

유용 미생물은행 구축을 위한 정책
타당성 연구

- 농생명 에코 마이크로바이옴 자원센터 구축 -

2018. 12

연구기관: 한국생명공학연구원



제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 『유용 미생물은행 구축을 위한 정책 타당성 연구』의 최종 보고서로 제출합니다.

2018년 12월

한국생명공학연구원 원장

책임연구원 : 김철호 한국생명공학연구원 책임연구원
연구원 : 오태광 한국생명공학연구원 연구위원
정홍채 한국생명공학연구원 책임연구원
박두상 한국생명공학연구원 책임연구원
손정훈 한국생명공학연구원 책임연구원
송재준 한국생명공학연구원 책임연구원
이상래 한국생명공학연구원 책임연구원
오백륙 한국생명공학연구원 선임연구원
최종현 한국생명공학연구원 선임연구원
김민수 한국생명공학연구원 선임연구원
이지영 한국생명공학연구원 전임연구원
박성용 ㈜아이피온 대표이사
문선웅 명지대학교 교수
연구보조원 : 주정현 한국생명공학연구원 연수연구원
윤선아 ㈜아이피온 과장
신소라 ㈜아이피온 대리

< 목 차 >

1. 연구개요	1
1.1 사업추진 배경	2
1.2 사업추진 필요성	4
1.3 기존 사업과의 차별성	8
1.4 주요 사업내용	10
2. 국내외 장내미생물 연구 현황 및 수요	11
2.1 국내외 미생물 은행 구축현황	12
2.2 국내외 정책동향	25
2.3 마이크로바이옴 산업 현황과 전망	37
2.3.1 국내외 시장동향	37
2.3.2 국내외 특허현황	50
2.3.3 국내외 논문현황	70
2.3.4 국내외 산업현황 및 전망	77
2.3.5 마이크로바이옴 산업화 사례(Indigo Agriculture)	86
2.4 국내 산업계 수요 현황 및 전망	90
2.4.1 국내 산업계 수요 현황	90
2.4.2 국내 산업계 수요 전망	98
2.5 산업계 수요 타당성 분석	104
2.5.1 과학기술적 타당성	104
2.5.2 경제적 타당성	105
2.5.3 사회적 타당성	106
3. 에코 마이크로바이옴 자원센터의 임무 및 전략	107
3.1 에코 마이크로바이옴 자원센터의 개념 도출	108
3.1.1 전략 방향	108
3.1.2 센터 개념	110
3.2 에코 마이크로바이옴 자원센터의 기능	111

3.2.1	에코 마이크로바이옴 확보 및 보급	112
3.2.2	에코 마이크로바이옴 사업화 지원	113
3.2.3	에코 마이크로바이옴 활용기업 성장 지원	116
3.3	에코 마이크로바이옴 자원센터의 파급효과 분석	116
3.3.1	과학기술적 파급효과	116
3.3.2	경제적 파급효과	119
3.3.3	사회적 파급효과	121
3.4	에코 마이크로바이옴 자원센터의 기대효과	122
4.	에코 마이크로바이옴 자원센터의 건립 및 운영 계획	124
4.1	에코 마이크로바이옴 자원센터 건립사업 추진 방안	125
4.2	에코 마이크로바이옴 자원센터 건설사업 개요	126
4.3	에코 마이크로바이옴 자원센터 운영(안)	129
4.4	에코 마이크로바이옴 자원센터 입지 및 운영주체 선정기준(안)	133
4.4.1	입지선정 방식	133
4.4.2	입지 및 운영주체 선정 기준	134
4.5	수요자 설문 및 방문 조사 분석	137
4.6	에코 마이크로바이옴 자원센터 연구 분야(예시)	149
5.	에코 마이크로바이옴 자원센터 설립 소요예산	151
5.1.	에코 마이크로바이옴 자원센터 건축비	152
5.2	에코 마이크로바이옴 자원센터 시설 및 장비 구축비	152
5.3.	운영 재원 확보 방안	153
5.4	운영 예산산출 근거	154
5.5	자립화 방안	155
6.	경제성 분석	156
6.1	경제성 분석 방법론	157
6.1.1	경제성 분석을 위한 가정	157
6.1.2.	비용편익 분석 지표를 통한 경제적 타당성 평가 방법	159

6.2 경제적 편익 도출	161
6.2.1 시장창출 편익 도출식	161
6.2.2 시장규모의 추정	162
6.2.3 경제적 편익의 추정	165
6.3 경제적 파급효과 분석	167
6.3.1 경제적 파급효과 분석 방법과 범위	167
6.3.2 경제적 파급효과 분석 결과	171
6.3.3 분석결과 요약	173
6.4 경제적 타당성 분석	175
6.4.1 비용편익 분석 결과	175
6.4.2 민감도 분석 결과	178
7. 참고문헌	180

[별첨 1] 농생명 에코 마이크로바이옴 자원센터 구축]을 위한 설문지

[별첨 2] 장비 및 시설 목록

표 목 차

[표 1-1] 옥수수, 목화, 대두, 밀 재배시 질소비료 사용량 비교	7
[표 2-1] 대륙별 미생물 은행구축 현황	12
[표 2-2] 기관별 미생물 은행구축 현황	12
[표 2-3] 세계 Top 20 미생물 은행	13
[표 2-4] 농업-식물 미생물 전문은행(127개)	14
[표 2-5] 동물 미생물 전문은행(31개)	20
[표 2-6] 식품미생물 전문은행(30개)	22
[표 2-7] 수산양식 미생물 전문은행(4개)	24
[표 2-8] 국내 미생물관련 보관 은행 현황	24
[표 2-9] NMI를 위한 연방정부 투자 내용	26
[표 2-10] 국내 마이크로바이옴 관련 정부지원 연구개발과제 현황	31
[표 2-11] 국내 마이크로바이옴 연구 수행기관	36
[표 2-12] 제품별 세계 휴먼 마이크로바이옴 시장 예측	38
[표 2-13] 응용분야별 세계 휴먼 마이크로바이옴 시장 예측	38
[표 2-14] 인체 마이크로바이옴 기반 치료제 시장규모 및 전망	40
[표 2-15] 분류별 특허 검색 결과	54
[표 2-16] 주요 인체마이크로바이옴 특허 출원인 Top10	59
[표 2-17] 주요 동물 마이크로바이옴 특허 출원인 Top10	63
[표 2-18] 주요 식물 마이크로바이옴 특허 출원인	66
[표 2-19] 주요 마이크로바이옴 연구기술 특허 출원인	69
[표 2-20] 주요 저자의 논문 발표 현황	70
[표 2-21] 동물 마이크로바이옴 주요 저자의 연구 내용	73
[표 2-22] 주요 저자의 논문 발표 현황	74

[표 2-23] 식물 마이크로바이옴 주요 저자의 연구 내용	76
[표 2-24] 농업 벤처기업 투자 유치 현황	89
[표 2-25] 건강기능성식품 국내 시장 규모 동향	90
[표 2-26] 프로바이오틱스 또는 마이크로바이옴을 이용한 임상적용 사례	93
[표 4-1] 에코 마이크로바이옴 은행 사업 개요	125
[표 4-2] 에코 마이크로바이옴 자원센터 건축 개요	128
[표 4-3] 에코 마이크로바이옴 자원센터 조직도	131
[표 4-4] 연도별 인력 확보 계획	132
[표 4-5] 연구센터 입지선정 방식에 따른 장·단점 비교	133
[표 4-6] 연구센터 운영 주체별 장·단점 비교	134
[표 4-7] 유치신청서 항목	136
[표 5-1] 운영비 소요 및 확보 계획	153
[표 6-1] 비용편익 분석 지표 간 비교	160
[표 6-2] 농수축산 미생물산업의 시장규모와 마이크로바이옴 대체율	162
[표 6-3] 미생물 기반 마이크로바이옴 대체시장 규모 전망	163
[표 6-4] 신규 마이크로바이옴 시장 규모 전망	163
[표 6-5] 국내 마이크로바이옴 시장 규모 전망	164
[표 6-6] 본 사업의 경제과급효과 분류	171
[표 6-7] 본 사업 수행을 통한 연도별 경제과급효과	174
[표 6-8] 본 사업의 연차별 비용과 편익 (명목기준)	175
[표 6-9] 본 사업의 연차별 비용과 편익 (현가기준)	177
[표 6-10] 본 사업의 비용편익 분석 결과 요약	178

그림 목 차

[그림 1]	마이크로바이옴 개념도	ix
[그림 2]	먹이사슬 마이크로바이옴 순환도	x
[그림 1-1]	국내 마이크로바이옴 관련 연구과제 및 논문 현황	4
[그림 2-1]	반추 동물을 위한 미생물 기반 사료 첨가제의 이점	41
[그림 2-2]	Phytobiome: 식물 및 토양 미생물 세계	47
[그림 2-3]	마이크로바이옴 산업의 주요 시장 참여자	49
[그림 2-4]	전 세계 마이크로바이옴 특허 동향	55
[그림 2-5]	주요 국가별 마이크로바이옴 특허 동향	56
[그림 2-6]	기술 분야별 마이크로바이옴 특허 점유율	57
[그림 2-7]	전 세계 인체 마이크로바이옴 특허 동향	57
[그림 2-8]	주요 국가별 인체 마이크로바이옴 특허 동향	58
[그림 2-9]	인체 마이크로바이옴 기술 분야별 특허 점유율	59
[그림 2-10]	전 세계 동물 마이크로바이옴 특허 동향	50
[그림 2-11]	주요 국가별 동물 마이크로바이옴 특허 동향	61
[그림 2-12]	동물 마이크로바이옴 기술 분야별 특허 동향	62
[그림 2-13]	전 세계 식물 마이크로바이옴 특허 동향	64
[그림 2-14]	주요 국가별 식물 마이크로바이옴 특허 동향	65
[그림 2-15]	식물 마이크로바이옴 기술 분야별 특허 점유율	66
[그림 2-16]	전 세계 마이크로바이옴 연구기술 특허 동향	67
[그림 2-17]	주요 국가별 마이크로바이옴 연구기술 특허 동향	68
[그림 2-18]	마이크로바이옴 연구기술 분야별 특허 점유율	69
[그림 2-19]	주요 저자 Top 10의 연도별 논문 게재 현황	72

[그림 2-20] 주요 저자 Top 10의 논문 점유 현황	72
[그림 2-21] 주요 저자 Top 10의 연도별 논문 게재 현황	75
[그림 2-22] 주요 저자 Top 10의 논문 점유 현황	75
[그림 2-23] 동·식물 마이크로바이옴 연도별 주요 저자의 논문 게재 현황	77
[그림 2-24] 휴먼 마이크로바이옴 시장 동향	78
[그림 2-25] 마이크로바이옴 산업 벤처캐피탈 투자 추이	79
[그림 2-26] 항암치료제의 패러다임 변화	81
[그림 2-27] Indigo Agriculture 기술개발 전략	87
[그림 2-28] Indigo Cotton™	87
[그림 2-29] Indigo Agriculture 사 투자유치 현황	88
[그림 2-30] Indigo Agriculture 사 매출액 동향	88
[그림 2-31] 농업용 미생물 시장 예측	89
[그림 2-32] 장내미생물 시장 수요 예측 및 시장 수요 현황	93
[그림 3-1] 에코 마이크로바이옴 자원센터 구축 전략	110
[그림 3-2] 미생물자원의 확보 및 활용기술 개발 지원	112
[그림 4-1] 에코 마이크로바이옴 자원센터 설계의 기본 개념도	127
[그림 4-2] 에코 마이크로바이옴 자원센터 예상 조감도	127
[그림 4-3] 에코 마이크로바이옴 자원센터 운영 및 조직	130
[그림 4-4] 에코 마이크로바이옴 자원센터 운영 모델	132
[그림 4-5] 에코 마이크로바이옴 자원센터 필요성	138
[그림 4-6] 에코 마이크로바이옴 자원센터 이용 의사	139
[그림 4-7] 에코 마이크로바이옴 자원센터 추진 사항	140
[그림 4-8] 농생명 마이크로바이옴 산업 분야 중 유망한 분야	141
[그림 4-9] 에코 마이크로바이옴 연구 센터 설립 시기	142
[그림 4-10] 에코 마이크로바이옴 연구 센터 이용 형태	142

[그림 6-1] 시장가치법에 따른 편익추정 계산식	159
[그림 6-2] 비용편익 분석 지표별 정의 및 타당성 평가 기준	159
[그림 6-3] 본 사업의 시장창출 편익 추정식: 국내 대체시장 존재시	161
[그림 6-4] 본 사업의 시장창출 편익 추정식: 신규 세계 시장 자료만 존재시	161
[그림 6-5] 국내 마이크로바이옴 연도별 시장규모 전망	164
[그림 6-6] 본 사업의 명목기준 편익과 현가기준 편익	166
[그림 6-7] 본 사업 수행에 따른 연도별 생산유발효과	172
[그림 6-8] 본 사업 수행에 따른 연도별 소득창출효과	172
[그림 6-9] 본 사업 수행에 따른 연도별 고용창출효과	173
[그림 6-10] 본 사업 수행에 따른 경제과급효과 누적 규모 추정(2021~2030년) ·	174
[그림 6-11] 본 사업의 연차별 비용과 편익 합계(명목기준)	176
[그림 6-12] 본 사업의 연차별 비용과 편익 합계(현가기준)	177
[그림 6-13] 본 사업의 순현재가치(할인율: 4.5%~6.5%)	179
[그림 6-14] 본 사업의 편익비용비율(할인율: 4.5%~6.5%)	179

요 약

사업추진 배경

휴먼 마이크로바이옴

- 일찍이 의학의 아버지로 불리는 히포크라테스가 “모든 질병은 장에서부터 시작된다.”고 말한 것을 증명이라도 하듯이 장내 미생물과 건강과의 상호관계 연구를 통한 신약개발과 질병예방에 관한 연구들이 새롭게 떠오르고 있음.
- 1950년대부터 클로스트리디움 디피실 감염성(*Clostridium difficile* Infection) 장염 환자의 치료방법으로 대변이식(Fecal Microbiota Transplantation : FMT) 이 가장 효과적인 것으로 밝혀지면서 장내 마이크로바이옴 연구가 더욱 활성화되기 시작하였음.
 - 2012년 미국에 비영리 기관으로 대변은행 “OpenBiome”이 설립되어 이식용 대변 기탁 및 공급 서비스 개시.
 - 2016년 네덜란드 배설물 기증 은행 NDFB (Nederlands Donor Feces Bank) 설립 운영.
- 특히 최근 장내 미생물과 숙주 동물과의 상호관계에 관한 많은 획기적인 연구결과 및 실용 예들이 속속 발표되면서 마이크로바이옴 연구가 미래 생명공학의 핵심으로 주목받고 있음.
 - 2006년 미국 워싱턴 대학 Jeffrey Gordon 연구팀은 "비만이 장내세균과 관련이 있다"는 연구 논문을 발표[1].
 - 2017년 독일 막스플랑크 노화생물학연구소의 Dario R. Valenzano 박사팀은 세계 최초로 “나이든 물고기가 젊은 물고기의 똥을 먹으면 오래 산다”는 사실을 발표[2].

- 특히 최근 장내 미생물과 숙주 동물과의 상호관계에 관한 많은 획기적인 연구결과 및 실용 예들이 속속 발표되면서 **마이크로바이옴 연구가 미래 생명공학의 핵심으로 주목받고 있음.**
- 이와 같은 추세에 맞춰 세계 각국은 마이크로바이옴 연구를 지원하기 위한 **정부차원의 지원체제를 구축하여 전폭적으로 지원하고 있으며, 창업투자회사들의 투자가 활성화되어 많은 벤처기업들이 창업되고 있음.**
 - 2008년 인체 마이크로바이옴과 관련된 정보를 공유하고 토론하기 위한 국제 인체마이크로바이옴 컨소시엄(International Human Microbiome Consortium, IHMC)이 조직됐음.
 - 2007년 미국 오바마 행정부는 ‘국가 마이크로바이옴 이니셔티브(National Microbiome Initiative, NMI)’ 추진을 통해 미생물이 인체에 미치는 영향을 집중 연구 시작.
 - 유럽은 2008년 EU 8개국, 15개 기관이 참여하는 ‘인체 장내 메타지노믹스(Metagenomics of the Human Intestinal Tract)’ 프로젝트를 시작.
 - 캐나다는 2009년부터 캐나다인 인체 마이크로바이옴 이니셔티브(Canadian Microbiome Initiative, CMI)를 통해 총 150억 원 이상의 연구비를 투입.
 - 중국은 메타히트(MetaHIT) 프로젝트 참여를 통해 얻은 경험과 기술을 토대로 중국인의 인체 마이크로바이옴 프로젝트(Chinese Microbiome Project, C-HMP)를 추진.
 - 일본은 Japanese Consortium for Human Microbiome(JCHM)을 조직하여 일본인만의 데이터베이스 구축을 추진하고 있음.

동물(가축) 마이크로바이옴

- 세계보건기구에서는 항생제 내성의 심각성을 범국가적 보건 안보 (Health Security)의 위협요소로 규정하고 있으며, 미국, 유럽 등 선진국에서는 국가차원의 항생제 내성균 모니터링 프로그램을 구축하여 운용 중에 있는바 이는 인체에 국한하지 않고 대표적인 식품원료인 가축사육에서도 항생제 사용을 금지하고 있음.
- 관련 연구 결과에 의하면 항생제 섭취 돼지의 경우 무항생 사육 돼지에 비하여 장관 내 병원성 미생물의 수가 증가하고, 항생제 저항성 유전자 발현이 증가할 뿐만 아니라 항생제에 의해 영양소 이용 관련 유전자 수도 증가하여, 항생제가 돼지의 건강/환경/영양 상태에 큰 영향을 미치는 것이 확인되었음(PNAS 2012, 109(5):1691-1696).
- 우리나라의 경우 구제역 백신 접종이 의무화 되어 있으나 항체 생성율이 낮아 문제가 되고 있으므로 이의 제고 방안이 요구되고 있는 실정임. 특히 이러한 문제는 구제역 백신접종을 하고 있지 않는 서구 선진국에서는 필요하지 않은 기술로 우리나라 자체가술 확보가 시급한 실정임.
- 소, 돼지와 같은 산업동물 외에도 최근 반려동물 관련 시장이 폭발적으로 증가하고 있으며 이들의 건강을 위한 시장 또한 동반상승하고 있고, 각종 질병 및 항생제 문제 등 인간과 동일한 문제들이 대두 되고 있음.

식물(작물) 마이크로바이옴

- 2012년 Jeffrey Dangl 연구팀과 Paul Schulze-Lefert 연구팀이 진행 중인 '애기장대 근권·내생 미생물군 분석'연구가 게재되면서 국제적으로 식물-미생물간 상호작용에 대한 연구가 이슈화 되고 있음 [3].

- 네덜란드 연구팀은 ‘병 억제형 토양(suppressive soil)’을 병 유도형 토양에 혼합하여 처리한 결과, *Rhizoctonia solani* 균주의 발병 조건에서도 사탕무의 ‘모잘록병’ 발병이 억제된다는 사실을 토대로 병 억제 토양에서 마이크로바이옴을 분석하고, 병 억제형 토양의 핵심 미생물을 동정하여 식물 마이크로바이옴의 화학농약 대체 가능성이 제시하였음.
- 그동안 식물 마이크로바이옴 연구는 대부분 작물 및 토양별 근권 미생물 군(Rhizobium)에 대한 마이크로바이옴의 분석을 목적으로 수행되었다면 최근에는 이를 기반으로 작물의 병원균에 대한 내성 증진 및 수확량 증진에 활용하는 기술개발이 주를 이루고 있음.

사업추진 필요성

휴먼 마이크로바이옴

- 빌 게이츠는 2018년 1월 미국 샌프란시스코에서 개최된 세계 최대 바이오투자 포럼인 ‘JP모건 헬스케어 콘퍼런스’ 기조연설에서 “영양실조와 장내 감염에 취약한 빈곤국 아이들은 마이크로바이옴이 미발달해 면역체계가 취약할 수밖에 없다”며 “이로 인해 질병에 자주 걸리고 뇌 발달도 더뎈다”고 지적하며 마이크로바이옴 연구의 필요성을 강조하였음.
- 반면에 위생적인 환경에서 자라는 중진국 이상의 국민들은 가공식품과 항생제에 자주 노출된 탓에 마이크로바이옴의 다양성이 취약하여 비만, 자가면역질환, 당뇨, 고혈압, 아토피 등의 발병률이 높아지고 있어 마이크로바이옴과 이들 각 질병과의 상호연관성 연구를 기반으로 질병 예방 및 치료용 마이크로바이옴 개발 경쟁이 치

열한 상황임.

- 국내의 경우에는 2016년부터 과학기술정보통신부 지원으로 “한국인 장내 마이크로바이옴 बैं킹 표준화 및 지원개발”사업이 수행되고 있어 본 사업에서는 인체 장내 마이크로바이옴 बैं킹 사업은 제외하고, 필요한 인체유래 장내 미생물은 과기정통부 사업단으로부터 분양받아서 활용.

동물(가축) 마이크로바이옴

- 우리나라의 축산업 특성상 대부분의 가축들이 좁은 공간에서 정해진 사료에 의해서 사육되고 있으므로 마이크로바이옴의 다양성이 부족하여 감염성 질환에 취약한 상태이므로 이들에 최적화된 마이크로바이옴의 개발이 반드시 이루어져야 함.
- 우리나라의 경우 농축수산업에서 예방적 항생제 사용을 금지하고 있으나 음성적인 사용이 만연하고 있으므로 이를 대체할 수 있는 마이크로바이옴 개발 필요성이 증대되고 있음.
- 특히 선진국과는 다르게 우리나라에서는 구제역 백신 접종이 의무화 되어 있으나 구제역 항체 양성률은 동일 양돈장, 동일 사양관리 시스템에서도 상당한 차이가 있고, 전반적으로 구제역에 대한 낮은 항체가로 인하여 여전히 구제역 감염 위험에 노출되어 있을 뿐만 아니라 기준 항체가 형성률이 미달될 경우 과태료 처분 및 재접종으로 인하여 정부 및 축산농가에 큰 부담으로 작용하고 있음.
- 최근 구제역 항체형성과 장내 미생물총 패턴 변화와의 관계를 연구한 결과에 의하면 식이와 함께 특정 장내 미생물군을 투여한 경우에 항체 형성률이 높은 결과가 나타나 이를 위한 최적화된 마이크로바이옴의 개발이 시급한 실정임.
- 현재 국내에서 가축 마이크로바이옴 연구는 인체 마이크로바이옴 연구에 비하여 활발하지 않고, 몇몇 수의과 대학에서 개별연구자

중심으로 미생물의 분리 및 보존이 이루어지고 있는 실정으로 이들 자원의 체계적인 관리 및 후속 오믹스 연구를 위해서는 정부차원의 마이크로바이옴 자원센터 설립을 통한 체계적인 운영이 필요한 시점임.

- 지구온난화 주범 중의 하나인 메탄은 반추동물에 의해서 연간 8천만 톤이 발생하는데 이는 인간 관련 활동으로부터 발생하는 전 세계 메탄 발생량의 약 28%를 차지하고 있을 정도의 막대한 양으로 미국의 경우 2030년까지 가축으로부터 발생하는 메탄 생성량을 현재 대비 30% 감축시키는 목표를 설정하고 연구개발을 수행하고 있음.
- 반추 동물의 메탄 생성은 장내 미생물에 의한 것으로 우리나라도 축산업에서의 탄소배출량을 줄이기 위해서는 장내 미생물 균 총 및 대사를 조절할 수 있는 유용 미생물군과 프리바이오틱스가 적절히 조화된 마이크로바이옴 개발을 서두를 필요가 있음.
- 최근에는 반려 동물도 노령화되면서 비만, 관절염, 우울증, 심장병 등을 앓고 있는 소유자의 상태와 다르지 않은 질병을 갖고 있으므로 동물의 여러 장기에서 숙주와 미생물간의 상호작용 연구를 통해 마이크로바이옴에 기반을 둔 예방 및 치료법 개발이 필요함.

식물(작물) 마이크로바이옴

- 지속적으로 증가하는 인구에 의한 식량부족 문제를 해결하기 위해서는 2050년까지 농업 생산성을 70% 이상 증가시켜야 하나 기후변화, 경작지 감소, 토양 황폐화 문제 등으로 인하여 기존 방식만으로는 해결이 어려운 상황임.
- 농작물의 경우에도 지속적인 화학비료와 농약의 사용으로 인한 토양 미생물 특히 근권미생물의 다양성 감소로 바이러스, 세균 및 곰팡이에 의하여 유발되는 식물병에 대한 저항력이 갈수록 떨어지고 있음.
- 또한 적절한 사용량을 예측하기 어려워 과잉으로 살포된 비료의 주 성분인 질소와 인은 하천으로 흘러 내려가 녹조발생의 핵심 요인으로 작용하고 있음.

- 작물별 질소비료 사용량을 비교해 보면 질소고정 능력이 있는 뿌리혹박테리아(Rhizobia)를 갖고 있는 대두의 경우 단위면적당 질소비료 사용량이 절대적으로 낮은 것으로 나타나 기타 작물 재배시에 적절한 Rhizobia 미생물들을 개발하여 사용하면 질소비료 사용량을 낮추고도 생육증진 효과를 거둘 수 있을 것으로 판단됨.
- 따라서 토양 비옥도를 향상시키고, 양분 흡수를 개선시키며, 해충과 질병 및 기후변화에 대한 식물의 저항력을 강화시켜 줄 수 있는 방안으로 각 지역별, 작물별 특성에 맞는 최적 Phytobiome (식물과 토양의 microbiome) 커뮤니티 개발에 대한 필요성이 증대되고 있음.
- 일례로 Indigo Agriculture 사는 목화의 성장을 촉진시키고 해충 피해를 예방할 수 있는 Phytobiome을 코팅한 “Indigo Cotton” 종자를 개발하여 수확량 증진(10%)에 성공하여 작물 마이크로바이옴의 중요성을 입증했으며, 이어서 Bayer Crop Sciences, FMC and Chr. Hansen, Novozymes사 등도 마이크로바이옴을 이용한 종자 처리기술들을 성공적으로 개발하였음.

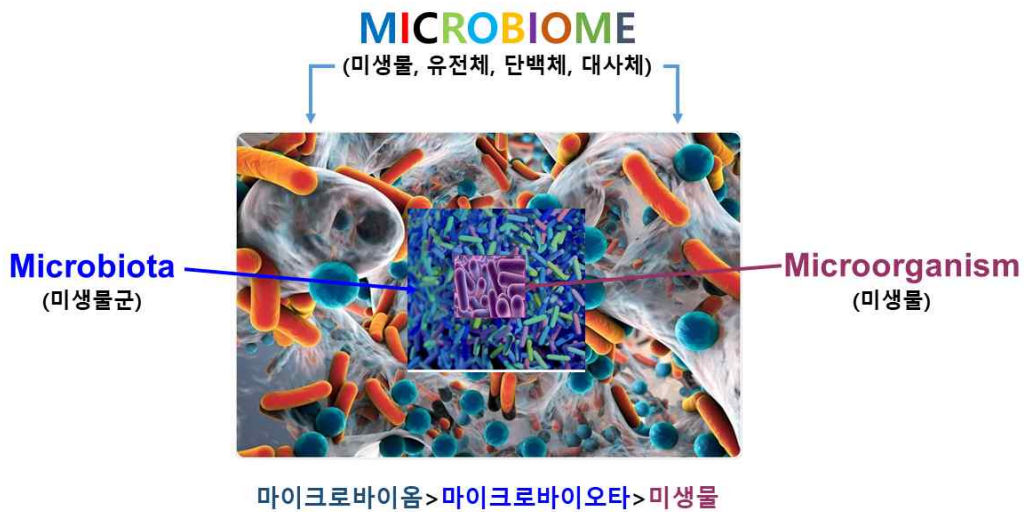
세계 미생물은행 현황

- 미생물은행(Culture Collection)은 세계 각국에 765개가 설치되어 있으며, 주로 대학 및 공공기관에 의해서 운영되고 있음.
- 총 보관 미생물 수는 2,969,911 종으로 세균(bacteria): 1,225,367, 곰팡이(fungi): 814,959, 바이러스(virus): 38,302, 세포주(cell line): 76 종임.
- 전체 765개 미생물 은행 중에서 농축수산 및 식품 산업과 밀접한 관계에 있는 것은 총 192개로 세부분야별로 나누어 보면 농작물 분야가 127개로 가장 많고, 이어서 가축동물분야가 31개, 식품분야가 30개, 수산양식분야가 4개임.
- 우리나라에는 미생물, 식물, 바이러스 은행을 모두 포함하여 14개의 은행이 운영되고 있음.

기존 미생물 은행과의 차별성

- 마이크로바이옴(Microbiome)은 미생물 군집체인 마이크로바이오타 (Microbiota)의 게놈(Genome)을 포함하여 이들이 생산하는 유전체, 전사체, 단백질체, 대사체 등 모든 성분을 망라하는 일종의 생태계를 의미하는 개념으로 기존의 단일 미생물과 미생물 집합체보다 훨씬 더 넓은 개념임[그림 1].
- 기존의 미생물 은행들은 무작위 적으로 기탁 받은 미생물들 또는 자체적으로 분리, 동정한 미생물들을 보관 및 보급하는 역할을 수행하는 역할에 그치고 있고, 유전체, 전사체, 단백질체, 대사체 등 오믹스 연구는 수행하고 있지 않음.
- 우리나라의 경우 현재 대부분의 마이크로바이옴 연구 또한 주로 메타게놈 분석을 기반으로 포괄적인 해석을 하는 수준에서 수행되고 있고, 관련 개별 미생물을 분리, 동정 및 배양하여 이들의 오믹스를 연구하는 수준까지는 수행되고 있지 않음.
- 이들을 실질적으로 산업에 응용하기 위해서는 마이크로바이옴의 메타게놈 해석에 그치지 않고, 이들로부터 실질적으로 원하는 효과를 가지고 있는 미생물 군집들을 순수분리 및 배양하고, 이들의 오믹스를 연구할 필요가 있으나 이에 필요한 연구장비가 고가이고, 전문인력이 많지 않아 집적화된 마이크로바이옴 전문연구센터 구축이 절대적으로 필요함.
- 현재 국내에는 9개의 생물자원(미생물, 유전자, 소재) 기탁 기관이 운영되고 있으나 아직 마이크로바이옴을 전문으로 하는 은행 및 연구센터는 구축되어 있지 않음.

- 인체 장내 미생물을 전문으로 연구하는 은행을 구축하기 위해서 과학기술 정보통신부에서 2016년부터“한국인 장내 마이크로바이옴 बैं킹 사업”이 수행되고 있으나 아직 동물과 식물 마이크로바이옴을 전문으로 분리, 보존 및 오믹스까지 연구하여 산업화를 지원하는 자원센터는 없음.
- 농림축산식품부 산하 “농축산미생산업육성지원센터”는 농축산 산업에 필요한 미생물의 배양과 효능 연구 및 활용을 지원해주는 기관으로 미생물 또는 마이크로바이옴 은행 또는 자원센터는 아님.



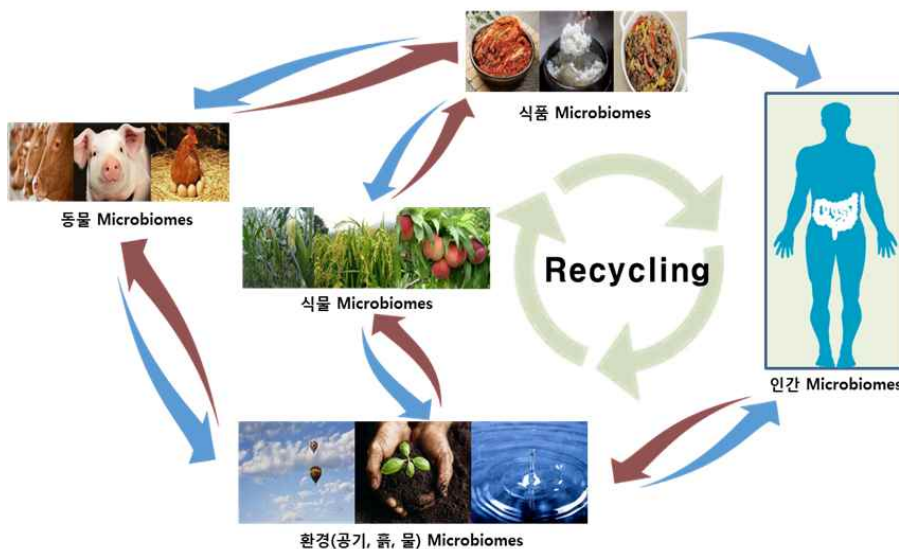
[그림 1] 마이크로바이옴 개념도

기대 효과

- 동물 마이크로바이옴 연구 분야는 아직 초기 연구단계에 있으나 미생물이 가축의 건강 및 환경에 미치는 영향과 현대 농업의 지속 가능성에 대한 기여는 새로운 시장 창출 기회를 제공 할 것으로 기대됨.
- 미생물 기반 솔루션이 기존의 농약보다 효율적으로 사용되기까지는 수년이 더 걸리겠지만, 정부 및 관련 업계의 투자에 기여한 완벽한 미생물 메타게놈의 해독으로 관련 신생 업체의 출현과 진보된 농업용 마이크로바이옴 제

품이 폭발적으로 증가할 것으로 기대됨.

- 가축과 작물의 질병은 생산성을 떨어뜨리고 인간의 먹이 사슬에 들어가는 질병으로 이어질 수 있으므로 인간, 가축, 작물을 포함한 모든 생명체에서 마이크로바이옴의 다양성을 제고하고 기능을 강화시키는 것은 동·식물의 질병예방 뿐만 아니라 항생제, 농약, 화학비료의 사용을 감소시킴으로써 궁극적으로는 식품안전성을 높이고 지구의 환경도 보호할 수 있는 방안이 될 수 있을 것임[그림 2]
- 현재 우리나라에서 가축 및 작물용 미생물을 생산 판매하는 다수의 기업체들은 있으나 아직 마이크로바이옴 수준까지 연구개발을 할 수 있는 업체들은 아주 제한적이므로 국가적 차원의 연구개발을 통한 기술보급이 효율적일 것으로 기대됨.
- 구축된 마이크로바이옴 자원센터에서는 각 산학연에 고가의 분석 장비 및 metagenome DB 를 공동으로 활용할 수 있도록 하고, 창업공간의 제공과 및 전문인력 교육훈련을 실시하는 연구허브 역할을 할 수 있을 것으로 기대됨.



[그림 2] 먹이사슬 마이크로바이옴 순환도

인체 장내미생물은행 건립을 위한 정책 타당성 연구

— 농생명 에코 마이크로바이옴 자원센터 구축

—

2018. 12

연구기관: 한국생명공학연구원



1. 연구 개요

1.1 사업추진 배경

1.2 사업추진 필요성

1.3 기존 사업과의 차별성

1.4 주요 사업내용

1.1 사업추진 배경

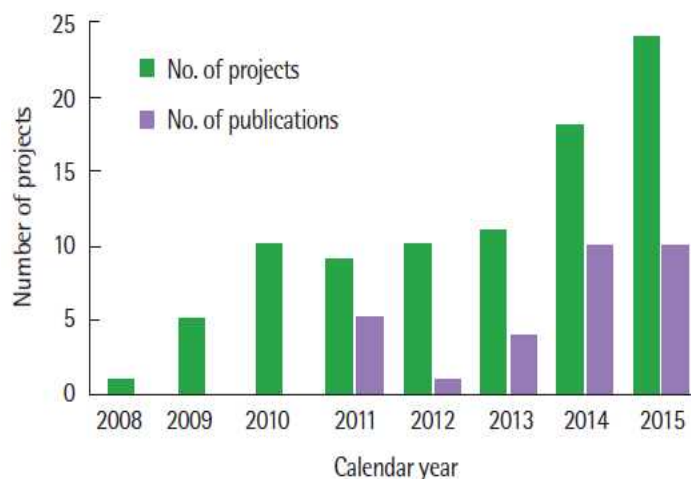
- 마이크로바이옴 연구는 차세대 염기서열 분석(Next Generation Sequencing, NGS) 기술과 메타게노믹스 기술 개발로 크게 가속화되고 있으며 이미 마이크로바이옴 산업을 선점하기 위한 글로벌 경쟁이 시작되었음.
- 2016년에 미국 오바마 2기 정부의 마지막 대형 연구 프로젝트로 국가 마이크로바이옴 이니셔티브(National Microbiome Initiative : NMI) 계획을 발표하고, 2017년부터 2년간 농작물과 소, 돼지 등 가축에 영향을 미치는 토양미생물을 비롯해 인체 감염병과 정신질환, 비만에 영향을 미치는 미생물, 우주인에게 미생물이 미치는 영향 등을 광범위하게 연구하기 위하여 1억 2,100만 달러 이상(2년간)을 연방 정부 출자출연기관에 투자.
- Bill and Melinda Gates Foundation은 인간과 농업 미생물을 연구하기 위한 도구를 조사하고 개발하기 위해 4년간 1억 달러를 투자할 계획을 발표.
- 유럽연합은 2008년 MetaHIT(Metagenomics of the Human Intestinal Tract) 프로젝트를 추진하고, 이를 토대로 2011년부터 IHMS(International Human Microbiome Standards)를 계획하여 추진.
- OECD 과학기술정책위원회(Committee for Science and Technology Policy: CSTP)의 바이오나노융합기술분과(Working Party on Biotechnology, Nanotechnology and Converging Technology : BNCT)에서는 마이크로바이옴 분야의 기술혁신을 위한 정책 수립을 진행 중.
- 국내의 경우 과학기술정보통신부 등 관계부처 합동으로 2017년 9월에 수립한 ‘제3차 생명공학육성 기본계획: 바이오경제 혁신전략 2025’에서 미래 유망기술 분야로 마이크로바이옴을 선정.

- 마이크로바이옴 신약 승인과 관련해서는 2020년 초반에서 중반에 가능할 것으로 예측되며, 미국에서는 마약 및 진단 분야에서 가장 큰 시장이 될 것으로 전망되고, 유럽에서는 문화적으로 다양한 프리바이오틱스, 프로바이오틱스 및 기타 식품 보조제를 쉽게 수용하기 때문에 미생물 균형을 유지하기 위한 식품 및 음료 분야가 가장 큰 시장이 될 것으로 예상됨.
- 동물 마이크로바이옴 분야는 산업적으로는 아직 초기 단계에 있으나 현재 연구가 활발히 수행되고 있어 휴먼마이크로바이옴 시장보다 빠르게 사료 첨가제 위주로 큰 시장이 형성될 것으로 예상되고 있음.
- 특히 축산업에서 예방적 항생제 사용의 금지와 화학비료 및 화학농약 사용량을 줄이고자 하는 정책은 이들을 대체 할 수 있는 마이크로바이옴의 개발 필요성의 원동력으로 작용하고 있음.
- 반추동물의 마이크로바이옴에 영향을 주어 메탄 생성을 감소시킬 수 있는 사료 첨가제의 개발은 지구온난화와 같은 환경개선에 좋은 영향을 주어 막대한 시장 창출로 이어질 것임.
- Research and Markets 발표에 따르면, 동물사료 시장에서 글로벌 프로바이오틱스는 향후 10년간 연평균 7.9%로 성장하여, 2025년 약 67억 3천만 달러에 달할 것으로 전망됨.
- 시장 리서치 Packaged Facts 보고에 따르면, 반려동물사료제품의 7%가 프로바이오틱스를 함유하고 있고, 반려동물 보충제에 대한 미국인의 지출은 2014년 7억 5천만 달러에서 2017년 10억 달러로 증가할 것이라고 보고하였음.
- 농업에서의 미생물 제품의 시장은 빠르게 성장하고 있으며, 완전히 새로운 시장 기회를 창출하고, 경제 성장을 촉진할 수 있는 큰 잠재력을 가지고 있음.
- Monsanto 사에 따르면 농업에서 생물제품의 총 시장가치는 약 29억

달러로 이 중에서 미생물제품 시장은 18억 달러로 추정됨. 또한 연간 20억 달러 이상을 차지하는 바이오 살충제 중에서 미생물제품이 시장의 50%이상을 차지하고 있음. 일부 시장예측에 따르면 농업에서 생물제품의 매출은 일반적으로 10년 내 50억 달러를 초과할 수 있을 것으로 예상하고 있음.

1.2 사업추진 필요성

- 2016년 1월까지 국내에서 진행되고 있는 국가 연구과제는 42건으로, 특히 2014년 이후부터 과제의 수가 급격히 증가하였으나 대부분 인간과 질병에 연관되어 있음.
- 2016년 이후 2018년 8월 현재 마이크로바이옴 관련 연구과제는 157건으로 큰 폭으로 증가하였으며 특히 인체 마이크로바이옴 외에 농작물 마이크로바이옴 관련과제 10개, 동물 마이크로바이옴 관련 과제 12개, 식품관련 연구과제 3개가 포함되어 있어 마이크로바이옴 연구가 농축산식품 분야로 확대되어가고 있는 추세임.



[그림 1-1] 국내 마이크로바이옴 관련 연구과제 및 논문 현황

- 국내 미생물 자원 연구는 신종 확보 및 발표에 있어서는 세계 상위권에 위치하고 있으나 실제 미생물 제품은 외국에서 개발된 미생물 제제의 수입에 의존하여, 실질적 산업화 실적은 미흡함.
- 이는 낮은 미생물 생산 수율 및 가공·유통 시 낮은 미생물 생존율과 미생물 균주의 기능성에 대한 과학적 검증 부족 등이 원인임.
- 따라서 앞으로는 신종 미생물의 분리 및 보관을 넘어서 오믹스 분석을 통한 이들의 기능규명 및 대량배양 기술개발과 같은 응용연구가 절대적으로 필요함.
- 인간 및 동물 모두에 있어서 장내 마이크로바이옴의 다양성은 건강에 직접적인 영향을 미치고 있는 것으로 알려져 있음. 불행히도 우리나라의 축산업 특성상 대부분의 가축들은 좁은 공간에서 정해진 사료에 의해서 사육되고 있으므로 마이크로바이옴의 다양성이 부족하여 감염성 질환에 취약한 상태이므로 이들에 최적화된 마이크로바이옴의 개발과 사료를 통한 공급이 반드시 필요함.
- 또한 전 세계적으로 농축수산업에서 예방적 항생제 사용을 금지하고 있으나 우리나라의 경우 음성적인 사용이 만연하고 있으므로 이를 대체할 수 있는 마이크로바이옴의 개발 필요성이 증대되고 있음.
- 특히 선진국과는 다르게 우리나라에서는 구제역 백신 접종이 의무화 되어 있으나 구제역 항체 양성률은 동일 양돈장, 동일 사양관리 시스템에서도 상당한 차이가 있고, 전반적으로 구제역에 대한 낮은 항체가로 인하여 여전히 구제역 감염 위험에 노출되어 있을 뿐만 아니라 기준 항체가 형성률이 미달일 경우 과태료 처분 및 재접종으로 인하여 정부 및 축산농가에 큰 부담으로 작용하고 있음.
- 최근 구제역 항체형성과 장내 미생물총 패턴 변화와의 관계를 연구한 결과에 의하면 식이와 함께 특정 장내 미생물 균총을 투여한 경우에 항체 형성률이 올라가는 결과가 나타나 이를 위한 최적화된

마이크로바이옴의 개발이 시급한 실정임.

- 현재 국내에서 가축 마이크로바이옴 연구는 인체 마이크로바이옴 연구에 비하여 활발하지 않고 몇몇 수의과 대학에서 개별연구자 중심으로 미생물의 분리 및 보존이 이루어지고 있는 실정으로 이들 자원의 체계적인 관리 및 후속 오믹스 연구를 위해서는 정부차원의 마이크로바이옴 뱅크 설립을 통한 체계적인 운영이 필요한 시점임.
- 지구온난화의 주범 중의 하나인 메탄은 반추동물에 의해서 연간 8천만 톤이 발생하는데 이는 인간 관련 활동으로부터 발생하는 전 세계 메탄발생량의 약 28%를 차지하고 있을 정도로 막대한 양으로 미국의 경우 2030년까지 가축으로부터 발생하는 메탄 생성량을 현재 대비 30% 감축시키는 목표를 설정하고 연구개발을 수행하고 있음.
- 반추 동물의 메탄 생성은 장내 미생물에 의한 것으로 우리나라도 축산업에서의 탄소배출량을 줄이기 위해서는 장내 미생물 균총 및 대사를 조절할 수 있는 유용 미생물과 프리바이오틱스가 적절히 조화된 마이크로바이옴 개발을 서두를 필요가 있음.
- 최근에는 반려 동물도 노령화되면서 비만, 관절염, 우울증, 심장병 등을 앓고 있는 소유자의 상태와 다르지 않은 질병을 갖고 있으므로 동물의 여러 장기에서 숙주와 미생물의 상호작용 연구를 통해 마이크로바이옴에 기반을 둔 예방 및 치료법 개발이 필요함.
- 지속적으로 증가하는 인구로 인한 식량부족 문제를 해결하기 위해서는 2050년까지 농업 생산성을 70% 이상 증가시켜야 하나 기후변화, 경작지 감소, 토양 황폐화 문제 등으로 인하여 기존 방식만으로는 해결이 어려운 상황임.
- 특히 육류소비 증가로 인한 축산업의 팽창으로 인하여 인류의 식량수급은 더욱더 불균형한 형태로 변해가고 있고 동시에 식량부족현상은 더 악화되어 가고 있음.
- 농작물의 경우에도 지속적인 화학비료와 농약의 사용으로 인한 토

양 미생물 특히 근권 미생물의 다양성 저하로 바이러스, 세균 및 곰팡이에 의하여 유발되는 식물병에 대한 저항력이 갈수록 떨어지고 있음.

- 또한 적절한 사용량을 예측하기 어려워 과잉으로 살포된 비료의 주 성분인 질소와 인은 하천으로 흘러 내려가 녹조발생의 핵심 요인으로 작용하고 있음.
- 작물별 질소비료 사용량을 비교해 보면 질소고정 능력이 있는 뿌리혹박테리아(Rhizobia)를 갖고 있는 대두의 경우 단위면적당 질소비료 사용량이 절대적으로 낮은 것으로 나타나[표 1-1], 기타 작물 재배시에 Rhizobia 미생물들을 개발하여 사용하면 질소비료 사용량을 낮추고도 생육증진 효과를 거둘 수 있을 것으로 판단됨.
- 따라서 토양 비옥도를 향상시키고, 양분 흡수를 개선시키며, 해충과 질병 및 기후변화에 대한 식물의 저항력을 강화시켜 줄 수 있는 방안으로 각 지역별, 작물별 특성에 맞는 최적 Phytobiome(식물과 토양의 microbiome) 커뮤니티 개발에 대한 필요성이 증대되고 있음.

[표 1-1] 옥수수, 목화, 대두, 밀 재배시 질소비료 사용량 비교

Item	Corn	Cotton	Soybeans	Wheat
Acres planted (in millions)	80	9	77	56
Nitrogen application (percent of acreage)	97	90	18	86
Nitrogen consumed (1000 nutrient tons)	5,432	368.5	90.67	2,167
Nitrogen application rate (pounds per acre)	140	91	13	90
Nitrogen cost per acre (dollars)	28.72	18.67	2.67	18.47

Source: USDA Economic Research Service

- 일례로 Indigo Agriculture 사는 목화의 성장을 촉진시키고 해충 피해를 예방할 수 있는 Phytobiome 을 코팅한 “Indigo Cotton” 종자를 개발하여 수확량 증진(10%)에 성공하여 작물 마이크로바이옴의 중요성을 입증했으며, 이어서 Bayer Crop Sciences, FMC and Chr. Hansen, Novozymes사 등도 마이크로바이옴을 이용한 종자 처리기술들을 성공적으로 개발하였음.

1.3 기존 사업과의 차별성

- 미생물은행(Culture Collection)은 세계 각국에 765개가 설치되어 있으며, 이들 기관에 보관된 총 미생물 종은 2,969,911 종으로 세균(bacteria): 1,225,367, 곰팡이(fungi): 814,959, 바이러스(virus): 38,302, 세포주(cell line): 76 종임.
- 전체 765개 미생물 은행 중에서 농축수산 및 식품 산업과 밀접한 관계에 있는 것은 총 192개로 세부 분야별로 나누어 보면 농작물 분야가 127개로 가장 많고, 이어서 가축동물분야가 31개, 식품분야가 30개, 수산양식분야가 4개임.
- 가장 많은 농작물 재배와 관련된 미생물 은행들은 농업을 주산업으로 하고 있는 브라질을 포함한 중남미 국가와 태국을 포함한 동남아 국가들에 많이 설치되어 있고, 동물 미생물 분야 역시 브라질, 중국, 호주와 같은 축산업 규모가 큰 국가들에 많이 설치되어 있음.
- 기존의 미생물 은행들은 무작위 적으로 기탁 받은 미생물들 또는 자체적으로 분리, 동정한 미생물들을 보관 및 보급하는 역할을 수행하는 역할에 그치고 있고, 유전체, 전사체, 단백체, 대사체 등 오믹스 분석 연구는 수행하고 있지 않음.
- 마이크로바이옴(Microbiome)은 미생물 군집체인 마이크로바이오타(Microbiota)의 게놈(Genome)을 포함하여 이들이 생산하는 유전체, 전사체, 단백체, 대사체 등 모든 성분을 망라하는 일종의 생태계를

의미하는 개념으로 기존의 단일 미생물과 미생물 집합체 보다 훨씬 더 넓은 개념임.

- 그러나 우리나라의 경우 현재 대부분의 마이크로바이옴 연구는 주로 메타게놈 분석을 기반으로 포괄적인 해석을 하는 수준에서 수행되고 있고, 관련 특정 미생물을 분리, 동정 및 배양하여 이들의 오믹스를 연구하는 수준까지는 수행되고 있지 않음.
- 따라서, 이들을 실질적으로 산업에 응용하기 위해서는 마이크로바이옴의 메타게놈 해석에 그치지 않고, 이들로부터 실질적으로 원하는 효과를 가지고 있는 미생물 군집들을 순수분리 및 배양하고, 이들의 오믹스를 반드시 연구해야하나 이에 필요한 연구장비가 고가이고, 전문인력이 많지 않아 각각 개별 기관에서 수행하기에는 어려움이 많으므로 인력과 장비가 집적화된 마이크로바이옴 전문연구센터 구축이 절대적으로 필요함.
- 현재 국내에는 9개의 생물자원(미생물, 유전자, 소재) 기탁 기관이 운영되고 있으나 아직 마이크로바이옴을 전문으로 연구하는 은행 또는 연구센터는 구축되어 있지 않음.
- 인체 장내 미생물을 전문으로 연구하는 은행을 구축하기 위해서 과학기술정보통신부에서 2016년부터 “한국인 장내 마이크로바이옴 बैं킹 사업”이 수행되고 있으나, 비교적 산업화가 용이하고, 외국에서는 이미 많은 산업화 성과가 나오고 있는 동물과 식물 마이크로바이옴을 전문으로 분리, 보존 및 오믹스까지 연구하여 산업화를 지원하는 동식물 마이크로바이옴 자원센터구축 사업은 현재까지는 없는 실정으로 국가차원에서 이를 지원할 수 있는 시스템의 구축이 필요한 시점임.
- 농림축산식품부 산하 “농축산미생산업육성지원센터”는 농축산 산업에 필요한 미생물의 배양과 효능 연구 및 활용을 지원해주는 기관으로 오믹스 연구에 기반을 둔 연구와 미생물 보존 및 보급을 통합적으로 수행하는 마이크로바이옴 자원센터는 아님.

1.4 주요 사업내용

- 동물(가축)과 식물(농작물) 마이크로바이옴 개발 및 보급을 위한 “농생명 에코 마이크로바이옴 자원센터” 건설 타당성 조사
 - “에코 마이크로바이옴 자원센터”설립배경 및 필요성
 - 마이크로바이옴 연구개발 및 산업현황 조사
 - “에코 마이크로바이옴 자원센터”설립 경제성 분석
- “농생명 에코 마이크로바이옴 자원센터”설립을 위한 추정 예산 제시
 - 건축예산
 - 가축 장기 및 작물과 근권으로부터 채취한 시료의 보관, 혐기, 통성혐기 및 호기성 미생물 분리, 배양, 보관 및 보급을 위한 설비구축 비용
 - 유전체, 단백질, 대사체 분석 장비구축 비용
 - 작물 포장시험 설비구축 비용
 - 소동물 시험 설비구축 비용
- “농생명 에코 마이크로바이옴 센터”운영방안 수립
 - 조직 구성방안
 - 운영주체 선정기준
 - 입지 선정방안

2. 국내외 장내미생물산업연구 현황 및 수요

2.1 국내외 미생물 은행 구축현황

2.2 국내외 정책동향

2.3 장내 미생물산업 현황과 전망

2.4 국내 산업계 수요 현황 및 전망

2.5 산업계 수요 타당성 분석

2.1 국내외 미생물 은행 구축현황

- 세계적으로 미생물 은행(Culture Collection)은 총 765개가 구축되어 있으며 각 대륙별 현황은 다음과 같음.

[표 2-1] 대륙별 미생물 은행구축 현황

대륙별	미생물은행 수
아프리카	15
아메리카	192
아시아	271
유럽	246
오세아니아	41
계	765

출처: World Data Center for Microorganism, Word Federation for Culture Collection

- 대부분의 국가에서 미생물 은행은 주로 대학 및 공공기관에 설치 및 운영되고 있음.

[표 2-2] 기관별 미생물 은행구축 현황

기관별	미생물은행 수
대학	309
정부기관	292
공공기관	60
개인	50
기업체	24

- 이들 기관에서 보유중인 총 미생물 수는 2,969,911 종으로 세균(bacteria): 1,225,367, 곰팡이(fungi): 814,959, 바이러스(virus): 38,302, 세포주(cell line): 76 종임.
- 보존 미생물 수 기준 세계 Top 20 미생물 은행은 다음과 같고, 한국은 6위에 랭크되어 있음.

[표 2-3] 세계 Top 20 미생물 은행

Rank	Countries and Regions	Total hold
1	U.S.A.	336637
2	Belgium	280145
3	China	258930
4	Japan	255556
5	India	197658
6	Korea (Rep. of)	168751
7	Brazil	125068
8	Thailand	118809
9	Germany	106250
10	Denmark	102066
11	France	95396
12	Netherlands	90775
13	U.K.	87219
14	Canada	82325
15	Australia	80015
16	Chinese Taipei	66747
17	Russian Federation	63733
18	Sweden	52700
19	Italy	50051
20	New Zealand	25045

- 전체 765개 미생물 은행 중에서 농축수산 및 식품 분야 전문 미생물 은행은 총 192개로 세부분야별로 나누어 보면 농작물 분야가 127개로 가장 많고, 이어서 가축동물분야가 31개, 식품분야가 30개, 수산양식분야가 4개임.
- 가장 많은 농작물 재배와 관련된 미생물 은행들은 농업을 주산업으로 하고 있는 브라질을 포함한 중남미 국가와 태국을 포함한 동남아 국가들에 많이 설치되어 있음.
- 동물 미생물 분야도 마찬가지로 거대 농업국인 브라질, 중국, 호주와 같은 축산업 규모가 큰 국가들에 많이 설치되어 있음.
- 특히 외국의 경우 농업관련 유용 미생물 은행뿐만 아니라 동식물 질병과 관련된 병원성 미생물 은행 또한 많이 설치되어 관련 연구

개발을 지원하고 있는 것이 우리나라와는 다른 면임.

[표 2-4] 농업-식물 미생물 전문은행(127개)

Acronym	WDCM Number	Collection	Country
MAR	WDCM 34	Grasslands Rhizobium Collection	Zimbabwe
PPPPB	WDCM 818	South African Plant Pathogenic and Plant Protecting Bacteria	South Africa
PPPPB	WDCM 818	South African Plant Pathogenic and Plant Protecting Bacteria	South Africa
SARCC	WDCM 968	South African Rhizobium Culture Collection	South Africa
AMCB	WDCM 1046	Aloha Medicinals Culture Bank	U.S.A.
ARSEF	WDCM 112	ARS Collection of Entomopathogenic Fungi	U.S.A.
BCCCp	WDCM 921	Brazilian Culture collection of Crinipellis perniciososa	Brazil
BGIV	WDCM 962	Banco de Glomeromycota In Vitro (Bank of Glomeromycota In Vitro)	Argentina
BGSC	WDCM 573	Bacillus Genetic Stock Center	U.S.A.
BRCC	WDCM 540	USDA-ARS Rhizobium Germplasm Resource Collection	U.S.A.
CBMAI	WDCM 823	Brazilian Collection of Microorganisms from the Environment and Industry (Colecao Brasileira de Micro-organismos de Ambiente e Indústria)	Brazil
CCMA-U FLA	WDCM 1083	Coleção de Culturas da Microbiologia Agrícola/ Culture Collection of Agricultural Microbiology	Brazil
CEP	WDCM 973	Entomopathogenic Fungal Culture Collection of Argentina	Argentina
CHE-CN RCB	WDCM 1034	Colección de Hongos Entomopatógenos del Centro Nacional de Referencia de Control Biológico	Mexico
CIAT	WDCM 536	CIAT Rhizobium Collection	Colombia
CICV	WDCM 33	Centro de Investigaciones en Ciencias Veterinarias	Argentina

CISM	WDCM 95	Verticillium dahliae from cotton	Mexico
CLEV	WDCM 1056	Coleção de Microrganismos de Interesse Agroindustrial - CMIA	Brazil
CMAA	WDCM 1149	Collection of Microorganismos of Agricultural and Environmental Importance	Brazil
CMM	WDCM 923	Culture Collection of Phytopathogenic Fungi Prof. Maria Menezes (Colecao de Culturas de Fungos Fitopatogenicos Prof. Maria Menezes	Brazil
CMMF	WDCM 1181	Collection of Multifunctional and Phytopathogenic Microorganisms	Brazil
CNCRU	WDCM 1082	Colección Nacional de Cepas de Rhizobium	Uruguay
ABRIICC	WDCM 843	ABRIICC Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran Culture collection	Iran
CNPSO	WDCM 1054	Culture Collection of Diazotrophic and Plant Growth Promoting Bacteria of Embrapa Soja	Brazil
CPCC (formerly UTCC)	WDCM 605	Canadian Phycological Culture Centre (formerly University of Toronto Culture Collection of Algae & Cyanobacteria)	Canada
CPVC	WDCM 898	Canadian Plant Virus Collection	Canada
CRBF	WDCM 741	Collection de genomes d'organismes symbiotiques	Canada
ACCC	WDCM 572	Agricultural Culture Collection of China	China
APSPC	WDCM 1157	Oilseeds Research & Development Company (ORDC)	Iran
BBPP	WDCM 705	Bacteriology Branch, Plant Pathology and Microbiology Division, Department of Agricultural Science	Thailand
BSMB	WDCM 491	Bacteriology and Soil Microbiology Branch	Thailand
BT	WDCM 1036	Bacillus thuringiensis	India
CCBAU	WDCM 116	Culture Collection, Beijing Agricultural University	China
DFP	WDCM 50	Forest Pathology Culture Collection, Pacific Forest Research Centre	Canada

Fiocruz/C CFF	WDCM 720	Colecao de Culturas de Fungos Filamentosos	Brazil
Fiocruz/C CGB	WDCM 574	Coleção de Culturas do Gênero Bacillus e Gêneros Correlatos	Brazil
Fiocruz/C LEP	WDCM 1012	Coleção de Leptospira	Brazil
Fiocruz/C LIOC	WDCM 731	Coleção de Leishmania	Brazil
Fiocruz/C LIST	WDCM 1055	Coleção de Listeria	Brazil
Fiocruz/C MT	WDCM 948	Coleção Micológica de Trichocomaceae	Brazil
IBSBF	WDCM 110	Phytobacteria Culture Collection of Instituto Biológico	Brazil
INDRE	WDCM 121	Pathogen Fungi and Actinomycetes Collection	Mexico
INVAM	WDCM 1066	International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi	U.S.A.
LJC	WDCM 904	Colección de fitopatógenos de cultivos hortícolas	Argentina
MCPPW	WDCM 1128	Microorganisms for Control of Plant Pathogens and Weeds	Brazil
NoF	WDCM 744	The Fungus Culture Collection of the Northern Forestry Centre	Canada
NRRL	WDCM 97	Agricultural Research Service Culture Collection	U.S.A.
PROIMI	WDCM 587	Planta Piloto de Procesos Industriales Microbiologicos	Argentina
SEMIA	WDCM 443	Rhizobium Culture Collection	Brazil
SRRC	WDCM 751	United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service	U.S.A.
UCD-FST	WDCM 888	Phaff Yeast Culture Collection	U.S.A.
UMRC	WDCM 125	University of Minnesota Rhizobium Collection	U.S.A.
UPRM	WDCM 76	Rhizobium Culture Collection	U.S.A.
UWO	WDCM 91	Department of Plant Sciences	Canada
WOC WPC	WDCM 1041	World oomycete genetic resource collection	U.S.A.
CFCC	WDCM	China Forestry Culture Collection Center	China

	995		
CIPDE	WDCM 462	Collection of Insect Pathogens, Dept. of Entomology	India
CISM	WDCM 75	NifTAL Rhizobium Collection (Asia Center)	Thailand
DUM	WDCM 40	Delhi University Mycological Herbarium	India
EntoPatho	WDCM 1013	Entomopathogen	India
KCCC	WDCM 969	Culture Collection of Soybean Rhizobia and Cyanobacteria	Thailand
KUFC	WDCM 677	Kasetsart University Fungus Collection, Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture	Thailand
MLMJI	WDCM 701	Department of Plant Protection, Faculty of Agricultural Production	Thailand
MMCC	WDCM 1008	MARDI Microbial Culture Collection	Malaysia
MPKV	WDCM 448	Biological Nitrogen Fixation Project College of Agriculture	India
MSPP	WDCM 704	Mycology Section, Plant Pathology and Microbiology Division, Department of Agricultural Science	Thailand
NAIMCC	WDCM 1060	National Agriculturally Important Microbial Culture Collection	India
NRPSU	WDCM 679	Department of Agro-industry, Faculty of Natural Resources	Thailand
PPKMI	WDCM 699	Plant Production Technology Department, Faculty of Agricultural Technology	Thailand
PPKU1	WDCM 670	Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture	Thailand
PPKU2	WDCM 671	Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture	Thailand
PPKU3	WDCM 672	Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture	Thailand
PPKU4	WDCM 673	Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture	Thailand
PPKU5	WDCM 674	Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture	Thailand
PPKU6	WDCM 675	Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture	Thailand
RCEF	WDCM	Research Center on Entomogenous Fungi	China

	1031		
RIFY	WDCM 749	Institute of Enology and Viticulture	Japan
RIMD	WDCM 301	Research Institute for Microbial Diseases, Research Center for Emerging Infectious Diseases	Japan
RITFC	WDCM 625	Research Institute for Tobacco and Fibre Crops	Indonesia
RRIASR	WDCM 617	Fungal Pathogens of Hevea Rubber in Sri Lanka	Sri Lanka
SMRG	WDCM 703	Soil Microbiology Research Group, Division of Soil Science, Department of Agriculture	Thailand
SP-HS	WDCM 1143	Bacillus subtilis. SP-HS	Nepal
SSCMU	WDCM 693	Soil Science and Conservation Department Faculty of Agriculture	Thailand
SSKKU	WDCM 683	Department of Soil Science, Faculty of Agriculture	Thailand
SSMJI	WDCM 700	Science Section, Department of General Education, Faculty of Agricultural Business	Thailand
UJB	WDCM 619	University of Jaffna Botany	Sri Lanka
UPMR	WDCM 25	Rhizobium Collection	Malaysia
VCRC	WDCM 144	Volcani Center Rhizobium Collection (VCRC)	Israel
ASIB	WDCM 505	Algensammlung am Institut fur Botanik	Austria
CFBP	WDCM 639	French Collection for Plant-associated Bacteria (CIRM-CFBP)	France
CIAM	WDCM 890	Collection of Nonpathogenic Microorganisms for Agriculture	Russian Federation
CPPIPP	WDCM 785	Collection of Plant Pathogens	Poland
CREA-C MVE	WDCM 1142	Council for Agricultural Research and Analysis of Agricultural Economics- Microbial Culture Collection of Oenological and Viticultural Environment	Italy
CSMS	WDCM 1121	Collection of soil microorganisms "Symbiont"	Russian Federation

IBPPM	WDCM 1021	Collection of Rhizosphere Microorganisms	Russian Federation
IBT	WDCM 758	IBT Culture Collection of Fungi	Denmark
IEBC	WDCM 590	International Entomopathogenic Bacillus Centre (WHO)	France
IOEB	WDCM 791	CRB oenologie	France
ITEM	WDCM 1120	ITEM - Agro-Food Microbial Culture Collection	Italy
LCP	WDCM 659	Fungal Strain Collection, Laboratory of Cryptogamy	France
MEAN	WDCM 881	Micoteca da Estacao Agronomica Nacional	Portugal
MUCL	WDCM 308	Belgian Coordinated Collections of Microorganisms / MUCL Agro-food & Environmental Fungal Collection	Belgium
NCAIM	WDCM 485	National Collection of Agricultural and Industrial Microorganisms	Hungary
NCAM	WDCM 862	National Collection of Phytopathogenic Microorganisms	Uzbekistan
NCPPB	WDCM 126	National Collection of Plant Pathogenic Bacteria	U.K.
NSCNFB	WDCM 754	Novi Sad Collection of Nitrogen Fixing Bacteria	Yugoslavia
PD	WDCM 618	Culture Collection of Plant Pathogenic Bacteria	Netherlands
PLAVIT	WDCM 1057	Plant Viruses Italy	Italy
RCAM	WDCM 966	Russian Collection of Agricultural Microorganisms	Russian Federation
RIPO	WDCM 516	Plant Virus Collection	Netherlands
RIVE	WDCM 28	Research Institute for Viticulture and Enology	Slovak
SAF	WDCM 1032	Swiss Collection of Arbuscular Mycorrhizal fungi	Switzerland
URIVOT	WDCM 983	Culture Collection of Ukrainian Tairov's Research Institute of Viticulture and Oenology.	Ukraine
VIZR	WDCM 760	Collection for plant protection, All-Russian Institute of Plant Protection	Russian Federation

WPBS	WDCM 607	WPBS Rhizobium Collection	U.K.
BRIP	WDCM 27	Biosecurity Queensland Plant Pathology Herbarium	Australia
CB	WDCM 57	The CB Rhizobium Collection	Australia
CC	WDCM 61	CSIRO Canberra Rhizobium Collection	Australia
DAR	WDCM 365	Plant Pathology Herbarium	Australia
DE-CSIRO	WDCM 70	CSIRO Insect Pathogen Culture Collection	Australia
DWT	WDCM 36	Wood Technology and Forest Research Division	Australia
ICMP	WDCM 589	International Collection of Microorganisms from Plants	New Zealand
NGR	WDCM 356	Plant Pathology	Papua New Guinea
NZFS	WDCM 62	Forest Research Culture Collection	New Zealand
SAITP	WDCM 569	School of Pharmacy and Medical Sciences, University of South Australia	Australia
VPRI	WDCM 851	Victorian Plant Disease Herbarium	Australia
WAC	WDCM 77	Department of Agriculture and Food Western Australia Plant Pathology Collection	Australia

출처: World Data Center for Microorganism, Word Federation for Culture Collection

[표 2-5] 동물 미생물 전문은행 (31개)

Acronym	WDCM Number	Collection	Country
BAMIPA	WDCM 1114	Banco de microorganismos de interés para la producción animal	Cuba
CG	WDCM 712	Invertebrate-Associated Fungal Collection of Embrapa	Brazil
CPZ	WDCM 275	Centro Panamericano de Zoonosis	Argentina

Fiocruz/C LEP	WDCM 1012	Coleção de Leptospira	Brazil
Fiocruz/C LIOC	WDCM 731	Coleção de Leishmania	Brazil
Fiocruz/C LIST	WDCM 1055	Coleção de Listeria	Brazil
IMYZA	WDCM 31	Instituto de Microbiologia y Zoologia Agricola	Argentina
LB-ICA	WDCM 999	Bacterias ácido lácticas del Instituto de Ciencia Animal	Cuba
OCM	WDCM 592	Oregon Collection of Methanogens	U.S.A.
RYCASI	WDCM 980	Rumen Yeast Collection of Animal Science Institute	Cuba
VTB	WDCM 733	Banco de Celulas Humanas e Animais Laboratorio de Patologia Celular e Molecular	Brazil
CCDM-I M	WDCM 1044	Culture Collection of Department of Microbiology-Insect Microbiology	China
CVCC	WDCM 876	China Veterinary Culture Collection	China
CVCC	WDCM 129	Center for Veterinary Culture Collection	China
KVCC	WDCM 954	Korean Veterinary Culture Collection	Korea (Rep. of)
NIAH	WDCM 638	National Institute of Animal Health	Japan
PVF	WDCM 628	Pusat Veterinaria Farma	Indonesia
TCMM	WDCM 661	Thai Collection of Medical Microorganism, Department of Pathology, Faculty of Veterinary Science	Thailand
AHVLA	WDCM 1017	Animal Health and Veterinary Laboratories Agency	U.K.
BACC	WDCM 789	Brucella ANSES Culture Collection	France
BCCM/IH EM	WDCM 642	BCCM/IHEM Fungi collection: Human and Animal Health	Belgium
CAPM	WDCM 181	Collection of Animal Pathogenic Microorganisms	Czech
CSC-CLC H	WDCM 631	Biobanking of Veterinary Resources	Italy

DMVB	WDCM 194	Department of Microbiology, Veterinary Branch of National Strain Collection	Poland
HUKUK	WDCM 756	Culture Collection of Animal Cells	Turkey
IMMH	WDCM 427	Collection of Animal Viruses	Hungary
IZSSA	WDCM 990	Collection of Experimental Zooprophyllactic Institute of Sardinia	Italy
RCAT	WDCM 425	Regional Collection of Animal Viruses and Tissue Cultures	Hungary
AHLDA	WDCM 334	Animal Health Division Culture Collection	Australia
RM	WDCM 764	Rumen Microorganisms	New Zealand
WAITE	WDCM 35	Insect Pathology Pathogen Collection	Australia

[표 2-6] 식품미생물 전문은행 (30개)

Acronym	WDCM Number	Collection	Country
CCDCA	WDCM 1081	Culture Collection of Microorganisms from the Department of Food Science/Coleção de Cultura de Microrganismos do Departamento de Ciência dos Alimentos	Brazil
CCLAB-UNESP	WDCM 1182	Culture Collection of Lactic Acid Bacteria	Brazil
Fiocruz/CAMP	WDCM 1052	Coleção de Campylobacter	Brazil
SGSC	WDCM 338	Salmonella Genetic Stock Centre	Canada
BGIV	WDCM 962	Banco de Glomeromycota In Vitro (Bank of Glomeromycota In Vitro)	Argentina
CCDBM	WDCM 997	Culture Collection and DNA Bank of Mushrooms	Korea (Rep. of)
CCWM	WDCM 896	Culture Collection of Wild Mushroom	Korea (Rep. of)
CMBB	WDCM 1169	Mushroom Biodiversity-Western Regional Center	India
FNCC	WDCM 755	Food and Nutrition Culture Collection	Indonesia
FTCC	WDCM	Food Technology Culture Collection	Malaysia

	762		
FTCMU	WDCM 690	Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture	Thailand
IFRPD	WDCM 676	Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University	Thailand
ISRI	WDCM 630	Indonesian Sugar Research Institute, Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia	Indonesia
MSU	WDCM 809	Acetobacter	Thailand
NCDC	WDCM 775	National Collection of Dairy Cultures	India
ACA-DC	WDCM 609	Agricultural College of Athens-Dairy Collection	Greece(Hellenic Rep.)
CACEM-MGM	WDCM 960	The Champagne-Ardenne collection of Enological microorganisms	France
BUSCOB	WDCM 1139	Bologna University Scardovi Collection of Bifidobacteria	Italy
CCBAS	WDCM 558	Culture Collection of Basidiomycetes	Czech
CCDM	WDCM 878	Culture Collection of Dairy Microorganisms Laktoflora	Czech
CIRM-CF	WDCM 916	Centre International de Ressources Microbiennes - Champignons Filamenteux	France
IBK	WDCM 1152	IBK Mushroom Culture Collection	Ukraine
GMAcc	WDCM 786	Laboratory of Molecular Genetics and Breeding of Edible Mushrooms	France
LE-BIN	WDCM 1015	Komarov Botanical Institute Basidiomycetes Culture Collection	Russian Federation
NCIMB	WDCM 653	National Collections of Industrial Food and Marine Bacteria (incorporating the NCFB)	U.K.
PUFECC	WDCM 1019	Pamukkale University Food Engineering Culture Collection	Turkey
RIBM	WDCM 655	Research Institute for Brewing and Malting	Czech
UMIP	WDCM 344	Collection de Champignons et Actinomycetes Pathogenes	France
FRR	WDCM 18	Food Science Australia, Ryde	Australia
NZRD	WDCM 318	New Zealand Reference Culture Collection of Microorganisms, Dairy Section	New Zealand

[표 2-7] 수산양식 미생물 전문은행(4개)

Acronym	WDCM Number	Collection	Country
CAIM	WDCM 813	Collection of Aquatic Important Microorganisms	Mexico
BMBC	WDCM 910	Brazilian Aquaculture Bacteria Collection	Brazil
NRCP	WDCM 1148	National Reference Collection for <i>Piscirickettsia salmonis</i>	Chile
TCFB	WDCM 802	Tasmanian Collection of Fish Bacteria	Australia

- 우리나라에는 미생물, 식물, 바이러스 은행을 모두 포함하여 15개의 생물자원 은행이 운영되고 있음.

[표 2-8] 국내 미생물관련 보관 은행 현황

미생물 등록 보존 기관명		운영기관
생물자원센터 Korean Collection for Type Cultures (KCTC)		한국생명공학연구원
(재) 연구 소재 중앙 센터	곰팡이유전자은행	서울대학교
	항생제내성균주은행	서울여자대학교
	미생물다당류은행	건국대학교
	박테리오페이지은행	한국외국어대학교
	버섯소재은행	서울대학교
	병원성바이러스은행	고려대학교
	식물바이러스은행	서울여자대학교
	지의류소재은행	순천대학교
	한국구강미생물자원은행	조선대학교
환경미생물은행	경기대학교	
한국수의유전자은행 Korean Veterinary Culture Collection (KVCC)		한국수의과학검역원
한국농업미생물자원센터 Korean Agricultural Culture Collection (KACC)		농업생명과학원
국립생물자원관 National Institute of Biological Resources culture collection (NIBR)		국립생물자원관

해양극한미생물자원은행 Polar and Alpine Microbial Collection (PAMC)	한국해양과학기술원
국가병원체자원은행 National Culture Collection for pathogens (NCCP)	질병관리본부
한국미생물보존센터 (Korean Culture Center for Microorganisms)	한국중균협회

2.2 국내외 정책동향

□ 미국

- 2016년에 미국 오바마 2기 정부의 마지막 대형 연구 프로젝트로 국가 마이크로바이옴 이니셔티브(National Microbiome Initiative : NMI)계획을 발표하고 2017년부터 2년간 농작물과 소, 돼지 등 가축에 영향을 미치는 토양미생물을 비롯해 인체 감염병과 정신질환, 비만에 영향을 미치는 미생물, 우주인에게 미생물이 미치는 영향 등을 광범위하게 연구.
- NMI는 3가지 분야에 집중하여 마이크로바이옴 연구 지원.
 - 다양한 생태계의 미생물에 대한 근본적 질문에 답하기 위한 다학제 간 연구 지원(Supporting interdisciplinary research)
 - 다양한 생태계에 존재하는 미생물에 대한 정보를 공유하고, 미생물 데이터에 대한 접근을 향상시키는 플랫폼 기술 개발(developing platform technologies)
 - 시민 사회, 공공 참여 및 교육을 통해 미생물 산업 인력 확대(expanding the microbiome workforce)
- NMI는 미생물 연구에 대한 강력하고, 지속적인 연방 정부의 투자를 기반으로 하여, 1억 2,100만 달러 이상(2년간)을 연방정부 출자출연기관에 투자.

- 미 에너지 국(Department of Energy)은 2017년도에 미생물에 대한 공동 연구, 학제 간 연구를 지원하기 위해 1,000만 달러의 신규 기금을 제안함
- NASA(National Aeronautics and Space)는 지구 생태계와 우주공간에서 미생물 연구를 확대하기 위한 새로운 자금으로 1,250만 달러를 제안함
- 국립 보건원(National Institutes of Health)은 2016년과 2017년에 보조금으로 microbiome 연구에 2천만 달러를 추가로 투자하여 다양한 생태계의 비교 연구 및 microbiome의 탐구 및 이해를 위한 새로운 도구 설계 조사에 중점 지원
- 미 농무부(Department of Agriculture)는 2017년 농업 연구 서비스를 통해 미생물 연구를 위한 전산 용량 확대에 1천 590만 달러를 투자하고, 국제식품농업연구소(National Institute of Food and Agriculture)를 통해 식품생산시스템에 영향을 미치는 수자원, 식물, 가축, 어류, 토양 및 공기 중의 미생물에 관한 연구를 지원하기 위해 800만 달러를 지원

[표 2-9] NMI를 위한 연방정부 투자 내용

정부 기관	투자 기금	연구내용
DOE(Department of Energy) Office of Science	2017 <u>1,000만 달러</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 미생물에 대한 공동 연구, 학제 간 연구를 지원 - DOE 국립 연구소, 학계 및 농무부 연구 기관(예: USDA가 지원하는 기관)간의 협력 관계 및 기후 변화에 취약한 바이오매스 중심의 농업 시스템 및 지구상의 생태계와 같은 환경과 관련된 임무의 사업
NASA(National Aeronautics and Space Administration)	2016-2017 <u>1,250만 달러</u>	<ul style="list-style-type: none"> - HERA(Human Exploration Research Analog) 연구 - 태양계의 다른 행성 기관과 미생물을 찾기 위한 생명 탐지기술 개발을 지원하기 위해 Ocean Worlds 프로그램
NIH(National Institutes of Health,)	2016-2017 <u>2천만 달러</u>	<ul style="list-style-type: none"> - 다중 생태계 비교 연구와 탐색 및 이해 - 프로젝트에서 생산된 미생물 서열 및 기타 유전자 데이터는 공개적으로 이

		용 가능한 NIH 저장소 또는 기타 적절한 공공 저장소에 보관
NIST(National Institute of Standards and Technology)	2017 <u>1백만 달러</u>	- 미생물 측정의 신뢰성과 재현성을 개선하고 체외에서 실험실 규모의 미생물 생태계를 설계하고 모델링
NSF(National Science Foundation)의 BIO(Biological Sciences Directorate)	2017 <u>1,600만 달러</u>	- 생태계, 종 및 생물학적 규모의 범위로 걸친 미생물 연구 - 생물 숙주의 미생물군집 사이와 미생물 군집 내 미생물간의 상호작용
NSF-NIFA(National Institute of Food and Agriculture) Plant Biotic Interactions Program(PBI)	NSF 2017 <u>850만 달러</u> NIFA 2016 <u>600만 달러</u>	- 식물의 생물학적 상호작용 프로그램
USDA-ARS(United States Department of Agriculture(미국 농무부)-Agricultural Research Service)	2017 <u>1,590만 달러</u>	- USDA-ARS에서 식물, 동물 및 토양 미생물 DNA 서열 데이터의 계산과 집약적인 분석을 지원하는 새로운 고속, 고용량 연구 네트워크인 SCINet의 개발 - 농업 관련 식물과 미생물에 대한 비교 genome 분석을 위한 개방형 플랫폼인 KBase 개발
USDA-NIFA	2017 <u>800만 달러</u>	- 식품 생산 시스템에 영향을 미치는 식물, 가축동물, 어류, 토양, 대기, 물의 미생물에 대한 조사 - 농장에서 식탁까지의 항생제 저항성의 발생과 관리에서 미생물의 역할에 대한 연구 및 농업 생산 시스템에서의 미생물군집에서의 기후의 영향에 대한 미생물의 역할 연구
USDA-NIFA와 NSF BIO	2016 <u>3백만 달러</u>	- 변형 동식물의 발현 형태학 및 미생물 기술의 개발을 지원
Smithsonian Institution	2017 <u>30만 달러</u>	- 세계 전역의 생태계에 대한 미생물 연구

○ 2016년 1월 발표된 OSTP의 행동 강령에 따라 100개 이상의 민간기관에서

1억 9,100만 달러를 투자하여 microbiome 연구 지원 계획을 발표함.

- Bill and Melinda Gates Foundation은 인간과 농업 미생물을 연구하기 위한 도구를 조사하고 개발하기 위해 4년간 1억 달러를 투자할 계획을 발표
- JDRF는 제1형 당뇨병과 관련된 미생물 연구에 5년간 1,000만 달러를 투자
- University of California는 Microbiome Innovation Center에 1,200만 달러를 투자하여 기술 개발자가 최종 사용자와 연락할 수 있도록 함
- One Codex는 미생물 데이터에 대한 공개 포털을 개설하여 연구원, 임상 의사 및 기타 보건 전문가를 위해 데이터에 접근이 쉽도록 함
- BioCollective, LLC는 Health Ministries Network와 함께 미생물 데이터 및 표본 은행을 구축하고, 미생물 연구에서 잘 드러나지 않는 그룹의 참여를 유도하기 위해 25만 달러를 투자함.
- Michigan 대학은 Howard Hughes Medical Institute와 Procter and Gamble의 지원을 받아 Michigan Microbiome Project에 350만 달러를 투자하여 학부생에게 새로운 연구 경험을 제공

□ 유럽

- 유럽연합은 2008년 MetaHIT (Metagenomics of the Human Intestinal Tract) 프로젝트를 추진하고, 이를 토대로 2011년부터 IHMS (International Human Microbiome Standards)를 계획하여 추진.
 - MetaHIT 프로젝트의 목표는 **건강한 사람과 질병을 보유한 사람의 마이크로바이옴을 비교하여 질환과 마이크로바이옴의 관계를 연구하는 것**으로, 특히 IBD(염증성 장질환) 및 비만과 연관된 장내 마이크로바이옴의 기능 및 상관관계를 규명하는 것임
 - 연구결과 124명의 건강한 유럽인으로부터 인간게놈 150배에 달하는 330만개의 유전자를 발견하였고, 개별 생활환경과 식이습관의 차이에도 불

구하고 최소 160여종의 마이크로바이옴은 거의 모든 사람이 공통으로 가지고 있다는 사실을 밝힘

- IHMS 프로젝트에는 12개국에서 8개 파트너사와 15명의 참여자(샘플 제공자)가 참여하여 마이크로바이옴 분석을 위한 최적 프로토콜 표준화를 추진
- 그 결과 ①시료수집 및 핵산추출 ②염기서열 분석(Sequencing) ③생산된 데이터 분석 3단계의 총 14개 표준분석 절차(SOP)를 확립하고 공개하여 마이크로바이옴에 대한 최적 분석법을 제공

□ OECD

○ OECD 과학기술정책위원회(Committee for Science and Technology Policy: CSTP)의 바이오나노융합기술분과(Working Party on Biotechnology, Nanotechnology and Converging Technology : BNCT)에서는 **마이크로바이옴 분야의 기술혁신을 위한 정책 수립을 진행 중.**

- BNCT는 기술혁신 분야로서 마이크로바이옴을 주목하고 있으며, 마이크로바이옴 기반의 식이/영양/치료제 분야 기술혁신을 위하여 관련 연구계, 산업계, 정책 입안자들의 의견을 모으고 있음
- 2017년 9월에는 “The microbiome, diet and health—towards a science and innovation agenda”를 주제로 OECD 보고서를 발간하여 마이크로바이옴의 세계 연구 동향과 함께 기술혁신의 애로사항을 제시
- 특히 각 나라별 혹은 대륙별 규제·제도가 기술혁신의 걸림돌이 될 수 있음을 인식하고 각 나라별 마이크로바이옴 연구 동향 및 정책 현황을 파악하여 마이크로바이옴 연구결과가 인체의 건강에 이롭게 사용될 수 있는 공통의 정책을 수립할 예정

□ 국내

○ 국내의 경우 2011년부터 국제 휴먼마이크로바이옴 컨소시엄(International

Human Microbiome Consortium : IHMC)에 참여하고 있으나 최근까지 정부 주도의 육성·지원 정책이 부족.

- 대부분의 국내 마이크로바이옴 연구는 개별 연구자를 중심으로 이루어지고 있어 한국인 특이의 마이크로바이옴 정보 확보와 마이크로바이옴 동정·분석·질환연관성 규명 등 연구에 필요한 표준 프로토콜 구축에 대한 규모 있고 체계적인 정부 지원이 부족

○ 학계에서 정책 토론회나 공청회 등을 통해 마이크로바이옴 기술 분야에 대한 정부의 체계적인 육성정책 필요성을 제기.

- 한국과학기술한림원(2016)은 마이크로바이옴 연구 및 관련 산업육성을 위한 정책제언으로 다음의 5 가지를 제시

- ① 국가차원의 장내 미생물과학·마이크로바이옴 연구진흥을 위한 계획 수립 ② 한국인 장내미생물 기준(Korean Microbiome reference) 확립 ③ ‘질환과 치료’에 중점을 둔 체계적인 연구추진 전략 마련 ④ 공공성 기반 인프라 시스템 구축 및 활용방안 마련 ⑤ 성과활용 및 산업화를 위한 국제표준 설정과 규제개선

○ 과학기술정보통신부 등 관계부처 합동으로 2017년 9월에 수립한 ‘제3차 생명공학육성 기본계획: 바이오경제 혁신전략 2025’에서 미래 유망기술 분야로 마이크로바이옴을 선정.

- 제3차 생명공학육성기본계획에서는 사회·경제적 파급효과가 큰 창의적 R&D 전략분야로서 ‘마이크로바이옴 통합분석’을 선정하고, 유망 융합신산업 분야에서도 마이크로바이옴 빅데이터 기반 미생물 군집 특성·기능 규명으로 산업적 유용자원 확보를 언급

○ 정부에서는 2016부터 2018.8 현재까지 마이크로바이옴 관련 연구개발에 총 20,712,280,000 원의 연구비를 투자하였으며, 관련 정부지원 연구개발과제 현황은 다음 표와 같음.

○ 2016년도부터 2018년 8월 현재기준 마이크로바이옴관련 연구는 46 개 기관에서 총 157개 과제가 기 수행 또는 수행 중에 있음.

- 부처별로 지원과제 수는 과학기술정보통신부가 73개로 가장 많은 과제를 지원하고 있으며, 이어서 교육부 42개, 농림축산식품부 13개, 보건복지부 10개, 농촌진흥청 8개, 중소벤처기업부 7개, 식품의약품안전처 3개, 산업통상자원부 1개 과제를 지원하고 있음.
- 연구수행기관은 대학이 압도적으로 많아 29개 대학에서 마이크로바이옴 연구과제를 수행하고 있으며 이어서 11개 국공립출연연구소와 6개 기업체에서 연구를 수행하고 있음.
- 가장 많은 연구과제를 수행하고 있는 기관은 서울대학교로 16개의 정부과제를 수행하고 있고, 이어서 전북대학교 12개, 한국생명공학연구원에서 11개의 과제를 수행하고 있음.
- 향후 신산업(시장) 창출 기회가 많은 마이크로바이옴 분야에 대한 연구개발 및 관련 산업육성을 위한 부처의 추가적인 정책들이 마련될 것으로 기대됨.

[표 2-10] 국내 마이크로바이옴 관련 정부지원 연구개발과제 현황

과제명	지원 부처
뇌종양 제어 장내 마이크로바이옴 발굴 및 작용 기전 규명을 통한 항암치료 원천기술 확립 및 활용	과기부
장내 마이크로바이옴 기반 식품 기능성 평가 시스템 개발	농림부
메타전사체와 네트워크 분석을 통한 시스템 수준의 마이크로바이옴 기능 연구	농림부
마이크로바이옴 분석 기술을 이용한 스트레스 및 2형 당뇨병 개선 프로바이오틱스 소재 개발	농림부
배양공정개량에 의한 마이크로바이옴 분리한 균주와 식물추출물 혼합에 의한 토양병해와 점박이응	농림부
한국과 베트남 낭충봉아부패병 감수성 및 저항성 동양꿀벌의 마이크로바이옴 비교	농림부
토양미생물 마이크로바이옴 연구를 위한 방선균의 퀴럼센싱 물질 분석	과기부
질내 마이크로바이옴 기반 조산 치료 연구	보복부
위장내 마이크로바이옴 분석을 통한 위암 관련 미생물군집 바이오시그니처 개발과 위암 치료 파마바이오틱스의 안정성과 효용성 검증	과기부
아토피피부염 질환군의 면역기전연구를 통한 장내 마이크로바이옴 기반 파마바이오틱스 발굴	과기부
작물 마이크로바이옴 다양성 구명 및 유용 기능 이용 연구	농진청

마이크로바이옴기반당뇨병 맞춤형 치료제 개발 전임상 기초연구	교육부
메타유전체 내 DNA 메틸화의 쥐 장내 마이크로바이옴 생물·생태학적 조절에 관한 연구	과기부
인공 호흡기 관련 폐렴에 영향을 미치는 마이크로바이옴 요인 발굴 및 타겟 치료 연구	과기부
아토피피부염 질환군의 마이크로바이옴 분석을 통한 파마바이오틱스 발굴 및 생태학적 기전 연구	과기부
돼지, 소, 개의 장내 마이크로바이옴 분석 및 핵심 장내 미생물 발굴	농림부
동물 천식모델에서 마이크로바이옴 분석을 통한 천식조절 유효물질 발굴	교육부
피부 및 구강 편평태선에서 마이크로바이옴 연구	교육부
장염연관대장암에서장내세균의역할 및 장내세균 제어 연구	교육부
반려견·반려묘 장내 마이크로바이옴 기반 면역증강용 미생물제제 개발	농림부
한국인 정상인의 마이크로바이옴 메타게놈 분석법 표준화 기술개발	과기부
마이크로바이옴 디스바이오시스 기전 연구	교육부
대사체 분석 기반 마이크로바이옴 유래 생체대사 제어물질 발굴	과기부
장내 마이크로바이옴 기반 가축에서의 항생제 내성 제어 연구	과기부
인간 장관모델 기반 마이크로바이옴 연구 플랫폼 구축 및 활용기술 개발	과기부
장내세균 및 장내세균 대사산물에 의한 점막면역계 조절에 대한 연구	과기부
만성간질환 치료용 파마바이오틱스 개발을 위한 장내 마이크로바이옴 비교 분석 및 데이터베이스 구축	과기부
위암 치료용 파마바이오틱스 발굴을 위한 마이크로바이옴 대사체 접근법	과기부
B형 간염 바이러스 감염이 유발한 장내세균 변화가 인체 내 대사질환 예방에 기여하는 상관성 분석 연구	과기부
한국인 주사환자의 피부 마이크로바이옴 및 장내 마이크로바이옴 특성 및 역할 규명	교육부
동물실험의 데이터 편차를 줄이기 위한 장내세균 사전 간이분석법 개발	교육부
유전체분석을 통한 피부질환개선 활성 마이크로바이옴 화장품 소재개발	중기부
시스템생물학기반 가축 장내 마이크로바이옴 연구를 통한 유용미생물자원 발굴 및 활용도 개발	농진청
작물-마이크로바이옴 상호작용 기작 구명을 위한 기능성 홀로지놈 연구	농진청
류마티스관절염 환자 장내세균 분석과 면역 조절 기전 연구를 통한 치료 파마바이오틱스 개발	과기부
만성신질환 상태에서 발생하는 혈전과 뇌경색에서 마이크로바이옴 유래 나노소포의 역할	교육부
대규모 한국인 비알코올 지방간 전향 코호트에서 간병리 조직소견에 따른 분변 내 마이크로바이옴 분석	보복부
벼 마이크로바이옴 분석 및 상호작용 기능 연구	농림부
돼지,소,개의 건강관리 전략 수립을 위한 장내 마이크로바이옴 분석	농림부
마이크로바이옴 재설계를 통한 작물생산성 증대 기술 개발	농림부
메타게놈을 활용한 식중독 유발 동물성식품 마이크로바이옴 규명 및 신규 검출법 개발 연구	식약청
아토피피부염 예후 예측을 위한 마이크로바이옴 기반 대사체 바이오마커 발굴과 검증	보복부
한국인 여드름환자의 피부 마이크로바이옴 연구	과기부
질환기전에 기반한 마이크로바이옴 리모델링 연구	과기부
장내세균 Akkermansia, Lactobacillus 유래 나노소포에 의한 염증성장질환 치료 신기술 개발	교육부
산모의 정신적 불안에 의한 아이의 아토피피부염 발생 예방 및 치료를 위한	과기부

장내 마이크로바이옴 관련 바이오마커 발굴	
Metformin에 의한 장내세균 변화와 뇌기능 향상	교육부
메타지노믹스 트래킹 기법을 활용한 막걸리 섭취 시 장내 마이크로바이옴 변화 비교와 이를 통한 장내정착 우수 프로바이오틱스 균주 확보 및 유전체학적 기능성 연구	교육부
류마티스관절염 환자 타깃 파마바이오틱스 실용화를 위한 특이 장내 마이크로바이옴 분석을 통한 파마바이오틱스 선발과 최적배양기술 개발	과기부
환경 바이오 기술에 활용 가능한 유용 미생물 자원 탐색을 위한 유류 오염시설의 마이크로바이옴 분석 연구	과기부
한국인 장내 마이크로바이옴 बैं킹 표준화 및 지원개발	과기부
대사 및 면역성 질환 연구를 위한 마이크로바이옴 통합 분석 생물정보 플랫폼 개발	과기부
인체 장내 마이크로바이옴 분석 기반 질환 제어 기술 개발	과기부
멀티오믹스 기반의 마이크로바이옴-마우스 상호작용에 의한 대사 조절 네트워크 연구	과기부
유전체 및 마이크로바이옴 기반 기능성 균주 적용 제품 개발	농림부
토양미생물 마이크로바이옴 연구를 위한 방선균의 퀴럼센싱 물질 분석	과기부
사람 마이크로바이옴 유래 스트레스 개선 뉴로바이오틱스 건강기능식품 개발	중기부
메타유전체 내 DNA 메틸화의 쥐 장내 마이크로바이옴 생물·생태학적 조절에 관한 연구	과기부
한국과 베트남 낭충봉아부패병 감수성 및 저항성 동양꿀벌의 마이크로바이옴 비교	농림부
메타지노믹스 트래킹 기법을 활용한 막걸리 섭취 시 장내 마이크로바이옴 변화 비교와 이를 통한 장내정착 우수 프로바이오틱스 균주 확보 및 유전체학적 기능성 연구	교육부
작물 마이크로바이옴 다양성 구명 및 유용 기능 이용 연구	농진청
질내 마이크로비옴 기반 조산 치료 연구	보복부
대사 및 면역성 질환 연구를 위한 마이크로바이옴 통합 분석 생물정보 플랫폼 개발	과기부
마이크로바이옴기반당뇨병 맞춤형 치료제 개발 전임상 기초연구	교육부
위장내 마이크로바이옴 분석을 통한 위암 관련 미생물군집 바이오시그니처 개발과 위암 치료 파마바이오틱스의 안정성과 효용성 검증	과기부
장내세균 및 장내세균 대사산물에 의한 점막면역계 조절에 대한 연구	과기부
류마티스관절염 환자 장내세균 분석과 면역 조절 기전 연구를 통한 치료 파마바이오틱스 개발	과기부
장내세균 Akkermansia, Lactobacillus 유래 나노소포에 의한 염증성장질환 치료 신기술 개발	교육부
한국인 정상인의 마이크로바이옴 메타게놈 분석법 표준화 기술개발	과기부
작물-마이크로바이옴 상호작용 기작 구명을 위한 기능성 홀로지놈 연구	농진청
마이크로바이옴기술을이용한 기능성 미생물 사료소재 개발	중기부
류마티스관절염 환자 타깃 파마바이오틱스 실용화를 위한 특이 장내 마이크로바이옴 분석을 통한 파마바이오틱스 선발과 최적배양기술 개발	과기부
위암 치료용 파마바이오틱스 발굴을 위한 마이크로바이옴 대사체 접근법	과기부
아토피피부염 질환군의 면역기전연구를 통한 장내 마이크로바이옴 기반 파마바이오틱스 발굴	과기부
인공 호흡기 관련 폐렴에 영향을 미치는 마이크로바이옴 요인 발굴 및 타겟 치료 연구	과기부
산모의 정신적 불안에 의한 아이의 아토피피부염 발생 예방 및 치료를 위한	과기부

장내 마이크로바이옴 관련 바이오마커 발굴 천식유발과 마이크로바이옴 in-vivo 상관성 연구 등	보육부
대규모 한국인 비알코올 지방간 전향 코호트에서 간병리 조직소견에 따른 분변 내 마이크로바이옴 분석	보육부
태생기 고과당 노출에 의한 심장대사 증후군 발생과 후성유전학적 변화에 미치는 장내세균 무리의 역할	교육부
마이크로바이옴 조절을 통한 천연물 유래 만성 호흡기 질환 치료제 개발	교육부
유전체분석을 통한 피부질환개선 활성 마이크로바이옴 화장품 소재개발	중기부
마이크로바이옴 디스바이오시스 기전 연구	교육부
한국인 장내 마이크로바이옴 बैं킹 표준화 및 지원개발	과기부
한국인 주사환자의 피부 마이크로바이옴 및 장내 마이크로바이옴 특성 및 역할 규명	교육부
산업동물의 장내 마이크로바이옴 बैं크 구축을 통한 다목적 생물제제 개발 공동기획연구	과기부
산업동물의 장내 마이크로바이옴 बैं크 구축을 통한 다목적 생물제제 개발 사전기획연구	과기부
한국인 여드름환자의 피부 마이크로바이옴 연구	과기부
아토피피부염 예후 예측을 위한 마이크로바이옴 기반 대사체 바이오마커 발굴과 검증	보육부
인체 장내 마이크로바이옴 분석 기반 질환 제어 기술 개발	과기부
장염연관 대장암에서 장내세균의 역할 및 장내세균 제어 연구	교육부
메타게놈을 활용한 식중독 유발 동물성식품 마이크로바이옴 규명 및 신규 검출법 개발 연구	식약청
아토피피부염 질환군의 마이크로바이옴 분석을 통한 파마바이오틱스 발굴 및 생태학적 기전 연구	과기부
인체 장내 마이크로바이옴 분석 기반 질환 제어 기술 개발	과기부
마이크로바이옴 조절을 통한 천연물 유래 만성 호흡기 질환 치료제 개발	교육부
한국인 장내 마이크로바이옴 बैं킹 표준화 및 지원개발	과기부
한국인 정상인의 마이크로바이옴 메타게놈 분석법 표준화 기술개발	과기부
대사 및 면역성 질환 연구를 위한 마이크로바이옴 통합 분석 생물정보 플랫폼 개발	과기부
장내세균 변화가 만성 장염 발현에 미치는 영향	교육부
메타게놈을 활용한 식중독 유발 동물성식품 마이크로바이옴 규명 및 신규 검출법 개발 연구	식약청
마이크로바이옴 기술을 이용한 기능성 미생물 사료개발	중기부
간경변 환자에서 근육감소증과 장내세균총의 상관 연구	과기부
소아 염증성 장질환 및 과민대장증후군에서 질병의 활성도에 따라 차세대 엑스 시퀀싱을 기반으로 장내 미생물, 세균 유래 소포 분석: 비침습적 진단 예측 및 활성도 평가 개발	과기부
대장암 발생에서 장내세균의 다면적 역할 규명	과기부
태독(胎毒)의 기전 규명을 위한 하태독법(下胎毒法)이 장내 세균 및 면역 활성화에 미치는 연구	과기부
장내세균에서 기원한 세균 유래 세포밖 소포체 분석을 통한 장내세균조성과 대장암 발생 및 예후 간 상관관계에 대한 연구	교육부
식이제한의 수명 연장 효능에서 장내세균의 역할 연구	교육부
장내세균의 유전체 시퀀싱과 독성 인자 제어를 통한 염증성 장질환 치료의 새로운 패러다임 확립	과기부
inhibin alpha 등의 대장암세포발현 단백질을 억제하는 microRNA를 발현,	교육부

전달하는 장내세균총의 항암효능연구	
장내세균총 분포와 관련된 식이, 수면요인 발굴연구 및 장내세균총 분포 변화에 대한 폴리감마글루탐산 투여 임상연구	과기부
유전체미래원천기술개발사업(장내 병원성 세균/공생미생물)	과기부
유전체미래원천기술개발사업(장내 병원성 세균/공생미생물)	과기부
다제내성 장내세균의 항생제 내성 기전 및 분자역학적 특성의 규명	교육부
주사 환자에서의 장내 및 피부 세균 메타지놈 분석 연구	교육부
미숙아의 장내 세균총이 미숙아 합병증과 생존률에 미치는 영향의 메타게놈 분석	과기부
가금유래 주요 장내세균의 콜리스틴 내성 위험성 평가 및 다제내성균 전파경로 규명	교육부
장내세균-생체 홀로지노믹스 연구	과기부
장내세균을 매개로 한 청열해독 작용과 궤양성 대장염의 상호관계 연구	교육부
다제내성 장내세균의 항생제 내성 기전 및 분자역학적 특성의 규명	교육부
장내세균을 매개로 한 청열해독 작용과 궤양성 대장염의 상호관계 연구	교육부
가금유래 주요 장내세균의 콜리스틴 내성 위험성 평가 및 다제내성균 전파경로 규명	교육부
태독(胎毒)의 기전 규명을 위한 하태독법(下胎毒法)이 장내 세균 및 면역 활성화에 미치는 연구	과기부
초파리 모델을 이용한 장내세균의 체내 생리조절 기전 연구	교육부
비만대사수술 후 장내세균의 변화와 비만·당뇨의 개선효과	교육부
장내세균이 수명에 미치는 영향 및 그 기전 연구	교육부
장내세균총 분포와 관련된 식이, 수면요인 발굴연구 및 장내세균총 분포 변화에 대한 폴리감마글루탐산 투여 임상연구	과기부
장내 저병원성 세균과 대장암 발생의 연관성 규명 연구	교육부
원헬스 접근에 기반한 항생제 고도내성 장내세균의 내성인자 분석 및 내성획득 기전 규명	보복부
간경변 환자에서 근육감소증과 장내세균총의 상관 연구	과기부
유전체미래원천기술개발사업(장내 병원성 세균/공생미생물)	과기부
한국인을 위한 맞춤형 장내세균분석 기술개발 및 이를 활용한 인체유효성 평가 기술개발	중기부
장내세균-장-간축 제어 LC27/LC67 복합 프로바이오틱스의 간기능 개선 인체적용 효능 연구	산업부
장내세균-생체 홀로지노믹스 연구	과기부
장내세균에서 기원한 세균 유래 세포막소포체 분석을 통한 장내세균조성과 대장암 발생 및 예후 간 상관관계에 대한 연구	교육부
감초와 사람 장내세균의 상호작용에 관한 연구	과기부
대장암 발생에서 장내세균의 다면적 역할 규명	과기부
유전체미래원천기술개발사업(장내 병원성 세균/공생미생물)	과기부
주사 환자에서의 장내 및 피부 세균 메타지놈 분석 연구	교육부
미숙아의 장내 세균총이 미숙아 합병증과 생존률에 미치는 영향의 메타게놈 분석	과기부
ESBL 생성 장내세균감염의 베타락탐제 치료효과 연구	보복부
유전체미래원천기술개발사업(장내 병원성 세균/공생미생물)	과기부
작물-마이크로바이옴 상호작용 기작 구명을 위한 기능성 홀로지놈 연구	농진청
작물 마이크로바이옴 다양성 구명 및 유용 기능 이용 연구	농진청
장내세균-생체 홀로지노믹스 연구	과기부
비만대사수술 후 장내세균의 변화와 비만/당뇨의 개선효과	교육부

감초와 사람 장내세균의 상호작용에 관한 연구	과기부
항바이러스 단백질을 발현하는 장내 세균의 개발과 이를 이용한 사료첨가제 개발	농진청
비용절감과 국제화를 위한 장내세균분석 기술개발 및 프로바이오틱스에 대한 인체 유효성 평가기술 개발	중기부
장내세균 및 장내세균 대사산물에 의한 점막면역계 조절에 대한 연구	과기부
장내 세균총에 의한 섭식 행동 변화의 분자유전학	교육부
장내세균이 수명에 미치는 영향 및 그 기전 연구	교육부
유전체미래원천기술개발사업(장내 병원성 세균/공생미생물)	과기부
초파리 모델을 이용한 장내세균의 체내 생리조절 기전 연구	교육부
성격특성에 기반한 유전체, 장내세균총, 뇌 MRI 연구를 통한 비만의 유전·환경 상호작용의 규명	과기부
돼지 장내 세균총 분석을 통한 증체율 및 질병예방 개선	농림부
질내 마이크로비옴 기반 조산 치료 연구	보복부
대장암 발생에서 장내세균의 다면적 역할 규명	과기부
장내 저병원성 세균과 대장암 발생의 연관성 규명 연구	교육부

[표 2-11] 국내 마이크로바이옴 연구 수행기관

연구기관	연구 과제 수
가톨릭대학교	4
강원대학교	1
경북대학교	2
경상대학교	3
경희대학교	2
고려대학교	4
고신대학교	2
국립농업과학원	3
국민대학교	2
농림축산검역본부	2
덕성여자대학교	2
부산대학교	3
서강대학교	3
서울대학교	16
서울아산병원	4
성균관대학교	5
세종대학교	2
숙명여자대학교	2
연세대학교	4
영남대학교	4
우석대학교	2
울산대학교	2
이화여자대학교	7
인하대학교	3
농축산용미생물산업육성지원센터	1

전남대학교 산학협력단	1
전북대학교	12
제주대학교 산학협력단	1
중앙대학교	3
질병관리본부	2
한국과학기술원	2
한국기초과학지원연구원	1
한국보훈복지의료공단중앙보훈병원	1
한국생명공학연구원	11
한국식품연구원	1
세계김치연구소	1
한국원자력연구원	2
한국의과학연구원	2
한림대학교	8
한양대학교	9
(주)비피도	2
(주)네비팜	2
(주)지놈앤컴퍼니	2
(주)천랩	7
매일유업(주)	1
유바이오텍	1
총 46개 기관	157 개

2.3 마이크로바이옴 산업 현황과 전망

2.3.1 국내외 시장동향

2.3.1.1 인체 마이크로바이옴

- Markets and Markets Research 사에 따르면, 인체 마이크로바이옴 시장은 2022년 506.5백만 달러에서 연평균 21.1%로 성장하여 2025년 8억 9,110만 달러에 이를 것으로 전망됨.

[표 2-12] 제품별 세계 휴먼 마이크로바이옴 시장 예측 (2022-2025)

(USD MILLION)

Products	2019	2020	2021	2022	2025	CAGR% (2022-2025)
Probiotics	64.1	80.4	180.8	226.4	429.3	23.8
Prebiotics	14.6	18.6	41.9	52.9	103.0	24.9
Foods	51.5	60.5	127.9	150.2	233.6	15.9
Medical Food	11.4	14.3	31.5	38.8	71.9	22.8
Other Probiotic Supplements	5.9	6.7	13.8	15.7	23.9	14.9
Devices	-	-	1.9	2.3	4.2	22.0
Drugs	6.5	7.9	16.7	20.1	33.2	18.3
Total	154.0	188.4	414.5	506.5	899.1	21.1

출처: Markets and markets

- 인체 마이크로바이옴 시장은 치료제(치료 및 Nutraceuticals 포함) 및 진단 분야로 광범위하게 분류될 수 있으며, BCC Research는 2024년까지 95%의 시장점유율을 차지하는 치료제 분야를 선두 분야로 예상함.

[표 2-13] 응용분야별 세계 휴먼 마이크로바이옴 시장 예측

(USD MILLION)

Application	2019	2020	2021	2022	2025	CAGR% (2022-2025)
Therapeutics	154.0	188.4	408.6	499.8	882.2	20.8
Diagnostics	-	-	5.9	6.6	16.9	30.2*
Total	154.0	188.4	414.5	506.5	899.1	21.1

출처: Markets and markets

- 제품 분류는 치료제, 프리바이오틱스, 프로바이오틱스, 식품, 기타 보충제 및 장치로 나누어지며, 프리바이오틱스와 프로바이오틱스(주로 유산균을 포함하고 있음)는 이미 건강 기능 식품 분야에서 수십억 달러의 시장을 형성하고 있음.
 - 예를 들어 체중 조절 시장은 미국에서만 600억 달러에 달하며 프로바이

오믹스를 함유한 제품은 그 절반 이상을 차지함. 현재 이러한 제너릭 제품은 장내 미생물 분석을 기반으로 개발된 제품으로 개발된 것이 아님. 따라서 앞으로는 식품과 의약품 사이의 간격을 메우는 맞춤형 Nutraceuticals 개발을 위한 마이크로바이옴 기술에 대한 관심이 증가 할 것임

- 전체 Nutraceuticals 시장은 2015년 123억 달러 규모로 추정되며 2025년까지 연평균 6.9%씩 성장할 것으로 예상됨. 이 시장 기회를 간과하지 않은 회사로는 Nestlé Health Science에 10억 달러를 투자 한 Danone과 2011년 12억 달러 이상의 매출을 기록한 Nutricia의 Medical Nutrition 사업부가 있으며, 두 기업 모두 마이크로바이옴 기반 Nutraceuticals을 시장에 출시하기 위해 적극적으로 연구 개발을 수행하고 있음

- 마이크로바이옴 연구는 차세대 염기서열 분석(Next Generation Sequencing, NGS) 기술과 메타게노믹스 기술 개발로 크게 가속화되었으며, 배양과정 없이 시료의 미생물 군집에 대한 정보를 얻을 수 있게 되었음.
- NGS 기술은 체내 미생물 검사 및 위장관 장애 관련 진단에 매우 중요하며, 인체 마이크로바이옴 기반 진단 시장은 이제 마이크로바이옴 기반 치료제 시장의 요구에 의해 주도될 것으로 예상됨.
- BCC Research는 인체 마이크로바이옴 기반 진단 시장이 미국에서 3억 9,200만 달러, 나머지 지역에서 2억 2,500만 달러에 달할 것으로 예상하고 있으며, 그 중 절반 이상이 위장 장애 진단용 제품임.
- 마이크로바이옴 진단 시장 점유율은 치료제 분야보다 훨씬 적지만 NGS 기술은 다른 관련 시장에서도 적용될 수 있음. 예를 들어, 세계 미생물 분야에서 NGS 기술 시장 부문은 2015년 37억 달러에서 연평균 6.1%로 성장하여 2020년 약 49억 달러 규모를 형성할 것으로 전망됨.
- 인체 마이크로바이옴 시장은 BCC Research의 전세계 시장 수치를 기반으로 아래와 같이 질병에 따라 시장을 분류할 수 있으며, 시장을 주도하는 가장 큰 부문은 위장관 장애(35.8%), 희귀질환(28%) 및 암(13%)과 관련된 질병임.

[표 2-14] 인체 마이크로바이옴 기반 치료제 시장규모 및 전망

Disease Area	Human Microbiome Drugs - Global Market Value (\$ million)								CAGR % 2021-2024
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
Cancer					262.6	530.9	772.1	1222.6	67.0
Obesity						146	208.9	301.5	
Type-2 diabetes		14.3	44.4	121.7	174.5	213.5	589.7	704.5	59.2
Ulcerative colitis				75.6	260.8	566.2	914.8	1179.7	65.4
Crohn's disease				76.4	153.5	481.2	657.3	814.7	74.4
C Difficile infection		42	76.1	225.1	388.4	517.8	739.1	979.1	36.1
Lactose intolerance				47.8	68.9	142	181.4	224.2	48.2
Dental caries			79.4	130.3	167	293.4	313.4	321.3	24.4
Recurrent bacterial vaginosis and UTI					42.1	86.7	159.6	197.3	67.3
Skin disorders			21.6	44.6	131.1	169	400.3	575.7	63.8
Hyperoxaluria					131.2	253.5	405.4	551.9	
Celiac disease							87	161.5	
Urea cycle disorder							65.3	134.5	
Phenylketonuria							261.2	639.1	
Non-alcoholic steatohepatitis					114.2	336.1	465.1	832.4	93.9
Hepatic encephalopathy							261.1	478.7	
Total		56.3	221.5	721.5	1894.3	3736.3	6481.7	9318.7	70.1

출처: BCC Research, (2016) Global Markets for Microbiology Technology, Equipment and Consumables / (2015) Next-Generation Sequencing: Emerging Clinical Applications and Global Markets

- 마이크로바이옴 신약 승인과 관련해서는 2020년 초반에서 중반에 가능할 것으로 예측되며, 미국에서는 마약 및 진단 분야에서 가장 큰 시장이 될 것으로 전망되고, 유럽에서는 문화적으로 다양한 프리바이오틱스, 프로바이오틱스 및 기타 식품 보조제를 쉽게 수용하기 때문에 미생물 균형을 유지하기 위한 식품 및 음료 분야가 가장 큰 시장이 될 것으로 예상됨.

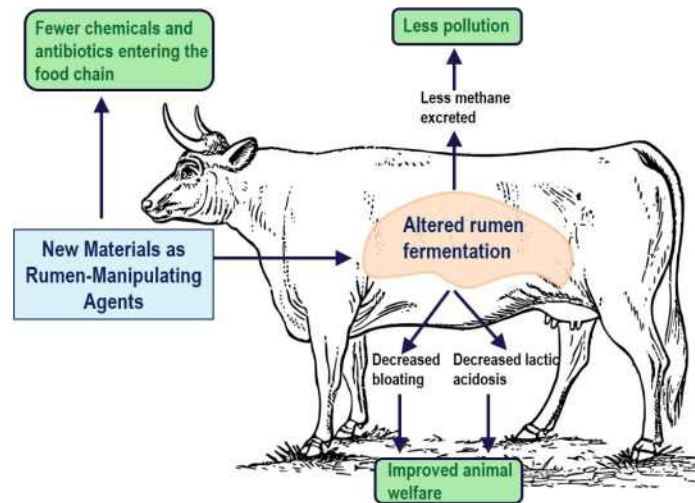
2.3.1.2 동물 마이크로바이옴

□ 시장동향

- 동물 마이크로바이옴 분야는 현재 연구가 활발히 수행되고 있으나 산업적

으로는 아직 초기 단계에 있으며 사료 첨가제 위주로 큰 시장이 형성될 것으로 예상되고 있음.

- 사료 첨가제 시장은 2016년 135억 달러였으며, 연평균 1.3%(CAGR)로 성장하여 2021년 145억에 달할 것으로 전망됨. 산업동물의 시장 점유율은 82%로 대다수를 차지하고 반려동물 시장이 18%를 차지하고 있음.
- 반추동물의 마이크로바이옴에 영향을 주어 메탄 생성을 감소시킬 수 있는 사료 첨가제가 개발되어 환경개선에 좋은 영향이 기대됨.



[그림 2-1] 반추 동물을 위한 미생물 기반 사료 첨가제의 이점

- Research and Markets 발표에 따르면, 동물사료 시장에서 글로벌 프로바이오틱스는 향후 10년간 연평균 7.9%로 성장하여, 2025년 약 67억 3천만 달러에 달할 것으로 전망됨. 가축 시장을 넘어 반려동물과 말 산업에서도 수요가 있을 것으로 예상됨
- 반려동물 진단 시장은 2021년까지 연평균 8.4%로 성장하여 45억 달러를 초과할 것으로 예상되며, 반려동물 사료시장은 2010년 660억 달러에서 2017년 960억 달러에 이르렀음.
- 시장 리서치 Packaged Facts 보고에 따르면, 반려동물사료제품의 7%가 프

로바이오틱스를 함유하고 있고, 반려동물 보충제에 대한 미국인의 지출은 2014년 7억 5천만 달러에서 2017년 10억 달러로 증가할 것이라고 보고하였음.

- 어업분야에서는 수요와 공급 간의 부족함을 대체하기 위해 양식업이 발달함에 따라 양식사료 시장이 연평균 10% 성장하여 연 500억 파운드에 달하고 있으며 이중 양식사료 첨가제 시장은 약 10억 파운드에 달하는 것으로 추정됨.
- 2016년 172억 달러에서 연평균 4.5%로 성장하여 2021년 215억 달러를 초과할 것으로 예상되는 동물 의약품 세계 시장은 신흥시장이 주요 성장 드라이버 역할을 하고 있음. 이에 앞으로는 동물 마이크로바이옴에 기반을 둔 신제품 연구는 성장 시장을 대표하는 수익성이 높은 신규 동물 의약품으로 이어질 수 있을 것임.

□ 지속가능한 농업

- 세계적으로 우유와 고기에 대한 수요가 지속적으로 증가함에 따라, 고기소(육우)와 젖소 사육두수가 크게 증가하면서 주요 지구 온난화 원인 물질 중의 하나인 메탄 발생의 증가를 가져오고 있으므로 이의 환경 영향에 대한 면밀한 조사가 진행되고 있으며, **메탄 발생량을 줄일 수 있는 마이크로바이옴의 조절에 기반을 둔 축산기술의 개발 필요성이 대두되고 있음.**
- 전 세계적으로 반추 동물의 가축은 연간 8천만 톤의 메탄을 생산하며, 이는 인간 관련 활동으로부터 발생하는 총 메탄 발생량의 약 28%를 차지함.
- 급속도로 부상하는 신흥 경제국에서 육류 소비 증가로 인해 육류 생산량은 2050년까지 현재의 2배가 되어야 하며, 이는 환경에 상당한 부정적 영향을 미칠 것임.
- 가축 장내에서 메탄의 생산을 통해 에너지가 손실되기 때문에 이를 줄일 경우 생산 효율성을 높일 수 있으므로 음식과 위장 마이크로바이옴의 상호작용을 연구하여 이를 개선 할 수 있는 방법을 찾고 있음.

- 유럽은 이미 동물 미생물 연구의 잠재력에 중점을 두고 11개 유럽 단체의 협력으로 770만 유로의 4년 프로젝트 EU FP7 Project RuminOmics를 추진하여, 어떻게 반추동물의 미생물이 그들의 식이 및 유전적 요인에 의해 통제되는지, 그리고 이것이 메탄생산에 어떤 영향을 미치는지를 이해하기 위한 연구를 수행하고 있음. 이는 축산업에서 메탄 및 질소 배출을 감소시키는데 기여 할 수 있는 기술개발을 이끌 것으로 기대됨.

□ 동물 건강과 복지

- 인간과 마찬가지로 동물과 미생물 간의 상호 작용은 감염에 대한 민감성 및 치료에 대한 반응과 같은 동물 건강에 중요한 역할을 할 것이나 아직 동물의 건강, 질병 감수성 및 대사 변화에 미치는 미생물 군의 영향에 관한 포괄적인 연구가 부족한 실정임.
- 동물의 여러 장기에서 숙주와 미생물의 상호작용 관찰을 통해서 미생물이 어떻게 면역계와 상호 작용하는지와, 질병의 시작 및 또는 악화에 기여하는지에 대한 질병의 병리생리학에 대해 이해할 수 있으며 이를 바탕으로 미생물 군집과 그 생성 대사산물의 조절을 목표로 한 치료법 개발로 이어질 수 있음.
- 오늘날의 반려동물인 개와 고양이는 식이 및 위장관 미생물에 의해 영향을 받을 수 있는 인간에 존재하는 많은 동일한 질병(비만, 당뇨, 염증성 장 질환)으로 고통을 받고 있음. 연구에 따르면 동물 미생물은 영양 보충, 환경 변화에 대한 내성, 면역 체계의 유지 및 발달에 영향을 미침.
- 인간과의 근접성을 고려하면, 반려 동물의 마이크로바이옴 연구는 반려 동물 영양 및 수의관리의료업의 개선을 이끌 뿐만 아니라 인간의 대사, 질병 및 공중보건과 관련하여 숙주-미생물 상호작용에 대한 이해를 향상시킬 수 있음.
- 질병이나 다른 건강 지표의 예방 및 조기 발견은 농축산업에서 핵심기술인데 새로운 분자 플랫폼의 등장으로 “웰빙” 미생물 지표는 가축 동물을 모니터링하고 그들의 위험을 식별하는데 사용될 수 있음. 특히 소화관 미생물을 대상으로 하는 종 특이적 치료법은 동물의 질병을 치료할 수 있는

표적과 해결책을 제공할 수 있음.

- Penn Vet Centre for Host-Microbial Interactions(CHMI)는 동물 건강에 대한 미생물의 역할과 바이러스, 기생충 및 박테리아가 동물 건강에 미치는 영향을 조사하고 있음.
- 동물 건강에서 유익한 미생물은 항생제를 줄이거나 대체할 수 있는데 살균 효과가 있는 항생제와 달리, 직접 공급된 미생물은 장내 미생물의 변화, 장의 효율성 증대 및 숙주 면역 반응의 조절에 대한 역할을 수행함.
- 최근 7개의 저널에서 가축에 대한 직접 먹이 미생물 사용에 관한 약 1,250개의 연구논문이 확인되었는데 일부 회사는 이미 관련 제품을 마케팅하고 있음. 예로써 EpiBiome은 미생물 내에서 특정 균주를 없애는 파지요법(phage therapy)을 개발하여 소의 유방염을 치료할 수 있는 phage 혼합제를 생산하고 있음.
- 사료 내 프로바이오틱스에 대한 수요는 다국적 기업인 Alltech사와 같은 몇몇 기업에서 수행되고 있는데 Alltech사의 특정 효모 균주에서 유래한 Bio-Mos 제품은 젖소의 우유 생산량과 전반적인 동물 성능을 향상시키는데 도움을 줌.
- 2012년 Biomer(영국)사는 모든 양식 중에서 생선 애벌레와 기형 유발로부터 새끼 물고기를 보호하기 위해 프로바이오틱스가 포함된 최초의 양어 사료 범위(LARVIVA)를 런칭 하였음. 모든 LARVIVA 식이는 빠른 성장과 건강 및 안정적인 양식을 제공하는 EFSA에 의해 승인된 프로바이오틱 Bactocell이 포함되어 있음.
- Nestle의 Purina Petcare와 같은 대기업 연구를 포함하여 동물의 식이와 미생물의 관계에 관한 많은 연구가 발표되고 있음. 소비자가 대변 샘플에서 박테리아를 식별 할 수 있도록 개발된 진단 DNA sequencing 플랫폼의 규명 또한 동물 미생물 산업에서도 사용되고 있고, Animalbiome(미국)은 반려동물의 소유자가 자신의 반려동물의 장내 박테리아의 상태를 이해하고 이에 상응하는 식이와 생활방식을 선택할 수 있도록 하는 서비스를 제공하고 있음.

□ 신규 효소원

- 동물 내장에 있는 미생물은 신체의 다른 부위에 있는 미생물과 마찬가지로 여러 산업 시장에서 응용 가능한 새로운 효소 및 활성 분자의 좋은 공급원이 될 수 있음. 소화관의 미생물은 식품 및 물질의 분해 및 소화를 돕는 것으로 알려져 있어 특히 중요함. 예로, 특정 식물을 소화 할 수 있는 미생물은 바이오 연료 산업에 큰 가치가 있을 수 있으며 관련 프로젝트는 이미 전 세계적으로 진행되고 있음.
- 에너지생물과학 연구소(Energy Biosciences Institute)의 지원을 받아 미 에너지부 공동 게놈 연구소(U.S. Department of Energy Joint Genome Institute)의 연구자들은 대규모 DNA 서열분석을 통해(유전코드 2,700억 개), 소의 제1위에서 분리한 식물분해소화 미생물의 유전자와 게놈을 분석하였음. 확인된 30,000개의 유전자 중 상당 부분은 바이오 연료 연구자에게 새로운 효소를 제공할 수 있음.
- Metagenomic 접근뿐만 아니라 더 많은 동물 게놈의 서열분석은 동물 내장 마이크로바이옴에서 산업적으로 적용할 수 있는 신규효소 발굴에 큰 도움이 될 것으로 예상됨.

□ 축산 생산성

- 장내 불균형의 최소화, 생산성 및 사료효율의 극대화, 인간 식품안정성 유지와 같은 오늘날의 생산자(특히 돼지)가 직면한 많은 과제는 위장 미생물 및 그 관리와 관련이 있으며 이에 대해서는 복합생균제와 마찬가지로 프리 및 프로바이오틱스가 솔루션을 제공할 수 있지만, 근본적인 해결책을 찾기 위해서는 마이크로바이옴 연구에 상당한 투자가 필요할 것임.
- 가축에게 성장촉진 항생제의 금지 조치는 가축의 건강과 성장 잠재력을 높일 수 있는 사료 및 사료첨가제의 개발 필요성을 증대 시키고 있으며 장내 마이크로바이옴 연구는 큰 도움이 될 수 있을 것임.
- Phytase, amylase, non-starch polysaccharide(NSP) 분해 효소 및 프로테아제

와 같은 사료 효소는 식이로부터 프리바이오틱스 생산물을 증가시키고, 항 영양 성분의 감소 및 기질 소화를 개선시킴으로써 돼지 및 가금류의 장 건강을 촉진하기 위해 사용되어 왔으며 현재까지는 이들 사료 효소들은 동물 성장촉진에 긍정적인 효과를 나타내었음.

- 프로바이오틱스 투여는 동물 마이크로바이옴 개선에 효과적이고 감염성 질환을 치료하는 것 외에도, 성장 속도를 증진시키는데 사용될 수 있음. 예를 들어, 닭에 대한 *B. subtilis* CH16의 투여는 증체효과를 가져왔음.

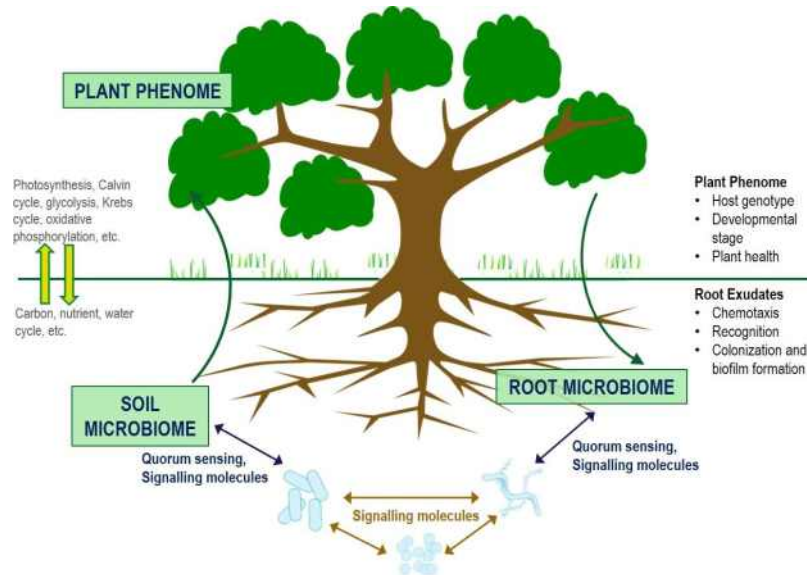
2.3.1.3 식물 마이크로바이옴

- 농업에서의 미생물 제품의 시장은 빠르게 성장하고 있으며, 완전히 새로운 시장 기회를 창출하고, 경제 성장을 촉진할 수 있는 큰 잠재력을 가지고 있음.
- Monsanto 사에 따르면 농업에서 생물제품의 총 시장가치는 약 29억 달러로 이 중에서 미생물제품 시장은 18억 달러로 추정됨. 또한 연간 20억 달러 이상을 차지하는 바이오 살충제 중에서 미생물제품이 시장의 50% 이상을 차지하고 있음. 일부 시장예측에 따르면 농업에서 생물제품의 매출은 일반적으로 10년 내 50억 달러를 초과할 수 있을 것으로 예상하고 있음.

□ 식품 생산 및 안전

- Phytobiome(식물과 토양 마이크로바이옴) 모델은 아래 그림과 같음. 식물 및 환경 미생물의 조절은 식량의 생산성과 영양분의 안전을 지속적으로 증가시켜주는 도구가 되고 있음.
- 지속적으로 증가하는 식량수요를 충족시키기 위해서는 농장 생산성이 2050년까지 70%가 증가해야 하나 지속적인 토지 황폐화와 경작지 축소가 문제 해결을 더욱 어렵게 하고 있음.
- 또한, 기후 변화, 고가의 비료 비용, 토양의 황폐화는 마이크로바이옴과 같은 지속 가능한 천연 자원의 활용을 촉진시키고 있음.

- 미생물은 토양 비옥도를 향상시키고, 양분 흡수를 개선시키며, 해충과 질병에 대한 식물의 저항력을 강화시키고 식물이 온도 변화를 견딜 수 있도록 도움.



[그림 2-2] Phytobiome: 식물 및 토양 미생물 세계

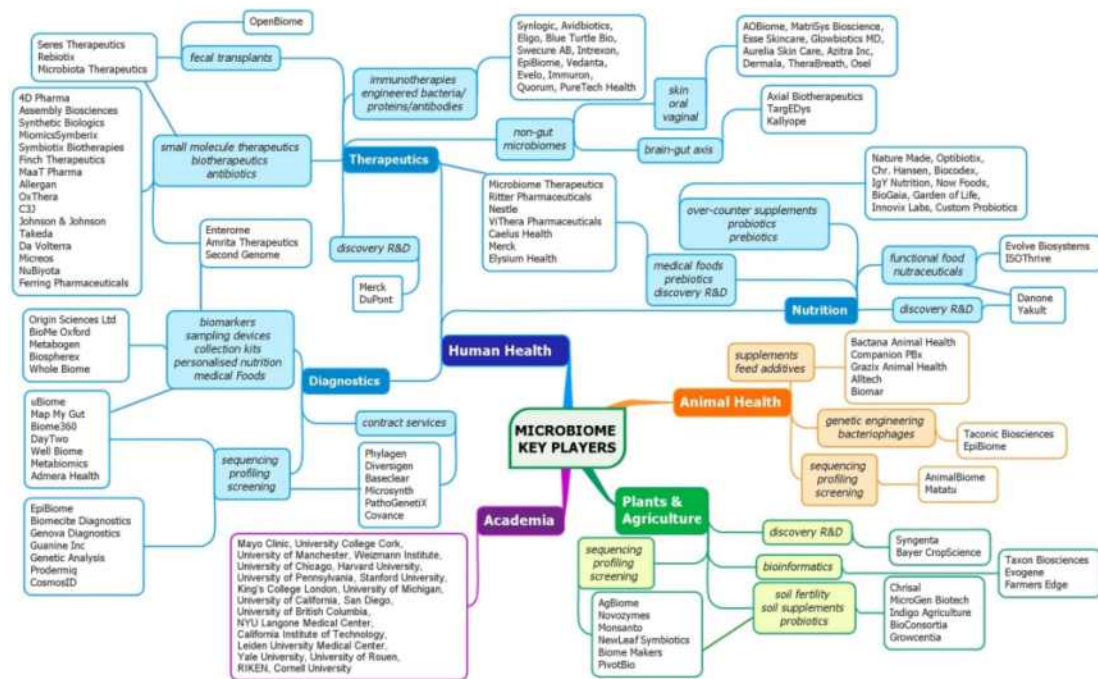
- 대부분의 농업 회사들은 식물 미생물을 이용하여 작물 수확량을 늘리는 것을 목표로 생물학적 제제 개발을 진행하고 있음. 대부분의 회사에서는 다양한 농경 환경에서 수천가지 미생물을 스크리닝 하는 효과적인 방법을 찾고 있음. 따라서 성공의 핵심 요소는 올바른 분리 및 제품 개발 방식을 선택하는 것임.
- 대부분의 생물학적 제제는 식물 건강을 증진시키고, 스트레스(생물 및 비생물 모두)를 줄여줌으로써 수확량을 증가시킬 수 있는 부분에 초점을 맞추고 있으나, 많은 경우 시장 기회는 농약사용의 필요성을 줄여주는 데에 있음.
- Indigo Agriculture(미국 기반 Agbio회사)는 식물성장을 촉진시키고 해충을 예방하는 미생물이 코팅된 종자를 개발하기 위해 40,000개 이상의 미생물을 시퀀싱하여 얻은 정보를 활용하여 종자 처리를 통해 식물에 유익한 미생물을 도입함으로써 건조 조건에서도 작물성장을 촉진하도록 고안된 최초의 상용화 제품인 Indigo Cotton을 개발하였음. 씨앗에서 싹이 트면 식물

내부로 미생물이 흡수되고, 번식하도록 개발된 Indigo Cotton은 건조 스트레스 조건에서 코팅되지 않은 종자에 비해 10% 더 많은 작물을 생산하였음.

- 이외에 Bayer Crop Sciences는 모종의 조기 손상을 방지하고 해충이 공격하기 전에 뿌리가 자라도록 하는 종자 처리 Poncho/Votivo를 판매함. 이 제제는 검정야도충, 애벌레, 진딧물과 같은 해충으로부터 옥수수, 콩 및 면화를 보호하는 전신 살충제와 *Bacillus thuringiensis* 첨가제를 포함하고 있음.
- FMC and Chr. Hansen은 사탕수수 뿌리 처리를 위해 *Bacillus subtilis*와 *Bacillus licheniformis*가 혼합된 Nemix C를 공동 개발함. 최근 브라질에서 출시된 NemixC는 수확량을 증가시키고, 선충류의 공격에 대한 저항성을 증진시킴.
- Novozymes사의 Met52는 병원성 균류인 *Metarhizium anisopliaem*의 포자를 포함하는 생물학적 살충제 균류로 이미 수백만 에이커에 사용되고 있음.
- 미생물 기반 솔루션이 기존의 농약보다 효율적으로 사용되기까지는 수년이 더 걸리겠지만, 정부기관 및 관련업계의 투자 증가는 많은 신생 업체와 결합하여 가까운 미래에 많은 농업용 미생물 제품의 개발을 가져올 것으로 기대됨.
- Phytobiome을 이용하는 생물학적 제제와 생물농약의 산업적 적용은 특정 경작지의 미생물과 영양 상태를 정확하게 분석한 다음 개별적인 접근방식으로 처리하는 방식으로 수행하여 작물보호 및 성장증진 효과를 얻을 수 있을 것임.
- 이것은 특정 세균, 곰팡이 또는 다른 미생물을 농작물에 주입하여 씨앗에 독특한 코팅을 하는 미생물 접종제를 농업에 적용시키는 모든 것을 의미하며, 이러한 모델은 농민들이 미생물 형질을 이용하여 농작물의 생산성을 최적화함과 동시에 비싸고 지속 불가능한 농약의 사용을 줄이는 것을 목표로 함.

2.3.1.4 마이크로바이옴 시장 참여자

- 현재 마이크로바이옴 시장 참여자에는 초기 단계의 미생물 신약 또는 Nutraceuticals 파이프라인을 갖춘 신생기업들이 많으며, 투자자 또는 대기업으로부터 막대한 자금을 지원 받아 광범위한 파이프라인 포트폴리오와 획기적인 기술을 보유한 일부 중소기업도 있고, 자체적으로 전문적인 미생물 개발팀을 갖고 중소기업과의 협력을 통해 폭넓은 기술을 개발하고 있는 소수의 다국적 기업도 있음.
- 동물건강 분야는 현재 각기 다른 기술을 연구하는 소수의 중소기업들만이 참여하여, 혼잡한 분야가 아니고, 식물과 농업분야의 주요 기업은 주로 중소기업으로 일부는 대규모 투자에 힘입어 플랫폼 미생물 제품을 개발하고 있음.



[그림 2-3] 마이크로바이옴 산업의 주요 시장 참여자

2.3.2 국내외 특허현황

2.3.2.1 특허분석 기준

□ 분석 범위

- 마이크로바이옴 분야를 특허분석대상으로 하였으며, 본 기술 분야의 특허 동향을 파악하기 위해 1998년 9월 1일부터 2018년 8월 30일까지의 한국, 일본, 미국, 유럽 특허를 분석대상으로 함.

<국가별 분석 구간>

자료 구분	국가	전체분석구간
공개·등록특허 (출원일 기준)	한국	1998.09.01 ~ 2018.08.30(검색일)
	미국	1998.09.01 ~ 2018.08.30(검색일)
	일본	1998.09.01 ~ 2018.08.30(검색일)
	유럽	1998.09.01 ~ 2018.08.30(검색일)

□ 분석 기준 및 키워드

<특허 검색 기술 분류>

타깃 물질	
동물 마이크로바이옴	microbial communities, intestinal microbota, gut microbiome, gut microbota, microflora, ruminant microbiome, gastrointestinal microbota, virome, rumen microbiome, swine gut
식물 마이크로바이옴	phytobiome, microbial ecosystems, plant microbiome, soil microbiome, environmental microbiome, plant-microbe interactions, Rhizosphere microorganisms, Phyllosphere microorganisms

인체 마이크로바이옴	microbial communities, intestinal microbita, gut microbiome, gut microbita, microflora, collective genomes, microbiome-based, mucosa-associated microbiome, stool bank, pharmabiotics, Probiotics, prebiotics, postbiotic Microbiome-Host Interaction, Skin Microbiota, oral microbiome, urinary microbiome, Faecal microbiota transplant
마이크로바이옴 연구 기술	strict unaerobic culture, culturomics, synthetic microbiome, long term preservation

○ 기술 분류된 4개의 마이크로바이옴 분야로 기술범위를 나누고 검색식을 작성함.

<분석대상 기술범위 및 키워드>

분류	영문 검색식	국문 검색식
동물 마이크로바이옴	(animal* livestock* mice* rats* broiler* swine* cow* horse* dog* chicken*) and (microbiome* microflora* microbiota* micro-biota* micro-flora* metagenome* (gut adj microorganism*) (gut adj microb*) (intestinal adj microorganism*) (gastrointestinal adj microb*) (rumen adj microb*) (rumen adj microorganism*) (gastrointestinal adj microorganism*) (intestinal adj microb*) (skin adj microb*) (skin adj microorganism*) (oral adj microb*) (oral adj microorganism*) (microbial adj communit*) (collective adj genome*)(stool adj bank*) (fecal adj microorganism*) (fecal adj microb*) probiotics* prebiotics* postbiotic* pharmabiotics*) (microb* adj consorti**))	((동물* 가축* 축산* 돼지* 닭* 계돈*) and (마이크로바이옴* 마이크로비옴* 마이크로바이옴* 마이크로비옴* (마이크로 adj (바이옴* 바이옴* 비옴* 비옴**)) 미생물군* 장내미생물* 내장미생물* (장 adj 내 adj 미생물*) 장내세균* 프로바이오틱스* 프리바이오틱스* 파마바이오틱스* 피부미생물* 구강미생물* 분변미생물* (피부 adj 미생물*) (구강 adj 미생물*) (반추위 adj 미생물*) (분변 adj 미생물*) 메타게놈* 메타지놈* (집단 adj 유전*)) (소* adj (장내 분변 반추위) adj 미생물*) (말* adj (장내 분변) adj 미생물*) (개* adj (장내 분변) adj 미생물*))
식물 마이크로바이옴	((Plant* crop* vegetable* Rhizosphere* phyllosphere* soil* agricultur* farming*) and (microbiome* microflora* microbiota* micro-biota* micro-flora* (microbe adj interaction*) (microbial adj	((식물* 작물* 토양* 근권* 엽권* 농업*) and (마이크로바이옴* 마이크로비옴* 마이크로바이옴* 마이크로비옴* (마이크로 adj (바이옴* 바이옴* 비옴* 비옴**)) 피토티옴* 피토티옴* 피토티옴* 피토티옴*

		communit*) (collective adj genome*) probiotics* prebiotics* postbiotic* pharmabiotics* (microb* adj consorti*) (Rhizosphere adj microorganism*) (phyllosphere adj microorganism*)	프로바이오틱스* 프리바이오틱스* 파마바이오틱스* 미생물군*)
인체 마이크로바이옴		human*) and (microbiome* microflora* microbiota* micro-biota* micro-flora* metagenome* (gut adj microorganism*) (gut adj microb*) (intestinal adj microorganism*) (intestinal adj microb*) (skin adj microb*) (skin adj microorganism*) (oral adj microb*) (oral adj microorganism*) (microbial adj communit*) (collective adj genome*)(stool adj bank*) (fecal adj microorganism*) (fecal adj microb*) probiotics* prebiotics* postbiotic* pharmabiotics* (bacterial adj population*))	(인간* 인체* 휴먼* 사람*) and (마이크로바이옴* 마이크로비옴* 마이크로바이옴* 마이크로비옴* (마이크로 adj (바이옴* 바이옴* 비옴* 비옴*)) 미생물군* 메타지놈* 메타게놈* 장내미생물* 내장미생물* (장 adj 내 adj 미생물*) 장내세균* 프로바이오틱스* 프리바이오틱스* 피부미생물* 구강미생물* 구강내미생물* 분변미생물* (피부 adj 미생물*) (구강 adj 미생물*) (분변 adj 미생물*) 메타게놈* 메타지놈* (집단 adj 유전*))
마이크로바이옴 연구 기술	절대혐 기성세 균배양 기술	(culture* incubat*) and ((strict adj anaerob*) (obligate adj anaerob*)) and (microb* microorganism* bacteria* virus* fung*)	(배양*) and (절대혐기성* (절대 adj 혐기성*)) and (미생물* 박테리아* 바이러스* 곰팡이* 세균*)
	미생물 동정 및 배양	(microb* microorganism* bacteria* virus* fung*) and (HTS* (High-throughput adj technology*) (highthroughput adj technology*) (high adj throughput adj technology*))	(미생물* 박테리아* 바이러스* 곰팡이* 세균*) and (대량신속처리* 대량원료처리* 고속원료처리* (highthroughput adj technology*) (high adj throughput adj technology*))
	미생물 보존	(synthetic adj microbiome*) (synthetic adj microb*) (syntehtic adj microorganism*)	(합성 adj 마이크로바이옴*) (합성 adj 마이크로바이옴*) (합성 adj 마이크로 adj 바이옴*) (합성 adj 마이크로 adj 바이옴*) (합성 adj 마이크로 adj 비옴*) (합성 adj 마이크로 adj 비옴*) (합성미생물*)
	합성 microb iome	(microbiome* microb* microorganism* (micro adj organism*)) adj (preservation*)	(마이크로바이옴* 미생물*) adj (보존*)

○ 검색식으로 검색된 특허를 대상으로 노이즈 제거를 수행하여 유효건수를 도출하였으며, 아래와 같이 세부기술 분류를 실시하였음. 특허 동향 분석은 유효건을 대상으로 진행하였으며 공개, 등록건수를 대상으로 분석하였음.

<특허 검색 기술 분류>

타깃 물질	
동물 마이크로바이옴	지속가능한 농업(Sustainable Farming)
	동물의 건강(Animal Health and Welfare)
	유용 유전자원 탐색, 효소 발굴(Enzyme Discovery)
	축산 생산성(Livestock Productivity)
	기타
식물 마이크로바이옴	인체건강 (Food production, Food Security, Human care)
	작물 보호 (Crop Protection) (토양 병 발생 억제(병원균), 생물농약)
	작물 생산성 (Crop productivity) (저항성 증진, 면역력 증가)
	기타 (잡초제거, 토양오염 물질정화)
인체 마이크로바이옴	치료제(Therapeutics)
	식품과 영양(Food & Nutrition)
	진단(Diagnostics)
	기타
마이크로바이옴 연구 기술	절대혐기성세균배양기술
	미생물 동정 및 배양
	미생물 보존
	합성 microbiome

□ 특허 검색 결과

[표 2-15] 분류별 특허 검색 결과

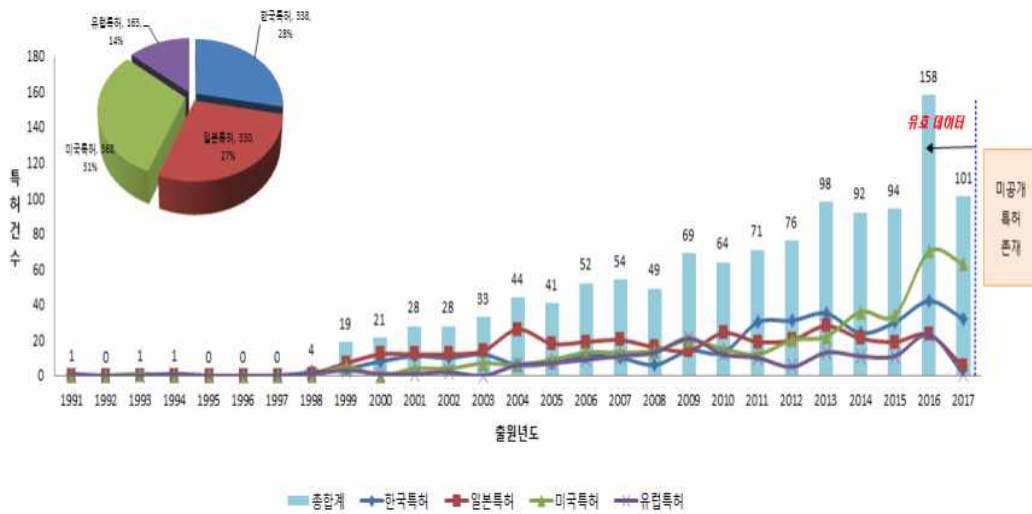
대상		검색건수	유효건수
인체 마이크로바이옴	한국(KR)	154	90
	일본(JP)	350	94
	미국(US)	325	185
	유럽(EU)	121	74
Total		950	443
식물 마이크로바이옴	한국(KR)	199	46
	일본(JP)	154	54
	미국(US)	134	30
	유럽(EU)	69	23
Total		556	153
동물 마이크로바이옴	한국(KR)	295	178
	일본(JP)	406	142
	미국(US)	308	127
	유럽(EU)	141	60
Total		1,150	505
마이크로바이옴 연구 기술	한국(KR)	108	35
	일본(JP)	40	41
	미국(US)	39	35
	유럽(EU)	19	10
Total		206	122
총합		2,862	1,223

2.3.2.2 특허 분석 결과

□ 전 세계 마이크로바이옴 분야의 동향

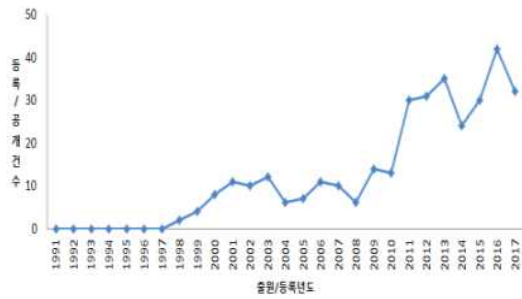
○ 전 세계 출원국가별 특허 동향

- 전 세계 출원 국가별로 살펴보면, 미국은 주요 특허 출원 국가 중에서 약 31%로 가장 높은 특허 출원 비율을 가지고 있는 것으로 분석되며, 다음으로는 한국 28%, 일본 27%, 유럽 14%의 특허출원 활동을 보이고 있음



[그림 2-4] 전 세계 마이크로바이옴 특허 동향

<KR> <JP>

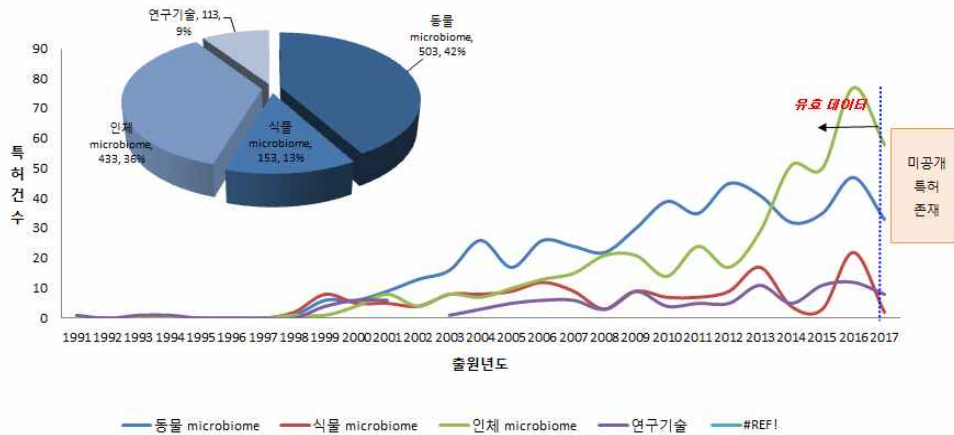


<US> <EP>



[그림 2-5] 주요 국가별 마이크로바이옴 특허 동향

- 기술 분야별(동물 마이크로바이옴, 식물 마이크로바이옴, 인체 마이크로바이옴, 연구 기술) 출원 점유율
 - 기술 분야별 출원 점유율을 살펴보면, 동물 마이크로바이옴 분야가 42%로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 다음으로는 인체 마이크로바이옴 36%, 식물 마이크로바이옴 1%, 연구기술 9%를 차지하고 있음



[그림 2-6] 기술 분야별 마이크로바이옴 특허 점유율

□ 인체 마이크로바이옴 분야의 동향

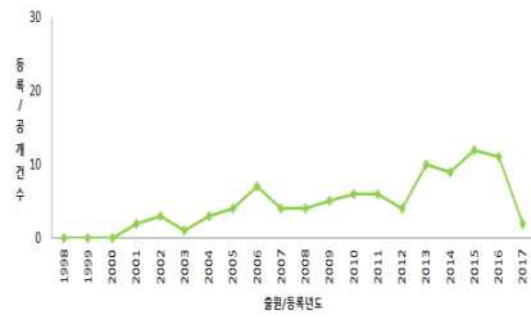
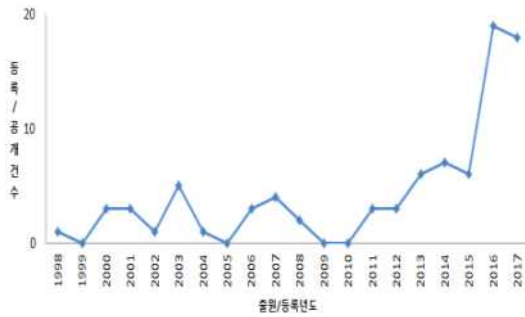
○ 전 세계 출원국가별 특허 동향

- 전 세계 출원 국가별로 살펴보면, 미국은 주요 특허 출원 국가 중에서 약 42%로 가장 높은 특허 출원 비율을 가지고 있는 것으로 분석되며, 다음으로는 일본 21%, 한국 20%, 유럽 17%의 특허출원 활동을 보이고 있음

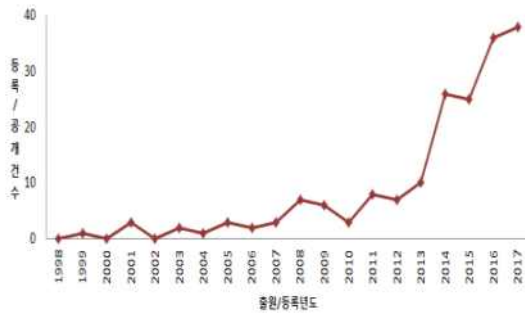


[그림 2-7] 전 세계 인체 마이크로바이옴 특허 동향

<KR> <JP>



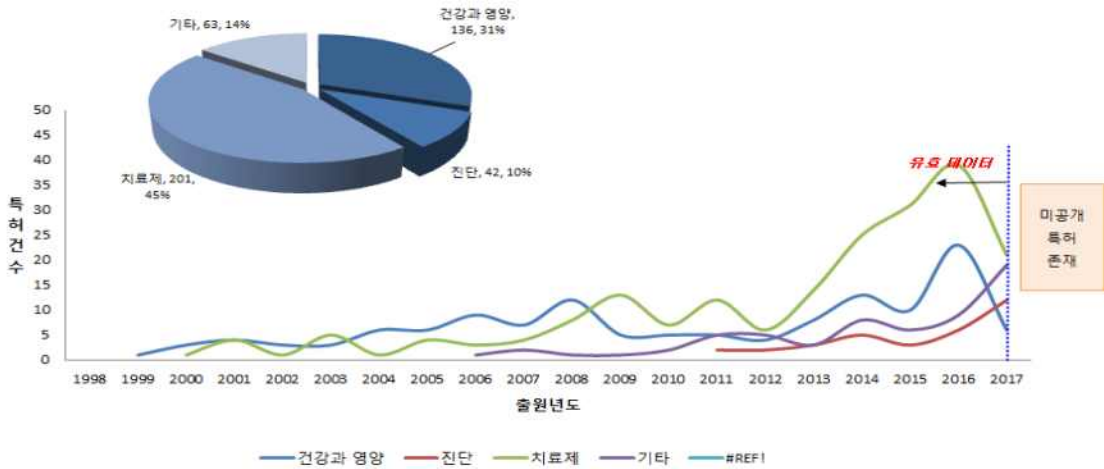
<US> <EP>



[그림 2-8] 주요 국가별 인체 마이크로바이옴 특허 동향

○ 기술 분야별 출원 점유율

- 기술 분야별 출원 점유율을 살펴보면, 치료제 분야가 45%로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 다음으로는 건강과 영양 31%, 기타 14%, 진단 10%를 차지하고 있음



[그림 2-9] 인체 마이크로바이옴 기술 분야별 특허 점유율

[표 2-16] 주요 인체 마이크로바이옴 특허 출원인 Top 10

NO	전체	건수	한국	건수	일본	건수	미국	건수	유럽	건수
1	NESTEC SA	42	주식회사 엠디헬스케어	11	NESTEC SA	10	Rebiotix, Inc.	25	NESTEC SA	18
2	Rebiotix, Inc.	26	한국식품연구원	11	DUPONT NUTRITION BIOSCIENCES APS	5	NESTEC SA	14	CONAIRS RESEARCH INSTITUTE AG	3
3	Regents Of The University Of Minnesota	12	주식회사 프로바이오닉	5	NORDISK REBALANCE AS	4	Regents Of The University Of Minnesota	10	InstitutNational de la Recherche Agronomique	3
4	Thomas Julius BORODY	11	주식회사엠디헬 스케어	4	SYNOLOGIC, INC.	4	ArizonaBoardofR egentsonBehalfof ArizonaStateUni versity	5	KALEIDO BIOSCIENCES , INC.	3
5	주식회사 엠디헬스케어	11	한국과학기술연 구원	4	MICROBIOME THERAPEUTIC LLC	3	CRESTOVO HOLDINGS LLC	5	N.V. Nutricia	3
6	한국식품연구 원	11	한국생명공학연 구원	3	4D PHARMA RESEARCH LIMITED	2	Evelo Biosciences, Inc.	5	Thomas Julius BORODY	3
7	DUPONT NUTRITION BIOSCIENCES APS	10	CONAIRS RESEARCH INSTITUTE AG	2	COMPAGNIE GERVAIS DANONE	2	KALEIDO BIOSCIENCES, INC.	5	Bio Agens Research and Development-B ard, s.r.o.	2
8	KALEIDO BIOSCIENCES , INC.	10	DUPONT NUTRITION BIOSCIENCES APS	2	ORGANOBALA NCE GMBH	2	N.V. Nutricia	5	PULEVA BIOTECH, S.A.	2
9	CONAIRS RESEARCH INSTITUTE AG	9	Thomas Julius BORODY	2	PROBI AB	2	Thomas Julius BORODY	5	Regents Of The University Of Minnesota	2
10	Bio Agens Research and Development-B ard, s.r.o.	8	가부시카가이샤 메이지	2	SOC DES PRODUITS NESTLE SA	2	Bio Agens Research and Development-Bar d, s.r.o.	4	ABBOTT LABORATORI ES	1

□ 동물 마이크로바이옴 분야의 동향

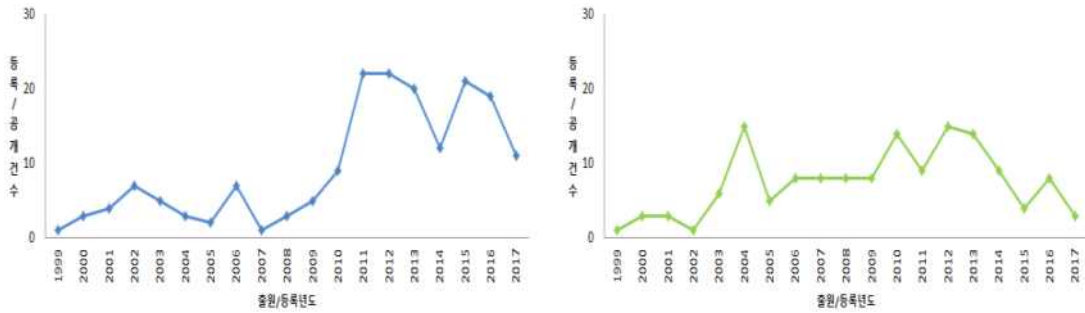
○ 전 세계 출원국가별 특허 동향

－ 전 세계 출원 국가별로 살펴보면, 한국은 주요 특허 출원 국가 중에서 약 35%로 가장 높은 특허 출원 비율을 가지고 있는 것으로 분석되며, 다음으로는 일본 28%, 미국 25%, 유럽 12%의 특허출원 활동을 보이고 있음

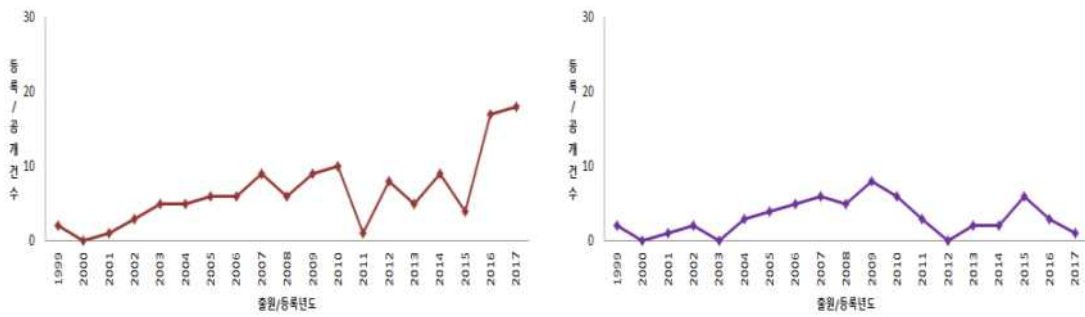


[그림 2-10] 전 세계 동물 마이크로바이옴 특허 동향

<KR> <JP>



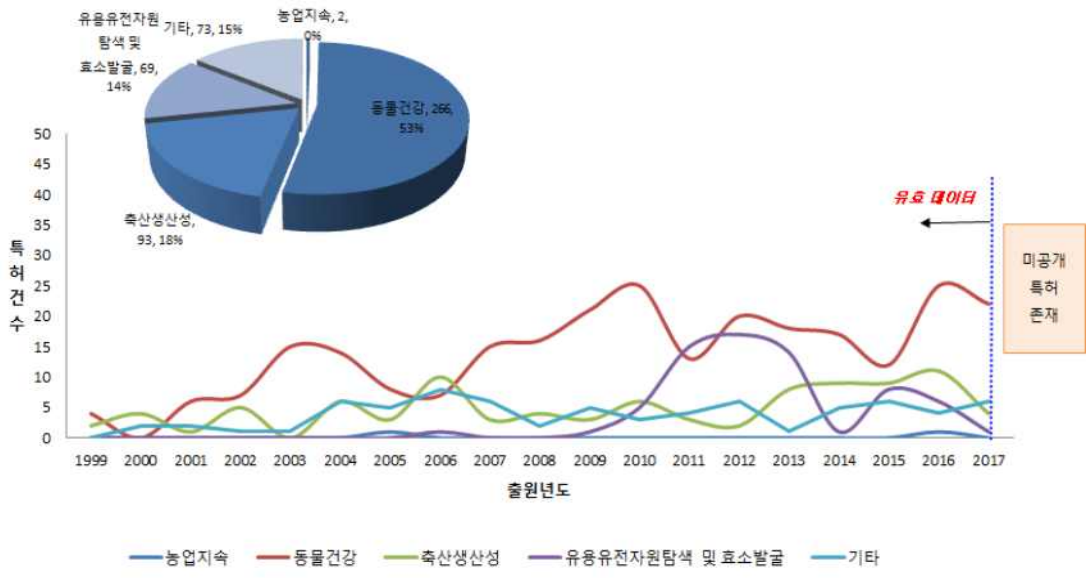
<US> <EU>



[그림 2-11] 주요 국가별 동물 마이크로바이옴 특허 동향

○ 기술 분야별 출원 점유율

- 기술 분야별 출원 점유율을 살펴보면, 동물건강 분야가 53%로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 다음으로는 축산 생산성 18%, 유용유전자원 탐색 및 효소 발굴 14%, 기타 15%를 차지하고 있음



[그림 2-12] 동물 마이크로바이옴 기술 분야별 특허 동향

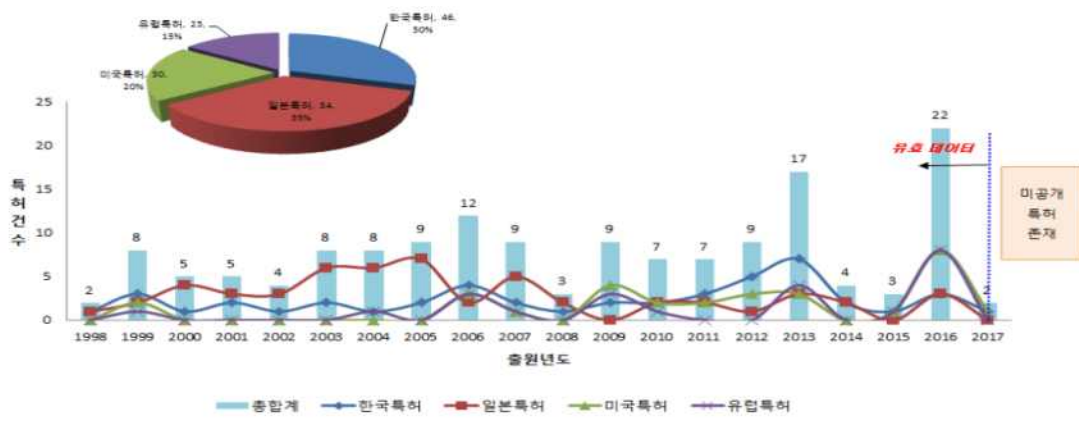
[표 2-17] 주요 동물 마이크로바이옴 특허 출원인 Top 10

NO	전체	건수	한국	건수	일본	건수	미국	건수	유럽	건수
1	NESTEC SA	72	대한민국(농진청장)	53	NESTEC SA	42	NESTEC SA	13	NESTEC SA	14
2	대한민국(농진청장)	53	한국식품연구원	11	IAMSCO	11	Imagilin Technology, LLC.	5	Clasado Inc.	4
3	한국식품연구원	11	주식회사 프로바이오닉	6	SOC DES PRODUITS NESTLE SA	4	Clasado Inc.	4	Thomas Julius BORODY	3
4	Clasado Inc.	8	한국생명공학연구원	6	Hill's Pet Nutrition, Inc.	3	CONARIS RESEARCH INSTITUTE AG	3	CONARIS RESEARCH INSTITUTE AG	2
5	CONARIS RESEARCH INSTITUTE AG	8	(주)오비티	4	MARS INC	3	NOVOZYMES A/S	3	Hill's Pet Nutrition, Inc.	2
6	Thomas Julius BORODY	8	(주)진바이오텍	4	CJ CHEILJEDANG CORP	2	Robert Winn Terrell	3	Laboratorios Ordesa, S.I.	2
7	Hill's Pet Nutrition, Inc.	7	씨제이제일제당 (주)	4	COLGATE PALMOLIVE CO	2	THEBRIGHAMANDWOMEN'S HOSPITAL, INC.	3	Multigerm UK Enterprises Ltd.	2
8	IAMSCO	7	주식회사한국야쿠르트	4	DUPONT NUTRITION BIOSCIENCES APS	2	TheUnitedState ofAmerica,as representedbytheSecretaryofAgriculture	3	PULEVA BIOTECH, S.A.	2
9	Imagilin Technology, LLC.	6	(주) 피엘바이오	3	HEALTH VISION:KK	2	Thomas Julius BORODY	3	SANLUC INTERNATIONAL NV	2
10	주식회사 프로바이오닉	6	NESTEC SA	3	NATIONAL AGRICULTURE AND FOOD RESEARCH ORGANIZATION	2	UNIVERSITY OF OTTAWA	3	Synbiotec S.r.l.	2

□ 식물 마이크로바이옴 분야의 동향

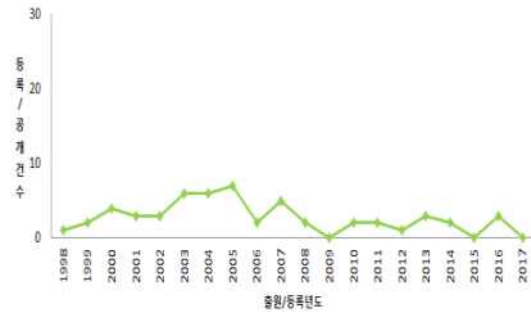
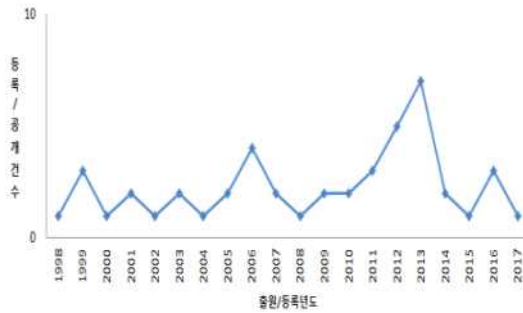
○ 전 세계 출원 국가별 특허 동향

- 전 세계 출원 국가별로 살펴보면, 일본은 주요 특허 출원 국가 중에서 약 35%로 가장 높은 특허 출원 비율을 가지고 있는 것으로 분석되며, 다음으로는 한국 30%, 미국 20%, 유럽 15%의 특허출원 활동을 보이고 있음

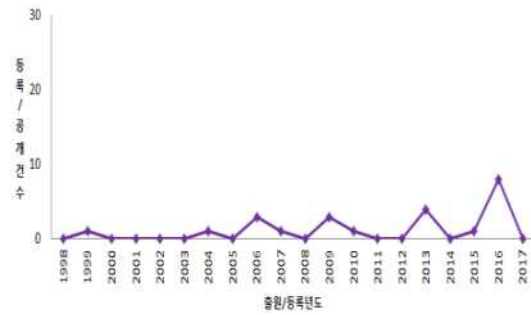
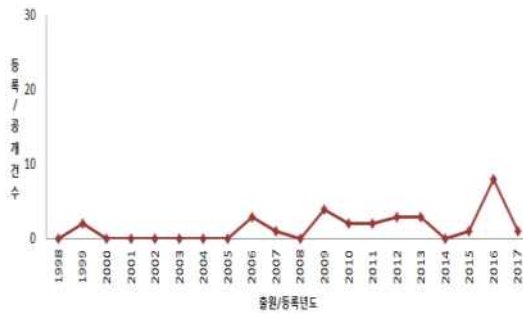


[그림 2-13] 전 세계 식물 마이크로바이옴 특허 동향

<KR> <JP>



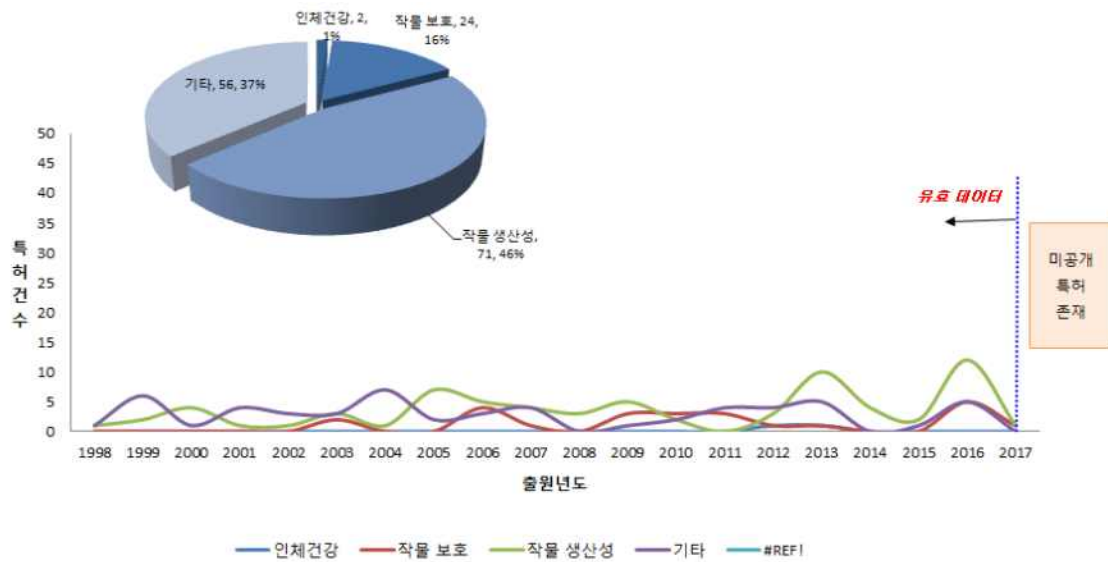
<US> <EP>



[그림 2-14] 주요 국가별 식물 마이크로바이옴 특허 동향

○ 기술 분야별 출원 점유율

- 기술 분야별 출원 점유율을 살펴보면, 작물생산성 분야가 46%로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 다음으로는 기타 37%, 작물보호 16%, 인체건강 1%를 차지하고 있음



[그림 2-15] 식물 마이크로바이옴 기술 분야별 특허 점유율

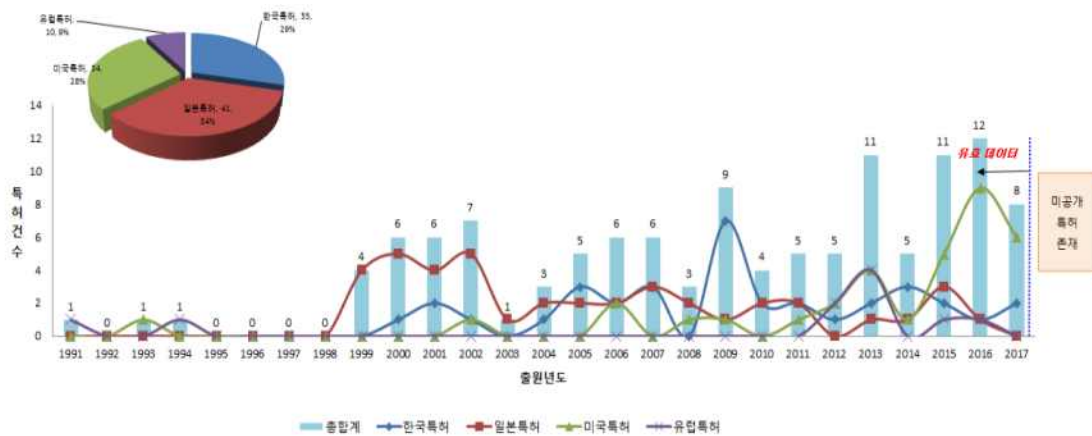
[표 2-18] 주요 식물 마이크로바이옴 특허 출원인

NO	전체	건수	한국	건수	일본	건수	미국	건수	유럽	건수
1	Agrinos AS	6	한국생명공학연구원	4	ECOCYCLE CORP	4	Agrinos AS	3	Agrinos AS	3
2	AGRICULTURE VICTORIA SERVICES PTY LTD	5	(주)황샘바이오	2	KURITA WATER IND LTD	3	AGRICULTURE VICTORIA SERVICES PTY LTD	2	BIOCONSORTIA, INC.	3
3	BIOCONSORTIA, INC.	5	닛칸카가쿠가부시키가이샤	2	MURANAKA TAKIO	3	BIOCONSORTIA, INC.	2	Ccs Aosta S.r.l.	3
4	ECOCYCLE CORP	5	한국과학기술연구원	2	NATIONAL AGRICULTURE AND FOOD RESEARCH ORGANIZATION	3	Giusto Giovannetti	2	AGRICULTURE VICTORIA SERVICES PTY LTD	2
5	R J REYNOLDS TOBACCO CO	4	(주) 건농	1	EM RESEARCH ORGANIZATION	2	R J REYNOLDS TOBACCO CO	2	AgResearch Limited	1
6	한국생명공학연구원	4	(주) 그린필	1	KAJIKURITA TSUYA	2	Tenfold Technologies, LLC	2	Compañía General de Canteras, S.A.	1
7	Ccs Aosta S.r.l.	3	(주)남도농산	1	PANASONIC CORP	2	AgResearch Limited	1	ECOCYCLE CORP	1

□ 마이크로바이옴 연구기술 분야의 동향

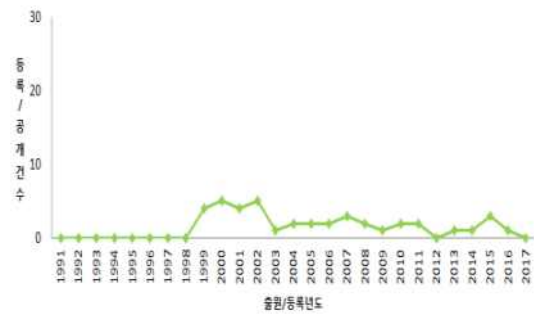
○ 전 세계 출원 국가별 특허 동향

- 전 세계 출원 국가별로 살펴보면, 일본은 주요 특허 출원 국가 중에서 약 34%로 가장 높은 특허 출원 비율을 가지고 있는 것으로 분석되며, 다음으로는 한국 29%, 미국 28%, 유럽 10.9%의 특허출원 활동을 보이고 있음

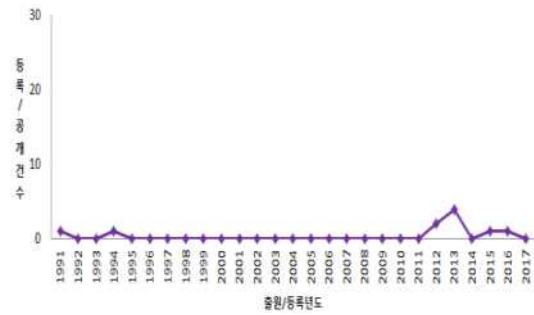


[그림 2-16] 전 세계 마이크로바이옴 연구기술 특허 동향

<KR> <JP>



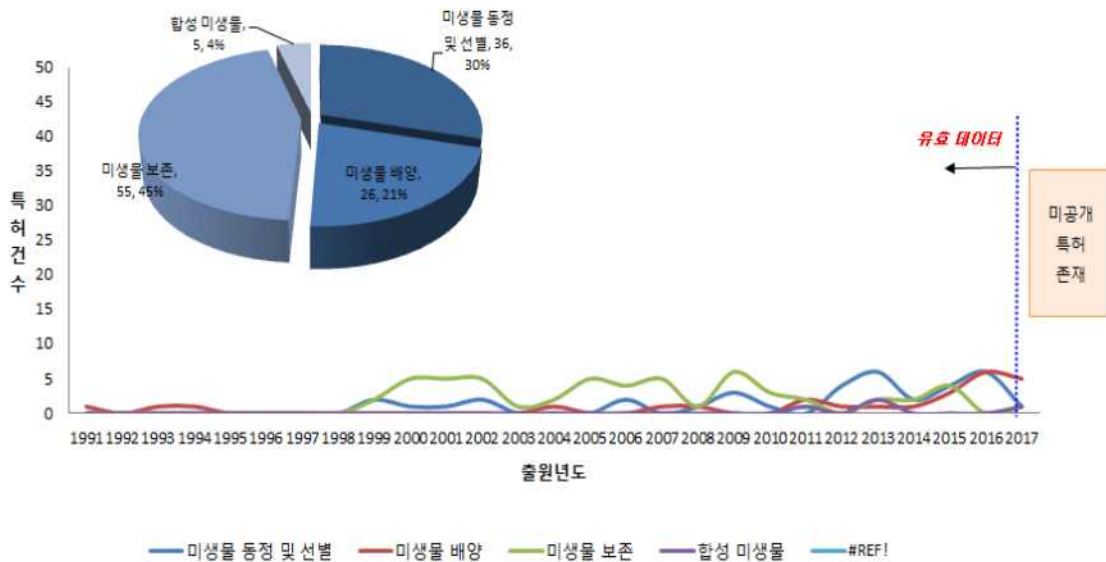
<US> <EP>



[그림 2-17] 주요 국가별 마이크로바이옴 연구기술 특허 동향

○ 기술 분야별 출원 점유율

- 기술 분야별 출원 점유율을 살펴보면, 미생물 보존 분야가 45%로 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 다음으로는 미생물 동정 및 선별 30%, 미생물 배양 21%, 합성미생물 4%를 차지하고 있음



[그림 2-18] 마이크로바이옴 연구기술 분야별 특허 점유율

[표 2-19] 주요 마이크로바이옴 연구기술 특허 출원인

NO	전체	건수	한국	건수	일본	미국	건수	유럽	건수	
1	Bobban Subhadra	6	한국생명공학연구원	4	SANYOELECTRIC COLTD	4	Bobban Subhadra	6	TAXON BIOSCIENCES INC	3
2	TAXON BIOSCIENCES INC	6	Alcon Research, Ltd.	3	KURITA WATER IND LTD	3	BIODISCOVERY NEW ZEALAND LIMITED	5	The Procter & Gamble Company	2
3	BIODISCOVERY NEW ZEALAND LIMITED	5	NANJING AGRICULTURAL UNIVERSITY	2	NIPPON SUISAN KAISHA LTD	3	Northeastern University	3	4M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY	1
4	NIPPON SUISAN KAISHA LTD	4	경북대학교 산학협력단	2	ABESHIGERU	3	TAXON BIOSCIENCES INC	3	Kanto Kagaku Kabushiki Kaisha	1
5	SANYOELECTRIC COLTD	4	세종대학교 산학협력단	2	ASTELLAS PHARMA INC	1	Ascus Biosciences, Inc.	2	L'AIRLIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DE PROCÉDES GEORGES CLAUDE	1

2.3.3 국내외 논문현황

2.3.3.1 논문분석 기준

- 동물과 식물의 마이크로바이옴 분야를 논문분석대상으로 하여 주요 출원인 10명을 선별하고, 2010년 1월 1일부터 조사일까지의 SCI 논문을 분석대상으로 주요 연구 내용을 조사함.

[분석대상 기술범위 및 키워드]

분류	논문 검색식	검색 결과 Top 10
동물 마이크로바이옴	TITLE-ABS(((animal OR livestock OR broiler OR swine OR cow OR horse OR dog OR chicken) AND (microbiome OR microflora OR microbiota OR micro-biota OR micro-flora OR "gut microorganism" OR "gut microb" OR "intestinal microorganism" OR "gastrointestinal microbe" OR "rumen microbe" OR "rumen microorganism" OR "gastrointestinal microorganism" OR "intestinal microbe" OR "skin microbe" OR "skin microorganism" OR "oral microbe" OR "oral microorganism" OR "microbial communit*" OR "collective genome" OR "stool bank" OR "fecal microorganism" OR "fecal microbe"))) AND NOT ((human microbiome) OR (human gut microbiome)))	154
식물 마이크로바이옴	TITLE-ABS (((plant* OR crop* OR vegetable* OR rhizosphere OR heliosphere OR soil OR agriculture OR farming) AND (microbiome OR microflora OR macrobiota OR micro-biota OR micro-flora OR "microbe interaction" OR "microbial community" OR "collective genome" OR "microbe consorti*" OR "microbial consorti*" OR "Rhizosphere microorganism" OR "heliosphere microorganism"))) AND NOT ("human microbiome" OR "human gut microbiome"))	187

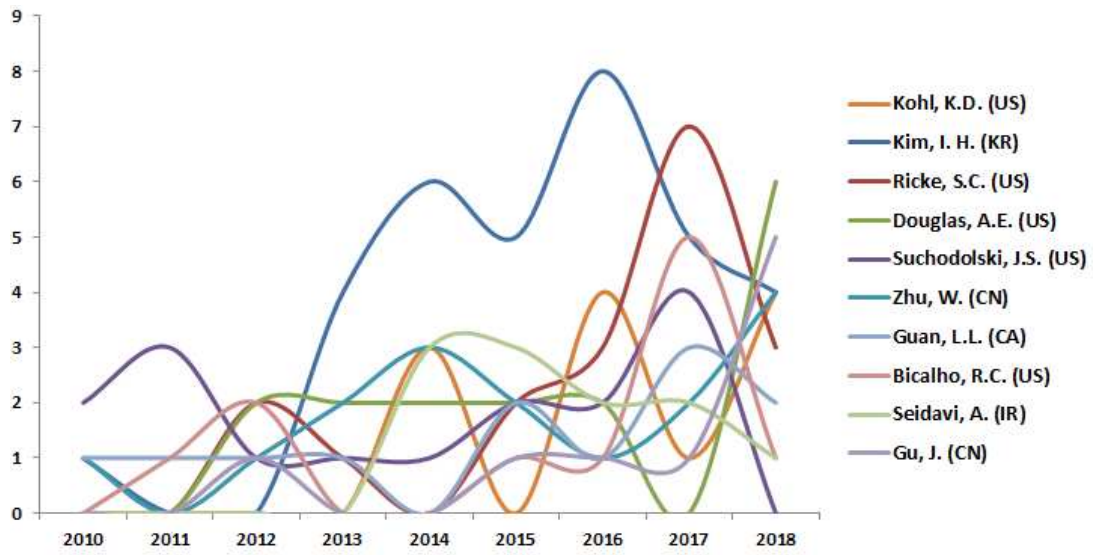
2.3.3.2 동물 마이크로바이옴 주요 연구자

- 동물 마이크로바이옴 주요 저자를 살펴보면 한국의 Kim, I. H.가 총 33건으로 가장 많은 논문을 게재한 것을 확인함. 동물 마이크로바이옴과 관련하여 연구가 활발하게 진행된 국가는 United States, China, South Korea, Canada, Iran인 것으로 분석됨.

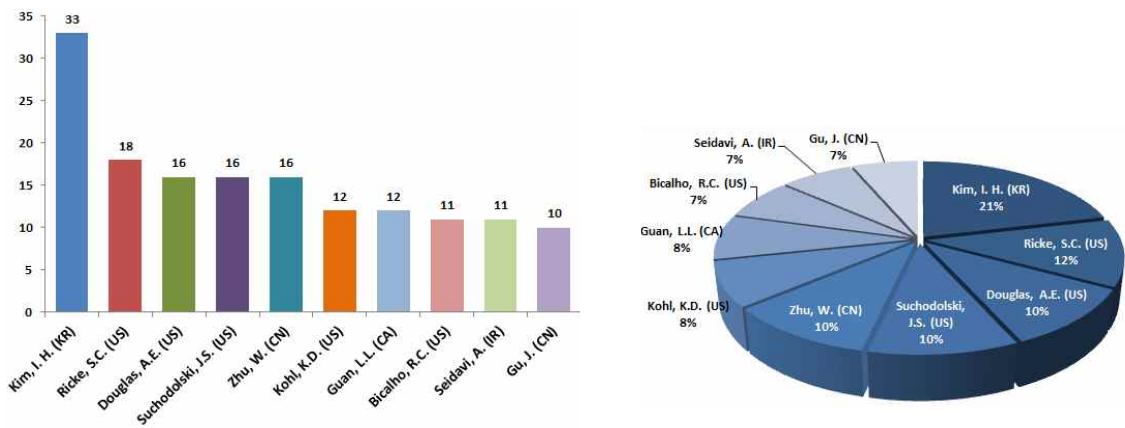
[표2-20] 주요 저자의 논문 발표 현황

No.	주요저자	논문수	연구기관	국가	비고
1	Kim, I. H.	33	Dankook University	South Korea	-
2	Ricke, S.C.	18	University of Arkansas	United States	-
3	Douglas, A.E.	16	Cornell University	United States	-
4	Suchodolski, J.S.	16	Texas A & M University	United States	-
5	Zhu, W.	16	Nanjing Agricultural University	China	-
6	Guan, L.L.	12	University of Alberta	Canada	-
7	Kohl, K.D.	12	University of Pittsburgh	United States	-
8	Bicalho, R.C.	11	Cornell University	United States	-
9	Seidavi, A.	11	Islamic Azad University	Iran	-
10	Gu, J.	9	Northwest A&F University	China	-

- 동물 마이크로바이옴 주요 저자가 게재한 논문을 대상으로 저자별, 연도별 등재 동향을 살펴보면 Top 10 대부분의 주요 저자의 논문이 지속적으로 증가하는 추세를 보이며, 특히 최근 급격하게 증가하고 있는 것으로 분석됨.



[그림 2-19] 주요 저자 Top 10의 연도별 논문 게재 현황



[그림 2-20] 주요 저자 Top 10의 논문 점유 현황

○ 주요 저자 Top 10의 연구동향은 다음과 같음

[표 2-21] 동물 마이크로바이옴 주요 저자의 연구 내용

No.	주요저자 (소속, 국가)	논문수	마이크로바이옴 분석 대상	주요 연구 내용
1	Kim, I. H. (Dankook University, KR)	33	가축돼지, 가금류(육계, 산란계)	식이(프로바이오틱스 보충제, 유기산, 기타 화합물 등) 에 따른 배설 미생물 및 맹장 미생물에 미치는 영향
2	Ricke, S.C. (University of Arkansas, US)	18	가금류(육계)	병원균 마이크로바이옴 (특히, salmonella) 의 식품 안전에 미치는 영향, 식이에 대한 미생물 생태계 평가
3	Douglas, A.E. (Cornell University, US)	16	곤충(초파리)	곤충-식물, 야생곤충 미생물 상호작용에 대한 영향 분석
4	Suchodolski, J.S. (Texas A and M University, US)	16	개, 고양이	건강, 질병에 있어 미생물과 대사 물질의 영향(장질환, 염증, 비강, 경구, 체장, 창자 등)
5	Zhu, W. (Nanjing Agricultural University, CN)	16	가축 돼지	항생제 처리에 따른 미생물 반응, 식이에 대한 미생물 변화 등
6	Guan, L.L. (University of Alberta, CA)	12	소, 양	반추위 미생물 군간 상호작용, 장내 미생물 이해, 사료 효율 연관성 등
7	Kohl, K.D. (University of Pittsburgh, US)	12	토끼, 참새, 도마뱀 등	야생 초식 동물의 미생물 생태계 분석
8	Bicalho, R.C. (Cornell University, US)	11	소, 젖소(우유), 송아지	젖소의 자궁 미생물 유전, 젖소의 유방염과 미생물의 연관성
9	Seidavi, A. (Islamic Azad University, IR)	11	가금류(타조, 육계)	식이에 따른 장내 미생물 영향
10	Gu, J. (Northwest A&F University, CN)	9	돼지	돼지 배설물의 미생물 군집 및 퇴비화시 영향

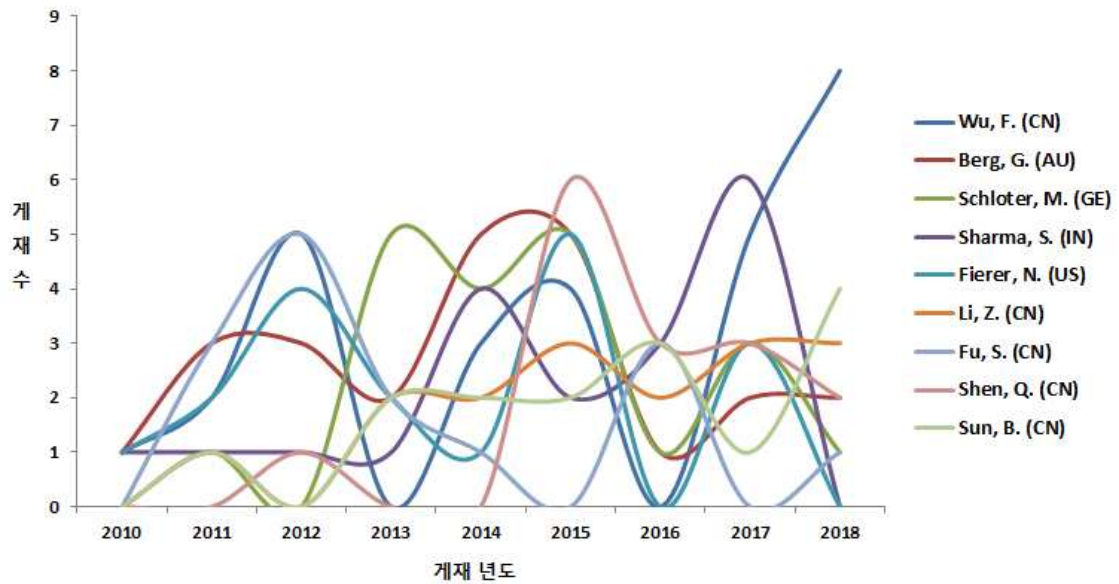
2.3.3.3 식물 마이크로바이옴 주요 연구자

- 식물 마이크로바이옴과 관련하여 연구가 활발하게 진행된 국가는 China, Austria, Germany, India, United States인 것으로 분석되며 주요 저자를 살펴 보면 중국의 Wu, F.가 총 28건으로 가장 많은 논문을 게재하였음.

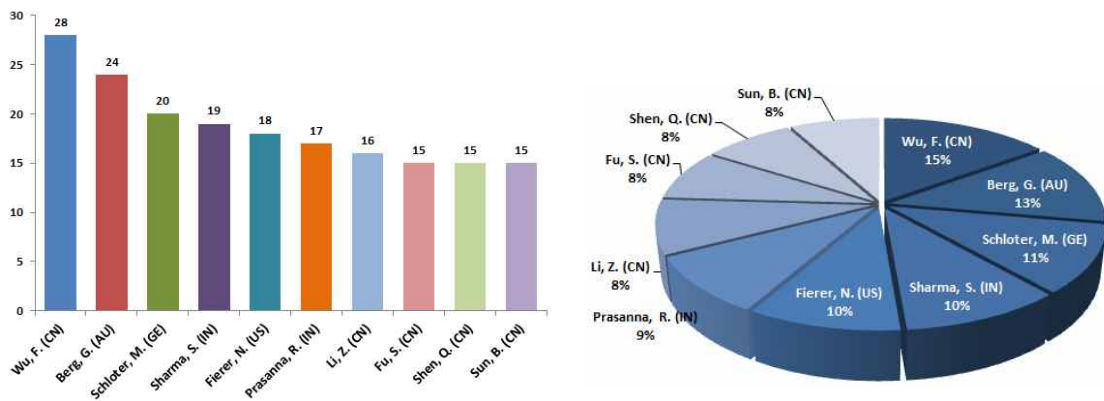
[표2-22] 주요 저자의 논문 발표 현황

No.	주요저자	논문수	연구기관	국가	비고
1	Wu, F.	28	Northeast Agricultural University	China	-
2	Berg, G.	24	Graz University of Technology	Austria	-
3	Schlöter, M.	20	Helmholtz Zentrum München	Germany	-
4	Sharma, S.	19	Indian Institute of Technology Delhi	India	-
5	Fierer, N.	18	University of Colorado	United States	-
6	Prasanna, R.	17	ICAR-Indian Agricultural Research Institute	India	-
7	Li, Z.	16	University of Chinese Academy of Sciences	China	-
8	Fu, S.	15	Henan University	China	-
9	Shen, Q.	15	Nanjing Agricultural University	China	-
10	Sun, B.	15	Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences	China	-

- 식물 마이크로바이옴 주요 저자가 게재한 논문을 대상으로 저자별, 연도별 등재 동향을 살펴보면 최근 2017년까지 China의 Wu, F.와 India의 Sharma, S.의 논문 게재가 가장 활발한 것으로 보임.



[그림 2-21] 주요 저자 Top 10의 연도별 논문 게재 현황



[그림 2-22] 주요 저자 Top 10의 논문 점유 현황

○ 주요 저자 Top 10의 연구동향은 다음과 같음

[표 2-23] 식물 마이크로바이옴 주요 저자의 연구 내용

No.	주요저자 (소속, 국가)	논문수	마이크로바이옴 분석 대상	주요 연구 내용
1	Wu, F. (Northeast Agricultural University)	28	오이의 미생물 군집 (뿌리, 줄기)	특정 화합물(식물 독소)에 대한 마이크로바이옴 변화
2	Berg, G. (Graz University of Technology)	24	식물의 마이크로바이옴	식용 식물(야채)의 미생물 다양성(구성), 역할 및 활용
3	Schloter, M. (Helmholtz Zentrum München)	20	보리 근권, 소나무, 토양 미생물	보리 근권 마이크로바이옴, 소나무 질병 병원균의 침입에 따른 microioem 영향, 토양권과 근권의 하층도 및 영양염의 마이크로바이옴 차이
4	Sharma, S. (Indian Institute of Technology Delhi)	19	근권의 식물-미생물(비둘기 완두콩 재배)	마이크로바이옴을 통한 토양 구조 및 기능개선, 생물농약 대체를 위한 마이크로바이옴 연구
5	Fierer, N. (University of Colorado)	18	근권 및 뿌리 미생물 군집	토양 비옥도 영향, 근권 마이크로바이옴의 식물 건강 영향
6	Prasanna, R. (ICAR-Indian Agricultural Research Institute)	17	벼, 병아리콩, 오크라 등 마이크로바이옴	미생물 접종에 따른 마이크로바이옴 상호 작용 탐구, 미생물과 수확량의 연관성
7	Li, Z. (University of Chinese Academy of Sciences)	16	논, 토양 미생물	살충제, pH, 비료 등에 따른 토양 미생물 군집 변화, 영향
8	Fu, S. (Henan University)	15	산림(온화, 아열대 침엽수, 대나무 숲, 유클립투스 재배지)	토양 세균 공동체의 환경(가뭄, 온도 및 습도 변화, 기후 변화)에 대한 영향
9	Shen, Q. (Nanjing Agricultural University)	15	근권 및 뿌리 미생물 군집(오이, 옥수수 등)	미생물의 토양 기능 향상, 토양 마이크로바이옴 역할
10	Sun, B. (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences)	15	대나무 숲, 벼 재배, 옥수수, 논 토양 미생물	토양 세균 공동체의 환경(가뭄, 온도 및 습도 변화, 기후 변화)에 대한 영향

2.3.3.4 논문 분석 종합

- 동물 마이크로바이옴과 식물 마이크로바이옴의 주요 저자(Top 10) 논문 발표 활동은 2010년부터 지속적으로 증가하고 있음.
- 동물 마이크로바이옴 관련 주요 연구자들은 경제가축인 돼지, 가금류, 소를 대상으로 하여 식이에 따른 마이크로바이옴의 변화 및 동물 건강에 대한 영향을 연구하고 있음.
- 식물 마이크로바이옴 관련 주요 연구자들은 주로 근권과 토양의 마이크로바이옴에 대한 연구를 하고 있음.



[그림 2-23] 동·식물 마이크로바이옴 연도별 주요 저자의 논문 게재 현황

2.3.4 국내외 산업현황 및 전망

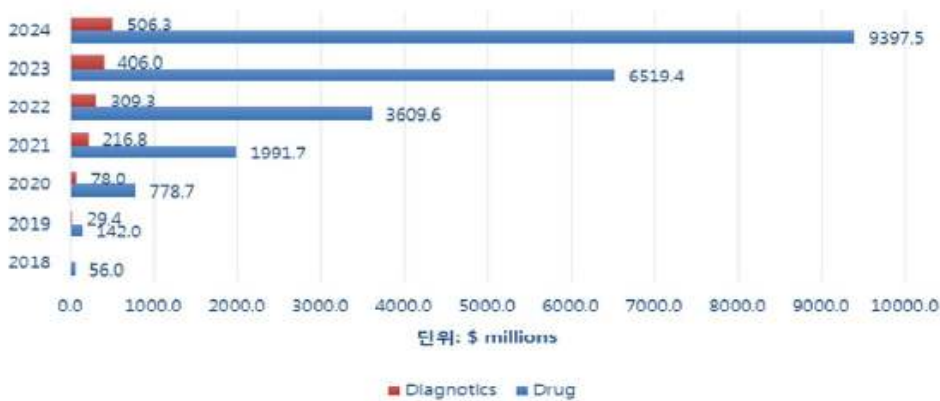
2.3.4.1 인체 마이크로바이옴

□ 해외 산업동향

- 글로벌 인체 마이크로바이옴 시장규모는 고속으로 성장할 것으로 전망되

며, 현재 마이크로바이옴 관련 상업화 시장 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 프로바이오틱스 등 기능성제품 시장으로 그 규모가 2015년 기준 약 35조원, 2020년 예상 규모는 약 57조원으로 매년 7.6% 이상 지속 성장할 것으로 기대됨.

- 기능성 제품 외에도 휴먼 마이크로바이옴을 활용한 치료, 진단 시장이 본격화 될 것으로 전망되는 가운데, 치료제 시장의 가장 빠른 성장이 예측됨.
 - 2024년까지 마이크로바이옴 치료제 시장은 93억 달러 규모로 급성장할 것으로 전망되며, 마이크로바이옴 진단 분야는 2019년에 상업화 되어 2024년에 시장규모가 5억 달러를 상회할 것으로 전망.
 - 마이크로바이옴 분야에서 현재는 치료 제품이 진단 제품을 크게 앞지고 있지만 향후에는 장내 마이크로바이옴 정보 분석을 활용한 조기진단 분야의 성장이 커질 것으로 기대.

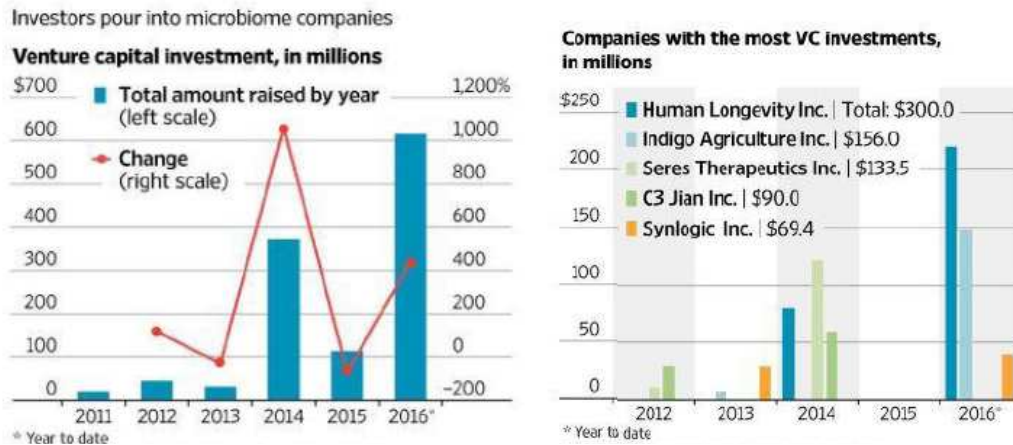


[그림 2-24] 휴먼 마이크로바이옴 시장 동향

출처: BCC Research(Human Microbiome, 2017.05) 재가공

- 마이크로바이옴 시장의 고속성장과 신산업 창출에 대한 기대로 벤처피탈 (Venture Capital) 업체들의 마이크로바이옴에 대한 투자가 급증함.
 - 전반적인 벤처펀딩이 줄어드는 추세임에도 불구하고, 마이크로바이옴 관련 업체에 대한 벤처 투자가 전체 벤처 투자 증가치 30.4% (12~16년)에 4배(458.5%)에 달함

- 기업별로는 개개인의 마이크로바이옴을 분석하여 질병관련 미생물 군집의 균형을 연구하고 있는 Human Longevity 사가 가장 높은 벤처투자를 받음



[그림 2-25] 마이크로바이옴 산업 벤처캐피탈 투자 추이

출처: Dow Jones Venture Source; Securities and Exchange Commission; the companies

□ 국내 산업동향

- 국내의 경우 마이크로바이옴 시장이 본격적으로 형성되진 않았으나 프로바이오틱스로 대표되는 질환 개선이나 건강 증진을 위한 건강기능식품 등이 활발히 출시되고 있음.

- 지속적인 증가세*에 있는 국내 건강기능식품 전체 시장(약 2조원) 중 프로바이오틱스 시장 규모는 1,500억 원 수준이나 장내 미생물과 미생물 체제를 활용한 건강증진에 대한 관심에 따라 최근 3년간 4배 이상의 고속 성장 중임

* 2015년을 기준으로, 국내 건강기능식품 업체 수는 487개사(전년대비 5.9% 증)이며, 건강기능식품 제품 수와 업체당 평균 매출액(37억 4천만원, 전년대비 5.6%)은 지속적으로 증가세(한국식품안전관리인증원, 2015)

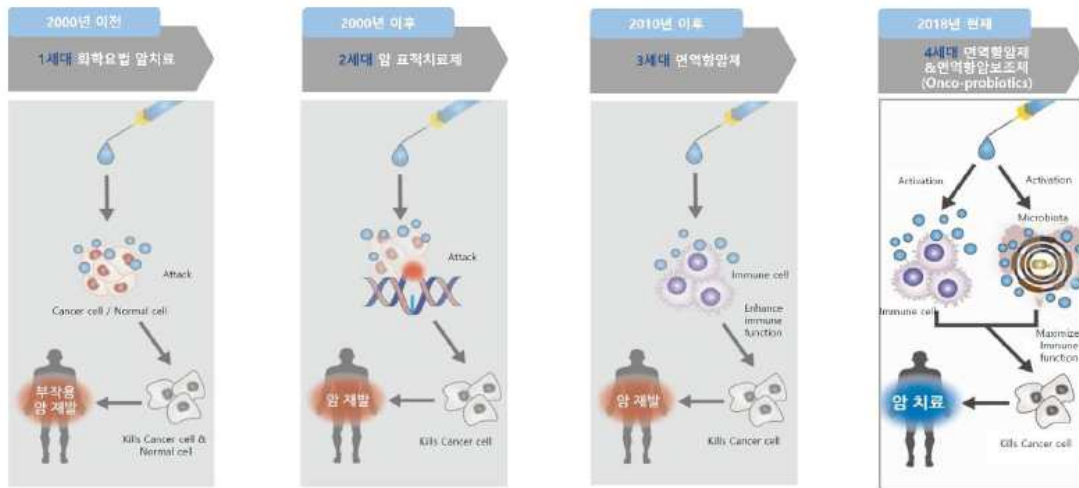
- 최근에는 고시형 프로바이오틱스가 아니라 질환개선에 도움을 줄 수

있는 개별인정형 항목의 건강기능식품에 많은 프로바이오틱스 제품이 옮겨가고 있으므로 향후의 시장은 지속적으로 증가될 것으로 예상

- 이러한 추세 속에서, 한국야쿠르트는 프로바이오틱스 전담팀을 구성하고 2015년에는 프로바이오틱스 전문 건강기능브랜드 “바이오리브”를 출시했으며, CJ는 2016년 프로바이오틱스 개발을 위한 유용미생물센터를 설립함
- 종근당은 2017년 서울대학교와 공동으로 마이크로바이옴 연구 및 맞춤형 프로바이오틱스 개발을 위한 장내 미생물은행을 설립계획을 발표하였으며, 일동제약 역시 2017년 마이크로바이옴 신약연구소를 설립하는 등 기존 프로바이오틱스 기업들의 마이크로바이옴 분야 투자가 가속되고 있음

○ 새로운 산업(시장)의 기능성으로 휴먼 마이크로바이옴 관련 민간(중소·벤처기업) 연구 및 상용화 기술개발이 활발함

- 천랩에서는 한국인 만 명의 마이크로바이옴 데이터베이스를 바탕으로 질병의 정확한 진단과 맞춤형 신약 개발에 활용하고, 지속적 모니터링을 통한 개인 건강관리에 사용이 가능하도록 하는 클라우드 플랫폼 서비스 ‘BIOiPLUG’를 개발
- 고바이오랩에서는 인체와 미생물간의 연관성을 분석해 질환 특이적인 장내 미생물을 발굴하고, 마이크로바이옴 기반 치료제와 개인 맞춤 의료에 적합한 동반진단 바이오 마커 개발을 진행 중
- 지놈앤컴퍼니에서는 체내의 유익균들이 면역체계 활성물질 생성을 촉진하고 면역세포와 상호작용을 통해 직간접적으로 면역반응을 조절하는 것에 초점을 맞춰 면역항암제와 병용할 수 있는 마이크로바이옴 항암보조제를 개발 중



[그림 2-26] 항암치료제의 패러다임 변화

출처: 지놈앤컴퍼니

- 김석진총은균연구소에서는 2013년부터 상용화 서비스를 진행해온 장내 세균분석의 기술력과 노하우를 이용해 2017년 6월 대변은행 ‘골드 바이옴(Gold biome)’을 설립, 건강한 사람들에게 기증받은 대변으로부터 장내 마이크로바이옴을 추출·분석하여 검증된 건강한 장내 마이크로바이옴을 분변이식* 시술 대상자에게 제공

※ 분변이식(Fecal microbiota transplantation : FMT): 건강한 정상인의 대변에 존재하는 마이크로바이옴을 통해 환자의 장내 미생물총의 균형을 바로잡는 치료방법임

2.3.4.2 동물 마이크로바이옴

□ 동물 마이크로바이옴 산업동향

- 동물 보건 분야에서의 미생물과 관련된 기술거래는 인체 마이크로바이옴 분야에 비하여 훨씬 초기 단계로 아직 거래가 많지 않으나 학술연구는 활발히 이루어지고 있음. 다만 인체보다 훨씬 작은 규모이지만 벤처 캐피탈 또는 업계 파트너십을 유치하는 소수의 기업/학술 기관은 있는 상태임.
- 동물 항균제 및 항생제 분야의 세계 시장규모는 37억 7천만 달러(2016년)에서 47억 3천만 달러(2021년 추정)에 이를 것으로 예상.
- 美 FDA 동물 사료 항생제 사용금지에 따라 효소사료(in-feed enzymes), 프로바이오틱스 등 대체제 시장이 확대될 것으로 예측.
- 세계의 동물 사료용 프로바이오틱스 시장 규모는 2016년에 325,000만 달러, 2022년에는 507,000만 달러로 7.7%의 CAGR(연평균 성장률)로 확대될 전망이다.
- 동물 의료에 대한 인식의 소비자간 확대, 영양분이 높은 사료의 수요 증가, 각국 정부 및 규제기관 관계자에 의한 착수 등이 시장 성장의 주요 요인으로 특히 아시아태평양 국가에서는 급속한 시장 성장이 기대되고 있음.
- AnimalBiome은 2016년 벤처 자금으로 20만 달러를 확보했으며 2017년 Bactana Animal Health는 Sustainable Income Capital Management와 Connecticut Innovations에서 알려지지 않은 금액을 확보하여 항생제 사용을 줄이려는 동물 미생물 제품의 상업화 준비를 시작하였고, 코네티컷에 기반을 둔 신생 기업인 Bactana는 2016년 코넬 대학교의 가축 미생물 기술에 대해 독점 라이선스를 받았음.
- Genomics 데이터 제공 업체인 Diversigen(이전 Metanome, Texas)와 고양이 및 애완동물용 미생물 기반 영양 제품 개발 회사인 Companion PBx(New York)는 2015년 전략적 제휴를 발표하였음. 두 회사는 수천마리의 건강한 개와 병든 개 정보를 포함하는 미생물 데이터베이스를 구축하는데 사용될

샘플 채취 키트 및 웹 기반 조사 기술을 개발하기 위해 협력하고 있음. 이 분야에서 가장 초기(2012년)의 파트너십 회사 중에 하나인, 파리에 본부를 둔 Da Volterra는 동물건강 회사와 개발 계약을 체결하여 인체에서 사용하는 새로운 마이크로바이옴 제품인 DAV133을 동물에 적용하는 기술개발을 시작하였음. 계약에 따라 Da Volterra는 제품 최적화 및 전임상 연구를 담당하고 동물보건 회사는 규제, 사전 마케팅 및 최종 개발단계를 담당하기로 함.

□ 동물 마이크로바이옴 산업전망

- 세계 인구가 증가하고 생활이 풍족해짐에 따라 동물 및 동물 제품에 대한 수요가 급증하고 있는 가운데 동물 개체수 또한 증가하고 있는 가운데 미생물 치료제에 대한 요구는 인간에서 동물로 범위가 확대되고 있음.
- 질병 및 기타 건강 지표의 예방 및 조기 발견을 위한 새로운 기술 플랫폼은 농업에서의 미생물 진단의 핵심 동인인 반면, 특정 장내 미생물을 대상으로 하는 치료법(잠재적으로 그 종에만 해당)은 상해의 위험 없이 다수의 장애를 치료할 수 있는 수단을 제공할 수 있을 것임.
- 반려 동물 시장은 인구 고령화와 보험적용범위 확대로 폭발적으로 증가하고 있으며, 반려 동물 소유자는 인간을 위한 기능성 식품과 원칙적으로 유사한 보충제와 치료제, 예후/진단 도구를 활용하여 동물의 건강과 복지에 더 많은 투자를 할 준비가 되어 있음.
- 가축의 성장과 생산성을 높이기 위해 장내의 특정 세균을 조절하는데 사용되는 항생제 성장 촉진제(AGPs)는 여전히 세계적으로 흔히 사용되는 방법이나 EU에서는 과다 사용이 인체 내 다중 약물내성세균 감염(슈퍼벌레)의 증가에 기여했다는 우려에 따라 2006년부터 사용이 금지되었음. 이에 따라 농업에서 항생제 사용을 최소화하기 위해 현재 전 세계 소비자와 규제 당국으로부터 압력이 증대하고 있어, 가축의 선천적 건강과 성장 잠재력을 높이는 대체 사료와 사료 보충제에 대한 수요 증가가 일어날 것으로 예상됨

- 동물 마이크로바이옴 산업은 또한 메탄가스 발생 억제라는 긴급한 환경 문제로 인해 추진될 것임. 즉, 사료와 내장 미생물 사이의 상호작용을 연구함으로써 메탄생산을 줄이는 기술을 개발하는 것은 축산업으로 인한 부정적인 환경오염을 완화 할 수 있는 방법을 제공할 수 있을 것임.

2.3.4.3 식물 마이크로바이옴

□ 식물 마이크로바이옴 산업동향

- 식물 및 토양 미생물 기술거래 환경은 인간 미생물 치료제보다 작지만, 구조는 유사함. 중요한 VC투자 또는 업계 주요 다국적 기업과의 파트너십을 통해 핵심기술을 개발하는 다수의 신생기업들이 있음.
- 현재까지 최대 규모의 투자는 Indigo Agriculture(미국) 사가 2016년 Series C 기금으로 1억 달러를 유치한 것임. 최초 상업 제품은 목화에서 흡수효율을 증진시키는 미생물 종자코팅을 하는 것으로 알래스카 영구기금(Alaska Permanent Fund)이 주도했으며, 2016년 Indigo에 5,600만 달러를 투자한 FFlagship Ventures의 참여로 기금을 지원하였음.
- 기타 창업기업은 다음과 같음.
 - 캘리포니아 기반 BioConsortia: 농업 생산량을 늘리기 위해 미생물 협회를 발전시키고 있으며, 2016년에는 Khosla Ventures와 Otter Capital로부터 Series B 라운드에 1,500만 달러를 유치하였음
 - Biome Makers(USA): 2016년 세계적인 투자 Viking Global Investors와 계놈 회사인 Illumina의 엑셀러레이터로부터 2억 2천만 달러를 유치하여 와인 산업을 위해 농업 생물정보학을 시작하였음
 - NewLeaf Symbiotics (USA): 유익한 식물 박테리아의 상업화에 중점을 두고 있으며 2014년에 1,700만 달러의 시리즈 B 라운드 파이낸싱을 마감하였음
 - Pivot Bio(미국): 식물 마이크로바이옴의 역동성을 분석하고 유익한 특성

을 발전시키기 위해 2016년에 Series A 라운드에서 1600만 달러 투자유치를 완료하였음

- AgBiomeUSA)은 Gates Foundation이 주도하는 투자자로부터 2015년에 3,450만 달러를 모금했으며, 2016년에는 아프리카 고구마 재배 농민들이 고구마 바구미를 퇴치할 수 있도록 신젠타(Syngenta), 몬산토(Monsanto), 노보자임(Novozymes)의 벤처 캐피탈 자회사인 Bill & Melinda Gates Foundation으로부터 다년간의 자금을 지원받음.
- 2016년 몬산토와 노보자임은 농업을 위한 새로운 미생물 솔루션의 개발을 촉진하기 위해 전 세계의 토양에서 분리된 수천 개의 박테리아를 테스트하는데 주력하는 파트너사인 BioAg Alliance를 창립하였음. 몬산토는 또한 2013년에 미생물 생산성을 높이기 위해 미생물을 동정하는 회사인 Agradis의 자산을 인수했으며, 2016년에는 Second Genome과의 미공개 다년 연구협약을 체결하여 미생물 기반 곤충 제어 도구를 개발하였음.
- 기타 인수합병으로 듀폰은 2015년 캘리포니아 기반의 미생물 회사인 Taxon Biosciences Inc를 인수했음. 바이엘은 2009년에 Bionematicides(생물항선충제)와 Biofungicides(생물항진균제)의 공급 업체인 AgroGreen과 사상균류 전문가를 인수함으로써 더 넓은 분야의 시장에 관심을 보임. Biphro Group은 아르헨티나에 기반을 둔 생물학적 살충제와 식물 성장촉진 미생물 제조사인 AgraQuest를 인수하였음.
- 지난 2년 동안 바이엘(Bayer), 바스프(BASF), Chr. Hansen, 몬산토(Monsnato), 노보자임(Novosymes)은 공장 및 토양 미생물 분야의 R&D 프로그램에 20억 달러 이상을 투자하였음.

□ 식물 마이크로바이옴 산업전망

- 식물과 농업을 위한 미생물 시장을 주도하는 주요 기업은 동물건강산업을 주도하는 회사와 광범위하게 겹치고 있음.
- 2050년까지 전 세계 인구가 거의 100억에 이르면 보다 효율적이고 수율 높은 농업기술의 확보가 필수적임. 이는 주로 작물의 생산성이나 수확량을 개선

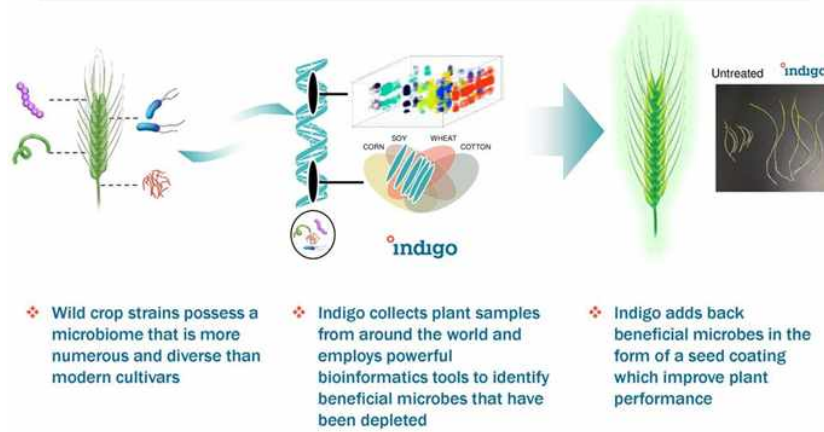
하는데 기반을 둔 농업 미생물 부분에서의 기술거래 활동에 반영되고 있음.

- 반추 동물의 메탄 배출을 줄이기 위한 물질로서 새로운 식물유래 사료소재는 식물의 마이크로바이옴과 장내 미생물과의 상호작용에 대한 이해가 전제되어야함.
- 기존 살충제 및 비료의 대안으로서 생물학적 제제에 대한 업계의 관심이 높아지는 것은 농업 분야의 화학 물질 투입을 제한하려는 국가전략계획에 의해 강력하게 추진되고 있어 이는 농업 미생물 산업의 성장동력으로 작용할 것임.
- 경제적 관점에서 농약을 시험하고 등록하는 것이 어렵고 비용이 많이 들기 때문에 생물학적 농업 솔루션에 투자하는 것이 장점이 있음. 즉, 규제와 제한이 적기 때문에 미생물 기반 제품의 시장 출시시기가 단축되어 미생물에 제품개발 비용은 합성 식품이나 GM 작물보다 10배까지 낮아질 수 있음.

2.3.5 마이크로바이옴 산업화 사례(Indigo Agriculture)

- Indigo Agriculture 사는 2014년에 미국에서 창업한 작물 마이크로바이옴을 활용한 종자 코팅 전문회사로 종업원 350명에 연 8억불이상 매출에 기업 가치는 3.45 billion 달러로 평가되고 있는 벤처기업임.
- Indigo Ag 사는 미국에서 재배되는 주요 농산물인 옥수수, 콩, 밀, 목화를 대상으로 가뭄, 고온, 염분함량이 높은 토양, 질소 함량이 낮은 토양에 대한 스트레스에 견딜 수 있고, 질병과 해충에 대한 저항성을 높여주는 미생물 코팅 종자를 개발·판매하고 있음.
- 회사 설립 초기 2년 동안은 많이 재배되고 있는 작물들의 마이크로바이옴 데이터베이스 구축에 매진했음.
- 즉, 700개 이상의 식물 종으로부터 36,000개의 시료를 채취하고 이들로부터 40,000개의 공생미생물들을 분리하여 작물별로 수확량을 10%이상 증가시키는 특정 마이크로바이옴을 사용한 종자코팅기술을 개발하였음.


Indigo adds back beneficial microbes that have been removed through modern agricultural practices



[그림 2-27] Indigo Agriculture 기술개발 전략

- 2016년에 개발된 첫 제품은 가뭄저항성을 갖고 있는 Indigo Cotton™ 으로 11%의 증산 효과를 주는 제품임.


The Indigo Effect




First commercial products: cotton

Indigo's advances in cotton optimization consistently show average yield improvement of 10%+ in water stress conditions

Untreated **indigo**



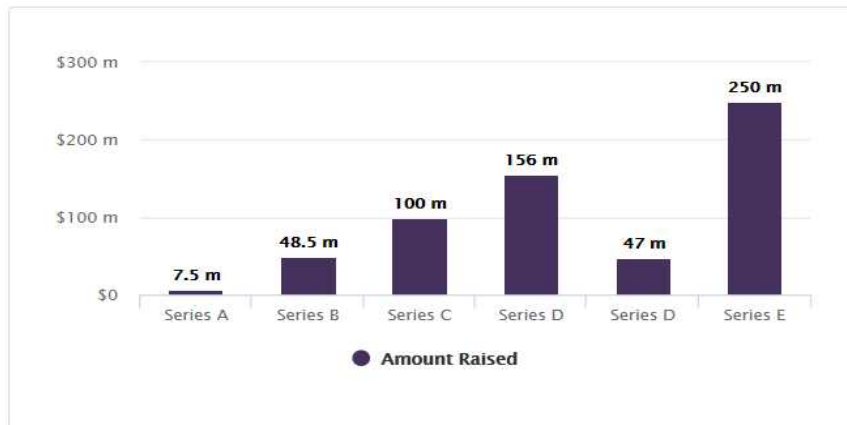
Untreated **indigo**



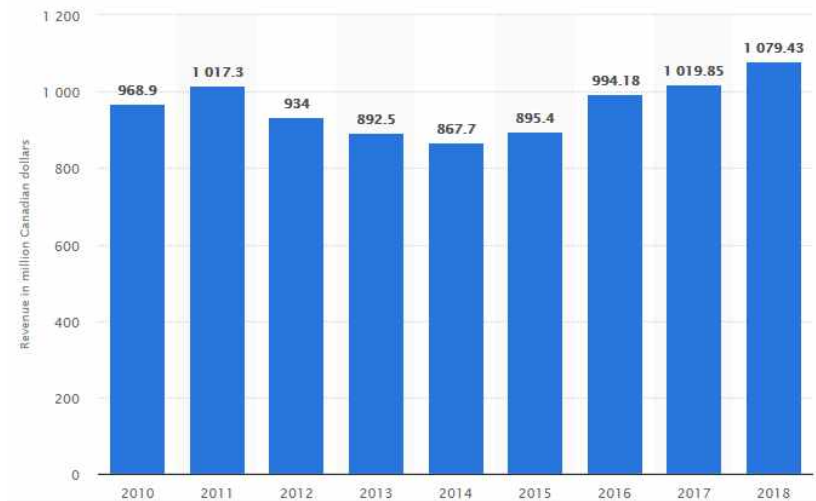
2016 Launch of the first commercial product, Indigo Cotton, which has been planted on more than 50,000 acres in five states

[그림 2-28] Indigo Cotton™

- 이러한 기술로 2018년 현재까지 6회에 걸쳐 총 609 million 달러의 투자를 유치하여 가장 많은 투자를 받은 농업벤처기업으로 2018년도에는 CNBC 선정 “50대 DISRUPTOR”기업으로 선정되었음.



[그림 2-29] Indigo Agriculture 사 투자유치 현황



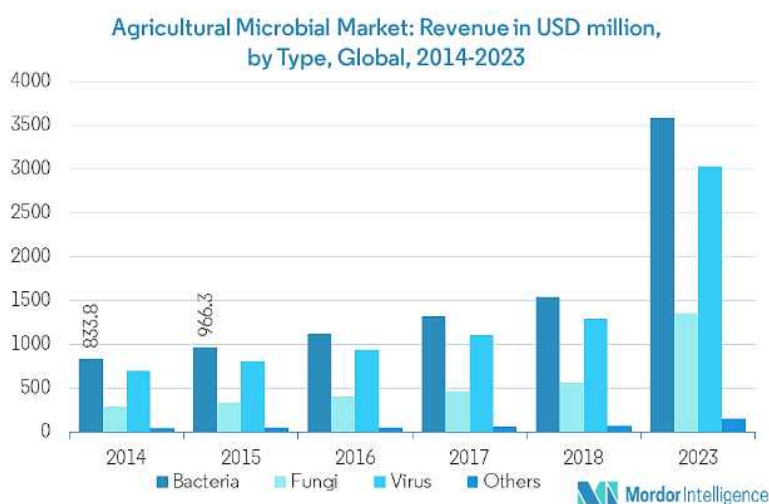
[그림 2-30] Indigo Agriculture 사 매출액 동향

- 마이크로바이옴을 이용하여 Indigo Ag 와 유사한 기술개발을 하고 있는 다른 많은 기업들도 투자유치에 성공하고 있어 향후 작물 마이크로바이옴 시장 전망을 밝게 하고 있음.

[표 2-24] 농업 벤처기업 투자 유치 현황

Company Name	Total Funding Amount	Last Funding Date
Indigo	\$609,000,000	09/20/2018
Plenty Inc.	\$226,000,000	07/18/2017
Farmers Business Network	\$193,900,000	11/30/2017
AeroFarms	\$137,976,638	08/30/2017
AgBiome	\$136,500,000	07/12/2018
Kaiima	\$133,000,000	08/18/2013
BrightFarms	\$112,900,000	06/28/2018
Apeel Sciences	\$110,000,000	7/31/2018
Farmer's Edge Laboratories	\$103,453,896	09/19/2016
FarmLink	\$82,000,000	01/18/2016
Inocucor Technologies	\$72,835,234	04/20/2018
NewLeaf Symbiotics	\$57,551,078	09/06/2017
Modern Meadows	\$53,500,000	06/27/2016
Vestaron Corporation	\$49,195,000	08/03/2016

- 이러한 마이크로바이옴에 기반을 둔 기업들의 성공적인 시장 진출에 힘입어 향후 농업미생물 시장은 폭발적으로 성장할 것으로 예측되고 있으며 가장 큰 박테리아 시장은 36억 달러에 이를 것으로 예측됨.



[그림 2-31] 농업용 미생물 시장 예측

2.4 국내 산업계 수요 현황 및 전망

2.4.1 국내 산업계 수요 현황

○ 프로바이오틱스 기반 건강기능식품 시장 수요

- 현재 시장에 진출해 있는 대표적인 마이크로바이옴 유래 미생물인 프로바이오틱스는 기능성 식품, 식품 첨가물, 동물 의약품, 인체의약품, 화장품 원료, 발효유 등에 이용되고 있어 그 사용범위가 넓고 다양함
- 현재는 주로 발효유 등의 Dairy Food & Beverage에 활용되는 비중이 높으나 세계적인 웰빙 트렌드와 인구 고령화에 따른 건강에 대한 관심이 증가함에 따라서 프로바이오틱스의 수요는 꾸준히 증가하고 있음
- 2016년 건강기능성식품 중 고시형 품목 총 53종 중에서 프로바이오틱스는 홍삼(매출 9,900억)에 이어서 총 매출액 1,903억으로 2위(총매출 중 10.1%)를 차지하고 있음

[표 2-25] 건강기능성식품 국내 시장 규모 동향

구분	매출액(억원)	총매출 중 비율(%)
홍삼	9,899.6	52.4
프로바이오틱스	1,903.1	10.1
비타민 및 무기질	1,842.7	9.7
밀크씨슬(카르두스 마리아누스) 추출물	1,090.7	5.8
EPA 및 DHA 함유 유지	700.4	3.7

[출처: 2016년 건강기능식품 국내 시장 규모 동향 분석, 한국식품안전관리인증원]

- 프로바이오틱스 제조업체는 101개로 경기지역에 가장 많은 35개 업체가 있으며, 이어서 충청도 지역에 33개 업체가 밀집되어 있고, 건강기능성식품 품목 중 프로바이오틱스 제품은 총 2,124개로 경기 및 강원도 지역에서 각각 953개, 286개의 제품을 생산하고 있음

○ 프로바이오틱스의 효능에 따른 수요 현황

(1) 정장작용

- 인간의 장관에는 100종류 이상 100조개의 장내세균이 서식하고 있으며, 음식물의 소화와 영양분의 흡수를 돕고 감염 억제를 통해 장내 항상성 유지에 기여하는 유익균과 부패물질, 발암물질, 독소를 생산하여 노화를 촉진하거나 각종 질병을 야기하는 유해균이 상재하고 있음
- 장내에 정착한 유산균은 병원성 세균이 소화관 상피에 부착하는 것을 억제하여 질병의 발생을 막아주며, 유산균이 생산하는 유산, 지방산, 항생물질, H₂O₂ 등은 설사를 일으키는 병원성 미생물이나 장내 유해균을 죽이거나 증식을 억제함. 또한, 여성의 경우 내분비계에서 대장의 운동과 기능을 조절하여 남성에 비해 변비에 걸리기 쉬우며, 나이가 들수록 침과 위액의 분비량이 감소하며 위장의 운동이 약해지는데, 유산균이 생산한 유산과 초산이 장운동을 증가시켜 변비를 개선시켜줄 수 있음

(2) 면역증강작용

- 유산균은 면역계에서 병원균을 감지하는 대식세포의 활성화를 통해 세균과 바이러스의 신속한 감지 및 림프구 세포의 분열을 촉진하여 암세포 증식 방지, 분비성 점막 면역의 주요 항체인 IgA(immunoglobulin A)의 생산을 증가시키고, 감마-인테페론을 생산하게 함으로써 면역력을 증진시켜 질병에 대항하는 효과를 발휘함
- Kaliomaki 등은 유산균의 알러지 예방 효과를 보고한 바 있으며, Hayashi 등도 아토피성 피부염을 중심으로 그 효과를 입증한 바 있음.
- 임신부에게 *Lactobacillus casei* GG의 섭취는 것은 물론 신생아에게도 지속적으로 급여시킨 결과 아이의 아토피성 피부염이 유의적으로 감소했다는 보고도 있음. *L. casei* GG는 특히, 과거 rotavirus에 대한 효과적인 경구용 백신으로 사용된 바도 있음

(3) 영양학적 가치

- 대부분의 유산균들은 증식하면서 유산을 생성하며 부산물로 amylase, cellulase, lipase, protease 등 다양한 가수분해 효소를 함께 생산하여 음식의 소화 및 흡수를 도움
- 유산균은 비타민 B1, B2, B6, B12 등을 합성할 뿐만 아니라 비타민 B1을 파괴하는 효소 생산균의 생육을 저해하여 장내 비타민 B군의 안정화를 도움. 이외에도 유산균은 발효 과정에서 nicotinic acid, inositol, 비타민 K, 비타민 E 등을 생성함

(4) 혈중 콜레스테롤 저하

- 유산균의 섭취 시 발효 산물 중 유기산인 HMG (hydroxy methyl glutarate), orotic acid, uric acid 등에 의한 콜레스테롤 생성의 저해는 잘 알려진 것으로 특히, *Bifidobacterium longum*과 *Lactobacillus acidophilus*의 콜레스테롤 감소 효과가 높은 것으로 보고된 바 있음
- 혈중 고콜레스테롤에 의한 심장병, 동맥경화증, 고혈압 및 뇌졸중 등의 혈관계 질환의 예방에 유산균의 섭취는 매우 유익할 것으로 기대됨

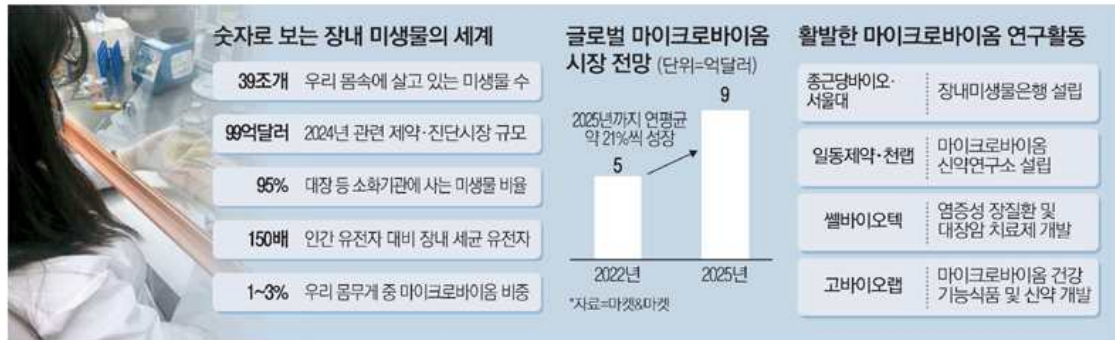
(5) 피부미용 효과

- 대부분의 사람은 장내에 상당량의 숙변을 가지고 있으며, 숙변 내의 유해세균에 의해 생산되는 다양한 독성물질에 의해 말초성 국소 염증반응이 일어날 수 있음
- 유산균의 섭취로 인한 장내 미생물총의 항상성 및 유산균이 생산하는 bacteriocin이라는 천연 항생물질은 피부의 모낭층을 포함하여 여드름균 및 잡균의 번식을 억제하는 효과가 있는 것으로 알려져 있음

○ 건강을 넘는 장내미생물의 수요 폭발

- 장내미생물을 활용한 건강기능식품으로서의 수요 뿐 아니라 다양한 형태

의 치료제로 개발이 진행되고 있어 산업적 수요는 급격히 증가하는 추세이며, 2025년도에는 세계 장내미생물 시장은 1조원에 육박할 것으로 예측되고 있음



[그림 2-32] 장내미생물 시장 수요 예측 및 시장 수요 현황

출처: 매일경제 2018.2.4

○ 장내미생물을 활용한 치료제 개발 수요현황

- 프로바이오틱스와 프리바이오틱스 및 이를 동시에 투여(섭취)하는 신바이오틱스 관련 임상 연구에서 보여 주듯이 프로바이오틱스 균주 자체에 대한 기초 연구를 넘어서 이제는 프로바이오틱스가 살아가는 환경 및 장내 미생물총에 이르기까지 인체에 유용한 효과를 얻기 위하여 종합적 고찰을 통하여 프로바이오틱스를 응용하는 단계까지 진입함
- 현재까지 장내미생물을 이용한 치료제 개발을 위하여 비만, 당뇨, 지방간, 설사, 아토피 등에 대해서 광범위하게 임상실험이 진행되고 있음

[표 2-26] 프로바이오틱스 또는 마이크로바이옴을 이용한 임상적용 사례

표적 질병	보고 연도	대상	균주명	적용 기간	효과
비만	2000	과체중 및 비만 70명	<i>E. faecium</i> , <i>S. thermophilus</i> 2종	8주	체중, 수축기 혈압, LDL-C 감소, 피브리노겐 수준 증가
	2010	BMI 높은 87명	<i>L. gasseri</i> SBT2055	8주	BMI, VFA, 허리둘레, 힙둘레 감소
	2012	비만 성인 50명	<i>L. salivarius</i> Ls-33	12주	효과 없음

	2013	비만 성인 50명	<i>L. salivarius</i> Ls-33	12주	<i>Bacteroides</i> , <i>Prevotellae</i> , <i>Porphyromonas</i> 비율 증가
	2013	내장지방(VFA) 많은 성인 210명	<i>L. gasseri</i> SBT2055	12주	BMI, 동맥 혈압 감소
	2013	비만 성인 40명	<i>L. plantarum</i>	3주	BMI, 동맥 혈압 감소
	2013-2014	BMI 높은 75명	<i>L. acidophilus</i> La5, <i>B. lactis</i> Bb12 <i>L. casei</i> DN001	8주	BMI, 지방분율, 렙틴 수준 감소 및 PBMCs의 유전자 발현 변화
	2014	과체중 60명	<i>Bifidobacterium</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>S. thermophiles</i>	6주	지질 프로파일, 인슐린 민감성 개선, CRP 개선
	2015	비만 폐경 여성 58명	<i>L. paracasei</i> N19	6주	효과 없음
	2015	과체중 성인 156명	<i>L. acidophilus</i> La5, <i>B. animalis</i> subsp, <i>lactis</i> Bb12	6주	공복혈당 감소, HOMA-IR 증가
인슐린 저항성 증후군 (IRS)	2012	IRS 환자 28명	<i>L. casei</i> Shirota	12주	효과 없음
	2013	IRS 환자 30명	<i>L. casei</i> Shirota	12주	VCAM-1 수준의 현저한 감소
	2014	IRS 폐경 여성 24명	<i>L. plantarum</i>	12주	포도당, 효모시스테인 수준의 현저한 감소
제2형 당뇨병 (T2D)	2010	T2D 남성 환자 45명	<i>L. acidophilus</i> NCFM	4주	효과 없음
	2011	T2D 환자 60명	<i>L. acidophilus</i> La-5, <i>B. lactis</i> Bb12	6주	TC, LDL-C 개선
	2012	T2D 환자 64명	<i>L. acidophilus</i> La-5, <i>B. lactis</i> Bb12	6주	공복 혈당 감소당, 항산화 상태
	2014	T2D 환자 44명	<i>L. acidophilus</i> La-5, <i>B. animalis</i> subsp. <i>lactis</i> BB-12	8주	HDL-C 수준 증가, LDL-C/HDL-C 비율 감소
	2015	T2D 환자 40명	<i>L. plantarum</i> A7	8주	메틸화 과정, SOD, 8-OHdG 감소
	2015	T2D 환자 45명	<i>L. acidophilus</i> La-5, <i>B. animalis</i> subsp. <i>lactis</i> BB-12	6주	그룹간의 HbA1c, TC, LDL-C 평균값 현저한 차이
비알콜성 지방간 (NAFLD)	2011	NAFLD 소아 환자 20명	<i>L. rhamnosus</i> GG	8주	ALT, PG-PS IgAg 항체감소
	2011	NAFLD 성인 환자 28명	<i>L. bulgaris</i> , <i>S. thermophilus</i>	12주	ALT, □-GTP 수준 감소
	2014	NAFLD 환자 72명	<i>L. acidophilus</i> La-5, <i>B. breve</i> subsp. <i>lactis</i> Bb12	8주	ALT, ASP, TC, LDL-C의 혈청 수준 감소
	2014	NAFLD 비만 소아 44명	<i>Bifidobacterium</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>S. thermophilus</i>	16주	지방간 개선, BMI 감소, GLP1/aGLP1 비율 증가
IBS (Irritable bowel syndrome)	2003	<i>H. pylori</i> 감염 환자 16명	<i>L. casei</i> Shirota	6주	대조군에 비해 <i>H. pylori</i> 성장 2배 억제
	2005	<i>H. pylori</i> 감염 환자	<i>L. acidophilus</i> La-5,	6주	<i>H. pylori</i> 에 대한 저

장 질환, Helicobacter 제균, IBD (Inflammatory bowel diseases), 설사		59명	<i>B. lactis</i> Bb12		해 효과
	2005	중이염, (또는) 호흡기 감염 소아 269명	<i>S. cerevisiae</i>	No data	Placebo 대조군에 비 해 설사 3배 감소 부작용 없음
	2005	장급성통증 수유부 신생아 90명	<i>L. reuteri</i> ATCC 55730	6개월	프로바이오틱스 사 용 1주후부터 통증 및 증상 경감
	2009	퀘양성 대장염 환자 77명	Probiotic VSL#3	12주	Placebo 대조군에 비 해 약 3배 증상 완 화
아토피성 피부염 (AD)	2005	심한 AD 소아환자 53명	<i>L. fermentum</i> VRI 033 PCC™	여성 임신 35주~수유 6개월, 신생아 2년	SCORAD (Scoring Atopic Dermatitis) 감 소
	2008	임산부 512명과 신생아 474명	<i>L. rhamnosus</i> HN001	여성 임신 마지막 6주, 아이 12개월	유아 습진의 대체적 감소
	2009	알러지 고위험 소아의 156명 엄마와 아이	<i>B. bifidum</i> , <i>B. lactis</i> , <i>L. lactis</i>	여성 임신 마지막 6주, 아이 12개월	생후 3개월 이내에 프로바이오틱스를 섭취한 최소 2년 동 안 습진의 현저한 감소
	2010	AD 소아환자	<i>B. animalis subsp.</i> <i>lactis</i>	8주	IFN-g와 IL-10 비율 의 개선을 동반한 AD 증상의 현저한 감소
유당불내증 경감	2003	건강한 유당불내증 성인 15명	<i>S. lactis</i> , <i>L.</i> <i>plantarum</i> , <i>S.</i> <i>cremoris</i> , <i>L. casei</i> , <i>S.</i> <i>diacetylactis</i> , <i>S.</i> <i>florentinus</i> , <i>L.</i> <i>cremoris</i>	1일	유당 소화 및 내성 개선
	2017	44명	<i>B. animalis subsp.</i> <i>animalis</i> IM386(DSM 26137), <i>L. plantarum</i> MP2026(DSM 26329)	6주	설사 및 고창(헛배) 의 현저한 저하 효 과
항암, 암 관련 부작용	2007	자궁경부암 방사선요법 시 설사 경험 63명 환자	<i>L. acidophilus</i> , <i>B. bifidum</i>	7주	설사 감소 및 배변 개선
	2010	대장암 진단받은 환자 150명	<i>L. rhamnosus</i> 573	24주	설사 및 복부 불편 감 개선, 장독성에 의해 항암제 용량을 줄인 환자 수 감소
	2011	대장암 환자 100명	<i>L. plantarum</i> CGMMCC No 1258, <i>L. acidophilus</i> LA-11, <i>B. longum</i> BL-88	16일	장점막벽 개선, 감염 합병증 감소

(출처: 장성재, 프로바이오틱스분야의 현주소, BRIC View 2018)

○ 벤처캐피탈의 투자 대상이 된 장내미생물 기술

해외투자현황

- 마이크로바이옴에 관한 연구결과가 잇따라 나오면서 글로벌 제약·바이오 기업들도 치료 효과를 높이는 잠재력을 지닌 마이크로바이옴의 세계에 주목하고 해외에서는 이미 마이크로바이옴을 기반으로 한 스타트업의 연구개발이 활발하게 이뤄지고 있음
- 미국 매사추세츠에 있는 나스닥 상장사 이벨로 바이오사이언스(Evelo Biosciences)는 프로바이오틱 기반 암 치료제 신약후보물질을 개발 중임. 이 회사는 올해 초 비피더스 균주에서 개발된 단일 클론 미생물을 사용한 임상시험을 시작하였음. 현재 시카고대학 연구진과 함께 연구를 진행 중인데, 연구팀은 최근 쥐에게서 면역관문억제제와 결합된 박테리아가 종양을 거의 제거한 사실을 관찰했다고 밝혔음
- 2012년 프랑스 파리에 설립된 엔터롬 바이오사이언스(Enterome Biosciences)는 크론병, 뇌종양 등 미생물과 관련한 질병 치료제 개발을 위한 임상시험을 추진하고, 면역 반응을 일으키는 세균 유래 암 항원을 개발 중임. 이 회사는 대기업과 투자기관으로부터 1억 2400만달러(약 1389억 2960만원) 규모의 투자를 유치했음. 네슬레 헬스 사이언스는 2016년 이 회사에 직접 투자한 데 이어 2017년 마이크로바이옴 진단법 개발을 위한 합작 법인을 설립했고, 존슨앤드존슨(J&J), 브리스톨마이어스스퀴브(BMS) 등 글로벌 제약사들은 이 회사와 제휴를 맺었음
- 글로벌 제약사 로슈와 화이자는 마이크로바이옴 기반 치료제 개발사 세컨드 게놈(Second Genome)에 투자했음

국내 투자현황

- 국내에서도 지놈앤컴퍼니, 지아이이노베이션, 천랩, 비피도 등 벤처기업들이 마이크로바이옴 진단 및 치료제 연구 개발을 하고 있음
- 바이오벤처 지놈앤컴퍼니는 체내의 유익균들이 면역체계의 활성물질 생성을 촉진하고 면역세포와 상호작용을 통해 직·간접적으로 면역반응을 조절하는 것에 초점을 두고 면역항암제와 병용할 수 있는 마이크로바이

음 항암보조제를 개발하고 있음

- 마이크로바이옴과 단백질 콤보 신약을 개발하는 ‘지아이이노베이션’은 프로바이오틱스 전문 바이오기업 메디오젠과 전략적 제휴를 맺고 마이크로바이옴 균주 공동개발을 추진함. 이 회사는 마이크로바이옴과 단백질 신약의 콤보 플랫폼 기술을 통해 새로운 형태의 치료제 개발에 도전하고 있음. 알레르기 질환 신약, 면역항암제, 비알코올성지방간염(NASH) 신약 등을 개발한다는 전략임
- 비피도는 최근 류마티스 관절염 치료제로 신규 비피더스균에 대한 전임상 효능을 입증, 국내 최초 마이크로바이옴 기반 치료제에 대한 미국 특허를 취득했음
- 천랩은 2018년 3월 과기부 주관 간질환 마이크로바이옴 치료제 개발 사업 수행기관으로 선정됐음. 천랩은 다국적 제약사들의 마이크로바이옴 벤처와 손잡고 장내 세균을 이용한 질병 치료제 개발에 적극 나서고 있음. 천랩의 바이오인포매틱스 플랫폼을 활용해 한국인 고유의 마이크로바이옴 데이터베이스를 구축, 이를 기반으로 예방의학 및 맞춤의학 분야로 확장해갈 것으로 예상됨
- 지놈앤컴퍼니는 마이크로바이옴기술을 기반으로 한 초기 벤처기업으로서 기존의 프리바이오틱스 기반 건강기능식품개발 기업과의 차별성을 벤처캐피탈에서 평가하여 큰 투자가 이뤄진 바 있음

○ 장내미생물을 활용한 동물 및 식물적용 기술개발 수요현황

- 국내 보조사료 편람의 보조사료 및 반추동물용 섬유질 배합사료 제조업체 현황을 보면 (주)농협사료부산바이오가 일 생산능력이 20톤에 이르는 등 효소제 제조업체는 전국에 40개소에 일 생산량이 총 306.6톤에 이룸
- 한편, 미생물제(생균제)제조 업체는 전국에 549개소가 등록되어 있고 일 생산능력이 1,744.57톤에 이룸. 즉, 사료첨가제로서 프로바이오틱스가 오래전부터 사용되고 있어 산업적 수요는 지속적으로 성장하고 있음

- 하지만, 인체에 적용되는 장내미생물처럼 과학적이고 체계적인 연구는 최근 급격히 늘어가고 있어 이에 대한 과학기술적 연구개발이 뒷받침되어야 할 것임

2.4.2 국내 산업계 수요 전망

○ 장내미생물을 활용한 개인맞춤형 의료 실현

- 현재까지 많은 연구에서 인체 장내 마이크로바이옴을 연구하기 위해서 대변 샘플로부터 메타게놈을 추출하여 분석하는 일을 수행하고 있음. 하지만 최근에는 대변 샘플을 이용해 분석한 미생물 군집과 실제 조직 샘플을 이용해 분석한 미생물 군집에 차이가 난다는 것이 밝혀지면서 실제 조직으로부터 메타게놈을 추출하여 분석하는 연구가 증가하고 있음. 하지만 정상인의 조직 샘플 획득의 어려움, 낮은 메타게놈 추출 효율과 인간 DNA의 오염 문제 등으로 인해 아직도 많은 연구가 대변 샘플을 이용해 수행되고 있음
- 현재 마이크로바이옴 연구는 또 다시 새로운 패러다임을 맞이하여 기존의 미생물 군집과 마이크로바이옴 분석 외에 전사체, 단백질, 대사체 등 다양한 오믹스 데이터들과 샘플 제공자의 유전 타입 및 각종 의료 데이터와 같은 메타 데이터를 통합적으로 분석하여 결과를 도출하는 방식으로 연구 패러다임이 변화하고 있음
- 이러한 패러다임의 변화는 개인맞춤형 의료를 실현할 수 있는 제품 개발로 이어질 가능성이 높음

○ 동물 장내미생물로 확대 적용

- 동물 건강 및 영양을 향상시키기 위한 프로바이오틱스의 사용은 오래된 사실이지만, 추가로 프리바이오틱스 및 포스트바이오틱스는 살아있는 미생물의 이용에 대한 잠재적인 대안 또는 부가적 치료요법을 제공함

- 프리바이오틱스, 프로바이오틱스 및 포스트바이오틱스의 면역 반응의 조절 보다 구체적으로 국소적 및 전신적 수준에서 염증 반응을 제어하는 사이토카인의 발현을 조절하는 역할에 대한 이해가 증대되고 있음
- 예를 들어 프로바이오틱 박테리아의 섭취는 국소 전염증성 사이토카인의 생성을 감소시킴으로써 내장(gut) 점막에서 면역학적 배리어를 잠재적으로 안정시킬 수 있음. 프로바이오틱 치료요법에 의한 자생(indigenous) 미생물총 특성의 변화는, 크론병, 음식물 알러지 및 아토피성 습진과 같은 일부 면역학적 교란(disturbance)을 반전시키는 것으로 나타났음
- 몇 가지 프로바이오틱 종 또는 이의 포스트바이오틱 생성물은 IL-10 및 TGF-베타를 비롯한 보호성 사이토카인을 유도하며, 건강한 인간 환자, 염증성 장 질환(inflammatory bowel disease)이 있는 인간 환자 및 마우스 모델의 점막에서 전염증성 사이토카인, 예컨대 TNF를 억제함
- 동물에게도 동일한 방법으로 효과가 실현될 것이 추정되고 있어, 이에 대한 동물임상 실험결과들이 지속적으로 보고되고 있음. 이러한 메커니즘은 프리바이오틱, 프로바이오틱 및 포스트 바이오틱을 함유하는 사료로 사육된 동물이 면역계를 활발하게 유지하는데 에너지를 사용하는 대신 성장 및 발달에 사용하여 긍정적인 영향을 줄 것으로 예상됨

○ 식물과 공생하는 식물 마이크로비옴으로 확대 적용

(1) 저항성 증진

- 식물은 성장과정 중에 다양한 스트레스 상황에 직면하는데, 식물 주변 미생물(마이크로바이옴)은 이런 스트레스 감소에 기여
- 프롤린, 콜린, 트레할로스 등 미생물이 직접 분비하거나 식물이 합성하도록 신호를 주는 물질이 스트레스 저항력을 증가
- 외부로 분비하는 다당류(세포외다당류)의 경우는 토양의 수분 유지, 식물 내 단백질과 당 함량, 항산화 효소의 활성을 증가

- 휘발성 물질(2R, 3R-butanediol 등)은 기공 개폐를 조절하여 식물의 수분 손실을 막고 건조 내성을 증가. 즉, 공중 습도가 높고 기온이 적당하면 기공을 열고, 습도가 낮고 온도가 높을 경우에는 기공을 닫아 식물체내 수분을 보존
- 식물 뿌리 주변에 사는 근권미생물은 병원균과 양분 경쟁을 하거나 항생 물질을 분비하는 방법을 통해 병원균의 생장을 저해
- 미생물이 분비하는 물질(비스코신, 서팩틴, 펜지신 등)은 식물의 저항성을 유도하거나 항균효과를 나타내기도 함
- * 식물·미생물이 자체적으로 병원균을 인식하게 되면, 식물호르몬 시스템을 조절하여 병해충 저항성을 유도할 수 있음(유도저항성)

(2) 면역력 증가

- 식물도 동물처럼 면역체계를 가지고 있는데 식물 주변 미생물 (마이크로 바이옴)은 식물의 면역력을 높이는데 기여
- 해로운 미생물을 인식하는 다양한 수용체를 통해 외부의 신호를 내부로 전달하는 체계가 동물의 면역과 유사
- 식물 면역을 높여주는 중요 인자는 미생물의 세포벽 구성 물질과 미생물의 분비물들로 진균류(곰팡이)의 세포벽 주요 성분인 키틴과 글루칸, 세균의 지방다당질과 다당류는 미생물을 인식하는데 중요한 역할을 하고, 세균의 편모 구성 물질(플라젤린 등)도 병원균을 인식하여 식물의 면역반응을 일으키는 요소로 작용
- 에틸렌, 자스몬산, 살리실산, 비타민(티아민, 리보플라빈 등), 단백질(harpin 등), 휘발성 물질 등은 대표적인 면역유도물질
- 미생물이 분비하는 리포펩타이드(lipopeptide, surfactin, fengicin, iturin 등)는 낮은 농도에서도 강력한 면역유도 효과를 나타냄
- 식물 면역력을 증가시키는 미생물은 장기간 효과가 지속되고 광범위한 효과가 있다는 특별한 장점이 있음

(3) 병이 없는 토양환경 조성

- 일반적으로 토양에 유기물이 증가하면 식물 주변 미생물이 활발해져 병원성 미생물 성장을 억제
- 병 발생 억제토양(suppressive soil)은 토양 유래 병원균이 존재하지만 식물의 병이 발생되지 않거나 발생률이 적은 토양으로 토양에 존재하는 슈도모나스(*Pseudomonas*) 등의 특정 미생물이 항진균 물질을 분비하여 병원균을 저해
 - * 밀 마름병 병원균 발생을 저해하는 특이한 토양이 밀 연작지에서 실제로 발견
- 병 발생 억제토양 일부분을 병이 쉽게 발생하는 토양과 혼합하기만 해도 병 발생률이 현저히 감소. 즉, 식물 주변 미생물(마이크로바이옴)의 다양성이 높으면 병원균의 증가가 억제되고, 환경변화에 따른 회복력도 빠름.

(4) 식물의 개화시기 관여

- 식물체와 상호작용하는 마이크로바이옴 구성에 따라 개화시기가 현저하게 차이 나는 사례가 보고
- 미생물은 식물 호르몬, 펩타이드, 효소 등 다양한 식물 생리조절 물질을 분비하는데, 구성에 따라 활성화되는 기능이 달라짐
- 특정한 식물의 표현형을 유도할 수 있는 마이크로바이옴의 구조와 특성을 밝히고자 각국에서 활발한 연구가 진행 중

(5) 잡초제거

- 식물이 생육을 저해하는 특정 미생물의 특성을 이용하여 잡초의 생물학적 방제에 적용
- 특정 잡초에 선택적으로 병을 일으키는 병원균을 이용하여 잡초의 생장도 억제가 가능
 - * 농진청에서 개발한 미생물 제초제 다이클로버는 콩과식물에 병을 일으키는 곰팡이균으로 잔디밭과 농경지에서 클로버만 선택적으로 제거

- 현재 사용되고 있는 제초제는 주로 땅 위로 자란 잡초의 생육을 직접적으로 억제하거나 생육이 어렵게 만들어 고사(枯死)시키는 화학물질인 반면 일부 토양 미생물이 잡초 종자발아를 억제하여 초기 발생을 억제하는 친환경 제초제 역할을 한다는 연구결과가 보고
- 토양에 유기물을 공급하면 미생물 수와 이들이 분비하는 효소 활성이 증가하여 잡초 종자의 부패를 촉진
 - * 푸사리움(*Fusarium oxysporum*) 같은 미생물은 종자활성을 저해

(6) 토양 오염물질 정화

- 석유, 중금속, 농약 등에 오염된 토양 복구에 미생물의 상호작용을 이용하면 정화효율을 극대화
- 식물은 분해 미생물의 서식지를 제공하고, 오염물질이 이동할 수 있는 공간을 늘려서 분해효율을 높임. 뿌리 분비물은 오염물질 분해 미생물의 영양분이 되어 미생물의 성장과 활성을 촉진. 또한 뿌리 분비물에 포함된 산화효소들이 오염 물질을 분해하는데 촉매제 역할을 함
 - * 뿌리로부터 3mm 이내에 있는 토양에서 오염물질 분해효율이 가장 높았음
- 오염물질이 토양 알갱이에 흡착되어 있는데 뿌리 분비물이 이들의 용해도를 높이면 미생물이 분해하는 협업을 하기도 함
 - * 유해물질 분해제의 대부분이 토양 미생물로부터 분리하여 얻은 천연물

○ 장내미생물 유전체 연구를 통한 총체적 미생물-숙주간의 커뮤니케이션 이행

- 일반적으로 장내 정상균총(normal flora)은 인체 숙주의 대사과정을 효율적으로 활용하여 안정적인 군집을 형성함과 동시에 숙주와 공생하면서 외부로부터의 위협을 차단하는 기능도 함께 수행함
- 2010년 유럽의 MetaHit 프로젝트는 인간의 장에서 서식하는 미생물 전체의 유전정보를 포괄하는 마이크로바이옴을 발표했다. 인간 지놈 프로젝트에 이어 330만개 미생물들의 유전자를 밝혀낸 것임. 최근 마이크로바이옴 연구는 상관관계와 인과관계를 밝히기 위한 실험적 증명을 넘어,

현재까지의 연구 성과를 질환의 예방과 인간의 건강증진에 적용하기 위한 시도를 향해 나아가고 있음

- 마이크로바이옴 신약 기술은 2011년, 'Science지 선정- 10대 breakthrough 기술' 및 2014년 '세계경제포럼 선정-미래를 바꿀 10대 떠오르는 기술'에 선정되었음. 최근에도 유효 기능성 미생물의 순수 분리 및 발굴 및 효능 평가, 인체 적용 가능성의 탐색과 관련된 연구가 활발히 진행되고 있음

- 현재까지 장내 마이크로바이옴 연구가 메타지노믹스(metagenomics)를 위주로 진행되어 왔다면 앞으로는 특정 조건에서 발현되는 미생물 유전자와 단백질을 평가하는 메타전사체(metatranscriptomics), 메타단백질체(metaproteomics), 대사체학(metabolomics) 등과 같은 보다 정교한 접근법이 활용되어 통합적인 장내 미생물-숙주 간의 커뮤니케이션에 대한 이해가 가능해질 것임

○ 부작용에 대한 대비도 필요.

- 기존의 배양공정 및 엔지니어링 기술과 마이크로캡슐 또는 이중 코팅 기법 등의 신기술에 힘입어 프로바이오틱스와 장내 미생물총(microbiota) 사이의 상호작용 및 커뮤니케이션이 다양한 질병의 연결고리에 관여하며, 이를 조절함으로써 다양한 임상적 효과를 얻을 수 있다는 사실들이 밝혀짐에 따라 프로바이오틱스 산업의 미래는 밝다고 볼 수 있음

- 하지만, 프로바이오틱스는 활성을 가진 생균을 사용하는 만큼 오남용에 따른 부작용의 가능성은 항상 잠재해 있으므로 그 사용에 있어서 주의가 필요하며, 프로바이오틱스의 복용 및 활용에 있어서 좀 더 구체적이고 적절한 가이드라인의 마련이 필요할 것으로 사료됨. 또한, 다음과 같은 내용을 포함한 추가적인 연구가 보강되어야 할 것으로 생각됨

① 표적이 되는 장내미생물총의 변화를 유도하기 위한 프로바이오틱스의 선택은 어떻게 할 것인가

② 건강 증진을 위해 필요한 프로바이오틱스 또는 장내미생물총의 변

화 수준은 얼마가 적정한가

③ 개인별 맞춤형 프로바이오틱스의 개발 필요 또는 수요는 있는가

④ 차세대 프로바이오틱스 및 치료용 미생물은 무엇인가

2.5 산업계 수요 타당성 분석

2.5.1 과학기술적 타당성

○ (새로운 학문영역) 인체 마이크로바이옴이 인간의 질병·건강과 연관이 있다는 사실이 생물학적 관점에서 하나 들씩 밝혀지면서 사람과 자본이 마이크로바이옴을 향해 몰리고 있으므로 산업적 수요에 대응하는 제품개발과 시장 확대가 예상된다.

- 본 “에코 마이크로바이옴 자원센터 구축“ 사업을 통해서 확보된 자원을 사용한 동물, 식물과 미생물간의 상호작용에 관한 과학기술적 연구는 새로운 학문영역으로 발전할 것으로 예상되어 ‘에코 마이크로바이옴 자원센터’구축은 과학기술적인 측면으로 볼 때 매우 타당한 것으로 판단됨

- ‘제2의 게놈’이라고도 불리는 마이크로바이옴 연구는 인체, 동물, 식물에서 살고 있는 개체 수준의 세균, 바이러스, 곰팡이 등 미생물들과 이들 미생물의 유전정보를 모두 연구하는 것을 총칭함. 예를 들어, 현재까지 암 연구는 암 자체에 대한 연구를 통하여 암을 이해하고 치료제를 개발하였지만, 인간의 건강과 질병의 미세한 경계는 숙주(host)와 미생물(microbial factors) 사이의 상호작용에 달려있을 수 있다는 측면을 고려한 새로운 시각의 학문영역으로 발전할 것임

- 최근 염증성 질환과 대사 질환뿐 아니라 감염성 질환, 호흡기 질환, 면역 질환, 희귀 질환, 암 등 점점 더 다양한 질병과 장내 마이크로바이옴 간의 연관성을 찾기 위한 다양한 연구와 개발을 위한 투자가 이뤄지고 있

어 새로운 학문적 연구의 대상으로서 자리를 잡을 것으로 예상됨

- 예를 들면, 면역체계를 강화해 암(癌)을 치료하는 면역치료(Immunotherapy)가 암 치료의 최신 도구로 급부상하면서 암 치료의 효과를 높이기 위해 ‘마이크로바이옴’을 암 치료에 활용하려는 접근은 새로운 분야를 열 것으로 예상됨

○ (인터킹덤 연구의 새로운 지평) 단일 생물체에 대한 생물학적 연구가 숙주와 개체와의 관계에 대한 연구로 확대되고 있음. 특히 인체, 동물, 식물과 미생물간의 상호작용 연구는 그간 매우 제한적이었으나, 2000년대 이후 유전자 수준, 단백질 수준, 대사체 수준에서 연구가 집중되기 시작한 후에는 이러한 연구의 틀을 활용한 인체-미생물, 동물-미생물, 식물-미생물 사이인 인터킹덤 연구로 확대되고 있어 ‘에코 마이크로바이옴 자원센터’는 이러한 인터킹덤 연구의 과학기술적 기반을 제공할 수 있음.

- 인터킹덤 연구는 모든 생물학적 결과의 원인을 단일 생물체의 연구로 밝히고자 하는 관점에서 킹덤간 상호작용을 통해서 그 원인을 밝히려는 시도로 확대되고 있다는 점에서 다양한 킹덤과 상호작용을 하는 “에코 마이크로바이옴 자원센터”의 구축은 매우 필요해 보임

2.5.2 경제적 타당성

○ **새로운 농축산식품산업의 가치혁신:** 기존의 농축산식품산업은 영세하고 기술적 지원의 미흡으로 인해 고부가가치 산업으로 전환이 어려운 면이 있으나, 마이크로바이옴 기술을 적용하여 보다 과학기술적인 지식을 기반으로 하는 새로운 농축산식품산업의 가치를 창출할 수 있는 장점이 있음.

○ **새로운 농축산식품산업 미생물 정보의 자원화를 통한 가치창출:** 농축산식품 유용미생물 정보의 체계화, 자원화를 통해 사업화를 촉진시키고 새로운 가치 창출이 가능하여 경제적 타당성이 매우 높음.

- 농업 유용 미생물 정보의 체계화, 자원화를 통한 실용적인 친환경 농업 생물소재개발 지원체계 구축 및 산업적 활용성 증대를 통한 고기능성 농

- 업 유용미생물 제제의 기술이전, 사업화를 가속화 시킬 수 있음
- 농업 유용미생물기반의 상업화 제품에 대한 표준화된 사전/사후 검증 기준 및 검증 체계 마련을 위한 기초 자료로 활용 할 수 있을 것임
- **새로운 시장의 형성:** 기존의 프로바이오틱스 시장을 뛰어 넘는 새로운 기능을 갖는 신제품의 개발을 통해 새로운 시장을 창출 할 수 있어 경제적 타당성이 높음.
 - 기존의 프로바이오틱스 제품의 기능적 향상과 함께 새로운 마이크로바이옴제품을 개발함으로써 기능적으로 보다 큰 효과를 낼 수 있는 제품의 개발이 가능함

2.5.3 사회적 타당성

- **우리나라 장류의 경제적 가치 확대:** ‘에코 마이크로바이옴 자원센터’를 통하여 새로운 전통 발효 및 주류/장류 미생물과 다양한 발효식품에 최적화된 스타터 균주 개발이 가능하게 되어 국내 장류에 새로운 가치가 부가 될 것임.
 - 주류 및 장류의 품질균일화 및 고품질화를 위한 기반 조성과 관련 미생물지도를 완성하여 미생물 관련 안전성을 입증함으로써 전통주 및 장류 수출의 증대 효과가 있을 것으로 예상됨
 - 유전체, 전사체, 대사체를 종합한 오믹스 분석 기술 확립을 통한 발효식품 미생물의 발효능, 기능성, 안전성 분석 및 검증 시스템 구축이 가능함
- **농축산식품 먹거리의 안정성 확보:** ‘에코 마이크로바이옴 자원센터’의 구축은 국내 농축산식품 발효 제품들의 표준화를 통한 질적 향상을 가져와 농축산 먹거리의 안정성 확보에 일조 할 수 있을 것임.

3. 에코 마이크로바이옴 자원센터의 임무 및 전략

3.1 에코 마이크로바이옴 자원센터의 개념

3.2 에코 마이크로바이옴 자원센터의 기능

3.3 농축산식품산업 파급효과 분석

3.4 에코 마이크로바이옴 자원센터의 기대효과

3.1 에코 마이크로바이옴 자원센터의 개념

3.1.1 전략 방향

- 전략 1: 경제성, 시급성을 고려한 핵심 대상 목록 선정 및 집중투자
 - 산업적 중요도를 고려한 우선 대상 분야 선정
 - ※예시: 돼지>소>닭>반려동물(개, 고양이)>발효식품>고추>벼>기타
 - 사회적 시급성, 국제기후변화 대비 및 극복을 위한 분야
 - ※예시: 항생제대체, 약취제거, 항체역가 증진(구제역), 조류인플루엔자, 프로바이오틱스
 - 마이크로바이옴 분석과 연계한 핵심 타겟 균주 선정 및 발굴
 - ※농축산분야 에코 미생물 발굴 및 확보

- 전략 2. 농축산분야 국가적 난제를 해결하는 에코 마이크로바이옴 자원센터 구축
 - 안전한 먹거리 확보를 위한 신기술 확보
 - ※예시: 화학농약(비료) 대체기술, 항생제 대체기술
 - 국가적 아젠다 극복을 위한 기술 개발
 - ※예시: 녹조제어기술, 감염성 질환(AI, 구제역 등) 제어기술, 축산 폐기물 약취 저감 기술, 기후변화 대응기술 등
 - 남북통일을 대비한 핵심 농축산식품 미생물자원 확보, 활용
 - ※예시: 전통 고유종, 전통식품에 대한 자원 확보, 보존 및 활용

- 전략 3: 농축산식품 및 반려동물 산업의 특성을 감안한 농축산분야 특화 전략
 - 단기간 증식, 증체가 필요한 농축산 분야 특성을 감안한 에코 마이크로바이옴 자원센터 구축
 - 반려동물의 경우 인체마이크로바이옴 산업과 유사한 전략 추진
 - ※만성질환 치료용 마이크로바이옴 자원센터 지향

- 연구센터 구축의 효율화 및 중복투자 방지
 - ※국내 인체 장내미생물은행, 발효식품미생물은행과 연계방안 마련
- 건강한 마이크로바이옴과 농림축산분야 주요 질환 마이크로바이옴의 확보
 - ※농축산 미생물 연구 및 산업화 지원 허브 기능

○ 전략 4: 산업적 활용성 극대화

- 균주 및 분변시료의 표준화를 통한 산업화 연계
- 유전체, 단백질, 대사체 통합정보지원을 통한 산업적 활용기반 강화
- 즉시 산업화 가능한 아이템의 발굴과 이를 보완, 심화하는 R&D의 선순환 사이클 구축
- 미생물 균주 은행과 더불어 치료용 분변은행, 합성미생물은행 모델 지향

○ 전략 5. 자생능력을 갖춘 에코 마이크로바이옴 자원센터

- 마이크로바이옴 자원센터 및 치료용 분변은행 구축
- 국내 기업의 자유로운 이용이 가능한 오픈랩 개념의 도입
- GMP 수준의 자체 생산 능력 및 시설 공동활용에 따른 수익모델 확보



[그림 3-1] 에코 마이크로바이옴 자원센터 구축 전략

3.1.2 센터 개념

- 개념 1: 농림축산식품 연구 및 산업을 지원하는 에코 마이크로바이옴 자원센터
 - 농림축산식품산업 지원을 위한 장내미생물 확보 및 활용기반 구축
 - 이용자 활용 편의성 제공을 위한 통합정보체계를 구축한 장내미생물은행
 - 산업적 활용성을 고려한 표준화된 에코 마이크로바이옴 자원센터
 - 미생물 균주, 대사체, 치료용 분변, 합성미생물체 등에 대한 통합 지원 기능

- 개념 2: 국가적 아젠더에 부합하는 마이크로바이옴 자원센터
 - 건강한 먹거리 제공에 활용되는 마이크로바이옴 자원센터
 - 국가적 농축산 관련 질환 대비, 예방 및 치료 목적의 미생물은행
 - 반려동물 건강 유지 및 치료 산업 지원
 - 기후변화 대비 가축 및 농작물 마이크로바이옴 확보 및 활용
 - 남북통일을 대비한 북한 농축산 미생물 확보 및 보존

- 개념 3: 농·축산·식품 분야 특화 마이크로바이옴 자원센터구축 및 활용 허브 연수센터
 - 가축, 농작물의 건강유지, 성장촉진, 질환치료 목적의 미생물(세균, phage 등) 및 미생물 유래물질의 확보 및 제공
 - 전통발효식품 및 이로부터 유래되는 건강기능식품 산업 지원
 - 국내 다양한 미생물은행 자원의 농축산식품분야 활용 허브 역할

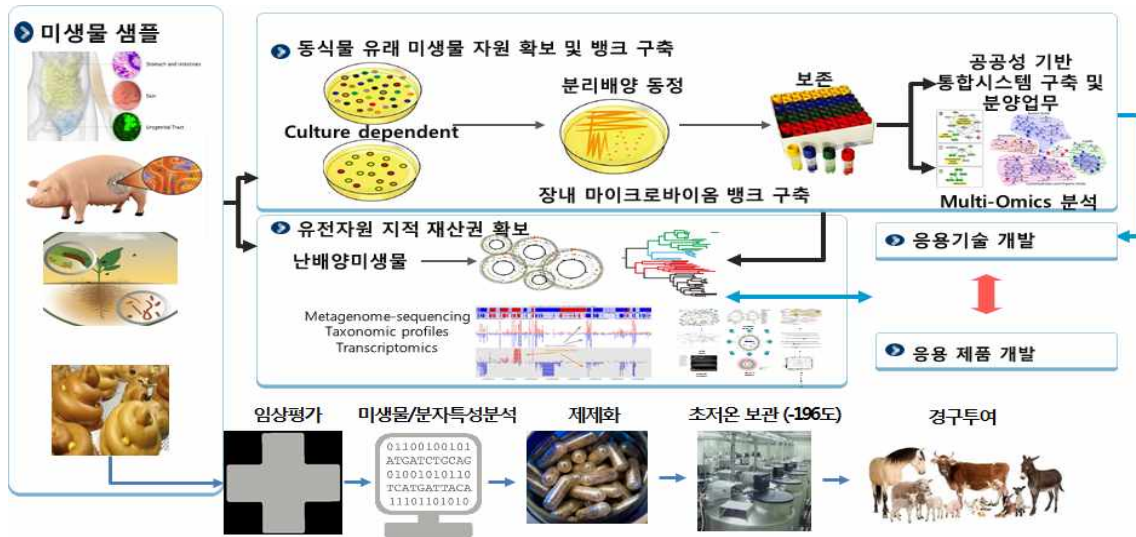
- 개념 4: 단기간 내 자체 운영능력을 갖는 마이크로바이옴 자원센터
 - 현장에서 최우선적으로 활용 가능한 미생물 산업화 추진
 - 프로바이오틱스, 프리바이오틱스, 포스트바이오틱스 총괄 지원
 - 연구지원, 생산능력 및 공동 활용기능을 겸비한 산업체형 연구센터
 - 분변 추출물 판매 및 보급

3.2 에코 마이크로바이옴 자원센터의 기능

- 장내미생물자원이 생명공학 연구개발 및 산업화의 핵심재료로서 중요성이 부각됨에 따라 농축산식품용 미생물자원(실물) 확보, 관리 및 활용을 위한 인프라 역할
- 인체, 동물, 식품, 식물에 존재하는 다양한 미생물 확보 및 이들 미생물자원에 대한 정보 및 특성을 망라한 데이터베이스 (DB) 구축을 통한 미래생명 산업의 발전과 국가 경쟁력 향상
- 체계적인 관리 프로세스를 통한 다양한 미생물자원의 경제적 가치 창출과 신생물 산업군의 경제적 활용성 증대 및 연구 생산성 향상
- 국내 토종미생물 산업화가 필요한 실정인 만큼 미생물 발굴부터 산업화까지 연계되는 체계적인 시스템 구축

3.2.1 장내 및 근권 미생물 확보 및 보급

- 국가 연구개발사업으로 생산된 대량의 인체, 동물, 식품, 작물에 존재하는 미생물 자원을 확보 및 등록하고 효율적으로 활용하기 위한 체계 구축
- 수집된 미생물자원과 관련정보를 유용자원 발굴, 바이오프로브 개발 등 BT 연구에 공동 활용할 수 있는 효율적인 웹기반 범국가 미생물자원 관리체계를 확립
- 확보된 미생물 자원은 실용화를 위한 자체 연구개발 및 관련 분야 연구개발을 위한 지원 사업 등에 활용하고, 향후 치료 및 연구용 미생물 자원으로 보급
- 보존된 마이크로바이옴 자원들은 다음세대의 연구자들에게 전달되어 미래의 기술개발에 접목할 수 있는 미래형 생물자원으로서 국가적 보존·관리를 수행하는 은행 역할



[그림 3-2] 미생물자원의 확보 및 활용기술 개발 지원

3.2.2 에코마이크로 바이옴 사업화 지원

최근 마이크로바이옴 연구는 축산, 식품, 제약, 의료, 농약 등 다양한 농·의약 산업분야에서 새로운 혁신 사업 분야로 떠오르고 있음.

○ 면역증진 및 질병 치료용 사료첨가제 개발

- 최근 항생제 대체제 개발 연구가 세계적으로 활발히 진행되고 있으며 가축 성장 촉진 및 사료 효율개선, 장관기능 개선 등 가축용 프로바이오틱스제 개발이 가능

- 동물항균제 및 항생제 분야의 세계 시장규모는 37억 7천만 달러 (2016년)에서 47억 3천만 달러 (2021년 추정)에 이를 것으로 예상.

* Animal Antibiotics and Antimicrobials Market by Product (Tetracycline, Penicillin, Sulfonamide, Macrolide, Cephalosporin, Fluoroquinolone), Mode of Delivery (Premixes, Oral Powder, Injection), Animal (Food-producing & Companion)-Global Forecast to 2021, Markets and Markets

- 美 FDA 동물사료 항생제 사용금지에 따른 효소사료 (in-feed enzymes), 프로바이오틱스 등 대체제 시장이 확대될 것으로 예상

- 우수 유용 미생물을 활용한 축산 환경개선 기능성 미생물제제 개발
 - 유산균, 효소와 같은 미생물 제제는 가축의 장내 정상 미생물총의 생성 및 유지에 직접적으로 관여하여 대사활성이 높은 유용 미생물의 증식을 촉진하고 이와 함께 소화력을 향상시키고 사료효율을 높임으로써 악취의 주용 발생 원인으로 알려진 분뇨 내 유기물 농도를 저감시킴
 - 이와 별도로 가축분뇨에 광합성세균과 같은 미생물제제를 직접 살포하기도 하는데 광합성세균이 증식과정에서 악취 근원물질인 휘발성 저급지방산, 황화수소 등을 영양물질로 활용하여 악취를 원천적으로 제거함
 - 인공·합성제품이 안고 있는 독성 및 잔류성 문제를 보완할 수 있을 뿐만 아니라 관습적으로 안전성이 인정되어 최근 각광을 받고 있는 미생물·천연물·생약추출물제제는 가축의 장관 내 소화효소 분비를 촉진하고 장벽으로 흡수되는 UGF(unknown growth factor, 미지성자 인자)를 다량 함유한 것으로 알려지고 있어 장내 미생물과 가축의 활력을 높이고 유해, 유익균을 선별 조정하여 소화율 향상에 도움을 줌

- 미생물을 활용한 기후변화대응 기술지원
 - 식물은 성장과정중 생물학적·비생물학적 스트레스에 직면하게 되며 마이크로바이옴은 스트레스 감소에 기여함
 - 무병 토양의 건강한 토양 마이크로바이옴을 병해충 토양에 이식할 경우 유익미생물의 작용으로 토양 병 발생 억제 가능
 - 식물 근권에 서식하는 미생물과 병원균의 양분경쟁, 유익균의 항생물질 분비 등을 통해 병원균의 성장을 억제
 - 또한, 극단적인 더위나 가뭄에도 견딜 수 있는 미생물 조합에 의한 극한

환경에서도 식물 생존이 가능해질 것으로 예상

- 美 indio Agriculture사는 식물마이크로바이옴을 활용하여 식물의 수분활용성을 증대시킨 면화 종자개발에 성공



* 미생물을 이용하여 열악한 농업환경에서 식물의 스트레스 내성을 개선한 신품종 개발로 2016년 100억달러 (약 1,100억원) 투자유치

○ 화학농약대체용 작물 병방제 및 성장촉진제 개발

- 식물 근권 마이크로바이옴은 작물의 양분 흡수를 촉진·억제하기도 하며 이를 활용하여 작물 생육 조절 등이 가능
- 식물 근권 마이크로바이옴은 토양에서 식물이 흡수할 수 없는 양분을 분해하여 식물이 흡수 할 수 있도록 도움
- 또한 미생물이 성장 중 분비하는 이차대사산물을 통해 뿌리 발육과 식물의 초기 생육을 촉진

○ 식물-미생물간의 상호작용을 통해 식물 면역체계 활성화

- 미생물이 분비하는 에틸렌, 자스몬산, 살리실산 등 휘발성 물질은 식물체 내 면역체계를 활성화 시키는 대표적 면역유도 물질
- 이러한 면역유도 물질은 식물병원균이 식물체에 침입했을 때 ISR 및 SAR을 통해 강력하고 빠르게 면역체계를 활성화함
- 미생물에 의한 SAR제어 메커니즘이 밝혀짐에 따라 화학 SAR유도제 보다 효과적인 천연 SAR 유도제 개발이 가능할 것으로 예상

* 유도저항성 (ISR: Induced Systemic Resistance): 유전자에 의해 지배되는 저항성이 아닌 재배법 조절 등 인위적으로 유도한 저항성

* 전신획득저항성 (SAR: Systemic Acquired Resistance): 식물체 한 부위에 스트레스를 가했을 때, 이 정보를 전신에 전달하여 그 스트레스에 대한 저항성이 전신에 유도되는 저항성

○ 건강기능성 식품 (프로바이오틱스 등) 개발

- 인체마이크로바이옴을 활용 장내 유익균 성장 촉진 및 장내 마이크로바이옴의 균형을 유지시켜 장 기능 향상, 신진대사와 면역체계를 강화
- 프로바이오틱스는 생균을 포함하여 복용했을 때 인체에 건강상의 이익을 주는 화합물로 일반적으로 유익균의 결핍이 다양한 질병과 연관이 있는 것으로 추정
- 장내 마이크로바이옴 불균형이 염증성 장질환, 대장암, 비만, 당뇨, 류머티즘, 자폐증 등 다양한 질병과 연관성이 있음
- 장내미생물-아토피 피부염과의 상관관계 연구로 장내 미생물의 구성이 다양 할 수록 아토피 피부염 발생위험을 낮추는 것을 확인
- 프로바이오틱스 시장은 340억 달러 (약 38조원, 2015년 기준) 규모의 거대시장으로 세계적 식품기업 뿐만 아니라 제약, 의약, 화장품 기업들도 투자를 확대하는 추세임

○ 발효식품의 표준화를 통한 고품질화

- 마이크로바이옴을 활용 김치, 주류, 장류, 영장류, 제과·제빵 등 발효식품에 기능성을 부여하고, 표준화를 통한 고품질 식품개발
- 대상, 국순당은 전통 발효종균과 효모를 발굴·연구하여 기능성 및 안전성을 과학적으로 규명하고 산업적으로 활용
- * 대상(중) 김치발효종균: 류코노스톡 메센테로이드 종가집 김치아이 (*Leuconostocmesenteroides subsp. joggajibkimchii*)
- * 국순당 전통효모: 사카로마이세스 세리비지애 KSD-YC (*Saccharomyces cerevisiae* KSD-YC)

3.2.3 에코 마이크로바이옴 활용기업 성장 지원

- 미생물 자원을 필요로 하는 국공립연구소, 대학, 의료기관, 바이오산업계 등에 제공
- 농축산용미생물산업육성지원센터와 유기적으로 협조하여 농축산업 지원
- 유용 생균제의 식품 및 의약품 제품개발에 지원
- 기업체에 맞춤형 미생물을 제공하여 제품 생산효율과 품질 향상 지원

3.3 에코 마이크로바이옴 자원센터의 파급효과

3.3.1 과학기술적 파급효과

- **과학기술기반 전통 발효산업의 가치혁신 실현:** 전통 발효 및 주류/장류 미생물의 개발 및 활용 기반 구축
 - 다양한 발효식품에 최적화된 스타터균주 개발 및 활용 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
- **농축산 미생물의 체계적 활용기반 구축:** 농축산 유용미생물 확보를 통한 미생물 제제관련 첨단 기술 확보
 - 난방제 병해충 검정용 온실 검정법 개발을 통한 신규 약제 개발 기반 마련
 - 미생물 유전체의 구조 및 작용기작 규명으로 인한 우수 미생물 유전자원 선별 및 고효율 미생물 비료 개발
 - 축산 환경개선 유용 미생물의 분리 및 특성 규명을 통해 축산 농가의 온

실가스 배출 및 악취 발생 기작을 규명하는데 유용 정보로 활용 가능하며
추후 미생물체제개발을 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 연구기반 마련

○ **프로바이오틱스 기술 혁신:** 건강기능성 미생물 개발을 위한 첨단기술 개발

- 프로바이오틱스의 대사성질환 개선에 관한 메커니즘 규명 및 유전체학적 접근을 통한 신규 프로바이오틱스 연구 기틀 확립

○ **농축산 미생물 유전자원의 가치 확보 기반구축:** 농식품 미생물자원 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 구축과 연구 네트워크 강화 및 기능성 미생물자원과 유용 유전자원 정보 발굴 확대
- 유용 농축산용 미생물 유전체 정보의 체계화/자원화 및 청정농업 기반 구축을 위한 기술적·학술적 근거 제공
- 농업 유용미생물기반의 상업화 제품에 대한 표준화된 사전, 사후 검증 기준 및 검증체계 마련을 위한 기초 자료로 활용
- 유용미생물 유전자 기능 업그레이드, 유전체 편집기술, 초고속 유전자진화와 관련된 첨단농업미생물공학기술 발전에 기여

○ **농축산 미생물 정보관리시스템 구축:** 유용미생물 자원 및 유전체 정보통합 관리시스템 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 농림축산 식품 분야의 유용 미생물의 활용을 극대화할 수 있음
- 유용미생물 자원의 통합 관리를 통한 연구 산출물의 국가 자산화 인식

제고

- **인터킹덤 연구기반 구축과 신기술 개발:** 미생물-숙주 간 상호작용 이해를 통한 관련 지식기반 구축 및 신기술 개발
 - 동/식물 병원성 미생물의 병원성, 스트레스 저항성 및 이차대사산물 생합성 관련 유전자 발굴 및 이를 활용한 연구의 모델 제공과 전사체 기반 데이터베이스 구축 및 제공을 통한 지식정보 교류 및 식물병 방제 기반 구축에 기여
 - 미생물-숙주 상호작용 연구를 통한 병원성 인자 발굴 및 발병기전 해석, 숙주 내재성 제어기전을 이용한 난치성 질병 치료방법 개선 및 예방기법 구축, 세포내 기생성 균의 숙주 세포내 침입 및 증식 기전 해석 가능
 - 동물용 백신 관련 기술은, 가축의 질병예방 뿐만이 아니라 전 세계적으로 이슈화되고 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 분석을 통한 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 호르몬 재제 사용감소를 통한 친환경 농축수산물을 공급함으로써 농가소득 증대와 소비자 신뢰를 강화

3.3.2 경제적 파급효과

- **농축산업의 체계화와 표준화를 통한 사업화 촉진:** 농업 유용미생물 정보의 체계화, 자원화를 통한 사업화

- 농축산업용 미생물 정보의 체계화, 자원화를 통한 실용적인 친환경 농업 생물소재개발 지원체계 구축 및 산업적 활용성 증대를 통한 고기능성 유용미생물 제제의 기술이전, 사업화를 가속화 시킬 수 있음
- 농축산업용 유용미생물기반의 상업화 제품에 대한 표준화된 사전/사후 검증 기준 및 검증 체계 마련을 위한 기초 자료 확보 필요
- **농축산업의 새로운 성장 동력:** 전통 발효 및 주류/장류 미생물의 표준화 및 고급화를 통한 관련 산업기반 및 수월성을 확보하여 농축산업의 새로운 성장동력으로 확대
 - 주류 및 장류 미생물의 체계적인 분리 및 산업적 이용을 위한 우수 미생물자원의 확보 및 균종의 정상규명에 의한 발효 메커니즘의 과학적 근거 제시
 - 특허 및 산업재산권을 확보하고 전통발효식품 종주국으로서의 위상확보
- **농축산업의 시장 확대:** 농축산 유용미생물 확보를 통한 미생물 제제관련 산업기반 및 수월성 확보
 - 미생물 농약 관련 원천기술 개발을 통한 생물농약 분야 글로벌 기업 육성을 위한 기반 제공
 - 미생물비료 개발을 통한 화학비료 사용 저감으로 농업생태계 보호, 그린 농업 발전 및 고부가가치 미생물 응용 작물생산 기술의 기업화
- **농축산업의 마이크로바이옴 제품 개발 수월성 확보:** 축산유용미생물 확보를 통한 미생물 제제관련 산업 기반 및 수월성 확보
 - 축산환경 개선에 유용한 미생물제제 개발을 통한 시장 선점과 경제적 이익 창출이 가능할 뿐만 아니라, 친환경농업에서의 활용 및 관련 생명공학분야로의 응용영역 확장이 가능
- **미생물자원의 확대 적용:** 농축산식품미생물자원 및 유전체 탐색/발굴 연구역량 강화를 통한 신 산업기반 구축
 - 친환경 에너지, 화장품, 식품, 의약품 등의 다양한 분야에 활용 가능한 미생물 생물자원 확보를 통한 산업 경쟁력 증대

- 수입에 의존하던 종균의 국산화를 통한 안정적이고 효율적인 시장경쟁력 확보
- 기능성 미생물자원 및 유용 유전자원의 확보와 활용으로 국제 경제력 강화와 농림축산식품의 표준화, 품질 향상 및 지표 분석에 활용
- 신규 동/식물 병원성 유전자/단백질을 타겟으로 하는 항진균제 개발 및 지적 재산권 확보를 통한 관련 산업분야에 국내기업 진출 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 작물 생산량 증가, 농업 경쟁력 확보 및 전 세계적으로 대규모 식물바이러스 진단 키트 개발의 선도자 역할을 할 수 있음
- 작물 근권 미생물과 내생미생물의 오믹스 연구를 통해 친환경 미생물의 유용 유전자를 효율적으로 발굴하는 기술은 농업에 활용가능한 유용 소재의 개발과 생산을 촉진함으로써 농축산업에 광범위한 파급 효과를 유발할 것으로 기대됨
- 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

3.3.3 사회적 파급효과

- 새로운 농축산업의 가치혁신: 농림축산식품 산업용 유용 미생물 자원의 통합 관리를 통한 연구 산출물의 국가자산화 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 기술지도를 위한 기초 정보로 활용
 - 확보된 참조유전체/메타유전체 정보를 바탕으로 새로운 친환경·고기능성 유용 농용자원의 확보 및 이를 활용한 실용적인 농업정책 마련을 위한 기초자료로 활용
 - 유전체 연구의 발전은 농축산식품산업 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 병원성 진균의 제어 및 방제법 개발로 농림축산분야의 생산성 증가를 통한 농가수입의 증대
- **안전한 농축산식품 먹거리 확보:** 안전한 농축산식품 먹거리 제공을 위한 정부차원의 미생물제제 표준화, 체계화 기반 안전망 구축 및 보건 향상에 기여
- 주요 농작물 및 가축 질병의 효율적인 제어를 통해 안전한 먹거리 제공 및 국민보건 향상에 기여
 - 대용량 유전체 연구를 기반으로 하는 동물 병원성 미생물의 진단, 제어 및 치료법 개발은 초고령 사회를 맞이하는 일반국민의 건강하고 행복한 노후생활에 크게 기여 할 수 있음

3.4 에코 마이크로바이옴 자원센터의 기대효과

- 에코 마이크로바이옴 자원센터는 미래 바이오산업에서 중심적 위치를 차지하고 있는 동물, 식품, 식물에 존재하는 ‘미생물자원’의 확보, 관리 및 활용 기반 구축으로 산학연에 연구자원 지원이 가능함
- 동물 마이크로바이옴 연구 분야는 아직 초기 연구단계에 있으나 미생물이 가축의 건강 및 환경에 미치는 영향과 현대 농업의 지속 가능성에 대한 기여는 새로운 시장 창출 기회를 제공 할 것으로 기대됨.

- 미생물 기반 솔루션이 기존의 농약보다 효율적으로 사용되기까지는 수년이 더 걸리겠지만, 정부 및 관련 업계의 투자에 기여한 완벽한 미생물 메타게놈의 해독으로 관련 신생 업체의 출현과 진보된 농업용 마이크로바이옴 제품이 폭발적으로 증가할 것으로 기대됨.
- 가축과 작물의 질병은 생산성을 떨어뜨리고 인간의 먹이 사슬에 들어가는 질병으로 이어질 수 있으므로 인간, 가축, 작물을 포함한 모든 생명체에서 마이크로바이옴의 다양성을 제고하고 기능을 강화시키는 것은 동·식물의 질병예방 뿐만 아니라 항생제, 농약, 화학비료의 사용을 감소시킴으로써 궁극적으로는 식품안전성을 높이고 지구의 환경도 보호할 수 있는 방안이 될 수 있을 것임 [그림 2]
- 현재 우리나라에서 가축 및 작물용 미생물을 생산 판매하는 다수의 기업체들은 있으나 아직 마이크로바이옴 수준까지 연구개발을 할 수 있는 업체들은 아주 제한적이므로 국가적 차원의 연구개발을 통한 기술보급이 효율적일 것으로 기대됨.
- 구축된 마이크로바이옴 자원센터는 각 산학연에 고가의 분석장비 및 metagenome DB 를 공동으로 활용할 수 있도록 하고, 창업공간의 제공과 및 전문인력 교육훈련을 실시하는 연구허브 역할을 할 수 있을 것으로 기대됨.
- 이를 바탕으로 바이오소재 및 농식품산업에서 국가 경쟁력 확보를 통한 글로벌 산업화 촉진, 미생물 기반 바이오공정기술의 첨단화를 통한 차세대 바이오산업 경쟁력 확보, 국산 고부가가치 미생물자원을 활용한 자원 수입대체 효과 등이 기대되어짐
- 아울러 국내·외 미생물 관련 기업의 교육 및 연구기관의 특화된 인적·물적 네트워크를 활용한 바이오분야 산업화 촉진의 효과도 가져올 것으로 예상됨
- 에코 마이크로바이옴 자원센터는 향후 이러한 국가 연구지원 인프라를 바탕으로 미생물자원의 가치제고를 통해 국가 생물자원 주권을 강화하

는 역할을 수행할 것으로 기대됨

4. 에코 마이크로바이옴 자원센터의 설립 및 운영 계획(안)

4.1 에코 마이크로바이옴 자원센터 건립사업 추진 방안

4.2 에코 마이크로바이옴 자원센터 건설사업 개요

4.3 에코 마이크로바이옴 자원센터 건설사업 개요

4.4 에코 마이크로바이옴 자원센터 운영 조직

4.1 에코 마이크로바이옴 자원센터 건립사업 추진 방안

[표4-1] 에코 마이크로바이옴 은행 사업 개요

구 분	내 용
사업 명칭	에코 마이크로바이옴 은행 설립 및 운영 사업
추진 주체	농림축산식품부
사업기간	2019년 ~ 2021년 (총 3년) - '19년: 실시설계 - '20~'21년: 건설 및 장비구축
총사업비	300억 원
전략과제	<ul style="list-style-type: none"> ○ 에코 마이크로바이옴 은행 센터 건설 사업 ○ 농축산 마이크로바이옴 분석, 제어 및 بانک 사업 ○ 농축산 마이크로바이옴 활용 사업 (R&BD 사업) ○ 관련 기업 육성 사업 (인큐베이션 사업)

4.2 에코 마이크로바이옴 자원센터 건설사업 개요

□ 사업 목적

에코 마이크로바이옴 은행 건설을 통한 관련 산업 육성 중심 거점 구축

□ 사업 기간

센터 실시설계 용역 : 2019년

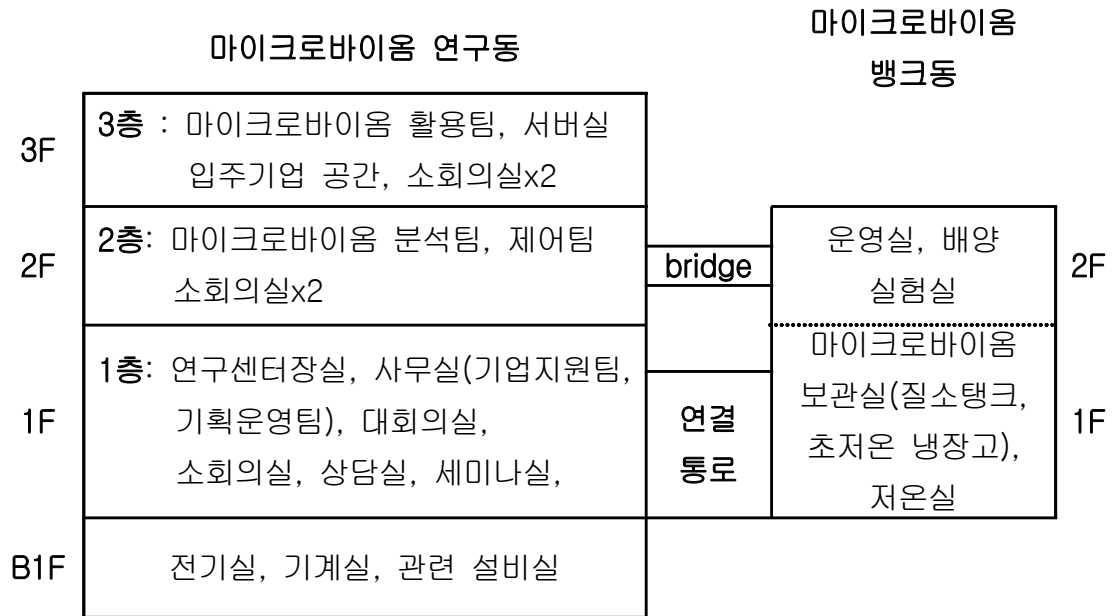
건축시공 : 2020~2021년

□ 사업비

총사업비 300억원 : 실시설계 용역 10억 원, 건축비 185억 원,
시설장비 구축비 105억 원

□ 에코 마이크로바이옴 은행 설계 기본개념

- 은행 운영 및 연구동 : 은행 운영에 필요한 사무실과 마이크로 바이옴 연구 및 입주기업을 위한 공간 구축
- 마이크로바이옴뱅크동 : 2층 규모의 뱅크동으로 다양한 마이크로 바이옴 보관, 관리 등을 위한 건물로서 보안을 위하여 별도의 동으로 구축
- 기타 시험포장, 온실, 실험동물실 등은 별도 구축



효능 시험동

실험동물 사육실, 동물 실험실	
시험포장	온실

[그림 4-1] 에코 마이크로바이옴 자원센터 설계의 기본 개념도



[그림 4-2] 에코 마이크로바이옴 자원센터 예상 조감도

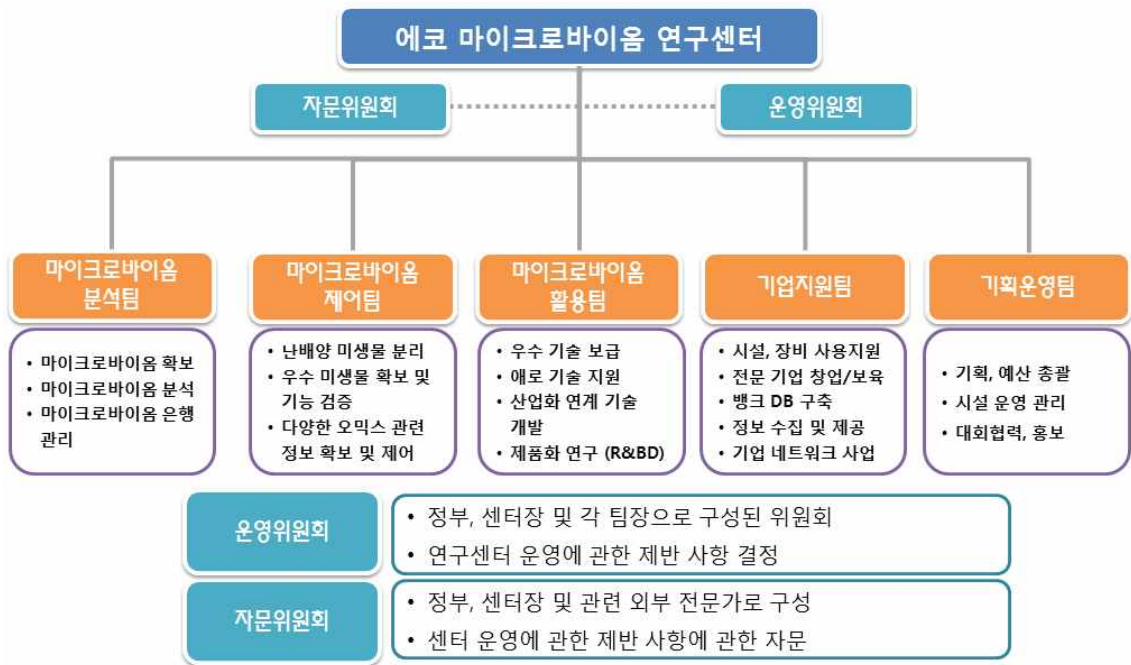
[표 4-2] 에코 마이크로바이옴 은행 건축 개요

구 분		세부 내용
대지조건	대지면적	15,000 m ²
	지역지구	준주거지역
용 도		교육연구시설(연구소)
건축면적		3,500 m ²
전체연면적		지하1층면적 : 1,500 m ² 지상1층면적 : 2,200 m ² 지상2층면적 : 2,200 m ² 지상3층면적 : 1,400 m ² 온실: 600 m ² 실험동물 사육실 및 실험실: 600 m ² 시험포장: 1,000 m ²
용적을 산출을 위한 연면적		5,800 m ²
건 폐 율		$3,500 / 15,000 * 100 = 23.33 \%$
용 적 율		$7,000 / 15,000 * 100 = 46.67 \%$
층 수		은행, 연구동 : 3층, 마이크로바이옴 뱅크 : 2층
주차대수		옥외 50대
조경면적		4,600 m ²

4.3 에코 마이크로바이옴 자원센터 운영(안)

○ 에코 마이크로바이옴 자원센터 운영 조직 및 역할

- 운영위원회를 상설화하여 연구센터의 전반적 운영뿐만 아니라 연구센터에서 수행하는 주요 사업과 가축 및 작물용 마이크로바이옴 관련 연구 및 산업의 발전을 위하여 연구센터 운영에 대한 제반 사항을 조정 및 결정
- 외부 전문가로 구성된 자문위원회를 두어 에코 마이크로바이옴 자원센터 운영 자문을 통한 연구센터 운영 및 역할의 효율성 확보
- 연구 개발실을 두어 에코 미생물 산업 육성 산업화 기술개발 사업에 대한 주요 연구를 수행하고, 다양한 연구자 및 기업체가 본 연구센터를 통하여 다양한 기술을 이전 받거나 공동 연구를 하여 실질적인 도움이 되는 조직으로 구성
- 마이크로바이옴 분석, 제어, 활용팀을 두어 관련 연구를 수행하여 연구센터의 역할을 고도화 하며, 기업지원팀을 통하여 관련 기업에게 필요한 다양한 교육, 연구 지원, 기술 이전을 주도할 수 있도록 조직
 - ※ 마이크로바이옴 분석, 제어, 활용팀 : 각 분야 전문가들로 구성된 연구 조직
 - ※ 기업지원실 : 관련 기업 지원을 위한 전문 조직

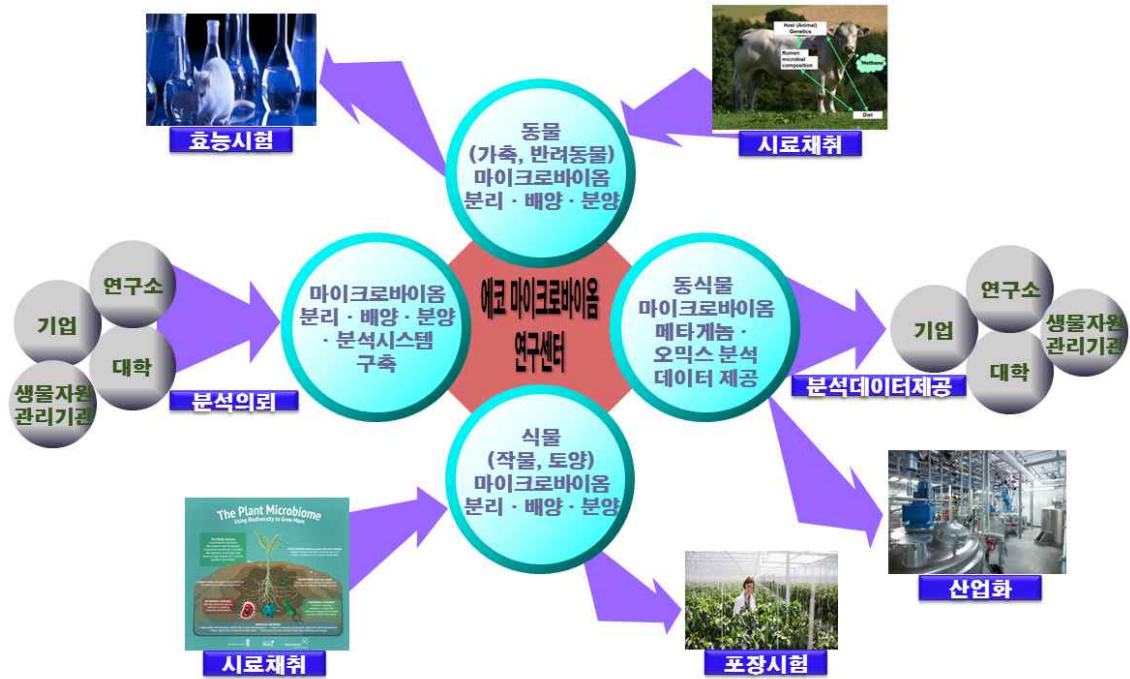


[그림 4-3] 에코 마이크로바이옴 자원센터 운영 및 조직

[표 4-3] 에코 마이크로바이옴 자원센터 조직도

조직	업무	인력(명)
센터장	- 센터 총괄책임 운영	1
마이크로바이옴 분석팀	- 마이크로바이옴 확보 - 마이크로바이옴 분석 - 마이크로바이옴 자원센터 관리	6
마이크로바이옴 제어팀	- 난배양 미생물 분리 - 우수 미생물 확보 및 기능 검증 - 다양한 오믹스 관련 정보 확보 및 제어	4
마이크로바이옴 활용팀	- 우수 기술 보급 - 애로 기술 지원 - 산업화 연계 기술 개발 - 제품화 연구 (R&BD)	2
기업지원팀	- 시설, 장비 임대 - 전문 기업 창업/보육 - بانک DB 구축 - 정보 수집 및 제공 - 기업 네트워크 사업	2
기획운영팀	- 기획예산총괄 - 시설운영관리 - 대외협력홍보	3
총 계		18

○ 에코 마이크로바이옴 자원센터 운영 모델(안)



[그림 4-4] 에코 마이크로바이옴 자원센터 운영 모델

○ 에코 마이크로바이옴 자원센터 인력 운영 계획(안)

[표 4-4] 연도별 인력 확보 계획

조직	2022	2023	2024	2025	2026	2027 이후	소계
은행장		1					1
마이크로바이옴 분석팀	(1)	2	2	1	1		6
마이크로바이옴 제어팀	(1)	1	2	1			4
마이크로바이옴 활용팀		1	1				2
기업지원팀	(1)	1		1			2
기획운영팀	(1)	1	2				3
누적 합계	(4)	7	14	17	18		18

* 2020년 인력은 향후 선정된 운영주체에서 자체 인력 활용

4.4 마이크로바이옴 자원센터 입지 및 운영주체 선정 기준(안)

4.4.1 입지선정 방식

- 에코 마이크로바이옴 자원센터의 입지 및 운영주체 선정 방식으로 공모방식과 지정방식을 고려할 수 있으나, 공모방식의 장점과 정책적 분위기를 고려하여 공모를 통한 선정방식이 바람직할 것임.
- 특히 공모방식은 지역자치단체의 의지로 유치신청을 하게 함으로써, 지자체의 관심 및 적극적인 협조를 자연스럽게 유도할 수 있고, 연구센터를 유치하여 사업을 추진하는데 있어서도 효율성을 제고할 수 있을 것임.
- 최근 마이크로바이옴은 생명공학분야에서 주요 이슈가 되고 있는 분야로 많은 대학과 연구기관에서도 연구센터 유치에 대한 관심이 많아, 지자체와 운영주체를 묶는 공모방식이 더욱 효율적일 것으로 판단됨.

[표 4-5] 연구센터 입지선정 방식에 따른 장·단점 비교

구분	공모방식	지정방식
장점	<ul style="list-style-type: none"> - 지역에 공평한 기회 부여 - 선정결과에 대한 불만 최소화 - 지자체의 관심유도 및 적극적 협조로 추진효율성 제고 	<ul style="list-style-type: none"> - 이해관계를 배제한 객관적, 정책적 의사결정 가능 - 신속한 의사결정 및 소모적 논쟁 최소화
단점	<ul style="list-style-type: none"> - 지자체 간 과열 경쟁 	<ul style="list-style-type: none"> - 선정되지 못한 지역의 공정성 관련 문제제기 가능 - 경쟁이 없어서 운영효율의 저하 가능성

4.4.2 입지 및 운영주체 선정 기준

에코 마이크로바이옴 자원센터는 성공적으로 역할을 수행하기 위한 최적의 입지 및 운영주체 선정 기준이 필요하며, 다음과 같은 항목들을 평가 기준으로 함.

가. 운영 주체의 경쟁력 확보 측면

- 에코 마이크로바이옴 자원센터를 효율 적으로 운영하기 위해서는 무엇보다도 운영주체의 기술력과 장비운용 능력이 가장 중요한 요소임.
- 특히 혐기성 미생물 및 토양 미생물의 분리 배양 능력과 메타게놈 분석 및 해석 능력, 단백질, 대사체 등 오믹스 분석 능력의 확보가 중요함.
- 운영주체의 성격에 따라 다음과 같은 운영상의 장단점을 예상할 수 있음.

[표 4-6] 연구센터 운영 주체별 장·단점 비교

운영주체	정부출연(연)	대학	지자체 출연(연)
장점	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 인력 및 조직을 활용한 빠른 정착 가능 - 전문연구센터로 육성 가능 - 전문연구인력 확보 수월 - 출연연의 경쟁문화로 장기적인 측면에서 경쟁력 강화에 유리 - 산학연 허브역할 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 인력 양성 효과 - 학생 활용으로 인건비 절감 - 초기 운영 및 정착 유리 - 다양한 미생물 활용방안 설계 가능 - 해당지역 기관과의 연계 시스템 구축이 용이 	<ul style="list-style-type: none"> - 지자체의 지원으로 예산 확보 유리 - 건설비의 지자체 매칭에 유리 - 건설부지 확보에 유리 - 전문연구센터로 육성 가능 - 지자체의 관리감독으로 운영자의 책임감이 큼
단점	<ul style="list-style-type: none"> - 예산의 증속화 - 공공성이 강한 서비스 기능 약화 우려 - 민간으로부터 추가 재원 확보 어려움 - 정부의 재정지원이 약화될 우려 - 센터운영은 PBS에 따른 예산 확보로 산업체 지원의 한계 - 기존 조직에 포함되어 있어 독립성이 떨어지고 운영 책임자의 사명감 저하 우려 	<ul style="list-style-type: none"> - 본부 차원의 지원이 소극적일 우려 - 경쟁 마인드 부족에 따른 서비스 마인드 부족 가능성 - 특정 교수에 예속화될 우려 - 후속 성과의 관리감독에 불리 - 일정 기간 후 대학 조직에 흡수되어 유명무실화 될 가능성 	<ul style="list-style-type: none"> - 전문인력 확보에 불리 - 신규 채용으로 인한 인건비 부담이 큼 - 마이크로바이옴 관련 연구에 대한 전문성 부족 - 연구비 수주 및 기업지원에 한계 - 전국적인 지원시스템 구축에 불리 - 연구네트워크 구축에 불리

나. 지리적 측면

- 지역내에 공동연구 네트워크 구축이 용이한 농축산식품 미생물관련 대학 및 연구기관의 유무와 이들 기관의 전문성이 중요한 평가 요소가 되어야 할 것임.
- 에코 마이크로바이옴 자원센터는 농축산 또는 식품산업에 종사하는 사람들을 직접 상대하는 것이 아니고 가축, 애완동물 및 각종 작물재배지로부터 마이크로바이옴을 채취, 분리, 보관 및 보급하고, 오믹스 연구를 수행하는 기관으로 각 지역으로부터의 접근성이 우수할수록 장점이 있음.
 - 철도역(반경 20km)과 공항(반경 50km) 유무
 - 인근에 위치한 고속도로 유무

다. 정책적 측면

- 에코 마이크로바이옴 자원센터 건축과 관련하여 공간적인 요소를 평가해야 하며, 클러스터로의 성장 가능성까지 고려해야 함.
 - 부지 매입비
 - 토목공사에 과도한 비용이 소요되지 않는 부지
 - 미생물산업 클러스터로의 성장을 대비하여 주변 여유 공간의 유무
 - 주민들의 찬반 의식
- 지자체의 지원에 따라 연구센터 운영의 효율이 달라지므로, 입지선정과 관련하여 지자체의 유치의지 및 지원계획이 매우 중요함.
 - 미생물 산업이 정책적으로 지원 받을 수 있는지를 판단하기 위해 지자체 시책과 미생물산업 간 연계성 고려
 - 지자체의 농축산용 마이크로바이옴산업육성 계획
 - 예산 확보 가능 여부
- 우수 인력의 유출을 막고, 생활의 편리함을 제공하기 위해 정주환경을 고려
 - 교육·의료·주거문화 등 생활 편의시설
 - 50km 안에 50만명 이상이 거주하는 도시의 유무

[표 4-7] 유치신청서 항목

구분	신청서 항목
우수인력 확보	<ul style="list-style-type: none"> - 운영주관기관 미생물 분리, 보존, 배양 전문인력 수 - 운영주관기관 오믹스 분석 전문 인력 수 - 인근 미생물 관련 학과를 보유하고 있는 대학 수
지역 타기관 연계성	<ul style="list-style-type: none"> - 지역내 농축산식품 미생물관련 전문 연구기관 - 협력 가능한 단체/협회 - 시험 연구기관
교통 인프라 우수성	<ul style="list-style-type: none"> - 철도 접근성 (반경 20km 철도역 유무) - 고속도로 접근성 (인근 고속도로 유무) - 항공 접근성 (반경 50km 공항 유무)
정주환경	<ul style="list-style-type: none"> - 50km이내 50만 이상 도시 유무 - 생활편의시설 여건
지자체 유치의지	<ul style="list-style-type: none"> - 연구센터 내 기업입주 장려 계획 - 예산 확보 가능 여부 - 미생물산업 육성 정책 유무 - 클러스터로의 성장을 대비한 여유부지 유무 - 주민의 찬반 유무

4.5 수요자 설문 및 방문 조사 분석

설문 조사 개요

□ 설문조사 기간 : '18년 11월 19일~12월 05일

□ 설문조사 방법 : 1:1 대면 방식

□ 설문 내용

○ 에코 마이크로바이옴 자원센터 설립 필요성 및 추진 요청사항 5문항

□ 설문조사 응답 결과

○ 응답 업체 현황

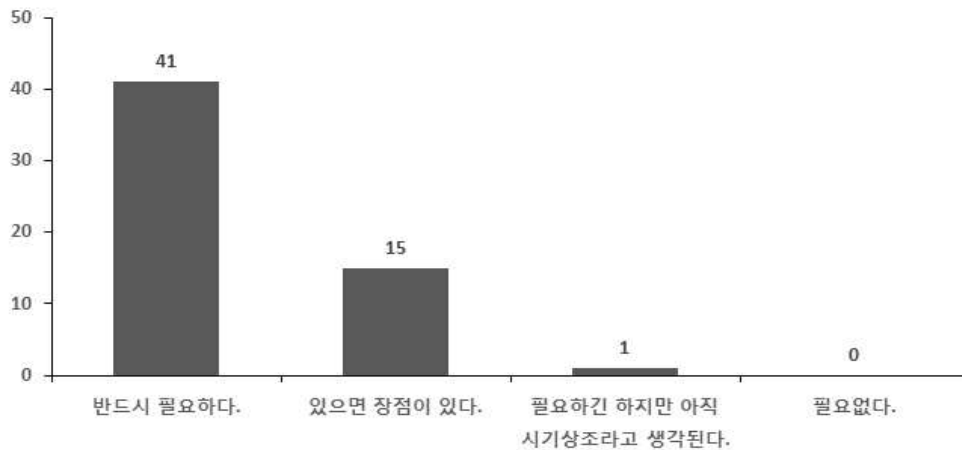
- 기업 소속 응답 업체 현황 : 대 기업 1개
 중 소 기 업 2개
 벤 처 기 업 3개

- 대학, 출연(연), 정부기관 소속 업체 현황 : 출연(연) 35개
 민간 연구소 2개
 대학 13개
 국공립연구소 1개

- 미생물제품 개발/산업화 경험 및 설비 규모, 애로사항 5~7문항

□ 에코 마이크로바이옴 자원센터 설립 필요성 및 추진 요청사항

- 문1. 농림수산식품부에서는 농생명 마이크로바이옴 분야 산업의 육성을 위해 에코 마이크로바이옴 자원센터 구축을 계획하고 있습니다. 위와 같은 센터 설립이 필요하다고 생각하십니까?

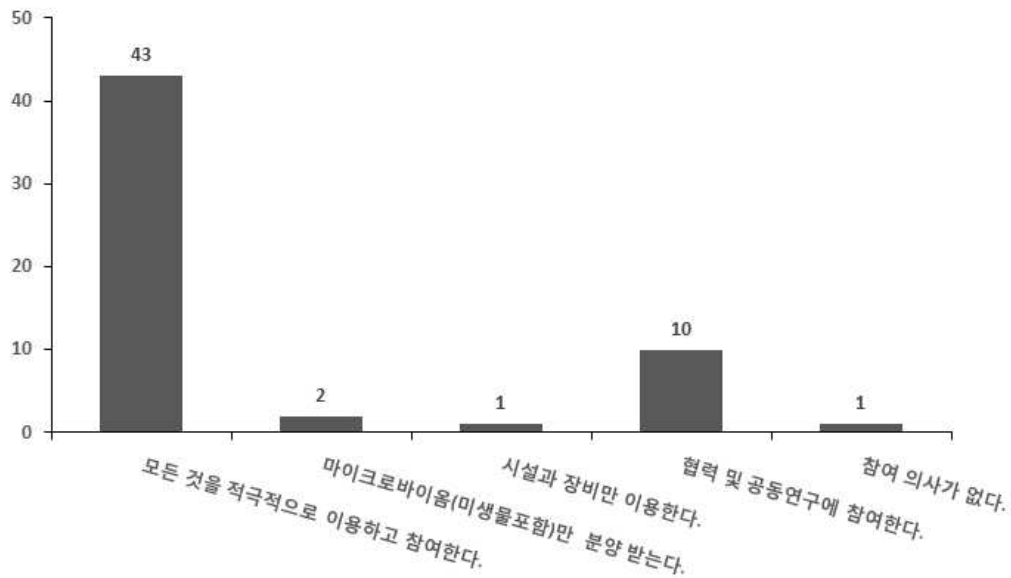


* 응답자 base : 전체 응답자 (n=57)

[그림 4-5] 에코 마이크로바이옴 자원센터 필요성

- 반드시 필요하다는 업체가 41개 (70.7%), 있으면 장점이 있다는 업체가 15개 (25.9%), 필요하긴 하지만 아직은 시기상조라고 대답한 업체가 1개 (1.7%)였음

- 문2. 에코 마이크로바이옴 자원센터가 구축된다면 귀 기관(귀하)은 센터의 마이크로바이옴(미생물포함), 시설 및 장비 이용, 협력 및 공동연구 참여 의사가 있습니까?

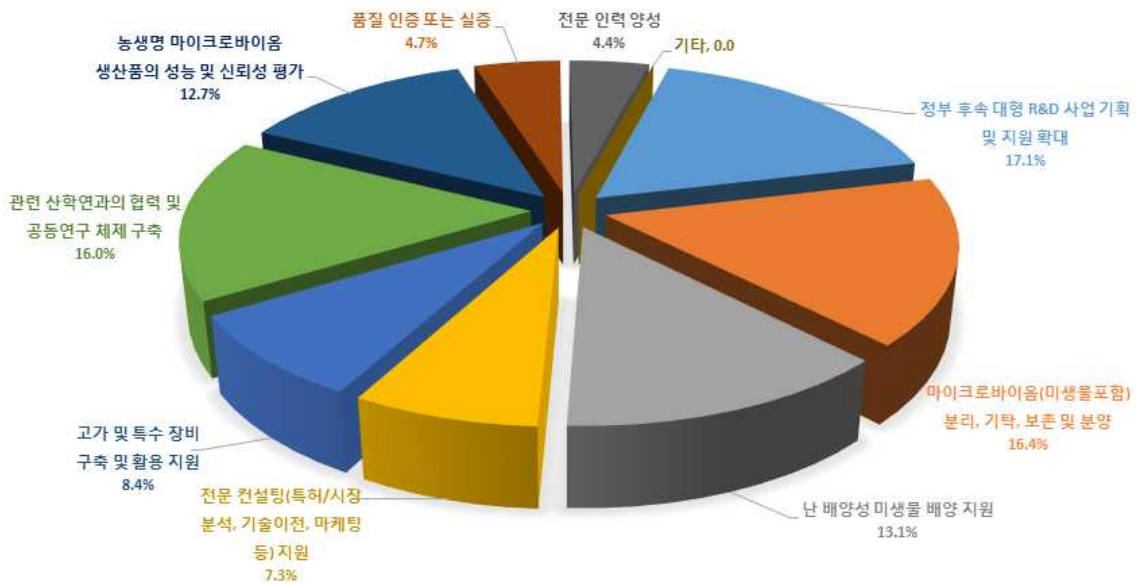


* 응답자 base : 전체 응답자 (n=57)

[그림 4-6] 에코 마이크로바이옴 자원센터 이용 의사

- 구축이 된다면 모든 것을 적극적으로 이용하고 참여한다는 업체가 43개(74.1%), 협력 및 공동연구에 참여한다가 10개(17.2%), 마이크로바이옴(미생물포함)만 분양 받는다가 2개(3.4%), 시설과 장비만 이용한다 및 참여 의사가 없다가 1개(1.7%)임

○ 문3. 에코 마이크로바이옴 자원센터가 농생명 마이크로바이옴 분야 산업 육성을 위해 가장 우선적으로 추진해야할 사항 무엇이라고 생각하십니까? (5가지 선택)

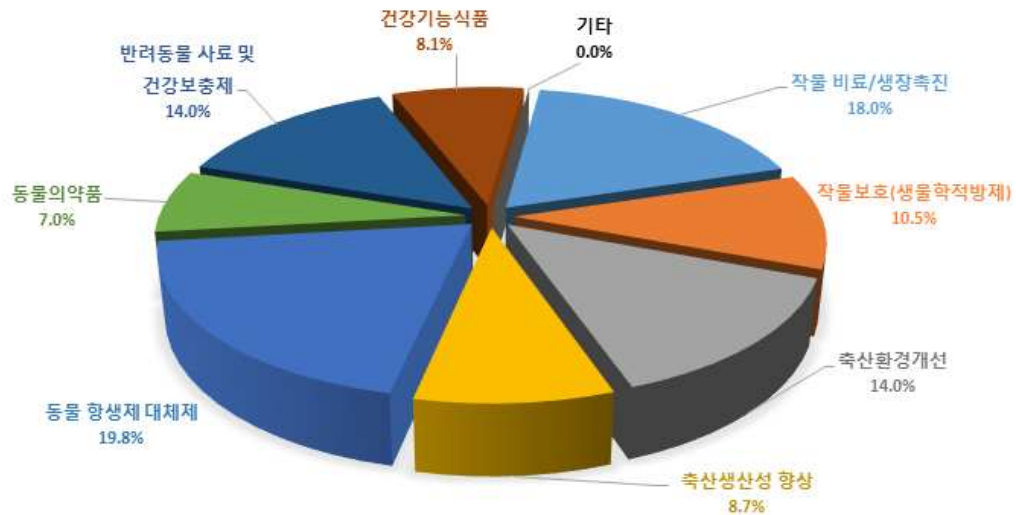


* 응답자 base : 전체 응답자 (n=57)

[그림 4-7] 에코 마이크로바이옴 자원센터 추진 사항

- 정부 후속 대형 R&D 사업 기획 및 지원 확대가 47개(17.0%), 마이크로바이옴(미생물포함) 분리, 기탁, 보존 및 분양이 45개(16.3%), 관련 산학연과의 협력 및 공동연구 체제 구축이 44개(15.9%), 난 배양성 미생물 배양 지원이 36개(13.0%), 농생명 마이크로바이옴 생산품의 성능 및 신뢰성 평가가 35개(12.7%), 고가 및 특수 장비 구축 및 활용 지원이 23개(8.3%), 전문 컨설팅(특허/시장분석, 기술이전, 마케팅 등) 지원이 20개(7.2%), 품질 인증 또는 실증이 13개(4.7%), 전문인력 양성이 12개(4.3%), 순으로 차지하고 있음

○ 문4. 농생명 마이크로바이옴 산업 분야 중 가장 유망한 분야는 무엇이라고 생각하십니까? (3가지 선택)

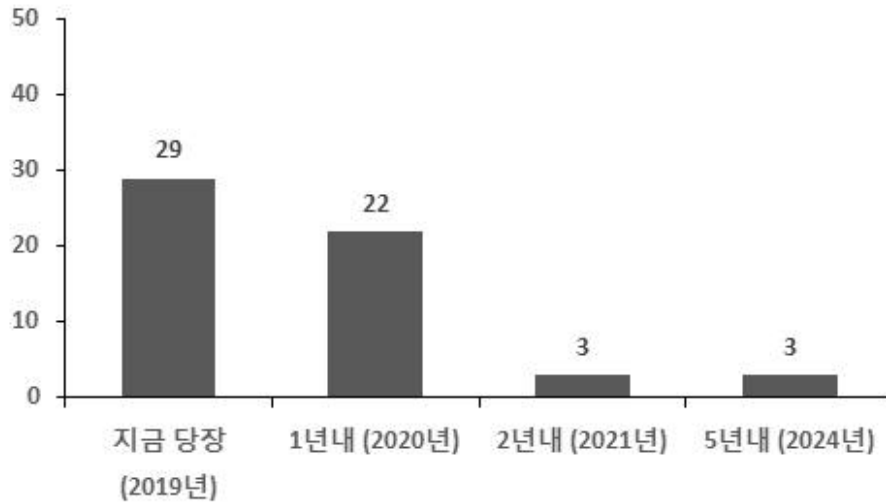


* 응답자 base : 전체 응답자 (n=57)

[그림 4-8] 농생명 마이크로바이옴 산업 분야 중 유망한 분야

- 동물 항생제 대체제가 34개(19.7%), 작물 비료/생장촉진이 31개(17.9%), 축산환경개선과 반려동물 사료 및 건강보충제가 24개(13.9%) 작물보호(생물학적방제)가 18개(10.4%), 축산생산성 향상이 15개(8.7%), 건강기능성식품이 14개(8.1%), 동물의약품이 12개(6.9%) 순으로 차지하고 있음

○ 문5. 에코 마이크로바이옴 자원센터 설립이 필요하다면 언제쯤 설립이 되어야합니까?

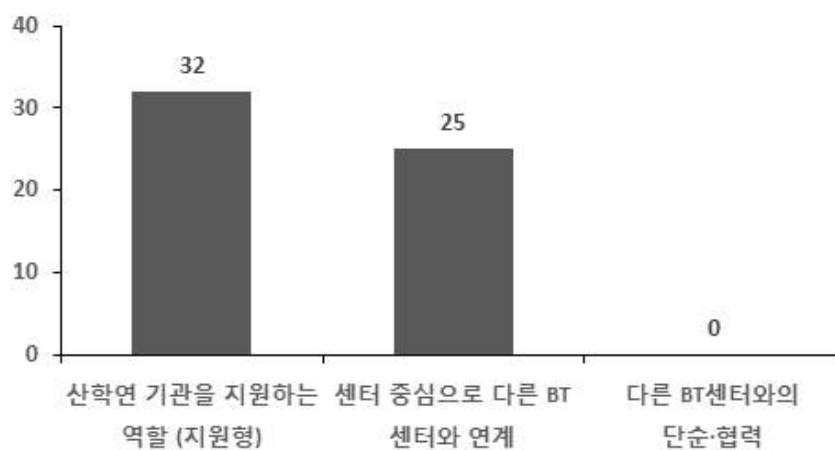


* 응답자 base : 전체 응답자 (n=57)

[그림 4-9] 에코 마이크로바이옴 연구 센터 설립 시기

- 지금 당장(2019년)이 29개(50.0%), 1년내(2020년)이 22개(37.9%), 2년내(2021년) 및 5년 내가 3개(5.2%)였음

○ 문6. 어떤 형태로 설립되는 것이 효율적인 연구 및 산업 지원에 도움이 된다고 생각하십니까?



* 응답자 base : 전체 응답자 (n=58)

[그림 4-10] 에코 마이크로바이옴 연구 센터 이용 형태

- 산학연 기관을 지원하는 역할(지원형)이 32개(55.2%), 센터 중심으로 다른 BT센터와 연계가 25개(43.1%), 다른 BT센터와 단순 협력이 0개(0.0%)였음

○ 문7. 향후 센터 구축 후 지속적인 발전을 위해 필요한 항목

- 에코 마이크로바이옴 자원센터 구축 관련 H/W 예산 뿐만 아니라 실질적으로 운영 및 연구관련 S/W 예산 지원 필요
- 단기사업으로 끝나는 것이 아니라 후속사업 발굴을 통한 국내 에코 마이크로바이옴 산업육성이 필요
- 비록 에코 마이크로바이옴 자원센터 구축 예산은 농식품부에서 진행하더라도 추후 산업육성을 위해 다부처 사업으로 진행 희망
- 한국 흙 마이크로바이옴 (Korea Atlas of Soil Microbiome)과 같은 대형 분석으로 우리나라 전체를 농업생산성 환경 문제에 해법을 제공
- 동물의 영양, 환경 관계 마이크로바이옴 분리
- 농생명 마이크로바이옴의 상용화를 위한 산학연 연계 시스템 구축
- 마이크로바이옴 자원을 단순히 모으기 위한 은행 구축은 큰 의미가 없고 관련 R&D 사업과 함께 추진되어야 소기의 성과 달성 및 시너지 효과가 가능할 것임. 예를 들면, 과기부 소관의 농식품 관련 기초원천연구사업, 농식품부 미생물유전체전략연구사업(후속), 유전체기반 미생물산업화기술 개발사업, 미생물산업육성지원센터, 마이크로바이옴 크 밴등 ('에코'라는 표현은 환경부의 반발 우려가 있음.)
- 바이오기술과 IT 기술을 접목한 농축산 마이크로바이옴의 지속적인 발전
- 현상적 마이크로바이옴 결과보다는 마이크로바이옴의 식물, 동물 등에 대한 유용기능의 작용 메커니즘 규명을 우선 연구해야 된다

고 생각함

- 전문 운영인력 확충을 통한 지속적인 운영, 서비스 및 업데이트
- 관련 연구수행 주체(산학연)과의 정기적인 교류회를 통해 수요와 공급의 균형을 맞추며, 국내 환경에 적합한 마이크로바이옴 연구 수행이 필요함
- 초기 기업에서는 마이크로바이옴의 분양 및 분석 설비 등의 지원이 우선적으로 필요합니다. 초기 검토시에 고려하시면 기업 측면에서는 많은 도움 될 것으로 판단됨
- 인프라구축(마이크로바이옴뱅크 구축, 지원체계)과 연구 및 실용화가 연계될 수 있는 프로그램 수립이 필요함. 이를 위하여 인프라구축을 우선적으로 추진하고 연구를 통한 실용화가 진행 될 수 있는 예산 투입이 필요할 것임
- 에코 마이크로바이옴 자원센터 구축 후 마이크로바이옴 산업육성을 위해 유망 마이크로바이옴기술동향조사, 상용화사례와 연구개발과 사업화를 위한 기관들의 유기적인 연계구축으로 시너지효과를 확립하는 선도적 역할을 해주기를 기대함
- 기존 마이크로바이옴센터와 농생명 마이크로바이옴의 협력 및 특화 전략 필요
- 더욱 더 발전하여 마이크로바이옴 전문 독립적인 정부출연연구기관으로 출범하기 바람.
- 최신 유전자 크리스퍼 기술과 합성생물학 기술의 융합이 필요.
- 산학연의 조화로운 운영이 필요
- 전문인력 양성이 필수적
- 병원, 식품산업 등과의 협업이 필수적
- 농생명 마이크로바이옴 산업화 관련한 지원 필요
- 선제적 대응이라는 공격적 연구전략이 필요함. 이미 선진국을 중심으로 시작했거나 결과를 도출 중인 세부내용을 피하고 국내 연구환경/인력/인프라에 맞는 적절한 주제와 네트워크를 구축하는

- 것이 필요해 보임. 특히 미시과학(분자/세포) 수준을 벗어나 거대 과학(환경/생태) 분야의 연구/경험을 반영하는 것이 중요함
- 이들의 문제가 현재하려고 하는 일의 문제해결의 단초를 해결 할 것임- 최우선 목표는 환경/생태 전문가들이 느끼는 현황(생태/생리/환경문제)에 기반한 주제 발굴이었으면 함
 - 하드웨어적 연구센터 구축은 비용만 있으면 가능하지만, बैं크를 중심으로 활용의 가치를 높일 수 있는 후속연구의 지원이 필수적임. 따라서 단순 하드웨어 구축으로 끝내서는 안됨
 - 다양한 미생물 자원을 발굴 및 개발하고 해당 자원의 접근이 용이 하여 다양한 연구자들이 이용가능하면 좋을 것 같음. 또한 다양한 분야의 연구자들이 협업을 할 수 있도록 다양한 인프라 시설에 대한 지속적으로 이용할 수 있는 시스템 구축이 필요하다고 생각 됨
 - 산학연과의 적극적이고 활발한 협력과 공동연구를 통해 농생명 산업에 실질적으로 도움을 주고 농생명 산업을 활성화 시켜야 한다고 생각함
 - 국내 활용자가 이용할 수 있게 홍보가 필요함
 - 분리 기술, 다양한 식물(농작물, 동물 등) 자원
 - 산학연의 정보공유와 협력
 - 마이크로바이옴의 활용에 따른 표준체계구축 및 기준정립
 - 마이크로바이옴 활용에 따른 규제 정립
 - 마이크로바이옴 자원센터 구축 후 유전자원 활용이 가능할 수 있도록 지속적인 정부 유관기관의 관심과 연구 지원
 - 에코 마이크로바이옴의 필요성에 대한 확실한 확보, 주변 연구자의 지원, 실제 농축산에의 적용을 통한 가시적 성과 제시
 - 다양한 농생명 마이크로바이옴 연구팀들과의 유대 강화를 통한 국내 미생물자원의 통합 및 분양과 결과 공유
 - 국내 농생명 마이크로바이옴 분야 산업의 육성을 위해 에코 마이

크로바이옴 자원센터를 조속히 건립하여 산업화 연구 활성화 유도 필요

- 건강기능 식품 특히 유산균 Probiotics의 상품개발과 세계적 위상 구축을 위해 국내에 Probiotics를 관리 할 수 있는 권위 기관의 설립이 필수 적임
- 마이크로바이옴에 대한 지속적인 기술연구 뿐만 아니라 관심기업과의 지속적인 협력을 통해 빠르게 시장창출이 필요함
- 보다 구체적인 기술 spec. 분석 및 제안을 통한 연구개발프로그램 개발
- 산학연과의 체계적인 협업 및 공동 연구를 통한 유의미한 결과 도출
- 설립 후에는 주도적으로 마이크로바이옴 관련 연구를 주도할 수 있는 연구인프라를 정부에서 지원해야 함
- 성공 사례에 대한 적극적 홍보
- 토양 마이크로바이옴 분석
- 지속적인 데이터 베이스 구축
- 정보의 공유
- 국가적인 차원에서 국내 에코 마이크로바이옴 연구가 절대적으로 필요한 시점임. 연구센터를 중심으로 에코 마이크로바이옴의 확보, 저장, 오믹스 수준의 종합적인 분석 등을 통한 통합적인 데이터베이스를 구축하여 자원화를 추진하고, 장기적인 연구센터 운영 자금의 확보를 통해 국내 다양한 연구 기관들이 활용할 수는 지속적인 지원이 필요함.

○ 문8. 농생명 마이크로바이옴 활용과 관련하여 산업현장에서 절실히 필요한 기술이나 의견

- 식품, 환경개선(악취저감, 오폐수처리) 및 식물생육 관련 장내 유

용미생물 발굴 및 보급

- 인체 희귀질환 치료 가능 장내 유용미생물 발굴 및 산업적 적용
- 혐기배양 시설 지원 (혐기배양 지원 시설)
- 농생명 마이크로바이옴의 효능 시험 분석을 위한 시험 분석연구시설 및 생산시설
- 반려동물과 관련된 마이크로바이옴의 경우, 건강보충용 마이크로바이옴을 섭취 시 반려동물 장 내 균총의 변화 등에 대한 빅데이터 확보를 통해 맞춤형 제품의 사업화
- 마이크로바이옴의 효능평가 및 검증 기술 개발
- 다양한 농생명 마이크로바이옴의 발굴, 동정 및 분양
- 난배양성 마이크로바이옴의 배양 및 교육
- 아직 성숙되지 않은 농생명 마이크로바이옴의 기술적 우위를 선점하기 위해 꼭 필요한 센터로 생각됨
- 농생명분야 세계적인 연구개발 및 상용화 동향, 선진기업들의 움직임에 대해 정보를 공유하는 모임이 있으면 합니다.
- 가축 분뇨나 오폐수를 속성으로 퇴비화하여 설비공간을 최소화할 수 있는 기술과 악취저감기술 개발은 축산농가의 오랜 숙원 과제임
- 가축 생산성 향상 및 항생제 대체용 마이크로바이옴 제품을 만들어 주시기 바람
- 난 배양성 미생물 배양시설 필요
- 혐기성 유용균의 배양과 생산
- 적극적인 홍보가 필요함
- 수요자의 요구를 정확히 파악하여 개발자에게 전달
- 마이크로바이옴 제품 활용에 따른 보급과 연구지원
- 실증데이터 및 안전성 확보, 난 배양기술의 공유 또는 배양지원
- 마이크로바이옴 기술 정보 제공 및 인식개선
- 마이크로바이옴 전문가의 참여를 통한 마이크로바이옴 관련 개발

기술의 신뢰도 확보

- 농생명 마이크로바이옴과 동물의 건강 등 효과에 대한 확실한 결과를 제시해야할 것임
- NGS 기술을 비롯하여 다양한 농생명 마이크로바이옴 연구자료 및 정보를 공개하고 공유하며 주기적인 산업체 교육 및 기술 지원이 반드시 필요하다고 생각함
- 중대동물 이용 효능평가 시스템의 구축이 필요
- Microbiome 기반의 Unculturable bacteria 균주 보관 및 분양
- Unculturable bacteria의 대량 배양 system 구축
- 동물 Meatgenomics data 보관, 관리 및 사용 효율 확대 system 개발
- Next Generation Probiotics들의 규격관리, 및 등록에 관한 식약처와의 중재 역할
- Probiotics safety test를 위한 식약처 대행 업무(유럽의 EFSA와 같은 업무 수행)
- 마이크로바이옴 기술을 빠르게 시장에 적용하기 위해서는 활용에 대한 규제 및 허가 기준이 빠르게 정립되어야 함.
- 산업현장에서 요구하는 연구범위에 대한 실제적 정보 확인 및 기술지원
- 마이크로바이옴 분양
- 수확 증대
- 작물건강 증진

4.6 에코 마이크로바이옴 자원센터 연구 분야 (예시)

○ 인프라 연구

- 가축 및 반려동물 장관 유래 난배양성 미생물 배양, 농축, 보관 기술 개발
- 식물/토양 유래 미생물 배양 기술 개발
- 오믹스 분석 기술 확립

○ 가축 및 반려동물 마이크로 바이옴 플랫폼구축 사업

- 가축 및 반려동물 마이크로바이옴 बैं크 구축
- 반려동물 대사질환별 장내 마이크로바이옴 변화 분석
- 가축 및 반려동물 복합감염(바이러스와 세균 혼합 감염) 모델 개발 및 장내 마이크로바이옴 변화 분석
- 항생제 대체 유효 미생물군 순수분리 및 오믹스 연구
- 동물백신 항체생성을 제고를 위한 마이크로바이옴 개발

○ “한반도 토양 마이크로바이옴 Atlas”(Korea Atlas of Soil Microbiome, KASM) 작성 사업

- 지역별, 작물별 토양 마이크로바이옴 조사
- 한반도 마이크로바이옴 지도 작성
- 예로써, 금산, 풍기, 진안 인삼 재배 토양의 Microbiome을 분석하고 마이크로바이옴과 인삼 생산성 및 질병 발생률과의 상관관계를 조사하여 최적화된 마이크로바이옴 제품을 개발
- 식물/토양 유래 마이크로바이옴 fraction의 장기보관 및 증폭 기술 확립
- 핵심 마이크로바이옴(core taxa) 선별 및 적용 기술

- 유용 마이크로바이옴 코팅 종자 개발

- 작물 건강 증진 실증 시험

○ 식품 마이크로바이옴 활용기술 개발

- 국내 발효식품별 마이크로바이옴 분석

- 유용 마이크로바이옴 개발 및 효능 연구

- 마이크로바이옴 활용 기능성 소재 개발

- 장내 마이크로바이옴에 유익한 프리바이오틱 소재 개발

5. 에코 마이크로바이옴 자원센터 설립 소요예산

5.1. 에코 마이크로바이옴 자원센터 건축비

5.2 에코 마이크로바이옴 자원센터 시설 및 장비 구
축비

5.3. 운영 재원 확보 방안

5.4 운영 예산산출 근거

5.1. 에코 마이크로바이옴 자원센터 건축비

사업 면적	15,000 m ²
시설 면적	8,930 m ²
건축 규모	지하1층/지상3층
총 사업비	300 억원 (설계비: 10억, 건축비: 185억, 시설 및 장비: 105억)

5.2 에코 마이크로바이옴 자원센터 시설 및 장비 구축비

장 비 목 록	금 액(원)
기초 실험장비류(12종)	636,500,000
유전체 분석 장비류(24종)	1,549,500,000
단백질체 분석 장비류(20종)	300,000,000
세포 분석 장비류(7종)	1,266,000,000
대사체 분석 장비류(4종)	650,000,000
배양 및 보존 장비류(13종)	2,458,000,000
시설(온실, 시험포장, 동물실험실 등)	3,640,000,000
	10,500,000,000

*상세목록: 별첨 1 참조

5.3. 운영 재원 확보 방안

[표 5-1] 운영비 소요 및 확보 계획 (단위: 명/백만원)

구분		년도						
		계	2022	2023	2024	2025	2026	
인원 채용 및 운영비	채용인원	소계	18	7	7	3	1	-
		정규직	10	5	3	1	1	-
		기타직	8	2	4	2	0	-
	근무인원 (기타직)	21	7	14	17	18	18	
소요액	인건비	3,380	330	640	770	820	820	
	운영비	3,400	680	680	680	680	680	
소요 합계		6,780	1,010	1,320	1,450	1,500	1,500	
예산 확보	국비	-	-	-	-	-	-	
	연구비 수주	6,020	1000	1220	1300	1300	1200	
	자체 수입 (균주 분양, 분석 등)	760	10	100	150	200	300	
확보 합계		6,780	1,010	1,320	1,450	1,500	1,500	

※ 인력확보는 총 18명으로 운영예정이며, 년도별 운영계획 등에 의해 변동될 수 있음

※ 연구센터 설립 완공시(2019년~2021년)까지는 운영주체에서 인력 지원이 필요함

5.4 운영 예산산출 근거

(단위 : 백만원)

항 목		예 산	산출내역 및 기준
공과금	전기료	154.6	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 동절 : 80,000KW×120원×4개월=38,400천원 ▪ 춘추 : 50,000KW×87원×5개월=21,750천원 ▪ 하계 : 100,000KW×120원×3개월=72,000천원 ▪ 기본료 : 500kw×9,150×12개월=39,600천원 ※ 현행 전기요금 기준 적용
	연료비	41.5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 동절 : 5,000kg×943원×4개월=18,860천원 ▪ 춘추 : 3,000kg×943원×5개월=14,145천원 ▪ 하계 : 3,000kg×943원×3개월=8,487천원 ※ 현행 LPG가스금액 기준
	수도료	12	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 수도료 : 1,000천원(평균)×12개월=12,000천원 ※현행 수도요금 기준 적용(한국수자원공사)
	액체 질소	10.8	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 액체 질소 : 5,000L×180원×12개월=10,800 천원
용역비	청소	82.6	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 인력 : 2,610천원×2명×12개월=62,640천원 ※ 2018년 계약단가기준 ▪ 구충·구서 및 소모품 등 : 2,000천원
	시설 관리	155.5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 인력 : 4,320천원×3명×12개월=155,520천원 ※ 2018년 계약단가기준
	경비	122.2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 인력 : 3,200천원×3명×12개월=115,200천원 ※ 2018년 계약단가기준 ▪ 무인전자경비시스템 운영 : 7,000천원
폐기물처리비		30	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 감염성/지정폐기물 처리비 : 20,000천원 ▪ 감염성 폐기물박스 구입 : 10,000천원 ※ 폐기물처리업체 자체계약기준
제세 및 보험료		11.8	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 가스배상·화재보험 등 : 1,700천원 ▪ 제세공과금 등 : 10,000천원
유지보수 및 관리비		59	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 유지보수(기기장비, 시설 등) : 40,000천원 ▪ 공기구비품 및 필수소모품 등 : 19,000천원
합 계		680	

5.5 자립화 방안

- 재정 자립이 가능한 “재단법인” 형태로 운영
- 중장기적으로는 spin-off 회사 설립

- 정부 및 민간 연구비 수주
 - 가축 마이크로바이옴 분석 사업
 - 한반도 토양 마이크로바이옴 Atlas 작성 사업
 - 발효식품 마이크로바이옴 분석 사업

- 수익 사업
 - 가축별 마이크로바이옴 제품개발 및 판매
 - 마이크로바이옴 이용 반려동물 사료개발 및 판매
 - 종자 코팅용 마이크로바이옴 개발 및 코팅기술 개발 사업화
 - 마이크로바이옴 분석 용역 서비스
 - 오믹스 분석 서비스
 - 프리-프로 바이오틱스 개발 및 판매
 - 난 배양성 혐기성 미생물 위탁 배양 사업

6. 경제성 분석

6.1 경제성 분석 방법론

6.2 경제적 편익 도출

6.3 경제적 파급효과 분석

6.4 경제적 타당성 분석

6.1 경제성 분석 방법론

6.1.1 경제성 분석을 위한 가정

- 정부나 공공기관의 대형 R&D사업의 경우 사전에 사업시행의 타당성 여부 검토를 통해 재정 운영의 효율성을 제고할 필요가 있음.
 - 참고로 예비타당성조사 운용지침에 의거 총사업비 500억 원 이상이면서 국가 재정지원규모 300억 원 이상의 국가연구개발사업의 경우 기술성 및 정책적 분석과 더불어 경제성 분석을 실시토록 규정함
 - 예타 지침에 따르면 직접적 편익에 대한 비용편익분석을 위해 수요를 추정하여 편익을 산정하고, 총사업비와 해당 사업의 운영에 필요한 모든 경비를 합하여 비용을 산출하도록 명문화(예타 운영지침 제34조)
- “(가칭)인체 장내미생물은행 건립 사업”은 농축산식품 연구 및 산업을 지원하는 에코마이크로바이옴 은행 건립을 통하여 미생물 자원의 경제적 가치 창출과 농축산업의 시장확대 및 신성장 동력을 확보하기 위하여 기획됨.
 - 동 사업은 농축산식품 유용미생물 정보의 체계화, 자원화를 통해 미생물 정보의 사업화를 촉진시키며 신규 마이크로 바이옴 시장 창출을 통해 농축산식품산업의 고부가가치화를 경제적 목표로 함
- 동 사업의 목표로 하는 은행의 기능은 다음의 세 가지로 요약될 수 있음.
 - 장내 및 근권 미생물 확보 및 보급

- 미생물 사업화 지원
 - 미생물 활용기업 성장 지원
- 예비타당성조사 대상사업의 경우 국민경제적 파급효과와 투자 적합성을 분석하는 핵심 조사과정이라 할 수 있으며, 연구개발(R&D) 투자에 따른 경제성 분석방법으로는 비용편익분석(Cost Benefit Analysis : CBA)과 비용효과분석(Cost Effectiveness Analysis : CEA) 방법이 있음.
- 일반적으로 사업 추진과 기술개발로 인한 직접적 효과에 대한 화폐적 가치 평가가 어려울 경우에 한하여 비용효과분석을 적용하며, 비용편익분석이 우선적인 방법으로 사용되는 바, 본 경제성 분석에서는 비용편익분석을 실시함
- 편익은 크게 직접편익과 간접편익으로 나누어지는 바 예비타당성조사에서 활용하고 있는 직접적 편익은 편익 분석에서 다루며, 간접적인 편익은 경제적 파급효과 분석을 통해 추정함.
- 비용편익 분석은 직접적 편익에 한정하며, 간접적 편익 추정을 위해 생산유발효과, 소득창출효과, 고용유발효과 등의 경제적 파급효과 분석을 실시함
- 본 경제성 분석에서는 이러한 동 사업의 목표와 기능을 반영하여 비용편익분석에 있어 시장가치법 계산방식을 기반으로 편익을 도출함.
- 경제적 편익 도출에 있어 은행 건립 이후 회임기간(투입부터 산출까지의 time lag)을 거쳐 총 10년 간(2021년~2030년) 편익을 추정함

$$\text{시장창출편익} = (\text{국내시장규모}) \times (\text{사업화 성공률}) \times (\text{부가가치율}) \times (\text{R\&D 기여율}) \times (\text{사업기여율})$$

[그림 6-1] 시장가치법에 따른 편익추정 계산식

6.1.2. 비용편익 분석 지표를 통한 경제적 타당성 평가 방법

○ 순현재가치(Net Present Value : NPV), 편익비용비율(Benefit Cost Ratio : BCR), 내부수익률(Internal Rate of Return : IRR) 등 비용편익분석 지표를 활용하여 본 사업의 경제적 타당성 결과를 제시함<그림 2>, <표 1>.

◆ $NPV = \sum_{t=0}^n \frac{NB_t}{(1+r)^t}$ $NB(K)$ 는 순편익, r 은 사회적 할인율

※ $NPV > 0 \Rightarrow$ 경제적 타당성 인정

◆ $BCR = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{NB_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}$ B : 총편익, C : 총비용

※ $BCR > 1 \Rightarrow$ 경제적 타당성 인정

◆ $IRR = i \text{ when } \sum_{t=0}^n \frac{NB_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}$

※ 내부수익율(i) > 사회적 할인율(r) \Rightarrow 경제적 타당성 인정

[그림 6-2] 비용편익 분석 지표별 정의 및 타당성 평가 기준

[표 6-1] 비용편익 분석 지표 간 비교

분석 기법	장 점	단 점
NPV	<ul style="list-style-type: none"> ■ 대안 선택 시 명확한 기준 제시 ■ 장래발생 편익의 현재가치 제시 ■ 한계 순현재가치 고려 ■ 타 분석에 이용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 할인율의 분명한 파악 ■ 이해의 어려움 ■ 대안 우선순위 결정 시 오류발생 가능
BCR	<ul style="list-style-type: none"> ■ 이해 용이 ■ 사업규모 고려 가능 ■ 비용편익 발생기간의 고려 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 편익과 비용의 명확한 구분 곤란 ■ 상호배타적 대안선택 오류발생가능 ■ 사회적 할인율의 파악
IRR	<ul style="list-style-type: none"> ■ 사업의 수익성 측정 가능 ■ 타 대안과 비교 용이 ■ 평가과정과 결과 이해 용이 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 사업의 절대적 규모 고려치 않음 ■ 몇 개의 내부수익률이 동시에 도출될 가능성 내재

6.2 경제적 편익 도출

6.2.1 시장창출 편익 도출식

- 앞서 언급한 바와 같이 동 사업의 편익은 기술의 사업화를 통해 창출할 수 있는 시장가치를 직접편익으로 산정하는 시장규모 접근법을 적용하여 편익 추정에 적용함.
- 시장창출 편익 이외에도 신기술 개발로 인한 비용절감 편익이나 특허 등 기술료 수입 편익 등을 고려할 수 있으나, 본 사업의 비전과 특성을 고려하여 기술사업화에 한정하여 편익 추정
- 앞서 언급한 시장접근법 계산식에서 본 사업과 관련한 미래시장 규모 추정에 있어 국내에 대체시장 자료가 존재하는 경우([그림 3])와 신규시장이거나 세계시장 전망치만 존재하는 경우([그림 4])로 나누어 편익을 추정함

$$\text{시장창출편익} = (\text{국내 대체 대상 시장규모}) \times (\text{대체율}) \times (\text{사업화성공률}) \times (\text{부가가치율}) \times (\text{R\&D 기여율}) \times (\text{사업기여율})$$

[그림 6-3] 본 사업의 시장창출 편익 추정식: 국내 대체시장 존재시

$$\text{시장창출편익} = (\text{세계시장규모}) \times (\text{세계시장점유율}) \times (\text{사업화성공률}) \times (\text{부가가치율}) \times (\text{R\&D 기여율}) \times (\text{사업기여율})$$

[그림 6-4] 본 사업의 시장창출 편익 추정식: 신규 세계 시장 자료만 존재시

6.2.2 시장규모의 추정

□ 국내 대체시장이 존재하는 경우

- 마이크로바이옴 시장으로 대체될 것으로 유력한 국내 미생물 시장 규모는 2010년 7,714억원에서 2020년에는 1조 9천억원 규모로 성장할 것으로 전망됨(한국생명공학연구원, 농림수산물식품부 2011).
- 총 13개의 농축산 미생물산업 대상 품목 중 7개 품목이 마이크로바이옴 시장으로 대체될 것으로 전망되며, 2030년까지의 대체율은 최소 20%에서 최대 70%에 이를 것으로 전망됨

[표 6-2] 농수축산 미생물산업의 시장규모와 마이크로바이옴 대체율

(단위 : 억 원)

구 분	2010	2020	2020-30년 마이크로바이옴 대체율 (%)
비료/생장촉진	771	1,695	0-40
생물학적방제	2,807	6,170	0-20
농업생태복원	448	985	0-20
축산사료첨가제	299	656	5-30
가축분뇨의처리	184	404	0-35
축산업류항생제	116	254	0-70
축산백신의개발	1,102	2,423	0-20
작물적용유전자	437	961	미대체
수산 어류 백신	469	1,031	미대체
양식장환경관리	712	1,565	미대체
수산류 생장촉진	64	141	미대체
수산사료첨가제	233	512	미대체
수산어류항생제	71	156	미대체
전체 미생물 시장규모	7,714	18,773	-
대체 대상 시장규모	5,727	12,587	-

자료 : 한국생명공학연구원, 농림수산물식품기술기획평가원, 2011에서 재구성
 주: 농축산 미생물산업 성장률은 2012년 8.7%에서 2020년까지 매년 0.5% 증가할 것으로 전망하였고, 마이크로바이옴 대체율 전망치는 전문가 회의 등을 통해 추정함,

[표 6-3] 미생물 기반 마이크로바이옴 대체시장 규모 전망

(단위 : 억 원)

연도	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
비료/성장촉진	74	162	265	386	526	690	879	1,096	1,347	1,634
생물학적방제	135	294	482	702	958	1,255	1,599	1,996	2,452	2,975
농업생태복원	22	47	77	112	153	200	255	319	391	475
축산사료첨가제	54	78	107	140	179	223	274	332	399	475
가축분뇨의처리	15	34	55	81	110	144	183	229	281	341
축산업류항생제	19	43	70	102	139	182	231	289	355	430
축산백신의개발	53	116	189	276	376	493	628	784	963	1,168
전체생산규모	372	773	1,245	1,797	2,440	3,187	4,050	5,044	6,188	7,499
평균 대체율	2.5%	4.9%	7.4%	9.9%	12.4%	14.8%	17.3%	19.8%	22.2%	24.7%

□ 신규 세계 시장 자료만 존재하는 경우

- 신규 시장이거나 세계 시장 자료만 존재하는 프로바이오틱스와 축산질환치료제 시장의 경우에는 세계 시장 규모에 국내 기업의 시장 점유율 목표치를 곱하여 시장 규모를 추정함.
- 국내 기업의 시장점유율은 우리나라 바이오산업과 미생물산업 시장점유율을 고려하여 3%로 가정함

[표 6-4] 신규 마이크로바이옴 시장 규모 전망

(단위 : 억 원)

연도		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
세계	프로바이오틱스	382	825	1,335	1,921	2,591	3,355	4,223	5,208	6,322	7,579
	축산질환치료제	2,354	2,787	3,300	3,907	4,626	5,477	6,485	7,678	9,091	10,764
국내	프로바이오틱스	11	25	40	58	78	101	127	156	190	227
	축산질환치료제	71	84	99	117	139	164	195	230	273	323

자료 : Research And Markets. (2017) Global Probiotics in Animal Feed Market Analysis & Trends – Industry Forecast to 2025, 춘계 한국생물공학회 농생명 마이크로바이옴 심포지엄자료(2018).

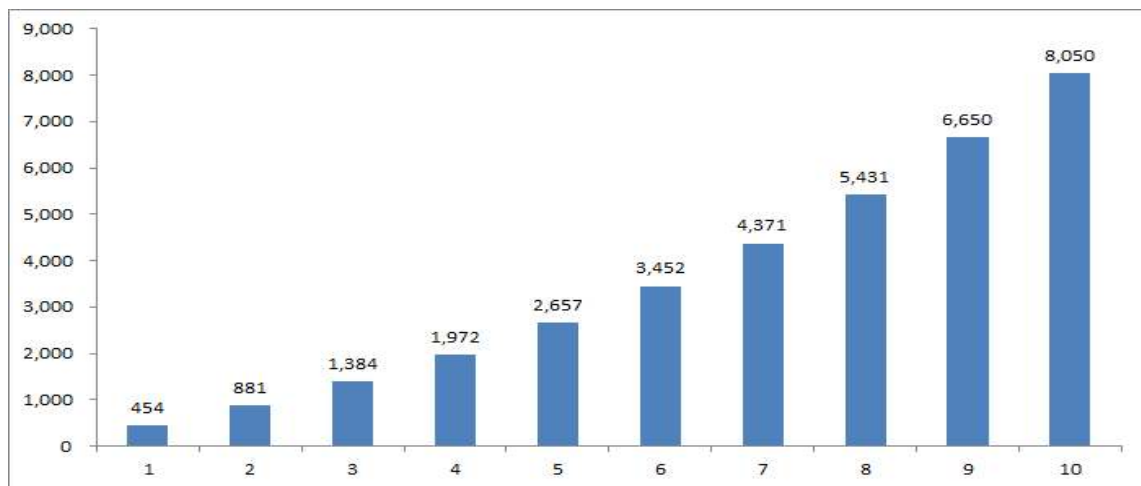
□ 국내 마이크로 바이옴 시장 규모 합산

- 앞서 추정된 국내 대체시장이 존재하는 경우와 신규 시장을 합산한 국내 마이크로 바이옴 시장규모는 2021년 454억 원에서 2030년에는 8,050억 원에 달할 것으로 전망됨([표 4], [그림 5]).
- 2021~2031년 기간 동안의 10년 누적 시장규모는 약 3조 5천억 원 수준으로 추정됨

[표 6-5] 국내 마이크로바이옴 시장규모 전망

(단위 : 억 원)

구 분	2021	2030	10년 누적치 (2020-30)
비료/생장촉진	74	1,634	7,058
생물학적방제	135	2,975	12,849
농업생태복원	22	475	2,051
축산사료첨가제	54	475	2,261
가축분뇨의처리	15	341	1,474
축산업류항생제	19	430	1,858
축산백신의개발	53	1,168	5,044
수산사료첨가제	11	227	1,012
수산어류항생제	71	323	1,694
합계	454	8,050	35,302



[그림 6-5] 국내 마이크로바이옴 연도별 시장규모 전망 (단위 : 억 원)

6.2.3 경제적 편익의 추정

- 사업화 성공률은 기술개발 성공률과 유사개념으로 일반적으로 기술개발 결과를 활용하여 매출액 등의 경제적 성과가 발생한 경우를 사업화(성공)으로 간주하는 바, 본 연구에서는 전체 과제에서 사업화가 성공한 과제의 비율(사업화 성공과제/전체과제)을 사업화 성공률로 정의함.
 - 본 과제의 사업화 성공률은 2013년 7월 국가과학기술심의회에서 심의된 「제3차 과학기술기본계획」에서 최근 데이터를 적용하여 새롭게 구한 수치인 35.4%를 적용함¹⁾
- R&D 기여율은 기술기여도와 유사한 개념으로 최종 부가가치산출액 중 개술개발이 기여하는 비율로 정의함.
 - 본 과제의 R&D기여율은 기술개발이 경제성장에 미치는 효과를 분석한 공신력있는 선행연구 결과 중 가장 최신인 2013년 7월 국가과학기술심의회에서 심의된 「제3차 과학기술기본계획」상의 수치인 35.4%를 적용함²⁾
- R&D 투자의 편익은 사업화된 기술로부터 발생하는 매출액(생산액) 전체가 아니라 부가가치 증가에만 해당하는 바, 부가가치율은 매출액 중 생산 활동에 참여한 생산 요소에 귀속되는 소득의 비율을 나타내는 지표로서 일정기간 동안 기업이 창출한 부가가치액을 매출액으로 나눈 비율로 정의함.
 - 본 과제의 부가가치율 산정을 위해 한국은행(2014년)의 「2011년 및 2012년 산업연관표(연장표)」를 준용하여 161개 통합소분류 중 동 사업과 가장 유사한 의약품(042)의 부가가치율 평균값인 38.2%를 적용함
- 사업기여율은 특정시장 중 국내 생산량 전체가 본 사업에 의한 결과라고 단정할 수 없는 바, 유사한 목적의 국내 전체 투자액 중에서 본 사업이 차지하는 비중을 통해 본 사업의 효과만을 분

1) 한국과학기술정책연구원(2014), 「연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 (제2판)」.

2) 한국과학기술정책연구원(2014), 「연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 (제2판)」.

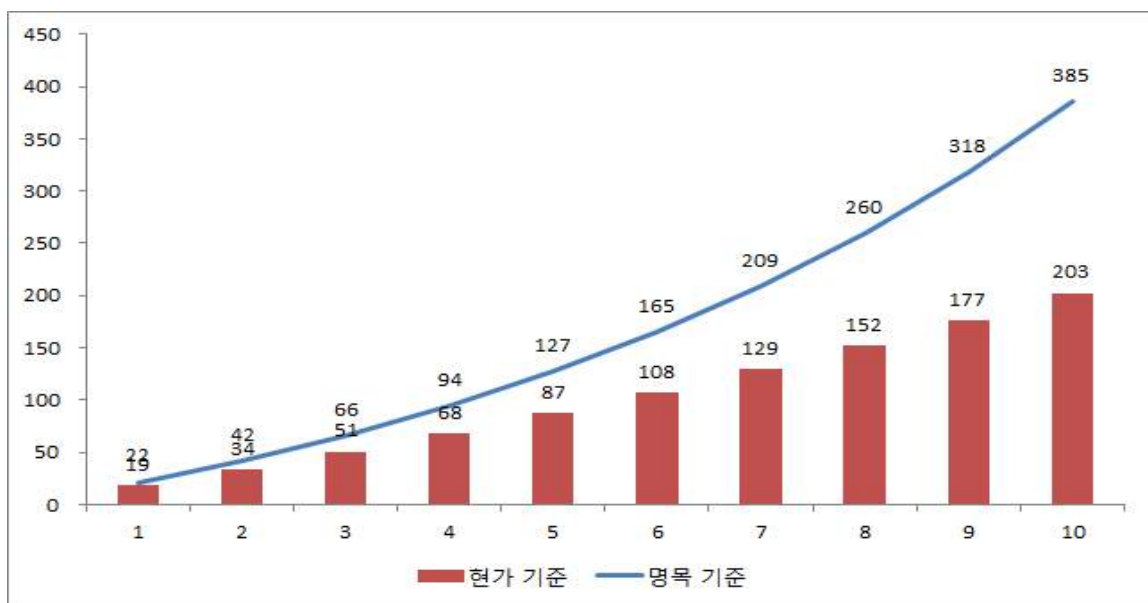
리하기 위하여 사용되는 개념으로서 해당분야 연구개발 전체 투자비 대비 동 사업의 투자비 비중으로 정의함.

- 본 사업과 유사한 마이크로바이옴 관련 157개 사업의 연평균 투자금액 합계는 59.2억 원인 바, 본 사업의 연평균 투자금액 75억 원(4년 합계 300억원) 기준으로 사업기여율은 55.75%를 적용함

○ 이상에서 도출한 사업화 성공률(35.4%)와 부가가치율(38.2%), R&D기여율(35.4%), 사업기여율(55.75%)의 곱으로 계산한 조정계수는 약 2.669%로 계산됨.

- 이러한 조정계수(2.669%)를 앞서 도출한 연도별 마이크로 바이옴 시장규모에 곱하여 환산한 명목 기준 시장창출 편익은 2021년 약 12.1억 원에서 2030년 214.8억 원에 달하며, 동 10년간 (2021~2030년)의 누적 편익은 명목 기준 총 942.2억 원으로 추정됨

- 한편 5.5%의 사회적 할인율 하에서의 현가 기준 편익은 2021년 10.3억 원에서 2030년 113.0억원이며, 동 10년간의 누적 편익은 현가 기준 총 572.9억 원으로 추정됨



[그림 6-6] 본 사업의 명목기준 편익과 현가기준 편익 (단위 : 억 원)

6.3 경제적 파급효과 분석

6.3.1 경제적 파급효과 분석 방법과 범위

□ 경제파급효과 분석과 최종 수요 모형

- 경제파급효과분석은 산업연관표에서 산업부문별 투입구조가 일정 기간 안정적이라는 가정 하에 최종수요의 변동이 각 산업부문의 생산활동에 미치는 직·간접 파급효과를 계측, 분석하는 것을 의미함.
 - 또한 특정 산업의 생산 활동에 의해 다른 각 산업의 생산 활동에 영향을 미치는 직·간접 파급효과도 분석하게 됨
- 최종 수요 모형은 전통적인 산업연관분석 모형으로 투자, 소비, 수출 등 최종 수요의 변화에 의해 나타나는 파급효과를 분석함.
 - X 를 생산액 벡터, A 를 투입계수, 그리고 F 를 최종 수요라 하면 다음과 같이 됨

$$\begin{array}{ccc}
 \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} & + \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} \\
 A & X & F \quad X
 \end{array}$$

$$A X + F = X \dots\dots\dots(1)$$

- 여기서 레온티에프 행렬 $(I-A)$ 의 행렬식의 값이 0이 아닐 경우 역행렬이 존재하게 되고, 양변에 $(I-A)^{-1}$ 를 전치하여 총산출액 X 에 대해서 풀어쓰면, 식 (2)가 됨. 여기서 수요 측면 산업연관모형의 투입 역행렬 $(I-A)^{-1} = Q$ 는 일반적으로 생산유발 계수 행렬 혹은 레온티에프 역행렬 (Leontief inverse matrix)이라고 부르기도 함
- 생산유발계수 행렬 $(I-A)^{-1}$ 는 매우 큰 경제적 의미를 내포하

고 있는데 최종 수요의 변화에 대해 새로운 산업간 일반 균형을 만들어 주는 총산출액을 계산할 수 있게 해 줌. 투입 역행렬의 원소는 최종 수요로부터 파급 효과를 나타내는 승수적 의미를 가지고 있는데, 이를 케인즈의 투자 승수와 구별하기 위해서 다 부문 승수(multi-sector multipliers)라고도 함

- 결국, 식 (2)에 의해 생산을 위한 원재료 투입에 의한 각 산업 부문별 생산 유발 효과를 계측할 수 있음

$$X = (I - A)^{-1} F \dots\dots\dots(2)$$

단, $(I - A)^{-1}$: 투입계수의 역행렬, A : 투입계수 벡터

○ 특정 산업의 생산 활동이 그 지역 경제 혹은 산업 생산 활동에 미치는 산업연관효과를 분석하기 위해서는 분석 대상 산업 부문을 외생화 함.

- 생산 부문 외생화 모형을 사용하여 생산 유발 효과를 계측하기 위해서는 별도의 산업연관표를 작성하여야 하는데, 먼저 내생 부문에 포함되어 있던 h산업 부문의 행과 열을 내생 부문에서 제외하여 외생 부문으로 포함시키게 되면 다음과 같이 됨

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} & + & \begin{bmatrix} a_{1h} \\ a_{2h} \\ a_{3h} \end{bmatrix} X_h & + & \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} & = & \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} \\ A & X & & A^h X_h & & F & & X \end{matrix}$$

$$A X + A^h X_h + F = X \dots\dots\dots(3)$$

단, A^h : h산업의 투입계수 벡터 X : 생산액 벡터

A : 특정 산업 부문이 제거된 투입계수

X_h : h산업의 생산액 F : 최종 수요

- 여기서 레온티에프 행렬 $(I - A)$ 의 행렬식의 값이 0이 아닐 경우 역행렬이 존재하게 되고, 양변에 $(I - A)^{-1}$ 를 전치하여 총산출액 X 에 대해서 풀면 다음과 같이 됨

$$X = (I-A)^{-1} (A^h X_h + F) \dots\dots\dots(4)$$

단, $(I-A)^{-1}$: h산업 부문이 제거된 투입계수의 역행렬

- 식 (4)에서 최종 수요 F는 불변이라 하고 순수하게 h산업의 생산 변동만을 고려한다면, 최종 수요가 영(zero)이 되므로 결국 h산업 생산 활동의 산업 생산 파급 효과는 다음의 식에 의해 산출되어 짐

$$X = (I-A)^{-1} A^h X_h \dots\dots\dots(5)$$

단, $(I-A)^{-1}$: h산업 부문이 제거된 투입계수의 역행렬

- 식 (5)는 h산업 부문의 생산이 여타 산업의 총산출에 미치는 파급 효과를 분석하는 모형으로 A는 h산업 부문이 외생화된 새로운 투입계수 행렬이다. 그리고 $A^h X_h$ 는 h산업 부문의 생산활동에 각 산업으로부터 직접적으로 소요되는 량을 나타내며, 외생화된 산업 부문의 생산으로부터 계산된 최종 수요라고 볼 수 있음

□ 경제적 파급효과 분석 범위

○ 생산유발효과

- 생산 유발 효과는 앞서 살펴본 모형들 의해 R&D 지출, 양산 설비 구축, 생산 활동, 설비 설치 및 운영 관리로 인해 발생하는 산업 전반에 걸친 생산 효과가 됨

○ 소득창출효과

- 유발된 생산액 중에서 중간재 투입을 제외한 부가가치 유발액이 소득 창출액이 되며, 산출액에 소득 승수를 곱한 것이 됨. 이때 적용되는 소득승수는 최종수요 1단위가 발생했을 때, 각 산업부문이 이를 충족시키기 위해 여 전 산업에 파급시킨 직접 및 간접 소득효과를 나타냄

- 여기서 소득은 피용자 보수(報酬)로 국내생산에 종사한 피용자가 받는 현금, 현물 급여 및 사용자가 부담하는 사회보험료 및 퇴직금을 포함하는데, 소득세 공제 전의 개념임
- 각 산업별 부가가치 유발 효과는 각 산업별 생산 파급 효과에 부가가치 계수를 곱한 것이 됨. 즉, 부가가치 벡터를 V 라 하고, 부가가치 계수 행렬을 A^v 라고 하면,

$$V = A^v X \dots\dots\dots(5)$$

○ 고용창출효과

- 고용창출효과는 유발된 산출액을 생산하기 위해 산업 전반에서 요구되는 고용량을 말하는 것이며, 이는 유발된 산출액에 고용승수를 곱하면 됨. 이 때 고용승수는 피고용자수를 산업 생산액으로 나눈 노동력 투입 계수를 도출하고, 노동력 투입계수와 Leontief 역행렬 계수를 곱하여 합한 값이 고용승수(고용효과)가 됨
- 노동유발계수는 각 산업별 생산 파급 과정에서 직·간접적으로 유발되는 노동량을 계량적으로 표시한 것임. 어느 산업 부문의 생산물 한 단위 생산(산출액)에 직접 필요한 노동량, 즉 노동 계수 (I^w) 뿐만 아니라 생산 파급 과정에서 간접적으로 필요한 노동량까지 포함하는 개념이다. 여기서 노동계수(I^w)는 취업자수(L)를 산업별 생산액(X)을 나눈 것이 됨

$$I^w = L / X \dots\dots\dots(7)$$

○ 이상의 분석모형을 경제파급효과 분류에 따라 요약하면 다음과 같음.

[표 6-6] 본 사업의 경제파급효과 분류

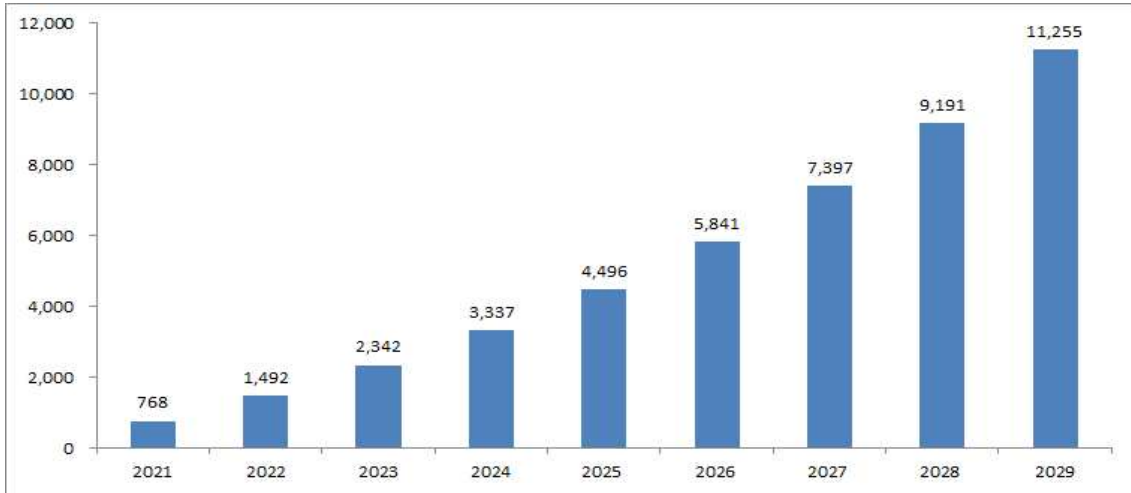
구 분	설 명
생산유발 효과	어떤 산업부문의 최종수요가 한 단위 증가하였을 때 이를 충족시키기 위하여 각 산업부문에서 직·간접으로 유발되는 생산액
소득창출 효과	어떤 산업부문의 최종수요가 한 단위 발생할 경우 각 산업부문에서 직·간접으로 유발되는 소득액
고용창출 효과	어떤 산업부문의 최종수요가 일정금액(10억 원) 증가할 경우 각 산업부문에서 직·간접으로 유발되는 고용인원수

6.3.2 경제적 파급효과 분석 결과

- 경제파급효과 분석에서는 인 2014년 한국은행이 발행한 「2011 및 2012년 산업연관표(통계표)」를 활용하여 분석하였음.
 - 앞서 언급한 바와 같이 한국은행에서 공개한 산업연관표인 「2011 및 2012년 산업연관표(연장표)」상의 161개 통합소분류 중 의약품(042 부문)의 투입산출표를 분석에 활용함

□ 생산유발효과

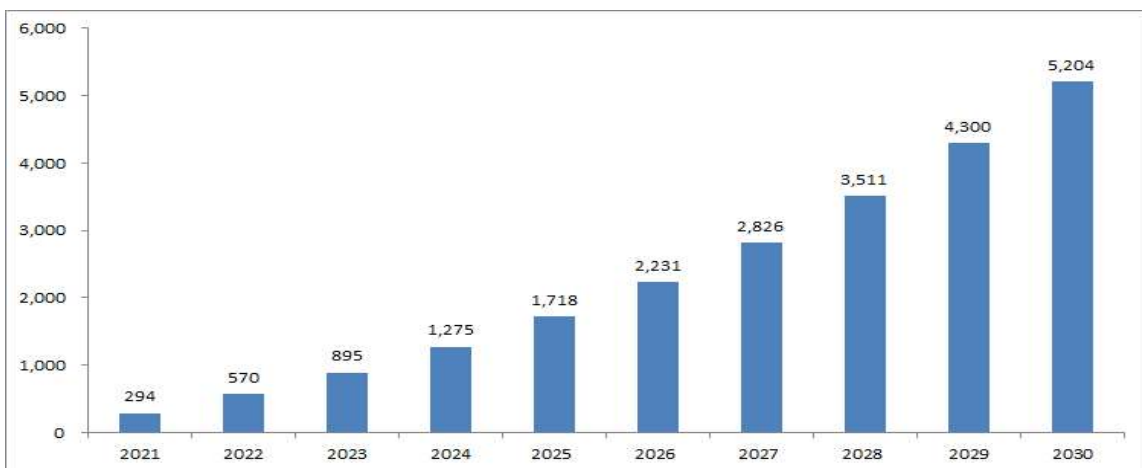
- 본 은행의 건립에 따른 생산유발효과는 10년간(2021~2030)에 걸쳐 총 5조 9,745억 원에 이를 것으로 분석됨.
 - 이러한 생산유발효과를 연차별로 살펴보면 2021년 약 768억 원에서 2030년 약 1조 3,623억 원에 달할 것으로 추정됨



[그림 6-7] 본 사업 수행에 따른 연도별 생산유발효과 (단위 : 억 원)

□ 소득창출효과

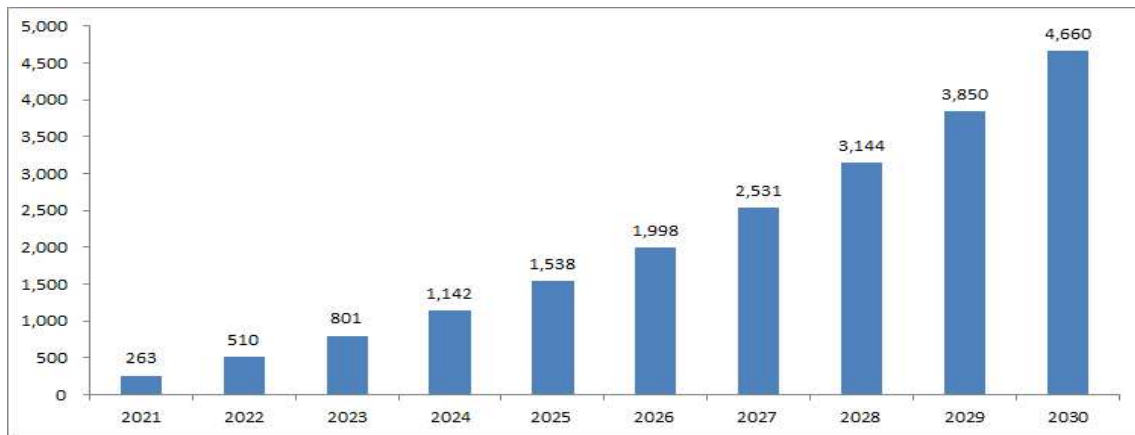
- 본 은행 건립에 따른 소득창출효과는 10년간(2021~2030)에 걸쳐 총 2조 2,823억 원에 이를 것으로 분석됨.
- 이러한 소득창출효과를 연차별로 살펴보면 2021년 약 294억 원에서 2030년에는 약 5,204억 원에 달하는 소득이 창출될 것으로 추정됨



[그림 6-8] 본 사업 수행에 따른 연도별 소득창출효과 (단위 : 억 원)

□ 고용창출효과

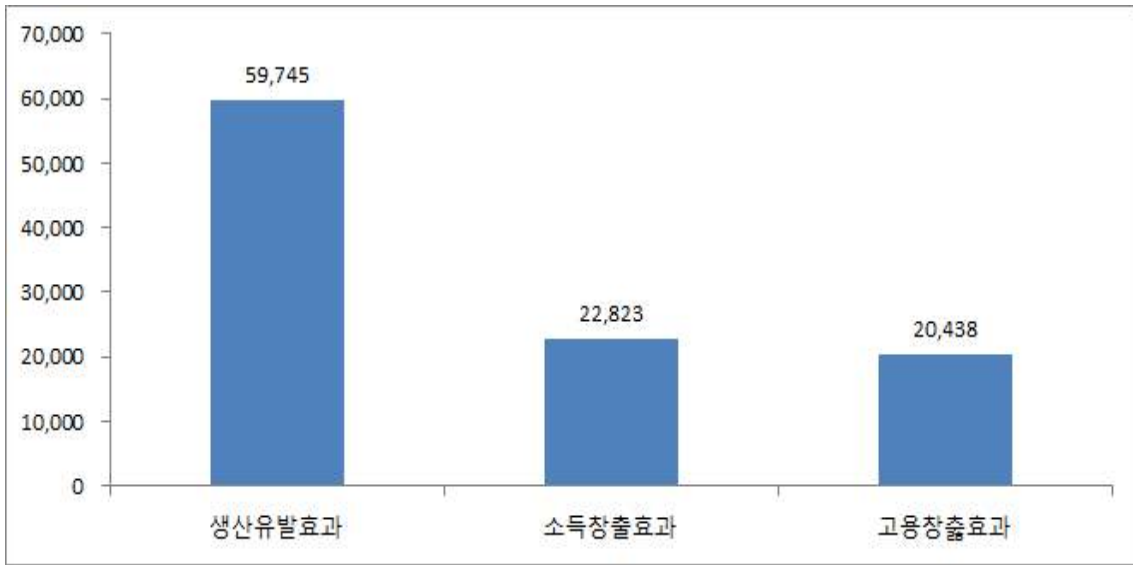
- 본 은행 건립에 따른 고용창출효과는 10년간(2021~2030)에 걸쳐 총 20,438 명에 이를 것으로 분석됨.
- 이러한 고용창출효과를 연차별로 살펴보면 2021년 약 263명에서 2030년에는 약 4,660명에 달하는 고용이 창출될 것으로 추정됨



[그림 6-9] 본 사업 수행에 따른 연도별 고용창출효과 (단위 : 명)

6.3.3 분석결과 요약

- 앞서 언급한 바와 같이 본 사업을 통해 마이크로 바이옴 생산규모는 사업 미수행시에 비해 10년간(2021~2030)에 걸쳐 누적 규모로 총 3조 5,302억 원의 생산액 증대가 가능한 바, 이에 따른 경제파급효과 분석 결과를 요약하면 다음과 같음.
- 본 사업을 통해 10년간(2021~2030)에 걸쳐 전 산업에 걸쳐 총 5조 9,745억 원 규모의 누적 생산유발효과와 총 2조 2,823억 원의 소득창출효과 및 총 20,438명의 고용창출이 가능할 것으로 분석되었음.



[그림 6-10] 본 사업 수행에 따른 경제파급효과 누적 규모 추정
(2021~2030년) (단위 : 억 원, 명)

[표 6-7] 본 사업 수행을 통한 연도별 경제파급효과

연도	생산유발효과 (억 원)	소득창출효과 (억 원)	고용창출효과 (명)
2021	768	294	263
2022	1,492	570	510
2023	2,342	895	801
2024	3,337	1,275	1,142
2025	4,496	1,718	1,538
2026	5,841	2,231	1,998
2027	7,397	2,826	2,531
2028	9,191	3,511	3,144
2029	11,255	4,300	3,850
2030	13,623	5,204	4,660
합계	59,745	22,823	20,438

6.4 경제적 타당성 분석

- 앞서 논의한 비용 분석과 편익 분석을 종합하여 다음과 같은 비용편익 분석 및 경제적 파급효과 결과를 도출함 .

6.4.1 비용편익 분석 결과

□ 명목기준 총 비용 427.8억 원 및 총 편익 942.1억 원

- 본 사업관련 4년 간(2019~2022년) 발생하는 건축비와 장비비 등 구축 비용 300억 원과 9년 간(2022~2030년)의 인건비와 운영비 127.8억 원을 합산한 총 비용은 명목기준 427.8억 원임.
- 한편, 2021년부터 발생하는 10년 간(2021~30년)의 총 편익은 명목 기준 약 942.1억 원이며, 총 편익에서 총 비용을 제한 명목기준 누적 순편익은 514.3억 원임.

[표 6-8] 본 사업의 연차별 비용과 편익(명목기준)

(단위 : 억 원)

연 도	비용(C)			편익(B)	순편익(B-C)
	건축+장비비	인건+운영비	소계	시장창출	
2019년	5.0		5.0		-5.0
2020년	83.6		83.6		-83.6
2021년	125.4		125.4	12.1	-113.3
2022년	86.0	10.1	96.1	23.5	-72.6
2023년		13.2	13.2	36.9	23.7
2024년		14.5	14.5	52.6	38.1
2025년		15.0	15.0	70.9	55.9
2026년		15.0	15.0	92.1	77.1
2027년		15.0	15.0	116.7	101.7
2028년		15.0	15.0	145.0	130.0
2029년		15.0	15.0	177.5	162.5
2030년		15.0	15.0	214.8	199.8
총 합계	300	127.8	427.8	942.1	514.3



[그림 6-11] 본 사업의 연차별 비용과 편익 합계(명목기준)

(단위 : 억 원)

□ **현가기준 총 비용 339.2억 원 및 총 편익 573.0 억원**

- **현가기준으로 본 사업관련 4년 간(2019~2022년) 발생하는 건축비와 장비비 등 구축 비용 256.1억 원과 9년 간(2022~2030년)의 인건비와 운영비 83.1억 원을 합산한 총 비용은 현가기준 339.2억 원임.**
- **한편, 2021년부터 발생하는 10년 간(2021~30년)의 총 편익은 현가기준 약 573억 원이며, 총 편익에서 총 비용을 제한 현가기준 누적 순편익은 233.8억 원임.**

[표 6-9] 본 사업의 연차별 비용과 편익(현가기준)

(단위 : 억 원)

연 도	비용(C)			편익(B)	순편익(B-C)
	건축+장비비	인건+운영비	합계	시장창출	
2019년	4.7		4.7		-4.7
2020년	75.1		75.1		-75.1
2021년	106.8		106.8	10.3	-96.5
2022년	69.4	8.2	77.6	19.0	-58.6
2023년		10.1	10.1	28.3	18.2
2024년		10.5	10.5	38.2	27.7
2025년		10.3	10.3	48.7	38.4
2026년		9.8	9.8	60.0	50.2
2027년		9.3	9.3	72.1	62.8
2028년		8.8	8.8	84.9	76.1
2029년		8.3	8.3	98.5	90.2
2030년		7.9	7.9	113.0	105.1
총 합계	256.0	83.2	339.2	573.0	233.8



[그림 6-12] 본 사업의 연차별 비용과 편익 합계(현가기준)

□ NPV, BCR , IRR 수준으로 경제적 타당성 확보

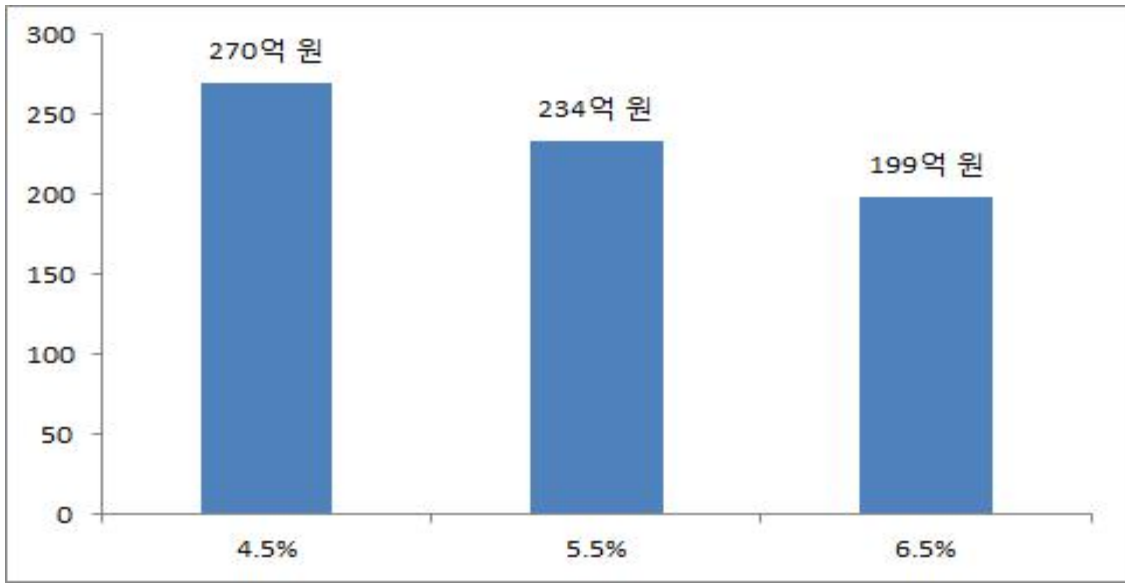
- 5.5%의 기준할인율 하에서 비용편익 분석을 실시한 결과, 본 사업의 순현재가치(Net Present Value: NPV)는 234억 원, 편익비용비율(Benefit Cost Ratio: BCR)은 1.689이며, 내부수익률(Internal Rate of Return: IRR)은 15.26%로 분석됨.
- 따라서 이상의 비용편익 분석 결과는 BCR은 1 이상이며, NPV는 0 보다 크고, IRR 역시 사회적 할인율 기준치 5.5% 이상이므로 본 사업의 경제적 타당성이 확보된 것으로 평가됨.

[표 6-10] 본 사업의 비용편익 분석 결과 요약

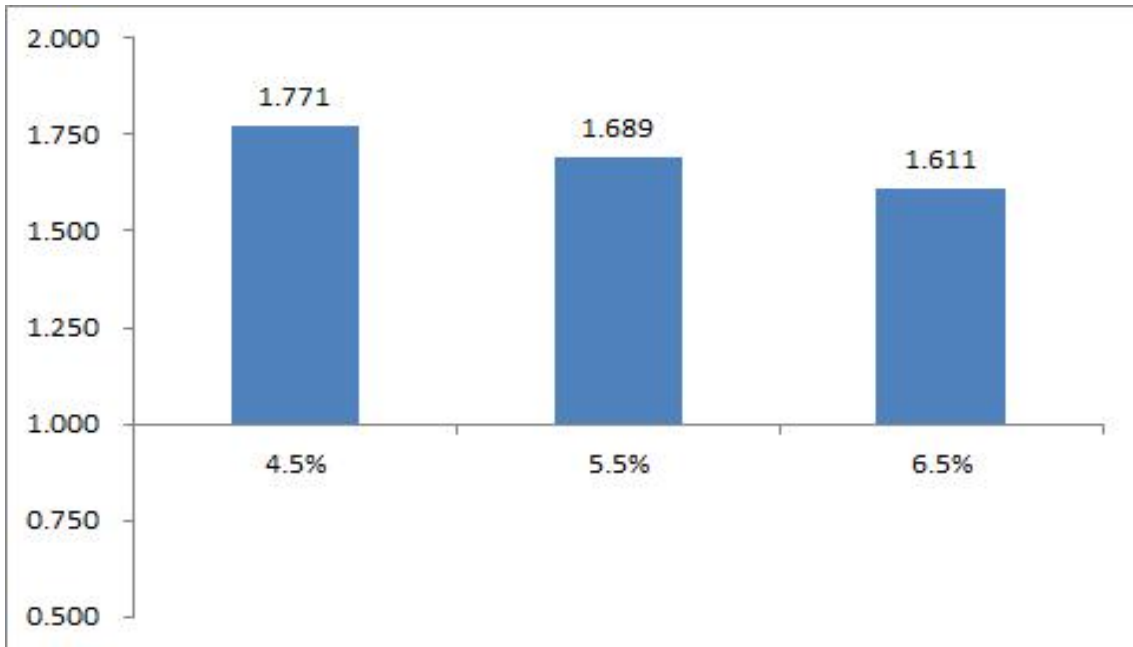
현재 비용	현재 편익	할인율 가정	비용편익비율 (BCR)	순현재가치 (NPV)	내부수익률 (IRR)
339.2억 원	573.0억 원	5.5%	1.689	233.8억 원	15.26%

6.4.2 민감도 분석 결과

- 한편 앞서 언급한 경제사회적 변수에 따른 다양한 사회적 할인율 (4.5%~6.5%) 하에서 민감도 분석을 실시한 결과, BCR은 최소 1.611에서 최대 1.771로 분석되었고, NPV 역시 최소 199억 원에서 최대 270억 원으로 분석된 바, 고려한 모든 사회적 할인율 시나리오 하에서 경제적 타당성이 확보된 것으로 평가되었음.
 - 저 할인율(4.5%) 시나리오 : BCR 1.771, NPV 270억 원
 - 기준 할인율(5.5%) 시나리오 : BCR 1.689, NPV 234억 원
 - 고 할인율(6.5%) 시나리오 : BCR 1.611, NPV 199억 원



[그림 6-13] 본 사업의 순현재가치(할인율: 4.5%~6.5%)



[그림 6-14] 본 사업의 편익비용비율(할인율: 4.5%~6.5%)

7. 참고문헌

- 1) Regulation of life span by the gut microbiota in the short-lived African Turquoise Killifish, bioRxiv.org, doi: <https://doi.org/10.1101/120980> (2017)
- 2) An obesity-associated gut microbiome with increased capacity for energy harvest, *Nature*, Vol 444:21-28 (2006)
- 3) Defining the core *Arabidopsis thaliana* root microbiome. *Nature*
- 4) Le Chatelier, E. *et al.* Richness of human gut microbiome correlates with metabolic markers. *Nature* 500, 541-546 (2013).
- 5) Org, E. *et al.* Genetic and environmental control of host-gut microbiota interactions. *Genome Res.* 25, 1558-1569 (2015).
- 6) Sakai, T. *et al.* *Lactobacillus plantarum* OLL2712 regulates glucose metabolism in C57BL/6 mice fed a high-fat diet. *J. Nutr. Sci. Vitaminol. (Tokyo)* 59, 144-147 (2013).
- 7) Hannah D. Holscher, Dietary fiber and prebiotics and the gastrointestinal microbiota, *Gut Microbes*, 8:2, 172-184(2017)
- 8) Paulina Markowiak and Katarzyna Sliżewska, Effects of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics on Human Health, *Nutrients* 9, 1021(2017)
- 9) Luke K Ursell, Jessica L Metcalf, Laura, Wegener Parfrey and Rob Knight, Defining the Human Microbiome, *Nutr Rev.* Aug; 70(Suppl 1): S38-S44(2012)
- 10) Ley RE, et al. Evolution of mammals and their gut microbes. *Science.* 320:1647-51(2008)
- 11) Blake AB, Suchodolski JS. Importance of gut microbiota for the health and disease of dogs and cats. *Anim Front.*, 6:37(2016)

- 12) Duncan SH, et al. Human colonic microbiota associated with diet, obesity and weight loss. *Int J Obes.*, 32:1720-24(2008)
- 13) Coelho et al. Similarity of the dog and human gut microbiomes in gene content and response to diet, *Microbiome* 6:72(2018)
- 14) Kuczynski J, Lauber CL, Walters WA, Parfrey LW, Clemente JC, Gevers D, Knight R. Experimental and analytical tools for studying the human microbiome. *Nature reviews Genetics*, 13:47-58(2012)
- 15) Ley RE, Hamady M, Lozupone C, Turnbaugh PJ, Ramey RR, Bircher JS, Schlegel ML, Tucker TA, Schrenzel MD, Knight R, Gordon JJ. Evolution of mammals and their gut microbes. *Science*, 320:1647-1651(2008)
- 16) Knights D, Costello EK, Knight R. Supervised classification of human microbiota. *FEMS microbiology reviews*. 35:343-359(2011)
- 17) Dominguez-Bello MG, Blaser MJ, Ley RE, Knight R. Development of the human gastrointestinal microbiota and insights from high-throughput sequencing. *Gastroenterology*, 140:1713-1719(2011)
- 18) World data centre for microorganisms(WDCM,www.wfcc.info)
- 19) Korea National Research Resource Center(www.knrrc.or.kr)

[별첨 1] [농생명 에코 마이크로바이옴 자원센터 구축]을 위한 설문지

농림축산식품부에서는 농생명 마이크로바이옴 분야 산업(농작물, 가축, 애완 동물, 양식 등)의 육성을 위한 “농생명 에코 마이크로바이옴 자원센터 구축”을 위한 타당성을 검토하고 있습니다.

에코 마이크로바이옴 자원센터는 농생명 마이크로바이옴 분야의 수요자 및 공급자 분석을 통한 사업화 및 애로 사항을 해소하여, 향후 농생명 마이크로바이옴 분야의 육성 발전 방안을 도출하고 효과적인 마이크로바이옴 산업의 활성화를 통한 기업경제 활성화에 도움을 주고자 합니다.

문1. 농림축산식품부에서는 농생명 마이크로바이옴 분야 산업의 육성을 위해 에코 마이크로바이옴 자원센터 구축을 계획하고 있습니다. 위와 같은 센터 설립이 필요하다고 생각하십니까? ()

1. 반드시 필요하다.
2. 있으면 좋을 것 같다.
3. 필요하긴 하지만 아직 시기상조라고 생각한다.
4. 필요 없다.

문2. 에코 마이크로바이옴 자원센터가 구축된다면 귀 기관(귀하)은 센터의 마이크로바이옴(미생물포함), 시설 및 장비 이용, 협력 및 공동연구 참여 의사가 있습니까? ()

1. 모든 것을 적극적으로 이용하고 참여한다.
2. 마이크로바이옴(미생물포함) 만 분양 받는다.
3. 시설과 장비만 이용한다.
4. 협력 및 공동연구에 참여한다.
4. 참여 의사가 없다 (이유:)

문3. 에코 마이크로바이옴 자원센터가 농생명 마이크로바이옴 분야 산업 육성을 위해 가장 우선적으로 추진해야할 사항이 무엇이라고 생각하십니까? (우선순위대로 5가지 선택) ()

1. 정부 후속 대형 R&D 사업 기획 및 지원 확대

2. 마이크로바이옴(미생물포함) 분리, 기탁, 보존 및 분양
3. 난 배양성 미생물 배양 지원
4. 전문 컨설팅(특허/시장분석, 기술이전, 마케팅 등) 지원
5. 고가 및 특수 장비 구축 및 활용 지원
6. 관련 산학연과의 협력 및 공동연구 체제 구축
7. 농생명 마이크로바이옴 생산품의 성능 및 신뢰성 평가
8. 품질 인증 또는 실증
9. 전문인력 양성
10. 기타 ()

문4. 농생명 마이크로바이옴 산업 분야 중 가장 유망한 분야는 무엇이라고 생각하십니까? () (3가지 선택)

1. 작물 비료/생장촉진
2. 작물보호(생물학적방제)
3. 축산환경개선
4. 축산생산성 향상
5. 동물 항생제 대체제
6. 동물의약품
7. 반려동물 사료 및 건강보충제
8. 건강기능식품
9. 기타 ()

문5. 국내 농생명 마이크로바이옴 산업 활성화를 위한 에코 마이크로바이옴 자원센터의 설립이 필요하다면 언제부터 설립이 시작되어야 합니까? ()

1. 지금 당장 (2019년)
2. 1년내 (2020년)
3. 2년내 (2021년)
4. 5년내 (2024년)

Part 2.

기관 구분	1. 출연 (연) 2. 민간 연구소
직 위	
연구 분야	1. 바이오 의약 2. 바이오 화학 3. 바이오 식품 4. 바이오 환경 5. 바이오 에너지 및 자원 6. 바이오 공정 및 기기 7. 바이오 검정, 정보 개발 서비스 8. 기타 ()

응답해 주셔서 감사합니다.

[별첨 2] 장비 및 시설 목록

1. 기초 실험장비 목록

	품목	모델명	단가(원)	수량	금액(원)	용도
1	Electronicmultichannelpipette (샘플자동분주파이펫)	Impact, Equalizer	3,000,000	10	30,000,000	샘플의 반복적 분주를 위한 자동 pipette, multi channel
2	Electronicpipette (샘플자동분주파이펫)	Impact, Single	1,000,000	10	10,000,000	샘플의 반복적 분주를 위한 자동 pipette, single channel
3	Sampleliquidhandler (샘플 자동 분주 장치)	Versette	90,000,000	2	180,000,000	극소량샘플의 정확한 분주를 위한 96well자동분주장비
4	Sonicator (초음파샘플파쇄기)	Bioruptor, KR	21,000,000	2	42,000,000	샘플파쇄 및 Chromatic IP용 초음파파쇄기
5	Microcentrifuge (개인용소형원심분리기)	Mini	600,000	10	6,000,000	기본샘플 handling용 소형원심분리기
6	Microcentrifuge (핵산용소형원심분리기)	1730MR	3,500,000	5	17,500,000	핵산및단백질추출및샘플handling용냉장원심분리기
7	Highspeedcentrifuge 고속원심분리기	2236HR	30,000,000	2	60,000,000	미생물의핵산및단백질추출
8	Floor-typecentrifuge 고속원심분리기	1736MGR	10,000,000	2	20,000,000	미생물의 핵산 및 단백질 추출
9	Vaccumconcentrator (고속 진공 농축기)	ScanVac, Maxi	25,000,000	2	50,000,000	추출한 샘플의 농축 및 기타 샘플 농축
10	BioSafetyCabinet (무균대)	Mars, 1500	23,000,000	5	115,000,000	안전한 샘플 handling을 위한 Class II 클린벤치
11	CellCounter (세포계수및세포활성분석기)	NC3000	85,000,000	1	85,000,000	세포 계수 기능을 통해 세포의 활성 분석 등을 수행
12	CellCounter (자동세포계수기)	TC-10	7,000,000	3	21,000,000	세포 계수를 간편하게 시행
					636,500,000	

2. 미생물 유전체 분석 장비 목록

	품목	모델명	단가(원)	수량	금액(원)	용도
1	PulseFieldElectrophoresis (펄스영역겔전기영동기)	CHEF mapper	78,000,000	1	78,000,000	Genomic DNA의 RFLP 패턴을 전기영동을 통해서 분리
2	RFLPSoftware (유전자유연관계분석프로그램)	InfoQuest FP	49,000,000	1	49,000,000	Genomic DNA의 RFLP 전기영동 결과를 통한 중간 유연관계 분석
3	D-codeElectrophoresis (유전자변형검출전기영동기)	D-Code complete system	25,000,000	1	25,000,000	특정 유전자의 샘플군별 profiling을 관찰하는데 사용
4	AutoElectrophoresissystem (핵산자동전기영동분석기)	Experion	34,000,000	1	34,000,000	DNA, RNA, Protein 등의 핵산을 자동으로 전기영동하여 그 결과를 분석
5	PCR (유전자증폭장치)	C1000	14,000,000	5	70,000,000	중합효소 연쇄 반응에 의해 유전자를 증폭시키는데 사용
6	NGS (차세대 유전자서열분석)	iSeq 100	200,000,000	2	400,000,000	대단위 마이크로바이옴 서열분석
7	RT-PCR (실시간유전자증폭기)	CFX96	45,000,000	2	90,000,000	유전자를 증폭 과정을 실시간으로 분석하여 해당 유전자의 양을 정량하는데 사용
8	IsothermalGeneAmplification& Detectionsystem (등온 증폭 유전자 검출기)	Genie II	30,000,000	2	60,000,000	기존유전자증폭법(PCR등)과차별된LAMP(loopmediatedamplication)방법을이용해극소량의유전자혼합물로부터특정염기서열의유전자산물을매우짧은시간(30분이내)에확인
9	DNAElectrophoresis (핵산전기영동기)	SubCell GT system, mini	1,000,000	10	10,000,000	DNA, RNA 등의 핵산을 자동으로 전기영동하는 장치 (mini)
10	DNAElectrophoresis 핵산전기영동장치	SubCell GT system, wide	1,400,000	10	14,000,000	DNA, RNA 등의 핵산을 자동으로 전기영동하는 장치 (wide-mini)

11	DNAElectrophoresis 핵산전기영동장치	SubCell GT system	1,700,000	10	17,000,000	DNA, RNA 등의 핵산을 자동으로 전기영동하는 장치 (midi)
12	DNAElectrophoresis 핵산전기영동장치	SubCell GT system, 96	2,000,000	10	20,000,000	DNA, RNA 등의 핵산을 자동으로 전기영동하는 장치 (HTS)
13	DNAElectrophoresis (핵산전기영동장치)	iMyRun	700,000	10	7,000,000	DNA, RNA 등의 핵산을 자동으로 전기영동하는 장치 (mini)
14	GelDokumentationSystem (이미지획득장치)	Gel Doc EZ	15,000,000	4	60,000,000	핵산 전기영동 겔 이미지 획득 장치 - 간편용
15	GelDokumentationsystem (이미지획득장치)	Gel Doc XR+	16,000,000	4	64,000,000	핵산 전기영동 겔 이미지 획득 장치 - 확장용
16	Multi Image Documentation system (이미지획득장치)	Molecular Imager FX	80,000,000	1	80,000,000	동위원소 및 형광용 자동 이미지 획득 장치
17	Automaticsampleextractionsyst em (자동핵산분리장치)	Magtration 12GC basic	60,000,000	1	60,000,000	자동으로 DNA/RNA를 추출하는 장치, 시약 ready-to-use
18	Luminometer (발광검출기)	Panomics Luminometer	22,000,000	2	44,000,000	샘플의 발광 정도를 ELISA format으로 정량검출하는 장치
19	Genetransfersystem (전기충격유전자도입장치)	GPX total system	18,000,000	4	72,000,000	전기펄스를이용한유전자세포도입장치
20	Genetransfersystem (전기충격유전자도입장치,HTS)	Mxcell system	60,000,000	1	60,000,000	전기 펄스를 이용한 유전자 세포 도입장치, 96 well type

21	PowerSupply (전기영동용전력공급장치)	PowerPac Basic	1,600,000	5	8,000,000	전기영동기 용 전력 공급 장치
22	PowerSupply (전기영동용전력공급장치)	PowerPac Universal	6,500,000	5	32,500,000	전기영동기 용 전력 공급 장치
23	MultilabelPlateReaders (다표지 시료 측정 장치)	Envision	130,000,000	1	130,000,000	시료의 Absorbance(흡광), Fluorescence(형광), Luminescence(발광)을 선택 하여 다양한 dye로 표지된 미생물 및 세포들을 빠르고 높은 감도로 측정.
24	MultilabelPlateReaders (다표지 시료 측정 장치)	enspire	65,000,000	1	65,000,000	시료의 Absorbance(흡광), Fluorescence(형광), Luminescence(발광)을 선택하여 다양 dye로 표지된 미생물 및 세포들을 측정
					1,549,500,000	

3. 단백질체 분석 장비 목록

	품목	모델명	단가(원)	수량	금액(원)	용도
1	Iso-electric Focusing Electrophoresis (등전점단백질분리장치)	PROTEAN IEF Cell	15,000,000	1	15,000,000	단백질의 고유한 PI값에 따라서 분리하는 장치
2	Protein Electrophoresis (단백질분리 전기영동기)	PROTEAN Mini tretra Cell	1,800,000	5	9,000,000	단백질의 크기에 따라 분리 하는 장치(mini gel, 7cm)
3	Protein Electrophoresis (단백질분리 전기영동기)	Criterion Cell	1,300,000	5	6,500,000	단백질의 크기에 따라 분리 하는 장치(midium gel, 11cm)
4	Protein Electrophoresis (단백질분리 전기영동기)	PROTEAN II XL Cell	4,000,000	3	12,000,000	단백질의 크기에 따라 분리 하는 장치(large gel, 17cm)
5	Protein Electrophoresis (단백질분리 전기영동기)	PROTEAN plus Dodeca Cell	20,000,000	2	40,000,000	단백질의 크기에 따라 12장을 한꺼번에 분리 하는 장치(large gel, 24cm)
7	Western blot transfer system (단백질전달장치)	Mini Trans blot	1,400,000	2	2,800,000	전기영동 후 단백질을 membrane에 tranfer하는 장치(mini gel, 7cm)
8	Western blot transfer system (단백질전달장치)	Trans blot cell	2,750,000	2	5,500,000	전기영동 후 단백질을 membrane에 tranfer하는 장치(large gel, 17cm)
9	Western blot transfer system 단백질전달장치	Trans blot plus cell	7,600,000	2	15,200,000	전기영동 후 단백질을 membrane에 tranfer하는 장치(large gel, 24cm)
10	Western blot transfer system (단백질전달장치)	TransBlotSDsemidry	2,750,000	2	5,500,000	전기영동 후 단백질을 membrane에 tranfer하는 장치(semi dry용)
11	Western blot transfer system (단백질전달장치)	Trans Blot SD - turbo	7,000,000	2	14,000,000	전기영동 후 단백질을 membrane에 tranfer하는 장치(semi dry용 - Turbo)

12	Autostainingsystem (자동염색장치)	Dodeca Stainer	10,000,000	2	20,000,000	2-DE 겔을 silver 또는 coomassie 염색을 시간에 맞춰 한꺼번에 염색하는 장치
13	Densitomter (이미지획득장치)	GS-800 calibrated Densitometer	18,000,000	1	18,000,000	2-DE 겔을 이미지를 획득 하는 장치
14	Chemidoumentationsystem (이미지획득장치)	ChemiDoc XRS+ System	40,000,000	1	40,000,000	western blot, DNA, RNA, Protein 겔 및 blot 샘플 이미지 획득 장치
15	2-DESpotAnalyzingSoftware (2-DEspot분석장치)	PDQuest software	16,000,000	1	16,000,000	염색된 2-DE 겔의 정량, 정성등을 통계학적으로 분석하는 소프트웨어
16	PowerSupply (전력공급장치)	PowerPac HC	3,500,000	1	3,500,000	단백질 western transfer 용 전력 공급 장치
17	Waterpurificationsystem (초순수정제장치)	Astacus lifescience	15,000,000	2	30,000,000	Proteomics 용 초순수 정제장치 (1+3차)
18	ELISAreadersystem (면역효소반응검출기)	iMark	10,000,000	1	10,000,000	면역 효소 반응 등의 발색반응을 정량검출하는 장치 (filter type)
19	ELISAreadersystem (면역효소반응검출기)	xMark	28,000,000	1	28,000,000	면역 효소 반응 등의 발색반응을 정량검출하는 장치 (monochromate 방식)
20	ELISAreaderwasher (면역효소반응용자동세척기)	Model 1575 Immunowash	9,000,000	1	9,000,000	면역 효소 반응 등의 발색반응의 세척과정을 자동으로 하는 장치
					300,000,000	

4. 미생물 세포 분석 장비 목록

	품목	모델명	단가(원)	수량	금액(원)	용도
1	Flow Cytometer (유세포 분석기)	A40	90,000,000	1	90,000,000	세포의 분석 (특히 미생물과 같이 작은 크기의 재료에 적합)
2	Flow Cytometer with Sorter (유세포 분석기)	Synergy	150,000,000	1	150,000,000	세포의 분석 및 세포의 분리
3	Laser Scanning Confocal Microscope (공초점 현미경)	A1R	600,000,000	1	600,000,000	세포나 조직의 입체 영상을 관찰
4	Inverted Fluorescence Microscope (도립형 형광현미경)	Ti-U	80,000,000	1	80,000,000	배양 세포나 조직을 관찰 및 영상 분석
5	Upright Fluorescence Microscope (도립형 형광현미경)	80i	80,000,000	1	80,000,000	조직 관찰
6	Inverted Fluorescence Microscope (도립형 형광현미경)	TS-100F	16,000,000	1	16,000,000	세포배양시 세포의 성장 및 조건 등을 확인
7	MALDI-TOF Biotyper	microflex LT/SH	250,000,000	1	250,000,000	Culturomics를 통한 미생물의 신속 동정
					1,266,000,000	

5. 대사체 분석 장비 목록

	품목	모델명	단가(원)	수량	금액(원)	용도
1	AtomatedBiologicalSystem (미생물동정기)	Vitek2 Compact 60	90,000,000	1	90,000,000	미생물 동정을 위한 자동화장비
2	TripleQuadrupoleLC/MS/MSSpectrometer (사중극자텐덤액체크로마토그래피 질량분석기)	6430 Triple Quadrupole	300,000,000	1	300,000,000	약물 및 미생물 대사체의 정량분석
3	HPLC (고성능액체크로마토그래피)	iLC3000	40,000,000	5	200,000,000	다양한 물질의 기본적인 정량 및 정성 분석
4	MIDI System (미생물지방산분석기)	Sherlok Mis	60,000,000	1	60,000,000	미생물의 지방산 분석을 통한 동정
					650,000,000	

6. 미생물 배양 및 보존 장비 목록

	품목	모델명	단가(원)	수량	금액(원)	용도
1	초저온냉동고	ULTF-1	20,000,000	20	400,000,000	미생물, 유전체, 대사체의 보관 총 20만 바이알, 1만 바이알/Set
2	대용량 동결건조시스템	FDPL-100, FDPL-50	150,000,000	2	300,000,000	미생물의 대량 동결건조기 100Kg/Bach 1기, 50Kg/Bach 1기
3	소량동결건조시스템	FDPL-100	50,000,000	4	200,000,000	미생물보관을 위한 동결건조 1,500Vial/Bach 1기, 3,000Vial/Bach 1기
4	증양제어장치	AL-201-P	78,000,000	1	78,000,000	미생물 보존 설비들의 증양제어
5	샘플 관리 시스템	SMP-3ST	10,000,000	2	20,000,000	바코드에 의한 미생물 균주 관리
6	혐기챔버	A35	60,000,000	6	360,000,000	절대혐기성미생물 배양
7	액체질소탱크	MVE1500-190	60,000,000	6	360,000,000	미생물장기보존 총 12만 바이알, 2만 바이알/set
8	CO2 incubator	MCO-23-AIC	20,000,000	4	80,000,000	미호기성미생물, 동물세포배양
9	저온미생물배양기	IL-11-4C	20,000,000	5	100,000,000	저온 미생물배양
10	자원관리시스템		30,000,000	2	60,000,000	자원D/B관리, 웹페이지관리
11	혐기발효기		50,000,000	2	100,000,000	혐기성미생물 배양
12	5L 발효기	MARADO-05D-PS	40,000,000	5	200,000,000	미생물 배양

13	50L 미생물 배양기	CNS-50D-Pilot	1,000,000,000	2	200,000,000	스케일업 공정 활용
					2,458,000,000	

7. 시설 목록

	품목	모델명	단가(원)	수량	금액(원)	용도
1	야외 온실		50,000,000	10	500,000,000	식물미생물 test용 온실
2	야외포장		3,000,000	20	60,000,000	전국적인 포장 시험
3	식물시험 장비(종자, 육묘상 등)		10,000,000	30	300,000,000	실내/외 식물 시험
4	실험동물실		2,780,000,000		2,780,000,000	SPF급 실험동물 사육실, 동물실험
					3,640,000,000	