최종보고서(일반과제용)

보안등급: 일반[✔], 보안[ ]

중앙행정기관명	국토교통부	사업명	사업명	국토교통기술촉진연구사업	
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		내역사업명	국토교통기술혁신연구(사회이슈해결 유형)	
공고번호	공고-제 2호		연구개발과제번호	19CTAP-C152136-01	
국가과학기술 표준분류	EI1204. 친환경건축물 설계/시공/관리기술	50%	EH0102. 미세먼지오염 개선기술	40%	EA0705.대기오염방지설비 10%
연구주제	(대분류)		(중분류)		(소분류)

연구개발과제명	국문	도심지 건설현장 미세먼지 억제를 위한 Smart 감시 및 드론기반의 Water Fog 분사시스템 개발
	영문	Development of smart surveillance and drone based water-fog spray system for fine dust suppression in the construction site downtown

주관연구개발기관	기관명	한국기계연구원	사업자등록번호	314-82-02693
	주소	(34103) 대전광역시 유성구 가정북로 156	법인등록번호	194222-0000031
주관연구책임자	성명	함영복	직위	책임연구원
	연락처 직장전화	042-868-7512	휴대전화	010-4585-1023
	연락처 전자우편	hyb665@kimm.re.kr	국가연구자번호	1011 3882
연구개발기간	전체	2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(2년 9개월)		
	1년차	2019. 04. 19 - 2019. 12. 31(9개월)		
	2년차	2020. 01. 01 - 2020. 12. 31(1년)		
	3년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(1년)		

연구개발비 (단위 : 천원)

	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
				지방자치단체		기타( )					
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	600,000	20,100	180,900					620,100	180,900	801,000	-
1년차	134,000	4,500	40,500					138,500	40,500	179,000	-
2년차	180,000	6,000	54,000					186,000	54,000	240,000	-
3년차	286,000	9,600	86,400					295,600	86,400	382,000	-

공동연구개발기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
공동연구개발기관	한국건설기술연구원	한재구	수석	010-3326-3461	jghan@kict.re.kr	연구책임자	연구소
연구개발기관 외 기관	한진로보틱스	허인순	대표	010-5310-5385	hanjin-eng@naver.com	연구책임자	중소기업

연구개발담당자 실무담당자	성명	김홍욱	직위	선임기술원	
	연락처 직장전화	042-868-7512	휴대전화	010-3844-3585	
	연락처 전자우편	good8463@kimm.re.kr	국가연구자번호	1121 6792	

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

2022 년 3 월 17 일

연구책임자 : 함 영 복 (직인)

주관연구개발기관의 장 : 한국기계연구원 박 상 진 (직인)

공동연구개발기관의 장 : 한국건설기술연구원 김 병 석 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요 약 문 >

<table>
<tr><td colspan="2">사업명</td><td colspan="2">국토교통기술촉진연구사업</td><td colspan="2" rowspan="2">연구개발과제번호</td><td colspan="2" rowspan="2">19CTAP-C152136-01</td></tr>
<tr><td colspan="2">내역사업명</td><td colspan="2">국토교통기술혁신연구</td></tr>
<tr><td colspan="2">국가과학기술표준분류</td><td>EI1204. 친환경건출물 설계/시공/관리기술</td><td>50%</td><td>EH0102. 미세먼지오염 개선기술</td><td>40%</td><td>EA0705. 대기오염방지 설비</td><td>10%</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구주제</td><td colspan="2">(대분류) 지속가능한 활력사회</td><td colspan="2">(중분류) 건설/교통 환경</td><td colspan="2">(소분류) 미세먼지</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제명</td><td colspan="6">도심지 건설현장 미세먼지 억제를 위한 Smart 감시 및
드론 기반의 Water Fog 분사시스템 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">전체 연구개발기간</td><td colspan="6">2019. 04. 19 - 2021. 12. 31 (2년 9개월)</td></tr>
<tr><td colspan="2">총 연구개발비</td><td colspan="6">총 801,000 천원
(정부지원연구개발비 : 600,000 천원, 기관부담연구개발비 : 201,000 천원,
지방자치단체 : 천원, 그 외 지원금 : 천원)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발단계</td><td colspan="2">기초[√] 응용[ ] 개발[ ] 기타
(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]</td><td colspan="2">기술성숙도</td><td colspan="2">착수시점 기준( )
종료시점 목표(√)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 유형</td><td colspan="6">지정공모 [ ] 자유공모 [✔]</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 특성</td><td colspan="6">사회이슈 해결</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구개발목표 및 내용</td><td>최종 목표</td><td colspan="6">도심지 건설현장에서 발생하는 미세먼지를 억제하기 위한 Smart 감시 및 드론 기반의 Water Fog 분사시스템을 개발하고자 하는 것으로 미세먼지 감지 장치 및 센서에 의해 생성된 데이터를 드론에 송출하고 장착된 미세먼지 억제제 분사장치를 이용하여 미세먼지를 억제하는 시스템임</td></tr>
<tr><td>전체 내용</td><td colspan="6">◦ 드론기반의 Water Fog 분사시스템 설계 및 요소기술 개발
- 드론기반 Water Fog 분사시스템 사양설계
- Water Fog 분사시스템 요소기술 개발
◦ Smart 감시 장치 개발 : GIS를 활용한 건설현장 미세먼지 mapping 기술개발
- GIS를 활용한 미세먼지 mapping 시스템구축
- Water Fog 분사시스템과 연계 및 테스트
◦ Test- Bed 운용
- 시나리오 개발 및 성능평가 기준 수립
- 전체 시스템에 대한 현장 운용, 성과 및 효과 분석
◦ 경제성 평가 및 상용화 전략 수립
- 기술가치 평가를 기반으로 한 경제성 평가
- 경제성 평가 등을 토대로 상용화전략 수립
◦ 개발 기술의 활성화를 위한 정책 개발
- 규제요소 검토 및 개선안제시
- 개발기술의 확산 및 활용제고 등 활성화를 위한 정책제안</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="6"></td><td rowspan="2">1년차</td><td>목표</td><td colspan="11">◦ 드론기반의 Water Fog 분사시스템 설계 및 요소기술과 Smart 감시장치 Mapping 기술 개발 (알고리즘 설계)</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="11">– 드론기반 Water Fog 분사시스템 사양설계
– Water Fog 분사시스템 요소기술 개발
– Smart 감시장치 Mapping 기술 개발(알고리즘 설계)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2년차</td><td>목표</td><td colspan="11">◦ Water Fog 분사시스템 구성 및 Smart 감시장치 프로토타입 개발</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="11">– Water Fog 분사시스템 요소기술 개발
– Water Fog 분사시스템 구성 및 성능시험
– Smart 감시장치 프로토타입 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3년차</td><td>목표</td><td colspan="11">◦ 시스템 통합 및 Test-bed 적용, 성능평가, 상용화전략 수립 및 정책 개발</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="11">– 전체 시스템 통합 및 시운전
– 드론기반 Water Fog 분사시스템의 Test-Bed 운용 및 보완
– 성과분석과 상용화전략수립 및 정책개발</td></tr>
<tr><td colspan="3">연구개발성과</td><td colspan="11">◦ Smart 감시 및 드론 기반 Water Fog 분사시스템에 대한 요소 기술 개발이 요구됨에 따라 관련 특허 및 논문 성과를 기대할 수 있음
– GIS를 활용한 건설현장 미세먼지 mapping 기술, Water Fog 분사 기술 등</td></tr>
<tr><td colspan="3">연구개발성과
활용방안 및
기대효과</td><td colspan="11">◦ 도심지 건설현장의 미세먼지를 저감하기 위한 드론기반의 감시 및 억제기술로 공공기관 및 건설업체 등에서 활용하여 미세먼지로 인해 발생하는 문제를 해결함으로써 국민 삶의 질 향상에 기여하고, 건설 생산성 향상, 현장 작업자 안전도 향상 등을 기대할 수 있음</td></tr>
<tr><td colspan="3">연구개발성과의
비공개여부 및 사유</td><td colspan="11">해당없음</td></tr>
<tr><td colspan="3" 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 rowspan="2">화합물</td><td colspan="2">신품종</td></tr>
<tr><td>생명
정보</td><td>생물
자원</td><td>정보</td><td>실물</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td>3</td><td>3</td><td>14</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">연구시설·장비
종합정보시스템
등록 현황</td><td>구입기관</td><td colspan="2">연구시설·
장비명</td><td>규격
(모델명)</td><td>수량</td><td>구입
연월일</td><td>구입가격
(천원)</td><td>구입처
(전화)</td><td>비고
(설치
장소)</td><td>ZEUS
등록
번호</td></tr>
<tr><td>–</td><td colspan="2">–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>=</td></tr>
<tr><td colspan="3">국문핵심어
(5개 이내)</td><td colspan="3">미세먼지</td><td colspan="3">건설현장</td><td colspan="2">드론</td><td colspan="2">도심지</td><td colspan="2">미분무수</td></tr>
<tr><td colspan="3">영문핵심어
(5개 이내)</td><td colspan="3">Fine Dust</td><td colspan="3">Construction Site</td><td colspan="2">Drone</td><td colspan="2">Downtown</td><td colspan="2">Water Fog</td></tr>
</table>

CONTENTS

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 ····· 3

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ····· 6

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성) ····· 294

5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 ····· 295

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 ····· 296

7. 참고 문헌 ····· 297

부 록 ····· 299

별첨자료(성과 증빙자료 등)

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

구분	내용
최종 목표	도심지 건설현장에서 발생하는 미세먼지를 억제하기 위한 Smart 감시 및 드론 기반의 Water Fog 분사 시스템을 개발하고자 하는 것으로 미세먼지 감지 장치 및 센서에 의해 생성된 데이터를 드론에 송출하고 장착된 미세먼지 억제제 분사장치를 이용하여 미세먼지를 억제하는 시스템임
세부 목표	◦ 드론기반의 Water Fog 분사시스템 설계 및 요소기술 개발 – 드론기반 Water Fog 분사시스템 사양설계 – Water Fog 분사시스템 요소기술 개발 ◦ Smart 감시 장치 개발 : GIS를 활용한 건설현장 미세먼지 mapping 기술개발 – GIS를 활용한 미세먼지 mapping 시스템구축 – Water Fog 분사시스템과 연계 및 테스트 ◦ Test- Bed 운용 – 시나리오 개발 및 성능평가 기준 수립 – 전체 시스템에 대한 현장 운용, 성과 및 효과 분석 ◦ 경제성 평가 및 상용화 전략 수립 – 기술가치 평가를 기반으로 한 경제성 평가 – 경제성 평가 등을 토대로 상용화전략 수립 ◦ 개발 기술의 활성화를 위한 정책 개발 – 규제요소 검토 및 개선안제시 – 개발기술의 확산 및 활용제고 등 활성화를 위한 정책제안

2) 연구개발과제의 연차별 목표

◦ 1차년도: 드론기반의 Water Fog 분사시스템 설계 및 요소기술 개발
– 드론기반 Water Fog 분사시스템 사양설계
– Water Fog 분사시스템 요소기술 개발
– Smart 감시장치 Mapping 기술개발(알고리즘 설계)

◦ 2차년도: Water Fog 분사시스템 구성 및 Smart 감시장치 프로토타입 개발
– Water Fog 분사시스템 요소기술 개발
– Water Fog 분사시스템 구성 및 성능시험
– Smart 감시장치 프로토타입 개발

◦ 3차년도: 시스템 통합 및 Test-Bed 적용, 성능평가, 상용화전략 수립 및 정책개발
– 전체 시스템 통합 및 시운전
– 드론기반 Water Fog 분사시스템의 Test-Bed 운용 및 보완
– 성과분석과 상용화전략수립 및 정책개발

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2019)	드론기반의 Water Fog 분사시스템 개발	Water Fog 분사장치	없음	분사유량(L/min) : 0.5 이상	방제용 드론	5
		분사액 축압 모듈	없음	축압압력(bar) : 200	미분무수 발생 가능 압력	5
				축압용량(L) : 10 이상	드론 적재용량	5
				분무시간(min) : 10 이상	드론 비행시간	10
	GIS기반 드론을 활용한 스마트 감시장치 개발	미세먼지 정보의 GIS 맵핑 기술	없음	1:1000 수치지도에 미세먼지 정보 맵핑 Pilot Test 및 관련 문헌조사 (미세먼지/GIS 정보 맵핑 제시) : 5건	현장 내 미세먼지 정보 제공	5
2년차 (2020)	드론기반의 Water Fog 분사시스템 개발	Water Fog 분사장치 모듈	없음	분사폭(m) : 5 이상	방제용 드론, 적용 현장 면적	5
				분사압력(bar) : 100 이상	미분무수 발생 가능 압력	10
	GIS기반 드론을 활용한 스마트 감시장치 개발	미세먼지 정보의 GIS 맵핑 기술	없음	1:1000 수치 지도에 원스톱 미세먼지 정보 맵핑 여부 (싱크로율 측정표 제시)	맵핑 정보 싱크로율 99%	10
				Time-based 미세먼지 정보 제공 (시간별 미세 먼지 정보 제시)	1시간 단위	10
		드론을 활용한 미세먼지 감시장치 프로토타입 구축	없음	미세먼지측정센서 및 위치정보가 장착된 드론기반 프로토타입 감시장치 구축여부 (프로토타입 시스템 구축여부)	프로토타입 제작	10
3년차 (2021)	드론기반의 Water Fog 분사시스템 개발	분사장치 및 센서 탑재 드론 모듈	없음	미세먼지 억제율(%) : 70% 이상	미세먼지 농도기준 (좋음/나쁨)	10
	GIS기반 드론을 활용한 스마트 감시장치 개발	드론을 활용한 미세먼지 감시장치 구축	없음	드론의 미세먼지 측정 정확도 (정밀제품과 실시간 측정 비교)	95% 이상	10
				미세먼지/지리/운행정보 등에 대한 통신 SW/HW 구축 (시스템구축여부)	시스템 구축	5

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 1차년도

구분 (연도/단계)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
1차 연도 (2019)	드론기반의 Water Fog 분사시스템 개발	시스템 사양 설계	1. 기술현황 및 자료 분석	• 미세먼지 관련 드론 활용 기술자료 조사 및 방제용 드론 사양 분석 실시하여 시스템 사양 결정에 반영하였음
			2. 분사시스템 사양 결정	• 드론 관련 기술현황 분석에서 확인된 드론 사양을 바탕으로 작업시간, 분사폭, 유체탱크 용량 등을 고려하여 드론 및 시스템 사양을 결정하였음 • 시스템의 적용대상인 소규모 건설현장에서 발생하는 미세먼지와 유사한 크기의 미분수를 발생시켜 억제효과를 달성하고자 하였음
			3. 분사량을 고려한 약물탱크 용량 산출	
			4. 상용 드론 선정	
			5. 분사시스템 개념 설계	• 시스템 사양에 적합한 드론을 제작하여 Water Fog 분사장치를 장착하는 방식으로 시스템 개념 설계를 진행하였음 • 드론을 감시 및 억제용으로 각각 운영하여 미세먼지 측정 후 억제작업이 이루어지는 운용 시나리오를 정립하였음
		분사시스템 요소기술 개발	6. 분사장치 기구 설계	• 드론에 장·탈착이 가능하고, 시스템의 목표 달성이 가능한 Water Fog 분사장치 모듈을 설계하였음
			7. 분사노즐 선정 및 시험	• 노즐 시험을 통하여 미세먼지와 유사한 미분수 입경 발생이 가능한 압력조건과 미분수 입경, 유량 및 분사폭이 만족하는 노즐을 선정하였음
			8. 고압 정량분사 밸브 개발	• 유체 공급장치로 고압펌프가 적합한 것으로 분석 및 결정되며 정량분사 밸브의 필요성이 없어짐
			9. 미세먼지 입자 친환경 코팅액 첨가제 배합기술 개발	• 현장 및 제조사 데이터를 바탕으로 미세먼지 발생형태별 첨가제 혼합 비율을 확인하고, 건설현장 미세먼지에 적합한 비율을 결정하였음
			10. 축압 용기 설계	• 유체 공급장치로 축압용기 및 고압펌프에 대한 시뮬레이션 분석 결과에서 유체를 지속적으로 고압 공급이 가능한 소형 고압펌프를 적용하는 것으로 결정하였음 • 고압펌프를 드론에 장착이 가능한 크기 및 무게에서 압력 및 유량이 만족하도록 설계 및 제작하였음
	GIS기반 드론을 활용한 스마트 감시장치 개발	Smart 감시장치 Mapping 기술 개발	11. 연구 동향 조사 및 분석 / 건설현장 미세먼지 및 작업환경 조사	– 미세먼지, 드론관련 제도, 정책, 연구동향조사, 분석 – 건설현장 미세먼지 발생 및 대응수준에 관한 설문조사 실시, 분석
			12. 시스템 개발을 위한 요구성능 조건 도출	– 미세먼지 측정센서, 드론·미세먼지관련 GIS활용사례 조사 – 사례조사결과를 토대로 미세먼지 측정센서 요구조건, 시스템 운영규정 마련 시 고려사항 도출
			13. 미세먼지 측정방법 및 mapping 방안 도출	– 건설현장 미세먼지 측정방법을 고찰하고 mapping방안을 도출하였음 – 최종성과품의 미세먼지 측정값과 비교하기 위한 대조장비 구매
			14. 파일롯 테스트를 통한 도출방안의 적정성 검토	• 건설현장을 대상으로 테스트를 실시하였으며 GIS와 연계하여 결과를 도출하였음 • 최종성과물은 고정밀GPS모듈 장착추진

2) 2차년도

구분 (연도/단계)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
2차 연도 (2020)	드론기반의 Water Fog 분사 시스템 개발	Water Fog 분사시스템 요소기술 개발	1. 고압펌프 시스템 조립 및 성능 테스트	• 고압펌프 시작품을 제작하여 기본 동작 및 부하시험을 진행하여 성능을 확인하였음 • 기타 상용펌프인 드론용 방제펌프, 소형기어펌프, 액시얼 피스톤 펌프에 대한 성능시험을 진행하여 적용 가능한 펌프를 선정하였음
			2. 분사장치 제작 및 보완	• 개발된 요소기술을 활용하여 분사장치를 구성하고, 시험을 통하여 시스템에 요구되는 사양의 성능을 확인하였음
		Water Fog 분사시스템 구성 및 성능시험	3. Water Fog 분사장치 장착	• 드론에 제작된 분사장치(유체탱크, 고압펌프 및 모터, 노즐 및 배관 조립체, 제어장치 등)를 본체부 및 랜딩기어에 장착하여 시스템을 구성하였음
			4. Water Fog 분사장치 성능시험 및 보완	• 시스템의 성능시험을 통하여 비행 안정성, 비행시간, 분무효과 등을 확인하고, 보완사항을 도출하였음
			5. 현장 성능 시험 및 보완	• 시스템의 현장(실외) 시험을 통하여 기본 성능을 확인하고, Smart 감시장치와 작업 시나리오에 따라 테스트를 진행하였음
	GIS기반 드론을 활용한 스마트 감시장치 개발	Smart 감시장치 프로토타입 개발 및 테스트	6. GIS를 활용한 미세먼지 mapping 시스템 구축	• 1차 프로토타입 구축 –스마트 미세먼지 측정장비(미세먼지센서+GPS/기압계+통신모듈)+드론을 구축함 –스마트 측정 장비 중심의 운영기초시스템 구축 (저감장비를 고려한 통합운영 및 데이터 통계분석 등의 시스템은 3차년 구현예정)
			7. 미세먼지 측정 및 데이터 추출	• 1차 프로토타입 구축을 기반으로 실내에서 진행한 성능테스트와 건설현장에서 진행한 현장실험(파일럿 테스트)를 통해 미세먼지 측정 및 데이터를 추출함 –성능 테스트(2020.10.7.) : 데이터 수신(미세먼지 측정, GPS 등)의 적정성 테스트 –현장 테스트(2020.10.13.) : 토공현장을 대상으로 미세먼지 측정 및 3D맵핑 테스트
			8. GIS를 활용한 미세먼지 mapping 데이터 추출 및 분석	• 1차 프로토타입을 대상으로 현장 테스트(2020.10.13.) : 토공현장을 대상으로 미세먼지 측정 및 3D맵핑 테스트 –1/1000 수치지도에 3차원 미세먼지 정보 맵핑 –실시간 현장 지형정보 기반 3D 맵핑 구현
		Water Fog 분사시스템과의 연계방안 도출	9. Water Fog 분사시스템과의 연계방안 도출	• 연계방안 수립 : –개념설계 및 운영 기초시스템 구축을 통해 스마트감시장비와 Water Fog 분사시스템간의 연계방안 도출 –(주요 시나리오) 측정용 드론으로부터 입수된 데이터를 기반으로 Water Fog를 분사할 위치를 산출한 이후, 측정 위치와 현재 측정값을 전달하여, 분사 동작을 수행. 분사 이후 측정용 드론이 해당 위치로 이동하여 분사 동작에 따른 저감 효과 분석을 위한 데이터 수집 –미세먼지 측정과 저감장비에 대한 통합운영시스템 구축은 3차년도 구현 예정

3) 3차년도

구분 (연차/단계)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
3차 연도 (2021)	드론기반의 Water Fog 분사시스템 개발	Water Fog 분사시스템 보완	1. 소형 고압펌프 보완	• 고압펌프 성능시험 결과에 따른 문제점 도출 및 보완 –고압펌프 시작품을 분해 및 분석한 결과, 피스톤이 원활하게 왕복 운동이 되지 않고, 피스톤 볼이 볼륜을 따라 회전하지 못하는 것을 원인으로 파악하였음 –로터리 그룹의 3D 모델링을 통한 설계 치수와 3차원 측정을 통한 가공오차를 검토하였음 –고강성 스프링으로 교체하고, 사판 볼륜 제거, 실린더 블록의 홀 직진도를 높여 제작 후 적용하였음
			2. Water Fog 분사장치 보완	• 작업시간 증대를 위한 드론 제작 –드론의 적재중량 및 비행시간을 고려한 신규 드론을 제작하여 작업시간을 증대하였음 • 노즐 조립체 재구성 –배관 연결부에 피팅류를 제거한 구조로 경량화와 노즐의 각도 조정이 가능하며 하향풍의 영향을 받을 수 있도록 설치 위치를 조정하여 억제효과를 극대화하였음
		시스템 통합 및 테스트	3. 시스템 통합	• Water Fog 분사시스템의 효율적인 운영이 가능한 운영 시스템을 제작하여 적용하였음 –위치정보 전달, 작업 고도 및 방법 등 설정, 자동 출동/복귀 및 작업 수행, 작업 정보 표시 등
			4. 시스템 시운전	• 운영시스템에 의한 위치정보 전달 후 작업수행 설정값에 따라 Water Fog 분사시스템이 정상적으로 동작하는지 여부를 확인함 • Smart 감시장치와 연계하여 취득한 데이터를 분석하고, Water Fog 분사시스템에 전달하여 시나리오에 따라 정상적으로 동작하는지 여부를 확인함
		Test-bed 운용	5. Test-bed 운용	• Test-bed 운용 : 인천검단지구 산업단지조성 토공현장에서 Smart 감시장치에서 취득한 데이터를 바탕으로 Water Fog 분사장치가 미세먼지 발생지점에 출동하여 억제작업을 수행한 후 미세먼지 억제 효과를 확인함
	GIS기반 드론을 활용한 스마트 감시장치 개발	GIS기반 드론을 활용한 스마트 감시장치 개발	6. Water Fog 분사 시스템과의 연계 및 테스트	• 각 요소기술별 성능시험 및 신뢰성 확보방안 수립 • Test-Bed 적용을 위한 시나리오 개발 및 성능평가 기준 수립
			7. Test-Bed 적용에 따른 성과분석	• 성능평가 기준을 토대로 Test-Bed적용에 따른 성과 및 효과분석
			8. 경제성 평가 및 상용화 전략 수립	• 기술가치 평가를 기반으로 한 경제성 평가, 경제성 평가 등을 토대로 상용화전략 수립
			9. 개발기술의 활성화를 위한 정책개발	• 규제요소 검토 및 개선안제시, 개발기술의 확산 및 활용제고 등 활성화를 위한 정책제안

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

세부 과제명	연구개발성과	내 용	보고서
드론기반의 Water Fog 분사시스템 개발	Water Fog 분사시스템 사양 설계 (1차년도)	• 시스템 사양 설계 –드론을 활용한 미세먼지 감시 및 억제 기술 관련 자료 조사, 방제용 드론 사양 분석을 통하여 적용대상인 건설현장 면적 1,000㎡에서 발생하는 미세먼지 PM10 억제에 효과적인 미분수 입경약 10±3 ㎛, 작업시간 10분 이상, 분사폭 5m, 유체탱크 용량 10~20L 등 사양을 결정하였음 –상용 드론의 적재무게 및 비행시간, 시스템 사양을 고려하여 적정하게 결정하였고, 시스템 요구성능과 시스템 구성 및 유지보수, 연구개발 소요 등을 고려하여 드론을 적정하게 선정 및 제작하였음 • 운영시나리오 정립 –시스템의 효과를 증대하기 위하여 감시 및 억제 장치를 각각 운영하여 미세먼지 측정→억제→재측정→필요시 재작업 순으로 이어지는 시나리오를 정립하였음	A–1 p.9
	Water Fog 분사시스템 요소기술 개발 (1~2차년도)	• 분사장치 설계 조건 확인 –드론에 장·탈착이 가능한 분사장치 모듈을 설계 및 제작하였고, 효과적인 미세먼지 억제를 위한 입경 10±3㎛ 의 미분수 분포가 가장 많은 조건은 노즐 직경은 0.2㎜ 이며 분사압력은 80~130bar 임을 확인하였음 –드론의 적재중량 및 비행시간 등을 고려하여 탱크용량을 결정하였음 • 축압 용기 설계 –축압 용기를 압력 200bar 및 용량 10L 로 설계하여 시뮬레이션 분석을 진행한 결과, 밸브 개방과 동시에 고압을 압력이 급강하하여 고압조건에서 지속적으로 유체 공급이 불가능하고, 고압펌프의 경우엔 지속 분무가 가능한 것으로 확인되었음 • 고압펌프 설계 및 제작 –유체를 고압으로 공급하기 위한 소형 펌프 시작품을 직경Ø46mm, 무게 330g, 토출압력 100bar 이상, 유량 0.32 cc/rev 으로 설계 및 제작하였고, 성능시험에서 토출압력 28bar, 유량 0.29cc/rev 임을 확인하였음 –기타 드론용 방제펌프, 소형기어펌프, 액시얼 피스톤 펌프 등 시험을 통하여 시스템에 적용 가능한 사양의 펌프를 선정하였음 • 미세먼지 입자 친환경 코팅액 첨가제 배합기술 –건설현장에서 발생하는 미세먼지에 적당한 미세먼지 억제제 배합 비율은 물:억제제 = 1,000:1 임을 확인하였음	A–2 p.20
	Water Fog 분사장치 개발 (2차년도)	• 분사장치 설계 및 제작 –분사장치를 유체탱크 용량 10~20L, 분사량 1.8L/min, 분사폭 5m 이상으로 드론에 장·탈착이 용이한 형태로 설계하였고, 고압펌프 및 모터, 유체탱크, 노즐 및 배관 조립체, 모터구동장치 등으로 구성하였음 –분사장치의 시험을 통하여 분사압, 분사량. 분사폭이 목표 사양에 만족하는 것을 확인하였음	A–2 p.20
	Water Fog 분사시스템 구성 및 성능시험 (2~3차년도)	• Water Fog 분사시스템 구성 –드론을 제작하여 고압펌프 및 모터, 유체탱크, 노즐 및 배관 조립체 등 Water Fog 분사장치를 장착하여 시스템을 구성하였음 –작업효과를 달성하기 위한 드론 제작 및 분사장치 경량화로 충분한 비행시간을 갖도록 하였고, 노즐을 하향풍에 의해 목표 위치까지 도달할 수 있도록 배치하였음 • Water Fog 분사시스템 성능시험 –Water Fog 분사장치 장착 후 시험을 진행하였고, 안정적인 비행을 하며 비행시간 11분 이상으로 하향풍에 의해 미분수가 효과적으로 목표 위치에 도달하는 것을 확인하였음 • Water Fog 분사장치 미세먼지 억제 효율 –실내조건에서 미세먼지를 발생시켜 Water Fog 분사장치를 가동 전·후를 비교하여 71% 이상 저감효과가 있는 것을 확인하였음	A–2 p.20, A–3 p.49

세부 과제명	연구개발성과	내 용	보고서
	시스템 통합 및 테스트 (3차년도)	• 운영시스템 제작 및 테스트 –시스템의 효과적인 운영을 위하여 Smart 감시장치에서 취득한 데이터를 분석하고, 미세먼지 발생지점에 대한 위치정보를 Water Fog 분사장치에 전송하며 자동으로 작업을 수행할 수 있도록 하는 운영시스템을 적용하였음 –운영시스템에 의해 Water Fog 분사시스템에 위치정보를 전달하고, 운영시스템의 설정값에 따라 작업 수행이 가능함을 확인하였음 • Smart 감시장치와 연계 테스트 –운용시스템에서 Smart 감시장치가 취득한 실시간 데이터를 분석하여 위치정보를 Water Fog 분사시스템에 전달하며 작업수행이 정상적으로 이루어짐을 확인하였음	A–4 p.65
	Test–bed (3차년도)	• Test–bed 운용 –시스템의 Test–bed 로 인천검단지구 산업단지조성 토공현장을 섭외하여 Smart 감시장치에서 취득한 데이터를 바탕으로 Water Fog 분사장치가 미세먼지 발생지점에 출동하여 억제 작업을 수행하였고, 작업 효과를 감시장치로 확인하여 성능을 검증하였음	B–8 p.201
	Smart 감시장치 Mapping 기술 개발 (1차년도)	• 국내 미세먼지 및 드론관련 제도·정책, 연구동향 조사 및 분석을 실시 –건설분야 전문가 100여명을 대상으로 건설현장 미세먼지 발생 및 대응수준에 관한 설문조사를 통해 건설현장의 미세먼지 수준에 관한 실태조사를 실시하였음 • 미세먼지 측정센서, 드론·미세먼지 관련 GIS활용사례 조사를 실시 –미세먼지 측정센서의 요구조건과 시스템 운영규정 마련시 고려사항을 도출하였음 • GIS기술과 연계한 미세먼지 측정방법 및 Mapping 방안을 도출 –수도권 건설현장을 테스트배드로 선정, 파일롯 테스트를 실시하여 도출방안의 적정성을 검토	B–1 p.75, B–2 p.94, B–3 p.101, B–4 p.113
	스마트감시장치 프로토타입 개발 및 테스트 (2차년도)	• 1차 프로토타입 구축 –스마트 미세먼지 측정장비(미세먼지센서+GPS/기압계+통신모듈)+드론을 구축함 –스마트 측정 장비 중심의 운영기초시스템 구축 –1차 프로토타입 구축을 기반으로 실내에서 진행한 자체테스트와 건설현장에서 진행한 현장 테스트를 통해 미세먼지 측정 및 데이터를 추출 • 자체 테스트(2020.10.7.) : 데이터 수신(미세먼지 측정, GPS 등)의 적정성 테스트 • 현장 테스트(2020.10.13.) : 토공현장을 대상으로 미세먼지 측정 및 실시간 현장 지형정보 기반 3D 맵핑 구현 • 1/1000 수치지도에 3차원 미세먼지 정보 맵핑	B–5 p.125
	Water–Fog 분사시스템과의 연계방안 도출 (2차년도)	• 연계방안 수립 –개념설계 및 운영 기초시스템 구축을 통해 스마트감시장비와 Water Fog 분사시스템간의 연계방안 도출 –(주요 시나리오) 측정용 드론으로부터 입수된 데이터를 기반으로 Water Fog를 분사할 위치를 산출한 이후, 측정 위치와 현재 측정값을 전달하여, 분사 동작을 수행. 분사 이후 측정용 드론이 해당 위치로 이동하여 분사 동작에 따른 저감 효과 분석을 위한 데이터 수집 –3차년도 미세먼지 측정과 저감장비에 대한 통합운영시스템 구축	B–6 p.136
	Water–Fog 분사시스템과의 연계 및 테스트 (3차년도)	• 미세먼지 스마트 감시장치와 Water Fog 분사시스템을 연계하기 위하여 통합운영시스템을 구축 –통합운영시스템은 현장운영시스템, 평가시스템, 3차원 공간정보기반 플랫폼 구축의 3개 카테고리를 기반으로 구축 (1) 드론 제어를 통한 미세먼지 측정 및 Water Fog 분사 수행으로 미세먼지 저감 (2) Web 기반에서 드론 운영결과의 시계열 정보 표출 및 시뮬레이션, 통계정보 제공	B–7 p.156

세부 과제명	연구개발성과	내 용	보고서
		(3) 드론 운영정보 및 미세먼지 시각화 표출을 하기 위한 3D GIS 플랫폼 구축 • 주요 테스트 –'미세먼지 스마트 감시장치'에 대한 한국화학융합시험연구원 공인인증시험(국립환경과학원 고시 2020-37호)에 따른 성능평가결과 95.7% 인증. 공인인증시험성적서 발급(2021.4.19.) –총 4 회(미세먼지 측정, 분사 모듈 작동, 드론 및 운영시스템 간의 통신 점검, 드론 비행 명령 및 적용성 시험)의 시험을 진행하여 연계 시스템을 사전 준비함	
	테스트베드 적용에 따른 성과분석 (3차년도)	• 2021년 12월 30일 동부건설의 인천검단지구 산업부지조성 토공공사현장에서 시스템 통합 및 Test-bed을 진행하여 성능을 검증하였음 • 주요 성과 –각 기관별 시나리오 및 체크리스트에 의해서 전체적인 연계 시스템을 점검하였음 –건설연의 미세먼지 측정데이터를 반영한 기계연의 분사드론의 반응으로 미세먼지 '좋음' 외 구간을 비행하여 해당 지역에서 알람을 통해 분사를 시행하고 착륙되면, 건설연의 드론이 미세먼지 평가를 위한 데이터 재수집을 하여 시스템에 반영됨	B-8 p.201
	경제성평가 및 상용화전략수립 (3차년도)	• 기술가치평가실시(2021.9.1.) : 건설현장 스마트 감시 및 저감시스템 대상(관련특허 3건) - 로열티공제법, 할인율8.91%, 기술의 경제적수명 15년, 최종로열티율 1.88% - 기술성, 권리성, 시장성, 사업성 우수 - 평가결과 IP가치평가금액은 1,150.76백만원 - 기술가치평가를 근거로 기술이전 추진(기술이전의향서체결, 2022.1.11. 어썸텍, 미세먼지 스마트 감시측정장비기술, 연구종료 후 6개월내 체결완료) • 기술가치평가를 토대로 상용화전략 수립 - 시장현황(건설현장 비산먼지분석/저감서비스시장, 스마트 건설기조, 드론의 적용, 환경오염 관련 법규)을 분석하고, 상용화방향을 수립(건설업 체질개선 필요성, 스마트건설, 인공지능 등의 도입 필요성)한 후 상용화목표 도출(수요처의 확대, 기술의 개량 및 보완 등)	B-9 p.211
	개발기술의 활성화를 위한 정책개발 (3차년도)	• 드론분야 선제적 규제혁파 로드맵 분석하고, 로드맵에 의한 규제개선 현황을 조사, 분석함 • 일반적인 드론활용에 관한규제, 드론의 도심지 건설현장 사용에 관한 규제와 드론을 활용한 미세먼지 제거에 대한 규제를 조사, 분석함. • 상기의 조사결과와 더불어 타산업과 건설산업의 미세먼지관리 실태를 비교하고 3가지의 정책제안을 도출함	B-10 p.260

A

드론기반의 Water Fog 분사시스템 개발 관련 보고서

- A-1. 드론기반의 Water Fog 분사시스템 사양설계 보고서
- A-2. Water Fog 분사시스템 요소기술개발 보고서
- A-3. Water Fog 분사시스템 개발 보고서
- A-4. Water Fog 분사시스템 통합 및 시운전 보고서

A-1 드론기반의 Water Fog 분사시스템 사양 설계 보고서

1. 기술 현황 및 자료 분석

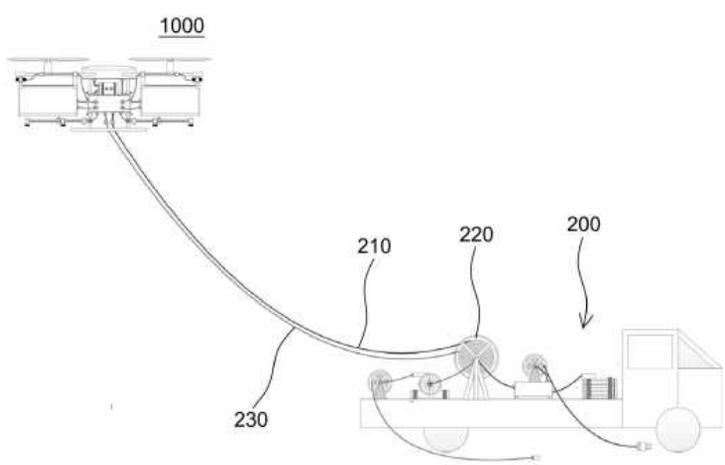
1) 드론 관련 기술개발 현황

- Water Fog 분사시스템의 설계 및 사양결정을 위하여 드론을 활용한 미세먼지 저감기술 및 방제용 드론에 대한 특허자료를 진행하고, 개발 시스템과 유사한 구조를 가지는 방제용 드론 사양조사을 확인하였음
  - 드론을 활용한 미세먼지 관련 특허를 조사하였으나 측정 및 감시에 관련한 특허는 다수 확인할 수 있었으나 저감기술에 관련된 기술에 대한 내용은 저조하였음
  - 방제용 드론에 관련한 특허는 다수 확인할 수 있었으며 방제용 드론의 시스템 구성 및 분사장치 구조는 Water Fog 시스템 개발을 위한 자료로써 활용이 가능할 것임

▮드론을 활용한 미세먼지 저감기술 관련 특허

- 미세먼지 저감용 드론(10-2018088, 서창훈)

  본 발명은 미세먼지 저감용 드론에 관련되는 것으로서 지상으로부터 드론과 연결된 호스로 물을 공급하여 분사하는 드론에 관련된 기술임



[등록특허 10-2018088 대표도]

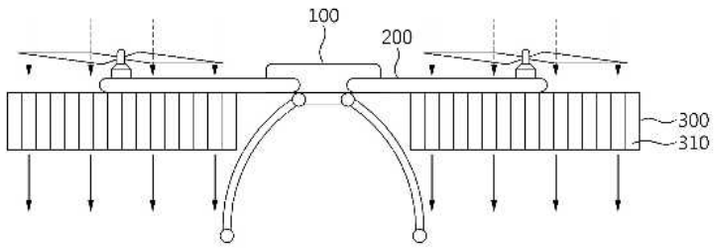
[분석 및 활용방안]

- 드론을 이용하여 물을 분사하는 형태는 유사하나 지상에서 물을 공급하도록 되어 있어 이동 및 접근성에 문제가 있을 수 있음
- 시스템 구성에 대한 부분은 개발기술에 활용이 가능함

• 공기정화용 드론(10-1967993, 울산과학기술원)

본 발명은 입자 채집용 전기식 필터 혹은 오염물질 제거용 광촉매를 이용한 공기청정용 드론에 관한 것으로서

공기청정용 드론은 본체부, 전원부, 날개부 및 날개부에 대향하여 형성되는 집진부로 구성됨



[등록특허 10-1967993 대표도]

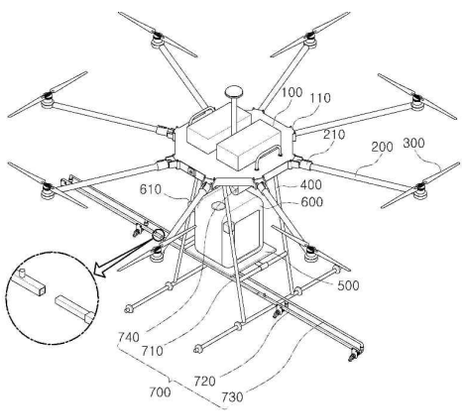
[분석 및 활용방안]

- 드론을 이용한 미세먼지 저감기술이라는 공통점은 있으나 필터 및 광촉매를 이용하여 집진하는 방식임
- 드론 본체에 시스템을 장착하는 방법 및 시스템 구성에 대한 부분은 개발기술에 활용이 가능함

▮방제용 드론 관련 특허

• 방제용 드론(10-1885517, 박순구)

본 발명은 본체의 외면에 절첩 가능하게 결합되는 접이식 암과 프로펠러, 본체의 저면에 결합되어 본체가 지면으로부터 이격되도록 지지시키는 착지대와 약품탱크를 거치시키는 받침대, 약품탱크와 연결되어 약품탱크로부터 공급되는 약품을 분사하는 분사부를 포함하는 방제용 드론에 관한 것임



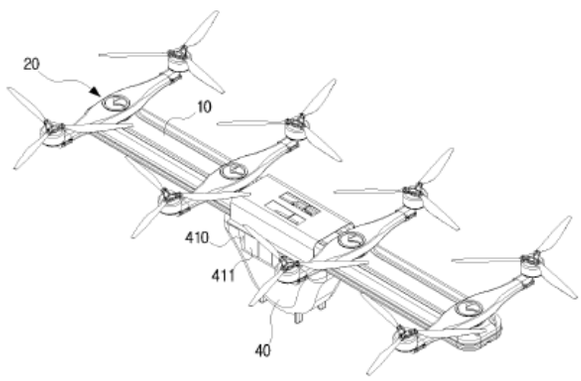
[등록특허 10-1885517 대표도]

[분석 및 활용방안]

- 방제용 드론의 구조 및 분사장치 분석을 통하여 Water Fog 분사시스템 개념 설계 및 시스템 구성에 대한 부분은 활용이 가능함

• 약제의 살포폭이 넓은 방제용 드론(10-1803510, 주식회사 헬셀)

본 발명은 약제의 살포폭이 넓은 방제용 드론에 관한 것으로서 균일하게 살포분사되는 농약 등의 약제의 좌우살포폭이 커질 수 있을 뿐만 아니라 이로 인해 방제시 적인 비행이동횟수로 단시간에 방제작업을 할 수 있고, 분사되는 농약 등의 약제의 직진성이 크게 향상될 수 있음은 물론 이로 인해 농약 등의 약제가 분사되는 과정 중에 와류현상이 발생되는 것을 보다 용이하게 방지할 수 있음



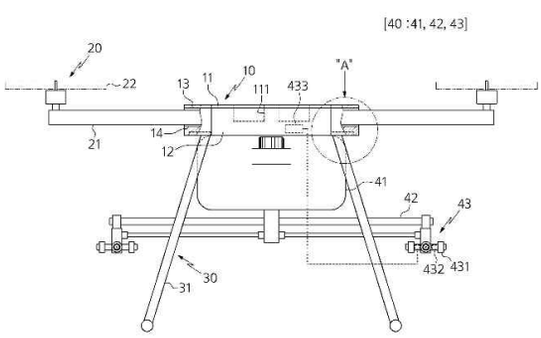
[등록특허 10-1803510 대표도]

[분석 및 활용방안]

- Water Fog 분사장치 설계 시 넓은 분사폭을 갖기 위한 기술로 활용이 가능함

• 항공 방제를 위한 농업용 드론(10-1886281, 케이프로시스템)

본 발명은 방제약 저장체의 슬라이딩 탈착 구조와 네 개의 로드 변위(變位) 구조, 로드를 이용한 저장체 홀딩 구조, 각기 다른 토출방향과 토출량을 갖는 노즐 구조 및 이를 원격 조정하여 자동 개폐되게 하는 구조로 이루어진 항공 방제를 위한 농업용 드론에 관한 것임



[등록특허 10-1886281 대표도]

[분석 및 활용방안]

- Water Fog 분사시스템의 구성 및 분사장치 설계, 노즐 no/off 방식 등 설계 및 시스템 구성에 대한 부분은 활용이 가능함

- 드론기반의 Water Fog 시스템 개발 사양을 위하여 상용 방제용 드론 사양을 조사하였고, 중국의 DJI社가 시장점유율이 가장 높은 것으로 확인되었으며 안정적인 성능을 보이는 것으로 확인되었음
- 대부분의 방제용 드론 사양은 약제탱크 10L를 충만시 작업시간은 약 10분이 가능한 것을 확인하였으며, 분사유량 0.5L/min이고 분사폭은 3~5m 로 확인되었음

<방제용 드론 주요 제원>

구분	제작사	모델	주요 제원
1	DJI (중국)	 [AGRAS-MG1]	- 총무게(배터리 미장착) : 8.8kg - 일반적재무게 : 22.5kg - 최대적재무게 : 24kg - 호버링 시간 : 24분(12kg 적재) 10분(22kg 적재) - 노즐 수량 : 4 - 최대분사속도 : 0.5L/min - 분사넓이 : 4~6m(작물높이 1.5~3m 위) - 용량 : 10L - 표준작동 탑재량 : 10kg
2	순돌이 드론 (한국)	 [순돌이 드론(방제용)]	- 총무게(배터리 미장착) : 11kg - 일반적재무게 : 10kg - 최대적재무게 : 24.5kg - 1회 비행시간 : 10분(약재 10L 적재기준) - 권장작업속도 : 20km/h - 최대 분사속도 : 0.5L/min - 용량 : 5~10L - 살포면적 : 1ha(3,000~4,000평) - 1회 작업시간 :10분(속도 20km/h, 폭 4m 연속작업시) - 노즐수 : 2개 - 유효살포폭 : 5m - 홈 복귀기능, 자동살포
3	하나 드론 (한국)	 [하나102]	- 총무게(배터리 미장착) : 10.5kg - 일반적재무게 : 10kg - 최대적재무게 : 24.7kg - 1회 비행시간 : 12~13분(약재 10L 적재기준) - 권장작업속도 : 20km/h - 최대 분사속도 : 0.5L/min - 용량 : 5~10L - 살포면적 : 1ha(3,000~4,000평) - 1회 작업시간 : 10분 (속도 20km/h, 폭 4m 연속작업시) - 노즐수 : 2개 - 유효살포폭 : 5m - 홈 복귀기능, 자동살포
4	이노드 (한국)	 [KRONE-1]	- 1회 비행시간 : 12분(약재 10L 적재기준) - 권장작업속도 : 20km/h - 최대 분사속도 : 0.5L/min - 용량 : 5~10L - 1회 살포면적 : 3,000평) - 1회 작업시간 :10분 - 노즐수 : 4개 - 유효살포폭 : 3~4m

2) 건설 분야의 드론 활용 현황

구분	활용 분야	비고
건설·교통 분야	지형 탐사 및 측량	- 지도제작 및 지형탐사, 광산 및 채석장 연구를 위한 2D,3D 지도 작업 - 설계 및 엔지니어링 단계에서 고해상도 텍스쳐를 볼 수 있는 시각화 도구 - 3D 모델, 포인트 클라우드 등을 통해 거리, 면적, 부피 등 공간정보를 계산
	건설현장 공사 관리 활용	- 드론 측량 3D현장관리-드론 항공사진 촬영으로 현장 3D 모델링을 통해 시공계획 수립과 토공량 분석 등을 수행 - 드론VR촬영 공정관리-공정진행 확인을 위해 드론으로 촬영한 이미지를 3차원 설계기법인 BIM(빌딩정보모델링)에 적용하고 GIS에 연계시켜 실제 이미지를 반영한 설계도면을 현장에서 활용 가능
	건설현장 모니터링	- 건설 현장의 생산성 유지를 위한 진행 상황, 작업, 안전 표준 등의 모니터링 - 3D 지도를 활용한 건설 진행 상황 및 품질 점검
	3D 모델링	- 3차원 데이터로 건물이나 시설물을 3D 모델링하여 스마트시티 설계에 필요한 시뮬레이션이나 게임 등 다양한 분야의 콘텐트와 결합해 새로운 콘텐트 제작에 활용
	시설물 점검 및 유지보수	- 역설계-문화재나 도면이 없는 오래된 시설물을 드론이나 3D 스캐너로 수치화된 3차원 설계도면을 제작해 문화재 복원이나 유지관리에 활용 - 시설물점검-드론 촬영 영상으로 시설물을 3D 모델링하여 시간 흐름에 따른 변화 탐지, 필요한 영상 탐색 및 검색. 교량처럼 사람의 접근이 어려운 장소, 또는 공장의 굴뚝처럼 공장 가동을 멈추어야 점검이 가능한 곳 점검
	통신망 점검	- 셀룰러 타워 점검, 라디오 플래닝 및 가시선 검사

3) 미세먼지 관련 드론 적용 및 개발 사례

- 드론을 활용한 미세먼지 관련 기술은 대부분은 측정 및 감시 위주의 기술임
- 일부 공기정화를 위한 목적으로 개발되었으나 효과가 미흡하여 실용화되지 않고 있음

구분	활용 분야	적용 및 개발 사례
감시 드론	미세먼지 측정드론[1]	 비행을 통해 대기 중에 있는 불규칙 초미세먼지를 균일하게 포집하고, 분석 결과를 빅데이터화하여 누적된 일별, 지역별 데이터 분석으로 주요 발생 원인과 지역 등을 파악
	미세먼지 감시드론[2]	 측정센서를 장착하고 150m 상공에서 질소산화물과 암모니아, 미세먼지(PM), VOCs 등 30여 항목의 측정과 광학 카메라를 장착한 환경 감시
정화 드론	실내 공기정화기 드론[3]	소형 드론이 집안 곳곳을 돌아다니며 공기 중에 떠다니는 유해 미세먼지 제거 (Flying Magic Cleaner)
	도시 공기정화기 드론[4]	 미세먼지에 오염된 도시 주변 환경 공기를 정화하는 기술. 해파리에서 영감을 얻은 솔방울 모양의 부유 장치(UrbanCONE)

1) 연합뉴스, 초미세먼지 측정 드론 개발 코리아텍 이승재 교수 연구진, 2018.2.4
2) 연합뉴스, 드론 띄워 미세먼지 배출 감시하는 전문팀 발족, 2019.2.19.
3) C-FLY Intelligent Technology, www.cfly-drone.com
4) 2014 Electrolux Design Lab competition, https://www.electroluxgroup.com

구분	활용 분야	적용 및 개발 사례
미세 먼지 제거	인공강우 물질 분사 (미국)	 미국 네바다주에있는 사막연구소는 인공가우를 만들 수 있는 구름시를 탑재하고 공중에 뿌릴 수 있는 드론을 개발 중에 있음
	미세먼지 제거에 활용 (태국)	 2019년 2월 태국에서는 드론이 물을 싣고 오염이 심한 지역을 중심으로 50m 상공에서 물을 뿌리고 있음

4) 결론

- 드론을 활용한 미세먼지 저감기술에 대해 조사를 진행한 결과, 대부분 미세먼지 감시 및 측정기술 위주로 연구되어 왔으며 현장에 적용되고 있고, 드론을 미세먼지 저감 기술로 광범위한 지역에서 적용한 사례는 있으나 효과가 저조하였음
- 미세먼지 관련 드론 개발 사례를 통하여 기술 수준이 매우 높은 것을 확인할 수 있었고, 미세먼지 억제 기술로의 활용 가능성을 확인할 수 있었음
- 소규모 건설현장에서 발생하는 미세먼지를 대상으로 할 경우, 드론의 신속성과 접근성 등 장점은 기존 미세먼지 억제기술의 문제점을 해결할 수 있으며 높은 억제효과를 기대할 수 있을 것임
- 특히 방제용 드론은 Water Fog 분사시스템과 유사한 구조를 가지고 있어 시스템 설계 및 구성에 참고가 가능하고, 상용 드론을 활용할 경우엔 연구소요를 줄이고 안정성이 확보된 시스템 개발이 가능할 것임

2. Water Fog 분사시스템 사양 결정

1) 시스템 개념 설계

- Water Fog 분사시스템의 적용대상은 도심지의 1,000㎡ 이하 소규모 공사현장으로 하고, 미세먼지 측정과 저감 작업을 담당하는 각각의 드론 2대를 운용하는 작업 시나리오를 정립하였음

① 미세먼지 측정 장치를 장착한 드론이 비산먼지 발생 공정이 진행되는 주변을 중점으로 비행하며 미세먼지를 측정하여 지상의 운영시스템(작업자)에 전송한다.

② 운영시스템은 데이터를 분석하여 지상에 대기 중인 미세먼지 억제 드론에 위치정보를 전달한다.

③ 미세먼지 측정 장치로부터 전달받은 데이터를 분석하고, Water Fog 시스템에 위치 정보를 전송한다.

④ Water Fog 시스템은 특이사항이 발생한 위치 정보로 자동 출동한다.

⑤ 위치 정보를 중심으로 Water Fog를 분사하며 미세먼지 억제작업을 수행하고 복귀하여 재출동 준비를 한다.

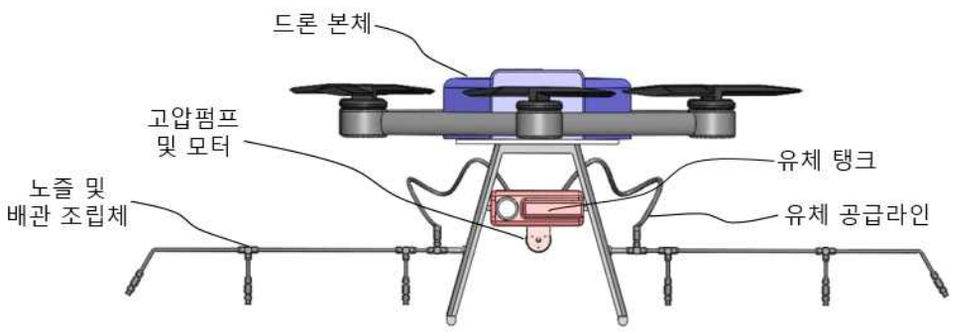
⑥ Water Fog 분사작업이 종료되면 미세먼지 측정 장치를 장착한 드론이 미세먼지 변화를 확인하고, 미세먼지 측정 데이터를 운영시스템에 전송한다.

⑦ 미세먼지 농도에 따라 Water Fog 분사시스템이 재 출동한다.



[Water Fog 분사시스템 작업 시나리오 정립]

- 드론기반의 Water Fog 분사시스템은 상용 드론에 노즐, 유체 공급장치(축압용기 또는 고압펌프) 등으로 구성된 분사장치 모듈을 탑재하여 미세먼지 입자와 유사한 크기의 Water Fog를 분사하여 미세먼지를 억제할 수 있는 시스템으로 개념을 설계하였음
- 분사장치 모듈은 고정 프레임, 노즐 및 어댑터, 유체 공급 장치, 배관, 탱크로 구성되고, 분사장치 모듈은 드론 몸체 하부에 고정 프레임으로 드론 본체 하부에 장착되어 탱크에 저장된 유체를 공급장치(축압기 또는 고압펌프)로 고압조건에서 노즐을 통하여 미분수로 분무하는 장치로 설계하였음



[Water Fog 분사장치가 탑재된 드론 개념도]

※ 최초 설계시 축압용기를 이용하여 유체를 공급하고자 하였으나 시뮬레이션 결과를 분석하여 축압 용기로는 압력 및 유량을 유지하는 것이 불가능하다고 판단하여 소형 고압펌프를 개발하여 적용하기로 하였음(A-2 p.49 시뮬레이션 결과 참고)

2) 시스템 사양 설계

- 드론 기반의 Water 시스템의 적용대상을 건설현장 공사부지 1,000㎡ 이내 규모의 현장에 적용하는 것으로 결정함에 따라 시스템에 요구사항을 정리하였음

  - 해당 시스템은 드론을 기반으로 하는 기술로서 시스템의 안정성 및 구성 용이성 등을 고려하여 상용 드론에 분사장치를 탑재하여 구성하는 것으로 하여 시스템 사양을 결정하였음

  • 상용 드론 사양 분석을 통하여 무게 10kg 적재 시 약 10분 비행이 가능하고, 드론 기체 크기와 분사장치 길이를 고려하여 분사폭을 5m 로 할 때

  ⇒ 건설현장 면적 1,000㎡를 10분 이내에 작업하기 위해서는 0.34m/s 이상의 속도로 작업이 가능해야 함

  • 분사폭은 상용 드론의 사양 및 하향풍의 영향을 고려하여 5m로 결정하였음

  • 유체 탱크 용량을 일반적인 드론의 적재무게를 고려하여 최대 10L로 결정하였음

- 건설현장에서 발생하는 먼지는 대부분 비산먼지 형태로 자체 시설 또는 물 분사 등을 활용하여 억제하고 있으나 입경 10㎛ (PM10) 이하의 미세먼지에 대한 억제효과는 미흡한 것으로 이를 효과적으로 억제하기 위해서는 먼지 입경과 유사한 크기의 미분수를 발생시킬 수 있는 사양으로 설계하였음

  - 미세먼지 직경 10㎛ 와 유사한 미분수를 발생시키기 위해서는 노즐 홀 직경 및 분사압력이 중요한 요소로 실험을 통하여 결정하기로 하였음

- 1~2차년도에는 요구되는 시스템 사양을 고려하여 방제용 드론(E-E610)을 제작하였음
  - E610 모델은 HEXA-Copter 기반의 10리터용 대형 방제 드론으로 산업용, 교육용 및 방제용으로 최적화된 드론이며, 스마트방제시스템 기능, 고성능 장애물감지레이더 등이 장착된 드론임
  - 또한 시스템에 적용되는 분사장치 설계를 위하여 방제용 드론에 장착된 분사장치의 구조 및 성능 확인 시험을 진행하였음
    - 분사장치의 유량은 최소 0.62 ~ 0.95L/min 이고, 탱크에 액체 10L 를 충만 시 최대 유량으로 약 10분 분사가 가능하였으며 분사압은 최소 1.5bar에서 3.1bar 임을 확인하였음
    - 분사장치는 드론 본체 하부에 장착되었고, 플라스틱 용기에 액체 공급장치로 펌프가 적용되어 있으며 호스를 통해 노즐 4개로 액체가 공급되도록 구성되어있음
    - 분사장치는 10㎛ 와 유사한 입자경을 가지는 미분수를 발생시키기 위해 약 100 bar 정도의 고압조건에서 분사되어야 하므로 방제용 드론에 적용되는 분사장치는 사용할 수 없어 고압조건에서 분사가 가능한 장치의 설계가 요구되었음

- 2~3차년도 드론에 분사장치를 탑재 후 성능시험을 진행한 결과, 드론의 비행시간이 최대 7분 미만인 것을 확인하였고, 미세먼지 억제 효과를 높이기 위하여 충분한 분무시간을 갖는 것이 중요한 사항으로 비행시간 연장을 위한 시작품 보완 작업을 수행하였음
  - 드론 서비스 및 방제작업 전문업체들에 자문한 결과, 일반적인 방제용 드론은 약재 10L 를 충만한 상태에서 양호한 배터리를 사용하더라도 이동작업 시 7분 이상을 비행하기가 힘들다는 것을 확인하였음

- 미세먼지 억제 작업을 위해 요구되는 드론의 사양을 전문업체에 의뢰하여 신규 드론을 아래 표와 같은 사양으로 제작하였고, 시스템을 구성하였음

<분사시스템 적용 드론 사양>

구분		[KIMM-0665-2020] 	[KIMM-0665-2021] 
기체 종류		헥사콥터	Octocopter
기체사이즈	mm	880×820×500	2,050×2,050×643
배터리	-	- Li-polymer battery - 22.2V (16,000mA) × 2[ea]	- Li-polymer battery - 22.2V (22,000mA) × 4[ea]
자체중량	kg	11.6	25
최대 이륙 중량	kg	24.9	54 (탑재중량 29kg)
1회 비행시간	분	공차 시 20분, 약재 탑재 시 13분	중량 탑재 시 13분
최대 이동거리	km	2	-
최대 고도	m	50 이하	-
최대 속도	km/h	18	-
탱크 용량	L	5~10L	10 (2개)
작업속도	km/h	18	-

<고압 분사 시스템>

구분	[KIMM-0665-2020] 	[KIMM-0665-2021] 
펌프	- Capacity : 0.8~1.2 [cc/rev] - Max. Speed : 2,000 [rpm] - Max. Flow rate : 2.4 [L/min] - Max. Outlet Pressure : 160 [bar]	- Capacity : 0.8~1.2 [cc/rev] - Max. Speed : 2,000 [rpm] - Max. Flow rate : 2.4 [L/min] - Max. Outlet Pressure : 160 [bar]
모터	U8-II (T-motor社) (+ P1 pump)	U8-II (T-motor社) (+ P1 pump)
탱크	10 L (10 kg)	20 L (20 kg)
분사라인	- SUS pipe × 2 - SUS nozzle(200㎛) × 6 - SUS pipe & nozzle - high pressure hose - bracket	- SUS pipe × 4 - SUS nozzle(200㎛) × 12 - SUS pipe & nozzle - high pressure hose - bracket

◎ 시스템의 세부 사양 설계

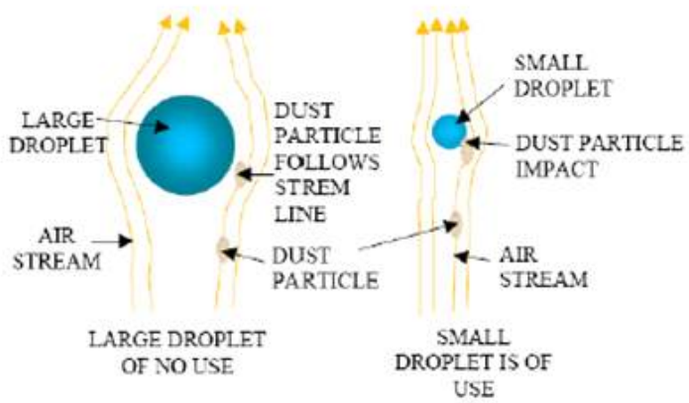
구분	사양 설계	비고
드론 사양	- 비행시간 : 10분 이상 - 적재무게 : 10kg 이상 - 작업속도 : 0.34m/s 이상	- 공사부지 1,000㎡ 이내 - 상용 드론 사양 참고
유체 탱크	- 용 량 : 10~20 L	
분사 장치	- 분사시간 : 10분 이상 - 분사유량 : 2L/min 이하 - 분 사 폭 : 5m 이상 - 분무압력 : 80 bar 이상 - 미분수 입자경 : 10±3 ㎛	- 상용 드론 적재무게 고려 - 먼지입경 10㎛ (PM10) 고려

A-2 Water Fog 분사시스템 요소기술 개발 보고서

1. Water Fog 분사장치 설계 시 고려사항

- Water Fog 분사 시스템이 미세먼지 억제 효과를 높이기 위하여 미세먼지와 물입자의 관계에 대한 기술 자료를 검토한 결과, 미세먼지와 물입자의 크기가 유사하여야 미세먼지와 물 입자의 결합이 잘된다는 것으로 확인할 수 있었고, 미세먼지와 유사한 크기의 물입자를 발생시키기 위해서는 직경이 작은 노즐에 고압조건이어야 유리하다는 것을 확인할 수 있었음

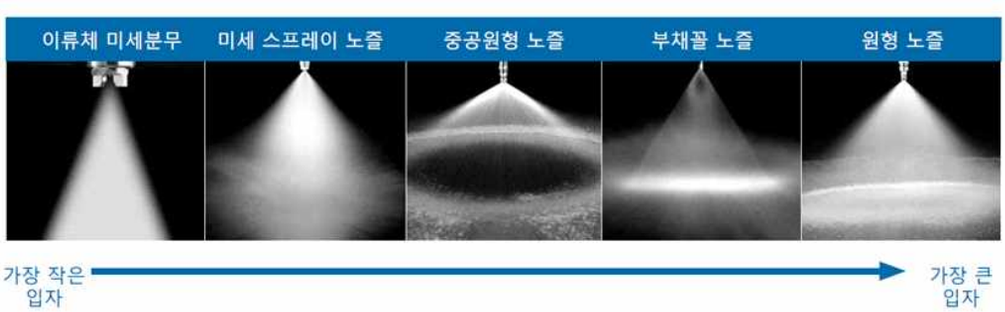
  – 2009년 화력발전소의 석탄 분진 억제를 위한 시스템 관련 자료에 따르면 물방울 직경이 먼지입자 직경보다 크면 먼지 입자는 물방울 주위의 공기 흐름을 따라 가고, 물방울과 먼지 입자의 직경이 유사하면 물방울과 충돌 및 흡착된다는 연구 결과를 확인할 수 있었음



[Water Fog spray and mist technology for dust control]

* 출처 : Failure of dust suppression systems at coal handling plants of thermal power stations a case study, Joshi M, 2009.

  – 또한 스프레이시스템社의 노즐 형태별 물입자 직경 크기는 이류체 미세분부 노즐, 미세 스프레이, 중공원형, 부채꼴과 원형 스프레이 노즐 순으로 작고, 압력이 높고 유량이 적을수록 작은 입자를 생성할 수 있음. 또한 표면장력의 증가는 입자경을 증가시킬 수 있으며 작은 입자는 높은 초기속도를 가지나 속도가 빠르게 감소하고, 큰 입자는 속도를 더 오래 유지하며 더 멀리 날아갈 수 있다는 내용을 확인할 수 있었음



[노즐별 분사형태 자료 (출처 : Spray Syster社)]

- Water Fog 분사시스템은 미세먼지 PM10을 목표로 하여 입경이 약 10㎛ 정도의 미분수를 생성할 수 있는 고압 발생이 가능한 펌프시스템과 노즐이 중요한 요소이며, 이렇게 발생한 미분수를 미세먼지 발생 위치까지 이동될 수 있도록 고려하였음

2. 스프레이 노즐 선정

- 미세 스프레이 노즐은 수급 용이성 및 유지보수를 고려하여 상용 스프레이 노즐을 선정하여 적용하는 것이 유리하다고 판단하였고, 상용 스프레이 노즐 중 페인트용, 방제용, 온도조절용, 산업용으로 구분하여 노즐 홀 직경이 0.1㎜~0.4㎜ 를 대상으로 시험을 진행하였음

<시험대상 스프레이 노즐 사양>

구분	용 도	모델명	홀 직경
시료 ①	농업용 (온도조절용)	-	0.20㎜
시료 ②	쿨미스트	루비탭 노즐 01	0.085㎜
시료 ③	산업용	LNN	0.41㎜
시료 ④	페인트용	평팁 509	0.27㎜



[농업용 노즐]



[산업용 노즐]



[쿨미스트 노즐]



[페인트 스프레이용 노즐]

- Water Fog 분사시스템에서 요구되는 사양에 적합한 스프레이 노즐을 선정하기 위하여 상용 제품에 대한 미분수 입경 측정, 유량 및 분사폭 확인 시험을 진행하였음
  (이하 시험진행 시 표기는 시료① : 농업용, 시료② : 쿨미스트용, 시료③ : 산업용, 시료④ : 페인트용)
  - 스프레이 노즐의 시험을 진행하기 위한 단일 노즐 분사시험 장치를 아래 그림과 같이 고압펌프, 노즐 및 어뎁터, 매니폴드 및 압력게이지 등을 이용하여 구성하였고, 매니폴드에는 노즐에 공급되는 물의 압력을 확인할 수 있도록 압력게이지를 설치하였음



[노즐 시험장치 구성]

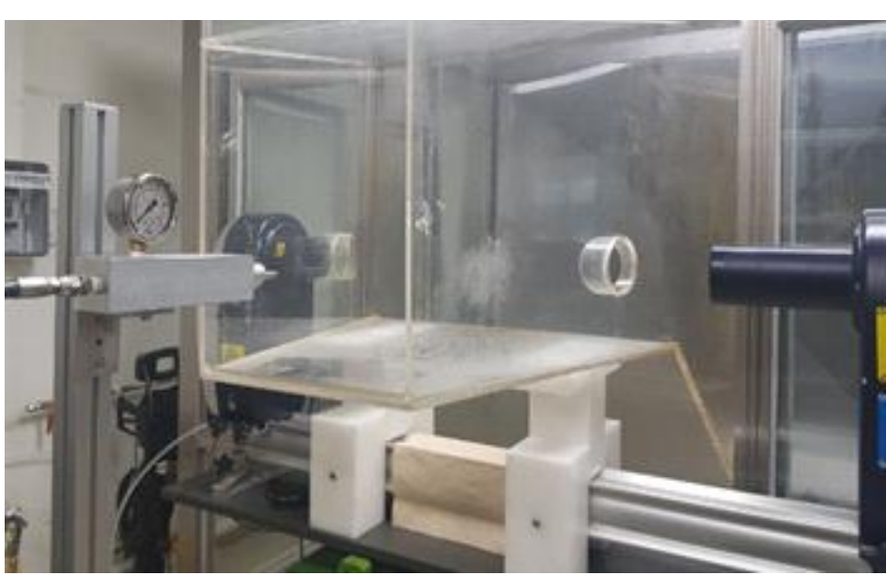


[매니폴드]



[노즐 및 어뎁터]

- 미분수 입자경 분포 측정 시험
  - 시험대상 노즐의 미분수 입경 측정은 아래의 미분수 입자경 분포 측정 장치(Photograph of Spraying System)를 활용하였으며, 해당 장비는 분무되는 물 입자경 분포를 확인할 수 있는 장비임

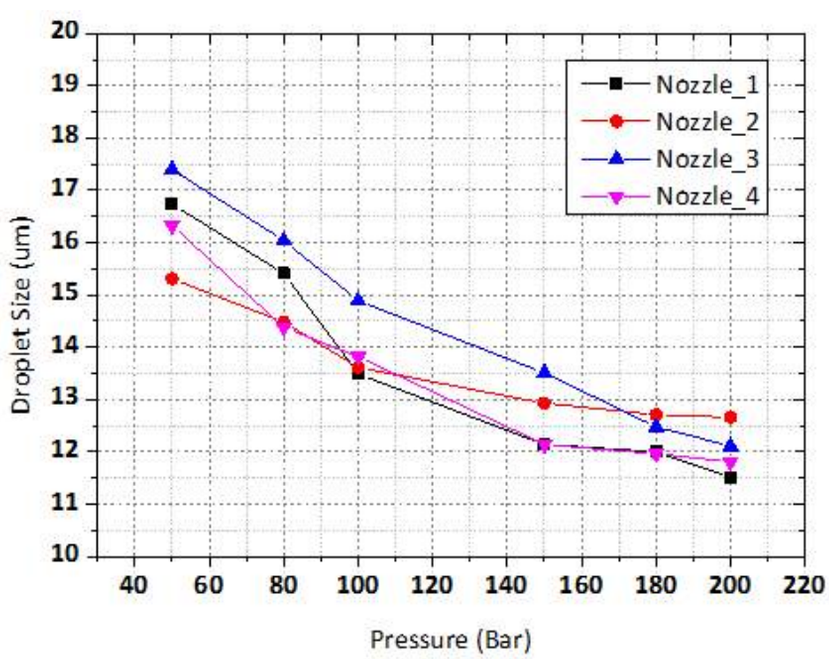


[미분수 입자경 분포 측정 사진]

- 시험은 각 노즐에 공급되는 압력(50~100bar)별로 물을 공급하여 발생하는 미분수의 입경 분포를 확인하는 방법으로 진행하였음
- 미분수 입자경 분포 측정시험 결과, 모든 대상 노즐에서 압력이 점차 증가함에 따라 최다 입자경이 작아지는 경향을 보였으나 압력 100bar 이상에서는 입자경의 변화폭이 감소하며 200 bar 이상에서는 큰 변화가 없는 것을 확인하였음
- 압력 50~100 bar 조건에서는 압력이 증가함에 따라 작은 노즐 홀 직경에서 물 입자경이 큰 폭으로 작아지는 것을 확인할 수 있었으나 100 bar 이상 조건에서는 입자경 분포의 차이가 없어지는 것을 확인하였음
- 시료 ① 이 100~200bar 조건에서 가장 작은 입자경이 많은 분포로 생성할 수 있는 것을 확인할 수 있었으나 대상 노즐들이 생성하는 미분수는 건설현장 미세먼지 억제에 효과가 있을 것으로 판단하였음
- 보다 작은 미분수 발생 시 미세먼지 억제 효과 증대에 효과적일 수 있으나 고압 발생이 가능한 축압기 또는 펌프의 사양은 드론의 적재무게와 비행시간, 미분수 발생 입자경을 고려할 때 약 100 bar 조건에서 건설현장 작업 공정에 따라 운용하는 것이 효과적일 것으로 판단됨

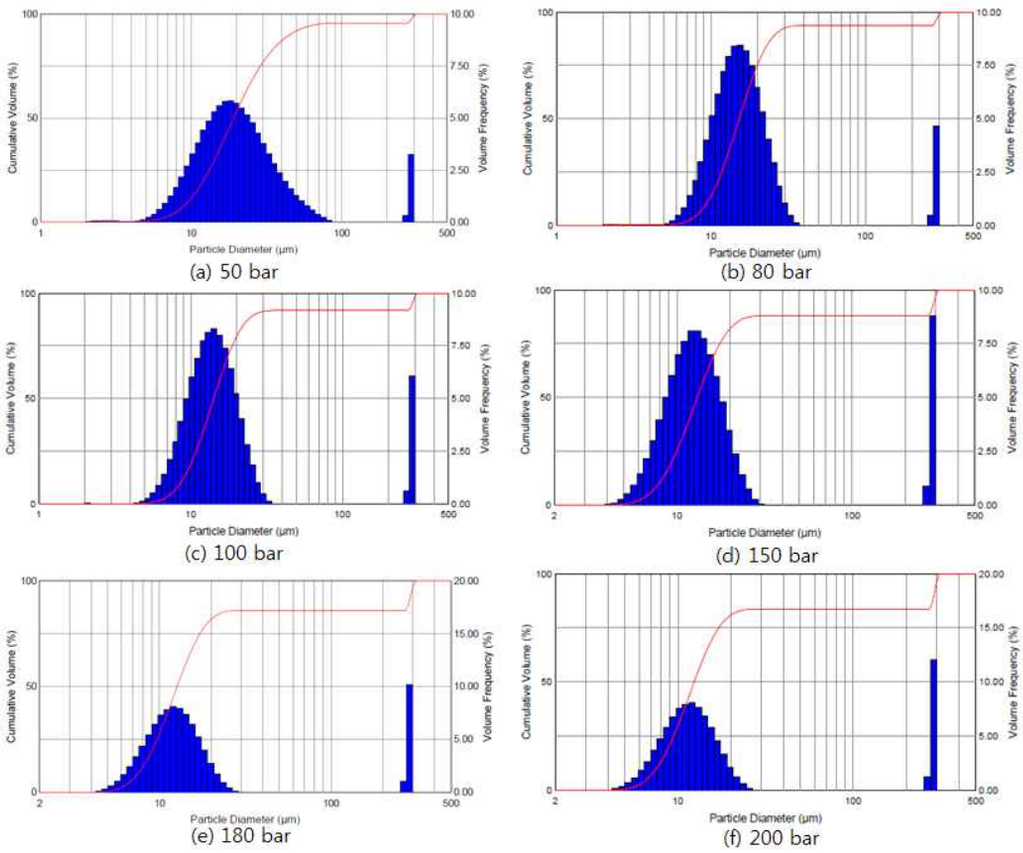
<공급압력에 따른 미분수 입자경 분포 측정 결과>

구분		압력(bar)					
		50	80	100	150	180	200
최다 분포 입자경 (㎛)	시료 ①	16.74	15.41	13.49	12.14	12	11.51
	시료 ②	15.31	14.48	13.7	12.93	12.71	12.66
	시료 ③	17.4	16.04	14.89	13.51	12.48	12.11
	시료 ④	16.33	14.38	14.38	12.14	11.96	11.81



[공급압력에 따른 미분수 입자경 변화]

▸ 시료 ① 데이터

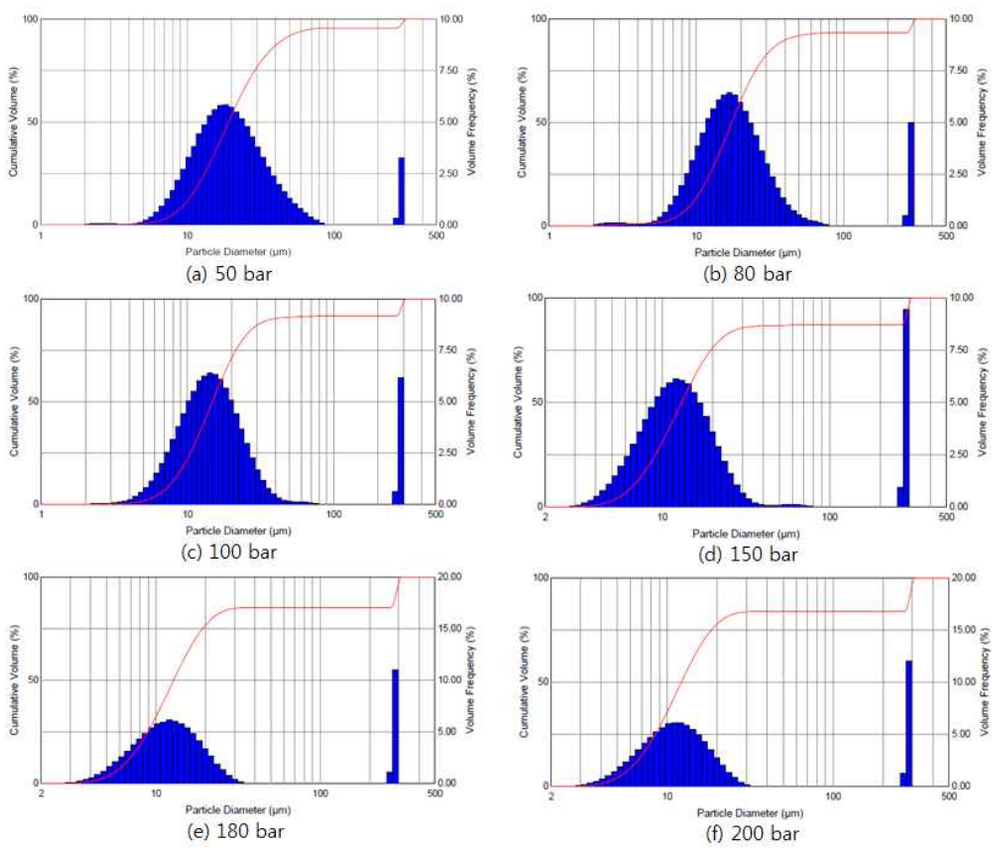


(a) 50 bar (b) 80 bar

(c) 100 bar (d) 150 bar

(e) 180 bar (f) 200 bar

▸ 시료 ② 데이터

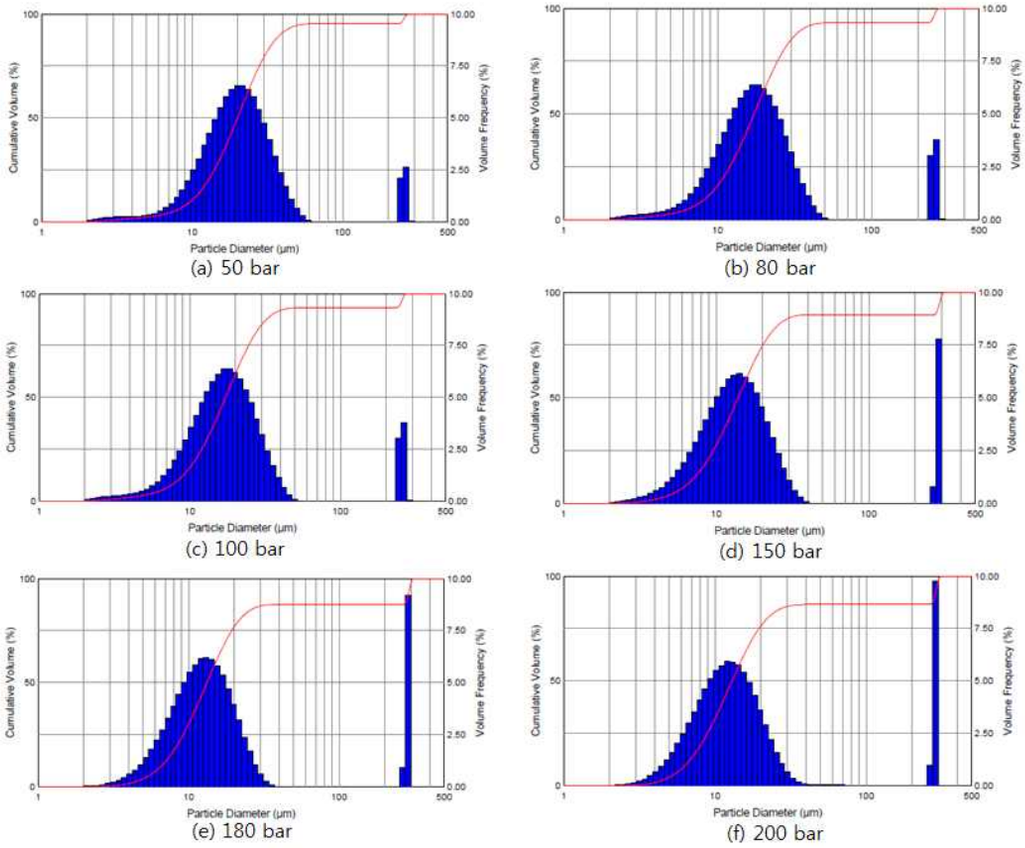


(a) 50 bar (b) 80 bar

(c) 100 bar (d) 150 bar

(e) 180 bar (f) 200 bar

▸ 시료 ③ 데이터

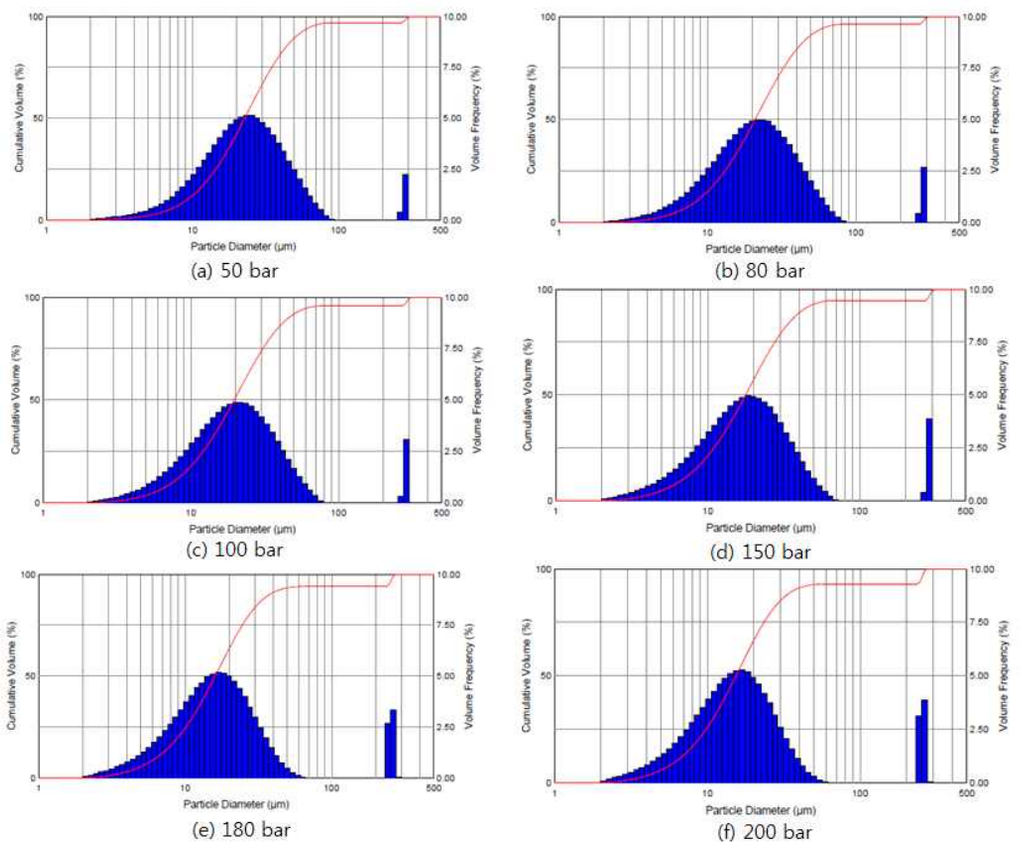


(a) 50 bar (b) 80 bar

(c) 100 bar (d) 150 bar

(e) 180 bar (f) 200 bar

▸ 시료 ④ 데이터



(a) 50 bar (b) 80 bar

(c) 100 bar (d) 150 bar

(e) 180 bar (f) 200 bar

◎ 분사폭 측정 시험

– 분사장치의 분사폭은 시스템의 미세먼지 억제작업 시간에 영향을 미칠 수 있는 중요한 요소로 드론 하향풍이 미치는 영역과 기체의 크기를 고려하여 드론에 노즐조립체가 좌우로 설치되어 최대 5m 의 분사폭을 가질 수 있는 노즐을 선정하는 실험을 진행하였음

– 분사폭 시험은 미분수 입자경 측정 시험을 통하여 적정 압력으로 확인되었던 압력 100 bar에서 노즐을 이격거리 1.5m에서 10분간 분사시켜 지면에 생성된 물의 분포 흔적 중 최대 폭을 측정하여 확인하였음

– 분사폭 시험결과, 노즐 1개의 분사폭은 부채꼴형으로 분사되는 시료 ④가 1.6m로 가장 넓은 폭을 가지는 것을 확인할 수 있었고, 다른 시료들은 원형으로 분사되며 시료 ②가 가장 좁은 0.68m 임을 확인하였음

<노즐별 유량 측정 시험결과>

구분	시료 ①	시료 ②	시료 ③	시료 ④
분사형태	원형	원형	원형	부채꼴형
노즐 1개 분사폭 (m)	1.03	0.68	1.44	1.6



[노분사폭 측정 시험 사진]

– 따라서 설계된 분사장치에 적용하여 분사할 경우, 시료 ①, ③, ④는 5m 이상의 분사폭을 가질 수 있음을 확인하였음(분사 높이 = 1.5m, 노즐 1개 분사폭 = 1.03m, 중첩 거리 = 0.1m 일 때)

◎ 유량 측정 시험

– 분사장치의 분사 유량은 시스템의 분사작업 동안 유체를 충분히 분무함으로써 억제 효과를 달성하는데 중요한 요소로 적정한 유량을 가지는 노즐을 선정하기 위하여 진행하였음

– 유량시험은 고압펌프를 구동하여 미분수 입자경 측정 시험에서 확인되었던 최고 압력 200 bar 조건을 형성하여 분사시켰을 때의 유량을 아래와 같이 1리터 용량의 비커를 이용하여 확인하는 방법으로 진행하였음

– 유량 측정 시험결과, 노즐 홀 직경이 커짐에 따라 유량이 증가하는 것을 확인할 수 있었고, 최소 유량은 시료 ② 가 0.02 L/min 로 가장 적었으며 최대 유량은 시료 ④가 0.51L/min 로 측정되었음

- 각 시료의 분사유량으로 노즐 12개 적용 시 20L 분사 가능시간을 산출하였고, 시료 ③과 시료 ④는 10분 이상 분사가 어려운 것으로 확인되었으며 시료 ①이 적정한 유량을 가지는 것을 확인할 수 있었음



[유량 측정 시험 사진]

<노즐별 유량 측정 시험결과>

구분	유량 (L/min)	노즐 12개 적용 시 분사가능 시간 (분)
시료 ①	0.15	11.1
시료 ②	0.02	83.3
시료 ③	0.3	5.5
시료 ④	0.51	3.2

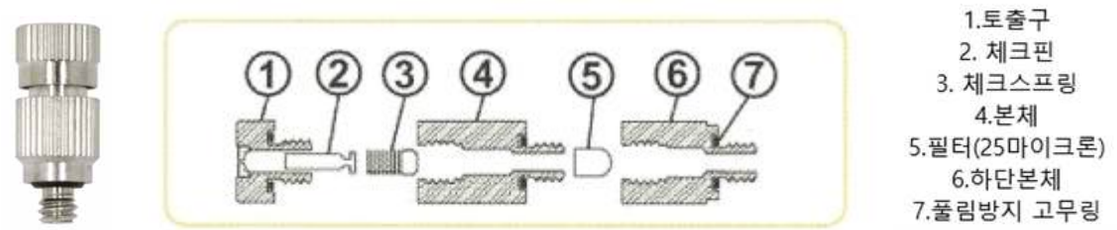
- 결론적으로, 대상 시료 중 가장 작은 입자경 분포를 생성하고, 분사폭과 유량도 목표 사양에 적합한 것으로 확인되어 시료 ①을 선정하였음

<대상 노즐 성능시험 결과>

구분	홀 직경 (㎜)	입경 (㎛)	분사폭 (m)	유량 (L/min)	분사시간 (분)	비고
시료 ① (농업용)	0.20㎜	11.51	1.03	1.8	11.1	-
시료 ② (쿨미스트용)	0.085㎜	12.66	0.68	0.24	83.3	미분수 입자경이 비교적 크게 생성되고, 분사폭이 좁으며 유량이 적음
시료 ③ (산업용)	0.41㎜	12.11	1.44	3.6	5.5	미분수 입자경이 비교적 크게 생성되고, 유량이 많음
시료 ④ (페인트용)	0.27㎜	11.81	1.6	6.1	3.2	

* 유량은 노즐 12개 적용 시 수치임
* 분사시간은 노즐 12개가 유체 20L를 분사할 때 걸리는 시간임

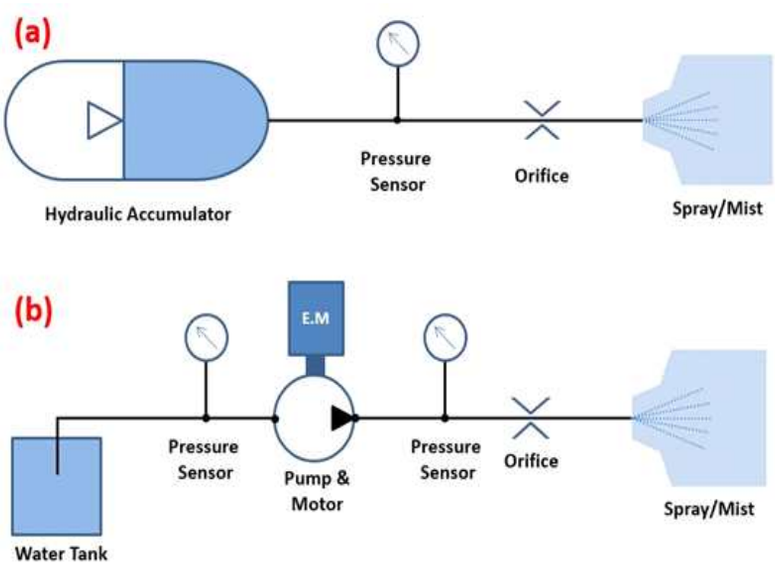
- 그러나 1~2차년도 연구수행을 통하여 적용된 농업용 노즐은 잦은 막힘현상이 발생하여 원활한 작업수행이 어려운 것으로 확인되어 노즐을 재검토하여 아래의 노즐을 적용하였음. 해당 노즐은 통합 스프링 장착 체크밸브가 적용 되어 5bar 이내의 약한 압력에서는 노즐이 닫혀 물의 손실을 방지하고, 내부 청소를 위해 분해조립이 가능하도록 되어 있으며 필터가 장착되어 막힘현상을 방지할 수 있음



[필터테크社 고압 미스트 노즐]

3. 축압 용기 설계

- 노즐조립체에 유체를 고압으로 공급하기 위한 장치 선정을 위하여 유압 어큐뮬레이터 타입과 고압펌프 타입에 대한 시뮬레이션을 진행하여 타당성 검토 후 선정하고자 하였음. Water Fog 분사시스템에서 약 10±3㎛ 정도의 미분수를 발생시키기 위해서는 100bar 이상의 고압 조건이 필수적이고, 이를 위하여 유압 어큐뮬레이터와 고압펌프를 이용한 시스템을 구성하였으며 시뮬레이션-X 프로그램을 활용하여 검토를 진행하였음

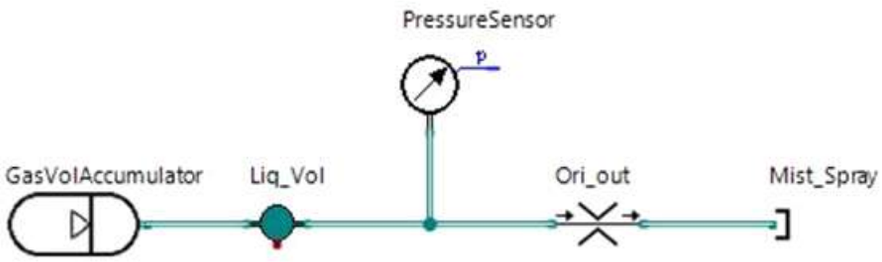


[Water spray system: (a) using hydraulic accumulator (b) using small hydraulic pump]

- 유압 어큐뮬레이터 타입은 용기에 200bar로 물을 10L 축압하여 노즐로 분사하였을 경우의 용기 내 압력 및 유량 변화를 아래와 같은 파라미터를 적용하여 확인하고, 가능성을 검토하였음

  - 유압어큐뮬레이터 시스템에 대한 시뮬레이션은 10L 용기에 내부 압력을 200bar 으로 하고 노즐

로 연결된 구조로 모델링하여 시뮬레이션을 실시하였음

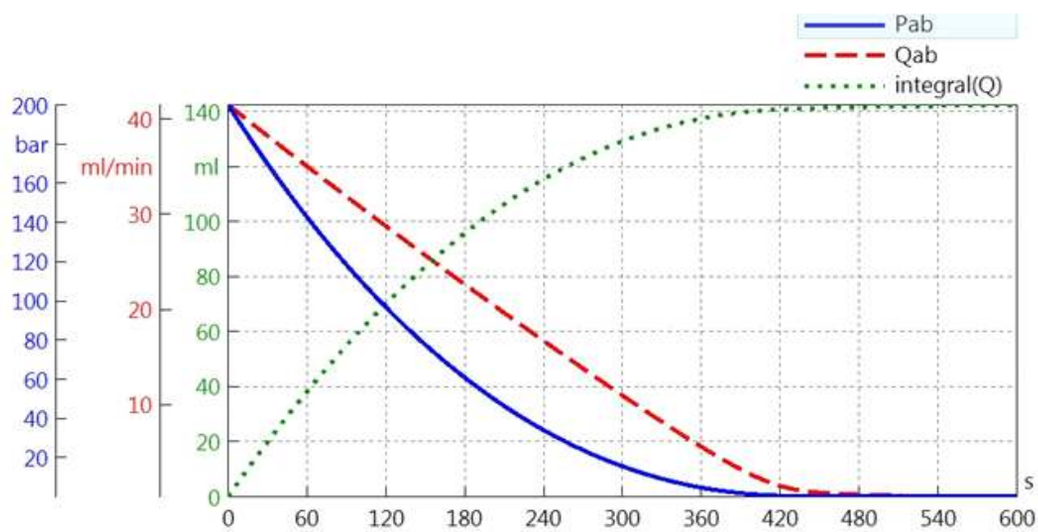


[Water spray system using hydraulic accumulator by Simulation X]

<Simulation parameters for accumulator system>

Component	Parameter	Value	Unit
Accumulator	Accumulator Type	Bladder	-
	Gas Type	N_2	-
	Accumulator Volume	10	Liter
	Pre-Fill Pressure	200	bar
	Pre-Fill Temperature	20	℃
Orifice	Orifice Diameter	0.085	mm
	Orifice Inlet	10	mm
	Orifice Length	0.05	mm

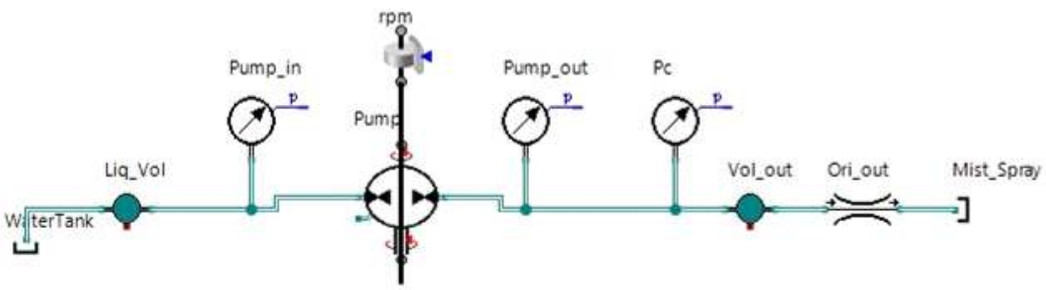
- 유압어큐뮬레이터를 적용한 분사장치의 시뮬레이션 결과, 어큐뮬레이터 내부의 가스 압력에 의해 구동되므로 분사가 시작된 후 유량과 압력이 급격히 감소하였고, 200bar에서 분사시간이 6분 정도 가능한 것으로 확인하였음



[Result for spray system using hydraulic accumulator]

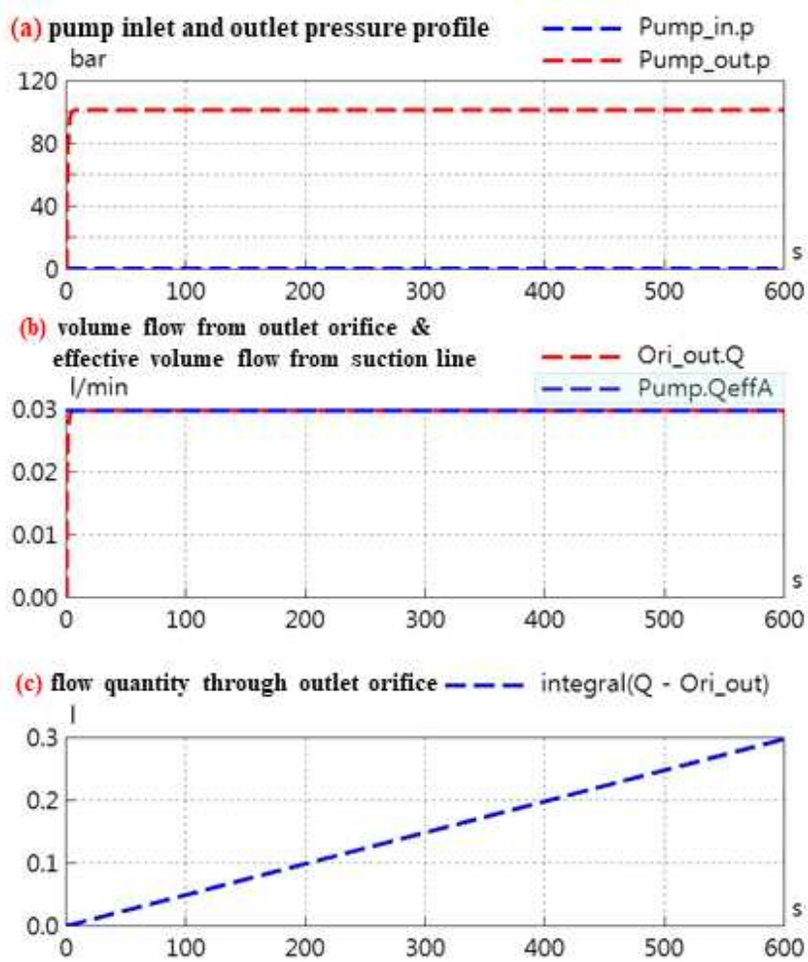
- 고압펌프 타입은 적용한 분사장치는 용기에 고압펌프를 연결하여 고압 조건을 유지하며 지속적으

로 물을 공급 할 수 있도록 하였으며 기타 조건은 유압 어큐뮬레이터 방식과 동일하게 모델링하였음



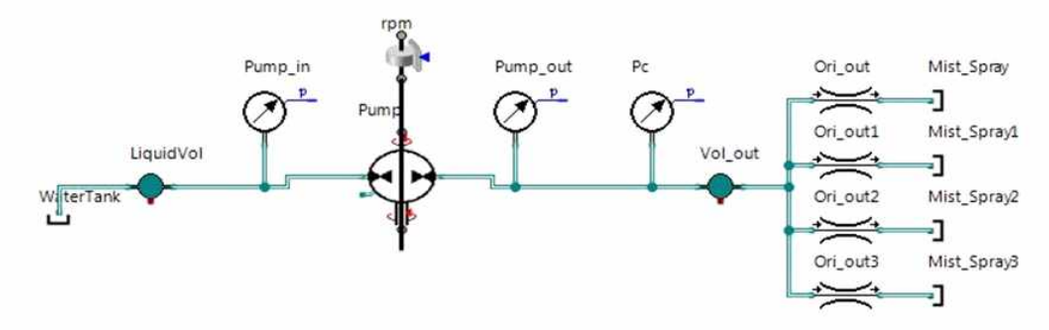
[Water spray system: using small hydraulic pump]

– 소형 고압펌프를 적용한 분사장치의 시뮬레이션 결과, 분사가 시작되어도 펌프 토출구에서의 압력이 100 bar, 시스템의 유량 0.03L/min 을 유지하며 연속적인 분사가 가능한 것을 확인하였고, 유체 10L를 공급받아 333.34분 동안 지속 가능한 것으로 확인되었음. (a)는 펌프 흡입과 토출 압력을 나타내고, (b)에서 흡입구의 효율적인 유량 체적과 (c)에서는 토출 유량을 나타낸 것임



[Result for water mist system using hydraulic pump]

- 위의 시뮬레이션 결과를 토대로 유체 공급장치로 고압펌프 타입을 적용하는 것으로 결정하였고, 그에 따라 노즐 4개를 사용하였을 경우에 대한 시뮬레이션을 진행하였음



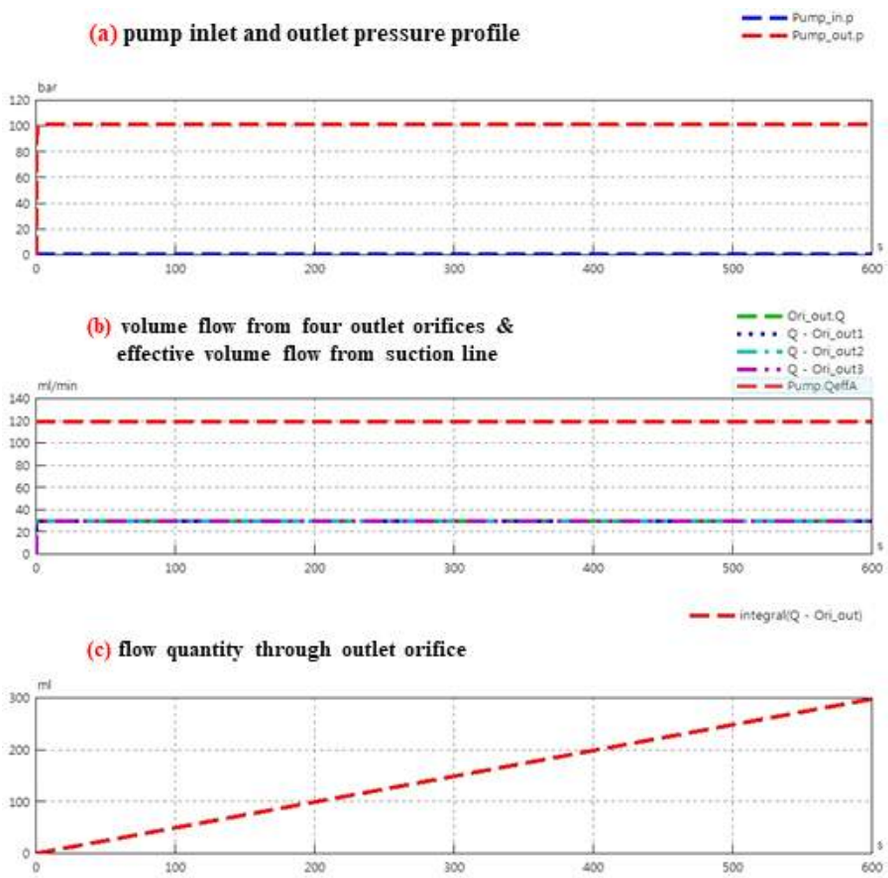
[Water mist system using hydraulic pump with four orifices]

<Simulation parameters for pump system with 4 orifices>

Component	Parameter	Value	Unit
Tank	Tank Pre-Fill Pressure	0	bar
	Tank Volume	10	Liter
	Wall Capacity	0	cm^3/bar
	Pre-Fill Temperature	20	℃
Pump	Pump Capacity	0.04	cm^3/rev
	Dead-Volume Port A	5	cm^3
	Dead-Volume Port B	5	cm^3
	Rotational Speed	3000	rpm
Orifice (N = 4)	Orifice Diameter	0.085	mm
	Orifice Inlet	10	mm
	Orifice Length	0.05	mm
	Cross-Section	circular	-

- 노즐 4개에 대한 시뮬레이션 결과, 압력 100 bar 조건에서 유량 0.03 l/min로 연속 분사 및 미분수 공급이 가능하였고, 10 L의 유체 공급으로 노즐 4개에서 83.3분간 분사가 가능하였음.(a)는 펌프 흡입구 및 배출구 압력, (b)는 노즐 4개의 토출구 유량 체적과 흡입구의 효과적인 유량 체적,

(c)는 토출구의 유량을 나타낸 것임



[Result for water mist system using hydraulic pump and four orifices]

- 펌프의 에너지 소비량은 배터리의 에너지 저장량에 비해 무시할만한 수치이며, 드론이 30,000 mAh의 두 개의 배터리를 장착하여 4개의 노즐에서 7 L의 물을 분사할 경우, 분사로 인한 부하가 감소하여 약 60분 정도 비행이 가능함

<Hydraulic System and Drone Power Consumption Approximation>

Component	Value
Spray width	3 ~ 5 m
Approx. Weight	6.9 kg
Max Takeoff Weight	25 ~ 26 kg
Battery	12S 16000 ~ 30000mAh Li-polymer (30,000 mAh = 12S cell × 3.7V = 44.4 V)
Flight time(No-load)	25 min (12s 16,000 mAh battery) 46 min (12s 30,000 mAh battery)
Flight time(Loaded)	15 min (16,000 mAh battery) 30 min (30,000 mAh battery)
Energy storage by battery : $E_b = \frac{30{,}000\,[mAh] \times 44.4\,[V]}{1000 \times 1000}\,1hr = 1.332\,kW \cdot hr$	
Energy usage by pump : $\frac{E_p = 100\,[bar] \times 0.12\,[l/m]}{612}\,1\,[hr] = 0.0196\,[kW \cdot hr]$	

4. 고압 소형펌프 설계 및 제작

- 시뮬레이션 결과를 토대로 소형 고압펌프 설계 및 제작을 진행하였음
  - 고압 펌핑이 가능한 사판 회전 피스톤 펌프 설계
  - 정역 가변이 가능하여 방향제어 및 유량 제어 용이
  - 상대 운동을 요하는 부분의 선택적인 재료 선정으로 기존 수압시스템이 가지고 있는 누수 최소화 및 윤활성을 향상하여 동일한 효율 및 성능 확보
  - 고출력 밀도의 전기-수압 액추에이터로 구성 가능한 소형 고압피스톤 펌프 설계

<고압펌프 설계 기준>

Dia. of PCDb	PCDb	20	mm
No. of Piston	Z	5	EA
Max. Speed of Motor	N	3,000	rev/min
Swash Angle	α	8	Deg

<피스톤 펌프 설계 계산 도표>

Dp [mm]	Ap [cm^2]	Sp [cm]	V_{th2} [cc/rev]	Ep [%]	Q_{2max} [L/min]
4	0.13	0.28	0.18	0.32	0.530
4.2	0.14	0.28	0.19	0.33	0.584
4.4	0.15	0.28	0.21	0.35	0.641
4.6	0.17	0.28	0.23	0.37	0.701
4.8	0.18	0.28	0.25	0.38	0.763
5	0.20	0.28	0.28	0.40	0.828
5.2	0.21	0.28	0.30	0.41	0.895
5.4	0.23	0.28	0.32	0.43	0.966
5.6	0.25	0.28	0.35	0.45	1.038
5.8	0.26	0.28	0.37	0.46	1.114
6	0.28	0.28	0.40	0.48	1.192
6.2	0.30	0.28	0.42	0.49	1.273
6.4	0.32	0.28	0.45	0.51	1.356
6.6	0.34	0.28	0.48	0.53	1.442
6.8	0.36	0.28	0.51	0.54	1.531
7	0.38	0.28	0.54	0.56	1.623
7.2	0.41	0.28	0.57	0.57	1.717
7.4	0.43	0.28	0.60	0.59	1.813

▮기호 설명

– 피스톤 단면적 (Ap)

$A_P = \frac{\pi}{4} D_P{}^2$ (D_P : 피스톤 직경)

– 피스톤 행정 (Sp)

$S_P = PCDb \times \tan\alpha$ ($PCDb$: 실린더의 중심거리, α : 경사판의 경사각)

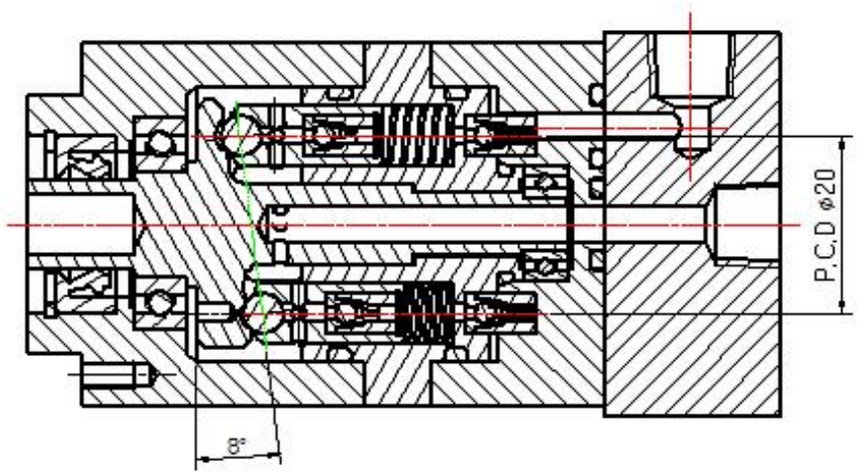
– 배제 용적 (V_{th2})

$V_{th2} = Z \times A_P \times S_P$ (Z : 피스톤 수, A_P : 피스톤 단면적, S_P : 피스톤 행정)

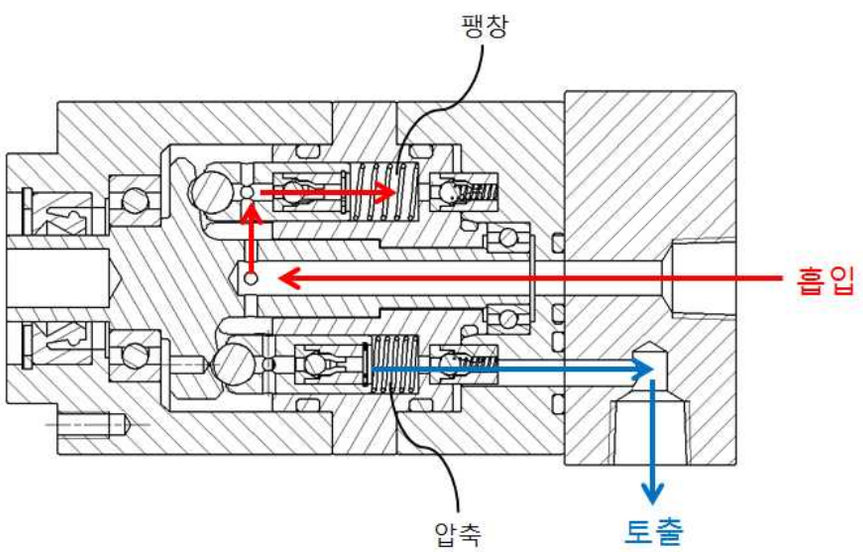
– 펌프 최대 유량 (Q_{2max})

$Q_{2\max} = V_{th2} N$ (V_{th2} : 배제 용적, N : 전기모터 회전수)

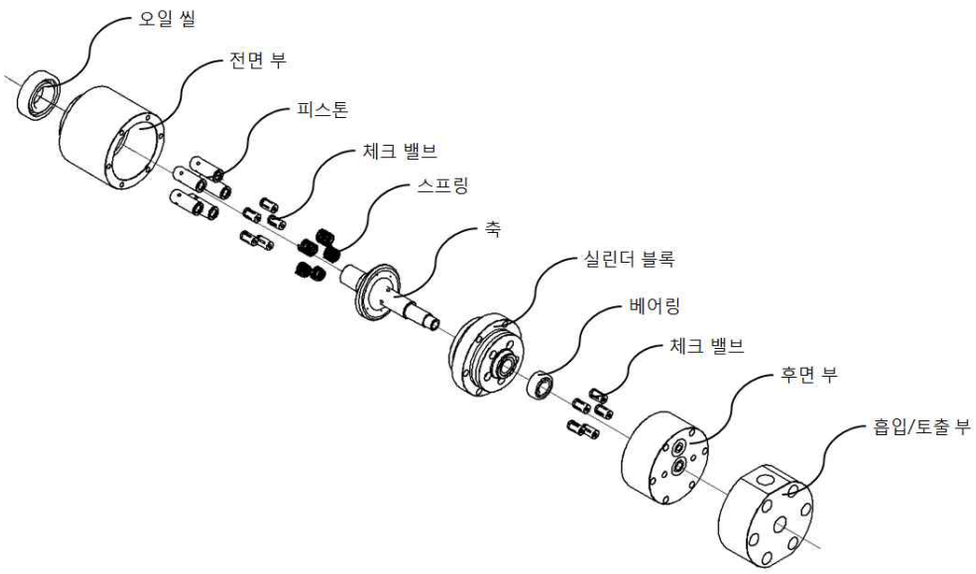
– 피스톤 펌프 설계 도표에서 선정된 값으로 설계



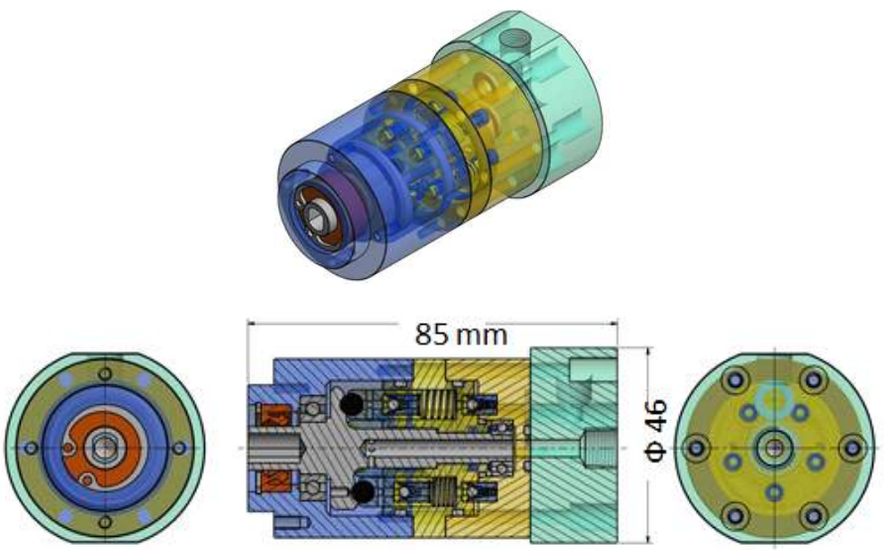
[피스톤 펌프 단면도]



[유체의 흐름도]



[피스톤 펌프 부품 분해도]

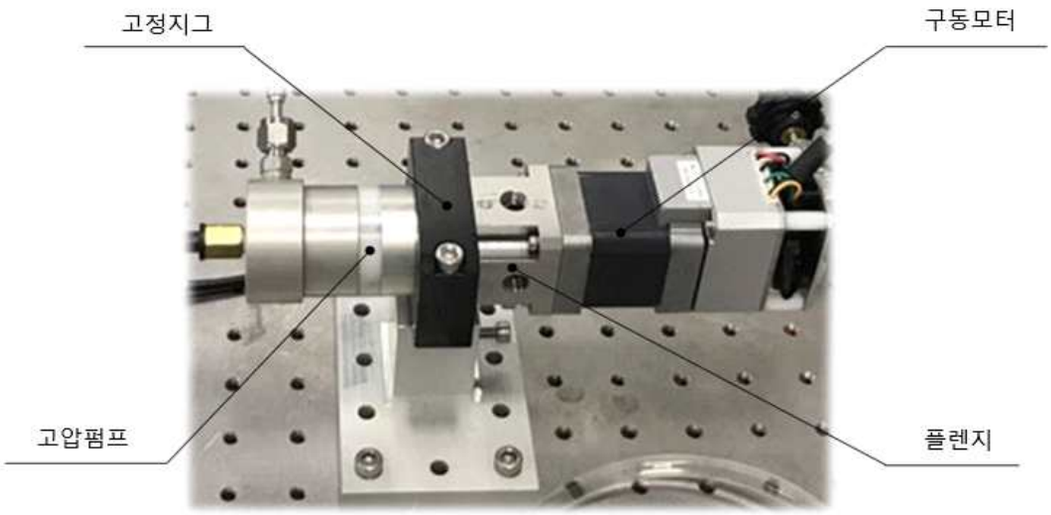


[소형 고압펌프 3D 모델링]



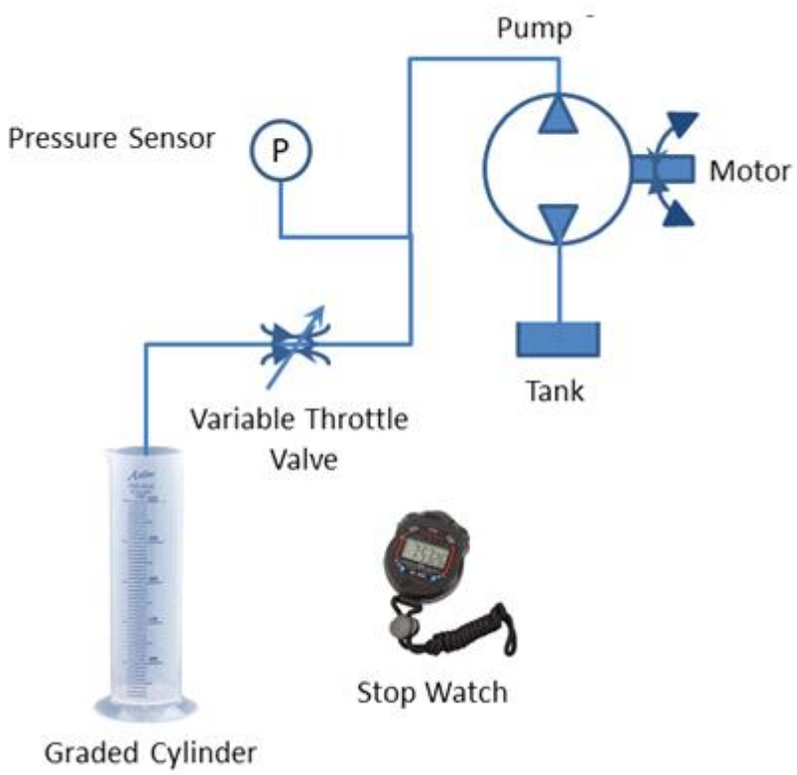
[고압펌프 시작품 사진]

◎ 고압펌프 시작품에 대한 구동 및 펌핑 여부 확인을 위한 기본 구동시험을 진행하였음

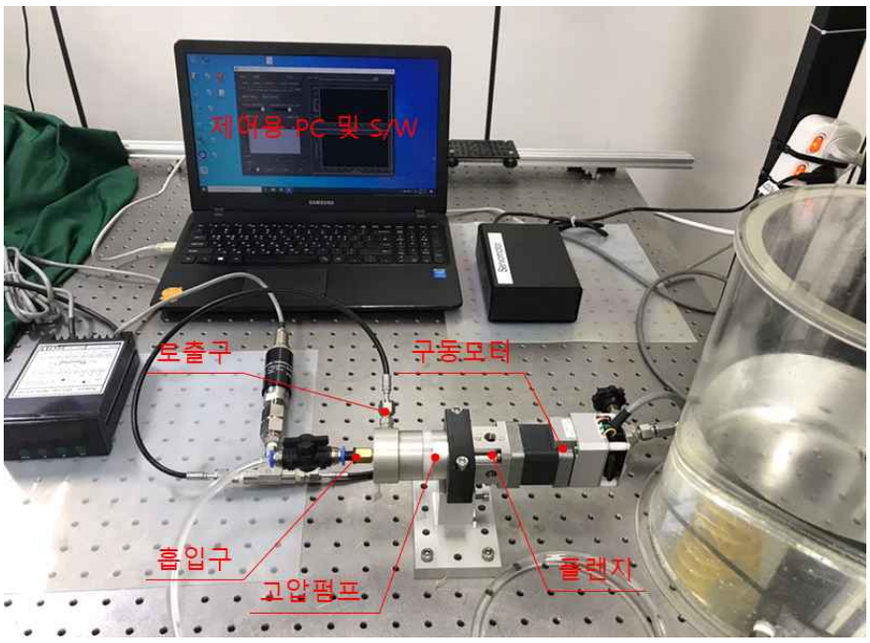


[소형 고압펌프 시작품 기본 구동시험]

– 시험장치는 고압펌프에 구동모터를 연결하고 제어 프로그램을 이용하여 회전속도 및 방향을 조정할 수 있도록 하였고, 토출라인에는 압력 확인을 위한 센서, 부하 조건 형성을 위한 밸브를 설치하고, 유량 측정용 실린더를 활용하였음



[시험장치 구성도]

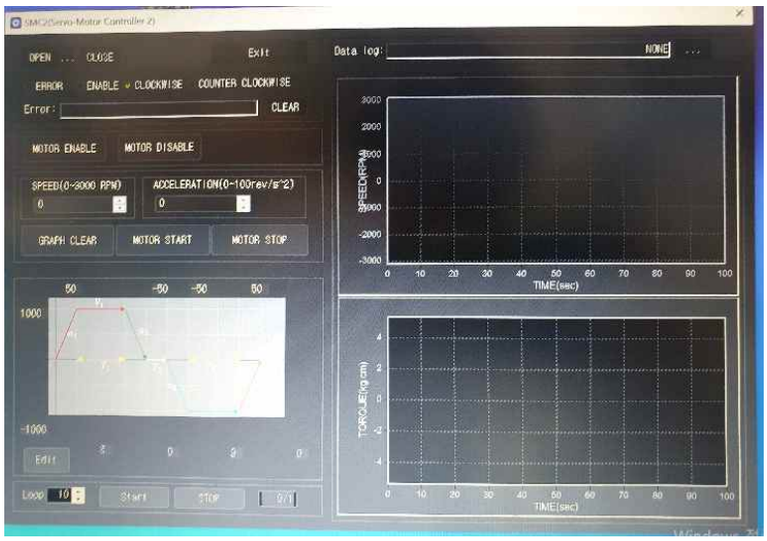


[시험장치 구성]

- 펌프 설계 사양을 고려하여 아래와 같이 최대 3,000rpm 사양의 구동모터를 사용하였고, 구동모터 제어를 위한 프로그램을 제작하여 모터 회전속도 및 토크를 실시간 확인할 수 있도록 하였음

<서보 모터 사양>

Specification	Unit	CM-C-17L30
Motor Output	W	18
Max. Speed	rpm	3,000
Rated Continuous Torque	N-m	0.36
Peak Torque	N-m	0.518
Motor Inertia	gcm²	76
Input Supply Voltage	V	DC24±10%
Input Supply Current Rated	A	- Rated Torque : 1.5 - Peak Torque : 1.8
Weight of Motor	g	480



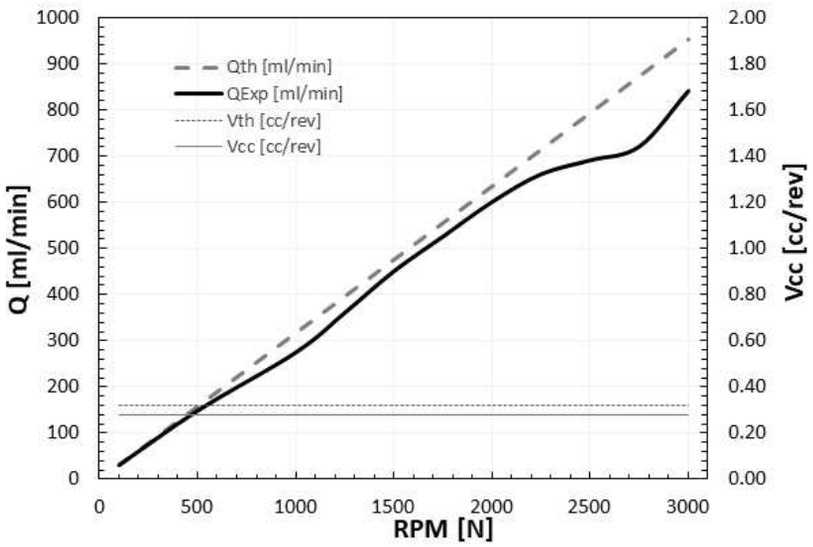
[서보 모터 제어 프로그램]

– 시험방법은 펌프의 회전속도에 따른 유량을 확인하고, 토출라인의 밸브를 조절하여 부하조건을 형성하여 펌핑이 가능한지 여부를 확인하는 방법으로 진행하였음

<고압펌프 시작품 유량측정 시험결과>

회전속도	Q (㎖/min)	Q_{th} (㎖/min)
100	30	31.8
500	148	158.9
1,000	274	317.7
1,250	360	397.2
1,500	450	476.6
1,750	525	556.0
2,000	600	635.5
2,250	660	714.9
2,500	690	794.3
2,750	720	873.8
3,000	840	953.2

– 시험결과, 펌프에 의해 전달되는 회전당 이론적 용적은 0.32 cc/rev 이나 시험결과는 0.29 cc/rev 으로 2,500rpm 및 대기압에서 펌프의 유량은 690 ml/min 임을 확인하였음



▮ 고압펌프 구동 모터의 출력 사양 검토

- Input power of motor

$$P_{input(M)} = I \times V$$

$$P_{in(M)} = 1.8\ A\ DC \times 24\ V = 43.2\ Watt$$

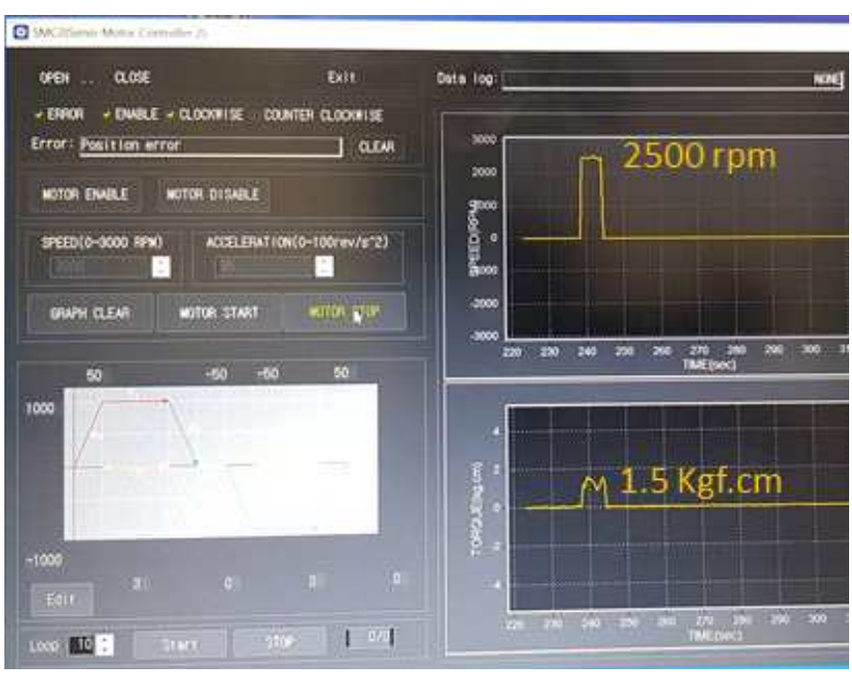
- Output power of motor

$$P_{output(M)} = \omega\ \ Augular\ Velocity \times \hat{o}\ Torque$$

$$P_{out(M)} = 261.80\ s^{-1} \times 0.15\ Nm = 38.52\ Watt$$

- Efficiency of motor

$$\eta_{motor} = P_{output} / P_{input} \times 100 = 38.52 / 43.2 \times 100 = 89.17\%$$



[서보 모터 제어 프로그램 표시 화면]

▮ 고압펌프의 효율

$P =$ 28bar , $Q_{\max} = 650\,ml/\min$ 일 때

$$\eta_{pump} = \frac{Dynamic pressure\,(Pascals) \times Volumetric flow(m^3/\sec)}{Output power of electric motor} \times 100$$

$$\eta_{pump} = \frac{P \times Q}{P_{OUT(M)}} \times 100$$

$$\eta_{pump} = \frac{\frac{2.8 \times 10^6 (N/m^2) \times 1.083 \times 10^{-6} (m^3/\sec)}{60}}{Output power of electronic motor} = \frac{30.33}{38.52} \times 100$$

$$\eta_{pump} = 78.74\%$$

▮ 고압펌프의 소요동력

$$P_{kw_{\max}} = Q_{\max} \times P_{\max}$$

$$P_{kw_{\max}} = Flow\,(m^3/\sec) \times DynamicPressure\,(Pascal)$$

$$P_{kw_{\max}} = [\frac{953.2 \times 10^{-3} \times 10^{-3}}{60}](m^3/\sec) \times [100 \times 10^5](Pascal)$$

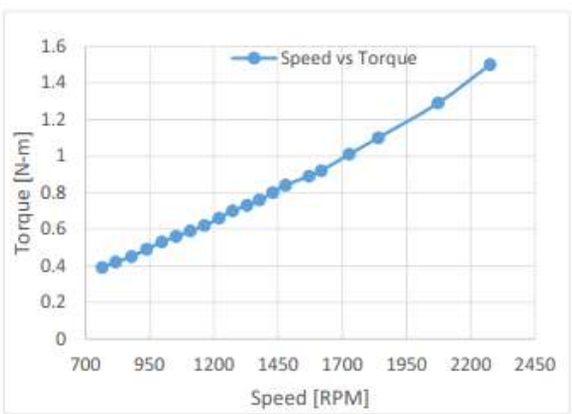
$$P_{kw_{\max}} = [\frac{953.2}{6}](Watt)$$

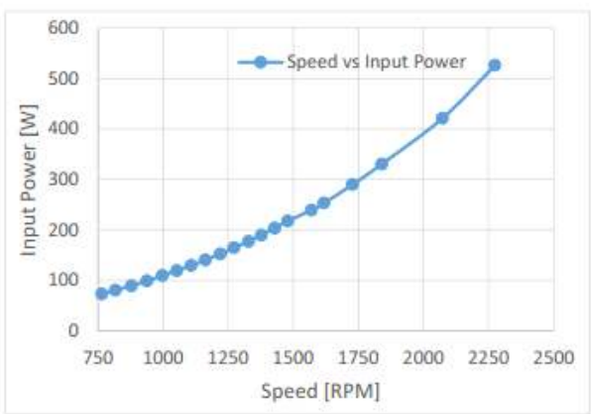
$$P_{kw_{\max}} = 158.87\ Watt$$

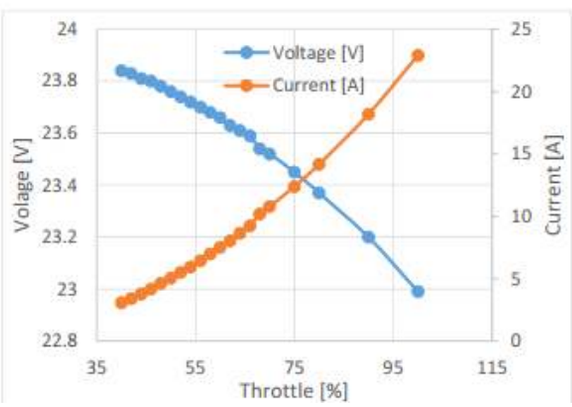
- 따라서 펌프의 전력 소비는 전기 모터의 전력 출력보다 약 4배 높은 158.87W 으로 Water Fog 분사시스템에 적용하기 위한 고출력 전기모터를 선정하여 적용해야 할 필요성을 확인하였음
- 시험결과에 따라 158 W 이상의 고출력 전동모터가 요구되어 아래와 같은 모터를 선정하여 위와 동일한 방법으로 장치를 구성하고 시험을 진행하였음

- Max. Input power 가 550W 필요하므로 이 고압펌프를 구동 가능한 전기모터의 사양을 다음과 같음

Tiger Motor (@ 71 Degree Celsius)							
Throttle %	Voltage (V)	Current (A)	Input Power (W)	RPM	Torque (N-m)	Thrust (G)	Efficiency (G/W)
40	23.84	3.076	73.33	764.68	0.39	1126.94	15.36
42	23.83	3.4	81.02	817.57	0.42	1236.04	15.25
44	23.81	3.77	89.76	879.05	0.45	1359.85	15.14
46	23.8	4.174	99.34	937.96	0.49	1476.35	14.86
48	23.78	4.619	109.83	997.6	0.53	1572.75	14.31
50	23.76	5.044	119.84	1052.72	0.56	1689.27	14.09
52	23.74	5.487	130.26	1108.01	0.59	1795.3	13.78
54	23.72	5.937	140.82	1162.79	0.62	1894.21	13.45
56	23.7	6.444	152.72	1220.12	0.66	2018.89	13.21
58	23.68	6.975	165.16	1272.61	0.7	2134.21	12.92
60	23.66	7.501	177.47	1329.05	0.73	2261.29	12.74
62	23.63	8.036	189.89	1378.19	0.76	2345.35	12.35
64	23.61	8.647	204.15	1429.1	0.8	2465.42	12.07
66	23.59	9.233	217.8	1479.1	0.84	2609.66	11.98
68	23.54	10.183	239.7	1569.86	0.89	2747.75	11.46
70	23.52	10.775	253.42	1618.16	0.92	2865.03	11.3
75	23.45	12.372	290.12	1727.2	1.01	3160.34	10.89
80	23.37	14.151	330.7	1839.83	1.1	3449.4	10.43
90	23.2	18.168	421.49	2073.27	1.29	4042.31	9.59
100	22.99	22.896	526.37	2274.86	1.5	4695.8	8.92







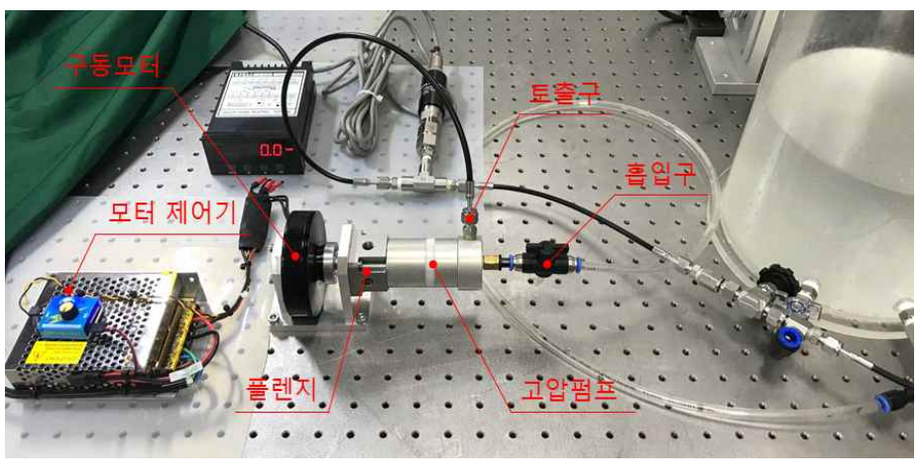


[고출력 모터사양, Disc-type BLDC 모터]



- 모터 크기 : 87 mm X 29 mm
- 모터 중량 : 273 g
- 소비 전력 : 552 W(23 A)
- 단위전압당 속도 : 150 RPM/V
- 구동 전압 : 22.2 V
- 최대 회전속도 : 2,798 RPM
- 최대 추력 : 4,879 g

[U8 II 150KV, T-motor Co.Ltd.]



[U8 150KV Motor와 고압펌프 연결 시험]

- 고압펌프 모터변경 후 시험결과

[고압펌프 유량-압력 그래프]

- 고압펌프 시작품 제작 및 성능시험을 진행함과 동시에 Water Fog 분사시스템에 적용 가능한 드론 방제용 펌프 및 소형 기어펌프, 소형 고압 펌프에 대해 조사하고, 유량 및 압력에 대한 시험을 수행하였음

  – 드론으로 항공 방제나 농약살포 등의 다양한 용도에 사용되는 고출력 소형 BLDC 모터로 최대한 가볍게 만들고, 크기는 컴팩트 하지만 토크가 매우 크고, 회전력이 좋고, 순수물이 아닌 농약 등 유체에도 적용이 가능함



– 전압 : DC 12V
– 무부하 전류 : 0.7A
– 소비전력 : 50W
– 유량 : 3.5 L/min

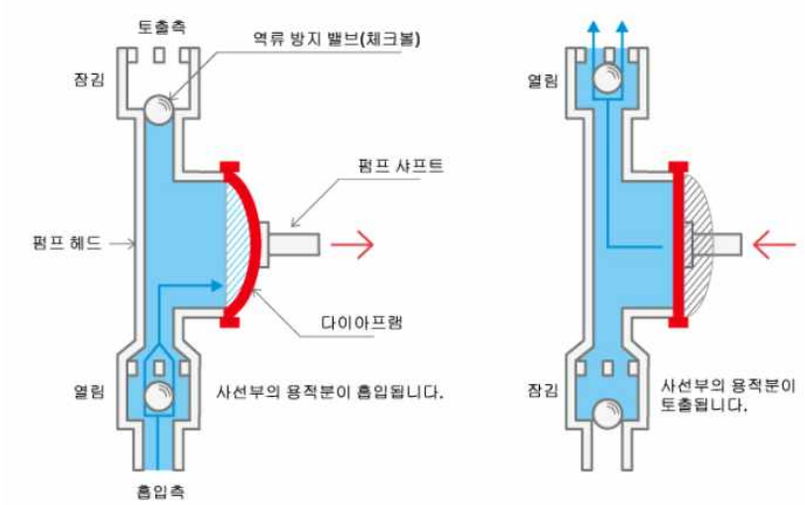
[고출력 소형 BLDC 모터]

– 다이어프램 펌프는 다이어프램이 좌우 또는 상하 운동을 하면서 발생하는 저압부를 통해 물이 채워지게 되며 다이어프램이 반대쪽으로 이동하면, 물이 채워진 곳은 다이어프램에 의해 밀려 물이 고압으로 배출됨. 일반적인 산업설비, 화학장비, 농업(잔디 및 정원), 관광차량, 특수차량, 선박, 음료, 차량청소, 정수에 널리 사용되는 마이크로 다이어프램 펌프임.

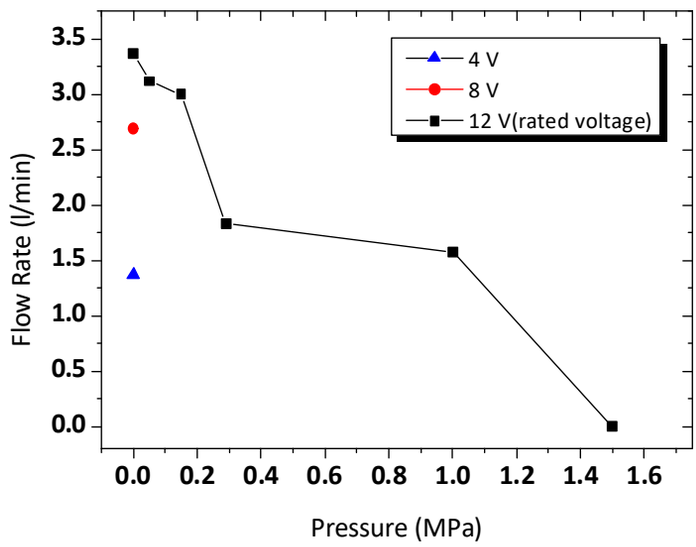


– 전압 : DC 12V
– 최대 전류 : 2.0A
– 소비전력 : 50W
– 유량 : 3.5 L/min
– 최대압력 : 0.48MPa

[마이크로 다이어프램 펌프]

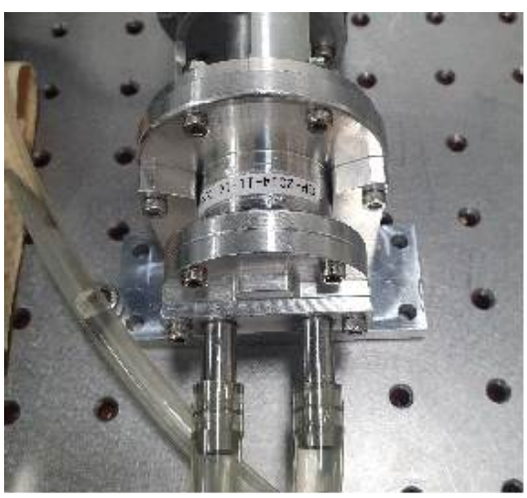


[다이어프램 펌프 내부 구조 및 펌핑 원리]

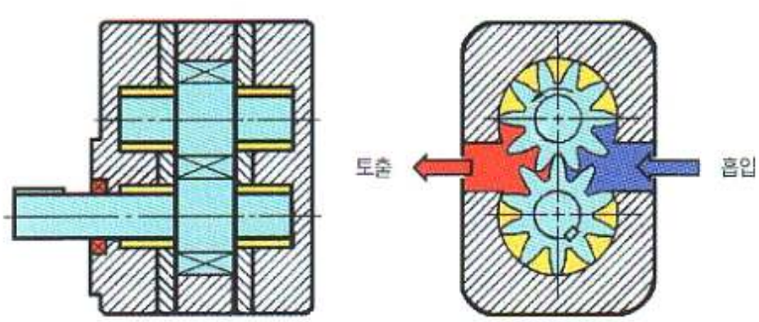


[다이어프램펌프 유량-압력 그래프]

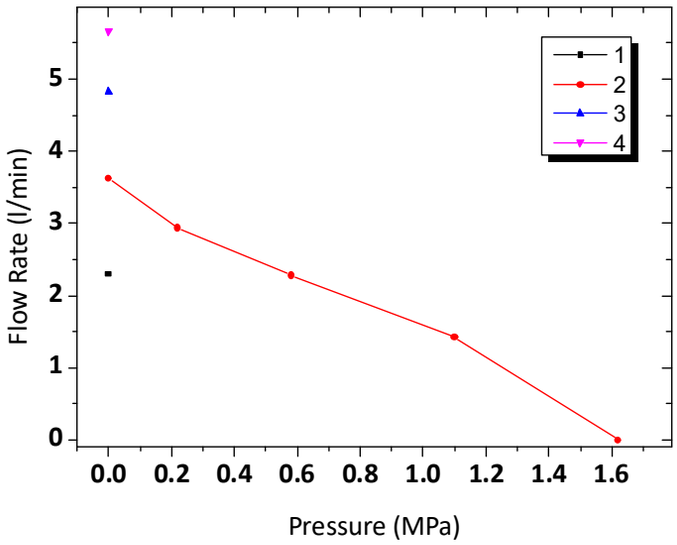
- 해당 펌프는 연료전지 냉각수 순환 펌프로 구조가 단순하고, 소형 경량화하여 분사장치에 적용 가능여부를 확인하기 고압 및 저소음형 펌프임



[기어펌프(한국기계연구원 개발)]



[기어펌프 내부 구조]



[기어펌프 유량-압력 그래프]

- 소형 액시얼 피스톤 펌프로 물에서 작동하도록 설계되었으며 0.8~1.2cc/rev의 유량을 가지며, 최대 작동 압력은 100bar 이고, 펌프 샤프트에서 볼 때 시계 방향 또는 시계 반대방향으로 전하도록 설계되었음. 주로 316 스테인리스 스틸로 제조 된이 제품은 부식성 유체에 대한 우수한 내성을 가지며, 내부적으로 활용되는 재료는 해수 및 기타 다양한 유체에 가장 적합한 조합에 맞게 선택할 수 있음. 따라서 Water Fog 분사장치의 고압펌프로 적합할 것으로 판단됨

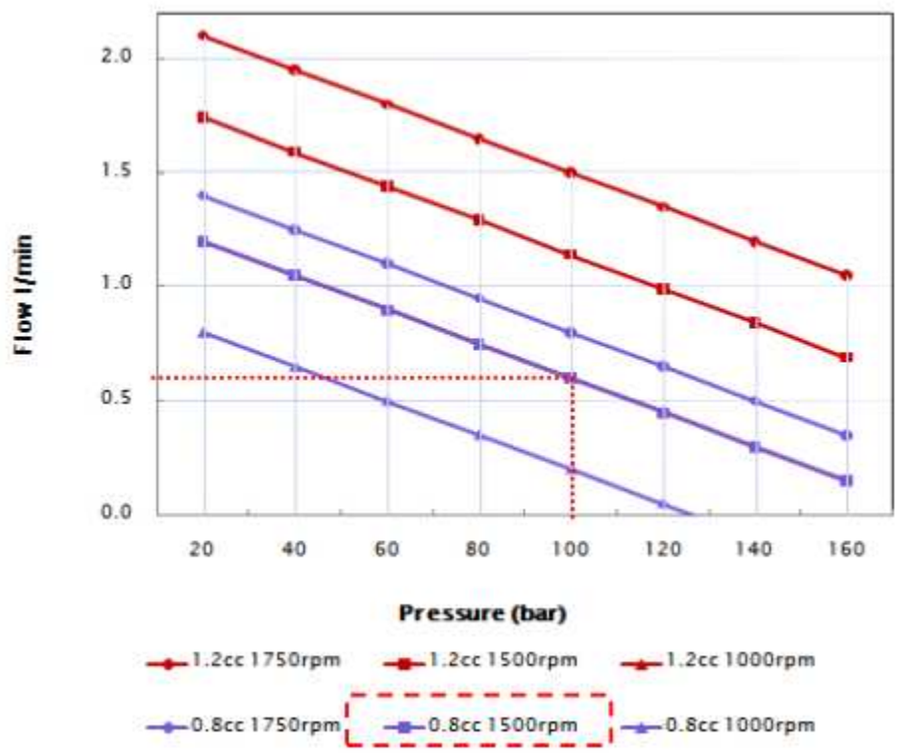


구분	단위	사양
Displacement	cc/rev	Max 1.2, Min 0.8
Max. RPM	-	2000
Construction Materials	-	A.I.S.I 316, Polymer & Martensitic Stainless steel
Max. Input Power	kW	0.55
Max. Water Flow	L/min	2.4
Max. Cont. Pressure	Bar	160
Weight	kg	1.5

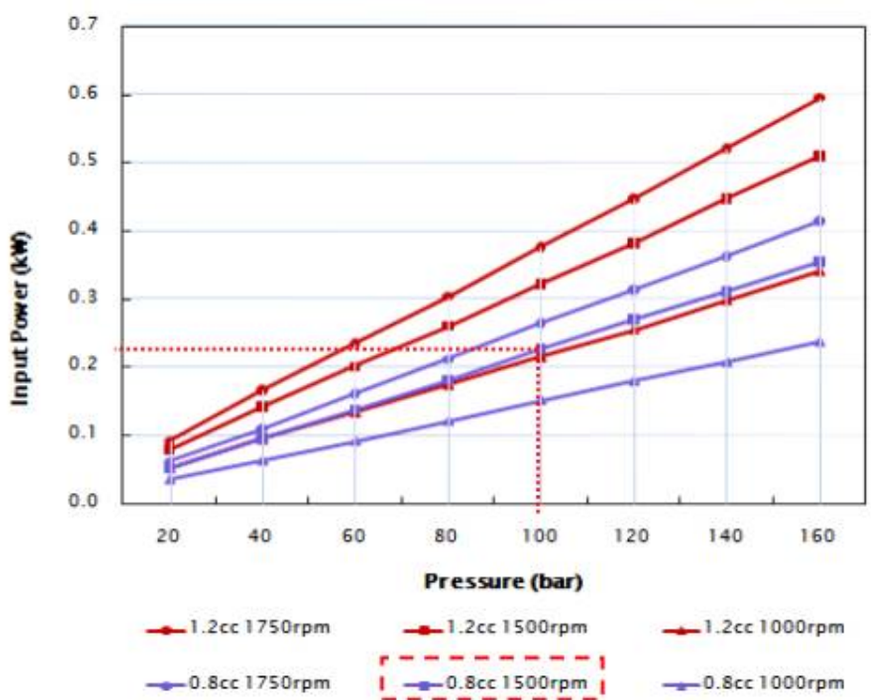
[소형 액시얼 피스톤 펌프]

– 소형 액셜피스톤 펌프이 유량, 입력동력, 입력토크 특성은 다음과 같으며, 0.8 cc/rev급 펌프가 100 bar로 구동될 경우, 유량은 0.5 l/min, 입력동력은 0.23 kw 토오크는 1.5 N·m 정도의 사양을 갖음

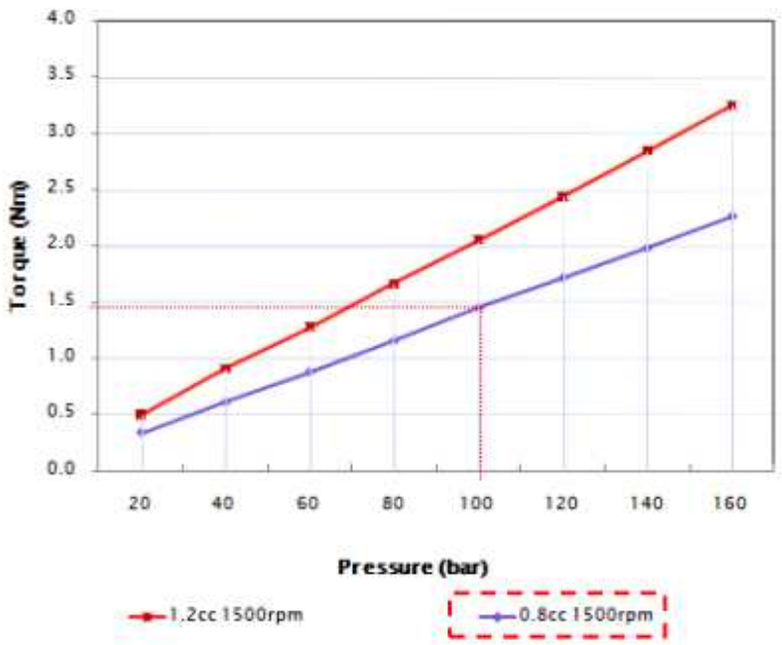
<Output Flow>



<Input Power kW>



<Input Torque>



5. 친환경 비산먼지 억제제 첨가기술 개발

- Water Fog 미세먼지 억제를 위해 액상 비산먼지 억제제를 첨가하여 억제효과를 높이기로 함에 따라 건설현장 미세먼지 억제에 효과적인 배합비율을 확인하였음
  - 친환경 억제제는 식물 추출물을 활요하여 개발된 수용성 / 무독성 제품으로 발화성과 부식성, 휘발성, 중금속 오염 등에서 자유로운 것이 특징임
  - 친환경 소재를 사용해 개발된 비산먼지 방지제로 일정시간이 지나면 자연 분해돼 토양과 수질오염에 절대적으로 안전함

- 참여기업인 한진로보틱스에서 친환경 비산먼지 억제제를 Water Fog 시스템에 적용하여 실제 현장에 활용한 데이터와 제조사에서 제공한 권장 사용량을 기준으로 배합 비율을 정리하였고, 건설현장 적용을 위해서는 1,000대 1의 비율로 배합하는 것이 효과적인 것을 확인하였음

<Dust Inhibitor Application and dilution chart(Yibite 35) 권장 사용량>

비산먼지 발생 형태	원액 1리터 기준 각 발생 형태에 희석되는 물의 비율	Coverage (L/m²)
야적장	300 ~ 500 times(배)	1.5
광산	500 times	1.0
광산 이송장치	700 ~ 1000 times	0.5
철도	500~1000 times	0.5
활주로	300 ~ 500 times	1.5~2.0
군대 사용지	200 ~ 500 times	0.5~1.0
트럭도로	500 times	0.7~1.0
건축, 토목 공사현장	500 ~ 1000 times	1.2
농업 관련	500 ~ 1000 times	1.5
농지	300 ~ 500 times	1.0
포장 도로	500 ~ 1000 times	1.0
복합 운송 야적장	500 ~ 1000 times	1.0~1.5

<(Yibite 35) 최소 사용량>

비산먼지 발생 형태	원액 대비 (1000배 기준)	Coverage (L/m²)
야적장	1000 times(배)	1.0
광산	1000 times	0.5
광산 이송장치	1000 times	0.3
철도	1000 times	0.5
건축, 토목 공사현장	1000 times	0.5
농업	1000 times	0.5
농지	1000 times	0.5
포장 도로	1000 times	0.3

A-3 Water Fog 분사장치 개발

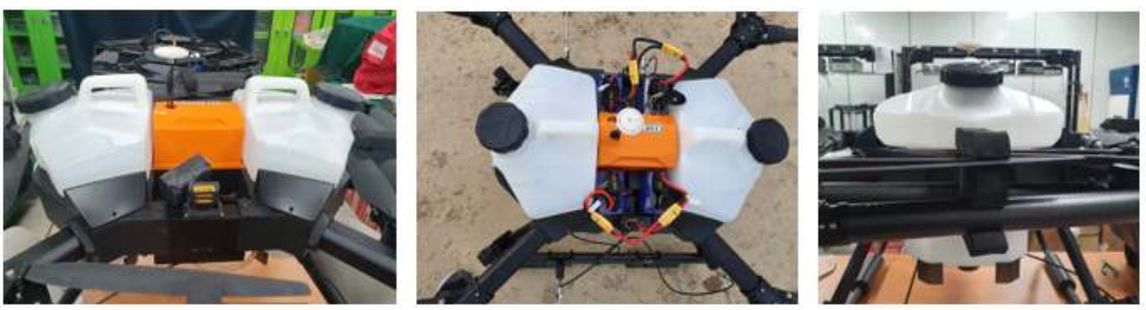
1. Water Fog 분사장치 설계 및 제작

- 분사장치 모듈의 기본 구성은 크게 유체이송부와 분사부로 나누어지고, 이송부는 유체탱크, 고압펌프 및 모터로 구성되며 분사부는 노즐 및 어댑터, 유체공급배관으로 모듈화 구성하였음. 또한 드론의 본체 하부의 랜딩기어에 설치하며 탈착이 가능하도록 구성하였음

  - 유체탱크 : 드론 본체의 하부에 장착되며 유체 10리터를 저장할 수 있는 탱크로 방제용 드론에서 사용하는 탱크를 적용하였고, 드론 본체에 장착하였음



[랜딩기어 결합형 10L 유체탱크 장착 방법]



[본체부 결합형 20L 유체탱크 장착 사진]

  - 고압펌프 : 시험을 통하여 유체의 압력을 100bar 이상으로 분사할 수 있는 액시얼 피스톤 방식의 펌프를 적용하고, 유체탱크 하부 및 본체 하부에 장착할 수 있도록 고정 지그를 제작하여 설치하였음

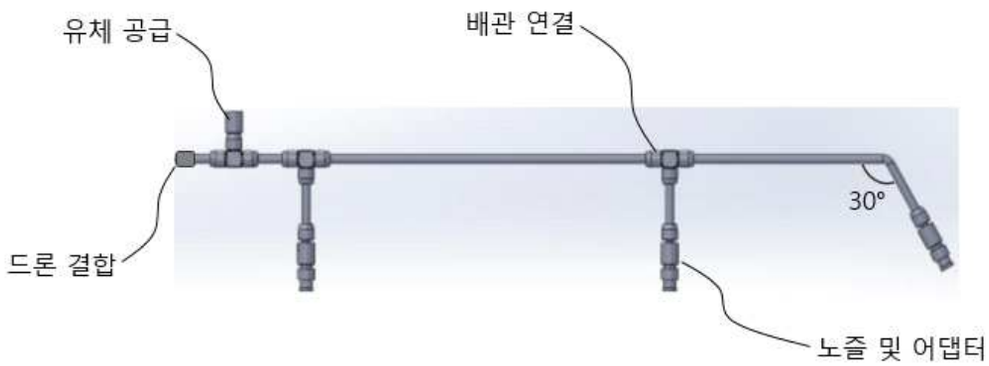


[유체탱크 고정용 지그 제작]



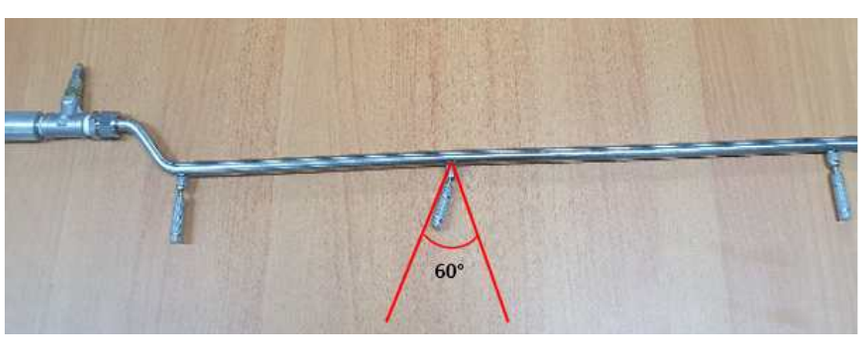
[본체부 고정용 지그 제작]

- 구동모터 : 고압펌프 구동이 가능한 사양을 가지고, 드론 장착이 가능한 구조 및 크기이며 비행시간에 영향을 최소화하기 위한 경량화 된 모터를 선정하여 적용하였음
- 노즐 조립체 : 노즐은 상용 제품 중 실험을 통하여 선정된 노즐을 적용하였으며, 선정된 노즐의 장착이 가능한 형태의 어댑터를 설계 및 제작하여 적용하였으나 어뎁터의 중간 연결 피팅 및 어뎁터로 인하여 조립체의 무게로 비행시간 단축 및 안전사고의 우려가 있어 경량화가 필요하였음. 배관의 전체 길이는 분사 높이, 분사 거리, 중첩 거리 등을 고려하여 좌우측 각 약 1m 로 하였으며, 6개의 노즐 및 어댑터를 균일한 분사를 위하여 노즐 간격을 달리하였고, 가장자리 노즐은 약 30°기울어져 분사함으로써 충분한 분사폭 약 5m 이상을 확보할 수 있도록 설계하였음. 또한 노즐 조립체의 배관 피팅류를 최소화함으로써 무게를 감소시키고, 노즐 각도가 30°에서 360°회전이 가능하도록 하여 분무 범위 및 방향 조정이 가능하도록 하였음





[분사장치 노즐 및 배관 조립체 구성 및 사진(기존)]



[개선된 분사장치 노즐 조립체 사진]

- 노즐 조립체 고정용 지그 : 노즐조립체의 고정을 위하여 랜딩기어에 체결이 용이하고 필요에 따라 각도 및 방향을 조정할 수 있도록 지그를 제작하여 적용하였음



[노즐조립체 고정용 지그 제작]

- 유체 배관은 고압의 조건에서 변형 및 파손이 되지 않으며 무게를 최소화할 수 있도록 AL 재질의 파이프 배관을 적용하였음

  내압 σ = 주입되는 압력(P) ×반지름(r)/두께(t)

  파이프 내압 = 100 N/mm^2(100 bar) * 2 mm / 2 mm = 100 Mpa

  100 Mpa(N/mm^2) = 10.2 kgf/mm^2

  알루미늄의 항복강도가 10.2 kgf/mm^2 보다 큰 재료를 사용해야하고, 내식성이 좋은 50계열의 배관을 선정하여 구성하였음

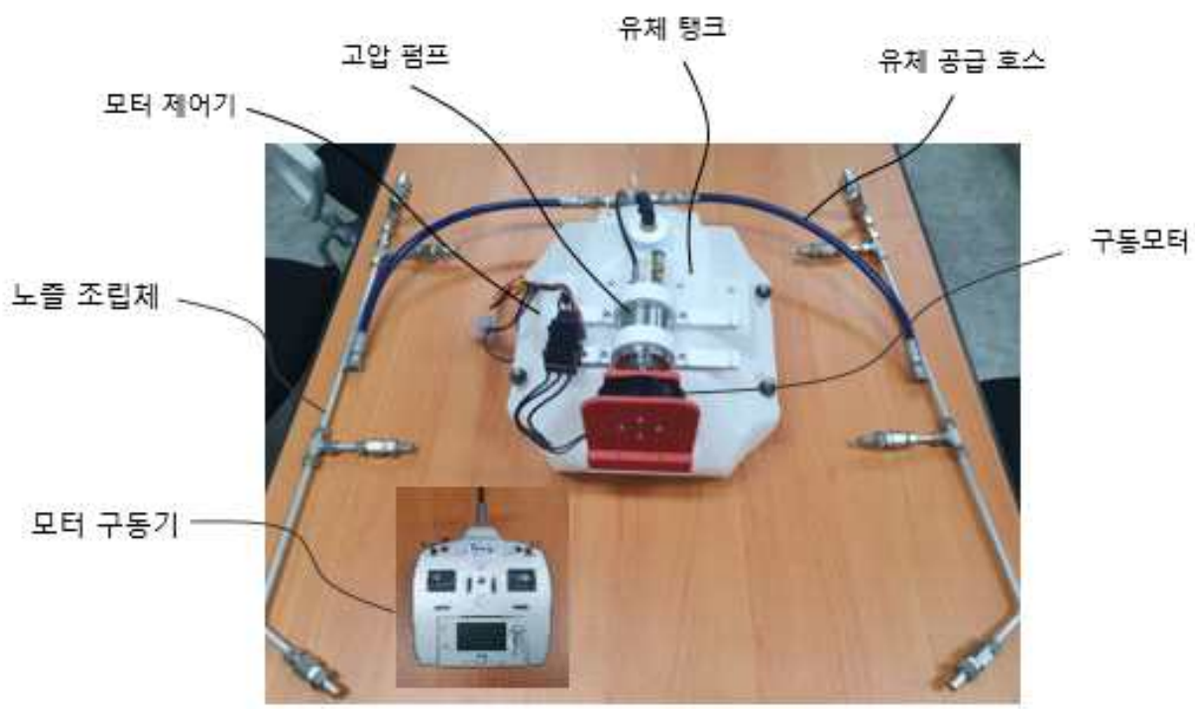
합금명 / 제조상태	항복강도 Yield Strength (Kgf/mm^2)	인장강도 Tensile Strength (Kgf/mm^2)	연신율 Elongation thickness (1.6mm %)	Brinell Hardness	전단강도 (Kgf/mm^2)	피로강도 (Kgf/mm^2)
5005-O	4.00	12.50	25	28	7.50	-
-H12	13.50	14.00	10	-	10.00	-
-H14	15.50	16.00	6	-	10.00	-
-H16	17.50	18.50	5	-	10.50	-
-H18	19.50	20.50	4	-	10.00	-
-H32	12.00	14.00	11	36	11.00	-
-H34	14.00	16.00	8	41	10.00	-
-H36	17.00	18.50	6	46	10.50	-
-H38	19.00	20.50	5	51	11.00	-
5052-O	9.00	19.50	25	47	12.50	11.00
-H32	19.50	23.00	12	60	14.00	12.00
-H34	22.00	26.50	10	68	15.00	12.50
-H36	24.50	28.00	8	73	16.00	13.50
-H38	26.00	29.50	7	77	17.00	14.00
5056-O	15.50	29.50	-	65	18.50	14.00
-H18	41.50	44.50	-	105	24.00	15.50
-H38	35.00	42.00	-	100	22.50	15.50
5083-O	15.00	29.50	-	-	17.50	-
-H321	23.00	32.50	-	-	-	16.00
5086-O	12.00	26.50	22	-	16.00	-
-H32	21.00	29.50	12	-	-	-
-H34	26.00	33.00	10	-	19.00	-
-H38	13.50	27.50	14	-	-	

- 노즐 및 배관 조립체의 내압시험은 고정지그를 이용하여 조립체를 설치하고, 고압펌프를 이용하여 점차 압력을 상승시켜 노즐 전단에서의 압력 100bar 조건을 10분간 유지하여 노즐 및 배관 조립체의 파손 및 누수가 없음을 확인하였음



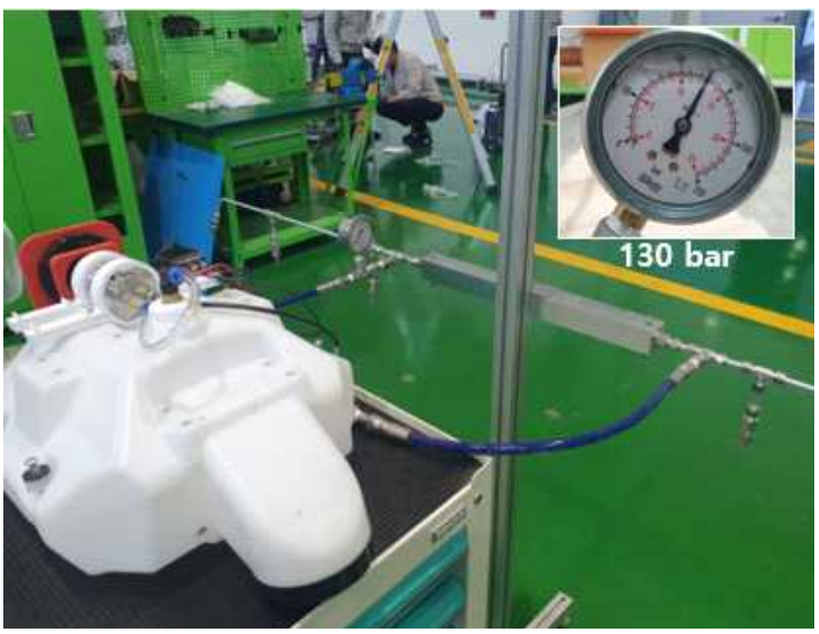
[노즐 및 배관 조립체 내압(100bar) 시험]

- Water Fog 분사장치 시작품의 구성은 아래 사진과 같이 유체탱크 하부에 고압펌프 및 모터, 모터 변속기, 노즐 및 배관 조립체, 유체 공급라인으로 하였고, 펌프 구동모터는 모터 제어기와 콘트롤러를 이용하여 구동 및 제어될 수 있도록 하였음



[Water Fog 분사장치 시작품 사진]

- 시작품이 요구되는 분사압력으로 분사가 가능한지 여부를 확인하기 위한 시험을 노즐 조립체를 연결하여 모터의 회전속도를 점차 증가시키며 압력게이지에 표시되는 압력을 확인하였고, 최대 130 bar 이상으로 분사가 가능한 것을 확인하였음
- 또한, 분사압력 100bar 조건에서 노즐 조립체 중 한 개의 노즐에서 분사되는 유량을 실린더로 측정하여 0.12 L/min 임을 확인하여 6개의 노즐에서 0.72 L/min 의 유량으로 분사됨에 따라 10리터의 물을 공급할 경우에 10분 이상 분사가 가능한 것을 확인하였음



[분사압력 및 유량 측정 시험]

- 노즐 및 배관 조립체를 지면으로부터 1.5m 높이에 설치하고, 고압펌프로 압력 100bar 로 3분간 분사한 후 지면에 물 분사 흔적의 길이를 측정하여 분사폭이 5m 이상임을 확인하였음



[분사폭 측정 시험]



[Water Fog 분사 중]



[Water Fog 분사 후]

- 따라서, Water Fog 분사장치는 유체를 압력 100bar 이상으로 노즐에 공급함으로써 높은 미세먼지 억제 효과를 기대할 수 있는 미분수 입자발생이 가능하며, 이때 분사폭 5m 로 10분 이상 미세먼지 억제 작업이 가능한 것을 확인하였음
- 드론에 탑재되는 Water Fog 분사장치의 총 무게는 3.87kg 으로 이륙중량이 24.9 kg으로 드론 운용은 가능하나 비행시간이 줄어들 것으로 판단되어 유체 탑재량을 줄이거나 분사장치의 중량을 감소시키는 방안이 필요할 것으로 판단하였음

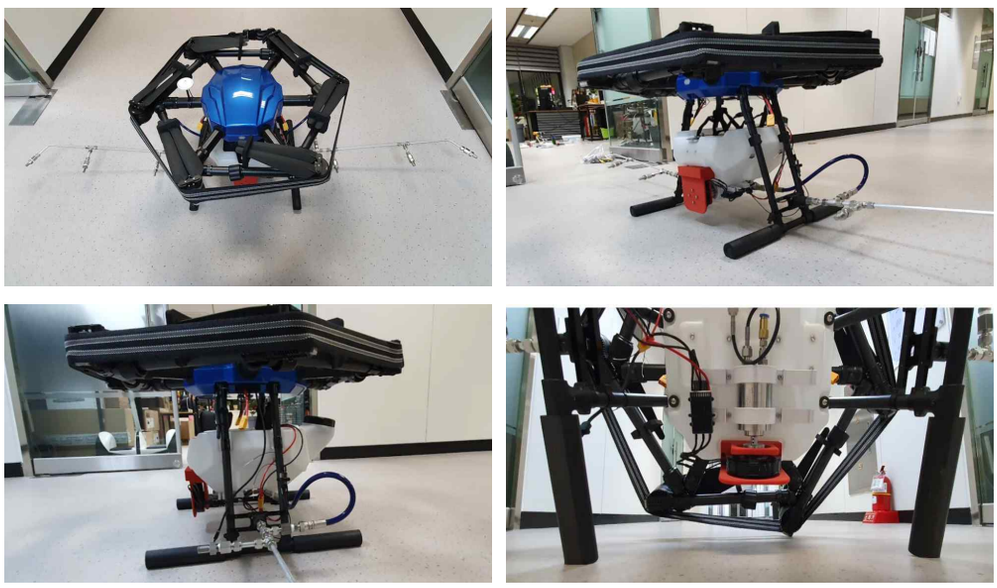
<Water Fog 분사장치 무게 측정>

구 분	부품명	무게(kg)	수량(개)	총 무게 (kg)
1	노즐 및 배관 조립체	0.345	2	0.69
2	고압호스 조립체	0.57	1	0.57
3	고압펌프 및 모터	1.73	1	1.73
4	고정 지그류	0.12	1	0.12
합계				3.11

2. Water Fog 분사시스템 구성 및 성능시험

1) Water Fog 분사시스템 구성

- 1~2차년도 연구수행 과정에서 Water Fog 분사장치 시작품을 드론에 탑재하여 드론 기반의 Water Fog 분사시스템을 구성하였음



[Water Fog 분사장치의 드론 탑재 사진]

- Water Fog 분사시스템의 비행 안정성 및 기본 동작시험을 진행하였고, Water Fog 분사 및 비행시간을 확인하였음



[Water Fog 분사 시스템의 기본 동작시험]

○ 아래의 시험조건으로 기본 동작시험을 진행하였음

- 드론 비행 안정성 시험 : 드론에 분사장치를 장착한 후 실제 미세먼지 억제 작업에 요구되는 이착륙, 전후진, 원주비행 시 불안전 요소가 발생하는 여부를 확인하였음. 또한 고압펌프 및 모터 동작하여 Water Fog 분사가 원활히 이루어지는 것을 확인하였음
- 비행시간 : 배터리 90% 이상 충전, 물 약 5리터 공급한 후 이륙 및 원주비행 작업하며 저전압 경고 발생시점까지 시간을 측정하였음
- Water Fog 분무효과는 분사압력에 따라 돌풍 등 외란과 하향풍으로 인한 Water Fog 의 움직임을 육안으로 확인하였음
- 시험 결과는 아래와 같음

구분	시험결과	비고
비행 안정성	조종기 제어 및 비행 안정성 양호	- 조종기의 이착륙, 전/후진, 원주비행 등 안정적인 비행이 가능하였음 - 분사장치에 의한 흔들림 등 불안전 요소는 확인되지 않았으나 조종자의 주의가 요구됨
비행 시간	7분 15초	- 실제 미세먼지 억제작업과 동일한 조건으로 시험을 진행하였으나 비행시간이 10분에 미치지 못하였음 - 원인으로 분사장치의 무게로 인한 배터리 소모량 증가 및 장기간 미사용 보관으로 인한 배터리 성능 저하로 판단하였음
분무 효과	분사압력 30~60 bar	- Water Fog 가 드론의 하향풍에 의해 외란 등의 영향을 적게 받으며 Water Fog 가 하강하며 분사효과를 높일 수 있었음 - 하향풍 영역을 벗어나서 위치한 노즐에서 분사되는 Water Fog 는 프로펠러 상부로 올라가는 현상을 확인하였음

○ 결론으로 비행시간 증가를 위한 분사장치의 모터 배터리 제거, 배관자재 축소 등 분사장치 무게 감량하고, 배터리 관리 및 수명에 대한 조사가 필요할 것임. 또한 하향풍 영역에서 벗어나 프로펠러 상부로 올라가는 현상을 방지하기 위한 노즐 및 배관 조립체 수정이 필요하였음

○ 드론기반의 Water Fog 분사시스템이 1~2차년도 과정에서 비행시간을 만족하지 못하는 문제를 해결하기 위하여 신규 드론을 제작하여 시스템을 구성하였음

- 드론은 본체부에 8개의 프롭이 장착된 옥터콥터 타입의 드론으로 본체부에 드론 및 분사장치용 배터리, 유체탱크, 분사장치(모터 및 펌프), 노즐 조립체를 로 구성되어 있음
- 드론 배터리는 본체부 상부 좌우측에 각각 2개씩하여 설치되고, 분사장치 구동용 배터리는 드론 배터리 여유 공간에 설치하였음
- 유체탱크는 본체부의 전후방에 10리터 용량의 탱크가 2개 설치되어 충분한 물을 공급할 수 있도록 구성되었음
- 분사장치 중 모터 및 펌프는 본체부 하부에 장착되어 노즐조립체에 고압 분사가 가능하도록 하였고, 노즐조립체는 횡 방향 또는 프롭 방향으로 설치가 가능하도록 하였으며 하향풍의 영향으로 지면까지 효과적으로 도달할 수 있도록 하였음



[시스템 보완 구성]

- 미세먼지 억제효과를 높이기 위해서는 충분한 양의 Water Fog 가 미세먼지 발생지점에 도달할 수 있게 하는 것으로 하향풍의 영향을 받아 아랫 방향으로 뿌려질 수 있도록 하는 것이 중요한 사항임
- 이를 위해 노즐을 프롭의 회전 와류에 의한 영향을 최소화할 수 있는 위치를 확인하는 시험을 진행하였고 노즐조립체를 랜딩 기어 중앙에 수직으로 설치하는 방법과 프롭 하부에 설치하는 두 가지 방안을 테스트하였음
- 시험 결과, 랜딩기어 중앙의 노즐은 프롭의 회전 와류에 의한 영향을 받아 Water Fog가 상부로 이동하는 것을 확인하여 프롭 하부에서 하향풍의 영향을 많이 받을 수 있도록 노즐조립체 및 설치 위치를 조정하였음



[랜딩기어 중앙에 노즐조립체 설치]



[프롭 하부에 노즐이 위치하도록 설치]

○ 시스템을 보완 및 구성하여 성능시험을 수행하고 문제점 도출 및 보완을 진행하였음



[비행 안정성 확인 시험]



[작업시간 및 분무성능 확인 시험]

시험 항목	시험 내용	시험 결과
비행안정성	– 드론에 분사장치를 장착한 후 실제 미세먼지 억제 작업에 요구되는 이착륙, 전/후진, 원주 비행 시 불안전 요소가 발생하는 여부를 확인	– 작업에 필요한 동작에 안정적인 비행 가능
비행시간	– 배터리 90% 이상 충전, 물 10리터 공급 – 저전압 경고 발생 조건 : 50% – 실제 작업과 동일한 과정으로 비행하며 배터리 저전압 경고가 발생할 때까지의 시간을 측정함	– 저전압 경고 발생 조건을 50% 수준으로 설정하였을 때 : 약 11분 비행 – 물 20리터 충만 후 비행시간 : 약 11분 이상 비행
분무효과	– 분사압력에 따라 돌풍 등 외란과 하향풍으로 인한 Water Fog 의 움직임을 육안으로 확인함	– 드론 프롭에 의한 하향풍의 영향을 받지 않는 위치에 있는 노즐에서 발생하는 Water Fog 는 와류에 의해 날개로 빨려 들어가는 현상 확인 – 노즐의 직경 및 위치를 조정 필요
기타	– 하향풍이 지면에 영향을 미치지 않는 높이를 확인함	– 하향풍 범위 : 지면으로부터 약 20m 높이 – 지면의 먼지를 일으키는 현상을 방지하기 위하여 이착륙 지점을 선정하고, 지면 덮개 등 활용이 필요함

- 드론 하향풍이 분사 유체와 지면의 먼지 부상에 미치는 영향을 확인하기 위한 실험을 진행하였으며, 실험방법은 지면으로부터 점차 높이를 다르게 하여 분사 유체의 움직임과 지상 먼지의 부상 여부를 육안으로 확인하였음

▮실험 결과



[드론 하향풍 시험 사진]

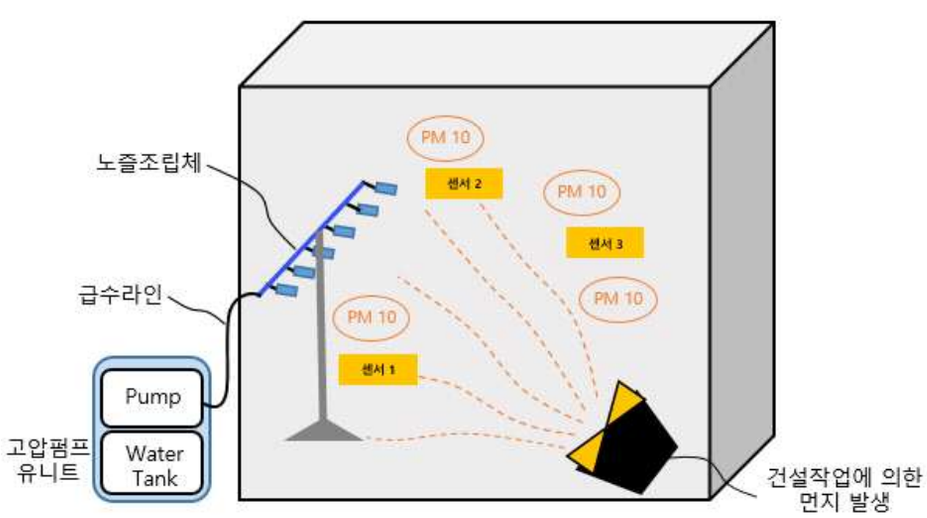
구분	드론 높이(m)	시험 결과
기존 시작품	0~13	– 분사된 유체가 하향풍을 따라 지면까지 도달함 – 하향풍이 지면까지 도달하여 영향을 미치는 것을 확인 하였음
	14~15	– 분사된 유체의 대부분이 하향풍을 따라 지면까지 도달하고, 일부 흩날리는 현상을 확인함 – 하향풍의 영향으로 지상에서 부상하는 먼지가 없음
개선 시작품	0~18	– 하향풍이 지면까지 도달하여 비산 먼지가 발생하는 것을 확인함
	18 이상	– 분사된 유체의 대부분이 하향풍을 따라 지면까지 도달하고, 일부 흩날리는 현상을 확인함 – 하향풍의 영향으로 지상에서 부상하는 먼지가 없음

3. Water Fog 분사장치의 미세먼지 억제 효율 시험(동아대학교 용역 보고서)

- Water Fog 분사장치의 미세먼지 억제효과를 확인하기 위해 외란의 영향이 없는 실내 시설에서 중공블록 절삭 작업(hollow block cutting activity)으로 발생하는 미세먼지(particulate matter, PM) 발생량을 모니터링하고, 자연상태 대비 워터 포그(또는 미세먼지 재비산 억제제 첨가) 분무 시 미세먼지 저감율을 확인하는 시험을 진행하였음

- 시험 조건
  - 외란의 영향이 없는 실내 환경
  - 분무액 종류
    - 물(water fog)
    - 물(water) / 미세먼지 재비산 억제제(inhibitor) 혼액(구성 비율 → water : inhibitor = 1,000 : 1)
  - 측정 입자 크기 : 10 ㎛(PM10)

- 시험장치 구성
  - 미세먼지 측정시 습도, 온도, 풍속이 측정센서 미치는 영향을 제거하기 위하여 시험부스를 설치함
  - 시험부스(가로 4m× 세로 4m × 높이 3m) 내부에 노즐 조립체를 설치하고, 외부의 고압펌프 유니트에서 분무액을 공급함
  - 시험부스 내부에서 발생한 미세먼지를 강제순환하기 위한 송풍기를 설치함
  - 미세먼지 측정센서 3개를 부스 내부에 적정한 간격으로 이격하여 설치하고, 외부에서 미세먼지량을 모니터링 할 수 있도록 구성함
  - 3개의 미세먼지 측정센서는 서로 간에 120도 각도를 유지하며, 시험부스 벽에서 각각 1m 떨어진 곳에 배치되었음. 또한 센서는 미세먼지 발생원으로부터 1m 떨어져 있으며, 미세먼지 최대 노출 구역인 지면 위 1m 높이에 배치함



[미세먼지 억제효율 확인 시험장치 구성]

◎ 시험순서

- 시험부스 내부에서 150초 동안 건설자재(중공 블록) 절삭 작업에 의해 발생한 미세먼지를 송풍기를 이용하여 강제 순환시키고, 이후 고압펌프 유니트를 90초간 동작시켜 노즐 조립체에 분무압 10 MPa로 공급하며, 워터 포그(water fog)를 분무한 후, 500초에서 미세먼지 농도를 측정하여 변화량을 확인함
- 미세먼지 억제제(inhibitor)를 혼합한 액체도 동일한 압력으로 분무하여 미세먼지 농도 변화를 관찰함
- 미세먼지 농도는 3개의 미세먼지 측정센서 평균값으로 확인함
- 워터 포그에 의한 미세먼지 억제효과 확인을 위하여 자연상태, 워터 포그 분무 조건, 미세먼지재비산억제제 첨가 조건, 총 3가지 경우로 시험을 진행하였으며, 세부 시험내용은 아래와 같음
  ① Test 1(natural reduction): 먼지 발생(150초) 후, 자연상태 대기
  ② Test 2(water fog reduction): 미세먼지 발생(150초) → 워터 포그 분무(90초) 후, 대기
  ③ Test 3(water/inhibitor reduction): 미세먼지 발생(150초) → 미세먼지재비산억제제 첨가액 분무(90초) 후, 대기

$$D_c(\%) = \frac{(D_{c1} - D_{c2})}{D_{c1}} \times 100\,(\%)$$

D_c : 비산먼지 억제율 (%)
D_{c1} : 미분수 분무 전 비산먼지 농도 ($\mu g/m^3$)
D_{c2} : 미분수 분무 후 비산먼지 농도 ($\mu g/m^3$)

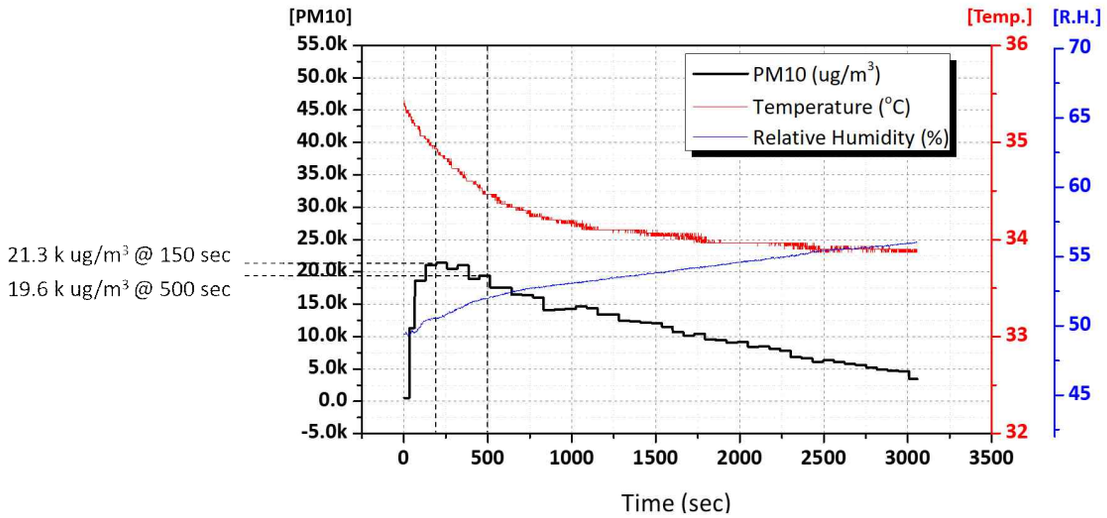


[미세먼지 억제효율 시험 사진]

◎ 시험 결과

▮ Test 1. 자연감소(natural reduction)

- Test 1은 중공 블록 절삭 작업시 미세먼지 저감장치를 설치하지 않고, PM10급 미세먼지 발생량을 측정한 실험임
- PM10급 미세먼지 발생 및 모니터링 작업을 시작하기 전, 시험부스 내부의 습도는 53%로 고정하였으며, 미세먼지 기준 레벨 미만임을 확인한 후, 중공 블록 절삭 활동을 시작함
- 중공 블록 절삭 작업 시간은 150초가 소요되었고, 이후, 총 50분 동안 PM10급 미세먼지 농도 변화를 관찰함

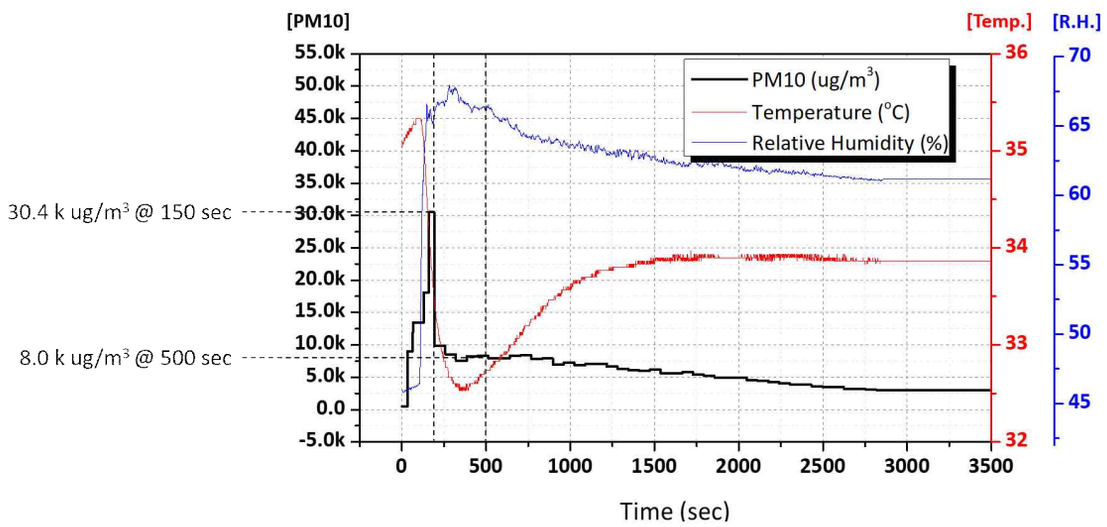


[미세먼지 발생 후, 자연상태에 따른 PM10 농도 변화]

▮ Test 2. 워터 포그 저감(water fog reduction)

- Test 2는 물 분무 장치를 미세먼저 저감장치로 사용하여 PM10급 미세먼지 발생량을 측정한 실험임
- PM10급 미세먼지 발생 및 모니터링 작업을 시작하기 전, 시험부스 내부의 습도는 약 50%이며, 미세먼지 기준 레벨 미만임을 확인한 후, 중공 블록 절삭 활동을 시작함
- 중공 블록 절삭 작업 시간은 150초가 소요되었고, 절삭 작업 후, 워터 포그 분무장치는 10 ㎫의 압력으로 90초 동안 작동되었다. 이후, 총 50분 동안 PM10급 미세먼지 농도 변화를 관찰함

❖ Test 1과 비교하여, 최대 미세먼지량의 급격한 상승은 미세먼지 측정센서가 워터 포그 분무 시 미분수 입자를 미세먼지 입자로 측정한 것으로 판단함

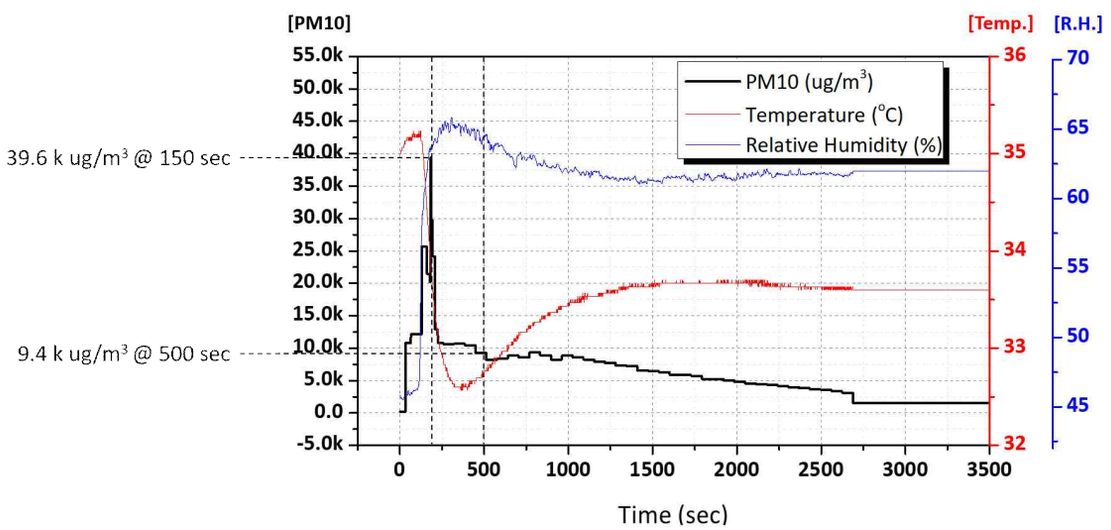


[물 분무에 따른 PM10 농도 변화]

▮Test 3. 물/미세먼지재비산억제제 저감(water/inhibitor reduction)]

- Test 3은 water/inhibitor 혼합액 분무 장치를 미세먼지 저감장치로 사용하여 PM10급 미세먼지 발생량을 측정한 실험임
- PM10급 미세먼지 발생 및 모니터링 작업을 시작하기 전, 시험부스 내부의 습도는 약 45%이며, 미세먼지 기준 레벨 미만임을 확인한 후, 중공 블록 절삭 활동을 시작함
- 중공 블록 절삭 작업 시간은 150초가 소요되었고, 절삭 작업 후, 물/미세먼지재비산억제제 혼합액 분무 장치는 10 ㎫의 압력으로 90초 동안 작동되었다. 이후, 총 50분 동안 PM10급 미세먼지 농도 변화를 관찰함

❖ Test 1과 비교하여 최대 미세먼지량의 급격한 상승은 미세먼지 측정센서가 물/미세먼지재비산억제제 혼합액 분무 입자를 미세먼지로 측정한 것으로 판단함



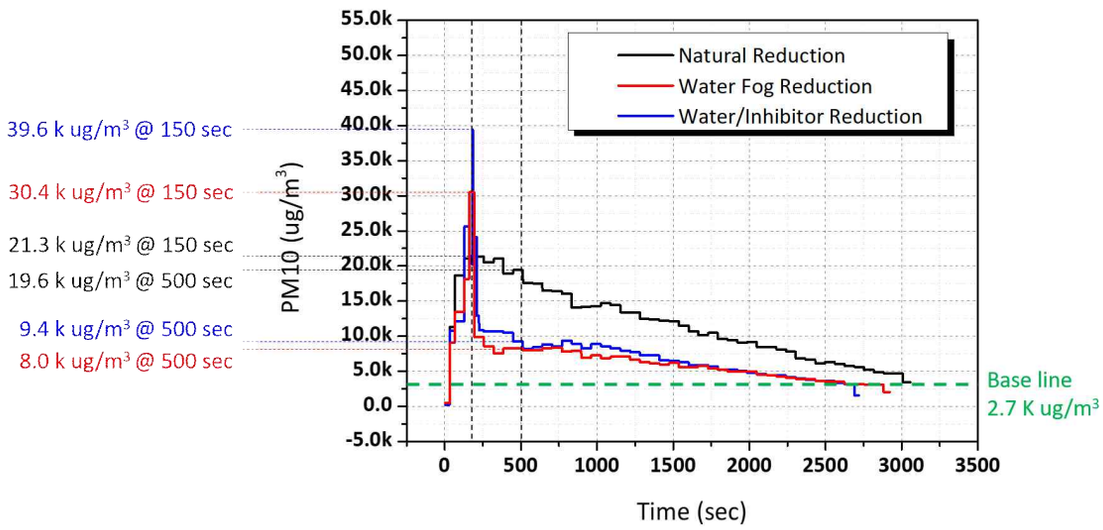
[물/미세먼지재비산억제제 혼합액 분무에 따른 PM10 농도 변화]

◎ 결 론

PM10급 미세먼지 발생량 분석 최종 결과는 아래 그래프와 같이 시험 모든 조건에서 절삭 작업이 시작된 후, 계속해서 미세먼지 발생량이 증가하였고, 물 또는 물/미세먼지 재비산 억제제 혼합액 분무 장치를 적용하여 미세먼지 농도를 급격하게 저감시킬 수 있었음. 다음은 분무조건에 따른 주요 결과를 나타낸 것임

- Test 1(natural reduction)에서, 미세먼지 발생량은 절삭 작업이 종료되는 150초에서 21.3 k㎍/㎥로 최대이며, 500초에서 8.0% 감소하여 19.6 K㎍/㎥으로 확인되었음
- Test 2(water fog reduction)에서, 미세먼지 발생량은 절삭 작업이 종료되는 150초에서 30.4 k㎍/㎥로 최대이다. Test 1과 비교하여 미세먼지 발생량이 증가한 것은 미세먼지 측정센서가 물 분무 입자를 미세먼지로 측정한 영향으로 판단한다. 따라서 Test 1에서 미세먼지 최대 발생량을 기준으로, 500초에서 62.4% 감소하여 8.0 k㎍/㎥으로 확인되었음

- Test 3(water/inhibitor reduction)에서, 미세먼지 발생량은 절삭 작업이 종료되는 150초에서 39.6 kμg/㎥로 최대임. Test 1, 2와 비교하여 미세먼지 발생량이 증가한 것은 미세먼지 측정센서가 물/미세먼지억제제 혼합액 분무 입자를 미세먼지로 측정한 영향으로 판단함. 따라서 Test 1에서 미세먼지 최대 발생량을 기준으로, 500초에서 55.9% 감소하여 9.4 kμg/㎥으로 확인됨



[각 실험에 따른 평균 미세먼지 농도 변화]

본 실험은 자연상태 대비 물 또는 물/미세먼지재비산억제제 혼합액 분무 조건에서 PM10급 미세먼지 발생량 저감율을 비교하는 것임. 따라서 아래 표에서 나타낸 바와 같이, 실험시간 내 미세먼지 농도 최저점인 2.7 kμg/㎥을 기준점으로 두고, 물 또는 물/미세먼지재비산억제제 혼합액 분무 조건 전·후 저감율을 비교하였음. 미세먼지 측정센서가 물 또는 물/미세먼지재비산억제제 혼합액 분무 입자를 미세먼지로 측정한 수치를 고려하지 않고, Test 1의 최대 미세먼지 발생량을 최고점으로 가정하였을 경우, 미세먼지 저감율은 Test 1, Test 2, Test 3에서 각각 9.3%, 71.5%, 64.0%로 확인됨

<미세먼지 저감율 및 분무 조건에 따른 저감효과>

No.	Test 1 (Natural Reduction)	Test 2 (Water Fog Reduction)	Test 3 (Water/Inhibitor Reduction)
A. Max. concentration of PM10	21.3 kμg/㎥	21.3 kμg/㎥	21.3 kμg/㎥
B. Min. concentration of PM10	19.6 kμg/㎥	8.0 kμg/㎥	9.4 kμg/㎥
C. Based concentration of PM10	2.7 kμg/㎥	2.7 kμg/㎥	2.7 kμg/㎥
A−C	18.6 kμg/㎥	18.6 kμg/㎥	18.6 kμg/㎥
B−C	16.9 kμg/㎥	5.3 kμg/㎥	6.7 kμg/㎥
Reduction rate: [1−{(B−C)/(A−C)}]*100	9.3%	**71.5%**	64.0%

A-4 시스템 통합 시운전

1. Water Fog 분사장치 운영시스템 개발

- 2020년 10월경 드론 기반의 Water Fog 분사장치와 Smart 감시장치가 연계하여 현장 시험을 진행하였고, 시험결과의 주요 내용으로는 작업시간 증가를 위한 시스템 보완과 Smart 감시장치와 연계하여 운용될 수 있는 시스템 구축의 필요성이 확인되었음
  - 드론 비행 안정성 시험 : 드론에 분사장치를 장착한 후 실제 미세먼지 억제 작업에 요구되는 이착륙, 전후진, 원주비행 시 불안전 요소가 발생하는 여부를 확인하였음. 또한 고압펌프 및 모터 동작하여 Water Fog 분사가 원활히 이루어지는 것을 확인하였음
  - 비행시간 : 배터리 90% 이상 충전, 물 약 10리터 공급한 후 이륙 및 원주비행 작업하며 저전압 경고 발생시점까지 시간을 측정하였음
  - Water Fog 분무효과는 분사압력에 따라 돌풍 등 외란과 하향풍으로 인한 Water Fog 의 움직임을 육안으로 확인하였음
  - 시스템 운용 : 스마트 감시장치와 연계하여 작업자에 의해 수동으로 시나리오에 따라 진행하였음

구분	시험결과	비고
작업시간	1차 : 6분 35초 2차 : 3분 15초 3차 : 5분 57초	- 기본 동작시험과 동일한 조건으로 시험을 진행하였으나 비행시간이 감소하였음 - 원인으로 배터리의 장기 미사용 보관으로 인한 성능저하로 판단하였고, 탑재되는 분사장치의 무게를 감소시키는 연구가 필요할 것으로 보임
분무효과	분사압력 약 100bar 이상	- 분사압력이 100bar 이상 조건에서 테스트가 진행되었으나 하향풍으로 인하여 외란으로 인한 영향은 미비한 것으로 판단되었음 - 다만, 넓은 현장의 경우엔 드론 1대를 운용하여 미세먼지를 억제하는 것 보다는 군집 형태의 시스템 운용이 더욱 효과적일 것으로 판단되었음
시스템 운용	감사장치 연계	- 감시장치와 연계하여 수집된 위치정보에 따라 분사장치가 운용 될 수 있는 시스템 구축이 필요할 것으로 판단됨
기 타	이착륙시 부상먼지 발생	- 드론의 이착륙시 지면의 먼지가 부상하는 현상은 Water Fog를 이착륙시에도 지속 분사하거나 이착륙시 패드 활용하여 줄이는 등 방안 강구가 필요함

- 현장 테스트는 드론에 분사장치를 탑재한 Water Fog 분사시스템 시작품의 운전 및 제어 등 기본 동작시험과 미세먼지 감시장치와 연계하여 미세먼지 억제 시나리오에 따라 운용되는 시험을 진행하였음



미세먼지 감시장치 준비



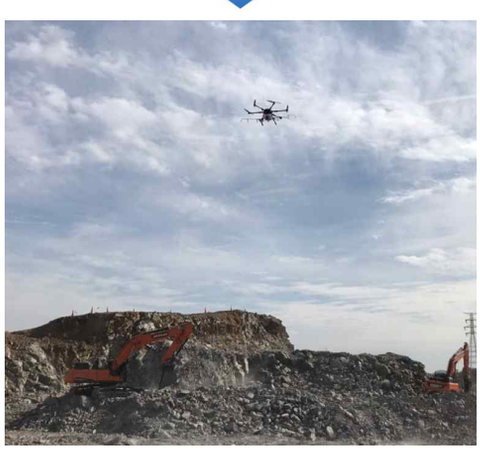
미세먼지 감시 장치 활동



Water Fog 분사장치 준비



Water Fog 분사장치 출동



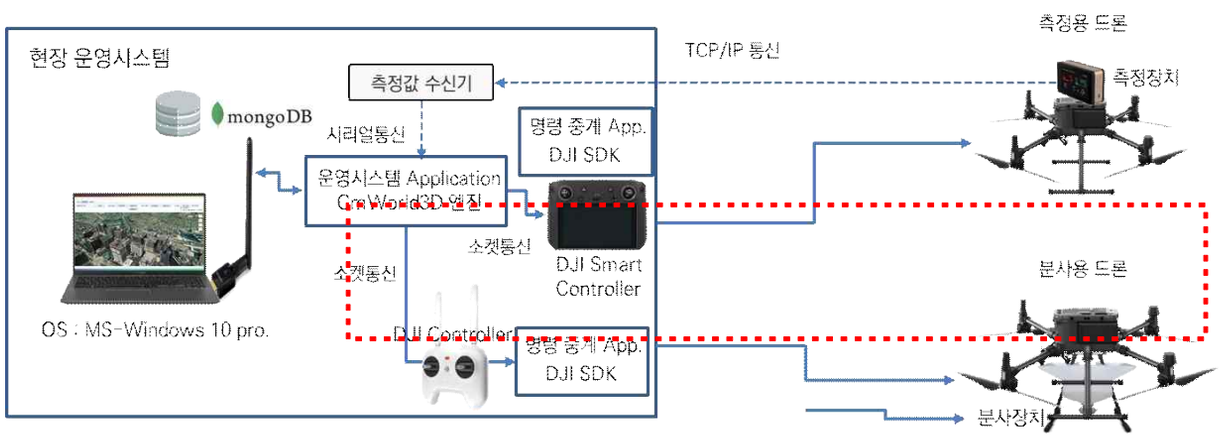
Water Fog 분사장치 출동



Water Fog 분사, 미세먼지 억제

- 2차년도 현장 테스트 결과를 배경으로 드론기반의 Water Fog 분사장치를 미세먼지 발생량에 따라 효율적으로 운영하고, Smart 감시장치와 연계하여 현장적용 및 상용화 기반을 마련하고자 운영시스템을 제작하여 적용하였음

  - 운영시스템은 가장 보편적인 운영체제인 MS-Windows 10 기반의 장비에 3D 공간정보 기반 시각화를 구현하기 위해 3D GIS Engine인 'CmWorld 3D'를 탑재한 C/S 기반 시스템과 드론 제어를 위한 Android 기반의 명령 중계 App. 2 종류로 구성되었음
  - 건설현장의 3D 공간정보 플랫폼을 구현하기 위해 3D GIS Engine인 CmWorld Solution을 탑재하였고, 이를 활용하여 국토교통부에서 제공하고 있는 3차원 국가공간정보 지도데이터를 기반으로 드론 비행정보 및 미세먼지 측정값의 가시화 등 기능을 구현함
  - 3D GIS Engine인 'CmWorld 3D'는 OGC에서 정의하고 있는 국제 공간정보 표준인 WMS(Web Map Service), WFS(Web Feature Service), WCS(Web Coverage Service) 등에 대한 국제 인증을 받은 상용 제품으로 국제 표준 규격 인증만이 아닌 대용량 공간정보의 신속한 처리 등을 장점으로 하고 있는 제품으로 본 연구과제 수행을 위해 무상으로 공급, 지원됨



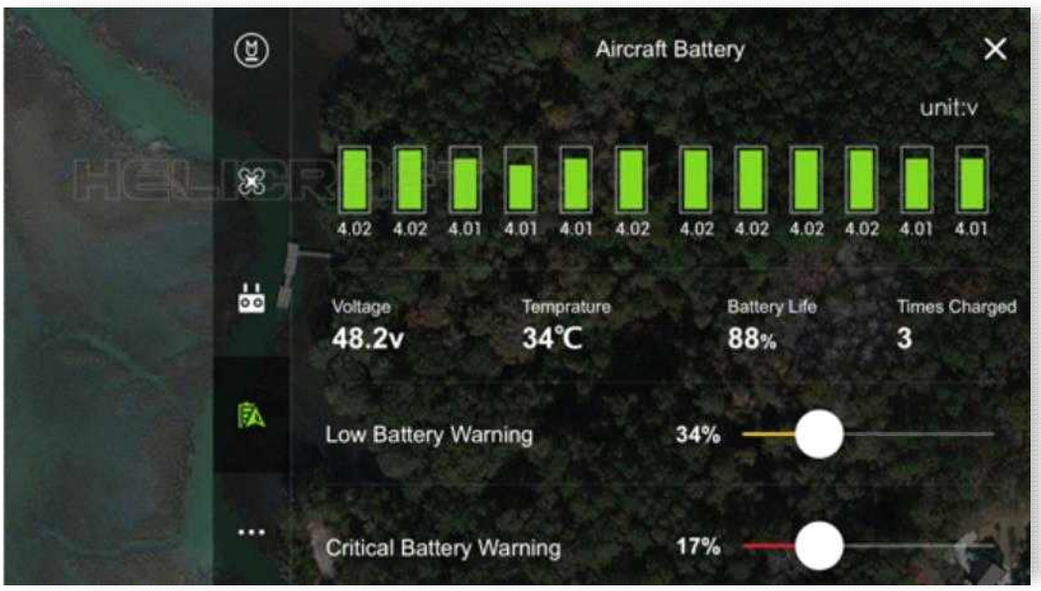
[운영시스템 H/W, N/W 구성]

- 분사 드론은 초기에는 드론 하드웨어 제품 중 개방형 표준을 지원하는 Pixhawk 사의 F/C(Flight Controller)을 중심으로 8개의 프로펠러를 지원하는 Octocopter로 제작되어 송수신기를 통한 제어명령은 Wi-Fi를 이용한 2.4GHz 대역에서 최대 500m 거리를 지원함

- 초기 DJI社의 N3-AG F/C(Flight Controller)를 이용한 드론 운영에 문제가 발생하여 같은 DJI社의 제품이지만 성능이 보다 개량된 A3-AG F/C(Flight Controller)로 최종적으로 변경하였고, A3-AG F/C는 GPS 및 IMU의 외부 간섭 저항력 강화로 경로 비행의 정밀성 및 안전성이 좋으며, 다중 프로토콜 지원이 가능해서 외부기기에 대한 확장성이 향상되었음

  - 드론과 통합되어 A3-AG F/C(Flight Controller)는 빠르고 정확하게 조종 명령을 인지하여 사용자의 용이성을 향상시켜주고, 비행 모드에는 오토매틱 모드(Smart mode), 세미 오토매틱 모드(Assisted mode), 매뉴얼 모드(Manual mode)의 세 종류가 있어 분사 지형과 임무에 따라 비행 모드를 선택할 수 있음. 오토매틱 모드에서는 몇 개의 버튼을 누르는 것만으로도 비행을 계획할 수 있으며 매핑 지식이나 다른 소프트웨어 없이도 비행이 가능한 농약 살포용 드론은 가장 효율적이고 쉬운 분사 시스템임. 세미 오토매틱 모드에서는 버튼을 누르면 오토매틱 모드에서처럼 자동 회전을 하여 불규칙한 모양의 지형에서 비행을 하는 데 용이하며 매뉴얼 모드에서는 조종사

가 자유롭게 기체를 조종할 수 있음



[DJI社의 A3-AG F/C의 매개변수 조정]

- DJI 社의 A3-AG Controller 은 농업 방제를 목적으로 개발되었다는 특성을 갖고 있으나, 다양한 목적의 드론 개발에 사용되는 고성능의 컨트롤러로 드론에 탑재된 수조 탱크에서 펌프를 통해 Water Fog 분사를 수행하나 이 부분은 별개의 무선조종장치를 통해 분사의 On/Off를 제어하며, 분사량 조절은 드론 Controller로 조정하도록 구성되었음

○ 운영시스템은 측정된 미세먼지 데이터를 분석하여, '심각' 상태의 측정값 위치를 추출, 분사 드론에 해당 지역의 위치정보를 제공하여 저감활동을 할 수 있도록 해당 영역에 대한 비행 제어 명령을 전달하는 것을 주요 기능으로 구현하였음

현장 운영시스템(C/S)

운영 장비	IBM 호환 노트북 1식
운영 체제	MS-Windows 10 Pro.
DataBase	Mongo DB v4.4
GIS Engine	CmWorld 3D v2.0
개발 언어	MS-Visual studio Community 2019(C#)
통신 방식	Serial 통신, Socket 통신(Wi-Fi)

측정드론 제어 중계App.

운영 장비	DJI Smart Controller(Matrice 300)
운영 체제	Android 7.1.2
개발 환경	Android Studio (Java)
제어 툴킷	Dji SDK

분사드론 제어 중계App.

운영 장비	DJI Controller(A3-AG)
운영 체제	Android 7.1.2
개발 환경	Android Studio (Java)
제어 툴킷	Dji SDK

[현장 운영시스템 S/W 구성]

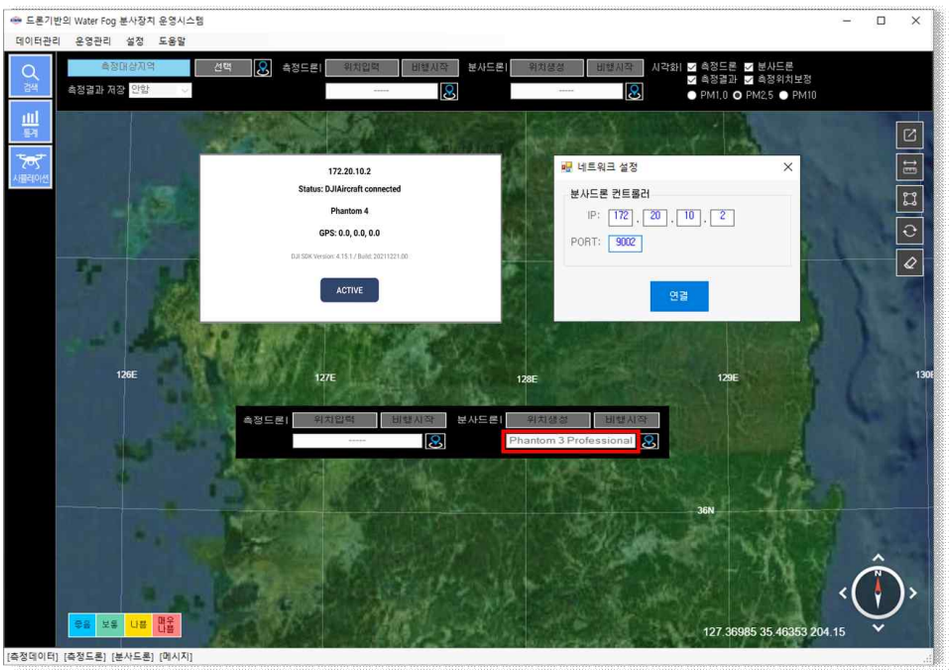
- 운영시스템은 현장에서 분사 드론을 제어, 운영하기 위한 목적으로 개발된 시스템으로 이동 및 휴대에 편리한 노트북 장비를 채택, MS-Windows 10 기반의 운영체제 하에 구축하였고, 평가시스템과의 호환을 고려하여 DBMS는 MongoDB, 3D GIS Solution은 동일한 제품인 'CmWorld 3D'를 설치하였으며 개발언어 및 환경은 시스템 퍼포먼스 등을 고려하여 C/S 시스템 구축시 가장 보편적으로 사용되는 MS-Visual Studio 2019 버전에서 C#으로 개발하였음
  - 분사 드론인 A3-AG 모델과의 연동을 위해는 DJI의 Smart Controller가 아닌 일반 범용 Controller를 사용하기 때문에, 운영시스템에서의 제어 명령을 Android O/S 기반의 Smart Phone 혹은 Tablet에 측정 드론 제어 중계 App을 설치, Controller와 연결된 USB Cable로 Serial 통신을 이용해 드론 제어 명령을 전달, 드론을 제어하도록 구현하였음
  - 이러한 분사 드론 제어 중계 App.은 측정 드론 중계 App.과 마찬가지로 DJI社에서 드론 제어를 위해 개발자들에게 제공하는 SDK를 내장, 활용하여 Android Studio 개발 ToolKit을 통해 Java 언어로 구현하였음

- 분사 드론에 대해 건설현장의 미세먼지를 저감하고자 할 때, 먼저 분사 드론 제어 중계App.을 Wi-Fi를 이용해 연결하여 측정 드론을 통해 수집한 측정데이터의 오염도가 심각한 지역, 즉 분사 드론에서 Water Fog를 분사하여 미세먼지 저감활동을 수행하고자 하는 영역을 먼저 선택함. 해당 영역의 WayPoint로 영역의 꼭짓점 좌표 4곳의 경위도 좌표를 입력하고 해당 영역 내에서 측정 비행하고자 하는 경로의 간격, 비행 속도 등을 설정하면 전체 비행경로가 자동 생성되어 저장되고, 지도 화면상에 해당 경로가 가시화되어 표출됨. 이렇게 설정된 경로에 대해 분사 드론 제어 중계App.을 통해 분사 드론(A3-AG)로 전송하여 분사 드론이 해당 경로에 따라 비행하면서 Water Fog를 분사하게 됨
  - 분사 드론의 제어는 운영시스템에서 수집한 미세먼지 측정값을 분석하여, 측정값이 '나쁨' 수준으로 측정된 영역에 대해 Water Fog 분사 대상 지역으로 규정, 해당 영역 꼭짓점 4개소의 경위도 좌표를 추출하여 분사 드론을 운영하고자 하는 영역을 선택하고 비행속도(평균 5m/s)와 비행간격(평균 4m)를 설정하면 해당 영역에 대해 종횡으로 설정 간격대로 비행경로가 자동으로 설정되도록 기능을 구현하음. 이렇게 설정된 비행 경로 및 비행 시작 명령을 분사 드론의 제어가 가능한 Controller와 USB Cable로 연결되어 있는 Andriod 운영체제 기반에서 운용되는 SmartPhone이나 Tablet에 드론 제어 중계 App.을 구현, 설치하여 분사 드론으로 중계, 전달할 수 있도록 구현하였음. 데이터의 흐름을 보면 운영시스템에서 태블릿의 App.을 통해 Controller에 비행정보 및 시작 명령을 하달하고, 다시 Controller가 분사 드론에 해당 명령을 전달하여 분사 대상 영역을 비행하며 Water Fog를 분사할 수 있도록 해당 지점에 도달하면 태블릿을 통해 '분사 실행 알림' 메시지를 던져주도록 구현하였음

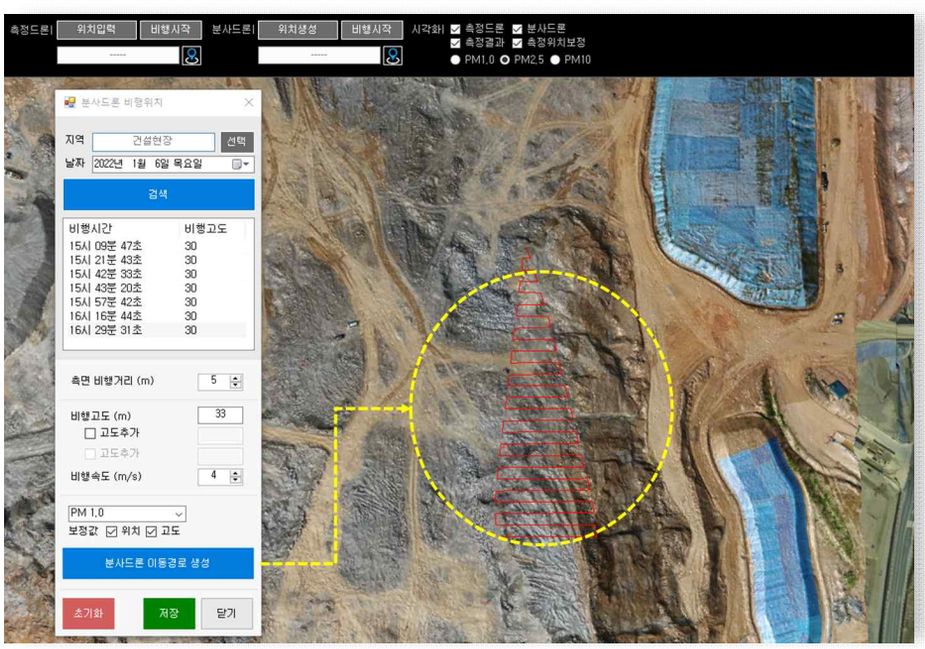


[분사 드론의 비행 제어]

– 분사드론 조종기와 소켓통신으로 연결하기 위한 IP주소와 포트번호를 설정하고, DJI 드론 컨트롤러에 연결되어 있는 스마트패드의 화면에 보여지는 IP를 입력한 후 [연결] 버튼을 클릭하여, 드론 컨트롤러와 소켓통신을 연결함. 드론 컨트롤러와 연결되면, 분사 드론의 명칭이 화면에 표시되고 드론의 GPS 위치가 수신중인 경우, 현재 드론이 위치하고 있는 좌표로 지도화면이 이동하게 됨



[분사드론 무선연결]



[분사드론 비행제어]

- 분사드론의 비행경로를 생성하고, 생성된 좌표로 분사드론이 비행할 수 있도록 비행 명령코드를 전송하고, 드론제어 패널 > '분사 드론' 메뉴를 선택하여 실행할 수 있으며 분사 드론의 [위치생성] 버튼을 클릭한 후, 드론 비행경로 옵션값(측면거리, 비행고도, 비행속도)을 설정함
- 비행 고도값은 측정드론의 비행고도 + 3m 로 초기 설정하도록 하고 분사드론 이동경로를 생성하기 위해 사용되는 미세먼지 측정값의 단위를 선택하고, 보정값 적용 시 해당 시간대 분사 드론의 이동위치와 비행고도를 매핑하여 사용함
- [분사드론 이동경로 생성] 버튼을 클릭하면, 지도위에 분사드론이 비행할 경로가 생성되어 표시되는데, 이 때 [저장] 버튼을 클릭하여, 비행경로를 등록하고, [비행시작] 버튼을 클릭하여 분사드론으로 비행명령 코드를 전송함

2. 운영시스템 시운전

- 운영프로그램 정상 동작여부 확인
  - 지도조작 기본 기능 : 3차원 공간정보 데이터의 Loading, 확대/축소/이동/초기화
  - 드론 데이터 수집·저장
    TCP/IP 통신으로 드론 GPS 위치정보, 미세먼지 측정데이터 수집
    수집한 드론 위치 및 실시간 미세먼지 측정값 패킷 해석 및 저장
  - 시스템 드론 동작 명령
    측정용 드론으로부터 입수된 데이터 기반 Water Fog 분사위치 산출
    RULE에 따른 드론 동작 명령 및 경로 확인을 위한 측정 드론 동작 명령
    Water Fog 분사장치 출발, 작업수행, 복귀 명령
  - 시스템 드론 위치 가시화 : 3차원 공간정보 데이터 기반에 드론 위치정보 및 이동 경로 가시화
  - 실시간 측정 데이터 가시화 : 실시간 미세먼지 측정 정보를 3차원 지도상 텍스트, 색상으로 가시화
  - 실시간 측정정보 분석
    실시간 데이터 분석을 통한 기준치 이상 미세먼지 발생 구역 지도에 표시
    측정결과 및 미세먼지 제거 후 재측정 정보지도상 표출

◎ 운영시스템을 이용하여 Water Fog 분사장치의 미세먼지 억제 작업 시나리오에 따라 테스트를 수행하였음

단계	테스트 내용
Water Fog 분사장치 및 운영시스템 준비	– 드론에 분사장치 장착, 비행 준비 확인 – 운영시스템의 입력 정보 확인 : 작업 동선, 비행속도 및 작업 고도 등 입력 – 드론과 운영시스템의 통신상태 확인 : 기본 동작 여부 확인  
미세먼지 발생 지점 위치정보 전송	– 미세먼지 저감이 필요한 위치 정보 전달 : 콘트롤러 화면에 좌표 표시 확인 – Water Fog 시스템 자동 출동 : 드론 자동 시동 및 출동 확인  
미세먼지 발생 지점 도착 및 억제작업 수행	– 작업자에게 작업 위치 도착 알림 표시 – 분사장치 동작 및 작업 수행 : 분사장치 정상 동작, 설정값(동선, 고도, 속도 등)에 따라 작업 수행  
미세먼지 억제 작업 종료 및 복귀	– 작업 종료 후 출발 위치로 복귀 – 배터리 및 유체 잔량 확인 및 보충 – Water Fog 시스템 출동 대기   

◉ 운영시스템을 이용한 시운전 시 문제점 도출 및 보완을 진행하였음

순번	이슈 사항	해결 방안	비 고
1	- 분사 드론 비행제어에서 분사시작 대상위치 도착시 알림 메시지 전송 오류 ⇒ 해당 지점 영역에 대해 위치좌표의 오차 허용범위를 현재 10cm로 타이트하게 설정하여 발생한 문제로 추정	- 비행중 분사시작 대상위치 영역 검사 모듈에서 해당 위치좌표 검색반경을 1m로 변경 ⇒ 건설현장의 측정 및 분사 업무 성격상 1m 이내 영역에 대한 오차는 허용범위 이내로 판단함	2021. 11.10 테스트 시 정상동작 확인
2	- 자동 비행(시스템 제어) 중 수동 분사 버튼 클릭시 분사 실패 ⇒ 제어권은 자동모드에 있음 ⇒ 조종간 조작 시 제어권은 수동모드로 전환	- 운영시스템 제어 자동 비행중 분사 실행 여부 재확인 필요 - 1차 테스트 시 육안 확인으로 판별 어려움 - 자동 비행(시스템 제어) 중에도 수동 비행조작은 가능 - 수동 조작 시에는 분사버튼 조작 가능 확인 : DJI 제공 App.(안드로이드)를 통한 자동 비행 중 분사 실행 여부 재확인 필요	DJI 社에 문의한 결과, 제공하는 드론 관리 App에서는 자동 비행 중 분사가 가능하나 별도의 분사장치 및 시스템을 이용한 자동분사기능 지원은 불가능 하다는 답변을 받음
3	- 자동 비행(시스템 제어) 중 수동 분사 버튼 클릭시 분사 제어 불가 경우 ⇒ 제어권 자동모드 경우	- 분사 제어를 위한 별도의 통신, 펌프 제어 모듈 장착 : 운영시스템에서는 위치 도착알림 메시지 확인 시 작업자가 분사장치 동작을 위한 별도의 콘트롤러를 적용하기로 함	2021. 12.22 테스트 시 정상동작 확인
4	- 자동 비행(시스템 제어) 후 수동 조작으로 변경 시 분사 영역 및 경로 설정 방안(분사 가능 경우)	- DJI 제공 App.(안드로이드)에서 영역 위치좌표 설정 및 간격 조정 등으로 자동모드 재수행 가능한지 테스트 필요	DJI App에서 영역 설정, 자동 경로 비행이 가능하다면, 측정영역 좌표를 수동으로 입력토록 정보 제공 가능
5	- 자동 비행(시스템 제어) 후 수동 조작으로 변경 시 홈 복귀 버튼 명령 인식 불가	- DJI 제공 App.(안드로이드)을 이용하는 동안, 아래 상황에서 홈 버튼을 누른 경우, 출발위치(홈)으로 돌아가는지 테스트 필요 ① 자동 비행(시스템 제어) 중간에 수동 조작으로 변경 후, 홈 버튼 누름 ② 모드 변경 없이 수동조작으로 조작중, 홈버튼 누름	2021. 12.14 테스트 시 정상동작 확인
6	- 자동비행 명령 전송시 분사 대상 고도에 도달하지 못하는 현상 확인	- DJI N3-AG 컨트롤러에서는 방제용으로 설정되어 고도값 최대 3.5m 이상으로 자동 비행이 불가능하여 컨트롤러를 A3 로 변경하였음	2021. 12.22 테스트 시 정상동작 확인

○ 개발된 운영시스템을 활용하여 미세먼지 감시장치에서 미세먼지 억제 작업까지 프로그램에 의해 원활한 작업 수행이 이루어지는지 확인하였고, 시운전 확인사항 및 결과는 아래와 같음

<시험 현장 전경(인천 불로동 소재)>

			결 과
1	분사장치와 운영시스템 연결		- 운영시스템의 프로그램 동작상태,운영시스템과 분사장치와의 통신 연결 양호하였음
2	드론기반의 Water Fog 분사시스템 준비		- 드론에 분사장치를 장착하고, 수동 콘트롤러를 이용하여 기본동작 테스트를 수행하여 정상 동작여부를 확인하였음
3	미세먼지 측정 데이터 수신 및 분석(자동)		- 미세먼지 감시장치로부터 수신한 데이터를 수집 및 분석이 정상적으로 이루어지고, 결과값을 표시함
4	운영시스템에 의한 작업 개시명령 및 출발(자동)		- 데이터 분석결과에 따라 Water Fog 분사시스템에 미세먼지 농도 및 위치정보 등 작업 지시 명령에 따라 출동함
5	미세먼지 발생 지점 도착 및 억제작업 수행		- 미세먼지 발생 지점에 도착하여 작업자에 알림 표시를 하여 분사장치를 동작시켜 억제작업을 수행함
6	작업 종료 및 복귀		* 홈 버튼 실행 시 출발위치로 복귀하였음

B. 한국건설기술연구원

GIS기반의 Smart 감시장치 개발 관련 보고서

- B- 1. 미세먼지 및 드론 관련 제동·정책 및 연구동향 조사
- B- 2. 미세먼지 측정센서 요구(성능) 조건 도출 및 시스템 운영 시 고려사항 도출
- B- 3. 미세먼지 측정 파일럿 테스트를 통한 GIS Mapping 결과
- B- 4. 미세먼지 스마트감시 및 Water Fog 기반 저감장비 통합운영시스템 개념 설계
- B- 5. 미세먼지 스마트 감시장비 1차 프로토타입 구축
- B- 6. 미세먼지 스마트감시장비 운영 기초시스템 구축 및 현장적용성 실험
- B- 7. Water Fog 분사시스템과의 연계 및 테스트
- B- 8. Test-Bed 적용에 따른 성과 분석
- B- 9. 경제성 평가 및 상용화 전략 수립
- B-10. 개발 기술의 활성화를 위한 정책 개발

B-1 미세먼지 및 드론관련 제도·정책 및 연구동향 조사

1. 국내 미세먼지 관련 제도·정책 및 연구동향 조사

1) 관련 법제도 조사

미세먼지에 관한 규정을 두고 있는 현행 법령은 「환경정책기본법」, 「재난 및 안전관리기본법」, 「대기환경보전법」, 「수도권 대기환경개선에 관한 특별법」, 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」 등이 있음. 각 법령에 대한 특징은 다음과 같음

① 미세먼지 관련 법령 개요

■ 미세먼지의 개념

- 우리나라 미세먼지에 관한 규정은 1990년 8월 1일 제정된 「환경정책기본법」에 따라 동법 시행령 별표1에 대기, 수질, 소음 등의 환경매체별로 각 오염물질에 대한 환경기준을 설정하면서 대기 항목으로 '부유분진(총먼지;Total Suspended Particles)'에 대한 환경 기준이 만들어지면서 부터임
- 이후 1992년 동 시행령 개정에서 명칭이 '먼지'로 바뀌게 되고, 1993년에는 '먼지' 항목이 다시 '총먼지'와 '미세먼지'로 구분되었으며, 2000년 '총먼지' 항목이 삭제되어 '미세먼지'항목만 남게 됨. 이후 미세먼지에 대한 환경기준이 지속적으로 강화되어 2011년 개정 시 입자 크기가 2.5마이크로미터 이하인 '(초)미세먼지' 항목이 추가되어 오늘날에 이르게 됨
- 현재는 환경정책기본법 제12조제2항에 따라 동법 시행령 [별표] 환경기준-대기(참조 1)에 따라 미세먼지와 관련한 환경기준을 규정하고 있음



[법령 상의 미세먼지 개념-환경정책기본법 및 동 시행령]

■ 미세먼지, 재난으로 인식

- 미세먼지가 호흡기 및 심혈관 질환 등을 유발하는 것으로 밝혀져 국민의 불안감이 고조되고 있고, 대책 수립에 대한 국민여론이 매우 높아지면서 「재난 및 안전관리 기본법」 제3조제1호나목의 사회재난에 "미세먼지로 인한 피해"를 명시적으로 규정함(참조 2)
- 이에 따라 앞으로 미세먼지 해결에 추가경정 예산이 투입될 수 있게 되었으며, 재난 시 사용할 수 있는 특별교부금도 미세먼지 저감에 쓸 수 있게 됨. 이는 미세먼지로 인한 피해를 줄이기 위한 재난사태 선포, 피해조사 및 복구계획 수립, 특별재난지역 선포, 위기관리 매뉴얼의 작성·운용, 중앙대책본부 등의 구성, 국가안전관리기본계획 수립 등을 할 수 있게 하여 국가 등이 미세먼지로 인한 피해를 줄이기 위해 노력하도록 하려는 것임
- 또한, 행정안전부는 이 법에 근거해 향후 고농도 미세먼지 발생 시 민간 차량 2부제 도입도 추진하기로 함

■ 미세먼지 오염도 예보 및 경보

○ 「대기환경보전법」 제8조제4항에 따라 대기환경보전법 시행령에서는 대기오염경보의 대상지역, 대상오염물질, 발령기준, 경보단계 및 경보단계별조치 등에 필요한 사항을 규정하고 있음(참조 3)

<대기환경보전법 시행령에 따른 대기오염물질 경보단계 및 조치사항>

오염물질	경보단계	조치사항
미세먼지 (PM-10)	주의보경보	1. 주의보 발령 : 주민의 실외활동 및 자동차 사용의 자제 요청 등 2. 경보 발령 : 주민의 실외활동 제한 요청, 자동차 사용의 제한 및 사업장의 연료사용량 감축 권고 등 3. 중대경보 발령 : 주민의 실외활동 금지 요청, 자동차의 통행금지 및 사업장의 조업시간 단축명령 등
초미세먼지 (PM-2.5)	주의보경보	
오존 (O_3)	주의보경보 중대경보	

■ 미세먼지 오염의 측정과 수도권 대기환경관리 기본계획의 수립

○ 「수도권 대기환경개선에 관한 특별법」에 따라 환경부장관은 수도권지역의 대기오염으로 인한 위해(危害)를 줄이기 위하여 위해 정도 및 위해 발생원인 등 필요한 조사 수행과 대기오염도 측정 및 그 결과 공개 등에 대해 규정하고 있음(참조 4 제7조, 제7조의2)

○ 또한, 이 법에서는 대기환경개선을 위하여 10년 마다 대기오염물질을 줄이기 위한 '수도권 대기환경관리 기본계획'을 수립·시행하도록 규정하고 있음(제8조)

- 대기오염물질 : 질소산화물, 황산화물, 휘발성유기화합물, 먼지, 미세먼지(PM-10), 미세먼지(PM-2.5), 오존(O_3)

○ 이 법은 대상오염물질에 대한 지역별 배출허용총량을 설정하고, 할당기준에 따라 5년마다 연도별로 구분하여 총량관리대상 오염물질의 배출허용총량을 해당 사업장*에 할당하고 이를 사고 팔수 있도록 하는 '사업장 대기오염물질 총량관리제도'를 실시하도록 규정하고 있음(참조 제16조)

- 「수도권 대기환경개선에 관한 특별법 시행령」 [별표 2]에 따라 '연간 질소산화물 배출량이 4톤 초과', '연간 황산하물 배출량이 4톤 초과', '연간 먼지 배출량이 4통 초과' 등 사업장설치의 허가를 받아야 하는 자

■ 미세먼지 저감을 위한 관리와 대처

○ 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」(약칭: 미세머지법)은 미세먼지 및 미세먼지 생성물질의 배출을 저감하고 그 발생을 지속적으로 관리하기 위해 대기환경개선 종합계획을 고려하여 5년마다 '미세먼지 관리 종합계획'을 수립·시행하며(참조 5. 제7조, 제8조), 미세먼지 등의 발생원인, 정책영향 분석, 배출량 관련 정보의 수집·분석 및 체계적인 관리를 위하여 국가미세먼지정보센터를 설치·운영하도록 규정하고 있음(참조 5. 제17조)

○ 또한, 이 법에 따라 환경경부장관은 고농도 미세먼지 발생 시 배출가스 등급제 기반 자동차 운행제한, 대기오염물질 배출시설 가동 조정, 학교 등의 휴업, 수업시간 단축 등 권고, 비산먼지 발생사업 중 건설공사장의 공사시간 변경·조정 등의 비상저감조치를 시행할 수 있도록 규정(참조 5. 제18조)

② 건설 분야 미세먼지 관련 법령

■ 건설공사현장에서 유발되는 미세먼지 규제 관련 규정

○ 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」의 시행으로 다음의 비상저감조치 발령 기준 중 하나라도 해당하면 비상저감 조치를 발령할 수 있고, 미세먼지 비상저감조치 발령 시 공사를 중단하거나 공사시간 조정이 의무화됨

▮비상저감조치 발령 기준
1. 당일 초미세먼지 평균 농도가 50$\mu g/m^3$을 초과하고, 다음 날의 초미세먼지 24시간 평균 농도가 50$\mu g/m^3$을 초과할 것으로 예측되는 경우 2. 당일 초미세먼지 주의보 또는 경보가 발령되고, 다음 날의 초미세먼지 24시간 평균 농도가 50$\mu g/m^3$을 초과할 것으로 예측되는 경우 3. 다음 날의 초미세먼지 24기간 평균 농도가 75$\mu g/m^3$을 초과할 것으로 예측되는 경우

※ 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법 시행규칙 제7조(비상저감조치의 시행기준)

○ 그간 서울, 인천, 경기 등 13개 시·도가 자체적으로 시행해 왔으나 법 시행으로 전국 17개 시·도가 조치를 시행할 수 있게 됐고, 공사중단이나 공기조정 대상도 공공공사 현장뿐 아니라 민간공사장까지 포함하는 등 비상저감조치 대상과 범위가 확대됨

○ 이에 따라 전국 각 시·도지사는 비상저감조치 발령 시 미세먼지 다량배출 사업장의 가동률을 조정하고 날림(비산)먼지 발생 공사장 등 공사현장에 대해 공사 중단이나 공사시간을 조정할 수 있게 되어 시·도별로 차이가 있지만, 건축물 축조·해제 등 비산먼지 다량 발생 현장이나 터파기 및 기초공사 등 토공사 현장 등이 직접적인 영향을 받을 것으로 예상됨

■ 건설기계로부터 유발되는 미세먼지 규제 관련 규정

○ 노후 건설기계에 대한 저공해조치 명령 근거 규정

- 「대기환경보전법」 개정안(2019.4.2.) 제58조에서는 노후 건설기계의 차령과 대기오염물질 또는 기후·생태계 변화유발물질 배출정도 등에 따라 저공해조치 명령과 그에 따른 예산 지원 등에 대한 근거 규정을 마련(참조 6)
- 저공해조치는 저공해자동차로의 전환 또는 개조, 배출가스저감장치의 부착 또는 교체 및 배출가스 관련 부품의 교체, 저공해 엔진 개조 또는 교체 등임

○ 2020년 저공해 건설기계 의무화

- 2019년 4월 제정된 「대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법」 제정안에 따르면 일정 규모 이상 공공토목사업 등에 저공해 건설기계 사용을 의무화하는 대책 등을 지역 특성에 맞춰 추진하도록 의무화하는 규정이 2020년 4월 시행 예정(참조 7)

■ 비산먼지 발생 억제 시설 설치 의무화

○ 비산먼지(공사 중 발생되는 먼지는 일정한 배출구 없이 대기 중에 직접 배출되는 먼지)를 발생시키는 사업을 하려는 자는 「대기환경보전법」 제43조에 따라 특별자치도지사·시장·군수·구청장에게 비산먼지 발생 등 신고서를 제출하고, 비산먼지의 발생을 억제하기 위한 시설을 설치하거나 필요한 조치를 해야 함(참조 8)

● 비산먼지 발생 사업
- 시멘트·석회·플라스터 및 시멘트 관련 제품의 제조업 및 가공업
- 비금속물질의 채취업, 제조업 및 가공업
- 제1차 금속 제조업
- 비료 및 사료제품의 제조업
- 건설업(지반 조성공사, 건축물 축조 및 토목공사, 조경공사에 한함)
- 시멘트, 석탄, 토사, 사료, 곡물 및 고철의 운송업
- 운송장비 제조업
- 저탄시설(貯炭施設)의 설치가 필요한 사업
- 고철, 곡물, 사료, 목재 및 광석의 하역업 또는 보관업
- 금속제품의 제조업 및 가공업
- 폐기물 매립시설 설치·운영 사업

■ 행안부 미세먼지 저감조치 시행지침에 따른 건설 공사장 운영

○ 환경부는 2018년 12월「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」에 따라 고농도 미세먼지가 일정 수준 이상으로 발생할 것이 예상될 때 단기적으로 이를 줄이기 위한 비상저감조치의 발령 및 해제 조건, 적용 대상, 기관별 역할 및 조치사항, 시행 방법 등을 수행하기 위한 시행 지침을 제정하여 운영하고 있음

- 이 지침에서는 '행정·공공기관 차량 2부제', '차량운행 제한', '사업장 및 공사장 운영 단축·조정', '휴업 및 수업시간 단축 등 비상저감조치의 시행 권고' 등에 대한 시행 방안을 제시하고 있음

○ 사업장 및 공사장 운영을 단축·조정하기 위한 비상저감조치의 시행을 위한 시행시간, 적용대상, 시행방법은 다음과 같음

<사업장 및 공사장 비상저감조치 시행방안>

구분	지침 내용 설명
시행시간	비상저감조치 발령 다음 날 06시부터 21시까지
적용대상	「미세먼지 특별법」 제18조제1항에 따른 의무 대기배출시설 및 건설공사장, 행정·공공기관·민간 운영 사업장과 건설공사장 ※ 단, 운영 단축·조정이 국가안전보장·국방·통일·외교·에너지 수급 및 국민의 생명·신체에 현저한 지장을 초래할 우려가 있다고 지자체장·중앙행정기관장이 판단하는 사업장 등은 제외
시행방법	- 지자체는 비상저감조치를 이행해야 하는 대상 사업장 및 공사장의 목록과 담당자 현황을 사전에 작성하여 관리 - 미적용 민간부문 사업장 및 공사장 : 자발적 협약 등을 통해 자율적인 참여 유도 ※ 필요시 지자체별로 민간부문 주요배출원에 대한 저감 권고 등의 조치 추가시행
추가조치	공기지연 등에 따른 기한 연장 등 보완조치 시행 검토 - 관할기관의 장의 결정에 따라 차량부제 및 조업단축 시행으로 인한 공기지연 등 부작용에 대한 별도 방안 마련 검토(기한연장, 지체상금 차감 등)

주) 환경부, 고농도 미세먼지 비상저감조치 시행 지침, 2019.2

- 이외에도 추가 조치로 드론, 이동측정차량 등 활용 대기배출 사업장 단속 및 강화와 발전소, 사업장 가동률 조정 등 비상저감조치 이행에 따른 사업장 오염물질 배출저감 효과를 굴뚝 TMS 등으로 모니터링, 그리고, 학교·어린이집, 주거단지 등 생활공간 주변 공사장 및 민원 다발 공사장을 중심으로 단속 대상 사업장 선정, 일제 단속 등을 시행
- 또한, 도로 재비산먼지 저감을 위한 고압살수차, 진공청소차 등 운영 확대(예: 야간 1회→주·야간 각1회) 및 오염우심도로 청소를 강화(빗물 활용)하고, 산림청·농림부(농진청)·지자체와 협력하여 영농폐기물 집중 수거 및 불법 소각 집중단속을 시행함

2) 관련 정책 조사

① 정부의 미세먼지 관련 정책 추진 방향

- 미세먼지 기여율이 높은 발전·산업 및 생활부문의 경우 재정지원 정책보다는 규제 및 관리정책을 중심으로 배출량을 관리하고 있음
  - 석탄화력발전소, 사업장 등은 원인자부담 원칙에 의해 직접 지원보다는 배출허용기준 강화, 대기오염 총량제 설정, 배출부과금 부과 등 주로 규제를 통해 관리
  - 생활부문의 경우 주로 도로, 건설공사장, 불법소각 등 다양한 소규모 배출원의 점검·단속을 통해 관리하고 있음
- 반면, 친환경차 등 수송부문의 경우 규제정책만 추진할 경우 일반 국민의 부담이 가중될 수 있어 재정지원 정책을 병행하고 있음
  - 친환경차 보급 시행 초기에는 시장 형성 및 수요 확보 측면에서 보조금 지급 등 예산지원 중심으로 추진하고 있으나, 정부도 단계적으로 재정지원을 줄이기 위해 예산부담이 없는 '비재정적인 수단'을 도입하는 정책적 노력을 추진 중임

② 범 국가적 미세먼지 저감 및 관리 정책

■ 범부처 합동 「미세먼지 관리 종합대책」 추진

- 특단의 미세먼지 감축조치 및 고농도 위해성 관리 병행을 통해 2022년까지 국내 배출량 30% 감축(총 7.2조원 투자), 나쁨일수 70% 감소(전국 합계 '나쁨($50\mu g/m^3$) 초과 일수를 '16년 258일에서 '22년 78일까지(180일 감소)를 목표로 미세먼지 관리 종합대책을 추진
  - 4대 중점추진과제로 국내 배출량 30% 감축, 국제협력 강화, 민간계층보호, 정책기반 및 인프라 구축을 추진
  - 건설분야는 국내 배출량 감축 중 수송분야 선박·건설기계 미세먼지 관리 강화와 생활부문의 공사장·불법소각 등 관리 사각지대 집중 관리, 도로청소차 보급 및 도시 숲 확대 등을 추진

○ 건설기계 저공해화 확대 등으로 사각지대 미세먼지 관리 강화

- '22년까지 노후건설기계(지게차, 굴삭기, 도로용 3종(덤프, 콘크리트 믹서, 콘크리트 펌프) 등 15.7만대) 3.1만대(전체 노후기계의 20%)를 대상으로 엔진 교체, 배기가스 후처리장치(DPF) 부착 등의 저공해조치 실시
- 비산먼지 신고대상 건설사업장(1,000㎡ 이상)에 대해서 신형 건설기계 또는 저공해 건설기계만 사용토록 제도개선. 노후건설기계(도로용 3종)를 대상으로 저공해 조치(예산지원 병행) 미 이행 시 사용제한

○ 건설공사장 비산먼지 저감

- 비산먼지 신고대상 확대(농지정리, 리모델링 등) 및 비산먼지 저감 효과 증대를 위한 정량적 기준(방진망 개구율 등) 도입('18)하고, 고농도 미세먼지 시즌에 아파트 등 대규모 공사장 대상, 집중 점검 실시(방진막, 살수시설 적정 설치·운영 등)

■ 미세먼지법에 근거한 「미세먼지특별대책위원회」 운영

○ **(운영계획)** 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」에 근거하여 미세먼지대책과 관련하여 우선순위를 재정립하고, 다른 정부정책들과의 정합성을 검토하고, 부처간 이견사항 조정을 지원(보도자료 제1차 미세먼지특별대책위원회, 2019.2.15.)

- 미세먼지가 국민건강 및 국가경제에 미치는 영향 분석과 국외 미세먼지의 실질적 저감을 위해 노력하고, 국민들에게 미세먼지에 대한 정확한 정보를 제공하여 국민들의 이해도를 높이고 불안감도 해소
- 민간위원을 중심으로 ①과학·국제협력, ②미세먼지 저감, ③국민건강보호·소통 등 3개 분과위원회가 구성됨

○ **(미세먼지 대책 중점 추진계획)** 대책의 실효성을 높이기 위해 최초로 연차별 미세먼지 평균 농도 목표치와 감축량을 설정하고, 2대 정책방향으로 '국내 핵심 배출원에 대한 집중관리'와 '한·중 협력강화'를 제시

- 대도시 최대 배출원인 경유차(수도권 배출량의 22.1%를 차지, 1순위 배출원)의 감축을 위한 감축 로드맵을 마련하기로 함
- 2019년 11월 예정인 한·중·일 환경장관회의에 중국의 책임 있는 저감 노력을 이끌어내기 위한 '협약화 방안'을 제안하고, 베이징에 설치된 한·중 환경협력센터를 중심으로 공동연구 및 미세먼지 저감 실증사업을 확대

③ 서울시 미세먼지 저감 및 관리 정책

■ 초미세먼지 배출원별 저감대책

○ 서울시 2019년 업무보고 자료에 따르면 '미세먼지 걱정 없는 서울' 조성을 위해 난방·발전, 자동차·건설기계, 비산먼지 등 배출원별 핵심배출원 집중 저감을 위한 대책을 추진하고 있음(2019 주요업무 계획, 서울시 기후환경본부, 2019.2.25.)

※ 주요 추진 업무는 시민이 체감하는 미세먼지 측정 및 정보제공, 가정용 노후보일러의 친환경보일러 교체 확대, 자동차 친환경등급제 기반 운행제한 본격 시행, 전기·수소차 보급 및 충전인프라 확충, 대기질 개선을 위한 국내·외 지속적 협력 강화 등임

○ 초미세먼지 배출원별 저감대책 중 건설 분야와 관계되는 부문은 자동차·건설기계와 비산먼지 부문임

- 건설기계 부문은 2005년 이전 등록한 노후 건설기계 엔진교체 등 1,573대 저공해화의 추진
- 비산먼지 부문은 건설공사장 등 비산먼지 발생사업장 관리실태 집중 점검(1,903개소)과 미세먼지 발생 우려가 높은 건조기에 특별점검 실시('19. 4~5월, 10~11월)를 통한 고농도 미세먼지 발생 예방을 위한 비산먼지발생사업장 관리강화와 고농도 미세먼지 발생 대비 도로 분진흡입 청소차(124대) 최대 가동

■ 미세먼지 10대 그물망 대책의 추진

○ 서울시는 거시적이고 선도적인 미세먼지 조치를 위해 도로, 골목, 건물 등 곳곳에 산재돼 있는 생활 속 10대 그물망 대책을 추진(서울시, 미세먼지 대책 생활 속에서 촘촘히…'10대 그물망대책', http://news.seoul.go.kr/ env/archives/501726)



[서울시 '미세먼지 10대 그물망 대책'(자료: 서울시)]

- **(생활도로 오염저감을 위한 차량 저공해화)** 그동안 사각지대로 존재해왔던 생활도로에서 소형 승용차보다 6배 이상 대기오염물질을 배출하는 엔진 이륜차를 비롯해, 중·소형 경유 마을버스, 어린이 통학차량에 대한 저공해 조치를 강화
- **(가정·상업용 건물에서 발생하는 미세먼지 관리)** 가정 내 실내공기를 개선하기 위해 공동주택의 환기장치(공조기)를 개인관리에서 아파트 공동 관리로 전환해 '미세먼지 free 아파트'를 확산
- **(점오염원의 촘촘한 관리시스템 구축)** 소규모 배출시설 밀집지역과 시민 다수 이용시설이 밀집된 곳을 미세먼지 집중관리구역으로 지정·관리해 생활 미세먼지를 줄이고, IoT기반 간이측정기를 활용한 보다 세밀한 미세먼지 측정을 통해 생활권 오염원을 상시 관리

3) 관련 연구동향 조사

① 미세먼지 관련 연구동향 개요

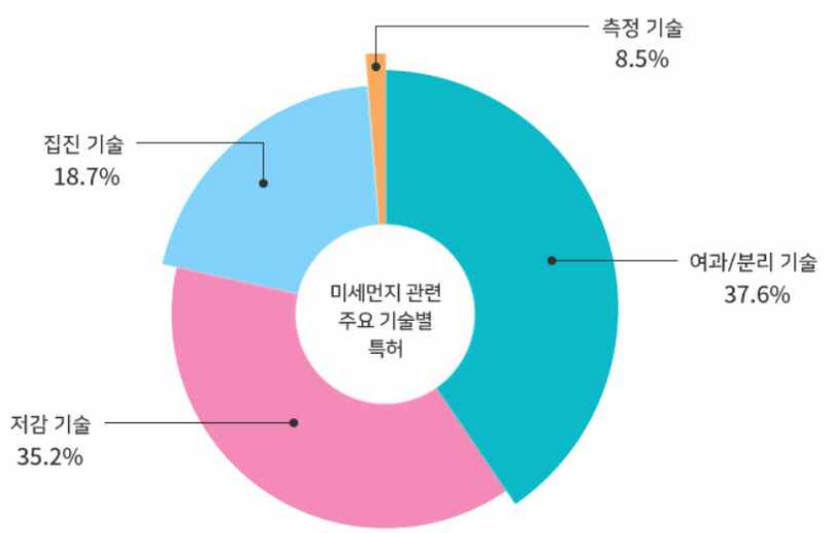
■ 지난 7년 대비 최근 3년간 미세먼지 관련 특허 출원 42.8% 증가

○ 특허청에 따르면 미세먼지 관련 기술에 대한 국제특허는 최근 10년간 전 세계적으로 317건 출원(보도자료-'미세먼지 잡는 기술' PCT 국제특허출원 증가세 뚜렷, 특허청, 2017.10.17.)

공개년도 (년)	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	계
출원건수 (건)	37	25	28	27	27	23	30	40	39	41	317

자료 : 특허청, 2017.10.17

- 2008년부터 2014년까지 연평균 28건이 출원되었지만, 2015년부터 2017년 9월까지 연평균 40건이 출원되어, 지난 7년간 출원대비 최근 3년간 출원건수가 42.8% 증가
- 미세먼지 관련 주요 기술별 특허출원 건수는 여과/분리 기술이 120건(37.6%), 집진 기술이 59건(18.7%), 측정 기술이 27건(8.5%), 저감 기술이 111건(35.2%)를 차지



['08~'17.7) 미세먼지 관련 주요 기술별 출원 비중]
(특허청, 2017.10.17)

■ 정부 중장기 미세먼지 R&D 투자 및 미세먼지 범부처 프로젝트 추진

○ 정부의 미세먼지 R&D 투자에 대한 전략성 강화 및 기술관리를 통한 성과 극대화를 위한 로드맵 마련(관계부처합동, 과학기술기반 미세먼지 대응전략, 2016)

- '미세먼지 대응기술'의 개념 및 기술분류 체계 정립(참조 9. 대분류 3개, 중분류 10개, 세부기술 25개)하여 과학기술을 기반으로 미세먼지의 근본적 문제 해결과 미세먼지의 위해성 해소를 중점으로 함

<과학기술기반 미세먼지 대응 전략 주요 내용>

부문	주요 내용
미세먼지대응 중점기술 개발	◦ 4대 분야의 근본적·과학적 해결책을 마련 ① (발생·유입) 초미세먼지 발생원인과 발생원별 기여도 규명 등기반연구를 강화 ② (측정·예보) 실시간 농도·성분 측정 원천기술을 확보하고, 미세먼지정보를 통합 분석함으로써 중장기 정밀예보 실시 ③ (집진·저감) 종전 대비 2배 이상의 성능을 가지는 고효율 저감기술(집진·탈황·탈질)을 개발하고, 그간 간과되었던 응축성 미세먼지와 비산먼지저감기술을 개발 ④ (보호·대응) 국민들에게 실질적인 미세먼지 노출량과 미세먼지의위해성 정보를 제공하고, 노출저감 기술을 개발, 확산을 지원
기술 산업화 및 글로벌 협력 강화	◦ 공공부문의 R&D 성과를 민간에 확산하고 민간의 기술개발및 산업화를 촉진 ◦ 기술발전에 부합하는 '스마트 미세먼지 규제시스템'을 구축 ◦ 2017년 초부터 미세먼지 문제해결과 신성장 동력 창출을 위해 부처간(범부처 TF)·민관간(미세먼지 대응 기술협의회) 협업 생태계를 구축·운영 ◦ 국내 환경기술의 글로벌 진출과 미세먼지 해결을 위한 국제연구협력을 활성화
정부 R&D 중장기 투자 효율화	◦ R&D 현황 관리, 투자 전략 수립 및 성과연계 등의 기반이 되는'미세먼지 대응 기술'의 개념 및 기술분류 체계를 정립 ◦ 기술분류 체계에 근거하여 분야별정부 R&D 투자, 국내외 논문·특허, 기술수준 조사 결과, 시장 및 산업동향 등을 종합적으로 분석하여 중장기 투자 방향을 마련

○ 미세먼지 문제에 대한 근본적이고도 혁신적인 해결을 지원하기 위하여2016년 정부는 「과학기술기반 미세먼지 대응 전략」을 마련하고, 「미세먼지 국가전략프로젝트」를 추진하고 있음(사업기간은 3년간('17~'19년), 총 사업비 약 492억 원)(보도자료 미세먼지 범부처 프로젝트 2018 시행계획 수립, 과학기술정보통신부, 2018.1.25.)

- 미세먼지 종합대책의 과학적 기반 강화를 위한 과제로서 부처별·사업별로 소규모로 분산되어 진행되던 연구를 정비하고 국가 연구개발 역량 결집
- 과학기술력으로 미세먼지가 가져온 위기를 넘어 신산업과 신시장을 창출하기 위한 ①기술개발, ②기술 산업화, ③중장기 투자전략을 포함하고 있음
- 미세먼지 프로젝트는 ①미세먼지 발생·유입, ②측정·예보 ③집진·저감, ④국민생활 보호·대응 등 4대 부문별 시급한 현안 해결을 위해 연구개발을 지속 수행

※ **(발생·유입)** 미세먼지 생성기작 규명, 발생원의 정량적 기여도 산정, 국외 유입량 산정 분야
(측정·예보) 한국형 대기질 예보 모델링 시스템 개발 분야
(집진·저감) 사업장 1차 배출, 2차 생성 미세먼지 저감 실증 및 원천기술개발 분야
(보호·대응) 건강영향 평가 및 실내공기 오염도 저감 위한 통합관리방안 제안 분야

■ 미세먼지 기술 연구 동향

○ 국내 미세먼지 대응 기술 수준은 최고 기술 보유국 대비 평균 70.5%, 기술 격차 7.5년임(관계부처 합동, 과학기술기반 미세먼지 대응전략, 2016)

- 산업계는 미세먼지 처리 소재 및 공정개발 기술 분야, 스크러버 분야, ICT 기반 대기오염물질 관리 분야 등 실적용을 위한 기술 확보가 이루어지고 있음
- 연구기관에는 물질별 제거 반응 원인 규명, 소재 원천기술 및 소재/공정 주요 핵심기술분야에 집

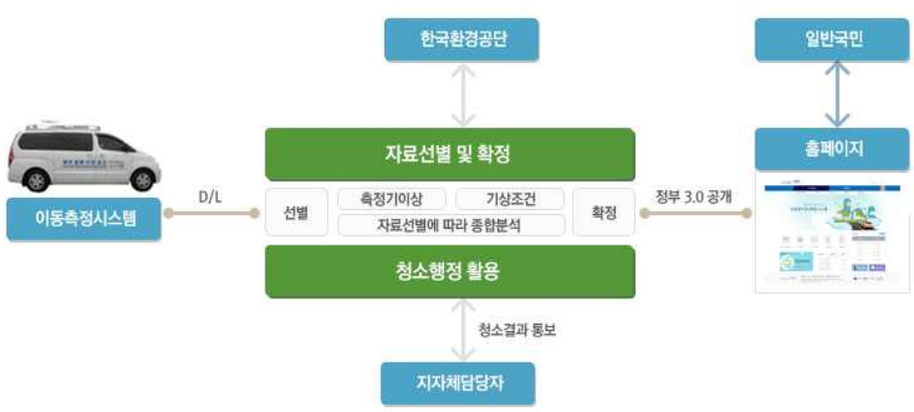
중하고 있음

- 미세먼지 관련 기술은 고정오염원 배출저감, 이동오염원 배출저감, 생활환경 노출저감 등 기술의 활용 방법에 따라 개발동향이 상이함(미세먼지 기술동향, S&T Market Report, 2018.11)
  - (고정오염원 배출저감) 기존의 공장설비에 설치가능하고 설치 공간을 최소화하면서도 미세먼지 배출을 획기적으로 줄일 수 있는 집진장치에 대한 기술개발 ex) 고온 배가스 필터, 진기집진, 습식세정, 하이브리드
  - (이동오염원 배출저감) 2차 생성 미세먼지의 저감을 위하여 공기 중 배출되는 유해가스를 촉매를 이용하여 선택적으로 제거할 수 있는 SCR(Selective Catalytic Reduction) 촉매연구가 활발함 ex) 2차 생성 미세먼지의 탈질·탈황 등과 장치 소형화를 위한 소재 개발 활발
  - (노출 저감) 실내·외 환경에서 쾌적환 환경을 위한 오염물질 방출 저감제 품(주방가구, 친환경 건축자재, 친환경 신소재) 및 관련 제품 제조기술이 연구되고 있음

※ (미세먼지 발생 저감 제품) R&D 과제 중 미세먼지 등 대기오염물질 처리소재 및 공정 기술이 76% 수준으로 가장 많으며, 대기오염 발생 저감 제품에 대한 과제가 13% 수준으로 차지하고 있음

■ 미세먼지 모니터링 관리 기술 현황

- 한국환경공단에서는 수도권 대기환경개선에 관한 특별법에 근거하여 대기오염도의 측정 및 공개 등의 업무 수행을 위해 도로 재비산먼지 관리시스템을 운영
  - 이동측정차량과 자료전송·저장 시스템으로 구성되어있는 측정관리시스템으로, 도로 재비산먼지 중 공기역학적 입경이 10㎛ 이하인 입자상물질의 농도를 1초주기로 신속·정확하게 측정하고 측정결과를 지자체와 공유
  - 도로 재비산먼지 관리시스템은 깨끗한 도로환경관리를 위해 이동측정차량으로 측정된 도로 재비산먼지 측정자료를 수집 및 저장하고 홈페이지를 통해 대국민 정보제공 및 행정기관에 자료를 제공하여 효율적인 도로청소를 유도

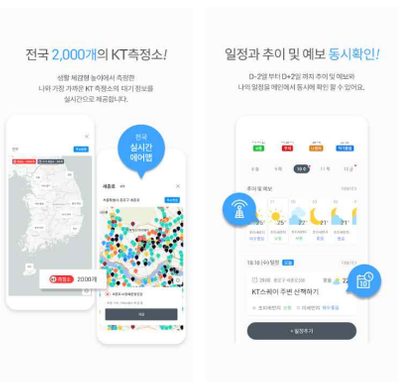


[도로 재비산먼지 관리시스템(한국환경공단)]

■ ICT를 활용한 미세먼지 예측 및 정화 기술

- 미세먼지 해결을 위한 방법으로 4차 산업혁명 기반 기술인 AI(Artificial Intelligence)와 ICBM(IoT, Cloud, BigData, Mobile) 등을 활용한 기술 개발 및 서비스가 적극적으로 수행되고 있음

- IBM은 AI Watson을 방대한 기후 정보를 분석해 미세먼지 예측 정확도를 높이고 발생원에 대한 해결 방안을 개발하는 것을 목표로 미세먼지 예보 서비스에 활용
- KT는 에어 맵 코리아(Air Map Korea) 프로젝트를 통해 IoT 기술을 이용해 공기질 정보를 측정하고 BigData 기술로 이를 분석하여 스마트폰 앱으로 실시간 주변 공기 상태를 제공하는 앱 서비스 출시
- 단순한 대기 환경 모니터링 보다 더욱 진보한 '플라잉 매직 클리너(Flying Magic Cleaner)'나 'UrbanCONE'과 같은 드론을 활용해 미세먼지에 오염된 실내 혹은 실외 공기를 정화하는 기술



[KT-Air Map Korea]



[공기청정기 드론]

② 미세먼지 관련 건설분야 연구동향

■ 도로부문 비산먼지 원인별 비중

○ 비산먼지 PM2.5 배출량의 경우 PM10의 약 23% 수준

- (PM10 배출량의 경우) 배출원별로는 도로재비산, 건설공사, 나대지(학교운동장), 브레이크마모, 타이어마모, 도로마모, 하역 및 야적 순으로 비중이 큼
- (PM2.5 배출량의 경우) 타이어마모, 브레이크마모, 나대지, 도로마모, 건설공사, 하역 및 야적 순으로 비중이 큼

구분	PM10 배출량(ton/year)	PM2.5 배출량(ton/year)
도로재비산	35,314	8,075
건설공사	5,755	576
나대지	5,151	773
하역 및 야적	2	0.3
타이어마모	1,399	979
브레이크마모	2,191	872
도로마모	1,333	720
비산먼지 합계	51,144	11,995

※ 도시지역 PM2.5 생성과정에 관한 연구, 국립환경과학원, 2010.11

◎ 도로부문 비산먼지 발생 원인별 비중은 PM10의 경우 도로재비산(87.8%), 브레이크 마모(5.4%), 타이어마모(3.5%), 노면마모(3.3%) 순으로 비중이 크며, PM2.5의 경우 도로재비산(75.9%), 타이어마모(9.2%), 브레이크마모(8.2%), 도로표면마모(6.8%)의 순으로 비중이 큼

구분	PM10 배출량(ton/year)				PM2.5 배출량(ton/year)			
	도로 재비산	타이어 마모	브레이크 마모	도로표면 마모	도로 재비산	타이어 마모	브레이크 마모	도로표면 마모
수도권 전체	35,314	1,398.8	2,190.8	1,332.9	8,075	979.1	871.8	719.8
서울	9,356	436.2	665.0	398.2	2,237	305.4	264.7	215.0
인천	5,386	154.6	239.6	145.7	1,288	108.2	95.4	78.7
경기	20,572	807.9	1,286.2	789.0	4,550	565.5	511.8	426.1

※ 도시지역 PM2.5 생성과정에 관한 연구, 국립환경과학원, 2010.11

■ 건설현장 미세먼지 제거 기술

◎ 건설현장은 공정에 따라 순차적으로 미세먼지 저감을 위한 노력이 다음과 같은 방법으로 진행되고 있음

구분	제거 방법	비고
야적	• 이동식 방진덮개	• 공사장 내 이동 및 유지관리가 편리
	• 폐타이어/벽돌을 이용한 방진 덮개 고정	• 비산먼지의 추가 발생 억제 가능
	• 방진망 추가 설치	• 비산먼지의 추가 발생을 억제 및 방음벽 주변의 미관 향상
터파기	• 굴삭기 장비 살수기 부착	• 비산먼지의 발생을 억제
수송	• 수조를 이용한 세륜 시설 사용	• 수송차량에 의한 작업이 많을 경우 자동식 • 세륜시설 선단에 수조식 세륜시설 설치로 보완 가능
채광·채취	• 어스오거 장비 방진망 사용	• 소음과 비산먼지의 발생을 약 40% 저감 가능
	• 부직포 설치	• 여과기능을 향상시키며 비산먼지를 저감



[자동식 세륜시설 설치(측면세륜시설 설치)]



[굴삭기 일체형 살수설비 설치]

■ 도로시설물 미세먼지 제거 기술

○ 방음벽, 가드레일, 낙석방지펜스, 옹벽 등 도로시설물에 미세먼지 등의 대기오염물질을 흡수, 세척 및 포집 등이 가능하도록 적용한 다기능 도로시설물

– 도로시설물의 기둥, 표면 등에 자동차 주행 시 발생하는 기체 상태의 대기오염물질 또는 미세먼지를 흡착하여 제거할 수 있는 대기오염물질 제거 패널을 부착

○ 도로에서 발생한 초미세먼지가 보도, 녹지, 주거지로 이동하면서 어떤 농도의 변화를 보이는지, 완충녹지 조성 시 활용할 수 있는 영향요소 도출과 그 효과검증을 목적으로 한 연구 진행

– 겨울과 봄의 (초)미세먼지 측정값을 기준으로 분석하였고, 그 결과 보도, 녹지, 주거지 모두 미세먼지가 저감되는 것으로 나타났으며, 그 중 완충녹지를 통과한 후의 주거지 농도 값이 가장 많이 저감되었다고 분석됨

2. 국내 드론 관련 제도·정책 및 연구동향 조사

1) 관련 법제도 조사

■ 드론 관련 현행 법제도 현황 조사

○ 항공안전법 제2조 제3호 및 동법 시행규칙 제5조 제5호 가목에 따르면 초경량비행장치의 하위 범주로 무인비행장치를 분류하면서 그 중 자체중량이 150kg 이하인 무인동력비행장치로 정의하고 있고, '사람이 탑승하지 아니하고 원격조정등의 방법으로 비행하는 항공기를 '무인항공기'라고 약칭하고 있음

– 무인항공기 범주 안에서의 세부적인 분류기준을 살펴보면 항공안전법 시행규칙 제305조 제1항 제4호 가목에서 무인비행장치 중 최대이륙중량이 25kg을 초과하는 경우는 안전성인증 대상으로 정함

○ 현재 국내의 항공 관련한 법률인 항공안전법, 항공사업법, 항공·철도 사고조사에 관한 법률과 드론 관리를 위해 참고할 수 있는 자동차관리법, 도로교통법 등을 검토하여 드론과 상관성이 있는 조항들을 도출하면 다음과 같음(무인비행장치(드론) 고나리를 위한 법제 개선방안 연구, 한국교통연구원, 2017)

▮ 항공안전법

① 무인비행장치에 대한 정의체계 및 용어(제2조)
– '무인비행장치'와 '무인동력비행장치'의 용어 정의(제3호 및 시행규칙 제5조 제5호)
– '초경량비행장치사고'의 정의(제8호 및 시행규칙 제6 7조)
– '비행정보구역'에 초경량비행장치의 경우에도 공역을 지정 공고 가능(제11호)
– '항공로'에 초경량비행장치의 항행을 위한 공간의 길도 포함(제13호)
② 항공안전정책기본계획에 '초경량비행장치사고 예방 및 운항 안전에 관한 사항'과 '초경량비행장치의 제작·정비 및 안전성 인증체계에 관한 사항' 포함(제6조)
③ 신고제, 신고시 수집 정보사항, 신고면제 기준, 신고번호 표시의무(제122조)
④ 변경신고 및 말소신고의 기한 및 절차(제123조)

⑤ 안전성 인증, 면제대상(시험비행허가), 유효기간 및 절차 방법의 위임(제124조)
⑥ 조종자증명 면제대상, 증명기관의 요건, 조종자증명 취소기준 및 사유(제125조, 시행규칙 제306조)
⑦ 전문교육기관의 지정 기준 및 지정 취소사유(제126조, 시행규칙 제307조)
⑧ 비행승인의 대상 및 비행승인 제외범위(제127조, 시행령 제25조, 시행규칙 제308조)
⑨ 구조지원장비 장착의무 및 면제대상(제128조, 시행규칙 제309조)
⑩ 조종자 준수사항 및 무인자유기구허가 조건, 사고보고 의무, 개인정보 및 개인위치정보보호(제129조, 시행규칙 제310조 내지 제312조)
⑪ 안전개선명령의 발령 사유, 시행규칙 위임사항(제130조, 시행규칙 제313조)
⑫ 소유자등 및 사용자에 대한 주류 섭취 제한(제131조, 제57조)
⑬ 항공안전 확보를 위한 서류제출의무 및 국토교통부 소속 공무원의 권한(제132조)
⑭ 조종자 증명 및 전문교육기관 지정 취소 전 청문 의무(제134조 제24호, 제25호)
⑮ 지자체장 및 소속기관의 장에 대한 조종자 증명에 대한 업무 위임(제135조 제5항 제8호)
⑯ 항행 중 항공기 위험발생의 죄의 구성요건 및 법정형(제138조)
⑱ 과실에 따른 항공상 위험 발생 등의 죄에의 구성요건 및 법정형(제149조)
⑲ 각호에 열거된 불법사용의 죄의 구성요건 및 법정형(제161조)
⑳ 명령위반죄의 구성요건 및 법정형(제162조)
㉑ 초경량비행장치에 대한 양벌규정(제164조)
㉒ 초경량비행장치와 관련된 과태료 부과 기준 및 부과액수(제165조 제1항 제10호, 제2항제3호, 제3항 제8호, 제4항 제4호 및 제5호, 제6항 각호)

▮ 항공사업법

① 초경량비행장치사용사업의 정의 및 범위(제2조 제23호, 시행규칙 제4조)
② 항공기 대여업 등록요건(제46조 제2항 제2호, 시행령 제22조 및 [별표8])
③ 초경량비행장치사용사업의 등록요건·변경사유 및 제척사유(제48조, 시행령 제23조 및[별표9], 시행규칙 제47조, 제48조)
④ 초경량비행장치사용사업에 대한 준용규정(제49조)
⑤ 항공레저스포츠사업 등록요건·제척사유 및 등록제한사유(제50조, 시행령 제24조 및 [별표10], 시행규칙 제49조, 제51조)
⑥ 항공레저스포츠사업에 대한 준용규정(제51조)
⑦ 요금표 및 약관 비치의무 및 열람기회 부여(제62조 제5항)
⑧ 항공보험 등의 가입의무, 신고내용 및 신고방법(제70조, 시행규칙 제70조)
⑨ 영리 목적 사용금지(제71조)
⑩ 등록 취소 처분 전 청문의무(제74조 제6호 및 제7호)
⑪ 미등록 사업자, 명의대여 금지위반, 및 사업개선명령 불응에 대한 형사처벌 및 형량(제78조)
⑫ 영리 목적 사용금지 위반에 대한 처벌 및 형량(제80조 제2항)
⑬ 과태료 위반행위의 유형 및 과태료 부과기준(제84조)

▌항공·철도 사고조사에 관한 법률

① 항공사고에 초경량비행장치 사고 포함(제2조 제1항 제1호)

② 항공철도사고조사위원의 결격사유에 초경량비행장치 관련 사업을 하는 자 제외(제8조제5호)

③ 초경량비행장치의 소유자, 제작자, 현장에서 구조 활동을 한 자 등의 항공사고 등 관련보고 및 자료 제출 요구권한(제19조 제1항 제1호)

▌자동차관리법

① 자동차관련 용어 정의 및 자동차 종류(제2조, 제3조)

② 자동차의 등록(제2장) – 등록, 소유권 변동의 효력, 등록원부, 신규등록, 자동차제착·판매자등의 고지의무, 신규등록 거부, 변경등록, 이전등록, 말소등록, 압류등록. 자동차의 운행정지 및 운행제한 등

③ 자동차의 안전기준 및 자기인증(제3장) – 구조 및 장치 등, 안전기준 관련 연구·개발, 자기인증, 제작 또는 판매 중지, 대체부품성능·품질 인증, 제작결함 시정, 자체시정 자동차 소유자에 대한 보상, 자기인증 자동차에 대한 사후관리, 안전도 평가 등

④ 자동차의 점검 및 정비(제4장) – 자동차 정비, 점검 및 정비 명령 등

⑤ 자동차의 검사(제5장) – 자동차검사, 자동차검사대행자 지정, 지정의 취소, 기술인력의 직무 등

⑥ 자동차관리사업(제7장) – 자동차관리사업 등록, 결격사유, 사업 개선명령, 자동차관리사업자 등의 금지행위, 자동차관리사업자의 고지 및 관리 의무, 모법사업자, 자동차관리사업자의 손해배상책임, 자동차매매 관련, 사업 취소·정지

⑦ 자동차안전기준 등의 국제조화(제7장의2) – 국제조화 계획수립, 전담기관 지정, 관련 연구·개발, 전문인력 양성, 시범사업 등

⑧ 보칙(제8장) – 자동차관리업무 전산처리, 자동차이력관리 정보 제공, 부정사용 금지 등, 보고·검사, 자료의 요청, 위반행위에 대한 금지조치 등, 과징금의 부과, 손해배상, 수수료, 권한의위임 및 위탁 등

⑨ 벌칙(제9장) – 벌칙, 양벌규정, 과태료, 통칙, 통고처분, 범칙금 납부, 통고처분 효과 등

▌도로교통법

① 차마의 통행(제13조)

② 운전자 및 고용주 등의 의무(제4장) – 무면허운전 등의 금지, 술에 취한 상태에서의 운전 금지, 사고발생 시의 조치 등

③ 교통안전교육(제7장) – 교통안전교육, 교육기관 지정 및 지정취소, 강사 자격기준 등

④ 운전면허(제8장) – 운전면허, 결격사유, 면허시험, 운전면허증 발급, 적성검사, 면허 취소·정지 등

⑤ 자동차운전학원(제10장)

– 자동차운전학원 등록, 시설기준, 결격사유, 강사 및 교육과정, 전문학원 지정, 수강료 등

■ 국토부 - 드론산업 육성을 위한 특별법 제정

- 국토교통부는 「드론활용 촉진 및 기반조성에 관한 법률」을 제정하여 드론을 법적 정의로 '사람이 탑승하지 아니한 채 항행할 수 있는 비행체'로 명문화하고, 드론 활용의 촉진 및 기반조성, 드론시스템의 운영·관리 등에 관한 사항을 규정함
- 체계적인 드론산업 육성을 위해 5년마다 기본계획을 수립하고, 매년 산업계 실태조사를 실시하며(참조 9, 제5조), 추진기구로 드론산업협의체 운용을 법제화함(참조 9, 제7조)
- 연구개발(R&D) 성과의 사업화 촉진을 위하여 드론관련 규제를 간소화·유예·면제하는 특별자유화구역을 지정·운영함으로써 드론산업 육성·지원 근거 마련(참조 9, 제10조)
- 향후 다수의 드론 운영 또는 드론교통에 대비한 드론교통관리시스템을 구축하고 운영할 수 있는 근거도 마련(참조 10, 제17조)

2) 관련 정책 조사

■ 드론산업 육성을 위한 「드론산업 발전 기본계획」(2017~2026)

- 2026년까지 현 704억 원 시장규모를 4조 4천억 원으로 신장하고, 기술경쟁력 세계 5위권 진입, 사업용 드론 5.3만 대 상용화를 목표로 설정했으며 주요 핵심과제를 선정
- 국가·공공기관의 다양한 업무에 드론 도입·운영 등 공공수요를 기반으로 초기 시장 육성(5년간 3,700여 대, 3,500억 원 규모)
  - 건설, 대형 시설물 안전관리, 국토조사, 하천 측량·조사, 도로·철도, 전력·에너지, 산간·도시지 배송, 해양시설 관리, 실종자 수색, 재난 대응, 산불 감시 등에 활용
- 세계시장 진출이 가능한 한국형 K-Drone 시스템을 개발·구축하고 퍼스트 무버(First-Mover)로 세계시장 진출에 도전
  - 이를 통해 AI(자동관제), 빅데이터(기형·지상정보 및 비행경로 분석), 5G기반 클라우드(실시간 드론 위치 식별·공유) 등 4차 산업혁명의 핵심기술을 적용한 첨단 자동관제 서비스를 세계 최초 구현
- 다양한 유형의 드론 운영 활성화를 위해 기존의 무게·용도 구분방식에서 성능과 위험도 기반으로 드론 분류기준을 정비하고 드론 활용한 다양한 비즈니스 모델의 빠른 상용화를 위해 시범사업을 확대하고 실제 현장 적용을 위한 규제 샌드박스 사업 추진
  - 샌드박스 사업은 긴급 의약품 수송, 야간 재설제 살포 등 규제완화(특별비행승인제 도입)로 실제 운영이 가능해진 분야에 대해 드론 성능개선부터 기술 컨설팅, 시범운영까지 지원
- 드론 개발-인증-운영 등 산업 全 생애 주기에 필요한 비행시험장, 안전성 인증센터, 자격실시시험장 등 3대 핵심 인프라를 구축
- IT·S/W·콘텐츠 등 이종 산업분야 업체(200여개)와 드론 스타트업(20여 개)의 집적·기업 간 융합을 지원하는 드론 기업지원 허브를 운영

■ 드론은 국토부 7대 신산업 분야 중 하나

○ 국토부는 2016년부터 미래 성장동력 확충과 경제 활성화를 위해 국토교통 분야 7대 신산업 육성 정책을 추진하고 있음(국토교통부 신산업 육성, http://www.molit.go.kr/7works/content/main.jsp)

- 7대 신산업 : 자율주행차, 드론, 공간정보, 해수담수화, 스마트시티, 제로에너지 빌딩, 리츠

○ 드론 활성화를 위해 전선·전주 등 장애물 정보를 표현한 3차원 정밀지도를 시범구축하고, 물품수송·국토조사·시설물관리 등 드론활용 8대 유망분야에 대한 시범사업을 본격 추진하면서 상용화를 위한 제도정비도 함께 추진할 계획

○ 드론과 자율주행차를 미래 전략산업으로 집중 육성

- (기반정보) 자율주행차를 위한 3차원 정밀도로지도 및 무인비행 장치(드론)를 위한 운항·관제용 3차원 지도 구축
- (자율주행차) 핵심기술 테스트를 위해 실도로 시험운행('16.3), 시범운행단지 지정('16.7), 자율주행 실험도시(K-City) 조성 추진('16.8)

3) 관련 연구동향 조사

① 드론의 활용 현황 조사

○ 드론은 고도의 군사기술, 스포츠 경기, 단풍이나 도시경관 등을 촬영하기 위한 취미용 기술에 불과했으나, 타 비행체에 비해 휴대성, 신속성, 효율성, 안정성, 경제성 등이 뛰어나 산업 및 실생활에 다양하게 사용되고 있음

구분	활용 분야	비고
건설·교통 분야	지형 탐사 및 측량	• 지도제작 및 지형탐사, 광산 및 채석장 연구를 위한 2D,3D 지도 작업 • 설계 및 엔지니어링 단계에서 고해상도 텍스쳐를 볼 수 있는 시각화도구 • 3D 모델, 포인트 클라우드 등을 통해 거리, 면적, 부피 등 공간정보를 계산
	건설현장 공사관리 활용	• 드론측량 3D현장관리-드론 항공사진 촬영으로 현장 3D 모델링을 통해 시공계획 수립과 토공량 분석 등을 수행 • 드론VR촬영 공정관리-공정진행 확인을 위해 드론으로 촬영한 이미지를 3차원 설계기법인 BIM(빌딩정보모델링)에 적용하고 GIS에 연계시켜 실제 이미지를 반영한 설계도면을 현장에서 활용 가능
	건설현장 모니터링	• 건설 현장의 생산성 유지를 위한 진행 상황, 작업, 안전 표준 등의 모니터링 • 3D 지도를 활용한 건설 진행 상황 및 품질 점검
	3D 모델링	• 3차원 데이터로 건물이나 시설물을 3D 모델링하여 스마트시티 설계에 필요한 시뮬레이션이나 게임 등 다양한 분야의 콘텐트와 결합해 새로운 콘텐트 제작에 활용
	시설물 점검 및 유지보수	• 역설계-문화재나 도면이 없는 오래된 시설물을 드론이나 3D 스캐너로 수치화된 3차원 설계도면을 제작해 문화재 복원이나 유지관리에 활용 • 시설물점검-드론 촬영 영상으로 시설물을 3D 모델링하여 시간 흐름에 따른 변화 탐지, 필요한 영상 탐색 및 검색. 교량처럼 사람의 접근이 어려운 장소, 또는 공장의 굴뚝처럼 공장 가동을 멈추어야 점검이 가능한 곳 점검
	통신망 점검	• 셀룰러 타워 점검, 라디오 플래닝 및 가시선 검사
에너지 분야	지도제작	• 지형적, 환경적 이유로 사람의 접근이 어려운 지역의 지질학적 탐사 및 지도 작업

구분	활용 분야	비고
	방재 등 비상대응	• 기름 유출 등과 같은 긴급 상황 발생 시 빠르게 피해 범위에 대한 조사를 수행하여 적절한 방재작업
	자산점검	• 송유관 순찰, 누출 검사, 해상부유 저장 탱크 내부 검사, 무선 기지국·송전탑 검사 • 원자력 발전소 점검, 풍력 발전용 터빈 및 매우 높은 블레이드 점검, 송전선 점검, 태양광 발전 패널 점검 등
농·임업 분야	작물탐색	• 일반 카메라 또는 적외선 카메라를 활용하여 가시적으로 볼수 있거나 또는 눈으로 볼 수 없는 정보를 수집
	파종	• 씨앗 파종
	농약 살포	• 광범위한 지역에 더 적은 비용으로 농약 또는 비료 살포 가능
	가축감시	• 광범위한 지역에서 가축의 건강 상태 및 이동 상황 모니터링
	3D 지도 제작	• 고해상도 카메라를 활용한 3D 지도 제작
	산림관리	• 산림자원 점검 및 측량, 위험도, 다양성 평가에 활용
촬영·영화 분야	다큐멘터리	• 야생동물, 여행 등 관련 탐사, 다큐멘터리 촬영
	공익용	• 실시간 중계, 교통방송, 콘서트, 지역 리포트
	영화/드라마	• 필름 촬영
	뉴스	• 실시간 중계, 탐사 보도
	스포츠	• 실시간 스포츠 중계, 스포츠 다큐멘터리 촬영
치안 및 방재 분야	영향 구역 지도 제작	• 자연재해 발생 지역 지도 제작
	재해 지역 위험평가	• 자연 재해 발생지역 또는 빌딩붕괴, 가옥 및 도로 파괴시 피해 구역에 대한 빠른 피해 평가 가능
	인도적 구호 활동	• 난민 이동 상황 및 난민캠프 지역의 지리적 특성 파악에 활용
	소방 활동	• 위치 데이터와 항공 촬영한 열화상 이미지를 실시간으로 지상의 스테이션으로 전달하여 소방관과 응급구조사가화재 위치와 문제구역, 생존자 등을 찾는데 활용
	국경 감시	• 해양 감시(선박, 불법 어업)해양 오염 및 환경 모니터링 유인기나 지상 접근이 위험한 지역 감시지상 이동체 또는 불법 활동 추적
	경찰력 개입	• 교통사고 및 범죄현장, 수색 및 구조 활동이 필요한구역의 항공사진 및 비디오 촬영
통신 분야	인터넷 및 통신 연결성	• 통신·인터넷 수요 급증 지역 연결 • 자연재해나 인터넷이 원활하지 않은 지역 등 통신장애 지역 통신 중계
보험 분야	사고 피해 조사	• 재난 피해 규모 추산하거나, 높은 곳(지붕 등), 위험한 곳(붕괴현장 등) 사고 파악

구분	활용 분야	비고
		에 활용함
배송 분야	소송 및 택배 서비스	• 섬 간의 일반배송, 의료 응급배송 등 다양한 드론 배송사업 • 긴급물품배송(재해·재난지역 등) • 배송(택배) 서비스
소비/취미용 분야	여가 활동	• 소형 드론을 일반 비행, 촬영, 레이싱 등 다양한 여가활동으로 활용

② 미세먼지 관련 드론 활용 현황 조사

구분	활용 분야	비고
감시 드론	미세먼지 측정드론[1)]	비행을 통해 대기 중에 있는 불규칙 초미세먼지를 균일하게 포집하고, 분석 결과를 빅데이터화하여 누적된 일별, 지역별 데이터 분석으로 주요 발생 원인과 지역 등을 파악
	미세먼지 감시드론[2)]	측정센서를 장착하고 150m 상공에서 질소산화물과 암모니아, 미세먼지(PM), VOCs 등 30여 항목의 측정과 광학 카메라를 장착한 환경 감시
정화 드론	실내 공기정화기 드론[3)]	소형 드론이 집안 곳곳을 돌아다니며 공기 중에 떠다니는 유해 미세먼지 제거 (Flying Magic Cleaner)
	도시 공기정화기 드론[4)]	미세먼지에 오염된 도시 주변 환경 공기를 정화하는 기술. 해파리에서 영감을 얻은 솔방울 모양의 부유 장치(UrbanCONE)

1) 연합뉴스, 초미세먼지 측정 드론 개발 코리아텍 이승재 교수 연구진, 2018.2.4
2) 연합뉴스, 드론 띄워 미세먼지 배출 감시하는 전문팀 발족, 2019.2.19.
3) C-FLY Intelligent Technology, www.cfly-drone.com
4) 2014 Electrolux Design Lab competition, https://www.electroluxgroup.com

B-2 미세먼지 측정센서 요구(성능)조건 및 시스템 운영시 고려사항 도출

1. 미세먼지 측정 센서 조사 및 요구(성능)조건 도출

(1) 미세먼지 측정방법

미세먼지 농도는 방사선 또는 빛의 물리적 특성을 이용해 간접적으로 측정하는 방법인 베타선 흡수법, 광산란법 등과 미세먼지의 질량을 저울로 수동 측정하는 방법이 있음.

국내에서 주로 사용되는 방법은 베타선 흡수법으로, 여과지에 먼지를 채취해 베타선을 투과시켜 질량농도를 연속적으로 측정하는 방식임. 자동 측정이 가능해 쉽고 편하다는 장점이 있지만, 일정 시간 입자 포집 시간이 필요해 실시간 측정이 불가능한 단점이 있음.

최근에는 광산란법이 가장 효율적인 미세먼지 측정법으로 주목받고 있음.
광산란법은 대기 중에 떠 있는 입자상 물질에 빛을 조사하면 빛이 산란하게 되는 것을 활용한 방법임. 실시간 측정이 가능하고 휴대가 용이한 점, 한 개의 장치로 PM2.5와 PM10 등 입자 크기별 측정이 동시에 가능하다는 점이 장점으로 꼽힘. 그러나 오차가 발생할 수 있다는 단점도 있음.

수동으로 측정할 경우 24시간 동안 시료를 채취해 여과지에 모인 미세먼지의 질량을 사람이나 로봇이 저울로 직접 측정함. 정확성이 가장 높으나, 자동 측정법에 비해 복잡하고 더 많은 시간과 전문 인력이 필요함.

국내의 미세먼지 측정소는 20m 이하, 국민의 생활 반경에 맞춰 설치함.
2018년 1월 이후부터는 신규 측정소는 10m 이하, 우리의 호흡 높이에 맞춰 세워지고 있음. 이렇게 전국 300여개 이상 측정소에서 확인된 미세먼지 농도는 '실시간 대기오염 정보공개시스템' 등을 통해 공개되고 있음.

또한 수도권, 백령도, 남부권, 중부권, 영남권, 제주도 등 6개 지역에서는 황사 등 장거리 이동 대기오염 물질의 성분을 정밀 조사 중임.

(2) 미세먼지 측정센서

다양한 미세먼지 측정센서 중 본 연구에 적합하고 실시간 측정이 가능한 광산란법을 적용한 미세먼지 센서 제품을 중심으로 조사한 결과는 다음과 같음.

① Snipper4D 미세먼지측정 센서

제조사	ALPHAGEO
모델	Sniffer4D
주요 특징 및 사양	• 구글 등의 지도를 활용해 공기층(100m, 200m, 500m 등) 마다 정확하게 환경평가를 측정해서 PC나 태블릿, 핸드폰으로 데이터를 보내줌. 이 데이터를 Sniffer4D Mapper 분석 소프트웨어에 실시간으로 전송 • 대기중 측정 가능한 항목은 Temp(온도), Humi(습도), VOCs(휘발성 유기 화합물), SO_2(산소포화량), CO(일산화탄소), NO_2(이산화질소), O_3(오존), PM1(극초미세먼지), PM2.5(초미세먼지), PM10(미세먼지), CH_4(메탄), H_2S(황화수소)  
URL	https://www.alphageouk.com/sniffer-4d

② Fly-100 드론용 미세먼지측정 센서

제조사	Palas Gmbh
모델	FIDAS fly 100
주요 특징 및 사양	• 내장베터리를 장착하고 있는 이동식 실시간 미세먼지 측정기(비행을 통한 대기중 미세 먼지 농도 측정) • 베터리용량은 6시간이며, PM1, PM2.5, Pm4, PM10, TSP 등의 항목을 동시에 연속적으로 측정 가능 • 다양한 드론에 장착하여 사용이 가능하며, 쉽게 이동식으로 사용 가능 
URL	https://www.palas.de/en/product/fidasfly100

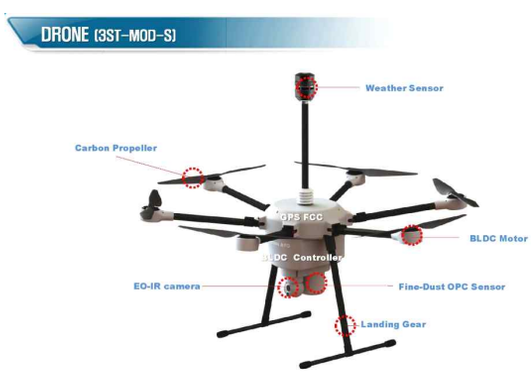
③ Fly-200 드론 미세먼지측정 드론

제조사	Palas Gmbh
모델	FIDAS fly 200
주요 특징 및 사양	• Fly 100을 장착한 비행식 미세먼지 측정장치 드론으로 필요한 공간 및 장소로 이동을 하면서 측정 가능 • 100 Flight hours 시간 동안 비행을 하면서 측정이 가능(베터리나 Data Logging 은 2분 이내 교체 가능) • PM1, PM2.5, PM10, TSP 등의 데이터를 DIN 481에 준하여 측정 
URL	https://www.palas.de/en/product/fidasfly200

④ 보라스카이 미세먼지측정 드론

제조사	보라스카이(VORASKY)
모델	VORA-777DOT_1K
주요 특징 및 사양	• 초미세먼지(PM2.5) 관측 모듈, 풍향·풍속 관측 모듈, 관측 데이터 백업 및 분석 프로그램, 초미세먼지(PM2.5) 블록두께 측정 시스템, 영상 촬영 카메라 장치로 구성됨 • 초미세먼지(PM2.5) 정밀관측, 풍향·풍속 관측, 초미세먼지 이동방향 예측, 특정 위치 정밀관측, 상승/하강 연속 정밀관측, 수평이동 연속 정밀관측, 가시도 영상 촬영 및 백업, 초미세먼지 블록 두께 측정 
URL	https://www.vorasky.com/air

⑤ 쓰리에스테크

제조사	KOMACO
모델	3ST-MOD
주요 특징 및 사양	• 기상·미세먼지 관측 드론으로 기온, 습도, 기압, 풍향, 풍속 등 기상정보를 수집하고 대기질 환경 관측이 가능 • 미세먼지 질량 및 수농도 측정 센서를 장착해 미세먼지 농도를 실시간으로 확인할 수 있도록 했으며 영하 35~40도, 최대풍속 초속 10m 등 극한 외부환경에서도 운용이 가능 • 기체에 장착된 센서를 통해 수집된 데이터는 사물인터넷(IoT)망을 이용해 웹 또는 애플리케이션으로 실시간 전송해 사용자가 빠르게 환경정보를 확인 가능 
URL	http://komaconvis.com/stech3_weatherobserv

※ 출처 : http://www.sped.co.kr/sub/sub2_view.html?item_idx=630&level=840400

3) 미세먼지 측정센서 선정을 위한 고려사항 및 요구(성능)조건 도출

우리 연구의 목적과 부합한 미세먼지 측정센서를 선정하기 위하여 다음과 같은 고려사항 및 요구(성능)조건 등을 도출함.

① 2차 발생 미세먼지 측정이 가능해야 함.
- 1차 오염원 : 먼지, 미세먼지, 초미세먼지
- 2차 오염원 : 1차 오염원과 질소산화물, 황산화물, 휘발성유기화합물이 결합한 먼지

② 위치정보 획득이 가능해야 함

③ 드론과의 결합을 위한 저중량, 저전력 요구성능 필요함
- 드론의 배터리 사용, 소규모 드론과도 결합가능
- 드론과의 결합 이외에도 필요시 차량 등의 다양한 이동장치, 또는 직접 사람이 휴대하고 측정도 가능(휴대 및 이동의 편이성)

④ 측정된 데이터 값은 실시간 무선 전송이 가능해야 함

⑤ 가볍고, 건설현장 등 척박한 야외 환경의 장시간 측정이 가능한 견고성, 내구성 재질

2. GIS 활용 사례 조사 및 고려사항 도출

- GIS 시스템은 공간상 위치를 나타내는 도형자료(spatial data)와 이와 관련된 속성자료(attribute data)를 통합·관리하여 지도, 도표 및 그림들과 같은 여러 형태의 정보를 제공함
  - GIS는 인간의 현실생활과 밀접한 관계가 있는 다양한 형태의 지리정보를 효율적으로 수집, 저장, 갱신, 처리, 분석하여 토지, 자원, 도시, 환경, 교통, 농업, 해양 및 국방에 이르기까지 다양한 산업 전반에 걸쳐 활용되고 있으며 빠르게 발전하고 있음

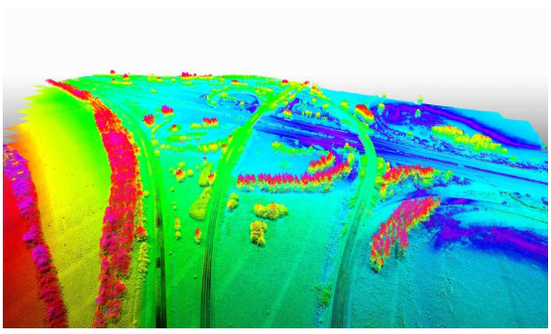
(1) 일반적인 GIS 응용 분야

응용분야	활용분야	설명
교통 및 물류분야	교통정보시스템	• GIS의 기법과 자료를 바탕으로 통행과 같은 공간상의 이동에 관한 정보를 포함시켜 다양한 교통정보를 제공하고 교통계획을 가능하게 하는 시스템 • GIS와 TIS(Transportation Information System)의 유기적 결합체
	지능형 교통 시스템 (Intelligent Transportation Systems, ITS)	• 버스정류장의 버스 도착 안내 시스템 • 교차로에서 교통량에 따라 자동으로 차량 신호가 바뀌는 시스템 • 내비게이션의 실시간 교통정보, 하이패스 등 교통정보 제공분야에 활용
국토/도시/토지분야	토지정보시스템 (Land Information System)	• 토지 구획, 대지 분할, 토지 거래. 원격지 민원발급, 부동산, 건설 회사, 은행, 보험사 등
	자원정보시스템	• 농수산자원, 삼림자원, 수자원, 에너지 자원 효율적 관리. 위성을 통한 농지 계획, 농지 생산 모델링, 농지 정리, 작물 선정, 토지 경사도 분석, 농작물 수확량 관리, 농작물 윤작 기술 모니터링, 토양 유실, 관개시설 관리, 삼림 자원 관리, 농작물 윤작기술 모니터링, 토양 유실과 관개시설 관리, 벌목 및 식목 계획, 연안 어업 및 양식업 분석, 수자원 잠재력 평가, 지하수 개발과 관리 등
시설관리 분야	시설물 관리	• 각종 시설물에 대한 위치정보와 속성정보를 이용하여 시설관리 비용절감과 관리부실로 인한 위험 사전예방. • 상하수도, 전기, 통신, 가스, 송유관, 열난방, 지하시설물 등
	도면자동화	• 건축, 전기, 설비, 통신 등 도면 자동화를 통해 구축된 수치지도를 바탕으로 각종 시설물을 시스템상에 구축하여 시설물을 지도상의 위치정보를 연관시켜 관리
	지하정보시스템	• 지하시설에 대한 관리를 목적으로 도시 건축물, 교통시설, 도시 공급처리시설 등과 같은 기본도를 가지고 보이지 않는 공간을 가시화하여 시설물의 3차원 위치정보와 속성정보를 분석하는 시스템
환경분야	환경영향평가시스템	• 동식물정보, 수질정보, 지질정보, 대기정보, 폐기물정보 등의 정보를 구축하여 각종 환경영향평가와 혐오시설 입지선정 및 대형건설사업에 따른 환경변화 예측에 활용
	환경정보관리 시스템	• 하천 수계별 수질오염 분석, 오염물 확산 평가, 매립장 입지 선정 및 영향 평가, 유해 폐기물 위치 평가, 생활 환경, 생태계, 경관의 변화 예측 등의 체계적인 환경정보 관리에 사용
재난/재해분야	재해정보시스템	• 재해 및 재난, 긴급구조 등 위험요소에 대한 사전 예방, 대비와 상황 발생 시 신속한 대응과 복구체계를 확립을 위한 정보화 지원 시스템

(2) 드론, 미세먼지 관련 GIS 기술 활용 사례

① 3D 지도 제작 기술

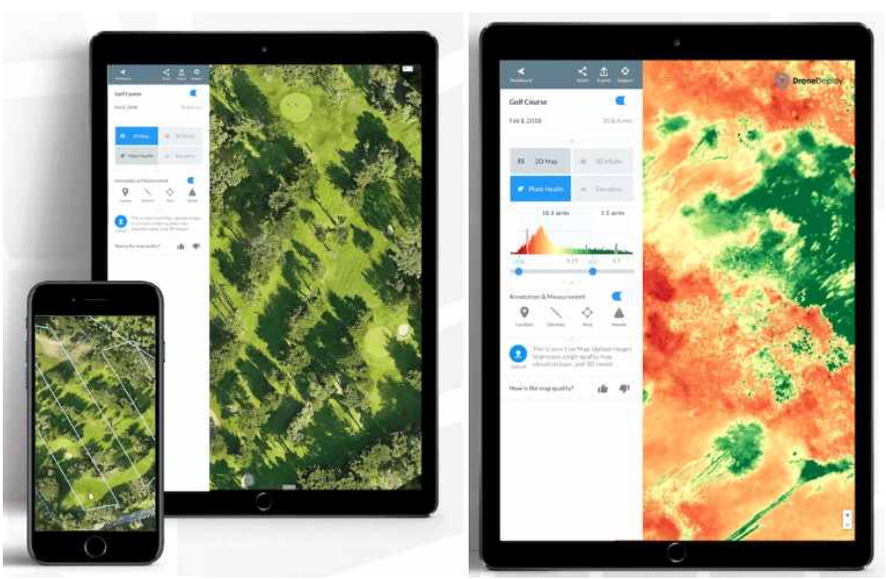
- 드론에 라이다를 탑재하여 동굴, 광산, 창고 등 어둡고 위험한 지역에도 3D 정보 자동 구축





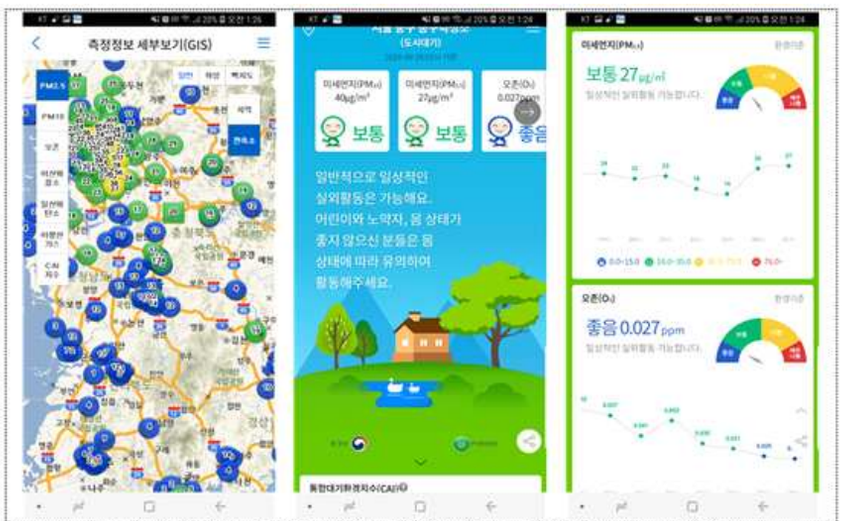
② 실시간 자동지도구축 기술

- 드론으로 찍고 실시간으로 공간정보 지도 구축하는 기술로 현장에 띄워진 드론을 통해 공간정보를 취득 → 전송 → 자동 매핑(mapping)해 멀리 떨어진 곳에서도 실시간으로 현장을 확인할 수 있게 해 줌
- 재난 상황이 발생하거나 평화유지를 위한 군사 활동 등 접근이 불가능한 지역에 드론을 띄워 지도를 구축하고 이를 실시간으로 확인할 수 있음



③ GIS 기반 미세먼지 확인 서비스 기술

– 환경부는 '우리동네 대기정보' 모바일 앱에 지리정보시스템(GIS)을 도입해 사용자 주변의 대기오염 측정소의 정보를 신속하게 확인할 수 있도록 하여 사용자의 위치 정보를 기반으로 미세먼지, 오존 등의 대기 정보를 비롯해 미세먼지 주의보 및 경보 등을 실시간으로 확인 가능한 서비스를 제공



GIS 시스템(좌), 카드형태 측정농도(중), 과거 농도추이 및 범례 수치(우)

(3) 시스템 운용 규정 마련 시 고려해야 할 사항

① 드론 조종자의 전문성을 확보하고, 직업의식 고취를 위한 자격 및 임무 사항에 대한 명확한 정의

– 항공안전법에서 정하는 초경량비행장치 조종자 증명을 받은 사람, 특정 교육기관에서 시행하는 소정의 교육훈련과정을 이수한 사람 등

② 건설현장 미세먼지 저감을 위한 드론 운용에 필요한 인력 편성기준 마련

– 드론 운용 시 최소 규모의 운용팀 편제 기준을 제시(드론 1대 당 통제관 1명, 조종자 1명, 부조종자 1명 등)

③ 건설현장에서 안전한 드론 활용을 위한 제재 사항

– 건설현장에서 원활한 드론 운용을 위해 타 비행체에 대한 비행금지, 제한구역의 설정, 비행장애요인 등 운용에 필요한 사항에 대한 관련 규정 마련 필요

④ 건설현장 미세먼지 저감 드론 사용 방법의 정형화

– 미세먼지 농도를 측정 시간, 측정 회수, 측정 높이(상, 중, 하 고도별로 구분해서 측정 필요) 등 정확하고 일정한 시료 채취 방법

⑤ 건설현장 미세먼지 저감용 드론에 대한 성능평가 및 현장 운용 등 안정성 검증

– 건설현장 미세먼지 측정에 적합한 드론 및 측정 센서의 최소 사양 등

⑥ 건설현장 미세먼지 저감용 드론 운용 중에 발생한 사고에 대한 책임 규정(처벌, 피해 및 보상 책임 등)

B-3 미세먼지 측정 파일럿 테스트를 통한 GIS Mapping 결과

1. 건설현장 미세먼지 측정방법론 정립

(1) 입자상 물질의 특성과 2차 생성입자

대기중에 고체 혹은 액체입자가 부유하고 있는 일종의 콜로이드로써 여러 가지 입자의 집합으로, 먼지, 퓸, 연기, 미스트, 안개, 연무, 스모그 등이 있으며 이를 보통 에어로졸(aerosol)이라함

입자는 형태학적으로 보았을때 구형 및 정다면체인 등축입자(Isometric particle)와 2개의 긴축과 1개의 짧은 축을 가진 판형입자(Platelet), 2개의축이 다른 한축에 비해 매우 짧은 섬유형(Fiber)입자로 구별되며 입자로 에어로졸의 거동에 관한 이론은 주로 등축입자로 가정함

또한 입자의 특성에 따라 모든 입자의 크기가 같은 단분산입자(Monodisperse)와 다분산입자(Poly-disperse)가 있으며, 동질의 화학종을 갖는 균질입자(Homogeneous)와 서로다른 화학종을 갖는 비균질입자(Inhomogeneous)로 분류됨

실제 대기중에 입자상물질은 매우 다양한 크기를 갖는 다분산입자이고, 입자상물질중의 화학적 조성 또한 다양한 종을 갖는 비균질의 입자상물질로 존재함

대기중에 존재하는 에어로졸은 크기가 작기 때문에 연소, 흡수, 흡착, 흡습, 정전기 효과와 같은 물리적, 화학적 반응이 일어날 수 있는데 입자의 크기가 작을수록 단위질량당 표면적이 증가 하고, 부착성이 커진다. 보통 입자의 비표면적은 다분산입자일수록 감소함

분류	내용	
구분	미세(Fine)입자(직경 2.5㎛이하)	거대(Coarse)입자(직경 2.5㎛이상)
형성원	가스상 물질(Gases)	큰 고체입자/물방울
형성기전	화학반응, 핵형성, 응축/응결, 응집, 안개/구름의 증발, 기체가 용해되거나 반응한 물방울	기계적 과정(충돌, 마쇄, 분쇄) Spray의 증발, 먼지의 비산
구성성분	SO_4^{2-}, NO_3^-, NH_4^+, H^+,유기 화합물(PAHs, PNAs), 중금속(Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe 등) 입자와 결합된 물분자 등	재비산 먼지(토양입자 등) 석탄이나 유류 연소시의 비산재 광물(Si, Al, Ti, Fe)의 산화물, $CaCO_3$, NaCl, 해수염, 꽃가루, 곰팡이, 포자, 식물이나 동물의 사체조각 등
용해도	용해성이 큼 흡습성, 조해성	비용해성
발생원	석탄, 가솔린, 디젤, 나무의 연소시, 유기화합물, SO_2 , NOx의 대기중 생성물, 제련, 제철, 고온처리과정	산업공정이나 지면의 토양과 결합 된 입자의 재비산, 비포장도로, 농지, 광산활동에서의 비산, 생물 학적 과정의 형성이나 분해, 석탄, 석유의 연소, 해양의 물보라
대기중 반감기	수일~수주	수분~수시간
이동거리	100~1000 km	1-10 km
노출경로	호흡을 통한 인체내 침입	
작용기준	- 공기 중 미세입자와 거대입자의 인체 내 제거기전은 호흡기관의 침적과 연관됨 - 15㎛이상의 입자는 비강, 목, 후두에서 큰 비율로 제거 - 입자의 크기가 아주 작은 것들은 확산에 의해 다시 제거효율이 증가	
인체에 미치는 영향	- 눈, 코, 상기도 점막의 자극 - 호흡기계통에 영향(호흡기질환)	

(2) PM의 2차 생성입자

대기중 PM의 물리·화학적 특성은 발생 원의 종류에 따라 큰 차이가 있으며, 발생원에서 직접 배출된 1차 생성입자와 가스상 물질이 물리·화학적 반응에 의하여 성장되거나 생성·변환되어 1차 생성입자와는 전혀 다른 2차 생성입자로 황산염, 질산염 및 유기물질 등이 있음(Stelson and Seinfeld, 1981; Wolf G.T., 1985; Junge C.E., 1972)

대기중 입자상물질의 생성 및 변환기전은 가스상물질이 상(phase) 변화하여 액상 및 고체상의 입자를 생성하는 균일핵(homogeneous nucleation) 형성과 미세입자에 가스상 물질이 응축(condensation)하여 생성되는 불균일핵(heterogeneous nucleation)형성이 있음(Smith et al., 1973)

입자상물질의 균일핵 형성은 핵을 형성하기 전에 혼합, 냉각, 팽창 등과 같은 물리적인 작용에 의해 증기압이 상승하거나, 화학반응에 의해 입자상으로 변환되기 쉽도록 먼저 저증기압 물질로 변환되는 경우가 많고, 비균일핵 형성은 화학반응과 흡수 등을 수반하는 경우가 많음

2차 생성미세입자는 균일반응과 불균일반응으로 대별하여 설명할 수 있으며, 2차 생성입자는 화학반응이나 흡수, 흡착반응 등을 포함한 복잡한 반응과정으로 생성되므로 구성성분이 다양하고 변환되기 쉬움

가스상 균일반응에 의한 2차 생성입자는 주로 산화반응에 의한 광화학반응에 의존 함(Stelson and Seinfeld, 1981)

대기중 SO_2 가스가 산화반응에 의해 SO_4^{-2}로 변환되는 주요 반응기구는 SO_2가 광산화 되는 경우, 간접적 광산화반응, 액상에서 공기중 산화반응, 액상에서 촉매에 의한 산화반응을 비롯하여 건조상태에서 촉매에 의한 산화반응으로 분류할 수 있음

SO_2의 광흡수는 240～330 nm 부근에서 강하게 빛을 흡수하며, 290 nm에서 최고의 피크를 나타내고, 340～400 nm 부근에서 약하게 빛을 흡수하여 여기상태의 SO_2*가 생성됨(Finlayson- Pitts, Pitts, 1986; Richard A. Dobbins, 1979; J.D. Butler, 1979)

대류권에서 반응은 290 nm～440 nm의 영역의 자외선을 흡수하게 되는데 290 nm 이하의 파장은 대부분 성층권의 O_3 의해 흡수되기 때문임(Finlayson-Pitts, Pitts, 1986; Richard A. Dobbins, 1979; J.D. Butler, 1979).

균일 반응에서 생성된 여기상태의 SO_2*의 일부는 공기중의 산소원자와 반응하여 SO_3로 되고 이는 수분을 흡수하여 황산분자가 되며, 이 황산분자는 다른 황산분자나 물분자와 응결하여 입자가 됨

보통 SO_2의 광화학 산화반응은 간접적인 광화학반응에 의해 주도하는 것으로 알려져 있으며(한진석, 1997), 황산 미스트(mist)와 SO_3의 생성은 SO_2의 농도에 비례하는 것으로 알려져 있음(Finlayson-Pitts, Pitts, 1986)

대기중 SO_2 등과 같은 가스상 오염물질은 1차 광화학반응에 의해 생성된 물질이 매우 복잡한 2차 반응을 일으키므로 이를 규명하는 것은 쉽지 않으며, SO_2의 황산염입자로의 변환은 OH 및 HO_2 등과 같은 자유 라디칼 (free radicals)이 가장 중요한 역할을 함(Finlayson - Pitts, Pitts, 1986)

에어로졸, 구름, 안개, 비등의 형태를 지닌 액상물방울들은 SO_2의 산화가 일어나는데 영향을 미치며, 산도가 증가하면 반응은 기-액 평행상태로 진행되고, 반대로 산도 [H^+]가 낮을 경우 반응은 정반응으로 진행되는데 이런 현상을 “Self-quenching effect”라고 함(Finlayson- Pitts, Pitts, 1986).

Schwartz와 Freiberg(1981)는 SO_2 가스가 액상으로 이동하는 과정을 특정시간으로 표현하기도 하였음

대기중에서 불균일 핵반응에 의한 2차 생성입자의 기전은 매우 복잡한 기상·액상·고체상간의 반응으로 이를 규명하는 것은 쉽지 않다. 보통 대기중의 황산은 고체표면(지표면)에 흡착되는 SO_2의 반응에 의해 약 1/3을 차지하고 있는 것으로 보고되고 있으며(Barbara J. Finlayson-Pitts, 1986), 고체입자의 표면에서 SO_2의 산화는 탄소(C) 입자, 비산재(fly ash), 먼지, MgO, V_2O_5, Fe_2O_3, MnO_2 등에 대한 연구가 보고

되고 있음(Junge C. E, 1972; Charles W. Lewis and Edward S. Macias, 1980; Mcmurry P. H and Wilson. J. C, 1982). 이중 탄소입자와 SO_2의 산화반응 속도는 상대습도가 증가함에 따라 입자표면에 액막을 형성하고, 액막 내에서 SO_2의 산화반응은 촉진되는 것으로 보고되고 있음(Junge C. E, 1972)

Baldwin(1982)은 100㎍/㎥의 분진농도를 갖는 곳에서 분진표면과 반응하여 소실되는 SO_2의 양도 약 1% / hr 이상인 것으로 발표하였음

기액 반응에 의한 불균일 반응으로 가스상 SO_2 / 액상 SO_2의 비는 분진의 기상적 조건 즉, 상대습도, 구름, 안개 등의 요소에 근거를 둔다. 최근에는 SO_2의 산화에 있어서 기·액 반응의 상대적 중요도를 정량적으로 평가하기 위한 "Growth law technique"라는 새로운 기술이 등장하였는데, 가스·분진 변화에 의해 생성된 다양한 에어로졸의 크기 및 분포변화는 시간에 따라 다르다는 이론임(Barbara J. Finlayson -Pitts, 1986)

(3) PM의 시료채취와 화학적 특성

환경대기중의 입자상물질(particulate matters; PM) 또는 분진은 학술적으로 고체 또는 액체상으로 존재하는 물질의 총칭이며, 일반적으로 입자의 직경은 0.001~500 ㎛의 크기를 말하지만, 대기중에 존재하는 대부분의 입자의 직경은 0.1~10 ㎛임

PM10은 대기중 대부분의 입자가 차지하는 입경으로 알려져 있으며, 호흡성분진의 의미로 보건학적 측면에서 환경기준치로 사용되어 왔으며, 최근에는 인위적 발생원의 경계가 되는 PM2.5(2.5 ㎛ 이하 입자)에 더 높은 관심을 가지고 있음(Robert, K. Stevens, 1972 ; USEPA, 1990, 1999)

대기중의 PM은 발생원의 종류에 따라 모양, 색깔, 입경분포 등의 물리적 성질과 화학성분의 종류 및 조성이 달라 이를 이용한 연구가 폭넓게 진행되고 있으며, 더불어 시료채취에 관한 기술도 한층 발전되어 가고 있음

대기중 PM의 시료채취는 과거의 경우 TSP와 강하먼지(dust fall)를 중심으로 이루어졌으나 최근에는 유체역학적 원리 즉, 유체동력학적인 응용기술이 적용됨에 따라 다단식 입경별 채취, PM10을 2.5 ㎛를 분극으로 하는 Dichotomous sampler 등이 있으며, 시료의 채취용량에 따라 대용량(high volume)에서 저용량(low volume) 및 소용량(mini volume)에 이르기까지 다양한 시료채취기(air sampler)가 있음

입경별 시료채취기의 설계 및 제작은 공기동력학 경(aerodynamic diameter)에 의해 제작된 것이 보통이고 시료의 채취방법으로는 원심력 집진방식의 사이클론과 관성충돌의 원리에 입각한 임팩터(impactor) 방식이 이용되고 있음

임팩터 방식의 대표적인 대기시료채취기로는 입자를 다단식으로 입경 별 채취하는 저용량의 케스케이드 임팩터(cascade impactor)가 있으며, 사이클론 방식은 주로 대용량 시료채취기에 이용되고 있음

국내의 경우 최근 대기오염측정분석의 정도관리 측면에서 배귀남 등(1998)은 다단 충돌기판(impactor)의 입자포집에 미치는 영향에서 공기동력학경에 의한 입자의 채취입경은 임팩터의 설계에 따라 차이가 있음을 고찰하였으며, 서영화 등(1998)은 PM10 대기먼지의 실험실간 동시측정을 통하여 측정환경 및 측정장비의 종류에 따라 많은 농도 차가 발생되는 것으로 보고한 바 있음

이 밖에 김은권 등(1999)은 여과포 집진장치에서 노즐의 실험조건별 총 유입유량에 관한 연구 결과를 제시한 바 있고, 허귀석 등(1999)은 국가 간의 대기환경오염물질 측정의 정확도 향상을 위한 국가 표준기관의 국제적 비교 연구의 필요성을 언급하였다. 또한, 미국 EPA의 Lee 등(1998)이 발표한 PM10의 대기환경기준에 관한 기초과학연구에서 PM2.5, PM10 및 TSP의 질량농도에 대해 고찰 한 바 있음

대기중 PM의 시료채취 방법은 용액흡수법 및 여지채취법이 있으나 일반적으로 대기오염분야에서는 여지포집법이 가장 널리 이용되고 있다. 여지의 선택은 무게분석 목적, 화학분석의 목적, 포집 효율의 목적 등에 따라 흡습성, 강도, 공극률, 여지의 화학반응, 분석하여야 할 성분, 시료채취기의 종류 및 분석기기의 종류 등을 고려하여 선택하여야 함

(4) 소결

미세먼지를 측정하는 방식에 대한 일반적인 조사 및 결과는 '19-B-3' 보고서에 상세히 기술되어 있음

위에서 살펴본바와 같이 미세먼지는 다양한 화학적, 물리적특성을 지닌 여러 물질들의 집합이므로 미세먼지의 농도는 온도, 기압, 풍향, 풍속등의 영향으로 동일한 지점에서 측정하여도 측정 시간에 따라 값이 다르게 측정됨

현재 환경부에서는 전국에 455개의 미세먼지 측정소를 설치 운영하고 있음

거시적 관점에서 보면 건설현장은 도시의 일부로 인근의 미세먼지 측정소값에 일정부분 수렴한다고 볼 수 있음

그러므로 건설현장에서 미세먼지의 측정은 특정 지점을 선정하여 측정하기 보다는 특정공종(터파기, 상차 및 하차, 토량운반 등)이 수행될 때 미세먼지를 측정하고 동시에 해당공종이 이루어지지 않는 건설현장 내 다른지역(혹은 특정공종 수행지역과 충분히 떨어진 지역)을 동시에 측정하여 해당공종 수행시 미세먼지의 발생현황을 확인하는 것이 필요함

2. 건설현장 미세먼지 측정 및 GIS Mapping 파일럿테스트

건설현장에서 특정공종(터파기, 상차 및 하차, 토량운반 등)이 수행될 때 미세먼지를 측정하고 동시에 해당공종이 이루어지지 않는 건설현장내 다른지역(혹은 특정공종 수행지역과 충분히 떨어진 지역)을 동시에 측정하여 해당공종 수행시 미세먼지의 발생현황을 확인하기 위하여 다음과 같이 실험을 실시함

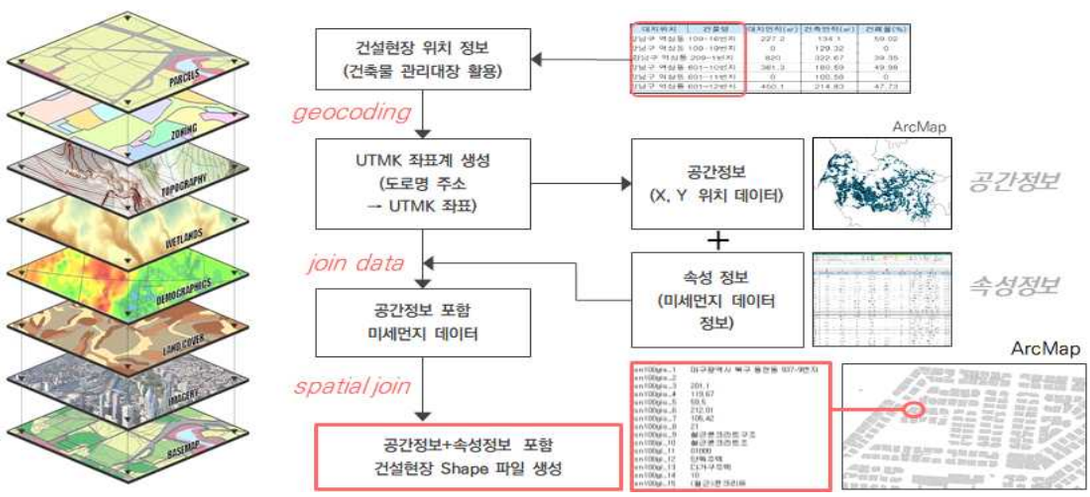
(1) 장비선정

장비선정시 고려된 사항은, 측정대상 이동성, 측정정밀도, 전자자료의 획득용이성 등을 기준으로 함
선정된 장비의 사양은 다음과 같음

독일 브렌드!! TROTEC.CO.(정밀도.내구성우수.2년품질보증)			
제품명	파티클카운터 분진측정기	MODEL	PC220
측정대상	측정범위(6개종측정)	분해능	정밀도
파티클카운터 (크린룸측정)	0.3 µm, 0.5 µm, 1.0 µm, 2.5 µm, 5.0 µm, 10.0 µm	Counting efficiency: 50% at 0.3 µm; 100% for particles > 0.45 µm	
분진측정기 (실내,외,미세먼지 측정용)	PM2.5 OR PM10	0 up ~2000µg/m³	
포름알데히드 측성	0.01ppm~5ppm	0.01ppm	±5%
일산화탄소	1ppm~1000pm	1ppm	±5%
온도/습도	0°C to 50°C	0 %RH ~ 100 %RH	
측정방식	흡입 펌프,Flow rate: 2.83 l/min (0.1 ft³/min), controlled by internal pump		
센서방식	Laser class 3B, wave length 780 nm, 90 mW [적외선[광] 산란법]		
정밀도	±5%	LCD	320 x 24
측정시간	10초 (쌤플링60초)	작업시간	4시간
보관온도	온도:0~50습도:0~70%	작업온도	0~40도습도0~70%
데이터로거	데이터로거 (지체메모리:5000개)		
방폭마크	ExdII CT6 (본질 안전)	재질	ABS+PC
보호장치	IP66	크기	240X75X57mm
전원	3.7V 충전용 리튬 배터리	무게	570g
구성품	케이스,본체,삼각대,설명서,아답터,제로교정용 필터외		
분류	제품특징 및 사용처		
1	세계 입자계수기준 준함(ISO 21501-4)		
3	사진 및 비디오 기능이 내장 된 인체 공학적으로 설계		
4	전자시스템구축,크린룸,공기정정기.관공서,공항,백화점,사무실,공장,등, 실내공기질 전문측정용 제품.		
5	자동 음향 경고 기능이있는 추가 색상 표시기 디스플레이		
6	MicroSD 카드로 최대 16GB까지 확장 할 수있어 저장		

(2) 실험방식 개요

① 미세먼지가 많이 발생할 것으로 예상되는 공종이 진행되는 건설 현장 방문
② 건설현장 위치정보를 건축물 관리대장 등을 활용하여 확인
③ 동일지점/동일시간에 측정, 동일시간/다른지점에서 미세먼지 측정을 반복수행
④ 측정값을 GIS좌표계에 입력하여 공간정보가 포함된 미세먼지 데이터 생성
⑤ 공간정보와 미세먼지 정보가 포함된 건설현장 Shape 파일 생성



[실험방식 개요]

(3) 현장개요

- 공사명 : OO지구 택지개발사업 조성공사
- 공사위치 : 인천광역시 OO동 일대
- 공사규모 : 약 57만평
- 공사기간 : 약 44개월
- 주요공사내용 : 토공(흙깍기8996천㎥, 흙쌓기5201천㎥, 반출3,795천㎥), 우수공, 오수공, 상수공, 생태통로



현장 전경1

현장 전경2

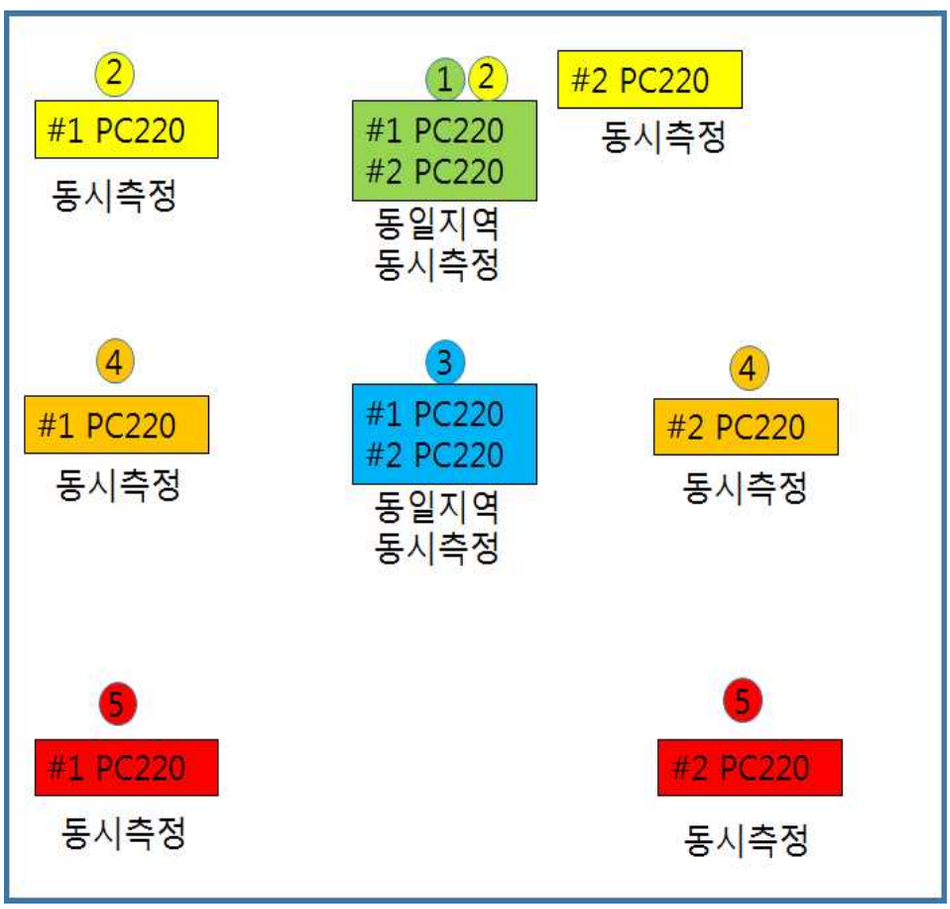
현장 전경3

현장 전경4

(4) 측정개요

현장내에서 총 5군데 지점을 선정하여 테스트를 수행함

① 같은 지점, 같은 시간에 측정장비 두 대로 측정 2회 실시(측정1)
② 장비 한 대를 충분히 이동시켜 동일시간에 측정 실시(측정2)
③ 위치를 이동하여 같은 지점, 같은 시간에 측정실시(측정3)
④ 두 대를 충분히 이동시켜 다른 지점에서 동일 시간에 측정실시(측정4)
⑤ 두 대가 충분히 이동하여 다른 지점에서 동일 시간에 측정실시(측정5)



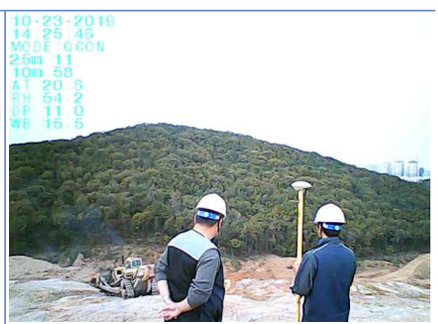
[테스트 수행지점별 수행방식]

(5) 측정결과

장비1의 측정결과는 다음과 같음

		
1번위치 테스트1	1번위치 테스트2	2번위치 테스트3
		
3번위치 테스트4	4번위치 테스트5	5번위치 테스트6

장비2의 측정결과는 다음과 같음

		
1번위치 테스트1	1번위치 테스트2	2번위치 테스트3
		
3번위치 테스트4	4번위치 테스트5	5번위치 테스트6

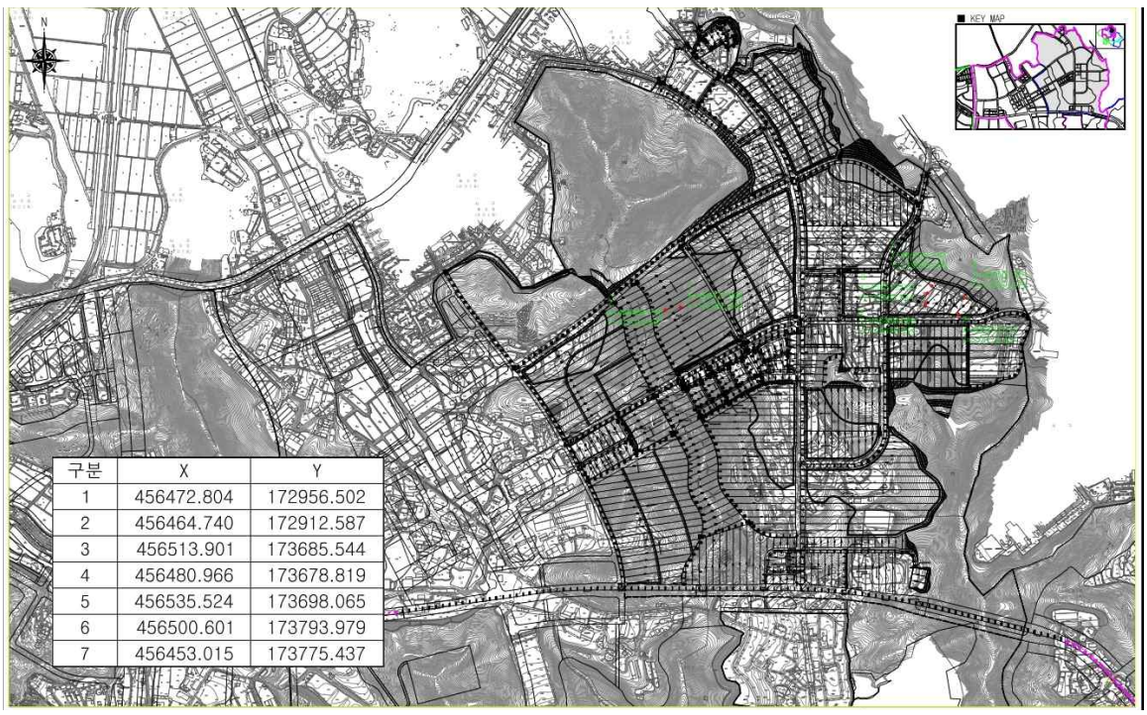
측정값을 표로 정리하면 다음과 같음

		장비1	장비2
테스트1	PM2.5	11	9
	PM10	42	52
	온도	22.8	22.6
	습도	52.0	49.4
테스트2	PM2.5	8	6
	PM10	26	24
	온도	22.3	20.9
	습도	52.1	51.6
테스트3	PM2.5	8	11
	PM10	16	58
	온도	21.4	20.6
	습도	52.4	54.2
테스트4	PM2.5	7	9
	PM10	18	18
	온도	22.4	22.1
	습도	51.9	51.0
테스트5	PM2.5	8	7
	PM10	16	26
	온도	21.3	21.5
	습도	53.6	49.8
테스트6	PM2.5	7	7
	PM10	33	15
	온도	21.3	21.2
	습도	54.2	52.7

측정지점의 위치값은 다음 표와 같음

지점	X	Y
1	456472.804	172956.502
2	456464.740	172912.587
3	456513.901	173685.544
4	456480.966	173678.819
5	456535.524	173698.065
6	456500.601	173793.979
7	456453.015	173775.437

측정지점의 위치값을 공사계획 평면도에 입힌 사진은 다음과 같음

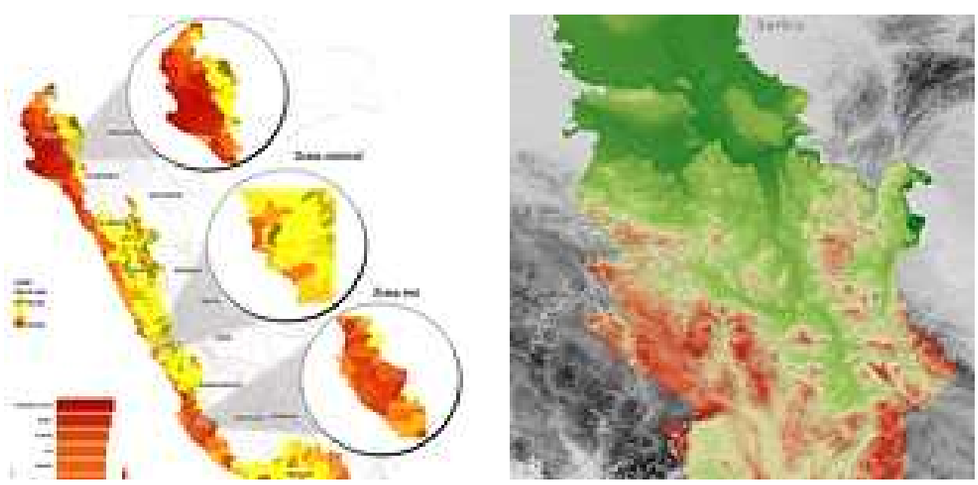


구분	X	Y
1	456472.804	172956.502
2	456464.740	172912.587
3	456513.901	173685.544
4	456480.966	173678.819
5	456535.524	173698.065
6	456500.601	173793.979
7	456453.015	173775.437

GIS프로그램은 QGIS로 선정

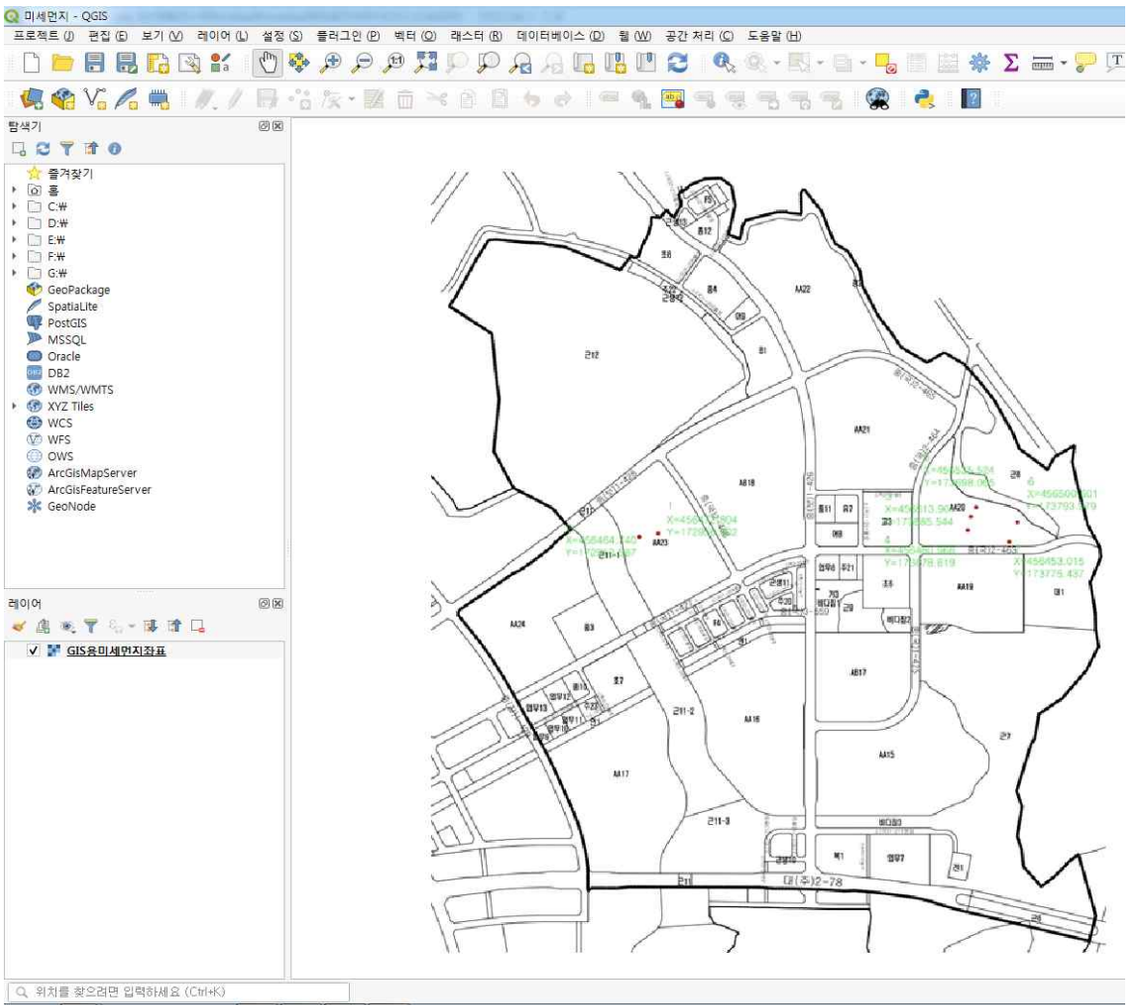
QGIS는 GNU General Public License 하에서 제공되는 사용자 친화적 오픈 소스 Geographic Information System(GIS)임

QGIS는 Open Source Geo-spatial Foundation(OSGeo)의 공식 프로젝트에서 Linux, Unix, Mac OSX, Windows, Andoid에서 동작하며 수많은 벡터, 래스터, 데이터베이스 포맷과 기능을 지원하고 있음



QGIS 적용 사례 예시

QGIS를 통해 지리정보와 미세먼지 측정정보를 레이어로 구성하면 다음과 같음



참고문헌

1) 권순박, 송창병, 이창, 이규원, 정현록, 류성윤, 김영준, 이종덕, 2003, PM10/2.5/1/TSP 포집을 위한 다단임팩터 개발, 2003년 한국대기 환경학회 춘계학술대회 논문집

2) 김민영, 조석주, 2004, Portable Aerosol Spectrometer의 실용성 평가, 2004년 한국대기환경학회 춘계학술대회 논문집

3) 김중구, 2006, 분진자동 측정기의 수분응축자동방지시스템, 2006년 한국대기환경학회 춘계학술대회 논문집

4) 김현호, 이재용, 류성윤, 김영준, 2004, PM-10 베타 게이지 부유분진 측정기의 교정기 개발, 2004년 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집

5) 배귀남, 이승복, 문길주, 최병철, 최재천, 박기준, 안정언, 2004, APS와 OPC를 이용한 대기 에어로졸 입경 분포 측정 결과의 비교, 2004년 한국대기환경학회 춘계학술대회 논문집

6) 배귀남, 김민철, 지준호, 이승복, 문길주, 2003, 대기 에어로졸 입경 분포측정기의 특성비교, 2003년 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집

7) 서영화, 이병규, 정용삼, 문종화, 이길용, 심상권, 홍완, 최한후, 1998, 대기분진(PM-10)의 실험실간 동시 측정 연구, 1998년 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집

8) 이길용, 윤윤열, 심상권, 김건한, 양명권, 1999, 대기분진 분석에서 공기량 및 바탕값의 영향 조사, 1999년 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집

9) 임종명, 이현석, 장미숙, 이진홍, 2003, Gent sampler와 High-volume air sampler의 분진 농도 비교 연구, 2003년 한국대기환경학회 춘계학술대회 논문집

10) 조석주, 최금숙, 여인학, 이민환, 김민영, 김신도, 2003, 환경대기 중 미세먼지(PM-10)의 동시 측정 비교연구, 2004년 한국대기환경학회 춘계학술대회 논문집

11) 최병철, 차주완, 박기준, 최재천, 안정언, 2004, 관측방법이 다른 두 종류의 PM-10 자동 관측기 특성 및 비교 관측자료 분석, 2004년 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집

12) 대기오염공정시험방법

13) 환경관리공단, 2006, 미세먼지 측정자료 정도향상 및 활용을 위한 기술포럼 자료집

14) 환경부, 2008, 황사 및 미세먼지 측정방법 조사 연구

15) 강충민, 박성균, 선우영, 강병욱, 이학성. 서울시 미세입자($PM_{2.5}$)의 호흡기질환 사망과의 연관성 연구. 한국대기환경학회지. 22 : 554-563, 2006.

16) 유승도, 차정훈, 김대선, 이종태. 미세먼지가 울산지역 초등학생의 폐기능에 미치는 영향. 한국환경보건학회지. 33 : 365-371, 2007.

17) 환경부. G-7 핵심환경기술개발사업 중 “대기중 미세먼지의 건강위해성 평가기법 개발” 2002.

18) Chang, C. T., C. J. Tsai, C.T. Lee, S. Y. Chang, M. T. Cheng, and H. M.Chein, 2001, Differences in PM-10 concentrations measured by beta gauge monitor and high-vol sampler, Atmos. Env., 35, 5741-5748

19) Chang, C. T., and C. J. Tsai, 2003, A model for the relative humidity effect on the readings of the PM-10 beta-gauge monitor, J. Aerosol Sci., 34, 1685-1697

20) Quok, M., and M. McDougall, 2006, Comparison of the ARB continuous PM-2.5 monitoring network to the PM-2.5 federal reference method network, California Air Resources Boards Report

21) Tsai, C. J., and Y. H. Cheng, 1996, Comparison of two ambient beta gauge PM-10 samplers, JAWM&A, 46, 142-147

22) UK equivqlence program for monitoring of particulate matter, 2006, BV/AQ/AS202209/DH/2396

23) USEPA 40 CFR PART 50

24) Williams, M., and P. Bruckmann, 2002, Guidance to member states on PM-10 monitoring and intercomparisons with the reference method, EC Working Group on Particulate Matter

B-4 미세먼지 스마트 감시 및 Water Fog기반 저감장비 통합운영시스템 개념 설계

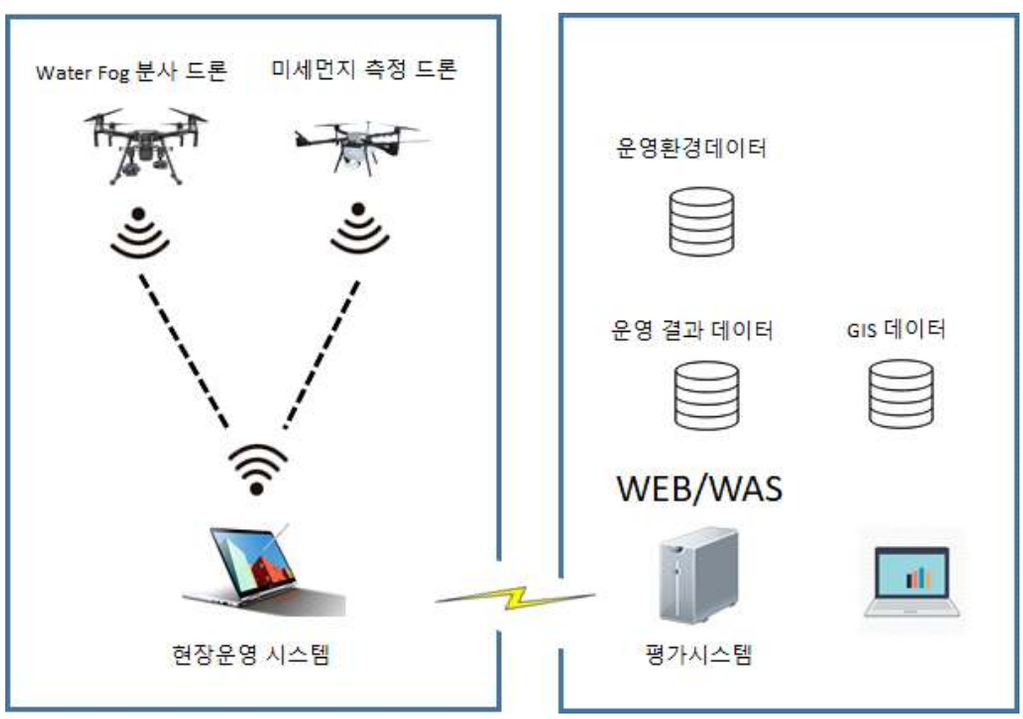
1. 시스템 구성

1) 운영시스템 정의

도심지 건설현장에서 드론을 이용한 Smart 감시 및 드론 기반 Water Fog 분사 시스템을 운영하기 위해서, 미세먼지 측정용 드론과 Water Fog 분사를 위한 드론 간을 연결하여 미세먼지 발생 지점을 전달하고, 측정된 데이터를 시계열로 저장하여 시스템 운영에 따른 미세먼지 감소 효과를 시각적으로 표출하여 시스템 운영의 성과를 가시적으로 나타낼 수 있도록 한다.

본 연구에서는 현장에서 운영 가능하고 운영 이후 저장된 운영 기록을 저장하여 추후 축적된 자료를 바탕으로 하여 종합적인 평가가 이루어질 수 있는 두 가지 부분에 대하여 기능과 구성을 정의한다.

① 운영시스템의 정의



[시스템 구성도]

논리적으로는 건설현장을 하나의 프로젝트로 구성하여 건설현장별로 공사 시작부터 종료 시 까지의 미세먼지 발생 정보를 감지하고 Water Fog 분사용 드론에 정보를 전달하는 기능을 수행하는 시스템을 현장운영시스템이라고 하고, 현장에서 수집된 정보를 저장하고 저장된 데이터를 바탕으로 하여 미세먼지 발생 현황과 감소 효과에 대하여 평가하고 전반적인 상황을 평가시스템이라고 정의한다.

물리적으로는 드론과의 통신을 수행하고 수집된 정보를 저장관리 하며, 과거 운영 정보를 바탕으로 평가결과를 나타낼 수 있는 사용자가 직접 조작하는 사용자 시스템과 수집된 정보를 저장하고 데이터베이스를 운영하며 운영결과에 대한 평가결과를 제공하는 서버 정보시스템으로 구분한다.

본 연구에서는 용어의 혼란을 피하기 위해 논리적 구성에서 사용하는 현장 운영시스템과 평가시스템 두 가지로 모듈의 용어를 통일하여 사용한다.

② 기술적 구성요소

■ 측정 데이터 관리

측정용 드론으로부터 전송되는 미세먼지 측정 데이터를 저장 관리하기 위해서는 단순 포인트 정보가 아니라, 드론이 측정하여 범위로 지정된 만큼의 영역이 포함되어야 한다. 즉, 미세먼지 센서의 측정 범위 값에 따라 범위 값이 함께 저장되어야 한다.

드론에 장착된 센서의 범위는 센서의 기준을 바꾸기 이전에는 일정한 크기를 유지하므로, 사용되는 센서의 종류와 측정 능력을 지정하여 관리하도록 한다.

측정된 데이터의 용량은 크지 않고, 데이터 저장 시 유지해야 할 데이터가 시간, 위치, 측정 값 정도이므로, 별도의 데이터 축약을 위한 압축 기법 등은 적용하지 않는다.

측정 데이터를 관리하기 위해서는 관리되는 측정 데이터가 일정한 간격으로 관리되어야 추후 이 데이터를 이용한 평가가 가능하다. 일반적으로 도로와 같이 이동 경로가 사전 정의되어 이동하는 경우에는 선형을 따라 이동 거리를 기준으로 데이터를 관리하는 것이 가장 합리적인 방안이 될 것이다. 그러나, 건설현장에서 3차원으로 움직이는 드론의 경우처럼 정의되지 않은 경로를 이동하는 경우 측정 지점이 일정 간격을 유지하는 것은 사실상 불가능하다. 그러므로, 측정 정보를 효과적으로 관리하기 위해서는 일정 간격으로 측정 정보를 관리하는 방안이 필요하며, 경로 정보와 함께 결합하여 서비스하는 것이 필요하다.

■ 3차원 GIS

3차원 GIS는 현장을 가시적으로 표출하고 추후 운영결과를 나타내는 통계 및 분석 정보를 나타내기 위해서 필요한 기능이다. 현재 전국 3차원 정보는 v-World 서비스를 통하여 데이터 지원을 받아 서비스가 가능한 상황이다. 그러나, 현장에서 사용하기에는 몇 가지 상황에 대한 점검이 필요하다.

해상도가 현장에서 사용하기에 충분하지 않다. 현장의 범위가 수십 미터 단위의 범위가 일반적인데 현재 서비스하고 있는 데이터의 해상도는 대략 25m 정도의 해상도를 가지고 있다. 이 정도의 해상도를 이용 할 경우에 현장의 상태를 그대로 표현하기 어렵다.

과거의 데이터를 제공한다. 이 때문에 실제 현자의 지표 형상과 다른 정보를 나타내게 된다. 그러므로, 현장을 나타내기 위해 최신의 정보를 주변 GIS 정보와 결합하여 나타내는 것이 필요하고, 이를 위한 데이터 입력 기능이 필요하다.

데이터 정밀도 문제가 있을 수 있다. 정확히는 GIS 데이터의 문제라기보다는 측정되는 GPS의 위치 정보가 부정확하여 정확한 위치를 나타내지 못할 가능성이 있다. 현재 GPS 정보의 오차 범위는 수 센치미터에서 수 미터까지 날 수 있으므로 이를 발생하는 GPS 데이터 측면에서 보정하지 못한다면 수집 후 별도의 보정 방안이 필요할 것으로 보인다. 특히, 수직 정보의 경우 수평 정보에 비하여 오차 범위가 좀 더 넓으므로 이를 감안하여야 한다. 물리적으로 이러한 오차를 보정하는 것이 불가능하다면 데이터 운영과 분석 시 이러한 오차 범위를 감안하여 운영방안을 마련하는 것이 필요하다.

■ 운영 정보 관리

현장의 데이터 운영 상황에 대한 평가를 위해서는 운영결과를 저장하고 이를 복기할 수 있어야 한다. 1일 8시간을 최대로 운영하고 모든 운영 정보를 1초 단위로 저장한다고 할 때 위치 정보만을 저장한다고 해도 하루 675Mbyte가 필요하게 된다.

$$8\text{시간} \times 60\text{분} \times 60\text{초} \times 24\text{byte(x,y,z)} = 681{,}200\ \text{byte}$$

이 정도의 양이 발생하게 되면 일 년에 대략 240Gbyte의 데이터가 발생하게 되어 사실상 관리가 어려울 수 있다. 그러므로 운영 정보는 전체 데이터가 아닌 측정 시 일정 수준 이상의 미세먼지가 측정된 경우만을 대상으로 하여 저장하는 것을 고려한다. 추후 연구에서 어느 수준 이상의 정보가 유의미한 정보로 판단할 수 있는지에 대한 규정을 마련하고 이에 따라 데이터를 저장 운영하도록 한다.

2) 데이터 정의

시스템 상에서 측정 데이터를 받아들이고 이를 평가하여 Water Fog 드론에 미세먼지 발생 지점을 전송하며, 운영결과 데이터를 저장하여 추후 평가가 이루어지는 각 과정에서 필요한 정보를 정의한다.

① 측정 데이터 및 위치 정보

측정용 드론으로부터 수집된 미세먼지 정보와 함께 드론의 위치를 전송받게 된다. 이 정보는 설정된 측정 간격에 따라 지속적으로 현장운영시스템으로 데이터를 전송하게 된다.

위치 정보는 드론에 장착된 GPS로부터 발생하고 GCS를 통해서 송신되다. 위치 정보는 위·경도 및 고도 정보로 구성되어 있다. 일반적으로 드론의 위치 정보는 GPS 뿐만 아니라 별도의 기압계를 이용해서도 측정하게 되는데, 야외에서 사용하는 본 시스템의 경우에는 좀더 정밀한 GPS 정보의 사용이 용이하므로 GPS 정보만을 활용한다.

또한, 자이로스코프를 이용하여 자세 정보를 취득하여 이동 방향 등을 예측하여 드론을 운영하지만 본 사업에서 필요한 것은 드론의 조종이 아니라, 데이터의 취득 및 취득 시 위치 값이기 때문에 이 값을 저장하지는 않는다.

측정 데이터는 미세먼지 센서를 통하여 취득된 데이터를 이용하게 된다. 드론과 현장운영시스템 간에 취득된 데이터의 종류와 전송 순서를 미리 약속한 상태에서 데이터가 전송되게 된다.

이 두 데이터는 동시에 측정되지 않으며 개별로 운영되고 전송되어 진다. Water Fog용 드론에게 위치를 전송하기 위해서는 측정용 드론으로 전송된 측정값을 기반으로 평가하여 이동 명령을 전달하게 되는데, 이때 측정용 드론으로부터 취득한 최종 위치를 이용한다.

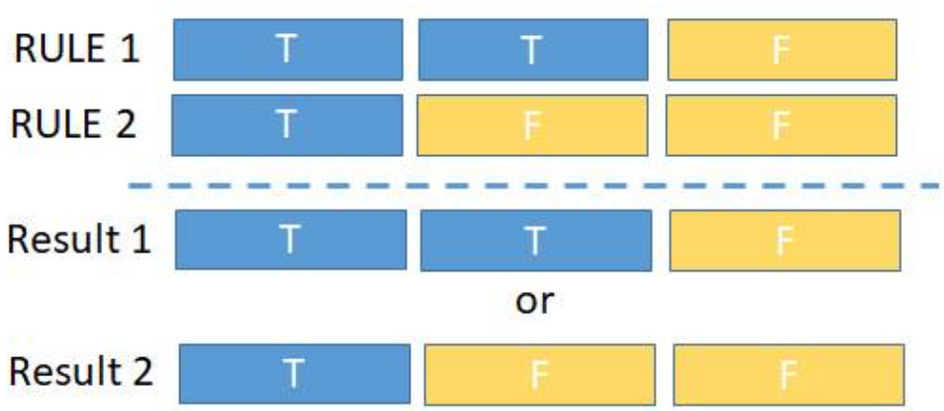
<드론 위치 정보 및 측정값>

구분	구성	비고
위치 정보	x – 경도	드론의 경우 WGS84 위경도 좌표로 되어 있음
	y – 위도	
	z – 고도	
측정값	v1 – 측정값	측정데이터 정보는 센서 제작사에서 제공하는 API를 활용할 예정
	v2 – 측정값	
	vn – 측정값	

② Water Fog 동작 기준 룰(Rule)

측정용 드론으로부터 취득된 정보를 기준으로 Water Fog 드론이 동작하도록 하기 위해서는 현재 측정된 데이터가 일정 수준 이상의 농도를 가졌을 때 동작할 수 있도록 정의되어야 한다.

PM10 혹은 PM2.5로만 정의되어 운영되면 단일 기준으로 정의해도 되지만 향후 운영을 위해서는 다중 기준을 만족시킬 수 있는 정보 관리가 필요하다.



[Water Fog 동작 기준 룰]

일반적으로 업무용 RULE 시스템은 대단히 복잡한 기준과 운영 절차를 가지게 되나 본 연구에서는 단순히 측정 데이터 요소의 농도만을 기준으로 하므로 아주 단순한 형태로 운영할 수 있다. 그림에서와 같이 RULE을 정의하고 해당 RULE에 따라 결과를 선택하는 RULE까지 적용하여 판정하게 된다.

현재 본 연구에서는 해당 RULE을 적용할 대상이 단순히 Water Fog의 동작 여부를 결정하는 정도에 한정되어 있어, 굳이 이와 같은 RULE 기반 판정 기능을 적용할 대상은 아니다.

그러나, 향후 연구에서는 Water Fog 드론이 분사하는 Water Fog의 양을 RULE에 따라 조절하는 기능 등을 구현할 가능성도 있으므로, 운영시스템 측면에서는 현재 이용되지 않는다고 하더라도 시스템 평가 측면에서 해당 데이터를 저장하여 운영해 보는 것도 필요하다고 판단되어 진다.

③ 운영 드론 정보

운영되는 드론의 정보를 관리한다. 본 연구에서는 다중의 현장을 관리하는 기능을 운영테스트 하지는 않을 것이므로 현실적으로 필요한 부분이라기보다는 향후 다중의 현장을 종합 관리하기 위해서 필요로 하는 데이터이다.

드론의 정보는 드론의 기종, 사용 센서, 운영시간 등을 저장한다. 본 연구에서 드론 정보 관리는 단지 시스템의 정보 흐름을 고려하기 위하여 관리한다.

④ 프로젝트별 데이터

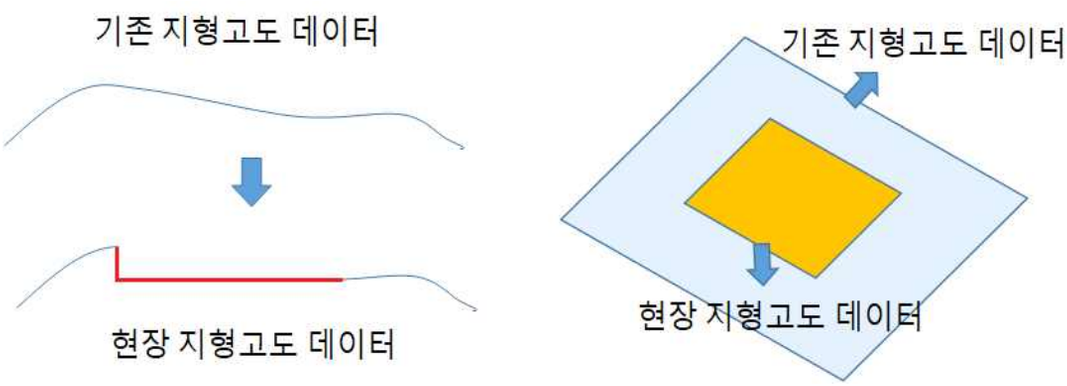
프로젝트별 데이터 역시 본 연구의 범위에서는 그 의미가 필요치 않을 수 있으나, 향후 본 시스템을 현장에서 운영한다고 가정하면 반드시 필요한 정보이다.

시스템의 정보 흐름을 고려하기 위해서 가장 단순한 형태로만 설정하여 관리한다.

본 연구에서는 프로젝트명 만을 코드로 사용하고, 부가적으로 기간, 주소, 개요 정도의 정보를 관리하는 것으로 설정한다.

⑤ 지형 고도 데이터

건설현장 주변의 지형 고도 데이터는 본 연구에서 반드시 필요한 기본정보이다. 그러나, 해당 지역에 건설이 시작되면 현재 확보할 수 있는 지형 고도 데이터는 부정확한 데이터가 된다. 또한, 건설이 종료된 이후에는 건물, 조경 등으로 인해 실제 바닥 지형과 다른 형태의 지형을 가질 가능성이 크다. 그러므로, 현장 운영시스템을 운영하기 위해서는 현장의 바닥 지형 고도 데이터를 별도로 입력해야 한다.



[기존 지형 고도와 현장 지형 고도 차]

현장의 정확한 지형 고도를 알 수 있으면 가장 좋은 방안이 될 수 있으나 현실적으로 이런 별도의 작업을 진행하는 것은 어려울 것으로 판단되므로, 일정 높이와 범위를 지정하여 적용하는 방식으로 운영하여야 한다.

2. 세부기능 구성 및 구축 방안

1) 시스템 기능

시스템 기능은 크게 두 가지로 나누어 설명한다. 현장 운영시스템은 건설현장에서 Water Fog 드론과 측정 드론을 운영하기 위하여 사용하는 시스템이고 평가시스템은 드론 운영 후 운영결과를 평가하기 위하여 사용되는 시스템이다. 현장 운영시스템은 드론 운영에 초점을 맞추고 있고 드론의 API를 사용하여야 하며 측정 센서로 부터 수집되는 저수준의 통신 프로토콜을 사용해야 하므로 Client/Server 방식의 데스크탑 프로그램으로 제작하고, 평가시스템은 WEB/WAS 기반의 WEB Application으로 제작한다.

① 기능 구성

<시스템 기능 구성>

구분	기능	설명
현장운영 시스템	데이터 수집	드론 위치 및 측정값 수집
	드론 동작 명령	RULE에 따른 Water Fog 드론 동작 명령 및 결과 확인을 위한 측정 드론 동작 명령
	드론 위치 가시화	드론의 위치를 가시화 하고, 측정된 정보를 기반으로 미세먼지 상태를 표시함
평가 시스템	저장된 운영결과 시뮬레이션	저장된 드론 운영 정보를 이용하여 시간별 운영결과를 표시
	운영 통계	드론의 운영시간, 위치, 발생 미세먼지 종류, Water Fog 동작 후 감소 량 등의 통계 정보 표출

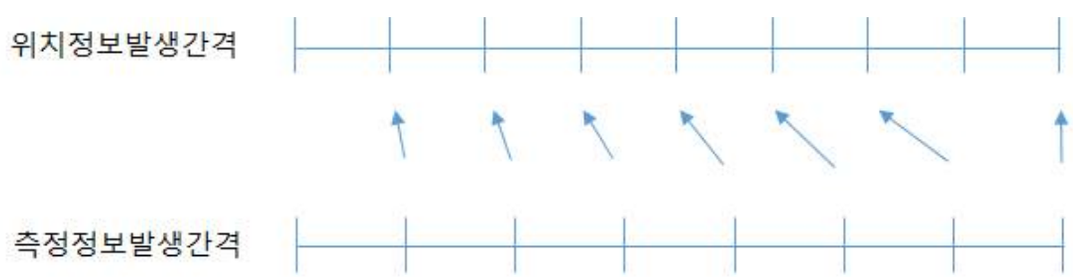
② 주요기능 설명

■ 데이터 수집

본 시스템에서 수집되는 데이터는 드론의 위치와 측정값이 전부이다.

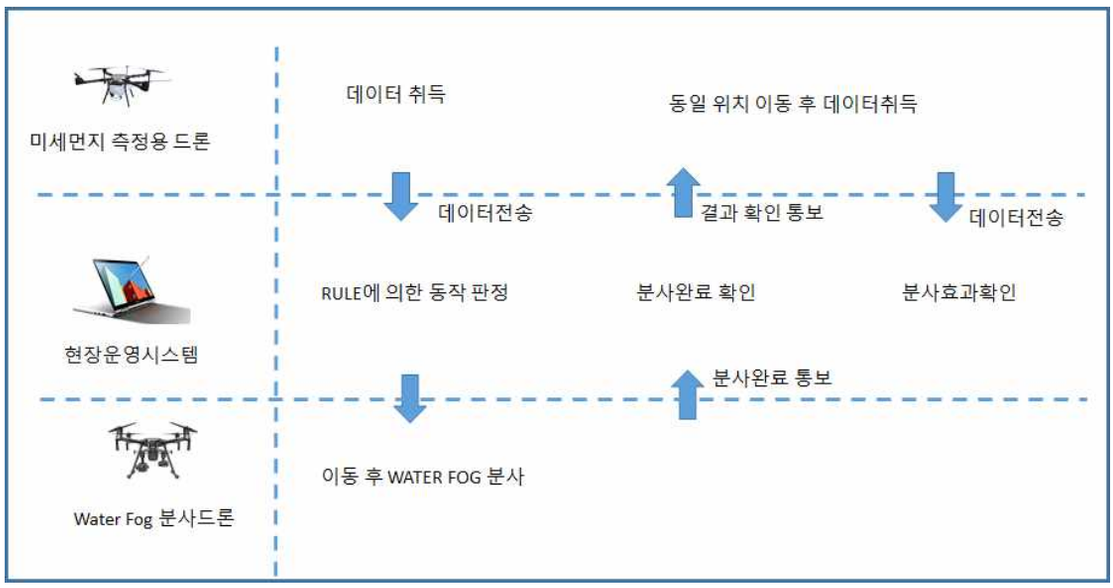
위치 정보와 측정값은 서로 완전히 분리된 데이터로서 두 데이터 간의 연관성은 시간밖에 없다. 그러므로, 실제 데이터는 시간을 매개로 운영되어야 한다.

두 데이터가 동시에 발생하지 않으므로 서로 간의 연결성은 가장 인접한 시간의 발생 정보로 가정한다. 데이터 간 발생시간의 차이로 인해서 발생하는 위치의 오류는 최대 위치 정보 발생 간격만큼 발생하게 된다.



[위치정보와 측정정보 발생 간격]

이렇게 측정 간격이 다름으로 인해 실제 측정 지점과 Water Fog 드론이 사용하는 측정 지점 간의 차이가 발생 할 수 있다. 그러나, 현실적으로는 드론이 측정 시 호버링 상태이면 동일한 위치 정보를 사용한다고 가정할 수 있으므로 드론 운영 시에 고려할 사항이다.



[데이터 수집 운영 프로세스]

데이터 수집을 위한 운영 프로세스는 상기 그림과 같다. 최초 측정용 드론으로부터 측정된 데이터가 현장운영시스템에 전송되면 정의한 RULE에 의해 동작 여부를 판정하게 된다. 미세먼지 농도가 기준에 미치지 못한다면 WATER FOG 드론의 동작 없이 무시하게 된다. 단, 여기서 고려할 사항은 WATER FOG 드론이 동작하지는 않는다 하더라도, 수집 기준에 맞추어졌다면 데이터를 저장하여야 한다.

WATER FOG 드론의 동작 기준에 부합 하면 분사 드론으로 위치를 전송하고 분사 명령을 전달한다. WATER FOG 드론이 해당 위치에 도달하게 되면, WATER FOG를 분사하고 나서 분사 완료 상태를 현장운영시스템에 전송한다.

현장 운영시스템이 분사 완료 정보를 받게 되면 측정용 드론에게 RULE에 따라 분사용 드론이 움직이는 명령으로 판정되었을 때의 위치로 이동하여 검증 측정을 하게 한다. 이 데이터를 이용하여 WATER FOG 분사 효과를 분석할 수 있다.

■ 드론 동작 명령

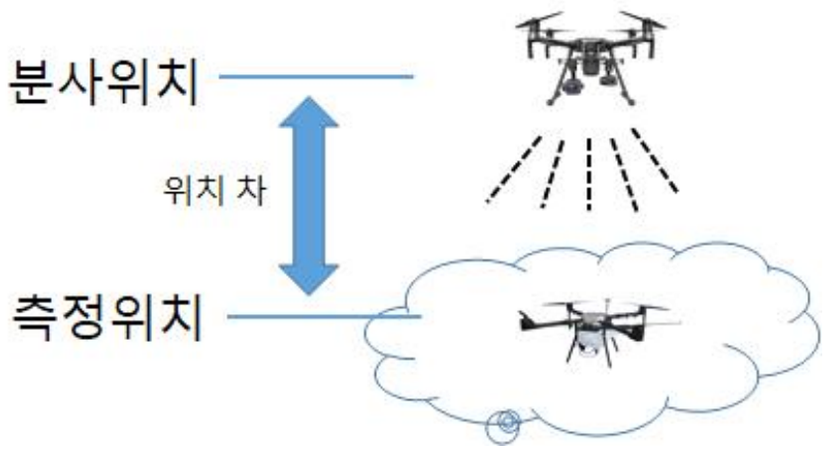
드론 동작 명령은 드론에 따른 GCS API를 이용하여 전송하게 된다. 일반적인 GCS API는 TCP/IP 통신을 이용하여 전달되게 된다.

향후 드론을 도입하고 해당 드론에 따른 API Library가 확보되면 이에 따란 명령을 전달하는 체계가 구체화 될 것이다.

현재 고려하고 있는 드론 이동 명령은 API를 이용한 자동화 방식과 사람이 직접 이동을 제어하는 수동 방식을 고려하여야 한다. WATER FOG를 분사하는 방식도 역시 수동 방식을 고려해야 하므로, 향후 연구 진행에 따라 결정해야 할 부분이다.

자동으로 이동하고 분사하는 경우에는 건설현장이 개활지가 아니므로 장애가 되는 시설을 피해서 이동하는 경우를 고려해야 한다. 이 경우에 장애물을 회피하기 위한 별도의 회피 센서와 알고리즘이 드론에 탑재되어 있다는 가정하에 운영 가능할 것으로 보인다.

분사용 드론의 위치를 결정하는 문제도 별도로 고려해야 할 사항이다.



[측정 위치와 분사 위치 차]

분사 위치가 측정 위치를 기준으로 어느 정도 위치 차 만큼 고도를 높여야 하는지 설정하는 것이 필요하다. 장기적으로는 이외의 환경적인 요인(바람, 온도 등)으로 인한 위치 결정 알고리즘을 적용할 필요가 있다. 본 연구에서는 단일 값을 설정하는 위치 차를 정의하도록 하고 향후 별도의 알고리즘이 구현될 경우 적용 할 수 있도록 한다.

■ 드론 위치 가시화

드론의 위치를 실시간으로 가시화하여 표출하는 기능을 한다. WEBGL 기반으로 하여 v-World 데이터를 이용한 가시화 기능을 구현한다.

드론 위치 정보와 함께 측정된 미세먼지 농도 데이터도 함께 가시화하여야 한다.

시간 차에 따른 드론 위치, 미세먼지 농도 등이 직접적인 가시화 대상이다.

현장의 지형 고도가 현재 v-World에서 제공하는 정보가 차이가 나므로 해당 영역 만을 별도의 고도 데이터로 채워 가시화하는 것 또한 필요하다.

■ 운영결과 시뮬레이션

저장된 측정 데이터와 드론의 위치 정보를 이용 운영결과를 시뮬레이션 하도록 한다.

3차원 시뮬레이션의 기본은 시계열 정보 표출이다. 시작 시간과 종료 시간, 시간 빠르기를 기준으로 하여 재생한다. 앞서 정의한 것처럼 모든 위치 정보와 측정값을 저장하지는 않으므로 연속적인 재생이 가능하지는 않을 것이나, WATER FOG 드론이 호출되고 분사한 이후 재측정 하는 과정까지는 저장되어 시뮬레이션 할 수 있다.

웹(WEB)상에서 3차원 시뮬레이션을 가능하게 하기 위해서는 WEBGL 기반의 GIS 가시화 기능을 가진 라이브러리를 사용하여야 하며, 운영 날짜와 운영 시간, 분사 발생 시간을 기준으로 시뮬레이션을 수행한다.

■ 운영 통계

WATER FOG 분사 기능을 수행한 이후에 실제 감소 효과를 분석하기 위한 기초데이터로서 정보를 제공하는 것이 목적이다.

측정된 미세먼지 농도와 분사가 발생한 시간과 분사 이후 동일 위치에서 측정된 농도의 통계값을 제공하도록 한다.

통계에 사용하기 위해서 xlsx나 cvs와 가능한 호환 데이터 형식으로 데이터를 추출 할 수 있도록 하고, 필요 시 그래프 등과 같은 데이터를 추출 할 수 있도록 한다.

2) 데이터베이스 구축 방안

현장에서 측정된 데이터를 기반으로 운영 상황, WATER FOG 분사 효과 분석 등을 위해서 운영 데이터를 축적하는 게 필요하다.

축적된 운영데이터는 이후 운영 상황을 시간별로 재현하는데 필요한 정보를 기준으로 필요하므로, 기본키(Key)는 시간으로 설정한다.

드론이 비행하는 모든 정보를 저장할 경우 데이터 저장용량이 과다할 수 있으므로 저장이 필요한 정보를 선별적으로 저장하게 된다. 그러므로, WATER FOG 드론이 동작하게 되는 기준과는 별도로, 저장을 위한 별도의 기준이 필요하다. 저장 기준은 WATER FOG 드론 동작 기준보다 좀 더 엄격하게 적용하여 농도 기준이 좀더 낮은 기준을 설정하여야 한다. 설정값은 현장운영 상황에 따라 연구를 진행하면서 기준을 변경할 수 있도록 한다.

본 연구에서는 단순히 하나의 현장에 적용하여 운영하므로 다중 현장을 가정할 필요는 없으나 향후 여러 현장으로부터 데이터를 취득하는 상황을 가정하여 부가 정보를 일부 구축하도록 한다.

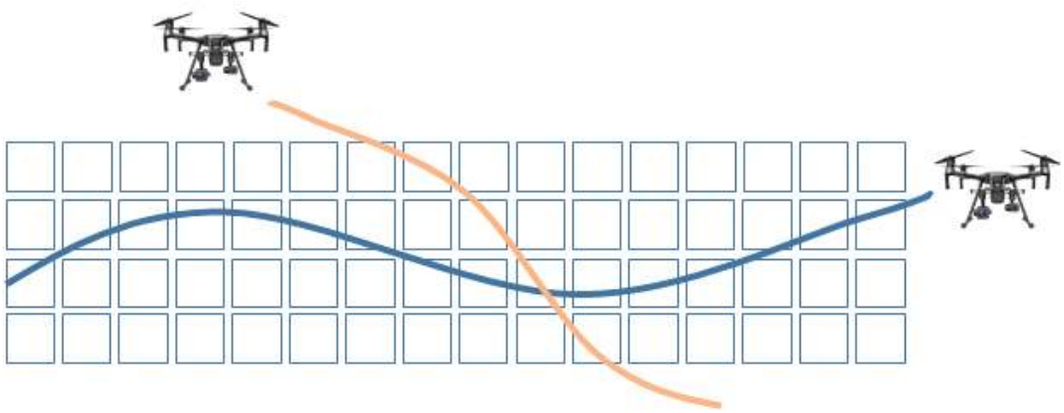
① 측정결과 저장 시 고려 사항

측정된 데이터를 기준으로 WATER FOG 분사 드론이 호출되고 분사하는 과정만을 고려한다면 별도의 저장 옵션에 대하여 고민할 필요는 없지만, 향후 시뮬레이션, 통계 분석 등을 수행하기 위해서는 측정결과를 저장하는 방식에 대하여 추가적인 고려가 필요하다.



[위치 겹침 예시]

그림 경우처럼 단순히 위치 정보 기준으로 데이터를 저장할 경우 위치가 겹치는 부분에서 다소 혼란스러운 상황이 발생하는데, 드론의 위치가 차이가 나면, 측정값의 위치 또한 정확히 확정하기가 쉽지 않은 측면이 있다. 이러한 차이로 인하여 전반적으로 데이터 표출과 공간 통계 추출에 어려움이 발생할 수 있다.



[공간 분할]

이런 상황을 회피하기 위하여 기준점을 고정하고, 일정 간격으로 공간을 분할하여 고정 크기의 정보를 활용할 수 있도록 한다. 이렇게 데이터를 구현할 경우 시간에 따른 미세먼지 발생 현황 통계, 시뮬레이션 등에 용이한 정보가 된다.

② 측정결과 운영방안

측정결과 운영의 Key는 프로젝트 ID, 운영시간으로 한다. 사용자는 측정결과에 대하여 프로젝트 ID 및 날짜, 시간으로 검색 할 수 있으며, 미세먼지 발생 횟수 등에 대한 통계를 추출 할 수 있다.

③ 부가 정보

향후 연구 결과가 현재에서 사용될 경우를 가정하여 최소한의 부가 정보를 운영하여 전체적 시스템 흐름을 정의 할 수 있도록 한다.

부가 정보 대상은 다음과 같다.

프로젝트 정보 : 건설현장 식별을 위한 정보

드론 정보 : 운영하는 드론에 대한 식별 정보

WATER FOG 동작과 저장 대상 측정 농도 기준(RULE)

3) GIS 데이터 구축 방안

드론을 이용한 미세먼지 측정과 WATER FOG 분사를 통한 저감 조치까지 과정을 나타내기 위한 GIS 데이터는 기본적으로 3차원 데이터를 바탕으로 한다.

이러한 3차원 데이터는 기본 지형 고도 데이터와 항공영상, 건물 등 시설물 정보로 이루어져 있다.

본 연구에서 필요로 하는 3차원 정보는 온전히 지형 고도에 의지하므로 추가적인 정보를 필요로 하지 않는다.

① 기초 GIS 데이터 구축 방안

본 연구에서 대상으로 하는 건설현장의 범위는 수 킬로에서 수십 킬로미터에 이르는 광역이 대상이 아니라 수십 미터 정도의 범위를 대상으로 하고, 원지형보다는 건설로 인한 기존 지형이 변경된 상황에서 사용하여야 하므로, 가장 최신의 정보가 필요한 상황이다. 그러므로 기존에 국토지리정보원에서 제공하고 있는 데이터는 기본 갱신 주기가 1년 단위로 되어 있어 해당 지역 데이터를 그대로 사용하는 것은 현장의 상황을 정확히 가시화함에 어려움이 있다.

그러므로 해당 건설현장의 지형 고도 데이터는 현장에서 새롭게 정의되어야 한다. 그러나, 시시각각 변화하는 고도 데이터를 계속해서 갱신하여 시스템에 반영하는 것은 본 연구에서 목표로 하는 시스템의 목적에 비하여 지나치게 벗어난 기능으로 판단된다.

데이터 구축을 최소로 하고 가능한 기존 데이터 기반으로 운영하기 위해서는 건설현장 범위에 해당하는 영역을 설정하고 해당 영역의 기본 높이를 지정하여 사용하도록 한다.



[건설현장 영역 설정]

주변의 지형과 건물과 같은 지형물은 기존 정보를 그대로 사용한다. 선택된 건설현장 내부 기존 건물 혹은 시설물 지형물은 가시화 시에 가시화 대상에서 제외하여 나타낸다.

② 측정 데이터와 GIS 결합 방안

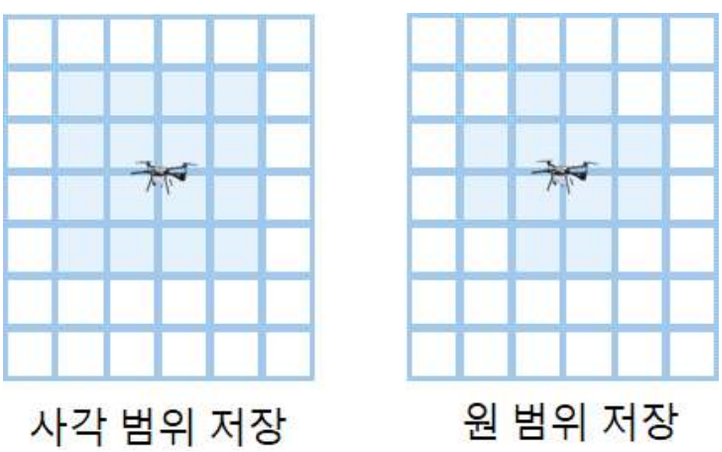
측정결과 데이터를 나타내고 데이터를 분석을 위해서는 일정 간격의 데이터 저장이 필요하다. 경로를 따라 데이터를 저장하고 분석할 경우에 정형화된 형태의 분석 결과를 얻기 어려우므로 격자 형식으로 WATER FOG의 최소 분사 범위를 기준으로 현장을 분할하여 측정 데이터를 저장하도록 한다.



[현장 분할]

측정결과 저장의 최소 크기는 분사 장치의 성능에 따라 추후 설정 할 수 있도록 한다.

분사 영향을 미치는 범위의 설정은 두 가지 방식을 이용할 수 있다. 드론을 중심으로 육면체를 이용하여 설정하는 방식과 구를 설정하는 방식이 있다. 프로그램 구현 시 선택적으로 사용할 수 있도록 한다.



[데이터 정보 취득 범위]

3. 결론

본 연구에서 추구하는 목적에 따라 mapping 시스템의 구현방안에 대하여 검토하였다. 기능적 측면에서는 드론의 운영에 따라 데이터를 전달하고 정보를 가시화하는 정도이지만, 향후, 발전 방향을 고려하여 프로젝트 단위 관리와 데이터 저장, 저장된 데이터를 이용한 시뮬레이션, 통계 기능 등을 최소한이라도 구현하여, 향후 현장 적용 시 발생 할 수 있는 다양한 상황을 고려하도록 해야 한다.

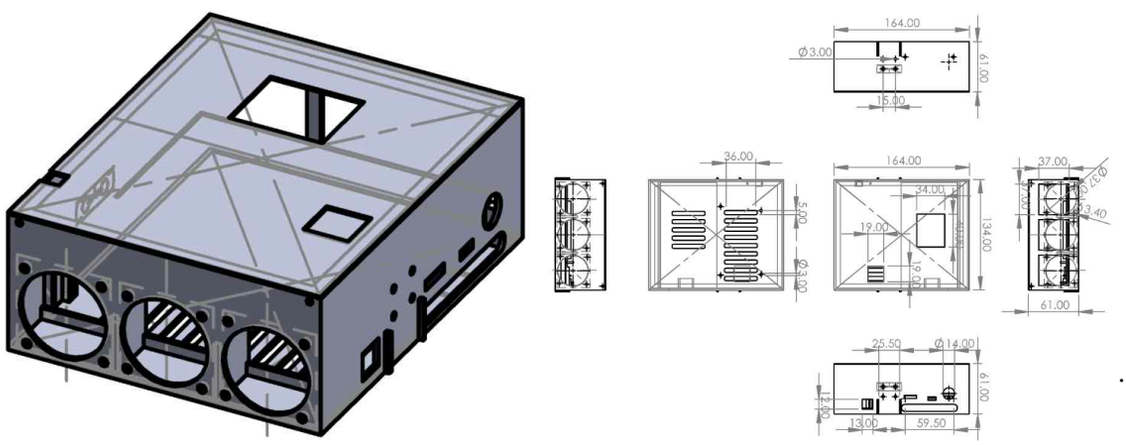
B-5 미세먼지 스마트 감시장비 1차 프로토타입 구축

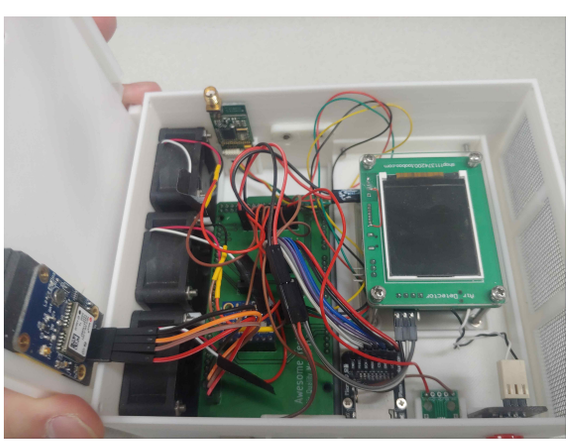
1. 1차 프로토타입 구축(스마트 미세먼지 측정장비 + 드론)

1) 스마트 미세먼지 측정 장비 구축

미세먼지 측정 장비 초기 모델(프로토타입)를 제작하기 위해 설계 변경과 향상된 제작이 용이하도록 3D 프린팅 방식으로 모듈 제작하였으며, 지속적인 측정과 교체의 범용성을 고려하여 측정시간이 빠르고 수급이 용이한 광산란 방식의 3M, Whirlpool, Lenovo 등에 납품하는 센서를 확보하였다.

① 사양(Specification)





[측정장비 설계 및 구성]

<측정 장비 사양>

중량	650 g
크기(L X W X H)	165 X 134 X 60 mm
소비전력	최대 5V1A
충전시간	약 2.7시간(5V2A 충전시)
사용시간	최대 4시간
충전배터리	리튬이온 5,000mAh , 정격입력 5V2A , 정격 출력 5.1V2.1A
동작온도	−20 ~ +50 ℃
동작습도	0 ~ 9 0%
미세먼지센서	Plantower PMS3003
미세먼지측정	PM1.0, PM2.5, PM10
측위시스템(GPS)	ublox NEO−6M−0−001
데이터로깅	MicroSDHC
무선전송시스템	915 MHZ / 433 MHZ
무선전송통신속도	9600bps
무선전송프로토콜	GPS위성수 HDOP 위도 경도 날짜 시간 고도 이동속도 CF_PM1.0 CF_PM2.5 CF_PM10 AT_PM1.0 AT_PM2.5 AT_PM10
최대송수신거리	2 km

■ 데이터 프로토콜

8	99	37.672618	126.741493	10/13/2020	1:24:45	156	17.8	0.06	8	14	16	8	14	16
8	99	37.672622	126.7415	10/13/2020	1:24:47	116	17.4	0.11	9	15	17	9	15	17	
8	99	37.672622	126.7415	10/13/2020	1:24:49	195	17.2	0.19	10	16	17	10	16	17	
8	99	37.672622	126.7415	10/13/2020	1:24:50	274	16.9	0.17	11	16	18	11	16	18	
8	99	37.672622	126.7415	10/13/2020	1:24:51	353	16.7	0.06	11	16	18	11	16	18	
8	99	37.672626	126.7415	10/13/2020	1:24:53	433	16.8	0.06	12	17	18	12	17	18	
8	99	37.672626	126.741508	10/13/2020	1:24:55	511	16.8	0.06	13	17	19	13	17	19	
8	99	37.672626	126.741508	10/13/2020	1:24:56	585	16.8	0.15	13	17	19	13	17	19	
8	99	37.672626	126.7415	10/13/2020	1:24:57	677	16.8	0.35	13	17	19	13	17	19	
8	99	37.672626	126.7415	10/13/2020	1:24:59	747	16.7	0.09	14	19	21	14	19	21	
8	99	37.672626	126.7415	10/13/2020	1:25:00	825	16.6	0.07	15	20	23	15	20	23	
8	99	37.672622	126.7415	10/13/2020	1:25:02	908	16.6	0.07	15	20	23	15	20	23	
8	99	37.672622	126.7415	10/13/2020	1:25:04	92	16.6	0.07	15	20	23	15	20	23	
8	99	37.672622	126.7415	10/13/2020	1:25:05	72	16.2	0.04	15	20	23	15	20	23	
8	99	37.672618	126.7415	10/13/2020	1:25:07	151	15.9	0.06	17	21	25	17	21	25	
8	99	37.672615	126.7415	10/13/2020	1:25:08	222	15.8	0.15	16	21	24	16	21	24	
8	99	37.672615	126.7415	10/13/2020	1:25:10	309	15.5	0	16	21	24	16	21	24	
8	99	37.672611	126.7415	10/13/2020	1:25:11	389	15.4	0.26	16	20	23	16	20	23	
8	99	37.672611	126.7415	10/13/2020	1:25:12	470	15.2	0.19	16	20	23	16	20	23	
8	99	37.672611	126.7415	10/13/2020	1:25:14	550	14.9	0.07	15	20	23	15	20	23	
8	99	37.672607	126.7415	10/13/2020	1:25:15	634	14.8	0.06	15	20	23	15	20	23	
8	99	37.672607	126.7415	10/13/2020	1:25:16	714	14.7	0.06	16	20	23	16	20	23	
8	99	37.672607	126.741508	10/13/2020	1:25:18	790	14.3	0.07	17	22	25	17	22	25	
8	99	37.672607	126.741508	10/13/2020	1:25:19	878	14.2	0.02	17	22	25	17	22	25	
8	99	37.672603	126.741508	10/13/2020	1:25:22	59	13.9	0.07	17	22	26	17	22	26	
8	99	37.672599	126.741508	10/13/2020	1:25:23	148	13.9	0.02	17	22	26	17	22	26	
8	99	37.672599	126.741508	10/13/2020	1:25:24	125	13.6	0.07	18	23	26	18	23	26	
8	99	37.672599	126.741508	10/13/2020	1:25:25	205	13.7	0.02	18	23	26	18	23	26	
8	99	37.672599	126.7415	10/13/2020	1:25:27	278	13.8	0.07	17	22	26	17	22	26	
8	99	37.672599	126.7415	10/13/2020	1:25:28	373	13.9	0.07	17	22	26	17	22	26	
****	****	*********	**********	**********	****	******	*****	30	37	42	27	36	42		
****	****	*********	**********	**********	****	******	*****	25	34	38	24	34	38		
****	****	*********	**********	**********	****	******	*****	26	34	38	24	34	38		
****	****	*********	**********	**********	****	******	*****	27	35	39	26	35	39		
****	****	*********	**********	**********	****	******	*****	27	32	36	25	32	36		
****	****	*********	**********	**********	****	******	*****	25	32	34	24	32	34		
****	****	*********	**********	**********	****	******	*****	23	30	33	22	30	33		
****	****	*********	**********	**********	****	******	*****	25	31	34	23	31	34		
6	131	37.672683	126.741539	10/13/2020	2:29:26	310	17.6	0.15	14	21	22	14	21	22	

[데이터 로그 취득 방식]

데이터는 텍스트 방식으로 “GPS위성수 HDOP 위도 경도 날짜 시간 고도 이동속도 CF_PM1.0 CF_PM2.5 CF_PM10 AT_PM1.0 AT_PM2.5 AT_PM10” 순으로 기록되며, 초(Sec) 단위로 기록을 하여, 기존의 질적 성과지표 “Time-based 미세먼지 제공 1시간”을 목표 시간 내로 확보할 수 있는 있다. 에서 드론의 세부적인 움직임에 대한 보완이 가능하도록 별도의 GPS를 삽입하였다. 또한, 무선통신의 수신불량에 대비한 백업 데이터를 Micro SD에 저장될 수 있도록 고려하였다.

메인 시스템은 아두이노를 베이스로 하여 오픈소스 코드를 유기적으로 이용할 예정이며, 다양한 센서 조정 코드 및 소스를 확보하여 1차 프로토타입 측정 장비의 신뢰성을 대비할 수 있도록 사용하였다.

■ 시스템 운영 에너지

측정 장비의 에너지는 최대 4시간활용이 가능하며 운송장치 드론의 최대 비행시간인 3시간 20분(배터리팩 최대 보관 4쌍)보다 여유 시간을 확보하고 있다. 또한 저전력 장비를 운영하기 때문에 외장형 배터리로 교체 가능하다

② 센서 사양(Specification)

미세먼지 측정 장비에 장착된 센서는 Plantower PMS 3003으로 대중적으로 이용되는 센서로, PM 2.5, PM 10을 측정할 수 있으며 외부에 팬이 공기를 빨아들여 흡입하는 방식으로 내부에 팬이 장착되어 있는 모델보다 직관적으로 작동여부를 확인할 수 있다.

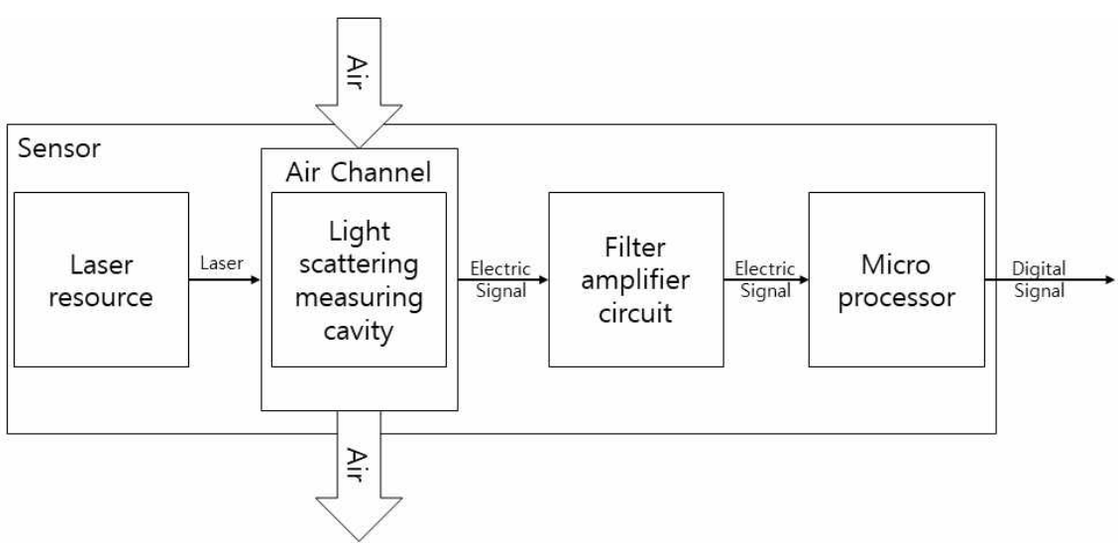


[장비에 활용된 센서]

<측정 센서 사양>

지표	치수	단위
측정범위	0.3~1.0, 1.0~2.5, 2.5~10	㎛
계측 효율	50% @ 0.3㎛ 98%@>=0.5㎛	
효과 점위	0~500	㎍/㎥
최대 범위	≥1000	㎍/㎥
분해도(해상도, resolution)	1	㎍/㎥
최대오차(maximum consistency error) (PM2.5 기준 자료)	±10%@100~500㎍/㎥ ± 10㎍/㎥@0~100㎍/㎥	
표준 부피	0.1	Litre(L)
단일 반응 시간	1	Second
총 반응 시간	10	Second
직류 전압	일반 5.0, 최소 4.5 최대 5.5	Volt
활동 전류	100	mA
대기 전류		㎂
접점 수준(Interface level)	L<0.8@3.3, H>2.7@3.3	Volt
작동 온도 범위	10 + 60	℃
작동 습도 범위	0~99%	
저장 온도 범위	-40 + 80	℃
평균 작동 불능 시간 Mean Time To Failure	3	year
물리적 크기	50 * 43 * 21	mm

■ 측정 원리



[광산란 방식 센서 원리 도식도]

센서에 부착된 레이저 산란 원리는 레이저를 사용하여 공기 중에 입자를 방사하여 산란을 생성하여 산란광을 수집하고 최종적으로 시간에 따른 산란광 변화 곡선과 MIE 이론을 기반으로 마이크로프로세서에 의해 등가 입자 직경과 단위 부피당 직경이 다른 입자 수를 계산하여 산출하는 방식이다.

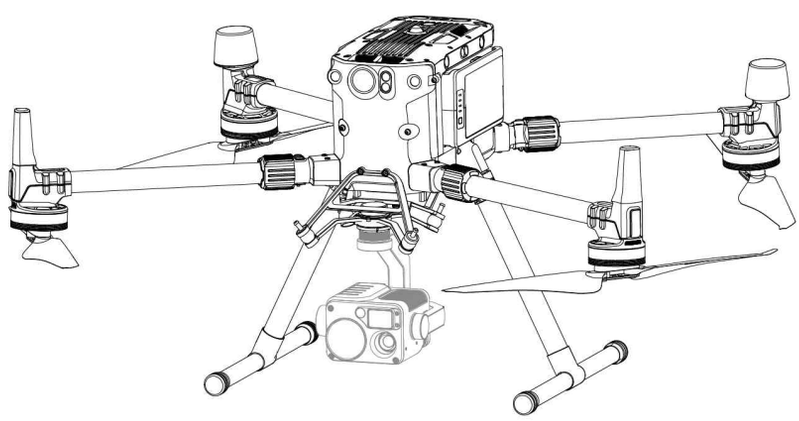
■ 활동 범위

활동 성능에 대한 사양으로 중요한 현장 인력의 활동 가능 온도 범위는 -10 ~ 60 ℃ 로서 일반적인 현장 작업 환경에 적합하고, PM 2.5와 PM 10을 동시에 측정하며 오차범위가 10% 이내로 정량적 목표의 미세먼지 측정 정확도 95% 보다 넓은 범위를 나타내고 있으나 실제 운영을 측정하여 분석될 예정이다.

2) 시스템 적용 운송장치 드론(DJI Matrice 300 RTK)

대중성, 호환성, 그리고 운용성을 고려하여 측정 장비를 적재할 드론을 구비하였으며, 배터리 조건에 따라 활동 시간을 증폭시킬 수 있는 이점이 있다. 또한, GPS 의 정확도를 위해 Real- Time Kinematic(RTK) 방식으로 운용한다.

① 사양(Specification)



[적용 예정 드론]

<적용 드론 사양>

▌드론	
크기(펼쳤을 때, 프로펠러 제외)	810×670×430 mm (길이×너비×높이)
크기(접었을 때)	430×420×430 mm (길이×너비×높이)
대각선 축간거리	895 mm
무게 (배터리 제외)	3600g
최대 탑재 하중	2700 g
최대 이륙 무게	9000g
작동 주파수	2,400~2.4835 GHz, 5.725-5.850 GHZ
송신기 출력(ERP)	2,400~2.4835 GHz: 29.5 dBm (FCC), 18.5 dBm (CE), 18.5 dBm (SRRC), 18.5 dBm (MIC) 5.725-5.850 GHz: 28.5 dBm (FCC), 12.5 dBm (CE), 28.5 dBm (SRRC)
호버링 정확도 (무풍 또는 약풍)	수직: ±0.1 m (비전 시스템 사용 시) ±0.5 m (P 25, GPS) ±0.1 m (D-RTN 수평: ±0.3 m (비전 시스템 사용 시) ±1.5 m (P모드, GPS) ±0.1 m (D-RTS
최대 각속도	피치: 300°/s , 요: 100°/s
최대 피치각	30° (P모드 및 전방 비전 시스템 사용 시: 25°)
최대 상승 속도	6 m/s
최대 하강 속도(수직)	5 m/s
최대 하강 속도(틸트)	7 m/s
최대 수평 속도	23 m/s
최대 실용 상승 한계 고도(해발)	5000m (2110 프로펠러 사용, 이륙 무게≤7kg)/7000m (2195 고공비행용 저소음 프로펠러 사용, 이륙무게 ≤7kg)
내풍 가능 최대 풍속	15 m/s
최대 전진 비행 시간(해수면)	45분 (하중 무게 700 g)
최대 호버링 시간(해수면)	43분 (하중 무게 700 g)
모터 모델	6009
프로펠러 모델	2110
지원 DJI 짐벌	젠뮤즈 X12/XUS / Z30 / H2O / H2OT
지원 짐벌 구성	듀얼 하향 짐벌, 싱글 상향 짐벌 싱글 하향 짐벌, 싱글 하향 짐벌+싱글 상향 짐벌, 듀얼 하향 짐벌+싱글 상향짐벌
IP등급	IP45
GNSS	GPS+GLONASS+BeiDou+Galileo
작동온도	-20~50℃

■ 드론 성능

6방향 감지, 포지셔닝 시스템 및 FPV 카메라를 갖춘 산업용 드론 플랫폼. 안정성과 안전성 향상을 위해 드론 위에 장착할 수 있는 추가적인 장애물 감지 구성 요소인 CSM 레이더를 지원한다. 리턴 투 홈, 장애물 감지,AI 현장 확인 등 여러 가지 고급 비행 기능이 탑재되어 있으며, 내장된 AirSense는 주변 비행 공간 내 가까운 기체에 대한 인식 정보를 제공하여 안전 요소를 고려한다.

이 드론의 기체 프레임 설계는 국제 IEC 60529 표준에 따라 IP45 방진방수 등급을 보유하였다. 기체의 상단과 하단의 안전 비콘을 통해 밤이나 낮은 조명 조건에서 기체를 식별할 수 있으며, 보조등은 밤이나 저조도 환경에서 비전 포지셔닝 시스템 성능에 도움을 주어 기체 이륙, 착륙, 비행 안전을 개선하였다.

M300 RTK는 많은 DJI의 DGC2.0 커넥터 짐벌과 호환되며, 멀티 짐벌 시스템을 지원해 최대 3개의 독립적인 짐벌을 지원할 수 있어 여러 가지 시나리오의 니즈를 충족시킬 수 있다. 확장 포트가 많이 장착되어 있어 응용 분야에 적합하다. M300 RTK에는 DJITM D-RTKTM 2가 내장되어 있어, 포지셔닝을 위한 보다 정확한 방향 데이터를 제공한다. 듀얼 배터리와 함께 전원 관리 시스템은 전력 공급을 보장하고 비행 안전성을 향상시킨다. 페이로드가 없을 경우, M300 RTK의 비행 시간은 최대 55분이다.

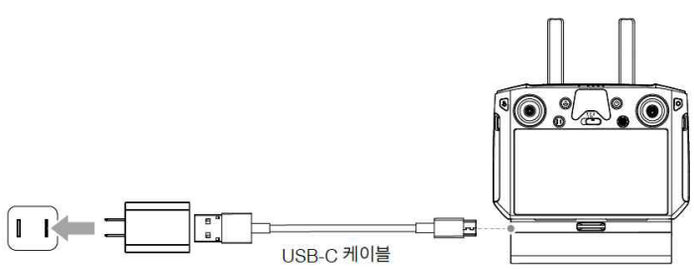


[드론 조립 및 시운전 준비]

■ 조종기 성능

<조종기 사양>

▮조종기	
Ocusync Enterprise 작동 주파수 범위	2.400~2.4835 GHz, 5.725~5.850 GHz*
최대 전송 거리 (방해 받지 않고 간섭 없이)	NCC / FCC: 15 km CE / MIC: 8 km SRRC: 8 km
송신기 출력(EIRP)	2.400~2.4835 GHz: 29.5 dBm(FCC), 18.5dBm(CE), 18.5dBm(SRRC), 18.5dBm(MIC) 5.725~5.850 GHz: 28.5dBm(FCC), 12.5dBm(CE), 20.5dBm(SRRC)
외장 배터리	제품명: WB37 인텔리전트 배터리 용량: 4920 mAh, 전압: 7.6 V 배터리 유형: LiPo, 에너지: 37.39 Wh 충전 시간(BS60 인텔리전트 배터리 스테이션 사용): 70분 (15~45 ℃), 130분 (0~15°C)
내장 배터리	배터리 유형 : 18650 ji-ion (5000 mAh @ 7.2 V) 충전 유형: 12V/2A 정격 USB 충전기 지원 정격 출력: 17 W** 충전 시간: 2시간 15분(12V/2V 정격 USB 충전기 사용)
작동 시간 **	내장 배터리: 약 2.5시간 내장 배터리 + 외장 배터리: 약 4.5시간
전력 공급 전압/전류 (USB-A 포트)	5 V/1.5 A
작동 온도 범위	-20~40°C
▮비전 시스템	
장애물 감지 범위	전방/후방 좌우: 0.7~40 m 상향/하향: 0.6~30 m
FOV	전방/후방하향: 65° (H), 50° (V) 왼쪽/오른쪽 상향: 75° (H), 60° (V)
작동 환경	선명한 패턴이 있는 표면 및 적당한 조명(>15 럭스)
장애물 감지 범위	0.1 - 8 m
FOV	30℃
작동 환경	크기가 크고, 분산되며, 반사율이 높은 장애물 (반사율 >10 %)



일부 국가의 현지 규정은 5.8GHz 및 5.2GHz 주파수 사용을 금지하고 있으며 일부 지역에서는 실내에서만 5.2GHz 주파수 대역을 사용가능 하다. 조종기는 설치된 모바일 기기에 충전된다.

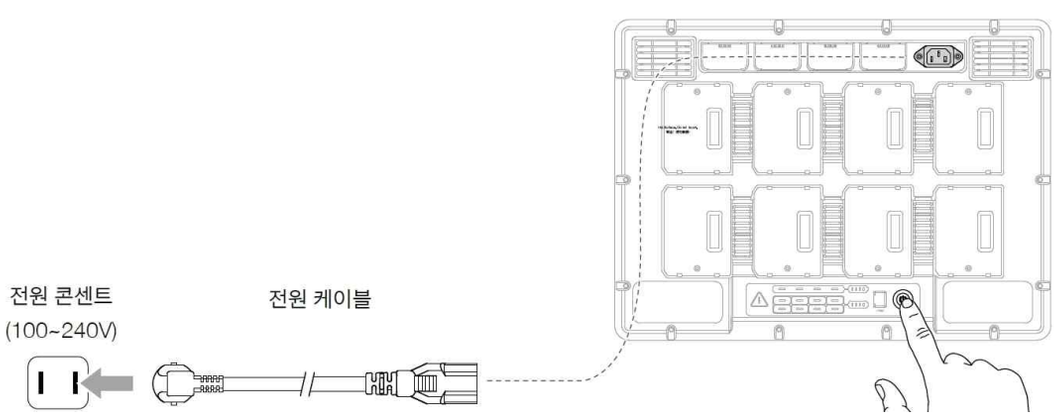
기체의 카메라로부터 실시간 HD 보기를 제공할 수 있으며, 최대 15km의 거리에서 영상 데이터를 전송할 수 있다. 여러 기체 및 짐벌 조종을 비롯해 사용자 설정 버튼을 제공하면서 연동 시스템 호환도 고려할 수 있다.

탑재되어 있는 1000cd/m² 고휘도 5.5인치 스크린의 해상도는 1920×1080 픽셀이며 블루투스 및 GNSS와 같은 다양한 기능을 갖춘 안드로이드 시스템을 사용한다. Wi-Fi 연결을 지원하는 것 외에도, 보다 유연한 사용을 위해 다른 모바일 기기와 호환이 되어 모바일 통신 활용이 가능하다. 조종기의 최대 작동 시간은 2.5시간(내장 배터리 사용)이며 추가 외부 배터리를 사용할 경우, 최대 작동 시간을 4.5시간으로 연장가능하다.

조종기는 전자기 간섭이 없는 트인 넓은 지역의 약 120m 고도에서 최대 전송 거리(FCC 기준)에 도달할 수 있다. 실제 최대 전송 거리는 작동 환경에서 간섭으로 인해 위에 언급된 거리보다 짧을 수 있으며 실제 값은 간섭 강도에 따라 변동된다.

<기타 부수 장비 사양>

▌배터리	
용량	5935 mAh
전압	52.8 V
배터리 유형	LiPo 12S
에너지	274 Wh
순 무게(하나당)	약 1.35 kg
작동 온도	-20~50°C
보관 온도	22~30°C
충전 온도	5~40°C
최대 충전 전력	470 W

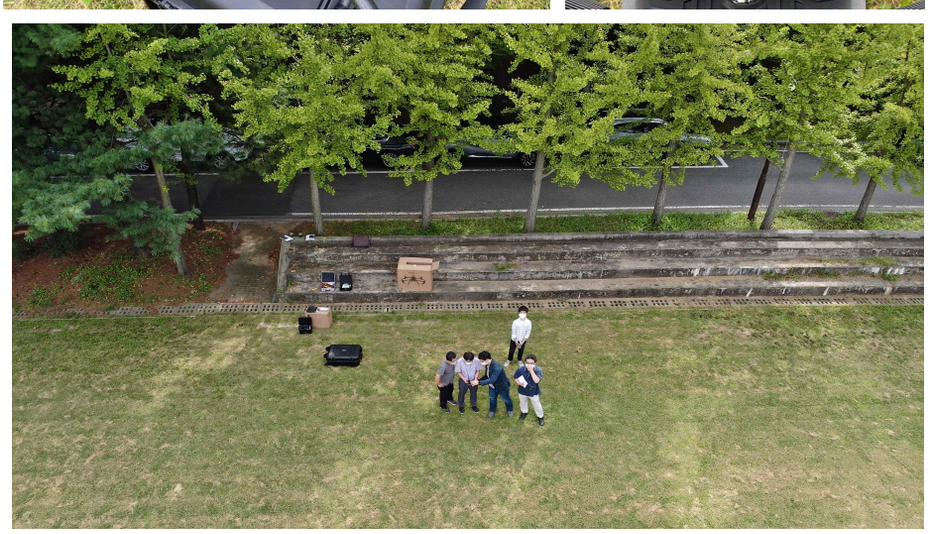


▌보조등	
유효 조명 거리	5m
조명 모드	60 Hz, 온전히 켜진 상태
▌FPV 카메라	
해상도	960p
FOV	145°
프레임 속도	30fps

2. 시작품 시연(첨부 사진)





B-6 미세먼지 스마트 감시장비 운영 기초시스템 구축 및 현장적용성 실험 보고서

1. 시스템 구성

1) 시스템 기능

시스템 기능은 크게 두 가지로 나누어 설명한다. 현장 운영시스템은 건설현장에서 Water Fog 드론과 측정 드론을 운영하기 위하여 사용하는 시스템이고 평가시스템은 드론 운영 후 운영결과를 평가하기 위하여 사용되는 시스템이다. 현장 운영시스템은 드론 운영에 초점을 맞추고 있고 드론의 API를 사용하여야 하며 측정 센서로 부터 수집되는 저수준의 통신 프로토콜을 사용해야 하므로 Client/Server 방식의 데스크탑 프로그램으로 제작하고, 평가시스템은 WEB/WAS 기반의 WEB Application으로 제작한다.

<시스템 기능 구성>

구분	기능	설명
현장운영 시스템	데이터 수집	• 드론 위치 및 측정값 수집
	드론 동작 명령	• RULE에 따른 Water Fog 드론 동작 명령 및 결과 확인을 위한 측정 드론 동작 명령
	드론 위치 가시화	• 드론의 위치를 가시화 하고, 측정된 정보를 기반으로 미세먼지 상태를 표시함.
평가시스템	저장된 운영결과 시뮬레이션	• 저장된 드론 운영 정보를 이용하여 시간별 운영결과를 표시
	운영 통계	• 드론의 운영시간, 위치, 발생 미세먼지 종류, Water Fog 동작 후 감소량 등의 통계 정보 표출

2) 운영 프로세스



[데이터 수집 운영 프로세스]

3) 단계별 구축 방안

본 연구에서는 위와 같은 운영 시스템을 구축하기 위하여 다음 같은 단계로 구축 단계를 구분한다.

- 1단계 : 2차년도(2020년): 기초 시스템 구축

  미세먼지 측정용 드론 시작품에 기반 하여 연계 테스트를 수행
  미세먼지 측정용 드론으로부터 수집되는 데이터를 무선 통신을 이용하여 수집하고 정상적으로 데이터가 수집되는지 확인
  GIS 연계 및 테스트 결과 분석
  수집된 데이터를 기반으로 드론의 위치 및 측정 값을 표출하기 위한 기본 GIS 시스템을 구성하여 테스트 결과를 도출

- 2단계 : 3차년도(2021년): 현장운영시스템 및 평가시스템 구축

  - 현장 운영 시스템 구축
    1단계 구축 결과를 토대로 측정용 드론의 경로를 설정하여 측정 데이터를 수집하여 데이터베이스에 저장. 실시간으로 드론의 위치 및 측정 데이터를 가시화

  - 평가시스템 구축
    저장된 측정 데이터를 기반으로 운영 후 성과를 평가하기 위하여 GIS상에 운영 상황을 리플레이하고, 데이터를 분석하여 통계를 산출

4) Water Fog 분사 드론과 시스템 연계

측정용 드론으로부터 입수된 데이터를 기반으로 Water Fog를 분사할 위치를 산출한 이후, 측정 위치와 현재 측정값을 전달하여, 분사 동작을 수행. 분사 이후 측정용 드론이 해당 위치로 이동하여 분사 동작에 따른 저감 효과 분석을 위한 데이터 수집

Water Fog 분사용 드론과 측정용 드론 혹은 현장 운영 시스템간의 연계방법은 이후 결정할 사안이나 현재 고려할 수 있는 사항은 다음과 같음.

첫 번째, 현장 운영 시스템에 분사용 드론을 운영하기 위한 기능을 탑재하여 운영하는 방안으로 가장 자동화된 방식이나, 개발을 위한 추가적인 리소스 투입이 필요함.

두 번째, 별도의 운영 프로그램을 개발하고, 데이터를 통신을 통하여 전달하는 방식. 최소한의 정보인 위치, 측정 값 만을 전달하고 분사 이후 분사완료 정보를 수신하여 수행하는 방식으로. 이 또한 별도의 프로그램 개발 작업이 필요함.

세 번째, 운영 프로그램에서 측정용 드론의 위치와 측정값을 구두, 혹은 메시지 등으로 전달하여 운영하는 방식으로 실 사용이 아닌 연구 목적의 테스트.

2. 프로그램 설계

1) 기능 설계

본 시험용 프로그램은 드론에 탑재되는 감시 장치를 테스트하기 위하여 제작된 프로그램으로 이후 본격적인 현장용 프로그램을 염두에 두고 최소한의 통신 프로토콜 테스트와 3차원 시뮬레이션 기능을 개발하는데 목적을 두고 개발하였다. 그러므로 단순하지만 테스트 결과를 확인하기 위한 다음과 같은 기능으로 기능을 구성하였다.

<기능 설계 항목>

구분	기능	설명
설정	3차원 기능 켜기 끄기	• 인터넷 통신이 불가하여 웹을 통한 데이터 연결이 불가한 상황에서 3차원 지도 기능을 활성화 혹은 비활성화 할 수 있는 기능
	로그 데이터 경로 설정	• 수신되는 데이터를 실시간 저장 하는 기능 • 프로그램 테스트 중 돌발 상황으로 프로그램이 종료 되더라도 수행 시 까지 수집한 데이터는 저장되어 있어야 함.
	포트 설정	• 측정 장치가 USB를 통한 Serial 포트를 지원하므로, 통신 COM Port 설정을 위한 옵션을 지정할 수 있어야 함. • 설정 항목은 COM Port, BaudRate, DataBits, StopBits 등임. • 여기서 DataBits와 StopBits는 미리 고정되어 지정되어 있으므로 기본 설정
데이터 수집	통신 연결	• 설정된 통신 옵션을 이용하여 측정 장치와 연결을 시도하는 기능
	통신 해재	• 동작중인 통신 연결을 해제하는 기능
시뮬레이션	로그데이터 열기	• 이미 수집되어 있는 로그 데이터를 열어서 시뮬레이션을 수행 할 수 있는 준비
	재생	• 로딩된 로그 데이터를 이용하여 드론의 위치와 측정 값을 표현. 재생시 자동으로 최초 시작 위치로 이동하고, 적절할 높이(드론 위치 높이의 5배로 기본 설정)로 카메라 설정
	재생 제어	• 재생 상태를 시작, 멈춤, 속개 할 수 있는 기능
데이터 해석	수집데이터 해석	• 실시간 혹은 시뮬레이션을 위해 로드한 로그 데이터를 해석 하여 경도,위도, 고도,비행속도, 미세먼지 측정 값등으로 분리
3차원 지도	지도 표출	• 정보화 진흥원의 v-World 3차원 데이터를 기반으로 3차원 지도를 표출
	지도 제어	• 지도의 확대, 축소, 이동 기능을 마우스를 이용하여 제어
	위치 이동	• 강제로 현재 지도 위치로 이동

2) 데이터 설계

프로그램 운영을 위해서는 감시 장치로부터 수집되는 드론의 위치 및 측정 데이터와 함께 3차원 지도를 운영하기 위한 데이터도 함께 필요하다. 이를 위하여 데이터는 다음과 같이 구성하여 운영한다.

① 감시 장치 데이터

감시 장치로부터 수신되는 데이터는 1초에 한번 발생하고 각 데이터는 라인피드(LF) 값으로 라인을 구분한다. 각 라인은 텍스트 데이터로 구성되어 있고 각 필드는 빈 문자(White Space)로 구분한다.

수신된 데이터는 즉시 로그 파일로 기록되고 저장 위치는 기본적으로 실행 경로의 “/logs” 폴더에 저장된다. 로그 파일은 프로그램 시작 후 감시 장치와 연결된 시점의 시간을 이용하여 “yyyy_MM_dd_HH_mm_ss.log”의 형식으로 파일 이름을 지정하여 저장된다. 그러므로 중간에 시간 데이터가 오류가 있더라도, 파일명을 이용하여 저장된 데이터의 시간을 역으로 유추할 수 있도록 하였다.

실제 저장되는 로그 데이터는 수신된 데이터 앞에 별도의 수신 시간 정보를 함께 저장하도록 하였다. 실제도 수신되는 데이터의 시간은 지역 시간으로 보정되어 있지 않기 때문에 혹시 모를 데이터 수신 오류 시에도 수신 시간을 확인 할 수 있도록 하였다.

② 3차원 지도 데이터

본 프로그램에서 사용하는 3차원 데이터는 공간정보진흥원에서 서비스 하고 있는 v-World 데이터를 기본으로 사용한다.

- 지형 이미지 데이터 : “tile_mo_HD” 레이어를 사용
- 지형 고도 데이터 : “dem” 레이어 사용

건물 등의 추가적인 정보 데이터는 본 프로그램에서는 사용하지 않는다. 현재는 사용하지 않지만, 지명, 경계, 도로 등의 추가 데이터를 활용할 수 도 있다. 본격적인 현장 운영시스템 구성 시에는 이들 데이터도 함께 사용하도록 한다.

③ 가시화용 데이터

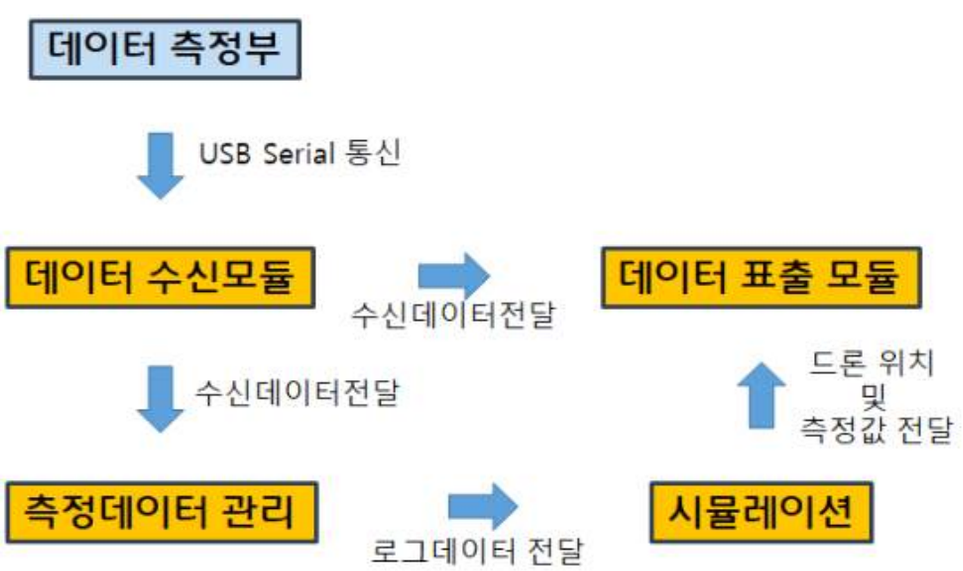
가시화용 데이터는 3차원 지도상에 드론과 측정된 데이터를 나타내기 위해서 사용하는 데이터를 의미하며, 본 프로그램이 테스트 목적의 프로그램임을 감안하여 가장 단순한 형태의 데이터를 사용하였다. 드론과 측정값은 다음 심볼을 이용하여 표출하였다.

<아이콘 기능 및 설정>

심볼	설명
	드론 이미지를 Billboard 형식으로 위치를 표시하여 항상 카메라 방향을 보도록 설정하여 어느 위치에서도 동일한 모양으로 표출되도록 하였다. 아이콘의 크기는 실제 크기보다 좀 더 크게 설정하여 가시성을 높여 사용한다.
	좋음 PM2.5 : 15이하 PM10 : 30이하
	보통 PM2.5 : 15이상 35이하 PM10 : 30이상 80이하
	나쁨 PM2.5 : 35이상 75이하 PM10 : 80이상 150이하
	매우나쁨 PM2.5 : 75 이상 PM10 : 150 이상

3) 프로그램 구조 및 개발 환경 설계

대략적인 프로그램의 구조는 다음과 같다.



[데이터 알고리즘 도식화]

■ 데이터 측정부

드론에 탑재되어 미세먼지를 측정하는 부분으로 시작품으로 제작된 측정 장치를 말한다.

■ 데이터 수신 모듈

측정 장치로부터 무선 수신되는 측정값을 수신 모듈로 USB Com Serial Port를 통해 데이터를 수신 하도록 한다. 수신된 데이터는 실시간 데이터 표출을 위하여 데이터 표출 모듈로 바로 전달하고, 즉시, 측정 데이터 관리 모듈로 전달하여 저장될 수 있도록 한다.

■ 측정데이터 관리

전달 받은 측정 데이터를 앞부분에 수신 시간을 추가하여 로그로 저장한다. 로그 파일은 수신 시작 시점을 이용한 파일 명을 붙이며 프로그램 실행 시간 동안 유지된다. 다음번 측정이 시작되면 새로운 파일 명이 붙여진다.

별도로 지정한 폴더에 로그 파일을 텍스트 형태로 저장한다.

시뮬레이션을 위해 데이터를 로드하는 역할도 수행한다.

■ 데이터표출 모듈

데이터 표출은 3차원 지도상에 드론의 위치와 측정값을 표출하는 역할을 한다.

드론의 위치를 지정하고 지도 위치를 이동시키기 위해 마우스를 이용한 인터페이스와 함께, 지도 이동, 드론 표출, 측정값 표출을 위한 추가적인 API 함수를 지공한다.

■ 시뮬레이션

로그 파일로부터 읽어 들인 정보를 데이터 표출 모듈로 전달하여 실시간 데이터 표출과 같은 재생 기능을 수행한다. 데이터를 한 줄씩 읽어 처리 하며, 기본 적으로 데이터 수시 간격으로 데이터 표출 모듈에 데이터를 전달한다. 좀 더 빠른 처리를 위하여 시간 간격을 실제 수신 시간 간격 보다 줄여서 빠른 재생을 지원 할 수 있다.

개발 환경은 다음 같이 구성 하였다.

<개발 환경 내용>

구분	내용
개발 언어	c#, JavaScript, HTML5
개발 도구	Visual Studio 2019
개발 프레임웍	.Net Framework 4.7.1
지도 가시화 툴	CmWorld 3D
기타	Chromium

운영은 Windows 10 이상 환경에서 별도의 설치 프로그램 없이 64bit 모드로 실행 가능하도록 하였다.

4) 시뮬레이션 모듈 설계

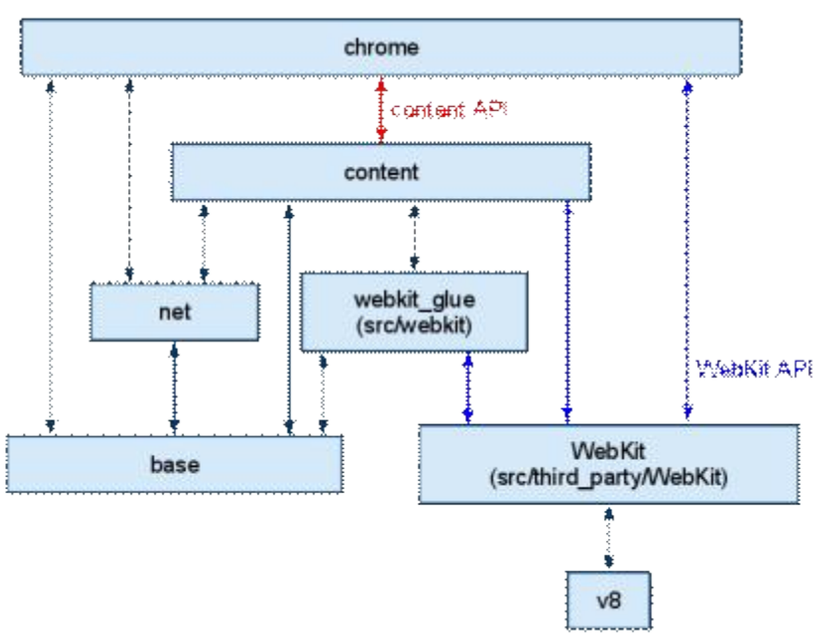
본 프로그램에서는 3차원 상에서 측정 데이터를 시뮬레이션 할 수 있도록 구성하였는데, 실제 사용된 3차원 지원 라이브러리는 WEB용으로 개발된 것으로 데스크탑 환경에서 사용할 수 없다. 그래서 다음과 같이 별도로 내부 환경을 구성하여 WEB 환경이 아니더라도 동작 할 수 있도록 지원 기능을 추가하였다.

여기서 사용한 라이브러리는 두 가지 인데 하나는 Net 환경에서 HTML 파일과 JavaScript를 동작하게 하는 Chromiu, 라이브러리와 별도로 제작한 내장 WebServer이다.



[데이터 경로]

Chromium은 구글(Google)에서 만들어 배포하는 웹브라우저 프로젝트로 데스크탑 프로그램에 탑재하여 별도의 브라우저를 개발하는데 사용할 수 있다.



[프로그램 연동 도식화]

내장 웹서버는 외부의 지도 데이터를 공급받기 위하여 별도의 모듈로 개발 되었으며, 개발사 자체 라이브러리를 사용하였다.

3. 성능 테스트

1) 테스트 목적

본 시스템 테스트는 향후 구축될 시스템의 원활한 운영이 가능한지 확인하기 위하여 개발된 측정 장치와 드론의 데이터를 정상적으로 송/수신 가능한지 확인하고, 추가적으로 개선해야할 점이 있는지 확인하기 위한 절차이다.

2) 테스트 준비사항 및 진행 내용

미세먼지 측정용 드론에 장착된 측정 장치는 무선 송수신 장치로 구성되어 있으며 최대 2km 까지 송수신이 가능하다. 드론이 데이터를 측정하기 위해 비행하게 되면 측정 장치로부터 송신된 데이터를 USB형태로 제작된 수신 장치로 받게 되며, 본 테스트에서는 이 수신 장치로 들어오는 데이터를 이용하여 진행하였다.

① 테스트 관련 기술

측정용 드론으로부터 수집된 미세먼지 정보와 함께 드론의 위치를 전송받게 된다. 데이터의 수신은 USB 단자를 통한 Serial 통신을 하게 되고 사용하는 프로토콜은 다음과 같이 구성되었다.

- 무선전송 통신 속도 : 9600bps
- DataBitss : 8
- StopBits : One
- Parity : None
- 수신 전문 : GPS위성수, HDOP, 위도, 경도, 날짜, 고도, 이동속도, CF_PM1.0, CF_PM2.5, CF_PM10, AT_PM1.0, AT_PM2.5, AT_PM10

각 전문의 필드는 와이트스페이스(WhiteSpace)로 구분된다. GPS값이 수신되지 않을 경우, 측정값이외의 데이터는 모두 '*'문자로 대체되어 수신된다. GPS 위성 수는 현재 GPS가 수신 가능한 위성의 개수로 일반적으로 1 ~ 7 사이의 수치가 나오게 되며, 통상 3개 이상 나와야 정상적인 값이라고 인정할 수 있다.

HDOP 값은 "Horizontal Dilution of Precision"이 약자로 통상 오차율을 나타낸다. 즉 이 값은 작을수록 정확도가 높다고 본다. 경위도 좌표와 고도는 WGS84 경위도 좌표를 사용하므로 그대로 사용한다.

날짜 및 시간은 별도의 설정이 없다면 대한민국의 경우 GMT+9 값을 적용해야 한다. 해당 시간이 현재 위치에 맞추어 나오면 그대로 사용하고 경도에 따른 보정이 이루어지지 않은 값이 나오면 보정하여 사용한다.

측정값은 CF_PM1.0 CF_PM2.5 CF_PM10 AT_PM1.0 AT_PM2.5 AT_PM10 필드에 담겨있다. 여기서 CF로 시작하는 값은 중국에서 사용하는 단위를 기준으로 나타나는 값으로 여기서는 무시하고 사용하고, 미국 기준으로 되어있는 AT_로 시작하는 값들만을 사용한다.

② 테스트용 프로그램

측정용 프로그램은 크게 두 부분으로 구성되어 진다. 측정용 드론으로부터 데이터를 수신하는 부분과 수신된 데이터를 화면에 표출하는 부분이다.



[프로그램 구조 및 프로토콜 초기 GPS 위성화면]

프로그램을 실행하면 화면 상단의 프로토콜 설정옵션 부분에서 자동을 사용가능한 Serial Port를 찾아서 나열한다. BaudRate의 경우에는 측정 장치의 기본 값이 9600이므로 설정된 값을 그대로 사용한다.

연결 설정이 되면 Connect 버튼을 눌러 데이터 수신을 시작하고 데이터 수신이 이루어지면 오른쪽 목록에 현재 수신 되는 데이터가 표출된다. “Go To” 버튼을 누르면 지도의 중심이 현재 수신되는 드론의 위치로 지도 화면이 움직이고 드론의 위치가 화면에 표시되게 된다.

이외에 본 프로그램에서는 화면 표시이전에 자동으로 수신된 데이터를 Log 폴더에 저장한다. 연결 시작 시의 날짜와 시간으로 파일명이 자동으로 부여되며 수신 데이터를 한 번에 한줄 씩 수신 상태 그대로 저장한다.

기타 기능으로 인터넷 연결이 필요한 지도 화면을 비활성화 할 수 있는 기능을 추가하여 외부에서 테스트 할 경우에 인터넷 연결이 안 될 경우 사용할 수 있도록 하였다. 해당 기능은 WebSever.ini 파일내의 Web MapEnable 항목을 false로 지정하여 사용가능하다.

③ 테스트 진행

테스트는 프로그램을 실행하여 데이터가 수신 되는지 여부를 확인하는 절차와 수신되는 데이터가 정상적인지 확인하는 단계로 진행하였다. 1차 테스트는 2020년 10월 7일 C사(본 프로그램 개발사)의 구로동 본사 옥상에서 수행하였으며, 드론을 날리지 않은 상태에서 프로그램 동작과 데이터 수신여부, 수신 데이

터 중 위치 값의 정확성에 주안을 두고 테스트 하였다. 2차 테스트는 현장 적용성 실험으로 2020년 10월 13일 수행하였으며 현장에서 측정되고 있는 정보가 위치 및 데이터 정확성 등을 확보하고 있는지 평가하였다.

④ 테스트 결과

■ 성능 테스트

측정 장치와 프로그램 간 연결은 COM5 Port를 통하여 정상 동작 하였으며, 데이터 수신 시 잡음은 발생하지 않았다.

위치 값은 경우 경도 126.8973 위도 37.4816 지점으로 나타났으며, 지도상에서 해당 위치(그림에서 빨간색 원 위치)의 좌표를 측정한 결과 경도 126.8971, 위도 37.4859도 나타나 큰 오차를 보이지 않았다.



[측정 장비의 GPS추적 테스트]

수신된 데이터의 경우 GPS값 수신 오류로 인해 전혀 값을 받지 못하는 상태인 '*'로 데이터가 수신되는 상황은 보이지 않았으며 연결 위성 수는 4-6개 사이로 안정적인 상태를 나타내었다.

4. 현장적용성 실험(파일럿 테스트)

1) 현장개요(2020.9.13.)

전년도와 동일한 건설 현장으로, 드론의 비행과 미세먼지 발생을 육안으로 확인하기 적합한 현장으로 '인천검단지구 택지개발사업 조성공사(2-1공구)' 섭외하였다. 부지면적은 1,886,314m^2 으로 인천광역시 서구 불로동 마전동 일원에 위치하고 있다.



[현장 위성 지도(구글)]

■ 미세먼지 측정장치

택지개발사업 특성으로 토공사 중심인 현장이다. 자체적인 미세먼지 측정을 기록하고 있으며 5분 단위로 측정을 하고 있다. 초기 시스템 검증 당일(10월 13일)의 미세먼지 평균값은 PM2.5 14.67을 기록하고 있고, PM10은 24.33으로 미세먼지는 '좋음' 단계로 판정되었다.



측정일시	지점	PM2.5	PM10	온도	습도
2020-10-13 00:00:00	동부건설(주)	12	22	9	78
2020-10-13 00:05:00	동부건설(주)	9	13	9	79
2020-10-13 00:10:00	동부건설(주)	13	21	9	78
2020-10-13 00:15:00	동부건설(주)	10	15	9	81
2020-10-13 00:20:00	동부건설(주)	13	21	9	81
2020-10-13 00:25:00	동부건설(주)	11	17	9	80
2020-10-13 00:30:00	동부건설(주)	15	25	9	80
2020-10-13 00:35:00	동부건설(주)	10	14	9	82
2020-10-13 00:40:00	동부건설(주)	16	27	9	82

[현장 내 미세먼지 모니터링 시스템 및 백업 로그]

주변 지역은 황화산과 배매산을 절토하는 구간으로 고지대에서 절토하는 장비와 덤프트럭이 활발하게 활동을 하고 있으며 드론의 이착륙, 맵핑, 그리고 측정 장비의 데이터 수신에도 적합할 것으로 판단하였다.



[드론 이착륙 주변(지상)]



[현장 주변 건설 현장(드론 촬영)]

2) 현장적용성 실험(2020.10.13)

■ 드론 비행 및 미세 먼지 데이터 측정

오늘 [10월13일]

예보등급

○ [미세먼지] 전 권역이 '좋음'~'보통'으로 예상됨.

구분	서울	인천	경기		강원		대전	세종	충북	충남	광주	전북	전남	부산	대구	울산	경북	경남	제주
			북부	남부	영서	영동													
미세먼지	좋음	좋음	좋음	좋음	보통	좋음	좋음	좋음	좋음	좋음	좋음	좋음	좋음	보통	보통	보통	보통	보통	좋음
PM_{10}	좋음	좋음	좋음	좋음	좋음	좋음	좋음	좋음	좋음	좋음	좋음	좋음	좋음	보통	좋음	보통	좋음	좋음	좋음
$PM_{2.5}$	좋음	좋음	좋음	좋음	보통	좋음	좋음	좋음	좋음	좋음	좋음	좋음	좋음	보통	보통	보통	보통	보통	좋음

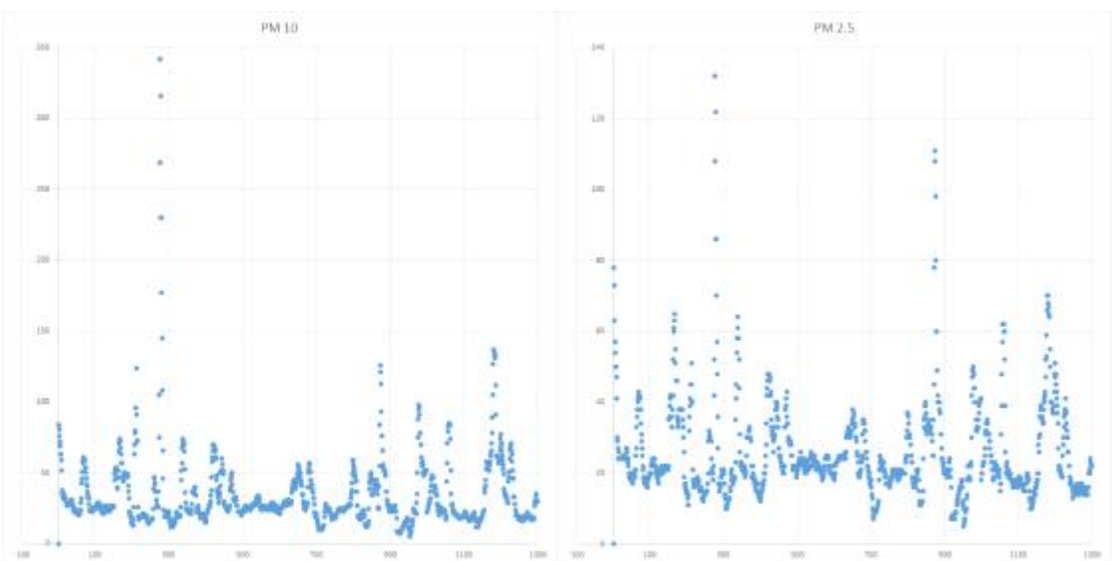
※ 미세먼지 예보 등급은 PM_{10}과 $PM_{2.5}$ 중 높은 등급을 기준으로 발표됨.

원인 분석

○ [미세먼지] 원활한 대기 확산으로 대기 상태가 대체로 청정할 것으로 예상됨.

[에어코리아에 공시된 해당일 미세먼지 정보]

환경부에서 제공하는 미세먼지 통계는 좋음으로 PM10은 30이하 PM2.5는 15이하로 볼 수 있다. 지상으로부터 고도 10m와 30m를 중심으로 비행을 하였으며 1300개의 데이터가 수집되었다. 평균적으로 PM10은 34, PM2.5는 25 수준으로 지상 측정보다 낮은 수치를 나타냈다.



[드론 비행을 통한 스마트 감시 장비 측정 데이터]

또한 일부 지역의 맵핑과 동시에 측정 데이터를 얻는 시스템 프로토타입을 시도하여 고도 30m에서 중첩률 30%로 15개의 측점을 확보하여 시각화 좌표를 만들기 위한 초기 모델링과 주관기관 기계연과 연계 시나리오를 진행하였다.

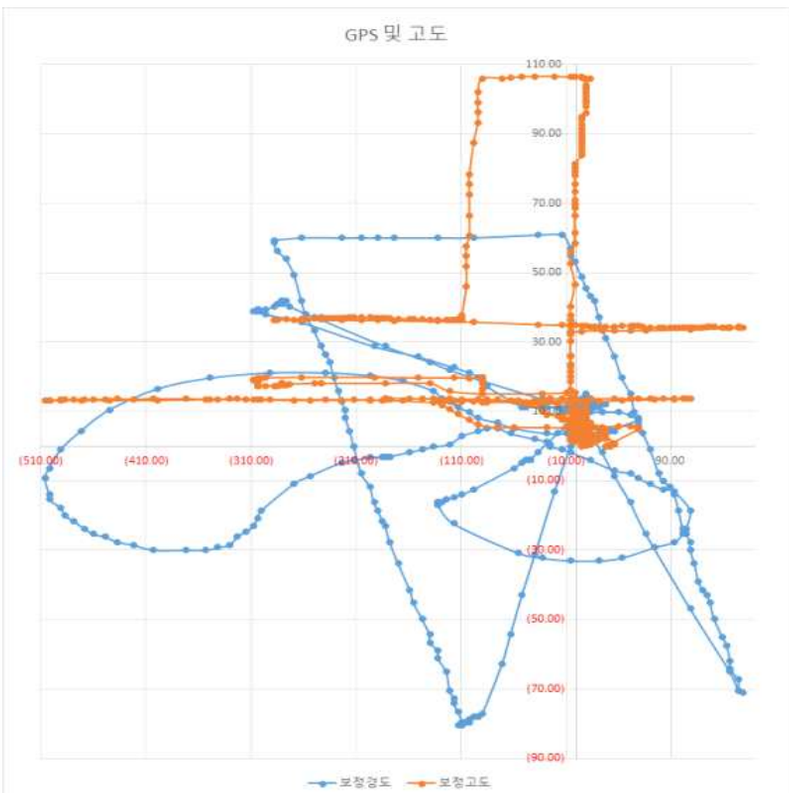


[연계 시나리오 파일럿 테스트]

3) 현장실험 결과

① 드론 비행 경로분석

드론의 이착륙 지점의 측점 정보는 Local북 456018.059 Local동 173018.914 Local높이 72.155 거리 375.503 방향 212:17:26.6917573 이다.



[측정 장비 기반 활동 데이터 그래프]

측정 장치에서 추출한 GPS와 고도 데이터를 합산한 동선이다. 최대 반경은 500m, 최대고도는 100m로 비행하였다. 총 1300개의 측점으로, 고도의 오차를 고려하여 10m 이상의 비행 데이터를 구간별로 분석하였다.

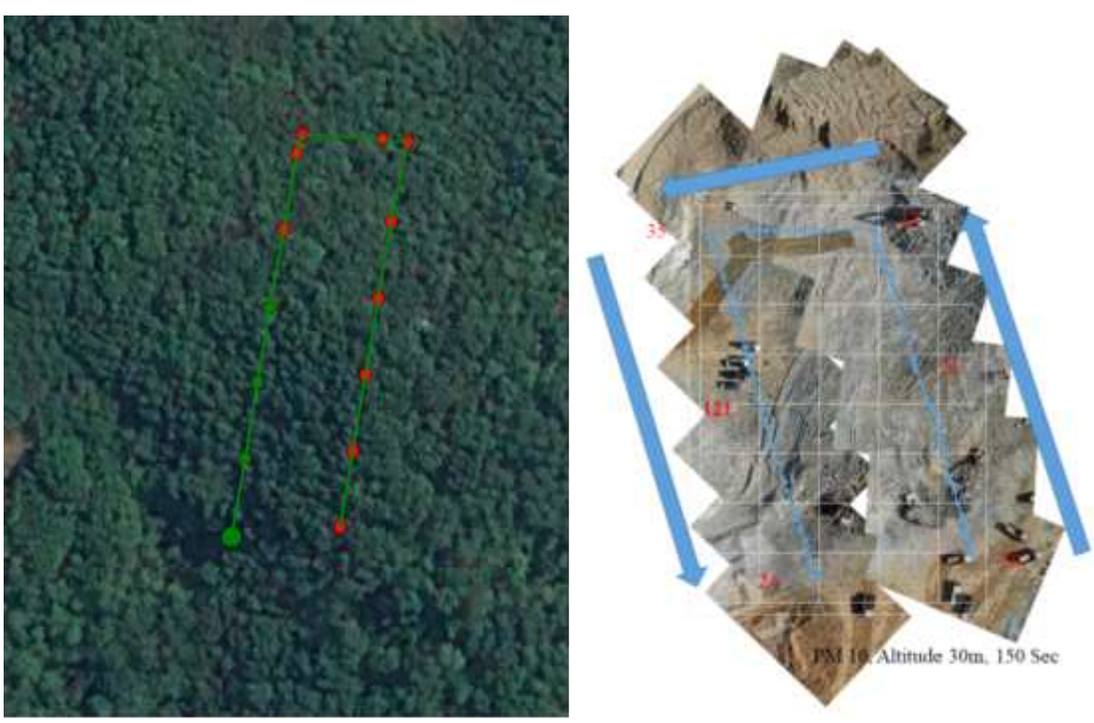
<고도 구간별 측정 데이터>

구간	측점(개소)	PM 2.5	PM 10
10-15m	151	21	26
30-40m	106	30	38
50-60 m	7	19	22
80-110m	39	15	17

고도 구간으로 분석하였을 경우, 30-40m 구간의 미세먼지 오염도가 높은 것으로 나타났으며 고도 구간이 높아지면, 정부에서 공시한 예보와 동일하다. 따라서, 고도는 50m 이하의 비행의 측정이 효율적으로 예상된다.

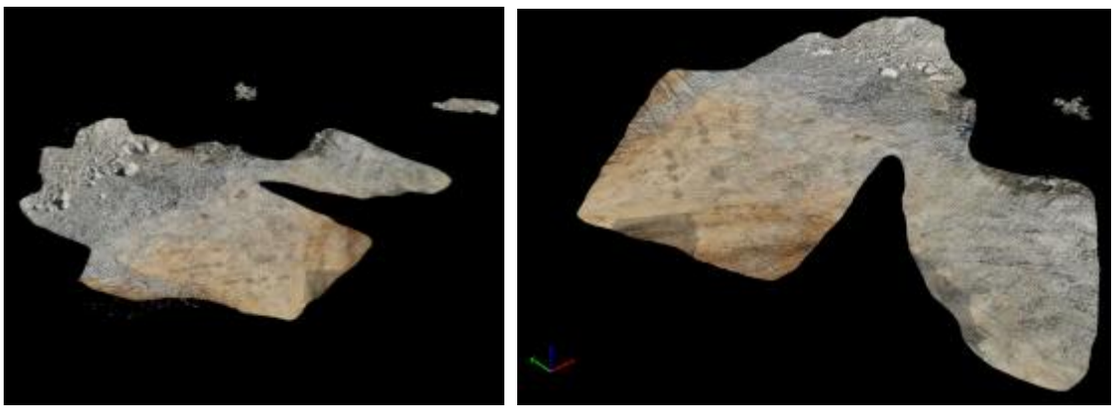
② 맵핑 및 위성 정보분석

GPS 정보와 함께 연동되는 위성지도는 업데이트 주기가 느린 한계로 실측에 대한 GPS 데이터가 측정장치와 함께 맵핑이 동시에 진행이 되어야 한다. 맵핑은 고도 30m에서 진행을 하였고, 1:1000 수치지도보다 높은 해상도의 맵핑 데이터를 제공할 수 있다.



[위성지도 및 실제 맵핑 데이터 비교]

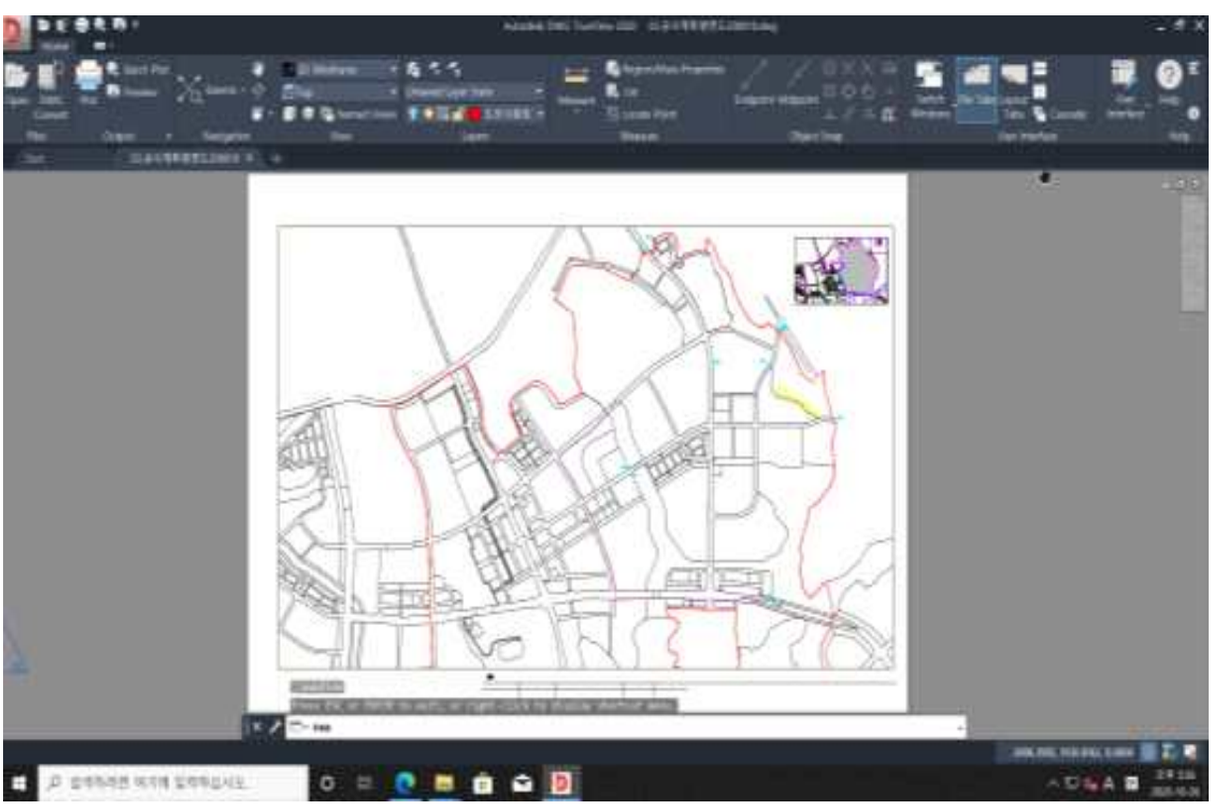
기존 3D 맵핑에 필요한 중첩률 70%를 30% 로 내려서 2D 사진 측량으로 측정시스템의 개념적인 시각화를 접근하였고, 차년도에 구체화 할 예정이다.



[3D 맵핑 및 모델링]

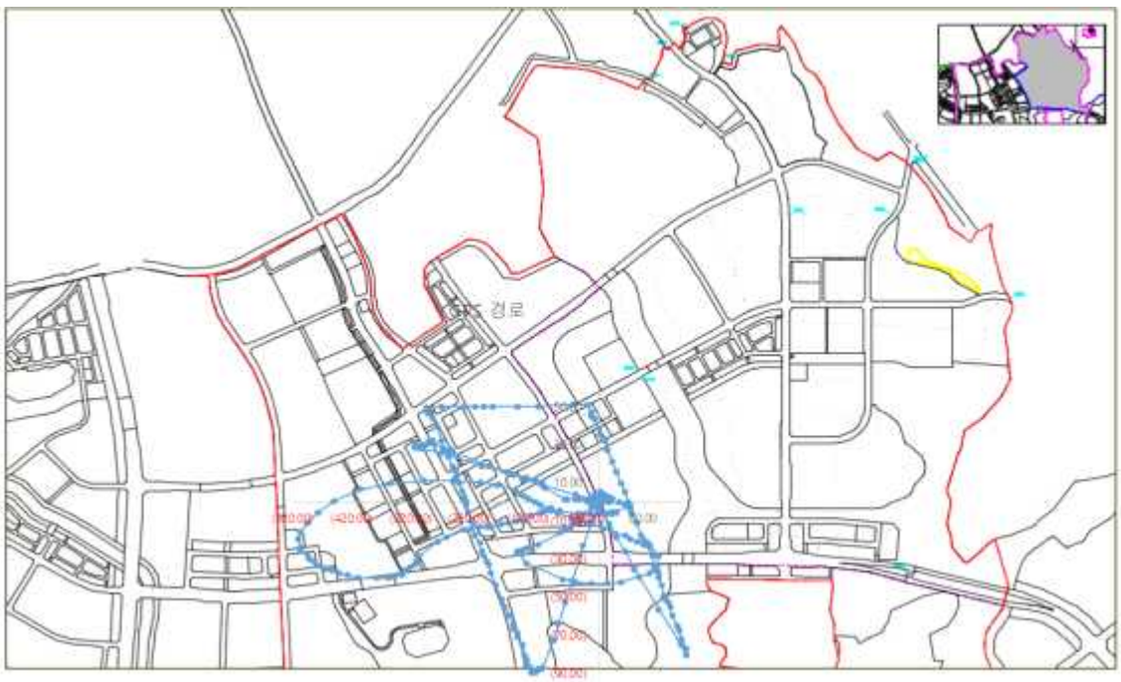
일부 중첩이 많은 부분의 3D 맵핑을 통해 해상도를 비교했으며, 차년도에 실제 중첩률에 대한 효율을 고려하여 데이터 최적화를 진행할 예정이다.

다음은 대상 현장의 수치지도를 획득하여 캐드 도면으로 재구성한 화면이다.



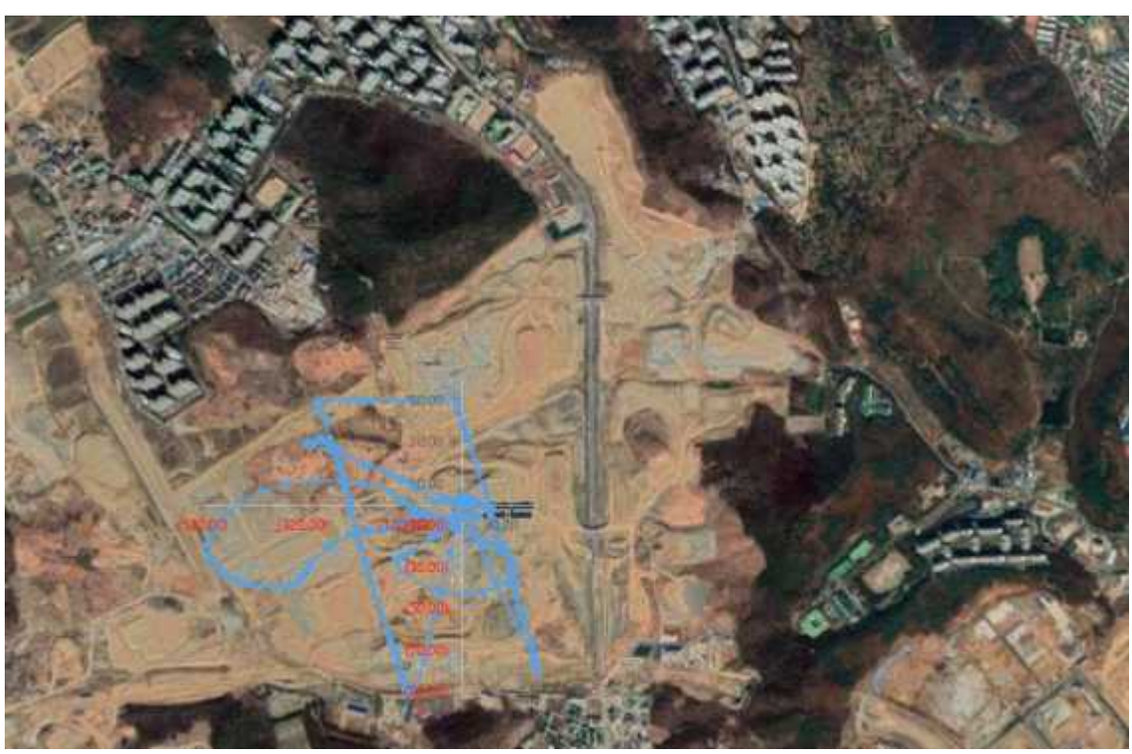
[1:1000 수치지도를 CAD 도면화]

다음 그림은 본 수치지도에 미세먼지 측정값의 위치정보를 맵핑시킨 것이다. 이는 미세먼지가 측정된 위치정보를 좌표계 변환을 통해 수치지도에 맵핑하였다.



[1:1,000 지도에 미세먼지 위치값의 매칭]

다음 그림은 현장의 위성화면에 미세먼지 위치 값을 매칭시킨 것으로 1:1,000 지도에 매핑 시킨 값과 거의 일치하게 나타남을 알 수 있다.



[현장 위성사진에 미세먼지 위치값의 매핑]

③ 운영 기초시스템 현장테스트 결과

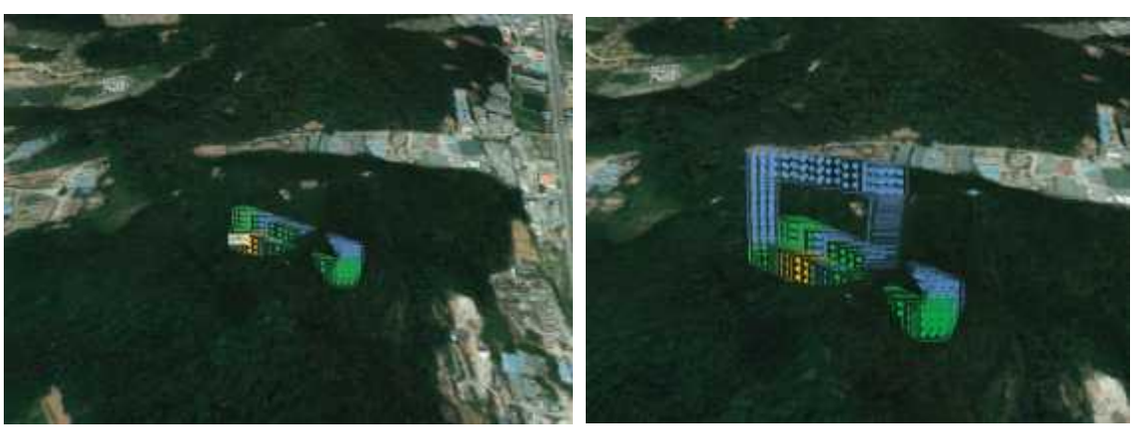
현장 적용성실험에서 취득한 데이터를 이용하여, 기 구축한 운영 기초시스템의 화면상에 정보를 나타내는 작업을 진행하였다.



[현장테스트 위치의 위성지도]

위성 지도에서 현장 위치로 이동하면 현재는 공사 현장이지만 지도상에는 산으로 되어 있는 지형을 확인할 수 있다. 이 부분은 향후 해당 지역을 공사 진척에 맞추어 지면을 조정하거나 혹은 특정 높이로 지정하여 평탄화 한 이후에 프로그램을 운영해야 할 것이다. 현재, 공간정보진흥원에서 제공하는 데이터는 최소 6개월 이상이 지난 데이터 이므로 거의 모든 현장에서는 이러한 평탄화 작업을 반드시 거쳐야 한다.

이 데이터는 드론 비행 데이터를 앞쪽에 현재 시간을 덧붙여 로그 형식으로 기록한 것으로 데이터를 파싱하여 운행 모습을 재현 하였다.



[위성지도 기반 데이터 시각화]

실사 보다는 간단 한 아이콘을 이용하여 측정값과 경로를 표시하였는데 지도에서 산으로 되어 있는 부분이 가려져 있지만 공중으로 띄운 이후의 값의 구분은 가능한 상태이다.



[에어코리아에서 제공하는 미세먼지 시각 정보]

각 값의 색상은 에어코리아(airkorea.or.kr)에서 제시하는 색상을 기준으로 설정 하였다.

④ 테스트 결과 및 개선 사항

스마트 감시 장비의 GPS 위치는 성과물에서 제시한 1:1000 수치지도에 적합하게 일치하였고 RTK 기술을 적용하여 수평 오차범위 0.1m 수직 오차범위 0.1m 이내로 정교하고, 현장에서 측정된 미세먼지 데이터는 현장 사무소에 설치된 측정소와 기상청의 예보보다 현장의 미세먼지 관측에 적절할 것으로 예측 된다.

수신되는 데이터를 화면에 표출하기 위해서 사용하는 3차원 지도의 경우 현장에서는 사실상 필요치 않은 경우도 있을 수 있어 사용여부를 설정하도록 하였다. 이후 운영 프로그램에서는 현장용 프로그램과 연구 혹은 시뮬레이션을 위한 프로그램을 분리하여 적용하는 방안도 고려해야 할 것으로 보인다.

실제 지역의 3차원 데이터를 현재 공간정보진흥원에서 제공하는 데이터를 기준으로 하면 현장의 상황과 맞지 않으므로 평탄화 작업이 필수적으로 필요로 하게 된다. 따라서 3차년도에 지형 평탄화 기능을 포함하여 부가적인 3차원 지도 기능을 구현할 예정이다.

B-7 Water Fog 분사시스템과의 연계 및 테스트

1. 반복재현성 공인인증시험

1) 실내성능평가

미국에서는 본 실내 시험 챔버를 공인인증시험으로 인정하고 정확도까지 평가를 하고 있으나, 국내(환경부)의 공인 기준 측정은 중량법(Class 1)으로 광산란방식 미세먼지 측정과 비교한다. 미세먼지 발생장치로 KCL(염화칼륨)을 사용해서 미세먼지를 발생시킨다. 직원의 건강을 고려하여 표준입자는 사용하지 않는다. 중국식으로 미세먼지를 산출 할 경우, 챔버 센서 대비 두배 정도 수치의 결과값 차이 발생한다. 미세먼지 센서는 공기청정협회에서 권고하는 시험법에 따라 측정하였다.







[실내 성능 평가 설비]

2) 현장성능평가(현장시험)

40 PPM이 넘는 16번의 데이터 도출이 되어야 현장시험 종료하는 방식으로 진행을 하며 미세먼지 모듈이 3개를 한 번에 시험해야 한다. 시험 방식에 따라 대기오염이 많은 수도권에서 하는 게 성능 시험이 빠른 편으로 속한다. 동일한 시험을 하는 진천, 인천, 진주 모두 환경이 깨끗한 편이라서 의도치 않게 14일 이상 걸리고, 내구성 테스트까지 하게 되는 상황이다. 따라서, 한달에 한번 동시에 진행되고 있다.

측정 기간에는 관리자 외 누구도 출입불가하며, 이는 데이터 조작 우려하기 때문이다. 시간 단위 측정(PM2.5, PM10도 가능은 함)하여 하루 23개의 데이터로 14일간 진행한다. 통신으로 조작이 불가능한 사양을 가지고 있어야 하며 천장을 천공해서 데이터를 수신 받고, 클래스 1(24시간에 1개 데이터)과 클래스 2(1시간에 1개 데이터, 베타선 검출) 로 구분되어 있다. 보정이나 오차의 신뢰도는 클래스 1과 2를 비교해서 보정한다.





[실외 성능 평가 설비]

3) 공인시험성적서(참고)

BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

TEST REPORT

우 13810 경기도 과천시 교육원로 98(중앙동) TEL (02)2164-0011 FAX (02)2634-1008

성적서번호 : TBK-2021-002192
대 표 자 : 한승헌
업 체 명 : 한국건설기술연구원
주 소 : 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283(대화동)
시 료 명 : 미세먼지 간이측정기

접 수 일 자 : 2021년 03월 30일
시험완료일자 : 2021년 04월 19일

시 험 결 과

시험항목	단위	시료구분	결과치	시험방법
반복재현성	%	-	95.7	미세먼지 간이측정기 성능인증 등에 관한 고시(국립환경과학원 고시 제2020-37호)

**시험에 대한 상세 내용은 첨부 문서 참조
- 용 도 : 품질관리용

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로써 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인은 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

Yeon Jinwoong
작성자 : 연진웅
Tel : 02-2092-3842

Chang-Seok Jeong
기술책임자 : 정창석
Tel : 1577-0091(ARS ①→④)

2021년 04월 19일

KTR 한국화학융합시험연구원장

위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 1

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE KTR-QP-P09-F01-02(00) A4(210 X 297)

[95.7%의 공인시험 성적서 증빙]

2. 측정 평가 운영 시스템 개발

1) 서론

① 개발의 배경 및 목적

최근 도심지를 비롯해 주거지역의 미세먼지 및 확사로 인한 피해가 증가하고 있으며, 미세먼지로 인한 인명피해가 가중되고 있어 사회적 문제로 대두되고 있다. 전국에 발생하는 미세먼지 중 PM10은 약 12만톤에 달하고 있으며, 이 중 건설공사 현장에서 발생하는 비산먼지의 발생량은 전체 PM 발생 비율에서 약 20%를 차지하고 있다. 또한 서울시 전체 미세먼지 배출량의 약 40%가 건설현장 비산먼지 배출량이 차지하고 있으며, 서울 시내에 신고된 비산먼지 발생사업장 1,750개소 중 건설업이 1,697개소로 전체 비산먼지 발생사업장의 대부분을 차지하고 있다.

이렇게 도심지 미세먼지의 사회적으로 심각성이 대두되고 도심지 건설현장의 미세머지 저감, 억제 대책의 수립이 시급해져 그에 대해 소규모 건설현장에도 적용이 용이하고 4차 사업혁명 시대의 도입에 맞추어 드론, Water Fog, GIS 등 다양한 스마트 건설 기술을 활용한 미세먼지 저감대책 기술 개발이 필요하게 되어 국토교통기술촉진연구사업에서 'GIS 기반 드론을 활용한 스마트 감시장치 개발' 사업이 3개년도 사업으로 추진되어 왔으며, 본 위탁 연구과제는 3차년도 사업으로 ①현장운영시스템 구축, ②평가시스템 구축, ③3차원 공간정보 기반 플랫폼 구축의 3개 Category를 기반으로 하여 최종적으로 도심 건설현장에서 발생하는 미세먼지를 억제하기 위한 건설현장 미세먼지 스마트 감시시스템 플랫폼 개발 기반을 마련하는 것을 본 과제의 목적으로 한다.

(1) 드론 제어를 통한 미세먼지 측정 및 Water Fog 분사 수행으로 미세먼지 저감
(2) Web 기반에서 드론 운영결과의 시계열 정보 표출 및 시뮬레이션, 통계정보 제공
(3) 드론 운영정보 및 미세먼지 시각화 표출을 하기 위한 3D GIS 플랫폼 구축



[사업의 배경 및 목적]

② 개발의 목표와 주요 내용

■ 개발의 목표 및 범위

본 사업은 한국건설기술연구원의 'GIS 기반 드론을 활용한 건설현장 미세먼지 스마트 감시장치 운영시스템 구축'을 수행함에 있어, 현장에서의 드론을 활용한 미세먼지 측정 및 Water Fog 분사로 인한 미세먼지 저감활동을 수행하는 'C/S 기반 현장운영시스템'과 측정 및 분사로 인한 저감활동 후 재평가 결과 등을 수집하여 WebGIS 기반에서 드론 위치 표출, 미세먼지 측정값 가시화 및 각종 통계정보 조회, 드론 운영결과의 시뮬레이션을 주요 기능으로 하는 'WebGIS 기반 평가시스템'을 구축하였다. 또한, 이 두 가지 시스템은 국가에서 제공하는 VWorld Data를 활용하여 3차원 공간정보 기반 플랫폼으로 구축하였다.

<과업 범위>

C/S 기반 현장운영시스템	3D WebGIS 기반 평가시스템
위치/미세먼지 측정 데이터 수집·저장	3D WebGIS기반 미세먼지 측정값 가시화
Water Fog 드론 동작 지령	미세먼지 측정값 시계열 정보 제공
3D GIS 기반에 드론 위치정보 가시화	저장된 드론 운영결과 시뮬레이션
실시간 미세먼지 측정정보 분석	드론 운영결과 통계정보 제공
실시간 미세먼지 측정정보 가시화	건설현장 지형고도 평탄화를 통한 가시화

■ 개발의 주요 내용

• C/S 기반 현장운영 시스템

현장 운영시스템은 드론 운영에 초점을 맞추고 있고 드론의 API를 사용하며 측정센서로부터 수집되는 통신 프로토콜을 사용해야 하므로 Client/Server방식 윈도우10 기반(노트북/데스크탑)의 프로그램으로 제작하였다.

- 드론으로부터 수신된 위치 및 실시간 측정값 패킷을 해석하여 빅데이터 데이터베이스에 저장
- RULE에 따른 Water Fog 드론 동작 명령 및 결과 확인을 위한 측정 드론 동작 명령
- 3D GIS 기반에 드론 위치를 가시화
- 실시간 측정정보를 텍스트로 가시화 및 미세먼지 상태를 표시
- 실시간 데이터 분석을 통한 기준치 이상 미세먼지 발생구역을 지도에 표시. 이상 발생시 Water Fog 드론 동작 명령 송신

• 3D WebGIS 기반 평가시스템

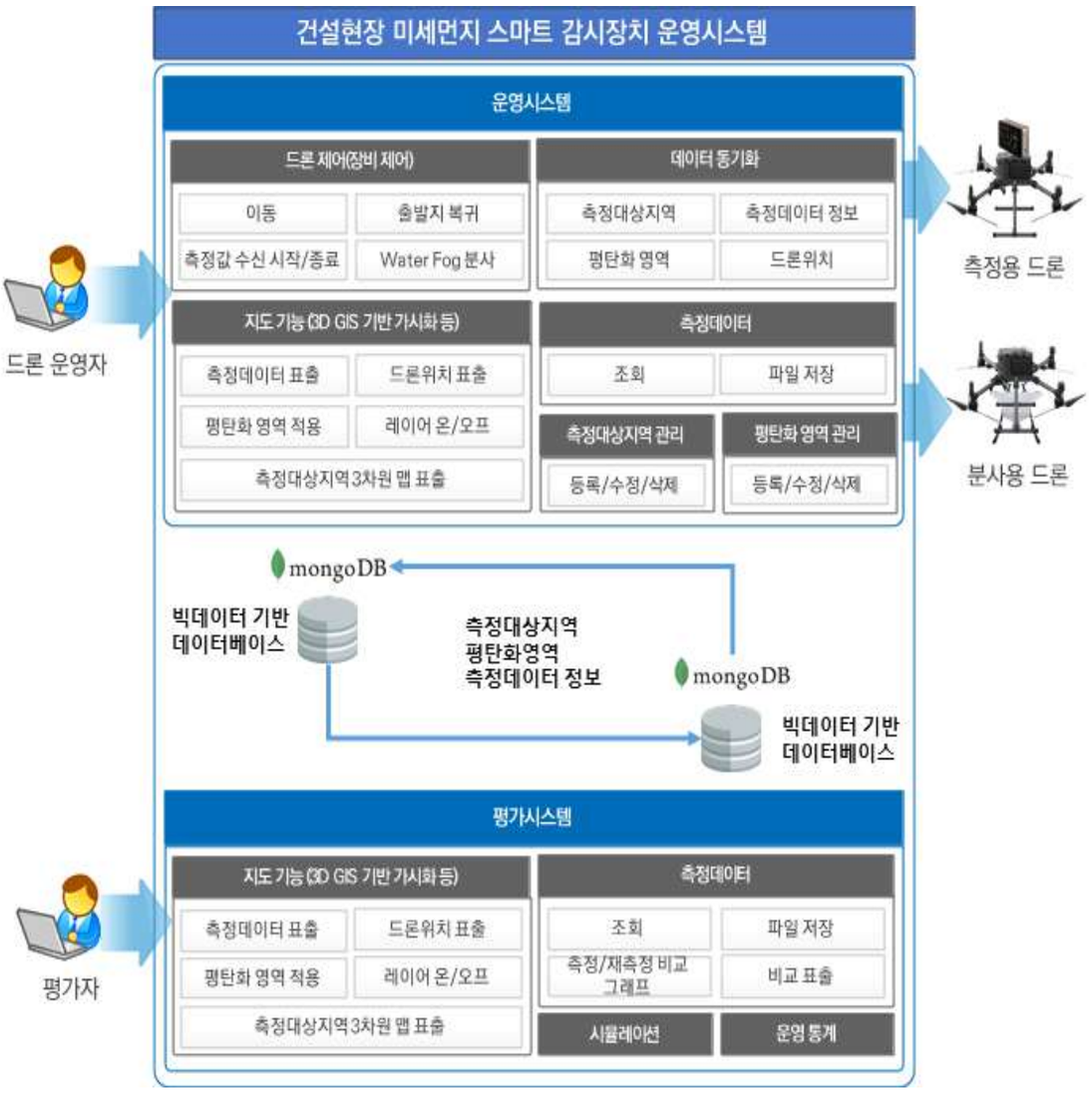
평가시스템은 빅데이터 기반의 데이터베이스를 활용하여 데이터를 분석, 다양한 형태의 분석결과를 표출해야 하고, 건설현장 시공사, 감독관, 중앙관리센터 등 다양한 업무담당자들이 시스템을 사용할 수 있도록 웹기반의 시스템으로 개발하였다.

- 3차원 국가공간정보를 연계하여 3D WebGIS기반의 드론 위치 및 측정 데이터 가시화
- 드론 운영시간, 시계열 측정 정보, 기준치 이상의 정보 등 다양한 조건의 정보 검색
- 저장된 드론 운영 정보를 이용하여 시간별 운영결과를 표시
- 드론의 운영시간, 위치, 발생 미세먼지 종류, Water Fog 동작 후 감소량 등의 통계 정보 표출
- 건설현장 영역 및 높이 설정 후, 해당 영역을 평탄화하여 지형정보 가시화. 현장운영 시스템에도 동일 기능 적용

2) GIS 기반 드론을 활용한 건설현장 미세먼지 스마트 감시 장치 운영시스템 구축

① 시스템 개요

‘GIS 기반 드론을 활용한 건설현장 미세먼지 스마트 감시장치 운영시스템 구축’은 현장에서 드론을 제어해서 미세먼지 측정 및 Water Fog 분사를 수행하고, 그 과정에 발생하는 정보들을 수집, 관리하는 “현장운영시스템”과 운영시스템에서 수집한 정보를 취합하여 시뮬레이션하거나 성과를 평가하는 “평가시스템”으로 구성하였다. 본 사업을 통해 구축되는 목표시스템의 구성은 아래 그림과 같다.



[목표시스템 구성]

이러한 목표시스템 구성은 사업 초기단계, 과업지시서의 분석과 착수보고 및 사용자 인터뷰를 통한 사용자 요구사항의 수렴 및 분석을 통해 요구사항을 다음 표와 같이 정의한 결과를 바탕으로 수립되었다.

<요구사항 정의>

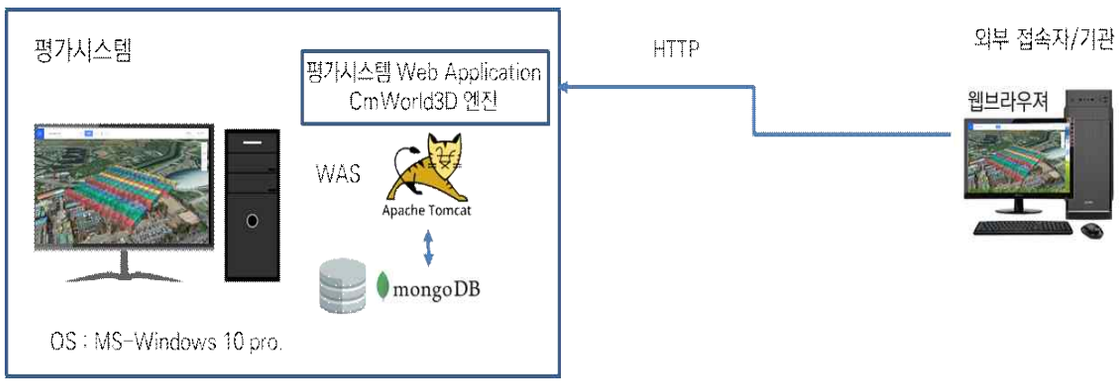
No.	분류	요구 내용	입력 / 출력
1	운영시스템	드론으로부터 수신된 위치 및 실시간 측정값 패킷을 해석하여 빅데이터 데이터베이스에 저장	드론위치 및 측정이터 수신
			데이터베이스에 저장
2	운영시스템	Water Fog 드론 동작 명령 및 결과 확인을 위한 측정 드론 동작 명령	드론제어명령 전송
			드론비행 실행
3	운영시스템	3D GIS 기반에 드론 위치를 가시화	드론위치정보 수신
			3차원 지도위에 드론 표출
4	운영시스템	실시간 측정 정보를 텍스트로 가시화 및 미세먼지 상태를 표시	미세먼지 측정데이터 수신
			상태바에 측정값 표출
5	운영시스템	실시간 데이터 분석을 통한 기준치 이상의 미세먼지 발생 구역을 지도에 표시	미세먼지 측정데이터 수신
			3차원 지도위에 측정값 표출
6	운영시스템	건설현장 영역 및 높이 설정 후 해당 영역을 평탄화하여 지형정보 가시화	평탄화 영역설정
			3차원 지도위에 설정 영역이 평탄화되어 표출
7	평가시스템	3차원 국가공간정보를 연계하여 3D WebGIS 기반의 드론 위치 및 측정 데이터 가시화	데이터베이스로부터 드론 위치 및 측정이터 로딩
			3차원 지도위에 드론 및 측정 값 상태 표출
8	평가시스템	드론 운영시간, 시계열 측정 정보, 기준치 이상의 정보 등 다양한 조건의 정보를 검색	측정데이터 검색
			검색결과 표출 및 저장
9	평가시스템	저장된 드론 운영 정보를 이용하여 시간별 운영결과를 표시	측정일시별 측정값 조회
			검색결과 표출 및 저장
10	평가시스템	드론의 운영시간, 위치, 발생 미세먼지 종류, Water Fog 동작 후 감소량 등의 통계 정보 표출	측정/재측정 데이터 조회
			그래프로 변화량 표출
11	평가시스템	건설현장 영역 및 높이 설정 후 해당 영역을 평탄화하여 지형정보 가시화	평탄화 영역 로딩
			3차원 지도위에 설정 영역이 평탄화되어 표출

2) 시스템 설계

① 시스템 구성

■ 평가시스템

평가시스템은 현재 가장 보편적인 운영체제인 MS-Windows 10 기반의 장비에 외부 접속자나 기관에서 접근, 운영이 가능하도록 WAS(Web Application Server) S/W로 Apache TomCat을 설치하였다. Apache TomCat은 현재 전 세계적으로 가장 보편적으로 많이 쓰이는 WAS S/W로 대표적인 OpenSource S/W이다.



[평가시스템 H/W, N/W 구성]

또한, 현장에서 취득해 온 드론 비행정보, 미세먼지 측정정보 등 다양한 데이터를 저장, 운영할 수 있도록 DBMS로 MongoDB를 선택, 설치하였다. MongoDB는 대표적인 노에스큐엘(NoSQL) 데이터베이스 시스템으로 데이터 교환시 비산(BSON: Binary JSON) 문서 형태로 저장하여 여러 서버에 분산 저장 및 확장이 용이하며, 방대한 데이터 처리가 빠르다는 장점이 있다. MongoDB는 C++ 언어로 작성되었으며, 윈도우(Windows), 리눅스(Linux), 맥OS 등 다양한 운영체제(OS)를 지원한다. 역시, 공용 라이선스(AGPL: Affero General Public License)에 따라 배포되는 대표적인 공개 소스 소프트웨어(Open Source Software)이다.

건설현장의 3D 공간정보 플랫폼을 구현하기 위해 3D GIS Engine인 CmWorld Solution을 탑재하였고, 이를 활용하여 국토교통부에서 제공하고 있는 3차원 국가공간정보 지도데이터를 기반으로 드론 비행정보 및 미세먼지 측정값의 가시화 등 기능을 구현하였다. 3D GIS Engine인 'CmWorld 3D'는 OGC에서 정의하고 있는 국제 공간정보 표준인 WMS(Web Map Service), WFS(Web Feature Service), WCS(Web Coverage Service) 등에 대한 국제 인증을 받은 상용 제품으로 국제 표준 규격 인증만이 아닌 대용량 공간정보의 신속한 처리 등을 장점으로 하고 있는 제품으로 본 연구과제 수행을 위해 무상으로 공급, 지원되었다. OGC(Open Geospatial Consortium, 개방형 공간정보 컨소시엄)는 공간정보 콘텐츠와 서비스, 데이터 처리와 교환을 위한 표준 개발과 지원을 하는 비영리 민·관 참여 GIS 관련 국제기구이다. OGC의 공간정보 표준은 북미·유럽연합과 대다수 정부기관에서 국가 공간정보 인프라(Spatial Data Infrastructure) 개발에 활용하고 있거나 채택하고 있으며, 본 과제에서도 공간정보 플랫폼 구축에 적용함으로써 향후 시스템의 기능 개선 및 확장에 유연성을 확보하기 위해 적용하였다.

평가시스템(Web)

운영 장비	IBM 호환 PC 1식
운영 체제	MS-Windows 10 Pro.
DataBase	Mongo DB v4.4
GIS Engine	CmWorld 3D v2.0
개발 언어	JSP
개발 환경	전자정부 표준 프레임워크 v3.9
통신 방식	TCP/IP 통신(HTTP)

[평가시스템 S/W 구성]

개발 언어는 현재 Web Service System 구축에 가장 일반적으로 사용되고 있는 Java 기반의 JSP로 개발되었으며 개발 ToolKit은 Eclipse를 사용하였다. 개발 환경으로는 공공 및 민간 부문까지 그 사용영역을 넓혀 나가고 있는 '전자정부 표준 프레임워크 v3.9'를 활용하였다. 개발 프레임워크는 정보시스템 개발을 위해 필요한 기능 및 아키텍처를 미리 만들어 제공함으로써 효율적인 어플리케이션 구축을 지원한다. 또한 시스템 구축 이후, 그 유지관리 및 기능 개선 등 고도화 시에도 모듈 재사용성 향상을 통한 예산 절감, 특정 사업자에 대한 종속성 해소 및 상호운용성 향상 등 다양한 요구의 수용이 가능하기 위해 사전 제품 선정에 신중을 기하여 '전자정부 표준 프레임워크'를 선택하게 되었으며 그 특징 및 장점은 다음과 같다.

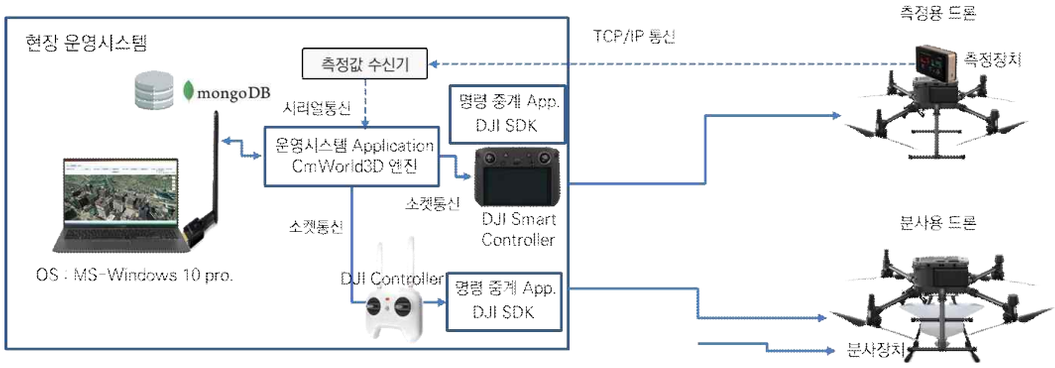


[개발 프레임워크의 특장점]

평가시스템은 Web 기반 시스템으로 사용자가 Web Browser를 통해 언제, 어디서든 접속이 가능하도록 개발되었으며 통신 방식은 TCP/IP Protocol을 사용하게 된다.

■ 현장 운영시스템

현장 운영시스템은 건설현장에서 미세먼지 측정, 수집을 목적으로 하는 측정센서가 부착된 측정 드론과 미세먼지 저감활동을 수행하기 위한 Water Fog 분사장치, 그리고 이러한 드론을 제어하기 위해 운영시스템에서의 명령을 Controller에 전달, 최종적으로 드론에 연계하기 위한 App.으로 구성이 된다. 결국, 현장 운영시스템은 평가시스템과 마찬가지로 가장 보편적인 운영체제인 MS-Windows 10 기반의 장비에 3D 공간정보 기반 시각화를 구현하기 위해 3D GIS Engine인 'CmWorld 3D'를 탑재한 C/S 기반 시스템과, 각각의 드론 제어를 위한 Android 기반의 명령 중계 App. 2 종류로 구성되었음을 알 수 있다.



[현장 운영시스템 H/W, N/W 구성]

측정 드론은 DJI 사의 Matrice 300 RTK 제품으로, 해당 장비에 부착한 카메라를 통해 건설현장을 촬영, 해당 지역의 영상을 3D 모델링 작성 툴인 Pix4D를 이용하여 3D 모델링 데이터로 작성하고 통합테스트시 VWorld의 3차원 공간정보 상에 탑재하여 현장 운영시스템에서의 가시화 기반을 구축하였다. 미세먼지 측정센서는 드론의 상부에 고정하여 드론과 별개의 송수신기를 통해 전달된 미세먼지 측정값을, 운영시스템이 탑재된 노트북의 USB 단자에 삽입한 수신기로 운영시스템에 내장된 Socket 통신 모듈을 통해 MongoDB에 저장하였다.

분사 드론은 DJI 사의 A3-AG Controller를 사용한 제품으로, 농업방제를 목적으로 개발된 특성을 갖고 있다. 드론에 탑재된 수조 탱크에서 펌프를 통해 Water Fog 분사를 수행하나, 이 부분은 별개의 무선조종장치를 통해 분사의 On/Off를 제어하며, 분사량 조절은 드론 Controller로 조정하도록 구성되었다. 운영시스템은 측정된 미세먼지 데이터를 분석하여, '심각' 상태의 측정값 위치를 추출, 분사 드론에 해당 지역의 위치정보를 제공하여 저감활동을 할 수 있도록 해당 영역에 대한 비행 제어 명령을 전달하는 것을 주요 기능으로 구현하였다.

현장 운영시스템(C/S)

운영 장비	IBM 호환 노트북 1식
운영 체제	MS-Windows 10 Pro.
DataBase	Mongo DB v4.4
GIS Engine	CmWorld 3D v2.0
개발 언어	MS-Visual studio Community 2019(C#)
통신 방식	Serial 통신, Socket 통신(Wi-Fi)

측정드론 제어 중계App.

운영 장비	DJI Smart Controller(Matrice 300)
운영 체제	Android 7.1.2
개발 환경	Android Studio (Java)
제어 툴킷	Dji SDK

분사드론 제어 중계App.

운영 장비	DJI Controller(A3-AG)
운영 체제	Android 7.1.2
개발 환경	Android Studio (Java)
제어 툴킷	Dji SDK

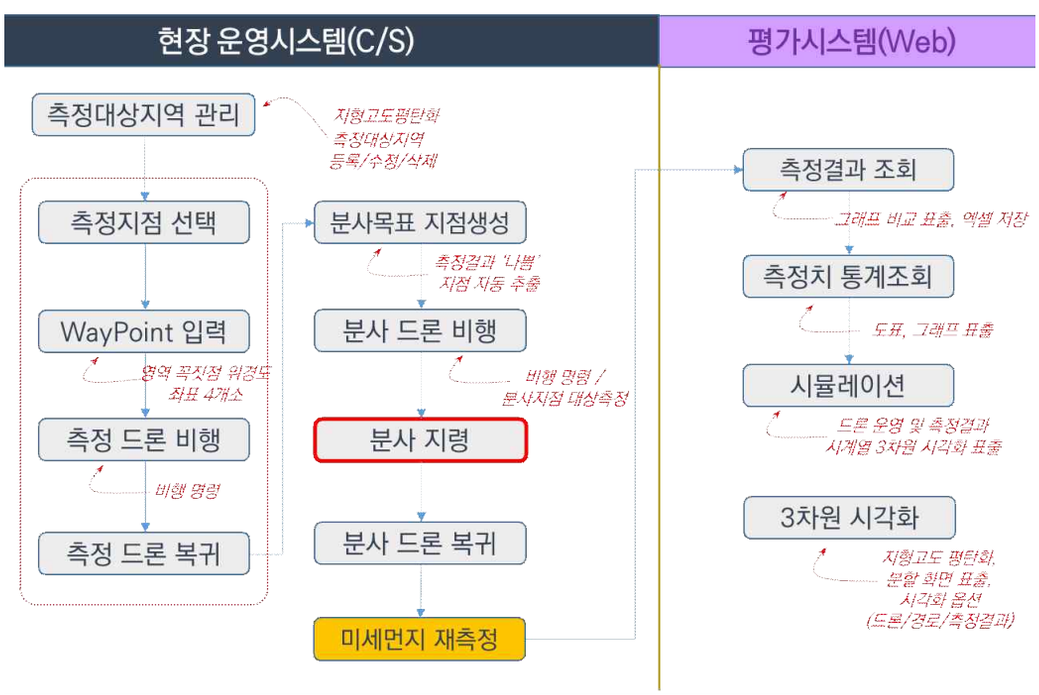
[현장 운영시스템 S/W 구성]

현장 운영시스템은 현장에서 측정 및 분사 드론을 제어, 운영하기 위한 목적으로 개발된 시스템으로 이동 및 휴대에 편리한 노트북 장비를 채택, MS-Windows 10 기반의 운영체제 하에 구축되었다. 또한, 평가시스템과의 호환을 고려하여 DBMS는 MongoDB, 3D GIS Solution은 동일한 제품인 'CmWorld 3D'를 설치하였으며 개발언어 및 환경은 시스템 퍼포먼스 등을 고려하여 C/S 시스템 구축시 가장 보편적으로 사용되는 MS-Visual Studio 2019 버전에서 C#으로 개발하였다. 측정센서의 수신기를 통한 측정데이터 수집을 위해 노트북 USB 단자와의 Serial 통신과 드론 제어를 위한 외부 중계 장비(Tablet/SmartPhone)와의 연동을 위한 Wi-Fi를 이용한 Socket 통신 등이 통신 Protocol로 사용되었다.

측정 드론인 Matrice 300과의 연동을 위해 DJI Smart Controller를 사용, 운영시스템에서의 제어 명령을 Android O/S 기반의 Smart Controller에 탑재한 중계 App.을 통해 드론을 제어하도록 구현하였으며 이러한 측정 드론 제어 중계 App.은 DJI社에서 드론 제어를 위해 개발자들에게 제공하는 SDK를 내장, 활용하여 Android Studio 개발 ToolKit을 통해 Java 언어로 구현하였다. 또한, 분사 드론인 A3-AG 모델과의 연동을 위해는 DJI의 Smart Controller가 아닌 일반 범용 Controller를 사용하기 때문에, 운영시스템에서의 제어 명령을 Android O/S 기반의 SmartPhone 혹은 Tablet에 측정 드론 제어 중계 App을 설치, Controller와 연결된 USB Cable로 Serial 통신을 이용해 드론 제어 명령을 전달, 드론을 제어하도록 구현하였다. 이러한 분사 드론 제어 중계 App.은 측정 드론 중계 App.과 마찬가지로 DJI社에서 드론 제어를 위해 개발자들에게 제공하는 SDK를 내장, 활용하여 Android Studio 개발 ToolKit을 통해 Java 언어로 구현하였다.

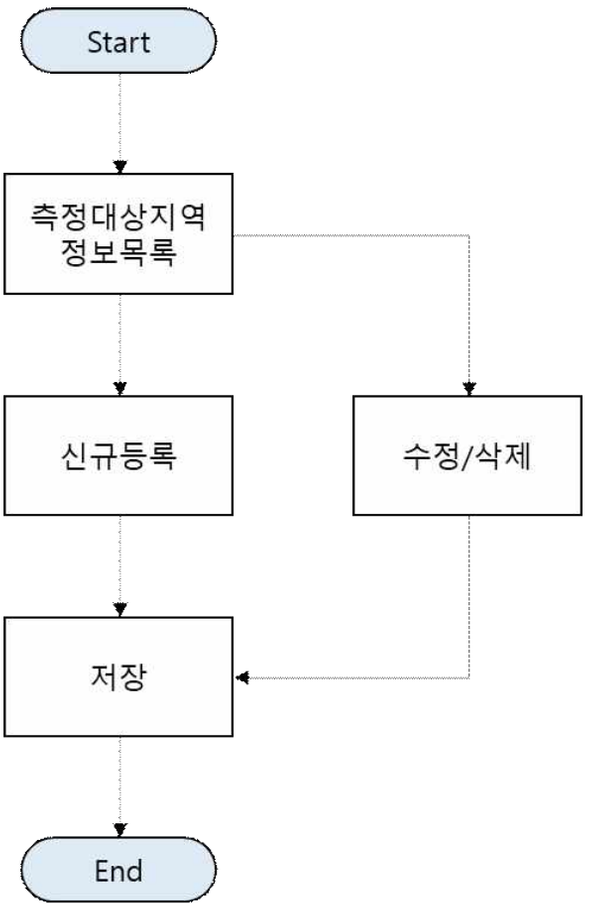
② 시스템 운영 시나리오

현장에서 측정데이터의 수집, 분석 및 가시화와 측정/분사 드론의 WayPoint 설정을 통한 비행 경로 및 영역 설정 등의 드론 제어를 수행하는 운영시스템과 측정 및 저감활동 이후, 결과값에 대한 시각화, 시뮬레이션 및 통계 정보를 조회하는 평가시스템의 통합 운영 시나리오 프로세스는 아래 그림과 같다.



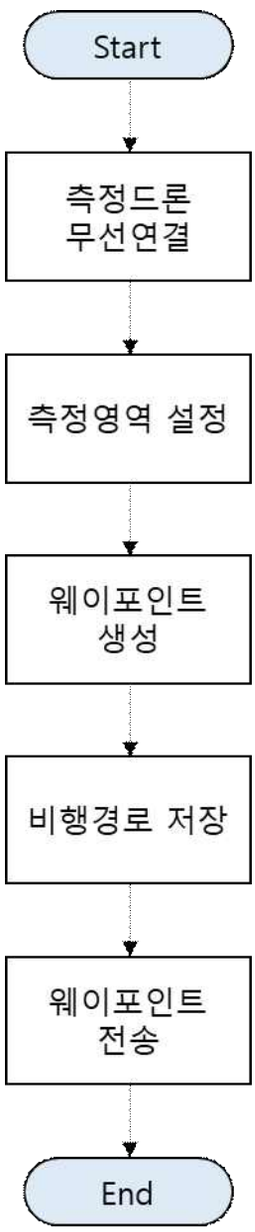
[시스템 통합 운영 시나리오]

운영 시나리오를 개별 단위로 살펴보면 현장 운영시스템에서의 측정대상지역 관리에 대해 측정대상 지역을 신규 등록, 저장 및 수정/삭제 기능을 구현하고, 등록된 해당 대상지역 목록 조회 기능을 아래와 같이 구현함으로써 현장에서의 측정지역 선택에 대한 사용자 편의를 도모하였다.



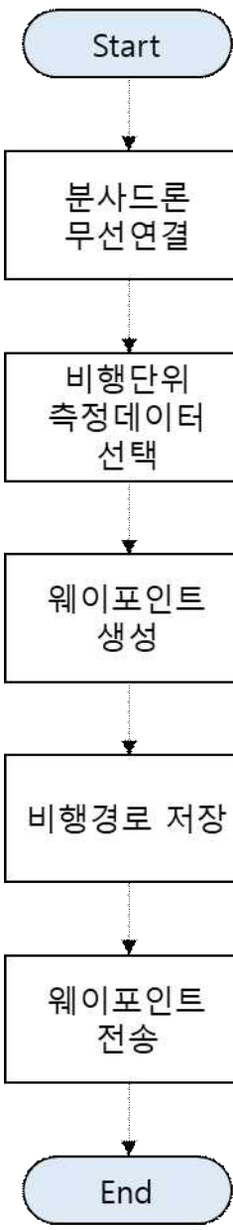
[측정대상지역 관리 프로세스]

측정 드론에 대해 건설현장의 미세먼지를 측정하고자 할 때, 먼저 측정드론 제어 중계App.을 Wi-Fi를 이용해 연결, 측정하고자 하는 WayPoint로 영역의 꼭짓점 좌표 4곳의 경위도 좌표를 입력하여 해당 영역 내에서 측정 비행하고자 하는 경로의 간격, 비행 속도 등을 설정하면 전체 비행경로가 자동 생성되어 저장되고, 지도 화면상에 해당 경로가 가시화되어 표출된다. 이렇게 설정된 경로에 대해 측정드론 제어 중계 App.을 통해 측정 드론(Matrice 300)으로 전송하여 측정드론이 해당 경로에 따라 비행하면서 미세먼지 값을 측정한 결과를 운영시스템으로 보내오게 된다.



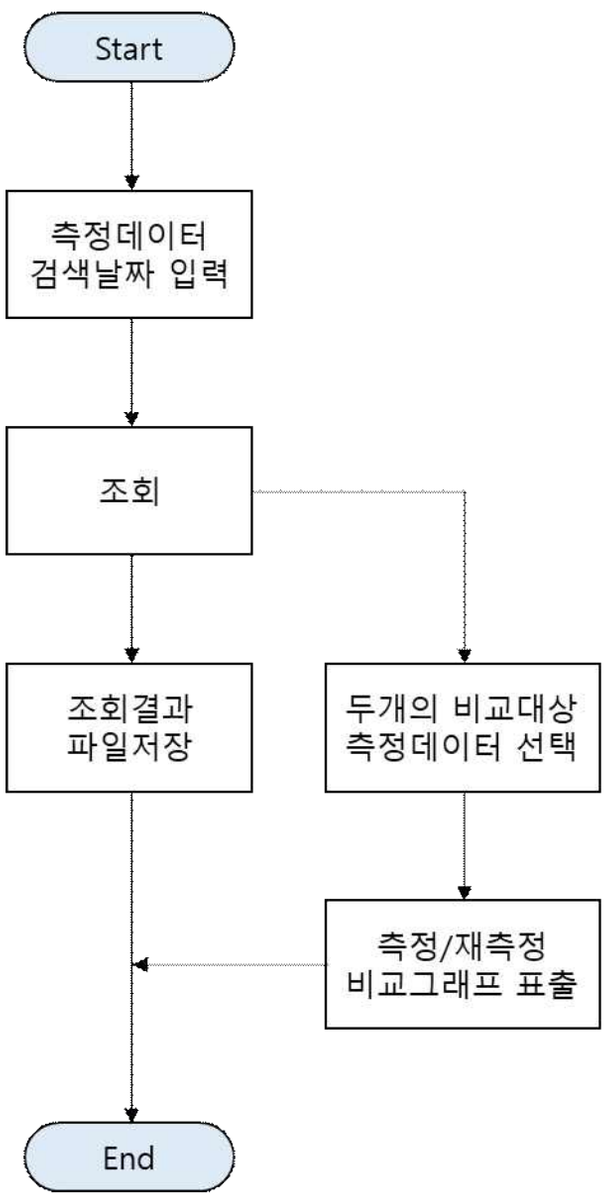
[측정 드론의 비행제어 프로세스]

분사 드론에 대해 건설현장의 미세먼지를 저감하고자 할 때, 먼저 분사 드론 제어 중계App.을 Wi-Fi를 이용해 연결하여 측정 드론을 통해 수집한 측정데이터의 오염도가 심각한 지역, 즉 분사 드론에서 Water Fog를 분사하여 미세먼지 저감활동을 수행하고자 하는 영역을 먼저 선택한다. 해당 영역의 WayPoint로 영역의 꼭짓점 좌표 4곳의 경위도 좌표를 입력하고 해당 영역 내에서 측정 비행하고자 하는 경로의 간격, 비행 속도 등을 설정하면 전체 비행경로가 자동 생성되어 저장되고, 지도 화면상에 해당 경로가 가시화되어 표출된다. 이렇게 설정된 경로에 대해 분사 드론 제어 중계App.을 통해 분사 드론(A3-AG)로 전송하여 분사 드론이 해당 경로에 따라 비행하면서 Water Fog를 분사하게 된다.



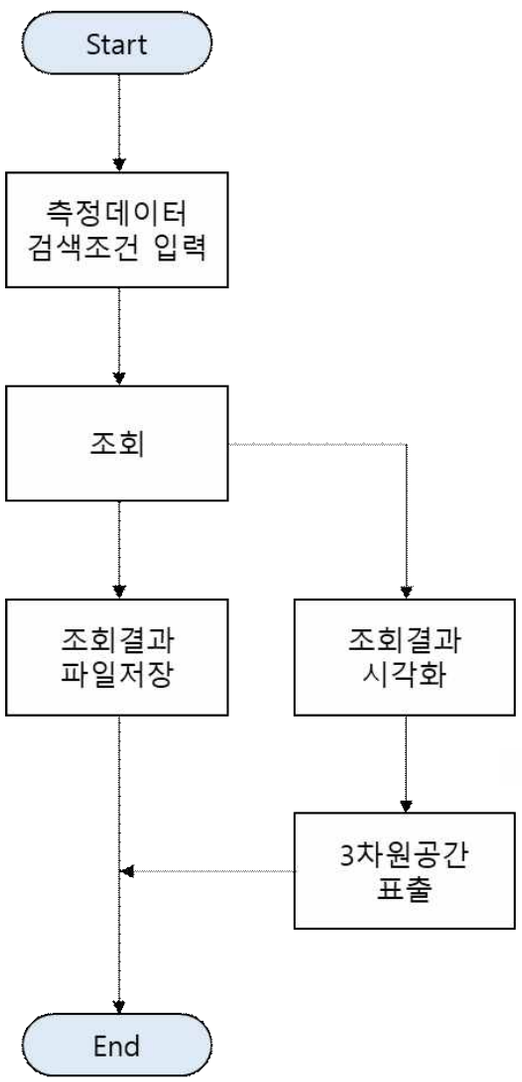
[분사 드론의 비행제어 프로세스]

현장 운영시스템이나 평가시스템에서 과거 미세먼지 측정결과 및 Water Fog 분사를 통한 저감 활동 이후 결과에 대해 비행 시점의 일시, 드론 모델을 선택하여 그 값을 조회하는 프로세스이다. 과거 측정 및 저감활동을 했던 비행시각을 검색 조건으로 입력하여 DB를 조회하고, 조회 결과를 파일 형태로 저장하거나 저감 활동 전후의 측정/재측정 데이터를 비교 분석하기 위해 두 건의 데이터를 각각 조회, 검색하는 경우 그래프를 통해 측정 결과가 미세먼지 농도가 시간이 지나감에 따라 어떻게 달라졌는지, 한 눈에 비교 분석이 가능하도록 구현하였다.



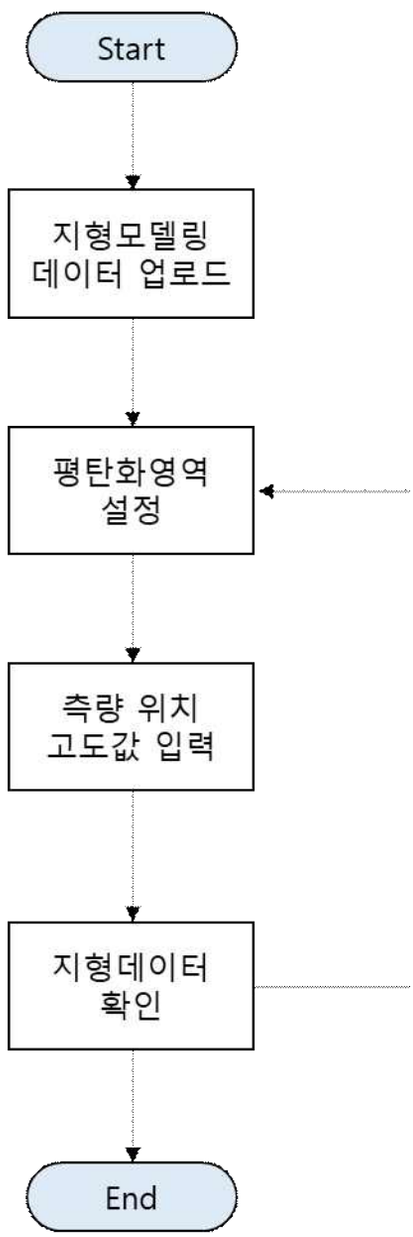
[측정결과 조회/분석 프로세스]

현장 운영시스템이나 평가시스템에서 미세먼지 측정 결과에 대해 비행 시점의 일시, 드론 모델을 선택하여 그 값을 조회하고, 3차원 공간정보 상에 시각화하는 프로세스이다. 시각화 방법은 초당 수집한 미세먼지 측정결과를 드론의 GPS를 통한 위치정보를 수집, 비행경로에 따라 개당 5m*5m 의 정육면체의 Cell을 생성하고 Cell의 색상을 미세먼지 측정결과값에 따라 그 심각도를 청색, 노란색, 적색으로 각각 표현을 하여 측정대상 영역을 지면으로부터 약 5~20m 고도에서 가시회함으로써 한 눈에 비교 분석이 가능하도록 구현하였다. 또한, 이는 비행 고도의 설정에 따라 고도에 따라 층별로 표출함으로써 3차원으로 그 결과값을 조회하도록 구현하였으며 시뮬레이션 기능을 통해 드론의 이륙 시점부터 비행경로를 따라 착륙 시점까지 드론의 위치정보와 함께 과거 운영 결과를 미세먼지 측정값의 시각화와 함께 재현하여 확인할 수 있도록 기능을 구현하였다.



[드론 운영 및 측정결과 시각화 프로세스]

현장 운영시스템이나 평가시스템에서 사용자들이 시시각각으로 변화가 일어나는 작업중인 건설 현장에서 지형지물을 손쉽게 확인하고 판단이 가능하도록 측정 드론을 통해 촬영한 정사영상 데이터를 이용해 구축한 3D 지형모델링 데이터를 기반이 되는 3차원 공간정보 데이터인 VWorld 3차원 공간정보상에 Upload한다. 시스템에 반영할 시에는 해당 모델링 데이터의 중심 좌표를 입력하여 모델링 데이터를 공간정보의 정확한 위치에 올릴 수 있도록 매핑하도록 기능을 구현하였으며, VWorld의 3차원 공간정보에서는 이렇게 Upload한 3D 지형모델링 데이터가 주변 지형지물과 충돌하여 위화감이 들지 않도록 해당 영역의 지형평탄화를 통한 매핑 작업이 필요하다.



[지형평탄화 및 3차원 기반 시각화 프로세스]

이런 이유로 3D 지형모델링 데이터가 올라갈 평탄화 대상 영역을 지도 화면에서 꼭짓점 좌표를 입력, 설정하고 해당 영역에 대한 측량 위치 고도값을 입력함으로써 대상 영역을 균일한 고도에 맞춰 평탄화하는 기능

을 구현하였다. 최종적으로 이렇게 평탄화된 영역에 올라간 3D 지형모델링 데이터와 주변의 지형지물을 최종적으로 확인한다.

③ 메뉴 구조 및 기능 흐름 정의

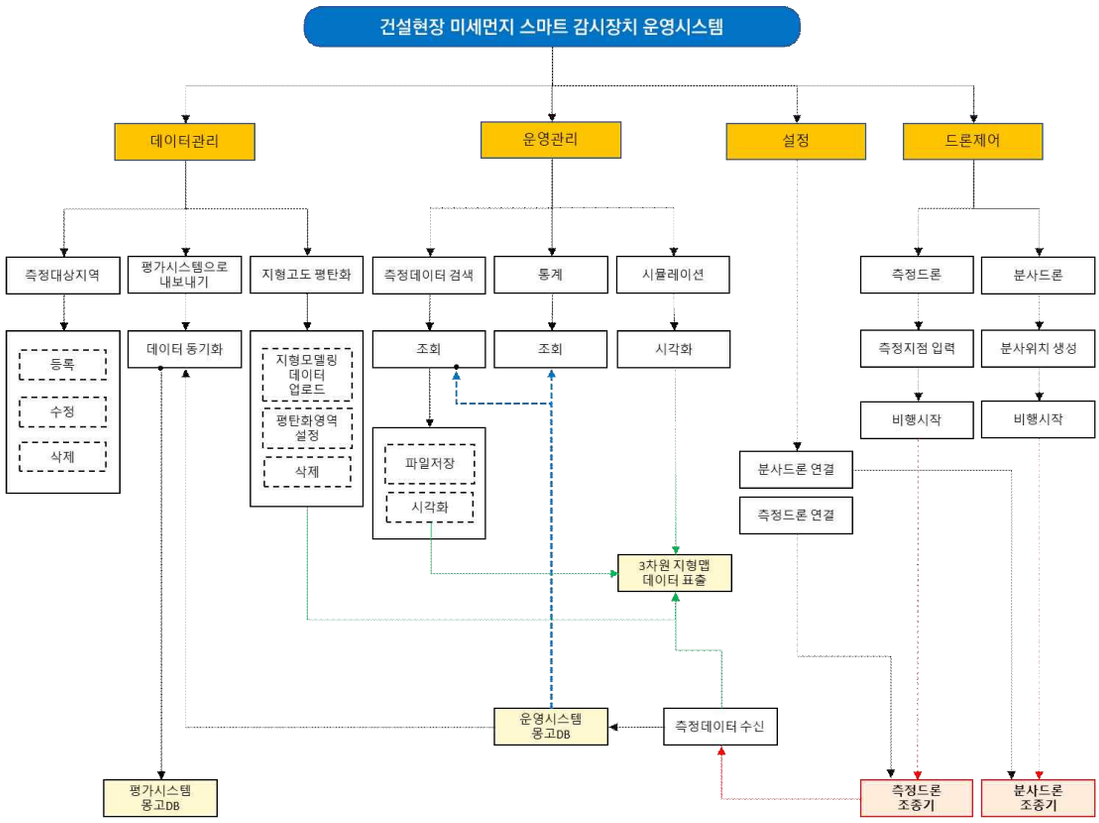
이렇게 요구사항 분석 및 정의, 시스템 아키텍처 및 운영 프로세스의 수립를 기반으로 현장 운영시스템과 웹 기반 평가시스템의 기능 정의를 하고, 메뉴 구조를 각각 정의하였다. 각각의 메뉴 구조도는 아래 그림과 같다.



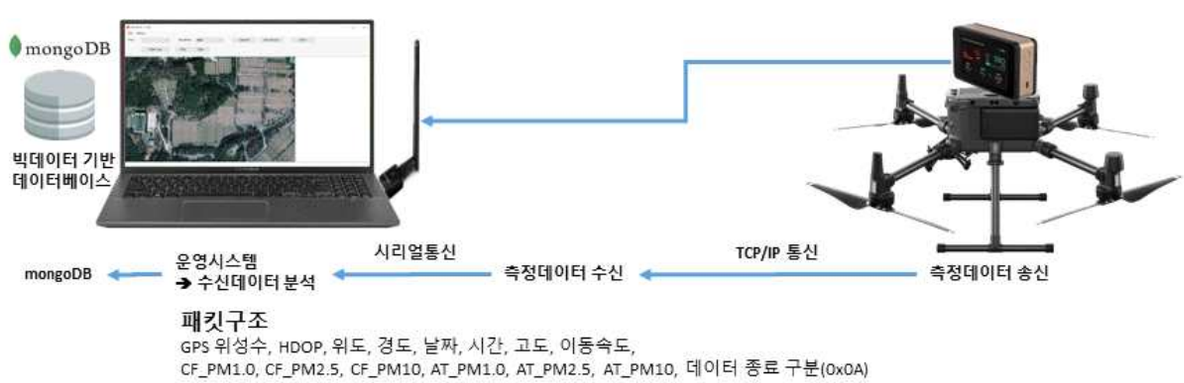
[현장 운영시스템 메뉴구조도]



[평가시스템 메뉴구조도]



[현장 운영시스템 기능 및 데이터 흐름]



[미세먼지 측정데이터의 수집·저장]

운영시스템의 주된 기능 중 하나인 미세먼지 측정데이터의 수집·저장 기능은 측정 드론 상부에 고정, 설치한 미세먼지 측정기로부터 운영시스템의 USB 단자에 연결한 수신기로 측정데이터를 TCP/IP 통신방식으로 송신한다. 운영시스템에서는 수신기에서 제공하는 미세먼지 측정데이터를 USB 단자를 통해 Serial 통신 방식으로 측정데이터를 매초마다 순차적으로 획득하게 되는데, 획득하는 측정데이터 GPS 관련 정보 및 미세먼지 측정데이터 값이 되며 그 패킷구조는 위 그림에서와 같다. 이렇게 수신한 측정데이터는 정의된 프로토콜을 적용하여, 개별 측정 데이터를 Parsing하여 데이터 구조를 복원한 후, Mongo DB에 저장하게 된다.



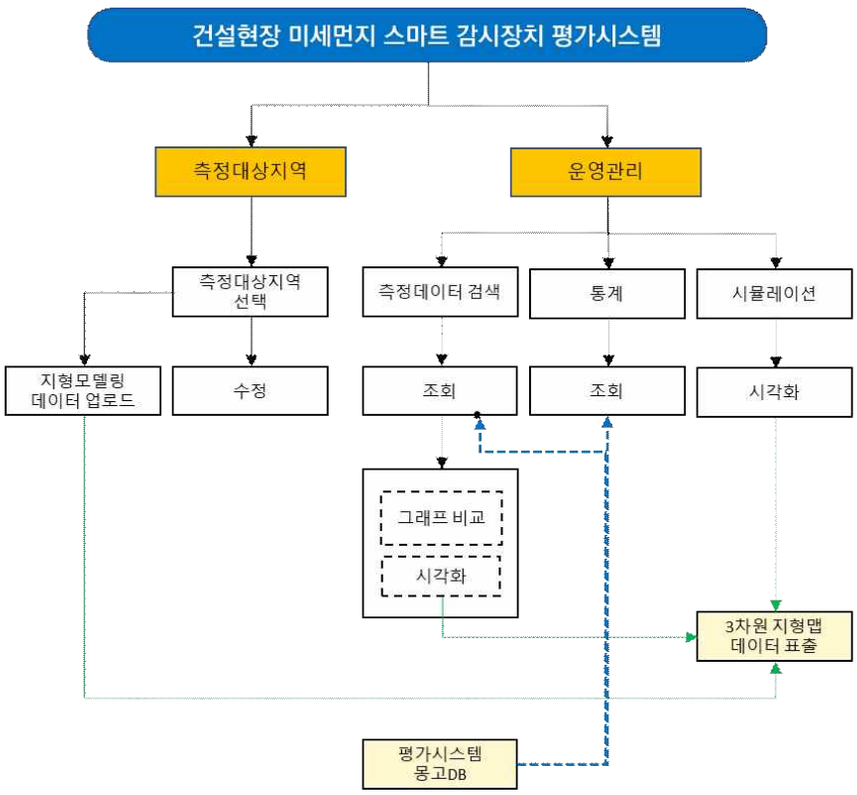
[측정 드론의 비행 제어]

측정 드론의 제어는 운영시스템에서 측정 대상 지역의 영역 꼭짓점 4개소의 경위도 좌표를 입력, 비행하고자 하는 영역을 선택하고 비행속도(평균 5m/s)와 비행간격(평균 4m)를 설정하면 해당 영역에 대해 종횡으로 설정 간격대로 비행경로가 자동으로 설정되도록 기능을 구현하였다. 이렇게 설정된 비행 경로 및 비행 시작 명령을 Andriod 운영체제 기반에서 운용되는 Smart Controller에서 드론으로 중계, 전달을 할 수 있도록 Android App.을 구현하여 탑재하였다. 데이터의 흐름을 보면 운영시스템에서 Smart Controller의 App.을 통해 측정 드론에 비행정보 및 시작 명령을 하달하고, 측정 드론에서 수집한 미세먼지 측정데이터는 운영시스템 장비에 설치된 수신 장치를 통해, 또 드론의 비행 정보에 대해서는 측정 드론에서 TCP/IP 통신을 통해 운영시스템으로 수집되고, 이렇게 수집된 비행정보 및 측정정보는 다시 Parsing하여 DB에 저장되도록 구현되었다.



[분사 드론의 비행 제어]

분사 드론의 제어는 운영시스템에서 수집한 미세먼지 측정값을 분석하여, 측정값이 '나쁨' 수준으로 측정된 영역에 대해 Water Fog 분사 대상 지역으로 규정, 해당 영역 꼭짓점 4개소의 경위도 좌표를 추출하여 분사 드론을 운영하고자 하는 영역을 선택하고 비행속도(평균 5m/s)와 비행간격(평균 4m)를 설정하면 해당 영역에 대해 종횡으로 설정 간격대로 비행경로가 자동으로 설정되도록 기능을 구현하였다. 이렇게 설정된 비행 경로 및 비행 시작 명령을 분사 드론의 제어가 가능한 Controller와 USB Cable로 연결되어 있는 Andriod 운영체제 기반에서 운용되는 SmartPhone이나 Tablet에 드론 제어 중계 App.을 구현, 설치하여 분사 드론으로 중계, 전달할 수 있도록 구현하였다. 데이터의 흐름을 보면 운영시스템에서 태블릿의 App.을 통해 Controller에 비행정보 및 시작 명령을 하달하고, 다시 Controller가 분사 드론에 해당 명령을 전달하여 분사 대상 영역을 비행하며 Water Fog를 분사할 수 있도록 해당 지점에 도달하면 태블릿을 통해 '분사 실행 알림' 메시지를 던져주도록 구현하였다.

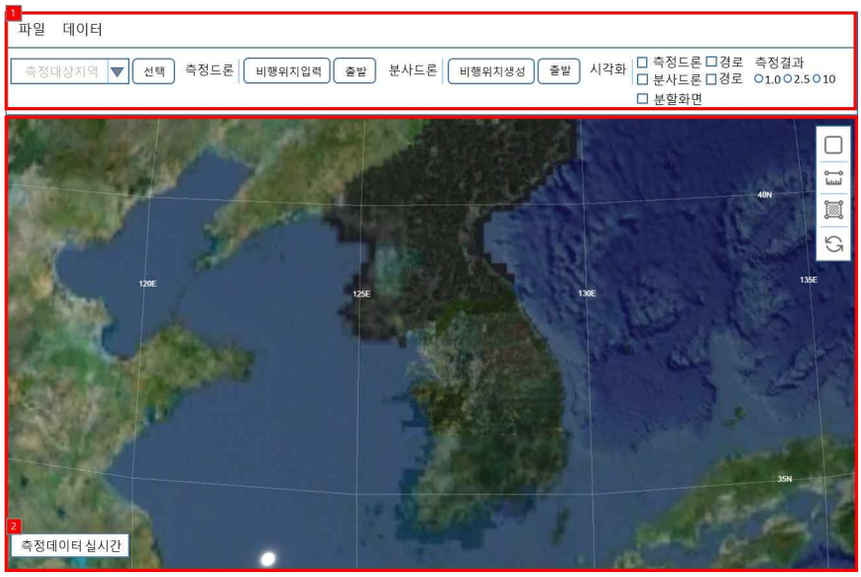


[평가시스템 기능 및 데이터 흐름]

④ 화면 설계

■ 운영시스템

운영시스템의 메인 화면은 사용자들에게 익숙한 Pull-down Menu 방식을 적용하였고, 주요 기능을 실행시키기 위한 버튼이나 선택 옵션들에 대한 배치를 화면 상단에 배치하여 가능한 모든 정보를 사용자 관점에서 파악하기 쉽도록 UI/UX를 적용, 설계하였다. 아래 화면에서 보는 바와 같이 지도를 조작하기 위한 기본 제어 명령에 대해서는 메인화면의 지도 영역의 우측에 Quick Menu를 배치하여 구분하였다. 기본적인 지도 조작 기능으로는 위부터 지도 전체화면 보기, 거리 측정, 면적 측정 및 지도 초기화의 순서로 Menu를 구성하였다.



[메인화면 Navigation 설계(운영시스템)]

측정대상 지역에 대해서는 반복될 수 있고 다양한 건설현장에서 사용될 수 있다는 업무 분석을 통해 등록, 수정 및 삭제 등을 할 수 있도록 화면을 설계하였으며, 이는 기능 구현시 지도의 즐겨찾기 등록 기능처럼 대상지역의 좌표 중심으로 해당 영역을 DB에 저장, 언제든지 해당 지역 선택시 대상 지점으로 지도가 이동할 수 있도록 설계하였다. 또한, 여기에는 측정 지역의 정사영상을 활용하여 구축한 3D 지형모델링 데이터를 Upload할 수 있도록, 해당 파일을 탐색기에서 선택하도록 설계하였다.



[측정대상지역 등록]

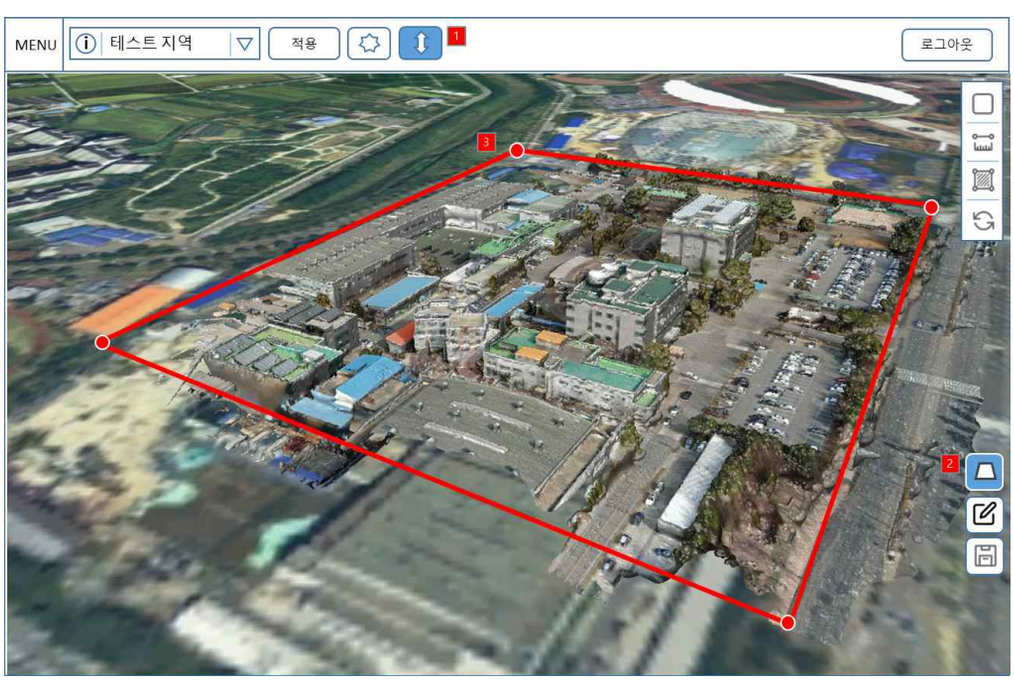
측정 드론에 전송할 비행 경로에 대해 비행대상 지역의 꼭짓점 경위도 좌표를 화면에서와 같이 추가 버튼을 눌러 화면상에서 클릭한 지점의 경위도 좌표를 수집, 영역을 선택할 수 있도록 사용자들의 편의를 고려하여 설계하였다.



[측정 드론 비행경로 설정]

평가시스템

평가시스템은 Web 기반이라는 특성상, 다수의 사용자가 각각의 다른 권한을 가지고 시스템에 접속, 기능을 사용하기에 향후 확장까지 고려하여 초기 진입화면에서 ID/Password를 통한 로그인 화면을 도입하였다. 또한, 운영시스템과 마찬가지로 그림에서와 같이 메인 메뉴는 상단에 배치, 사용자들의 편의를 도모하였으며 지도를 조작하기 위한 기본 제어 명령에 대해서는 메인화면의 지도 영역의 우측에 Quick Menu를 배치하여 지도화면 제어를 위한 메뉴와 메인 메뉴의 기능을 운영하기 위한 메뉴 배치를 구분하였다.

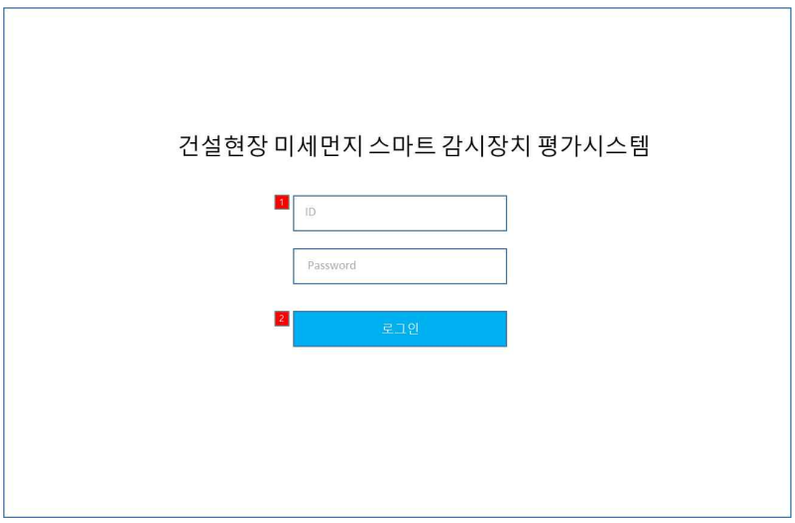


[메인화면 Navigation 설계(평가시스템)]

3) 시스템 개발

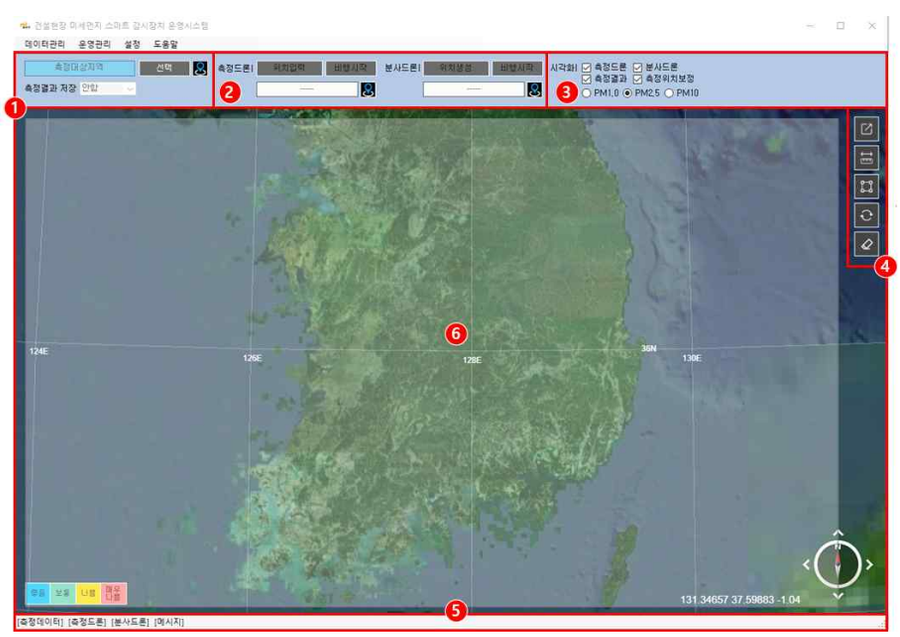
① 운영시스템

■ 초기 메인화면



[초기 진입 화면]

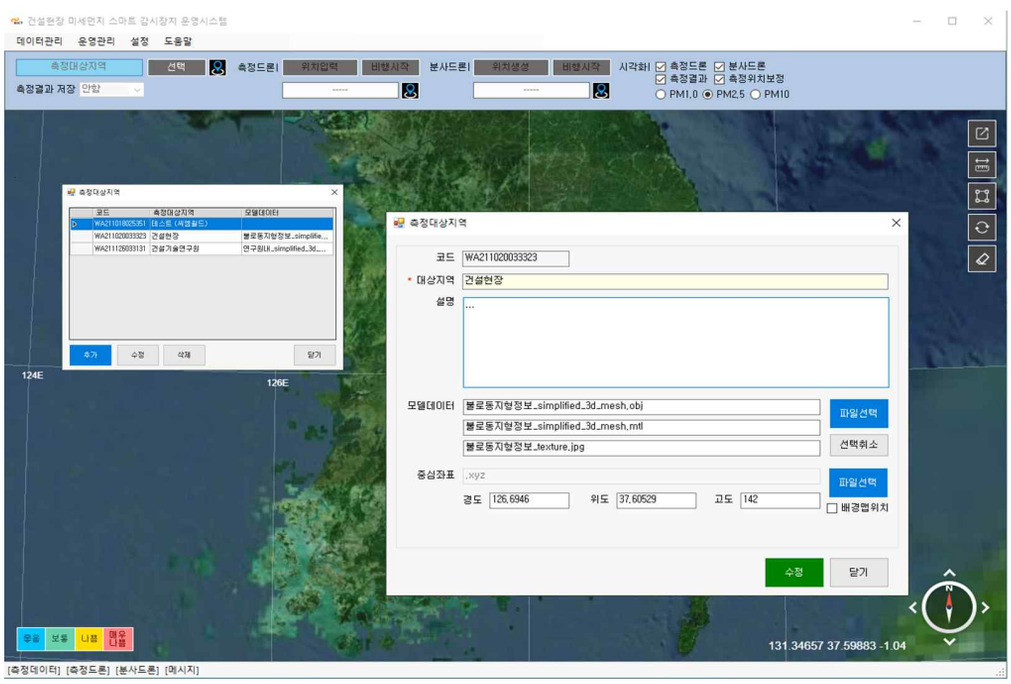
운영시스템 프로그램 실행 시 보여지는 화면구성으로 화면 상단 좌측부터, 등록되어 있는 측정대상지역으로 이동하기 위한 선택 버튼 배치와 그 우측으로는 드론의 비행위치 입력 및 비행을 하기 위한 제어패널, 3차원 지도위에 보여지는 객체들을 선택하기 위한 레이어 패널을 배치하였고, 아래 하단의 우측에는 3차원 지도를 조작하기 위한 맵제어 도구바를 Quick Menu 형태로 배치하였다. 또한, 화면의 가장 하단에 드론 비행 시 수집된 측정값과 GPS 위치를 텍스트로 표시하기 위한 상태바를 구현하고 화면 중앙에 3차원 지도가 보여지는 영역을 배치함으로써 드론의 위치, 미세먼지 측정결과 값들을 한 눈에 확인할 수 있게 구현하였다. 또, 화면상에서 현재 위치에서의 방향을 확인할 수 있도록 화면 하단부에 나침판 기능을 구현하였으며, 미세먼지 측정값에 대해서는 화면 좌측 하단에 범례를 통해 사용자들이 쉽게 이해할 수 있도록 표시하였다.



[메인 화면(운영시스템)]

■ 측정 대상지역 관리

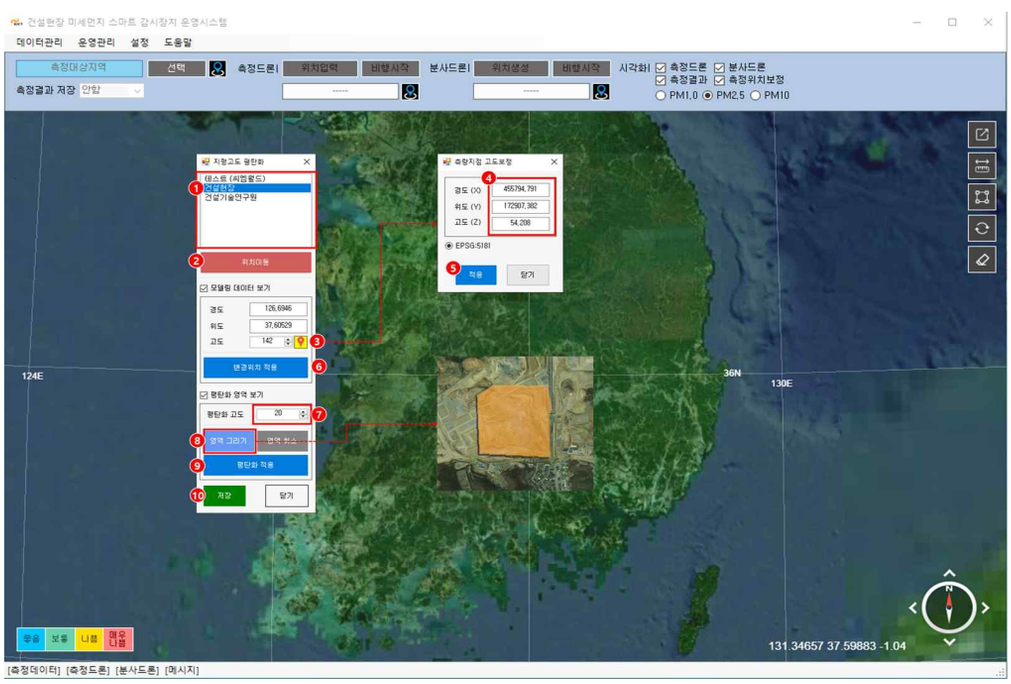
측정 대상지역의 위치좌표를 설정하고, 3차원 지도위에 표출하기 위한 3D 지형 모델링 데이터를 관리하기 위한 기능으로 데이터 관리 메뉴에서 진입하도록 구현하였다. 기능 동작시 화면 좌측의 팝업창에서 [추가], [수정], [삭제] 버튼을 클릭하여, 측정대상지역 신규 추가 및 수정, 삭제 등 관리를 할 수 있도록 구현하였으며 추가나 정보의 수정 시 아래 메인화면의 우측 팝업창이 열리며 측정 대상지역 이름 및 내용설명 입력, 3차원 모델링데이터 파일 선택(obj, mtl, jpg 파일) 및 3차원 지도위에 모델링 데이터를 표출하기 위한 중심좌표 파일 선택(xyz 파일) 기능을 구현하였다. 해당 항목을 입력 혹은 수정 후, [저장] 버튼을 클릭하여 입력한 내용으로 측정 대상지역 정보를 저장함으로써 대상지역의 관리가 가능하도록 구현하였다.



[측정 대상지역 관리]

■ 지형고도 평탄화

측정대상 지역의 지형고도를 변경하여, 3차원 지도위에 표출하기 위한 기능으로 데이터관리 메뉴에서 '지형고도 평탄화'기능을 실행시킴으로써 사용 가능하다. 아래 그림에서 보는 것과 같이 측정대상지역 목록에서, 평탄화하고자 하는 지역을 선택한 후 [위치이동] 버튼을 클릭하여, 지도상의 해당 위치로 이동하여 측량 고도값으로, 지형모델링 데이터의 고도를 변경하려면 [위치수정] 버튼을 클릭, 측량 위치의 경위도, 고도값을 입력한 후 입력한 측량지점 고도값으로 보정하여 적용한다. 이후 [변경위치적용] 버튼을 클릭하여, 3차원 지도상에 지형 모델링데이터 고도값을 변경하여 표출하고 해당지형을 평탄화 할 고도값을 입력한다. 다음으로 [영역그리기] 버튼을 클릭하여, 지형 모델링데이터 주변 영역을 지도 영역에서 그려 선택을 하고 [평탄화적용] 버튼을 클릭하여, 3차원 지도상에 평탄화를 적용한 후 [저장] 버튼을 클릭하여, 현재 입력된 평탄화영역 정보 저장을 저장하면 화면 중앙의 예시와 같이 해당 영역의 지형고도 평탄화 결과를 다음번에 불러올 때도 평탄화한 지형 위 모델링 데이터가 올라가 있는 것을 확인 가능하다.



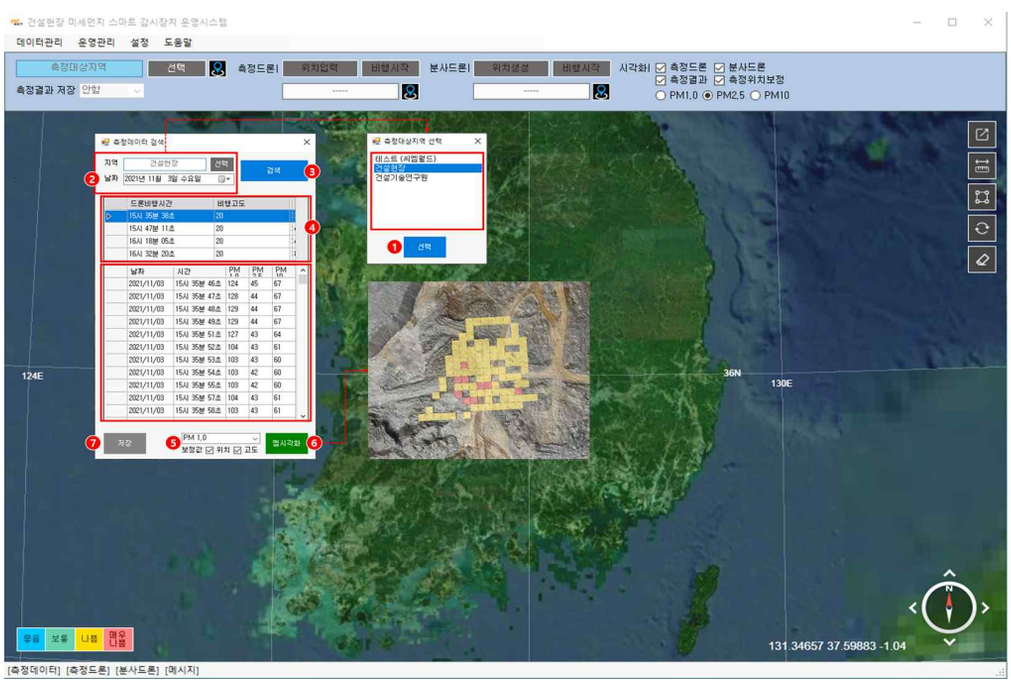
[지형고도 평탄화]

■ 미세먼지 측정 데이터 검색 및 시각화 표출

데이터베이스에 저장되어 있는 미세먼지 측정데이터를 검색하여, 검색된 측정결과 값들은 직경 5m* 5m 사이즈의 공간정보 영역으로 분석되어 3차원 지도위에 CubeBox 형태로 표출하고, 이는 csv 포맷이나 엑셀 파일로 저장할 수 있다.

메인메뉴의 운영관리 > 측정데이터 검색 메뉴를 선택함으로써 사용이 가능하며, 먼저 측정 대상지역과 측정날짜를 선택, [검색] 버튼을 클릭하여, 조건에 맞는 데이터를 조회합니다. 드론비행시간 목록에서 선택한 비행시간에 해당되는 측정결과 값이 리스트에 표시되면 지도위에 표출하고자 하는 옵션(PM1.0, PM2.5, PM10.0)을 선택한다.

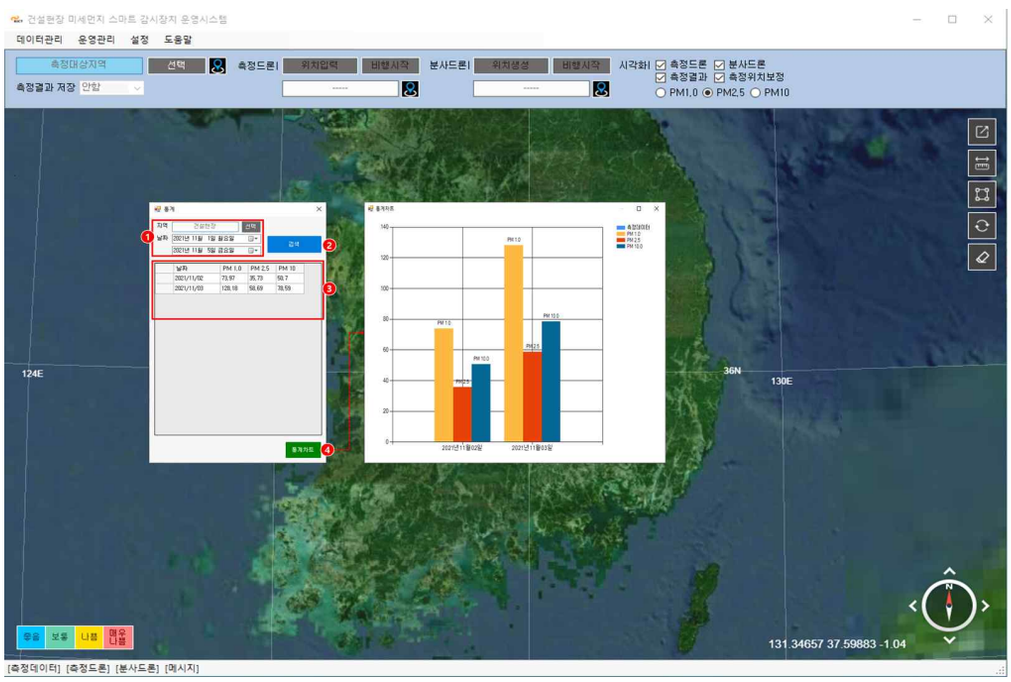
보정 값(위치, 고도) 선택 시 드론의 이동좌표와 비행고도로 매핑하여 측정결과를 시각화하게 되는데, [맵시각화] 버튼을 클릭하여, 3차원 지도위에 미세먼지 측정결과 값을 표출하고, [저장] 버튼을 클릭하여, 미세먼지 측정 결과 값을 파일(csv, xls)로 저장할 수 있도록 구현하였다.



[측정데이터 검색 및 시각화 표출]

■ 미세먼지 측정 데이터 통계 조회

데이터베이스에 저장되어 있는 미세먼지 측정데이터들에 대해서 날짜별로 평균측정 값을 구하고, 결과 값들을 차트로 가시화한다. 메인메뉴에서 운영관리 > '측정데이터 통계' 메뉴를 선택해서 실행을 하는데 먼저, 측정 대상지역 및 측정날짜 구간을 선택한 후 [검색] 버튼을 클릭하여, 조건에 맞는 데이터를 조회한다. 날짜별 미세먼지 평균측정값이 리스트에 표시되면 [통계차트] 버튼 클릭하여, 결과 값을 차트로 표시한다.



[미세먼지 측정데이터 통계 조회]

■ 측정 데이터 서버 Upload

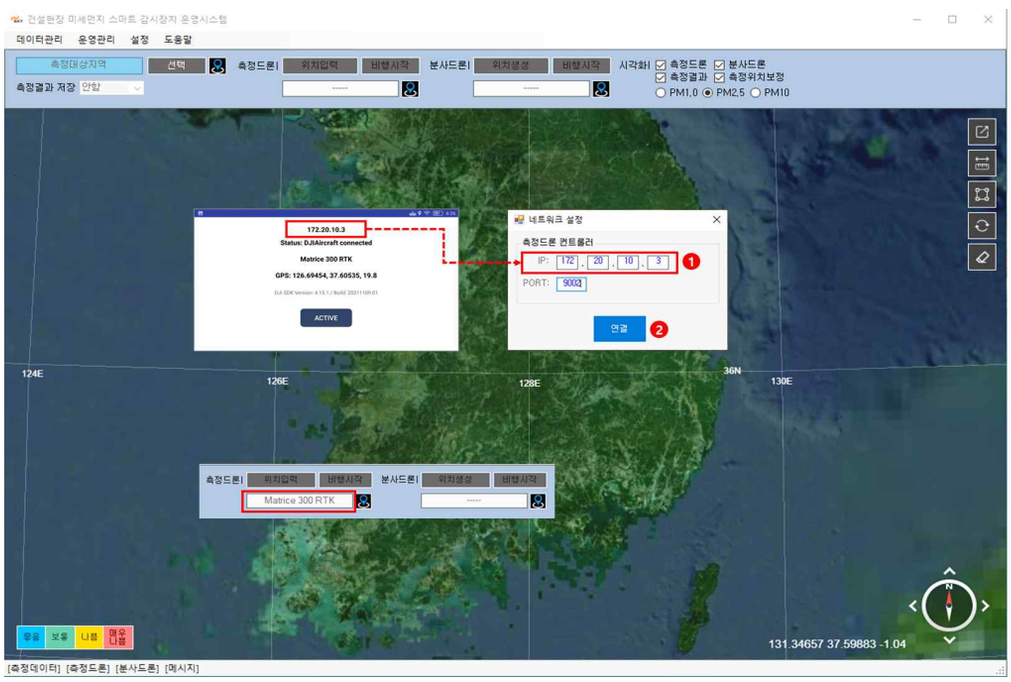
운영시스템의 데이터베이스에 저장되어 있는 측정데이터를 평가시스템의 데이터베이스로 전송하여 저장하는 기능을 구현하였다. 메인메뉴에서 데이터관리 > '평가시스템으로 내보내기' 메뉴를 선택하여 실행한다. 다음 그림에서 [내보내기] 버튼을 클릭하여, 현재 운영시스템의 저장되어 있는 측정데이터를 평가시스템의 데이터베이스로 전송한다.



[측정데이터 서버 Upload]

■ 측정 드론 무선연결

측정드론 조종기와 소켓통신으로 연결하기 위한 IP주소와 포트번호를 설정한다. 메인메뉴에서 > 설정 > 측정드론 > '무선연결' 메뉴를 선택한 후 DJI 스마트 컨트롤러의 화면에 보여지는 IP를 입력하고 [연결] 버튼을 클릭하여, 스마트 컨트롤러와 소켓통신으로 연결합니다. 스마트 컨트롤러와 연결되면, 측정 드론의 명칭이 화면에 표시되고 드론의 GPS 위치가 수신중인 경우, 현재 드론이 위치하고 있는 좌표로 지도 화면이 이동한다.

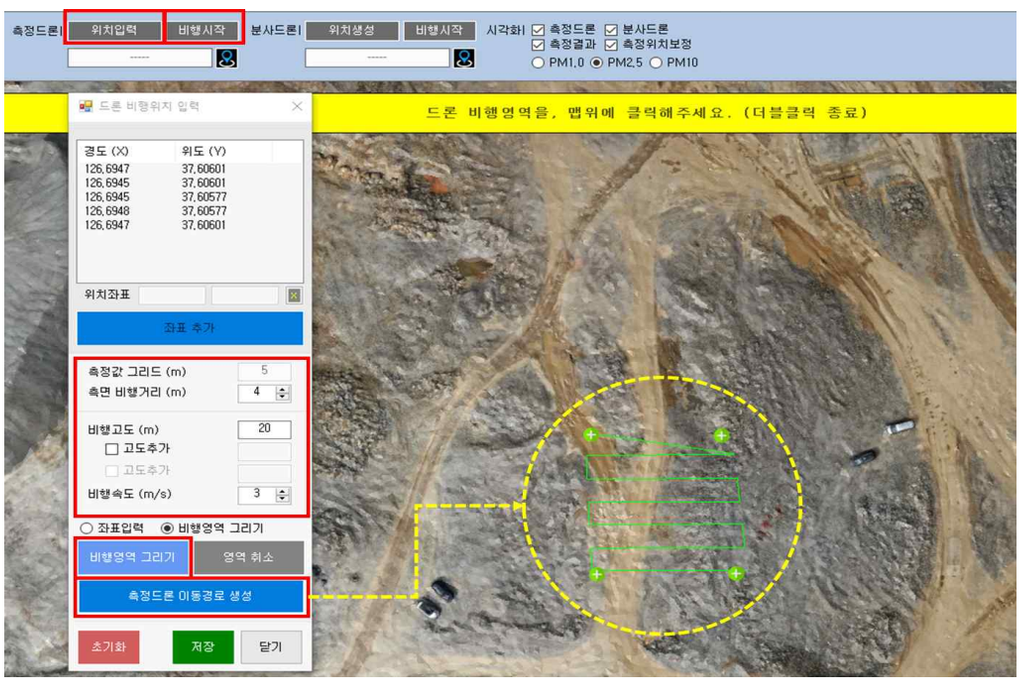


[측정드론 무선연결 설정]

■ 측정 드론 비행제어

측정드론의 비행경로를 생성하고, 생성된 좌표로 측정드론이 비행할 수 있도록 비행 명령코드를 전송한다. 드론제어 패널 > '측정 드론' 메뉴를 선택하여 실행할 수 있으며,측정드론 [위치입력] 버튼을 클릭하여 드론 비행경로 옵션 값(측면거리, 비행고도, 비행 속도)을 설정하고 [비행영역 그리기] 버튼을 클릭 후, 비행 최대영역의 포인트들을 마우스로 클릭하여 표시한다.

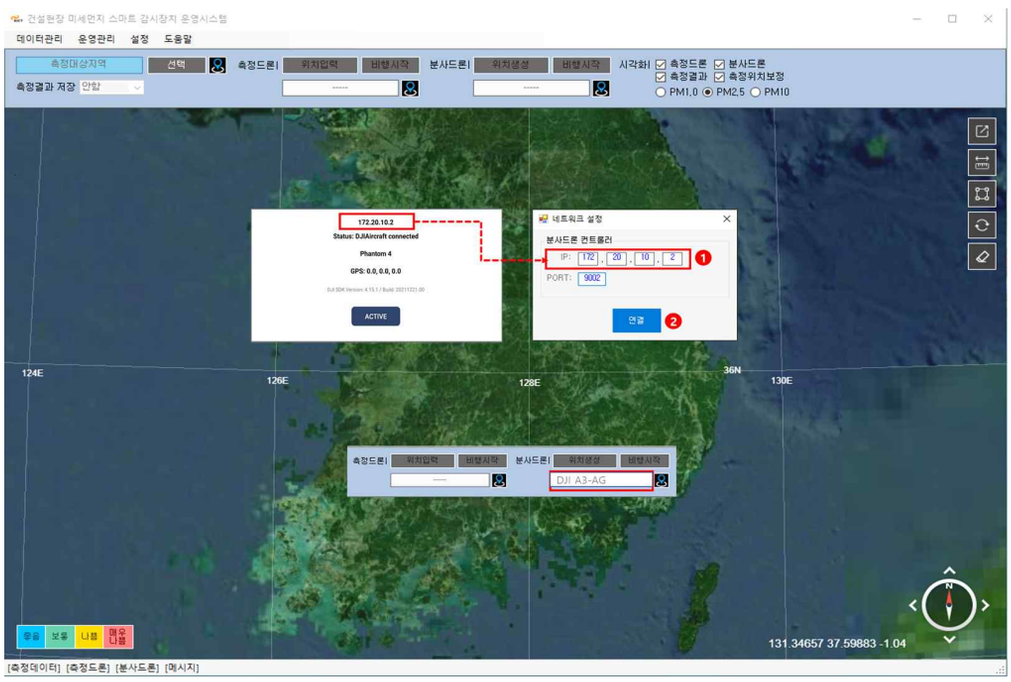
이후, [측정드론 이동경로 생성] 버튼을 클릭하면, 지도위에 측정드론이 비행할 경로가 생성되어 표시된다. [저장] 버튼을 클릭하여, 비행경로를 등록할 수 있으며 [비행시작] 버튼을 클릭하여, 측정드론으로 비행명령 코드를 전송함으로써 측정 드론에 대한 비행을 시작 가능하도록 구현하였다.



[측정드론 비행제어]

■ 분사 드론 무선연결(고려)

분사드론 조종기와 소켓통신으로 연결하기 위한 IP주소와 포트번호를 설정한다. DJI 드론 컨트롤러에 연결되어 있는 스마트패드의 화면에 보여지는 IP를 입력한 후 [연결] 버튼을 클릭하여, 드론 컨트롤러와 소켓통신을 연결한다. 드론 컨트롤러와 연결되면, 분사 드론의 명칭이 화면에 표시되고 드론의 GPS 위치가 수신중인 경우, 현재 드론이 위치하고 있는 좌표로 지도화면이 이동하게 된다.

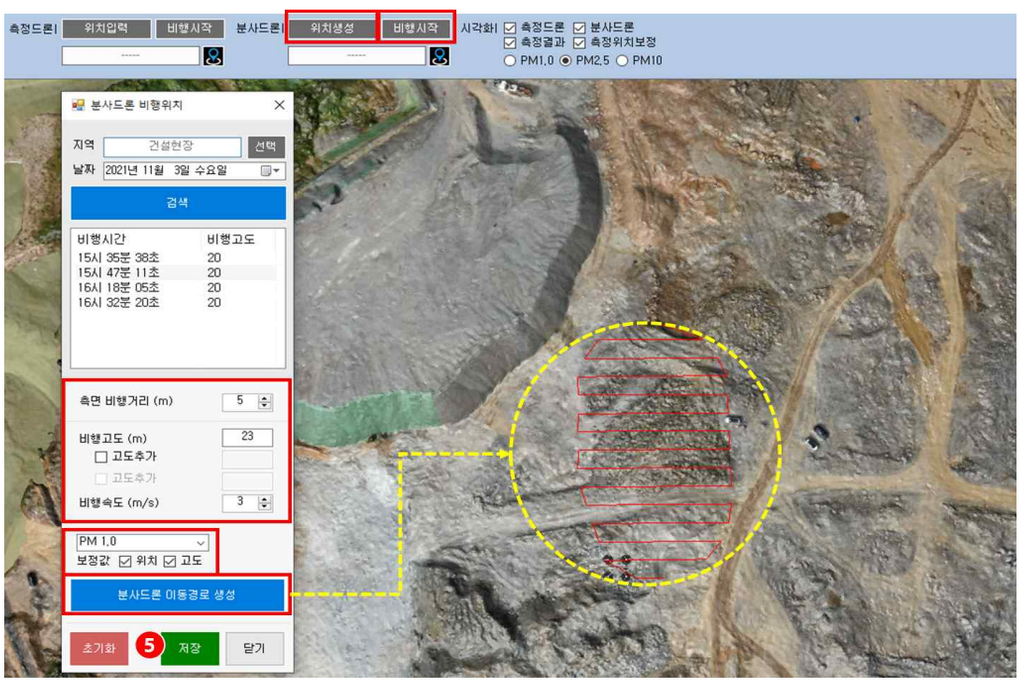


[분사드론 무선연결]

■ 분사 드론 비행제어(고려)

분사드론의 비행경로를 생성하고, 생성된 좌표로 분사드론이 비행할 수 있도록 비행 명령코드를 전송한다. 드론제어 패널 > '분사 드론' 메뉴를 선택하여 실행할 수 있으며 분사 드론의 [위치생성] 버튼을 클릭한 후, 드론 비행경로 옵션값(측면거리, 비행고도, 비행속도)을 설정합니다. 비행 고도값은 측정드론의 비행고도 + 3m 로 초기 설정하도록 하고 분사드론 이동경로를 생성하기 위해 사용되는 미세먼지 측정값의 단위를 선택한다. 보정값 적용시 해당 시간대 분사 드론의 이동위치와 비행고도를 매핑하여 사용한다.

[분사드론 이동경로 생성] 버튼을 클릭하면, 지도위에 분사드론이 비행할 경로가 생성되어 표시되는데, 이 때 [저장] 버튼을 클릭하여, 비행경로를 등록하고, [비행시작] 버튼을 클릭하여 분사드론으로 비행명령코드를 전송한다.

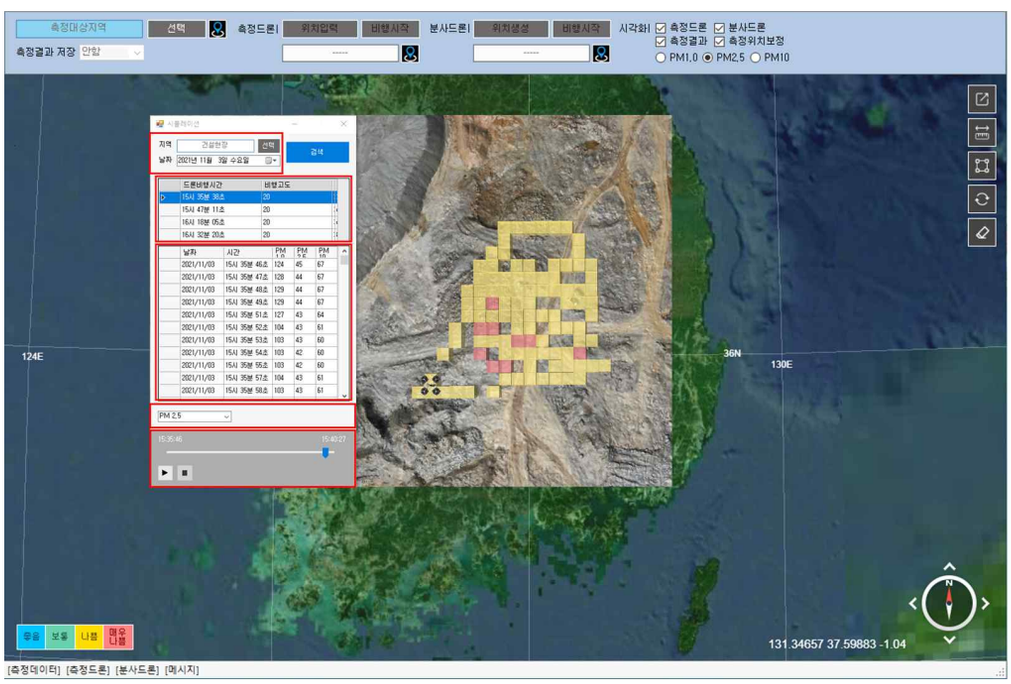


[분사드론 비행제어]

■ 시뮬레이션

데이터베이스에 저장되어 있는 미세먼지 측정데이터와 드론의 위치정보를 매핑한 운영결과를 검색하여 시뮬레이션한다. 메인 메뉴에서 운영관리 > '시뮬레이션' 메뉴로 진입하여 실행이 가능하며, 측정 대상지역 및 측정날짜를 선택한 후 [검색] 버튼을 클릭하여, 조건에 맞는 데이터를 조회한다. 날짜별 드론비행시간 목록이 표시되면서 그 중 선택한 비행 기록에 대한 측정시간별 미세먼지 평균측정값이 리스트에 표시된다.

이 때, 화면에 표출할 미세먼지 단위를 선택한 후 시뮬레이션 조작 버튼(PLAY, STOP)을 클릭하면 과거 비행 및 미세먼지 측정 결과가 화면상에 시뮬레이션으로 표출된다.

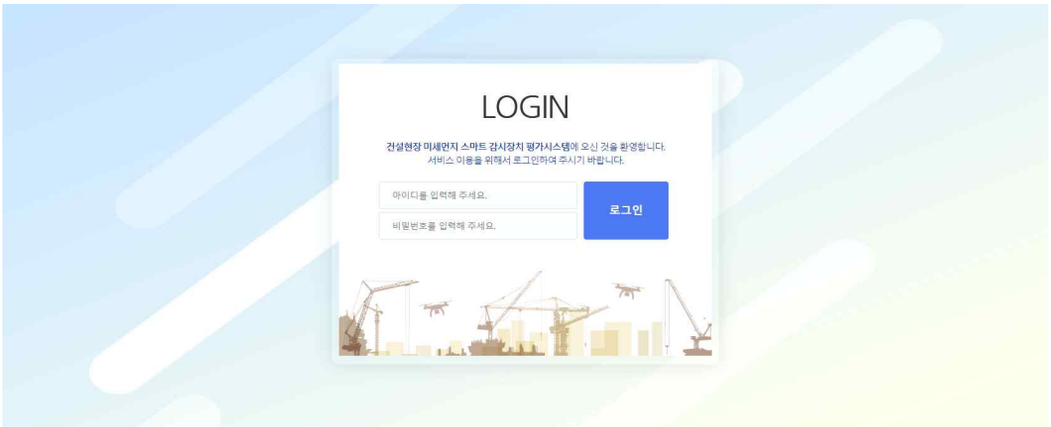


[시뮬레이션]

② 평가시스템

■ 초기 진입화면

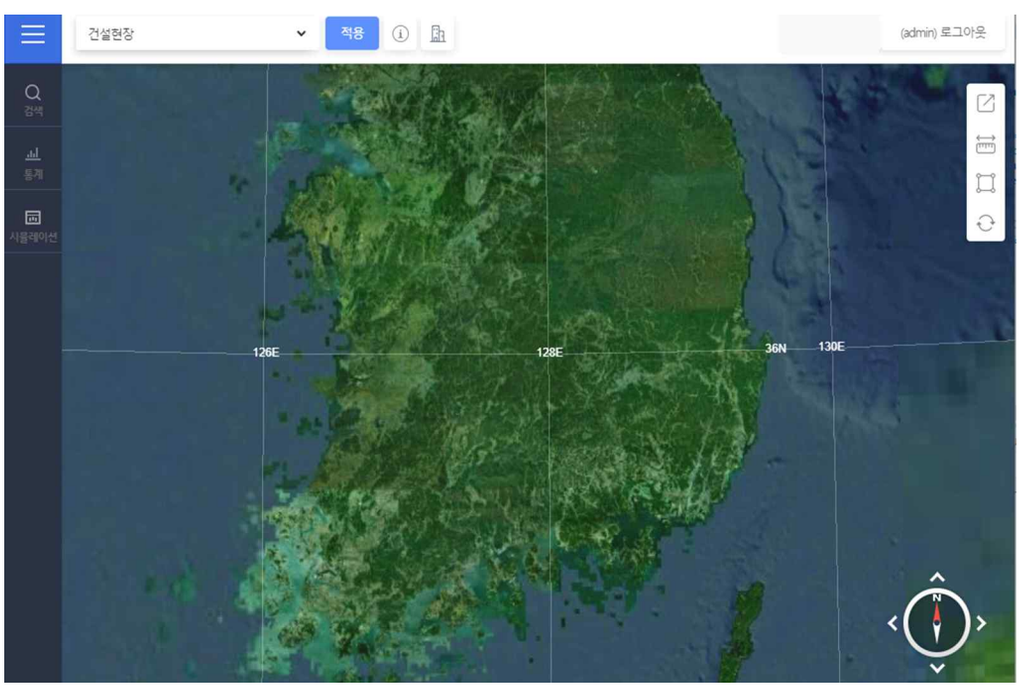
평가시스템은 Web 기반이라는 특성상, 다수의 사용자가 각각의 다른 권한을 가지고 시스템에 접속, 기능을 사용하기에 향후 확장까지 고려하여 초기 진입화면에서 ID/Password를 통한 로그인 화면을 도입, 구현하였다.



[초기 진입화면]

■ 메인 화면 구성

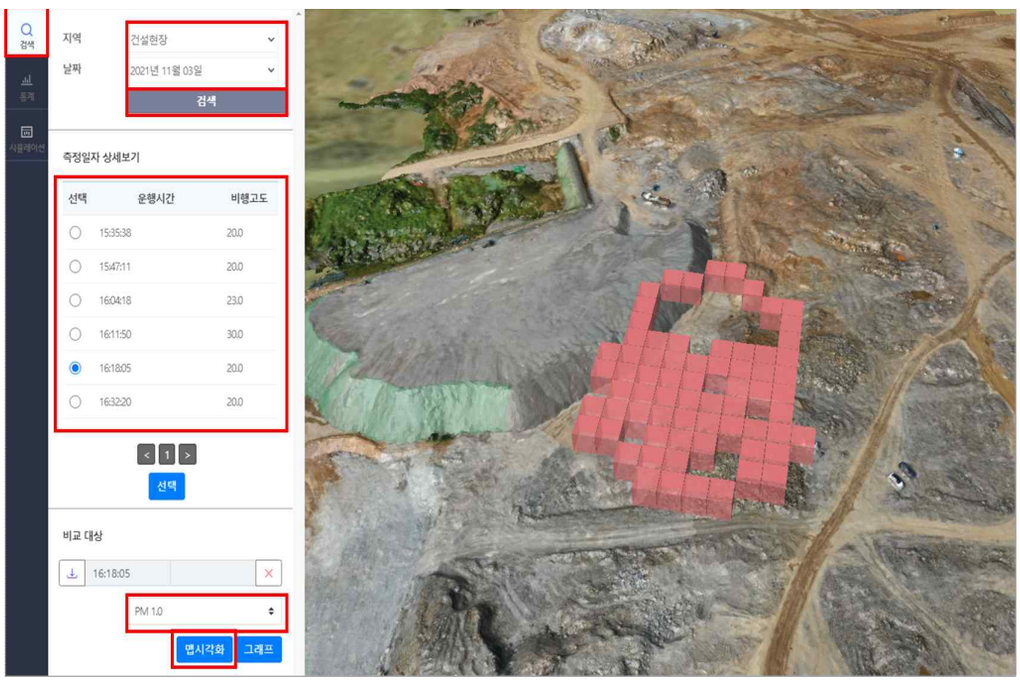
그림에서 보는 화면은 평가시스템에서 보여지는 메인페이지 화면구성으로 메인메뉴가 좌측 상단에 배치되어 있으며, 그 우측에는 등록되어 있는 측정 대상지역으로 바로 이동하기 위한 목록과 선택 버튼이 있고, 그 우측으로 선택한 측정 대상지역 '정보 보기' 버튼과 측정대상지역 정보를 수정/삭제하기 위한 관리메뉴 진입 버튼이 배치되었다. 또한, 지도 화면 영역 우측에는 3차원 지도를 조작하기 위한 맵제어 도구바를 배치하였으며, 화면 중앙에는 3차원 지도가 보여지는 영역을 배치하였다.



[메인 화면(평가시스템)]

■ 미세먼지 측정결과 검색 및 시각화

데이터베이스에 저장되어 있는 미세먼지 측정데이터를 검색하여, 3차원 지도위에 큐브박스 형태로 표출한다. 좌측 상단의 '검색' 메뉴를 선택, 측정 대상지역 및 측정날짜를 선택한 후 [검색] 버튼을 클릭하여, 조건에 맞는 데이터를 조회한다. 드론 비행시간 목록에서 검색대상 비행시간을 선택하고 지도위에 표출하고자 하는 측정값 옵션(PM1.0, PM2.5, PM10.0)을 선택한 후 [맵시각화] 버튼을 클릭하면 3차원 지도위에 미세먼지 측정결과 값을 시각화하여 표출되도록 구현하였다.



[미세먼지 측정결과 맵시각화]

■ 미세먼지 측정결과 비교 그래프 조회

데이터베이스에 저장되어 있는 미세먼지 측정데이터를 검색하여, 측정 및 저감활동 전후의 측정값을 그래프로 비교할 수 있도록 구현하였다.

좌측 상단의 '검색' 메뉴를 선택, 측정 대상지역 및 측정날짜를 선택한 후 [검색] 버튼을 클릭하여, 조건에 맞는 데이터를 조회한다. 드론 비행시간 목록에서 검색대상 비행시간을 선택하고 [대상추가] 버튼을 클릭하여, 비교 대상이 되는 비행결과 2개를 추가하여 그래프로 나타내고자 하는 측정값 옵션(PM1.0, PM2.5, PM10.0)을 선택한 후 [그래프] 버튼을 클릭하여, 미세먼지 측정결과 값을 비교그래프 표출하도록 기능을 구현하였다.



[미세먼지 측정결과 비교 그래프]

■ 미세먼지 측정데이터 통계 조회

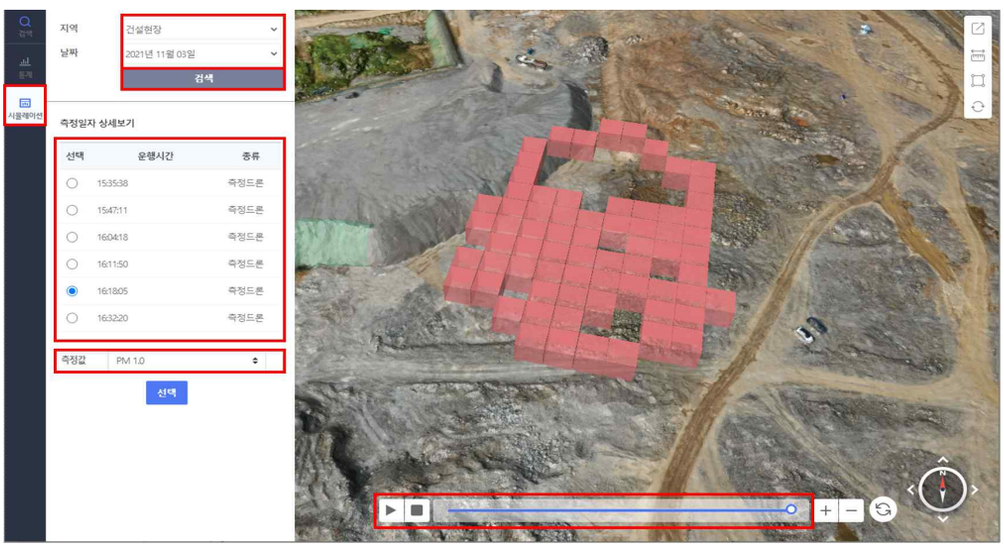
데이터베이스에 저장되어 있는 미세먼지 측정데이터들에 대해서 날짜별로 평균측정값을 구하고, 결과값들을 차트로 볼 수 있도록 구현하였다. 좌측 상단의 '통계' 메뉴를 선택, 측정 대상지역 및 측정날짜 구간을 선택한 후 평균값 계산을 위한, 측정값 옵션(PM1.0, PM2.5, PM10.0)을 선택한 후 [검색] 버튼을 클릭하여, 통계 그래프를 표시하도록 구현하였다.



[미세먼지 측정데이터 통계 조회]

■ 시뮬레이션 실행

데이터베이스에 저장되어 있는 미세먼지 측정데이터와 드론의 위치정보를 매핑한 운영결과를 검색하여 시뮬레이션 할 수 있도록 구현하였다. 좌측 상단의 '시뮬레이션' 메뉴를 선택하고 측정 대상지역 및 측정날짜를 입력한 후, [검색] 버튼을 클릭하여, 조건에 맞는 데이터를 조회하면 날짜별 드론 비행시간 목록이 표시된다. 그 중에서 화면에 표출할 미세먼지 단위를 선택한 후, [선택] 버튼을 클릭하여, 선택조건에 해당되는 측정데이터를 로딩하여 시뮬레이션 조작(PLAY, STOP) 버튼을 클릭하여 과거 드론의 비행 및 측정결과를 시뮬레이션으로 재현해 볼 수 있도록 기능을 구현하였다.

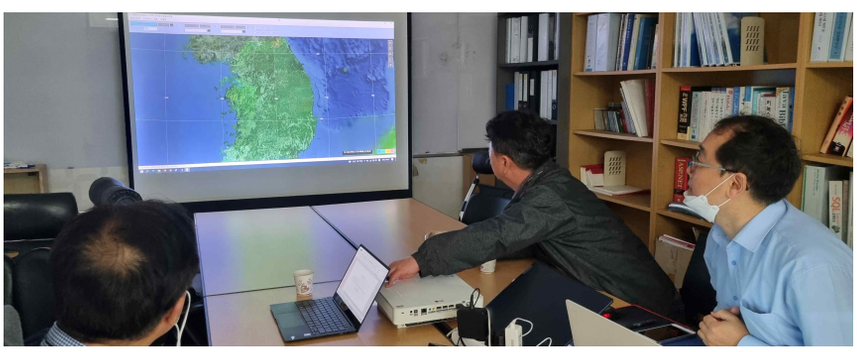


[시뮬레이션 조회]

3) 결론 및 향후 방향

① 결론

본 과제에서는 초기 시작부터 사용자와의 충분한 의사소통을 통해 요구사항 분석, 설계 과정을 거쳐 본 과제를 구성하는 현장 운영시스템과 평가시스템의 개발에 있어 요구사항을 충분히 반영함과 동시, 사용자 편의성 및 시각화 등 기능을 확대하여 시스템의 편리성과 활용성을 최대화할 수 있도록 하였다. 본 연구의 주요결과로는 건설현장에서의 드론을 이용한 미세먼지 측정과, 측정 결과를 기반으로 한 대상지역 추출 및 대상지에의 Water Fog 분사를 통한 저감활동을 수행하고 그 결과를 분석, 시뮬레이션 및 가시화를 통해 향후 드론의 건설현장에서의 활용방안 확대 및 측정, 분사에 의한 저감 활동 기대에 대한 시스템 적용 모델 제시 및 시스템의 기능 고도화방안 도출 등이다.



[운영 시스템 내부 시연]

② 향후 방향

건설 현장에서의 드론 투입으로 인한 미세먼지 측정 및 결과 분석에 대해서는 충분히 그 성과를 가시화하여 볼 수 있다고 사료된다. 그러나, 드론이란 운영 장비는 제조사와 모델에 따라 드론 제어를 위한 다양한 SDK가 제공되고 있다. 이는 시스템 개발 시에 각각의 드론 모델에 대한 제어 모듈이 지속적으로 추가 개발이 되어야 한다는 것으로, 개발 및 운영에 대한 시간, 비용이 과도하게 사용될 수 있다는 것을 의미한다. 이에 드론 장비의 선택 시 이런 부분을 감안하여 가능한 범용적으로 사용되는, 드론 모델을 제한하는 것도 한 방법이라 판단한다. 또한, 측정 후 저감 활동까지 소요시간이 장기화될수록 기상조건 및 분사 활동에 의한 저감 성과의 판단이 어려운 부분이 있으므로 드론의 운영에 대해 넓은 건설현장에서 드론을 운영하고자 할 때는 복수 개의 드론제어에 대한 연구가 추후 필요 될 것이라 판단된다.

3. 시스템 연계 및 통합

1) 정례회의

[3차년 Kick-off 회의]

① 운영시스템 Kick-off 회의록

- 건설연이 활용되는 DJI M300 모델은 window 기반 software development kit(SDK)이 제공되지 않고 Andoid 기반 SDK만 제공이 되어 제어는 Android 기반으로 준비하고 있으나 Data 수집은 기존과 동일하게 노트북에서 전송받은 방식으로 수행 하였다.
- 기계연은 드론을 20kg의 적재용량과 펌프작동 에너지를 포함한 베터리 에너지를 비행시간 20분을 제작 의뢰 맡겨놓은 상황이며 운영시스템 구축에 필요한 SDK 설계 부분은 상호 커뮤니케이션을 통해 구축할 예정이다.
- 군집드론에 대한 운영 부분은 향후에 구축은 가능할 수 있으나, 운영 알고리즘이 기존의 1:1 방식이 아니기 때문에 본 시스템의 범위 내에서는 가능성만 고려해보고 개발이 필요할 경우 추가적으로 진행하는 것으로 판단하였다.



[3차년 2차 정례회의]

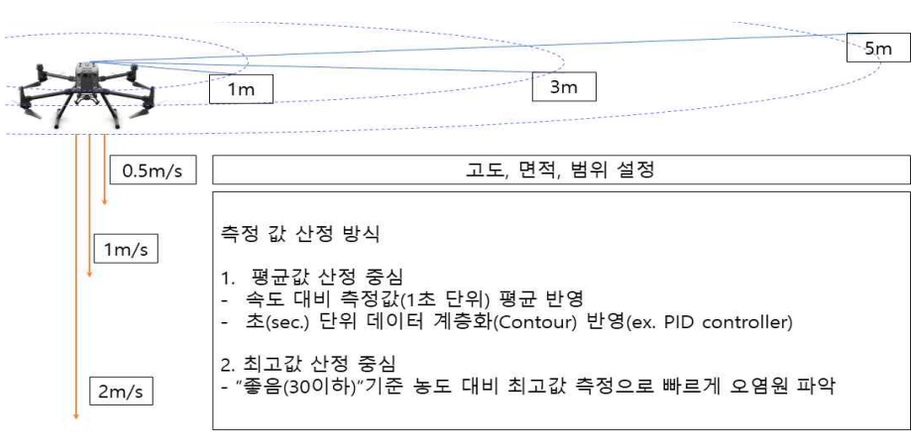
② 2차 정례 회의록

- 운영시스템은 측정 지점을 5-10개 정도로 고려하였으나, 추가적인 확장을 할 예정이고 DJI SDK를 반영한 앱으로 운영된다.
- 분사시스템은 현재 PixHawk 기반으로 운영되고 있어서 운영시스템이 DJI 기반이기 때문에 시스템에 대한 호환성에 대해서 DJI 로 변경한다.
- 평가시스템은 운영시스템과 동일한 알고리즘으로 움직이되 분석되는 도구를 넣어서 가시화에 대한 표현이 중요할 것으로 판단된다.

<운영 및 평가시스템 체크리스트(안)>

구 분	내 용	세 부 내 용	비 고
운영시스템	측정용 드론	이동 제어	
		정보 수신(위치, 측정값)	
		측정 실행	
	분사용 드론	이동 제어	
		정보 수신(위치, 측정값)	
		분사 명령	
	수신데이터 저장		
	운영데이터 내보내기		
	기본 정보 설정	드론 기기 정보	
		작업 내용	
	3차원 시각화	화면 제어(이동, 확대, 축소)	
		실시간 정보 표출	
		드론 위치 표출	
		드론 이동경로 표출	
		측정 정보 표출	
		평탄화 지역 표출	
평가시스템	지형고도 평탄화	영역 설정	
		높이 설정	
		지역 데이터 업로드	
		지형 고도 재생성	
	운영데이터 가져오기		
	드론 기기 정보 조회		
	측정 정보 조회		
	측정값 통계	통계 결과	
		통계 결과 파일 저장	
		통계 그래프 표출	
	운영결과 시뮬레이션	시뮬레이션 조건 선택	
		실행	
	3차원 시각화	화면 제어(이동, 확대, 축소)	
		드론 위치 표출	
		드론 이동경로 표출	
		측정 정보 표출	
		평탄화 지역 표출	

- 모니터링 시나리오는 측정 범위 및 간격에 대해 정하여 및 체크리스트를 산정하였다.



[드론 측정 범위 도식화]

2) 사전 맵핑 최적화

– 측정 및 평가 시스템 구현 전에, 사전 맵핑을 통한 측정 구역의 최신 지형정보를 반영하기 위해 연구원 내에서 중첩률 60%, 70%, 80%의 중첩률 최적화에 대해 시도 하였다.



[연구원 내 60%(좌), 70%(중), 80%(우)]

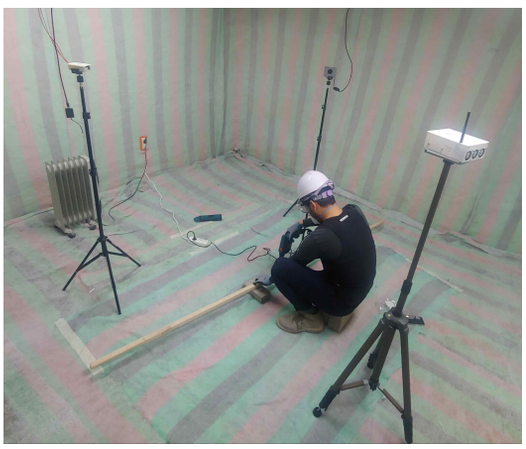
– 건물과 같은 수직 오브젝트의 경우, 80% 수준까지 중첩이 필요할 것으로 판단되며, 목표로 하는 소규모 건설현장의 경우 주변의 수직 오브젝트가 다수일 것이라고 예측되어 중첩률은 80% 이상이 적합하다고 산정하였다.



[온라인 상 계획 구역 지도(좌), 실제 위성지도내의 맵핑 구역80%(우), 사전 맵핑 3D 모델링 구현(하)]

- 시스템 연계 테스트를 위한 장소는 인천 검단 불로중학교 남부의 '인천검단지구 택지개발사업 조성공사 (2-1공구)' 내의 장소에서 사전 맵핑을 완료 하였으며, 맵핑 구역 내에서 연계 시스템 파일럿 테스트를 진행하고자 한다.

3) 사전 연계 테스트



[동아대학교 내 건설분야 미세먼지 농도 측정 실험(3월)]

[미세먼지 발생 후 분사시스템 효과 측정(8월)]



[연구원 내 운영 시스템 통신 점검 및 반영 확인(8월)]



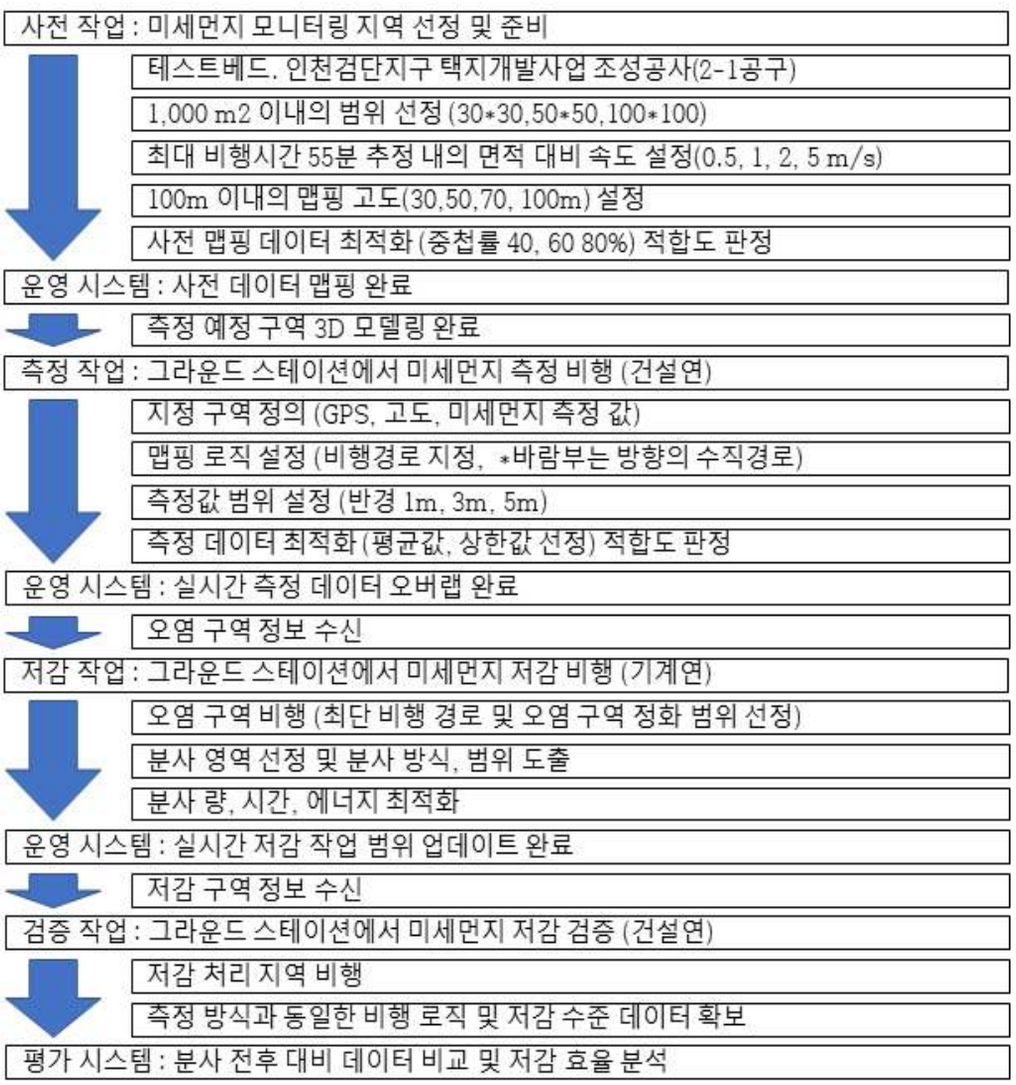
[연구원 내 비행 시스템 통신 여부 확인(8월)]

– 테스트베드 시험을 위한 연계 테스트를 위해 모듈 별로(미세먼지 모듈, 분사시스템 모듈, 드론 운영 및 비행 시스템) 사전에 점검을 하였고, 모듈 별 실험을 위한 작동 및 운영은 정상적으로 확인 하였다.

B-8 Test-Bed 적용에 따른 성과 분석

1. 시스템 체크리스트 및 시나리오

1) Test-bed 시스템 시나리오



[미세먼지 드론 연계 시스템 프로세스 시나리오]

- 주관기관 한국기계연구원과 공동기관 한국건설기술연구원의 개별적 모듈 시스템 간의 인터페이스와 시스템 통합을 위해 통합 시나리오를 작성하였다. 운영시스템 내에 측정과 분사작업을 포함하고 운영 이후의 평가를 위한 재측정을 통한 시나리오로 구성하였다.

① 측정 작업 시나리오

- 건설연에서는 사전 맵핑한, 정해진 현장 범위 내에서 측정을 하며, 운영시스템에 실시간으로 경로에 따라 미세먼지 측정값이 표현되며, 현재 미세먼지 측정기준에 따라 좋음, 보통, 나쁨, 매우 나쁨으로 분류와 함께 색으로 가시화 하였다.

② 저감 작업 시나리오

- 기계연은 측정된 미세먼지 구역 중 저감 활동이 필요한 재 산출된 영역의 최단 경로로 이동하여 분사메세지를 알람하여 분사를 활성화 하면서 미세먼지가 '좋음' 외 지역을 비행한다.

③ 평가 작업 시나리오

- 기계연의 분사 드론 활동이 끝난 후 착륙하면, 건설연의 재측정 및 평가를 위해 전체 영역을 비행하면서 분사 활동에 대한 저감 효과를 분석하며 실시간으로 경로 내 미세먼지 농도 현황을 파악하여 전후 데이터에 대한 비교를 시스템 내에서 분석한다.

2) Test-bed 시스템 시나리오 반영 체크리스트

실험 시나리오		Checklist
Step	Act	
1. 사전 준비 단계(사전 지형 정보 맵핑, 건설연)		
	1) 대상 현장 방문 1	
	2) 드론 조립 및 구성	
	3) 현장 지형정보 범위(고도 포함) 설정	
	4) 드론 비행 및 촬영	
	5) 촬영데이터를 PIX4D를 이용해 지형정보로 변환	
	6) 운영시스템에 지형정보 입력	운영시스템은 PIX4D에서 제공한 지형정보 영상을 수용하는가?
		측정대상지역 등록후 선택시, 해당지역으로 이동하는가?
		평탄화영역 설정시, 해당영역이 평탄화되어 보여지는가?
2. 미세먼지 측정 및 분석 단계(건설연), WaterFog 분사시스템 준비단계(기계연)		
	1) 대상 현장 방문 2 2) 드론 조립 및 구성, 미세먼지 모듈 장착(KICT) 2) WaterFog 분사시스템 조립 및 구성(기계연)	배터리는 충분한가?
		배터리 및 유체탱크는 충만하였는가?
		드론 기구부는 견고히 고정 되었는가?
		분사장치는 견고히 고정 되었는가?
		드론이 정상적으로 시동 on/off 되는가?

실험 시나리오		Checklist
Step	Act	
	3) 운영프로그램을 통한 측정 범위 설정 (KICT) 3) 운영프로그램을 통한 저감(분사)작업 범위 설정 (기계연)	미세먼지 측정 범위 입력이 가능한가?
		미세먼지측정 범위 입력시, 해당영역을 시각적으로 확인가능한가?
		운영시스템과의 통신은 원할한가?
		분사범위 및 고도값은 정확하게 입력되었는가?
		미세먼지 측정 범위 입력과 동일하게 비행을 하는가?
		3차원 시각화를 위해 고도 범위 설정이 가능한가?
	4) 드론 비행 및 측정(KICT) 4) WaterFog 분무테스트(기계연)	드론비행시, 3차원 공간위에서 드론의 이동하는 모습이 보여지는가?
		분사시스템이 자동/수동으로 정상작동 하는가?
		유체공급라인에 누수 및 막힘은 없는가?
		Water Fog 분무형태가 정상적인가?
	5) 측정데이터를 운영 시스템에서 실시간 가시화 (KICT)	
		미세먼지 측정정보의 큐브가 3차원 공간의 측정범위영역 안에 보여지는가?
		미세먼지 측정정보가 운영시스템의 상태바에 실시간으로 보여지는가?
		미세먼지 정보가 초단위로 제대로 수집이 되고 있는가?
		미세먼지 정보가 운영시스템에 실시간으로 적용되고 있는가?
		DJI에서 제공하는 측정 위치 정보가 수집되고 있는가?
		드론 비행위치 좌표가 운영시스템의 상태바에 실시간으로 보여지는가?
		DJI에서 제공하는 측정 위치 정보가 실시간으로 적용되고 있는가?
		미세먼지 정보와 측정위치 정보가 동시에 모두 반영되고 있는가?
		미세먼지 측정정보 큐브가 드론이동위치에 보여지는가?
		반경 2.5m(5m 큐브)의 크기로 시각화 표현이 되는가?
		비행속도가 바뀌었을 때에도 동일하게 반영이 되는가?
		비행속도 설정이 가능한가?
		측정된 큐브의 정보가 지형에 중첩되지 않고 지형정보가 반영된 상대고도로 반영되는가?
		3차원 측정으로 2차원 맵핑이 끝나고 상승할 때,

실험 시나리오		Checklist
Step	Act	
		고도변경에 따른 레이어 구분이 가능한가?
		비행고도 설정값이 3차원 시각화에 반영되어 보여지는가?
3. 저감 단계(기계연)		
	1) Water Fog 분사시스템에 의한 저감 작업	
	오염구역 정보 전송(송신, KICT)	오염구역 정보가 정상적으로 수신되는가?
		운영시스템에서 저감활동 비행경로가 생성되는가?
		미세먼지 위치 정보 확인 후 자동 시동 및 출동하는가?
		저감작업 시작지점에 도착시 조종기 모니터링화면에, 도착메시지가 보여지는가?
		측정위치정보에 따라 저감작업 위치에 도착하였는가?
		운영시스템 설정값에 따라 자동 운영되고 있는가??
		분사드론 비행후, 10분 경과시 조종기 모니터링화면에, 경고메시지가 보여지는가?
		드론 후면 LED 등에 배터리 저전압 경고가 발생하는가?
	2) Water Pump 구동전원 ON	Water Fog가 정상적으로 분무되고 있는가? – 분무량, 시간, 효과 육안 확인
	3) Water Pump 구동전원 OFF	Water Pump가 정상적으로 정지하였는가? – 분무여부 육안 확인
4. 평가 및 분석 단계(전후비교, 건설연), 재출동 준비단계(기계연)		
	1) 저감지역 비행 1) WaterFog 분사시스템 복귀 및 재출동 준비	저감 활동 지역 정보 전송(수신)되었는가?
		원점으로 복귀하는가? (RTH 기능)
		운영시스템에서 저감활동 비행경로가 생성되는가?
		저감 활동 지역 정보로 드론이 비행하는가?
		드론 기구부에 특이사항은 없는가?
		드론비행시, 3차원 공간위에서 드론의 이동하는 모습이 보여지는가?
		동일하게 저감 활동 지역만 비행하지 않고, 전체측정 범위로 비행하는가?
		배터리 교체 및 유체 재충진 하였는가?
		저감활동 지역만 비행하는가?
		저감활동 주변까지 비행하는가?
	2) 평가시스템 저감수준 판단 2) 저감수준에 따라 저감작업 수행	평가를 위한 모니터링도 측정 모니터링과 동일하게 제공하는가?
		미세먼지 정보가 운영시스템에 실시간으로 적용되고 있는가?
		운영시스템의 측정결과가 평가시스템에서도 동일하게 보이지는가?
		전후대비로 오염된 지역의 저감 정보를 표현하였는가?
		저감되었다고 판단이 되는가?

실험 시나리오		Checklist
Step	Act	
	3) 드론 해체 및 철수	

- 구성된 시나리오를 바탕으로 테스트베드에 활용하기 위해 단계, 활동, 체크리스트를 통합하여 통한 연계 시험을 준비하였다.

2. 테스트 베드 시험

1) 시나리오 기반 선행 시험 및 사전 맵핑

① 시나리오 기반 1차 선행 시험(2021.09.16.)



[현장사무소 내, 사전 시나리오 논의]

- 진행되는 Test-bed 제공 현장은 인천검단지구 택지조성공사 2-1 현장에서 수행하였으며, 실제 건설 현장에서 드론 기반의 Smart 감시장치 및 Water Fog 분사 시스템을 적용하여 작업 시 발생하는 미세먼지의 측정 및 저감 작업에 대한 성능을 검증하였다.






[1차 측정 대상 현장 및 분사 드론 연계 테스트 준비]

– 택지 현장 내 절토 구간 부분에서 다수의 장비가 작업하고 있는 곳을 중점적으로 영역을 지정하고 사전 맵핑을 수행하였다. 1차 테스트를 하면서 실질적인 연계 시스템 수준 전의 각 장비의 비행 및 조종에 대해서 점검하였다.

② 시나리오 기반 2차 선행 시험(2021.11.03.)



[2차 선행 테스트 및 분사 시스템 비행 로직 설정]



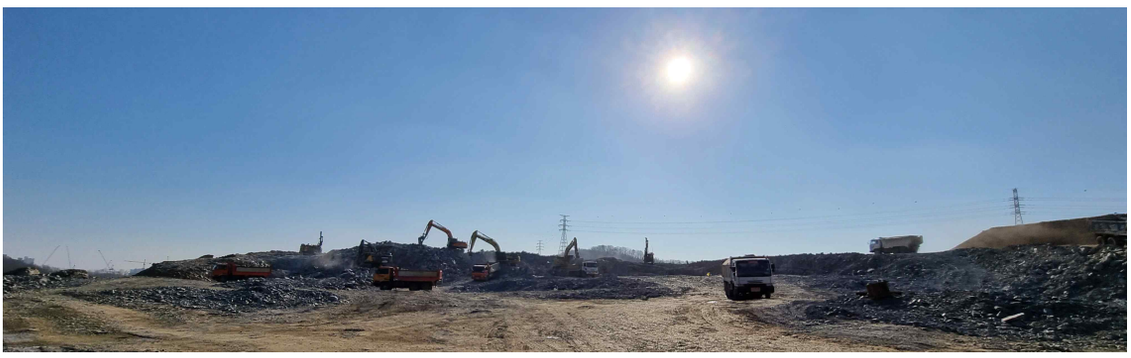


[분사 시스템 모듈 작동 점검 및 측정 시스템 모듈 준비]

– 2차 테스트는 분사 시스템 자체적인 작동 및 효과 범위에 대한 테스트를 진행하였으며 실질적인 분

사 효과를 다수의 비행을 통해 확인 함으로서, 약 3m 높이에서 5m 반경의 유효 분사 범위를 도출하였다.

2) 테스트베드 적용



[테스트 베드 연계 시스템 대상 현장]

① 미세먼지 측정 시스템 비행 및 분사 시스템 준비

- 사전 맵핑 정보를 반영하여 미세먼지 농도 현황을 파악하기 위해 건설연에서 연구한 미세먼지 측정 드론 비행을 실시한다. 분사 시스템 드론은 안정적으로 이착륙이 가능하며 장애물이 없고, 이착륙 시 하향풍으로 인한 비산 먼지 발생이 적은 곳으로 선정하기 위해 방수포를 설치하였다.



[미세먼지 측정을 위한 건설연 드론 이륙 및 대기 중인 기계연의 분사시스템 드론]

② 저감 시스템 비행








[분사시스템 드론 준비 및 통합 시스템 준비]

- 운영시스템과 드론 간의 통신상태를 확인하고, 운영시스템에 억제작업을 위한 설정값(작업 경로 및 방법, 고도 등)이 정확하게 입력되었는지 확인하고, Water Fog 분사시스템이 수동/자동으로 정상동작 하는지 확인하고, 유체 공급라인의 누수가 없이 정상적인 분무형태로 분사되는지 확인한다.




[분사시스템 드론 비행]

- 운영시스템에 Smart 감시장치가 취득한 데이터가 정상적으로 수신되었고, 운영시스템으로부터 오염지역 위치정보를 전달받은 후 자동으로 시동 및 비행한다. 운영시스템에 설정된 경로 및 고도로 오염지역으로 이동하였으며 도착 시 콘트롤러에 도착 알림을 표시하였고, 그에 따라 분사 장치를 동작하였으며, Water Fog 시스템은, 사전 테스트를 통해 도출된, 미세먼지 분포 고도보다 3m 높은 위치에서 설정 경로에 따라 작업을 수행하였고, 작업자는 작업시간을 확인하며 분무량 및 형태 등 분무효과를 육안으로 확인하였다.

③ 평가 및 재출동 준비 단계

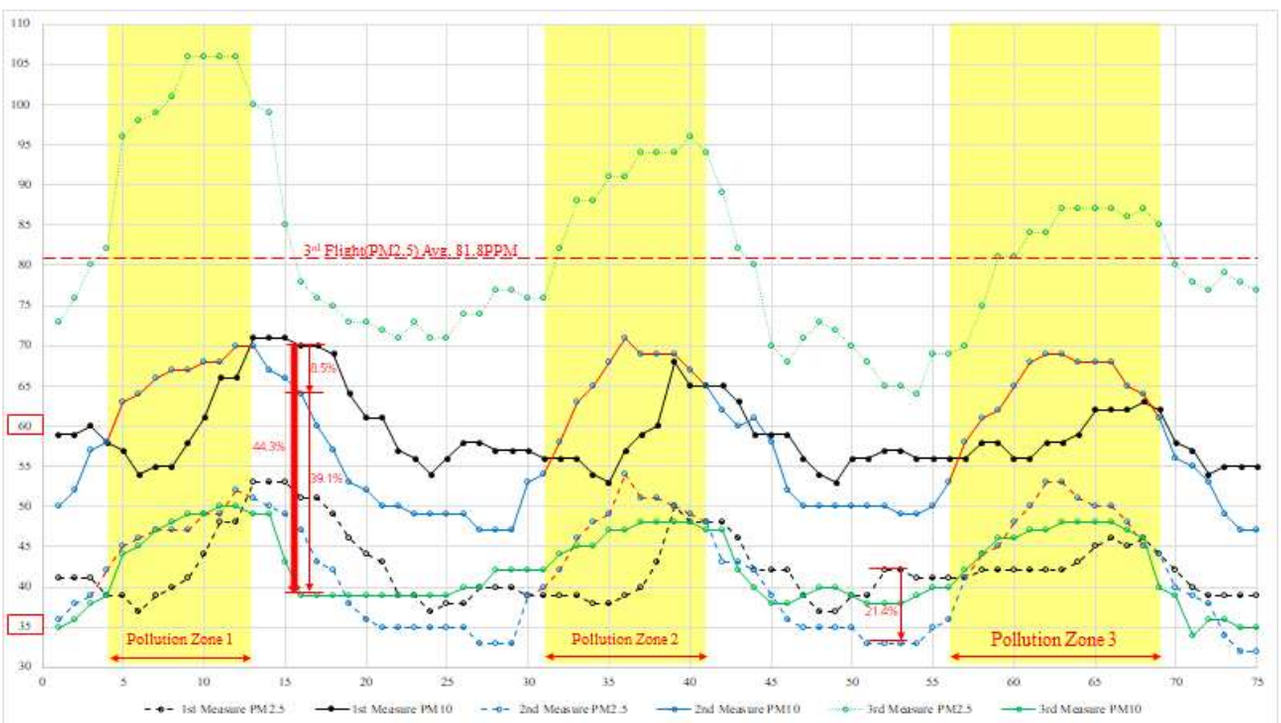
- Water Fog 분사시스템이 작업 종료 후 출발지점으로 이상 없이 복귀하였으며 착륙 후 드론 기구부의 특이사항 확인, 배터리 및 유체 잔량을 확인하여 정상적으로 동작하였는지 확인하였다. 또한, 배터리 교체 및 유체 재충진 후 추가 작업에 대비하여 대기하면서 평가를 위해 미세먼지 재측정 비행을 실시한다.



[평가를 위한 미세먼지 재측정 비행]

3. 성과 분석 및 결과

1) 성과 분석



- 검은색은 1차 미세먼지 측정에 대한 수치를 나타내고 있으며, 실선은 PM 10, 점선은 PM 2.5로 나타내고 있으며, 초록색은 2차, 파란색은 3차 미세먼지 측정을 표현하였다. 측정된 미세먼지 농도는

3개의 지속적인 작업으로 발생하는 미세먼지 오염 지역 외에서는 저감 활동에 대한 효과가 나타났다.

2) 결론

- 평균적으로 1차 측정테스트는 PM 2.5는 41.4PPM, PM 10은 58.0 PPM으로 측정되었으며 저감 활동 이후의 측정은 PM 2.5는 40.5 PPM과 PM 10은 56.7 PPM 으로 2~4% 수준 소폭 저감되었다.

- 세부적으로. 1회 저감활동에 대한, 최대효과는 39.1% 수준이고, PM10이 효과적으로 완화되었다. PM 2.5의 경우, 입자가 가볍기 때문에 외부 환경의 변화에 민감하게 반응한다. 그러나 미세먼지의 경향은 유사하게 나타남에 따라 외부환경 외에도 주변 환경의 미세먼지 발생과는 별도로 영향을 나타나게 된다.

- 3곳의 오염 영역에서 미세먼지가 지속적으로 발생되고 있으며, 초기에 Zone 3의 오염영역은 육안으로 확인과 사전 맵핑과 작업 간의 시차 때문에 파악하기 어려웠던 2차원의 영역이 드론의 미세먼지 측정으로 작업구역에 대한 존재를 파악할 수 있었다.

- 본 연구의 한계는 한 대의 드론으로 구성된 Water Fog 분사시스템으로 바람 등 외란의 영향이 있는 야외 환경과 비행시간 등을 고려할 때 높은 억제효과를 기대하기는 어려울 것으로 판단된다.
  향후 연구성과를 바탕으로 군집드론을 이용하며 배터리 및 유체를 카트리지 교환 또는 자동 충전이 가능한 스테이션을 적용하여 효과를 극대화할 수 있을 것이다.

B-9 경제성 평가 및 상용화 전략 수립

1. 평가결과 요약

1) 평가결과 요약

<평가결과 요약>

사업화주체	해당산업 평균적 중기업	사업자등록번호	(미정)
평가목적	사업성검토용	평가방법	로열티공제법
평가기준일	2021. 9. 1	유효기한 (평가기준일로부터 1년)	2022. 9. 1
평가대상기술	도심지 건설현장을 위한 미세먼지 스마트 감시시스템 외 2건		
한국표준산업분류	N74212(산업설비, 운송장비 및 공공장소 청소업)		
적용제품	건설현장 미세먼지 스마트 감시 및 저감시스템	기술의 경제적수명	15년 (2021.09.01.~ 2035.08.31.)
할인율	8.91%	최종 로열티율	1.88%
IP가치평가금액		1,150.76백만 원 평가대상기술 1 : 460.30백만원 평가대상기술 2, 3 : 690.46백만원	

2) 평가목적

본 평가의 목적은 평가대상기술에 관한 사업성 검토 목적으로 한다. 이러한 목적에 따라 평가대상 특허(기술)의 기술성, 권리성, 시장성, 사업성을 분석하였다. 본 평가는 위와 같은 목적 및 상황을 가정하여 수행된 것이므로 이외의 목적으로 본 평가서를 사용하는 경우에는 평가의 제반 상황 및 가정이 달라짐에 따라 평가결과의 적정성을 보장할 수 없다.

3) 평가대상기술

평가대상기술은 3건의 국내 특허(출원번호 제10-2020-0145702호 : 도심지 건설현장을 위한 미세먼지 스마트 감시시스템, 제10-2241094호 : 물 분사를 위한 유압 구동식 비행체, 제10-2290219호 : 미분무수 분사용 고압 피스톤 펌프)로, IPC 코드에 따라 B64C(비행기; 헬리콥터; 에어쿠션 비행체)로 분류되고, 관련 업종은 한국표준산업분류에 따라 N74212(산업설비, 운송장비 및 공공장소 청소업)에 해당한다.

<평가 대상 기술>

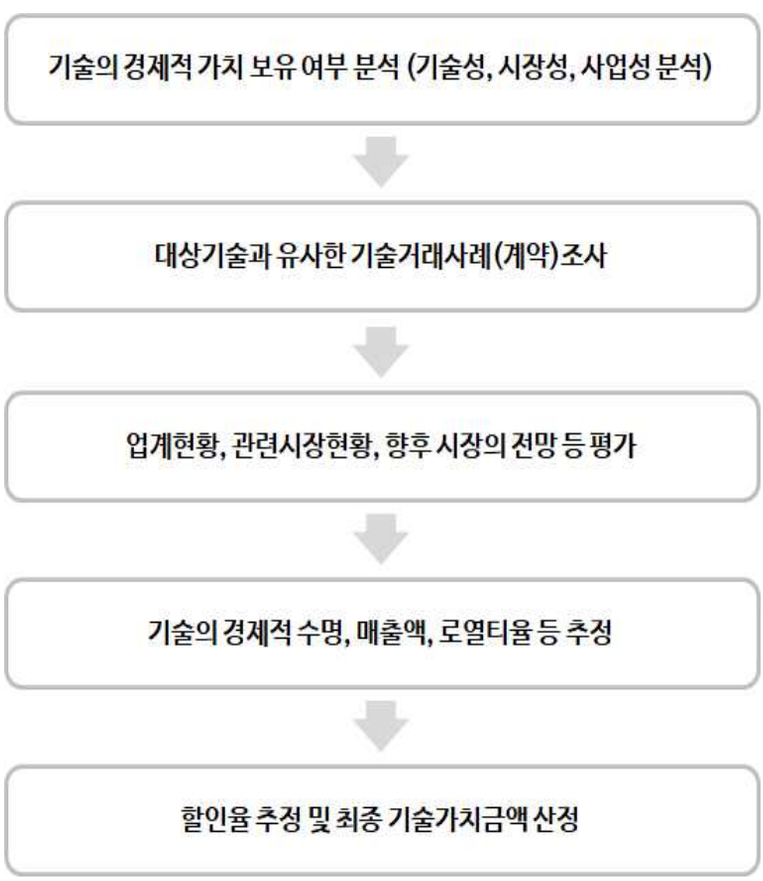
구분	발명의 명칭	출원번호(출원일)	등록번호(등록일)	특허권자/출원인
평가대상 기술 1	도심지 건설현장을 위한 미세먼지 스마트 감시시스템	10-2020-0145702 (2020.11.04.)	-	한국건설기술연구원
평가대상 기술 2	물 분사를 위한 유압 구동식 비행체	10-2019-0089100 (2019.07.23.)	10-2241094 (2021.04.12.)	한국기계연구원
평가대상 기술 3	미분무수 분사용 고압 피스톤 펌프	10-2019-0152696 (2019.11.25.)	10-2290219 (2021.08.10.)	한국기계연구원

4) 평가방법

기술가치평가는 기술사업화를 전제로 하여 기술적 실현 가능성을 판단하는 단계에서 수행하고, 대상기술에 대한 기술성 분석, 시장성 분석, 권리성 분석, 사업성 분석 등의 평가요인 분석을 통해 기술의 사용에 따른 충분한 사업적 타당성이 있음을 입증하였다. 또한, 객관성·전문성·신뢰성을 확보하도록 평가기준을 준수하고, 기술 및 시장에 대한 심층 분석에 근거하여 적절한 평가모형에 의하여 수행하였다.

평가조건의 설정 및 사용 원칙에 있어서는 채택 가능성이 큰 조건을 설정하여 가장 효율적이고 효과적인 사용(Highest and best use) 원칙을 적용한다. 평가의 목적이나 용도에 따라 관점이나 고려되는 요인의 분석 범위가 달라질 수 있으므로, 평가 전에 목적과 용도를 분명히 하고, 평가과정에서 사용된 가정과 제한적인 조건 등을 분명하게 제시하였다. 또한, 미래에 경제 환경 및 시장수요의 변화가 급격하게 발생하여 가치평가에 설정된 가정과 매우 달라질 경우 산출된 평가결과에 차이가 있을 수 있음을 제시하였다.

즉, 기술평가기준운영지침 제35조 제1항에 따라 기술가치평가 결과로 산출되는 가치는 공정시장가치를 원칙으로 하며, 동 지침 제2조 제5호에 따라 공정시장가치란 측정 기준시점의 주된(또는 가장 유리한) 시장에서 시장참여자 사이의 정상거래에서 자산을 매도하면서 수취하거나 부채를 이전하면서 지급하게 될 가격을 말하며, 그 가격을 직접 산정 가능할 수도 있고 다른 가치평가기법을 이용하여 추정될 수도 있음을 밝힌다.



[로열티 공제법 기반의 평가절차]

또한 평가대상의 식별과 관련하여 대상기술의 속성, 구성, 용도 및 적용제품 등 자산적 속성·지식재산·사용권 등의 권리관계 및 기타 속성 등을 확인하고 평가를 수행하고, 객관적이고 신뢰할 수 있는 자료를

충분히 확보 및 대상기술의 확인을 위해 실태조사를 실시하였다.

기술 분류를 위해 평가대상기술의 해당산업 및 업종을 분별하는 한국표준산업분류체계를 활용하고, 가치평가의 핵심변수인 기술수명, 표준재무정보, 할인율, 로열티율에 대한 추정을 위하여 미국의 특허분류체계에 근거한 인용분석 정보를 활용하며, 표준산업분류 기준으로 제공된 재무정보, 할인율 정보를 활용하였다.

추가적으로 핵심변수는 관련 전문가의 의견 및 해당(유사 관련)기업의 정보 등과 비교 검토용으로 활용하거나, 해당기업에 대한 정보습득이 불가능한 경우 대용치로 활용하였다.

기술가치평가기법은 평가대상기술의 유형 및 평가자에 따라 다양하다. 이론 및 실무에서 제시하고 있는 평가기법은 수익접근법(Income Approach), 시장접근법(Market Approach), 비용접근법(Cost Approach)이 주로 사용되고 있으며, 기술평가기준운영지침 제48조에 따라 복수의 평가접근법 사용이 권장되고 있다.

본 평가에서 평가대상기술의 경제적 가치를 금액으로 환산하는 데 수익접근법, 시장접근법, 비용접근법 등의 다양한 가치금액 산정방법을 검토하였으나, 적정 시장사례의 부족, 기업회계정보의 가치산정 활용의 비적정성, 평가용도 등을 종합적으로 고려하여 지식재산가치 금액 산정에 적정한 로열티공제법(Relief from Royalty)을 적용하였다. 로열티공제법은 제3자로부터 기술이전을 받았다면 지급할 로열티를 기술 소유자가 부담하지 않음으로써 절감할 수 있는 로열티 지불액을 추정하여 현재가치로 환산하는 방법이다.

로열티 공제법은 특허권자가 특허권을 소유하지 않음으로서 부담하게 되는 합리적 로열티를 추정하여 특허권의 가치를 추정하는 방법으로, 기회비용 관점에서 특허권의 가치를 추정하는 접근법에 해당하며 본 평가방법은 아래와 같은 절차에 따라 진행된다.

먼저, 평가대상특허기술이 경제적 가치가 있는지를 분석한다. 즉, 평가대상기술에 대한 기술성 및 시장성 분석을 통하여 기술적 및 상업적 우위성이 있는지 여부, 유사기술의 상업적 성공사례가 다수 있는지 여부 등을 확인하는 것이다.

둘째, 평가대상특허기술과 공정하게 거래된 유사한 기술 라이센스 계약을 조사한다. 유사기술거래사례 조사결과, 평가대상 특허기술과 유사한 사례가 있는 경우는 로열티율 산정에 반영하도록 하고, 사례를 찾을 수 없는 경우 합리적인 로열티율 산정방법을 따른다.

셋째, 평가대상특허의 로열티(현금흐름)를 추정하기 위해 대상 특허가 적용된 기술제품 또는 서비스 매출액을 추정한다. 매출추정 시 평가대상특허의 권리분석, 기술성 분석, 시장성 분석 및 유사사업 분석 등을 근거로 합리적인 추정이 되도록 한다.

넷째, 평가대상특허의 경제적 내용연수는 권리성 및 존속기한, 기술적 측면과 시장성 측면을 고려하여 추정한다.

다섯째, 사업위험 분석을 실시하여 적절한 할인율(자본화율)을 추정한다.

여섯째, 합리적으로 추정한 로열티 수입수수료(경제적 이익)에 할인율을 적용하여 최종적으로 평가대상특허기술의 가치금액을 산정한다.

5) 평가대상기술 가치기준

본 평가에 적용된 기술가치의 기준은 공정시장가치다. 공정시장가치는 '측정 기준시점의 주된(또는 가장 유리한) 시장에서 거래당사자 사이의 정상거래에서 자산을 매도하면서 수취하거나 부채를 이전하면서 지급하게 될 가격(금액)'을 말하며, 이러한 가격(금액)은 직접 산정하기도 하며, 다른 가치평가기법을 이용하여 추정할 수도 있다. 공정시장가치를 결정하는 데 있어 산업통상자원부의 '기술평가기준 운영지침, 제48조'에 의거, 유사 기술의 거래사례를 사용할 수 없는 경우에도 업종별 로열티 통계 또는 상관행법 로열

티 통계를 거래사례의 추정치로 사용하도록 하고 있어, 본 평가에서는 전문가 합의 하에 시장접근법으로 분류되면서 지식재산 가치평가에 가장 적합한 방법으로 알려진 로열티공제법을 활용하여 평가대상기술의 가치를 산정하였다. 즉, 평가대상기술의 로열티 수익의 흐름을 현재가치로 환산하는 과정을 통해 당해 기술의 공정시장가치를 도출하였다.

6) 주요 평가조건 및 가정

본 평가에서 평가기준일은 2021.9.1.로 설정하였다. 평가요소 즉, 평가대상기술의 경제적수명, 여유현금흐름, 할인율, 지식재산 유효성, 로열티율 등의 주요 변수에 대해 “주요 변수 및 가치금액 산정내역”에서 자세히 설명하였다. 또한, 당해 기술 관련 산업·기술·시장·업체 동향, 특허의 권리분석, 원가분석, 현금흐름 추정에 필요한 요소와 사업위험 등에 대한 조사·분석을 실시하였다. 특히, 주요 변수들은 합리적 가정, 일반적으로 통용되는 평가방법, 이용가능한 객관적 정보 및 사업화주체로부터 제공받은 정보 등을 활용하여 추정하였다. 따라서 본 평가가 보수적 관점에서의 조사·분석 및 전문가 자문 등을 통해 취득한 산업 및 경영정보, 미래 추정치와 시장정보 등의 다양한 자료들을 종합하여 합리적으로 이루어진 것이지만, 가정의 현실성과 자료의 완전성에 일정한 한계가 있을 수밖에 없다.

평가대상기술의 가치금액은 사업화주체가 바뀌거나, 미래의 경제적 상황, 경영·산업 환경 및 평가기준일 등의 변동에 따라서도 달라질 수 있다. 따라서 본 평가의 결과가 사업화주체의 절대적 가치를 의미하는 것은 아니라는 점에 유의하여야 한다.

7) 평가결과 요약

① 기술성 분석

평가대상기술의 경우 미세먼지측정드론과 워터포그분사드론 간을 연결하여 미세먼지 발생 지점을 전달하고, 측정된 데이터를 시계열로 저장하여 시스템 운영에 따른 미세먼지 감소 효과를 시각적으로 표출하는 시스템 구현인 점, 배터리 구동 방식이 아니라 수압을 이용하여 추진력을 얻는 구조를 구현하는 것인 점, 소형 경량화된 구성을 가지면서도 고압의 미분무수를 분사할 수 있는 시스템을 제공하는 것인 점 등을 종합 고려하면, 혁신성 측면에서 기술의 작은 부분이 혁신적인 것(보통 개량기술)으로 판단된다. 또한, 기술적 우월성이 우수한 수준으로 판단되며, 기술도입자에게 다양한 차별적 특성에 의한 상업적 우위성을 제공하므로 우수 수준으로 평가된다. 평가대상기술의 주요 기술적 특징의 경우, 현장운영시스템이 전용어플리케이션을 사용하여 미세먼지 측정 데이터를 분석하고 저장하는 구성, 유압 구동 비행체는, 제1 분사노즐을 통한 물분사의 분사량을 제어할 수 있고, 각 유압 모터를 통과한 물을 제2 호스를 통해 물탱크로 회수하는 구성 등으로 정리할 수 있다. 이러한 기술적 구성은 세부 설계노하우 및 제어기술 등이 필요하기 때문에 최종 생산제품을 통하여 핵심 기술구성을 파악하기 곤란한 기술제품인 점 등의 특징이 있는 점을 고려하면, 평가대상기술은 모방난이도 측면에서, 기술적 모방이 어렵기 때문에 향후 상당기간 사업화 위험이 작다고 보이므로 우수 수준으로 평가된다. 그리고 진부화 가능성과 관련하여, TCT(기술수명주기)상 평가대상기술에 관련된 평가대상특허의 대표 IPC가 B64C(비행기; 헬리콥터; 에어쿠션 비행체), F04B(액체용 용적형 기계; 펌프) 등이며, Q2(중앙값)은 모두 10년 수준인 점, 기술성 측면의 기술수명영향요인은 평균 전후 수준에 해당한다고 보이는 점 등을 고려하면, 진부화가능성 측면에서 기술수명주기가 장기에 해당한다고 판단된다.

② 권리성 분석

평가대상특허의 기술적 특징을 모두 개시하거나 일부 개시하여 신규성 및 진보성에 영향을 줄 수 있을 정도로 매우 동일/유사한 선행기술은 검색되지 않았다. 결국, 권리안정성 측면에서, 유사한 선행기술이 소수 존재하나 선행특허 분석결과 보유한 권리의 저촉가능성이 낮아 권리의 안정성은 높은 편이라고 판단된다. 평가대상특허의 주요 한정사항은, ①현장운영시스템이 전용어플리케이션을 사용하여 미세먼지 측정 데이터를 분석하고 저장하는 구성, ②유압 구동 비행체는, 제1 분사노즐을 통한 물분사의 분사량을 제어할 수 있고, 각 유압 모터를 통과한 물을 제2 호스를 통해 물탱크로 회수하는 구성 등이다. 이러한 구성은 기술제품/서비스의 성능발휘에 있어서 유리한 효과가 있으며, 회피설계시 성능저하 또는 원가 상승을 가져올 수 있는 점, 실제 실시 과정에서 그러한 구성이 결합되어 실시될 가능성이 높다고 보이는 점 등을 고려할 때, 권리보호 광협 측면에서, 특허의 청구범위가 현재사업의 모든 제품을 보호할 만큼 충분히 넓다고 보이므로 우수 수준으로 평가된다.

③ 시장성 분석

국내 드론 관련 시장은 군용 시장을 중심으로 형성되어 있으며, 촬영용, 농업용을 중심으로 민간용 드론의 수요가 증가하고 있다. 군용 드론 시장은 2016년 기준 2500억 원, 민간용 드론시장은 704억 원으로 나타났다. 민간 드론의 규모는 2016년 704억 원에서 2021년 4,771억 원의 시장규모(2016~2021년 CAGR 46.6%)를 형성할 것으로 전망되고 있다.

목표시장은 본격적으로 형성된 상태는 아니므로 시장집중도는 매우 낮은 상태라고 할 수 있다. 또한, 시장경쟁 상황도 미세먼지를 저감하는 서비스로서 직접적 경쟁제품/서비스로 볼 수 있는 대체수단이 현재로서는 마땅히 없는 상태이어서 시장경쟁상황도 낮은 상태로 볼 수 있다. 개발된 기술제품이 시장에 출시되는 경우에는 특별한 경쟁제품/서비스가 없기 때문에 예상시장점유율은 높은 수준으로 볼 수 있다. 목표시장의 잠재시장규모는 2021년 1조 131억원에서 2026년에는 1조 2,818억원 수준에 도달할 것으로 전망된다. 다만, 잠재시장규모는 이론상 최대 성정시 달성가능한 시장규모로서 실제 시장규모와는 차이가 있다. 실제 비산먼지 분석/저감서비스 시장규모는 본문에서 검토한 바와 같이, 목표시장 초기에는 국내 민간 드론시장 성장률 46.6%(2016~2021년 CAGR) 수준으로 성장할 것으로 전망되며, 목표시장은 2022년에 150억원 규모를 형성할 전망이며, 이는 2022년 잠재시장규모 10,619억원의 1.41%(침투율) 수준에 해당한다. 그리고, 연평균 46.6%(국내 민간 드론시장 2016~2021년 CAGR) 수준으로 성장하여 2028년에 1,489억원 수준에 이를 전망이다. 이는 2028년 잠재 시장규모 14,082억원의 10.57%(침투율)에 해당한다. 이러한 점을 종합 고려하면, 목표시장의 시장성장성은 높은 수준의 성장세를 보이는 수준에 해당한다고 판단된다.

④ 사업성 분석

평가대상기술은 드론을 이용하여 미세먼지 측정 데이터를 시계열로 저장하여 미세먼지 감소 효과를 시각적으로 표출 가능하고, 전기 동력을 사용하지 않고 수압 동력으로만 추진력을 얻어 비행 가능한 미세먼지 감시/분석/저감 시스템 기술 등에 관한 것이다. 또한, 측정된 데이터를 시계열로 저장하여 미세먼지 감소 효과를 시각적으로 표출 가능한 점, 전기 동력을 사용하지 않고 수압 동력으로만 추진력을 얻어 비행하므로 폭발 위험성이 있는 장소에서도 물분사 작업이 가능한 점, 비행에 필요한 동력 소모를 줄이고 장시간 비행이 가능하고 기계적 구조도 단순하기 때문에 유지보수 비용도 감소하는 효과가 있는 점, 펌프를 소형화/경량화할 수 있는 점 등이 특징이다. 이러한 점을 종합 고려하면, 평가대상기술은 우월성 측면에서 원천

기술(기술표준 등 포함)에 접근해 있어 기술적 우월성이 우수한 수준으로 평가되며, 차별성 측면에서 평가대상기술은 차별성 측면에서 기술도입자에게 다양한 차별적 특성에 의한 상업적 우위성을 제공하므로 우수 수준으로 평가된다.

⑤ 기술가치 산정

평가를 위한 세부변수 및 가정을 “주요 변수 및 가치금액 산정내역”에서 상세히 설명하였다. 아래는 평가대상기술의 가치산출표이며, 당해 기술의 가치는 1,150.76백만 원으로 산정되었다.

<예측되는 기술가치>

(단위: 백만 원)

구 분	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	6차년	7차년	8차년
매출액	0	1,921	3,982	8,256	10,090	12,332	15,072	18,420
적정 로열티율	1.88%	1.88%	1.88%	1.88%	1.88%	1.88%	1.88%	1.88%
로열티 수입	0	36	75	155	190	232	284	347
법인세 비용	0	4	8	17	21	29	40	54
세후 로열티 수입 (여유현금흐름)	0	32	67	138	169	203	243	292
현가계수	0.9182	0.8430	0.7740	0.7107	0.6525	0.5991	0.5501	0.5050
여유현금흐름 현재가치	0	27	52	98	110	122	134	148
구 분	9차년	10차년	11차년	12차년	13차년	14차년	15차년	
매출액	22,512	23,596	24,733	25,924	23,427	21,170	19,130	
적정 로열티율	1.88%	1.88%	1.88%	1.88%	1.88%	1.88%	1.88%	
로열티 수입	424	444	465	488	441	398	360	
법인세 비용	71	76	80	85	75	66	57	
세후 로열티 수입 (여유현금흐름)	352	368	385	403	366	333	303	
현가계수	0.4637	0.4258	0.3909	0.3589	0.3295	0.3026	0.2778	
여유현금흐름 현재가치	163	157	151	144	121	101	84	
현재가치 합계	1,611							
지식재산 유효성	71.429%							
기술의 가치	1,150.76							

2. 시장성 분석

1) 시장 개요

① 기술제품의 정의

평가대상기술은 드론을 이용하여 미세먼지 측정 데이터를 시계열로 저장하여 미세먼지 감소 효과를 시각적으로 표출 가능하고, 전기 동력을 사용하지 않고 수압 동력으로만 추진력을 얻어 비행 가능한 미세먼지 감시/분석/저감 시스템 기술 등에 관한 것이다.

② 목표시장 및 평가대상 기술사업의 정의

목표시장은 '건설현장 비산먼지 분석/저감서비스 시장'으로 볼 수 있으며, 해당산업은 한국표준산업분류상, N74. 사업시설 관리 및 조경 서비스업 > N742. 건물/산업설비 청소 및 방제 서비스업 > N7421. 건물 및 산업설비 청소업 > N74212. 산업설비, 운송장비 및 공공장소 청소업에 해당한다고 볼 수 있다.

평가대상 기술사업이 속하는 해당산업은 건설현장 미세먼지 스마트 감시 및 저감 서비스의 제공을 통하여 수익을 창출하는 것이다. 후방산업은 드론의 제조, 미세먼지 측정장치의 제조, 유압모터의 제조, 분사노즐의 제조에 관련된 항공기용 부품제조업, 전자기측정기구 제조업, 전동기 제조업, 기타 기관 및 터빈제조업 등이라고 볼 수 있다. 전방산업은 토목공사업, 건물공사업 등에 관련된 종합건설업, 전문건설업 등이라고 볼 수 있다.

2) 시장환경분석

① 스마트건설 관련 민간건설업 환경

건설업계가 스마트건설 경쟁력을 강화하고 있다. BIM·4D 시뮬레이션·드론·AI 등 IT기술과 접목한 신기술·신공법 적용으로 미래건설시장을 선점하려는 움직임을 보이고 있다. 대표적으로는 현대엔지니어링, DL이앤씨, 현대건설, 대우건설 등 대형사들이다(출처: 국토일보, 건설산업계, '스마트 컨스트럭션' 시장 선점 경쟁 뜨겁다, 2021.04.05.)

현대엔지니어링은 건축사업본부 내 기술연구소를 스마트 건설 기술 선도 조직으로 개편하면서 BIM(Building Information Modeling) 담당 인력을 편입하고, 인공지능(AI), 빅데이터(Big Data), 3D 스캔, 드론 기술 분야의 전문 인력을 보강했다. 현대엔지니어링은 스마트 건설 기술을 ▲건설 자동화 ▲OSC(Off-Site Construction) ▲스마트 사업 관리 ▲스마트 현장 관리 등의 4개 영역으로 구분하고 각 영역에서 실용적이고 선도적인 스마트 건설 기술의 개발, 도입에 적극 나선다.

DL이앤씨는 AI·드론·로봇 등 기술을 적극 활용한 스마트 컨스트럭션 전략을 수립했다. 이 회사는 AI(인공지능)부터 BIM(건설정보모델링), 드론, IoT(사물인터넷) 등 최신 디지털 기술을 사업 기획 단계부터 적용할 예정이다. 공동주택 건설 현장에서는 드론이 촬영한 사진을 AI가 확인해 시공품질을 관리하는 스마트 시스템이 도입된다. 촬영 영상을 스스로 학습해 특이한 상황이 발생하면 선별적으로 정보를 전달해주는 인공지능형 CCTV와 IoT 기술을 결합한 컴퓨터 비전(Computer Vision)도 도입해 품질과 안전 두 마리 토끼를 동시에 잡을 계획이다. 2018년 도입된 드론 기술은 내재화가 목표다. 내년까지 촬영 인력 없이 사전에 입력된 일정에 따라 드론이 자동으로 스스로 비행하고 배터리 충전과 사진 업로드까지 가능하도록 준비 중이다.

DL이앤씨는 토공사 작업에 드론으로 고해상 사진촬영을 한 후 3차원 데이터 결과물을 도출해 이용하고 있다. 협력업체 직원들도 3차원 지도 위에 구현된 현장 상황을 직관적으로 쉽게 확인할 수 있다. 또 건설업계 최초로 자율주행 다목적 로봇을 협력업체와 함께 개발하고 있다. 이 로봇은 안전 사각지대 순찰, 근로자 이상 감지, 화재 감시 등을 수행하게 된다.

현대건설은 BIM 기반의 AR 기술을 활용한 건설현장 시공품질 관리에 나섰다. 이 회사는 시공 품질관리 및 검측 생산성 향상을 위해 BIM 기반의 'AR 품질관리 플랫폼'을 자체 개발했다. 해당 플랫폼을 통해 BIM 데이터에 손쉽게 접근해 건설현장에서 작업환경 및 내용을 직관적으로 파악할 수 있고, 시공품질 검

수도 전통적인 방법을 이용할 때보다 정확하고 효율적으로 수행가능하다.

현대건설은 3D 측량기술을 활용한 BIM 기반의 'AR 시공 및 유지관리 시스템'을 컴퓨터 프로그래밍 서비스 업체인 ㈜무브먼츠와 공동개발 중이기도 하다. 상수도, 오수 등 지하시설물과 가로등, 맨홀, 표지판 등 지상시설물의 AR 시공가이드를 구현해 작업 속도와 정확도를 높이고 시공 품질 관리에도 적극 활용할 예정이다.

대우건설도 비대면 시대에 건설현장의 효율적인 업무 및 협업 환경을 조성하기 위해 도면 기반의 정보 공유·협업 플랫폼인 SAM(Site Camera)을 개발 완료했다. SAM은 건설현장의 도면과 각종 정보를 효율적으로 관리하기 위해 위치 기반으로 현장의 도면, 문서, 사진을 연결시켜 만든 플랫폼이다. 위치정보시스템(GPS)을 활용해 현재 자신의 위치 주변 도면을 바로 조회할 수 있으며, 어떤 디바이스에서든 현장의 모든 도면을 실시간으로 빠르게 검색할 수 있다.

대우건설은 이번에 개발된 SAM과 BIM 시스템을 연계해 공정 관리에도 활용할 수 있도록 발전시킬 계획이며, 3D 모델링 뷰어, 실시간 스트리밍 등의 기술을 접목해 비대면 업무 환경에서도 명확한 현장 상황 파악이 가능하게 할 예정이다. 이 외에도 빅데이터를 기반으로 한 4D 스마트모델링 프로그램 '스마일(SM.ile)'을 개발했다. '스마일(SM.ile)' 프로그램은 대우건설이 47년간 국내외 다양한 공사를 수행하며 축적한 빅데이터를 활용해 토공사, 골조공사의 '4D 모델링'을 손쉽게 구현할 수 있도록 만든 프로그램이다. 이 프로그램을 활용하면 토공사, 골조공사의 3D(3차원) 모델링 시간을 획기적으로 단축시킬 수 있을 뿐만 아니라, 실시간 시공계획수립을 통한 최적공법 선정과 공사물량 및 공사기간 산출이 가능하다.

HDC현대산업개발은 스마트프리콘팀을 출범시켜 착공 이전 단계부터 설계와 시공, 원가정보를 비롯한 관련 업무를 통합 관리하고 현장의 BIM(빌딩 정보 모델링, Building Information Modeling) 업무를 지원하는 등 본사와 현장의 디지털화를 진행하고 있다. 아울러 설계, 견적, 원가, 시공 등 각 분야 전문가로 구성된 BIM그룹도 신설하여 건축물의 기획과 설계단계부터 BIM 기술을 적용하고 있다.

② 국내 드론 관련 시장상황

국내 드론 관련 시장은 군용 시장을 중심으로 형성되어 있으며, 촬영용, 농업용을 중심으로 민간용 드론의 수요가 증가하고 있다. 군용 드론 시장은 2016년 기준 2500억 원, 민간용 드론시장은 704억 원으로 나타났다. 민간 드론의 규모는 2016년 704억 원에서 2021년 4,771억 원의 시장규모(2016~2021년 CAGR 46.6%)를 형성할 것으로 전망되고 있다.

구분	2016	2017(E)	2018(E)	2019(E)	2020(E)	2021(E)	연평균 성장률(%)
제작	153	286	522	656	1,017	1,110	48.6
활용(서비스)	551	1,030	1,754	2,198	3,354	3,661	46.0
국내시장	704	1,316	2,276	2,854	4,371	4,771	46.6



※ 출처 : 드론산업 발전 기본계획(안), 2017, 국토교통부

[국내 민간용 드론 시장규모]

국토교통부의 보도자료(2020)에 의하면, 2020년 6월 기준 드론신고 대수는 13,234개로 2013년 대비 82.7%의 CAGR로 증가하였다. 사용 업체 수 또한 2020년 6월 3,295개로, 58.5%의 연평균 성장률을 기록하였으며, 조종 자격 취득자 수 또한 2020년 6월 36,489명으로, 155.0%의 연평균 성장률로 급증하였다.

구분	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	연평균 성장률(%) ('13~'20)
기체신고 대수(개)	195	354	921	2,172	3,894	7,177	10,712	13,234	82.7%
사용 업체 수(개)	131	383	698	1,030	1,501	2,195	2,964	3,295	58.5%
조종 자격 취득 수(건)	52	667	872	1,326	4,254	15,678	30,402	36,489	155.0%



※ 출처 : 드론비행 더 편리하고 더 안전해진다. 2020, 국토교통부

[국내 드론 운영 현황]

③ 건설업의 드론활용 환경

토지·주택 관련 업무에 드론이 본격 활용되고 있다. 이로 인해 창출되는 신규 드론시장은 연간 250억 원에 달할 전망이다. 국토교통부와 한국토지주택공사는 215개 사업지구(389㎢, 238조 원 규모)에서 조사·설계·공사관리 등에 드론을 우선 활용하고, 향후 지속 확대한다. 그간 LH는 관련 용역과 시범운용을 통해 계획부터 시설물 유지관리 단계까지 주요사업 전 분야에 대하여 드론 활용을 검증해 왔으며 5개 분야 12개 업무에서 드론을 우선 활용할 계획이다.

즉, ① 계획(후보지조사, 공람공고, 보상), ② 설계(현황조사측량, 토목BIM 설계, 건축설계), ③ 시공(단지공사, 도로공사, 건물공사, 안전진단) ④ 자산·유지관리 ⑤ 홍보 등의 분야이다. 계획단계에서는 사업추진에 필요한 토지를 수용·보상하기 위한 현장조사업무 및 신규 사업지구 결정, 사업지구 경계 설정을 위한 후보지 조사 등에 드론영상이 활용된다.

토지보상의 경우 사업초기단계에 항공사진을 일회성으로 촬영·활용하고 직접방문조사를 병행하던 방식을 수시 확보되는 드론 영상과 지적도·지형도 간 중첩·비교하는 방식으로 대체한다. 후보지 조사 시에도 주변 자연환경, 표고·경사, 토지이용현황 등을 드론영상으로 파악하여 사업지구를 결정한다.

설계단계에서는 시설물의 형상·속성정보를 실제와 동일한 3차원 정보로 구축하고, 공공측량에 적합한 수치지형도면 등을 제작하는 등 설계 및 토목BIM 구축업무에 드론을 활용할 수 있다. 드론으로 촬영한 데이터를 활용하여 3차원 지형모델을 생성하고 측량프로그램을 통해 단면도의 작성과 작업물량의 산출이 가능하다. 토목BIM 구현 시에도 인력에 의존하던 건설현장 시공관리와 목측, 각종 측량기기를 통한 측정방식을 고해상도 영상기반의 3차원모델 DB를 활용하여 대체할 수 있다. 시공·유지관리 단계에서는 공사현장의 공사진행 파악과 공정관리, 안전점검 등의 업무에 드론을 유용하게 활용할 수 있다. 단지공사의 경우 작업공정별 영상자료를 구축하여 지형특성을 비교분석할 수 있으며, 지하매설물 관로·맨홀·구조물·조사측량·포장 등 다양한 설계도면을 중첩한 공사 관리도 가능해진다. 아파트 등의 주택공사에서는 접근이 어렵고 위험한 현장에 회전익 드론을 활용하여 다각도의 영상획득이 가능해지고 이를 통해 외관조사, 균열, 파손 등의 손상 규모를 파악할 수 있다. 또한, 현장에서 시행되는 수시·정기점검에 드론을 활용해서 정밀도를 높이고 지반붕괴·낙석·토사침출·구조물파손 등 건설재해 발생으로 인한 긴급 복구계획을 수립 할 때에도 활용된다.

특히, 안전점검은 주로 육안조사로 실시하고 있어 고층부 외벽 등에는 한계가 있었지만 드론에 고정밀 RGB영상 또는 열화상 영상취득 센서 등을 통해 근접 촬영하면 균열부 확인, 입체적 영상분석 기법을 통한 시설물 내 손상부분을 탐지할 수 있다.

향후에는 주기적으로 촬영하여 축적되는 공사현장의 드론영상과 사물인터넷(IoT) 장비를 장착한 건설기계·인력이동·건설관련 정보를 통합해 시기별 공사 통계정보의 정확도가 크게 향상될 것으로 예측된다.

드론으로 취득된 다양한 공간·공사정보의 처리·가공·활용을 위해 LH는 세계 최초의 원스톱 운영시스템을 구축한다. 본 시스템을 통해 전국 LH 사업지구 내 비행하는 모든 드론은 사전승인을 받아야 하며, 중앙통제에 따라 현장에 설치된 지상관제장비(내비게이션, 경로추적, 스마트폰View 등)를 통해 비행하게 된다. 현장(사업본부)에서 취득된 영상들은 중앙 통제실로 실시간 전송되며, 중앙 통제실은 수신영상을 GIS 정보로 변환한다. 변환된 정보는 현장으로 재전송되고 빅데이터 서버(도시플랫폼)에도 저장된다. LH는 국산기술로 제작된 드론을 25기를 도입한 바 있으며, 관련 운영시장 형성을 위해서도 일정 면적(약 30만m^2) 이상의 사업지구에서는 외주 용역을 통해 드론을 운용할 계획이다. 전국 LH 사업 현장에 드론을 전면 활용하는 경우 연간 약 2,500여회의 비행소요가 예측되며, 연간 약 250억 원의 신규 드론시장(시공: 154억, 자산관리: 50억, 계획: 12억 등)이 형성될 것으로 전망된다.

이 밖에도, 기존 연 130억 원이 소요되는 항공촬영 업무를 드론으로 대체하는 경우 비용은 절반 수준(1.8천만→0.8천만, 1㎢ 기준)으로 줄어들어 연 66억 원이 소요될 것으로 예상된다. 항공사진의 해상도는 약 50cm 수준인 반면 드론은 약 5cm 수준의 해상도 확보가 가능하며, 기상 등 주위 환경에 영향이 적어 운영가능일도 3배 이상 증가(80일→수시)된다(출처: 국토일보, LH, 전국 215개 사업지구에 드론 도입… 250억 신규시장 창출, 2018.01.31.).

④ 건설업계의 스마트건설기술 투자 동향

건설업계가 '스마트 건설기술'을 보유한 스타트업에 투자를 늘려가고 있다. '중대재해 처벌 등에 관한 법률안'(중대재해법)이 새해 국회 본회의를 통과한 가운데 건설현장에서 안전과 생산성을 담보하는 첨단기술을 수혈하고자 외부 자원을 적극 활용하는 모습이다. 업계는 이런 투자가 자체 기술 개발의 한계를 극복하고 경제성과 유연성을 높일 것이라 분석했다.

스마트 건설기술은 4차산업혁명 기술을 융합한 건설기술이다. 설계, 시공, 유지관리 등 건설 단계별로 적용하던 전통적인 건설기술에 사물인터넷(IOT), 클라우드, 빅데이터, 건설정보모델링(BIM), 드론, 로봇 등을 접목하는 식이다. 전문인력에 의존하던 건설 업무를 기계화해 생산성과 안전성을 높이고, 건설 단계 간 단절을 해소하는 게 핵심이다. 국토교통부에 따르면 2016년 세계 스마트 건설기술 시장 규모는 100억 달러 수준으로 연평균 12%씩 성장하고 있다.

현대건설은 건축자동설계 기술을 보유한 스타트업 '텐일레븐' 지분 6%(약 20억 원)를 취득한 바 있다. 2014년 설립된 텐일레븐은 지형, 조망, 건축 법규 등을 인공지능으로 분석해 공동주택 배치설계안을 도출하는 서비스를 제공한다. 현대건설은 'AI 기반 공동주택 3D 자동설계 시스템'을 텐일레븐과 공동 개발해 자사 아파트 브랜드인 '디에이치'와 '힐스테이트'에 활용할 계획이다. 대우건설은 드론제조 스타트업 '아스트로엑스'에 지분 투자했다. 2018년 설립된 아스트로엑스는 중장거리용 수직이착륙 무인기(VTOL)를 국산화하는 등 드론 제작 기술력을 입증해 미국, 독일 영국 등 13개국에 딜러사를 유치했다. 대우건설과 아스트로엑스는 양 사 기술력으로 산업용·군사용 드론을 고도화하고 대우건설 자체 드론 관제시스템을 접목한 패키지 상품을 기존 판매망과 네트워크를 활용해 내놓을 계획이다. 대우건설이 구축한 자체 드론 관제시스템은 240여 개 현장을 동시에 관제할 수 있다. 또한, 2020년에 베트남 현장을 포함한 150개 사업장에서 이 시스템을 활용한 바 있다. GS건설은 유럽 모듈러 업체 두 곳을 동시에 인수했다. 모듈러공법은 건축물의 주요 구조와 내·외장재를 공장에서 사전 제작하고 현장에서는 설치만 하는 기술이다. 인수 회사는 폴란드 목조 모듈러 주택 전문회사 '단우드'와 영국 철골 모듈러 전문회사 '엘리먼츠'다. 인수 금액은 단우드가 1800억 원이며, 엘리먼츠는 공개되지 않았다. 당초 두 회사와 함께 인수 예정이던 미국 철골 모듈러 전문회사 '스카이스톤'과의 계약은 코로나19 장기화로 잠정 보류됐다. GS건설은 2020년 해외 모듈러 업체 인수에 이어 모듈러의 첫 단계라고 할 수 있는 프리캐스트콘크리트(Precast Concrete, 사전제작 콘크리트) 공장을 음성에 열었다.

세계적인 건설사인 '스칸스카' 등 많은 해외 건설사는 스타트업 기술을 현장에 적용해 상용화 가능성을 살피고 향후 투자를 늘리는 식으로 스마트 건설기술을 도입하고 있다.

2021년에 들어서면서 사업장의 안전규제가 한층 강화되면서 고위험 업무를 소화하는 스마트 건설기술 수요는 늘어날 것으로 보인다. 국회는 중대 재해가 발생했을 때 사업주에 대한 형사 처벌을 강화하는 내용의 '중대재해 처벌 등에 관한 법률안'을 제정했다. 이 법에 따르면 안전사고로 노동자가 사망할 경우 사업주 또는 경영책임자에게 1년 이상 징역이나 10억 원 이하 벌금을, 법인에는 50억 원 이하 벌금을 부과할

수 있다. 노동자가 다치거나 질병에 걸릴 경우에는 7년 이하 징역 또는 1억 원 이하 벌금에 처한다(출처: 비즈한국, 현대·대우·GS 대형 건설사가 스타트업 인수에 뛰어든 까닭, 2021.01.21.).

⑤ 세계 스마트건설 시장 환경

세계 건설시장은 '16년 9.5조$로 '10년 이후 연평균 3.8% 성장하고 있다. 외국에 개방된 시장은 '16년 4,681억$로 최근 감소세를 보이고 있다. 우리기업의 해외건설 수주는 저유가 현상으로 인한 중동 물량 감소하고 있고, 중국 등 개도국의 가격우위로 수주급감, 경쟁력 약화 추세이다.

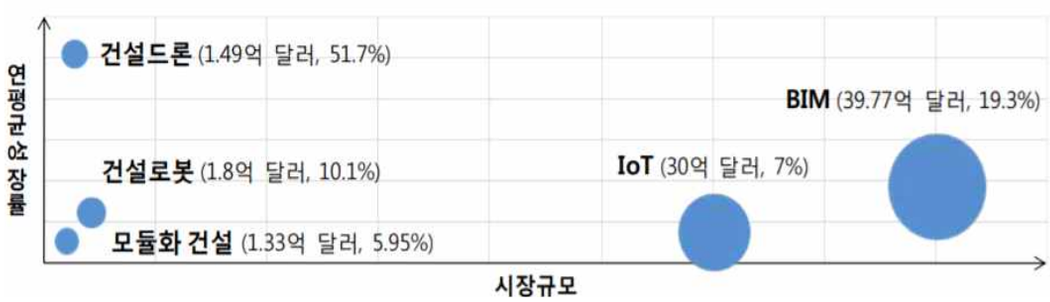


※ 출처 : 스마트 건설기술 로드맵, 국토교통부, 2018

[세계건설시장규모, 우리기업 해외수주액, 해외시장 점유율]

국내 건설시장은 건설수주가 감소세로 전환되며 경기 둔화 중이다. 2013년 △12.9% → 2014년 16.3% → 2015년 48.4% → 2016년 8.4% → 2017년 △3.7% 수준이다. 전체의 30~40%를 차지하는 공공시장 규모가 감소하고 있으며, 선진국 사례를 볼 때도 국내건설의 양적 성장은 어려운 상황이다. GDP 대비 건설투자 비중의 경우, (韓) 16.1%('17), (美) 7.6%('14), (日) 8.3%('14), (英) 9.2%('15) 수준이다.

앞으로는 도심인프라/노후시설 개선 등 난이도가 높고 정교한 기술이 요구되는 사업 중심으로 건설시장이 재편될 것으로 전망이다. 세계 시장에서 경쟁력을 확보하고, 변화하는 국내 시장에 적응하기 위해서 건설기술의 혁신이 절실한 시점이다. 2016년 세계 스마트 건설시장 규모는 약 100억달러 수준, 연평균 12% 수준으로 성장할 것으로 전망되고 있다.



※ 출처 : 스마트 건설기술 로드맵, 국토교통부, 2018

[2016년 주요 스마트건설기술 시장 규모 및 성장률]

민간의 스마트 건설기술 활용 현황을 살펴보면, 대기업 중심으로 해외사업 대응 등을 위해 일부 기술 활용 중이나, R&D와 전면적인 현장 활용은 저조한 편이다. BIM 기술은 건축분야 중심으로 활용 중이나, 건설 프로세스 전반에 적용되기 보다는 설계 과정에 국한하여 부분적으로 적용되고 있다. 조달청은 업무지침을 마련하고 '맞춤형 서비스' 대상사업(건축) 설계 시 BIM 적용 중이다.

건설장비는 자동측량 굴착 기술을 개발 중이나 아직 연구단계에 있으며, 완전 자동화 통합관제를 위해 추가적인 기술개발 필요한 상태이다. 드론은 측량 토공량 산출 등 일부 현장에 시범 도입된 수준으로 여러 현장에 확대 적용하고 유지관리 등 타 업무에도 접목이 필요한 상태이다. ICT 기술은 일부 기업이 현장관리 목적으로 제한적으로 사용 중이다.

스마트건설 분야에 대하여 기존 문제점을 살펴보면, 대기업은 영업에 집중하는 상황이고, 중소기업은 역량부족으로 기술개발이 부진한 상태로 평가된다. 대기업은 전반적으로 기술투자보다는 단기적인 비용절감에 관심이 있고, 특히, 하도급 중심 시공구조에서 원도급사는 생산성 향상을 위한 기술개발보다 저가 공사가 가능한 전문업체를 선정하는 것을 선호하고 있다. 매출액 대비 연구비('16년 기준, KISTEP)는 기업전체 3.16 %, 서비스업 2.19%, 제조업 4.00%, 건설업 0.37%(계열사 비교 : H 자동차 2.51% vs H 건설 0.52%) 수준이다. 중소업체는 비용 부담, 타 업체 견제 등으로 기술개발에 소극적이다. 반면, 신기술 개발에 필요한 기간은 평균 2.7년 및 비용은 6.2억 소요('10.4, 건설연)되기 때문에 선뜻 신기술 개발에 나서기 어려운 환경이다.

⑥ 목표시장규모 현황 및 전망

「건설기술 진흥법」 및 같은 법 시행령, 시행규칙, 국토교통부 고시(환경관리비의 산출기준 및 관리에 관한 지침)에서는 건설공사의 환경관리비의 산출 및 관리에 관하여 규정하고 있다.

"환경관리비"란 건설공사로 인한 환경 훼손 및 오염의 방지 등 환경관리를 위해 공사비에 반영하는 비용을 말하며, '환경보전비'와 '폐기물 처리비'로 구분한다. "환경보전비"란 건설공사 작업 중에 건설현장 주변에 입히는 환경피해를 방지할 목적으로 환경관련 법령에서 정한 기준을 준수하기 위해 환경오염 방지시설 설치 등에 소요되는 비용(해당시설 설치 및 운영에 직접 투입되는 작업비용 포함)을 말한다.

'환경오염 방지시설'은 건설공사 작업 중 주변에 입히는 환경피해를 방지할 목적으로 환경관련 법령에서 정한 기준을 준수하기 위해 설치하는 임시시설로서 건설현장에서는 여건에 맞게 적정시설을 설치·운영하여야 한다고 규정한다.

'환경오염 방지시설'의 하나로서 '비산먼지 방지시설'이 규정되어 있는데, 비산먼지 방지시설은 세륜시설(세륜장의 포장 및 침전물 보관시설을 포함한다), 살수시설, 살수차량, 방진덮개(도로 등의 절토 및 성토 경사면 사용분을 포함한다), 방진벽, 방진망/방진막, 진공청소기, 간이칸막이, 이송설비 분진억제시설, 집진시설(이동식, 분무식을 포함한다), 기계식 청소장비 등 「대기환경보전법」의 규정을 준수하기 위한 시설을 말한다.

비산먼지 방지시설을 크게 분류하면, 1) 세륜시설, 2) 살수시설, 3) 방진시설로 분류할 수 있고, 평가대상 기술제품/서비스는 살수시설에 속한다고 볼 수 있다. 3개 분류의 세부규모에 대한 구체적 통계자료는 없으나 업계추산으로는 비산먼지 방지시설의 약 30%가 살수시설로 추정된다.

한편, 국토교통부 고시(환경관리비의 산출기준 및 관리에 관한 지침) 별표 3에서는 환경보전비중 간접공사비 부분 최저요율이 규정되어 있으며, 환경보전비 요율은 '주택(재개발, 재건축)' 유형의 경우 0.7%, '주택(신축)'의 경우 0.3%, '그 밖의 건축공사'의 경우 0.5% 수준이다. 즉, 간접공사비에 반영되는 환경보전비는 직접공사비에 위의 최저요율을 곱하여 산출된 금액 이상으로 계상하게 된다.

한편, SH공사가 2020년에 원가공개를 한 '준공 이후 건설원가' 사례에 따르면, 직접공사비는 전체 공사비의 93% 수준이다(출처: 중앙일보, 건설원가 공개한 SH공사, 2020.08.24.). 통계청 자료에 의하면, 2019년 국내 건축공사 기성액은 198조 3,023억원 수준이며, 직접공사비 비중이 93%일 때, 비산먼지 방지시설 중에서 살수설비 시장규모는 9,221억원 수준으로 추정된다. 따라서, 실질적으로 목표시장(국내 건설현장 비산먼지 분석/저감서비스 시장)의 최대 잠재시장규모는 2019년 기준으로 9,221억원으로 볼 수 있다. 다만, 아직 본격적으로 서비스를 출시한 사업화주체는 나타나지 않은 상태이며 해당 서비스가 시장에 출시되면서 서서히 시장규모를 확대해 갈 것으로 볼 수 있다.

<국내 비산먼지 분석/저감서비스 잠재시장규모>

구분	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	CAGR ('13~'19)
국내 건축공사 기성액 규모 (단위: 억원)	1,277,769	1,383,472	1,510,427	1,721,981	1,983,267	2,007,616	1,983,023	7.6%
국내 비산먼지 분석/저감서비스 잠재시장 (단위: 억원)	5,942	6,433	7,023	8,007	9,222	9,335	9,221	7.6%

※ 건축공사 기성액 중 직접공사비 비중 93% 가정
※ 비산먼지 방지서설 중 살수설비 비중은 직접공사비의 0.5% 가정
※ 출처 : 통계청 자료 및 직접추정

한편, 국내 건축공사 기성액 규모는 2013~2019년 CAGR 7.6% 수준으로 성장세를 보이지만, 최근 성장세가 둔화되어 2016~2019년 CAGR 4.82% 수준을 보이고 있으며, 이러한 추세는 지속될 것으로 전망된다. 이에 따라, 목표시장의 잠재시장규모는 2021년 1조 131억원에서 2026년에는 1조 2,818억원 수준에 도달할 것으로 전망된다.

<국내 비산먼지 분석/저감서비스 잠재시장규모 전망>

구분	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	CAGR ('20~'26)
국내 비산먼지 분석/저감서비스 잠재시장 (단위: 억원)	9,665	10,131	10,619	11,130	11,667	12,229	12,818	4.82%

실제 비산먼지 분석/저감서비스 시장규모와 관련, LH가 국산기술로 제작된 드론을 25기를 도입하여, 관련 운영시장 형성을 위해서 일정 면적(약 30만m^2) 이상의 사업지구에서는 외주 용역을 통해 드론을 운용할 계획이며, 전국 LH 사업 현장에 드론을 전면 활용하는 경우 연간 약 250억 원의 신규 드론시장이 형성될 전망이며, 특히 그 중에서 154억원 규모가 시공 분야에 해당하여서, 평가대상기술이 활용될 수 있는 분야에 해당한다. 기타 다른 민간 건설업체들도 건설현장관리에 드론 활용을 준비하고 있는 상황인 점을 고려하면, 2022년에는 최소 200억원 규모의 초기 시장이 형성될 가능성이 있다고 판단된다.

목표시장은 일반적인 제품수명주기의 S형 커브를 그리면서 도입기/성장기에 빠른 성장을 보일 전망이며, 이에 따라, 목표시장 초기에는 국내 민간 드론시장 성장률 46.6%(2016~2021년 CAGR) 수준으로 성장할 것으로 전망된다.

따라서, 목표시장은 2022년에 초기시장으로서 약 200억원 규모를 형성할 전망이며, 이는 2022년 잠재시장규모 10,619억원의 1.88%(침투율) 수준에 해당한다. 그리고, 연평균 46.6%(국내 민간 드론시장 2016~2021년 CAGR) 수준으로 성장하여 2028년에 1,985억원 수준에 이를 전망이다. 이는 2028년 잠재시장규모 14,082억원의 14.10%(침투율)에 해당한다.

<국내 비산먼지 분석/저감서비스 시장규모 전망(2022~2028)>

구분	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
국내 비산먼지 분석/저감서비스 잠재시장 (단위: 억원)	10,619	11,130	11,667	12,229	12,818	13,435	14,082
침투율	1.88%	2.63%	3.68%	5.15%	7.21%	10.08%	14.10%
국내 비산먼지 분석/저감서비스 시장규모 (단위: 억원)	200	293	430	630	924	1,354	1,985

그러나, 2028년 이후부터 목표시장은 제품수명주기의 S형 커브상 성숙기에 도달할 것으로 보이며, 이에 따라 점차 시장성장률은 둔화되어 잠재시장 성장률(국내 건축공사 기성액 성장률 2016~2019년 CAGR 4.82%) 수준의 성장률에 수렴할 것으로 전망된다. 따라서, 목표시장은 2028년 1,985억원에서 2034년에는 2,633억원 수준에 도달할 전망이다.

<국내 비산먼지 분석/저감서비스 시장규모 전망(2028~2034)>

구분	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
국내 비산먼지 분석/저감서비스 잠재시장 (단위: 억원)	14,082	14,761	15,472	16,217	16,999	17,817	18,676
침투율	14.10%	14.10%	14.10%	14.10%	14.10%	14.10%	14.10%
국내 비산먼지 분석/저감서비스 시장규모 (단위: 억원)	1,985	2,081	2,181	2,286	2,396	2,512	2,633

3) 시장성 평가요인 분석

① 시장집중도, 시장경쟁성, 예상시장점유율

- 목표시장은 본격적으로 형성된 상태는 아니므로 시장집중도는 매우 낮은 상태라고 할 수 있다. 또한, 시장경쟁 상황도 미세먼지를 저감하는 서비스로서 직접적 경쟁제품/서비스로 볼 수 있는 대체수단이 현재로서는 마땅히 없는 상태이어서 시장경쟁상황도 낮은 상태로 볼 수 있다. 개발된 기술제품이 시장에 출시되는 경우에는 특별한 경쟁제품/서비스가 없기 때문에 예상시장점유율은 높은 수준으로 볼 수 있다.

② 시장경쟁변화, 신제품출현빈도, 경제적 수명

- TCT(기술수명주기)상 평가대상기술에 관련된 평가대상특허의 대표 IPC가 B64C(비행기; 헬리콥터; 에어쿠션 비행체), F04B(액체용 용적형 기계; 펌프) 등이며, Q2(중앙값)은 모두 10년 수준으로서, 기술의 변화속도는 아주 빠른 편은 아니며 보통 수준으로 볼 수 있다. 한편, 건설현장은 비교적 기술 및 시장의 변화속도가 타분야 대비 빠르지 않으며 통상적으로 시장경쟁변화가 느린 편에 속한다고 볼 수 있다. 따라서, 시장경쟁변화는 빠르지 않기 때문에 양호한 수준으로 판단되며, 신제품출현빈도 측면에서 신제품출현빈도가 높지 않기 때문에 역시 양호한 수준으로 판단된다. 경제적 수명은 Q2(중앙값)은 모두 10년 수준으로서, 비교적 장기에 해당한다고 판단된다.

③ 시장성장성

- 앞서 살핀 바와 같이, 목표시장의 잠재시장규모는 2021년 1조 131억원에서 2026년에는 1조 2,818억원 수준에 도달할 것으로 전망된다. 다만, 잠재시장규모는 이론상 최대 성정시 달성가능한 시장규모로서 실제 시장규모와는 차이가 있다. 실제 비산먼지 분석/저감서비스 시장규모는 앞서 본문에서 검토한 바와 같이, 목표시장 초기에는 국내 민간 드론시장 성장률 46.6%(2016~2021년 CAGR) 수준으로 성장할 것으로 전망되며, 목표시장은 2022년에 150억원 규모를 형성할 전망이며, 이는 2022년 잠재시장규모 10,619억원의 1.41%(침투율) 수준에 해당한다. 그리고, 연평균 46.6%(국내 민간 드론시장 2016~2021년 CAGR) 수준으로 성장하여 2028년에 1,489억원 수준에 이를 전망이다. 이는 2028년 잠재 시장규모 14,082억원의 10.57%(침투율)에 해당한다. 이러한 점을 종합 고려하면, 목표시장의 시장성장성은 높은 수준의 성장세를 보이는 수준에 해당한다고 판단된다.

④ 시장진입가능성, 생산용이성, 수요성

- 미세먼지 저감을 위한 정책적 지원이 강화되고 있는 점, 현행 건설진흥법 규정에서 비산먼지 저감을 위한 환경관리비 사용을 강제하고 있는 점 등을 고려하면, 시장환경 측면에서 시장진입에 기회요인이 있다고 판단된다.
- 장시간 공중에서 물을 미분수 살포할 수 있는 기술은 아직 초기 기술로서 비교적 기술개발 및 노하우 축적이 필요한 상황이지만, 드론 구조체 기술은 보편화된 상태이며, 관련 부품/부분품 등은 조달에 큰 어려움이 없는 점 등을 고려하면, 생산용이성은 우수한 수준으로 판단된다. 평가대상 기술제품은 민간시장에서 반드시 필요한 필수재라기보다는, 공익적 측면에서 대기환경 보호를 위해 필요한 제품/서비스인 점, 건설진흥법에서 비산먼지 저감을 위한 시설을 설치하도록 의무적으로 환경관리비를 책정하고 있는 점, 전방산업인 건설업 경기의 영향을 받는 점 등을 고려하면, 수요성 측면에서 비교적 전방산업의 경기 영향을 받는 수준으로 판단된다.

3. 사업성 분석 및 기술가치 산정

1) 사업화 기반 역량 및 제품 경쟁력

① 사업화 주체의 개요

- 평가대상기술은 현재 한국건설기술연구원과 한국기계연구원에서 개발을 마무리하고 있는 단계에 있고, 아직 사업화 주체가 확정되지 않은 상태이다. 따라서, 본 평가에서는 평가대상기술을 기술이전 받을 가능성이 있는 가상의 사업화 주체를 가정하여 평가를 수행하고자 한다.
- 사업화 주체는 N74212. 산업설비, 운송장비 및 공공장소 청소업에 해당하는 사업체가 기술이전을 받아서 사업화를 추진한다고 보았다. 기업매출액 규모, 연구개발역량, 생산역량 등을 종합적으로 고려할 때, 해당 산업(N74212. 산업설비, 운송장비 및 공공장소 청소업)에서 소기업은 평균 매출액이 2018년 기준 1,101백만원 수준으로 매우 영세하여서 평가대상기술을 이전받을 여력이 부족하다고 판단된다. 따라서, 중기업 이상 수준의 기업이 기술이전 받을 여지가 있다고 판단되며, 이에 따라 해당 산업(N74212. 산업설비, 운송장비 및 공공장소 청소업)의 중기업으로서 평균 수준에 해당하는 기업을 기술사업화 주체로 가정하였다.

② 연혁 및 조직도

- 해당 산업(N74212. 산업설비, 운송장비 및 공공장소 청소업)의 중기업으로서 평균 수준에 해당하는 기업을 기술사업화 주체로 가정하였으므로 사업화주체의 연혁 및 조직도는 생략한다.

③ 사업 주체의 역량

- 평가기준일 이후에 해당 산업(N74212. 산업설비, 운송장비 및 공공장소 청소업)의 중기업으로서 평균 수준에 해당하는 기업이 기술사업화를 추진하며, 대표자 역량, 연구개발역량, 생산역량은 평균 수준으로 가정한다. 이하는 해당 산업의 중기업 평균 영업실적 추이이다.

<해당 산업(N74212)의 중기업 평균 영업실적 추이>

(단위: 백만원)

구 분	2018	2019	2020	평균
매출액	9,195	7,479	8,325	8,333
영업이익	339	336	293	323
영업이익률	3.69%	4.49%	3.52%	3.87%

※ 출처 : NTB 기술은행

③ 제품 경쟁력

- 종래기술의 문제점으로서, 종래 드론을 이용한 시스템의 경우에 단순히 드론을 이용하고 있을 뿐, 미세먼지 통제를 위한 드론과 현장운영 시스템을 연계하여 각종 데이터를 저장 관리하고 평가시스템을 구축하는 통합적인 관리 시스템을 구축하지 못하고 있는 실정인 점, 미세먼지측정드론과 워터포그분사드론 간을 연결하여 미세먼지 발생 지점을 전달하고, 측정된 데이터를 시계열로 저장하여 시스템 운영에 따른 미세먼지 감소 효과를 시각적으로 표출하여 시스템 운영의 성과를 가시적으로 나타날 수 있는 시스템이 요구되고 있는 점 등의 문제점이 있다.

- 평가대상기술은 드론을 이용하여 미세먼지 측정 데이터를 시계열로 저장하여 미세먼지 감소 효과를 시각적으로 표출 가능하고, 전기 동력을 사용하지 않고 수압 동력으로만 추진력을 얻어 비행 가능한 미세먼지 감시/분석/저감 시스템 기술 등에 관한 것이다. 또한, 측정된 데이터를 시계열로 저장하여 미세먼지 감소 효과를 시각적으로 표출 가능한 점, 전기 동력을 사용하지 않고 수압 동력으로만 추진력을 얻어 비행하므로 폭발 위험성이 있는 장소에서도 물분사 작업이 가능한 점, 비행에 필요한 동력 소모를 줄이고 장시간 비행이 가능하고 기계적 구조도 단순하기 때문에 유지보수 비용도 감소하는 효과가 있는 점, 펌프를 소형화/경량화할 수 있는 점 등이 특징이다.
- 이러한 점을 종합 고려하면, 평가대상기술은 우월성 측면에서 원천기술(기술표준 등 포함)에 접근해 있어 기술적 우월성이 우수한 수준으로 평가되며, 차별성 측면에서 평가대상기술은 차별성 측면에서 기술도입자에게 다양한 차별적 특성에 의한 상업적 우위성을 제공하므로 우수 수준으로 평가된다.

2) 사업성 평가요인 분석

- 평가기준일 이후에 가상의 사업화 주체가 평가대상 기술 사업을 신규 추진하는 경우로 가정하고, 사업성 평가요인은 동업종 중기업의 평균 수준으로 가정한다.

3) 기술가치 산정

① 기술가치평가의 개요

■ 기술가치평가 대상

- 본 기술은 도심지 건설현장 미세먼지 저감을 위한 드론기반의 스마트 감시 및 미분무수 분사 시스템 기술에 관한 것으로서, 본 기술과 관련된 특허는 출원특허 제10-2020-0145702호(이하, 제1평가대상특허), 등록특허 제10-2241094호(이하, 제2평가대상특허), 등록특허 제10-2290219호(이하, 제3평가대상특허)이며, 주요 서지사항은 다음과 같다.

<제1평가대상특허의 주요 서지사항>

명칭	도심지 건설현장을 위한 미세먼지 스마트 감시시스템
특허권자	한국건설기술연구원
출원번호(출원일)	10-2020-0145702 (2020.11.04)
등록번호(등록일)	-
청구항 구성	청구항 7개(독립항 1개)
해외출원	-
존속기간(예정)	-
출원경과	특허출원(2020.11.04.)과 함께 심사청구되었으며, 현재 미공개 상태이고, 2021. 09. 27. 현재 특허결정을 받았음.(Ⅷ. 기타 자료 참조 : 특허청 발송번호: 9-5-2021-075954661)

<제2평가대상특허의 주요 서지사항>

명칭	물 분사를 위한 유압 구동식 비행체
특허권자	한국기계연구원
출원번호(출원일)	10-2019-0089100 (2019.07.23)
등록번호(등록일)	10-2241094 (2021.04.12)
청구항 구성	청구항 10개(독립항 2개)
해외출원	-
존속기간(예정)	2039.07.23
출원경과	특허출원(2019.07.23.), 의견제출통지서(2020.06.16.), 의견서/보정서 제출(2020.08.18.), 거절결정서(2020.12.04.), 의견/보정서 제출(2021.01.06.), 등록결정서(2020.02.10.), 1-3년차 등록료 납부(2021.04.12.)하여 현재 특허 존속중

<제3평가대상특허의 주요 서지사항>

명칭	미분무수 분사용 고압 피스톤 펌프
특허권자	한국기계연구원
출원번호(출원일)	10-2019-0152696 (2019.11.25)
등록번호(등록일)	10-2290219 (2021.08.10)
청구항 구성	청구항 7개(독립항 1개)
해외출원	-
존속기간(예정)	2039.07.23
출원경과	특허출원(2019.11.25.), 의견제출통지서(2020.11.23.), 의견서/보정서 제출(2021.01.25.), 등록결정서(2021.05.28.), 1-3년차 등록료 납부(2021.08.10.)하여 현재 특허 존속중

■ 기술가치평가 목적

- 본 평가의 목적은 평가대상특허에 관련된 사업성검토 목적으로 한다. 이러한 목적에 따라 평가대상 특허(기술)의 기술성, 권리성, 시장성, 사업성을 분석하였다. 본 평가는 위와 같은 목적 및 상황을 가정하여 수행된 것이므로 이외의 목적으로 본 평가서를 사용하는 경우에는 평가의 제반 상황 및 가정이 달라짐에 따라 평가결과의 적정성을 보장할 수 없다. 따라서 위 목적(용도) 외의 목적(용도)으로 본 평가서를 사용할 수 없다.

■ 기술가치평가 시점

- 평가기준일, 평가기간, 평가서 유효기간은 다음과 같다.
  - ○ 평가기준일 : 2021. 9. 1.
  - ○ 유효기간 : 평가기준일로부터 1년

■ 기술가치 산정

- 본 평가는 아래의 단계에 따라 수행되었다.

평가용도·목적	– 평가용도: 사업성검토
⬇	
평가요인 분석 (기술·권리·시장·사업성)	– 사업화타당성 분석용 정성평가, 매출추정 등 정량평가 기반자료 – 경쟁기술 대비 차별성(기술성), 권리 안정성(권리성), 시장규모 및 전망(시장성), 제품경쟁력 및 사업화역량(사업성)의 판단
⬇	
기술의 경제적수명	– TCT지수와 기술수명영향요인에 의한 경제적 수명
⬇	
매출액 추정	– 경제적수명 기간 동안의 매출액 추정; 직접추정법 등
⬇	
기준 로열티율 선정	– 거래 로열티율 사례로부터 기준 로열티율 선정 – 기술가치평가 실무가이드 등의 기준 로열티율 활용
⬇	
최종 로열티율 결정	– 합리적 로열티율(=기준 로열티율 × 조정계수) 산출 – 지식재산 보호비중을 곱하여 최종(적정) 로열티율 결정
⬇	
현금흐름 산출	– 세전 로열티 수입 = 최종 로열티율 × 매출액 – 여유현금흐름(세후 로열티 수입) = 세전 로열티 수입 – 법인세
⬇	
할인율	– WACC(할인율) = 자기자본비용 × 자기자본비율 + (타인자본비용 × 타인자본비율) × (1 – 평균 세율) – 현가계수 산출
⬇	
NPV(사업가치)	– 여유현금흐름의 현재가치 = 여유현금흐름 × 현가계수 – NPV(사업가치) = 여유현금흐름의 현재가치 합계
⬇	
기술의 가치	– 기술의 가치 = NPV× 지식재산 유효성

평가를 위한 세부변수 및 가정을 “주요 변수 및 가치금액 산정내역”에서 상세히 설명하였다. 아래는 평가대상기술의 가치산출표이며, 당해 기술의 가치는 1,150.76백만 원으로 산정되었다.

<평가결과 요약>

(단위: 백만 원)

구 분	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	6차년	7차년	8차년
매출액	0	1,921	3,982	8,256	10,090	12,332	15,072	18,420
적정 로열티율	1.88%	1.88%	1.88%	1.88%	1.88%	1.88%	1.88%	1.88%
로열티 수입	0	36	75	155	190	232	284	347
법인세 비용	0	4	8	17	21	29	40	54
세후 로열티 수입 (여유현금흐름)	0	32	67	138	169	203	243	292
현가계수	0.9182	0.8430	0.7740	0.7107	0.6525	0.5991	0.5501	0.5050
여유현금흐름 현재가치	0	27	52	98	110	122	134	148
구 분	9차년	10차년	11차년	12차년	13차년	14차년	15차년	
매출액	22,512	23,596	24,733	25,924	23,427	21,170	19,130	
적정 로열티율	1.88%	1.88%	1.88%	1.88%	1.88%	1.88%	1.88%	
로열티 수입	424	444	465	488	441	398	360	
법인세 비용	71	76	80	85	75	66	57	
세후 로열티 수입 (여유현금흐름)	352	368	385	403	366	333	303	
현가계수	0.4637	0.4258	0.3909	0.3589	0.3295	0.3026	0.2778	
여유현금흐름 현재가치	163	157	151	144	121	101	84	
현재가치 합계	1,611							
지식재산 유효성	71.429%							
기술의 가치	1,150.76							

① 주요변수 산정내역

■ 기술가치평가 산식

– 평가대상기술 가치평가의 기본모형으로 로열티공제법 기반의 산식을 이용한다. 이 방법에서는 기술의 경제적수명 기간 동안의 로열티 수입의 흐름에 근거하여 기술의 가치를 추정하며, 따라서 라이선스 거래는 그 기술과 비교할 만한 유사한 속성(투자위험, 수익성 등)을 반영할 수 있어야 한다. 다음과 같은 방법을 적용하여 기술의 가치를 산출하였다.

기술의 가치 = [매출액 × (합리적 로열티율 × 지식재산 보호비중) × (1−세율)] 의 현재가치(NPV) 합계 ×
지식재산 유효성
- 합리적 로열티율 = 기준 로열티율 × 조정계수
- 기준 로열티율: 유사 사례 로열티율 또는 업종별 로열티 통계의 중앙값(또는 평균)
- 조정계수: 로열티 영향요인 평점에 근거하여 기준 로열티율을 조정하는 계수
- 최종(적정) 로열티율 = 합리적 로열티율 × 지식재산 보호비중
- 지식재산 보호비중: 지식재산이 기술사업화제품에서 차지하는 비중(0~100%)
- 지식재산 유효성: 지식재산의 권리로서의 유효성과 거래가능성에 대한 평점(0~100%)

■ 기술의 경제적 수명

– 기술의 경제적수명은 기술의 수명에 부정적 영향을 미치는 요인들이 발생하여 기술이 경쟁우위를 잃게 되는 미래의 평균시점까지의 기간이다. 평가대상기술의 경제적수명은 IPC를 기준으로 산출되는 특허인용수명지수의 중간값(Q2)인 기술수명주기(TCT; Technology Cycle Time)를 기본값으로 하고, 여기에 기술수명 영향요인(기술요인, 시장요인) 평점을 고려하여, 다음 식을 이용하여 추정하였다.

기술의 경제적수명 $= f(TCT$ 지수, 기술요인, 시장요인$)$

$$= Q_2 + (Q_3 - Q_2) \times \frac{\text{획득값} - \text{기준값}}{\text{최대값} - \text{기준값}} \quad (\text{if 획득값} \geq \text{기준값})$$

$$= Q_1 + (Q_2 - Q_1) \times \frac{\text{획득값} - \text{최소값}}{\text{기준값} - \text{최소값}} \quad (\text{if 획득값} < \text{기준값})$$

여기서, Q_1 : 특허인용수명지수의 일사분위수
Q_2 : 특허인용수명지수의 중앙값
Q_3 : 특허인용수명지수의 삼사분위수
획득값 : 경제적수명 영향요인 평가에 의한 획득점수(%)
최대값 : 100%, 최소값 : 20%, 기준값 : 60%

– 평가대상기술의 특허인용수명지수는 당해 기술의 IPC 코드와 매칭되는 특허인용수명지수로부터 다음과 같이 결정하였다.

<평가대상기술 특허인용수명지수>

(단위: 년)

IPC	기술 정의	평균	Q_1	Q_2	Q_3
B64C	비행기; 헬리콥터; 에어쿠션 비행체	11.34	5	10	17
F04B	액체용 용적형 기계; 펌프	10.95	5	10	16
평균			5.0	10.0	16.5

특허인용수명지수와 함께 평가대상기술의 경제적수명 결정에 영향을 주는 기술수명 영향요인(기술·시장 요인)을 평가요인 분석 등을 바탕으로 하여 다음과 같이 도출하였다.

<기술수명 영향요인 평가표>

구분	수명영향 요인	가중치	1	2	3	4	5
기술 요인	우월성	7				●	
	기술경쟁강도	4				●	
	대체가능성	5				●	
	모방난이도	3				●	
	권리보호강도	3				●	
시장 요인	시장진입가능성	4				●	
	시장경쟁강도	4					●
	시장경쟁의 변화	4				●	
	신제품출현가능성	3				●	
	예상시장점유율	4					●
합 계			172점				
획득점수(100점)			83.9점 = (172점 / 205점) x 100				

<평가 항목 및 근거>

평가 항목	평가 근기
① 우월성	◦ 원천기술(기술표준 등 포함)에 접근해 있어 기술적 우월성이 우수한 수준으로 평가
② 기술경쟁강도	◦ 유사기술의 수가 적고 경쟁은 존재하지만, 기술적 우위를 지키기가 용이하므로 향후 대상기술 사업화에 미치는 위험 가능성은 작다고 보이므로 우수 수준으로 평가
③ 대체가능성	◦ 대체기술이 다소 존재하나, 그 대체기술이 대상기술의 핵심요소와는 대체되지 않는다고 보이므로 우수 수준으로 평가
④ 모방난이도	◦ 기술적 모방이 어렵기 때문에 향후 상당기간 사업화 위험이 작다고 보이므로 우수 수준으로 평가
⑤ 권리보호강도	◦ 특허의 청구범위가 현재사업의 모든 제품을 보호할 만큼 충분히 넓다고 보이므로 우수 수준으로 평가
⑥ 시장진입 가능성	◦ 규모의 경제·비용우위성·영업망 등을 고려할 때 시장진입 장벽이 낮고, 향후 법·제도에 장려요인이 생길 가능성이 있다고 보이므로 우수 수준으로 평가
⑦ 시장경쟁강도	◦ 목표시장에서 강력한 경쟁기업이 거의 없기 때문에 시장경쟁강도는 매우 우수한 수준
⑧ 시장경쟁의 변화	◦ 시장에서의 경쟁 정도의 변화가 적을 것으로 예상되므로 우수 수준으로 평가
⑨ 신제품 출현가능성	◦ 신제품의 출현 빈도가 낮은 시장(업종)이므로 우수 수준으로 평가
⑩ 예상 시장점유율	◦ 목표시장의 선두그룹에 속해 있으며, 지속적으로 선도할 것으로 기대되므로 매우 우수 수준으로 평가

평가대상기술의 경제적수명은 특허인용수명지수(Q1,Q2,Q3)와 기술수명 영향요인 평가결과에 따라 14년으로 산출되었다.

기술의 경제적수명 $= f(TCT$ 지수, 기술요인, 시장요인)

$$= Q_2 + (Q_3 - Q_2) \times \frac{\text{획득값} - \text{기준값}}{\text{최대값} - \text{기준값}} \quad (\text{if 획득값} \geq \text{기준값})$$

$$= Q_1 + (Q_2 - Q_1) \times \frac{\text{획득값} - \text{최소값}}{\text{기준값} - \text{최소값}} \quad (\text{if 획득값} < \text{기준값})$$

= 10.0+(16.5−10.0) x {(83.9 − 60)/(100 − 60)} ≒ 13.88년

= min {기술의 경제적 수명(13.88년), 법적보호 잔존기간(17.89년)} ≒ 14년

<평가대상기술의 법적보호잔존기간>

등록번호	기술의 명칭	출원일	존속기한
-	도심지 건설현장을 위한 미세먼지 스마트 감시시스템	2020.11.04	2040.11.04
10-2241094	물 분사를 위한 유압 구동식 비행체	2019.07.23	2039.07.23.
10-2290219	미분무수 분사용 고압 피스톤 펌프	2019.11.25	2039.11.25.

기술의 경제적수명은 기술이 산업재산권으로 등록되어 있는 경우, 그 기술에 대한 산업재산권의 법적 보호 잔존기간을 초과할 수 없다. 따라서 평가대상기술의 경제적수명(13.88년)과 산업재산권의 법적 보호 잔존기간(17.89년) 중 짧은 기간이 보수적 관점에서 당해 기술의 경제적수명이 된다. 따라서 당해 기술의 경제적수명(현금흐름추정기간)은 14년으로 도출되었다.

한편, 평가기준일 이후에 해당산업의 평균 수준의 기업이 기술이전을 받아서 사업화를 추진한다고 가정하였으므로, 사업화주체가 기술이전을 받으면서 사업화준비를 해야 하므로, 약 1년의 사업화준비기간이 필요하다고 판단된다. 이에 따라, 현금흐름 추정기간은 평가대상기술의 경제적 수명 14년에 사업화준비기간을 포함하여 최종 15년으로 추정된다.

■ 매출추정

- 개요
  - 매출액 추정은 기술·산업·시장에 대한 이해와 분석을 바탕으로 기술수명, 시장규모 및 시장점유율 등에 대한 보다 합리적이고도 객관적 자료를 바탕으로 이루어져야 한다. 따라서 매출액 추정의 신뢰도를 높이기 위해서는 관련 자료의 수집·분석이 요구되며, 또한 기술 분야나 시장·산업분석 전문가가 참여하는 합의방식을 활용할 필요가 있다. 매출액은 평가 참여자의 합의에 따라 추정하는 것이 원칙이나 다양한 방법을 선택하여 추정할 수 있다. 어떤 경우든 각종 증가율 또는 매출액 파라미터에 대한 전문가 판단 시 개인적 판단 이외에도 시간과 비용이 허용하는 한에서 델파이법(설문조사를 통한 기술예측 방법)이나 시장조사를 활용할 수 있다. 또한 실무편법 추정법으로 평균성장률이나 예상증가율 혹은 최근 월말 매출실적을 이용하여 간편하게 매출액을 추정하는 방법을 활용할 수도 있다.
  - 매출액은 기본적으로 평가대상기술이 성공적으로 상용화되어 기술사업화제품이 시장에 진입하는 것을 전제로 하여, 불확실한 미래 사건과 사업화주체의 경영자의 행위에 대한 가설적 가정 등에 기반을 두고 추정하였다. 즉, 경제적수명 기간 동안 영업환경이나 국내외 경제상황의 변화가 추정 매출액에 영향을 미칠 수 있으며, 이에 따라 평가대상기술의 가치평가 금액이 달라질 수도 있다.

● 매출추정

- 앞서 '사업화 주체의 개요'에서 살핀 바와 같이, 평가기준일 이후에 해당산업의 평균 수준의 기업이 기술이전을 받아서 사업화를 추진한다고 가정한다. 그리고, 기술이전을 받으면서 사업화준비를 하게 되고, 약 1년의 사업화준비기간이 필요하다고 판단된다.
- 일반적인 매출액 성장모형에 따라, 1차년을 사업화준비기간(2021.09.01~ 2022.08.31), 2~3차년을 도입기(2022.09.01~ 2023.08.31), 4~8차년을 성장기(2023.09.01~ 2028.08.31), 9~12차년을 성숙기(2028.09.01~ 2032.08.31), 13~15차년을 쇠퇴기(2032.09.01~ 2035.08.31)에 해당하는 것으로 추정하였다.
- 매출추정의 기본 가정에 따라 도출한 매출추정 시나리오는 다음과 같다. 1차년(2021.09.01.~ 2022. 08.31)은 사업화준비기간으로서, 기술이전을 받은 평가대상기술을 토대로 양산제품 설계, 테스트, 생산준비, 영업활동 등을 수행한다고 가정하였다.
- 다음으로, 2~3차년(2022.09.01.~ 2023.08.31.)은 도입기로서, 목표시장에 성공적으로 진입하여 시장점유율을 큰 폭으로 늘리는 기간으로 보았다. 유사 제품/서비스가 거의 없는 상태에서 우수한 성능을 토대로 시장점유율을 빠르게 확장하고, 2차년에 목표시장점유율 5%를 달성하여 1,921백만원의 매출을 달성 가능하다고 보았다. 목표시장은 초기 시장 상태로서 평가대상기술과 같은 수준의 성능을 갖춘 경쟁제품/서비스가 뚜렷하게 나타나지 않은 상태이어서 시장선점효과를 누릴 것으로 판단된다. 평가대상기술이 시장에서 호응을 보이면서 이에 따라 목표시장이 확대되면서 시장침투율이 상승하는 기간으로 볼 수 있다. 3차년이 끝나는 시점에서 목표시장침투율이 높아지면서 사업화주체의 시장점유율이 10% 수준으로 확대될 가능성이 있다고 판단된다.
- 다음으로 4~8차년(2023.09.01.~ 2028.08.31.)은 본격적인 성장기로서, 사업화주체의 제품이 시장에 공개되면서 신규 경쟁사들이 출현하고 이에 따라 목표시장 자체가 확장되는 국면에 진입할 것으로 보인다. 따라서, 사업화주체의 목표시장점유율 상승보다는 목표시장 자체가 급격하게 성장하는 성장기 시장이기 때문에 시장점유율이 유지되면서도 사업화주체의 매출은 큰 폭으로 성장하는 추세를 보일 전망이다. 사업화주체는 성장기 기간동안 시장점유율 10%대를 유지하는 경우, 8차년에는 18,420백만원의 매출액을 달성할 수 있을 것으로 판단된다.
- 다음으로, 9~12차년(2028.09.01.~ 2032.08.31.)은 성숙기로서, 시장경쟁이 격화되면서 경쟁사 중에서 한계기업은 도태되고, 신규 진입자가 사라지는 국면에 접어들 것으로 보인다. 목표시장의 높은 성장률도 점차 둔화되면서 사업화주체가 일정한 시장점유율을 유지하면서도 매출성장율은 둔화되는 단계가 진행될 것으로 보인다. 즉, 목표시장의 성장률은 잠재시장성장율 4.82% 수준으로 수렴되면서 사업화주체의 매출성장률와 그와 같은 수준으로 둔화될 전망이다.
- 다음으로, 13~15차년(2032.09.01~ 2035.08.31)에는 기술적 진부화로 인하여 매출이 감소하면서 -9.63%(시장성장률의 -200%),수준으로 역성장한다고 보았다.
- 본 매출추정 시나리오에 적용한 가정을 정리하면, (1) 도입기의 경우, 매우 빠른 시간 내에 개발제품에 대한 생산 및 영업이 원활하게 진행되고, 원활하게 시장진입하여 우수한 성능/효과를 토대로 고객 수요를 흡인하여 빠르게 시장점유율을 확대함, (2) 성장기의 경우, 사업화 주체의 마케팅/영업전략이 계획대로 원활하게 수행되어서 매출규모를 확대하고, 동시에 목표시장 성장에 따라 경쟁사들이 출현하여 시장규모가 같이 성장하는 국면에 진입함, (3) 성숙기의 경우, 시장경쟁이 격화되면서 경쟁기업중에서 한계기업은 시장에서 이탈하고 신규 진입자가 사라지면서 목표시장의 시장성장률이 둔화되어 잠재시장 성장률 수준으로 수렴함, 사업화주체는 일정한 시장점

유율을 유지하면서 매출액은 점진적 확장, (4) 쇠퇴기의 경우에는, 점차 기술이 진부화되면서 목표시장 점유율을 상실함 등이다. 사업화 주체의 사업화 추진이 이러한 가정에 못 미치는 경우에는 매출액은 보다 낮은 수준을 기록할 수 있을 것이다.

<평가대상기술 관련 추정 매출액>

(단위: 백만 원)

구분	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	6차년	7차년	8차년
매출액	0	1,921	3,982	8,256	10,090	12,332	15,072	18,420
성장률	-	-	107.32%	107.32%	22.22%	22.22%	22.22%	22.22%
구분	9차년	10차년	11차년	12차년	13차년	14차년	15차년	
매출액	22,512	23,596	24,733	25,924	23,427	21,170	19,130	
성장률	22.22%	4.82%	4.82%	4.82%	-9.63%	-9.63%	-9.63%	



■ 적정 로열티율 산출

- IPC와 업종 매칭
  - 평가대상기술은 IPC에 따라 B64C(비행기; 헬리콥터; 에어쿠션 비행체)에, 관련 업종은 한국표준산업분류에 따라 N74212(사업시설 관리 및 조경 서비스업)에 해당하며 이를 바탕으로 로열티율, 할인율 등의 각종 변수를 결정하였다.

<평가대상기술 매칭>

IPC	한국표준산업분류
비행기; 헬리콥터; 에어쿠션 비행체(B64C)	사업시설 관리 및 조경 서비스업(N74212)

- 기준 로열티율 선정
  - 기준 로열티율은 유사 사례 로열티율 또는 업종별 로열티 통계의 중앙값 또는 평균으로 선정한다. 기준 로열티율 활용순서는 ▲업종별 로열티율 ▲비상장기업 상관행법 로열티율 ▲상장기업 상관행법 로열티율이다. 본 평가에서는 N74212에 해당하는 비상장기업 상관행법 로얄티율을 사용하였다.

<기준 로열티율 선정>

업종	Q_1	Q_2(중앙값)	Q_3	비고
N74212(N74)	2.17	2.32	2.99	* 기술가치평가 실무가이드 * 비상장기업 상관행법 로얄티율

• 조정계수 산출

– 조정계수는 평가하고자 하는 기술과 일치하는 기술의 거래 사례가 없을 때 유사 거래사례 또는 업종 평균(또는 중간값) 로열티율에 적용하여 기준 로열티율을 그 기술에 맞게 조정하는 계수다. 본 평가에서 조정계수는 평가대상기술의 기술성과 기술사업화제품의 시장·사업성 평가요인으로만 구성하여 다음과 같이 산출하였다.

<조정계수 산출표>

평가요인	평가항목	점수								
		1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
기술적 속성	혁신성							●		
	차별성							●		
	대체가능성							●		
	전망성									●
	파급성							●		
시장·사업적 속성	시장경쟁강도									●
	시장성장전망									●
	수요민감도					●				
	생산용이성							●		
	수익성					●				
획득값(점수)		41								

<조정계수 평가 항목 및 근거>

평가 항목	평가 근기
① 혁신성	◦ 기술의 많은 부분이 혁신적인 것(주요 개량기술)이므로 우수 수준으로 평가
② 차별성	◦ 기술도입자에게 다양한 차별적 특성에 의한 상업적 우위성을 제공하므로 우수 수준으로 평가
③ 대체가능성	◦ 대체기술이 다소 존재하나, 그 대체기술이 대상기술의 핵심요소와는 대체되지 않으므로 우수 수준으로 평가
④ 전망성	◦ 연구에 대한 지지가 지속적으로 계속될 것으로 보이므로 매우 우수 수준으로 평가
⑤ 파급성	◦ 복수의 시장에서 다양한 신제품에 적용 가능하다고 보이므로 우수 수준으로 평가
⑥ 시장경쟁강도	◦ 목표시장에서 강력한 경쟁기업이 거의 없기 때문에 시장경쟁강도는 매우 우수한 수준
⑦ 시장성장전망	◦ 목표시장의 성장이 최근 고도 성장기에 있어, 향후 성장추세가 매우 가파를 것으로 예측되므로 매우 우수 수준으로 평가
⑧ 수요민감도	◦ 제품에 대한 수요는 있으나 경기변동에 큰 영향을 받는다고 보이므로 보통 수준으로 평가
⑨ 생산용이성	◦ 기존 생산설비를 대부분 그대로 활용할 수 있으며 원부자재의 일정부분을 국내에서 조달하여 사업화 가능하다고 보이므로 우수 수준으로 평가
⑩ 수익성	◦ 영업이익률이 해당 기술이 속하는 업종 평균과 유사하다고 보이므로 보통 수준으로 평가

- 합리적 로열티율 산출
  - 평가대상기술의 합리적 로열티율은 기준 로열티율에 조정계수 획득값(41점)을 이용하여, 기준값을 5점 척도의 중앙값인 3점(3점×10개 평가항목)으로 설정하고, 기준 로열티율의 중앙값뿐만 아니라 최대 및 최소값을 활용하여 2.69%로 산출되었다.

- 합리적 로열티율 $=R_m+(R_3-R_m)[(\text{획득값}-\text{기준값})/(\text{최대값}-\text{기준값})]$ (획득값≥기준값)
  $=R_1+(R_m-R_1)[(\text{획득값}-\text{최소값})/(\text{기준값}-\text{최소값})]$ (획득값<기준값)
  - R_m : 업종별 로열티 통계의 중앙값(또는 평균)
  - R_3 : 업종별 로열티 통계의 삼사분위값(또는 최대값)
  - R_1 : 업종별 로열티 통계의 일사분위값(또는 최소값)
  - 획득값 : 조정계수산출표에서 산출한 평점
  - 기준값 : 30점
  - 최대값 : 50점
  - 최소값 : 10점

• 합리적 로열티율 산출
평가대상기술 : 도심지 건설현장을 위한 미세먼지 스마트 감시시스템 외 2건
사업화주체 : 해당산업 평균적 중기업
① 기준 로열티율 : N74의 로열티율 중앙값 2.32%
② N74 로열티율 : Q1(일사분위값) 2.17%, Q2(중앙값) 2.32%, Q3(삼사분위값) 2.99%
③ 조정계수 획득값 : 41점
④ 합리적 로열티율 : 2.32%+(2.99%-2.32%) X [(41-30)/(50-30)] = 2.69%

• 지식재산 보호비중 결정
- 지식재산 보호비중은 매출액 추정대상제품에서 지식재산권으로 보호되는 비율로, 제품을 구성하는 세부기술을 분류하여 원가비중, 소비자 구매요인 비중, 전문가 정성평가 등에 따라 적정히 산출한다. 지식재산권으로 보호되는 기술이 소비자 구매 요인의 기초가 되거나 제품의 실제 가치를 창출하는 경우 지식재산 보호비중을 100% 반영할 수 있다.
- 건설현장 미세먼지 스마트 감시 및 저감시스템에 있어 평가대상기술제품에는 프로펠러 구동계 기술, 비행체 제어기술, 유압분사/제어기술, 미세먼지 측정기술 등이 요구되는 점을 고려할 필요가 있다. 아래 표에서 보듯이, 프로펠러 구동계기술, 비행체 제어기술, 유압분사/제어기술, 미세먼지 측정기술 등의 기능을 포함하여 평가대상기술제품의 기술가치에 기여하는 것으로 판단된다. 평가대상기술 관련 특허들이 비행체 구동계기술 등에 대한 내용은 다소 부족한 점을 감안하여 평가대상기술의 지식재산 보호비중을 70.0%로 산정하였다. 한편, 평가대상기술 1, 평가대상기술 2, 3의 상대적 비중은, (평가대상기술 1) : (평가대상기술 2 및 3) = 40% : 60% 수준으로 판단된다.

<평가대상기술 지식재산 보호 비중>

요소 기술	가중치 (A)	소분류	비중 (B)	기술측면		권리측면		A × B	
				대상기술	기타기술	대상권리	기타권리	기술기여	권리기여
미세먼지 분석/유압분사 구동기술	70%	유압분사/제어기술	40%	○	○	○ (평가대상특허 2)	○	28%	28%
		유압계 구조기술	20%	○	○	○ (평가대상특허 3)	○	14%	14%
		드론 활용 미세먼지 측정, 데이터 분석기술	40%	○	○	○ (평가대상특허 1)	○	28%	28%
기타 기술	30%	비행제어기술, 비행체 기타 구동계 하드웨어 기술	100%	○	○	-	-	-	-
지식재산 보호비중								70.0%	70.0%

• 평가대상기술의 적정(최종) 로열티율 결정
① 합리적 로열티율 : 2.69%
② 지식재산 보호비중 : 70.0% (평가대상기술 1 : 28%, 평가대상기술 2,3 : 42%)
③ 적정로열티율 : ① x ② = 2.69% x 70.0% = 1.88%

- 법인세비용
  - 법인세비용은 법인세법 제55조에서 정한 세율에 지방세법 제176조에서 정한 주민세를 반영한 세율을 적용하여 산출한다. 다만, 법인세 등은 세무 조정시 발생하는 여러 가지 조정사항 등을 반영하여 계산하여야 하나, 로열티공제법에서는 로열티 수입을 과세표준으로 보고 과세표준 구간별 세율을 곱하여 계산한다.

<법인세 등의 세율>

과세표준	세율(주민세 포함)
2억 원 이하	11%
2억 원 초과 200억 원 이하	22%
200억 원 초과 3,000억 원 이하	24.2%
3,000억 원 이상	27.5%

- 할인율 추정
  - 기술가치평가에서 할인율은 위험조정할인율로, 자기자본비용과 타인자본비용을 가중평균한 가중평균자본비용(WACC : Weighted Average Cost of Capital)을 대용치로 사용하여, 아래 산식으로 추정한다.

$$\text{할인율} = WACC = [k_e \times (\frac{E}{E+D}) + k_d \times (1-\tau) \times (\frac{D}{E+D})]$$

여기서, k_e는 자기자본비용(= 상장기업 CAPM + 규모위험프리미엄 + 사업화위험프리미엄)

k_d는 타인자본비용(= 상장기업 타인자본비용 + 추가위험스프레드)

τ는 법인세율

E는 자기자본, D는 부채

$\frac{E}{E+D}$는 자기자본비중, $\frac{D}{E+D}$는 타인자본비중

  - 자기자본비용(Cost of Equity) Ke는 상장기업의 CAPM에 사업화위험에 따른 사업화위험프리미엄과 중소기업 유형에 따른 규모위험프리미엄을 가산하여 추정한다.

자기자본비용(ke) = 상장기업 CAPM + 사업화위험프리미엄 + 규모위험프리미엄

여기서, 상장기업 CAPM = Rf + β × [E(Rm) − Rf]

Rf는 무위험 이자율

β(베타)는 개별자산(또는 기업)의 체계적인 위험의 민감도

E(Rm)은 자본시장 포트폴리오에 대한 기대수익률
[E(Rm)-Rf]은 시장위험프리미엄

- 먼저, 상장기업 자기자본비용은 자본자산가격결정모형(CAPM: Capital Asset Pricing Model)을 적용하여 산출하는 데, 이때 시장위험프리미엄[E(Rm)-Rf]은 최근 8년간 KOSPI 지수(월간 종가) 수익률을 산술평균한 기대수익률 E(Rm)로 추정하고, 같은 기간 동안 5년 만기 국고채 수익률의 평균값을 Rf로 적용하여 산출한다. 사업화 위험프리미엄은 기술과 시장, 사업 관점에서 기술의 사업화위험에 대해 요구되는 일정한 대가로, "사업화위험 평가표"의 평가항목 점수를 가중합하여 산출한다.
- 비상장기업의 규모위험프리미엄은 상장기업 β(베타)자료 분포로부터 간접적으로 추정한다. 산업별 상장기업의 베타 분포가 정규분포라 가정하고, 비상장(대), 비상장(중), 비상장(소), 비상장(창업)에 따라 베타 평균이 증가한다는 가정에서, 베타자료 분포에서 60%, 70%, 80%, 90% 값을 적용한다. 타인자본비용(Cost of Debt) Kd는 상장기업 타인자본비용에 중소기업 유형에 따른 추가위험 스프레드를 더하여 산출한다.

타인자본비용(Kd) = 상장기업 타인자본비용 + 추가위험 스프레드

- 상장기업의 타인자본비용은 개념상 타인자본에 대한 금융비용이기 때문에 재무상태표상의 금융비용과 이자지급성 부채의 비율로 추정하며, 이자지급성 부채는 재무상태표상의 단기차입금, 유동성 장기부채, 사채, 그리고 장기차입금을, 금융비용은 손익계산서상의 지급이자와 할인료, 회사채 이자를 합산하여 산출한다.
- 중소기업의 타인자본비용은 타인자본에 대해서 투자자들이 요구하는 이자율이라기보다는 정책금리의 성격이 강하기 때문에, 타인자본의 원래 정의를 중소기업에 직접 적용하기에는 부적절하다. 중소기업의 타인자본비용은 업종별 상장기업의 타인자본비용 평균에 추가위험 스프레드를 가산하여 이를 대용값으로 사용한다.
- 추가위험 스프레드는 국내 민간채권평가회사 4개사(한국자산평가, KIS채권평가, 나이스피앤아이, 에프앤자산평가)의 무보증 회사채의 평균 신용등급별 스프레드를 활용한다.

<자기자본비용, 타인자본비용, 자기자본비율 등>

업종	자기자본비용	타인자본비용	자기자본비율	비고
N74	1.99%	7.45%	60.32%	*기술가치평가 실무가이드

주) 자기자본비율은 사업화주체의 자기자본비율(최근 5년 평균)

- 기술·시장성 분석결과를 바탕으로 한 사업화위험 평가점수가 41점으로 결정되었으며, 이에 해당하는 기술사업화 위험프리미엄이 1.99%로 추정되었다.

<기술사업화 위험프리미엄 평가표>

구 분	평가항목	평점				
		매우 미흡	미흡	보통	우수	매우 우수
		1	2	3	4	5
기술위험	차별성				●	
	기술경쟁강도				●	
	기술사업화환경				●	
	모방난이도				●	
	권리안정성				●	
시장 및 사업위험	시장진입가능성				●	
	시장경쟁강도					●
	시장성장전망					●
	생산용이성				●	
	수익성			●		
종합평점		41				
위험프리미엄		1.99%				

<기술사업화 평가 항목 및 근거>

평가 항목	평가 근기
① 차별성	◦ 경쟁기술과 대비하여 차별적 속성이 상대적으로 강하므로 우수 수준으로 평가
② 기술경쟁강도	◦ 유사기술의 수가 적고 경쟁은 존재하지만, 기술적 우위를 지키기가 용이하므로 향후 대상기술 사업화에 미치는 위험 가능성은 작다고 보이므로 우수 수준으로 평가
③ 기술사업화환경	◦ 기술적 문제점이 거의 없기 때문에 1년 이내에 사업화가 가능하므로 우수 수준으로 평가
④ 모방난이도	◦ 기술적 모방이 어렵기 때문에 향후 상당기간 사업화 위험이 작다고 보이므로 우수 수준으로 평가
⑤ 권리안정성	◦ 유사한 선행기술이 소수 존재하나, 선행특허 분석결과 보유한 권리의 저촉가능성이 낮아 권리의 안정성은 높다고 보이므로 우수 수준으로 평가
⑥ 시장진입가능성	◦ 규모의 경제·비용우위성·영업망 등을 고려할 때 시장진입 장벽이 낮고, 향후 법·제도에 장려요인이 생길 가능성이 있으므로 우수 수준으로 평가
⑦ 시장경쟁강도	◦ 목표시장에서 강력한 경쟁기업이 거의 없기 때문에 시장경쟁강도는 매우 우수한 수준
⑧ 시장성장전망	◦ 목표시장의 성장이 최근 고도 성장기에 있어, 향후 성장추세가 매우 가파를 것으로 예측되므로 매우 우수 수준으로 평가
⑨ 생산용이성	◦ 기존 생산설비를 대부분 그대로 활용할 수 있으며 원부자재의 일정부분을 국내에서 조달하여 사업화 가능하다고 보이므로 우수 수준으로 평가
⑩ 수익성	◦ 영업이익률이 해당 기술이 속하는 업종 평균과 유사하다고 보이므로 보통 수준으로 평가

- 업종별 할인율 산출표에서 선정된 비상장 중기업의 산출값에 의해 자기자본비용과 타인자본비용은 아래 표와 같이 산정되었다. 이러한 산출값과 할인율 산출식(=자기자본비용 X 자기자본비율 + 타인자본비용 X 타인자본비율 X (1-법인세율))으로부터 할인율은 8.91%로 결정되었다.

<추정 할인율>

자기자본비용	기술사업화 위험프리미엄	CAPM+규모위험프리미엄 (비상장 중기업)	합산
	1.99%	8.66%	10.65%
타인자본비용	7.45%		
자기자본비율	60.32%		
타인자본비율	39.68%		
WACC	[(10.65% × 60.32%) + (7.45% × 39.68%) × (1−15.77%)] = 8.91%		

주) 15.77% : 경제적수명 기간 동안의 영업이익에 따른 평균 법인세율
주) 60.32% : 사업화주체의 자기자본비율(최근 5년 평균)

- 지식재산 유효성
  - 지식재산 유효성은 유효권리가 인정된 지식재산의 거래 가능성을 판단하는 지표로, 이는 '기술가치평가 실무가이드'의 정성지표를 이용하여 아래와 같이 판단하였다.

<지식재산 유효성 평가지표>

평가항목		평가지표	점수
권리성	권리 안정성	신규성 또는 진보성 무효가능성	(10점 척도)
	권리보호 가능성	국내외 지식재산포트폴리오 구축 적절성	(5점 척도)
	권리행사 용이성	권리행사 제한 가능성	(10점 척도)
지식재산거래 시장성		분쟁 및 라이선스 활성도	(10점 척도)
지식재산 유효성			(점수합계)/35

<평가대상기술 지식재산 유효성>

평가항목	소분류	점수
권리성	신규성 또는 진보성 무효화 가능성	8
	국내외 지식재산포트폴리오 구축 적절성	3
	권리행사 제한 가능성	8
	분쟁 및 라이선스 활성도	6
지식재산 유효성 평가점수		25점
지식재산 유효성 (평가점수 비중 = 25.0점 / 35점)		71.429%

<가대상기술 지식재산 유효성 평가항목 및 근거>

평가 항목	평가 근기
① 권리 안정성	◦ 유사한 선행기술이 소수 존재하나, 선행특허 분석결과 보유한 권리의 저촉가능성이 낮아 권리의 안정성은 높다고 보이므로 우수 수준으로 평가
② 권리보호가능성	◦ 평가대상기술제품에는 프로펠러 구동계기술, 비행체 제어기술, 유압분사/제어기술, 미세먼지 측정기술 등이 요구되는 점, 사업화주체가 보유한 특허 포트폴리오에는 필요 요소기술 중에서 핵심역량에 관한 특허권이 다소 부족한 점 등을 고려하면, 포트폴리오의 적절성 측면에서 보통 수준으로 평가
③ 권리행사 용이성	◦ 특별히 권리행사가 제한될 가능성이 없다고 보이므로 우수 수준으로 평가
④ 지식재산거래 시장성	◦ 해당 분야에서 특허 분쟁 및 라이선스 빈도가 보통 수준인 것을 감안하여 보통 수준으로 평가

- 평가대상기술 가치금액
  - 평가대상기술의 가치금액은 여유현금흐름의 현재가치 합계 1,611백만 원에 지식재산 유효성(71.429%)을 곱하여 1,150.76백만 원으로 결정되었다. 한편, 앞서 '적정 로열티율 산출' 과정에서 살핀 바와 같이, 평가대상기술 1, 평가대상기술 2, 3의 상대적 비중은, (평가대상기술 1) : (평가대상기술 2 및 3) = 40% : 60% 수준으로 판단되므로, 이에 따라, 기술가치를 배분하면, 평가대상기술 1은 460.30백만원, 평가대상기술 2,3은 690.46백만원으로 산출되었다.

기술의 가치 = 여유현금흐름 현재가치 합계(사업가치) × 지식재산 유효성
= 1,611백만원 × 71.429% = 1,150.76백만원

평가대상기술 1의 가치 = 전체 기술가치 × 비중
= 1,150.76백만원 × 40% = 460.30백만원

평가대상기술 2,3의 가치 = 전체 기술가치 × 비중
= 1,150.76백만원 × 60% = 690.46백만원

4. 상용화 전략

1) 평가대상기술 시장의 현황

① 평가대상기술의 적용 시장

- 평가대상기술은 드론을 이용하여 미세먼지 측정 데이터를 시계열로 저장하여 미세먼지 감소 효과를 시각적으로 표출 가능하고, 전기 동력을 사용하지 않고 수압 동력으로만 추진력을 얻어 비행 가능한 미세먼지 감시/분석/저감 시스템 기술 등에 관한 것이다.
- 평가대상기술이 적용된 목표시장은 '건설현장 비산먼지 분석/저감서비스 시장'으로 볼 수 있다.
- 평가대상 기술사업이 속하는 해당산업은 건설현장 미세먼지 스마트 감시 및 저감 서비스의 제공을 통하여 수익을 창출하는 것이다. 후방산업은 드론의 제조, 미세먼지 측정장치의 제조, 유압모터의 제조, 분사노즐의 제조에 관련된 항공기용 부품제조업, 전자기측정기구 제조업, 전동기 제조업, 기타 기관 및 터빈제조업 등이라고 볼 수 있으며, 전방산업은 토목공사업, 건물공사업 등에 관련된 종합건설업, 전문건설업 등이라고 볼 수 있다.

② 스마트 건설 기조

■ 건설업계의 스마트건설기술 투자 동향

- 건설업계가 스마트건설 경쟁력을 강화하고 있다. BIM·4D 시뮬레이션·드론·AI 등 IT기술과 접목한 신기술·신공법 적용으로 미래건설시장을 선점하려는 움직임을 보이고 있다. 대표적으로는 현대엔지니어링, DL이앤씨, 현대건설, 대우건설 등 대형사들이다.
- 건설업계가 '스마트 건설기술'을 보유한 스타트업에 투자를 늘려가고 있다. '중대재해 처벌 등에 관한 법률안'(중대재해법)이 새해 국회 본회의를 통과한 가운데 건설현장에서 안전과 생산성을 담보하는 첨단기술을 수혈하고자 외부 자원을 적극 활용하는 모습이다. 업계는 이런 투자가 자체 기술 개발의 한계를 극복하고 경제성과 유연성을 높일 것이라 분석했다.
- 스마트 건설기술은 4차 산업혁명 기술을 융합한 건설기술이다. 설계, 시공, 유지관리 등 건설 단계별로 적용하던 전통적인 건설기술에 사물인터넷(IOT), 클라우드, 빅데이터, 건설정보모델링(BIM), 드론, 로봇 등을 접목하는 식이다. 전문인력에 의존하던 건설 업무를 기계화해 생산성과 안전성을 높이고, 건설 단계 간 단절을 해소하는 게 핵심이다. 국토교통부에 따르면 2016년 세계 스마트 건설기술 시장 규모는 100억 달러 수준으로 연평균 12%씩 성장하고 있다.

■ 민간의 스마트 건설기술 활용 현황

- 민간의 스마트 건설기술 활용 현황을 살펴보면, 대기업 중심으로 해외사업 대응 등을 위해 일부 기술 활용 중이나, R&D와 전면적인 현장 활용은 저조한 편이다. BIM 기술은 건축분야 중심으로 활용 중이나, 건설 프로세스 전반에 적용되기 보다는 설계 과정에 국한하여 부분적으로 적용되고 있다. 조달청은 업무지침을 마련하고 '맞춤형 서비스' 대상사업(건축) 설계 시 BIM 적용 중이다.
- 건설장비는 자동측량 굴착 기술을 개발 중이나 아직 연구단계에 있으며, 완전 자동화 통합관제를 위해 추가적인 기술개발 필요한 상태이다. 드론은 측량 토공량 산출 등 일부 현장에 시범 도입된 수준으로 여러 현장에 확대 적용하고 유지관리 등 타 업무에도 접목이 필요한 상태이다. ICT 기술은 일부 기업이 현장관리 목적으로 제한적으로 사용 중이다.
- 스마트건설 분야에 대하여 기존 문제점을 살펴보면, 대기업은 영업에 집중하는 상황이고, 중소

기업은 역량부족으로 기술개발이 부진한 상태로 평가된다. 대기업은 전반적으로 기술투자보다는 단기적인 비용절감에 관심이 있고, 특히, 하도급 중심 시공구조에서 원도급사는 생산성 향상을 위한 기술개발보다 저가 공사가 가능한 전문업체를 선정하는 것을 선호하고 있다.

③ 건설업의 드론 적용

- 토지·주택 관련 업무에 드론이 본격 활용되고 있다. 이로 인해 창출되는 신규 드론시장은 연간 250억 원에 달할 전망이다. 국토교통부와 한국토지주택공사는 215개 사업지구(389㎢, 238조 원 규모)에서 조사·설계·공사관리 등에 드론을 우선 활용하고, 향후 지속 확대한다. 그간 LH는 관련 용역과 시범운용을 통해 계획부터 시설물 유지관리 단계까지 주요사업 전 분야에 대하여 드론 활용을 검증해 왔으며 5개 분야 12개 업무에서 드론을 우선 활용할 계획이다.
- 즉, ① 계획(후보지조사, 공람공고, 보상), ② 설계(현황조사측량, 토목BIM 설계, 건축설계), ③ 시공(단지공사, 도로공사, 건물공사, 안전진단) ④ 자산·유지관리 ⑤ 홍보 등의 분야이다. 계획단계에서는 사업추진에 필요한 토지를 수용·보상하기 위한 현장조사업무 및 신규 사업지구 결정, 사업지구 경계 설정을 위한 후보지 조사 등에 드론영상이 활용된다.
- 토지보상의 경우 사업초기단계에 항공사진을 일회성으로 촬영·활용하고 직접방문조사를 병행하던 방식을 수시 확보되는 드론 영상과 지적도·지형도 간 중첩·비교하는 방식으로 대체한다. 후보지 조사 시에도 주변 자연환경, 표고·경사, 토지이용현황 등을 드론영상으로 파악하여 사업지구를 결정한다.
- 설계단계에서는 시설물의 형상·속성정보를 실제와 동일한 3차원 정보로 구축하고, 공공측량에 적합한 수치지형도면 등을 제작하는 등 설계 및 토목BIM 구축업무에 드론을 활용할 수 있다. 드론으로 촬영한 데이터를 활용하여 3차원 지형모델을 생성하고 측량프로그램을 통해 단면도의 작성과 작업물량의 산출이 가능하다. 토목BIM 구현 시에도 인력에 의존하던 건설현장 시공관리와 목측, 각종 측량기기를 통한 측정방식을 고해상도 영상기반의 3차원모델 DB를 활용하여 대체할 수 있다.
- 시공·유지관리 단계에서는 공사현장의 공사진행 파악과 공정관리, 안전점검 등의 업무에 드론을 유용하게 활용할 수 있다. 단지공사의 경우 작업공정별 영상자료를 구축하여 지형특성을 비교분석할 수 있으며, 지하매설물 관로·맨홀·구조물·조사측량·포장 등 다양한 설계도면을 중첩한 공사 관리도 가능해진다. 아파트 등의 주택공사에서는 접근이 어렵고 위험한 현장에 회전익 드론을 활용하여 다각도의 영상획득이 가능해지고 이를 통해 외관조사, 균열, 파손 등의 손상 규모를 파악할 수 있다.
- 또한, 현장에서 시행되는 수시·정기점검에 드론을 활용해서 정밀도를 높이고 지반붕괴·낙석·토사침출·구조물파손 등 건설재해 발생으로 인한 긴급 복구계획을 수립 할 때에도 활용된다.
- 특히, 안전점검은 주로 육안조사로 실시하고 있어 고층부 외벽 등에는 한계가 있었지만 드론에 고정밀 RGB영상 또는 열화상 영상취득 센서 등을 통해 근접 촬영하면 균열부 확인, 입체적 영상분석 기법을 통한 시설물 내 손상부분을 탐지할 수 있다.
- 향후에는 주기적으로 촬영하여 축적되는 공사현장의 드론영상과 사물인터넷(IoT) 장비를 장착한 건설기계·인력이동·건설관련 정보를 통합해 시기별 공사 통계정보의 정확도가 크게 향상될 것으로 예측된다.

④ 건설공사 환경오염 관련법규

- 「건설기술 진흥법」 및 같은 법 시행령, 시행규칙, 국토교통부 고시(환경관리비의 산출기준 및 관리에 관한 지침)에서는 건설공사의 환경관리비의 산출 및 관리에 관하여 규정하고 있다.
- “환경관리비”란 건설공사로 인한 환경 훼손 및 오염의 방지 등 환경관리를 위해 공사비에 반영하는 비용을 말하며, ‘환경보전비’와 ‘폐기물 처리비’로 구분한다. “환경보전비”란 건설공사 작업 중에 건설현장 주변에 입히는 환경피해를 방지할 목적으로 환경관련 법령에서 정한 기준을 준수하기 위해 환경오염 방지시설 설치 등에 소요되는 비용(해당시설 설치 및 운영에 직접 투입되는 작업비용 포함)을 말한다.
- ‘환경오염 방지시설’은 건설공사 작업 중 주변에 입히는 환경피해를 방지할 목적으로 환경관련 법령에서 정한 기준을 준수하기 위해 설치하는 임시시설로서 건설현장에서는 여건에 맞게 적정시설을 설치·운영하여야 한다고 규정한다.
- ‘환경오염 방지시설’의 하나로서 ‘비산먼지 방지시설’이 규정되어 있는데, 비산먼지 방지시설은 세륜시설(세륜장의 포장 및 침전물 보관시설을 포함한다), 살수시설, 살수차량, 방진덮개(도로 등의 절토 및 성토 경사면 사용분을 포함한다), 방진벽, 방진망/방진막, 진공청소기, 간이칸막이, 이송설비 분진억제시설, 집진시설(이동식, 분무식을 포함한다), 기계식 청소장비 등 「대기환경보전법」의 규정을 준수하기 위한 시설을 말한다.
- 비산먼지 방지시설을 크게 분류하면, 1) 세륜시설, 2) 살수시설, 3) 방진시설로 분류할 수 있고, 평가대상 기술제품/서비스는 살수시설에 속한다고 볼 수 있다. 3개 분류의 세부규모에 대한 구체적 통계자료는 없으나 업계추산으로는 비산먼지 방지시설의 약 30%가 살수시설로 추정된다.
- 한편, 국토교통부 고시(환경관리비의 산출기준 및 관리에 관한 지침) 별표 3에서는 환경보전비 중 간접공사비 부분 최저요율이 규정되어 있으며, 환경보전비 요율은 ‘주택(재개발, 재건축)’ 유형의 경우 0.7%, ‘주택(신축)’의 경우 0.3%, ‘그 밖의 건축공사’의 경우 0.5% 수준이다. 즉, 간접공사비에 반영되는 환경보전비는 직접공사비에 위의 최저요율을 곱하여 산출된 금액 이상으로 계상하게 된다.
- 한편, SH공사가 2020년에 원가공개를 한 ‘준공 이후 건설원가’ 사례에 따르면, 직접공사비는 전체 공사비의 93% 수준이다(출처: 중앙일보, 건설원가 공개한 SH공사, 2020.08.24.). 통계청 자료에 의하면, 2019년 국내 건축공사 기성액은 198조 3,023억원 수준이며, 직접공사비 비중이 93%일 때, 비산먼지 방지시설 중에서 살수설비 시장규모는 9,221억원 수준으로 추정된다. 따라서, 실질적으로 목표시장(국내 건설현장 비산먼지 분석/저감서비스 시장)의 최대 잠재시장규모는 2019년 기준으로 9,221억원으로 볼 수 있다. 다만, 아직 본격적으로 서비스를 출시한 사업화 주체는 나타나지 않은 상태이며 해당 서비스가 시장에 출시되면서 서서히 시장규모를 확대해 갈 것으로 볼 수 있다.

2) 평가대상기술의 상용화 방향

① 건설업의 체질 개선 필요성

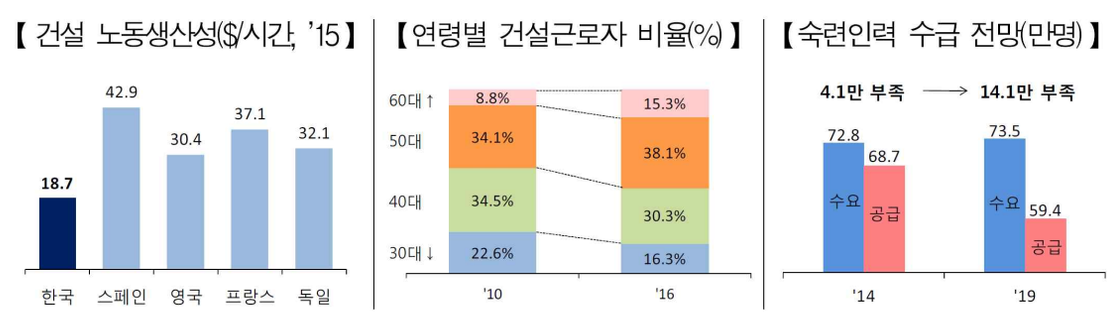
- 4차 산업혁명 시대를 맞아 디지털로 변신한 기업만 살아남는다는 말이 있다. 지능정보통신과 신기술을 산업 등 생활 모든 부문에 융복합시켜 전혀 새로운 제품, 서비스, 비즈니스를 만들어 내는 것이 앞으로 경쟁력의 핵심이 될 것이며, 건설산업도 예외가 될 수 없다. 새로운 기술인 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터, 스마트건설기계, 지능형 건설로봇, 무인기, 가상현실, 증강현실 등 새로운 기술들을 융합시켜 최적화를 통해 경쟁력을 확보하는 기업만이 생존할 수 있다. 변화하는 비즈니스 환경에 적합한 비즈니스 모델, 새로운 플랫폼을 구축해야 한다.
- 경제성 측면에서 바라보면 지난 50년간 건설산업은 다른 산업들과 비교해 지속해서 생산성이 저하되고 있다. OECD의 통계에 따르면 1989년~2009년 사이 기타 산업의 생산성은 63% 증가했으나 건설산업의 생산성은 22%나 감소한 것으로 보고하고 있다. 우리나라의 건설산업의 현주소도 부가가치가 높은 기본설계, 개념설계는 거의 해외업체들이 차지하고 상세설계만 담당하는 실정이다. 신기술인 사물인터넷(IoT), 인공지능(AI), 클라우딩, 빅데이터, BIM, 조립식 건축 등 지속적으로 영향력이 높아지는 기술도입도 뒤쳐지고 있다.
- 지능정보통신(ICBM+AI)과 신기술을 결합한 건설의 기획-설계-시공-운영-폐기 등 생애주기 전반에 걸친 연계가 이뤄지는 통합프로세스 적용을 통한 건축프로세스의 변화를 가져올 수 있는 신기술을 활용한 모듈러 건축, 3D프린팅 건축, ICT 등 시스템의 구축이 필요하다.

② 4차 산업혁명은 건설산업이 도약할 수 있는 절호의 기회

- 노동집약·현장의존적인 생산체계, 공급자 위주 산업구조, 참여 주체 간 정보단절 등으로 아직 '낡은 전통산업'에 머무르고 있으나, 자동화·고객맞춤·정보공유 등의 기술을 접목할 경우, 산업 패러다임 전환을 통한 새로운 성장동력 확보 가능

③ 최근 고령화, 근로시간 단축 등 사회 흐름도 건설의 변화를 요구

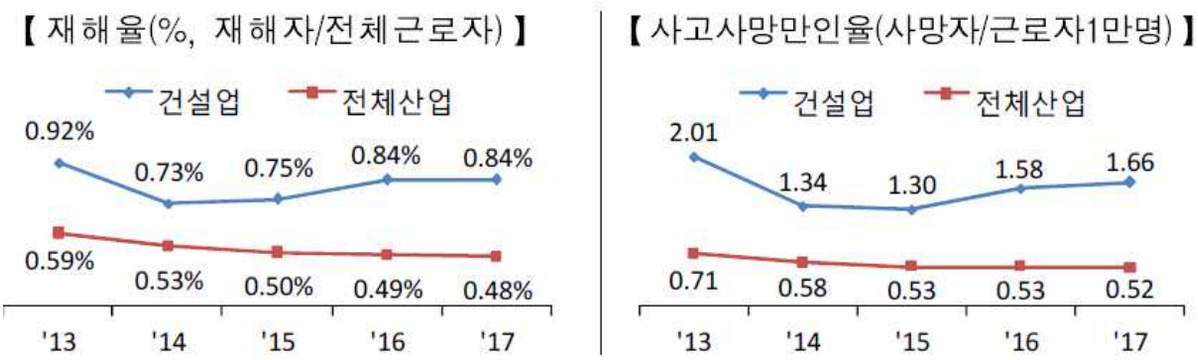
- 특히, 우리 건설은 생산성이 낮은 상황에서 고령화 및 숙련인력 감소가 빠르게 진행되고 있어 디지털화 및 자동화 필요성 증대



[건설 노동 관련 비율 전망]

④ 고질적인 건설안전 문제 해결을 위해서도 새로운 해법 필요

– 건설의 재해율은 타 산업에 비해 높은 수준이나, 그동안 지속적인 건설안전 강화 노력에도 불구하고 안전도는 정체되고 있는 실정



[건설 산업 사고 근로 현황]

⑤ 스마트 건설기술 개념



[스마트 건설기술 범위]

■ 건설에 첨단기술(BIM, 드론, 로봇, IoT, 빅데이터, AI 등)을 융합한 기술

– 기존 경험의존적 산업에서 지식 첨단산업으로 패러다임 전환

– 다양한 기술의 융합, 정보의 공유, BIM 등 단계 통합적 기술 적용으로 업역간·단계간 단절을 해소하고 새로운 가치 창출

– 인력의 한계를 극복하여 생산성·안전성이 획기적으로 개선

– 건설 全단계에 스마트 건설기술 적용 가능

– (설계) 3D 가상공간에서 최적 설계, 설계단계에서 건설 운영 통합관리

– (시공) 날씨 민원 등에 영향을 받지 않고 부재를 공장 제작 생산, 비숙련 인력이 고도의 작업이

가능 하도록 장비 지능화 자동화

– (유지관리) 시설물 정보를 실시간 수집 및 객관적 과학적 분석

■ 주요국 정책 및 시장동향

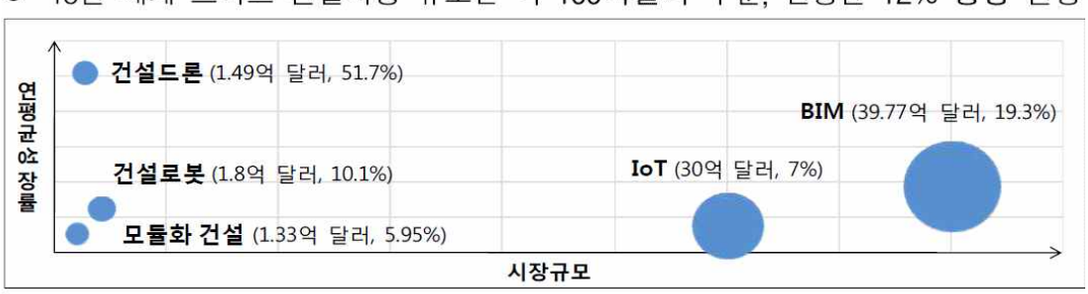
– 영국의 경우, 정부 차원에서 'Construction 2025'를 통해 건설산업 혁신방안으로 건설 산업의 스마트화를 강조하고, 'Government Construction Strategy 2016–2020'에서 '디지털기술 활용 확대'를 제시하였다.

– 일본의 경우, 정부 차원에서 숙련인력 감소[('14)340만명→('24)110만명]에 대비해 '25년까지 건설생산성 20% 향상을 목표로 'i–Construction 추진'·건설과정에 3차원 데이터 도입, ICT 장비 등 신기술을 활용해 건설을 자동화·무인화를 추진하고 있으며, 민간 차원에서 시공 자동화 장비 개발(코마츠社)을 시도하고 있다.

– 싱가포르의 경우, 정부 차원에서 'Construction 21 운동'을 통해 생산성 향상을 추진하고 있으며, 자동화 장비 및 로봇, BIM/가상설계 및 시공 등 7대 핵심 기술 분야를 선정하고 기술개발 로드맵을 발표('16)하였다. 그리고 국가사업에 BIM 도입을 의무화하고, 도시관리 차원에서 Virtual Singapore(도시전체 3D 모델링)로 확대하였다.

– 미국의 경우, 민간 차원에서 스마트 건설기술 스타트업 활성화 및 BIM을 적극 활용하고, 빅데이터, IoT 기술, 웨어러블 장비 등을 개발하여 현장 관리에 활용함으로써 건설 현장의 생산성 및 안전성을 향상시키고 있다.

○ '16년 세계 스마트 건설시장 규모는 약 100억달러 수준, 연평균 12% 성장 전망



[스마트 건설기술 시장 규모 및 성장률]

■ 스마트 건설 적용의 문제점

• (정부·발주청) 정책 부재로 스마트 건설기술 확산 여건 조성 미흡

– 정부는 그간 뚜렷한 비전 및 목표를 제시하지 못했고, 발주제도 건설기준 등은 스마트 건설기술을 활성화하기에 미흡

– 발주청은 건설시장의 주요 수요자임에도 불구하고 스마트 기술에 대한 이해가 부족하여 기술 활용에 소극적 태도 유지

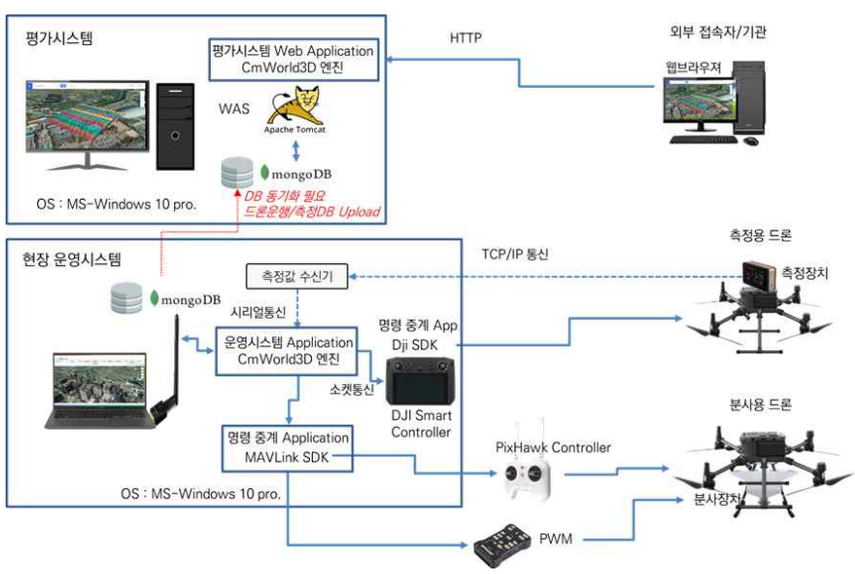
* 안전성 검증 곤란, 특혜시비 우려 등 이유로 새로운 기술의 적극적 수용에 한계

– 공공이 보유한 정보를 민간이 활용할 수 있는 플랫폼이 없고, 변화를 유도할 수 있는 새로운 정보자료의 수집 유통도 부족

* 건설사업정보시스템(CALS)은 지방국토청, 수주업체, 민원인만 주로 활용

• (기업) 대기업은 영업집중, 중소기업은 역량부족으로 기술개발 부진
  – 대기업은 전반적으로 기술투자보다는 단기적인 비용절감에 관심
  – 특히, 하도급 중심 시공구조에서 원도급사는 생산성 향상을 위한 기술개발보다 저가 공사가 가능한 전문업체를 선정하는 것을 선호
    * 매출액 대비 연구비('16년 기준, KISTEP) : 기업전체 3.16 %, 서비스업 2.19%, 제조업 4.00%, 건설업 0.37% (계열사 비교 : H 자동차 2.51% vs H 건설 0.52%)
  – 중소업체는 비용 부담*, 타 업체 견제 등으로 기술개발에 소극적
    * 신기술 개발에 필요한 기간은 평균 2.7년 및 비용은 6.2억 소요('10.4, 건설연)
• (교육기관) 기존 교육방식으로는 스마트 인재 배출에 한계
  – 대학은 학점 제한, 교과과정 경직성(공학교육인증), 전문가 부재, 기초 전공교육 부실 우려 등으로 교육개선이 쉽지 않다는 입장*
    * 수도권 대학교 건설관련 학과 교수 간담회('18.7.20)
  – 재교육기관도 건축분야 BIM 교육 외에는 전통 건설기술 교육에 집중하고 있으며, 융합기술 교육과정은 미운영(경험 이해 부족)

■ 수작업에 의한 데이터 및 분석의 불확실성
  – 현재 한국기계연구원 및 한국건설기술연구원 등의 컨소시엄(consortium)은 "도심지 건설현장을 위한 미세먼지 스마트 감시시스템"에 관한 기술로 다수의 특허를 획득하고 아래 그림과 같이 '드론과 같은 하드웨어' 및 '분석시스템과 같은 소프트웨어'에 대하여 폭 넓게 기술을 보유하고 있다.



[평가대상기술에 관한 전체 시스템]

  – 현재의 본 기술은 위의 각 단계를 분류하여 플랫폼을 구축하고 각각의 시스템을 연동하여 프로그램으로 구현하고 있다.
  – 위 각각의 단계는 현실적으로 전 과정이 자동화된 것이 아니라 일부 단계에서 사람의 가치판단 및 조작이 필요하다.
  – 본 기술이 보다 정확하고 범용적으로 사용되기 위해서는 위 단계를 유지하면서 각각의 단계에서

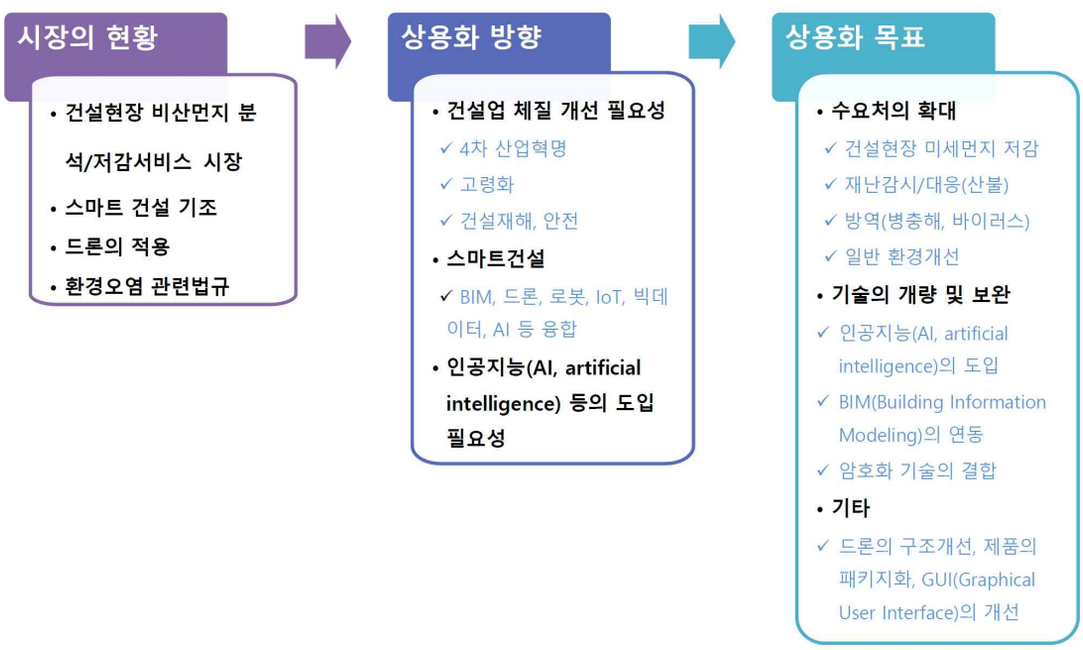
착오가 발생할 수 있는 인간의 수작업을 통한 정리 및 입력 부분을 감소시키는 것이 반드시 필요하다.

■ 인공지능(AI, artificial intelligence) 등의 도입 필요성

- 따라서 착오가 발생할 수 있는 인간의 수작업을 통한 정리 및 입력 부분을 감소시키고, 이 부분을 인공지능(AI, artificial intelligence)으로 대체함으로써 로우데이터의 선별부터 입력, 가공 그리고 데이터의 분석에 이르는 전 단계에서 오차를 감소시키는 것이 필요하며, 빅데이터(big data)를 이용하여 각각의 시공현장(예: 지형, 비산오염원의 종류 등)에 맞는 데이터를 수집하고 선별 적용하는 것이 바람직하다.
- 또한 프로그램 자체가 딥러닝(Deep Learning)과 같이 자기 학습능력을 가지고 각종 법규, 기상예보 등의 변화요인에 대응하여 실시간으로 업데이트되는 것이 필요하며, 각종 센서링 기술을 통하여 실시간으로 변동되는 현장 데이터를 상기 업데이트된 자료와 비교 분석하는 것이 필요하다.

3) 평가대상기술의 상용화 목표

● 상용화 전략



[평가기술의 상용화 전략]

■ 건설현장 미세먼지 측정 및 저감

- 상술한 바와 같이, 평가대상기술은 1차적으로 드론을 기반으로 건설현장의 미세먼지를 측정하고 저감하는 분야에 사용된다. 따라서 상기 개발된 기술을 기반으로 공통된 기술 또는 개량된 기술이 적용될 수 있는 후술하는 여러 분야로 수요처의 확대가 가능하다.

■ 산불 등 재난감시 및 초기 대응

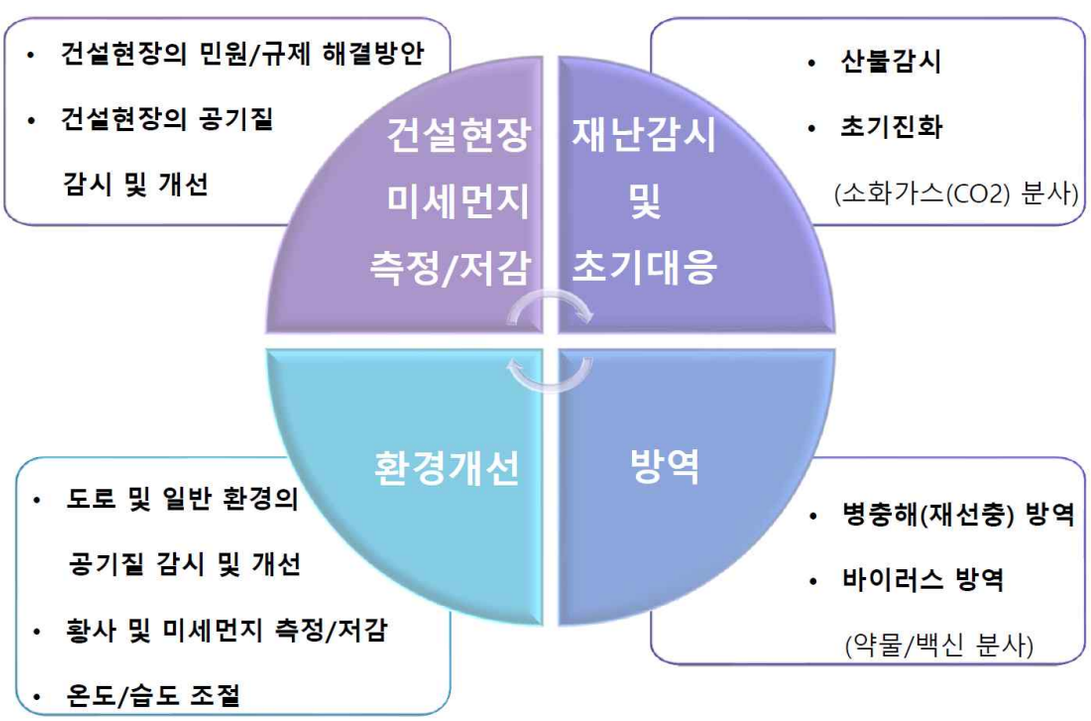
– 최근 이상 고온 등에 의한 기후변화로 산불이 빈번하게 발생하고 있다. 산불은 인적이 드문 곳에 주로 발생하여 초기 대응에 실패하면 막대한 국가적 손해를 입히는 특징이 있다.본 평가대상기술의 센서 등을 교체하거나 개량하여 연기 및 열 감지 센서로 기능하게 하면 산불 등의 초기 감지가 가능하며, 미세먼지 저감을 위해 개발된 물분사 노즐로 이산화탄소 등의 소화가스 및 소화액을 분무함으로써 산불의 초기 진화가 가능하다.

■ 방역

– 최근에는 흰개미, 재선충 등 외래 병충해에 대한 피해가 다수 보고 되고 있으며, 코로나 19 등과 같은 바이러스에 의한 감염이 증가하고 있는 추세이다.본 평가대상기술의 드론장치는 사람 및 지상장비가 접근하기 어려운 지역에 실시간으로 간편히 접근할 수 있으며 약물 등의 분사가 가능하여 방역장비로 사용이 가능하다.

■ 일반 환경 개선

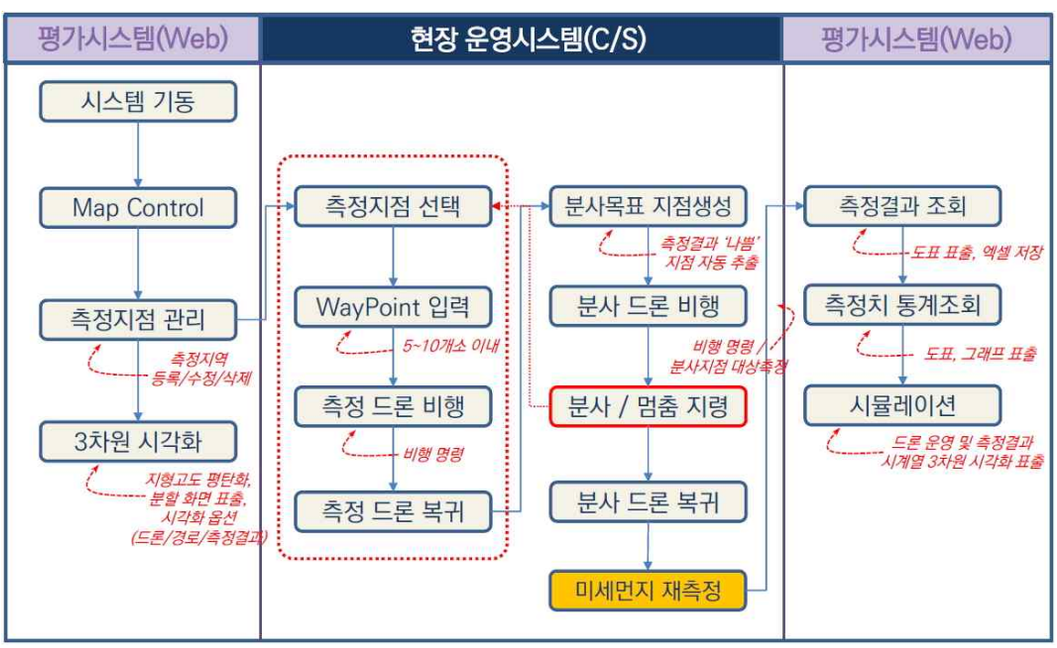
– 건설현장의 비산먼지 등 뿐만 아니라 최근에는 도로에서의 타이어 분진, 매연이나 일반 거주 환경에서의 황사, 미세먼지 등이 문제되고 있다.본 평가대상기술의 드론장치는 실내 등의 밀폐된 공간이 아니라 도로, 공원 등 소위 오픈된 공간에 신속히 투입되어 물분사를 할 수 있으므로 일반 생활 환경을 개선할 수 있다.



■ 인공지능(AI, artificial intelligence)의 도입

– 인공지능이란 사고나 학습 등 인간이 가진 지적 능력을 컴퓨터를 통해 구현하는 기술이다. 인공지능은 개념적으로 강 인공지능(Strong AI, 이하 '강AI'라 함)과 약 인공지능(Weak AI, 이하 '약AI'라 함)로 구분할 수 있다. 강AI는 사람처럼 자유로운 사고가 가능한 자아를 지닌 인공지능을 말한다. 인간처럼 여러 가지 일을 수행할 수 있다고 해서 범용인공지능(AGI, Artificial General Intelligence)이라고도 한다. 강AI는 인간과 같은 방식으로 사고하고 행동하는 인간형 인공지능과 인간과 다른 방식으로 지각·사고하는 비인간형 인공지능으로 다시 구분할 수 있다. 약AI는 자의식이 없는 인공지능을 말한다. 주로 특정 분야에 특화된 형태로 개발되어 인간의 한계를 보완하고 생산성을 높이기 위해 활용된다. 인공지능 바둑 프로그램인 알파고(AlphaGo)나 의료분야에 사용되는 왓슨(Watson) 등이 대표적이다. 현재까지 개발된 인공지능은 모두 약AI에 속하며, 자아를 가진 강AI는 등장하지 않았다.

– 현재 한국기계연구원 등의 컨소시엄(consortium)의 '도심지 건설현장 미세먼지 저감을 위한 드론기반의 스마트 감시 및 미분무수 분사 시스템 기술'은 AI가 도입될 단계를 많이 포함하고 있다.

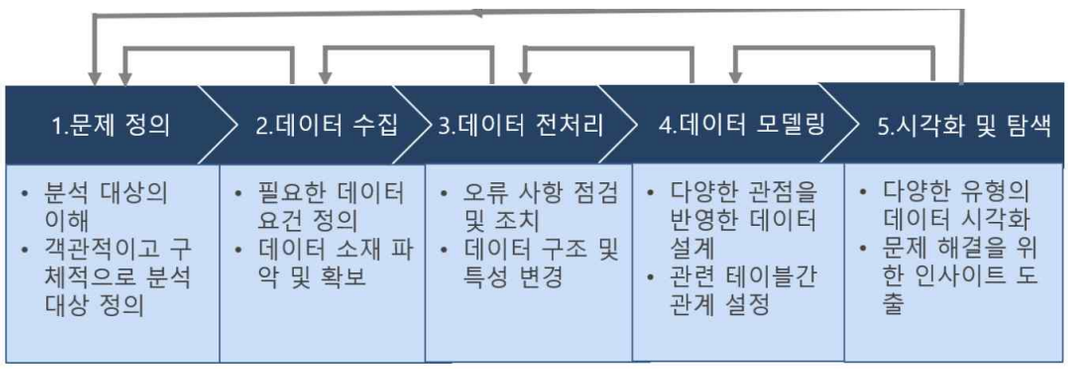


[평가대상기술 제품의 시스템 운영 시나리오]

– 위 그림은 평가대상기술제품의 전체 프로세스를 도시한 것이다. 위 프로세스에서 모든 카테고리 및 단계에 데이터의 선별부터 입력, 가공 그리고 데이터의 분석 등의 일련의 과정에 AI를 도입함으로써 사람의 관여로 인한 오류를 감소시키는 것이 바람직하되, 더 나아가 A가 사용자에게 최적의 대안 1을 먼저 제시하고, 별도의 선택 사항을 고려한 대안 2, 대안 3 등을 차례로 제시할 수 있는 방향으로 기술이 업그레이드되는 것이 바람직하다.

■ 빅데이터(Big Data)의 이용

- 빅데이터(big data)란 사전적 의미로는 기존의 데이터베이스로는 수집·저장·분석 따위를 수행하기가 어려울 만큼 방대한 양의 데이터를 말한다.
- 아래 그림은 빅데이터(big data) 분석의 5단계를 도시한 것이다.



[빅데이터 분석 5단계]

- 빅데이터(big data) 분석은 통상적으로 위 5단계를 통하여 이루어진다. 다만 위 단계가 순차적으로 이루어지는 것처럼 보일 수 있으나, 매 단계에서 피드백되어 검토가 이루어진다.
- 본 기술에서 카테고리 및 적용요소 항목의 선정 및 적용 과정에서 빅데이터(big data)를 이용하면 보다 정확한 항목 및 가중치 선정 등이 가능해 질 수 있다.

■ 데이터 마이닝(Data Mining)

- 모든 산업 분야에서 빅데이터의 활용이 이루어지고 있다. 빅데이터는 데이터가 수집이 되었다고 해서 끝나는 것이 아니다. 수집된 데이터를 원하는 형태로 선별하여 정제하고 정제된 데이터를 잘 분석해야만 사용 가능한 데이터가 나타난다. 데이터 마이닝에서 'Mining'은 '채굴하다'라는 사전적 의미를 가지고 있다. 즉 거대한 데이터 안에서 내가 필요로 하는 가치가 있는 어떠한 것을 채굴하는 것이다. 따라서 데이터 마이닝은 방대한 양의 데이터 속에서 쉽게 드러나지 않는 유용한 정보를 찾아내는 과정이라 할 수 있다. 즉 데이터 마이닝(Data Mining)은 방대한 DB 안에서 어떠한 방법(순차패턴, 유사성 등)에 의해 관심이 있는 지식을 찾아내는 과정이다. 많은 데이터 속에서 유용한 정보를 발견하는 과정이며 찾고 싶었던 정보는 물론 기대하지 못한 정보까지 찾을 수 있다.
- 현재 가장 많이 사용되고 있는 빅데이터 분석 기법으로 데이터 마이닝을 예로 들 수 있다. 데이터 마이닝은 연관성 분석, 군집 분석, 의사결정 나무 등으로 분류된다.

■ 연관성 분석(Association Analysis)

- 연관성 분석은 장바구니 분석 또는 친화성 분석이라고도 알려진 방법론이다. 특히 맥주와 기저귀의 연관성을 밝혀낸 분석 방법으로 알려져 있는데, 연관성 분석을 통해 대형마트의 구매 데이터로 부터 기저귀와 맥주가 함께 팔린다는 사실을 확인 하였다. 이는 주말에 아버지들이 아기용 기저귀를 사러 오면서 주말을 즐길 맥주도 함께 구매한다는 것을 분석을 통해 알게 되었다. 실제로 월마트는 이 같은 분석을 통해 기저귀와 맥주를 패키지로 묶어 판매하여 매출이 약 3배 증가를 달성 하였다.

- 연관성 분석은 거래나 사건을 포함하는 일련의 데이터로 부터 연관이 있는 규칙을 발견하고 그 둘이상의 품목을 상호 연관성을 밝히는 것이다. 즉 어떤 항목이 어떤 항목을 동반하는가에 대한 연구이다.

■ 군집 분석(Clustering Analysis)

- 군집 분석은 여러 집단의 데이터 속에서 각 데이터의 소속 집단을 모르는 경우 유사한 속성을 가진 데이터의 군집을 분석하는 방법이다. 가장 큰 특징은 사전에 정의가 된 집단을 가지고 있지 않다는 점이다. 여러 집단의 데이터들이 섞여 있고 각 데이터 소속집단을 모르는 유사한 속성을 갖는 데이터의 군집을 찾는 분석 방법이다. 탐색적 데이터 마이닝 방법론이라 할 수 있다.
- 군집 분석은 마케팅 분야에서 활발하게 사용되고 있다. 전체 시작을 비슷한 구조를 가지는 세부 시장으로 구분 짓기 위한 시장 구조 분석 등 유용하게 적용되고 있다. 최근에는 금융분야에서 균형 포트폴리오 구성이나 산업 분석시 사용되고 있다.

■ 의사결정 나무(Decision Tree)

- 의사결정 나무는 우리가 관심을 갖고 있는 분류 문제를 해결하기 위해 매우 강력하고 유용한 데이터 마이닝 알고리즘이다. 이 빅데이터 분석 기법은 분류를 하기 위해 목표 변수에 영향을 줄 수 있는 입력 변수들을 이용해 최적의 분류를 위한 의사결정 규칙을 생성하게 되는데, 의사결정 규칙 트리 구조로 나타내어 의사결정 나무라고 부른다.
- 의사결정 나무 방법론은 부도 예측이나 신용평가 분야에서 널리 사용되고 있다. 고객들의 성향을 파악! 우리 기업의 호감도가 높은 고객, 혹은 더 이상 우리의 제품이나 서비스를 이용하지 않는 고객들의 분류를 통해 고객 유지율을 향상 시키고, 이탈한 고객을 다시 되돌릴 수 있는 방안을 모색함으로써 고객과의 지속적인 관계를 유지시키는데 필요한 방법론이다.
- 이외에도 많은 데이터 마이닝 기술들이 있다. 이런 데이터 마이닝 기술은 방대한 양의 데이터로부터 유용한 정보들을 제공 받을 수 있지만 한편으로는 불확실성도 가지고 있을 수 있다. 때문에 앞으로도 지속적인 검증과 피드백이 필요 할 것이다.

구분	내용
연관규칙학습	상품이나 서비스 간 관계를 살펴본다.
유전 알고리즘	다윈의 적자 생존 이론을 기본으로 살펴본다.
회귀분석	변수 간의 상호 관련성을 규명하고 변화를 예측하며 살펴 본다.
유형분석	데이터의 유형을 분류하여 범주를 찾아내는 통계적 분류로 살펴본다.
기계학습	훈련 데이터를 기초로 새롭게 입력되는 값의 예측 결과를 살펴본다.
소셜네트워크 분석	특정한 부분과 다른 부분과의 관계를 파악하여 살펴 본다.
감정분석	특정 주제나 사람의 감정을 분석하여 살펴 본다.

[의사결정 나무 구분 및 내용]

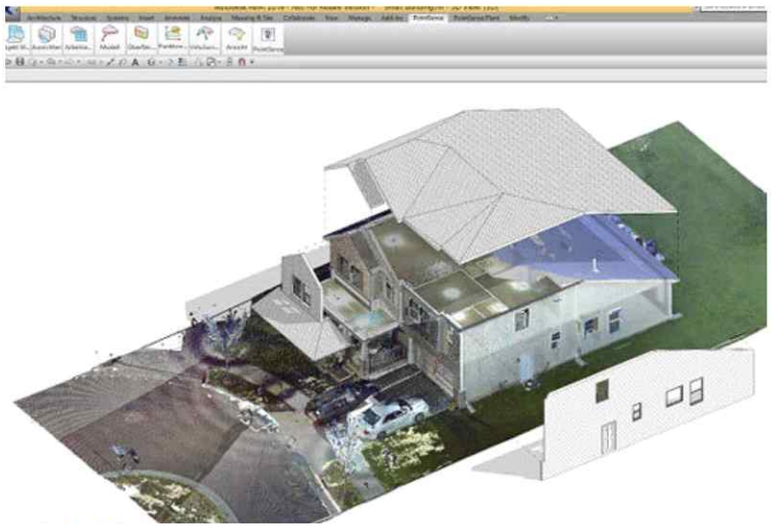
- 빅데이터 분석 기법은 다양하게 존재하지만 현재는 기계학습에 많은 포커스가 되있다. 어느 산업에 접목을 시켜도 활용되는 범용적인 기술이라는 뜻이다. 그만큼 거의 모든 곳에서 빅데이터를 활용하고 있고 후술하는 딥러닝과 같은 기계학습을 통해 방대한 양의 데이터를 분석하려고 노력하고 있다.

■ 딥러닝(Deep Learning)

- 딥러닝(Deep Learning)이란 사물이나 데이터를 분류하거나 군집하는 데 사용하는 기술을 말한다. 사람의 뇌가 사물을 구분하는 것처럼 컴퓨터가 사물을 분류하도록 훈련시키는 기계학습(Machine Learning)의 일종이다.
- 2006년 캐나다 토론토 대학 제프리 힌톤(Geoffrey Hinton) 교수의 논문을 통해 처음으로 딥러닝이란 용어가 사용됐다. 딥러닝의 기본 개념은 인공신경망(ANN, Artificial Neural Network)과 유사하다. 인공신경망은 사람의 두뇌와 비슷한 방식으로 정보를 처리하는 알고리즘으로, 사물의 면이나 형상 등 여러 요소의 데이터를 합치고 구분하는 과정을 반복해 정보를 학습한다. 힌톤은 자신의 논문에서 기존 인공신경망 모델의 단점을 극복할 방법을 제시했다. 여기에 대량의 데이터를 분석할 수 있는 하드웨어의 발달과 빅 데이터(Big Data) 등장으로 인공신경망은 한층 뛰어난 결과를 보여주게 되는데 이것을 딥러닝이라 한다.
- 딥러닝의 특징 중 하나는 비지도 학습(Unsupervised Learning)을 통한 데이터 분류 방식이다. 일반적으로 컴퓨터의 데이터 분류 방식은 지도 학습(Supervised Learning)과 비지도 학습(Unsupervised Learning)으로 나뉜다. 지도 학습은 먼저 컴퓨터에 분류 기준을 입력하는 방식으로 기존의 기계학습 알고리즘은 대개 지도 학습 방식으로 데이터를 분류해왔다. 비지도 학습은 분류 기준 없이 정보를 입력하고 컴퓨터가 알아서 분류하게 하는 방식으로 컴퓨터는 스스로 비슷한 군집을 찾아 데이터를 분류하게 되는데 이를 위해 고도의 연산 능력이 필요하다. 딥러닝은 비지도 학습 방법을 사용한 전처리과정(Pre-training)으로 데이터를 손질해 인공신경망 최적화를 수행한다. 특징 추출부터 학습까지 알고리즘에 포함한 것이 딥러닝의 특징이다.
- 구글과 페이스북 등 여러 기업에서 딥러닝 기법을 활용하고 있다. 구글은 딥러닝 알고리즘의 하나인 심층신경네트워크(DNN, Deep Neural Network) 기술을 활용해 컴퓨터가 유튜브 동영상에서 고양이 인식에 성공했으며 페이스북은 딥러닝을 사용한 얼굴인식 기술인 딥페이스(DeepFace)를 개발하기도 했다.
- 본 기술에서 카테고리 및 적용요소 항목의 선정 및 적용 과정에서 딥러닝(Deep Learning) 기술을 이용하면 보다 정확한 항목 선정 등이 가능해 질 수 있다.

■ BIM(Building Information Modeling)의 연동

- BIM(Building Information Modeling)이란 건축물에 발생하는 정보를 통합 관리하는 기술을 말한다. 건축 설계를 기존 평면(2D)에서 입체(3D)로 한 차원 높임으로써 건물 설비 교환 주기를 파악할 수 있고, 에너지 소비량이나 단열 성능 등을 효과적으로 관리할 수 있게 해준다. 각 과정을 시뮬레이션으로 보여 주기 때문에 시설 공사에 이를 도입하면 설계 과정부터 잘못된 부분을 수정할 수 있다. 결과적으로 설계 변경 요인이 줄어 공기가 단축되고 비용 절감 효과도 크다.
- 기술의 발전과 다양한 디자인 아이디어가 나와 이를 수용하고 이것이 아이디어에서 끝나지 않고 현실화 되게 하기 위해 많은 전문가들이 노력을 해왔다. 이런 어려운 프로젝트를 풀어나가는데 있어 사업의 초기단계부터 많은 부분에 걸쳐 있는 전문가들의 지혜를 모으는 것이 필요하며, 이것을 IPD라 하고 이를 컴퓨터의 가상공간을 통해 효율적으로 풀어나갈 수 있게 하는 도구가 BIM이다.



[BIM 예시]

- BIM은 컴퓨터상에서 건물의 3차원 모델을 구축해나가며 설계하는 기법이다. 지금까지는 CG를 통해 도면상의 건물의 형태나 크기 재질 등의 형태정보를 구축했던 것에 반해, BIM은 건물의 3차원 모델 속에 설계, 시공, 유지관리에 이르기까지 건축물의 생성부터 철거에 이르기까지 기대하는 활용 목적에 따른 설계정보를 속성정보로 통합할 수 있는 것이 특징이다.
- 건설사의 정확한 드론 비행을 위한 지형산출을 위하여, 발주자가 제공하는 2D 정보가 담긴 설계도서를 3D로 변환하고 건설사의 BIM(Building Information Modeling)을 구축하는 작업이 필요하다.
- 따라서 BIM(Building Information Modeling) 구축에 초기 소요시간이 다소 증가되더라도 실시간으로 변동사항이 반영될 수 있도록, 본 기술에 BIM(Building Information Modeling)이 연동되는 것이 바람직하다.

■ 암호화 기술의 결합

- 현재 본 기술은 프로그램의 사이즈 및 볼륨을 감소시키고 속도를 향상시키기 위하여 프로그램 및 서비스 공급자의 서버 상에서 온라인으로 프로세스가 진행되는 것이 바람직하다.
- 따라서 공사현장 정보 및 수요자의 개인 정보, 입력 정보 및 조회 정보 등이 해킹 등의 수단으로 유출될 우려가 존재한다.
- 그러므로 온라인상에서 주고 받는 정보의 암호화가 필요하며, 기존 이력 데이터는 정당한 수요자만 조회하고 열람할 수 있는 보안 시스템이 접목되어야 한다.

■ 제품의 패키지화

- 상술한 바와 같이, 본 기술은 '드론과 같은 하드웨어' 및 '분석시스템과 같은 소프트웨어' 등으로 구성된다.
- 따라서 하드웨어 업체 또는 소프트웨어 업체가 각각의 판매 제품에 본 기술의 제품을 저렴한 비용으로 패키지로 탑재하여 수요처를 확대할 수 있는 방안을 모색할 수 있다.

■ GUI(Graphical User Interface)의 개선

- GUI(Graphical User Interface)란 컴퓨터와 사용자가 상호 작용하게 하는 사용자 인터페이스의 일종으로, 일반적으로 GUI라는 약어로 지칭한다. 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)는 사용자가

커맨드 라인(명령행)을 키보드를 통하여 컴퓨터에 입력하여 작업을 수행시키고 컴퓨터는 작업 결과를 문자로 화면에 표시하는 문자 중심의 조작 대신에, 사용자가 키보드 입력뿐만 아니라 마우스 등의 위치 지정 도구를 사용하여 도형의 형태로 화면에 표시되는 아이콘(icon)을 지정하거나 메뉴 항목 목록 중에서 메뉴를 선택함으로써 명령을 선택하고, 프로그램을 기동하며, 파일 목록을 열람하고 기타 선택을 하면서 작업을 진행하는 상호 작용 방식이다. 컴퓨터 역시 작업한 결과를 도형 형태로 만들어 화면에 표시한다. GUI는 사용자가 직관적으로 조작 방법을 이해할 수 있게 고안되어 있는 것이 장점이다. GUI용으로 작성된 응용 프로그램은 장치 독립적이기 때문에 프로그램별로 프로그램의 기동과 종료, 윈도 조작 등 기본적 조작을 암기하고 있을 필요가 없다. 개인용 컴퓨터 분야에서는 MS-Windows, 매킨토시, OS/2 Presentation Manager 등이 유명하고, UNIX 시스템에서는 OPEN LOOK, OSF/Motif 등이 표준적인 GUI로서 각사의 시스템에 내장되어 있다.

- 본 기술은 현재 시제품을 완성하여 언제라도 상용화를 할 수 있는 제품이다. 다만, GUI 디자인에 있어서 수차례 개선되어 온 프로토 타입이므로 사용자의 직관적인 조작이 가능하도록 차후에도 여전히 개선될 여지가 남아 있다.

■ 드론의 구조 개선

- 평가대상기술에 사용되는 드론은 미세먼지를 수집하여 농도를 측정하고 미세먼지 제거를 위해 물분사 기능을 구비해야 한다.
- 통상적으로 드론은 호버링 비행 또는 프로펠러 작동에 의한 대기기류의 와류 등으로, 미세먼지의 실제 농도보다도 낮은 농도로 측정될 수 있으며, 물분사시 원하는 지점에 물분사가 이루어지지 않을 가능성이 높다.
- 따라서 드론에 빨대구조의 인렛(inlet) 구조 등을 설치하여 농도가 낮게 측정되는 부분을 보완하고 기류의 영향을 최소화하는 연구의 진행이 필요하다.
- 또한 드론 운행시 오버로드가 많을 경우 배터리의 소모량이 급격히 증가하여 비행시간을 단축시키게 된다. 따라서 대기전력을 최소화할 수 있는 시스템 설계가 필요하다.

B-10 개발 기술의 활성화를 위한 정책 개발

1. 드론 분야 선제적 규제혁파 로드맵

1) 로드맵 개요

정부는 미래 핵심 성장 동력으로 13개 분야의 산업을 선정함. 2019년 10월에는 성장 잠재력이 높은 대표 분야 중 하나인 드론 분야에 대해 선제적 규제혁파 로드맵을 구축하였다. 로드맵은 드론의 3대 기술 변수(비행방식, 수송능력, 비행영역)에 따른 발전 양상을 종합하여 도출된 드론의 단계별 시나리오를 국내 드론 산업현황 및 기술적용 시기에 맞춰 3단계로 재분류하고 인프라(19건) 및 활용 영역(16건)으로 세분화하여, 안전과 사업 활성화 간 균형을 고려한 총 35건의 규제이슈를 발굴하였다.

<드론의 단계별 시나리오>

발전단계	1단계	2단계	3단계 이후
연도	2019~2020	2021~2024	2025~
비행방식	원격 조종	부분 임무위임	자율비행(임무위임-원격감독)
수송능력	화물 10kg 이하	화물 50kg 이하	2인승(200kg) ~ 10인승(1톤)
비행영역	인구희박지역 비가시권	인구밀집지역 가시권	인구밀집지역 비가시권

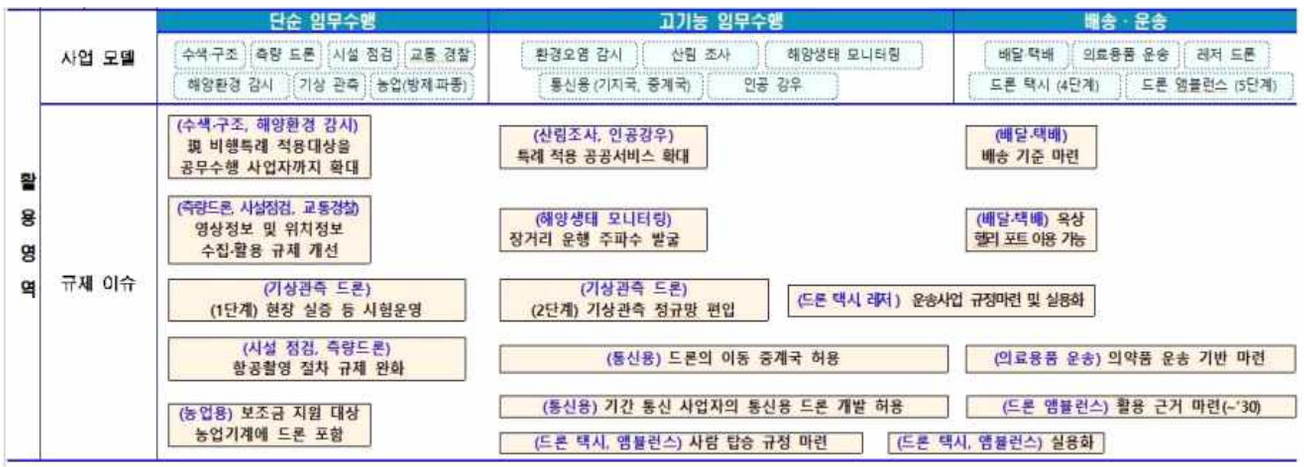
2) 드론분야 규제 및 개선안

드론분야 선제적 규제혁파 로드맵에서는 인프라 및 활용 영역에서 각 단계에서의 규제요소와 그에 대한 개선안을 제시하였다. 인프라 영역은 국민안전과 사업 활성화 지원을 위한 제도 및 인프라를 중심으로 19건의 규제이슈로 총 19건의 규제이슈가 발굴하였다. 활용 영역은 드론의 기능이 고도화됨으로써 활용도가 높은 주요 분야를 대상으로 16건의 규제이슈를 발굴하였다.



<드론의 규제혁파 로드맵(인프라 영역)>

발전단계	1단계		2단계				3단계 이후		
연 도	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027~
비행방식/수송능력	원격 조종/화물 10kg 이하		부분 임무위임/화물 50kg 이하				자율비행(임무위임-원격감독)/2인승(200kg) ~ 10인승(1톤)		
비행영역	인구희박지역 비가시권		인구밀집지역 가시권				인구밀집지역 비가시권		



[드론의 규제혁파 로드맵(활용 영역)]

① 인프라 영역(19건)

■ 1단계

- 인프라 영역의 1단계는 안정적인 드론 운용·관리를 위한 단계로, 7건의 규제 이슈로 구성되어 있다.

• 자유로운 드론비행을 위한 드론 교통관리체계 개발·구축

제한사항 – 드론 비행 시 건별로 비행승인이 필요하여 비행환경이 제한적

개선안 – 1. 드론전용공역(Drone-Space) 단계적 구축

2. 드론 교통관리체계(UTM) 구축

• 안티 드론 도입을 위한 제도 마련

제한사항 – 국가 주요시설의 불법드론 침입방지를 위해 전파차단 장비의 활용이 필요하나, 현행 법령에서는 불가함.

개선안 – 1. 재밍(전파차단) 장비 도입·운영을 위해 전파법(과기부) 및 공항시설법 개정 추진

2. 최근 개발완료된 불법드론 탐지 레이더 및 퇴치장비의 상업용 확대 적용 추진

• 각종 비행승인의 단일 창구로서 드론 비행정보 시스템 구축

제한사항 – 비행승인, 특별 비행승인, 항공촬영 허가를 위한 신청 창구가 달라 불편 사항 발생

개선안 – 드론비행 정보시스템 구축을 통한 신청 창구 단일화

• 자유로운 드론 비행을 위한 드론공원 조성 확대

제한사항 – 비행금지공역으로 인한 자유로운 드론비행에 제한이 있음.

개선안 – 국방부 등 공역 관리 기관과의 협의 추진을 통한 드론공원 조성 확대

- 성능·위험도 분류에 따른 기체등록 기준 마련
  제한사항 – 기체 무게·용도 위주의 단순 분류체계로 인한 비효율적 안전관리
  개선안 – 무게, 성능, 위험도 등을 종합적으로 고려한 기체등록 기준 세분화
- 성능·위험도 분류에 따른 조종자 자격 기준 마련
  제한사항– 중량 12kg을 초과하는 사업용 드론 조종을 위해 국가자격증(드론 조종자 증명) 취득 필요
  개선안 – 低·中·高위험군 분류 기준에 따른 조종자 자격 기준 및 유효기간 등 관련 법령 개정으로 안전관리 강화
- 드론 보험제도 개선
  제한사항– 드론의 특수성을 반영한 드론보험의 개발 미흡
  개선안 – 1. 드론 운용 특성에 따른 다양한 드론보험 모델 개발
  2. 드론보험이력정보시스템 구축

■ 2단계

– 2단계는 본격적인 드론 활용을 위한 단계로, 9건의 규제이슈로 구성되어 있다.

- 도심 내 드론 비행을 위한 드론 운영기준 마련
  제한사항 – 드론 비행 중 고장 시 안전기준, 사유지 침범 기준 등의 부재로 인한 민원 발생 우려
  개선안 – 고장 대응, 항로 및 고도, 무단 침범 방지 등을 고려한 드론 운영기준 마련
- 불법촬영 근절을 위한 영상·위치 정보 모니터링 강화
  제한사항 – 드론의 불법 촬영으로 수집된 영상정보 및 실시간 비행위치 확인 검증 불가
  개선안 – 영상정보에 기기 인식기호 추가, 드론위치 추적기 부착 등의 제도 마련
- 드론 사고 신고 관리 시스템 구축
  제한사항 – 사고관리시스템의 부재로 인한 사고 현황파악이 어려움.
  개선안 – 1. 신고채널 일원화 및 사고 DB구축을 통한 안전대책 도출
  2. 드론 사고신고 관리시스템 구축
- 자유롭게 항공촬영이 가능한 드론촬영 자유구역 지정
  제한사항– 항공촬영을 위한 별도 승인절차를 요하는 항공촬영 제한구역이 많음.
  개선안 – 1. 드론촬영 자유구역 지정을 위한 근거 조항 마련
  2. 국방부 등 보안기관과의 협의를 통한 드론촬영 자유구역 지정
- 드론 비행의 소음 발생 관리
  제한사항 – 드론 소음 문제에 대한 관리 기준 부재
  개선안 – 1. 드론 제품 규격(KS)에 소음분야 포함
  2. ‘소음·진동관리법’에서 규정하는 생활 소음·진동 규제 기준의 소음원 종류에 드론을 포함하여 소음 관리 기준 마련
- 글로벌 진출 지원을 위한 국제 인증 체계 구축
  제한사항 – 드론 분야 국제인증 제도 시행 시 동일한 수준의 국내 표준 인증체계 필요
  개선안 – 드론 시스템 안전성 인증센터 및 인증체계 구축
- 드론의 국가주요시설 및 관제권 비행 허가 기준 마련

제한사항 – 군·안보 시설 상공, 비행금지 구역 등의 비행과 운용중 이착륙 및 관제권내 비행 허가 등에 관한 명확한 규정 부재

개선안 – 1. 드론위치 추적기 부착
2. 이착륙·비행허가 기준 등의 안전제도 마련

• 드론 군집 비행허가 기준 마련

제한사항 – 군집(다수)비행에 대한 안전기준 부재

개선안 – 군집(다수)비행에 대한 명확한 제도·기준 마련

• 드론 비행기록 및 조종자 자격 관리 시스템 마련

제한사항 – 실제 비행시간에 대한 객관적인 검증방안의 부재

개선안 – 법령 개정을 통한 실시간 비행기록전송장치 장착 의무화

■ 3단계

– 3단계는 본격적인 드론 활용의 고도화를 위한 단계로, 3건의 규제이슈로 구성되어 있다.

• 중대형 드론의 이착륙장에 관한 기준 마련 및 설치

제한사항 – 중대형 드론이 활성화될 경우, 이를 위한 이착륙장 규정 부재

개선안 – 드론의 특성 및 환경 등을 고려하여 드론전용 이착륙장에 관한 기준 마련 및 설치

• 드론 전기 충전시설 설치근거 및 기준 마련

제한사항 – 드론을 위한 전기 충전시설 설치기준 미흡

개선안 – 1. 연구를 통한 드론 충전시설 규격 표준화
2. 국내기준 마련 및 시범설치, 전국적 확대

• 드론 수소 충전시설 설치근거 및 기준 마련

제한사항 – 자동차 이외에는 별도의 설치기준 불비

개선안 – 1. 드론 수소 충전스테이션 이용 방안 연구
2. 설치 기준(충전시설 설치 장소, 이용·운영 방법, 충전시간 등) 마련 및 시범설치,
전국적으로 확대

② 활용 영역(16건)

■ 1단계

– 활용 영역의 1단계는 인구희박지역 비행 및 모니터링 등 단순 임무수행을 위한 단계로, 6건의 규제이슈로 구성되어 있다.

• 수색/구조 등에 대한 비행특례 확대

제한사항 – 긴급 상황시 공무를 수행하는 민간 사업자에 대한 특례 적용 가능 여부 불확실

개선안 – 재해·재난 등 긴급 상황에서 공익 목적을 위한 공공기관의 민간 사업자 활용의 경우
비행특례 적용

• 시설 점검, 측량 드론 등에 대한 항공촬영 절차 규제 완화

제한사항 – 항공촬영시, 군부대 담당자의 상황 변수에 따라 촬영 가능 시점이 빈번하게 장기화

개선안 – 비밀취급 인가를 받은 업체의 경우 임무 수행 기간 내에는 원하는 시간에 촬영 가능토록 '항공사진 촬영지침'에 반영

- 시설 점검, 측량 드론 등에 대한 영상정보 수집·활용 규제 개선

제한사항– 불특정 다수의 영상정보가 수집·촬영될 경우 '개인정보 보호법' 및 '정보통신망법' 위반의 우려

개선안 – '개인정보 보호법' 및 '정보통신망법'에 따른 안전조치 이행시, 해당 법률위반이 되지 않는 것으로 유권해석 제공

- 기상 관측용 드론의 기상관측 정규망 편입

제한사항 – 기상 관측 장비에는 드론을 미포함하는 관측업무규정

개선안 – 현장 실증, 관측 자료 수집체계구성 등 시험운영을 통해 드론 정규 기상관측망 편입

- 드론의 농업기계 포함

제한사항– 자금 지원을 규정하는 '농업기계화 촉진법'에 농업용 드론 포함 여부 불분명

개선안 – 드론의 농업기계 포함을 가능하게 관련 규정 개선

- 시설점검, 측량드론 등 위치정보 수집·활용 규제 개선

제한사항– 불특정 다수의 위치정보 수집이 '위치정보 보호법'위반 우려

개선안 – 의도치 않은 불특정 다수의 위치정보는 '위치정보 보호법'에서 제외하는 '위치정보 보호법 개정안'발의

■ 2단계

– 인프라 영역의 2단계는 센서 고도화, 화물 탑재 등 '고기능 임무수행'을 위한 단계로, 4건의 규제이슈로 구성되어 있다.

- 산림조사, 인공강우 등에 대한 비행특례 확대

제한사항– 비가시권 비행, 물건 투하 등 비행특례가 긴급한 공공 목적의 용도로만 제한

개선안 – 산림조사, 인공강우, 통신용, 해양생태 모니터링 등 공공 서비스 분야의 특례 범위 확대

- 장거리 운행 지원 주파수 발굴

제한사항– 현행 주파수 대역(2.4GHz, 5.0GHz 대역 등)은 드론 통신거리가 1km 내외에 불과

개선안 – 통신 간섭이 발생되지 않는 저주파수 대역 발굴 및 대역폭, 출력 등의 세부 기준 마련

- 통신용 드론의 이동 중계국 활용 근거 마련

제한사항– 신호 사각지대에 통신 서비스 제공을 위한 통신 릴레이 드론에 대한 법률적 근거 부재

개선안 – 통신 릴레이 드론의 상용화 시기에 맞춰 전파법 시행령 개정 추진

- 통신 사업자의 통신용 드론 개발 허용

제한사항 – 통신사업자의 통신용 드론 개발시 겸업 승인절차의 까다로움으로 인해 개발이 어려움

개선안 – 기간 통신 사업자의 겸업 승인 없이 개발 허용

■ 3단계

– 인프라 영역의 3단계는 인구밀집지역 비행, 사람 탑승 등 '배송 및 운송'을 위한 단계로, 6건의 규제이슈로 구성되어 있다.

- 배달 및 택배 드론을 활용한 배송 기준 마련
  제한사항- 도서지역과 건물 밀집지역의 드론 배송 기준 및 설비 부재
  개선안 - 도서지역 배성을 위한 기준 마련 후 건물 밀집지역 특성에 맞는 배송·설비 기준 도입 및 실용화
- 드론의 사람 탑승 허용 규정 마련
  제한사항- 사람 탑승 드론의 '법적 정의' 및 '안전성 기준'부재
  개선안 - '법적 정의'및'안전성 기준'을 마련하여 드론법 및 항공안전법에 반영
- 사람 탑승 드론의 운송 사업 근거 마련
  제한사항- 운송 사업을 위한 드론 비행요건의 부재로 사업 불가
  개선안 - 드론의 승객 운송을 위한 드론법 또는 항공사업법 개정으로 근거 마련 및 실용화
- 드론의 헬리포트 이용 근거 마련
  제한사항- 드론 배송을 위한 헬리포트 활용 여부 불분명
  개선안 - 헬리포트에 대해 드론 활용이 가능토록 건축법 시행령에 대한 유권해석 제공
- 드론의 의약품 운송 기반 마련
  제한사항- 의약품 운송에 드론 활용을 위한 관련 규정의 정비 부재
  개선안 - 의약 보관 운송의 세부기준 마련 및 단계별 시범운영 실시 후 관련 법령 개정

시범운영	1단계 (~`21)	◦ 의약품 도매상, 품목허가자의 등이 긴급하게 의약품 공급이 필요한 근거리 약국에 드론을 이용한 의약품 운송 실시
	2단계 (~`22)	◦ 의약품 도매상, 품목허가자 등이 의약분업 예외지역 약국 및 의료기관 등에 드론을 이용한 의약품 운송 실시
	3단계 (~`23)	◦ 약국개설자, 보건소장 등이 지정받은 특수 장소에 드론을 이용한 의약품 운송 실시

- 드론 앰뷸런스 활용 근거 마련
  제한사항- 드론의 앰뷸런스 활용을 위한 관련 규정 정비의 부재
  개선안 - 드론 운용 안정성 검증 이후, '응급의료에 관한 법률 및 하위법령','응급의료 전용헬기 지침' 등 정비

3) 규제 개선 현황

본 보고서에서는'드론분야 선제적 규제혁파 로드맵'상의 규제이슈 중 각 영역의 1단계(~2020)에서의 개선현황에 대해 중점적으로 조사하였다.

<(인프라 영역) – 1단계>

<table>
<tr><th colspan="2">① 자유로운 드론비행을 위한 드론 교통관리체계 개발·구축</th></tr>
<tr><th>개선안</th><th>개선현황</th></tr>
<tr><td>드론전용공역(Drone-Space) 단계적 구축</td><td>– 현재 신규 2개소를 포함하여 시험비행과 테스트가 가능한 권역별 중소형 드론 전용
비행 시험장이 구축되고 있음
– 실증도시로는 강원 영월, 경기 성남 등 10개 도시가 선정됨</td></tr>
<tr><td>드론 교통관리체계(UTM) 구축</td><td>– 항공안전기술원에서 UTM 설계 및 구축을 위한 연구 개발을 수행중임</td></tr>
<tr><th colspan="2">③ 각종 비행승인의 단일 창구로서 드론 비행정보 시스템 구축</th></tr>
<tr><th>개선안</th><th>개선현황</th></tr>
<tr><td>드론비행 정보시스템 구축</td><td>– 2020년 8월부터 PC 또는 모바일로 ‘드론원스톱’을 통해 비행승인, 특별비행승인,
촬영허가 등의 모든 민원이 한번에 신청 가능함</td></tr>
<tr><th colspan="2">⑥ 성능·위험도 분류에 따른 조종자 자격 기준 마련</th></tr>
<tr><th>개선안</th><th>개선현황</th></tr>
<tr><td>低·中·高위험군 분류 기준에 따른 조종자 자격 기준 및 유효기간 등 관련 법령 개정</td><td>– 완구용 드론을 제외하면 4종의 드론으로 구분해 자격 기준을 분류하였음
<table>
<tr><td rowspan="2">저위험</td><td>4종</td><td>250g~2kg</td><td>온라인교육</td></tr>
<tr><td>3종</td><td>2kg~7kg</td><td>필기+비행경력(6h)</td></tr>
<tr><td>중위험</td><td>2종</td><td colspan="2">필기+비행경력(10h)+실기시험(약식)</td></tr>
<tr><td>고위험</td><td>1종</td><td colspan="2">필기+비행경력(20h)+실기</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

<(인프라 영역) – 3단계>

<table>
<tr><th colspan="2">② 드론 전기 충전시설 설치근거 및 기준 마련</th></tr>
<tr><th>개선안</th><th>개선현황</th></tr>
<tr><td>드론 충전시설 규격 표준화 기준 마련 및 시범설치</td><td>– 현재 서울시에서는 전기차 충전, 드론 전기 충전이 가능한 스마트폴(S-Pole)을 21년 연말 10개를 시범 구축할 예정
– 드론 스마트폴은 스마트폴 상단에 드론의 이착륙이 가능하고 충전이 가능한 스테이션이 탑재될 예정</td></tr>
</table>

<활용 영역) – 1단계>

<table>
<tr><th colspan="2">① 수색/구조 등에 대한 비행특례 확대</th></tr>
<tr><th>개선안</th><th>개선현황</th></tr>
<tr><td>긴급 상황에서 공공기관의 민간 드론 사업자 활용에 대한 비행특례 적용</td><td>– 공공기관이 공공목적의 범주에 해당하는 용도로 긴급히 비행할 경우, 무인비행장치의 관리 등에 대해 적용의무를 유예할 수 있음.</td></tr>
<tr><th colspan="2">⑤ 드론의 농업기계 포함</th></tr>
<tr><th>개선안</th><th>개선현황</th></tr>
<tr><td>다양한 유형의 농업용 드론이 농업기계로 포함될 수 있도록 관련 규정 개정</td><td>– 현재 농업용 드론이 농업기계에 포함되어 농약 살포 및 파종, 작물 모니터링 등 농업에 활용되며 농업용 드론 구입 시 보조금을 지원받을 수 있음.</td></tr>
</table>

<(활용 영역) – 2단계>

① 산림조사, 인공강우 등 비행특례 확대	
개선안	개선현황
산림조사, 인공강우, 통신용, 해양생태 모니터링 등 공공 서비스 분야의 특례 범위 확대	– 긴급한 업무를 수행할 뿐만 아니라 산림조사, 인공강우 등 공공목적을 위한 경우 야간비행 및 드론 물건 투하 등 비가시권 비행과 야간비행 승인 등에 대한 적용을 받지 않음.(훈련포함)

2. 드론 활용에 대한 규제

– 현행법 상 비행금지구역이나 공항 기준 반경 9.3km와 고도 150m 이상 비행할 경우 무게나 비행 목적에 관계없이 비행승인이 필요하다. 자체중량 150kg 이하인 드론(무인동력비행장치)의 경우 아래 표와 같은 비행절차를 이행해야 한다.

<드론 무게별 비행절차 기관>

비행절차		150kg 이하 무인동력비행장치					담당기관
		250g 이하	250g 초과 2kg 이하	2kg 초과 7kg 이하	7kg 초과 25kg 이하	25kg 초과	
① 장치신고	비사업	X	X	O	O	O	한국교통안전공단
	사업	O	O	O	O	O	
② 사업등록		O	O	O	O	O	지방항공청
③ 안전성 인증		X	X	X	X	O	항공안전술원
④ 조종자증명		X	O (4종)	O (3종)	O (2종)	O (1종)	한국교통안전공단
⑤ 비행승인		△	△	△	△	O	지방항공청 또는 국방부
⑥ 항공촬영승인		O	O	O	O	O	국방부
⑦ 비행		조종자 준수사항에 따라 비행					

1) 관련 법령 및 제도

드론 관련 주요 법령으로는 '드론법', '항공안전법', '항공사업법', '항공철도사고조사법', '인천국제항공사법', '한국공항공사법', '항공안전기술원법', '한국교통안전공단법'등이 있다. 본 보고서에서는 드론 관련 주요 제도를 '비행', '안전', '조종자', '촬영', '보험'등과 관련된 법령 위주로 정리했다. 또한 각 키워드에 따른 주요 법령 및 제도는 다음과 같다.

① 조종자

▮항공안전법 시행규칙 제306조(초경량비행장치의 조종자 증명 등)

① 법 제125조제1항 전단에서 "동력비행장치 등 국토교통부령으로 정하는 초경량비행장치"란 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 초경량비행장치를 말한다. <개정 2020. 5. 27.>

1. 동력비행장치
2. 행글라이더, 패러글라이더 및 낙하산류(항공레저스포츠사업에 사용되는 것만 해당한다)
3. 유인자유기구
4. 무인비행장치. 다만 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 것은 제외한다.

가. 제5조제5호가목에 따른 무인비행기, 무인헬리콥터 또는 무인멀티콥터 중에서 연료의 중량을 포함한 최대이륙중량이 250그램 이하인 것

나. 제5조제5호나목에 따른 무인비행선 중에서 연료의 중량을 제외한 자체중량이 12킬로그램 이하이고,길이가 7미터 이하인 것

5. 회전익비행장치

6. 동력패러글라이더

② 법 제125조제1항 전단에서 “국토교통부령으로 정하는 기관 또는 단체”란 한국교통안전공단 및 별표 44의 기준을 충족하는 기관 또는 단체 중에서 국토교통부장관이 정하여 고시하는 기관 또는 단체(이하 “초경량비행장치조종자증명기관”이라 한다)를 말한다. <개정 2018. 3. 23.>

③ 초경량비행장치조종자증명기관은 법 제125조제1항 후단에 따른 승인을 신청하는 경우에는 다음 각 호의 사항이 포함된 초경량비행장치 조종자 증명 규정에 제·개정 이유서 및 신·구 내용 대비표(변경승인을 신청하는 경우에 한정한다)를 첨부하여 국토교통부장관에게 제출하여야 한다. <개정 2020. 5. 27.>

1. 초경량비행장치 조종자 증명 시험의 응시자격

2. 초경량비행장치 조종자 증명 시험의 과목 및 범위

3. 초경량비행장치 조종자 증명 시험의 실시 방법과 절차

4. 초경량비행장치 조종자 증명 발급에 관한 사항

5. 그 밖에 초경량비행장치 조종자 증명을 위하여 국토교통부장관이 필요하다고 인정하는 사항

④ 제3항에 따른 초경량비행장치 조종자 증명 규정 중 제1항 제4호가목에 따른 무인동력비행장치에 대한 자격기준, 시험실시 방법 및 절차 등은 다음 각 호의 구분에 따른 무인동력비행장치별로 구분하여 달리 정해야 한다. <신설 2020. 5. 27.>

1. 1종 무인동력비행장치: 최대이륙중량이 25킬로그램을 초과하고 연료의 중량을 제외한 자체중량이 150킬로그램 이하인 무인동력비행장치

2. 2종 무인동력비행장치: 최대이륙중량이 7킬로그램을 초과하고 25킬로그램 이하인 무인동력비행장치

3. 3종 무인동력비행장치: 최대이륙중량이 2킬로그램을 초과하고 7킬로그램 이하인 무인동력비행장치

4. 4종 무인동력비행장치: 최대이륙중량이 250그램을 초과하고 2킬로그램 이하인 무인동력비행장치

⑤ 법 제125조제2항에 따른 행정처분기준은 별표 44의2와 같다. <신설 2020. 2. 28., 2020. 5. 27.>

⑥ 지방항공청장은 법 제125조제2항에 따른 처분을 한 경우에는 그 내용을 별지 제119호의2서식의 초경량비행장치 조종자등 행정처분 대장에 작성·관리하고, 그 처분 내용을 한국교통안전공단의 이사장에 통지해야 한다. <신설 2020. 2. 28., 2020. 5. 27.>

⑦ 제5항에 따른 행정처분 대장은 「전자문서 및 전자거래 기본법」 제2조제1호에 따른 전자문서로 작성·관리할 수 있다.<신설 2020. 2. 28., 2020. 5. 27.> [시행일 : 2021. 3. 1.] 제306조제1항제4호

② 안전

▮항공안전법 제124조(초경량 비행장치 안전성 인증)
항공안전법 시행규칙 제305조(초경량비행장치 안전성인증 대상 등)

(항공안전법 제124조)

시험비행 등 국토교통부령으로 정하는 경우로서 국토교통부장관의 허가를 받은 경우를 제외하고는 동력비행장치 등 국토교통부령으로 정하는 초경량비행장치를 사용하여 비행하려는 사람은 국토교통부령으로 정하는 기관 또는 단체의 장으로부터 그가 정한 안정성인증의 유효기간 및 절차·방법 등에 따라 그 초경량비행장치가 국토교통부장관이 정하여 고시하는 비행안전을 위한 기술상의 기준에 적합하다는 안전성인증을 받지 아니하고 비행하여서는 아니 된다.

이 경우 안전성인증의 유효기간 및 절차·방법 등에 대해서는 국토교통부장관의 승인을 받아야 하며, 변경할 때에도 또한 같다.

(항공안전법 시행규칙 제305조)

① 법 제124조 전단에서 “동력비행장치 등 국토교통부령으로 정하는 초경량비행장치”란 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 초경량비행장치를 말한다.

1. 동력비행장치
2. 행글라이더, 패러글라이더 및 낙하산류(항공레저스포츠사업에 사용되는 것만 해당한다)
3. 기구류(사람이 탑승하는 것만 해당한다)
4. 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 무인비행장치
   가. 제5조제5호가목에 따른 무인비행기, 무인헬리콥터 또는 무인멀티콥터 중에서 최대이륙중량이 25킬로그램을 초과하는 것
   나. 제5조제5호나목에 따른 무인비행선 중에서 연료의 중량을 제외한 자체중량이 12킬로그램을 초과하거나 길이가 7미터를 초과하는 것
5. 회전익비행장치
6. 동력패러글라이더

② 법 제124조 전단에서 “국토교통부령으로 정하는 기관 또는 단체”란 기술원 또는 별표 43에 따른 시설기준을 충족하는 기관 또는 단체 중에서 국토교통부장관이 정하여 고시하는 기관 또는 단체(이하 “초경량비행장치 안전성 인증기관”이라 한다)를 말한다. <개정 2018. 3. 23.>

③ 비행

▮항공안전법 시행규칙 제308조(초경량비행장치의 비행승인)

① 법 제127조제2항 본문에서 “동력비행장치 등 국토교통부령으로 정하는 초경량비행장치”란 제5조에 따른 초경량비행장치를 말한다. 다만, 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 초경량비행장치는 제외한다.

1. 영 제24조제1호부터 제4호까지의 규정에 해당하는 초경량비행장치(항공기대여업, 항공레저스포츠사업 또는 초경량비행장치사용사업에 사용되지 아니하는 것으로 한정한다)
2. 제199조제1호나목에 따른 최저비행고도(150미터) 미만의 고도에서 운영하는 계류식 기구
3. 「항공사업법 시행규칙」 제6조제2항제1호에 사용하는 무인비행장치로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 무인비행장치
   가. 제221조제1항 및 별표 23에 따른 관제권, 비행금지구역 및 비행제한구역 외의 공역에서 비행하는 무인비행장치
   나. 「가축전염병 예방법」 제2조제2호에 따른 가축전염병의 예방 또는 확산 방지를 위하여 소독·방역업무 등에 긴급하게 사용하는 무인비행장치
4. 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 무인비행장치
   가. 최대이륙중량이 25킬로그램 이하인 무인동력비행장치
   나. 연료의 중량을 제외한 자체중량이 12킬로그램 이하이고 길이가 7미터 이하인 무인비행선
5. 그 밖에 국토교통부장관이 정하여 고시하는 초경량비행장치

② 제1항에 따른 초경량비행장치를 사용하여 비행제한공역을 비행하려는 사람은 법 제127조제2항 본문에 따라 별지 제122호서식의 초경량비행장치 비행승인신청서를 지방항공청장에게 제출하여야 한다. 이 경우 비행승인신청서는 서류, 팩스 또는 정보통신망을 이용하여 제출할 수 있다.

③ 지방항공청장은 제2항에 따라 제출된 신청서를 검토한 결과 비행안전에 지장을 주지 아니한다고 판단되는 경우에는 이를 승인하여야 한다. 이 경우 동일지역에서 반복적으로 이루어지는 비행에 대해서는 6개월의 범위에서 비행기간을 명시하여 승인할 수 있다.

④ 지방항공청장은 제3항에 따른 승인을 하는 경우에는 다음 각 호의 조건을 붙일 수 있다.

1. 탑승자에 대한 안전점검 등 안전관리에 관한 사항
2. 비행장치 운용한계치에 따른 기상요건에 관한 사항(항공레저스포츠사업에 사용되는 기구류 중 계류식으로 운영되지 않는 기구류만 해당한다)
3. 비행경로에 관한 사항

⑤ 법 제127조제3항제1호에서 “국토교통부령으로 정하는 고도”란 다음 각 호에 따른 고도를 말한다.

1. 사람 또는 건축물이 밀집된 지역: 해당 초경량비행장치를 중심으로 수평거리 150미터(500피트) 범위 안에 있는 가장 높은 장애물의 상단에서 150미터
2. 제1호 외의 지역: 지표면·수면 또는 물건의 상단에서 150미터

⑥ 법 제127조제3항제2호에서 “국토교통부령으로 정하는 구역“ 이란 별표 23 제2호에 따른 관제공역 중 관제권과 통제공역 중 비행금지구역을 말한다.

⑦ 법 제127조제3항제2호에 따른 승인 신청이 다음 각 호의 요건을 모두 충족하는 경우에는 6개월의 범위에서 비행기간을 명시하여 승인할 수 있다.

1. 교육목적을 위한 비행일 것
2. 무인비행장치는 최대이륙중량이 7킬로그램 이하일 것
3. 비행구역은 「초·중등교육법」 제2조 각 호에 따른 학교의 운동장일 것
4. 비행시간은 정규 및 방과 후 활동 중일 것
5. 비행고도는 지표면으로부터 고도 20미터 이내일 것
6. 비행방법 등이 안전·국방 등 비행금지구역의 지정 목적을 저해하지 않을 것

⑧ 법 제127조제4항에 따라 국가기관등의 장이 무인비행장치를 비행하려는 경우 사전에 유·무선

방법으로 지방항공청장에게 통보해야 한다. 다만, 제221조제1항 및 별표 23에 따른 관제권에서 비행하려는 경우에는 해당 관제권의 항공교통업무를 수행하는 자와, 비행금지구역에서 비행하려는 경우에는 해당 구역을 관할하는 자와 사전에 협의가 된 경우에 한정한다.

⑨ 제7항에 따라 무인비행장치를 비행한 국가기관등의 장은 비행 종료 후 지체없이 별지 제122호 서식에 따른 초경량비행장치 비행승인신청서를 지방항공청장에게 제출해야 한다.

④ 촬영

▮항공사진 촬영 지침서(국방부)

1. 목적

이 지침은 국가정보원법 제3조 및 보안업무규정 제37조의 규정에 의한 국가보안시설 및 보호장비 관리지침 제32조, 제33조의 항공사진촬영 허가업무 수행에 관하여 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.

2. 적용범위

이 지침은 국방부(정보본부) 및 기무사령부와 항공촬영 업체 및 기관이 항공촬영 업무를 수행하는 때에 적용한다.

3. 보안책임

가. 이 지침의 적용을 받는 업체 및 기관의 대표는 보안업무규정을 적용받는 분야에 대한 전반적인 보안책임이 있으며, 소속인원은 부여된 업무와 관련하여 보안책임을 지며 비밀사항을 지득하거나 점유 시 이를 보호할 책임이 있다.

나. 국군기무사령관은 국방부장관의 명을 받아 이 지침의 적용을 받는 업체 및 기관의 효율적인 보안업무 수행에 필요한 지원임무를 수행할 책임이 있다.

4. 항공촬영 신청 및 허가

가. 항공사진 촬영신청자는 촬영 7일전(천재지변에 의한 긴급보도 등 부득이한 경우는 제외)까지 국방부장관에게 촬영대상·일시·목적·촬영자 인적사항 등을 명시한 항공사진 촬영허가신청서(별지 서식)를 제출한다.

나. 국방부장관은 촬영목적·용도 및 대상시설·지역의 보안상 중요도 등을 검토하여 항공촬영 허가여부를 결정하되, 다음 각 호에 해당되는 시설에 대하여는 항공사진 촬영을 금지한다.

(1) 국가보안목표 시설 및 군사보안목표 시설

(2) 비행장, 군항, 유도탄 기지 등 군사시설

(3) 기타 군수산업시설 등 국가안보상 중요한 시설·지역

다. 감독기관의 장은 촬영금지 시설에 대하여 국익목적 또는 국가이익상 촬영이 필요할 때에는 그 사유를 첨부하여 국방부장관에게 촬영 협조를 요청할 수 있다. 이 경우 국방부장관은 국정원장과 협의하여 그 제한을 완화할 수 있다.

라. 국방부장관은 항공촬영 허가 시 관련 기관 및 업체의 업무를 고려하여 촬영허가 기간을 최장 1개월 이내에서 허가할 수 있다.

5. 항공촬영 보안조치

가. 국군기무사령관은 항공촬영을 위한 항공기 이착륙시 승무원·탑승자의 신원과 촬영 필름의 수량을 확인하고 촬영 불가지역 고지 등 보안조치를 하며, 필요시 담당관을 탑승시켜 이를 확인

하게 할 수 있다.

나. 국군기무사령관은 항공촬영한 필름에 대하여 촬영 금지시설과 지형정보를 삭제하는 등 필요한 보안조치를 한 후 사진을 인화토록 하고, 필요시 항공사진 및 필름 취급기관(업체)으로 하여금 적정등급의 비밀로 분류·관리토록 하여야 한다.

6. 비행허가

가. 항공촬영을 위한 비행시에는 항공촬영 허가와 별도로 국토교통부에 신고하여야 한다. 다만, 비행금지구역을 비행할 경우 항공촬영 신청자는 해당 지역의 공역(空域)관리기관(청와대·합참·수방사)의 별도 승인을 얻은 후 국토교통부에 신고하여야 한다.

나. 군사작전 지역 내 비행 및 군시설 이용이 필요할 경우 사전에 관할 군부대와 협조하여야 한다.

7. 행정사항

항공촬영 업체 및 기관에서 부득이한 사정으로 촬영일정, 촬영대상, 촬영관계자, 항공기 이착륙지 등 촬영 허가된 내용을 변경(3차까지 가능)할 경우에는 촬영 종료 5일전까지 국방부장관의 재허가를 받아야 한다.

⑤ 보험

▮항공안전법 제70조(항공보험 등의 가입의무)

① 다음 각 호의 항공사업자는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 항공보험에 가입하지 아니하고는 항공기를 운항할 수 없다.

1. 항공운송사업자
2. 항공기사용사업자
3. 항공기대여업자

② 제1항 각 호의 자 외의 항공기 소유자 또는 항공기를 사용하여 비행하려는 자는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 항공보험에 가입하지 아니하고는 항공기를 운항할 수 없다.

③ 「항공안전법」 제108조에 따른 경량항공기소유자등은 그 경량항공기의 비행으로 다른 사람이 사망하거나 부상한 경우에 피해자(피해자가 사망한 경우에는 손해배상을 받을 권리를 가진 자를 말한다)에 대한 보상을 위하여 같은 조 제1항에 따른 안전성인증을 받기 전까지 국토교통부령으로 정하는 보험이나 공제에 가입하여야 한다. <개정 2017. 1. 17.>

④ 초경량비행장치를 초경량비행장치사용사업, 항공기대여업 및 항공레저스포츠사업에 사용하려는 자와 무인비행장치 등 국토교통부령으로 정하는 초경량비행장치를 소유한 국가, 지방자치단체, 「공공기관의 운영에 관한 법률」 제4조에 따른 공공기관은 국토교통부령으로 정하는 보험 또는 공제에 가입하여야 한다. <개정 2020. 6. 9.>

⑤ 제1항부터 제4항까지의 규정에 따라 항공보험 등에 가입한 자는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 보험가입신고서 등 보험가입 등을 확인할 수 있는 자료를 국토교통부장관에게 제출하여야 한다. 이를 변경 또는 갱신한 때에도 또한 같다. <신설 2017. 1. 17.> [시행일 : 2020. 12. 10.] 제70조

2) 드론의 도심지 건설현장 사용에 대한 규제

① 건설현장에서의 드론 사용

- 최근 국내외에서는 건설산업 생애주기의 전 단계(기획, 설계, 시공, 유지관리, 해체)에서 드론을 활용하고 있음. 건설현장에서 드론은 시설물 상태 및 현장 모니터링, 드론촬영을 통한 3D 모델링 등 다양한 작업에서 사용되기도 하며, 많은 연구 또한 진행되고 있다.
- 건설현장에서 드론을 활용하면 기존의 인력으로 수행하기 어려웠던 작업을 원격으로 대신 수행할 수 있음으로써 시간 단축, 비용절감 등의 효과가 있음. 그러나 제도 및 법령 등의 규제로 인해 제한되는 사항이 존재함. 도심지의 건설현장의 경우 보행자, 차량 등과의 충돌 등 더 많은 위험요인이 있음. 따라서 본 보고서에서는 드론분야 선제적 규제혁파 로드맵의 규제이슈 중 도심지 건설현장에서 드론을 사용할 경우에 특히 고려해야 할 사항에 대하여 정리하였다.

② 드론의 도심지 건설현장 사용에 대한 규제

- 제한적인 비행환경 → 건설현장의 위치가 비행제한 공역일 수 있고, 사람과 건물이 밀집되어 있는 도심지의 특성을 고려해야 함.
- 비행승인, 특별 비행승인 → 드론비행의 경우, 비행승인이 기본적으로 필요하며, 야간 또는 육안으로 기체를 확인할 수 없는 범위에서 비행(비가시권 비행)을 하고자하면 특별비행승인이 필요함.
- 항공촬영 허가 → 드론을 이용한 항공촬영은 허가가 필요함.
- 기체등록 → 사업용 드론은 중량에 상관없이 한국교통안전공단에 신고하여야 하며, 기체 신고필증을 교부 받고 부착 필요.
- 조종자 자격기준 → 무게와 위험정도에 따라 다르게 분류되며, 이에 대한 자격기준 또한 다름.
- 항공보험 등의 가입 의무 → 초경량비행장치사업을 위해 사용하는 경우는 보험 또는 공제에 가입하는 것이 의무임.
- 소음기준
- 제한적인 비행환경

▌항공안전법 시행규칙 제199조 최저비행고도
항공안전법 제78조 공역의 지정

(항공안전법 시행규칙 제199조 최저비행고도)

법 제68조제1호에서 “국토교통부령으로 정하는 최저비행고도”란 다음 각 호와 같다.

1. 시계비행방식으로 비행하는 항공기
   가. 사람 또는 건축물이 밀집된 지역의 상공에서는 해당 항공기를 중심으로 수평거리 600미터 범위 안의 지역에 있는 가장 높은 장애물의 상단에서 300미터(1천피트)의 고도
   나. 가목 외의 지역에서는 지표면·수면 또는 물건의 상단에서 150미터(500피트)의 고도
2. 계기비행방식으로 비행하는 항공기
   가. 산악지역에서는 항공기를 중심으로 반지름 8킬로미터 이내에 위치한 가장 높은 장애물로부터 600미터의 고도
   나. 가목 외의 지역에서는 항공기를 중심으로 반지름 8킬로미터 이내에 위치한 가장 높은 장

애물로부터 300미터의 고도

(항공안전법 제78조 공역의 지정)

① 국토교통부장관은 공역을 체계적이고 효율적으로 관리하기 위하여 필요하다고 인정할 때에는 비행정보구역을 다음 각 호의 공역으로 구분하여 지정·공고할 수 있다.

1. 관제공역: 항공교통의 안전을 위하여 항공기의 비행 순서·시기 및 방법 등에 관하여 제84조제1항에 따라 국토교통부장관 또는 항공교통업무증명을 받은 자의 지시를 받아야 할 필요가 있는 공역으로서 관제권 및 관제구를 포함하는 공역
2. 비관제공역: 관제공역 외의 공역으로서 항공기의 조종사에게 비행에 관한 조언·비행정보 등을 제공할 필요가 있는 공역
3. 통제공역: 항공교통의 안전을 위하여 항공기의 비행을 금지하거나 제한할 필요가 있는 공역
4. 주의공역: 항공기의 조종사가 비행 시 특별한 주의·경계·식별등이 필요한 공역

② 국토교통부장관은 필요하다고 인정할 때에는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 제1항에 따른 공역을 세분하여 지정·공고할 수 있다.

③ 제1항 및 제2항에 따른 공역의 설정기준 및 지정절차 등 그 밖에 필요한 사항은 국토교통부령으로 정한다.

• 비행승인, 특별 비행승인

▌항공안전법 시행규칙 제308조(초경량비행장치의 비행승인)

① 법 제127조제2항 본문에서 “동력비행장치 등 국토교통부령으로 정하는 초경량비행장치”란 제5조에 따른 초경량비행장치를 말한다. 다만, 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 초경량비행장치는 제외한다.

1. 영 제24조제1호부터 제4호까지의 규정에 해당하는 초경량비행장치(항공기대여업, 항공레저스포츠사업 또는 초경량비행장치사용사업에 사용되지 아니하는 것으로 한정한다)
2. 제199조제1호나목에 따른 최저비행고도(150미터) 미만의 고도에서 운영하는 계류식 기구
3. 「항공사업법 시행규칙」 제6조제2항제1호에 사용하는 무인비행장치로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 무인비행장치
   가. 제221조제1항 및 별표 23에 따른 관제권, 비행금지구역 및 비행제한구역 외의 공역에서 비행하는 무인비행장치
   나. 「가축전염병 예방법」 제2조제2호에 따른 가축전염병의 예방 또는 확산 방지를 위하여 소독·방역업무 등에 긴급하게 사용하는 무인비행장치
4. 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 무인비행장치
   가. 최대이륙중량이 25킬로그램 이하인 무인동력비행장치
   나. 연료의 중량을 제외한 자체중량이 12킬로그램 이하이고 길이가 7미터 이하인 무인비행선
5. 그 밖에 국토교통부장관이 정하여 고시하는 초경량비행장치

② 제1항에 따른 초경량비행장치를 사용하여 비행제한공역을 비행하려는 사람은 법 제127조제2

항 본문에 따라 별지 제122호서식의 초경량비행장치 비행승인신청서를 지방항공청장에게 제출하여야 한다. 이 경우 비행승인신청서는 서류, 팩스 또는 정보통신망을 이용하여 제출할 수 있다.

③ 지방항공청장은 제2항에 따라 제출된 신청서를 검토한 결과 비행안전에 지장을 주지 아니한다고 판단되는 경우에는 이를 승인하여야 한다. 이 경우 동일지역에서 반복적으로 이루어지는 비행에 대해서는 6개월의 범위에서 비행기간을 명시하여 승인할 수 있다.

④ 지방항공청장은 제3항에 따른 승인을 하는 경우에는 다음 각 호의 조건을 붙일 수 있다.

1. 탑승자에 대한 안전점검 등 안전관리에 관한 사항
2. 비행장치 운용한계치에 따른 기상요건에 관한 사항(항공레저스포츠사업에 사용되는 기구류 중 계류식으로 운영되지 않는 기구류만 해당한다)
3. 비행경로에 관한 사항

⑤ 법 제127조제3항제1호에서 “국토교통부령으로 정하는 고도”란 다음 각 호에 따른 고도를 말한다.

1. 사람 또는 건축물이 밀집된 지역: 해당 초경량비행장치를 중심으로 수평거리 150미터(500피트) 범위 안에 있는 가장 높은 장애물의 상단에서 150미터
2. 제1호 외의 지역: 지표면·수면 또는 물건의 상단에서 150미터

⑥ 법 제127조제3항제2호에서 “국토교통부령으로 정하는 구역“ 이란 별표 23 제2호에 따른 관제공역 중 관제권과 통제공역 중 비행금지구역을 말한다.

⑦ 법 제127조제3항제2호에 따른 승인 신청이 다음 각 호의 요건을 모두 충족하는 경우에는 6개월의 범위에서 비행기간을 명시하여 승인할 수 있다.

1. 교육목적을 위한 비행일 것
2. 무인비행장치는 최대이륙중량이 7킬로그램 이하일 것
3. 비행구역은 「초·중등교육법」 제2조 각 호에 따른 학교의 운동장일 것
4. 비행시간은 정규 및 방과 후 활동 중일 것
5. 비행고도는 지표면으로부터 고도 20미터 이내일 것
6. 비행방법 등이 안전·국방 등 비행금지구역의 지정 목적을 저해하지 않을 것

⑧ 법 제127조제4항에 따라 국가기관등의 장이 무인비행장치를 비행하려는 경우 사전에 유·무선 방법으로 지방항공청장에게 통보해야 한다. 다만, 제221조제1항 및 별표 23에 따른 관제권에서 비행하려는 경우에는 해당 관제권의 항공교통업무를 수행하는 자와, 비행금지구역에서 비행하려는 경우에는 해당 구역을 관할하는 자와 사전에 협의가 된 경우에 한정한다.

⑨ 제7항에 따라 무인비행장치를 비행한 국가기관등의 장은 비행 종료 후 지체없이 별지 제122호서식에 따른 초경량비행장치 비행승인신청서를 지방항공청장에게 제출해야 한다.

• 항공촬영 허가

▮항공사진 촬영 지침서(국방부)

1. 목적

이 지침은 국가정보원법 제3조 및 보안업무규정 제37조의 규정에 의한 국가보안시설 및 보호장비 관리지침 제32조, 제33조의 항공사진촬영 허가업무 수행에 관하여 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.

2. 적용범위

이 지침은 국방부(정보본부) 및 기무사령부와 항공촬영 업체 및 기관이 항공촬영 업무를 수행하는 때에 적용한다.

3. 보안책임

가. 이 지침의 적용을 받는 업체 및 기관의 대표는 보안업무규정을 적용받는 분야에 대한 전반적인 보안책임이 있으며, 소속인원은 부여된 업무와 관련하여 보안책임을 지며 비밀사항을 지득하거나 점유 시 이를 보호할 책임이 있다.

나. 국군기무사령관은 국방부장관의 명을 받아 이 지침의 적용을 받는 업체 및 기관의 효율적인 보안업무 수행에 필요한 지원임무를 수행할 책임이 있다.

4. 항공촬영 신청 및 허가

가. 항공사진 촬영신청자는 촬영 7일전(천재지변에 의한 긴급보도 등 부득이한 경우는 제외)까지 국방부장관에게 촬영대상·일시·목적·촬영자 인적사항 등을 명시한 항공사진 촬영허가신청서(별지 서식)를 제출한다.

나. 국방부장관은 촬영목적·용도 및 대상시설·지역의 보안상 중요도 등을 검토하여 항공촬영 허가여부를 결정하되, 다음 각 호에 해당되는 시설에 대하여는 항공사진 촬영을 금지한다.

(1) 국가보안목표 시설 및 군사보안목표 시설

(2) 비행장, 군항, 유도탄 기지 등 군사시설

(3) 기타 군수산업시설 등 국가안보상 중요한 시설·지역

다. 감독기관의 장은 촬영금지 시설에 대하여 국익목적 또는 국가이익상 촬영이 필요할 때에는 그 사유를 첨부하여 국방부장관에게 촬영 협조를 요청할 수 있다. 이 경우 국방부장관은 국정원장과 협의하여 그 제한을 완화할 수 있다.

라. 국방부장관은 항공촬영 허가 시 관련 기관 및 업체의 업무를 고려하여 촬영허가 기간을 최장 1개월 이내에서 허가할 수 있다.

5. 항공촬영 보안조치

가. 국군기무사령관은 항공촬영을 위한 항공기 이착륙시 승무원·탑승자의 신원과 촬영 필름의 수량을 확인하고 촬영 불가지역 고지 등 보안조치를 하며, 필요시 담당관을 탑승시켜 이를 확인 하게 할 수 있다.

나. 국군기무사령관은 항공촬영한 필름에 대하여 촬영 금지시설과 지형정보를 삭제하는 등 필요한 보안조치를 한 후 사진을 인화토록 하고, 필요시 항공사진 및 필름 취급기관(업체)으로 하여금 적정등급의 비밀로 분류·관리토록 하여야 한다.

6. 비행허가

가. 항공촬영을 위한 비행시에는 항공촬영 허가와 별도로 국토교통부에 신고하여야 한다. 다만, 비행금지구역을 비행할 경우 항공촬영 신청자는 해당 지역의 공역(空域)관리기관(청와대·합참·수방사)의 별도 승인을 얻은 후 국토교통부에 신고하여야 한다.

나. 군사작전 지역내 비행 및 군시설 이용이 필요할 경우 사전에 관할 군부대와 협조하여야 한다.

7. 행정사항

항공촬영 업체 및 기관에서 부득이한 사정으로 촬영일정, 촬영대상, 촬영관계자, 항공기 이착륙지 등 촬영 허가된 내용을 변경(3차까지 가능)할 경우에는 촬영 종료 5일전까지 국방부장관의 재허가를 받아야 한다.

• 기체등록

▌항공안전법 제122조(초경량비행장치 신고)
항공안전법 시행규칙 제301조(초경량비행장치 신고)

항공안전법 제122조(초경량비행장치 신고)

① 초경량비행장치를 소유하거나 사용할 수 있는 권리가 있는 자(이하 "초경량비행장치소유자등"이라 한다)는 초경량비행장치의 종류, 용도, 소유자의 성명, 제129조제4항에 따른 개인정보 및 개인위치정보의 수집 가능 여부 등을 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 국토교통부장관에게 신고하여야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 초경량비행장치는 그러하지 아니하다.

② 국토교통부장관은 제1항 본문에 따른 신고를 받은 날부터 7일 이내에 신고수리 여부를 신고인에게 통지하여야 한다. <신설 2020. 6. 9.>

③ 국토교통부장관이 제2항에서 정한 기간 내에 신고수리 여부 또는 민원 처리 관련 법령에 따른 처리기간의 연장을 신고인에게 통지하지 아니하면 그 기간(민원 처리 관련 법령에 따라 처리기간이 연장 또는 재연장된 경우에는 해당 처리기간을 말한다)이 끝난 날의 다음 날에 신고를 수리한 것으로 본다. <신설 2020. 6. 9.>

④ 국토교통부장관은 제1항에 따라 초경량비행장치의 신고를 받은 경우 그 초경량비행장치소유자 등에게 신고번호를 발급하여야 한다. <개정 2020. 6. 9.>

⑤ 제4항에 따라 신고번호를 발급받은 초경량비행장치소유자등은 그 신고번호를 해당 초경량비행장치에 표시하여야 한다. <개정 2020. 6. 9.>

항공안전법 시행규칙 제301조(초경량비행장치 신고)

① 법 제122조제1항 본문에 따라 초경량비행장치소유자등은 법 제124조에 따른 안전성인증을 받기 전(법 제124조에 따른 안전성인증 대상이 아닌 초경량비행장치인 경우에는 초경량비행장치를 소유하거나 사용할 수 있는 권리가 있는 날부터 30일 이내를 말한다)까지 별지 제116호서식의 초경량비행장치 신고서(전자문서로 된 신고서를 포함한다)에 다음 각 호의 서류(전자문서를 포함한다)를 첨부하여 지방항공청장에게 제출하여야 한다. 이 경우 신고서 및 첨부서류는 팩스 또는 정보통신을 이용하여 제출할 수 있다.

1. 초경량비행장치를 소유하거나 사용할 수 있는 권리가 있음을 증명하는 서류
2. 초경량비행장치의 제원 및 성능표
3. 초경량비행장치의 사진(가로 15센티미터, 세로 10센티미터의 측면사진)

② 지방항공청장은 초경량비행장치의 신고를 받으면 별지 제117호서식의 초경량비행장치 신고증명서를 초경량비행장치소유자등에게 발급하여야 하며, 초경량비행장치소유자등은 비행 시 이를 휴대하여야 한다.

③ 지방항공청장은 제2항에 따라 초경량비행장치 신고증명서를 발급하였을 때에는 별지 제118호서식의 초경량비행장치 신고대장을 작성하여 갖추어 두어야 한다. 이 경우 초경량비행장치 신고대장은 전자적 처리가 불가능한 특별한 사유가 없으면 전자적 처리가 가능한 방법으로 작성·관리하여야 한다.

④ 초경량비행장치소유자등은 초경량비행장치 신고증명서의 신고번호를 해당 장치에 표시하여야 하며, 표시방법, 표시장소 및 크기 등 필요한 사항은 지방항공청장이 정한다.

⑤ 지방항공청장은 제1항에 따른 신고를 받은 날부터 7일 이내에 수리 여부 또는 수리 지연 사유를 통지하여야 한다. 이 경우 7일 이내에 수리 여부 또는 수리 지연 사유를 통지하지 아니하면 7일이 끝난 날의 다음 날에 신고가 수리된 것으로 본다.

• 조종자 자격기준

▮항공안전법 시행규칙 제306조(초경량비행장치의 조종자 증명 등)

① 법 제125조제1항 전단에서 “동력비행장치 등 국토교통부령으로 정하는 초경량비행장치”란 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 초경량비행장치를 말한다. <개정 2020. 5. 27.>

1. 동력비행장치
2. 행글라이더, 패러글라이더 및 낙하산류(항공레저스포츠사업에 사용되는 것만 해당한다)
3. 유인자유기구
4. 무인비행장치. 다만 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 것은 제외한다.
   가. 제5조제5호가목에 따른 무인비행기, 무인헬리콥터 또는 무인멀티콥터 중에서 연료의 중량을 포함한 최대이륙중량이 250그램 이하인 것
   나. 제5조제5호나목에 따른 무인비행선 중에서 연료의 중량을 제외한 자체중량이 12킬로그램 이하이고, 길이가 7미터 이하인 것
5. 회전익비행장치
6. 동력패러글라이더

② 법 제125조제1항 전단에서 “국토교통부령으로 정하는 기관 또는 단체”란 한국교통안전공단 및 별표 44의 기준을 충족하는 기관 또는 단체 중에서 국토교통부장관이 정하여 고시하는 기관 또는 단체(이하 “초경량비행장치조종자증명기관”이라 한다)를 말한다. <개정 2018. 3. 23.>

③ 초경량비행장치조종자증명기관은 법 제125조제1항 후단에 따른 승인을 신청하는 경우에는 다음 각 호의 사항이 포함된 초경량비행장치 조종자 증명 규정에 제·개정 이유서 및 신·구 내용 대비표(변경승인을 신청하는 경우에 한정한다)를 첨부하여 국토교통부장관에게 제출하여야 한다. <개정 2020. 5. 27.>

1. 초경량비행장치 조종자 증명 시험의 응시자격
2. 초경량비행장치 조종자 증명 시험의 과목 및 범위
3. 초경량비행장치 조종자 증명 시험의 실시 방법과 절차
4. 초경량비행장치 조종자 증명 발급에 관한 사항
5. 그 밖에 초경량비행장치 조종자 증명을 위하여 국토교통부장관이 필요하다고 인정하는 사항

④ 제3항에 따른 초경량비행장치 조종자 증명 규정 중 제1항 제4호가목에 따른 무인동력비행장치에 대한 자격기준, 시험실시 방법 및 절차 등은 다음 각 호의 구분에 따른 무인동력비행장치별로 구분하여 달리 정해야 한다. <신설 2020. 5. 27.>

1. 1종 무인동력비행장치: 최대이륙중량이 25킬로그램을 초과하고 연료의 중량을 제외한 자체중량이 150킬로그램 이하인 무인동력비행장치
2. 2종 무인동력비행장치: 최대이륙중량이 7킬로그램을 초과하고 25킬로그램 이하인 무인동력비행장치
3. 3종 무인동력비행장치: 최대이륙중량이 2킬로그램을 초과하고 7킬로그램 이하인 무인동력비행장치
4. 4종 무인동력비행장치: 최대이륙중량이 250그램을 초과하고 2킬로그램 이하인 무인동력비행장치

⑤ 법 제125조제2항에 따른 행정처분기준은 별표 44의2와 같다. <신설 2020. 2. 28., 2020. 5. 27.>

⑥ 지방항공청장은 법 제125조제2항에 따른 처분을 한 경우에는 그 내용을 별지 제119호의2서식의 초경량비행장치 조종자등 행정처분 대장에 작성·관리하고, 그 처분 내용을 한국교통안전공단의 이사장에 통지해야 한다. <신설 2020. 2. 28., 2020. 5. 27.>

⑦ 제5항에 따른 행정처분 대장은 「전자문서 및 전자거래 기본법」 제2조제1호에 따른 전자문서로 작성·관리할 수 있다.<신설 2020. 2. 28., 2020. 5. 27.> [시행일 : 2021. 3. 1.] 제306조제1항제4호

• 항공보험 등의 가입 의무

▮항공안전법 제70조(항공보험 등의 가입의무)

① 다음 각 호의 항공사업자는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 항공보험에 가입하지 아니하고는 항공기를 운항할 수 없다.

1. 항공운송사업자
2. 항공기사용사업자
3. 항공기대여업자

② 제1항 각 호의 자 외의 항공기 소유자 또는 항공기를 사용하여 비행하려는 자는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 항공보험에 가입하지 아니하고는 항공기를 운항할 수 없다.

③ 「항공안전법」 제108조에 따른 경량항공기소유자등은 그 경량항공기의 비행으로 다른 사람이 사망하거나 부상한 경우에 피해자(피해자가 사망한 경우에는 손해배상을 받을 권리를 가진 자를 말한다)에 대한 보상을 위하여 같은 조 제1항에 따른 안전성인증을 받기 전까지 국토교통부령으로 정하는 보험이나 공제에 가입하여야 한다. <개정 2017. 1. 17.>

④ 초경량비행장치를 초경량비행장치사용사업, 항공기대여업 및 항공레저스포츠사업에 사용하려는 자와 무인비행장치 등 국토교통부령으로 정하는 초경량비행장치를 소유한 국가, 지방자치단체, 「공공기관의 운영에 관한 법률」 제4조에 따른 공공기관은 국토교통부령으로 정하는 보험 또는 공제에 가입하여야 한다. <개정 2020. 6. 9.>

⑤ 제1항부터 제4항까지의 규정에 따라 항공보험 등에 가입한 자는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 보험가입신고서 등 보험가입 등을 확인할 수 있는 자료를 국토교통부장관에게 제출하여야 한다. 이를 변경 또는 갱신한 때에도 또한 같다. <신설 2017. 1. 17.> [시행일 : 2020. 12. 10.] 제70조

3) 드론을 활용한 미세먼지 제거에 대한 규제

① 드론을 활용한 미세먼지 제거

- 미세먼지는 대기오염 물질 중 인체에 가장 유해한 영향을 끼치는 물질이며, 이러한 미세먼지로 인한 건강 피해가 중요한 사회적 문제로 대두되고 있다. 이로 인해 미세먼지를 제거하기 위한 많은 방법이 개발되고 있다.
- 최근에는 드론을 활용한 미세먼지 제거에 대한 연구 또한 진행되고 있다. 드론은 미세먼지 제거를 위해 필터를 부착하거나, 물이나 화학약품 등을 살포함으로써 미세먼지를 제거하는 등의 방법이 있다.

② 드론을 활용한 미세먼지 제거에 대한 규제

- 드론을 활용한 미세먼지 제거에 대한 규제를 아래와 같은 사항들로 정리하였다.
  - 물건 투하 또는 살포 허가 → 물건 투하 및 방제, 방역과 같은 살포 행위의 경우 지방항공청장에게 운항 25일전 허가신청서를 제출하여야 함
  - 드론 활용 사업 등록 → 드론 활용 사업을 경영하려는 경우, 자본금 또는 자산평가액 3천만원 이상, 국내 기준에 적합한 1대 이상의 드론 등의 사업요건 충족 후 사업등록이 필요함

- 비행승인, 특별 비행승인 → 드론비행의 경우, 비행승인이 기본적으로 필요하며, 야간 또는 육안으로 기체를 확인할 수 없는 범위에서 비행(비가시권 비행)을 하고자하면 특별비행승인이 필요함
- 항공보험 등의 가입 의무 → 초경량비행장치사업을 위해 사용하는 경우는 보험 또는 공제에 가입하는 것이 의무임
- 기체등록 → 사업용 드론은 중량에 상관없이 한국교통안전공단에 신고하여야 하며, 기체 신고필증을 교부 받고 부착 필요
- 물건 투하 또는 살포 허가

▌항공안전법 시행규칙 제201조(물건의 투하 또는 살포의 허가신청)

법 제68조 각 호 외의 부분 단서에 따라 비행 중인 항공기에서 물건을 투하하거나 살포하려는 자는 다음 각 호의 사항을 적은 물건 투하 또는 살포 허가신청서를 운항 예정일 25일 전까지 지방항공청장에게 제출하여야 한다. <개정 2018. 3. 23.>

1. 성명 및 주소
2. 항공기의 형식 및 등록부호
3. 비행의 목적·일시·경로 및 고도
4. 물건을 투하하는 목적
5. 투하하려는 물건의 개요와 투하하려는 장소
6. 조종자의 성명과 자격
7. 그 밖에 참고가 될 사항

- 드론 활용 사업 등록

▌항공안전법 제48조(초경량비행장치 사용사업의 등록)

① 초경량비행장치사용사업을 경영하려는 자는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 신청서에 사업계획서와 그 밖에 국토교통부령으로 정하는 서류를 첨부하여 국토교통부장관에게 등록하여야 한다. 등록한 사항 중 국토교통부령으로 정하는 사항을 변경하려는 경우에는 국토교통부장관에게 신고하여야 한다.

② 제1항에 따른 초경량비행장치사용사업을 등록하려는 자는 다음 각 호의 요건을 갖추어야 한다. <개정 2016. 12. 2.>

1. 자본금 또는 자산평가액이 3천만원 이상으로서 대통령령으로 정하는 금액 이상일 것. 다만, 최대이륙중량이 25킬로그램 이하인 무인비행장치만을 사용하여 초경량비행장치사용사업을 하려는 경우는 제외한다.
2. 초경량비행장치 1대 이상 등 대통령령으로 정하는 기준에 적합할 것
3. 그 밖에 사업 수행에 필요한 요건으로서 국토교통부령으로 정하는 요건을 갖출 것

③ 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자는 초경량비행장치사용사업의 등록을 할 수 없다. <개정 2017. 12. 26.>

1. 제9조 각 호의 어느 하나에 해당하는 자
2. 초경량비행장치사용사업 등록의 취소처분을 받은 후 2년이 지나지 아니한 자. 다만, 제9조제2호에 해당하여 제49조제8항에 따라 초경량비행장치사용사업 등록이 취소된 경우는 제외한다.

• 비행승인, 특별 비행승인

▮항공안전법 시행규칙 제308조(초경량비행장치의 비행승인)

① 법 제127조제2항 본문에서 “동력비행장치 등 국토교통부령으로 정하는 초경량비행장치”란 제5조에 따른 초경량비행장치를 말한다. 다만, 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 초경량비행장치는 제외한다.

1. 영 제24조제1호부터 제4호까지의 규정에 해당하는 초경량비행장치(항공기대여업, 항공레저스포츠사업 또는 초경량비행장치사용사업에 사용되지 아니하는 것으로 한정한다)
2. 제199조제1호나목에 따른 최저비행고도(150미터) 미만의 고도에서 운영하는 계류식 기구
3. 「항공사업법 시행규칙」 제6조제2항제1호에 사용하는 무인비행장치로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 무인비행장치
   가. 제221조제1항 및 별표 23에 따른 관제권, 비행금지구역 및 비행제한구역 외의 공역에서 비행하는 무인비행장치
   나. 「가축전염병 예방법」 제2조제2호에 따른 가축전염병의 예방 또는 확산 방지를 위하여 소독·방역업무 등에 긴급하게 사용하는 무인비행장치
4. 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 무인비행장치
   가. 최대이륙중량이 25킬로그램 이하인 무인동력비행장치
   나. 연료의 중량을 제외한 자체중량이 12킬로그램 이하이고 길이가 7미터 이하인 무인비행선
5. 그 밖에 국토교통부장관이 정하여 고시하는 초경량비행장치

② 제1항에 따른 초경량비행장치를 사용하여 비행제한공역을 비행하려는 사람은 법 제127조제2항 본문에 따라 별지 제122호서식의 초경량비행장치 비행승인신청서를 지방항공청장에게 제출하여야 한다. 이 경우 비행승인신청서는 서류, 팩스 또는 정보통신망을 이용하여 제출할 수 있다.

③ 지방항공청장은 제2항에 따라 제출된 신청서를 검토한 결과 비행안전에 지장을 주지 아니한다고 판단되는 경우에는 이를 승인하여야 한다. 이 경우 동일지역에서 반복적으로 이루어지는 비행에 대해서는 6개월의 범위에서 비행기간을 명시하여 승인할 수 있다.

④ 지방항공청장은 제3항에 따른 승인을 하는 경우에는 다음 각 호의 조건을 붙일 수 있다.

1. 탑승자에 대한 안전점검 등 안전관리에 관한 사항
2. 비행장치 운용한계치에 따른 기상요건에 관한 사항(항공레저스포츠사업에 사용되는 기구류 중 계류식으로 운영되지 않는 기구류만 해당한다)
3. 비행경로에 관한 사항

⑤ 법 제127조제3항제1호에서 “국토교통부령으로 정하는 고도”란 다음 각 호에 따른 고도를 말한다.

1. 사람 또는 건축물이 밀집된 지역: 해당 초경량비행장치를 중심으로 수평거리 150미터(500피트) 범위 안에 있는 가장 높은 장애물의 상단에서 150미터
2. 제1호 외의 지역: 지표면·수면 또는 물건의 상단에서 150미터

⑥ 법 제127조제3항제2호에서 “국토교통부령으로 정하는 구역“ 이란 별표 23 제2호에 따른 관제공역 중 관제권과 통제공역 중 비행금지구역을 말한다.

⑦ 법 제127조제3항제2호에 따른 승인 신청이 다음 각 호의 요건을 모두 충족하는 경우에는 6개월의 범위에서 비행기간을 명시하여 승인할 수 있다.

1. 교육목적을 위한 비행일 것

2. 무인비행장치는 최대이륙중량이 7킬로그램 이하일 것
3. 비행구역은 「초·중등교육법」 제2조 각 호에 따른 학교의 운동장일 것
4. 비행시간은 정규 및 방과 후 활동 중일 것
5. 비행고도는 지표면으로부터 고도 20미터 이내일 것
6. 비행방법 등이 안전·국방 등 비행금지구역의 지정 목적을 저해하지 않을 것

⑧ 법 제127조제4항에 따라 국가기관등의 장이 무인비행장치를 비행하려는 경우 사전에 유·무선 방법으로 지방항공청장에게 통보해야 한다. 다만, 제221조제1항 및 별표 23에 따른 관제권에서 비행하려는 경우에는 해당 관제권의 항공교통업무를 수행하는 자와, 비행금지구역에서 비행하려는 경우에는 해당 구역을 관할하는 자와 사전에 협의가 된 경우에 한정한다.

⑨ 제7항에 따라 무인비행장치를 비행한 국가기관등의 장은 비행 종료 후 지체없이 별지 제122호 서식에 따른 초경량비행장치 비행승인신청서를 지방항공청장에게 제출해야 한다.

• 항공보험 등의 가입 의무

▮항공안전법 제70조(항공보험 등의 가입의무)

① 다음 각 호의 항공사업자는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 항공보험에 가입하지 아니하고는 항공기를 운항할 수 없다.

1. 항공운송사업자
2. 항공기사용사업자
3. 항공기대여업자

② 제1항 각 호의 자 외의 항공기 소유자 또는 항공기를 사용하여 비행하려는 자는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 항공보험에 가입하지 아니하고는 항공기를 운항할 수 없다.

③ 「항공안전법」 제108조에 따른 경량항공기소유자등은 그 경량항공기의 비행으로 다른 사람이 사망하거나 부상한 경우에 피해자(피해자가 사망한 경우에는 손해배상을 받을 권리를 가진 자를 말한다)에 대한 보상을 위하여 같은 조 제1항에 따른 안전성인증을 받기 전까지 국토교통부령으로 정하는 보험이나 공제에 가입하여야 한다. <개정 2017. 1. 17.>

④ 초경량비행장치를 초경량비행장치사용사업, 항공기대여업 및 항공레저스포츠사업에 사용하려는 자와 무인비행장치 등 국토교통부령으로 정하는 초경량비행장치를 소유한 국가, 지방자치단체, 「공공기관의 운영에 관한 법률」 제4조에 따른 공공기관은 국토교통부령으로 정하는 보험 또는 공제에 가입하여야 한다. <개정 2020. 6. 9.>

⑤ 제1항부터 제4항까지의 규정에 따라 항공보험 등에 가입한 자는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 보험가입신고서 등 보험가입 등을 확인할 수 있는 자료를 국토교통부장관에게 제출하여야 한다. 이를 변경 또는 갱신한 때에도 또한 같다. <신설 2017. 1. 17.> [시행일 : 2020. 12. 10.] 제70조

• 사업용 드론 중량

▌항공안전법 제122조(초경량비행장치 신고)
항공안전법 시행규칙 제301조(초경량비행장치 신고)

항공안전법 제122조(초경량비행장치 신고)

① 초경량비행장치를 소유하거나 사용할 수 있는 권리가 있는 자(이하 “초경량비행장치소유자등”이라 한다)는 초경량비행장치의 종류, 용도, 소유자의 성명, 제129조제4항에 따른 개인정보 및 개인위치정보의 수집 가능 여부 등을 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 국토교통부장관에게 신고하여야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 초경량비행장치는 그러하지 아니하다.

② 국토교통부장관은 제1항 본문에 따른 신고를 받은 날부터 7일 이내에 신고수리 여부를 신고인에게 통지하여야 한다. <신설 2020. 6. 9.>

③ 국토교통부장관이 제2항에서 정한 기간 내에 신고수리 여부 또는 민원 처리 관련 법령에 따른 처리기간의 연장을 신고인에게 통지하지 아니하면 그 기간(민원 처리 관련 법령에 따라 처리기간이 연장 또는 재연장된 경우에는 해당 처리기간을 말한다)이 끝난 날의 다음 날에 신고를 수리한 것으로 본다. <신설 2020. 6. 9.>

④ 국토교통부장관은 제1항에 따라 초경량비행장치의 신고를 받은 경우 그 초경량비행장치소유자 등에게 신고번호를 발급하여야 한다. <개정 2020. 6. 9.>

⑤ 제4항에 따라 신고번호를 발급받은 초경량비행장치소유자등은 그 신고번호를 해당 초경량비행장치에 표시하여야 한다. <개정 2020. 6. 9.>

항공안전법 시행규칙 제301조(초경량비행장치 신고)

① 법 제122조제1항 본문에 따라 초경량비행장치소유자등은 법 제124조에 따른 안전성인증을 받기 전(법 제124조에 따른 안전성인증 대상이 아닌 초경량비행장치인 경우에는 초경량비행장치를 소유하거나 사용할 수 있는 권리가 있는 날부터 30일 이내를 말한다)까지 별지 제116호서식의 초경량비행장치 신고서(전자문서로 된 신고서를 포함한다)에 다음 각 호의 서류(전자문서를 포함한다)를 첨부하여 지방항공청장에게 제출하여야 한다. 이 경우 신고서 및 첨부서류는 팩스 또는 정보통신을 이용하여 제출할 수 있다.

1. 초경량비행장치를 소유하거나 사용할 수 있는 권리가 있음을 증명하는 서류
2. 초경량비행장치의 제원 및 성능표
3. 초경량비행장치의 사진(가로 15센티미터, 세로 10센티미터의 측면사진)

② 지방항공청장은 초경량비행장치의 신고를 받으면 별지 제117호서식의 초경량비행장치 신고증명서를 초경량비행장치소유자등에게 발급하여야 하며, 초경량비행장치소유자등은 비행 시 이를 휴대하여야 한다.

③ 지방항공청장은 제2항에 따라 초경량비행장치 신고증명서를 발급하였을 때에는 별지 제118호서식의 초경량비행장치 신고대장을 작성하여 갖추어 두어야 한다. 이 경우 초경량비행장치 신고대장은 전자적 처리가 불가능한 특별한 사유가 없으면 전자적 처리가 가능한 방법으로 작성·관리하여야 한다.

④ 초경량비행장치소유자등은 초경량비행장치 신고증명서의 신고번호를 해당 장치에 표시하여야 하며, 표시방법, 표시장소 및 크기 등 필요한 사항은 지방항공청장이 정한다.

⑤ 지방항공청장은 제1항에 따른 신고를 받은 날부터 7일 이내에 수리 여부 또는 수리 지연 사유를 통지하여야 한다. 이 경우 7일 이내에 수리 여부 또는 수리 지연 사유를 통지하지 아니하면 7일이 끝난 날의 다음 날에 신고가 수리된 것으로 본다.

3. 미세먼지 측정/제거 드론의 활성화를 위한 정책제안

– 건설 산업은 비산 먼지에 관한 문제가 지속적으로 이어져오고 있다. 이러한 문제가 있음에도 건설 산업에서는 여러 가지 한계점으로 인해 미세먼지에 대한 관리 조치가 미흡한 실정임. 때문에, 건설 산업에서의 미세먼지와 관련된 문제점을 파악하고, 이를 극복하기 위한 정책제안이 필요하다.

1) 기존의 문제점

– 건설 산업은 사업의 특성 상 여러 가지 문제점으로 인하여 타 산업과 비교했을 때, 비산먼지의 관리가 취약하다.



[건설산업의 미세먼지 관리 비교]

① 비산먼지 관리에 대한 법적 규제 미흡

– 현행법상 사업장은 배출시설에서 나오는 오염물질 발생량에 따라 1~5종으로 분류하고 있으며, 건설업의 경우에는 1,000제곱미터 이상의 규모 등 비교적 큰 규모의 공사만 비산먼지 발생사업 신고대상에 해당함. 도심지에서는 1,000제곱미터 이하의 소규모 공사가 많이 이루어지고 있으나 이는 신고대상에 포함되지 않아 규제를 하지 않아 관리가 어려운 실정이다.

② 미세먼지의 관리방식

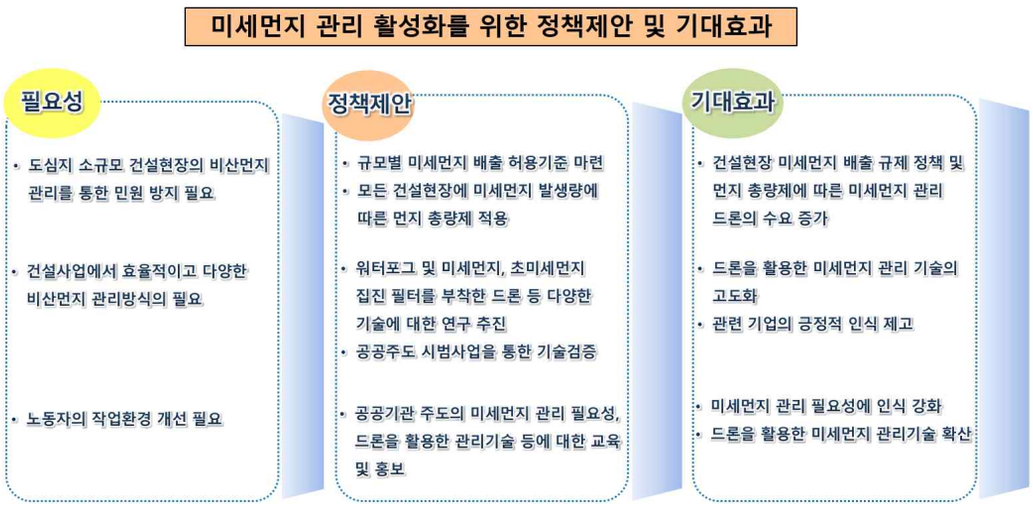
– 기존의 건설현장에서는 비산먼지 및 미세먼지 저감을 위한 방안으로 방진망, 방진덮개로 확산을 방지하고, 고압분무기, 고정식 스프링클러, 이동식 살수차 등을 이용해 물을 분사하거나 살수하여 제거한다. 그러나, 살수시설, 방진막 등의 설치위치나 기준 등을 알지 못해 설치하지 않거나 부족하게 설치하기도 하며, 일부 공정에서는 과도한 살수로 인해 일부 작업공정에 방해가 되기도 함. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 기존의 방식과는 다른 새로운 방안을 모색해야 한다.

③ 작업 환경

– 미세먼지는 단시간 및 장시간 노출되었을 때 호흡기계, 심혈관계 등에 치명적인 악영향을 미친다. 그러나 건설현장의 경우, 타 산업에 비해 옥외작업자들이 많고, 이에 따라 작업자들의 미세먼지 노출과 그 위험성이 매우 높다. 선행연구에 따르면, 건설현장 종사자의 미세먼지 노출규모는 타 산업에 비해 큼. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 우선적으로 미세먼지의 위험성과 그에 대한 대책을 마련해야 한다.

2) 활성화를 위한 정책제안

- 건설 산업의 미세먼지 관리 문제점의 해결방안으로써 필요하다고 판단되는 정책들을 다음과 같이 제안하고자 하였다.



[미세먼지 관리 활성화를 위한 정책제안 및 기대효과]

① 미세먼지 관리에 대한 법적 규제 강화

- (규모별 미세먼지 배출 허용기준 마련) 기존 건설현장의 경우에는 1,000제곱미터 이하 소규모 건설현장의 비산먼지 관리가 어려웠으나, 이를 신고대상에 포함하고, 새로운 배출허용기준을 마련함으로써 관리할 수 있다.
- (모든 건설현장에 먼지 총량제 적용) 먼지 총량제를 적용하여 규제함으로써 미세먼지 저감을 위한 사업자의 드론 수요가 증가할 것으로 예상된다.

② 미세먼지 관리방식(기술)의 고도화

- (드론을 활용한 다양한 비산먼지 제거기술 연구 추진) 물을 뿌리는 방식뿐만 아니라 미세먼지 필터를 부착한 드론 기술개발 등의 연구를 추진한다면 기술의 고도화를 통한 시장점유 가능하다.
- (공공주도의 시범사업을 통한 기술검증) 공공주도의 시범사업과 기술검증을 통해 미세먼지 드론에 대한 관련기업의 긍정적 인식을 제고함으로써 기술 확산 유도한다.

③ 작업환경 개선을 위한 정부 주도의 교육 및 홍보

- (정부 주도의 교육 및 홍보) 체계적인 교육 및 홍보를 통한 미세먼지가 건강에 미치는 위험성에 대한 노동자들의 인식을 강화하고, 미세먼지 저감을 위한 미세먼지 드론의 수요 증가 예상한다.

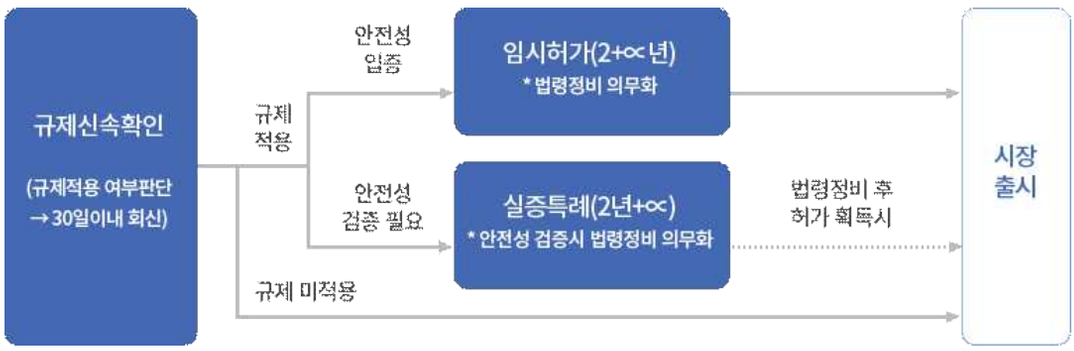
④ 정책제안과 관련된 지원 제도

- 앞서 제시된 정책 제안과 관련하여 활용이 가능할 것으로 판단되는 지원제도 등에 대해 조사를 수행하였으며, 조사를 통해 도출된 관련 제도는 다음과 같다.

• 규제 샌드박스

- 규제 샌드박스란, 사업자가 신기술을 활용한 새로운 제품과 서비스를 일정조건(기간·장소·규모 제한)하에서 시장에 우선 출시해 시험·검증할 수 있도록 현행 규제의 전부나 일부를 적용하지 않는 것을 말하며, 그 과정에서 수집된 데이터를 토대로 합리적으로 규제를 개선하는

제도이다.



[규제 샌드박스 운영 절차]

- 녹색기술인증
  - 환경부가 저탄소 녹색성장 기본법에 의거해 에너지 자원을 절약하고 효율적으로 사용해 온실가스 및 오염물질 배출을 최소화하는 기술을 인증하는 제도이다. 인증을 획득한 건설업체는 3년간 조달청 PQ 심사에서 가산점을 받을 수 있다.
- 스마트 건설기술 마당 등록
  - (정보공유) 스마트 건설기술을 “스마트 건설기술 마당”에 등록하여 스마트 건설기술에 대한 정보 확산 유도한다.
  - (기술 활용) 스마트 건설기술이 적용되는 현장에 대하여 발주청이 공사비와 건설기준 특례 적용한다.

3) 정책 반영을 위한 주무부처 향후 협의 계획

– 성과 기술과 연관된 주무부처에 대한 조사 및 논의 계획

① 국토교통부 첨단항공과, 기술정책과

– 보고서 및 관련기술 설명 자료 송부 : 2022.3월 중
– 주무부처의 관련기술 검토 및 응답 : 2022.4월 초
– 관련 기술 상용화 및 정책 활용 방안 논의 : 2022.4월 말

② 환경부 대기환경정책과

– 보고서 및 관련기술 설명 자료 송부 : 2022.4월 초
– 주무부처의 관련기술 검토 및 응답 : 2022.4월 말
– 관련 기술 상용화 및 정책 활용 방안 논의 : 2022.5월 중

(2) 정량적 연구개발성과

구분		1차년도		2차년도		3차년도		계	
		목표	달성도	목표	달성도	목표	달성도	목표	달성도
국내논문 게재	SCI				1	1		1	1
	비SCI	1		1			2	2	2
	계	1		1	1	1	2	3	3
특허출원	국내	2	2	1	1			3	3
	국외								
	계	2	2	1	1			3	3
특허등록	국내					3	3	3	3
	국외								
	계					3	3	3	3
기술이전	계약건수					1	1	1	1
	계약액					정출금의 10%	매출액 2.5% (7년간)	정출금의 10%	매출액 2.5% (7년간)
	징수액					계약액의 100%	계약액의 100%	계약액의 100%	계약액의 100%
기타	시작품	2	2	1	2	2	2	5	6
	성과 홍보			1	1	1		2	1
	학술발표		4	2	3	2	3	4	10
	일자리창출			1	1	1		2	1

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

■ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/ 비SCIE)	게재일	등록 번호 (ISSN)	기여율
1	Assessing the distributional characteristics of PM10, PM2.5, and PM1 exposure profile produced and propagated from a construction activity	Journal of Cleaner Production	한재구 김영현	Vol. 276	네덜란드	Elsevier	SCI	2020.09 online accepted	-	100
2	건설현장 미세먼지 억제를 위한 물 입자 분사 드론 시스템 개발에 대한 연구	한국산학기술학회 논문집	최영민 함영복	10	대한민국	한국산학기술학회	비SCI	2021. 10.31	1975-4701	100
3	단지조성공사 내 드론을 활용한 GIS 맵핑 기반 미세먼지 측정 시스템 기초 연구	한국산학기술학회 논문집	이재호 한재구 김영현	22	대한민국	한국산학기술학회	비SCI	2021. 02.28	1975-4701	100

■ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	International Conference on Mechatronics Technology (ICMT 2019)	Spray Time Estimation of a High Pressure Water Supply System for Water Mist Spray	함영복	2019.10.24	University of Salerno	Italy
2	한국동력기계학회 2019 추계학술대회	Design and Power Consumption Analysis of Smart Water Spray System for Mist Generation	함영복	2019.11.13	제주오리엔탈 호텔(제주)	대한민국
3	2019년 한국건축시공학회 추계학술발표대회	미분문수를 활용한 도심지 건설현장 미세먼지 저감을 위한 기초연구	한재구	2019.10.31	한국교통대학교 (충주)	대한민국
4	2019년 한국산학기술학회 추계학술발표대회	스마트 거설기술을 활용한 건설현장 미셈너지 저감기술 개발에 관한 제안	한재구	2019.11.29	공주대학교 (천안캠퍼스)	대한민국
5	2020년 유공압건설기계학회 춘계학술대회	건설현장용 미세먼지 억제 드론에 탑재되는 사판 회전식 액셜 피스톤 펌프 개발	모지즈	2020.07.16	금오공과대학교	대한민국
6	2020년 한국건축시공학회 춘계학술발표대회	건설현장의 비산먼지 발생실태에 관한 설문조사	한재구	2020.06.20	KT 대전 인재개발원	대한민국
7	2020년 한국건축시공학회 춘계학술발표대회	단지조성공사의 미세먼지 측정 및 GIS Mapping을 통한 미세먼지 측정	김영현	2020.06.20	KT 대전 인재개발원	대한민국
8	2021년 건축시공학회 춘계학술대회	스마트 건설에서 미세먼지 저감을 위한 감시드론 및 Water Fog 분사드론을 활용하기 위한 사전 요건 분석	김영현	2021.04.21	제주국제 컨벤션센터	대한민국
9	2021년 건축시공학회 춘계학술대회	건축공사 현장의 미세(비산)몬자 발생현황과 대책별 효과에 관한 설문조사	한재구	2021.04.21	제주국제 컨벤션센터	대한민국
10	2021년 산학기술학회 춘계학술대회	미세먼지 억제를 위한 물 분사시스템 개발과 드론 활성화 방안 연구	최영민	2021.07.02	제주한화리조트	대한민국

■ 기술 요약 정보 (해당 없음)

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

■ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호
1	2019 ~2021	드론기반의 Water Fog 분사시스템 사양 설계 보고서	2021.01.13	A-1
2	2019 ~2021	Water Fog 분사시스템 요소기술 개발 보고서	2021.01.13	A-2
3	2019 ~2021	Water Fog 분사장치 개발 보고서	2021.01.13	A-3
4	2019 ~2021	시스템 통합 시운전 및 테스트	2021.01.13	A-4
3	2019	미세먼지 및 드론관련 제도·정책 및 연구동향 조사보고서	2019.11.11	B-1
4	2019	건설현장 미세먼지 발생 및 대응수준에 관한 설문조사 보고서	2019.11.11	B-2
5	2019	미세먼지 측정센서 조사 및 요구조건 도출, 시스템운영시 고려사항 도출 보고서	2019.11.11	B-3
6	2019	미세먼지 측정 파일럿 테스트를 통한 GIS Mapping 결과 보고서	2019.11.11	B-4
7	2019	국외 건설현장 미세먼지 저감사례 벤치마킹 보고서(중국)	2019.11.11	B-5
8	2020	미세먼지 스마트감시 및 Water Fog기반 저감장비 통합운영시스템 개념 설계 보고서	2020.10.28	B-6
9	2020	미세먼지 스마트 감시장비 1차 프로토타입 구축 보고서	2020.10.28	B-7
10	2020	미세먼지 스마트 감시장비 운영 기초시스템 구축 및 현장 테스트 보고서	2020.10.28	B-8
11	2021	Water Fog 분사시스템과의 연계 및 테스트	2022.01.13	B-9
12	2021	Test-Bed 적용에 따른 성과 분석	2022.01.13	B-10
13	2021	경제성 평가 및 상용화 전략 수립	2022.01.13	B-11
14	2021	개발 기술의 활성화를 위한 정책 개발	2022.01.13	B-12

■ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 (해당 없음)

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

[기술적 성과]

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

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	물 분사를 위한 유압 구동식 비행체	대한민국	한국기계 연구원	2019.07. 23	2019-00 89100	한국기계 연구원	2021. 04.12	2241094	100	
2	특허	미분무수 분사용 고압피스톤 펌프	대한민국	한국기계 연구원	2019.11. 25	2019-01 52696	한국기계 연구원	2021. 08.10	2290219	100	
3	특허	도심지 건설현장을 위한 미세먼지 스마트 감시시스템	대한민국	한국건설 기술연구원	2020.11. 04	2020-01 45702	한국건설 기술연구원	2021. 10.05	2311371	100	

○ 지식재산권 활용 유형 (해당 없음)

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

■ 저작권(소프트웨어, 서적 등) (해당 없음)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율

■ 신기술 지정 (해당 없음)

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

■ 기술 및 제품 인증 (해당 없음)

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

■ 표준화

○ 국내표준 (해당 없음)

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

○ 국제표준 (해당 없음)

번호	표준화단계 구분	표준명	표준 기구명	표준 분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

■ 시제품(시작품) 제작

번호	시제품명 (시작품명)	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	단일 노즐 분사장치	2019.10.14	남건테크	한국기계 연구원	미분무수 분사	-	-	-
2	소형고압펌프	2019.12.13	대하산업기계	한국기계 연구원	미분무수 분사	-	-	-
3	Water Fog 분사장치	2020.12.01	한국기계연구원	한국기계 연구원	Water Fog 시스템 구성	-	-	-
4	드론기반의 미세먼지 스마트 감시장치	2020.09.17	어썸텍	한국건설기술 연구원	미세먼지 측정	-	-	-
5	드론기반의 Water Fog 분사장치	2021.07.29	한국기계연구원	한국기계 연구원	미세먼지 억제	-	-	-
6	통합운영시스템	2021.08.29	CM월드	한국건설기술 연구원	시스템 구성	-	-	-

현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)
1	드론기반의 Smart 감시장치 및 Water Fog 분사시스템	2022.01.06	동부건설	한국기계연구원 한국건설기술연구원	인천검단지구 택지조성 공사현장

기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)
1	기술이전	드론기반의 Water Fog 분사시스템	한진엔지니어링	2022.01.	-	-
2	기술이전 (의향서 확보)	도심지 건설현장을 위한 미세먼지 스마트 감시시스템	㈜한컴어썸텍	2022.01	-	-

사업화 투자실적 (해당 없음)

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

사업화 현황 (해당 없음)

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

매출 실적(누적) (해당 없음)

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

사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과			드론기반의 Smart 감시장치 및 Water Fog 분사시스템		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		1년		
	소요예산(천원)		100,000 천원		
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
			0	500,000천원	500,000천원
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내	0	30	60
		국외	-	-	-
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		개발 기술을 토대로 카트리지 장·탈착 기구 추가 적용 및 분사 억제 성능이 향상된 형태의 미세먼지 억제 시스템 개발의 후속연구로 이어질 수 있음		
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
			-	-	-
	수 출		-	100,000천원	500,000천원

■ 고용 창출 (해당 없음)

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

■ 고용 효과 (해당 없음)

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

■ 비용 절감(누적) (해당 없음)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

■ 경제적 파급 효과 (해당 없음)

(단위: 천원/년)

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

■ 산업 지원(기술지도) (해당 없음)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

■ 기술 무역 (해당 없음)

(단위: 천원/년)

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

[사회적 성과]

■ 법령 반영 (해당 없음)

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

■ 정책활용 내용 (해당 없음)

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

■ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영 (해당 없음)

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

■ 신진연구자 채용 (해당 없음)

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

■ 전문 연구 인력 양성 (해당 없음)

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

■ 산업 기술 인력 양성 (해당 없음)

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

■ 다른 국가연구개발사업에의 활용 (해당 없음)

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)

■ 국제화 협력성과 (해당 없음)

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

■ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
	전시회 참가	2020 로보월드	미세먼지 스마트 감시장비 시작품 전시 및 홍보	2020.10.28.~31.

■ 포상 및 수상 실적 (해당 없음)

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

■ 연구시설·장비 (해당 없음)

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

[그 밖의 성과] (해당없음)

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항 (해당없음)

2) 목표 달성 수준

연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도 (%)
○ 드론기반의 Water Fog 분사시스템 개발	• 드론기반 Water Fog 분사시스템 개발을 위하여 기존 방제용 및 기타 분야에서 활용되는 드론을 분석하여 시스템 사양 결정 및 설계하였고, 미세먼지 억제를 위한 목표 달성을 위하여 Water Fog 분사장치를 구성하여 드론에 탑재하였음 • 미세먼지 억제효과를 향상시키기 위한 미세먼지와 유사한 크기의 미분수를 발생시키기 위한 노즐 선정 및 조립체, 축압기 및 고압펌프 등 요소기술을 개발하여 적용하여 미세먼지 억제율이 70% 이상임을 확인하였음 • 충분한 작업 시간 확보를 위하여 드론을 선정하여 Water Fog 분사시스템을 구성하였으며, 효율적인 작업을 위하여 운영시스템을 제작하여 적용하였고, 테스트를 통하여 성능을 확인하였음	100
○ Smart 감시 장치 개발 : GIS를 활용한 건설현장 미세먼지 mapping 기술개발	• 국내 미세먼지 및 드론관련 제도·정책, 연구동향 조사 및 분석을 실시 –건설분야 전문가 100여명을 대상으로 건설현장 미세먼지 발생 및 대응수준에 관한 설문조사를 통해 건설현장의 미세먼지 수준에 관한 실태조사를 실시하였음 • 미세먼지 측정센서, 드론·미세먼지 관련 GIS활용사례 조사를 실시 –미세먼지 측정센서의 요구조건과 시스템 운영규정 마련시 고려사항을 도출하였음 • GIS기술과 연계한 미세먼지 측정방법 및 Mapping 방안을 도출 –수도권 건설현장을 테스트배드로 선정, 파일롯 테스트를 실시하여 도출방안의 적정성을 검토	100
○ Test- Bed 운용	• 도심지의 소규모 건설현장에서 발생하는 미세먼지 감시 및 억제를 위하여 감시-억제-재측정 및 작업으로 이어지는 시나리오를 개발하였음 • 인천검단지구 산업단지조성 공사현장을 섭외하여 Test-bed를 운영하였고, 전체 시스템이 시나리오에 따라 작업을 수행하였음 • 실제 건설현장에서 Smart 감시장치에 의해 미세먼지 데이터를 수집하여 운영시스템에서 분석하고, Water Fog 분사장치에 의해 억제가 이루어지는 작업이 가능한 것을 확인할 수 있었음	100
○ 경제성 평가 및 상용화 전략 수립	• 기술가치평가실시(2021.9.1.) : 건설현장 스마트 감시 및 저감시스템 대상(관련특허 3건) –로열티공제법, 할인율8.91%, 기술의 경제적수명 15년, 최종로열티율 1.88% –기술성, 권리성, 시장성, 사업성 우수 –평가결과 IP가치평가금액은 1,150.76백만원 –기술가치평가를 근거로 기술이전 추진(기술이전의향서체결, 2022.1.11. 어썸텍, 미세먼지 스마트 감시측정장비기술, 연구종료 후 6개월내 체결완료) • 기술가치평가를 토대로 상용화전략 수립 –시장현황(건설현장 비산먼지분석/저감서비스시장, 스마트 건설기조, 드론의 적용, 환경오염 관련 법규)을 분석하고, 상용화방향을 수립(건설업 체질개선 필요성, 스마트건설, 인공지능 등의 도입 필요성)한 후 상용화목표 도출(수요처의 확대, 기술의 개량 및 보완 등)	100
○ 경제성 평가 및 상용화 전략 수립	• 기술가치평가실시(2021.9.1.) : 건설현장 스마트 감시 및 저감시스템 대상(관련특허 3건) –로열티공제법, 할인율8.91%, 기술의 경제적수명 15년, 최종로열티율 1.88% –기술성, 권리성, 시장성, 사업성 우수 –평가결과 IP가치평가금액은 1,150.76백만원 –기술가치평가를 근거로 기술이전 추진(기술이전의향서체결, 2022.1.11. 어썸텍, 미세먼지 스마트 감시측정장비기술, 연구종료 후 6개월내 체결완료) • 기술가치평가를 토대로 상용화전략 수립 –시장현황(건설현장 비산먼지분석/저감서비스시장, 스마트 건설기조, 드론의 적용, 환경오염 관련 법규)을 분석하고, 상용화방향을 수립(건설업 체질개선 필요성, 스마트건설, 인공지능 등의 도입 필요성)한 후 상용화목표 도출(수요처의 확대, 기술의 개량 및 보완 등)	100
○ 개발 기술의 활성화를 위한 정책 개발	• 드론분야 선제적 규제혁파 로드맵 분석하고, 로드맵에 의한 규제개선 현황을 조사, 분석함 • 일반적인 드론활용에 관한규제, 드론의 도심지 건설현장 사용에 관한 규제와 드론을 활용한 미세먼지 제거에 대한 규제를 조사, 분석함. • 상기의 조사결과와 더불어 타산업과 건설산업의 미세먼지관리 실태를 비교하고 3가지의 정책제안을 도출함	100

4. 목표 미달 시 원인분석

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

○ 축압용기 장착

- 계획단계에서 미분수 분사를 위한 고압(200 bar)의 유체 공급 장치로 축압용기 적용을 계획하였음
- 설계단계에서 시뮬레이션 프로그램을 이용한 분사시스템에 대한 시뮬레이션 분석 결과
  - 축압용기(200 bar)를 적용할 경우, 6분 내 분사압력 및 유량의 급격한 변화 확인
  - 소형 고압펌프를 적용할 경우, 100 bar를 유지하며 유량 0.03L/min로 333.3분 분사 가능 확인
- 물 공급 장치로 소형 고압펌프를 적용한 분사시스템 구성 결정

2) 자체 보완활동

○ Water Fog 분사시스템에 적용 가능한 드론 방제용 펌프 및 소형 기어펌프, 소형 고압 펌프(상용품)에 대해 조사하고, 적합한 펌프를 선정하여 적용하였음

3) 연구개발 과정의 성실성

○ 최초 유체의 고압 공급장치 설계 단계에서 시뮬레이션 S/W 를 활용하여 설계를 검증하여 실패 요인을 줄일 수 있었고, 시뮬레이션 겨로가를 반영하여 시스템을 구성하였음

○ 고압펌프 시작품 제작 및 성능시험을 진행함과 동시에 Water Fog 분사시스템에 적용 가능한 드론 방제용 펌프 및 소형 기어펌프, 소형 고압 펌프(상용품)에 대해 조사하고, 유량 및 압력에 대한 시험을 수행하였음

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 연구개발성과는 드론을 기반으로 미세먼지 감시 및 억제가 가능한 기술로 건설현장에서 발생하는 미세먼지를 신속하게 감시 및 억제함으로써 미세먼지로 인하여 발생하는 사회적 문제를 해결할 수 있을 뿐만아니라 건설현장의 안전사고 및 인력수급 문제 등의 해결에 기여할 수 있는 기술임

- 미세먼지에 대한 별도의 조치가 이행되지 않을 경우 미세먼지로 인한 2024년 사회적 비용은 연간 총 12조 3,259억원, 미세먼지 대비 조치의 미이행으로 발생하는 초과사망자가 19,958명, 호흡기질환으로 인한 입원환자 최대 11,447명, 급성 및 만성기관지염 환자 811,115명 이상이 될 것으로 추정됨.(초미세먼지 배출량이 호흡기계 질환에 미치는 영향, 이영수, 2015). 따라서 본 연구를 통해 장비를 개발할 경우 상당한 사회적 비용을 절감할 수 있는 효과를 기대 할 수 있을 것으로 사료됨
- 건설현장에서 건설근로자의 고령화, 신규 내국인 건설근로자의 유입부족, 양성책 미비 등 숙련공 부족현상에 따른 품질, 생산성 및 경제성이 크게 저하되고 있는 실정임
- 인력에 의하여 수행되던 작업이 장비의 도입으로 자동화함으로써 미세먼지 억제 효과를 높일 수 있으며 생산성의 향상과 비용 절감 효과를 기대할 수 있음
- 건설현장에서의 미세먼지 억제에 따른 작업 생산성 향상을 극대화시키고, 이를 통한 시장성장성을 기대할 수 있음
- 미세먼지로 인한 건강악화 및 안전사고를 미연에 방지하여 인명과 재산피해를 최소화할 수 있으며, 유지관리 비용의 절감이 가능함
- 건설현장 미세먼지 억제를 위한 추가적인 장비 및 시설의 운용이 최소화 할 수 있어 비용절감을 기대할수 있음
- 건설현장 미세먼지로 인한 민원발생을 최소화 할수 있으며 국민 신뢰도를 향상 시킬수 있음

○ Water Fog 분사기술은 건설산업 뿐만아니라 화력발전소 및 기타 산업 분야에 미세먼지 억제 기술로 활용이 가능한 기술임

○ 제안된 드론기반 Water Fog 분사시스템이 시장에 적용되기 위하여 미세먼지 및 드론 운용과 관련 된 법・제도・시방서 등에 대한 표준화(안)를 제안할 수 있음

○ 제안된 시스템의 활용성을 향상시키기 위하여 타 산업에 적용하기 위한 시나리오를 개발할 수 있음

○ 국내 시장 적용을 통하여 해외시장에 진출하기 위한 인지도 향상 및 신뢰성을 확보 할 수 있으며, 첨단기술의 부각으로 고부가가치 산업으로 국제경쟁력을 확보 할 수 있음

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

○ 연구개발성과는 드론을 기반으로 하여 소규모 건설현장의 다양한 작업 공정에 발생하는 미세먼지를 감시하고, 신속하게 억제가 가능한 기술로 연구기간 중 개발된 요소기술을 시스템에 적용하였으며 Test-bed 운용을 통하여 성능이 검증되어 즉각 현장 적용이 가능한 기술임

○ 해당 기술은 Smart 감시 및 Water Fog 분사장치가 통합되어 운영되는 시스템으로 감시 및 억제 작업이 동시에 이루어질 수 있다는 장점이 있으며, 각각의 핵심기술을 분리하여 필요한 분야에 적용함으로써 효과를 얻을 수도 있음

○ 주요 수요처로는 미세먼지로 인해 발생하는 사회적 문제를 해결하기 위한 공공기관 및 건설업체에서 활용이 가능할 것으로 기대되며, 대기환경오염관리업체 등에서 대기오염감시 및 억제 작업 용역 등에 활용이 가능할 것임

○ 국내 미세먼지 억제를 위한 핵심기술로 활용이 가능하며 이를 응용한 다양한 기술의 원천 기술로 활용이 가능함

- 미세먼지가 다량으로 발생하는 화력발전소 및 채석장 등 현장에서 확대 적용이 가능함
- 미세먼지 억제 기술을 바탕으로 하여 임대 및 서비스 등 신산업 창출를 기대할 수 있음
- 도심지 주변 미세먼지 발생지역에 대한 감시 및 모니터링 기능으로 활용이 가능함
- 제안된 기술을 토대로 카트리지 장탈착 기구 추가 적용 및 분사 억제 성능이 향상된 형태의 미세먼지 억제 시스템 개발의 후속연구로 이어질수 있음

7. 참고 문헌

1) 권순박, 송창병, 이창, 이규원, 정현록, 류성윤, 김영준, 이종덕, 2003, PM10/2.5/1/TSP 포집을 위한 다단임팩터 개발, 2003년 한국대기 환경학회 춘계학술대회 논문집

2) 김민영, 조석주, 2004, Portable Aerosol Spectrometer의 실용성 평가, 2004년 한국대기환경학회 춘계학술대회 논문집

3) 김중구, 2006, 분진자동 측정기의 수분응축자동방지시스템, 2006년 한국대기환경학회 춘계학술대회 논문집

4) 김현호, 이재용, 류성윤, 김영준, 2004, PM-10 베타 게이지 부유분진 측정기의 교정기 개발, 2004년 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집

5) 배귀남, 이승복, 문길주, 최병철, 최재천, 박기준, 안정언, 2004, APS와 OPC를 이용한 대기 에어로졸 입경 분포 측정 결과의 비교, 2004년 한국대기환경학회 춘계학술대회 논문집

6) 배귀남, 김민철, 지준호, 이승복, 문길주, 2003, 대기 에어로졸 입경 분포측정기의 특성비교, 2003년 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집

7) 서영화, 이병규, 정용삼, 문종화, 이길용, 심상권, 홍완, 최한후, 1998, 대기분진(PM-10)의 실험실간 동시측정 연구, 1998년 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집

8) 이길용, 윤윤열, 심상권, 김건한, 양명권, 1999, 대기분진 분석에서 공기량 및 바탕값의 영향 조사, 1999년 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집

9) 임종명, 이현석, 장미숙, 이진홍, 2003, Gent sampler와 High-volume air sampler의 분진 농도 비교연구, 2003년 한국대기환경학회 춘계학술대회 논문집

10) 조석주, 최금숙, 여인학, 이민환, 김민영, 김신도, 2003, 환경대기 중 미세먼지(PM-10)의 동시 측정 비교연구, 2004년 한국대기환경학회 춘계학술대회 논문집

11) 최병철, 차주완, 박기준, 최재천, 안정언, 2004, 관측방법이 다른 두 종류의 PM-10 자동 관측기 특성 및 비교 관측자료 분석, 2004년 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집

12) 대기오염공정시험방법

13) 환경관리공단, 2006, 미세먼지 측정자료 정도향상 및 활용을 위한 기술포럼 자료집

14) 환경부, 2008, 황사 및 미세먼지 측정방법 조사 연구

15) 강충민, 박성균, 선우영, 강병욱, 이학성. 서울시 미세입자(PM2.5)의 호흡기질환 사망과의 연관성 연구. 한국대기환경학회지. 22 : 554-563, 2006.

16) 유승도, 차정훈, 김대선, 이종태. 미세먼지가 울산지역 초등학생의 폐기능에 미치는 영향. 한국환경보건학회지. 33 : 365-371, 2007.

17) 환경부. G-7 핵심환경기술개발사업 중 “대기중 미세먼지의 건강위해성 평가기법 개발” 2002.

18) Chang, C. T., C. J. Tsai, C.T. Lee, S. Y. Chang, M. T. Cheng, and H. M.Chein, 2001, Differences in PM-10 concentrations measured by beta gauge monitor and high-vol sampler, Atmos. Env., 35, 5741-5748

19) Chang, C. T., and C. J. Tsai, 2003, A model for the relative humidity effect on the readings of the PM-10 beta-gauge monitor, J. Aerosol Sci., 34, 1685-1697

20) Quok, M., and M. McDougall, 2006, Comparison of the ARB continuous PM-2.5 monitoring network to the PM-2.5 federal reference method network, California Air Resources Boards Report

21) Tsai, C. J., and Y. H. Cheng, 1996, Comparison of two ambient beta gauge PM-10 samplers, JAWM&A, 46, 142-147

22) UK equivqlence program for monitoring of particulate matter, 2006, BV/AQ/AS202209/DH/2396

23) USEPA 40 CFR PART 50

24) Williams, M., and P. Bruckmann, 2002, Guidance to member states on PM-10 monitoring and intercomparisons with the reference method, EC Working Group on Particulate Matter연합뉴스, 초미세먼지 측정 드론 개발 코리아텍 이승재 교수 연구진, 2018.2.4

25) 연합뉴스, 드론 띄워 미세먼지 배출 감시하는 전문팀 발족, 2019.2.19.

26) C-FLY Intelligent Technology, www.cfly-drone.com

27) 2014 Electrolux Design Lab competition, https://www.electroluxgroup.com

28) Failure of dust suppression systems at coal handling plants of thermal power stations a case study, Joshi M, 2009.

부 록

- 부록- 1. 미세먼지 발생 및 대응수준에 관한 설문조사 보고서
- 부록- 2. 국외 건설현장 미세먼지 저감사례 치마킹(중국)
- 부록- 3. 드론기반의 Water Fog 분사시스템 및 운영시스템 매뉴얼
- 부록- 4. 평가시스템 메뉴얼

부록-1 미세먼지 발생 및 대응수준에 관한 설문조사 보고서

제1장

조사 개요

1. 조사 목적

본 조사는 국가 R&D 연구사업으로 도심지 건설 현장의 미세먼지 발생현황과 대응수준에 대한 조사·분석을 통해 건설현장 미세먼지 저감 방안 수립을 위한 기초자료 생산을 목적으로 실시하였다.

2. 조사 설계

구분	내용
조사대상	건설업계의 건설 현장 관리 담당자
표본크기	110명
표본추출방법	전수조사
조사방법	구조화된 설문지를 이용한 집단 면접조사
조사기간	2019년 10월 17일 ~ 10월 24일

3. 응답자 특성

구분		사례수	구성비(%)
전체		110	100.0
전문분야	건축	52	47.3
	토목	37	33.6
	기타	21	19.1
해당 분야 경력	5년 이상 ~ 10년 미만	1	0.9
	10년 이상 ~ 15년 미만	5	4.5
	15년 이상 ~ 20년 미만	10	9.1
	20년 이상	94	85.5

※ 건설현장의 공사 규모 기준

구분	상세설명
대규모현장	환경영향평가제도 적용현장 – 예시 : 도시개발사업 중 사업면적 7만5천㎡ 이상, 주택건설사업 사업면적 9만㎡ 이상, 건축법 연면적합계 10만㎡ 이상
중규모현장	환경영향평가제도 적용은 아니나, 비산먼지 발생사업장 또는 특정공사 사전신고 대상 현장 – 예시 : 건축공사 연면적 1천㎡ 이상
소규모현장	비산먼지 발생사업장 또는 특정공사 사전신고대상에 속하지 않는 현장

제2장

조사 결과 분석

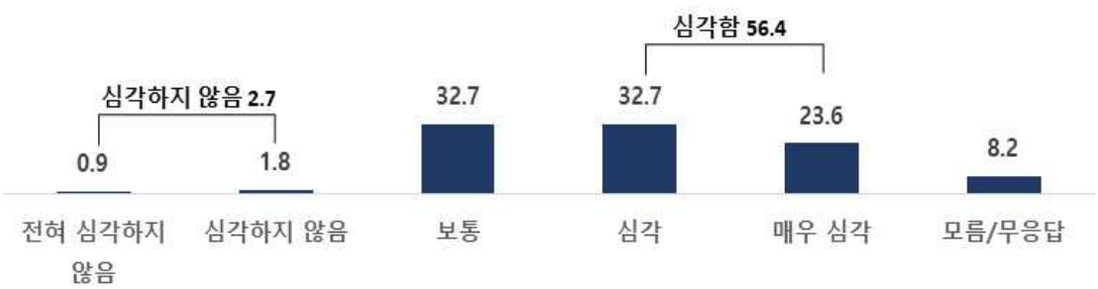
1. 국내 건설공사 현장의 비산먼지 발생 실태

1.1 건설공사 현장의 비산먼지 발생 심각성

1. 귀하께서 경험하신 현장경력을 바탕으로, 국내 건설공사 현장의 비산먼지 발생의 심각성에 대해 5점 척도로 답변하여 주시기 바랍니다.

전혀 심각하지 않음	←			매우 심각
1	2	3	4	5

(단위: %)



[비산먼지 발생 심각성]

국내 건설공사 현장에서 비산먼지 발생의 심각성에 대해 물은 결과, '심각하진 않다'는 응답 3건 2.7%, '심각하다'는 응답 62건 56.4%로 건설 현장 비산먼지 발생의 심각성을 느낀다는 응답이 절반을 넘는 것으로 나타났다. (보통: 36건 32.7%, 모름/무응답: 9건 8.2%)

<비산먼지 발생 심각성>

구분	항목	사례수	전혀 심각하지 않음		심각하지 않음		보통		심각		매우 심각		무응답		(종) 심각하지 않음		(종) 심각	
		N	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
전체		110	1	0.9	2	1.8	36	32.7	36	32.7	26	23.6	9	8.2	3	2.7	62	56.4

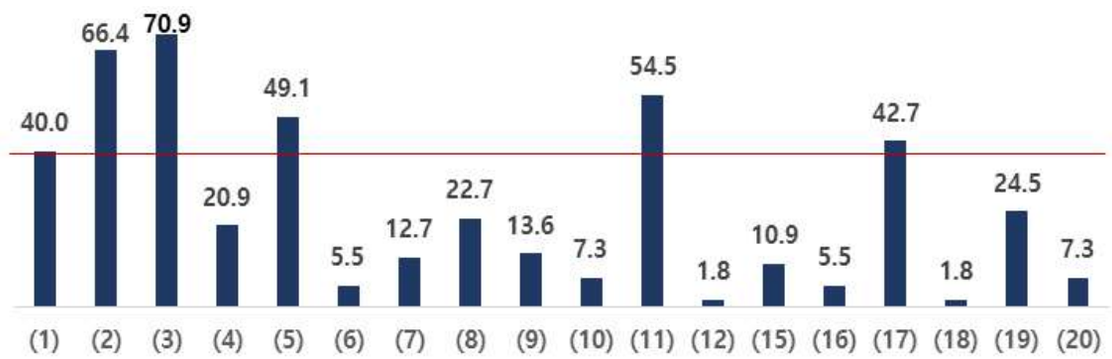
1.2 비산먼지 다발생 공종(복수응답)

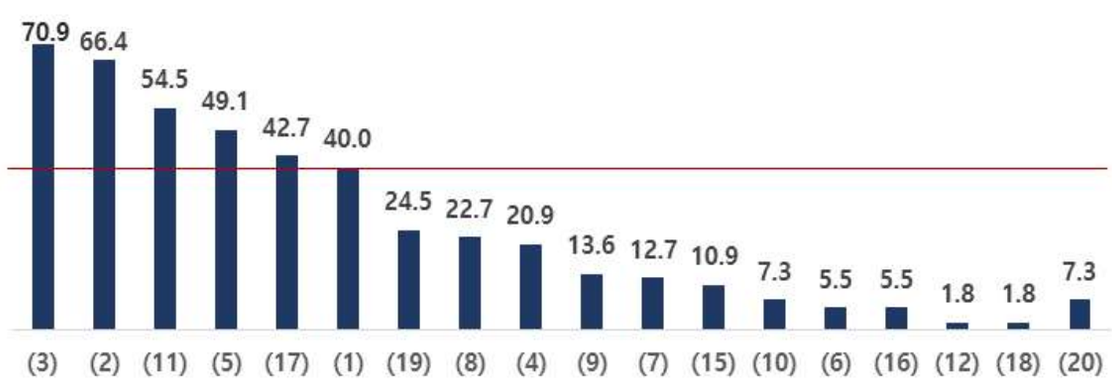
2. (상기 1번 질문 관련) 다음 보기의 건축공사 공종 중 비산먼지 발생이 많은 공종에 대해 가장 많은 공종부터 순차적으로 5개만 선택하여 해당 번호를 표기하여 주시기 바랍니다.

1순위	2순위	3순위	4순위	5순위
( )	( )	( )	( )	( )

(1) 가설공사	(2) 토목공사	(3) 토공 및 흙막이	(4) 지정공사
(5) 철근콘크리트공사	(6) 철골공사	(7) 조적공사	(8) 미장공사
(9) 방수공사	(10) 타일공사	(11) 석공사	(12) 창호공사
(13) 커튼월공사	(14) 유리공사	(15) 수장공사	(16) 가구공사
(17) 도장공사	(18) 금속공사	(19) 부대시설공사	(20) 모름/무응답

(단위: %)





[비산먼지 다발생 공종(복수응답)]

건축공사 공종 중 비산먼지 발생이 많은 공종에 대해서는 '토공 및 흙막이 공사'라는 응답이 78건(70.9%)으로 가장 많았으며, 다음으로 '토목공사'(73건, 66.4%), '석공사'(60건, 54.5%), '철근콘크리트공사'(54건, 49.1%), '도장공사'(47건, 42.7%), '가설공사'(44건, 40.0%) 등의 순으로 나타났다.

<비산먼지 다발생 공종(복수응답)>

구분	항목	사례수	응답수	(1) 가설공사		(2) 토목공사		(3) 토공 및 흙막이		(4) 지정공사		(5) 철근콘크리트공사		(6) 철골공사	
		N	N	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
전체		110	504	44	40.0	73	66.4	78	70.9	23	20.9	54	49.1	6	5.5

구분	항목	사례수	응답수	(7) 조적공사		(8) 미장공사		(9) 수공사		(10) 타일공사		(11) 석공사		(12) 창호공사	
		N	N	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
전체		110	504	14	12.7	25	22.7	15	13.6	8	7.3	60	54.5	2	1.8

구분	항목	사례수	응답수	(15) 수장공사		(16) 가구공사		(17) 도장공사		(18) 금속공사		(19) 부대시설공사		(20) 모름/무응답	
		N	N	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
전체		110	504	12	10.9	6	5.5	47	42.7	2	1.8	27	24.5	8	7.3

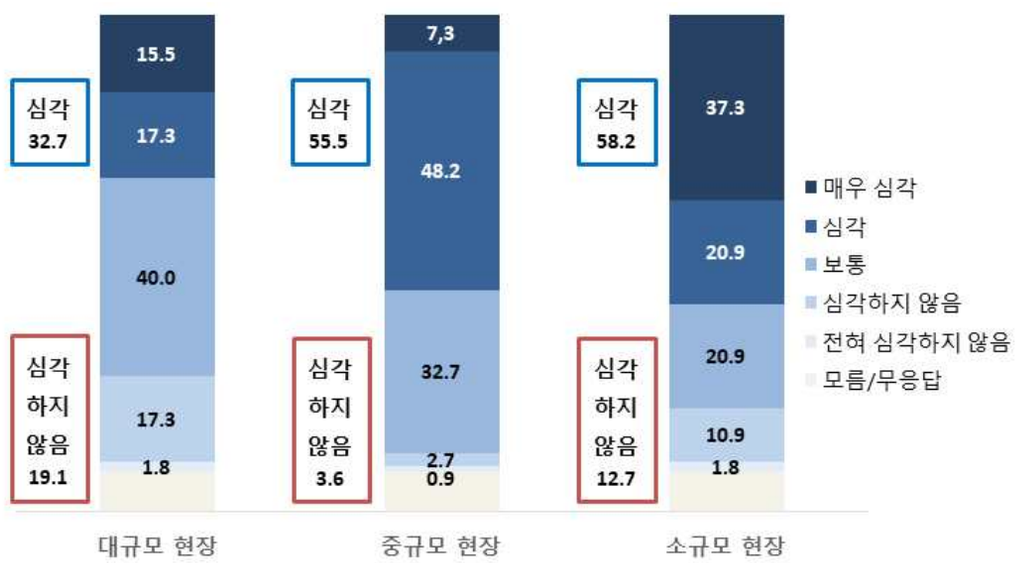
1.3 공사 규모별 비산먼지 발생의 심각성

3. 다음 보기를 참고로, 각 공사 규모별 비산먼지 발생의 심각성에 대해 5점 척도로 답변하여 주시기 바랍니다.

전혀 심각하지 않음	← →			매우 심각
1	2	3	4	5

구분	상세설명	심각성 수준 (5점 척도)
대규모 현장	환경영향평가제도 적용현장 (예시 : 도시개발사업 중 사업면적 7만5천㎡이상, 주택건설사업 사업면적 9만㎡ 이상, 건축법 연면적합계 10만㎡이상)	( )
중규모 현장	환경영향평가제도 적용은 아니나, 비산먼지 발생사업장 또는 특정공사 사전신고 대상 현장 (예시 : 건축공사 연면적 1천㎡이상)	( )
소규모 현장	비산먼지 발생사업장 또는 특정공사 사전신고대상에 속하지 않는 현장	( )

(단위: %)



[공사 규모별 비산먼지 발생의 심각성]

각 공사 규모별 비산먼지 발생 심각성에 대해 대규모 건설현장에서는 '심각' 36건(32.7%), '심각하지 않음' 21건(19.1%)으로 심각하다는 의견이 더 많았으며, 중규모 건설현장에서는 '심각' 61건(55.5%), '심각하지 않음' 4건(3.6%)으로 전체 응답자의 절반 넘게 비산먼지의 심각성을 느끼는 것으로 나타났다. 소규모 건설현장에서도 '심각' 64건(58.2%), '심각하지 않음' 14건(12.7%)으로 심각하다는 의견이 60%에 가까운 것으로 나타났다.

종합적으로 공사 규모가 작을수록 비산먼지 발생의 심각성을 느끼는 응답자 비중이 점점 더 커지는 것

으로 나타났다.

<공사 규모별 비산먼지 발생의 심각성>

구분	사례수	전혀 심각하지 않음		심각하지 않음		보통		심각		매우 심각		무응답		(종) 심각하지 않음		(종) 심각	
	N	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
대규모	110	2	1.8	19	17.3	44	40.0	19	17.3	17	15.5	9	8.2	21	19.1	36	32.7
중규모	110	1	0.9	3	2.7	36	32.7	53	48.2	8	7.3	9	8.2	4	3.6	61	55.5
소규모	110	2	1.8	12	10.9	23	20.9	23	20.9	41	37.3	9	8.2	14	12.7	64	58.2

2. 비산먼지 관리 수준

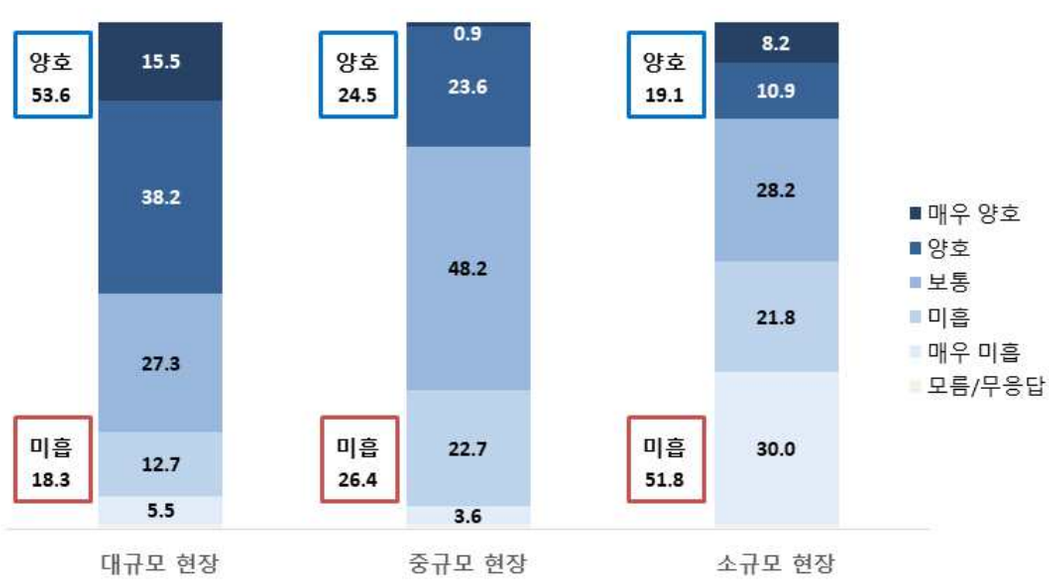
2.1 공사 규모별 비산먼지 관리 수준

4. 다음 보기를 참고로, 각 공사 규모별 비산먼지 관리 수준에 대해 5점 척도로 답변하여 주시기 바랍니다.

매우 미흡	←		→	매우 양호
1	2	3	4	5

구분	상세설명	심각성 수준 (5점 척도)
대규모 현장	환경영향평가제도 적용현장 (예시 : 도시개발사업 중 사업면적 7만5천㎡이상, 주택건설사업 사업면적 9만㎡이상, 건축법 연면적합계 10만㎡이상)	( )
중규모 현장	환경영향평가제도 적용은 아니나, 비산먼지 발생사업장 또는 특정공사 사전신고대상 현장 (예시 : 건축공사 연면적 1천㎡이상)	( )
소규모 현장	비산먼지 발생사업장 또는 특정공사 사전신고대상에 속하지 않는 현장	( )

(단위: %)



[공사 규모별 비산먼지 관리 수준]

각 공사 규모별 비산먼지 관리수준에 대해 대규모 건설현장에서는 '미흡' 20건(18.2%), '양호' 59건(53.6%)으로 비산먼지에 대한 관리수준이 양호하다는 응답이 절반이 넘는 것으로 나타났으며, 중규모 건설현장에서는 '미흡' 29건(26.4%), '양호' 27건(24.5%)으로 미흡하다는 의견과 양호하다는 의견이 비슷하게 나타났다. 소규모 건설현장에서는 '미흡' 57건(51.8%), '양호' 21건(19.1%)으로 미흡하다는 응답이 절반이 넘는 것으로 나타났다.

종합적으로 공사 규모가 작을수록 비산먼지 관리 수준이 미흡하다고 느끼는 응답자 비중이 점점 더 커지는 것으로 나타났다.

<공사 규모별 비산먼지 관리 수준>

구분	사례수	매우 미흡		미흡		보통		양호		매우 양호		무응답		(종) 미흡		(종) 양호	
	N	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
대규모	110	6	5.5	14	12.7	30	27.3	42	38.2	17	15.5	1	0.9	20	18.2	59	53.6
중규모	110	4	3.6	25	22.7	53	48.2	26	23.6	1	0.9	1	0.9	29	26.4	27	24.5
소규모	110	33	30.0	24	21.8	31	28.2	12	10.9	9	8.2	1	0.9	57	51.8	21	19.1

2.2 공사 규모별 '건설기계·장비의 배출 매연' 관리 수준

5. 다음 보기를 참고로, 각 공사 규모별 '건설기계·장비의 배출매연' 관리 수준에 대해 5점 척도로 답변하여 주시기 바랍니다.

매우 미흡	←		→	매우 양호
1	2	3	4	5

구분	상세설명	심각성 수준 (5점 척도)
대규모 현장	환경영향평가제도 적용현장 (예시 : 도시개발사업 중 사업면적 7만5천㎡이상, 주택건설사업 사업면적 9만㎡ 이상, 건축법 연면적합계 10만㎡이상)	( )
중규모 현장	환경영향평가제도 적용은 아니나, 비산먼지 발생사업장 또는 특정공사 사전신고 대상 현장 (예시 : 건축공사 연면적 1천㎡이상)	( )
소규모 현장	비산먼지 발생사업장 또는 특정공사 사전신고대상에 속하지 않는 현장	( )

(단위: %)



[공사 규모별 '건설기계·장비의 배출 매연' 관리 수준]

각 공사 규모별 '건설기계·장비의 배출 매연' 관리수준에 대해 대규모 건설현장에서는 '미흡' 24건(21.8%), '양호' 56건(50.9%)으로 '건설기계·장비의 배출 매연' 관리수준이 양호하다는 응답이 절반에 이르는 것으로 나타났으며, 중규모 건설현장에서는 '미흡' 26건(23.6%), '양호' 25건(22.7%)으로 미흡하다는 의견과 양호하다는 의견이 비슷하게 나타났다. 소규모 건설현장에서는 '미흡' 61건(55.5%), '양호' 24건(21.8%)으로 미흡하다는 응답이 절반이 넘는 것으로 나타났다.

종합적으로 공사 규모에 따른 비산먼지 관리수준과 마찬가지로 공사 규모가 작을수록 '건설기계·장비의 배출 매연' 관리수준이 미흡하다고 느끼는 응답자 비중이 점점 더 커지는 것으로 나타났다.

<공사 규모별 '건설기계·장비의 배출 매연' 관리 수준>

구분	사례수	매우 미흡		미흡		보통		양호		매우 양호		무응답		(종) 미흡		(종) 양호	
	N	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
대규모	110	5	4.5	19	17.3	29	26.4	44	40.0	12	10.9	1	0.9	24	21.8	56	50.9
중규모	110	5	4.5	21	19.1	58	52.7	22	20.0	3	2.7	1	0.9	26	23.6	25	22.7
소규모	110	24	21.8	37	33.6	24	21.8	20	18.2	4	3.6	1	0.9	61	55.5	24	21.8

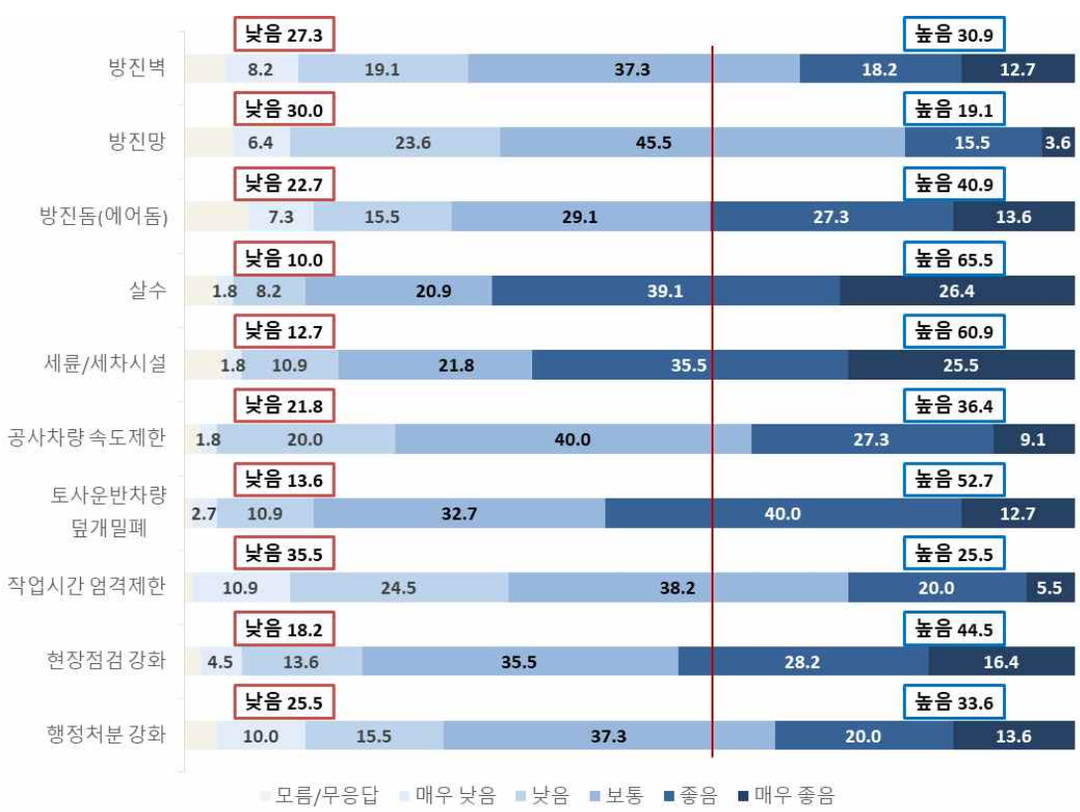
2.3 비산먼지 저감수단별 효과성

3. 다음 보기를 참고로, 각 공사 규모별 비산먼지 발생의 심각성에 대해 5점 척도로 답변하여 주시기 바랍니다.

매우 낮음	← →			매우 높음
1	2	3	4	5

구분	저감효과 (5점 척도)	구분	저감효과 (5점 척도)
(1) 방진벽	( )	(6) 공사차량 속도제한	( )
(2) 방진망	( )	(7) 토사운반차량 덮개 밀폐	( )
(3) 방진돔(에어돔)	( )	(8) 작업시간 엄격제한	( )
(4) 살수	( )	(9) 현장점검 강화	( )
(5) 세륜/세차시설	( )	(10) 행정처분 강화	( )

(단위: %)



[비산먼지 저감수단별 효과성]

건설공사 현장의 비산먼지 저감수단별 효과에 대해서는 전체적으로 '살수'(72건, 65.5%), '세륜/세차시설'(67건, 60.9%), '토사운반차량 덮개밀폐'(58건, 52.7%), '현장점검 강화'(49건, 44.5%), '방진돔(에어돔)'(45건, 40.9%) 등의 순으로 비산먼지 저감 효과가 크다는 응답이 많은 것으로 나타났다.

반면, '방진망'(21건, 19.1%), '작업시간 엄격제한'(28건, 25.5%) 등에 대해서는 비산먼지 저감 효과가 '높다'는 응답이 상대적으로 적어 방진망이나 작업시간을 제한하는 방법에 대해서는 상대적으로 비산먼지 저감효과를 크게 느끼지 못하는 것으로 나타났다.

<비산먼지 저감수단별 효과성>

구분	사례수	매우 낮음		낮음		보통		높음		매우 높음		무응답		(종) 낮음		(종) 높음	
	N	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
방진벽	110	9	8.2	21	19.1	41	37.3	20	18.2	14	12.7	5	4.5	30	27.3	34	30.9
방진망	110	7	6.4	26	23.6	50	45.5	17	15.5	4	3.6	6	5.5	33	30.0	21	19.1
방진돔(에어돔)	110	8	7.3	17	15.5	32	29.1	30	27.3	15	13.6	8	7.3	25	22.7	45	40.9
살수	110	2	1.8	9	8.2	23	20.9	43	39.1	29	26.4	4	3.6	11	10.0	72	65.5
세륜/세차시설	110	2	1.8	12	10.9	24	21.8	39	35.5	28	25.5	5	4.5	14	12.7	67	60.9
공사차량 속도제한	110	2	1.8	22	20.0	44	40.0	30	27.3	10	9.1	2	1.8	24	21.8	40	36.4
토사운반차량 덮개밀폐	110	3	2.7	12	10.9	36	32.7	44	40.0	14	12.7	1	0.9	15	13.6	58	52.7
작업시간 엄격제한	110	12	10.9	27	24.5	42	38.2	22	20.0	6	5.5	1	0.9	39	35.5	28	25.5
현장점검 강화	110	5	4.5	15	13.6	39	35.5	31	28.2	18	16.4	2	1.8	20	18.2	49	44.5
행정처분 강화	110	11	10.0	17	15.5	41	37.3	22	20.0	15	13.6	4	3.6	28	25.5	37	33.6

부록 (조사 설문지)

ID			

건설현장 미세먼지 발생 및 대응 수준에 관한 설문조사

안녕하십니까?

최근 도심지를 비롯해 주거지역의 미세먼지 및 황사로 인한 피해가 증가하고 있으며, 미세먼지로 인한 인명 피해가 가중되고 있어 사회적 문제가 되고 있습니다. 실제 서울시민의 58.2%는 심각한 환경문제로 대기오염을 인식하고 있으며, 대기오염 예경보에 따라 미세먼지에 항상 신경을 쓰며 대응하는 시민이 과거에 비해 크게 증가하고 있는 것으로 조사되고 있습니다.

이에 한국건설기술연구원에서는 국가 R&D 연구사업으로 도심지 건설현장 미세먼지 저감방안에 관한 연구를 수행 중에 있습니다. 이와 관련하여 현재 건설현장의 미세먼지 발생현황과 대응수준 등 실태조사를 하고자 하며, 조사 결과는 미세먼지 저감 방안 수립의 기초자료로 활용하고자 합니다.

설문에 대한 응답은 통계법 제33조의 규정에 의거하여 통계적 목적 이외의 다른 용도로는 사용되지 않습니다. 또한 개인의 비밀을 보장하기 위하여 무기명으로 작성되며, 귀하께서 주신 의견은 연구자료로만 사용됩니다.

2019. 10.

연구수행기관 : 한국건설기술연구원

연 구 책 임 자 : 한재구 수석연구원

※ 2019년 10월 일까지 이메일로 제출하여 주시기 바랍니다.

이메일 : 한재구(jghan@kict.re.kr), 김영현(covolt@kict.re.kr)

주소 : (411-712) 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283(대화동 2311)
한국건설기술연구원 건설정책연구소 건설시스템연구센터

문의 : 한재구 수석연구원 (031-910-0574), 김영현 연구원 (031-910-0032)

■ 응답자 일반사항: 아래 공란에 해당번호를 표기해주시고, 기타는 직접 입력바랍니다.

구분	보기
응답자 전문분야 ( )	① 건축 ② 토목 ③ 기타( )
경력 ( )	① 1년 이상~5년 미만 ② 5년 이상~10년 미만 ③ 10년 이상~15년 미만 ④ 15년 이상~20년 미만 ⑤ 20년 이상

1. 귀하께서 경험하신 현장경력을 바탕으로, 국내 건설공사 현장의 비산먼지 발생의 심각성에 대해 5점 척도로 답변하여 주시기 바랍니다. ( )

전혀 심각하지 않음				매우 심각
1	2	3	4	5

2. (상기 1번 질문 관련) 다음 보기의 건축공사 공종 중 비산먼지 발생이 많은 공종에 대해 가장 많은 공종부터 순차적으로 5개만 선택하여 해당 번호를 표기하여 주시기 바랍니다.

1순위	2순위	3순위	4순위	5순위
( )	( )	( )	( )	( )

(1)가설공사	(2)토목공사	(3)토공 및 흙막이	(4)지정공사
(5)철근콘크리트공사	(6)철골공사	(7)조적공사	(8)미장공사
(9)방수공사	(10)타일공사	(11)석공사	(12)창호공사
(13)커튼월공사	(14)유리공사	(15)수장공사	(16)가구공사
(17)도장공사	(18)금속공사	(19)부대시설공사	

3. 다음 보기를 참고로, 각 공사 규모별 비산먼지 발생의 심각성에 대해 5점 척도로 답변하여 주시기 바랍니다.

전혀 심각하지 않음				매우 심각
1	2	3	4	5

구분	상세설명	심각성 수준 (5점 척도)
대규모현장	환경영향평가제도 적용현장 (예시 : 도시개발사업 중 사업면적 7만5천㎡이상, 주택건설사업 사업면적 9만㎡이상, 건축법 연면적합계 10만㎡이상)	( )
중규모현장	환경영향평가제도 적용은 아니나, 비산먼지 발생사업장 또는 특정공사 사전신고대상 현장 (예시 : 건축공사 연면적 1천㎡이상)	( )
소규모현장	비산먼지 발생사업장 또는 특정공사 사전신고대상에 속하지 않는 현장	( )

4. 다음 보기를 참고로, 각 공사 규모별 비산먼지 관리 수준에 대해 5점 척도로 답변하여 주시기 바랍니다.

매우 미흡	←		→	매우 양호
1	2	3	4	5

구분	상세설명	관리수준 (5점 척도)
대규모현장	환경영향평가제도 적용현장 (예시 : 도시개발사업 중 사업면적 7만5천㎡이상, 주택건설사업 사업면적 9만㎡이상, 건축법 연면적합계 10만㎡이상)	( )
중규모현장	환경영향평가제도 적용은 아니나, 비산먼지 발생사업장 또는 특정공사 사전신고대상 현장(예시 : 건축공사 연면적 1천㎡이상)	( )
소규모현장	비산먼지 발생사업장 또는 특정공사 사전신고대상에 속하지 않는 현장	( )

5. 다음 보기를 참고로, 각 공사 규모별 '건설기계·장비의 배출매연' 관리 수준에 대해 5점 척도로 답변하여 주시기 바랍니다.

매우 미흡	←		→	매우 양호
1	2	3	4	5

구분	상세설명	관리수준 (5점 척도)
대규모현장	환경영향평가제도 적용현장 (예시 : 도시개발사업 중 사업면적 7만5천㎡이상, 주택건설사업 사업면적 9만㎡이상, 건축법 연면적합계 10만㎡이상)	( )
중규모현장	환경영향평가제도 적용은 아니나, 비산먼지 발생사업장 또는 특정공사 사전신고대상 현장(예시 : 건축공사 연면적 1천㎡이상)	( )
소규모현장	비산먼지 발생사업장 또는 특정공사 사전신고대상에 속하지 않는 현장	( )

6. 다음 보기를 참고로, 건설공사현장의 비산먼지 저감수단별 효과가 어느 정도인지에 대해 5점 척도로 답변하여 주시기 바랍니다. (※저감수단별로 응답)

매우 낮음	← →			매우 높음
1	2	3	4	5

구분	저감효과 (5점 척도)	구분	저감효과 (5점 척도)
1.방진벽	( )	6.공사차량 속도제한	( )
2.방진망	( )	7.토사운반차량 덮개밀폐	( )
3.방진돔(에어돔)	( )	8.작업시간 엄격제한	( )
4.살수	( )	9.현장점검 강화	( )
5.세륜/세차시설	( )	10.행정처분 강화	( )

<설문조사에 응해주셔서 감사합니다>

부록-2 국외 건설현장 미세먼지 저감사례 벤치마킹(중국)

1. 목적 및 배경

현재 진행중인 “도심지 건설현장 미세먼지 억제를 위한 Smart 감시 및 드론 기반의 Water Fog 분사시스템 개발(1차년도)” 연구는 도심지 건설현장에서 발생하는 미세먼지를 억제하기 위한 Smart 감시 및 드론 기반의 Water Fog 분사시스템을 개발하고자 하는 것으로 미세먼지 감지 장치 및 센서에 의해 생성된 데이터를 드론에 송출하고 장착된 미세먼지 억제제 분사장치를 이용하여 미세먼지를 억제하는 시스템을 구축하는데 목적이 있음

- 중국은 최근 시안에 60m 높이의 추마이타를 세우는 등 미세먼지 저감과 관련한 많은 노력을 하고 있으며 특히 북경은 미세먼지 저감관련 각종 제도등이 시행되고 있는 것으로 알려져 있으며, 북경 근처의 천진 화력발전소에서 발생하는 분진을 저감하기 위해 다양한 노력을 하고 있음

이에 주관연구기관인 한국기계연구원, 참여기업인 한진로보틱스와 같이 연구 기획당시부터 계획되어 있던 중국 건설현장 방문, 중국의 미세먼지 저감을 위한 정책조사 등 본 연구에서 고려할 점을 점검하기 위해 중국(베이징) 현지출장을 다녀왔으며, 다음은 출장 주요 결과임.

2. 주요 조사결과

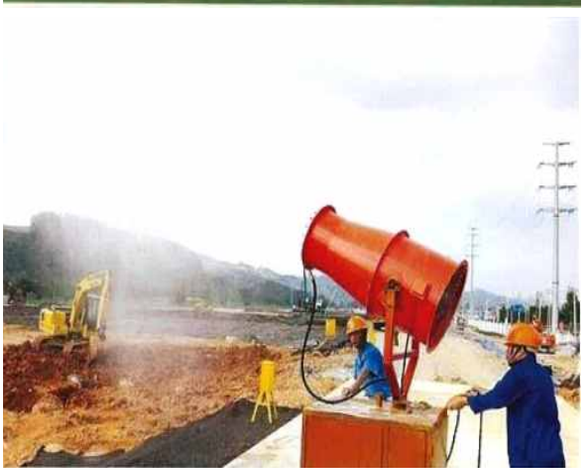
■ 중국 건설현장의 7가지 준수사항

- 시공현장 100% 펜스설치
- 미포장자재 100% 덮기
- 출입차량 100% 세척
- 시공현장 메인도로 100% 경화
- 철거현장 100% 습식작업
- 쓰레기 반입현장 100% 밀폐 운송
- 원격감시시스템 100% 설치










■ 건설분야 미세먼지 저감을 위한 정책방향

○ 대기 초미세먼지 오염방지 종합기술정책은 중국 환경보호법과 중국 대기오염방지법 등 법률 법규의 관철을 위하여 환경질량을 개선하고 환경오염을 방지하며 인체건강과 생태안전을 보장하고 기술의 진보를 촉진하기 위한 지침성 문건임

– 미세먼지 오염을 공업오염원, 이동오염원, 비산먼지오염원, 생활오염원, 농업오염원을 위주로 하여 원천적인 삭감을 강화하여야 하며, 구역 분리와 분류 통제를 실시하도록 하고 있음

○ 대기 초미세먼지 오염방지 종합기술정책에 따른 비산먼지 오염의 방지

– 비산먼지 오염원은 도로의 비산먼지, 시공현장의 비산먼지, 분말상태 물료 저장소의 비산먼지, 도시 나대지에서 일어나는 먼지 등을 위주로 오염방지에 중점을 두도록 함. <도시 비산먼지 오염방지 기술규범>을 참조하여 도시 비산먼지종합방지를 실시하여야 하는 바, 이를 위하여 도시 나대지면적을 저감시키며, 수목의 식재와 초지 등의 파종을 실시하는 등 녹화율을 제고시키도록 하며, 적정한지면의 경화조치를 취하여 비산먼지오염을 억제시켜야 함

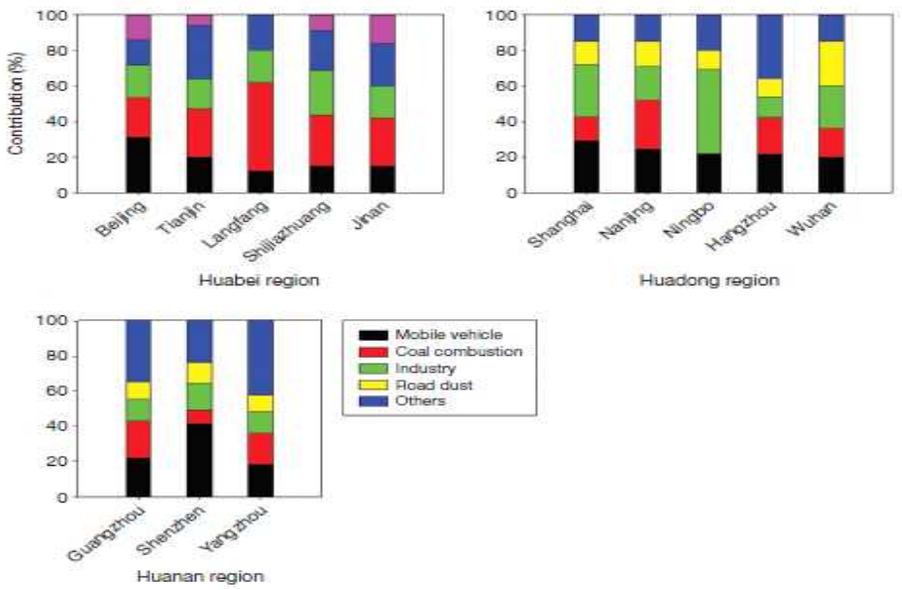
– 각종 시공현장, 각종 분말상태의 물료 저장소, 각종 항구의 상·하적 부두 등에 대하여는 외부와의 차단벽, 먼지 방지망과 먼지 억제제의 살포 등 유효한 먼지 방지조치, 먼지 억제조치를 취하여 입자상 물질의 산일을 방지하여야 함. 차량에는 청소장치를 설치하여야 하며, 차량을 운행할 때에는 항상 청결을 유지하여야 함. 또한 각종 토건 공정에는 미리 섞어 놓은 콘크리트를 사용하도록 장려하여야 함

– 분말상태의 물료 및 흙찌꺼기를 운반하는 차량은 밀폐하여 운반하여야 하며, 감독관리를 강화하고 산일을 방지하여야 함. 또한 적시에 도로의 청소, 물로 씻어내기, 살수작업을 시행하여야 하여 도로의 비산먼지를 저감시켜야 함. 원림녹화설계와 시공관리를 규범화하여 원림녹지의 토양이 도로를 향하여 유실되지 않도록 방지하여야 함

■ 기타 중국의 미세먼지 발생현황, 피해 등

○ 직할시 및 각 성시별 주요 도시의 대기 중 PM2.5의 주요 배출원과 1차 배출원별 기여율 추정 결과는 각 지방정부의 홈페이지를 통해 공개되고 있음

– 이 중 베이징, 텐진, 석가장, 난징, 상하이, 항저우, 닝보, 광저우, 선전, 지난, 우한, 양저우, 랑팡의 13개 도시에서 발표된 배출원 추정결과는 다음과 같음



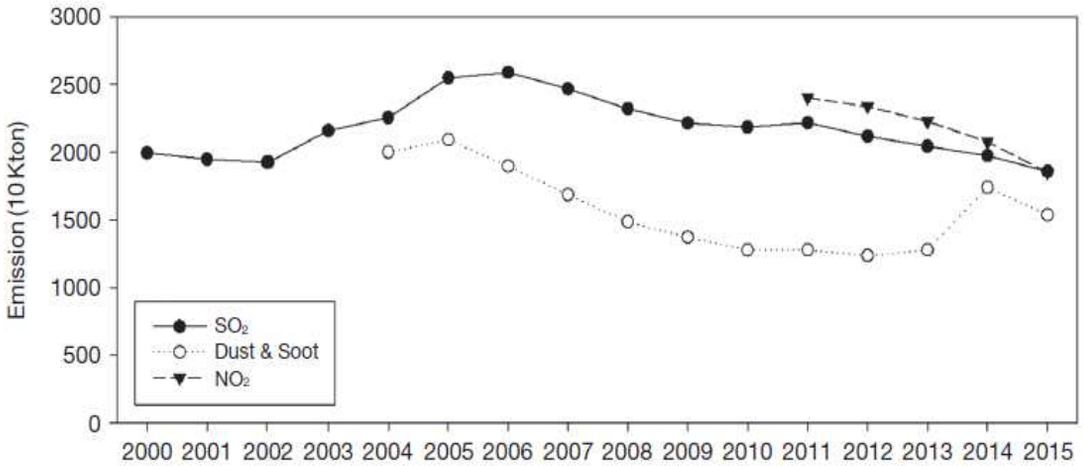
[중국의 13개 도시에서 $PM_{2.5}$의 배출원별 기여율]

- 각 도시에서 최대 9개 배출원의 영향이 관찰되었으며, 이 중 자동차 배출원 12~41%, 도로 재비산먼지 9~30%, 산업 배출원 12~47%의 기여율 범위에 영향을 미치고 있음
- 도로 재비산먼지의 영향은 화북지역 도시에서 14~30% 수준으로 화남지역 도시의 9~12%보다 다소 높은 반면, 자동차 배출원의 기여율은 북부 도시 보다 남부 도시에서 평균 9%, 최대 29% 가량 높게 나타남
- 특히 BTH 지역*에서 석탄연소, 자동차 배출원, 산업배출원, 비산먼지가 대기 중 PM2.5 농도에 미치는 영향은 평균 91%로 나타나 이 지역 대기 중 미세먼지 농도 저감을 위해서는 이들 배출원에 대한 관리가 우선적으로 필요

  * 2012년 중국 생태환경부에서 Beijing-Tianjin-Herhei 등 13개 도시를 포함한 지역을 대기오염 중점관리 대상 지역으로 선정)

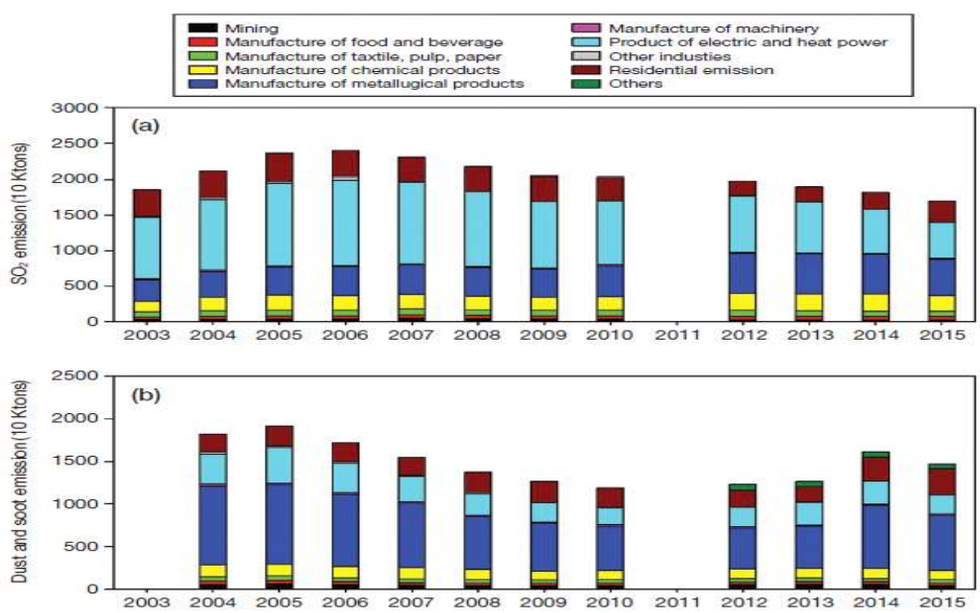
○ 중국통계연보에 따르면 SO_2 배출량 통계는 1990년대 후반부터 산출되기 시작되었고, 그 외 검댕(Soot)과 먼지(Dust)의 배출량 통계는 2004년, NO_2 배출량 통계는 2011년부터 공식적으로 발표되었음

- 전체 배출량을 공업부문, 생활부문, 자동차, 집중오염관리시설로 크게 구분하여 비교한 결과, SO_2와 분진의 연간배출량은 공업부문의 비중이 80% 이상, 나머지는 대부분 생활부문이 차지하였으며, NO_2의 경우 공업부문이 63~72%, 기타 배출원이 7~33% 가량 기여하는 것으로 나타남
- 특히, 중국 내 대형배출시설에 대한 강력한 배출규제 정책으로 공업부문의 배출량 기여율은 점차 감소하는 추세인 반면, 최근 중국 내 자동차 등록대수의 기하급수적인 증가의 영향으로 NOx에 대한 자동차 배출가스의 기여율과 분진에 대한 비산먼지와 같은 생활배출원의 기여율은 점차 증가하고 있음



[중국의 (a) SO_2, (b) 먼지 및 검댕, (c) NO_2 연간 총 배출량 변화 추이]

- 중국통계연보에 따르면 제조업을 세분화한 산업 유형별 오염물질 배출량 변화는 다음 그림과 같음
  - SO_2는 전력 및 열에너지 생산업에서의 배출 비중이 약 50% 전후로 나타났으며, 2007년 이후 관찰된 SO_2 연간배출량 감소는 이러한 에너지 생산업에서의 SO_2 배출량 감소에 기인한 것으로 나타난 것임
  - 분진 배출량의 경우, 철강을 포함한 금속산업 배출원의 영향이 약 50%, 전력 및 열에너지 생산업이 약 20% 가량 기여하는 것으로 나타났음



[산업과 주거 분야에서 (a) SO_2, (b) 먼지와 검댕의 배출량]

■ 중국의 미세먼지 저감을 위한 노력들(측정, 진단, 저감 등에 관한)

- 중국 생태환경부에서는 2010년 전후로 심각한 미세먼지 오염이 빈번히 발생함에 따라 2012년 10월 PM2.5를 포함한 환경기준물질들에 대한 환경대기질기준을 강화(GB 3095-2012)하고, 중앙정부 차원의 PM2.5 모니터링 네트워크를 추가적으로 구축함

- 중국 내 일반 도시지역에 적용되는 PM10, PM2.5에 대한 2급 기준 농도는 WHO 권고기준보다 일평균은 3배, 연평균은 3.5배 높은 수준이고, 우리나라의 2011년 개정된 PM10 대기환경기준에 비해 일평균은 1.5배, 연평균은 1.4배, 2018년 3월 시행된 PM2.5 환경기준에 비해 일평균은 2.1배, 연평균은 2.3배로 여전히 국제 환경기준에 비해 높은 수준임

◎ 중국 국무원에서는 심각한 스모그로 인해 일반인들의 건강상 피해가 우려됨에 따라 2013년 9월 "대기오염방지 행동계획('13~'17)"을 배포하여 현재까지 시행 중에 있음.

- 이는 2017년까지 2급 행정구역 단위인 지급 이상 전국 285개 도시의 PM2.5 농도를 2012년 대비 10% 이상 감축하는 것을 목표로 함
- 대기오염방지 행동계획에 대한 국무원의 통지(국발 [2013] 37호), 일명 "대기10조"를 골자로 한 다양한 대기오염개선대책 및 오염물질 배출 저감 방안을 각 성시별로 마련·시행하도록 하고 있음

Table 1. Ten actions in China's Air Pollution Prevention and Control Action Plan (MEP, 2013a).

Items	Contents
1	Increase effort of comprehensive control and reduce emission of multi-pollutants
2	Optimize the industrial structure and promote industrial restructure
3	Accelerate the technology transformation and improve the innovation capability
4	Adjust the energy structure and increase the clean energy supply
5	Strengthen environmental thresholds and optimize industrial layout
6	Emphasize the role of market mechanism and improve environmental economic policies
7	Improve law and regulation system and enhance the supervision
8	Establish the regional coordination mechanism and the integrated region environmental management
9	Establish monitoring and warning system. Cope with heavy pollution weather
10	Clarify the responsibilities of the government, enterprise and society. Mobilize public to participate

◎ 본격적인 대기오염 관리를 위한 환경법령 강화는 2015년부터 추진됨. 2015년 1월에는 1989년 시행 이후 처음으로 환경보호법을 개정하였으며, 기존 47개 조항에 위법 행위 제재 강화 등의 내용을 추가하여 70개 조항으로 확대함

◎ 2016년 1월에는 대기오염방지법을 15년 만에 개정하면서, 각 지방정부에 새롭게 강화된 대기환경기준 및 배출기준을 달성하도록 강제할 수 있는 근거를 마련함

- 개정된 법에는 대규모 산업시설에 대기오염 방지설비 설치를 의무화하는 공업오염방지 조항과 비산먼지 및 농업활동에 대한 오염방지 조항이 추가되었고, 중대대기오염 대응 규정을 신설하여 심각한 고농도 오염사례에 대비해 대기오염 관측 및 예경보, 비상대응 체계를 정부 차원에서 마련하도록 하였음
- 이를 근거로 현재 배출량 총량억제, 자동차 관리 및 석탄연료 사용량 감축, 위법행위에 대한 처벌 강화 등이 엄격히 시행되고 있음

◎ 중국 생태환경부에서는 2012년 베이징, 텐진, 허베이 등 13개 도시를 포함한 징진지(BTH, Beijing- Tianjin-Hebei) 지역을 대기오염 중점 관리 대상 지역으로 선정하여 2016년부터 2017년까지 더욱 강력한 오염 관리 대책을 시행 중임

- 베이징의 PM2.5 농도는 2013년 이후 2015년까지 매년 감소하고 있고 대기오염물질 배출총량도 함께 감소 하였으나, 대규모 산업시설들이 밀집해 있는 허베이, 텐진 지역과 함께 SO_2, NOx, 먼지 배출량이 전국 평균의 각각 3.5배, 4.3배, 5.1배 수준으로 여전히 대기오염이 심각함

– “BTH 지역 대기오염방지 강화조치(’16~’17)”는 이 지역 PM2.5 농도를 2012년 기준으로 25% 감축, 특히 베이징 연평균 농도를 60 μg/m^3 수준까지 억제하는 것을 목표로 하고 있음. 이를 위해 다음 표와 같은 10대 계획을 마련하였으며, 이는 석탄 연료사용 개선, 산업시설 규제 강화, 자동차 배출가스 규제 강화, VOCs 관리 강화 방안 등을 포함함

* 베이징은 2017년까지 연평균 PM2.5 농도 58 μg/m^{3}로 대기질 개선목표를 달성하였음을 베이징 환경보호국에서 공식적으로 발표

Table 2. Strengthened air pollution prevention and control measures in Beijing-Tianjin-Hebei Region (2016-2017) (MEP, 2016a).

Items	Contents
1	Replace coal to clean energy in rural areas by Oct 2017
2	Eliminate the coal-fired boilers under 1/10
3	Design areas not allowed for coal burning and set up coal quality standards
4	Close the outdated, heavy-polluted factories
5	Control the fugitive dust from construction sites, forbid the open-air BBQ, fireworks and biomass open burning
6	Eliminate 200,000 old vehicles and implement EU VI emission standards
7	Control VOC emissions from solvent use, petrochemical industry, gas stations, coating, and printings.
8	Control emissions from coal-fired power plants, iron and steel plants.
9	All large point sources need to apply for emission permit.
10	Limit the production of key industries located in the transport pathways.

- 중국 정부는 2020년까지 각 성시별 대기질 “좋음” 수준 일수 비율을 80% 이상, 성시별 PM2.5 환경기준 달성률 18%를 목표로 하는 “13차 5개년 경제계획(’16~’20)”을 2016년부터 추진하고 있으며, “13.5 생태환경 보호계획”에 따라 에너지·환경보호에 총 17조 위안 을 투자할 예정임
- 그 외에도 중국 제조업 활성화를 위한 “중국제조 2025”의 5대 중점 프로젝트에 에너지 절감, CO2 배출량 감축 등을 포함하는 친환경 성장을 포함시켜 환경개선을 위한 투자를 지속적으로 확대해 나가고 있음

- 중국 정부는 2015년 7월 환경보호 감찰방안을 세우고, 이에 따라 2016년과 2017년에 총 15개 성(省)을 대상으로 폭넓은 환경보호 감찰을 실시
  - 2016년 허베이성에 시범적으로 환경감찰을 실시한 이후 베이징, 상하이, 충칭 등 주요 대도시가 중국 정부의 감찰 대상으로 선정
  - 중앙정부의 감찰조는 1개월간 해당 지역에 머무르면서 민원을 접수하고 조사를 통해 형사처벌까지 집행함.
  - 이 기간 동안 9,976곳의 사업장을 폐쇄하거나 압류시키고, 5,673곳에는 생산 제한 또는 정지 조치를 내렸으며, 4,041명이 법 위반 혐의로 구속함
- 중국은 2015년 중국과학원 지구환경연구소가 공기정화탑을 산시성 시안에 세워 미세먼지를 제거하는 데 효과가 입증되었다고 발표함. 또한 2016년에는 베이징이나 톈진에도 이와 비슷한 공기정화탑을 설치하였으나, 이러한 방법은 도시 전체의 미세먼지를 제거하기에는 매우 제한적이었음
- 미세먼지의 정확한 예보를 위해 기상예보모델로 Global and Regional Assimilation and Prediction System을사용하고 있음
- 자동차 배기가스는 지속적으로 발생하는 문제가 있어 자전거 친화적인 도시로 바꾸기 위한 방안으로 최신 통신기술과 GPS, IoT(사물인터넷) 등을 자전거에 접목한 스마트 자전거(SEMS: SmartE-Bike Monitoring Service)도 개발되어 보급 확산 중에 있음
  - 중국의 바이두에서 개발한 스마트자전거는 GPS가 내장되어 있어 위치 추적이 가능하고 자가발전 방식을 사용하여 전력을 생산하고,스마트폰과 연동하여 실시간으로 속도 등을 알려줌

3. 소결 및 시사점

- 본 출장을 통해 미세먼지 저감을 위해 물을 사용하는 것은 물이 증발한 이후 재비산에 따라 효과가 적다는 것, 따라서 물이 아닌 새로운 친환경 용액의 사용이 필요함. 또한 배출 전 오염원을 줄이는 것이 배출 후 미세먼지를 줄이는 효과에서 투입비용, 효과 등이 매우 큼으로 건설현장에서도 오염원을 선제적으로 줄일 수 있는 방향으로 기술개발과 제도개선수립이 이루어져야 할 것임. 특히, 중국의 건설사는 미세먼지 저감기술을 회사가 보유한 중요한 기술력으로 바라보고 있으며, 입찰의 주요 요소로 작용하는 것에 대해 우리나라에서도 벤치마킹으로 눈여겨 볼만함.

부록-3 드론기반의 Water Fog 분사시스템 및 운영시스템 매뉴얼

드론기반의 Water Fog 분사시스템 및 통합운용시스템 매뉴얼

2022. 03

한국기계연구원

운용 매뉴얼 목차

1장. 특징 및 소개

1.1 Water Fog 분사시스템의 특징

1.1.1 개발 목적 및 기대효과

1.2 운용 매뉴얼 소개

1.2.1 운용 매뉴얼의 작성 목적

1.2.2 운용 매뉴얼의 활용 범위

2장. 전체제원

2.1 Water Fog 분사시스템의 구성도

2.2 Water Fog 분사시스템의 사양

2.3 Water Fog 분사시스템의 작동 가능한 외기 조건

3장. 주요 부품별 사양

4장. 드론기반의 Water Fog 분사시스템 설치, 운영, 해체 절차

5장. 통합운용시스템 매뉴얼

1장. 특징 및 소개

1.1 드론기반의 Water Fog 분사시스템의 특징

1.1.1 개발 목적 및 기대효과

- 최근 도심지를 비롯해 주거지역의 미세먼지 및 황사로 인한 피해가 증가하고 있으며, 미세먼지로 인한 인명 피해가 가중되고 있어 사회적 문제가 되고 있음
- 전국 발생 미세먼지 PM10은 약 12만톤에 달하고 있으며, 이중 건설공사 현장에서 발생하는 비산먼지 발생량은 전체 PM10 발생비율에서 약 20%를 차지하는 것으로 발표함
- 또한 서울연구원에서는 서울시 전체 미세먼지 배출량의 약 40%가 건설현장 비산먼지 배출량이차지하고 있으며, 공사장의 비산먼지뿐 아니라 건설기계의 연료연소도 미세먼지(PM10), 초미세먼지(PM2.5), 질소산화물(NOx)의 주요 배출원 중 하나로 나타남
- 이와 관련하여, 정부와 지자체에서는 법적 규제(대기환경보전법 제43조)를 통해 실질적인 저감방안으로 세륜시설, 방진막 설치, 도로 살수차 물분사 등의 조치를 취하고 있지만 규제대상이 건축공사의 경우 연면적 1,000㎡ 이상, 해체공사일 경우 연면적 3,000㎡ 이상으로 규제하고 있어 규모에 따라 다름. 그러나 2016년 전국 규모별 건축허가 비율을 살펴보면 연면적 1,000㎡ 이하의 소규모 건축공사가 전체의 92.5%를 차지하고 있고, 대다수가 도심지에서 시행되어 인근 거주민에게 많은 영향을 주는 등 기존 법적 규제의 사각지대가 많음을 알 수 있음
- 따라서 이러한 소규모 건설현장을 포함, 도심지 건설현장에 대한 미세먼지 저감 대책으로 기존 법에서 규정하고 있는 방법 이외에 소규모 건설현장에도 적용이 용이하고 4차 산업혁명 시대의 도입에 맞추어 드론, Water Fog, GIS 등 다양한 스마트 건설기술을 활용한 미세먼지 저감대책 기술을 개발하고자 함

1.2 운용 매뉴얼 소개

1.2.1 운용 매뉴얼의 작성 목적

본 운용 매뉴얼은 드론기반의 Water Fog 분사시스템의 조립, 운영, 해체, 유지보수, 안전관리와 같은 작업수행에 필요한 전반적인 정보를 제공함으로써, 원활한 작업수행에 도움을 주기 위해 작성되었습니다.

1.2.2 운용 매뉴얼의 활용 범위

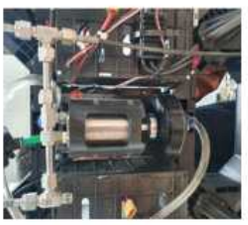
본 운용 매뉴얼은 도심지 건설현장의 미세먼지 억제 작업수행에 필요한 전반적인 정보 제공이 목적이기 때문에 제작과 관련된 설계 및 부품 AS에 관련된 내용은 제외하였습니다.

2장. 전체제원

2.1 드론기반의 Water Fog 분사시스템의 구성도



- 본체 상부
  : 드론 및 모터 구동 배터리,
  유체탱크 2개, GPS 안테나



- 본체 하부
  : 펌프 및 모터,
  유체공급라인,
  모터 제어기





- 랜딩기어
  : 노즐조립체 및
  고정 지그

2.2 드론기반의 Water Fog 분사시스템의 사양

[시스템의 세부 사양]

구분	사양 설계	비고
드론 사양	- 비행시간 : 10분 이상 - 적재무게 : 10kg 이상 - 작업속도 : 0.34m/s 이상	- 공사부지 1,000㎡ 이내 - 상용 드론 사양 참고
유체 탱크	- 용 량 : 10~20 L	
분사 장치	- 분사시간 : 10분 이상 - 분사유량 : 2L/min 이하 - 분 사 폭 : 5m 이상 - 분무압력 : 80 bar 이상 - 미분수 입자경 : 10±3 ㎛	- 상용 드론 적재무게 고려 - 먼지입경 10㎛ (PM10) 고려

[분사시스템 적용 드론 사양]

구분	단위	KIMM-0665-2021
기체 종류		Octocopter
기체사이즈	mm	2,050×2,050×643
배터리	-	- Li-polymer battery - 22.2V (22,000mA) * 4[ea]
자체중량	kg	25
최대 이륙 중량	kg	54 (탑재중량 29kg)
1회 비행시간	분	중량 탑재 시 13분
탱크 용량	L	10 (2개)

[고압 분사 시스템]

구분	KIMM-0665-2021
펌프	- Capacity : 0.8~1.2 [cc/rev] - Max. Speed : 2,000 [rpm] - Max. Flow rate : 2.4 [L/min] - Max. Outlet Pressure : 160 [bar]
모터	U8-II (T-motor社) (+ P1 pump)
탱크	20 L (20 kg)
분사라인	- SUS pipe * 4 - SUS nozzle(200㎛) *12 - SUS pipe & nozzle - high pressure hose - bracket

2.3 드론 기반의 Water Fog 분사시스템의 운용 가능한 외기 조건

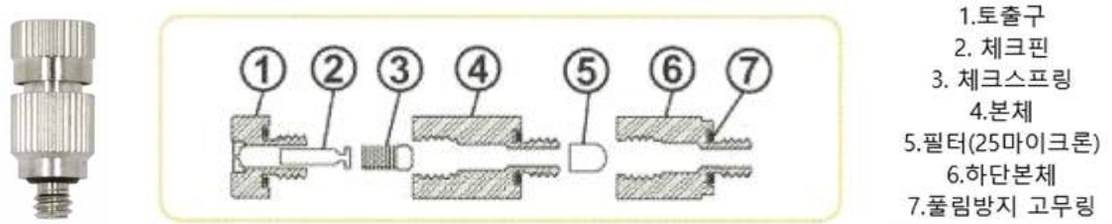
▶ 드론 비행에 영향을 미치는 악천후 및 강설, 강우 등의 외기조건에서는 비행 자제
- 바람이 9m/s 이상
- 비오는 날
- 흐린 날, 습도가 높은 날, 눈 내리는 날

▶ 영하 5℃ 이하 에서는 배터리에 문제가 발생할 수 있어 비행 자제

3장. 주요 부품별 사양

3.1 스프레이 노즐

○ 노즐은 스프링 장착 체크밸브가 적용 되어 5bar 이내의 약한 압력에서는 노즐이 닫혀 물의 손실을 방지하고, 내부 청소를 위해 분해조립이 가능하도록 되어 있으며 필터가 장착되어 막힘현상을 방지할 수 있음



[필터테크社 고압 미스트 노즐]

3.2 고압펌프 구동 모터



[U8 II 150KV, T-motor Co.Ltd.]

- 모터 크기 : 87 mm X 29 mm
- 모터 중량 : 273 g
- 소비 전력 : 552 W(23 A)
- 단위전압당 속도 : 150 RPM/V
- 구동 전압 : 22.2 V
- 최대 회전속도 : 2,798 RPM
- 최대 추력 : 4,879 g

3.3 소형 액시얼 피스톤 펌프

○ 소형 액시얼 피스톤 펌프로 물에서 작동하도록 설계되었으며 0.8~1.2cc/rev의 유량을 가지며, 최대 작동 압력은 100bar 이고, 펌프 샤프트에서 볼 때 시계 방향 또는 시계 반대방향으로 전하도록 설계되었음. 주로 316 스테인리스 스틸로 제조 된이 제품은 부식성 유체에 대한 우수한 내성을 가지며, 내부적으로 활용되는 재료는 해수 및 기타 다양한 유체에 가장 적합한 조합에 맞게 선택할 수 있음



구 분	단 위	사 양
Displacement	cc/rev	Max 1.2, Min 0.8
Max. RPM	-	2000
Construction Materials	-	A.I.S.I 316, Polymer & Martensitic Stainless steel
Max. Input Power	kW	0.55
Max. Water Flow	L/min	2.4
Max. Cont. Pressure	Bar	160
Weight	kg	1.5

3.4 운영시스템

○ 운영시스템은 측정된 미세먼지 데이터를 분석하여, ‘심각’ 상태의 측정값 위치를 추출, 분사 드론에 해당 지역의 위치정보를 제공하여 저감활동을 할 수 있도록 해당 영역에 대한 비행 제어 명령을 전달하는 것을 주요 기능으로 구현하였음

현장 운영시스템(C/S)

운영 장비	IBM 호환 노트북 1식
운영 체제	MS-Windows 10 Pro.
DataBase	Mongo DB v4.4
GIS Engine	CmWorld 3D v2.0
개발 언어	MS-Visual studio Community 2019(C#)
통신 방식	Serial 통신, Socket 통신(Wi-Fi)

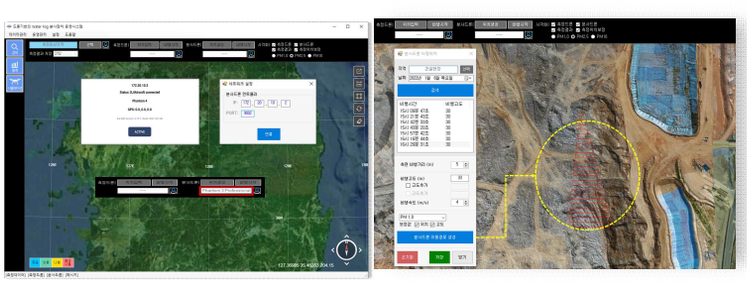
측정드론 제어 중계App.

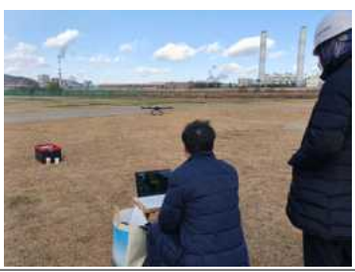
운영 장비	DJI Smart Controller(Matrice 300)
운영 체제	Android 7.1.2
개발 환경	Android Studio (Java)
제어 툴킷	Dji SDK

분사드론 제어 중계App.

운영 장비	DJI Controller(A3-AG)
운영 체제	Android 7.1.2
개발 환경	Android Studio (Java)
제어 툴킷	Dji SDK

4장 Water Fog 분사시스템 조립, 운영, 해체 절차

순번	내용	세부 절차
1	드론 조립 및 구성	① 드론을 평탄한 곳에 위치하여 프롭 아암 등을 비행이 가능한 상태로 견고히 고정한다. ② 프롭, 모터 및 펌프, 안테나 등의 고정 볼트가 견고히 체결되어 있는지 확인한다. ③ 배터리 충만 상태를 확인하고 연결한다. ④ 유체탱크를 연결한다. 
2	노즐조립체 연결	① 노즐조립체 4개를 랜딩기어의 각 지그에 고정한다. ② 펌프의 토출부 호스와 노즐 조립체를 연결한다. 
3	드론 및 분사장치 동작 테스트	① 드론 조종기를 이용하여 시동 on/off 가 정상적인지 확인한다. ② 분사장치 조종기를 이용하여 펌프가 on/off 되는지 확인한다. ③ 분사장치의 펌프 및 배관 내 에어를 제거하고, 누수 및 노즐 막힘 여부를 확인한다. 
4	운영시스템 준비	① 운영시스템을 실행시킨 후 드론과의 통신상태를 확인한다. ② 운영시스템의 입력 정보를 확인하고, 작업에 따라 수정한다. : 작업 동선, 비행속도 및 작업 고도 등 입력 

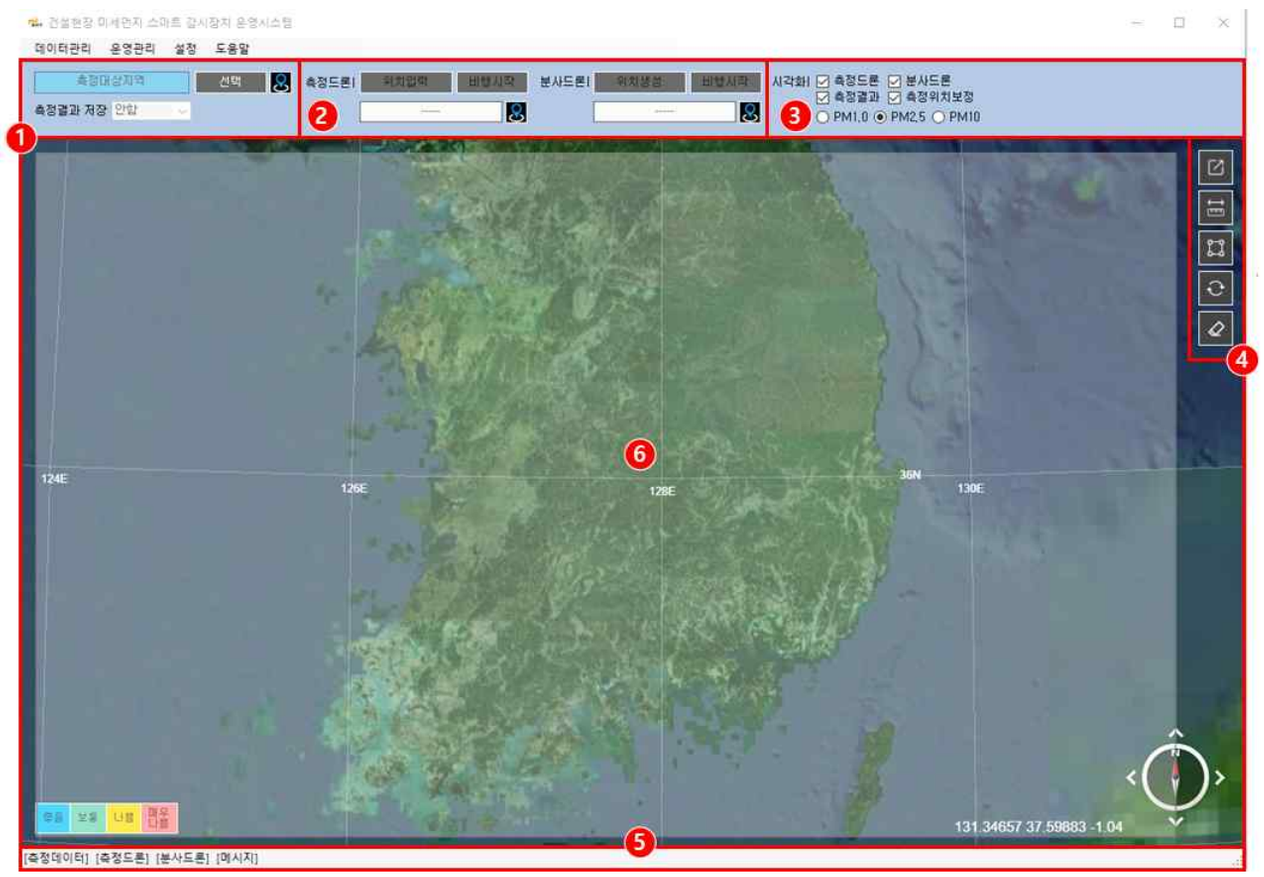
순번	내용	상세 절차
5	미세먼지 발생 지점 위치정보 수신	① Smart 감시장치 또는 작업자에 의해 미세먼지 저감이 필요한 위치 정보를 확인한다. : 콘트롤러 화면에 좌표 표시 확인 ② Water Fog 시스템 자동 또는 수동으로 미세먼지 발생지점으로 출동한다. : 드론 자동 시동 및 출동 확인  
6	미세먼지 발생 지점 도착 및 억제작업 수행	① 작업자에게 작업 위치 도착 알림이 조종기 화면에 표시된다. ② 분사장치를 동작시키고, 자동 또는 수동으로 작업을 수행한다. : 분사장치 정상 동작, 설정값(동선, 고도, 속도 등)에 따라 작업 수행  
7	미세먼지 억제 작업 종료 및 복귀	① 작업 종료 후 출발 위치로 복귀한다. ② 배터리 및 유체 잔량 확인 및 보충한다. ③ Water Fog 시스템 출동 대기   
8	Water Fog 분사시스템 해체	① 운영시스템과 드론과의 통신을 차단하고, 시스템 및 조종기의 전원을 off 한다. ② 노즐조립체에 연결된 호스를 제거하고, 유체탱크를 비운다. ③ 노즐조립체를 랜딩기어 지그에서 해체한다. ④ 배터리를 제거한다. ⑤ 드론의 기구부에 고정 드론을 평탄한 곳에 위치하여 프롭 아암 등을 비행이 가능한 상태로 견고히 고정한다.

5장 통합 운영시스템 매뉴얼

1. 운영시스템 시작

1.1. 초기화면

○ 운영시스템 프로그램 실행시 보여지는 화면구성입니다.



■ 기능설명

① 등록되어 있는 측정대상지역으로 이동하기 위한 선택버튼

② 드론의 비행위치 입력 및 비행을 하기위한 제어패널

③ 3차원 지도위에 보여지는 객체들을 선택하기 위한 레이어패널

④ 3차원 지도를 조작하기 위한 맵제어 도구바

⑤ 드론비행시 수집된 측정값과 GPS 위치를 텍스트로 표시하기 위한 상태바

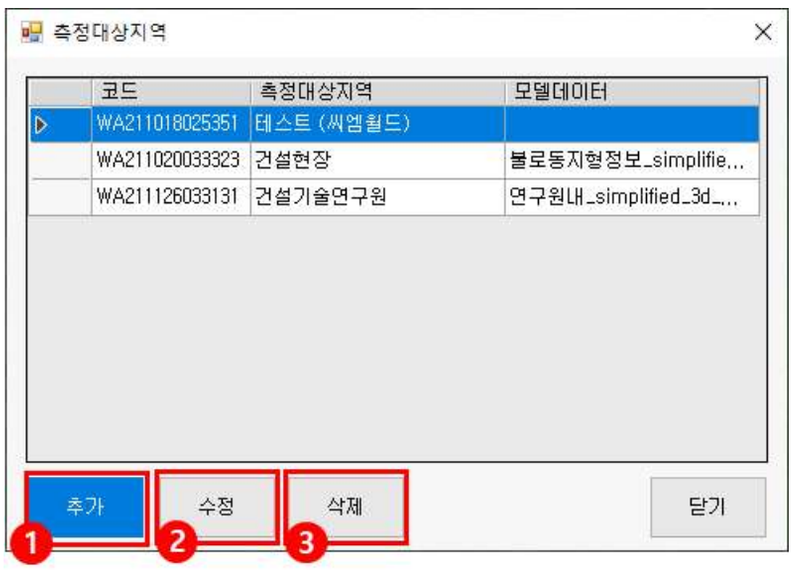
⑥ 3차원 지도가 보여지는 영역

2. 데이터관리

2.1. 측정대상지역

○ 측정대상지역의 위치좌표를 설정하고, 3차원 지도위에 표출하기 위한 지형 모델링데이터를 관리하기위한 기능입니다.

[메뉴] 메인메뉴 > 데이터관리 > 측정대상지역



■ 기능설명

① [추가] 버튼을 클릭하여, 측정대상지역 신규 추가

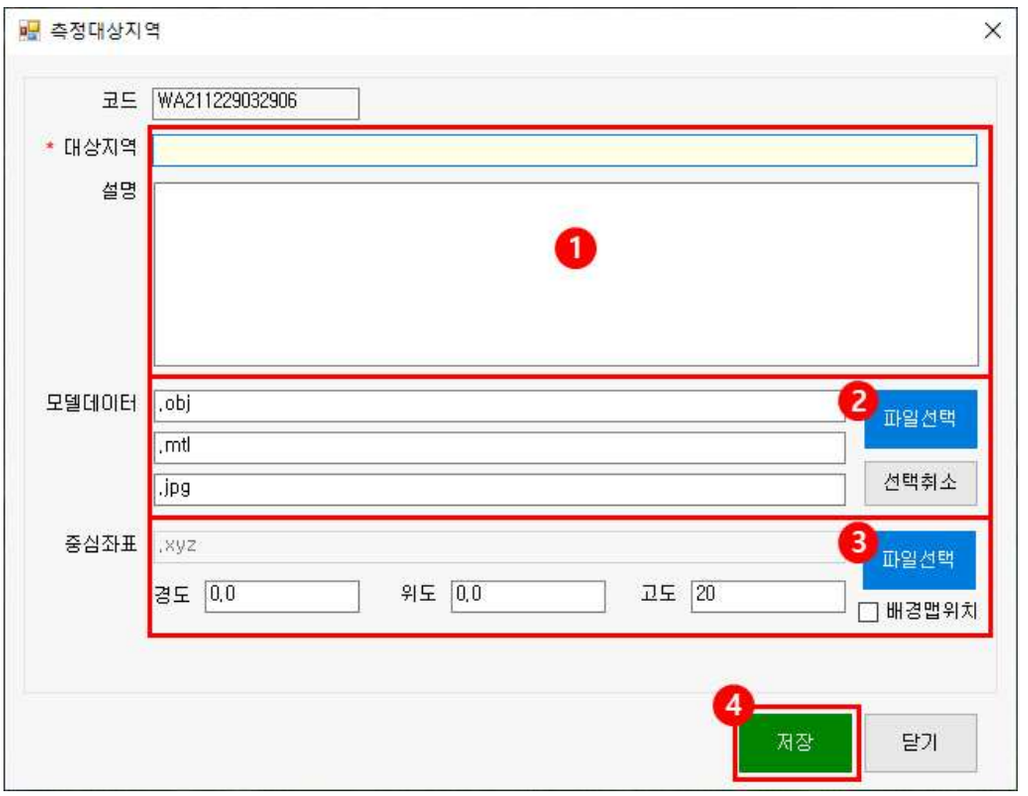
② [수정] 버튼을 클릭하여, 목록에서 선택된 측정대상지역 수정

③ [삭제] 버튼을 클릭하여, 목록에서 선택된 측정대상지역 삭제

2.1.1. 측정대상지역 - 추가

○ 미세먼지를 측정하고자 하는 대상지역의 정보를 신규로 추가합니다.

[메뉴] 메인메뉴 > 데이터관리 > 측정대상지역 > 추가



■ 기능설명

① 측정대상지역 이름 및 내용설명 입력

② 3차원 모델링데이터 파일 선택 (obj, mtl, jpg 파일)

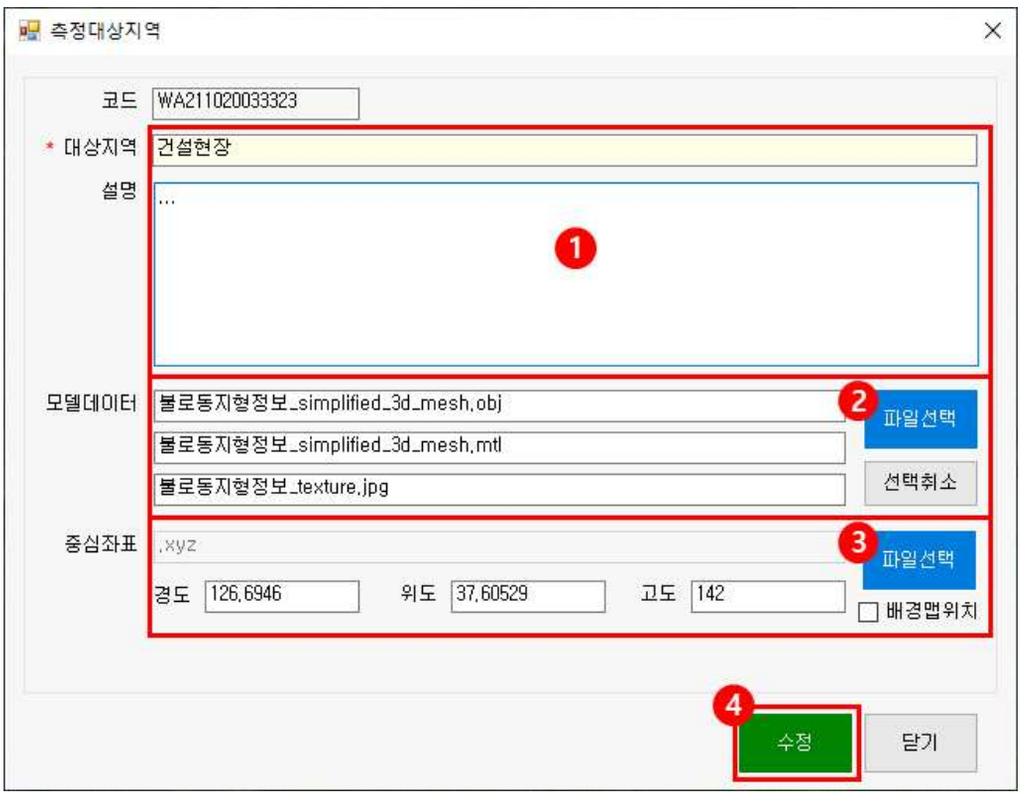
③ 3차원 지도위에 모델링데이터를 표출하기위한 중심좌표 파일 선택 (xyz 파일)

④ [저장] 버튼을 클릭하여, 입력한 내용으로 측정대상지역 정보 저장

2.1.2. 측정대상지역 - 수정

○ 등록되어 있는 측정대상지역의 정보를 수정합니다.

[메뉴] 메인메뉴 > 데이터관리 > 측정대상지역 > 수정



■ 기능설명

① 측정대상지역 이름 및 내용설명 입력

② 3차원 모델링데이터 파일 선택 (obj, mtl, jpg 파일)

③ 3차원 지도위에 모델링데이터를 표출하기위한 중심좌표 파일 선택 (xyz 파일)

④ [수정] 버튼을 클릭하여, 입력한 내용으로 측정대상지역 정보 수정하여 저장

2.1.3. 측정대상지역 - 삭제

○ 등록되어 있는 측정대상지역의 정보를 삭제합니다.

[메뉴] 메인메뉴 > 데이터관리 > 측정대상지역 > 삭제



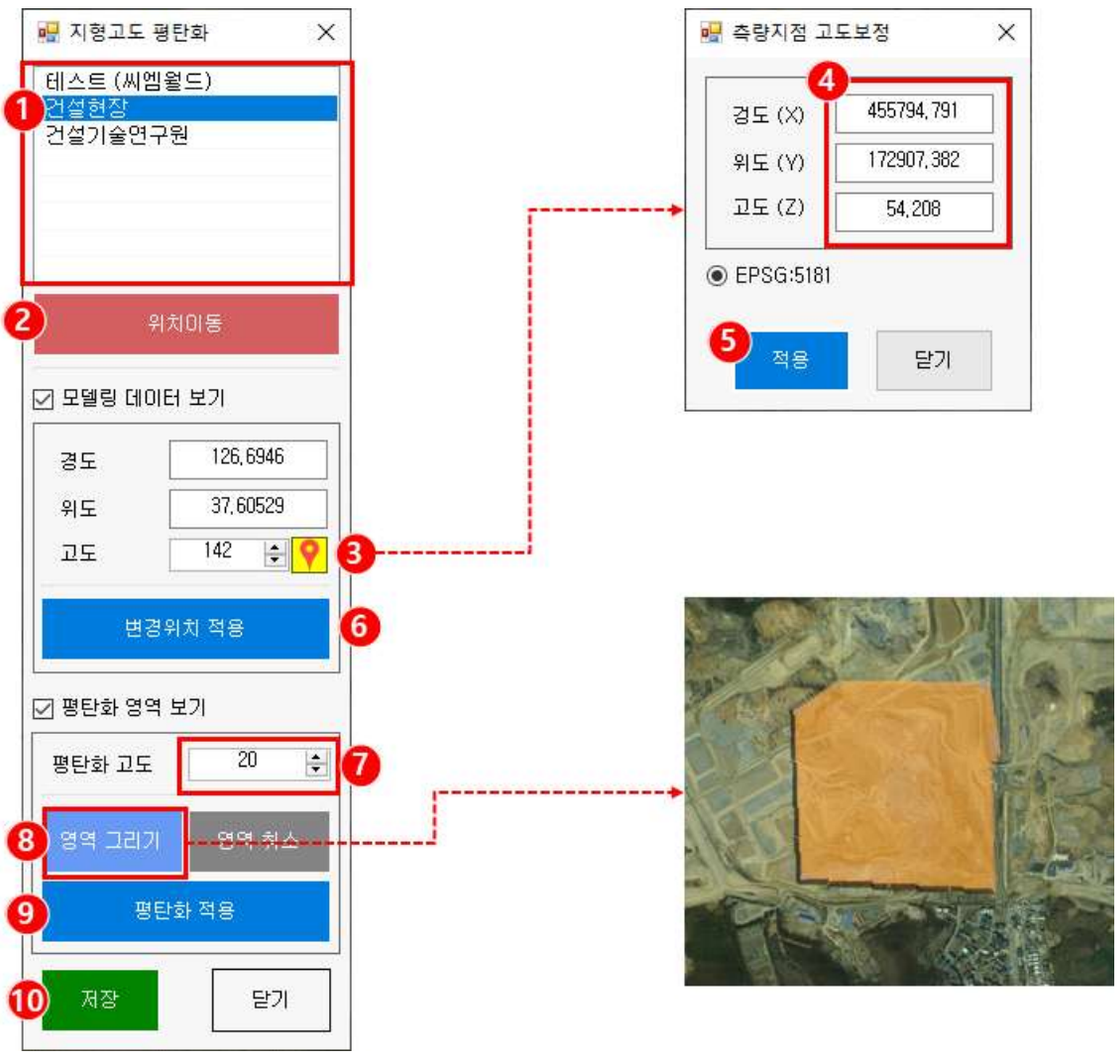
■ 기능설명

① [확인] 버튼을 클릭하여, 선택한 측정대상지역 정보를 삭제

2.2. 지형고도 평탄화

○ 측정대상 지역의 지형고도를 변경하여, 3차원 지도위에 표출하기 위한 기능합니다.

[메뉴] 메인메뉴 > 데이터관리 > 지형고도평탄화



■ 기능설명

① 측정대상지역 목록에서, 평탄화하고자 하는 지역 선택

② [위치이동] 버튼을 클릭하여, 지도상의 해당위치로 이동

③ 측량고도값으로, 지형모델링데이터의 고도를 변경하려면 [위치수정] 버튼 클릭

④ 측량위치, 고도값 입력

⑤ 입력한 측량지점 고도값으로 보정하여 적용

⑥ [변경위치적용] 버튼을 클릭하여, 3차원 지도상에 지형모델링데이터 고도 변경표출

⑦ 지형을 평탄화할 고도값 입력

⑧ [영역그리기] 버튼을 클릭하여, 지형모델링데이터 주변 영역을 그림

⑨ [평탄화적용] 버튼을 클릭하여, 3차원 지도상에 평탄화 적용

⑩ [저장] 버튼을 클릭하여, 현재 입력된 평탄화영역 정보 저장

2.3. 평가시스템으로 내보내기

○ 운영시스템의 데이터베이스에 저장되어 있는 측정데이터를 평가시스템의 데이터베이스로 전송하여 저장합니다.

[메뉴] 메인메뉴 > 데이터관리 > 평가시스템으로 내보내기



■ 기능설명

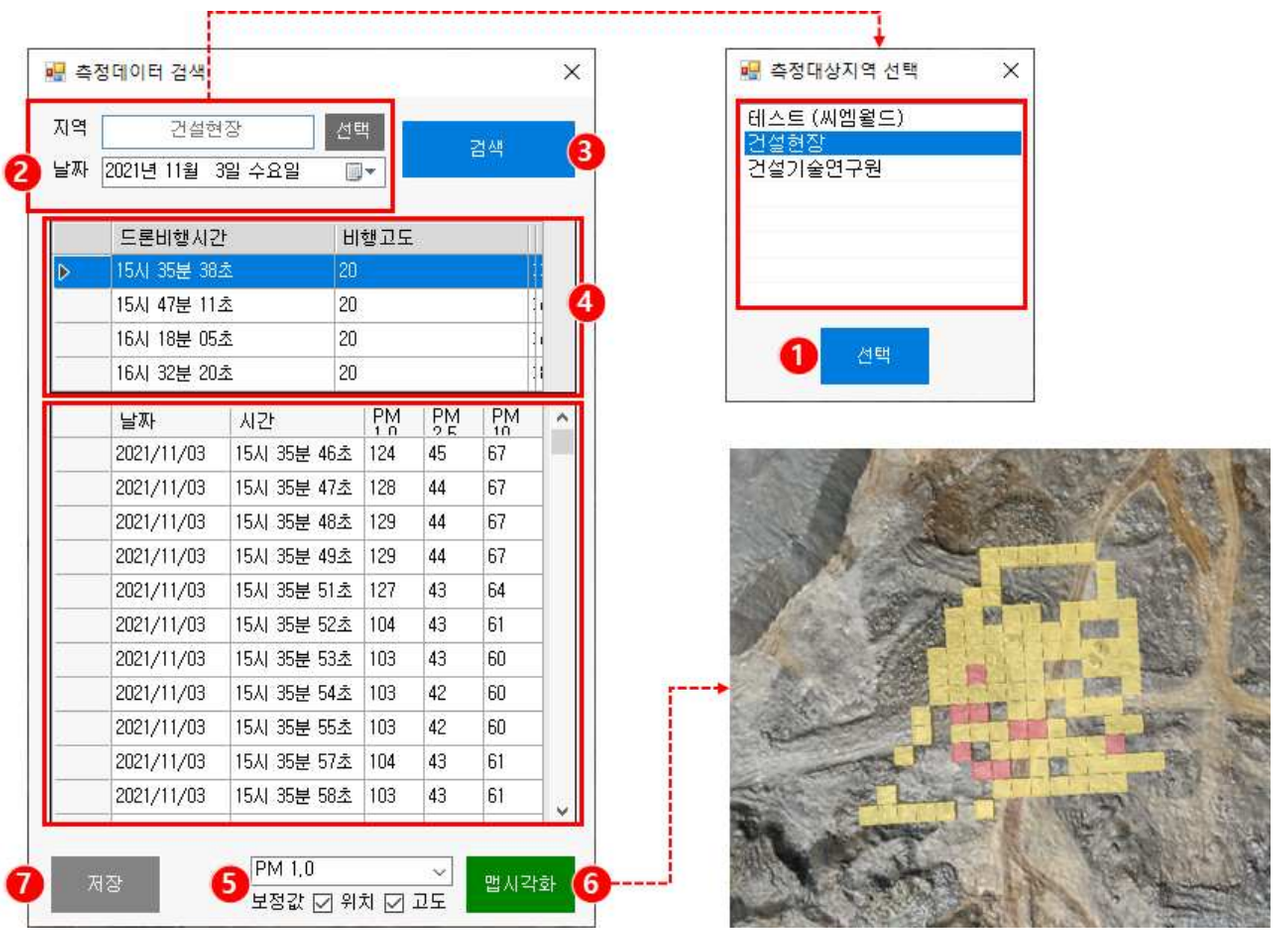
① [내보내기] 버튼을 클릭하여, 현재 운영시스템의 저장되어 있는 측정데이터를 평가시스템의 데이터베이스로 전송

3. 운영관리

3.1. 측정데이터 검색

○ 데이터베이스에 저장되어 있는 미세먼지 측정데이터를 검색하여, 3차원 지도위에 큐브박스 형태로 표출합니다. 검색된 측정결과 값들은 csv나 엑셀 파일로 저장할 수 있습니다.

[메뉴] 메인메뉴 > 운영관리 > 측정데이터 검색



■ 기능설명

① 측정대상지역 선택

② 측정날짜 선택

③ [검색] 버튼을 클릭하여, 조건에 맞는 데이터 조회

④ 드론비행시간 목록에서 선택한 비행시간에 해당되는 측정결과값 리스트에 표시

⑤ 지도위에 표출하고자 하는 옵션 선택 (PM1.0, PM2.5, PM10.0)

- 보정값 (위치, 고도) 선택시 드론의 이동좌표와 비행고도로 매핑하여 측정결과 시각화

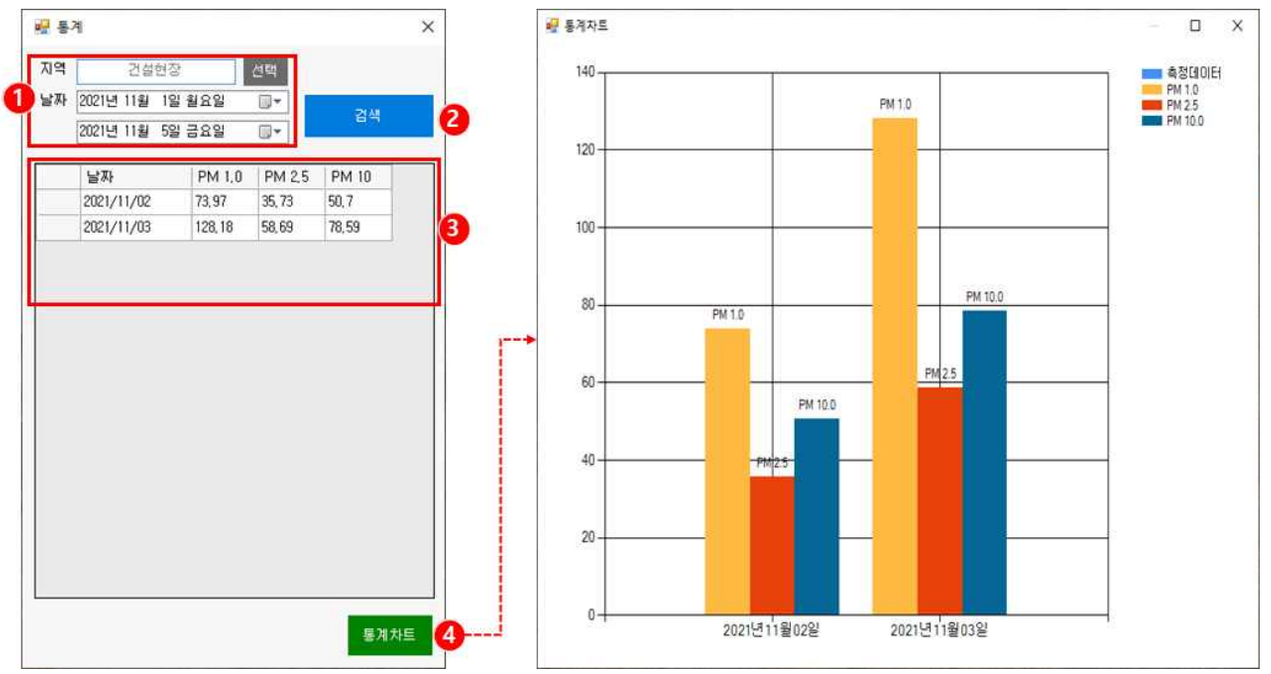
⑥ [맵시각화] 버튼을 클릭하여, 3차원 지도위에 미세먼지 측정결과값 표출

⑦ [저장] 버튼을 클릭하여, 미세먼지 측정결과값을 파일로 저장 (csv, xls)

3.2. 측정데이터 통계

○ 데이터베이스에 저장되어 있는 미세먼지 측정데이터들에 대해서 날짜별로 평균측정값을 구하고, 결과값들을 차트로 보여줍니다.

[메뉴] 메인메뉴 > 운영관리 > 측정데이터 통계



■ 기능설명

① 측정대상지역 및 측정날짜 구간 선택

② [검색] 버튼을 클릭하여, 조건에 맞는 데이터 조회

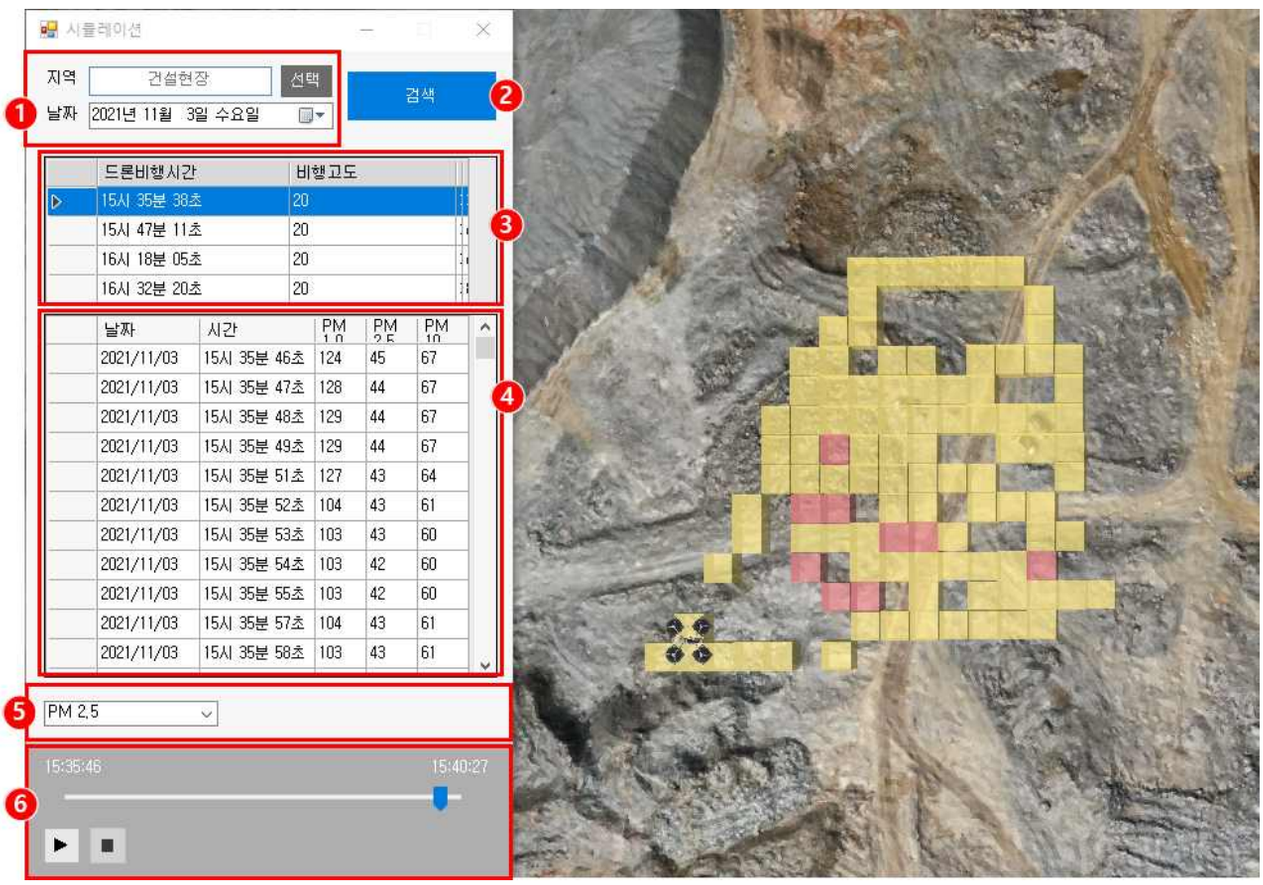
③ 날짜별 미세먼지 평균측정값 리스트에 표시

④ [통계차트] 버튼 클릭하여, 결과값들 차트로 표시

3.3. 시뮬레이션

○ 데이터베이스에 저장되어 있는 미세먼지 측정데이터와 드론의 위치정보를 매핑한 운영결과를 검색하여 시뮬레이션합니다.

[메뉴] 메인메뉴 > 운영관리 > 시뮬레이션



■ 기능설명

① 측정대상지역 및 측정날짜 선택

② [검색] 버튼을 클릭하여, 조건에 맞는 데이터 조회

③ 날짜별 드론비행시간 목록표시

④ 측정시간별 미세먼지 평균측정값 리스트에 표시

⑤ 화면에 표출할 미세먼지 단위 선택

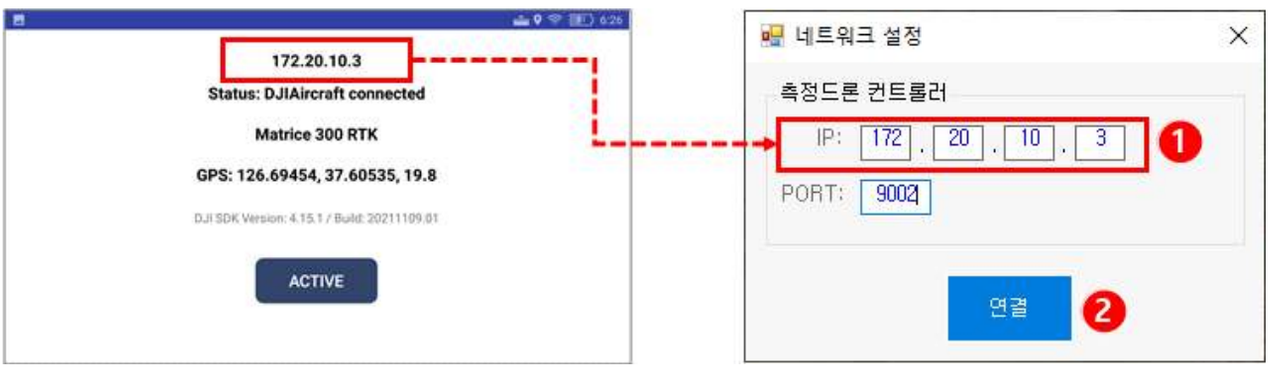
⑥ 시뮬레이션 조작버튼 (PLAY, STOP)

4. 설정

4.1. 측정드론 무선연결

○ 측정드론 조종기와 소켓통신으로 연결하기 위한 IP주소와 포트번호를 설정합니다.

[메뉴] 메인메뉴 > 설정 > 측정드론 > 무선연결



■ 기능설명

① DJI 스마트 컨트롤러의 화면에 보여지는 IP를 입력

② [연결] 버튼을 클릭하여, 스마트 컨트롤러와 소켓통신 연결

③ 스마트 컨트롤러와 연결되면, 측정드론 명칭 화면에 표시

- 드론의 GPS위치가 수신중인 경우, 현재 드론이 위치하고 있는 좌표로 지도화면이 이동



4.2. 분사드론 무선연결

○ 분사드론 조종기와 소켓통신으로 연결하기 위한 IP주소와 포트번호를 설정합니다.

[메뉴] 메인메뉴 > 설정 > 분사드론 > 무선연결



■ 기능설명

④ DJI 드론 컨트롤러에 연결되어 있는 스마트패드의 화면에 보여지는 IP를 입력

⑤ [연결] 버튼을 클릭하여, 드론 컨트롤러와 소켓통신 연결

⑥ 드론 컨트롤러와 연결되면, 측정드론 명칭 화면에 표시

- 드론의 GPS위치가 수신중인 경우, 현재 드론이 위치하고 있는 좌표로 지도화면이 이동

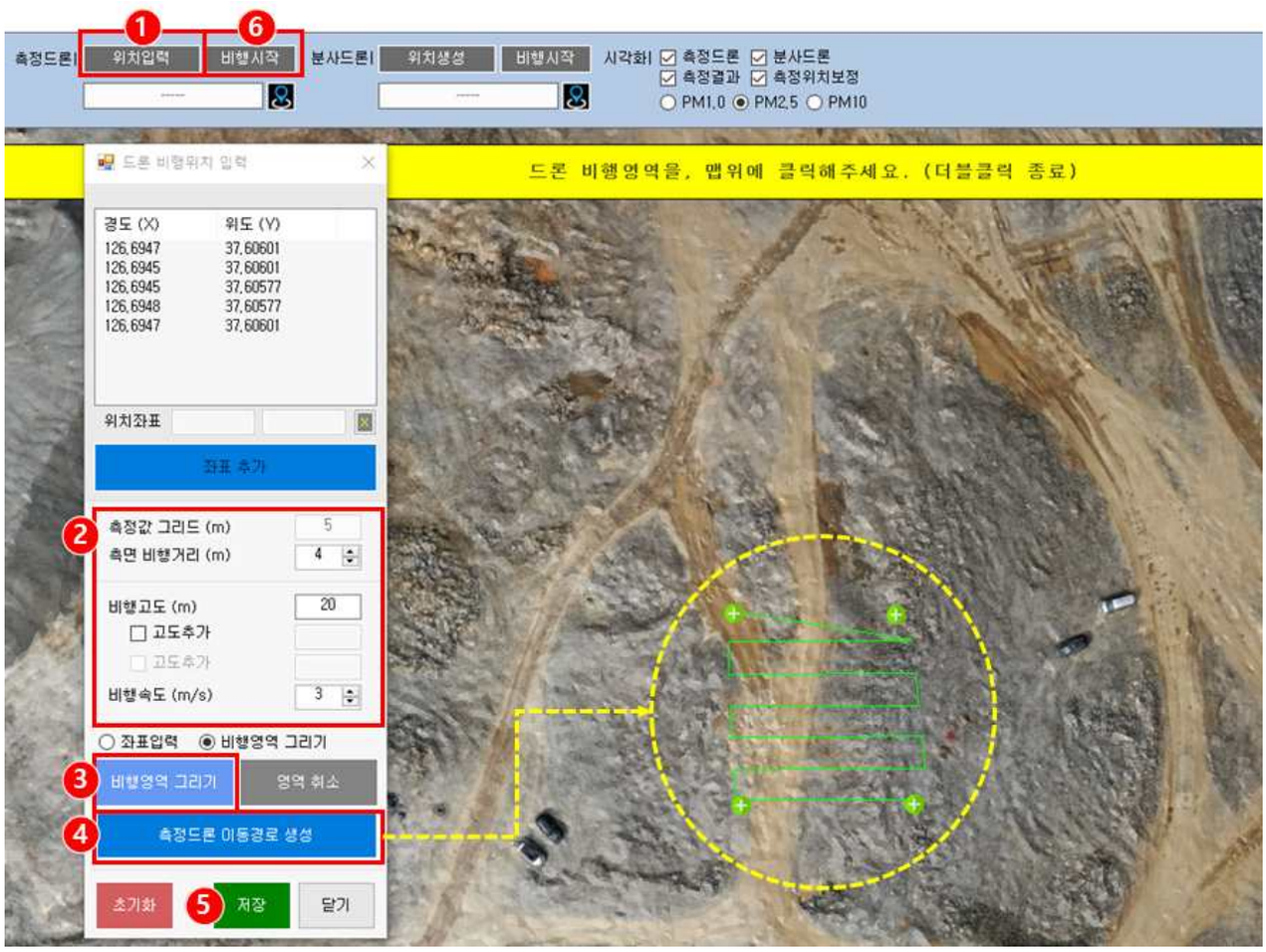


5. 드론비행제어

5.1. 측정드론

○ 측정드론의 비행경로를 생성하고, 생성된 좌표로 측정드론이 비행할 수 있도록 비행명령코드를 전송합니다.

[메뉴] 드론제어 패널 > 측정드론



■ 기능설명

① 측정드론 [위치입력] 버튼 클릭

② 드론 비행경로 옵션값 설정 (측면거리, 비행고도, 비행속도)

③ [비행영역 그리기] 버튼을 클릭후, 비행 최대영역의 포인트들을 마우스 클릭하여 표시

④ [측정드론 이동경로 생성] 버튼을 클릭하면, 지도위에 측정드론이 비행할 경로가 생성되어 표시

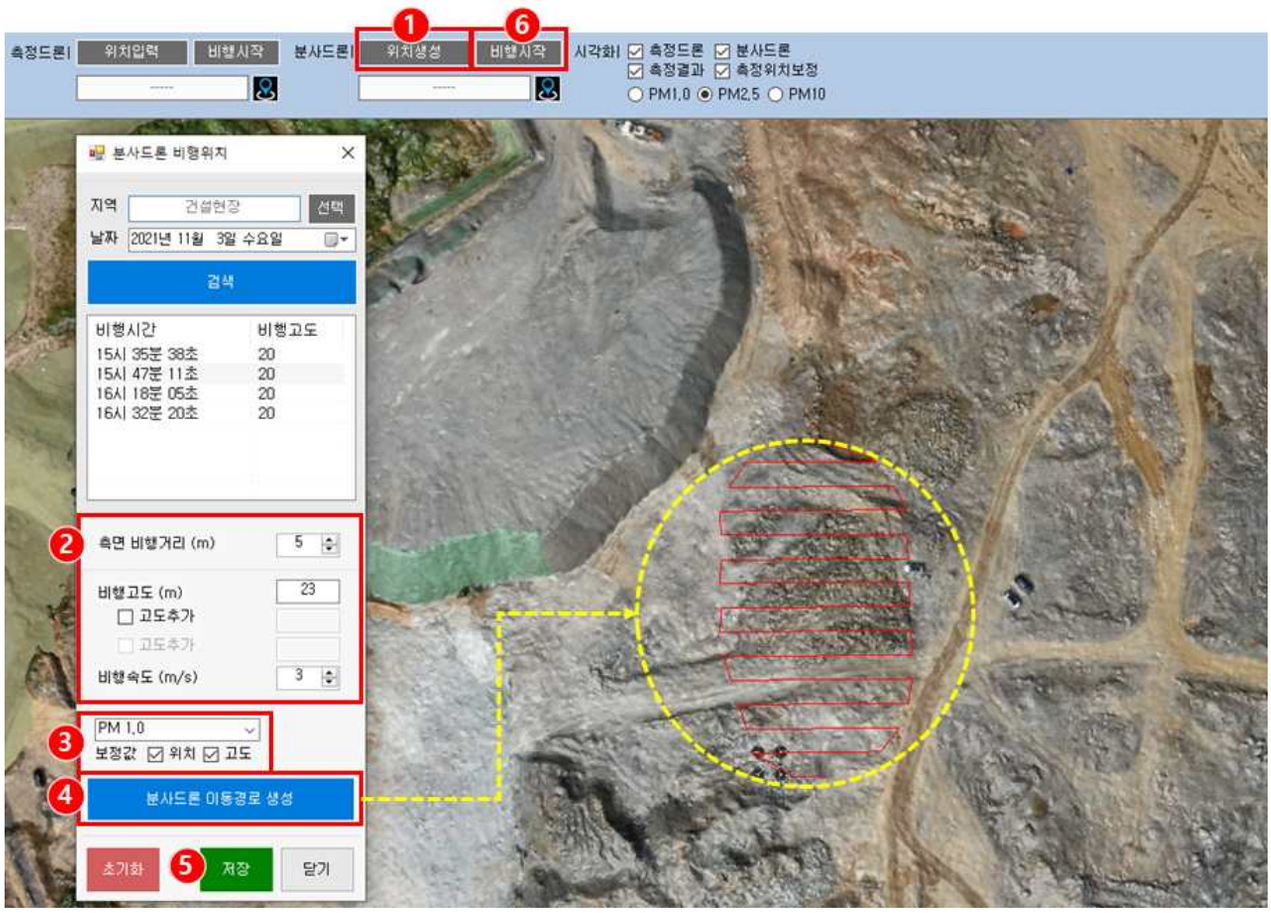
⑤ [저장] 버튼을 클릭하여, 비행경로 등록

⑥ [비행시작] 버튼을 클릭하여, 측정드론으로 비행명령 코드 전송

5.2. 분사드론

○ 분사드론의 비행경로를 생성하고, 생성된 좌표로 분사드론이 비행할 수 있도록 비행명령코드를 전송합니다.

[메뉴] 드론제어 패널 > 분사드론



■ 기능설명

① 분사드론 [위치생성] 버튼 클릭

② 드론 비행경로 옵션값 설정 (측면거리, 비행고도, 비행속도)

- 비행고도값은 측정드론의 비행고도 + 3m 로 초기설정

③ 분사드론 이동경로를 생성하기 위하여 사용되는 미세먼지 측정값 단위 선택

- 보정값 적용시 해당시간대 측정드론의 이동위치와 비행고도를 매핑하여 사용

④ [분사드론 이동경로 생성] 버튼을 클릭하면, 지도위에 분사드론이 비행할 경로가 생성되어 표시

⑤ [저장] 버튼을 클릭하여, 비행경로 등록

⑥ [비행시작] 버튼을 클릭하여, 분사드론으로 비행명령 코드 전송

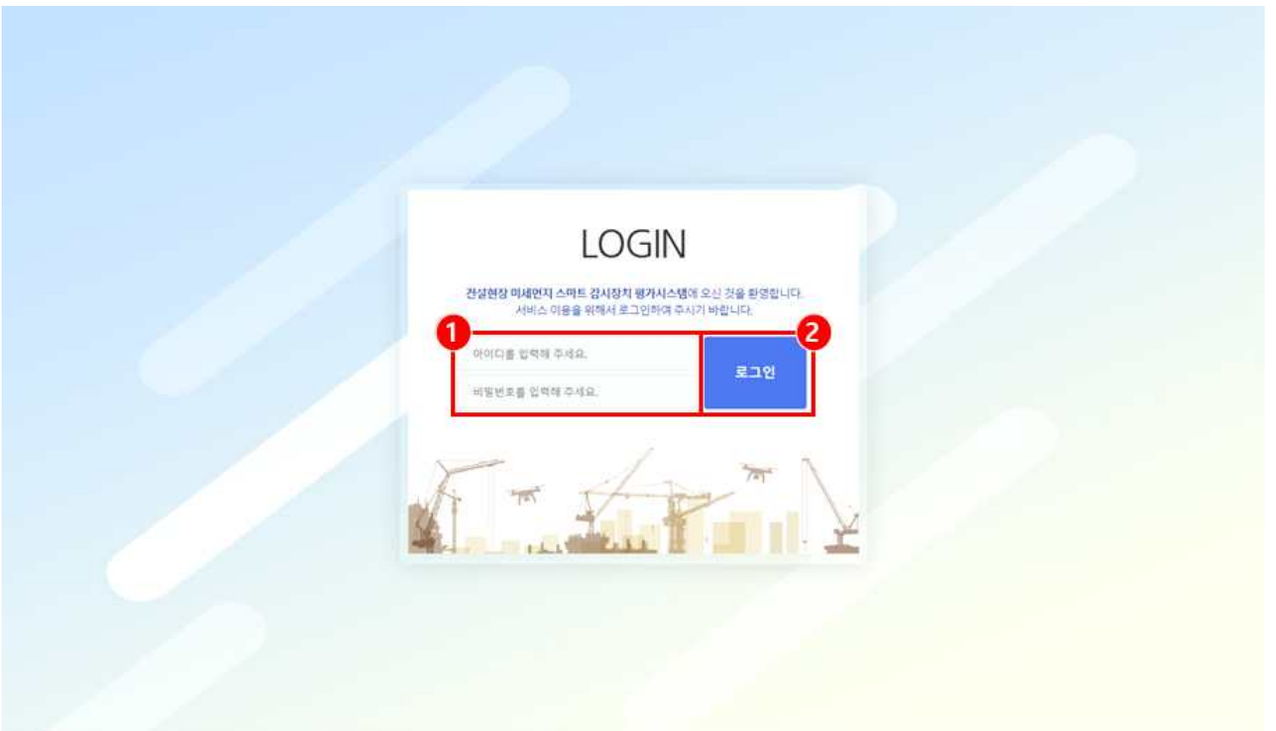
부록-4 평가시스템 메뉴얼

1. 평가시스템 시작

1.1. 초기화면

1.1.1. 로그인

○ 웹에서 평가시스템으로 접속시 보여지는 로그인 화면입니다.

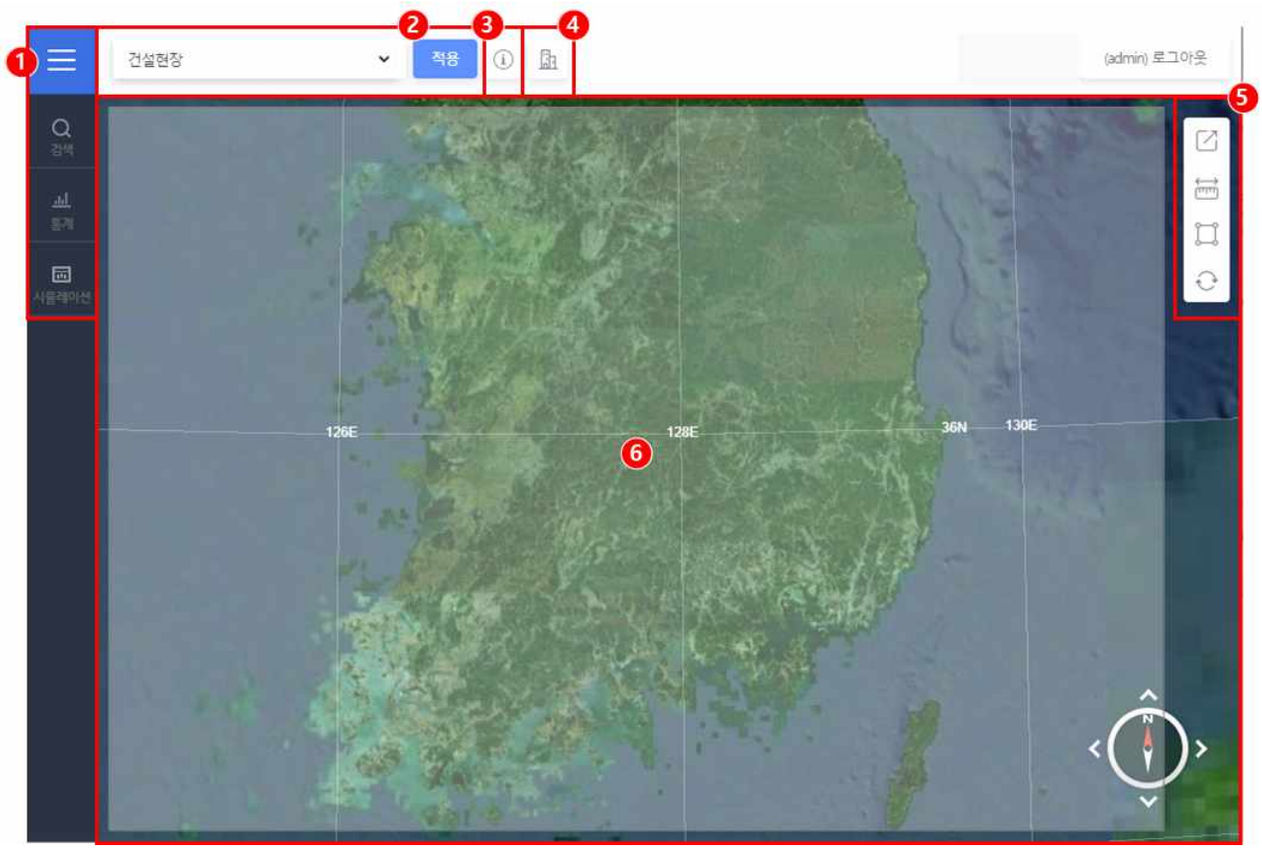


■ 기능설명

1. 아이디, 비밀번호 입력 (아이디: kict, 비밀번호: kict1234)
2. [로그인] 버튼을 클릭하여, 메인페이지로 이동

1.1.2. 메인페이지

○ 평가시스템에서 보여지는 메인페이지 화면구성입니다.



■ 기능설명

① 메인메뉴

② 등록되어 있는 측정대상지역으로 이동하기 위한 선택버튼

③ 선택한 측정대상지역 정보 보기

④ 측성대상지역 정보 수정/삭제

⑤ 3차원 지도를 조작하기 위한 맵제어 도구바

⑥ 3차원 지도가 보여지는 영역

2. 검색

2.1. 검색결과 - 맵시각화

○ 데이터베이스에 저장되어 있는 미세먼지 측정데이터를 검색하여, 3차원 지도위에 큐브박스 형태로 표출합니다.



■ 기능설명

① 검색메뉴 선택

② 측정대상지역 및 측정날짜 선택

③ [검색] 버튼을 클릭하여, 조건에 맞는 데이터 조회

④ 드론비행시간 목록에서 검색대상 비행시간 선택

⑤ 지도위에 표출하고자 하는 측정값 옵션 선택 (PM1.0, PM2.5, PM10.0)

⑥ [맵시각화] 버튼을 클릭하여, 3차원 지도위에 미세먼지 측정결과값 표출

2.2. 검색결과 - 그래프

○ 데이터베이스에 저장되어 있는 미세먼지 측정데이터를 검색하여, 저감전후의 측정값을 비교 그래프로 나타냅니다.



■ 기능설명

① 검색메뉴 선택

② 측정대상지역 및 측정날짜 선택

③ [검색] 버튼을 클릭하여, 조건에 맞는 데이터 조회

④ 드론비행시간 목록에서 검색대상 비행시간 선택

⑤ [대상추가] 버튼을 클릭하여, 비교대상 2개를 추가

- 드론비행시간 목록에서 선택되어 있는 항목 추가

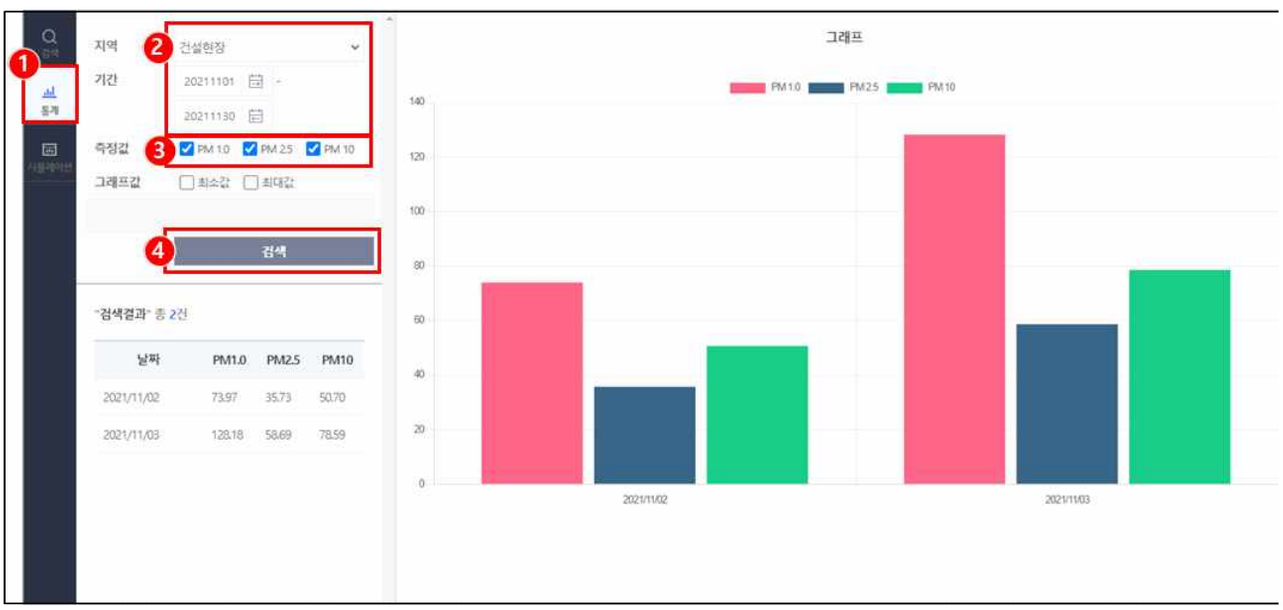
⑥ 그래프로 나타내고자 하는 측정값 옵션 선택 (PM1.0, PM2.5, PM10.0)

⑦ [그래프] 버튼을 클릭하여, 미세먼지 측정결과값 비교그래프 표출

3. 통계

3.1. 측정데이터 통계

○ 데이터베이스에 저장되어 있는 미세먼지 측정데이터들에 대해서 날짜별로 평균측정값을 구하고, 결과값들을 차트로 보여줍니다.



■ 기능설명

① 통계메뉴 선택

② 측정대상지역 및 측정날짜 구간 선택

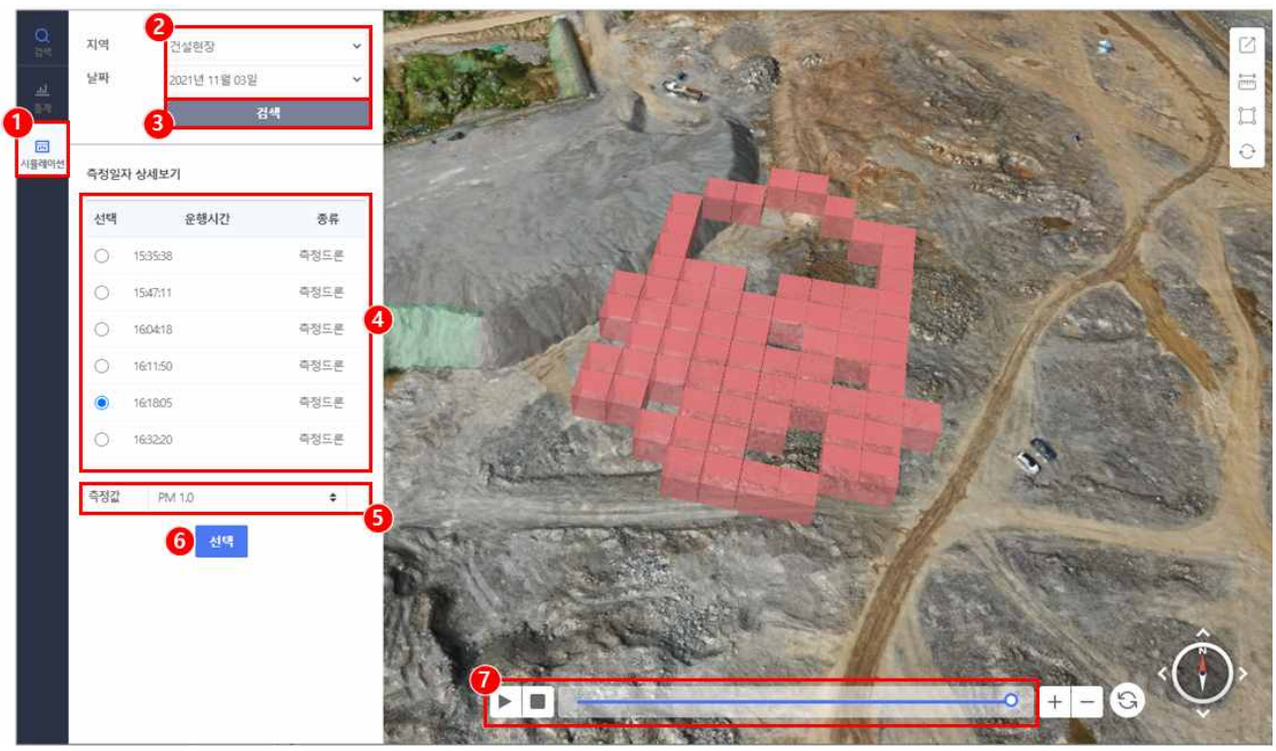
③ 평균값 계산을 위한, 측정값 옵션 선택 (PM1.0, PM2.5, PM10.0)

④ [검색] 버튼을 클릭하여, 통계 그래프 표시

4. 시뮬레이션

4.1. 시뮬레이션 실행

○ 데이터베이스에 저장되어 있는 미세먼지 측정데이터와 드론의 위치정보를 매핑한 운영결과를 검색하여 시뮬레이션합니다.



■ 기능설명

① 시뮬레이션메뉴 선택

② 측정대상지역 및 측정날짜 선택

③ [검색] 버튼을 클릭하여, 조건에 맞는 데이터 조회

④ 날짜별 드론비행시간 목록표시

⑤ 화면에 표출할 미세먼지 단위 선택

⑥ [선택] 버튼을 클릭하여, 선택조건에 해당되는 측정데이터 로딩

⑦ 시뮬레이션 조작버튼 (PLAY, STOP)

< 별첨 >

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

주 의

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

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

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