시편 회수

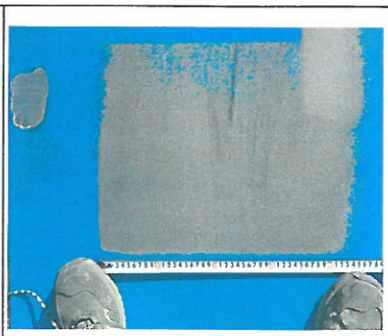
그림 109. 통합시스템 유효작업량 테스트



전체 면적



유효 길이(200mm)



유효 폭(400mm)

그림 110. 통합시스템 작업효율 테스트

- 테스트베드 (실 작업현장)내 블라스트 작업성 평가
  • 현장조건을 모사한 테스트베드내에서 블라스트 작업을 실시한 결과 블라스트 양호

• 연마재인 숏볼에 의해 0.6mm 철판에 변형이 발생함



블라스트 전



블라스트 후

그림 111. 통합시스템 작업성 테스트

○ 작업현장 모니터링 장치 성능 검증

- 작업현장의 모니터링 장치는 곡선교량 또는 작업장치의 오차에서 발생하는 블라스트 면의 굴곡을 따라 스스로 작업장치가 위치를 보정하며 작업하기 위한 시스템 이다
- 현장에서 발생할 수 있는 굴절을 가상하여 테스트 베드내에 굴절각 18도 (길이 900mm, 높이 30mm)의 굴절선을 제작 하였고 이를 따라 작업장치가 회전하며 이동하는 여부를 시험한 결과 굴절면을 따라 이동하는 것을 확인 하였다







그림 112. 통합시스템 모니터링 테스트

- 영상 전송 장치는 작업자가 밀폐된 공간에 장비와 같이 있지 않아도 장비를 조종하여 작업을 수행하기 위한 것으로 강교량의 거더 길이가 통상 50m 전후 인 것을 감안하면 영상전송 범위 100m는 원격 조종이 가능함을 알수 있다.

○ 비산 분진 저감 효과

- 에어블라스트와 샌드 또는 PS볼을 연마제로 사용하는 기존 방법은 고압공기와 연마재의 파쇄로 미세 먼지가 다량 발생 하나, 본 연구 개발품인 임펠라 블라스팅은 임펠라의 회전에 의한 원심력으로 연마재가 분사되며 연마재인 스틸볼은 작업 중 파쇄되지 않아 분진의 비산이 감소하는 효과가 있다
- PM 10은 연마재 사용량을 동일하게 분사하는 조건과, 작업시간을 동일하게 하는 조건에서 모두 분진량이 5.5 ~ 3.0배 감소하는 것으로 나타난 반면 PM 2.5의 초미세먼지는 조건에 따라 감소량의 차이를 보였으며 이는 초미세먼지의 측정은 완전 밀폐된 조건이어야 하나 실험 시 완전 밀폐가 이루어지지 않아 바람의 영향을 받은 것으로 판단된다.

- 비산먼지 측정테스트

• 시험 조건

·· 장소 : FM글로벌 함안 공장내 설치된 테스트베드

·· 측정 장비 및 조건 (측정 장비 : AEROCET 831(한국화학시험연구원 인증) / PM2.5, PM10 측정)

·· 측정 조건 : 동일량의 연마재 분사(5kg) / 임펠라 블라스트 분당 분사량 환산 적용)

표 45. 연마재 분사량 성능 테스트

항목	에어 블라스트	임펠라 블라스트
연마재 분사량	5kg (5kg 소진시 까지 작업)	5kg (15.7sec 가동)

• 측정방법

·· 재도장 현장과 유사 테스트벤치 구성 및 에어블라스트, 임펠라 블라스트 시험, 실제 현장에서 비산먼지 측정

·· 블라스트 바탕처리가 될 철제패널이 설치되어 있는 테스트 베드를 천막으로 덮어 바탕처리 시 비산먼지가 외부로 비산하는 것을 방지 후 에어블라스트, 임펠라 블라스트 시험을 각각 진행 후 각각의 비산먼지 농도 측정 후 비교

·· 실재 작업현장(왕피천대교)에서 작업 중 비산먼지 농도 측정



시제품 블라스트 작업(테스트벤치)



샌드블라스트 작업(테스트베드)

그림 113. 비산먼지 농도 측정 비교 테스트

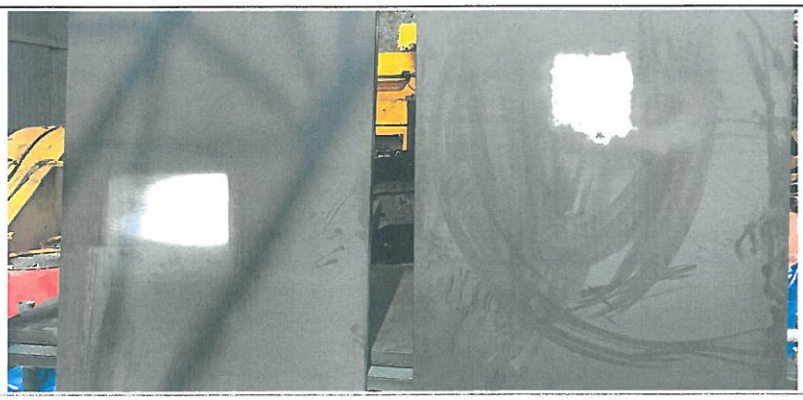
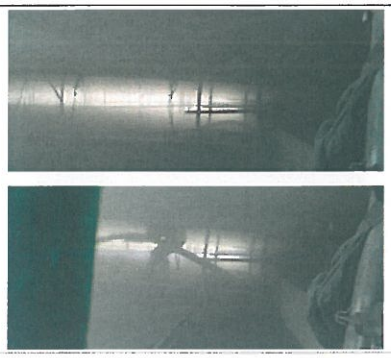


그림 114. 작업량 비교 - 시제품 블라스트(왼쪽)/ 샌드블라스트 (오른쪽)


블라스트 작업 현장	실현장 비산먼지 상황	실현장 비산먼지 측정

그림 115. 실현장 비산먼지농도 측정

- 실제 현장 및 테스트베드에서 측정된 비산먼지 비교 분석
  - 비교시험 결과 : PM2.5 = 임펠러 블라스트(6.6배) > 에어 블라스트(1) [테스트베드 기준]
    PM10 = 임펠러 블라스트(1) < 에어 블라스트(5.5배) [테스트베드 기준]
    PM10 = 임펠러 블라스트(1) < 에어 블라스트(13.2배) [실현장 기준]

표 46. 시험 장소에 따른 비산먼지농도 비교표

항목		실현장		테스트 베드(동일량 연마재 분사)			
		에어블라스트		에어블라스트		임펠라 블라스트	
		외부	내부	전	후	전	후
측정 결과	PM 2.5	22.9μg	15.2μg	75.4μg	263.7μg	65.2μg	1,303.9μg
	PM 10	69.4μg	13,4475.3μg	128.0μg	55,819.3μg	381.3μg	10,576.2μg

- 테스트 베드내 동일 작업시간에 측정된 비산먼지 비교 분석
  - 비교시험 결과 : PM2.5 = 임펠러 블라스트(1) > 에어 블라스트(1.74) [테스트베드 기준]
    PM10 = 임펠러 블라스트(1) < 에어 블라스트(3.0배) [테스트베드 기준]

표 47. 방법에 따른 비산먼지농도 비교표

항목		테스트 베드(동일량 작업시간)			
		에어블라스트(2분)		임펠라 블라스트(2분)	
		전	후	전	후
측정 결과	PM 2.5	33.3μg	1,414.5μg	37.4μg	812.9μg
	PM 10	60.1μg	4,964.0μg	83.8μg	1,638.72μg



작업전	에어 블라스트	임펠라 블라스트

그림 116. 방법에 따른 비산먼지농도 측정테스트

○ 국부 부식부의 블라스팅시, 노즐압력에 의한 강도저하 영향 검토(1차연도 보완 요구사항)

- 부식부 블라스팅으로 인한 강도저하 문헌 조사 및 분석
  - Shot peening은 금속표면에 Shot ball이라는 Steel ball을 고속으로 투사하여 금속 표면을 Hammering 하는 일종의 냉간 가공 공법으로 피로강도 향상에 효과가 있음
    ※ Book : 쇼트어닝 가공개론 2001. 정성균
  - 강재 표면을 불활성(안정화)하여 내식성향상, 도료의 부착성을 높이기 위해 도장전 Blast 처리를 규정하고 있음
    ※ 도로교 표준 시방서 2016.
  - Blast 표면처리는 금속 표면에 압축 잔류 응력을 증가(2.6배) 시키고, 표면 경도(3~11%) 증가시키는 효과가 있으며, 이는 피로강도를 증가시키는 효과가 있음.
    ※ 강교 도장을 블라스트 표면처리에 의한 용접이음 피로강도 향상
    (한국 강구조 학회 논문집 제 23권 2호(통권 111호) 2011년 4월)
  - 결론 : Blast 표면처리는 강재표면을 Shot peening 작용으로 잔류응력 도입으로 피로강도 증가시키며 강재 표면을 불활성(안정화)하여 내식성을 향상함. Blst 표면처리로 강재의 손상이 발생하는 수준의 부식이 발생하였다면 철판 보강등의 구조적인 보강이 필요함.

○ 적용성 개선을 위한 장비 문제점 분석 및 개선 방안 (현재 장비의 문제점 분석 및 적용 가능성 분석)

- 문제점
  - 블라스트 장치, 메인 제어판, 비젼시스템, 원격 조종장치로 구성된 시제품은 부피가 크고 무거워 운반 및 현장 설치에 어려움이 있다.
  - 블라스트 장치의 높이 조절이 3cm이며 절차가 복잡하고 다관절 장치의 이동범위가 ±2cm로 적어 볼트부위 등은 인력 작업에 의존해야 한다.
  - 장치의 조작이나 셋팅 절차가 복잡하다.
  - 리모콘 장치에서 작업 모니터링을 위한 영상 확인 불가

- 개선방안
  • 장치의 통합
  현재 : 블라스트 장치, 메인 제어판, 비젼 시스템, 원격 조종장치
  개선 : 블라스트 장치, 메인 제어판, 비젼 및 원격 조종 시스템
  • 임펠라 블라스트 장치의 연마재(스틸볼)의 탈락을 방지하기 위한 3중 구조의 방지장치 길이를 조절하여 3~5㎝의 이격 발생시 연마재가 외부로 유출되지 않도록 한다.
- 적용 가능성
  • 강교량 재도장 공사용 이동형 작업장치는 재도장 내구수명에 약50%의 영향을 미치는 바탕면 처리에 적용되는 장비이며, 특히 인력 작업이 까다로운 협소공간(h=0.6m이하)에서 인력 작업을 대체하는 것으로 인력품이 36% 감소하고, 일 작업량을 58% 증가하는 개선 효과가 있어 장비 성능개선 과정을 거쳐 현장 적용이 가능하다.
  • 강교량 재도장 공사용 이동형 작업장치와 건설장비인 리프트 또는 백호를 결합하면 비계 작업설치가 어려운 형하공간 4.0m 이하의 구간에서 바탕면 처리 작업에 활용될 수 있다
  • 개발 장비는 기존 고압의 공기를 이용하는 에어블라스트 공법에 비해 분진 비산량이 1/ (5.5~3.0) 수준으로 비산 분진 저감 효과가 있어 환경적 측면에서 활용될 수 있다.

6) 연구개발 추진 전략 및 방법

(1) 연구개발 추진 전략 및 방법

- 실용화를 위한 수요자/제작자/연구기관의 공동기술 개발
  • 사용자인 ㈜이레하이테크이앤씨를 주관 기관으로 하고, 제작/판매자인 에프멤글로벌(주)와 여구기관인 건설기계부품연구원으로 개발팀을 구성하여, 실 사용 조건에 부합하는 사양을 제시하고, 이를 개발품에 반영하여 설계 및 제작.
  • 사용자 입장에서 제작된 시제품을 활용할 수 있는 방안 제시
  • 사업화로 이어질 수 있도록 제작자-기술수요자간 기술 바통터치구간 확보
  • 지속적 성능 평가를 통한 기술적 완성도 제고
- 장비 제작, 안전성 검증, 현장 적용성 평가업무 분담 및 협업을 통한 성공적인 기술개발
  • 에프엠글로벌 : 작업 장치, 주행장치, 메인컨트롤러 개발 제작
  • 건설기계부품연구원 : 비젼시스템 개발 및 장비 안전성 검증
  • 이레하이테크이앤씨 : 작업현장 섭외 및 실 작업현장과 유사한 테스트베드 구성, 시공법 개발 및 현장 적용성 평가

(2) 연구개발 추진 체계

연구개발과제		총 참 여 연 구 원
과제명	고공, 밀폐, 분진노출, 협소공간(높이0.6m이하)에서 강교량 재도장 공사 생산성 향상을 위한 이동형 작업 장치 개발	주관연구책임자 (장병하)외 총 10명

기 관 별 참 여 현 황		
구 분	연구기관수	참여연구원수
중소기업	2	8
기 타 (연)	1	3

㈜이레하이테크이앤씨(주관연구기관)
이동형 작업 장치의 현장테스트 및 적용 방안 개발
연구책임자명 (장병하)외 2명
담당기술개발내용
- 재도장 공법에 대한 공법 분석 - 재도장 작업의 생산성 향상을 위한 공법 개발 - 개발되어질 다목적 재도장 장비에 대한 성능테스트

FM글로벌(참여기관)
다관절 작업기가 장착된 이동형 작업 장치 개발
연구책임자명 (황세연)외 4명(신규인력포함)
담당기술개발내용
- 장비 레이아웃에 대한 설계 및 제작 - 다관절 작업기 시스템 구성 - 재도장 장비의 제어시스템 개발 - 무한궤도식 주행체 시스템 개발

건설기계부품연구원(참여기관)
다관절 작업기가 장착된 이동형 작업 장치 안전성 검토
연구책임자명 (이호연)외 2명
담당기술개발내용
- 재도장 장비에 대한 특허 및 기술동향 분석 - 재도장 장비 레이아웃에 대한 구조적 취약부 분석 - 다관절 작업기 시스템에 대한 기구학 시뮬레이션 - 작업현장 모니터링 비전 시스템 개발

(3) 연구개발 추진 일정

구분	년도	세부 연구목표	세부 연구개발 내용	평가목표 및 착안점	가중치 (연구비)	추진일정			
						1분기 (1/4)	2분기 (2/4)	3분기 (3/4)	4분기 (4/4)
1차년도	2019	벤치마킹	재도장 장비의 공법 및 시나리오 분석	재도장 공법에 대한 절차서 및 장비 분석자료 작성	10%				
			해외 선진사 재도장 장비 분석						
		설계 및 제작	장비 레이아웃 설계 및 제작	장비에 대한 개념 설계도면 및 구동부 시제품	20%				
			장비 시스템 구성						
2차년도	2020	노즐 시제품 및 장비 제작	분사 노즐, 숏 블라스팅 노즐 제작	노즐 시제품과 장비 레이아웃 제작	15%				
			장비 레이아웃 수정 제작						
		제어 알고리즘 개발	다관절 작업기 기구학 해석 및 제어 알고리즘 개발	3D 시뮬레이션 검증	6%				
		제어시스템 통합	구동부와 노즐 제어시스템 통합 작업	구동부와 노즐의 통합 제어시스템 제작	9%				
3차년도	2021	시스템 구성	다관절 작업기 시스템 구성	다관절 작업기 시제품 제작	10%				
			구동부와 노즐 그리고 작업기 제어시스템 통합	통합 제어시스템 제작	10%				
		시제품 제작	분사 노즐 및 블라스팅 노즐 개선 제작	장비 및 작업기에 대한 시제품 제작	10%				
			장비 레이아웃 개선 및 시제품 제작						
		성능테스트	재도장 성능 테스트	성능테스트 공인인증	10%				
			숏 블라스팅 성능 테스트						

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

○ 연구개발의 최종 성과 목표

- 고공, 밀폐, 분진, 협소공간(작업높이 0.6m)에서 작업 가능한 강교 유지 보수 장비 시제품 제작이며 블라트트 장치, 분사노즐(착탈 가능), 비젼 시스템, 다관절 장치, 통합제어 시스템, 원격제어 장치 로 구성된 시제품을 제작함.

○ 1차 연도

- 강교 유지보수 현장을 모사한 테스트 베드를 길이 12m, 폭 2.4m, 높이 2.4m의 컨테이너 박스를 이용하여 제작 설치하였음
- 강교 도장용 로봇의 해외 및 국내 자료를 분석하여 벤치마킹을 실시하였음
- 벤치 마킹한 결과를 바탕으로 이동형 작업장치의 레이아웃을 작성하고, 주행체를 설계 및 제작함.

○ 2차 연도

- 블라스팅 작업 인원이 기존 기술 대비 90%이하인 작업 절차서 및 수행방법 명기된 작업 절차서 작성
- 숏블라스팅 및 분사 노즐 시제품 제작 및 공인기관 성능평가 완료
- 장비 레이아웃 및 구동부 개선한 2차 시제품 제작 및 공인기관 성능 평가완료
- 다관절 작업기의 구상 및 레이아웃 제작, 3D 시뮬레이션 실시

○ 3차 연도

- 다관절 장치의 제작
- 블라스트 장치, 다관절 장치, 주행장치, 비젼시스템, 통합 제어 시스템, 원격 조종장치를 통합한 강교량 재도장 공사용 작업 장치 시체품 1set 완성
- 개발 장치의 성능 시험을 위한 지침서 및 절차서 수립 문서 2건 작성, 블라스팅 작업인원이 기존 기술 대비 80% 이하인 작업절차서 수정 문서 1건 작성
- 시험 절차를 반영하여 공인기관 입회 평가한 결과 정량적 목표 성과 달성 하였음을 확인

○ 연구개발 기간 동안 신규 연구 인력 2명 고용 유지

(2) 정량적 연구개발성과

○ 연구개발의 정량적 최종 성과 목표

- 국내 논문 게재 : 비SCI 논문 게제 3건
- 국내 특허 출원 4건 , 등록 3건
- 시제품 1개 제작
- 성과 홍보 1건
- 일자리 창출 6명

○ 정량적 목표 성과

- 계획 / 달성

구분		1차년도	2차년도	3차년도	계
국외논문 게재	SCI				
	비SCI				
	계				
국내논문 게재	SCI	-	-	-	-
	비SCI	-	1 / 1	2 / 2	3 / 3
	계	-	1 / 1	2 / 2	3 / 3
특허출원	국내	2 / 2	2 / 2	-	4 / 4
	국외	-	-	-	-
	계	2 / 2	2 / 2	-	4 / 4
특허등록	국내	-	1 / 1	2 / 3	3 / 4
	국외	-	-	-	-
	계	-	1 / 1	2 / 3	3 / 4
기타	시제품	-	-	1 / 1	1 / 1
	성과 홍보	-	-	1 / 1	1 / 1
	일자리 창출	2 / 2	2 / 2	2 / 2	6 / 6

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	강교량 재도장 로봇의 모니터링 모듈 시제품 개발	드라이브·컨트롤	서명국, 이호연, 박일환, 장병하	17권 4호 pp15~22(7 pages)	대한민국	유공압건설기계학회	-	2020.12	2671-7980 (Online)	100%
2	강교 보수도장의 표면처리를 위한 임펠라 블라스트와 스틸볼의 상관관계 분석을 통한 블라스트 효율향상	드라이브·컨트롤	장병하, 장동욱, 서명국, 이호연, 박재현	Journal of Drive and Control, Vol.19 No.1 pp.1-7 Mar. 2022	대한민국	유공압건설기계학회	-	2022.3	2671-7980 (Online)	100%
3	비전센서를 이용한 강교량 재도장 로봇의 주행 모니터링 모듈 개발	드라이브·컨트롤	서명국, 이호연, 장동욱, 장병하	Journal of Drive and Control, Vol.19 No.1 pp.1-7 Mar. 2022	대한민국	유공압건설기계학회	-	2022.3	2671-7980 (Online)	100%

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국정밀공학회 (추계학술대회)	강교량 재도장은 작업을 위해 교량에 공중비계를 설치하고 외부환경 오염을 방지하기 위해 작업공간이 밀폐되며, 협소한 공간의 극한 환경에서 작업이 이뤄진다. 작업영역이 협소하고 분진과 이물질에 작업자에게 직접 노출되어 작업자의 안전에 매우 취약하며, 반복적인 작업 시 작업자 안전을 위한 30분마다 충분한 휴게시간을 가져야 하는 근로조건으로 작업비용이 매우 증가한다. 따라서 본 연구에서는 블라스팅 작업과 페인트 재도장 작업 공정을 원격제어로 진행 할 수 있는 장비 개발을 통해 작업자 안전성 문제를 해결하고, 공사비용의 절감 및 공기 단축으로 생산성을 획기적으로 향상 시킬 수 있을 것으로 판단됨	이호연	2019.11.01	창원컨벤션 센터	협소공간에서 강교량 재도장 공사 생산성 향상을 위한 이동형 작업 장비개발
2	유공압건설기계학회	최근 열악한 환경으로부터 작업자 안전성 및 생산성 향상을 위해서 강교량에서 블라스팅 및 도장 작업을 지원할 수 있는 로봇이 개발되고 있다. 본 연구는 원격으로 강교량 로봇을 구동할 수 있도록 실시간 이동 위치 및 주변 작업 환경과 작업품질 영상을 제공할 수 있는 모니터링 모듈을 개발	서명국	2019.11.29	한국기술교육대학교	강교량 도장 로봇의 원격작업을 지원하기 위한 모니터링 모듈 개발

□ 기술 요약 정보 (해당 사항 : 없음)

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

□ 보고서 원문 (해당 사항 : 없음)

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 (해당 사항 : 없음)

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

[기술적 성과]

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

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	교량에 설치된 스틸박스 거더의 노후 도장막 제거 시스템	대한민국	㈜이레하이테크이앤씨	2019.11.20	1020190149409	㈜이레하이테크이앤씨	2020.11.13	102181038	100%	
2	특허	바닥단차 조절용 주행장치 및 상기 주행장치를 포함한 이동식 상향 전처리 블라스팅 장치	대한민국	에프엠글로벌(주) ㈜이레하이테크이앤씨	2019.11.01	1020190138725	에프엠글로벌(주) ㈜이레하이테크이앤씨	2021.07.30	102286172	100%	
3	특허	이동식 상향 전처리 블라스팅 장치	대한민국	에프엠글로벌(주) ㈜이레하이테크이앤씨	2020.11.02	1020200144546	에프엠글로벌(주) ㈜이레하이테크이앤씨	2021.08.24	102295349	100%	
4	특허	강교량 재도장 공사용 블라스팅 및 페인팅 노즐의 이동식 거치장치	대한민국	㈜이레하이테크이앤씨	2020.12.29	1020200186614	㈜이레하이테크이앤씨	2021.08.24	102295556	100%	

ㅇ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타
										√	

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
1	다관절 작업기 제어 시스템	20.07.10	에프엠글로벌 주식회사	22.03.14	C-2022-013066	에프엠글로벌 주식회사	100

□ 신기술 지정 (해당 사항 : 없음)

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

□ 기술 및 제품 인증 (해당 사항 : 없음)

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

□ 표준화

ㅇ 국내표준 (해당 사항 : 없음)

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

ㅇ 국제표준 (해당 사항 : 없음)

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

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	이동형 작업장치	21.12.31	에프엠글로벌	이레하이테크 이앤씨	재도장 공사	3년	-	-

□ 현장적용 (해당 사항 : 없음)

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)

□ 기술 실시(이전) (해당 사항 : 없음)

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

□ 사업화 투자실적 (해당 사항 : 없음)

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

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
	자기실시	기존 공정 개선	국내	강교량 재도장 공사	바탕면처리	㈜이레하이테크이앤씨			예정	

□ 매출 실적(누적)

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

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과			개발 장비의 완성, 응용장비 개발		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		3년		
	소요예산(천원)		400,000		
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
			-	500,000	2,000,000
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내	-	5%	20%
		국외	-	-	-
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		주행장치와 모니터링 시스템을 활용한 측면 블라스트 장치 개발		
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
	수 출				

□ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			2019년	yyyy년	
1	연구개발	에프엠글로벌	2		2
합계					

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	2명
		생산인력	
	개발 후	연구인력	2명
		생산인력	

□ 비용 절감(누적)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

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

□ 산업 지원(기술지도)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

□ 기술 무역

(단위 : 천원)

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

[사회적 성과]

□ 법령 반영 (해당 사항 : 없음)

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

□ 정책활용 내용 (해당 사항 : 없음)

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

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영 (해당 사항 : 없음)

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

□ 신진연구자 채용

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

□ 전문 연구 인력 양성 (해당 사항 : 없음)

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

□ 산업 기술 인력 양성 (해당 사항 : 없음)

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

☐ 다른 국가연구개발사업에의 활용 (해당 사항 : 없음)

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)

☐ 국제화 협력성과 (해당 사항 : 없음)

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

☐ 홍보 실적 (해당 사항 : 없음)

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일

☐ 포상 및 수상 실적 (해당 사항 : 없음)

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

☐ 연구시설 • 장비 (해당 사항 : 없음)

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

[그 밖의 성과](해당 시 작성)

○ 비산 분진 저감

- 에어블라스트와 샌드 또는 PS볼을 연마제로 사용하는 기존 방법은 고압공기와 연마재의 파쇄로 미세 먼지가 다량 발생 하나, 본 연구 개발품인 임펠라 블라스팅은 임펠라의 회전에 의한 원심력으로 연마재가 분사되며 연마재인 스틸볼은 작업중 파쇄되지않아 분진의 비산이 감소하는 효과가있다

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성)

○

-

○

-

2) 목표 달성 수준

연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 밀폐, 분진, 작업높이 0.6m~2m 이내의 협소한 작업공간인 강교량 재도장 공정(도장 및 블라스팅)에 적용 가능한 이동형 다목적 작업장치 개발	- 높이 60cm, 무게 200kg, 분사량 15kg/min의 기준을 만족하는 이동형 다목적 작업장치 시제품을 제작함 - 작업높이 0.6m 이하의 협소한 공간에서 작업이 가능함을 테스트베드에서 검증 함	100%
- 강교 재도장 작업의 안전성을 고려한 시공법 개발	- 개발 시제품의 성능평가 - 강교량 재도장 공사에 적용하는 작업 시나리오 작성 및 작업효율 분석	100%
- 항온 -20≤x≤45, 방수/방진 등급 56 IP, EMS 합격하는 강교 유지보수 장비에 대한 최종 시제품 구성	- 항온 -20≤x≤45, 방수/방진 등급 56 IP, EMS 합격하는 강교 유지보수 장비에 대한 최종 시제품 구성	100%
- 단차 극복 높이 7cm을 만족하는 무한궤도식 주행체 시스템 개발	- 높이 8cm의 단차를 극복하는 무한궤도식 주행체 시제품 제작	100%
- 분사량 15Kg/min 이상인 노즐 개발	- 분사량 18.9kg/min의 블라스트 장치 시제품 제작	100%
- 장비 무게 200Kg이하, 연속 작업시간 35분이상, 작업높이 0.6m 이하인 이동형 다목적 작업장치 개발	- 블라스트 장치, 주행장치, 비젼 카메라 장치를 포함한 시제품 무게 197.4kg 시제품 제작 - 시제품 높이 60cm이며, 0.6m 이하 작업공간에서 작업가능한 작업장치 시제품 제작	100%
- 작업환경 실시간 모니터링이 가능한 비전시스템 개발	- 블라스트 실시구간과 미실시 구간을 비젼시스템으로 인식하며, 주행제의 방향을 제어하는 반 자율주행 시스템 개발 - 작업환경 실시간 모니터링 가능	100%

○ 연차별 정량적 목표 달성

- 연차별 정량적 목표

평가 항목 (주요성능 Spec)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 (%)	세계최고 수준 보유국/보유기업 (/)	연구개발 전 국내수준	개발 목표치						평가 방법
			성능수준	성능수준	1차년도 (2019년)	달성도 (2019)	2차년도 (2020년)	달성 (2020)	3차년도 (2021년)	달성도 (2021)	
1.장비 무게 (노즐 제외)	kg	20	≤ 100 (호주/SABRE)	-	-		≤ 250	244	≤ 200	197.4	공인기관 입회시험
2.작업인원	%	15	-	0.08인/m^2	-		0.07인/m^2	0.067	0.06인/m^2	0.049	공인기관 입회시험
3.연속작업시간	분	15		-			30	35	≥ 35	35분이상	공인기관 입회시험
4.작업높이 (최저 높이)	m	20	-	-	-		≤ 0.8	0.625	≤ 0.6	작업가능	공인기관 입회시험
5.분사량 (노즐)	kg/min	5	-	-	10	12.9	15	18.9	-	-	공인기관 입회시험
6.단차극복 높이	cm	5	-	-	5	5 이상	7	7.2	-	8.0	공인기관 입회시험
7.항온 (제어부)	℃	5	-	-	-		-10≤x≤40	정상작동	-20≤x≤45	적합	공인인증
8.방수/방진 (제어부)	IP	10	65 (호주/SABRE)	-	-		55	65	56	65	공인인증
9.EMS (제어부)	-	5	-	-	-		-		합격	적합	공인인증

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

○
-

○
-

2) 자체 보완활동

○
-

○
-

3) 연구개발 과정의 성실성

○
-

○
-

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 우리나라 강교는 1990년대 이후부터 2000년대 초반에 건설 수량이 급증하여 최근까지 부분적인 보수에 해당하는 C급 수준의 바탕처리가 주를 이루었으나 최근 A급 수준의 전면 재도장 요구가 증가하고 있다. 블라스팅 공법은 강교량 재도장 공사에서 요구되는 수준을 충족할 수 있는 유일한 공법이나, 본 개발장비를 활용하여 전면적인 재도장 공사에 적합한 공법을 개발하였다

○ 개발 장비는 기존 고압의 공기를 이용하는 에어블라스트 공법에 비해 분진 비산량이 1/(5.5~3.0) 수준으로 비산 분진 저감 효과가 있어 작업환경 및 작업장 주변 환경을 개선한다.

○ 고위험 강교량 보수현장에서 반복적인 블라스팅 작업과 페인트 재도장 작업 공정을 원격제어 로봇을 통해 작업자 안전성 문제를 해결하고, 공기 단축으로 생산성을 20% 이상 향상시킴

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

○ 현장적용 방안

- 블라스팅 바탕면 처리의 확대

①우리나라 강교는 1990년대 이후부터 2000년대 초반에 건설 수량이 급증하여 최근까지 부분적인 보수에 해당하는 C급 수준의 바탕처리가 주를 이루었으나 최근 A급 수준의 전면 재도장 요구가 증가하고 있다. 블라스팅 공법은 강교량 재도장 공사에서 요구되는 수준을 충족할 수 있는 유일한 공법이다.

② 최근 연마재의 폐기와 비산분진의 과도한 발생으로 현장적용에 어려움을 겪고 있다

• 개발 장비는 기존 고압의 공기를 이용하는 에어블라스트 공법에 비해 분진 비산량이 1/ (5.5~3.0) 수준으로 비산 분진 저감 효과가 있어 환경적 측면에서 활용될 수 있다.

③ 연구 개발품인 강교량 재도장 공사용 이동형 작업장치는 비산분진의 감소와 작업자의 작업성 개선 면에서 늘어나는 강교량 재도장 공사에 적용이 확대 될 것으로 예상된다

- 현재 진행 중 재도장 시공 현장 투입

① 강교량 재도장 공사 전문 업체인 ㈜삼성씨앤엠의 작업현장에 투입하여 작업성을 개선 할 수 있다

• 주관기관인 ㈜이레하이테크이앤씨가 강교량 재도장 공사 또는 시험시공 현장에서 직접 장비운영 가능

- 기관요청 사항 확인 및 장비 투입 가능성 확인

① 강교량 재도장 공사용 이동형 작업장치와 건설장비인 리프트 또는 백호를 결합하면 비계 작업설치가 어려운 형하공간 4.0m 이하의 구간에서 바탕면 처리 작업에 활용될 수 있다

② 서울시 시설관리공단은 2021년 10월 방문하여 설명한 결과 형하고 부족으로 비계설치가 어려운 구간에 비산분진의 발생을 감소할 수 있는 본 장비는 리프트와 결합하여 작업시 작업 가능함을 확인함.

- 지자체의 국내 주요 구조물 유지보수 기관에서 발주하는 강교량 재도장 공사 투입 가능성 확인

① 강교량 재도장 시기 도래 및 비산분진에 대한 환경오염 우려, 작업자의 건강을 염두에 두어야 하는 사회 여건상 비산분진이 심하게 발생하고, 작업자의 호흡기 질환을 유발하는 기존의 고압블라스팅 공법을 대체하며 장비 개선이 이루어 질 것으로 기대함.

- 고위험 강교량 보수현장에서 반복적인 블라스팅 작업과 페인트 재도장 작업 공정을 원격제어 로봇을 통해 작업자 안전성 문제를 해결하고, 공기 단축으로 생산성을 20% 이상 향상시킴

- 교량검사용 굴절로봇차가 개발되었지만 이 로봇은 교량 검사를 자동화하기 위한 다관절 장비로 개발 기술과 목적이 다름.

- 주관기관의 장비 성능을 평가하기 위해 진행된 실험 절차는 개발된 장비의 성능에 미치는 영향을 반영한 것으로 작업시나리오 작성을 위한 기초 데이터로 활용하였고, 성능 평가를 위한 지침 및 절차는 이와 유사한 개발에 활용될 수 있음.

- 효율적인 장비 운용을 위해 작업 궤적에 따른 효율성을 분석한 작업시나리오 분석방법은 동일한 작업조건과, 장비조건에서 보다 효율적으로 작업할수 있는 방법을 제시하였음.

○ 연구성과물을 활용한 건설신기술 지정 추진

○ 미래원천기술 확보

- 무인 도장 제거 및 재도장 요소기술 확보

① 협소 지역 이동체 및 다기능 작업 모듈

② 복잡하고 먼지 많은 조건에서의 환경인지 기술

③ 협소 공간 통신 및 제어 기술

- 구조물 표면관리 요소기술 확보

① 협소 공간 표면 검사 및 잔존수명 예측 기술

② 자동화 용접 및 보강 기술

- 토목 현장에서의 자동화 장비 및 원격 제어 기술

① 비젼시스템으로부터 획득된 데이터를 이용하여 하부 구동체를 제어하는 알고리즘을 활용하여 작업장치를 제어하는 기술을 차선도색, 포장공사등 토목공사 장비에 다양하게 적용할 수 있음

7. 참고 문헌

1) D. H. Kim, H. Y. Jung and J. Y. Kim, "An Evaluation of Life for Corrosion and Damage of Steel Bridges," Journal of the Institute of Industrial Technology, Vol.14, pp.103-109, 2006.
2) M. K. Seo et. al., "Development of a Prototype Monitoring Module for Steel Bridge Repainting Robots," Journal of Drive and Control, Vol.17 No.4, pp.15-22, 2020.
3) S. K. Bhatia, "Advances in Computer Communication and Computational Sciences," Proceedings of IC4S, Springer, pp.301-302, 2017.
4) K. He, J. Sun and X. Tang, "Single Image Haze Removal using Dark Channel Prior," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.33, pp.2341-2353, 2011.
5) N. Kanopoulos, N. Vasanthavada, and R. L. Baker, "Design of an Image Edge Detection Filter using the Sobel Operator," IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol.23 No.2, pp.358-367, 1988.
6) J. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection," in IEEE Transactions on Pattern Analysis 서명국·이호연·장동욱·장병하드라이브 · 컨트롤 2022. 3 7. and Machine Intelligence, Vol.PAMI-8, No.6, pp.679-698, 1986.
7) X. M. Zhao, W. X. Wang and L. P. Wang, "Parameter Optimal Determination for Canny Edge Detection," The Imaging Science Journal, Vol.59, No.6, pp.332-341, 2011
8) "고속도로 강교의 재도장에 있어서 도막제거공법에 대한 고찰"_ 기술보고서
9) "교량유지관리 시스템의 개발 및 운용"_한국도로공사 도로연구소
10) R. T. Tan, "Visibility in bad weather from a single image," IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1-8, 2008.
11) S. K. Bhatia, "Advances in computer communication and computational sciences," Proceedings of IC4S, Springer, pp.301-302, 2017.
12) J. B. Jeong and K. S. Kim, "A Study on Driving Algorithm and Communication Characteristics for Remote Control of Mini Excavator", Journal of Drive and Control, Vol.15, No.4, pp.81-90, 2018.
13) T. J. Song, H. W. Lee, and K. S. Oh, "A Model Predictive Tracking Control Algorithm of Autonomous Truck Based on Object State Estimation Using Extended Kalman Filter", Journal of Drive and Control, Vol.16, No.2, pp.22-29, 2019
14) "강교량 도장방식의 LCC 분석 사례연구, 이연민, 백재욱, 한국철도학회 할술발표대회논문집, 2012. 5, 133-139)
15) "강교 도장용 블라스트 처리가 면외거셋 용접이음의 피로거동에 미치는 영향", 김인태, Le Van Phuoc Nhan, 김광진, 이동욱, 한국강구조학회논문집, 2008.10, 583-590
16) "알루미늄 판재의 센딩 조건에 따른 도장특성 평가", 윤한기, 최석인, 이종호, 한국해양공학회지 25권 1회, pp 44-48, 2011sus 2월
17) "재도장 바탕처리 방법에 따른 도장의 생애주기비용", 전석현, 안진회, 박관수, 정영수, 김창학, 대한토목학회학술대회, 2017.10, 1297-1298
18) "강교량 보수도장시 수공구 및 동력공구 표면처리에 따른 고장열화 거동조사", 정영수, 김용배, 김기혁, 김인태, 한국강구조학회 학술대회 발표집, 2020.6, 177-178
19) "강교 보수도장을 위한 도장계 및 표면처리 공법", 이찬영, 장태순, 한국강구조학회지, 2015.4, 7-10

< 별첨 >

별첨 자료
1. 연구보고서
2. 시험성적서
3. 특허 출원, 등록
4. 논문

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 '국토교통기술촉진연구사업' 연구개발과제 최종보고서이다.

2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.

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