

사막의 회복을 위한 치료법, 미생물에서 찾다

Bacillus pasteurii를 이용한 신기술의 적용 가능성을 모색하고,
한국에 필요한 상위조정기구의 정책과 시스템을 제안하다.



방성제
김주예
조윤제
박경원

목차

들어가기

Prologue	1
글로벌 이슈로 떠오른 사막화	2
한국이 사막화 방지에 노력해야 하는 이유	5
표면적인 대처에 불과한 기존 사막화 방지	8
자연에서 발견한 사막 회복의 열쇠, <i>Bacillus pasteurii</i>	9
인터뷰를 통해 알아본 국내 사막화방지의 한계점	12



탐방활동(Explore)

사막의 회복을 위해 떠난 가슴 뜨거운 탐방 이야기!

탐방목적	15
기술	
Deltare	16
시스템	
UNCCD	25
GIZ	32
Wageningen	36
탐방요약	42



해결방안(Solution)

우리나라에 제안하는 사막화방지의 방향성

기술적 제안	44
시스템 제안	45
사막엔딩의 Action plan	46

맺음말	48
------------	----



사막의 회복을 위한 치료법, 미생물에서 찾다

사막, 당신은 사막을 느껴본 적이 있는가. 광활하지만 험벗은, 아름답지만 고독한, 익숙하고도 낯선 그 땅을. 사막이 없는 우리나라 사람들에게 사막이란, 옛 동화 속 낙타를 타고 일렬로 행진하는 아랍 무역상들, 또는 신기루 속에 숨어있는 오아시스 등을 연상시키는 신비한 곳일지도 모른다. 하지만 우리가 마주하고 있는 현실 속 사막은, 어떤 이들에게는 약탈자요, 어떤 이들에게는 쓰나미와 같은 재앙이자 '다가오는 무덤'일지도 모른다. UNCCD(유엔사막화방지협약)에 의하면 세계적으로 매년 남한 땅 면적의 1.2배 정도(600만 ha)의 광대한 토지가 새로이 사막화되고 있다고 한다. 뿐만 아니라 지난 40년간, 2400만명이 사막화로 고향을 잃었고 세계 곡물재배지의 3분의 1이 황폐화되면서 식량안보, 기아, 국제적 분쟁 등의 문제들이 더욱 악화되었다고 한다. 또한 매년 봄철 우리나라를 향해 오는 황사의 발생일수와 지속일수가 증가하고 황사 중 유해물질의 농도 또한 짙어지면서, 우리나라도 더 이상 사막화의 영향 아래 자유롭다고 할 수 없다.

우리는 '사막화' 라는 문제에 대한 해답을 자연에서 찾을 수 있었다. 그것은 바로 **Bacillus Pasteurii** 라는 박테리아인데, 이 박테리아는 모래를 고화시켜 나무를 지탱하는 견고한 토양을 제공해줄 수 있을 뿐만 아니라 사막 한 가운데에 구조물을 만들어 사막화 방지에 기여할 수 있는 기술이다.

우리는 이런 사막화 현상의 심각성을 일깨우고 '무너지고 황폐한 곳을 회복하겠다' 라는 하나의 비전을 가지고 이번 도전을 시작하였다. 우리는 '**Bacillus pasteurii**' 신기술의 적용가능성과 동북아시아 사막화방지의 허브로써 우리나라가 나아갈 방향에 대해 배웠다.



글로벌 이슈로 떠오른 사막화

사막화란?

사막화란 기후변화와 인간활동 등 여러 가지 요인에 의해서 조성된 **건조, 반건조 지역에서의 토지의 황폐화**를 말한다. 사막화는 토지가 가지는 생물생산력의 감퇴 내지 파괴이며 종국적으로는 사막상태를 초래하는 과정이다.

사막화의 폐해

사막화는 자연적인 기후 변동에 대한 **토지의 회복력을 감소**시킨다. 토양, 식물, 건조지 등의 자원들은 회복력을 보유하고 있다. 이러한 자원은 가뭄 같은 기후 변동이나 과다 방목과 같은 인간에 의한 영향으로부터 결국은 회복할 수 있다. 하지만 토지가 황폐화될 때, 이러한 회복력은 크게 약해지고 물리적, 사회경제적인 결과를 초래한다.

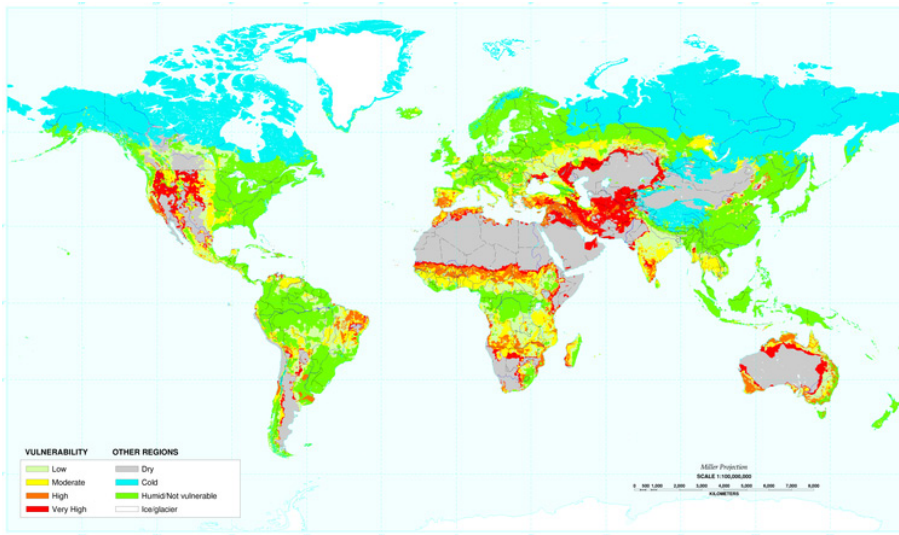
사막화는 **토양의 생산성 또한 감소**하게 된다. 비바람에 노출되어 있거나 침식된 표토는 바람이나 폭풍에 의해 씻겨 내려갈 수 있다. 이는, 토양의 물리적 구조와 생화학적 성분을 한층 더 악화시킨다. 미비한 배수 장치나 관개 시설 때문에 지하수면이 솟아오르면 토양이 침수되어 염기가 생길 수도 있다. 가축들이 토양을 짓밟아 누르면 토양의 식물발육능력은 감소하고 식물이 없는 토양은 수분함유율이 적기 때문에 빗물이 토양으로 스며들기보다 토양 위를 흐르게 되고 증발량이 증가한다. 이것은 결과적으로 식량 생산에 피해를 준다. 푸석한 토양은 식물에 모래를 분사하여 식물을 덮어버리거나 뿌리가 밖으로 드러나게 하여 식물 성장을 방해하거나 불가능하게 만들기 때문이다.

사막화는 **막대한 사회적 비용을 낳는다**. 아프리카인들은 전쟁, 가뭄, 건조지역의 황폐화로 인해 다른 지역이나 타국으로 이주해야만 한다. 이 때, 종종 피난민들과 타국 지역주민 사이에서 무력충돌이 일어나 수많은 사상자를 내기도 한다. 피난민들이 거주하는 막사 주변의 환경자원은 이미 심각한 상황에 처해있으며 이런 힘든 생활여건과 문화적 정체성상실도 사회의 안정을 위협하는 요소가 된다.



사막화의 심각성

UN에 따르면 1970년대에는 해마다 1560km² 규모의 땅이 사막으로 변했고, 1980년대에는 2100km², 1990년 중반부터 2000년까지는 3436km² 규모의 땅이 사막으로 변했다고 한다. 이런 속도를 감안해 볼 때, **2025년까지 아프리카의 경작지 3분의 2가 불모지로 바뀌고, 아시아는 3분의 1, 남미는 5분의 1이 사라질 것**이라고 유엔은 전망했다. 이에 따라 프랑스와 독일 인구를 합친 것과 맞먹는 약 1억3500만 명이 기존 거주지를 떠나야 할 것으로 예측됐다.



빠른 속도의 사막화의 영향으로 사막화가 된 지역에 사는 인구의 수도 빠르게 늘어나고 있다. 가뭄이나 사막화로 인해 생겨난 **환경난민이 2050년까지 세계 인구 중 5,000만명~7억명**으로 분석된다. 뿐만 아니라 아프리카 인구의 33%가 이미 영양실조인 상황에서 사막화는 영양실조와 기아, 질병 문제를 더욱 심화시킨다. 2005년 한 해 동안 가뭄과 사막화로 인한 기아로 에티오피아, 짐바브웨, 말라위, 잠비아, 에리트레아에서 1,500만여 명이 사망하였다. 사막화로 아프리카 인구의 약 1억 3천5백만 명이 새로운 지역으로 이주하는 문제에 처해있는 상황이며 이는 **지역과 국가 간 정치, 사회적 갈등**을 낳고 있다.

*환경난민_

유엔환경계획(UNEP) 등에서 전쟁난민과 구분짓기 위하여 사용하기 시작한 것으로, 생태학적난민이라고도 한다. 자연이 파괴되어 생태계가 무너지면 그 토지에 의존하고 있는 사람들의 생활도 곤경에 빠진다. 급속히 진행되고 있는 삼림의 파괴는 홍수나 토양 침식, 사막화, 나아가서는 기후의 변화까지 초래해 주민들로부터 집과 경지를 빼앗아 간다.

	1975	1994
Americas	68.1	182.3
Asia and pacific	378.0	1,356.6
Sub-Saharan Africa	75.5	326.1
Mediterranean Basin	106.8	144.6
Total	628.4	2,009.7

[사막화의 영향을 받는 인구 수의 증가]

사막화의 원인

1

기후적 요인

기후학적 관점으로 사막지역은 건조지역 강수량이 가능증발산량에 미치지 못하는 지역을 말한다. 기후변동에 의한 자연적 원인의 핵심요인은 **강우량이 적은 것이다**. 즉, 사막화는 가뭄에 의해 일어나게 된다.

2

인위적 요인

사막화 현상에 있어서 **인위적 요인이 미치는 영향이 87%** 정도이다. 기후적 원인도 사막화의 원인이지만 그로 인한 사막화의 증가는 미미하며 인위적 요인에 의해 가속화되고 있다. 세부적인 원인으로는 토양 침식 및 염류화, 수목의 과벌, 과도한 방목, 강우의존 및 관개 농업이 있다.



토양침식

매년 증가하는 추세에 있는 인구의 압력에 대응하기 위해서 첫째로 식량의 확보가 필수적이다. 이를 위해서는 산지의 급사면과 같은 경작 부적지까지 경작하게 되므로 도처에 토양침식을 생기게 하고 대량의 표토 유실을 일으킨다. 표토는 다양한 토양미생물의 서식 장소이며 유기물의 분해가 활발히 이루어진다. 갖가지 양분이 존재하는 표토는 식물의 생육에 불가결한 배양지이다. 토양침식으로 인한 표토의 유실로 인해 하층도가 노출이 되면 토양의 생산력이 약해지고 결국 불포화 상태가 된다.



과도한 방목

가축의 과도한 방목은 식생의 파괴를 초래하고 토지의 황폐화를 촉진시키며 풍식 또는 수식의 원인을 제공한다. 인구가 증가하면서 가축에 대한 노력수요, 식육수요, 연료용 우분의 수요 또한 증가한다. 현재 개발도상국의 거의 모든 국가에서는 가축 사육에 필요한 식생의 양은 초지 공급원의 유지가능수량을 훨씬 웃돌고 있다.



토양의 염류화

토양의 염류화는 건조지에 대량의 관개수가 도입되어 계속적으로 관개농업이 행해지는 경우 자주 발생한다. 건조지에서의 심한 증발 때문에 지중에 포함되어 있는 무기의 염류가 모관수에 용해되어 지표부근 토양층의 염분농도를 높이고 또한 지표면의 물이 증발되어 염분만이 남게되면서 염분의 집적이 시작된다. 이렇게 표토에 집적한 염류는 아주 강한 염류환경을 조성하므로 식물의 뿌리가 강한 침투압에 의해 세포의 수분을 빼앗겨 대부분 말라죽게 된다. 일단 한번 생성된 염류토양을 본래의 토양으로 제염하고 개량하는 데에는 막대한 양의 귀중한 물과 노력이 필요하므로 사람들은 염류화 된 경지를 포기하게 되고 그렇게 염류화 된 토양에 사막화가 진행되는 것이다.



수목의 과벌

건조지에서는 연료확보를 위해 수목이 벌채되고 있다. 현재 개발도상국을 중심으로 15억 이상의 인구가 요리와 난방을 위하여 목재에 의존하고 있다. 아프리카에서는 에너지 이용에 대한 목재 의존비율은 58%나 되고 동남아시아에서도 42%로 의존비율이 높다. 이런 목재에 대한 수요의 영향은 넓은 지역에 걸쳐 삼림지대를 철저히 벌채하여 토지를 나지화하기에 이른다.

한국이 사막화방지에 노력해야 하는 이유

1. 대한민국과 황사

‘황사’란?

황사는 중국, 몽골 등 아시아 대륙의 중심부에 있는 **사막과 황토 지대의 작은 모래나 먼지가 대기 중에 떠다니다가 상층 바람을 타고 멀리까지 날아가 떨어지는 현상**을 말하며 마그네슘, 규소, 알루미늄, 철, 칼륨과 같은 산화물이 포함되어 있다. 평상시에 $10\sim 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 먼지농도가 황사가 발생하면 $100\sim 500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 증가하게 된다.

1

황사의 발원지

우리나라에 영향을 미치는 황사의 주요 발원지는 **중국의 고비사막과 내몽골 고원**이다. 이 황사 발원지의 총 면적은, 사막이 48만 km^2 , 황토고원이 30만 km^2 에 인근 모래땅까지 합하면 한반도 면적의 약 4배나 된다. 이런 중국의 서북 건조지역은 연강수량이 400mm 이하(우리나라의 연강수량은 약 1100~1700mm)이고 사막이 대부분이어서 모래먼지가 많이 발생한다.



2

황사의 발생원인과 과정

건축공사 현장에서는 쌓아둔 모래가 바람에 날리거나 흩어지지 않도록 물을 뿌리거나 그물망으로 덮어놓는다. 마찬가지로 여름이나 가을에는 비와 식물의 뿌리가 모래를 붙잡고 있는 역할을 한다. 하지만 봄에는 겨울 내내 얼어있던 건조한 토양이 녹으면서 잘게 부서져 크기 $20\mu\text{m}$ 이하의 작은 모래먼지가 발생한다. 이렇게 발생한 **모래먼지 위에 저기압이 지나가면 강한 상승기류에 의해 3천~5천 m의 높은 상공으로 올라간 뒤 초속 30m 정도의 편서풍을 타고 이동한다**. 발원지에서 한반도까지 오는 데 걸리는 시간은 2~3일 정도이다. 하지만 최근에는 만주 지역의 사막화 현상이 가속화됨에 따라 황사 발생 시 우리나라까지 도달하는 시간이 12시간 내로 짧아지고 있다.

3

우리 나라의 황사 현황

지구의 온난화로 인하여 중국북부 내륙지방의 사막화가 급속히 진행되어 2000년대 들어서 황사의 발생횟수와 그 지속 일수가 증가 추세를 나타내고 있다. **90년 대에 연평균 황사발생빈도는 3.3회 정도였으나 2000년 이후로 평균 8.6회로 급격히 증가하였다**. 해마다 날아오는 황사로 대기오염이 가중되면서 건강은 물론, 환경피해와 막대한 경제적 손실도 초래하고 있다. 환경정책평가연구원에 따르면 2007년 황사로 인한 **우리 국민의 재산피해액이 4조원 이상인 것으로 나타났**다. 그리고 중국의 공업지대를 지나오는 황사에 포함된 유해물질 농도 또한 높아지는 추세이다. **동북아 지역의 사막화가 지속된다면 향후 우리나라는 더 많은 피해를 받게 될 가능성이 높다**. 그리고 그에 앞서서 사막화 문제는 이웃 국가들만의 문제가 아니라 국제적인 관심과 노력이 필요한 우리 모두의 문제이다. 우리나라 또한 적극적으로 참여하여 사막화방지에 기여해야 한다.

한국도 더 이상 사막화의 영향 아래 자유로울 수 없다.

2. 세계적으로 유례 없는 우리나라의 산림녹화 성공사례



“경제성장과 토지황폐화 문제 해결,
두마리 토끼를 동시에 잡은
세계 유일한 사례

Lester Russel Brown 박사
지구정책연구소장

우리나라는 1960년대 까지만 해도 전체 산림의 나무 총량이 현재의 5%, 민둥산 비율이 50%에 달할 정도로 산림이 극도로 황폐했었다. 1969년, UN조차도 우리나라의 산림에 대해 “세계 2차대전과 6/25전쟁 이후 산림의 황폐도가 고질적이어서 치유가 불가능하다”는 평가를 내렸었다. 당시 황폐한 산림은 육안으로 보기에만 비참한 것이 아니라 그 땅을 터전으로 사는 국민들의 삶에도 치명적인 영향을 미쳤다. 비가 조금만 와도 산에서 흙이 씻겨 내려와 하천과 강바닥이 높아지면서 홍수가 발생했고, 이로 인해 전답이 매몰되면서 폐농이 속출했다. 또 산의 저수 능력 또한 지금의 10분의 1에 불과해 국민들은 일상처럼 물 부족에 시달렸고 생태계마저 사막화 직전의 위기에 놓여있었다.

하지만 현재 대한민국은 세계가 인정하는 산림강국이다. 산림녹화는 도저히 불가능하다고 평가받았던 우리나라가, 세계 4위의 산림강국이 되었고 경제성장과 산림녹화라는 두 마리 토끼를 동시에 잡은 세계 유일한 사례를 선보인 것이다. 숲이 파괴된 나라들의 산림공직자들이 한국의 국토녹화 사례를 배우고자 매년 한국은 찾고 있다. 우리는 우리나라의 성공 노하우를 세계 사막화 지역에 적극적으로 공유하여 세계적인 문제에 기여해야만 한다.



[민둥산에서 울창한 산림을 가꾸어낸 우리나라의 기적같은 행보]

세계 유일한 산림녹화 선진사례, 한국의 노하우를 공유할 책임이 있다.

3. UNCCD COP10 창원 이니셔티브를 통한 동북아 사막화방지 허브로 발돋움

2011년 10월 18일 경남 창원에서 개최된 사막화방지협약 총회에서 당시 산림청장이었던 이돈구 산림청장은 총회의 의장자격으로 '창원 이니셔티브'를 제의하였고, 사막화방지협약 회원국들이 뜻을 같이 하면서 곧 채택되었다.



창원 이니셔티브는 구체적으로 사막화, 토지 황폐화, 가뭄 피해를 줄이기 위한 실질적인 우리나라의 이행내용을 담고 있다. 그 3가지 주요내용은 다음과 같다.

- 사막화방지협약의 장기이행목표 설정과 이행을 위한 과학기반 구축
- 사막화를 효과적으로 줄이기 위한 파트너십 구축과 자원 동원
- 지속가능한 토지관리를 권장기 위한 'Land for Life Award' 창설

창원 이니셔티브가 갖는 의의는 삼림복원과 경제발전을 함께 이룬 좋은 모델인 우리나라가, 주도적으로 장기적 목표설정에 대한 합의와 이를 위한 과학기반 구축을 첫 번째 과제로 삼고, 민간과 기업 부문을 포함한 재원확보 방안 및 파트너십 구축을 통해, 동북아 지역 사막화 방지의 허브로서의 역할을 감당하게 될 것을 의미한다.

이돈구 산림청장은 창원 이니셔티브를 통해 한국이 사막화 방지 분야의 실질적인 리더로 올라 설 수 있는 토대가 마련되었을 뿐만 아니라 12개국 90여개의 기업이 공동선언문을 채택함에 따라 **기업들이 기여할 수 있는 부분이 많아질 것**이라고 말했다. 그러므로 우리나라가 성공적으로 동북아 사막화 방지의 허브로 발돋움 하여 사막화 방지를 위한 국제사회 및 기업들의 공조를 이끌어내는 중추적 역할을 감당하기 위해서는, 지금까지 진행되어온 전 세계의 사막화 방지 노력과 프로젝트들을 적극적으로 공부하여 벤치마킹 할 필요가 있다.

세계 사막화방지 협약에서 우리나라의 위상이 높아져가고 있다.

*UNCCD_
United Nations Convention to Combat의 약자이며 기후변화협약 (UNFCCC), 생물다양성협약(UNCBD)과 함께 UN의 3대 환경협약 중 하나로써 사막화 방지와 피해국 지원, 지속 가능한 개발을 위해 1994년 리우환경회의에서 채택되었다.

*COP10_
COP10은 10th Conference of the Parties. 즉 10번째로 개최되는 사막화방지협약 제 10차 당사국총회라는 의미이다. 1997년 제 1차 총회 개최 이래 2년마다 열리는 UN에서 주관하는 국제행사이자.

한국이 사막화방지에 노력해야하는 이유

- 한국도 더 이상 사막화의 영향 아래 자유로울 수 없다.
- 세계 유일한 산림녹화 선진사례, 한국의 노하우를 공유할 책임이 있다.
- 세계 사막화 방지 협약에서 우리나라의 위상이 높아져가고 있다.

들어가기
표면적인 대처에
불과한 기존
사막화 방지



조림사업 뿐만 아니라
자연친화적 신기술을 통한
땅의 회복이 필요



표면적인 대처에 불과한 기존 사막화 방지

전반적인 사막화 방지 노력들의 결과를 살펴보면 많은 **문제점**들을 찾아 볼 수 있다. 먼저 조림 사업의 측면에서 'Rethinking Policies to Cope with Desertification (2011)'에 따르면 조림사업을 통해 식수되는 나무들은 일부의 경우 많은 양의 물을 필요로 하는 나무이기 때문에 수자원 부족 상황에서 더 큰 압력을 준다고 주장하고 있다. 또한 **조림 생존율이 15%**에도 못 미친다는 발표가 논란이 되기도 하였다. 중국농업대학의 조사에 의하면 삼북방호림 생존율이 낮은 이유는 **지역적 특성에 맞는 사업목적과 수종 선발을 고려하지 않은 결과**라고 결론 내렸다. 이렇듯 조림사업에 있어서 심겨지는 나무, 그리고 심겨지는 지역의 특성을 충분히 고려하지 못한 문제점을 발견할 수 있다.

조림 사업 외에 사막화 방지를 위하여 **관개 시설**을 설치하는 경우도 있는데, 역시 문제점을 발견할 수 있다. 사막화 지역의 농지에서는 물이 필요하며 이를 위해서 관개시설이 필요하다. 이를 위해 관개 수로를 파게 되는데 배수로를 제대로 파지 않을 때, 먼저 토양이 물에 잠기게 되고, 토양은 이로 인해 염분이 많은 땅으로 변하여 염류화가 진행된다. 뿐만 아니라, 지중에 포함되어 있는 무기의 염류가 모관수에 용해되어 지표 부근 토양층의 염분 농도를 높이고 지표면의 물까지 증발하여 지표부근의 염류화는 더욱 심해진다. 결과적으로 **식물의 뿌리의 세포들이 강한 침투압에 의해서 수분을 빼앗겨 말라 죽게** 되는 문제를 야기시킨다. 이렇듯 기존의 사막화 방지 노력들은 **근본적인 문제를 충분히 고려하지 못한 표면적인 대처**에 불과하다.



[국내 인터뷰 中]

강호덕 교수

UNCCD 주최
프로젝트 담당자

“조림 사업을 하기 위해서나, 농사를 위해서나 기본이 되는 것은 토양이다. 이것이 사막화 방지에 큰 역할을 하기 때문에 토양개량(물 부족, 미생물), **토양 미생물에 대한 연구가 필요합니다.**”



[국내 인터뷰 中]

이상열 교수

GMO를 이용한 건조
지역 식물유전자 연구

“사막화의 문제를 대처하는 데 있어서의 바람직한 접근 방법은, **자연으로부터 그 해답을 찾는 것**입니다. 현재 진행되는 여러가지 인위적인 방법들은 그 효과에 한계가 있습니다.”

표면적인 문제 해결을 넘어,
자연 친화적 기술을 통해 문제의 근본이 되는 “Ground”에 집중해야 한다.

들어가기
 자연에서 발견한
 사막 회복의 열쇠,
 Bacillus pasteurii

자연에서 발견한 사막 회복의 열쇠, Bacillus pasteurii

Bacillus pasteurii란?

Bacillus pasteurii는 **고농도의 암모니아를 함유하고 있는 혐기성 환경**에서 요소를 섭취하며 살아가는 박테리아이다. 이 요소를 포함한 혐기성 용액은 주변에서 쉽게 찾아 볼 수 있다. 바로 '소변'인데 수 많은 박테리아들이 토양뿐만 아니라 소변 속에 살고 있어 하수구, 화장실 등에서도 채집이 가능하다.

Bacillus pasteurii의 모래 고결화 반응

물, 미네랄, 모래, Bacillus pasteurii가 만나게 되면 **화학반응을 통해 방해석을 생성**하게 되고, 생성된 방해석(Calcite)이 **모래 입자 사이사이에 간극을 채우면서 모래가 고결화**된다.

Bacillus pasteurii는 어떤 반응을 통해 방해석 (Calcite)을 만들어 내는가?

Bacillus pasteurii는 질소기반으로 살아가는 박테리아이다. Bacillus pasteurii가 살고있는 '소변'속에는 다량의 요소가 들어있는데 그 요소의 46%는 질소로 구성되어 있다. Bacillus pasteurii가 질소를 추출하는 과정에서 부산물로 이산화탄소와 암모니아가 생성되는데, 이때 발생한 암모니아에 물을 공급하면 그 둘이 반응하여 방해석이 만들어지게 된다.

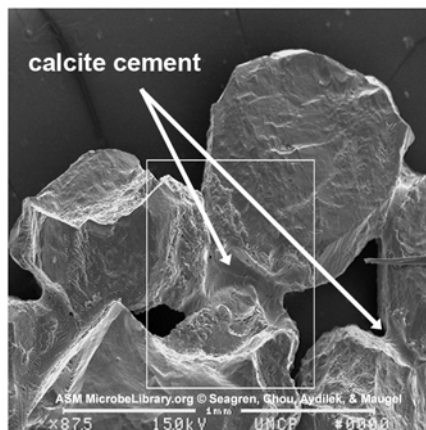
*방해석(Calcite)_

화학성분은 $CaCO_3$ 이다. 육방정계에 속하는 탄산무수염광물이고, 복굴절이 높아서 니콜프리즘으로 이용된다. 또한 방해석은 시멘트의 원료로 쓰인다.



*Sand Brick_

모래 고결화 반응을 통해 원하는 모양의 brick을 만들 수 있다.



[Bacillus pasteurii와(좌) 모래 입자 사이에 생성된 방해석(우) 사진]

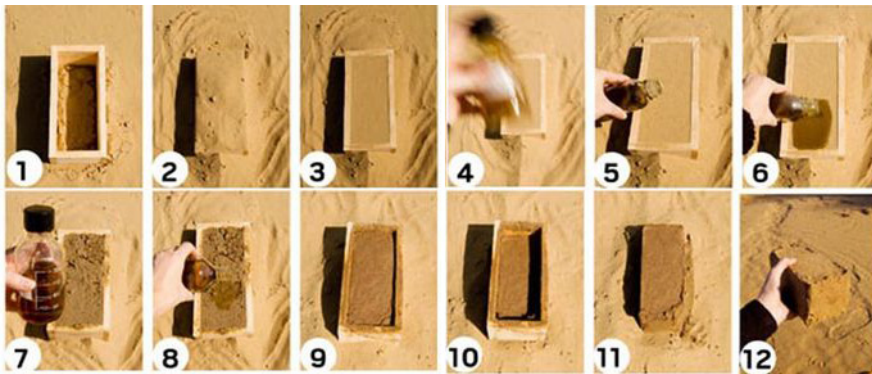
들어가기
자연에서 발견한
사막 회복의 열쇠,
Bacillus pasteurii

MICP는 자연에서도 자연스럽게 일어나는 현상인데, 굳이 Bacillus pasteurii 를 쓰는 이유는?

자연상태에서도 자연스럽게 천천히 진행되는 일이지만, 적정수준의 미네랄과 우라아제(효소)를 공급하면 방해석의 침전 속도가 극적으로 빨라지는데, Bacillus pasteurii가 이때 필요한 다량의 우라아제를 만들어내기 때문에 이 기술이 필요한 것이다. Bacillus pasteurii를 통해 방해석을 생성할 경우 보통 2~3일이 걸리며, 단단히 굳는데 까지는 보통 1주일이 소요된다(콘크리트와 비슷한 속도).

모든 재료가 준비되었다면 아래의 과정을 거치는데, 약 3일의 시간이 소요된다.

- 박테리아가 들어있는 용액을 모래에 부어 모래알 사이에 박테리아를 충분히 침투시킨다
- 요소와 칼슘을 섞은 용액을 넣어 모래 속에 충분히 침투시킨다
- 박테리아와 요소, 칼슘은 반응하게 되는데 충분히 이 반응이 일어나도록 기다린다
- 보통 2~3번 정도의 위 과정을 반복하면 단단한 모래 블록이 완성되는데, 이 과정까지 72시간이 소요된다.



[적정수준의 미네랄을 공급하여 방해석의 생성을 촉진, 빠른 시간내에 Sand brick을 만듦]

*MICP_

microbial induced carbonate precipitation의 약자. '생체광물형성 작용'이라 부른다.

*효소_

각종 화학반응에서 자신은 변화하지 않으나 반응 속도를 빠르게 하는 단백질을 말한다. 즉, 단백질로 만들어진 촉매라고 할 수 있다.

Bacillus pasteurii 기술의 유래

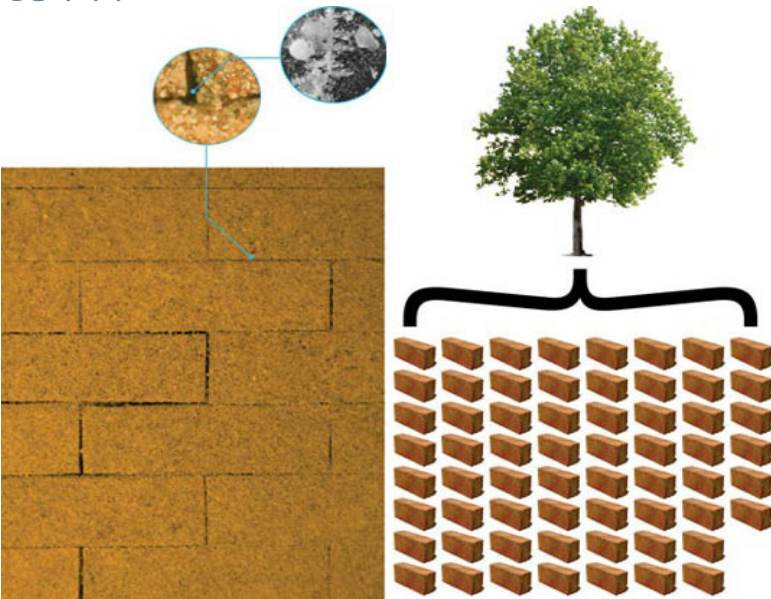
박테리아를 이용해 모래 표면에서 탄산칼슘을 추출하는 기술은 **지중에 매장되어 있는 석유를 효율적으로 획득하기 위해** 이용되고 있는 기술에서 유래되었다. 시추관을 뚫고 원유를 끌어 올릴 때 모래가 함께 딸려 올라오면 효율성이 낮아지기 때문에 구멍 주변의 흙들을 응집시키는 것이 좋다.

들어가기
자연에서 발견한
사막 회복의 열쇠,
Bacillus pasteurii

Bacillus pasteurii 기술의 장점

친환경적 기술

점토로 brick을 만들면 나무를 태워 벽돌을 굽기 때문에 매년 8조톤의 CO2가 배출된다. 하지만 박테리아를 이용한 Brick은 막대한 양의 **이산화탄소를 줄일 수 있다**. 모래 구조물은 사막의 토양적 맥락과 일치하는 재료로, 바람에 의해 훼손되고 **파괴되어도 환경적으로 끼치는 악영향이 작다**.



[벽돌62개를 만들기 위해서는 1그루의 나무를 태워야 하는데 Bacillus pasteurii 기술을 사용하면 나무를 보호할 수 있다]

경제적 기술

박테리아를 이용해 만든 모래 콘크리트는 1평방 미터당 40\$로 일반 콘크리트가 1평방 미터당 138\$인 것을 비교했을 때, 모래 콘크리트(구조물)은 **경제적으로 70% 가 저렴**하다.

관리의 편의성과 자재로서의 용이성

고결화된 모래를 이용해 구조물을 만들 경우 박테리아를 이용하여 쉽게 수리/보수 할 수 있는 장점이 있다. 훼손된 부위에 박테리아 수용액을 넣으면 그 자리에 생화학 작용이 일어나면서 그 틈새를 자연스럽게 매꾸게 된다. 모래를 사막에 세울 특정 **구조물의 주재료로 사용할 시 건조현장에서 직접 모래를 구해 이용할 수**도 있으며, 적은 양의 재료만이 공업중심지로 부터 운송되어 오는 것을 고려하였을 때 건설의 효율성이 높다고 할 수 있다.

들어가기
인터뷰를 통해 알아본
국내 사막화방지의
한계점



인터뷰를 통해 알아본 국내 사막화방지의 한계점

국내 사막화 전문 기구의 부재

현재 우리나라 사막화방지는 한국의 대표적 산림기관인 산림청이 많은 부분 진행하고 있다. **산림청 해외자원협력관실 소속의 국제협력담당실의 2,3명이 다른 ODA 업무와 같이 진행**하고 있는 것이다. 즉, 사막화방지협약에 많은 기여를 하고 있는 대표적 국가임에도 불구하고 사막화문제에 특화된 부서나 기구가 없다. 그렇기 때문에 중국과 몽골에서 진행되는 사막화방지 **사업에 대한 평가와 관리가 비효율적일** 뿐만 아니라 정보공유나 네트워크 또한 원활히 이루어지지 않고 있다.

조림사업에 국한 되어있는 국내 사막화방지 사업

수목사업을 통한 우리나라의 환경 개선과 경제 성장은 세계적으로 이례적이며 괄목할 만한 성과이다. 이 성공적인 사례를 바탕으로 산림청이나 여러 NGO들은 **중국과 몽골의 사막화지역에 진행되는 조림사업에만 집중**하고 있다. 사막화 방지 사업의 주된 기술적 접근은 산림조성에 국한되어 있는 것이다.

구분	연도	사업명
산림청	2001~2005	중국 서북부 조림
산림청	2005~2007	중국 북경지구 산림종합경영
산림청	2007~2016	몽골 그린벨트 조림
동북아산림포럼	2001	중국, 몽골 황폐 산림 복구
한중문화청소년협회	2006	중국 조림
환경운동연합	2004	중국 초지 조성

[조림, 녹화사업에 국한되어있는 국내 사막화방지 사업]

[국내 인터뷰 중]



구창덕 교수

충북대 산림학과 교수

“국내에서는 중국 몽골 지역을 대상으로 많은 **조림사업**을 진행하고 있지만, 아직까지 사업에 대한 **효과성**이나 **영향평가**는 미미한 실정입니다.”

조림사업 외에도 **다양한 각도에서의 접근**이 필요하며 사업의 평가와 관리의 **효율성**을 높일 필요가 있다.

들어가기
인터뷰를 통해 알아본
국내 사막화방지의
한계점

신기술에 대한 정보와 투자가 부족

해외 선진국에서는 다양한 분야에서의 선진연구가 활발히 진행 중이다. 하지만 국내는 신기술에 대한 연구는 고사하고 세계에서 일어나는 연구에 대한 정보도 부족한 실정이다. 한 예로 국내 사막화방지사업을 담당하고 있는 '산림청'에서도 사막화방지와 관련된 신기술에 대한 정보가 부족하다. 신기술 개발이 부족한 것은 투자가 부족하기 때문이기도 하다. 투자는 '중요도'라는 인식속에서 결정되게 되는데 투자의 부족은 인식 속에서 신기술에 연구에 대한 중요성이 부족하기 때문이라고도 해석 될 수 있다.



김화중 교수

경북대 지반공학분야
유용미생물 연구소

[국내 인터뷰 중]

“Bacillus를 이용한 모래의 자원화는 미국 및 네덜란드에서 활발히 진행 중입니다. 그러나 국내 지반공학 분야에서 미생물을 이용하여 흙의 고결력을 유발시키는 연구는 아직 초기단계입니다.”

박테리아 기술에 대한 연구가 부족한 실정이다

과학 기술간의 네트워크 시스템의 부재

일반 기술을 연구하는 것이 아닌 '문제 해결'을 위한 기술인 경우 다양한 분야의 협력이 필수적이다. 특히 자연 문제의 경우 복합적인 변수가 존재하기 때문에 각 분야 간의 연계가 필요하다. 국내 연구진들은 자신의 전문 분야에 대한 연구에만 집중할뿐, 다른 분야의 전문가들이 무엇을 연구하고, 어떤 결과물을 내는지에는 관심을 갖지 않는 경향이 있다. 과학 기술 간 정보 공유를 통해 시너지 효과를 기대 할 수 있는데, 특히 박테리아 기술의 경우 흙과의 연계를 통한 연구가 필요하다.



황해주 교수

목포대 건축학과 교수

[국내 인터뷰 중]

흙과 모래 입자 사이의 관계를 이해는 흙과 모래를 이용한 구조물을 만드는데 있어서 가장 중요합니다. 하지만 한국은 박테리아와 흙, 모래의 연계를 통한 연구가 미비한 실정입니다.

박테리아와 흙과 모래의 연계를 통한 토양연구의 필요성 대두되는 시점이다

문제 해결을 위해 유럽으로!

우리는 박테리아를 활용한 신기술과 동북아시아 사막화방지 허브로 발돋움하기 위해, 세계 최고수준의 연구소와 국제기구가 밀집해있는 유럽으로 탐방을 떠나기로 했다.



탐방활동(Explore)

사막의 회복을 위해 떠난 가슴 뜨거운 탐방 이야기
Deltares / UNCCD / GIZ / Wageningen





탐방목적

네덜란드 지반 강화 기술 연구소

Deltares 사막의 회복을 위한 박테리아 기술과 그 적용 방안을 찾아서

우리는 사전 조사를 통해 Bacillus Pasteurii 라 불리는 박테리아에 대해 알게 되었다. 이 박테리아는 자연에서 나오는 친환경적인 박테리아로 모래 입자들을 고화시키는 역할을 하여 지반강화(Bio-grouting) 및 균열 보수 등에 활용되고 있었다. 우리는 이 박테리아가 사막화를 방지하는데 크게 기여할 수 있을 거라 생각했고 이 박테리아 기술에 있어서 세계 선두주자인 Deltares 사를 방문하여 이 기술의 적용가능성에 대해 논의하였다.

세계 사막화 방지 협약 본부

UNCCD 사막화방지 상위 조정기구로서의 역할과 방향성을 찾아서

세계 3대 환경 협약 중 하나인 세계 사막화방지협약 UNCCD는 격년으로 총회를 열고 사막화 방지에 있어서 현주소를 확인하고 세계가 함께 나아갈 방향을 설정한다. 우리는 세계 사막화방지에 우리나라가 어떻게 기여하고 있고 동북아 지역에서의 국제적 사막화방지 허브로 발돋움하기 위해서 무엇이 필요한지 알아보았다.

독일 국제 협력 공사

GIZ 효과적인 사막화 방지를 위한 과학과 정책의 융합을 찾아서

국제협력력을 위한 독일 협회(GIZ)는 독일 경제개발 협력부와 협업하여 사막화방지에 있어서 세계적으로 가장 많이 기여하는 기관 중 하나이다. 사막화방지를 위한 특별 부서를 가지고 있는 GIZ가 효과적인 사막화방지를 위해 어떤 조직적 구조를 가지고 업무를 진행하고 있는지, 그리고 우리나라 사막화방지 대표기구인 산림청이 보완할 점과 발전 방향에 대해 배웠다.

네덜란드 토양 연구소

Wageningen 사막화 방지 프로젝트의 좋은 예를 찾아서

우리는 세계의 여러 기관들과의 네트워킹, 긴밀한 협업을 통해 성공적으로 운영된 프로젝트의 디렉터, Coen 박사님을 만났다. 우리는 토양 전문가이면서 프로젝트 디렉터인 박사님으로부터 프로젝트를 시작하게 된 배경과 과정, 그 결과에 대해 배웠고 사막화방지에 있어서 무엇이 가장 중요한지에 대해 그의 견해를 들었다.





1 Deltares

2008년 1월 새롭게 출범한 네덜란드의 독립적 전문 토양 연구기관

물과 토질 및 기초공학, 토양, 지하수 분야에 있어서 세계 최고의 공학기술

네덜란드 국토의 안전하고 지속가능한 개발을 위한 통합적인 전략 제공

네덜란드 뿐만 아니라 전 세계를 대상으로 기술과 전문적인 자문을 제공

사람과 사회, 그리고 환경을 위한 스마트 솔루션, 혁신과 응용을 지향



Wouter Van Der Star

The head researcher in ground water system and geo engineering department



탐방목적

사막의 회복을 위한 박테리아 기술과 그 적용 방안을 찾아서



Bacillus pasteurii가 사막화 방지에 어떻게 기여할 수 있는가?

1

사막화의 가장 근본적 문제인 모래의 흠날림을 막을 수 있다.

사막화의 가장 근본적인 문제는 바람에 흠날리는 모래라고 할 수 있다. 사막에 있는 모래와 흙을 잡아주는 역할을 통해, 사막화 방지의 가장 가시적인 현상이 흠날리는 모래로 발생하는 황사를 막을 수 있다.

2

사막화를 방지를 위한 조림사업의 기반을 만들 수 있다.

기존 조림사업에 수많은 투자와 노력을 기울이고 있지만, 나무를 심고도 흠날리는 모래 때문에 나무가 활착을 하지 못하고 이내 죽어버리기 쉽상이다. Bacillus pasteurii를 이용한 기술을 통해 나무 뿌리가 자리 잡을 수 있도록 기반을 만들어 준다면 현재 전 세계적으로 투자하고 있는 조림사업에 대해 훨씬 높은 효율성과 나무들의 생존을 기대할 수 있다.

3

모래로 만든 구조물의 그늘을 통해 수분을 오래 유지할 수 있도록하여 식물들이 더 잘 자랄 수 있다.

모래를 이용하여 구조물을 만들면 자연스럽게 그림자가 형성된다. 대기중의 기온차가 생기게 되면 기온이 낮은 쪽에 온도차에 의한 응집이 일어나기 때문에 수분을 오래 유지할 수 있다. 이러한 장점은 고온 건조한 사막에서 한번 물을 공급하였을 때 수분유지의 효율성을 높일 수 있을 뿐더러, 자체적으로 수분을 가지고 있을 수 있는 능력을 제공하게 된다.



[Sand dune에 구조물을 만들어 생물들이 서식할 수 있는 공간으로 만든 모습 (가상 이미지)]



? INTERVIEW

Bacillus pasteurii 기술에 있어서 중요한 변수는 무엇인가요?

바실러스 파스테우리를 통해 모래를 고결화 시키는 기술은 주로 **환경의 온도와, 요소와 칼슘의 농도**에 따라 그 결과물이 달라진다.

박테리아의 반응 속도는 온도가 높아질수록 빨라지고, 낮아질수록 느려지게 된다. 그래서 모래를 굳히는데 **온도를 적절하게 조절하여 박테리아와 칼슘, 요소의 혼합액이 원하는 깊이까지 잘 침투되도록 하는 것이 중요하다.** 만약 빠르게 반응 한다면 원하는 깊이까지 침투되기 전에 굳어 버릴 것이다.

요소와 칼슘의 농도는 결과물의 강도에 영향을 준다. **농도가 짙어질 수록 결과물은 단단해**지고 농도가 얇아질수록 결과물의 강도는 약해지게 된다. 모래를 고결화 시키는 목적에 따라 다양하게 농도를 조절하여 그 강도를 조절할 수 있다.

실험 시 어떤 모래를 사용하나요?

실험을 위해서 독일 지역에서 판매하는 **실험용 모래**를 사용한다. 왜냐하면 그곳의 모래는 **입자가 매우 곱고 균등할뿐만 아니라 항상 동일한 모래 샘플**을 제공하기 때문이다. 네덜란드에 있는 모래 회사는 북해에서 모래를 가져와서 판매하는데 이는 매년 마다 모래 입자의 생김새나 보유 물질이 다를 가능성이 있다. 실험 시에는 **실험의 정확성을 위해** 항상 내륙지방의 모래를 사용한다.

사막의 모래에도 이 기술을 적용하는 것이 가능한가요?

이 기술은 모래의 입자와는 **크게 관계 없이 적용**될 수 있다. 심지어, **모래뿐만 아니라 유리 가루나 다른 알갱이들을 사용해서도 단단하게 만들 수 있다.** 한가지 주의해야 할 점이 있다면, 가끔 어느 모래샘플에서는 박테리아가 방해석을 만들어 내지 않는데, 이 이유는 아직 정확하게 밝혀진 바 없다. 그렇기 때문에, 항상 이 기술을 적용하기에 앞서서 모래 샘플을 채취한 후 실험 해 보고, 이상이 없음을 확인하고 적용해야 경제적 손실을 막을 수 있다.

Bacillus pasteurii는 사막에서 살 수 있나요?

사막에서 충분히 살 수 있다. 박테리아는 높은 온도에서도, 아주 낮은 온도에서도 생존할 수 있다. 다만 그 반응 속도가 차이가 생길 뿐이다. 높은 압력도에도 견딜 수 있다. 이 기술을 유정에 있는 모래를 강화시키는데 적용해 본 사례가 있는데 그것을 통해 우리는 박테리아가 **고온과 고압에서도 충분히 견딜 수 있다**는 것을 볼 수 있다.

사막화 방지를 위해 사막에 이 기술을 적용 한다면, 어떤 방식으로 할 수 있을까요?

사막에 이 기술을 다양하게 적용 될 수 있을 것 같다. 하지만, 경제적인 면이나 효과적인 면에서 생각해 보았을 때, 이 기술은 사막에 크고 두꺼운 구조를 세우거나 만드는 것 보다, **사막 모래층 상부에 얇게 레이어를 씌우듯이 모래알들을 고화시키는 방식이 가장 현실적인 적용 방법**으로 보인다.

사막의 표층부에 이 기술을 적용 시키므로써 모래알의 크기가 더 커지면서, 모래 바람이 날라 가는 거리를 크게 줄여 줄 수 있을 것이다. 실제로 중동의 국가에서는 심해지고 있는 모래바람을 약화시키기 위하여 사막위에 석유를 뿌리곤 한다. 이는 모래알들이 석유를 매체로 서로 응집하게되어 무게가 무거워 지고 그에 따라 바람으로 인해 날라가는 거리를 감소 시킬 수 있기 때문에 사용되고 있는 방식이다.

또 다른 적용 방법은 **사막 내부에 저수조를 만드는 방식**인데, 사막에서 식물들을 키우는데 필요한 물을 저장시킬 수 있는 저수조를 박테리아를 사용해서 만드는 것이다. 사실 이 기술이 적용되기 위해서는 그 지역의 환경적 요건들을 따져봐야 하는데, 예를 들어 토양 자체가 물을 흡수하지 못한다면 땅속에 저수조를 만드는 것은 의미가 없다는 것이다.

위에서 언급한 모든 기술이 실현되기 위해서는 **경제적으로 수지타산이 맞아야 가능한 일**이다. 사막 위에 벽을 세운다던가, 사막 아래 저수조를 만드는 것은 모두 콘크리트로도 가능한 일이며, 이 박테리아 기술을 사용하는 것 보다 저렴한 비용으로 할 수 있다. 이 **박테리아 기술은 콘크리트 기술이 사용 될 수 없는 곳이나 사용되기 힘든 곳에 대안으로써 적용될 수 있는 기술**인 것이다.

Bacillus pasteurii 기술을 토양에 적용할 때 주의 해야할 점이 있나요?

박테리아는 **고결화 반응**의 결과물로 탄산칼슘 뿐 아니라 **암모니아를 배출**하기도 한다. 암모니아는 독성물질이기 때문에 제거해야 하는 물질이다.

사막의 경우는, 생성된 암모니아를 증발시켜서 결정화 시킨 후에 모래 속에 두었다가 한꺼번에 처리 하거나, 암모니아 염을 비료로써 사용할 수 있는 방법을 생각해 볼 수 있다.

모래 위에 벽을 세우는 일이 구조적으로 가능한가요?

모래는 건물이나 구조를 세울 때 강력한 기반으로 작용 할 수 있기 때문에 안심하고 지을 수 있다. 다만 **사막의 모래는 훑날리고 이동하게 되는데 그 부분만 잘 잡을 수 있다면 그 위에 어떤 건물을 짓든지 가능하다.**



짚고
넘어가기

논의되고 있는 어플리케이션

Bacillus pasteurii를 이용한 기술이 전 세계에 있는 연구원, 디자이너, 건축가들의 관심을 받으면서 이 기술을 이용한 어플리케이션에 대한 언급도 속속들이 나오고 있는 상황이다. 아직 실용화 단계에는 진입하지 못했지만 기술의 무궁한 응용에 대해 많은 이들이 관심을 가지고 있다.

1

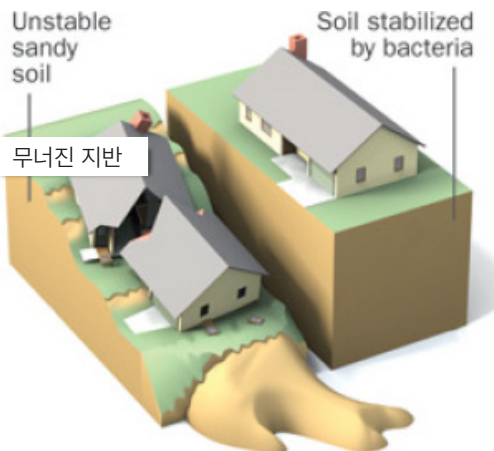
Sand brick

가장 현실화와 가까워진 어플리케이션으로 국내외 실험실에서도 그 연구가 활발히 이루어지고 있다. 기술적으로는 완성단계에 왔다. Bacillus pasteurii와 적정량의 미네랄, 물 그리고 벽돌 모양을 잡아줄 틀로 모래벽돌을 만들 수 있다.

2

Foundation bed

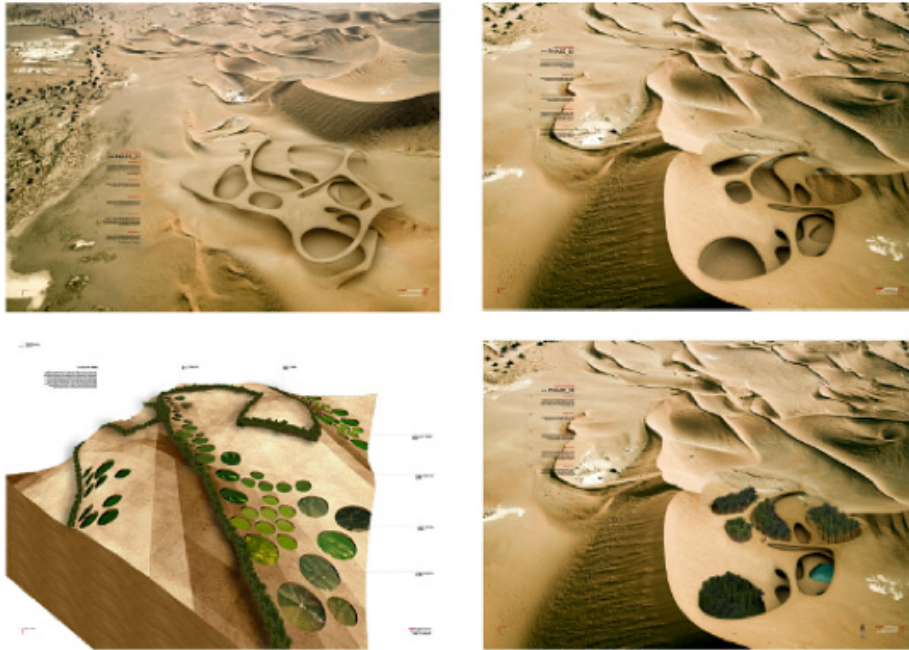
집과 마을을 세우기 위해선 건축을 할 수 있는 지반이 안정적이어야 한다. 지반이 약할 경우 지진 등 외부적인 요인이 작용 했을 때 지반이 무너지게 되고, 그 위에 살고 있던 생명들이 위험에 처하게 되는데, 이때 Bacillus pasteurii를 이용하여 **지반을 안정적이게 만들어 주면 좀 더 안전한 삶의 터전**으로서의 기능을 할 수 있게 된다.



3

Cultivation base

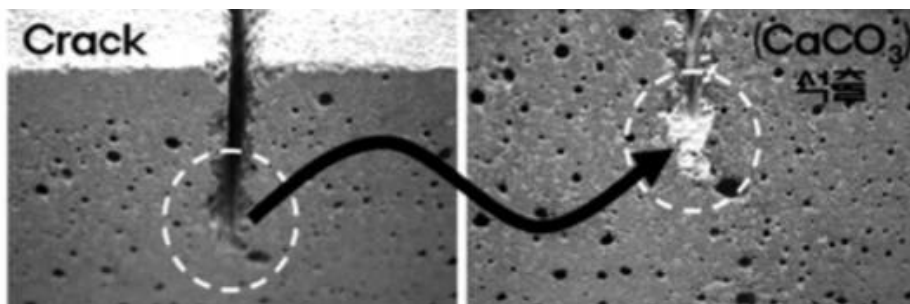
모래 사구 등을 활용한 구조물을 Bacillus pasteurii를 이용하여 만들어 그늘을 만들고 수분이 유지되는 환경을 만들어 식물들이 살 수 있다. 식물들이 살 수 있으면 그곳에 경작이 가능해지며 사람들이 정착하여 마을을 이룰 수 있다. Cultivation base를 통해 불모지였던 사막에 생명이 꽃 필 수 있게 만드는 어플리케이션이다.



4

Smart healing

건물이나 구조물의 훼손된 부위에 박테리아 수용액을 넣으면 그 자리에 생화학 작용이 일어나면서 그 틈새를 자연스럽게 매꾸게 된다. 시멘트 보수와의 다른점은 시멘트 보수의 경우 훼손 부위에 덧바르고 틈에 넣어 벌어진 틈을 '붙이고'있는 것이지만, 박테리아의 생화학 작용은 그 스스로가 벽이 되는 것으로 마치 생명체가 새살이 돋는 것이라 생각하면 그 이해가 쉽다.



5

Sand road & Underground structure

iida2010의 대상 수상작으로, Bacillus pasteurii 기술을 이용하여 모래 도로를 만드는 것이다. 그 외에도 지하의 수도관과 같은 구조물 등이 제시되었다.

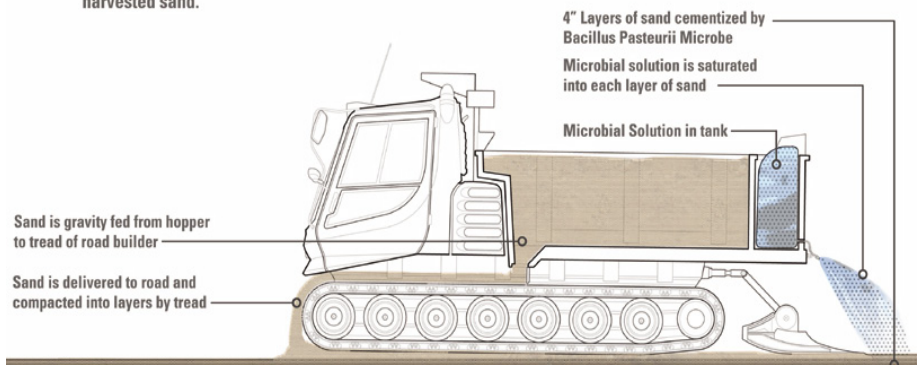
- ▶ 표면의 반사율을 약 20% 증가시켜 도시 전체의 대기온도를 약 2-3도 줄여준다.
- ▶ 야간에 도로의 가시도를 향상시켜서 에너지의 소비를 줄이며 안전성을 증가시킨다.
- ▶ 지상의 오존 형성 속도를 감소시킬 뿐만 아니라 자동차로부터 배출되는 증발가스를 줄여준다.



*iida_
세계적 아이디어 경진 대회.



Biological Alternative to Asphalt:
Sandstone roads are organically grown using a common microbe and locally harvested sand.





Bacillus pasteurii 기술을 이용하여 실제 어플리케이션을 제품화시킨 사례



파리에 위치한 벤처기업인 'Bold Design'은 모래속의 박테리아를 해롭다고 생각하기 보다 다른 각도로 볼 수 있는 제품을 만들기 원했고, 이런 제품을 만들기 위하여 우리들이 어린 시절 박테리아 걱정없이 만들어 온 모래성들과 이 추억을 간직할 수 있게 해줄 박테리아와 모래의 연결고리를 찾고자 하였다.

또한 Bacillus pasteurii는 인체에 전혀 무해하며 어린아이들도 안전하게 이용할 수 있다. 환경, 안전성 등 다양한 측면에서 우수한 기술이다.

“Bacillus pasteurii 기술은”
더 이상 공상 영화속 이야기가 아닌
현실



Bold Design은 'Bacillus pasteurii기술'을 벤처기업에서 처음 시도하고 제품화시켰다는데 큰 의미가 있다. 민간기업에 까지 영향력을 펼친 이 기술은 더 이상 먼 미래의 이야기가 아닌 현실로 다가오게 되었다.

[Bold Design에 방문한 사막엔딩 팀 / 해외탐방 중]



핵심 정리

Bacillus pasteurii 기술은 실용가능한 단계에 있다.

- Deltares는 지반이나 구조체를 단단하게 하기 위해서 시멘트 대신 박테리아와 주변의 토양을 사용하여 그라우팅하는 것을 상용화 하였다.
- 현재 이 기술은 40MPa의 강도로 콘크리트와 비교하여 충분한 강도를 제공할 수 있다.
- 이 기술은 주로 콘크리트가 사용될 수 없는 지역에 제시되는 대안이다.

사막의 환경에서도 적용 가능한 기술이다.

- 온도가 높거나 낮아도 박테리아는 충분히 살아남을 수 있다.
- 압력은 박테리아의 생존 및 반응에 문제가 되지 않는다.
- 다양한 크기의 모래 입자에 무관하게 적용된다.

Bacillus pasteurii 기술은 사막화 방지에 기여할 수 있다.

- 사막 표층부의 모래를 고화시켜 바람에 날리는 모래의 양과 거리를 줄이는데 사용 될 수 있다.
- 사막의 토양 속에 물을 저장할 수 있는 저수조를 만들어 물 공급을 원활하게 하는데 사용 될 수 있다.

이 기술의 적용에 있어서 가장 큰 고려사항은 경제적인 측면이다.

- 가장 많은 비용을 차지하는 부분은 박테리아 배양액을 만드는 부분이다.
- 배양액의 박테리아 농도를 조절하여 비용을 절감할 수 있다.
- 사막으로의 운송 비용도 고려해야 할 사항이다.



2 UNCCD

세계 사막화방지협약 무리한 개발과 오남용으로 인한 사막화 현상을 억제하기 위해 1994년 프랑스 파리에서 채택된 협약으로 국제적 노력을 도모하는 국제기구.

기후변화협약(UNFCCC)과 생물다양성협약(UNCBD)와 더불어 유엔 3대 환경협약

2011년 1월 기준으로 194개국의 회원국을 보유(대한민국은 1998년 8월 156번째로 가입)

격년을 주기로 회원국의 각료급 인사 등 정부대표, 관련전문가 등 2,000여 명의 회의 주관(COP : Conference of the Parties)



Yukie Hori

The coordinator in Awareness raising communication and education



탐방목적

사막화방지 상위 조정기구로써의 역할과 방향성을 찾아서

OVERVIEW

사막화 방지에 있어서의 UNCCD

1996년 UNCCD 라는 국제기구를 통해 많은 사람들에게 수면 아래에 있던 토지 황폐화 문제를 표면화하여 국제적으로 이슈화 하였고 경각심을 일으켜 많은 국가에로의 참여를 이끌어 내기 시작 했다는 것이 중요한 의의이다.

*토지 황폐화_

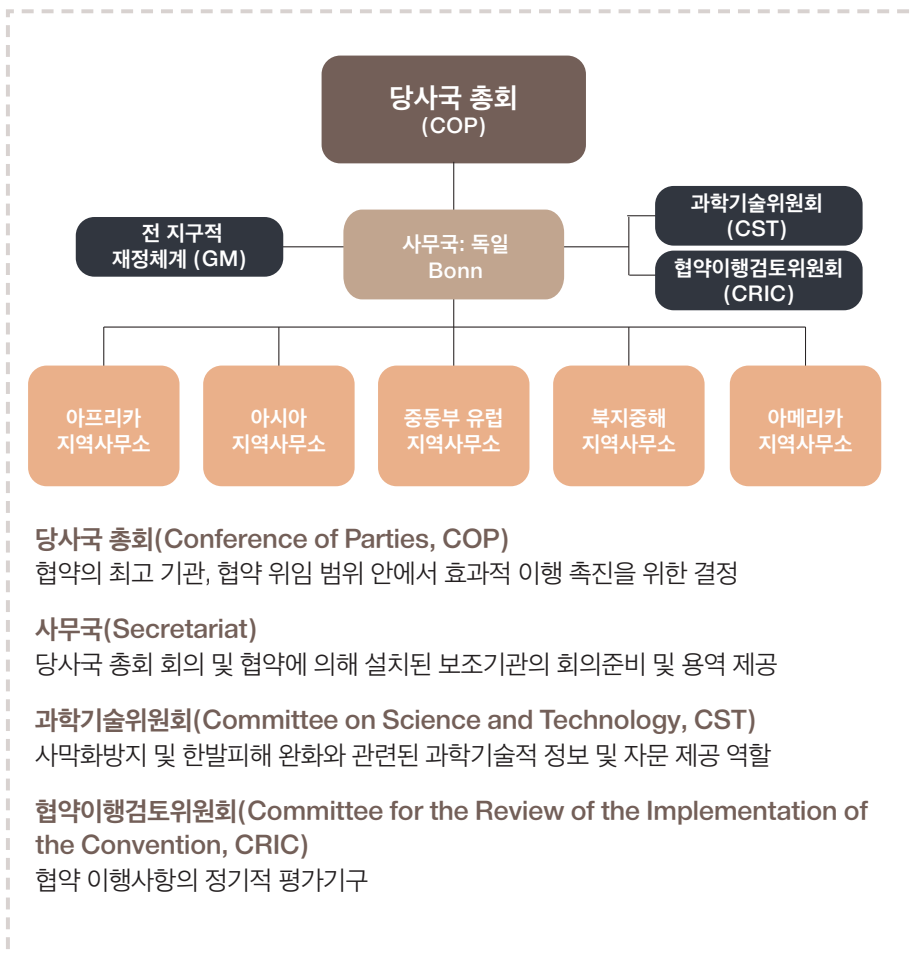
UNCCD의 정의에 의하면 “토지 황폐화=사막화”를 말한다.

UNCCD 구조

세계 사막화방지 상위 조정기구인 UNCCD는 195개국 이상의 회원국, 연구기관 및 NGO들을 관리하고 있다. 다음은, 체계적인 조직을 갖추고 있는 UNCCD의 운영 조직도이다.

*UNCCD_

세계 사막화방지협약. 무리한 개발과 오남용으로 인한 사막화 현상을 억제하기 위해 1994년 프랑스 파리에서 채택된 협약으로 국제적 노력을 도모하는 국제기구.



사막화 방지의 대표적인 UN 산하 상위 조정 기구로써의 UNCCD가 하는 중심적인 역할

사막화와 같은 전 세계적인 문제는 국가와 국가의 협력이 필수적인 사안이다. 대한민국과 같은 경우 선진국 반열에 들어서면서 수원국에서 공여국이 되면서 사막화 지역의 국가들간의 협력을 하게 되는데, 국가간의 '양자간 협력'을 하게되면 많은 국가를 만나야 하고 프로젝트를 진행하는 상황에서 결과를 신뢰하기도 어려운 것이다. 그때 **UN이라는 통로를 통해 국가간의 합의가 이루어진다면 '다자간 협력'과 '결과의 안전성'이 보장된다.** UNCCD의 역할은 프로젝트를 만들어 진행하는 것이 아니라, 국가간의 프로젝트를 연결하는 역할을 하는 것이다. 매년 각 국가별 상황에 맞는 Action Plan을 받고 UNCCD안의 예산을 가지고 평가를 거쳐 꼭 필요한 프로젝트에 분배 한다.

국가별 UNCCD에 내야하는 의무 분담금과 그외에 각 국가에서 후원하는 지원금

UNCCD의 운영과 사막화를 방지하기 위해 사용되는 비용은 2년간 한화로 약 50억에서 60억 정도로, UN의 룰에 따라서 국가별로 다르게 돈을 받고 있다. 그 중 우리나라는 약 4억정도 가까이 의무 분담금을 내고 있으며, 개발도상국은 5백만원 정도 낸다. 의무분담금 외에 Volunteer Contribution이라는 것을 통해 국가별로 좀 더 지원을 하고 있는데 현재 세계에서 가장 많이 지원하고 있는 나라가 대한민국이다. 그 다음이 스위스이고 그 다음이 독일이다. 사무국에서 해야한 일임에도 불구하고 **자발적인 기여금을 내고 활동하는 것이 상당히 눈에 띄는 현상이다.**

* Volunteer Contribution_

UNCCD에 가입하면 의무적으로 내야하는 의무 분담금 외에 국가가 자발적으로 후원하는 비용을 뜻한다.

사막화와 한국

사막화를 극복한 나라 중 우리나라처럼 성공적인 스토리를 가지고 있는 나라는 없다. UNCCD에서의 사막화의 정의는 토지의 황폐화이다. 우리나라의 경우 **1960년대 말부터 황폐화된 토지와 산에다 나무를 심기 시작했다.** 동시에, **나무 심기 운동**을 하면서 사람들의 직업을 창출해 주기 시작했다. **민둥산을 푸르게 만들면서 경제가 같이 성장한 이 사례보다 좋은 예는 찾아볼 수 없다.**



? INTERVIEW

UNCCD의 내부 조직은 어떻게 이루어져있고, COP 안에 있는 내부조직인 CRIC과 CST의 역할은?

CRIC는 National Action 프로그램을 평가하고 CST는 국가에서 지정한 과학자가 과학적 베이스를 정책으로 말할 것을 모아서 COP에서 보고 할 수 있도록 도와준다. 사무국은 회의를 조직하고 결과를 보고한다. 국가에서 하는 일들을 프로세스 안에서 할 수 있도록 지원한다.

거대한 조직체에서 의사소통의 어려움은 없는가?

어떠한 안건을 합의하기 위해서는 2년에 한번씩 COP가 열릴 때, 의견을 내고 결정할 수 있다. 그런데 하나의 안건을 올리기 위해서는 적어도 6년 전에 안건을 만들어야 하고, 무언가를 결정하기 위해서는 모든 나라의 동의를 필요하다. 약 200여개의 국가가 참여하는 상당히 큰 조직체라는 단점 이있기 때문에 의사 결정의 효율성이 떨어진다. 협의 진행 상황을 보면, 저개발 국가에서는 노골적 원조를 요구하고, 선진국에서는 리포팅 결과를 보길 원한다. 그러면 다시 저개발 국가는 능력개발 해달라고 요구하게 되며 서로 지쳐 협상이 마무리 되기도 한다. 사실상 좋은 기술이나 아이디어가 있어도 합의되기 어려운 이유가 여기에 있다.

UNCCD의 자체적 평가 기준이 마련되어 있는 것인가?

UNCCD가 세워진 이후로 아직까지 평가기준에 대한 것들은 만들어지지 않았다. 위에서 언급한 의사소통의 어려움을 이유로 아직까지 평가기준에 대한 것들은 만들어 지지 않았다. 사실 평가적 측면에서 실제로 토지의 황폐화는 정확하게 측정할 수도 평가 할 수 도 없으며 목표 설정이 어려운 문제이다. 땅은 굉장히 복잡한 것이다. 어느 한 곳에서 성공을 거둔 방법이 모든 곳에서 최고의 해결책이 될 수는 없는 것이다. 그렇지만, 좋은 사례를 소개함으로써 다른곳 에서 적용가능하게 도와 줄 수 있다.

UNCCD가 직면한 문제점 또는 한계 점은 무엇인가?

앞서 이야기한 의사소통의 한계점 도 있지만 각 국가의 정부가 관심이 없으면 잘 진행이 되지 않는다. 실제 196 Action plan 중에 본부로 돌아온 리포트가 80여개 밖에 되지 않는다. UNCCD는 정말 프로젝트를 하고 싶어하고 필요한 곳에 지원을 하고있다. 1996년부터 지금까지 약 20년동안 아직까지 평가에 대한 합의가 이루어지지 않았고 여전히 다른 합의점을 이끌어 내는데 조직이 가지고 있는 효율성 부분에서 부족한 점이 있는 것이다.

UNCCD의 예산은 어떻게 분배되고, 어떻게 사용되는가? 우리나라는 어느정도의 돈을 지원 받고 있는가?

2011년 창원에서 Cop 실시하고 UNCCD 안에서 한국 역할이 증가 됨으로 지원금액이 점점 더 증가 할 것이다. 현재까지 연간 15억원을 지원받고 있으며 앞으로 더 늘어날 전망이다. 지원금이 늘어난다는 것은 우리나라의 활동이 활발해 지고 있다는 뜻이다. 현재 UNCCD 가입 국가중 한국이 Volunteer Contribution 세계 1위이며, UNCCD에서의 활동인증으로 프로젝트 수행 예산이 크게 늘어가고 있는 상태이다.

사막화 방지 시 조림 외에 고려해야할 요소는?

우리나라에서는 토지의 황폐화를 모두 녹화사업으로 극복했다. 그래서 우리나라에서의 사막화 방지 사업은 녹화를 강조한다. 하지만 실질적으로 사막화 피해를 받고 있는 나라는 나무가 자라기 어려운 환경인 경우가 많다. 따라서 사막화 방지 시 조림 외에도 토양, 기후, 에너지 등과 같은 사항들을 고려해야만 한다.

네트워킹으로 하나되는 아시아

Northeast Asia Forest Network (NEAFN) with delegations of China, Japan, Mongolia and the UNCCD. 사막화 하면 우리나라에 영향을 미치는 것이 황사이다. 사막화 문제와 황사에 대한 방안을 찾기위해 2002년에 중국, 몽골 우리나라가 함께하고 있으며 일본과 러시아가 참여 예정이다. pilot project 를 얼린호트라는 지역에 만들어서 어떻게 사막화를 막을지 연구를 진행 중이다.

사막화 방지에 있어서 우리나라에서 정부와 산림청의 구조 관계와 의사소통 방법은?

예산은 기획재정부에서 검토를 한다. 요청한 금액이 합리적이면 목적된 것에 쓴다. 사막화에 관련해서 우리나라에서 지원하는 것은 오직 산림청을 통해 지원하는 것이 다다. 코이카는 ODA 이다. Core budget 은 외교부에서, Extra budget은 UNCCD 로부터 산림청으로 들어 오는 것이다.

*ODA_

Official Development Assistance. '공적개발원조' 선진국에서 개발도상국이나 국제기관에 하는 원조.



UNCCD와 기업

한국에서 개최된 UNCCD COP10 당사국총회 특별회의 중 하나는 ‘비즈니스 포럼’이었다. 이 포럼에는 약 77개의 기업들이 참석하여 지속가능한 토지관리를 위한 기업의 역할과 민관 협력방안을 의제로 논의하였다. UNCCD는 사막화문제를 해결하기 위해 **기업의 적극적 참여를 독려**하고 있다.

1

한화



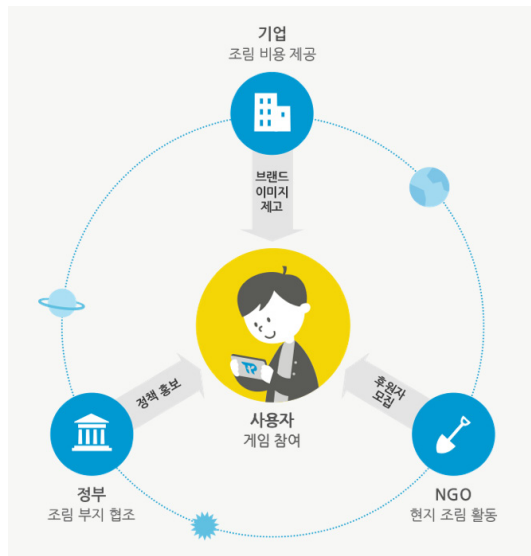
한화그룹은 중국 **조림사업에 필요한 전력을 공급하기 위해 설치한 태양광 발전설비**를 완공했다. 한화그룹과 링우시가 추진한 이번 프로젝트는 태양광 에너지를 사막화 방지 사업에 활용한 첫 사례로, 지난해 창원에서 열린 UNCCD 총회에서 모범사례로 소개되기도 했다. 링우시는 이번 프로젝트를 기념하기 위해 준공식에 맞춰 바이지탄 자연보호구 현장에 기념비를 세웠다.

2

트리플래닛



트리플래닛은 일반 대중이 나무를 키우는 재미를 느끼고 많은 이들이 나무심기에 동참할 수 있도록 스마트폰 앱 게임을 개발하였다. 사용자들은 게임으로 키운 가상 나무를 세계 각지에 보내 심고 숲을 조성할 수 있어 새로운 사회적 기부에 참여할 수 있다. 현재까지 전 세계에 8개의 숲을 만들고 30만 그루 이상의 나무를 심은 게임 ‘트리플래닛’은 UNCCD와 UNEP가 공식 지정한 사막화방지 어플이다. 트리플래닛이 주목을 받는 이유는, **소프트웨어적 기술개발**로 문제에 접근하여 **정부, 기업, 그리고 개인의 이상적인 협력모델**을 만들어냈기 때문이다.



[트리플래닛의 협력모델 (좌)]
[트리플래닛에 방문한 사막엔딩 팀 / 국내탐방 중 (우)]

핵심 정리

다자간 협력을 통해 프로젝트의 안전성을 보장하는 UNCCD

- UN이라는 통로를 통해 국가간의 “다자간 협력”을 하면 프로젝트 결과의 안전성이 보장된다. 다자간 협력 체제로 전 세계 약 200여 국의 참여를 이끌어내었다.
- UNCCD의 역할은 국가간의 프로젝트를 연결하는 다리이다. 매년 각 국가별 상황에 맞는 Action Plan을 받고 UNCCD안의 예산을 가지고 평가를 거쳐 꼭 필요한 프로젝트에 자원을 분배한다.

UNCCD는 회원국가의 적극적인 참여 없이는 운영될 수 없다.

- 과학기술위원회와 협약이행검토위원회는 회원국의 대표자로 구성되어 있고 당사국 총회에 안건을 제출하여 사막화 방지에 기여한다.
- 의무분담금과 자발적기여금을 통해 회원국은 사막화방지에 기여한다.

UNCCD는 세계 사막화방지의 방향을 제시한다.

- 수면 아래에 있던 사막화 문제를 표면화하여 국제적인 이슈로 경각심을 일으켰다.
- UNCCD는 경남 창원 COP 10 에서 과학기술개발 및 기반 구축의 중요성을 강조했다.
- UNCCD는 지속적으로 기업 및 민간부문의 참여를 촉구한다.



3 GIZ

2008년 1월 새롭게 출범한 네덜란드의 독립적 전문 연구기관

네덜란드 국토의 안전하고 지속가능한 개발이 이루어질 수 있도록 체계적이고 통합적인 개발전략을 위해 설립

물과 토질 및 기초공학, 토양, 지하수 분야에 있어서 세계 최고의 공학기술

네덜란드 뿐만 아니라 전 세계를 대상으로 기술과 전문적인 자문을 제공

사람과 사회, 그리고 환경을 위한 스마트 솔루션, 혁신과 응용을 지향



Mark Schauer

The coordinator for the initiative 'Economic of Land Degradation' at GIZ



탐방목적

효과적인 사막화 방지를 위한 과학과 정책의 융합을 찾아서

토지황폐화 및 사막화로 인해 전 세계의 비옥한 토지들이 위협받고 있으며 이는 농산물 수확량의 감소, 깨끗한 물과 확보량의 감소, 기후변화지역의 취약성 증가, 식량 불안정과 빈곤과 같이 우리 인류를 위협하고 있다. 현재 **지구상 여러 지역에서 약 15억명의 사람들이 이미 토지황폐화와 사막화의 영향을 받고 있는것으로 추산되고 있다.** 인구 증가 추세를 볼때, 식량공급문제는 현 시대의 가장 큰 도전중의 하나다.

최근까지의 연구결과에서 토지 황폐화의 영향을 직 간접적으로 받는 국가에 경제적 사회적으로 부정적인 영향을 미친다는 보고가 나왔다. 세계의 몇몇 과학자들은 황폐화 문제를 줄이는데 약 400billion US dollar를 사용한다. 이러한점은 **토지문제가 국가적 차원에서 잠정적으로 가치 있고 투자, 지속적 관리가 필요하다는 것을 시사한다.**

하지만 전 지구적인 문제인 사막화 문제는 좀 더 신뢰할 만한 경제적 지표와 자료를 토대로 진행이 되어야 했다.

OVERVIEW

UNCCD와 GIZ의 합작으로 탄생한 ELD (Economics of Land Degradation)

처음 ELD가 등장한 배경은 독일의 대표적 원조집행기관인 국제협력공사 GIZ의 CCD Project (Convention Project to Combat Desertification)를 BMZ, EU, UNCCD가 함께 피해국들과 기부자, 국제기구와 과학연구기관등의 협력을 바탕으로 토양황폐화 결과에 대한 경제적 평가를 담당하는 이니셔티브를 탄생시키면서 가능하게 되었다.

*GIZ_

독일의 대표적 원조집행기관인 국제협력공사(GIZ: Gesellschaft fuer Internationale Zusammenarbeit)

지속가능한 토지사용을 위한 국제협력 이니셔티브인 ELD

ELD의 핵심은 지속가능한 토양활용 및 개발과 금융지원 등 피해국 및 파트너들을 위한 의사결정자를 양성하는 것이다. ELD의 목적은 **'활용 가능한 과학적 전문성을 통합하며, 기업과 산업계 및 사회의 의사결정자들이 이를 활용하도록 하는것'**이다. 특별히 GIZ CCD프로젝트는 리서치 연구조달을 통한 과학적 전문성을 개발하고 전문가 및 일반대중에 대한 본 프로젝트의 인식도를 높여 더욱 많은 파트너의 참여를 늘린다.

*BMZ_

독일연방 국제협력개발부 Federal Ministry for Economic Cooperation and Development, Germany

GIZ안에서 ELD의 역할과 목적

GIZ는 독일의 대표적인 원조집행기관으로 사막화방지를 포함한 매우 광범위한 분야의 원조를 담당하고 있다. 그중에 ELD(Economics on Land Degradation)는 GIZ의 발의로써 지속가능한 토지 관리 및 사막화 방지를 위해서는 무엇보다도 정책결정가, 사업가, 농업협동조합 등의 의사결정이 중요하다는 사실에 근거하여, 이들의 의사결정을 위한 **경제학적 관점에서의 객관적 과학지표를 제공하는 것을 목표로 하고 있다.**

INTERVIEW



ELD에서 강조하는 ‘Better data for better policies’?

처음에 ELD가 세워졌을 때는 토지황폐화, 사막화와 관련한 Data를 제공하기 위해서이다. 사막화를 방지하기 위한 정책을 만들기 위해서 어느정도의 예산이 들어가야 하는지 알아야 했고, 좀 더 세부적인 목표와 측정지표가 있어야만 했다.

토지황폐화를 막고 생산적인 땅을 만들기 위해서는 정책결정자, 사업가, 농업협동조합, 경제적 지원 단체, 다른 투자자들 과 함께 장기적인 안목을 가지고 과학적인 자료를 바탕으로 한 의사결정이 필수적으로 필요하다. 지속적인 땅 사용을 위해서는 전략과 결정할 수 있는 기분을 만드는 것이 중요한데, 이것을 위해서는 세계적인 과학평가지표가 필요하다.

이러한 배경으로 Economics of Land Degradation이 만들어졌다. 이 기구는 땅과 관련한 경제학적인 관점을 가지고 결정하는 정책 결정자의 관심을 유도하고, 정책을 결정하고 만드는 과정에 있어서 확실한 자료들을 제공해준다.

GIZ안에서 ELD의 역할은?

최근 GIZ의 사막화방지과 관련된 일들은 ELD가 제시하는 방향으로 주로 흘러가고 있으며 사막화 방지를 위한 노력에 있어서 경제학적 관점이 얼마나 중요한지를 입증해 나아가고 있다. 대부분의 사막화방지 사업이 정책결정자들의 의사결정으로 그 진행여부가 결정되고 경제적 관점에서 사막화 방지 사업의 득과 실에 대한 정보를 명확하게 전달해야만 한다.

사막화 방지에 있어서 겪고있는 문제와 개선을 위해 ELD가 하고있는 노력은?

토지황폐화를 막는 행동이 황폐화 후에 막는 것 보다 비용이 효율적이다. ELD는 이것을 경제학 적으로 입증하는 것인데, 각지역별로 데이터가 많이 없는 것이 지금 한계점이다. 이를 극복하기 위해 2015년까지 우리나라 사례, 중국사례 등을 포함한 글로벌데이터를 만들고, 전 세계에 토지황폐화를 예방하는 것이 중요한 것인지를 알리는 것이다. 이는 모든 국가들에게 사막화 방지 정책에 있어 좋은 영향을 미치는 보고서가 될것이다.

ELD의 목표와 앞으로의 계획

GIZ는 2015년까지 ELD를 통해 전세계 사막화에 대한 과학적 자료를 통합한 하나의 표준을 만들어 세계 사막화 방지에 기여하고자 하는 목표를 가지고 있었다. ELD의 보고서에서의 근거한 과학적인 표준이 합리적인 의사결정을 할 수 있도록 통합적인 지침서가 되어 줄 것이며, 미래 사막화 방지 정책에 다양하게 활용되기를 바라며 오늘도 열심히 노력하고 있다.

🔑 핵심 정리

사막화 방지에는 객관적, 과학적 자료가 필요하다.

- 사막화 방지 사업의 득과 실에 대한 정보를 경제학적 관점에서 명확하게 전달해야만 정책결정자들이 합리적인 결정을 내릴 수 있다.
- 지속적인 사막화방지를 위해서는 전략이 중요한데, 이를 위해서는 표준화 과학평가지표가 필수적이다.

효과적인 사막화 방지를 위해 다양한 분야와 유기적인 파트너십을 가지고 있어야한다.

- 사막화를 막고 생산적인 땅을 유지하기 위해서는 정책결정자, 사업가, 노동협동조합, 경제지원단체, 투자자들과 함께 논의한 의사결정이 중요하다.
- 활용가능한 과학적 전문성을 통합하여 기업과 산업계 및 사회의 의사결정자들이 이를 활용하도록 돕는 것이 ELD의 목적이다.





4 Wageningen

영양학과 생활환경, 생명과학 분야의 세계적인 교육기관. (영양학 세계 5위, 생명과학 세계17위 - 2011년 Times)

최근 6년 연속으로 네덜란드 최고의 대학으로 선정.

DESIRE, CASCADE 등의 대규모 사막화방지 프로젝트 주관.



Coen Ritsema

The soil physicist and the coordinator for DESIRE and CASCADE projects.



탐방목적

사막화 방지 프로젝트의 좋은 예를 찾아서

개인이 시작하여 국제 협력을 이끌어낸 성공적인 프로젝트의 예

사막화의 문제는 세계 곳곳에 일어나는 매우 광범위한 문제이며 다양하고도 복잡한 요소로 인해 확대되고 있다. 그렇기 때문에 한 분야의 전문가들이 모여서 해결할 수 있는 문제가 아니라 전지구적인 관심과 노력이 필요한 문제이다. 한 개인이 열정으로 시작하여 국제기구, 정부, 민간 모든 부문의 협력을 이끌어낸 사례를 소개한다.

DESIRE 프로젝트

DESIRE 프로젝트는 유럽연합의 FP7 프로그램의 지원을 받아 2007년부터 2012년까지 6년 동안 진행한 134억 예산의 대규모 프로젝트이다. 이 프로젝트는 **전 세계 28개의 연구기관과 NGO 및 관련 기업들이 연합하여 세계 18곳의 사막화지역을 중심으로 다양한 실험을 진행하고 적용**하였다. 이 프로젝트는 지속가능한 토지 관리를 위해 사막화지역 주민들과의 협업을 가장 중요시 생각하였고 주민들과 연합하여 특정 지역의 지역적, 사회적 특성을 고려한 솔루션을 제공하였다. 세계 18곳에서 이루어진 **실험과 적용 결과는 모두 문서화**되어 인터넷 사이트에 게재되었고 전 세계의 사막화 지역에서 참고할 수 있도록 유도하였다.

* EU FP7_

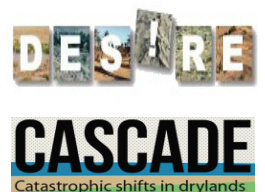
Framework Programme for Research Technological Development. 단 일규모로 세계최대 연구개발 프로그램으로 2007년부터 2013년까지 7년간 500억 유로 규모의 유럽 최대 연구기금 보유

CASCADE 프로젝트

CASCADE 프로젝트는 유럽연합의 FP7 프로그램의 후원을 받아 2012년부터 2017년까지 진행되는 대규모 프로젝트이다. 이 프로젝트는 이전의 DESIRE, REACTION 프로젝트의 연장선으로 남부유럽 지중해연안의 **지속가능한 토지 관리를 위한 새로운 제안을 제공**하기 위한 연구 프로젝트이다.

환경의 변화에 따라 반응하는 토양 및 생태계의 변화를 예상하거나 이해하는 것은 쉽지 않다. 왜냐하면 생태계는 기후변화나 인간의 토지관리와 같은 외부적인 조건에 대해 점차적으로 반응하기도 하지만 어떤 경우에는 어떤 한계치에 도달하기 전에는 아무 반응을 보이지 않다가 한 순간 급격히 변하기 때문이다. 토양이 이렇게 안정적인 상태에서 퇴화된 상태로 급격하게 변하는 것은 생태학적 문제 뿐만 아니라 경제적인 문제까지 초래한다. 이 프로젝트는 왜 생태계에 급격한 변화가 일어나는지, 왜 어떤 토양은 다른 곳보다 비교적 더 회복력이 있는지, 급격한 변화를 막기 위해 무엇을 할 수 있는지, 퇴화된 상태의 토양을 이전 상태로 회복시키는 것이 가능하지 등의 문제에 초점을 맞추고 있다.

이 프로젝트는 연구조사 결과를 바탕으로 세계의 다양한 건조 지역의 생태계 반응 역치를 미리 예상하여, 정책결정자들과 토지 관리자들에게 지속가능한 토지관리 방법을 알려 세계 사막화 방지에 기여하는 것을 그 목적으로 한다.





? INTERVIEW

사막화 방지를 위한 대규모 프로젝트의 총 책임자로서, 사막화 방지를 위해 무엇이 가장 중요하다고 생각하나요?

사막화 현상은 황폐한 토지가 사막이 되기 전에 미리 예방하는 것이 더욱 비용 효율적이다. 우리는 토지 물리학자이지만 사막화 방지에 있어서 경제학자와 사회학자 등 다양한 분야의 전문가들과 강한 유대관계에 있다. 왜냐하면 **사막화 문제는 매우 복잡적이고 다양한 분야에 걸쳐 있는 문제**이기 때문인데, 우리가 사막화 문제와 예방을 위한 조치를 논의할 때, 그 비용과 효과에 대해 각 분야에서 정확하게 진단을 내려줄 필요가 있다. 그렇기 때문에 **다양한 분야의 사람들과 정보를 공유하며 함께 문제를 해결하려는 노력이 종종** 해답을 찾는 열쇠가 된다.

하지만 종종 정책결정가들은 제한된 정보와 자신들의 판단을 바탕으로 사막화를 예방하는 정책을 통과시키기도 한다. 이런 경우, 만약 사막화 지역의 사람들이 정부가 제안한 조치에 만족하지 못한다면 문제가 생기게 되는 것이다. 부적절한 예방조치는 오히려 토양을 더욱 악화시키기도 한다. 그렇기 때문에 사막화 지역의 주민들과의 의논하는 과정이 의사결정과정에 반드시 포함되어야만 한다. 이는 토양에 긍정적인 변화를 불러오기 위해서 필수불가결한 과정이다. 결국 이 모든 것은 사막화의 요인을 분석하고 상황을 분석하는데 얼마나 많은 연구를 했느냐의 문제이다. 사막화의 주요인이 풍식작용인지, 강수량 부족인지, 지역주민의 과도한 방목 및 경작 문제인지를 정확하게 파악해야 하고 사막화가 언제, 어떤 기후환경에서 일어나는지, 그리고 비슷한 환경의 두 토양 중 왜 한 곳에서만 사막화가 일어나는지 비교하는 과정을 통해 사막화현상을 이해해야한다. **사막화 현상 뒤에 있는 종합적인 메커니즘을 이해**한다면 사막화 지역에 어떠한 변화를 가져와야하는지 규정할 수 있을 것이다.

정리하자면, 사막화방지를 위한 가장 중요한 열쇠는 기술적으로 경제적이면서 사회적으로 수용 가능한, 가장 효과적인 솔루션을 찾는 것이다. 그것은 비교적 짧은 기간 내에 긍정적인 결과를 보여줄 수 있는 방법이어야 하는데, 그래야만 정부의 입장에서 투자에 대한 장기적인 효과를 예상할 수 있기 때문이다. 하지만 지역 주민들의 사회, 경제적 상황에 따라 정부는 토지황폐화에 기여하는 그들의 삶의 습관을 바꿀 수 있게 보상을 해줄 필요가 있다. 결국, **사막화 지역의 지역 주민들과 정부 입장 사이에서 균형을 이루는** 조치가 필요하다.

유엔 세계 3대 환경협약 중 기후변화협약과 생물다양성 협약에 비해 사막화방지협약은 왜 많은 지원을 받지 못하고 있나요?

기후변화협약(UNFCCC)과 생물다양성협약(UNCBD)의 경우, 정부 기관에게 그것이 심각한 문제라는 것을 보여주고 증명하는 일이 비교적 간단하기 때문에 항상 그 문제는 각 정부 기관의 논의사항에 포함된다. 예를 들어 기후변화협약의 경우, 온도계와 이산화탄소 측정기 등은 실제로 문제의 심각성을 매우 간단하게 보여줄 수 있는 도구이면서도 그들이 일을 제대로 수행하고 있는지를 증명할 수 있는 평가 도구가 되기도 한다. 하지만 사막화방지협약의 경우, 정부 기관에 **사막화의 심각성을 한눈에 보여줄 수 있거나 사막화방지 프로젝트의 효과성을 평가할 수 있는 간단한 과학적 지표가 존재하지 않는다.** 사막화 문제는 정말 다양한 요소들을 고려해야만 하기 때문에 그 심각성을 보여주고 설명하는 것 또한 정부 기관의 입장에서는 복잡하고 난해할 수 있다. 그래서 잘 이해하지 못하거나 회의적인 시각을 보이는 경우도 있는 것이다.

GIS(지리정보시스템)가 사막화방지에 있어서 어떻게 활용되고 있나요?

토양 안에는 정말 셀 수 없이 많은 종류의 현상이 진행되고 있다. 영양분, 물, 토양, 기후, 식물 등 다양한 요소들이 서로 밀접하게 관계되어 다양한 현상을 발생시킨다. 그래서 지금까지 우리는 토양 표면 1M 내에서 일어나는 모든 생물, 비생물적 현상을 이해하기 위해 노력해왔다. 얼마나 많은 양의 물이 스며드는지, 증발하는지, 식물이 잘 자랄 수 있는 환경인지, 생존을 위한 식물의 능력은 어떠한지, 어떤 영양분이 분포해있는지 등의 문제들을 모두 수학적으로 계산한 시뮬레이션을 모델을 구현했다. 이 시뮬레이션 모델은 우리가 토양 안의 역동적인 현상 및 변화를 이해할 수 있게 돕는 역할을 하였다. 하지만 토양 내의 조건들은 항상 변화하고 있기 때문에 이 시뮬레이션 모델은 최근에 점점 더 GIS에 통합되어지고 있다. GIS가 국가의 정책결정자들에게 하나의 지표로 사용되고 있는 것은 사실이지만 GIS가 제공하는 정보는 사막화 지역마다 다르고 결과에 대한 해결책이 있어서도 전문가들마다 상이하다. 즉, **사막화는 국제적인 문제이지만 그것에 대한 해결책은 지역마다 다른 것이다.** 토양의 상태를 측정하는데 있어서 온도계와 같이 간단하고도 영향력있는 과학적 지표가 있다면 사막화방지에 엄청난 기여를 할 수 있을 것이라 생각한다.

2007년에 시작해서 2012년에 끝난 DESIRE 프로젝트는 어떤 프로젝트인가요?

DESIRE 프로젝트는 EC(유럽연합)으로부터 900만 유로(한화 약 134억)의 예산을 받아 2007년부터 시작하여 2012년에 완료된 대규모의 프로젝트로, 약 28개의 연구기관과 NGO, 정책결정자들이 연합하여 세계 18곳의 사막화 및 토양황폐화 방지를 목적으로 한 프로젝트였다. 이 프로젝트에 참여한 연구기관들은 **사막화 지역 주민들과의 협업을 통해 지역적 특성에 맞고 지속가능한 해결책을 제공**하기 위하여 많은 실험을 하고 실제로 적용하였다. 더 나아가, 이러한 모든 적용과정 및 결과는 문서화되어 인터넷 사이트(www.wocat.net)에 게재되었고 전 세계의 사막화 지역의 주민들은 이 사이트의 정보를 통해 자신의 지역 상황과 유사한 곳에서 성공한 사막화 방지 해결책을 자신의 토양에도 적용시킬 수 있도록 유도한 매우 성공적인 프로젝트였다.



* UNFCCC

United Nations Framework Convention on Climate Change. 기후 변화협약. 지구 온난화를 규제, 방지하기 위한 국제 협약



* UNCBD

United Nations Convention on Biological Diversity. 지구상의 생물 종을 보호하기 위한 국제 협약.

*GIS_

GIS(geographic information system)는 일반지도와 같은 지형정보와 함께 지하시설물 등 관련 정보를 인공위성으로 수집, 컴퓨터로 작성해 검색, 분석할 수 있도록 한 복합적인 지리정보시스템이다.

DESIRE 프로젝트는 어떻게 시작되었나요?

과학자로서 바쁘게 삶을 살다보면 삶의 어느 순간 사람들로 부터 인정을 받게 된다. DESIRE 프로젝트를 담당하기 전에 나는 10년이 넘게 세계 각 곳을 돌아다니며 사막화 방지에 있어서 많은 노력을 해왔고 국제 과학 학술지에 많은 논문 및 글을 실었다. 국제 과학 협회와 같은 국제적 명성이 있는 곳에서 발표할 기회를 가지게 되면서 세계의 여러 정책결정가들 또한 나의 연구를 접하고 관심을 가지기 시작했다. 그러면서 하루는 European Commission 으로부터 한 부탁을 받게 되어 UNCCD의 협약을 이행하려면 무엇을 해야할 지에 대해 컨설팅을 해주었다. 사막화방지가 6-framework of EC에 포함되면서 사막화방지 분야에 900만 유로의 예산이 배정되었고 EC에서 프로젝트를 진행할 기획자를 모집하였다. 나는 사막화방지 분야의 세계 여러 기관들을 컨택하여 그들과 협력하여 'DESIRE 프로젝트' 라는 이름의 기획서를 EC에 제출하였고 그들은 심사를 통해 우리를 선정하였다. 우리의 목표는 이 프로젝트를 통해서 **세계 어디에 있어도 사막화 방지에 기여할 수 있는 국제적인 전략을 마련하는 것이었다.** 그렇게 DESIRE 프로젝트는 시작되었다.

DESIRE 프로젝트의 진행 과정과 결과는 어땠나요?

우리의 역할은 지역주민들에게 그들의 땅의 사막화 방지를 위한 가장 좋은 대안에 대해 조언 해주는 것이었다. 그 대안의 과정 및 결과는 각 사막화 지역에 있는 과학자문 기관에서 지역 주민과 함께 모니터하고 측정하였다. 프로젝트가 끝난 이후에도 계속 그 토양을 관리할 사람은 그 지역 주민들이었기 때문에 그들의 의견과 참여는 상당히 중요했다. 그렇기 때문에 우리는 프로젝트를 시작하기에 앞서 지역주민들과 함께 3차의 워크샵을 진행하였다. 1차 워크샵에서 우리는 단순히 그들에게 우리를 알리고 프로젝트에 대해 소개한다. 2차 워크샵에서 우리는 그들이 가진 사막화 문제 및 토양에 대한 그들의 의견을 듣는다. 어떤 부분이 가장 시급한 문제인지 그들보다 더 잘 아는 사람은 없기 때문이다. 마지막으로 3차 워크샵에서 우리는 그들에게 다양한 종류의 토양과 물에 대한 기술과 정보가 있는 데이터베이스를 보여주고 그들이 원하면 이 정보를 사용할 수 있다고 말해준다. 우리는 당시 약 80여 국가에서의 실험 결과를 문서화 시킨 400여개 이상의 기술을 데이터베이스에 가지고 있었다. 이 프로젝트에 참여하기를 희망하는 지역 주민들은 우리로부터 과학적 자문을 받게 되고 우리와 함께 토양에 기술을 적용한다. 약 6개월 정도의 시간이 흐른 뒤 우리는 그들에게 **어떤 기술이 그들의 토양에 가장 효과적으로 작용했는지를 조사하고 그 조사결과는 문서화되어 www.wocat.net 페이지에 게시되었다.** 이렇게 지역주민들은 이 프로젝트를 통해 사막화 방지에 직,간접적으로 기여한 것이다.

박테리아 기술에 대한 토양 학자로서의 견해는?

박테리아 기술에 관련해서 말하자면, 이 기술은 사막을 녹화시키는 그런 기술이 아니라 모래 입자들을 날리지 않게 잡아줄 수 있는 기술이다. 그래서 풍식에 의한 피해가 사막화의 주요 요인인 지역 같은 경우에 큰 도움이 될 수 있는 기술이라 생각한다. 하지만 이 기술 하나로는 식물을 다시 자라게 할 수는 없다. 이 기술은 **사막화 방지에 기여할 수 있는 한 부분이다.** 식물이 다시 자라기 위해서 가장 중요한 것은 토양이다. 그 토양은 박테리아 기술을 통한 안정성 이외에도 물과 영양분과 같은 것들이 반드시 필요하다. **이 모든 조건이 공동으로 만족되어 질 때 성공적인 사막화 방지에 이룰 수 있다.**



핵심 정리

사막화의 심각성을 나타내줄 명료한 지표가 필요하다

- 현재 사용되고 있는 GIS(지리정보시스템)은 정책 결정자들에게 생소한 시스템으로 정책 결정시 영향력이 작다.
- UNCCD가 UN 3대 협약 중 가장 규모가 작고 지원이 적은 이유는 효과성 평가시 필수적인 명료한 지표가 존재하지 않기 때문이다.

문서화를 통한 정보공유 및 커뮤니케이션이 중요하다.

- 사막화방지 과정과 평가의 문서화를 통해 실패사례와 성공사례를 분석할 수 있다.
- 문서화된 자료의 인터넷 공유를 통해 전 세계 사막화 지역 주민들이 자신의 지역과 유사한 사례를 참고하여 적용할 수 있다.
- 객관적인 데이터 축적으로 지역주민들의 신뢰를 얻을 수 있다.

사막화방지에 있어서 의논을 통해 해결책을 도출해야만 한다.

- 산림, 토양, 기후 등 다양한 분야의 전문가들과 정보를 공유하여 함께 문제를 해결하는 노력이 필요하다.
- 사막화지역 주민들과의 의논을 의사결정 과정에 반드시 포함시켜서, 사회, 경제적으로 그들에게 수용가능하고 지속가능한 솔루션을 찾아야 한다.

 탐방요약

네덜란드 지반 강화 기술 연구소

Deltares 사막의 회복을 위한 박테리아 기술과 그 적용 방안을 찾아서

박테리아를 활용한 신기술은 현재 **기술적으로 가능**하고 사막화지역에 **다양한 형태로 적용**될 수 있다.

세계 사막화 방지 협약 본부

UNCCD 사막화방지 상위 조정기구로서의 역할과 방향성을 찾아서

현재 UNCCD는 **기업과 민간의 적극적 참여**를 유도하며 **과학기반구축**을 그 중요한 방향으로 잡고 있다.

독일 국제 협력 공사

GIZ 효과적인 사막화 방지를 위한 과학과 정책의 융합을 찾아서

효과적인 사막화 방지를 위해서는 **업무 별로 조직화된 사막화 방지 전문부서**가 다양한 분야의 전문가들과 **유기적인 파트너십**을 가지는 것이 중요하다.

네덜란드 토양 연구소

Wageningen 사막화 방지 프로젝트의 좋은 예를 찾아서

사막화방지 시 각 **지역의 사회, 경제적 상황**을 고려하고 **지역주민과의 의사소통**에 기반한 지속가능한 프로젝트여야 만 한다.



구슬도 꺾어야 보배!

우리나라의 향후 사막화방지를 위해서는 먼저, 정부차원에서 **상위조정기구의 역할**을 할 수 있는 전문부서가 필요하다. 이 전문부서는 정부, 기업, NGO, 민간부문 사이에서 효과적인 의사소통 및 네트워킹을 유도하고 **정보공유가 원활하게** 이루어질 수 있도록 한다. 현재 우리나라가 보유한 산림 노하우에 **다양한 분야의 기술연구**가 더해지면 장기적으로 그 효과는 극대화 될 것이며 동북아 사막화방지 허브로서의 역할을 감당할 수 있을 것이다.



해결방안(Solution)

우리나라에 제안하는 사막화방지의 방향성
기술 / 시스템

기술적 제안/ 사막의 표층부에 얇은 막 만들기



Bacillus pasteurii의 생체광물형성작용을 사막화 방지에 이용하는데 가장 효과적인 방법은 사막의 표층부에 얇은 막을 만드는 것이다. 사막의 높은 온도를 이용하여 박테리아의 반응 속도를 촉진시켜 사막의 표층부에 고결화 반응을 유도할 수 있다. 표층부를 굳게 하기 위해서는 박테리아 용액이 새어 나가지 않는 틀을 제공하여 모래를 천천히 굳혀야 하는데, 사막같이 광대한 곳에서는 그 밑에 틀을 만드는 것이 쉽지 않다. 그래서 빠른 반응속도를 이용하여 박테리아 용액이 투과해 버리기 전에 모래를 굳히는 방법을 고려한 것이다.



사막에 적용 시킬 수 있는
가장 현실적인 제안은
표층부의 얇은 막으로
날리는 모래들을 잡는 것



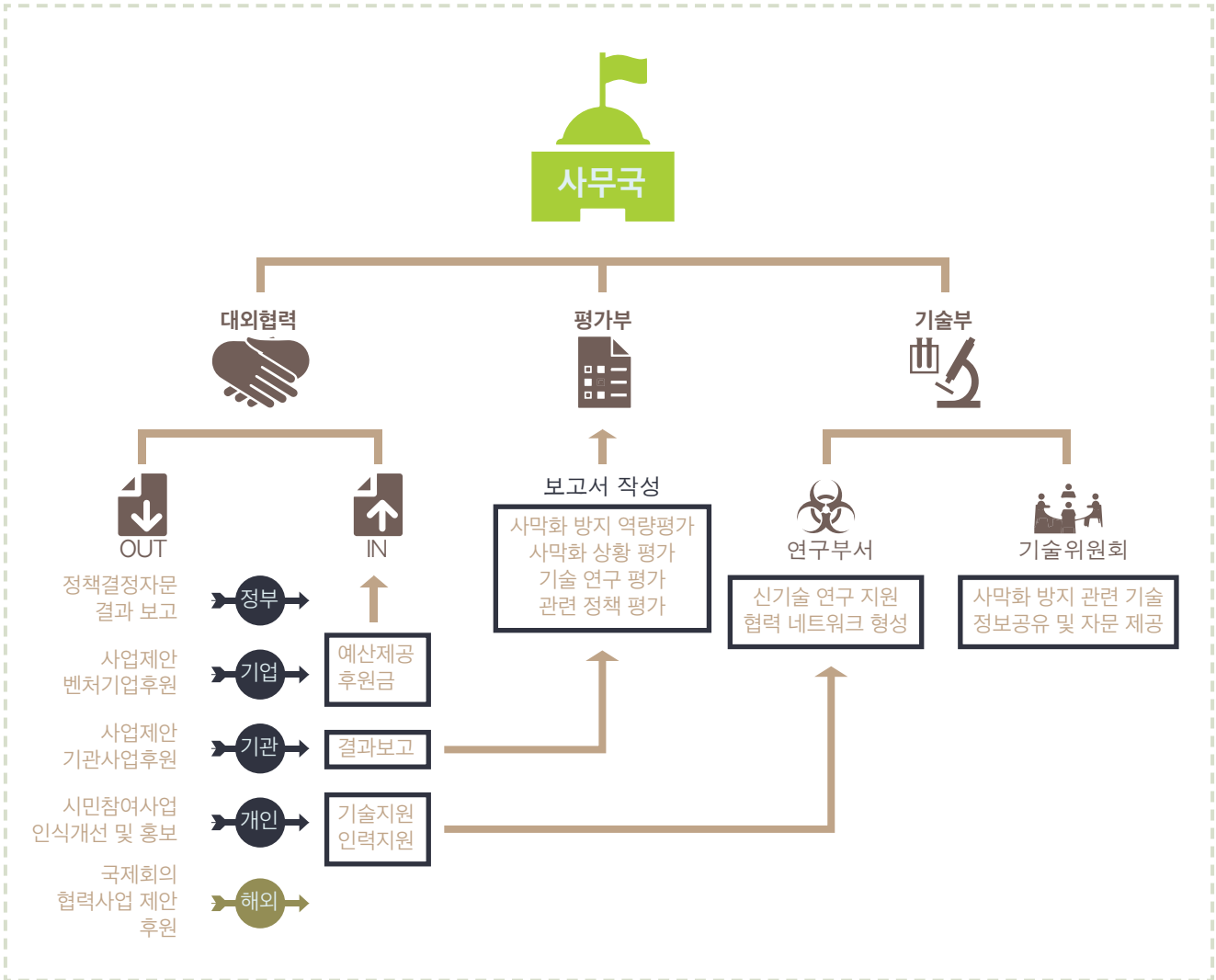
이 기술은 사막 표층부에 얇고 단단한 막을 형성하여 나무를 위한 안정적인 기반을 마련해주기 때문에 기존 사막화 방지 프로젝트에 효과적으로 사용될 수 있다. 또한 생체광물형성작용을 통해 모래 입자의 크기를 증가시켜 바람으로 인해 이동하는 모래의 양과 거리를 감소시킬 수 있다. 결론적으로 모래 바람을 통한 사막화의 확산을 방지하고 황사로 인한 피해를 완화할 수 있는 것이다.

사막화방지를 위한 기술적용에 고려해야 하는 사항

- 1 **지역 주민이 적극적으로 참여할 수 있는 지속가능한 사업을 계획한다.**
지역 주민의 사회, 경제적 상황 및 의사를 반영한 사업계획 및 지역 주민에 대한 기술 교육 필요
- 2 **지속가능하고 친환경적 에너지의 사용을 지향한다.**
에너지는 기술의 적용에서 가장 많은 비용이 들어간다. 따라서 장기적 관점에서 경제적인 에너지의 공급을 고려한다. 에너지의 사용으로 인한 생태계 오염의 악순환을 막는다.
- 3 **적절하고 표준화된 평가기준을 사용하여 결과를 분석한다.**
이후 기술 개발이나 정책결정에 기여할 수 있는 데이터를 제공한다. 여러가지 사업이 공유할 수 있는 표준화된 기준을 사용하여 평가한다.

단기적이고 표면적인 대처를 넘어 과학기술에 기반한 장기적인 계획이 필요한 때이다.

시스템 제안/ 대한민국 사막화방지 모델



대외협력부

대외협력부서는 사무국에서 결의된 **ACTION PLAN(사막화방지 이행계획)**을 국내의 정부, 기업, 기관, 개인에게 적용한다. 주로 정책이나 사업의 보고를 통하여 **정책 결정에 영향**을 주고, 사막화 방지 관련 사업 등을 제안한다. 해외의 정부, 기업, 기관들과 **활발한 협력 관계**를 만들기 위해 국제회의의 참석, 후원, **네트워크 형성** 등을 통해 아시아의 사막화 방지의 중심지로써 역할을 한다.



평가부

사무국에서 ACTION PLAN을 결의 하기 전에 앞서서 필요한 정보들을 정리하여 보고하는 부서이다. 주로 시행된 사막화 방지 사업의 **역량을 평가, 사막화의 실제 파악, 기술 연구 평가, 사막화 관련 정책 평가** 등이 이루어진다. 사무국이 정책이나 사업을 제안하기 위한 데이터를 제공하는 부서이다.



기술부

기술부는 **연구부서**와 **기술위원회**로 나뉜다. 연구부서에는 사막화 방지를 위한 하드웨어와 소프트웨어의 연구 진행을 **경제적, 기술적으로 지원**하며, 연구 기관간의 협력 네트워크를 구성하여 **효율적인 연구**를 가능케 한다. 기술위원회는 사막화 방지 관련 **기술의 동향 및 정보의 공유**가 이루어지며, 사무국의 ACTION PLAN에 기술적인 자문을 제공하는 역할을 한다.

사막엔딩의 Action plan

왜 우리나라는 사막화방지 신기술에 대한 개발과 투자가 부족한걸까?



사막화방지에 대한 예산이 부족해서
기술개발에 투자할 여유가 없기 때문이구나



그렇다면 왜 우리나라는 사막화방지에 대한 예산이 적은걸까?



정책결정자들이 사막화방지의 중요성을 잘 모르기 때문이구나



이들이 사막화방지의 중요성을
깨닫게 하기 위해서는 어떻게 해야할까?



아! 국민들의 **인식**을 개선시켜야겠구나

우리나라가 향후 과학기술에 기반하여 장기적으로 사막화방지에 기여하기 위해서는 먼저 사막화 방지에 대한 일반 사람들의 인식이 개선되어야 한다. 많은 사람들이 사막화방지에 필요성과 문제에 대한 책임공유의를 가질 수 있도록 해야한다.

Action plan

1

사막화방지 신기술 영상 제작

우리는 사막화방지 신기술을 보유한 아래의 기업 및 연구소를 방문하여 사막화방지에 있어서 국내 기술의 현주소를 확인하고 기술에 대한 정보 영상으로 제작하여 산림청 및 관련 NGO에 제공한다.

- ▶ **이투에너지홀딩스**
사막화된 토양에서도 식목에 성공 거둔 특허 기술 (벗짚, 슬러지, 미생물 공학을 이용한 특수 식물용 화분제작)
- ▶ **한화 / BJ파워**
태양광 발전 설비로 생산된 전기를 공급하여 지하수를 지표로 끌어올리는 사막화방지 기술
- ▶ **경상대 환경생명연구센터 이상열 교수팀**
한국생명공학연구원 환경바이오투연구센터 곽상수 박사팀
AtDX, PDR8 등 유전자 변형으로 사막의 고온, 건조 기후를 견디는 GMO 식물 기술



2

사막화 관련 기업, 포항시와 연계하여 사업운영

최근 포항시에 발생한 산불로 인해 훼손된 산림의 복원을 위해 기업, 포항시와의 연계로 포항시 내 산림복원사업 및 사막화 방지 인식 캠페인 운영





탐방을 마치며

누군가 우리보고 지구를 한번 그려보라고 한다면 아마 우리는 초록색과 파랑색을 가장 많이 사용할 것이다. 우리에게 지구는 울창한 숲과 바다로 푸른 빛을 띄는 곳이기 때문이다. 이번 탐방주제를 연구하면서 우리는 문득, 우리 자녀들, 또 우리 자녀들의 아이들은 지구를 어떻게 그리게 될지 궁금했다. 혹 지구를 황색 빛을 가진 행성이라 생각하게 되진 않을까.

사실, 사막화가 진행되는 속도를 볼 때, 사막을 회복시키는 것은 어쩌면 현재로서는 불가능한 문제인지도 모른다. 하지만, 우리는 탐방 도중에 한 가지 재미있는 사실을 발견했다. 매번 탐방기관 인터뷰 이후 그 내용에 대해 함께 공유하면서, 우리는 줄곧 '다음 기관에서 웬지 실마리가 풀릴 것 같아' 와 같은 기대에 찬 말들을 반복하고 있었던 것이다. 우리는 대학생 탐정이었고 마지막 남은 퍼즐 몇 조각들을 찾아 맞추고 있었던 것이다. 우리는 실제로 우리가 무언가 할 수 있다고 믿었고 그 믿음은 우리로 하여금 꿈을 꾸게 했다. 황량한 사막이 푸르게 변하고 잃어버린 삶의 터전이 회복되는 꿈을.

불과 두 달 전만해도 우리는 각자의 분주함과 고뇌로 인해 삶을 살기보다는 오히려 살아졌는지도 모른다. 매일 감당해야 하는 과제의 무게와 경쟁의 압박, 먼 미래에 대한 온갖 걱정이 쇠도하는 삶이라는 무대 위에 비틀거리며 서 있었는지도 모른다. 하지만 겨자씨보다 작은 꿈 하나로 인해 우리는 모두 '글로벌챌린저'가 되었고 사막의 회복이라는 주제로 시작한 우리의 도전은 어느새 우리 한명 한명을 회복시켰다. 우리가 생각하는 글로벌챌린저는 이렇게 작은 꿈을 가진 바로 당신, 여러분 모두이다. 글로벌챌린저, 세계적 도전자. 지금, 이 글을 보는 당신의 작은 꿈은 무엇인가. 지금 그 꿈으로 당신의 가슴이 두근거리지는 않는가.

대한민국을 푸르게 하는 꿈,
LG의 꿈입니다

