

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



생물테러 무기로 치명적인 세균이 사용될 수 있다고 경고하는 유엔 사무총장

538,000명이 넘는 인명을 앗아 가고 전 세계적으로 1,160만 명 이상을 감염시킨 코로나바이러스가 지난 12월에 발생한 이래 인간의 삶의 거의 모든 측면을 불안정하게 만들었다.

Antonio Guterres 유엔 사무총장은 지난 주 가난, 기아, 실업 증가를 비롯하여 팬데믹으로 인한 대대적인 파괴의 암울한 경제 시나리오를 제시하면서, 훨씬 더 심각한 재난 가능성, 곧 치명적인 세균을 퍼뜨리는 생물테러 공격의 위험성까지 경고하였다.

그는 "질병을 고의적으로 조작하여 더 치명적으로 만들거나 의도적으로 한 번에 여러 장소에서 유출시킨다면", 일부 방법으로는 이미 그 대비가 부족했을 것으로 드러났다고 말했다.

그는 국제 평화와 안전의 유지에 관한 결의 및 COVID-19 영향에 관한 안보리 회의에서, "그러므로 미래의 질병 위협에 대한 대응을 개선할 방법을 고려할 때, 우리는 질병을 무기로 고의적으로 사용하는 것을 방지하는 데에도 진지한 관심을 기울여야 한다"고 연설하였다.

또한 생물무기금지협약(BWC)은 "질병을 무기로 악용하는 것에 대한 강력하고 오랜 규범"을 규정하고 있으며, 현재 183개 당사국이 있다고 지적하였다.

그는 "아직 협약에 가입하지 않은 14개국이 더 이상 지체하지 말고 가입할 것을 촉구한다"고도 하였다.

1972년 4월 10일에 서명된 BWC는 1975년 3월 26일 발효되었으며, 현재 183개 당사국이 가입되어 있다.

협약에 가입하지 않은 14개국 가운데 차드, 코모로, 지부티, 에리트레아, 이스라엘, 키리바시, 미크로네시아, 나미비아, 남수단, 투발루를 비롯한 10개국이 BWC에 서명하거나 비준하지 않았으며, 서명은 했지만 비준은 하지 않은 4개국은 이집트, 아이티, 소말리아, 시리아이다.

핵전쟁방지국제과학기술자기구(IPPNW)의 전임 프로그램 책임자이자 선임 컨설턴트인 John Loretz는 IPS에 다음과 같이 말했다. "BWC는 광범위한 지원을 받는 강력한 조약이므로 강화되어야 하고, 공중보건 기관과 팬데믹 대응 인프라를 구축하면 생물무기 공격에 대처해야 할 경우에 필수자원이 마련된다는 사무총장의 두 평가가 절대적으로 옳다고 생각한다."

하지만, BWC에 대한 효과적인 감독 및 검증의 장애물 중 하나(아마도 가장 큰 장애물)는 생물학과 제약산업, 그리고 그 협력자들의 로비였다. 이들은 누군가가 합법적인 이유(예, 백신 개발)로 독소를 사용하는지 아니면 금지된 이유(예, 무기)로 독소를 사용하는지 평가할 때 의도를 파악하기가 어렵고, 강압적인 사찰은 영업비밀과 지적재산권을 침해할 수 있다고 주장하였다.

Loretz는 BWC를 강화하고자 하는 사람들은 핵확산금지조약(NPT)과 화학무기금지협약(CWC)에 포함된 것과 같은 조약 준수 도구를 제공하기 위해 산업계의 비협

조를 이겨낼 방법을 찾아야 할 것이라고 말했다.

생물무기, 무기통제, 국가안보 문제의 전문가로 활약 중인 프리랜서 연구원 Jez Littlewood는 IPS에 생물무기의 사용은 의도적인 질병의 이용과 관련된 행위가 될 것이라고 말했다.

"우리는 질병과 전 세계에 미치는 그 영향에 대한 일관된 데이터를 통해 잠재적으로 치명적인 영향을 미칠 수 있음을 알고 있다."

2014년 서아프리카에서의 에볼라 발생, 1919년 인플루엔자 팬데믹, 15세기 이후 유럽탐험가들과 정착민들이 미국으로 가져온 질병은 모두 주민들에게 상당한 영향을 미쳤다. 2017년 데이터도 이것을 명확히 해준다(<https://ourworldindata.org/causes-of-death>).

Littlewood는 그 역사를 추적하면서 생물테러가 확실히 존재하지만 옴진리교(Aum Shinrikyo)가 도쿄 지하철에 화학무기 공격을 한 이후 25년간 생물테러는 낮은 수준이었고 상대적으로 정교하지 못했다고 말했다.

테러리스트들은 지금까지 질병 유발 생물체를 이용하는 것보다는 차량이나 칼, 그리고 기본적인 총기를 이용하여 훨씬 더 많은 인간들을 죽였다고 영국외무성에서 파견되어 제네바 UN에서 근무했던 Littlewood는 말했다.

캘리포니아주 몬터레이에 소재한 제임스 마틴 비확산 연구센터(James Martin Center for Nonproliferation Studies)의 비상주 학자인 John Hart는 IPS에 사무총장의 기본 메시지는 질병 발생에 대한 대비가 곧 고의적인 사고에 대한 대비를 강화하는 것이며, COVID-19 그 자체가 전쟁 방법이나 적대적 목적으로 사용된다는 뜻은 아니라고 말했다.

그는 의료 인프라가 취약하고 사회적 탄력성이 약하다고 지적했다. 따라서 생물 전쟁에 대한 국제적 대비는 더욱 강화되어야 한다.

그리고 더 넓은 글로벌 구조를 강화하기 위해 노력하는 사람들이 있다고 말하였다.

Littlewood는 오늘날 생물무기 제작 장벽이 20년 전이나 심지어 10년 전보다도 낮지만, 의도적으로 대규모의 발병을 일으키는 일은 쉽지 않다는 점에 주목하는 것이 옳다고 했다.

그는 생물테러리스트보다는 국가가 우려되는 생물무기를 개발할 수 있는 기술적, 재정적, 조직적 능력을 가지고 있을 가능성이 훨씬 더 높다고 말했다.

"무기화 및 다중 공격을 위한 고의적인 조작을 위해서는 테러리스트 그룹이 아직 가지고 있는 것으로 입증되지 않은 능력이 필요한데, 그 능력을 거의 가진 것으로 입증된 알려진 그룹은 없다."

Littlewood는 또한 생물테러를 고려할 가치가 없다고 목살해서는 안 된다고 했지만, 지난 25년간의 경험적 데이터는 그러한 무기를 개발하고 사용할 수 있는 능력이 있다기 보다 일부 테러리스트 그룹 사이에서 생물무기에 대한 관심이 훨씬 더 높아지고 있음을 명확히 보여준다.

칼턴대학(Carleton University)(오타와)과 사우샘프턴 대학(University of Southampton)(영국)에서 근무한 적이 있는 Littlewood는 질병 유발 생물체를 무기로 사용하기 위해 의도적으로 독성을 조작하는 행위는 테러리스트보다 국가 주도 프로그램의 영역에서 일어날 가능성이 훨씬 더 크고, 현실에서보다는 할리우드나 소설, 그리고 정치 연설에서 더욱 두드러진다고 말했다.

"어떤 국가도 생물무기 개발에 대한 관심을 공개적으로 인정하거나 주장하지 않는다. 이는 질병을 고의적으로 무기로 사용하는 것에 대한 규범적 제약의 강점이 때문이다."

그럼에도 불구하고 Littlewood는 자연적인 질병 발생에 대한 대비가 부족한 것이 우려되는 바라고 하면서, 자

연적인 질병 발생에 대비하는 것이 생물무기의 고의적 사용에 대한 대응의 기본이라고 지적하였다.

Guterres 역시 예방조치, 강력한 대응능력, 효과적인 대응 대책을 고려하는 포럼의 역할을 강화함으로써 감독 기관이 없고 검증 조항을 담고 있지 않은 협약을 강화할 필요가 있다고 말했다.

다행히 생물무기에 대한 최선의 대응은 자연적으로 발생하는 질병에 대한 효과적인 대책이다. 강력한 공공 및 동물보건 시스템은 COVID-19에 대한 필수 도구 일뿐만 아니라 생물무기 개발에 대한 효과적인 억제책이기도 하다고 그는 덧붙였다.

이 모든 이슈들은 Guterres가 선언한 내년도 BWC 평가회의 의제에 포함되어야 한다.

시리아에서 전쟁 중인 파벌들에 의해 사용되는 화학무기가 생물무기로 분류되는지 묻는 질문에 Hart는 BWC

와 CWC (화학무기금지협약) 모두 독소를 다루고 있다고 답했다.

시리아에서 무기 사용 혐의는 염소, 사린, 머스터드 황과 관련이 있다. 이 물질들은 BWC에 따른 생물무기의 정의를 충족하지 못한다고 그는 분명히 말했다.

시리아 정부는 독소연구를 수행하였으나 사실상 방어적인 성격이다.

이 연구는 화학무기금지기구(OPCW)에 대한 시리아의 선언에 언급되어 있으며, 집행위원회 회의와 EC 회의 주변에서 논의되었다고 Hart는 말했다.

“이 특별한 문제가 이제 거의 해결되었다고 알고 있다. 이 문제는 성명서와 일부 공식 공개문서에 언급되어 있다고 Hart는 말했다.

(IPS: 2020. 7. 8)

국방 전문가, Covid-19 코로나바이러스가 좋은 생물무기가 되는지 탐구

중국 당국은 Covid-19를 유발하는 SARS-CoV-2 바이러스가 우한 바이러스 연구소에서 발생했다는 음모 이론을 반증하기 위해 지난주에 뒤늦게 이 연구소에 기자들이 들어가도록 허용하였다. 그러나 팬더믹이 전 세계로 퍼진 후 몇 달 후에 이러한 개방은 중국에 의한 고의적인 생물테러 행위라는 음모 이론을 완화시키기에는 역부족일 수 있다.

누군가가 이러한 음모 이론을 믿든 믿지 않든 간에 SARS-CoV-2 바이러스가 이른바 “좋은” 생물무기가 될 것인가를 생각해보는 것은 유익한 일이다. 전 세계의 많은 국가(미국, 이라크, 구 소련, 영국, 일본 및 캐나다 포함)가 생물 무기 프로그램을 보유하고 있었으며, 일부 다른 국가(중국, 북한 및 이란)는 생물무기를 개발한다는 의심을 계속 받고 있다.

생물학 전쟁은 인간이나 동식물에 사망이나 장애를 유발하기 위해 살아있는 생물체의 감염성 병원체나 독소를 이용하는 것과 관련이 있다. 무기의 배치는 배설물이나 사체로 적의 수원을 오염시키는 단순한 행위부터 전장예고도로 정교하게 조작된 병원체를 살포하는 행위까지 다양할 수 있다. 우리는 종종 인간이 표적일 것으로 생각하지만, 생물무기는 동식물에 치명적인 경제적 영향을 미칠 수 있다. 적의 돼지 생산량이나 군대에 식량을 공급하는 밀밭을 파괴함으로써 인한 잠재적 파급 효과를 상상해보자.

오늘은 인간에 대한 생물무기 사용에만 초점을 맞추어 있다. 인간을 감염시키는 병원체는 수천 가지가 있지만, 그 상처를 “좋은” 무기로 만드는 병원체는 극소수에 불과하다. CDC는 생물테러에 대한 최고 위험 물질을 “범주 A”로 분류한다. 이 범주의 질병은 대규모 공중보건 비용

을 발생시킬 수 있으므로 대응조치에 대한 투자가 필요하다. 탄저병, 보툴리누스 중독, 유행병, 천연두, 야토병, 바이러스성 출혈열(에볼라 및 마르부르크 바이러스 포함) 등 목록에 나와 있는 많은 질병의 명칭을 통해 수세기 동안 인간이 겪은 고통을 쉽게 알 수 있다.

위에 나열된 물질 중 일부는 국가 지원 프로그램에서 무기로 사용하기에 "바람직한" 것으로 간주하는 특성을 공유한다. (구) 소련 과학자들은 이러한 특성에 대한 점수 체계도 가지고 있었다.

이러한 특성이 무엇인지, 그리고 SARS-CoV-2가 얼마나 일치하는지를 살펴보자.

접근이 용이하다: 박멸되어 현재 애틀랜타 CDC와 러시아의 냉동고에 보관되어 있는 천연두를 제외하고, 범주 A에 속하는 모든 위험 물질들은 비교적 손쉽게 손에 넣을 수 있다. 현재 전 세계에서 쉽게 구할 수 있는 SARS-CoV-2의 경우가 이에 해당한다.

제조가 용이하다: 대부분의 범주 A에 속하는 물질은 대량으로 제조될 수 있으므로 전장 또는 대규모 개체에 뿌릴 수가 있다. 생물무기를 만들기 위해서는 발효 기술(맥주를 만드는데 사용되는 것과 유사)이나 세포배양을 이용한 생산이 필요하다. SARS-CoV-2와 같은 바이러스는 박테리아(예: 탄저균 포자)보다 증식시키기 어렵기는 하지만 증식될 수 있다.

환경에서 안정적이다: 이것은 전장에서 또는 대규모 개체(소규모 공격이나 암살 시도에는 영향력이 크지 않음)에 대해 사용할 수 있는 생물무기의 중요한 특성이다. SARS-CoV-2는 이 기준에 관한 한 해당사항이 없다. 실내 환경에서는 매우 효율적으로 퍼지는 것처럼 보이지만 야외, 특히 햇빛 아래에서는 잘 생존하지 못하는 것으로 보인다.

극소량으로도 널리 확산이 가능하다: 한 사람을 감염시키는데 극소량의 바이러스, 박테리아 또는 곰팡이가 필

요한데 광범위한 감염을 일으킨다면, 더 넓은 지역을 포괄할 수 있는 무기를 만드는데 이상적일 것이다. 지금 당장은 SARS-CoV-2 감염에 얼마나 많은 생물체가 필요한지를 평가하기는 이므로, 얼마나 일치하는지는 명확하지 않다.

감염자 중 높은 비율이 병증을 나타낸다: 무기의 중요한 측면 중 하나는 예측가능성이다. 감염된 자들 중 소수만이 병증이 나타난다면, 병원체의 효과는 이를 기초로 군사적 대응 계획을 세울 만큼 신뢰할 만한 것이 못 된다. SARS-CoV-2 바이러스는 이런 특성에서는 반응을 잘 나타내지 않는다. 이 바이러스에 대해 40% 이상의 높은 비율이 무증상 감염을 보인다. 또 군인 집단의 대부분을 차지하는 18-24세의 청년들에게 미치는 영향은 경미할 수 있다. 즉, 군이 언덕 꼭대기에서 적군에게 SARS-CoV-2 바이러스를 뿌린다 해도 쉽게 공격할 수 있을 정도로 적군이 병증을 나타낼 것으로는 예상할 수 없다.

생물무기 사용자들이 보호받을 수 있다: 생물무기의 사용은 예측이 불가능할 수 있다. 만일 공기 중에 유출되었는데 바람이 엉뚱한 방향으로 불면 자기 편 군대가 감염될 수 있다. 따라서 자기 편 군대를 보호하기 위해서는 백신이나 치료제를 가지고 있어야 한다. 현재 우리는 COVID-19에 대한 "특효약"과 백신이 없는 상황이다. 러시아가 최근에 백신을 개발했다고 발표했지만 실제로 감염으로부터 보호하는지는 또 다른 이야기이다. 현재 전 세계적으로 다른 많은 백신 후보들이 다양한 시험 단계에 있다.

사용 위협이 공황을 일으킬 수 있다: 위협만으로도 혼란을 야기하고자 할 경우에 이것은 효과적일 수 있다. 확실히 우리는 SARS-CoV-2의 결과로 발생한 파괴적인 사회적 영향을 보았다. 사람들이 직장, 학교 또는 다른 지역사회 영역에서 감염되는 것을 두려워하기 때문에, 이런 특성에 대해서는 이점이 있을 수 있다.

전염성이 있다: 이 특성은 양날의 검이 될 수 있다. 일단 유출이 되면, 생물무기는 적군이나 적대 국가를 통해 효과적으로 퍼지기 때문에 “계속해서 주는 선물”이 될 수 있다. 또한 대응책이 없다면 병원체를 유출한 국가로 다시 확산될 수 있다는 뜻이기도 하다. 우리는 SARS-CoV-2를 사용하여 이 시험대를 직접 목격했으며, 일단 개체 속으로 들어가기만 하면 억제하기는 매우 어려웠다.

종합해보면, SARS-CoV-2 바이러스는 생물무기로서 “바람직한” 특성을 가지고 있지만, 아마도 군사적 목적으로 좋은 선택이 되기에는 충분하지 않을 것이다. 그럼에도 불구하고, 전 세계가 팬데믹을 어떻게 억제해야 할지 고군분투하는 것을 계속 지켜보면서, 우리는 새로운 병원체에 대한 우리 사회의 취약성과 팬데믹이 얼마나 심각한 피해를 줄 수 있는지를 분명히 상기하게 되었다. 우리의

적들이 미국이 효과적으로 대응하는 것이 얼마나 어려웠는지에 대해 주목하고 있다는데 의심의 여지가 없다.

이 팬데믹이 입증한 또 다른 중요한 점은 일단 지니가 병에서 빠져나가면 다시 넣는 것이 거의 불가능하다는 것이다. 우리는 통제력을 잃고 결과는 예측할 수 없다. 이것이 바로 1969년 닉슨 대통령이 무기 개발 프로그램을 중단하고 방어적 조치에만 집중하기로 결정했을 때, 미국이 생물무기 사업에서 손을 떼 이유 중 하나이다. 우리가 자연이나 적으로 인해 이런 유형의 어려움에 다시 직면하는 것은 시간 문제일 뿐이다. 지금이 이 팬데믹으로 드러난 우리의 대비와 대응의 취약점을 보완할 절호의 기회이다. 시간은 우리 편이 아니다.

(Forbes: 2020. 8. 21)

과학자들이 질병처럼 확산되는 백신을 연구 중이다. 무엇이 잘못될 수 있을까?

COVID-19 백신이 공용으로 승인되면, 전 세계 관리들은 수십억 명의 백신접종이라는 기념비적인 도전, 까다로운 윤리적 질문으로 가득 찬 물류 작업에 직면하게 될 것이다. COVID-19와 같은 새로운 감염병에 맞서 인간에게 백신을 접종을 하기 위해 복잡하고 자원 집약적인 캠페인을 조율하는 대신, 때때로 동물에서 사람으로 옮겨가는 인수공통 감염병을 원천 차단할 수 있다면 어떻게 될까? 처음에는 소수였으나 점점 더 많은 과학자들이 바이러스의 자가 증식(self-propagating) 특성을 이용하여 질병 대신 면역력을 전파할 수 있다고 생각한다. 신종 코로나바이러스인 SARS-CoV-2와 같은 바이러스를 역이용할 수 있을까?

야생에 퍼질 때 동물 개체군 전체에 면역력을 부여하는 바이러스는 이론적으로 인수공통 감염 확산 사건이 발생하는 것을 막고 다음 팬데믹을 발화시킬 수 있는 불꽃을

끌 수 있다. 예를 들어, 치명적인 라싸(Lassa) 바이러스를 숙주로 삼는 야생 쥐에 백신을 접종하면, 인간 사이에서 미래의 발병 위험을 줄일 수 있다. 최소 20년 동안 과학자들은 이러한 자가 확산 백신(self-spreading vaccine)을 실험해 왔으며, 지금도 계속되고 있고, 이것은 미군의 관심을 끌었다.

명백한 이유로 자가 확산 백신을 포함하여 백신에 대한 대중 및 과학적 관심은 엄청나게 높은 상황이며, 이는 인수공통 감염 위협에 효과적일 수 있기 때문이다. 생물학자 Scott Nuismer와 James Bull은 Nature Ecology & Evolution 저널에 기사를 게재한 후 여름 동안 자가 확산 백신에 대한 새로운 언론의 관심을 불러일으켰다. 그러나 이 주제에 대한 후속 보도에서는 자가 확산 백신을 환경에 방출할 경우의 잠재적으로 심각한 단점을 가차 없이 다루었다.

자가 확산 백신은 실제로 심각한 위험을 수반할 수 있으며, 이를 이용할 경우에 까다로운 질문을 제기한다.

예를 들어, 언제 어디서 백신이 방출되어야 하는지를 누가 결정하는가? 일단 방출되면 과학자들은 더 이상 바이러스를 통제하지 못할 것이다. 자연 바이러스 그러하듯이 돌연변이가 될 수도 있다. 종을 뛰어 넘을 수도 있다. 국경도 넘을 것이다. 예상치 못한 결과와 의도하지 않은 결과가 있을 것이다. 항상 있기 마련이다.

COVID-19, 에이즈, 에볼라, 지카와 같은 신종 감염병과 자가 확산 바이러스의 싸움은 기술적으로는 실현 가능할 수 있고, 유익성도 상당할 수 있지만, 이러한 유익성이 위험성보다도 더 크다는 것을 어떻게 평가할 수 있는가?

작동방식. 자가 확산 백신은 본질적으로 감염병과 같은 방식으로 개체를 통해 이동하도록 설계된 유전적으로 조작된 바이러스이지만, 질병을 유발하기보다는 보호를 제공한다. 양성 바이러스의 채시(chassis)에 구축된 이 백신에는 "감염된" 숙주에서 항체나 백혈구의 생성을 자극하는 병원체의 유전물질이 추가되어 있다.

일부 과학자들은 이러한 백신이 접근하기 어려운 서식지, 열악한 인프라, 고 비용 또는 자원 부족과 같은 문제로 인해 직접 백신 접종이 어려운 야생 개체군에 특히 유용할 수 있다고 말한다. 기본적으로 이 생각은 직접 접종을 통해 소수의 개체에 백신을 접종하는 것이다. 그리고 나서 이른바 이 초기 접종 개체는 만나는 다른 동물들에게 접촉, 성관계, 보살핌에 의해 또는 같은 공기를 마시면서 백신을 수동적으로 확산시킬 것이다. 점차적으로 이러한 상호작용으로 개체 수준의 면역이 구축될 수 있다.

자가 확산 백신은 해충 개체 수를 줄이기 위한 노력에 그 뿌리를 두고 있다. 호주의 연구원들은 바이러스 확산 면역 피임법(virally spread immunocontraception)을 설명하였다. 이 방법은 감염된 동물(이 경우 호주의 비 토착 마우스 종)의 면역체계를 이용하여 자손을 수정하는 것을

막는 것이다. 최초의 자가 확산 백신은 유럽 토끼 개체군에서 2가지 치명적인 감염병 (점액종 바이러스와 토끼 출혈병 바이러스)을 표적으로 삼았다. 2001년, 스페인 연구원들은 메노르카(Menorca)에서 조금 떨어진 스페인의 작은 섬인 이슬라 델 아이레(Isla del Aire)에 서식하는 야생 토끼 개체를 대상으로 백신에 대한 현장 실험을 하였다. 이 백신은 섬에 서식하던 토끼 300마리의 절반 이상에게 퍼졌고, 실험은 성공한 것으로 간주되었다.

2015년에 또 다른 연구팀은 침팬지와 같은 야생 유인원에 사용될 수 있는 에볼라 바이러스에 대한 자가 확산 백신 개발에 대해 생각하였다. 그 이후로 과학자들은 다양한 동물이—박쥐, 조류, 여우와 같은 야생동물부터 개, 돼지, 양과 같은 가축에 이르기까지—자가 확산 백신에 순응하는 것을 보게 되었다.

지금까지 연구원들은 사람 대상 실험용 자가 확산 백신은 개발하지 않았다. 누군가가 이 기술을 적극적으로 연구하고 있다는 명확한 증거도 없다. Nuismer와 Bull은 오히려 자가 확산 백신이 새로운 감염병이 동물에서 사람 개체로 퍼지기 전에 이를 통제하는 혁신적인 접근방법을 제시한다고 주장한다.

인수공통감염병의 확산은 확실히 긴급한 현안이다. SARS-CoV-2, HIV, 에볼라 바이러스 및 지카 바이러스와 함께 지난 10년간 야생동물에서 발견된 인수공통 감염 가능성이 있는 새로운 바이러스들은 천 개가 넘는다. Nuismer와 Bull은 뉴사이언티스트(New Scientist) 글에서 예방이 치료보다 낫다고 말한다. Nature Ecology & Evolution 글에서는 동물을 대상으로 "다양한 인간 병원체를 표적으로 삼는 자가 확산 백신 개발에 착수할 준비가 되어 있다"고 주장한다.

실험 이외에, 과학자들은 야생 개체군에서 개입할 가장 적절한 표적을 식별하고 면역이 유지되도록 하는데 엄청난 기술적 실제적 장애물에 직면하게 될 것이다. 이러한

실질적인 난제에도 불구하고, 훨씬 더 심각한 문제는 자가 확산 백신에 대한 잠재적인 보안 관련 사항이다.

주된 안보 문제는 이중용도이다. 본질적으로 이것은 질병을 예방하기 위해 자가 확산 백신을 개발하는데 사용되는 동일 연구가 고의적으로 피해를 유발하는데 이용될 수도 있음을 의미한다. 예를 들어, HIV가 자연적으로 발생하는 것처럼 감염자나 감염 동물의 면역 체계 장애를 일으키는 바이러스가 도화선이 되도록 조작할 수 있다. 또 유해한 자가면역 반응을 유발하는 바이러스로 도화선을 만들어 인체가 건강한 세포와 조직을 공격하도록 할 수 있다.

생물무기 문제. 연구원들은 자가 확산 백신을 만들려고 할 수 있지만, 이들의 과학 용도를 변경하여 생물무기를 만들려고 하는 사람들이 있을 수 있다. 이러한 자가 확산 무기는 통제할 수 없고 돌이킬 수도 없다.

생물학이 무기화된 역사적 선례를 찾기 위해 깊이 파헤칠 필요도 없다. 아파르트헤이트 시대(apartheid-era)의 남아프리카공화국 생물전쟁 프로그램이 보여 주듯이 사회, 정치적, 과학적 압력은 생물학적 혁신의 오용으로 이어질 수 있다.

남아프리카공화국의 프로그램인 코드명 프로젝트 코스트(Codenamed Project Coast)는 인종차별주의 아파르트헤이트 정부에 위협이 되는 개인에 대한 은밀한 암살무기에 초점을 맞추었다. 독극물을 주입하는 기구를 만드는 것 외에도, 프로젝트 코스트(Project Coast) 연구원들은 설탕 큐브에 살모넬라균을, 담배에 탄저균을 넣는 기술을 개발하였다.

훨씬 더 정교하고 복잡해진 여러 프로그램을 포함하여 많은 생물전쟁 프로그램이 있었지만, 남아프리카공화국 프로그램은 특히 자가 확산 백신의 악의적인 사용을 통한 사고와 관련이 있다. 프로젝트 코스트 연구 프로젝트 중 하나는 인간의 불임 백신 개발을 목표로 하였다.

이 아이디어는 전 세계 인구 폭발에 대해 우려가 널리 퍼지던 시기에 자리를 잡았다. 프로젝트 코스트(Project Coast) 연구소에서 수정 관련 연구를 감독한 Schalk Van Rensburg는 아파르트헤이트 시대의 부도덕한 역사를 조사하여 미래의 평화와 관용을 위한 토대를 마련하기 위한 포럼인 남아프리카공화국의 포스트 아파르트헤이트 진실과 화해 위원회(South Africa's post-apartheid Truth and Reconciliation Commission)에, 그 프로젝트가 세계 보건기구의 세계 출생률 증가를 억제하려는 시도와 일치한다고 말했다. 그는 그 프로젝트로 그의 연구소가 국제적 인정과 자금을 지원받을 수 있다고 믿었다. Van Rensburg에 따르면, 생물전쟁 프로그램의 책임자였던 Wouter Basson은 군대는 여성 군인들이 임신하지 못하도록 불임 방지 백신이 필요하다고 말했다.

이 프로젝트에 참여한 과학자들 중 일부는 은밀한 의도를 자각하지 못했거나, 심지어 그들의 수정능력 연구가 군대 활동의 일환이었다는 사실을 부인했지만 연구소 책임자인 Van Rensburg와 Daniel Goosen은 진실과 화해 위원회에 프로젝트 이면에 있던 진짜 의도는 자신도 모르는 남아프리카공화국 흑인 여성에게 비밀리에 피임약을 선택적으로 투여하는 것이었다고 말했다.

결국 불임 백신은 생산되지는 않았다. 프로젝트 코스트(Project Coast)가 시작된 지 12년 후인 1995년에 공식적으로 종료되었기 때문이다. 초기 버전은 개코원숭이를 대상으로 실험되었지만 사람을 대상으로는 실험되지 않았다. 개체의 일부를 강제로 불임이 되게 하려고 한 국가가 남아프리카공화국만은 아니다. 스웨덴과 스위스를 포함한 유럽 국가들은 20세기 초반 로마 소수 민족에게 불임 시술을 했으며, 슬로바키아와 같은 일부 국가는 그 이후에도 계속하였다. 더 최근에 분석가들은 중국 정부가 산장 위구르족 여성에게 강제 불임수술을 하고 있다고 있다고 주장하였다.

남아프리카공화국의 불임 백신 프로젝트의 목표가 자가 확산 백신에 대한 연구, 특히 약물 유전체학, 약물 개발, 그리고 맞춤형의학의 현재의 발전과 결합할 경우에 어떤 이점을 얻을지 상상의 큰 도약이 필요하지 않다. 종합해보면, 이러한 연구 가닥은 극단적인 표적의 생물전쟁을 가능하게 할 수 있다.

남용 가능성의 확대. 생물무기를 금지하는 조약인 생물무기금지협약(BWC)이 체결된 것도 거의 50년이 되었다. 냉전시대의 한 가운데에서 협상하여 합의된 이 협약은 구식의 운영 방식으로 인해 어려움을 겪고 있다. 또한 중요한 준수 평가 과제를 안고 있다. 협약은 남아프리카공화국이 1980년대 초에 프로젝트 코스트(Project Coast)를 추구하는 것을 확실히 막지 못했다.

자가 확산 백신 연구는 작지만 성장하는 분야이다. 현재 약 10여개의 기관들이 이 분야에서 유의미한 연구를 진행하고 있다. 이 실험실들은 주로 미국에 소재하고 있지만, 일부는 유럽과 호주에도 있다. 분야가 확대되면, 남용의 가능성도 커질 것이다.

지금까지 연구는 주로 국립과학재단, 국립보건원, 보건복지부와 같은 미국 정부의 과학 보건 기금 지원기관에 의해 재정을 지원받았다. 게이트 재단과 학술기관들 같은 민간기구도 프로젝트에 자금을 지원했다. 최근에는 간혹 미국의 연구개발국으로 여겨지는 미국방위고등연구계획국(DARPA)이 연구에 참여하였다. 예를 들어, 캘리포니아 대학(University of California)의 Davis는 현재와 미래에 미국 군사작전 지역에서 새로운 병원체의 위협을 예방하기 위한 유출 가능성 및 중재적 집단 동물 예방접종에 대한 예측(Prediction of Spillover Potential and Interventional En Masse Animal Vaccination to Prevent Emerging Pathogen Threats in Current and Future Zones of US Military Operation)이라고 하는 DARPA 관리 프로젝트를 진행하고 있다. 팜플렛에 따르면, 이 프

로젝트는 "라싸 바이러스...와 에볼라에 대해 높은 수준의 집단면역(야생 개체 수준 보호)을 유도하기 위해 고안된 자가 전파 백신의 세계 최초 프로토타입을 만드는 것"이라고 한다.

방어 또는 보호 목적을 위한 생물학적 혁신에 대한 군사적 투자는 생물무기금지협약에서 허용되지만, 여전히 잘못된 신호를 보낼 수 있다. 이는 국가들이 서로의 의도를 의심하게 만들고 자가 확산 백신을 포함하여 잠재적으로 위험한 연구에 대한 투자로 이어질 수 있다. 연구 결과가 잘못되거나 생물전쟁이 건강과 환경에 대재앙이 될 수 있다.

화학무기에 대한 규범이 퇴행하고 있는 것과 동시에 최근 러시아 야당 지도자 Alexei Navalny가 신경작용제인 노비초크(Novichok)에 중독된 사건—많은 유럽관리들이 러시아를 비난했던 범죄—에 의해 분명히 알 수 있듯이, 국제사회는 생물무기의 사용에 반대하는 규범에 똑같은 일이 일어나도록 할 수 없다. 당사국이 생물학에서 고위험 이중용도 활동을 추구하기를 원할 것 같으면, 조약의 정신을 완전히 무시할 것이다.

자가 확산 백신처럼, 특정 이중용도 문제를 야기하는 과학적 목표와 발전에 대해 초기에 공개적인 선의의 대화를 하는 것은 특정 기술 궤도의 광범위한 관심사를 탐구하는데 있어서 필수적이다. 캘리포니아 대학교 Davis 프로그램은 기술을 안전하게 제어하기 위해 "오프 스위치(off switch)"를 통합하는 방법을 추진하고 있다. 그리고 DARPA는 프로젝트와 관련된 모든 현장 실험이 생물 안전 프로토콜을 따를 것이라고 말한다. 그러나 이러한 서약으로는 충분하지가 않다. 우리의 야망은 사회로서 기꺼이 혹은 기꺼운 마음은 아니지만 나아가고자 하는 기술 경로에 대한 집단적 결정을 내리는 것이 되어야 한다.

(Bulletin of the Atomic Scientists: 2020. 9. 18)

바이러스가 생물학적으로 조작된 것이라면 어떻게 알 수 있을까?

코로나바이러스가 뉴스에 등장하자마자, 우한 연구소 중 한 곳의 실험 결과가 의도적으로 조작되었다는 추측이 나왔다. 바이러스가 자연적인 것이든 조작된 것이든 과학 시설에서 나왔다는 생각은 일부 정치인들이 밀어붙였다. 백악관은 기밀기관에 실험실과의 연관성을 조사하도록 압력을 가한 것으로 알려졌다.

대부분의 과학자들은 바이러스의 유전학에 근거하여, 이 바이러스가 어쩌면 동물에서 사람으로 옮겨간 것이라는데 동의한다. 4월 30일, 미국 국가정보실장은 17개 미국 정보기관을 대표하여 “Covid-19 바이러스는 인공적인 것도 유전자 변형도 아니다”고 선언하였다. 정보기관들은 바이러스가 동물에서 사람에게로 옮겨간 것이라는 가장 가능성이 높은 설명과 실험실 사고로 유출된 천연 바이러스라는 다소 희박한 가능성을 여전히 배제하지 않고 계속 조사하기로 결정하였다.

미국의 정보기관은 성명에서 말했듯이 바이러스가 사람에 의해 만들어진 것이 아니라는 “광범위한 과학적 합의에 동의”한다. 그러나 그들은 어떻게 그 결론에 도달했을까? 조사의 전체 범위는 알려져 있지 않지만 정보기관 내의 한 프로그램인 FELIX를 통해 가설을 구체적으로 조사하였다. FELIX의 분석에 따르면, 이 바이러스는 “외래” 유전자 서열을 사용하여 조작되지 않았으며, 이는 Covid-19를 유발하는 바이러스인 SARS-CoV-2가 사람이 만들거나 다른 생물체를 사용하여 조작된 것이 아니라는 것을 나타낸다.

그러나 “생물조작(bioengineering)”을 확인해내는 것은 어떤 생물체에 대해서도 어려운 작업이다. 바이러스가 조작되었는지 여부를 확인하는 방법이 여러 가지가 있듯이, 바이러스를 조작하는 방법도 여러 가지가 있고, 이것

은 끊임없는 줄다리기와 많은 불확실성으로 이어진다.

IARPA는 국가정보실장 산하에 고위험 연구를 수행하고 차차세대(next-next-gen) 기술을 개발하고 있다. 2018년 FELIX는 생물조작의 지문을 검출할 수 있는 도구를 개발하기 위해 6개의 외부 팀에 자금을 지원하기 시작했다. 이러한 유전적 징후는 누군가가 생물체의 게놈에 손을 댔다는 분명한 표시이다.

게놈은 생물체를 구성하는 유전적 염기의 총 목록이다. DNA에서 이러한 염기는 A, G, C 및 T이다. RNA에서는 A, G, C, U이다. 이것들을 연결하면 “시퀀스”를 구성하며, 생물체를 설명할 수 있는 모든 문자 또는 더 작은 하위집합을 의미할 수 있다.

FELIX 프로그램 관리자인 David Markowitz 박사에 따르면, 게놈 내에서 조작의 지문은 몇 가지 형태를 취할 수 있다. 그것은 특정 시퀀스에서 외래 유전물질로 나타날 수 있거나 정상에서 벗어난(off-kilter) 염기의 복제, 삽입 또는 결실로 나타날 수 있다. 하버드대 대학원생으로 FELIX에서 일했던 Isaac Plant 박사는 다른 플래그들에는 항생제 내성을 암호화하는 것으로 알려진 서열과 “DNA 시퀀스가 변화되었음을 보여주는 “표식(scars)”이라고 하는 짧은 시퀀스들이 포함되어 있다고 말한다. Plant가 설명하는 것과 같은 “조작된 시퀀스”를 총 망라한 목록은 없지만 실험실에서 DNA를 조작하는 분자 도구를 제공하는 애드진(Addgene) 같은 서비스에서 빅 데이터베이스를 관리한다.

FELIX의 도구는 한 회사의 맞춤형 효모 균주가 경쟁사의 실험실에 나타난 경우와 같이 누군가가 다른 누군가의 생물학적 IP를 훔쳤는지를 파악하고, 새로운 세균의 자연성(naturalness)을 조사할 수 있다. RNA 바이러스인

SARS-CoV-2에서 FELIX는 최초의 대규모 실제 테스트 (real-world test)를 받았다.

Markowitz는 “FELIX [팀]이 조작 감지 플랫폼의 첫 번째 작동하는 프로토타입을 개발하는 데는 18개월이 걸렸다. “이 생물안보 위협이 처음 나타났을 때, 그들은 SARS-CoV-2에 대해 연구할 만반의 준비가 되어 있었다.”

그리고 1월에는 MIT-Broad Foundry의 한 팀이 FELIX 도구를 “SARS-CoV-2가 실험실에서 조작되었다고 주장하는 온라인 상의 이야기의 진실성을 검사”하는데 사용하였다. 이 검사의 결과가 완전히 공개되지는 않았지만, 해당 화면의 팝업 창에는 시스템을 이용하여 “밀접한 관련이 있는 바이러스들과 관계가 먼 바이러스들의 계통”을 포함하여 5천 8백만개의 알려진 유전 시퀀스에 대하여 바이러스 계통을 비교하였다고 공지한다. 이 도구는 10분 내에 바이러스의 구성이 다른 어떤 생물체보다 자연 발생한 코로나바이러스의 구성과 일치하는 것을 확인하였다. “이 분석은 외래종의 시퀀스가 SARS-CoV-2로 조작되지 않았음을 나타낸다”고 IARPA는 밝혔다.

이 말은 확정적인 것 같다. “하지만 실제로는 조작을 배제하지 않는다”고 생물안보를 중점 연구하는 킹스 칼리지 런던(King’s College London) 소속 선임연구원 Filippa Lentzos 박사는 말한다. 그것은 바이러스가 특정 방식으로 조작되지 않았음을 의미한다.

SARS-CoV-2를 연구한 MIT-Broad 팀은 인터뷰를 거절하였다. 그들의 커튼 뒤에 무엇이 있는지에 대해서는 잘 알려져 있지 않지만, 다른 FELIX 자금 지원 팀들은 기꺼이 공유하였다.

Eric Young 박사는 우스터 공과대학교(Worcester Polytechnic Institute)에서 효모공학을 연구하지만, 합성 생물학 회의에서 정책담당자들과 정부윤리학자를 만나면서 생물안보에 대해 더 많은 생각을 하기 시작했다. 그들

은 맞춤형 생물체를 그렇게 쉽게 만들어낼 수 있는 것에 대해 우려하였다.

새로운 의약품을 개발하는 것처럼 “우리가 여기서 만 들고 있는 것은 문명사회를 위해서는 큰 도움이 될 것이다”고 Young은 말한다. “그러나 모든 기술의 역사가 알 수 있듯이, 인류 역사에서 여러 차례 이러한 기술 발전은 무기 용도로 변경되었다.” 지금까지 합성생물학을 사용하여 생물학적으로 조작된 무기를 만드는 사람의 예는 없다고 그는 덧붙인다.

Young이 FELIX를 위해 작업한 도구는 먼저 생물체의 전체 계통의 서열을 밝혀준다. 그런 다음 주석과 함께 그 문자를 과학자에게 다시 전달하여, 만일 있다면 어떤 유전 부분이 수정된 것 같은지 묻는다. 그러면 그 시퀀스를 효모공학 시퀀스의 표준목록이나 사용자가 입력하는 사용자 지정 시퀀스 목록과 비교하여 조작을 확인한다.

Young은 “향후 버전에서는 기계학습을 이용하여 부분 목록 없이도 DNA 시퀀스를 조작된 것으로 표시할 것이다”고 말한다. 현재로서는 효모 시퀀스로 작동한다.

또 다른 FELIX 수상자인 Ginkgo Bioworks는 전산생물학과 알려진 조작된 시퀀스들의 자체 데이터베이스를 활용하여 문제에 접근하고 있다. 회사는 종종 그 반대되는 측면인 생물체 자체를 디자인하고 조작하는 편에 섰다. “이 프로그램을 위해서만 우리는 IARPA와 국립연구소들이 선택한 생물체 패널 전반에 유전공학 기술과 디자인 스타일을 반영하는 6백만 개 이상의 시뮬레이션을 거친 조작된 계통을 만들었다”고 회사 디자인 책임자인 Joshua Dunn 박사는 말한다.

Dunn은 계속해서 “우리는 정말로 이 테이블에서 화이트 햇 해커(white-hat hacker)가 되고 싶었다”고 말한다. 이렇게 해킹하기 위해 Ginkgo는 여러 다른 방법들을 사용한다. 먼저, MIT-Broad Foundry가 SARS-CoV-2에 대해 했던 것처럼, 한 시퀀스를 알려진 자연 표준 시퀀스

와 비교한다. 그리고 나서 동일한 입력 시퀀스에서 알려진 조작 특징을 찾아본다. 세 번째로는 그 유전자 알파벳의 분포를 분석한다. 마지막으로, 그 모든 정보를 팀이 작업 중인 융합 엔진으로 흘려 들어가게 하여, 세 결과를 나란히 평가하여 최종 결론을 도출한다.

Draper Laboratory에서 Kirsty McFarland 박사가 이끄는 FELIX 그룹은 감지의 다른 측면에 초점을 맞추었다. 바로 토양이나 물과 같이 생명체로 가득 찬 환경 시료에서 조작된 생물체를 택하는 방법이다. 그들은 ‘알려진 생물체에 대한 알려지지 않은 변화와 잠재적으로 알려지지 않은 생물체에 대한 알려진 혹은 의심되는 변화’, 이 두 가지 종류의 생물 조작을 정확히 찾아내기 위해 별도의 방법을 개발하고 있다. 새로운 병원체인 SARS-CoV-2는 후자의 범주에 속한다.

첫 번째 방법은 발견하는 게놈을 발견할 것으로 예상되는 유전자 시퀀스의 데이터베이스와 비교하는 것이다. 두 번째는 이전에 알려지지 않은 생물체의 게놈 내에서 관심이 있는 시퀀스(조작 특징이 될 수 있는 코드 조각들)를 검색하는 것이다. 현재, 두 번째 방법은 100만 개 또는 그 이상의 완전히 자연적인 것을 포함하는 시료에서 단 하나의 조작된 존재를 검출해낼 수 있다.

Harvard에서 Elizabeth Libby 박사가 이끄는 팀은 다른 조작된 생물체를 감지하는 조작된 세포인 "바이오센서"를 연구하고 있다. 당연히 Boston 그룹은 던킨 도너츠 맵킨에 센서의 기본을 스케치하는 것으로 시작하였다. "기본적으로 근처에 있는 모든 DNA를 진공으로 빨아들일 수 있다"고 Libby는 말한다. 그런 다음, 인식하도록 사전에 프로그래밍된 DNA 특징이 무엇인지 포착하게 하여, 신호를 증폭한 다음, 불이 켜지면서 "알았다!"라고 말한다.

FELIX의 경우, 그들은 공학의 공통적인 특징에 반응하도록 바이오센서를 프로그래밍하였다. 그러나 이 기술은

광범위하게 적용된다. "우리가 구상하는 것은 장래에, 여러분이 공기 조화기나 병원 표면 또는 상수도에서 병원균을 검출하고자 할 경우에 항상 수동적으로 감지하는 일회용 카트리지를 가질 수 있다는 것"이라고 Libby는 말한다. "관심 있는 것"이라고 부르는 것을 감지하면, 그것이 조작 정보이든, 코로나바이러스든 아니면 다른 유전적 시퀀스이든 간에 카트리지의 불이 켜져 신호를 보낸다. 조명은 성공해냈다. 우리가 지금 겪고 있는 것과 같은 팬데믹에서 그러한 기술은 적이 사무실 건물 내부에 숨어 있는지 알아내는데 유용할 수 있다.

현재 형태에서 이러한 방법들은 대체로 동일한 한계를 공유한다. 즉, 알려진 생물체의 기록이나 알려진 조작 특징에 의존한다. 다시 말해, 비교 기준이 될 표준 목록이 필요하다. IARPA 웹 사이트에서의 보고는 MIT-Broad Foundry도 그렇다는 것을 의미한다.

바로 그게 문제다. 현재 대부분의 분석은 기존 데이터와 조작의 다양한 성격에 대한 가정에 의존한다. Plant는 "조작을 시도하는 모든 사람은 조작을 알아내고자 하는 사람만큼 잘 알고 있다"고 말한다. "그래서 직무상 군비 경쟁을 하고 있는 것이다. 조작된 것을 알아낼 수 있는 능력을 완전히 가질 수는 없다."

MIT-Broad Foundry의 SARS-CoV-2 분석에서는 FELIX 팀들 간의 공통 방법이었던 바이러스가 다른 생물체의 일부와 결합했다는 생각을 배제하였다. 그러나 많은 병원체가 데이터베이스에 포함시키지 않은 게놈을 가지고 있다. 브로드 연구소(Broad Institute)에서 박사 후 연구원으로 활동하고 있는 Alina Chan 박사는 "발견되었지만 공유되지 않은 모든 바이러스를 통제할 수는 없다. 많은 과학자들이 그들의 연구를 발표하기까지 수년이 걸린다. 내가 원한다면 10년간 일부 데이터를 비축할 수 있다. 이에 관한 법이 없다"고 말한다.

이러한 지연은 정상이지만, 그럼에도 불구하고 FELIX

와 같은 활동을 방해한다. 일부 조작 경고 도구가 표절 감지기처럼 작동하여, 생물체에 훔친 정보원이 포함되어 있는지를 확인하기 때문이다. 게으른 표절자는 알아채기 쉽게 그저 전체 문단을 복사하여 붙여 넣기(CTRL-C, CTRL-V)할 것이다. 좀더 나은 감지기는 누가 thesaurus.commed 몇 단어를 썼는지 확인할 수 있다. 슈퍼 감지기는 연구계획서(term paper)가 Slate 에세이를 모델로 한 것인지를 알 수 있을 것이다. 조작 감지기와 같은 모든 표절 감지기는 게시된 정보원의 확실한 목록을 필요로 한다. 누군가가 야생에서 발견된 미 공개된 바이러스를 조작했다면, 찾아내기가 훨씬 더 어려울 것이다.

Plant는 더 광범위하게 땀질 탐지에 대해 다른 비유를 사용한다. "조작된 생물체를 감지하는 것은 단어가 의도적으로 만들어진지를 감지하려는 것과 같다"고 그는 말한다. "절대적 신뢰를 가지고 그렇게 하려면, 지금까지 존재했던 모든 단어들과 현재 우연히 만들어지고 있는 모든 단어를 알아야 한다. 그것은 아주 충실하게 조작된 생물체를 탐지하는 것처럼 불가능하다." FELIX와 같은 활동은 생물체가 조작되었는지를 파악하기에 충분히 완비되지 않을 수 있다.

FELIX의 SARS-CoV-2에 대한 기존의 분석은 공개적으로 알려진 시퀀스를 병원체에 넣은 과학자들의 작업을 알아낼 것이다. 덜 불운한 생명공학자는, 그들이 만들어 내려고 하는 생물체가 무엇이든, 은밀한 방법을 사용할 것이다. 가명으로 어떤 사건에 침투하려면, 세계에서 가장 잘 알려진 유명인의 여러 모습을 따라 하고 왈츠를 추며 방으로 들어가는 것과는 반대로 모르는 사람으로 변장을 해야 할 것이다"고 Chan은 말한다.

FELIX가 제공한 것은 SARS-CoV-2가 한 유명인의 눈과 또 다른 유명인의 귀로 만들어진 것이 아니라는 증거이다. 배제했던 유용한 가설이다. 조지 메이슨 대학교(George Mason University)의 생물방어 대학원 프로그램 책임자겸 부교수인 Gregory Koblentz 박사는 "이것은

툴킷의 제한된 응용이었다"고 말한다.

FELIX가 유전 조작을 완벽히 감지한다고 하더라도, 그 발견은 답보다 더 많은 질문을 제기할 것이다. 질병이 발생하는 경우에 정보 및 보건 관리들은 여전히 세균이 어디서, 누구에 의해, 왜 조작되었는지를 알고 싶어할 것이다. Koblentz는 "그렇게 하려면, 기술적인 부분뿐만 아니라 정보와 법 집행의 다양성에 대하여 훨씬 더 많은 정보가 필요하다"고 말한다.

FELIX는 그러한 질문들을 다루지는 않는다. 그러나 다른 질문들을 꺼낸다. FELIX의 명시된 목표는 생물안보를 강화하는 것이지만, 그 기술은 어쩔 수 없이 이중 용도이다. 즉, 방어일 뿐만 아니라 공격이다. 생물조작을 감지하는 방법을 안다면, 이론적으로 자신을 숨기는 방법을 이해한다. 그런 식으로 FELIX는 국제사회에서 생물무기와 관련된 관습을 위반하지 않고 공격 능력을 광고하는 수동적 과시로 볼 수 있다. IARPA는 발표 당시에 이중용도에 대한 질문에는 답하지 않았다.

FELIX와 같은 프로그램도 세계에 두 번째 메시지를 보낸다. Koblentz는 "[이 연구]는 점점 더 정교해지는 생물공학의 확산이 우리가 감지할 준비가 되어 있지 않은 새로운 잠재적 위협을 만들고 있다는 인식에 의해 추진되었다"고 말한다. "이것은 또 다른 기습 공격을 막기 위해 진주만을 막으려는 것이다. FELIX는 그 중 하나 일뿐이다. IARPA에는 다른 것들이 있다. DARPA에도 다른 것들이 있다."

다시 말해, 이러한 프로그램을 이용하여 미국은 세계에 '생물학적 위협이 분명한 현재의 위협을 제시할 수 있다'고 생각한다고 말하고 있다. Lentzos는 그 결과는 다른 국가들을 더 많은 병원성 연구 경로로 이끌어, 뒤쳐지지 않도록 할 수 있다고 생각한다. "여러분이 단지 자신을 보호하려고 하는 동안에도, 여러분은 실제로 위협을 만들고 있는 것이다"고 그녀는 말한다.

(Medium: 2020. 8. 5)

강화된 독감 바이러스가 실험실에서 우연히 유출될 경우 발생할 수 있는 팬데믹 위험성 용납할 수 없을 정도로 높아

세계보건기구(WHO)에 따르면, 계절성 인플루엔자 바이러스가 1~2년 내에 전 세계로 확산되어 세계 인구의 10~25%를 감염시키고, 약 29만~65만 명이 사망하였다. 약 80억 명에 달하는 세계 인구를 기준으로 사망률은 0.0036~0.0081%이다. 많은 이들이 계절성 인플루엔자를 특별히 위험하다고 생각하지 않는 것은 당연하다. 우리 중 누구도, 또 가까운 지인 중 누구도 죽지 않을 수 있다. 하지만 대신에 인플루엔자 바이러스가 실험실에서 만들어져, 어떤 방식으로든 실험실 밖의 지역사회로 유출되어 전 세계로 확산되어 29만~65만 명의 사망자를 낸다면, 우리는 실험실로 인해 이러한 사망이 초래되었다는 사실에 분노할 것이다.

인플루엔자 바이러스가 지역사회에 유출되는 실험실 사고의 위험성을 고려해야 하는 이유는 무엇일까? 그 이유는 바로 여러 국가의 실험실에서 과학자들이 이른바 이러한 바이러스의 강화 연구를 계속하고 있기 때문이다. 모든 인플루엔자가 인간에게 영향을 미치는 것은 아니지만, 일부 실험실에서는 조류 (또는 새) 인플루엔자 바이러스를 포유동물에게 전파시킬 수 있도록 변형시키는 실험을 수행해왔다.

실험실에서 만든 위험 병원체에 대한 연구를 진행하는 각 시설은 해당 병원체가 지역사회로 유출됨으로써 발생하는 모든 팬데믹의 결과를 감당해야 한다. 이런 문제가 발생하는 것은 적어도 다음 세 가지 경우이다.

(1) 미 검출된 또는 미 보고된 실험실 획득 감염이 있었는데, 감염된 실험실 연구원이 근무를 마치고 실험실을 나와 지역사회로 돌아가는 경우. 이런 유출 시나리오에 대해서는 데이터가 상당히 많으므로, 실험실의 유출 가능성을 추정할 수 있다.

(2) 바이러스의 특성을 잘못 분석하여 무해한 것으로 판단하고, 추가 연구를 위해 생물밀폐를 해제하거나 생물 안전 등급이 낮은 실험실로(예, 생물안전 3등급 실험실에서 생물안전 2등급 실험실로)로 옮기는 경우

(3) 정신적으로 불안정한 실험실 연구원이나 악의적 의도를 가진 자가 고의로 지역사회에 유출시키는 경우

실험실에서 위험한 병원체를 만드는 이유는 무엇일까? 실험실에서 바이러스를 만들거나 강화하는 연구를 하는 것은 흔하다. 실제로 미국, 네덜란드, 중국 등의 14개 연구기관에서 공기로 전파되거나 포유류에 접촉 전파되는 실험실에서 만든 고병원성 조류 인플루엔자나, 사람들이 더 이상 면역력을 갖고 있지 않은 1918 독감과 같은 팬데믹 인간 인플루엔자 균주에 대한 연구를 수행하고 있다.

2012년 네덜란드와 위스콘신 대학의 연구원들이 포유류에서 공기를 통해 전파될 수 있는 살아 있는 H5N1 조류 바이러스의 생성과 관련하여 2가지 연구를 발표했을 때, 실험실 강화 바이러스를 포함한 연구(기능획득 연구라고도 함)를 진행하는 것이 너무 위험한 것이 아닌가에 대한 논쟁이 있었다. 2017년에는 미국 정부가 보건복지부에서 이러한 연구에 대한 자금 지원 결정 방법에 대해 새로운 규정을 발표했지만, 이 규정은 국립보건원이 자금을 지원하는 연구에만 적용되었고, 위험한 연구조차 정부의 지원을 받을 수 있을 정도로 모호하다.

2012년 논란이 된 연구 중 하나를 발표했던 네덜란드 에라스무스 대학교수인 Ron Fouchier는 자연에서 바이러스가 인간에게 전파되는 방법을 안다면, 이런 바이러스를 생성하여 사전에 백신을 만들 수 있다고 주장한다.

그러나 포유류 사이에서 자연 전파되지 않는 인플루엔자 백신을 만드는 일은 시기상조일 수 있다.

Kaiser Permanente의 최근 연구에 따르면, 인플루엔자 백신은 독감 시즌 동안 효과가 떨어진다. 독감에 걸릴 위험은 예방접종 후 28일마다 약 16%씩 증가한다. 독감 시즌에 시간이 경과함에 따라 효과가 떨어진다는 사실은 자연에서 고병원성 조류 인플루엔자로부터 보호하기 위해 사전에 백신을 만들자는 아이디어에 의문을 제기한다.

실험실에서 강화된 조류 인플루엔자는 가장 걱정스러운 병원체 중 하나이다. 높은 사망률을 초래하는 전 세계적 팬데믹의 씨를 뿌릴 수 있기 때문이다. 일부 국가에서는 기능 획득 연구를 수행하는 과학자들에 대해 사전 감독이나 규제를 하지 않아서 위험을 증가시킬 수 있다. 미국에서조차도 2017년 심사 과정은 불충분했다.

조류 인플루엔자는 매우 치명적인 바이러스이다. H5N1 조류 독감 바이러스는 2003년과 2019년 중반 사이에 가금류와 밀접한 접촉으로 감염된 인간들 사이에서 거의 53% (860건의 사례 중 454명 사망)의 치명율을 보였지만, 인간 간에 전파되는 경우는 드물다. 지난 1년 동안 인간 H5N1 사망자는 거의 사라졌지만, 이런 상태가 계속 유지되지 않을 수도 있다. 아직 남아 있는 실험실에서 만든 오래된 균주가 지역사회로 유출될 우려는 여전하다.

2018년 10월을 기준으로 사람에서 균주가 검출되었던 2013년 3월 이후, 실험실에서 확인된 H7N9 인간 감염 사례는 1,567건이었고 이중 615명이 사망하였다(사망률 39%). 또한 최근에 비해 현재는 닭의 H7N9 감염이 훨씬 적다. 이는 중국의 성공적인 닭 예방 접종 프로그램 때문일 가능성이 크다.

내 연구의 두 출처의 통계자료에 따르면, 미국 생물안전 3등급 실험실의 잠재적인 노출로 인한 사고의 67%와 79.3%는 인적 오류 때문이었다. 이들 실험실은 결핵의 원인균, 즉 결핵균이 호흡기 전파를 통해 중대한 혹은 치명적인 질병을 유발할 수 있는 미생물을 연구하기 위해 설계된 실험실들이다. 실험실 사고에 대한 이러한 통계는 특정 생물작용제 및 독소의 사용을 규제하는 연방 생물작

용제 프로그램(Federal Select Agent Program)과 국립보건원(NIH)의 수년 간의 사고 자료분석에서 나온 것이다.

팬데믹 위험에 대해 생각하는 방법. 실험실에서 고병원성 조류 인플루엔자를 강화시키는 연구의 위험성을 평가하는 좋은 방법은 확률 가중 결과(likelihood-weighted consequence)를 고려하는 것이다. 이 계산에는 특정 사건의 확률(예: 병원체가 실험실에서 유출되어 발병을 유발할 확률)과 그 사건의 결과(예: 발병 결과로 인한 사망자 수)를 곱하는 것이 포함된다. 1918년 팬데믹 독감을 기준으로 한 수치와 훨씬 더 경미한 계절성 독감에 근거한 수치를 연관시켜보면 팬데믹 독감 연구의 용납할 수 없는 위험성을 알 수 있다.

본인은 이것이 위험을 평가하는 탁월한 방법이며, 잠재적인 팬데믹 인플루엔자 연구 논의의 중심에 있어야 한다고 생각한다. 확률 가중 결과를 계산하는 방법을 살펴보자. 기본적인 계산은 다음과 같다.

확률 가중 결과 = (사건 확률) x (결과)

질병 발생의 결과를 사망자 수로 간주하면, 확률 가중 결과 대신 "사망자 부담(fatality burden)"이라는 용어를 사용할 수 있다. 계산은 동일하다.

사망자 부담 = [(유출 확률) x (유출이 팬데믹으로 이어질 확률)] x (사망자 수)

먼저 잠재적인 사망자 수를 살펴보자. 네이처(Nature)지에 따르면, 1918년 인플루엔자 팬데믹으로 5천만명에서 1억 명이 사망하였다.

강화된 조류 인플루엔자에 대한 연구를 진행하는 조직의 각 시설은 해당 연구가 잠재적 사망자에 기여한 것에 대해 책임을 져야 한다. 1년 동안 어느 한 시설이 포유류들 간에 공기를 매개로 전염되도록 변형된 조류 인플루엔자 바이러스를 유출시킬 확률은 0.246%이다. 이 수치는 본인이 아직 발표하지 않은 많은 연구의 세부 데이터, 분석 및 이론에서 얻은 것이다.

사망자 부담 = $[0.00246) \times (0.15)] \times (5\text{천만명} \sim 1\text{억명}) = 18,450 \sim 36,900$

여기서 0.15는 미검출 또는 미보고된 실험실 획득감염을 통해 팬데믹이 지역사회로 퍼질 확률에 대한 본인의 미공개 연구의 추정치이다.

이 예시의 계산에서 어느 한 시설이 매년 연구를 수행할 경우에 1918년 독감만큼 치명적인 독감으로 인해 발생할 5천만명에서 1억명 사이의 사망자 중 일부에 대한 책임이 있다. Fouchier는 자신의 강화된 생물안전 3등급 실험실이 일반적인 생물안전 3등급 실험실보다 최소 10배는 더 안전하다고 말한다. 그렇다면 하면 Fouchier의 10배 더 안전한 실험실은 연간 1,845명에서 3,690명의 사망자에 대한 책임을 져야 할 것이다.

최악의 시나리오 피하기. 물론 독자들은 강화된 조류 독감에 대한 연구를 진행하는 실험실들 중 하나에서 발생하는 그러한 대규모 위기에 대해 광분한 뉴스 보도를 보지 못했을 것이다. 지금까지 한 건도 없었다. 하지만 미래에 실험실에서 만든 조류 독감이 실험실을 벗어나 1918년 독감처럼 많은 인명을 죽이게 된다면, 매년 이런 연구를 진행하는 실험실은 18,450명에서 36,900명의 사망자(또는 Fouchier의 실험실 안전 강화 주장을 인정한다고 해도 1,845명에서 3,690명)에 대한 책임이 있다.

이러한 잠재적 팬데믹 바이러스가 지역사회로 유출될 경우 인간에게 얼마나 독성이 있는지 혹은 공기에 의해 전파되는지는 아무도 확신할 수 없다. 최악의 시나리오 대로라면 이들 바이러스는 질병과 사망자를 거의 생기지 않게 하고 곧 사멸될 것이다. 그러나 팬데믹의 가능성이 있으므로 최대한 주의를 기울여야 한다. 매우 안전한 실험실에서의 사고 발생 빈도와 조류 인플루엔자에 대한 기능 획득 연구의 불확실한 가치를 감안할 때, 대재앙적 유행병의 가능성을 기꺼이 받아들일 수 있는가를 고려해 볼만하다.

14개 실험실 각각에서 5년간 연구를 진행하는 동안

팬데믹이 발생할 가능성에 대한 위험을 우리가 기꺼이 감수해야 할까? 이러한 조류 바이러스가 포유류를 공기에 의해 전염시킬 수 있다는 사실을 알려주는 것 외에, 알아야 할 유용한 사실은 포유류들 간에 공기로 전파되는 고병원성 조류 인플루엔자를 만드는 것은 실용적인 결과를 거의 얻지 못할 수 있다는 것이다.

Fouchier는 10배 더 안전하다는 결론을 내리게 된 몇 가지 기계적 안전 특성을 지적한다. 그러나 실험실에서 발생하는 대부분의 사고는 인간의 실수로 인해 발생한다. 이 사실은 최첨단 설계가 위험한 병원체의 유출을 막을 것이라는 주장에 의문을 제기한다. 인적 오류가 발생할 수 있는 여러 가지 방법을 고려할 때, Fouchier의 강화된 생물안전 3등급 실험실이 미 검출 또는 미 보고된 실험실 획득 감염을 통해 지역사회로의 공기 전파 조류 독감 유출을 막을 수 있을지는 의문이다.

또 다른 예: 유출된 바이러스가 일반적인 계절성 인플루엔자 바이러스보다 덜 치명적이라고 가정해보자. 계절성 인플루엔자로 인한 최소 사망자 수 290,000명을 사용하면, 1년 동안 한 실험실의 사망자 부담은 다음과 같다.

사망자 부담 = $[0.00246 \times 0.15] \times 290,000 = 107\text{명 사망자}$
여기서 다시 0.15는 팬데믹 확률이다.

사망자 부담 관점에서 보면, IRB (대학과 기타 조직에서 인간을 대상으로 하는 연구를 평가하여 승인하는 책임을 맡은 위원회)에서는 어쩌면 사망자가 수십 명에서 수천 명에 이를 가능성이 있는 연구 프로젝트는 승인하지 않을 것이다. 아마도 IRB는 지역사회에 절대로 유출되지 않을 것이라고, 또는 공기 전파가 일어나지도 않고 독성도 없고 치명적이지 않다고 거의 절대적으로 확신할 수 있다면 연구를 승인할 수 있다. 여기서 핵심은 “거의 절대적 확신”이다.

그것은 거의 절대로 도달하기 불가능한 기준이다.

(Bulletin of the Atomic Scientists: 2020. 6. 26)

바이킹 시대 천연두가 바이러스 진화 스토리를 복잡하게 하다

인류 역사상 가장 치명적인 바이러스인 천연두의 진화는 부분적으로만 이해된다. 신종 코로나바이러스와 기타 질병을 유발하는 많은 바이러스와 마찬가지로 천연두는 설치류인 동물에서 시작되어 수천 년 전에 인간에게 퍼졌을 것으로 보인다. 이 천연두는 20세기에만 수억 명의 인간을 죽게 했다.

지금까지 가장 먼저 확인된 천연두 사례는 17세기 리투아니아 어린이의 미라 유골에서 발견되었다. 목요일에 국제 연구팀은 1,000년 전의 그날로 거슬러 올라가 바이킹 시대의 북 유럽인들의 유해에서 천연두 DNA를 회수했다고 사이언스(Science)지에서 보도했다.

그들이 발견한 바이러스는 지금은 멸종되었으며 다른 좀더 최근의 골격 유물에서는 발견되지 않았다. 이것은 현대 천연두 바이러스의 조상이 아니라 진화론적인 막다른 길에 있었던 것이다. 또한 현대 바이러스보다 더 많은 유전자를 가지고 있으며, 과학자들은 자연의 많은 다른 두 바이러스(pox virus) 중에서 유전자가 적으면 적을수록 더 치명적인 바이러스를 의미하는 경향이 있음을 관찰하였다. 이러한 사실을 종합하여, 한 저명한 천연두 전문가인 현대 바이러스가 진화함에 따라 더 치명적이 될 수 있다고 제시하였다. 대부분의 바이러스는 시간이 지남에 따라 덜 치명적이 된다.

두 바이러스는 코로나바이러스와 밀접한 관련이 없으며, 이 연구는 신종 코로나바이러스의 현재의 확산에 바로 적용되지는 않는다. 그러나 팬데믹이 진행 중인 가운데 일부 바이러스가 더욱 치명적으로 진화한다는 생각을 하는 것만으로도 확실히 불편하다.

전문가들은 초기의 새로운 천연두 바이러스가 유의미하지만 놀라운 것은 아니라고 말한다. 다른 두 바이러스

전문가들과 마찬가지로, 저자들은 DNA 증거는 지금까지 부족하지만 천연두는 거의 확실히 훨씬 더 과거로 거슬러 올라간다고 생각한다.

케임브리지 대학(University of Cambridge)에서 질병 유발 생물체의 진화를 연구하고 있는 선임 저자 중 한 명인 Terry C. Jones는, 사료에 의해 판단해볼 때 “바이러스가 주변에 있었을 가능성이 매우 높다. 예를 들면 기원전 1,000년 또는 1,500년에 인도나 어쩌면 중국에 있었을 수도 있다”고 말했다.

이 발견에 대해 가장 흥미로운 점은 600~1050년 사이에 살았던 11명의 뼈에서 발견된 천연두 바이러스의 유전적 구성과 오래된 바이러스 균주가 현재는 멸종되었다는 사실이라고 Jones 박사는 말했다. 저자들이 부르는 현대 버전은 1980년대 인간 개체에서 박멸되었다.

천연두 바이러스의 라틴어명은 Variola이며, Variola의 다른 균주들은 알려져 있다. 천연두(Variola major, 대두창)와 함께 박멸된 소두창(variola minor)은 경미한 질병을 일으키며 사망률이 1% 미만인 반면에 천연두에 감염된 인간은 약 30%가 사망하였다. 왜 이것이 덜 치명적이었는지는 알려지지 않았다.

바이킹 시대의 변종의 차이는 바이러스가 Variola의 새로운 군 또는 계통군(clade)을 구성하기에 충분할 만큼 중요하다. 이것이 현대 바이러스의 이전 버전은 아니다. 현대 천연두와 새로 발견된 변종은 모두 공통 조상의 후손이지만 적어도 1,700년 전에는 달랐다. Jones 박사는 “바이킹 바이러스는 다른 진화 경로에 있었기 때문에 현대 바이러스로 이어질 수 없었다”고 말했다.

홍콩시립대학(City University of Hong Kong)의 두 바이러스 전문가이면서 연구에는 참여하지 않은 Klaus

Osterrieder는 바이킹 바이러스의 분석과 새로운 계통군의 확립이 매우 설득력이 있다고 말했다.

바이킹 바이러스의 유전적 세부정보는 어쩌면 천연두 바이러스가 더 치명적일 수 있다는 추측을 불러일으켰다. 케임브리지의 바이러스 학자이자 논문의 제1저자인 Barbara M. Hleemann은 두 바이러스에 대한 일반적인 이해는 숙주의 면역체계를 속이는 유전자가 적은 바이러스가 실제로 더 치명적이라고 말했다. 그 이유는 명확하지 않지만, 바이러스 감염의 경우 매우 강한 면역반응으로 감염자가 종종 죽기 때문이다.

“우리가 논문에서 보아왔던 패턴은 현대 바이러스보다 더 활성 유전자를 가지고 있던 바이킹 시대의 바이러스와 비교했을 때, 현대 천연두 바이러스가 시간이 지남에 따라 유전자 손실이 있었다는 것”이라고 말했다. 하지만 그녀와 동료들은 바이킹 버전의 바이러스가 덜 치명적이라는 직접적인 증거는 없다고 경고했다.

마드리드 자치 대학교(Autonomous University of Madrid)의 천연두 전문가인 Antonio Alcamí는 천연두가 실제로 더 치명적으로 진화했다는 가설을 제기한 사이언스의 같은 호에 논평을 썼다.

그는 바이러스가 덜 독성적이 된다는 바이러스 진화에 대한 통념이 항상 사실이 아닐 수도 있다고 말했다. 천연두(Variola) 바이러스는 시간이 지남에 따라 인간에서 진화했다. “아마 한동안 경미한 질병이었을지도 모른다”고 그는 말했다.

천연두가 비교적 양성 질병이었을 수도 있다고 제안했던 역사가들에 의해 이런 아이디어는 이미 제안된 적이

있다고 Jones 박사는 말했다.

이런 종류의 진화가 일어났을 수 있는 방법은 “반직관적”이라고 Alcamí 박사는 말했다. 현대 천연두와 다른 치명적인 두 바이러스에서 비활성화되는 유전자들은 감염된 숙주의 면역반응을 약화시키거나 회피하는데 도움이 되는 것들이다. 그러나 바이러스를 도와야 하는데 왜 그 유전자를 손실하는 것일까?

왜 그런지는 모르겠지만 이러한 유전자의 손실이 바이러스를 돕는 것처럼 보인다고 Alcamí 박사는 말했다. 아마도 더 적은 수의 활성 유전자로 인해, 통제 불능 면역반응을 유발하여 결국 숙주를 죽이는 경우이지만, 바이러스가 더 빨리 복제될 수 있기 때문에 다른 인간에게 전파될 가능성이 높아진다. 그는 논의와 추가 조사를 장려하기 위한 가설로서만 그 아이디어를 제기하는 것이라고 강조하였다.

Osterrieder 박사는 이 아이디어가 여전히 추측에 불과하지만 말이 된다고 생각하였다. 그는 “매우 설득력 있는 가설이라고 생각한다”고 말했다.

(The New York Times: 2020. 7. 23)