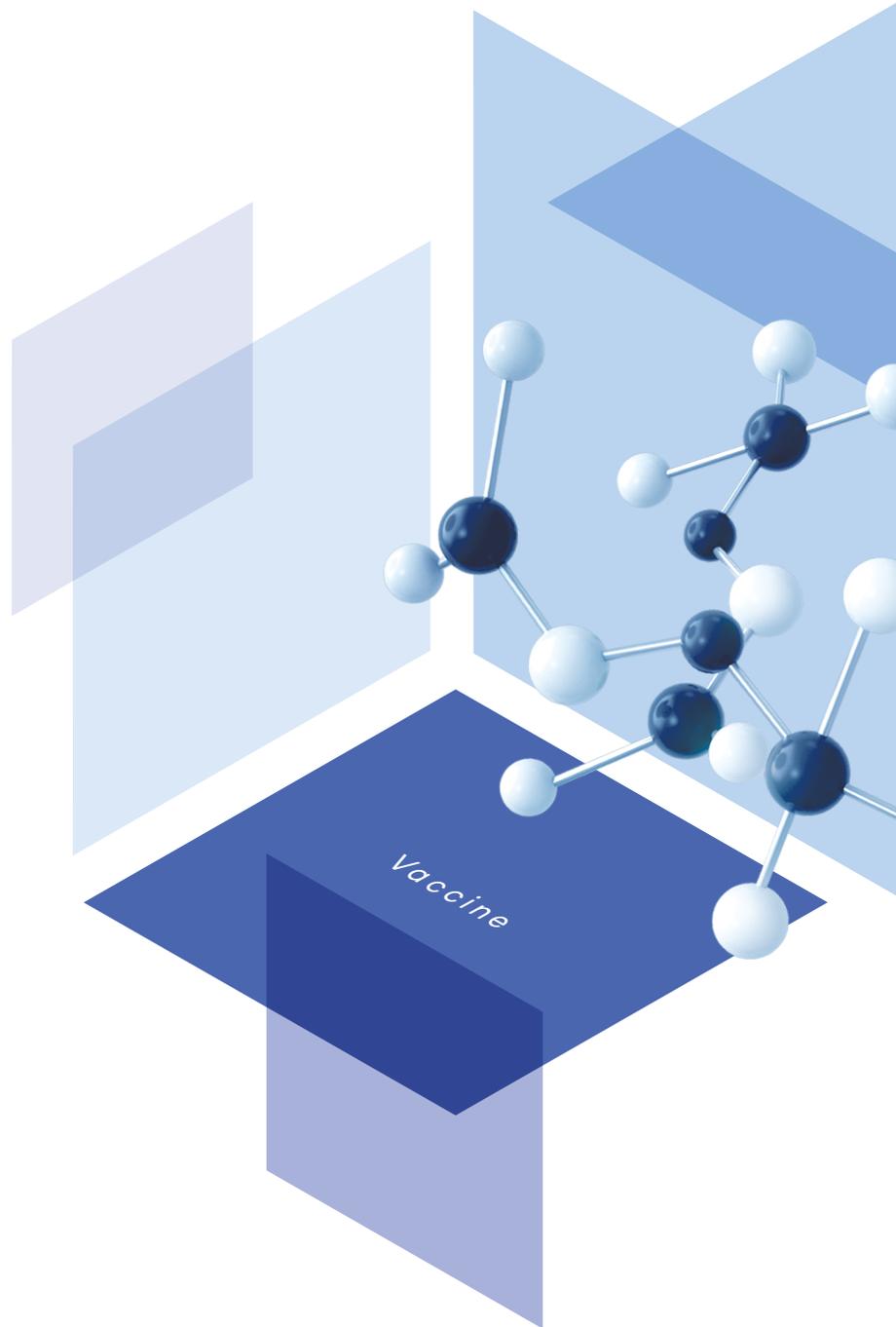


2022.8.

# Vaccine Brief

1<sup>st</sup> Expert Opinion





# 신종인수공통감염병 X에 대한 종간 백신(Cross-species vaccination) 대응 전략

서울대학교 수의과대학 바이러스학실  
송대섭, D.V.M., PhD.

## 1. 인수공통감염병의 중요성

2019년 세계보건기구(WHO)는 인류의 공중보건을 위협하는 10가지 요인을 발표하였다. 여기에는 환경오염 및 기후변화, 약제 내성 병원체의 증가, 흡연이나 신체 활동 감소로 인한 당뇨병, 암, 심장질환의 증가를 포함한다. 주목할 것은 범유행 인플루엔자의 발생, 에볼라와 같은 고위험 감염병과 '질병 X'의 발생, 열대기후성 감염병인 뎅기바이러스의 온대기후 국가로의 확산, 인간면역결핍바이러스(human immunodeficiency virus, HIV) 지속적인 감염 등 10가지 위협 요소 중 4가지의 요소가 감염병과 연관이 있다는 사실이다.

2019년 WHO의 발표는 미래의 대유행이나 치명적 감염을 일으킬 수 있는 잠재력을 가진 신종 감염병 '질병 X' 위협을 예측했음에도 불구하고 2019년 12월 우리는 중국에서 처음 보고된 신종 코로나바이러스(코로나19)가 전 세계로 확산되어 폭발적인 확진자와 사망자가 발생하는 상황을 속수무책으로 지켜볼 수 밖에 없었다. 2022년 7월 현재 코로나19 확진자는 5억 5천만 명 이상으로 보고되었으며, 사망자는 630만 명 이상을 기록하였다. 국제통화기금(IMF)이 발표한 '코로나19의 장기적 위협을 관리하기 위한 글로벌 전략(A Global Strategy to Manage the Long-Term Risks of COVID-19)' 보고서의 2022 IMF의 세계 경제 전망에 따르면 2024년까지 코로나 대유행으로 인한 누적 생산량 손실은 약 13조 8,000억 달러(1경 7,900조 원)에 달하는 것으로 나타났다.

WHO가 공중보건 비상사태를 초래할 수 있는 위험요인의 하나로 선정한 '질병 X'는 무엇일까? '질병 X(Disease X)'는 2018년 WHO가 백신이나 치료제와 같은 해결책이 불충분한 고위험 감염병에 대응하기 위해 제시한 연구개발 청사진(R&D blueprint) 우선순위 감염병 목록에 처음으로 등장했다. 제한적인 연구인력과 투자 비용을 집중하기 위해 선정된 8개의 우선순위 감염병은 다음과 같다.

[표 1] 2018 WHO R&D Blueprint 우선순위 감염병

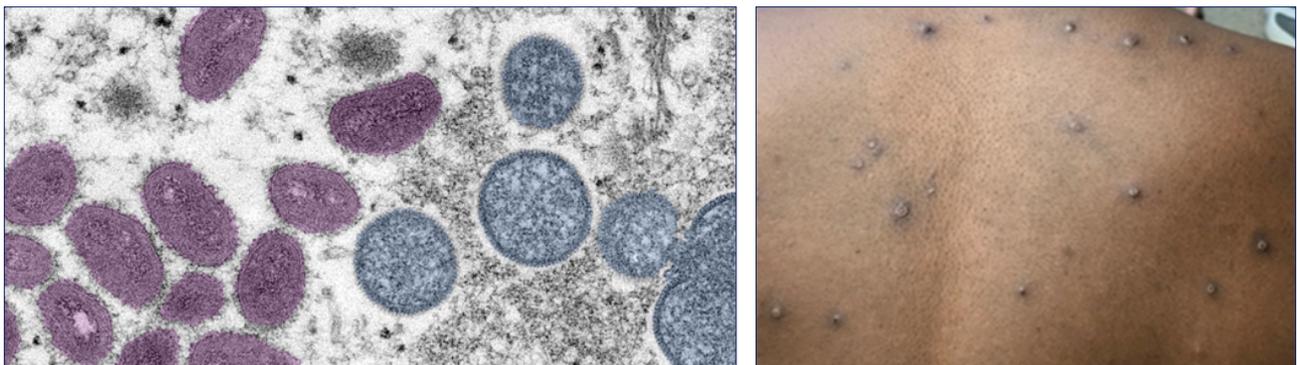
<출처 : WHO. "2018 Annual review of diseases prioritized under the research and development blueprint". 2018.>

감염병명	숙주
Crimean-Congo haemorrhagic fever	숲멧토끼, 반추동물
Ebola virus disease and Marburg virus disease	과일박쥐, 원숭이, 돼지
Lassa fever	들쥐
MERS and SARS	박쥐, 낙타, 사향고양이
Nipah and henipaviral diseases	과일박쥐, 말, 돼지
Rift Valley Fever(RVF)	반추동물
Zika virus disease	원숭이
Disease X	?

8개의 우선순위 감염병의 하나로 이름 올린 질병 X는 그 발병 시기와 질병을 예측할 수 없는 신종, 변종 혹은 재유행 감염병에 대한 위험성을 상기시키고 대응의 필요성을 강조하기 위해 미지의 감염병에 붙여진 코드명이다.

2000년대 들어 2002년 홍콩에서 시작된 사스(Severe Acute Respiratory Syndrome, SARS) 코로나, 2009년 21세기 첫 팬데믹으로 선언된 신종인플루엔자(2009), 2012년 처음 보고되었던 메르스(Middle East Respiratory Syndrome, MERS) 코로나까지 최근 발생하여 공중보건에 위협이 되는 감염병들 중 다수는 모두 예측할 수 없던 신변종 감염병들이었다. '질병 X'라는 명칭의 등장 이후 첫 번째 질병 X의 사례로 꼽히는 코로나19 발생 이전에도 우리는 신변종 감염병의 위협을 받아왔던 것이다.

코로나19가 끊임없는 돌연변이의 발생과 재유행으로 종식되지 않고 있는 상황 속에서 또 하나의 '질병 X', 원숭이 두창이 확산되며 사람들을 집단감염의 공포로 몰아넣고 있다. 원숭이 두창은 원숭이 두창 바이러스(Monkeypox virus)에 감염되어 발생하는 질환으로 천연두의 원인체인 Variola virus, 우두의 원인체인 Cowpox virus와 함께 Orthopoxvirus 속에 속한다. 1958년 덴마크 코펜하겐의 한 연구소에서 실험용으로 사육 중인 원숭이에서 두창과 유사한 질병이 처음 발견됨으로써 붙여진 이름이지만 원숭이뿐만 아니라 쥐, 프레리도그와 같은 설치류도 자연 숙주로 알려져 있다.



[그림 1] 원숭이 두창의 원인체 monkeypox virus (좌), 증상 (우) 출처: CDC

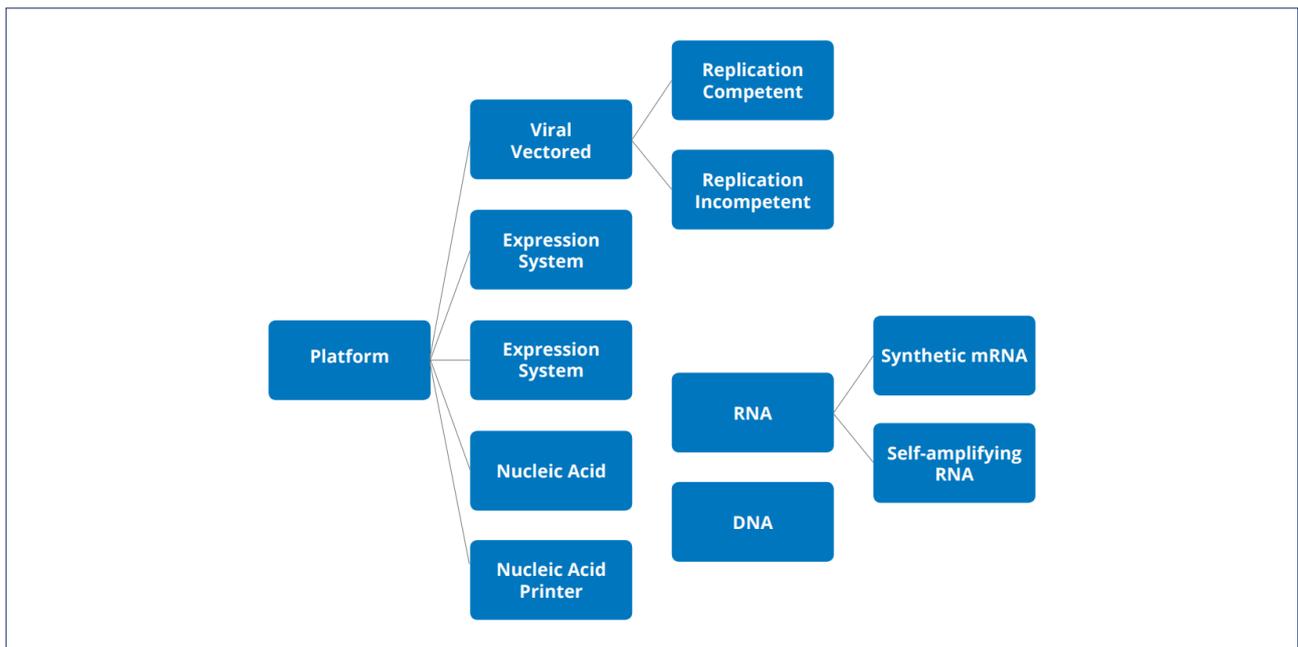
중남아프리카와 서아프리카 일부 국가의 풍토병이라고 여겨지던 원숭이 두창은 22년 5월 7일 영국에서 1건의 유입사례가 보고된 이후 7월 28일 기준 미국에서 4,600명의 확진, 전 세계 78개국 18,000건 이상의 확진 사례가 보고되었다. WHO가 원숭이 두창에 대해 '국제적 공중보건 비상사태(Public Health Emergency of International Concern, PHEIC)'를 선언하면서 감염병 확산에 주의할 것을 경고하고 있다.

공교롭게도 앞에 언급된 사스, 신종인플루엔자, 메르스, 코로나19와 원숭이두창 그리고 우선순위로 선정된 7개의 감염병은 모두 동물에서 유래하여 사람으로 전파된 인수공통감염병(Zoonosis)이다. 2008년 네이처지에 발표된 논문에 의하면, 1940~2004년까지 발견된 신종 감염병의 60%가 인수공통감염병이며, 그중 71.8%는 야생동물에서 유래되었다고 한다. 우리가 인류에게만 국한하여 위협적이라고 생각해온 대부분의 질병들은 사실 인수공통감염병인 것이다. 세계 자연 보전 연맹(World Conservation Union; IUCN)에 따르면 현존하는 동물 중 조류와 포유류만도 15,000종 이상인 것으로 알려져 있다. 현재까지도 밝혀지지 않은 수많은 인수공통감염병이 질병 X의 잠재력을 가지고 있다고 생각하면 앞으로 닥칠 감염병을 예측하기란 거의 불가능에 가깝다고 볼 수 있다.

## 2. 백신 개발을 통한 감염병 통제

이미 잘 알려진 광견병, 일본뇌염, 부루셀라증과 같은 인수공통감염병을 통제하기 위한 인간의 노력은 오래전부터 지속되어 왔다. 그 대표적인 방식이 종간백신 전략(cross species vaccination)이다. 동물에게 백신을 접종함으로써 동물숙주에서 인간으로의 전파를 줄이는데 기여하는 종간백신 전략은 동물에서도 병원성을 보이는 감염병의 경우 인간과 동물 모두의 건강에 이점이 있다. 사람에게 치명적인 리프트밸리열(Rift Valley fever) 사례에서도 현재 사람용 백신은 개발 중이지만 동물용 백신은 이미 상용화되어 양과 소 등의 숙주에 접종하여 효과적인 질병 통제의 수단으로 사용되고 있다. 그러나 종간백신 전략은 선제적인 감염병 통제 수단으로 사용하기엔 그 우선순위 선정에 어려움이 있으며, 야생동물이 그 숙주인 경우 백신접종 자체에 어려움이 존재한다. 또한, 동물과 사람의 면역체계는 완전히 일치하지 않아 접종 대상에 최적화된 백신의 개발이 필요하다. 동물과 사람에게 모두 사용되는 광견병과 일본뇌염백신의 경우 바이러스주, 배양하는 세포, 사용되는 보조제가 다르며, 동일한 백신을 교차하여 사용하지 않는다.

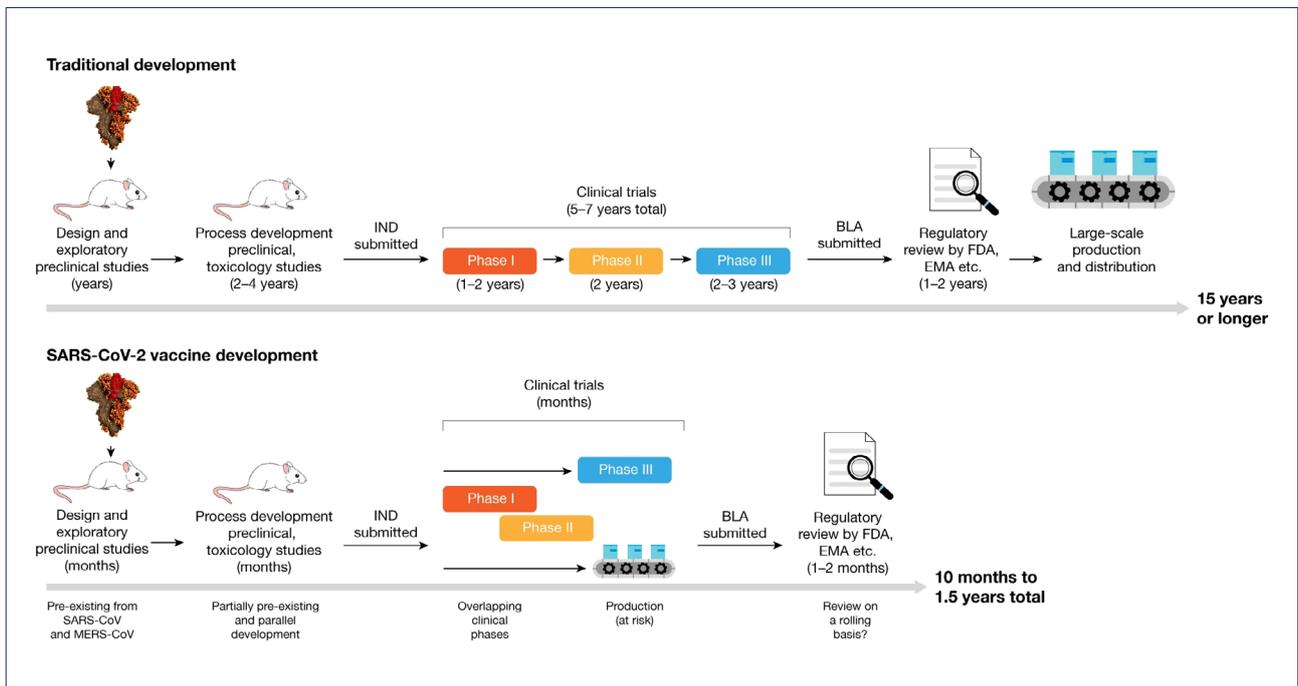
문제가 되는 특정 질병의 해결에만 초점이 맞춰지던 백신 개발 노력은 예측을 통한 선제적 대비라는 전략의 한계점을 마주하게 되었다. 기존의 백신들은 백신 설계에서 최종 승인까지 15년 이상 걸리는 것이 보편적이었다. 임상실험, 독성연구, 생산 공정 개발단계가 뒤따르고 이후 순차적으로 임상 1상, 2상 및 3상 시험에 들어가게 된다. 3상 시험이 완료되면 식약처의 신약허가신청서(BLA) 검토를 거쳐 최종적으로 백신이 승인되는 것이다. 대규모 생산은 승인 이후에 가능하다. 교통의 발달과 함께 국제 교류의 증가, 여행의 자유는 풍토병이라 여겨지던 특정 지역의 감염병과 신종 감염병이 전 세계로 확산되는 것을 가속화하고 있다. 환경파괴로 서식지를 잃은 야생동물의 이동은 야생동물에서 동물로, 혹은 야생동물에서 사람으로 종간 벽을 넘어 전파되는 신종인수공통감염병의 발병 가능성도 높이고 있다. 감염병의 발병 이후에 백신과 치료제를 개발하여 감염병을 통제하기엔 그 전파 속도를 따라가기 역부족이다. 이러한 한계를 극복하기 위해 우리는 신변종 감염병의 발생에도 신속하고, 안전하고, 효과적인 백신을 맞춤형으로 생산할 수 있는 플랫폼 연구에 집중하기 시작한 것이다.



[그림 2] 백신 플랫폼의 종류

<출처 : Johns Hopkins, center for health security. Vaccine Platforms : State of the Field and Looming Challenges>

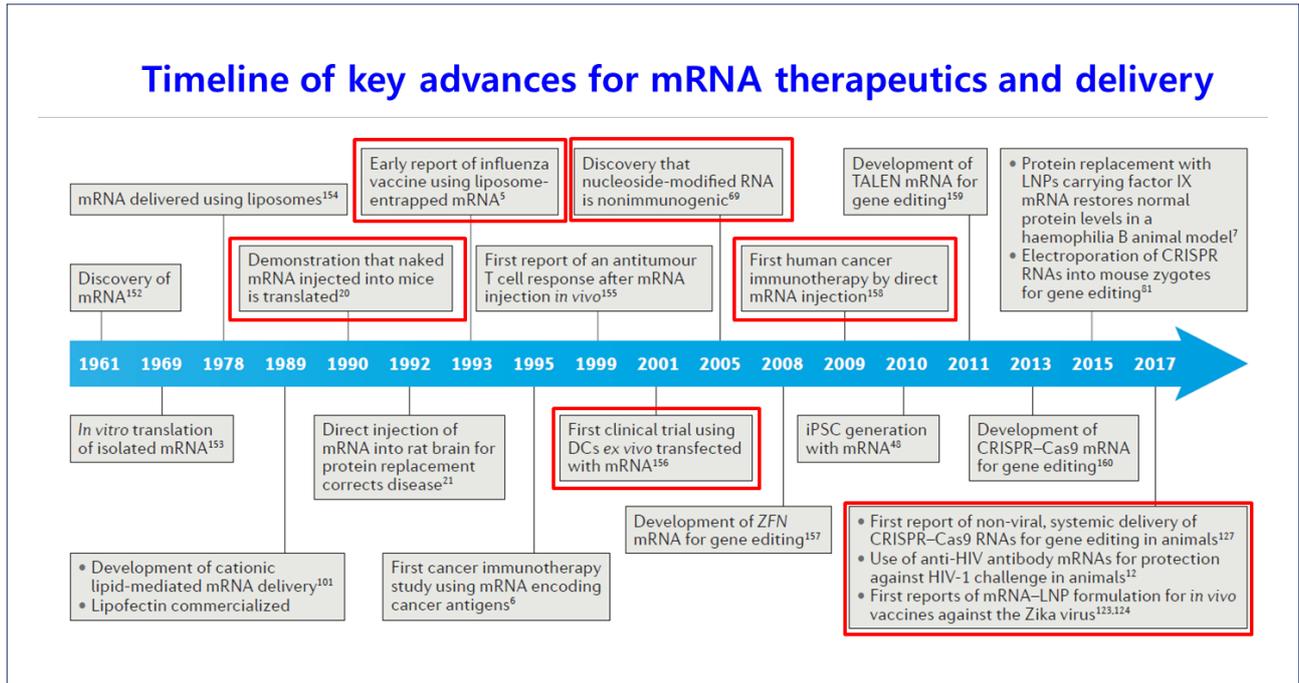
코로나19 범유행이라는 특수한 상황에서 화이자(Pfizer & BioNTech), 모더나(Moderna)의 mRNA백신 플랫폼과 아스트라제네카(AstraZeneca)의 아데노바이러스 벡터 백신 플랫폼을 이용한 코로나19 백신이 기존의 허가기간을 1/10이상 단축시키며 긴급사용승인되었다. 백신 플랫폼이란 획기적이고 새로운 기술을 의미하지 않는다. 목적에 맞게 항원을 변경하여 백신으로 사용할 수 있도록 개발된 기술을 말한다. 기존에 많이 연구되어 온 재조합단백질 백신(Protein Subunit Vaccine), 바이러스유사입자백신(Virus Like Particle vaccine)도 플랫폼 기술의 하나이다. 감염병의 확산을 막기 위해 신속한 항원의 교체와 항원의 교체에도 안전성과 유효성이 담보되어야 허가에 소요되는 기간을 단축하고 감염병 발생 시 빠른 투입이 가능하다.



[그림 3] 전통적인 백신 개발 소요시간과 신속승인소요시간 비교

<출처 : Krammer, F. Nature, 2020>

코로나19 백신의 빠른 승인은 백신 개발에 도입된 백신 플랫폼의 신속성도 요인의 하나지만 그 이면에 정부, 비영리 국제기구, 기업의 천문학적 자본의 투입 없이는 이루기 어려운 성과였을 것이다. 영국의 글로벌 헬스케어 시장분석기관인 에어피니티(Airfinity)의 보고에 따르면 아스트라제네카 백신 개발을 위해 총 16억 5천만 파운드(약 2조 4,000억 원), 모더나 백신 개발을 위해 5억 9,300만 파운드(약 8,600억), 화이자-바이오엔테크 백신 개발을 위해 4억 600만 파운드(약 5,907억)의 예산이 투입되었다. 백신 플랫폼 기술의 개발은 그 기술의 독창성에만 머물러서는 안된다. 백신 개발에 필요한 인력과 평가기간 단축을 위한 충분한 예산지원도 필수적이다. mRNA 백신 제작기술은 최근 개발된 신기술이라고 알고 있는 경우가 많은데 그림에서 보듯이 mRNA 백신 플랫폼은 30년 동안의 끊임없는 시행착오를 통해 현재에 도출된 완성도 높은 백신 플랫폼이다. 긴 시간 이루어진 지속적인 예산지원과 노력의 결과물이 코로나19에 적용되어 코로나19 백신의 신속한 승인과 도입이 가능했던 것이다. 짧은 시간 내에 가시적 성과를 쫓기보다 장기적 안목으로 플랫폼 개발지원이 필요한 이유이다.

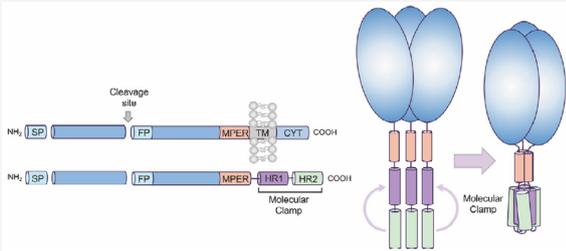
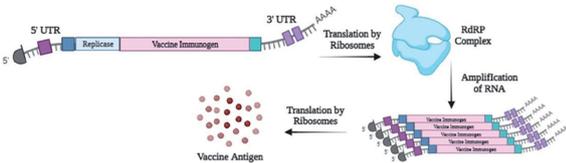


[그림 4] mRNA백신 및 치료제의 개발역사에서 주요한 획기적 진보기술들

<출처 : Nature Review Materials, 2017>

신변종 감염병 발생 시 백신 개발과 비축 저소득 국가에 백신 공급을 위한 자원 마련을 목적으로 2017년 다보스 포럼을 계기로 노르웨이 정부 주도로 창설된 국제기구인 '감염병혁신연합(Coalition for Epidemic Preparedness Innovations, CEPI)'은 2022~ 2026년 사업비 35억 달러 조성을 목표로 모금하고 있으며 현재 6개의 우선순위 감염병(라싸열, 메르스, 니파바이러스, 치쿤구니아열, 리프트밸리열, 에볼라) 개발과 신변종감염병대응을 위한 백신 플랫폼(백신 프린터, 분자 클램프 플랫폼과 자가 증폭 RNA 백신 플랫폼) 기술 개발을 지원하고 있다. 또한, 감염병의 발생과 위험을 최소화하기 위해 공공기금을 모금하고 우선순위 감염병 백신의 개발지원, 백신 시제품 라이브러리 구축, 글로벌 협력 강화 지원을 통해 백신 개발 일정을 100일로 단축하기 위한 프로젝트를 진행하고 있다.

[표 2] CEPI의 지원을 받은 백신플랫폼의 종류 및 특징

백신플랫폼의 종류	특징
<p>백신 프린터 (vaccine printer)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RNA Printer™는 NP-formulated mRNA를 생산할 수 있는 이동 가능한 축소형 자동화 설비.</li> <li>• 백신이 필요한 장소에 직접 설치가 가능하며 백신 운송 비용을 절감할 수 있음.</li> </ul>
<p>분자 클램프 플랫폼 (molecular clamp platform)</p>  <p>설명 : 바이러스의 세포 감염에 핵심적인 역할을 하는 스파이크 단백질은 감염 시에 인체 세포 표면 수용체에 결합하면서 접힘(folding)과 재구성(reconfiguring)을 거치게 됨. 분자클램프 기술은 바이러스 단백질 구조가 세포의 표면 수용체 결합 전 단계에서 나타내는 안정적인 구조를 유지할 수 있도록 해주는 기술. HIV-1의 gp41 펩타이드의 헵타드(heptad) 반복 영역 1 및 2로 구성된 분자클램프 부위를 C-terminal에 있는 막관통(Transmembrane, TM) 및 세포질 (CYT, Cytosol) 도메인 부위 대신 결합시키고 안정적인 삼량체가 구성되도록 하여 바이러스 용합 단백질의 안정화를 유도함.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 퀸즈랜드 대학 연구팀이 개발한 특허기술.</li> <li>• 분자클램프를 이용하여 면역반응을 유도하는 바이러스 표면단백질이 합성되는 과정 중에 생기는 형태의 변화를 방지하고 안정적인 형태의 단백질 항원을 생산.</li> <li>• 16주 이내에 항원을 생산 및 정제하여 백신 개발이 가능 (개발현황 : 2020년 12월 퀸즈랜드대학(UQ)과 호주 제약사 CSL이 공동 개발했던 UQ-CSL v451 COVID-19백신에 대한 1상 임상시험 결과 HIV검사에 대한 위양성 반응으로 인해 2/3상 임상시험을 진행하지 않았음. CEPI 역시 1상 임상시험까지 백신 개발에 대한 자금을 지원하였지만 이후 더 이상 자금을 지원하지 않음. 구체적으로, 분자클램프의 구조 중 HIV-1의 gp41 펩티드로 인해 유도된 항체가 HIV 진단에 위양성으로 반응함. 이를 개선하기 위해 분자클램프 삼량체화 도메인에 대한 연구가 진행 중에 있음)</li> </ul>
<p>자가증폭 RNA백신 플랫폼 (self-amplifying RNA vaccine platform)</p>  <p>설명 : 표적 단백질의 정보를 담은 ORF 부분에 바이러스 유전물질 일부와 함께, 자가 증폭에 관여하는 복제 유전자 (RNA 복제효소, Replicase) 서열이 삽입된 형태. Replicase는 capping enzyme, helicase, poly(A) polymerase, RNA-dependent RNA polymerase (RdRP)를 포함하는 다단백 복합체로 다운스트림 항원의 높은 발현을 유발하고 면역원성을 증가시킴. 즉, 인체 세포 안에 들어가서 표적 단백질(항원)과 함께 replicase도 함께 발현되고, replicase는 mRNA를 여러 개 복제해 항원의 발현양 증폭에 기여하게 되며, 이론상으로 하나의 mRNA는 20만 개의 복제 mRNA를 만들어 낼 수 있음.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자가증폭 RNA 백신의 경우 전달된 세포 내에서 복제되어 추가접종 없이 높은 수준의 항원 발현과 면역원성을 보임.</li> <li>• mRNA백신 플랫폼과 동일하게 목적하는 항원의 유전자 서열을 적용하여 신속한 백신 개발이 가능.</li> </ul>

백신플랫폼 중의 하나인 백신프린터 연구개발 동향을 살펴보면, 2019년 1월 CEPI는 CureVac의 RNA프린터 기술에 3천4백만 달러의 자금을 지원했다. RNA프린터는 병원체에 대한 mRNA 백신 후보물질을 신속하게 생산하기 위한 모바일 자동 인쇄 기술이고 CureVac은 2019년 3월부터 향후 3년간 라싸열, 광견병, 황열병 등에 대한 백신 후보물질이 해당 플랫폼을 사용하여 개발할 예정이라고 발표한 바 있다. 현재 광견병은 임상 1상, 라싸열, 황열병은 전임상, 호흡기세포융합바이러스는 전임상, 로타, 말라리아, 유니버설 인플루엔자도 전임상 과정을 진행하고 있고, 백신 프린터는 높이 2미터, 길이 4미터의 컴팩트한 사이즈로 전 세계 어느 지역에서 전체 백신 공장을 대체하는 것이 가능하며 일반 인쇄와 마찬가지로 바이러스에 대한 정보가 프린터에 입력되면 자동으로 적절한 백신이 생산될 수 있다. 그리고 2022년 3월 CureVac은 회사의 RNA 프린터 기술을 기반으로 한 새로운 자회사인 CureVac RNA Printer GmbH를 설립해서 더욱 개발에 집중하고 있다. 2020년 7월 테슬라는 CureVac의 COVID-19백신 생산을 위한 모바일 RNA마이크로 팩토리를 구축한다고 발표했고 이에 따라 테슬라 자회사인 Grohmann Automation이 RNA프린터를 위한 프로토타입 작업을 시작했다. 테슬라는 CureVac과 바이오리액터에 대한 공동특허를 출원하였고 이 특허는 RNA의 생산을 자동화할 수 있는 바이오리액터에 대한 내용이었다. 이에 대해 2020년 11월 일론 머스크는 테슬라가 RNA바이오리액터를 제조하고 있음을 발표했고, 이때 당시 버전2 바이오리액터가 CureVac의 백신 제조에 사용될 것이며 버전3이 개발 중이라고 언급했다. 이후 2021년 6월 CureVac의 코로나19 백신의 임상3상 중간 결과 예방률이 47%로 저조한 효과를 보임에 따라 추후 발표 내용은 현재까지 없는 상황이다.

이뿐만 아니라, 2020년 8월 Codex DNA는 DBC(Digital-to-biological Converter) 플랫폼을 개발해서 백신의 직접 인쇄 및 포장을 가능하게 하여 백신 프린터의 글로벌 네트워크를 통한 즉각적인 배포의 지원이 가능하게 하고 있다. Codex DNA는 세계에서 유일한 자동 합성 생물학 기기인 BioXp 3250 시스템을 개발하여 백신 프린팅에 필요한 대부분의 단계를 수행할 수 있고, DBC 플랫폼은 인터넷을 통해 전송되는 DNA코드를 통해 RNA 및 단백질을 포함한 백신의 활성 성분을 자동으로 프린팅한다. 이를 통해 감염병에서 나타난 공급망 문제를 극복할 수 있다. 또한, 2022년 1월 Codex DNA는 화이자와 라이선스 계약을 체결하였고, 인플루엔자A 바이러스로부터 전장 H1 및 N1 유전자의 구축을 위해 DNA 단편을 효소적으로 합성하는데 사용되는 Short Oligo Ligation Assembly (SOLA)기술을 발표하고, 합성 DNA, RNA 및 단백질 생산을 위한 시간을 획기적으로 줄이고 있다.

위와 같이 신규 백신 개발 및 생산 플랫폼은 mRNA백신 기술 도입 이후 폭발적으로 개발 및 도입되고 있어서, mRNA백신 개발에 있어서 후발주자로 현재 개발에 집중하고 있는 국내 기업들도 적극적으로 신규 백신 플랫폼 기술을 도입 및 적용할 필요가 있다.

### 3. 맺음말

신변종 감염병의 출현과 전파 속도는 빨라졌지만, 감염병 대응 원칙이 진단, 예방, 치료임은 분명하다. 근본적으로 인수공통감염병의 전파를 막기 위해서는 인간-동물-환경의 건강은 하나로 연결되어 있다는 "원헬스, 원메디신" 개념에 따라서, 동물/사람 간의 접점의 근접을 막기 위한 야생동물의 서식지를 파괴하는 무분별한 환경파괴, 야생동물에 의해서 전파된 병원체의 돌연변이 가능성이나 병원성 획득의 가능성을 높이는 대규모의 공장식 축산의 지속 등을 감소시키는 등의 전략도 필요하다. 또한 현재 수행하고 있는 환경, 야생동물, 산업동물 및 인체를 대상으로 감염되어 순환되는 바이러스를 검출하여 분석하는 감시 역학의 강화도 절실하다. 그러나 이러한 기본적인 대응 이외에 앞서 기술한 mRNA백신 플랫폼의 신속성 및 혁신성에서 볼 수 있듯이, 신변종 감염병이 출현했을 때 범용적으로 대응할 수 있는 백신 플랫폼 기술의 선제적인 확보와 그에 동반되는 백신 안전성 및 효능 평가기술의 개발과 빠른 임상진입 전략의 확보가 중요하다. 또한 COVID-19 팬데믹 사태에서 확인한 바와 같이, 신종바이러스 사태의 증식과 지속적인 전파로 인한 바이러스 변이 발생을 막기 위해 백신이 개발되고 난 후, 저개발, 저소득 국가에서 백신 접종의 불평등을 막기 위한 백신 및 콜드체인 유통지원 등도 앞으로 강조되어야 한다.

## 참고문헌

1. IMF working papers. A Global Strategy to Manage the Long-Term Risks of COVID-19 .Richard Hatchett ; Peter Sands., April 5, 2022
2. Wardeh, M., Baylis, M. & Blagrove, M.S.C. Predicting mammalian hosts in which novel coronaviruses can be generated. *Nat Commun* 12, 780(2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21034-5>
3. 질병관리청 해외감염병 발생 소식
4. 조영주, 「일본뇌염바이러스 백신제조주인 Nakayama-NIH주와 Beijing-1주에 대한 중화항체 생산 및 Cytotoxic T Lymphocyte 반응 분석」, 대한바이러스학회지, 2007
5. <https://cepi.net>
6. 양동균, 「기후변화에 따른 돼지 일본뇌염바이러스백신의 개량 연구」 최종보고서, 2014
7. Warimwe, G.M., Francis, M.J., Bowden, T.A. et al. Using cross-species vaccination approaches to counter emerging infectious diseases. *Nat Rev Immunol.* 21, 815&#8211;822(2021)
8. Roth, J. A. Veterinary Vaccines and Their Importance to Animal Health and Public Health. *Procedia Vaccinol.* 5, 127-136(2011)
9. McElwain, T. F. & Thumbi, S. M. Animal pathogens and their impact on animal health, the economy, food security, food safety and public health. *Rev. Sci. Tech.* 36, 423-433(2017)
10. Jones, K., Patel, N., Levy, M. et al. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature* 451, 990&#8211;993(2008)
11. Zhang C, Maruggi G, Shan H, Li J. Advances in mRNA Vaccines for Infectious Diseases. *Front Immunol.* 2019 Mar 27;10:594. doi: 10.3389/fimmu.2019.00594. PMID: 30972078; PMCID: PMC6446947.
12. Krammer, F. SARS-CoV-2 vaccines in development. *Nature* 586, 516-527(2020). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2798-3>
13. Vaccine Platforms: State of the Field and Looming Challenges. Johns hopkins, center for health security
14. 「코로나19백신.치료제 허가심사 가이드」, 식약처, 2020
15. <https://www.curevac.com/en/curevac-establishes-fully-owned-company-dedicated-to-advancing-the-rna-printer/>
16. <https://www.synbiobeta.com/read/codex-dna-demonstrates-momentum-toward-mission-of-building-worlds-first-vaccine-printer-and-global-vaccine-network>
17. Molecular clamp vaccines: lessons from a setback. <https://www.nature.com/articles/d42473-020-00504-2>
18. Nafian, F., Nafian, S., Soleymani, G., Pourmanouchehri, Z., Kiyanjani, M., Jalaei, S. B. , Jeyroudi, H., & Mohammadi, S. M. (2021). Perspective Chapter: Next-Generation Vaccines Based on Self-Amplifying RNA. In (Ed.), *Vaccine Development*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.101467>
19. Wijesundara DK, Avumegah MS, Lackenby J, Modhiran N, Isaacs A, Young PR, Watterson D and Chappell KJ (2020) Rapid Response Subunit Vaccine Design in the Absence of Structural Information. *Front. Immunol.* 11:592370. doi: 10.3389/fimmu.2020.592370

본 내용을 인용하실 경우, 반드시 출처를 표기하여 주시기 바랍니다.

## Vaccine Brief

1<sup>st</sup> Expert Opinion

---

발행일 | 2022년 8월  
발행처 | (재)백신안전기술지원센터  
          | (재)한국규제과학센터

---

전화 | 02-6959-6719    Email | syhong@k-rsc.or.kr