최종보고서(일반과제용)

보안등급
일반[✔], 보안[ ]

중정기관앙행명	국토교통부	사업명	사업명	국토교통기술촉진연구사업	
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		내역사업명	국토교통기술혁신연구 (사회이슈해결 유형)	
공고번호	공고-제02호		연구개발과제번호		
국가과학기술 표준분류	EI 12	50%	EA 05	30%	EH 01	20%
연구주제	(대분류)		(중분류)		(소분류)	

연구개발과제명	국문	지능형 위치추적 기반의 건설현장 미세먼지 자율억제 시스템			
	영문	Autonomous Fine Dust Suppression System Based on Intelligent Position Tracking for Construction Sites			
주관연구기관	기관명	㈜케이씨티이엔씨		사업자등록번호	108-81-97695
	주소	(08591) 서울 금천구 가산디지털1로 30, 606호(가산동, 에이스하이엔드타워 10차,6층)		법인등록번호	110111-4663335
주관연구책임자	성명	박종협		직위	연구소장
	연락처	직장전화	02-845-2514	휴대전화	010-8806-3519
		전자우편	dusco2000@naver.com	국가연구자번호	1086 9251
연구개발기간	전체	2019. 04. 19 ~ 2021. 12. 31 (33개월)			
	1년차	2019. 04. 19 ~ 2019. 12. 31 (9개월)			
	2년차	2020. 01. 01 ~ 2020. 12. 31 (12개월)			
	3년차	2021. 01. 01 ~ 2021. 12. 31 (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	540,000	18,000	162,000	-	-	-	-	558,000	162,000	720,000	-
1년차	126,000	4,200	37,800	-	-	-	-	130,200	37,800	168,000	-
2년차	100,000	3,334	30,000	-	-	-	-	103,334	30,000	133,334	-
3년차	314,000	10,466	94,200	-	-	-	-	324,466	94,200	418,666	-

공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
위탁연구기관	금오공과 대학교 산학협력단	주백석	교수	010-9065-3765	bschu@ kumoh.ac.kr	위탁	대학
연구기관 외 기관							

연구개발담당자 실무담당자	성명	박정훈		직위	주임
	연락처	직장전화	02-845-2514	휴대전화	010-2738-3932
		전자우편	kctenc@naver.com	국가연구자번호	1153 9027

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

2022년 03월 03일

주관연구책임자 : 박 종 협

주관연구기관의 장 : ㈜케이씨티이엔씨 정 인 근 (직인)

위탁연구기관의 장 : 금오공과대학교 산학협력단 허 장 욱 (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="3" rowspan="2">19CTAP-C152053-01</td></tr>
<tr><td colspan="2">내역사업명</td><td colspan="2">국토교통기술혁신연구</td></tr>
<tr><td colspan="2">국가과학기술표준분류</td><td>EI 12</td><td>50%</td><td>EA 05</td><td>30%</td><td>EH 01</td><td>20%</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구주제</td><td colspan="2">(대분류)</td><td colspan="2">(중분류)</td><td colspan="3">(소분류)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제명</td><td colspan="7">지능형 위치추적 기반의 건설현장 미세먼지 자율억제 시스템</td></tr>
<tr><td colspan="2">전체 연구개발기간</td><td colspan="7">2019. 04. 19 - 2021. 12. 31 (33개월)</td></tr>
<tr><td colspan="2">총 연구개발비</td><td colspan="7">총 720,000천원
(정부지원연구개발비:540,000천원, 기관부담연구개발비 :162,000천원)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발단계</td><td colspan="3">기초[ ] 응용[ ] 개발[√]
기타)[ ]</td><td>기술성숙도</td><td colspan="3">착수시점 기준(TRL5)
종료시점 목표(TRL8)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 유형</td><td colspan="7">지정공모 [ ] 자유공모 [✔]</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 특성</td><td colspan="7">사회이슈 해결</td></tr>
<tr><td rowspan="8">연구
개발
목표
및
내용</td><td>최종 목표</td><td colspan="7">지능형 위치추적 기반의 건설현장 미세먼지 자율억제 시스템 개발</td></tr>
<tr><td>전체 내용</td><td colspan="7">지능형 위치추적 기술을 활용하여 건설현장에서 발생하는 미세먼지를 효율적으로 억제할 수 있는 장비를 개발하고, 무인원격 자율구동 기술을 통하여 미세먼지 억제 작업 시 인명피해를 근본적으로 제거하는 시스템을 구현하고 실용화 검증</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1년차</td><td>목표</td><td colspan="7">지능형 위치추적기반 건설현장 미세먼지 자율억제시스템 핵심기술개발</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="7">1. 미스트 분사장비 기본 구조설계 및 독립 장비화
2. 사용자 친화형 분사장비 수동 및 자동 운전 시스템
3. 미스트 분사장비 원격제어 시스템</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2년차</td><td>목표</td><td colspan="7">지능형 위치추적기반 건설현장 미세먼지 자율억제시스템 도약기술개발</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="7">1. 미세먼지(PM10) 억제용 미스트 분사 기술
2. 지능형 미세먼지 발생원 위치인식 알고리즘
3. 자율형 위치추적 기반의 시스템 제어 기술</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3년차</td><td>목표</td><td colspan="7">지능형 위치추적기반 건설현장 미세먼지 자율억제시스템 실용화기술개발</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="7">1. 건설현장 험지 이동을 위한 이동플랫폼 구조 설계 및 제작
2. 고소작업 및 장애물 회피를 위한 가변형 메커니즘
3. 시스템 통합 및 현장 적용을 통한 실용화 검증</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발성과</td><td colspan="7">1. [국내 최초] 건설 해체현장 무인 미세먼지(PM10) 억제 장비
1. [세계 최초] 지능형 위치추적 기술을 활용한 고효율 자율억제 시스템</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발성과
활용방안 및
기대효과</td><td colspan="7">1. 활용 계획
• 건설 현장 미세먼지(PM10) 발생 저감
• 시멘트/광산, 골재채취, 항만하역 등 미세먼지가 다량으로 배출되는 모든 산업 분야 적용
1. 기대 효과
• 정부 미세먼지 정책의 건설 분야 일조 및 연간 6,000억원에 달하는 사회적 비용 절감으로 국가경제 피해 최소화
• 미세먼지 발생 건설현장 사전 재해 예방으로 근로자 사망률 저감
• 해외기술 대비 비교 우위 기술 확보로 시스템 판매 및 수출을 통한 이익 창출</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발성과의
비공개여부 및 사유</td><td colspan="7">해당없음</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">연구개발성과의 등록·
기탁 건수</td><td>논문</td><td>특허</td><td>보고서
원문</td><td>연구
시설·
장비</td><td>기술
요약
정보</td><td>소프트
웨어</td><td>표준</td><td colspan="2">생명자원</td><td>화합물</td><td colspan="2">신품종</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>생명
정보</td><td>생물
자원</td><td></td><td>정보</td><td>실물</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구시설 · 장비
종합정보시스템 등록
현황</td><td colspan="2">구입기관</td><td>연구시설·
장비명</td><td>규격
(모델명)</td><td>수량</td><td>구입
연월일</td><td>구입가격
(천원)</td><td>구입처
(전화)</td><td>비고
(설치장
소)</td><td colspan="2">ZEUS
등록번호</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">국문핵심어
(5개 이내)</td><td colspan="2">미세먼지</td><td colspan="2">건설현장</td><td colspan="2">자율억제</td><td colspan="2">무인원격</td><td colspan="2">위치추적</td></tr>
<tr><td colspan="2">영문핵심어
(5개 이내)</td><td colspan="2">Fine dust
(PM10)</td><td colspan="2">Construction
site</td><td colspan="2">Autonomous
suppression</td><td colspan="2">Remotely
unmanned</td><td colspan="2">Position
tracking</td></tr>
</table>

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 001

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 ····· 003

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ····· 111

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성) ····· 136

5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 ····· 137

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 ····· 137

7. 참고 문헌 ····· 137

별첨자료

1 : 성과 증빙 자료집

2 : 신기술 지정 신청서

3 : 원가계산서

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

○ 기술 개발의 최종 목표는 다음과 같음.

최종 목표

○ **기술 개발의 최종 목표** : **지능형 위치추적 기반의 건설현장 미세먼지 자율억제 시스템 개발**

○ **최종 목표의 내용**: 지능형 위치추적 기술을 활용하여 **건설현장에서 발생하는 미세먼지를 효율적으로 억제**할 수 있는 장비를 개발하고, 무인원격 자율구동 기술을 통하여 **미세먼지 억제 작업 시 인명피해를 근본적으로 제거**하는 시스템을 구현



[그림 1.1] 기술 개발 최종 목표

2) 연구개발과제의 연차별 목표

○ 1차연도 : 지능형 위치추적기반 건설현장 미세먼지 자율억제시스템 **핵심기술개발**

- 미스트 분사장비 기본 구조설계 및 독립 장비화
- 사용자 친화형 분사장비 수동 및 자동 운전 시스템
- 미스트 분사장비 원격제어 시스템

○ 2차연도 : 지능형 위치추적기반 건설현장 미세먼지 자율억제시스템 **도약기술개발**

- 미세먼지(PM10) 억제용 미스트 분사 기술
- 지능형 미세먼지 발생원 위치인식 알고리즘
- 자율형 위치추적 기반의 시스템 제어 기술

○ 1차연도 : 지능형 위치추적기반 건설현장 미세먼지 자율억제시스템 **실용화기술개발**

- 건설현장 험지 이동을 위한 이동플랫폼 구조 설계 및 제작
- 고소작업 및 장애물 회피를 위한 가변형 메커니즘
- 시스템 통합 및 현장 적용을 통한 실용화 검증

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2019.04.19~2019.12.31)	분사 장비 모션구동 메커니즘	건설현장 미세먼지 고효율 억제 장비	340도/40도 (美 DustBoss)	회전반경 360도 분사각도 40도	해외 원격형 수준 모션 구동 메카니즘 확보	10
	분사 장비 수동 및 자동 운전 시스템	건설현장 미세먼지 고효율 억제 장비	수동 및 원격조정(China RD40 제품)	수동 및 자동 운전 가능	해외 원격형 수준 운전 시스템 구현	5
	분사 장비 원격제어 시스템	무인 원격 자율형 미세먼지 추적 억제 기술	국내외 없음	제어지연시간 0.5초	무인 지능형 위치 추적 기술 개발	5
2년차 (2020.01.01~2020.12.31)	미스트 분사 모듈화 기술	건설현장 미세먼지 고효율 억제 장비	40m(원격형) 5,000m^2(원격형)	40m(지능형) 5,000m^2(지능형)	지능형 무인 정밀 물 분사	10
	지능형 위치추적 제어기술	무인 원격 자율형 미세먼지 추적 억제 기술	국내외 없음	-10~+10도 이내	세계 최초 무인 지능형 위치 추적 기술 개발	5
3년차 (2021.01.01~2021.12.31)	미스트 분사기술	건설현장 미세먼지 고효율 억제 장비	인력살수 100um	200um 이하	국내 인력 살수물 입자 직경 개선	5
	미스트 분사 모듈화 기술	건설현장 미세먼지 고효율 억제 장비	100m(원격형) 30,000m^2(원격형)	100m(지능형) 30,000m^2(지능형)	큰 면적의 대규모 건설현장 적용 기술 개발	10
	현장실험 및 신기술 출원 인증	무인 원격 자율형 미세먼지 추적 억제 기술	국내외 없음	운용비용 25% 향상 미세먼지 처리효율 25% 향상 에너지효율 25% 향상 경제성 25% 향상	건설 신기술 출원을 위한 성과지표 확보	35
	지능형 위치추적 제어기술	무인 원격 자율형 미세먼지 추적 억제 기술	국내외 없음	-5~+5도 이내	세계 최초 무인 지능형 위치 추적 기술 개발	5
	험지 주행 이동플랫폼	건설현장 미세먼지 고효율 억제 장비	국내외 없음(자율승강기술)	구동 경사각 15도 이상	험지극복 및 자율승강 가능 기술 확보	5
	고소작업용 이동플랫폼	건설현장 미세먼지 고효율 억제 장비	국내외 없음	고소작업높이 10m	고소작업용 무인 정밀 물 분사 기술 개발	5

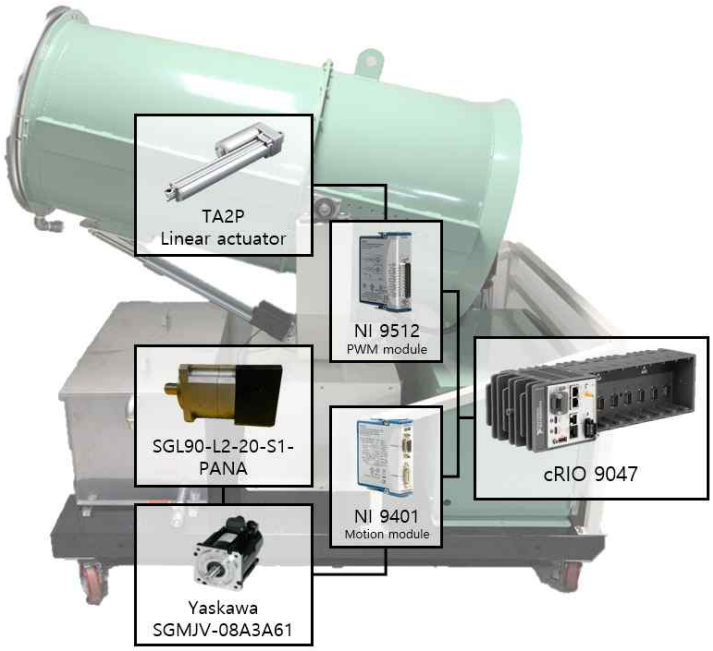
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용

사 업 명	국토교통기술촉진연구사업	사회이슈해결 연구주제	미세먼지 저감
과 제 명	지능형 위치추적 기반의 건설현장 미세먼지 자율억제 시스템 기술 개발		
총 연구기간	2019년 04월 19일 ~ 2021년 12월 31일		
총 연구비	총 720,000천원(정부출연금 540,000천원, 민간부담금 180,000천원)		

① 1단계 : 핵심기술 개발 (1차년도 2019.4.19.~2019.12.31.)

○ 단위기술 1 : 미스트 분사 장비 기본 구조 설계 및 독립 장비화

- 모션 제어, 조작장치 등을 포함한 독립 장비화 기본 운용 시스템 구현
- 모션 제어 장비 및 조작 장치 하드웨어 구성도



[분사장비 하드웨어 구성도]



[분사장비 조작장치]

[그림 2.1] 분사 장치 구성도

○ 단위기술 2 : 사용자 친화형 수동 및 자동운전 시스템

- 수동운전: 작업자가 분사기 방향을 수동으로 조작하는 구동시스템
- 자동운전: 작업자가 지정한 범위 안에서 왕복운동을 수행하는 제어시스템
- 자동운전 회전 실험 : 360도 수평 회전

a. 실험 방법

- 회전반경 360도 달성을 위해 분사구를 -190°에서 190°까지 자동으로 회전하도록 제어하여 각도 측정

b. 각도 측정 방법

- 입력 신호에 따라 변화하는 모터 위치 신호 측정
- 입력 신호 : 모터 속도 / 출력 결과 : 분사구 위치 변화

c. 측정 결과 : 좌우 회전 폭이 380도로 성능비표인 360도를 초과달성

- 자동운전 회전 실험 : 45도 수직 회전

a. 실험 방법

- 회전반경 360도 달성을 위해 분사구를 -190°에서 190°까지 자동으로 회전하도록 제어하여 각도 측정

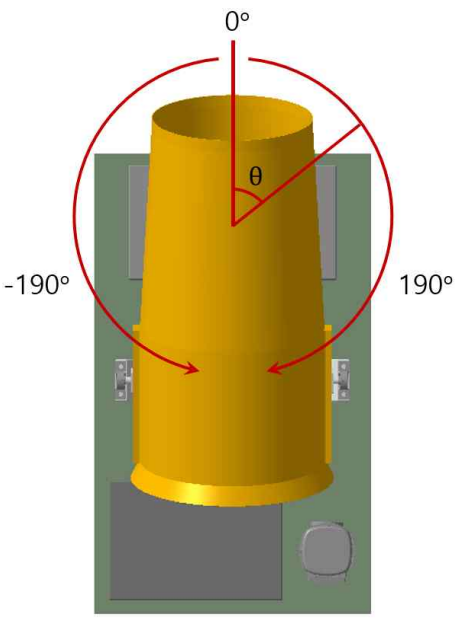
b. 각도 측정 방법

- 입력 신호에 따라 변화하는 모터 위치 신호 측정

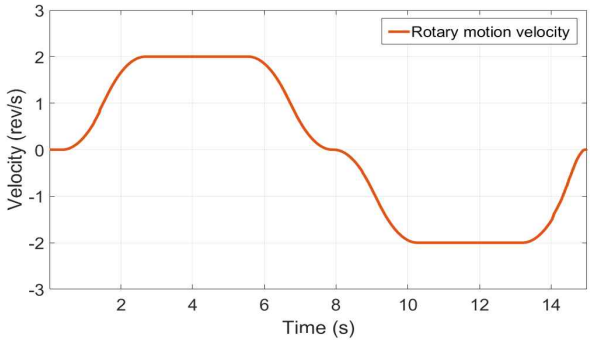
c. 측정 결과 : 좌우 회전 폭이 380도 달성

목표 성능	성 능 검 증			
360도 수평 회전	0°	90°	180°	270°
				
40도 상하 회전	0°	15°	30°	40°
				

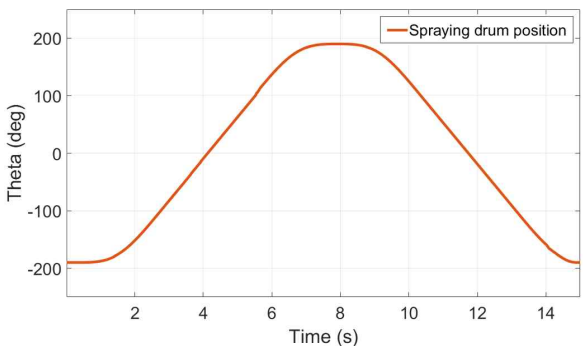
[그림 2.2] 회전 성능 시험



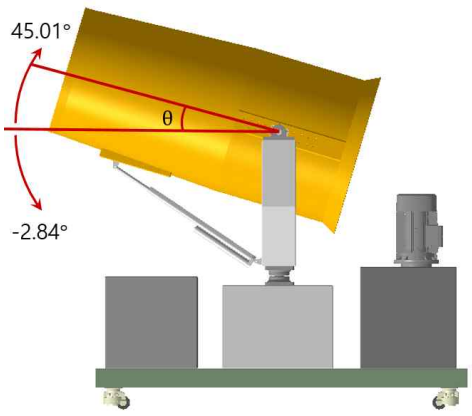
[분사장비 좌우 회전 각도 변화]



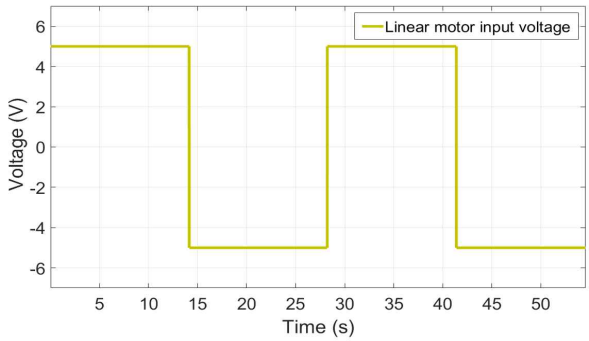
[분사장비 모터 속도 명령]



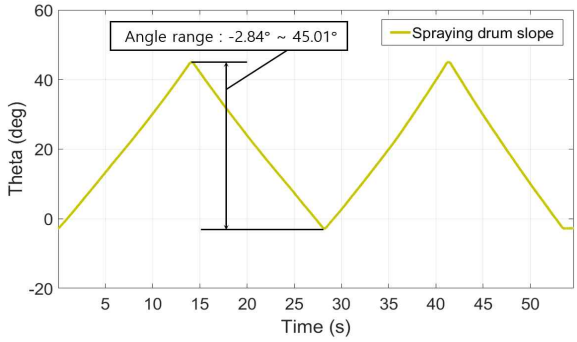
[분사장비 분사구 위치 변화]



[분사장비 상하 회전 각도 변화]



[분사장비 리니어 액추에이터 신호 지령]

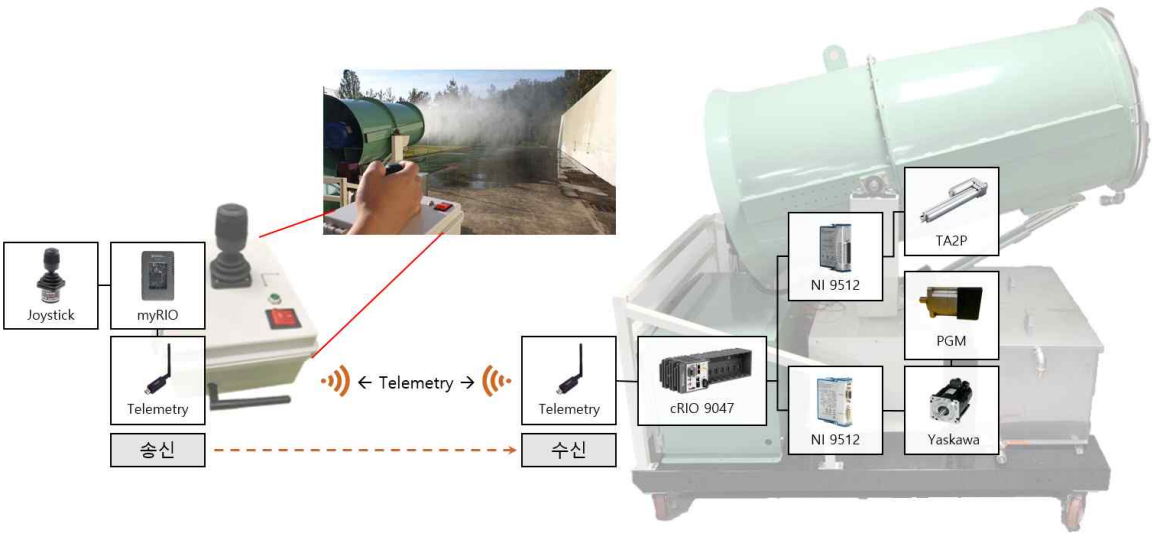


[분사장비 분사 각도 변화]

[그림 2.3] 회전 성능 시험 결과

○ 단위기술 3 : 미스트 분사장비 원격제어 시스템

- 분사기로부터 떨어진 곳에서 조이스틱 등으로 원격조작 구현



[그림 2.4] 분사장비 원격제어 시스템 하드웨어 구성도

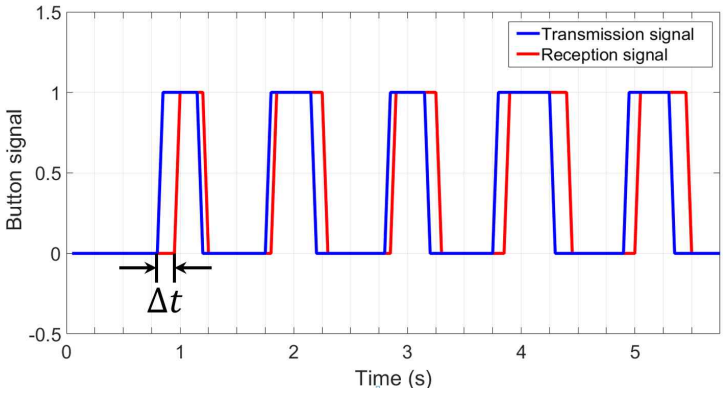
- 조이스틱과 분사기 사이의 원격 통신

- 통신 지연 시간

a. 실험 방법

- 조이스틱의 스위치 신호를 송신하여 그 신호를 수신할 때까지 소요되는 시간을 측정

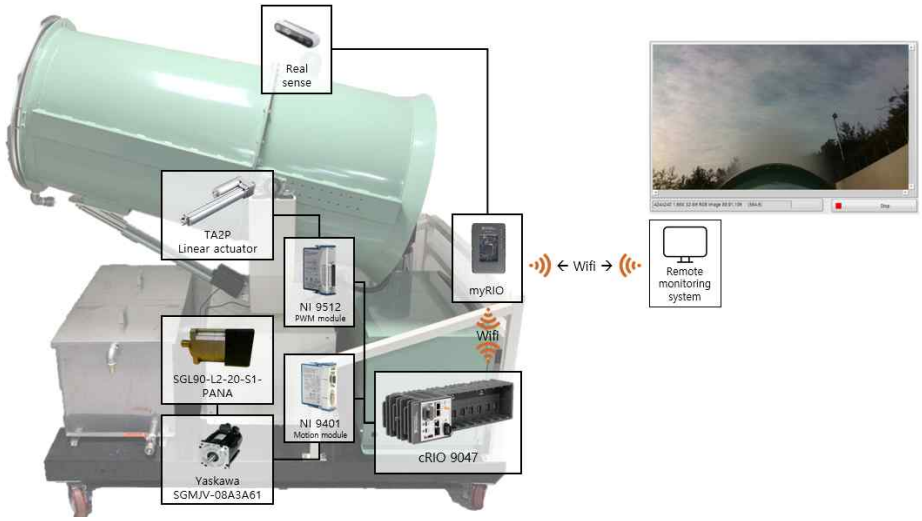
b. 시간 측정 결과 : 10회 통신 실험 결과 제어 지연시간이 평균 0.16초 달성



버튼 횟수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	평균
지연 시간(s)	0.22	0.1	0.08	0.17	0.09	0.17	0.13	0.25	0.19	0.18	0.16

[그림 2.5] 통신 지연 시간

- 장애물 등에 의해 가려진 위치를 파악하기 위한 비전 기반 원격 모니터링



[그림 2.6] 원격 제어 하드웨어 구성도

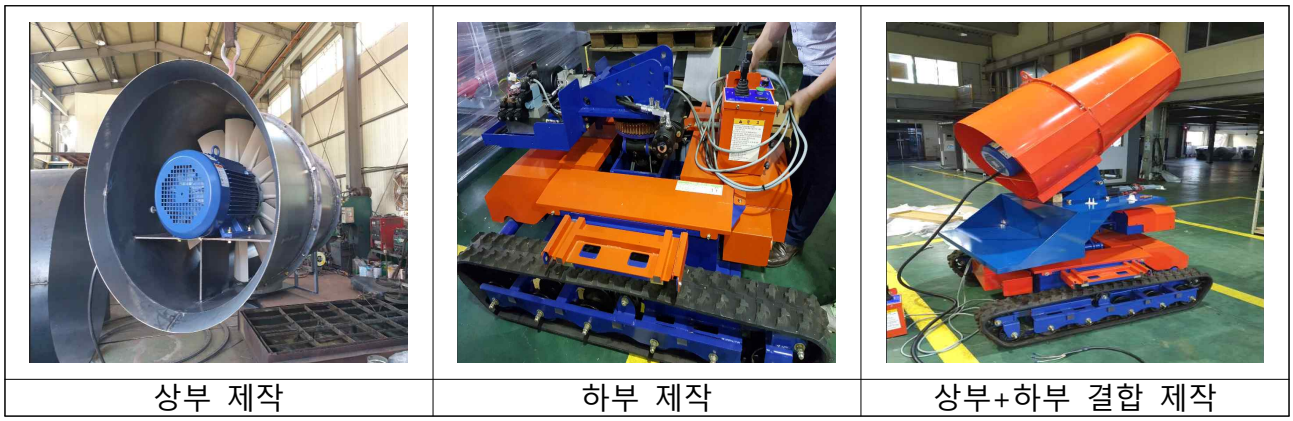
		
미스트 분사장비 자세 1	미스트 분사장비 자세 2	미스트 분사장비 자세 3
		
원격 모니터링 화면 1	원격 모니터링 화면 2	원격 모니터링 화면 3

[그림 2.7] 비전 기반 원격 모니터링 분사 장면

② 2단계 : 도약기술 개발 (2차년도 2020.01.01.~2020.12.31.)

○ 단위기술 1 : 미세먼지 억제용 미스트 분사 기술

- 분사거리 40m급 지능형 위치 추적 기반 미세먼지 저감 장치 시제품 제작 및 검증
- 아래 그림 2.8 및 그림 2.9는 연구과제로 제작된 목표 분사 거리 40m 지능형 미세먼지 저감 장치를 보여 주고 있음



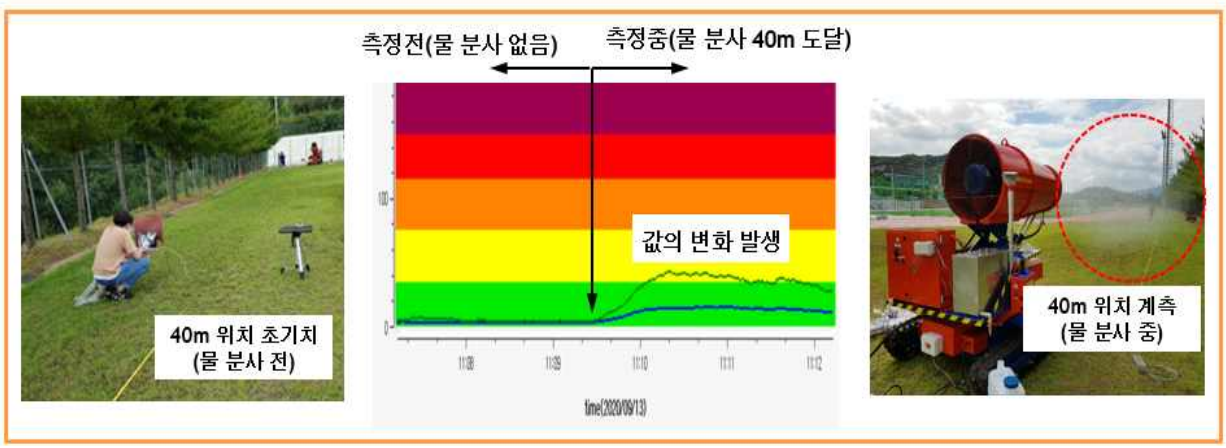
상부 제작	하부 제작	상부+하부 결합 제작

[그림 2.8] 40m급 분사 장치 시제품 제작



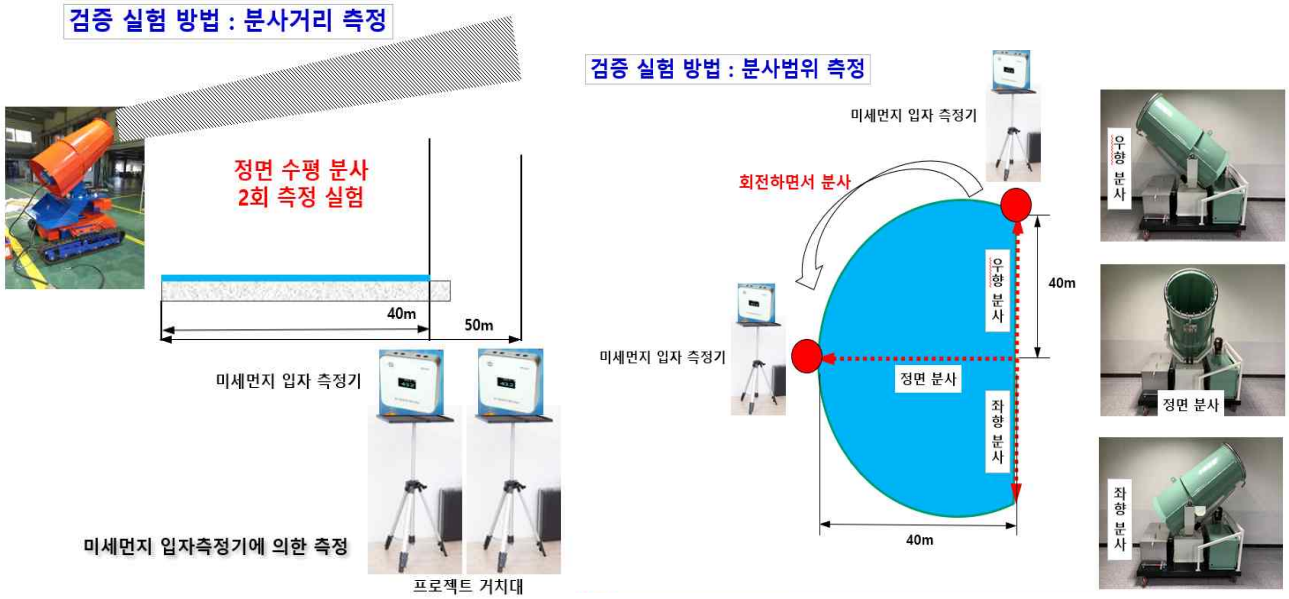
[그림 2.9] 완성 장치 시제품 및 시제품 검증 장면

- 분사 거리에 대한 장치 시제품 검증은 그림 2.11의 분사거리 및 분사범위 검증 시험방법에서 보는 바와 같이 정면 수평분사를 하였을 때 water spray가 도착한 거리를 측정하기 위해 미세먼지 입자 측정기를 40m 지점과 50m 지점에 각각 설치하여 분사거리를 측정하였음.

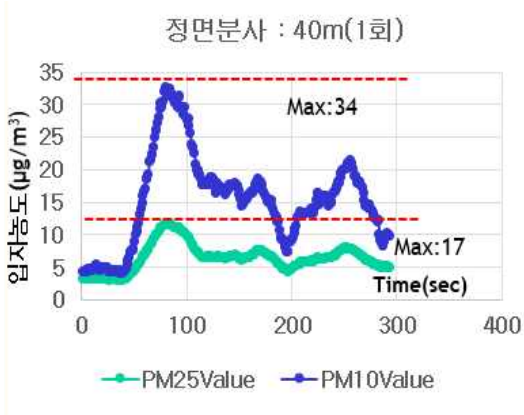


[그림 2.10] 분사거리 검증 시험 방법

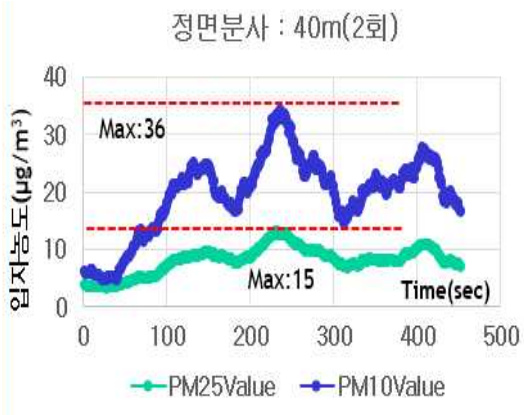
- 분사거리 측정 방법은 그림 2.10의 분사 거리 검증 시험방법에서 보는 바와 같이 미세먼지 입자측정기에 스프레이 물 분사 입자가 투입되면 측정값의 변화가 생기는 데 이를 이용하여 분사거리에 대한 검증을 하였으며, 분사거리 측정은 정면 수평분사를 2회하여 40m지점과 50m지점에서 각각 측정하였음.



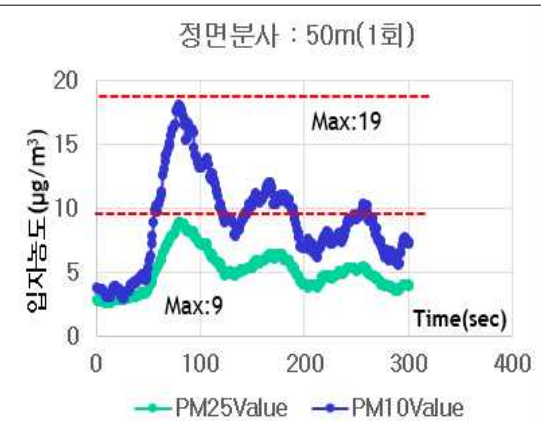
[그림 2.11] 분사거리 및 분사범위 검증 시험 방법



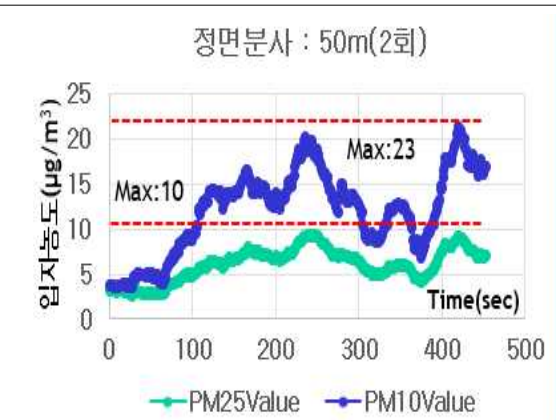
정면분사 – 1회 (측정지점 40m)



정면분사 – 2회 (측정지점 40m)



정면분사 – 1회 (측정지점 50m)

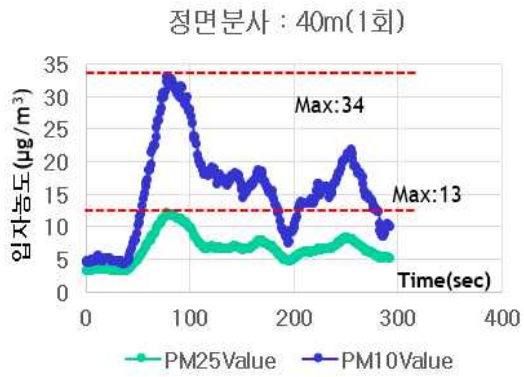


정면분사 – 2회 (측정지점 50m)

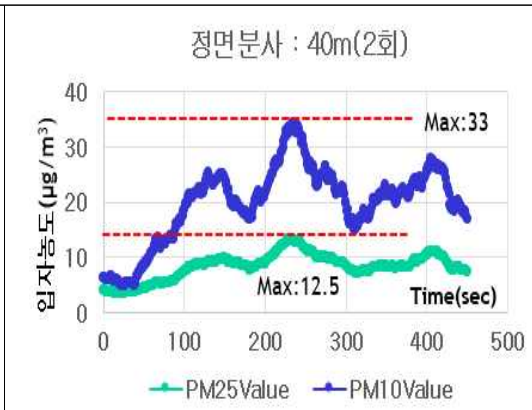
측정 지점	1회 측정($\mu g/m^3$)		2회 측정($\mu g/m^3$)		평균($\mu g/m^3$)	
	PM 2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10
40m	17	34	15	36	16	35
50m	9	19	10	23	9.5	21

[그림 2.12] 분사 거리 측정 결과

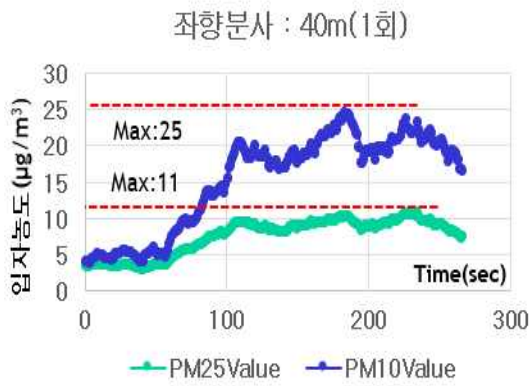
- 분사거리 검증 방법에 대해 보다 자세히 설명하면 분사거리 측정 방법은 측정전 40m 위치에서는 초기치를 계측하면 물 분사가 없으므로 값의 변화가 없으며, 물 분사를 개시하고 난 후 40m 위치에서 계측을 하면 물 분사 입자가 40m 위치까지 날라와 계측기 위치까지 도달하면 입자 측정기에 값의 변화가 발생하는 원리를 이용하여 분사거리를 측정 검증하였음.
- 분사 범위에 대한 측정은 그림 2.11에서 보는 바와 같이 좌향 분사 및 정면 분사를 하여 도달한 거리를 면적으로 계산하여 분사거리를 계산하였음
- 분사 거리 검증 결과는 그림 2.12에서 보여 주는 바와 같이 도달 분사거리가 목표로 했던 40m 지점을 넘어서 50m 지점까지 도달하는 것을 확인할 수 있었음.
- 분사 범위에 대한 측정 시험은 정면분사 40m지점과 좌향분사 40m 지점을 측정하였음.
- 그림 2.13의 분사 범위 측정 결과에서 보는 바와 같이 정면 분사와 좌향분사 모두 40m 지점까지 도달하는 것을 확인할 수 있었으며, 이를 토대로 한 분사범위는 5,000m^2 ($\pi r^2 = 3.14 \times 40^2 = 5{,}000m^2$)임.



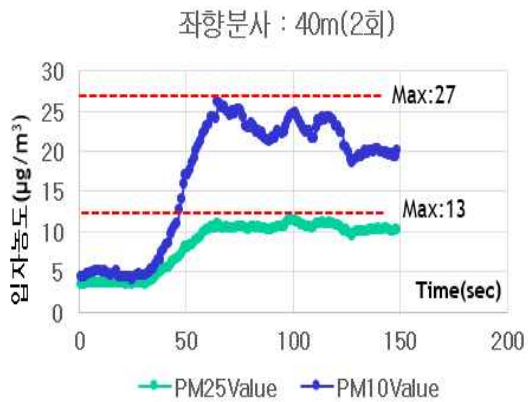
정면분사 – 1회 (측정지점 40m)



정면분사 – 2회 (측정지점 40m)



좌향분사 – 1회 (측정지점 40m)



좌향분사 – 2회 (측정지점 40m)

측정 지점 (40m)	1회 측정($\mu g/m^3$)		2회 측정($\mu g/m^3$)		평균($\mu g/m^3$)	
	PM 2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10
정면 분사	13	34	12.5	33	12.75	33.5
좌향 분사	11	25	13	27	12	26

[그림 2.13] 분사 범위 측정 결과



[그림 2.14] 해외 기술 조사 및 노즐 시험 계획

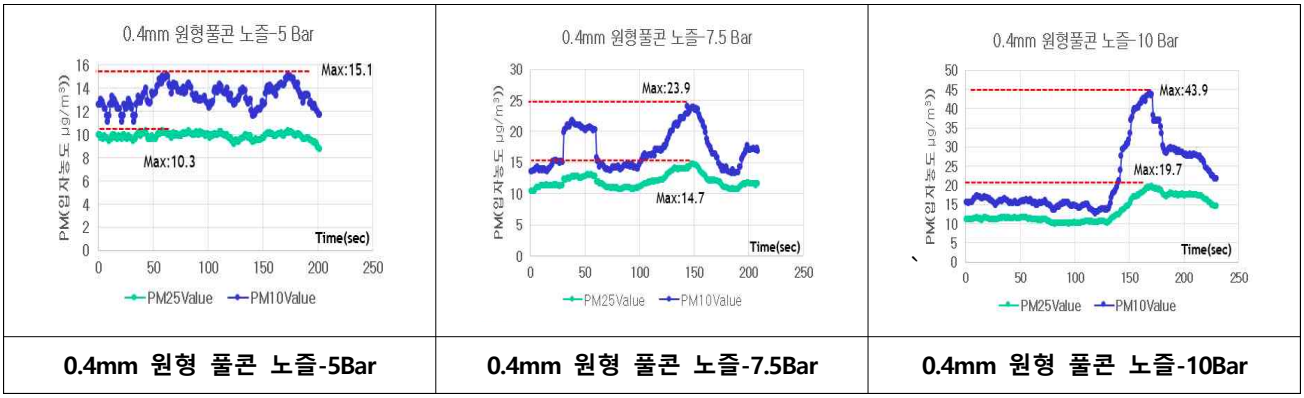


[그림 2.15] 노즐 Test 개요

- 다양한 노즐 적용 연구 및 노즐 탈부착 또는 다양한 직경의 노즐 혼합 사용 메커니즘 도입
- 노즐에 대한 연구는 그림 2.14에서 보는 바와 같이 우선 해외 제품에 대한 제품 조사를 하

였으며, 분석결과 해외 dust suppression system 제품 모두 solid full cone spray nozzle을 채택하고 있음.

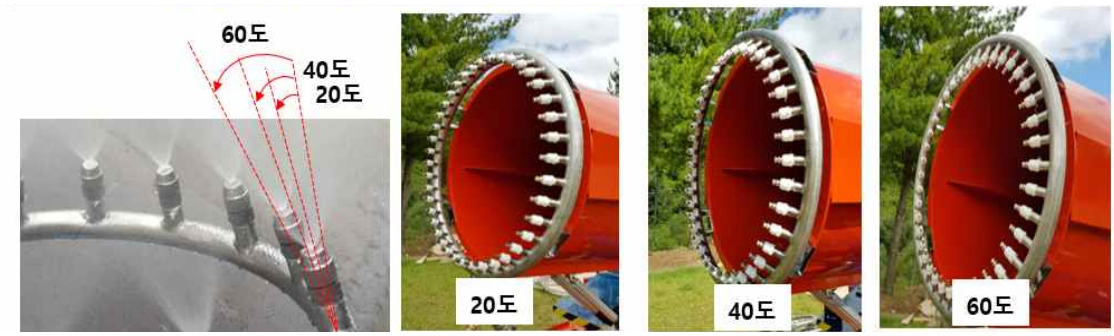
- 따라서 노즐 형태는 일류체 노즐의 solid full cone spray nozzle을 선택하였으며, 일본특허를 참고하여 충돌형 노즐 하나를 더 선택하여 실험을 수행하였음.
- 노즐 직경은 solid full cone spray nozzle을 0.4mm, 0.5mm, 1.0mm로 하여 실험을 수행하였으며 압력은 5bar, 7.5bar, 10bar로 하여 실험을 수행하였음.



0.4mm 원형 풀콘 노즐-5Bar	0.4mm 원형 풀콘 노즐-7.5Bar	0.4mm 원형 풀콘 노즐-10Bar

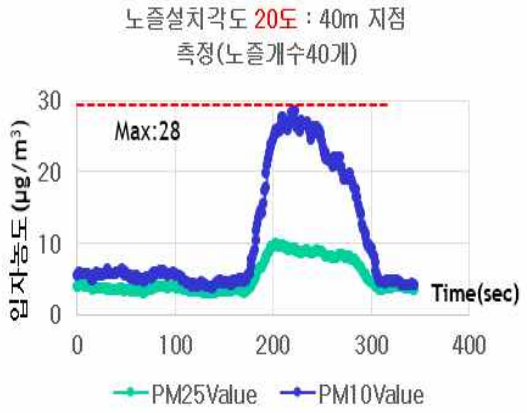
[그림 2.16] 노즐 Test 측정 결과 분석

- 실험 결과 원형 풀콘 노즐 10bar-0.4mm 노즐의 경우 분사 입자 크기 10μm의 수치가 43.9이고, 1.0mm 노즐 경우의 수치가 30.98로 노즐 직경이 작을수록 분사 입자 크기가 미세해짐을 알 수 있었음
- 그러나 충돌형 노즐(0.15mm)의 경우 예상과는 달리 분사 입자 크기 10μm의 수치가 1.0mm 노즐 경우의 수치와 비슷한 결과를 보여서 충돌형 노즐의 적용은 신중하게 고려해야 할 것으로 보임.
- 압력변화에 따른 시험 결과 예상과 같이 압력이 증가할수록 분사 입자 크기 10μm의 수치가 증가함을 알 수 있었음.

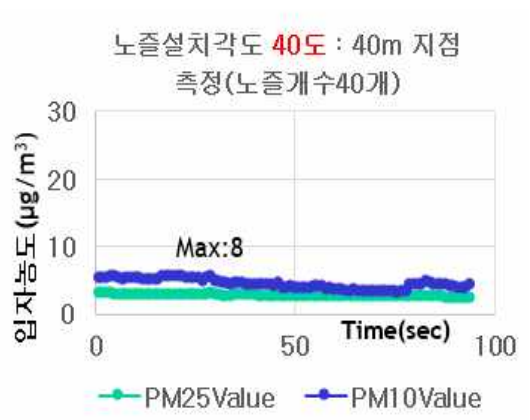


[그림 2.17] 노즐설치각도에 따른 분사거리 시험 계획

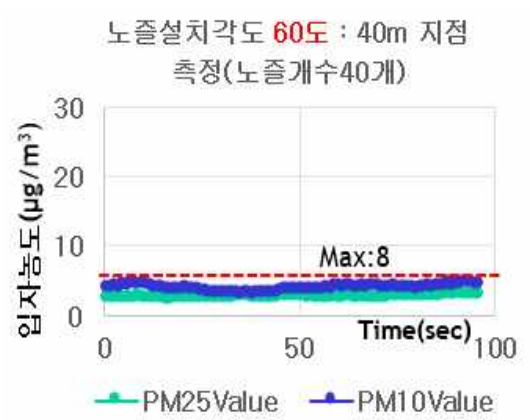
- 그림 2.17은 노즐 설치 각도에 따른 분사거리 시험 계획이며, 노즐 설치각도는 20도, 40도, 60도로 하여 야외 분사거리 검증 시험을 수행하였음.
- 그림 2.18에서 보는 바와 같이 노즐 설치각도에 따른 분사거리 시험 측정 결과, 노즐 설치각도가 40도, 60일 때에는 물 분사 입자가 40m 지점까지 도달하지 못하였으며, 이는 노즐 설치 각도가 물 분사 거리에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났음.



노즐설치각도 - 20도



노즐설치각도 - 40도



노즐설치각도 - 60도

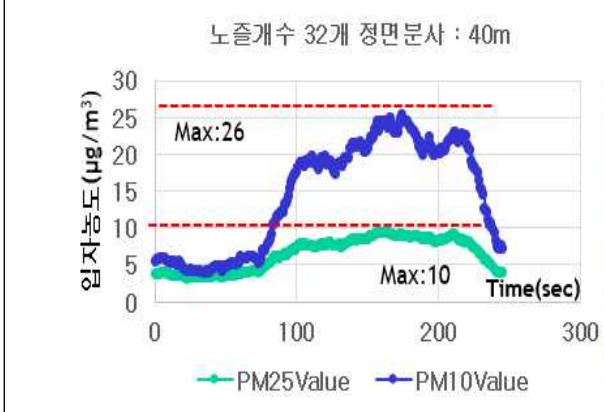
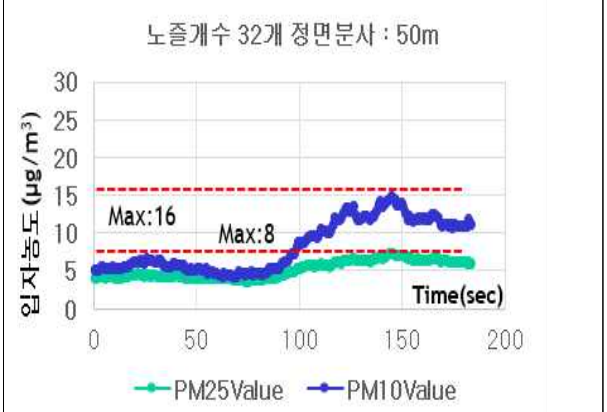
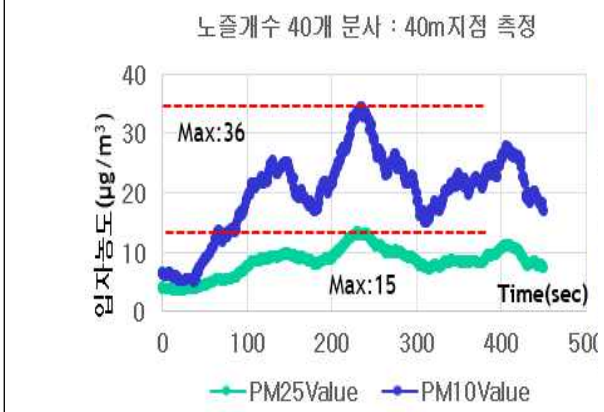
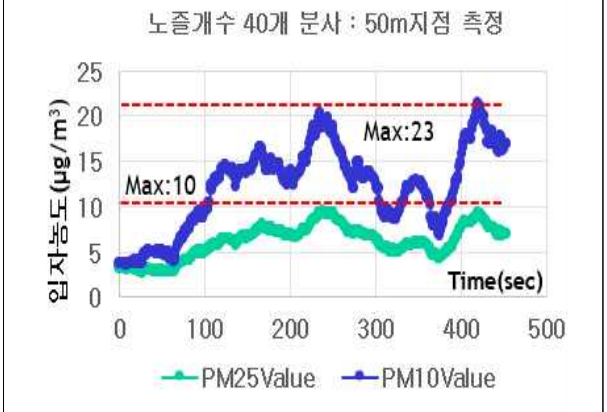
[그림 2.18] 노즐설치각도에 따른 분사거리 시험 결과

- 그림 2.19는 노즐 설치 개수에 따른 분사거리 시험 결과이며, 그림 2.19의 결과에서 보는 바와 같이 노즐 개수가 적을수록 물 분사 거리가 작아지는 것으로 나타났음.





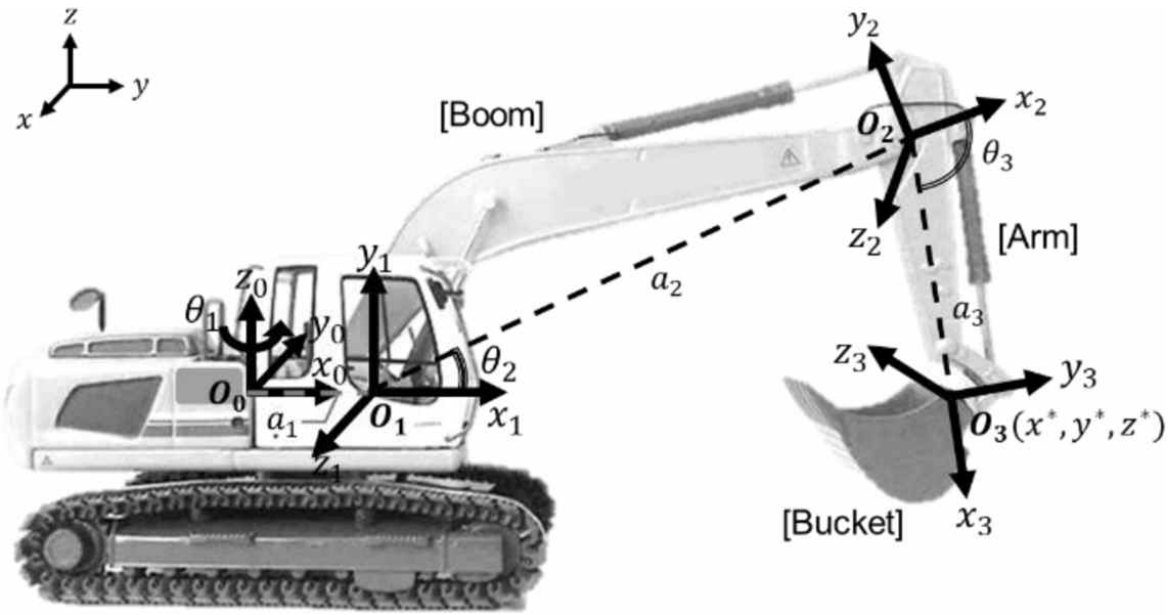


<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>노즐 설치 개수 32개 – 정면분사 40m</td><td>노즐 설치 개수 32개 – 정면분사 50m</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>노즐 설치 개수 40개 – 정면분사 40m</td><td>노즐 설치 개수 40개 – 정면분사 40m</td></tr>
</table>

[그림 2.19] 노즐 설치 개수에 따른 분사거리 시험 결과

○ 단위기술 2 : 지능형 미세먼지 발생원 위치 인식 알고리즘

- 굴삭기 기구학 해석을 통하여 굴삭기 끝점(미세먼지 집중 발생원) 위치 인식과 굴삭기의 기구학 해석을 위한 좌표계 설정함.



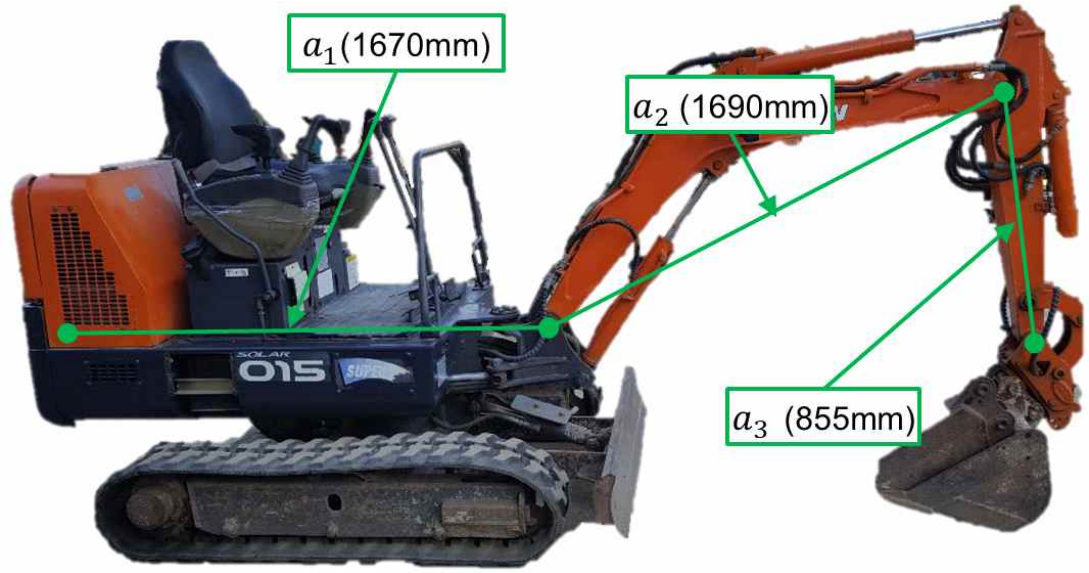
[그림 2.20] 기구학 계산을 위해 설정된 굴삭기의 좌표계

- 설정된 좌표계로부터 도출된 굴삭기 자세 계산식을 도출하고, 굴삭기 자세 계산식에 굴삭기 외형치수(a_1, a_2, a_3)와 각도($\theta_1, \theta_2, \theta_3$) 데이터를 입력하여 굴삭기의 끝점 위치를 계산함.

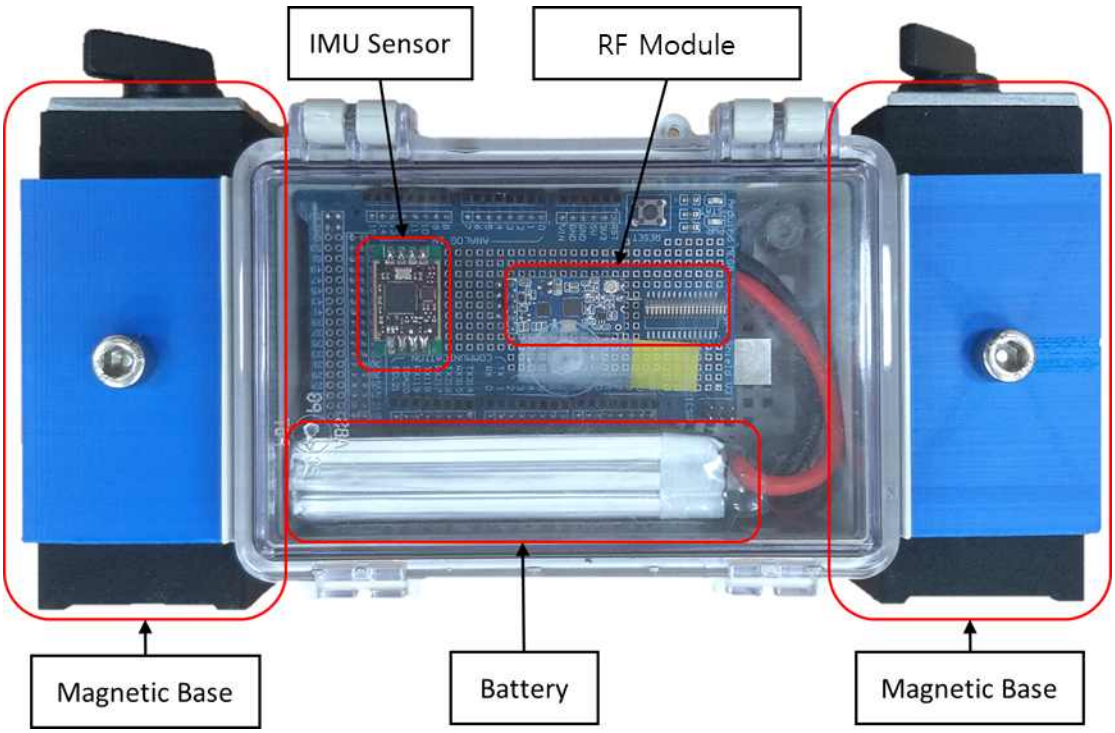
$$d_0^3 = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cos\theta_1 cos(\theta_2 + \theta_3) & cos\theta_1 cos\theta_2 & cos\theta_1 \\ sin\theta_1 cos(\theta_2 + \theta_3) & sin\theta_1 cos\theta_2 & sin\theta_1 \\ sin(\theta_2 + \theta_3) & sin\theta_2 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}$$

[그림 2.21] 굴삭기 자세 계산식]

- 굴삭기 기본 외형치수 파악 및 관성측정장치(IMU: Inertial Measurement Unit) 등 센서 기술을 활용한 굴삭기 자세를 계산하고, 자세 계산식에 필요한 굴삭기 외형치수(a_1, a_2, a_3) 측정함.

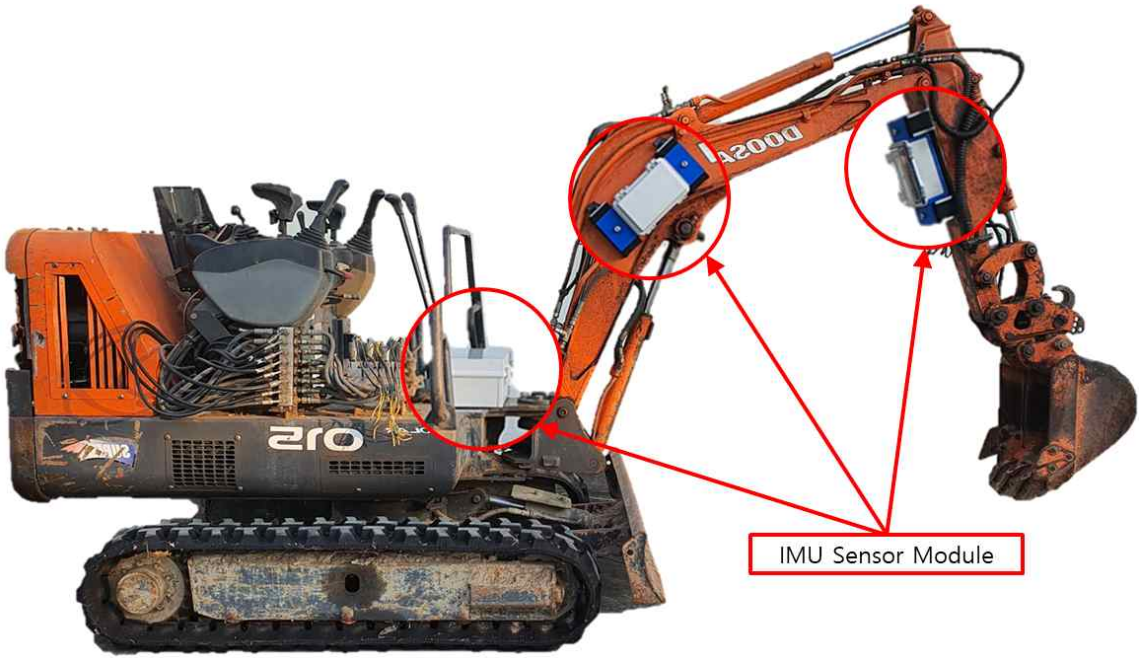


[그림 2.22] 굴삭기 외형 치수



[그림 2.23] 제작한 관성측정장치

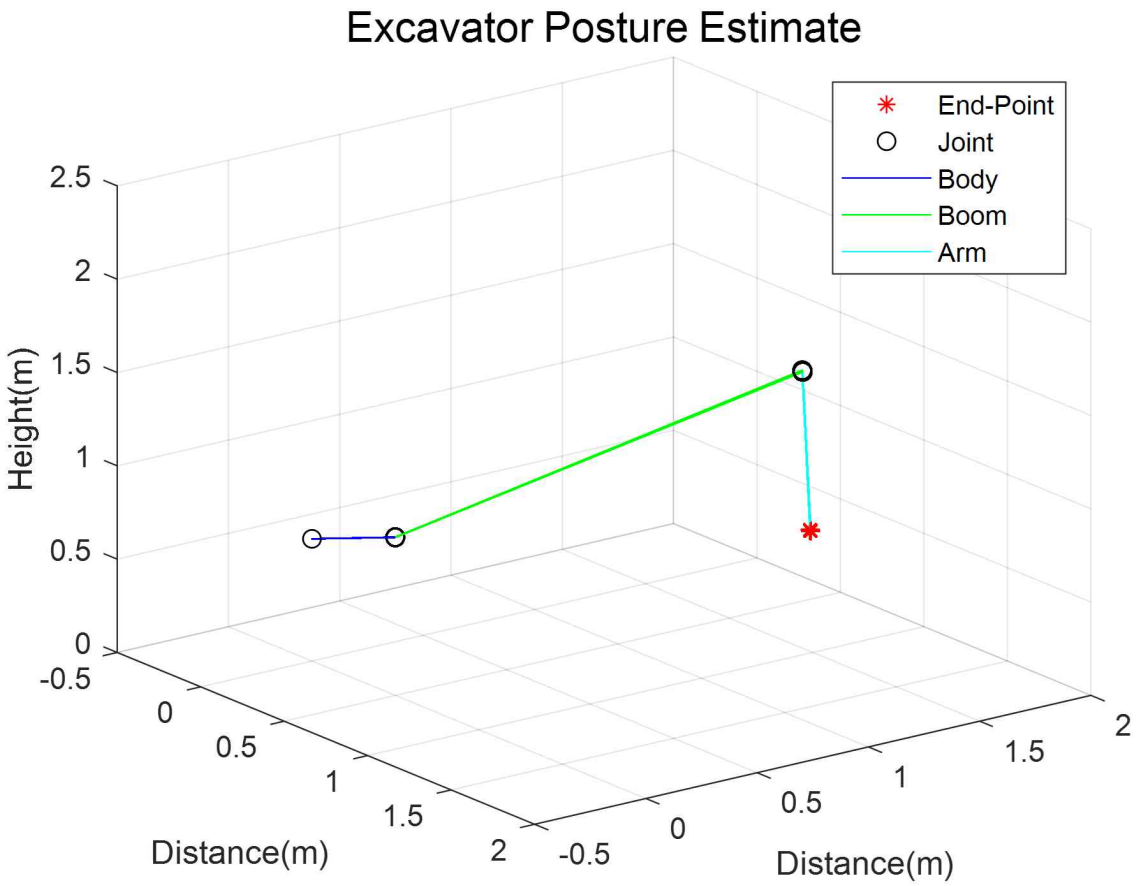
- 자세 계산식에 필요한 굴삭기 각도($\theta_1, \theta_2, \theta_3$) 측정장치(관성측정장치)를 제작하고, 각도 데이터를 측정 및 수집하기 위해 IMU센서와 블루투스 모듈을 사용함.
- 굴삭기에 부착하기 위해 마그네틱 베이스를 사용함.



[그림 2.24] 굴삭기에 관성측정장치를 부착한 모습

- 굴삭기에 위 그림과 같이 관성측정장치를 부착하고 굴삭기의 각도($\theta_1, \theta_2, \theta_3$)를 측정하고, 측정한 굴삭기의 각도($\theta_1, \theta_2, \theta_3$)와 외형치수($a_1, a_2, a_3$)를 이용하여 굴삭기의 자세를 추정함.
- 그림 2.25의 윗쪽 그림은 실제 굴삭기의 자세이고 아래쪽 그림은 추정한 굴삭기의 자세임.



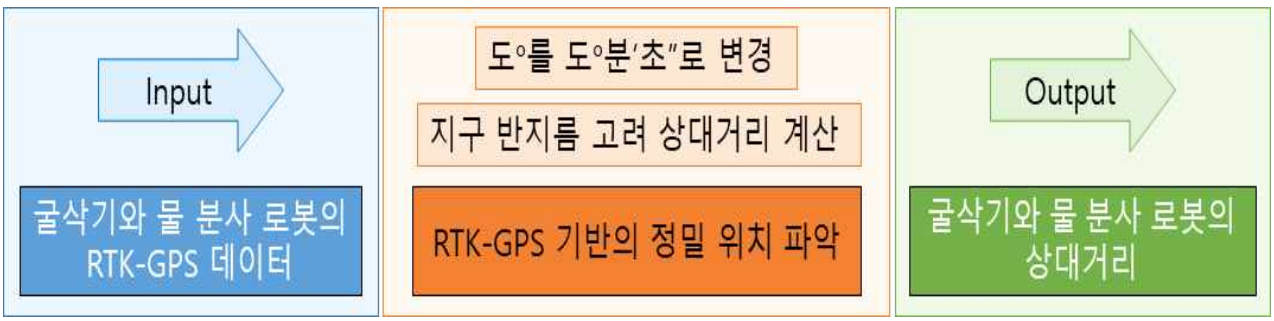


[그림 2.25] 굴삭기 자세 추정 결과

- 실제 굴삭기 끝점의 좌표는 $x=1.793m, z=0.618m$이고, 추정한 끝점의 좌표는 $x=1.795m, z=0.650m$이며 x축 오차는 0.003m, z축 오차는 0.032m로 정밀한 자세 추정이 되는 것을 확인함.

○ 단위기술 3 : 자율형 위치추적 기반의 시스템 제어 기술

- RTK-GPS 기반의 정밀 위치 파악(굴삭기 중심부 및 분사장치 상대 위치 계산)하고, 굴삭기와 물 분사 로봇의 RTK-GPS를 부착하고 위치 데이터를 측정함.
- 도로 측정된 위치 데이터를 도분초로 변경하였으며, 한국의 위도, 경도에 해당하는 지구 반지름을 고려하여 상대거리를 계산함.

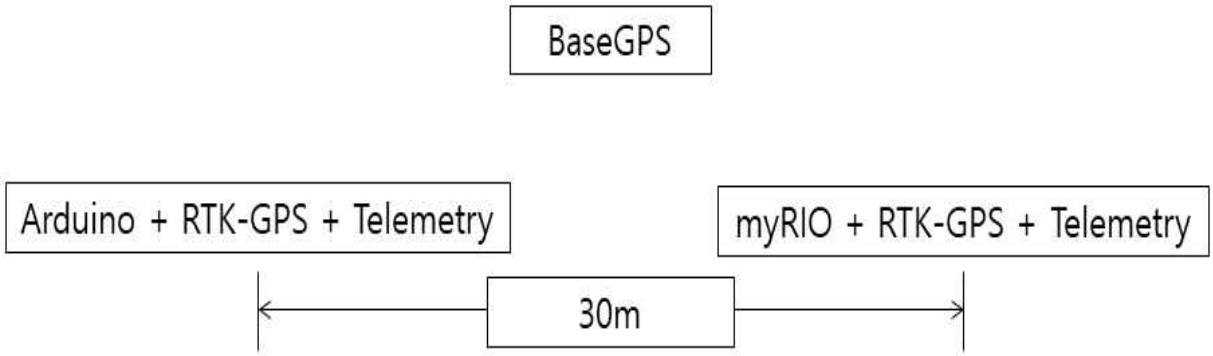


[그림 2.26] RTK-GPS 상대거리 계산 순서



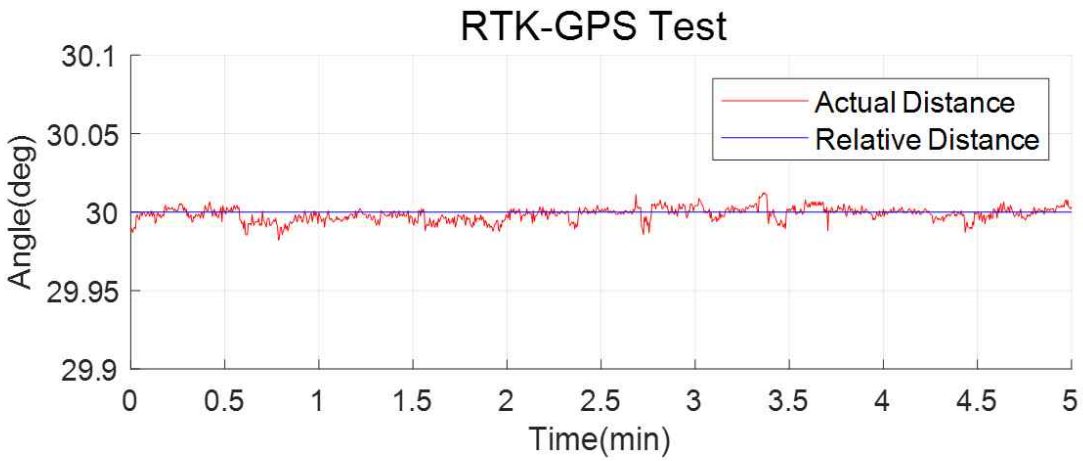
[그림 2.27] RTK-GPS 상대거리 계산 코드

- RTK-GPS를 사용하여 굴삭기와 물 분사 로봇 사이의 상대거리 측정 실험을 진행하였으며, 30m 떨어진 두 위치에 RTK-GPS를 위치시키고 Telemetry 통신을 사용하여 위치 데이터를 획득함.
- 획득한 위치 데이터를 이용하여 상대거리 계산 후 실제 거리와 비교하여 성능을 검증함.



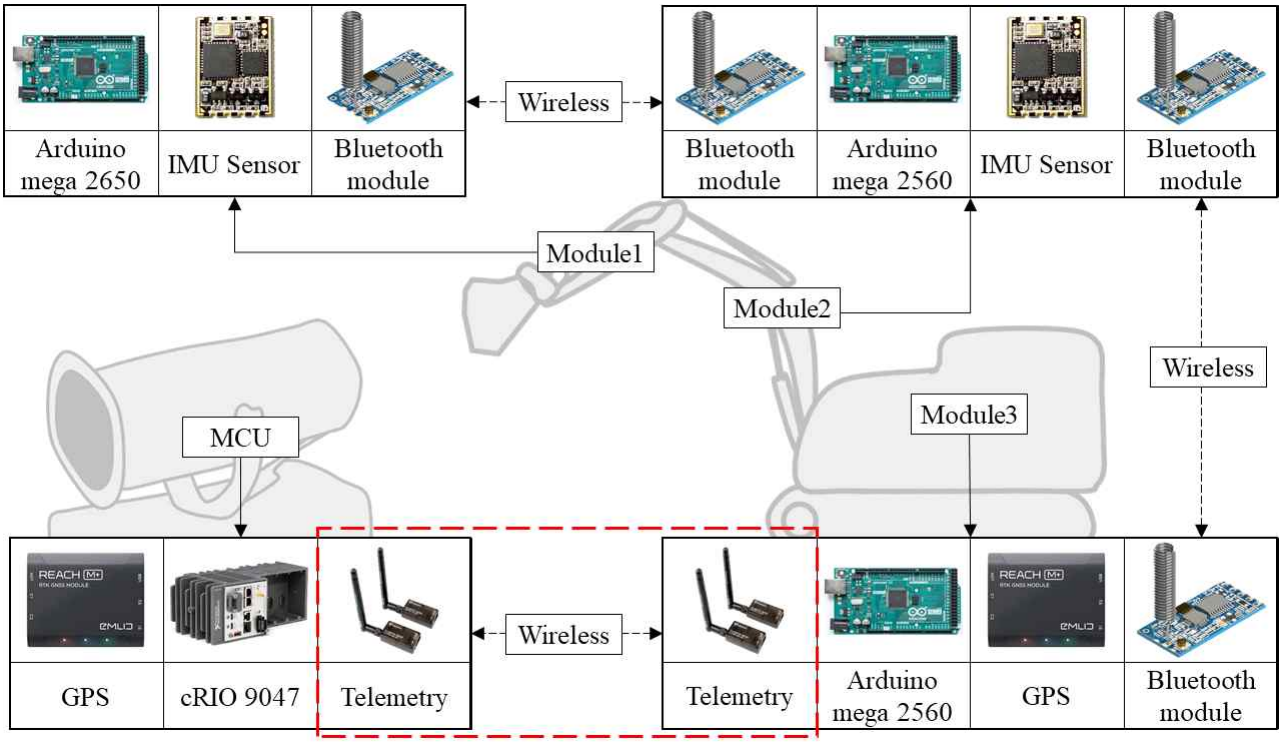
[그림 2.28] RTK-GPS을 이동한 상대거리 측정 실험

- Telemetry 통신을 통해 100m 이상의 거리에서도 데이터가 전송되는 것을 확인함.

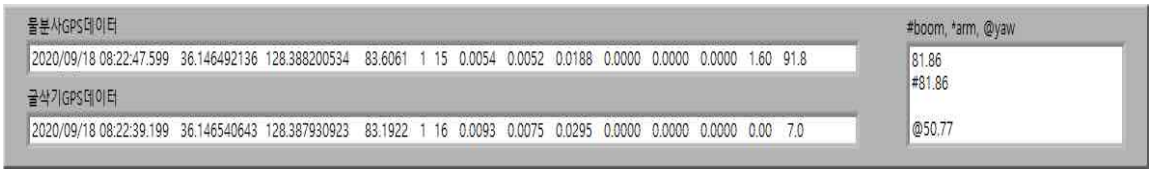


[그림 2.29] RTK-GPS을 이동한 상대거리 측정 실험

- 실험 결과 RTK-GPS로 계산한 상대거리가 최대 30.6949m, 최소 29.9386m로 수십 cm 이내의 오차를 가지는 것을 확인하였으며, 굴삭기에서 측정한 붐, 암, 바디의 각도 데이터와 RTK-GPS 데이터를 물 분사 로봇으로 전달하기 위한 무선 통신 시스템을 구축함.



[그림 2.30] 무선 통신 시스템

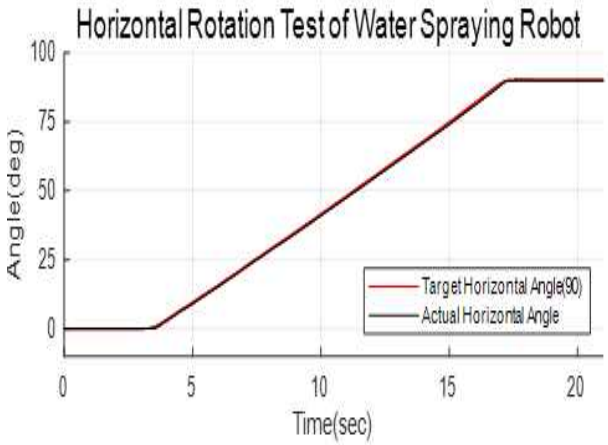


[그림 2.31] 물 분사 로봇 UI(User Interface)에서 확인한 굴삭기의 데이터

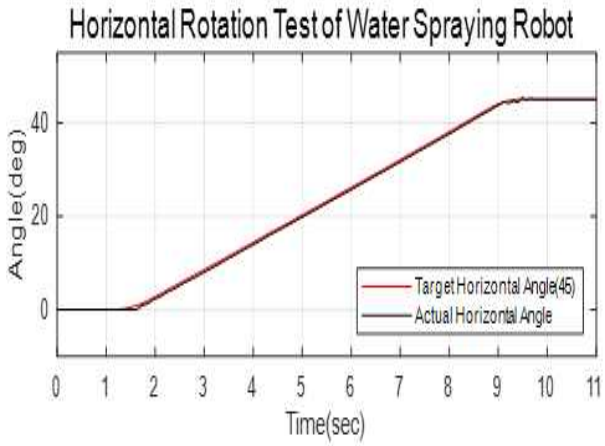
- 미세먼지 발생원을 지속적으로 추적하는 것과 관련 물 분사 로봇이 목표지점을 따라 지속적으로 추적하는지 검증하기 위해 수평 회전과 수직 회전으로 나누어 시험을 진행하였으며, 수평 회전 실험은 목표각도가 0~45도, 0~90도로 바뀌는 2가지 상황에 대해 실험을 진행하였음.
- 목표각도에 따른 각각의 수평 회전 실험 최대 오차는 0.8408도, 0.8716도로 제어 오차 범위인 -10~+10도를 만족함.
- 수직 회전 실험은 목표각도가 0~10도, 0~20도, 0~30도, 0~40도로 바뀌는 4가지 상황에 대해 실험을 진행하였으며, 목표각도에 따른 각각의 수직 회전 실험 최대 오차는 1.5078도, 1.8642도, 1.6332도, 2.4827도로 제어 오차 범위인 -10~+10도를 만족함.

[표 2.1] 수평, 수직 회전 실험 결과

	Target Angle(deg)	Mean Error(deg)	Peak Error(deg)
Horizontal Rotation Test	45	0.3218	0.8408
	90	0.2887	0.8715
Vertical Rotation Test	10	0.4153	1.5078
	20	0.7716	1.8642
	30	0.9676	1.6332
	40	0.7666	2.4827

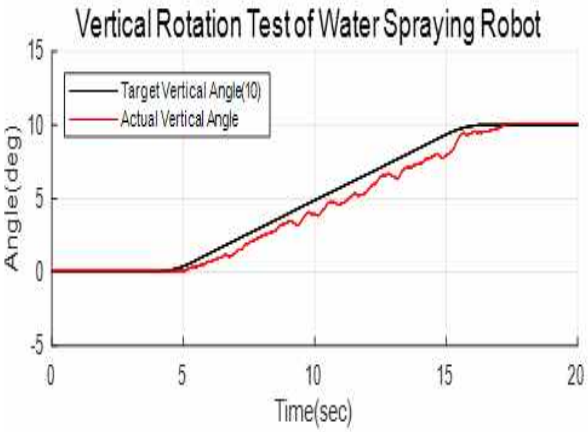


(a)목표각도 45도

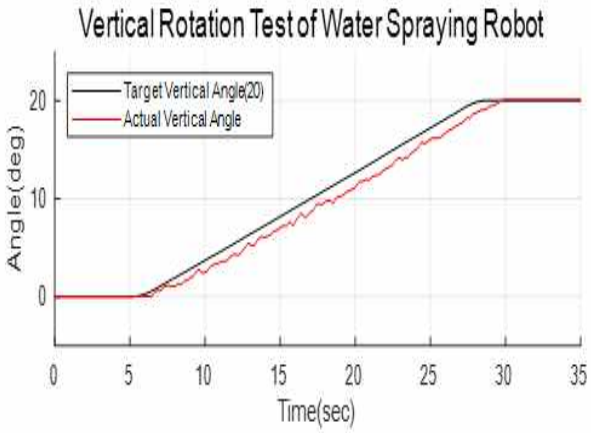


(b)목표각도 90도

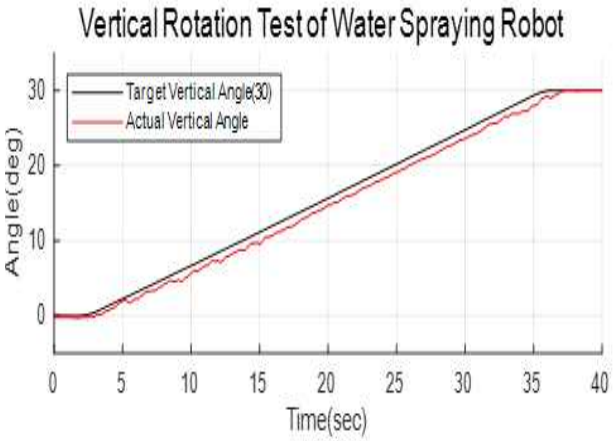
[그림 2.32] 수평 회전 실험



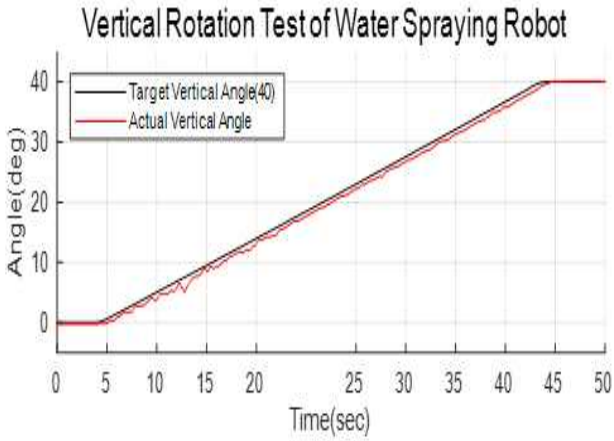
(a)목표각도 10도



(b)목표각도 20도



(c)목표각도 30도



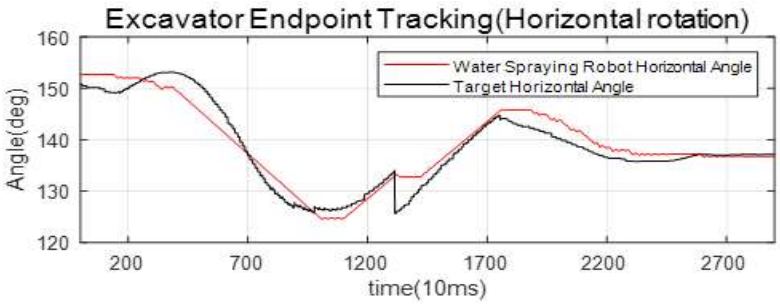
(d)목표각도 40도

[그림 2.33] 수직 회전 실험

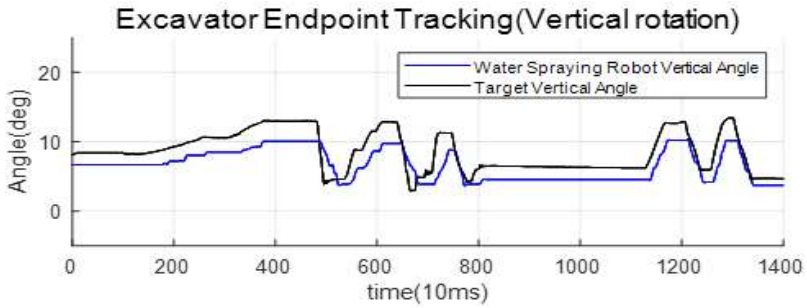
- 물 분사 로봇이 실제 굴삭기 끝점을 지속적으로 추적하는지 확인하기 위해 굴삭기 끝점 추적 실험을 진행함.
- 지능형 미세먼지 발생원 위치 인식 알고리즘으로 굴삭기 끝점의 위치 계산하고, RTK-GPS를 기반으로 물 분사 로봇과 굴삭기 사이의 상대 거리를 측정함.
- 끝점의 위치와 상대거리를 이용하여 물 분사 로봇이 미세먼지 발생원을 바라보기 위한 수평 회전 각도와, 수직 회전 각도를 계산하였으며, 물 분사 로봇이 실제로 바라보고 있는 각도와 계산된 목표 각도 사이의 오차가 -10~+10도 이내가 되로록 제어를 진행함.



[그림 2.34] 굴삭기 끝점 추적 실험



(a)굴삭기 끝점 추적 실험(수평방향)



(b)굴삭기 끝점 추적 실험(수직방향)

[그림 2.35] 물 분사 로봇의 굴삭기 끝점 추적실험 결과

- 굴삭기 수평 회전 시 물 분사 로봇의 굴삭기 끝점 추적결과 최대 오차가 7.5075도이고, 굴삭기 수직 회전 시 물 분사 로봇의 굴삭기 끝점 추적결과 최대 오차는 4.9751도로 목표 제어 오차인 -10~+10도를 만족함.
- 굴삭기 수평 회전 시 물 분사 로봇의 굴삭기 끝점 추적결과 최대 오차가 7.5075도이고, 굴삭기 수직 회전 시 물 분사 로봇의 굴삭기 끝점 추적결과 최대 오차는 6.3120도로 목표 제어 오차인 -10~+10도를 만족함

	Mean Error(deg)	Peak Error(deg)
Horizontal Rotation Test	1.9585	7.5095
Vertical Rotation Test	2.1101	6.3120

[그림 2.36] 물 분사 로봇의 굴삭기 끝점 추적실험 결과]

③ 3단계 : 실용화 기술 개발 (3차년도 2021.01.01.~2021.12.31.)

○ 단위기술 1 : 미세먼지 억제용 미스트 분사 기술

- 그림 2.37은 노즐 분사 시험 개요를 보여 주고 있음



[그림 2.37] 노즐 분사 시험 개요

- 분사 입자 크기 관련 상기 전술한 노즐 연구에 대한 내용을 토대로 1mm 원형 풀콘 노즐과 1mm 원형 다구 노즐을 선정하여 실험을 수행하였음
- 건설 신기술 신청과 관련된 중국제품에 사용된 1mm 원형 풀콘 노즐과 건설 신기술 신청 기술에 사용된 1mm 원형 다구 노즐을 선정하여 분사입자크기 측정 실험을 수행하였음.
- 해외 중국제품의 원형풀콘노즐을 사용하지 않고 개발 기술에 원형다구노즐을 선정한 주된 이유는 경제성 때문이며, 아래 표에서 보는 바와 같이 원형 다구 노즐이 원형 풀콘 노즐에 비해 25% 저렴하기 때문임.

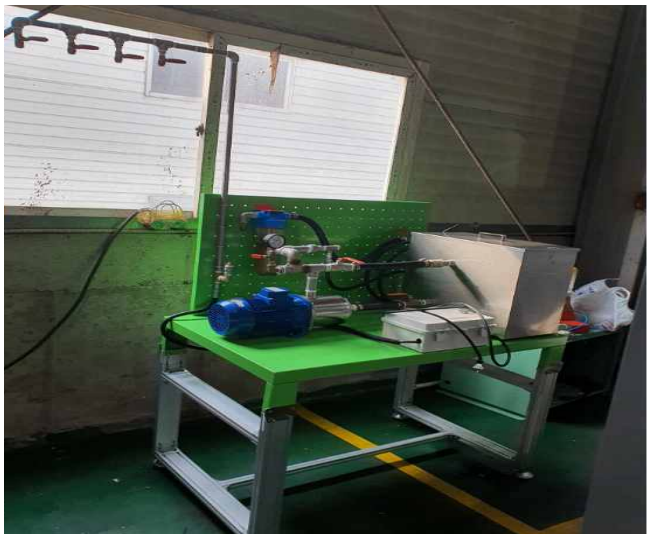
[표 2.2] 노즐 가격 비교

구 분	가격 비교
원형 풀콘 노즐(1mm-1EA)-스테인레스 재질	10,000*5EA=50,000원
원형 다구 노즐(1mm-5EA)-스테인레스 재질	1구 5EA=40,000원

- 실험에 사용된 계측기는 CE 인증을 받은 SDL607 측정기를 사용하였으며, 그림 2.38 및 그림 2.39에서 보는 바와 같이 압력계 및 노즐 결합구, 펌프, 배관라인으로 구성된 노즐 분사 장치를 제작하여 실험을 수행하였음



(a) 노즐 분사 시험 장치 제작 사진



(b) 노즐 분사 시험 장치 제작 사진

[그림 2.38] 노즐 분사 장치 제작 사진



(c) 노즐 분사 시험 장치 제작 사진



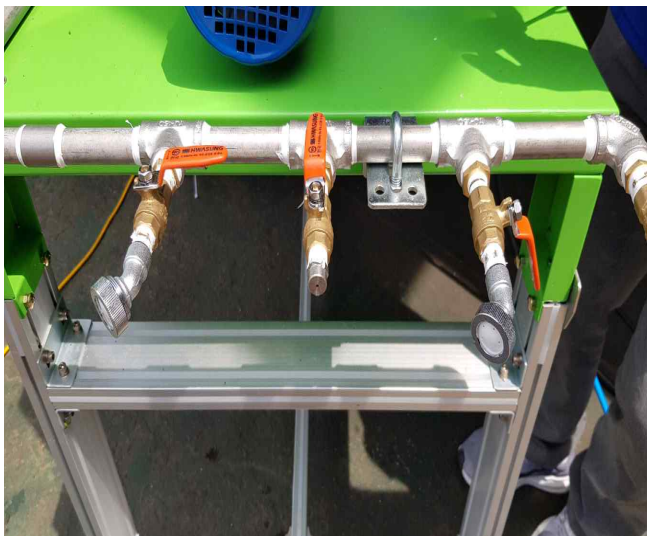
(d) 노즐 시험 사전 분사 테스트

[그림 2.39] 노즐 분사 장치 제작 및 사전 분사 테스트

- 분사 크기 입자 측정은 그림 2.37에서 보는 바와 같이 1m, 2m, 3m 지점 3개 지점에서 측정하여 평균값으로 분석하였으며, 압력을 각각 3bar, 6Bar, 9Bar로 하여 실험을 수행하였음.
- 그림 2.40은 노즐 분사 실험 사진을 보여 주고 있음.
- 그림 2.41, 2.42, 2.43은 실험 결과를 정리한 것이며 그림에서 보는 바와 같이 측정된 입자 크기가 2.5~10μm의 크기를 가지며, 풀콘 노즐 보다 다구 노즐이 보다 많은 2.5~10μm의 크기 물 입자량을 생성하는 것을 알 수 있었으며, 압력에 따른 입자농도는 원형 풀콘노즐 및 원형 다구 노즐 모두 압력이 커질수록 입자농도가 증가하는 경향을 나타내었음.



(a) 시험 장면



(b) 시험 장면



(ic 시험 장면



(d) 시험 장면



(e) 시험 장면

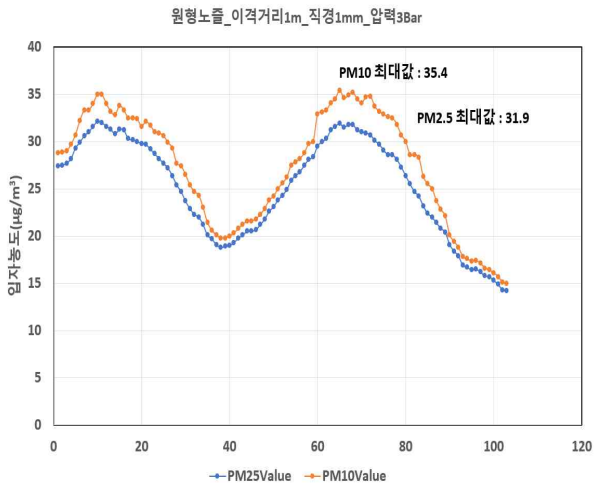


(f) 시험 장면

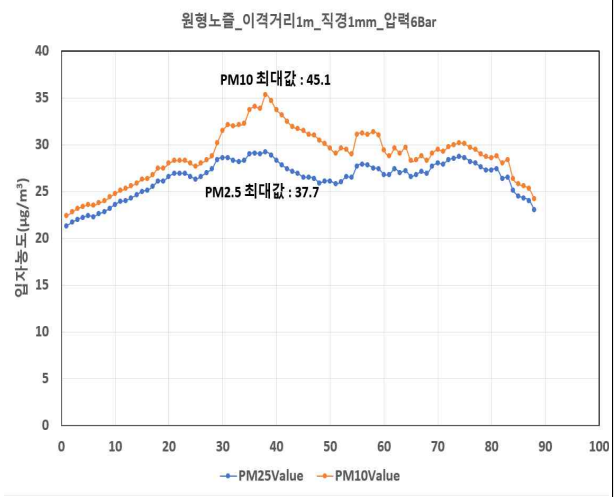
[그림 2.40] 노즐 분사 실험 사진

- 그림 2.44는 실내 실험 결과를 종합 정리한 것이며, 각 실험마다 발생하는 최대 발생값(Max)을 비교하였음.
- 그림 2.44에서 보는 바와 같이 측정된 입자 크기가 2.5~10μm의 크기를 가지며, 원형 다구

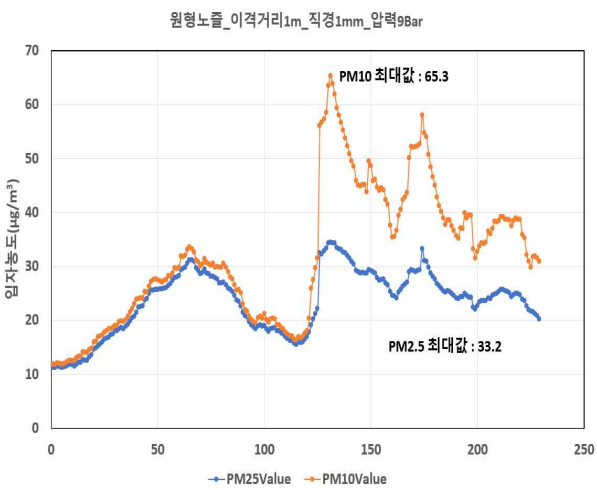
노즐이 원형 풀콘 노즐보다 10μm 크기의 물 스프레이 입자를 평균 12% 더 발생시키는 것을 확인할 수 있었으나 그 차이는 크지 않는 것으로 나타났음.



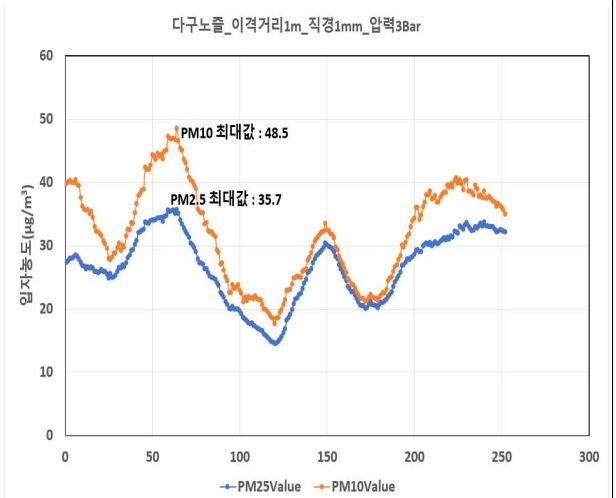
원형 노즐-1mm-3Bar



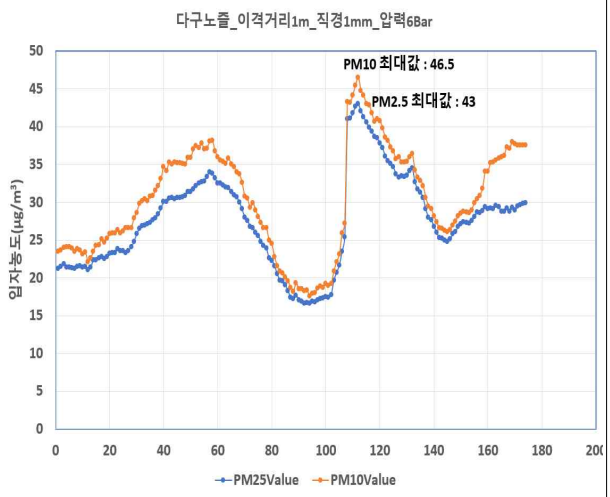
원형 노즐-1mm-6Bar



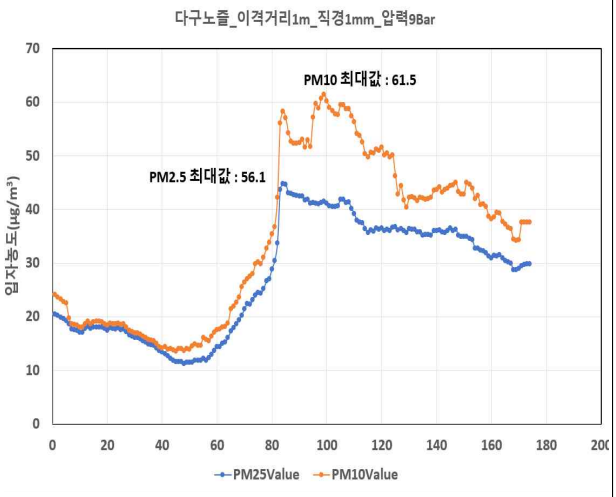
원형 노즐-1mm-9Bar



다구 노즐-1mm-3Bar

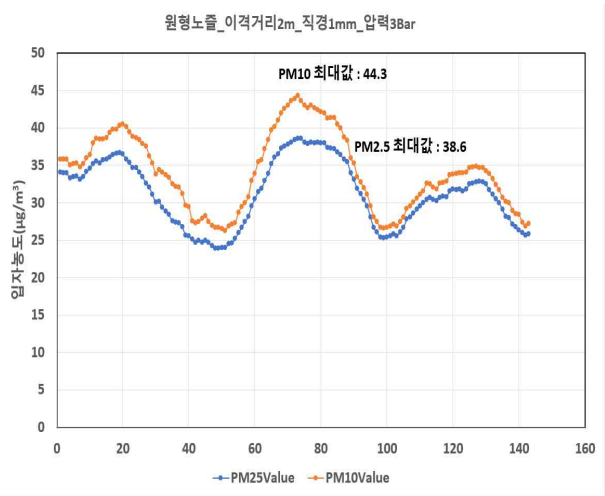


다구 노즐-1mm-6Bar

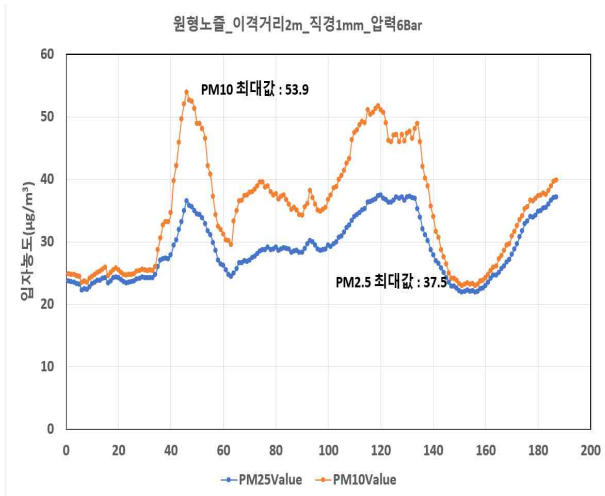


다구 노즐-1mm-9Bar

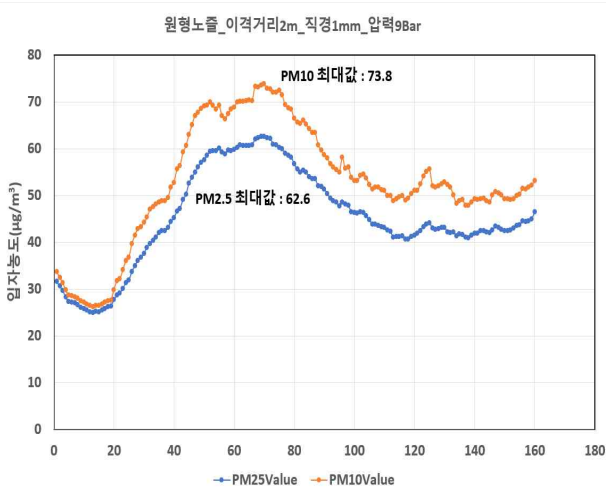
[그림 2.41] 노즐 분사 실험 측정 결과 (이격거리 – 1m)



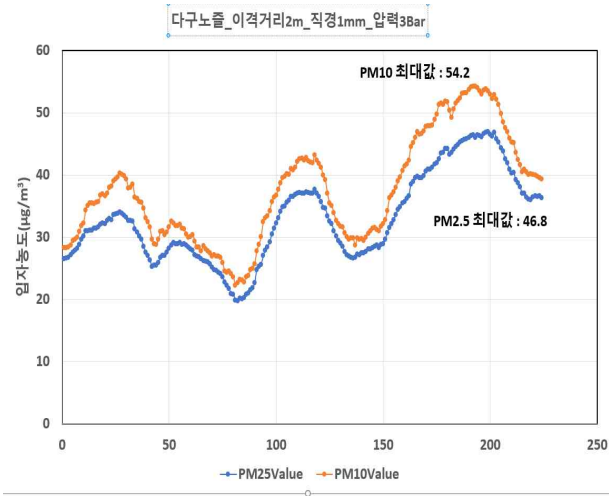
원형 노즐-1mm-3Bar



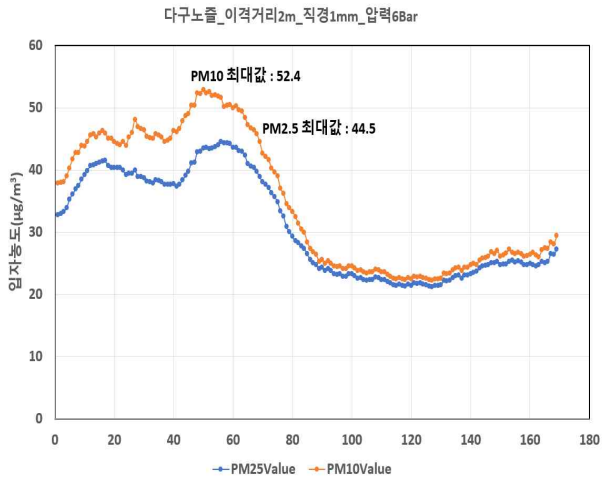
원형 노즐-1mm-6Bar



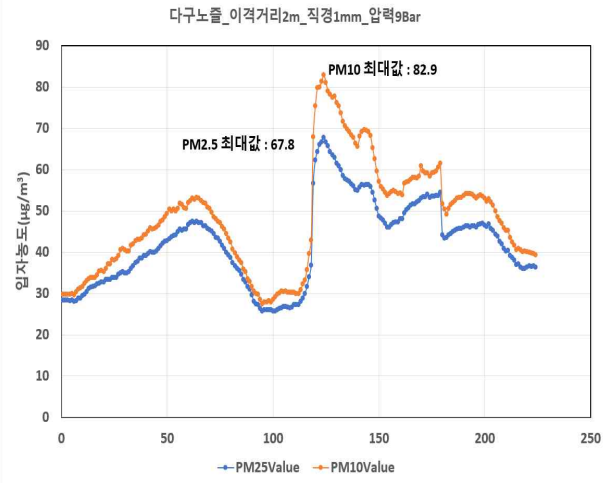
원형 노즐-1mm-9Bar



다구 노즐-1mm-3Bar

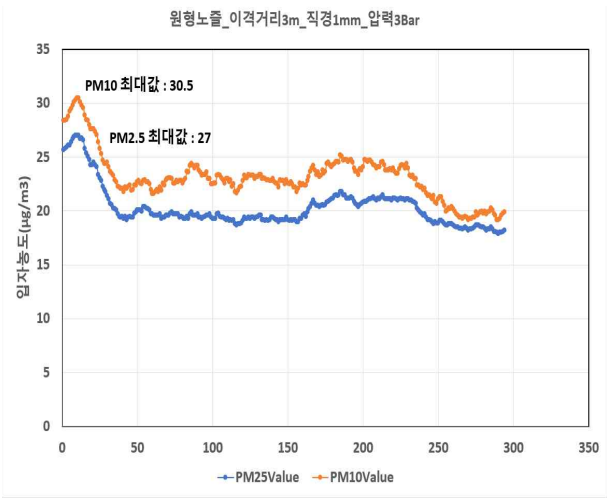


다구 노즐-1mm-6Bar

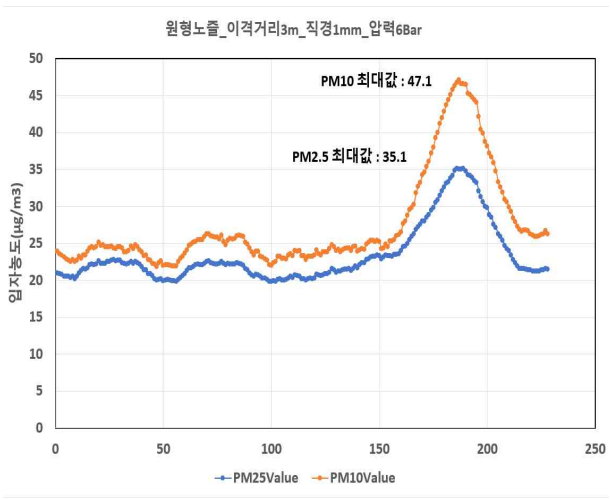


다구 노즐-1mm-9Bar

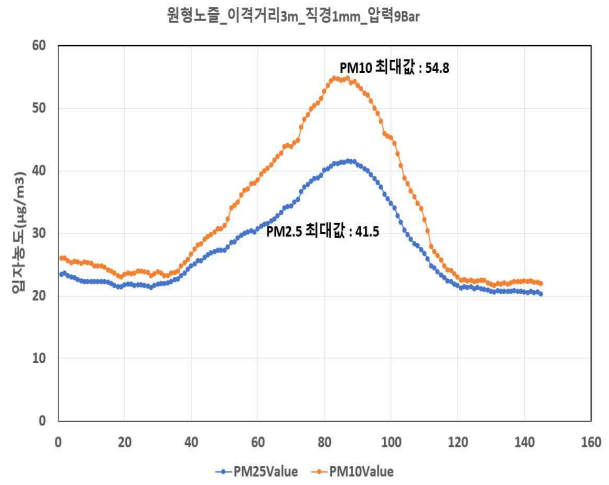
[그림 2.42] 노즐 분사 실험 측정 결과 (이격거리 – 2m)



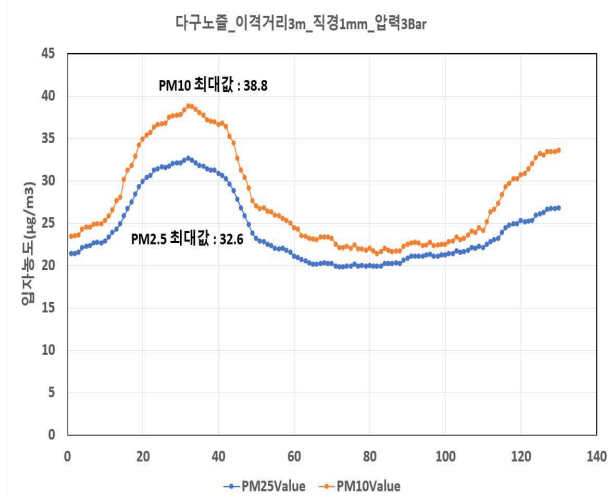
원형 노즐-1mm-3Bar



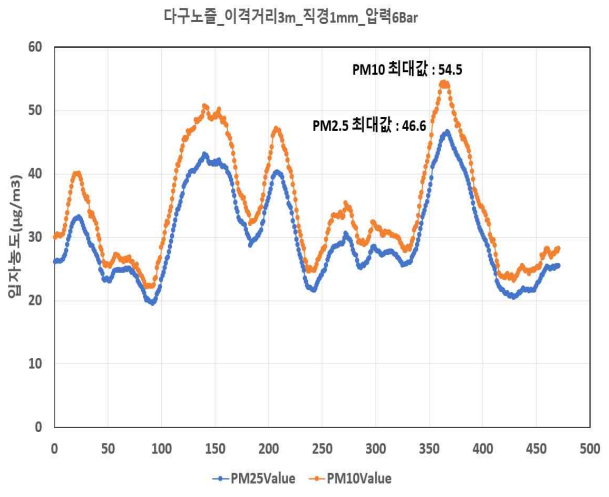
원형 노즐-1mm-6Bar



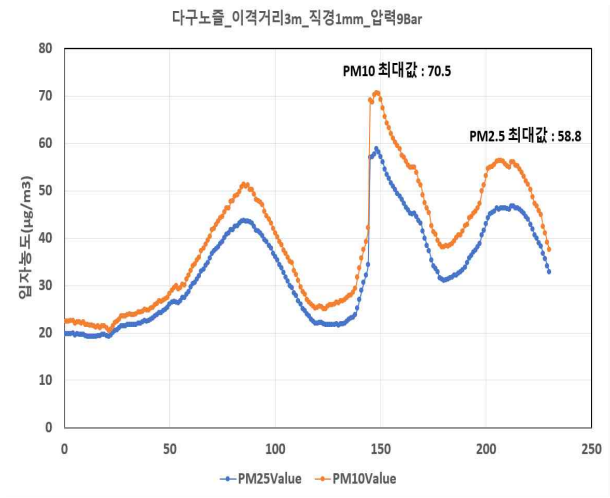
원형 노즐-1mm-9Bar



다구 노즐-1mm-3Bar



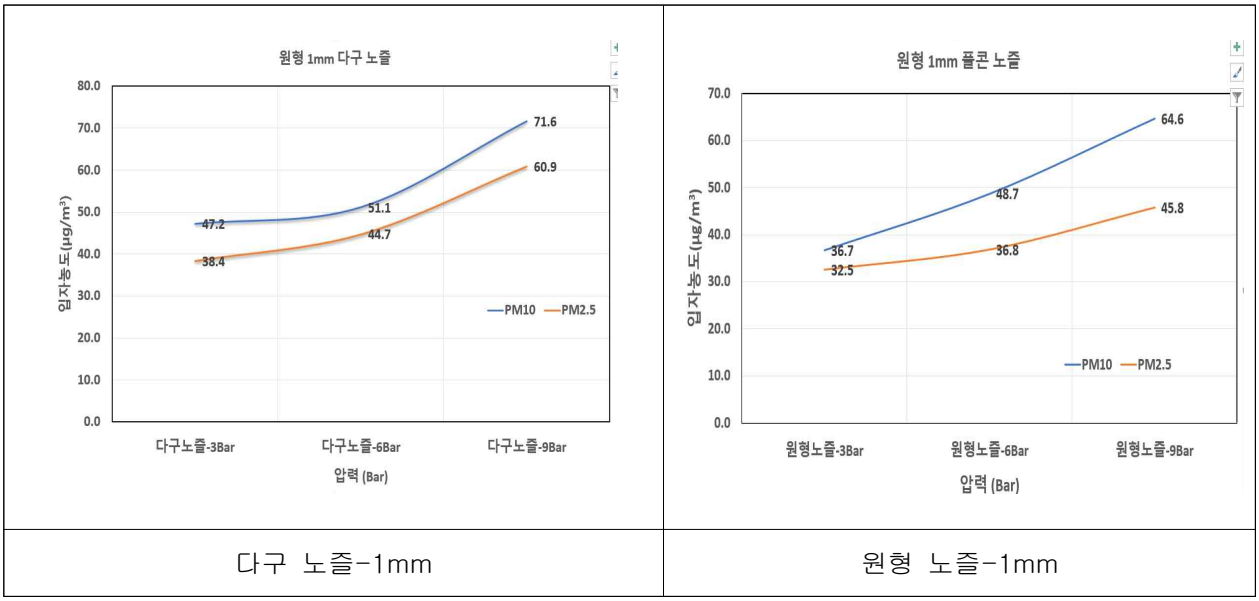
다구 노즐-1mm-6Bar



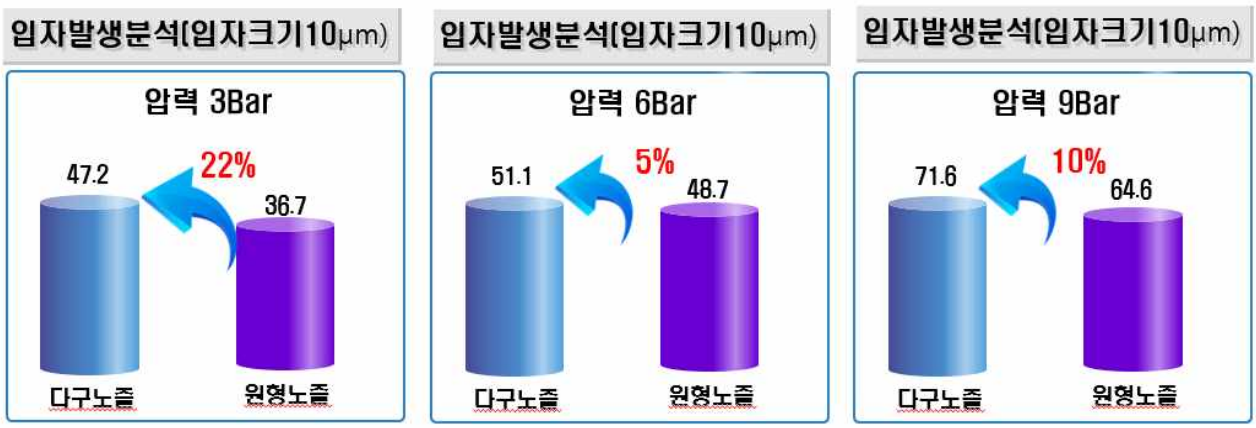
다구 노즐-1mm-9Bar

[그림 2.43] 노즐 분사 실험 측정 결과 (이격거리 – 3m)

구 분		측정 위치 1m		측정 위치 2m		측정 위치 3m		최대 발생값(Max) 평균	
원형 다구 노즐 1mm	압력	10㎛ (Max)	2.5㎛ (Max)	10㎛ (Max)	2.5㎛ (Max)	10㎛ (Max)	2.5㎛ (Max)	10㎛ (Max)	2.5㎛ (Max)
	3Bar	48.5	35.7	54.2	46.8	38.8	32.6	47.2	38.4
	6Bar	46.5	43	52.4	44.6	54.5	46.5	51.1	44.7
	9Bar	61.5	56.1	82.9	67.8	70.5	58.8	71.6	60.9
원형 풀콘 노즐 1mm	압력	10㎛ (Max)	2.5㎛ (Max)	10㎛ (Max)	2.5㎛ (Max)	10㎛ (Max)	2.5㎛ (Max)	10㎛ (Max)	2.5㎛ (Max)
	3Bar	35.4	31.9	44.3	38.6	30.5	27	36.7	32.5
	6Bar	45.1	37.7	53.9	37.6	47.1	35.1	48.7	36.8
	9Bar	65.3	33.2	73.8	62.6	54.8	41.5	64.6	45.8



다구 노즐-1mm | 원형 노즐-1mm



[그림 2.44] 노즐 분사 실험 측정 결과 및 분석

- 그림 2.45는 노즐 분사 시험에 대한 KORAS 공인 인증 기관인 첨단건설재료실험센터로부터 인증받은 시험 성적서를 보여 주고 있음.

시 험 성 적 서
TEST REPORT

접 수 번 호 : KCMC2021-082　　접 수 일 자 : 2021년 10월 5일

신 청 인 : (주)케이씨티이엔씨

주 소 : 서울 금천구 가산디지털1로 30 (가산동) 606호

시 료 명 : 지능형 위치 추적 기반의 건설현장 미세먼지 자율 억제 시스템

시 험 결 과

시험 항목	시험 방법	시험 조건	압력 (Bar)	시험결과								비 고
				측정 위치 1m		측정 위치 2m		측정 위치 3m		최대 발생값 평균		
				PM10 (Max)	PM2.5 (Max)	PM10 (Max)	PM2.5 (Max)	PM10 (Max)	PM2.5 (Max)	PM10 (Max)	PM2.5 (Max)	
노즐 분사 입자 시험	의뢰자 제시	원형 다구 노즐 1 mm	3	48.5	35.7	54.2	46.8	38.8	32.6	47.2	38.4	
			6	46.5	43	52.4	44.6	54.5	46.5	51.1	44.7	
			9	61.5	56.1	82.9	67.8	70.5	58.8	71.6	60.9	
		원형 풀콘 노즐 1 mm	3	35.4	31.9	44.3	38.6	30.5	27	36.7	32.5	
			6	45.1	37.7	53.9	37.6	47.1	35.1	48.7	36.8	
			9	65.3	33.2	73.8	62.6	54.8	41.5	64.6	45.8	

끝.

비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과이며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
2. 이 성적서는 첨단건설재료실험센터의 사전 서면동의 없이 홍보·선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없습니다.
3. 이 성적서의 시험결과는 KOLAS 인정과 관련 없음을 밝힙니다.

담 당 자 : 장 석 수 (053-580-6700)

2021년 11월 08일

국토교통부 분산공유형실험시설
계명대학교 첨단건설재료실험센터장 (인)

주소: 704-701 대구시 달서구 달구벌대로 1095, 전화번호: 053-580-6700, http://comtec.kocad.or.kr

6-1　　F-P-14-03(0)

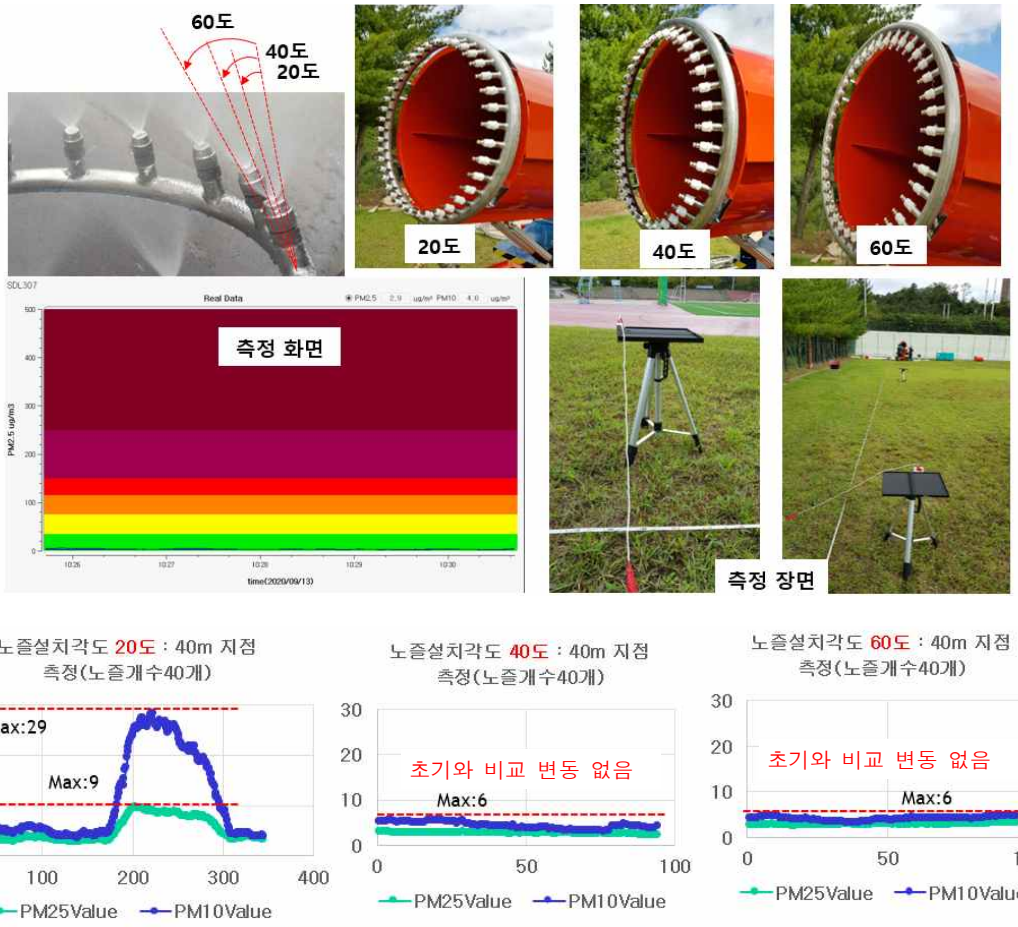
[그림 2.45] 노즐 분사 시험 성적서

○ 단위기술 2 : 미스트 분사 모듈화 기술

Long Spray Distance를 위해 다음의 연구결과를 반영하여 지능형 위치 추적 분사 장치를 제작하였음.

① 노즐 설치 각도

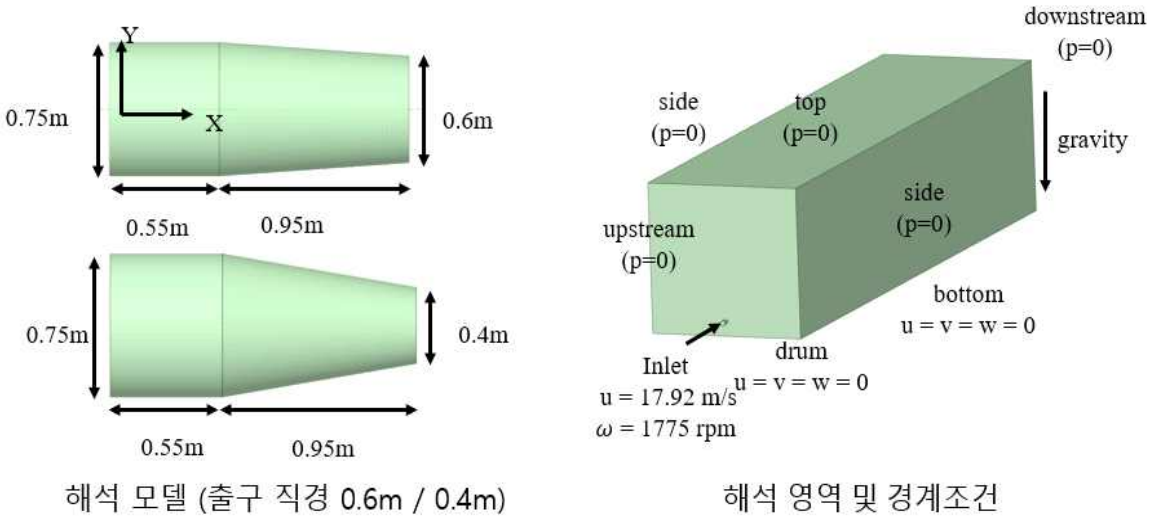
- 상기 전술한 노즐 시험에서 노즐 설치각도 20도, 40도, 60도에 따른 분사거리 시험 결과 노즐 설치 각도가 40도, 60일 때에는 물 분사 입자가 40m 지점까지 도달하지 못하였으며, 이는 노즐 설치 각도가 물 분사 거리에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났음.
- 이러한 연구결과를 토대로 노즐 설치 각도는 20도로 하여 지능형 40m 분사장치를 제작하였음.



[그림 2.46] 노즐설치각도에 따른 분사거리 시험 결과

② CFD 해석

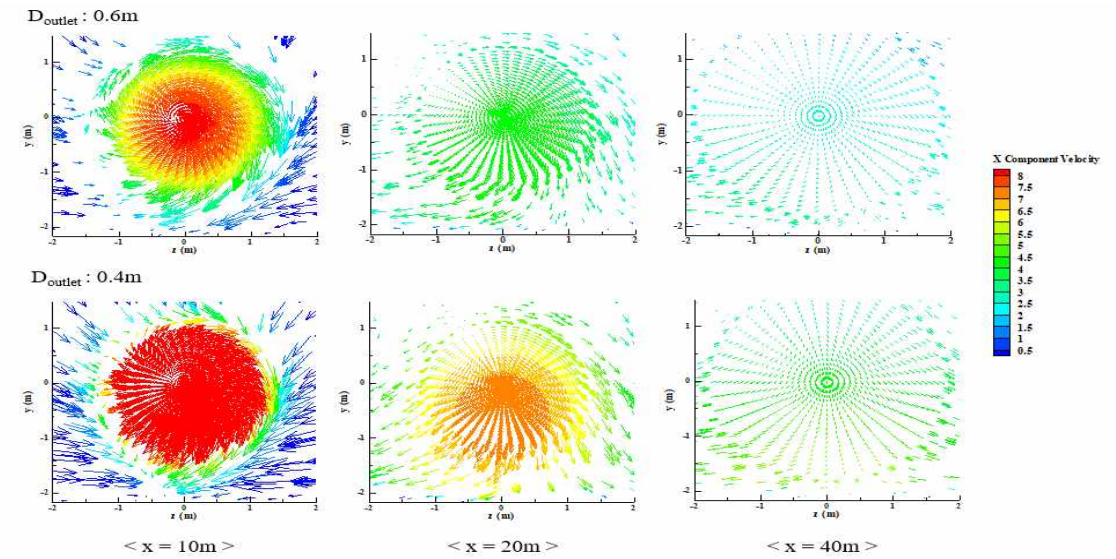
- Long Spray Distance를 위해 분사 장치의 드럼 설계 관련 유동장 해석 및 입자 해석을 하였으며, 유동장 해석의 해석 조건은 다음과 같음.
  - 해석조건 : 3차원 난류 유동-난류 모델 : Realizable k-ε모델사용
  - 해석모델: 실제로 제작 가능한 수치를 고려한 모델링
  - 해석영역: 100×20×24m-분사 장비의 출구 직경 : 0.6m / 0.4m 분사 장비의 입구 부분 중심을 원점으로 선정(그림 2.47 참고)

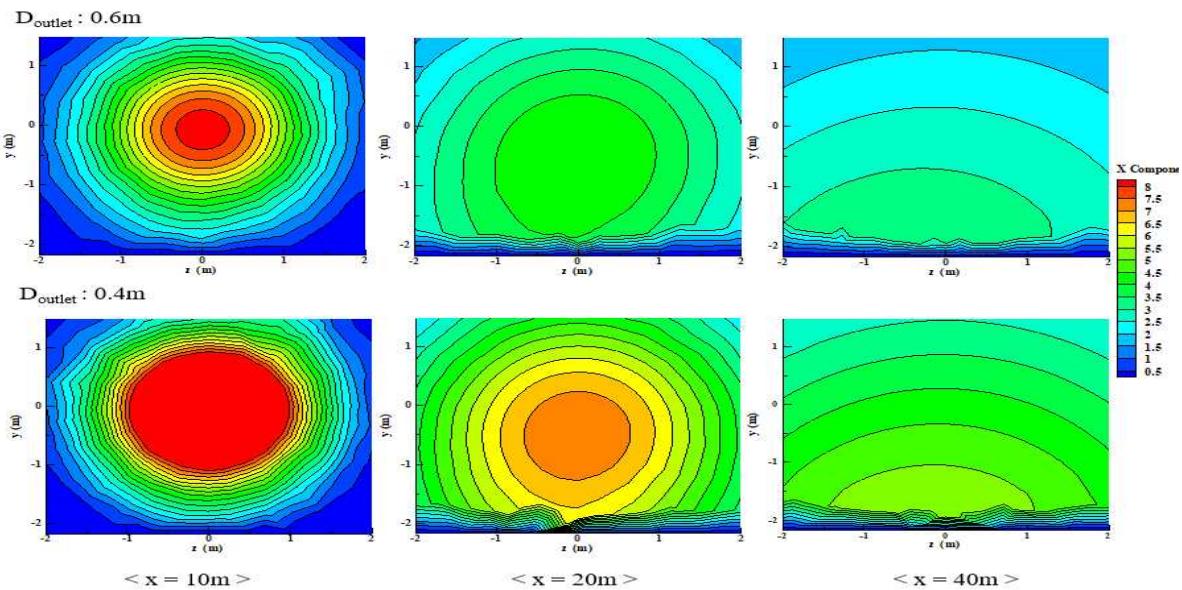


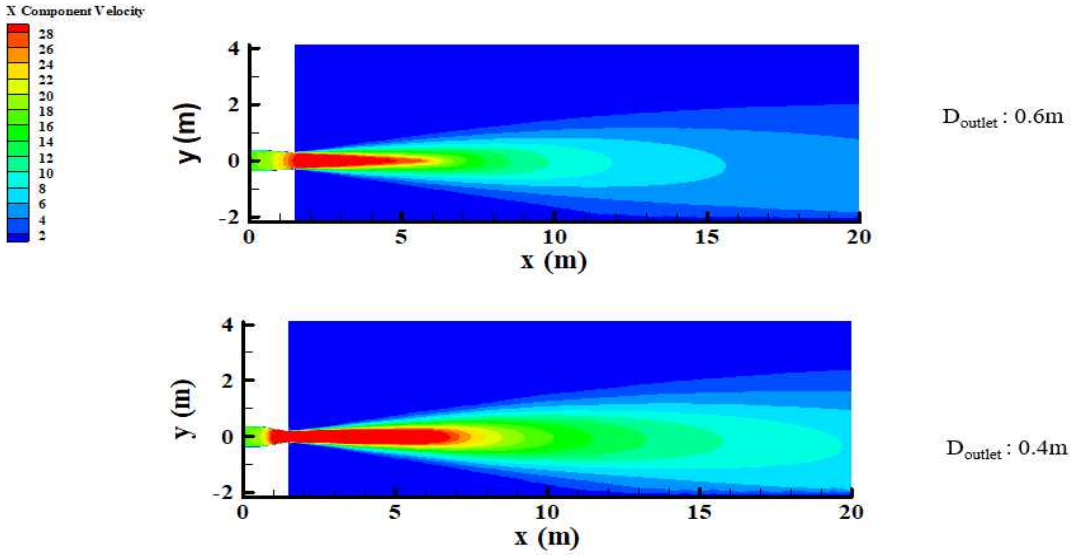
해석 모델 (출구 직경 0.6m / 0.4m)　　해석 영역 및 경계조건

[그림 2.47] CFD해석 해석 모델

- 유동장 해석의 해석 결과는 그림 2.48에 나타내었음,







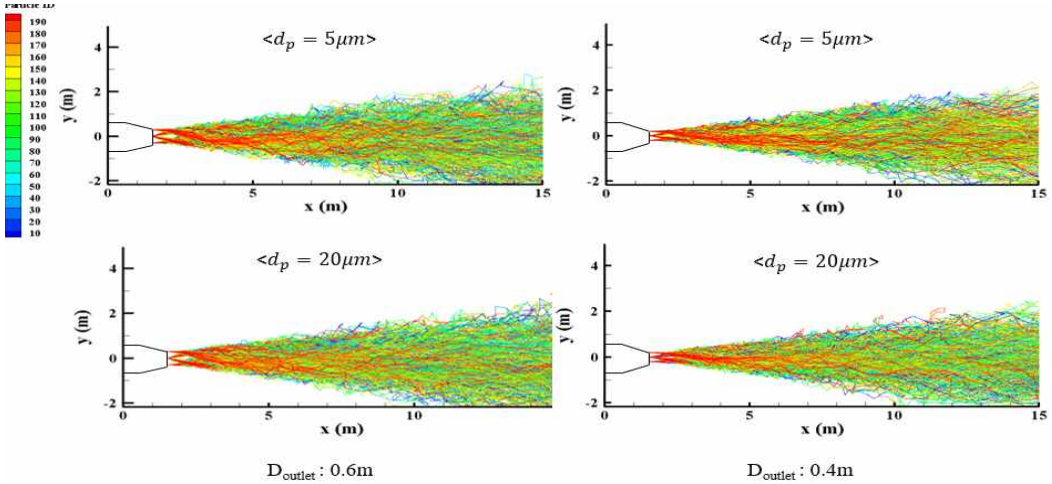
[그림 2.48] 유동장 해석 결과

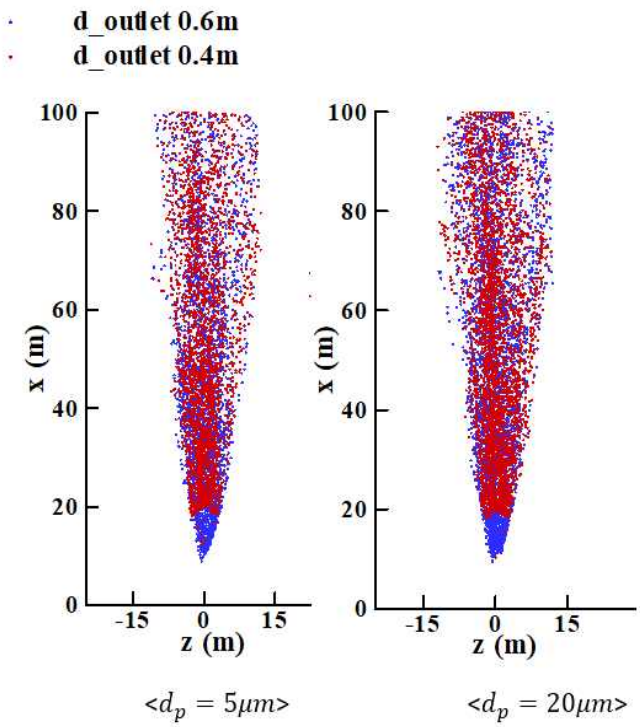
- 입자 해석의 해석 조건은 다음과 같음.
  - 해석 방법 : Lagrangian approach
  - Mist에 대한 힘 모델 : gravity, drag, lift
  - Mist의 직경 : 5, 20, 50 고려각 노즐에서 cone 형태로 mist 입자가 200개씩 분사 (총 Mist 입자 수 : 8000 개)
  - DPM 해석: 1-way coupling (입자-입자 충돌 무시)



총 40개의 노즐 고려

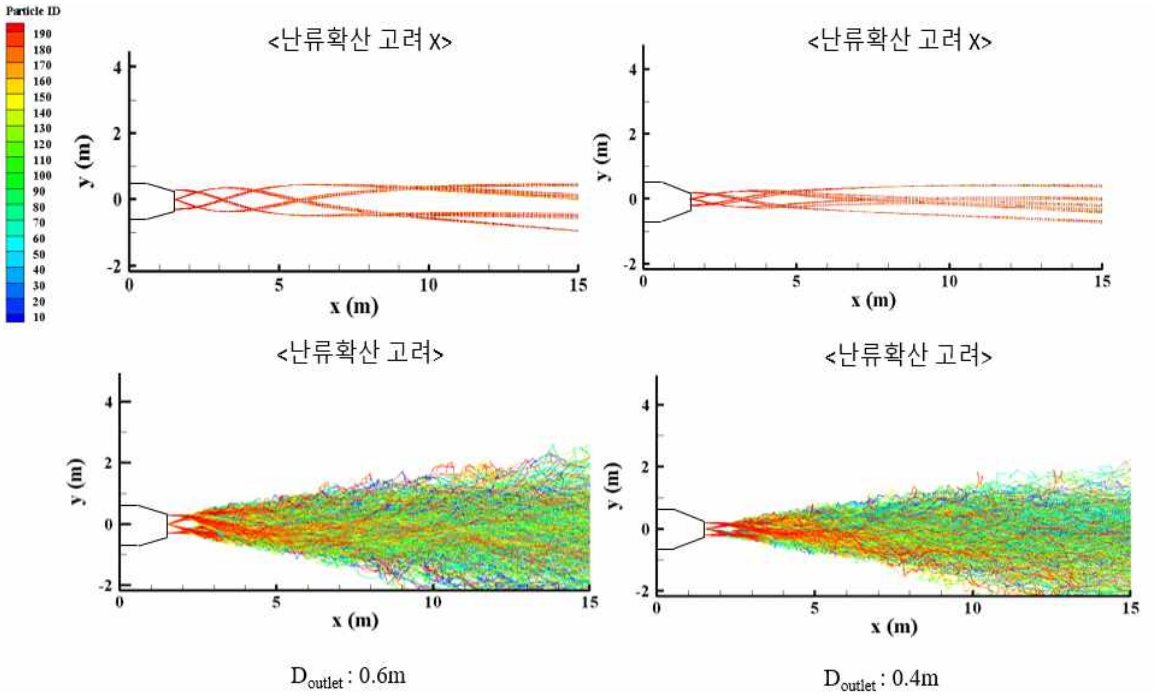
[그림 2.49] 입자 해석 조건





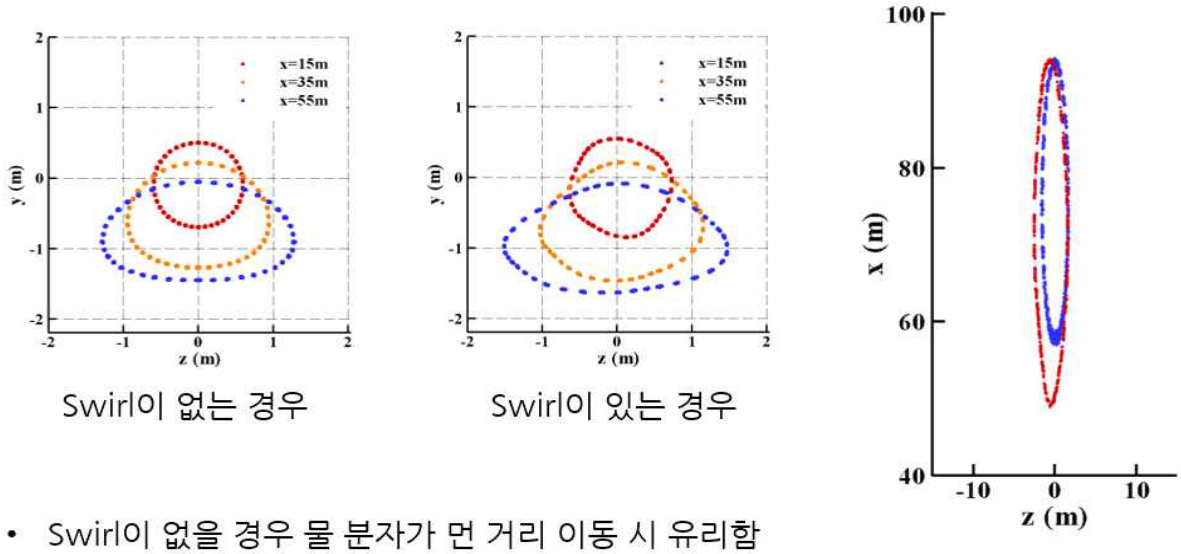
$5\mu m$	X_{min}	X_{max}	X_{mean}
D_{outlet} : 0.6m	8.92m	101m	44m
D_{outlet} : 0.4m	12.3m	101m	50.6m

$20\mu m$	X_{min}	X_{max}	X_{mean}
D_{outlet} : 0.6m	9.43m	101m	47.1m
D_{outlet} : 0.4m	10.3m	101m	51.7m



[그림 2.50] 입자 해석 결과

- 상기 그림 2.48 및 2.50의 유동장 해석 및 입자 해석을 통해 분사 입구가 좁을수록 분사거리에 유리한 것으로 나타나는 해석 결과를 도출하였음.
- 그림 2.51에서 보는 바와 같이 시제품 분사구 칸막이 설치가 분사거리에 유리한 것으로 나타났으며, 그림에서 보는 바와 같이 Swirl이 없을 경우 물 분자가 먼 거리 이동 시 유리하며, 칸막이가 있는 경우 Swirl을 방지할 수 있음

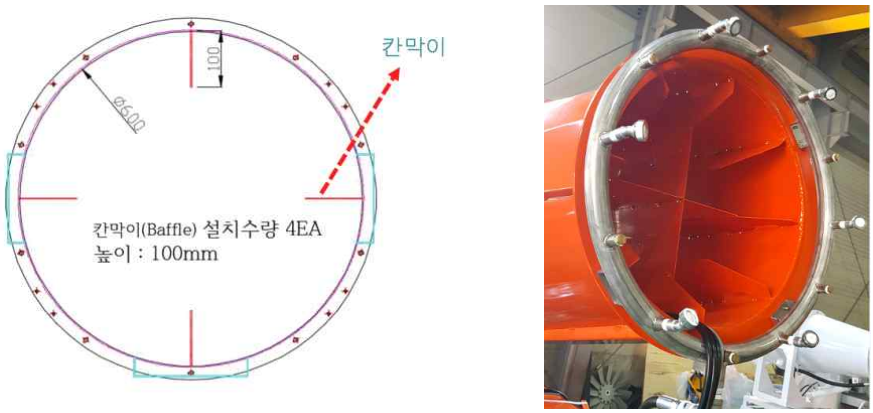


- Swirl이 없을 경우 물 분자가 먼 거리 이동 시 유리함
- 칸막이가 있는 경우 Swirl을 방지할 수 있음

[그림 2.51] CFD 해석 결과 분석-칸막이 설치 효과

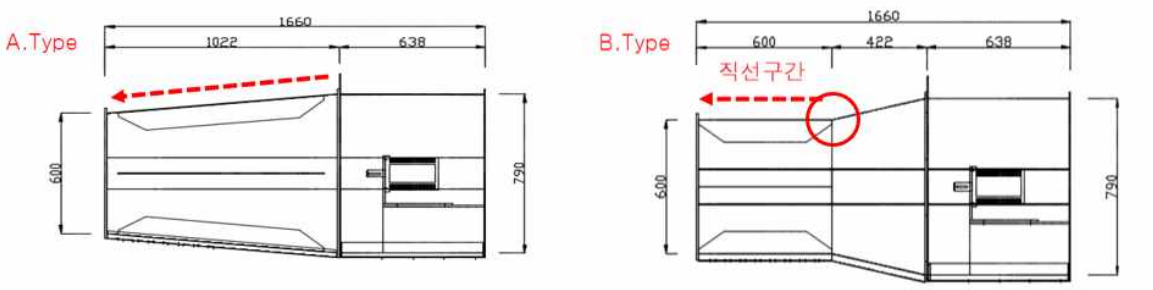
③ 장치 시제품 설계 및 제작

- 그림 2.52는 해석을 통해 결정한 칸막이 수량 및 사이즈를 나타내고 있음.



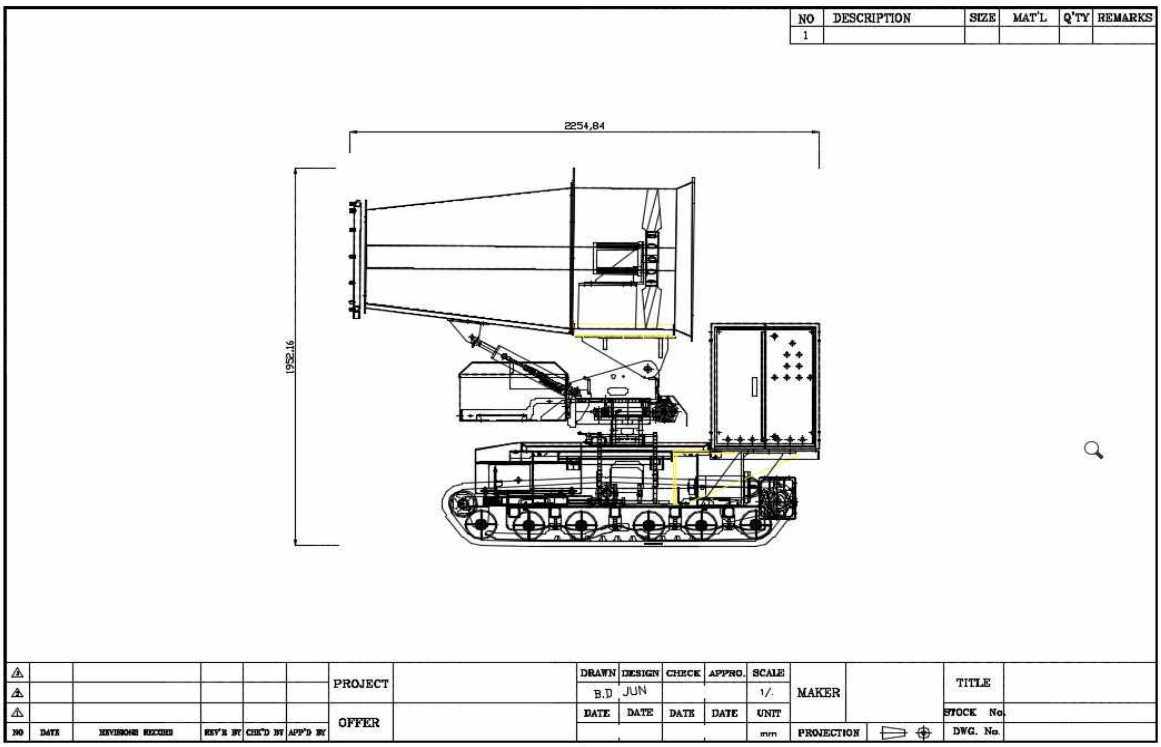
[그림 2.52] 칸막이 설치 설계

- 그림 2.53은 분사장치 드럼 형태를 나타내 것으로 B type은 최초에 제작한 형태이며, A Type은 CFD 해석를 통해 새롭게 결정한 분사장치 드럼 형태임.
- CFD 해석 결과에서 보듯이 B Type은 B Type의 꺾인 부분으로 인한 속도 저하가 우려되어서 A Type이 분사거리에는 유리한 것으로 판단됨.



[그림 2.53] CFD 해석 결과 분석-상부 드럼 형태

- 그림 2.50에서 보는 바와 같이 상기 CFD 시뮬레이션 결과 출구 지름이 작을수록 물 입자가 먼 거리 이동 시 유리한 것으로 나타났기 때문에, 이러한 CFD 해석 결과를 참고하여 결정한 최종 드럼 형태 및 설계도면은 그림 2.54에 나타내었으며, 설계제작도면을 바탕으로 제작된 장치 시제품은 그림 2.55에 보여주고 있으며, 그림 2.56는 개발기술 장치(Korea KD40)와 중국 DSS(Dust Suppression System, China RD40) 장치의 Technical Parameter를 비교한 내용임.



[그림 2.54] 40m급 지능형 분사 장치 설계

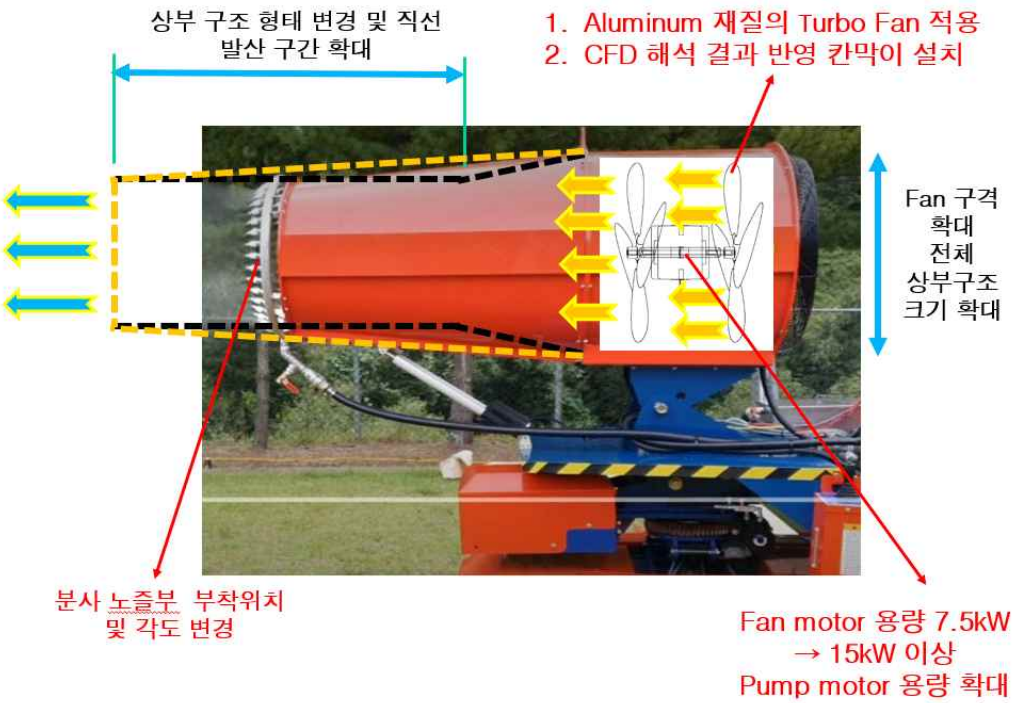


[그림 2.55] 40m급 지능형 분사 장치 시제품

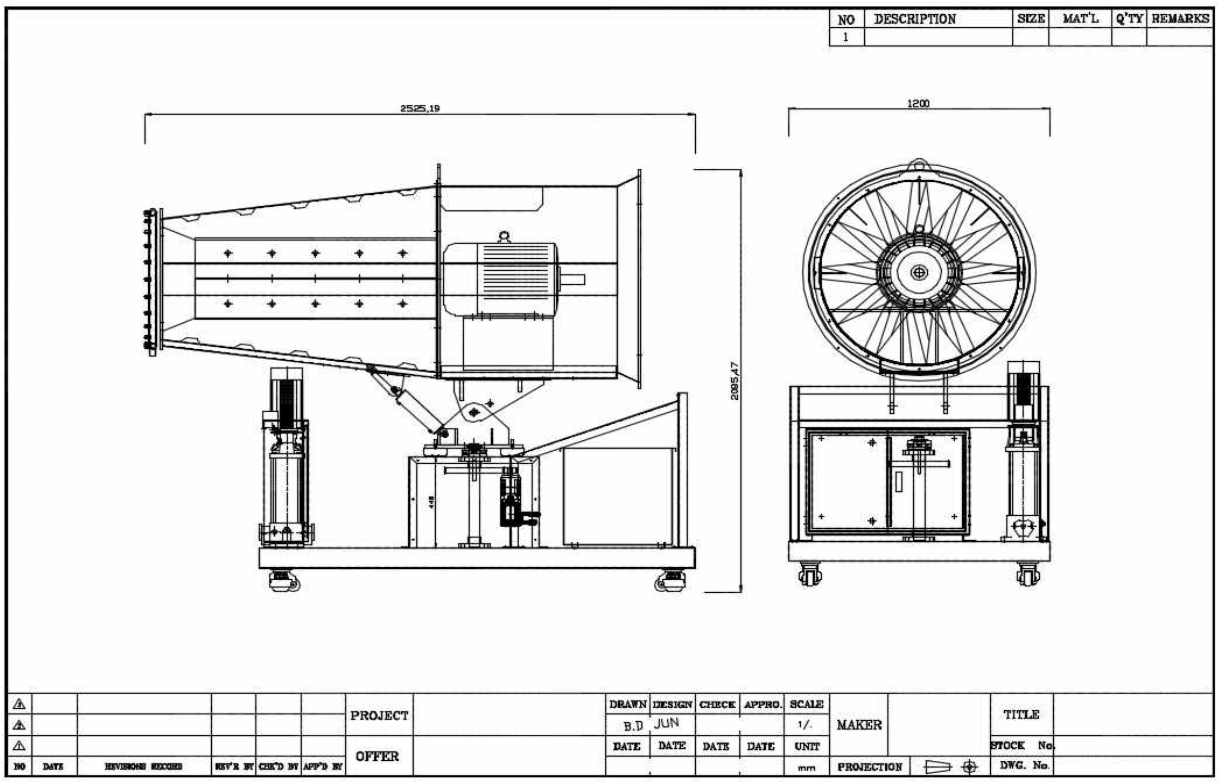
Technical Parameter	China RD40	Korea KD40
Throw Distance(Without Wind)	40m	40m
Ring Of Nozzles	1 Ring-34 Nozzles	1 Ring-36 Nozzles
Type Of Nozzles	Stainless Steel	Stainless Steel
Nominal fan Power	7.5Kw	BLDC Motor 3.5Kw
Pump Power	1.1Kw	DC Motor 750W
Manual Angle of Rotation	0°~320°	0°~360°
Elevation Angle	-5°~45°	-5°~45°
Water Pressure	2.0MPa	1.5MPa
Control Mode	Manual/Remote	Manual/Remote/Intelligent
Electronical Power	380V 50Hz 3P	DC 48V
Weight	580Kg(Exclude Lower Part)	950Kg(Include Lower part)
Size	1.75*1.0*1.85(Exclude Lower Part)	1.5*2.2*1.95 (Include Lower part)

[그림 2.56] 40m급 분사 장치 시제품 Technical Parameters

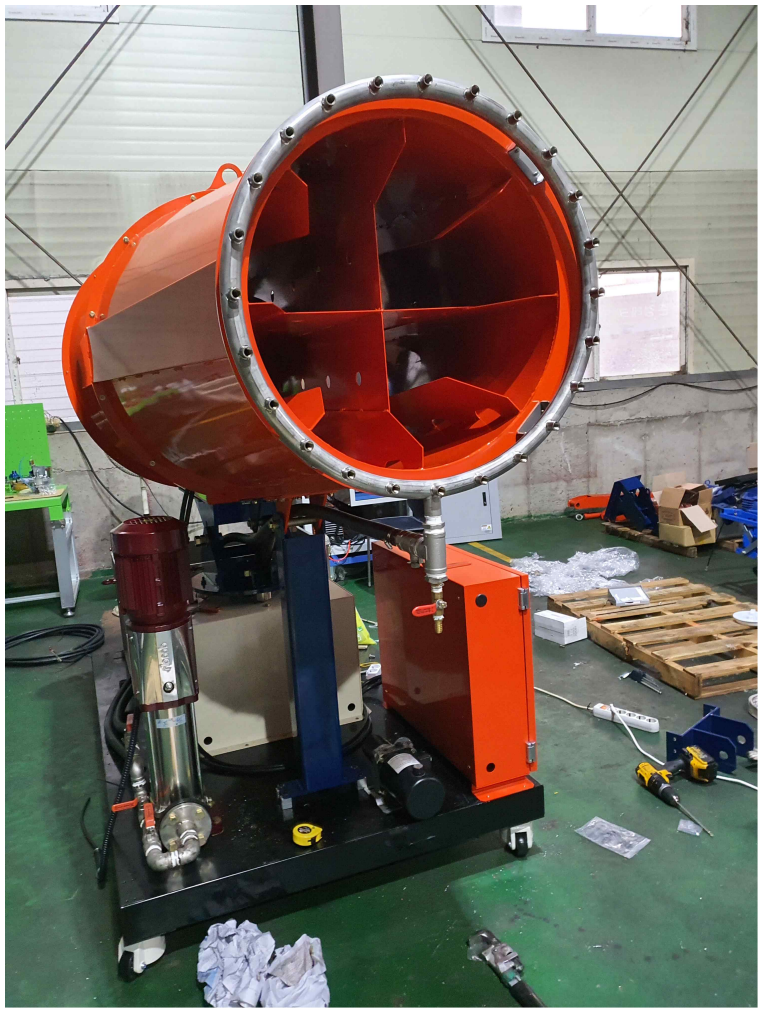
- 100m 분사장치 제작을 위해 2년간의 연구 경험과 상기 CFD 시뮬레이션 결과를 반영한 종합적인 기술적 업그레이드 사항은 그림 2.57에 나타내었으며, 최종 설계도면은 그림 2.58에 나타내었음
- 설계제작도면을 바탕으로 제작된 장치 시제품은 그림 2.59에 보여 주고 있으며, 그림 2.60은 100m 분사장치 Technical Parameters를 나타내고 있음.



[그림 2.57] Upgrade 사항



[그림 2.58] 100m 분사 장치 설계



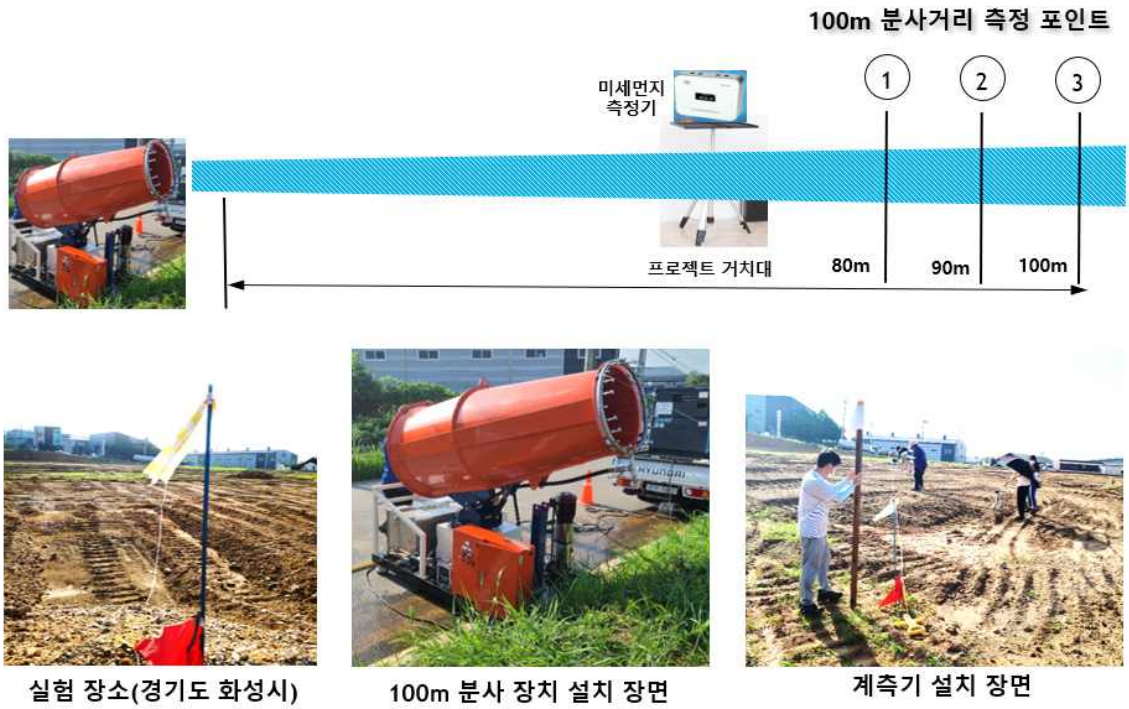
[그림 2.59] 100m 분사 장치 제작 사진

Technical Parameter	Korea KD100
Throw Distance	100m
Ring Of Nozzles	Ceramic Ø0.9 *5EA-24EA
Type Of Nozzles	Stainless Steel
Nominal fan Power	AC motor 22Kw
Pump Power	AC motor 7.5Kw
Manual Angle of Rotation	0°~360°
Elevation Angle	-5°~45°
Water Pressure	1.2Mpa, 64.8ℓ/min
Control Mode	Manual/Remote/Intelligent
Electronical Power	AC 380V 3Phase 60Hz
Weight	1,060Kg(Include Lower part)
Size	2.5*1.5*2.1 (Include Lower part)

[그림 2.60] 100m 분사장치 Technical Parameters

④ 100m 분사거리 및 분사범위 검증

- 100m 분사거리 검증 시험은 그림 2.61에서 보는 바와 같이 2차년도 40m 분사거리 검증 시험과 동일한 방법으로 시험을 수행하였음.
- 그림 2.61에서 보는 바와 같이 정면 분사를 하였을 때 water spray가 도착한 거리를 측정하기 위해 미세먼지 입자 측정기를 80m지점, 90m지점, 100m지점에 각각 설치하여 분사거리를 측정하였으며, 그림 2.62는 분사거리 시험 장면을 보여 주고 있음.



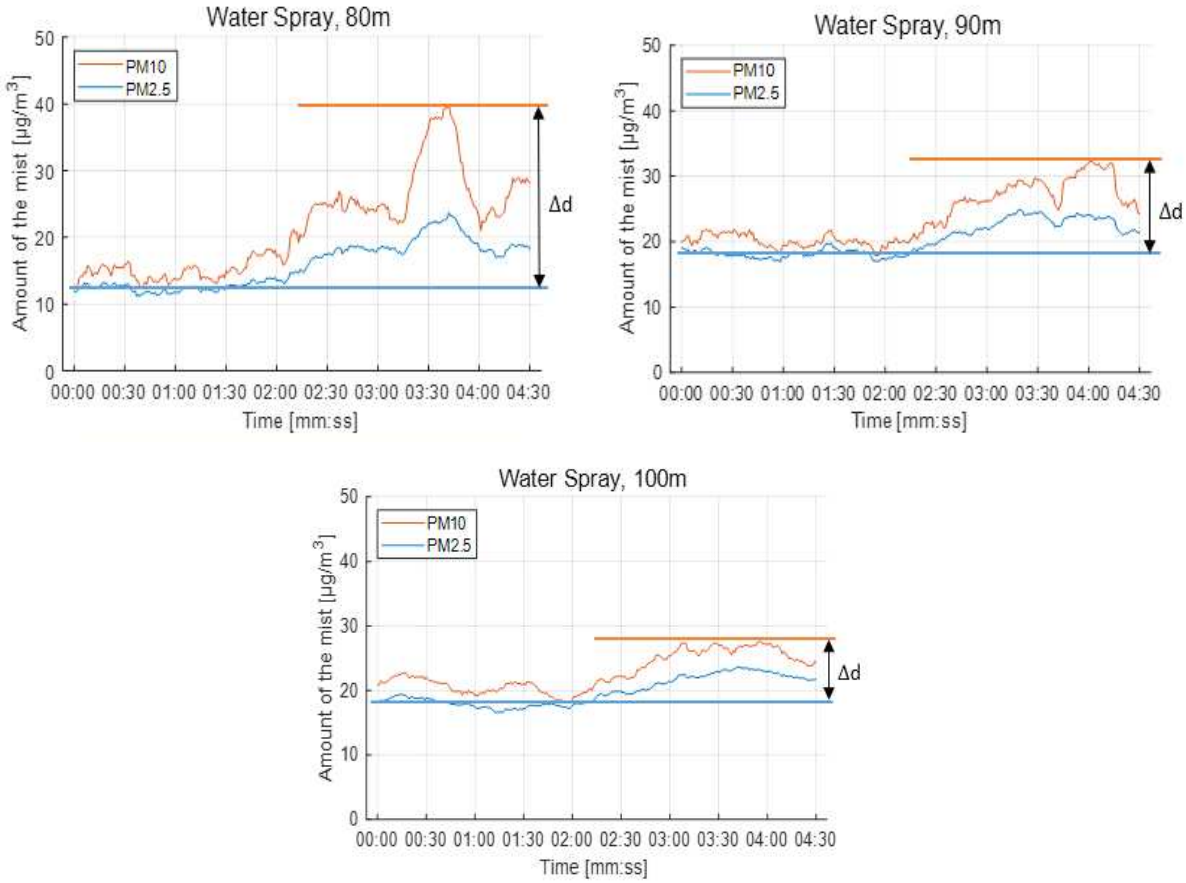
[그림 2.61] 100m 분사거리 시험 계획



(a) 시험 장면 (b) 시험 장면

[그림 2.62] 100m 분사거리 시험 장면

- 그림 2.63은 시험 결과를 보여 주고 있으며, 시험결과 80m 지점에서의 값의 변화가 현저히 나타나는 반면에 100m 지점에서는 값의 변화가 크게 줄어드는 것을 알 수가 있었으나. 100m 지점에서도 값의 변화가 발생하므로, 목표로 한 100m 분사거리는 달성하였음.
- 그림 2.63에서 각 센서들의 최소점을 물 입자가 없을 때의 기준점이라고 설정하고 최대값을 물 입자가 들어왔을 때라고 판단하여 Δd로 표시하였음.

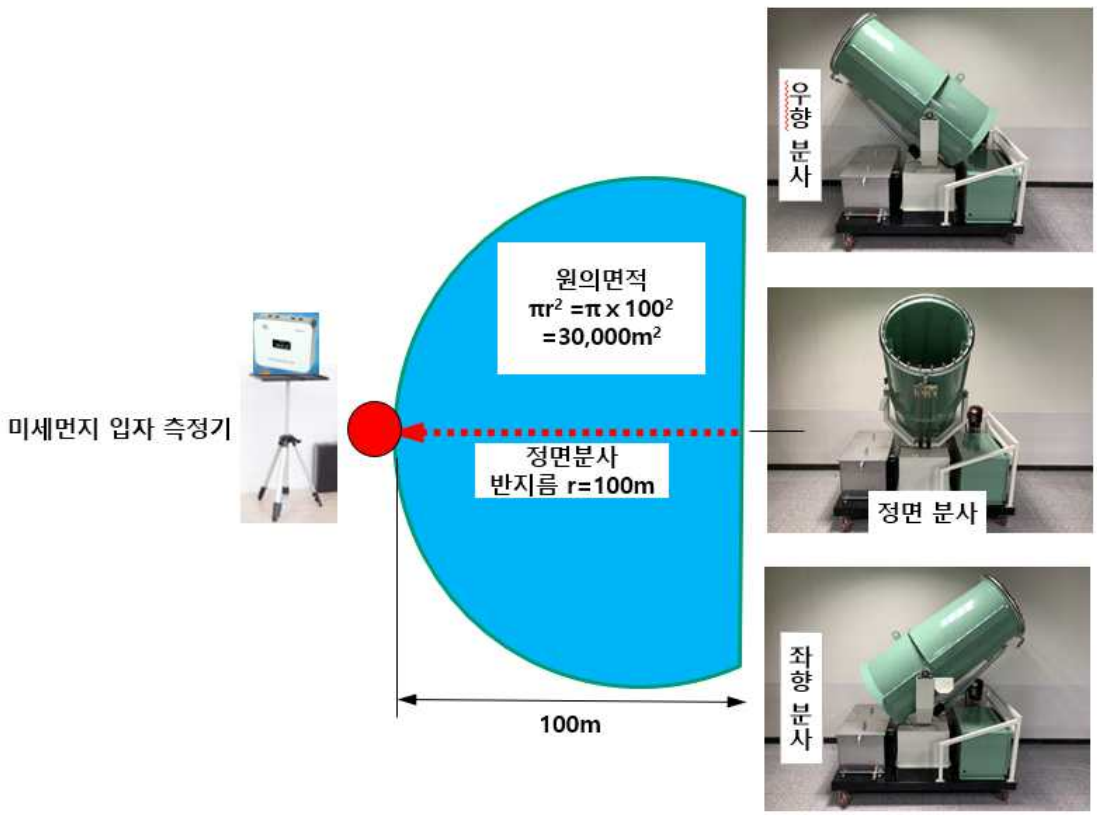


구 분	80m		90m		100m	
	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10
평균	15.8	21.3	20.2	23.6	19.8	22.8
최소	11.2	12.3	16.9	17.9	16.5	18.1
최대	23.7	39.9	24.9	32.3	23.7	27.6

검증 항목	측정 거리(m)	시험 결과값(Δd=최대-최소)	
		PM2.5($\mu g/m^3$)	PM10($\mu g/m^3$)
100m급 분사 장치	80	12.5	27.6
	90	8	14.4
	100	7.2	9.5

[그림 2.63] 100m 분사거리 시험 결과

- 분사 범위 검증 시험은 100m*100m 검증 공간을 확보하는 것이 어려운 문제였으며, 공간의 크기 및 주변 민원 문제로 인하여 경기도 화성시에 위치한 정면 100m 분사가 가능한 야적 공터를 확보하여 정면 분사거리 시험을 수행하였으며, 반지름 R을 알면 원의 면적을 구할 수 있고 이를 이용하여 분사범위를 구하였음.
- 이러한 방법으로 구한 분사 범위(30,000m^2)는 아래 그림에 나타내었음



[그림 2.64] 분사 범위 분석

- 그림 2.65는 100m 분사거리에 대한 KORAS 공인 인증 기관인 첨단건설재료실험센터로부터 인증 받은 시험 성적서를 보여 주고 있음.



시 험 성 적 서
TEST REPORT

접 수 번 호 : KOMC2021-057　　접 수 일 자 : 2021년 7월 20일
신 청 인 : (주)케이씨티이엔지
주 소 : 서울 금천구 가산디지털1로 31 (가산동) 806호

시 험 결 과

시험항목	시험방법	시험조건 (측정거리)	결과값 (Δd=최대-최소) PM2.5 ($\mu g/m^3$)	결과값 (Δd=최대-최소) PM10 ($\mu g/m^3$)	비 고
100m 분사거리	의료지 제시	80 m	12.5	27.6	
		90 m	8.0	14.4	
		100 m	7.2	9.5	

끝.

비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시험법으로 시험한 결과이며, 품질 이후의 사항을 증합니다.
2. 이 성적서는 첨단건설재료실험센터의 사전 서면동의 없이 홍보·선전, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없습니다.
3. 이 성적서의 시험결과는 KOLAS 인정과 관련 없음을 밝힙니다.

담 당 자 : 장 희 수 (053-580-6700)

2021년 8월 19일

국토교통부 분산공유형실험시설
계명대학교 첨단건설재료실험센터장 (인)

주소: 704-701 대구시 달서구 달구벌대로 1095, 전화번호: 053-580-6700, http://ccelec.kr

8-1　　F-P-14-03(0)

[그림 2.65] 100m 분사거리 시험성적서

○ 단위기술 3 : 고소 작업 기술

- 그림 2.66은 도심지 해체 현장 사례를 나타낸 것이며, 이를 대상으로, 그림 2.67에서 보는 바와 같이 도심지 해체공사의 경우 주변 도로의 제약을 받아서 작업공간이 제한적인 경우가 많은데 이럴 경우 분사장치의 최대 회전각으로 분사를 하여도 고소작업 필요 높이까지 도달하지 못하는 경우가 발생기 때문에 이러한 문제를 해결하기 위해 그림 2.68에서 보는 바와 같이 지능형 고소 작업 물 분사 장치기술을 개발하였음.



[그림 2.66] 도심지 협소 공간 작업 예시



[그림 2.67] 고소 작업 요구 리프트 높이 분석



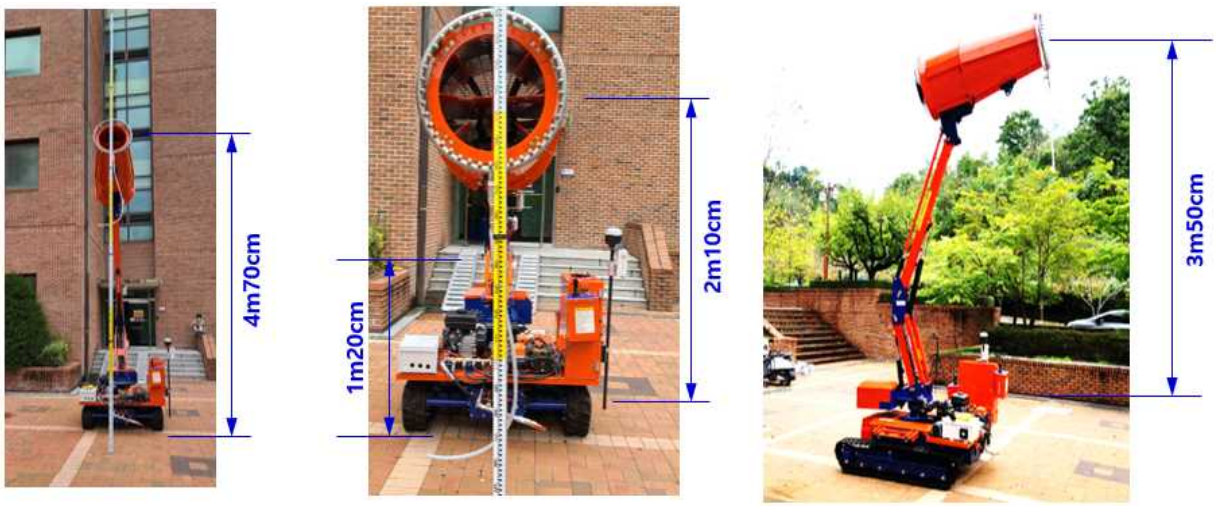
리프트형 분사 장치 제작-1



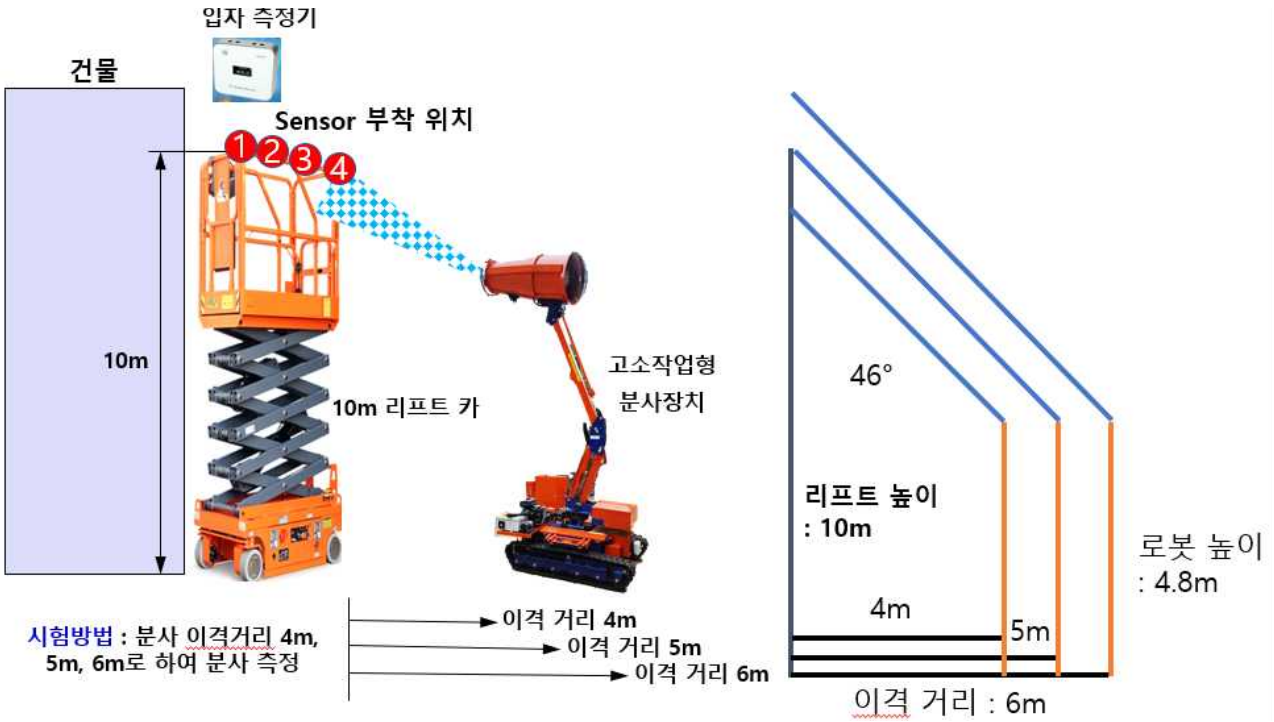
리프트형 분사 장치 제작-2

[그림 2.68] 고소 작업 분사 장치 제작 장면

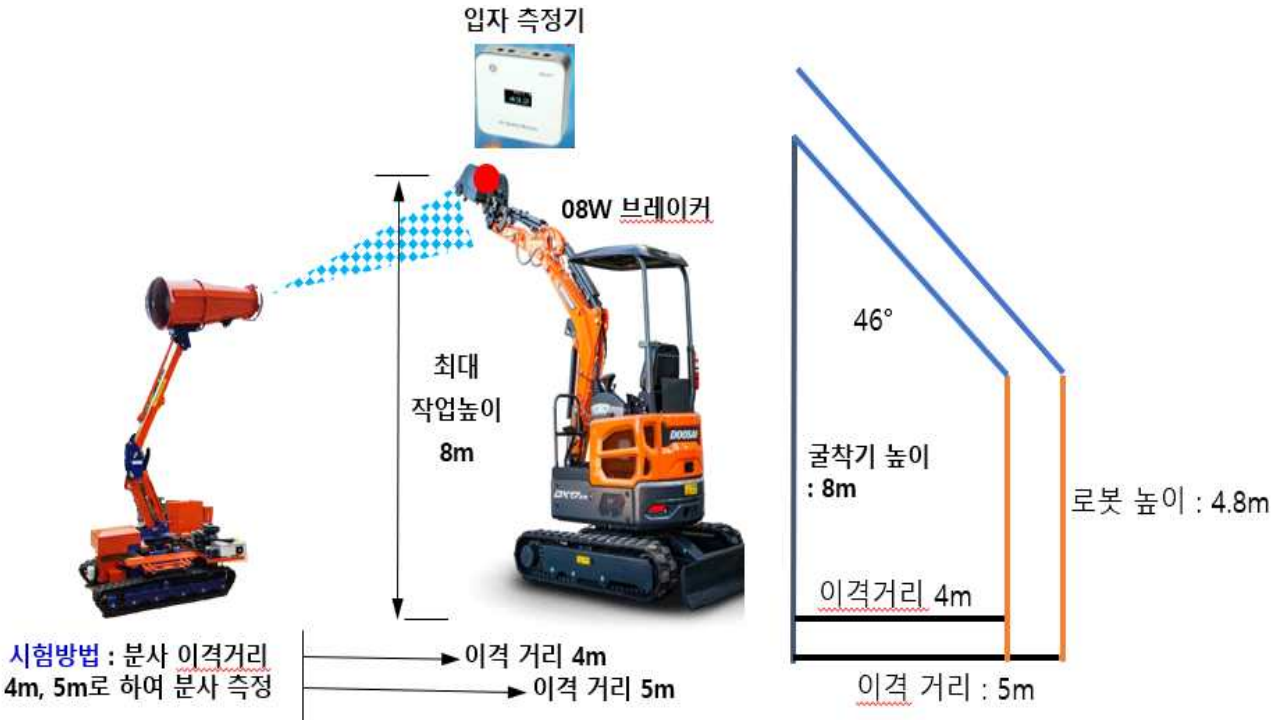
- 개발된 지능형 고소 작업 물 분사 장치는 건설장비의 최소 작업 반경인 5m에 대하여 작업 높이 10m,까지 고소작업이 가능하도록 개발되었음.
- 그림 2.69에서 보는 바와 같이 개발된 지능형 고소 작업 분사 장치는 리프트 붐대를 최대로 펼쳤을 때 4m 70cm이며, 리프트 붐대를 최소로 접었을 때 2m 10cm이며, 본체 하부 상단에서의 리프트 높이는 3m 50cm임.
- 그림 2.70 및 2.71은 고소작업 검증 개요도를 나타내 것이며, 상기 전술한 바와 같이 도심지 협소 공간 작업을 가정하여 도심지 협소 공간과 유사한 환경에서 굴삭기 작업 및 작업 높이 10m에 대한 고소작업 검증을 하였음.
- 고소 작업 검증은 2가지 방법으로 검증실험을 수행하였으며, 10m 높이를 가지는 리프트 카를 이용하여 고소작업 검증 방법을 나타낸 것이 그림 2.70임.
- 이 그림에서 보는 바와 같이 리프트 붐대 상단에 입자 측정기 4개를 설치하여 굴삭기의 최소 작업 반경을 고려한 이격거리 4m, 5m, 6m로 달리하면서 고소작업 검증을 하였음.



[그림 2.69] 고소 작업 분사 장치 높이 제원



[그림 2.70] 시험개요-리프트 카(10m) 이용 고소작업 검증



[그림 2.71] 시험개요-08W 굴삭기(최대 작업 높이 8m) 이용 고소작업 검증

- 그림 2.71에서 보는 바와 같이 고소작업에 대한 또 다른 검증 방법으로 현행 건설현장에서 가장 많이 사용되는 08W브레이커 장비를 이용한 최대 작업 높이 8m에 대한 상기 리프트 카를 이용하는 방법과 동일하게 검증을 수행하였음.
- 그림 2.72는 리프트 카 이용 고소 작업 검증 시험 장면을, 그림 2.73은 08W 굴삭기 이용 고소 작업 검증 시험 장면을 나타내고 있음.



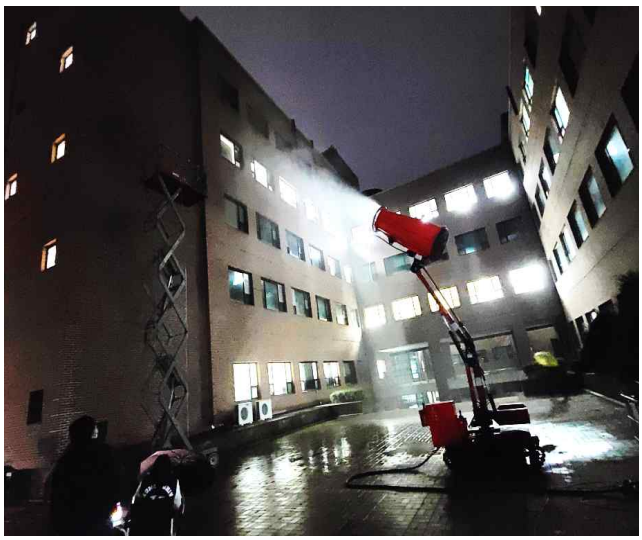
(a) 작업 높이 10m 검증



(b) 최소 높이 분사 장면



(c) 리프트 카(10m) 이용 고소작업 검증 장면



(d) 리프트 카(10m) 이용 고소작업 검증 장면

[그림 2.72] 리프트 카 이용 고소 작업 검증 시험 장면



(a) 작업 높이 8m 검증



(b) 분사 전 장면

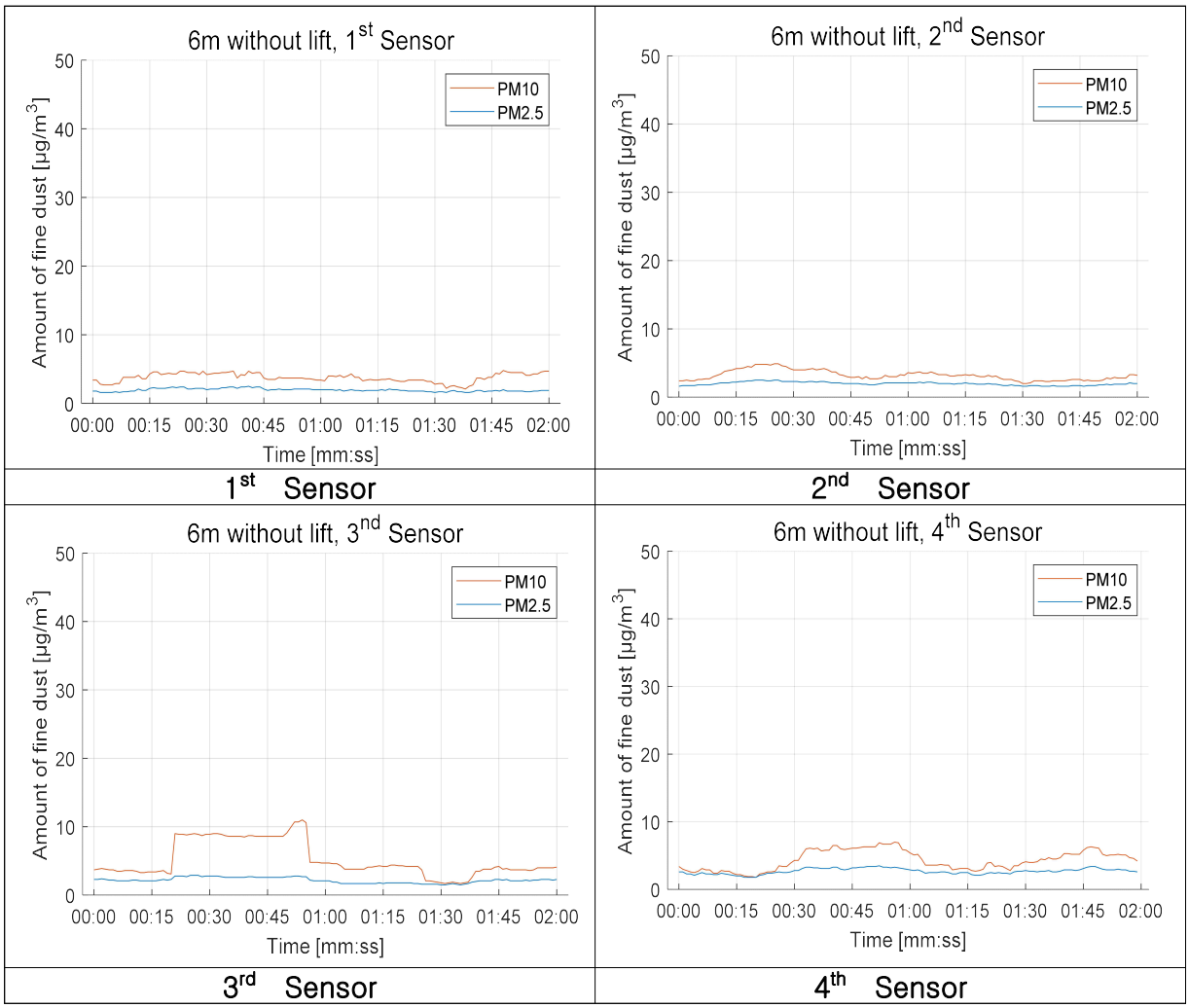


(c) 8W 굴삭기 이용 고소작업 검증 장면

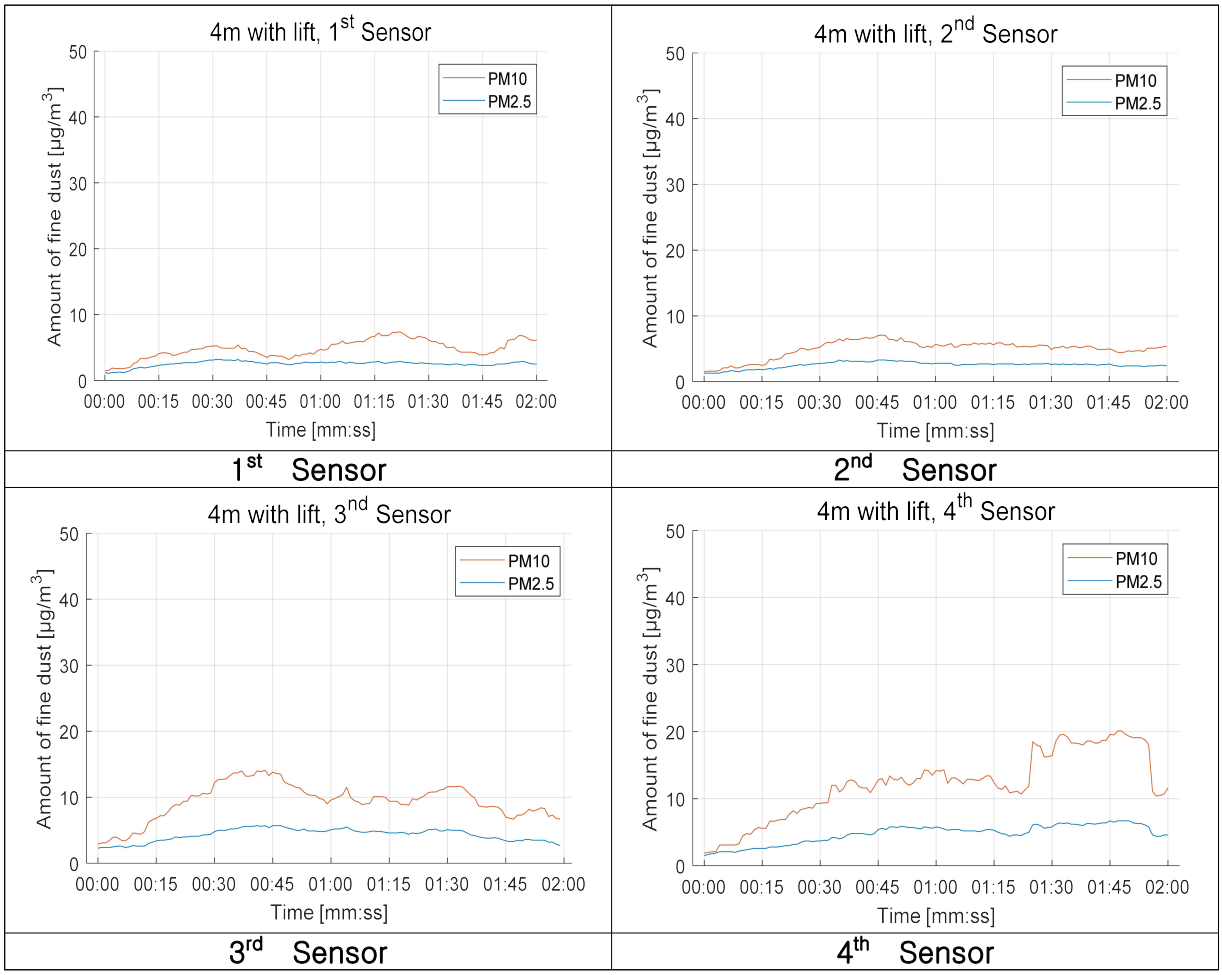


(d) 8W 굴삭기 이용 고소작업 검증 장면

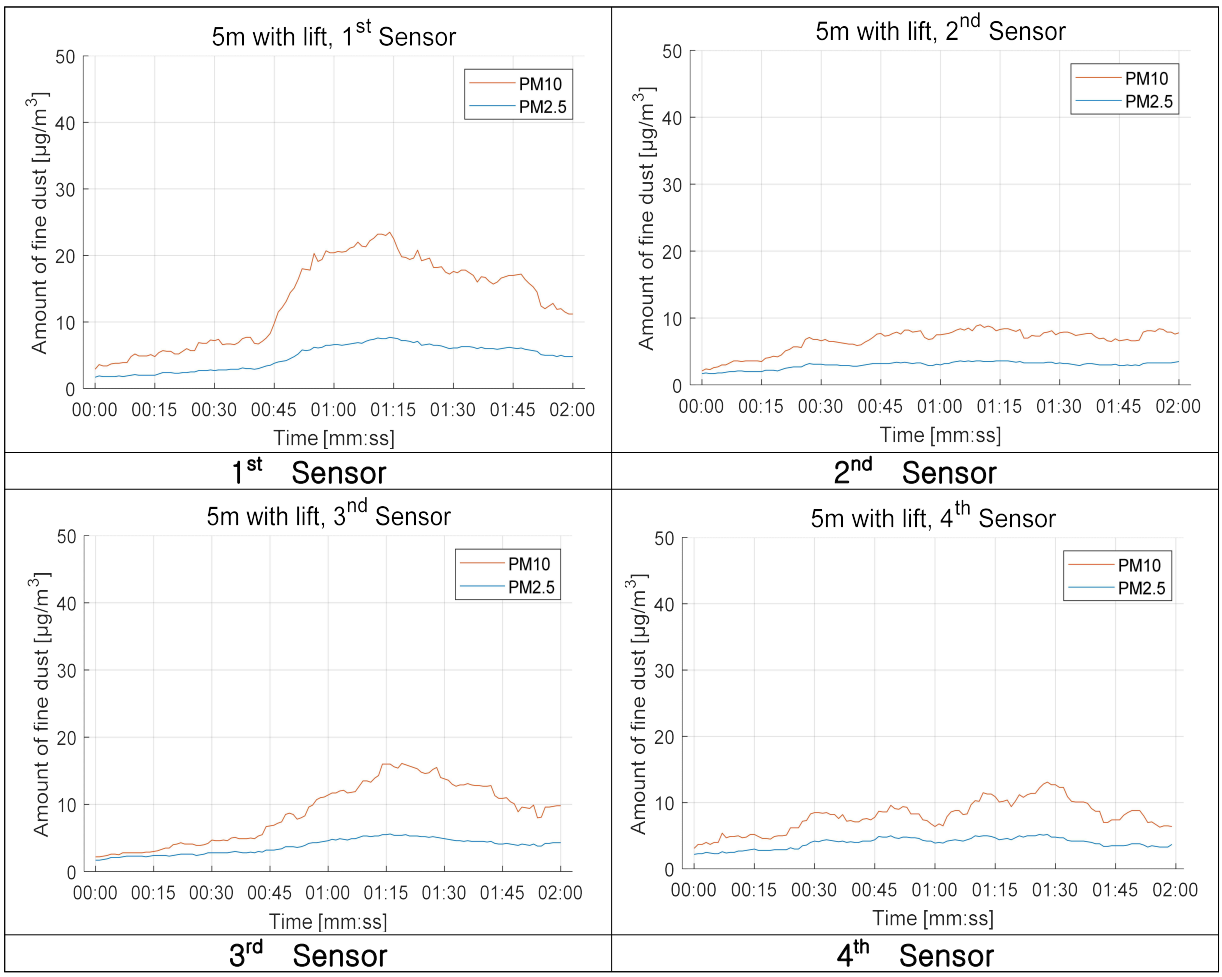
[그림 2.73] 08W 굴삭기 이용 고소 작업 검증 시험 장면



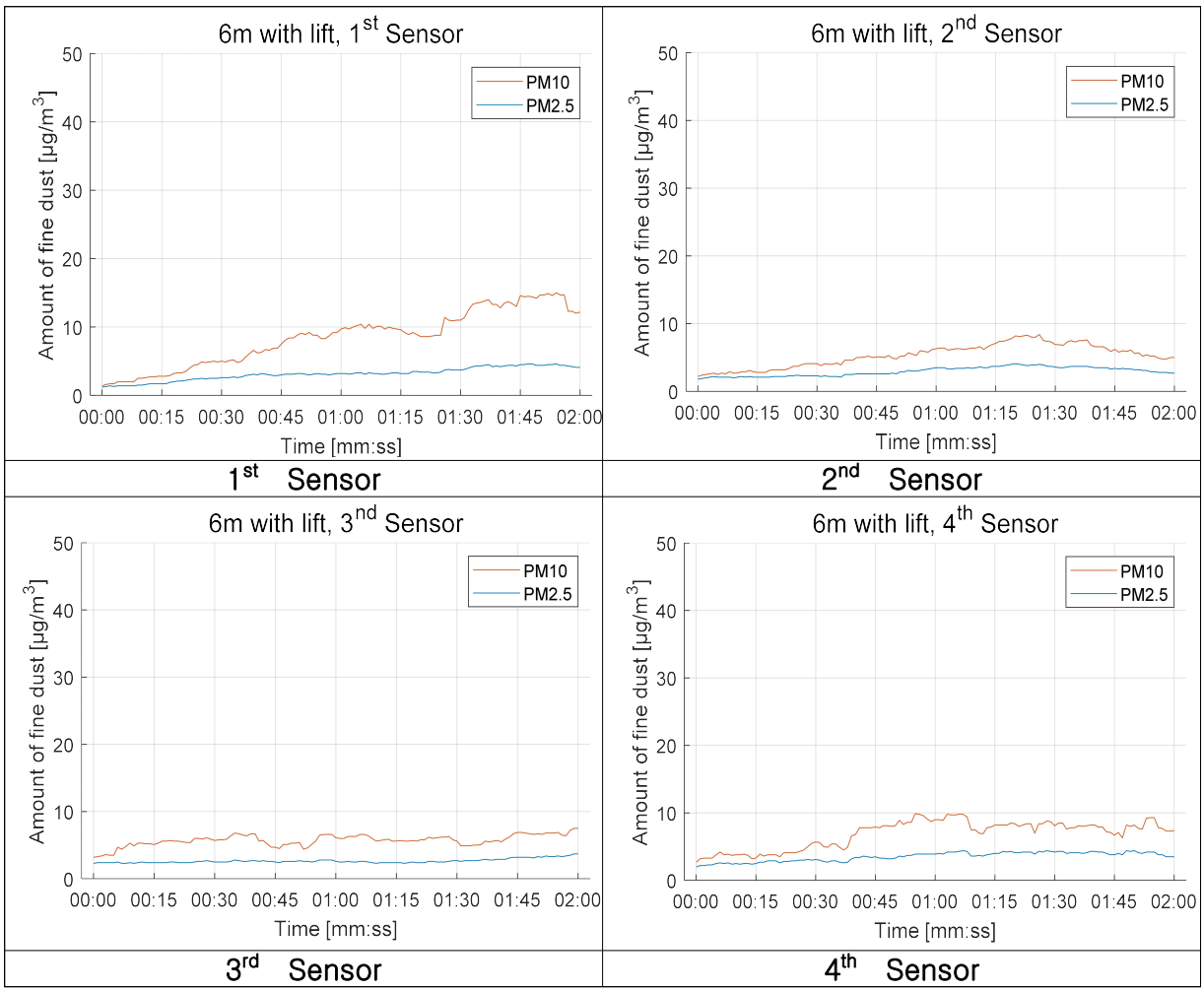
[6m 이격거리 – No 리프트]



[4m 이격거리 – 리프트]



[5m 이격거리 – 리프트]

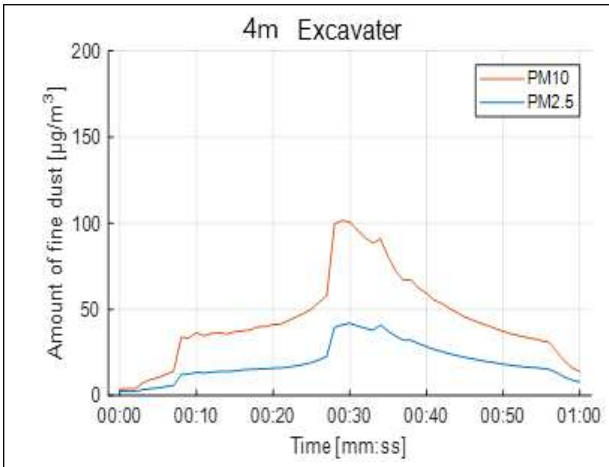


[6m 이격거리 – 리프트]

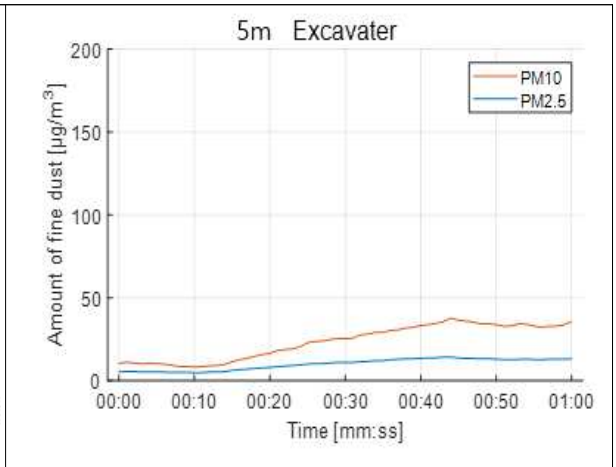
검증 항목	Sensor 1						Sensor 2					
	PM2.5			PM10			PM2.5			PM10		
	최소	최대	Δd	최소	최대	Δd	최소	최대	Δd	최소	최대	Δd
이격거리 6m - No 리프트	1.6	2.5	0.9	2.1	4.8	2.7	1.6	2.5	0.9	2.0	4.9	2.9
이격거리 4m - 리프트	1.1	3.2	2.1	1.5	7.4	5.9	1.3	3.3	2.0	1.5	7.1	5.6
이격거리 5m - 리프트	1.7	7.7	6.0	2.9	23.5	20.6	1.7	3.6	1.9	2.1	9.0	6.9
이격거리 6m - 리프트	1.2	4.6	3.4	1.4	15.0	13.6	1.8	4.1	2.3	2.2	8.4	6.2

Sensor 3						Sensor 4						Δd 평균값	
PM2.5			PM10			PM2.5			PM10				
최소	최대	Δd	최소	최대	Δd	최소	최대	Δd	최소	최대	Δd	PM2.5	PM10
1.5	2.9	1.4	1.7	11.0	9.3	1.8	3.5	1.7	1.8	7.0	5.2	1.68	5.03
2.3	5.7	3.4	2.9	14.1	11.2	1.5	6.7	5.2	1.9	20.1	18.2	3.55	10.23
1.7	5.6	3.9	2.2	16.1	13.9	2.2	5.2	3.0	3.1	13.1	10.0	4.25	12.85
2.3	3.7	1.4	3.2	7.5	4.3	2.0	4.4	2.4	2.7	9.9	7.2	2.88	`7.83

[그림 2.74] 리프트 카(10m) 이용 고소작업 검증 결과



[4m 이격거리 – Excavator]



[5m 이격거리 – Excavator]

검증 항목	Sensor 1					
	PM2.5			PM10		
	최소	최대	Δd	최소	최대	Δd
이격거리 4m - 리프트	2.4	41.9	39.5	3.8	101.6	97.8
이격거리 5m - 리프트	4.8	14.3	9.5	8.1	37.7	29.6

[그림 2.75] 08W 굴삭기(최대 작업 높이 8m) 이용 고소작업 검증 시험 결과

[표 2.3] 리프트 카(10m) 이용 고소작업 검증 시험 결과 정리

검증 항목	리프트 카 이용 작업 높이 10m 검증	
	PM2.5	PM10
	Δd 평균값	Δd 평균값
이격거리 6m - No 리프트	1.68	5.03
이격거리 4m - 리프트	3.55	10.23
이격거리 5m - 리프트	4.25	12.85
이격거리 6m - 리프트	2.88	7.83

[표 2.4] 08W 굴삭기(작업 높이 8m) 이용 고소작업 검증 시험 결과 정리

검증 항목	08W 굴삭기 이용 작업 높이 8m 검증	
	PM2.5	**PM10**
	Δd (최대값-최소값)	Δd (최대값-최소값)
이격거리 4m - 리프트	39.5	97.8
이격거리 5m - 리프트	9.5	29.6

- 그림 2.74의 Δd값은 최대값-최소값이며, 표 2.3의 Δd 평균값은 sensor 4개의 평균값임
- 현행 건설 현장에서 가정 많이 쓰는 08W굴삭기 장비를 이용하여 고소 작업에 대하여 검증을 하였으며, 08W굴삭기 붐대를 수직으로 세우면 최대 높이가 9m이지만 실제 굴삭기 작업을 고려, 작업 높이 8m에 대해 고소작업 검증을 하였으며, 검증 시험 결과는 그림 2.75에 나타내었음.

- 리프트 이용 고소작업과 달리 굴삭기 이용 고소작업은 굴삭기 어태치먼트에 센서 부착 문제로 1개의 센서만 설치하여 측정하였음.
- 그림 2.74에서 보는 바와 같이 리프트 붐대를 최소로 접었을 때 2m 10cm에 대한 No 리프트 분사는 물 분사 입자가 10m 고소작업위치까지 도달하지 못하는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 도심지 협소공간 작업에는 리프트 분사 기술이 필요함을 말하는 것임.
- 굴삭기의 최소 작업 반경을 고려한 건물과 장비의 이격거리 4m, 5m., 6m에 대한 고소작업 분사시험에서 그림 2.74에서 보는 바와 같이 5m 이격거리에서 최대 물 분사기 이루어지며, 6m 이격거리에서는 분사장치 분사부가 10m 보다 약간 높을 곳을 향해 분사하므로 5m 이격거리 보다는 물 분사량이 적게 나타났음.
- 현행 건설 현장에서 가정 많이 쓰는 08W굴삭기 장비를 실제 사용하여 검증한 고소작업에서도 리프트 카를 이용한 시험결과와 유사한 경향을 나타내었음.
- 상기 시험결과를 종합해 보면 개발한 지능형 고소작업 분사 장치는 건물과 장비의 이격거리 5m에 대하여 작업 높이 10m까지의 고소작업이 가능하다고 말할 수 있음.
- 도심지 협소 공간 건물 해체 작업을 상정하여 개발한 지능형 고소 작업 기술은 건물 해체 공사뿐만 아니라 고소작업이 필요한 다양한 건설 산업 현장에 활용 가능하리라 판단됨.
- 고소 작업에 대한 시험 성적서는 그림 2.76에 보여 주고 있음.

시 험 성 적 서
TEST REPORT

접 수 번 호 : KCMC2021-081　　접 수 일 자 : 2021년 10월 5일
신 청 인 : (주)케이씨티이엔씨
주 소 : 서울 금천구 가산디지털1로 30 (가산동) 606호
시 료 명 : 지능형 위치 추적 기반의 건설현장 미세먼지 자율 억제 시스템

시 험 결 과

시험 항목	시험 방법	시험 조건		시험결과 (Δd 평균값, mm)		비 고
				PM2.5	PM10	
고소 작업 검증	의뢰자 제시	리프트 카 (10 m)	이격거리 6 m (No 리프트)	1.68	5.03	
			이격거리 4 m (리프트)	3.55	10.23	
			이격거리 5 m (리프트)	4.25	12.85	
			이격거리 6 m (리프트)	2.88	7.83	
		08W 굴삭기 (8 m)	이격거리 4 m (리프트)	39.5	97.8	
			이격거리 5 m (리프트)	9.5	29.6	

끝.

비고: 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과이며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
2. 이 성적서는 첨단건설재료실험센터의 사전 서면동의 없이 홍보선전, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없습니다.
3. 이 성적서의 시험결과는 KOLAS 인정과 관련 없음을 밝힙니다.

담 당 자: 장 석 수 (053-580-6700)

2021년 11월 08일

국토교통부 분산공유형실험시설
계명대학교 첨단건설재료실험센터장 (인)

주소: 704-701 대구시 달서구 달구벌대로 1095, 전화번호: 053-580-6700, http://comtec.kocad.or.kr

COMTEC

8-1　　F-P-14-03(0)

[그림 2.76] 고소작업 검증 시험성적서

○ 단위기술 4 : 험지 이동 기술

- 그림 2.77에서 보는 바와 같이 건설현장의 경우 대부분 장비의 이동을 하기에 바닥의 형태가 토공이라든지 콘크리트 잔재물로 인해 이동이 원활하지 않고, 해외 장치의 경우 대부분이 바퀴형태의 이동형태를 취하고 있어서 험지이동에 적합하지 않기 때기 때문에 이러한 문제점을 고려, 건설 현장의 원활한 이동을 위해 캐터필러 타입의 지능형 물 분사 장치기술을 개발하였음.
- 그림 2.78에서 보는 바와 같이 해외 제품의 경우 전원 자가장치가 없어서 장치의 승강 및 하역에 별도의 승하역 장치가 항상 필요로 하는 문제점이 있으며, 이는 공사시간 지연 및 운영비용 상승을 야기시키는 문제점이 있음
- 또한, 중국장치는 공장에서 출발하여 현장 도착 및 공사 후 현장에서 공장으로 다시 입고할 때마다 지게차와 같은 상하차 수단을 이용해 상차 하차를 하여야 하나, 개발 기술은 자체 전원 자가형으로 이러한 상하차 수단이 필요하지 않으며, 운송 트럭에 자체 전원 자가형 장치 조정을 통해 손쉽게 운송 트럭에 상하차가 가능하다는 장점이 있음.
- 개발기술은 전원 자가형에 캐터필러 타입의 이동 플랫폼 형태를 취하고 있어서 별도의 승하역 장치가 필요치 않아서 공사시간 단축 및 운영비용 절감 효과를 기대할 수 있음.
- 따라서 자율 승강 및 험지 극복이라는 2가지 목적을 가지고 운송 트럭에 상차하는 것을 험지 극복 검증 시험으로 수행하였으며, 그림 2.79에서 보는 바와 같이 검증 시험 결과 구동 경사각 20.55도까지 구동하였으며, 이는 당초 연구 목표에 제시한 15도를 상회하는 측정 결과임.



[그림 2.77] 개발기술의 하부 이동 형태

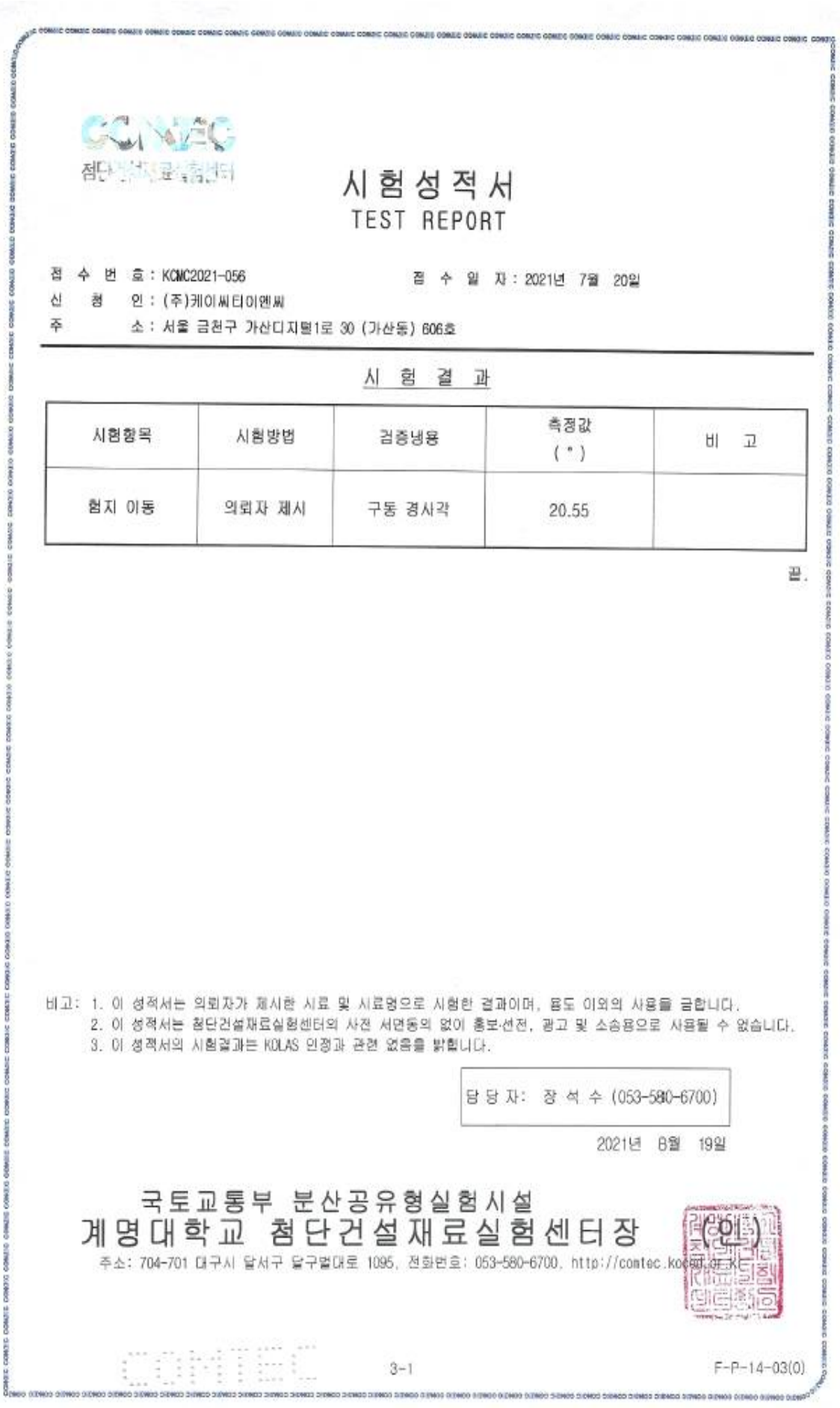


[그림 2.78] 장비 자율 승강-하역 기술



[그림 2.79] 험지 이동 검증 시험

- 이러한 검증 시험은 공인인증시험기관의 참관하에 시험을 수행하였으며, 시험 성적서는 아래 그림 2.80에 나타내었음.



시험성적서
TEST REPORT

접 수 번 호 : KCMC2021-056　　접 수 일 자 : 2021년 7월 20일
신 청 인 : (주)케이씨티이엔씨
주 소 : 서울 금천구 가산디지털1로 30 (가산동) 606호

시 험 결 과

시험항목	시험방법	검증내용	측정값 (°)	비 고
험지 이동	의뢰자 제시	구동 경사각	20.55	

끝.

비고: 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과이며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
2. 이 성적서는 첨단건설재료실험센터의 사전 서면동의 없이 홍보·선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없습니다.
3. 이 성적서의 시험결과는 KOLAS 인정과 관련 없음을 밝힙니다.

담 당 자: 장 석 수 (053-580-6700)

2021년 8월 19일

국토교통부 분산공유형실험시설
계명대학교 첨단건설재료실험센터장 (인)

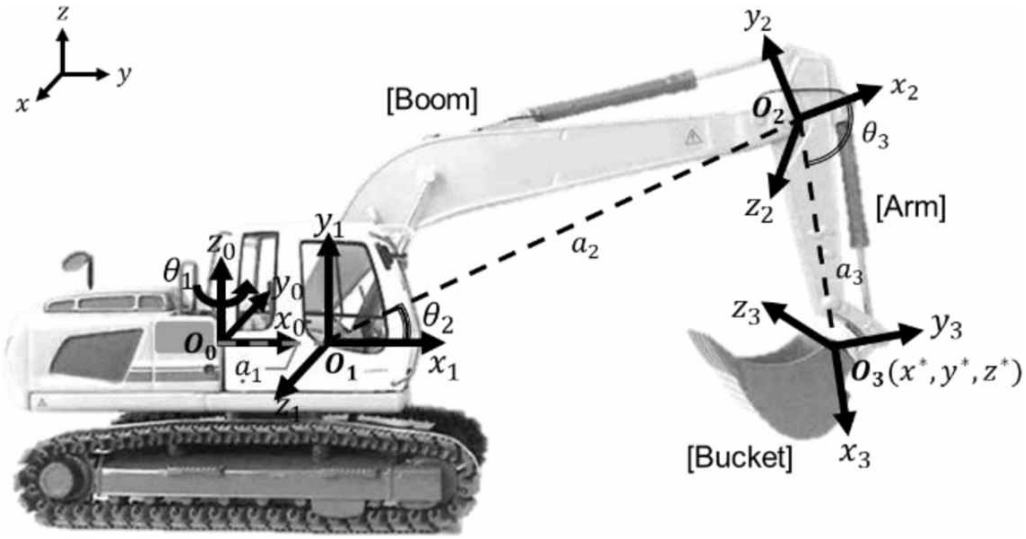
주소: 704-701 대구시 달서구 달구벌대로 1095, 전화번호: 053-580-6700, http://comtec.kr

3-1　　F-P-14-03(0)

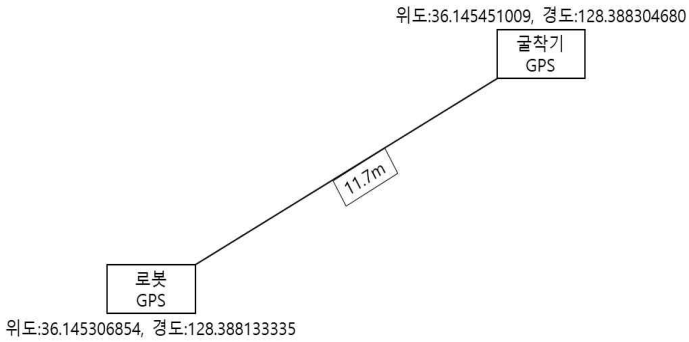
[그림 2.80] 험지 이동 검증 시험 성적서

○ 단위기술 5 : 위치 추적 제어 오차

- 미세먼지가 발생하는 굴삭기의 어태치먼트를 추적하기 위해서는 굴삭기의 자세와 굴삭기와 미세먼지 억제 로봇 사이의 상대 거리가 필요함.
- 굴삭기의 자세를 추정하기 위해 굴삭기의 중심점부터 어태치먼트까지 기구학적 해석을 진행하였고 이를 위해 굴착기에 대한 좌표계를 설정함.



[그림 2.81] 기구학 계산을 위해 설정된 굴삭기의 좌표계



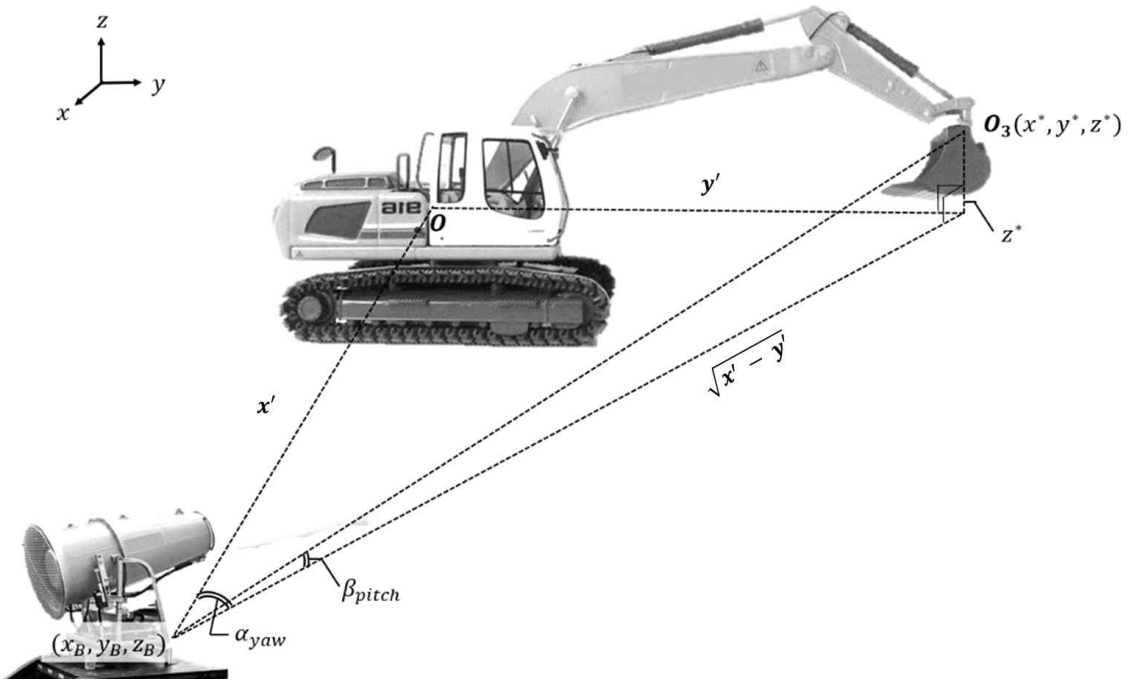
[상대거리 계산]



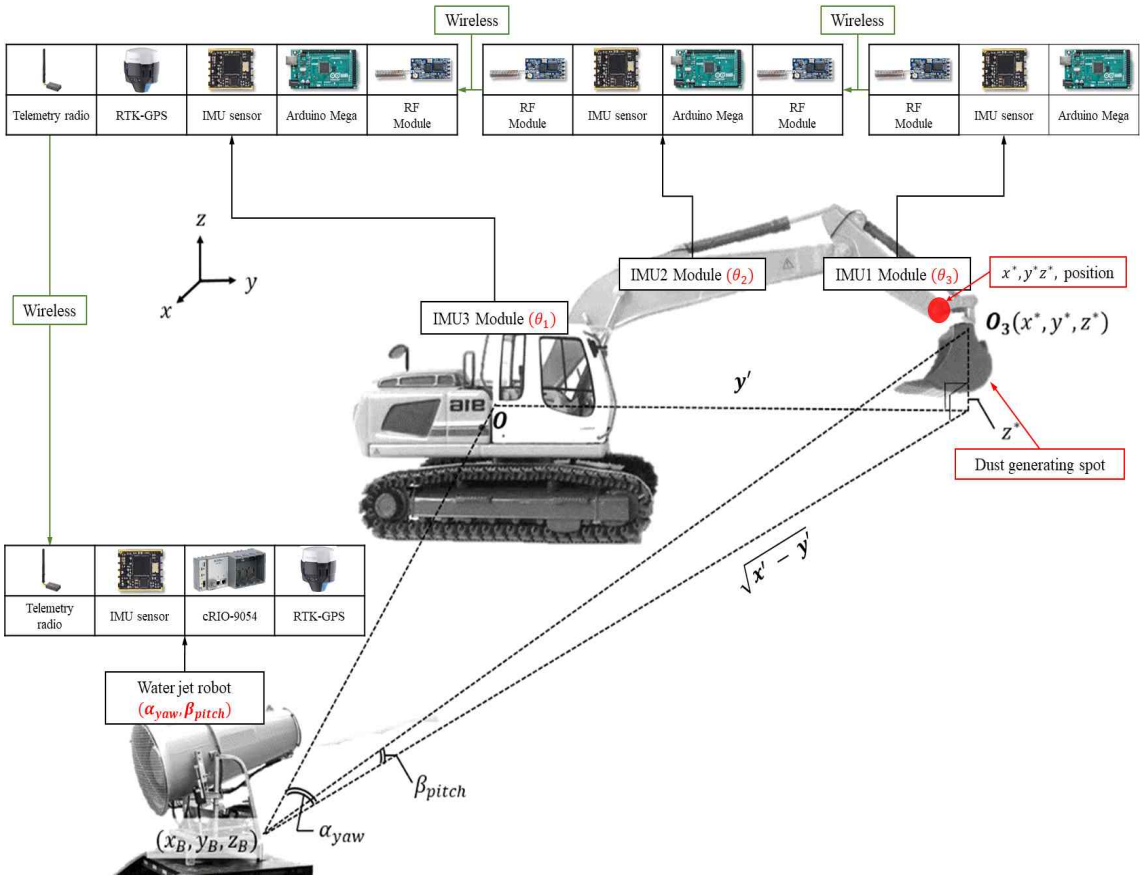
[상대거리 계산을 위한 RTK-GPS]

[그림 2.82] 상대거리 계산

- 미세먼지 억제 로봇과 굴삭기 사이의 정밀한 상대거리를 파악(굴삭기 중심부 및 분사 로봇 상대 위치 계산)하는 알고리즘을 개발하였고, 알고리즘에 사용되는 굴삭기와 미세먼지 억제 로봇의 위치 데이터는 RTK-GPS를 사용하여 위치 데이터를 측정함.
- 도로 측정된 위치 데이터를 도분초로 변경하였으며, 한국의 위도, 경도에 해당하는 지구 반지름을 고려하여 상대거리를 계산함.
- Ntrip 기능이 사용 가능한 RTK-GPS를 사용하여 수 cm의 오차의 로봇과 굴착기의 위치를 특정함.
- 지능형 미세먼지 억제 로봇을 이용하여 실제 굴착기의 어태치먼트를 지속해서 추적이 가능한지 확인하는 실험을 진행함.
- RTK-GPS를 이용하여 굴착기와 미세먼지 억제 로봇 사이의 상대 거리를 측정하고, 기구학을 이용하여 굴착기의 자세를 추정함.



[그림 2.83] 센서 데이터를 이용한 분사구 각도 계산



[그림 2.84] 지능형 미세먼지 억제 로봇 시스템 구성

- 상대거리 정보와 굴착기 자세 정보를 이용하여 미세먼지 억제장치의 분사구가 향해야 하는 수평 및 수직 각도를 계산함.
- 미세먼지 억제 로봇이 실제로 바라보고 있는 각도와 계산된 목표 각도 사이의 오차가 -

5~+5도 이내가 되도록 제어를 진행함.

- 미세먼지 발생원을 지속적으로 추적하는 것과 관련 물 분사 로봇이 목표지점을 따라 지속적으로 추적하는지 검증하기 위해 대각선 이동, 상하이동과 수평회전으로 나누어 시험을 진행하였으며, 그림 2.85는 위치 추적 제어 오차 검증 시험 장면을 보여 주고 있음
- 표 2.5에서 보는 바와 같이 실험 결과 최대 수평 오차는 4.014도, 최대 수직 오차는 1.623도로 나타남.



(a) 버킷 대각선 이동 전



(b) 버킷 대각선 이동 후



(c) 버킷 상하 이동 전



(d) 버킷 상하 이동 후

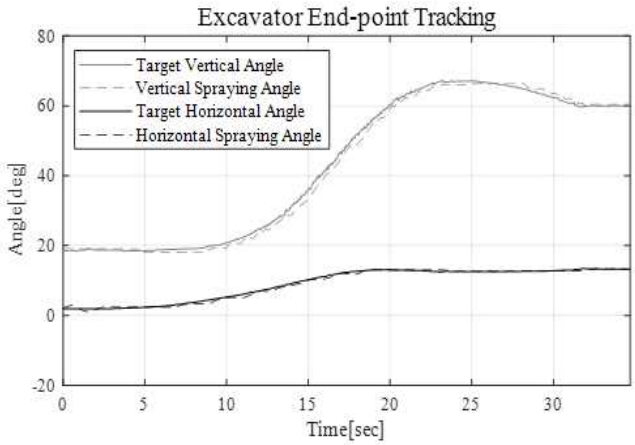


(e) 버킷 360° 회전 전

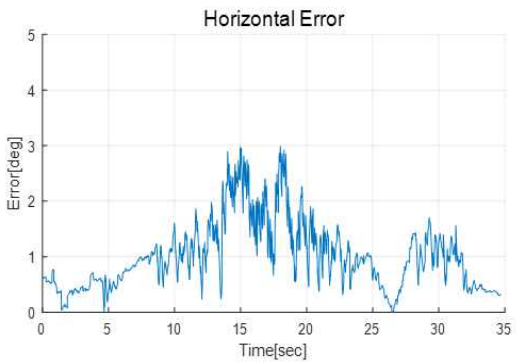


(f) 버킷 360° 회전 중

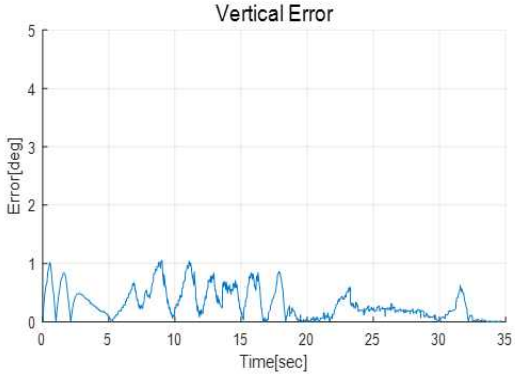
[그림 2.85] 위치 추적 제어 오차 검증 시험 장면



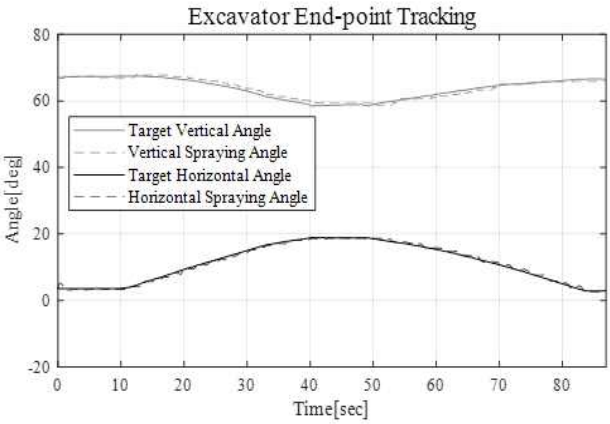
(a) 버킷 대각선 이동 실험



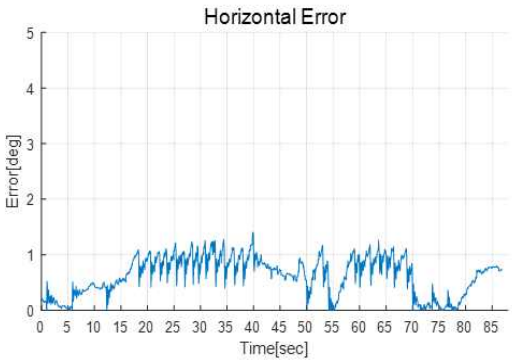
(b) 대각선 이동 실험 수평 오차



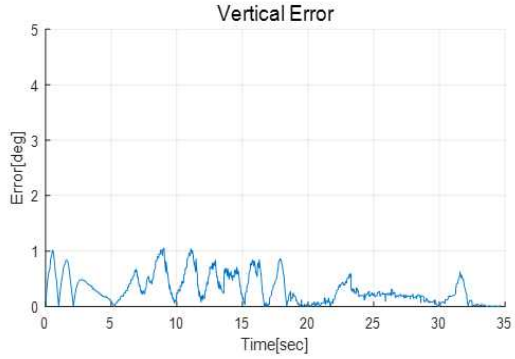
(c) 대각선 이동 실험 수직 오차



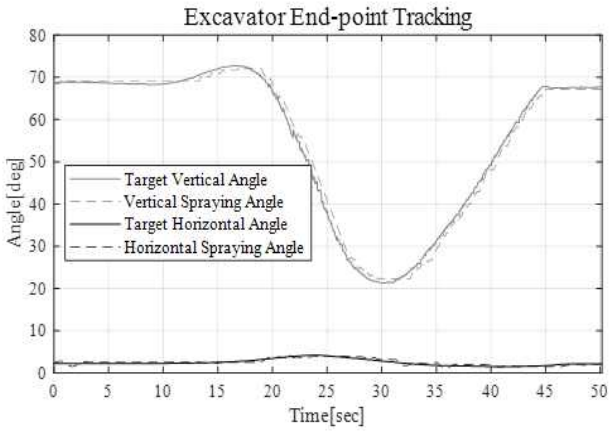
(d) 버킷 상하 이동 실험



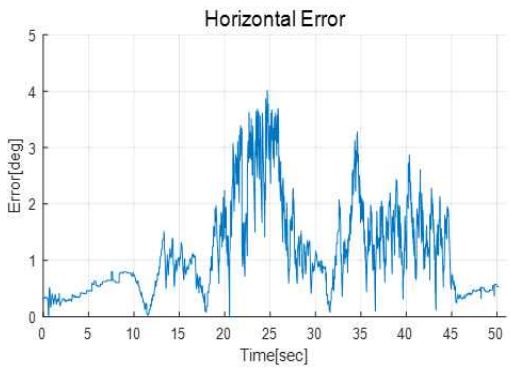
(e) 상하 이동 실험 수평 오차



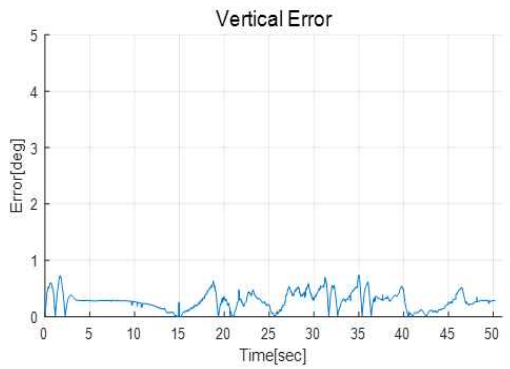
(f) 상하 이동 실험 수직 오차



(g) 버킷 360° 회전 실험



(h) 360° 회전 실험 수평 오차



(i) 360° 회전 실험 수직 오차

[(a, b, c – 대각선 이동), (d, e, f – 버킷 상하 이동), (g, h, i – 버킷 360도 회전)]

[그림 2.86] 위치 추적 제어 오차 검증 시험 결과

[표 2.5] 위치 추적 제어 오차 시험 결과 정리

시험항목	시험조건		오차 평균	최대 오차
위치 추적 제어 오차* 검증	굴착기 버킷 대각선 이동 실험	수직	0.2813	0.7414
		수평	1.1371	4.0139
	굴착기 버킷 상하 이동 실험	수직	0.3457	1.6237
		수평	0.6232	1.4060
	굴착기 버킷 360° 회전 실험	수직	0.3172	1.0569
		수평	1.0054	2.9870

굴착기 버킷 위치와 미스트 분사 로봇 조향점 사이의 위치 오차

- 그림 2.86 및 표 2.5에서 보는 바와 같이 시험 결과를 토대로 한 위치 추적 제어 오차는 최대 오차가 4.01도로 이는 당초 목표로 한 5도 이내를 만족하는 결과임.
- 그림 2.87은 위치 추적 제어 오차에 대한 시험 성적서를 보여 주고 있음.

시험성적서
TEST REPORT

접 수 번 호 : KCMC2021-084　　접 수 일 자 : 2021년 10월 5일
신 청 인 : (주)케이씨티이엔씨
주 소 : 서울 금천구 가산디지털1로 30 (가산동) 606호
시 료 명 : 지능형 위치 추적 기반의 건설현장 미세먼지 자율 억제 시스템

시 험 결 과

시험 항목	시험 방법	시험 조건		시험결과(deg)		비 고
				오차 평균	최대 오차	
위치 추적 제어 오차 검증	외뢰자 제시	굴착기 버킷 대각선 이동	수직	0.281 3	0.741 4	
			수평	1.137 1	4.013 9	
		굴착기 버킷 상하 이동	수직	0.345 7	1.623 7	
			수평	0.623 2	1.406 0	
		굴착기 버킷 360° 회	수직	0.317 2	1.056 9	
			수평	1.005 4	2.987 0	

- 검증방법 : 굴착기 버킷 위치와 미스트 분사 로봇 조향점 사이의 위치 오차

끝.

비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과이며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
2. 이 성적서는 첨단건설재료실험센터의 사전 서면동의 없이 홍보선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없습니다.
3. 이 성적서의 시험결과는 KOLAS 인정과 관련 없음을 밝힙니다.

담 당 자 : 장 석 수 (053-580-6700)

2021년 11월 08일

국토교통부 분산공유형실험시설
계명대학교 첨단건설재료실험센터장 (인)

주소 : 704-701 대구시 달서구 달구벌대로 1095, 전화번호 : 053-580-6700, http://comtec.kocsd.or.kr

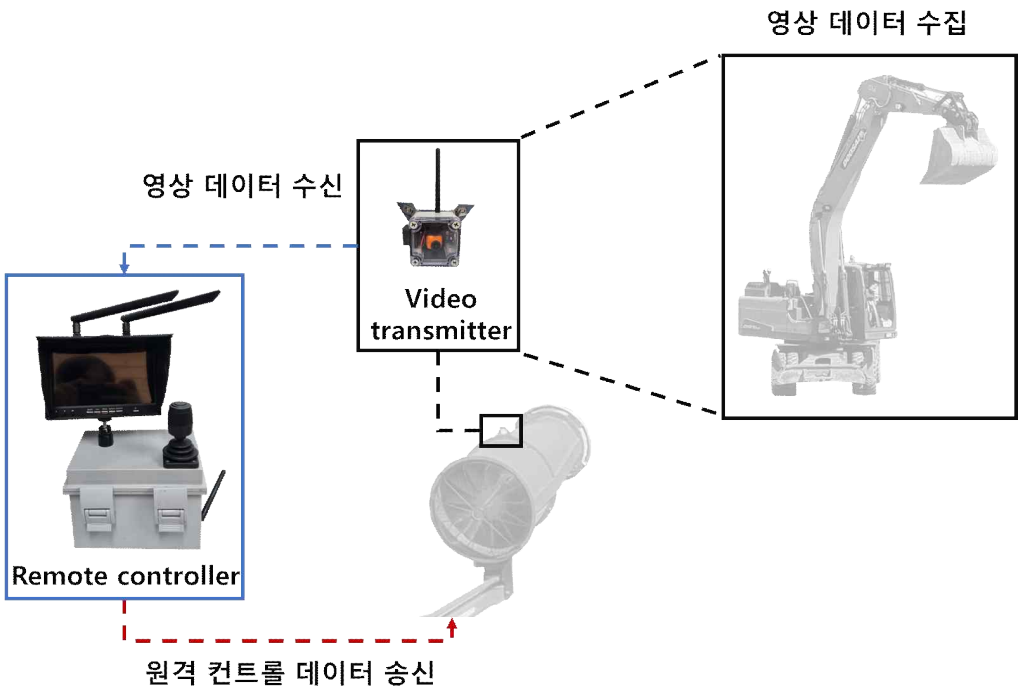
[그림 2.87] 위치 추적 제어 오차 검증 시험 성적서

○ 단위기술 6 : 비젼 기반 원격 모니터링 기술

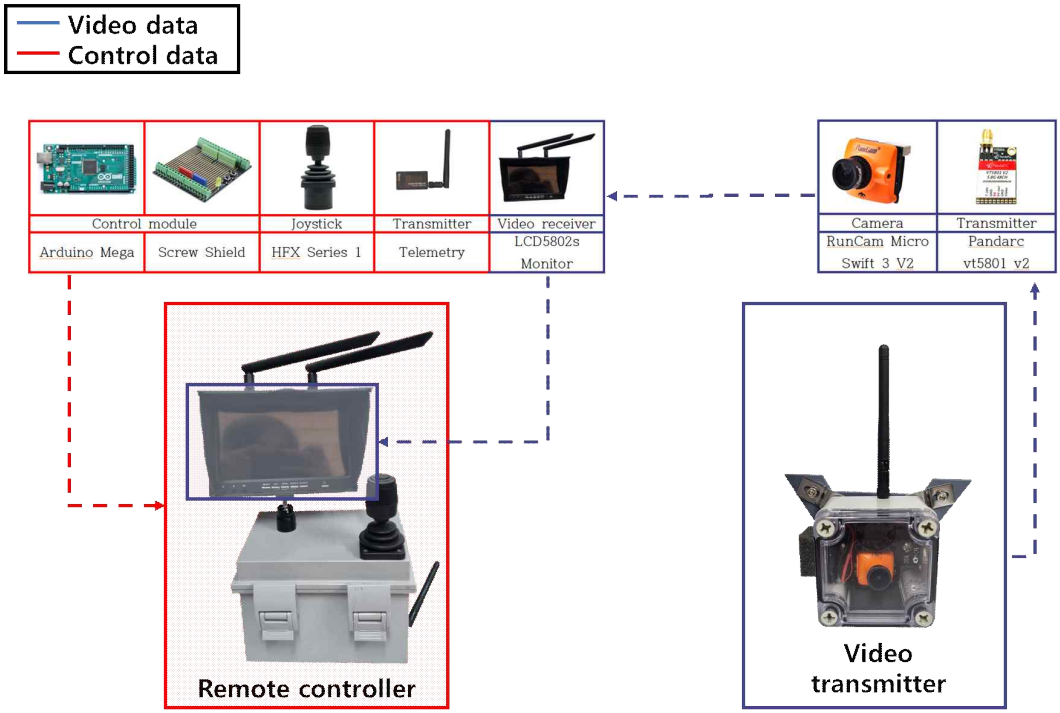
- 비젼 기반 원격 모니터링 기술은 그림 2.88에서 보는 바와 같이 물 분사 로봇에 부착한 카메라가 굴착기의 영상 데이터를 수집하고, 수집한 영상 데이터를 무선으로 비전 컨트롤러에 수신하고. 수신된 영상 데이터를 기반으로 비전 컨트롤러를 작동시켜 원격 컨트롤 데이터를 물 분사 로봇으로 송신하고 난 다음, 송신된 원격 데이터를 받은 물 분사 로봇이 컨트롤러의 움직임에 따라 움직이는 기술임.



[그림 2.88] 비젼 기반 원격 모니터링 기술



[그림 2.89] 비젼 기반 원격 모니터링 기술



[그림 2.90] 비젼기반 원격 모니텅링 시스템 개략도

- 비젼 기반 원격 모니터링 기술 관련 부연 설명을 위해서, 그림 2.89 및 2.90에서 보는 바와 같이 Remote Controller는 Video Transmitter로부터 영상 데이터를 받으며, Remote Controller의 Video Receiver로부터 출력되는 영상 데이터를 기반으로 Joystick을 움직여 원격 명령을 주면 물 분사 로봇이 움직이는 시스템임.
- 그림 2.91은 비젼 기반 원격 모니터링 기술 검증 장면을 나타낸 것으로서, 실제 상황에서는 건물내부에 장비가 위치하여 작업하고 건물 외부에서 건물 내부의 장비를 무인 원격 조정하여야 하나 실제 철거 건물이 아니기 때문에 분사장치가 건물 내부에 위치하는 것은 공간적 제약 때문에 곤란함, 따라서 비젼 기반 원격 모니터링 기술 검증은 건물 밖에 분사 장비가 위치하고, 건물 내부에서 조정하는 반대의 상황으로 기술 검증을 하였음
- 비젼 기반 원격 모니터링 기술 검증은 2가지 방법으로 검증을 하였으며, 첫 번째는 건물 내부 물 분사 로봇 컨트롤 실험이고, 두 번째는 건물 외부 장거리 무선 컨트롤 실험임.
- 그림 2.91의 위쪽 사진이 건물 내부에서 컨트롤러를 이용하여 건물 외부에 있는 물 분사 장치를 제어하는 실험 장면이며, 실험결과 건물 내부에서는 창문이 열려있거나 닫혀있음에 관계없이 원격 모니터링 및 원격 컨트롤이 가능함을 확인할 수 있었음.
- 그림 2.91의 아래쪽 사진이 건물 외부 장거리 무선 컨트롤 실험이며, 건물 외부에서 컨트롤러를 이용하여 멀리 떨어져 있는 물 분사 장치를 제어하는 실험의 일부이며, 실험결과 원거리에서 나무나 벽 등 장애물이 있어도 원격 모니터링 및 원격 컨트롤이 가능함을 확인할 수 있었음.
- 개발 기술인 지능형 무인 정밀 물 분사 기술을 적용하면, 위험한 작업 공간 안에 근로자가 같이 있을 필요가 없어서, 인력살수 근로자 사망과 같은 중대 재해 제로화에 기여하리라 판단되며, 더 불어서 고층 건물 해체와 같은 곳에 비젼 기반 원격 모니터링 기술을 적용하면, 작업자가 안전한 작업 영역 바깥에서 분사장치를 영상을 통해 조정하므로 근로자 재해 사전 예방이 가능하리라 판단됨.



실험 위치 [건물 내부]



건물 내부 실험 디스플레이 1



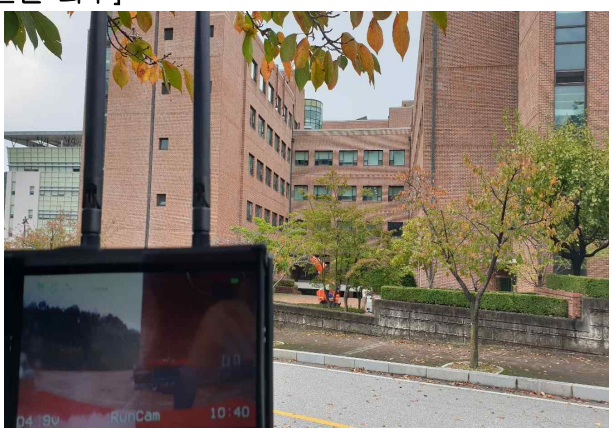
건물 내부 실험 디스플레이 2



실험 위치 [건물 외부]



건물 외부 실험 물 분사 로봇 아래 지점



건물 외부 실험 물 분사 로봇 윗 지점

[그림 2.91] 비젼 기반 원격 모니터링 기술 검증 장면

○ 단위기술 7 : 개발 기술의 검증



[그림 2.92] 검증 시험 목적

- 미세먼지 저감 효율 검증 시험 방법이 전 세계적으로 아직 없기 때문에 검증에 대한 신뢰를 높이고자 3가지 방법을 사용하여 검증 시험을 수행하여 데이터를 측정 분석하였으며, 미세먼지 저감 효율 검증 시험은 KOLAS 공인인증기관인 첨단 건설재료시험센터 참관하에 시험을 수행하여 공인 시험성적서를 발부 받아 공신력을 제고하였으며, 이와 관련된 시험성적서는 93에 언급되어 있음.
- 에너지 효율 검증 시험은 전기 전문회사인 제이에이치에너지에 의뢰하여 전력 소모량 측정 시험을 수행하여 측정 데이터를 분석하였으며, 제이에이치에너지의 전기 기술 전문가 및 KOLAS 공인인증기관인 첨단 건설재료시험센터 참관하에 시험을 수행하였으며, 물 소모량 측정 시험 역시 KOLAS 공인인증기관인 첨단 건설재료시험센터 참관하에 시험을 수행하였으며 관련 공인 시험성적서는 94쪽에 나타내었음.
- 표 2.86은 검증 시험에 대한 최종 분석 결과를 나타낸 것임.

[표 2.6] 검증 시험 결과 요약

검증 항목	검증 기준	검증 결과
미세 먼지 저감 효율	중국 Dust Suppression System(DSS, China RD40 제품)) 기술 비교 25% 이상	30% 저감
전력 소모량 검증	중국 Dust Suppression System(DSS, China RD40 제품)) 기술 비교 25% 이상	6.28배 저감
물 소모량 검증	중국 Dust Suppression System(DSS, China RD40 제품)) 기술 비교 25% 이상	28% 저감

① 미세먼지 저감 효율 검증

- 이 기술의 검증 관련 핵심은 개발된 기술이 건설현장에서 발생하는 비산먼지를 얼마나 저감하느냐가 가장 중요한 문제이기 때문에 비산먼지 내의 미세먼지 저감 효율 검증에 대해 상세히 설명하고자 하며, 미세먼지 저감 효율 검증은 그림 2.93에서 보는 바와 같이 분진발생기 이용 검증, 분진막 이용 파쇄 시험 검증, 야외 파쇄 시험 검증의 3가지의 방법으로 검증을 하였음.
- 3가지 방법으로 검증을 하게 된 이유는 미세먼지 저감 효율 검증이 정형화된 시험 방법이 없기 때문이며, 여러 가지 방법으로 검증을 하여 검증에 대한 신뢰성을 높이고자 하였음.



[그림 2.93] 미세먼지 저감 효율 검증 시험 방법



[그림 2.94] China RD40 수입 제품

- 중국 Dust Suppression System(DSS) 기술 관련 제품은 광범위한 중국제품에 대한 자료조사를 통해 10년의 제조 경력을 가지고 있는 China RD40 제품을 수입해서 비교 검증하였으

며, 그림 2.94는 China RD40 수입 제품을 나타내고 있음.

- 시험에 사용된 분사 장치에 대한 Technical Parameter는 그림 2.95에 나타내었으며, 인력살수 방식에 사용되는 고압 살수기는 건설현장에서 가장 흔히 사용되는 고압 살수기 중에 일본 Honda 엔진이 장착된 TOP-80HD제품을 사용하였음





Technical Parameter	TOP-80HD	China RD40	Korea KD40
Throw Distance(Without Wind)	20m	40m	40m
Ring Of Nozzles	No Ring-1 nozzle	1 Ring-34 Nozzles	1 Ring-36 Nozzles
Type Of Nozzles	Stainless Steel	Stainless Steel	Stainless Steel
Nominal fan Power	-	7.5Kw	BLDC Motor 3.5Kw
Pump Power	80A Head Pump	1.1Kw	DC Motor 750W
Manual Angle of Rotation	Manual Free Rotation	0°~320°	0°~360°
Elevation Angle	Manual Free Rotation	-5°~45°	-5°~45°
Water Pressure	HONDA 5.8HP GP200	2.0MPa	1.5MPa
Control Mode	Manual	Manual/Remote	Manual/Remote/Intelligent
Electronical Power	-	380V 50Hz 3P	DC 48V
Weight	88kg	580Kg(Exclude Lower Part)	950Kg(Include Lower part)
Size	1.0*0.6*1.0	1.75*1.0*1.85(Exclude Lower Part)	1.5*2.2*1.95 (Include Lower part)

[그림 2.95] 분사 장치 Technical Parameter

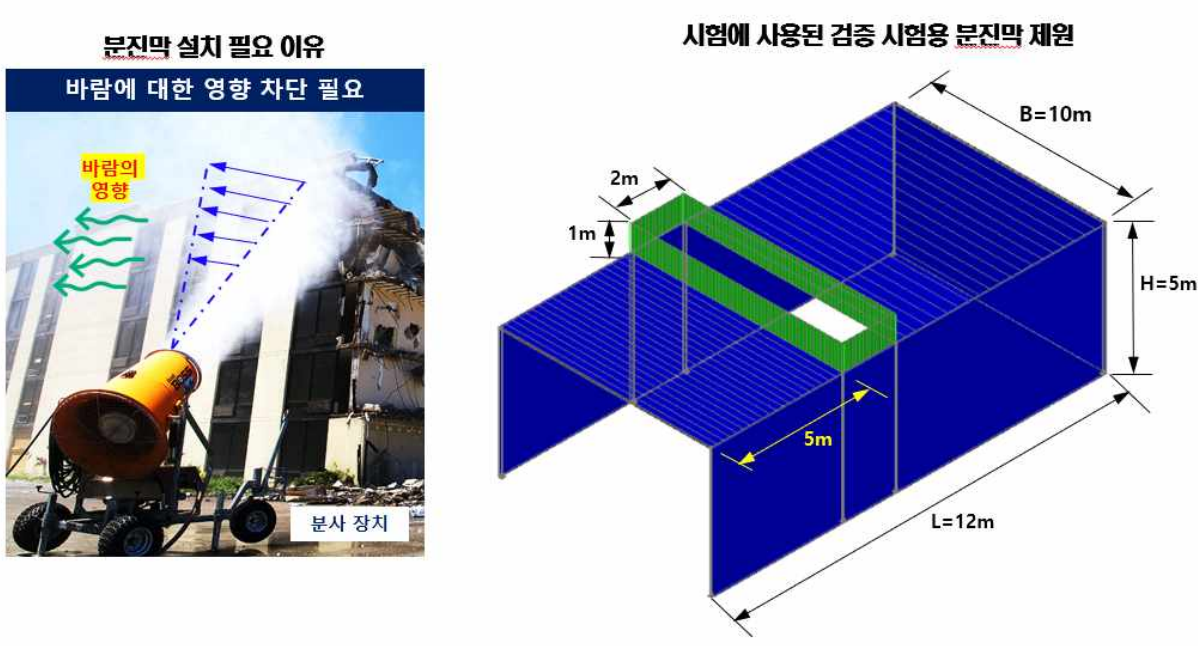
- 시험에 사용된 계측기는 안전, 건강, 환경 및 소비자보호와 관련해 EU 이사회 지침의 요구사항을 모두 만족한다는 의미의 통합규격인증마크. CE 인증을 받은 SDL607 미세먼지 측정기를 사용하였으며, 이 측정기는 PM10 및 PM2.5 미세먼지 측정이 가능한 계측기임.





[그림 2.96] 시험에 사용된 미세먼지 측정기

[검증방법 1] 분진발생기 이용 미세먼지 저감 효율 검증



[그림 2.97] 분진막 설치 이유 및 분진막 제원

- 그림 2.97은 시험에 사용된 분진막 제원을 보여 주고 있음
- 분진막을 설치한 이유는 바람에 대한 영향을 차단하기 위해서이며, 분진막은 높이 5m. 길이 12m, 폭 10m의 분진막에 상부에 높이 1m, 폭 1m의 분진 출구를 갖는 형태로 제작되었음.

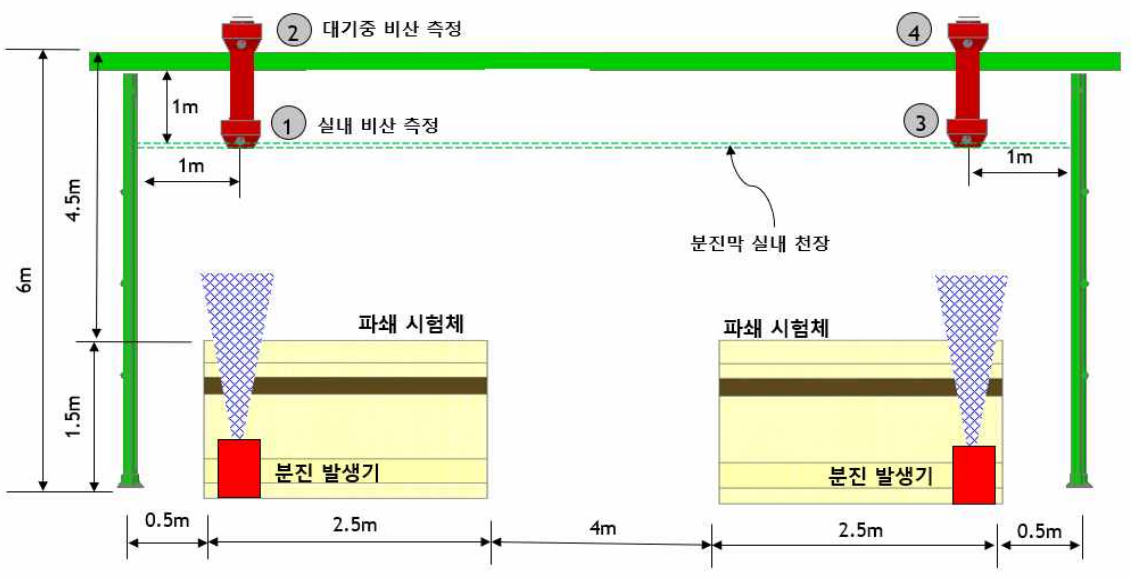


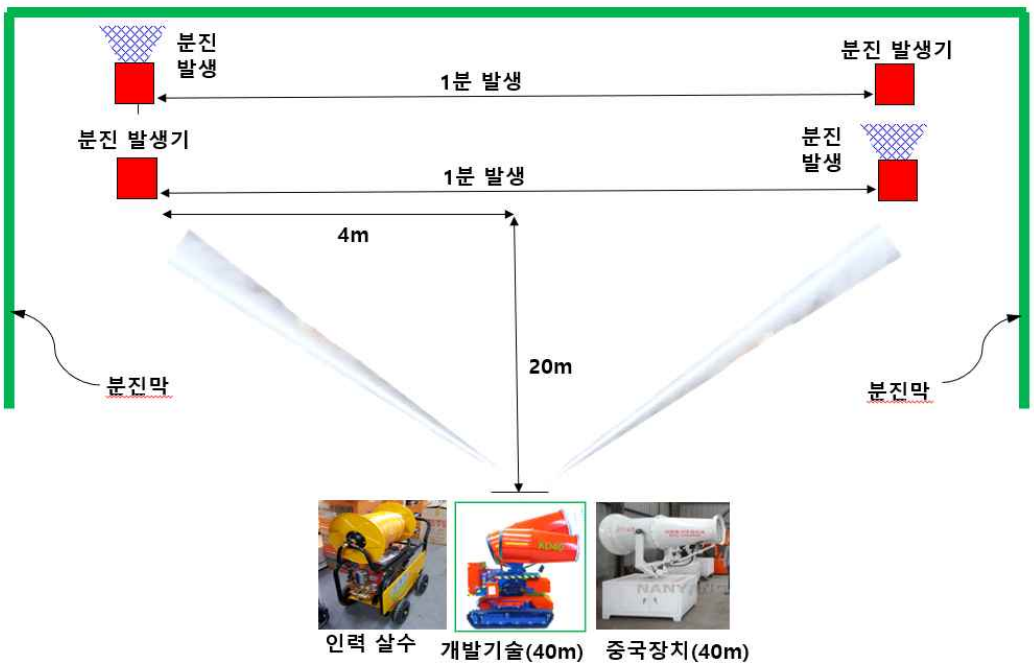
분진 발생기



분진막 내 분진 발생기 설치 장면

[그림 2.98] 시험에 사용된 분진 발생기 및 설치 장면





[그림 2.99] 분진 발생기 이용 계측 계획 모식도

- 그림 2.99는 시험에 사용된 분진발생기 이용 미세먼지 저감 효율 계측 계획이며, 분진막 내에 분진발생기를 설치하고, 발생된 분진이 분진막내의 분진출구를 통해 외부로 유출하도록 설치된 분진 굴뚝 위치에 미세먼지 측정기를 설치하였으며, 미세먼지 계측기는 실내 비산측정을 위하여 2개소에 측정기를 설치하였으며, 대기 중 비산을 측정하기 위해 동일 위치에 2개의 미세먼지 측정기를 설치하였음.
- 그림 2.99에서 보는 바와 같이 시험 방법은 분진발생기에 분진을 1분씩 교대로 발생하면서 총 3회 6분간 실험을 수행하였으며, 이 때 No 분사, 인력살수, 중국 DSS 기술(China RD40), 개발기술(Korea KD40)에 대해 각각 6분씩 실험을 수행하였으며 시험 장면은 그림 2.100에 나타내었음.



(a) No 분사



(b) 인력살수(고압살수)



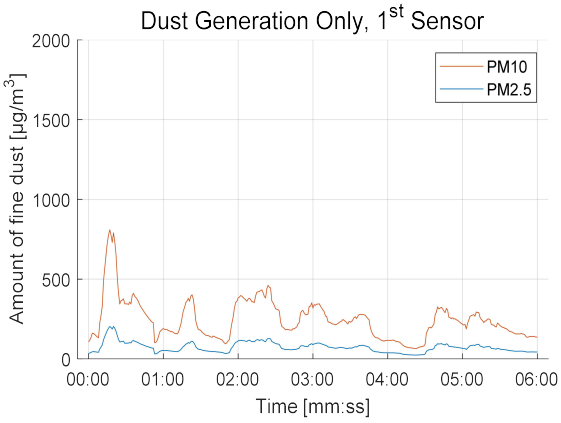
(c) 중국 DSS 기술(RD40)



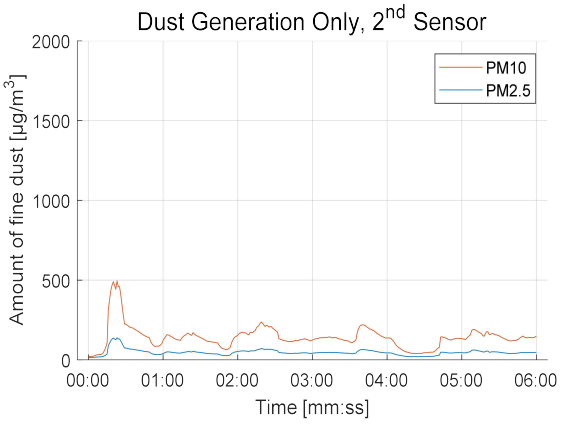
(d) 개발기술(KD40)

[그림 2.100] 분진 발생기 이용 시험 전경

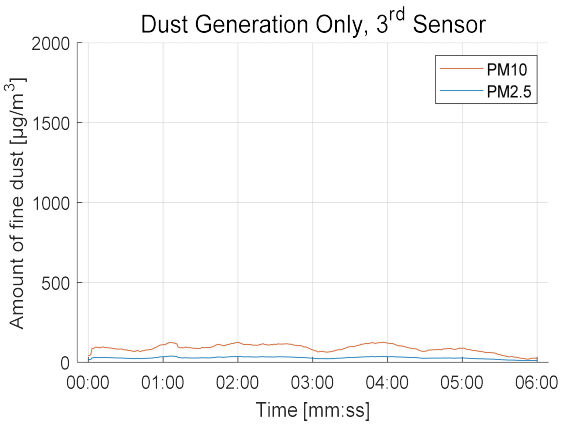
- No분사, 인력살수, 중국 DSS 기술(40m), 개발기술(40m)에 대한 각각의 분진 발생기 이용 시험 결과는 그림 2.101에 나타내었음.
- 그림 2.101의 1번 3번 센서는 분진막 내의 천장 부위의 미세먼지를 측정한 계측 결과값이며, 2번 4번 센서는 대기중으로 비산하는 미세먼지를 측정한 계측 결과값임.



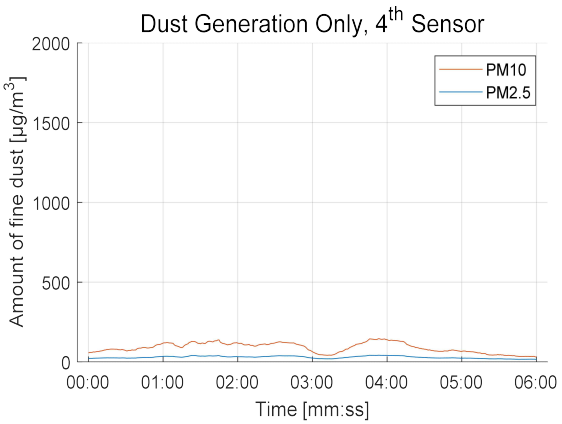
1st Sensor



2nd Sensor



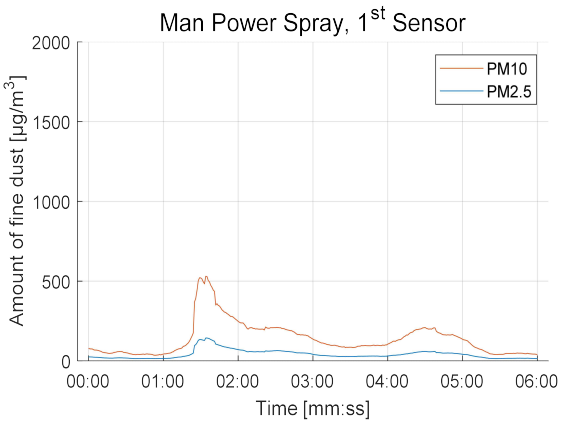
3rd Sensor



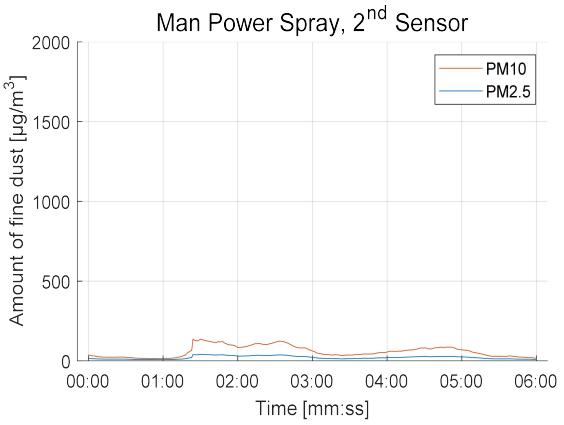
4th Sensor

구 분	1st sensor		2nd sensor		3rd sensor		4th sensor	
	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10
Δd	179.9	744.2	124.1	475.1	28.4	105.8	25.5	114.1
최소	24.1	65.7	15.1	20.3	10.8	19.9	16.7	31.6
최대	204	809.9	139.2	495.4	39.2	125.7	42.2	145.7

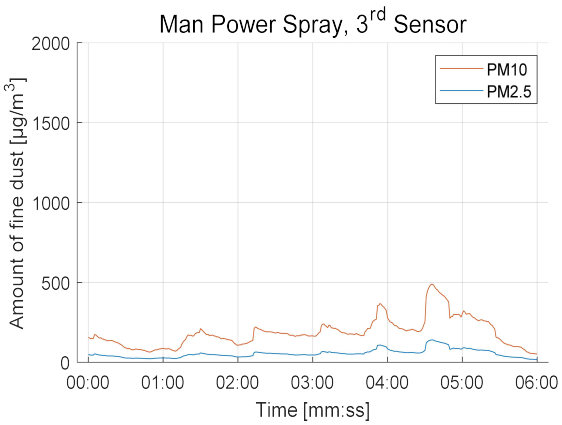
[분진 발생기 이용 검증 - No 분사 계측 결과]



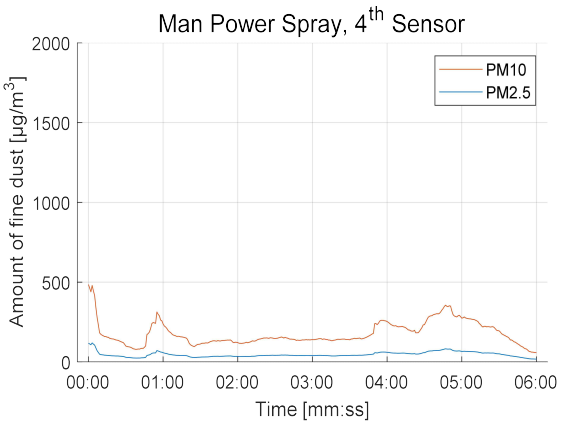
1st Sensor



2nd Sensor



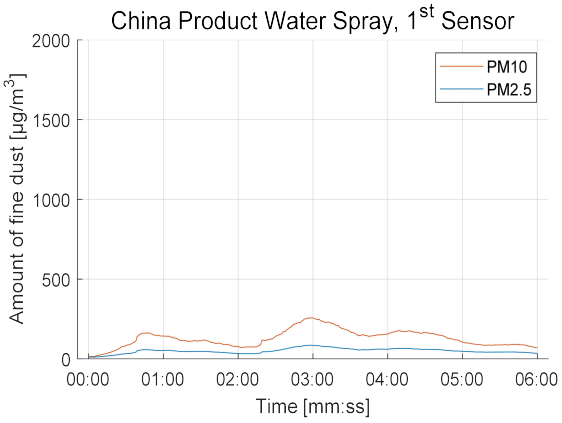
3rd Sensor



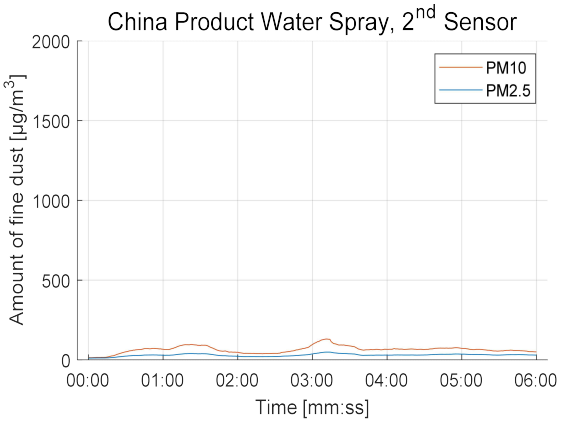
4th Sensor

구 분	1st sensor		2nd sensor		3rd sensor		4th sensor	
	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10
Δd	129.2	494.8	33.1	123.1	122.8	435.3	101.4	427.2
최소	14.6	35.8	8.5	14.1	17.6	52.6	17.9	58
최대	143.8	530.6	41.6	137.2	140.4	487.9	119.3	485.2

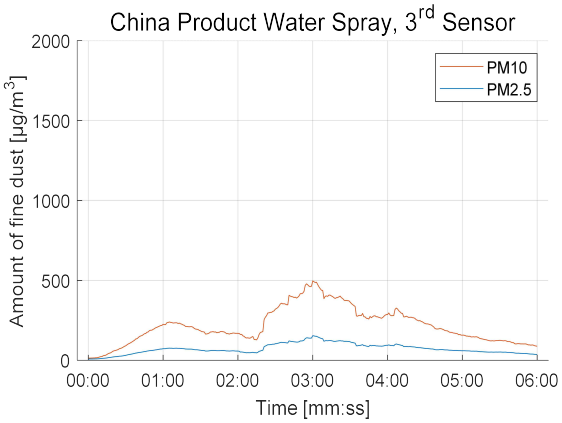
[분진 발생기 이용 검증 – 인력 살수 계측 결과]



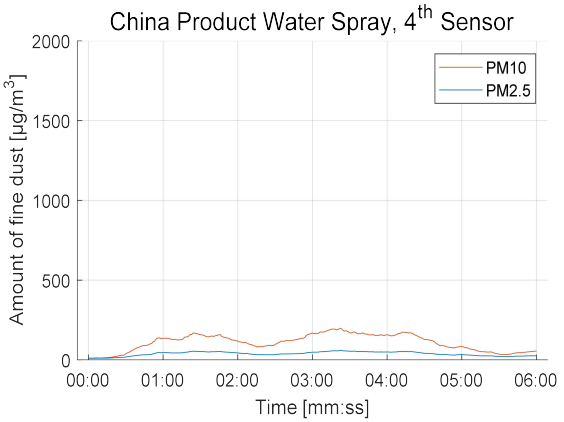
1st Sensor



2nd Sensor



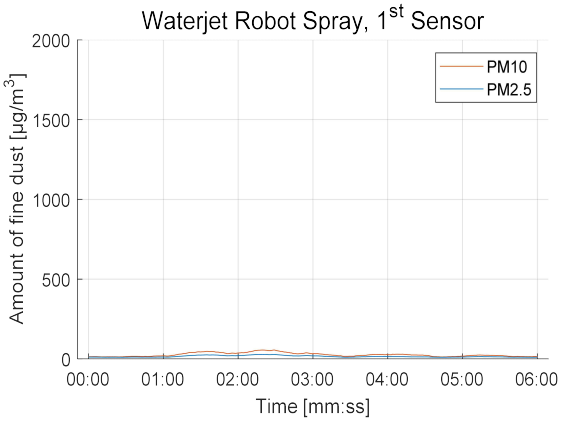
3rd Sensor



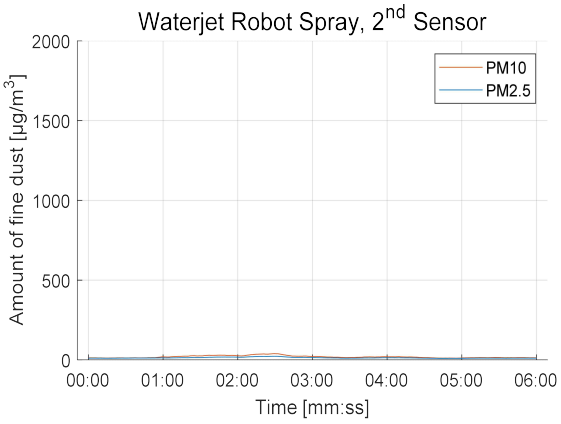
4th Sensor

구 분	1st sensor		2nd sensor		3rd sensor		4th sensor	
	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10
Δd	74.8	245	37.8	116.8	146.3	483.8	49.3	185.9
최소	11.5	13.3	11.5	14.4	8.3	13.1	10.3	11.3
최대	86.3	258.3	49.3	131.2	154.6	496.9	59.6	197.2

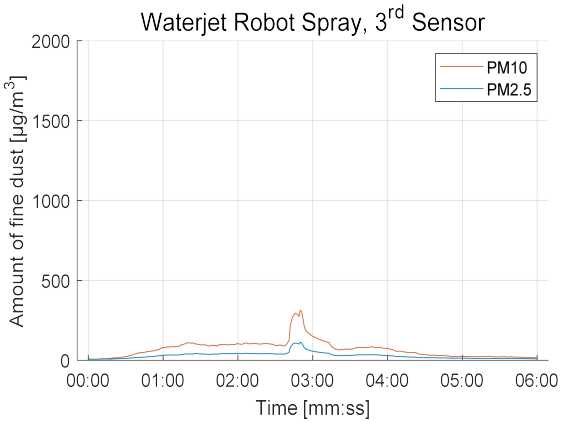
[분진 발생기 이용 검증 – 중국 DSS 기술(RD40) 계측 결과]



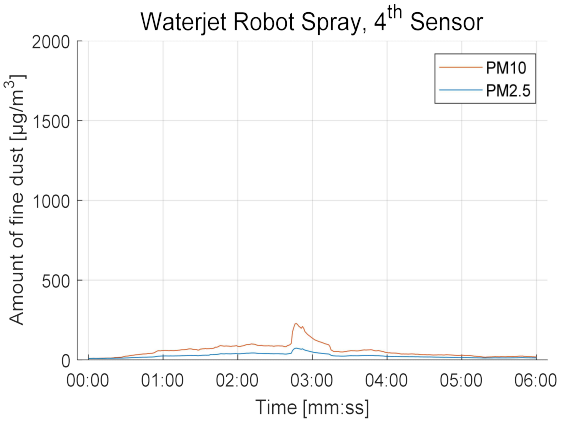
1st Sensor



2nd Sensor



3rd Sensor



4th Sensor

구 분	1st sensor		2nd sensor		3rd sensor		4th sensor	
	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10
Δd	18.1	43.6	13.5	28	106.8	306.7	64.7	218.6
최소	10.3	12.5	9.7	11.3	7	7.4	9.3	9.9
최대	28.4	56.1	23.2	39.3	113.8	314.1	74	228.5

[분진 발생기 이용 검증 – 개발 기술 계측 결과]

[그림 2.101] 분진 발생기 이용 검증 결과

[검증방법 2] 분진막 이용 파쇄 시험 미세먼지 저감 효율 검증



[그림 2.102] 분진막 이용 파쇄 검증시험에 사용된 시험체 제원 및 시험체 준비장면

- 그림 2.102는 시험에 사용된 시험체 및 시험체 준비과정을 보여 주고 있으며, 분진막 내의 파쇄 시험체를 준비하기 위하여 산성우천교 PSC 거더를 다이아몬드 와이어쏘를 이용하여 L=2.5m 길이로 절단하여 시험체를 준비하였음.
- 그림 2.103은 시험에 사용된 분진막 설치 사진이며, 파쇄 시험체를 분진막 내에 세팅한 장면을 보여 주고 있음.

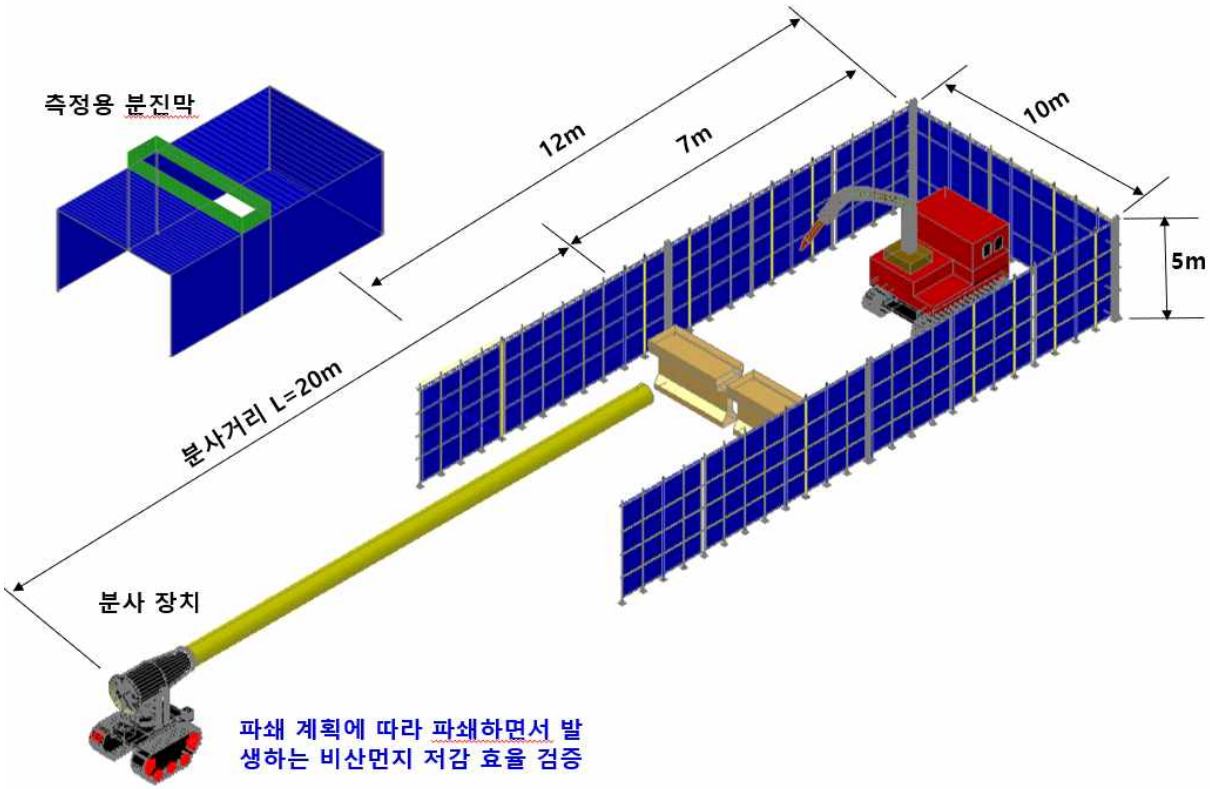


(a) 분진막 설치 사진



(b) 파쇄 시험체 설치 장면

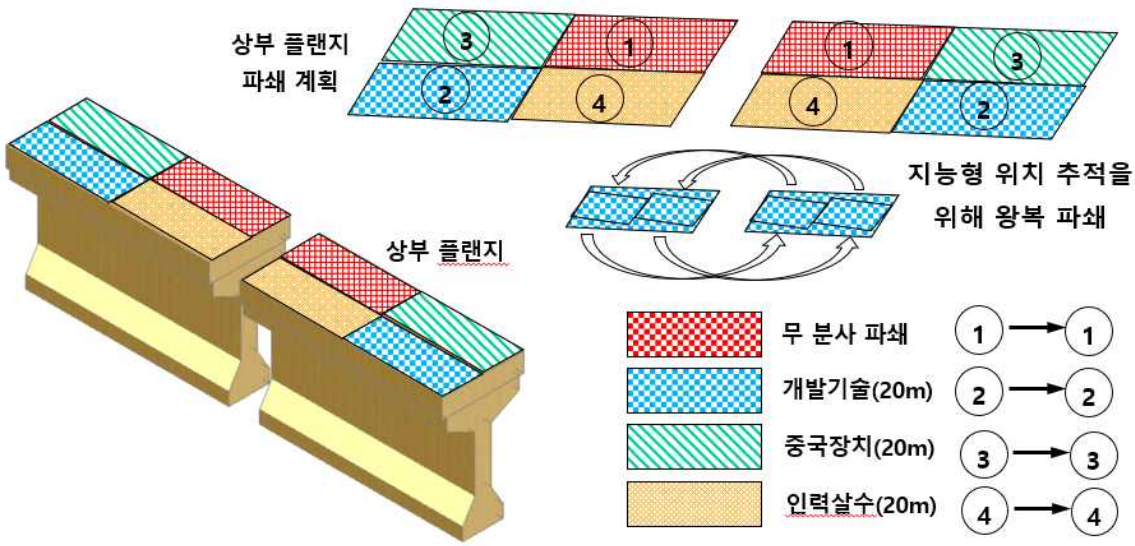
[그림 2.103] 분진막 및 파쇄 시험체 설치 장면



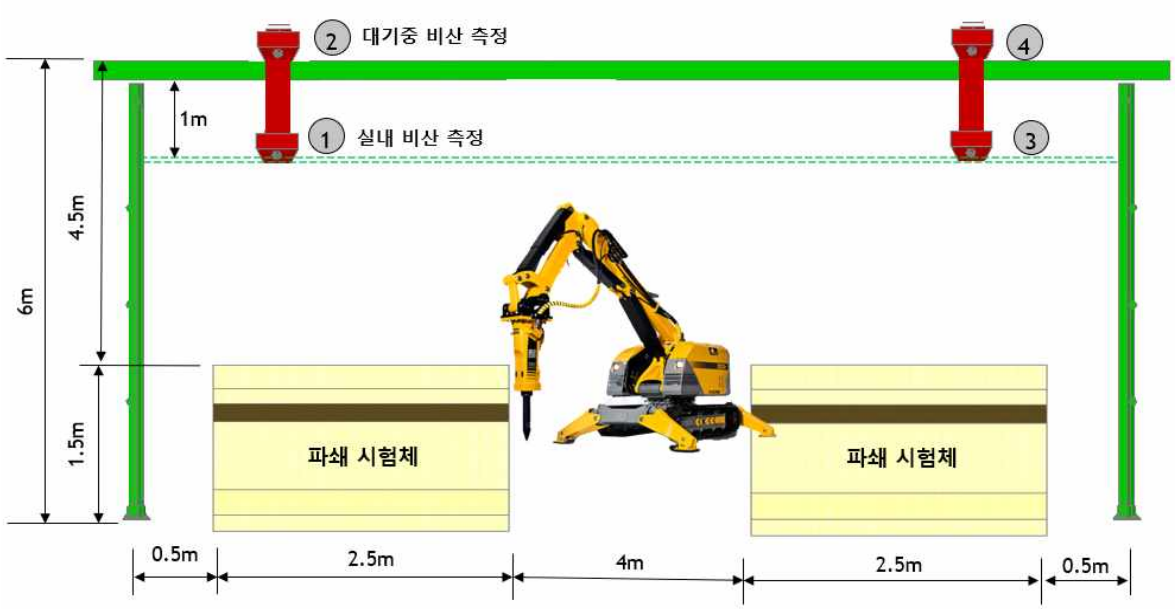
[그림 2.104] 분진막 이용 파쇄 시험 검증 개요

- 그림 2.104는 분진막 이용 파쇄 시험 검증 개요를 나타낸 것으로 시험 목적은 분진막 이용 파쇄 발생 미세먼지 저감효율 비교 검증이며, 시험에 사용된 파쇄 장비는 03W 뿌레카 파쇄 장비를 이용하였음.
- 시험 방법은 그림 2.105의 파쇄 계획에 따라 파쇄하면서 발생하는 미세먼지를 측정하였으며, 지면에서부터 동일한 위치의 파쇄를 위해 상부 플랜지를 파쇄 시험하였음.
- 분사거리는 중국장치와 개발기술은 최대 분사거리가 40m이지만, 인력살수방식의 고압 살수기의 최대 분사거리 20m를 고려하여, 분사거리는 20m로 동일하게 적용하였음.

- 그림 2.105는 파쇄 계획을 보여 주고 있으며, L=2.5m 시험체 2개에 각각의 상부 플랜지를 4등분하여 ①➜①은 No 분사 파쇄, ②➜②는 개발기술 파쇄, ③➜③은 중국장치 파쇄, ④➜④는 인력살수 파쇄 시험을 각각 행하였음.



[그림 2.105] 파쇄 계획

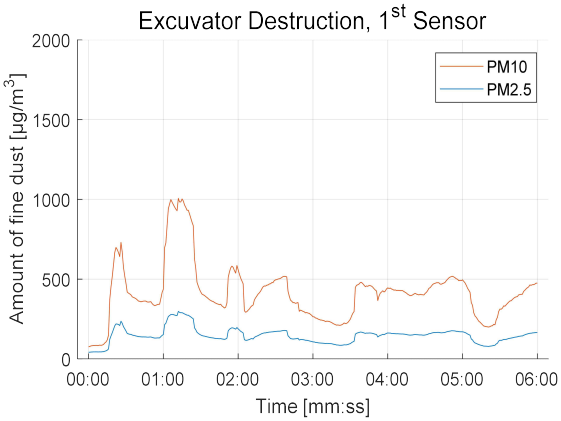


[그림 2.106] 분진막 이용 파쇄 시험 계측 계획 모식도

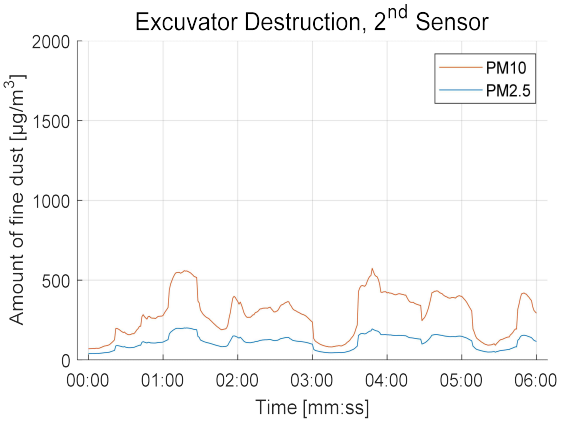
- 그림 2.106은 분진막 이용 파쇄 시험 계측 계획 모식도이며, 계측 계획은 상기 분진 발생기 이용 계측 계획과 동일한 방법으로 계측을 하였으며, 파쇄에 의해서, 발생된 분진이 분진막내의 분진출구를 통해 외부로 유출하는 위치에 미세먼지 계측기를 설치하여 계측하였음.
- 그림 2.107은 분진막 이용 파쇄 시험 미세먼지 저감 효율 검증 장면을 나태 내고 있으며, 그림 2.108은 분진막 이용 파쇄 시험 미세먼지 저감 효율 검증 시험 결과를 보여 주고 있음.

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>(a) No 분사</td><td>(b) 인력살수(고압살수)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>(c) 중국 DSS 기술(RD40)</td><td>(d) 개발기술(KD40)</td></tr>
</table>

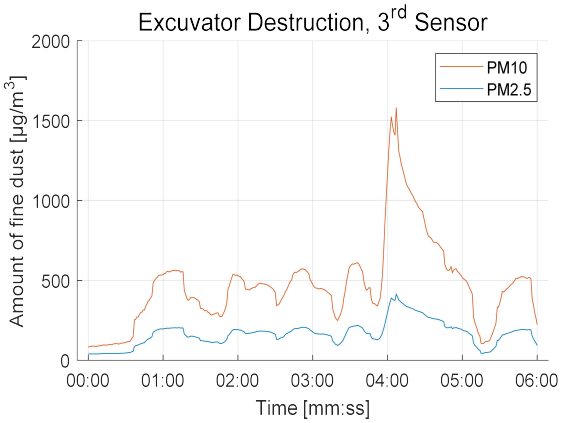
[그림 2.107] 분진막 이용 파쇄 시험 미세먼지 저감 효율 검증 장면



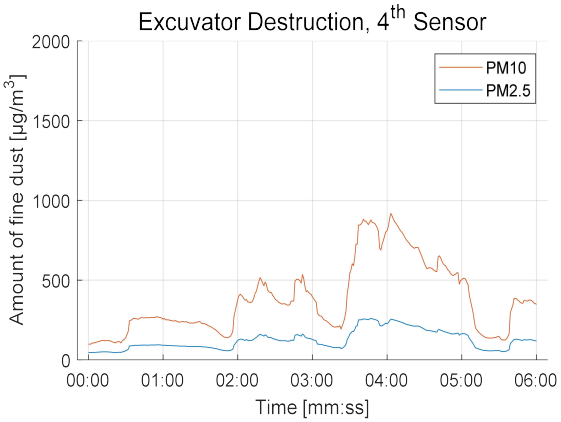
1st Sensor



2nd Sensor



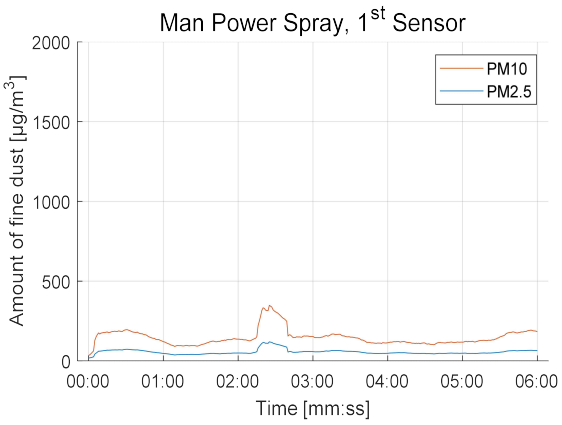
3rd Sensor



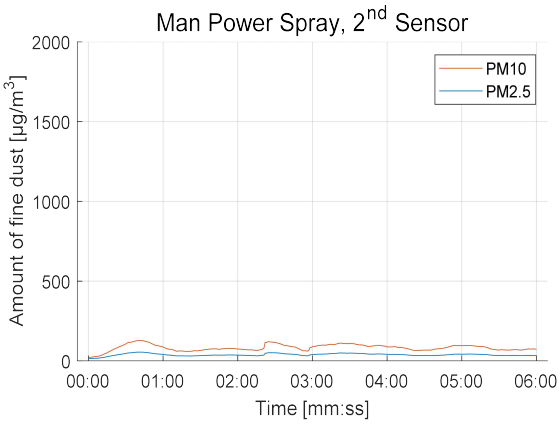
4th Sensor

구 분	1st sensor		2nd sensor		3rd sensor		4th sensor	
	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10
Δd	255.8	930.4	161.2	504.2	375.2	1495	215	819.8
최소	42.1	75.9	39.5	70.1	39.9	84.4	46	99
최대	297.9	1006.3	200.7	574.3	415.1	1579.4	261	918.8

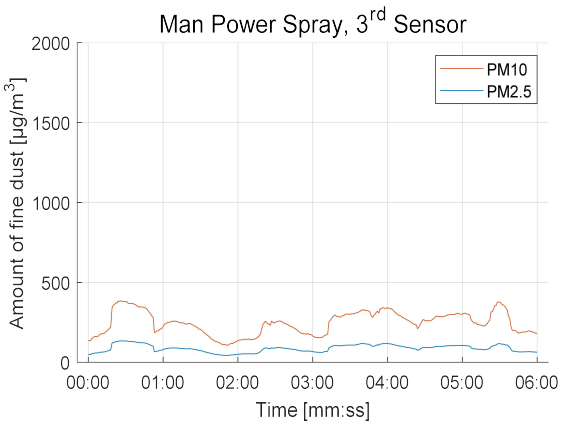
[분진막 이용 파쇄 시험 검증 - No 분사 계측 결과]



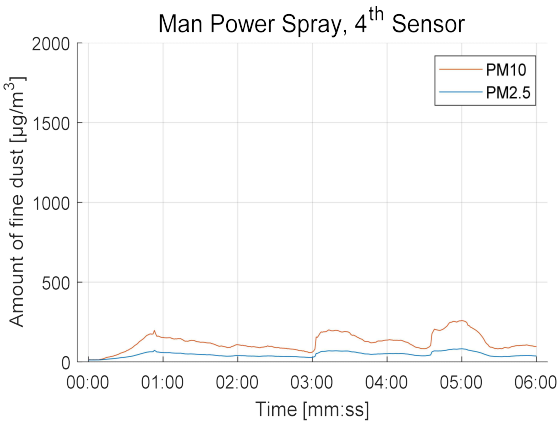
1st Sensor



2nd Sensor



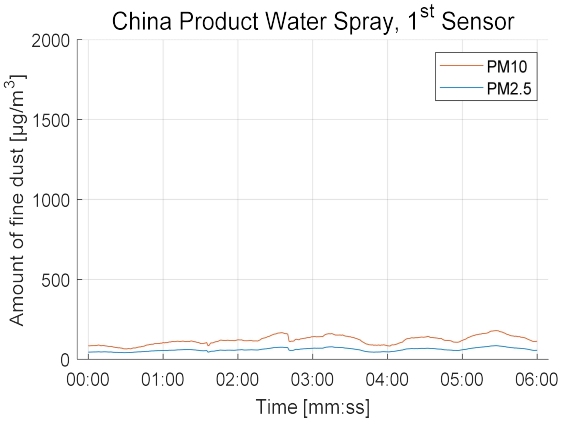
3rd Sensor



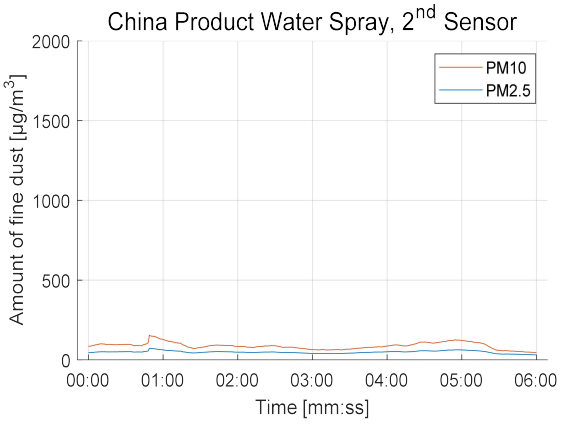
4th Sensor

구 분	1st sensor		2nd sensor		3rd sensor		4th sensor	
	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10
Δd	101.3	314.1	40.6	107.3	91.6	277.4	70.2	245.9
최소	18.3	34.4	14.8	21	43.2	106.8	12.4	13.7
최대	119.6	348.5	55.4	128.3	134.8	384.2	82.6	259.6

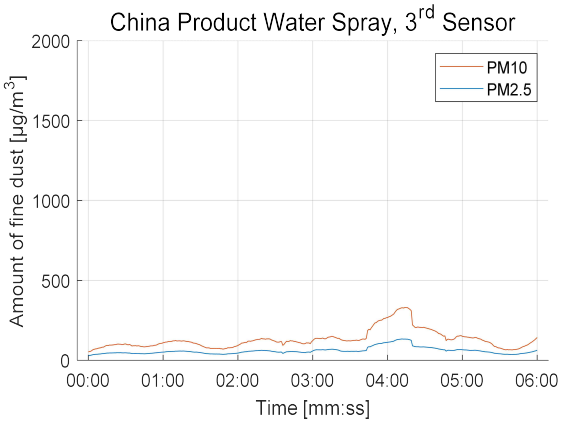
[분진막 이용 파쇄 시험 검증 – 인력 살수 계측 결과]



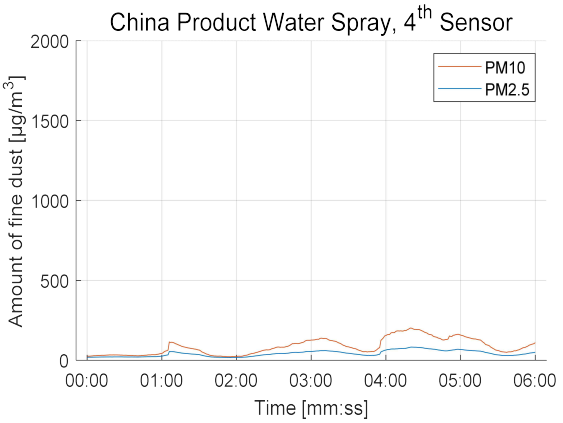
1st Sensor



2nd Sensor



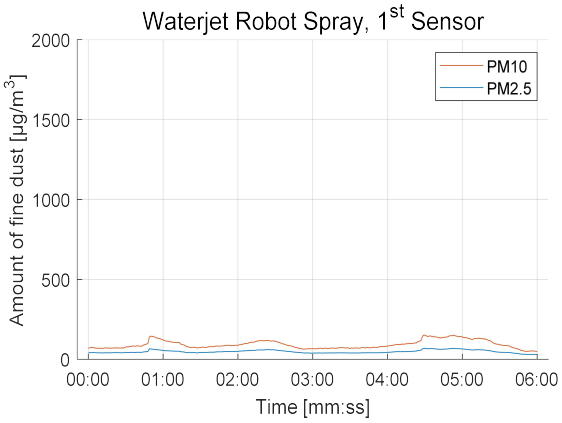
3rd Sensor



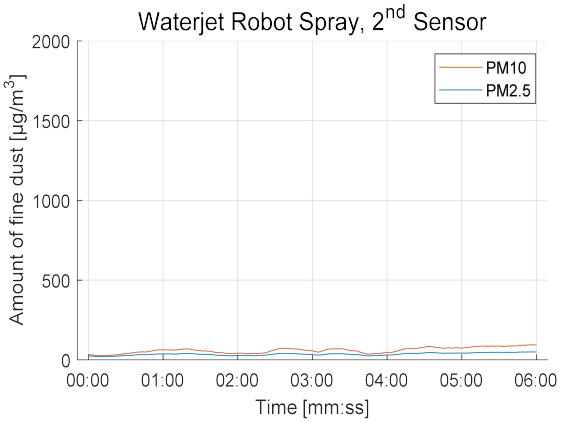
4th Sensor

구 분	1st sensor		2nd sensor		3rd sensor		4th sensor	
	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10
Δd	43.9	114.7	40.6	109.3	104.1	278.4	65.4	180.4
최소	41.7	65.2	31.8	45.4	29.6	52.5	17.5	22.2
최대	85.6	179.9	72.4	154.7	133.7	330.9	82.9	202.6

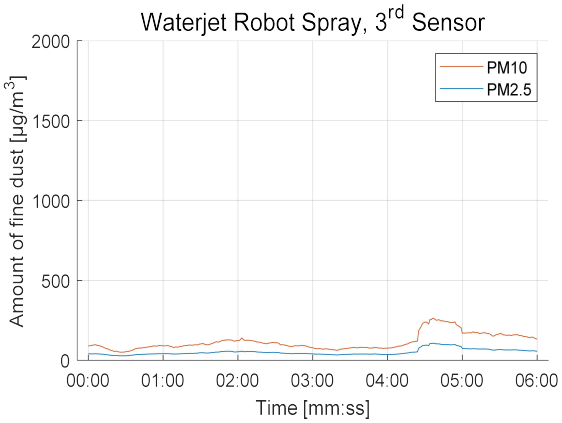
[분진막 이용 파쇄 시험 검증 – 중국 DSS 기술(RD40) 계측 결과]



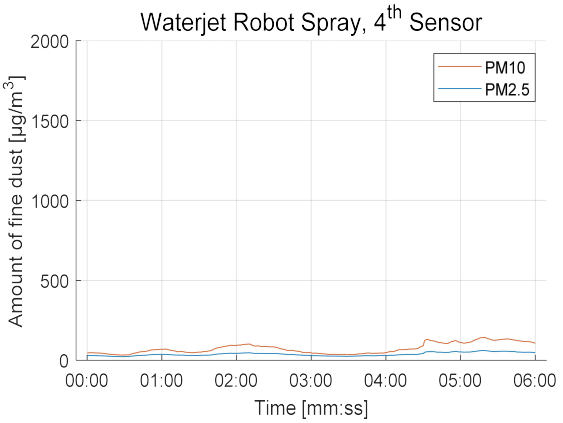
1st Sensor



2nd Sensor



3rd Sensor



4th Sensor

구 분	1st sensor		2nd sensor		3rd sensor		4th sensor	
	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10
Δd	38.6	102	29.5	68.3	78.4	212	38.3	111.1
최소	30.5	49.8	21	26.7	28.4	50.9	23.1	32.9
최대	69.1	151.8	50.5	95	106.8	262.9	61.4	144

[분진막 이용 파쇄 시험 검증 – 신청 기술(40m) 계측 결과]

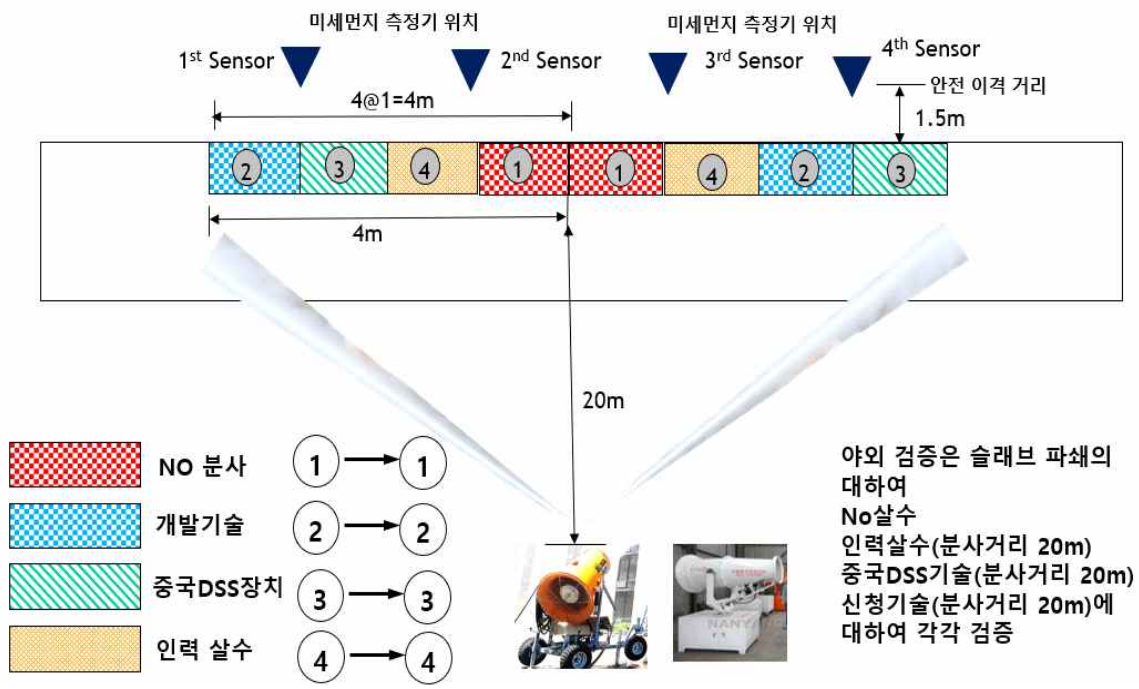
[그림 2.108] 분진막 이용 파쇄 시험 미세먼지 저감 효율 검증 시험 결과

[검증방법 3] 야외 파쇄 시험 미세먼지 저감 효율 검증

- 야외 파쇄 검증은 실제로 야외 파쇄 현장에 적용하는 것을 목적으로 하였음.



[그림 2.109] 야외 검증에 사용된 시험체



[그림 2.110] 야외 파쇄 시험 검증 계획

- 야외 파쇄 검증은 국토교통부 ”노후 교량 장수명화 연구단“의 노후 PSC 거더 교량인 산성우천교 파쇄 처리 시험체를 대상으로 검증을 하였으며, 그림 2.109는 야외 검증에 사용된 시험체를 보여 주고 있음
- 검증은 No 분사, 40m급 개발기술, 40m급 중국 DSS 기술 그리고 현재 현장에서 가장 많이 사용되는 고압살수기에 의한 인력 살수의 4가지 경우에 대해 미세먼지 저감 효율을 각각 비교 검

증하였음.

- 그림 2.110은 파쇄 공사에 대한 계측 계획이며, 분사거리는 분진막 이용 실내 파쇄 검증의 경우와 동일하게 20m로 하였으며, 파쇄 작업에서 혹시 모를 전도에 대한 안전을 고려 안전 이격거리 1.5m 위치에 4개의 미세먼지 측정 계측기를 설치하였음.

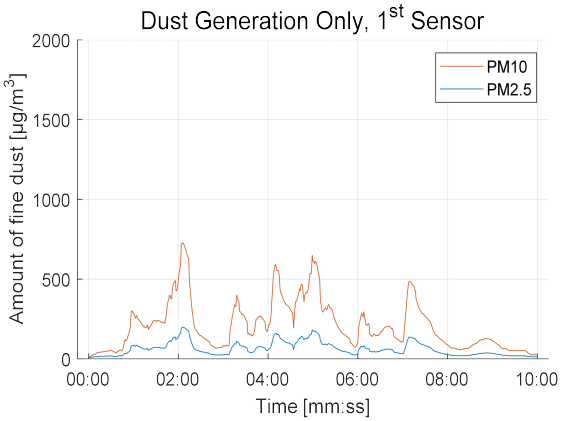
<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>시험체 전경</td><td>계측기 설치 장면</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>장치 세팅</td><td>시험 후 전경</td></tr>
</table>

[그림 2.111] 야외 파쇄 검증 장치 및 계측기 설치 사진

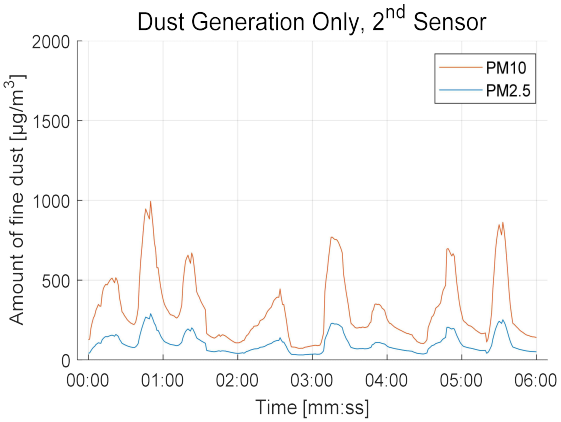
- 파쇄는 전체 25m 시험체의 8m구간을 8등분하여 ①➜①은 No 분사 파쇄, ②➜②는 개발기술 파쇄, ③➜③은 중국장치 파쇄, ④➜④는 인력살수 파쇄 시험을 각각 행하였음.
- 그림 2.111은 야외 파쇄 검증 계측기 및 장치 설치 사진을 보여 주고 있으며, 그림 2.112는 야외 파쇄 검증 시험 장면을 보여 주고 있음
- 야외 파쇄 검증 시험의 시험 결과는 그림 2.113에 나타내었음

	
No 분사	인력 살수
	
중국 DSS 기술(RD40)	개발기술(KD40)

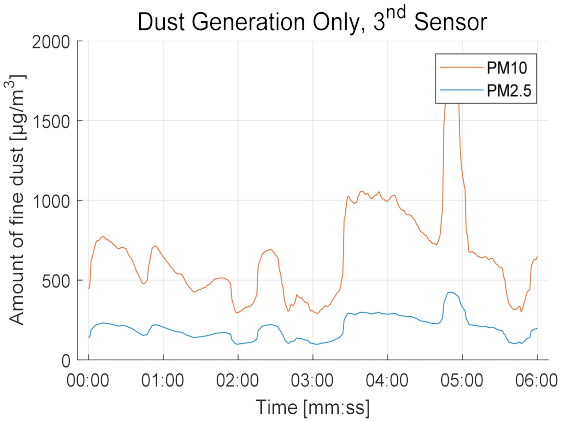
[그림 2.112] 야외 파쇄 검증 장면



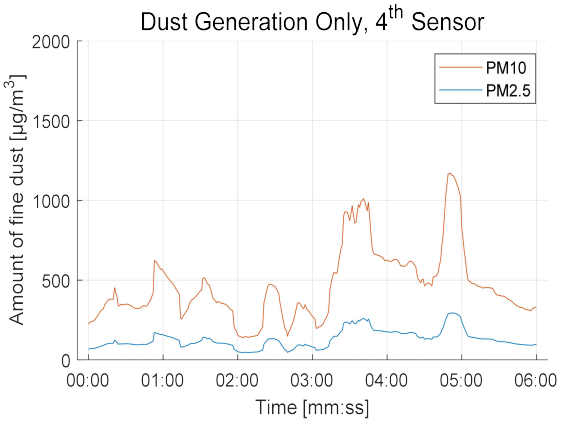
1st Sensor



2nd Sensor



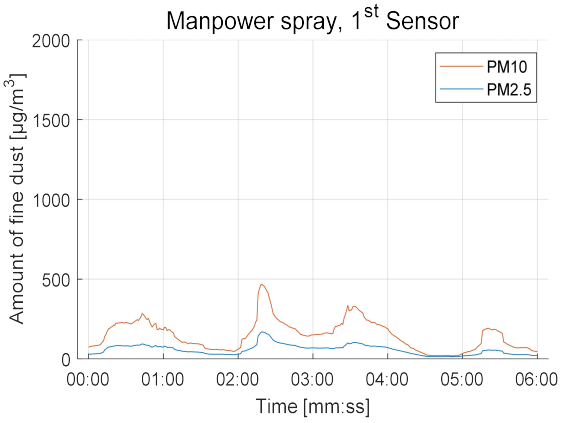
3rd Sensor



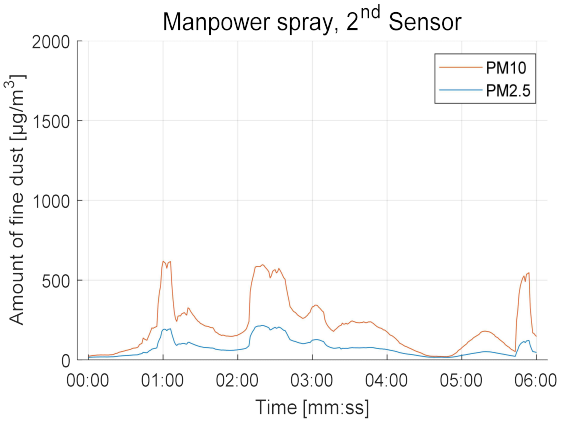
4th Sensor

구 분	1st sensor		2nd sensor		3rd sensor		4th sensor	
	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10
Δd	189.2	713.3	258.9	921.7	326.5	1551.2	248.6	1030.5
최소	9.1	12.8	31.4	72.9	98	292.2	46.7	140.3
최대	198.3	726.1	290.3	994.6	424.5	1843.4	295.3	1170.8

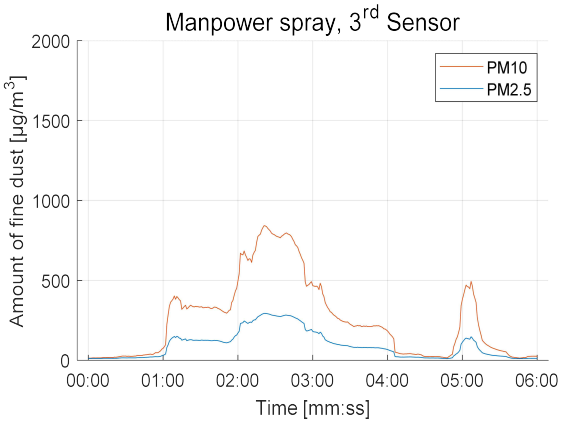
[야외 파쇄 시험 검증 - No 분사 계측 결과]



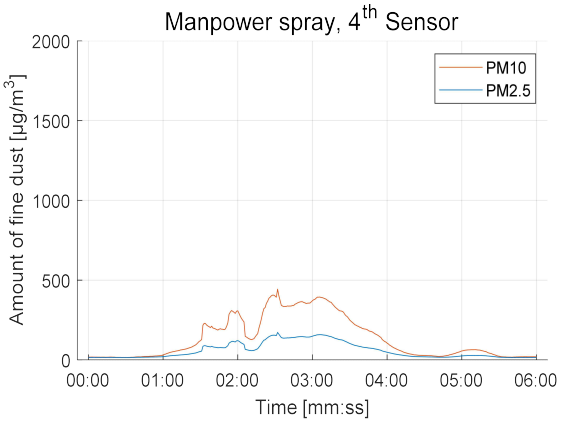
1st Sensor



2nd Sensor



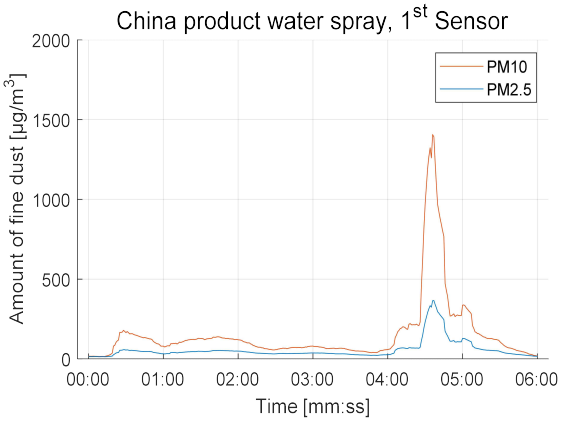
3rd Sensor



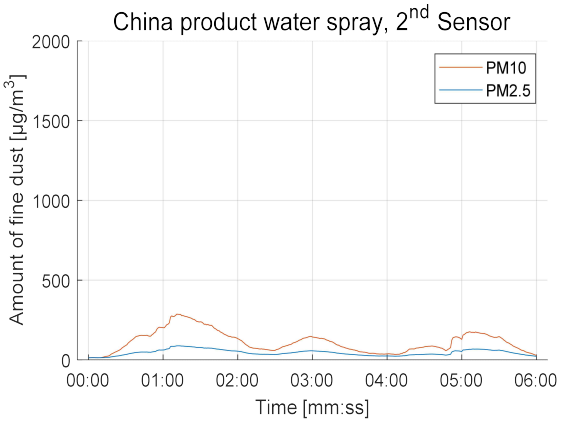
4th Sensor

구 분	1st sensor		2nd sensor		3rd sensor		4th sensor	
	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10
Δd	155.9	449.3	199.2	598.4	283.3	830.2	157.8	428
최소	13.9	19.4	16.3	20.6	10.6	12.3	14.8	15.8
최대	169.8	468.7	215.5	619	293.9	842.5	172.6	443.8

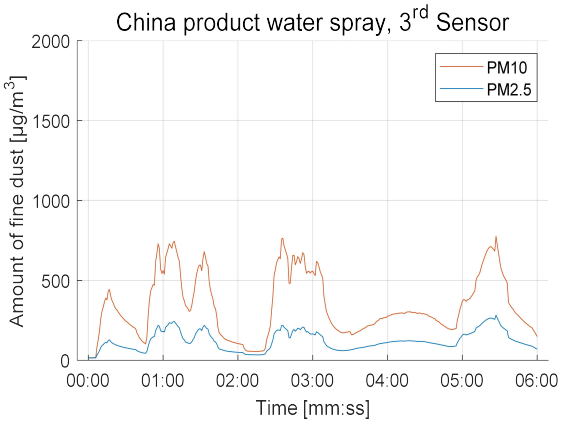
[야외 파쇄 시험 검증 – 인력 살수 계측 결과]



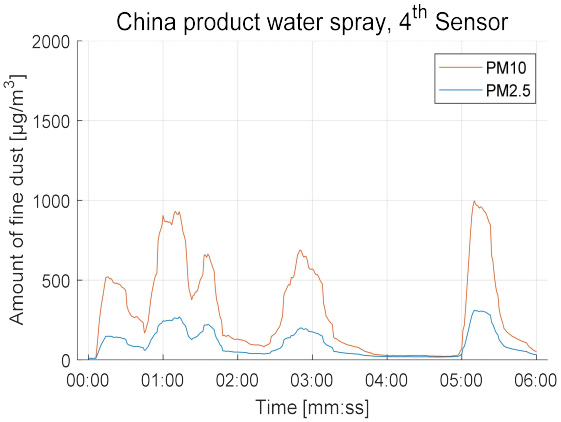
1st Sensor



2nd Sensor



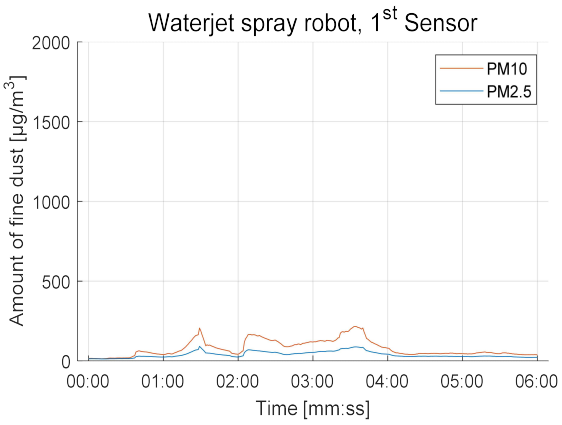
3rd Sensor



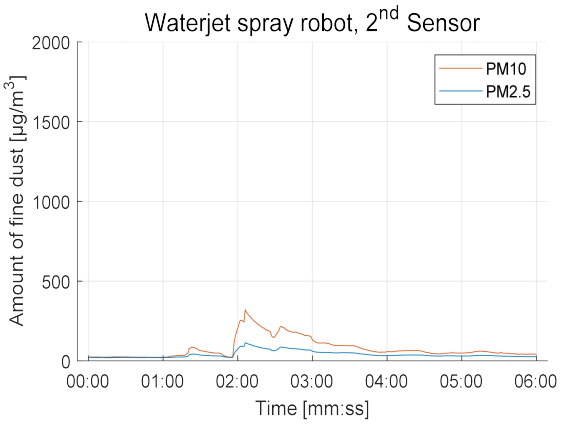
4th Sensor

구 분	1st sensor		2nd sensor		3rd sensor		4th sensor	
	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10
Δd	351.8	1390.6	74.8	272.5	267.7	759.8	300.2	986.5
최소	14	15.7	13.8	14.5	15	16.4	10.1	10.7
최대	365.8	1406.3	88.6	287	282.7	776.2	310.3	997.2

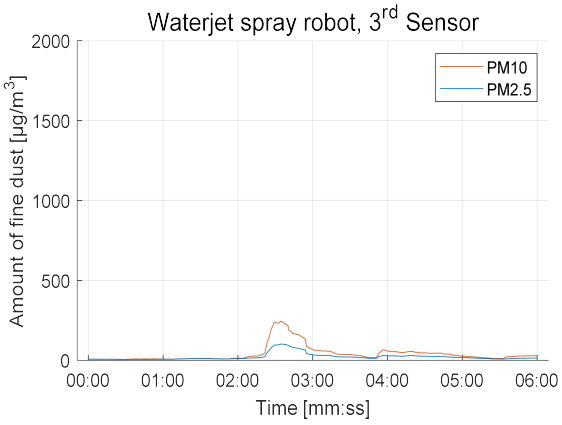
[야외 파쇄 시험 검증 – 중국 DSS 기술(RD40) 계측 결과]



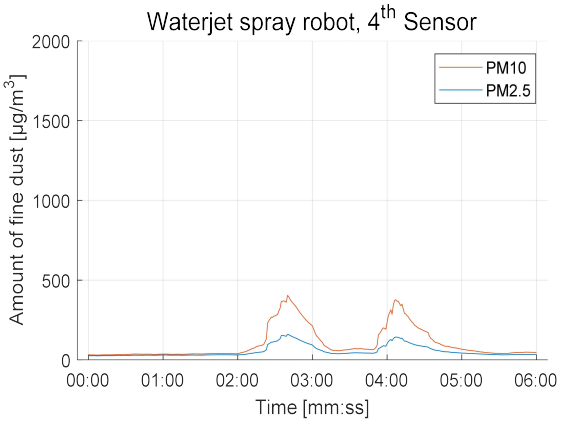
1st Sensor



2nd Sensor



3rd Sensor



4th Sensor

구 분	1st sensor		2nd sensor		3rd sensor		4th sensor	
	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10
Δd	78.8	201.6	94.7	298.9	96.1	237.6	135.1	374.2
최소	12.7	14.2	20.5	22.6	5.9	6.1	25.9	30.5
최대	91.5	215.8	115.2	321.5	102	243.7	161	404.7

[야외 파쇄 시험 검증 – 신청 기술(KD40) 계측 결과]

[그림 2.113] 야외 파쇄 시험 검증

② 전력 소모량 및 물 소모량 검증

- 전력 소모량 및 물 소모량 측정 시험의 목적은 기존 인력살수방식, 해외 중국 DSS 장치(China, RD40)와 개발기술(KD40)과의 성능 비교가 목적이며, 전력 및 물 소모량 측정 시험은 분사장치가 각각 동일 시간인 6분 동안 분사하였을 때 소모되는 물 및 전력을 측정하였음.



[그림 2.114] 전력 및 물 소모량 측정 개요



[그림 2.115] 시험에 사용된 물 및 전력 소모량 측정 장치

- 전력 측정시험은 고압살수기는 휘발유에 의한 엔진식 형태이기 때문에 중국장치와 개발기술을 각각 비교 검증하였으며, 물 소모량 측정은 고압살수기, 중국 DSS 장치, 개발기술 각각에 대하여 물 소모량을 검증하였으며, 그림 2.116은 전력 소모량 측정 장면을 보여 주고 있음.
- 그림 2.117은 전력 소모량 측정 시험 결과를, 그림 2.118은 물 소모량 측정 시험 결과를 보여주고 있음.



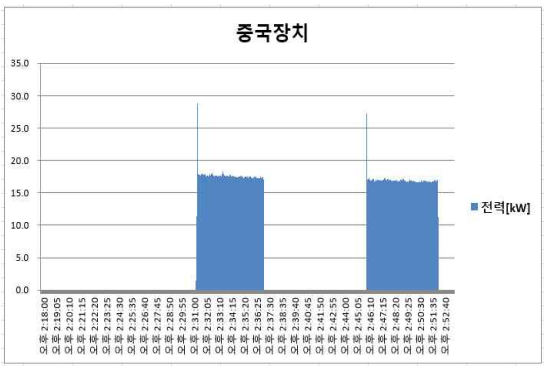
중국DSS기술(RD40) 전력 측정 장면



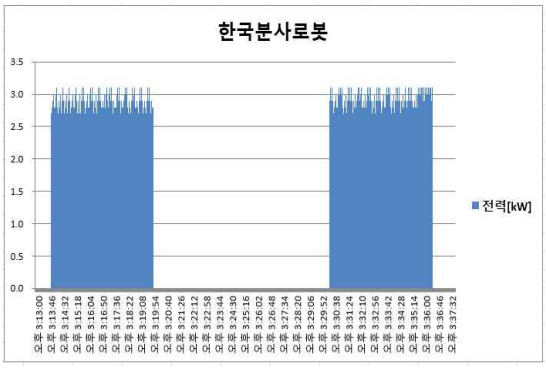
개발기술(KD40) 전력 측정 장면

[그림 2.116] 전력 소모량 측정 장면

전력 소모량 측정 시험 결과	
항 목	전력(KW/Hr)
중국 DSS 기술(RD40)	17.6
개발 기술(KD40)	2.8



중국 DSS 기술(RD40)



개발 기술(KD40)

[그림 2.117] 전력 소모량 측정 시험 결과





구 분	측정 결과				
	초기값(분사 전 눈금)		측정값(6분 분사 후 눈금)		물 소모량 (l/min)
	물 눈금	시간(분)	물 눈금	시간(분)	
중국 DSS 기술(RD40)	705	0	580	6	20.8
개발기술(KD40)	615	0	525	6.02	15
인력 살수	910	0	755	6	25.8

[그림 2.118] 물 소모량 측정 시험 결과

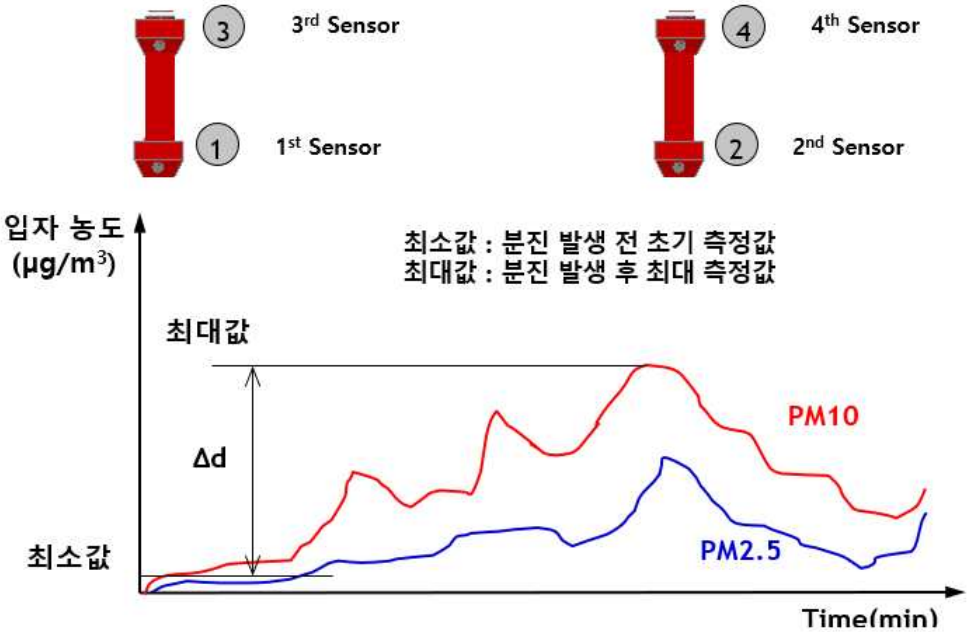
③ 종합 분석

- 상기 미세먼지 저감 효율 및 전력과 물 소모량 검증 시험에 대한 종합적인 결과 분석은 그림 2.200에 나타내었음.

[표 2.7] 미세먼지 저감 효율 시험 결과 종합 분석

시험항목	시험조건		PM2.5 ($\mu g/m^3$)	PM10 ($\mu g/m^3$)	PM2.5/PM10 Δd평균 ($\mu g/m^3$))
			Δd 평균	Δd 평균	
미세먼지 저감 효율	방법① 분진 발생기 이용 검증	No 분사	89	360	225
		인력 살수	97	370	234
		중국 DSS 기술	77	258	168
		개발기술	51	149	100
	방법② 분진막 이용 파쇄 검증	No 분사	252	937	595
		인력 살수	76	236	156
		중국 DSS 기술	64	171	118
		개발기술	46	123	85
	방법③ 야외 파쇄 검증	No 분사	256	1054	655
		인력 살수	199	576	388
		중국 DSS 기술	249	852	551
		개발기술	101	278	190

- 표 2.7은 미세먼지 저감 효율 시험 결과를 종합 정리한 것이며, 표 2.7의 Δd값은 최대값-최소값이며, 그림 2.119에서 보는 바와 같이 Δd평균은 측정 센서 4개에 대해 각 센서마다 최대값-최소값의 평균값이며, 최소값은 분사전 초기값을 나타내며, 최대값은 분사가 발생하는 동안 계측된 최대값을 나타냄.



[그림 2.119] Δd(최대값-최소값) 정의

- 중국 DSS 기술, 인력살수, 개발기술에 대한 저감 효율 분석은 No 분사 기준 상대 비교로써, 비교 결과는 아래 표 2.8에 나타내었으며, 아래 표2.8의 저감효율은 (((No분사-비교기술)/No분사)*100)으로 계산한 No분사 기준 비교값임.

[표 2.8] 미세먼지 저감 효율 시험 결과 종합 분석

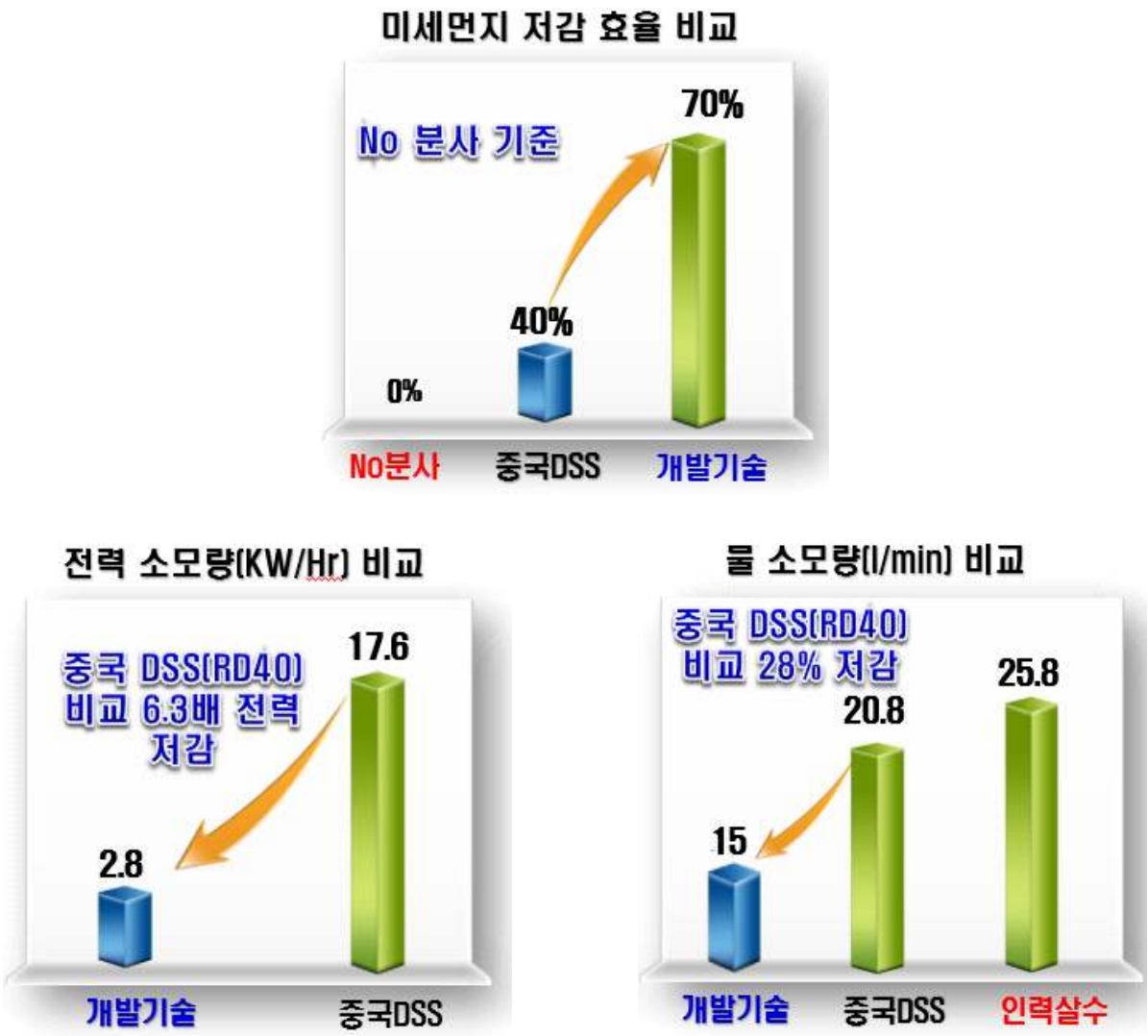
구분	방법① 분진 발생기 이용 검증(%)	방법② 분진막 이용 파쇄 검증 (%)	방법③ 야외 파쇄 검증 (%)	저감효율 분석 (%) (①②③평균)
No분사VS중국	25.5	80.3	16.0	41
No분사VS개발	55.5	85.7	71.0	71
No분사VS인력	-3.9	73.8	40.8	37

[표 2.9] 전력 및 물 소모량 시험 결과 종합

시험항목	시험조건	전력 소모량 (KW/Hr)	물 소모량(ℓ/min)
전력 소모량 및 물 소모량	중국 DSS 기술 (China RD40, 40m급)	17.6	20.8
	개발 기술(KD40, 40m급)	2.8	15.0
	인력 살수	-	25.8

- 전체 시험 결과를 토대로 미세먼지 저감효율을 비교해 보면, 개발기술은 No 분사 기준 71% 미세먼지를 저감하는 것으로 분석되었으며, 중국 DSS 기술(RD40제품)은 No 분사 기준 41%의 미세먼지를 저감하는 것으로 분석되어서, 종합해 보면 개발기술(KD40)은 중국 DSS 기술에 비해 30% 이상의 건설현장에서 발생하는 미세먼지를 저감하는 것으로 나타났음.

- 표 2.9는 전력소량 및 물 소모량 측정 결과를 종합 정리한 것이며, 전력 소모량은 중국 DSS 기술(RD40) 비교 6.28배 저감하는 것으로 나타났고, 물 소모량은 중국 DSS 기술(RD40) 비교 28% 저감하는 것으로 나타났음.
- 전력 소모량에서 크게 차이가 나는 원인 중 하나는 분사장치 구성 중 가장 크게 전력을 차지하는 송풍 팬 모터가 중국장치는 AC 7.5KW 팬 모터이고, 개발기술은 BLDC 3.5KW 모터이기 때문인 것으로 분석됨.



[그림 2.120] 전체 검증 시험 결과 비교 분석

- 그림 2.121은 미세먼지 저감 효율 시험 성적서를, 그림 2.122는 전력 및 물 소모량 측정 시험 성적서를 보여 주고 있음.

시 험 성 적 서
TEST REPORT

접 수 번 호 : KCMC2021-054　　접 수 일 자 : 2021년 7월 20일
신 청 인 : (주)케이씨티이엔씨
주 소 : 서울 금천구 가산디지털1로 30 (가산동) 606호

시 험 결 과

시험항목	시험방법	시험조건		PM2.5 ($\mu g/m^3$) Δd 평균	PM2.5 ($\mu g/m^3$) 최대값 평균	PM10 ($\mu g/m^3$) Δd 평균	PM10 ($\mu g/m^3$) 최대값 평균	비 고
미세먼지 저감 효율	의뢰자 제시	분진 발생기 이용 검증	No 분사	89	106	360	394	
			인력 살수	97	111	370	410	
			중국장치 (40m급)	77	87	258	271	
			개발기술 (40m급)	51	60	149	160	
		분진막 이용 파쇄 검증	No 분사	252	294	937	1 019	
			인력 살수	76	98	236	280	
			중국장치 (40m급)	64	94	171	217	
			개발기술 (40m급)	46	72	123	163	
		야외 파쇄 검증	No 분사	256	302	1 054	1 184	
			인력 살수	199	213	576	594	
			중국장치 (40m급)	249	262	852	867	
			개발기술 (40m급)	101	117	278	296	

끝.

비고: 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과이며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
2. 이 성적서는 첨단건설재료실험센터의 사전 서면동의 없이 홍보·선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없습니다.
3. 이 성적서의 시험결과는 KOLAS 인정과 관련 없음을 밝힙니다.

담 당 자: 장 석 수 (053-580-6700)

2021년 8월 19일

국토교통부 분산공유형실험시설
계명대학교 첨단건설재료실험센터장 (인)

주소: 704-701 대구시 달서구 달구벌대로 1095, 전화번호: 053-580-6700, http://comtec.koced.or.kr

10-1　　F-P-14-03(0)

[그림 2.121] 미세먼지 저감 효율 시험 성적서

COMTEC
첨단건설재료실험센터

시험성적서
TEST REPORT

접 수 번 호 : KCMC2021-055　　접 수 일 자 : 2021년 7월 20일
신 청 인 : (주)케이씨티이엔씨
주 소 : 서울 금천구 가산디지털1로 30 (가산동) 606호

시 험 결 과

시험항목	시험방법	시험조건	전력 소모량 (KW/Hr)	물 소모량 (ℓ/min)	비 고
전력 소모량 및 물 소모량	의뢰자 제시	중국장치(40m급)	17.6	20.8	
		개발기술(40m급)	2.8	15.0	
		인력 살수	-	25.8	

끝.

비고: 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과이며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
2. 이 성적서는 첨단건설재료실험센터의 사전 서면등의 없이 홍보·선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없습니다.
3. 이 성적서의 시험결과는 KOLAS 인정과 관련 없음을 밝힙니다.

담 당 자: 장 석 수 (053-580-6700)

2021년 8월 19일

국토교통부 분산공유형실험시설
계명대학교 첨단건설재료실험센터장 (인)

주소: 704-701 대구시 달서구 달구벌대로 1095, 전화번호: 053-580-6700, http://comtec.kocad.or.kr

[그림 2.122] 전력 및 물 소모량 측정 시험 성적서

○ 당초 대비 추가 연구

① 터치 스크린 기반 컨트롤 간략화 기술

- 상기 전술한 미스트 분사 장비의 UI(User Interface)는 LabVIEW(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) 개발 환경에서 프로그래밍 되었으나, 개발자 모드를 이용한 프로그램만이 적용되어 LabVIEW 전문 인력을 제외하면 사용하기 어려웠었음.



[그림 2.123] LabView 프로그램

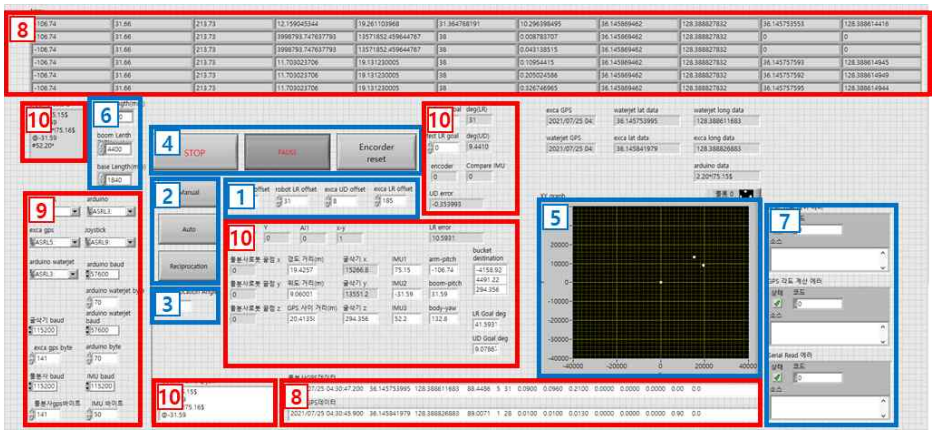
- 실제 건설현장에서 LabVIEW 전문 인력이 상주하는 것은 어려우므로, 아래와 같이 간략한 컨트롤 시스템과 터치스크린을 도입하여 전문 지식뿐 아니라 추가 장비 없이 운용 가능한 미스트 분사 장비의 컨트롤 방식을 도입.
- 아래 표 2.10은 개발자 모드와 현장 모드의 컨트롤 디스플레이의 상세 정보를 나타냄.

[표 2.10] 개발자 모드 및 현장 모드 기능 요약

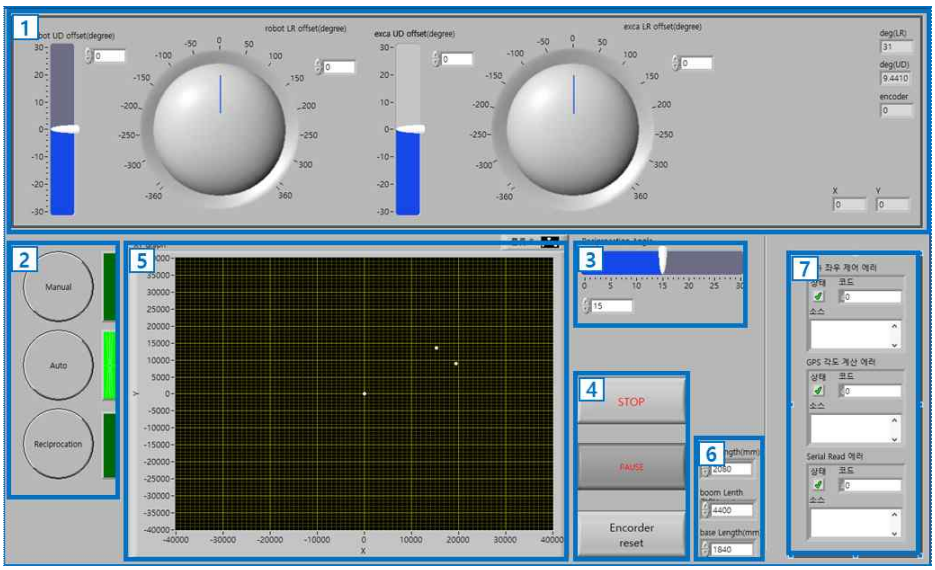
기능 번호	개발자 모드	현장 모드
1	추적 제어 상하 및 좌우 Offset 다이얼	추적 제어 상하 및 좌우 Offset 다이얼
2	Mode 설정 버튼	Mode 설정 버튼
3	Reciprocation(왕복 모드) 각도 설정	Reciprocation(왕복 모드) 각도 설정
4	프로그램 정지/ 제어 정지/ 엔코더 리셋	프로그램 정지/ 제어 정지/ 엔코더 리셋
5	굴착기 및 물 분사 장치 상대 위치 맵	굴착기 및 물 분사 장치 상대 위치 맵
6	굴착기 스펙 입력 (굴착기 높이, 붐 길이, 암 길이)	굴착기 스펙 입력 (굴착기 높이, 붐 길이, 암 길이)
7	에러 디스플레이	에러 디스플레이
8	gps 데이터 Raw 값 표기	
9	추적 제어 연결 포트 설정	
10	추적 데이터 Raw 값 표기	

- 1~7 항목까지는 개발자 모드와 현장 모드에서 모두 필요한 기능이지만, 8~11 항목은 개발자 모드에만 필요하기 때문에 현장모드에서는 디스플레이하지 않도록 수정함
- 그림 2.124의 개발자 모드는 연구에 특화된 디스플레이로 물 분사 장치 컨트롤에 필수적이지 않은 정보까지 디스플레이하여 비전문인력이 모든 기능을 숙지하기 어려움. 하지만 그림 2.124의 현장모드에서는 기능 간략화로 비전문인력 또한 짧은 시간안에 사용법 숙지가 가능하여 쉽게 본 로봇을 컨트롤할 수 있도록 디자인함
- 그림 2.125는 개발자 모드와 현장 모드의 컨트롤 디스플레이의 실제 프로그램 적용 현황을 나타냄.

■ 비 필수 기능
■ 현장 모드 특화 기능

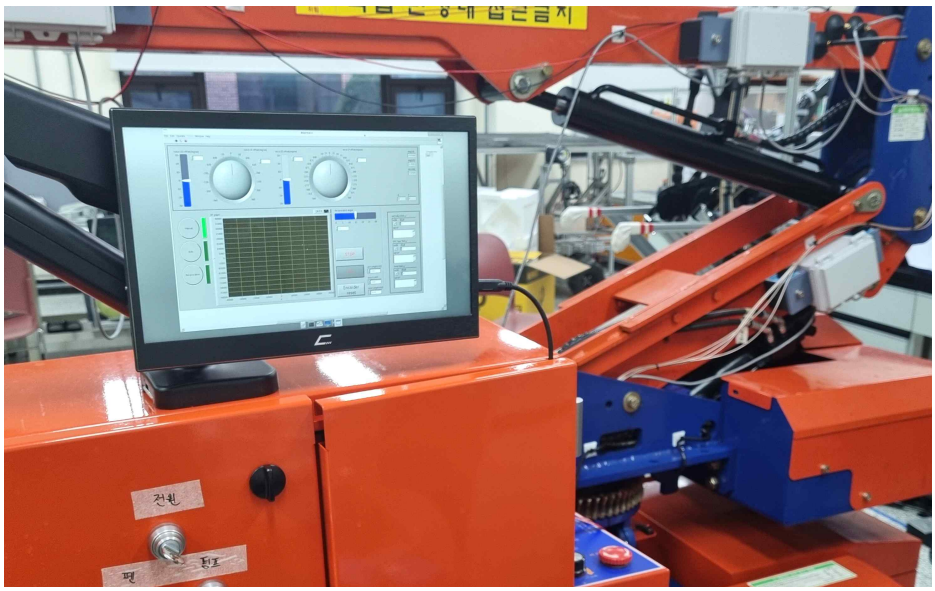


[개발자 모드]



[현장 모드]

[그림 2.124] 개발자 모드와 비전문가를 위한 현장 모드 비교

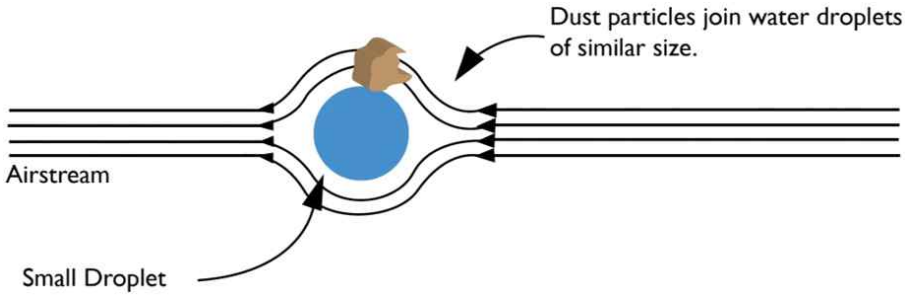


[그림 2.125] 현장 모드 프로그램을 터치 스크린에 적용한 모습

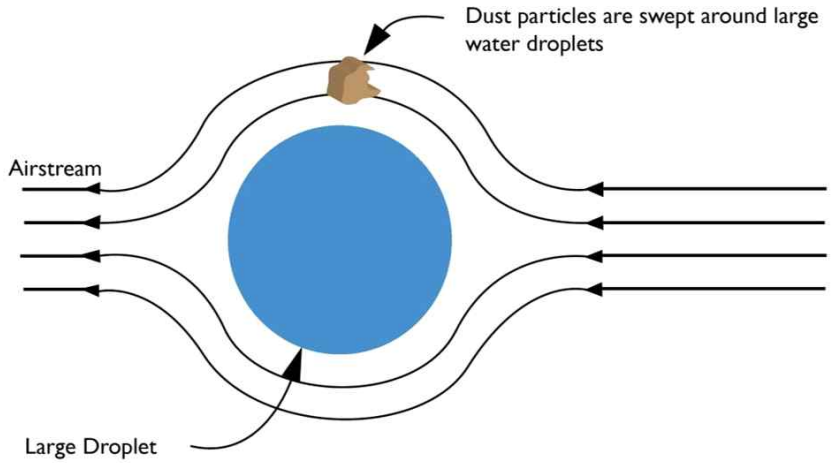
② 노즐 분사 시험 추가 연구

[노즐 분사 시험을 위한 사전 조사]

- 물 분사 로봇은 미세먼지를 분사함으로써 미세먼지를 저감시킴. 하지만 분사한 물방울과 미세먼지가 결합하는 과정에서 슬립스트림 효과가 일어나 효율적인 미세먼지 저감이 이루어지지 않을 수 있음.
- 슬립 스트림 효과(Slipstream Effect): 먼지와 물방울의 크기가 크게 차이나면, 항력에 의해 물방울로 먼지가 포집되지 않는 현상.
- 그림 2.126은 슬립 스트림 효과를 간단히 그림으로 나타낸 것임.



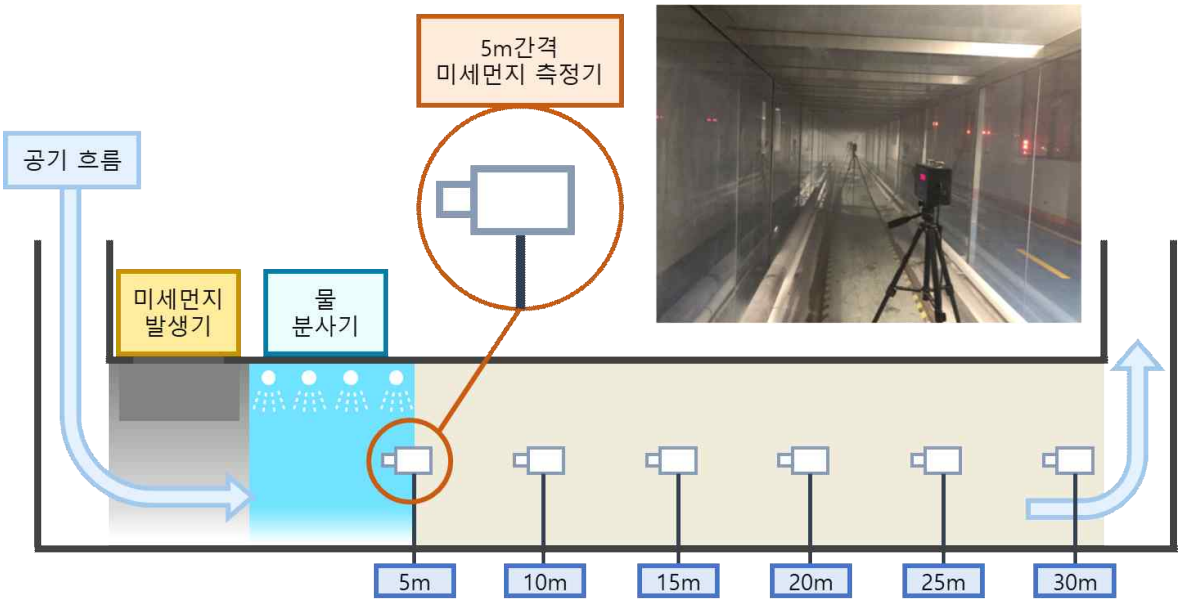
(슬립스트림이 생기지 않아 미세먼지 포집 가능)



(슬림스트림이 생겨 미세먼지 포집 불가)

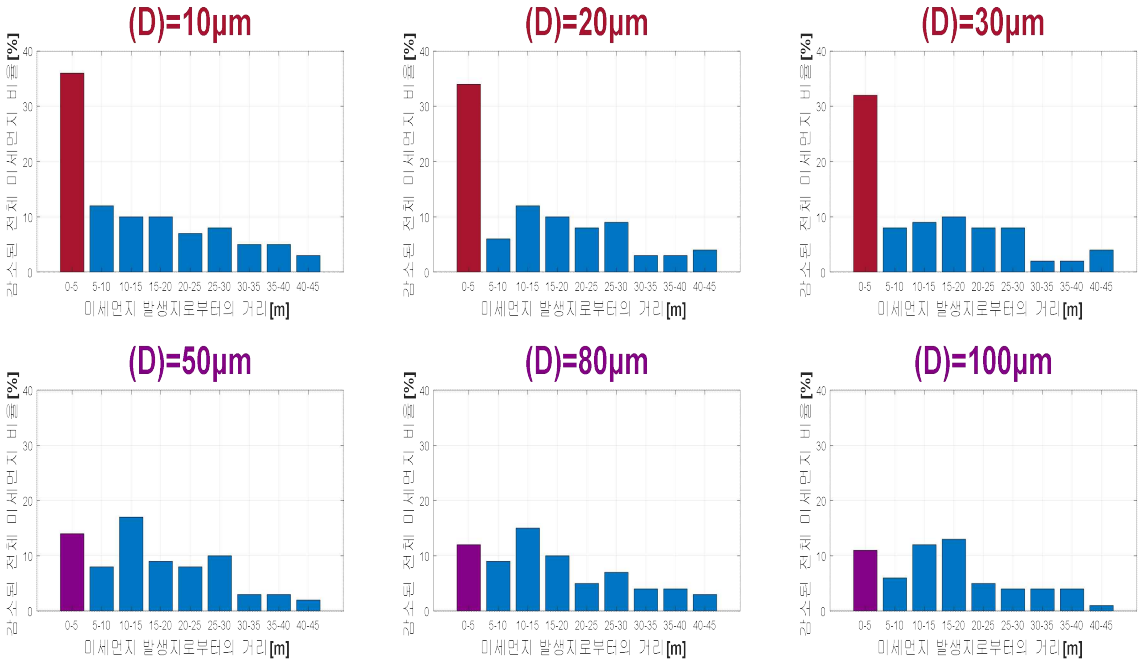
[그림 2.126] Slip Stream Effects (출처 : 미 BossTek)

- 분사한 물방울로 미세먼지를 저감시키는 방식에서 슬립스트림 효과의 영향을 검증하는 과정을 거침
- 기존에 연구된 미세먼지 저감 실험에 대한 조사하여 사전 연구 조사를 진행함.
- “XuemingFang, Liang Yuan, Bingyou Jiang, 2020 Effect of water fog particle size on dust fall efficiency of mechanized excavation face in coal mine”에서 비슷한 연구를 진행하여 참고함.
- 상기 눈문은 테스트 베드에서 물과 미세먼지를 동시에 분사하여 거리별 미세먼지 농도 변화를 측정하는 실험을 진행함.
- 그림 2.127은 상기 논문의 실험에서 사용한 테스트 베드 구조도임.



[그림 2.127] 미세먼지 테스트 베드

- 실험 결과
  - 평균 물방울 크기가 10μm, 20μm, 30μm일 때 "0-5[m]" 구간에서 미세먼지 농도가 크게 감소됨.
  - 50μm, 80μm, 120μm일 때는 "0-5[m]"에 미세먼지 농도의 급격한 감소가 관찰되지 않음.
  - 따라서 미세먼지와 물방울의 크기가 25배 이상 차이나면 슬림스트림 효과에 의해 미세먼지 포집에 영향이 생김
- 아래 그림 2.128은 실험 결과를 나타낸 그래프임
- X축은 미세먼지 발생지로부터의 거리, Y축은 감소된 전체 미세먼지 비율을 나타냄



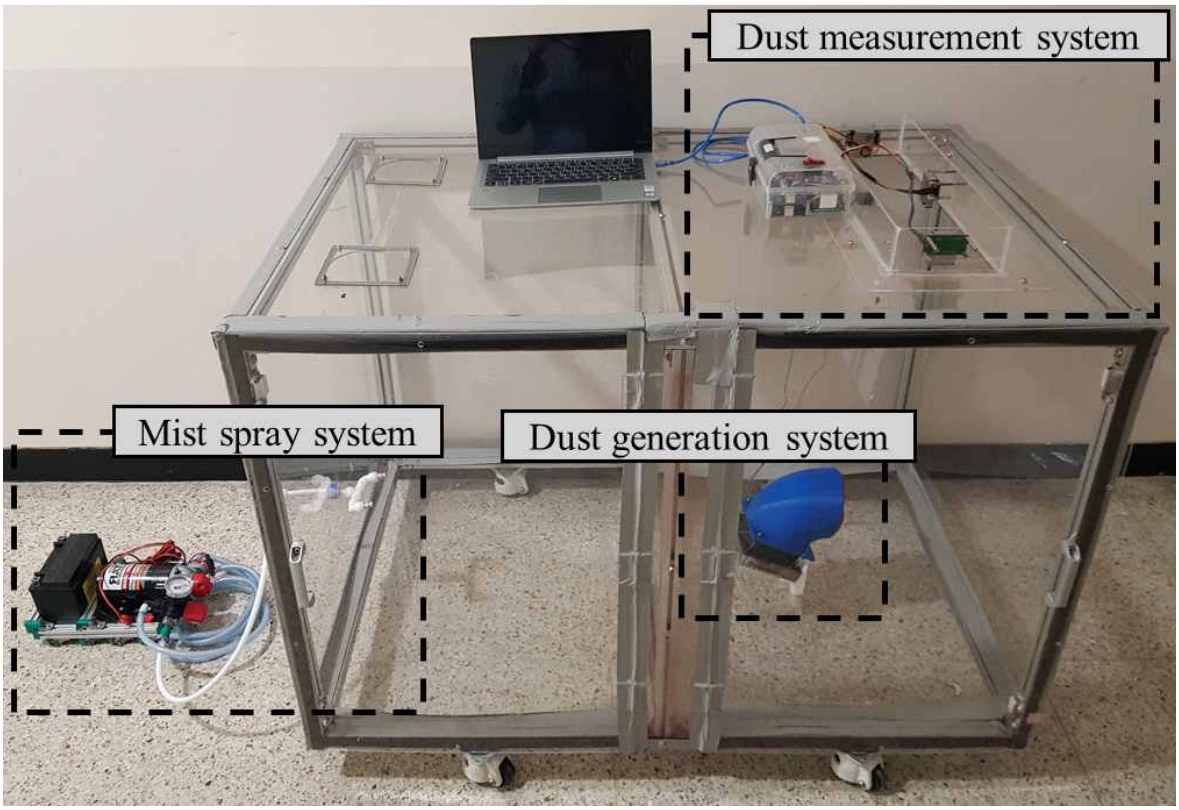
[그림 2.128] 미세먼지 실험 결과

[수정 노즐 분사 시험]

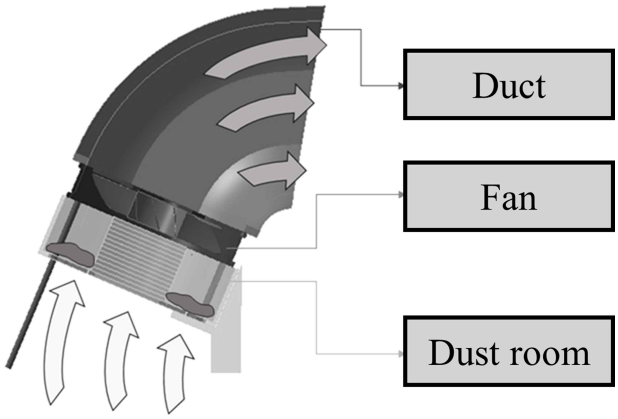
- 상기 전술한 물 분사 장치가 미세먼지를 저감하는 방식은 위 실험의 테스트베드와 차이가

있음

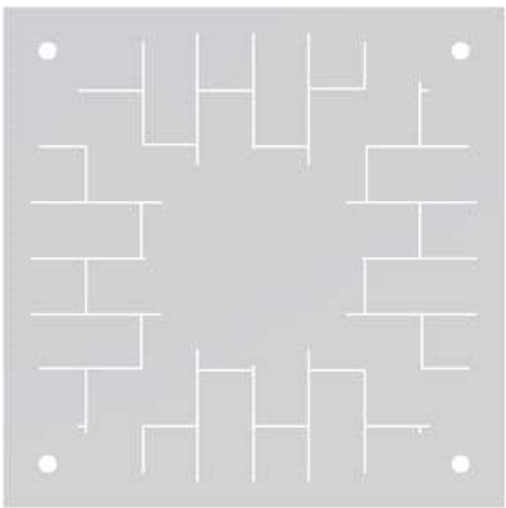
- 물 분사 장치는 멀리서 미세먼지 발생지로 물을 뿌리지만, 위 상황은 미세먼지 발생기와 물 분사 장치가 붙어있음.
- 따라서 분사 장치가 미세먼지를 저감하는 방식에서 슬립스트림 효과를 관찰하려면 환경을 수정하여 실험할 필요가 있음.
- 그림 2.129는 수정된 환경을 기반으로 제작한 테스트베드 사진임.



[그림 2.129] 수정 환경 미세먼지 테스트 베드



[그림 2.130] 미세먼지 발생장치 세부사항



[그림 2.131] 더스트 룸 바닥 구조

- 실험은 3종류의 노즐로 다른 크기의 물방울을 생성하여 진행함.
- 다른 종류의 노즐에서 물 분사 유량을 맞추기 위해 노즐 개수를 조절함.

- 조절한 노즐 개수:

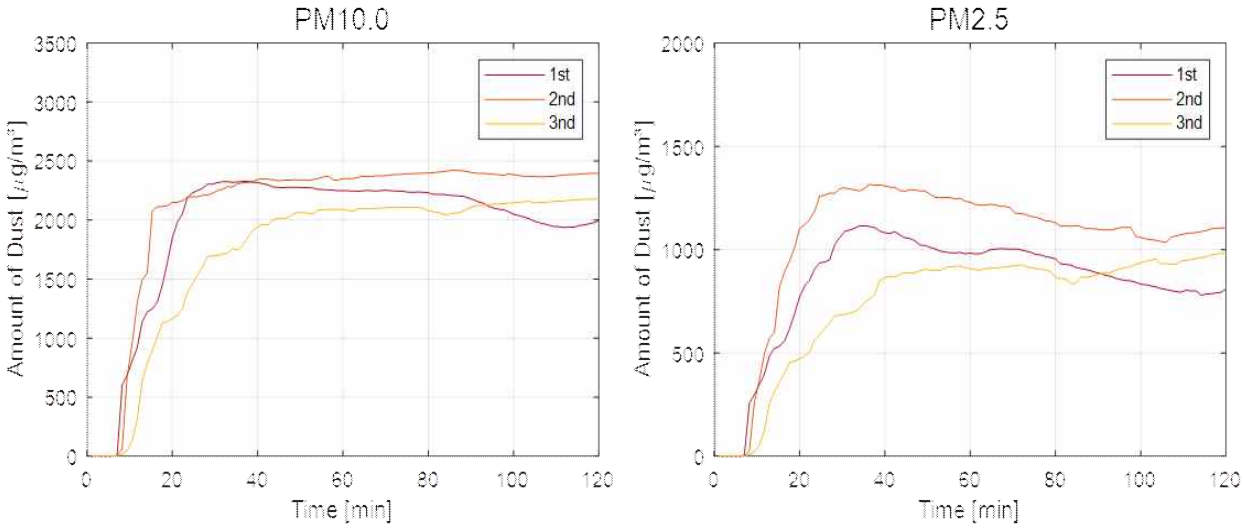
- [Only dust(물 분사 안함), 0.8mm X 1, 0.4mm X 2, 0.2mm X 9]

◆ 미세먼지 발생 장치를 그림 2.130과 같이 구성하였음.

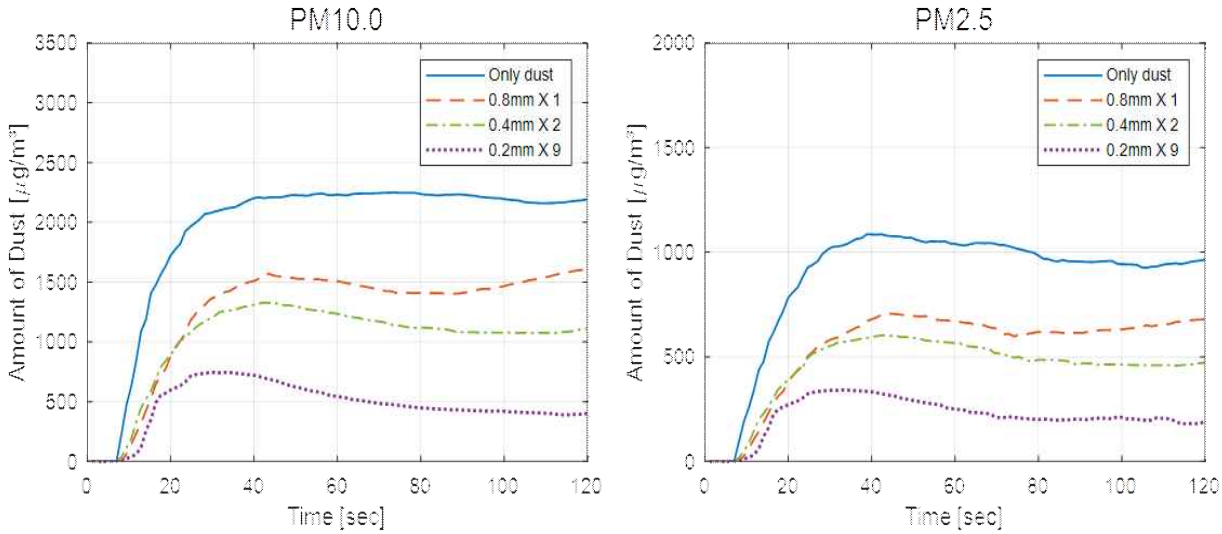
◆ 더스트 룸의 바닥은 그림 2.131과 같이 효과적으로 미세먼지를 발생시키기 위해 위와 같이 미세한 구멍이 있는 구조로 설계하였음. 이 구조에서는 내장시킨 미세먼지 시료는 바닥으로 떨어지지 않지만, 팬이 작동할 경우 바닥에서 바람이 들어와 효과적으로 미세먼지가 공기중으로 퍼짐.

◆ 미세먼지 발생 장치에서 발생하는 미세먼지의 양은 유사함. 그림 2.132는 미세먼지 발생 장치에서 발생한 미세먼지의 경향성 그래프임.

◆ X축은 시간이고, Y축은 미세먼지[PM10.0, PM2.5 농도를 나타냄.



[그림 2.132] 미세먼지 발생 경향성



[그림 2.133] 수정 환경 노즐 분사 시험 결과

- 실험 시작과 동시에 20초간 먼지 발생, 30초간 물 분사를 시행함
- 실험은 4가지 항목[Only dust(물 분사 안함), 0.8mm X 1, 0.4mm X 2, 0.2mm X 9]에 대하여 진행하였음.

- 실험 결과 같은 유량이면 노즐이 작을수록 미세먼지 저감효과가 좋다는 것을 알 수 있음. 그림 2.133은 실험 결과를 나타낸 그래프임.
- X축은 시간이고, Y축은 미세먼지[PM10.0, PM2.5] 농도를 나타냄.
- 아래 표 2.11은 미세먼지 저감 실험의 결과를 정리한 내용임.
- 표의 항목은 미세먼지 최고 농도점(Maximum)과 실험을 시작하고 120초 경과한 최종 값(End Value)로 정리함. 실험 결과 노즐이 크기가 작으면 미세먼지 농도 최고점과 최종값 모두 가장 낮은 것으로 나타났음. 따라서 노즐의 크기가 작을수록 미세먼지 저감 효과가 좋음.

[표 2.11] 노즐 분사 추가 시험 결과

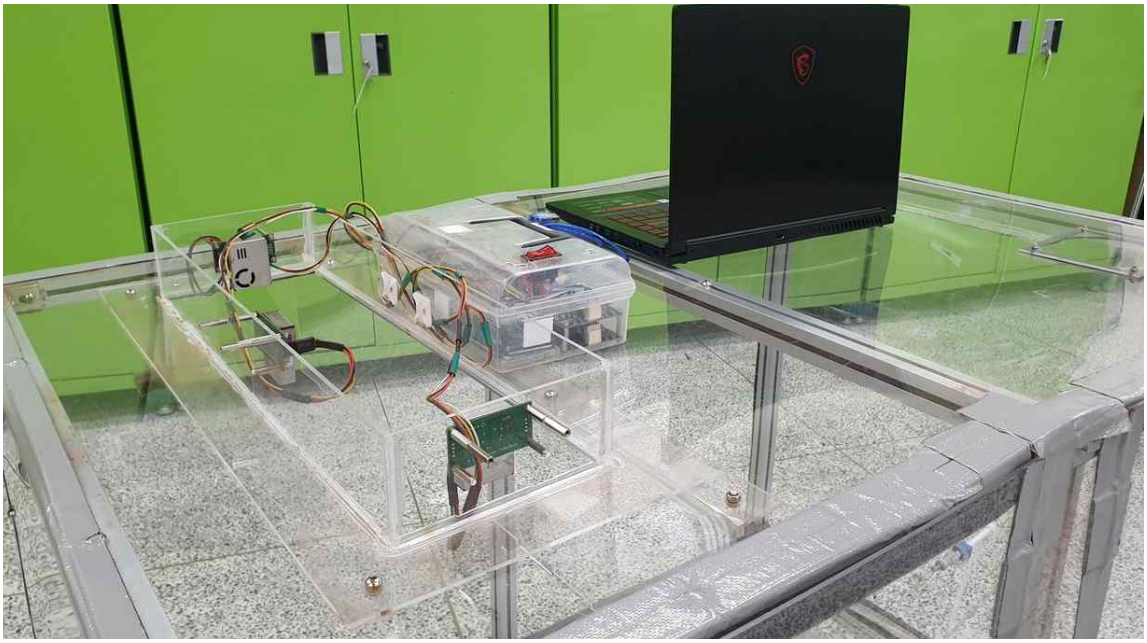
Size of nozzle	Number of nozzles	PM10 Maximum	PM10 End value	PM2.5 Maximum	PM2.5 End value	PM10 Maximum	PM10 End value
Only dust	0	2247.67	2192	1085.67	965.33	241	148
0.8mm	1	1570.67	1612	701.67	681.33	215.67	132.67
0.4mm	2	1328.33	1112.33	602.33	471	181	90.67
0.2mm	9	746.33	403	341.67	192.33	105.33	67.67



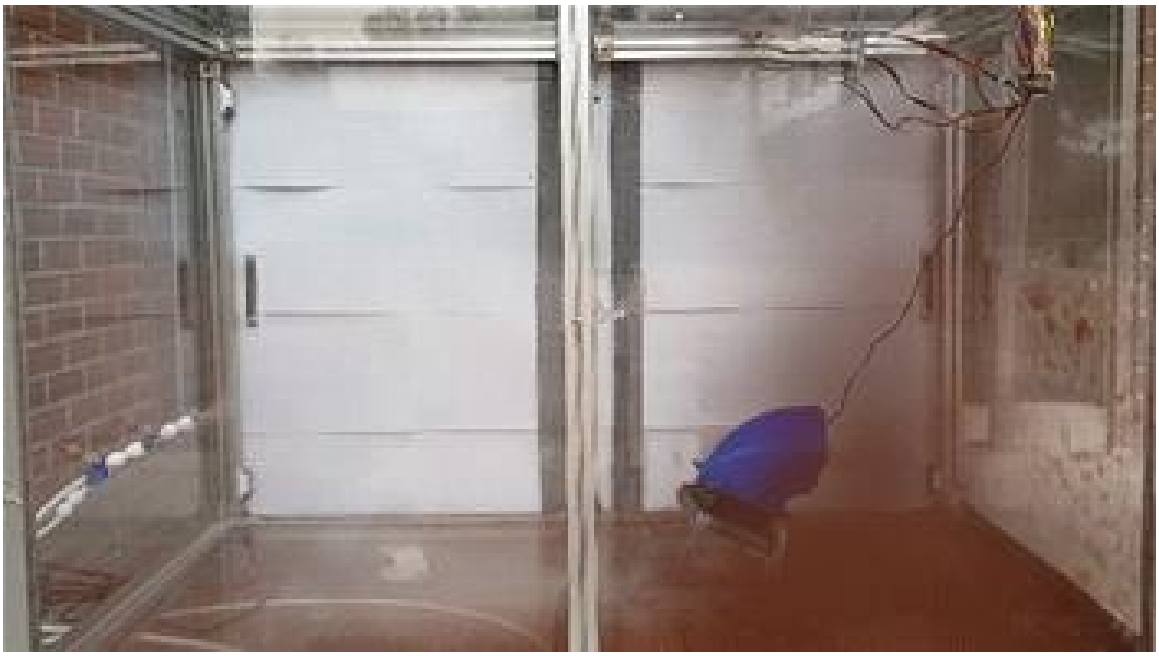
[미세먼지 분사 장치]



[물 분사 장치]



[미세먼지 측정 장치]



[그림 2.134] 시험 장치 및 시험 장면

③ 위험도 분석(Risk Analysis)

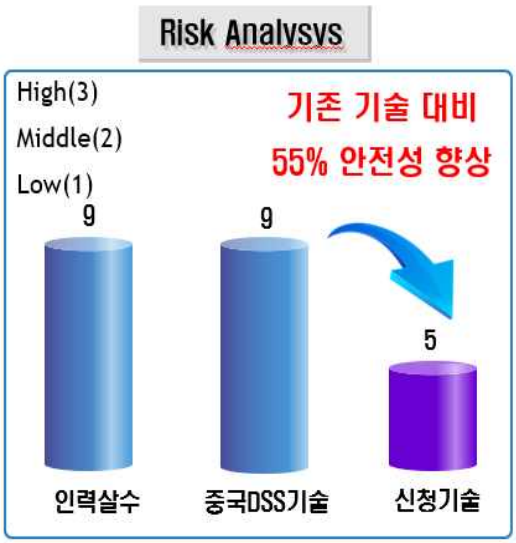
- 안전 관련 기존 인력 살수 방식, 해외 Dust Suppression System과 개발기술에 대한 위험도 분석(Risk Analysis)을 하였으며, 이러한 내용은 그림 2.215에 나타내었음.
- 위험도 분석에서 보는 바와 같이 위험도 High, Middle, Low로 3단계로 분류하여 분석하였으며, 개발기술이 모든 면에서 가장 안전한 Low등급을 나타내었음.
- 그림 2.135의 위험도 분석을 토대로 위험도를 High(3), Middle(2), Low(1)로 수치화하여 안전성을 상대 비교한 것이 그림 2.136이며, 그림 2.136에서 보는 바와 같이 개발기술은 5가지 위험 요소 항목에 대해서 기존 기술에 비해 안전성을 55% 향상시키는 것으로 나타났으며, 이는 단지 수치화여 기존 기술과 안전성을 비교한 것에 불과하며, 개발 기술은 무인 정밀 분사 방식이기 때문에 위험한 작업 공간 안에 근로자가 같이 있을 필요가 없어 근로자 사망과 같은 중대 재해 원천 차단이 가능하다는 것이 중요하다고 판단됨.

Risk Analysis

위험요소	영향	공법	위험도	안전 대책
인력 작업 충돌 추락 미끄러짐	• 신체 손상 • 인명 사망	인력 살수	H	무인 작업
		해외 DSS 기술	M	무인 작업
		신청기술	L	영향 없음
소음/분진 장치 소음(엔진) 분진누출	• 불쾌감 • 민원 발생 가능 • 인체호흡기 영향	인력 살수(엔진식)	L	영향 적음
		해외 DSS 기술(AC모터)	M	BLDC 모터
		신청기술((BLDC 모터))	L	영향 적음
제한된 공간 작업 장치구성 간소화 건설장비와 충돌 간섭	• 장치 손상 • 공기 지연 • 신체 손상 • 인명 사망	인력 살수	H	무인 작업
		해외 DSS 기술	M	무인 작업 및 No 외부 발전기
		신청기술	L	영향 적음
장비 유지관리 노즐교체 모터손상	• 유지관리 비용 증가 • 공기 지연	인력 살수	L	영향 적음
		해외 DSS 기술	M	탈 부착식 노즐 교체 방식
		신청기술 (탈 부착식 노즐 교체 방식)	L	영향 적음
인력관리 소요인원 숙련도	• 작업자의 긴장감 • 비 숙련성으로 인한 안전 사고 위험	인력 살수	L	영향 적음
		해외 DSS 기술	L	영향 적음
		신청기술	L	영향 적음

[그림 2.135] 위험도 분석

위험요소	인력살수	중국DSS기술	신청기술
인력 작업	H(3)	M(2)	L(1)
소음/분진	L(1)	M(2)	L(1)
제한된 공간 작업	H(3)	M(2)	L(1)
장비 유지관리	L(1)	M(2)	L(1)
인력관리	L(1)	L(1)	L(1)
합 계	9	9	5



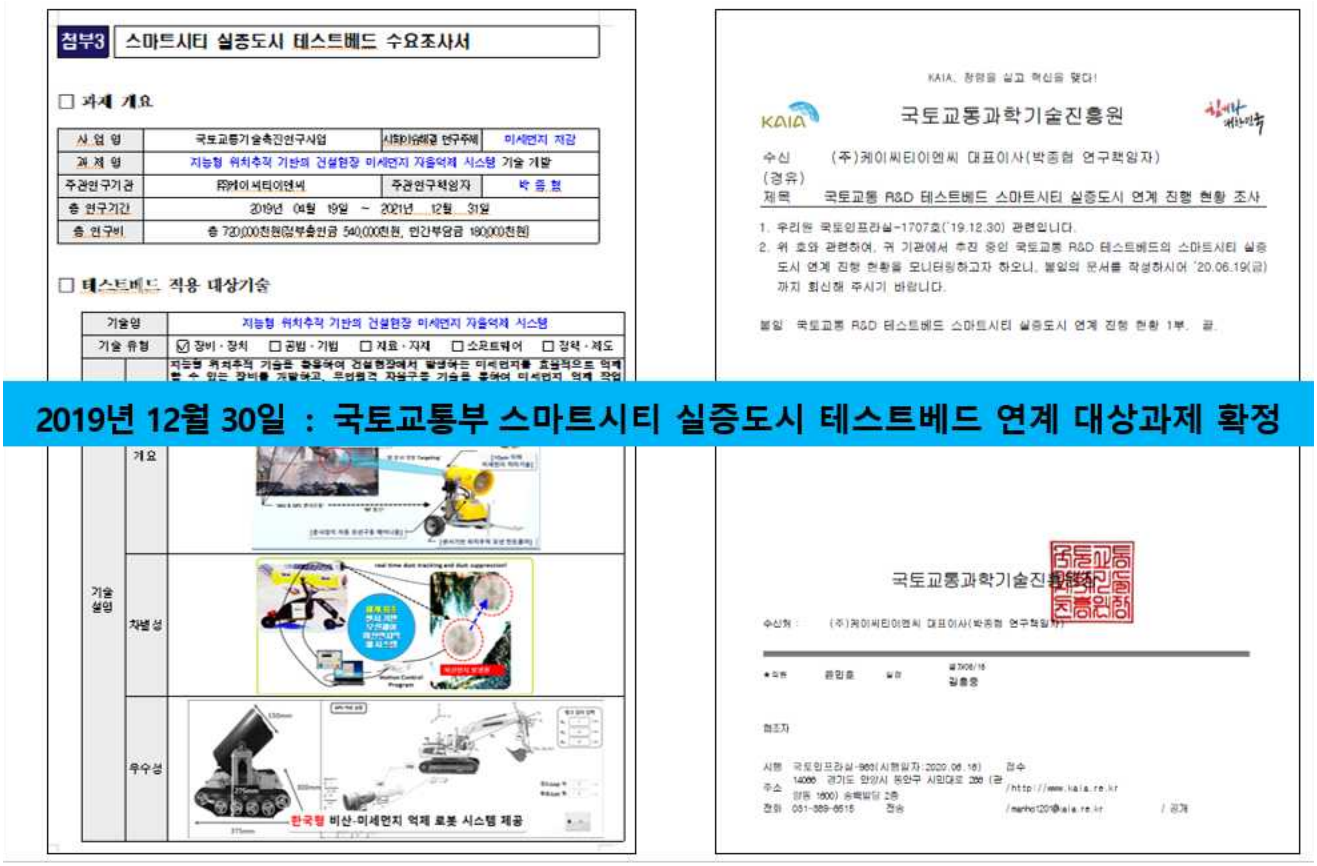
[그림 2.136] 위험도 분석에 따른 기존 기술과의 안전성 상대 비교

○ 테스트 베드 적용

- 표 2.12는 테스트베드 적용을 위한 추진 경과이며, 표에서 보는 바와 같이 2019년 8월 국토교통과학기술진흥원 테스트베드 수요 조사서 제출을 하고 난 다음 총 3회에 걸쳐 시흥시 및 대구광역시 관계자를 상대로 기술 설명회를 가졌음.
- 그림 2.137에서 보는 바와 같이, 2019년 12월 30일 국토교통부 스마트시티 실증도시 테스트베드 연계 대상 과제로 확정되었으며, 지속적인 협의를 거쳐, 2021년 04월에 시흥시 관내 건설현장에 미세먼지 실시간 자율 위치추적 기술과 미스트 분사장비 통합 및 운영 시스템 검증을 위한 테스트 베드 적용을 수행하였음.

[표 2.12] 테스트 베드 적용 추진 경과

테스트베드 추진 일정	추진 경과 내용
2019년 08월 06일	국토교통과학기술진흥원테스트베드 수요 조사서 제출
2019년 12월 04일 :	시흥시 테스트 베드를 위한 기술 설명회
2019년 12월 10일	대구광역시 테스트 베드를 위한 기술 설명회 
2019년 12월 30일	스마트시티 실증도시 테스트베드 연계 대상과제 확정
2020년 04월	국토교통부 노후교량 장수명화 연구단 연계 테스트베드 적용 협의
2020년 05월	대구광역시와 2020년 당해년도적용 협의
2020년 06월	■ 국토교통과학기술진흥원테스트 베드 중간모니터링 진행사항 조사서 제출 ■ 시흥시와 대구광역시와 테스트 베드 2차 적용 협의
2020년 10월 07일	시흥시 테스트베드 적용 관련 2차 기술 설명회
2021년 03월 10일	국토교통부 노후교량 장수명화 연구단 연계 테스트베드 적용을 위한 기술 설명회
2021년 04월 02일	시흥시와 테스트베드 적용 협약 체결
2021년 04월 15일	시흥시 관내 건설현장 대상 테스트베드 적용 수행 
2021년 08월 05일	국토교통부 노후교량 장수명화 연구단 연계 노후 피씨 거더 교량 대상 테스트베드 적용



[그림 2.137] 국토교통부 스마트씨티 실증 도시 테스트베드 연계 대상과제 선정

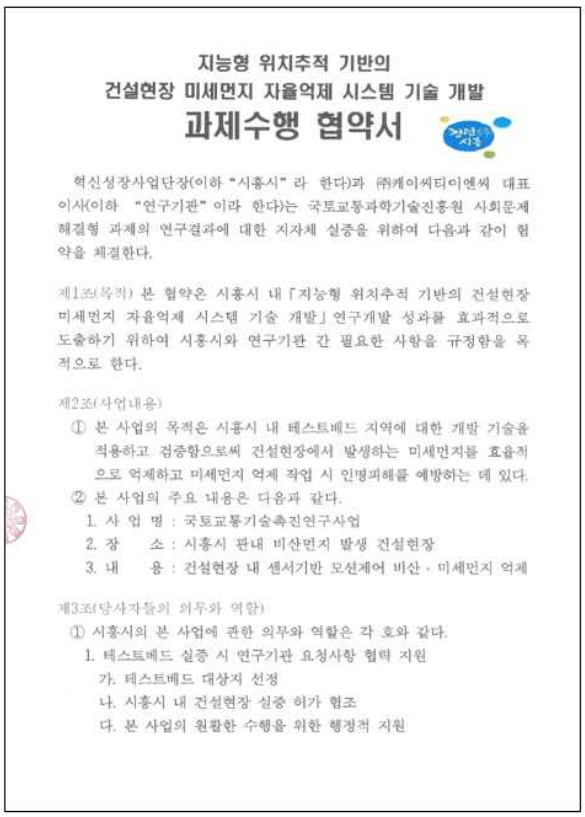
테스트 베드 적용	
항 목	내 용
일 정	2021년 04월 15일(목) 오후 2시-4시
장 소	시흥시 관내 금호건설 현장
작업내용	폐기물 상차 공정
참여기관	시흥시청, 금호건설, 케이씨티이엔씨. 금오공과대학교

"시흥장현A-9BL 아파트 건설공사 11공구"건설 공사



[그림 2.138] 시흥시 관내 테스트 베드 적용(2021년04월15일) 장면

- 그림 2.138은 국토교통부 스마트시티 실증도시 테스트베드 연계 대상 과제의 일환으로 수행된 시흥시 관내 테스트 베드 적용(2021년04월15일) 사진이며, 그림 2.139는 이에 대한 증빙 자료임.



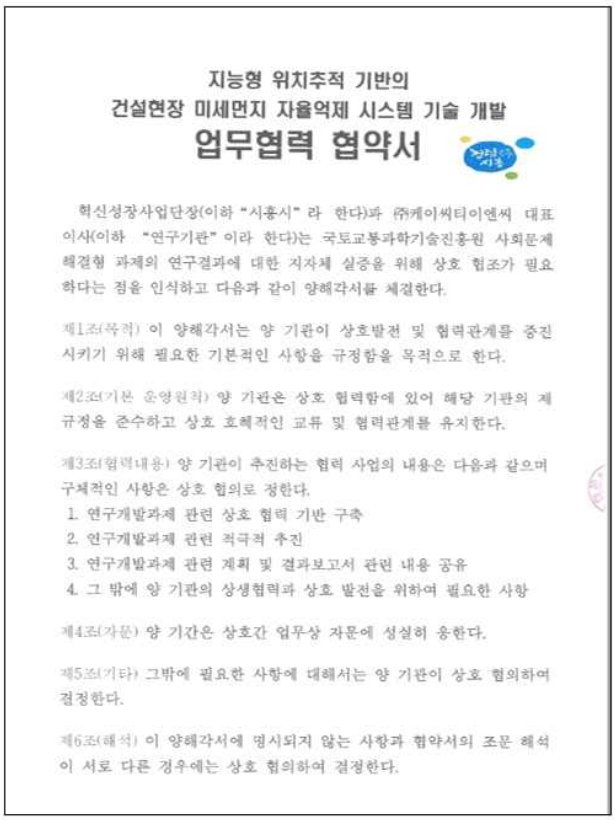
지능형 위치추적 기반의
건설현장 미세먼지 자율억제 시스템 기술 개발
과제수행 협약서

혁신성장사업단장(이하 "시흥시" 라 한다)과 ㈜케이씨티이엔씨 대표이사(이하 "연구기관" 이라 한다)는 국토교통과학기술진흥원 사회문제해결형 과제의 연구결과에 대한 지자체 실증을 위하여 다음과 같이 협약을 체결한다.

제1조(목적) 본 협약은 시흥시 내「지능형 위치추적 기반의 건설현장 미세먼지 자율억제 시스템 기술 개발」연구개발 성과를 효과적으로 도출하기 위하여 시흥시와 연구기관 간 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.

제2조(사업내용)
① 본 사업의 목적은 시흥시 내 테스트베드 지역에 대한 개발 기술을 적용하고 검증함으로써 건설현장에서 발생하는 미세먼지를 효율적으로 억제하고 미세먼지 억제 작업 시 인명피해를 예방하는 데 있다.
② 본 사업의 주요 내용은 다음과 같다.
1. 사 업 명 : 국토교통기술촉진연구사업
2. 장 소 : 시흥시 관내 비산먼지 발생 건설현장
3. 내 용 : 건설현장 내 센서기반 모션제어 비산 · 미세먼지 억제

제3조(당사자들의 의무와 역할)
① 시흥시의 본 사업에 관한 의무와 역할은 각 호와 같다.
1. 테스트베드 실증 시 연구기관 요청사항 협력 지원
가. 테스트베드 대상지 선정
나. 시흥시 내 건설현장 실증 허가 협조
다. 본 사업의 원활한 수행을 위한 행정적 지원



지능형 위치추적 기반의
건설현장 미세먼지 자율억제 시스템 기술 개발
업무협력 협약서

혁신성장사업단장(이하 "시흥시" 라 한다)과 ㈜케이씨티이엔씨 대표이사(이하 "연구기관" 이라 한다)는 국토교통과학기술진흥원 사회문제해결형 과제의 연구결과에 대한 지자체 실증을 위해 상호 협조가 필요하다는 점을 인식하고 다음과 같이 양해각서를 체결한다.

제1조(목적) 이 양해각서는 양 기관이 상호발전 및 협력관계를 증진시키기 위해 필요한 기본적인 사항을 규정함을 목적으로 한다.

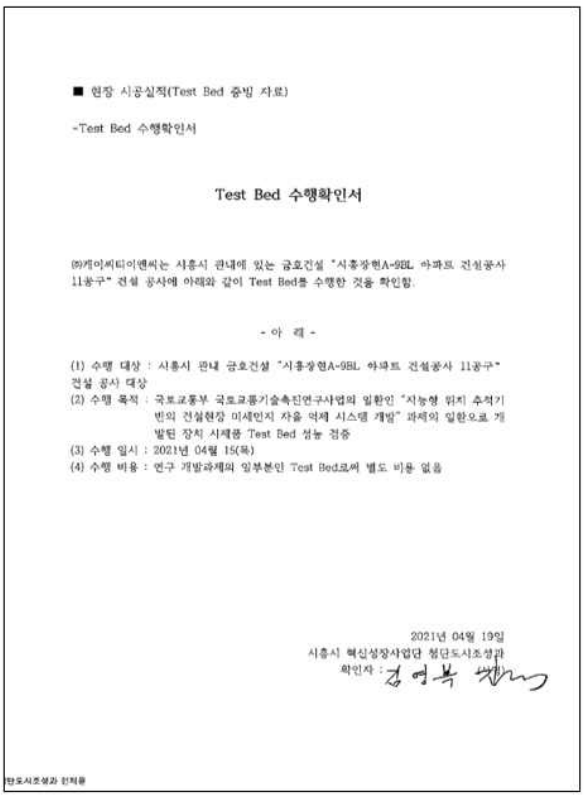
제2조(기본 운영원칙) 양 기관은 상호 협력함에 있어 해당 기관의 제규정을 준수하고 상호 호혜적인 교류 및 협력관계를 유지한다.

제3조(협력내용) 양 기관이 추진하는 협력 사업의 내용은 다음과 같으며 구체적인 사항은 상호 협의로 정한다.
1. 연구개발과제 관련 상호 협력 기반 구축
2. 연구개발과제 관련 적극적 추진
3. 연구개발과제 관련 세미 및 결과보고서 관련 내용 공유
4. 그 밖에 양 기관의 상생협력과 상호 발전을 위하여 필요한 사항

제4조(각문) 양 기간은 상호간 업무상 자문에 성실히 응한다.

제5조(기타) 그밖에 필요한 사항에 대해서는 양 기관이 상호 협의하여 결정한다.

제6조(해석) 이 양해각서에 명시되지 않는 사항과 협약서의 조문 해석이 서로 다른 경우에는 상호 협의하여 결정한다.



■ 현장 시공실적(Test Bed 증빙 자료)

-Test Bed 수행확인서

Test Bed 수행확인서

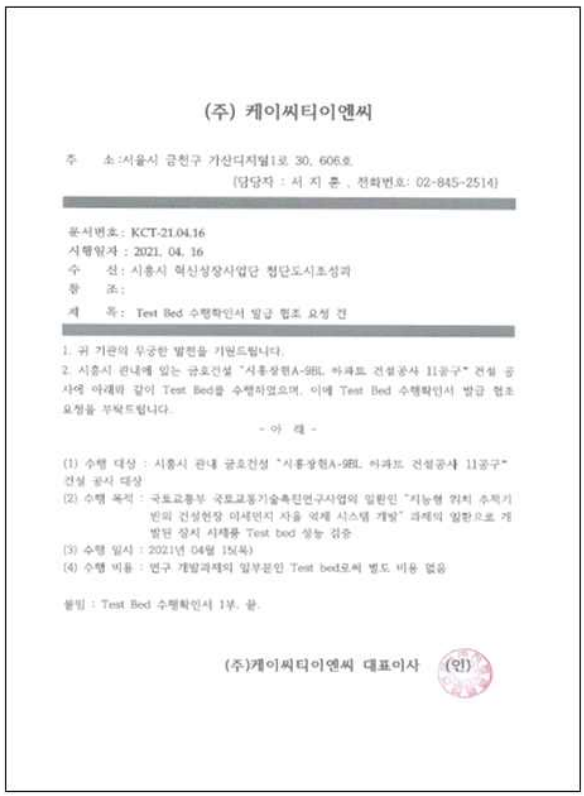
㈜케이씨티이엔씨는 시흥시 관내에 있는 금호건설 "시흥장현A-9BL 아파트 건설공사 11공구" 건설 공사에 아래와 같이 Test Bed를 수행한 것을 확인함.

- 아 래 -

(1) 수행 대상 : 시흥시 관내 금호건설 "시흥장현A-9BL 아파트 건설공사 11공구" 건설 공사 대상
(2) 수행 목적 : 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 일환인 "지능형 위치 추적기반의 건설현장 미세먼지 자율 억제 시스템 개발" 과제의 일환으로 개발된 장치 시제품 Test Bed 성능 검증
(3) 수행 일시 : 2021년 04월 15(목)
(4) 수행 비용 : 연구 개발과제의 일부분인 Test Bed로써 별도 비용 없음

2021년 04월 19일
시흥시 혁신성장사업단 청단도시조성과
확인자 : 경 영 복

청단도시조성과 인적용



(주) 케이씨티이엔씨

주 소 :서울시 금천구 가산디지털1로 30, 606호
[담당자 : 서 지 훈 , 전화번호: 02-845-2514]

문서번호 : KCT-21.04.16
시행일자 : 2021. 04. 16
수 신 : 시흥시 혁신성장사업단 청단도시조성과
참 조 :
제 목 : Test Bed 수행확인서 발급 협조 요청 건

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원드립니다.
2. 시흥시 관내에 있는 금호건설 "시흥장현A-9BL 아파트 건설공사 11공구" 건설 공사에 아래와 같이 Test Bed를 수행하였으며, 이에 Test Bed 수행확인서 발급 협조 요청을 부탁드립니다.

- 아 래 -

(1) 수행 대상 : 시흥시 관내 금호건설 "시흥장현A-9BL 아파트 건설공사 11공구" 건설 공사 대상
(2) 수행 목적 : 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 일환인 "지능형 위치 추적기반의 건설현장 미세먼지 자율 억제 시스템 개발" 과제의 일환으로 개발된 장치 시제품 Test bed 성능 검증
(3) 수행 일시 : 2021년 04월 15(목)
(4) 수행 비용 : 연구 개발과제의 일부분인 Test bed로써 별도 비용 없음

붙임 : Test Bed 수행확인서 1부. 끝.

(주)케이씨티이엔씨 대표이사 (인)

[그림 2.139] 시흥시 테스트 베드 적용 관련 증빙 자료

- 한편으로 국토교통부 노후교량 장수명화 연구단 연계 테스트베드 적용 협의를 지속적으로 추진하여, 노후교량 장수명화 연구단 연계 노후 피씨 거더 교량을 대상으로 2021년 08월에 테스트베드 적용을 수행하였음.

- 그림 2.140은 국토교통부 노후교량 장수명화 연구단 연계 테스트베드로 수행된 테스트 베드 적용 장면이며, 그림 2.141은 이에 대한 증빙 자료임.

테스트 베드 적용	
항 목	내 용
일 정	2021년 08월 05일(목)
장 소	하이브리드 구조실험센터
작업내용	노후 PSC 거더 파쇄
참여기관	노후교량 장수명화 연구단, 케이씨티이엔씨, 금오공과대학교

L=25M 노후 PSC 거더(산성우천교)

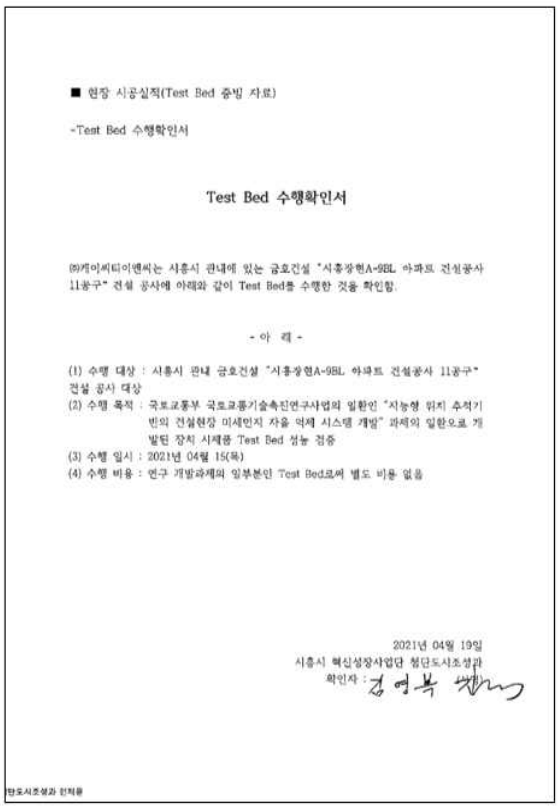








[그림 2.140] 노후 교량 장수명화 연구단 연계 테스트 베드 적용(2021년08월05일)



■ 현장 시공실적(Test Bed 증빙 자료)

-Test Bed 수행확인서

Test Bed 수행확인서

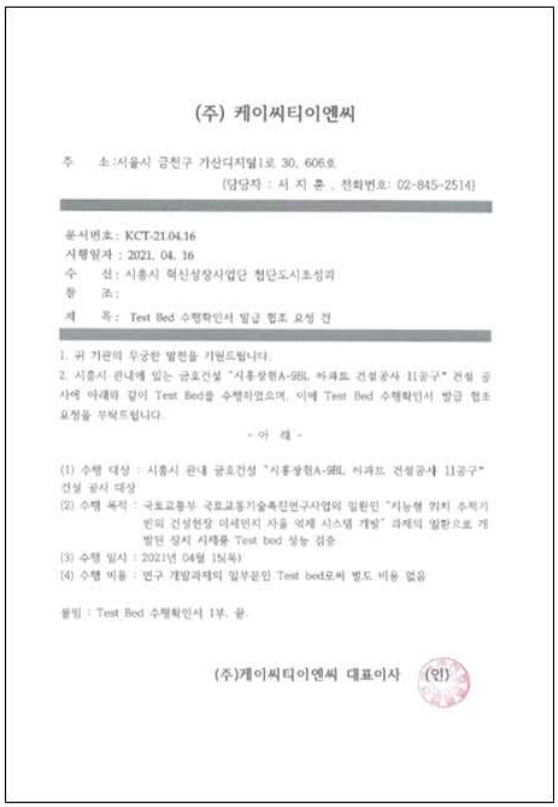
(주)케이씨티이엔씨는 시흥시 관내에 있는 금호건설 "시흥장현A-9BL 아파트 건설공사 11공구" 건설 공사에 아래와 같이 Test Bed를 수행한 것을 확인함.

- 아 래 -

(1) 수행 대상 : 시흥시 관내 금호건설 "시흥장현A-9BL 아파트 건설공사 11공구" 건설 공사 대상
(2) 수행 목적 : 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 일환인 "지능형 위치 추적기반의 건설현장 이세인지 자율 억제 시스템 개발" 과제의 일환으로 개발된 장치 시제품 Test Bed 성능 검증
(3) 수행 일시 : 2021년 04월 15(목)
(4) 수행 비용 : 연구 개발과제의 일부분인 Test Bed로써 별도 비용 없음

2021년 04월 19일
시흥시 혁신성장사업단 첨단도시조성과
확인자 : 강 영 복

첨도시조성과 인처용



(주) 케이씨티이엔씨

주 소 :서울시 금천구 가산디지털1로 30, 606호
[담당자 : 서 지 훈 , 전화번호: 02-845-2514]

문서번호 : KCT-21.04.16
시행일자 : 2021. 04. 16
수 신 : 시흥시 혁신성장사업단 첨단도시조성과
참 조 :
제 목 : Test Bed 수행확인서 발급 협조 요청 건

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원드립니다.
2. 시흥시 관내에 있는 금호건설 "시흥장현A-9BL 아파트 건설공사 11공구" 건설 공사에 아래와 같이 Test Bed를 수행하였으며, 이에 Test Bed 수행확인서 발급 협조 요청을 부탁드립니다.

- 아 래 -

(1) 수행 대상 : 시흥시 관내 금호건설 "시흥장현A-9BL 아파트 건설공사 11공구" 건설 공사 대상
(2) 수행 목적 : 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 일환인 "지능형 위치 추적기반의 건설현장 이세인지 자율 억제 시스템 개발" 과제의 일환으로 개발된 장치 시제품 Test bed 성능 검증
(3) 수행 일시 : 2021년 04월 15(목)
(4) 수행 비용 : 연구 개발과제의 일부분인 Test bed로써 별도 비용 없음

붙임 : Test Bed 수행확인서 1부. 끝.

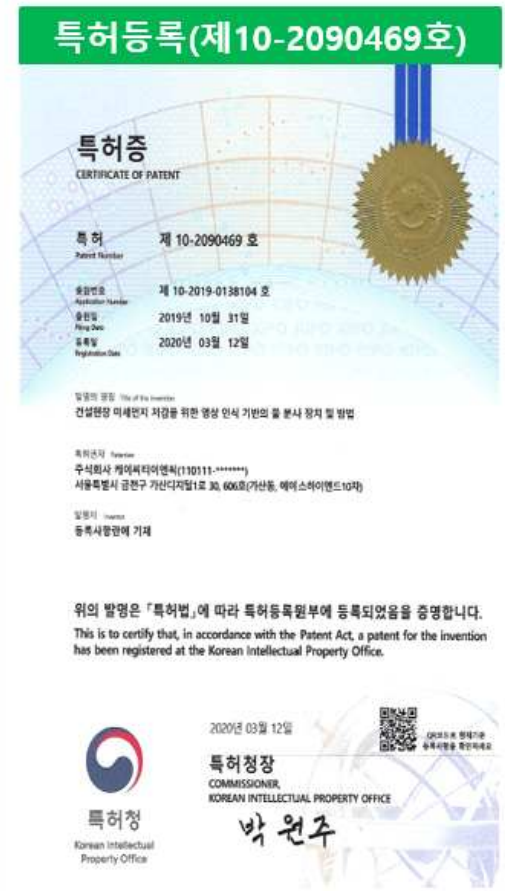
(주)케이씨티이엔씨 대표이사 (인)

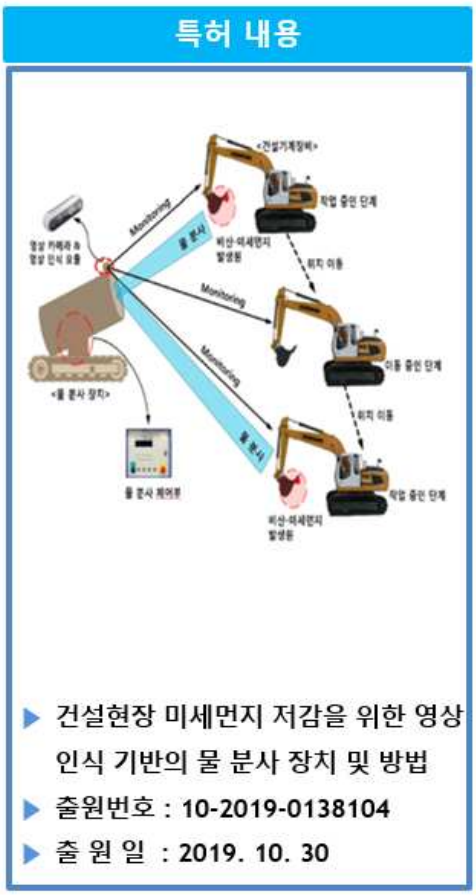
[그림 2.141] 노후 교량 장수명화 연구단 연계 테스트 베드 적용 관련 증빙 자료

○ 지식 재산권

• 등록 특허

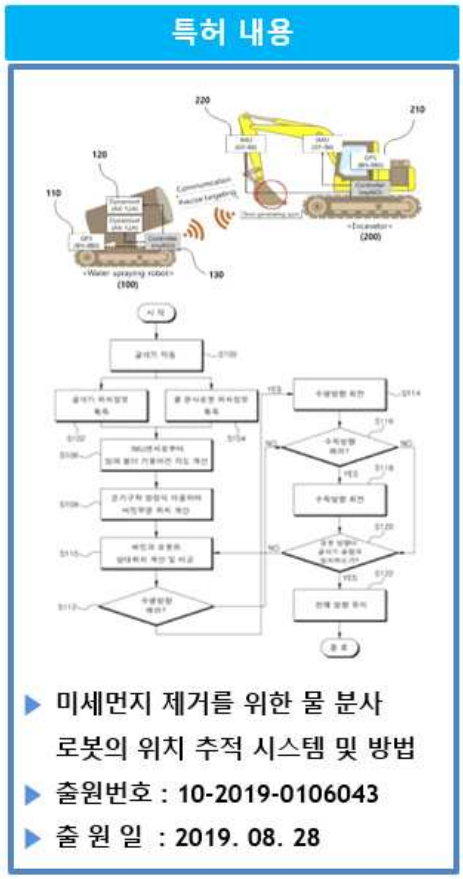
특허 등록일	특허 명칭	특허 번호
2020년 03월 12일	건설현장 미세먼지 저감을 위한 영상 인식 기반의 물 분사 장치 및 방법	특허 제10-2090469호
2021년 02월 24일	미세먼지 제거를 위한 물 분사 로봇의 위치 추적 시스템 및 방법	특허 제10-2222446호
2021년 06월 08일	비산먼지 위치추적형 이중분사 방식의 비산먼지 저감장치 및 그를 이용한 비산먼지 저감방법	특허 제10-2264422호





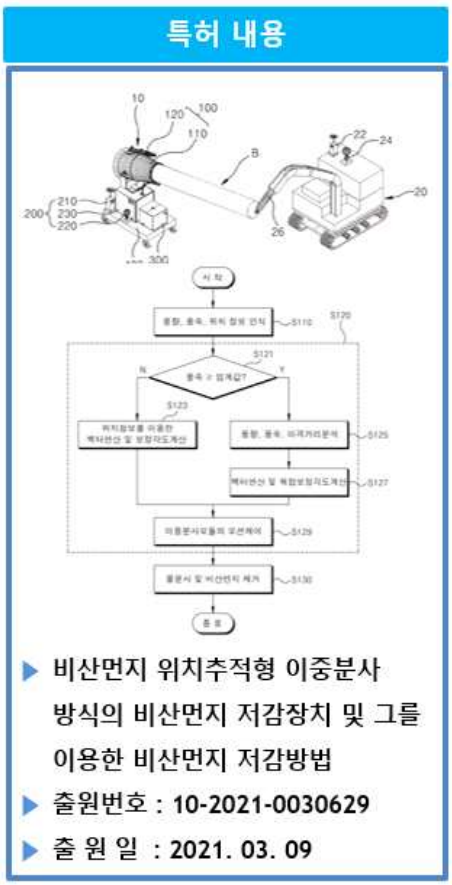
[특허 제10-2090469호]





[특허 제10-222446호]





[특허 제10-2264422호]

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

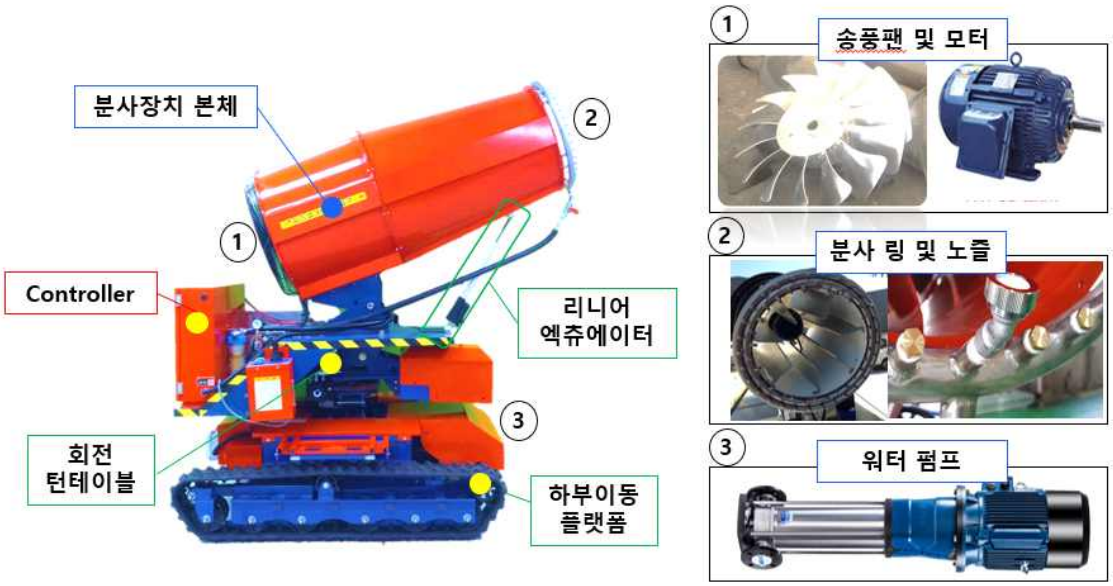
1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

- 개발 기술은 비산 먼지 발생원의 정확한 위치인 버킷 끝점의 위치를 파악하기 위한 IMU 센서와 지구 좌표계에서 굴삭기의 중심위치를 파악하기 위한 GPS 모듈, 분사장치 모션 구동 메커니즘과의 통신에 사용되는 RF 통신모듈 그리고 이 센서들로부터 획득한 정보를 이용하여 계산 및 통신을 수행하는 마이크로컨트롤러로 구성되는 지능형 위치 인식 시스템을 기반으로 분사장치의 분사부와 건설장비의 비산먼지 발생원을 실시간으로 자동 일치시켜 분사함으로써 건설 현장의 미세먼지 저감효과를 극대화하고, 무인 정밀 물 분사 기술을 구현함으로써 미세먼지 억제 작업 시 인명피해를 근본적으로 제거하는 기술임.



[그림 3.1] 개발 기술 내용



[그림 3.2] 개발 기술 장치 구성

- 개발 기술의 지능형 무인 물 분사 장치는 그림 3.2에서 보는 바와 같이 상부에 분사장치 본체가 위치하고, 이 분사장치 본체에 미스트화 된 물 입자를 멀리 보내기 위한 송풍팬과 송풍팬 모터가 결합되며, 상부장치 끝 부분에 다수의 노즐이 결합된 노즐링과 분사 노즐이 결합되는 형태임. 그리고 고압의 물을 분사하기 위한 워터 펌프와 도시하시지는 않았지만 워터펌프를 가동하기 위한 펌프 모타가 결합되는 구조임.
- 그리고 지능형 위치 추적 기술을 구현하기 위한 수직 상하 회전에 대한 리니어엑츄에이터, 수형회전에 대한 회전 턴 테이블 그리고 회전을 제어하기 위한 컨트롤로로 구성되며, 제일 하부에 하부이동 플랫폼이 결합되는 구조를 가짐.
- 개발 기술은 기존 국내 기술의 인력살수 방식의 근로자 안전문제와 Slip Stream Effects 원리에 의한 비산먼지 내의 미세먼지를 처리할 수 없는 문제점과 해외 기술의 비산먼지 발생원과 분사장치의 실 시간 불일치로 인한 저감효율 문제점 그리고 외부 발전기로 인해서 운반과 하역에 비용과 시간이 소요되는 문제점을 동시에 극복한 기술이며, 그림 3.3은 국내외 기존 기술과의 차별성을 비교 분석한 내용임.
- 그림 3.3에서 보는 바와 같이 개발 기술은 기존 해외 DSS 기술에 비해 무인 실시간 위치 추적 정밀 분사가 가능한 것이 가장 큰 차별성이며, 비전 기반 원격 모니터링 기술과 전원 자가형 시스템이 가능한 것이 해외 DSS 기술과의 차별성임.



[그림 3.3] 개발 기술과 기존 기술과의 차별성

- 미세먼지가 2021년 2월 13일 국회 본회의에서 “사회적 재난”으로 입법 통과됨에 따라, 건설현장의 미세먼지에 대한 법적 규제가 한층 강화될 전망이며, 이러한 사회적 배경을 기반으로 하는 본 개발기술은 이슈가 되고 있는 건설현장의 미세먼지 저감을 위한 사회적 재난 대응 기술임.
- 따라서 개발기술의 품질 목표는 건설현장에서 발생하는 비산먼지 내의 인간 건강에 치명적인 PM10 및 PM2.5 미세먼지를 얼마나 저감하는 것이 연구의 가장 큰 목표임.
- 상기 개발 기술의 검증에서 전술한 바와 같이 해외 비산먼지 억제 기술인 중국 DSS(Dust Suppression System) 기술(중국제품 China RD40)과 검증 시험을 수행하였음.
- 개발기술의 최종 개발목표인 해외 물 분사 장치(Dust Suppression system)를 대체하고 국내 독자적인 미세먼지 저감 기술을 확보하는 것이므로, 그림 3.4에서 보는 바와 같이 해외 기술(중국제품 China RD40)과 비교해 보았을 때 미세먼지 저감 효율은 30% 더 저감하는 것으로 나타났으며 이는 해외 기술과는 달리 개발기술이 실시간 무인 정밀 분사 기술로 비산먼지 발생원을 위치 추적 정밀 분사하기 때문인 것으로 판단됨.



[그림 3.4] 미세먼지 저감 효율 향상



1시간동안 가동하였을 때 전력 소모량

시험항목	시험조건	전력 소모량 (KW/Hr)
전력 소모량	중국 DSS 기술(China RD40)	17.6
	개발 기술(Korea KD40)	2.8

[그림 3.5] 전력 소모량 절감 분석

- 개발기술과 가장 강력한 경쟁 상대인 중국 DSS 기술과 전력 소모량 검증시험에서 보는 바와 같이 개발기술이 중국 DSS 기술에 비해 전력 소모량을 6.28배 저감하는 것으로 나타났으며 그림 3.5는 전력 소모량 검증 시험 결과를 나타낸 것임.
- 한편으로 전술한 바와 같이 개발기술은 해외 비산먼지 저감 물 분사 장치(Dust Suppression System)의 경우 분사 장치의 분사부와 미세먼지 발생원이 실시간 일치하지 않아 건설현장에서 미세먼지 저감 효율이 극히 떨어지는 문제점을 극복한 “지능형 위치 추적 기반의 건설현장의 미세먼지 저감 자율억제 시스템에 대한 기술이기 때문에 그림 3.6에서 보는 바와 같이 해외 Dust Suppression System이 개발기술(KD40)과 동일한 미세먼지 저감 효과를 기대할려면 대용량의 장비가 요구됨.
- 이러한 이유에 의해 그림 3.5의 직접적인 전력 비교로는 6.28배 차이지만 그림 3.6에서 보는 바와 같이 동일한 미세먼지 저감 효율 기대 측면에서 비교해 보면 해외 제품의 경우 개발기술과 동일한 미세먼지 저감효과를 기대할려면 100m급 이상의 대용량의 장비가 요구되며, 100m급의 장비는 팬 모터의 전력 소모량이 평균 40Kw로써 40m급의 평균 팬 모터 전력 소모량 7.5Kw에 비해 4배나 더 전력을 소요하게 되며, 역으로 말하면 개발기술이 해외 기술에 비해 동일한 미세먼지 저감 효율 기대 측면에서 비교해 보았을 때 6.28배 보다 훨씬 더 많은 에너지를 절감하는 기술임.



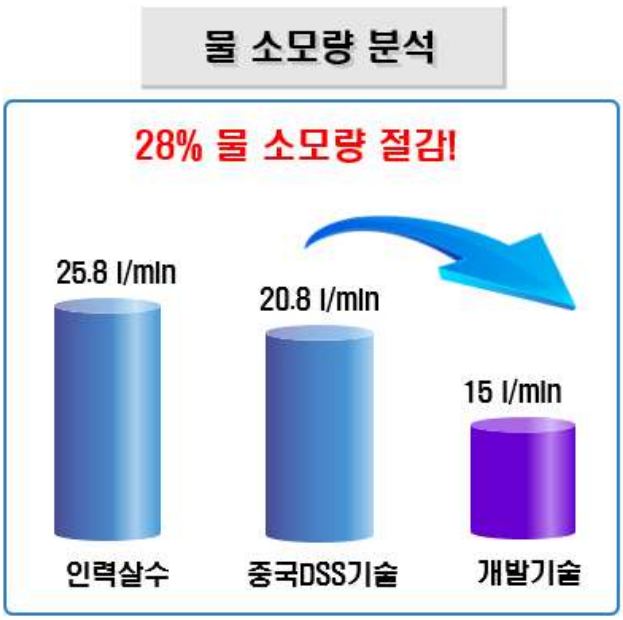
[그림 3.6] 동일 미세먼지 저감 효과 측면에서 해외 제품과의 전력 소모량 분석

[표 3.1] 해외 제품 팬 모터 전력 분석

제조국	제조 회사	모델명	분사거리(m)	팬모터	전체 파워
중국	FENGHUA	VR40	40	7.5Kw	
		VR100	100	45Kw	
	KEHUA	GDKH-40	40	7.5Kw	59Kw
		GDKH-100	100	37Kw	
미국	Dust Boss	DB45	45	15HP	40KW
		DB100	100	60HP	150KW
	dust fighter	DF 15000	40	15KW	
		DF 110000	110	108KW	
	Fog Cannon	KLT 40	38-45	7.5KW	11.43KW
		KLT 100	100	55KW	73.18Kw
이태리	WLP	WLP-500	50		
		WLP 800	90	30Kw	

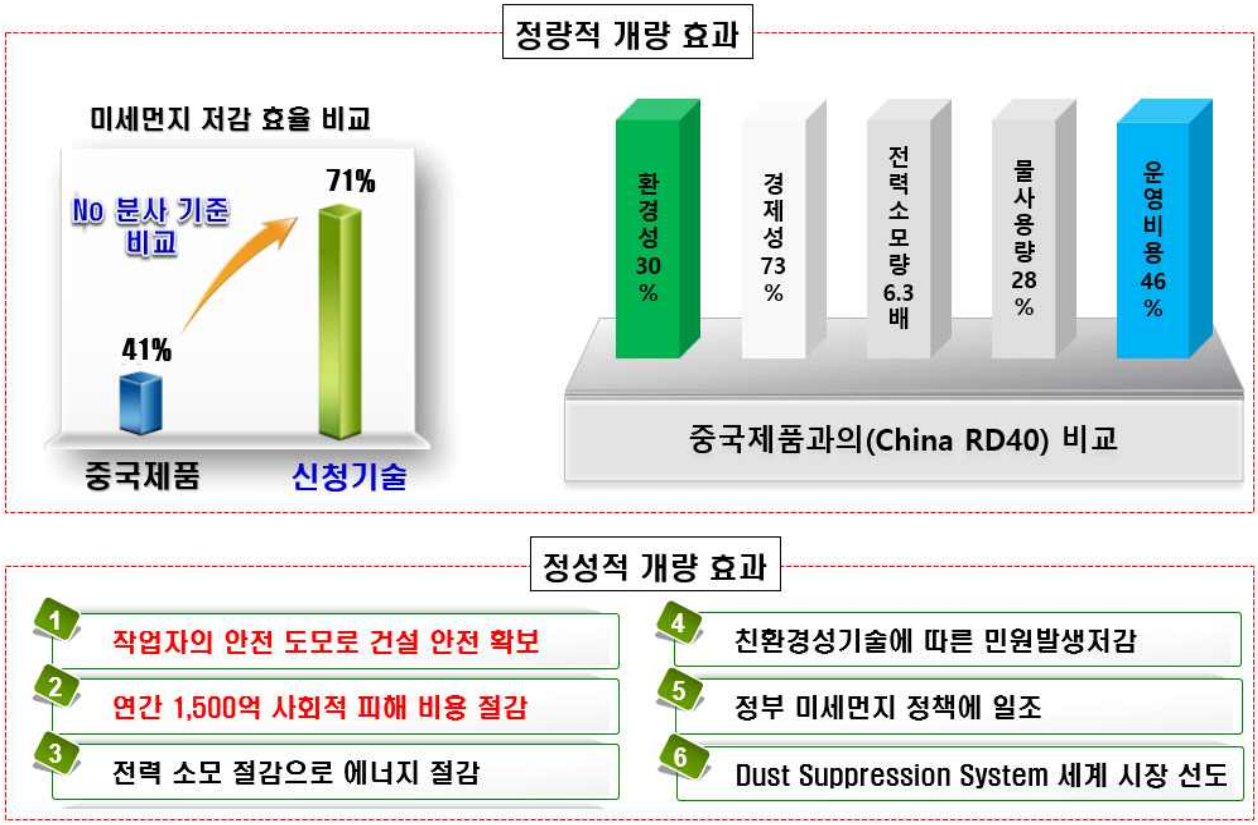
- 개발기술과 가장 강력한 경쟁 상대인 중국 DSS 장치(China RD40 제품)와 물 소모량 검증 시험에서 보는 바와 같이 개발기술이 중국DSS 기술에 비해 물 소모량을 28% 저감하는 것으로 나타났음..
- 상기 전력 소모량에서 설명한 바와 같이 개발기술이 해외 기술에 비해 동일한 미세먼지 저감 효율 기대 측면에서 비교해 보았을 때 동일 40m 급에 대한 28% 물을 저감하지만 동일 미세먼지 저감효과를 기대할려면 중국제품이 훨씬 더 많은 물을 소모하리라 판단되며, 역설적으로 이는 개발기술이 중국기술에 비해 동일 미세먼지 저감효과 측면에서 보았을 때 물을 훨씬 더 절감하는 기술임.

시험항목	시험조건	물 소모량(ℓ/min)
물 소모량	중국DSS기술(RD40, 40m급)	20.8
	개발기술(KD40, 40m급)	15.0
	인력 살수	25.8



[그림 3.7] 물 소모량 비교 분석

- 개발기술의 최종 개발목표인 해외 물 분사 장치(Dust Suppression System)을 대체하고 국내 독자적인 미세먼지 저감 기술을 확보하는 것이므로, 그림 3.8에서 보는 바와 같이 해외 기술(중국DSS China RD40 제품)과 비교해 보았을 때 미세먼지 저감 효율은 30%, 사회적 피해 비용 기준 경제성은 73%, 에너지 소모량은 약 6.3배, 물 사용량 28%, 운영 비용은 46% 저감하는 기술임.



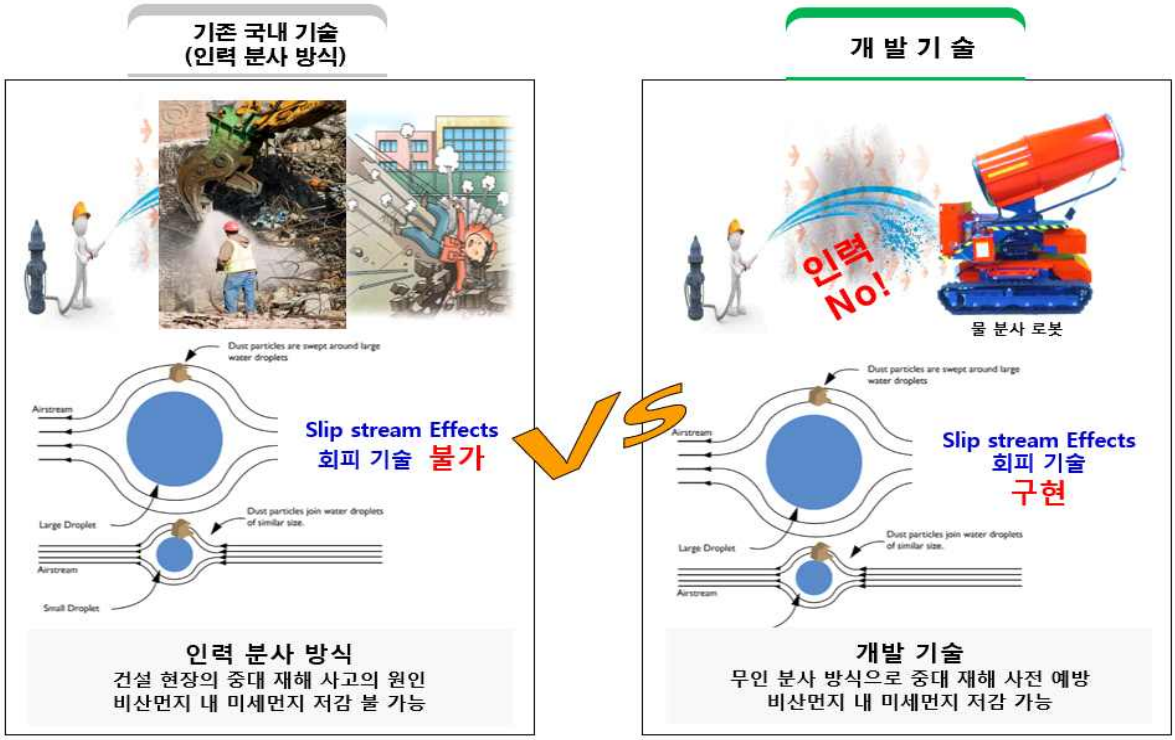
[그림 3.8] 개발 기술의 정량적 / 정성적 효과



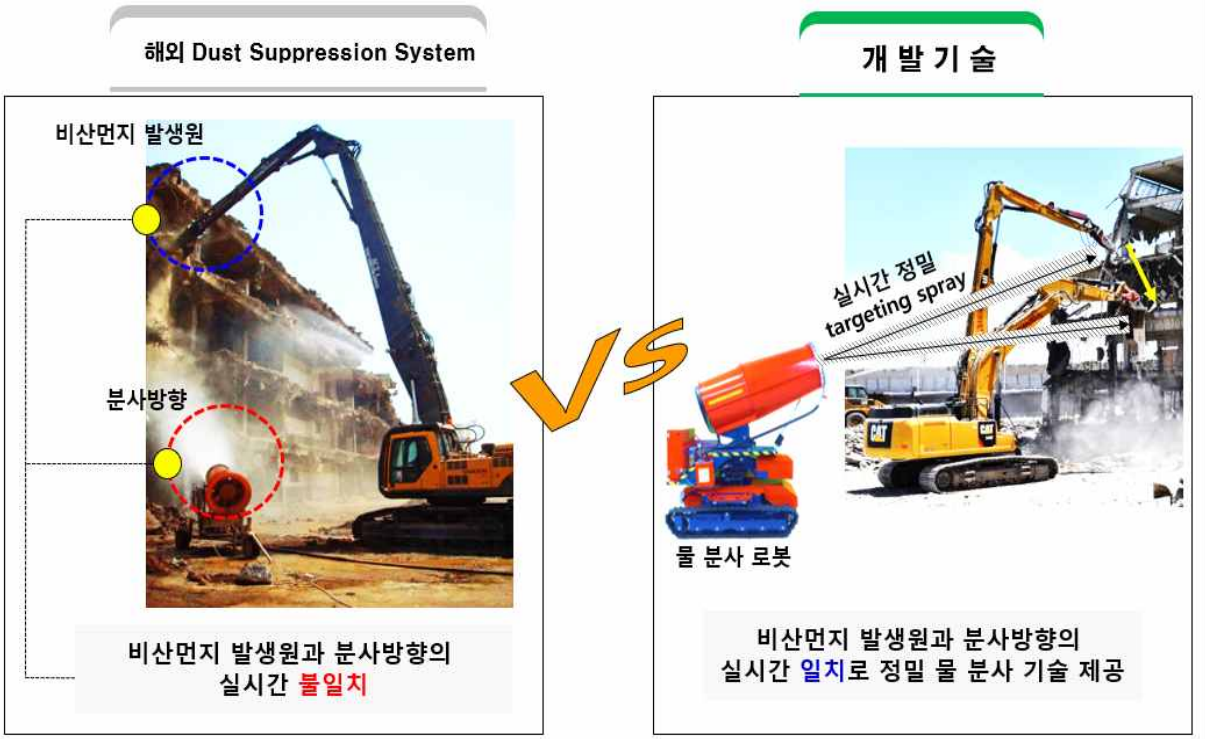
[그림 3.9] 장비 구성 측면 비교

- 그림 3.9는 장비 구성 측면에서의 비교이며, 상기 전술한 바와 같이 개발기술은 기존 국내 기술의 인력살수 방식의 근로자 안전문제와 비산먼지 내의 미세먼지를 처리할 수 없는 문제점과 해외 기술의 비산먼지 발생원과 분사장치의 실 시간 불일치로 인한 저감 효율 문제점 그리고 외부 발전기로 인해서 운반과 하역에 비용과 시간이 소요되는 문제점을 동시에 극복한 기술로써 개량 정도는 다음과 같음.

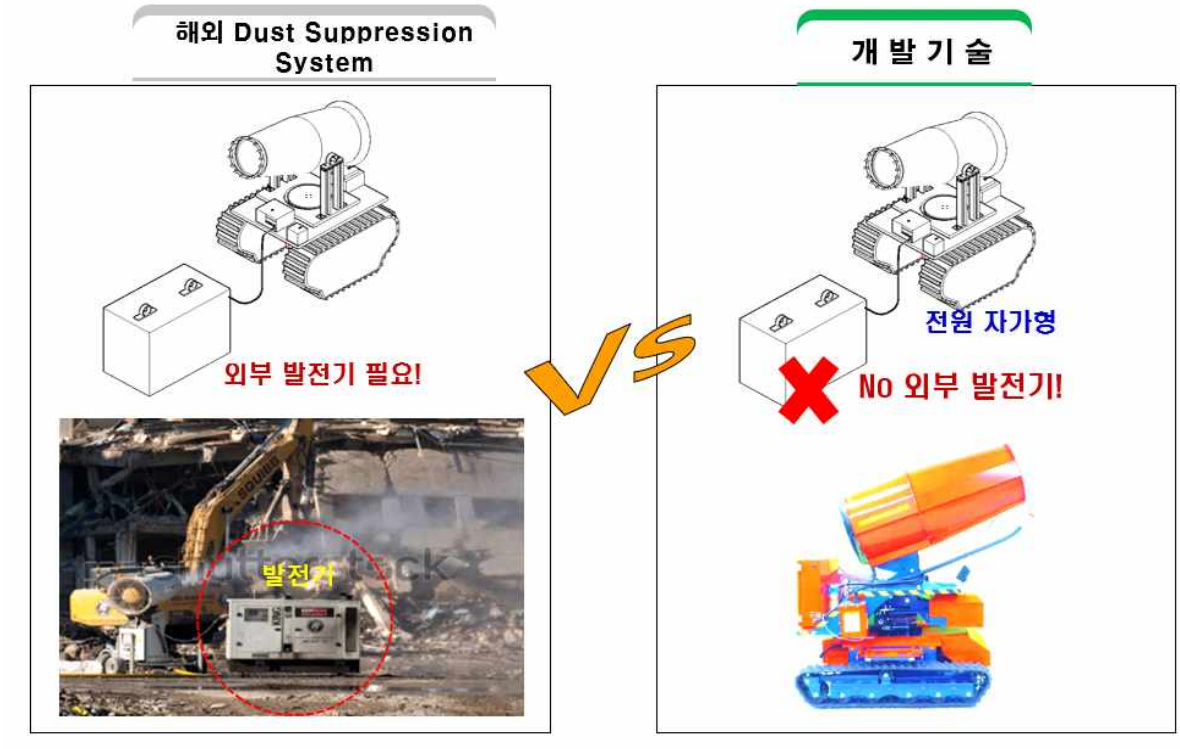
① 개량 정도 1 : 무인 비산 먼지 억제 기술 구현



② 개량 정도 2 : 실시간 위치 추적 분사기술 구현



③ 개량 정도 3 : 전원 자가형 분사 장치 기술 구현



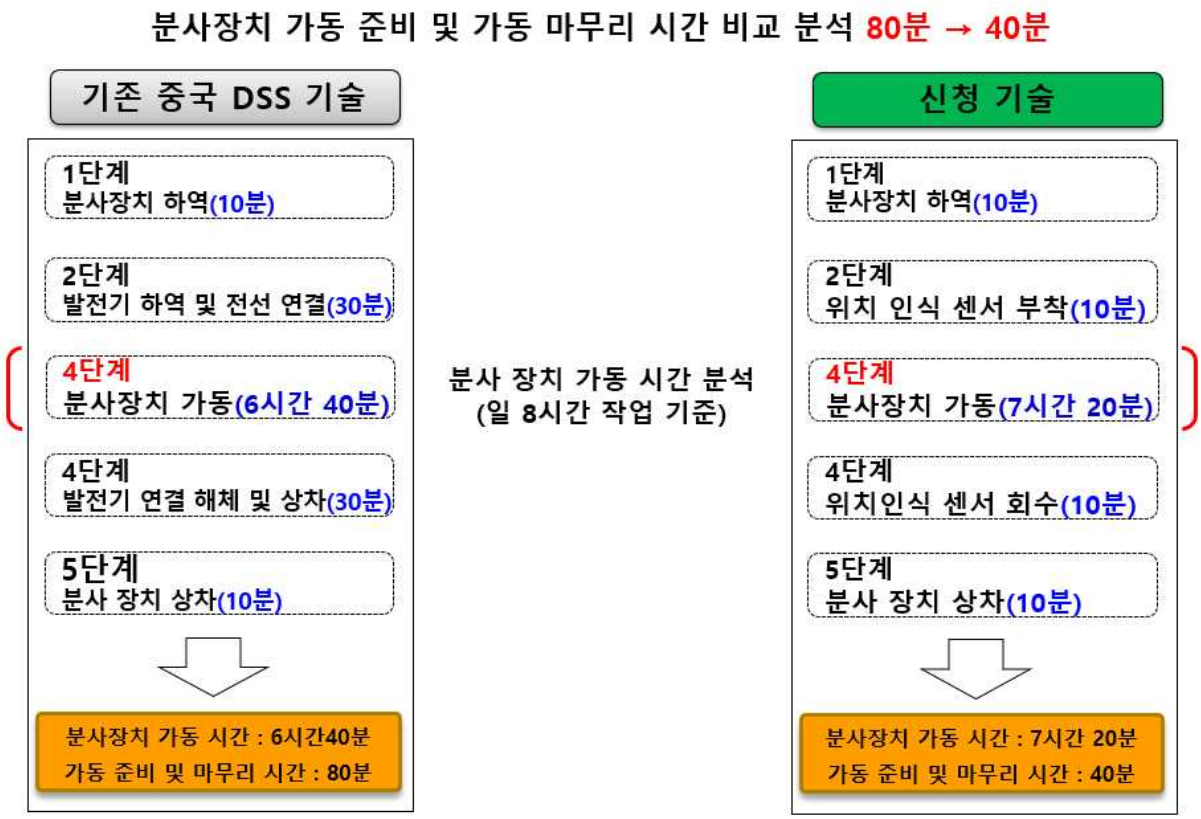
④ 개량 정도 4 : 고소작업 가능 무인 지능형 위치 추적 기술 구현



④ 개량 정도 5 : 비젼 기반 원격 모니터링 기술 구현



- 개발 기술은 건설현장에서 발생하는 비산먼지를 억제 저감하고자 하는 기술로써 현재 국내의 인력 살수 기술과 국내 수입되어 가장 강력한 경쟁 상대가 있는 중국 DSS기술을 무인 지능형 분사 기술로 대체하고자 하는 기술임.



[그림 3.10] 하루 작업 시간 비교 분석

- 그림 3.10은 기존 기술인 중국 기술과 하루 8시간을 기준으로 작업시간을 비교 분석해 보면 중국장치의 분사 가동시간은 6시간 40분이며, 개발기술의 분사 가동시간은 7시간 20분이며, 이는 중국장치가 외부 발전기가 필요하여 가동 준비 및 가동 마무리에 많은 시간을 낭비하기 때문임.
- 하루 8시간 기준으로 보면 개발기술이 기존 기술인 중국 DSS 기술에 비해 40분 작업시간을 절감하는 것으로 나타났음.
- 경제성 분석은 원가분석전문기관인 사단법인 한국산업분석연구소에 의뢰하여 작성한 원가계산서를 통해 경제성 분석을 하였으며, 그림 3.11에서 보는 바와 같이 개발기술의 가장 큰 경제적 목표는 연간 10조원에 달하는 국가 대기오염으로 인한 사회적 피해 비용 절감임.



[그림 3.11] 개발기술의 경제성 목표

- 비산먼지로 인한 사회간접피해 비용 분석을 위한 대기오염에 따른 사회적 비용 분석은 표 3.2에 나타내었으며, 환경 당국과 학계, 경제협력개발기구(OECD) 등에 따르면 현재 한국의 대기오염에 따른 사회적 비용은 연간 10조 원을 상회하는 것으로 조사되었음.

[표 3.2] 사회적 피해 비용 분석

출처	사회적 피해 비용	비고
제252회국회 국회본회의 회의록 제5호	10조원	2005년 02월 16일
환경 당국과 학계, 경제협력개발기구(OECD) 추정	10조원	2017년 03월 23일 연합뉴스
한국대기환경학회 한국환경경제학회, 한국환경정책학회 '미세먼지 문제의 진단과 대응을 위한 공동 심포지엄' (배정환 전남대 경제학부 교수)	11조 8천억	2016년 10월 20일 중앙일보
한국환경정책평가연구원(KEI)	45조원	Chemical Daily News 2002년 04월 10일

[표 3.3] 국가 대기오염 발생량 분석 - 환경부 국가미세먼지정보센터(2018)

배출원 대분류	TSP	PM-2.5	PM-10	SOx	NOx	VOCs	NH3	CO	BC	합 계	비율[%]
에너지산업 연소	4,305	3,308	3,975	65,868	104,420	9,161	1,626	69,972	405	263,040	**5.74**
비산업 연소	1,439	890	1,269	16,566	87,599	2,936	1,414	58,172	172	170,457	**3.72**
제조업 연소	117,150	35,099	68,315	78,867	168,967	3,579	737	20,060	753	493,527	**10.78**
생 산 공 정	11,975	5,189	6,758	107,353	57,020	188,247	45,981	27,866	15	450,404	**9.84**
에너지수송 및 저장						30,770				30,770	**0.67**
유기용제 사용						547,353				547,353	**11.95**
도로이동오염원	8,858	8,149	8,858	217	406,227	43,658	3,322	213,568	4,935	697,792	**15.24**
비도로이동오염원	17,236	15,981	17,232	29,831	307,942	67,867	126	195,020	7,014	658,249	**14.38**
폐기물처리	338	209	245	2,202	12,492	57,735	22	1,954	3	75,200	**1.64**
농 업							249,777			249,777	**5.45**
기타 면오염원	560	320	356		184	737	12,957	7,556	19	22,689	**0.50**
비 산 먼 지	**427,916**	**18,025**	**112,472**						**121**	**558,534**	**12.20**
생물성 연소	27,703	11,217	13,514	76	8,413	83,592	14	214,632	2,125	361,286	7.89
합 계	617,480	98,387	232,994	300,980	1,153,264	1,035,635	315,976	808,800	15,562	4,579,078	**100**

[표 3.4] 2018년 분류별 비산먼지 배출량 조사표 - 환경부 국가미세먼지정보센터

배출원 중분류	TSP	PM-2.5	PM-10	NH3	BC	합 계	비율[%]
도로재비산먼지	163,640	7,599	31,411		79	202,729	36.30
건 설 공 사	**55,488**	**3,807**	**38,065**			**97,360**	**17.43**
나 대 지	21,645	1,266	8,442		0.30	31,353.30	5.61
하역 및 야적	25	1	9		0.04	35.04	0.01
농 업 활 동	27,778	1,914	9,572		0.40	39,264.40	7.03
축 산 활 동	33,898	2,073	11,325		31	47,327	8.47
폐기물처리	16,585	447	4,473			21,505	3.85
비포장도고 비산먼지	108,856	918	9,176		10	118,960	21.30
합 계	427,915	18,025	112,473		120.74	558,533.74	100

- 사회적 피해비용 추정은 공신력을 고려 국회본회의 자료를 인용하였음.
- 국가 대기오염물질로 인한 사회적 피해 비용이 10조원이고, 표 3.3 및 표 3.4에서 보는 바와 같이 국가 대기오염 물질중에서 비산먼지가 차지하는 비중이 12.20%이며, 이 비산먼지 중에 건설현장에서 발생하는 비산먼지가 17.43%를 차지하고 있음.
- 따라서 전체 국가 대기오염물질로 인한 사회적 피해 비용 10조원 중에 건설현장의 비산먼지로 인한 사회적 피해비용은 연간 2,126억에 달함.

- 개발기술(Korea KD40)이 No 분사와 비교하였을 때 미세먼지를 71% 저감하므로 연간 1,500억원의 사회적 피해비용을 절감 가능하며, 가장 강력한 경쟁 상대인 중국 DSS(Dust Suppression System, China RD40) 기술과 비교하였을 때 약 30% 이상 미세먼지를 저감 가능하며, 금액적으로는 중국 DSS 기술과 비교하여 연간 638억 정도 사회적 피해 비용 절감이 가능함.

구 분	피해금액
대기오염물질로 인한 사회적 피해 비용	10조원
비산먼지로 인한 피해 비용 (비산먼지가 전체 대기오염물질의 12.20% 차지)	1조 2,200억
비산먼지 발생원 중 건설공사로 인한 피해 비용 (비산먼지 발생원 중 건설공사로 인한 비산먼지 발생은 17.43% 차지)	2,126억

구 분	산출근거	사회적 피해 연 절감 금액
개발기술(지능형) : 비산먼지 71% 절감	=2,126억(건설공사피해비용)*0.71	1,509억
중국제품(원격형) : 비산먼지 41% 절감	=2,126억(건설공사피해비용)*0.41	871억
인력살수 : 비산먼지 37% 절감	=2,126억(건설공사피해비용)*0.37	786억

[그림 3.12] 사회적 피해 비용 경제성 분석



[그림 3.13] 경제성 분석 - 사회적 피해 비용 절감 효과 비교

- 사단법인 한국산업분석연구소에 의뢰하여 분석한 원가계산서를 기준으로 개발기술과 중국 기술의 일위대가 기준 경제성을 상대 비교해 보면 개발기술이 그림 3.14에서 보는 바와 같이 중국 DSS 기술에 비해 45% 경제성이 우수한 것으로 나타났음.

내 역 서

[단위 : 원]

품 명	규 격	수량	단위	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계
				단위당단가	금 액	단위당단가	금 액	단위당단가	금 액	
01. 공종명 : 개발기술 건설현장 지능형 미세먼지 저감 공법(지능형 시스템)										
지능형 분사장치	지능형 시스템, 40m	1.000	대					56,812	56,812	
물 탱 크	16,000L	1.000	HR	21,998	21,998	37,128	37,128	17,085	17,085	
계					21,998		37,128		73,897	133,023
02. 공종명 : 비교기술(A) 건설현장 원격형 미세먼지 저감 공법(원격형 시스템)										
원격형 분사장치	원격형 시스템, 40m	1.000	대					18,269	18,269	
물 탱 크	16,000L	1.000	HR	21,998	21,998	37,128	37,128	17,085	17,085	
발 전 기	50KW	1.000	HR	14,150	14,150	37,128	37,128	4,183	4,183	
지 게 차	5.0Ton, 상하차	0.333	HR	9,512	3,167	44,893	14,949	6,296	2,096	
원격조정장치 조정		1.000	HR			22,661	22,661			
계					39,315		111,866		41,633	192,814
03. 공종명 : 비교기술(B) 건설현장 인력살수형 미세먼지 저감 공법(인력살수형)										
인력살수형 분사장치	인력 살수, 20m	1.000	대					1,368	1,368	
물 탱 크	16,000L	1.000	HR	21,998	21,998	37,128	37,128	17,085	17,085	
고압살수기 조정		1.000	HR			22,661	22,661			
계					21,998		59,789		18,453	100,240
[원가계산서 28~30쪽 참조, 사단법인 한국산업분석연구소]										



경제성 분석 (원/HR))				
품 명	재료비	노무비	경비	합계 (원/HR)
개발기술	21,998	37,128	73,897	133,023
비교기술(A) 중국 DSS	39,315	111,866	41,633	192,814
비교기술(C) 인력살수	21,998	59,789	18,453	100,240

[그림 3.14] 경제성 분석 - 일위대가 비교

[표 3.5] 운용비용 분석

공종	금액(원)		비고
	중국DSS기술	개발기술	
① 8시간 장치 운용(일위대가)	1,542,592	1,064,184	히루 8시간 작업 기준
② 전력사용량	9,596	1,526	8시간 사용기준 요금
③ 물 사용량	1,683	1,224	8시간 사용기준 요금
합 계	1,553,871	1,066,934	

(표의 데이터 수치는 원가계산서 참조)



[그림 3.15] 일 운영 비용 분석

- 표 3.5는 실제 현장에서 장치를 운용하는데 소요되는 비용 분석이며, 8시간 장치를 운용하는데 소요되는 일위대가 비용, 8시간 장비를 가동하기 위해 소요되는 전력 및 물

사용량 소요 비용을 포함한 운용 비용 분석임.

- 중국 DSS 기술(China RD40)과 개발기술(KD40)의 운용비용을 분석해 보면 그림 3.15에서 보는 바와 같이 개발 기술이 중국 기술에 비해 46% 운영 비용을 절감하는 것으로 나타났음.
- 상기 전술한 내용을 종합해 보면 개발 기술은 해외 기술(중국DSS China RD40 제품)과 비교해 보았을 때 미세먼지 저감 효율은 30%, 사회적 피해 비용 기준 경제성은 73%, 에너지 소모량은 약 6.3배, 물 사용량 28%, 운영 비용은 46% 저감하는 기술임.
- 개발된 기술은 그림 3.16에서 보는 바와 같이 1세대 방식인 인력 살수 방식, 2세대 방식인 수동 및 원격 조정이 가능한 해외 Dust Suppression System을 뛰어 넘는 3세대 방식인 지능형 위치 추적 개념의 건설현장 비산먼지 저감 기술이라고 말할 수 있음.



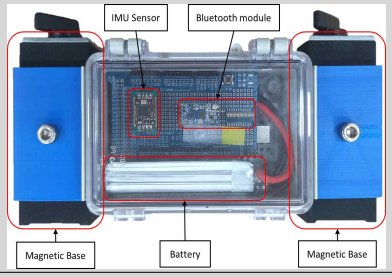
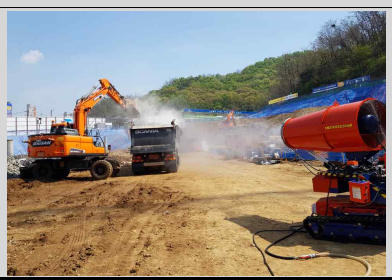
[그림 3.16] 개발기술과 기존 기술과의 차별성

- 현재 Dust Suppression System 분야의 세계적인 제품은 미국의 Dust Boss 및 Dust Fighter등이며 기술적으로는 가장 우수하다는 평가를 받고 있음. 한편으로 중국의 경우 급격한 산업 발달로 인해 세계 그 어느 나라보다 대기오염에 대한 문제가 심각하기 때문에 비산먼지지 관련 Dust Suppression System 분야에서 최근 중국의 약진이 두드러지고 있는 경향을 보이고 있음.
- 따라서, 지리적으로 경제적으로 향 후 가장 강력한 경젱 상대가 될 수 있는 중국제춤 China RD40제품을 수입하여 개발기술과 성능 비교 검증을 수행하였으며 성능 비교 검증 결과는 116쪽에 나타내었음.
- 원가계산서의 신청기술 제품 가격 조사표에 나와 있듯이 개발 장치는 분사거리 40M급 기준 30,000,000원이며, 중국장치는 평균적으로 분사거리 40M급 기준 9,700,000원 정도임. 중국 제품은 가격대가 일정하지 않아 대표적인 7개 업체에

대한 가격 조사를 하여 비교한 값이 되겠으며, 미국의 Dust Boss 제품은 분사거라 40m급 기준 36,700,000원임.

- 해외의 비산먼지 저감기술인 Dust Suppression System이 플랜트, 항만, 건설현장, 구조물 해체, 광산, 도로 재 비산, 철도산업뿐만 아니라 중국에서는 황사방지에도 적용되고 있는 점을 보았을 때 비산먼지가 발생하는 모든 산업 분야에 적용이 가능함. 이에 따라 수요처는 정부 및 지자체, 특히 대형 국책 사업을 주도하고 있는 LH공사, 한국도로공사 등의 공기업과 민간 건설회사가 주요 수요처가 되리라 판단됨.
- 향 후 다양한 현장 수요 조사 및 요구 사항을 개발기술에 반영하여 개발기술의 지속적인 Upgrade를 이루고, 해외 기술이 근원적으로 가지고 있는 인력 근로자 사망과 같은 안전 문제 및 장치 AS와 같은 사용성 부분에 경쟁력을 확보하여 개발 기술의 실용화를 이루고자 함.

[표 3.6] 지능형 위치 추적 기반 미세먼지 저감 기술 시공 순서

단계	구성	작업내용
STEP 1	 	- 장비의 배치 - 건설기계, 지능형 분사장치, 물차를 현장 작업 환경을 고려 안전하고 작업 효율을 높일수 있는 위치에 배치한다. - 위치 추적센서를 굴삭기에 부착한다. - 여기서 위치 추적 센서는 IMU센서와 GPS장치를 말한다. - 위치 추적 센서는 자석방식으로 부착하도록 되어 있어서 손쉽게 굴삭기에 부착가능하다.
STEP 2		- 물차를 연결한다. - 물차의 물 호수를 분사장치의 물 공급 호수와 연결한다. - 현장에 따라서 수도 공급이 가능한 현장일 경우 물차를 사용하지 않고 직수 연결하여 사용한다.
STEP 3		- 최종적으로 위치 인식센서 부착상태 및 물차 연결 상태를 확인하고 난 다음 분사장치를 가동한다.

- 지능형 위치 추적 비산먼지 저감 기술 적용을 위한 지능형 분사장치의 구성은 지능형 분사장치, 물차, 위치 추적 센서로 구성되며, 여기서, 위치 추적 센서는 비산먼지 발생원의 정확한 위치인 버킷 끝점의 위치를 파악하기 위한 IMU(Inertial Measurement Unit) 센서와 지구 좌표계에서 굴삭기의 중심위치를 파악하기 위한 GPS 모듈을 말하며, 지능형 위치 추적 시스템의 물의 공급은 현장에서 물의 직접 연결이 가능할 경우 물차는 필요 없으나, 물의 공급이 원활하지 않는 현장의 경우 물차를 사용하여야 하며, 지능형 위치 추적 비산먼지 저감 기술 적용을 위한 시공 순서는 표 3.6에 나타내었음.
- 지능형 위치추적기반 건설현장 미세먼지 자율 억제 시스템과 관련된 개발 장치 및 자재에 관한 유지관리운용지침은 표 3.7에 나타내었음.

[표 3.7] 장치 및 자재 유지관리 운용 지침

전기충전 및 엔진발전 자가충전부	① 동력은 전기(단상220V) 및 엔진발전기에 의해 충전되는 겸용방식으로서 자주식 형태로 운용되며 각부의 점검시 꼭 주전원이 차단되어 있는지 확인하여야 하며 유압실린더등은 반드시 정위치에 위치하고 있어야 함. ② 전기충전은 단상 220V로 상온의 온도에서 충전을 시행해 주시고 완전히 충전되도록 한다. ③ 내장된 밧데리 점검시 주위 화기엄금이며 교체시에는 규정된 배터리를 사용해야 하며, 배터리 전해액(검증된 정품사용)은 수시확인하여 보충하여야 한다. ④ 배터리액이 몸이나 옷에 묻지 않도록 해야 하며, 만약 묻었을 경우 곧바로 씻어야 한다. ⑤ 장기 보관시에는 배터리를 완충하여 상온/실내에 보관하며, 그렇지 않을 경우 배터리의 수명이 단축될 수 있으며 배터리액이 동파될수도 있으니 주의 하여야 한다. ⑥ 전기배선의 체결상태 및 보호 튜브가 손상된 곳이 없는지 수시 점검한다.
회전부 및 유압실린더부	① 각 회전부 및 연결부(핀)의 마모상태와 손상여부를 수시 확인하며, 필요시 그리스로 주유를 하여 사용해야 한다. ② 유압실린더부는 수시로 누유가 발생되지 않는지 확인해야 하며 오일 탱크의 오일 수위를 표시된 눈금으로 유지시켜 주어야 한다. ③ 각부의 볼트 및 너트의 체결상태를 수시로 점검하여야 한다.
송풍장치부	① 운전 전 송풍팬의 체결상태 및 균열 여부를 확인하여 사용한다. ② 송풍팬은 고속으로 회전되고 있으므로 이물질등이 유입되지 않도록 각별한 주의를 바라며 안전 cover를 해체한 상태에서 운전하지 않는다. ③ 사용 중 팬모터의 이상 소음등을 수시확인한다.
급수펌프부	① 공급수는 반드시 이물질이 없는 청수를 공급해야 하며 공급압력은

	4bar이내로 공급하여 사용하며, 공급부에 설치된 필터를 수시로 확인 및 세척하여 사용하기를 권장한다. ② 사용 중 누수가 발생되지 않는지 수시 확인해야 하며 누수 발생시 주전원을 차단하고 조치를 하여야 하며, 불이행시 감전의 위험과 제어부 손상이 발생될 수 있다. ③ 가동전 각부의 밸브 잠금상태를 확인하며, 펌프압력이 해소되지 않은 상태에서의 장기간 가동은 펌프 훼손의 원인이 되므로 주의한다.
구동부 바퀴 (궤도)	① 궤도의 장력과 마모 또는 손상 여부를 사용 전 점검한다. ② 턱이 높은 콘크리트나 철근등 노면이 거친 상태에서의 운전과 회전은 고무 궤도에 심한 손상과 궤도이탈이 될수 있으니 주의하여 운행한다. ③ 궤도에 큰돌이나 이물질이 들어간 경우에는 운행을 정지하고 주전원을 차단한 후에 이물질을 제거하여 사용한다.

(2) 정량적 연구개발성과

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준			
					질적 성과지표		목표치	달성치
총괄	A	건설현장 미세먼지 고효율 억제장비	A-1	분사장비 모션구동 메커니즘	①	회전반경	360도	380도
					②	분사각도	40도	47.8도
			A-2	분사장비 수동 및 자동 운전 시스템	①	조작성	가능 여부	원격 조작 가능
					②	자동운전여부	왕복 여부	가능
			A-3	미스트 분사기술	①	분사입자 크기	200um 이하	10um
			A-4	미스트 분사 모듈화 기술	①	분사거리	100m 이상	100%
					②	분사범위	30,000m^2 이상	100%
			A-5	현장실험 및 신기술 인증	①	운용비용	25% 감소	46%
					②	미세먼지 처리효율	25% 향상	30% 향상
					③	에너지 효율	25% 향상	6.28배 향상
					④	경제성 분석	25% 향상	73% 향상
	B	무인원격 자율형 미세먼지 추적 억제 기술	B-1	분사장비 원격제어 시스템	①	제어 지연시간	0.5초 이하	0.16초
			B-2	지능형 위치추적 제어기술	①	제어 오차범위	-5~+5도 이내	최대 오차 4.02 도 이내
	C	험지 극복 및 고소작업이 가능한 건설현장 이동플랫폼	C-1	험지 주행 이동플랫폼	①	구동 경사각	15도 이상	20.55도
			C-2	고소작업용 이동플랫폼	①	작업 높이	10m 이상	100%

성과지표		목표	달성	달성률	대표 실적
논문	SCI급	2	2	100%	• 비산먼지 억제를 위한 물 분사 로봇의 최적 설계 및 검증
	국내논문	3	3	100%	
학술발표	국내	0	11	1100%	• 건설 해체 현장 비산먼지 억제용 물 분사 로봇 제어를 위한 센서-네트워크
	국외	0	4	400%	
특허	출원	3	4	133%	• 특허 제10-2090469호 • 특허 제10-2222446호 • 특허 제10-2264422호
	등록	2	3	150%	
기술이전					
기술홍보					
현장적용		0	2	200%	• 국토교통부 스마트씨티 테스트베드 연계 시흥시 관내 건설 현장 테스트 베드 적용 • 국토교통부 노후교량 장수명화 연구단 노후 PSC 거더 대상 테스트 베드 적용
매뉴얼					• 미세먼지 자율억제 시스템 장치 시제품 외 6건
시제품		6	7	116%	
보고서					
소프트웨어					
인력양성		0	3	300%	• 석사 인력 양성

(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
국내논문게제(비SCI)__1차연도-1	메카넘휠 기반의 전방향 이동로봇 슬립에 관한 해석 및 실험적 검증	한국정밀공학회지	김설하	1	한국	한국정밀공학회	비SCI	2020년 1월1일	1225-9071	100
국외논문(SCI)__2차연도-1	Extension of Quadcopter Flight Range Based on Quadcopter Transport System and Autonomous Ramp Flight Algorithm	IEEE Access	이청화	8	미국	IEEE Access	SCI	2020년 8월 24일	2169-3536	100
국내논문게제(비SCI)__2차연도-1	비산먼지 억제를 위한 물 분사 로봇의 최적 설계 및 검증	한국정밀공학회지	김설하	10	한국	한국정밀공학회	비SCI	2020년 10월 1일	1225-9071	100
국외논문(SCI)__3차연도-1	Excavator Posture Estimation and Position Tracking System Based on Kinematics and Sensor Network to Control Mist-Spraying Robot	IEEE Access	이상웅	-	미국	IEEE Access	SCI	-	2169-3536	100
국내논문게제(비SCI)__3차연도-1	무인항공기 이동목표물 추적 비행 및 착륙 성능 개선을 위한 입력 신호 변형 기반의 제어 보조 시스템	한국정밀공학회지	백준수	2	한국	한국정밀공학회	비SCI	2022년 2월 1일	1225-9071	100

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
국외학술_1차연도-1	PRESM 2019	김설하	2019년 7월 11일	Vietnam	한국
국내학술_1차연도-1	2019 가을 한국콘크리트학회 학술대회	박종협	2019년 11월 7일	변산	한국
국내학술_1차연도-2	2019년도 한국기계가공학회 추계학술대회	김설하	2019년 10월 18일	여수	한국
국내학술_1차연도-3	2019년도 한국기계가공학회 추계학술대회	이정섭	2019년 10월 18일	여수	한국
국내학술_1차연도-4	한국정밀공학회 2019년 추계학술대회	김설하	2019년 11월 1일	창원	한국
국내학술_2차연도-1	2020 가을 한국콘크리트학회 학술대회	박종협	2020년 11월 2일	대구	한국
국내학술_2차연도-2	한국정밀공학회 2020 통합학술대회	박현빈	2020년 9월 14일	제주	한국
국내학술_2차연도-3	한국정밀공학회 2020 통합학술대회	이상웅	2020년 9월 14일	제주	한국
국내학술_2차연도-4	2020 한국기계가공학회 춘계학술대회	이상웅	2020년 6월 25일	통영	한국
국외학술_2차연도-1	PRESM 2020	이상웅	2020년 9월 15일	온라인	한국
국외학술_3차연도-1	PRESM 2021	박현빈	2021년 7월 21일	제주	한국
국외학술_3차연도-2	PRESM 2021	주백석	2021년 7월 21일	제주	한국
국내학술_3차연도-1	한국정밀공학회 2021 춘계학술대회	정현경	2021년 5월 12일	제주	한국
국내학술_3차연도-2	한국정밀공학회 2021 년도 추계학술대회	정현경	2021년 11월 24일	부산	한국
국내학술_3차연도-3	2021년도 한국기계가공학회 추계학술대회	신재민	2021년 12월 1일	제주	한국

□ 기술 요약 정보(해당사항 없음)

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

□ 보고서 원문(해당사항 없음)

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물(해당사항 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	지식재산권 등 명칭	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	건설현장 미세먼지 저감을 위한 영상 인식 기반의 물 분사 장치 및 방법	대한민국	㈜케이씨티이엔씨	2019.10.31	10-2019-0138104		㈜케이씨티이엔씨	2020.03.12	특허 제10-2090469호	100	
2	미세먼지 제거를 위한 물 분사 로봇의 위치 추적 시스템 및 방법	대한민국	㈜케이씨티이엔씨 금오공과대학교 산학협력단	2019.08.28	10-2019-0106043		㈜케이씨티이엔씨 금오공과대학교 산학협력단	2021.02.24	제10-2222446호	100	
3	비산먼지 위치추적형 이중분사 방식의 비산먼지 저감장치 및 그를 이용한 비산먼지 저감방법	대한민국	㈜케이씨티이엔씨	2021.03.09	10-2021-0030629		㈜케이씨티이엔씨	2021.06.08	특허 제10-2264422호	100	

ㅇ 지식재산권 활용 유형(해당사항 없음)

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

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)(해당사항 없음)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율

□ 신기술 지정(해당사항 없음)

번호	명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호

□ 기술 및 제품 인증(해당사항 없음)

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		

□ 표준화(해당사항 없음)

ㅇ 국내표준

번호	인증구분[1]	인증여부[2]	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류[3]	제안/인증일자

ㅇ 국제표준

번호	표준화단계구분[1]	표준명	표준기구명[2]	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식[3]	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	미세먼지 자율억제 시스템 장치 시제품	2019. 10. 12	㈜케이씨티이엔씨	㈜케이씨티이엔씨	건설현장을 비롯하여 비산먼지 발생 모든 산업 분야	3년		
2	미스트 분사장비 원격 조종 및 모니터링 장치 시스템	2019. 09. 10	㈜케이씨티이엔씨	㈜케이씨티이엔씨	비산먼지 발생 모든 산업 분야	3년		
3	지능형 미세먼지 자율억제 시스템 장치 시제품(40m급)	2020. 09. 12	㈜케이씨티이엔씨	㈜케이씨티이엔씨	비산먼지 발생 모든 산업 분야	3년		
4	센서네트워크 기반의 관성측정장치 시제품	2020. 08. 05	㈜케이씨티이엔씨	㈜케이씨티이엔씨	비산먼지 발생 모든 산업 분야	3년		
5	지능형 및 전원 자가형 고소 작업 분사 장치	2021. 08. 30	㈜케이씨티이엔씨	㈜케이씨티이엔씨	비산먼지 발생 모든 산업 분야	3년		
6	100m급 분사 장치	2021. 07. 20	㈜케이씨티이엔씨	㈜케이씨티이엔씨	비산먼지 발생 모든 산업 분야	3년		
7	비전 기반 원격 컨트롤러	2021. 08. 20	㈜케이씨티이엔씨	㈜케이씨티이엔씨	비산먼지 발생 모든 산업 분야	3년		

□ 기술 실시(이전)(해당사항 없음)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황

□ 사업화 투자실적(해당사항 없음)

번호	추가 연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격*

□ 사업화 현황(해당사항 없음)

번호	사업화 방식[1]	사업화 형태[2]	지역[3]	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

□ 매출 실적(누적)(해당사항 없음)

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

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과(해당사항 없음)

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

□ 고용 창출(해당사항 없음)

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			yyyy년	yyyy년	
합계					

□ 고용 효과(해당사항 없음)

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

□ 비용 절감(누적)(해당사항 없음)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과 (해당사항 없음)

(단위: 천원/년)

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

□ 산업 지원(기술지도)(해당사항 없음)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원

□ 기술 무역 (해당사항 없음)

(단위: 천원)

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

[사회적 성과]

□ 법령 반영(해당사항 없음)

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

□ 정책활용 내용(해당사항 없음)

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

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영(해당사항 없음)

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

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1		2020		1				○			○		
2		2021		2			○				○		

□ 산업 기술 인력 양성(해당사항 없음)

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

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용(해당사항 없음)

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비

□ 국제화 협력성과(해당사항 없음)

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

□ 홍보 실적(해당사항 없음)

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일

□ 포상 및 수상 실적(해당사항 없음)

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비(해당사항 없음)

구축기관	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](해당사항 없음)

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당사항 없음)

2) 목표 달성 수준

추 진 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
미스트 분사장비 기본 구조설계 및 독립 장비화	380도 수평회전, 47.8도 상하회전 가능한 장치시제품 국산화	100
사용자 친화형 분사장비 수동 및 자동 운전 시스템	조이스틱에 의한 원격조정 기술 구현	100
미스트 분사장비 원격제어 시스템	제어 지연시간 0.16초 이하 달성	100
미세먼지 억제용 미스트 분사기술	세계 최초로 지능형 건설현장 미세먼지 억제 분사장비 기본 구조설계 및 장치 시스템 제작 개발된 시제품은 분사거리 40m, 분사범위 5,000 m^2 지능형 미세먼지 저감 장치 시제품 기술 구현	100
지능형 미세먼지 발생원 위치 인식 알고리즘	굴삭기 기구학 해석을 통한 굴삭기 자세 인식 알고리즘 개발 및 관성측정장치 시제품 제작 완료 관성측정장치를 이용한 자세 인식 알고리즘을 오차 거리 0.1m 이내로 구현함	100
자율형 위치추적 기반의 시스템 제어 기술	RTK-GPS를 사용한 위치추적과 미세먼지 발생원 위치 인식 알고리즘을 사용하여 물 분사 로봇이 미세먼지 발생원을 실시간으로 추적하도록 하는 지능형 위치 추적 제어 기술개발 완료 지능형 위치 추적 제어 기술 사용 시 목표 제어 오차인 각도 -8.2~+9.0도 이내로 제어 가능	100
미스트 분사 기술	미스트 분사 입자 크기 10μm 이하 달성	100
미스트 분사 모듈화 기술	분사거리 100m, 분사범위 30,000m^2 달성	100
현장실험 및 신기술 인증	미세먼지 저감효율 검증 실험, 물 소모량 및 전력 소모량 검증시험을 수행하여으며, 그 결과 해외 기술(중국제품 China RD40)과 비교해 보았을 때 미세먼지 저감 효율은 30%, 에너지 소모량은 6.28배, 물 사용량은 28%를 저감하는 기술을 구현하였음	100
지능형 위치추적 제어기술	RTK-GPS를 이용한 상대 거리 측정 기술과 IMU를 이용한 굴착기 자세 인식 기술을 이용하여 미세먼지 억제 로봇으로 굴착기를 각도 ±5° 이내로 추적하는 알고리즘을 개발하였음	100
험지 주행 이동플랫폼	험지 극복을 위한 캐터필러 타입의 하부 이동 플랫폼 기술을 개발하여 구동경사각 22.5도 까지 구동가능한 기술개발을 하였음(당초 목표 15도)	100
고소작업용 이동플랫폼	작업 높이 10m 고소 작업 가능 지능형 분사 장치 기술 구현(당초 목표 작업 높이 10m)	100

4. 목표 미달 시 원인분석(해당사항 없음)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

2) 자체 보완활동

보안 유지를 위해 중요한 연구외주용역에 대하여 보안 유지 내용이 포함된 연구용역 협약을 체결하여 보안 유지에 최선을 다하였음.

3) 연구개발 과정의 성실성

중소기업이 가지는 여러 가지 제약조건을 극복하고자 별도의 연구 공간을 마련하여 전담연구인력을 100% 연구에 전담하게 함으로써 연구 목표를 달성하고자 최선의 노력을 기울였음.

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²)

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 개발기술의 최종 목표인 해외 물 분사 장치(Dust Suppression system)을 대체하고 국내 독자적인 미세먼지 저감 기술을 확보하는 것이므로, 해외 기술(중국제품 China RD40)과 비교해 보았을 때 미세먼지 저감 효율은 30%, 에너지 소모량은 6.28배, 물 사용량 28%를 저감하는 기술임.
- 무인 정밀 분사기술 구현으로 작업자의 안전 도모로 건설 안전확보가 가능하고, 특히 제 2, 제 3의 광주 건물 붕괴사고와 같은 대형 사고를 방지 가능함.
- 건설현장의 비산먼지로 인한 연간 1500억에 달하는 사회적 피해 비용 절감이 가능하며, 1세대 방식의 인력 살수 방식, 2세대 방식의 해외 원격 Dust Suppression System을 뒤어 넘는 지능형 위치 추적 기반의 건설현장 미세먼지 자율억제 시스템 개발로 인해 Dust Suppression System 분야에서 세계 시장 선도가 가능하리라 판단됨.

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- 미국, 유럽뿐만 아니라 우리보다 기술적으로 후진국이라 생각했던 중국도 건설현장의 미세먼지 저감을 위해서 dust suppression system 기술을 개발하여 적용하고 있으나, 우리나라의 경우 인력살수나 세륜시설 등의 극히 초보적인 수준에 머무르고 있으며, 외국의 미세먼지 저감 기술을 뛰어넘는 본 연구 과제인 실시간 건설현장 미세먼지 추적 저감 기술이 현재 정부의 강력한 미세먼지 저감정책에 편승한다면 건설현장의 파급효과는 상당히 크리라 판단됨.
- 해외 기술의 경우 건설현장를 비롯하여 구조물해체현장, 플랜트, 시멘트/광산, 철도 항만 하역, 폐기물처리현장 등의 거의 비산-미세먼지가 발생하는 모든 산업현장에 적용하고 있고, 특히 중국의 경우 황사방지에도 적용하고 있어서 활용 가능성은 상당히 크리라 예상됨.
- 개발기술의 실용화 및 적극적인 적용성 확대를 위하여 플랜트, 항만, 건설현장, 구조물 해체, 광산, 도로 재 비산 등 비산먼지가 발생하는 다양한 산업현장에에 대한 검증시험을 수행하는 것이 바람직하리라 생각되며, 향 후 실용화 및 사업화 과정에서 보다 다양하고 가혹한 환경에 대한 장치 시제품의 실증을 수행하여 개발기술의 완성도를 높여 나가자 함.
- 개발 기술의 상용화를 위해 국토교통부 건설 신기술 지정을 추진하고 있으며, 현재 1차 신청 준비중에 있으며, 최종적으로 건설신기술 획득을 토대로 매출 및 영업이익을 극대화하고 개발기술의 활용화를 적극 추진해 니갈 예정임.

7. 참고 문헌

1. Maozhen Liu, Yanchun Shen 외, “Study on Real-Time simulation Algorithms about Dust Suppression Spray based on Particle System", Alllied mechanics and Materials, Vol. 321-324, 2013

2. Kieran Andrew Wallace 외, “Development of a Compact Excavator Mounted Dust Suppression System", Journal of Cleaner Production 54, 2013

3. Leung, K. K., Liu, C. H., Wong, C. C., Lo, J. C., and Ng, G. C., “On the Study of Ventilation and Pollutant Removal overIdealized Two-Dimensional Urban Street Canyons,” Building Simulation, Vol. 5, No. 4, pp. 359-369, 2012

4. Michioka, T., Sato, A., Takimoto, H., and Kanda, M., “LargeтEddy Simulation for the Mechanism of Pollutant Removal from a Two-Dimensional Street Canyon,” Boundary-Layer Meteorology, Vol. 138, No. 2, pp. 195-213, 2011

5. Faschingleitner, J. and Höflinger, W., “Evaluation of Primary and Secondary Fugitive Dust Suppression Methods Using Enclosed Water Spraying Systems at Bulk Solids Handling,” Advanced Powder Technology, Vol. 22, No. 2, pp. 236-244, 2011

6. Chavhan, M. V. and Mukhopadhyay, A., “Fibrous Filter to Protect Building Environments from

Polluting Agents: A Review," Journal of the Institution of Engineers (India): Series E, Vol. 97, No. 1, pp. 63-73, 2016
7. Koivo, A., Thoma, M., Kocaoglan, E., and Andrade-Cetto, J.,"Modeling and Control of Excavator Dynamics during Digging Operation," Journal of Aerospace Engineering, Vol. 9, No. 1, pp.10-18, 1996
8. Chang, P. H. and Lee, S. J., "A Straight-Line Motion Tracking Control of Hydraulic Excavator System," Mechatronics, Vol. 12, No. 1, pp. 119-138, 2002
9. Nguyen, Q., Ha, Q., Rye, D., and Durrant-Whyte, H., "Force/ Position Tracking for Electrohydraulic Systems of a Robotic Excavator," Proc. of the 39th IEEE Conference on Decision and Control, pp. 5224-5229, 2000
10. Bailer, C., Pagani, A., and Stricker, D., "A Superior Tracking Approach: Building a Strong Tracker through Fusion," Proc. of the European Conference on Computer Vision, pp. 170-185, 2014
11. H. Noh, S. Lee, and J. Yu, "Identifying effective fugitive dust control measures for construction projects in Korea," Sustainability, vol. 10, no. 4, p. 1206, 2018
12. D. Clement, A. A. Aliabadi, J. Mackey, J. Thé, and B. Gharabaghi, "Dust Emissions Management Model for construction sites," Journal of Construction Engineering and Management, vol. 147, no. 8, p. 04021092, 2021
13. H.-J. Yu, K.-Y. Han, K.-S. Kwak, J.-S. Kim, and K.-Y. Yang, "A study on the actual condition and effect of dust scattering in construction field," Journal of the Korean Institute of Building Construction, vol. 4, no. 4, pp. 109-115, 2004

< 연구개발성과 활용계획표>

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내
국외논문	SCIE	
	비SCIE	
	계	
국내논문	SCIE	
	비SCIE	1
	계	1
특허출원	국내	
	국외	
	계	
특허등록	국내	
	국외	
	계	
인력양성	학사	
	석사	1
	박사	
	계	1
사업화	상품출시	
	기술이전	1
	공정개발	
제품개발	시제품개발	
성과홍보		
포상 및 수상실적		
정성적 성과 주요 내용		

[뒷면지]

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구개발사업 일반연구개발과제 최종보고서이다.

2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.

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

210mm×297mm[(백상지(80g/m^2) 또는 중질지(80g/m^2)