

한국바이오협회 국제협약부문 (BWC) (전화 : 031-628-0026 이메일 : bwc@koreabio.org)  
생물무기금지협약 정보망 [www.bwckorea.or.kr](http://www.bwckorea.or.kr)



## 코로나 및 생물테러: 이 위협이 얼마나 심각한가?

신종 코로나바이러스 팬데믹으로 생물테러에 대한 위협에 다시 주목하게 되었다. 백인 우월주의자 대화방에 서는 “생물학전”에 대한 이야기로 가득 차 있다. ISIL은 바이러스를 “알라의 군인 중 하나”로 불렀는데, 서방 국가들에 치명적인 영향을 미치기 때문이었다. 미국 국토안보부의 최근 자료에 따르면, 테러리스트들은 “생물테러를 그들 사이의 가장 인기 있는 주제로 삼고 있다”고 한다. 유엔과 유럽평의회는 생물테러 공격에 대해 경고하였다.

이 위협이 얼마나 심각한가? 테러리스트들이 생물무기에 매료된 것은 오래되었지만 실패의 역사이기도 하다. 대부분의 경우, 생물작용제를 무기화하는 것과 관련된 기술적 어려움은 극복할 수 없는 것으로 입증되었다. 이것이 바뀔 수 있는 단 한가지는 테러리스트들이 어느 국가로부터 지원을 받는 것이다. 정부는 생물학전에 참여하는 테러리스트에 대해 당황하기 보다 조금도 방심하지 말고 자체 시설의 보안을 철저히 하고, 국제 외교 강화에 집중해야 한다.

### 실패의 역사

질병을 유발하는 유기체와 병원체를 사용하는 생물학전은 전쟁 자체만큼이나 오래되었다. 생물작용제를 무기로 처음 사용한 것은 고대 그리스 지도자가 적의 급수시설에 독을 넣었던 기원전 600년으로 거슬러 올라간다.

중세시대, 특히 흑사병 시대에는 감염된 시체를 포위된 도시로 던지는 것이 일반적이었다. 그리고 두 번의 세계대전 동안 모든 주요 강대국들은 생물무기 프로그램을 유지하였다(일본만이 전투에 사용했지만).

그러나 테러리스트들 사이에서 생물무기의 사용은, 거의 모든 이데올로기적 신조를 지닌 집단에서 고려하고는 있지만, 사용은 드물었다. 최근 사례로는 1970년대 시카고의 상수도를 오염시키려는 음모와, 1980년대 오리건주에서 사이비종교에 의한 식중독, 그리고 1990년대 미네소타 애국자위원회 회원들에 의한 리신 비축 등이 포함된다. 이러한 사례들로는 사망자가 전혀 없었다.

알카에다와 이슬람국가 집단의 생물학전 프로그램도 마찬가지이다. 두 집단이 모두 생물작용제를 구매하거나 훔치거나 개발하려고 하였다. 알카에다의 경우에는 이것이 1990년대의 제1순위 목표였던 것 같다. 당시 그 프로그램은 2인자이자 훈련된 의사였던 Ayman al-Zawahiri에 의해 감독되었다. 이슬람국가의 증거는 이라크군이 포로들의 노트북에서 생물학전과 관련된 수천 개의 파일을 발견한 2014년으로 거슬러 올라간다.

그러나 이러한 노력 중 어느 것도 성공하지 못했다. 생물테러를 주 특징으로 일삼는 유일한 알카에다 음모(2002년 영국에서 소위 “리신 음모”)는 독소가 실제로 생성되지도 않은 초기 단계에서 중단되었다. 2017년 이슬람국가의 가장 심각한 시도에 소량의 리신이 포함되어

있었는데, 유일하게 사망한 것은 검사대상이었던 햄스터였다. 지하디스트들은 살해한 수만 명의 사람들 중 단 한 명도 생물작용제로 죽은 사람은 없었다.

최근 수십 년 동안 가장 치명적인 생물테러 공격이 과학자와 공무원에 의해 저질러진 것은 우연이 아닐 수도 있다. 2001년 말, 여러 미국 상원의원과 언론사 사무실에 서는 이른바 "탄저균 편지"를 받아 5명이 사망하고 17명이 부상을 입었다. 수년간의 조사 끝에 FBI는 발신자가 미 육군 전염병연구소의 미생물학 박사이자 선임연구원인 Bruce Ivins인 것으로 확인하였다. 다른 사람들과 달리 그는 아마추어도 사기꾼도 아니었지만, 수년간의 경험과 세계 최대의 치명적인 생물작용제 저장소에 대한 완전한 접근 권한을 가진 숙련된 전문가였다.

### 기술적 어려움

Ivins의 사건은 왜 그렇게 많은 생물테러리스트가 실패했는지 설명하는데 도움이 된다. 기술적인 수준에서 정교하고 대규모의 생물테러 공격을 시작하려면 독소나 병원체(일반적으로 박테리아 또는 바이러스)를 분리하여 살포해야 한다. 그러나 이것은 생각보다 어렵다. 생물학이나 화학에 대한 고등교육뿐만 아니라 작용제를 분리하려면 상당한 경험이 필요하다. 또한 안전하고 격리된 환경에서 이루어져야지 테러리스트 집단 내에서 확산되는 것을 막을 수 있다. 알카에다가 온라인 잡지에서 밝힌 것과 달리, "당신 엄마의 부엌에서" (생물) 무기를 만들 수는 없다!

또한 살포 문제도 있다. 작용제가 전염성이 매우 강하지 않은 한, 강력한 생물학적 공격은 완벽한 조건에서 상당 수의 초기 감염에 의존한다. 예를 들어 탄저균의 경우, 특정 크기의 포자만이 특정 날씨에 효과적일 가능성이 높다. 국가에서 후원하는 프로그램에서는 무기를 어떻게 사용할 수 있는지 이해하기 위해 수년간의 테스트와 실험이

종종 필요했다. 불가능하지는 않지만 테러 집단이 자원, 안정된 환경 및 인내심을 가지고 있을 가능성은 거의 없다.

### 최후의 날 시나리오

테러리스트가 어떻게든 성공했다고 하더라도, 그 결과로 얻은 "무기"가 최근의 코로나바이러스인 SARS-CoV-2만큼 강력할 것이라고는 도저히 상상할 수 없다. 특히 하게 파괴적인 특징 중 하나는 사람들이 감염이 되었는데도 증상이 발현되지 않는다는 점이었다. 코로나바이러스가 전 세계에 퍼져가는 데도 치료법도 없고 백신도 없고 병리학적 작용기전에 대한 이해도 완벽하지가 않았으며 검사도 쉽거나 비용이 저렴하거나 널리 이용되는 것이 아니었다. 이것은 패치가 나오지 않은 시점에서 발생하는 사이버공격인 "제로 데이 공격(zero-day exploit)"과 같은 바이러스성 공격이었다.

미국질병통제예방센터의 최고 위험 생물작용제 목록에 있는 바이러스 가운데 그 어떤 것도 쉽게 "무기화되거나" SARS-CoV-2와 같은 파괴적인 영향을 미칠 수는 없을 것이다. 천연두, 에볼라, 마버그 및 라싸와 같은 병원성 바이러스들은 발견, 분리 및 확산이 매우 어렵다. 보툴리눔과 리신은 위험한 독소이지만 전염성이 없는 반면, 야토병은 사람간에는 전염될 수 없다. 물론 유행병이 팬데믹을 유발할 수 있지만, 오늘날 대부분의 국가들은 이 특정 바이러스에 대해 잘 준비되어 있고, 국지적인 발병을 제한하고 대처할 수 있을 것이다.

유일하게 상대적으로 구하기 쉬운 토양 박테리아인 탄저만 남는다. 그럼에도 불구하고 고병원성 균주를 분리하는 것이 어렵다. 더 중요한 것은 탄저는 전염성이 없으며 그 포자는 내구성이 있고 감염된 부위는 오염 제거가 어려울 수 있지만 자체적으로 퍼질 수 없다는 점이다.

SARS-CoV-2와 관련해서는 바이러스가 자연적으로

발생하여 실험실에서 유출될 가능성과 최대 감염력을 위해 조작되어 고의적으로 방출되었다는 생각을 구별하는 것이 중요하다. 첫 번째는 가능성은 남아 있지만 다른 설명도 똑같이 - 더 많이는 아니더라도- 그럴듯한 반면에, 두 번째는 Nature Medicine 저널에 실린 광범위한 조사에 의해 밝혀져, SARS-CoV-2는 “실험실 구성체가 아니다 또는 목적을 갖고 조작된 바이러스는 아니다”고 결론이 내려졌다.

테러리스트들이 국가 자원에 대한 접근이 없는 SARS-CoV-2와 같은 바이러스를 조작할 가능성은 사실상 제로에 가깝다. 어쨌든 실험실에서 유출될 가능성은 멀다 하더라도, 이것은 생물안전의 중요성을 다시한번 일깨운다. 정부는 최고 단계의 생물안전등급(level 4)을 가진 실험실에 많은 주의를 기울여왔지만, 박쥐 매개 코로나바이러스에 대한 연구는 그보다 낮은 등급(level 3, 심지어 level 2)에서 정기적으로 수행되며, 대신 유사한 안전 요구사항이 적용되어야 한다.

요컨대 탄저균이나 다른 작용제를 사용한 소규모 공격이 가능할 수 있지만, 고도로 발전된 무기화된 병원체가 대규모 집단 사이에서 확산될 위험성—테러리스트가 시작한 생물학적 최후의 날—은 매우 낮다. 물론 유일한 예외는 테러리스트들이 어느 국가로부터 지원을 받거나 그 대리 역할을 하거나 그 자원을 활용할 수 있는 경우이다. Ivins의 경우처럼 말이다.

### 예방 가능한 재앙

따라서 정부의 우선순위를 국가와 테러리스트 집단이 협력할 가능성을 제한시키는 것에 두어야 한다는 것은 분명해 보인다. 이는 테러리스트가 국가를 통해서만 중요한 생물테러 능력을 확보하는 것이 가능하기 때문이다. 실질적으로 이것은 정보력을 개발하고, 시설의 보안을 철저히 하고, 정부과학자들, 특히 고위험 병원체를 다루는 사람

들을 대상으로 정기적인 심사를 하는 것을 의미한다. 생물보안은 또한 모든 공격의 잠재적 결과를 제한할 수 있는 충분한 자금과 기능을 갖춘 공중보건시스템을 필요로 한다.

적어도, 생물테러에 대응하려면 외교 강화가 필요하다. 1975년부터 시행된 생물무기금지협약은 강력한 국제 규범이지만 이행 조직과 검증 체계가 여전히 부족하다. 이러한 것들이 부족한 상황에서 각국의 정부는 양자 및 다자간 합의, 유엔안전보장이사회 결의 1540(모든 국가들이 핵, 화학, 또는 생물 무기를 추구하는 비국가행위자들에 대해 지원을 제공하지 말 것을 촉구)의 완전한 이행, 역량 강화 프로그램 및 기존 도구의 창의적 사용을 추진해야 한다. 여기에는 이미 리신과 삭시톡신을 다루는 화학무기금지협약이 포함되지만 다른 고위험 독소를 규제하는 데도 사용될 수 있다.

각국 정부가 이를 심각하게 받아들이고 전략적으로 행동한다면 생물테러는 절대 일어나지 않아도 되는 재앙이다.

(WAR ON THE ROCKS: 2020, 6, 22)

## 다음 팬더믹은 자연적인 것이 아닐 수 있다.

신종 코로나바이러스가 실험실에서 만들어졌을까? 이것은 현재 전 세계에 퍼져있는 음모론이다. 이란에서 러시아, 미국에 이르기까지 음모론자들과 책략을 꾸미는 정치공작원들은 중국 연구자들의 것이라고, 혹은 미군의 것이라고 거친 비난을 쏟아내고 있으나 그것을 뒷받침할 증거가 전혀 없다. 현재 모든 데이터는 — 240만 명 이상이 감염되었고 167,000명 이상이 사망하였으며, 전 세계 경제를 초토화시키고, 소련 해군이 미국의 원자력 항공모함을 무력화함으로써 꿈꿔왔던 대혼란을 야기한 — 이 바이러스가 자연계에서 시작되었음을 나타내고 있다. 하지만 다음에 그렇지 않으면 어떻게 될까?

병균은 역사상 모든 전쟁보다 더 많은 사람들을 죽였고, 사람들은 그 모든 전쟁에서 병균을 이용하려고 했었다. 미생물의 존재를 알기 전에도 인간은 감염된 화살촉을 찾으려 했고, 전염병에 걸린 시체를 내던졌으며, 가장 악명 높았던 것은 천연두 균이 묻은 담요를 보낸 것이었다. 과학혁명은 인간이 이 끔찍한 질병에 맞서 싸우는데 도움이 되었지만, 1차 세계대전에서 연합군의 가축을 대규모로 감염시킨 독일의 실험이나 서구에서는 거의 잊혀진 2차 세계대전 당시 일본의 중국에 대한 세균 공격(이로 인해 200,000 이상이 사망)에서부터 소련의 체르노빌 탄저병을 일으켰던 냉전시대의 엄청난 생물무기 비축에 이르기까지, 적어도 한 사례는 그들을 거들며 서로에게 그런 질병을 유발시키도록 조장하였다.

그보다는 규모는 작지만, 우리는 1986년 라즈니쉬 집단이 레스토랑에서 균을 뿌린 사건과 2001년 미국 전역에서 (당시 뉴욕 맨해튼 록펠러 센터에 위치한 내 직장을 포함하여) 특정 대상에게 발송된 탄저균 편지 사건과 같은 생물테러 공격을 보았다. 사담 후세인이 이른바 생물

무기를 비축하지 않았나 하는 공포는 참담했던 이라크 전쟁이 발발한 주요 원인 중 하나였다.

그 사건으로 인한 여러 가지 손실 가운데 하나는 생물 방어에 대한 대중의 믿음이었다. 조지 W. 부시 행정부가 당시 국무장관이었던 Colin Powell 장관의 유명한 “탄저균 약병” 연설을 통해 했던 거짓 경고는 미국에게 부메랑이 되어 돌아왔다. 국민들은 후세인이 생물무기를 가진 것이 아니었고, 누구도 그럴 수 없다고 확신하게 되었다.

이라크 전쟁 후 미국인들은 비이성적인 편집증에서 비이성적인 부정으로 변모하였다. 현재의 코로나바이러스 전염병에 이르기까지 수년간 미국국립보건기관들의 속임수라고 생각할 뿐만 아니라 반백신 운동에서 과학을 부정하는 문화가 급증하였다.

오늘날 미국은 특히 생계와 생명의 부정에 대한 대가를 치르고 있다. 경고는 분명했었다. 위험은 진짜였다. 그런데 취약계층을 대비시키는데 바이오 폭풍 이전의 소중한 평온을 이용하는 대신 도널드트럼프 미국 대통령은 무책임하고 형식적인 제스처로 대응했을뿐만 아니라 공개적으로 바이러스의 위협을 거짓으로 치부하고 경시하는 지적을 하였다. 세계에서 가장 부유하고 가장 강력한 국가가 다르게 행동했다면 얼마나 많은 피해를 예방할 수 있었을까? 얼마나 많은 생명을 구할 수 있었을까? 9/11이 “상상력의 실패”였다면 역사는 의심할 여지없이 COVID-19에 대한 트럼프 행정부의 대응을 용기, 연민, 그리고 무엇보다도 능력의 실패로 판단할 것이다.

그리고 다음 행정부가 방침을 바꿔 신속하게 대응하지 않는다면, 자연적 발생이든 진짜 공격의 결과이든 간에 다음 팬더믹은 계절마다 발병하는 것처럼 보일 수 있다. 러시아가 1972년 생물무기금지협약을 준수하여 그들의



무기고를 파괴했다는 사실을 믿는다손 치더라도, 중국이나 북한은 어떨까? 더군다나 이 나라들은 확실히 국민국가(nation-states)이다.

테러집단, 방어할 땅도 없고 잃을 것도 없는 비국가행위자들은 어떤가? 지난 세기에 유명했던 에볼라 전사였던 Karl Johnson은 다음과 같이 경고했다: "사람들이 인플루엔자, 에볼라, 라싸의 독성과 공기 매개 전파 유전자를 파악하기까지는 몇 달(최대 몇 년)이면 충분하다. 그리고 수천 달러어치의 장비와 대학 생물학 교육을 받은 과학자라면 에볼라가 공원을 산책하는 것처럼 보이게 만드는 버그(유행병)를 만들 수 있다."

이제 존슨의 예측이 곧 다가온다. 약간의 다크-웹 정보와 일부 중고 실험실 장비만 있으면 누구나 곧 지하 실험실에서 DIY 역병을 만들어 대중에게 퍼뜨릴 수 있다.

유전자 조작은 인류가 지금까지 직면한 가장 위험한 위협이다. 누구나 지푸라기를 치명적인 황금으로 만들 수 있기 때문이다. 우리가 대비를 위해 막대한 자본을 투자한 값 비싸고 희귀하고 철저히 보호되는 핵분열 물질들과 달리, 바이오해커는 어디서든 세균을 채취할 수 있다. 그리고 단 한발로 파괴하는 핵 테러리스트들과는 달리, 바이오해커의 폭탄은 몇 번이고 자가 복제될 수 있다.

미래의 세균에 대한 완벽한 방어란 결단코 없다. 행위자가 단독으로 설계자 질병(designer bugs)을 만들 수 있다는 사실은 기성 백신이 없다는 것이다. 그러나 감시 강화, 강력한 공중 보건 인프라, 그리고 가장 중요한 것은 아직 만들어지지 않은 생물무기로 인한 피해를 최소화하는데 있어서 최전선에 있는 전문가들을 믿고자 하는 대중의 의지이다.

하지만 지금 우리가 보고 있는 코로나바이러스와 같이, 악의적인 소행으로 생긴 것이든 우연히 생긴 것이든 간에, 보이지 않는 적은 우리 구성원들 사이에 숨어서 비밀

리에 증가시키고, 우리 몸에 시한 폭탄을 설치하여 어느새 우리에게 타격을 주고 있다. 중국에 가서는 인류가 한 방에 딱 끝낼 수는 없지만 약한 기침 정도로 끝낼 수 있다. 그것은 나쁜 소식이다.

좋은 소식도 있다. 세상은 그것을 멈추게 할 수 있다. 그리고 아무도 그것을 멈추기 위한 완전히 새로운 무기 시스템을 개발할 필요가 없다. 다른 모든 전쟁 수단들과는 달리, 방탄조끼부터 대전차 유도탄에 이르는 새로운 발명품들은 보호를 위해 역발상 발명을 필요로 하지만, 우리가 해야 할 일은 공중보건을 국가안보로 생각하는 것이다.

그리고 우리는 그것을 정말로 잘해냈다. 1918년 유행성 인플루엔자 팬데믹 이후에 인류, 특히 선진국에서는 질병을 감지하고 방어하기 위해 공중보건시스템 네트워크를 구축해 왔다. 최근에 우리는 이러한 네트워크가 악화되게 두고 장사꾼에게 책임을 맡기고 우리 자신의 안전에 대한 투자보다 잘못된 저축을 소중히 여기고 있다.

특히 미국은 그 추세를 반전시켜야 할 필요가 있다. F-35 제트 전투기에 적용되는 글로벌 감시와 같은 시스템에 일종의 자금과 관심을 쏟을 필요가 있다. 미국인들은 세균 전쟁의 위협을 경고하기 위해 끊임없이 노력해온 생물방어초당파위원회(Bipartisan Commission on Bio-defense)와 같은 조직에 더 많은 관심을 기울일 필요가 있다. 그리고 대통령이 발끈한다고 해서 그들과 관계를 끊기보다는 세계보건기구와 같은 글로벌 보건 네트워크와의 협력을 강화하고 미생물 퇴치에서 리더십을 되찾아야 한다.

그리고 공중보건과 국가안보가 하나이기 때문에, 미국은 군대의 막대한 힘을 통합해야 한다. 장병들은 이미 재해상황에 대한 교육을 받았다. 또한 이미 국가대응프레임워크의 재난관리계획에 포함되어 있다. 2014년 에볼라에 대한 연합 지원 작전(Operation United Assistance)에서

처럼 공중 보건전문가들과 함께 싸울 수 있게 되었을 때, 그들은 본국에서 적을 기다리는 대신 해외에 나가 적을 물리치는 힘을 보여주었다.

마지막으로, 위험을 알고 있는 미국인들은 일반 국민을 다시 참여시켜 미세한 위협에 맞서 싸우도록 해야 한다. 자유롭고 열린 민주주의는 국민의 열렬한 지지없이 살 아남을 수 없다. 이런 비극이라도 장점이 하나 있다면, 공 중보건이 당연한 것이 아니라는 경종을 울릴 수 있는 점 이다. 권력자와 미생물과의 전쟁에 맞서 싸우는 자들은 1941년 할리우드가 전쟁을 재현했던 것과 같은 방식으로 전 세계의 스토리텔러들 및 의사소통자들과 파트너가 되 어야 한다. 일반 유권자나 납세자에게는 질병의 원인과 효과적으로 싸우는 방법을 이해하도록 과학과 사실을 다 시 소개해야 한다.

그렇게 하지 못한다는 것은 COVID-19에 도움과 위 안을 준 거짓-치료 장사꾼들, 정책결정가들, 그리고 사이 비 전문가들에게 교육 전선을 넘겨주는 것을 의미한다. 오늘날의 자연적인 전염병에 대한 것만큼이나 위험한 것 은 자신도 모르게 내일의 생물 테러리스트와 내통하는 집 단이 될 수 있다는 점이다.

세계가 국내외의 노력에 동참하고 공중보건의 장벽을 재건하는데 필요한 시간과 돈을 쓸 수 있다면, 자연적으 로 생긴 것이든 조작해서 생긴 것이든 유행병이 우리를 해칠 기회가 없을 것이다.

(Foreign Policy : 2020. 4. 20)

## 향후 치명적인 병원체가 불량 과학자에게서 나올 수 있다.

지난 몇 년간 생물학에서는 새로운 것이 가능해졌다. 바로 세포에 주입할 DNA를 싼 가격으로 "인쇄(printing)"할 수 있게 된 것이다.

다시 말해, 연구용의 새로운 박테리아를 만들기 위해 특정 DNA 염기서열이 필요한 과학자는 이제 실험실에 서 해당 DNA 염기서열을 주문할 수 있다는 의미이다. 이 것은 틈새 기술처럼 보일 수 있다 — 얼마나 많은 생물학 자들이 자신의 DNA를 맞춤 인쇄해야 할까? — 그러나 DNA 합성과 조립("인쇄" 과정이라고 함)은 실제로 놀랍 도록 다양한 용도의 연구에 도움이 되며, 우리가 사는 방 식에 광범위한 영향을 미칠 수 있다. 전 세계의 실험실에 서 DNA 합성 덕분에 매우 중요하고 가치있는 생물학 연 구가 많이 진행되고 있고, DNA 합성 비용이 저렴해질수 록 상황은 더 좋아질 것으로 보인다.

그러나 과학계의 일처리 속도가 급진전될 경우에 자주

그렇듯이, DNA 합성의 진행 속도가 너무나 빨라서 나쁜 행위자들에 대한 조정이 도리어 지체되었다. 개인적으로 는 합성하고 싶은 DNA 염기서열을 전 세계 수십 개의 실험실에 보내 그것을 인쇄하여 다시 보내달라고 할 수 있다.

하지만 1918년에 수백만 명의 인명을 빼앗아간 독감의 원인이 된 독감 유전코드를 인쇄해달라고 요청하면 어떻 게 될까? 위험성이 있다고 생각할 만한 이유가 있는 새로 운 질병에 대한 지시서를 보낸다면 어떻게 될까? 합법적 인 연구를 하고 있었지만 실험실이 최신의 안전기준을 준 수하지 않으면 어떻게 될까?

몇몇 DNA 합성회사들은 주의하여 통제해야 하는 병 원체를 반출하는지에 대한 선별검사도 없이 요청한 것을 보내줄 것이다. (물론 합성 DNA는 살아있는 바이러스는 아니다. 이를 악의적으로 사용하려면 전문지식, 많은 자

원, 값비싼 도구에 대한 접근 권한을 가진 유능한 생물학자가 되어야 할 것이다.)

업계를 선도하고 있는 대부분의 회사를 포함하여 일부 회사들은 배경 확인을 요구하도록 한 미국 가이드라인을 따라 DNA 염기서열을 알려진 위험 목록과 비교하여 확인한 후, 이 위험한 주문을 막을 수 있을 것이다. 하지만 최근 보고에 의하면, 실험실들이 세계 어느 국가의 가이드라인을 따르도록 요구하는 법률 증거가 없다고 한다. 이렇게 됨으로써 주문 과정에 약간의 시간과 비용만 들이고 절차는 무시하게 된다.

바로 이런 이유로 많은 전문가들이 우리가 더 잘해야 한다고 주장하는 이유이다. 시스템을 뜯어고치는 방법들에 대한 제안은 다채롭지만, 모두가 동의하는 한 가지는 바로 1918년 독감이나 신종 코로나바이러스를 인터넷으로 주문하여 집으로 배달시키는 것을 허용해서는 안된다는 것이다.

그리고 전 세계적으로 DNA 주문에 대한 선별검사를 실시하려면 대규모 국제 협력이 필요하다. 지금까지는 그보다 더 간단한 대응책을 조정하는 데에도 어려움을 겪어 왔다.

### DNA 합성 방법

수십 년 전 연구자들은 모든 인간 DNA를 구성하는 염기쌍을 결정하려는 인간 게놈 프로젝트에 착수하였다. 그 범위가 어마어마했고 매우 복잡한 13년간의 프로젝트였다. 정부는 프로젝트 진행을 위해 수십억 달러를 투자해야 했다.

그 이후로 유전학의 세계가 변했다. 새로운 기술은 DNA의 스캔과 조작을 훨씬 더 잘할 수 있도록 만들었다. 지금은 완전한 인간 게놈을 시퀀싱하는데 수십억 달러가 아닌 고작 1,000 달러 정도가 든다. 유전학 연구의 다른 중요한 측면들에 대한 연구비용도 저렴해지고 있다.

### 특히 중요한 것은? DNA 합성

과거에 연구자들은 연구 중인 DNA 염기서열의 사본을 만들고 싶을 때, 원하는 DNA로 생물체를 공들여 복제하고, 접합 기술로 유전자를 삽입하거나 제거하는 것 외에는 선택의 여지가 없었다. 그런데 이제는 바뀌었다. 오늘날의 기술을 사용하면 실험실에서 한 번에 하나의 염기쌍을 추가하여 DNA 염기서열을 인공적으로 만들 수 있게 되었다.

이 과정에 드는 비용은 현재 상당히 저렴하고, 점점 더 저렴해지고 있다. 이 방식으로 염기쌍 당 약 8센트만 추가하면 된다. 인간 유전체만큼 거대한 무언가를 추가하는데도 그렇다. 그러나 많은 소규모 프로젝트의 경우, 필요한 DNA를 합성하는 일이 실용적인 선택안이다. 컴퓨터에 실험실에서 작업하고 싶은 DNA 염기서열이 있으면, DNA 합성서비스를 지시할 수 있다. 그러면 실험실 작업을 위해 준비된 DNA를 받게 된다.

사람 인슐린을 생산하도록 박테리아의 유전체를 변형한 연구원을 생각해 보자. 불과 몇 년 전만 해도 DNA 염기서열(모든 염기쌍을 순서대로 부착)을 "인쇄"하여 생물체에 삽입하여 실험을 시작하는 일은 비용이 많이 들고 매우 번거로운 일이었을 것이다. 아니 불과 몇 년 전에만 해도 기본적으로 불가능한 일이었을 것이다.

하지만 오늘날에는 이런 작업에 드는 비용이 상당히 저렴하다. 온라인으로 적은 비용을 들여 DNA 염기서열을 신속히 주문하여 합리적인 가격에 요청한 DNA를 바로 공급받을 수 있다는 사실은 연구자에게는 놀라운 소식이야 아닐 수 없다.

분명하게 말씀드리겠다. 이는 분명 좋은 소식이다. DNA 합성 능력의 발전은 유망한 새로운 연구를 위한 많은 길을 열어준다. 연구원들은 사용자 지정 염기서열을 테스트하여, 유전자 서열과 그 역할을 더 잘 이해할 수 있게 된다. 이 분야의 진전은 우리가 산업공정을 위해 필요

로 하는 더 나은 의약품, 더 나은 작물, 더 나은 단백질 생산을 가능하게 할 것이다.

그러나 DNA 합성 비용이 저렴하고 쉬워짐에 따라 해결해야 할 중요한 안보 문제가 있다.

### 위험한 병원체의 선별이 어려운 이유

DNA는 이룰 수도 있고 위험할 수도 있기 때문에, 전문가들은 반드시 선별검사를 거쳐야 한데 동의한다. 그러나 대부분의 국가에는 이를 수행하는 방법에 대한 법률이나 지침이 없는 상황이다.

업계를 선도하고 있는 Twist Bioscience사의 생물안보를 담당하는 James Diggans는 “DNA는 본질적으로 이중 용도 기술”이라고 말한다. 이것은 DNA 합성으로 인해 기초 생물학 연구와 생명을 구하는 약물 개발이 더 빨리 진행되지만, 잠재적으로 인류에게 치명적일 수 있는 연구에도 악용될 수 있다는 의미이다. 바로 이것이 오늘날 산업계, 학계, 정부 등의 생물안보 연구자들이 직면한 문제이다. 인쇄되는 모든 염기서열에 대한 선별검사를 거쳐 위험요소가 있는지 확인하여 위해요소를 적절히 처리하고, 많은 유익한 용도를 위해 DNA 합성을 더 신속하고 저렴하게 수행하는 방법을 알아내는 것이 관건이다.

이에 대한 정책이 어디에 있을까? 미국 정부는 위험물 사고를 예방하기 위한 가이드라인을 가지고 있다. 만일 Diggans가 일하는 Twist와 같은 회사에 내가 가서 DNA 염기서열을 요청하면, “고객이 요주의 목록에 있는 대상인가? 걱정할 이유가 있는가?”를 파악하기 위해 그들은 배경 점검을 실시한다고 Diggans는 전했다. 그리고 그들은 내가 라이선스가 있는지, 합법적인 실험실로만 수송되는지 확인한다.

그 다음 단계는? Diggans는 “염기서열을 선별 검사”하거나 알려진 금지대상 병원체와 내 요청을 비교하여 확인한다고 했다. 그리고 내가 위험한 인플루엔자 바이러스를

요청하는 사실을 알게 되면 그들은 내가 연구하고 있는 것을 더 많이 알아내기 위해 내게 연락할 것이라고 한다.

그러나 모든 회사가 이러한 가이드라인을 따르는 것은 아니다(물론 대부분의 합성 DNA는 가이드라인을 준수하는 회사들에 의해 생산되고 있고, IGSC(국제유전자합성컨소시엄)은 그 구성원들을 감시하고 있다). 그리고 가이드라인들은 생물학 연구에서 점점 더 많은 부분을 차지하고 있는 짧은 길이의 염기서열은 다루지 않는다.

“이 기술은 정부 규제기관을 앞질렀다”고 Diggans는 말했다.

따라서 새로운 선별검사와 이 선별검사의 국제적 사용을 뒷받침할 수 있는 새로운 규정이 필요하다. 새로운 선별검사 제도는 선별검사 비용을 지나치게 많이 추가하지 않고, 프로젝트를 위해 저렴하고 신속하게 DNA에 접근할 수 있어야 하는 합법적인 연구자들의 속도를 늦추지 않으면서, 금지된 위험한 염기서열이 포함되어 있는지의 여부를 파악하기 위해 DNA 요청을 확인하는 것을 목표로 삼아야 한다.

NTI(Nuclear Threat Initiative)에서 불법 유전자 합성을 방지하기 위한 메커니즘을 연구하는 Beth Cameron은 “우리는 선별검사를 제대로 할 수 있는 시간적 여유가 있다”고 말했다. NTI는 전 세계의 재난 위험에 중점을 두는 비영리단체로 핵, 생물 및 화학 작용제의 공격과 재해를 방지하기 위해 노력한다. 지난달 스위스 다보스에서 NTI와 세계경제포럼은 DNA 주문을 선별하기 위한 공동 메커니즘을 구축하기 위한 새로운 국제적 노력을 권고하였다. 보고서에서는 선별검사를 표준으로 삼는 것을 목적으로, 전 세계 기업들 및 연구소가 사용할 메커니즘을 구축하고 출시하기 위한 기술 컨소시엄을 만들 것을 권장한다.

NIT는 또한 생명공학 재앙 방지에 역점을 두는 새로운 글로벌 단체를 설립하여 DNA 합성 선별검사를 감독하



게 할 것을 권장한다. 질병이 전 세계적으로 확산될 수 있고, DNA 합성은 어느 곳에서든 이루어질 수 있기 때문에 강력한 국제협력이 필요하다. 많은 국제기구가 협력하고 있지만, 현재로써는 이를 조정할 우수기관이 없는 상황이다.

### DNA 합성 연구에 대한 인센티브 변경

생물안보 연구원을 위해 또 다르게 역점을 두어야 할 문제는 현재 연구가 수행되는 방식에 대한 인센티브를 변경하는 것이다.

일부 회사는 왜 선별검사를 하지 않기로 선택하는 것일까? 선별검사 비용이 많이 들기 때문일 것이다. 매우 긴 문자의 순서를 금지대상 염기서열의 대규모 데이터베이스와 비교하기 위해서는 많은 컴퓨터 실행시간이 필요하다. 잠재적인 문제가 확인되면, 실제 문제가 있는지를 파악하기 위해 전문 생물학자가 필요하다. "DNA 선별검사 비용이 저렴해짐에 따라 비용의 상당부분을 선별검사가 차지하게 되었다"고 Cameron은 말했다.

이것은 옳은 일을 하고 있는 회사를 경쟁에서 불리하게 만든다.

그래서 여기에 또 다른 아이디어가 있다. 선별 가이드라인을 따르는 실험실을 이용하여 DNA 합성을 연구하는 생물학자에게 보조금을 지급하는 것이다. DNA 연구를 위한 대부분의 보조금은 실제로 미국 정부가 지원한다. 최첨단의 합의된 선별 절차를 사용하는 조직에서만 과학자들이 DNA를 구입하도록 함으로써(이렇게 하지 않을 경우 보조금을 받지 못함), DNA 선별검사를 경쟁적 불이익에서 경쟁적 우위를 차지할 수 있는 것으로 전환할 수 있고, 더 많은 실험실들이 이에 참여할 수 있을 것이다.

"이 연구 보조금은 책임감 있게 선별검사를 실시하는 회사에 전달되어야 한다"고 Diggans는 말했다. 가이드라

인을 준수하는 회사에만 연구 보조금을 제공하면, 미국 가이드라인에서 권장하는 선별검사를 하지 않던 회사들도 가이드라인을 준수하게 될 것이다.

### 선별검사에 대한 새로운 기술적 접근방식

일부 연구자들은 시스템이 다른 차원에서도 개선될 수 있다고 생각한다.

MIT의 Kevin Esvelt도 그렇게 생각하는 사람 중 하나이다. Esvelt는 CRISPR 유전자 드라이브에 대한 초기 연구를 주도했으며, 오랫동안 생명공학의 오용에 대해 생각해왔다.

그는 훌륭하게 제안된 선별 프로그램조차도 중요한 한계가 있음을 지적한다. 회사들이 어떤 병원체를 선별하는지 알기 위해서는 우리가 알고 있는 모든 위험한 생물작용체의 DNA 염기서열이 포함된 데이터베이스를 구축해야 한다. 그래야 데이터베이스와 고객의 요청을 대조 확인할 수 있다.

그러나 데이터베이스를 유지하는 데는 몇 가지 문제가 있다. 새로운 병원체가 추가되면 나쁜 행위자도 해당 병원체가 추가되었음을 보고 재미있는 위협이 될 수 있는 것을 알 수 있다. 나쁜 행위자가 선별과정을 거쳐 위험한 DNA를 얻고자 하는 경우, 데이터베이스를 검토하여 그 염기서열에 표시가 되어 있는지를 알 수 있다. 바로 이런 이유로 상당한 보안시스템을 통해 통과해야 하는 검사에 대한 세부정보를 공개하지 않는다.

이 문제를 해결하는 몇 가지 방법이 있다. 하나는 사람들이 잠재적 위해요소들이 포함된 데이터베이스에 전부 접근할 수 있더라도 안전한 종합적인 선별검사 시스템을 설계하는 것이다.

Esvelt가 제안한 해결책은 다른 방향인데, 데이터베이스의 보안을 철저히 하여 접근할 수 없도록 하자는 것이다. 그의 제안대로라면 생물학자뿐만 아니라 암호학자들

이 작업해야 한다. 연구라인에는 몇 가지 요소들이 있다.

현재의 DNA 선별 검사에서는 전문가가 잠재적인 일치 여부를 검토하고, 실제 일치 여부를 결정해야 하는 경우가 있다. 이렇게 하면 비용도 많이 들고 시간도 많이 소요되기 때문에 위해요소들에 대한 데이터베이스가 필요하다.

Esvelt와 그가 함께 일하는 연구자들은 몇 가지 중요한 변경을 원한다. 핵심 아이디어는 현재 시스템에서 계산되는 "거의 일치(near-matches)" 대신 정확한 일치(exact matches)만 계산하는 비교 시스템을 개발하자는 것이다. 그러면 거짓 양성을 줄여 선별을 자동화할 수 있다는 것이다. 이것은 또한 새로운 고객이 요청할 때마다 모든 위험한 생물작용제의 전체 유전체와 비교할 필요가 없다는 의미이기도 하다. 대신, 우리는 위험한 생물작용제의 몇몇 필수 부분, 즉 그러한 작용제가 없이는 기능할 수 없는 부분을 선택할 수 있다. (동일한 기능을 가질 것으로 예상되는 부분의 대체 버전도 찾을 수 있다.)

이는 이상적으로는 이전의 방법으로 확인했을 위험한 병원체를 놓치지 않으면서도 선별할 것이 적고, 선별도 더 신속하게할 수 있다는 것을 의미한다. 그리고 잘못된 손으로 넘어 가면 재앙으로 이어질 수 있는 전체 염기서열의 데이터베이스도 필요하지 않을 것이다. 대신 데이터베이스가 분산되고 암호화되어, 누구나 접근할 수 있는 것은 아니지만 누구나 염기서열은 비교할 수 있다.

### 안전하고보안이철저한DNA연구진행에대한진지한고찰

내가 말한 모든 전문가가 위의 모든 조치가 필요하다고 확신하지는 않았으며, 심지어는 국제적 합의를 얻을 수 있는 것도 아니다. 전문가들은 해시 매칭(hash matching) (Esvelt의 접근 방식)이 현재 선별검사 황금표준인 IARPA의 Fun GCAT를 개선할지 여부에 대해서는 의견이 분분하다. 그러나 DNA 연구 보안을 더욱 철저히 하기

위해서는 좀더 신속하고, 저렴하고, 보다 잘 조정되는 선별검사가 필요하다는 데는 모두가 동의하였다.

보편적으로 사용될 수 있을 만큼 저비용의 안전한 선별 검사 체계를 구축하려면 기술적인 해결책이 틀림없이 중요한 부분이 될 것이다. (주의해야 할 가지 문제: 생물학 실험실에서 자체적으로 "벤치-탑(bench-top)" DNA 합성을 수행할 수 있는 기술이 도입되고 있다. 이러한 기계는 처음부터 선별검사를 실시할 수 있도록 장착될 수 있다. 그러나 선별검사를 가능하게 하는 능력이 없이 출시된다면, 나중에 개조하는 것이 매우 어렵거나 거의 불가능할 것이다.)

그러나 법률 및 규제 변화와 국제 협력도 중요한 부분이 될 것이다. Diggans는 Twist의 선별 작업에 대해 "Twist와 같은 회사, 비영리 단체 및 정부 간에 연합이 구축되었다"고 말했다.

카메론은 NTI 생물안보 혁신 및 위험 감소 이니셔티브 (NTI Biosecurity Innovation and Risk Reduction Initiative)에 대해 "지난 2년간 기업과 기술 전문가들을 통해 글로벌 프로세스를 개발하는 것이 매우 시급한 일이라는 것을 느꼈다. 그러나 생물안보를 기술 연구 개발의 주류 부분으로 만들기 위해서는 많은 작업이 필요하다."

모든 기술적 해결책은 전 세계의 정부와 연구 기금 지원기관들이 그것을 채택하고 실현할 경우에만 세상을 더 안전하게 만들 것이다.

(VOX: 2020. 2. 11)

## Tonix Pharmaceuticals, 합성생물학을 이용하여 천연두 유사 바이러스 합성

2017년, 바이러스학자 David Evans는 합성생물학을 사용하여 1980년에 박멸된 천연두를 유발하는 바이러스와 밀접한 관련이 있는 멸종된 마두 바이러스를 재현하면서 헤드라인을 장식하였다. Evans와 그의 팀은 우편을 통해 필요한 유전물질들을 주문하였고, 연구에 10만 달러를 지출한 것으로 알려졌는데, 그들의 작업의 중대한 영향에 비춰볼 때 적은 금액으로 보인다. 독일의 바이러스 학자인 Gerd Sutter는 Evans의 작업에 대한 언론기사에 대해 사이언스(Science)와의 인터뷰를 통해 "의심의 여지가 없다. 마두로 가능하다면 천연두로도 가능하다"고 말했다. 많은 생물안보 전문가들과 워싱턴포스트(Washington Post) 편집위원회마저도 우려를 표명하였다. Evans에게 보였던 반응을 감안하면, 천연두 바이러스와 관련된 또 다른 미생물이 합성되어 유사한 경로를 올렸다는 소식을 기대할 수 있었다.

하지만 Evans의 마두 연구에 자금을 지원한 미국 생명공학 회사인 Tonix Pharmaceuticals가 올 1월 그 미생물인 우두 바이러스(vaccinia)를 성공적으로 합성했다고 발표했을 때 아무도 주목하지 않는 것 같았다.

세계보건기구(WHO)가 천연두를 유발하는 두창 바이러스(variola virus)를 자연에서 근절한 이래로, 유일하게 알려진 검체는 미국과 러시아에 있는 두 곳의 높은 보안 등급의 시설에 보관되어 있었다. 그러나 바이러스 유전체를 구성하는 기술과 과학이 포함되는 분야인 합성생물학의 발전으로 인해 실험실에서 천연두 바이러스를 만들 수 있게 되었다. 아직까지는 누군가가 그렇게 했다는 증거는 없지만, Tonix의 연구에서 알 수 있듯이 연구자들은 그 선에 엄청나게 가까이 다가가고 있다. 천연두가 근절되기 전인 20세기에 이로 인해 3억 명이 사망하였다. 부주의로

인해 또는 악의로 이 질병이 재유입된다면 전 세계의 보건에 재앙이 될 것이다. 10년 전에 국제안보 저널(International Security)에 썼듯이, 글로벌 생물안보는 생물학전과 생물테러에 의해서뿐만 아니라 위험 병원체를 갖고 있는 실험실 사고로 인해서도 위협에 처할 수 있다.

Tonix는 새로운 합성 우두 바이러스를 조용히 발표하면서, 회사가 미국 미생물학협회(American Society for Microbiology)의 연례 생물방어 과학 및 정책 컨퍼런스에서 발표했던 포스터에 대한 언론발표에 그 뉴스를 묻게 했다. 이 포스터는 Tonix가 TNX-801이라고 부르는 천연두에 대한 백신으로 사용하기 위해 Evans의 합성 마두 바이러스 검사의 진척사항에 초점을 맞추었다. 현재 천연두 백신은 세포 배양기술을 사용하여 증식되는 살아 있는 우두 바이러스를 기반으로 한다. Tonix의 포스터에서는 또한 Tonix가 TNX-1200이라고 부르는 우두 바이러스의 합성 버전을 기반으로 회사가 테스트 중인 또 다른 천연두 백신 후보를 언급한다. 우두와 마두 바이러스는 그 자체로 인간의 건강에 심각한 위협이 되지는 않지만, 합성생물학의 새로운 발전이 문제가 되는 몇 가지 이유가 있다.

Tonix는 나를 비롯한 많은 생물안보 전문가들이 제기한 우려를 명백히 무시하였다. 마두, 두창, 우두 바이러스와 같은 오르토폭스바이러스속(orthopoxvirus) 간의 밀접한 유전적 유사성을 감안할 때, 어떤 것 하나를 만드는데 사용될 수 있는 실험실 기술은 다른 것을 생산하는데도 사용될 수 있다. 즉, 최악의 경우에는 천연두 유발 두창 바이러스를 생산하는데도 사용될 수 있다. 실제로 Evans는 자신의 연구가 "두창 바이러스로도 수행될 수 있다는 엄연한 입증이었다"고 지적한 바 있다. Evans의 실

험실은 마두 바이러스를 합성할 때와 동일한 기술을 사용하여 Tonix용 합성 우두 바이러스를 생산하였다.

논란이 많은 이중 용도 연구의 다른 사례들과 달리, 오르토폭스바이러스속의 합성으로 인한 위험은 어떤 상당한 유익으로도 상쇄되지 않는다. 2018년에 나는 Evans와 Tonix의 마두 바이러스를 천연두 백신으로 사용했을 때의 유익은 과학적 근거가 약하고, 비즈니스 사례마저도 약하다고 썼었다. 우두 합성 사례는 더 모호하다. Tonix는 우두 바이러스를 합성하는 것이 유일한 방법이라고 주장할 수 없다. 1980년대에 근절되어 미국 질병통제예방센터(CDC)에서 보유하고 있는 유일하게 알려진 검체인 마두 바이러스와 달리, 우두 바이러스는 여러 출처에서 널리 이용이 가능하다.

합성 마두나 합성 우두와 같은 새로운 플랫폼을 기반으로 한 새로운 천연두 백신의 비즈니스 사례는 몇 년 전보다 훨씬 약하다. 합성 마두 바이러스를 기반으로 한 백신에 대한 Tonix의 핵심 논거 중 하나는 구형 백신보다 안전하다는 것이다. TNX-1200 백신에 포함된 회사의 합성 우두 균주는 오래된 소위 2세대 천연두 백신 중 하나에 사용된 우두 균주와 "매우 유사"하기 때문에, 이 새로운 합성 백신의 안전성 프로파일이 개선되었다고 보기는 어렵다. Tonix의 사례를 더욱 복잡하게 만드는 것은 현재 더 새롭고 안전한 3세대 천연두 백신을 이용할 수 있다는 것이다. 지난해 미국 식품의약국(FDA)은 복제 불가능 우두 균주를 기반으로 하는 Bavarian Nordic의 JYNNEOS 백신을 허가하였다. 이 백신은 2세대 천연두 백신과 달리 심장을 손상시키지 않고, 면역체계가 손상된 사람들에게도 투여할 수 있다. Tonix는 합성 천연두 백신 후보 중 하나에 대한 승인 및 라이선스를 취득하는데 필요한 벤처 캐피탈이나 정부자금을 유치하기는 어려울 것이다.

새로운 백신과 암 치료법을 개발하기 위해 오르토폭스 바이러스속과 관련된 포스 바이러스(pox viruses)를 사용

하는 과학자들의 현재의 관심 수준을 감안할 때, 합성 생물학을 사용하여 연구를 진행할 수 있는 실험실 기반은 이미 잘 구축되어 있다. 실제로 Evans는 새로운 항암 치료제를 개발하기 위해 유전적으로 조작된 우두 균주를 합성하고자 하는 희망을 표명한 적이 있었다. Tonix의 합성 우두 바이러스 발표에 대해 상대적으로 조용한 반응에서 알 수 있듯이, 오르토폭스바이러스속 합성이 점차 정상적이고 합법적인 연구로 간주되기에는 큰 위험이 있다. 감염성 천연두 바이러스의 합성 버전을 개발할 수 있는 전 세계 실험실 및 과학자들의 출현을 상상하는 것은 어렵지 않다.

오르토폭스바이러스속은 합성하기에 가장 복잡하고 비용이 많이 드는 바이러스에 속하지만, 세계보건기구(WHO)의 과학자문 패널은 "비교적 간소한 실험실에서 바이러스를 다루는 숙련된 실험 연구원이나 학부생"도 이 작업을 수행할 수 있음을 발견하였다. 두창 바이러스의 유전체 서열은 이미 결정되었고 온라인으로도 제공 가능하다. 바이러스 유전체를 합성하는데 필요한 핵심 성분은 DNA이다. 두창 바이러스의 경우에 필요한 것은 유전물질의 약 186,000개의 염기쌍이다. 그리고 현재 생물의학 연구와 생물제조에 사용할 DNA를 생산하여 판매하는 DNA 합성회사의 글로벌 산업이 있다.

세계보건기구(WHO) 패널이 설명한 바와 같이, 실험실에서 필요한 DNA 분자를 획득하면 그 물질을 완전한 유전체로 조립하고, 헬퍼 바이러스를 사용하여 감염성 두창 바이러스를 생성해야 한다. 계산해보면 이런 실험을 할 수 있는 전문지식을 갖춘 실험실이 전 세계에 100개 이상이 있다.

걱정스럽게도 두창 바이러스를 합성하는데 필요한 DNA에 대한 접근을 방지하는 의미있는 국내외 보호장치는 거의 없는 실정이다. 생물안보 위험 및 기타 위협을 추적하는 비영리단체인 핵 위협 이니셔티브(Nuclear



Threat Initiative)의 2019년 글로벌 생물안보 관행 설문 조사에 따르면, 어떤 국가에서도 합성 DNA 판매회사들에게 "의심스러운 당사자들"이 물질을 획득하지 못하게 하라는 요구를 하지 않는다. 씽크탱크(think tank) 역시 위험한 바이러스를 합성하는데 이용될 수 있는 기술의 사용과 같은 이중용도 연구를 규제하는 국가가 5% 미만이라는 사실을 발견하였다.

지난 몇 년 동안 이 분야에서 유일하게 긍정적인 발전이라고 할 수 있는 것은 고객과 이들의 주문을 선별검사하는 DNA 합성회사들의 연합인 국제유전자컨소시엄(International Gene Synthesis Consortium, IGSC)에서 그 구성원들에게 천연두 바이러스 유전체에 고유한 유전자 서열을 합성하는 것을 금지했다는 것이다. 유감스럽게도 이 컨소시엄은 전 세계 DNA 합성시장의 80%에 불과

하기 때문에, 상당 수의 회사들이 아무런 규제를 받지 않고 제품을 만들 수 있고 누구에게 판매할 수 있다.

규제가 느슨한 합성 DNA 시장, 합성 오르토폭스바이러스속 연구의 일반화, 상당 수의 역량있는 시설들과 연구자들이 불량국가, 비양식적인 회사들, 무모한 과학자, 테러리스트 집단이 인류 역사 상 최악의 미생물 재앙 중 하나를 재유입할 수 있는 환경을 만든다.

세계기구, 국가 정부 및 과학단체가 합성 바이러스 연구에 대해 강력한 보호장치를 마련하지 않는 한, 다음 보도자료에서는 합성생물학의 새로운 혁신이라 선전하면서 어느 알려지지 않은 실험실의 무명의 과학자가 천연두 바이러스를 성공적으로 부활시켰다고 발표할 수 있다.

(Bulletin of the Atomic Scientists: 2020. 2. 21)

## 뿌린대로 거두기: 농업테러 대비 사례

수년 간 이익단체, 학계 및 정책 입안자들은 테러 공격에 대한 미국 작물의 취약성에 대해 주의를 촉구하였다. 이 기사는 농작물 수확량을 표적으로 삼는 농업 테러 공격의 역사, 위험성 및 그 결과를 간략하게 검토하고, 최근에 설립된 DHS 대량살상무기 대응(Countering Weapons of Mass Destruction) 사무소가 이 위협에 대응하여 어떤 역할을 할 수 있는지를 살펴본다.

병든 식물을 감염시키는 것은 항상 기술적으로 어려운 작업은 아니며 역사 전반에 걸쳐 이에 대한 사례들이 있다. 1970년대 앨라배마에서 Ku Klux Klan은 흑인 무슬림 농부들의 소에게 제공되는 물에 독을 살포하였다. 또한 1989년도에는 자칭 '사육자(The Breeders)'라고 하던 한 집단이 항공기에 의한 농약 살포에 항의하기 위해 로스앤젤레스 지역에 지중해과일파리(캘리포니아에서 자란 22개 작물에 파괴적인 영향을 미치는 과일파리의 침

입종)를 퍼뜨렸다. 캘리포니아에서는 지중해과일파리 감염이 비정상적인 것은 아니지만, 이 특정 감염의 건수와 패턴은 적신호를 올렸다. 법 집행기관에서는 그 사육자들로부터 지중해과일파리를 의도적으로 퍼뜨린 것은 자신들의 소행이라고 주장하는 몇 통의 편지를 받았다. 몇 달 후, 캘리포니아는 항공기 농약 살포 프로그램을 중단하였다. 1978년에 아랍혁명위원회(Arab Revolutionary Council)는 이스라엘 경제를 해칠 수단으로 액체 수은을 사용하여 이스라엘에서 유럽으로 수출되는 감귤류에 독을 넣었다. 1997년 이스라엘은 팔레스타인 영토에 있는 포도나무들에 화학물질을 분사하여 수백 그루의 포도나무와 거의 17,000톤의 포도를 파괴하였다.

농업에 대한 이러한 공격 외에도 다른 집단에서 이러한 공격을 하겠다고 위협하거나 농업 테러 방법을 연구하였다. 식량 공급에 대한 공격은 가해자 그룹에게 몇 가지 이

익을 준다. 첫째, 식량 공급품을 표적으로 삼으면 심리적, 경제적 효과가 상당할 것이다. 이러한 효과는 생물무기에 관심을 보이고 미국의 경제력을 표적으로 삼는 알카에다와 같은 집단에 강력한 영향을 미칠 수 있다. 둘째, 이와 관련하여 이러한 종류의 공격은 이로 인해 발생할 수 있는 경제적 효과에 비해 비용이 상대적으로 저렴하다. 셋째, 다른 형태의 테러와 마찬가지로 농업 테러는 약한 집단으로 하여금 그들 자신과 표적으로 삼는 국가 간의 권력 불균형을 완화시킬 수 있다. 넷째, 일부 집단은 이러한 공격이 "사람에게 직접 해를 끼치지 않고, 따라서 더 쉽게 정당화될 수 있기 때문에" 농업 테러리스트 전술로 전환할 수 있다. 마지막으로, 농업 테러의 특징은 귀인을 어렵게 만든다. 그래서 이것은 특히 탐지를 회피하려는 집단에게 매력적이다. 농작물에 대한 공격의 효과는 즉각적으로 드러나지는 않지만 약물 노출과 증상 발현 사이의 시간 경과와 같은 여러 요인들에 따라 달라질 수 있다. 경제적 영향도 즉각적인 것이 아니라 그러한 공격으로 인한 장기적인 부정적인 영향이다. 반대로, 이러한 특성은 폭발물에 의해 달성되는 것과 같은 좀더 즉각적이고 동적인 효과에 높은 가치를 부여하기 때문에 다른 집단에게는 농업 테러가 적절하지 않을 수 있다.

농업 테러는 테러리스트 집단에 유리하지만, 그러한 공격을 성공적으로 수행하려면 어느 정도의 기술 숙련도가 필요할까? 총을 습득하거나 사제 폭탄을 만드는 것보다는 복잡하지만, 농업 테러가 조직이 잘 갖춰진 테러리스트 집단의 능력을 넘어서는 것으로는 간주되지는 않는다. 고유의 기술은 사람에게 사용할 생물작용제의 무기화에 대한 장벽으로 종종 인용되지만, 식물 병원체는 무기화하기가 더욱 간단하다. 식물병원체는 자연(자연 발생하는 질병에 이미 감염된 식물에서)에서 얻을 수 있거나 일반적으로 엄격히 통제되지 않기 때문에 인간 병원체보다는 쉽게 확보할 수 있다. 식물병원체에 대한 기본적인 이해

가 필요하지만, 이 정보는 오픈 소스로 제공된다. 생물작용제를 이용한 연구는 일반적으로 특수 장비, 개인보호장비 및 통제된 환경이 필요하다. 그러나 식물병원체는 같은 정도의 어려움이 따르는 않는다. 식물병원체는 인간에게 전염되지 않기 때문에 공격자들은 자신의 건강에 미칠 위험성에 대해 우려하지 않을 것이다.

미국은 대체로 농장 물류와 감시 및 탐지의 약점으로 인해, 농업 테러 공격에 다소 취약하다. 미국 작물은 넓은 지역에서 재배되기 때문에 취약하고, 일반적으로 이러한 지역은 크게 보호되지 않는다. 작물이 재배되는 미국의 전 지역을 보호하는 것은 불가능하기 때문에, 이러한 취약점은 여전히 한 요인으로 남을 것이다. 반대로, 이러한 식물이 상당한 공간을 차지하더라도 많은 작물이 함께 모여 있기 때문에, 이로 인해 테러리스트가 특정 작물 하나를 표적으로 삼고자 한다면 단 한 번의 공격으로도 대량의 수확량을 없애는 것이 상대적으로 쉬울 것이다. 예를 들어 캘리포니아의 일부 카운티에서는 미국 상추의 70% 이상을 생산하고, 애리조나주에서 거의 30%를 생산한다. USDA에 따르면 미국 야채의 4분의 3은 3개 주에서만 재배된다. 또 다른 중요한 취약점은 미국 감시 및 탐지 기능과 관련이 있다. 농장에 대한 보안은 일반적으로 느슨하며, 침입자를 탐지할 만한 작물에 대해 훈련된 감시장비가 거의 없기 때문에 병참 측면에서는 대응하기가 힘들 것이다. 미국 정부는 미국으로 유입되는 불법 식물병원체를 탐지할 수 있는 중간 정도의 능력을 가지고 있다. 모든 생물학적 물질, 특히 쉽게 숨길 수 있는 식물병원체를 탐지하는 것은 불가능하다. 감시 및 탐지 능력을 개선하면 농업 테러 사건의 효과를 방해하거나 축소시킬 수 있을 뿐만 아니라 의도적으로 방출된 것이 아닌 자연 발생한 병원체에 대한 탐지능력도 개선될 것이다.

학자 및 정책 입안자들은 농업 테러가 인간 병원체를 이용한 생물 테러보다 비용이 훨씬 적게 들고 기술적인

장벽도 낮다는 데는 대체로 동의하지만, 상당한 규모의 공격을 테러집단의 기술로 실현가능한지에 대해서는 의견이 분분하다. 필자는 미국과 세계 경제에 미칠 영향과 더불어 테러의 심리기제로 식량 공급에 대한 공격을 심각하게 받아들이는 것이 좋다고 주장한다. 미국의 예방 및 대응 능력에 대한 정확하고 시기 적절한 평가를 받으려면 농업 테러에 대한 대비 및 대응을 담당하는 모든 기관들이 농업 테러 공격에 대응하는 모의훈련을 실시해야 한다. 국토 안보부(DHS)는 최근 “대량살상무기 대응(CWMD) 사무소를 설치하였다. 이 사무소의 임무는 “테러리스트나 기타 위협 행위자들에 의한 대량살상무기

(WMD)를 사용한 미국이나 미국의 이익에 대한 공격을 수행하려는 시도에 대항하는 것이다.” CWMD 사무소가 WMD를 다루는 현존하는 DHS 사무소들을 합병함에 따라, 지도자들은 임무공간과 관련하여 농업 테러를 고려할 기회를 갖게 된다. CWMD 사무소는 제안하는 모의훈련을 후원하고 그 결과를 사용하여 기존의 역량에서 격차를 식별해야 한다. 이러한 격차는 영향을 받는 이해관계자들과 공유해야 하며, CWMD 사무소는 이러한 격차를 해소하기 위한 지원과 전문지식을 제공할 수 있다.

(The Pandora Report: 2020. 2. 20)

## 수송의 어두운 면: 드론에 의한 생물무기 보급 위험 증가

드론이 대테러 및 생물무기 대응 사회의 새로운 도전이 되고 있다. 드론은 농업 테러 행위에서 생물학 및 화학 물질을 수송하고 보급하기 위해 배치될 수 있다. 최근 중국의 갱단과 관련된 사건은 이 방법의 실행 가능성을 보여준다. 다음 기사에서는 이 문제를 좀더 자세히 살펴보고, 이 국제적 도전과제를 밝히기 위해 취해야 할 조치들을 고찰한다.

생물무기(BW)는 본질적으로 (1) 무기화된 작용제(예: 미생물, 독소 또는 장치), (2) 수송 및/또는 보급을 위한 메커니즘/시스템으로 구성된다. 기술적으로 발전한 여러 국가(예를 들어 미국, 중국, 러시아)들은 산업화된 BW 프로그램 가지고 있지만 BW 생산 및 수송은 불량 개발도상국과 비국가 행위자들에게 여전히 어려운 과제이다.

그러나 현존하는 기술과 신흥 실행기술의 출현은 BW 생산 및 보급을 더 쉽고 빠르게 만들 수 있다. 이러한 생산의 촉진 수단에는 CRISPR(Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats)과 같은 유전자 편집 도구 및 기술을 사용하는 것이다.

이것들은 (1) 기존의 미생물과 독소를 변형하여 병리학 적 및/또는 치명적인 특성을 증대시킬 수 있고, (2) 기존의 작용제의 안정성 및/또는 내성을 변경하여 수송 및 분산 기간을 연장할 수 있다. 그리고 (3) 병리학적으로 분열을 일으키거나 파괴적인 작용제를 새로 만들어낼 수 있다.

### 농업 테러: 생물무기 드론 수송 및 보급 사례 연구

드론의 사용으로 수송 및/또는 보급 문제를 해결할 수 있다. 사우스 차이나 모닝 포스트지(South China Morning Post)의 최근 기사에서는 중국 갱단이 드론을 사용하여 돼지 개체군에서 아프리카 돼지열병을 퍼뜨려 여러 무리를 감염시켜 죽게 한 후에 이 병원균을 아시아 전역에 확산시키려고 했다고 보도하였다. 기사에서는 지역 농장 관리자의 말을 인용하였다.

"우리 농장 중 한 곳에서 한때 공중에서 돼지에게 알려지지 않은 물체를 살포하는 드론을 발견하였는데, 나중에 검사해보니 바이러스가 발견되었다."

바이러스가 사람을 감염시키지는 않았지만, 이 전염으로 지역 내 식량 부족을 초래하였고 국제 돼지고기 시장을 혼란에 빠뜨렸다. 또한 중국 갱단은 질병 확산에 대한 대중의 두려움과 반응을 조장하기 위해 잘못된 정보를 퍼뜨렸다. 이런 활동을 통해 농부들에게 돼지를 갱단에게 저렴하게 팔도록 부추겼고, 저렴하게 구입한 돼지를 되팔아 이익을 얻었다.

이것은 노골적인 농업 테러로 생태, 공중보건 및 경제적 불안정을 초래하여 국가 또는 지역의 식량과 생산자원에 영향을 미치고, 대중의 불안을 유발하고, 금융 인프라를 파괴하고, 국가 안보를 위협하는 행위이다.

또한 지역 또는 국가의 가축 및 식물 자원을 훔쳐 다른 국가들(즉, 감염되지 않은 국가들)로 하여금 이에 대한 레이스 제한, 제재 또는 총 무역 모라토리엄을 부과하도록 함으로써, 지역 및/또는 글로벌 무역 및 수익의 손실을 초래하게 할 수 있다. 이렇게 농업에 초점을 맞춘 교전은 다수의 테러리스트 네트워크(예: 알카에다)의 관심사로 알려져 있고, 일반인들은 이를 잘 알지 못했다.

BW를 효과적으로 수송하고 분산시키기 위해 드론을 사용하는 것에 대한 우려를 표명하는 것은 바로 이러한 관점에서이다. 우리가 대경실책한 것은 “대부분의 무인항공기(UAV)는… ‘긴 날개’를 가지고 있어서 무엇이든 묶을 수 있다”는 피츠버그 대학의 국가재난대비센터의 공공국제문제과 교수인 Dennis M. Gormley의 견해 때문이다. Joshi와 Stein이 언급했듯이 드론은 BW 수송 및 보급을 10배까지 증가시킬 수 있다.

### 글로벌 드론 확산과 대량살상무기

드론을 활용하면 (폭탄, 미사일 또는 대면적 분사장치의 사용과 비교했을 때) BW 수송에 필요한 비용, 전문성 및 검사도 제한된다. 행위자(들)는 드론을 사용하여 일부(병과 밀접하게 관련이 있거나 치명적일 수 있는) BW를

비교적 적은 수의 선별된(가축, 식물 또는 사람의) 감시 집단에 수송하여 보급할 수 있는 시나리오를 구상해볼 수 있다.

이러한 활동에는(소셜 미디어와 공영) 언론의 공격적인 오보가 따를 것이고, 이후에는 제한된 수의(BW가 아닌 다른 것을 운반하는) 드론을 사용하기만 해도 대중의 두려움을 일으키고 사람들의 생활방식, 보안 및 기능을 방해할 것이다.

다양한 애플리케이션을 통한 드론의 가용성, 기능 및 이용이 증가함에 따라, 악의적으로 사용될 가능성과 이에 대한 정당한 우려를 가중시키고 있다. Gormley는 “문제는… 국제 규범을 만드는 것”이라고 주장하며, 여전히 많은 국가의 군사 무기공장에 드론이 있다고 말했다. 우리는 이전에 언급했던 무인항공기의 사용이 적대행위에 대한 기준치와 한계치에 모두 영향을 미칠 수 있다는 점에 동의한다.

최근 미사일, 드론 및 관련 기술을 관리하기 위한 주요 조약인 미사일기술통제체제(MTCR)는 2019년 10월 초에 뉴질랜드 오클랜드에서 제32차 총회를 개최하였다. 회의의 일차적 목적은 “MTCR의 활동을 검토 및 평가하고… 대량살상무기(핵, 생화학 무기)를 수송할 수 있는 무인 수송 시스템의 확산을 방지하기 위한 [국가] 파트너들의 노력을 진척시키는 것”이었다.

MTCR 규정을 준수하는 국가들은 300km(~186 마일) 이상 비행이 가능하고 500kg(~1102lbs.)의 탑재화물을 운반할 수 있는 무인항공기(UAV)를 포함하여 카테고리 I 기기에 적용되는 합의 기반 수출통제 목록에 주의를 기울인다. 그러나 어떤 행위자가 이러한 제한기준을 넘지 않는 드론을 획득하여 사용하는 데는 큰 어려움이나 제약이 없을 것이다. 또한 35개국만이 MTCR 회원이고, 몇몇 선진국(예를 들어 중국과 이란)은 비참여국이라는 점에 유의해야 한다.



### 폭풍 극복: 생물무기화된 드론의 대응

그래서 여러 모로 우리는 이러한 요인들이 드론의 사용을 점점 확산시켜 다양한 영역에서 다양한 규모로 파괴적 - 비파괴적 - 효과를 전달하고 전파할 수 있는 무기화된 무인항공기의 존재를 모호하게 만들 수 있는 “최악의 상황”에 기여할 수 있다고 생각한다.

따라서 우리는 다음과 같은 작업이 필수적이며 향후에도 그럴 것이라고 생각한다.

드론이 그러한 방식으로 사용될 수 있는지의 여부와 언제, 어떻게 사용될 수 있는지를 정성적, 정량적으로 평가하고 예측해야 한다.

이러한 우발사태에 대비하기 위한 방법과 도구를 개발해야 한다.

드론 활동의 감시, 감독 및 규제 관리/거버넌스에 대한 보다 엄격한 접근방식을 알리는 담론을 시작해야 한다.

앞서 언급했듯이 “하늘이 무너지지 않으므로”, 드론 사용에 대한 과장된 주장과 두려움은 피해야 한다. 그러나 국가 안보를 위해 곧 하늘에서 떨어질 수 있는 것을 걱정하고 주의를 기울여 대처하는 신중한 조치를 취해야 한다고 생각한다.

미국 국방부에서 조만간 육군이 지휘하는 대무인항공 시스템(C-UAS) 사무소를 설치할 것이라고 발표한 이 시점이 국제적으로 드론의 위협에 대응하는 것과 관련하여 생각과 실천을 조정하는 방향으로 나아가는 단계가 되기를 바란다.

(Defence IQ : 2020. 1. 24)