

## PART 01 \_ 개발동향

# 합성 생물학의 이해 그리고 생물 안보

### 01 DNA와 유전자

#### 가. 세포

우리는 학창시절 생물 수업을 통해 세포(cell)는 생명의 기본 단위라고 배웠으며, 우리 몸에 뇌세포, 피부세포, 면역세포 등 다양한 종류의 세포들이 존재한다는 것을 알고 있다. 세포는 모든 유기체들의 구조적, 기능적, 생물학적 기본 단위라고 정의되기 때문에 사실 단순하다고 생각할 수 있다.

하지만, 그림 1에서 확인할 수 있는 것처럼 세포는 굉장히 복잡한 시스템이고 핵(nucleus), 리보솜(ribosome), 미토콘드리아(mitochondria) 등의 다양한 세포소기관으로 구성되어 있다. 미토콘드리아는 세포 내에서 이용할 수 있는 형태의 에너지를 만들어 내는 소기관이고 리보솜은 유전정보에 암호화된 단백질을 만들어내는 소기관이다.

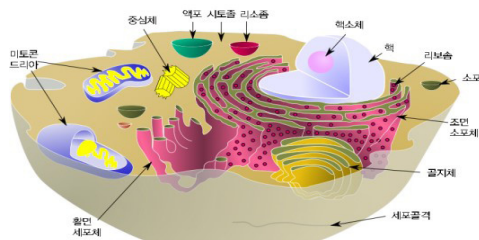


그림 1 | 세포소기관의 종류

세포의 핵은 특정 유기체의 유전정보를 암호화하고 있는 DNA를 가지고 있다. DNA<sup>2</sup>는 2개의 뉴클레오타이드(nucleotide) 중합체(polymer)가 이중나선 구조로 결합되어 있는 고분자화합물이다. (그림 2 참고) 이중나선 DNA는 히스톤(histone) 단백질과 복합체를 형성하여 응축될 수 있는데 세포분열시 일시적으로 확인 가능한 염색체 형태로 응축될 경우 약 50,000배 정도 길이가 짧아진다고 알려져 있다.

#### 나. DNA

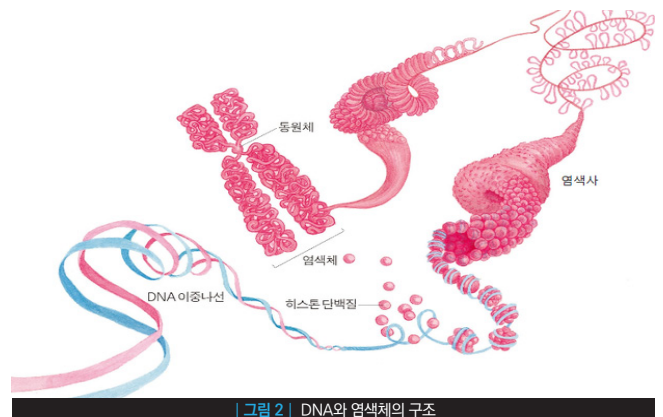


그림 2 | DNA와 염색체의 구조

DNA의 기본적인 단위체를 뉴클레오타이드라 불리는데

1 그림 1의 세포 구조는 진핵세포(eukaryote)의 일반적 구조이며, 원핵세포, 식물세포 등은 그림 1과 다를 수 있음  
2 DeoxyriboNucleic Acid

그 구조는 그림 3과 같다.

뉴클레오타이드는 5개의 탄소가 이루어진 오탄당에 인산과 염기가 결합된 구조이며, 오탄당의 첫 번째 탄소(1')는 염기와 결합하고 5번째 탄소(5')는 인산과 결합되어 있다.

2개 이상의 뉴클레오타이드는 phosphodiester 결합에 의하여 중합체로 연결이 가능한데 이 결합에서 인산기(PO4<sup>3-</sup>)는 첫 번째 뉴클레오타이드(①NT) 오탄당의 세 번째 탄소(3')와 다음 뉴클레오타이드(②NT) 오탄당의 다섯 번째 탄소(5') 사이에 위치하게 된다.

DNA가 방향성을 가지고 있는 이유는 바로 뉴클레오타이드가 5'에서 3' 방향으로 계속해서 중합되기 때문이다.(예 : 5'-①NT-3'-5'-②NT-3') 이렇게 phosphodiester 결합을 통해 형성되는 구조를 DNA의 뼈대(backbone)이라고 한다.

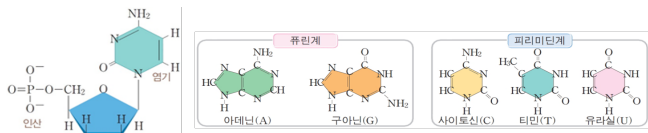


그림 3 | 뉴클레오타이드의 기본 구조 및 염기의 종류와 구조

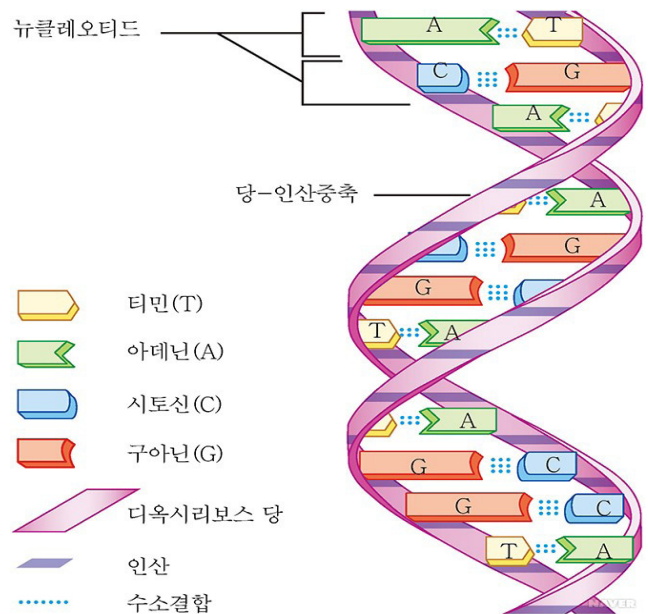


그림 4 | DNA 이중나선의 염기쌍

2개의 상보적인(complementary) DNA 나선은 서로 이중나선으로 결합이 가능한데 이중나선으로 존재할 경우 2개의 DNA 뼈대는 외부에 위치하고 내부에는 유전정보인 염기가 쌍을 형성하게 된다.(그림 4 참고) 생명체의 핵심이 되는 DNA 유전정보는 이러한

염기들의 순서(5'→3')를 말하며 DNA의 염기는 아데닌(adenine, A), 구아닌(guanine, G), 사이토신(cytosine, C), 티민(thymine, T) 네 가지로 구성된다. 단, RNA(RiboNucleic Acid)의 경우는 티민(T) 대신 우라실(Uracil, U)로 구성된다.

DNA의 염기 구조를 살펴보면 A는 G와 유사하고 C, T가 서로 유사함을 알 수 있는데 DNA 이중나선 구조의 내부에서 A-T와 G-C는 수소결합을 통해 서로 쌍으로 결합한다.(예를 들어 한 DNA 나선의 유전정보가 5'-ATGCTCGG-3'라고 하면 다른 한쪽 나선의 유전정보는 3'-TACGAGCC-5'라는 것을 알 수 있게 된다.

참고적으로 인간의 경우 약 30억 개의 뉴클레오타이드를 가지고 있고 세포분열시 2배로 복제가 된다. DNA 복제시 오류가 생길 확률은 1/108인데 발생된 오류는 DNA mismatch repair라는 과정에 의하여 복구될 수도 있다.

다. 유전체(게놈)와 유전자

대부분의 사람들이 과거에 “게놈 프로젝트”라는 용어를 많이 들어왔을 것이다. 한 유기체에 존재하고 있는 유전정보 전체를 유전체(게놈, genome)라고 한다.

1984년에 시작하여 2003년에 종료된 인간 유전체 계획(Human Genome Project) 이후 다양한 연구를 통해 유전체와 유전자에 관한 연구 결과들이 계속해서 나오고 있다. 몇 가지 연구 결과에 대하여 간단하게 살펴보면, 한 유기체의 유전체 크기와 유전자의 수는 유기체의 실제 크기에 비례하지 않는다.

물론 바이러스의 유전체보다 사람의 유전체의 크기가 더 크지만 우리의 주식인 쌀과 비교할 경우 사람들은 꽤 놀랄 수밖에 없다.

왜냐하면 유전체의 크기는 쌀이 더 크기 때문이다. 쌀과 인간의 유전자 수를 비교해보면 더 놀라운데 인간의 유전자는 약 19,000개 정도인데 반해 쌀의 유전자는 46,000개 이상으로 알려져 있다.

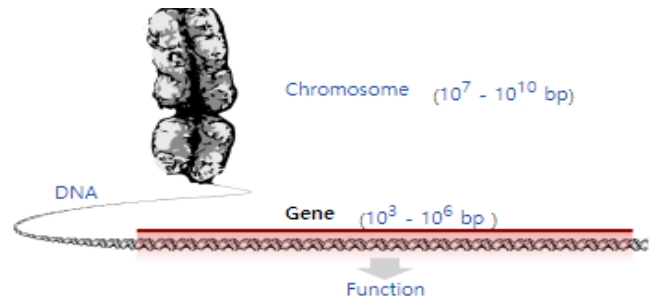


그림 5 | 염색체의 유전자

유전체는 간단하게 유전자(gene)라는 부분과 그 이외의 서열로 구분된다.

유전자는 유전체 중에서 어떠한 기능을 보유한 분자를 암호화하고 있는 DNA 뉴클레오타이드 서열이라고 한다. 약 30억 개의 뉴클레오타이드로 구성된 인간의 전체 유전체에서 단백질을 암호화하고 있는 유전자는 약 1~2% 사이로 극히 일부분에 지나지 않는다.

유전자가 어떠한 기능을 보유한 분자로 만들어지는 것을 유전자 발현(gene expression)이라고 하는데 유전자에 있는 정보를 토대로 기능할 수 있는 단백질을 만드는 과정으로 생각하면 된다.

유전자가 단백질이 되는 과정은 크게 전사(transcription), 번역(translation)이라는 과정을 거치게 되는데 자세히 들어가면 복잡하기 때문에 생략하도록 하겠다. 이처럼 생명체가 어떠한 기능을 하고 형질을 나타낸다는 것은 그 유기체의 유전정보에 의하여 유전자가 단백질로 발현되기 때문이다.

**02 합성 생물학의 이해**

**가. 포스트 게놈(유전체) 시대**

2003년 인간 유전체 계획이 종료된 이후 DNA 서열을 자동으로 읽는 sequencing 기술(next generation sequencing), 다량의 서열 정보를 처리하는 컴퓨터 기술 등과 관련된 생명과학 기술의 발전으로 인해 유전체를 읽는 비용이 엄청나게 저렴해지고 시간도 단축되었다.

2003년에 종료된 인간 유전체 계획이 “읽기”였다면 2016년 6월에 시작된 인간 유전체 계획은 “쓰기”다.

새롭게 시작한 이 프로젝트(Human Genome Project-Write, HGP-Write)에서는 20년간 합성 생물학(synthetic biology)과 인공 유전자 합성(artificial gene synthesis)에 관한 연구를 진행하기 위하여 시작되었다.

이제는 다양한 생명체의 유전 정보를 읽고 해독하는 수준을 벗어나 유전정보를 조작하거나 새로 설계가 가능한 시대라 진입했다고 볼 수 있다. 이 프로젝트의 초기 목표는 인간 유전체 30억 개의 뉴클레오타이드를 모두 합성하는 것이었지만 기술적으로 가능한 단기 목표를 달성하는 방향(바이러스 저항성 인간세포 합성)으로 목표를 수정한다고 발표하였다.

이처럼 포스트 게놈 시대를 맞이한 오늘날 우리나라를 비롯한 전 세계 각국은 생명 공학 분야가 나아갈 방향으로 합성 생물학을 꼽고 있으며 여러 가지 연구를 진행 중에 있다. 이에 따라 합성 생물학 관련 연간 논문 수는 그림 6에서 볼 수 있듯이 전 세계적으로 매년 증가 추세에 있다.

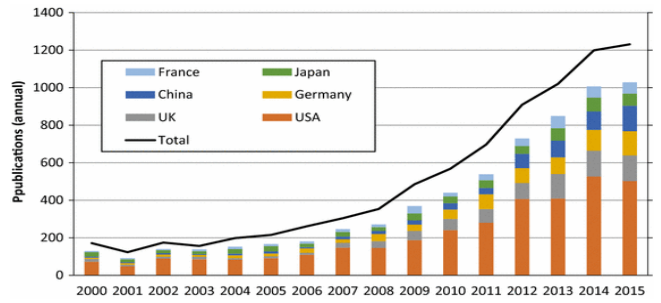


그림 6 | 세계 주요국의 합성 생물학 관련 연간 논문 수

**나. 합성 생물학의 정의**

합성 생물학은 인류가 직면한 질병 치료, 식량과 환경 문제 등을 해결할 수 있는 현실적인 수단으로 떠올라 미국 등 선진국을 중심으로 활발하게 연구되고 있는 분야이다.

합성 생물학은 아직까지 뚜렷하게 정립되지 않은 개념으로 각국이나 연구의 의도에 따라 다양하게 정의되고 있다.

가장 널리 알려진 합성 생물학의 정의는 “1) 기존의 자연 세계에 존재하지 않는 새로운 생물 구성요소와 시스템을 설계 및 제작하거나 2) 유용한 목적의 특정 작업을 수행하기 위해 기존의 자연 세계에 존재하는 생물 시스템을 재설계 및 제작하는 것”이다.

미국 생명윤리 대통령 위원회(PCSBI)에서는 “합성 생물학은 생물학, 공학, 유전학, 화학 그리고 컴퓨터 과학의 요소들이 결합한 연구 분야가 결합함에 따라 주어진 이름이다.

합성 생물학은 향상된 특성들을 가진 새로운 생화학적 시스템 또는 유기체를 창조하기 위하여 표준화되고 자동화된 과정들에 따라 화학적으로 합성된 DNA에 의존하는 합성생물학 하위에 속한 다양하지만 서로 연관된 시도”라고 정의하고 있다.

우리나라에도 합성 생물학에 대하여 정의된 사례가 있는지 확인하기 위하여 대통령 소속 국가생명윤리심의위원회와 국가생명윤리정책원에 접속해보았지만 합성 생물학에 대한 정의는 어렵게 찾을 수 없었다.

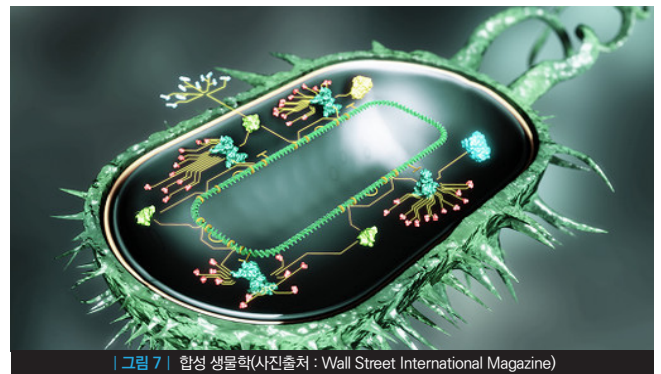


그림 7 | 합성 생물학(사진출처 : Wall Street International Magazine)

**다. 합성 생물학의 응용**

합성 생물학의 가장 성공적인 공학적 접근은 말라리아 치료제인 '아르테미시닌(artemisinin)의 대량 생산'이다. 말라리아는 모기를 매개체로 한 전염병인데 열대지역이나 아열대 지역에 거주하거나 여행하는 사람들에게 광범위하게 전염되는 질병이다.

2016년 한 해 동안 전 세계에서 감염된 환자 중 44만 5천명에서 73만 명 정도가 말라리아에 의해서 사망한 것으로 알려져 있다. 2015년 노벨 의학상을 받은 중국인 과학자 투유유(Tu Youyou)가 중국 전통 약재에서 아르테미시닌이 발견하기 전까지 말라리아에 대한 적절한 치료제는 전 세계 없었다.

개똥쑥(*Artemisia annua*)이라는 식물에서 추출되는 아르테미시닌은 치료 효능은 있었으나 추출되는 양이 매우 적어 치료제 대량 생산에 어려움을 겪고 있었다.

이를 극복하기 위하여 아르테미시닌 전구체(precursor)의 합성이 가능한 유전자 조합을 개똥쑥에서 추출, 조합하였고 이것을 대장균과 효모에 적용하여 치료제를 대량 생산할 수 있는 방법을 개발하였다.

합성 생물학은 바이오섬유, 바이오연료 등의 분야에서 성과를 내고 있다.

2009년 미국의 듀폰(Dupont)사는 소로나(Sorona)라는 섬유를 개발했다고 발표하였다. 소로나의 원료는 옥수수에서 추출한 당인데 이는 효모나 세균 안에서 다시 섬유로 만들어진다.(그림 8 참고) 기존 합성 섬유 제조 과정과 비교할 때 온실 기체 배출량이 63% 적으며 소로나 섬유는 질기고 얼룩과 변형이 잘 생기지 않는다는 장점이 있다. 바이오연료 분야를 보면 비식용 작물이나 낙엽과 같은 죽은 식물에서 에너지를 뽑아내는 합성 생물학 기술이 연구 중에 있다.

한국의 경우 SK 이노베이션과 GS칼텍스 등에서 미국의 경우 Naval Facilities Engineering Service Center와 듀폰 등에서 이러한 기술을 연구 중에 있다.

합성 생물학의 기술은 멸종 동물을 복원하는데도 이용되고 있다. 2000년에 스페인에서 멸종된 Pyrenean ibex(*Capra pyrenaica pyrenaica*)를 복원하기 위하여 Advanced Cell Technology라는 기업은 스페인 정부의 지원을 받아 핵이식 연구를 진행하였다. 멸종 전 마지막 개체에서 확보된 피부 세포 샘플에서 유전체 정보를 확보하였고 이를 이용하여 마침내 2003년 7월 복제 Pyrenean ibex를 복원하는데 성공하였다.

하지만, 수분 만에 폐에 생긴 물리적 결함으로 인해 사망하였다. 이것은 멸종된 종의 복원을 위한 첫 번째 시도였다.

이후 2008년 일본에서 복제 쥐를 만드는데 성공하였으며, 2015년 멸종된 매머드를 부활시키기 위한 프로젝트도 발표되었다.

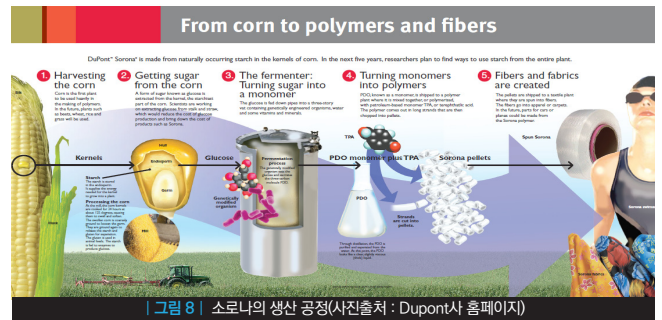


그림 8 | 소로나의 생산 공정(사진출처 : Dupont사 홈페이지)

**3. 생물 안보**

**가. 잠재적 위험성을 내포한 합성 생물학 연구들과 합성 생물학의 대중화**

합성 생물학은 환경, 의료 등 다양한 분야에서 여러 가지 문제를 해결해줄 수 있는 장점을 가지고 있는 반면에 잠재적 위험성 역시 가지고 있다.

다음은 미국, 일본, 캐나다 등에서 발표된 연구 내용인데 합성 생물학의 위험성을 자각하게 해주는 내용들이다. 2005년 미국 CDC(Centers for Disease Control and Prevention)에서는 알래스카 영구 동토층에 있던 한 여성의 시신으로부터 바이러스의 유전자 염기 서열을 읽어 내고 이를 통해 바이러스를 복원해냈다.

이 바이러스는 5000만 명 사망자를 낸 스페인 독감 바이러스(Spanish flu)이다. 이에 한발 더 나아가 2007년 일본에서는 복원된 스페인 독감 바이러스를 원숭이에 감염시키는 연구에 성공했다.

2018년 캐나다에서는 천연두 바이러스 제작을 위하여 업체에서 DNA 조각들을 주문하고 연결하여 6개월 만에 바이러스를 만들어냈다. 스페인 독감 바이러스와 관련된 연구는 유사한 바이러스인 조류 인플루엔자 바이러스의 발생 과정을 이해하고 백신을 만드는데 도움을 받고자 진행된 연구이다.

하지만, 복원된 스페인 독감 바이러스가 통제 불능의 상황에 빠지게 된다면 이는 곧바로 끔찍한 결과로 이어질 수 있기 때문에 바이러스 복원에 대한 논쟁은 이어지고 있다. 또한, 캐나다의 연구 사례는 합성 생물학 연구의 대중화로 발생할 수 있는 위험성을 보여주는데 일정 수준의 연구 장비나 시설이 뒷받침된다면 지식을 가진 일반인도 위험한 바이러스를 만들 수 있다는 것이다.

현재 우리나라에서 활성화되지 않았지만 외국에서는 생물학 분야에서도 Do-it-yourself(DIY)를 통해 대중화가 진행되고 있다.

DIY-biology (DIY-bio)가 가능한 이유는 많은 단체나 기관에서 공동 실험실(community lab)을 만들고 강좌와 실습을 제공하고 있기 때문이다. 50 ~ 100달러 정도의 비용으로 가입이 가능하고

회원들은 이곳에서 생물학 관련 분야의 실험을 할 수 있다. 물론 과학 기술의 대중화 측면에서 순기능도 많겠지만 통제되지 않을 경우 이는 지역, 사회, 국가 차원의 문제를 야기할 수 있다.

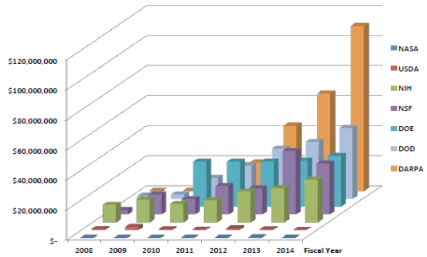


그림 9 | 미국의 합성 생물학 관련 연구비(2008년 ~ 2014년)

**나. 생물 안보(biosecurity)**

미국국립과학아카데미(National Academy of Sciences)는 생물 안보를 “1) 개발, 생산, 저장을 포함하여 잠재적으로 위험한 생물학작용제(biological agents) 또는 생물기술(biotechnology)의 의도치 않거나 부적절한 또는 의도적이거나 악의적인 이용에 대한 조치 2) 새로이 나타나거나 전염되는 질병의 발생이나 생물학무기(biological weapon)의 이용에 대한 조치”라고 정의한다.

예를 들어 메르스, 구제역, 사스 등과 같이 자연적으로 발생한 질병이나 탄저균과 같은 생물학무기로부터 시민, 농작물, 가축 등에 전이되지 않도록 방지하는 것이 바로 생물 안보다.

전염성 바이러스 질환 분야의 WTO 전문가는 뉴욕 타임즈와의 인터뷰에서 생물학무기의 위험성을 언급하였는데 다음과 같이 이야기하였다. “이 지구상에서 3000만 명 이상의 살해할 수 있는 수단은 단 두 가지이며, 핵무기와 생물학무기입니다.”

이처럼 생물학무기는 핵무기와 비교할 때 여러 가지 장점을 가지고 있다. 특히, 기술의 진입 장벽이 상대적으로 낮고 비용이 저렴하며, 무기로 사용시 초기 감지 혹은 치료가 어렵고 비밀리에 연구할 수 있다는 장점 등이 있다. 특히 우리나라는 생물학 무기를 보유하고 있는 북한과의 대치 등을 포함한 안보 상황을 고려할 때 국가 차원에서 생물 안보에 대한 준비가 필요하다고 판단된다.

만약 악의적인 목적을 가진 생물 테러리스트들이 존재하여 인체에 치명적인 스페인 독감 바이러스 등을 합성하여 살포한다면 이는 국가 안보 차원의 큰 문제가 될 것이다.

스페인 독감 바이러스의 복원처럼 치료 연구 목적으로 진행된 연구 결과라도 이는 목적에 따라 군사용으로 활용이 가능한데 이를 이중 활용 연구(dual use research)라고 한다.

이처럼 바이오 분야의 기술들은 잠재적으로 군사용으로 이용될 가능성이 있기 때문에 위험한 목적으로 생물학적 물질들이 사용되지 않도록 정부 차원의 규제나 프로토콜이 필요하다.

미국의 경우 국립보건원(National Institute of Health, NIH) 산하 생물 안보에 관한 국가 과학 자문 위원회에서 합성 생물학이 가지고 있는 잠재적 위험성을 고려하여 몇 가지 권고사항을 제시하고 있다.

권고사항은 다음과 같다. 1) 합성 생물학 기술은 생물 안보 위험을 초래할 수 있기 때문에 제도적인 감시와 통제가 필요하다. 2) 군사용 및 민간용으로 동시에 사용될 수 있는 이중 활용 기술의 경우 생명 과학이라는 분과나 학자들로만 이뤄진 학계를 넘어서는 통제가 필요하다. 3) 이중 활용 기술의 연구 주제들을 다루거나 합성 생물학을 연구하는 집단과 소통할 수 있는 교육 및 협력 프로그램의 개발이 필요하다. 4) 미국 정부는 새로운 과학적 발견이나 기술을 감찰하기 위한 정책적인 노력의 대상에 합성 생물학 분야를 포함시켜야 한다.

또한, 미국의 보건사회복지부에서는 합성된 이중나선 DNA 제공자를 위한 검사체계 가이드라인을 만들어 규제하고 있는데 1) 고객 검사 2) 염기서열 검사 3) 사후 검사가 필요하다고 제시하고 있다.

**4. 결론**

합성 생물학은 전문가가 아니더라도 독성 유전자나 바이러스의 유전체 등을 만들 수 있는 시대를 열어주었다.

인류가 직면한 의료, 환경 등에 대한 해결책이 될 수 있는 혁신적인 기술이지만 악의적인 목적으로 활용될 경우 국가를 뛰어넘는 수준의 재앙을 야기할 수 있다.

미국과 유럽연합 등은 이러한 합성 생물학의 양면성을 고려하여 기술 개발을 위한 엄청난 투자와 함께 생물 안보와 관련된 제도적인 감시와 통제를 병행하고 있다. 하지만, 우리나라의 경우 2017년 기준 45건의 관련 연구가 진행되고 있으나 합성 생물학의 위해성이나 생물 안보에 관련된 연구는 많지 않은 것으로 파악되고 있다.

생물 안보에 대한 정책 연구, 생물 안보 관련 국가 위원회 신설 등을 통해 국가 차원의 생물 안보 대응체계 구축을 준비하고 바이오 경제 시대에 대비하여 합성 생물학, 시스템 생물학 등 관련 바이오 분야에 대한 투자를 확대하고 이를 통한 기술 개발, 혁신 등이 필요하다고 판단된다.

美DARPA는 2014년 기준으로 미국의 합성 생물학 분야 전체 연구비의 약 60%를 투자하고 있으며, DARPA와 DoD는 2010년 이후부터 합성 생물학 관련 분야에 많은 연구비를 투자하고 있다.

또한, 유럽연합과 영국 등도 합성 생물학 연구비에 대한 투자를 지속적으로 확대하고 있다. 국방부의 2019~2033 국방과학기술

진흥정책서에 보면 미래형 첨단 신기술 분야의 국방전략기술에 합성 생물학 기술이 포함되어 있지만 이것이 실제 연구로 이어지기에는 오랜 시간이 소요될 것으로 예상된다.

미국 등의 선진국이 오래전부터 투자하고 있다는 점을 고려할 때, 늦었지만 우리 군과 관련 연구소에서도 합성 생물학 기술에 대한 중요성, 위험성 그리고 생물 안보 등을 심층적으로 검토하고 미래 전장에 대한 전략적인 대응을 모색해야 한다.

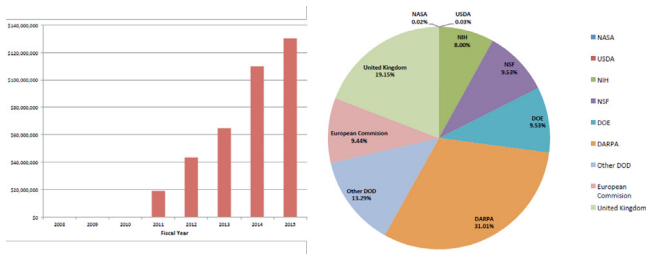


그림 10 | DARPA의 합성 생물학 연도별 투자비(좌)와 2014년 합성 생물학 연구비 비율(우)



국방기술품질원 항공유도연구3팀  
 연구원 정의영 / eyjeong@dtaq.re.kr

## 출 처

1. naver 지식백과(학문명백과 : 자연백과)
2. ZUM 학습백과(고등셀파)
3. 이우주 의학사전

## 참고 문헌

1. Bruce Alberts 외 6명, Essential Cell Biology, 6장 DNA
2. Larrea AA. et. al., DNA mismatch repair, Cell, 2010, 141(4), 730
3. Belyi, V.A., et. al., "Sequences from Ancestral Single-Stranded DNA Viruses in Vertebrate Genomes: the Parvoviridae and Circoviridae Are More than 40 to 50 Million Years Old", Journal of Virology, 2010, 84(23), 12458-12462.
4. Yu, J., et. al., "A draft sequence of the rice genome (*Oryza sativa* L. ssp. indica)", Science, 2002, 296(5565), 79-92.
5. Chi, K.R., et. al., "The dark side of the human genome", Nature, 2016, 538(7624), 275-277.
6. Claverie, J.M., et. al., "Fewer genes, more noncoding RNA", Science, 2005, 309(5740), 1529-1530.
7. Boeke, J. D., et. al., "The Genome Project-Write", Science, 2016, 353, 126-127.
8. 송기원, 송기원의 포스트 게놈 시대, 2018
9. Elie Dolgin, "Scientists downsize bold plan to make human genome from scratch", Nature, 2018, 557, 16-17.
10. Philip S., et. al., "Tracking the emergence of synthetic biology", Scientometrics, 2017, 112(3), 1439-69.
11. 오일찬, 구경아, 박용하, 합성생물 관리방안 마련을 위한 국내외 연구동향, 2017
12. "Synthetic biology is the name given to an emerging field of research that combines elements of biology, genetics, chemistry, and computer science. The diverse but related endeavors that fall under its umbrella rely on chemically synthesized DNA, along with standardized and automatable processes, to create new biochemical systems or organisms with novel or enhanced characteristics"
13. "World Malaria Report", WHO, 2017
14. Haidong Wang et. al., "Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980-2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015", Lancet, 2016, 388, 1459-1544.
15. The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2015, Nobel Foundation, 2015
16. Ro, D. et. al., "Production of the antimalarial drug precursor artemisinic acid in engineered yeast", Nature, 2006, 440, 940-943.
17. Zimmer. Carl, "Bringing Them Back To Life, 2014
18. Wakayama, Sayaka, et. al., "Production of healthy cloned mice from bodies frozen at -200C for 16 years", Proceedings of the National Academy of Science, 2008, 105(45), 17318-22.
19. Johnson N. P., et. al., "Updating the accounts global mortality of the 1918-1920 "Spanish" influenza pandemic", Bulletin of the History of Medicine, 2002, 76(1), 105-15.
20. Tumpey, T. M., et. al., "Characterization of the reconstructed 1918 Spanish influenza pandemic virus", Science, 2005, 310(5745), 77-80.
21. Imai, M., et. al., "Experimental adaptation of an influenza H5 HA confers respiratory droplet transmission to a reassortant H5 HA/H1N1 virus in ferrets", Nature, 2006, 486, 420.
22. Noyce, R. S., et. al., "Construction of an infectious horsepox virus vaccine from chemically synthesized DNA fragments", PLoS One, 2018, 13(1), e0188453.
23. <https://osp.od.nih.gov/biotechnology/national-science-advisory-board-for-biosecurity-nsabb>
24. U. S. Trends in synthetic biology research funding, 2015

## PART 02 \_ 해외기술단신

# 코로나-19 전염병 확산, 해군에 새로운 사이버보안 우려 야기



코로나-19 전염병 확산 기간 중 원격근무가 증가함에 따라, 미 해군에 사이버보안에 관한 새로운 우려가 야기되고 있다고 해군 관계자가 말했다.

해군참모총장실 사이버보안국장 캐슬린 크리톤 해군소장은 적대세력이 코로나-19로 인하여 원격 근무가 증가하고 있음을 주목하고, 미 국방부를 주요 표적으로 삼고 있다고 말했다.

크리톤 해군소장은 “국방부가 적대세력의 공격목표가 되고 있다. 우리는 시행하고 있는 모든 업무가 사이버보안 표준을 지키고 있다. 적대세력은 여전히 기회를 노리고 있기 때문에 우리의 방어수준을 완화해서는 안 된다.”라고 해군협회 주관 해상-공중-우주 가상 콘퍼런스 기간 중 말했다.

해군은 적의 공격을 예방하기 위해 새로운 원격근무 정책을 개발하고 있다고 크리톤 소장이 말했다. 예를 들면, 해군은 시한이 만료된 공통 접속카드(CAC 카드)를 갱신하기 위해 안전한 방안을 연구하고 있다. CAC 카드는 요원들이 국방부 시설 및 정보체계에 접속하도록 지원한다.

크리톤 해군소장은 “우리는 근무자들에게 원격 근무 시 허용되는 것과 허용되지 않은 것의 정확한 기준을 세우고 있다. 주요한 것은 안전하게 원격근무를 할 수 있고, 여전히 임무를 수행할 수 있도록 보장하는 것이다.”라고 말했다.

이어 해군은 노트북, 이동식 전화, 가상 개인용 네트워크 서버 등과 같은 최종 사용자 가용성을 강화해야만 했다고 말했다. 원격근무 증가는 네트워크에 병목 현상 발생시켜 네트워크의 중단 현상으로 이어졌다.

이러한 문제로 트래픽 확장이 요구되었다고 이어 말했다.

코로나-19 전염병이 발발하기 전에는 단지 수천명의 사람이 원격으로 해군 네트워크에 접속했다. 그러나 발발 이후, 원격근무자들은 150,000명 이상으로 증가했다.

이 전염병 확산은 또한 해군이 새로운 근무 솔루션을 더욱 빠르게 구축하도록 하고 있다고 크리톤 해군소장이 말했다. 예를 들면, 가급적 빠르게 공동작업도구를 마이크로소프트 365 소프트웨어로 전환할 필요성을 강조했다.

그러나 해군은 사이버보안성을 유지할 수 있고 사용하기 쉬운 솔루션을 근무자들에게 제공하도록 해야 한다고 이어 말했다.

크리톤 해군소장은 “우리는 공동작업 및 생산성을 위한 솔루션의 필요성과 보안에 대한 필요성, 두 가지의 밀접한 균형을 달성해야 한다. 이에 따라, 우리는 미국 사이버사령부 및 해군 사이버 구성요소인 함대 사이버사령부의 지시에 따라, 이러한 업무를 추진하고 있다”라고 말했다.

## 해설



전 세계는 신종 코로나-19 바이러스의 창궐에 따라 확산 방지를 위하여 사회적 거리두기를 실시하고 있으며 이에 따라 기업들은 재택근무제를 채택하여 시행하고 있다. 재택근무 시 업무용 PC(예 : 국방망)이 아닌 개인용 노트북 혹은 데스크톱을 사용하고 또한 승인받지 않은 클라우드 혹은 애플리케이션을 사용하여 업무를 하는 비율도 증가하여 이에 따른 대책으로 사이버 보안에 대한 솔루션들의 도입이 필요하게 되었다.[코로나19가 가져온 새로운 사이버세상... '언택트'의 시대, <https://blog.alyac.co.kr/2937>]

적용되는 솔루션 중 하나는 제로 트러스트 (Zero Trust) 개념을 이용한 인증 솔루션이다. 시스템 외부는 안전하지 못하고 내부는 안전하다고 전적으로 믿었던 기존 개념과는 다르게 제로 트러스트는 내·외부 상관없이 그 누구라도 적합한 인증 절차를 받은 후에 신뢰할 수 있다는 개념으로 시스템에 접속하려는 모든 접속요청들은 권한 부여 전 확인 과정을 거쳐야 하는 개념이다. 이에 따라 방화벽 내부 신뢰성이 부여된 시스템을 통한 내부 해킹 위협증가, 클라우드 및 모바일 환경 증가에 따른 보안 경계 수립이 어려운 점, 정보보호 대상이 내부 시스템에서 데이터, 사용자, 원격 업무에 필요치 않는 권한, 데이터 접근 등 다양화되어 이에 대한 것들을 제로 트러스트 솔루션으로 관리할 필요성이 증가하였다. 또 다른 솔루션 중 하나는 문서 중앙화 솔루션이다. 이 솔루션은 작성된 자료를 하나의 서버에만 저장하여 자료유출을 원천차단하며 모든 내부 문서들을 중앙 서버로 통합하여 개인 실수로 인한 유실을 방지할 뿐만 아니라 다른 사용자와도 협업을 할 수 있도록 한다. 또한 여기에는 자료의 암호화를 통하여 내부자의 물리적인 유출(USB, 디스크 등) 또는 해킹에 의해 밖으로 나간 자료에 대한 보안성을 제공한다. 재택근무로 인하여 이러한 솔루션들의 채택뿐만 아니라 '기업의 재택근무 확대와 사이버 위협'이란 보고서에서는 기업은 재택근무기간 중 사이버 위협을 낮추기 위해 사전 시스템 점검과 직원 교육이 필요하다고 주장했다. 이번 코로나-19 사태가 어떠한 방식으로 종식되더라도 우리의 생활 양상은 이전과는 전혀 새로운 방식으로 바뀌게 될 것이다. 재택근무는 우리의 새로운 일상이 될 것이라 예측되기에 이에 따른 적절한 사이버 보안 대책을 세우는 것이 중요할 것이다.



국방기술품질원 지휘정찰연구1팀  
연구원 조승표 / [choseungpyo@dtaq.re.kr](mailto:choseungpyo@dtaq.re.kr)

## 출처

1. Pandemic Raises New Cybersecurity Concerns for Navy, [nationaldefensemagazine.org](http://nationaldefensemagazine.org), 2020.05.18.

## PART 02 \_ 해외기술단신

## 미 국방성, 외상성 뇌손상에 따른 전투피해 예측 등을 위한 전투실험 착수

장차 전투원들은 외상성 뇌손상(TBI, Traumatic Brain Injury)의 발생 위험을 예측할 수 있는 소형 측정장비를 착용하고 전개될 것으로 예상된다.

미 국방성은 병사들의 가슴·어깨·헬멧에 부착된 이 측정센서를 통해 시간별로 폭발환경에 노출된 결과를 압력으로 측정하여 기록할 수 있다고 발표했다. 해당 장치는 2 x 1.5인치 정도의 크기로 흡사 무선통신기 정도의 크기와 유사하다.



[그림] B3G7 폭발 센서 (사진 제공 : 국방 보건국)

기록된 전체 데이터는 컴퓨터를 이용하여 볼 수 있으나, 측정장치 표면에 나타나는 빛의 색깔을 통해 사용자는 대략적인 압력강도를 빠르게 확인할 수 있다. 녹색 빛은 1~4 PSI, 황색 빛은 4~16 PSI 그리고 붉은 색은 16 PSI 이상을 가리킨다.

“장치에 나타난 빛의 색깔은 환경노출 데이터를 계량화 가능한 방식으로 제공하여, 데이터를 기록 및 보유함으로써 개인에게 어떠한 영향을 미치는지를 지속적으로 파악할 수 있다. 한 가지 예로, 뇌진탕 치료를 위한 표적화된 요약은 아직 없다는 사실을 여러분은 수 차례 들었을 것이다.” 라고 전임 국방보건뇌손상센터(DVBIC) 캐시 리 센터장은 언급했다.

비록 미 국방성은 올해 1월 이라크 알 아사드(Al Asad) 기지에 가해진 이란의 공습으로 TBI가 지속되고 있는 110명을 대상으로 진단 시험을 성공적으로 수행하였음을 홍보하고 있지만, 여전히 경미한 TBI를 진단

할 수 있는 가장 객관적인 방안을 찾지 못한 상태로 보인다.

그 이유는 미 국방성의 TBI에 대한 현재의 정의를 충족하기 위해서는 환자가 기억 상실이나 현기증과 같은 의식 장애를 나타내는 증상 이외에도 이를 유발하는 폭발 환경이나 확률적 사건이 필요하다.

또한 그는 DVBIC 연구자들은 TBI의 존재를 입증할 수 있는 근거로 생체지표와 화학적 불균형 등을 상세히 연구 중이나, 국방성에서 어떠한 폭발 환경을 통해 TBI시험을 모의할 수 있는 조건을 충족할 수 있을지는 현재까지 의문임을 밝혔다.

12~360명으로 구성된 약 60개 부대가 훈련기간 중 이 센서를 착용하고 있으며, 부대 전개와 연계하여 시범사업이 진행될 예정이다. 군 관계자는 위 시범사업에 어느 부대가 참여하는지 밝히지 않았으나, 총 4,408세트의 센서가 사용되고 있다고 밝혔다.

이어 미 국방성은 21년 하반기 경 시범사업 결과를 발표할 것이라고 밝혔다.

그들이 처음 시도한 몇 차례 시험은 고정된 전장 센서를 사용하여 부대원이 뇌진탕 성 폭발에 노출되는지 여부를 측정하기 위함이었으나, 이번 시험간에는 소형 인체장착형 센서를 활용하여 폭발 사건이 개인의 인체에 어떠한 영향을 미치는지를 조사할 예정이다.

미 국방성은 부대원 반경 50m 이내의 폭발상황을 포함한 TBI를 시험할 수 있는 다양한 시나리오를 이미 구성하였다.

“우리는 인과관계, 단순관계 또는 부대원의 건강과 성과지수에 영향을 미치는 폭발 과압과 같은 환경노출 사이의 관계 또는 연관성을 이해하기 위해 이 모든 측면을 연구할 필요가 있다.”라고 리 센터장이 말했다.

## 해설



외상성 뇌손상(TBI, Traumatic Brain Injury)이란 외상으로 인해 뇌에 손상을 입은 상태를 말한다.

외상성 뇌손상 발생의 원인과 영향에 대한 연구가 미군에서 본격적으로 부각된 것은 2016년에 미 특수부대에서 약 17년간 복무 후 예편한 Adam Smith가 보스니아, 아프가니스탄 등의 파병기간 동안 8회의 뇌진탕을 겪고, 전역 후에도 극심한 외상후 스트레스성 장애(PTSD)에 시달리다 자살한 사건으로부터 기인한 것으로 볼 수 있다.

또한 2020년 1월 13일, 이라크의 알 아사드 미 공군 기지에서 일어난 이란의 미사일 공격에 따라 64명이 외상성 뇌손상 진단을 받은 사건이 일어났다.

같은 1월 다보스에서 열린 한 컨퍼런스에서 트럼프 대통령은 이를 단순 두통이다라는 발언을 하여 논란에 휩싸였는데, 국방보훈 뇌손상센터(DBVIC)에서는 9.11테러 이후 현재까지 약 41만명이 외상성 뇌손상 진단을 받고 있는 것으로 추정하고 있어 그 발생 원인인 폭발에 따른 압력의 크기와 영향성을 분석하는데 주력하고 있는 것으로 예측된다.

제공된 해당 센서의 형상을 토대로 볼 때, 일반적인 압력센서가 동형의 측정막 아래에 내장되어 있고, 측정된 값의 범위에 따라 녹, 황, 적 3색 LED 전구가 발광하도록 되어 있는 구조를 띄고 있다. 센서의 내구성을 보강하기 위해 충격 내구성이 높은 케이스로 패키징되어 있는데, 육안으로 식별은 불가능하지만 데이터를 저장하기 위한 소형저장장치와 전체를 구동하기 위한 배터리가 내장 되어 있을 것으로 보인다.

제공된 기사에서는 16 PSI 이상의 압력이 뇌에 전달되었을 때, 적색을 점등하도록 한 것으로 미루어, 지금까지의 연구에서는 이를 위험수준에 도달하는 역치값으로 추정한 것으로 보인다. 이 값은 약 0.1MPa로 환산되는데 이는 갑자기 물속 10m 깊이에 들어갔을 때 느끼는 압력과 같고, 무게 10톤짜리 물체가 땅바닥에 떨어질 때 받는 충격과 비슷하다.

현대전에서는 고풍탄을 포함한 급조폭발물(IED, Improvised Explosive Device)에 의한 직간접 피해가 전투원의 생존성을 위협 하는 중요요인 중 하나로 작용하고 있다. 도시지역작전 등에서 전투원들은 다양한 근접 폭발의 위협에 노출되는데 이에 따른 TBI의 발생은 생존성과 상황인식능력을 크게 저하시키는 요인 중 하나가 될 것으로 예측된다.

우리는 아직까지 상대적으로 미군에 비해 이러한 위협이 적은 편일 수 있으나, 포병부대, 기갑 및 기계화 부대 등의 포수, 사수들이 실사격 또는 훈련간 과도한 폭발압력과 소음에 누적 노출될 수 있는 위험성을 배제하기 어려워 안전 및 예방 대책이 필요할 것으로 예상된다.



국방기술품질원 전력지원체계연구2팀  
선임연구원 권다옥

## 출처

1. This Pager-Sized Device May Make It Easier to Diagnose TBI on the Battlefield, military.com, 2020.03.05.

**PART 03 \_ 벤처기업 기술현황**

# 수중드론의 제작 및 운용기술



(주)로보스텍 / 대표 최종용

전화번호 051-977-8155

홈페이지 <http://www.rovostech.com>

주 소 [46059] 부산광역시 기장군 읍내로 15번길 11 (1층)

**01 주요 개발 현황**

수중드론(Underwater Drone)은 수중정찰 및 수색, 구조물의 점검 등을 실시할 수 있는 무인잠수정을 말하며, 주로 잠수사를 보조하거나 접근이 어려운 수심에서는 단독으로 임무를 수행하는 장비이다. 현재 해저케이블 조사, 침몰선 조사, 교각 및 댐 구조물의 상태 조사, 인공어초, 양식장 및 동식물의 서식지 조사, 항행위험물, 수중 발파, 익수자 수색 등 다양한 분야에 활용되고 있다.

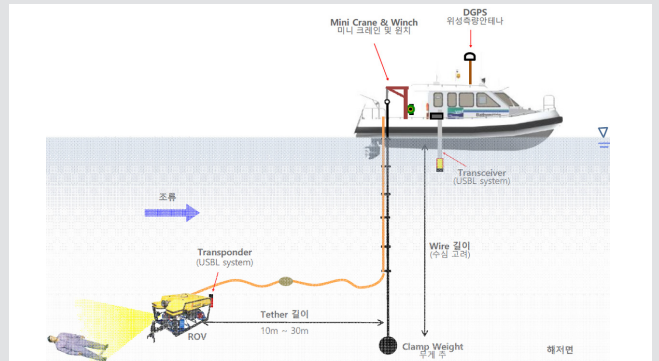
**가. 수중드론 제작 기술**

(주)로보스텍은 잠수사들이 접근하기 어려운 수심(200m급)에서의 정찰, 구조물 점검, 수색 등의 작전을 수행할 수 있는 상시 전원 공급형 수중 드론 제작 기술을 국산화하였다. 또한, 수심 100m 이내에서 선박의 선저 검사나 수중 탐색을 목적으로 하는 배터리 전원공급형 수중 드론 제작 기술도 보유하고 있다.

제품형상		
제품명	ROVO-2	ROVOCEAN
운용수심/ 전원공급방식	200m이내 / 상시전원	100m이내 / 배터리
크기(cm)	65(L)×50(W)×45(H)	45(L)×40(W)×30(H)
무게	20kg	15kg
운용시간	제한없음	2~4시간
주요 구성품	선상통제기, 케이블, 수중드론	
탑재가능장비	소나, 집게	

**나. 수중드론 운용 기술**

수심 200m이내에서 주로 운용되는 소형 수중드론은 수심과 조류에 따라 운용에 영향을 많이 받게 된다. 이에 대한 대책으로 (주)로보스텍에서는 선박의 DGPS와 수중 USBL 시스템을 통하여 수중드론의 위치를 식별하고, 긴이 윈치와 크레인을 함께 활용하여 다양한 현장에서 효율적으로 운용하고 있다.



수중 드론 운용 모식도

**다. 수중드론 활용 분야**

(주)로보스텍은 200m이내의 천해 수심에서 발생하는 다양한 운용 요구사항에 적극적으로 대응하고 있으며, 현재는 해양 시설물의 조사 및 관리와 더불어 수산, 재난 안전 등의 분야에서 수중드론을 활용하고 있다.

또한, 당사에서 개발한 수중드론은 카메라, 소나, 집게 등을 탑재하여 실시간 수중 촬영, 샘플링 등의 임무를 수행할 수 있어서 군함이나 잠수함의 선저 검사, 수중 탐색, 정찰 등 군의 다양한 분야에 활용이 가능하다.



해저 파이프 라인 조사

선박 선저/프로펠러 조사

**02 회사소개**

(주)로보스텍은 수중드론을 개발, 제조, 운용, 교육하는 전문기업으로 최대운용수심 200m급 상시전원형 수중드론과 최대운용수심 100m급 배터리형 수중드론, 수중로봇 키트 등 다양한 수중드론 제품을 국산화 하여 산업현장 및 방산분야에 적용할 수 있도록 개발하고 있다.

또한, 당사는 수중드론 보급 및 시장 확대를 위하여 운용자, 관련 종사자와 청소년을 대상으로 수중드론 교육훈련센터를 운영하는 등의 교육 훈련 서비스를 제공하고 있다.

**주의**

- 자료의 지식재산권 보호를 위해 본 간행물에 게시된 자료의 무단복제·전재를 금합니다.
- 본 자료에 게재된 내용은 국방기술품질원의 공식적인 견해가 아니며, 필자의 개인 의견을 알려드립니다.



경상남도 진주시 동진로 420(충무공동) www.dtaq.re.kr 구독문의: 055-751-5411