

백신 플랫폼 기술 (Vaccine Platform Technologies)

김주원 · 장기정 · 여창민





Contents

 제1장 개요	1
 제2장 기술동향	7
 제3장 산업동향	15
 제4장 정책동향	20
 제5장 R&D 투자동향	26
 제6장 결론	33

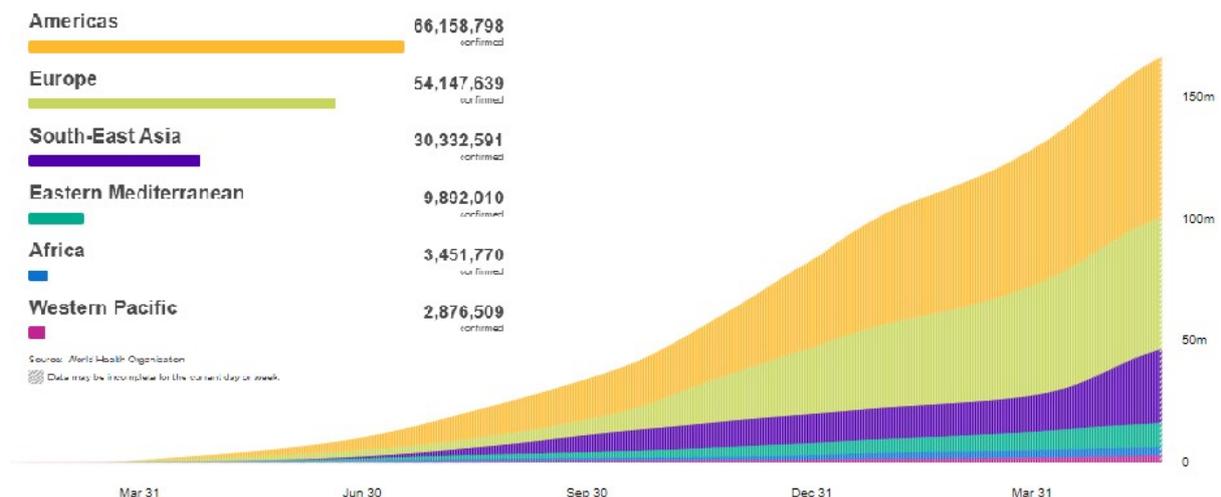


제1장 개요

1.1. 작성 배경

최근 코로나19 팬데믹은 전 세계적으로 막대한 경제적·사회적 피해를 발생시켰을 뿐 아니라, 향후 새로운 팬데믹에 대한 우려를 더욱 높이고 있음

- 코로나19는 '21년 4월 26일 기준 약 1억 6,686만명이고 사망자는 약 346만명에 달하며, 당초 소득 수준이 높은 미국, 유럽 등에서 대다수가 발생했으나 최근에는 인도를 포함한 동남아에서 급증하고 있음
 - 우리나라는 코로나19 누적 확진환자 약 14만명과 사망자 1,938명을 기록('21.5.25 기준)¹⁾



[그림 1] 전 세계 코로나19 확진자 증가추이('21.5.25기준)²⁾

- 그간 항생제, 백신, 진단기술 등이 발전하고 보건위생에 대한 인식이 높아짐에도 불구하고 현재까지의 기술로는 팬데믹에 대한 우려를 종식시키기 어렵다는 것을 보여줌

1) 보건복지부 코로나19 관련 홈페이지(<https://ncov.mohw.go.kr>)

2) WHO Coronavirus(COVID-19) Dashboard(<https://covid19.who.int>)

인류 역사와 함께 시작된 감염병과의 투쟁은 백신의 개발로 중요한 전기를 맞이했고, 최근까지도 다양한 종류의 백신이 개발 되고 있음

- 인류 최초의 백신은 1796년 영국의 의사인 에드워드 제너가 우두(cowpox)에 걸린 사람의 시료를 채취하여 8살 소년에 접종(종두법) 한데서 시작되었으며, 치사율이 20~40%에 달하는 치명적인 질병이던 천연두(smallpox)를 200년만에 공식적으로 종식시킴³⁾
- 이후 19세기 후반 루이 파스퇴르는 닭 콜레라와 탄저병, 광견병의 백신을 개발했고 이후 20세기 초반에 결핵, 디프테리아, 파상풍, 백일해 등의 백신, 20세기 중반에는 소아마비와 홍역 백신이 개발
- 1986년에는 최초로 유전공학적으로 설계된 백신인 B형 간염 백신이 미국에서 개발되었고 2006년에는 인유두종바이러스(HPV) 백신이 개발되었으며, 2009년에는 H1N1 팬데믹 이후 해당 아종에 대한 백신이 개발되었음⁴⁾

코로나19에 대응하기 위해 각국은 그간 개발된 다양한 백신 플랫폼을 적용하였고, 그 결과 백신개발 기간이 기존의 감염병 대비 비약적으로 단축

- 코로나19 이전에는 백신 개발 속도가 매우 느려, 신변종 바이러스의 발견에서 임상1상 수행 까지 걸리는 기간은 몇 년에서 수십 년까지 소요⁵⁾
 - 기존에 허가받은 백신의 대부분은 생백신 및 사백신으로, 바이러스를 체외에서 배양하는 조건을 찾아야 할 뿐만 아니라 BL3 등 높은 수준의 방호시설을 필요로 하고 대량 생산 및 정제과정을 필요로 하는 등으로 신속한 개발이 어려움
- 코로나19에 대한 신속한 백신 개발을 위해 각국은 기존의 불활화 백신 외에도 DNA, RNA 등 유전자 백신과 바이러스벡터 백신, 단백질 성분 백신(아단위 백신) 등 다양한 플랫폼을 시도
 - ※ 2017년 설립된 전염병예방혁신연합(CEPI)은 코로나19가 중국에서 대유행한지 4개월 만에 백신 임상제안서를 발표, 모더나, 이노비오, 큐어백, 퀴즐랜드대 등 4곳의 임상을 지원
- '21년 3월 기준 코로나19 관련 사용 승인을 받은 백신은 전 세계에서 7개이고, 제한적 사용 승인은 6개, 임상시험 단계 글로벌 백신은 81개에 달함⁶⁾
- 코로나19에서 mRNA 백신 플랫폼의 성공적인 적용은 인류의 백신개발 역사상 중요한 성과로 평가되고 있음

3) 최용균(2010), 역사 속으로 - 백신개발의 신호탄, 종두법 창시자 에드워드 제너

4) OSF Healthcare(2020), A glance at vaccine development over the centuries

5) Kim 외(2020), COVID-19 vaccines: breaking record times to first-in-human trials, npj vaccines

6) 한국글로벌의약산업협회(2021), 코로나19 공중보건위기 해결 위한 글로벌 제약사 백신·치료제 개발노력 지속

- 코로나19 바이러스와 유사한 메르스 바이러스(MERS-CoV)와 사스 바이러스(SARS-CoV)가 첫 임상 돌입에 각각 22개월과 25개월이 소요되는데 비해 코로나19 바이러스인 SARS-CoV-2에 대해서는 발견 후 69일만에 임상에 돌입
- mRNA 백신은 염기서열만 알면 별도로 배양 및 증폭 등의 과정을 거치지 않고 생산이 간단하며, 기존에 안전성이 확인되어 있어 긴급사용승인을 위한 절차에서 비임상시험(동물)을 면제한 것이 주요하게 작용

바이러스의 다양성 및 변이발생 가능성, 인구집단의 다양성, 생산·공급의 문제 등을 고려할 때 다양한 플랫폼 기술을 확보하는 것이 위험부담을 최소화

※ 출처: 보건산업브리프(2020)에서 일부 수정 및 재인용

- 신변종 감염병에 대해 사전에 예측하기는 어려우나, 인체에 감염하는 주요 바이러스의 변종 또는 미발견 신종이 새로운 질병을 일으키는 경우가 많음
- 백신 플랫폼마다 특성 및 장단점이 상이하므로 특정 플랫폼만으로 모든 감염질환이나 대상 집단에 사용하기보다는 여러 플랫폼을 함께 활용하는 경우가 많음
 - 백신은 건강한 인구집단에 대해 대규모로 투여하기 때문에 효능 이상으로 안전성이 매우 중요하며, 장기간 사용하여 검증된 플랫폼이 우선이 되는 경향
 - 백신 개발을 위한 각 플랫폼 별로 특성이 다양하여, 전통적인 방식인 생백신과 사백신도 현재까지 널리 쓰이고 있음

동 브리프에서는 다양한 백신 플랫폼의 기술·산업현황과 정부R&D 투자현황 등에 대해 살펴보고 향후 백신 플랫폼 기술 개발을 위한 시사점을 도출하고자 함

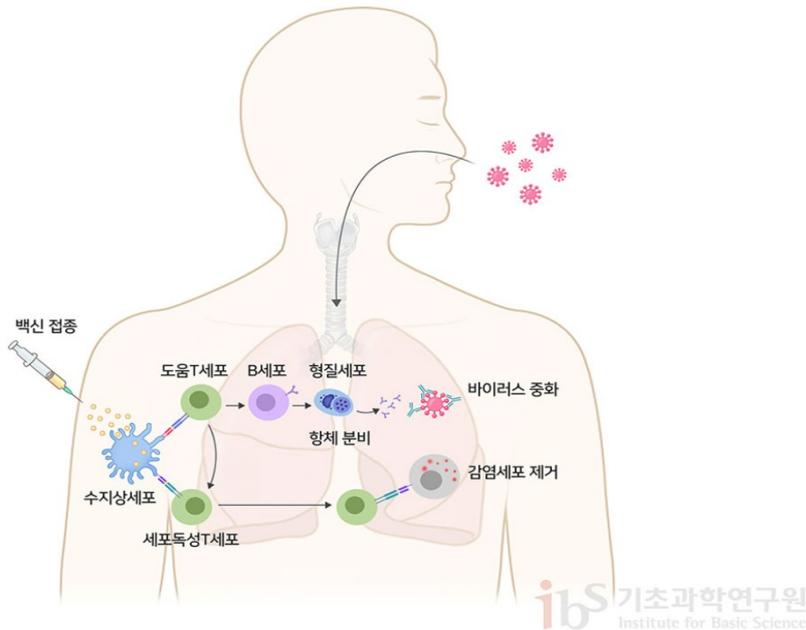
1.2. 기술의 정의 및 범위

백신(Vaccine)이란 병원체 자체나 구성물질의 일부 또는 독소를 적절한 방법으로 처리한 항원을 함유하는 생물학적 제제를 의미⁷⁾

- 백신의 개발 목적은 사람이나 동물에서 병원체에 의해 발생하는 질병을 예방 및 치료하기 위해 생체 내에서 자연적으로 존재하는 면역반응을 통한 항체 형성을 유도하기 위함

7) 생명공학정책연구센터(2019), 글로벌 백신 시장현황 및 전망

- 백신의 면역효과는 세균, 바이러스 및 미생물 독소 등에 대하여 주요 면역세포인 B림프구를 통한 중화항체(neutralizing antibody) 생산이나 T림프구 활성화를 통한 후천성 면역반응을 통해 이루어짐⁸⁾



[그림 2] 백신투여 이후 면역작용에 의한 감염병 예방 메커니즘

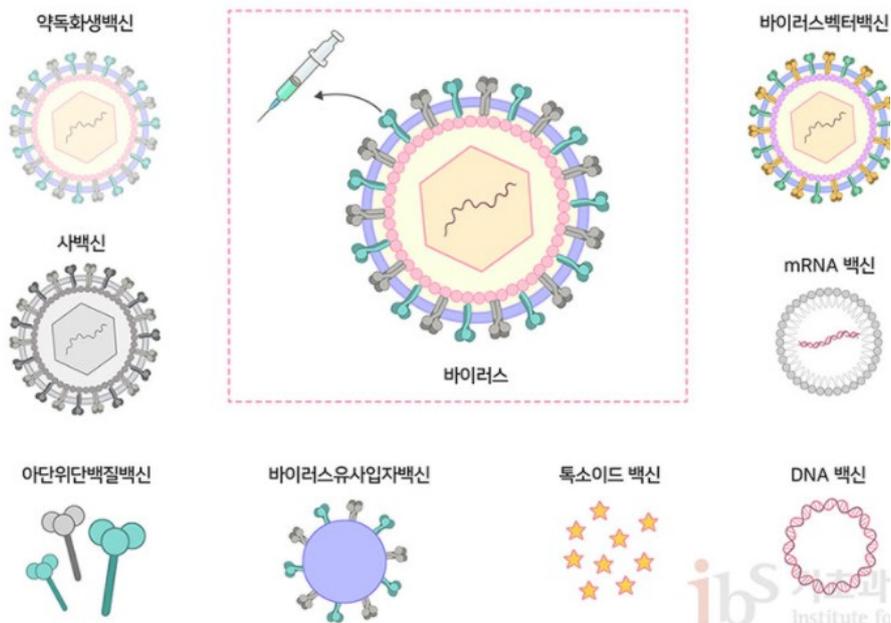
백신은 주로 대상으로 하는 병원체의 표면 단백질이나 독소를 항원으로 사용하고, 크게 살아있는 병원체의 독성을 약화시킨 생백신과, 열이나 화학약품으로 비활성화한 사백신으로 구분

- 생백신은 살아있는 균을 이용하여 소량으로 면역 유도가 가능하고 지속기간이 길어 추가 접종 필요가 적은 장점이 있고, 국내에서 사용하는 생백신은 BCG(결핵), 수두, MMR(홍역, 풍진, 볼거리 혼합백신) 등이 있음
- 사백신은 병원체가 불활성화한 상태로 독성을 회복할 우려가 없는 대신 지속기간이 짧아 여러차례 접종이 필요하고, DTP(디프테리아, 파상풍, 백일해), B형간염, 뇌수막염(Hib), 독감(인플루엔자), 소아마비, 폐구균 등 위의 백신을 제외한 대부분의 백신에 해당
- 바이러스 등 감염체 자체를 이용하는 약독화 생백신과 불활화 사백신을 1세대, 일부분을 이용하는 아단위(서브유닛) 백신과 독소이드, 다당류 백신 및 단백질접합 백신 등을 2세대, 체세포를 이용, 항원을 생산할 수 있는 핵산을 전달하는 DNA/RNA 백신, 바이러스벡터 백신 등 유전자재조합 백신을 3세대로 분류할 수 있음

8) IBS 코로나19 과학리포트(2021), 코로나19 백신의 탄생과 패러다임 전환

〈표 1〉 코로나19 대응 주요 백신 플랫폼별 정의

구분	플랫폼	정 의
1세대	생백신 (약독화)	• 질병을 일으키는 바이러스나 균의 활동을 둔화시켜 사람의 몸 안에서 항체만을 만들 수 있도록 하여 제조되는 백신
	사백신 (불활성화)	• 병원체를 배양한 후 화학물질, 열처리 등을 통해 체내에서 증식하지 못하도록 만든 백신
2세대	아단위 백신	• 병원체를 분쇄하거나 유전자 재조합을 통해 항원을 만드는데 필요한 부위만을 이용하는 백신
	펩타이드 백신	• 감염체의 단백질 중 실제 면역반응에 관여하는 부분으로 한정하여 단백질 보다 짧은 아미노산 중합체(2~50개)인 펩타이드를 합성하여 만든 백신
	독소이드 백신	• 병원체 자체가 아닌 병원체가 만들어내는 독소(독신)에 대한 백신 • 열 또는 화학물질로 처리하여 독성은 제거하고 면역원성을 유지
	다당류 및 단백질접합 백신	• 균의 세포막에 존재하는 다당류를 항원으로 사용하는 백신 • 단백질접합백신은 다당류 백신의 면역 유도 효과를 강화하기 위해 단백질과 캐리어 단백질을 결합시켜 만드는 백신
	바이러스 유사입자 백신	• 유전물질 없이 바이러스 껍질을 구성하는 표면항원 단백질을 바이러스와 유사한 입자로 만들어 주입하는 백신
3세대	바이러스벡터 백신	• 항원 단백질의 염기서열을 가진 DNA를 아데노바이러스 유사바이러스(AAV) 등 인체에 무해한 껍질로 감싸 주입하여 체내에서 항원 단백질을 생산하는 백신
	mRNA 백신	• 항원을 만들 수 있는 염기서열을 가진 mRNA를 지질나노입자(LNP) 등 전달체와 함께 주입하여 우리 몸의 세포가 항원 단백질을 만들게 하는 백신
	DNA 백신	• 항원을 만들 수 있는 염기서열을 가진 DNA를 체내 주입한 후 전기천공(electroporation) 등의 방법으로 세포 내로 보내고 이후 우리 몸의 세포가 항원 단백질을 생산하는 백신



출처: IBS 코로나19 과학리포트(2021), 백신의 종류와 특징

[그림 3] 백신 플랫폼의 종류

백신 플랫폼 기술은 특정 항원이나 유전정보만 바꾸면 새로운 병원체에 대해 백신을 개발할 수 있는 기반기술을 의미

- 생백신과 사백신, DNA 백신과 RNA 백신 등 백신의 여러 종류를 구분할 수 있는 기반 기술을 모두 플랫폼 기술이라고 할 수 있음
- 동 브리프에서는 백신 플랫폼 기술로 가장 널리 통용되는 위와 같은 정의를 사용하되, 코로나 19 등 최근 상황에 따라 중요성이 부각된 3세대 백신을 중점적으로 다루고자 함
- 기존 백신의 형태나 특성을 변형하여 효능이나 안전성 등을 개선하거나, 항원라이브리리 구축, 다가 백신이나 범용 백신의 개발, 체내전달법 개발, 대량생산기술, 투여방법의 개선 등도 다양한 감염체에 적용 가능하여 광의의 플랫폼 기술로 볼 수 있어, R&D 투자동향에서는 광의의 백신 플랫폼 기술을 대상으로 분석을 수행함

제2장 기술동향

2.1. 주요 백신 플랫폼별 특성

전통적으로 사용되던 생백신, 사백신 외에도 아단위 백신이나 차세대 백신인 mRNA/DNA/바이러스벡터 백신 등 각 플랫폼별로 장단점이 상이

- 코로나19 팬데믹 상황에서도 단일 플랫폼이 아닌 다양한 플랫폼을 적용한 백신 개발이 이루어지고 있어, 생백신·사백신 등 기존 플랫폼도 여전히 중요함
- 또한 세균, 바이러스 등 감염원의 종류와 특성에 따라 보다 적합한 백신 플랫폼이 달라질 수도 있어 다양한 플랫폼 기술을 보유하고 이를 적용하는데 꾸준한 연구가 필요

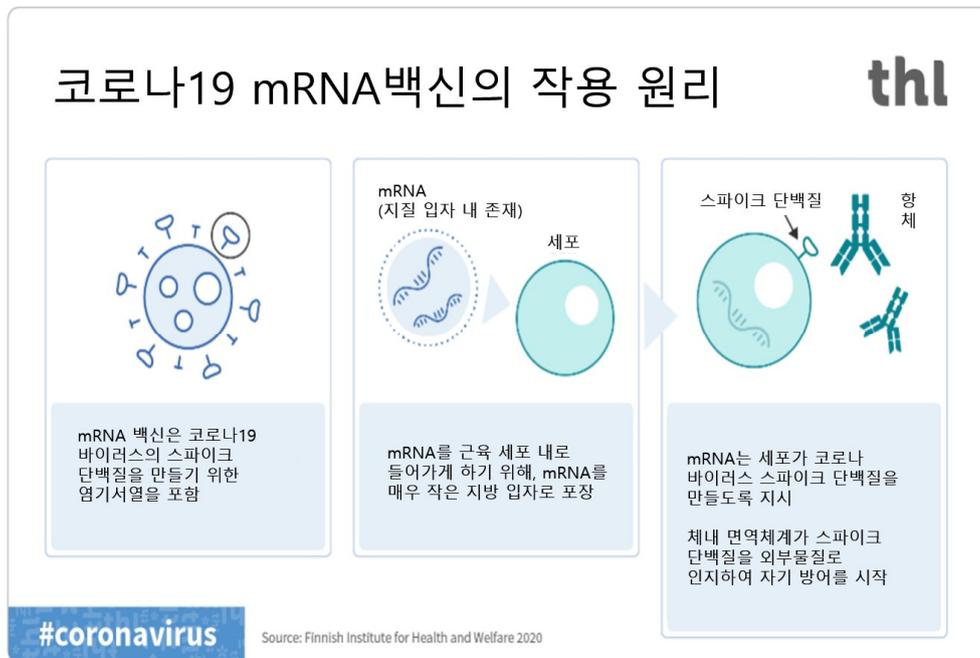
〈표 2〉 코로나19 대응 주요 백신 플랫폼별 장단점

플랫폼	장점	단점
mRNA 백신	<ul style="list-style-type: none"> • 직접 감염원을 다루지 않아 안전성이 높음 • 신속한 개발 및 생산이 가능 • 소규모 GMP 시설로 저비용 생산 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 생체 내 전달 비효율성으로 인해 별도의 전달기술 필요 • RNA 및 지질 나노입자의 불안정성으로 운송·관리 어려움
DNA 백신	<ul style="list-style-type: none"> • 직접 감염원을 다루지 않아 안전성이 높음 • 신속한 개발 및 생산이 가능 • 소규모 GMP 시설로 저비용 생산 가능 • 열에 대해 안정 • 기존 연구로 인체 안전성 검증 	<ul style="list-style-type: none"> • 생체 내 전달의 비효율성 • 세포핵 내로 이동 필요
바이러스벡터 백신	<ul style="list-style-type: none"> • 메르스 등 신종 바이러스에 대한 우수한 전임상/임상 데이터 확보 	<ul style="list-style-type: none"> • 벡터 자체가 면역반응을 일으킬 우려
아단위(서브유닛) 백신	<ul style="list-style-type: none"> • 직접 감염원을 다루지 않아 안전성이 높음 • 면역원성을 높이기 위한 면역증강제 (adjuvant) 사용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 일부 부위만 발현하여 항원 또는 항원결정 부위(epitope)의 구조 손상 가능성 • 생산 시 고수율 확보가 필요 • 대량 배양시설 필요로 생산능력 제한
생백신(약독화)	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 cGMP급 백신 생산 인프라 활용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 약독화 바이러스주를 확보하기 위해 장기간 계대 배양 필요 • 감염성이 있는 살아있는 바이러스를 사용하여 독성 재획득 우려
사백신(불활성화)	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 cGMP급 백신 생산 인프라 활용 가능 • 면역원성을 높이기 위한 면역증강제 (adjuvant) 사용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 불활성화 과정에서 항원 또는 항원결정부위 (epitope)의 구조 손상 가능성

2.2. mRNA 백신

☞ 코로나19 상황에서 가장 주목을 받았던 백신 플랫폼은 mRNA 백신이며, 바이러스 표면의 스파이크 단백질을 발현하는 mRNA를 주입하는 방식임

- mRNA 백신은 항원(바이러스 표면의 스파이크 단백질)을 직접 주입하는 대신 체내에서 항원 단백질을 만들 수 있는 mRNA*를 주입한다는 차이가 있음
 - * mRNA는 DNA와 달리 외가닥으로 존재하여 안정도가 낮고 세포 내에서는 세포핵이 보유한 전체 유전체(genome)에서 발현하고자 하는 단백질 정보를 핵 외부로 전달해 주는 역할(messenger)을 수행
 - mRNA는 일종의 설계도로써, 체내 단백질 생산 체계에 의해 하나의 분자로 여러개의 단백질을 생산할 수 있어 백신의 생산 및 전달 면에서 보다 효율적임
- mRNA 백신은 근육주사를 통해 체내에 주입하며, 이후 세포 내에서 바이러스 스파이크 단백질을 발현하면 체내의 면역 시스템이 이를 외부 물질로 인식하여 항체를 생산



출처: Finish Institute for Health and Welfare 2020(내용 수정)

[그림 4] 코로나19 mRNA 백신의 원리

- mRNA 백신은 DNA 백신과 달리 체내에서 빠르게 분해되어 부작용의 우려가 적고, 인체 유전체 안으로 삽입될 가능성이 없는데다, DNA 백신처럼 세포핵 안으로 들어갈 필요 없이 그 외부의 세포질 내에서 단백질을 생산 가능함

- 반면, mRNA의 분자 구조가 불안정하여 저온 유통체인을 요구*하고, 체내 핵산분해효소 등의 공격에는 약하여 안정화를 위한 기술이 핵심으로 평가됨

* 화이자의 백신은 -70도, 모더나는 -20도

☞ 코로나19 대응 백신 중 새로운 플랫폼인 mRNA 백신이 가장 먼저 개발되었을 뿐만 아니라, 유전물질의 염기서열만 변경하여 새로운 변이 바이러스에도 대응 가능

- mRNA 백신의 가장 큰 장점은 대상으로 하는 바이러스의 염기서열만 알면 쉽게 합성 가능하여 새로운 바이러스나 변이에 빠르게 대응할 수 있다는 점임
 - 백신에 사용되는 mRNA는 동물이나 인간 세포를 이용하지 않고 실험실에서 여러 단계의 효소 반응을 통해 합성(Cell-free system) 되며, 이는 단백질 제조공정보다 훨씬 더 간편하고 빠름
- 코로나19 이전에는 RNA 백신이 임상에서 쓰인 적이 없었으며, 개발은 1990년대부터 진행되었고 특히 에볼라와 광견병을 대상으로 한 연구 위주⁹⁾
 - 이외에도 지카바이러스와 거대세포바이러스(CMV) 등을 대상으로도 연구되어, 그 연구 성과가 코로나19 바이러스에 대한 신속한 백신 생산에 크게 기여하였음
- 2020년 11월 독일의 바이오엔테크와 미국의 화이자가 공동개발한 BNT162b2가 FDA 긴급사용승인을 받았고, 다음달인 12월은 미국의 모더나와 국립알레르기·전염병연구소(NIAID)가 공동개발한 mRNA-1273이 각각 FDA 승인을 받음
 - 특히, 모더나와 화이자 백신은 임상3상 결과 모더나는 94.1% 화이자는 95%의 예방효능을 발표하는 등, 항체생성률과 누적감염율 감소 효능 면에서도 타 플랫폼에 비해 우수
- 우리나라에서는 SK바이오사이언스, GC녹십자, 에스티팜, 진원생명과학, 아이진 등이 mRNA 백신 초기 개발 및 플랫폼 기술 개발 등을 추진하고 있음

☞ mRNA 백신 개발을 위해서는 mRNA 분자 설계와 체내 전달을 위한 플랫폼 기술이 중요

- 현재 개발된 mRNA 백신은 바이러스 표면 스파이크 단백질을 만드는 유전정보를 담고 있는 mRNA와 이를 보호하면서 인체의 세포 안으로 전달해 주는 역할을 하는 지질층으로 구성됨

9) Finnish institute for health and welfare 웹사이트(<https://thl.fi>)

- mRNA 분자 설계 기술은 mRNA 분자 자체에 의한 선천성 면역반응이 과도하게 일어나지 않게 하고 단백질 생산이 잘 이루어지도록 자연적인 염기성분의 일부를 인공적인 유도체*로 교체하는 기술을 의미

* 슈도유리딘(pseudouridine), 메틸슈도유리딘(N1-methyl-pseudouridine), 메틸사이토신(5mC) 등

- mRNA는 분자량이 크고, 물과 섞이지 않는 소수성 분자이므로 자연적으로는 세포내에 들어가지 않아 이를 세포내로 전달하기 위한 전달체 기술이 중요함

※ 체내에 mRNA를 전달하는 방법은 합성 고분자와 지질나노입자(LNPs, lipid nanoparticles) 등이 활용되며, 핵산분해효소 공격을 막기 위해 PEG(polyethylene glycol) 등도 이용됨

- 현재 모더나와 화이자의 RNA 백신은 모두 지질나노입자와 PEG가 결합된 형태의 전달체를 사용하고 있음

 mRNA 백신 기술은 감염병 예방 백신 이외에도 면역세포가 암 특이적인 단백질을 인식하게 하여 암세포를 선택적으로 파괴하거나, 유전자치료에 활용하는 등 향후 백신·치료제 시장에 혁명적인 변화를 가져올 것으로 기대됨¹⁰⁾

2.3. DNA 백신

 DNA 백신은 원형 플라스미드 안에 항원에 해당하는 염기서열을 삽입하고, 박테리아에서 대량 증폭하는 방식으로 생산

- DNA 백신도 mRNA 백신과 마찬가지로 항원 단백질을 직접 생산하지 않고, 유전물질을 체내에 주입하여 세포가 보유한 단백질 생산 시스템을 활용하며, 바이러스의 염기서열만 알면 신속하고 빠르게 합성 가능하다는 장점도 동일함
- DNA 백신은 mRNA에 비해 구조적으로 안정하므로 분해될 우려가 적어 운반, 보관 측면에서 유리하고 별도의 전달체 없이도 근육 투여 후 전기천공법(electroporation)을 통해 세포 내로 전달 가능하여 PEG 등 전달체에 의한 부작용을 피할 수 있는 장점이 있음
- DNA 백신은 세포핵으로 들어가 전사과정을 거쳐 mRNA를 만든 후 다시 핵에서 세포질로 이동하여 단백질을 만들므로 mRNA보다 좀더 복잡한 과정을 거치며, 현재까지의 임상 결과로는 항원 생산 및 면역반응·예방효능 등이 낮다는 점이 단점으로 지적됨

10) IBS 코로나19 과학리포트(2021), mRNA, 코로나19 백신에서 유전자 치료제까지

- 현재까지 DNA 백신이 인간을 대상으로 승인된 사례는 없으며, 말(horse)을 대상으로 한 웨스트나일 바이러스 백신은 2005년 최초로 미국에서 승인됨
 - 인체에는 메르스, 인유두종바이러스(HPV), B형 간염 등을 대상으로 개발되며 많은 연구가 이루어졌음
- 국내에서는 제넥신(GX-19)과 진원생명과학(GLS-5310), 이노비오-국제백신연구소(INO-4800)가 코로나19에 대한 DNA 백신을 개발 중임

2.4. 바이러스벡터 백신

 바이러스벡터 백신은 항원의 유전정보(DNA)를 병원성 및 독성이 없는 다른 바이러스*의 단백질 껍질인 캡시드(capsid)로 포장하여 전달

* 백시니아바이러스, 폴리오바이러스, 아데노바이러스, 렌티바이러스 등을 사용

- 바이러스벡터 백신은 바이러스 스스로의 복제에 필요한 단백질에 해당하는 염기서열은 삭제하여 자가 복제가 불가능하고, 병원성이 없음
- 백신은 메르스와 지카, 결핵 백신 등에 대해 임상단계까지 개발이 진행되었고 에볼라에 대해서는 사용 승인됨
- 아스트라제네카의 코로나19 백신(AZD1222)은 침팬지의 아데노바이러스를 변형한 운반체(벡터)에 코로나19 바이러스의 스파이크 단백질 염기서열에 해당하는 DNA를 넣어 개발
 - 존슨앤존슨 얀센(J&J/얀센)의 코로나19 백신(Ad26.COV2-S)도 아데노 바이러스벡터 백신이고, 국내는 셀리드-LG화학 등이 바이러스벡터 기반 코로나19 백신을 개발 중
- 바이러스벡터는 기존에 유전자 치료 등의 목적으로 오랜 기간 연구되었고, 에볼라 백신이 승인되는 등 어느 정도 안전성이 검증되었으면서, DNA, mRNA 백신과 마찬가지로 변이 바이러스 발생 시 DNA염기서열만 교체하여 신속하게 대응 가능한 3세대 백신이라는 장점을 지님
- 다만, 원하는 항원 외에도 바이러스벡터 자체에 대한 면역반응을 일으킬 우려와, 별도로 바이러스벡터를 생산해야 한다는 단점이 있음

2.5. 아단위(서브유닛) 백신

- ▣ 아단위(서브유닛) 백신은 합성항원 백신 혹은 재조합 단백질 백신이라고도 하며, 유전자 재조합 방식으로 바이러스의 표면항원 단백질만을 생산, 직접 주입하여 면역반응을 유도
 - 아단위 백신은 대부분 바이러스 표면의 스파이크 단백질 또는 인체 세포의 수용체와 결합하는 영역은 수용체 결합영역(RBD, Receptor Binding Domain)을 대상으로 개발
 - 현재 사용하고 있는 아단위 백신은 B형 간염, 인플루엔자, 무세포 백일해(acellular Pertussis, aP), 인유두종바이러스(HPV) 등이 있음
 - 아단위 단백질 백신은 오랜기간 사용되어 온 플랫폼으로 안전성과 신뢰성이 높다는 장점이 있으나, 일반적으로 면역원성이 생백신 및 사백신에 비해 떨어지므로, 면역반응 강화를 위해 다양한 면역증강제(adjuvant)와 함께 제형화함
 - 면역증강제로는 무기물질인 알루미늄염, 칼슘염 등을 주로 사용하며 사균에서 유래한 성분이나 유상현탁액(oil-based emulsion), 사포닌, 리포솜 등 다양한 재료가 있음
 - 면역증강제는 주사 부위에서 항원을 서서히 방출하여 면역체계에 오래 노출시키거나, 면역계를 직접 자극하고, 항원을 변형시켜 면역원성을 증강하는 등 종류에 따라 다르게 작용
 - 노바백스의 NVX-CoV2373은 코로나19 바이러스의 스파이크 단백질을 재조합 하여 면역증강제 Matrix-M과 함께 투여
 - 국내에서는 SK바이오사이언스(NBP2001)와 유바이오로지스(유코백-19)가 코로나19 아단위 백신을 개발하고 있음

2.6. 생백신(약독화 백신)

- ▣ 생백신(약독화 백신)은 살아있는 병원체를 유정란, 동물세포 등에 장기간 계대 배양하여 독성을 없앤 백신으로 현재도 널리 사용하고 있음
 - 생백신은 소량으로 면역 유도가 가능하고 지속기간이 길다는 장점이 있으나 돌연변이를 일으켜 독성을 재획득하는 등의 문제가 있을 수 있어 심각한 면역 약화 상태나 임신 중에는 사용할 수 없음

- 바이러스에 대한 생백신은 MMR(홍역(Measles), 볼거리(Mumps), 풍진(Rubella) 혼합 백신), 수두 백신, 대상포진 백신, 일본뇌염(생백신), 인플루엔자(생백신), 로타바이러스 백신, 황열 백신, 경구용 폴리오 백신 등이 있고, 세균 백신으로는 BCG(결핵) 백신이 있음
- 코로나19 관련해서 인도혈청연구소(Serum Institute of India)에서 약독화 백신 개발을 진행

2.7. 사백신(불활성화 백신)

 사백신(불활성화 백신)은 감염을 일으키는 바이러스나 미생물을 주로 포름알데히드 등 화학적 처리를 통해 사멸시켜 체내에 주입하는 방식임

- 해당하는 백신은 A형 간염 백신, 주사용 소아마비* 백신, 일본뇌염 사백신, 광견병(공수병) 백신 등이 있음
 - * 경구용 약독화(생백신) 소아마비 백신도 사용 중인데, 장관 내에서 바이러스를 증식하여 효과가 좋고 저렴한 대신 타인에게 전염되어 백신 유래형 소아마비를 일으킬 위험이 있음
- 생백신과 사백신은 바이러스의 배양이 필요하므로, SARS-CoV-2와 같은 전염력과 위험도가 높은 바이러스를 대상으로 할 경우 BL3 등 별도의 생산시설이 필요
- 중국의 국영 제약회사인 시노팜('20년 7월 중국에서 허가)과 시노백은 코로나19에 대한 사백신을 개발했으나, 관련 과학적 증거를 공개하지 않는 등 안전성에 대한 논란 존재

2.8. 기타

 그 외의 백신 플랫폼으로는 독소이드 백신, 바이러스유사입자 백신, 펩타이드 백신, 다당 백신 및 단백질접합 백신 등이 있음

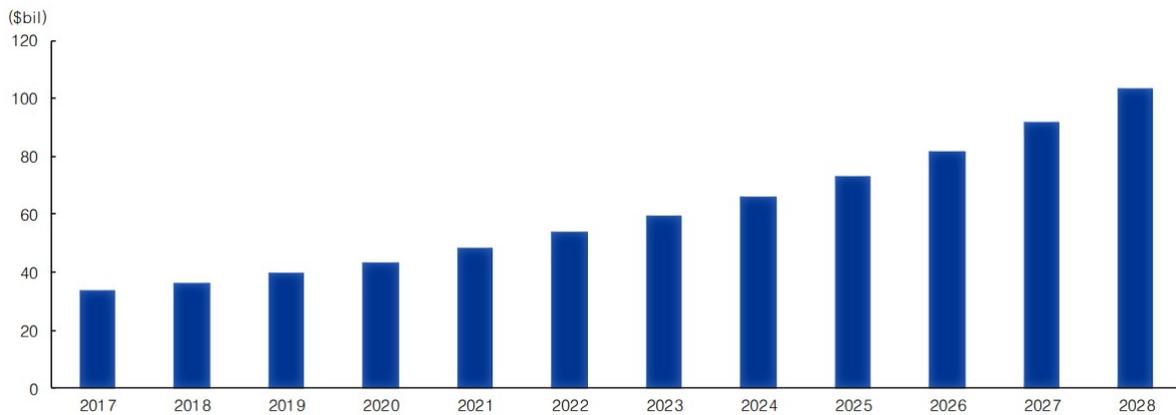
- 독소이드 백신은 박테리아 자체가 아닌 박테리아가 생산한 독소에 대한 면역을 생성하는 백신으로, 독소(toxin)를 포름알데히드 등 화학적 처리를 거쳐 독성을 없애고 항원성을 살린 단백질(toxoid)을 항원으로 사용
 - 대표적인 독소이드 백신은 디프테리아(Diphtheria), 파상풍(Tetanus) 백신이 있으며 이를 백일해(Pertussis) 전세포(whole-cell) 백신과 혼합한 DTwP 또는 백일해 무세포(acellular) 백신을 혼합한 DTaP 백신 등이 널리 사용되었음
- ※ 1940년대 중반부터 DTP 혼합백신을 사용한 이후 전 세계적으로 대유행이 사라졌고, 1980년대부터 부작용을 개선한 DTaP 백신으로 전환하여 사용하고 있음

- 미국에서는 보툴리눔 균의 독소를 이용한 테러를 방지하기 위해 불활화한 독소이드에 대한 백신을 개발했으나, 부작용 및 효능에 대한 문제가 제기되어 2011년부터 접종이 중단
- 바이러스유사입자 백신(Virus Like Particle, VLP)은 바이러스 표면항원을 바이러스와 유사한 입자 모양으로 만들어 면역반응이 더 잘 일어나도록 개발 중
 - 바이러스 유사입자는 유전정보가 없이 바이러스의 외부 단백질 껍데기가 스스로 바이러스와 유사한 구조로 조립된 입자이며, 감염이나 증식을 일으키지 않음
 - 대표적인 바이러스유사입자 백신은 인유두종바이러스(HPV)를 대상으로 한 자궁경부암 백신(서바릭스, 가다실)이 있음
- 펩타이드 백신은 단백질보다 짧은 아미노산 사슬인 펩타이드를 항원으로 사용하고, 대장균, 효모 등에서 생산하는 아단위 백신과 달리 아미노산 분자를 화학적으로 연결하여 생산
 - 펩타이드의 염기 서열을 결정하기 위해 대상 항원 중 항체가 인식, 결합하는 정확한 부위를 확인(epitope mapping)하는 과정이 필수적
 - 펩타이드 백신은 분자량이 작아 생산 및 정제가 용이하고 부작용 우려가 적으며, 다른 펩타이드 또는 다른 물질과 연결도 용이함
- 다당 백신은 박테리아 표면의 다당체를 항원으로 하는 백신으로 폐구균, 수막구균, 장티푸스균 백신이 있음
 - 다당 백신을 개량하여 다당체와 면역성 높은 단백질을 화학적으로 접합시켜 제조한 백신이 단백질접합 백신이며, b형 헤모필루스 인플루엔자(Hib), 폐구균, 수막구균 단백질접합 백신 등이 있음

제3장 산업동향

3.1. 글로벌 산업동향

글로벌 백신 시장 규모는 2017년 335억 달러에서 2019년에는 396억 달러로 증가했고 2028년에는 1,035억 달러로 급성장이 예상¹¹⁾



출처: 문경준(2020) 재인용

[그림 5] 글로벌 백신 시장 규모 및 향후 시장전망

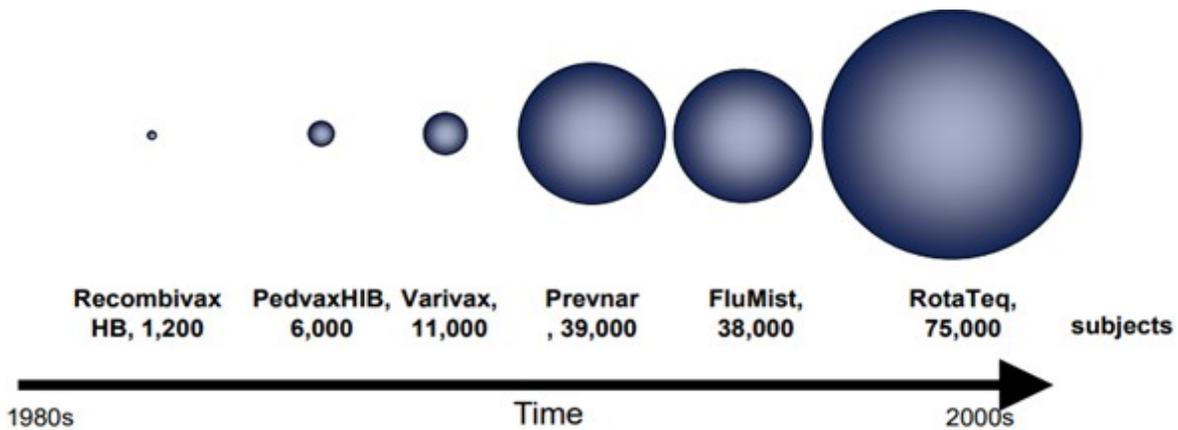
- 고령화와 신종 감염병의 증가, 새로운 백신의 개발 등으로 백신 시장의 꾸준한 성장이 예상되고, 특히 항암백신 등 치료백신*의 성장률이 특히 높음

* 건강한 사람을 대상으로 하여 예방을 목적으로 하는 기존 백신과 달리, 면역체계의 조절을 통해 에이즈나 간염, 인유두종바이러스(HPV) 등 만성감염질환이나 암, 자가면역질환 등을 치료하는 것을 목적으로 하는 백신

- 백신 종류별로는 2세대인 아단위 백신과 단백질접합 백신이 2020년 기준 약 17억 달러로 가장 비중이 크고, 전통적 백신인 생백신과 사백신이 뒤를 이음
 - 3세대 백신(차세대 백신)인 mRNA 백신, DNA 백신, 바이러스벡터 백신도 코로나19 백신을 시작으로 2021년부터 본격적으로 시장을 형성할 것으로 전망

11) 문경준(2020), 백신 산업 들여다 보기 재인용(BIS Research, Global Vaccine Market, 생명공학정책연구센터, IBK투자증권)

- 2019년 기준 시장 규모가 가장 큰 백신은 폐렴구균 백신(7.5조원 규모)이고, DTP(디프테리아, 파상풍, 백일해)와 인플루엔자, 암, HPV, 수막구균, 간염 백신 순
 - 특히, 감염병이 아닌 암 치료를 위한 항암백신 시장이 향후 높은 성장세를 보일 것으로 예상
 - ※ 최초의 치료백신은 2010년 FDA로부터 승인 받은 전립선암 치료제인 Provenge (Dendreon Pharmaceuticals)이고, 현재 개발 중인 전체 항암제 중 10% 이상이 항암백신
- 2002년에 전 세계 제약시장(4,235억 유로) 중 백신이 차지하는 비중은 약 1.5%에 불과했고, 이는 백신개발에 필요한 임상3상 등의 비용 증가가 큰 요인이었음¹²⁾



[그림 6] 백신 개발 시 임상 3상 규모(환자 수) 증가 추세

- 통상 백신개발 기간은 5~10년이 소요되나 감염병 팬데믹 상황에서 백신개발 중에 발병 기간이 종료될 경우 기업이 개발 비용을 회수할 수 없어 고질적인 한계로 지적
- 백신개발 기간 중 바이러스 유행이 사라질 경우 임상 3상에 필요한 대규모의 환자를 모집할 수 없어 개발 자체가 어려워짐
- 높은 개발비용은 중소기업에는 넘기 어려운 진입장벽으로 작용했으나, 글로벌 대표 백신 기업은 과점 지위*를 바탕으로 장기간 안정적인 매출 창출¹³⁾
 - * 머크, GSK, 화이자, 사노피 등 상위 4개 글로벌 기업이 전체 시장의 85%를 점유
 - ※ 2017년 화이자의 폐렴구균 백신(프리베나13)은 56억 달러, MSD의 자궁경부암 백신(가다실)은 31억 달러, 그 외 플루존, 펜타셀, 페디아릭스 등 다수 백신이 매출 10억 달러를 돌파

코로나19의 전 세계적인 팬데믹으로 인해 백신 시장의 급성장 및 지속이 예상

- 사실상 전 세계 모든 인류가 코로나19 백신 접종 대상이 됨에 따라 화이자, 모더나 등 코로나19 백신 시장을 주도하는 기업들은 천문학적인 규모와 수익을 예상¹⁴⁾

12) 성백린(2020), 백신의 세계동향과 국내개발 방향 재인용(Datamonitor, Lepine)

13) 이코노미리뷰(2019), '블록버스터'백신시장, 한국기업 위상은?

- 미국의 투자회사인 번스타인(Bernstein)은 2021년 화이자와 모더나가 코로나19 백신으로 각각 240억 달러와 140억 달러의 매출을 기록할 것으로 전망
- 2021년 4분기까지 제약업계 전체가 코로나19 백신으로 벌어들일 수익은 분기당 약 180억 달러 이상으로 예측하고, 이 중 화이자/바이오엔테크와 모더나가 110억 달러를 벌어들일 것으로 예측
- 코로나19의 경우 변종이 지속적으로 발생하고 있고, 백신 접종 후에도 일정 기간이 지나면 면역이 약화되어 재접종이 필요할 것으로 예상되어 향후에도 백신 시장이 지속될 수 있음
 - 코로나19 바이러스가 이미 전 세계 인구 중 상당수에 퍼져 토착화되고 있고, RNA바이러스 특성 상 변이가 쉬워 향후에 독감(인플루엔자)과 유사하게 매년 접종하는 등 안정적인 시장을 형성할 가능성이 있음
 - 코로나19 백신은 화이자, 아스트라제네카 등 기존 백신 강자와 함께 새로운 플랫폼으로 무장한 바이오기업과 벤처 등과 손잡은 제약사들로 시장이 일부 재편될 것으로 예상
- 현재 코로나19 백신의 초기 공급 부족 이슈는 글로벌 기업의 생산설비 확충 및 해외 위탁 생산 등으로 1년 내에 해결될 것으로 예상됨
 - ※ '21년까지 아스트라제네카 30억회(도즈), 화이자 20억회, 안센 10억회, 모더나는 6~10억회 분량 생산을 목표로 하고 있음(출처: 한국글로벌의약산업협회(2021))

14) 팜뉴스(2021), 'mRNA 코로나백신 '반사이익'으로 예상매출 'up'

3.2. 국내 동향

식약처에 따르면 국내 백신 시장 규모는 '12년 4,087억 원에서 '16년 5,563억 원으로 연평균 8%씩 증가했고 '21년에는 코로나19의 영향으로 시장규모가 대폭 확대될 것으로 전망

- 국내 기업도 최근 새로운 제품을 선보이는 등 연구개발을 지속하고 있고, 글로벌 백신시장 진출 확대를 위해 노력¹⁵⁾
- 국내 백신개발 기업 중 대표적인 곳은 GC녹십자, SK바이오사이언스(전 SK케미칼), LG화학 등이며, 특히 2019년 독감 4가 백신 국내시장에서는 SK바이오사이언스와 GC녹십자가 GSK와 사노피 등을 제치고 점유율 1, 2위를 기록(이코노믹리뷰, 2019)
 - GC녹십자는 국내 최초로 수두, 독감, B형 간염 백신 등을 개발하는 등 기술력을 보유하고, 이 중 독감 백신은 2019년 누적 생산량 2억회 분을 돌파
 - ※ GC녹십자는 미국 워싱턴주에 현지법인인 큐레보를 설립하여, 자체 개발한 대상포진 백신의 미국 임상시험을 진행하는 등 미국 시장 공략을 위해 노력
 - SK케미칼은 세포배양 독감백신인 스카이셀플루주를 개발(2019년까지 누적 판매량 약 2,000만회 분)하고, 2018년 2월 세포배양 방식 백신생산 기술을 사노피 파스퇴르에 수출* 한데 이어, 7월 백신사업 부문을 분리하여 SK바이오사이언스를 설립
 - * 기술료는 최대 1억5,500만 달러 규모로 국내 기업의 백신기술 수출 중 최대 금액
 - ※ SK케미칼은 다국적 제약사인 머크社에 이어 세계에서 2번째로 대상포진 백신인 스카이조스터를 개발, 2018년 상반기에만 매출 200여억 원을 기록
 - LG화학은 미국의 '빌앤멜린다게이츠재단'으로부터 3,340만 달러 규모의 자금을 지원 받아 영유아 치사율이 높은 디프테리아, 파상풍, 백일해, B형 간염, 뇌수막염, 소아마비 등 6개 질병을 동시에 예방하는 6가 혼합백신을 개발 중
 - ※ LG화학은 개발에 성공하면 2023년 이후에 유니세프 등을 통해 전 세계에 백신을 공급할 계획

우리나라는 최근 바이오시밀러 등의 선전에도 불구하고 아직까지 블록버스터 백신 개발 경험이나 백신 자금률 등 백신 개발 면에서는 아직까지 부족한 상황

- '18년 기준 국내 전문의약품 생산실적 상위 20위 중 백신은 GC녹십자의 4가 독감 백신*만 20위에(461억 원) 오른 것이 유일¹⁶⁾
 - * 지씨플루쿼드리밸런트 프리필드시린지(pre-filled syringe)주

15) 중앙일보(2018), '51조원 블루오션' 백신시장 잡아라

16) 식약처 보도자료(2020), 2019년 국내 의약품·의약외품 생산, 수출 및 수입실적

- '99년부터 '19년까지 허가받은 국내 개발신약 29개 중에서도 백신은 CJ제일제당의 농구균 예방백신(슈도박신주, '03년 허가) 1건에 그침¹⁷⁾
- 국내의 28종 국가필수 예방접종 백신에 대한 자급률은 '14년 32%(9종)에서 '20년 50%(14종)로 늘어났으나, 여전히 부족한 상황으로 '22년에는 80%를 목표로 하고 있음(22종)¹⁸⁾
 - 국가필수 예방접종 백신 중 DTP 및 DTP혼합백신, BCG, 일본뇌염, 홍역풍진볼거리 혼합백신(MMR), 폐구균 단백접합 백신, B형 인플루엔자 단백접합 백신 등은 전량 수입
- 임상 단계의 코로나19 백신을 개발하는 국내기업은 총 5개이나, 대부분 1상 또는 1·2상에 그치고 있음('21년 4월 기준)¹⁹⁾

〈표 3〉 코로나19 백신 국내 임상승인 품목(8품목)

플랫폼	의뢰자	제품명	단계	승인일
DNA 백신	국제백신연구소	INO-4800*	1·2a상	2020-06-02
	진원생명과학	GLS-5310	1·2a상	2020-12-04
	제넥신	GX-19N	1·2a상 1상	2020-12-11 2021-01-29
바이러스백터 백신	셀리드	AdCLD-CoV19	1·2a상	2020-12-04
아단위 백신	SK바이오사이언스	NBP2001	1상	2020-11-23
		GBP510(면역증강제: 알루미늄)	1·2상	2020-12-31
		GBP510(면역증강제: AS03)	1·2상	2021-01-26
	유바이오로지스	유코백-19	1·2상	2021-01-20

* 미국 이노비오(Inovio Pharmaceuticals)의 백신에 대한 국내 임상

- 향후 전 세계 인구에 백신을 공급하기 위한 생산시설이 크게 부족한 상황으로, 국내 바이오 의약품·백신 기업이 글로벌 제약사의 백신을 위탁생산할 수 있는 계기가 될 전망
 - SK바이오사이언스는 아스트라제네카와 노바백스 백신, 삼성바이오로지스는 모더나 백신의 위탁생산 수주를 추진

17) 한국신약개발조합 홈페이지, 국내 R&D 동향

18) 이데일리(2021), 백신자금률 50%... 위협받는 국민생명

19) 식약처 홈페이지

제4장 정책동향

4.1. 해외 정책 동향

 코로나19가 전 세계를 강타한 이래 미국을 비롯한 주요 선진국은 이를 극복하기 위한 전폭적인 백신개발 지원체계를 도입²⁰⁾

- 미국은 2020년 3월 코로나19 구제특별법(Coronavirus Aid, and Economic Security Act, CARES Act)은 코로나19 진단, 예방, 치료 연구에 대규모 정부 예산 배정
 - 백신 개발 관련해서는 모더나, 사노피, 존슨앤존슨 등 세 회사가 미국 복지부 산하 생물 의약품 첨단연구개발국(BARDA*)로부터 CARES Act 관련 재정지원을 하였고, 1차 재정 지원(‘20.3.6)을 통해 백신 연구개발에 83억 달러를 투자
 - * Biomedical Research and Development Authority
 - 미국 과학기술정책실(OSTP)와 예산관리국(OMB)는 2022년 연방정부 R&D 예산 집중 투자 우선순위 발표에 백신개발을 포함하는 “보건안보 혁신분야”를 새롭게 추가
 - 미국은 정부기관·비영리기관 협업체제로 ACTIV(Accelerating COVID-19 Therapeutics Interventions and Vaccines) 파트너십 체결(4.20)²¹⁾
- 영국의 비즈니스·에너지·산업전략부는 '20년 4월에 코로나19 이후 회복력(resilience) 구축에 2,000만 파운드를 투자하고 있음
 - 영국혁신기구(UKRI)와 보건사회복지부(DHSC)는 코로나19 백신과 치료제 개발 관련 신속 대응 연구에 총 2,000만 파운드를 투자
- 독일의 연방교육연구부는 '20년 3월 공모를 통해 코로나19 백신개발에 최대 1,000만 유로를 지원하고, 연방보건부는 바이러스 확산의 차단, 백신 및 치료제 개발 등에 9,574만 유로를 투입
- 유럽연합은 코로나바이러스 대응 투자 추진(Coronavirus Response Investment Initiative)에 따라 코로나19 대응 예산에 370억 유로를 할당

20) 소대섭(2020), 코로나 시대의 글로벌 환경 변화와 R&D정책 및 연구개발 동향

21) KISTEP(2020), 2020년 주요국 과학기술정책 동향 및 시사점(과학기술&ICT 정책·기술 동향)

- Horizon2020 프로그램을 통해 코로나19 관련 연구에 4,470만 유로를 지원하고, 유럽 혁신위원회(EIC)는 독일의 백신기업인 큐어백(CureVac)에 최대 8,000만 유로를 지원

미국은 국가 안보 차원에서 백신 플랫폼 기술에 투자를 지속한 결과, 코로나19 상황에서 백신개발 기간 단축과 빠른 생산에 성공하여 글로벌 선도 위치를 확고히 하였음

- 美 방위고등연구계획국(DARPA*)는 신종 감염병, 생물학 무기로부터 자국민을 보호하기 위해 감염병 백신, 치료제 기술 개발을 지원해오고 있음²²⁾

* Defense Advanced Research Projects Agency

- DARPA는 미국 국방성의 연구, 개발 부문을 담당하는 기관으로, DARPA의 감염병 관련 주요 프로그램으로 ADPET, P3, NOW가 있음

- ADEPT* 프로그램('11~'19)은 신종 감염병, 생물학 무기에 빠르게 대응하기 위한 플랫폼 기술 개발을 목표로 하며, 모더나, 큐어백 등의 mRNA 백신과 치료제 기술개발에 최초로 지원한 프로그램임

* Autonomous Diagnostics to Enable Prevention and Therapeutics: Prophylactic Options to Environmental and Contagious Threats

〈표 4〉 DARPA ADEPT 프로그램의 감염병 예방백신 관련 주요 지원 내용

회사	주요 내용
AbCellera	• 빠른 백신, 항체치료제 개발을 위한 신속 항체 발견 기술 지원
Moderna	• ('13년) \$25M 규모 지원 • ('17년) 치쿤구냐 바이러스에 대한 mRNA 항체 전달 치료제 후보 소개 • ('20년 3월) 바이러스 유전자 코드를 받고 60여일 만에 미국 최초로 백신 임상 1단계 시작
그 외	• (Inovio) '20년 4월, DNA백신을 개발해 미국에서 2번째 임상실험 시작 • (CureVac) mRNA 백신 기술 지원 • 식물 단백질 배양 백신 기술 지원 • (Massachusetts 병원) self-assembling 백신 플랫폼 지원

- P3* 프로그램('17~)은 ADEPT 프로그램에 기초한 DNA, RNA 의료기술의 빠른 적용에 중점을 두고 혈액샘플로부터 60일 내에 바이러스 항체 생산을 목표로 기술 개발을 지원

* the Pandemic Prevention Platform

※ DARPA의 현재 감염병 대응 주력 프로그램은 P3이고, AbCellera, Vanderbilt University, Duke University, AstraZeneca 등이 참여

22) 출처: DARPA 홈페이지 및 해외기사(참고문헌 참조)

P3의 코로나19 대응 관련 타임라인

- ('20년 2월 28일) AbCellera社 기술을 활용해 코로나바이러스 항체 연구 시작
- ('20년 3월 31일) Eli Lilly社와 임상연구 협의
- ('20년 5월 29일) 코로나 혈액 샘플을 받고 91일 만에 항체치료제(Eli Lilly) 투약

- NOW 프로그램('20~)은 GMP품질의 핵산(DNA, RNA) 백신과 치료제를 현장에서 즉각 생산하기 위한 a mobile, end-to-end 자동 생산 플랫폼 기술 등 개발된 백신, 치료제를 빠르게 생산하기 위한 생산기술을 지원

* Nuclear Acids On-Demand-World-Wide

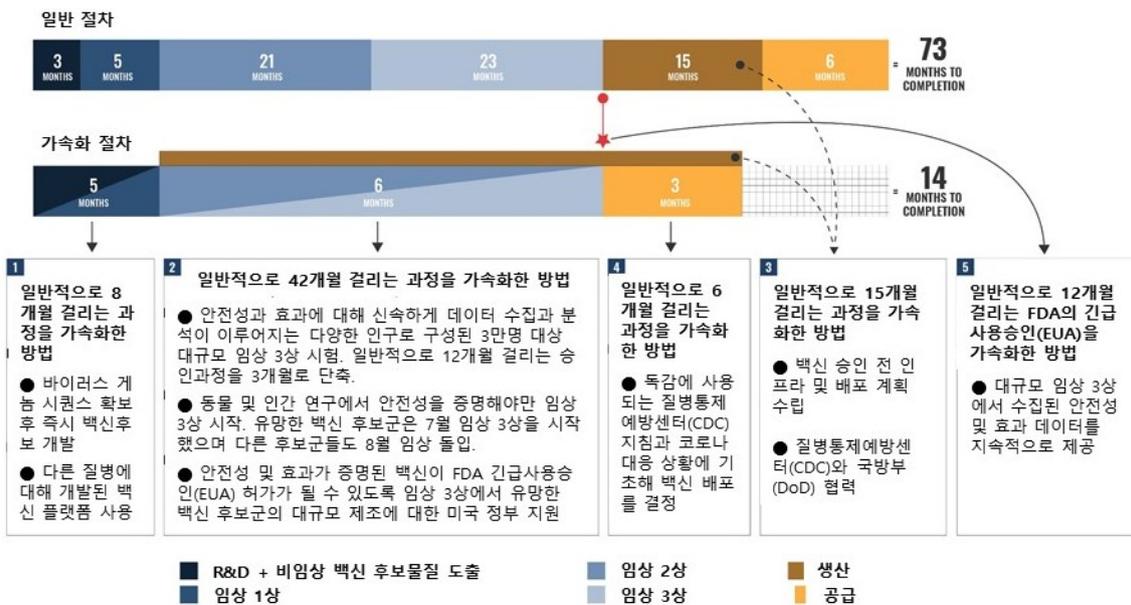
※ NOW 프로그램은 '13년 ADEPT프로그램 지원에 기초해 모더나社에 \$56 Million 지원('20년 10월)

화이자, 모더나의 신속한 mRNA 백신 개발 배경에는 민관협력 프로그램인 워프 스피드작전*을 통한 허가기간 단축이 상당한 기여를 한 것으로 평가²³⁾

* Operation Warp Speed(OWS)

- OWS는 백신 개발을 가속화하기 위해 일반적인 백신개발 과정인 '개발 → 임상연구 → 제조'를 병렬적으로 진행하고 허가승인 기간을 대폭 단축²⁴⁾

- 기업 대신 미국 정부가 재정적 위험을 감수함으로써 임상연구가 진행되는 동안 대량의 백신 제조 과정을 동시에 수행



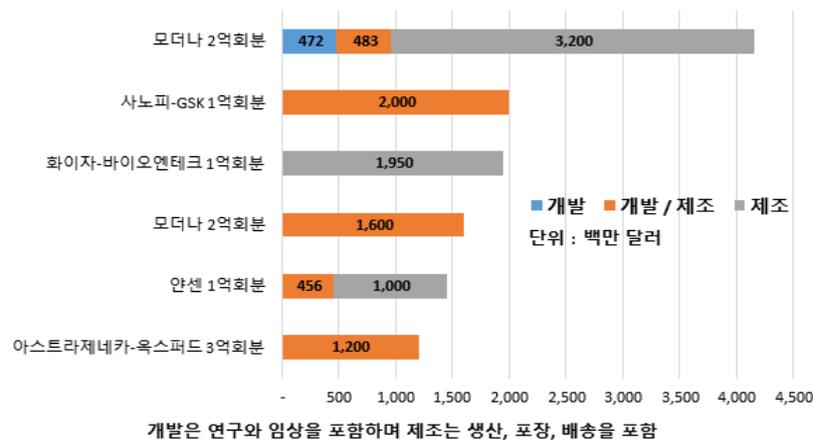
출처: OWS 홈페이지 번역

[그림 7] OPERATION WARP SPEED 백신 가속화 절차²⁵⁾

23) OWS 홈페이지

24) 한국산업기술평가관리원(2020), 코로나19 백신개발을 위한 미국 'Operation Warp Speed' 주요 추진 동향

- OWS는 생물의학첨단연구개발국(BARDA), 국방부(DoD), 보건복지부(HHS), 식품의약국(FDA) 등이 참여하며 초기 \$10 billion 규모에서 '20년 말 \$18 billion 규모로 지원 확대
 - OWS의 목표는 치료제와 진단법을 포함하지만 지금까지 대부분의 지원이 백신에 집중²⁶⁾
 - OWS는 모더나, 사노피-GSK, 화이자 등 글로벌 제약사들이 임상기간 중에 백신을 제조하는데 따른 재정적 위험을 해결하기 위해 전문학적인 금액을 지원하고, 대신 지원금으로 백신을 구입하는 방식을 채택²⁷⁾



출처: Time(2020) 재가공

[그림 8] OPERATION WARP SPEED 백신 지원 협의내용

- OWS는 트럼프 행정부가 구상했으며, 바이든 행정부는 부처 합동 COVID-19 대응은 지속할 예정이지만 구조개편과 명칭변경을 계획
- ☞ 코로나19가 전 세계 인류에 대한 위협으로 대두됨에 따라 CEPI(전염병예방혁신연합), WHO(세계보건기구), GAVI(세계백신면역연합) 등 국제기구를 중심으로 국가 간 협력이 강조
 - 글로벌 차원에서 코로나19 백신에 대한 접근성을 보장하기 위해 CEPI, WHO, GAVI는 코백스 퍼실리티(COVAX* Facility)를 출범하였음
 - * COVID-19 Vaccine Global Access
 - 코백스 퍼실리티는 CEPI가 개발과 생산, WHO가 정책과 할당, GAVI가 공급을 담당하는 협력 체계로, 가입국 인구의 20%에 접종 가능한 백신 확보를 목표로 하고 있음

25) <https://www.defense.gov/Explore/Spotlight/Coronavirus/Operation-Warp-Speed/>

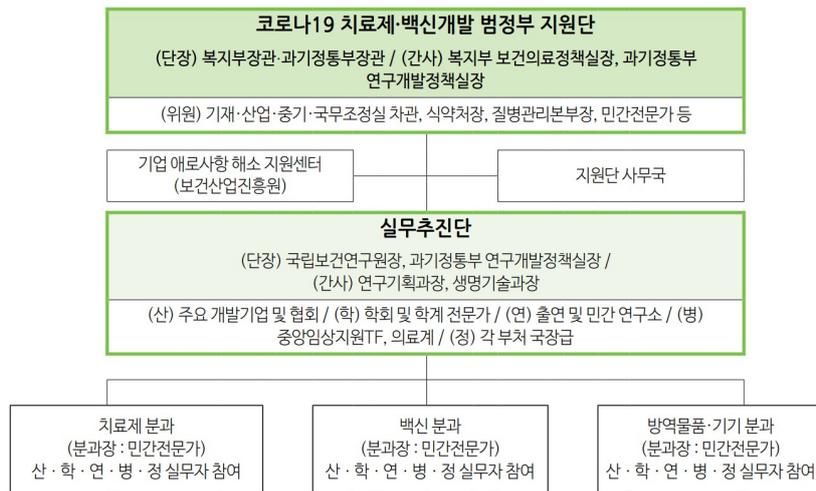
26) 미국 의회조사국(2021), Operation Warp Speed Contracts for COVID-19 Vaccines and Ancillary Vaccination Materials,

27) TIME(2020), How Operation Warp Speed Vaccine Spending Compares

4.2. 국내 정책 동향

☞ 우리나라는 코로나19 치료제·백신개발 범정부지원단*을 구성, 국산 및 백신 전략 품목에 대한 집중 지원과 해외 개발 백신의 수급 확보라는 투트랙전략 추진²⁸⁾

- 코로나19 치료제·백신개발 범정부지원단은 보건복지부 장관과 과기정통부 장관을 공동단장으로 하며 실무추진단 및 백신, 치료제, 방역물품·기기 분과 등으로 구성('20.4월)²⁹⁾



출처: 보건산업브리프(2020)

[그림 9] 코로나19 치료제·백신개발 범정부 지원단의 구성

- 정부는 복지부 코로나19 백신 임상 지원사업, 코로나19 치료제·백신 비임상 지원사업 등을 통해 제넥신, SK바이오사이언스, 진원생명과학 등 국내 백신 개발 기업의 비임상 및 임상 시험 관련 R&D 자금을 지원
- 또한 임상시험 과정에서 피험자 모집 및 기관윤리심사위원회(IRB) 등의 애로사항 해결을 돕고 임상시험 진행을 신속하게 하도록 지원하기 위해 국가감염병임상시험센터를 가동
 - 국가감염병임상시험센터는 임상역량을 보유한 거점병원과 환자확보를 담당한 감염병 전담 병원 간 컨소시엄으로 구성하여 기업의 임상시험 진행을 지원
 - ※ 국립중앙의료원, 아주대병원, 경북대병원 등을 거점으로 하는 3개의 컨소시엄 운영
- 식약처는 코로나19 백신 개발 초기 단계부터 임상준비, 허가신청 등 전단계에 걸쳐 전담 심사팀을 운영하고 허가신청 예정 90일 전부터 1:1 사전 상담과 허가자료 사전검토, 신속 심사·허가 등을 지원 중

28) 보건복지부 보도자료(2020), 코로나19 치료제·백신 개발 가속화를 위해 정부와 기업이 함께 머리를 맞대다

29) 보건산업브리프(2020), 코로나19 대응을 위한 국내외 치료제 및 백신 개발 현황과 과제

☞ 우리나라는 ‘코로나19 백신 도입방안’에 따라 1단계로 국민의 60%(약 3,000만명) 분량 백신을 우선 확보하고 이 중 20%를 코백스 퍼실리티를 통해 확보할 계획

- WHO가 제안한 ‘공정한 할당 메커니즘’에 따라 백신은 1단계로 코백스 퍼실리티에 참여하는 모든 국가(우리나라 포함 76개국)에 제공되고 인구수에 비례하게 제공
- 코백스 퍼실리티에 참여하는 국가는 늘고 있으나, 백신 최대 생산국인 미국과 중국은 가입하지 않은 상황에서 세계 각국은 개별적인 백신 구매 계획을 세우고 있음

☞ 질병청은 기존 중앙방역대책본부 인력 중심의 예방접종대응단을 확대한 ‘코로나19 예방접종 대응 추진단’을 출범³⁰⁾

- 추진단은 질병청장이 단장을 맡고 질병청 내 4반, 1관, 10개팀으로 구성되며, 4개반은 상황총괄반과 예방접종관리반, 자원관리반, 피해보상심사반으로 구성



출처: 동아사이언스(2021)

[그림 10] 코로나19 예방접종 대응 추진단 구성

30) 동아사이언스(2021), 코로나19 백신 접종 준비 초읽기...‘예방접종 대응 추진단’ 출범

제5장 R&D 투자동향

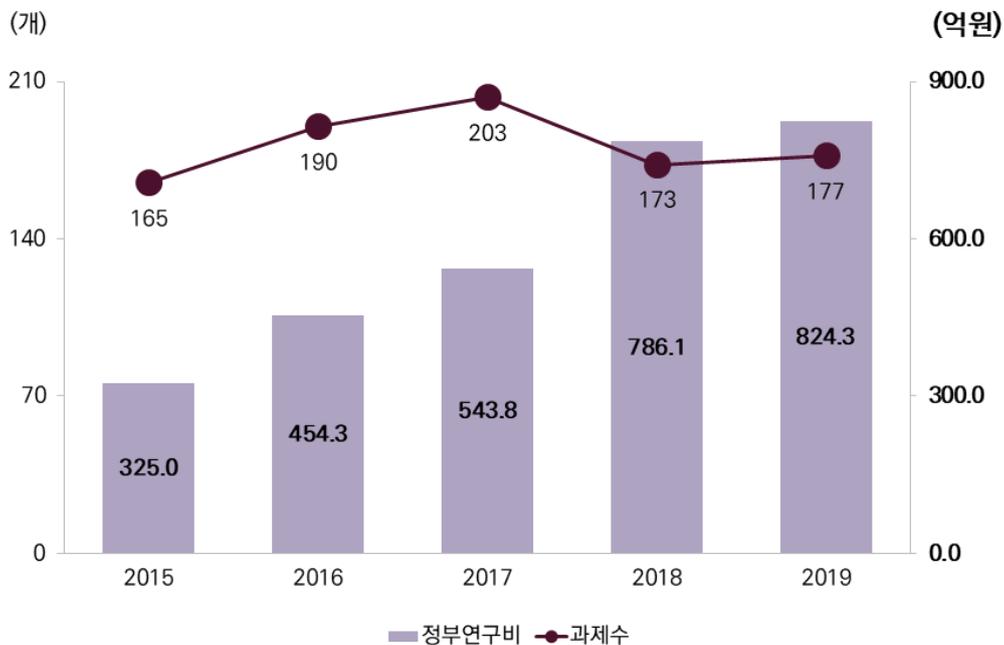
5.1. 정부R&D 투자동향(국내)

☞ 우리나라는 최근 5년(2015~2019년) 동안 백신 플랫폼 개발에 총 2,933억 원을 투자하여 연평균 587억 원 규모임

※ 본 R&D 투자동향 분석에서 “백신 플랫폼”은 백신 파이프라인 개발 수행을 통한 플랫폼 연구를 포함하며, 백신 후보물질의 비임상·임상 등 단순 파이프라인만 개발하는 경우는 제외

※ 생백신·아단위 백신·RNA 백신 등 백신의 형태 뿐만 아니라 생산기술, 체내전달법 및 면역증강제 등 보조적인 기술도 포함

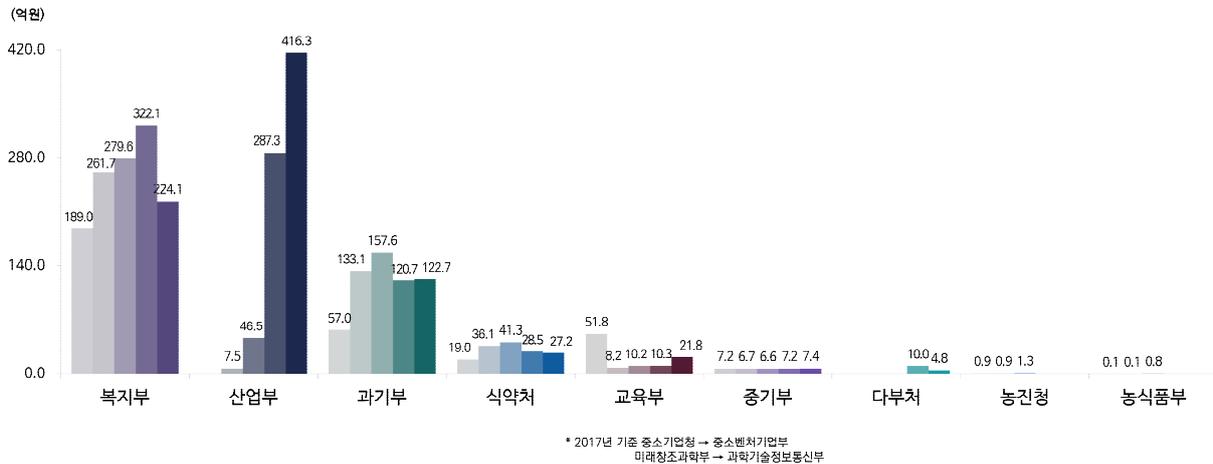
- 백신 플랫폼 개발에 투자한 정부 연구비는 2015년 325억 원에서 2019년 824억 원으로 연평균 20% 증가
- 2017년 대비 2018년에 정부 연구비가 큰 폭(44.6%)으로 증가한 반면, 과제 수는 일부 감소하여 과제 당 연구비가 2.7억 원에서 4.5억 원으로 증가



[그림 11] 백신 플랫폼 관련 정부 연구비 및 과제 수

백신 플랫폼 관련 부처별 연구비는 보건복지부, 산업통상자원부, 과학기술정보통신부 등 3개 부처에 집중되어 있음

- 보건복지부는 5년간 총 1,276억 원(전체의 43.5%)으로 가장 많이 투자했고, 산업통상자원부(758억 원, 25.8%), 과학기술정보통신부(591억 원, 20.1%) 순으로 투자
 - 3개 부처의 연구비 합계는 2,625억 원으로 전체 정부 투자의 89.5% 차지



[그림 12] 부처별 백신 플랫폼 정부 R&D 투자 및 과제 추이(2015~2019년)

백신 플랫폼 관련 최근 5년간 연구개발 중 기술개발 단계별로는 기초연구, 연구수행주체별로는 기타에 가장 많이 투자가 이루어짐

- 기초연구에 지난 5년간 총 1,148억(39.1%)으로 가장 많이 투자되었고 기타(762억, 26.0%), 개발연구(736억, 25.1%), 응용연구(287억, 9.8%) 순
 - 산업통상자원부의 예산이 2018년에 277억 원, 2019년에 402억 원에 달하여 “기타” 단계 예산이 급증함

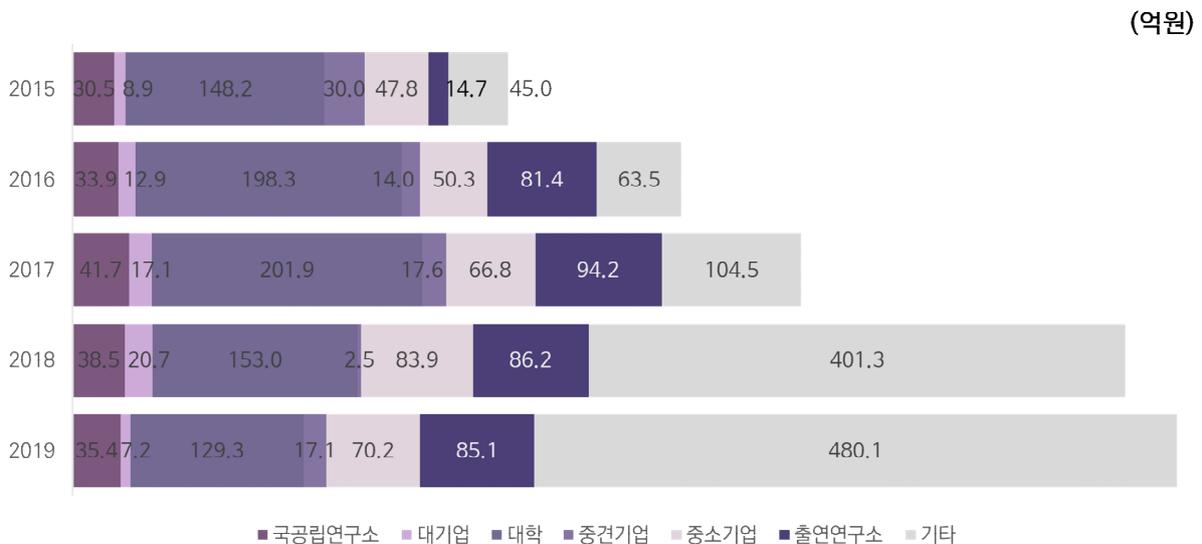


[그림 13] 연구수행단계별 정부 R&D 투자 및 과제 추이(2015~2019년)

- 연구수행주체별로는 기타가 가장 많고(1,094억 원, 37.3%) 그 다음으로는 대학(831억 원, 28.3%), 출연연(362억 원, 12.3%), 중소기업(319억 원, 10.9%) 순

※ 연구수행주체 기타는 창의산업기술개발기반구축 사업 내 미생물실증지원센터, 동물세포실증지원센터 외에 글로벌헬스기술연구기금, 국제백신연구소, 전남생물산업진흥원생물의약연구센터, 대한결핵협회 결핵연구원 등 출연연에 포함되지 않는 특수목적 민간연구기관으로 구성

※ 동 분석에서는 특정 후보물질의 파이프라인 개발에만 해당하는 과제는 제외하여 분석



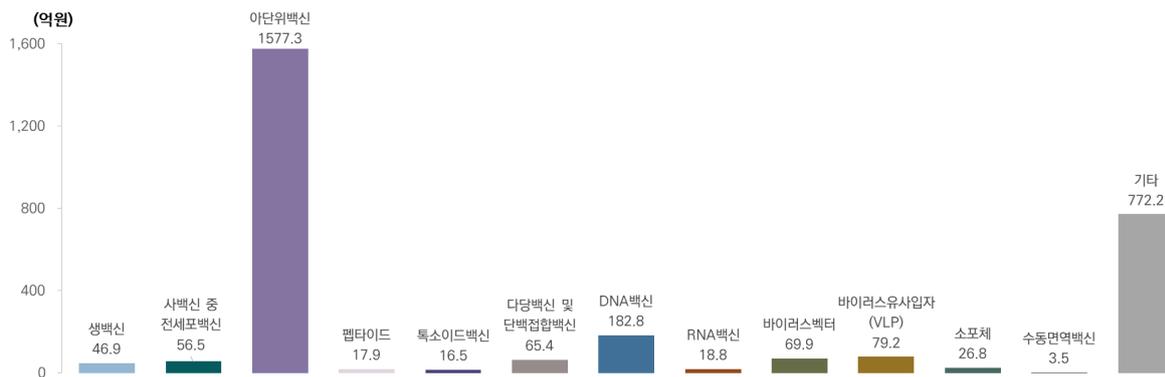
[그림 14] 연구수행주체별 정부 R&D 투자 및 과제 추이(2015~2019년)

최근 5년 간 백신 플랫폼별 연구는 아단위 백신에 가장 많은 예산을 투입했고, 대상질환별로는 메르스를 포함한 코로나 바이러스에 집중

- 백신 종류별 투자금액은 아단위 백신이 1,577억 원으로 전체의 53.8%를 차지하고, 그 다음은 기타가 772.2억 원으로 전체의 26.4%

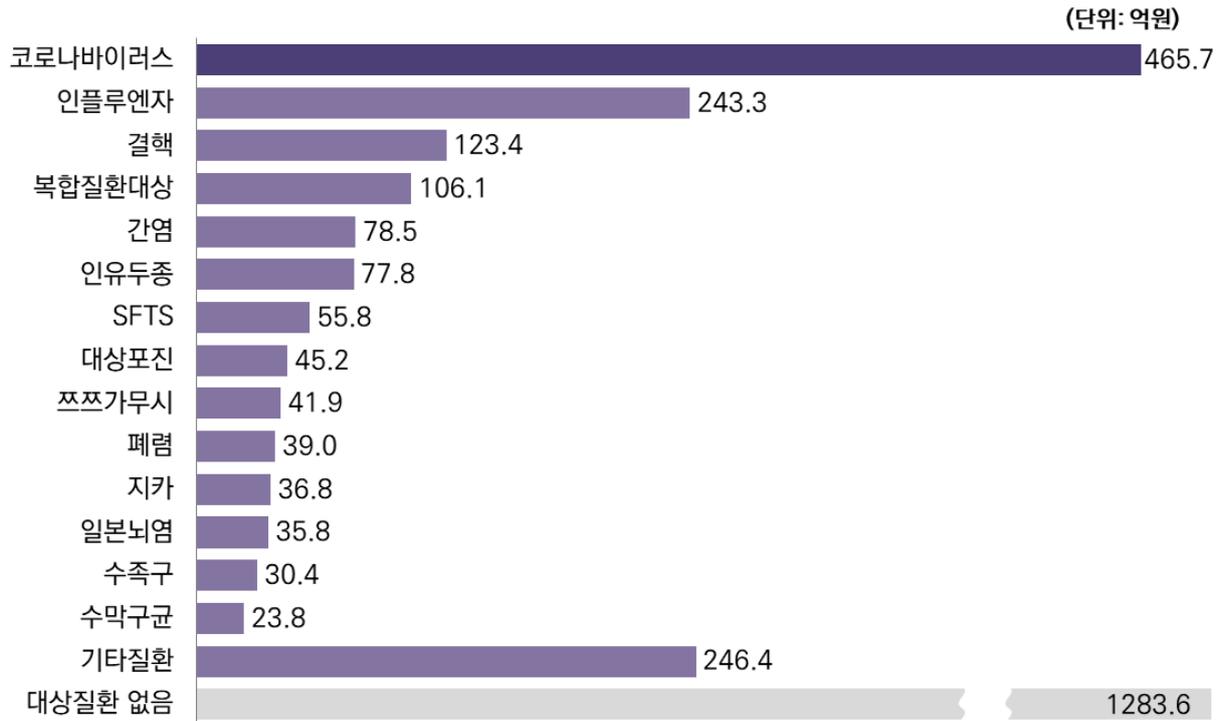
※ 기타는 여러 백신 플랫폼을 포함하거나, 본 분석에서 다루고 있는 백신 플랫폼의 범위가 아닌 과제, 과제명이나 수행목적·내용에서 플랫폼을 확인할 수 없는 과제 및 특정한 플랫폼과 관련 없는 백신 투여기술 등을 포함

- 그 외에는 182.8억 원으로 6.2%를 차지한 DNA 백신과 바이러스유사입자(VLP)(2.7%), 바이러스백터(2.4%), 다당 백신 및 단백질접합 백신(2.2%) 순이며, 비중이 높지 않음



[그림 15] 백신 플랫폼별 정부 R&D 투자(2015~2019년)

- 백신 플랫폼 R&D를 대상질환별로 분석하면, 특정 질환을 대상으로 하지 않는 경우를 제외하고 메르스, 사스 등을 포함한 코로나바이러스 연구에 전체의 28.2%인 466억 원의 투자가 집중
 - 특정 질환을 대상으로 하지 않는 경우는 특정 후보물질이나 파이프라인이 없이 범용적으로 활용 가능한 백신 플랫폼이나 생산기술, 인프라 구축 등에 투자하는 경우로 전체의 43.8%인 1,283.6억 원에 달하였음(아래 그래프의 “대상질환 없음”)
 - 특정질환 대상인 연구 중에서는 코로나바이러스(28.2%), 인플루엔자(14.7%), 결핵(7.5%), 복합질환대상(6.4%) 순이나, 감염질환의 종류가 매우 다양하여 대부분의 질환이 소규모로 투자됨(“대상질환 없음”은 비율에서 제외)
 - 본 분석에서 분류한 55개의 대상질환 중 최근 5년(2015~2019년) 중 연구과제가 수행되지 않은 기간이 1년 이상인 질환이 35개에 달하여, 대상질환이 다양한 감염병의 특성 상 연구에 공백이 많은 것으로 파악



[그림 16] 대상질환별 백신 플랫폼 기술 정부 R&D 투자(2015~2019년)

- 백신 플랫폼과 주요 대상질환에 대한 교차분석 결과, 우리나라에서 가장 많은 연구가 수행된 분야는 코로나바이러스, 인플루엔자 관련 아단위 백신임

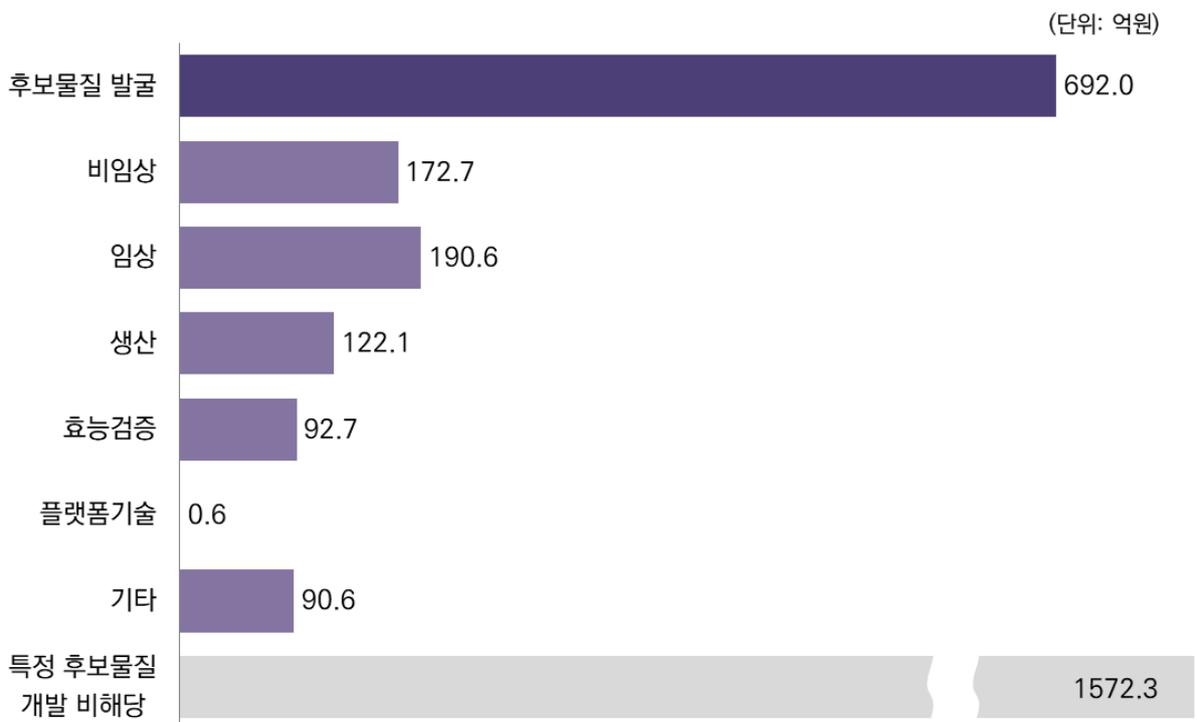
(단위: 억원)

대상질환	생백신	사백신	아단위 백신	펩타이드	톡소이드 백신	다당백신 및 단백질 접합백신	DNA백신	RNA백신	바이러스 벡터	바이러스 유사입자 (VLP)	소포체	수동면역 백신
코로나바이러스			272.4									
인플루엔자	1.3	8.8	174.6			1.0	19.9		4.0	19.2		
결핵	14.5	1.0	32.6	2.0			39.8		6.4			
복합질환대상	1.1	2.0	45.8		7.8				1.7	15.4		
간염	3.5	15.8	3.5				33.8	2.4	6.0	6.2		
인유두종			35.5				9.0			5.5		
SFTS			10.5				40.3		2.0			

[그림 17] 백신 플랫폼과 주요 대상질환에 대한 교차분석(2015~2019년)

백신 플랫폼 연구개발 시 특정 후보물질과 연관된 연구에서는 후보물질 발굴에 가장 많은 예산을 투자하였음

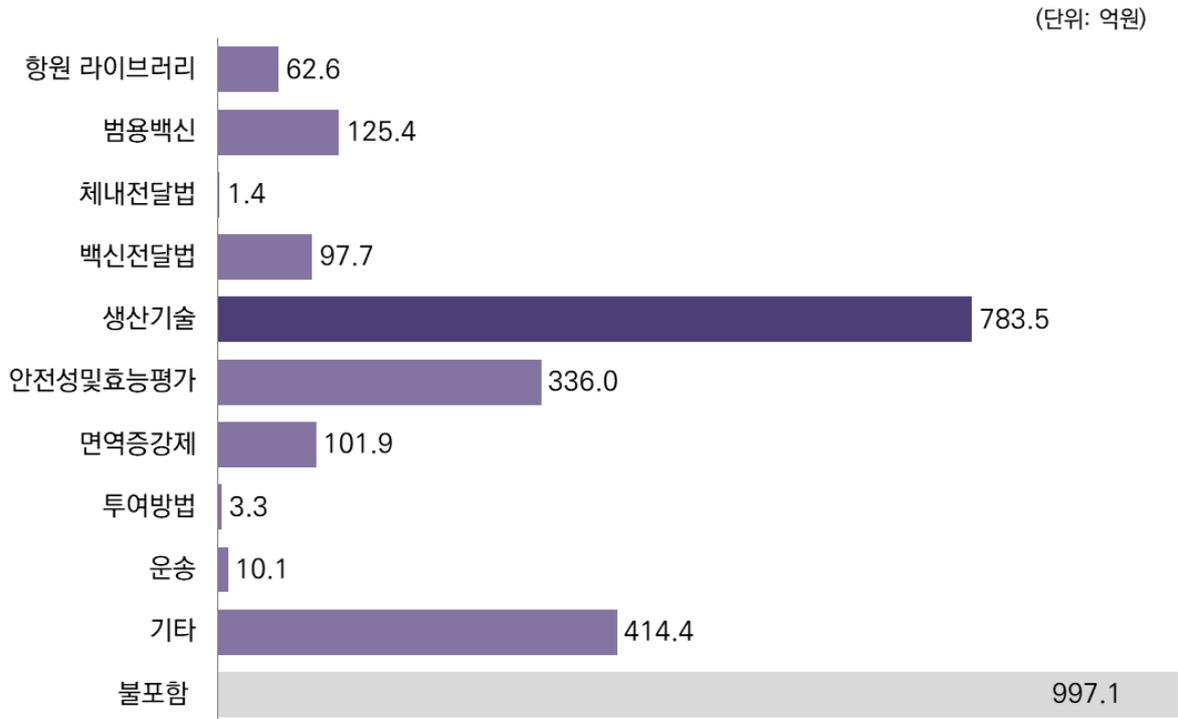
- 백신 플랫폼 연구 중 약 53.6%인 1,572억 원은 특정 후보물질과 연관되지 않고, 나머지 46.4%인 1,361.2%는 특정 후보물질 개발과 연관되어 있음
- 특정 후보물질 개발과 연관된 연구를 신약개발 단계와 연관지어 분석한 결과, 해당 연구 중에서는 후보물질 발굴이 50.8%(692억 원)로 가장 연구비가 많이 투입되었고 다음은 임상(191억 원, 14.0%), 비임상(173억 원, 12.7%), 생산(122억 원, 9.0%) 순으로 나타남



[그림 18] 백신 개발단계별 정부 R&D 투자(2015년~2019년)

보조적인 플랫폼 기술 연구 중에서는 생산기술에 가장 많이 투자한 것으로 나타남

- 동 분석에서는 생백신, 아단위 백신, RNA 백신 등의 백신 형태 외에, 백신 투여방법이나 면역증강제 등의 보조기술도 다양한 백신에 적용 가능한 일종의 플랫폼 기술로 간주하고 분석함
 - 백신 플랫폼 연구 중 51.9%가 보조적 플랫폼 기술을 포함하고 있으며, 백신 자체의 형태 및 보조기술을 모두 포함하는 과제는 중복적으로 집계
 - 보조기술 중에서 세부 기술별 투자 현황을 살펴보면, 생산기술이 51.5%(784억 원)로 가장 많고, 안전성 및 효능평가 22.1%(336억 원), 범용백신 8.2%(125억 원) 등의 순으로 투자



[그림 19] 백신 플랫폼 보조기술별 정부 R&D 투자(2015년~2019년)

제6장 결론

6.1. 요약 및 정리

 감염병 위기에 신속하게 대응하기 위한 백신 플랫폼 기술 개발 필요성이 최근 강조되고 있음

- 인류 역사와 함께 시작되어 끊임없이 발생하는 신·변종 감염병은 인구이동의 증가와 도시화, 야생동물 서식지 파괴 등으로 그 파급효과가 확대
- 신·변종 감염병 발생 시 짧은 시간 내에 전 세계 모든 국가로 전파되어 단기간에 백신을 개발하고 대규모로 생산·공급할 필요성이 높아짐
- 백신 개발 시 다양한 플랫폼 기술을 보유한 경우 다각적인 접근을 통해 실패 위험을 줄이고 개발전략에 유연성을 부여 가능
 - 백신 플랫폼 기술이란 특정 항원이나 유전정보만 바꾸면 새로운 병원체에 대해 백신을 개발할 수 있는 기반기술을 의미
 - 특정한 백신기술이 유사한 종류의 다른 감염체 관련 백신개발에도 적용 가능한 경우 넓은 의미에서 이를 백신 플랫폼 기술로 볼 수 있음
 - 백신은 사용하는 항원의 종류 등에 따라 다양한 형태가 존재하며, 각각이 일정부분 장단점이 있고 동일한 질병에 대해서도 여러 종류의 백신 적용이 가능

 코로나19의 전 세계적인 팬데믹 상황에서 백신 개발 기간을 단축하기 위한 국제적인 노력과 각국의 경쟁이 어느 시기보다 치열하였음

- 미국은 초기 방역에서의 실패에도 불구하고, DARPA 등을 통한 mRNA 백신 플랫폼에 대한 투자 등 혁신적인 연구와 민간기업의 높은 역량을 바탕으로 백신개발 관련 경쟁에서 선두
- 화이자, 모더나 등 mRNA 백신이 2020년 12월에 FDA 긴급사용승인을 받고, 현재 미국, 유럽에서 개발한 다수의 백신이 대규모 접종에 들어간 반면 우리나라에서 개발 중인 백신은 '21.4월 기준 모두 1상 또는 1·2상 단계로 해외와의 기술격차가 존재

- 백신시장의 성장 가능성은 높으나, 대규모 임상3상 등으로 인한 높은 개발비용과 감염병 대유행 소멸에 따른 수요 감소 우려 등으로 글로벌 기업의 독과점 시장화
- 전 세계 인류가 코로나19 백신 접종 대상이 됨에 따라 천문학적인 수요가 발생하여 파이프라인 보유 여부에 따라 기존 백신 글로벌 시장에서 일부 기업 순위의 재편이 예상되며, 코로나19의 토착화 및 변이발생 등에 따라 수요는 당분간 꾸준히 높을 것으로 예상
 - 코로나19로 인해 기존 소수 기업이 독점하고 있던 백신 시장에도 많은 변화가 예상되며, 특히 각국의 정책적 지원과 민간의 투자가 지속될 것으로 예상
- 우리나라도 글로벌 대비 개발 속도 면에서 다소 뒤쳐져 있으나, 정부의 강한 의지로 끝까지 개발에 성공할 경우 개발 경험과 플랫폼 기술 축적에 따라 향후에도 감염병 위기 시 대응에 큰 도움이 될 것으로 기대

☞ 코로나19 상황에서 DNA, mRNA 백신과 바이러스벡터 백신 등 3세대 유전자 백신 기술이 크게 부각됨

- 3세대 유전자 백신은 항원 단백질을 직접 투여하지 않고 그것의 유전정보를 기록한 DNA, mRNA 등 유전물질을 세포에 주입하는 기술
- 유전자 백신 중에서도 DNA, mRNA 등 핵산 백신은 복잡한 단백질 제조공정 대비 생산이 쉽고 염기서열 변경을 통해 신·변종 감염병에 빠르게 대응 가능하여 개발기간 단축이 가능함
- 유전자 백신 개발을 위한 유전자 안정화 및 전달체 기술 등은 감염병 백신 뿐만 아니라 암백신 및 유전질환에 대한 유전자치료 등 향후 적용 가능한 분야가 매우 넓을 것으로 기대
- 그러나 안전성이 확립된 기술인 종래의 생백신 및 전병원체 사백신도 여전히 활용되고 있어 특정 플랫폼에 집중하기보다 다양한 플랫폼에 대한 원천기술 확보가 필요

☞ 우리나라는 백신 플랫폼 개발 규모가 최근 큰 폭으로 증가했으며, 특히 국제협력 등을 통한 민간 연구기관에 대한 지원이 활성화

- 2018~2019년 산업부의 '창의산업기술개발기반구축'을 통한 실증지원센터 예산이 급증하였고, 국제기구인 글로벌헬스기술연구기금, 국제백신연구소 등에 대한 지원도 증가
- 최근 5년 간(2015~2019년) 가장 많은 예산을 투입한 백신 플랫폼은 아단위 백신(단백질 재조합 백신)이고, DNA 백신이 그 뒤를 이어나 RNA 백신, 바이러스벡터 백신 등에 대한 투자는 많지 않았음

- 백신 플랫폼 연구의 특성상 전체 예산의 43.8%는 특정 질환을 대상으로 하지 않고, 감염병의 종류가 매우 다양하여 각각의 감염병에 대한 투자는 코로나 바이러스, 인플루엔자 바이러스를 제외하고는 미미한 수준임
- ▣ 미국은 DARPA 등을 통해 도전적인 백신 플랫폼 연구에 장기 지원함으로써 백신 기술 관련 선도국 입지를 굳히고 있으며, 우리나라도 백신 주권과 향후 관련 산업의 성장을 위해 전략적인 투자를 확대하고 있음

6.2. 정책제언

- ▣ 신변종 감염병 팬데믹 상황에서 전 세계 인구집단 전체에 대한 집단면역(Herd Immunity)을 조속히 확보하기 위해서는 초단기·대규모 백신 물량 확보·공급이 필요
 - 신·변종 감염병의 확진자 및 사망자를 획기적으로 감소시키고, 팬데믹을 방지 또는 조기 종식하려면 신속하게 백신을 개발하여 대량 예방접종함으로써 집단면역을 확보하는 전략이 가장 효과적
 - 인플루엔자 바이러스, 코로나 바이러스, 레오바이러스, 레트로바이러스 등 RNA를 유전자로 갖는 바이러스는 유전적 불안정성으로 인해 변이가 생기는 속도가 빨라, 기존 항원으로 만든 백신의 효능이 미치지 못하는 경우가 많음
 - 뿐만 아니라, 수요량의 변동성이 큰 백신 특성상 전 세계 동시 집단면역 달성에 필요한 막대한 양의 백신 생산라인을 단기간에 확보하고, 변이 발생 시마다 그에 맞도록 변경하기 어려움
 - 미국, 유럽 등 백신 선진국의 자국 우선주의에 의해 초기에 백신 수급에 국가별 불균형이 있을 수밖에 없는 구조이며, 이는 인구가 과밀한 저개발 국가에서의 변이 발생으로 인한 팬데믹 상황 악화를 가져올 우려가 높음
- ▣ 신·변종 감염병의 피해를 줄이고 단기간에 백신 개발 및 생산에 들어가기 위해 mRNA 백신을 포함한 새로운 백신 플랫폼 기술 고도화에 지속적인 투자 필요
 - 신·변종 감염병에 대응하기 위해서는 백신의 개발기간을 단축하거나 효능을 높이기 위한 플랫폼 기술에서 지속적인 기술혁신이 중요

- mRNA 백신의 경우 초저온(화이자 -70도, 모더나 -20도)이 필요하고, 바이러스백터 백신은 백터 자체에 대한 면역을 발생시킬 우려가 있는 등 현재의 백신 플랫폼에도 기술적인 한계와 장애요인이 존재하며, 백신 선도국의 특허 장벽도 높음
- 백신 개발기간 단축뿐만 아니라 안전성, 생산효율성, 보관 및 운송 용이성, 접종 방식의 편리함 등을 개선하기 위한 기존 플랫폼 개선 및 새로운 플랫폼 기술 발굴이 필요
- 하나의 바이러스에 대한 플랫폼 기술을 확보하면 계통학적으로 유사한 새로운 바이러스에 대해서도 백신 개발을 가속화할 수 있음

참고문헌

해외문헌

- OSF Healthcare(2020), A glance at vaccine development over the centuries
- Kim 외(2020), COVID-19 vaccines: breaking record times to first-in-human trials, npj vaccines
- 미국 의회조사국(2021), Operation Warp Speed Contracts for COVID-19 Vaccines and Ancillary Vaccination Materials

국내 문헌

- IBS 코로나19 과학리포트(2021), mRNA, 코로나19 백신에서 유전자 치료제까지
- IBS 코로나19 과학리포트(2021), 백신의 종류와 특징
- IBS 코로나19 과학리포트(2021), 코로나19 백신의 탄생과 패러다임 전환
- KISTEP(2020), 2020년 주요국 과학기술정책 동향 및 시사점(과학기술&ICT 정책·기술 동향)
- 강민호(2020), 팬데믹의 역사
- 문경준(2020), 백신 산업 들여다 보기
- 보건산업브리프(2020), 코로나19 대응을 위한 국내외 치료제 및 백신 개발 현황과 과제
- 생명공학정책연구센터(2019), 글로벌 백신 시장현황 및 전망
- 성백린(2020), 백신의 세계동향과 국내개발 방향
- 소대섭(2020), 코로나 시대의 글로벌 환경 변화와 R&D정책 및 연구개발 동향
- 질병관리본부(2020), 2019 감염병 감시연보
- 최용균(2010), 역사 속으로 - 백신개발의 신호탄, 종두법 창시자 에드워드 제너
- 한국글로벌의약품협회(2021), 코로나19 공중보건위기 해결 위한 글로벌 제약사 백신·치료제 개발노력 지속
- 한국산업기술평가관리원(2020), 코로나19 백신개발을 위한 미국 'Operation Warp Speed' 주요 추진 동향

보도자료

- TIME(2020), How Operation Warp Speed Vaccine Spending Compares
- 동아사이언스(2021), 코로나19 백신 접종 준비 초읽기... '예방접종 대응 추진단' 출범
- 보건복지부 보도자료(2020), 코로나19 치료제·백신 개발 가속화를 위해 정부와 기업이 함께 머리를 맞대다
- 식약처 보도자료(2020), 2019년 국내 의약품·의약외품 생산, 수출 및 수입실적

- 이데일리(2021), 백신자금률 50%... 위협받는 국민생명
- 이코노미리뷰(2019), '블록버스터'백신시장, 한국기업 위상은?
- 중앙일보(2018), '51조원 블루오션' 백신시장 잡아라
- 팜뉴스(2021), 'mRNA 코로나백신 '반사이익'으로 예상매출 'up''

사이트

- Finnish institute for health and welfare 웹사이트(<https://thl.fi>)
- DARPA 홈페이지(<https://www.darpa.mil/program/>)
- https://www.washingtonpost.com/national-security/how-a-secretive-pentagon-agency-seeded-the-ground-for-a-rapid-coronavirus-cure/2020/07/30/ad1853c4-c778-11ea-a9d3-74640f25b953_story.html
- <https://investors.modernatx.com/news-releases/news-release-details/darpa-awards-moderna-therapeutics-grant-25-million-develop>
- <https://investors.modernatx.com/news-releases/news-release-details/darpa-awards-moderna-56-million-enable-small-scale-rapid-mobile>
- <https://homelandprepnews.com/stories/26983-darpa-names-pandemic-prevention-platform-program-research-teams/>
- <https://www.c4isrnet.com/industry/2020/04/07/how-past-investments-positioned-darpa-to-take-on-coronavirus/>
- <https://news.clearancejobs.com/2020/04/03/how-darpa-is-helping-fight-covid-19/>
- OWS홈페이지(<https://www.defense.gov/Explore/Spotlight/Coronavirus/Operation-Warp-Speed/>)
- WHO Coronavirus(COVID-19) Dashboard(<https://covid19.who.int>)
- 모더나 홈페이지(<https://www.modernatx.com/>)
- 보건복지부 코로나19 관련 홈페이지(<https://ncov.mohw.go.kr>)
- 식약처 홈페이지(www.mfds.go.kr)
- 한국신약개발조합 홈페이지(www.kdra.or.kr), 국내 R&D 동향

| KISTEP 기술동향브리프 발간 현황 |

발간호	제목	저자 및 소속
2021-08	백신 플랫폼 기술	김주원(KISTEP)· 장기정(한국디지털헬스산업협회)· 여창민(정보통신산업진흥원)
2021-07	해수담수화	이현경(KISTEP)
2021-06	연료전지	이선명(KISTEP)
2021-05	개인용 항공기(PAV)	최충현(KISTEP)
2021-04	스마트 디바이스용 센서	형준혁(KISTEP)·유형정(KISTEP)
2021-03	스마트농업	유거송(KISTEP)·여창민(KISTEP)
2021-02	수소 생산	김기봉(KISTEP)·김태경(KISTEP)
2021-01	대체육(代替肉)	윤성용(KISTEP)·조해주(KISTEP) 이경본(전남대학교)
2020-16	반도체 후공정(패키징)	채명식(KISTEP)·여성울(KISTEP)
2020-15	디지털 치료제 (Digital Therapeutics)	김주원(KISTEP)·장기정(KISTEP) 황은혜(KISTEP)
2020-14	소형위성	이재민(KISTEP)·최충현(KISTEP)
2020-13	스마트 헬스케어	한지아(KISTEP)·김은정(KISTEP)
2020-12	신남방국가 과학기술 정책 동향 -인도, 베트남, 싱가포르-	권장호(KISTEP)
2020-11	핵융합 에너지	여준석(KISTEP)·정예슬(KISTEP)
2020-10	제조용 IoT	나영식(KISTEP)

| 저자 소개 |

김주원

한국과학기술기획평가원 생명기초사업센터 연구위원

Tel: 043-750-2434 E-mail: juwon@kistep.re.kr

장기정

한국디지털헬스산업협회 매니저

Tel: 02-786-1177 E-mail: kjang@kodia.or.kr

여창민

정보통신산업진흥원 디지털헬스산업팀 선임

Tel: 043-931-5405 E-mail: ycm@nipa.kr

| 편집위원 소개 |

류영수 선임연구위원

홍미영 연구위원

김종란, 안지현 부연구위원

윤성용 연구원

한국과학기술기획평가원 사업조정본부

Tel: 043-750-2591 E-mail: chopper@kistep.re.kr

※ 본 KISTEP 기술동향브리프의 내용은 필자의 개인적 견해이며, 기관의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.

KISTEP 기술동향브리프 | 2021-08호

백신 플랫폼 기술