

발간등록번호

11-1543000-000933-01

농림축산식품 미생물 유전체 R&D 중장기계획

총괄본

2015. 7



농림축산식품

미생물유전체전략연구사업단

Strategic Initiative for Microbiomes in Agriculture and Food

요 약 문

I. 미생물 유전체 연구개발 개요

- **(미생물 유전체란)** 미생물 내에 존재하는 모든 유전 정보를 의미하는 것으로 대부분 DNA로 저장되어 있으며, 일부는 RNA로 저장되어 있음
 - 미생물은 고부가가치 경제적 이윤을 창출할 수 있는 핵심 생물소재로, 최근 유전체 정보를 활용한 기술이 발달함에 따라 농림, 축산, 식품, 동식물 등 모든 분야에서 다양하게 활용되고 있음
- **(연구개발의 범위)** 본 미생물 유전체 연구개발은 농림축산식품 분야에서 활용할 수 있는 미생물을 대상으로 하고 있으며, 다양한 산업 및 제품에 관련 기술이 활용되고 있음
 - 이에 따라, 미생물 유전체 정보를 자원화하고 실용화·산업화로 연계하여 생명산업과 바이오경제 활성화에 기여하고자 함
 - 농림: 미생물비료, 미생물농약, 농업환경개선제, 살충제, 살균제 등
 - 축산: 사료첨가제, 면역증강제 등
 - 식품: 전통발효식품(김치, 주류, 장류 등), 버섯류, 요구르트, 유산균, 발효버터 등
 - 병리: 식물병원균(진균, 세균, 바이러스), 동물병원균(세균, 진균), 항진균제 등
- **(중장기계획 수립의 배경)** 바이오산업을 활성화 시키고 농림축산식품 분야의 국가경쟁력을 증진시키기 위한 종합적이고 포괄적인 미생물 유전체 연구개발이 필요함
- **(중장기계획 수립의 목적)** 글로벌 농림축산식품 트렌드에 대응하고, 우리나라 미생물 유전체 R&D가 나아가야 할 비전과 전략목표를 설정하고 국민 건강 증진과 풍요로운 국민 삶에 기여할 수 있는 미생물 유전체 R&D 중장기(2014~2021) 기술전략 및 세부 실행체계 구축
- **(중장기계획의 범위)** 농생명 유용 미생물의 유전체 해독·분석·활용 기술의 국내 연구역량을 강화하는 동시에 산업화·실용화 가능한 전략 미생물 개발
 - 미생물 유전체 연구기반 구축 - 미생물자원 발굴 및 확보 - 미생물의 실용화·산업화에 이르는 미생물 유전체 분야의 전주기적 연구개발 중장기계획 수립

II. 국내의 미생물 유전체 연구개발 환경분석

- 미생물 유전체와 관련한 국내외 정책, 산업, 연구개발 분야의 환경분석을 통해 미생물 유전체 연구개발 동향을 파악함
- 해외 선진국들의 대규모 투자와 미생물 자원의 국가자원화에 대응하기 위해 미생물 유전체 연구에 대한 중장기적 투자가 필요함
- 세계적 유전체 연구의 패러다임 변화에 맞춰 다각적이고 고도화된 미생물 유전체 연구가 필요함
- 우리나라 농림축산식품 분야 산업계 기술개발 수요조사 결과, 면역증강제, 프로바이오틱스, 미생물융복합소재의 기술개발 수요가 높은 것으로 나타남



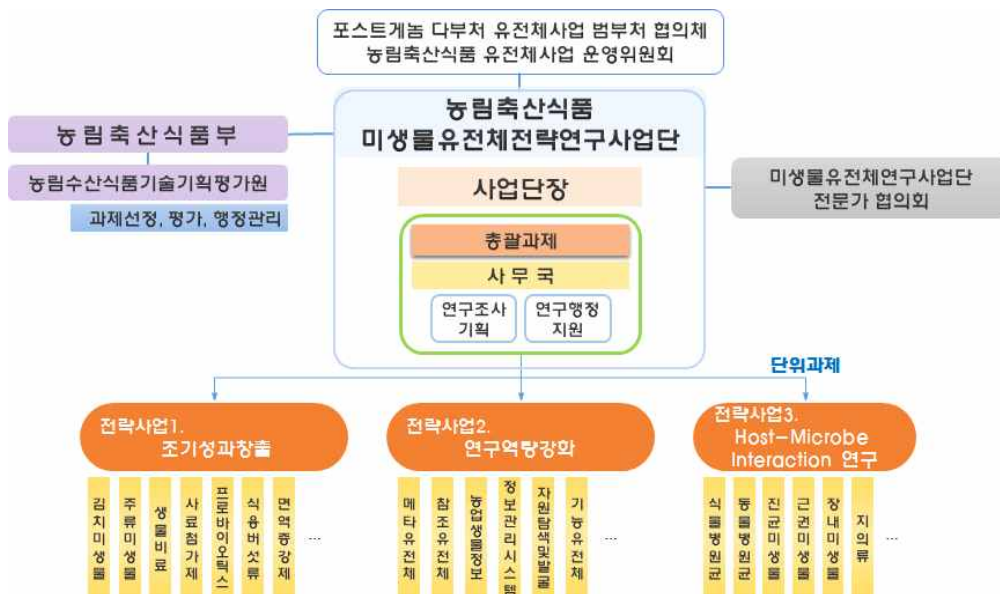
III. 미생물 유전체 연구개발 추진방향

- 국내 역량(강점, 약점)과 외부 환경변화(기회요인, 위협요인) 진단을 통한 미생물 유전체 연구개발 추진의 4가지 기본방향 선정
- 1. 전략미생물 국가자원화를 통한 우리나라 미생물자원 주권확보
- 2. 조기 실용화·산업화 달성을 통한 국가 산업경쟁력 강화
- 3. 미생물 유전체 연구역량 강화를 통한 미생물 유전체 정보 활용 확산
- 4. 부처간 연계·협력을 통한 연구개발 성과를 극대화

- (추진전략) 연구개발의 4가지 기본방향을 바탕으로 3가지 추진전략과 목표, 비전을 수립



- (추진체계) 사업단과 사업단장을 중심으로 미생물 유전체 R&D를 추진하며 상위기관의 사업기본방향을 바탕으로, 사무국, 사업단 협의회, 전문기관과 협조체계 구축



IV. 전략사업별 추진전략

□ (추진전략 1) 조기성과 창출형 미생물 유전체 핵심 전략 연구

- 전략사업의 정의: 유전체 정보를 바탕으로 유용미생물의 작용기작규명, 최적 발효 공정 및 제제 기술 개발등을 통하여 글로벌 경쟁력을 가지는 농림축산식품 미생물 유전체 실용화 사업
- 전략사업의 범위: 유용미생물 발굴, 신규생물검정기술개발, 유전체 분석/활용 기술 개발, 활성물질 규명, 발효공정 개발, 제제기술 개발, 안전성 시험
- 전략목표: ① 유용 미생물자원 발굴, ② 산업화 전략 미생물 유전체 해독, ③ 전략 미생물/유전체 자원 사업화
- 중점분야: 외부 환경분석을 통한 미래사회 수요 중심의 중점 분야 도출
 - (식품미생물) 김치, 주류, 장류, 염장류
 - (농림미생물) 작물 병해충 방제제, 미생물비료, 농업환경개선제
 - (축산미생물) 사료첨가제, 면역증강제
 - (기능성미생물) 프로바이오틱스, 식용 및 약용버섯류

최종목표		미생물 유전체를 활용한 산업화 지원							
단계/기간		1단계				2단계			
단계별 목표		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
미생물 유전체 분야	김치	유용 미생물 유전체 발굴				미생물 활용 사업화			
	주류	우수 유산균 선별, 분석	선발 유산균 개량	선발 유산균 효능 평가	프로바이오틱스 상품화				
	장류	유용 양조미생물 자원 확보 및 유전체 해독	유용 중균의 표준화 기술 개발	양조미생물 유래 유용물질 생산 최적화	양조미생물 자원의 산업화				
	염장류		발효 우수 균주 선별	균주 개량 및 검증	개량균주 활용 장류 산업화				
	미생물농약		우수 젖갈 미생물 확보	오믹스 기술을 이용한 젖갈 중균 개량	고품질 염장 제품의 산업화				
	미생물비료	미생물 유전자원 확보	유용 미생물 발굴 및 유전체 해독	물질규명 및 미생물 농약 후보물 도출	미생물농약 산업화				
	농업환경개선제		유도 검정을 통한 우수 균주 선별	미생물 비료 활용기술 개발	미생물비료 산업화				
	사료첨가제		축산환경 미생물 확보	유전체 및 메타게놈 분석	환경미생물 제제 개발 및 산업화				
	면역증강제	축산 미생물	생균제 균주 유전체, 대사체 분석 및 대량생산	박테리오파지 유전체, 대사체 분석 및 대량생산					
	프로바이오틱스	건강 기능성		면역증강 미생물 및 유전체 확보	면역증강 소재 대량생산/사업화				
식용 및 약용버섯류			우수 균주 선별 및 활성성분 탐색	유전체 분석 및 활성유전인자 분석	인체 적용시험 및 제품개발				
			핵심 집단비교 유전체 분석	교배집단 유전체 분석	산업적 활용기술				

□ (추진전략 2) 목적지향적 미생물 유전체 연구역량 강화

- 전략사업의 정의: 농업 유용 미생물 유전체 연구의 국제 경쟁력 제고 및 목적지향적 바이오산업의 응용 역량 강화를 목표로 농업적 활용가치가 높은 미생물 유전체 정보의 자원화를 추구하는 연구사업
- 전략사업의 범위: 유용 미생물 자원 탐색 및 발굴, 메타유전체·참조유전체 분석, 다중오믹스 분석, 빅데이터 분석·관리기술 개발, 유용유전자 확보 및 융복합 소재 개발
- 전략목표: ① 생명자원 유전체 정보 생산 및 확보, ② 유용 미생물 발굴 및 산업화 지원, ③ 미생물 유전체 분석기술 고도화
- 중점분야: 농업 미생물 유전체 연구역량 강화를 위한 지원이 필수적인 중점분야 도출
 - 비교메타유전체 연구를 통한 유용 마이크로바이옴 및 유전자풀 분석
 - 오믹스 분석 연구에 참조할 수 있는 고품질 참조유전체 개발
 - 빅데이터 활용 기술 개발 및 사용자 편의 프로그램 개발
 - 다중 오믹스(전사체/대사체 통합) 분석 시스템 구축
 - 유전체 정보 기반 미생물 융복합소재 개발

최종목표		농식품 미생물 유전체 연구 기반 구축 및 미생물 유전체 정보 자원화								
단계/기간		중분류	1단계				2단계			
단계별 목표			2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
유전체	미생물자원 탐색 및 발굴	메타 유전체	유용 미생물 유전체 빅데이터 확보				유전체 정보 기반 유용 유전자 발굴			
	메타유전체 정보 분석		미생물자원 분자생태학 탐색	환경유전체 분리 기술 확보	메타유전체 분석 기술 확보	비교메타유전체 분석	메타유전체 정보망 구축	유용 효소 등 생산성 검증		
	세균 표준유전체	참조 유전체 및 오믹스	유용 세균 유전체 서열 확보	유용 세균 유전체 정보 분석	유용 세균 유전자 발굴					
	진균 표준유전체		균주 동정 및 분류 기술 확보	유용 진균 유전체 서열 확보	유용 진균 유전체 정보 분석	유전체 정보 산업화 지원				
	비교유전체		미생물 유전체 비교 분석	미생물 유전체 진화 분석	유전체 진화 모델 구축					
	전사체/대사체		전사체/대사체 프로파일링	다중오믹스 연계 기술 개발	오믹스 정보 산업화 지원					
	빅데이터 활용	생물정보 분석	정보 분석 파이프라인 구축	정보 처리 프로그램 개발	빅데이터 처리 기술 개발	빅데이터 활용 산업화 지원				
	정보통합관리시스템		유전정보 표준화 기술 개발	통합정보시스템 DB 구축	정보 서비스 인프라 활용					
	유용 유전자 활용		오믹스 분석기반 유전자 탐색	유전체공학 기반 기술 개발	현장 적용 기술 개발					
	융복합 소재 개발		타깃/바이오마커 탐색/개발	바이오 센서 연계 기술 개발	BT/CT 융합 기술 개발					

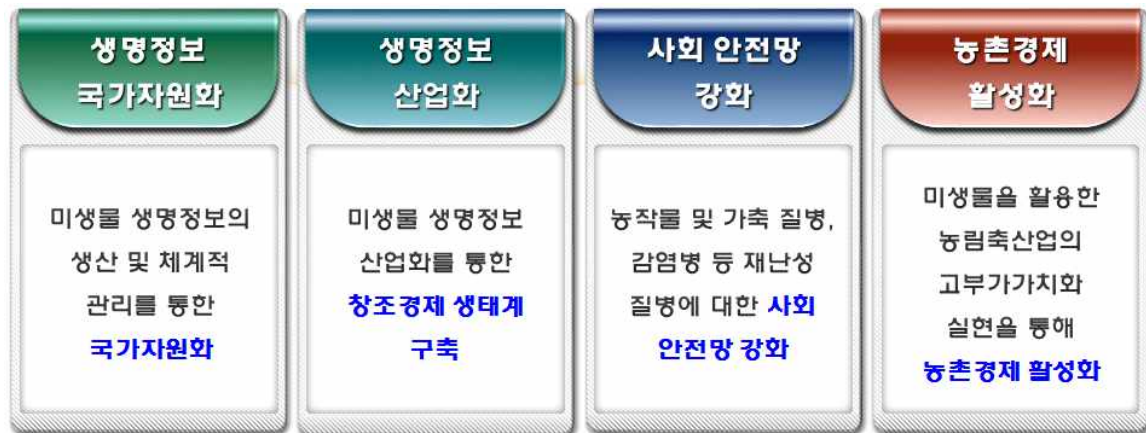
□ (추진전략 3) Host-Microbe Interaction 연구

- 전략사업의 정의: 농작물과 경제동물의 생산성에 영향을 끼치는 병원성, 독성, 공생 미생물 집단의 유전체 연구
- 전략사업의 범위: 유해·공생 미생물(진균, 세균, 바이러스)의 유전체 연구를 바탕으로 기주(숙주)-미생물 상호작용 차원의 발병 및 공생 메커니즘 규명, 농작물과 가축 질병의 방제 관련 기초 정보 제공 및 방제 기술 확보
- 전략목표: ① 기주-미생물 상호작용 유전체 연구, ② 유전체 기반 제어 및 활용기술 개발, ③ 산업화 적용 가능한 정보 및 기술 제공
- 중점분야: 국내 주요 농작물 및 가축질병의 경제·사회적 심각성, 잠재적 위험성, 국내 연구진의 역량, 성과물의 실용적 가치 등을 분석하여 도출
 - (유해미생물) 주요 농작물과 가축 질병 원인균
 - (유용미생물) 식물근권미생물, 장내미생물, 지의류
 - (Interactome) 기주-미생물 상호작용 유전체
 - (진단 및 제어) 대상 미생물 진단법, 제어법

최종목표		기주-미생물 상호작용 유전체 활용 질병 제어 및 활용 기술 개발							
단계/기간	중분류	1단계				2단계			
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
단계별 목표		상호작용 미생물 유전체 확보				상호작용 기작 기반 실용화 기술 개발			
핵심 분야	유해 미생물	식물병원성곰팡이	공기전반 진균 유전체 해독	발병 관련 전사체 해독	병원성 관련 조절 체계 구축	항진균제 후보물질 발굴			
		식물병원성세균	병원성 세균 유전체 확보	밀도 인식 기작 규명	진단 및 제어 기술 개발				
		식물병원성 바이러스	라이브러리 구축 및 분석	유전체 연구 모듈 개발	진단 및 제어 기술 개발				
		동물병원성 곰팡이	변이군 라이브러리 구축	유전자 상호작용체 분석	독성유전자 기반 실용화				
	농림 유용 미생물	동물병원성세균	병원성 세균 유전체 확보	병원성 인자 분석	상호작용체 재해석	질병제어 단백질 백신 개발			
		근권미생물	근권미생물 유전체 분석	메타전사체 분석	근권미생물 산업화 기반 구축				
		장내미생물	변주 동물 위장관 미생물 유전체	생리활성 지표 분석	프로바이오틱스 사업화				
		지의류	지의류 유전체 및 유용 유전자	이형질체 발현 기술 개발	신약 후보 물질 발굴				

V. 기대효과 및 정책적 제언

- (경제적 기대효과) 유용미생물 정보의 체계화, 자원화를 통해 산업화를 지원하고 신 산업기반을 구축
 - 기능성 미생물 개발 및 확보를 통한 관련 산업 발전
- (기술적 기대효과) 빅데이터 기술을 이용한 유전체 정보관리 및 활용체계를 구축하고, 미생물을 활용한 첨단기술을 확보
 - 유전체·오믹스 정보를 활용한 가상적 생물탐사기술 현실화
- (사회적 기대효과) 유용 미생물 자원의 통합관리를 통한 생물자원의 국가자원화를 실현
 - 안전한 농림축산식품 제공을 통한 국가 안정망 구축 및 국민보건 향상에 기여



**미생물 유전체 정보의 적극적 활용을 통한 국가경쟁력 제고를
위해 장기적인 관점에서 체계적인 지원 절실**

목 차

제1장 미생물 유전체 연구개발 개요	3
제1절 미생물 유전체 연구개발 개념.....	3
1. 미생물 유전체 정의.....	3
2. 미생물 유전체 활용범위.....	3
3. 미생물 유전체 중요성.....	4
제2절 미생물 유전체 중장기계획의 배경 및 필요성.....	7
1. 미생물 유전체 연구개발의 필요성.....	7
2. 미생물 유전체 R&D 중장기계획의 필요성.....	9
제3절 농식품 미생물 유전체 R&D 중장기계획의 개요.....	12
1. 농식품 미생물 유전체 R&D 중장기계획 수립의 목적.....	12
2. 농식품 미생물 유전체 R&D 중장기계획의 범위.....	12
3. 농식품 미생물 유전체 R&D 중장기계획의 성격.....	14
제4절 중장기계획 추진경과.....	17
1. ‘농림축산식품 미생물유전체전략연구사업’ 추진경과.....	17
2. 미생물 유전체 R&D 중장기계획 수립 추진 경과.....	17
제2장 미생물 유전체 연구개발 동향	21
제1절 국내외 미생물 유전체 정책동향.....	21
1. 국내 동향.....	21
2. 국외 동향.....	23
제2절 국내외 미생물 유전체 연구 개발 동향.....	28
1. 국내 동향.....	28
2. 국외 동향.....	33
제3절 국내외 미생물 유전체 산업동향.....	38
1. 미생물 유전체 산업동향.....	38
2. 국내 미생물 활용 및 기술개발 수요조사.....	42

제4절 미생물 유전체 기술개발(특허) 동향.....	48
1. [그룹 I] 김치, 유산균 관련 기술개발 동향.....	48
2. [그룹 II] 미생물 대사체 관련 기술개발 동향.....	54
3. [그룹 III] 병원성 미생물 관련 기술개발 동향.....	60
제5절 미생물 유전체 시사점.....	67
1. 정책적 시사점.....	67
2. 산업적 시사점.....	67
3. 기술적 시사점.....	68
제3장 미생물 유전체 연구개발 추진방향.....	71
제1절 미생물 유전체 R&D 추진 기본방향.....	71
1. 미생물 유전체 연구개발 SWOT 분석.....	71
2. 미생물 유전체 R&D 기본방향 도출.....	73
제2절 추진전략.....	76
1. 연구개발 추진 방향.....	76
2. 세부 추진계획.....	78
3. 연구개발의 성과 목표.....	82
4. 전략분야별 역할분담 및 상호연계.....	83
제3절 추진체계.....	85
제4절 전략체계도.....	87
제4장 기대효과.....	91
제1절 경제적 기대효과.....	91
제2절 기술적 기대효과.....	94
제3절 사회적 기대효과.....	97

제5장 정책적 제언	101
1. 미생물 생명정보의 생산 및 체계적 관리를 통한 국가자원화.....	101
2. 생명정보 산업화를 통한 바이오경제 활성화, 창조경제 생태계 구축.....	101
3. 농작물 및 가축질병, 감염병 등 재난성 질병에 대한 사회 안정망 강화.....	101
4. 미생물을 활용한 농림축산업의 고부가가치화 실현을 통해 농촌경제 활성화.....	102

<표 목 차>

[표 1] 미생물 기술발달에 따른 응용분야.....	4
[표 2] 미생물 유전체 R&D 추진 정책적 근거.....	14
[표 3] 기술수요조사 응답기업 통계.....	43
[표 4] 국가차원의 연구개발이 필요한 분야 응답결과.....	43
[표 5] 산업화 촉진을 위한 연구개발 분야 응답결과.....	44
[표 6] 시장/제품 분류 연구개발 수요 응답결과.....	44
[표 7] 기술 분류 연구개발 수요 응답결과.....	45
[표 8] 세부 제안기술 내용.....	46
[표 9] 미생물 유전체 연구개발 SWOT분석.....	71
[표 10] 미생물 유전체 연구개발 SWOT Matrix.....	72
[표 11] 단위과제별 기술수준 목표(연구역량).....	80
[표 12] 단위과제별 기술수준 목표(부처공동).....	82
[표 13] 미생물 유전체 R&D 소요예산(총괄).....	88

<그림 목 차>

[그림 1] 농식품부 유전체 사업추진의 필요성 및 타당성	9
[그림 2] 농식품 미생물 유전체 R&D 중장기계획 범위	12
[그림 3] 미생물 유전체 R&D 중장기계획 연구 프레임워크	13
[그림 4] 미생물 유전체 연구의 비전	14
[그림 5] 중장기계획 수립 추진경과	17
[그림 6] 우리나라 미생물 유전체 연구개발 현황	22
[그림 7] 우리나라 농림축산식품 미생물 유전체 사업 현황	28
[그림 8] 차세대바이오그린 21사업 ‘농용미생물 신규 및 비교 유전체’ 과제	29
[그림 9] 미국 EMP(Earth Microbe Project) 역할	34
[그림 10] 미생물 관련 산업 시장규모	39
[그림 11] 전 세계 대륙별 프로바이오틱(probiotic) 시장전망	41
[그림 12] 시장/제품 분류 연구개발 수요 응답결과	45
[그림 13] 주요출원인 분포(그룹 I)	49
[그림 14] 주요출원인의 연도별 특허출원현황(그룹 I)	49
[그림 15] 주요 출원인의 기술분야별 특허출원현황(그룹 I)	50
[그림 16] 주요출원인의 국가별 특허출원현황(그룹 I)	50
[그림 17] 연도별 특허출원현황(그룹 I)	51
[그림 18] 국제특허분류(그룹 I)	51
[그림 19] 세부 국제특허분류(그룹 I)	52
[그림 20] 국가별 출원 분포(그룹 I)	52
[그림 21] 한국특허청에 출원된 특허의 국가분포(그룹 I)	53
[그림 22] 기술 분포 등고선(그룹 I)	53
[그림 23] 기술 분포 등고선(그룹 I-세부1)	54
[그림 24] 기술 분포 등고선(그룹 I-세부2)	54
[그림 25] 주요출원인 분포(그룹 II)	55
[그림 26] 주요출원인의 연도별 특허출원현황(그룹 II)	55

[그림 27] 주요 출원인의 기술분야별 특허출원현황(그룹Ⅱ).....	56
[그림 28] 주요출원인의 국가별 특허출원현황(그룹Ⅱ).....	56
[그림 29] 연도별 특허출원현황(그룹Ⅱ).....	57
[그림 30] 국제특허분류(그룹Ⅱ).....	57
[그림 31] 세부 국제특허분류(그룹Ⅱ).....	58
[그림 32] 국가별 특허출원분포(그룹Ⅱ).....	58
[그림 33] 한국특허청에 출원된 특허의 국가분포(그룹Ⅱ).....	59
[그림 34] 기술 분포 등고선(그룹Ⅱ).....	59
[그림 35] 기술 분포 등고선(그룹Ⅱ-세부1).....	60
[그림 36] 기술 분포 등고선(그룹Ⅱ-세부2).....	60
[그림 37] 주요출원인 분포(그룹Ⅲ).....	61
[그림 38] 주요출원인의 연도별 특허출원현황(그룹Ⅲ).....	61
[그림 39] 주요 출원인의 기술분야별 특허출원현황(그룹Ⅲ).....	62
[그림 40] 주요출원인의 국가별 특허출원현황(그룹Ⅲ).....	62
[그림 41] 연도별 특허출원현황(그룹Ⅲ).....	63
[그림 42] 국제특허분류(그룹Ⅲ).....	63
[그림 43] 세부 국제특허분류(그룹Ⅲ).....	64
[그림 44] 국가별 출원분포(그룹Ⅲ).....	64
[그림 45] 한국특허청에 출원된 특허의 국가분포(그룹Ⅲ).....	65
[그림 46] 기술 분포 등고선(그룹Ⅲ).....	65
[그림 47] 기술 분포 등고선(그룹Ⅲ-세부1).....	66
[그림 48] 기술 분포 등고선(그룹Ⅲ-세부2).....	66
[그림 49] 미생물 유전체 R&D 기본방향 도출.....	73
[그림 50] 미생물 유전체 연구개발 추진 전략.....	77
[그림 51] 전략분야별 상호연계 방안.....	84
[그림 52] 농림축산식품 미생물유전체전략연구사업 추진체계.....	85
[그림 53] 미생물 유전체 연구개발 관련기관.....	86
[그림 54] 미생물 유전체 R&D 중장기계획의 정책적 제언.....	102

제 1 장



미생물 유전체 연구개발 개요

제1장 미생물 유전체 연구개발 개요

제1절 미생물 유전체 연구개발 개념

미생물은 세균, 진균, 원생동물, 조류, 바이러스 등을 포함하는 개념으로, 미생물의 유전체 분석·활용 연구개발을 통해 미생물 유전체 정보를 체계적으로 자원화하고 실용화·산업화로 연계하여 생명산업과 바이오경제 활성화에 기여함

1. 미생물 유전체 정의

- 미생물(microorganism)이란 인간의 맨눈으로는 관찰할 수 없는 작은 크기의 생물을 의미하며, 미생물에 대한 관찰과 연구는 1673년 레벤후크가 현미경을 발명하면서부터 본격적으로 시작되었으며, 미생물은 일반적으로 세포성 미생물인 세균(Bacteria), 진균(Fungi), 원생동물(Protozoa), 조류(Algae)와 비세포성 미생물인 바이러스(Virus)를 포함
- 유전체(게놈, Genome)이란 한 생물체 내에 존재하는 모든 유전자를 포함하는 전체 유전 정보의 총합
- 미생물 유전체란 미생물 내에 존재하는 모든 유전 정보의 총합을 의미한다. 미생물의 경우 유전체 정보는 대부분 DNA에 저장되어 있으나, 일부 바이러스의 경우 RNA에 저장되어 있음

2. 미생물 유전체 활용범위

- 미생물은 고부가가치 경제적 이윤을 창출할 수 있는 핵심 생물소재로 점점 각광을 받고 있으며, 순수한 미생물 및 관련 분야의 세계 시장규모는 연간 약 100억 달러로 추정되고 있음
- 미생물이 생산하는 항생제 등 의약품을 합치면 미생물은 세계 바이오시장의 30%를 차지하는 것으로 추정됨
- 미생물의 유전체 연구를 통해 화학, 농축산식품, 에너지, 환경 및 의약 등 다양한 분야에 활용도가 높아지고 있음

- 미생물 유전체 기술이 발달함에 따라 미생물을 활용한 산업의 범위도 확대되고 있으며, 미생물을 활용한 다양한 제품이 출시되고 있음

[표 2] 미생물 기술발달에 따른 응용분야

구분	제1세대	제2세대	제3세대	제4세대	제5세대
연대	~1960	1960~1985	1985~2000	2000~2012	2012~
핵심전환기술	심부배양법	고정화기술	비수계 반응	유전체, 오믹스	인공세포
생산기술	심부배양	유가식배양	재조합균조 발효	화학합성, 표면발효	합성생물학
자원	곰팡이	세균	세균, 곰팡이	유전체(인실리코)	유전체정보
반응기술	회분식	연속식	비수계	특이반응기	생체모방
사용기질	천연	천연, 반유기합성	천연, 반유기합성	유기합성	생체합성
응용분야	식품, 향생제	정밀화학	특수화학	기기분석용	모든 산업

- 최근 미생물 유전체 정보를 활용한 기술이 발달함에 따라 미생물을 활용하여 식품 뿐만 아니라, 비료, 농약, 사료첨가제, 프로바이오틱스 등 농림, 축산, 동식물 등 모든 분야에서 활용이 가능함
- 본 미생물 유전체 연구개발은 농림축산식품 분야에서 활용할 수 있는 미생물을 대상으로 하고 있음
- 농림축산식품 분야에서 미생물을 활용한 다양한 제품이 출시되고 있으며, 이뿐만 아니라 프로바이오틱스를 활용한 기능성 식품 등 간접적 활용사례도 증가하고 있음
 - 농림: 미생물비료, 미생물농약, 농업환경개선제, 살충제, 살균제 등
 - 축산: 사료첨가제, 면역증강제 등
 - 식품: 전통발효식품(김치, 주류, 장류 등), 버섯류, 요구르트, 유산균, 발효버터 등
 - 병리: 식물병원균(진균, 세균, 바이러스), 동물병원균(세균, 진균), 항진균제 등

3. 미생물 유전체 중요성

- 창조경제 실현의 도구로 생명산업 분야 유전체 연구기반 확보
- 고부가가치 첨단 융합산업으로 급부상하고 있는 유전체 연구를 통해 농식품 분야 글로벌 경쟁력 강화, 일자리 창출 등 창조경제 기여

○ 농업생명공학기술의 선진화 및 국제 경쟁력 제고를 위해 주요 작물·동물 및 식품 생명자원에 대한 유전체 연구 기반 및 국내외 정보 교류 네트워크 구축 시급

□ **유용 미생물 유전체 연구를 통한 농림축산식품 분야의 산업 경쟁력 확보**

○ 친환경 농산물에 대한 관심이 증가함에 따라 농림축산 분야의 미생물 활용 수요 급증

- 국내 친환경 농산물 시장규모: 3조 8천억 원('12년) → 7조 5천억 원('20년)

○ 미생물은 농림축산식품 산업에 다양하게 활용되며, 미생물 활용 제품의 필요성이 급증

- 김치의 국내 시장규모는 약 2.4조원이나, 중국으로부터의 수입량이 급격히 증가하는 추세에 있어 우수 종균 개발을 통한 표준화, 과학화 및 선진화 필요성 대두

- 주류의 매출액은 7조원에 달하지만 전통주 기반이 약하고, 주로 외국산 종균을 이용하여 생산하고 있어 고유 균주 개발이 절실

- 생물농약(식물비료)은 기존의 화학비료와 농약의 과다 사용을 막는 환경친화적 제품으로 친환경 농산물 생산에 필수적

- 항생제의 사료첨가는 전 세계적으로 규제가 강화되고 있어, 이를 대체할 수 있는 생균제(사료첨가제) 개발 필요

□ 유전체 연구를 통해 생산된 유전체 정보, 유전자, 분자마커 등은 **고부가 산업창출의 기반을 제공하는 핵심 요소로 작용**

○ 미생물 유전체 연구는 우리 농산물의 활용성 제고와 더불어 바이오소재, 바이오에너지, 발효식품 등 전후방산업에 파급효과 큰 기술 영역

○ 미생물의 메타유전체, 참조유전체 등 유전체 분석을 통한 특성을 구명하고, 유전체 정보를 연계하여, 식품, 농업, 의료 등 다양한 분야에 활용할 수 있도록 지원이 가능

- 메타유전체 연구는 특정 농식품 환경에 서식하는 미생물의 생태, 생리 및 기능 연구와 산업적 응용을 위해 필수적인 분야

- 참조유전체 연구는 미생물 유전체 염기서열 및 주석 정보를 분석하는 것으로, 유용 미생물을 산업적으로 응용하기 위한 필수 정보

- 생물정보는 유전체 서열, 오믹스 기능 등 유전체 정보를 컴퓨터를 이용하여 가공, 분석하여 다양한 분야에 체계적으로 활용하기 위해 필요

□ 유용미생물 정보의 국가자원화를 통해 국가경쟁력을 제고하고, **생물다양성 협약에 대응한 미생물자원의 주권 확보**

- 세계 각국은 생명다양성협약에 대응하여 미생물의 국가 자원화, 산업화가 진행되고 있어, 우리나라도 정부차원의 미생물 유전체 연구 필요
 - 영국균류센터 2010년 기준 보유 미생물 유전자원 2만 8천점(800억 원 가치)
- 국산 종균 개발을 통한 해외에서 수입되는 종균을 대체하고, 전통 종균을 활용한 제품 개발로 국내뿐만 아니라 세계에 우리나라 김치, 주류, 생물비료, 사료첨가제 공급 가능

제2절 미생물 유전체 증장기계획의 배경 및 필요성

1. 미생물 유전체 연구개발의 필요성

□ 기술적 환경변화로 인한 미생물 유전체 연구수요 급증

- NGS(Next Generation Sequencing) 기술의 도입으로 유전체 정보량이 폭발적으로 증가함에 따라 초고속 분석능력과 대용량 정보 처리 능력이 중요시되고 있으며 유전체 기반 정보 활용 분야는 보건의료의 질 향상, 우수 농림수산물 생산, 신에너지 생산 등 그 활용범위가 확대되고 있음
 - '08~'10년 Nature, Science 誌에 게재된 전체 논문의 약 80%가 생명과학 분야이며, 이 중 약 40%가 유전체 관련 논문으로 그 중요성이 부각되고 있음
 - '03~'08년간 전 세계 논문 피인용도 상위 1%(약 5만 건)을 분석한 결과 유전체 연구가 생명공학 분야에서 가장 피인용도가 높은 연구영역으로 나타남
- 단일 생물계 중심의 생물학적 접근법에서 집단·복합계에 대한 종합적이고, 통합적인 유전체 정보 분석 연구가 기본이 되는 방향으로 연구 패러다임이 전환되고 있음
 - 유전체 연구는 삶의 질 향상 및 21세기 고부가가치 신산업 창출의 원동력으로 주목받고 있는 생명공학 기술의 가장 기본이자 핵심으로 평가받고 있음

□ 글로벌 시장 환경 변화에 따른 바이오 산업의 중요성 대두

- IT 혁명 이후 세계 경제를 선도할 핵심 산업으로 바이오산업이 주목받고 있으며, 세계 경제는 2020년을 전후로 바이오경제 시대로의 진입이 가시화될 전망
 - 지구 온난화 등의 기후변화, 식량 및 에너지 수급 문제 등 인류 공통의 난제를 해결해 줄 핵심 기술로 생명공학 기술이 주목받고 있으며 이와 관련된 바이오산업은 급속도로 증가하는 추세에 있음
 - 유전체 정보를 의료, 농업, 에너지 산업 분야에 응용하기 위해서는 사용자(end-user)가 정보를 사용 가능한 형태로 데이터를 분석·가공하는 것이 중요함
- FTA 등으로 인한 농산업 시장의 개방과 낮은 식량 자급률, 수출 의존 비율 증가에 따른 대응책이 마련이 시급한 실정

□ 유전체 연구를 통한 농림수산물 분야의 산업 경쟁력 확보 필요

- 유전체 연구를 통해 생산된 유전체 정보, 유전자, 분자마커 등은 고품질 신제품 육성 및 육종효율 증진 등 고부가 산업창출의 기반을 제공하는 핵심 요소로 작용함

- 과거 분자생물학적 원리와 기술들이 주요 작물 및 가축의 육종에 필수적으로 활용되는 것과 같이 유전체 정보와 기술 접목의 중요성이 갈수록 높아지고 있음
- 농업생명공학기술의 선진화 및 국제적 경쟁력 제고를 위해 주요 작물·동물 및 생물자원에 대한 유전체연구 기반 및 국내외 정보교류 네트워크 구축 시급
- 주요 선진국들은 유전체 자원 발굴 및 확보를 위해 박차를 가하고 있으며 선진 기술 확보를 위해 국제공동연구 및 국제협력이 확산
- 농림수산식품 분야 유전체 정보 통합 인프라 및 네트워크 구축 미비

□ 바이오정보산업 육성을 통한 농산업의 새로운 도약 기반 마련

- FTA 등 농산업 시장의 개방 확대, 기후변화, 식품안전 등 농업을 둘러싼 환경변화에 적극 대응
 - 농산업의 경쟁력 확보를 위해 유전체 연구를 기반으로 종자, 친환경, 기능성식품 등 고부가가치 첨단산업 집중 육성 필요
 - 생산 환경변화를 예측 및 선제적 대응을 위한 내병성·내재해성 신품종 개발을 통해 안정적 식량 확보 및 농산업 경쟁력 제고 필요

□ 종합적·통합적 유전체 연구 패러다임 변화에 따른 대응 마련

- 유전체 연구는 단일 생물계 중심에서 집단 또는 복합계에 대한 통합적인 연구로 추진되고 있어 유전체 정보의 생산·분석·활용 분야의 핵심 원천기술 개발이 필요
 - 연구 패러다임 변화에 대응하기 위한 다학제간 융복합연구에 대한 기반 마련 필요



[그림 1] 농식품부 유전체 사업추진의 필요성 및 타당성

2. 미생물 유전체 R&D 중장기계획의 필요성

□ 급격히 성장·변화하는 글로벌 유전체 시장에 대한 대응이 시급

- BIT융합 기술의 눈부신 성장과 함께 유전체 정보량이 폭발적으로 증가함에 따라 유전체 정보생산 및 분석이 BT·HT 분야의 산업적 활용의 병목이 되고 있음
 - 미국, 영국, 일본, 중국 등 유전체 연구 분야의 선도국들의 경우 유전체 정보생산 및 분석이 관련 산업에 미치는 파급효과를 인지하고 유전체 연구 전문 기관 설립, 대규모 프로젝트 운영 등에 막대한 자본을 투입하고 있음
- 연구개발 속도가 매우 빠르지만 본격적인 실용화 이전 단계이므로 타 연구개발 분야에 비해 시장진입 장벽이 높지 않아서 선제적 대응 시 시장 선점 가능성이 높음
 - 목적 지향적이고 실제적인 Action plan을 통해 농생명자원 시장분야에 선제적이고 과감한 투자가 필요

□ 의학, 농업수산식품 관련 생명과학 분야의 연구 패러다임이 유전체 연구를 중심으로 전환되고 있음

- 기술의 발전으로 유전체 정보생산에 소요되는 시간과 자본이 하락함에 따라 방대

한 정보의 분석과 기존 생명과학적인 접근법의 융합을 통해 산업화 단계로의 전환 기간이 획기적으로 축소되어 관련 시장 선점이 무엇보다 중요함

- 식량과 생물자원의 무기화 위협에 적극적으로 대처하기 위하여 식량 안보를 확보해야 함
- 전 지구적인 이상기후에 따른 곡물 수급 불안정, 생명자원의 에너지 원료화 등으로 생물자원이 점차 무기화 되는 세계정세에 대응하기 위해 안정적인 농림수산물 생산과, 생명자원 확보, 수출품목 개발이 절실함
- 정보의 생산과 분석에 대한 원천기술을 개발하고 선진국 수준의 유전체 연구 전문기관 구축, 산업인력 양성이 시급함
- 막대한 양의 정보를 처리할 수 있는 유전체 특화 하드웨어·소프트웨어를 개발하고 전문 연구인력을 양성하여 유전체 산업화를 위한 환경조성이 필요함

□ 국내 유전체 분야의 정부 투자가 정체되어 있고 국가 차원의 중장기 계획 및 지원 체계가 미흡함

- 최근 몇 년간 국가 전체 R&D 투자에 비해 유전체 분야의 투자는 매우 낮은 수준으로 미래 성장 동력이 될 수 있는 거대과학 분야에서 글로벌 기술개발 경쟁력 확보가 불가능함
 - 유전체 연구에 대한 투자 시점을 조속히 앞당기는 한편, 과감하고 전략적인 투자가 있어야만 미래 유전체 시장을 선점할 수 있음
 - 우리나라에서 생산되는 유전체 자원 및 생물정보의 비중은 전 세계의 1% 이하에 불과하며, 대부분의 생물정보를 외국에 의존하는 실정임
- 현재 부처별 유전체 연구 사업이 종료되거나, 새롭게 기획되고 있는 시점으로 국가차원의 종합계획을 통한 중장기 지원체계 마련의 적기임
 - 2001년 프론티어사업단의 출범으로 국내 미생물 유전체 연구를 주도하였으나 일부 식품관련 미생물 유전체 연구를 제외하고 농용미생물, 식물병원성 미생물, 축수산 질병관련 미생물 유전체 연구는 사업에서 제외되었음
 - 범 부처 공동기획을 통해 목적 지향적인 투자전략을 수립하고 사업간 긴밀한 연계 구조를 확립하여 중복투자를 방지하고 연구개발의 시너지 효과를 극대화 할 수 있음
 - 2011년 5월에 출범한 차세대바이오그린 21사업에 일부 유전체 사업이 포함되어 있으나 대부분 동물 및 식물 유전체 연구로 미생물 분야에 대한 투자가 미흡하고, 방대한 품목에 비해 예산 투자는 턱없이 부족한 실정임

- 기존의 예산범위 내에서 일부 사업만을 대상으로 선택과 집중에 의한 투자만을 강조할 경우 세계 유전체 시장의 흐름을 따라갈 수 없음

□ **최근 중국을 포함한 전세계는 생물종의 유전체 정보를 독점하고자 대규모 투자를 추진 중**

- 중국, 미국, EU는 미래 산업의 주축이 생명공학이 될 것으로 판단하고 묻지마 투자와 공동 해독프로젝트를 수립·추진하고 있음
- 국내 유전체 인프라는 미국, 일본, 중국의 1/200~1/30 정도의 수준으로, 90%이상을 국외 유전체 정보에 의존하고 있는 상황임

□ **우리나라 고유의 농수산물식품 자원을 중점 해독할 경우 국제적인 지적재산권 종속에서 벗어날 수 있음**

- 중국, 미국, EU 등에서 경쟁적으로 유전체 해독사업을 추진하는 상황에서 우리나라의 농업, 산림, 수산자원의 주권을 확보하기 위해서는 동 사업을 추진해야함
- 최종 선정된 품목(작물, 가축, 곤충, 선충, 수산, 산림자원)은 우리나라의 농수산 분야에서 필수적인 품목이며, 미래 종자주권을 확보하기 위해서는 선제적인 투자가 시급함

제3절 농식품 미생물 유전체 R&D 중장기계획의 개요

1. 농식품 미생물 유전체 R&D 중장기계획 수립의 목적

- 글로벌 농림축산식품 트렌드에 대응하고, 우리나라 미생물 유전체 R&D가 나아가야 할 비전과 전략목표를 설정하고 국민 건강 증진과 풍요로운 국민 삶에 기여할 수 있는 미생물 유전체 R&D 중장기(2014~2021) 기술전략 및 세부 실행체계 구축
- (농식품 미생물 유전체 R&D 미래전략 방향성 정립) 농식품 미생물 유전체 R&D 추진의 비전 및 전략목표 정립, 중점추진분야 확립
- (농식품 미생물 유전체 R&D 핵심 미래기술(중점분야) 도출) 농림축산식품 분야 국가 기술수준 향상 목표 및 미생물 유전체 분야의 중점분야 도출
- (기술개발 로드맵 구축) 미생물 유전체 R&D의 중점분야별 기술로드맵(TRM) 수립 및 연차 투자계획 수립

2. 농식품 미생물 유전체 R&D 중장기계획의 범위

- 농생명 유용 미생물의 유전체 해독·분석·활용 기술의 국내 연구역량을 강화하는 동시에 산업화·실용화 가능한 전략 미생물 개발
- 연구기반 구축 - 자원 발굴 및 확보 - 실용화·산업화에 이르는 미생물 유전체 분야의 전주기적 연구개발 중장기계획 수립



연구기반 구축 - 자원 발굴 및 확보 - 실용화·산업화에 이르는
미생물 유전체 분야의 전주기적 연구개발 중장기계획 수립

[그림 2] 농식품 미생물 유전체 R&D 중장기계획 범위

□ [연구의 범위] 미생물 유전체 분야 산업 및 기술환경, 미래전망, 현재 국내 미생물 유전체 R&D 기술역량 평가를 바탕으로 농림축산식품 미생물 유전체분야의 기술 전략체계와 세부 중장기 기술로드맵 수립

- 농림축산식품 및 미생물 유전체 R&D 현황 분석
 - 국내외 농림축산식품 및 미생물유전체 관련 트렌드 분석, 산업 및 정책, 연구개발 동향 분석을 통한 식품 R&D 추진방향 및 정책적 시사점 도출
- 농림축산식품 미생물 유전체 R&D 추진 기본 방향 정립
 - 대내외 환경 분석을 통한 SWOT분석, R&D 기본방향 도출
 - R&D 추진을 위한 비전 및 전략목표, 전략사업 확립
- 농림축산식품 미생물 유전체 R&D 전략사업별 중점분야 도출
 - 전략사업별 정의, 범위, 목표 설정 및 중점분야 도출
 - 중점분야별 기술체계 및 요소기술 도출
- 농림축산식품 미생물 유전체 R&D 사업 세부 추진 계획 수립
 - 중점 추진 분야 세부과제를 반영한 기술로드맵(TRM) 수립
 - 중점 추진 분야별 추진 기대효과
 - 기술 로드맵에 따른 연차별 투자 계획 수립

□ [연구 프레임워크] 총 4단계로 구성, 개별 연구모듈을 선단식으로 추진하되, 연구내용이 연계되도록 설계



[그림 3] 미생물 유전체 R&D 중장기계획 연구 프레임워크

3. 농식품 미생물 유전체 R&D 중장기계획의 성격

가. 정책적 성격

- 본 미생물 유전체 R&D 중장기계획은 2012년에 통과된 ‘포스트게놈 다부처 유전체 사업’ 예비타당성조사 기획, 농림축산식품부 다부처 유전체 R&D 추진 기본계획 (2013.12)을 바탕으로 중장기계획을 수립
- 해당 상위계획을 바탕으로 사회·정책·기술적 환경변화 이슈에 대해 선제적·능동적으로 대응하고, 보다 효율적이고 체계적인 미생물 유전체 R&D 추진을 목적으로 함

[표 3] 미생물 유전체 R&D 추진 정책적 근거

국가		농림축산식품부
법률	국가과학기술기본법	농업유전자원의 보존·관리 및 이용에 관한 법률 생명연구자원의 확보·관리 및 활용에 관한 법률 생명공학육성법
장기	과학기술예측조사(25년) 과학기술중장기발전전략(15년)	‘포스트게놈 다부처 유전체 사업’ ‘농림축산식품 다부처 유전체 R&D 추진 기본계획’
중장기	과학기술기본계획(5년)	미생물 유전체 R&D 중장기계획(수립 중)
단기	연도별 시행계획	연도별 시행계획

나. 미생물 유전체 R&D 성격

농식품 유용 미생물 유전체 정보의 체계적 자원화 및 실용화 지원체계 구현을 위한 농식품 미생물 유전체 정보 활용 실용화·산업화를 통한 생명산업 육성 기반 마련



[그림 4] 미생물 유전체 연구의 비전

□ [A, Agricultural Resources] 미생물 유전체 연구를 통한 농생명자원·정보 확보

- NGS 기술의 도입으로 유전체 정보량이 폭발적으로 증가함에 따라 대용량 정보 처리와 초고속 분석 능력이 필수 요소가 되고 있으며 유전체 정보 활용 분야는 우수 농림수산물 생산, 신에너지 생산 등 그 활용범위가 확대되고 있음
- 단일 생물계 중심의 생물학적 접근법에서 집단·복합계에 대한 종합 적이고 통합적인 유전체 시스템 정보 분석으로 연구 패러다임이 전환되고 있고, BINT 융합 기술의 눈부신 성장과 함께 폭발적으로 증가한 유전체 정보의 효과적인 분석이 BT·HT 분야의 산업적 활용의 걸림돌이 되고 있음
- 농식품 산업에 핵심적인 전략미생물 및 환경의 미생물 유전체 정보 해독과 경제적 가치가 높은 기능성 유용 유전자 발굴은 미생물 유전체 연구를 통한 농생명 자원 및 정보 확보의 핵심 요소임

□ [T, Technology Transfer] 실용화·산업화를 통한 생명산업 육성 기반 마련

- IT 혁명 이후 세계 경제를 선도할 핵심 산업으로 바이오산업이 주목받고 있어 세계 경제는 2020년을 전후로 바이오경제 시대로의 진입이 가시화될 전망이며, 유전체 정보를 생명산업과 에너지산업 분야에 응용하기 위해서는 사용자(end-user)가 정보를 손쉽게 이해하고 쓸 수 있는 형태로 분석·가공하여 제공하는 것이 필수적임
- 미국, 영국, 일본, 중국 등 유전체 연구 분야를 선도하는 국가들의 경우, 유전체 정보 생산 및 분석이 관련 산업에 미치는 파급효과를 인지하고 유전체 연구 전문 기관 설립, 대규모 프로젝트 운영 등에 막대한 자본을 투입하고 있으며 자국 내에서 산발적으로 수행되고 있는 유전체 연구팀들의 유전체 분석 데이터들을 통합 관리하는 시스템의 도입이 이루어지고 있음
- 유전체 데이터 분석 결과에서 나온 성과의 적극적이고 과감한 실용화 및 산업화를 통해 유전체 연구를 통한 농림수산물 분야의 산업 경쟁력을 확보하는 것이 필요함

□ [G, Genomics Research] 목적지향적 미생물 유전체 연구역량 강화

- 미생물 유전체 분야는 연구개발 속도가 매우 빠르지만 본격적인 실용화 이전 단계이므로 타 연구개발 분야에 비해 시장진입 장벽이 높지 않아서 선제적 대응 시 시장 선점 가능성이 높으므로 목적 지향적이고 실제적인 실행안(action plan) 도출을 통해 농생명자원 시장분야에 선제적이고 과감한 투자가 필요한 시점임
- 주요 선진국들은 유전체 자원 발굴 및 확보를 위해 박차를 가하고 있으며 선진 기

술 확보를 위해 국제공동연구 및 국제협력이 확산되고 있어 유전체 연구 분야의 성과 달성 및 농업 응용에 걸림돌 및 병목현상의 원인이 되는 부분을 정확하게 파악하고 효과적인 문제 해결과 적극적인 투자가 바람직함

- 농림수산물 분야에 다양한 식물, 미생물 등 생명 자원들의 유전체 정보 통합 기반 및 네트워크화가 미흡하므로 정보인프라 구축이 시급하고, 유전체 분석 결과를 이용한 농업 유용 물질의 발굴 및 산업화와 바이오정보산업 육성을 통한 농산업의 새로운 도약 기반 마련에 힘써야 함

□ [C, Connection & Development] 부처와 연구자/산업계 협력 네트워크 구축

- 종합적·통합적 유전체 연구로의 패러다임 변화에 대응하기 위한 유전체 정보의 생산·가공·분석·활용 분야의 핵심 원천기술 개발과 여러 분야의 전문가가 참여하는 다학제간 융복합 연구에 대한 제도적 토대 마련이 필요함
- BT·IT·NT 등 융합 기술의 진보에 따른 유전체 해독기술의 빠른 성장에 따라 폭발적으로 증가하는 유전체 정보를 가공·처리하고 해석하기 위한 인프라 구축과 유전체 데이터로부터 생산된 결과를 산업화하는데 필요한 기술·정보 제공을 위한 온·오프라인 협력 네트워크 구축이 시급함

제4절 중장기계획 추진경과

1. '농림축산식품 미생물유전체전략연구사업' 추진경과

- 유전체 연구 범부처 기획 추진 및 예비타당성조사 진행('10.10~'12.11)
- 다부처 유전체 사업 예비타당성조사 적합 선정('12.11)
- 다부처 유전체사업 '14년도 신규 사업비 확보('13.12)
- 전문가 기획단 구성 세부추진계획 수립('13.12~'14.1)
- '포스트게놈 다부처 유전체 사업 범부처 추진계획' 수립('14.2)
- 농식품부 '포스트게놈 다부처 유전체 사업' 출범('14.8)

2. 미생물 유전체 R&D 중장기계획 수립 추진 경과

- 농림축산식품 미생물 유전체 R&D 중장기계획 추진계획 수립('14.11)
- 농림축산식품 미생물 유전체 R&D 중장기계획 착수('15.3)
- 중장기계획 수립 전문가 위원회 구성('15.3)
 - ※ 전문가위원회 명단 부록2. 참조
- 미생물 유전체 R&D 중장기계획 공청회 개최('15.6.24)
- 미생물 유전체 R&D 중장기계획 최종보고서 발간('15.7)



[그림 5] 중장기계획 수립 추진경과

제 2 장



미생물 유전체 연구개발 동향

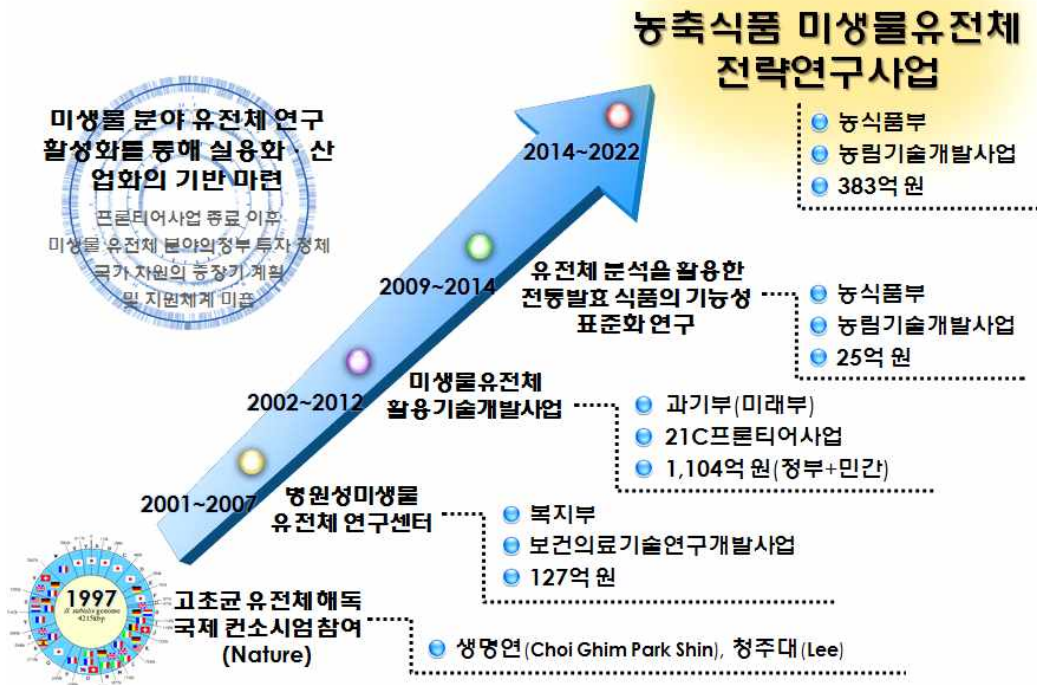
제2장 미생물 유전체 연구개발 동향

제1절 국내외 미생물 유전체 정책동향

1. 국내 동향

- 국내의 경우, 미래창조과학부의 전신인 과학기술부 등 정부 부처에서 미생물 분야 유전체 연구 활성화를 통해 실용화·산업화의 기반을 마련하고자 몇몇 중대형 프로젝트를 수행함
 - 과학기술부에서는 21C프론티어사업의 일환으로 미생물 유전체 기능 규명 및 고부가가치 미생물자원의 발굴 활용을 위한 핵심기반기술 확립을 목표로 2002년부터 2012년까지 총 1,104억 원의 연구비를 투자하여 「미생물유전체활용기술개발사업」을 추진함
 - 보건복지부에서는 보건의료기술연구개발사업으로 국내 특정 호발 감염성질환의 병원성미생물 유전체 염기서열 완전 해독 및 특정 감염성질환 완치를 위한 진단·예방·치료기술 개발을 목표로 2001년에서 2007년까지 총 127억 원의 예산으로 장관계 미생물, 호흡계 미생물, 피부감염 미생물에 대해 「병원성미생물유전체연구센터」를 운영함
 - 농림수산식품부에서는 농림기술개발사업으로 「유전체 분석을 활용한 전통발효식품의 기능성 표준화 연구」 과제를 선정하여 2009년부터 2014년까지 총 25억 원의 연구개발비를 지원함
- 프론티어사업 종료 이후 미생물 유전체 분야의 정부 투자가 정체되어 있고 국가차원의 중장기 계획 및 지원체계가 미흡함
 - 현재 부처별 유전체 연구 사업이 종료되거나, 새롭게 기획되고 있는 시점으로 국가차원의 종합계획을 통한 중장기 지원체계 마련의 적기이며, “미생물유전체활용기술개발사업단”이 2012년 3월 종료되어 국내 미생물 관련 유전체 사업에 대한 투자의 단절이 우려됨
 - 2011년 5월에 출범한 차세대바이오그린 21사업에 일부 유전체 사업이 포함되어 있으나 대부분 식물 또는 동물의 유전체 연구로서, 국가적으로 미생물 분야에 대한 예산 투자가 저조하여 방대한 생물 종 및 유전자 다양성에 비해 연구비 지원은 턱없이 부족한 실정임

- 차세대바이오그린 21사업, 농생명산업기술개발사업 등 통해 산발적으로 연구개발이 추진되었으나, 최근 다부처 유전체사업의 일환으로 '농림축산식품 미생물유전체 전략연구사업'이 출범



[그림 6] 우리나라 미생물 유전체 연구개발 현황

- (미생물 자원 관리 현황) 국내에서는 「생명연구자원의 확보·관리 및 활용에 관한 법률」에 따라 생명연구자원의 효율적인 확보와 체계적인 관리를 통해 지속 가능한 활용을 도모함
 - 한국생명공학연구원 미생물자원센터(Biological Resource Center)는 유전자은행(Korean Collection for Type Cultures)의 업무를 바탕으로 생물자원의 연구개발, 국내외 생물소재은행간의 네트워크 구축, 생물자원의 정보화 및 대외 지원 역할 수행
 - KCTC는 국내 최대의 미생물 자원은행으로서 표준 참조 미생물, 특히 미생물, 동·식물 세포주, 유전체 연구소재, 수정란 및 생물자원정보 등을 수집 보존하고 제공
 - 국가생명연구자원정보센터(KOBIC)는 부처별, 연구기관별로 흩어진 생물자원, 생물 다양성 및 생명정보를 통합 관리함으로써 국가적 차원에서의 생물연구자원의 효율적인 활용을 도모하고자 정보연계 시스템을 구축하고 종합 서비스를 제공

- 차세대 유전체 정보의 분석 및 활용을 선도할 생명정보 분야의 인프라 구축 기능 수행
- 농촌진흥청에서는 국내 농생명자원의 연구에서 유래한 대용량 오믹스 정보의 분석 및 통합 관리를 위하여 농업생명공학정보센터(NABIC)를 설립

□ (정책 부합성) 과학기술기본계획, 녹색기술 연구개발 종합대책 등 상위계획의 목적과 부합하며, 관련 법률 및 시행령을 통해 생명공학연구를 정책적으로 육성함

- 이명박 정부의 과학기술기본계획 (577 Initiative)
 - 7대 R&D 중점분야 중 『신산업 창출』 분야
 - 중점육성기술 50개 중 ①단백질·대사체 응용기술 ②신약 타겟 및 후보물질도출 기술 ③인체 안전성, 위해성 평가기술 ④식품 안전성 평가 기술 ⑤농수축임산물 자원 개발 및 관리기술 ⑥에너지·자원 개발기술 등 선정
 - 중점과학기술 90개 중 ①유전체 응용기술 ②식품자원 활용 및 관리기술 ③동식물 병해충 예방 및 방제기술 ④바이오 칩 기술 등 유전체 연구 관련 기술이 다수 포함
- 녹색기술 연구개발 종합대책('09.1 국과위)
 - 녹색기술의 융합화 촉진
 - 기초·원천 연구 확대
 - 기존산업 그린화 및 신성장 동력화
 - 녹색기술 인프라 구축

2. 국외 동향

□ 주요 유전체 연구 선도 국가를 중심으로 미생물 유전체 해독 및 분석을 위한 대규모 투자와 국제공동 프로젝트가 진행 중이며 실용화·산업화를 촉진시키기 위한 제도·정책 측면의 개선 노력도 병행함

- 미국 국립보건원(NIH)은 2000년대 중반부터 전 세계 유전체 연구비의 약 1/3 정도에 해당하는 연구비를 투자하여 인종, 나이, 성별 등에 따른 인간 신체 곳곳의 미생물 메타유전체를 연구하는 대규모 국제 공동 프로젝트(Human Microbiome Project, HMP)를 수행하고 있으며, 현재 프로젝트 1단계가 종료되고 2단계로 인간 질병과 인체 마이크로바이옴 간의 연관성을 분석하는 방향으로 연구가 진행되고 있음
- 유럽(EU)에서도 2000년대 중후반부터 질병과 장내미생물과의 상관관계를 연구하기 위해 대규모 유전체 프로젝트(Metagenomics of the Human Intestinal Tract,

MetaHIT)를 진행하였고 중국 최대 유전체 연구기관인 BGI도 이 프로젝트에 참여하여 질병과 장내 미생물 메타유전체간의 상관성에 대한 연구를 수행하였음

- 브라질의 경우 브라질인의 마이크로바이옴에 대한 연구인 Brazilian Microbiome Project를 수행하고 있으며 이 프로젝트에는 브라질 내에서 수행되고 있는 여러 메타유전체 연구에 대한 정보와 관련 데이터를 통합 관리하는 것을 포함하고 있음
- 일본에서는 2005년 일본 내에서 수행되고 있는 인간 및 다른 포유동물들의 마이크로바이옴 연구의 데이터를 수집, 공유 및 통합 관리하는 HMGJ(Human MetaGenome Consortium Japan)을 시작하였음
- 가장 최근에는 지구 곳곳 다양한 환경의 미생물 메타유전체에 대한 연구를 수행하고자 Earth Microbiome Project가 대규모 국제프로젝트로 시작되었으며 200,000개의 다른 환경의 메타유전체를 분석하는 것을 목표로 하고 있음

□ 미국은 전 세계의 유용 생명자원의 확보, 관리 및 활용을 위한 국가적 전략 수립

- 국가생명정보센터(NCBI), 미국유전자은행(ATCC), 국립암센터(NCI), 국립유전자원보존센터(NCGRP) 등을 운영
- 세계생물정보다양성정보기구(GBIF)에 1억 8백만건(13.2)의 생물다양성 정보를 등록하고 정보표준화를 달성하는 등 세계적 우위를 선점
- 인간 유전체 프로젝트 이후 생명체의 유전체 정보(미생물 및 식물)를 환경과 에너지 문제 해결에 이용하기 위해 국가적 프로젝트를 출범
- 미국 에너지성의 Joint Genome Institute(JGI)에서는 전통적인 방법을 통한 미생물 유전체 정보의 생산뿐 아니라 단일 세포 게노믹스, RNA-seq, 및 후성유전체학적 방법 등을 이용하여 미생물의 다양성을 유전체 수준에서 탐색하고 신규 유용 자원을 확보하기 위한 microbial program에 집중 투자하고 있음
 - 에너지성에서는 대용량 분석 기술과 모델링 및 시뮬레이션 기법을 동원하여 미생물과 식물의 유전체로부터 바이오에너지 생산, 환경 보전 및 기후 안정을 도모할 수 있는 방안을 모색하는 Genomic Science Program(구 Genomics:GTL)을 진행
- 농무성(USDA)과 에너지성(DOE)에서 미생물 유전체 분석 및 산업화를 대규모 프로젝트로 중점 추진
 - 농림성 산하 연구소인 ARS(Agricultural Research Services)는 안전한 농산물생산, 자연자원과 환경보존 등 농업문제 해결을 목적으로 74개의 유전체 연구 과제를 수행

※ 주요 연구주제는 동식물, 곤충 등의 병원균 미생물의 기작연구와 곰팡이, 바이러스, 동

식물 등 유전체 정보해독으로 구분

- 에너지성 산하 연구소인 JGI는 곰팡이, 메타지놈, 미생물, 식물유전체 등 다양한 생물에 대한 유전체연구를 산업적 관점에서 추진
 - 민간 연구단체인 JCVI(J. Craig Venter Institute)에서는 6개의 연구 프로그램을 추진하고 있으며, 그 중 미생물 분야에서 11개의 대형 프로젝트를 진행
 - ※ 극지미생물, 체내미생물, 원핵생물, 유전체분석 파이프라인 개발 등 다양한 분야의 미생물 유전체 분석 프로젝트를 추진
 - ※ 현재까지 100종 이상의 미생물에 대한 유전체를 해독하여 600만개 이상의 유전자 발견
- 최근에는 미생물 단일 유전체의 해독 연구가 점차 대규모화하는 경향이 두드러짐
- 대표적으로는 미국 에너지성의 JGI와 독일의 DSMZ가 공동으로 진행하는 GEBA(A Genomic Encyclopedia of Bacteria and Archaea) project로서, 이는 전체 미생물을 균등하게 대표할 수 있는 종을 선정하여 유전체 염기서열을 밝히고자 하는 국제 공동 프로젝트
 - GEBA project의 첫 성과로서 56종의 배양 가능한 원핵 미생물에 대한 유전체 정보를 발표한 바 있으며(Nature 2009, 462:1056), 새로운 종의 유전체를 추가적으로 분석함으로써 발견하게 되는 신규 유전자의 비중이 GEBA project에 의한 것이 월등히 높음을 입증
- 식물/토양, 장내미생물, 병원균, 바이오매스 등 모든 분야에 대한 메타게놈 분석연구가 미국을 중심으로 이루어지고 있으며, 연구성과가 네이처, 사이언스 등 저널에 발표됨
- ‘TerraGenome’(토양 메타게놈 시퀀싱), ‘Phytobiomes Initiative’(식물 미생물체) 등 토양과 식물 미생물 국제 프로젝트가 미국을 중심으로 추진 중
 - 경제동물, 바이오매스 분해, 장내미생물 등에 대한 대규모 메타게놈 분석 연구가 네이처, 사이언스 등 저널에 발표됨
- 유럽은 생물자원센터 네트워크(EBRCN)을 구축하여 생물자원에 대한 데이터베이스 구축 및 품질관리 시스템을 기반으로 유럽 데이터의 통합관리를 추진
- EU는 회원국 간 연구인프라 공동 구축 및 활용을 촉진하기 위해 2010년 범유럽 차원의 장기 연구인프라 추진 전략인 “Research Infrastructures and the Europe 2020’을 수립
 - 고품질 미생물, 유래물, 정보 개발 및 활용을 위해 유럽 내 미생물자원센터들이

참여하는 MIRRI(Microbial Resource Research Infrastructure)를 구축 중(2014년 운영시작, 총건설비 2640억 원, 26개국 참가)

- 영국의 BBSRC는 생명공학 및 바이오에너지의 산업화, 농업과 식량안보, 건강을 위한 생명과학 분야에 집중하여 다양한 분야의 교차연구 프로그램을 지원
 - 영국은 과거 인간게놈프로젝트를 주도적으로 수행하는 등 세계2위 유전체 연구 강국으로, 매년 수백억 달러를 유전체 연구에 투자
 - ※ 2006년 약 3억7천만 달러를 유전체 연구에 투자(세계 총 투자액의 12%)

□ 중국은 인간 유전체 프로젝트에 직접적으로 공헌하지 못한 것을 계기로 정부 차원에서 유전체 연구 역량 강화에 집중하기 위해 BGI(Beijing Genomics Institute)를 설립

- BGI는 세계 최대 규모의 시퀀싱 설비를 갖추고 전 세계 유전체 해독 성과의 약 1/4을 생산하고 있음(인력 6천명 고용)
 - 230여 대의 시퀀싱 장비를 보유하고 있으며 1일 생산 능력은 16 테라 염기쌍에 육박함
 - 백만 인간 유전체 프로젝트, 백만 미생물 유전체 프로젝트 및 백만 동식물 유전체 프로젝트를 진행
- 과거 인간게놈프로젝트에 참여한 경험을 바탕으로 NGS기술을 이용한 동식물, 미생물 등 모든 분야에 대한 유전체 연구를 선도
 - 미생물 유전체 분야에서는 EU와 공동으로 'MetaHIT'에 참여하고 있으며, 동시에 중국 독자적으로 10,000종의 미생물 유전체 정보 해독작업 진행
- BGI는 인간 유전체 해독 기술에 관한 원천 기술을 보유한 Complete Genomics사를 2013년에 인수하고 유전체 의학 시장 진출을 위한 토대를 마련

□ 일본은 문부과학성(MEXT)과 농림수산성(MAFF)을 중심으로 비인간 분야 유전체연구가 추진되며, 이화학연구소, 국립유전학연구소에서 직접적 연구 수행

- 인간게놈프로젝트가 종료된 후 '게놈네트워크 프로젝트'와 '혁신적 세포 해석 프로그램(Cell Innovation)'을 추진하여 NGS를 이용한 유전체 대량해독과 세포 이미징을 적극적으로 수행
 - ※ 2009년 약 693억 원이 유전체 연구에 투입되는 등 매년 수백억 원이 유전체 분석연구에 투입
- 일본의 경제산업성은 NITE를 중심으로 미생물(미생물, 유전자, 대사산물 등 실물),

기반정보(유전체정보, 유전자정보 등), 미생물과 기반정보를 체계화한 DB 구축 등을 추진

- 기존 생물자원의 보존·관리에 중점을 둔 Culture Collection을 자원의 활용에 중점을 둔 생물자원기관(Biological Resource Center : BRC)으로 육성하려 노력함
- NITE NBRC는 아시아(ACM)에서 주도적인 역할을 담당하고 있으며 세계적 네트워크(WFCC)에 적극 참여하는 등 미생물자원 관리기관 간 네트워크 구축에 집중

□ 미국, 유럽, 일본 등 선진 유전체 정보 생산 국가는 다양한 과제 및 기업으로부터 생산되는 대용량 유전체 정보를 생명정보기관(미국 NCBI, 유럽 EBI, 일본 CIB 등)에 기탁하여 정보를 공유함

※ International Nucleotide Sequence Database Collaboration(INSDC): GenBank(NCBI), EMBL-Bank(EBI), DDBJ(CIB)

제2절 국내외 미생물 유전체 연구 개발 동향

1. 국내 동향

□ 국내 미생물 유전체 연구 동향

- 우리나라는 2001년을 '생명공학의 해'로 선언한 이후 B-KOREA를 건설하기 위해 연간 50억 원을 지원하고 동식물, 미생물 유전체 및 생물정보학 연구에 관한 계획을 발표하였으나, 전반적으로 미생물 유전체에 대한 연구는 미흡한 실정임
- 국내에서 연구 중인 미생물의 경우 외국에서 이미 분석이 완료된 균주가 대부분이기 때문에 국내 생명공학 및 제약 산업에서 빠른 시일 내에 효과를 거둘 수 있는 새로운 미생물 유전자원의 확보와 미생물 유전체에 대한 연구가 필요함
- 국내환경에 적합한 미생물비료 개발 및 활용 기술체계를 확립하고, 친환경농업의 경쟁력을 강화하기 위한 생물비료용 전략 미생물 유전체의 구조 및 작용기작을 명확하게 규명함으로써 고효율적인 미생물비료 생산 기술 및 체계적 사용방법 개발이 요구됨

□ 국내 미생물 유전체 사업 현황

- 포스트게놈 다부처 유전체 사업 중 미생물 유전체 관련 사업 : 산림청, 수과원이 참여하고 농진청에서 기존에 진행되던 차세대바이오그림 21사업을 통합하여 출범한 농생명자원유전체 해독사업단(농진청 주관)과 농용미생물의 산업화 지원 미생물 유전체 전략연구를 위한 미생물 유전체 전략연구사업단(IPET 주관)이 출범하여 통합 포스트게놈 다부처 유전체 사업으로 진행 중



[그림 7] 우리나라 농림축산식품 미생물 유전체 사업 현황

- 미생물 유전체 분석과 관련하여 농업적 활용가치가 높은 전략분야 미생물의 핵심 유전체 정보의 생산, 분석 및 기능 규명이 이루어지고 있어 향후 농업유용미생물 유전체 연구에 초석이 될 전망이다
 - 주요 동물 및 식물자원 병원성 미생물 유전체 정보 해독으로 향후 농업유해미생물 연구에 초석이 될 전망이다
- 차세대바이오그린 21사업 차세대유전체연구사업단 중점추진과제 : “농용미생물 신규 및 비교 유전체”의 제목으로 아래의 총 8개의 과제들을 2011년 - 2020년까지 총 3단계로 진행 중임
- 작물병원균, 식품미생물, 남세균, 메타게놈, 버섯류, 동충하초, 병원성곰팡이 등의 연구가 이루어지고 있음
 - 현재 전국 각 농업기술센터에서 생산, 현장에서 활용되고 있는 각종 농업유용미생물 및 그 유전체에 대한 연구는 없음

구분	주관	세부	기관명	책임자	제목
주관	16		서울대학교	이용환	Genome Resequencing 및 Epigenomics를 이용한 버 도열병균의 병원성 요인 분석
세부		01	서울대학교	이용환	Genome Resequencing 및 Epigenomics를 이용한 버 도열병균의 병원성 요인 분석
협동		02	국립농업과학원	한성숙	버 및 잡초 도열병균의 비교 분석 및 병원성 변이 해석
주관	17		경희대학교	배진우	국내 전통식품 발효 미생물의 유전체 해독 및 정보해석을 통한 유용유전자 발굴
세부		01	경희대학교	배진우	발효균류의 자원확보와 신규유전체 완전해독 및 메타지놈 분석
협동		02	천연연구소	천종식	생물정보학을 이용한 발효균류의 비교유전체 분석 및 메타지놈 해석
협동		03	고려대학교	박우준	식품미생물 기능유전체 분석 및 유용유전자 발굴
주관	18	01	충남대학교	박연일	남세균 유전체 기반 작물형질 개량용 유용유전자원 발굴
주관	19		동아대학교	이선우	식물관련 친환경 미생물의 유전체 및 식물근권 비교메타게놈 정보 분석
세부		01	동아대학교	이선우	식물근권의 비교메타게놈 및 친환경 미생물 기능분석
협동		02	연세대학교	김지현	친환경 식물미생물의 유전체 및 메타게놈 정보분석
주관	20		국립원예특작과학원	공원식	식용버섯류의 유전체 해독 및 정보 분석에 의한 유전체 기능 분석
세부		01	국립원예특작과학원	공원식	식용버섯의 유전체정보를 이용한 분자유종기술 모델 연구
협동		02	경상남도농업기술원	류재산	큰 느타리버섯 유전체 해독 및 유용유전자 대량 개발
협동		03	경북대학교	김종국	송이버섯 유전체 해독 및 정보분석에 의한 유용유전자 대량 개발
협동		04	건국대학교	이창수	팽이의 Omics 기반 통합네트워크 구축 및 발현분비시스템 연구
주관	21		국립원예특작과학원	성기호	동충하초의 유전체 및 오믹스 연구
세부		01	국립원예특작과학원	성기호	동충하초의 유전체 해독 및 생물정보학적 기능 분석
협동		02	단국대학교	김성환	동충하초의 발생단계에 따른 전사체 및 단백질 발현 연구
협동		03	중앙대학교	최형균	동충하초의 발생단계에 따른 대사체 연구
주관	22	01	순천향대학교	윤성환	식물병원성 토종 붉은곰팡이집단의 유전체 해독 및 특성 규명
주관	23	01	경상대학교	김진우	버이삭세균의 병원유전체 연구

to://www.taoc.or.kr/xe/1405

[그림 8] 차세대바이오그린 21사업 ‘농용미생물 신규 및 비교 유전체’ 과제

□ 농생명자원의 유전체 해독 기술

- 농생명자원의 경우 작물과 가축 등에 대한 genome project를 시행하면서 주요 농업자원 유전체 해독에 박차를 가하고 있지만, 주로 식량작물, 원예작물, 가축자원 등에 한정되어 있음
- 농촌진흥청 주관 또는 지원 사업으로 추진되고 있는 유전체 해독 사업에서는 벼도열병균, 벼 이삭균, 식물병원성 붉은곰팡이등 병원성 미생물이나 버섯, 동충하초 등의 진균류에 대한 연구, 혹은 발효 관련 미생물의 다양성연구나 식물근원의 메타게놈 연구가 주된 타겟으로 연구되고 있음
- 농업 유용미생물 중에서는 pyrosequencing 방법으로 *Bacillus amyloliquefaciens* strain M27 균주의 유전체를 해독하고 (Lee, S. Y., et al., 2012), 친환경 작물보호제로써 M27 균주를 개량하고 유용한 유전자를 이용한 기술 개발에 이용하였음

□ 장내미생물 군집 분석 및 오믹스 연구

- 인체에 존재하는 미생물체 연구를 위해 메타지노믹스 기법에 기반한 세균과 고세균의 16S ribosomal RNA gene을 이용한 군집 분석 연구가 수행되고 있음
- 고려대 연구팀은 한국인의 장내미생물 분석연구를 통하여 microbiome dynamics에 관여하는 인자를 연구하고 microbiome을 쉽게 진단할 수 있는 microarray probe 디자인 및 제작을 성공적으로 수행하였으며, 인간 표준 microbiome 기준 마련 및 표준에 가까운 미생물을 자원화 함
 - 이러한 연구결과를 활용하여 microbiome 구조 개선을 위한 프리바이오틱스 연구를 진행하고 있음
- 경희대 연구팀은 한국인의 장내에 서식하고 있는 미생물의 연구하여, 한국인 특유의 신규미생물을 분리한 바 있고, 현재는 전통발효식품 (김치, 젓갈, 장류, 주류) 발효과정 중 미생물 및 바이러스 군집 분석, 곤충, 어류의 장내 공생미생물의 군집 분석 등의 연구를 수행하고 있음.
 - 체내 염증 치료에 효과가 있는 장내미생물을 발견하여 소화기 및 간장학 분야 저명학술지에 발표함 (Shin, N.R. et al. 2014).
- 기존의 메타지노믹스 기법을 통해 장내 미생물 군집 구성에 대한 연구가 많이 수행되었으나, 장내 미생물 군집의 구성 자체가 아니라 미생물 군집들이 인체 기관에서 하는 기능에 대한 연구의 필요성이 주목 받으면서 장내 미생물 오믹스통합 연구가 활발히 수행되는 추세임
 - 메타지노믹 분석은 DNA를 기반으로 하기 때문에 특정 미생물 및 유전자의 존재를

분석하기엔 적합하지만 미생물들이 발현하는 유전자 및 대사산물을 분석하는데는 한계가 있기 때문에 향후 메타트랜스크립톰(metatranscriptome) 및 메타볼롬(metabolome) 분석에 대한 수요가 증가할 것으로 보임

- 또한 다양한 오믹스 연구 및 메타오믹스 기반의 염증성 장질환, 비만, 대사 증후군, 당뇨병 등과 인간 공생 미생물의 상관성 연구가 앞으로 활발해 질 것으로 예상됨
- 인간 공생미생물 연구는 아직도 데이터 수집에 집중 되어 있으며, 미생물이 다른 미생물이나 숙주와 상호작용 등의 복잡성을 설명하지 못함. 따라서 human microbiome에서 미생물군집의 구조적·기능적인 연구를 위해 유전자의 발현양상이나, 표현형질의 변화를 연구해야 함.

□ 산업적 활용성이 높은 미생물의 유전체 분석

- 한국기초과학지원연구원에서는 유류 오염 해양으로부터 분리, 선별한 신종 유류분해 균주의 유전체를 분석하고 유류 기질의 미생물에 의한 비교 프로테오믹스 및 비교 메타볼롬 분석 연구를 수행함
 - 유류 기질 조건에 따른 유전체 분석, 단백질 발현 등을 분석하였으나 유류 분해 대사 경로의 규명을 위해서는 유류 오염균주 컨소시엄의 상호작용을 메타프로테오믹스 및 메타트랜스크립톰 분석 등의 오믹스 융합 연구가 필수적임
- 중앙대 전체옥 교수 연구팀은 전통발효식품내의 미생물의 기능성 연구를 위하여 미생물 자원 확보와 함께 대용량 유전체 분석을 통해 전통발효식품 내의 발효 미생물에 대한 체계적인 이해와 산업적 이용가치를 증대함
 - 김치, 젓갈, 메주 등의 발효식품내의 미생물의 메타지놈연구 및 발효 단계별 단백질 발현양상을 메타프로테오믹스 분석을 수행함
 - 연구를 통하여 주로 미생물 자원 확보 및 메타지놈 분석을 통한 균집의 조성 분석 등의 기반을 제공하였고, 앞으로는 이러한 전통발효식품 내의 발효 미생물의 유전자 발현 패턴 분석 및 기능성 대사물질 발굴 등의 연구가 필요함
- 극지연구소에서는 극지 유래의 미생물의 유전체 연구를 통하여 혹독한 환경에의 적응기작을 밝히고, 유용유전자의 획득에 이용하고자 하는 연구를 수행하고 있음
 - 2세대 염기서열 분석기로 분류되는 Illumina社의 Genome analyzer IIx (GAIIx)와 Roche社의 GS FLX Titanium을 사용하였고, 3세대 염기서열 분석기로는 Pacific Bioscience社의 PacbioRS를 사용하여 *Streptomyces* sp., *Frigoribacterium* sp., *Psychrobacter* sp., *Salinibacterium* sp. 등의 남극 유래 미생물의 유전체를 분석하였음
- 한국해양연구원에서는 동서남해안과 동해 중심부를 포괄하는 국내 연근해역과 남

북극, 일본, 필리핀, 마이크로네시아, 러시아 등의 세계 각지의 해양으로부터 퇴적물, 해수, 생물시료를 채취하고 16S rRNA 염기서열분석을 통한 균주의 동정 및 계통분석을 실시하여 다양한 해양미생물자원을 확보하고, 그 중에서 신규해독(*De novo*) 25종 및, 재해독(resequencing) 18종의 유전체 염기서열을 해독함

- 또한, 해양 미생물 *Thermococcus onnurineus* NA1을 대상으로 유전자 기능을 규명하고, 단백질 결정구조를 기반으로 하여 transcription machinery 규명연구를 포함하여 단백질, 대사체, 구조유전체 연구를 수행함
- 국내의 해양·극한 미생물 자원의 유전체 연구는 진행되고 있으나, 앞으로는 이렇게 발굴한 해양·극한 미생물의 유전체 정보를 바탕으로 한 멀티오믹스 연구 및 유용유전자를 발굴하고 개발하는 연구가 요구됨

○ 항생제 내성 기작과 관련한 대장균 유전체 재해독 연구도 수행됨

- 고려대 김희남 교수 연구팀은 여러 감염질환 치료에 사용되는 3세대 세팔로스포린계(cephalosporin) 항생제에 내성을 갖는 돌연변이 연구를 수행하면서 β -락탐아제(β -lactamase)에 짧은 DNA 복제지역(tandem repeat)을 일으킨 형태의 돌연변이를 유전체 서열 재해독을 통하여 알아냈으며, 이러한 기작이 미생물 유전체에 영향을 미쳐 세균의 진화에 매우 중요하게 작용해왔음을 발표하였음 (Yi, H., *et al.*, 2014).
- 또한, 한국기초과학지원연구원에서는 대장균을 다양한 계열의 항생제(β -락탐아제, 페니콜, 매크로라이드, 폴리믹신, 아미노글리코사이드, 테트라사이클린, 리팜피신 등)에 노출시켜 나타나는 내성 균주의 개체 수를 측정하고 발현 빈도를 산출하며, 이러한 항생제 내성 변종들의 생리·생화학적 특성을 조사하고 항생제 민감도 차이를 분석함
- 이러한 돌연변이종의 유전체 및 대사체 분석결과를 바탕으로 항생제 내성과 돌연변이 발생에 대한 기작을 연구하고 aminoglucoiside 내성 유전자 발현 조절 네트워크를 규명하였음

○ 병원미생물학분야에서, Cystic Fibrosis를 일으키는 슈도모나스 균주가 숙주를 감염시킨 후에 분리되었을 때, 콜로니가 형태학적으로 다양하게 변화해 나가고, 또 그 이유가 유전체 진화에 있다는 것이 연구결과가 최근에 보고되었음 (Poltak and Cooper, 2011)

- 이 연구는 미생물의 세포내의 신호전달물질인 c-di-GMP를 합성하고 분해하는 효소유전자에 여러 가지 변이가 생겨 biofilm의 생성에 영향을 주고 이것이 숙주에서 미생물의 생존력과 관계가 있다는 것을 유전체 재해독을 통하여 밝혔음

- 이러한 연구결과를 종합해 볼 때, 미생물의 진화경로 및 그 특성을 분석하기 위한 미생물 유전체의 재해독과 비교유전체학(comparative genomics)연구가 부상할 것으로 보임
- 적응진화된 미생물의 에너지대사 및 생리학적 특성 분석을 위한 transcriptome, proteome, metabolome 분석 등이 요구되므로 이러한 연구에 대한 수요가 증가할 것으로 보임

2. 국외 동향

□ 해외 미생물 유전체 사업 현황

- 미국에너지국(DOE)과 John Templeton Foundation, 그리고 MO BIO社, Eppendorf社, Illumina社, Roche社 등이 참여하는 기업 지원으로 각기 흩어져 있는 지구상의 미생물 정보를 수집하고 정리, 가공하여 유용한 정보로 만드는 “Earth Microbiome Project”가 진행 중임
- 지구상에 존재하는 미생물과 그 유전자 정보에 대한 database의 구축과 활용
- 미생물 유전체의 assembly과 annotation을 지원하고 분석하는 작업
- 방대한 미생물 유전체 정보를 보다 쉽게 접근할 수 있도록 시각 정보화하는 작업
- 구축된 metagenome 정보를 바탕으로 지구적 규모의 metabolome 예측 프로그램을 개발하는 작업

Defining the Tasks

There will be four key output from the EMP:

(1) **Gene Atlas (GA)** is a centralized repository and database for all information acquired during this study. This resource will follow the KBASE initiative and provide a searchable format to hold all information regarding annotation, environmental metadata and sequence. This will be a repository for all information, both known and unknown, the latter is also known as **Dark Matter**.

(2) **Earth Microbiome Assembled Genomes (EM-AG)** will encompass all genomes assembled from EMP data, which will be annotated using an automated pipeline and provided in public repositories and a KBASE derived analytical platform. This will enable comparative genomic analysis against all known and EMP-derived genomes and metagenomes.

(3) **Earth Microbiome Visualization Portal (EM-VIP)** will engage with expert in interactive visualization software to synthesize our unique vision into a format accessible to all. In here we will view the earth in microbial space, describing environmental parameter space and genomic functional space, to allow the interrogation of EMP data and the discovery of new ecological theory.

(4) **Earth Microbiome Metabolic Reconstruction (EMMR)** will be based on metagenomic metabolome description and prediction software such as modelSEED and Relative Metabolic Flux (RMF) we will describe changes in metabolites and metabolite profiles through time and biogeographic space. This will be used to produce descriptions regarding metabolite production in specific biomes, providing another metric against which to refine biome descriptions.

[그림 9] 미국 EMP(Earth Microbe Project) 역할

- 미생물 프로젝트를 통하여 미생물 유전체의 해독 기법과 그에 따른 assembly, annotation 기법, 비교유전체적 기법이 발전해왔으나 2012년을 기점으로 소위 permanent draft로 고착화되는 미생물 유전체의 불완전성, 그리고 그 유전체 정보의 유용화 과정에 관한 반성으로 미생물의 경우 completion을 목표로 하는 유전체 해독으로 연구방향이 선회하고 있음

- 미생물 유전체 분석에 관한 논문의 경우, 세균 유전체 분석은 10,553편, 곰팡이는 4,282편의 논문이 조사되었으며, 90년대 이후부터 지속적으로 증가하는 추세를 보임

 - 세균 유전체 분석 관련 논문 중에서, *Bacillus*에 유전체 분석 관련 논문이 965편으로 가장 많은 비중을 차지하였으며, *Pseudomonas*와 *Rhizobium*에 관한 논문도 각각 789편, 554편의 논문이 조사됨
 - 영역범위별 논문 수는 Biochemistry, Genetic and Molecular Biology 분야가 가장 많은 비중을 차지하였고, Microbiology, Agricultural and Biological Science 순으로 나타남

□ 농용미생물 자원의 유전체 해독 프로젝트

- Microbial Genomics Program : USDA (United States Department of Agriculture, National Institute of Food and Agriculture)
 - 미국 USDA 주관으로 농업과 관련된 미생물의 유전체를 분석하고 정보를 모으는 일을 진행하고 있음.
 - ※ <http://nifa.usda.gov/program/microbial-genomics-program>
- Genome Projects (WGS) : NITE (National Institute of Technology and Evaluation)
 - 일본 NITE 주관으로 진행하고 있는 유용미생물 genome project로서 공공보건, 식품안전, 에너지, 환경 등과 관련된 미생물의 유전체를 분석하고 정보를 모으는 일을 진행하고 있음.
 - ※ http://www.nite.go.jp/en/nbrc/genome/project/wgs/project_wgs.html
- JGI genome portal : DOE Joint Genome Institute
 - 미국 DOE의 JGI에서는 주로 독일의 미생물 자원 센터인 DSMZ와의 협력을 통하여 주로 type strain을 위주로 한 genome sequencing을 진행해 왔음
 - Genomic Encyclopedia of Bacteria and Archaea (GEBA)라는 제목 밑으로 GEBA-family, GEBA type strain, GEBA-RNB, GEBA-MDM 등과 같이 여러 개의 세부 프로젝트를 운영하고 있음
 - ※ <http://jgi.doe.gov/our-science/science-programs/microbial-genomics/phylogenetic-diversity/>
- 10,000 Microbial Genomes Project : BGI, China
 - 중국 BGI에서 2009년 8월에 시작한 프로젝트로 산업, 바이오에너지, 환경, 의학에 중요한 미생물을 전 세계로부터 모아 10,000 종의 유전체 서열을 밝히는 것을 목표로 함. 현재 약 1,000 여점의 draft 수준의 유전체 서열 분석이 완료됨
 - ※ <http://ldl.genomics.cn/page/M-research.jsp>
- Burkholderia Genome Database
 - 주요한 농용미생물인 *Burkholderia* 속의 미생물에 대한 유전체 정보만을 모으고 연구하는 사이트임
 - 현재까지 공개된 총 25종의 *Burkholderia* 속 미생물 유전체 정보에 대한 링크를 만들고 업데이트 중임
 - ※ <http://www.burkholderia.com/>

○ Pseudomonas Genome Database

- 주요한 환경미생물이자 농용미생물인 *Pseudomonas* 속 미생물 유전체 정보를 링크하고 업데이트 중임

※ http://www.burkholderia.com/http://www.pseudomonas.com/related_links.jsp

□ 마이크로바이옴연구

- 미국의 NIH (National Institutes of Health)에서는 인간 미생물군집 연구 프로젝트인 Human Microbiome Project(HMP)를 기획하여 연구를 수행중이며 인체의 다양한 기관 (구강, 비강, 피부, 소화관, 비노기관 등) 에 분포하는 미생물의 조성을 분석하고 이들의 변화가 건강과 질병에 미치는 영향과 (Turnbaugh *et al.*, 2007), 많은 사람들이 공통적으로 가지고 있는 핵심 미생물 군총 (core microbiome)을 연구하고 있음
- 유럽연합에서는 Metagenomics of the Human Intestinal Tract (MetaHIT) 프로젝트를 통하여 MetaHIT Consortium에서 124명의 유럽인들의 대변샘플을 해독하여 3.3 million non-redundant bacterial gene을 찾아내어 공개함

□ 유전체 정보 대규모 분석을 활용한 의약품소재개발 및 미생물 감염 및 전파연구로의 활용

- 전 세계적으로 유전체 해독 프로젝트가 진행되면서 유전체 서열 정보들이 누적되고 있음
 - 세균들의 유전체 배열 정보를 바탕으로 새로운 항생제를 찾는 기술에 적용하는 연구가 미국의 일리노이대학의 Bill Metcalf 교수 연구팀에서 수행되고 있음
 - 세균들의 전체 유전체에서 천연물 합성에 관여하는 효소나 단백질을 코딩하고 있는 클러스터(cluster) 영역에서 어떤 산물이 생산되는지 세균 유전체 서열 데이터를 이용하여 분석하고 있으며 다중 비교 측정 기준을 조합시킨 컴퓨터 솔루션을 개발하여 830종의 세균 유전체를 확보하고 11,422종의 유전자 클러스터를 정렬하는 알고리즘을 발표함 (Doroghazi, J. R., *et al.*, 2014)
- 감염병을 유발하는 원인세균의 전파 경로와 약제 내성 진화 및 감염균의 확산 경로를 탐색하는 등의 대규모 연구가 진행되고 있음
 - 미국 뉴욕의 컬럼비아 의대병원의 앤-카트린 우엘만의 연구팀은 MRSA에 감염된 161명의 환자에서 분리된 400가지 메티실린 내성 황색포도상구균 (Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, MRSA)의 유전체 염기서열을 분석하

- 여 유전체에서 발생하는 미세한 변화인 박테리아에 축적된 단일염기변이(single nucleotide polymorphisms, SNPs)의 비율을 측정하여 격리된 바이러스의 유사성을 측정하여 계통 발생적으로 분석하였음
- 이는 역학조사에서 전체 유전체 염기서열 분석을 활용한 주요한 사례로 생각되고 있음 (Uhlemann, A. C., *et al.*, 2014)
- 덴마크기술대학의 프랭크 엠매레스트럽 박사는 임상시료에서 병원균을 빠르게 규명할 수 있는 방법에 대한 연구를 통하여, 유전체게놈서열분석(whole genome sequencing, WGS)를 이용하여 기존에 일주일 이상 소요되던 감염균 분리·배양을 통한 검진방법을 18시간으로 단축시키는 연구결과를 발표함
- 기존의 방법으로 검사하지 못했던 박테리아를 규명하였고 이러한 방법을 통해서 반복되는 감염 환자에게서 새로운 감염인지 재발인지를 빠르게 분석할 수 있음
 - 앞으로 유전체 게놈서열분석 비용은 계속해서 감소할 것이며, 이러한 방법의 자동화를 통해 감염검사와 통제를 위한 표준기술이 될 것이라고 예측함(Hasman, H., *et al.*, 2014)
- 프랑스의 국립자연사박물관의 티에리 비르트 박사 연구팀은 99개국에서 수집한 총 4,987개의 결핵균 샘플을 분석하여, 그 중 110개에 대해서는 모든 유전체, 나머지에 대해서는 부분적인 유전체의 염기서열을 해독하고, 결핵균의 확산에 대한 기존의 자료를 참고하여, 다양한 결핵균들 간의 족보를 완성하였고 이를 통해 결핵균의 항생제내성, 대사, 면역계 회피와 관련된 돌연변이에 관한 연구를 수행함 (Merker, M., *et al.*, 2015).

제3절 국내외 미생물 유전체 산업동향

1. 미생물 유전체 산업동향

□ 미생물 유전체 관련 시장은 유전체 해독 서비스(시퀀싱용 장비·소모품, 일괄 서비스 및 생명정보 분석)에 해당하는 후방산업과 이로부터 도출되는 정보의 고급 가공과 활용을 통해 농림축산식품용 유용 미생물 관련 제품을 생산하는 전방 산업으로 구분할 수 있음

○ 전방 산업으로서 미생물 관련 제품은 프로바이오틱스, 단세포단백질, 미세조류, 미생물 농약, 종균 등 미생물 자체를 이용하는 것과 미생물 유래의 1·2차 대사산물 및 효소류를 이용하는 것으로 구분할 수 있음

- 농림축산식품부의 R&D 영역에 해당하는 것은 발효 식품, 식용 버섯류, 기능성 식품, 미생물 비료·농약, 및 사료첨가제 등

○ 국내에는 미생물 자원의 발굴, 보존 및 관리를 위하여 미래창조과학부가 지정한 12개의 미생물소재은행과 세계균주연맹(WFCC)에 등록된 6개의 균주은행이 있음

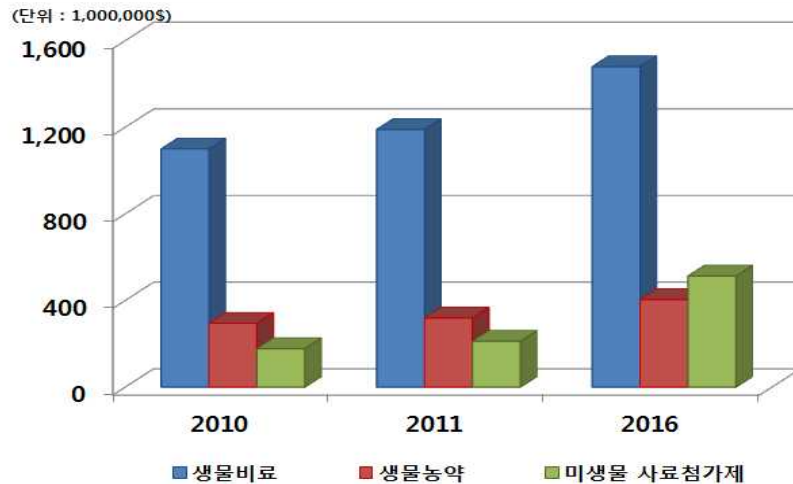
- 미생물 자원 확보와 다양성 연구 분야에서는 이미 세계 7위권 안에 진입한 상태이며, 21C프론티어 미생물유전체활용 기술개발사업을 통하여 유용 미생물 자원의 확보와 유전체 해독 및 응용 연구를 위한 세계적 경쟁력을 갖추고 있음

□ 해외 미생물 관련 산업 시장 규모

○ 미생물을 이용한 농업제품 관련 세계 산업시장은 2010년 10억 달러에서 2016년 24억 달러로 연평균 6.8% 성장할 것으로 예상

- 미생물사료첨가제 산업은 2011년부터 2016년까지 연평균 19.3% 증가하여 가장 높은 성장률을 기대

- 2016년도를 기준으로 하여 농업 관련 산업 중 생물비료 산업은 62% 가장 큰 비중을 차지할 것으로 기대되고 있으며 미생물사료첨가제 산업은 20%, 생물농약 산업은 17%로 각각 차지할 것으로 예상



[그림 10] 미생물 관련 산업 시장규모

- 환경 분야의 경우 미생물은 다양한 환경제품에 적용이 가능하며 2010년을 기준으로 약 8억 6천만 달러의 세계 산업시장 규모를 갖추고 있음
 - 2011년도 약 100억 달러에서 2016년 169억 달러로 연평균 11% 성장할 것으로 예상
 - 미생물에 의한 환경복원 산업은 환경 전체산업 중에서 85% 이상을 지속적으로 차지할 것으로 전망
 - 환경 모니터링 분야는 2011년도부터 2016년까지 연평균증가율 6.9%로 가장 크게 성장할 것으로 기대
- 미생물을 이용한 보건의료 관련 세계 산업시장은 2011년 약 100억 달러에서 2016년 169억 달러로 연평균 11% 성장할 것으로 예상
 - 미생물에 의한 생물제약 산업은 보건의료 관련 산업시장에서 99%가 넘는 비중을 차지하고 있으며 향후 2016년에도 변함없을 것으로 예상
 - 또한, 2011년부터 2016년까지 연평균 증가율은 11%로 미생물 활성균 산업 5.8%보다 더 높게 성장할 것으로 기대
 - 반면, 미생물 활성균 시장은 보건의료 전체시장의 1% 미만을 넘지 못할 것으로 예상
- 미생물을 이용한 에너지 관련 세계 산업시장은 2010년 약 670억 달러에서 2016년 671억 달러로 크게 성장할 것으로 전망
 - 바이오연료는 에너지 관련 산업시장에서 99%가 넘는 비중을 차지하고 있으며 향후 2016년에도 변함없을 것으로 예상
 - 미생물 연료세포는 2011년부터 2016년도까지 연평균증가율 175.9%를 보이며 폭발적으로 성장할 것으로 기대

- 또한, 미생물 강화 오일 분야는 2011년부터 2016년도까지 연평균 증가율 28.5%를 보이며 성장할 것으로 예상

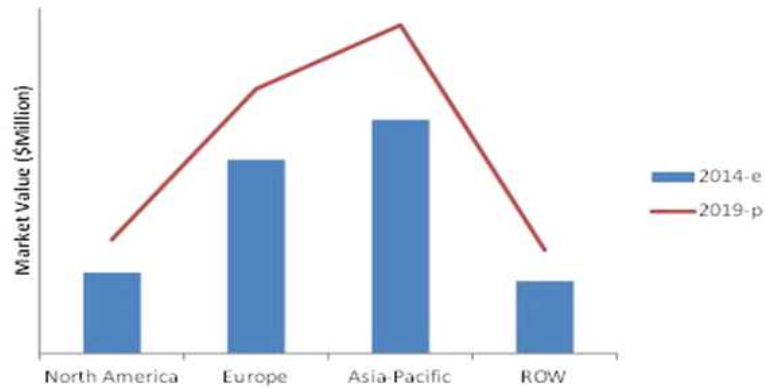
□ 국내 미생물 관련 산업 시장 규모

- 국내 미생물 산업의 시장규모는 2010년 기준으로 7,714억 원으로 추정되며, 발효 식품시장을 포함하면 약 4조 5천억 원을 넘는 규모로 예상
 - 효소시장은 410억 원, 항생제 3,862억 원, 단백질 2,482억 원, 농업 미생물제제 시장으로 100억 원의 시장을 형성
 - 친환경농업정책으로 화학비료와 농약을 대체할 수 있는 토양미생물제제 생산량이 증가하면서, 국내 미생물농약 시장 규모는 빠르게 증가하는 추세: ※ 미생물 농약 시장 규모 : '05년 24.7억 원 → '10년 47.3억 원
- 우리나라는 전통적으로 강한 발효기술을 바탕으로 아미노산 발효기술은 국제적 경쟁력을 보유하고 있어 세계 상위의 식품, 사료용 아미노산 생산국이며 특히 식품용 아미노산인 MSG, 라이신 등은 세계시장 30%를 점유하고 있음
 - 2009년 기준 국내 효소시장 규모는 연간 약 950억 원 규모이며, 이 중 약 600억이 유럽, 미국 등에서 수입되고 있으며, 국내 효소생산은 양적 성장에도 불구하고 대부분 기술 장벽이 낮거나 제품특성이 미약한 식품, 사료, 바이오제제 등에 집중되어 있는 구조적 취약성을 보이고 있음

□ 프로바이오틱스 관련 해외 산업 동향

- 인간-미생물 상호작용에 대한 연구는 100 여 년 전 러시아 과학자인 Elie Metchnikoff에 의해 시작되었으나 이에 대한 실제적 연구는 NGS가 대중화 되고 미생물군집의 분석이 용이하게 된 최근 10년 내외로 볼 수 있음
- 따라서 인체 관련 미생물을 이용한 산업화는 대부분 probiotics나 prebiotics의 개발이 대부분을 차지하고 있으며 일부 미생물을 이용한 미생물 치료제들이 개발되고 있는 실정임
- 세계 probiotic ingredient 시장의 가치는 2012년 110-150억 달러에서 2019년에 160~250억 달러에 달할 것으로 보고되고 있으며 (Global Trends & Forecasts to 2019) 기능성식품, 건강보조제, 사료첨가제와 치료제, 질환예방에 관련된 상품이 포함됨

Probiotics Market Value, by Geography, 2014 Vs 2019



Source: MarketsandMarkets Analysis

[그림 11] 전 세계 대륙별 프로바이오틱(probiotic) 시장전망

- 숙주-미생물 상호관계에 대한 이해와 더불어 미생물 자체를 이용하는 치료제, 미생물이 생산하는 물질의 활용, 미생물 군집의 조절물질 등에 의해 임상용으로 활용 가능한 미생물치료시장 및 새로운 개념의 상품 개발이 가능할 것으로 예상됨

□ 국내 프로바이오틱스 관련 산업 현황

- 국내 건강식품산업은 2010년 기준으로 1조 원의 시장을 형성하고 있으나 대부분이 홍삼, 비타민, 알로에, 오메가-3 지방산 등이 차지하고 있으며 프로바이오틱스 제품의 경우 317억 원의 시장을 형성하고 있음 (2010년 건강기능식품 생산실적 통계 자료, 식약청)
 - 이 중 홍삼과 일부 프로바이오틱스 제품으로서 각각 130억, 105억을 수출함
- 최근 프로바이오틱스에 대한 관심이 증대되면서 관련 산업의 매출이 급증하고 있으며 2011년 대비 1.5~2배의 매출 증대가 예상되고 있음
- 최근 미국 프로바이오틱스 제품의 수입이 증가되고 있을 뿐 아니라 국내 대기업의 참여등으로 시장이 확장되고 있으며 2014년에는 2011년 대비 1.5~2배의 매출 증대가 예상됨
- 그러나 제품에 활용되는 미생물 균주의 경우 국내에서 직접 개발한 경우 보다 해외 균주의 도입을 통하여 제품을 생산하는 경우가 많아 미생물의 발굴과 건강개선 효과의 검증을 위한 인프라 구축이 필요함

2. 국내 미생물 활용 및 기술개발 수요조사

가. 기술수요조사 개요

□ 기술수요조사 기획 및 조사서 설계

국내 농림축산식품 기업을 대상으로 미생물 유전체 분야 기술개발의 현재 및 미래에 요구되는 기술수요 파악

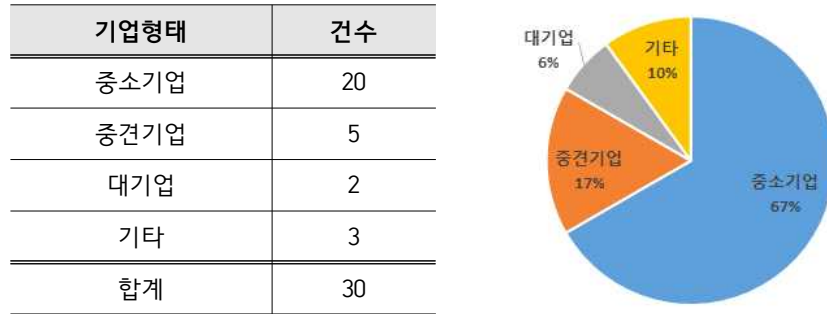
- 현장의 기술개발 수요를 반영하기 위해 농림축산식품 산업계 기업 종사자를 대상으로 수요조사를 실시하였으며, 총 30건의 의견이 반영됨
 - (조사목적) 향후 국가경제력 제고 및 시장 성장 가능성과 산업적 파급효과가 큰 미생물 유전체 기술군 및 제품분야 발굴
 - (조사방법) 농림축산식품 산업계 전문가들을 대상으로 설문조사를 통한 현장의 의견수렴과 연구수요 파악
 - (조사기간) 2015. 5. 14 ~ 6. 5(3주)
 - (설문방법) 온라인 설문(E-mail 회신 또는 온라인 제출)
 - (조사내용) 미생물 유전체 연구개발 필요성 및 기술개발 수요조사

※ 수요조사서 불임참조

□ 설문 응답 기업 통계

- 약 600개의 농림축산식품 기업 종사자를 대상으로 온라인 수요조사를 실시한 결과 총 30개 기업이 응답하여 약 5%의 응답률을 보임
 - 응답자는 기업 부설연구소, 대표이사 등 연구개발 담당자로서, 설문 결과의 전문성이 확보됨
- 응답된 설문 30건 중 67%에 해당하는 20건이 중소기업에서 응답하였으며, 중견기업 5건, 대기업 2건, 기타 3건이 회수됨
 - 기업의 주요생산제품별 분류는 식품 8건, 농림 6건, 동식물 의약품 5건, 축산 3건, 생물정보 2건, 기타 3건으로 나타남

[표 4] 기술수요조사 응답기업 통계



나. 기술수요조사 결과 분석

□ (설문결과 1) 미생물 유전체 연구개발 필요성

- (1-1) '국가차원의 연구개발이 필요한 분야'는 농림축산미생물, 동식물병원균에 대한 연구가 각 9건으로 가장 시급한 것으로 나타남
 - 그 외 미생물기반융복합소재(7건), 식품미생물(4건), 프로바이오틱스(2건)으로 나타남
- 국가차원의 연구개발이 필요한 분야는 민간에서 사업화를 통한 기대수익이 낮아 사업성보다 공공성이 높은 분야인 것으로 분석됨
 - 농림축산미생물, 동식물병원균 분야는 민간분야에서 사업성은 낮지만 공공성을 위해서는 관련 연구개발이 필요함

[표 5] 국가차원의 연구개발이 필요한 분야 응답결과



- (1-2) '산업화 촉진을 위한 연구개발 분야'는 미생물기반 융복합소재에 대한 연구가 11건으로 민간 수요가 가장 높은 것으로 응답됨
 - 그 외 농림축산미생물(6건), 식품미생물(5건), 프로바이오틱스(5건), 동식물병원균(4건)으로 나타나 산업적 수요는 유사 수준으로 분석됨
- 산업화 촉진을 위한 연구개발이 필요한 분야는 민간 기업에서 연구개발 수요가 가장 높은 분야로 산업적 파급효과가 높을 것으로 기대됨

- 미생물기반 융복합소재 분야가 전체 응답의 약 34%를 차지하여 미생물 유전체 관련 산업에서 산업적 파급효과가 가장 높은 것으로 기대됨

[표 6] 산업화 촉진을 위한 연구개발 분야 응답결과



□ (설문결과 2) 연구개발 수요조사

- (2-1) '시장/제품 분류 연구개발 수요'는 미생물기반 융복합소재가 13건으로 가장 높은 것으로 나타났으며, 면역증강제 11건, 프로바이오틱스 10건으로 민간 기업에서의 연구개발 수요가 높은 것으로 나타남
 - 그 외 장류미생물(9건), 미생물농약(8건), 동·식물 병원균(각 7건), 식용버섯류(7건) 순서로 나타남
 - 농림축산, 식품, 프로바이오틱스, 미생물소재, 동식물병원균 각 분야별 제품개발 수요는 비교적 유사한 수준으로 나타남
- 시장/제품 분류별로 산업계 수요가 높은 분야는 사업성이 높은 제품군으로 파악할 수 있으며, 민간에서 해당제품의 연구개발에 적극 참여할 수 있도록 국가 연구개발 추진이 필요함

[표 7] 시장/제품 분류 연구개발 수요 응답결과

구분	건수	구분	건수
김치류미생물	6	면역증강제	11
주류미생물	3	식물병원균	7
장류미생물	9	동물병원균	7
염장류미생물	1	공생미생물	3
미생물비료	2	프로바이오틱스	10
미생물농약	8	식용버섯	7
농업환경개선제	5	미생물융복합소재	13
사료첨가제	6	기타	3

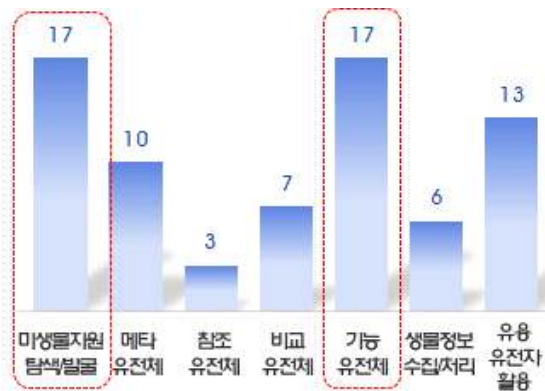


[그림 12] 시장/제품 분류 연구개발 수요 응답결과

- (2-2) '기술 분류 연구개발 수요'에서는 미생물자원 탐색 및 발굴 기술과 기능유전체 기술이 각 17건으로 가장 많은 것으로 조사됨
 - 그 외 유용유전자 활용(13건), 메타유전체(10건), 비교유전체(7건) 순서로 응답
- 미생물자원 탐색 및 발굴, 기능유전체, 유용유전자 활용 기술은 기업에서 미생물을 활용하여 사업화할 수 있는 기술로 기업의 수요가 높게 나타난 것으로 분석됨
 - 특히, 기능유전체는 GMO 기술에 활용할 수 있어 활용성이 높을 것으로 기대됨

[표 8] 기술 분류 연구개발 수요 응답결과

구분	건수
미생물자원 탐색 및 발굴	17
메타유전체	10
참조유전체	3
비교유전체	7
기능유전체	17
생물정보수집 및 처리	6
유용유전자 활용	13



□ (설문결과 3) 세부 제안기술

- 총 30건의 회수설문을 통해 총 17개의 미생물 유전체 관련 연구개발 주제가 제안됨
 - 농림, 축산, 식품, 동식물 병원균 의약제제, 생물정보 등 다양한 분야에 대한 연구개발 주제가 제안됨
- 미생물 유전체 R&D 중장기계획에 반영하여, 민간 기업들의 적극적인 참여를 기대할 수 있음

[표 9] 세부 제안기술 내용

세부 제안기술	
1	<p>미생물을 이용한 면역 증강제 개발</p> <p>제안내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 항생제의 남용 및 과다 투여를 방지하기 위해 사료에 첨가 가능한 면역 증강제의 개발 - 면역 증강에 효능이 있는 유전체를 발굴하여 특정 유전체 발현 미생물을 개발, 이를 기반으로 축산분야에 항생제 대용으로 사용 가능한 면역증강 강화 첨가제 개발
	<p>기술명</p> <p>축산분뇨 악취제거용 미생물유전체기능분석을 통한 핵심기능유전체 발굴</p>
2	<p>제안내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 복합악취, VOC, 황화수소, 암모니아 등 축산분뇨 악취를 근원적으로 제거하는 신규 미생물 6종 보유중 - 축산분뇨 악취를 근원적으로 제거하는 신규 미생물 6종에 대한 유전체 분석을 통해 악취제거 관련 고부가가치 기능유전자원의 발굴
	<p>기술명</p> <p>축산분뇨 악취제거용 미생물의 핵심 기능 유전체를 활용한 대량생산 시스템 개발</p>
3	<p>제안내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 발굴된 고부가가치 핵심 기능유전자원을 발현하는 재조합 균주개발을 통한 축산분뇨 악취제거용 제품의 대량생산 시스템 구축 - 확립된 대량생산 시스템을 통한 축산분뇨 악취제거용 효소, 종균 및 장치 개발
	<p>기술명</p> <p>신규 세균 및 유전체 이용 다제 내성세균 제어용 항생물질 탐색 및 개발</p>
4	<p>제안내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 세계적으로 MRSA, VRE에 대한 문제가 심각한 수준이며, 각국 정부에서는 이에 관련된 엄청난 연구비를 투자하고 있음 - 국내에는 내성세균 제어 연구의 중요성에도 불구하고 관련 연구가 극히 제한적인 실정임 - 본 연구자는 차세대 천연 항생제로 기대되는 A 물질의 대량 생산 및 개발을 위하여 균주 개량, 생산조건 조사 등 기반 연구를 현재 진행 중임
	<p>기술명</p> <p>세리포리아락세라타균사체 기능성성분 분석 및 이의 구조분석을 통한 천연물 신약 개발</p>
5	<p>제안내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 연구결과 확인된 수개의 기능성 성분의 물질구조와 효능을 규명함으로써 균사체 배양기술의 고도화를 달성하고, 이 기술을 적용하여 각 병증에 가장 효능이 높은 균사체배양물을 생산함으로써 부작용은 적고, 기능성은 합성신약을 능가하는 천연물 신약 개발 - 현재까지는 시간과 비용의 제약으로 혈당조절용 건강기능식품 원료 개별인정 신청에 만족하지만, 기능성 측면에서 당뇨질환의 진행차단 및 회복 치료 활성을 보여 시판중인 당뇨치료제 보다 치료기능 탁월하며 부작용은 없는 것으로 평가 됨
	<p>기술명</p> <p>마우스 모델의 Metagenomics/Metabolomics 분석을 이용한 프로바이오틱스와 발효 식품이 장내미생물과 건강에 미치는 영향 분석 시스템 구축</p>
7	<p>기술명</p> <p>라이브러리 풀을 이용한 식물병 방제제 및 바이러스 병에 대한 저항성 유도제 개발 등</p>
8	<p>기술명</p> <p>건강한 한국인의 연령대별 장내미생물총의 특성 파악을 위한 데이터베이스 구축 및 이를 활용한 개인 맞춤형 프로바이오틱스 제조 기술 개발</p>
9	<p>기술명</p> <p>의약품소재용 발효미생물의 유전체정보 활용기술 개발</p>
	<p>제안내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 국내 다수의 의약품 혹은 식품 첨가용 발효 생산 균주의 유전체정보 확보 및 전사체 분석 등을 통한 유전자원의 확보 및 이를 활용한 기능 개선과 생산성 증대를 통한 산업화 기술 개발 - 국내 발효 의약품 및 식품 첨가용 소재의 개발의 한계를 극복하는 신기술로 유전체 정보의 활용 기술 개발을 통해 국제 경쟁력을 강화하고자 함
10	<p>기술명</p> <p>각 식물병원균에 대한 유전체 분석</p>
	<p>제안내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 배추 뿌리혹병에 대한 유전체 분석이 충남대학교에서 이루어지고 있으나 다른 병원균에 대해서는 연구진행이 미진한 실정이며, 타 병원균의 유전체 분석이 이루어진다면 식물병원균을 연구에 많은 도움이 될 것으로 기대함
11	<p>기술명</p> <p>유전체 정보를 활용한 신속 대량 검정 기술 개발</p>
	<p>제안내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 유전체 정보의 실용화를 위해, 유전체 정보 가공 기술과 이를 활용해 원하는 생물정보와 실제 동식물에 신속하고 대량으로 적용할 수 있는 기술 개발이 필요함

		극한 환경지역 미생물의 유전체 및 전사체 해석을 통한 농업형질 개선용 소재 개발
12	제안내용	- 옴호, 건조지역에서 생장이 우수한 미생물의 유전자원 확보를 통한 농업환경 개선 및 농업형질 개선용 유전체 및 전사체분석 연구 - 질소고정 미생물(광합성 세균)의 유전체 연구를 통한 농업환경 개선용 유전자 소재개발
	기술명	유전체 및 전사체 해석을 통한 미생물기반 융복합 소재 개발
13	제안내용	- 극한 환경에서 우수한 생장 특성을 보이는 미생물의 유전체 및 전사체분석을 통한 미생물 기반 고부가가치 소재 생산 기술 개발 - 미생물 기반 융복합 소재 생산에 필요한 고효율 효소 개발
	기술명	프로바이오틱스와 프레바이오틱스를 활용한 symbiotic 사료첨가제 개발
14	제안내용	- 우수한 미생물자원의 유전체 분석과 유전자 기능 연구 통한 고부가가치 사료첨가제 발굴 및 효과 규명
	기술명	신규 항진균제의 원천 타깃 발굴과 관련 약물 개발
15	제안내용	- 전 세계적으로 지난 수십 년 동안 장기이식수술, 항암치료, 후천성면역결핍증(AIDS) 및 고령화 등으로 인하여 면역 능력이 저하된 환자 수가 급격히 증가하고 있으며, 이들 고위험군의 경우 <i>Candida</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Cryptococcus</i> 와 같은 인간 기회감염성 병원성진균(opportunistic human fungal pathogens)에 의한 감염과 질환 역시 지속적인 증가 추세를 보이고 있음 - 병원성진균은 다양한 자연환경에 존재하여 인간의 건강뿐 아니라, 축산 및 농수산 산업을 비롯하여 환경과 생태학적인 측면에서도 심각한 문제로 대두되고 있음 - 병원성진균이 동물 숙주내로 감염되어 다양한 스트레스 환경에서 생존 및 번식하며 병원성을 유지하는데 필수적인 다양한 신호전달경로의 작용기작과 신호전달 인자간의 상호 cross-talk에 의한 종합적인 신호전달네트워크를 정확히 규명하는 것은 병원성진균의 병원성 조절기작의 근본적 이해와 감염 질환의 치료법 개발에 결정적인 단서를 제공할 것임 - 이러한 병원성진균의 신호전달네트워크 연구는 곰팡이와 인간 사이의 진화적으로 보존된 신호전달관련 유전자 기능에 대한 유용한 정보를 제공하여, 인간 질병치료를 위한 약물의 개발에도 응용될 수 있음
	기술명	유전체 및 전사체 비교 분석 시스템구축과 데이터베이스 개발
16	제안내용	- 유전체 및 전사체를 서로 비교 분석하고, 이를 웹 기반으로 데이터베이스화 하여 연구자들이 쉽게 분석할 수 있는 시스템을 개발할 필요성이 있음
	기술명	돼지호흡기 질환 원인균을 효과적으로 제어할 수 있는 유용미생물 발굴 및 유전체 분석을 통한 신규 항균 제제 개발
17	제안내용	- 양돈산업에서 문제시되는 호흡기 질환 원인균에 대하여 항균활성을 갖는 유용미생물 발굴, 특성화 및 산업화 - 확보 미생물의 유전체 분석을 통해 유용 유전자원 확보 및 전사체 분석을 통한 유전자 기능 연구 - 신규 항균 후보 물질 선발 및 효과 검정을 통해 양돈산업에 활용 가능한 항균 제제의 산업화

제4절 미생물 유전체 기술개발(특허) 동향

- 미생물 유전체 기술개발(특허) 동향분석을 위해 선행 연구개발 및 산업(시장) 동향분석을 통해 미생물 유전체 기술을 대표할 수 있는 키워드 및 주제를 도출
- 김치와 유산균(그룹 I), 미생물 대사체(그룹 II), 및 병원성 미생물(그룹 III) 3개 그룹에 대해 특허동향분석을 수행함
- 본 특허동향분석에서는 “한국특허, 일본특허, 미국공개, 미국등록, 유럽공개, 유럽등록, 독일공개, 독일등록, 영국공개, 영국등록, 프랑스공개, 프랑스등록, 국제출원, 일본영문초록, 중국특허, 및 PCT” 특허출원(등록)을 대상으로 특허를 조사 분석하였으며, 1975년 이후 출원된 특허를 대상으로 함

※ 검색에 이용한 DB는 WIPSON 및 Thomson Innovation

1. [그룹 I] 김치, 유산균 관련 기술개발 동향

가. 특허 검색 키워드 및 검색식

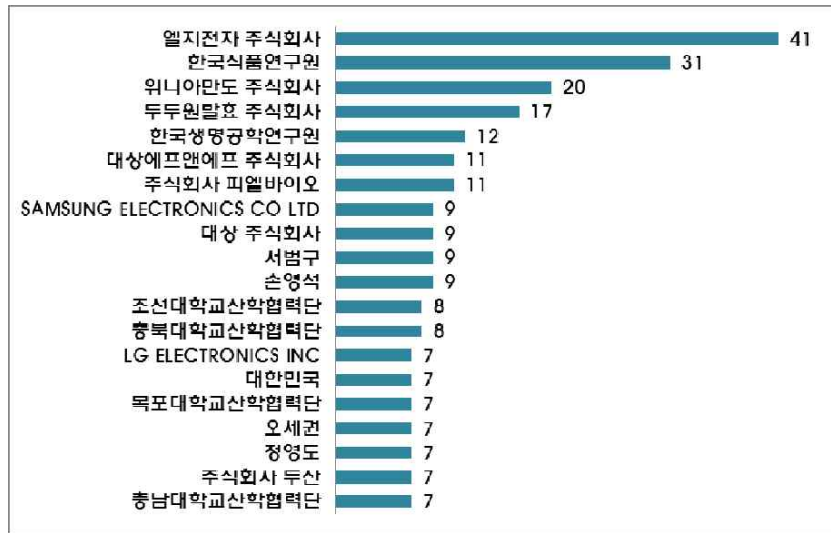
- 아래 키워드를 이용하여 1차 검색을 수행한 결과 3,202건의 특허출원(등록)이 검색되었으며, 이로부터 노이즈를 제거하고 926건을 최종 선별하여 그룹 I의 특허동향 분석에 사용함

(kimch* or 김치 or 기무치 or 키무치 or kimuchi) and (미생물 or microorganism or 유산균 or lactic acid bact* or 박테리아 or 세균 or bacteri* or 효모 or yeast or genetic or genomic or gen* or 유전자 or 유전)

나. 특허출원 동향

1) 출원인 분포

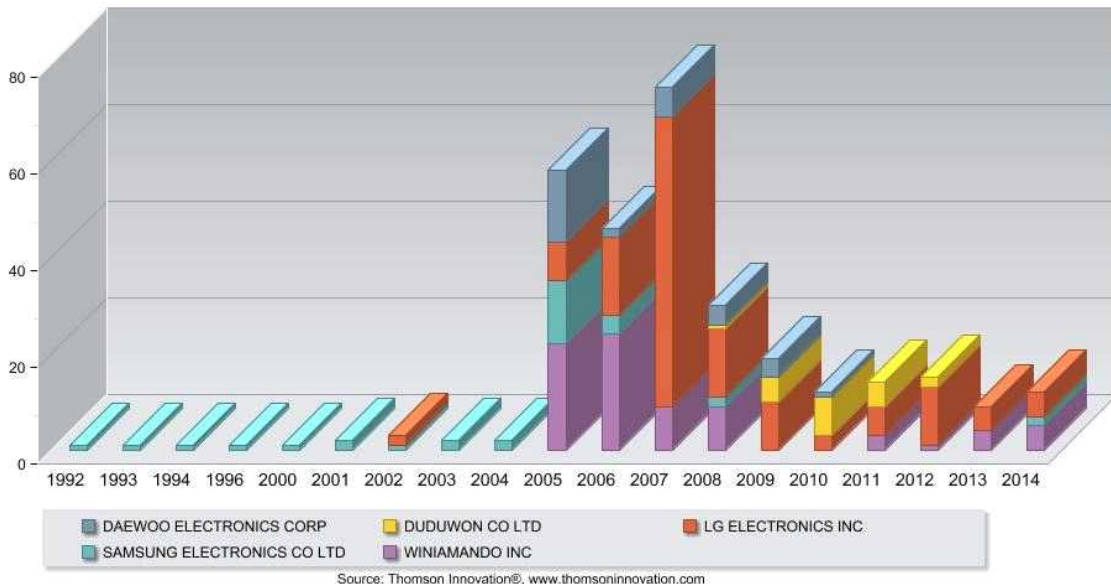
- 그룹 I의 주요 출원인은 엘지전자, 한국식품연구원, 위니아만도, 두두원발효 등 전자, 식품, 생명 등 다양한 분야에서 관련 기술을 개발한 것으로 나타남
- 아래 [그림 12]에 제시된 것과 같이, 한국기업인 엘지전자 주식회사가 이 그룹에서 가장 많은 출원을 한 것으로 조사되었으나, 엘지전자의 특허는 김치 유산균을 에어컨 또는 공기정화기의 필터에 적용한 것이 대부분임
- 그 밖에 한국식품연구원, 대상, 및 한국생명공학연구원 등이 김치 유산균을 이용한 기능성 식품 소재 또는 약학 조성물에 대한 특허를 출원하였음



[그림 13] 주요출원인 분포(그룹 I)

- 주요출원인의 연도별 출원 현황을 보면 2005년부터 엘지전자, 삼성전자, 위니아만도 등 전자업체에서 관련 특허를 다수 출원한 것으로 나타나며, 2007년을 정점으로 다시 감소하는 추세를 보임
- 엘지전자는 2005년부터 김치 유산균을 이용한 공기정화기에 관한 특허를 출원하기 시작하여 2007년에 가장 많은 특허를 출원한 것으로 조사됨

Top Assignees by Year

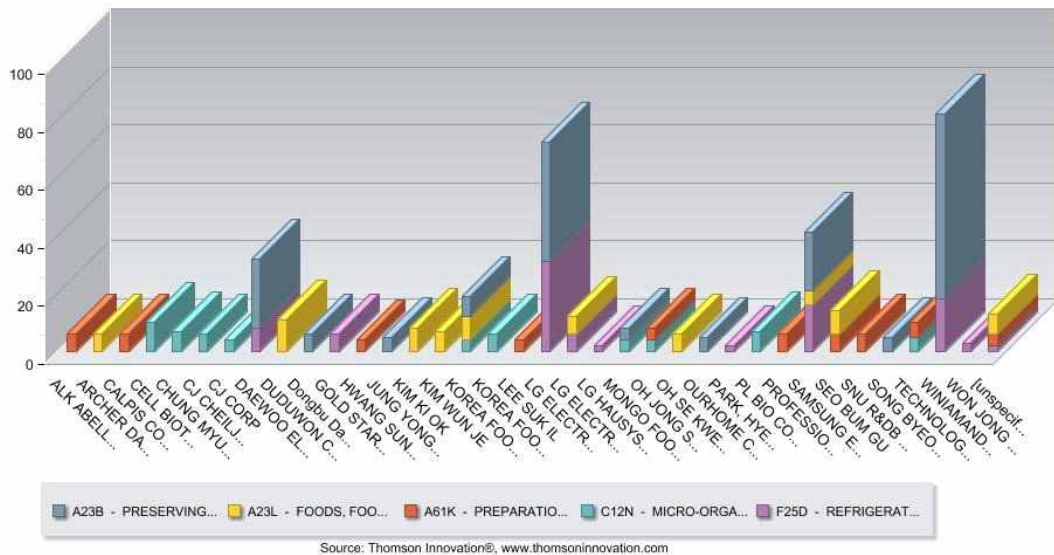


[그림 14] 주요출원인의 연도별 특허출원현황(그룹 I)

- [그림 14]은 주요 출원인의 기술 분야 별 출원 현황을 비교하여 나타낸 것이며, [그림 15]는 주요 출원인의 국가별 출원 현황을 나타냄

- IPC코드 4자리 기준으로 주요 출원인의 출원 현황을 살펴보면, 엘지전자, 위니아 만도, 두두원 등 전자분야 출원인은 C12N(미생물 또는 효소, 및 이의 조성물)과 F25D(냉동기술)관련 기술 개발이 활발한 것으로 나타남
- 그 외, 출원인들은 A23L(발효식품 및 소재), A61K(아미노산, 펩타이드 또는 유도제) 관련 기술 개발이 활발함

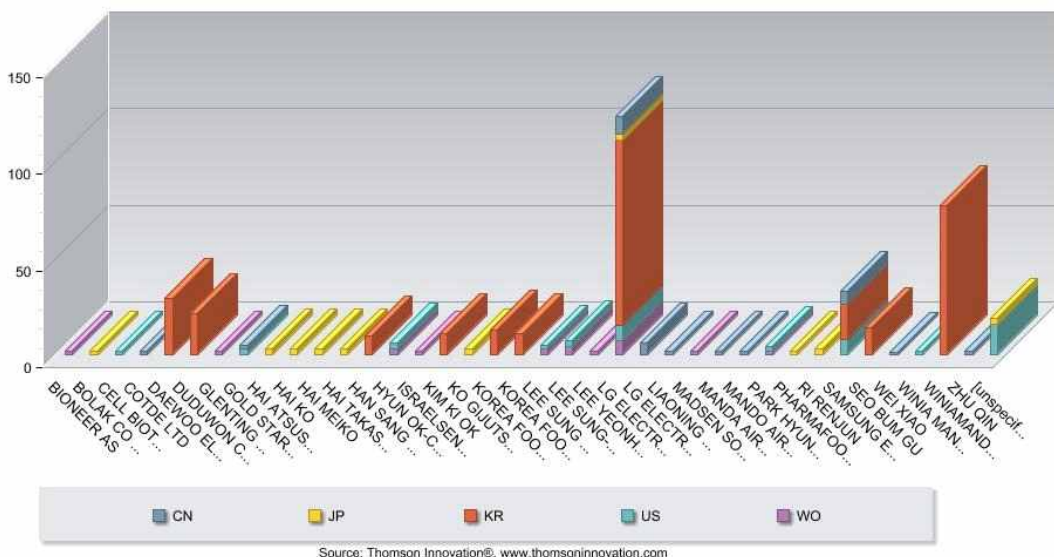
Top IPCs by Assignee



[그림 15] 주요 출원인의 기술분야별 특허출원현황(그룹 I)

- 주요 출원인의 국가별 출원 현황은 한국 출원이 가장 활발하며, 미국, 일본, 중국에서 특허를 출원하고 있음

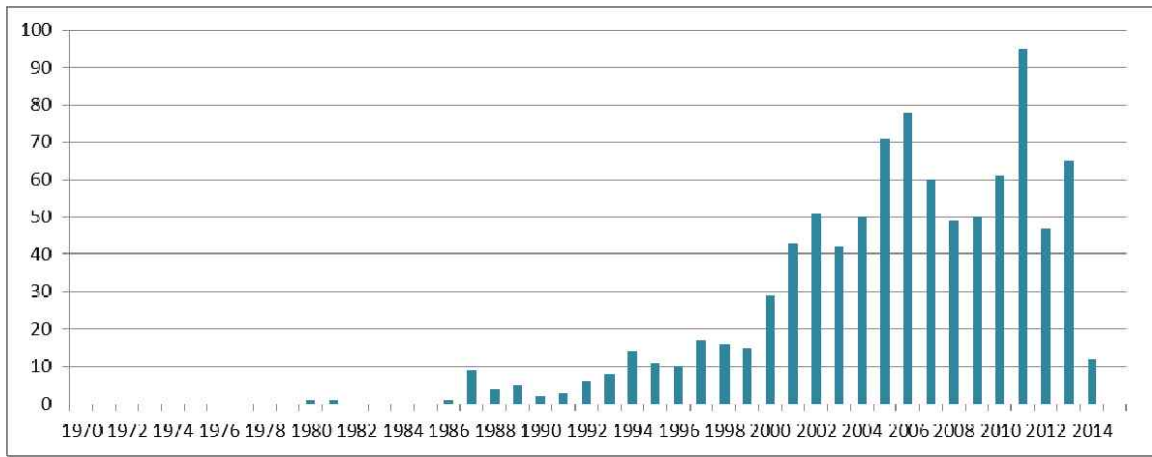
Top Countries by Assignee



[그림 16] 주요출원인의 국가별 특허출원현황(그룹 I)

2) 연도별 출원현황

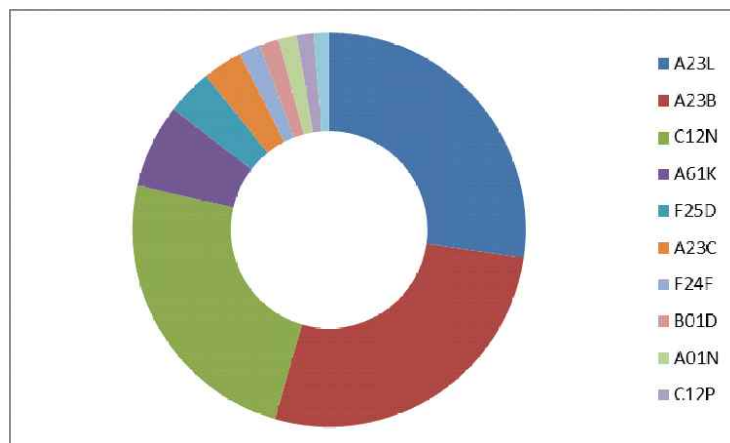
- [그림 16]은 연도별 출원 현황에 관한 것으로서, 2000년에서 2006년 사이 출원 건 수가 급증한 후 다소 줄어들었다가, 2010년 이후 출원 건 수가 다소 감소하는 추세를 나타냄
- 이는 김치 유래 유산균을 이용하여 기능성 식품을 제조하는 발명에 대한 특허가 이미 다수 출원된 상태에서, 새로운 기능성에 대한 연구 또는 종래 알려진 기능성에 대한 개선 등에 대한 연구가 수행되고 있음을 제시함



[그림 17] 연도별 특허출원현황(그룹 I)

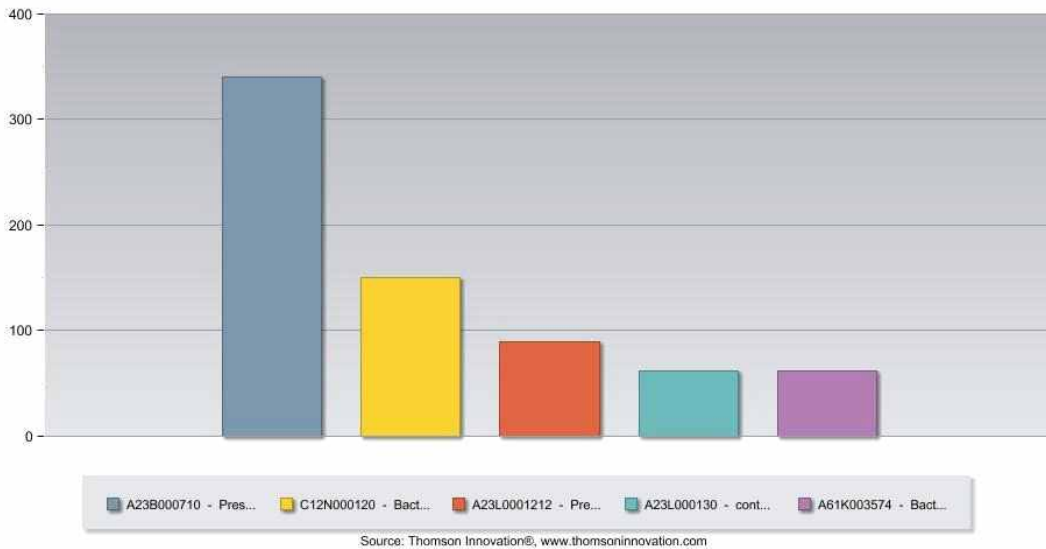
3) 국제특허분류

- 그룹 I에 속하는 특허의 주요 기술 분야는 [그림 17]에 나타낸 것과 같이, A23L(발효식품 및 소재), A23B(화학첨가물), C12N(미생물 또는 효소, 및 이의 조성물) 및 A61K(아미노산, 펩타이드 또는 유도체)으로 나타남



[그림 18] 국제특허분류(그룹 I)

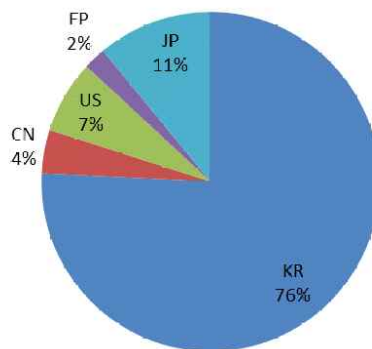
Top IPCs



[그림 19] 세부 국제특허분류(그룹 I)

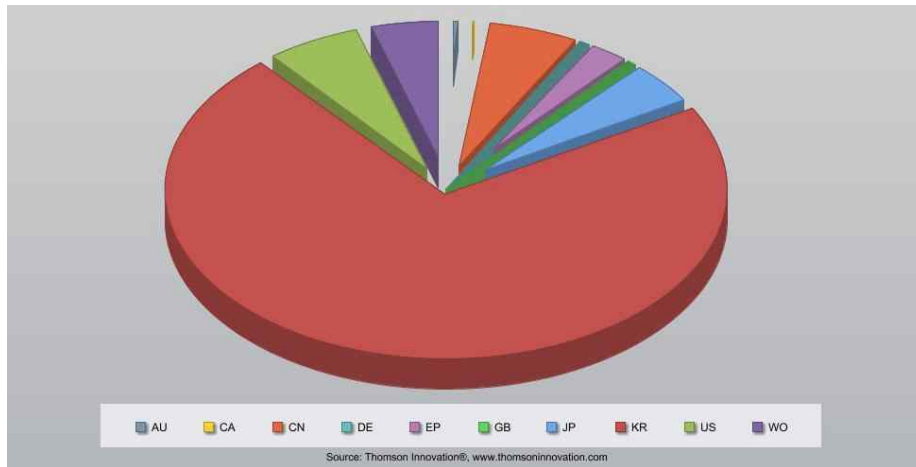
4) 국가별 출원 분포

- 그룹 I의 특허 962건 중 약 76%가 한국에서 출원된 특허로, 한국이 관련 시장을 주도하고 있는 것으로 나타남
- 한국에 이어 일본 11%, 미국 7%, 중국 4% 순서로 나타나 한국이 관련시장을 차지하는 비중이 높은 것으로 분석할 수 있음



[그림 20] 국가별 출원 분포(그룹 I)

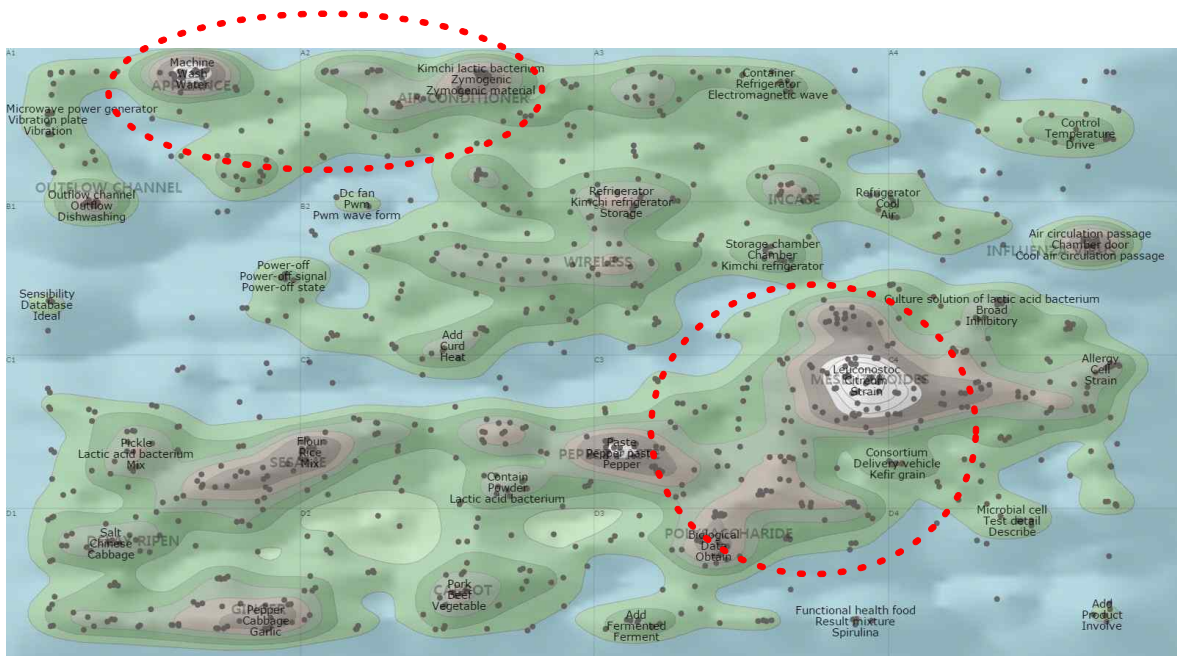
- 한국특허청에서 출원된 특허의 출원인 국적을 분석해 본 결과 [그림 20]과 같이 나타났으며, 우리나라에서 시장을 주도할 뿐만 아니라 기술개발도 활발한 것으로 분석할 수 있음
- 그 외, 미국, 중국 국적의 출원인들이 우리나라에 특허를 다수 출원하고 있는 것으로 나타남



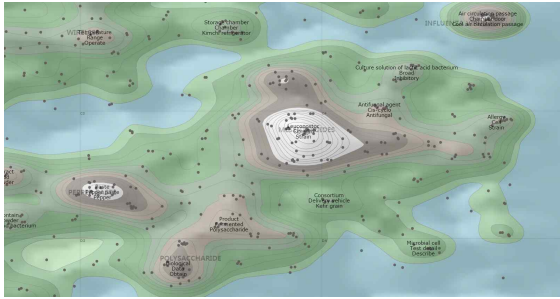
[그림 21] 한국특허청에 출원된 특허의 국가분포(그룹 I)

다. 기술분포 등고선

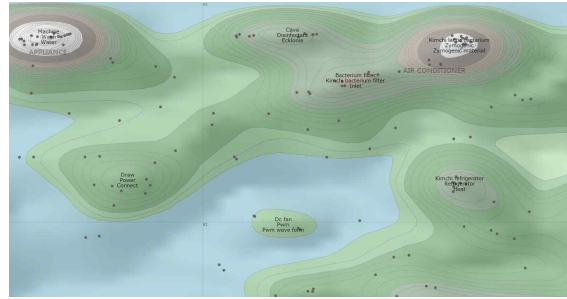
- [그림 21]은 그룹 I에 속하는 특허가 어느 기술 분야에서 주로 출원되고 있는지를 나타내는 등고선 그래프로서, 흰색 영역은 특허 밀집도가 높은 기술 분야임
- [그림 22] 및 [그림 23]은 주요 기술 분야를 확대하여 나타낸 그림임
- 그룹 I에서는 *Leuconostoc citreum* 균주에 관한 특허가 가장 많이 출원되고 있으며, *Lactic acid bacterium*의 배양 등에 관한 특허, Kimchi *lactic acid bacterium* 및 이를 이용한 발효와 관련한 특허, 및 에어컨 및 공기정화기에 관한 특허가 많이 출원되고 있는 것으로 분석되어 비교적 광범위한 분야에서 다양한 특허가 출원되고 있음



[그림 22] 기술 분포 등고선(그룹 I)



[그림 23] 기술 분포 등고선(그룹 I-세부1)



[그림 24] 기술 분포 등고선(그룹 I-세부2)

2. [그룹 II] 미생물 대사체 관련 기술개발 동향

가. 특허 검색 키워드 및 검색식

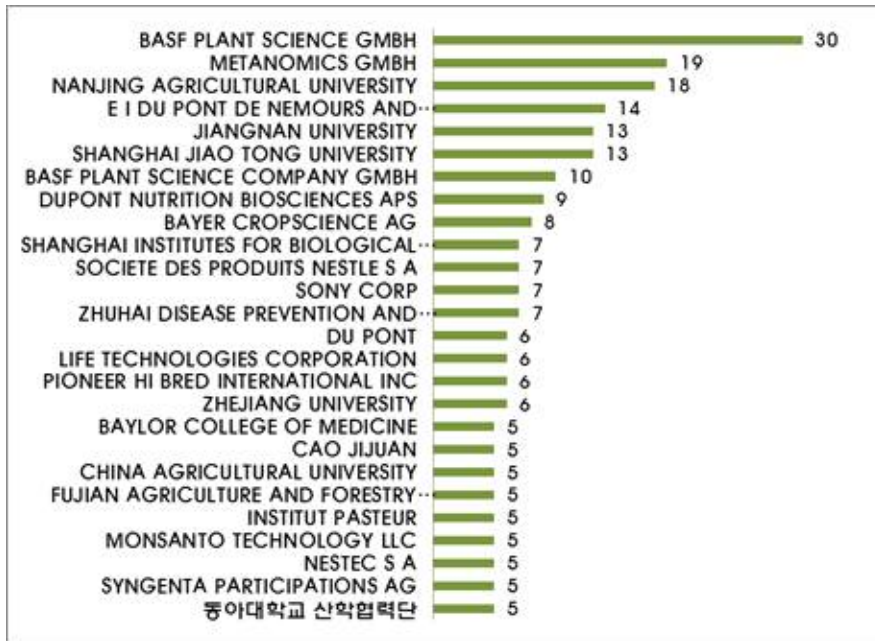
- 아래 키워드를 이용하여 1차 검색을 수행한 결과 3,722건의 특허출원(등록)이 검색되었으며, 이로부터 노이즈를 제거하고 1,063건을 최종 선별하여 그룹 II의 특허동향분석에 사용함

(미생물 or microorganism or 유산균 or lactic acid bact* or 박테리아 or 세균 or bacteri* or 효모 or yeast or 곰팡이 or fung* 미생물) and (genomic or 유전체 or 단백질체 or proteomic or 대사체 or metabolomics or metagen* or 메타젠 or 메타진 or 메타젠 or 메타유전) and (food or 식품 or agricul* or 농업 or 작물 or 축산 or 낙농 or livestock or dairy)

나. 특허출원 동향

1) 출원인 분포

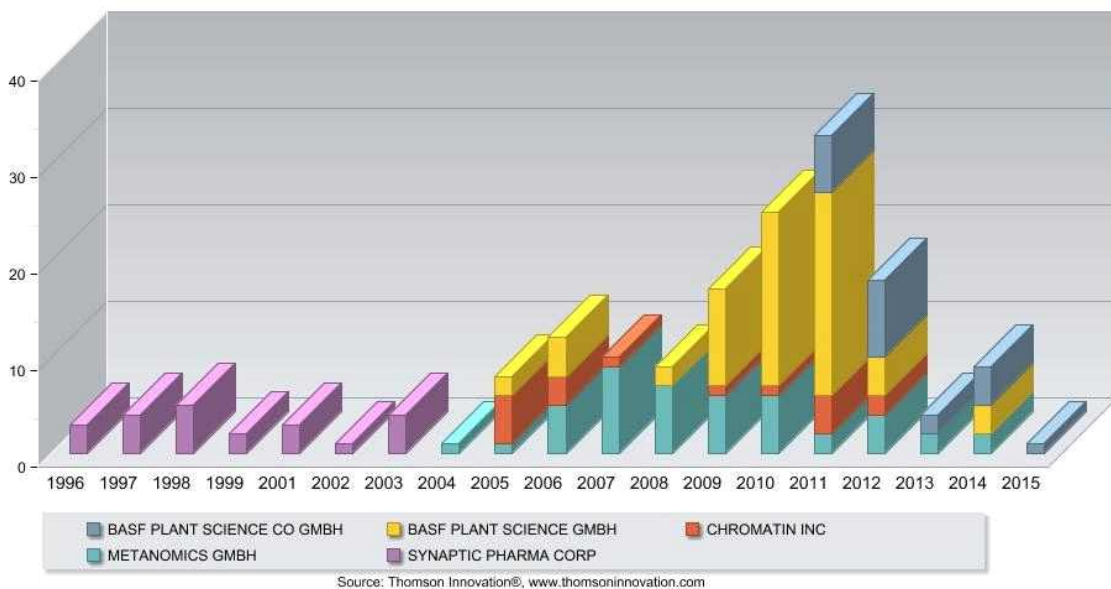
- 그룹II의 주요 출원인은 [그림 24]에서 확인되는 바와 같이 독일의 바스프사가 가장 많은 특허를 출원하였으며, 이어서 METANOMICS, 난징 대학교가 특허 출원이 많은 것으로 조사됨
- 독일, 중국, 미국 등 해외 출원인들의 기술개발 활동이 활발한 것으로 나타나며, 국내 출원인으로는 동아대학교가 5건의 특허를 출원한 것으로 나타남



[그림 25] 주요출원인 분포(그룹 II)

- 아래 [그림 25]는 주요 출원인의 연도별 출원 현황을 나타낸 것으로서, 바스프사는 2005년부터 꾸준히 특허를 출원하고 있음
- 2005년 이전에는 Synaptic Pharma에서 주로 특허를 출원하였으나, 이후 기술개발 활동이 중단된 것으로 나타남
- 2011년 주요출원인들의 기술개발 활동이 가장 활발한 후 감소하는 것으로 나타남

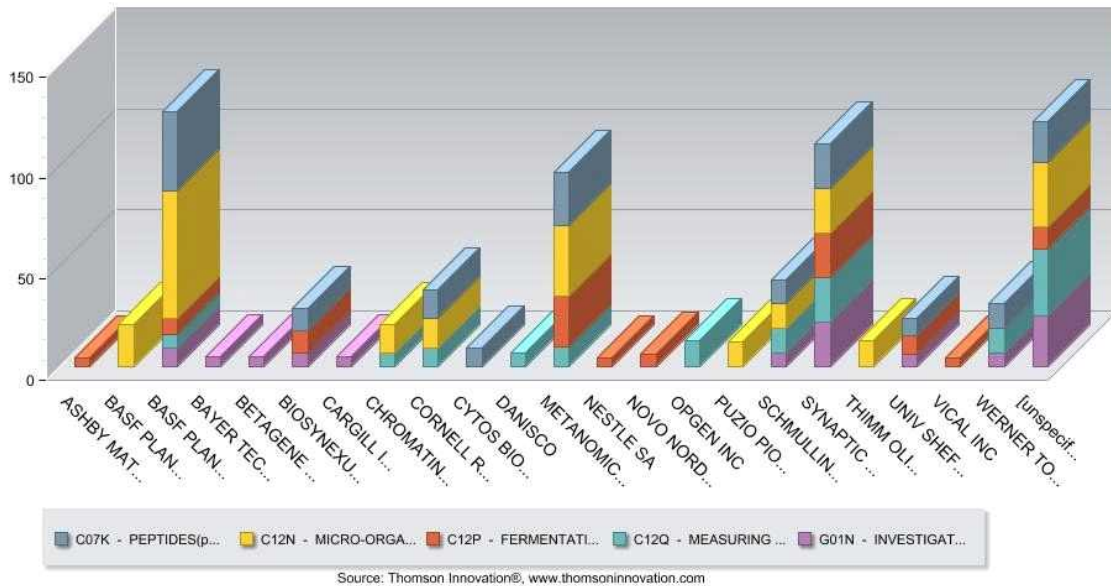
Top Assignees by Year



[그림 26] 주요출원인의 연도별 특허출원현황(그룹 II)

- [그림 26]는 주요 출원인의 기술 분야별 출원 현황을 비교하여 나타낸 것으로, 전반적으로 C12N(미생물 또는 효소, 및 이의 조성물) 관련 기술개발활동이 가장 활발한 것으로 나타남

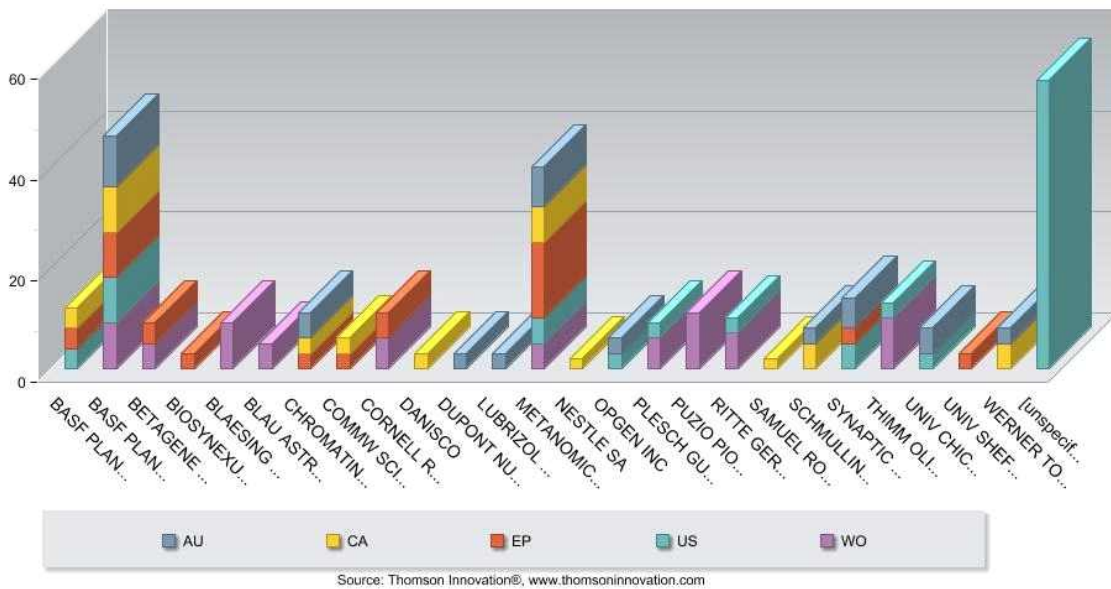
Top IPCs by Assignee



[그림 27] 주요 출원인의 기술분야별 특허출원현황(그룹 II)

- [그림 27]는 주요 출원인의 국가별 출원 현황을 나타낸 것으로 바스프사는 여러 국가에서 다양한 기술 분야에 속하는 특허를 출원하고 있는 것으로 조사됨

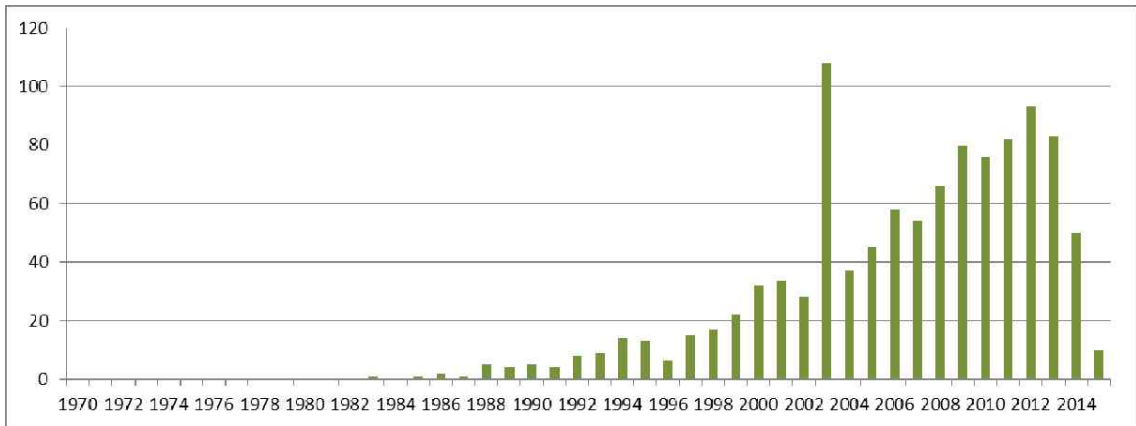
Top Countries by Assignee



[그림 28] 주요출원인의 국가별 특허출원현황(그룹 II)

2) 연도별 출원현황

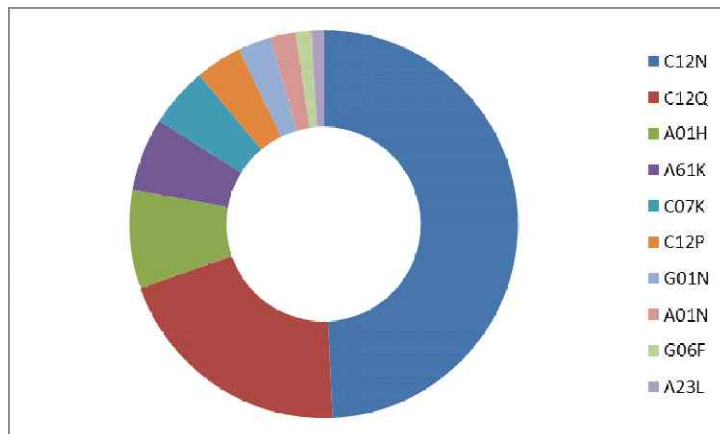
- [그림 28]은 연도별 출원 현황을 나타낸 것으로서, 1998년 이후 특허출원이 꾸준히 증가하고 있음
- 이는 미생물 대사체 관련 기술개발 활동이 꾸준히 증가하고 있으며, 미생물 대사체의 산업적 활용도가 증가하는 것으로 기대됨



[그림 29] 연도별 특허출원현황(그룹 II)

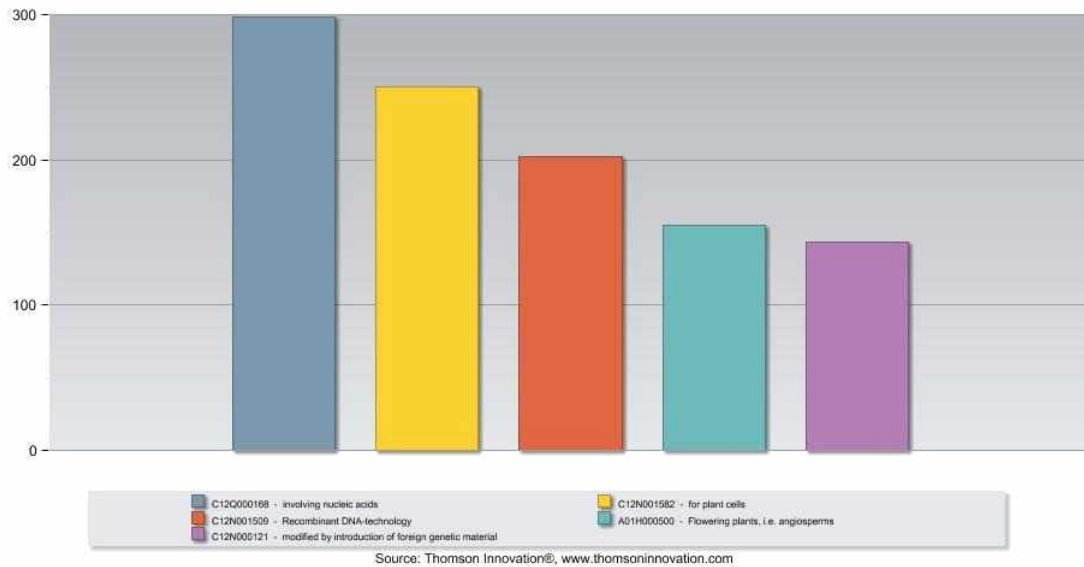
3) 국제특허분류

- 그룹 II에 속하는 특허의 주요 기술 분야는 [그림 29]에 나타낸 것과 같이, C12N (바이러스, 효소 조성물, 미생물의 보존 또는 유지 등), C12Q (효소, 루시페라아제, 세균, 미생물, 항생물질, 화학첨가물 등), A01H (유전자변형, 표현형 변형, 1종 이상 식물의 공생 또는 기생 등)으로 나타남



[그림 30] 국제특허분류(그룹 II)

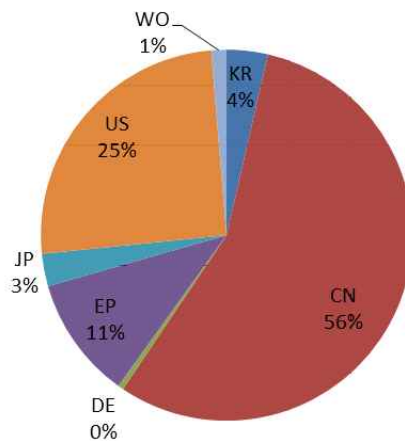
Top IPCs



[그림 31] 세부 국제특허분류(그룹 II)

4) 국가별 출원 분포

- 그룹II의 특허 1,063건 중 56%가 중국특허청, 25%가 미국특허청에 출원된 것으로 나타나 중국과 미국이 관련 시장을 주도하고 있는 것으로 나타남
 - 중국, 미국에 이어 유럽 11%, 한국 4%, 일본 3% 순서로 나타남
 - 중국과 미국에서의 특허출원활동이 81%로 대다수를 차지함

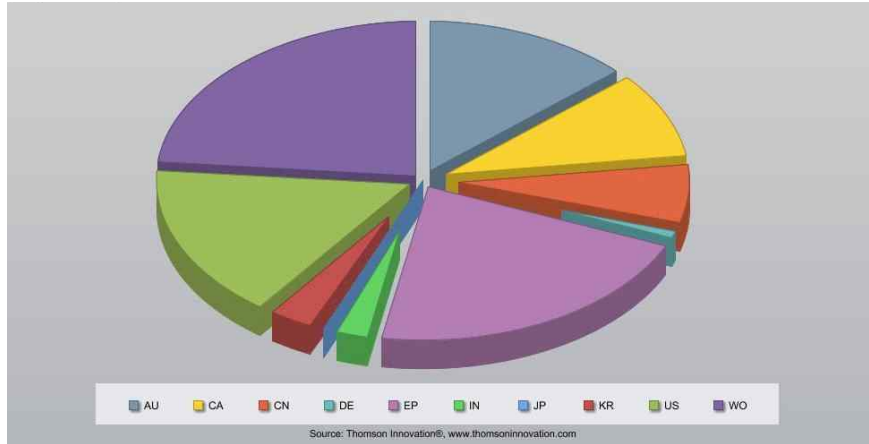


[그림 32] 국가별 특허출원분포(그룹 II)

- 한국특허청에서 출원된 특허의 출원인 국적을 분석해 본 결과 [그림 32]과 나타났으며, 유럽, 미국, 호주, 캐나다 등 다양한 국적의 특허가 우리나라 특허청에 출원되고 있음
 - 이에 따라 우리나라의 미생물 대사체 관련 시장이 외국기업들에게 선점되고 있음

이 우려됨

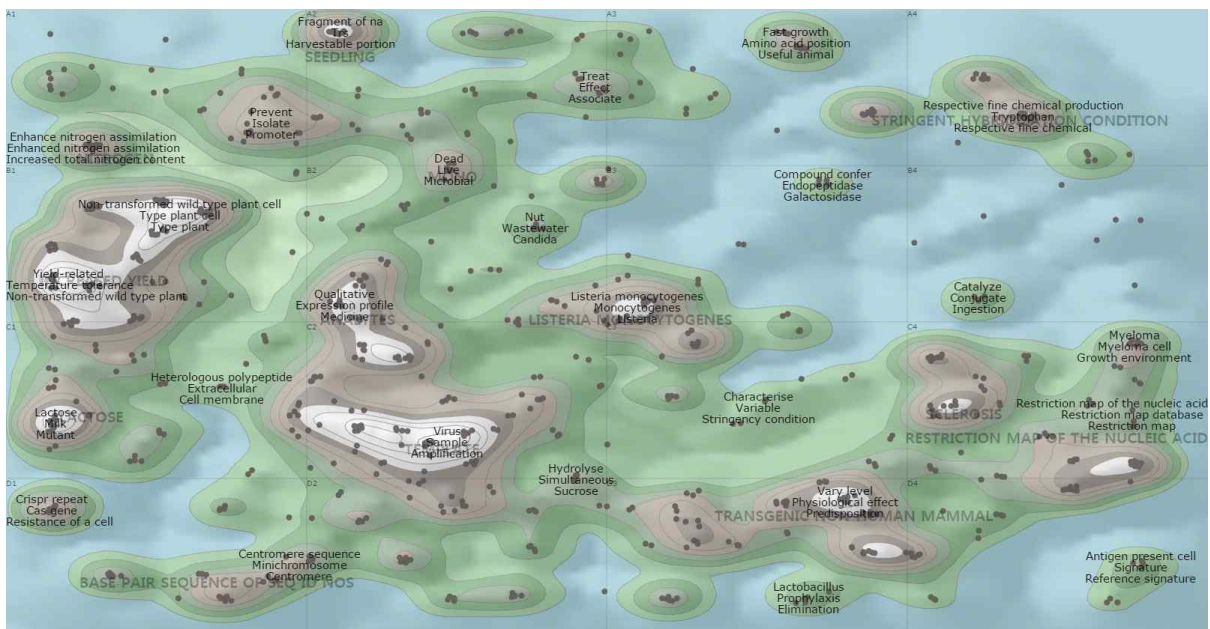
- 상대적으로 우리나라의 특허출원 비율이 낮아 연구개발활동이 저조한 것으로 나타남



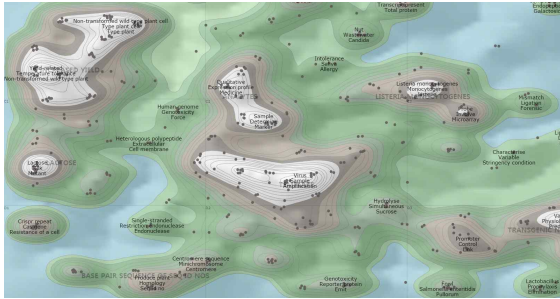
[그림 33] 한국특허청에 출원된 특허의 국가분포(그룹 II)

다. 기술분포 등고선

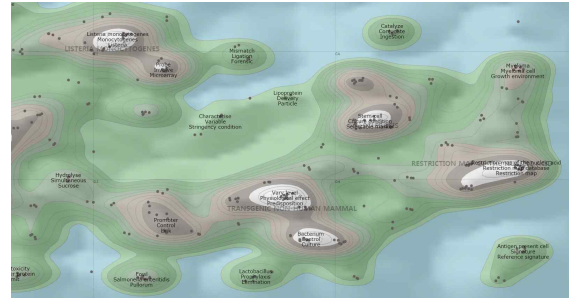
- [그림 33]은 그룹 II에 속하는 특허가 어느 기술 분야에서 주로 출원되고 있는지를 나타내는 등고선 그래프로서, 흰색 영역은 특허 밀집도가 높은 기술 분야임
- [그림 32] 및 [그림 33]은 주요 기술 분야를 확대하여 나타낸 그림임
- 그룹 II에서는 10개의 흰색 영역이 나타나는 것에 비추어 볼 때, 여러 기술 분야에서 미생물 대사체에 대한 의미 있는 연구가 수행되고 있는 것으로 분석됨



[그림 34] 기술 분포 등고선(그룹 II)



[그림 35] 기술 분포 등고선(그룹 II-세부1)



[그림 36] 기술 분포 등고선(그룹 II-세부2)

3. [그룹 III] 병원성 미생물 관련 기술개발 동향

가. 특허 검색 키워드 및 검색식

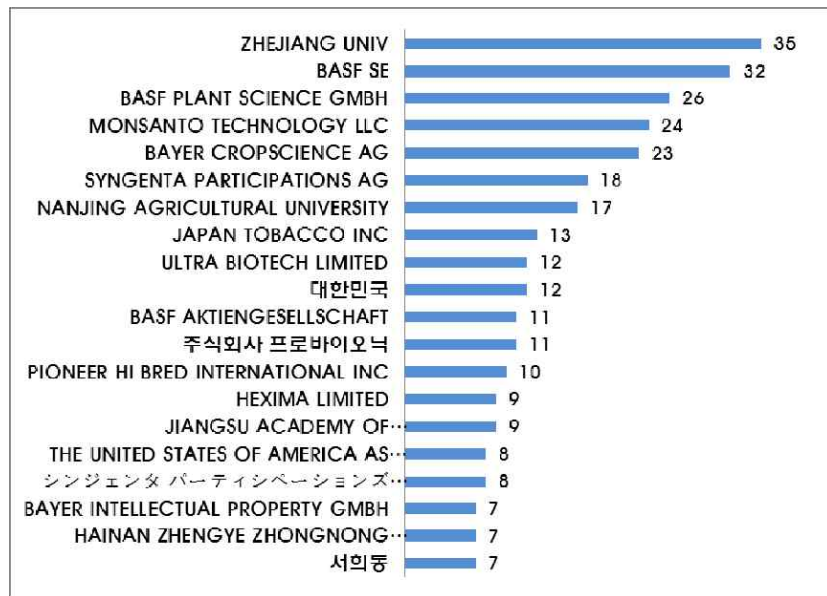
- 상기 키워드를 이용하여 1차 검색을 수행한 결과 3,245건의 특허출원(등록)이 검색되었으며, 이로부터 노이즈를 제거하고 1,414건을 최종 선별하여 그룹 III의 특허동향분석에 사용함

(crop or livestock or 가축 or 작물 or 가금) and (병원 or 병원성 or pathogen or 공생 or 곰팡이 독소 or micotoxin or symbiosis) and (미생물 or microorganism or genetic or genomic or gen* or 유전자 or 유전체)

나. 특허출원 동향

1) 출원인 분포

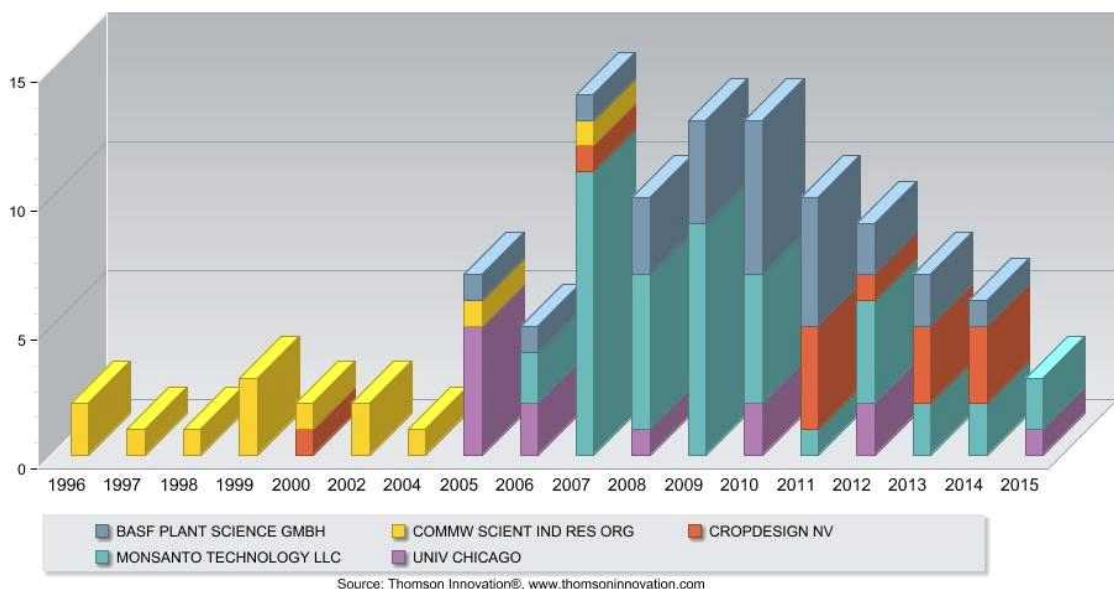
- 그룹III의 주요 출원인은 [그림 36]에서 제시되는 것과 같이 독일의 바스프사 계열이 가장 많은 특허를 출원하였고, 몬산토 및 신젠타가 뒤를 잇고 있음
- 특징적으로 Zhejiang, Nanjing 등 중국 대학교에서 많은 특허를 출원하고 있는 것으로 확인됨
- 우리나라 출원인으로는 대한민국, 프로바이오닉이 각각 12건 11건의 특허 출원 활동을 하였음



[그림 37] 주요출원인 분포(그룹Ⅲ)

- 아래 [그림 37]은 주요 출원인의 연도별 출원 현황을 나타낸 것으로서, 바스프사와 몬산토사가 2006년 이후 특허출원을 주도하고 있는 것으로 나타남
- 2005년 이전에는 Commw Scient에서 주로 특허를 출원하였으나, 이후 기술개발 활동이 감소한 것으로 나타남
- 2008년부터 2011년까지 주요출원인들의 기술개발 활동이 가장 활발하였으나, 이후 감소하는 것으로 나타남

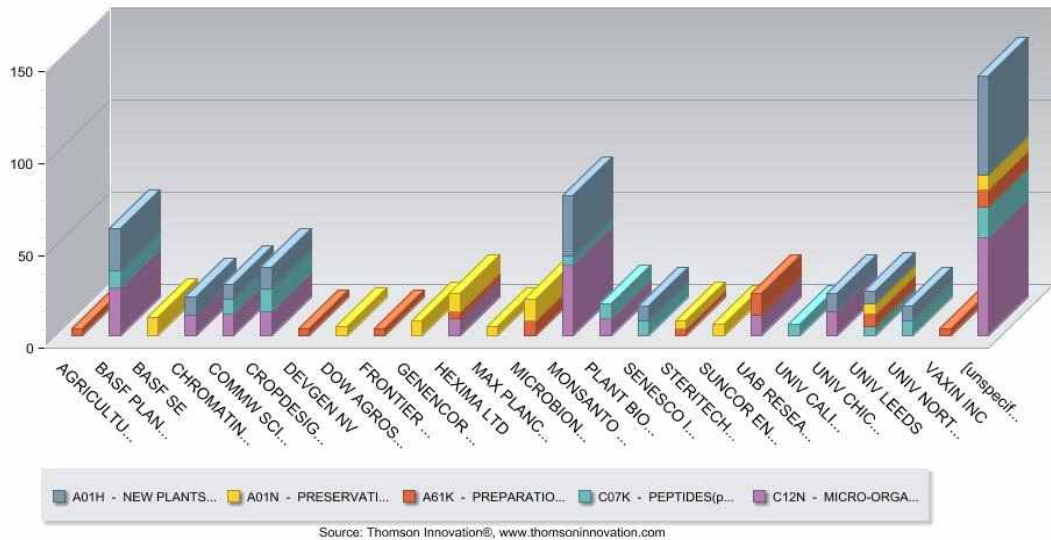
Top Assignees by Year



[그림 38] 주요출원인의 연도별 특허출원현황(그룹Ⅲ)

- [그림 38]은 주요 출원인의 기술 분야별 출원 현황을 비교하여 나타낸 것으로, 전반적으로 C07K(펩타이드)와 C12N(바이러스, 효소 조성물, 미생물의 보존 또는 유지 등) 관련 기술개발활동이 가장 활발한 것으로 나타남

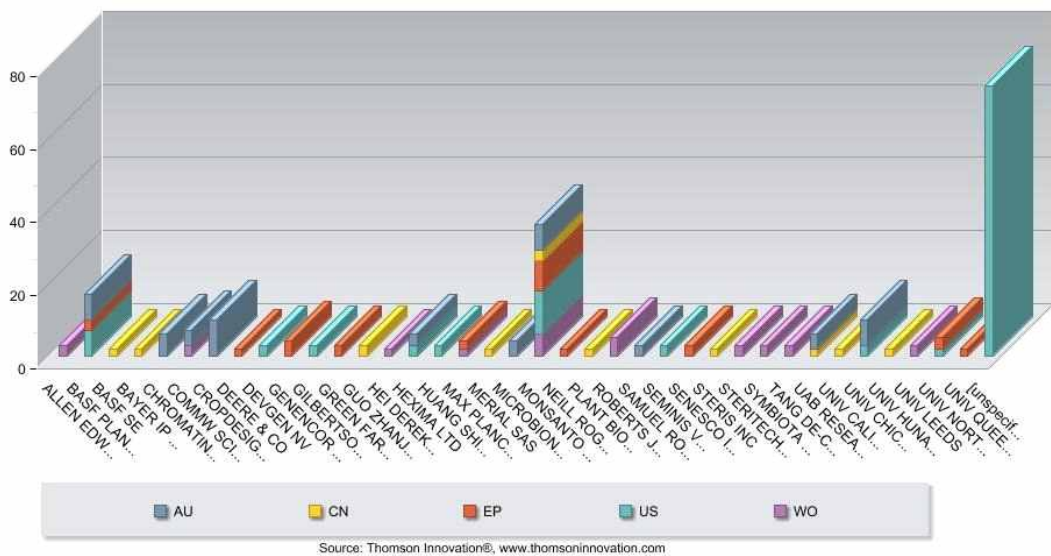
Top IPCs by Assignee



[그림 39] 주요 출원인의 기술분야별 특허출원현황(그룹Ⅲ)

- [그림 39]는 주요 출원인의 국가별 출원 현황을 나타낸 것으로 바스프사는 주로 유럽과 미국을 중심으로 특허출원을 하고 있는 반면에 몬산토는 중국에도 특허출원을 활발히 하고 있는 것으로 나타남

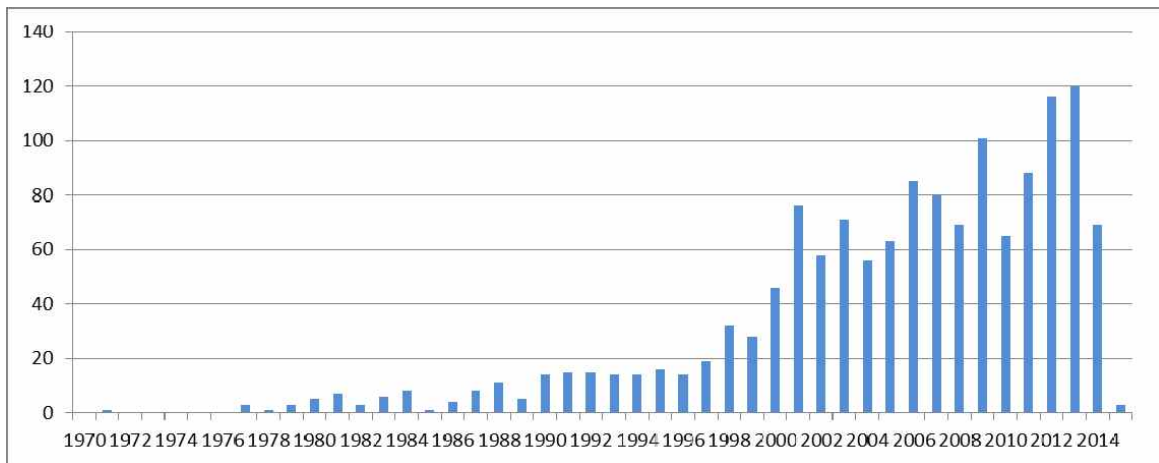
Top Countries by Assignee



[그림 40] 주요출원인의 국가별 특허출원현황(그룹Ⅲ)

2) 연도별 출원현황

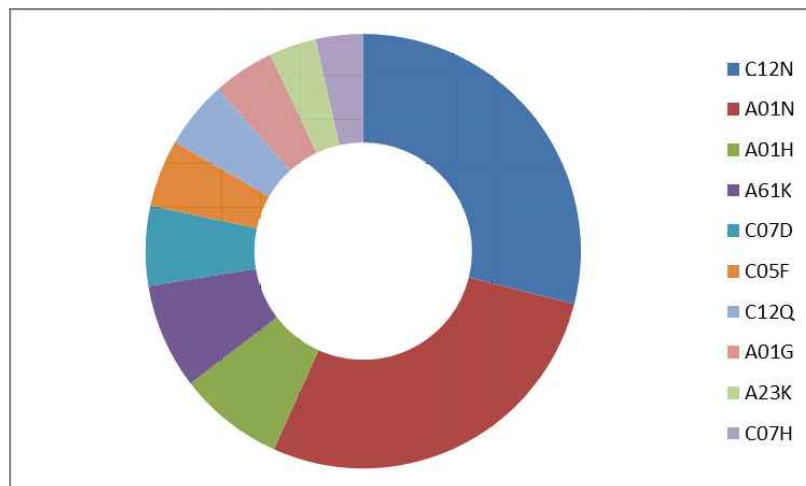
- [그림 40]은 연도별 출원 현황을 나타낸 것으로서, 1998년 이후 특허출원이 비교적 큰 폭으로 매년 지속적으로 증가하고 있음
- 이는 병원성 미생물에 대한 관심이 증대되고 있으며, 관련 기술개발 활동이 최근 활발한 것으로 기대됨



[그림 41] 연도별 특허출원현황(그룹Ⅲ)

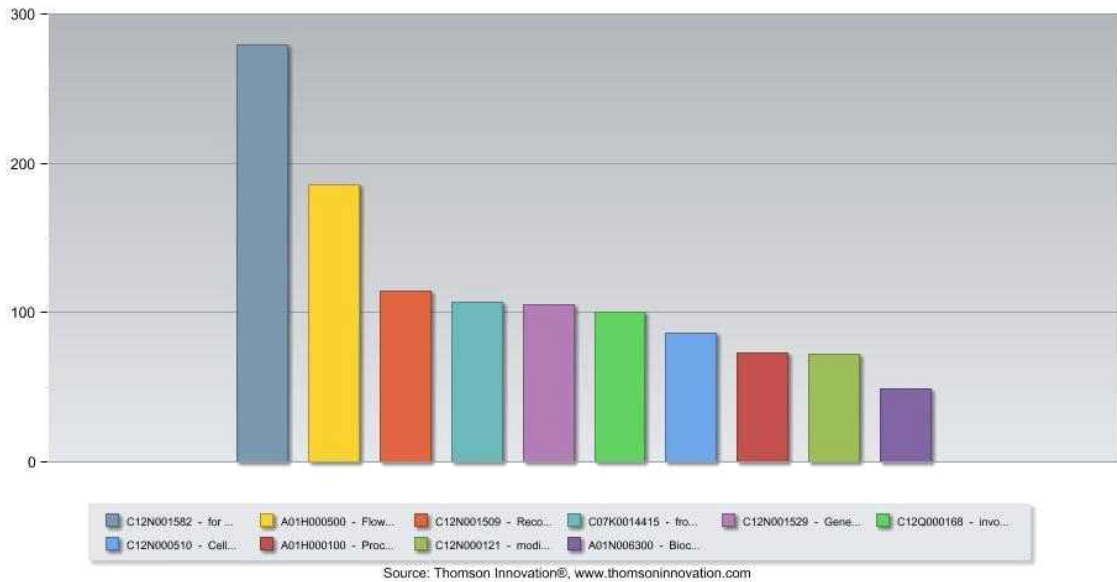
3) 국제특허분류

- 그룹 Ⅲ에 속하는 특허의 주요 기술 분야는 [그림 41]에 나타낸 것과 같이, C12N (바이러스, 효소 조성물, 미생물의 보존 또는 유지 등), A01N (살생물제, 종자, 미생물, 바이러스, 곰팡이 등), A61K (아미노산, 펩티드, 호르몬, 효소, 항원, 항체 등) 및 C07D (이종원자 고리화합물, 질소원자, 펩티드, 황원자 등)으로 나타남



[그림 42] 국제특허분류(그룹Ⅲ)

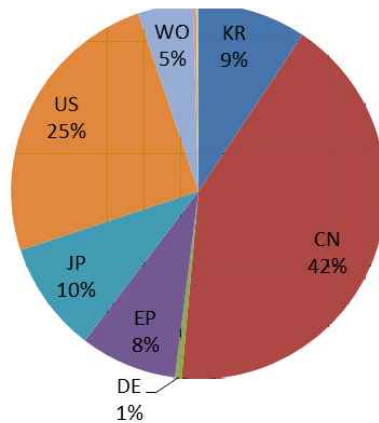
Top IPCs



[그림 43] 세부 국제특허분류(그룹Ⅲ)

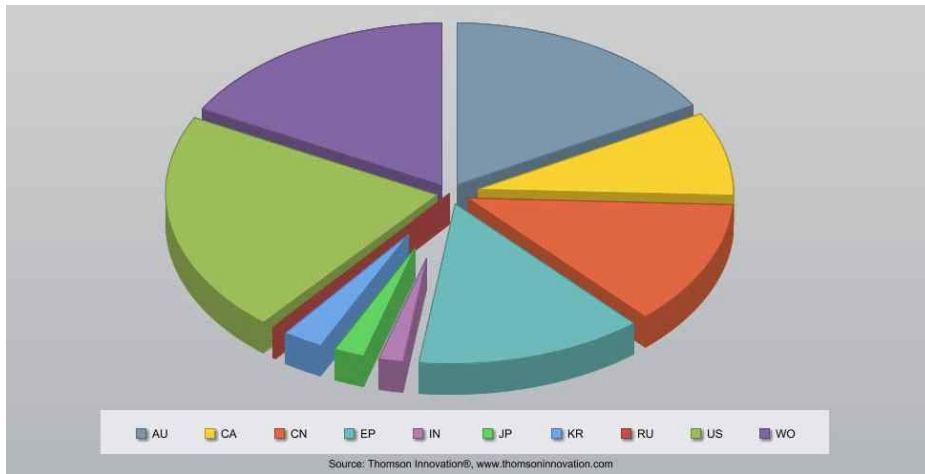
4) 국가별 출원 분포

- 그룹Ⅲ의 특허 1,414건 중 42%가 중국특허청, 25%가 미국특허청에 출원된 것으로 나타나 중국과 미국이 관련 시장을 주도하고 있는 것으로 나타남
 - 중국, 미국에 이어 일본 10%, 유럽 8%, 한국 9% 순서로 나타남
 - 중국과 미국에서의 특허출원활동이 67%로 대다수를 차지함



[그림 44] 국가별 출원분포(그룹Ⅲ)

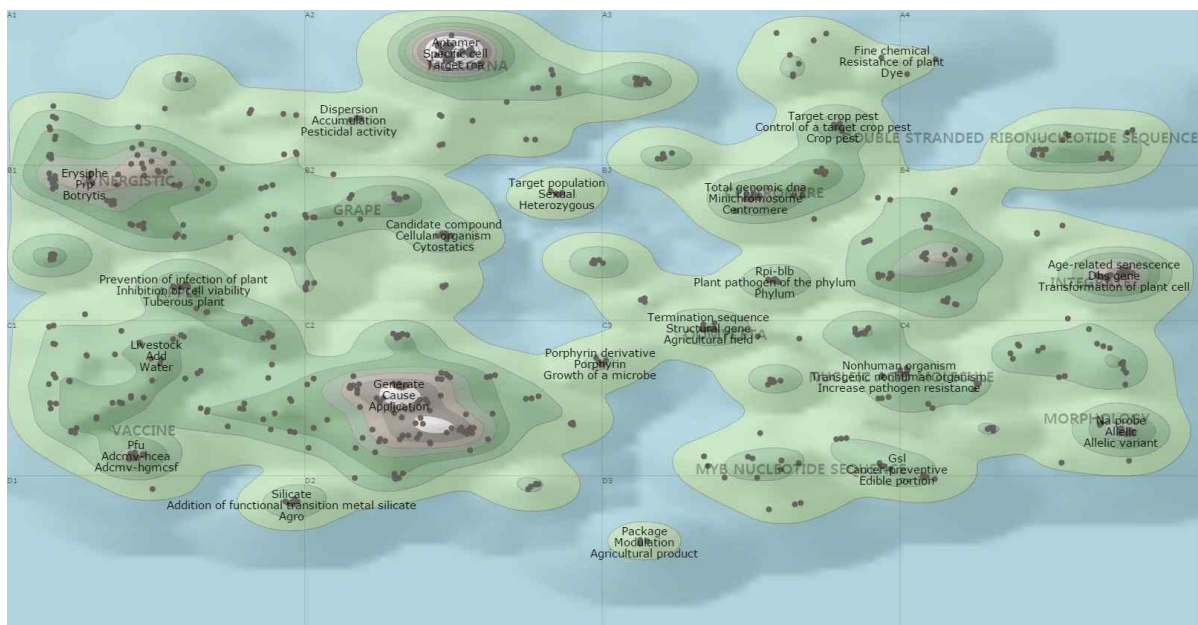
- 한국특허청에서 출원된 특허의 출원인 국적을 분석해 본 결과 [그림 44]과 나타났으며, 유럽, 미국, 호주, 일본, 캐나다 등 다양한 국적의 특허가 우리나라 특허청에 다수 출원되고 있음



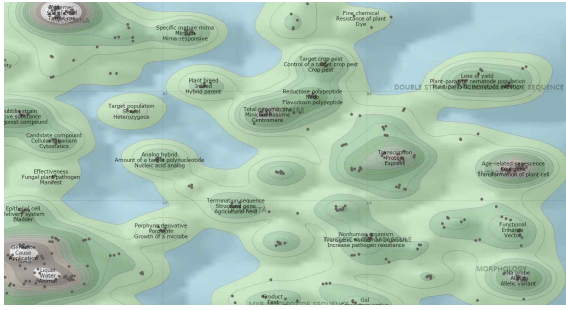
[그림 45] 한국특허청에 출원된 특허의 국가분포(그룹Ⅲ)

다. 기술분포 등고선

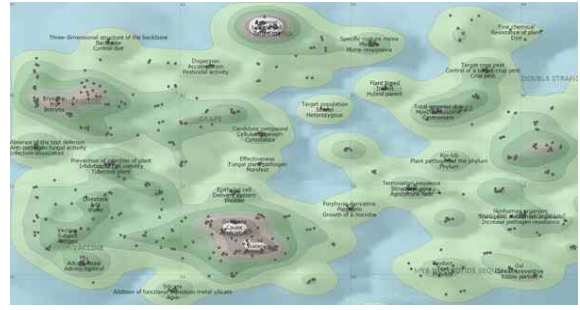
- [그림 45]는 그룹 Ⅲ에 속하는 특허가 어느 기술 분야에서 주로 출원되고 있는지를 나타내는 등고선 그래프로서, 흰색 영역은 특허 밀집도가 높은 기술 분야임
- [그림 46] 및 [그림 47]은 주요 기술 분야를 확대하여 나타낸 그림임
- 그룹 Ⅲ에서는 10개의 매우 다양한 분야에서 광범위한 연구가 수행되고 있음을 알 수 있으며, 압타머와 RNA에 관한 특허가 많이 출원된 것으로 조사됨. 또한, *Erysiphe* 및 *Botrytis*와 같은 fungi에 관한 특허도 매우 많은 것으로 확인됨



[그림 46] 기술 분포 등고선(그룹Ⅲ)



[그림 47] 기술 분포 등고선(그룹Ⅲ-세부1)



[그림 48] 기술 분포 등고선(그룹Ⅲ-세부2)

제5절 미생물 유전체 시사점

1. 정책적 시사점

- 우리나라가 농생명산업 선도국가로 도약해 나가기 위해서는 농생명자원 확보 및 발굴에 대한 적극적인 연구투자가 필요
 - 2030년경에 생명자본을 모태로 한 바이오 경제시대가 될 것이라는 예측(OECD)과 더불어 농생명자원을 활용한 산업 개발이 중요한 변수로 떠오르고 있음
- 글로벌화에 따른 국가 간 무역장벽이 무너지며 우리나라에도 시장개방 압력이 거세지고 있으며, 이에 선도적으로 대응할 정책 수립이 필요한 시점임
 - 특히, 점차 확대되고 있는 FTA로 인해 상대적으로 경쟁력이 취약한 농축산생명 산업부문이 가장 큰 타격을 입을 것으로 전망됨
- 노동집약적이고 저부가가치 산업으로 인식된 농축산생명산업의 획기적인 도약을 위해서는 첨단 기술을 망라한 농축산 분야 연구개발 투자를 통해 지속성장이 가능한 산업 생태계를 구축할 필요가 있음
- 국내에서도 동·식물 관련 미생물들을 대상으로 유전체 분석 및 정보 공유를 위한 데이터베이스 구축 등 보다 체계적인 연구들이 더 활발히 이루어질 수 있도록 추가 연구지원이 필요함
- 최근 사과/배 화상병, 구제역과 같은 재난 질병 발병으로 박멸을 위해 엄청난 비용이 발생하고 있는데, 신규로 유입된 병원균의 역학조사를 위해서도 보다 다양한 병원미생물들에 대한 유전체 정보 확보가 시급함

2. 산업적 시사점

- 전반적인 소득수준 향상은 친환경 농축산식품에 대한 수요 증대뿐만 아니라 웰빙 트렌드에 따른 고기능성 건강 농축산식품을 선호함에 따라 국가 농생명 산업의 새로운 가치영역 창출이 절실했음
 - 사회적 욕구를 충족하기 위해서는 지식기반 국가 농생명산업을 더욱 강화할 필요가 있으며, 소비자가 믿고 소비할 수 있는 새로운 농축산 제품의 가치를 어떻게 만들어 가느냐가 중요함
- 범국가적인 차원에서 농생명산업 미생물 유전체 생명자원을 활용한 신 개척 분야의 창출, 다양한 개체와 신물질 개발 등 신 부가가치를 창출할 수 있는 대안 모색이 필요함

- 우리나라는 세계 최고수준의 생명공학 기술 및 최대의 미생물 생명자원을 보유한 생명자원국가로서 새로운 생명산업으로의 전환 가능성을 크게 지니고 있음
- 농생명산업은 품목에 따라 다르지만, 에너지가 많이 소요되거나 탄산가스 배출이 많은 산업이기에, 국내 농식품 품목의 가격 상승압박을 극복할 수 있는 에너지 절감기술 개발이 절실함
- 탈화석·신재생에너지 시대, 생명자원을 활용한 산업 중요성이 확대됨에 따라, 석유자원 활용농업에서 탈피하여 향후 신재생에너지로 대체할 첨단 농생명기술이 보편화될 것임
- 연구개발로 탄생한 신 부가가치 제품의 실제 생명정보 시스템 인프라를 구축하여 소비자들이 신뢰할 수 있는 산업 생태계를 구축하여야 함
- 우리나라 특유의 탁월한 정보산업 생태계를 바탕으로 농축산 연구개발에서 생산된 유전체 빅데이터를 효과적으로 활용할 수 있음
- 신규 병원균 제어 기술 개발, 유용 유전자원 확보 등을 통해 신규 농생명 산업 육성 및 도약 기반 마련이 필요함

3. 기술적 시사점

- 미생물 유전체 정보를 활용한 기능 유전체학 인프라 구축을 통해 농생명 산업체에 적합한 바이오소재 개발을 위한 경제적, 시간적 효율성 극대화를 위한 원천기술의 확보가 시급함
- 포스트게놈 시대 이후, 단일 미생물 패러다임에서 다양한 미생물이 포함된 메타유전체 및 유전자의 기능 탐색, 신기능 발굴 연구 분야의 활성화를 촉진시킬 첨단 농생명원천 기반기술이 필요함
- 토착 및 신규 유입 병원성 미생물의 진단 및 제어 관련 유전체 기반 원천기술 확보가 시급함
- 토착 공생 미생물 활용 작물 및 가축 생산력 증대와 농업 생태 환경 개선 및 보존을 위한 맞춤형 기술 개발이 시급함

제 3 장



미생물 유전체 연구개발 추진방향

제3장 미생물 유전체 연구개발 추진방향

제1절 미생물 유전체 R&D 추진 기본방향

1. 미생물 유전체 연구개발 SWOT 분석

- 국내외 미생물 유전체 정책, 산업, 기술동향 분석과 선진국 사례를 벤치마킹하여 농림수산식품 미생물 유전체 연구개발 영향 요인을 도출함

[표 10] 미생물 유전체 연구개발 SWOT분석

강점 (Strength)	약점(Weakness)
<p>S1. 국가연구개발 프로그램 수행을 통한 연구인력, 학문적 기반 등 연구기반 보유</p> <ul style="list-style-type: none"> - 21C프론티어사업 미생물유전체활용기술개발 사업 ('02~'12 1,104억 원) - 병원성미생물유전체연구센터('01~'07 127억 원) - 분석을 활용한 전통발효식품의 기능성 표준화 연구 ('09~'14, 25억 원) <p>S2. 국가 미래성장을 위해 생명산업과 바이오 분야의 정책적 연구개발 지원 의지 확고</p> <ul style="list-style-type: none"> - 제3차 과학기술기본계획의 추진전략인 '국가 전략기술개발', '신산업 창출지원' 중점 추진전략으로 선정(박근혜 정부) - '생명연구자원의 확보·관리 및 활용에 관한 법률'에 따라 지속가능한 연구 가능 ※ 관련 국가기관: 한국생명공학연구원 미생물자원센터(BRC), 국가생명연구자원정보센터(KOBIC), 농촌진흥청 농업생명공학정보센터(NABIC) <p>S3. 농림축산식품 미생물유전체전략연구사업단 출범으로 보다 체계적이고 효율적인 미생물 유전체 연구개발</p>	<p>W1. 프론티어 사업이후 정부 투자 정체, 중장기계획 및 지원체계 미흡</p> <ul style="list-style-type: none"> - 프론티어 사업에 연간 100억 원 투입되었으나, 이후 사업지원예산은 연간 25억 원 수준에 불과함 - 미생물 유전체 분야 중장기 발전전략(로드맵) 부재로 전략적 투자 미흡 <p>W2. 미생물 유전체 연구정보의 공유 및 확산 시스템 부재로 경제적 파급효과 미흡</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기초연구를 통해 발굴한 유용 미생물 유전체를 활용한 사업화, 기술이전 등 성과창출 미흡 - 연구를 통해 발굴한 유용미생물 유전체 정보를 공유할 수 있는 시스템 부재로 경제적 파급효과 미흡 <p>W3. 연구개발을 통한 사업화 연계전략 미흡</p> <ul style="list-style-type: none"> - 유전체 연구의 특성을 고려하지 않은 연구개발 단계별(기초·응용·개발) 사업 운영 <p>W4. 부처 간 분산투자에 따른 중복/과잉 투자</p> <ul style="list-style-type: none"> - 부처 간 연계를 통해 효율적 미생물 유전체 분야 연구개발을 추진하고 성과를 극대화 필요
기회(Opportunity)	위협(Threat)
<p>O1. NGS 기술의 발달로 유전체정보 생산 비용과 시간이 획기적으로 감소</p> <ul style="list-style-type: none"> - 대량 유전체 연구가 수행 보다 적은 예산으로 가능해짐 - NGS 기술의 도입으로 유전체 정보량의 폭발적 증가 <p>O2. 미생물 유전체 정보 분석 R&D 수요 급증</p> <ul style="list-style-type: none"> - 유전체 기반 정보활용 분야 확대(보건의료, 농림축산식품, 신에너지 등) - 유전체 연구수요를 야기하는 다양한 바이오분야 연구개발 프로그램 확대(BG21, 연구중심병원 등) <p>O3. 시장 환경 변화, 바이오 산업의 대두로 미생물 활용 제품의 사업화 유망</p> <ul style="list-style-type: none"> - 친환경 농산물 관심증가에 따른 미생물 수요와 활용 증가 - 가축 항생제 사용 규제에 의한 친환경 제제개발 시급 - 독식물 병원균 피해 절감을 위한 진단마커 개발 시급 <p>O4. 현재 미생물 유전체 분야는 연구 성과의 실용화 도입 초기 단계이므로 글로벌 경쟁력 확보 가능성이 높음</p>	<p>T1. 세계 선진국에서 대형 유전체 연구개발 프로젝트를 추진하고 있으며, 그 규모도 점차 확대되는 추세</p> <ul style="list-style-type: none"> - 미국 세계생물다양성정보기기(GBIF) 1억 8백만 건으로 세계적 우위 선점 - 유럽 MetaHIT프로젝트 진행, 생물자원센터 네트워크(EBRCN) 유럽데이터 통합관리 추진 - 중국 세계최대 규모 시퀀싱 설비 구축, 인력 확보로 BGI 프로젝트 추진 <p>T2. 미래시장 선점을 위한 국제적 경쟁이 치열하게 전개되면서 선진국의 유전체 원천기술 선점 가속화</p> <ul style="list-style-type: none"> - 생명다양성협약의 발효로 생물의 국가 자원화, 산업화 진행 - 유전체 연구를 활용한 응용산업 시장의 경쟁 가속 - 유전자 염기서열에 대한 권리(특허, 지적 재산권) 강화 <p>T3. 선진국 중심의 배타적 연구협력 강화</p>

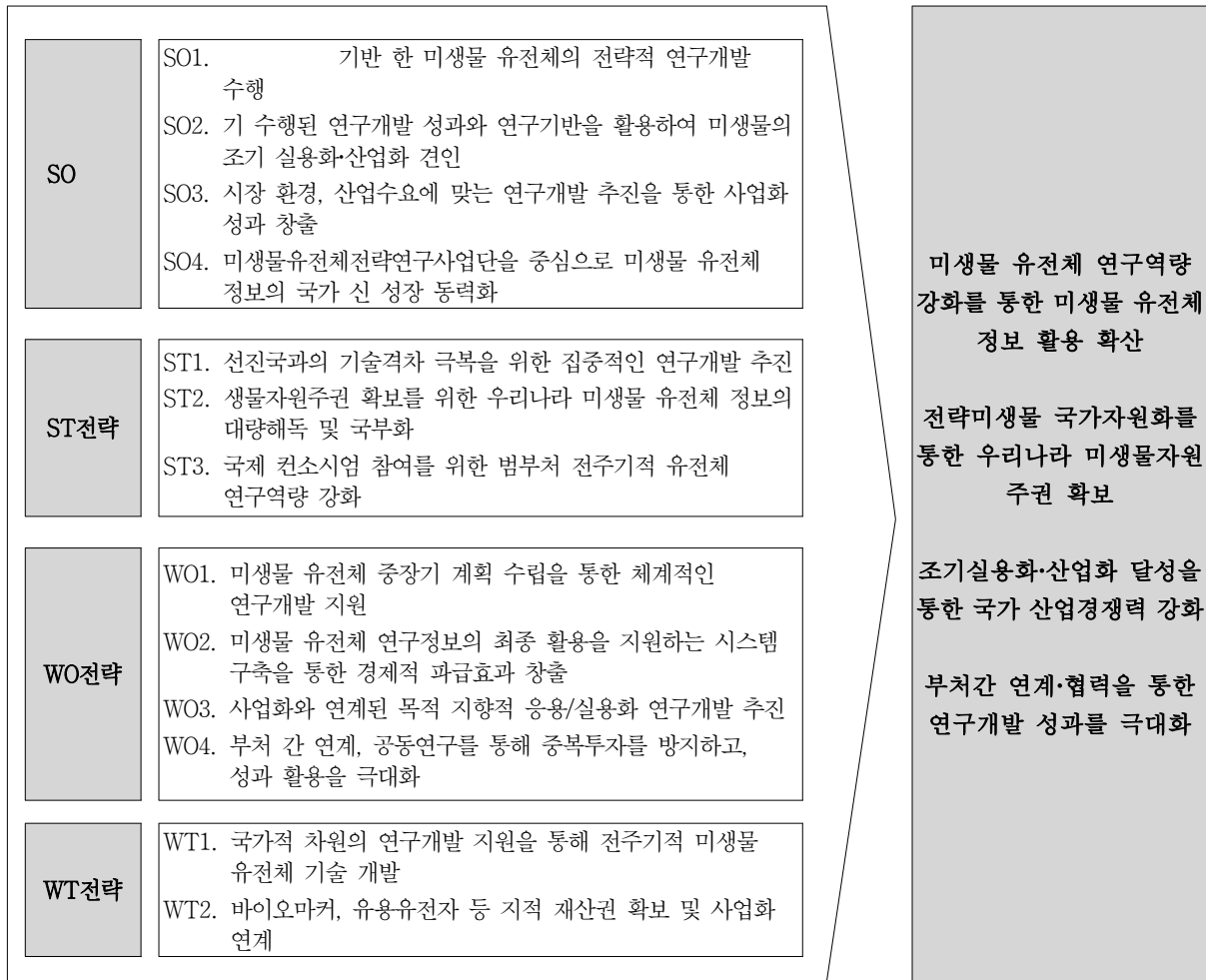
- 국내외 정책, 산업, 기술동향분석, 선진국 벤치마킹, 현황분석을 통하여 강점과 약점, 기회와 위기 요인을 도출하여 SWOT Matrix를 작성

[표 11] 미생물 유전체 연구개발 SWOT Matrix

	<p style="text-align: center;">강점(S)</p> <p>S1. 중대형 국가연구개발 프로그램 수행을 통한 연구인력, 학문적 기반 등 연구기반 보유</p> <p>S2. 국가 미래성장을 위해 생명산업과 바이오 분야의 정책적 연구개발 지원 의지 확고</p> <p>S3. 농림축산식품 미생물유전체전략연구사업단 출범으로 보다 체계적이고 효율적인 미생물 유전체 연구개발</p>	<p style="text-align: center;">약점(W)</p> <p>W1. 프론티어 사업이후 정부 투자 정체, 중장기계획 및 지원체계 미흡</p> <p>W2. 미생물 유전체 연구정보의 공유 및 확산 시스템 부재로 경제적 파급효과 미흡</p> <p>W3. 연구개발을 통한 사업화 연계전략 미흡</p> <p>W4. 부처 간 분산투자에 따른 중복/과잉 투자</p>
	<p style="text-align: center;">기 회 요 인 (O)</p> <p>O1. NGS 기술의 발달로 유전체정보 생산 비용과 시간이 획기적으로 감소</p> <p>O2. 미생물 유전체 정보 분석 R&D 수요 급증</p> <p>O3. 환경 변화, 바이오 산업의 대두로 미생물 활용 제품의 사업화 유망</p> <p>O4. 현재 미생물 유전체 분야는 연구 성과의 실용화 도입 초기 단계이므로 글로벌 경쟁력 확보 가능성이 높음</p>	<p style="text-align: center;">S01. 기반한 미생물 유전체의 전략적 연구개발 수행</p> <p>S02. 기 수행된 연구개발 성과와 연구기반을 활용하여 미생물의 조기 실용화·산업화 견인</p> <p>S03. 시장 환경, 산업수요에 맞는 연구개발 추진을 통한 사업화 성과 창출</p> <p>S04. 미생물유전체전략연구사업단을 중심으로 미생물 유전체 정보의 국가 신 성장 동력화</p>
<p style="text-align: center;">위 협 요 인 (T)</p> <p>T1. 선진국에서 대형 유전체 연구개발 프로젝트를 추진하고 있으며, 그 규모도 점차 확대되는 추세</p> <p>T2. 미래시장 선점을 위한 국제적 경쟁이 치열하게 전개되면서 선진국의 유전체 원천기술 선점 가속화</p> <p>T3. 선진국 중심의 배타적 연구협력 강화</p>	<p style="text-align: center;">ST1. 선진국과의 기술격차 극복을 위한 집중적인 연구개발 추진</p> <p>ST2. 생물자원주권 확보를 위한 우리나라 미생물 유전체 정보의 대량해독 및 국부화</p> <p>ST3. 국제 컨소시엄 참여를 위한 범부처 전주기적 유전체 연구역량 강화</p>	<p style="text-align: center;">WT1. 국가적 차원의 연구개발 지원을 통해 전주기적 미생물 유전체 기술 개발</p> <p>WT2. 바이오마커, 유용유전자 등 지적 재산권 확보 및 사업화 연계</p>

2. 미생물 유전체 R&D 기본방향 도출

- 농생명분야 유전체 연구를 둘러싼 국내 역량(강점, 약점)과 외부 환경변화(기회요인, 위협요인) 진단을 통해 SWOT 매트릭스를 작성하여 적극공략(SO) 전략, 기회공략(ST) 전략, 약점보완(WO) 전략 및 위기대처(WT) 전략을 도출
- 도출된 4가지 전략을 분석하여 농림수산식품부의 유전체정보산업 육성사업이 추진해야 할 기본방향을 설정
 - (첫째) **유용미생물 자원을 확보**하여 국가경쟁력을 제고하고, 국가자원화를 통한 우리나라 미생물자원의 주권 확보
 - (둘째) 확보된 미생물자원을 활용하여 **조기에 실용화·산업화를 달성**하고 농림축산식품 분야의 산업 경쟁력을 강화
 - (셋째) '농림축산식품 미생물유전체전략연구사업단'을 중심으로 전주기적 **미생물 유전체 연구역량을 강화**하고, 미생물 유전체 정보 활용 확산에 기여
 - (넷째) 부처간 연계를 통한 **효율적인 연구개발**을 추진하여 연구개발 성과를 극대화



[그림 49] 미생물 유전체 R&D 기본방향 도출

① 전략미생물 국가자원화를 통한 우리나라 미생물자원 주권확보

- 유용미생물 자원을 확보하여 국가경쟁력을 제고하고, 국가자원화를 통한 우리나라 미생물자원의 주권 확보
- 유용미생물 정보의 국가자원화를 통해 국가경쟁력을 제고하고, 생물다양성협약에 대응한 미생물자원의 주권 확보
- 세계 각국은 생명다양성협약에 대응하여 미생물의 국가 자원화, 산업화가 진행되고 있어, 우리나라도 정부차원의 미생물 유전체 연구 필요
- 국산 종균 개발을 통한 해외에서 수입되는 종균을 대체하고, 전통 종균을 활용한 제품 개발로 국내뿐만 아니라 세계에 우리나라 김치, 주류, 생물비료, 사료첨가제 공급 가능

② 조기 실용화·산업화 달성을 통한 국가 산업경쟁력 강화

- 확보된 미생물자원을 활용하여 실용화·산업화를 조기 달성하고 농림축산식품 분야의 산업 경쟁력을 강화
- 21C프론티어사업 등 중대형 국가연구개발 프로그램 수행을 통한 전문연구인력, 학문적 기반 등 연구기반을 보유하고 있으며, 이를 활용한 미생물의 조기 실용화·산업화를 지원
- 국민건강, 친환경 등에 대한 관심증가로 미생물 활용에 대한 수요가 증가하고 있으며, 농림, 축산, 식품 등 다양한 분야에서 활용되고 있어 조기에 실용화·산업화가 필요함
 - 친환경 농산물에 대한 관심이 증가함에 따라 농림축산 분야의 미생물 활용 수요 급증
 - 미생물은 농림축산식품 산업에 다양하게 활용되며, 미생물 활용 제품의 필요성이 급증

③ 미생물 유전체 연구역량 강화를 통한 미생물 유전체 정보 활용 확산

- '농림축산식품 미생물유전체전략연구사업단'을 중심으로 전주기적 미생물 유전체 연구역량을 강화하고, 미생물 유전체 정보 활용 확산에 기여
- 미생물 유전체 연구는 우리 농산물의 활용성 제고와 더불어 바이오소재, 바이오에너지, 발효식품 등 전후방산업에 파급효과 큰 기술 영역으로 연구역량을 강화하여 국가 미래성장에 기여

- 메타유전체, 참조유전체 분석을 통한 미생물자원의 특성을 구명하고, 유전체 정보를 연계하여, 식품, 농업, 의료 등 다양한 분야에 활용이 가능
- 유전체 연구를 통해 생산된 유전체 정보, 유전자, 분자마커 등은 고부가 산업창출의 기반을 제공하는 핵심 요소로 작용

4 부처간 연계·협력을 통한 연구개발 성과를 극대화

- 농림축산식품 분야뿐만 아니라 바이오에너지, 바이오소재 등 다양한 분야에 활용되므로, 부처 간 연계를 통한 효율적 연구개발 추진이 필요
- 부처 간 분산투자에 따른 중복/과잉투자로 인한 투자 효율성에 대한 문제가 있었으며, 이를 개선하기 위해 '포스트게놈 다부처 유전체사업' 추진
- 부처연계 및 부처공동연구를 통한 연구효율성을 증대하고, 연구 성과를 다양한 분야에 활용함으로써 성과를 극대화함

제2절 추진전략

1. 연구개발 추진 방향

□ 농식품 미생물 유전체 정보 기반으로 실용화·산업화 추진 연구개발 강화

- 본 사업에서는 실용화 가능한 유용 미생물 유전자원 중심으로 생물사업 매출 및 시장 선점을 위해 유전체 정보의 생산·분석·활용 분야의 미래형 원천기술 개발에 초점을 맞추어 유전체 연구개발에 집중할 것임
- 집중과 선택 전략으로 조기성과 창출이 가능한 미생물 유전자원을 우선순위로 선정하여 참조유전체 해독으로 지적 재산권 및 원천특허를 선점할 것이며, 또한 메타 유전체 분석 및 각종 오믹스 분석을 통해 실용화가 가능한 미생물 소재에 대해서는 신속한 유전자 발굴 및 유전체 정보 수집으로 실용화·사업화 전략을 적용시킴으로써 시장 선점을 지원할 것임

□ 바이오 경제를 지원하는 미래 자원으로서의 농생명자원의 중요성 인식

- 본 사업 통해 모든 농식품 유전체 정보 자원들은 국가 주요 자산으로 지속적으로 확보할 예정이며, 또한 희귀성 미생물 유전자원일수록 유전체 정보를 전체적으로 분석하여 지적 재산권 확보 및 해당 생물산업 시장을 선점할 수 있도록 집중 지원함
- 생물다양성협약(Convention on Biological Diversity, CBD)의 ‘생물자원에의 접근 이익 공유(Access and Benefit Sharing, ABS)’에 관한 나고야 의정서가 채택됨으로써 미생물 유전자원은 국가적인 차원에서 매우 중요한 국가자산이기에, 본 사업단에서는 신규 조기성과 창출에 가능한 미생물 유전자원 발굴 및 유전체 정보 확보를 위해 매년 신규 미생물 분야 과제를 확대할 예정임

□ 연구 패러다임 변화에 효과적인 대응하기 위한 유기적 국내외 연구 네트워크 구축

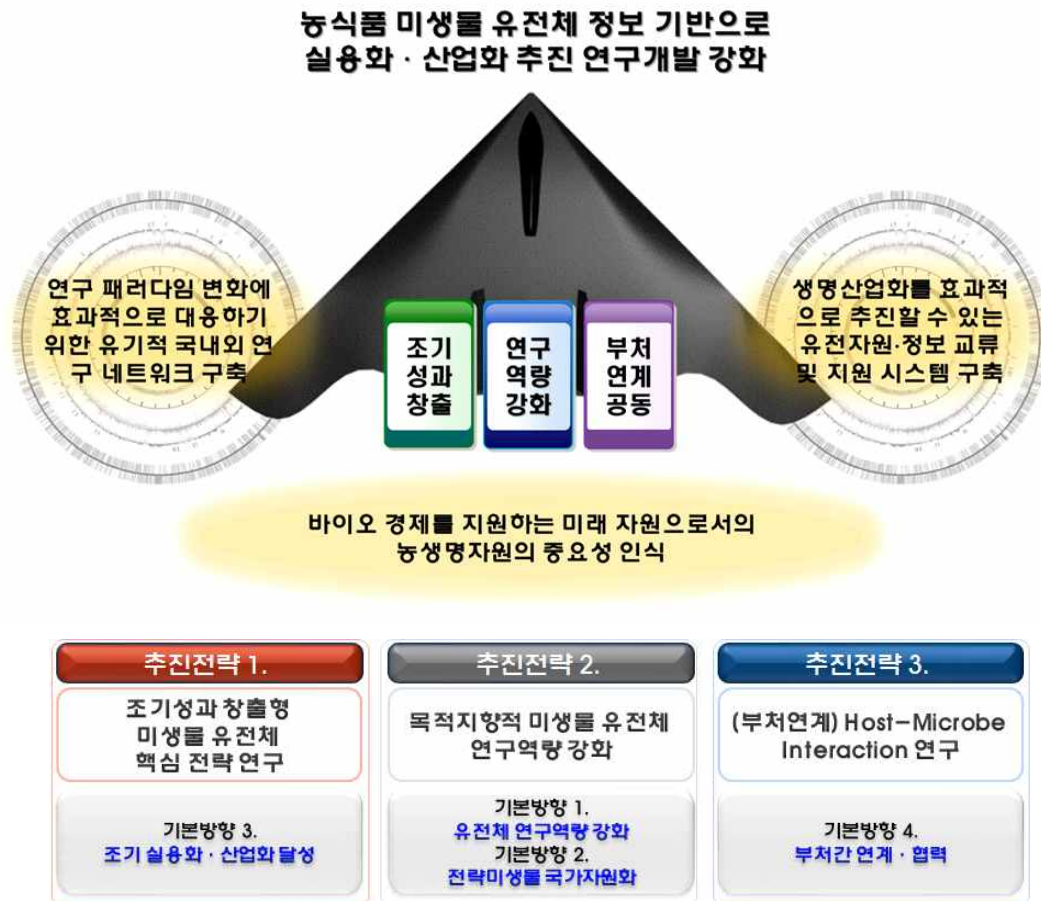
- 국내외 전통 농식품 미생물 연구 분야 및 타 분야 전문가들과 연구 네트워크를 구축함으로써 국내외 공동연구 및 연구협력으로 상호간의 정보 교류 체제를 활성화 함
- 본 사업단은 연구개발 및 교류를 극대화하기 위하여 유사 과제들을 그룹화 하였으며, 각 과제 분야에 속하는 핵심기술, 기반기술 대한 정보공유를 의무화하여 유기적 협력관계를 극대화함으로써 시너지 효과를 기대할 수 있음

□ 생명산업화를 효과적으로 추진할 수 있는 유전자원정보 교류 및 지원 시스템 구축

- 사업단 내 각 과제 유형 분류서 보유하고 있는 핵심기술, 기반기술들을 공유하여 연구개발 주체 간 유기적이고 밀접한 네트워킹과 COE(center of excellence)를 유지함
- 관련 산업체 및 본 사업 참여 연구팀에게 신기능 생물 소재 개발에 적극적으로 이용될 수 있도록 모든 유전자원 정보 공유 및 각종 유전체 분석을 지원함

□ **국내외 연구개발 환경변화를 반영한 유연한 전략적 연구기획 및 단위과제 추진**

- 최근 국내외 미생물 BINT 분야 및 차세대 염기서열 기술 혁신으로 인한 정부의 과학기술 정책의 변화, 목표 제품의 수요구조 변화 등 사업단의 외적 변화 내용을 차년도 사업기획에 반영함
- 진보된 기술 개발 및 새로운 기술 패러다임을 통하여 산업화에 기반이 될 수 있는 신규 미생물 자원, 참조유전체 및 메타유전체 정보의 대량 확보 및 효율적 탐색을 위한 연구개발 노력을 확대함



[그림 50] 미생물 유전체 연구개발 추진 전략

2. 세부 추진계획

가. 조기성과 창출형 미생물 유전체 핵심 전략 연구

□ 미생물 유전체 정보를 활용한 산업화 지원 과제 : 기존의 연구개발 성과를 토대로 2~4년 내에 제품 개발 및 시장 적용이 가능한 분야

- 활용 가능성 높은 미생물 유전자원 후보를 도출 하고, 유전체 정보 기반 확보를 위해, 유전체 해독 및 기능유전체 분석으로 유용한 미생물 소재 발굴 및 유전정보를 확보함
- 유용 미생물 유전자원은 환경 및 성과 목적에 따라 식품, 가축, 식물 등 다양한 미생물 서식지에 대한 미생물 생태 조사 및 대사체 등 기능성 분석으로 신규 유용 미생물 유전자원의 체계적 확보를 추진함
- 선행연구를 통해 유용 미생물 유전자원이 확보된 기술 현장의 수요가 많거나 연구가 많이 되어 있는 유용 미생물 자원의 유전체 연구를 통해서 조기성과 창출을 도모함. 특히, 발효식품 미생물 분야가 다른 분야보다 더 많은 이유는 이미 생물산업이 활성화 되어 있고, 유전체 연구가 비교적 용이하며, 기존 사업 수행을 통하여 확보된 생명자원과 유전체 정보를 조기 활용화로 유도하고자 하는데 있음
- 조기성과 창출형 단위과제 간 또는 연구역량 강화 기반 구축 단위과제 간 정기적인 세미나 및 워크숍을 통한 긴밀한 전략회의를 개최하고 단위과제 간 효율적 연구 네트워크를 구축하여, 조기 사업화 추진을 위한 환경을 최대한 조성함

□ 세부지원 방향

- (지원목적) 조기 산업화 가능한 미생물 자원 또는 기 활용중인 유용 미생물의 유전체 해독, 분석연구 결과의 실용화, 산업화
- (성과 목표)
 - 관련 기업이 활용할 수 있는 미생물 유전체 정보 제공
 - 미생물 자원 발굴(20건) 및 산업화(6건 이상)를 통한 매출 증대 및 연관 산업 육성
- (지원 규모) 과제당 연 2~3억 원 내외, 4년(2+2) 이내 지원
- (지원방향) 선행연구를 통해 유용미생물 유전자원이 확보된 기술 중 현장의 수요가 많은 유용 미생물 자원의 유전체 연구를 통해 조기성과 창출이 가능한 과제를 중점적으로 지원
- (지원분야)
 - 발효미생물 : 김치, 주류, 젓갈류, 장류 등 주요 발효식품에 활용되고 있는 미생물

- 사료첨가제 : 소화촉진, 질병예방을 위한 미생물 소재
- 친환경 미생물소재 : 생물비료, 작물병/선충 방제용 생물농약 등
 - ※ 산학연 연계 과제; 기업체 주관 또는 기업체 참여 시 가산점 부여
- (성과 지표) 특허(건수), 기술이전(건수, 기술이전료), 매출(수익), 정보서비스 제공 건수 등

나. 목적지향적 미생물 유전체 연구역량 강화

□ 농식품 미생물 유전체 연구 기반 구축 지원 과제 : 미생물 유전체 산업의 연구역량을 강화할 참조/메타유전체 해독 등 기초 연구

- 생명산업 육성과 농업적 활용가치 및 연구 경쟁력 확보를 위해 메타유전체와 참조 유전체를 대량 해독하여 정보를 분석하며, 유전체간에 비교 유전체 연구 분석 및 각종 다양하고 방대한 생물정보의 분석 지원으로 실용화·사업화에 활용될 수 있는 유용한 미생물 유전소재를 발굴 지원함
- 유전체 정보자원의 유통 활성화를 위해 사업단 내 모든 유전체 정보를 공유하기 위한 데이터베이스를 구축 할 것이며, 관련 산업체 및 본 사업 참여 연구팀이 신 기능 생물 소재 연구개발에 적극적으로 이용할 수 있도록 정보를 제공할 것임. 또한 사업단을 통해 발생한 모든 미생물 유전정보는 NABIC와 KOBIC등록을 의무화
- 바이오 빅데이터 가공 및 분산처리 지원을 제공할 것이며, 또한 유용한 미생물 소재에 대한 유전체 분석 및 기능 분석도 지원할 것임

□ 세부지원 방향

- (지원목적) 농식품 분야 신규 미생물 유전체와 메타지놈 분석을 통한 연구역량 강화 및 유용 미생물 정보의 국가 자원화
- (성과 목표) 농업적 활용가치가 높은 미생물 유전체 정보 자원화를 통한 미생물 분야 유전체 연구 경쟁력 및 목적지향적 바이오산업 응용 역량 강화
 - NGS 기반 빅데이터 분석기반 확보
 - 메타유전체(30건)와 참조유전체(200건) 대량 해독 및 정보 분석
 - 유용 유전자 및 미생물 자원 발굴
- (지원 규모) 과제당 연 3억 원 내외, 4+4년(2+2+2+2) 이내 지원(중간평가 실시)
- (지원방향) 바이오산업 육성과 미생물 유전체 연구 경쟁력 확보를 위해 메타유전체와 참조유전체 대량 해독 및 정보 분석
- (지원분야)

- 메타지놈 분석을 통한 유용 미생물 자원 발굴
- 미생물연구에 참조할 수 있는 참조유전체 개발
- 빅데이터 활용 생물정보 축적 기술
- 유전체 분석을 통한 기능성 유전자원 발굴
- 유전체 분석을 위한 사용자 편의 프로그램 개발
- 산업화 적용 가능한 기술 정보 제공

※ 연구대상 분야는 우선순위가 높은 발효미생물, 사료첨가제, 친환경 미생물소재 등 포함

- (성과 지표) 유전체 분석(건수, 데이터 양), 분석툴/프로그램 개발(건수), NABIC 등록(건수), 논문, 특허 등

□ 기술수준 목표

- 메타유전체 정보 분석의 경우, 국가 단위의 생명정보센터 외에 개인 연구실 수준에서 대용량 메타유전체 데이터를 원활하게 다룰 수 있는 컴퓨팅 파워를 가진 연구실이 거의 전무한 실정임. 이것이 현재 낮은 기술 수준의 원인으로 지목되며 향후 클라우드 시스템 활용, 공동 서버 시스템 구축 등을 통해 기술 수준을 선진국 대비 95%까지 달성하고자 함
- 참조유전체 정보 분석의 경우 유전자 예측 등과 같은 단일 유전체 분석 알고리즘 개발에 대한 투자가 낮고, 성과 위주의 과제 평가 시스템으로 인한 낮은 품질의 유전체 데이터 생산이 낮은 기술 수준의 원인으로 지목되며 향후 알고리즘 개발 연구 분야에 대한 투자와 엄격한 유전체 데이터의 품질 관리를 통해 선진국 대비 95%까지 달성하고자 함
- 생물정보 처리기술 개발의 경우 생물정보 연구 분야에 프로그래밍 전문가가 매우 부족하고 이로 인해 프로그램 개발 등 정보 처리기술 개발의 기술 수준이 매우 낮은 실정임. 이를 극복하기 위해 생물정보 전문가 양성을 통해 프로그래밍에 더 많은 투자를 하여 데이터 분석뿐만 아니라 프로그램 제작도 가능한 전문가를 양성하고 이를 통해 선진국 대비 85%까지 기술 수준을 올리고자 함

[표 12] 단위과제별 기술수준 목표(연구역량)

과제유형	단위과제 분야명	선진국 대비 기술수준							
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
연구역량 강화형	농업 유용미생물의 메타유전체 정보 분석	65	65	70	75	80	85	90	95
	농업 유용미생물의 참조유전체 정보 분석	65	65	70	75	80	85	90	95
	농업생물정보 처리기술 개발	50	55	60	65	70	75	80	85

다. (부처연계) Host-Microbe Interaction 연구

□ Host-Microbe Interaction 연구 사업 : 선행 연구를 통해 병원성미생물 유전자원이 확보된 기술을 선별하여 작용기작을 규명하기 위한 과제

- 병원성 미생물의 질병 발생 기작 규명을 유전적 측면에서 분석하여 농축산 농가 피해를 최소한으로 할 수 있도록 해당 병원성 미생물의 유전자원 정보를 제공하며, 또한 해당되는 기업체 및 사업 참여 연구팀들 간에 유전체 정보 공유를 활성화 함

□ 세부지원 방향

- (지원목적) 유전체 차원의 접근을 통한 농작물과 동물의 병원성 미생물간 상호작용 메커니즘 규명 및 방제 기술 개발
- (성과 목표) 병원성 미생물에 의한 질병발생 기작 규명을 최종 성과지표로 하여 해당 산업분야에 주요 정보 제공
- (지원 규모) 과제당 연 2억 원 내외, 4년(2+2) 이내 지원
- (지원분야)
 - 병원성 미생물의 예측 및 진단을 위한 진단 마커 개발
 - 신규 병원성 미생물의 참조유전체 정보 완성
 - 기능 유전체 분석을 통한 주요 질병발생 유전자정보의 기탁 및 활용
 - ※ 산학연 연계 과제; 기업체 주관 또는 기업체 참여 시 가산점 부여
- (성과 지표) 유전체 분석(건수), 분석기술 개발(건수), 논문, 특허 등
- (협력 방안) 농진청과 협의하여 부처 연계사업으로 추진
- (선도 방안) 타 부처 사업에 비해 조기 예산 확보, 과제 선정 및 파급효과 큰 과제 선제 운영

□ 기술수준 목표

- 동식물 병원균 연구 분야의 경우, 국내 연구자 층이 비교적 두텁고 기술 수준이 선진국 대비 70%로 상대적으로 높은 편이나, 연구비와 연구시설에 대한 체계적 지원이 적은 현실이어서 향후 발전 가능성이 낮은 편임
- 식물병원성 미생물 유전체 분석 및 병원균 제어의 경우, 농가-연구팀 간의 연계 강화 방안 마련을 통해 보다 체계적인 환경 및 정보 관리 시스템을 도입하고 이를 이용하여 더 체계적이고 정확한 정보 요청 및 전달 등을 통해 기술수준을 선진국 대비 90%까지 올리하고자 함

- 경제동물 병원균 유전체 분석 및 병원균 제어의 경우, 안전 등급이 높은 연구시설 구축과 경제동물 질병 발생과 그와 관련된 연구 시 구체적이고 충분한 보상 시스템을 마련하여 연구 협조를 얻어 원활한 연구 수행을 함으로써 선진국 대비 90% 수준으로 올리고자 함

[표 13] 단위과제별 기술수준 목표(부처공동)

과제유형	단위과제 분야명	선진국 대비 기술수준							
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
(부처 공동) Host-Microbe Interaction 연구	식물병원성 미생물 유전체 분석 및 병원균 제어	70	70	75	75	80	80	85	90
	경제동물 병원균 유전체 분석 및 병원균 제어	70	70	75	75	80	80	85	90

3. 연구개발의 성과 목표

가. 1단계 성과목표

- (조기성과 창출) 미생물 유전체 자원과 정보를 활용한 산업화 지원
 - 관련 기업이 활용할 수 있는 미생물 유전체 정보 제공
 - 유용 미생물 자원 발굴(10건 이상) 및 산업화(3건 이상)를 통한 매출 증대 및 연관 산업 육성
- (연구역량 강화) 농식품 미생물 유전체 연구 기반 구축 및 미생물 유전체 정보 자원화
 - NGS 기반 빅데이터 분석기반 확보
 - 메타유전체(14건)와 참조유전체(90건) 대량 해독 및 정보 분석
 - 유용 유전자 및 미생물 자원 발굴
- (부처연계 공동연구사업) Host-Microbe Interaction 연구 사업
 - 병원성 미생물에 의한 질병 발생 기작 규명
 - 병원성 미생물 진단 또는 치료 마커 개발(3건 이상)

나. 2단계 성과목표

- (조기성과 창출) 미생물 유전체 자원과 정보를 활용한 산업화 지원
 - 관련 기업이 활용할 수 있는 미생물 유전체 정보 제공
 - 유용 미생물 자원 발굴(10건 이상) 및 산업화(3건 이상)를 통한 매출 증대 및 연관 산업 육성

□ (연구역량 강화) 농식품 미생물 유전체 연구 기반 구축 및 미생물 유전체 정보 자원화

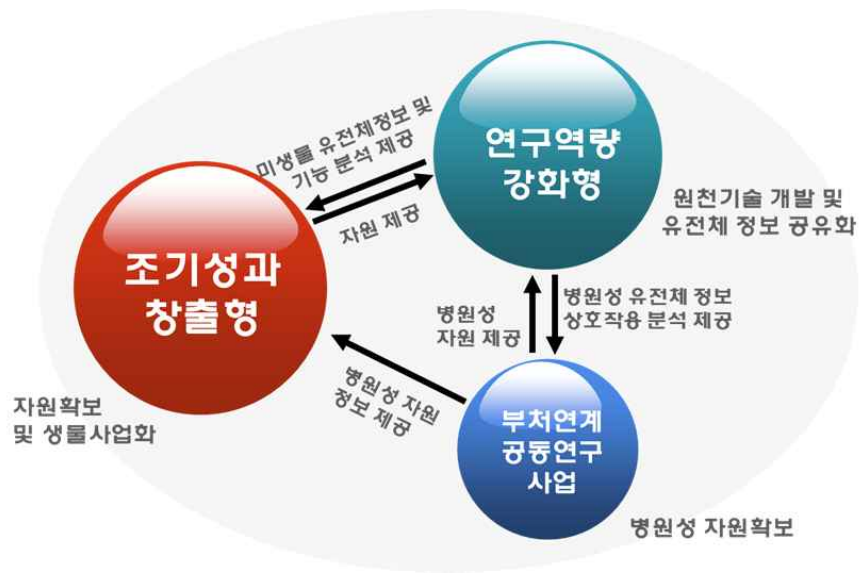
- NGS 기반 빅데이터 분석기반 확보
- 메타유전체(16건)와 참조유전체(110건) 대량 해독 및 정보 분석
- 유용 유전자 및 미생물 자원 발굴

□ (부처연계 공동연구사업) Host-Microbe Interaction 연구 사업

- 병원성 미생물에 의한 질병 발생 기작 규명
- 병원성 미생물 진단 또는 치료 마커 개발(5건 이상)

4. 전략분야별 역할분담 및 상호연계

- 조기성과 창출형 과제는 연구역량 강화형 과제의 메타유전체 및 참조유전체 분석에 필요한 생명자원 소재를 제공하고, 연구역량 강화형 과제와의 협업 또는 선행 연구를 통해 확보된 유전체 정보 및 기능 정보를 활용하여 조기 사업화 가능성이 높은 유용 미생물과 유전자원에 대한 안정성 및 기능 검정을 통해 단시간에 실용화·사업화를 달성함
- 연구역량 강화형 과제는 유용 미생물자원의 활용가치를 높이기 위한 메타유전체 분석 및 참조유전체 해독 분석 경쟁력을 제고하고 목적 지향적 생물산업에 활용하기 위한 원천 기술을 확보하며 유전정보 기반으로 유전자원의 기능 및 메커니즘 정보를 제공하여 조기성과 창출형 과제의 성과 확보를 지원함
- 부처연계 공동연구 과제는 병원성 미생물로 인한 농업·축산·식품업계의 피해를 최소화하기 위해, 병원균-숙주 상호작용과 질병 발생 기작을 유전적 측면에서 규명함으로써 작물과 경제동물의 질병을 효과적으로 예방하고 치료할 수 있는 방안을 마련함

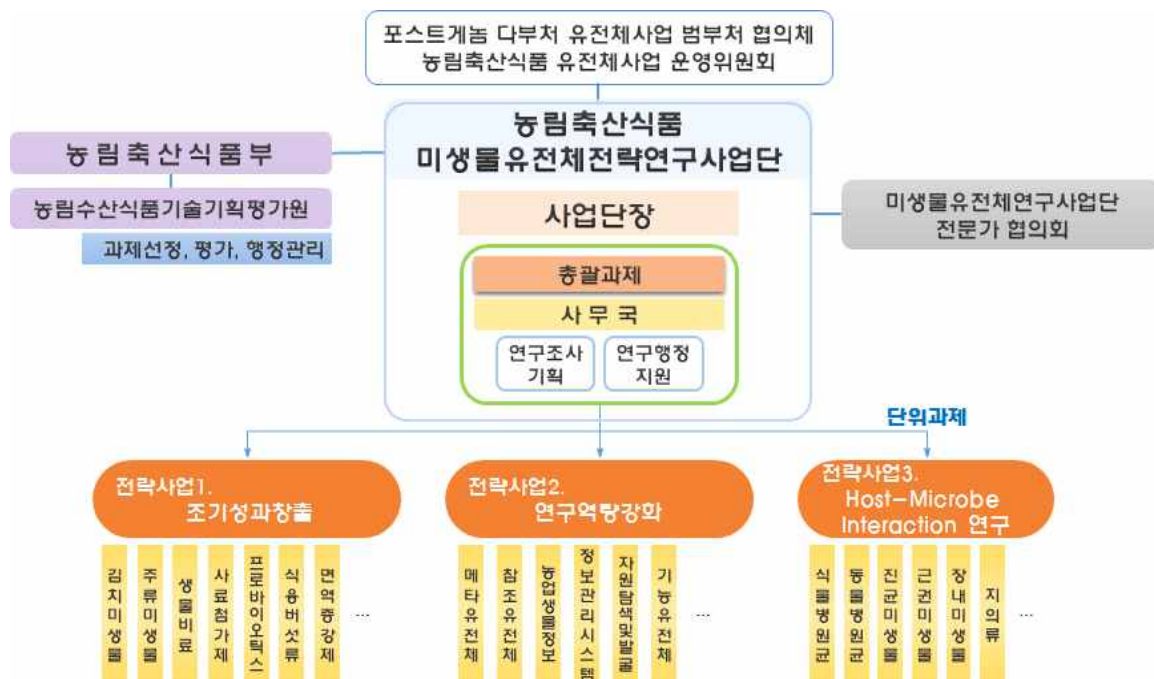


[그림 51] 전략분야별 상호연계 방안

제3절 추진체계

□ 사업단장 중심의 사업단 방식의 추진체계

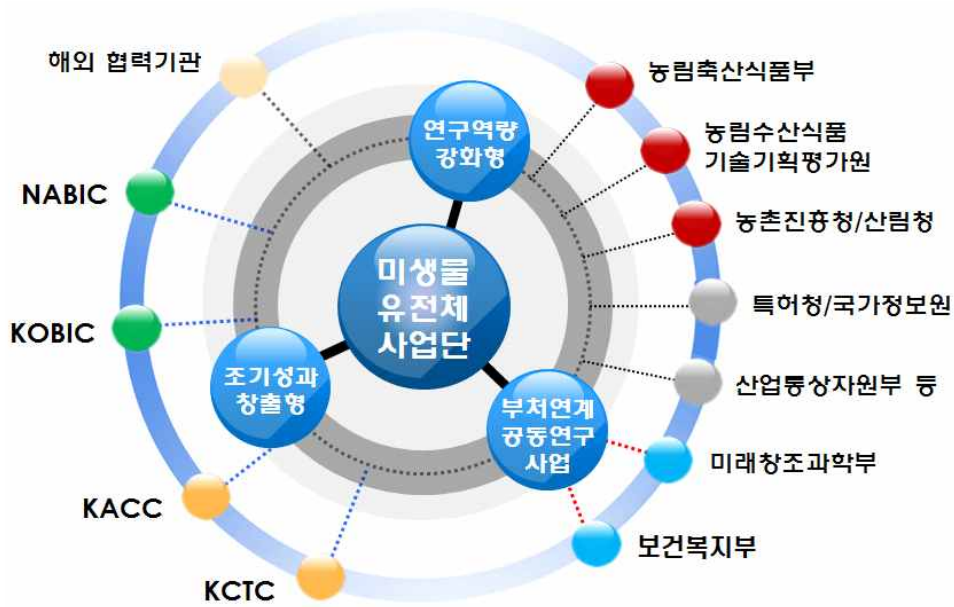
- 포스트게놈 다부처 유전체사업 범부처 협의체 및 농림축산식품부의 상위 계획을 준수하며, 사업단장 중심의 전략연구개발 기능 강화
 - 전문기관인 농림수산물기술기획평가원에서 과제선정, 평가, 행정관리 등을 지원
- 미생물유전체사업단의 연구기획 기능 강화로 체계적이고 전략적인 사업 수행
 - 사업단 사무국에서 연구조사기획, 연구행정지원기능 강화를 통한 체계적인 연구개발 수행
 - 미생물유전체연구사업단 전문가협의회는 운영자문위원회, 전문가협의회, 운영실무협의회로 세분화하여 구성함으로써 위원회별 구체적인 역할 수행
- 미생물유전체사업단 협의회 세부 역할
 - (운영자문위원회) 사업 추진 및 사업단 운영에 관한 정책 의사결정 지원 및 자문 역할
 - (전문가협의회) 사업의 추진 방향, 전략, 계획 수립 등 사업의 성공수행을 위한 기술적 자문 역할
 - (운영실무협의회) 사업단 운영 및 과제 관리에 대한 실무협의 역할



[그림 52] 농림축산식품 미생물유전체전략연구사업 추진체계

□ **관련기관 연계를 통한 성과창출**

- 사업특성에 적합한 관련기관들과 연계를 통해 전략유형별 최적의 성과 창출
 - 농진청이 운영하는 NABIC(국립 농업 생명 공학 정보 센터), 미래부 운영 KOBIC(국가생명연구자원정보센터)에 미생물 유전체 정보를 공유함으로써 성과확산에 기여
 - 해외 미생물 유전체 연구관련 기관과 협력을 통해 해외 미생물 연구동향, 산업화현황을 파악하여, 연구개발의 방향 수립
 - 한국농업미생물자원센터(KACC), 미생물자원센터(KCTC)와 협력을 통해 미생물 유전체 연구개발 기반을 구축하고 산업화를 지원
- 포스트게놈 다부처 유전체사업의 일환으로 미래부, 복지부, 농진청 등 타 부처와 협력을 통한 연구개발 효율성 증대
 - 부처공동연구(Host-Microbe Interaction) 추진을 통한 부처 간 협력 추진



[그림 53] 미생물 유전체 연구개발 관련기관

제4절 전략체계도

비전 미생물 유전체 정보의 효과적 활용으로 중요롭고 건강한 삶에 기여

농생명 유전체 연구의 전주기적 역량강화 및 실용화·산업화를 통한 농식품산업 국가경쟁력 강화

<p>◇ 시장경쟁력 강화 바이오시장 점유율 증대</p> <p>2013년 2.5% (8조원) 2025년 10% (32조원) ('13년 시장규모 약 320조 원)</p>	<p>◇ 기술경쟁력 강화 선진국대비 기술격차 극복</p> <p>2012년 77% 2025년 90% ('13년 KISTEP, 바이오분야)</p>	<p>◇ 미생물산업 활성화 연매출 10억 원 이상 제품 개발</p>
---	--	---

전략 목표

- ① 농림축산식품 미생물 유전체 분석역량 강화 및 유전체 정보의 국가자원화
- ② 유용 미생물 유전체를 발굴하고 실용화·산업화하여 농식품 경쟁력 강화
- ③ 부처간 협력을 통한 연구효율 증대 및 시너지 창출

	지향적 미생물 유전체 연구역량 강화	조기성과 창출형 미생물 유전체 핵심 전략연구	(부처연계) Host-Microbe Interaction 연구
추진 전략	<ul style="list-style-type: none"> - 탐색 및 발굴 - 메타유전체 - 참조유전체 - 비교유전체 - 기능유전체 - 생물정보 - 유용유전자 활용 - 미생물기반융복합소재 - 정보통합관리시스템 등 	<ul style="list-style-type: none"> - 발효식품(김치, 주류, 장류 등) - 농림분야(미생물비료, 농약 등) - 축산분야(사료첨가제 등) - 프로바이오틱스 - 식용버섯류 - 농업환경개선제 등 	<ul style="list-style-type: none"> - (세균, 진균, 바이러스) - 동물병원균(세균, 진균) - 공생미생물(근권, 장내, 지의류) 등
성과 목표	<p style="text-align: center;">미생물 유전체 정보 해독</p> <p>표준유전체 260건 해독 메타유전체 32건 분석 유전체 분석기술 17건 개발 NABIC 60건 등록</p>	<p style="text-align: center;">유용 미생물 유전체 발굴 및 사업화</p> <p>전략미생물 50건 해독 유용유전자원 28건 확보 사업화·실용화 12건</p>	<p style="text-align: center;">부처간 협력을 통한 유전체 기술 실용화</p> <p>병원균 미생물 정보 5건 완성 미생물 진단마커 8개 개발 미생물 병발생 기작 8건 규명</p>

[표 14] 미생물 유전체 R&D 소요예산(총괄)

구분	1단계				2단계				합계 (원)	
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021		
조기성과 창출	김치류 미생물	2.5	2.5	3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	20.5
	주류미생물	2.5	2.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	26
	장류미생물	-	-	3.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	16
	염장류미생물	-	-	3.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	16
	미생물 농약	-	-	3.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	16
	미생물비료	2.2	2.2	3	3	3	3	3	3	22.4
	농업환경개선제	-	-	3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	15.5
	사료첨가제	2.2	2.2	3	3	3	3	3	3	22.4
	면역증강제	-	-	3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	15.5
	프로바이오틱스	-	-	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	26
버섯류	-	-	3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	15.5	
연구역량 강화	미생물자원 탐색 및 발굴			2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	15
	메타유전체	3.3	3.1	6.8	7	7	7	7	7	48.2
	참조유전체(세균)	-	-	2	3	3	3	3	3	17
	참조유전체(진균)	3	3.1	3	3	3	3	3	3	24.1
	비교유전체	-	-	6	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	38.5
	기능유전체(전사체)	-	-	2	3	3	3	3	3	17
	기능유전체(대사체)	-	-	2.2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	14.7
	유용유전자 활용	-	-	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	15
	미생물기반응복합소재	-	-	2.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	20
	생물정보분석	2	2	4	4	4	4	4	4	28
정보통합관리시스템 구축	-	-	5	10	10	10	10	10	55	
부처공동연구	식물병원성 진균	2	2	2	2	2	2	2	2	16
	식물병원성 세균	-	-	2	2	2	2	2	2	12
	식물병원성 바이러스	-	-	2	2	2	2	2	2	12
	동물병원성 진균	-	-	2	2	2	2	2	2	12
	동물병원성 세균	2	2	2	2	2	2	2	2	16
	근권미생물	-	-	2	2	2	2	2	2	12
	장내미생물	-	-	2	2	2	2	2	2	12
	지의류	-	-	2	2	2	2	2	2	12
총괄연구	3.3	3	5	5	5	5	5	5	5	
합계	25	25	95	100	100	100	100	100	100	

제 4 장



기대효과

제4장 기대효과

제1절 경제적 기대효과

□ 농업 유용미생물 정보의 체계화, 자원화를 통한 사업화

- 농업 유용 미생물 정보의 체계화, 자원화를 통한 실용적인 친환경 농업생물소재개발 지원체계 구축 및 산업적 활용성 증대를 통한 고기능성 농업 유용미생물 제제의 기술이전, 사업화를 가속화 시킬 수 있음
- 농업 유용미생물기반의 상업화 제품에 대한 표준화된 사전/사후 검증 기준 및 검증 체계 마련을 위한 기초 자료 확보 필요

□ 전통 발효 및 주류/장류 미생물의 표준화 및 고급화를 통한 관련 산업기반 및 수월성 확보

- 프로바이오틱스 특성을 가진 김치유산중균의 사용으로 인한 김치의 표준화 및 고급화를 통한 김치기능성 향상을 통한 김치의 대중화 및 세계화
- 주류 및 장류 미생물의 체계적인 분리 및 산업적 이용을 위한 우수 미생물자원의 확보 및 균총의 성장규명에 의한 발효 메커니즘의 과학적 근거 제시
- 특허 및 산업재산권을 확보하고 전통발효식품 종주국으로서의 위상확보

□ 농림유용미생물 확보를 통한 미생물 제제관련 산업 기반 및 수월성 확보

- 원천기술을 통한 미생물 농약 제품화를 통한 글로벌 시장에서 독점적인 제품개발 및 생물농약 분야 글로벌 기업 육성을 위한 기반 제공
- 미생물비료를 통한 화학비료 사용 저감으로 농업생태계 보호, 그린농업 발전 및 고부가가치 미생물 응용 작물 생산 개발 기술의 기업화 가능

□ 축산유용미생물 확보를 통한 미생물 제제관련 산업 기반 및 수월성 확보

- 축산환경 개선에 유용한 미생물제제 개발을 통한 시장 선점과 경제적 이익 창출이 가능할 뿐 아니라, 친환경농업에서의 활용 및 관련 생명공학분야로의 산업영역 확장이 가능해짐
- 온실가스 저감 및 악취 제거에 장비형 시설대신 미생물제제를 사용함으로써 축산분야의 생산비용 절감

- 미생물유래 면역증강소재의 사업화를 통한 동물 폐사율 감소 및 생산성 향상, 농가소득 증대

□ 건강기능성 미생물 개발 및 확보를 통한 관련 산업 발전

- 대사성질환 개선관련 미생물 제품 개발 및 출시를 통해 국내외 글로벌 프로바이오틱스 시장을 선도함
- 버섯 기능 조절 유전자 발굴을 통한 버섯균의 생물공장화, 버섯유래 산업용 효소 기술의 기술이전을 통한 산업화, 버섯 형질전환 기술 개발을 통한 기능성 버섯 창출의 기반 구축을 통해 현재 식용버섯 생산에 머물고 있는 버섯산업의 다각화를 통하여 국내버섯시장을 획기적으로 확장시킬 수 있는 교두보 확립

□ 농식품미생물자원 및 유전체 탐색/발굴 연구역량 강화를 통한 신 산업기반 구축

- 친환경 에너지, 화장품, 식품, 의약품 등의 다양한 분야에 활용 가능한 미생물 생물자원 확보를 통한 세계 경쟁력 증대 및 관련 산업 및 인력 양성
- 수입에 의존하던 종균의 국내화를 통한 안정적이고 효율적인 시장경쟁력 확보
- 기능성 미생물자원 및 유용 유전자원 확보 및 활용으로 인한 국제 경제력 강화와 농림축산식품의 표준화, 품질 향상 및 지표 분석에 활용
- 각급 농업기술센터 및 농업 관련기관에서의 실제 농업 현장으로의 농업 유용미생물 관련 정보 체계화, 보급, 공급 및 기술지도와 함께 친환경 농업 생물소재로서의 실용화 및 산업적 활용성 증대 기대
- 기능성 효소균 탐색 및 공정 기술개발 시기의 획기적인 단축을 통한 국내 농·식품 산업체 및 중소 바이오기업의 사업 경쟁력 강화의 기반 요소 기술 확보

□ 미생물 유전체 정보통합관리시스템 구축을 통한 관련 산업화 지원체계 구축

- 막대한 경제적 파급효과에도 불구하고 법적인 제한과 국내 이익집단·부처 간의 입장 차이로 인하여 바이오·의료 빅데이터의 통합 활용과 산업화의 진척에 난항을 보이고 있는 현 시점에서 연구 및 산업 주체 간의 이견이 상대적으로 적고 법률적인 걸림돌이 적은 농림축산식품 분야의 유용 미생물 유전체 정보를 대상으로 하는 통합관리 및 활용체계는 성공 가능성이 매우 큰 선도적 모델임

□ 미생물-숙주 간 상호작용 기전 이해를 통한 산업화 기반 구축

- 신규 동/식물 병원성 진균 유전자/단백질을 타깃으로 하는 항진균제 개발 및 지적 재산권 확보를 통한 관련 산업분야에 국내 기업 진출의 교두보 확보
- 동/식물병원성 세균의 제어기술 및 백신 개발로 직접적인 경제적인 피해 감소에 기여하고, 다양한 유전정보 및 chemical library 스크리닝 시스템에 대한 특허 확보로 경제성 창출
- 식물바이러스 검역 및 방제를 할 수 있는 시스템 구축이 가능하며, 국내 식물생산량 증가, 농업 경쟁력 확보, 및 전 세계적으로 대규모 식물바이러스 진단 키트 개발의 선도자 역할을 할 수 있음
- 작물 근권미생물과 내생미생물의 오믹스 연구를 통해 친환경 미생물의 유용 유전자를 효율적으로 발굴하는 기술은 농업에 활용가능한 유용 소재의 개발과 생산을 촉진함으로써 농산업에 광범위한 산업적 파급 효과를 유발할 것으로 기대되고, 친환경 농산업 발전효과 기대
- 장내미생물 군집 조성을 위한 사료첨가제 개발은 농/산업 미생물 개발 및 전문기업의 육성으로 이어져 국내 친환경 고품질 축산물 생산을 가능하게 하고, 경제동물의 수출시장 개척을 가능하게 함으로써 국가의 경제적 이익 창출 효과를 기대할 수 있음
- 지의류 유래 천연물 활용 농·산업용 차세대 생물소재 개발을 위한 후속 연구 개발 및 후속 제품 개발에 필요한 혁신형 산업 생태계 구축

제2절 기술적 기대효과

- 유전체·오믹스 정보를 활용한 가상적 생물자원탐사기술(virtual bioprospecting technique) 수립 현실화
 - 다양한 시퀀싱 플랫폼에서 유래한 데이터를 특성별로 복합 활용하여 생명정보 비전공자라 하더라도 전문 지식과 고용량 서버 없이도 유용 미생물의 유전체 및 오믹스 정보의 통합 분석을 실시할 수 있게 됨
 - 모델 미생물이나 근연종 reference 없이도 NGS 유래 유전체 및 전사체 시퀀싱 결과물을 이용한 신규 진균류의 유전체 구조 분석 및 유전자 기능 예측이 가능해짐
 - 유용 미생물의 알려진 특성을 유전체 서열 분석을 통해 재확인하는 지금까지의 방법에서 탈피하여 복잡하고 비용이 많이 드는 특성 규명 및 스크리닝 작업을 저비용의 유전체 시퀀싱으로 대체할 수 있는 기술적 토대를 마련함

- 빅데이터 기술을 근간으로 하는 실용적인 유전체 정보 관리 및 활용 체계의 선도적 모델 수립
 - 막대한 경제적 파급효과에도 불구하고 법적인 제한과 국내 이익집단·부처 간의 입장 차이로 인하여 바이오·의료 빅데이터의 통합 활용과 산업화의 진척에 난항을 보이고 있는 현 시점에서 연구 및 산업 주체 간의 이견이 상대적으로 적고 법률적인 걸림돌이 적은 농림축산식품 분야의 유용 미생물 유전체 정보를 대상으로 하는 통합 관리 및 활용 체계는 성공 가능성이 매우 큰 선도적 모델이 될 수 있음
 - 분양 가능한 미생물 자원 및 이와 연관된 특성 정보와 더불어 정밀 가공된 유전체·오믹스 정보의 통합 서비스를 통하여 국내 연구개발사업으로 산출된 농림축산식품 분야의 유용 미생물의 활용을 극대화할 수 있음

- 전통 발효 및 주류/장류 미생물의 개발 및 활용 기반 구축
 - 진화를 이용한 균주개량 기술 개발을 통한 다양한 발효식품에서의 최적화된 스타터균주를 개발 및 활용 할 수 있는 기반 구축
 - 주류 및 장류의 품질균일화 및 고품질화를 위한 기반 조성과 관련 미생물지도를 완성하여 미생물 관련 안전성을 입증함으로써 전통주 및 장류 수출의 증대 효과
 - 유전체, 전사체, 대사체를 종합한 오믹스 분석 기술 확립을 통한 발효식품 미생물의 발효능, 기능성, 안전성 분석 및 검증 시스템 구축

□ **농림유용미생물 확보를 통한 미생물 제제관련 첨단 기술 확보**

- 난방제 병해충 검정용 온실검정법 개발을 통한 신규 약제 개발을 위한 기반 마련
- 미생물 유전체의 구조 및 작용기작 규명으로 인한 우수 미생물 유전자원 선발 및 고효율 미생물비료 개발 및 활용을 통한 친환경 고추 유묘 생산 기술 확립

□ **축산유용미생물 확보를 통한 미생물 제제관련 첨단 기술 확보**

- 축산 환경개선 유용 미생물의 분리 및 특성 구명을 통해 축산 농가의 온실가스 배출 및 악취 발생 기작을 규명하는데 유용 정보로 활용 가능하며 추후 미생물제제 개발을 위한 기초 정보를 제공함
- 유전체학적 접근을 통한 항생제 대체 유용 생균제 및 박테리오파지 선발 연구의 기틀 확립
- 축산동물의 면역증강제 기술 개발을 통한 미생물 소재화 기술 연구의 기반을 마련함

□ **건강기능성 미생물 개발 및 확보를 위한 첨단 기술 개발**

- 프로바이오틱스의 대사성질환 개선에 관한 메커니즘 규명 및 유전체학적 접근을 통한 신규 프로바이오틱스 연구의 기틀 확립
- 버섯균주 간 차이, 퇴화기작 규명, 유용형질 관련 QTL 맵핑 정보 구축, 재배환경 관련 유전자 발현 조절 기작 규명 등 버섯 산업화 연구 기반 구축

□ **농식품미생물자원 및 유전체 탐색/발굴 연구역량 강화를 통한 첨단 기술개발 기반 구축**

- 미생물을 이용한 고부가가치 산업화를 통한 신소재 시장 창출 및 유용 미생물 스크리닝 기술의 획기적 진전
- 농림축산식품 환경에서의 메타유전체 정보 축적, 분석 기반 구축 및 분석 파이프라인 구축을 통한 연구네트워크 강화 및 기능성 미생물자원과 유용 유전자원 정보 발굴 확대
- 유용 농용세균 유전체 정보의 체계화/자원화 및 청정농업 기반 구축을 기술적·학술적 근거 제공
- 농업 유용미생물기반의 상업화 제품에 대한 표준화된 사전, 사후 검증 기준 및 검증 체계 마련을 위한 기초 자료로 활용
- 유용미생물 유전자 기능 업그레이드, 유전체편집기술, 초고속유전자진화와 관련된 첨단농업미생물공학기술 발전에 기여

□ 미생물 유전체 정보통합관리시스템 구축을 통한 관련 기술개발 지원체계 구축

- 분양 가능한 미생물 자원 및 이와 연관된 특성 정보와 더불어 정밀 가공된 유전체·오믹스 정보의 통합 서비스를 통하여 국내 연구개발사업으로 산출된 농림축산식품 분야의 유용 미생물의 활용을 극대화할 수 있음
- 유용미생물 자원의 통합 관리를 통한 연구 산출물의 국가 자산화 인식 제고

□ 미생물-숙주 간 상호작용 이해를 통한 관련 지식기반 구축 및 신 기술 개발

- 동/식물 병원성 진균의 병원성, 스트레스 저항성 및 이차대사산물 생합성 관련 유전자 발굴 및 이를 활용한 진균 연구의 모델 제공과 전사체기반 데이터베이스 구축 및 제공을 통한 국제 연구진과의 정보 교류 및 식물병 방제 기반 구축에 기여
- 동/식물병원성 세균의 유전체를 비롯한 다양한 오믹스 분석 기술 및 병원성 유전자 탐색 기술 확보, 박테리오파지 분석 기술 및 병 검정법 확립
- 주요 작물 별 식물 바이러스 및 바이로이드 리스트 확보, 바이러스 유전체 분석을 통한 다양한 진단 시스템 개발 및 바이러스 변이 연구를 통한 바이러스 방제 및 검역 시스템 재구축
- 균-숙주 상호작용에 기초한 병원성 인자 발굴 및 발병기전 해석, 숙주 내재성 제어기전을 이용한 난치성 세균성 질병 치료방법 개선 및 예방기법 구축, 세포내 기생성 균의 숙주세포내 침입 및 증식 기전 해석 가능
- 동물용 백신 관련 기술은, 가축의 질병예방 뿐만이 아니라 전 세계적으로 이슈화 되고 있는 생물무기(두창, 탄저균 등), SARS(중증 급성 호흡기 증후군), AI(조류 인플루엔자)등 인수공통전염병(Pandemic zoonosis)에 대한 대응기술개발에 많은 공헌을 하고 있으며, 국가적으로도 전략 사업으로 인식되고 있음.
- 균근 미생물 및 내생 미생물에 대한 메타게놈과 전사체 분석 결과는 친환경적 작물생산을 위한 미생물의 적절한 활용과 유사 미생물 탐색 선발의 기술개발을 가능하게 할 것임
- 경제 동물의 장내미생물의 다양성 및 숙주-미생물-환경의 상호작용을 규명하여 장내미생물 군집 조성 변화를 통해 경제 동물의 생산성 증가 및 항생제 및 호르몬제 사용감소를 통한 친환경 농축수산물을 공급함으로써 농가소득 증대와 소비자 신뢰를 강화시킴
- 세계적으로 미활용 생물소재인 지의류 유래 천연물의 대량생산 및 산업화 기반 구축을 통한 기술 혁신 달성 및 관련 천연물 산업분야 선도

제3절 사회적 기대효과

- 농림축산식품 산업용 유용 미생물 자원의 통합 관리를 통한 연구 산출물의 국가 자산화 인식 제고
 - 국가연구개발사업을 통해 산출된 실물 자원과 정보 성과물의 자발적 등록 실적 향상 및 공공 활용성 증대
 - 각급 농업기술센터 및 관련 기관으로부터 실제 농업 현장으로의 유용미생물 보급, 공급 및 기술 지도를 위한 기초 정보로 활용
 - 확보된 참조유전체/메타유전체 정보를 바탕으로 새로운 친환경·고기능성 유용 농업 자원의 확보 및 이를 활용한 실용적인 농업 정책 마련을 위한 기초 자료로 활용
 - 유전체 연구의 발전은 농축산식품업 뿐만 아니라 보건의료, 국방, 수산, 환경 및 에너지 등 거의 모든 산업 영역에 막대한 파급효과를 미쳐서 BT 핵심기반기술이 될 것으로 기대
 - 유전체 연구를 바탕으로 한 식물 병원성진균의 제어 및 방제법 개발로 농림축산분야의 생산성 증가를 통한 농가수입의 증대

- 안전한 농림축산식품 제공을 통한 국가 안전망 구축 및 보건 향상에 기여
 - 주요 농작물 및 가축 질병의 효율적인 제어를 통해 안전한 먹거리 제공 및 국민 보건 향상에 기여
 - 농작물 및 가축의 유용 공생미생물 활용을 통한 농업 생태계 개선 및 보존에 기여
 - 대용량 유전체 연구를 기반으로 하는 동물 병원성 진균의 진단, 제어 및 치료법 개발은 초고령 사회를 맞이하는 일반국민의 건강하고 행복한 노후생활에 큰 기여할 수 있음

제 5 장



정책적 제언

제5장 정책적 제언

1. 미생물 생명정보의 생산 및 체계적 관리를 통한 국가자원화

- 생물다양성협약으로 인해 선진국들은 생물자원 선점을 위한 국가차원의 유전체 연구가 진행하고 있으며, 우리나라도 유용자원 확보를 위한 고유 유전자원의 원천생물 확보가 시급
- 유전체 정보 확보 및 통합 관리 체계 개발을 위한 장기적인 연구투자가 시급함
 - 산업화와 독립적으로 국가 정책적으로 필요한 기초연구에 대한 투자 필요

2. 미생물 생명정보 산업화를 통한 바이오경제 활성화, 창조경제 생태계 구축

- 경제파괴 가속화에 따른 통합적 지역개발 모델 제시뿐만 아니라 생명산업 창출과 연계된 농축산식품 정책이 필요함. 특히, 현재의 농생명산업정책에서 도시인(산학연)과 연계할 수 있는 농생명산업의 리모델링이 필요한 시점임
- 세계 농업생명공학 시장규모는 '12년 144억 달러 규모에서 매년 10%이상 성장하는 추세를 보이는 등 바이오 분야 시장이 급격히 성장하고 있어, 우리나라도 미생물 유전체 사업화를 통한 바이오경제를 활성화가 필요함
- OECD는 20세기 후반부터 생명공학과 바이오 기술을 앞세운 바이오 경제가 본격화하고 있다고 분석하였고, 선진국들 역시 바이오 경제의 도래에 따른 대응과 준비에 적극적인 행보를 보이고 있음
- 상호반응 유전체 유래 유용 유전자원 활용 및 산업화 기반 구축을 위한 정책적 결단이 필요함
 - 생명정보 빅데이터를 활용한 미생물 유전체 활용성 강화
 - 유전체를 활용하면 사업화가 가능하고 큰 시장을 창출할 수 있는 것 강조

3. 농작물 및 가축질병, 감염병 등 재난성 질병에 대한 사회 안정망 강화

- 농작물 및 가축 관련 재난성 질병 발생에 신속, 효율적인 대처를 위한 위험평가 분석 및 대응에 요구되는 산학연 협력 체계 구축이 시급함
 - 미생물 유전체를 활용한 사회 안전망 및 국가 의료보전 체제에 대한 기여
- 현재에는 큰 문제는 아니지만 향후 문제될 수 있는 병원균에 대한 선제적 대응이 필요

4. 미생물을 활용한 농림축산업의 고부가가치화 실현을 통해 농촌경제 활성화

- 고도산업화 및 서비스화에 치중되고 있는 국내·외 환경변화에 따라, 농생명산업 노동력의 고령화 및 감소화를 극복할 수 있는 새로운 활력을 제공할 수 있는 방안이 그 어느 때보다 절실함



[그림 54] 미생물 유전체 R&D 중장기계획의 정책적 제언

미생물 유전체 R&D 중장기계획 총괄본

-
- 발행일 : 2015년 8월 7일
 - 발행처 : 농림축산식품 미생물유전체전략연구사업단
 - 발행인 : 사업단장 김지현
 - 기획/편집 : 오평록, 김진묵
 - 주소 : 서울특별시 서대문구 연세로50, 연세대학교 첨단과학기술관
(www.imaf.or.kr)
-

이 책에 수록된 내용과 관련하여 문의사항이 있으시면
아래 연락처로 연락주시기 바랍니다.

농림축산식품 미생물유전체전략연구사업단 김진묵 ☎ 02-2123-8126