

제 출 문

한국연구재단 이사장 귀하

본 보고서를 “국민체감형 미세먼지 R&D 신규사업 기획연구”의 최종보고서로 제출합니다.

2018. 11. 13.

- 연구기관명 : 한국기술교육대학교
- 연구책임자 : 이 정 훈(한국기술교육대학교)
- 연 구 원 : 여 민 주(이화여자대학교)
- 연 구 원 : 이 준 혁(한국기술교육대학교)
- 집 필 진 : 한 방 우(한국기계연구원)
- 정 성 철(산림청)
- 백 철 민(한국건설기술연구원)
- 정 광 화(국립축산과학원)
- 박 상 원(국립농업과학원)

요 약 문

I. 제 목

국민체감형 미세먼지 R&D 신규사업 기획연구

II. 연구의 배경 및 필요성

(연구의 배경 및 목적)

- 국민 삶의 질 향상과 사회문제 해결에 대한 사회적 수요 증가하고 삶의 질에 중요한 영향을 미치는 사회문제의 심각성이 고조됨.
- 미세먼지가 국가 재난에 상응하는 사회적 이슈로 부각되면서 이를 해결해야 한다는 의식이 보편화됨.
- 미세먼지 전문가들뿐만 아니라 일반 국민들도 미세먼지에 대한 위협 및 심각성을 인지하게 되어 문제 해결을 바라는 국민적 요구 수준이 높아짐.
- 하지만 미세먼지 문제가 단순히 해결될 수 있는 문제는 아니어서 과학기술을 통해 미세먼지 문제를 해결함으로써 쾌적한 삶 복원.
- 국민들의 요구 수준을 파악하고 그에 상응하는 미세먼지 과학기술 연구를 기획하여 미세먼지 문제 해결에 일조하기 위해 기획연구를 수행함

(연구의 필요성)

- 삶의 질 향상을 위한 과학기술의 역할 강화에 대한 사회적 공감대 형성.
- 일반시민과 전문가 모두 사회문제 해결에서 과학기술의 역할을 중요하게 인식.
- 국민 생활 문제 해결을 위한 연구개발 사업 추진.
- 사회문제에 대한 국민 불안을 해소시키고 실질적으로 문제를 해결하여 국민이 만족할 수 있는 사회 구현을 위한 연구개발 사업이 필요함

III. 연구의 내용 및 범위

(연구의 내용)

- 국민 생활 문제 해결을 위한 연구개발 사업 현황 조사, 아이디어 공모 및 과제 발굴

(관련 연구 현황)

(연구의 범위)

- 기 수행된 국민 아이디어 공모를 통해 획득된 내용을 기반으로 국민들이 체감할 수 있는 결과가 도출될 수 있는 연구과제 발굴 및 기획.
- 미세먼지 문제해결을 위해서는 기 추진된 관련 연구개발 사업들의 제한점을 극복할 수 있는 방향의 사업 추진
- 국민 참여도와 현안 대응도를 높여 국민 불안을 해소하면서 근원적인 문제 해결책을 찾기 위한 연구개발 사업을 동시에 추진
- 본 기획 연구에서 수요자 관점의 '국민체감형 미세먼지 저감 R&D 사업'을 추진함. 국민아이디어를 사업으로 실현하는 과정에 부처간 협업 및 연구개발부서와 정책부서간의 협업을 도모하여 기존 사회문제해결형 연구개발사업의 제한점을 극복함. 수요자인 국민의 관점에서 과학기술자가 중심이 되어 미세먼지문제를 해결하고자하는 국내 최초의 연구기획 시도임.

IV. 연구결과

- 국민적 요청에 부응하는 국민참여 아이디어를 공모함으로써 top-down 방식이 아닌 bottom-up 방식으로 국민(대학생, 대학원생, 연구자 및 일반 국민으로 제안자 범위를 확대)들의 다양한 의견을 청취함
- 국민 아이디어를 기반으로 미세먼지 해결 가능한 과학기술적 연구 과제 도출. 실현 가능성이 높은 내용을 발굴하여 1차 후보군으로 스크리닝. 1차 후보군으로 선정된 아이디어를 대상으로 심층 검토 평가를 거쳐 최종 아이디어로 선정하여 신규 사업 기획

V. 연구결과의 활용계획

(1) (학교 미세먼지 진단 및 개선 리빙랩 사업)

- 학교, 어린이집 현장에서의 실증 평가를 통한 미세먼지 저감 특성에 대한 실질적인 정보를 제공함으로써 국민에게 신뢰성 있는 미세먼지 저감 대책 방안 제공
- WHO 권고 기준(IT-1, PM_{2.5} 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 이하의 쾌적한 실내 환경 유지를 위한 적절한 실내 환경 솔루션 제공
- 필터 수명이나 필터 크기 등의 표준화를 통해 학교, 어린이집 미세먼지 관리기기의 안정적인 유지관리 체계 마련
- 학교 및 어린이집용 공기청정기 및 환기장치의 교실 실환경의 적정 성능 수준 제시
- 기존 학교, 어린이집들에 대한 공기정화장치 적용 가이드라인 제시 가능
- 에너지·주거·교육·건강 관련 생활 영역에서의 리빙랩 유형 및 세부 수행 모델 제시
- 미세먼지 대응을 위한 관련 주체들이 연계·협력할 수 있는 플랫폼 구축과 함께 실제 적용 가능한 추진 방법 및 매뉴얼 제시 가능

(2) (생활공간별 식물 기반 실내 미세먼지 저감 기술 개발 사업)

- 건축, 원예, 조경적인 제품 및 소재의 개발을 통한 관련 산업 활성화
- 식물을 활용한 미세먼지 저감으로 생활공간별 미세먼지 농도 건강 기준치 이하로 조성하여 쾌적한 실내 환경 유지
- 생활공간, 학교, 지하공간별 모델을 개발하여 식물 활용 미세먼지 저감 가이드라인 제공
- 미세먼지 취약계층을 위한 실내 수목 관리 매뉴얼로 활용
- 가드너 등 전문인력 개발을 위한 수목·식물관리 프로그램으로 활용

(3) (식물활용 도심 미세먼지 저감 바리케이트 기술 개발 및 실증 사업)

- 도심환경 및 식재지 특성에 적합한 수종 및 관리에 활용
- 미세먼지 오염원에 대한 차별적 대응 도시숲을 조성하여 능동적 정책 추진
- 지역별 녹화용 식물재배 농장 활성화 및 관리업체 육성(지역 대학별 관련학과 청년 녹색 벤처를 운영하여 창업유도 : 청년 도시녹화그린네트워크 벤처(가칭))
- 환경적·경관적으로 쾌적한 도시 가로환경 구축 방안 조성
- 녹지공간 확대로 도시 대기환경 개선 뿐 아니라 심리적 안정감 제공
- 가로 녹지 뿐 아니라 공원, 정원에 적용할 식재 시스템 개발 모델 제시

(4) (도심내 미세먼지 저감 기술개발 및 실증 사업)

- 도로주변 현장에서의 실증 평가를 통한 미세먼지 저감 특성에 대한 실질적인 정보를 제공

- 함으로써 국민에게 신뢰성 있는 미세먼지 저감 대책 방안 제공
- 쾌적한 도로주변 환경 유지를 위한 적절한 미세먼지 청정 스마트 보행환경 시스템 운영 솔루션 제공
- 도로주변 공기정화장치 적용 가이드라인 제시 가능
- 미세먼지 대응을 위한 관련 주체들이 연계·협력할 수 있는 플랫폼 구축과 함께 실제 적용 가능한 추진 방법 및 매뉴얼 제시 가능

(5) (가축분뇨퇴비화 처리 과정에서의 미세먼지 저감기술 개발)

- 축산 및 초미세먼지 관련 분야에서 연구결과를 활용함
- 농림축산식품부, 환경부 등 가축분뇨 관련 유관기관의 정책자료로 활용
- 초미세먼지 발생감소 관련 국가간 대응자료로 활용함
- 가축분뇨 분야에서의 초미세먼지 발생량 감소효과 기술자료로 활용
- 축산 생산시설 내부 근로 복지증진을 위한 공기질 관리기준 마련의 근거 자료
- 일반 미세먼지 및 초미세먼지 전구체(암모니아)의 축산 시설 배출 특성 규명 및 지역별 공기질 개선을 위한 맞춤형 대안 제시
- 축종, 축사유형별, 시기별, 사양관리별 세분화된 배출계수 인벤토리 구축

(6) (미세먼지에 안전한 농산물 생산 기술 개발)

- (농촌진흥청) 농림축산식품부, 환경부 및 식품의약품안전처에 정책 제안하여 국민들이 체감할 수 있는 정책사업의 추진에 반영
- R&D를 통해 개발된 기술을 농업현장에 신속하게 보급하여 영농에 활용
- 도시 텃밭 농산물의 안전성 확보방안 활용 기술
- 미세먼지 발생 시 안전한 농산물 생산 및 저장을 위한 관리방안 제시, 영농 종합상황실 설치·운영 및 현장기술지원, 대응 매뉴얼에 따라 관련기관 전파 및 홍보, 피해 저감을 위한 농민 대상 교육·지도 실시
- 미세먼지 중 유해미생물 데이터베이스 구축에 따른 정보 제공
- (식품의약품안전처) 식품에서의 미세먼지 오염 수준 분석에 의한 객관적인 자료 생산하여 선도적 대응 체계 마련
- 국민 다소비 식품(대기노출 식품 중심으로)의 식품학적 안전성 확보
- 미래지향적 식품안전관리 체계 확보로 국가 위상 제고
- 대기노출 식품에 대한 취약성 평가를 통한 미세먼지 대응 식품안전기술 개발의 근거 마련하여 위생관리 매뉴얼 및 포스터 배포와 위생교육을 통한 대국민 인식 제고
- 미세먼지 대응 건조식품 생산자 인식 및 행동 변화 제고를 위한 지침 제시

- 불확실성이 높은 미래 환경에 대한 적극적인 대응기술 개발을 통해 식품안전에 대한 국민 신뢰성 확보

VI. 소요예산

SUMMARY(영문 요약문)

I. Title

A Study on the New People Friendly R&D Project for Particulate Matter

II. Background and necessity of research

(Background and purpose of research)

- The social demand for the improvement of the quality of life of the people and solving social problems has increased and the seriousness of the social problems that have an important influence on the quality of life has increased.
- The awareness that particulate matter should be solved as social issues corresponding to national disasters become common.
- Not only the experts but also the general public are aware of the threats and seriousness of particulate matter, and the public demand for solving the problem is increasing.
- But the problem cannot be solved simply, so restoring a pleasant life by solving the problem through science and technology.
- To understand the demand level of the people and to plan the micro dust science and technology research corresponding to them and to carry out the planning study to help solve the fine dust problem

(Need for research)

- Strengthening the role of science and technology to improve the quality of life.
- Both ordinary citizens and experts recognize the role of science and technology as important in solving social problems.
- Promotion of R&D projects to solve the problems of people's life.
- R&D projects are necessary for the realization of a society that can satisfy the people by solving the public uneasiness about the social problems and solving the problems in substance.

III. Contents and scope of research

(Content of research)

- Investigate the status of R&D projects for solving the problems of the people's life, and find ideas and tasks

(Scope of research)

- Identify and plan research projects that can produce results that people can feel based on the contents acquired through the public idea invitation.
- In order to solve the problem, it is necessary to overcome limitations of related R&D projects.
- Promoting rR&D projects to find fundamental solutions to problems while solving the public uneasiness by raising public participation and responding to current issues.
- In this research project, we are promoting 'National Sensitive Fine Dust Reduction R&D Project' from the consumer perspective. Overcoming limitations of existing social problem solving R&D projects by promoting collaborations between ministries' collaborations, R&D departments and policy departments in the process of realizing national ideas. It is the first research project in Korea to solve the fine dust problem focused on the technologists from the viewpoint of the consumers.

IV. Results

- Listened to various opinions of the public (expanding the scope of the proposal to university students, graduate students, researchers, and the general public) by bottom-up method rather than top-down approach by publicizing ideas for public participation in response to national requests
- Deriving scientific and technological research tasks that can solve problems based on peoples' ideas. Screening with the first-choice candidate by discovering high-feasible content. After selecting the final ideas from the in-depth reviews of the ideas selected as the first candidates.

V. Plan to use research results

(1) (School fine dust diagnosis and improvement living lab business)

- Provide reliable information on micro dust reduction measures to the public by providing practical information on the characteristics of fine dust reduction through the empirical evaluation at schools and daycare facilities
- Provide appropriate indoor environment solution to maintain pleasant indoor environment less than WHO recommendation standard ($PM_{2.5}$ 35 $\mu g/m^3$)
- Establishment of stable maintenance system of school and child care dust management equipment through standardization of filter life and filter size
- Presenting appropriate performance level of classroom environment of air purifier and

ventilator for school and daycare

- Guidelines for applying air purifiers to existing schools and day care centers
- Presentation of living rap type and detailed implementation model in life, energy, housing, education, and health related areas
- Establishment of a platform to link and cooperate with the related parties to respond to the fine dust, and to present practical implementation methods and manuals

(2) (Project for the development of indoor fine dust reduction technique for plant basis by living space)

- Activation of related industries through the development of architecture, gardening and landscaping products and materials
- Fine dust concentration by living space by using micro-dust reduction by plants
- Development of models for living space, school, and underground space to provide fine dust reduction guidelines
- Utilizing the indoor tree management manual for the fine dusty layer
- Utilizing the plant and plant management program to develop professional manpower such as gardner

(3) (Development and demonstration of barricade technology for urban dust reduction in urban areas)

- Suitable for species and management suitable for urban environment and property
- Distinctive response to fine dust pollution
- Cultivate a plant for cultivation of plantation for regional greening and management (To promote start-up by operating youth green venture department related to local university)
- Establishment of a plan to construct environmentally and environmentally pleasant urban street environment
- Expanding the green space provides not only the improvement of the urban atmosphere but also the psychological stability
- Presenting a model of planting system to be applied to parks and gardens as well as landscape

(4) (Development and demonstration of fine dust reduction technology in the city center)

- Providing reliable information on micro dust reduction measures to the public by providing practical information on the characteristics of fine dust reduction through empirical evaluation

in the field around the road

- Provide appropriate micro dust-clean smart walking environment system operation solution to maintain pleasant road environment
- Guideline for applying air purification device around the road
- Establishment of a platform to link and cooperate with the related parties to respond to the fine dust, and to present practical implementation methods and manuals

(5) (Development of fine dust reduction technology in livestock manure composting process)

- Use of research results in the field of livestock and ultrafine dust.
- Use as policy data of relevant agencies related to livestock manure such as Ministry of Agriculture, Forestry and Livestock
- Used as a countermeasure for the reduction of superfine dust.
- Reduction of ultrafine dust generation in livestock manure application as technical data
- Basis for the establishment of air quality management standards for the promotion of welfare in the livestock production facility
- Identification of emission characteristics of general fine dust and ultrafine dust precursors (ammonia) in livestock facilities and suggesting customized alternatives to improve air quality in each region
- Establishment of granular emission factor inventory by type, season, and specification management

(6) (Development of safe agricultural products production technology)

- The Ministry of Agriculture, Forestry and Livestock Food, the Ministry of Environment and the Food and Drug Administration are proposing policies and reflected in the promotion of policy projects that citizens can experience.
- Rapid dissemination of technology developed through R&D to farming sites
- Techniques for securing the safety of agricultural products in urban households
- Provide management measures for the production and storage of safe agricultural products in the event of fine dust, establishment and operation of the general agricultural monitoring room and on-site technical support, training and guidance for farmers to propagate and publicize related organizations in accordance with the response manual
- Providing information on the construction of hazardous microorganism database among fine dusts

- Produce objective data by analysis of fine dust pollution level in food and prepare a leading response system
- Ensure food safety of people's dietary consumption
- Improvement of national status by securing future-oriented food safety management system
- Establishing the basis for development of food safety technology for micro dust by evaluating vulnerability to food exposed to air, distributing hygiene management manuals and posters and raising public awareness through hygiene education
- Provision of guidelines to promote dry food producer awareness and behavior change for fine dust
- Ensuring public confidence in food safety through the development of active countermeasures to the uncertain future environment

CONTENTS

Chapter 1. Background and necessity

1. Background of research planning
2. Needs of research planning

Chapter 2. Status analysis

1. Trends in domestic and overseas research projects

Chapter 3. Policy validity

1. Validity with Policy
2. Differentiation from existing business
3. Necessity of multilateral research project

Chapter 4. Contents of research projects

1. Demonstration of fine dust in children's facilities such as schools and day-care centers
2. Development of green interiors by living space to reduce fine dust
3. Development and demonstration of micro dust reduction technology for plant utilization
4. Development and demonstration of fine dust reduction technology in the city
5. Development of fine dust reduction technology in livestock manure composting process
6. Production of safe agricultural products in fine dusts, development of distribution and consumption technology

Chapter 5. Expected performance

1. Performance indicators and goals
2. Evaluation criteria and procedures

Chapter 6. Business promotion system and management plan

Chapter 7. Investment plan

1. Overall budget
2. Budget for each year and each projects

목차

제1장. 추진 배경 및 필요성	1
1. 연구 기획 배경	1
2. 기획 필요성	1
제2장. 현황분석	17
1. 국내외 관련 연구사업동향	17
제3장. 정책적 타당성	18
1. 정책과의 부합성	18
2. 기존 사업과의 차별성	18
3. 다부처 추진 필요성	22
제4장. 연구내용	23
1. 학교와 어린이집 등 어린이 이용시설의 미세먼지 실증 리빙랩 사업	23
2. 미세먼지 저감을 위한 생활공간별 그린인테리어 개발	45
3. 식물활용 미세먼지 저감 기술개발 및 실증	67
4. 도심 내 미세먼지 저감 기술 개발 및 실증	89
5. 가축분뇨 퇴비화처리 과정에서의 미세먼지 저감기술 개발	108
6. 미세먼지에 안전한 농산물 생산·유통·소비기술 개발	133
제5장. 기대성과	169
1. 성과 지표 및 목표	169
2. 평가 기준 및 절차	169
제6장. 사업추진 체계 및 운영방안	171
제7장. 투자 계획	172
1. 총괄예산	172
2. 연차별 및 비목별 예산	172

표 목차

[표 1] 기획단계 사회문제해결형 연구개발 사업 특징	4
[표 2] 사업화 리빙랩 유형	9
[표 3] 연구개발 사업별 특징	11
[표 4] 국민 아이디어 발굴을 통해 선정한 6개 연구 사업	14
[표 5] 과학기술기반 미세먼지 대응전략 내 기술 분류	16
[표 6] X-프로젝트 사업 현황 조사 결과	17
[표 7] 기존 R&D와의 차별성 분석	34
[표 8] 연차별 예산 세부 산출 내용	39
[표 9] 기존 R&D와의 차별성 분석	53
[표 10] 연차별 예산 세부 산출 내용	62
[표 11] 성과지표 및 목표 내용	66
[표 12] 2030년 OECD 환경전망; 미래의 주요 환경 문제를 신호등으로 표현	71
[표 13] 기존 R&D와의 차별성 분석	77
[표 14] 연차별 세부 예산 산출 내용	83
[표 15] 성과지표 및 목표 내용	88
[표 16] OECD 환경산업 분류	93
[표 17] 국내 대기관리시장 부문별 매출액 규모	94
[표 18] 연차별 세부 예산 산출 내용	104
[표 19] 가축분뇨 처리방법별 적용비율	109
[표 20] PM _{2.5} 의 주요 발생원	110
[표 21] 범부처 미세먼지 관리 종합대책 상 4대 핵심 배출원	119
[표 22] 기존 R&D와의 차별성 분석	122
[표 23] 연차별 세부 개발 기술 내용 요약	123
[표 24] 연차별 세부 예산 산출 내용	126
[표 25] 연구 개발 추진 전략	129
[표 26] 유관법령 및 주요 내용	134
[표 27] 미세먼지 관련 해외 정책 동향	139

[표 28] 미세먼지 관련 해외 연구현황	142
[표 29] 미세먼지 노출 및 건강영향 최소화 관련 정부연구비 현황	146
[표 30] 최고기술국 대비 주요국 기술수준 및 격차	146
[표 31] 기존 연구사업의 주요 내용	150
[표 32] 연차별 세부 예산 산출 내용	157
[표 33] 연구 추진 방법 및 과제	162
[표 34] 미세먼지 발생 상황에 따른 행동 요령 (예)	164
[표 35] 성과지표별 목표치 설정	167
[표 36] 평가항목 및 평가지표	168
[표 37] 평가항목 및 평가지표의 예	170
[표 38] 6개 대상 연구개발 사업 총괄 예산	172
[표 39] 6개 대상 연구개발 사업 연차별 비목별 예산	172

그림 목차

[그림 1] 과학기술기반 미세먼지 대응 전략 국가전략 프로젝트 추진 체계	5
[그림 2] X-프로젝트 쿠키 등의 설문조사 결과	7
[그림 3] 정부 R&D 패키지형 연구개발 투자플랫폼 도식도	10
[그림 4] 국민 생활 문제(미세먼지 문제 사례) 해결 연구개발 사업 추진 방향	12
[그림 5] 다부처 사업 현황 조사 결과 (1/2)	20
[그림 6] 다부처 사업 현황 조사 결과 (2/2)	21
[그림 7] 공기정화장치 제품별 비용-효과 리스트	25
[그림 8] 교실 내 공기정화장치의 미세먼지 제거 효과	29
[그림 9] 연세대 제안 단계별 교실 내 미세먼지 관리 목표	30
[그림 10] 공기청정기 설치에 따른 미세먼지 감소 효과	30
[그림 11] 기계연의 주택 실환경 미세먼지 관리기술 평가방법 개발	31
[그림 12] 어린이 이용시설 미세먼지 실증 리빙랩 사업 개념도	35
[그림 13] 생활환경 정보 수집 및 분석 리빙랩 통합 플랫폼 구축	36
[그림 14] 학교 및 어린이집 미세먼지 진단 및 개선 리빙랩 현장 실증	37
[그림 15] 학교, 어린이집 실내환경 개선 솔루션 가이드라인 제공	38
[그림 16] 연도별 추진 일정	38
[그림 17] 연구 기관별 추진방법	42
[그림 18] 세계 주요도시의 미세먼지 농도 비교	46
[그림 19] 식물의 공기정화 상호작용	47
[그림 20] 매체에서 취급되는 미세먼지의 심각성	47
[그림 21] 식물의 미세먼지 제거 효과 연구 결과	48
[그림 22] Plant-Based Air Filtration System	49
[그림 23] 공기정화식물 지속 홍보 및 마케팅	50
[그림 24] 식물 종류와 왁스층에 따른 미세먼지 흡착능력 비교	51
[그림 25] 베이징 내 주요수종의 미세먼지 흡착과 그 종류	51
[그림 26] 식물을 활용한 the living wall system과 미세먼지 흡착	52
[그림 27] 식물의 미세먼지에 대한 민감도 스크리닝 프로세스	52

[그림 28] 미세먼지 제거 측정기준 설정	54	[그림 60] '미세먼지 오염현황과 대책' 국정과제 추진경과 및 향후 일정	92
[그림 29] 미세먼지 제거능력 비교 모델 개발	54	[그림 61] 문재인정부 국정운영 5개년 계획 내 미세먼지 관련 내용	92
[그림 30] 식물의 미세먼지 제거 원리	55	[그림 62] 국내 공기청정기 시장규모	95
[그림 31] 미세먼지 저감 효율 높은 식물	55	[그림 63] 진공 및 살수 청소차량	96
[그림 32] 공기정화 실험 모듈 제작	56	[그림 64] 도로 시설물 적용 대기오염 저감 기술	96
[그림 33] 미세먼지 제거 능력 스크리닝	56	[그림 65] 미세먼지 청정 스마트 보행환경 시스템 사업 개념도	99
[그림 34] 미세먼지 종류에 따른 제거	56	[그림 66] 미세먼지 청정 스마트 보행환경 시스템 아이디어 스케치	100
[그림 35] 다양한 공기정화식물 플랜터 개발	58	[그림 67] 미세먼지 청정 버스정류장 아이디어 스케치	101
[그림 36] 생활공간 식물 이용 사례	58	[그림 68] 버스정류장 지붕 및 벽면 녹화 예시	101
[그림 37] 식물 잎 구조에 따른 미세먼지 제거	59	[그림 69] 미세먼지 프리타워, 미세먼지 센서 및 공기청정기 부착 예시	102
[그림 38] Plantui Plantation smart garden	60	[그림 70] 미세먼지 실증 평가 예시	102
[그림 39] 수직공간용 바이오 월 원리	61	[그림 71] 빅데이터 기반 미세먼지 관리 시스템 예시	103
[그림 40] 지하공간 식물 이용 사례	61	[그림 72] 연도별 추진 일정	103
[그림 41] 연구 개발 추진 전략	64	[그림 73] 연구 기관별 추진방법	106
[그림 42] 나무에 의한 미세먼지 저감 개략도	68	[그림 74] 대기중 입자물질 분포	110
[그림 43] 초미세먼지 농도에 따른 호흡기질환 환자 추이	68	[그림 75] 1차 2차 미세먼지의 구분	111
[그림 44] Green Curtain 모듈 구성을 통한 건물 녹화 공간 구성	73	[그림 76] 미국 암모늄/암모니아 농도 분포 지도	112
[그림 45] '건물+녹화'를 통한 Vertical Forest 프로젝트	73	[그림 77] 미세먼지(PM _{2.5}) 2차 생성과정	112
[그림 46] 모듈형 수직녹화	75	[그림 78] 축산시설에서 발생하는 미세먼지가 근로자, 가축, 인근 거주민에 미치는 영향	114
[그림 47] 화분형 수직녹화	75	[그림 79] 축산분야에서 적용되고 있는 축사 내 먼지 감소시설	116
[그림 48] 수경형 수직녹화	75	[그림 80] 독일 빅터치만이 제시하고 있는 양돈시설 미세먼지 및 암모니아 저감 시스템 개요	116
[그림 49] 줄당김 수직녹화	75	[그림 81] 가축분뇨 퇴비화시설 및 세정탑 운용시설	117
[그림 50] 미국 도시숲 인벤토리의 표본점 및 고정표본점 설계 사례	76	[그림 82] 가축분뇨 퇴비화과정에서의 미세먼지 감소기술 개발 개념도	121
[그림 51] 챔버 실험 개략도 및 실험 사진	79	[그림 83] Carnegie Mellon University Model 개발 예시 (CMU)	125
[그림 52] 애그리텍처 구조(예)	80	[그림 84] 연구기관별 협조체계도	130
[그림 53] 애그리텍처 개략도	80	[그림 85] 황사와 미세먼지 차이	135
[그림 54] 미세먼지 바리케이트 모식도	80	[그림 86] 주요 국가의 초미세먼지(PM _{2.5}) 기준($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	136
[그림 55] 가로녹지 모식도	80	[그림 87] 주요 도시의 초미세먼지(PM _{2.5}) 현황('15)	136
[그림 56] 연구 추진 방법	86	[그림 88] 오염물질 관리 패러다임의 변화(수정 인용)	137
[그림 57] 대기오염 조기 사망률 국가간 비교	90	[그림 89] 국제기구의 주요 움직임	138
[그림 58] 도로 미세먼지 심각성	91	[그림 90] 미국 EPA의 Air Quality Index의 건강 영향정도	139
[그림 59] WHO 권고기준과 잠정 목표	91	[그림 91] 초미세먼지 관련 산업 동향	140

[그림 92] 미세먼지가 농작물에 영향 (수정 인용)-----	141
[그림 93] 스모그 챔버(Smog chamber)를 이용한 2차 초미세먼지 생성 연구-----	143
[그림 94] 유럽 광화학반응 챔버(European PhotoReactor; EUPHORE)-----	143
[그림 95] 국립환경과학원 미세먼지(황사) 측정 장비 및 측정소-----	144
[그림 96] 수소화물생성법(HG)-----	144
[그림 97] USN 작동 원리-----	144
[그림 98] LC-ICP/MS 연동 시스템-----	144
[그림 99] 초미세먼지 중 부유 세균 분포-----	145
[그림 100] 초미세먼지 중 박테리아 83% 일치-----	145
[그림 101] 유해미생물(대장균) 검출기-----	145
[그림 102] 미세먼지 저감 및 안전성 관련 국내외 특허 기술-----	147
[그림 103] 미세먼지에 안전한 농산물 생산·유통·소비 기술 개발-----	151
[그림 104] 전주기적 오염 실태조사 및 안전성 평가-----	152
[그림 105] 농산물 중 미세먼지 저감 기술 개발-----	154
[그림 106] 표면과 내부에 흡착, 흡수되는 미세먼지-----	154
[그림 107] 미세먼지 안전관리 가이드라인-----	155
[그림 108] 미세먼지 중 오염물질 저감화(털발용)-----	155
[그림 109] 연도별 추진 핵심 내용-----	157
[그림 110] 연구 개발 추진 전략-----	161
[그림 111] 연구 기관별 추진 내용-----	163
[그림 112] 농식품의 위해요소 관리 패러다임 전환-----	166
[그림 113] 연구개발 사업단 조직도(예)-----	171

제1장. 추진 배경 및 필요성

1. 연구 기획 배경

국민 삶의 질 향상과 사회문제 해결에 대한 사회적 수요 증가

○ 특히 삶의 질에 중요한 영향을 미치는 사회문제의 심각성이 고조됨

- 일반시민·전문가 모두 국내 사회문제의 심각성은 높는데 문제해결 정도는 낮다고 전망 (KISTEP Issue Weekly 2018-27)

미세먼지가 국가 재난에 상응하는 사회적 이슈로 부각되고 있음

○ 국내 미세먼지 농도는 선진국 대비 2배 이상 높아 환경문제를 넘어서 사회문제로까지 인식되고 있는 실정

- 사회문제로 인식되면서 이를 해결해야 한다는 의식이 보편화됨

미세먼지 문제 해결을 바라는 국민적 요청 쇄도

○ 미세먼지 전문가들뿐만 아니라 일반 국민들도 미세먼지에 대한 위협 및 심각성을 인지하게 되어 문제 해결을 바라는 국민적 요구 수준이 높아짐

- 하지만 미세먼지 문제가 단순히 해결될 수 있는 문제는 아님

과학기술을 통해 미세먼지 문제를 해결함으로써 쾌적한 삶 복원

○ 미세먼지 관련 실현 가능한 과학기술을 적용해 가시적 성과가 도출되어 국민행복증진 실현

- 미세먼지 문제를 해결하는데 과학기술계가 기여해야 한다는 여론 형성됨

- 이에, 국민들의 요구 수준을 파악하고 그에 상응하는 미세먼지 과학기술 연구를 기획하여 미세먼지 문제 해결에 일조하기 위해 기획연구를 수행함

2. 기획 필요성

삶의 질 향상을 위한 과학기술의 역할 강화에 대한 사회적 공감대 형성

- 일반시민과 전문가 모두 사회문제 해결에서 과학기술의 역할을 중요하게 인식
 - 일반시민 89%가 사회문제 해결에서 과학기술의 역할이 높은 것으로 응답
- ※ 일반시민 응답(보통 46%, 높음 43%)
 - 전문가의 84%가 향후 과학기술의 역할이 강화될 것으로 전망(KISTEP Issue Weekly 2018-27)
- ※ 약간 강화 53%, 매우 강화 31%

□ 국민 생활 문제 해결을 위한 연구개발 사업 추진

- 국민 생활 문제 해결을 위한 연구개발 사업 추진 필요성
 - 과학기술에 대한 기대가 경제성장을 넘어, 건강, 안전 등 삶의 질 향상을 위한 역할 강화로 확장됨. 사회문제에 대한 일반국민의 높은 관심 속에 현 정부에서는 사람 중심의 정책 추진을 강화하고 있음(관계부처 및 지자체 합동, 2018, 제2차 과학기술 기반 국민생활(사회) 문제 해결 종합계획(안))
 - 과학기술 정책과제 설정과 우선순위 도출에서 ‘과학기술의 사회적 기여 강화’가 중요도에서 3순위로 나타남(한국과학기술기획평가원, 2018). 문제의 근원적 해결을 위한 과학기술 역할에 대한 국민 요구 증대에 부응하지 못한 것이 국민 체감 문제해결의 어려움에 해당함(과학기술정보통신부, 2018)
 - 그러나 과학기술정책과 연구개발 사업 투자(2016년 정부 연구개발 투자 비중 기준)는 여전히 경제발전과 성장동력 창출에 치중되어 있으며, 기존 경제적 가치 창출의 연구개발 사업 지원체계로는 국민 체감의 성과 창출에 한계가 있음(과학기술정보통신부, 2018)
- ⇒ 사회문제에 대한 **국민 불안을 해소시키고 실질적으로 문제를 해결**하여 국민이 만족할 수 있는 사회 구현을 위한 연구개발 사업이 필요함

- 국민 생활 문제 해결을 위한 연구개발 사업 추진 동향
 - **사회문제해결형 연구개발 사업**은 개인의 일상생활과 사회에서 발생하는 문제를 개선·감소시키거나 해결함으로써 삶의 질 향상에 기여하는 연구개발 활동을 의미함(과학기술정보통신부, 2018, 과학기술을 통한 사회문제 해결 추진방안)
 - **국가전략 프로젝트 연구개발 사업**은 미래 국가발전 및 경쟁력 확충과 직결되고, 경제·사회적 파급력이 높은 과학기술 프로젝트로 과학기술전략회의에서 선정한 국가연구개발사업을 의미

함(미래창조과학부, 2017, 국가전략프로젝트사업 운영관리규정). 국가발전과 성장동력 확충에 직결되고 사회문제 해결에 시급히 필요한 9대 분야 과학기술 프로젝트를 추진함(한국연구재단, 2018, 원천기술개발사업 중 국가전략프로젝트)

- **국민생활연구 연구개발 사업**은 국민의 일상생활에 영향을 미치는 심각한 문제를 “국민생활문제”로 규정하고 이에 대한 과학기술적 해결을 위한 연구개발 및 이의 적용 및 확산을 위한 제반 활동을 의미함(과학기술정보통신부, 2018)
- **국민참여형 연구개발 사업과 프로그램**은 국민이 기획 및 평가 등 연구개발 사업의 전 과정에서 참여하는 형태의 사업과 프로그램을 의미하며 대표적으로 **X-프로젝트 사업과 리빙랩 및 패키지형 연구개발 투자플랫폼(PIE)**이 있음. 2011년 이후 논의된 **개방형 평가도** 참여형 연구개발 프로그램에 해당함

○ 사회문제해결형 연구개발 사업

- 기획단계 특징: 기존 연구개발은 국가의 경제발전에 초점을 둔 성장 중심으로 과학·기술 경쟁력을 확보하기 위한 목표로 추진된 반면, 사회문제해결형 연구개발은 경제발전과 함께 삶의 질 향상을 추구하는 인간 중심으로 사회문제를 해결하기 위한 목표로 기획됨(과학기술정책연구원, 2013)
- 경제 사회환경의 변화: 저성장, 낙수효과 소멸, 양극화, 고령화, 미세먼지, 기후변화, 안전문제 등 새로운 사회문제의 등장(국민생활연구의 발전 방향과 과제, 2017)
- 사회문제해결형 R&D사업에는 범부처 사업, 미래부관련사업, 각부처 및 지자체에서 자체적으로 수행하는 사업들이 있음(국민생활연구의 발전 방향과 과제, 2017)
- 사회적 효과 강조, 리빙랩과 같은 최종사용자, 시민참여형 혁신 모델 도입, 소셜벤처, 사회적경제조직, 지자체, 공유가치창출기업 등 새로운 사회혁신 주체를 발굴하고,
- 사회문제해결형 연구개발 사업 제한점
 - 사회문제해결형 연구개발 사업은 기획 단계 이후에도 사회문제해결을 최종목표로 하여 발굴, 기획, 운영관리, 평가, 성과활용 확산을 진행(한국과학기술기획평가원, 2016)하였으나 몇가지 제한점이 있음
 - 제한점(한국과학기술기획평가원, 2016): ① 현장의 목소리에 기반한 활발한 이슈 발굴 및 관리, 문제해결에 필요한 종합적인 해결방법 모색이 부족하고, ② 문제해결 현장체감도를 향상시킬 수 있는 실증 및 협력 활동이 미흡함. ③ 문제해결 R&D 활동을 함리적으로 평가할 수 있는 체계가 부재하고, ④ 최종수요자 전달까지를 고려한 성과물 활용 및 확산 노력 부족 → 한국과학기술기획평가원(2016)에서 사회문제해결형 연구개발 사업의 단계별 문제접과 장애

요인 극복 활용 가능한 가이드라인을 제시함

- 제한점(과학기술정보통신부, 2017): ① 기존사업의 경로의존성이 있어 상당수 기획, 평가, 정책전문가, 과학기술연구자들이 기존 프레임으로 접근하고, ② 개별 문제, 기술별로 사업이 기획, 추진되면서 관리 및 경험 교류가 어렵고 단발적인 사업으로 진행됨. ③ 새로운 추진방식에 대한 지식과 경험, 인프라가 부족함
- 제한점(한국과학기술연구원, 2018): ① 수요자 관점의 연구 기획, 수행 미흡, ② 수요자(국민) 불안 해소가 목표가 아닌 성과 사업화를 통한 문제 해결 과정에서 수요자 참여(리빙랩 등), 부처별, 연구개발부서와 정책부서 협업 미흡, ③ 단기간에 기초연구부터 문제해결까지 수행하기 위한 사업 기획으로 성과 창출 제한

○ 국가전략프로젝트 연구개발사업- 과학기술기반 미세먼지 대응 전략(한국과학기술연구원, 2018)

- 미세먼지 문제해결을 위해 과학기술기반 미세먼지 대응 전략 프로젝트가 2017년부터 2019년까지 3년간 총 496억원의 정부지원금으로 진행됨(부처합동 보도자료, 2016)
- 미세먼지 저감에 있어 패러다임의 전환으로 새로운 연구 목표와 전략 수립

- 대기환경 분야에 있어 국가적으로 종합적이고 집중적인 기획과 예산 지원이 이루어진 최초의 연구개발사업으로 평가됨

- 국가전략프로젝트 연구개발사업 제한점

- 1단계 3년 동안에 현안 대응을 위한 연구 수행으로 기초·원천 기술 개발 연구가 상대적으로 미흡함
- 국민 불안 해소를 위한 위기관리/소통 등의 연성 기술 (soft technology)에 대한 연구가 미흡함

○ 국민생활연구 연구개발 사업(과학기술정보통신부, 2018)

- 국민생활연구 특징은 최종 수요자 중심 연구개발로 연구 전 과정에서 수요자(국민)의 참여가 필요하고, 최종문제해결을 목적으로 기술개발과 함께, 인증, 제도 개선, 수요창출 및 적용을 포괄하여 논문, 특허 등 학문적 성과가 아닌 최종문제해결 여부로 성과를 평가함

· 시민, 산업, 학계, 중앙정부/공공의 구조에서 시민이 주도하는 연구과제 도출. 최종사용자 그룹이 전문가와의 기획을 통해 기존영역을 활용하며 관심분야에서 새로운 영역을 창출하는 가치 형성 과정을 거침(국민생활연구의 발전 방향과 과제, 2017)

- 기존의 국민 문제 해결형 연구개발 사업의 출발, 기획 단계의 문제점을 대폭 개선한 방법론

제시

- 국민생활연구 연구개발 사업 제한점(한국과학기술연구원, 2018)

· 긴급현안 해결에 중점을 두어 문제의 근본적 해결보다는 현안 대응에 치중

○ 국민참여형 연구개발 사업

- X-프로젝트는 국민이 과학기술에 높은 관심을 보여 자신의 지식을 활용하고 의견을 표출할 수 있는 수단으로, 사회의 다양한 문제를 발굴해 장차 닥칠 미래의 위험 요소에 대비하고 이를 기회로 삼아 새로운 성장의 동력으로 발전시키는 장치임(미래창조과학부, 2016, X-프로젝트 추진 연구)

- X-프로젝트는 다양한 방법으로 대중의 참여를 유도하고, 국민들이 국가 연구개발사업에 주인의식을 갖게 하고 이를 통해 정부에 대한 신뢰도를 향상시키고자 함. X-프로젝트 취지 등의 설문조사 결과 참여한 국민들 대다수가 X-프로젝트 취지와 시도에 긍정적인 결과를 보여(그림 참조) 연구개발사업 기획단계에서부터 국민참여형 연구개발사업의 필요성을 확인할 수 있음

- 미세먼지 문제 해결 관점에서의 X-프로젝트 사업의 제한점

· X-프로젝트는 국민참여 측면에서 성공적인 사례임. 하지만, 현안이 되고 있는 문제를 해결하기 위한 목적이 아니라, 미래의 위험 요소를 대비하기 위해 아직 사회적 합의와 연구가능성이 낮은 연구 프로젝트를 발굴하고 지원한다는 측면에서 사회 현안으로 국민 불안을 야기하고 있는 미세먼지 문제를 해결하는데 적용하기에는 한계가 있음

- 리빙랩은 실제 생활 현장에서 사용자와 생산자가 공동으로 혁신을 만들어가는 실험실이자 테스트 베드(Test Bed)임. 사용자가 개념 설계부터 참여하여 아이디어 구체화, 개발 후 실용화 과정의 간극을 줄여 혁신 활동을 가속시킴(송위진, 2018, 사용자 참여형 혁신 모델, 리빙랩)

- 기존 공급자 중심의 R&D가 한계를 드러내면서 사용자 참여와 현장지향성을 강조하는 리빙랩의 중요성이 대두됨(과학기술정책연구원, 2017, 국내 리빙랩 현황 분석과 발전 방안 연구)

· 도전 주도 혁신, 시민 주도 혁신, 사용자, 시민 공동체 기반의 집단 지성이 카리스마, 신뢰 및 감정 기반 시설 중심의 리빙랩에 참여. 리빙랩에 참여하는 공공기관, 대학, 연구기관들이 대응자금을 마련하여 연구과제 형성하여 문제해결함으로써 공동 창조, 신사업모델, 사회혁신, 리더쉽공유 등의 성과 도출(국민생활연구의 발전 방향과 과제, 2017)

※ X-프로젝트(미래창조과학부, 2016, X-프로젝트 추진 연구)

- (정의) 매우 새로워 아직 사회적 합의와 연구가능성이 낮은 이머징 기술 중 차세대 Seed 기술이 될 수 있는 연구 프로젝트를 발굴하고 지원
- (사회적 합의) X-프로젝트는 대중이 질문하고 답변하는 새로운 연구개발 사업으로 각계각층의 시민들이 한국사회가 성장하기 위해 풀어야 할 질문을 제기하고 공감대를 형성
- (연구가능성) 대중과 연구자들이 문답을 통해 제기된 질문을 성숙시킬 수 있는 토론과 X-질문에 대한 답을 찾기 위한 다양한 연구팀의 협업으로 참신하고 도전적인 연구방법을 제시
- (실행) 대중은 질문제기와 문제의 필요성을 토론을 통해 공감하면서 사회적 합의 수준을 높이고, 연구자는 새로운 연구네트워크의 형성과 창의적 연구방법의 제시로 연구가능성을 높임

※ 리빙랩(과학기술정책연구원, 2017, 국내 리빙랩 현황 분석과 발전 방안 연구)

- (정의)'우리 마을 실험실', '살아있는 실험실', '일상생활 실험실'이라는 뜻으로 특정 지역의 생활공간을 설정하고 공공-민간-시민 협력을 통해 문제를 해결하는 수단이자 방식
- 리빙랩은 탐색(Exploration), 실험(Experiment), 평가(Evaluation) 3단계로 진행
- 리빙랩은 여러가지 지역과 사회 문제를 공급자 중심에서 사용자 중심으로, 전문가로중심으로부터 일반인으로, 기술 적용으로부터 문제 해결 위주로 옮겨가는 혁신적 R&D 프레임이 되고 있음
- 리빙랩 연구의 큰 흐름은 ① 맥락으로서 리빙랩(living lab as a context), ② 방법으로서 리빙랩(living lab as a method) ③ 개념화로서 리빙랩(living lab as a conceptualization)으로 구분할 수 있음. 방법으로서 리빙랩 연구는 개발을 위한 접근법(development approach), 방법(method), 방법론(methodology)과 제품, 서비스, 시스템과 프로토타입 개발, 검증, 시험이 이루어지는 과정 등에 초점을 두는 것임

- 리빙랩 사업의 제한점(성지은, 2018, 국내 리빙랩 추진 현황과 과제)
- 리빙랩이 국가 연구개발사업의 혁신 방식으로 도입되고 있으나 기존의 연구개발체계 내에서 진행되어 일반 시민, 사회적 기업의 참여가 쉽지 않다는 한계가 있음. 지속적인 교류와 공익성을 지닌 똑똑한 최종사용자를 조직화하는 것에 어려움이 있음
- 리빙랩 교육 프로그램과 다양한 툴킷 개발과 리빙랩 관련 경험 공유와 지속적인 모니터링 필요

- 정부 패키지형 연구개발 투자플랫폼(PIE)은 미세먼지 해결을 위한 과학기술 R&D 외에 이를 뒷받침하는 지원 R&D에 해당함(그림 참조) (한국과학기술연구원, 2018)
- 미세먼지는 경제나 산업 영역에 한정된 문제가 아니라 국민적 관심이 높고, 시급한 해결이 필요한 사회적 난제로 생산, 사용, 소비 등 다양하고 복잡한 과정에서 발생하고 확산되므로 R&D 최종 목적이 기술혁신 보다 국민 불안 저감에 대한 기여가 우선임
- 자연과학, 기술뿐만 아니라 국민의 인지 및 개발된 기술의 실제 사업화 및 사회적 수용성 향상을 위해 사회과학분야 연구 개발 지원 필요
- 미세먼지 R&D 패키지에 포함되는 R&D는 과학기술지식 R&D와 정책 지원 제도 및 소통 R&D로 구분 가능하며, 핵심•기반지식, 기술•정보 융합, 공공 서비스로도 구분 가능(2019년 정부 연구개발 예산 심의부터 적용)

- 정부 R&D 패키지형 연구개발 투자플랫폼 제한점(한국과학기술연구원, 2018)
- 개념은 하향식 연구개발 수요 분야 파악이나, 현재의 정부 연구개발 투자 모형은 상향식 연구개발임(필요한 연구개발 분야 키워드가 제시되었으나, 관련부처에서 연구개발 의향이 없는 경우에는 연구개발이 불가능함)
- 개방형 평가는 기존 소수 전문가 중심의 평가단 외 다수 평가자가 참여하는 열린평가단을 구성하여 평가자의 참여 폭을 확대하여 참여, 공유, 협력을 강화하고자 추진된 평가 방식임. 온라인 평가 인프라를 구축하여 평가하고, 참여 확대에 따른 정보 공개범위를 확대함
- 전문가평가단과 열린평가단의 의견을 모두 취합하여 객관성과 공정성을 확보하고자 함
- 피평가자에게 보다 수용성이 높은 평가 방식임
- 개방형 평가 제한점
- 전문가 평가와 일반 평가의 차이를 조화시키는 과정에 객관성과 공정성을 확보할 수 있는 장치가 필요함
- 연구자 중심이므로 최종 수요자의 의견을 수렴하거나 반영하기 어려움

미세먼지 문제 해결을 위한 연구개발 사업 추진 방향

○ 미세먼지 문제 해결을 위한 연구개발 사업

- 기초연구나 원천기술개발보다는 단기간에 국민이 체감할 수 있는 문제 해결에 집중하여 시행되고 있음. 따라서 장기간의 기초연구가 필요한 경우에도, 이에 대한 투자는 소홀해지지는 경향이 있음
- ⇒ 실질적인 문제해결을 위해 장기간의 노력이 필요한 경우, 이에 대한 계획과 실행이 필요함

○ 미세먼지 문제 해결을 위한 연구개발 사업 추진 방향(그림 참조)

- 미세먼지 문제해결을 위해서는 기 추진된 관련 연구개발 사업들의 제한점을 극복할 수 있는 방향의 사업 추진 필요
- 국민 참여도와 현안 대응도를 높여 국민 불안을 해소하면서 근원적인 문제 해결책을 찾기 위한 연구개발 사업을 동시에 추진해야 함
- ⇒ (1) 장기적으로 문제의 근원적 해결을 위한 기초·원천 연구개발 사업과 (2) 단기적으로 국민 불안을 해소하기 위한 국민 체감형, 참여형 연구개발 사업과 같이 투 트랙의 연구개발 사업을 동시에 추진하는 것이 필요함(그림 참조)

⇒ 본 기획 연구에서 수요자 관점의 '국민체감형 미세먼지 저감 R&D 사업'을 추진하고자 함. 국민아이디어를 사업으로 실현하는 과정에 부처간 협업 및 연구개발부서와 정책부서간의 협업을 도모하여 기존 사회문제해결형 연구개발사업의 제한점을 극복하고자 함. 수요자인 국민의 관점에서 과학기술자가 중심이 되어 미세먼지문제를 해결하고자하는 연구기획은 국내 최초의 시도임.

국민적 요청에 부응하는 국민참여 아이디어 공모

- top-down 방식이 아닌 bottom-up 방식으로 국민들의 다양한 의견을 청취할 필요성 제기됨
- 대학생, 대학원생, 연구자 및 일반 국민으로 제안자 범위를 확대

국민 아이디어를 기반으로 미세먼지 해결 가능한 과학기술적 연구 도출 필요

- 국민이 제안한 아이디어 중에서 과학기술적으로 실현 가능성이 높은 내용을 발굴하여 연구사업화로 추진할 필요성이 대두됨
- 미세먼지 해결을 위한 국민아이디어를 공모하여 아이디어를 1차 후보군으로 스크리닝할 필요가 있음
- 1차 후보군으로 선정된 아이디어를 대상으로 심층 검토 평가를 거쳐 최종 아이디어로 선정하여 신규 사업 기획에 활용될 기회 제공

과학기술을 기반으로 구체적인 성과물이 도출될 수 있는 연구과제 최종 선정

- 최종 선정된 국민아이디어에 현존하는 과학기술을 도입하여 미세먼지 문제 해결을 위한 신규 연구 사업 발굴
- 국민행복 증진을 위한 국민체감형 미세먼지 연구 사업 도출
- 9개의 아이디어를 발굴하여 6개의 연구 사업으로 도출(표4)

- 6개의 연구 사업중 식물을 이용한 연구개발사업은 2개로서 생활공간별 인테리어 미세먼지 저감기술 개발사업은 실내공기정화에 초점이 맞춰진 사업이며, 식물활용 미세먼지 저감기술 개발 및 실증(도시 그린인프라, 공사현장 greening, 미세먼지 바리케이트)사업은 실외공기정화에 초점이 맞춰진 사업임
- 식물과 관련된 사업은 총 3개이며, 위의 식물관련 두개의 연구사업에 대하여, 식물을 실내에 적용할 경우와 실외에 적용할 경우에 대하여 유지 및 보수 등에 대한 연구 내용이 상이할 것으로 판단되며, 미세먼지에 안전한 농산물 생산 기술 개발 사업의 경우 미세먼지가 농산물로 퇴적되었을 때 국민들의 불안을 해소하고자 기획된 사업임
- 실내, 도심 및 농축산 분야에서의 미세먼지 저감에 대한 연구개발 사업을 추진하는 것으로 기획하였고, 특히 도심분야에서의 미세먼지 저감 연구개발 사업의 경우 도로뿐만 아니라 공항 및 항만 시설에서의 연구도 추진되는 것도 고려해볼 수 있겠음
- 본 기획연구는 국민 아이디어를 기반으로 도출된 연구 개발 과제를 포함하고 있어 과학 기술적인 상세 내용이 최첨단 연구 개발 내용이 아닐 수도 있으며 성과 지표 또한 국민 체감형 미세먼지 문제 해결이라는 취지에 부합될 수 있는 정성적 지표가 마련되어 있어 연구 개발이 진행되는 단계에 따라 성공 가능성 여부를 판단할 수 있을 것으로 판단됨
- 6개 사업 중 5개 사업이 기존 과학기술기반 미세먼지 대응 전략(관계부처 합동, 2016)의 기술 분류상 국민생활 보호에 해당
 - 국민들이 미세먼지 문제 해결을 위해 국민생활 보호에 해당하는 분야의 연구개발의 필요성을 체감하고 있다는 것을 확인할 수 있음. 실제 정부, 전문가 및 국민의 미세먼지에 대한 인식은 차이가 크다는 연구 결과가 제시됨(김영옥 등, 2016)
 - 기존 미세먼지 저감 관련 연구개발은 현상규명 및 예측과 미세먼지 배출저감 분야 주로 집중되어 있음. 2015년 분야별 R&D 투자규모(관계부처 합동, 2016)는 미세먼지 현상규명 및 예측 분야가 196.7억원, 미세먼지 배출저감 분야가 약 147.6억원, 국민생활 보호 분야가 76.1억원으로 국민생활 보호 분야에 대한 투자규모는 전체 투자의 18%에 불과함
- ⇒ 본 연구사업을 통해 미세먼지 문제 해결을 위해 국민들의 요구가 높은 '국민생활 보호' 분야의 연구에 집중적인 투자 및 연구 개발이 가능함. 국민이 체감할 수 있는 국민중심형 연구개발사업의 초석을 다지기 위해 '실내미세먼지 저감관리', '도심지역미세먼지 저감관리' 및 '농축산미세먼지 저감관리'의 세가지 분류에서 6개의 연구개발사업을 기획함

제2장. 현황분석

1. 국내외 관련 연구사업동향

국내 국민참여형 연구개발사업

- 본 연구과제에서 기획하고 있는 연구과제와 유사하게 국민들이 아이디어 제안부터 기획까지 연구기획 주체로 참여하는 과제로 “X-프로젝트”연구과제가 있음
 - 공익성, 참신성, 도전성에 초점을 맞춘 과학기술 기반 연구과제

해외 국민참여형 연구개발사업

- 미국 : 아이디어 공모 온라인 플랫폼 및 시민과학
 - 현대사회 문제들을 대중과 함께 해결하기 위해 온라인 공모 플랫폼을 마련하고 정부와 의회에서 시민 과학을 적극 지원
 - 연방정부가 시민과 함께 문제를 발견하고 해결해갈 수 있도록 대국민 공모 플랫폼

“Challenge.gov” 마련

- 미 정부는 백악관을 중심으로 시민과학 포럼(2015.09.30)을 개최하고 의회에서는 관련 법안을 마련하는 등 정부와 의회에서 적극적으로 시민과학 활성화를 도모

○ 유럽 : 시민과학 중심의 대중화

- 단순히 시민에게 과학정보를 제공하는 단계를 벗어나 연구과정에서 시민이 연구 대상을 관찰하거나 연구에 필요한 데이터를 수집 또는 처리하는 심도 있는 참여를 포괄(White Paper on Citizen Science For Europe, 2014)
- 영국과학진흥협회, 영국암연구단체 등 민간단체가 자체적으로 시민과학 프로그램 운영
- 시민과학 청서(Green paper) 발간. 이를 계기로 시민과학 활성화에 대한 논의를 공개하고 백서(White paper)도 발간하여 이를 통해 시민과학의 정책화에 대한 구체적 방법을 모색

제3장. 정책적 타당성

1. 정책과의 부합성

- 국민이 직접 참여하는 방식으로 기획되는 본 사업은 미세먼지 사회문제해결을 목표로 하는 연구로서 국민참여 확대라는 현 정부의 정책 기조와 부합함

○ 관련 국정과제

- 미래 교육 환경 조성 및 안전한 학교 구현
- 미세먼지 걱정 없는 쾌적한 대기환경 조성
- 지속가능한 농식품 산업 기반 조성에 부합
- 건강하고 품질 좋은 먹거리 공급체계 구축

2. 기존 사업과의 차별성

- 미세먼지 해결에 리빙랩 개념의 연구개발사업 제시

- 국가 연구개발사업의 혁신 방식으로 도입되고 있는 리빙랩 개념을 국민체감형 미세먼지 연구개발사업에 적용하고자 함. 기존의 리빙랩에서는 연구개발체계 내에서 진행되어 일반 시민의 참여가 쉽지 않았지만, 이를 극복하고자 기획단계부터 일반시민의 참여를 유도함. 지속적인 교류와 공익성을 지닌 현명한 최종사용자를 양성하고 조직화하려고 함. 이를 위해 다양한 분야에서 리빙랩 관련 경험 및 노하우를 지속적으로 교류함.

- 아래 그림에 2014년 6월부터 2018년 1월 사이에 선정된 15개 다부처 공동사업에 대한 내용을 제시함

- 주관 기관별로 주관하고 있는 사업들은 공동주관을 포함하여 과기정통부 4건, 국토부 4건, 문체부 1건, 해수부 1건, 산업부 2건, 환경부 1건, 소방청 1건, 경찰청 1건, 복지부 2건 그리고 농진청 1건임

- 국민 또는 생활밀착형 사업으로는 “생활밀착형 유해화학물질 대체기술 개발”, “국민안전감시 및 대응 무인항공기 융합시스템 구축 운영” 그리고 “국민위해 인자에 대응한 기체분자 식별 분석기술 개발”사업이 있음

- 이들 사업중에서 국민이 직접 아이디어를 제안하고 그 것을 기반으로 과학기술을 접목하여 연구개발 사업으로 기획된 사업은 없음

- 주로 국가의 경제발전에 초점을 둔 성장 중심으로 과학·기술 경쟁력 확보를 위한 목표로 추진된 연구개발사업이 대부분이고, 삶의 질 향상을 추구하는 인간 중심으로 국민들이 직접 아이디어를 제안한 연구개발사업은 찾을 수 없으며 리빙랩 기반의 국민참여-소통 중심의 연구사업은 없기 때문에 기존 사업들과의 차별성은 뚜렷함

- 선정된 연구개발사업중 이미 수행되었거나, 현재 수행중인 유사과제가 있는 경우 선정에서 배제되는 것이 타당함. 일반적으로, 사업 선정 이전에 중복성 확인 절차는 필수적이며 중복성이 확인된 경우 기획 내용에서 제외됨

- 본 연구기획에서 제시되는 기대 효과 및 성과 분석 방안들은 정성적인 지표들로 제시되어 있음. 이는 국민체감형 미세먼지 문제 해결을 위해서는 기존의 연구 개발 과제와 같이 논문, 특허 및 기술 이전 등의 정량적 지표를 제시하기 보다는 국민들이 실제로 미세먼지 문제가 해결되었다고 실감할 수 있는 방식으로의 효과 및 성과 분석 방안들이 제시되었기 때문임

3. 다부처 추진 필요성

- 국민 체감형 미세먼지 문제 해결 과제를 신속하고 효율적으로 진행하기 위해서는 다부처 사업으로 추진하는 것이 타당함
 - 과학기술정보통신부, 산림청, 국토해양부, 농업진흥청, 식품의약품안전처 등 해당 부처간 상호 유기적인 연계를 통해 수행될 필요가 있음
 - 다부처공동기획사업을 통해 각 부처의 임무에 따른 역할 분담을 수행함으로써 중복투자 방지 및 부처간 역할 시너지 극대화 가능
- 다부처 연구사업의 재원 마련, 배분 및 관리는 국민체감형 미세먼지 문제를 해결하기 용이하게 추진하는 것이 바람직함
 - 블록펀딩처럼 정부가 연구방향과 총액만을 결정하고 수행기관장에게 예산집행 자율권을 부여하는 경우 수행기관내 역학관계에 따라 미세먼지 문제해결 사업이 아닌 타 사업으로 전용될 수가 있어 이를 방지하기 위한 대책이 필요함
 - 연구재단과 같은 연구 관리 기관이 예산을 배정받아 각부처에 배분하는 형태의 사업으로 진행되는 것이 다부처 사업의 취지에 합치된다고 판단됨
 - 다만, 연구사업비 규모에 따라 각 부처에 직접 예산이 배정될지 중앙에 우선 배정받고 각부처에 배정될지가 결정될 것이며, 각 경우에 따른 효과적인 추진체계 구축이 필요함

제4장. 연구내용

1. 학교와 어린이집 등 어린이 이용시설의 미세먼지 실증 리빙랩 사업

[1] 사업 개요 및 추진근거

- 사용자 중심의 미세먼지의 진단 및 관리를 위해 어린이집, 학교와 같은 건강 취약계층 이용시설의 미세먼지 관리 리빙랩(Living Lab.) 플랫폼 구축
 - 다양한 어린이집, 학교 현장의 환경 데이터 수집과 함께 사용자가 직접 현장 측정 결과와 운전 데이터를 쉽게 파악하기 위한 리빙랩 모니터링 시스템 구축
 - 사용자가 어린이집, 학교의 공기질 관리장치의 운용상황과 노출저감 특성을 직접 파악하고 사용자가 미세먼지 저감 대책 방안 마련에 실질적으로 참여
 - 교직원 및 학생 등의 사용자 참여형 혁신 공간으로 활용하는 리빙랩 기술을 적용하여 실제 생활 현장에서의 미세먼지 관리 기술의 실증화 구현
 - *리빙랩(Living Lab.): 사용자들이 연구혁신의 대상이 아니라 연구혁신의 활동 주체가 되는 사용자 참여형 혁신공간으로 일상생활 실험실, 살아있는 실험실, 우리마을 실험실 등으로 해석
- 공기정화장치, 환기장치 등의 리빙랩 실증 평가를 통한 효과적인 미세먼지 저감 대책을 마련하여 어린이 이용시설의 미세먼지 관리 가이드라인 제공
 - 어린이집, 학교 등의 건축시기(신축, 구), 위치(도로변, 비도로변) 등 다양한 유형에 따른 미세먼지 관리 현황 파악
 - 공기정화장치, 환기장치 등의 미세먼지 관리 제어기술의 적용 방식별 미세먼지 노출저감 특성을 파악하고 데이터베이스화 체계를 구축
 - 공기정화장치 이외의 건물 기밀도 개선, 바닥 교체(청소) 등 미세먼지 개선 작업에 따른 노출저감 특성 변화 분석
 - 미세먼지 뿐만 아니라 CO₂, 소음 등 쾌적한 환경까지 고려한 에너지 효율 관점의 최적의 미세먼지 관리 솔루션을 모색
 - 유형별 미세먼지 농도 감소 목표값에 따른 적정 용량 산정뿐만 아니라 실제현장에서 요구하는 스펙(장치 설치 위치, 소음 수준 등)을 감안한 방법 제시
 - 현장에 적합한 미세먼지 관리 제어장치의 유지관리 기준을 도출하여 지속적이고 안정적인 미세먼지 관리체계 마련
 - 정부는 과학기술을 활용한 삶의 질 향상을 위한 시책을 추진해야 하는 「과학기술기본법」 제16조의6(과학기술을 활용한 사회문제 해결)에 해당

⇒ 학교, 어린이집 생활 현장에서 미세먼지 관리방법의 사용자 참여형 리빙랩 실증 기술을 구현하여 현실적으로 효과적인 공기질 관리 대책 마련
 ※ 어린이 이용시설 실내공기질 관리 가이드라인 제공

[2] 연구 배경

- 미세먼지는 전 국민의 건강과 관련된 문제이기는 하나 건강 피해가 높은 어린이, 노인, 임산부 등의 미세먼지 취약계층을 우선적으로 고려한 단계적 투자가 필요함
 - 어린이가 통학길에 미세먼지에 노출될수록 기억력 등의 인지기능 발달에 영향을 줄 수 있는 것으로 알려짐(바르셀로나 글로벌 보건연구소, 2017.08)
 - PM_{2.5} 미세먼지가 뇌세포에 염증을 일으키거나 신경세포 전달 부분을 파괴할 수 있어 유아의 뇌발달을 해칠 우려가 높은 것으로 보고됨(유니세프 보고서, 2017.12)
- 건강 취약계층인 유치원생과 초등학생의 경우 학교 교실의 좁은 공간에 많은 인원이 생활하고 있어 생활공간 내 미세먼지 오염도가 다른 실내 거주 환경보다 높은 상황임
 - 2016년 전국 9595개 학교 중 약 896개 학교(9.6%)의 교실 내 미세먼지 등급이 나쁨(80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과함(교육부, 2016년 초·중·고교의 교실 내 공기질 측정자료)
 - 충북도 내 493개 초(병설유치원 포함)·중·고·특수학교의 교실 내 미세먼지 농도는 평균 40.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준을 나타냄
 - 교육부의 환경위생 및 위생관리 매뉴얼에 따라 관할 시도교육청은 매년 1회 이상 모든 교실의 공기질을 측정해야 하나 실제로는 3개 교실의 가장 높은 값만을 사용
- 2017년 기준 전국 초·중·고교의 공기정화시설 설치율은 학급수 기준으로 20.5% 수준으로 미흡한 상황임
 - 교육부는 2017년 추경 177억 원을 투입하여 도로변, 산업지역, 공사현장 주변지역 660여 개 초등학교에 공기정화장치를 시범 설치함
 - 서울시 교육청은 2018년 9억 2300만 원의 예산을 편성해 단설 유치원 21곳과 초·중·고교 교실에 우선적으로 공기정화기를 설치하기로 함
 - 경기도 교육청은 2017년 9822개 공·사립유치원에 대해 공기정화기 임대 예산 47억 원을 편성했으나 2018년에는 별도 예산을 반영시키지 못함
 - 제주도는 2017년 기준 공기정화장치 보급으로 53억 원을 책정했지만 40억 원 이상 삭감되어 초·중 1, 2학년 교실에만 우선 보급함
- 학교나 어린이집 실내의 공기정화기 및 환기장치에 대한 미세먼지 저감 효과 검증 데이터가 부족하므로 충분한 효과를 얻을 수 있는 공기정화장치 조건에 대한 연구가 필요함

- 최근 학교 교실을 대상으로 실증 연구가 일부 진행되었으나 공기정화기나 환기장치의 특성이나 미세먼지 노출저감과 관련된 충분한 데이터 확보가 미흡한 상황임
 - 미세먼지의 노출 저감 효과와 공기정화기나 환기장치를 운영하는데 필요한 비용 데이터가 정량적으로 제시되어야 향후 예산 집행의 기준이 마련될 수 있음
- 다양한 공기정화장치의 실내공기질 개선에 대한 평가지표 개발과 에너지 절감형 유지보수 기준 마련도 필요함
- 공기정화기, 환기장치, 공기살균기, 이온발생기, 습식 청정기, 방진망 등 다양한 종류가 사용되고 있으나 동일한 비용-효과 평가 지표가 없는 상태임

[3] 정책 동향

- 2017년 6월 교육부에서는 시도교육청 및 각급학교를 대상으로 고농도 미세먼지 대응 실무 매뉴얼을 배포하여 건강 취약계층의 보호 강화를 위한 대응 체계를 마련함
 - 미세먼지 예보가 나쁨 이상일 때 익일 실외수업의 점검, 보호자 비상연락망 등을 통한 예보 상황과 행동요령 공지, 미세먼지 예보 상황 수시 확인 등 수행
 - 예비주의보 및 주의보 발령 시 실외수업 자제 또는 금지, 바깥공기 유입 차단, 행동요령 교육 실시, 미세먼지 민감군 학생 관리대책 이행, 실내공기질 관리 등 수행
 - 미세먼지 경보 발령 시 수업시간 조정, 등학교 시간조정, 임시휴원 권고, 미세먼지 질환자 파악 및 특별 관리(조기키가, 진료) 등 수행
- 2017년 9월 정부는 국무회의에서 12개 관계부처 합동 미세먼지 관리 종합대책을 확정하고 2022년까지 미세먼지 국내 배출량의 30%를 감축시키기 위한 로드맵을 발표함
 - 미세먼지 환경 기준을 미국, 일본 등 선진국 수준($50 \rightarrow 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 강화하고 학교, 어린이집 등 민감계층 이용시설의 실내 미세먼지 유지기준을 신설하기로 함
 - 어린이 통학차량을 친환경차(LPG, CNG차)로 교체, 체육관이 없는 모든 979개 학교에 실내체육시설을 설치, 공기정화장치 설치 지원사업 시범 실시 등 수행하기로 함
 - 학교 주변을 중심으로 2017년 287개소에서 2022년 505개소로 도시대기 측정망을 확장하고 간이측정기 보급 시범사업도 실시할 예정임
- 2018년 3월 교육부에서는 학교 고농도 미세먼지 대책을 발표하면서 학교보건법 시행 규칙을 개정하여 미세먼지 $\text{PM}_{2.5}$ $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하 기준을 신설함
 - 향후 학교의 장은 매년 정기검사를 실시하고 기준을 초과한 경우 시설 개선 및 오염물질 제거 등의 필요한 조치를 통해 실내공기질을 관리하기로 함
 - 학교 공기정화장치 설치 및 사용기준을 마련하도록 하고, 기계환기설비의 설치를 우선적으로 고려하며, 부득이한 경우 공기청정기를 설치하도록 함
 - 일반상황에서는 창문을 이용한 자연환기 실시를 원칙으로 하고, 외기 미세먼지 농도가 나쁨 이상인 경우 창문을 닫고 공기정화장치를 가동하도록 함
- 2018년 4월 서울시교육청은 2018년 학교 미세먼지 종합관리대책을 발표하고 2020년까지 3년간 약 463억 원의 예산을 투입하기로 함
 - 학교 미세먼지 관리위원회를 운영하고 학교 미세먼지 관리 전문지원단을 통해 미세먼지 데이터 수집·분석, 공기정화장치 효율성 모니터링 등을 수행할 예정임
 - 학생, 교직원, 학부모 대상 미세먼지 관련 위해성 및 고농도 미세먼지 발생 시 행동 요령 등에 대한 교육·홍보 등을 강화할 예정임
 - 서울형 학교 미세먼지 관리목표를 설정하고, 2018년 109억 원, 2019년과 2020년 각 177억

- 원칙을 투입하여 공기정화장치 설치 지원 및 오염원 제거 청소비 지원 예정임
 - 학교 임시휴업 운영 가이드라인을 마련하고 질병결석 인정 및 보호구역 마련 등 미세먼지 민감군 학생들에 대한 보호관리방안을 강화시킬 예정임
- 2018년 5월 인천시교육청은 학교 미세먼지 종합대책을 수립하여 미세먼지 대응, 실내 공기질 관리 및 민감군 학생 관리대책을 마련함
 - 올해 417개 공사립 유치원에 공기청정기를 설치 완료하기로 하고, 대규모 사업단지, 대로변, 대규모 공사 인근 초등학교에서도 우선 고려 대상으로 실시할 예정임
 - 민감군 학생을 위해 보건실, 돌봄교실, 도서관 등에 공기정화장치를 우선 설치하고 미세먼지 농도가 나쁨 이상일 경우 민감군 학생의 질병결석을 인정하기로 함
 - 신설 학교와 대수선 대상 학교는 미세먼지 제거 기능이 있는 기계환기설비를 교실 천정에 설치할 방침임
- 핀란드, 스웨덴 등의 북유럽에서는 혁신시스템 개념의 등장과 함께 시민·지역사회의 중요성이 부각됨에 따라 리빙랩이 정책적으로 자연스럽게 확산됨
 - 핀란드에서는 울루, 로바니에미를 중심으로 북부 지역에서 NorthRULL을 형성하여 여행·관광·건강·건축 등의 9개 분야에서 리빙랩을 수행하고 결과물을 공유함
 - 벨기에에서는 플랑드르 지방에 스마트그리드, 스마트미디어, 스마트시티 분야에서 ICT를 기반으로 인텔리전트 가정환경 구축을 위한 연구에 사용자를 참여시켜 혁신적인 제품·서비스를 개발
- 국내에서도 사회문제 해결형 연구개발 및 실증사업으로서 리빙랩을 도입할 뿐 아니라 친환경 도시재생 등의 새로운 사회 혁신 모델로서 리빙랩을 도입 중
 - 과기부에서는 2015년 1월부터 안전과 복지분야에서 사회문제 해결을 위해 현장수요를 반영하는 실증 방법론으로서 시민연구사업인 리빙랩을 도입함
 - 산업부에서는 2016년 1월부터 에너지기술의 수용성 제고 및 사업화 촉진의 방법론으로서 사용자가 연구기획·개발·검증과정에 직접 참여하는 방법을 추진 중
 - 행안부에서는 2018년부터 주민과 함께 지역현안을 발굴, 해결방안을 모색하고 디지털 기술을 통해 행복한 지역공동체를 이루는 디지털 사회혁신 공모사업을 추진 중
 - 각 지자체에서도 새로운 사회 혁신 모델로 리빙랩 도입을 고려하고 있고 친환경 도시 설계 및 도시재생을 위한 리빙랩 추진을 시도 중임

[4] 산업 동향

- 한국공기청정협회에서는 학교에서 미세먼지 제거 성능이 우수한 공기청정기 도입을 안내하기 위해 일정 이상 성능을 가진 제품에 대해 학교용 공기청정기로 인증
 - 미세먼지의 청정화능력 10 m³/min 이상, 오존발생량 0.01 ppm 이하, 소음 55 dB 이하의 공기청정기에 대해 2018년 1월부터 인증 시행 중(SPS-KACA002-0132:2018)
 - 현재 학교용 공기청정기 10개 제품 및 공기청정 에어컨 4개 제품이 인증을 받음 (한국공기청정협회, 학교용 공기청정기/학교용 공기청정 에어컨 인증현황)
- 대기업을 중심으로 교육부의 미세먼지 대책에 맞춰 적용면적이 교실 크기(67.7 m²)보다 크면서 저소음 모드를 탑재한 중대형 공기청정기를 출시함
 - 삼성전자에서는 적용면적 85, 99 m² 2개 모델의 35 dB 이하의 저소음 학습 모드가 탑재된 학교용 벽걸이형 공기청정기를 출시함(매일경제, 18.02.26)
 - LG전자에서는 적용면적 158 m² 이면서 27 dB 수준의 정음청정 모드 기능을 가진 학교, 병원 등의 공공·상업시설용 공기청정기를 출시함(머니투데이, 18.03.27)
- 중소기업을 중심으로 환기와 공기청정 기능을 복합한 제품 개발이나 프리존(free-zone) 개념을 학교로 확장하는 새로운 시도를 진행 중
 - 하츠에서는 실내 공기청정 기능과 외부 공기를 정화해서 실내 공기와 교환하는 환기기능을 결합한 학교용 환기청정시스템을 출시함(조선비즈, 18.04.03)
 - 울스웰은 더스트프리존 기술을 기반으로 한 주거용 환기정화시스템 기술을 확장하여 초등학교 및 중·고등학교 환기정화시스템 개발을 진행 중(중앙일보, 18.05.02)
- PM2.5 미세먼지를 포함한 실내공기질 관리를 위해 IoT 기술을 결합한 서비스 사업도 학교 환경에 맞춰 출시되는 상황임
 - SK텔레콤은 학교 내의 미세먼지, 온·습도, 이산화탄소, VOCs 등 공기상태를 측정하고 분석하여 정화기를 가동하는 공기관리 IoT 서비스를 출시(연합뉴스, 2017.08.30.)

[5] 기술 동향

- 경희대에서 2017년 11-12월 35개 초등학교 61개 교실을 분석한 결과 공기정화장치를 가동하면 미세먼지가 30%정도 감소되나 학생 재실 시에는 효과가 미약하였음
 - 단일 공기청정기보다는 환기장치, 습식형 청정기, 창문형 필터 등 복합적으로 적용할 경우 미세먼지는 최대 70%, 초미세먼지는 40%까지 줄일 수 있는 것으로 나타남
 - 2017년 정부에서 177억 원을 들여 전국 662개 학교에 공기정화장치를 시범 설치했으나 현재의 공기정화장치로는 교내 미세먼지 문제를 해결할 수 없다는 한계가 드러남
 - 공기정화장치를 설치한 학교를 대상으로 설문 조사한 결과 20%는 전기료나 소음 등의 이유로 설치만 해놓고 사용을 하지 않는 것으로 답함
 - 연구진은 단순 공기청정기 확대에만 주력할 것이 아니라 교실에 특화된 사양의 공기청정기 개발 및 도입이 필요하다고 강조함
 - 여러 업무와 수업으로 바쁜 교사들이 공기정화장치를 수시로 조작하는 것은 현실적으로 어려우므로 자동으로 작동하는 기기를 설치하는 것이 바람직한 것으로 조사
 - 학교 위치와 주변 환경, 교실 높이, 교실 구조 등에 따라 다양한 형태의 공기정화장치를 보급할 수 있도록 추가적인 연구가 필요한 상황이라고 밝힘
- 연세대에서는 서울시교육청 연구용역으로 학교 미세먼지 관리목표 및 저감방안 마련을 위한 연구를 진행하였고 학교 미세먼지를 3단계 목표로 관리하는 것을 제안함
 - 교실 미세먼지 관리방법으로 자연환기와 공기청정기 운전, 주기적인 청소를 제안하였고, 에어코리아의 외기 농도에 따라서 공기정화설비의 적절한 가동시간을 제안함
 - 스쿨존내의 차량에 의한 미세먼지 발생 억제를 위해 공회전 제한, 주차장 위치 등의 가이드라인을 제시함
 - 환경교육포털사이트(www.keep.go.kr) 등과 같은 자료를 활용하여 미세먼지에 대한 교육 제안

- 공기청정기, 환기장치 및 주방후드의 주택 실환경에서의 미세먼지 평가방법을 개발하고, WHO 권고기준 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의 미세먼지 관리 가이드라인 마련 연구 진행
- 34평형 표준 아파트의 밀폐 거실에서의 공기청정기의 실환경 평가방법을 개발하였고 건물 기밀도에 따라 기존 CA규격 대비 70-90% 수준의 성능 저하를 파악함
- 시민단체, 기업체, 정부기관, 언론기관을 포함한 리빙랩 운영위원회를 구성하여 소비자들의 미세먼지 실태 조사와 함께 소비자 의사를 반영하는 리빙랩 연구 진행 중
- 미세먼지의 노출 관점에서 이산화탄소 농도와 에너지 효율까지 고려한 생활보호제품의 적절한 주택 미세먼지 관리 가이드라인 제공 예정

- 광주시에서는 2017년 민감계층 공기질 개선 시범사업을 추진하여 중대형 용량의 공기청정기 적용 유무에 따른 학교 교실 내부의 미세먼지 농도 변화를 관찰함
 - 교실의 미세먼지 농도는 수업이 진행되는 시간동안 대기 미세먼지 농도의 약 1.4배로 확인됨
 - 학생 수 30명, 약 20평인 교실에서 용량 10 m^3/min 공기청정기를 2대 설치할 때 PM_{10} 은 56% 이상, $\text{PM}_{2.5}$ 는 65% 이상 농도를 감소시킬 수 있음을 확인함

- 최근 기존 연구개발 시스템의 한계를 극복하고 과학기술·ICT 수요와 건강·안전·환경 분야의 사회수요를 연계할 수 있는 인터페이스 사업으로서 리빙랩 사업을 시도 중임
 - 서울의 에너지 자립 마을의 확산을 목표로 도시에 적합한 에너지 전환기술을 탐색하고 실험하는 파일럿 프로젝트로 진행된 성대골의 에너지전환마을 리빙랩
 - 호우 시 발생하는 안전사고를 해결하기 위해 시민들의 참여를 통해 갑천 범람을 스마트폰으로 확인하는 서비스를 개발한 대전 시민사회의 건너유 프로젝트
- 기존 학교, 출연연 및 지역사회 연구는 학교 교실의 미세먼지 농도 수준이나 공기청정기 설치 후의 농도 저감 정도의 현황을 파악하는 정도로만 진행되었음
 - 학교, 어린이집 등 어린이 이용시설에 대한 공기정화설비의 적절한 설치 용량 및 운영 방법에 대한 가이드라인이 현재 부재인 상태임
 - 사용자가 직접 참여하는 리빙랩 개념의 연구도 초기 단계의 수준이고 미세먼지 분야에는 아직 시도되지 않고 있음

- 기계연에서는 2017년 9월부터 미세먼지 국가전략프로젝트사업으로 주택 실환경 미세먼지 통합 관리 기술 및 실환경 평가 인증 규격 개발 연구를 진행 중

[6] 정책과의 부합성

- 본 사업은 미세먼지 취약 계층인 어린이들의 학습공간에서 미세먼지 관립 방안을 마련하는 것으로서 정부의 미세먼지 관리 종합대책의 민감계층 집중보호 분야에 해당함
 - 리빙랩 개념으로 국민이 직접 참여하는 방식으로 미세먼지라는 사회문제해결을 모색하는 연구로서 국민참여 확대라는 정부 정책 기조와도 매우 부합함
- 미세먼지 유지기준 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하 수준을 만족시키는 미세먼지 대응 방법을 개발하는 것으로서 2018년 3월 교육부의 미세먼지 고농도 대책에 매우 부합함
 - 각 시도 교육청에서는 각 교실에 공기청정기를 1대씩 설치하거나 천정형 시스템에어컨을 개조하는 방안 등을 제시하고 있으나 그 효과에 대해서는 미검증 상태임
 - 따라서 교육부의 정책의 효율적 반응을 위해서는 공기정화장치의 적절한 선정 및 운전 조건 파악과 함께 지속적인 성능 유지를 위한 관리 방안 마련이 필요
 - 또한 공기정화장치 뿐만 아니라 CO₂와 소음, 냉난방 에너지소비까지 종합적으로 고려한 최적화 방안이 필요
 - 본 사업은 학교, 어린이집 등 어린이들의 실제 학습공간 현장에서 요구하는 공기정화설비의 가이드라인을 제시하는 것으로서 교육부의 미세먼지 정책에 더욱 부합함

[7] 기존 사업과의 차별성

- 기존 연구는 대부분 특정 학교에서의 현황 파악이 목적이었으며 각 학교마다의 미세먼지 특성에 따른 전면적인 원인 분석과 그에 따른 저감 대책 마련이 부족한 상태
 - 학교 개별적인 미세먼지 발생 특성은 2000년대부터 측정 및 분석되어 발표된 바 있음
 - 서울시 초등학교 실내외 대기 중 미세먼지 화학적 구성 및 분포특성 파악(서울대학교, 2008)
 - 초등학교 교실내 미세먼지의 농도 분석과 저감연구(울산대학교, 2005)
 - 인천지역 초등학교 실내/외 미세먼지 농도 분포(국립환경과학원, 2008)
- 공기청정기의 적용면적은 최대 풍량 조건에서 진행된 것으로서 저소음 모드의 운전조건에서는 적용면적이 현저히 감소하므로 학습 현장에 맞는 소음과 적정 운전 용량의 가이드라인 마련이 필요
 - 미세먼지의 관리와 함께 이산화탄소 저감 및 에너지소비까지 고려한 공기청정-환기의 효율적인 연동 운전 조건 파악도 매우 미흡한 상황임
- 미세먼지 사업단의 주택 미세먼지 관리 과제는 주택 환경의 미세먼지 노출 저감에 집중하고 있어 건강취약계층이 대부분 활동하는 학교로 확장하여 진행하는 것이 필요
 - 기존 사업단 과제는 공기정화장치의 실환경 평가방법을 개발하는 것에 중점을 두고 있어 리빙랩 개념을 사용자 중심의 실증화 개념으로 구현하지 못하는 한계가 존재
- 사용자가 직접 학교, 어린이집의 공기질 관리장치의 운용상황과 노출저감 특성을 파악하고 미세먼지 저감 대책 방안 마련에 실질적으로 참여하는 리빙랩 개념 구현이 필요
 - 다양한 현장 환경 데이터 분석을 위한 자동화된 데이터베이스 구축과 함께, 현장 측정 및 운전 데이터를 사용자가 쉽게 파악하기 위한 리빙랩 통합 플랫폼 구축이 필요
 - 리빙랩의 구현으로 미세먼지 제거 기능이 우수한 표준형 공기청정기 개발이나 공급이 용이하고 유지관리비가 저렴한 공공적 성격의 혁신적 시스템 도입 유도가 필요
- 과기부에서 학교 미세먼지 관련 기획을 별도로 진행 중에 있으나 주로 신축 학교에서의 미세먼지 대응 설비의 구축 방안을 마련하는 실증 연구사업으로 진행 중임
 - 본 사업에서는 어린이집, 유치원, 초등학교를 포함하는 기존 영유아 민감계층의 학습 이용 시설의 미세먼지 대응 방안을 마련하는 것으로서 차별성이 있음
 - 특히 어린이집, 학교에서의 사용자 중심의 리빙랩 방법으로 미세먼지 관리방안을 모색하는 과제이므로 신규 기획 사업과의 차별성이 높음

[8] 연구 목표

핵심 목표

- ▶ 어린이 이용시설 맞춤형 리빙랩 운영 플랫폼을 구축하고 학교, 어린이집에서의 미세먼지 리빙랩 실증을 통한 어린이 이용시설의 미세먼지 관리 가이드라인 개발

- 학교 미세먼지 관리 기준($PM_{2.5}$ $35 \mu g/m^3$ 이하) 만족을 위한 어린이 이용시설의 미세먼지 관리 가이드라인 개발
 - 학교, 어린이집의 사용자 중심형 미세먼지 진단 및 관리를 위한 맞춤형 리빙랩 운영 통합 플랫폼 구축
 - 사용자 중심의 학교, 어린이집 공기질 진단 및 개선 리빙랩 현장 실증 평가
 - 리빙랩 실증 운영을 통한 사용자 중심의 학교, 어린이집 실내공기질 관리 통합 가이드라인 마련
 - $PM_{2.5}$ (어린이 재실 환경 기준) 학교 $35 \mu g/m^3$ 이하 , 어린이집 $25 \mu g/m^3$ 이하 유지
 - 이산화탄소 1500 ppm 이하 유지

[9] 세부 연구내용

□ (1차년도) 사용자 중심형 공기질 평가를 위한 리빙랩 플랫폼 구축

- 학교 및 어린이집 미세먼지 리빙랩 운영 계획 수립
- 리빙랩 구현을 위한 학교 생활환경 정보 수집 통합 플랫폼 구축
 - 실내·외 미세먼지, CO₂, 온도, 습도 및 공기정화장치의 운전조건, 소비전력량 등 현장 환경 정보의 원격 모니터링 및 데이터 수집 기술 개발
 - 현장 환경 정보 수집을 통한 사용자의 활동 상황 및 관리기기의 운영 상태 분석 및 진단
- 사용자 참여형 생활환경 진단을 위한 데이터 제공기술 개발
 - 재실자의 1일 기준 누적 미세먼지 노출량($\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{hr}$) 제공
 - 관리 제어장치의 에너지소비량(kWh) 제공
- 실환경 리빙랩 도입 운영기술 개발
 - 시민단체, 기업체, 정부기관, 협회 등을 포함한 리빙랩 운영위원회 구성
 - 사용자 주도의 개방형 피드백 프로세스 개발
 - 2개 학교 및 2개 어린이집 미세먼지 리빙랩 시범운영

□ (2차년도) 학교 및 어린이집 미세먼지 리빙랩 현장 실증 평가 (공기질 취약 10개교 이상)

- 학교 및 어린이집 공기질 관리 제어장치(공기청정기, 환기장치 등) 적용 시나리오 구성
 - 도로변, 비도로변, 신축시설, 구시설 등 학교, 어린이집별 시나리오 구성
 - 제어장치의 수치해석적 배치 방안 제안
- 미세먼지 노출 및 저감 특성 추정 데이터베이스화
 - 사용자 중심의 공기질 관리 시나리오별 미세먼지 노출저감 특성 비교
 - *공기청정기의 종류별(스텐드형, 벽걸이형, 천장형 등), 용량별(CADR 기준), 위치별, 운전 방식별, 대수별 등 조건별 미세먼지 노출 저감 특성 평가
 - *환기장치의 용량별(풍량 기준), 필터 성능별(MERV 기준) 등 조건별 미세먼지 및 CO₂ 농도 저감 특성 평가

*건물 기밀도 개선, 바닥 청소 등 개선 작업에 따른 미세먼지 노출저감 특성 변화 분석

- 외기 조건 및 재실자 특성별 미세먼지 노출저감 특성 비교
 - *외기 미세먼지 농도별(평상시, 주의보시) 노출저감 특성 변화 비교
 - *학교/어린이집 위치(서울, 대전, 광주 등), 인원수, 연령대별, 성비율별 등 재실자 특성별 노출저감 비교
- 학교, 어린이집 공기질 관리 제어장치 연동 운전 특성 분석
 - 밀폐 환경 및 환기-공기청정 연동 조건별 노출 저감 특성 비교
 - 공기청정기 용량(CADR) 및 환기 필터 성능별(MERV) 환기-공기청정 연동 효과 비교
 - 냉난방장치와 공기청정기 연동 및 공기청정기 간 연동 시의 저감 효과 비교

□ (3차년도) 리빙랩 실증 운영 통한 어린이 이용시설 실내공기질 관리 가이드라인 마련

- CO₂ 농도, 에너지 효율 등을 종합적으로 고려한 미세먼지 저감 최적화 통합 운전조건 파악
- CO₂ 농도에 따른 환기시스템 및 공기청정기 등의 가동조건(설정온도, 시간) 수립
 - 빅데이터 및 인공지능 기반 미세먼지 저감 최적화 통합 프로세스 개발
- 리빙랩 운영 및 시스템 보안을 통한 사용자 요구를 반영한 실환경 적용기술 개발
 - 온도, 소음 등 실내 쾌적감 고려 미세먼지 노출 저감 설문조사 실시 (1000명 이상)
 - 개방형 피드백 적용 학교 관리 제어장치 보완 및 요구사항 도출
 - 사용자 중심의 미세먼지 우수 관리 사례의 포상 제도화 기반 마련
- 학교, 어린이집 실환경 실내공기질 관리 가이드라인 마련
 - 재실자 환경을 고려한 공기정화장치의 적정 성능 용량 및 운전방법 제안
 - 적정 이산화탄소 농도 유지 및 미세먼지 WHO 권고 기준별 적정 운전 방법 제안

[10] 사업 규모 및 세부산출 내역

예상 연구비 및 연구기간

- 연구비 : 총 100 억원 (정부출연금)
- 연구기간 : 2019-2021년 (3년)

(단위:억원)

	2019	2020	2021	계
정부	30	30	40	100
민간	-	-	-	-
계	30	30	40	100

세부산출 내용

[11] 추진 전략

- 리빙랩 개념을 도입하여 사용자 중심의 학교, 어린이집 공기질 관리 체계 마련
 - 다양한 환경 정보와 공기정화장치 운전 특성 데이터를 데이터베이스로 저장하고, 현장 측정 및 운전 데이터를 사용자가 쉽게 파악하기 위한 리빙랩 통합 플랫폼 구축
 - 사용자가 공기정화장치의 운전상황과 노출저감 특성을 직접적으로 파악하고 사용자가 미세먼지 저감 대책 방안 마련에 직접 참여하는 실질적인 리빙랩 개념 구현

- 학교, 어린이집 미세먼지 관리 개선 현장 실증 평가 수행
 - 유형별 공기정화장치의 현장 운영 특성과 그에 따른 미세먼지 노출저감, CO₂, 소음 등의 쾌적성 향상 등의 연관성과 관련된 충분한 실증 데이터 확보
 - 기밀도 특성에 따른 공기정화장치의 적정 처리용량 및 환기방법 제시
 - 적정 이산화탄소 농도 및 소음 환경 유지 조건에서 WHO 권고수준 노출저감이 가능한 교실 미세먼지 관리 시스템 제안 및 관리 가이드라인 마련
 - 학교 및 어린이집용 공기정화장치의 유지보수(에너지 소비량 포함) 기준 마련

- 총괄과제로서 출연연, 대학, 협회 등의 다양한 분야의 전문성과 경험을 보유한 연구자의 참여 추진 필요
 - 미세먼지 통합 시스템의 전체를 이해하고 접근할 수 있어야 하므로 에어로졸 분야, 측정 및 노출 분석 분야, 공기정화장치 기업체 관계자, 협회 등의 다양한 분야의 전문가 참여 필수

[12] 연구추진방법

- (총괄기관, 출연연) 다양한 환경 정보와 관리기기의 운전 상황 데이터 수집 및 사용자 피드백 기술의 미세먼지 리빙랩 통합 플랫폼 구축
- (세부기관, 출연연, 대학, 사용자(학교, 어린이집)) 리빙랩 시범사업 운영
- (위탁기관, 대학) 학교, 어린이집 공기질 관리 적용 시나리오의 수치해석적 방법 개발
- (세부기관, 출연연, 대학, 사용자(학교, 어린이집)) 학교, 어린이집 미세먼지 개선 현장 리빙랩 실증 평가 수행
- (총괄기관, 출연연) 학교, 어린이집 미세먼지 관련 환경 정보의 취합 및 데이터베이스화
- (위탁기관, 대학) 학교, 어린이집 공기질 관리 운전 최적화 방안 해석
- (세부기관, 출연연) 빅데이터 기반 최적 운전 솔루션 제공
- (세부기관, 사용자(학교, 어린이집)) 학교, 어린이집 미세먼지 관리 개선의 사용자 피드백 정보 제공
- (세부기관, 대학) 학교, 어린이집 맞춤형 미세먼지 유지·보수 관리 체계 마련
- (총괄기관, 출연연) 학교, 어린이집 실환경 미세먼지 관리 가이드라인 마련
- (위탁기관, 협회) 리빙랩 운영위원회 운영 및 실환경 평가 인증규격 제도화
- (참여기업) 학교, 어린이집 전체에 공급이 가능하고 유지관리비가 저렴한 공공적 성격의 맞춤형 공기청정기 및 환기장치 개발

[13] 활용 방안

- 학교, 어린이집 현장에서의 실증 평가를 통한 미세먼지 저감 특성에 대한 실질적인 정보를 제공함으로써 국민에게 신뢰성 있는 미세먼지 저감 대책 방안 제공
- WHO 권고 기준(IT-1, $PM_{2.5}$ $35 \mu g/m^3$) 이하의 쾌적한 실내 환경 유지를 위한 적절한 실내 환경 솔루션 제공
- 필터 수명이나 필터 크기 등의 표준화를 통해 학교, 어린이집 미세먼지 관리기기의 안정적인 유지관리 체계 마련
- 학교 및 어린이집용 공기청정기 및 환기장치의 교실 실환경의 적정 성능 수준 제시
- 기존 학교, 어린이집들에 대한 공기정화장치 적용 가이드라인 제시 가능
- 에너지·주거·교육·건강 관련 생활 영역에서의 리빙랩 유형 및 세부 수행 모델 제시
- 미세먼지 대응을 위한 관련 주체들이 연계·협력할 수 있는 플랫폼 구축과 함께 실제 적용 가능한 추진 방법 및 매뉴얼 제시 가능

[14] 기대 효과

기술적 측면

- 사용자 경험을 제품 개발에 연결시키고 사용자 중심의 실증 실험을 통한 리빙랩 운영 체계 마련
- 환경·안전 분야의 사회문제 해결을 위한 IoT 인터페이스 기술 개발
- 미세먼지 관련 빅데이터에 기반한 예측 및 최적화 해석 기술 개발

경제적 측면

- 기업의 적극적인 참여를 도모하여 수요자 지향형 새로운 제품·서비스 개발의 사업화 유도
- 학교, 어린이집의 공기정화 및 환기 설비에 대한 신뢰성 확보로 년 수백억 이상의 관련 시장 확대 유도
- 조기사망, 호흡기질환 등 건강취약계층의 사회적 건강 피해비용 개선

사회적 측면

- 학교, 어린이집에서의 효율적인 미세먼지 관리 가이드라인을 개발 및 보급하여 학부모가 안심하고 자녀를 등교시킬 수 있는 생활환경 조성
- 학교, 어린이집 내의 미세먼지 권고기준 이하의 관리를 통한 어린이의 보건 환경 조성에 기여
- 학생, 교사, 학부모의 직접적 참여를 통한 학교 미세먼지 관리의 현장 교육 효과 및 직접 문제를 해결해나갈 수 있는 주체적인 역량 제공

[15] 성과 지표 및 목표

- 어린이집, 학교 미세먼지 리빙랩 사업 실증화 개발
- 교육부 미세먼지 유지기준($PM_{2.5}$ 기준 $35 \mu g/m^3$) 이하의 어린이집, 학교 미세먼지 관리 가이드라인 마련
- 어린이집, 학교 미세먼지 관리 평가 방법의 표준화 개발
- 사용자 중심의 미세먼지 리빙랩 플랫폼 구축
- 사용자, 시민단체, 전문가, 기업, 정부기관 대상 리빙랩 운영위원회 개최
- 사용자의 미세먼지 관리 실태 및 미세먼지 개선 관련 설문조사 실시

[16] 평가 기준 및 절차

- 어린이집, 학교 미세먼지 리빙랩 사업의 현장 실증 실적
- 어린이집, 학교 어린이 이용시설 미세먼지 관리 가이드라인 1건 및 관련 공청회 1회
- 어린이집, 학교 미세먼지 관리 평가 방법의 표준 규격 2건
- 미세먼지 리빙랩 플랫폼 시제품 1건
- 리빙랩 운영위원회 구성 및 활동 여부
- 사용자 미세먼지 관리 실태 및 개선 정도 파악 설문조사 2건

2. 미세먼지 저감을 위한 생활공간별 그린인테리어 개발

[1] 사업 개요 및 추진근거

- 식물의 미세먼지 저감 기술 개발을 통한 실내 공기질 향상
 - 식물에 의한 미세먼지 제거 기작 및 미세먼지 제거능이 우수한 식물 선발을 통한 자연친화적인 실내 공기 정화기술 개발
- 생활공간별 미세먼지 저감을 위한 그린인테리어 모델 개발
 - 생활공간, 학교, 지하공간별 그린인테리어 모델 개발을 통해 식물을 활용한 미세먼지 저감 가이드라인 제공
- 추진근거
 - 산림의 공익기능 증진(「산림기본법」 제17조)
 - 도시지역 산림의 조성·관리(「산림기본법」 제18조)
 - 임업기술의 진흥(「산림기본법」 제24조)
 - 산림과학기술기본계획의 수립 및 시행에 관한 규정(「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」 제34조 및 「동법 시행령」 제32조)
 - 국가연구개발사업의 추진(「과학기술기본법」 제11조)
 - 기초과학의 진흥(「과학기술기본법」 제15조)
 - 수목원·정원의 조성 및 진흥에 관한 법률 제3조(사업)
 - ※ 「수목원법」 → 「수목원·정원법」으로 정원 산업 관련 내용 추가('15. 7월 시행)
 - ☞ 제3차 수목원 진흥 기본계획('14~'18), 제2차 국립수목원 중장기 기술개발 계획('18~'27)

[2] 연구 배경

- 우리나라 미세먼지 농도는 주요 선진국 도시와 비교하여 높은 현실
 - 미세먼지(PM_{10} , $PM_{2.5}$)은 세계보건기구(WHO)에서 지정한 1군 발암물질
 - 초미세먼지 노출도 조사 결과, 우리나라는 1위를 12회 차지(OECD 조사, '98~'15년 17회 조사)
 - 우리나라 미세먼지 농도는 180개국 중 173위로 최하위('16년 환경성과지수, 예일대-콜롬비아대 공동조사)

<그림 18. 세계 주요도시의 미세먼지 농도 비교('16, 환경부)>

- 자생식물의 활용도 증대를 위해 공기질 정화 등 환경개선 기능성 연구를 통한 '자생식물의 가치' 인식 제고 필요
 - 우리나라 자생식물은 약 4,200종이지만, 대부분 정원 및 조경, 분화 및 실내식물 소재는 해외 재배식물에 의존
 - 세계 정원 산업 191.2조 중 식물 소재분야가 차지하는 비율은 56%이며, 아시아 정원시장 성장률은 전 세계 대륙 중 가장 높음
 - 정원산업에 자생식물을 활용하기 위해서는 새로운 가치판단의 기준 필요 → 공기정화 등 이슈 연계 필요
 - 미국 등 선진국은 60여종이 넘는 다양한 식물의 공기정화 효과에 대한 연구를 수행
 - 식물의 근권부에서 휘발성 유기화합물에 지속적으로 노출될수록 제거 효율의 증가 구명 → 근권부 미생물 서식 증가에 따른 제거
 - 국내 유통식물 86종(양치류, 목본관엽, 초본관엽, 자생식물, 허브류)에 대한 휘발성유기화합물 제거효과 비교 연구 → 자생식물 '산호수, 백량금 등'이 VOCs 제거 효과 우수
 - 자생식물 약 20여종에 대한 연구만 이루어 있어 자생식물의 폭넓은 연구 필요
 - 한반도 자생식물이 4,200여종이 있어 공기정화 효과 우수 자생 산림생명자원 발굴 가능성 높음

- 산업화에 따른 거주환경 변화 및 생활수준 향상에 따라 실외보다 실내의 공기오염도 심각
 - 미국 환경보호청은 실내 공기오염을 건강을 위협하는 5가지 요소 가운데 하나로 선정
 - 실내공기오염물질 중 미세먼지(PM_{2.5}) 농도 평균 48.92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ '나쁨', VOCs 농도 실외의 9.2배, 포름알데히드 농도 실외의 8.8배(국립환경과학원)
 - 현대인은 하루 중 88%(평균 21시간)을 실내에서 생활함('10, 국립환경과학원)
 - 실내 공기오염은 실외 공기오염보다 장시간에 걸쳐 노출되기 때문에 알레르기나 급성 또는 만성 질환 유발 가능성이 있음('89, 미국 환경보호청)
 - 전국 유치원 7,808개소 중 584개소, 전국 어린이집 741개소 중 57개소가 미세먼지 '나쁨' 단계 인 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 상회하여 실내 공기 질 개선 요구됨

<그림 20. 매체에서 취급되는 미세먼지의 심각성>

- 식물의 미세먼지 저감 효율 구명에 관한 연구는 이루어지고 있으나 실내 공기 질 향상을 위한 생활공간별 그린인테리어에 대한 연구는 미비함

- 미세먼지로 인한 실내외 공기 질 저하로 공기정화식물에 대한 국민 관심은 증가하였으나 이를 활용한 연구는 미흡한 실정
 - 미세먼지 제거 등 헬스케어 식물의 경제적 효과 : 3조 1,248억원(미국 오슬러대학)
 - 헬스케어 식물 건강증진 효과 : 2조 9,400억원(우리나라 인구수로 계산)

<그림 21. 식물의 미세먼지 제거 효과 연구 결과>

- 외부공기를 정화하고 이를 실내로 도입하는 기술 개발이 시도
 - 기존의 공기청정기 실내 공기오염을 완벽하게 정화할 수 없고, 에너지 소모와 CO₂ 발생이라는 단점을 보완하는 시스템으로서, 지속가능한 친환경 기술 개발

<그림 22. Plant-Based Air Filtration System (SOM, 2015, Purdue University, 2018)>

[3] 정책 동향

□ 공기정화, 환경개선, 도시미화를 위한 녹화 추진

- (일본) 도쿄 녹화법률('91년) 및 도시 건축물의 녹화 계획 가이드('92년) 제정
- (프랑스) 2020년까지 파리는 약 100ha 도시녹화(옥상, 벽면 포함)를 추진하여 미래의 환경과 기후 변화에 대한 대책 추진
- (미국) 1990년대 케이블, 와이어로프 네트, 트렐리스판넬을 활용한 녹화를 추진하였으며, 1998년 도시 열섬화 저감 시범사업을 통한 옥상녹화 및 LEED 인증제도 실시
- (캐나다) 옥상 녹화관련 법률 제정 및 Eco-Roof Incentive Program을 통한 자금 지원
- (영국) 1920년대 격자구조 및 아치형태 구조물을 이용하여 주택이나 정원을 녹화하는 Green City Movement 운동 시작

[4] 산업 동향

- 실내 그린인테리어 고려 상수도 배관시설, 보광 또는 자연채광을 통한 재배환경 기술 발달은 진행되고 있으나, 식물을 통한 환경개선 효과에 대한 연구 미비
- 바이오 월(Bio wall) 시장
 - 일과 근권부 미생물을 활용한 벽면 수직 정원용 식물 : 농진청 특허 5건('11~'12)
 - 국내시장 규모는 3,780백만원('16) → 11,663억('21) 증가
- 식물을 활용한 공기정화 시스템 개발이 활발히 진행
 - 최근, 미세먼지, 휘발성 유기화합물 등을 인위적인 공기청정기가 아닌 식물을 활용한 정화시스템 개발이 활발하게 진행
 - 현대인들이 실내의 밀폐된 공간에서 생활하는 시간이 늘어남에 따라 식물을 활용하여

[5] 기술 동향

□ 실내 미세먼지와 SBS(Sick Building Syndrome)원인물질 제거할 수 있는 식물을 이용한 공기정화장치(EPS: Eco Purification System)의 요소기술인 식물과 배지를 갖는 정화기능 식생들의 오염제거 능력 검증 실험

- 식생들과 배지의 종류별 leakage area와 미세먼지 제거율을 비교하였을 때 'hydro-ball'이 118 cm²로 가장 높게 나타났고 제거율은 coco-peat가 PM₁₀ 61%, PM_{2.5}는 53%로 나타남
- 식생들과 배지를 대상으로 'Epipremnum aureum'을 식재 후 관수 유무에 따른 미세먼지 제거율은 식재 전후 제거율에 큰 차이를 보이지 않아 배지의 중요성 확인

□ 자생식물을 활용한 'eco-green 환경개선 효과 연구'를 통한 산림 식물자원의 활용가치 증대 필요

- 식물의 공기정화 효과는 에너지소비가 필요 없는 지속가능하고 친환경적인 방법임
- 미세먼지 중 건강에 치명적인 초미세먼지(약 2.5μm)는 식물의 기공(약 20μm)을 통하여 제거 가능
 - 자생식물 미세먼지 제거 연구는 초기단계 : 뽕갈고무나무, 스킨답서스 등 일반 원예종 연구가 대다수
 - 공기청정기를 보완할 수 있는 유일한 방법 → 공기청정기의 CO₂ 발생에 따른 부정적 효과 상쇄
- 초미세먼지 생성에 관여하는 휘발성유기화합물(VOCs)의 식물 제거능력은 입증되었음

나 입자성 미세먼지 제거 연구는 초기 단계임('04~, 농진청)

-미세먼지 저감 및 휘발성유기화합물(VOCs) 제거하는 헬스케어식물: 틸란드시아, 아이비 등

○ 식물에 의한 미세먼지 제거 원리 연구

-기공 크기 및 왁스 층 무게와 미세먼지 제거 상관관계 연구는 초기 단계임

-미세먼지 '나뭇' 예보 시(100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 사람의 미세먼지 1일 흡입량은 1.5 mg이며, 농진청 연구결과 화분 1개(엽면적 1 m^2)의 미세먼지 제거량은 0.3~3 mg임

-단위면적당 미세먼지 제거효율은 아이비가 가장 우수하고 네프로네피스, 스킨답서스, 넉줄고 사리 순이었음('16, 농진청)

□ 식물의 실내외 공기질 개선 효과 대두

○ (1980년대) 미국 NASA의 존 C. 스테니스 우주센터, 실내식물의 휘발성 유기화합물(VOCs, volatile organic compounds) 제거 확인

○ (1990년대) 미국 조경업자협회, 깨끗한 공기를 위한 '식물협의회' 창설 → 실내식물 개발과 재배 지속 지원

○ (2000년대 초중반) 실내식물의 공기정화 메커니즘 입증

-아이비, 스파티필럼 등 실내식물이 광합성 등을 통하여, 휘발성유기화합물, benzene, toluene 등 제거함을 입증

○ (2000년대 후반-2010년대) 다양한 공기정화 식물 홍보, 마케팅 활성화 및 휘발성유기화합물(VOCs) 등 미세먼지 정화 관련 연구가 주목됨

<그림 23. 공기정화식물 지속 홍보 및 마케팅(lifehacker, 2018)>

□ 식물의 공기질 개선 관련 최근 연구 증가

○ (유럽) 식물이 실내공기질 개선을 위한 최고의 지속가능한 시스템을 제시(National Research Council of Italy - Institute for Sustainable Plant Protection (CNR-IPSP) 등, 2018)

○ (네덜란드) The Greenhouse Horticulture business unit of Wageningen University & Research 에서 공기정화효과 식물 메커니즘 연구, 공기정화 최적 환경조건 구명을 위한 'Air purification via plants and trees' 연구 진행 중

○ (이란) 야자류를 이용한 휘발성유기화합물 제거 연구 진행(Teiri 등, 2018)

○ (노르웨이) *Acer campestre*, *Cornus stolonifera* 등 46종의 실물을 대상으로 왁스층의 미세먼지 흡착능력 비교 연구 수행(Saebo 등, 2012)

○ (인도) 식물이 미세먼지를 제거하는 중요한 기능을 가지고 있으며, 미세먼지에 대한 민감도에 따라 식물 반응 모니터링(Rai, 2016)

○ (중국) 베이징 내에 식재된 *Pinus tabulaeformis* 등 5종에 대한 미세먼지 흡착과 종류에 대한 연구 수행(Song 등, 2015)

○ (영국) 버밍햄 철도교통지역에 the living wall system을 설치하여 각 식물별 미세먼지 흡착 조사(Weerakkody 등, 2017)

○ (대만) *Zamioculcas zamiifolia* 등 실내식물을 활용한 실내 공기오염물질 BTEX 제거효과 구명(Sriprapat 등, 2013)

<그림 24. 식물 종류와 왁스층에 따른 미세먼지 흡착능력 비교>

<그림 25. 베이징 내 주요수종의 미세먼지 흡착과 그 종류>

<그림 26. 식물을 활용한 the living wall system과 미세먼지 흡착>

[7] 기존 사업과의 차별성

<그림 27. 식물의 미세먼지에 대한 민감도 스크리닝 프로세스>

[6] 정책과의 부합성

문재인정부 국정과제 이행

- 국정과제 중 하나인 미세먼지 문제를 식물을 활용하여 해결하는 방식으로 국민이 직접 체감하고 참여 할 수 있어 국민 참여 확대라는 정부 정책과 부합

* 관련 국정과제 : (54) 미래 교육 환경 조성 및 안전한 학교 구현
(58) 미세먼지 걱정 없는 쾌적한 대기환경 조성

2019년도 정부연구개발 12대 중점 투자방향과의 부합성

- (신산업 육성) 생활 주변 미세먼지 저감 식물개발 연구를 통한 기술 선점을 위한 신산업 육성과 부합

[8] 연구 목표

핵심 목표

- ▶ 미세먼지 저감 식물(자생식물 포함) 발굴·선정 및 생활공간별 그린인테리어 모델 개발 및 시범 적용

[9] 세부 연구내용

【1차년도】

□ 미세먼지 저감식물 발굴 및 선정 연구

- 자생식물 등을 활용한 미세먼지 제거 효율 검증 및 우수종 선발·목록화
 - PM₁₀, PM_{2.5} 등 미세먼지 제거율 스크리닝 모듈 제작 연구
 - 미세먼지 활용가능 자생식물 후보군 선정(고사리류 포함)
 - 자생식물의 미세먼지 제거능력 측정 연구
- 생활공간별 미세먼지 저감에 효과적인 식물 선발
 - 가정 공간에서 미세먼지 저감 효율 식물 선정

□ 식물에 의한 미세먼지 감소 기작 연구

- 식물종에 따른 미세먼지 제거 원리 구명
 - 식물의 종류(목본, 초본, 다육 등)에 따른 미세먼지 저감능 구명
 - 식물 생태형(C3, C4, CAM식물 등)에 따른 제거 방법 모니터링
 - 식물 생육조건(건조, 수생 등)에 따른 미세먼지 저감능 구명
- 식물 구조에 따른 미세먼지 제거 원리 규명
 - 미세먼지 제거 경로(왁스층, 기공, 근권부 등) 연구

- 미세먼지 흡착(표면, 왁스층, 털(용모) 등), 흡수, 이동 및 분해 경로 구명 연구
 - 식물 지상부, 지하부의 미세먼지 제거 효능 비교 연구
 - 공간별 미세먼지 저감 효율 극대화 기술 개발
 - 공간별 식물종류 및 관리 기술 설정(수분 조건에 따른 효과 등)
 - 각 공간(벽면, 바닥, 빈 공간 등)별 미세먼지 저감에 효과적인 배치 방법 설계
 - 공간별 위치에 따른 식물 최적 도입량 설정
 - 학교 공간 특성 맞는 최적 식물 및 도입량 구명
 - 공간(교실, 복도 등)별 특성에 따른 미세먼지 제거 효과가 높은 식물 선발
 - 공간별 식물 최적 도입량 설정
 - 공기정화식물의 환경, IT 교육 활용방안 구명
 - 식물관리 및 실습교육을 통한 환경 IT 교육 융합 활용방안 설정
 - 지하공간 특성에 맞는 공기정화식물 배치 방법/양 구명
 - 지하공간 미세먼지, 실내 환경 측정 및 데이터 수집
 - 미세먼지 저감 식물 선발 및 배치/도입량 설정
- <그림 30. 식물의 미세먼지 제거 원리> <그림 31. 미세먼지 저감 효율 높은 식물>

【2차년도】

□ 미세먼지 저감식물 발굴 및 선정 연구

- 자생식물 등을 활용한 미세먼지 제거 효율 검증 및 환경 조건 연구
 - 공기환경 개선을 위한 자생식물의 실내외 순화 환경조건 구명
 - 실내외 광, 온도, 습도 등에 따른 미세먼지 제거율 구명

- 각 공간(벽면, 바닥, 빈 공간 등)별 미세먼지 저감에 효과적인 배치 방법 설계
- 공간별 위치에 따른 식물 최적 도입량 설정
- 학교 공간 특성 맞는 최적 식물 및 도입량 구명
 - 공간(교실, 복도 등)별 특징에 따른 미세먼지 제거 효과가 높은 식물 선발
 - 공간별 식물 최적 도입량 설정
- 공기정화식물의 환경, IT 교육 활용방안 구명
 - 식물관리 및 실습교육을 통한 환경 IT 교육 융합 활용방안 설정
- 지하공간 특성에 맞는 공기정화식물 배치 방법/양 구명
 - 지하공간 미세먼지, 실내 환경 측정 및 데이터 수집
 - 미세먼지 저감 식물 선발 및 배치/도입량 설정

□ 식물에 의한 미세먼지 감소 기작 연구

- 미세먼지 종류별 제거 기작 연구
 - 미세먼지 종류별(PM₁₀, PM_{2.5} 등) 제거 경로 흡수 및 분해 연구
 - 미세먼지 제거 지속가능성 검증 연구
 - 근권부 미생물에 의한 미세먼지 제거 기여도 구명
- 생활공간별 그린인테리어 미세먼지 저감 효율 구명
 - 가정 공간(침실, 주방 등)별 식물배치 방법/양에 따른 저감량 정량화

<그림 34. 미세먼지 종류에 따른 제거>

□ 생활공간별 그린인테리어 모델 개발 및 효과 검증 연구

- 미세먼지 저감에 효율적인 공간별 그린인테리어 개발
 - 벽면, 바닥, 빈 공간 등 위치 및 공간 특성에 맞는 그린인테리어 개발
 - 공간별 그린인테리어에 따른 미세먼지 저감 효율 조사
- 교실 내 효과적인 식물 배치 모델 개발
 - 교실 환경 특성과 미세먼지 저감에 효율적인 식물 배치 방법 설정
- 식물 환경+IT 교육이 학생들에게 미치는 효과 구명
 - 미세먼지 저감에 우수한 식물을 활용한 교육 프로그램 개발
 - 시범교실 운영 및 만족도 조사
- 지하철 역사에 식물을 이용한 미세먼지 저감 방법 구명
 - 지하공간 미세먼지, 실내 환경 측정 및 데이터 수집
 - 지하철 역사 미세먼지 저감을 위한 바이오필터 최적화 기술 개발
 - 식물 활용에 따른 미세먼지 저감 효과 분석
- 자생식물을 중심으로 실내·외 미세먼지 저감 효과 식물 발굴 연구
 - 자생관목 및 초본식물(하층식생)의 대기오염물질 제거율 평가 및 정량화
 - 국내 난대식물 중심의 실내 기능성 식물 발굴 연구
 - 생활중심구역 공기정화 식재기법 및 생활환경개선 기능연구

○ 공간별 미세먼지 저감 효율 극대화 기술 개발

- 공간별 식물종류 및 관리 기술 설정(수분 조건에 따른 효과 등)

<그림 35. 다양한 공기정화식물 플랜터 개발>

<그림 36. 생활공간 식물 이용 사례>

미세먼지 저감 식물제품 개발 및 규격화 연구

- 이식용 최적 인공용토 및 식생배지 선발(수종별 성장률 검정)
 - 기존 기술개발 제품의 분석을 통한 기술개발 방향 설정

【3차년도】

미세먼지 저감식물 발굴 및 선정 연구

- 미세먼지 제거 효과 검증 및 평가기준 표준화
 - 자생식물 생육형(초·목본)에 따른 미세먼지 저감률 측정 기준 연구
 - 자생식물 기능별 미세먼지 저감률 측정 기준 연구
 - 자생식물 환경조건별 미세먼지 제거효율 검증 연구
 - 식물의 미세먼지 제거 효과 검증을 위한 측정표준모델 개발 연구

식물에 의한 미세먼지 감소 기작 연구

- 환경조건에 따른 미세먼지 제거 기작 연구
- 미세먼지 투입량에 따른 제거효율 검증 연구
- 근권부 환경조건에 따른 미세먼지 제거능 연구
- 지상부 물리환경(광, 온도, 습도)에 따른 제거효율 증진 연구

생활공간별 그린인테리어 모델 개발 및 효과 검증 연구

<그림 38. Plantui Plantation smart garden>

<그림 39. 수직공간용 바이오 월 원리>

<그림 40. 지하공간 식물 이용 사례>

- 생활공간별 **그린인테리어** 모델 개발
 - 미세먼지 저감 효율이 높은 가정 공간별 그린인테리어 선정(green 커튼 등)
- 공간별 **그린인테리어** 현장적용
 - 그린인테리어 적용에 따른 만족도 조사
- 교실 내 효과적인 식물 배치 모델 개발
 - 감성, 인성 교육과 미세먼지 저감을 위한 교실 내 효과적인 식물 설계기술 개발
- 식물 환경 + IT 교육이 학생들에게 미치는 효과 구명
 - 식물 활용한 환경 + IT교육 가이드라인 작성
 - 시범교실 운영 및 만족도 조사
- 지하공간 식물 활용 미세먼지 저감 시스템 개발
 - 지하공간 미세먼지, 실내 환경 측정 및 데이터 수집
 - 지하공간 미세먼지 저감 시스템 가이드라인 작성

미세먼지 저감 식물제품 개발 및 규격화 연구

- 선대 및 지피식물을 활용한 미세먼지 저감 식생 판넬 규격화
 - 적정시장가격 및 제품개발 방향 설정
 - 시공유형에 따른 품셈 산출
 - 주요 유형별 프로토타입 제품개발(특허, 논문, 제품)

[10] 사업 규모 및 세부산출 내역

예산 연구비 및 연구기간

- 연구비 : 총 27.5억원 (정부출연금)
- 연구기간 : 2019-2021년 (3년)

(단위: 백만원)

	2019	2020	2021	계
정부	750	1,000	1,000	2,750
민간	-	-	-	-
계	750	1,000	1,000	2,750

세부 예산 산출내용

[11] 추진 전략

[12] 연구추진방법

- 식물활용 미세먼지 저감연구는 종발굴 → 먼지저감 기작 구명 →생활공간(실내·외)적용 → 효과검증 → 상품·규격화 체인으로 진행

[13] 활용 방안

- 건축, 원예, 조경적인 제품 및 소재의 개발을 통한 관련 산업 활성화
- 식물을 활용한 미세먼지 저감으로 생활공간별 미세먼지 농도 건강 기준치 이하 조성으로 쾌적한 실내 환경 유지

- 생활공간, 학교, 지하공간별 그린인테리어 모델 개발을 통해 식물을 활용한 미세먼지 저감 가이드라인 제공
- 미세먼지 취약계층을 위한 실내 수목 관리 매뉴얼로 활용
- 가드너 등 전문인력 개발을 위한 수목·식물관리 프로그램으로 활용

[14] 기대 효과

기술적 측면

- 생활공간별 식물의 미세먼지 제거 효과 증명
- 미세먼지 저감에 효과적인 생활공간별 그린인테리어 기초자료 제시

경제적 측면

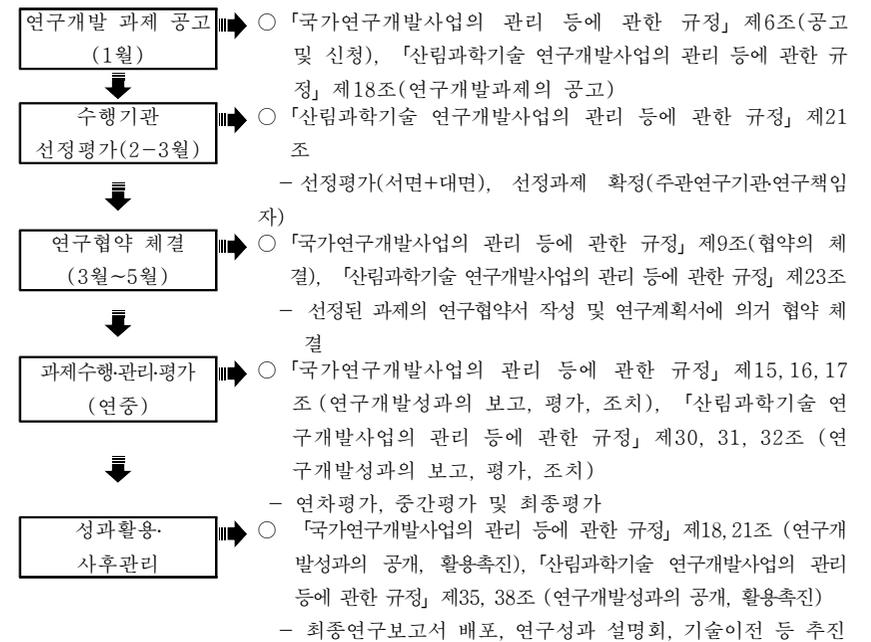
- 미세먼지 저감 식물제품화 규격화를 통한 경쟁력 확보, 산업화 기반 구축을 통한 경제 활성화 및 일자리 창출
- 식물을 활용한 생활공간별 그린인테리어 현장적용 및 홍보로 인한 그린인테리어 산업 확산 기반 마련
- 지속적인 헬스케어 식물 소비확대로 인한 화훼 산업 활성화

사회적 측면

- 자생식물을 활용한 미세먼지의 효과적 저감 및 지역생물다양성 증진
- 식물을 활용한 미세먼지 저감 기술 개발을 통하여 실내 공기 질 향상과 건강증진
- 미세먼지 저감식물 정보 제공 및 생활공간 적용함으로써 사회문제 해결 및 국민의 삶의 질 향상
- 자생식물의 환경개선 효과 구명을 통한 대국민 인식 제고 및 활용 촉진
- 미세먼지 제거를 위한 다양한 건축적, 조경적인 소재의 개발과 경관적인 측면에서 도시경관 개선
- IT기반의 미래형 포터블 정원조성 기술 개발로 새로운 정원산업 제시

[15] 성과 지표 및 목표.

[16] 평가 기준 및 절차



3. 식물활용 미세먼지 저감 기술개발 및 실증

[1] 사업 개요 및 추진근거

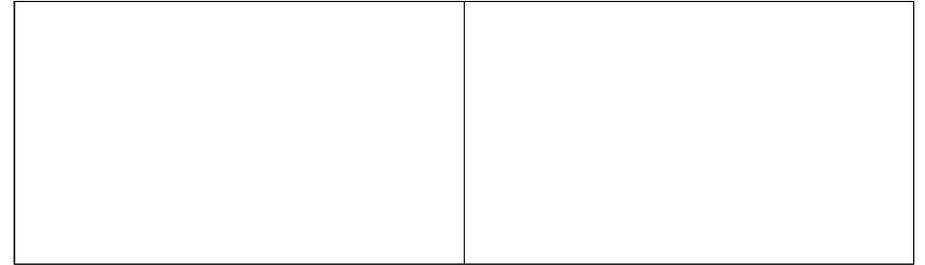
- 쾌적한 대기환경 조성을 위해 친환경 소재인 식물을 활용한 미세먼지 저감기능 개선 사업
 - 도시민들의 쾌적한 이동 공간 제공을 위한 미세먼지 대응 식물활용 기술 개발
 - 신 녹색 공간 창출을 위한 버티컬 녹화기술 개발
- 도시 녹지 공간 확보로 식물에 의한 미세먼지 저감 효과를 증진할 수 있는 점적, 선적 요소의 활용 기술 개발 및 가이드라인 개발 필요
 - 식재 시스템을 적용한 애그리텍처(Agriculture+Architecture) 모델 개발
 - 다층적 식생 구조의 가로녹지 식재 시스템 개발
- 추진근거
 - 산림의 공익기능 증진(「산림기본법」 제17조)
 - 도시지역 산림의 조성·관리(「산림기본법」 제18조)
 - 임업기술의 진흥(「산림기본법」 제24조)
 - 국가연구개발사업의 추진(「과학기술기본법」 제11조)
 - 기초과학의 진흥(「과학기술기본법」 제15조)
 - 산림과학기술기본계획의 수립 및 시행에 관한 규정(「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」 제34조 및 「동법 시행령」 제32조)
 - 수목원·정원의 조성 및 진흥에 관한 법률 제3조(사업)

[2] 연구 배경

- 우리나라의 초미세먼지 농도는 매년 증가 추세이며, 미세먼지 경보 빈도 증가 등의 이상 현상은 매년 기록 경신
 - '16년 전국 및 서울의 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도는 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 WHO 권고기준('10) 및 주요 도시(도쿄 13.8, 런던 11, '15) 대비 2배 높음
 - 최근 초미세먼지 경보 건수 변화는 2016년 90건 → 2017년 129건 1.4배 증가
 - '18.1.1~23 서울시 미세/초미세먼지 지수 나쁨 이상 일수 : 6일(연속 5일) 기록
- 수목은 초미세먼지를 잎과 가지에 흡착시키거나 기공을 통해 흡수, 대기 중의 초미세먼지 농도를 저감하여 도시 생활환경 개선에 기여
 - 산림의 공익기능은 연간 126조원이며, 그 중 5%인 6.1조원은 대기질(大氣質) 개선 혜택

- 1 m² 숲은 16.8 g에 달하는 미세먼지 등 대기오염 물질(이산화황, 이산화질소, 오존 포함) 흡수
- 뉴욕시는 도시숲을 통한 초미세먼지 저감 사망률 감소(연 8명), 의료비 절감 등으로 약 690억원의 경제적 효과(미국 산림청, '16)

<그림 42. 나무에 의한 미세먼지 저감 개략도>



- 최근 미세먼지로 인한 대기환경 악화 및 건강상 위해의 사회적 관심이 증대되고, 국가적으로 해결해야 하는 핵심문제 대두됨
 - 서울 등 수도권은 OECD 주요국에 비해 미세먼지 오염수준이 2~3배 높음
 - 미세먼지는 주변국의 오염물질 유입, 이동오염원(도로, 교통), 사업장(에너지 산업, 제조업 연소, 생산 공정) 등이 주요 원인임.
 - ※ 서울지역의 미세먼지로 인한 조기 사망자수는 연간 9,461명임(환경부, 2015)
 - 일반 성인이 하루에 숨 쉬는 공기의 양은 약 20~30 kg으로 하루 섭취하는 음식물 6 kg에 비하면 약 4~5배 많은 양임(농진청, 2014)
 - WHO는 악화된 실내공기 오염 관련 질환으로 매년 280만명이 사망한다고 하였으며, 미국 환경안전청(EPA)에서는 실내공기 오염이 인류 건강을 위해하는 5대 요소의 하나로 규정
- 초미세먼지 위험성이 알려지면서 대기질 개선에 대한 국민적 요구 증가
 - 초미세먼지는 미세먼지에 비하여 심뇌혈관질환, 호흡기질환의 이환율 및 사망률과 관련성이 높으며 중요한 위험요인 중 하나로 인식(김운수, 2014)

도시 내 미세먼지를 개선하기 위하여 오염물질의 발생량을 저감시키는 방안 제시

- 오염물질 발생량을 줄이기 위한 정책이나 배출가스 처리를 위한 기계장치, 발생원 분산 등이 이루어지고 있으나 이미 대기 중으로 방출된 오염원을 제어할 수 없음
- 국내 배출량 30% 감축을 목표로 발전, 산업, 도로 수송, 비도로 부문으로 분류하여 미세먼지 배출량을 감소할 수 있는 정책을 추진 중

식물 공기정화 기능 및 미세먼지 저감 효과 부각

- 세계 10곳 도시숲 편익 조사한 결과 초미세먼지 1 t을 저감시킬 때 도시숲이 제공하는 편익은 25만9000달러(약 2억7643만원)로 추산한 연구가 진행
- 도시숲은 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도를 평균 40% 이상 저감시키며, 약 47그루의 나무로 경유차 1대의 연간 미세먼지를 해결할 수 있음(산림청, 2018)

[3] 정책 동향

정부의 미세먼지 관리 특별대책 목표설정 및 기본방향 설정

- 「제2차 수도권 대기환경 기본계획」 3년 조기달성, 2024년까지 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 달성 목표를 2022년으로 수정, 조기달성 목표
- 10년 내 유럽 주요도시 수준으로 미세먼지 개선, 서울기준 2015년 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 2022년 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 개선
- 미세먼지 특별대책 기본방향은 국내 배출원 과학적 저감, 미세먼지, CO₂, 동시저감 신사업 육성, 주변국과의 환경협력, 예경보체계 혁신, 전 국민이 미세먼지 저감에 참여하되 서민 부담 최소화

중앙정부 및 지자체에서는 사회문제 해결형 연구개발 및 실증사업으로서 리빙랩을 도입할 뿐 아니라 친환경 도시재생 등의 새로운 사회 혁신 모델로서 리빙랩을 도입 중

- (산림청) 도시-도시외곽을 연결하여 미세먼지를 조기 분산·저감시키는 ‘도시숲’ 조성 추진 (’17년 20억)

- (농진청) 식물의 오염물질 제거에 의한 실내 공기 정화 및 식물의 방출물질에 의한 실내 환경 개선 연구 등 미세먼지 제거를 위한 실내공기 정화 관련 연구 진행
- (과기부) 2015년 1월부터 안전과 복지 분야에서 사회문제 해결을 위해 현장수요를 반영하는 실증 방법론으로서 시민연구사업인 리빙랩 도입
- (국토부) 환경에 미치는 영향을 최소화하고 쾌적한 거주환경 제공을 위해 건축물 인증제도(친환경 건축물 인증제도, 녹색건축 인증제도)와 생태환경 및 실내환경, 에너지 및 환경오염에 대한 인증제도 운영
- 각 지자체에서도 새로운 사회 혁신 모델로 리빙랩 도입을 고려하고 있고 친환경 도시 설계 및 도시재생을 위한 리빙랩 추진을 시도 중
 - (서울시) 도로변 나대지의 녹화를 통한 미세먼지 저감, 가로수 보호판의 도심지역에서 번두리지역까지 확대 설치, 녹지대 경계석 설치방법 개선 후 잔디식재 등을 통한 표면노출억제 등 가로수 및 도로변 수림대 관리방법 개선
 - (광주시) 도심 내 녹지 확충을 통한 미세먼지 저감 대책 ‘도심 내 녹지 1평 늘리기’ 실시 (100개소)

산림분야의 미세먼지 대응 정책 방안 마련을 위해 다양한 정책 수립 및 토론회 등의 의견 공유로 미세먼지 대응 도시숲 R&D 중요성 제시

- 미세먼지 대응 도시숲 정책을 수립 지원 및 R&D 중요성을 사회적으로 제시
 - * 「미세먼지 저감 및 품격 있는 도시를 위한 그린 인프라 구축방안(’18.1)」, 「미세먼지 없는 숲속의 대한민국 만들기(’18.2)」 등의 미세먼지 대응 도시숲 정책 수립
 - * 「한중 도시숲과 미세먼지 대응 국제심포지엄(’18.3.21, 한국프레스센터)」, 「산림을 통한 미세먼지 저감 방안 토론회(’18.5.16, 국회의원회관)」 개최로 사회문제 해결을 위한 도시숲의 역할 논의 및 R&D 중요성 공유

지자체 중심으로 미세먼지 저감을 위해 대규모 나무 식재 정책 추진 중

- 부산시는 1,000만본 나무심기를 목표로 5개년(2018-2020) 사업계획을 수립하였으며 자투리 공간을 활용한 녹화 확대, 건물의 실내외 녹화 확충, 가로수 복충화, 산림훼손지 복원 등 4개 중점 추진대책 설정(2018)
- 청주시는 미세먼지를 저감하기 위해 올해 4억 원을 투입해 가로변 녹지축 연결사업과 도심 구조물 벽면녹화사업 추진(2018)
- 전주시는 2026년까지 8년 동안 공원과 도로, 아파트, 주택, 공장, 골목길, 자투리땅, 마을 숲, 옥상 및 벽면, 산림지역 등에 총 1,000만 본의 나무를 심어 미세먼지 감소 추진 계획(2018)
- SH공사는 미세먼지 저감을 위해 아파트 벽면녹화, 수림커팅, 미세먼지 저감숲 조성, 공사 현장 가설 헨스 녹화 등의 저감 대책을 시행할 예정(2018)

정밀 도시숲 지도의 시범 작성 및 범부처 협의체 추진

- 국립산림과학원은 서울시 동대문구, 서대문구, 강남구, 서초구에 대해 정밀도시숲 지도 작성 중
 - 도시숲 체감도 향상을 위해서는 그린(Green) 정보망 작성이 필요하며, 수관층 지도에 기반하여 미세먼지 농도 예측
- 국립산림과학원 R&D 사업으로 2022년까지 산악기상관측망 200개소 이상 구축 예정이며, 산악기상 인프라를 활용한 산림 내 미세먼지 농도 측정망 구축 가능
- (WHO) 미세먼지의 건강 위해 심각성 보고
 - 미세먼지가 계절 구분 없이 발생 → 실외 공기오염으로 인한 사망자 연간 약 370만명, 실내공기오염으로 사망 약 430만명 (WHO, 2014)
 - 실내 공기오염이 건강에 더 치명적임을 제시
- (EPA) 미국 환경보호단체
 - 공해 요소 중, 입자가 매우 작은 미세먼지(Particulate Matter-PM 2.5)는 폐 질환, 심혈관 질환과 뇌졸중의 주요 요인으로 작용
 - 미국 환경보호단체(EPA, environmental protection agency)의 까다로운 규제로 지난 16년 동안 대기 오염 수치 40% 이하로 감소¹⁾
- 전 세계 대기오염 실태 모니터링 결과, '17년 우리나라의 초미세먼지 지표는 세계 136개국 중 130위 기록(에어비주얼, 그린포스트코리아, 2018)
- (OECD) '2030년 환경 전망' 보고서 발간 : 주요 환경 문제와 환경 정책의 비용, 정책 수단
 - 2030년까지 경제 및 환경 추세를 분석하고, 주요 환경 문제(기후변화, 종 다양성 손실, 물 부족 및 오염의 환경 영향 등)에 대한 정책 활동의 시뮬레이션 결과 포함

[4] 산업 동향

미세먼지 저감 관련 산업

- 서울시, 도로 미세먼지 줄이는 '광촉매' 기술 적용 도로포장 진행
- 미세먼지가 건강을 위협할 뿐만 아니라, 생활 전반에 영향을 끼치므로, 미세먼지 제보 어플리케이션, 휴대용 측정 장치 등 기술 개발이 활발하게 이루어지고 있음(그린포스트코리아, 2018)
- 미세먼지 제거용 마스크, 미세먼지 차단용 창문(window for blocking fine dust), 초미세먼지 제거 공기청정기 등 다양한 산업계 제품 개발이 이루어지고 있음(특허청, 2018)
- EAP 공기정화도양 방법, 이산화티타늄, LID기술에 기반한 미스트 분사시스템과 공기정화 식물 활용하여 바리케이드 설치
 - * EAP(Earth Air Purification) : 흙을 이용한 친환경적인 대기오염물질 정화시스템, 특수 혼합 토양에서 서식하는 토양미생물과 토양의 물리적 작용과 오존 전처리를 이용한 화학적 작용에 의해 대기오염물질을 정화시키는 시스템, 특수혼합 토양 상부에 정화기능이 있는 식물등을 식재함으로써 친환경 녹지공간을 조성할 수 있고, 동시에 도심지 열섬현상과 미세먼지 저감에 탁월한 효과를 발휘하는 시스템
 - * LID: Low Impact Development, 전구물질 조경기술기반 저영향 개발)

1) 독성-환경 후생유전체학의 최신 연구동향, 박봉수(존스홉킨스대), 2018

□ 서울시·SH공사 '미세먼지 저감숲' 조성하고 수림커튼(樹林-curtain) 도입

- 서울시는 아파트 외벽, 벽면녹화 및 미세먼지 저감기술인 광촉매 도료 시공을 시범적용
 - SH공사가 시공한 아파트 단지 측벽의 하층부는 벽면녹화 실시, 상층부는 선진국형 미세먼지 저감 기술 광촉매 기술 이용 미세먼지 저감
- 1~3층 하층부는 담쟁이 등 식물을 식재하는 벽면녹화를 통한 미세먼지 흡착
- 고층부는 광촉매(Photocatalyst, TiO_2)기술을 활용하여 공기중의 미세먼지 질소산화물(NO_x), 황산화물(SO_2), 포름알데히드 유해물질 제거
- 아파트 단지 주변 조성하는 녹지를 기존 완충녹지 개념에서 미세먼지 유입 방지를 강화한 수림 커튼 개념 도입하여 미세먼지 저감숲 시범조성 예정
- 아파트 벽면녹화, 수림커튼, 미세먼지 저감숲 조성과 공사현장 가설 쉼스 녹화 시 총 녹화 면적은 20만 2095 m^2 로, 여의도 면적의 약 7%에 해당되고, 신갈나무 6,392본의 신갈나무림 5 ha 조성 효과

□ 건축물 인공 녹화형(실내 및 실외 벽면녹화)

- 건축물 실내 및 실외내 녹화벽 조성(Green Wall, Vertical Garden)
- 실내외 수경벽면녹화 시스템 디자인 및 제품개발
- 수직녹화 및 벽면흡착 재배용 모듈 제작
- 벽면 인공지반 양수분 공급 제어 시스템 개발

□ 경량형 옥상녹화 기술(토양, 저수관, 배수관, 경계석) 촉진

- 방수 및 배수층에 대한 연구와 산업화
- 경량화를 위한 식생기반에 대한 연구 및 녹화기반 재료 연구
- 건축물 형태 및 경사도에 따른 시공자재 및 시스템 유형 적용

□ 벽면 녹화를 비롯하여 건물 내외부 식재를 통해 주거 환경 질 향상 노력 대두

- 밀라노의 보스코 베르티칼레(Bosco Verticale)는 105 m, 78 m에 이르는 두개의 아파트동에 스모그와 도시 소음을 차단하고 내부 온도와 습도를 조절하도록 700여 그루의 나무와 90여 종류의 식물을 식재(2014년)
- 중국에서는 대기오염에 대응하기 위하여 류저우 시에 수직 숲도시(Forest city)를 175만 m^2 부지 규모의 3만명을 수용할 수 있는 미니 신도시급 주거단지로 구축할 계획으로 100여종의 식물과 4만여 그루 나무들을 식재하여 연간 이산화탄소 1만톤과 대기오염물질 57톤을 흡수하는 효과 기대

[5] 기술 동향

□ 미세먼지 대응 도시숲 조성 관리 연구 추진

- 도시숲의 미세먼지 저감능 관련 연구는 2000년대 초반부터 미세먼지 문제 해결에 도시숲 조성 기술을 접목시키고자 하는 연구에 전 세계적으로 관심 증대
 - 도시숲 관련된 분야는 유럽이 오래전부터 많은 연구를 진행해 왔으며, 최근 중국이 당해 분야에 대한 연구를 많이 진행하고 있음.
- 미세먼지 문제 해결을 위한 도시숲 조성, 수목 선정 등과 관련하여 한국, 미국, 일본, 유럽 등 주요국 특허는 거의 전무한 실정

- 최근 중국에서는 관련분야에 대한 특허를 지속적으로 창출
- 중국 출원인들은 자국의 상황에 적합한 수목을 선별하여 미세먼지 저감효과에 대한 연구 추진

□ 수직녹화 기술의 다양화

- 모듈형 수직녹화 기술(녹화타일, 구조계통, 관개계통)
 - 용기골조식, 잡분 모듈형, 재배함 모듈형, 매개체 모듈형
 - 기존 건축시 식물식재 용기 또는 인공 재배 설치
- 화분형 수직녹화 기술(실내장식 혹은 임시녹화에 적용)
 - 딱딱한 재질인 화분을 고정하여 배양토를 담고 식재
- 수경형 수직녹화 기술(전포형)
 - 자연토양을 대체해 성장인자를 공급하여 식물 생육 촉진
- 줄당김, 격자형, 자유형 수직녹화 기술(라인로프, 망틀식)
 - 실외 혹은 햇빛이 충분한 실내에 사용되며 관개시스템이 필요 없음
 - 저비용 및 현장시공이 빠르며, 자연생장형 시공기술 유형
- 벽면녹화 및 경량형 옥상 녹화 특허 기술현황
 - 조립형 벽면녹화장치, 식생포트, 식생판, 다공판넬, 자동관수 시스템
 - 실내외 벽면 등을 이용한 시공형태가 대다수 이며, 유지관리 편의성, 시공 편의성이 있으나 대중화에 한계가 있음

□ 도시숲 그린 정보망 및 그린 웰터 앱 개발·운영 연구

- 「산악기상관측망 구축」 사업은 2009년 산림청, 기상청, 농진청 등의 부처간 MOU를 통해 국립산림과학원에서 산악기상망 연구 수행
 - ※ 기후변화 대응 산림기후 모니터링 체계 구축사업 기본계획('12~'21) 수립
- 국외 수준은 기술안정화 및 응용단계이나 국내수준은 개념 정립의 단계에서 개발된 기술의 현장적용 단계로 전환하는 과정
 - 도시숲 및 산림내 미세먼지 측정 기반이 국내에서 홍릉시험림에 1개 세트(도심-도시숲 중심-도시숲 가장자리) 운영중으로 산악기상망과 연계하여 활용체계 구축 시급
- 미세먼지 대응 안전한 산림휴양 및 다양한 산림환경교육에 대한 국민욕구 충족을 위한 미세먼지 예보서비스 체계 마련 및 범부처 자료 공유를 위한 성과 확산 필요

□ 미국 산림청의 i-Tree 기반 프로그램 개발 및 운영

- 미국 산림청은 수목이 제공하는 환경적 이점과 산림의 구조를 정량화하는 'i-Tree' 프로그램 개발 및 활용
 - i-Tree 프로그램은 산림경영 및 생태계서비스를 가시화, 도시숲의 경제적 가치에 대한 산출을 통해 도시숲 관련 정책 및 사업에 반영
 - 도시숲 생태계 대기질 및 대기 중 이산화탄소에 미치는 영향, 대기온도에 미치는 영향, 도시숲 관리에 드는 비용 및 이익 등 정보 제공

<그림 50. 미국 도시숲 인벤토리의 표본점 및 고정표본점 설계 사례>

[6] 정책과의 부합성

☐ 문재인정부 100대 국정과제와의 부합성

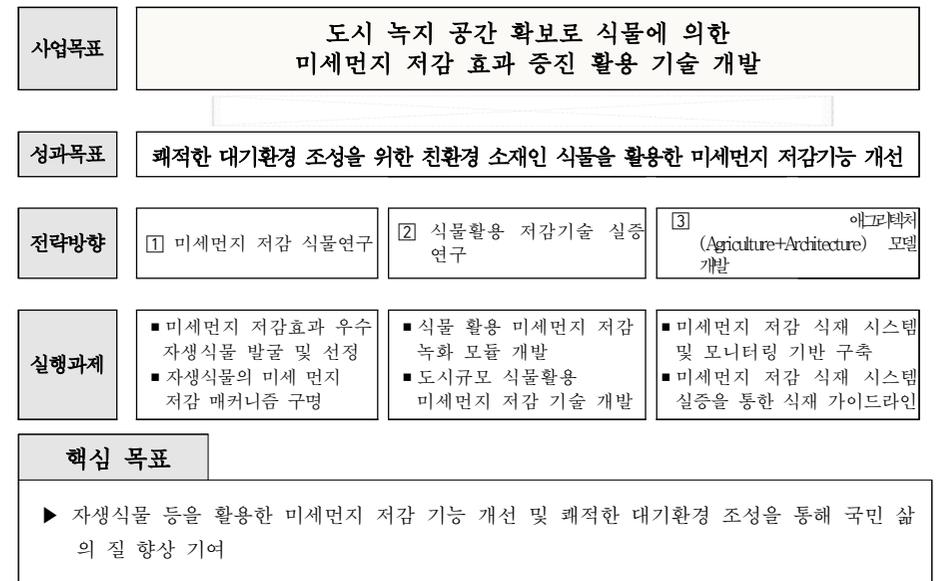
- (3-3-58) 미세먼지 걱정 없는 쾌적한 대기환경 조성에 부합
 - (4-3-83) 지속가능한 농식품 산업 기반 조성에 부합
 - 제4차 국가과학기술기본계획('18~'22)의 4대전략, 19개 추진과제 중(과제 18) 쾌적하고 편안한 생활환경 조성 및 세부과제, 18-② 쾌적하고 청정한 생활환경 구현과 연계 추진
 - (쾌적하고 청정한 생활환경 구현) 효율적 대기질 관리 및 쾌적한 대기환경 조성을 위한 기후 대기 환경 연구 확대 및 국제협력체계 구축
 - 대기오염 물질 모니터링, 측정, 추적 및 관리체계 구축
 - 미세먼지 원인규명 및 예보정확도 향상, 실생활 보호·대응 기술 등 미세먼지 대응 중점기술 개발
- ※ 2022년까지 국내 미세먼지 배출량 30% 감축 및 초미세먼지(PM_{2.5}) 오염도(서울) 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 감축(현재 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

☐ 2019년도 정부연구개발 12대 중점 투자방향과의 부합성

- (건강·편익 증진) 미세먼지, 유해물질 등 연구개발을 원인규명-문제 해결 중심으로 투자하고, 국민생활 인프라(주거·건축·의료 등) 스마트화와 부합

[7] 기존 사업과의 차별성

[8] 연구 목표



[9] 세부 연구내용

[1년차] 도시 공간 미세먼지 저감 식물 선발 및 식재 모델 개발

□ 미세먼지 저감 우수 자생식물 선발 및 메커니즘 구명

- 도시 공간 활용 가능한 미세먼지 저감 자생식물 선발
- 녹지의 유형별 적합한 미세먼지 저감 우수식물 선발
- 유형별 계절별 미세먼지/식물 생육 상태 모니터링
- 식물 활용 미세먼지 저감 녹화 모듈 개발

□ 생활공간 적용 및 효과검증 연구

- 다층구조의 환경개선 식재조합 개발, 적용 및 평가 모니터링
 - 도심 내 식재 가용 공간(옥상정원, 벽면녹화 등) 및 환경 유형분류
 - 식재구조 및 식재조합을 고려한 미세먼지 저감 모델 개발
 - 흡연구역, 공공기관 등 우선적용지역 선발 및 실험

□ 미세먼지 저감 식물제품 개발 및 규격화 연구

- 용도별 벽면녹화시스템 품목별 디자인 시안 개발
 - 시스템 상용화를 위한 경제성 분석 및 유사제품 시장현황 조사
- 이식용 최적 인공용토 및 식생배지 선발
 - 기존 기술개발 제품의 분석을 통한 기술 개발 방향 설정
 - 적정시장가격 및 제품 개발 방향 설정
 - 시공유형에 따른 품셈 산출
- 선대 및 지피식물 활용 미세먼지 저감 식생 판넬 규격화
 - 주요 유형별 프로토타입 제품개발

□ 식재 모델 적용을 위한 미세먼지 저감 우수 식물 선발

- 애그리텍처에 활용 가능 미세먼지 저감 식물 선발
 - 건물 방향과 높이에 따라 미세먼지 저감 효율이 높으며 생육 양호한 식물 선발 시험
 - 미세먼지 챔버 내 식물 생육 특성 분석

- 가로 녹지 다층구조 식재에 적합한 미세먼지 저감 우수식물 선발
 - 식재 층위구조에 따라 교목, 관목, 초본 등 적정 식물 선정
 - 기 조성된 녹지대의 유형, 구조, 식재 특성에 따른 미세먼지 농도 분석

□ 미세먼지 저감을 위한 식재(애그리텍처, 바리케이트, 녹지) 모델 개발

- 애그리텍처 조성을 위한 건물 구조 디자인 및 식재 모델 개발
 - 미세먼지 저감 효율을 높일 수 있는 건축물의 형태 디자인
 - 유형별 건물 디자인에 적합한 구조 디자인
 - 애그리텍처 구조에 적합한 식재 모델 개발

- 미세먼지 바리케이트 현장실연 및 녹지 유형별 식재 모델 개발
 - 미세먼지 바리케이트 현장적용
 - 녹지 유형 분류 선정
 - 미세먼지 저감을 위한 다층 구조의 식재 규모, 식물 선정
 - 교목, 관목 및 지피식물 활용 다층구조 식재 모델 개발

- 녹지 공간 확보를 위한 식재 기반 기술 개발
- 관리의 효율성 및 양호한 생육 상태를 유지하기 위한 식재 시스템 개발

- 식재 시스템 유형별 테스트 베드 조성
 - 애그리텍처 유형별 적용 가능성이 높은 모델의 우선 조성
 - 녹지 유형별 식재 구조 및 식재 기반 기술의 테스트베드 조성
- ICT기반의 스마트정원 개발 연구
 - 스마트 정원 개념 정립 및 활용방안 연구
 - 스마트 가든 환경연구
- 식재 시스템 유형별 미세먼지 모니터링 기반 구축
 - 애그리텍처 미세먼지 저감 효율성 평가를 위한 모니터링 방법 개발
 - 애그리텍처의 효율성 평가를 위한 대기환경 모니터링 방법 개발
 - 애그리텍처 조성에 의한 미기후 변화와 같은 환경 요인 탐색
 - 미세먼지 저감 효율성 평가를 위한 측정지표 개발
 - 미세먼지 바리케이트 현장실연 및 녹지 모델 저감 모니터링 방법 개발
 - 미세먼지 바리케이트 현장실연 모니터링
 - 도로 환경(자동차 통행량, 속도, 미기후 등)에 의한 모니터링 방법 개발
 - 미세먼지 저감 효과 검증을 위한 측정 항목 개발
 - 식물 생육 특성 및 시각적 특성 평가 방법 개발

[2년차] 식물활용 저감기술 실증 및 식재 시스템·모니터링 기반 구축

- 식물활용 저감기술 실증 연구
 - 식물활용 현장 시범적용 연구
 - 도시 규모 식물활용 미세먼지 저감 기술 개발
 - 도심 내 식재 가용공간(가로수, 옥상정원, 벽면녹화 등) 및 환경 유형분류
 - 식재구조 및 식재조합을 고려한 미세먼지 저감 모델 개발
 - 녹지 유형별 계절별 미세먼지/ 식물 생육 상태 모니터링
 - 녹지 조성을 위한 식재 시스템 개발
- 미세먼지 저감 식재를 위한 식재 구조 및 생육 시스템 개발
 - 애그리텍처 조성을 위한 식재 구조 및 조성 시스템 개발
 - 인공지반 및 수직구조에 적합한 식물 생육 시스템 개발
 - 애그리텍처 안정성을 고려하는 토양, 관수, 인공지반 등 식재 기반 구조 개발
 - 녹지 형태별 식재 시스템 개발

[3년차] 미세먼지 대응 도시공간 식물 시범적용 및 식재 시스템 실증 모니터링

- 식물활용 저감기술 시범적용 연구
 - 식물활용 저감기술 현장 시범 조성 연구
 - 식물활용 저감기술에 의한 미세먼지 농도 변화 시뮬레이션
 - 녹지 유형별 계절별 미세먼지/ 식물 생육 상태 모니터링
 - 녹지 시스템에 의한 대기 흐름 모니터링
 - 녹지 시스템 현장 적용 및 평가
- 식재 시스템 테스트베드 모니터링
 - 애그리텍처 구조에 의한 환경 모니터링
 - 애그리텍처 구조물의 높이 변화에 따른 미세먼지 농도변화 시뮬레이션

- 애그리텍처 구조물에 의한 도시 내 미기후 변화 시뮬레이션

○ 녹지 유형별 테스트베드 모니터링

- 유형별/계절별 미세먼지 변화 모니터링

- 유형별/식재시스템별 식물 생육 상태 모니터링

- 녹지 시스템에 의한 가로 내 대기의 흐름 모니터링

- 모니터링에 따른 가로 녹지 유형별 평가

ICT기반의 스마트정원 개발 연구

○ 스마트 정원 개념 정립 및 활용방안 연구

○ 스마트 가든 환경연구

도시 내 식재 시스템 실증을 위한 현장 적용 및 평가

○ 애그리텍처 모델의 현장 적용 및 평가

- 미세먼지 저감의 환경적 효과와 식물 생육의 생태성 평가

- 애그리텍처 특성과 미세먼지 저감 관계성 분석

○ 도시 녹지 시스템 현장 적용 및 평가

- 미세먼지 농도 변화, 식물 생육, 시각적 선호도 등 평가

- 녹지유형별 특성과 미세먼지 저감 관계성 분석

- 녹지 시스템 테스트베드 대국민 현장 평가 모니터링

식물을 활용한 미세먼지 저감 식재 시스템 가이드라인 개발

○ 애그리텍처 식재구조 및 식재 기반 기술

- 테스트베드 모니터링 및 현장 적용 평가

- 애그리텍처 적용 방안 및 제도적 방법 검토

○ 미세먼지 바리케이트 현장실연 및 지 조성을 위한 식재 구조 및 식재 기술 개발

- 미세먼지 바리케이트 현장실연 모니터링

- 테스트베드 모니터링 및 현장 적용 평가

- 도시 녹지 조성 적용 방안 제시

[10] 사업 규모 및 세부산출 내역

예산 연구비 및 연구기간

○ 연구비 : 총 50억원 (정부출연금)

○ 연구기간 : 2019-2021년 (3년)

(단위: 백만원)

	2019	2020	2021	계
정부	1,000	2,000	2,000	5,000
민간	-	-	-	-
계	1,000	2,000	2,000	5,000

세부 예산 산출 내용

[11] 추진 전략

- 식재시스템 현장 적용 및 실용화를 위해 다양한 모니터링 시스템 활용
 - 식재시스템 미세먼지 저감 효율성 및 실용화를 위해 현장적용, 시뮬레이션, 테스트베드 모니터링을 통해 변화를 예측하고 분석하여 모델의 실효성을 높일 수 있도록 추진
- 다양한 분야의 전문가를 포함하는 민관산학 협력체계 구축
 - 미세먼지 저감에 대한 국민적 관심 고조와 식물에 의한 미세먼지 저감 파급효과를 고려하여 연구소/학계, 시민단체를 포함하는 민관산학 협력체계 구축
 - 식재 시스템 개발과 관련한 조경, 원예, 산림 뿐 아니라 건축, 환경 등 다양한 분야의 학계, 산업계 등 전문가 참여
- 현장 적용을 위한 단계적 추진 및 준비
 - 식재 시스템의 현장 적용을 위해 유형별로 적용 가능한 지역을 연구 초기부터 검토
 - 현장 적용을 통한 이용자인 도시민의 반응 분석 및 환경적, 경제적 효과 검토

[12] 연구추진방법

- 미세먼지 저감에 대한 정책적 기반을 위한 각 분야별 기초 및 응용 연구개발 사업 병행
- 국가 연구기관을 중심으로 산림과 관련한 조경, 원예, 식물 뿐 아니라 건축, 환경, 공학 등 다양한 분야의 학계, 산업계 등의 전문가 참여
- 현장적용 및 평가는 지자체와 관련 시민 단체의 협조

[13] 활용 방안

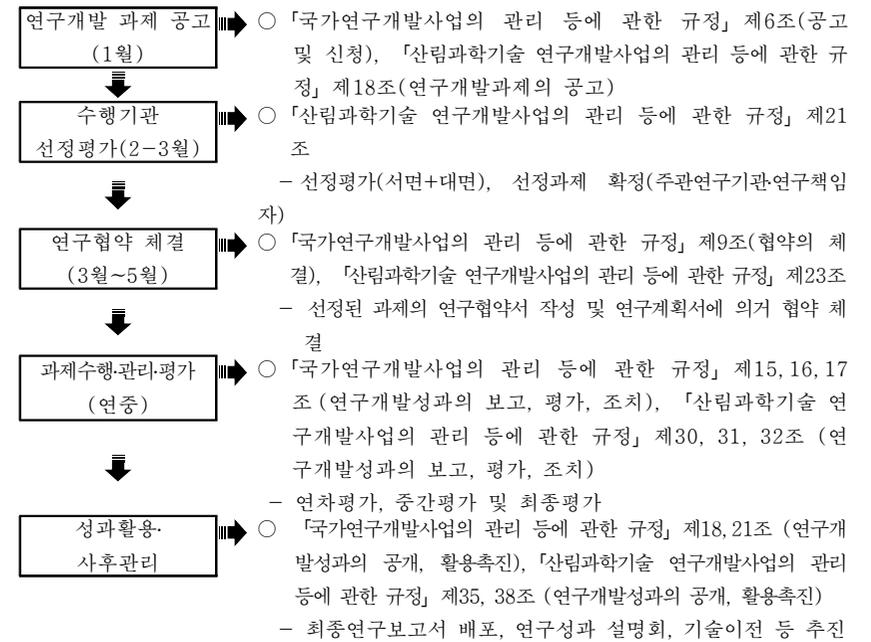
- 도심환경 및 식재지 특성에 적합한 수종 및 관리에 활용
- 미세먼지 오염원에 대한 차별적 대응 도시숲을 조성하여 능동적 정책 추진
- 지역별 녹화용 식물재배 농장 활성화 및 관리업체 육성(지역 대학별 관련학과 청년 녹색 벤처를 운영하여 창업유도 : 청년 도시녹화그린네트워크 벤처(가칭))
- 지역별 그린네트워크 활성화를 통하여 교육프로그램 개발 및 대국민 관심 증대
- 환경적·경관적으로 쾌적한 도시 가로환경 구축 방안 조성
- 녹지공간 확대로 도시 대기환경 개선 뿐 아니라 심리적 안정감 제공
- 가로 녹지 뿐 아니라 공원, 정원에 적용할 식재 시스템 개발 모델 제시

[14] 기대 효과

- 기술적 측면
 - 미세먼지 저감에 효율적이고 완결성 있는 녹지계획을 수립할 수 있는 기반 마련
 - 정량화된 식재기술 개발로 공공 공간의 활용 가능성 증대에 기여
- 경제적 측면
 - 자생식물의 활용도 다변화를 통한 농림가 신소득 창출 및 소득 증대
 - 해외 식물자원 발굴에 기반 한 미세먼지 저감 식물 농림업 재배 유통시장 활성화
 - 미세먼지로 인한 질병의 감소로 사회적 의료비용 감소 효과
 - 관련 식물 정보 제공으로 관련 산업 및 식물 생산 방향 제시
- 사회적 측면
 - 미세먼지 취약계층(유아, 고령자 등)의 안정적 산림 활동 기회 제공으로 보편적 산림복지 실현을 통해 국민 삶의 질 향상에 기여
 - 도시녹지의 확보가 곤란한 지역에 대한 녹화시스템 도입을 통한 미세먼지 저감을 위한 효과 극대화(K - Green Curtain Project : 가칭)
 - 미세먼지 저감에 대한 시민·기업·정부참여 유도를 통한 국민적 관심 제고 및 미세먼지 저감 국가관리 체계 확립
 - 국토 및 도시지역의 기후변화 및 안전문제 해결에 기여
 - 식물 도입으로 도시내 환경정화 및 경관 향상에 기여
 - 지속적인 식물의 관리 및 공급을 위한 일자리 창출 가능

[15] 성과 지표 및 목표

[16] 평가 기준 및 절차



4. 도심 내 미세먼지 저감 기술 개발 및 실증

[1] 사업 개요 및 추진근거

- 도로에서 배출되는 미세먼지 저감을 위해 도로시설물 기반 기술로 구분하여 '미세먼지 청정 보행환경' 구축
 - 수도권 등 대도시에서 발생하는 미세먼지는 여러 발생원 중에서 자동차로 인한 도로에서 배출되는 배기가스가 가장 많은 부분을 차지
 - 도로에서 배출되는 미세먼지를 직접 정화하고 보행구간에 쾌적한 환경을 공급하고자 미세먼지 저감 기술 개발

- 자동차로 인해 도로에서 주로 발생하는 미세먼지 저감을 통해 '미세먼지 청정 보행환경' 조성
 - 미세먼지 청정 버스정류장, 가로형 공기정화 타워, 신호등, 가로등, 가로수 등의 통합관리 등을 통해 '미세먼지 청정 보행환경' 구현
 - 현재 국내 발생하는 미세먼지의 주요 오염원 중 하나인 자동차 배기가스를 직접 정화하여 깨끗한 도로환경 조성
 - 교통약자인 보행자, 대중교통을 이용하는 시민, 어린이 및 노약자, 임산부 등 사회적 취약 계층에게 보편적인 공기 청정구역 제공하기 위함
 - 최근 국제적인 이슈가 되고 있는 미세먼지로부터 사회적 약자에게 보행환경 개선, 대중교통 활성화 등의 보편적 복지혜택 제공

- 추진근거 : 과학기술기본법」 제16조의6(과학기술을 활용한 사회문제 해결)

[2] 연구 배경

- 대기오염의 심각성
 - OECD "2017 삶의 질" 보고서에 따르면 한국 대기오염은 OECD 국가들 중 가장 심각하며, 특히 한국의 야외 초미세먼지 평균 노출도는 41개국 중 최악으로 OECD 평균의 두 배 수준임
 - 이러한 대기 오염이 지속된다면 2060년 조기사망률은 100만 명당 1,109명이 발생할 것이라는 암울한 전망
 - 그동안 미세먼지는 주로 봄철에 발생이 되는 패턴이었지만, 최근에는 사계절 내내 발생하며 미세먼지로 인한 사망자 약 2만명, 폐 질환 환자는 80만명에 이르는 등 이 문제는 '국민 전체 생존' 문제임
 - 마음껏 숨을 쉬고 싶다는 것이 한국인들의 가장 큰 희망사항 중 하나가 된 지금 정부에서는 먼저 수도권 민간사업장과 전국 공공기관으로 미세먼지 비상저감조치를 확대하는 등 각종 대책을 내놓고 있지만 강제성이 없고 그 방법에도 실효성의 한계가 있어 근본적인 해법이 되기 어려움

대기오염의 원인

- 자동차 배기가스
 - '스모그 지옥'으로 악명 높은 중국 베이징시의 미세먼지(PM_{2.5}) 주범은 석탄이 아닌 자동차라는 당국의 분석 결과가 나왔으며, 14일 중국 베이징시 환경보호국은 지난해 베이징의 미세먼지 오염원 기여도를 분석한 결과 석탄은 4년 전 22.4%에서 3%로 대폭 하락한 반면 자동차가 내뿜는 오염물질은 미세먼지의 45%로 2013년 31.1%대비 1.4배로 상승한 것으로 보고함
- 도로 재비산먼지
 - 한국환경공단이 15일 국회 환경노동위원회에 보고한 2017~2018년 수도권 도로미세먼지 측정 현황'자료에 따르면 측정을 실시한 전체 8,058개 도로 가운데 323개(4.0%) 도로의 미세먼지 측정치가 '나쁨' 수준인 151 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상이었으며, 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘어 매우 나쁜인 곳도 173곳(2.1%)으로 나타남
 - 도로 재비산먼지로 불리는 도로 미세먼지는 아스팔트·타이어·브레이크가 마모될 때 발생하는 먼지로, 일반 미세먼지보다 인체에 해롭고 보행자에게 직접적인 영향을 미침. 또한 현재 사용하고 있는 살수 방식은 그 효과가 극히 제한적이며 한시적임

<그림 58. 도로 미세먼지 심각성>

도로변 살수	도로 미세먼지 측정 현황

- 국민의 생존권을 위협하는 도로 미세먼지 문제를 해결하기 위해서는,
 - 첫째, 미세먼지저감 효과가 확실하며,
 - 둘째, 제반 부담 비용이 크지 않으며,
 - 셋째, 범국민적인 참여를 유도하고, 시설 개발 및 설치비용을 최소화 할 수 있는 방안 필요

- 우리나라 정부는 국정과제로 지정한 ‘미세먼지 오염현황과 대책’과 관련하여 ‘미세먼지 종합 대책’ 수립(‘13년) 이후 169억원, (‘14년), 179억원(‘15년), 3,881억원(‘16년), 4,834억원 (‘17년)의 사업비를 책정하고 이를 집행

[3] 정책 동향

- 우리나라의 대기질 정책 및 기준은 헌법상 국민의 환경권과 함께 국가의 환경보전 의무를 규정하고 있으며, 환경 관련법령의 변화는 「공해방지법」(1964), 환경질의 본격관리의 시작은 「환경정책기본법」(1990), 「대기환경보전법」(1991)으로 이어짐

<그림 60. ‘미세먼지 오염현황과 대책’ 국정과제 추진경과 및 향후 일정>

<그림 61. 문재인정부 국정운영 5개년 계획 내 미세먼지 관련 내용>

- 문재인 정부는 '문재인정부 국정운영 5개년 계획'(국정기획자문위원회, '17년 7월 발표)에서 '내 삶을 책임지는 국가'라는 국정목표 하에 국민안전과 생명을 지키는 안심사회(전략 3)의 하나로 미세먼지 문제에 대한 신정부의 의지를 표명함
- 최근 정부는 전기자동차, 경유 줄이기, 석탄발전소 줄이기 등의 정책을 펴고 있으며, 이 중 석탄발전소와 관련해서는 노후 석탄 화력발전소의 가동 중단과 일부 노후 석탄 화력발전기의 조기 폐쇄 등 고강도의 방침 제시
- 또한 최근 이슈가 되고 있는 탈원전 정책 등도 전기 공급의 안정성, 대체 에너지원의 기술력, 에너지 효율 및 생산 단가 등 복합적으로 고려해야 할 것이 많아 국민과 산업계, 정부 각각 서로 다른 의견과 고려사항을 내놓고 있는 상황임

[4] 산업 동향

- 국내 시장현황 및 전망
 - 우리나라의 환경산업에 대한 분류는 OECD 환경산업 분류를 따르고 있으며, OECD/Eurostat 의 환경산업은 대기, 수질, 토양, 폐기물, 소음, 진동 등으로 분류

<표 16. OECD 환경산업 분류>

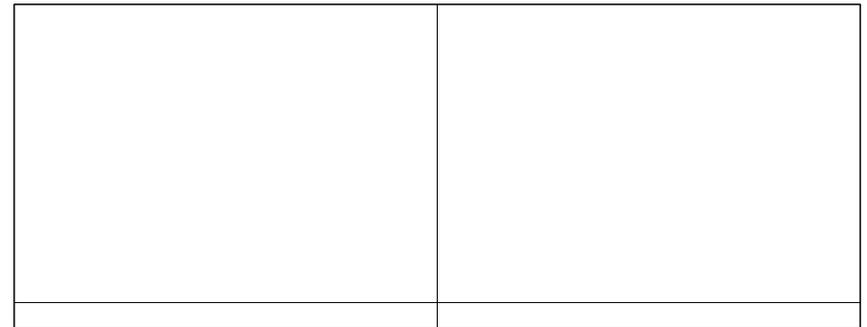
- 본 제안의 주요 내용인 도로변 미세먼지 문제는 대기오염분야와 직접적 연관성을 갖으며, 따라서 대기오염(환경) 분야의 시장으로 볼 수 있음
- 국내 대기관리시장 부문별 매출규모는 미세먼지와 직접적인 연관이 있는 대기오염 통제기기 제조, 대기오염 통제관련 건설 산업은 성장세를 보임
- 특히 도로 미세먼지 저감과 관련된 대기오염 통제관련 건설 시장은 2014년 대비 22.5%의 높은 성장을 보이며 전체 대기관리산업에서 차지하는 비중도 +2.2%p 커지는 추세임
- 대기오염 통제 관련 광업 부문은 전년대비 214.4% 대폭 증가했으나, 전체 매출액에서 차지하는 비중은 미미한 수준이며, 대기오염 통제 관련 서비스는 전년 대비 88.1%로 가장 큰 감소세를 나타냄

<표 17. 국내 대기관리시장 부문별 매출액 규모(단위: 억 원, %)>

[5] 기술 동향

- 현재 국내에서는 청소차량에 의해 도로변 미세먼지 제거 시행
 - 청소차량은 진공청소차와 살수청소차로 구분되며, 진공청소차량은 차량 측면(양쪽 모두) 하부에 설치된 원형 브러쉬와 차량 중앙 하부를 가로지르는 중앙 브러쉬를 이용하여 도로 측구와 노면에 쌓여있는 토사 및 먼지 등을 제거
 - 살수청소차는 주로 고압 살수차가 사용되며, 물을 고압으로 분사하여 도로의 토사 및 먼지 등을 씻어내는 방식. 그러나 물 튀김 등 민원이 제기되기도 하고, 살수에 의해 도로면지가 충분히 제거되지 않았을 경우 건조 후 잔류한 먼지가 다시 비산되는 문제점 등이 발생
 - 진공흡입식 살수차, 브러쉬 장착 살수차가 최근에 개발되었다. 진공흡입식 살수차는 차량의 전면에 살수한 도로위의 물을 차량 중간에 설치된 진공흡입구를 통해 회수하는 방식

<그림 63. 진공 및 살수 청소차량>



- 대기관리 관련 제품 시장
 - 대기관리산업의 주요제품인 마스크, 공기청정기, 구강 위생용품 등의 공기청정기 시장규모는 2014년 3,000억 원에서 2015년 5,000억 원, 2016년 1조(추정)로 급격한 성장세를 보임
 - 특히 미세먼지 관련 용품의 수입액은 2013년 1억 5,800만 달러에서 2015년 2억 9,200만 달러로 2배의 성장세를 나타냄

- 태양에너지와 반응하여 질소산화물(NOx), 유기염소화합물 등에 의한 대기 오염물질을 산화하여 제거하는 원리를 이용한 광촉매 기술
 - 광촉매를 활용하여 도로포장, 중앙분리대, 방호벽 등 도로 시설물에 적용하여 미세먼지 저감 효과를 얻기 위한 연구 진행 중
- 흡착보드 및 필터 등을 적용한 미세먼지 저감 기술
 - 이산화탄소를 흡착하는 고효성 탄소보드, 일산화탄소를 흡착하여 제거하는 촉매보드 및 미세먼지를 제거하는 필터 등을 방음벽, 가드레일, 옹벽 등 도로 시설물에 적용하여 대기오염 물질을 흡수, 포집하는 기술

- 국내·외 대기오염 문제로 인한 환경관련 규제가 엄격해지는 추세에서 미세먼지 저감 관련 기술 및 제품이 준비된다면, 국내 판매 확대 및 해외 신시장 개척 등을 통해 지속적인 시장창출 효과 기대
- 생활 밀착형 도로 미세먼지 저감을 통해 쾌적한 환경 제공과 국민 개개인의 삶의 질 향상

로, 부식성, 가연성 배기를 처리하는 데 적합하며, 상대적으로 낮은 설치비가 장점

- 백필터 방식은 배기가스를 필터 튜브에 통과시켜 집진하는 방식으로 바이오매스 발전 시설 등에 사용되며, 배연감압이 발생하는 단점이 있음

[6] 정책과의 부합성

- 본 사업은 도로 주변 미세먼지 저감을 통해 '미세먼지 청정 스마트 거리' 조성을 위한 것으로서 정부의 국정운영 5개년 계획 중 미세먼지 발생량을 임기 내 30% 감축하고 민감계층 적극 보호 목표에 해당함
- 도로 주변 미세먼지 저감을 통해 민감계층 적극 보호라는 정부 정책 기조와도 매우 부합함
- 최근 국제적인 이슈가 되고 있는 미세먼지로부터 사회적 약자에게 보행환경 개선, 대중교통 활성화 등의 보편적 복지혜택 제공

□ 도로변 녹지공간 조성을 통한 자연 저감 기술

- 미세먼지가 주로 발생하는 도로변, 주거지 등의 지역에 미세먼지 저감효과가 뛰어난 식물종을 선정, 완충녹지 구역을 조성하여 미세먼지 저감과 주민의 삶의 질 향상을 도모하는 기술

□ 생활분야 미세먼지 저감을 위한 '미세먼지 저감 적정기술 보급' 활동

- 고효율 '청정연소 화목(펠릿)보일러', 농업부산물을 연료로 하는 '농업부산물 보일러', 분료 및 음식물 쓰레기 등을 에너지화 시킬 수 있는 '조립식 소형 바이오가스 장치' 등을 개발하여, 주민에게 보급

□ 자동차 이용을 감소시켜 미세먼지 저감

- 폐자전거 재활용, 공유자전거 시스템 등을 통한 자전거 친화도시를 구현하고, 업무용 실용자전거 이용 활성화 등을 추진하여, 자동차 대신 자전거 이용을 촉진

□ 기타 산업분야 미세먼지 저감 기술

- 저 NO_x 버너를 활용한 NO_x 발생 저감
- 보일러 등 연소장치의 배기가스 중에 포함된 고체나 액상 미립자를 제거하는 집진장치 장착
- 탄소필터를 우회통로 구조에 충전한 카본 타워 등 흡수 필터를 사용한 미세먼지 정화 기술
- 중·저온의 배기(200℃~500℃)를 촉매제를 이용하여 산화하는 촉매산화 기술로, 배기우회로와 촉매제를 통과하는 단순 구조 방식과 열산화(연소)버너 혹은 열교환장치를 결합한 복합장치 등으로 구분
- 연소버너를 이용하여 배기가스를 산화시키는 연소방식은 예열 우회로, 열교환기나 축열장치를 부착하여 열이용율을 높일 수 있으며, 단독적으로 사용하기 보다는 흡착필터 등 다른 정화방식과 결합하여 사용
- 세정방식은 배기가스가 통과하는 병목지점에 물을 안개 분사하여 세정하는 습식정화방식으

[7] 기존 사업과의 차별성

- 기존 환경부에서 수행하는 미세먼지 관련 연구는 대부분 예보·예측 모델 개발이 연구 중심임
 - 지역별 또는 도시별 대기환경 예보·통보·예측 모델 연구 중심
 - 미세먼지 발생원인에 따른 인체유해성 평가·진단 연구 중심

- 과기부에서 수행하는 미세먼지 국가전략프로젝트도 도시 또는 대기환경 예보·예측 정확도 향상과 관측시스템 개발이 중심임
 - 실내 공기질 개선 T/B 구축 및 법·제도화 연구 중심
 - 대규모 사업장 및 플랜트 중심의 미세먼지 발생 저감 기술 중심

- 국토부에서 수행하는 미세먼지 관련 연구는 기능성 건설자재 및 이를 활용한 건설기술이 중심임
 - 국토부에서는 미세먼지 전구물질 저감이 가능한 광촉매 건설자재 및 건설기술 개발을 진행 중에 있으나 공기정화 가능한 밀폐형 중앙버스차로 정류장 설치기술은 없음
 - 국토부에서는 미세먼지 저감 도로시스템 개발을 기획중에 있으나 공기청정타워를 활용한 정화 및 운영기술은 없음

[8] 연구 목표

- 최종 연구 목표

< 최종목표 >

- ◆ 미세먼지 청정 스마트 보행환경 구현을 위한 미세먼지 저감기술 및 관리 가이드라인 개발
 - 버스정류장 주변 미세먼지 현황 조사·분석
 - 소규모 분산형 미세먼지(PM10/2.5) 포집 및 정화 기술 개발
 - 미세먼지 측정, 모니터링, 유지관리 기술 개발
 - 시스템 적용을 위한 빅데이터 및 사물인터넷 기술 개발

[9] 세부 연구내용

<1차년도(2019)>

- 버스정류장 주변 미세먼지 현황 조사·분석 및 미세먼지 청정 스마트 보행환경 시스템 개별 기술 조사를 통한 시스템 구축방안 마련
 - 문헌 및 시장조사를 통한 기존 기술 검토·분석
 - 미세먼지 측정 기술 및 기준, 미세먼지 포집 및 정화 기술, 미세먼지 모니터링 기술, 미세먼지 유지관리 기술 등
 - 버스정류장 주변 미세먼지 현황 조사·분석
 - 버스정류장 내부 및 주변의 미세먼지 측정 방안 정립
 - 버스정류장 주변의 다양한 조건하에서의 미세먼지 정량화
 - 미세먼지 측정 기준 정립 및 대표 시험구간(측정장소) 선정
 - 개별 기술의 시스템화를 위한 기술 분석 및 개발계획 수립
 - 도로변 시설물, 버스정류장, 신호등, 가로등 등의 시설물에 장착 가능한 미세먼지 측정, 흡진 공기청정기 활용한 저감 기술 개발
 - 관련 기술의 연계를 위한 빅데이터 관리 및 사물인터넷 기술 적용성 검토 및 개발

<2차년도(2020)>

- 공기정화 버스정류장 실증 평가 및 미세먼지 청정 스마트 보행환경 시스템 개별 기술 연계 평가
 - 대표 시험구간에서 공기정화 가능 밀폐형 버스정류장 실증 평가
 - 교통량, 기후 등 주변 환경과 공기청정기 설치형태에 따른 미세먼지 정화량 비교 분석
 - 공기정화 버스정류장 시스템 및 운영방안 최적화
 - 미세먼지 청정 스마트 보행환경 시스템 개별 기술 개발

- 미세먼지 청정 스마트 보행환경 시스템 개별 기술 연계
 - 사물인터넷 적용을 통한 개별 시설물에서 미세먼지 자료 취득 기술 개발
 - 빅데이터 분석 기술 적용을 통해 개별 시설물에서 얻어지는 미세먼지 자료 통합관리 기술 및 기법 개발

<그림 70. 미세먼지 실증 평가 예시>

<3차년도(2021)>

- 미세먼지 청정 스마트 보행환경 시스템 실증 운영 통한 도로변 미세먼지 관리 가이드라인 마련**
 - 도로변 미세먼지 농도, 에너지 효율 등을 종합적으로 고려한 미세먼지 저감 최적화 관리 조건 파악
 - 빅데이터 및 인공지능 기반 미세먼지 저감 최적화 통합 관리 프로세스 개발
 - 미세먼지 청정 스마트 보행환경 시스템 운영 및 보안을 통한 사용자 요구를 반영한 실환경 적용기술 개발
 - 도로주변 미세먼지 관리 및 시스템 운영 가이드라인 마련
 - 도로변 환경 변화를 고려한 공기정화장치의 적정 성능 용량 및 운전방법 제안

[10] 사업 규모 및 세부산출 내역

□ 예상 연구비 및 연구기간

- 연구비 : 총 36 억원 (정부출연금)
- 연구기간 : 2019-2021년 (3년)

(단위:억원)

	2019	2020	2021	계
정부	18	9	9	36
민간	-	-	-	-
계	18	9	9	36

□ 세부 예산 산출 내용

<표 18. 연차별 세부 예산 산출 내용> (단위:백만원)

년도	내용	세부내용	예산
2019년	도로시설물 기반 미세먼지 측정·저감·관리 기술 개발 및 시제품 제작	- 현장 환경 정보, 기존 기술 수집 및 검토 - 미세먼지 계측기 현장 측정 정량화 - 개별 기술의 시스템화를 위한 기술 분석 및 개발계획 수립	900
	시제품 제작·인증 및 실증	- 버스정류장 공기청정기 시제품 제작 및 실증 - 미세먼지 저감 시스템 개별 기술 실증	900
2020년	요소기술 검증 및 고도화	- 요소기술 개발 및 검증 - 공기정화타워 실증 평가	400
	도로교통관리 시스템 연계 방안 및 운영기술 개발	- 요소기술 통합 연계 방안 마련 - 연계 시스템 개발 및 검증	500
2021년	미세먼지저감기술 도로(교통) 시설물 현장 적용 및 실증	- 도로변 미세먼지 저감 최적화 관리조건 파악	900
		- 연계 시스템 고도화 - 도로변 미세먼지 관리 및 시스템 운영 가이드라인 마련	
합계			3,600

[11] 추진 전략

□ 공기정화 버스정류장 도입과 미세먼지 청정 스마트 보행환경 시스템을 구현하여 사용자 중심의 사회취약계층을 위한 보편적 공기질 관리 체계 마련

- 고성능·고효율의 공기정화 버스정류장 개발
- 빅데이터 분석 기반 지능형 미세먼지 청정 스마트 보행환경 시스템 구현을 통한 사용자 중심의 도로변 공기질 관리 체계 구축

□ 도로변 미세먼지 관리 개선 현장 실증 평가 수행

- 도로주변 환경변화에 따른 조건별 미세먼지 현황 데이터 구축
- 버스정류장 내 공기정화시스템 설치형태 및 주변 환경에 따른 미세먼지 저감 실증 데이터 확보

- 시설물에 설치되는 미세먼지 저감 장치의 개별 성능과 복합적 저감 성능 실증 데이터 확보
- 사물인터넷 이용에 따른 빅데이터 기반 통합관리 실증 데이터 구축
- WHO 권고수준의 도로주변 미세먼지 관리 시스템 제안 및 관리 가이드라인 마련

□ 다양한 분야의 전문성과 경험을 보유한 연구자의 참여

- 미세먼지 측정 기술, 저감장치 소형화를 통한 도로주변 시설물 부착 등을 위한 기술을 보유한 전문가 참여
- 사물인터넷 전문가 및 빅데이터 전문가 참여를 통한 통합관리시스템 구현
- 따라서, 미세먼지 통합 시스템의 전체를 이해하고 접근할 수 있는 미세먼지 측정 및 노출 분석 분야, 공기정화장치 기업체 관계자, 도로시설물 관리기관, 협회 등의 다양한 분야의 전문가 참여 필수

[12] 연구추진방법

- (총괄기관, 출연연) : 다양한 환경 정보와 관리기기의 운전 상황 데이터 수집 및 사용자 피드백 기술의 미세먼지 통합관리 시스템 구축
- (세부기관, 출연연, 대학, 사용자) : 공기정화 버스정류장 및 미세먼지 청정 스마트 보행환경 시스템 시범사업 운영
- (위탁기관, 대학) : 도로주변 공기질 관리 적용 시나리오의 수치해석적 방법 개발
- (세부기관, 출연연, 대학, 사용자) : 도로주변 미세먼지 개선 현장 실증 평가 수행
- (총괄기관, 출연연) : 도로주변 미세먼지 관련 환경 정보의 취합 및 데이터베이스화
- (위탁기관, 대학) : 도로주변 공기질 관리 최적화 방안 해석
- (세부기관, 출연연) : 빅데이터 기반 최적의 시스템 운영 솔루션 제공
- (세부기관, 사용자) : 도로주변 미세먼지 관리 개선의 사용자 피드백 정보 제공
- (세부기관, 대학) : 도로주변 맞춤형 미세먼지 유지·보수 관리 체계 마련
- (총괄기관, 출연연) : 도로주변 미세먼지 관리 가이드라인 마련
- (위탁기관, 협회) : 공기정화 버스정류장 및 미세먼지 청정 스마트 보행환경 시스템 운영 과 실환경 평가 인증규격 제도와
- (참여기업) : 공급이 가능하고 유지관리비가 저렴한 공공적 성격의 맞춤형 공기청정기 및 관리 시스템 개발

[13] 활용 방안

- 도로주변 현장에서의 실증 평가를 통한 미세먼지 저감 특성에 대한 실질적인 정보를 제공함으로써 국민에게 신뢰성 있는 미세먼지 저감 대책 방안 제공
- 쾌적한 도로주변 환경 유지를 위한 적절한 미세먼지 청정 스마트 보행환경 시스템 운영 솔루션 제공
- 공기정화 버스정류장 및 도로주변 미세먼지 저감 장치의 실환경하에서의 적정 성능 수준 제시
- 도로주변 공기정화장치 적용 가이드라인 제시 가능
- 미세먼지 대응을 위한 관련 주체들이 연계·협력할 수 있는 플랫폼 구축과 함께 실제 적용 가능한 추진 방법 및 매뉴얼 제시 가능

[14] 기대 효과

기술적 측면

- 사용자 경험을 제품 개발에 연결시키고 사용자 중심의 실증 실험을 통한 미세먼지 청정 스마트 보행환경 시스템 운영 체계 마련
- 버스정류장 설치를 위한 소형 미세먼지 저감 기술 개발
- 환경·안전 분야의 사회문제 해결을 위한 IoT 인터페이스 기술 개발
- 미세먼지 관련 빅데이터에 기반한 예측 및 최적화 해석 기술 개발

경제적 측면

- 기업의 적극적인 참여를 도모하여 수요자 지향형 새로운 제품·서비스 개발의 사업화 유도

- 도로주변 공기정화 및 환기 설비에 대한 신뢰성 확보로 년 수백억 이상의 관련 시장 확대 유도
- 조기사망, 호흡기질환 등 건강취약계층의 사회적 건강 피해비용 개선

사회적 측면

- 도로주변의 효율적인 미세먼지 관리 가이드라인을 개발 및 보급하여 국민이 안심하고 보행할 수 있는 생활환경 조성
- 도로주변의 미세먼지 관리를 통한 보행자 및 대중교통 이용자의 보건 환경 조성에 기여
- 도로주변 공기질 향상을 통한 사회적 약자 계층에 보편적 복지 실현

[15] 성과 지표 및 목표

미세먼지 청정 스마트 보행환경 시스템

- 소규모 거리형 공기청정타워 시제품 개발
- 인공지능과 사물인터넷 적용한 미세먼지 청정 스마트 모니터링/유지관리 시스템 구축

[16] 평가 기준 및 절차

미세먼지 청정 스마트 보행환경 시스템

- 소규모 거리형 공기청정타워 현장적용 및 설치 전후 미세먼지(PM₁₀/PM_{2.5}) 측정
- 미세먼지 청정 스마트 시스템 현장적용 및 설치 전후 미세먼지(PM₁₀/PM_{2.5}) 측정

5. 가축분뇨 퇴비화처리 과정에서의 미세먼지 저감기술 개발

[1] 사업 개요 및 추진근거

- 가축분뇨 퇴비화과정에서의 미세먼지 발생감소 기술 구축필요성 제고
 - 추진근거 : 가축분뇨 퇴비·액비의 이용촉진을 위한 기반기술 조성(가축분뇨의 자원화 및 이용촉진에 관한 규칙 제 9조 퇴비·액비의 이용촉진 등)
 - 정부는 환경부 등 12개 관계부처가 미세먼지 종합대책을 논의하고 2022년까지 미세먼지 국내 배출량의 30% 감축을 위한 로드맵을 마련하였음(2017.9.26.)
 - 가축분뇨로부터 발생하는 암모니아(NH₃)가 초미세먼지 전환의 전구물질로서 작용한다고 알려져 있으나 가축분뇨 처리단계별 암모니아 발생량이 산정되어 있지 않음
 - 가축분뇨 발생, 처리, 이용단계에서의 암모니아, 미세먼지 발생잠재량 미설정
 - 가축분뇨에서 발생된 암모니아가 초미세먼지로 전환되는 기전 및 전환율에 대한 정밀한 연구결과가 제시되어야 함
 - 가축분뇨 퇴비화 공정에서 발생하는 암모니아와 미세먼지 제어기술이 미비한 상태임
 - 암모니아 : 질소화합물중 가장 간단하고 안정된 화합물로서 공기보다 가볍고 물에 잘 녹음. 분뇨 중의 질소가 요소 분해효소(urease)에 의해 암모니아로 전화되어 공기 중으로 배출됨
 - 퇴비화 형태 및 처리방법별로 암모니아 회산을 최소화하는 기술이 제시되어 있지 않음
 - 퇴비화 방법별 암모니아 발생 최소화를 위한 퇴비화시설 제어기술 개발
- 가축분뇨 퇴비화과정 중 미세먼지, 암모니아 배출량 설정 및 초미세먼지 전환기전 규명
 - 가축분뇨에서 발생된 암모니아의 초미세먼지 전구체로 전환되는 기전 및 전환율에 대한 정밀한 연구결과가 제시되어야 함
 - 국내 축산시설 유래 암모니아 기반 초미세먼지 전구체 형성 및 기여율에 대한 연구 사례가 제시된 바 없음
 - 퇴비화 과정에서의 초미세먼지 전구체 발생 영향 암모니아 배출 잠재량 산정
 - 퇴비화 과정에서 배출된 암모니아의 초미세먼지 전구체 형성에 대한 결정 요인 분석
- 미세먼지, 전구체의 퇴비화시설로부터의 확산 저감을 위한 기술 개발
 - 퇴비화시설 처리 공정에 따른 1차 미세먼지(TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, 흡입성 분진, 호흡성 분진) 및 암모니아 모니터링
 - 축산시설 유래 입자상·가스상 물질에 강건한 방풍림 적합 수종 선정
 - 풍동(Wind tunnel) 및 전산유체역학(Computational fluid dynamics) 기술을 이용한 방풍림, 방

풍시설 설치 시나리오에 따른 확산 저감거리 평가 및 설계 가이드라인 제시

- 가축분뇨 퇴비 살포단계에서의 미세먼지 감소기술 개발
 - 미세먼지 감소효과 증진용 퇴비 가공기술 개발 (입상퇴비, 고품질 퇴비 등)
 - 가축분뇨 퇴비 시용과정에서의 미세먼지 발생 및 확산 감소기술 개발
 - 농업지역 단위면적당 가축분 퇴비살포에 따른 암모니아량 설정 및 감소기술 개발

[2] 연구 배경

- 2017년 기준 국내 가축분뇨 총 발생량은 4,846만 톤으로서 증가추세가 이어지고 있음
 - 2017년에 발생한 전체 가축분뇨 중 80.2%가 퇴비화방법에 의해 처리됨

(자료 : 농림축산식품부)

- 국내 축산업이 대기질에 미치는 영향에 대한 정량적 규명이 요구되고 있음
 - 최근, 인체 내 유입 시 폐포까지 도달하여 각종 호흡기계 질환 및 심혈관계 질환을 유발할 수 있는 초미세먼지 2차 발생원의 주요 전구체가 가축분뇨로부터 배출되는 암모니아라고 언급된 바 있음('18. 3., 중앙일보)
 - 축산시설에서 배출되는 NH₃ 및 질소산화물이 대기 중의 수증기나 오존과 결합하여 초미세먼지 전구체로 전환된다는 견해가 제기되고 있으나 정확한 전환기전과 전환율에 대한 연구결과가 충분치 않음
 - 가축분뇨 퇴비화와 시용과정에서 미세먼지가 발생할 수 있는 소지가 있고 특히, 부숙과정에서 암모니아 등이 초미세먼지의 전구물질 역할을 한다고 알려져 있으나 정량적인 발생량, 전환율, 기여율 등에 대한 과학적 근거가 부족함

- 암모니아는 지구상에 존재하는 유일한 염기 가스로서 산성가스(Sulfuric acid (H_2SO_4), Nitric acid (HNO_3), Hydrochloric acid (HCl))와 반응하여 황산암모늄염 ($(NH_4)_2SO_4$, 질산암모늄염 (NH_4NO_3), 염화암모늄 (NH_4Cl) 등의 에어로졸을 형성하여 2차 미세먼지 전구체로 작용함
- 축산업이 미세먼지 주요 발생원 중 하나로 지목되고 있으나, 가축 분뇨 퇴비화 및 이용 과정 중 발생하는 미세먼지 발생 수준 및 기작에 대한 연구가 실시된 바 없음
- 국내 가축 분뇨 처리 과정 중 미세먼지, 암모니아 등의 발생량을 측정 및 예측하고, 감소시키기 위한 기술 개발이 필요함
- 축산분야 1차 대기오염물질이 2차 미세먼지로 전환되는 기전에 대한 규명이 요구됨

○ 국내 암모니아 주요 배출원은 공업, 교통, 농업부문의 가축분뇨와 비료사용과 관련됨

(출처 : 알기 쉬운 미세먼지, 환경부, 국립환경과학원, 2014)

- 미국, 네덜란드 등 농업선진국은 지난 수십 년 간 다양한 분야에서 축산의 미세먼지 발생원, 농작물 영향 평가 연구를 수행하고 있으며, 국제적으로 환경위해물질의 효율적 관리를 위한 다양한 전략 수립
- EU 국가 내 가축 생산으로 인한 대기 중 PM_{10} 발생 기여율 : ('90) 4.6% - ('00) 8.6% - ('10) 12.0%
- 암모니아는 황산암모늄염 ($(NH_4)_2SO_4$, 질산암모늄염 (NH_4NO_3), 염화암모늄 (NH_4Cl) 등의 무기 에어로졸 화합물의 전구체 형성의 주요물질로 작용
- 가축분뇨가 미국 동부 초미세먼지($PM_{2.5}$) 누적 중량의 40-65%를 차지하는 것으로 보고되었음 (Malm et al., 1994; U.S. EPA, 1996; Tolocka et al., 2001)
- 미국에서는 대기 중 암모니아의 시공간적 변동 특성에 관련된 연구를 진행해왔음(Robarge et al., 2002; Aneja et al., 2003; Walker et al., 2004, 2006)

(출처 : 알기 쉬운 미세먼지, 환경부, 국립환경과학원, 2014)

- 축산업 유래 초미세먼지, 초미세먼지 전구체의 발생 잠재량, 기여율 산정 및 제어 기술이 요구됨
- 2008년, EPA에 따르면 가축으로부터 유래된 암모니아에 의해 영향 받은 $PM_{2.5}$ 의 양은 미국 전체 $PM_{2.5}$ 배출량의 약 9~11%를 차지하고 있는 것으로 보고됨

- 미국은 2014년 국가배출목록(NEI: National Emissions Inventory)에 암모니아를 미세먼지 전구체로 분류하였음
- 미국은 암모니아 연간 총배출량 4백25만톤 중 농업유래 암모니아 배출량이 3백5십만 톤으로 80% 이상을 차지하며 가축분뇨 유래 암모니아 배출이 2백33만 톤(55%), 비료원 배출이 1백18만 톤(28%)인 것으로 산정됨(NEI, 2014)
- NEI는 단위 지역 당 가축 두수별 가축분뇨 배출계수 모델(Carnegie Mellon University, CMU model)을 개발하고 지속적으로 업데이트 하고 있음
- Michelle 등(2013)은 미국의 경우에도 가축분뇨 보관 시 암모니아, 황화수소, 질소산화물 등이 발생하여 에어로졸 형태의 초미세먼지 발생요인이 될 수 있다고 언급하였으며, 따라서 국내의 가축분뇨 관련 초미세먼지 발생량 및 기전 기작에 대한 분석을 통해 정확한 데이터를 제시할 필요가 있음

(그림 출처 : 미세먼지 도대체 뭘까, 환경부, 2016)

- 한편, EU, 북미에서는 1970년대 후반부터 축산시설 유래 미세먼지가 축산 작업 종사자 및 주변 거주민들에게 미치는 신체적, 정신적, 경제적 피해를 규명하기 위한 연구를 지속적으로 수행함
 - 축사 및 퇴비화시설에서 발생하는 미세먼지 표면에 내독소를 포함한 각종 세균 및 진균이 흡착하여 인체 내부로 유입될 경우, 기침, 알러지, 기관지염, 천식, 천식 유사질환, 폐렴, ODS 등과 같은 각종 만성 및 급성 호흡기계 질환을 유발할 수 있는 것으로 조사됨 (Cambra-Lopez et al., 2010)
 - EU, 북미 양돈시설 근로자의 경우 타 산업 근로자 대비 호흡기 질환에 대한 발현 확률이 유의하게 높은 것으로 보고됨
 - Donham et al. (2000)은 북미 양돈시설 작업자의 25%가 비 알레르기성 직업성 천식 증세를 보이며 33%가 ODS에 대한 이력을 보인다고 보고함
 - 북미 양돈시설 작업자 24.3%의 폐 기능과 관련한 FEV1, FVC의 값이 유의하게 낮은 것으로 조사되었으며 축사 내 미세먼지가 폐 기능 저하와 밀접한 관련이 있는 혈중 Cytokine 생산에 영향을 미치는 것으로 나타남
 - 국내 농축산업 종사자의 천식(3.6%) 및 알레르기성 비염 발병률(29.2%)이 도시 거주민의 각 발병률(2.8, 16.8%)을 상회하는 것으로 발표되었음(한양대학교, 2015)
 - 축산시설 인근 거주민의 경우 미세먼지에 흡착된 냄새물질 확산으로 인해 심미적 불쾌감, 구토, 어지럼증 등을 느낄 수 있으며, 미세먼지로 인한 호흡기성 질환, 가시거리 감소 등이 발생할 수 있음(Takai et al., 1998, Radon et al., 2004, Cambra-Lopez et al., 2010)
 - 따라서 축산업 종사자와 인근 지역 주민들 그리고 가축분뇨 퇴비화시설의 운영자 등 각 분야의 사회 구성원이 가축분 퇴비화 과정에서 유래되는 암모니아 발생을 예측하는 리빙랩 개념의 관리기술 개발 및 운영이 필요함
 - 축사 외부로 배출되는 미세먼지의 경우 각종 냄새 및 생물학적 물질이 입자 표면에 흡착되어 기상 조건(풍환경, 대기안정도)에 따라 수 km 밖까지 공기 중으로 확산될 수 있음
 - 돼지고기성질병의 원인 중 하나인 PRRSV의 경우, 입자상 물질에 흡착하여 농장 부지경계선 외부 10 km 밖까지 확산되어 타 지역에 위치한 농장 간 질병 확산을 유발할 수 있다고 보고된 바 있음(Dee et al., 2009, Otake et al., 2010)
 - EU 일부 국가에서는 축산시설 근로자의 호흡기 건강을 고려하여, 양돈시설의 경우 흡입성 분진은 2.5 mg/m³, 호흡성 분진은 0.23 mg/m³을 권고하고 있으며(Donham and Reynolds, 1995), 양계시설의 경우 흡입성 및 호흡성 분진에 대하여 각각 2.4 mg/m³, 0.16 mg/m³을

권고하고 있음(Donahm et al., 2000)

- EU, 북미의 경우 농장에서 배출되는 미세먼지 및 냄새물질의 확산저감 및 축산 분야 이미지 제고를 위한 경관조성 등을 목적으로 축산시설 주변에 방풍림 및 방풍시설을 조성하여 운영하고 있음
 - 방풍림 및 방풍시설 설치를 통해 근접거리 혹은 시설 자체에 미세먼지 포집(혹은 흡착) 효과를 누릴 수 있으며, 유속 저감을 통해 먼지 확산거리를 크게 감소시킬 수 있음
 - 농장이 주로 개활지에 위치하고 있는 EU, 북미와 달리, 우리나라의 경우 대부분의 축사가 산간지형에 위치하고 있고, 부지면적이 상대적으로 좁아 국내 유형에 적합한 방풍림 및 방풍시설 설계안이 제시될 필요가 있음
 - 특히, 방풍림 조성의 경우 사계절이 뚜렷한 국내 기후에 적합하고, 유기성 분진 및 가스상 물질의 주기적인 노출에 강건한 수종을 선택하여야 함

[3] 정책 동향

- 2017년 국무회의에서 환경부 등 12개 관계부처가 미세먼지 종합대책을 논의하고 2022년까지 미세먼지 국내 배출량의 30% 감축을 위한 로드맵을 마련하였음(2017. 9. 26.)
 - 4대 핵심 배출원(발전, 산업, 수송, 생활)에 대한 미세먼지 발생 감축노력 집중
 - 4대 핵심 분야 중 생활부문에 농촌불법소각 차단 지원책 등이 포함되어 있음
 - 축산분뇨 퇴비화 및 이용관련 미세먼지 감축연구 추진 필요성 증대
 - 미세먼지는 간접배출 형태가 전체의 72%를 차지하는 것으로 보고된 바 있어서, 2차 생성 원인물질인 암모니아, SO_x, NO_x 등에 대한 통합관리 필요성이 제기됨
- 축산 유래 환경부하를 해소하기 위한 정부차원에서의 대책수립이 진행됨

- 농림축산식품부는 축산환경 개선 종합대책 수립을 위해 축산환경개선 T/F팀을 구성하여 운영함(5개반 총 22명, '18. 2. 1. ~ 5. 30.)

- 관계부처 합동 미세먼지 관리 특별대책을 수립하고 추진함('16. 6. 3.)
 - 특별대책에도 불구하고 '16년도 초에 고농도 미세먼지 발현이 빈발하여 미세먼지 해결에 대한 국민적 요구가 높아짐
- 정부는 미세먼지 감축을 위한 중장기 계획을 수립하여 추진함
 - 2022년까지 배출량 감축 30% 목표달성을 위해 사회 전부분에 대해 특단의 조치를 취하고 있음
 - 대기오염 총량관리를 전국으로 확대 시행(수도권 → 수도권 + 충남, 동남, 광양만권)
 - 미세먼지 환경기준을 선진국(미국, 일본) 수준으로 강화(50→35 μg/m³)

- 미세먼지 생성 메커니즘 연구 등 과학적 연구 강화
 - 미세먼지 대응 역량 강화를 위한 국가 R&D 추진('17~'23) : 2017년에 '국가전략프로젝트' 사업 착수, 2019년까지 496억원 투자, 발생·유입, 측정·예보, 집진·저감, 보호·대응 분야 4대 분야 연구개발 추진
 - 환경위성 등을 활용한 과학적인 분석 강화 : 환경위성(2020년 발사)을 활용한 미세먼지 3차원 입체 관측 실시(2021년)
 - 그러나 가축분뇨 퇴비화분야에 대한 대책수립 및 관련연구가 진행되지 않았음

- 한·중 양자협력 및 공동대응 강화
 - 한 중 일 채널, 동아시아 다자 채널 등 활성화 : NEACAP(동북아 청정 대기 파트너십) 출범 추진으로 동북아 미세먼지 협약 체결 기반 마련
 - 동북아 장거리이동 대기오염 문제에 대응할 수 있는 국제공동 연구기구 설치 추진(2021년~ : 동북아 지자체 간 대기질 정책 교류 채널 활성화, 국가 - 지자체 연계협력 플랫폼 구축 병행
 - 장기적으로 유럽(CLRAP), 미국-캐나다의 대기질 협약모델을 바탕으로 한 중 일 미세먼지 협약 체결 적극 검토
 - 이에 따라 국가간 협약시 과학적 근거를 제시하여 국가이익에 기여할 수 있도록 축산분야 미세먼지 발생 인벤토리 구축 및 미세먼지 발생감소 기술개발 필요성이 높아짐

[4] 산업 동향

- 미세먼지로 인한 축산종사자와 가축피해에 대한 연구가 수행되고 인축의 건강보호를 위한 집진장치 개발 및 이용에 대한 산업적 노력이 추진되고 있음

- 미세먼지로 인한 피해를 방지하기 위한 시설로서 집진장치 설치가 일부 시도되고 있으나 주로 가축의 활동으로 인해 생성되는 1차 먼지감소에 국한되고 있음
- 또한 먼지 저감기술 적용이 축사내부에 한정되고 있는 실정이나, 그 성능 및 유지관리 문제로 실효성에 의문이 제기되고 있음

<그림 79. 축산분야에서 적용되고 있는 축사 내 먼지 감소시설>

<그림 80. 독일 빅더치만이 제시하고 있는 양돈시설 미세먼지 및 암모니아 저감 시스템 개요>

- 가축분뇨 퇴비화분야 미세먼지 저감 장치 및 이용에 대한 연구는 이루어진 바가 없고 관련 산업체 운영 및 미세먼지 제거용 시설장비 개발보급 실적도 찾기 어려운 상황임
 - 현재 가축분뇨 퇴비화시설에서 공기정화용으로 운영되는 시설은 탈취탑이 존재하나, 이는 미세먼지보다는 냄새를 제거하기 위한 시설임
 - 따라서 현재 국내 가축분뇨 퇴비화산업에서는 미세먼지 감소 또는 제거기술이 적용되지 않고 있는 것으로 볼 수 있는 상황임

- 축사 배출먼지 및 악취물질 중 암모니아 저감을 위한 양돈시설 환기시스템 개발 및 보급
 - 독일 Big Dutchman사에서, 양돈시설을 대상으로 중앙배기 방식의 환기 시스템을 도입하고, 물리 화학적 처리를 통해 먼지와 암모니아 저감을 실시하고 있음
 - 현재 국내 개별양돈장 설치사례는 없고, H계열사 3, 가축분뇨처리장 2 곳에 설치
 - 설치비가 과다하며 농장설치 이전부터 구조 및 환기 설비 구축 실시 필요

[5] 기술 동향

- 가축분뇨 퇴비화시설의 경우 송풍 및 교반시설의 기계화, 자동화가 진행되고 있으나, 퇴비화 과정에서 발생하는 미세먼지 및 2차 미세먼지 제어관련 기술은 적용되지 않은 상황임
 - 퇴비화시 발생하는 냄새와 1차 먼지 제거를 위한 세정탑 또는 바이오필터는 적용되고 있으나 미세먼지 제어시설이라기보다는 냄새 감소시설로 볼 수 있음

<그림 81. 가축분뇨 퇴비화시설 및 세정탑 운용시설>

<교반식 퇴비화 시설>

<냄새 감소용 탈취탑>

- 최근까지도 가축분뇨 퇴비화시 미세먼지 발생기전과 초미세먼지 제거기술에 대한 연구는 진행된 사례를 찾을 수 없음
- 가축분뇨 퇴비화시 발생 가능한 미세먼지 잠재량 연구도 수행된 사례가 없는 상황이므로 가축분뇨 퇴비화시 미세먼지 및 2차 미세먼지가 발생하는 기전과 초미세먼지 전구체 전환율 모델 개발이 필요한 상태임
 - 2021년에 체결예정인 동북아 미세먼지 협약에 대비하여 퇴비화시설에서 발생하는 미세먼지 잠재량 평가기술 개발이 시급히 요청됨
 - 또한 퇴비화과정 중에서 미세먼지 발생자체를 줄이는 기술개발이 시급함
 - 퇴비화과정에서 기 발생된 미세먼지를 포집하고 감소시킬 수 있는 기술개발이 필요함

- 국내 미세먼지 관련분야는 교통, 산업 생활 등으로 대별되어 있지만 현재 가축분뇨 및 가축분뇨 퇴비화시 발생하는 미세먼지 연구나 산업적 발전방안이 제시되어 있지 않음
 - 가축분뇨 퇴비가 미세먼지 발생에 크게 영향을 미친다고 보도가 되었고 분뇨에서 발생하는 암모니아가 초미세먼지 전구물질로 작용한다는 사회적 견해가 존재하지만 가축분뇨 퇴비화로 인한 미세먼지 발생량 산정관련 정밀연구가 수행된 사례가 없음
 - 독일, 네델란드 등 유럽국가와 일본, 대만, 중국 등 동북아 인접국가에서도 축산 및 가축분뇨 퇴비화시에 발생하는 초미세먼지 관련 연구가 진행된 사례를 찾기 어렵고 관련 산업기술도 형성되지 않은 상태로서 우리나라와 마찬가지로 축산관련 미세먼지 기술발전은 미약한 상황임
 - 따라서 국내에서 축산관련 초미세먼지 연구가 수행되면 국제적 기술수준을 선도하게 되고 국가 간 협약에서 유리한 위치를 선점할 수 있으므로 축산관련 초미세먼지 연구수행의 필요성이 높음
- 가축분뇨 퇴비가 미세먼지 발생에 가장 큰 영향요인인 것으로 인식하는 경향이 있지만 학계에서도 이에 대한 정확한 실험결과를 보유하고 있지 않은 상태이므로 가축분뇨 퇴비 사용시 미세먼지 발생량을 줄일 수 있는 기술개발이 필요한 상황임
- 결과적으로 가축분뇨 퇴비화와 관련된 초미세먼지 관련 국내외 연구수준과 산업적 기술동향이 아직까지는 낮은 수준이라고 판단할 수 있음
- 따라서 가축분뇨 퇴비화시의 초미세먼지 발생잠재량 설정과 1차 전구물질 제어 그리고 2차 초미세먼지로의 전환 억제, 퇴비화 및 사용단계에서의 초미세먼지 감소기술, 가축분뇨 퇴비화 관련 미세먼지 확산방지 기술 개발이 필요함

[6] 정책과의 부합성

- 농림축산식품부의 가축분뇨 처리정책은 발생한 가축분뇨를 가능한 최대한도로 자원화 하는 것이기 때문에 가축분뇨 퇴비화기술 발전관련 연구 필요성이 높음
 - 가축분뇨 퇴비관련 초미세먼지 문제가 대두되고 있으며 타 부처와의 정책 협조 그리고 대국민 건강보호 측면에서도 축산관련 초미세먼지 발생량 감소기술개발이 필수적으로 이루어져야 함
- 환경부는 교통, 산업, 수송, 생활계 등 사회 주요 분야에서의 초미세먼지 감소정책을 추진하고 있으므로 생활계 측면에서의 농촌분야 축산업 유래 미세먼지 감소기술개발은 환경부의 푸른하늘 기획 분야 정책과 잘 부합함
 - 환경부가 추진하는 국내 미세먼지 발생감소 정책에 농촌분야, 특히 축산분야에서의 미세먼지 발생 잠재량 산정과 이를 기준으로 한 미세먼지 국가인벤토리 구축 관련연구 그리고 직, 간접적인 미세먼지 감소기술 연구는 환경부의 푸른하늘 기획 분야 정책과 매우 잘 부합할 수 있음

- 2017년에 12개 관계부처가 범부처 미세먼지 종합대책을 수립하고 목표로 정한 2022년까지 미세먼지 국내 배출량의 30% 감축정책을 달성하는데 크게 기여할 수 있음
 - 12개 범부처가 합동기획 한 국가정책인 미세먼지 감소정책을 이행하는데 있어 생활계 미세먼지 발생 감축분야에 해당하는 농촌지역 미세먼지발생 감소정책을 달성하는데 아주 잘 부합하는 연구 분야임
 - 농촌분야 미세먼지 요인 중 질소산화물과 황산화물 그리고 암모니아 등의 초미세먼지 전구물질을 감소하는 기술은 범부처 정책목표인 미세먼지 감소분야에 크게 기여할 수 있음
 - 2021년에 시행될 중국, 일본 등 인접국가와 유럽연합 등과의 범지구적 국가 간 미세먼지 감축 및 부담할당 협약에 있어 축산분야에서의 정밀한 미세먼지 관련 연구자료와 저감기술 확보는 외교부, 환경부, 농림축산식품부 등 유관부서의 대외 협상력 향상과 국가이익 수호차원에서 큰 기여를 할 수 있는 분야임

[7] 기존 사업과의 차별성

- 기존 연구는 발전소와 같은 산업, 차량운행 관련 수송 분야 등에 대한 연구가 주를 이루고 있으나 생활계통 그중에서도 특히 축산분뇨관련 미세먼지 발생 연구는 거의 진행되지 않았고 국가정책 또는 국가사업도 진행된 바 없음
 - 따라서 축산분야에서의 미세먼지 관련 연구는 신규 연구분야로 볼 수 있음
 - 기존 연구기획에서도 축산분뇨로부터의 초미세먼지 발생량 정량기술과 2차 미세먼지로 전이되는 기전 그리고 발생량 연구가 진행된 바 없음
 - 축사내부에서 직접적으로 발생하는 1차 미세먼지에 대한 연구가 수행된 바 있으나 초미세먼지 및 2차 미세먼지 발생 관련 연구는 수행된 바 없음
 - 육계의 사육과정에서 발생하는 먼지를 집진기를 이용하여 감소하는 실험수행 (국립축산과학원, 2007)
 - 양돈, 양계, 젖소, 한우 사육 시설의 시기별 작업형태별 미세먼지 발생 농도 측정(Kwon et al., 2016)

[8] 연구 목표

본 연구를 수행함으로써 이루고자 하는 최종 결과물은 가축분뇨로 인한 미세먼지 발생을 최소화할 수 있는 기술임. 본 연구의 성공적인 수행을 통해 국민의 건강 보호에 기여하고 국가 대기환경을 개선하며 국제적 협상력 증가를 이루고자 함

최종 연구 목표

<연구의 최종목표>

- ◆ 축사 및 가축분뇨 퇴비화 과정에서 유래하는 미세먼지 발생제어 및 감소기술 개발
 - 가축분뇨 유래 미세먼지와 암모니아 발생 잠재량 산정을 위한 실시간 모니터링 기법 개발
 - 가축분뇨 퇴비화 처리과정 및 이용시 발생하는 암모니아 등의 전구물질에서 초미세먼지로의 전환 메카니즘 및 전환량 산정
 - 가축분뇨 퇴비화과정에서의 암모니아와 미세먼지 발생 억제 기술
 - 가축분뇨 퇴비화시설에서의 암모니아와 미세먼지 확산방지 기술 개발
 - 가축분뇨 퇴비의 농경지 살포시 암모니아와 미세먼지 발생최소화 기술 개발
 - 축산업 종사자와 가축분뇨 퇴비화시설 운영자 그리고 퇴비를 이용하는 농민들 그리고 일반 도시민 등 각 분야의 사람들이 암모니아 등 초미세먼지 유발원을 실시간으로 감지하고 제어할 수 있는 적극적인 리빙랩 (Living Lab) 개념의 가축분 퇴비화 및 이용기술을 개발함

- 범부처 미세먼지 관리 종합대책에서 설정한 4대 핵심 배출원에도 가축분뇨 미세먼지 배출항목이 설정되어 있지 않아 각 부처 기존 정책과 확연한 차별성이 있음
- 김한수(2015) 등에 따르면 국내 농업부문의 분뇨관리 분야에서의 암모니아 배출원 (kg NH₃/yr) 산정방식은 농림축산식품부의 집계자료를 활용하여 간단한 산술방식으로 산정하고 있다고 하였으므로 가축분뇨 분야에서의 정확한 암모니아 발생량 산정을 위한 정밀 배출계수를 개발할 필요가 있음

*암모니아 발생(kg NH₃/yr) = 가축 수 × 암모니아 배출계수

핵심 목표

- ◆ 축사 및 가축분뇨 퇴비화 과정에서 유래하는 미세먼지 발생제어 및 감소기술 개발
 - ▶ 가축분뇨 퇴비화 관련 1차 대기오염물질 배출량 및 초미세먼지 전구체 전환 특성 분석
: 미세먼지, 초미세먼지 전구체, 암모니아, 황 화합물, 질소 화합물 등 배출 정량
 - ▶ 전구물질로부터의 초미세먼지 전환률 감소 기술 개발
 - ▶ 축산시설에서 발생하는 미세먼지와 암모니아의 발생량 감소를 위한 퇴비화기술 및 퇴비화 공정 개발
 - ▶ 퇴비화 시설에서 발생하는 미세먼지, 암모니아 등의 확산 저감을 위한 방풍 시설 및 방진림 설계 가이드라인 제시
- ▶ 가축분뇨 퇴비화시설 운영자와 일반 도시민 등 모든 사람들이 농촌에서의 암모니아 등 초미세먼지 유발요소를 실시간으로 감시하고 제어할 수 있는 적극적인 리빙 랩 (Living Lab) 개념의 가축분뇨 퇴비화기술을 개발함

[9] 세부 연구내용

- 전체 연구기간(3년)중 개발기술 요약

<1차년도(2019)>

- 가축분뇨로부터 유래하는 미세먼지와 암모니아 발생 잠재량 산정을 위한 실시간 모니터링 기법 개발
 - 가축분뇨 퇴비화 공정적용과정에서 발생하는 암모니아 등의 발생량 산정법 설정
 - 가축분뇨의 발생, 저장, 자원화 그리고 이용과정별 암모니아, 질소산화물, 황산화물 등의 발생량 산정
 - 축산시설에서 발생하는 미세먼지, 암모니아 시계열 모니터링 및 분석
- 가축분뇨로부터의 초미세먼지 전환 방지기술 개발
 - 초미세먼지 전구물질의 전환촉진 관련 환경요인 분석
 - 가축분뇨 퇴비화 처리과정별 발생 가능한 미세먼지 제어기술 개발
 - 1차 미세먼지(TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, 흡입성 분진, 호흡성 분진) 발생 방지기술 개발
- 가축분뇨 유래 암모니아와 미세먼지 발생억제형 퇴비화 공정개발

- 암모니아와 미세먼지 발생 감소효율 증진을 위한 퇴비화방법 개발
- 퇴비화과정중 암모니아 대기 유출감소 퇴비화공정 개발

가축분뇨 퇴비화시설에서의 암모니아와 미세먼지 확산감소 기술 개발

- 방진시설(방풍림/방진시설 등) 설치기준 및 활용기술 개발
- 국내 기후조건 및 축산시설 발생 유기성 분진 및 가스에 강건한 방진림 수종 선정

가축분뇨 퇴비의 농경지 살포시 암모니아와 미세먼지 발생최소화 기술 개발

- 농경지에 살포된 퇴비로부터 발생하는 암모니아 절대량 산정
- 농경지 살포 퇴비의 암모니아 발생량 감소기술 개발

<2차년도(2020)>

가축분뇨 유래 미세먼지와 암모니아 발생 잠재량 산정을 위한 실시간 모니터링기법 적용 및 초미세먼지 전구체 형성 제어조건 규명

- 현장규모 플랜트에서의 미세먼지 발생량, 초미세먼지, 초미세먼지 전구체, 암모니아 등의 발생 특성 분석
- 가축분뇨 퇴비화처리 공정 중 무기암모늄 초미세먼지 전구체 형성 기전 및 전화 포텐셜 산정을 통한 전구체형성 전환 제어조건 설정

가축분뇨로부터의 초미세먼지 전환 방지기술 개발

- 암모니아 등 전구물질의 초미세먼지로의 전환 고리 차단기술 개발
- 퇴비화 공정별 배출 가스들에 대한 단위 시간 누적 초미세먼지 전구체 전환량 산정 및 감소기술 개발

가축분뇨 유래 암모니아와 미세먼지 발생억제형 퇴비화 공정개발

- 암모니아 포집 및 미세먼지 전이억제기술 개발
- 가축분뇨 퇴비화 과정에서 발생하는 초미세먼지를 감소할 수 있는 제어기술개발

가축분뇨 퇴비화시설에서의 암모니아와 미세먼지 확산감소 기술 개발

- 퇴비화 시설에서 발생하는 미세먼지, 암모니아 등의 확산 저감을 위한 방풍 시설 및 방풍림 설계 가이드라인 제시
- 방풍림, 방풍시설의 설계 시나리오별 미세먼지, 암모니아 확산 저감방안 설정

가축분뇨 퇴비의 농경지 살포시 암모니아와 미세먼지 발생최소화 기술 개발

- 암모니아 발생량 최소화를 위한 퇴비 부숙방법 설정
- 퇴비화 특성(퇴비화방법, 축분종류 등)에 따른 퇴비로부터의 암모니아 발생특성 분석

<3차년도(2021)>

가축분뇨로부터 유래하는 미세먼지와 암모니아 발생 잠재량 산정을 위한 실시간 모니터링 기법 및 전환제어 조건 규명

- 현장규모 플랜트에서의 미세먼지 발생량, 초미세먼지, 초미세먼지 전구체, 암모니아 등의 발생 특성 분석
- 퇴비화시설 주변 암모니아 확산에 따른 초미세먼지 전구체 형성 기여특성 분석
- 농업 유래 단위 면적 당 가축두수 이용 암모니아 배경가스 인벤토리 지원 및 한국형 가축분뇨/암모니아 배출계수 산정모델 개발

가축분뇨로부터의 초미세먼지 전환 방지기술 개발

- 가축분 유래 초미세먼지 전환 방지기술 설정
- 퇴비화 처리시설 형태별 대기 중으로의 암모니아 배출 특성 분석과 기상조건을 연동하는 리빙랩(Living lab) 타입 미세먼지 방지기술 구축

가축분뇨 유래 암모니아와 미세먼지 발생억제형 퇴비화 공정개발

- 암모니아 발생에 따른 퇴비화시설 실시간 제어시스템 개발
- 다자간 통신기술을 이용한 암모니아 및 미세먼지 발생 사전방지 시스템 구축
- 가축분뇨 퇴비화 및 처리기술 적용과정에서의 초미세먼지 절대량 감소기술 개발

가축분뇨 퇴비화시설에서의 암모니아와 미세먼지 확산감소 기술 개발

- 가축분뇨 퇴비화 처리과정에서 발생한 암모니아, 황 화합물, 질소 화합물의 초미세먼지 확산 감소기술 개발 (퇴비화조건, 가축분뇨 처리기간별, 환경조건별 초미세먼지 확산 감소기술 개발)
- 농업유래 질소 배출원 및 기상데이터 연동 암모니아 배출 면오염원 모델링
- 퇴비화 처리시설 용량별 대기 중 암모니아 배출 특성 분석과 기상조건 연동 리빙랩 구축
- 초미세먼지 전구체 발생변수 별 영향 수준기반 정보 알림시스템 설정

가축분뇨 퇴비의 농경지 살포시 암모니아와 미세먼지 발생최소화 기술 개발

- 작물 생육특성을 고려한 입상퇴비 가공기술 개발
- 입상퇴비 사용에 따른 암모니아 발생량 변화율 산정
- 암모늄 전구체 및 암모늄 에어로졸 형성 특성을 대기 중 암모니아의 시공간적 농도 변동 특성을 통해 암모니아의 농경지 면단위 침적량 규명

[10] 사업 규모 및 세부산출 내역

- 예산 연구비 및 연구기간
- 연구비 : 총 30 억원 (정부출연금)
 - 연구기간 : 2019~2021년 (3년)

(단위:억원)

	2019	2020	2021	계
정부	10	10	10	30
민간	-	-	-	-
계	10	10	10	30

세부 예산 산출 내용

<표 24. 연차별 세부 예산 산출 내용> (단위:백만원)

[11] 추진 전략

[12] 연구추진방법

- 주관 연구자는 가축분뇨 퇴비화 및 처리과정에서의 미세먼지 발생 감소기술 개발 관련 기초연구를 수행하고 협동연구자는 가축분뇨 퇴비화 및 처리과정에서의 초미세먼지 발생감소 관련 현장실험을 수행
- 정기적인 과제협의회를 개최하여 과제수행의 일관성 및 협조체계를 유지하여 최적의 연구결과를 도출할 수 있도록 함
- 가축분뇨 전문가와 대기환경 전문가 및 인벤토리 구축관련 전문가 초청 세미나 및 토론회 등을 개최하여 과제수행 및 결과도출의 합리성 확보
- 가축분뇨 유래 초미세먼지 선진 연구국가의 전문가와의 협의회를 통해 선진기술 도입 및 적용으로 최적결과 도출
- 국내외 학술행사에 적극 참여하여 최신 연구동향 분석 및 연구결과 활용 등의 방법을 통해 최적화된 연구결과를 도출함
- 가축분뇨 퇴비화 처리과정에서의 미세먼지 저감기술 개발
- 농축산 미세먼지 대응 기술 개발 총괄부처로서 환경부와 공동으로 세부 기술기획 및 사업관리 방안을 마련하여 추진하고, 가축분뇨 퇴비화 처리과정에서의 미세먼지 저감기술 개발 주도

[13] 활용 방안

- 축산 및 초미세먼지 관련 분야에서 연구결과를 활용함
- 농림축산식품부, 환경부 등 가축분뇨 관련 유관기관의 정책자료로 활용
- 초미세먼지 발생감소 관련 국가간 대응자료로 활용함
- 가축분뇨 분야에서의 초미세먼지 발생량 감소효과 기술자료로 활용

- 축산 생산시설 내부 근로 복지증진을 위한 공기질 관리기준 마련의 근거 자료
- 일반 미세먼지 및 초미세먼지 전구체(암모니아)의 축산 시설 배출 특성 규명 및 지역별 공기질 개선을 위한 맞춤형 대안 제시
- 축종, 축사유형별, 시기별, 사양관리별 세분화된 배출계수 인벤토리 구축

[14] 기대 효과

기술적 측면

- 축산 농가 및 축산관련 단체의 가축분뇨 퇴비화 및 처리과정에서의 초미세먼지 발생을 감소할 수 있는 기술로 활용함
- 가축분뇨 퇴비화분야 미세먼지 분야에서 국제적 협약과 다국간 정책협의를 선도할 수 있는 기술 개발

경제적 측면

- 초미세먼지 발생량 산정 및 국제적 비용분담 관련 국가간 협약에서 초미세먼지 감소 근거로서 제시함으로써 국가이익 달성을 위한 자료로 활용
- 국민의 건강보호 및 질병발생으로 인한 국가 경제적 비용손실 방지

사회적 측면

- 가축분뇨로부터 발생하는 초 미세먼지 절대량 분석기술 개발 및 국가 인벤토리 구축자료로 활용
- 국민과 축산인의 건강보호 및 지속가능한 축산업 발전기반 조성에 기여
- 가축분뇨 퇴비화 및 처리과정에서의 초미세먼지 발생량 감소기술 개발 및 실용화로 축산분야에서의 초미세먼지 발생량 감소에 기여

[15] 성과 지표 및 목표

가축분뇨 퇴비화 전 과정에서의 암모니아, 미세먼지 전구물질 등 미세먼지 발생잠재량 산정결과 제시

- 가축분뇨 유래 미세먼지와 암모니아 발생잠재량 산정을 위한 실시간 모니터링기법
 - 가축분뇨 퇴비화 공정적용과정에서 발생하는 암모니아 등의 발생량 산정
- 가축분뇨의 초미세먼지로의 전환 방지기술 개발
 - 가축분뇨 퇴비화 처리과정별 발생 가능한 미세먼지 발생 방지

- 가축분뇨 퇴비화과정에서의 암모니아와 미세먼지 발생 억제 기술 개발
 - 암모니아와 미세먼지 발생 감소효율 증진을 위한 퇴비화방법 개발
- 가축분뇨 퇴비화시설에서의 암모니아와 미세먼지 확산감소 기술 개발
 - 방진시설(방풍림/방진시설 등) 설치기술 및 활용기술 개발
- 가축분뇨 퇴비의 농경지 살포시 암모니아와 미세먼지 발생최소화 기술 개발
 - 농경지에 살포된 퇴비로부터 발생하는 암모니아 절대량 산정

[16] 평가 기준 및 절차

- 가축분뇨 퇴비화 과정에서의 미세먼지 발생잠재량 산정결과와 감소기술 제시 여부
 - 가축분뇨 유래 미세먼지와 암모니아 발생잠재량 산정기법 제시 여부
 - 가축분뇨 퇴비화 공정에서 발생하는 암모니아 등의 발생량을 산정할 수 있는가
 - 가축분뇨의 초미세먼지로의 전환 메카니즘 분석 및 전환량을 감소할 수 있는가
 - 가축분뇨 퇴비화 처리과정별 발생 가능한 미세먼지 전환량 감소
 - 가축분뇨 퇴비화과정에서의 암모니아와 미세먼지 발생을 억제하는 기술제시 여부
 - 암모니아와 미세먼지 발생을 감소하는 퇴비화방법을 제시할 수 있는가
 - 가축분뇨 퇴비화시설에서의 암모니아와 미세먼지 확산을 방지하는 기술제시 여부
 - 방진시설(방풍림/방진시설 등) 설치기술 및 활용기술을 제시할 수 있는가
 - 가축분뇨 퇴비의 농경지 살포시 미세먼지 발생최소화 기술 제시 여부
 - 농경지에 살포된 퇴비로부터 발생하는 암모니아와 미세먼지 절대량을 산정하는 기준을 제시할 수 있는가

6. 미세먼지에 안전한 농산물 생산 기술 개발

[1] 사업 개요 및 추진근거

추진배경

- 지구가 생성된 이후 미세먼지는 끊임없이 발생해 왔지만 대부분은 깨끗한 먼지로 인간이나 동물에게 커다란 위협이 되지 못하였으나, 영국의 산업혁명 이후 사상 최악의 대기오염 사건인 런던 스모그(1952) 사건은 1만 2천명의 피해자가 발생하여 전 세계적으로 큰 파장을 불러옴
- 중국과 몽골 지역의 사막화는 황사를 유발하여 한국, 일본은 물론 알래스카까지 영향을 주고 있으며, 최근 중국의 개방화 이후 급격한 산업화와 경제발전에 따른 미세먼지 증가는 새로운 국제 문제로 대두됨
- 이러한 미세먼지는 2013년 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC)에서 1군 발암물질로 새롭게 지정될 만큼, 인류의 건강을 위협하고 삶의 질을 떨어뜨리는 큰 요인으로 밝혀짐
- 우리나라는 경제개발협력기구(OECD) 가입국 중에서 1년 중 미세먼지의 농도가 대기질 기준을 초과하는 날이 23.83일로 가장 많고, 대기오염에 노출된 인구비율도 47%로 가장 높음
- 이에 정부는 「과학기술기반 미세먼지 대응 전략」을 마련하고, 「미세먼지 국가전략프로젝트」를 추진기로 결정함

사업개요

- 국민의 수요에 기반한 맞춤형 미세먼지 연구개발의 일환으로 범부처 차원에서 추진되는 본 사업(2019~2021, 총36억)에서는 미세먼지에 의한 농산물 오염에 대해 국민 불안감 해소를 위하여 농산물 생산·유통·소비단계의 전주기적 미세먼지 안전관리 및 저감화 기술을 개발하고자 다음과 같은 내용 중심으로 추진하고자 함
 - 1) 농산물 생산·유통·소비 등 전주기적 오염실태 조사 및 안전성 평가
 - 2) 미세먼지 유래 오염물질 저감화 방안 마련
 - 3) 미세먼지 유래 오염물질 안전관리 기술 개발 및 가이드라인 설정
- R&D를 통해 개발된 기술은 영농활용을 통해 농업현장에 신속하게 보급하고, 농림축산식품부, 환경부 및 식품의약품안전처 등 관련 부처에 정책으로 제안하여 국민들이 체감할 수 있는 정책사업 추진에 반영하고자 함

추진근거

- 「식품·의약품 등의 안전기술 진흥법」, 「과학기술기초법」 등 식품 안전관리 관련 유관법령을 통해 해당 기획연구의 추진 근거 확보

출처: 미세먼지 기관간 토론회 자료집 (국립농업과학원, 2018.4.24)

- 세계보건기구 산하 국제암연구소(IARC)는 **미세먼지를 인간에게 암을 일으키는 것으로 확인된 1군(Group 1) 발암물질**로 분류 ('13.10)
- 세계보건기구(WHO)는 2014년 한 해에 미세먼지로 인해 기대수명보다 일찍 사망하는 사람이 700만명에 이른다고 발표
- 우리나라는 2015년부터 초미세먼지(PM_{2.5}) 환경기준을 적용하였으나 일평균 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 세계보건기구의 권고기준인 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높으며 주요 국가보다도 높은 상황임 (환경부, 2016)
 - ☞ 미세먼지가 국민의 안전과 건강을 위협하는 사회·환경적 문제로 대두되어, '문재인 정부 100대 국정과제', '미세먼지 관리 특별대책', '과학기술기반 미세먼지 대응 전략' 등이 수립되고 있음

[2] 연구 배경

- 자연현상인 황사와 달리 **미세먼지에는 유해물질 포함** 가능성이 높다고 알려져 있음
 - 2013년 초겨울 중국발 미세먼지의 영향으로 수도권 지역 평균 미세먼지 농도가 '민감군 영향'(81~120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에서 지역에 따라 '나쁨 수준'(121~200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)까지 기록하였고, 초미세먼지는 전체 먼지의 60~70% 차지하는 것으로 분석
 - 황사보다 초미세먼지 농도가 3배 이상 높고 다량의 유독성 화합물과 중금속이 포함
 - * 2013년 10월 29일 발생한 중국발 스모그에는 신경계 독성물질인 납이 평소 공기 중 농도의 8배, 비소와 니켈은 4배 수준, 크롬도 5.8 ng 검출

- **우리나라는 미세먼지에 의한 건강 위협이 국제적으로 심각한 수준**(KISTEP Issue, 2018)
 - 1년 중 대기질 기준(25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하는 날을 기준으로 평가할 때, 우리나라는 23.83일로 OECD 국가(평균: 12.35일) 중 대기질이 가장 나쁜 상황 (OECD, 2015)
 - 대기오염에 노출된 인구비율 기준으로 대기질 기준(25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하는 농도에 노출된 인구비율이 47%로 OECD 국가(평균: 3%) 중 가장 높음 (OECD, 2015)

- 이에 정부는 미세먼지 대응 전략의 일환으로 국민들의 실질적인 미세먼지 노출량과 미세먼지의 위해성 정보를 제공하고, 노출저감 기술을 개발, 확산을 지원
 - 2017년 9월, 정부는 **새정부 출범 이후 최우선 과제**로 설정된 미세먼지 문제해결을 위하여 2022년까지 **국내 배출량의 30%를 감축**하겠다는 ‘**미세먼지 관리 종합대책**’을 발표
 - 미세먼지의 인체 건강 영향에 대한 과학적 정보 확보·제공으로 정부의 미세먼지 대응 정책과 국민의 능동적 대응을 강화
- 국내외적으로 미세먼지가 농산물 안전성(Food Safety)에 미치는 영향에 대한 연구 거의 없음
 - 미세먼지 문제는 국민들의 삶의 질에 직접적으로 영향을 미치는 환경 문제로 노동생산성, 건강지출, **농작물 생산성 및 안전성 등에 영향**을 끼쳐 2060년까지 전 세계 **GDP의 1%까지 경제적 비용 증가** 전망 (OECD, 2016)
 - 미세먼지가 함유하고 있는 중금속 등 각종 유해물질은 농작물 생산단계 및 유통-소비 과정에 비의도적으로 혼입될 수 있으나 **농식품 안전성에 대한 국내 기초연구가 거의 없는 실정**
 - 미세먼지의 화학적 요인과 생물적 요인의 특성을 파악하고 농산물 생산, 유통, 소비를 전체적으로 아우르는 안전관리 대책수립이 절실함
 - 현재, 미세먼지 연구는 대부분 인체 건강과 관련된 연구로서 **미세먼지 중 유해물질이 농산물의 안전성에 미치는 영향 및 저감에 관한 연구는 중요한 동시에 시급함**
- 최근 미세먼지를 대상으로 다양한 연구가 진행되고 있지만, 오염된 대기 노출 식품에 대한 미세먼지 모니터링 및 분석에 대한 충분한 데이터 확보가 미흡한 상황
 - 더욱 다양해지는 미세먼지, 초미세먼지의 노출경로로 인해 인체에 미치는 위해성을 종합적으로 판단하기 어려운 실정
 - 국민들의 일상생활과 건강, 안전에 밀접한 관계가 있는 대기노출 식품에 대한 종합적인 평가 및 관리가 필요한 시점

[3] 정책 동향

<국내 동향>

- 대기 오염물질 관리 정책 변화
 - 우리나라는 1970년대 초반 공해방지법에 따라 주요 기준 대기오염물질(SO₂, NO₂, TSP, O₃, CO)의 측정을 시작한 이래로 1983년에 최초로 크기에 관계없는 총먼지 기준으로 대기환경기준 (TSP, 일평균 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하)을 시행
 - 입자의 크기가 10 μm 이하인 경우에는 인체의 건강에 미치는 영향이 커서 1995년 후반에 TSP에서 PM₁₀(일평균 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하)으로 환경기준을 변경하여 현재에 이룸
 - 환경부에서는 지난 2010년 9월 말경 PM_{2.5}에 대한 대기환경기준을 신설하기 위해 관계법령을 개정하고 2015년에 시행
 - 최근에는 미세한 입자에 대한 관심이 학계 위주로 부각되고 있음(TSP → PM₁₀ → PM_{2.5} → PM_{1.0}) 현재 국내에서는 향후 관심의 대상이 될 PM1.0에 대하여 관심을 갖고 관련 연구들이 점차 진행되고 있으나, 아직까지 정책적 접근은 부족한 실정
- 미세먼지 관리 특별대책 수립 ('16.6)
 - “미세먼지 관리 특별대책”을 발표하여 미세먼지를 중차대한 환경문제로 인식하고 해결하기 위해 관계부처 합동으로 대응하기로 함
- 과학기술 기반 미세먼지 대응전략 발표 ('16.11)
 - 과학기술을 통해 미세먼지 문제에 대한 근본적·혁신적 해결을 지원하기 위한 "과학 기술기반 미세먼지 대응 전략"을 미래창조과학부·환경부·보건복지부 합동으로 발표
 - 범부처 단일 사업단을 발족하여 부처·사업별로 분산됐던 연구개발(R&D)을 한 곳으로 집결하여 중장기 R&D 투자를 통해 2023년까지 사업장 미세먼지 배출량을 기존 수준의 절반으로 줄이고, 총 47조원 미세먼지 대응 신시장을 창출할 전략임

- 문재인 정부 100대 국정과제 발표 ('17.07)
 - 국정기획자문위원회는 '문재인 정부 국정운영 5개년 계획'을 통해 문재인정부가 추진해야 할 과제와 향후 5년간의 국정운영의 방향을 담은 5대 목표, 20대 전략, 100대 국정과제를 발표함
 - 100대 국정과제에서 국민건강과 일상생활에 큰 어려움과 질병의 원인이 되고 있는 미세먼지(PM2.5)를 선진국 수준($18 \mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 개선하기 위한 전략 및 국정과제를 수립함

- 미세먼지 관리 종합대책 수립 ('17.09)
 - 2016년 6월 3일 관계부처 합동 「미세먼지 관리 특별대책」을 수립 및 추진하였으나, 2017년 초 고농도 빈발 등으로 미세먼지 해결에 대한 국민적 요구가 높아 종전 대책의 미흡했던 점을 보완하기 위해 「미세먼지 관리 종합대책」 수립
 - 세계보건기구와 유럽연합에서는 PM₁₀과 PM_{2.5}에 대한 미세먼지 기준을 설정하여 관리하고 있고, 우리나라도 1995년 PM₁₀에 대한 기준을 일평균 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 연평균 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 설정하였으며, 2014년 2월부터 미세먼지 예·경보제를 시행하여 관리

출처: 미세먼지 정책 및 R&D 투자 분석, 융합연구정책센터(2017.07)

<국의 동향>

- 1988년 UN 총회 결의에 따라 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)은 '기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)'를 설치
 - IPCC는 매년 열리는 당사국총회(COP)를 통해 보고서를 채택하여, 1990년 1차 평가보고서를 시작으로 2007년 4차 평가보고서를 발간
 - 브라질 리우환경회의(1992년 6월)에서 지구온난화에 따른 이상기후 현상을 예방하기 위한 목적으로 기후변화협약(UNFCCC)을 체결하였고, 매년 당사국총회를 개최하여 기후변화에 관한 합의 등을 도출
 - 2007년에는 WHO의 대기질 지침과 2008년 EU의 기준치 설정

- 주요 선진국은 자국 내 대기환경보호를 위해 발생원에 대한 규제를 강화하고 있으며, 지속적인 관리체계 구축 마련 중
 - 미세먼지에 대한 환경기준을 설정하고, 미세먼지 발생원 인에 대한 규제 강화와 동시에 기술개

[4] 산업 동향

(산업 전반) 과학기술기반 미세먼지 대응 전략의 차질 없는 추진을 통해, 초미세먼지 배출량을 절반으로 줄이고, 국내외 신시장 개척 및 새로운 일자리 창출 기대(2016.11.14)

○ 2023년까지 초미세먼지 배출량을 절반으로 줄이고, 총 47조 원의 국내의 시장 창출

* 초미세먼지 배출저감 목표 : 사업장 PM, NOx, SOx, VOCs 총 배출량 기준

** 시장·일자리 : ‘대기환경산업’ 기준(약 70% 이상이 미세먼지 대응 분야)

(산업 전반) 정부는 관계 부처 합동으로 「2030 국가 온실가스 감축 기본로드맵 수정(안)」을 마련하여 공개 (2018.6.28)

○ 파리협정 체결에 앞서 2015년 국가 온실가스 감축 목표를 수립하였으며, 이행을 위해 「제1차 기후변화대응 기본계획」과 「2030 국가 온실가스 감축 기본로드맵」을 확정

○ 2016년 수립된 온실가스 감축로드맵은 국내외로부터 감축 의지가 약하다는 비판과 구체적인 감축수단 제시가 미흡하다는 지적을 받음

○ 이에, 대기-에너지 정책의 변화를 반영하고 국제사회에 약속한 국가 온실가스 감축목표*를 차질 없이 이행하기 위해 2030년 감축 후 배출량 5억 3천6백만 톤 달성 (BAU 대비 37% 감축)

* BAU(Business-As-Usual) 추가적인 온실가스 감축 조치를 취하지 않은 경우를 가정한 미래 배출량 전망치

(산업 전반) 2014년을 기준으로 국내에는 약 57,000개 사업체가 환경산업 분야에서 종사하고 있으며, 환경부문 매출액은 98조 827억 원 규모로 추정

○ 2013년 환경부문 매출액(89조 8,044억 원) 대비 9.2% 증가

○ 환경산업활동(매체별)의 자원순환 관리 매출액이 약 30조 원으로 31.2%의 비중을 차지, 물 관리가 약 26조 원으로 27.4%의 비중을 차지하였음

○ 2014년 대기관리 분야에서는 6조 1,800억 원 규모로 매출액이 발생하였음

(농업 부문) 미세먼지는 그 성분이 다양한 만큼 건강뿐만 아니라 생태계 전반에 영향을 주는 등 직접적인 영향 외에도 농업활동의 산물인 농작물을 섭취한다는 점에서 2차적 영향을 주기도 함

○ 우리나라는 비슷한 경제규모의 여타 국가들과 비교하여 미세먼지에 대한 피해가 큰 것으로 분석되며, 미세먼지 오염에 따른 국내 **사회적 비용이 연간 11~12조 원**에 이르는 것으로 추정 (POSRI 이슈리포트, 2016)

○ 최근 연구결과 미세먼지는 다양하게 생태계 및 식물 성장에 영향을 주는 것으로 밝혀졌고, 미세먼지에 대한 식물의 내성지수(APTI)도 제시됨

-첫째, 식물의 형태에 영향을 주는 것 (Morphological)

-둘째, 식물의 생리적 측면에 영향을 주는 것 (Physiological)

-셋째, 생화학적 측면에서 영향을 주는 것 (Biological)

-넷째, 농산물(먹거리) 안전성 측면에서 영향을 주는 것 (AgriFood Safety)

(농업 부문) 미세먼지(황사)가 토양에 미치는 영향 정도는 심각한 수준은 아니나, 식물생장 저해, 투과율저하로 시설작물의 생산성 하락 등의 피해가 나타남

○ 비닐하우스 일사량 17% 감소 및 오이 수확량 약 30% 감소('07, 농촌진흥청)

○ 인공 황사를 이용한 실험결과 비닐하우스 내 투광률이 약 18%감소('09, 농촌진흥청)

(농업 부문) 미세먼지(황사) 발생 시 가축들의 호흡기 질병 발생이 정상시보다 증가하며, 세균의 분포도 정상시와 다른 특성을 보임

○ 황사 발생 후 1~4일 사이에 한우의 호흡기질환 발생 마리수 1.21배 증가('10, 황사연구단)

○ 황사에 포함된 미세먼지로 인하여 가축들(젓소, 돼지 등)의 호흡기 질병 발생이 정상시보다 증가하며, 세균의 분포도 정상시와 다른 특성을 보임(국립환경과학원, 2010)

(농업 부문) 대기 오염이 심한 곳은 토양(농경지)도 물(농업용수)도 덩달아 오염('14, 중국 정부)

○ 중국 전국토의 16.1%, 농경지의 19.4%가 오염되어 25만 km²에 육박하며 한국 면적의 2.5배 크기에 해당

- 오염된 토양 40%에서 발암성 물질인 카드뮴과 비소가 검출, 전체 경작지의 14%는 오염이 너무 심각해 농사를 지으면 안되는 상황이라고 밝힘

[5] 기술 동향

- 세계적으로 미세먼지 규제가 강화된 미국과 일본을 중심으로 다양한 설비를 개발 중이나 산업설비의 배기후처리장치개발에 집중, 미세먼지 인체영향평가에 대한 연구는 미흡
 - 미세먼지 저감기술은 Benta나 스위스의 Air-O-Swiss와 같이 습식 에어워셔 방식이 보급되었으나 초미세먼지에 대한 처리 성능은 미약
 - 중국은 바이러스 예방과 살균효과가 있는 나노필터를 마스크에 적용 개발 중

출처 : PM2.5 실태파악 및 향후 연구방향 모색을 위한 포럼 (국립환경과학원, 2015)

- 스모그 챔버를 이용한 2차 초미세유기먼지 생성과 화학적 반응 연구
 - 질소산화물이나 휘발성 유기화합물(VOCs), 블랙 카본(BC) 등 전구체가 대기 중에서 화학 반응을 유도하여 2차 초미세 유기먼지 생성
 - 초미세먼지 등이 대기 중에서 광화학반응으로 만들어지는 과정을 인위적으로 실험
 - 서울 과학기술연구원, 영국 요크대학, 스페인 지중해환경연구센터 등

<그림 93. 스모그 챔버(Smog chamber)를 이용한 2차 초미세먼지 생성 연구>	<그림 94. 유럽 광화학반응 챔버 (European PhotoReactor: EUPHORE)>

- 국립환경과학원에서는 실시간 대기질 모니터링 시스템 구축 및 운영 (2006~현재)
 - 환경부 상시 측정망이 위치한 주요 도시지역과 국가 배경지역에서의 황사 중 미세먼지 (PM10) 농도 변화는 국가대기오염정보관리시스템(NAMIS)을 통해 실시간 감시
 - 2006년부터 황사 중 유해물질의 실시간 모니터링을 위해 국립환경과학원 내에 대기오염집중측정소를 구축하였고, 백령도('07.10월 준공), 수도권('08.7월 준공), 남부권('08.12월 준공), 중부권('10.10월 준공), 제주권('11.12월 준공) 가동
 - 황사 중 유해물질 모니터링은 백령도, 수도권 및 남부권 대기오염집중측정소에서 수행하였으며, 실시간 모니터링을 위해 대기 중 미세먼지(PM10, PM2.5) 질량농도와 이온성분(SO₄²⁻, NO₃⁻, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺), 탄소성분(OC, EC), 중금속성분(Ca, Fe, K, Ti, Mn, Ni, As, Se, Pb 등)의 농도를 1시간 이하의 간격으로 측정

<그림 95. 국립환경과학원 미세먼지(황사) 측정 장비 및 측정소>	

- 국립농업과학원(화학물질안전과)에서 수소화물생성법(HG)과 초음파분무기(USN)를 이용한 유해중금속 검출한계 및 분석력 고도화 (2017)

<그림 96. 수소화물생성법(HG)>	<그림 97. USN 작동 원리>	<그림 98. LC-ICP/MS 연동 시스템>

- 기존 분석법 대비 비용절감 60%, 분석시간 단축 50% 하고 분석 방해물질(Matrix)을 제거하여 분석감도 10배 향상
- 수소화물발생장치(HG, hydride generation)와 초음파분무장치(USN, ultrasonic nebulizer)를 활용한 중금속 분석법 개발 (2018 환경분석학회 발표)
- 수소화물생성법(HG)를 활용한 쌀의 무기비소 공정분석법 개선 (식약처 정책제안)

- 한·중·일 공동 연구결과 중국에서 발원한 박테리아가 미세먼지에 섞여 한국으로 유입 가능성 밝혀져 (Nature, 2017)
- 한·중·일 3국의 서울, 베이징, 나가사키에서 1년 동안 채집한 미세먼지를 분석한 결과, 한국과 중국의 PM_{2.5}에 들어 박테리아 중 83% 일치
- 미세먼지 속 세균은 계절적으로 겨울과 봄에 유사성이 가장 높았고, 기상학적으로 중국 미세먼지 속의 박테리아가 국경을 넘어 이동할 수 있는 가능성이 확인

<그림 99. 초미세먼지 중 부유 세균 분포>	<그림 100. 초미세먼지 중 박테리아 83% 일치>

- 국립농업과학원(유해생물팀)에서 농산물에 의한 식중독 예방을 위한 신속 검출기술 개발 (2017)
- 농식품 생산 현장에서 대장균(군)을 빠르고 간편하게 점검할 수 있는 검출 기술
- 농산물 등 각종 시료에 발색시약을 넣고 휴대용 검출기에서 12~18시간 배양한 후 자외선에 노출시키면 대장균과 대장균 오염 여부 확인 가능
- 대장균 검출은 96시간 → 12~18 단축, 장비비 최소 400만원 → 100만원으로 절감

<그림 101. 유해미생물(대장균) 검출기>

--	--

* SCI(Arch Microbiol) 2편, 산업재산권 2건

- 정부는 최근 미세먼지 노출평가, 독성평가, 유해성분 탐지 등 노출 및 건강영향 최소화에 대한 연구개발을 활발하게 진행 중
- '12년 미세먼지 노출 및 건강영향 최소화에 대한 관련 정부연구비는 21.2억 원이었으며 '17년 75.0억 원으로 크게 증가, 최근 6년간('12~'17) 정부연구비는 289.3억 원으로 나타남
- 이 중 동 기획연구와 관련성이 높은 미세먼지 인체위해성역학과 인체노출평가의 정부연구비는 총 94.2억 원으로 최근 관련 연구개발이 활발하게 진행되고 있는 것으로 나타남

출처: 녹색기술센터(2018.01.25.)

- 2016년 기준 미세먼지 관련 환경·인체 위해성 평가기술의 기술수준은 최고 기술국인 미국 대비 73.2%, 기술격차는 5.7년으로 나타남
- 최고기술국인 미국(100.0%) 대비 주요국 기술수준은 EU(87.6%) > 일본 (85.1%) > 한국 (73.2%) > 중국(61.5%) 순으로 나타남
- 미국은 기초연구와 응용·개발연구 모두 최고 수준이며, 한국의 기초연구 수준(71.1%)은 응용·개발연구 수준(75.2%)보다 4.1%p 낮은 것으로 나타남

□ 미세먼지 관련 특허기술 동향

- 최근 많은 관심을 받고 있는 분야이지만 농진청의 특허기술동향조사 결과 미세먼지 1차적 오염원에서의 저감 기술에 비해 2차적 피해가 염려되는 농업환경에 응용 가능한 관련 기술은 많지 않음
- 중국 발 미세먼지가 심각한 만큼 중국에서 관련 연구가 많이 이루어지고 있고 특허 출원도 많으나, 큰 기술 시장을 가진 미국으로의 출원은 아직 미미한 편임

<그림 102. 미세먼지 저감 및 안전성 관련 국내외 특허 기술 (농진청 특허기술동향조사, 2017) >



[6] 정책과의 부합성

- (국정과제) 정부는 범부처 차원에서 **국민의 수요에 기반** 한 맞춤형 미세먼지 **연구개발** 수행을 위해 미세먼지 R&D 아이디어 발굴 및 추진
 - 최종 선정*된 국민 R&D 아이디어를 구체화하여 합리적 해법을 제시하고 **국민 체감형 미세먼지 R&D 수행**
 - * 전체 140개 아이디어 중 전문가 평가를 통해 최종 9개 아이디어 선정(과학적 실현 가능성, 기술적 파급효과, 문제해결 기여도, 필요성, 국민 만족도, 정책 반영도 등)
 - 상대적으로 **관리가 소홀한 농산물**에 대한 미세먼지의 침투 등 **안전성 확보 기술 개발** 필요성 제기
 - * “농산물 생산·유통·소비단계의 전주기적 미세먼지 안전관리 및 저감화 기술 개발” 응모 및 선정
- (국정과제) 문제인 정부 100대 국정과제(‘17.07)에서 국민건강과 일상생활에 큰 어려움과 질병의 원인이 되고 있는 미세먼지(PM_{2.5})를 선진국 수준(18 μg/m³)으로 개선하기 위한 전략 및 추진 과제를 수립
 - 국민안전 강화 및 미세먼지 예방을 위해 5년간 약 2.8조원의 재정을 투입할 계획
 - 국정과제 83-4 「건강하고 품질 좋은 먹거리 공급체계 구축」에서 안전한 먹거리 공급 정책에 부합
 - 미세먼지 중 인체 유해물질에 농산물이 노출되고 그 농산물을 국민이 섭취할 때 발생할 위험을 예측하고 대책 마련을 통해 국민 먹거리 안전성 확보정책에 기여
- (법적업무) 새로운 법적 위임 업무인 농업환경 실태조사 및 평가 기준(안) 마련을 통한 농산물, 농업환경 등에 대하여 잔류농약, 중금속 등 오염물질 실태조사 및 평가
 - 먹거리 안전관리 강화를 위한 농산물, 농업환경 등에 대하여 잔류농약, 중금속 등 오염물질 실태조사 및 평가에 부합
 - * 근거: 농업자원과 농업환경의 실태조사 및 평가 기준 제정(고시 제2017-12호, ‘17.05.11)
 - * 「친환경농어업 육성 및 유기식품 등의 관리·지원에 관한 법률」 제11조제1항, 같은 법 시행령 제5조제2항, 같은 법 시행규칙 제5조에 따른 농업자원과 농업환경에 대한 조사평가에 필요한 사항을 규정
- (정책지원) 『국민이 안심하고 소비할 수 있는 안전 먹거리 공급체계 구축』에 기여
 - 농축산물 안전·품질 관리 강화를 통한 먹거리 안전성 제고에 부합
 - * 근거: 2018~2022 농업·농촌 및 식품산업 발전계획 (농림축산식품부, 2018.2)
 - * ‘농업 농촌 및 식품산업 발전계획’은 「농업 농촌 및 식품산업기본법」 제14조에 따라 농업의 지속가능한 발전과 농촌의 균형 있는 개발 보전 및 식품산업을 포함한 농업 관련 산업

의 육성을 위하여 5년마다 농림축산식품부장관은 농업 농촌 및 식품산업 발전계획 수립에 필요한 사항을 규정

[7] 기존 사업과의 차별성

- 미세먼지 문제에 대한 근본적이고도 혁신적인 해결을 지원하기 위하여 2016년 정부는 「과학기술기반 미세먼지 대응전략」을 마련하고, 「미세먼지 국가전략프로젝트」 추진
 - 과학기술력으로 미세먼지가 가져온 위기를 넘어 **新산업과 新시장**을 창출하기 위한 ①기술 개발, ②기술 산업화, ③중장기 투자전략을 포함
 - 2023년까지 사업장의 초미세먼지 배출량을 절반으로 감축하면서 미세먼지 대응 신시장도 창출할 수 있을 것으로 기대
 - 또한, 미세먼지 문제 해결은 삶의 질을 개선하기 위한 당면 과제일 뿐만 아니라, 그 과정에서 기술역량을 축적함으로써 미세먼지로 인해 발생한 위기를 기회로 전환하려는 적극적인 의지가 표출된 것이라 해석할 수 있음
 - 그럼에도 불구하고 **국민들의 먹거리인 농산물이 오염물질이 포함된 미세먼지에 노출 시 안전성 평가 및 저감화에 대한 연구와 투자는 찾아보기 어려움**
- 최근까지 국내외의 연구동향을 문헌조사를 통해 살펴보면 미세먼지에 오염된 농산물이 국민 건강에 미칠 수 있는 영향 및 대책에 대한 연구는 매우 미미한 실정
 - 기존연구는 대부분 공기 중에 미세먼지가 호흡기질환, 심혈관계 질환, 뇌질환 등 건강에 미치는 영향에 대한 연구가 주류를 이루고 있음
 - 대기 중 미세먼지는 주로 호흡기, 피부로 인체에 침투되지만, 미세먼지에 노출된 농산물을 섭취함으로써 사람이나 가축에 노출될 가능성도 높음
 - 아직까지 국·내외적으로 **미세먼지에 오염된 농산물 섭취로 인한 위해성에 대한 연구는 초기 단계에 머무르고 있음**

핵심 목표

- ▶ 농산물 중 미세먼지 유래 오염물질 모니터링 및 저감화 기술 개발
- ▶ 과학기반 농산물 안전관리 지침 설정 및 보급으로 국민들의 불안감 해소

<그림 103. 미세먼지에 안전한 농산물 생산·유통·소비 기술 개발 >

(1년차) 전주기적 오염실태 조사	(2년차) 저감화 기술 개발	(3년차) 안전관리 지침 설정

⇒ 미세먼지에 대한 농산물 안전성 확보 및 과학적 증거 제시

출처: NTIS

- 기존 연구는 미세먼지로 인해 인체에 미치는 영향 연구가 대부분이었으며, 대기노출 식품에 대한 미세먼지 오염현황 분석 및 이를 바탕으로 오염 예측모델 개발, 현지에서의 미세먼지 저감을 위한 관리방안 제시에 대한 연구는 진행된 바 없음
 - 타 부처의 미세먼지 관련 연구는 주로 미세먼지의 발생원이나 생성원리를 파악하는 기술이 대부분이며, 농식품에서의 오염현황 실태조사 및 저감화 관리 연구는 전무
- 본 사업은 농산물 생산유통소비단계에서 전주기적으로 미세먼지 안전관리 및 저감화 방법을 개발, 미세먼지에 의한 농산물오염에 대한 국민의 불안감을 해소하고자 함
 - 미세먼지에 포함된 중금속, 휘발성유기화합물질(VOCs), 식중독균 등 유해물질(요소)가 농산물 생산유통소비과정에서 안전성에 미치는 영향에 관한 연구가 매우 시급하기에
 - 미세먼지에 포함된 유해물질의 농작물로의 흡수·이행 및 축적 여부를 평가하고, 국민들이 농산물을 통해서 유해물질을 섭취하지 않도록 안전한 농산물 생산·공급을 위한 안전관리 가이드라인을 마련하고자 함
 - 또한, 미세먼지의 유해성·위해성을 빠르게 진단하기 위해서 대기노출 식품에 따른 유해성 DB 구축을 위하여, 특정 식품으로 인해 발생 가능한 미세먼지 노출을 과학적 평가하고, 미세먼지 오염 수준이 높은 식품에 대한 저감화 방안을 마련 하고자 함

[8] 연구 목표

- 최종 연구 목표

[9] 세부 연구내용

< 1차년도(2019) > 전주기적 오염실태 조사 등

☐ 미세먼지에 노출된 농산물의 유해 화학물질의 전주기적 오염실태 조사

- 미세먼지 노출 농산물 중 유해중금속(Cd, Pb, As, Ni, Zn, Cu, Hg, Cr 등) 모니터링
- 미세먼지 노출 농산물 중 휘발성유기화합물(VOCs), 다환방향족탄화수소(PAHs), 유기염 소계 농약 등 모니터링
- 미세먼지 속 유해물질과 농산물 중 미세먼지 유래 유해물질 간 상관관계 분석

전반적인 고려사항

- * 시험설계 : 입자크기(PM₁₀, PM_{2.5}), 지역(오염우려지역, 청정지역), 계절(겨울~봄, 여름~가을), 생산·소비·유통 단계를 고려하여 계획
- * 농산물 선정 : 주곡 작물, 다소비 작물, 월동 작물, 노지재배, 엽채류, 재배기간 긴(長) 채소 작물 우선 고려 (예: 벼, 콩, 봄동, 배추, 무, 시금치, 사과, 유자, 감귤 등)
- * 리빙랩(Living Lab) 적용 : 이해관계자(농업인·소비자 등) 참여형 혁신플랫폼을 도입하여 실제 농산물 생산·유통·소비가 이루어지는 농업현장(지자체 추천) 등에서 사업 참여자들과 공동으로 시험(시료 채취 등)을 수행하고 개방형 평가 진행

☐ 미세먼지에 노출된 농산물의 유해 미생물의 전주기적 오염실태 조사

- 미세먼지 중 유해미생물 채취 기법 확립
- 미세먼지 노출 농산물 중 유해미생물(세균, 바이러스, 곰팡이 등) 모니터링
- 미세먼지와 노출된 농산물 간 유해미생물 상관관계 분석
- 배양 가능 유해미생물과 배양 불가능 유해미생물의 군집분석

☐ 식물체 표면 침적 오염물질의 미세먼지 유래 규명 연구 기반 조성

- 대기의 PM_{2.5} 중 유기 오염물질과 중금속 종류 분석 방법 확립
- 식물체 표면 중 유기 오염물질과 중금속 종류 분석 방법 확립

☐ 미세먼지 유래 유해 화학물질의 농작물 흡탈착에 대한 연구

- 미세먼지 가시화(visualizing) 기법 확립 및 채소 종류에 따른 미세먼지 흡착 현상 연구
- 미세먼지의 동적 거동을 가시화 할 수 있는 측정 기법 확립 (holographic PIV, X선 영상기법, SEM imaging 등)
- 채소 종류에 따른 표면 및 내부로 흡착 및 흡수되는 미세먼지 영향 확인

☐ 미세먼지에 노출된 농작물의 유해 화학물질 관련 내성 유전자원 탐색

- 콩에서의 품종 별 미세먼지유래 유해중금속의 축적성 검정 및 품종간의 차이를 확인
- 콩에서 대풍으로 모본으로 27개의 다양한 부분들과의 RIL로 구성된 2,446개의 Nested-Association Mapping Population (NAM)의 이용을 위하여 28개 모본에 대하여 유해중금속 축적성 검정
- 콩의 재배종과 야생종을 포함한 600여종으로 구성된 핵심집단을 이용하여 미세먼지 유래 유해중금속의 품종 간 종실축적 차이검정

☐ 유통·소비 단계 식품에서의 미세먼지 분석법 개발 (식약처)

- 대기노출 식품군 유형에 대한 조사 및 분류
 - 미세먼지에 대한 정의, 분석방법 등에 대한 조사
- 식품에서의 추출 및 시료 전처리 방법 최적화
 - 미세먼지 분석을 위한 전처리 기술 개발 및 필요시 농축기술 개발
- ICP, NMR 등 기기분석 및 미생물 분석법 확립
 - 금속성분, 광물질에 대한 기기분석 수행
 - 바이러스, 세균에 대한 미생물분석법 개발

☐ 미세먼지 분석을 위한 청정식품 대조군 제조 및 분석법 확립 (식약처)

- 청정식품 대조군 제조
 - 미세먼지가 함유되지 않은 조건에서 시료를 건조하여 미세먼지 미함유 시료 제조
 - 건조 농산물(곡류, 견고추 등) 및 건조 수산물(천일염, 미역, 김 등)에 대한 청정식품 대조군 제조
- 청정식품과 실험군 간의 비교 분석 실험
 - 미세먼지 오염군과 청정식품군과의 비교실험실시
- 미세먼지 분석법 확립 및 유효성 검증

< 2차년도(2020) > 흡수이행 저감화 기술개발 등

☐ 농산물 생산단계에서 미세먼지 유래 화학물질의 흡수·이행 평가 및 저감화 기술 개발

- 농산물에 부착된 미세먼지 유래 유해중금속(Cd, Pb, As, Ni, Zn, Cu, Hg, Cr 등)의 흡수·이행 및 축적 여부 조사
- 농산물에 부착된 미세먼지 유래 휘발성유기화합물(VOCs), 다환방향족탄화수소(PAHs), 유기염소계 농약 등 흡수·이행 및 축적 여부 조사
- 미세먼지의 흡착·흡수·이행을 최소화하는 농작물 재배법, 관리법 등 생산단계의 저감기술 개발

<그림 105. 농산물 중 미세먼지 저감 기술 개발>	<그림 106. 표면과 내부에 흡착, 흡수되는 미세먼지>

☐ 미세먼지 중 유해미생물 생존 평가 및 저감화 기술 개발

- 농산물에 부착된 미세먼지 중 유해미생물(세균, 바이러스, 곰팡이 등) 생존 여부 조사
- 미세먼지 유래 유해미생물의 농산물 부착 및 생존 능력 평가
- 미세먼지 유래 유해미생물 특성 분석
- 생산단계 미세먼지 노출 농산물 유해미생물 저감기술 개발

☐ 지역별 식물체 표면 침적 오염물질의 미세먼지 유래 규명

- 대기의 PM_{2.5} 중 유기오염물질과 중금속 종류 분석
- 대기의 PM_{2.5} 중 C, N, S, O 안정동위원소비 평가
- 식물체 표면 중 유기오염물질과 중금속 종류 분석
- 식물체 표면 중 PM_{2.5} 중 C, N, S, O 안정동위원소비 평가
- PM_{2.5} 유래 오염물질과 식물체 표면 추출 오염물질 간 상대유사도 평가를 통한 유래 규명
- 지역별 작물과 대기 중 미세먼지 농도 및 기원간 상관관계 평가
- 지역별 미세먼지 노출 농작물 관리 방안 제시

☐ 미세먼지 유래 유해 화학물질의 농작물 흡탈착에 대한 연구

- 채소 종류와 위치(잎, 줄기, 뿌리)에 따른 미세먼지 흡착특성 분석
- 채소의 잎, 줄기, 뿌리에 흡착되거나 체내로 흡수되는 미세먼지에 대한 분석 연구

☐ 빅데이터 분석기법을 활용한 유해화학물질 내성 관련 유전자 탐색

- 연차간 반복실험을 유해중금속 축적성 차이 검정
- 기상데이터와의 상관분석을 통하여 중금속 축적의 원인 규명 및 환경변수에 의한 오류 제거
- 롱에서의 핵심집단을 이용한 유전자좌/유전자 탐색
- Genome-Wide Association Study(GWAS)를 통해 유해중금속 축적관련 Major/Minor QTLs/genes 탐색
- Multifactor-Dimension Reduction(MDR)등 기계학습 방법을 사용하여 연관 유전자의 효율적 탐색

☐ 미세먼지 오염 수준이 높은 국민 다소비 식품에 대한 모니터링 (식약처)

- 대기노출 위험 식품군 선정 및 모니터링
 - 미세먼지 오염 가능 식품군 선발 및 상황과약을 위한 모니터링
- 미세먼지 오염도가 높은 천일염, 미역, 김 등에 대한 집중 모니터링
 - 지역별, 계절별 집중 모니터링 실시

< 3차년도(2021) > 농산물 안전관리 기술개발 및 지침설정 등

☐ 농산물 유통·소비단계에서 미세먼지 유래 화학물질의 안전관리 기술 개발 및 가이드라인 제시

- 농산물에 부착된 미세먼지 유래 유해중금속(Cd, Pb, As, Ni, Zn, Cu, Hg, Cr 등)의 안전관리 기술 개발
- 농산물에 부착된 미세먼지 유래 휘발성유기화합물(VOCs), 다환방향족탄화수소(PAHs), 유기염소계 농약 등의 안전관리 기술 개발
- 미세먼지의 효과적인 세척법 및 조리법 등 농산물 유통·소비 단계에서 유해 화학물질의 저감화 기술 개발 및 유해화학물질 안전관리 가이드라인 제시

<그림 107. 미세먼지 안전관리 가이드라인>	<그림 108. 미세먼지 중 오염물질 저감화(텃밭용)>

□ 농산물 중 미세먼지 유래 유해미생물 안전관리 가이드라인 제시

- 농산물 세척 및 조리에 따른 유해미생물의 저감화 기술 개발
- 미세먼지 유래 유해미생물 안전관리 가이드라인 제시
- 미세먼지 중 유해미생물 특성별 관리방안 제공

□ 계절별 농작물 표면 침적 오염물질의 미세먼지 유래 규명

- 대기 중 PM_{2.5} 중 유기오염물질과 중금속 종류 분석
- 대기 중 PM_{2.5}중 C, N, S, O 안정동위원소비 평가
- 식물체 표면 중 유기오염물질과 중금속 종류 분석
- 식물체 표면 중 PM_{2.5}중 C, N, S, O 안정동위원소비 평가
- PM_{2.5} 유래 오염물질과 식물체 표면 추출 오염물질간 상대유사도 평가를 통한 유래 규명
- 계절별 작물과 대기 중 미세먼지 농도 및 기원간 상관관계 평가
- 계절별 미세먼지 노출 농작물 관리 방안 제시

□ 미세먼지 유래 유해 화학물질의 농작물 흡탈착에 대한 연구

- 첨단 가시화기법들을 이용하여 채소의 표면과 내부에 흡착, 흡수되는 미세먼지를 가시화하여 채소에 미치는 미세먼지의 영향을 분석
- 채소에 미치는 미세먼지의 영향을 최소화 할 수 있는 방안(방풍 net, spray 분무 등) 도출

□ 미세먼지 유래 유해 화학물질의 내성 농작물 육성 및 재배 가이드 라인 도출

- 유해 화학물질의 종실 축적 저감 관련 유전기작 확인
- NAM집단 중 유해화학물질 종실 축적 저감 품종의 RIL을이용하여 유전분리 및 표현형 확인을 통한 유전 기작 탐색
- 저감기법의 하나인 미세먼지 유래 유해화학물질의 종실축적 저감 콩의 육종 가이드라인 제시

□ 식품군별 위해도 예측모델 개발 및 식품 중 미세먼지 오염 저감화 기술개발 (식약처)

- 미세먼지 대기노출에 의한 식품군 위해도 예측모델 개발
 - 계절별 미세먼지 식품오염 예측모델 개발
 - 지역별 미세먼지 식품오염 예측모델 개발
- 미세먼지 식품잔류 저감을 위한 식품관리 방안 제시
 - 미세먼지 오염 저감을 위한 식품 생산·제조공정 가이드라인 개발
 - 현지 생산업자 대상 홍보자료 개발

[10] 사업 규모 및 세부산출 내역

☐ 예상 연구비 및 연구기간

- 연구비 : 총 36억원 (정부출연금)
- 연구기간 : 2019~2021년 (3년)

(단위: 억 원)

	2019	2020	2021	계
정부	12	12	12	36
민간	-	-	-	-
계	12	12	12	36

☐ 세부 예산 산출 내용

<표 32. 연차별 세부 예산 산출 내용>

(단위: 백만 원)

년도	내용	세부내용	예산
2019년 (1년차) 전주기적 오염실태 조사 등	① 세면지에 노출된 농산물의 유해 화학물질의 전주기적 오염실태 조사	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미세먼지 노출 농산물 중 유해중금속(Cd, Pb, As, Ni, Zn, Cu, Hg, Cr 등) 모니터링 ○ 미세먼지 노출 농산물 중 휘발성유기화합물(VOCs), 다환방향족탄화수소(PAHs), 유기염소계 농약 등 모니터링 ○ 미세먼지 속 유해물질과 농산물 중 미세먼지 유래 유해물질 간 상관관계 분석 <p><전반적인 고려사항></p>	350

년도	내용	세부내용	예산
		<ul style="list-style-type: none"> ※ 시험설계 : 입자크기(PM₁₀, PM_{2.5}), 지역(오염우려 지역, 청정지역), 계절(겨울~봄, 여름~가을), 생산·소비·유통 단계를 고려하여 계획 ※ 농산물 선정 : 주곡 작물, 다소비 작물, 월동 작물, 노지재배, 엽채류, 재배기간 긴(長) 채소 작물 우선 고려 (예: 벼, 콩, 봄동, 배추, 무, 시금치, 사과, 유자, 감귤 등) ※ 리빙랩(Living Lab) 적용 : 이해관계자(농업인·소비자 등) 참여형 혁신플랫폼을 도입하여 실제 농산물 생산·유통·소비가 이루어지는 농업현장(지자체 추천) 등에서 사업 참여자들과 공동으로 시험(시료 채취 등)을 수행하고 개방형 평가 진행 	
	② 미세먼지에 노출된 농산물의 유해 미생물의 전주기적 오염실태 조사	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미세먼지 중 유해미생물 채취 기법 확립 ○ 미세먼지 노출 농산물 중 유해미생물(세균, 바이러스, 곰팡이 등) 모니터링 ○ 미세먼지와 노출된 농산물 간 유해미생물 상관관계 분석 ○ 배양 가능 유해미생물과 배양 불가능 유해미생물의 균집분석 	250
	③ 식물체 표면 침적 오염물질의 미세먼지 유래 규명 연구 기반 조성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대기의 PM_{2.5} 중 유기 오염물질과 중금속 종류 분석 방법 확립 ○ 식물체 표면 중 유기 오염물질과 중금속 종류 분석 방법 확립 	150
	④ 미세먼지 유래 유해 화학물질의 농작물 흡탈착에 대한 연구	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미세먼지 가시화(visualizing) 기법 확립 및 채소 종류에 따른 미세먼지 흡착 현상 연구 ○ 미세먼지의 동적 거동을 가시화 할 수 있는 측정 기법 확립 (holographic PIV, X선 영상기법, SEM imaging 등) ○ 채소 종류에 따른 표면 및 내부로 흡착 및 흡수되는 미세먼지 영향 확인 	150
	⑤ 미세먼지에 노출된 농작물의 유해 화학물질 관련 내성 유전자원 탐색	<ul style="list-style-type: none"> ○ 콩에서의 품종 별 미세먼지유래 유해중금속의 축적성 검정 및 품종간의 차이를 확인 ○ 콩에서 대풍으로 모본으로 27개의 다양한 부분들과의 RIL로 구성된 2,446개의 Nested-Association Mapping Population (NAM)의 이용을 위하여 28개 모부본에 대하여 유해중금속 축적성 검정 ○ 콩의 재배종과 야생종을 포함한 600여종으로 구성된 핵심집단을 이용하여 미세먼지 유래 유해중금속의 품종 간 종실축적 차이검정 	100
	⑥ 유통·소비 단계 식품에서의 미세먼지 분석법 개발 (식약처)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대기노출 식품군 유형에 대한 문헌조사 및 분류 ○ 식품에서의 추출 및 시료 전처리 방법 최적화 ○ ICP, NMR 등 기기분석 및 미생물 분석법 확립 	110

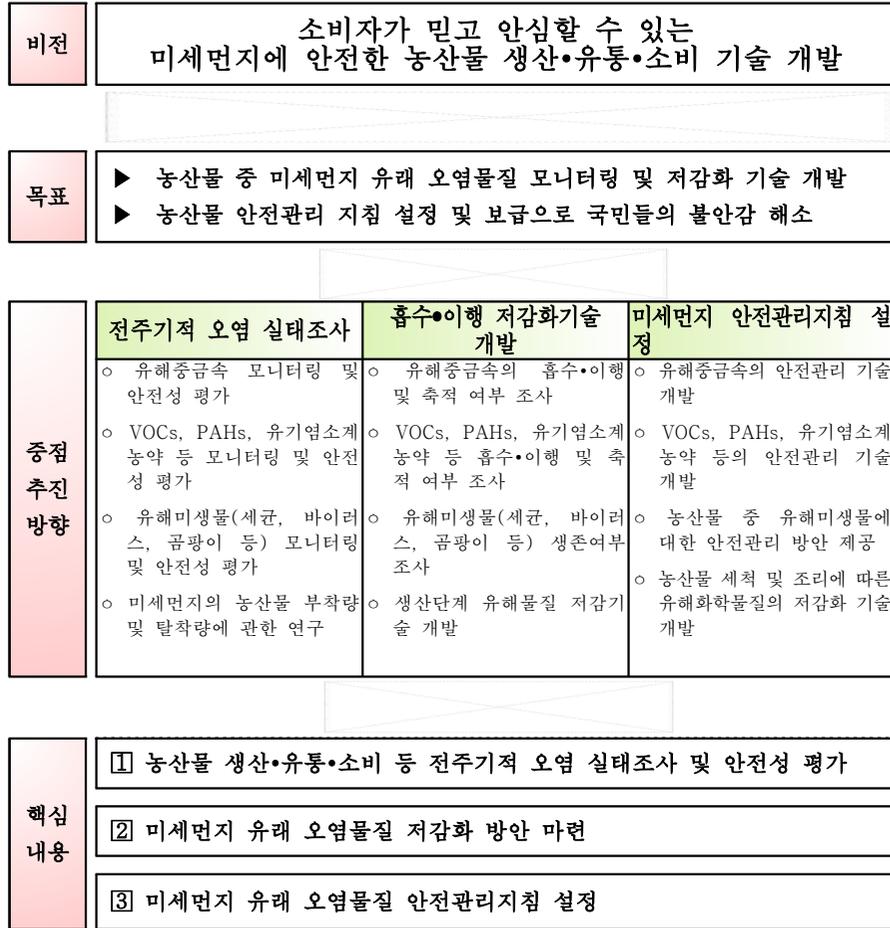
년도	내용	세부내용	예산
	⑦ 미세먼지 분석을 위한 청정식품 대조군 제조 및 분석법 확립 (식약처)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 청정식품 대조군 제조 ○ 청정식품과 실험군간의 비교 실험 ○ 미세먼지 분석법 확립, 시험법 유효성 검증 및 평가 	90
2020년 (2년차) 흡수이행 저감화 기술개발 등	① 농산물 생산단계에서 미세먼지 유래 화학물질의 흡수·이행 평가 및 저감화 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농산물에 부착된 미세먼지 유래 유해중금속(Cd, Pb, As, Ni, Zn, Cu, Hg, Cr 등)의 흡수·이행 및 축적 여부 조사 ○ 농산물에 부착된 미세먼지 유래 휘발성유기화합물(VOCs), 다환방향족탄화수소(PAHs), 유기염소계 농약 등 흡수·이행 및 축적 여부 조사 ○ 미세먼지의 흡착·흡수·이행을 최소화하는 농작물 재배법, 관리법 등 생산단계의 저감기술 개발 	350
	② 미세먼지 중 유해미생물 생존 평가 및 저감화 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농산물에 부착된 미세먼지 중 유해미생물(세균, 바이러스, 곰팡이 등) 생존 여부 조사 ○ 미세먼지 유래 유해미생물의 농산물 부착 및 생존 능력 평가 ○ 미세먼지 유래 유해미생물 특성 분석 ○ 생산단계 미세먼지 노출 농산물 유해미생물 저감기술 개발 	250
	③ 지역별 식물체 표면 침적 오염물질의 미세먼지 유래 규명	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대기의 PM_{2.5} 중 유기오염물질과 중금속 종류 분석 ○ 대기의 PM_{2.5}중 C, N, S, O 안정동위원소비 평가 ○ 식물체 표면 중 유기오염물질과 중금속 종류 분석 ○ 식물체 표면 중 PM_{2.5}중 C, N, S, O 안정동위원소비 평가 ○ PM_{2.5} 유래 오염물질과 식물체 표면 추출 오염물질 간 상대유사도 평가를 통한 유래 규명 ○ 지역별 작물과 대기 중 미세먼지 농도 및 기원간 상관관계 평가 ○ 지역별 미세먼지 노출 농작물 관리 방안 제시 	150
	④ 미세먼지 유래 유해화학물질의 농작물 흡탈착에 대한 연구	<ul style="list-style-type: none"> ○ 채소 종류와 위치(잎, 줄기, 뿌리)에 따른 미세먼지 흡착특성 분석 ○ 채소의 잎, 줄기, 뿌리에 흡착되거나 체내로 흡수되는 미세먼지에 대한 분석 연구 	150
	⑤ 빅데이터 분석기법을 활용한 유해화학물질 내성 관련 유전자 탐색	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연차간 반복실험을 유해중금속 측정성 차이 검증 ○ 2개년 기상데이터와의 상관분석을통하여 유해중금속 축적의 원인 규명 및 환경변수에 의한 오류 제거 ○ 롱에서의 핵심집단을 이용한 유전자좌/유전자 탐색 ○ Genome-WideAssociation Study(GWAS)를 통 	100

년도	내용	세부내용	예산
		<ul style="list-style-type: none"> ○ 해 유해중금속 축적관련 Major/Minor QTLs/genes 탐색 ○ Multifactor-Dimension Reduction(MDR)등 기계 학습방법을 사용하여 연관 유전자의 효율적 탐색 	
	⑥ 미세먼지 오염 수준이 높은 국민 다소비 식품에 대한 모니터링 (식약처)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대기노출 위험 식품군 선정 및 모니터링 ○ 미세먼지 오염도가 높은 천일염, 미역, 김 등에 대한 집중 모니터링 	70
		<ul style="list-style-type: none"> ○ 농산물에 부착된 미세먼지 유래 유해중금속(Cd, Pb, As, Ni, Zn, Cu, Hg, Cr 등)의 안전관리 기술 개발 ○ 농산물에 부착된 미세먼지 유래 휘발성유기화합물(VOCs), 다환방향족탄화수소(PAHs), 유기염소계 농약 등의 안전관리 기술 개발 ○ 미세먼지의 효과적인 세척법 및 조리법 등 농산물 유통·소비 단계에서 유해 화학물질의 저감화 기술 개발 및 유해화학물질 안전관리 가이드라인 제시 	350
2021년 (3년차) 농산물 안전관리 기술개발 및 지침설정 등	① 농산물 유통·소비 단계에서 미세먼지 유래 화학물질의 안전관리 기술 개발 및 가이드라인 제시	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농산물 세척 및 조리에 따른 유해미생물의 저감화 기술 개발 ○ 미세먼지 유래 유해미생물 안전관리 가이드라인 제시 ○ 미세먼지 중 유해미생물 특성별 관리방안 제공 	250
	② 농산물 중 미세먼지 유래 유해미생물 안전관리 가이드라인 제시	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대기 중 PM_{2.5} 중 유기오염물질과 중금속 종류 분석 ○ 대기 중 PM_{2.5}중 C, N, S, O 안정동위원소비 평가 ○ 식물체 표면 중 유기오염물질과 중금속 종류 분석 ○ 식물체 표면 중 PM_{2.5}중 C, N, S, O 안정동위원소비 평가 ○ PM_{2.5} 유래 오염물질과 식물체 표면 추출 오염물질간 상대유사도 평가를 통한 유래 규명 ○ 계절별 작물과 대기 중 미세먼지 농도 및 기원간 상관관계 평가 ○ 계절별 미세먼지 노출 농작물 관리 방안 제시 	150
	③ 계절별 농작물 표면 침적 오염물질의 미세먼지 유래 규명	<ul style="list-style-type: none"> ○ 첨단 가시화기법들을 이용하여 채소의 표면과 내부에 흡착, 흡수되는 미세먼지를 가시화하여 채소에 미치는 미세먼지의 영향을 분석 ○ 채소에 미치는 미세먼지의 영향을 최소화 할 수 있는 방안(방풍 net, spray 분무 등) 도출 	150
	④ 미세먼지의 농작물 흡탈착에 대한 연구	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유해 화학물질의 종실 축적 저감 관련 유전기작 확인 ○ NAM집단 중 유해화학물질 종실 축적 저감 품종의 RIL을이용하여 유전분리 및 표현형 확인을 통한 유전 기작 탐색 ○ 저감기법의 하나인 미세먼지 유래 유해화학물질의 종실축적 저감 콩의 육종 가이드라인 제시 	100
	⑤ 미세먼지 유래 유해 화학물질의 내성 농작물 육성 및 재배 가이드 라인 도출		

년도	내용	세부내용	예산
	⑤ 식품군별 위해도 예측모델 개발 및 식품 중 미세먼지 오염 저감화 기술개발 (식약처)	○ 미세먼지 대기노출에 의한 식품군 오염예측 모델 개발 ○ 미세먼지 식품 잔류 저감을 위한 식품관리방안 제시	30 170
		합계	3,600

[11] 추진 전략

<그림 110. 연구 개발 추진 전략>

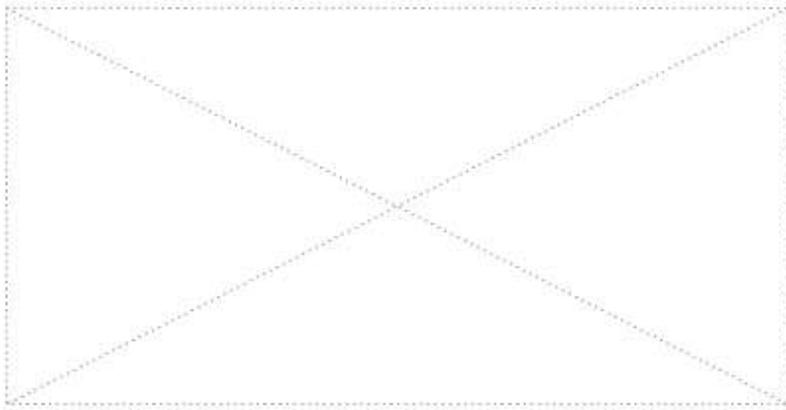


[12] 연구추진방법

<표 33. 연구 추진 방법 및 과제>

연구기관	추진과제
○ 총괄기관 (농촌진흥청)	○ 과제 총괄
- 국립농업과학원 (화학물질안전과)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미세먼지에 노출된 농산물의 유해화학물질 오염실태조사 ○ 미세먼지 유래 유해중금속의 흡수·이행 평가 및 저감화 기술 개발 ○ 미세먼지 유래 유해화학물질 안전관리 가이드라인 제시
- 국립농업과학원 (위해생물팀)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미세먼지에 노출된 농산물의 유해미생물 오염실태조사 ○ 미세먼지 중 유해미생물 생존 평가 및 저감화 기술 개발 ○ 미세먼지 유래 유해미생물 안전관리 가이드라인 제시
○ 공동연구기관 (대학1)	○ 식물체 표면 침적 오염물질의 미세먼지 유래 규명
○ 공동연구기관 (대학2)	○ 미세먼지 유래 유해 화학물질의 농작물 흡탈착에 대한 연구
○ 공동연구기관 (출연연)	○ 미세먼지에 노출된 농작물의 유해화학물질 축적 기작 연구
○ 협력기관 (식약처)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 식품 중 미세먼지 분석법 개발 및 미세먼지 오염 가능 국민 다소비식품 모니터링 ○ 식품군별 미세먼지 위해예측모델 개발 및 제조공정 중 저감기술개발
○ 협력기관-민간기업	○ 미세먼지 저감 생산기술 현장적용 평가

<그림 111. 연구 기관별 추진 내용 >



[13] 활용 방안

☐ 농촌진흥청

- 농림축산식품부, 환경부 및 식품의약품안전처에 정책 제안하여 국민들이 체감할 수 있는 정책사업의 추진에 반영
- R&D를 통해 개발된 기술을 농업현장에 신속하게 보급하여 영농에 활용
- 도시 텃밭 농산물의 안전성 확보방안 활용 기술
- 미세먼지 발생 시 안전한 농산물 생산 및 저장을 위한 관리방안 제시
- 미세먼지 중 유해미생물 데이터베이스 구축에 따른 정보 제공

<미세먼지(황사) 발생 시 행동요령>

- 미세먼지 피해 저감을 위한 농민 대상 교육·지도 실시
 - 미세먼지 대비 농작물 재해예방 관리기술 정보 제공
 - 미세먼지 피해 발생시 가축, 농산물, 농기계 등에 대한 관리 지원
- 미세먼지 발생에 대비한 영농 종합상황실 설치·운영 및 현장기술지원
 - 미세먼지 특보시 단계별 대농민 대처방안 신속 전파
 - 황사 특보 발생시, 對농민 SMS 문자 전송 실시 등
- * 문자발송을 통해 황사 발생 전·후 가축, 농작물, 농기계 관리 요령 안내
- 미세먼지 상황 접수시 대응 매뉴얼에 따라 관련기관 전파 및 홍보
 - 황사로 인한 오염우려 식품*, 식품안전 관리 요령 등을 홍보
- * 노상 등 야외에 노출되어 진열된 식품 또는 조리식품, 밀봉·포장 않고 유통·판매되는 과일, 채소류 및 수산물 등의 농·임·수산물 등

<표 34. 미세먼지 발생 상황에 따른 행동 요령 (예)>

대상	행동요령
가정 및 식품 취급 장소	<ul style="list-style-type: none"> ○ 노출된 채소, 과일 등 농수산물은 충분히 세척 후 섭취 ○ 식품 제조·가공 및 조리시 철저한 손씻기 ○ 기계·기구류 세척 등 위생관리로 2차 오염 방지 ○ 노약자, 호흡기 질환자 등은 실외활동 금지 ○ 창문을 닫고 가급적 외출을 삼가되, 외출시 보호안경, 마스크를 착용 ○ 외출 후에는 손과 발을 씻고 특히 미지근한 물로 눈 헹구기
학교 등 교육 기관	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유치원과 초등학교의 실외활동 금지 및 수업단축 또는 휴업
축산·시설원 예 등 농가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 비닐하우스, 온실 및 축사의 출입문과 창문을 닫고 외부 공기와 접촉을 가능한 적게 할 것 ○ 방목장의 가축은 축사 안으로 신속히 대피시켜 황사 노출 방지 ○ 야적된 사료용 건조, 볏짚 등을 비닐, 천막 등으로 덮기

식품의약품안전처

- 미세먼지 대응 측정법 및 분석기법 개발을 통해 선도적 대응체계 확보
- 식품에서의 미세먼지 오염 수준 분석에 의한 객관적인 자료 생산
- 국민 다소비 식품(대기노출 식품 중심으로)의 식품학적 안전성 확보
- 미래지향적 식품안전관리 체계 확보로 국가 위상 제고
- 대기노출 식품에 대한 취약성 평가를 통한 미세먼지 대응 식품안전기술 개발의 근거 마련
- 미세먼지 대응 건조식품 제조환경에 대한 생산자 인식 및 행동 변화 제고를 위한 지침 제시
- 대기노출 식품에 대한 위생관리 매뉴얼 및 포스터 배포와 위생교육을 통한 대국민 인식 제고
- 불확실성이 높은 미래 환경에 대한 적극적인 대응기술 개발을 통해 식품안전에 대한 국민 신뢰성 확보

[14] 기대 효과

기술적 측면

- 농산물 생산·유통·소비단계에서 전주기적으로 미세먼지 안전관리 기술 및 저감화 방법 개발
- 미세먼지 중 유해물질 분석법 및 검출법을 확립, 농산물 생산·유통·소비 단계에서 전주기적 저감기술 개발
- 미세먼지에 포함된 신종·잠재 유해물질을 관리할 수 있는 농산물 안전성관리 제도마련 지원 및 전국적인 모니터링 실태 조사로 저감 대책 정책 수립의 자료로 활용
- 식품에서의 미세먼지 분석 기술 확립으로 식품에서의 미세먼지 오염현황 분석 기술 개발
 - 미세먼지에 흡착된 건조식품을 사전 분석하고 모니터링 체계를 구축함으로써 식품위생에 안전성 향상
- 미세먼지에 흡착된 건조식품에 대한 안전관리 기술 고도화 및 식품 신뢰도 향상
 - 다부처/기관 간 기술협력 및 교류 활성화를 통해 미세먼지에 흡착된 건조식품에 대한 안전관리 기술 고도화 달성
 - 식품에 대한 미세먼지 피해를 선도적으로 연구·개발함으로써 대국민 안전성 및 신뢰도 향상

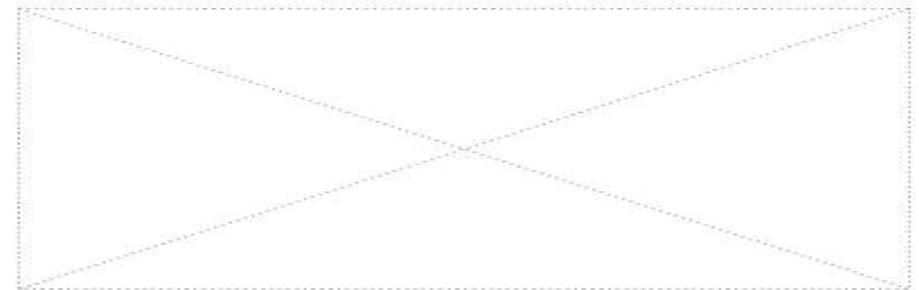
경제적 측면

- 미세먼지로부터 안전한 농산물 생산·유통·소비 기술 개발로 미세먼지에 의한 피해 비용 최소화
- 미세먼지에 포함된 신종·잠재 유해물질 위해평가 및 저감기술 선진화 → 국민들이 신뢰하는 농축산물 안전관리
- 조기사망, 호흡기질환 등 건강취약계층의 사회적 건강 피해비용 개선
- 대기노출 식품에 대한 미세먼지 분석법 및 모니터링 체계 구축을 통해 관련 산업계 투자 활성화 유도
- 건조식품 제조환경 미세먼지 모니터링 체계 구축을 통한 정보공개로 대기환경 관련 파생산업 유치·확대 유도
- 유해식품에 대한 사회적 건강 피해비용 개선
- 국민 다소비 식품의 안전성 확보로 생산업자의 경제적 이익 수호

사회적 측면

- 농업현장에서 활용할 수 있는 미세먼지 관리 가이드라인을 개발 및 보급하여 안전한 농산물 생산환경 조성
- 과학적인 근거로 농축산물 안전사고 발생 시 대응 → 재난상황 신속한 극복 및 국민들의 불안감 해소
- 농업환경에 대한 위해요인 실태조사 및 저감기술 현장 적용으로 새로운 일자리 창출
- 대기노출 식품에 대한 미세먼지 분석법 및 모니터링 체계 구축을 통해 국민 안전성 및 신뢰성 향상
- 미세먼지에 대한 제조환경 모니터링을 통해 유해식품 규정에 대한 기반 자료 확보 및 통계적 신뢰성 확보
- 미세먼지에 오염되지 않은 식품 유통으로 사회적인 식품안전 확보
- 미세먼지에 대한 국민의 신뢰감 확보

<그림 112. 농식품의 위해요소 관리 패러다임 전환 >



[14] 성과 지표 및 목표

☐ 「국가연구개발사업 표준성과지표(2013, 국가위)」 및 농촌진흥청 성과관리 통합지표(2018, 농진청)을 참고하여 성과목표와 지표설정

- 성과목표와의 관련성, 핵심성을 고려하여 성과지표를 설정
 - 핵심지표는 결과지표 위주로 설정하고, 핵심지표 가중치의 최소값이 일반지표의 최대값보다 크고 핵심지표 가중치의 합이 60% 이상이 되도록 설정

<표 35. 성과지표별 목표치 설정>

성과지표	지표 유형	가중치	성과 목표치			측정산식 또는 측정방법	자료수집 방법/출처
			'18	'19	'20		
① 미세먼지 관련 정책제안	핵심	40	1	2	2	기관(담당 부서) 심의회를 통과하고 정책사업 부서에 제출된 정책자료 건수	제출자료 및 공문 등 (성과활용심의회)
② 농산물 안전관리지침 설정 및 보급	핵심	30	-	1	2	책자, 매뉴얼, 팜플렛 등 정부간행물 발간수	근거자료 및 공문 등 (성과활용심의회)
③ 대국민 홍보성과	일반	20	50	80	100	홍보성과 지수 = $\sum[(A\text{매체} \times \text{가중치}) + (B\text{매체} \times \text{가중치}) + \dots]$ ※ 농진청 성과관리 통합지표(2018) 참조	언론매체 발표된 최종 홍보물
④ SCI논문 표준화된 순위보정영향력지수(mrnIF)	일반	10	-	80	80	$\text{mrnIF} = 100 \times (N \times \text{rnIF} - 1) \div (N-1)$ ※ N=해당 분야내 저널 수, rnIF=순위보정영향력지수	연구재단 D/B 등 (NTIS논문검증기)

* 지표유형은 핵심지표와 일반지표로 구분하고 성과지표 가중치의 합은 100

- 1) 핵심지표 : 사업의 궁극적 목적달성을 측정할 수 있는 주 지표,
- 2) 일반지표 : 사업의 목적달성을 간접적으로 측정할 수 있는 보조지표

[15] 평가 기준 및 절차

☐ 국가연구개발사업 지침에 따라 평가위원회를 구성하고 성과 달성도 기반 객관적 평가

- 외부전문가 위주의 평가위원회(5~10인)를 구성하여 질적성과 중심의 평가

<표 36. 평가항목 및 평가지표 >

구분	평가항목	평 가지 표	배점
달성	정량적 성과 달성도	<ul style="list-style-type: none"> 연초에 목표로 했던 목표를 달성하였는가? 달성된 연구개발물이 질적으로 우수한가? 	30
내용	R&D사업 운영의 충실성	<ul style="list-style-type: none"> 사전에 수립된 전략대로 실행되었나? 환경변화에 적절한 대응이 이루어졌는가? 관련기관 및 산업계, 타 연구주체와의 협력 노력은 충분하였는가? 	15
관리	R&D사업 관리의 적절성	<ul style="list-style-type: none"> 사업 운영을 위한 과제 세부과제 선정, 평가 등 운영은 적절하였는가? 당초 예상 되었던 문제점들이 해결되었는가? 	15
성과	성과의 효율성	<ul style="list-style-type: none"> 결과활용의 효과/효율성 결과도출을 하였는가? 	20
	성과결과 활용성	<ul style="list-style-type: none"> 수요자의 요구에 맞는 성과의 활용성을 창출하였는가? 	20
감점		※ 불량완결·미흡 세부과제 발생비율 5% 이상시 감점 부여	-
합 계			100

제5장. 기대성과

1. 성과 지표 및 목표

- 「국가연구개발사업 표준성과지표(2013, 국과위)」를 기반으로 국민이 체감할 수 있는 결과물을 도출할 수 있는 관련성을 고려하여 성과 지표 마련
 - 리빙랩 등 사업 실증화
 - 미세먼지 관리, 식재 기반기술 및 애그리텍처 등 가이드라인 마련
 - 미세먼지 관리 평가 방법의 표준화 개발
 - 사용자 중심의 플랫폼 구축
 - 사용자, 시민단체, 전문가, 기업, 정부기관 대상 리빙랩 운영위원회 개최
 - 사용자의 미세먼지 관리 실태 및 미세먼지 개선 관련 설문조사 실시
 - 미세먼지 저감 효과 우수 식물 발굴 및 선정
 - 미세먼지 저감 공간별 식재 모델 개발
 - 공간별 현장시범 적용
 - 인공지능과 사물인터넷 적용한 미세먼지 청정 스마트 모니터링/유지관리 시스템 구축
 - 가축분뇨 퇴비화 전 과정에서 암모니아, 미세먼지 전구물질 등 미세먼지 발생잠재량 산정결과 제시
 - 미세먼지 관련 정책 제안
 - 안전관리지침 설정 및 보급
 - 대국민 홍보
 - 표준화된 순위보정영향력지수기반 학술논문 게재

2. 평가 기준 및 절차

- 국가연구개발사업 지침에 따라 평가위원회를 구성하고 성과 달성도 기반 객관적 평가
 - 외부전문가 위주의 평가위원회(5~10인)를 구성하여 질적성과 중심의 평가
 - 미세먼지 리빙랩 사업의 현장 실증 실적
 - 미세먼지 관리 가이드라인 마련 및 관련 공청회
 - 미세먼지 관리 평가 방법의 표준 규격 제안
 - 미세먼지 리빙랩 플랫폼 시제품 구비
 - 리빙랩 운영위원회 구성 및 활동
 - 사용자 미세먼지 관리 실태 및 개선 정도 파악 설문조사

- 소규모 거리형 공기청정타워 현장적용 및 설치 전후 미세먼지(PM10/2.5) 측정
- 미세먼지 청정 스마트 시스템 현장적용 및 설치 전후 미세먼지(PM10/2.5) 측정
- 가축분뇨 퇴비화 과정에서의 미세먼지 발생잠재량 산정결과와 감소기술 제시 여부
- 과제 선정, 관리, 평가시 국민체감형 연구과제 취지에 맞도록 국민의 의견이 반영될 수 있도록 함
- 연구성과전시회, 연구자워크숍, 대국민 홍보 등 국민들과의 상시 소통 창구 마련

<표 37. 평가항목 및 평가지표의 예 >

구분	평가항목	평가 지표	배점
달성	정량적 성과 달성도	<ul style="list-style-type: none"> • 연초에 목표로 했던 목표를 달성하였는가? • 달성된 연구개발물이 질적으로 우수한가? 	30
내용	R&D사업 운영의 충실성	<ul style="list-style-type: none"> • 사전에 수립된 전략대로 실행되었나? • 환경변화에 적절한 대응이 이루어졌는가? • 관련기관 및 산업계, 타 연구주체와의 협력 노력은 충분하였는가? 	15
관리	R&D사업 관리의 적절성	<ul style="list-style-type: none"> • 사업 운영을 위한 과제 세부과제 선정, 평가 등 운영은 적절하였는가? • 당초 예상되었던 문제점들이 해결되었는가? 	15
성과	성과의 효율성	<ul style="list-style-type: none"> • 결과활용의 효과/효율성 결과도출을 하였는가? 	20
	성과결과 활용성	<ul style="list-style-type: none"> • 수요자의 요구에 맞는 성과의 활용성을 창출하였는가? 	20
감점		※ 불량완결미흡 세부과제 발생비율 5% 이상시 감점 부여	-
합 계			100

제6장. 사업추진 체계 및 운영방안

- 사업추진 주체는 다부처 기반 사업단이며, 실내미세먼지 저감관리, 도심지역미세먼지 저감관리 농축산 미세먼지 저감관리 연구단을 구성하고 연구단별 연구팀을 구성함

□ 사업운영 형태

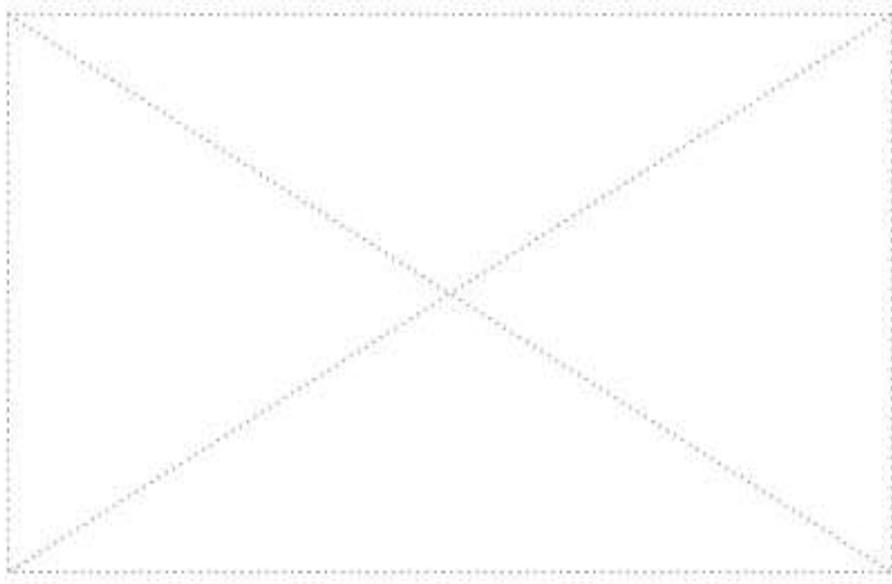
사업단 직속의 운영위원회와 자문위원회를 구성하여 부처간 공동협력을 보조함

- 사업단 : 사업 운영 및 관리 총괄

사업단은 사업 전반의 운영, 관리, 이견 조율 등을 통한 컨트롤타워 역할을 함

- 운영위원회 : 국민체감형 사업의 추진계획 수립 및 운영 실무
 - 운영위원회는 참여부처 담당자(공무원), 부처별 전문관리기관 담당자, 협력사업의 코디네이터 및 관련부처 추천 민간 전문가로 구성
 - 개별부처의 사업계획 및 운영실적 취합. 사업계획 및 예산계획을 사전 심의 등의 실무담당
- 기술자문위원회 : 기술기획 및 평가과정에서 기술자문
 - 각 부처의 미세먼지기술관련 전문인력 pool 활용. 사업선정/평가시 기술자문 역할

<그림 113. 연구개발 사업단 조직도(예)>



□ 사업 관리방안

- 과제의 선정, 관리, 평가시 국민체감형 연구과제 취지에 맞도록 국민의 의견이 반영될 수 있도록 함
- 연구성과전시회, 연구자워크숍, 대국민 홍보 등 국민들과의 상시 소통 창구 마련
- 세부사업에 대하여 연구책임자가 제시한 목표의 달성도뿐만 아니라 국민호응도에 대한 평가 실시
- 마일스톤을 반영한 평가(연차실적보고서 점검)를 통해 차년도 연구내용 및 연구비를 조정
- 연차 평가시에 국민체감도를 고려하여 차년도 계획에 반영

제7장. 투자 계획

1. 총괄예산

<표 38. 6개 대상 연구개발 사업 총괄 예산>

사업명	구분	2019년	2020년	2021년	계(억원)
1. 학교와 어린이집 등 어린이 이용시설의 미세먼지 실증 리빙랩 사업	정부	30	30	40	100
	민간	-	-	-	-
	계	30	30	40	100
2. 미세먼지 저감을 위한 생활공간별 그린인테리어 개발	정부	7.5	10	10	27.5
	민간	-	-	-	-
	계	7.5	10	10	27.5
3. 식물활용 미세먼지 저감 기술개발 및 실증	정부	10	20	20	50
	민간	-	-	-	-
	계	10	20	20	50
4. 도심 내 미세먼지 저감 기술 개발 및 실증	정부	18	9	9	36
	민간	-	-	-	-
	계	18	9	9	36
5. 가축분뇨 퇴비화처리 과정에서의 미세먼지 저감기술 개발	정부	10	10	10	30
	민간	-	-	-	-
	계	10	10	10	30
6. 미세먼지에 안전한 농산물 생산·유통·소비기술 개발	정부	12	12	12	36
	민간	-	-	-	-
	계	12	12	12	36
합계	정부	87.5	91	101	279.5
	민간	-	-	-	-
	계	87.5	91	101	279.5

2. 연차별 및 비목별 예산 (단위 : 백만원)

<표 39. 6개 대상 연구개발 사업 연차별 비목별 예산>

사업명	내용	2019년	2020년	2021년
1. 학교와 어린이집 등 어린이 이용시설의 미세먼지 실증 리빙랩 사업	리빙랩 구현을 위한 학교 생활환경 정보 수집 통합 플랫폼 개발	1,000	-	-
	리빙랩 운영기술 개발 및 개방형 피드백 기술 개발	500	-	-
	리빙랩 시범 운영	1,200	-	-
	어린이 이용공간 빅데이터 적용기술 개발	200	-	-
	어린이 이용공간의 공기질 특성 해석	100	-	-
	실증 평가 플랫폼 구축	-	600	-
	리빙랩 현장 실증 운영	-	1,500	-
	리빙랩 운영기술 개발	-	300	-
	미세먼지 노출 및 저감특성 데이터베이스화	-	200	-
	빅데이터 적용 해석 기술 개발	-	200	-
	제어장치 적용 공기질 수치해석	-	100	-
	실환경 기준 개발	-	100	-
	실증 평가 플랫폼 보완	-	-	600
	리빙랩 현장 실증 추가 운영	-	-	2,000
	미세먼지 노출 및 저감특성 데이터베이스화	-	-	200
	리빙랩 운영기술 개발	-	-	300
	미세먼지 관리 콘테스트	-	-	100
	유지관리 체계 마련	-	-	300
	실내공기질 관리 가이드라인 개발	-	-	100
	표준화 개발	-	-	100
빅데이터 적용 최적화 통합 기술 개발	-	-	200	
최적화 해석	-	-	100	
합계		3,000	3,000	4,000
2. 미세먼지 저감을 위한 생활공간별 그린인테리어 개발	미세먼지 저감효과 우수 자생식물 발굴 및 선정	200	-	-
	자생식물의 미세먼지 제거 메커니즘 구명 연구	150	-	-
	미세먼지 저감에 적합한 식물을 활용한 제품 개발 및 규격화 연구	100	-	-
	생활공간별 미세먼지 저감에 효과적인 식물 선발	40	-	-
	공간별 적정 배치방법/도입량 구명	60	-	-
	학교 공간 미세먼지 저감을 위한 최적 식물 및 도입량 설정	50	-	-
	식물을 활용한 환경+IT 교육 활용 방안	70	-	-
	지하공간 특성에 맞는 공기정화식물 배치 및 양 구명	80	-	-
	미세먼지 저감효과 우수 자생식물 발굴 및 선정	-	200	-
	자생식물의 미세먼지 제거 메커니즘 구명 연구	-	100	-
생활공간에 적합한 식물을 활용한 미세먼지 저감 녹화 모듈 개발	-	200	-	
미세먼지 저감에 적합한 식물을 활용한 제품 개발 및 규격화 연구	-	100	-	
생활공간별 그린인테리어 설정	-	50	-	
공간별 그린인테리어 개발	-	100	-	

	교실 내 식물 배치 모델 개발	-	80	-
	식물을 활용한 환경+IT 교육 효과 구명	-	70	-
	지하철 역사 내 식물을 이용한 미세먼지 저감 방법 구명	-	100	-
	미세먼지 저감효과 우수 자생식물 발굴 및 선정	-	-	100
	자생식물의 미세먼지 제거 메커니즘 구명 연구	-	-	100
	생활공간에 적합한 식물을 활용한 미세먼지 저감 녹화 모듈 개발	-	-	100
	미세먼지 저감에 적합한 식물을 활용한 제품 개발 및 규격화 연구	-	-	200
	생활공간별 그린인테리어 모델 개발	-	-	150
	공간별 그린인테리어 현장 적용	-	-	150
	학교 그린인테리어 모델 개발	-	-	100
	학교 그린인테리어 현장 적용	-	-	50
	식물 활용 지하공간 미세먼지 저감 시스템 개발	-	-	50
	합계	750	1,000	1,000
	3. 식물 활용 미세먼지 저감 기술개발 및 실증	미세먼지 저감 식물연구	650	-
식재 모델 적용을 위한 미세먼지 저감 우수식물 선발		100	-	-
미세먼지 저감을 위한 식재 모델 개발		100	-	-
미세먼지 저감 식물제품 개발 및 규격화 연구		150	-	-
식물활용 저감기술 실증 연구		-	1,050	-
식재 시스템의 지속적인 모니터링		-	100	-
현장 적용 및 평가		-	100	-
가이드라인 개발 및 설명회		-	100	-
미세먼지 저감 식재 구조 및 생육 시스템 개발		-	100	-
테스트베드 조성		-	100	-
ICT기반의 스마트정원 개발 연구		-	300	-
모니터링 기반 구축		-	150	-
식물활용 저감기술 실증 연구		-	-	1,200
식재 시스템의 지속적인 모니터링		-	-	150
ICT기반의 스마트정원 개발 연구	-	-	300	
현장 적용 및 평가	-	-	200	
가이드라인 개발 및 설명회	-	-	150	
합계	1,000	2,000	2,000	
4. 도심 내 미세먼지 저감 기술 개발 및 실증	도로시설물 기반 미세먼지 측정·저감·관리 기술 개발 및 시제품 제작	900	-	-
	시제품 제작·인증 및 실증	900	-	-
	요소기술 검증 및 고도화	-	400	-
	도로교통관리 시스템 연계 방안 및 운영기술 개발	-	500	-
	미세먼지저감기술 도로(교통) 시설물 현장 적용 및 실증	-	-	900
	합계	1,800	900	900
5. 가축분뇨 퇴비화처	가축분뇨 처리과정에서의 미세먼지 감소기술 개발	200	-	-
	미세먼지 발생감소를 위한 퇴비화기술 개발	200	-	-

리 과정에서 의 미세먼지 저감기술 개발	가축분뇨 퇴비화 처리과정별 암모니아, 황 화합물, 질소 화합물 발생량 분석	200	-	-
	가축분뇨로부터 발생하는 암모니아, 질소 화합물, 황 화합물 등의 발생 절대량을 산정	200	-	-
	축산시설 미세먼지, 암모니아 배출 인벤토리 구축	200	-	-
	초미세먼지 발생 관련 암모니아, 황화합물, 질소화합물 감소기술 개발	-	700	-
	축종별 축사유형별 미세먼지, 암모니아의 배출 인벤토리 구축리빙랩 현장 실증 운영	-	300	-
	초미세먼지로의 전환율 및 발생량 감소 기술 개발	-	-	700
	미세먼지, 암모니아 확산 저감을 위한 방풍 시설 및 방풍림 설계 가이드라인 제시	-	-	300
	합계	1,000	1,000	1,00
6.미세먼 지에 안전한 농산물 생산·유통· 소비기술 개발	① 미세먼지에 노출된 농산물의 유해화학물질 오염실태조사	350	-	-
	② 미세먼지에 노출된 농산물의 유해미생물 오염실태조사	250	-	-
	③ 식물체 표면 침적 오염물질의 미세먼지 유래 규명 연구 기반 조성	150	-	-
	④ 미세먼지 유래 유해 화학물질의 농작물 흡탈착에 대한 연구	150	-	-
	⑤ 미세먼지에 노출된 농작물의 유해 화학물질 관련 내성 유전자원 탐색	100	-	-
	⑥ 유통·소비 단계 식품에서의 미세먼지 분석 법 개발 (식약처)	110	-	-
	⑦ 미세먼지 분석을 위한 청정식품 대조군 제 조 및 분석법 확립 (식약처)	90	-	-
	① 농산물 생산단계에서 미세먼지 유래 화학물 질의 흡수·이행 평가 및 저감화 기술 개발	-	350	-
	② 미세먼지 중 유해미생물 생존 평가 및 저감 화 기술 개발	-	250	-
	③ 지역별 식물체 표면 침적 오염물질의 미세먼 지 유래 규명	-	150	-
	④ 미세먼지 유래 유해 화학물질의 농작물 흡탈 착에 대한 연구	-	150	-
	⑤ 빅데이터 분석기법을 활용한 유해화학물질 내 성 관련 유전자 탐색	-	100	-
	⑥ 미세먼지 오염 수준이 높은 국민 다소비 식 품에 대한 모니터링 (식약처)	-	200	-
	① 농산물 유통·소비단계에서 미세먼지 유래 화학물질의 안전관리 기술 개발 및 가이드라인 제시	-	-	350
	② 농산물 중 미세먼지 유래 유해미생물 안전 관리 가이드라인 제시	-	-	250
③ 계절별 농작물 표면 침적 오염물질의 미세먼 지 유래 규명	-	-	150	
④ 미세먼지의 농작물 흡탈착에 대한 연구	-	-	150	
⑤ 미세먼지 유래 유해 화학물질의 내성 농작물 육성 및 재배 가이드 라인 도출	-	-	100	

	⑤ 식품군별 위해도 예측모델 개발 및 식품 중 미세먼지 오염 저감화 기술개발 (식약처)	-	-	200
	합계	1,200	1,200	1,200