

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



캡틴 아메리카가 생물무기인가?

나는 2017년도 생물무기금지협약(BWC)의 당사국 회의 참석차, 주 유엔 말레이시아 대표부와 미국 대표부가 주최하는 사전회의 워크숍에 참가했다. 이번 워크숍은 의도적으로 야기된 질병과 자연발생적인 전염병과 관련해 생물무기의 확산 금지와 이에 대한 대비/대응 노력, 그리고 국제적인 협력 체제에 대해 논의하고, 당사국 회의로 이어지는 생물무기금지협약의 미래를 의논하는 장이 되었다. 유전자 교정(genome editing) 기술의 발전에 있어서 안전 문제를 다루는 프레젠테이션에서는 한 가지 흥미로운 질문이 제기되었는데, 이 질문은 BWC를 바라보는 나의 관점을 재구성하는 계기가 되었다.

BWC는 고등 생물체의 유전자 변형을 적절하게 다루고 있는가?

BWC 제1조에는 다음과 같이 명시되어 있다:

협약의 각 당사국은 어떠한 경우에도 아래 물체를 개발, 생산, 비축 또는 기타 방법으로 획득하거나 보유하지 아니한다. :

(1) 원천이나 생산방식이 어떠하든지 형태나 양으로 보아 질병예방, 보호 또는 기타 평화적 목적으로 정당화되지 아니하는 미생물, 기타 생물작용제 또는 독소

(2) 적대 목적이나 무력충돌 시 전기의 물체나 독소를 사용하기 위하여 고안된 무기, 설비 또는 수송수단

1970년대 초에 쓰여진 BWC 문안은 일부러 모호하게 작성해서 예측하지 못한 신종 위협(예. 프리온)을 다룰 때 융통성을 발휘할 수 있게 했으나, 이러한 모호함으로 인해 특히 고등 생물체 - 즉, 식물, 동물, 사람 처럼 복합적인 생물체 - 의 경우에는 그 범위에 대해 의문을 갖게 된다.

이번 워크숍이 개최될 때까지만 해도, 특히 내가 BWC에 관심을 기울여온 몇 년의 기간 동안, BWC 제1조는 매우 단순해 보였다. 나는 제1조가 늘 독소(BWC는 독소를 포괄한다고 분명하게 명시하고 있음)를 뛰어넘어 세균, 바이러스, 균류를 모두 포괄한다고 생각했었다. 너무나 명확하지 않은가? 기본적으로 표적 대상에게 직, 간접적인 해를 일으키기 위해 고의적으로 사람이나 동물, 또는 식물을 감염시킬 수 있는 것들을 말하는 것이다.

하지만 그 자체가 감염원이 아니라면? “생물물질”이 아니라, 사람이나 동물, 또는 식물이 병원체라면? 감염된 사람이 피해자가 아니라 자발적으로 지원한 거라면?

이 문제를 설명하기 위해 가상의 예에 해당하는 전형적인 슈퍼 히어로인 캡틴 아메리카를 살펴보자. 캡틴 아메리카는 미국 군사 프로그램의 일환으로 증강인간의 형태를 띠게 되었다. 이 프로그램에 따라 2차 세

계대전에서 나치와 싸운다는 단 하나의 목적을 가지고 작고 허약한 스티브 로저스(Steve Rogers)가 크리스 에반스(Chris Evans)로 변모하게 된 것이다. BWC 제1조 하에서 자연적으로 발생하는 정상적인 병원체는

“미생물이나 그 외의 기타 생물작용제”에 속하므로, 이러한 병원체의 변형 형태도 여기에 해당한다는 의미가 된다. 하지만 BWC의 맥락에서 볼 때 일반적인 사람, 동물, 식물은 “기타 생물작용제”로 간주되지 않는 것 같다. 그렇다면 캡틴 아메리카처럼 증강되거나 변형된 인간의 형태는 어떠한가? 아니면 말도 안되지만, 우연히 강화된 능력을 갖게 된 십대 돌연변이 남자 거북이는? 그 동안 우리는 자신도 모르게 생물무기를 응원해 온 것일까?

제1조에서 두 가지 중요한 부분은 (1) BWC가 특히 생물학적 유기체(화학적 물체나 핵 물체가 아니라)를 다루고 있다는 점, 그리고 (2) 유기체가 평화나 보호 이외의 목적(즉, 공격이나 적대적 목적)으로 쓰인다는 점이다. 두 번째 부분은 매우 쉽다. 캡틴 아메리카 만화책을 읽어보았거나, 캡틴 아메리카/어벤저스 영화를 본 적이 있다면, 캡틴 아메리카는 전투에서 공격 능력을 갖도록 고안되었고 그러한 용도로 사용되었다는 점이 분명하기 때문이다. 하지만, 첫 번째 부분은 그렇게 간단한 문제가 아니다. 캡틴 아메리카는 분명히 생물체이나, 제1조에는 캡틴 아메리카와 일반적인 사람을 명확히 구분해주는 문구가 없다. 일반적인 사람은 우리 모두를 위해 전쟁과 기타 다른 형태의 폭력에 동원된 것이니 BWC에 따라 규제를 받지 않는 것이 분명하다. 반면에, 캡틴 아메리카는 분명히 일반적인 사람이 아니므로 다음과 같은 의문이 제기된다:

BWC 하에서 인간 유전체를 고의적으로 변형시키면 이와 같은 구분이 변하게 될까?

캡틴 아메리카 시나리오는 이 외에도 생물무기가 어떻게 쓰일 수 있는지에 대해 수많은 질문을 던진다. 여기서 스티브 로저스는 열정을 가지고 자발적으로 증강 인간이 되었다. 기존의 생물무기 시나리오들을 보면, 공격자가 자발적으로 자기 자신을 “감염시켜” 표적 집단에게 감염의 위험이 없는 상황보다는, 피해 집단이 직접 감염되어 해를 입거나 자신의 가족과/이나 식물이 감염되는 이차적인 영향으로 인해 해를 입는 경우가 많다. “감염된” 것으로 말하자면, 캡틴 아메리카는 전통적인 의미에서 실제로 생물물질에 감염된 것이 아니었다. 일부 표적화된 생물학적/방사능 절차를 거치면서 그의 생물학적 구성이 변형된 것일 뿐, 병원체가 개입된 것은 아니었다(내가 알기로는 그렇다. 나는 슈퍼 히어로 전문가가 아니니까).

BWC 하에서 이와 같은 생물학적/방사능 절차는 규제를 받을까? 만일 그렇다면 캡틴 아메리카는 “[무기]나 설비, 혹은 그 외의 수송수단”으로 간주되는 것일까? 이것 말고도, 약물이나 보충제를 통해 성능을 개선시키는 것부터 일부러 유전체를 변형시키는 것에 이르기까지 고등 생물체의 능력을 증강시키는데 사용할 수 있는 메커니즘은 무수히 많다. 어떤 경우에는 감염으로 인해 고등 생물체의 생물학적 특징이 변할 가능성도 있으며, 이렇게 되면 감염과 변형의 구분이 모호해진다. 때마침 한 가지 예를 들면, 자연적으로 발생하는 볼바키아(Wolbachia) 박테리아에 감염된 모기는 땀기열과 지카 바이러스 같은 벡터 매개 질병(vector borne diseases)으로 인한 감염을 현저하게 저하시킨다.

고등 생물체의 생물학적 특성을 변형시킬 때 필요한 도구들은 정도의 차이는 있지만 수량, 역량, 가용성 면에서 빠르게 증가하고 있다. 이러한 도구들과 여기서 비롯된 생물체가 공격적인 목적으로 사용될 가능성이

있다는 사실을 고려할 때, 모든 당사국들이 BWC의 범위 대해 공통의 이해를 하고, 이를 통해 첨단 생물학과 생명공학, 그리고 모든 유형의 유전자 변형 생물체를 사용하는 것과 관련해 동일한 규범을 준수할 수 있도록 하려면, 이에 관해 명확한 논의가 필요하다.

생물학과 생명공학의 발전 속도는 놀라울 정도이며, 이는 고등 생물체의 유전체를 의도적으로 변형시키는 능력에 영향을 주는 만큼, 앞에서 제기된 의문사항은 사후에 대처하기보다는 사전에 대책을 마련하여 다루어야 한다. 유전병을 치료하기 위해 CRISPR-Cas9와 같은 도구를 사용하는 능력은 이제 한계를 뛰어넘은 것으로 보인다. 실제로, 미국 FDA는 최근에 유전적 돌연변이로 인한 실명을 치료하기 위해 처음으로 직접 적용된 유전자 치료법을 승인했다. 과학자들은 또한 이러한 유형의 도구를 사용해서 근육량이 과도한 동물을 만들어냈다. 이 연구는 근이영양증(muscular dystrophy) 같은 유전질환의 치료로 이어질 가능성이 있다. 이러한 기술이 건강한 일반인이 가진 유사한 속성 - 또는 그 외에 전투에서 이점을 줄 수 있는 속성 - 을 증강시키는데 사용되면 본질적으로 캡틴 아메리카의 실제 버전인 슈퍼 군인을 만들어낼 수 있을 것이다.

또 다른 예로, 유전자 변형 모기는 이미 지역의 모기 개체군을 줄이는데 사용되어 지카와 치쿤구니아 같은 벡터 매개 질병의 발생률을 감소시켰다. 따라서 유전자가 변형된 벌이나 그 외의 곤충을 농업지역에 퍼뜨리면 유전적으로 변형된 고등 생물체의 방출로 인해 피해 국가나 지역의 식량과 경제 안보에 상당한 위험을 초래할 수 있다.

2017년 BWC 당사국 회의는 2021년 차기 평가회의에 앞서 남은 회기간 기간 동안 실무 프로그램에 합의하는데 성공했다. 합의된 아젠다에는 매년 8일간 다음

과 같은 기술 및 정책 사안에 관해 실질적인 논의를 하는 연례 전문가 회의가 들어있다:

- BWC 제10조의 맥락에 따른 국제협력과 지원(2일)
- 잠재적으로 BWC와 관련이 있는 과학기술의 발전 상황 검토(2일)
- BWC의 국내 이행 강화(1일)
- BWC 제7조의 맥락에서 고의적인 생물학적 사고에 대한 국제적 지원, 대응, 대비를 요청하고 이를 제함(2일)
- BWC의 제도적 강화 - 예를 들어, 법적 구속력이 있는 검증 체계(1일)

이들간 진행되는 새로운 과학기술에 관한 논의는 이중적 용도가 있는 다양한 과학적 능력으로 인해 어떤 위험이 제기될 수 있는지를 BWC에서 적절하게 다루도록 하는데 매우 중요한 계기가 될 것이다. 하지만, 이와 같은 차원의 논의(즉, 국가 대표단)만으로는 이런 유형의 연구로 인한 잠재적 위험을 제대로 다루는데 충분치 않다. 이러한 능력이 점차 확산되면서 공중보건의 목적(예. 매개체 관리), 군사적 목적(예. 증강인간), 또는 그 외의 목적으로 사용될 가능성이 커졌기 때문이다. 이러한 기술과/이나 여기서 비롯된 생물체에 대한 BWC의 규제 범위에 대해 모든 당사국이 이해하고 합의하도록 하려면 BWC같은 포럼에서 이에 관해 분명하게 논의할 필요가 있다. 이를 통해, 특히 지금 당장의 이슈가 군사적으로 적용될 수 있는 기술이라면 모든 당사국들이 정해진 동일한 규범을 준수할 수 있도록 해야 한다.

(JOHNS HOPKINS, Center for Health Security :

2017. 12. 20)

미국, 병원체 위험성 증강 연구에 대한 연구비 지원 금지 조치 해제

미국 정부는 특정 바이러스의 독성과 전파력을 증강할 수 있는 연구 방법에 대한 지난 3년간의 연구비 지원 중단 조치를 해제하고, 이와 함께 다른 위험성 병원체 연구 신청을 받아 심사하겠다는 새로운 계획을 발표하였다.

대유행을 일으킬 수 있는 병원체에 대한 새로운 정책으로, 해당 병원체를 연구하고자 하는 연구원들은 보건복지부(HHS)가 제시하는 새로운 절차를 통해 연구비를 신청할 수 있다.

연구비 지원 금지 조치의 해제는 사스(SARS), 메르스(MERS), 인플루엔자, 기타 위험성 바이러스에 대한 연구에 적용된다. 2014년 10월 위스콘신(Wisconsin)과 네덜란드(Netherlands) 연구원들이, 2011년에 치명적인 H5N1 조류 독감 바이러스를 흰 족제비를 이용하여 전파력을 증강시켜 사람들 사이에서 질병이 어떤 과정을 거쳐 퍼지는가에 대한 모델로 사용했다고 발표하여 큰 논란을 불러일으킨 이후, 연구비 중단 조치가 내려졌다. 이런 종류의 연구는 기존의 세균에 새로운 기능을 부여하기 때문에 "기능 획득" 연구로도 알려져 있다.

이 금지법이 발효되기 직전에는 질병통제예방센터(CDC)에서 실험실 연구원들이 탄저병에 노출되었다는 사실과 치명성이 덜한 균주를 요청한 실험실로 치명적인 조류 독감 바이러스가 보내진 사실을 인정한 바 있다.

기자 회견에서 의생물학 연구를 지원하는 미 국립보건원(NIH)의 Francis Collins 원장은 "소수의" 시설만이 일반적으로 바이러스 변이를 이해하고 백신 개발을

목표로 하는 이런 종류의 연구를 수행할 자격이 있을 것으로 추정하였다.

Collins 원장은 "이런 종류의 연구는 최고 등급의 밀폐가 이루어질 수 있는 극소수의 장소에서만 수행될 수 있다"고 말했다. Collins 원장은 연구비 지원 금지 조치 기간에 중지되었던 21건의 연구 활동 중 10건이 연구 재개를 포기한 사실도 밝혔다. 5건의 메르스 연구와 5건의 독감 실험이 그에 해당한다고 했다.

Collins 원장은 새로운 정책이 시행되면 정부가 연구비 지원 금지 조치를 해제할 수 있다고 말했다. "잠재적인 대유행 병원체"에 대한 새로운 정책은 위의 세 가지 바이러스와 에볼라(Ebola)와 같이 연구원이 조사하고자 하는 기타 바이러스에 적용될 것이다. 새로운 기준에는 연구로 인한 잠재 위험성을 잠재적 유익성에 의해 정당화할 수 있어야 하고, 위험성 부담이 적은 똑 같은 질문에 답변할 수 있는 다른 가능한 방법이 없고, 제한된 실험을 독립된 전문가 패널이 심사한다는 조건이 포함된다.

Collins 원장은 "이 방법은 우리가 제대로 하고 있는지 확인하기 위해 엄격한 절차를 정례화하는 것이다"고 말했다. 다른 병원체 연구는 오용되었을 경우 공중보건, 국가안보, 환경을 위협할 수 있는 생명과학 연구를 다루는 정부의 이중용도 연구(Dual-use research of concern) 정책에 포함된다.

비영리 기관인 NTI(Nuclear Threat Initiative)에서 글로벌 생물학 정책 및 프로그램을 담당하고 있는 Beth Cameron 부회장은 "올바른 방향으로 나아가는" 계획을 가지고 있다고 말했다. 그러나 우발적인 유

출에 대비하고 실험실에서 일하는 연구원들을 감독하는 각 실험실의 강력한 보안조치에 따라 안전이 크게 좌우될 것이라고 그녀는 강조하였다.

위험성을 줄이려면 "자신이 하고 있는 연구가 무엇인지, 왜 그 연구를 하는지, 그 연구의 혜택은 무엇인지를 알아야 한다"고 그녀는 말했다. "이 말은 연구를 진행하면서 대중에게 미칠 위험성을 이해하는 것을 의미한다."

그럼에도 Cameron 부회장은 미국이 이런 계획을 세운 세계 유일의 국가일 거라고 생각하고, 이 문제에 대한 국제적 논의가 필요하다고 강조했다. 그녀는 "대체를 피해나갈 수 있는 바이러스와 박테리아를 만들기 위

해 도구를 사용하는 능력이 증가하고 있는 점"은 우려된다고도 말했다.

오바마 행정부 시절 핵, 화학, 생물 방어 프로그램(nuclear, chemical, and biological defense programs)의 Andrew Weber 전 국방부 차관보는 새로운 기준이 "이 합리적 기준을 충족시킬 수 있는 연구 제안을 상상하기 어려울" 정도로 엄격하다고 말했다. 그는 새로운 정책으로 기능 획득 연구에 대한 승인을 받기가 어려워야 한다고 말했다. "고의적으로 대유행 병원체를 증강시켜 대중에 위험을 가할 수 있는 연구로 그리 대단하지 않은 잠재적 혜택을 정당화하기에는 너무 가혹하다."

(The Washington Post : 2017. 12. 19)

미국 보스턴 연구소, 세계에서 가장 치명적인 미생물 연구 곧 시작 예정

보스턴 공중 보건위원회(Boston Public Health Commission)는 보스턴 대학의 연구소(high-security laboratory)에서 세계에서 가장 치명적인 미생물에 대한 연구를 시작하도록 최종 승인하고 10년 반 동안의 논쟁을 종결시켰다.

위원회의 승인은 BL 4 병원체-에볼라와 같이 치료법이나 백신이 없는 병원체-에 대한 연구를 허가하는 최종 단계였다. 4등급(Level 4) 연구는 국립신종감염병 연구소(National Emerging Infectious Disease Laboratories)에서 1-2개월 이내에 시작될 수 있다.

위험 세균이 유출될 것을 우려한 사람들과 이웃들의 강력한 반대에 부딪혔던 생물연구소는 지난 12년 간 위해성 평가를 실시하고 공청회를 열었으나 소송에서 패해왔다. 그러나 연방정부, 주정부 및 시 당국으로부터 50 건 이상의 허가과 승인을 받았고, 최근에는 1년 전 미국 질병통제예방센터(CDC)의 검열을 통과하였다.

보스턴 메디컬센터(Boston Medical Center) 인근의 사우스 엔드(South End) 지역에 연방 기금 2억 달러를 들여 건설된 연구소는 2008년 완공된 이후에 거의 비어 있는 상태였다.

그 주변에 살고 있던 사람들과 반대자들은 이 연구소가 이웃에 불필요한 위험을 줄 수 있으므로 더 외진 곳에 위치해야 한다고 주장했다. 그러나 환경 컨설팅 회사의 위해성 평가에 의해 대중이 감염될 확률이 "극히 낮거나 합리적으로 예측 가능한 수준"이라는 결론이 나왔다.

지난 5년 간 이 연구소에서는 미생물 학자, 바이러스 학자, 엔지니어, 기타 과학자들로 구성된 팀이 주축이 되어 위험성이 덜한 세균을 연구해왔다. 이제 그들은 12 인치 두께의 벽으로 둘러 쌓인 건물 내 별도의 내진 구조물로 이동할 수 있다.

성명서에서 Martin J. Walsh 보스턴 시장은 "가장

엄격한 안전성 절차”를 충족시켰다고 발표했다. 그는 보스턴 시의 공중보건위원회에서 "보건 및 안전 요건을 충족하는지 연구소를 계속 모니터하고 점검할 것"이라고도 덧붙였다.

미생물학 교수이자 실험실 책임자인 Ronald Corley는 위원회의 최종 승인에 감격스럽다고 전했다. "연구를 시작할 수 있게 된 것을 정말 기쁘게 생각한다. 우리는 이 연구에 따른 엄청난 책임을 알고 있다. 우리는 매우 안전한 연구를 수행하기 위해 최선을 다하고 있다."

전담 과학자 그룹이 치명적인 미생물을 연구할 수 있는 시설을 갖추는 것은 "우리 공중 보건에 정말로 중요하다"고 Corley는 말했다.

"특별한 점은 혁신적인 연구를 진행하는 것에 자부심을 느끼는 세계적 수준의 생물의학 연구 도시에 있다는 점이다. 우리는 이곳이 이 연구를 수행하고 해결되지 않은 문제들을 해결할 수 있는 세계 최고의 연구소라고 생각한다."

시설의 한 층은 4등급(Level 4) 연구 전용시설로 이용될 것이라고 그는 말했다. 또 그 층에 대해 안전 기능과 추가적인 보호수준을 강화했다고도 전했다. 그 층을 드나드는 공기는 "멸균 여과된다"고 했다. 그는 안전 문제를 들면서 몇 층이 그 연구의 본거지가 될 지는 밝히지 않았다.

Corley는 에볼라(Ebola)와 마버그(Marburg) 등의 필로바이러스를 연구하는 한 프로젝트에 대해 승인을 받았다고 말했다. 이 연구를 언제 시작할 지에 대해서는 정확한 시한을 정해둔 것은 아니었다.

결과적으로 75~100 명이 4등급 실험실에서 연구할 수 있다고 Corley는 전하면서, 한 번에 30명을 넘지 않을 것이라고 덧붙였다.

그는 4등급(Level 4) 연구 층에서 이루어지는 작업이 혁신적인 질병 연구원들을 시설로 끌어들일 것으로 기대했다. "물론, 이 연구는 매력적인 작업이 될 것이다"라고 그는 말했다.

연구소는 이미 혁신적인 연구를 위해 만반의 태세를 갖추고 있다.

9년 전 독일에서 보스턴 대학(BU)으로 온 미생물학자 Elke Mühlberger는 에볼라 및 마버그 바이러스에 대한 연구를 진행하여 예방과 치료법을 찾을 수 있을 것이고, 바이러스학자인 Paul Duprex 박사는 니파 바이러스(Nipah virus) 연구 준비를 할 것이라고 대학은 전했다.

연구소가 수행하는 각 프로젝트는 보스턴 공중보건위원회(Boston Public Health Commission)의 승인을 별도로 받아야 한다.

(The Boston Globe : 2017. 12. 6)

농작물 테러가 미국의 식량 공급에 실질적인 위협

크리스마스 절기에 대한 계획을 세울 때 집에 들어서기가 무섭게 우리는 어쩌면 식량 공급이 얼마나 안전한지 자문해봐야 할 수도 있다. 말 그대로 햄 조각으로 죽게 되는 것은 아닐까? 농작물 테러에 대해 얼마나 걱정해야 할까? 우리의 식량 공급이 타깃 병원체나 방사선

피폭, 간단한 조작 또는 사이버 위반이나 EMP 공격에 취약한가? 말 그대로 우리는 우리 뒷마당에 있는 위협을 무시하고 위험성을 평가할 때 이차원적으로 생각하는 경향이 있다.

농작물 테러리스트는 운반하기 쉽고 은폐하기 쉬운

동물 기반의 생물제제에 접근할 수 있다. 과속 트럭으로 군중을 들이받는데 특별한 기술이 필요하지 않는 것처럼, 식품 사슬을 통한 공격은 진입 장벽이 낮고 실행에 필요한 기술이 거의 없다. 가축을 무기화하는 것은 양떼를 돌보거나 소에게 사료를 주는 것만큼 간단하다. 전문기술이나 특수 장비가 거의 필요하지 않고, 대부분의 동물 매개 병원체가 사람에게 전염되지 않는 점을 감안하면 물류도 쉽다. 이것이 실제로 농장에서 식탁까지 병원체가 전달되는 과정이다.

대규모 식품 제조 및 농업은 사전에 계획된 공격에 대처할 수 있는 대비에 취약하여 위험한 상태이다. 장비 제조업체와 식품 생산업체가 자동화되고 상호 연관된 프로세스와 제조에 더욱 의존하게 됨에 따라, 해커가 생산 프로세스를 위반할 가능성은 크게 증가하고 있다.

이렇게 상상해봐라. 안티파(Antifa)가 생산시설에 침투하여 식품매개질환의 위험성을 줄이도록 설계된 저온살균기의 표시 정보를 조작한다. 이것이 밝혀지지 않고 제품이 제공되어 소비되면 소비자의 안전을 위협하게 된다. 가공처리가 되지 않은 식품은 대장균

O157:H7, 리스테리아 모노사이토젠(*Listeria monocytogenes*), 살모넬라(*Salmonella* spp.)와 같이 사람에게 위험성이 높은 병원체를 전달하는 매개체가 될 수 있다. 특히 부적절한 가공처리로 보툴리누스 중독 위험성이 증가하는 통조림 제품의 경우에는 더 그렇다.

보툴리누스균(*Clostridium botulinum*)이 만든 신경독소는 지구상에서 가장 치명적인 자연 발생적인 급성 독소로 시각 장애, 호흡 장애, 근육 조절 장애를 일으킨다. 질식사는 증상이 시작된 지 보통 3-6 일 후에 나타난다. 보툴리누스균 신경독소에 대한 항혈청이 있지만 치료해도 사망률은 여전히 5-15 %이다.

William R. Forstchen는 그의 저서에서 EMP 공격이 미국에 미칠 수 있는 잠재적 영향을 엿볼 수 있게 한다. 전력망이 고장나면 국가는 실질적으로 무너지게 된다. 전문가들은 전력 없이 1년만 보내면 미국인의 80%가 굶주림만으로 사망할 것이라고 예측한다.

EMP 공격은 농장에서 식탁까지 모든 식품 사슬에 영향을 미칠 것이다. 현대적 농장 장비가 작동을 멈추고 수천 에이커의 농작물을 추수하지 못한 채 내려두게 될 것이다. 온도가 조절되는 물류창고의 기능이 상실되어 수천 파운드의 식량이 못쓰게 될 것이다. 거의 순식간에 식량부족 사태가 온 나라를 휩쓸 것이다. 농업 및 식품산업은 국토안보부(DHS)가 정한 16가지 핵심 생존 항목 중 하나이다. 그러나 이 분야는 거의 관심을 받지 못하고 있다.

농업 분야에서 점점 증가하고 있는 혼란 관행은 식품 방사선 조사 처리, 형태, 방사선원으로 알려진 프로세스이다. 생산자들은 식품 생산에 방사선을 도입하여 식품의 유통 기한을 연장한다. 이런 방사시설들은 자동화되어 있다. 불법 행위자가 알고리즘을 변경하여 방사선 조사 수준을 급격하게 상승시킨다고 가정해보자. 방대한 생산시설과 식품보관소에 방사선이 위험한 수준까지 조사될 수 있다. 설상가상으로 장비를 조작하여 멜트다운(노심 용융)을 촉발할 수 있다. 즉 방사능 물질이 들어 있는 F & B 폭탄이 될 수 있다. 또한 식품을 방사선에 적게 노출시킬 경우에는 오염된 유해 생산물이 유통될 것이다. 대규모 집단 방사선 중독에 대비한 실행 가능한 해결책이 있을까? 간단히 대답하면 ‘아니오’이다.

식품 공급 사슬이 취약한 최근 사례로 푸에르토리코(Puerto Rico)를 들 수 있다. 허리케인 마리아(Maria)가 강타하여 밤새 섬의 농업 기반시설을 초토화시켰다. 상수도는 하수관과 농업 폐기물과 함께 화학 유출물로

오염되었다. 섬의 농부들은 수확은커녕 농장이 생산을 시작하기까지 1년 이상이 걸릴 것으로 예상한다.

사고 전후 시나리오에서 국가는 농작물 테러에 철저하게 대비해야 한다. ISIS나 Antifa가 식품 공급 사슬을 공격하는데 필요한 자원이 절대 금지되어 있는 품목이

아니다. 농업 및 식품 산업은 취약하다. 이 부문에 대한 농작물 테러리스트의 주요 공격은 식품 공급뿐 아니라 미국의 신뢰도에도 치명적인 타격을 줄 것이다.

(The Hill : 2017. 12. 18)

미국 방위고등연구계획국(DARPA), 생물무기를 찾아낼 수 있는 식물 개발

전통적인 감시 도구를 생각하면 이어폰과 은밀한 비디오 카메라의 이미지가 떠오른다. 하지만, 미국 방위고등연구계획국(DARPA)은 겉보기에 별다른 특징이 없는 생활용품을 감시 목적으로 사용하고 싶어한다. 식물이 바로 그것이다.

DARPA는 첨단식물기술 프로그램으로 알려진 프로젝트를 개발하고 있다. 한때 전통적인 도구를 사용해서 정보를 수집하던 기술자들은 현재 식물학자들과 함께 일하고 있다. 이 프로젝트의 가장 큰 특징은 환경을 모니터링 할 때 식물을 사용하는 것이다. 잠재적인 생물화학적 유해성과 무기의 존재를 알려주는 조기경보 신호로서 조작된 식물을 사용하는 것이다. 실제로, 식물은 탄광에서의 카나리아 같은 역할을 한다.

“식물은 자신을 둘러싼 환경에 잘 맞춰져 있어서 자연스럽게 빛과 온도 같은 기본적인 자극에 생리학적 반응을 나타내며, 어떤 경우에는 촉각, 화학물질, 해충, 병원균에 고도로 적응되어 있을 때도 있다” 고 DARPA의 APT(첨단식물기술) 프로그램 매니저인 Blake Bextine은 말했다. “새로운 분자모델링 기술을 사용하면 다양한 자극에 대한 탐지 및 보고 역량을 재프로그래밍할 수 있을 것이다. 이렇게 되면 새로운 정보 스트림이 가능해질 뿐만 아니라, 기존의 센서와 관련된 직원의 위험과 비용을 줄일 수 있을 것이다.”

DARPA의 APT 연구자들은 완전히 새로운 식물을 만들려고 하는 게 아니다. 이들은 기존의 식물에게 새로운 능력을 부여하고 식물의 자연적인 자극을 증진시키기 위해 몇 가지 특징을 변형시키려는 것뿐이다.

DARPA가 언론보도에서 밝혔듯이, 이러한 식물의 잠재적인 용도는 광범위하다. 폭발물을 “탐지” 하도록 식물을 개발할 수도 있다. 공기 중에 특정 화학물질이 있으면 식물의 색이 변하거나 시드는 식이다. 식물은 삼림지역을 걷어가는 군인에게 귀뜸을 해주는 감시 용도로 쓰일 수도 있다. 이 식물들은 반지의 제왕에 나오는 엔트족처럼 인상적이지는 않겠지만 잠재적으로 위험한 상황에서 확실히 미군의 “눈과 귀” 의 연장선이 될 수 있을 것이다.

이 프로그램의 첫 번째 단계는 DARPA의 실험실과 이에 상응하는 온실 시설에서 마무리되고 있다. 시험은 시뮬레이션 된 자연 환경에서 이루어질 예정이다. 모든 것이 계획대로 진행될 경우, 해당 식물이 잠재적인 공공 용도로 안전하게 쓰일 수 있도록 미국 농무부의 동 식물검역소가 해당 식물을 실제로 사용해도 되는지를 모니터링 할 것이라고 DARPA는 밝혔다.

“첨단식물 기술은 실상은 합성 생물학 프로그램이고, 이 공간에서 이루어지는 DARPA의 다른 연구 작업과 마찬가지로 우리의 목표는 다양한 시나리오에 쉽게

적용할 수 있는 플랫폼 능력을 갖추 수 있도록 효율적이고 반복적인 모델의 설계, 구축, 시험 시스템을 개발하는 것” 이라고 Bextine은 말했다.

이 프로젝트는 상당 부분이 식물을 기반으로 하고 있지만, DARPA의 다른 엔지니어링 분야들도 APT 프로젝트에 협력하고 있다. 원격 모니터링이 필요한 경우를 위해 DARPA는 원거리에서 식물의 온도, 화학적 구성, 체제(body plan)를 측정할 수 있는 도구를 개발하고 있다.

생물무기와 생화학무기는 규제가 반복되었다는 점에서 흥미로운 역사를 가지고 있다. 이 무기들은 1차 세계대전 이후에 처음으로 사용이 금지되었다가 2차 세계대전 당시에 다시 사용되었고, 1972년~1993년에 또 다시 금지되었다. 오늘날, 생화학무기는 엄격한 모니터링을 거치고 있으나, 최근 몇 년간 생명공학이 발전한 것을 보면 이러한 제약은 무시되거나 약화된 것 같다. 분명히 DARPA가 주의를 기울이고 있는데도 말이다.

(Interesting Engineering : 2017. 11. 24)

현장에서 DNA 염기서열 분석

지금까지 DNA 분석 기기들은 크고 거추장스럽고 성능도 썩 좋은 것은 아니었다. 인간 게놈의 초기 염기서열 분석을 위해서는 수백 가지가 필요했는데, 어떤 프로젝트는 1990 년대 말에 시작되어 최소 5억달러의 비용과 10 년에 걸쳐 완성되었다. 그 이후로 인간 게놈 염기서열 분석은 일상적인 과정이 되었다. 소요비용도 1,000 달러 이하로 떨어졌다. 작업을 수행하는 기계가 더 좋아지고 소형화되었기는 하지만 아직까지는 여전히 수십만 달러가 든다. 여러 집단에서 더 작고 저렴한 기계를 만들기 위해 노력하고 있다.

주머니에 넣을 수 있을 정도로 작은 첫 번째 기기는 이미 출시되었다. 영국 도시에 기반을 두고 있는 DNA 염기서열 분석 장비 제조업체인 Oxford Nanopore의 것으로, 대략 두툼한 휴대전화 크기이다. 특허 문제가 있지만 다른 소형 기기들도 곧 뒤따를 예정이다.

이른바 MinION 기기는 먼저 랩톱에 연결된다. 직경이 몇 나노미터(10억분의 1미터)에 불과한 일련의 작은 구멍들로 이루어진 "플로우 셀(flow cell)"을 통해 DNA 가닥을 빨아들임으로써 작동한다. 그러한 구멍의

표면을 가로질러 전기가 흐르는 방식은 그것을 통과하는 분자의 형태에 따라 변한다. DNA의 가닥은 모양이 다른 4 가지 형태의 하위 단위로 구성되어 있기 때문에, 나노포어 염기서열 분석을 통해 이러한 염기 서열을 확인할 수 있고, 유전자가 가지고 있는 메시지를 알 수 있다.

나노포어(Nanopore) 기기는 바쁜 연구소에서 요구하는 높은 수준의 정확도를 제공할 수 있는 더 크고 복잡한 기계들의 직접적인 경쟁 상대는 아니다. 그보다 MinION은 현장에서 유전체 염기서열 분석을 하도록 설계되었다. 기기 자체는 1,000 달러이고 사용하는 플로우 셀 카트리지는 각각 몇 달 정도 지속하여 사용할 수 있으며 대량 구매 시에는 약 500 달러 정도가 든다. 지금까지 MinION은 남극 대륙의 눈에서 긁어내거나 Svalbard에서 빙하에서 채취하거나, Wales의 폐 탄광 내부의 고인 연못에서 수집한 미생물의 DNA에 대한 염기서열을 분석하는데 사용되었다. 이 기술은 2015년 서아프리카에서 에볼라가 발병한 뒤 바이러스의 유향을 잡기 위해 사용되기도 했다..

시료를 한쪽 끝에 넣고 결과를 확인하는 것과 같이 간단한 것은 아니다. 실제 휴대용 유전자-염기서열 분석 기기를 제공하기 위해서는 소형화하고 시료 전 처리를 자동화해야 한다. DNA를 추출하기 위해서 생물학적 샘플의 세포는 분해되어 개방된, 즉 세포분해라고 하는 과정을 거쳐야 한다.

추출된 DNA는 판독에 악영향을 주지 않도록 충분한 순도를 유지해야 한다. 이는 까다로운 일로 일부 생화학적 훈련과 원심분리기, 그리고 값비싼 시약의 사용이 필요한 경우도 있다. 세부사항을 비밀로 부치고는 있지만 Oxford Nanopore은 시료를 자동으로 전 처리할 수 있는 Zumbador라고 하는 소형 기기를 연구 중이다.

현재는 많은 사용자들이 기꺼이 시료를 직접 처리한다. 이는 종종 MinION을 사용하면 연구소에서 결과를 보내줄 때까지 기다릴 필요가 없기 때문이다. 대기업 식품회사인 Mars는 중국의 생산 라인에서 살모넬라균 및 대장균 같은 세균성 병원체를 확인하기 위한 용도로 이 기기를 테스트하고 있다. 그 오염에 대해 장비와 제품을 면밀히 조사하고 있지만, 식품안전을 책임지고 있는 Robert Baker에 따르면 현재의 장비로는 결과를 얻기까지 며칠 혹은 몇 주가 걸릴 수 있다고 한다. 그는 자동화를 통한 전 처리가 가능해져 실시간 모니터링을 통해 문제를 거의 즉시 발견할 수 있게 되기를 바라고 있다. 전 처리의 자동화는 검출할 수 있는 버그의 범위를 확대한다. 현재의 검사 방법은 특정 병원체에 대한 것이지만, 염기서열 분석으로는 어떤 버그가 나타나는지 식별할 수 있다. Mr Baker는 초기 결과의 조짐이 좋다고 말한다.

식품의 출처도 계능 조사를 위한 좋은 대상이다. 영국의 일부 슈퍼마켓에서 쇠고기로 표시된 육류에서, 말에서 나오는 물질이 들어있는 사건이 있고 난 후, 육류

제품의 원산지와 종을 확인할 수 있는 검사를 요구하는 경우가 생겼다. 영국 가열육 공급업체인 Cranswick는 워릭 대학(University of Warwick)과 협력하여, 휴대용 시퀀서를 사용하여 포장육에서 추출한 DNA 시료를 분석하여 유래 종을 확인하고 있다.

현장에서 염기서열을 분석하는 것의 이점은 개발도상국에서 여전히 더 클 수 있다. 탄자니아(Tanzania)와 우간다(Uganda)의 농업 연구원들은 Oxford Nanopore의 기기를 사용하여 카사바 작물을 감염시키는 바이러스를 식별할 계획이다. 대부분 아프리카인에 해당하는 약 5억 5천만명이 카사바를 주식으로 하고 있지만, 가루이(whitefly)가 퍼지는 갈색 줄무늬 바이러스 등의 재해로 인해 수확량이 40 배까지 감소할 수 있다. 다르에스살람(Dar es Salaam)의 미코체니 농업 연구소(Mikocheni Agricultural Research Institute, MARI)와 캄팔라(Kampala)의 국립작물자원연구소(National Crops Resource Research Institute)는 바이러스의 변종을 확인하고 농민들이 내성 작물을 심도록 지원하기 위해 이미 시료를 모으고 있다. 그러나 염기서열 분석을 위해서는 이것들을 호주, 한국, 스위스 등의 해외 연구소로 보내야 해서 수개월이 걸릴 수 있다. 지난 9월, 파일럿 프로젝트에서 웨스턴 오스트레일리아 주 대학(University of Western Australia)의 농학자인 Laura Boykin과 MARI의 소장 Joseph Ndunguru는 휴대용 시퀀서를 사용하여 48시간 이내에 변종에 관한 데이터를 농민들에게 제공하였다.

휴대용 염기서열 분석 기기의 처리속도가 더 빨라지고 정확해짐에 따라 Oxford Nanopore의 최고기술책임자(CTO)인 Clive Brown은 누구나 세계의 계능 프로필을 이해하는데 기기를 사용할 수 있을 것으로 전망하였다. 사용자가 혈액이든, 침이든, 슈퍼마켓 치킨이

든 기기를 어떤 것에 대기만 하면 게놈 프로필을 확인
할 수 있다. 유전자 염기서열 분석은 수년간 연구해온

것이다. 이제 조만간 어디에서나 흔히 볼 수 있는 일상
적인 것이 될지도 모른다.

(The Economist : 2017. 12. 7)