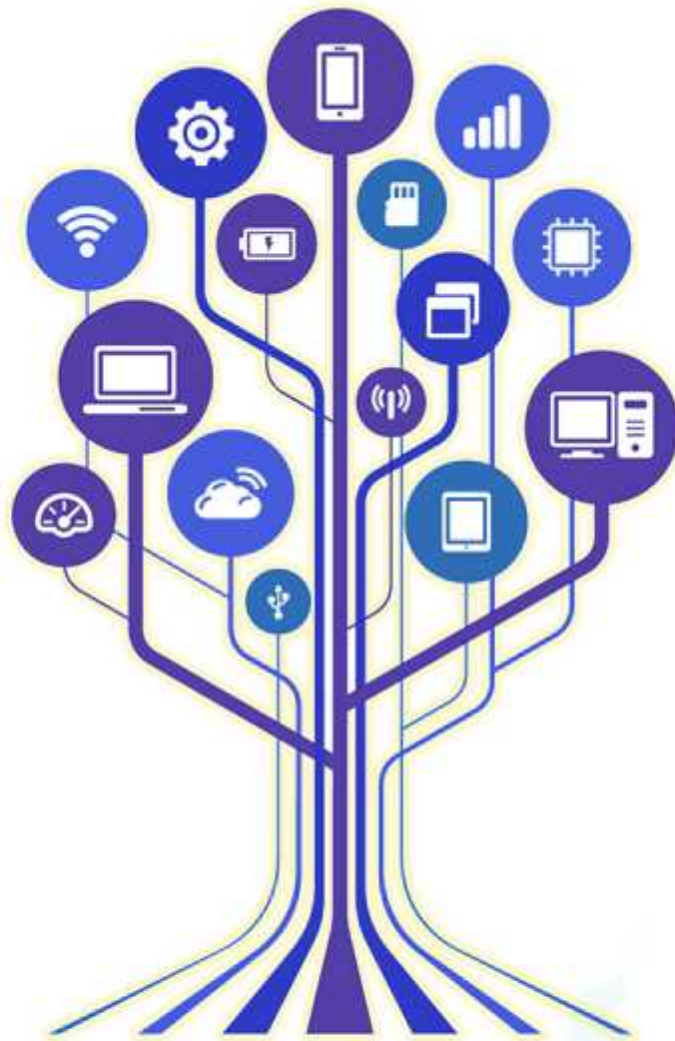


융합연구총괄센터

# 2020년 융합연구 동향분석 보고서 / Vol. 8

## Transdisciplinarity Trend Analysis Report





# 국제융합연구 동향 : NSF Idea Machine 2026

## 01. 개요

- ❖ 융합연구에서는 복잡하고 긴급한 사회적 이슈에 관한 문제 해결을 위해 다양한 학제 간, 분야 간, 지식, 이론, 방법, 데이터의 결합과 긴밀한 협력이 필수적이며 이를 통해 개발된 개념틀이나 바뀐 지식적, 기술적 패러다임을 통해 해결책을 강구하고 있음
- ❖ 지난 융합연구 동향보고서 제 4편에서는 미국 NSF의 장기 도전과제인 10 Big Ideas를 살펴보고 NSF가 주목하고 있는 6대 연구분야, 4대 정책과제에 대해 살펴봄
- ❖ 이 10대 도전과제 가운데 하나가 NSF 2026으로 미국 건국 250주년을 맞이하는 2026년까지 조직적이고 장기적인 지역사회 연계와 이해관계자 중심의 문제 해결을 위해 여타 연구지원 프로그램의 혜택을 받을 수 없었던 새롭고 다양한 시도에 대한 투자를 집중하기 위해 기획됨
- ❖ 동향분석보고서 제8편에서는 NSF2026에 제출된 100개 과제 중 top 33을 살펴보고 이를 통해 국내 융합연구에의 시사점을 찾아보려 함
- ❖ NSF 2026은 Idea Machine 이라는 부제를 달고 미국 사회가 직면한 다양한 문제를 비전문가의 시각으로 조명하고 그에 대한 해결책을 제시하는 공모전의 형태로 진행하였음

THE NSF 2026  
IDEA MACHINE



## 02. 선정 배경

- ❖ 2015년 9월, 백악관 내 미국 대통령 집무실 산하(Executive Office of the President)인 과학기술정책실(Office of Science and Technology Policy: 이하 OSTP)의 주최로 시민과학과 크라우드소싱(Crowdsourcing: 연구 수행과 문제해결을 위해 온라인상에서 대규모의 개인에게 자발적 협조를 구하는 시민과학 참여의 한 방법)을 주제로 한 포럼을 개최함
- ❖ 사회적 요구를 비롯하여 다양한 과학적 도전과제에 있어 높은 잠재력을 가진 시민과학과 크라우드소싱의 힘을 빌려 이에 대한 관심과 지원의 가속화에 대하여 강조
- ❖ 포럼 직후 OSTP에서는 대통령의 과학 기술자문이자 과학기술정책실장인 존 홀드런(John P. Holdren)이 각 부처와 기관장에게 메모(Memorandum)를 보내 시민과학과 크라우드소싱에 대한 관심을 유도
- ❖ 홀드런은 워싱턴 대학교가 분석한 결과를 인용하며 시민의 참여형 프로젝트로 인해 한 해 약 25억 달러에 달하는 경제적 가치를 창출한다고 강조하며 참여적 연구방법의 활성화와 지원을 당부
- ❖ 2013년경 열린 정부 국가 조치 계획(2013 Open Government National Action Plan)에 대한 약속을 이행하기 위해서 미 연방 정부가 시민 과학 및 크라우드소싱 프로젝트를 설계, 수행 및 관리할 수 있도록 지원하는 최초의 크라우드소싱 및 시민과학 툴킷(tool kit)을 배포
- ❖ 해당 툴 키트는 문제의 정의, 프로젝트디자인, 커뮤니티형성, 수집된 데이터 관리, 지속과 개선에 유용한 지침을 제공하였는데 이를 토대로 다양한 참여적 연구방법론의 설계와 수행이 활발하게 일어나는 계기가 마련됨
- ❖ 이를 통해 시민과학과 크라우드소싱에 대한 일반인들의 관심도와 접근성이 높아졌음은 말할 나위 없고 정부차원에서의 대규모 지원 또한 기대할 수 있게 됨

## 02. 선정 배경

- ❖ 이러한 움직임에 발맞춰 NSF에서도 일반 시민과 지역사회 기반의 문제해결과 제안을 내용으로 누구나 참여 가능한 NSF2026 프로젝트를 미래를 이끌 10대 대과제(10 Big Ideas) 중 하나로 발표
- ❖ "Big Idea"란?
  - ◆ '빅 아이디어'는 STEM 교육에 있어서 설득력 있는 연구 과제로서 범위가 넓고, 혁신적이며, 장기적인 몰입(즉, 10년 이상)이 필요
  - ◆ NSF가 현재 추구하고 있는 이러한 빅 아이디어들로는 데이터 혁명 활용, 삶의 법칙 이해, 휴먼 테크놀로지 프론티어에서의 미래, 새로운 북극의 발견, 우주의 창탐색 등이 진행 중임



▲ NSF2026 툴 키트 포함된 핸드북

### 03. NSF 2026 아이디어 머신?

- 2026년 이후 전국 250주년을 맞아 과학기술·공학·수학(STEM) 및 STEM 교육의 획기적인 연구의 발판을 마련하기 위한 메커니즘
- 미국 국립과학재단(NSF)의 미래 투자를 위한 새로운 "빅 아이디어"를 제안하여 기초과학, 공학, STEM 교육 연구의 아젠다 발굴을 위한 대회
  - ◆ 국가 경제를 견인하고, 안보를 강화하며, 과학과 공학 분야에서 미국의 글로벌 리더십을 유지하기 위한 지식을 발전시키는 기초 연구를 지원하는 NSF가 추구하는 사명에 참여할 수 있는 기회
  - ◆ 가치 있는 목표를 제시하고, 야심차고 도전적이며, 현재의 사고방식과 기술적 패러다임에 변화를 가져오는 것을 요구
  - ◆ High risk/ high return이 특징이며 과학, 공학 및 STEM 학습 분야의 연구 최전선에서의 변혁적 탐구가 필요
  - ◆ 이는 전통적인 과학적 경계가 가진 한계를 넘나들며 기존의 인식된 격차를 메우거나, 새로운 기회를 이용하며, 심지어는 현재 NSF가 추구하는 부서나 담당자의 프로그램에는 부합하지 않을 수도 있음
  - ◆ 이를 해결하기 위해서는 연구 커뮤니티 내외부의 많은 이해 관계자들에게 이익이 될 수 있는 사회적, 과학적 영향을 미치는 것임
- 이러한 움직임은 세계 각국에도 분명 유사한 시도를 통해 영향을 미치게 될 것이며 이를 통해 과학의 저변확대를 통한 시민의 호기심을 스스로 충족할 권리는 물론, 단순히 정보의 이용자로서 정보의 생산을 기다리는 것이 아닌 직접 정보의 생산에 기여하고, 필요하다면 연구의 성과를 정책에 반영시키고자 하는 올바른 민주시민으로서의 역할을 수행하는 것도 가능할 것으로 기대



#### 04. 선정과정 및 보상

- ❖ Idea Machine은 14세 이상이라면 계층을 막론하고 개인들이 NSF의 장기 프로젝트의 성공을 앞당길 수 있도록 과학, 공학 또는 STEM 교육에 대한 기초적인 연구가 필요한 긴급한 도전과제를 제출하도록 장려
- ❖ 미국 내 거의 모든 주와 기존 연구자, 학부 및 대학원생, 교사, 고등학교와 중학생 등으로부터 약 800개의 출품작을 접수
- ❖ 제출된 출품작들은 공개 논평 단계를 포함하여 5개의 선정 단계를 거쳤고 12명의 전문가로 구성된 블루리본 패널의 심사를 거쳐 설득력있고, 야심차고, 창의적이고, 융합적인 7개의 최종 우승과제를 선정
- ❖ 이러한 경연 대회가 가지는 의미는 대중과 과학계가 연구 공동체로서 직면한 도전적 문제에 관해 파악할 수 있는 절호의 기회
- ❖ 대상을 수상한 4팀에게는 2만 6천 달러가 수여되고 공로상을 받은 3팀에게는 1만 달러 수여
- ❖ 또한 NSF가 지속적으로 탐색하고 있는 새로운 연구 분야로서 인식되도록 도와 이공계의 발전을 촉진할 수 있는 기회로 NSF의 워크샵 및 EAG(Early-concept Grants for Discovery Research, 조기 개념 연구 보조금)에 대한 제안을 도입하여 NSF 2026 Idea Machine을 통해 인식된 신규 연구 테마의 추진을 위해 미국 내 연구 커뮤니티의 참여를 촉구



## 05. Top 33

### [Idea Machine 우수 33개 연구과제]

- ◆ #Why Not Me: STEM Diversity Drivers
- ◆ A World without Waste [Top 14]
- ◆ Appear EDU
- ◆ Creating Artificial General Intelligence
- ◆ Creating Sustainable Education Pathways
- ◆ Bioinspired Energy Utilization
- ◆ Bridging the Atom-to-Global Scale Gap
- ◆ Designing Ecosystems for the Future [Top 14]
- ◆ Emergence: Complexity from the Bottom Up [Grand Prize Winner]
- ◆ Engineered Living Materials [Grand Prize Winner]
- ◆ Equity & Beneficence in Sociotech System
- ◆ From Thinking to Inventing [Grand Prize Winner]
- ◆ Geomimicry
- ◆ Globalization of Science Results with AI
- ◆ Global Microbiome in a Changing Planet
- ◆ Harnessing the Human Diversity of Mind
- ◆ Human vs AI - Gamers Helping Scientists [Top 14]
- ◆ Imagine a Life with Clean Oceans [Top 14]
- ◆ Integrated Human-Machine Intelligence
- ◆ Large Landscape Resilience by Design
- ◆ Mechanical Morality
- ◆ Promoting Empathy-Based AI
- ◆ Public Carbon Capture and Sequestration [Grand Prize Winner]
- ◆ Reinventing Scientific Talent [Meritorious Prize Winner]
- ◆ Repurposing, Recycling, Renewable Energy
- ◆ Reversibility: Future of Life on Earth [Top 14]
- ◆ Saving Coral Reef Ecosystems
- ◆ Terraforming Earth
- ◆ Theory of Conscious Experience [Meritorious Prize Winner]
- ◆ The STEM Teaching and Learning Incubator [Top 14]
- ◆ Understand Scaling of Embodied Cognition
- ◆ Universal Similitude Across Scales [Top 14]
- ◆ Unlocking the Future of Infrastructure [Meritorious Prize Winner]



■ NSF2026 Idea Machine 제안서에서 노출된 키워드

키워드	설명	빈도
Environment		
Waste/ Trash		
Air Pollution		
A.I.		
Diversity/ Minority/ Inclusion		
Machine Learning		
Geology		

## 05. IDEA소개#1



#WhyNotMe: STEM Diversity Drivers

### ■ #WhyNotMe: STEM Diversity Drivers

- ◆ Terri Kinzy and Lori Wingate [Western Michigan University]
- ◆ #Inclusion #Barriers #Education #Career #STEM

#### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 어떻게 하면 우리 사회의 모든 구성원들이 STEM에서의 커리어를 생각하고 커리어를 가지는 것이 가능하다고 물을 수 있도록 할까? NSF의 자금 지원을 받는 프로그램도 있지만, 그 가운데 무엇이 효과가 있고 또한 장벽이 무엇인가?

#### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 오랜 관심과 노력에도 불구하고 STEM 사업에 있어 주요 역할과 경력 단계 여성과 소수민족의 소외는 개선되지 않고 있음
- ▶ 많은 사람들과 조직들이 때때로 개별적인 프로그램, 훈련 보조금, 특정한 교육적 접근법이나 환경, 비공식적인 메커니즘과 많은 많은 사례연구들을 통해서 이 문제를 해결하려고 노력해왔음.
- ▶ 이러한 노력에도 불구하고 체감되는 변화의 폭이 매우 미미한 관계로, STEM 커뮤니티의 다양성에 기여할 수 있는 소외된 인재들의 결핍은 각계각층에서 여전히 문제로 남아 있음
- ▶ 누구나 STEM에서 진로를 계획하고 꿈꾸지만 그들의 꿈을 가로막는 장벽의 원인이 무엇인가에 대한 확인과 설명이 필요
- ▶ #WhyNotMe를 “남들도 하는데 나라고 안될게 있어?(나도 할 수 있어)”와 “남들은 되는데 나는 왜 안되는 걸까?(나는 틀렸어)”라고 묻는 두 방향으로 말하게 되는 것은 다른 누군가, 혹은 사회가 그들에게 왜 그들이 안되는 것인지지를 말하고 있는 것일 수도 있음
- ▶ 1) 스스로에게 #WhyNotMe 라고 물어보는 누군가에게 힘이 되는 것은 무엇인가라는 질문과, 무엇이 그들을 내적인 대화로 이끌었는지에 대해 프로그램에 걸쳐 데이터를 수집하고 메타 분석 유형 접근 방식을 적용하여 “나는 안돼”라고 말하는 것을 촉진하는 주요 기능을 체계적으로 식별
- ▶ 2) 사람들이 STEM에서 얻을 수 있는 기회로부터 스스로를 멀어지게 하는 장벽은 무엇인가
- ▶ 3) 이러한 질문에 대해 체계적이고 편견 없이 대답할 수 있는 근본적으로 새로운 방법이 무엇인가

## 05. IDEA소개#1



#WhyNotMe: STEM Diversity Drivers

## ■ #WhyNotMe: STEM Diversity Drivers (Cont'd)

- ▶ 무엇이 성공과 성공적이지 못한 접근방식인지 구별하는지를 결정한다면, 우리가 이 문제를 해결하려고 시도했던 일련의 접근방식을 어떻게 식별할 수 있는가?
- ▶ 프로그램 전반에서 데이터를 취합하여 개인이 #WhyNotMe!라고 말하는 것을 촉진하는 주요 특징을 체계적으로 식별하기 위해 메타분석형 접근법을 적용할 수 있는가?
- ▶ #WhyNotMe!라는 독특한 특성, 자원, 또는 모집단을 가진 한 곳에서 성공했을 수도 있기 때문에 전국 각지에서 프로그램을 선택하고 최선의 실천요강이 무엇인지 묻지 않을 수 있을까? 대신 성공적인 기본은 무엇이고, 반대로 규모에 있어서 의미 있는 발전을 저해하는 장벽은 무엇인가에 대해 질문함.

### ◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ STEM을 자신의 경력으로 삼고 싶지만, STEM에서의 성공과는 전혀 상관없는 개인적 특성들 때문에 꿈이 좌절되고 부정적인 결과를 받아들여야 하는 사람들이 많음
- ▶ 이것은 명백히 국가에 대한 경제적 손실이 되며 개인에게는 기회를 잃게 되는 것이며 이로 인해 STEM 분야의 진로는 여전히 잠재적으로 가장 우수하고 가장 똑똑한 사람들에게 차별적으로 개방되지 않은 영역으로 인식되고 있음
- ▶ 사회가 변하고 세계가 점점 더 기술적으로 빠르게 발전함에 따라, 이러한 길을 잃은 기여자들은 STEM에서 미국이 세계 리더십을 유지하는데 필요한 중요한 기술 인력의 보존과 충당에 있어 이미 심각한 문제임 이 문제는 교육뿐만 아니라 기업과 정부 기관에도 분명 영향을 미치게 될 것

### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 성공적인 투자와 수행의 성과는 차별이나 계층이 없는 하나의 통합된 사회로 보일 것이라는 점
- ▶ 장기적인 목표처럼 멀게 보일지라도 굉장히 단순한 것일 수도 있으며 이 아이디어가 성공적으로 활용되면 STEM외부의 참여자로 하여금 새로운 평가 적용을 통해 성공 사례와 프로그램 내의 공통 장벽을 전국으로 이전 및 적용할 수 있는 각각의 행동 지점에 적용가능한 접근법이 될 것

## 05. IDEA소개#2



A World without Waste

### ❖ A World without Waste

- ◆ Michael Timko, [Worcester Polytechnic Institute]
- ◆ #Waste #Recycling #Environment #Interdisciplinary #pollution

#### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 자동차 배출, 소비자 폐기물, 산업 폐기물 등 모든 배출원에서 발생하는 폐기물의 90% 감축

#### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 매년 미국만 1억 5천만 톤의 도시 고형 폐기물을 생산하고 있으며 2015년, 탄소 기반 연료 연소의 폐기물인 이산화탄소의 전세계 배출량은 36 Gt으로 추정되며 개발도상국이 산업화됨에 따라 증가 추세
- ▶ 한 예로 태평양 거대 쓰레기 지대는 대략 텍사스와 같거나 큰 지역으로 수십 년간의 플라스틱 쓰레기의 축적을 나타냄
- ▶ 낭비는 자연스러운 결과가 아니며 생물학적 시스템의 관점에서 본다면 폐기물이 인식의 문제임. 정점 포식자의 포식 후에 남는 것은 낭비가 아니라 생태계를 통해 흘러드는 혜택으로 연쇄반응을 일으킴
- ▶ 한 공정의 산출물은 모든 자원이 활용될 때까지 다음 공정에 대한 투입물이 되므로 인식인가 우선순위인가가 핵심 연구 질문이 됨
- ▶ 이는 물리학과 공학 분야만큼이나 사회과학 분야에서도 많이 볼 수 있음: 쓰레기의 재사용을 가로막는 사회적 장애물은 무엇인가? 낭비를 줄이기 위한 소비자의 행동을 어떻게 이해하고 있는가?와 같은 질문에 대답하기에 충분한 과학기술과 연구 질문들은 넘쳐나고 있음
- 어떻게 하면 질소 화학물질을 더 효과적으로 관리할 수 있을까? 하버 공정이 발명된 지 100년이 지났지만, 여전히 우리는 비료에 있어선 그 기술에 의존하고 있음.
- 토양 화학 및 수처리에서 미생물 연합체를 어떻게 이해하여야 효율을 높이고 유출과 낭비를 줄일 수 있는가?
- 광자는 어떻게 물질과 상호 작용하여 화학 반응과 발전에 유용한 전자를 생산하는가?
- 이산화탄소를 유용한 연료나 화학적 전구체로 바꾸면서 이산화탄소의 감소 능력을 어떻게 활용하고 있는가?
- 우리가 다시 사용하고 재활용할 수 있는 필요한 성질을 가지고 플라스틱을 설계할 수 있을까? 아니면 환경에서 자연적으로 분해되는 화학 물질을 설계할 수 있을까?
- 빅데이터 및 복잡한 상호 작용 시스템 시스템을 어떻게 처리하고 있는가?
- 우리는 생체고분자의 과학, 그들의 합성과 붕괴를 이해할 수 있을까?
- ▶ 사실, 우리는 이미 위의 모든 질문들에 대해 연구하고 있지만, 서로 다른 분야와 이를 이해하고 설명하기 위한 다른 기술을 가지고 있음

## 05. IDEA소개#2



A World without Waste

## ❖ A World without Waste(Cont'd)

- ▶ '쓰레기 없는 세상'은 (서로다른 학제에) 공통의 동기부여, 즉 해결해야 할 공통의 문제를 제시
- ▶ 달탐사 계획이 기계 공학자들, 항공우주 공학자들, 물리학자들, 의학 연구원들, 그리고 많은 다른 사람들을 끌어 모았듯이, 또한 '폐기물 없는 세상'도 그렇게 될 것이며 세계는 확연하게 달라질 것

### ◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 우리의 경제, 음식, 건강, 물, 에너지, 환경이라는 전체 개념을 변형시킬 것
- ▶ 구체적인 혁신으로는 유출을 줄이기 위한 비료와 토양 관리 기술, 청정 에너지를 생산하기 위한 발명, 애초에 폐가 배출하는 이산화탄소의 생산 감소, 연소를 피할 수 없을 때, 탄소를 흡수하는 과정에서 이산화탄소의 감소 전자를 활용하는 기술 등이 있음.
- ▶ 연료 또는 화학적 전구로서의 폐가스; 폐기물을 현재 가능한 것보다 훨씬 높은 효율성으로 압축하고 처리하는 프로세스
- ▶ 질소 화학물질을 조작하는 기술, 질소 화학물질을 우리 경제 전반에 걸쳐 재사용하는 기술
- ▶ 개선사항을 모니터하기 위해 폐기물을 추적하는 데 필요한 데이터 시스템과 과학
- ▶ 열 관리 시스템 내 모든 유형의 폐열을 복구하여 경제 전반에 걸쳐 재사용하고, 이를 둘러싸고 플랫폼 간, 산업 간, 그리고 상업적, 주거적, 산업적 사용 간 통합을 가능하게 하는 시스템 역학 등
- ▶ 질소와 빛을 조작하는 과학, 이산화탄소를 줄이는 과학, 열 조절과 관리의 과학, 그리고 많은 신체 복합적인 상호작용 시스템의 과학을 발견하여 빅데이터와 프로세스 역학을 융합시킬 것
- ▶ 사회적 이익에는 불평등 감소, 건강 개선, 인간과 동물의 환경 개선, 경제적 기회 개선 및 분배, 청정 에너지에 대한 접근성 개선 등이 포함
- ▶ 과학의 관점에서, '폐기물 없는 세상'은 사회과학자들에게 환경 연구자들과, 생물학자와 화학자, 물리학자들과 함께 이야기하는 법을 추구하도록 하고 그 방법에 대해서 가르칠 것
- ▶ 학문 사이에 쌓아온 벽은 그 위력을 잃게 될 것이며, 학문의 경계에 축적된 문제들과 현재의 사일로(silo) 기반의 과학적 연구 시스템이 제대로 처리되지 못한 문제들을 해결할 수 있는 능력을 최대한 펼치게 될 것

## 05. IDEA소개#2



A World without Waste

### ❖ A World without Waste(Cont'd)

#### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 폐기물을 생산하지 않는 사회의 모형처럼 보일 것
- ▶ 대신, 한 공정의 부산물은 다른 공정의 공급원이 되어 전체 사슬을 따라 가치를 창출할 것이며 모든 유형의 배출량이 감소하고 수십 년의 환경 피해가 역주입될 것
- ▶ 현재 멸종위기에 처해 있거나 멸종위기에 처한 야생동물은 서식지 복구
- ▶ 환경오염과 관련된 건강문제는 완화되어 특정 암종에서 천식에 이르는 고통으로부터 사망률과 질병성을 감소시키고, 건강관리 비용이 감소하더라도 더 건강한 사회로 이어질 것
- ▶ 농업은 비료 유출을 대폭 줄임으로써 더 깨끗해질 것이며 이로 인해 유해한 영농화와 녹조 현상의 감소
- ▶ 도시는 더 푸르고 깨끗해질 것이며 사람들은 해변과 레크리에이션 지역을 포함한 더 깨끗한 환경에 대한 접근으로부터 이익을 얻을 것이며 인구 통계와 소득의 경계를 넘어설 것
- ▶ 청정에너지는 점점 더 부각되어 지구 기후변화를 막을 수 있는 기회가 되고 동시에, 낭비만 있었던 곳에 가치를 창출함으로써, 사회는 경제 성장의 혜택을 계속 받을 것
- ▶ 그 과정에서 부를 재분배하는 새로운 일자리 부문 전체가 탄생

#### ◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 첫째, 사회적 영향의 측면에서 지금 행동해야 함 - 매년 미루다 보면 호미로 막을 걸 가래로 막게 됨. 가용한 모든 과학이 알려지고, 모든 기술이 증명되고, 모든 사업 관행과 정책이 시행될 때까지 기다린다면, 때가 이미 너무 늦어버린 때에 행동하게 되는 그런 위험을 무릅써야 함
- ▶ 둘째, 지난 수십 년간 기초 과학에 전략적 투자를 해왔는데, 학제가 다르더라도 하나의 통일적 주제가 주어진다면, 이를 해결하는 것도 가능할 것. 사회적 불평등, 건강, 환경, 에너지 등 여러 면에서 단절된 것처럼 보이는 문제가 사실 모두 다방면으로 연관되어 있음을 깨달아야 할 때이며 가장 중요한 연결고리 중 하나는 우리가 낭비를 어떻게 보는가임
- ▶ 쓰레기를 책임이 아닌 자원으로 보기 시작할 때, 우리는 사회로서 믿을 수 없는 한 발짝을 내딛게 될 것

## 05. IDEA소개#3



APPEAR EDU

## APPEAR EDU

- ◆ Young Cho and Andrew Goodney [University of Southern California]
- ◆ Jesus Gonzalez [Boys & Girls Club of Santa Monica]
- ◆ #Remote #Education #Sensing #Big Data

### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 신흥 교육 과정들을 지원하고 학생들이 성공하는 데 필요한 21세기 기술을 제공하기 위한 환경을 교사들에게 제공하고 기술을 교육에 통합하는 효과적인 방법을 찾아야 할 것

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 컴퓨터와 인터넷의 폭발적인 진보에 힘입어 디지털 기술은 사람들의 삶에 필수적인 부분이 되었음
- ▶ 경제협력개발기구(OECD)는 "복잡한 디지털 풍경을 헤쳐 나갈 수 없는 학생들은 더 이상 주변의 경제·사회·문화생활에 완전히 참여할 수 없게 될 것"이라고 언급
- ▶ 교육에서의 기술사용에 대한 필요성과 많은 관심에도 불구하고, 최근 OECD의 세계적인 연구는 (미국이) "정보통신 기술에 많은 투자를 한 교육 시스템은 읽기, 수학 또는 과학에 대한 PISA 표준화된 시험 결과에서 눈에 띄게 개선된 것이 없다"고 보여줌
- ▶ 통계적 발견으로 "교육자들에게 21세기 교육학을 지원하고 미래의 세계에서 성공하는 데 필요한 21세기 기술을 제공하는 학습 환경을 제공하기 위해, 교육과 학습에 기술을 통합하는 보다 효과적인 방법을 찾을 것"을 학교 시스템에 요구
- ▶ 그간의 흥미로운 조사 결과와 수년간 이어진 변화에 대한 청원에도 불구하고, 미국의 교육자들과 기술자들은 단순히 "훨씬 더 진보된 기술을 교실에 가져오는" 주요 접근법은 여전히 바꾸지 않음
- ▶ OECD의 연구와 K-12 학생 교육과 기술 연구 개발에 대한 수십 년의 경험을 감안할 때, 현재의 접근방식은 특히 저소득층 청소년들과 유색 인종 학생들에 있어서 효과적이지 않을 것으로 예측됨
- ▶ 오늘날, 교육을 강화하려는 많은 새롭고 기술적으로 진보된 접근법이 있어, 새로운 기술 중심 교육 제품이 매우 많지만, 그들 중 압도적으로 많은 수가 유능한 인간 교육자들을 진보된 컴퓨터 하드웨어와 지능적인 프로그램으로 대체



## 05. IDEA소개#3



APPEAR EDU

## APPEAR EDU(Cont'd)

- ▶ 이런 추세는 효율적인 대규모 지식기반, 머신러닝을 통한 인공지능, 네트워크 모바일 컴퓨팅 플랫폼 등 컴퓨터 기술 분야에서 우리가 이룬 큰 진전에 대한 자신감 때문일 것이지만 이러한 경향은 우리가 역사를 통해 이해하고 실천해온 것과는 상반됨
- ▶ 학습은 인간의 상호작용이며(Dix, 2017) 유아기에 시작되는 학습(Schwarz, 2003)에서 성인기까지 핵심적 역할을 하는 인간 상호작용 개념을 뒷받침하는 최근의 연구가 다수 존재(Hurst, Wallace, & Nixon, 2013).
- ▶ 인간학습에서 중요하다고 알고 있는 것과 교육에서 현재 기술사용의 경향 사이의 이러한 불일치를 관찰했을 때, 우리는 기존의 기술을 더 잘 사용하고 새로운 기술을 개발하여 교육기회의 효과와 효율성을 높이는 한편, 교육과 학습의 상호작용 측면을 강화하는 아이디어를 개발할 필요가 있음
- ▶ 이 아이디어에서 다루고자 하는 연구 질문은:
  1. 기존 혹은 새로 개발된 새로운 기술을 어떻게 용도 변경하여 모든 튜터와 학생에게 가장 적합한 유형의 교육 관행(명칭 문맥, 개인화, 환경 및 일대일)을 실현시킬 수 있는가?
  2. 어떻게 하면 보호자, 교육자, 학생에게 유용한 정보를 자동으로 감지, 추출, 제공하는 기술을 사용하여 최고의 교육 및 학습 실습과 경험을 장려할 수 있을까?
  3. 어떻게 하면 효율적이고 효과적으로 동기를 부여하고 교육자들이 그들의 교수 능력과 관행을 향상시킬 수 있도록 훈련시킬 수 있을까?
- ▶ 미국 학생이 2015년 PISA 표준화 시험에 참여한 71개국에 비해 평균 이하를 기록한 것을 고려하면, 미국은 이를 개선하기 위한 연구와 보다 효과적인 접근법을 발견하기 위한 노력에 과감한 투자를 시작하는 것이 중요

## 05. IDEA소개#3



APPEAR EDU

## APPEAR EDU(Cont'd)

### ◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 이 접근법을 둘러싼 발견과 혁신은 기존의 연구 기법과 새로운 상업적 기술을 재구매하여 교육과 학습에 있어 효율적인 인간 대 인간 상호작용을 증가시키고 장려하는 것
- ▶ 다음 단계는 가상 회의, 인터넷, 가상/혼합/증강현실 인터페이스를 사용하여 교사와 학생의 현실적인 가상적 존재감을 가능하게 하는 것
- ▶ 대규모 증강현실 학습 인프라 구축과 관련된 혁신적이고 일상적인 업무들이 몇 가지 있지만, 인간과 컴퓨터 인터페이스, 과외 교습에서의 빅 데이터 분석, 새로운 사이버-물리적 지식 기반으로 교육학상의 의사결정 지원, 원격 교사 훈련 및 새로운 인증 방법, 자동화된 사회적 상호작용 모니터링 등 과학적인 발견에 대한 훨씬 더 큰 잠재력을 제공
- ▶ 세션 비디오, 오디오 및 각 참가자와 관련된 기타 기업 데이터에 적용된 혁신적인 빅 데이터 분석 알고리즘을 통해 가용성이 가장 뛰어난 튜터를 가진 학생을 맞춤 구성하여 더 빠르고 강력한 관계 구축을 장려하고 개인화된 교육을 유도
- ▶ 수집된 교육 세션 데이터가 자동으로 분석되어 다양한 학생들이 교육자별로 맞춤형 교육 커리큘럼을 제공할 수 있을 뿐만 아니라 학생 개인에게 개선된 학습 환경을 제공
- ▶ 오디오, 비디오, 온도 등 다양한 물리적 센서 데이터를 설명하는 예측 알고리즘이 개발되어 사용자에게 대한 비언어 정보와 의미론을 효과적으로 추론하여 부적절한 상호작용을 방지하고 교육 및 학습 경험을 더욱 강화
- ▶ 학생에게 가장 좋은 경험은 항상 자신을 돕기 위해 존재하는 진짜 인간 과외선생님이 있다는 것을 느끼는 것이며, 가정교사에게 원하는 목표는 주어진 시간에 가능한 많은 학생들을 돕는 것
- ▶ 이 두 요소의 균형을 최적으로 맞추기 위한 연구는 인간-컴퓨터 인터페이스에서 새로운 개선을 만들어 낼 것으로 기대
- ▶ 새로운 발견과 혁신의 바람직한 목표는 교육자와 학생 모두에게 유용한 교육 도구와 환경을 확립하고 다듬는 것으로 이 시스템이 데이터 분석에서 혁신적인 센서 설계와 알고리즘에 의해 자동적으로 생성될 추가적인 상황별 정보를 제공함으로써 현 교육자들이 그들의 학생들과의 관계를 빠르게 형성할 수 있도록 초기에 보완
- ▶ 연구가 성숙함에 따라 신체적, 재정적 제약이 있는 자격을 갖춘 교육자/자원봉사자들이 추가로 교육자로서의 역할을 할 수 있을 것으로 기대

## 05. IDEA소개#3



APPEAR EDU

### APPEAR EDU(Cont'd)

#### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 인터넷을 통해 Boys and Girls Club, Mar Vista Gardens, 남가주 대학 사이의 원격 APPREA 튜터링 인프라를 개발
- ▶ 이 저비용(400달러/단위) 인프라는 지속적인 대면 화상 회의를 통해 교사들이 학생들과 교류하는 가장 간단한 방법 중 하나를 제공하며 원격 데스크의 캡처된 비디오를 로컬로 투영 가능
- ▶ 외진 곳을 여행할 여력이 없었던 자발적인 자원봉사자들이 많다는 점에서, 이 인프라는 Boys and Girls Club의 소외된 K-12 학생들에게 무료로 지속 가능한 튜터링 서비스를 제공하는 데 즉시 활용될 것
- ▶ 향후 특별한 장비 없이 효과적으로 학생들을 지도할 수 있는 튜터들을 위한 소프트웨어 전용 플랫폼을 개발할 것
- ▶ 지속적인 개선 인프라와 그 사용에 대한 더 나은 이해는 우리가 여러 센터들에 걸쳐 네트워크를 확장할 뿐만 아니라 플랫폼을 제공 가능
- ▶ 성공 비전은 모든 학생들에게 무료, 지속가능, 개인 맞춤 과외를 제공하는 미국 전역의 Appear EDU 플랫폼의 대규모 네트워크를 구축하는 것
- ▶ 가상으로 인간 간 상호작용을 위한 새로운 휴먼-컴퓨터 인터페이스 기술과 모니터링, 교육 및 개인화된 교육적 의사결정을 가능하게 하는 빅데이터 기반 데이터 마이닝 및 패턴 인식의 혁신적인 통합을 통해 달성
- ▶ 이 기술의 성숙한 요소들은 세계의 가난한 마을에서 실질적인 교육 기회를 제공하기 위해 확장될 것

#### ◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 최근의 교육과정 변화로 인해 교육성고가 저조한 소수민족 학생들이 더욱 낮아지고 있어 보충학습의 필요성이 부각
- ▶ 이러한 사회 프로그램에 대한 정부 자원은 특히 경기 침체기에 데이터 마이닝 감소와 어느 정도 자원이 있다고 해도 도심 공동체의 불리한 입지로 인해 이러한 프로그램의 지속가능성은 낮아지고 있음
- ▶ SOLAG에 기반한 개인화된 교육 및 교사 연수의 효율성과 효과성을 높이는 데 초점을 맞춘 새로운 기술 연구 프로그램은 보다 광범위한 참가자들에게 새로운 기회를 열어주는 동시에 여러 가지 오버헤드를 효과적으로 제거 가능
- ▶ 과외를 위한 이러한 패러다임 전환이 현재의 경제를 위해 필요하고 그에 따른 기술과 방법론이 과외 프로그램을 긍정적인 사회적 영향을 미치게 할 것

## 05. IDEA소개#4



Bioinspired Energy Utilization

## ■ Bioinspired Energy Utilization

- ◆ Scott Banta [Columbia University]
- ◆ #Bio #Energy #Process #Efficiency #Alternative

### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 생체 시스템에서 발견되는 고효율 프로세스를 더 잘 모방하는 에너지 활용 기술을 개발할 수 있을까? 이를 통해 미래 재생에너지 자원을 보다 효율적으로 활용할 수 있을 것이다

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 현재 우리의 에너지 이용 기술은 매우 비효율적임. 탄소 기반 연료는 일반적으로 단일 반응 공정에서 연소되며, 그 결과로 발생하는 온도 구배는 난방, 전기 발생 등에 사용됨
- ▶ 그 결과 발생하는 압력 구배는 운송에도 사용되며 이러한 프로세스에 의존한다는 것은 미국에서 연간 소비되는 에너지의 약 2/3가 폐열로 대기에 배출된다는 것을 의미
- ▶ 연료전지와 같은 대체 시스템과 폐열을 포착하고 사용하는 전략의 개발은 이러한 수를 줄이는 데 도움이 될 수 있음
- ▶ 더 나은 접근방식은 자연에서 다른 기술적 해결책이 가능한지 보는 것으로 생물학적 시스템은 역학적으로 일어나는 다단계 화학반응을 이용하기 위해 진화했고 에너지는 열이나 압력 구배가 아닌 화학 구배 속에 저장되어 훨씬 적은 에너지가 환경에 손실되어 에너지 효율이 훨씬 더 높아짐
- ▶ 비효율적인 에너지 사용은 폐열을 제거하는 능력에 의해 계산 과정이 제한될 수 있는 작은 규모에도 영향을 미침. 아직 인간의 두뇌의 계산력에 필적하지 못했으며, 그럼에도 불구하고 뇌는 환경에 대한 엄청난 열 거부반응 없이 매우 효율적으로 기능함. 그러므로 미래의 계산적 발전은 에너지 전달과 이용에 새로운 접근방식을 필요로 할 것
- ▶ 재생에너지 자원을 더 잘 수확할 수 있는 기술을 개발하면서 유기 탄소 화합물을 넘어 대체에너지 운반수단을 활용하는 방안도 고민해야 함
- ▶ 또한 생물학적으로 영감을 받은 대체 에너지 전달 경로를 위해 이러한 새로운 에너지 전달체를 어떻게 사용할 것인가에 대해서도 생각해야 할 것. 자연은 효소, 작은 분자 에너지 운반체, 양성자 구동력 전위 등을 이용하여 에너지 전도를 이뤄냄
- ▶ 이 빅아이디어는 미래 재생가능자원의 활용 효율을 크게 높이는 것을 목표로 촉매, 전기화학, 에너지 소재 등의 진보를 바탕으로 생체모방, 생체모방 기술을 개발하는 것

05. IDEA소개#4

❖ Bioinspired Energy Utilization(Cont'd)

◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?



Bioinspired Energy Utilization

- ▶ 이 분야의 발전은 재생 가능한 에너지 미래에 혁명을 일으킬 것
- ▶ 화석연료를 대체하기 위해 대체연료 개발에 최근 많은 노력을 집중해 왔지만, 일반적으로 이러한 대체연료를 어떻게 더 효율적으로 사용할 수 있는지, 재생에너지가 환경으로 더 적게 손실될 수 있는지에 대해서는 그다지 많은 노력을 기울이지 않았음
- ▶ 화석연료 사용을 줄이는 한 가지 방법은 재생에너지를 훨씬 더 효율적으로 사용하여 재생에너지를 덜 필요로 하는 것임. 화석연료의 연소는 성숙한 기술이지만 우리는 에너지가 열 이외의 구배에서 저장되는 낮은 온도, 제어된 연속적인 반응이 개발될 수 있는지 탐구해야 함
- ▶ 유기 탄소 기반 분자를 초과하는 대체 에너지 캐리어를 활성화하거나 필요로 할 수도 있음

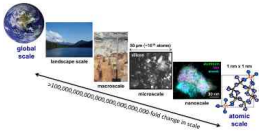
◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 성공으로 인해 현재 값 1/3이 아닌 입력 에너지의 2/3 이상이 전기 에너지로 전환되는 발전소의 개발이 가능해 질 것.
- ▶ 이것은 환경에 손실된 에너지의 판도를 바꾸는 것으로 이어져 훨씬 더 적은 입력 에너지가 요구될 것이며 이것은 에너지 비용을 줄이고, 탄소 배출을 줄이며, 개발 지역 및 경제에 대한 에너지 가용성을 증가시킬 것임

◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 현재 에너지 이용법이 지구의 기후에 영향을 주고 있으며 에너지 변환을 위한 연소 접근방식에 의존함으로써, 우리는 환경에 대한 큰 에너지 손실을 지속하고 있음.
- ▶ 만약 우리가 재생 에너지를 어떻게 수확 하는지를 다시 고민하고 동시에 그것을 사용하는 더 효율적인 방법이 있는지 또한 생각해봐야 할 때이기 때문임

## 05. IDEA소개#5



Bridging the Atom-to-Global  
Scale Gap

LEARN MORE

## ❖ Bridging the Atom-to-Global Scale Gap

- ◆ Dean Hesterberg, Matthew Ricker, and James LeBeau [North Carolina State University]
- ◆ Joseph Guinness [Cornell University]
- ◆ Matthew Polizzotto [University of Oregon]
- ◆ #Molecular #Micro Scale #Macro Scale #GIS #Geology

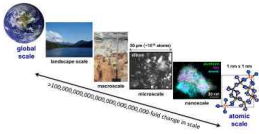
### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 실험실에서 얻은 분자 규모의 메커니즘에 대한 광범위한 지식을 자연 생태계의 조경규모로부터 지구적 규모의 프로세스에 까지 효과적으로 관리하고 제어하기 위해 어떻게 정량적으로 상향 조정할 수 있을까

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 연구나 실험은 대부분 실험실 등 각기 다른 공간적 규모에서 독립적으로 이루어짐. 극단적으로, 조경, 지역 및 글로벌 규모의 다양한 자연 또는 관리형 생태계에 대한 연구는 이러한 복잡한 시스템 내에서 발생하는 통합 프로세스의 결과에 대한 정보를 제공함
- ▶ 한편, 점점 더 진보된 기술은 그러한 시스템과 관련된 원자 규모의 과정에 과학을 가속화하고 이러한 양극단 사이에서 매크로 스케일 운동 모델과 열역학 모델은 반응과 수송 과정을 결합하여 지상 생태계를 통한 물과 화학적 움직임을 대규모로 예측하는 등에 사용
- ▶ 그러나 분자규모 지식을 직접 활용하여 거시규모 프로세스를 예측하고 발생하는 조경규모의 문제를 관리하기 위한 혁신적인 전략을 수립할 수 있는 체계적인 도구가 부족
- ▶ 지질 시스템은 지구 표면을 가로지르는 어떤 규모에서도 공간적으로 가변적인 복잡한 지화학, 물리적, 생물학적 과정의 계층 구조로 특징됨
- ▶ 이러한 복잡한 프로세스를 분리하는 것은, 부분적으로 원자 수준 상호 작용과 인간의 활동에 의해 계량적으로 영향을 받는 조경 사이의 26배 이상의 규모 차이 때문에 만만치 않은 과학적 도전임
- ▶ 화학 시스템의 매크로 스케일(열역학) 특성은 통계적 열역학을 이용하여 시스템 내 원자의 고전학 또는 양자역학으로부터 예측할 수 있음
- ▶ 개인 행동의 통계적 분석에 기초한 "생태학적 오류"(Robinson, 950)는 왜 더 미세한 공간적 척도로 변수들 사이의 공간 관계를 이해하는 것이 더 큰 규모로 집계된 시스템에서 관찰된 관계를 이해하는 열쇠임
- ▶ 본질적으로, 더 미세한 분해능 정보는 더 엄격한 분해능 결과에 대한 원인-효과 설명을 제공할 수 있지만, 더 엄격한 분해능 정보로는 근본적인 원인을 파악할 수 없기에 결과적으로, 원자, 나노, 마이크로 규모에서 발견되는 것은 지형지물 생태계의 인과관계를 이해하는 데 필수적임

## 05. IDEA소개#5



Bridging the Atom-to-Global Scale Gap

LEARN MORE

## ❖ Bridging the Atom-to-Global Scale Gap(Cont'd)

- ▶ 이러한 정보를 보다 강력하게 확장하는 방법을 개발하는 목표는 자연 프로세스와 인공적인 활동의 환경 영향 완화를 위한 정책과 적절한 관리 관행을 안내하는 예측 지리학의 새로운 분야를 제공
- ▶ 극단의 척도 사이의 연관성을 이해하는 틀의 역할을 하는 통일된 과학 이론을 개발하는 것은 지적인 메리트 존재
- ▶ 지리적 정보 시스템(GIS)은 토지 이용 관리에 매우 효과적인 도구로서 진보해 왔음
- ▶ 이러한 시스템은 다양한 지질학적 설정, 토양 유형, 토지 이용, 날씨 패턴 및 인간의 영향이 자연 생태계 기능, 수질, 농업 생산성 또는 도시 효율성과 같은 결과에 어떻게 영향을 미치는지 이해하기 위해 여러 층의 경관 규모 정보의 층을 가짐
- ▶ 그러나 GIS 시스템에 대한 입력은 동일한 공간적 규모에 있어 광물, 광물-유기물 복합체, 광물-미생물 연관성 및 더 복잡한 자연계의 모델 성분으로 간주되는 기타 입자와 관련된 화학 반응에 대한 다른 극단적인 분석(예: 분광 및 영상)은 분자 결합과 반응 메커니즘에 대한 전례 없는 통찰력을 제공
- ▶ 다음과 주요 질문들에 대한 해결이 필요:
  - 왜 작은 규모의 공정 기반 지식이 더 큰 시스템에 적용될 때 일반적으로 분해되는가?
  - 전체 정보가 부품의 합과 같지 않은가?
  - 우리의 모델 시스템은 자연 시스템을 대표하지 않는가?
  - 아직 측정할 수 없는 중요하고 집계된 프로세스가 있는가?
  - 문제를 보다 높은 규모로 결과를 주도하는 몇 가지 핵심 구성요소 또는 프로세스를 식별하는 것으로 단순화할 수 있는가?
  - 자연의 모든 척도를 연결하는 이론이나 모델이 개발될 수 있을까?

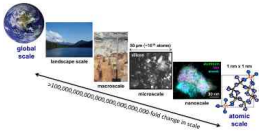
### ◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 공간적 확장은 지구과학에서 하나의 통일된 연구 영역으로, 종종 독립적으로, 원자에서 지구까지 다양한 규모로 수행되고 있는 연구를 연결 시킬 것
- ▶ 다중 규모의 발견을 보다 통합된 지식 기반에 결합하는 지적 메리트는 과학자들이 우리 지구 사회가 직면한 현재, 새롭게 부상하고 있는 미래의 지구 과학 관련 문제에 더 빠르고 효과적으로 대응할 수 있게 해줄 것



05. IDEA소개#5

■ Bridging the Atom-to-Global Scale Gap(Cont'd)



Bridging the Atom-to-Global Scale Gap

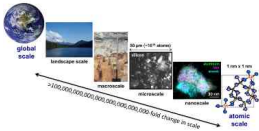
LEARN MORE

- ▶ 모든 규모로 수행되는 과학을 연결하기 위한 시스템을 개발하기 위한 강력한 과학적 노력이 다음과 같은 사항에 대해 도움이 될 것:
  1. 과학적이고 사회적 관심사가 되는 주어진 문제나 설명되지 않은 자연현상에 연구를 더욱 예리하게 집중
  2. 주어진 문제나 목표를 관리하거나 해결하는 데 가장 중요한 프로세스와 규모를 파악
  3. 복잡한 지상 시스템 관리에 있어서의 지식 격차를 확인
  4. 지구과학과 다른 분야에서 많은 분야와 전문화를 아우르는 수많은 과학자들의 노력을 통합할 수 있는 포괄적 시스템을 제공
- ▶ 새로운 이론을 발견하거나 원자에서 조경으로 구조 및 프로세스 수준 정보를 세계적 규모로 확장하기 위한 시스템을 개발하면 지구 시스템 프로세스의 과학과 관리 모두에서 더 많은 정보에 입각한 의사결정을 촉진하여 대중에게 직접 영향을 미치는 문제를 해결하기 위한 과학 인력이 더 많이 응답하게 될 것
- ▶ 지구-시스템 과학에서 서로 다른 공간적 척도에 걸친 연결을 보여주는 시각화 도구를 개발하는 광범위한 영향은 차세대 과학자와 엔지니어의 관심을 자극하는 교육 도구로서 그 가치가 있음
- ▶ 이 결과는 학생들이 시스템 구성 요소들 간의 연결을 보면서 흥미를 가장 자극하는 하나 이상의 척도에 주의를 집중할 수 있는 수단을 제공할 것
- ▶ 시스템 규모 사이의 이러한 물리적 연결과 병행하여, 그러한 도구는 과학자들처럼 학생들 간의 인간 연결에 관여하게 될 것이며 지구 시스템의 규모 연결을 위한 혁신적인 일반 모델 및 시각화 도구의 개발은 특정 관심 문제(기후 변화, 안전한 용수 공급, 식품 보안 등)에 초점을 맞춘 보다 구체적이고 상세한 모델의 기반이 될 것
- ▶ 첨단 시각화 도구는 과학자들을 자극하여 지식의 범위를 넓히고 지식 격차를 파악하며, 같은 규모나 다른 규모로 일하는 다른 과학자들과 자신의 연구를 연결하는 데 더 많은 관심을 가지게 될 것
- ▶ 본질적으로 지구과학의 극단적인 척도에 걸쳐 과학적 노력을 통합한다는 생각은 예를 들어 인간 계층 프로젝트에 의해 자극을 받은 것과 같이 과학적인 노력이 융합되는 틀을 제공하면서 자연의 스케일에 걸친 과정을 연결하기 위한 혁신적인 이론이나 시스템을 개발할 필요가 있음

## 05. IDEA소개#5

### ❖ Bridging the Atom-to-Global Scale Gap(Cont'd)

#### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?



Bridging the Atom-to-Global Scale Gap

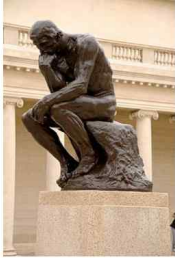
LEARN MORE

- ▶ 대형 컴퓨터 화면이나 다중 화면 하이퍼월 또는 시각화 스튜디오 앞에 지구, 풍경, 매크로, 마이크로, 원자 척도를 포함한 서로 다른 관찰 척도를 나타내는 다수의 구별되는 그래픽 층으로 나뉘어 표시할 수 있음
- ▶ 화면에서 척도를 선택하면 사용자는 관찰 척도를 입력하고 이 규모에서 시스템의 일부 속성(예: 대기 CO2 농도, 국지적 강우 패턴, 토지 사용, 토양 유기 물질 함량, 광물 유기 조립체의 재조정 또는 분자 결합 구성)을 조작함으로써, 연구를 통해 발견된 자연의 법칙에 의해 제약된 반응에서 모든 수집된 이미지가 변화
- ▶ 궁극적인 과학적 성공은 이렇게 정확한 "지구 시스템 스케일링 시뮬레이터"를 만들기 위한 연구 지식을 개발하는 것
- ▶ 원자-분자 척도 특성 및 프로세스에 대한 지식에서 직접 지상 시스템의 일부에서 매크로 척도(밀리미터에서 센티미터 척도) 결과를 예측하는 과학적 도구를 개발하는 것조차도 주요한 돌파구가 될 것
- ▶ 성공 시엔 더 넓은 영향으로 과학자, 교육자, 학생 및 이들을 둘러싼 세계와 우리의 세계가 구성되는 마이크로- 나노-스코픽 빌딩 블록 사이의 연결을 탐구하고 발견하기 위한 강력하고 사용자 친화적인 시각화 도구의 채택을 포함하게 될 것
- ▶ 더욱이, 이러한 노력들은 시급한 사회 문제에 대한 효과적인 해결책을 개발하는데 있어서 여러 학문에 걸친 과학자들을 통합하기 위한 개념으로 스케일링을 사용하는 동기를 부여할 것

#### ◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 지구과학과 연계된 수많은 문제들이 인류의 미래 존재에 영향을 미치며(예: 기후 변화, 식량 불안, 환경 파괴 등) 과학은 계속해서 대중들에게 의해 의심받고 면밀히 검증되기 때문에, 과학의 미래는 빠르게 변화하는 세계에서 영향력 있는 결과를 제공하는 것에 점점 더 의존하고 있음
- ▶ 이공계 여러 분야에서 기초연구의 효과적 결과는 쉽게 인정되나 지구 시스템은 천천히 변화하기 때문에 대중의 인식은 낮음
- ▶ 지난 몇 년간 계산 능력과 빅데이터 분석의 급격한 증가는 과학자들이 복잡한 모델링 작업을 이용할 수 있게 했고 자연 시스템의 일부를 원자 수준으로 연결하기 위한 새로운 스케일링 이론과 모델은 이러한 복잡한 시스템의 더 많은 세부사항을 지속적으로 노출시키는 분석 및 계산 도구의 지속적인 급속한 발전을 활용할 수 있게 할 것임

## 05. IDEA소개#6



Creating Artificial General Intelligence

## ■ Creating Artificial General Intelligence

- ◆ James Giammona [University of California, Santa Barbara]
- ◆ #AI #신경망

### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 우리는 과학, 보건, 교육, 예술 분야에서 급속한 발전을 일으킬 수 있는 '가장 경제적으로 가치 있는 일에서 인간을 능가하는 시스템'인 인공지능을 구축할 수 있을까

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 지난 6년간 인공신경망 기법은 영상인식, 영상과 음향합성, 언어번역, 로봇제어 등에서 극복하기 어려운 난제에 있어 빠른 진전을 이뤘음
- ▶ 1990년대에 개발된 두 가지 핵심 알고리즘 프레임워크는 컴퓨팅 파워가 크게 증가했고 네트워크를 훈련시키기 위한 훨씬 더 큰 데이터 세트의 출현으로 마침내 원활하게 작동하고 있음
- ▶ 많은 동물의 뇌에서 낮은 수준의 시각 처리가 어떻게 이루어지는지에 대한 신경과학적 발견에 근거한 CNN(Convolutional neural networks)은 컴퓨터가 사람 수준을 넘어서는 영상을 인식할 수 있게 했고 반복되는 신경망(RNN)은 언어 번역과 로봇 제어의 발전을 가져왔음
- ▶ 두 가지 기법 모두 컴퓨터가 원시 픽셀이나 문자로부터 높은 수준의 추상 개념(예: 얼굴이나 단어 유사성)을 자율적으로 발견할 수 있게 해주나 우리의 현재 기술 상태는 대략 우리 두뇌의 본능적 세계 처리 중 가장 낮은 수준에 해당함
- ▶ 이에 다뤄져야 할 질문들은 진정으로 추상적인 개념과 세계 모델을 형성하고, 유추에 의한 이성, 도메인 간에 지식을 전달하고, 단지 몇 가지 사례를 통해 배우고, 먼 미래까지의 계획을 예측하기 위해 더 높은 수준의 추론 능력을 완성하는 방법과 관련이 있음
- ▶ 이 더 높은 수준의 처리가 AGI와 현재의 기술을 구분하는 것이며 이 질문들은 신경과학, 통계학, 컴퓨터 과학, 심리학, 인지 과학, 물리학, 제어 이론, 로봇 공학, 그리고 심지어 게임 이론과 같은 다양한 분야의 지식과 통찰력을 결합해야만 풀 수 있음
- ▶ 이러한 핵심 연구 질문에 대해 수년간 협력할 수 있도록 연구자들에게 장기적인 자원 지원 및 학제 간 격려를 제공함으로써 진척이 이루어질 것
- ▶ 현재 유망한 접근방식으로는 이전에 습득한 기술을 저장하고 더 큰 패턴을 알아채기 위해 신경망을 작동 기억으로 증강하는 방법을 찾고, 신경망을 통해 미래에 어떤 세상이 나타날지 예측하여 자신의 행동을 더 잘 안내하는 방법 등이 있음

05. IDEA소개#6



Creating Artificial General Intelligence

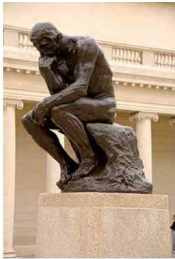
Creating Artificial General Intelligence(Cont'd)

- ▶ 또 다른 주요 요점은 이러한 인공 신경망의 안전, 해석성 및 편향성에 관한 것으로 신경망의 안전성, 특히 비훈련 환경에 배치되었을 때, 그것들이 의사결정에 어떻게 도달하는지 더 잘 이해하기 위해서, 그리고 네트워크가 언제 올바른 조건 하에서 원하는 것과 다른 개념을 배웠는지를 식별하기 위해서, 제시되지 않은 훈련 데이터 또는 잘못된 알고리즘에 대해 더 많은 연구가 절실함
- ▶ CNN이나 RNN과 같은 최신 기법은 이미 로봇 제어, 의료 진단 등을 위해 획기적으로 개선된 알고리즘을 가능하게 하며 더 이상의 알고리즘적 진보가 이루어지지 않더라도, 확립된 기법을 적용하여 사회에 가치를 둘 수 있는 새로운 분야가 많이 있음
- ▶ 그러나, 미래에는 향상된 알고리즘과 아키텍처가 더 높은 수준의 추론에서 수행될 것이며, 컴퓨터가 현재보다 훨씬 더 광범위한 작업을 수행할 수 있게 함으로써 훨씬 더 가치 있게 될 것임
- ▶ CNN과 RNN만으로는 AGI를 만들 수 없을 것이며 그렇기에 훨씬 더 많은 기초적인 연구가 필요할 것
- ▶ 산업계의 장려책과는 달리, 국립과학재단은 현재의 기술의 점진적인 개선 대신에 변화될 수 있는 고위험 아이디어의 탐구를 후원할 수 있는 완벽한 기관임

◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 모든 아이들이 개인 지도교사를 가지고 있고, 모든 사람들이 그들을 치료할 세계 최고의 의사들로 구성된 팀을 가지고 있으며, 과학자들은 전문가 네트워크와 실험결과를 매우 빠르게 실험을 수행하고 분석할 수 있으며, 노약자와 장애인은 개인 로봇 보조원들과 함께 자유롭게 전생애를 보낼 수 있고, 창조를 원하는 사람은 누구나 빠르고 쉽게 자신의 비전을 현실로 만들 수 있는 직관적이고 강력한 소프트웨어에 접근할 수 있으며, 우리의 인프라는 강력하고 지속 가능하며 효율적이며 사이버 공격으로부터 안전한 세상을 인공 일반 지능(AGI)은 가능케 할 수 있음
- ▶ AGI는 역사상 가장 심오한 발전 중 하나일 것이며 산업혁명에 의해 야기된 생활수준의 기하급수적인 성장과 비슷한 급속한 진보의 시대로 이어질 수 있음
- ▶ AGI의 전망은 현재 과학, 기술, 예술의 발전을 가로막고 있는 많은 병목현상을 돌파할 수 있는 수준의 자동화를 가능하게 할 수 있다는 것으로 이러한 최첨단 기술을 모든 사회에 동시에 보급할 수 있게 할 수 있음

## 05. IDEA소개#6



Creating Artificial General Intelligence

## ❖ Creating Artificial General Intelligence(Cont'd)

- ▶ AGI의 변혁적 잠재력은 그 일반성이며 그것은 사람들이 인간의 노력의 모든 분야에서 진전을 이루도록 도울 수 있고 결국은 지구상의 모든 사람들에게 건강, 교육, 그리고 깨끗한 환경에 대한 접근을 가능하게 할 것

### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ AGI를 성공적으로 구축한다는 것은 "가장 경제적으로 가치 있는 작업에서 인간을 능가하는 고도로 자율적인 시스템"을 만드는 것을 의미
- ▶ 그러한 시스템을 구축하기 위해서는 반드시 세계와의 경험, 언어에 대한 완전한 이해, 그리고 참신한 아이디어와 발명의 발생에 바탕을 둔 정확한 추상적 개념이 필요
- ▶ 고양이의 개념을 배우기 위해 고양이의 많은 사진만 보는 대신에 고양이의 비디오, 고양이의 촉감과 느낌, 고양이 행동에 대한 아이디어, 그리고 '고양이'라는 단어를 결합하는 것이며 그러한 **다감각적 개념은 아마도 AGI가 언어를 완전히 이해하거나 세상을 완전히 이해하는데 필수적일 것**
- ▶ AGI는 로봇이 구조화되지 않은 현실 세계에서 원활하게 기능할 수 있도록 할 것이며, 사람과 함께 일하고, 언어적 지시에 반응하며, 혼란스러운 경우 설명이나 시연을 요구할 것
- ▶ 건설이나 홈케어처럼 현재 너무 복잡한 분야에 로봇이 진출할 수 있도록 하는 한편, **로봇공학과 함께 AGI의 가장 값진 기여는 추상적인 인간 지식(책 읽기와 과학논문 포함)을 익힌 뒤 발명에 대한 독자적인 아이디어와 디자인을 도출하는 능력이 될 것**
- ▶ 최소한의 인간지도로 만들어진 프로그램이 AGI를 성공적으로 구축했다는 또 다른 분명한 지표는 유용한 새로운 발명품으로 보다 일반적으로, AGI를 성공적으로 구축한다는 것은 에이전트가 과학, 공학, 법률, 예술 및 기타 대부분의 다른 분야에서 작업을 수행할 수 있다는 것을 의미함

### ◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 최근 인공지능망(ANNs)과의 급속한 발전은 투자가 가까운 미래에 상당한 성과를 낼 수 있음을 시사함
- ▶ 이 투자의 결과는 최소한 차세대 연구자들에게 AGI의 구성 요소를 갖추도록 하는 것이 될 것이며 AGI는 그 자체로 다양한 과학 분야의 발전에 광범위하게 적용될 것

## 05. IDEA소개#7



Creating Sustainable Education Pathways

### Creating Sustainable Education Pathways

- ◆ Helen Blanch, Katherine Blasik, and Nicholas Minar [NAF]
- ◆ #Career development #Education

#### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 역량이 저평가된 고등학생들이 대학 입학과 인력 채용에 더 잘 대비할 수 있도록 어떻게 경로 기회를 개발하고 시행할 수 있는가?

#### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 대학과 취업 준비의 문제는 미국의 젊은이들에게 걱정거리인데 2016년 고교 졸업률이 사상 최고치를 기록했음에도 아프리카계 미국인과 히스패닉계 학생들은 꾸준히 정시에 졸업하지 못할 위험성을 보였고, 백인 및 아시아-태평양 지역 학생(각각 88%, 91%)에 비해 졸업률(각각 76%, 79%)이 낮았음(Balingit, 2017)
- ▶ 학생들이 중등 후 수준에 도달하면, 많은 학생들이 그들에게 기대되는 학과 공부의 엄격함에 준비가 되어 있지 않다는 것
- ▶ 그 예로, 2016년에는 흑인 대학 1학년생의 56%, 라틴계 대학 1학년생의 45%가 고등학교에서 이미 배웠어야 할 기초학문을 다루는 영어 또는 수학 교정 과정에 등록한 것으로 추정(Complete College America, 2016; Jimenez et al., 2016)
- ▶ 이러한 과정들이 졸업 시점을 현저히 뒤로 미룰 뿐만 아니라, 이수율도 고작 10%에 불과하다는 점(National Center for Public Policy and High Education, 2010)
- ▶ 그러므로, 대학에서의 보충 과정은 대학에서 보내는 시간을 증가시킬 뿐만 아니라, 학생들이 졸업할 가능성이 감소
- ▶ 이러한 과정들은 매년 약 13억 달러의 미국 전역의 학생들과 가족들이 희생을 감내해야 하는 것으로 추정됨(Jimenez et al., 2016)
- ▶ 교정 교육은 비용 대비 효율적이지 않고 대학 졸업을 적극적으로 방해하고 있어 고등학교 내의 대학 준비 상태를 개선해야 한다는 것을 보여 주고, 따라서 대학과 직업 준비 상태를 높이기 위한 개입에 대한 조사가 반드시 필요
- ▶ 대학 및 진로 준비 상태에 관한 연구문헌에 따르면, 커리어 아카데미나 학생에게 학업과 취업 모두를 위한 이전 가능한 기술을 부여한 소규모 학습 기반 커뮤니티의 사용이 유망한 경로임(Kemple &Willner, 2008; Fernandez &Sun, 2015; Sun &Spinney, 2017).
- ▶ 성공적인 경로를 만들기 위해 커리어 아카데미를 이용하는 것은 고등학교 이후 학생들의 노동시장 성과와 고용성에 대한 혜택을 보았을 때 의미있는 역사를 가지고 있음(Kemple &Willner, 2008; Symonds, Schwartz, &Ferguson, 2011).

## 05. IDEA소개#7



Creating Sustainable Education  
Pathways

## Creating Sustainable Education Pathways(Cont'd)

- ▶ Kemple & Willner(2008)는 고등학교 때 커리어 아카데미에 참여한 개인이 8년 동안 학부 외 학생들보다 평균 17% 더 많은 수입을 얻는 것을 보여줌
- ▶ 오늘날의 노동시장에서 고등학교와 대학교육의 중요성과 더불어 중등 후기 제도 내의 교정교육에 필요한 금전적, 시간적 투자의 중요성을 감안할 때, 미국이 앞으로 10년 이내에 세계 경제의 선두주자로 남으려면 대학과 진로 준비성에 관한 다음과 같은 몇 가지 핵심 연구 질문이 다뤄져야 할 것
  - 1) 중등 후 학업적 엄격함에 대비하기 위해 고등학교 차원에서 어떤 조치를 취할 수 있는가
  - 2) 이 학생들은 일단 중등 후기 제도에 들어가면 어떤 성과를 낼까?
  - 3) 이 학생들의 취업시장에서의 결과는 무엇인가?

### ◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 대학과 경력 준비는 오늘날의 젊은이들에게 점점 더 중요해지고 있는 두 분야로, 장기적인 삶과 노동 시장의 전망에 상당한 영향을 미침
- ▶ 미국의 모든 고등학생들이 대학과 진로를 준비하도록 하는 것은 내일의 일자리를 채울 만큼 큰 규모의 숙련된 인력을 생산하는데 필수적
- ▶ 이는 앞으로 10년 동안 대학 교육을 받은 노동자들의 필요성이 증가할 것으로 예측되며, 기하급수적으로 다루기 어려워질 것이기 때문에, 향후 10년 동안 다루어야 할 중요한 주제
- ▶ 대학 성취도에 대한 요구가 증가하는 추세를 보면, 1973년 미국 노동시장의 거의 40%는 고등학교 졸업자 였으며, 33%는 고등학교 중퇴자로 총 73%의 노동력이 대학 교육을 받지 못함(Symonds et al., 2011)
- ▶ 반면, 2016년에는 미국 노동시장의 66%가 어떤 형태로든 대학 교육을 받았기 때문에 그 후 몇 년 동안 대학 성취의 중요성은 극적으로 바뀜(Brundage, 2016)
- ▶ 단적으로 대학준비의 필요성은 1973년부터 2007년 사이에 6천3백만 개 이상의 일자리가 창출되었지만, 중등 후 교육을 받지 않은 개인이 사용할 수 있는 일자리는 실제로 이 기간 동안 200만 개 감소(Symonds et al., 2011)



05. IDEA소개#7



Creating Sustainable Education Pathways

Creating Sustainable Education Pathways(Cont'd)

- ▶ 세계 어느 선진국보다 미국의 대학 중퇴 비율이 높아 대학 진학 준비태세 개선의 필요성이 강조되어야 함(Hess, 2017; Symonds et al., 2011)
- ▶ 종합해보면, 대학 교육이 진로 잠재력에 미치는 영향은 극적으로 증가했고, 오늘날의 노동 시장에서 성공하기 위해서는 고등학교 이상의 교육이 반드시 필요
- ▶ 고등학교에서 대학까지의 경로가 어떻게 더 잘 개발되고 시행되는지에 초점을 맞춘 적극적인 연구과제로, 지역, 주, 연방 차원에서의 대책을 강구하여, 고등학생들이 대학 등록과 노동력 고용에 대비할 수 있도록 할 수 있음
- ▶ 원하는 사회적 결과는 미국의 모든 고등학생들이 대학과 졸업 후의 직업을 준비한다는 것으로 이러한 연구의 단기 목표는 정책 입안자, 교육자, 지역사회 지도자, 기업체에게 고등학교에서 대학까지의 효과적인 경로를 가장 잘 구현하는 방법을 알려 주는 것임
- ▶ 이 연구의 장기적인 목표는 미국 노동 시장의 기능상 대학 교육을 받은 노동자들이 충분하지 않은 결과로 이어질 경제적 손실을 줄이는 것임. 이 분야에 대한 적극적인 연구는 특히 고등학교를 졸업하지 못할 위험이 있는 학생들을 대상으로 하고 그들의 대학 성적에 대한 자료를 수집하는 직업 학원의 활용도를 증가시킬 가능성이 있음.
- ▶ 이는 진로학원이 학생들의 노동시장 성과를 높이는 것으로 나타났으며 대학 준비도 향상과 관련이 있기 때문에 긍정적인 방향으로 나아가는 단계가 될 것임. 또한, 이 분야에 대한 적극적인 연구는 교육과 정책 변화를 야기하여 대학과 직업 준비의 부족을 야기할 가능성이 높음

◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 성공은 두 가지 핵심 요소로
  - 1) 고등학생의 대학 및 진로 준비 상태에 기여하는 프로그램 및 개입의 식별
  - 2) 학교, 지역사회 및 기업에 의한 광범위한 활용에 대한 이러한 프로그램 및 개입의 확대. 대학과 진로 준비를 용이하게 하는 프로그램과 개입의 식별

## 05. IDEA소개#7



Creating Sustainable Education  
Pathways

## ■ Creating Sustainable Education Pathways(Cont'd)

- ▶ 직업 아카데미는 대학과 직업 준비로 가는 실행 가능한 경로라고 제안되지만, 이러한 직업 아카데미에 포함되는 요소나 경험이 어떤 것이 가장 효과적인지, 또는 원하는 결과를 얻기 위해 전체 학원 모델이 필요한지 정확히 이해되지는 않음(Brathwaite & Barnett, In Press; Kemple & Wilner, 2008)
- ▶ 어떤 표적 프로그램이나 개입이 제안되고 실행되기 전에 대학과 직업 준비를 용이하게 하는 핵심 요소들을 식별하는 것이 필요
- ▶ 대학과 직업 준비 상태에 기여하는 중요한 요소들이 확인되면, 대상 고등학교와 대학 프로그램을 개발하고 테스트할 수 있음. 이러한 표적형 프로그램이 무엇을 수반할 것인지 추측하기는 현재로서는 어렵지만, 그들은 학생들의 노동 시장 성과에 긍정적인 영향을 미치고 대학 준비 상태와 관련이 있는 진로 학원 모델을 따를 가능성이 높음
- ▶ 게다가, 고등학교와 대학과의 지역사회와 기업의 협력은 이러한 계획들로 인해 분명해 질 것이고, 대학과 진로가 준비되어야 하는 어린 학생들에게 완벽한 지원 네트워크를 제공할 것이며 이렇게 하면 학생들이 대학에 입학하면 제안된 준비 프로그램의 효과와 관련된 결과 변수를 평가할 수 있을 것임.

### ◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 시간이 지날수록 문제는 기하급수적으로 더 다루기 어려워질 것이기 때문에 지금이 투자해야 할 때임
- ▶ 대학 학위는 특히 소수 집단에 속해 있는 학생이 대학을 준비한다면 훨씬 더 많이 얻을 수 있음.
- ▶ 미국 노동시장에 관한 자료에서 알 수 있듯이, 대학 교육은 한 사람의 고용능력 수준에서 점점 더 중요한 측면이 되고 있어 대학과 직업 준비 태세가 개선되지 않으면 미국은 2030년까지 자격을 갖춘 인력 부족에 시달릴 것으로 전망됨
- ▶ STEM 분야에서만 이러한 인력 부족은 경제성장을 저해하는 데 4,356억 9천만 달러의 비용이 들 것으로 추산되며 세계 경제의 선두주자로서 미국의 입지를 위협하고 있음(Korn Perry Institute, 2018)
- ▶ 이것은 즉각적인 주의가 필요한데, 젊은이들에게 대학과 그들의 이후의 직업에 관련된 기술을 부여하기 위한 프로그램들은 연구, 실행, 그리고 실행하는데 많은 시간이 필요하기 때문임

## 05. IDEA소개#8



Designing Ecosystems for the Future

### ■ Designing Ecosystems for the Future

- ◆ Sarah Lester, Alexandra Dubel, and Andrew Rassweiler [Florida State University]
- ◆ #Ecosystem #Interdisciplinary #

#### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 이공계 전반에 걸쳐 고도로 학제간, 협업적, 융합적 접근방식을 취함으로써 어떻게 하면 미래의 생태계를 더 잘 이해하고 예측하고 관리하고 설계할 수 있을까?

#### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 생태계 변화의 속도와 규모는 전례 없는 상태로 이동하고 있는 반면, 인구는 계속 늘어나고 있음
- ▶ 전통적인 생태계 관리, 보존 및 복구 개념은 부분적으로 징계 규범과 금본위제인 "청정한" 시스템에 초점을 맞추고 있기 때문에 이 새로운 인류세(인간 활동에 의해 지구의 자연 환경에 유의미한 변화가 초래된 시기) 시대에 미치지 못하고 있음
- ▶ 생태계 과학과 경영의 미래는 더 나은 기술자와 설계 생태계, 특히 우리가 어떻게 성공을 정의하고 측정하는지 근본적으로 재고함으로써 포용하고 노력해야 할 것임
- ▶ 생태공학과 참신한 생태계의 사상은 새로운 것이 아니며 "생태공학"은 1960년대에 "인간이 소량의 보충 에너지를 사용하여 주요 에너지 동인이 여전히 천연자원에서 나오는 시스템을 제어하는 환경 조작"을 설명하기 위해 만들어졌음(Odum et al., 1963)
- ▶ 이는 시간이 지남에 따라 진화해 왔으며, 생태계 기능과 인간의 요구를 결합하는 데 중점을 두었고 마찬가지로 Chapin and Starfield(1997년)가 처음 사용한 이후 인간의 교란으로 인해 너무 변화된 생태계를 묘사하고자 하는 생태학자들 사이에서 '새로운 생태계'의 개념이 주목을 받아 역사적 유사성이 없음
- ▶ 그럼에도 불구하고 이러한 잠재적으로 급진적인 개념들은 주로 복원 생태학 분야 내에서 비교적 일상적인 과학적 조사와 미완성인 채로 부족한 관리 및 복구 접근으로 이어짐
- ▶ 광범위한 과학 및 공학 분야의 패러다임, 접근법 및 이론을 결합하고 자연 환경과 건설 환경 사이의 경계를 의도적으로 허무는 연구를 주입하여 이러한 개념을 공동 선택하고 재구성하는 것은 자연과 사람 모두를 위해 우리의 지속 가능한 거주 능력, 이점 등을 변화시킬 수 있는 빅 아이디어임
- ▶ 이 아이디어가 성공하기 위해 필요한 융합 연구는 생태학, 공학, 물리학, 지구과학, 사회학, 심리학, 경제학, 지리학, 컴퓨터 과학, 수학, 시스템 사고의 진보로부터 이끌어내야 함

## 05. IDEA소개#8

## ❖ Designing Ecosystems for the Future(Cont'd)



Designing Ecosystems for the Future

- ▶ 이 아이디어를 발전시키기 위해 우리가 해결해야 할 주요 연구 질문은 다음과 같음:
  - 생태계 역학을 이해하기 위해 광범위한 징계 전문지식을 도출할 때 생태계의 기능, 사람들에게 서비스를 제공하는 능력, 그리고 그들의 미래 상태에 대해 우리는 무엇을 배울 수 있는가?
  - 자연 생태계와 그 기능을 엔지니어링 관점에서 구성요소 조각으로 세분하여 현재 또는 과거 상태로 보존해야 할 구성요소와 미래를 위해 더 잘 작동하도록 재설계해야 할 구성요소를 생각할 수 있는가?
  - 미래의 기후에서 더 많은 서비스를 제공할 생태계를 설계하고 유지할 수 있는가?
  - 어떻게 하면 인간의 안녕과 지속 가능한 지구 시스템을 달성하기 위해 건축된 환경과 자연을 더 잘 혼합할 수 있을까?
  - 새로운 시각과 수렴적 접근방식으로 현재의 식품 및 에너지 생산 시스템을 소급하여 재검토하면, 이들의 발전이 생태계 관리의 긍정적인 측면과 부정적인 측면 모두에서 무엇을 시사하는가?
  - 미래에 더 잘 적응하는 즉시 사용 가능한 설계 생태계를 상상하는 데 있어 문화적, 사회적, 심리적 장벽은 무엇인가?
  - 단순히 환경 변화에 대한 탄력성이 아니라 적응적으로 역동적으로 생태계를 설계하고 엔지니어링할 수 있는가? 그리고 그것이 생태계 서비스의 흐름을 개선할 것인가?
  - 생태계 관리에 대한 보다 개입적이고 공격적인 접근방식의 생물 다양성에 대한 결과는 무엇인가?
  - 과거 상태는 동등한 진화 역사가 결여된 설계 생태계에서 복제하기 어려운 특정 서비스(또는 서비스 조합)를 제공하고 있는가?

◆ **이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?**

- ▶ 보존 생물학은 전형적으로 "청정한" 상태를 보존하고 인간의 영향을 완화하는 데 초점을 맞춰왔으며 이를 단 하나의 목표로 요약하면 보존 생물학은 본질적으로 자연에 가치를 부여하는 것
- ▶ 그러나, 이 가치는 인간이 지배하는 시스템이 또한 동등하거나 잠재적으로 더 큰 가치를 가질 수 있다는 것을 받아들이기보다는 역사적 증거에 기초함
- ▶ 예를 들어, 보존의 한 가지 주요 방법인 복원 생태계는 시계를 되돌리는데 초점을 맞추었으나 기후변화와 70억명 이상의 인구가 증가하고 증가함에 따라 이러한 접근방식은 더 이상 생태학적, 사회적 재앙을 예방하기에 성공적이거나 충분하지 않을 것으로 보임

## 05. IDEA소개#8



Designing Ecosystems for the Future

### ■ Designing Ecosystems for the Future(Cont'd)

- ▶ 몇몇 사람들은 우리가 지구의 곳곳을 더 적게 사용하고, 복원하고 보호해야 한다고 주장하고 있어 이상주의적이긴 하지만, 규모나 여러 측면에서 대부분 현실적이지 못하며, 최소한 실제 물리적인 공간에 있어서는 더욱 그러함
- ▶ 그 대신 생태, 공학, 사회학, 경제, 지리, 시스템 사고의 진보를 활용하고 생태계 공학과 설계 생태계를 보다 완전하게 수용하는 새로운 생태계 관리 패러다임 하에서 생태계 서비스와 기능을 유지하는 방법에 대한 융합 연구에 투자한다면 어떨까?
  
- ▶ 발견 결과
  - 공학 관점에서 생태계가 어떻게 작동하는지 이해하여, 생태계의 구성요소를 분해하고 새로운 방식으로 재구성
  - 사회적 규범, 인간 행동 및 지속가능성 사이의 비호환성 및 이를 극복하는 방법 이해
  - 최근 과거의 조건과 다른 미래 환경에서도 생태계가 어떻게 변화할지 예측
  - 자연 생태계의 가장 강력한 구성요소 식별 및 반대로 취약한 지점 식별
  
- ▶ 혁신 결과
  - 증가하는 인구를 지원할 수 있는 자연 생태계를 구성, 재구성, 설계 및 재설계할 수 있는 능력
  - 극히 비정상적인 맥락에서 기능하는 지속 가능한 생태계 구축 능력(우주나 다른 행성을 포함한 혹독한 환경의 폐쇄 시스템)
  - 폐기물 관리, 식품, 에너지, 물의 공급, 그리고 인간의 건강을 고려하여 서로 공존하는 대규모 시스템을 만드는 능력
  
- ▶ 사회적 결과
  - 자연 생태계의 요구와 사람들의 요구의 균형을 맞추기 위한 예상치 못한 방법 발견, 이전에 두 사람이 양립할 수 없다고 느꼈던 경우
  - 하드 과학과 소프트 과학 간의 협업과 분석 및 주관적 연구 간의 협업 촉진
  - 인류와 우리 행성의 지속에 필수적인 분야인 지속가능성 과학에 대해 일하도록 가장 똑똑한 사람들에게 동기 부여

## 05. IDEA소개#8

## ❖ Designing Ecosystems for the Future(Cont'd)

### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?



Designing Ecosystems for the Future

- ▶ 이 아이디어의 장점은 성공이 많은 면면을 가질 수 있다는 것임. 생태계는 지역적, 대륙적/기초적, 지구적 그리고 심지어 그 너머까지 (예를 들어 화성에서의 테라포밍) 규모로 연구될 수 있고 연구되어야 함
- ▶ 생태계의 모든 수준의 보존, 복원, 변경, 엔지니어링 및 설계는 이 큰 아이디어에 의해 포착되나, 비판적으로, 우리는 자연 생태계에 대한 우리의 과학적 연구를 순수한 생태학적 이해에서 기계적이고 기계적인 이해로 확장해야 함
- ▶ 성공은 현재 전 세계가 직면하고 있는 몇 가지 주요 질문에 대한 답으로 다음과 같은 결과를 얻을 수 있을 것임
  - 농업 및 양식 생산의 현재 궤적에 얽매이지 않는 지구를 먹여 살릴 수 있는 지속 가능한 방법 개발
  - 우리가 창조한 공학적 환경에서 지속 가능한 연료 공급
  - 사람들이 우주 공간에서 생활할 수 있도록 지지할 수 있는 분위기 조성
  - 모든 수준에서 폐기물을 최소화하는 생태계 설계 및 제작
  - 현재와 미래의 기후와 인간 영향에서 살아남을 수 있는 비아날로그 생태계 조성/엔지니어링
  - 인간과 환경이 서로 이익을 얻는 대규모 시스템을 구축하여 조화로운 생태계를 실현함.
- ▶ 또한 STEM과 그 이상의 모든 분야의 전문가를 영입함으로써, 우리는 아직 이해되거나 유래되지 않은 문제 외에도 현재 직면하고 있거나 예상하는 문제에 대한 지식을 얻을 수 있을 것임
- ▶ 큰 성공은 현재의 생물학자/생태학자들이 다른 분야의 새로운 관점을 통해 아직 고려조차 하지 않은 문제들을 정확히 찾아낼 수 있는 능력이 될 것

### ◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 인류세(예: 기후변화, 천연자원 부족)의 현재와 미래가 임박한 가운데, 우리는 그들이 제공할 수 있는 서비스와 기능의 변화를 경험하는 생태계의 수가 계속 증가할 것임
- ▶ 조만간 이 분야에 투자함으로써 우리는 이러한 변화를 예측하고 완화하기 시작할 수 있으며, 생태학적, 생물학적 기능뿐만 아니라 인간이 활용하고 의존하는 서비스도 유지할 수 있음

## 05. IDEA소개#8



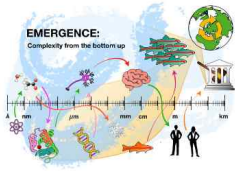
Designing Ecosystems for the Future

### ■ Designing Ecosystems for the Future(Cont'd)

- ▶ 우리는 생태계의 변화/변화에 대한 대규모 이슈와 이러한 이슈를 해결하기 위해 이용할 수 있는 기술이 결합된 시점에 있음
- ▶ 빅데이터 혁명의 등장을 포함한 현대 컴퓨팅을 통해 우리는 모든 수준에서 의사결정 프로세스를 지원할 수 있는 강력한 예측 모델을 만들 수 있음
- ▶ 나아가 생물학적 분야를 넘어 이러한 이슈를 확대하고 융합과학의 공간을 조성함으로써 이러한 문제를 해결하기 위해 새로운 전망을 제시할 예정



## 05. IDEA소개#9



Emergence: Complexity from the Bottom Up

## Emergence: Complexity from the Bottom up

- ◆ Abraham Herzog-Arbeitman [University of Chicago]
- ◆ #System #Data #

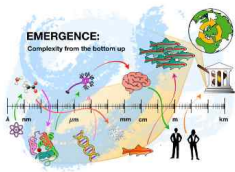
### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 단순한 상호작용에서 복잡한 행동이 나타나는(창발/출현) 방식을 어떻게 이해할 수 있을까? 어떻게 하면 이러한 설계 원리를 활용하여 복잡한 시스템을 효율적으로 이해하고 만들 수 있을까

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 어떤 조건 하에서 질서는 마치 보이지 않는 감독자의 안내를 받은 것처럼 자연스레 무질서에서 나오는 것 같음
- ▶ 물고기의 교육적 행동, 창문에 서리 결정의 복잡한 성질, 그리고 생물계 내에 있는 효소의 복잡한 역학 등은 모두 이러한 불안하고 경이로운 메커니즘의 예들임. 이러한 현상은 창발(emergence)이라고 알려진 원리에 의해 발생하며, 시스템의 일부들이 단순한 메커니즘에 의해 상호작용하여 어떤 개별적인 요소들에 대해 불가능한 복잡한 집단 행동을 만들거나, 혹은 흐트러진 요소들로부터 자발적인 질서를 생성함
- ▶ 이 메커니즘은 높은 효율성으로 복잡성을 구축하기 때문에 자연에서는 어디서나 볼 수 있음. 복잡한 시스템은 단순한 요소들로 만들어지지만, 이러한 상호 작용 때문에 근본적으로 그 부분의 합보다 더 많음
- ▶ 서리의 예에서 물 분자의 구조는 강한 분자간 "수소 결합"을 형성할 수 있게 하여, 차가운 온도에서 이러한 상호작용을 용이하게 하기 위해 고순도 결정구조(얼음)를 형성함. 이러한 근본적인 상호작용이 없다면 공기 중에서 각 분자가 하나씩 조직화된 구조로 배치되지 않는 한, 공기 중의 흐트러진 물 분자는 흐트러진 결정체를 형성하게 될 것이고, 그 결과는 훨씬 덜 아름다울 것임.
- ▶ 다른 예는 효소함수로 효소는 서로 연결된 많은 아미노산의 상호작용으로 인해 발생하는 복잡하고 고도의 특화된 행동으로 알려져 있음. 이들 아미노산 잔류물 각각의 화학반응도는 간단하지만, 서로 연결되면 체인의 복잡한 접힘 현상을 일으키고, 효소의 내부 환경을 집단적으로 변화시켜 각 잔류물의 능력을 획기적으로 확장시킴. 이러한 아미노산 간 상호작용은 효소의 비범한 고도화에 있음.
- ▶ 이것들은 잘 이해된 예들이지만, 많은 중요한 시스템들이 아직 해명되지 않았고 현재 우리의 과학 분야들은 시스템의 기본 구성요소들 사이의 상호작용을 조사하는 데 능숙하지만(아미노산 반응도, 화학적 수소 결합 등) 우리가 관찰하는 복잡한 공동체 행동을 예측하기 위해 길이와 시간 척도에 걸쳐 이러한 상호작용이 미치는 영향을 추적할 수 없는 경우가 많음. 예를 들어 뉴런 작동은 잘 이해되지만 의식이 나타나는 수준은 미스테리로 남아 있음.

05. IDEA소개#9



Emergence: Complexity from the Bottom Up

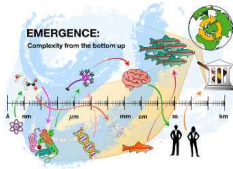
Emergence: Complexity from the Bottom up(Cont'd)

- ▶ 대량의 데이터를 분석할 수 있는 능력은 이러한 노력에 도움이 되어 뇌의 여러 영역에 기능적 과제를 허용해 주었지만, 전체(마음)의 궁극적인 행동에서 시스템의 각 구성요소(신경/뇌 영역)가 수행하는 역할을 결정하는 것은 여전히 장기적 노력이며, 그 밖의 많은 시스템도 무차별 검색으로 이해하기에 아직 너무 거대하게 남아 있음.
- ▶ 과학 공동체로서, 우리는 시스템의 구성요소가 정보를 전송하여 복잡한 행동과 길이를 가로지르는 질서를 생성하는 방법을 조사해야 함
- ▶ 여기에는 요소들이 정보를 전달하는 방법의 유형(화학적, 사회적 등)과 이 통신의 역학(범위, 시간 의존성, 오류)을 분류하는 것이 포함될 것임
- ▶ 그런 다음 우리는 이러한 상호작용이 다른 요소와 다른 상호작용에 어떻게 영향을 미치는지 이해하도록 노력해야 함
- ▶ 이러한 방식으로 한 번에 한 수준씩 복잡성을 발생시키는 시스템을 개발하여 일단 기본 요소의 수준에서 많은 복잡한 행동의 개발이 이해되면, 자발적인 질서와 행동을 창조하기 위한 일반적인 설계 원리의 추출이 가능
- ▶ 최근 이러한 문제들을 다루기 위해 "복합 시스템 과학"이 등장하고 있지만, 그것은 창발에 대한 초보적인 개념만을 통합하고 다학제적 통찰력을 통일된 접근법에 통합할 수 있도록 하는 표준화된 형식주의가 결여되어 있음. Bedau(1997)는 이 주제에 대해 다용도 용어로 쓴 몇 안 되는 사람들 중 하나로 이 프레임워크는 위에 제시된 질문에 답하기 전에 확장되고 강화되어야 함

◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 창발의 특징은 그들이 명령된 시스템을 구축하고 미묘한 행동을 만들어 내는 효율성임. 시스템의 원소들은 상호작용을 통해 시스템에 저장된 숨겨진 "정보"에 접근하고 있는 것으로 이해할 수 있음.
- ▶ 효소의 예에서 효소의 능력은 아미노산의 순서에 따라 암호화되며, 이 정보는 효소를 완성하기 위한 집단적인 자가 조립 동안에 "읽혀짐".
- ▶ 물고기의 교육생활행동은 물고기 개별 개체가 이해하는 개별 동작에 대한 간단한 규칙으로 유사하게 암호화 됨(예: "학교에서 벗어나지 말라")
- ▶ 이러한 메커니즘을 이해하면 구성요소 구조와 상호작용에 저장된 "빌트인(built-in)" 정보를 이용하여 복잡한 동작을 나타내는 시스템을 보다 효율적으로 구축할 수 있음.
- ▶ 이것은 특히 인공지능과 차세대 컴퓨팅에 유용하며, 많은 소형 신호 처리기가 고급 작업(학습, 병렬 컴퓨팅, 콤팩트 메모리 등)을 담당

## 05. IDEA소개#9



Emergence: Complexity from the Bottom Up

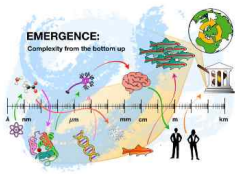
## Emergence: Complexity from the Bottom up(Cont'd)

- ▶ 복잡한 시스템이 어떻게 일반적인 의미에서 개별 요소에 의존하는지를 이해하는 것은 우리가 모든 분야에서 이러한 시스템과 더욱 엄격하게 관련시킬 수 있게 해줄 것임.
- ▶ 암의 복잡한 행동들이 세포와 세포 이하의 상호작용에서 어떻게 나오는지 아는 것은 우리가 중요한 요소들을 더 식별하고 공격함으로써 이 계층을 더 효과적으로 해체할 수 있게 해줄 것임.
- ▶ 이와 유사한 전략을 사용하여 국내외 테러 네트워크를 목표로 삼을 수 있으며, 전통적인 방법으로 쉽게 식별되지 않을 수 있는 핵심 세포, 요원 및 보급품에 자원을 집중하여 국가 안보를 개선할 수 있음.
- ▶ 이와는 대조적으로, 이 방법은 또한 현재의 금융 시스템의 장단점을 파악하고 전세계 경제 동향을 더 잘 예측함으로써 경제를 부양하는 데 사용될 수 있음.
- ▶ 신경과학 또한 비슷하게 발전될 것임. 또한, 출현설계는 또한 요소 상호작용을 최대한으로 의존함으로써 최소한의 자원 사용으로 질서를 효율적으로 만드는 데 사용될 수 있음.
- ▶ 에너지 그리드, 우체국 시스템, 공장, 폐기물 관리 공장 같은 시스템은 한정된 자원을 가지고 있으며 다양한 재료와 화물의 동적 양을 복잡한 방식으로 조직하고 운송하는 역할을 담당
- ▶ 새로운 설계 원칙은 이러한 시스템을 최대한 효율적으로 개발하여 중복성을 줄이고 각 요소(우체국, 생물작용제, 분류센터)의 효과를 최적화하는데 사용될 수 있음. 더 큰 규모로 볼 때, 도시들은 교통 시간이나 생활성을 희생하지 않고 최대한 많은 사람들을 위해 주택 부문, 사업 중심지, 녹지 공간을 작은 지역 내에 조직하는 것과 같은 유사한 업무들로 가득 차 있음.
- ▶ 새로운 원칙은 미래의 도시를 위한 도시 디자인을 발전시켜 지역사회 형성, 청결, 도시 운영의 효율성을 촉진하는 것이 가능

### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 이 학제간 분야에 대한 초기 조사는 다음과 같은 세 가지 주요 혁신을 도출할 것임
  - (1) 응급 시스템의 지속적인 조사를 위한 통일된 언어
  - (2) 새로운 설계 원칙 및 메커니즘의 증가하는 카탈로그
  - (3) 모든 물리 및 사회 과학 분야에서 새로운 원칙의 확대 적용
- ▶ 첫 번째 대상은 창발에서 추상적 개념(예를 들어 복잡성, 상호작용 등)에 대한 전문적이고 잘 정의된 어휘와 이러한 개념에 대한 수학적 프레임워크를 모두 포함하며, 현재 혼돈 이론과 정보 이론의 공식주의가 혼합되어 있음. 이 공식들은 이 분야에 대한 추가 조사를 안내할 것임.

05. IDEA소개#9



Emergence: Complexity from the Bottom Up

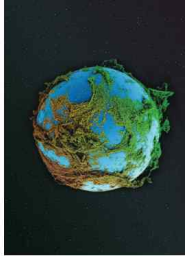
Emergence: Complexity from the Bottom up(Cont'd)

- ▶ 두 번째 혁신은 여러 분야(생물학, 화학, 물리학, 경제학 등)의 새로운 시스템 사례의 집합으로 시작할 것임. 이후 이러한 시스템은 상기에서 설명한 창발 형식주의에 의해 분석되어야 하며, 따라서 상이한 고유 학문의 시스템(즉, 토착 학문의 시스템)이 분석되어야 함. 경제학 및 생물학)은 어느 한 분야 이외의 조사자들에 의해 비교될 수 있음. 이러한 조치는 출현계통의 공통 요소로부터 추상적인 출현설계의 설계원리를 추출할 수 있도록 할 것임.
- ▶ 마지막으로 다음과 같은 원칙의 적용이 있을 것임. 추상적인 설계 패턴과 알고리즘은 새로운 형식으로 암과 싸우고, 전력망을 조직하고, 의식을 연구하기 위해 사용하기 위한 적용 분야로 다시 번역되어야 함
- ▶ 이런 방식으로, 새로운 디자인은 다른 분야의 융합으로부터 발생할 뿐만 아니라 이러한 분야의 신도들이 생각을 교환할 수 있는 학문 간 공간의 역할을 할 것임
- ▶ 결국, 그러한 융합은 그 자체의 능력으로 흥미진진한 새로운 혁신을 산출할 것임

◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 지구의 인구는 꾸준히 증가하고 있으며, 생활공간, 경작 가능한 땅, 깨끗한 물, 가용 에너지와 같은 필수 자원은 근본적으로 제한되어 있음.
- ▶ 이러한 자원이 계속 감소함에 따라, 생산과 유통의 효율성은 사용의 신중함과 함께 점점 더 중요해질 것임.
- ▶ 창발의 이론적 디자인은 모든 중요한 분야에서 자원 분배의 효율성을 높이는 동시에 기술 진보를 촉진할 수 있는 능력을 가지고 있음
- ▶ 따라서, 현시점은 긴급한 자원 위기에 대비하고 미국 시민들과 전 세계 사람들의 삶을 향상시키기 위한 과학적인 발전을 지속하기 위해, 새로운 현상에 대한 연구에 이상적임

## 05. IDEA소개#10



Engineered Living Materials

## Engineered Living Materials

◆ Neel Joshi, Anna Duraj-Thatte, and Avinash Manjula Basavanna [Harvard University]

◆ #Engineered #Living Material #Nano

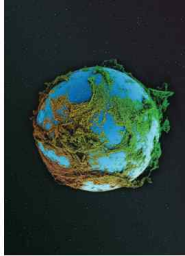
### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

▶ 자기복제, 자기조절, 자기치유, 환경반응, 자기지속성 등 생물학적 시스템의 특성을 가진 공학적 생물 소재의 세계를 만들 수 있을까

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 공학적 생물 소재(ELM)는 재료 자체를 형성하거나 조립하거나 재료의 기능적 성능을 어떤 방식으로 변조하는 살아있는 세포로 구성된 공학적 재료로 정의됨
- ▶ ELM에서, 살아있는 세포는 분자 구성 블록의 생산을 위한 주요 공장 역할을 할 수 있고, 원하는 재료 형태학을 위한 템플릿 역할을 할 수도 있고, 재료의 특성을 유지할 수도 있음. ELM의 중요한 장점은 네이처가 생산해 온 기존 바이오 복합체와 바이오 소재에 국한하지 않아도 된다는 점
- ▶ 대신에, 이전에는 달성할 수 없었던 성질을 가진 물질을 생산하기 위해 더 광범위한 화학 물질 공간을 탐사할 수 있음. 현재 ELM은 합성 생물학자와 재료 과학자들의 협력을 통해 기초가 세워지고 있는 신흥 하위 분야임
- ▶ 합성 생물학, 재료 공학, 나노 기술, 바이오 물질, 인공지능, 그리고 진화의 경계와 경계를 새로운 영역으로 자극할 것임
- ▶ 이전의 아이디어 중 하나는 생명의 법칙을 중심으로 하여, 세포를 만드는 생물학의 틀을 이해하고, 이 지식을 이용하여 합성 생명의 형태를 창조하려는 인간의 탐구를 강조
- ▶ 생물 소재의 발전은 이러한 노력의 보완성이 매우 높으며, 이러한 규칙들을 개별적인 세포들을 넘어서서 정의된 형태론을 가진 다세포 계층 구조로 확장하는 성공을 바탕으로 할 것임.
- ▶ 세포 공학은 ELM의 핵심에 있는데, 세포는 중합체를 생산하고 그들의 조립을 더 높은 순서의 구조로 이끄는 공장이기 때문임. 비록 최근의 합성 생물학의 발전으로 연구자들이 살아있는 세포를 어느 정도 모듈 형으로 설계할 수 있었지만, 이러한 원리들을 프로그래밍된 구조 구축과 형태생식에 적용하는 것은 아직 초기 단계에 머물러 있음.
- ▶ 그럼에도 불구하고, 특정 생체 분자, 생물 고분자, 약물 및 바이오 연료의 생물학적 구조를 혁신하는 데 있어 합성 생물학의 성공은 ELM의 발전을 위한 중요한 기본 틀이 될 수 있음.
- ▶ 기초적인 연구와 획기적인 기술 적용을 위한 엄청난 기회에도 불구하고, 재료 공학을 위한 합성 생물학은 아직 넓은 미개척의 지역임

## 05. IDEA소개#10



Engineered Living Materials

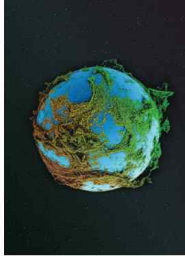
### Engineered Living Materials(Cont'd)

- ▶ ELM까지의 과정은 전략적으로 복잡성이 증가하는 작업으로 세분될 수 있음
  - 첫째, 전기, 기계, 광학 등 다양한 기능적 성질을 가진 데노보 합성 생물물질을 만들 수 있는 참신한 설계 원리를 개발해야 함.
  - 두 번째 도전은 물질의 수명 동안 세포의 생존성, 대사 활동 및 증식 능력을 보장하는 유전자 프로그램과 제작 기법의 개발을 포함함.
  - 셋째, 외부 환경 요인에 대한 대응뿐만 아니라 요건에 근거하여 표적물질의 생산을 자동적으로 조절할 수 있는 생물학적 회로를 개발해야 함.
  - 넷째, 개발된 물질은 자가 치유 능력을 발휘하여 균열이나 결함을 치료해야 함.
  - 다섯 번째 과제는 에너지 공급원료를 재생 가능한 자원 또는 다른 생물체(예: 광합성 유기체)와 상호 연결함으로써 공학적 물질의 자생력을 통합하는 것임.
  - 여섯째, 생물체는 주변 생태계에 공생적 공존이 있어야 하며 어떠한 해로운 영향도 있어서는 안 된다.
  - 일곱째, 가장 어려운 과제는 위의 모든 특성을 하나의 생활 재료로 동화시키는 일일 것임.
  - 여덟째, 그러한 생활 재료는 더 높은 효율성과 성능을 얻기 위해 진화의 지시를 받을 수 있음.

#### ◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 물질과 기술의 발전은 역사를 통해 인류 진화의 진로를 형성해 왔고 획기적인 미래방향을 내다보고 있는 이 시점에서 생물시스템에 새겨진 인간의 지능과 기발한 엔지니어링 설계원리의 통합을 알리는 궁극적인 생활재료 기술을 상상하지 않을 수 없음
- ▶ 바이오소재를 생산하기 위해 세포를 공장으로 채용한다는 생각은 꽤 오래 전부터 존재해 왔지만, 현존하는 대부분의 사례에는 바이오폴리머 수확기, 정화 또는 조립이 필요하다는 점에 유의
- ▶ 또한 살아있는 세포와 호환되지 않을 수 있는 조건하에서 사용되며, 그렇게 함으로써 살아있는 유기체의 고유한 속성은 거의 활용되지 않음
- ▶ 따라서 생물체의 자기 재생, 자가 치유, 자기 조절, 자생, 환경 반응의 특성을 거둘 수 있는 재료 기술은 이 지구상에 친환경적인 공존을 이끌어내는 것은 물론 기존 기술에도 경이적인 변화를 가져올 것

## 05. IDEA소개#10



Engineered Living Materials

## Engineered Living Materials(Cont'd)

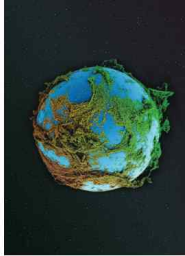
- ▶ 대체로, 생물 소재는 다양한 분야에 걸쳐 널리 퍼져 있는 오늘날의 소재 기술에 혁명을 일으킬 수 있음.
- ▶ 과일, 채소 및/또는 목재를 생산할 수 있는 자급자족적인 방법으로 가용 자원을 수확함으로써 식물이나 나무로 자라는 씨앗처럼, 궁극적인 생활 재료가 자율적으로 원하는 일련의 기능을 생산할 수 있을 것으로 우리는 예상하고 있음
- ▶ 합성 생물학을 통합함으로써 우리는 더 나은 물질을 개발할 수 있을 뿐만 아니라 환경을 감지하고 반응하며 적응할 수 있는 지능적인 기계를 통합할 수 있을 것임.
- ▶ 프로그램 가능한 물질은 전통적인 합성 물질의 범위를 벗어난 요구에 따라 적절한 화학 물질과 물리적 단서가 있는 곳에서 자가 재생될 수 있을 것임.
- ▶ 이와 같이 고차원의 복잡한 기능을 실현하기 위해서는 기존의 인공 생물 회로의 개발이 충분하지 않을 것이며 따라서 우리는 새로운 재료를 만들기 위해 유도된 진화를 채택할 것을 제안함. 여기서 원하는 기능을 맞춤화할 수 있을 뿐만 아니라 최적의 성능을 달성할 수 있도록 진화시킬 수 있음.
- ▶ 마찬가지로 생명물질도 동물의 조직(인간 포함) 안에서 공생적으로 공존할 수 있도록 설계할 수 있으며, 면역반응뿐만 아니라 생화학물질, 호르몬, 독소를 조절하여 조직, 분비선 또는 장기의 기능을 증대시키거나 대체할 수 있음.
- ▶ 장기적으로 볼 때, 생물 재료는 의심의 여지없이 직간접적으로 인류의 복지에 기여할 것임. 이상적이고 직접적인 이점은 자급성, 자가 재생성, 자가 치유, 자가 조절 및 환경 반응 능력 때문에 생활 재료에 대한 보다 쉬운 유지보수, 비용 효율적이고 최소한의 에너지 수요일 것
- ▶ 생물 소재 기술은 주변 조건에서 작동하고 풍부한 양성 성분을 채용하기 때문에 자연 친화적인 생태계를 만들어낼 수 있음

### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 생물 소재 기술은 완전히 새로운 세대의 구조 재료(예: 벽돌, 시멘트, 콘크리트), 보호 재료(예: 코팅, 막), 과도 재료(예: 바이오 플라스틱), 전자 재료(예: 신호, 규제, 데이터 저장), 생물 재료(예: 조직, 분비선, 기관) 등의 개발로 이어질 것임.
- ▶ ELM은 겉보기에는 약해 보이는 생분해성 부품으로부터 더 나은 기계적 특성을 가능하게 할 것이며, 균열과 손상의 자가 치유 능력은 유지와 지출을 최소화한다는 것을 의미함
- ▶ 보호적 생물 소재는 외부 요인에 따라 차폐 기능을 자급자족하는 방식으로 감지하고 변조할 수 있음. 변형적 생물 소재는 미리 정해진 기간 동안 또는 사용자의 재량에 따라 작동하며 그 후에 무해한 구성 요소에 대한 자체 열화를 프로그래밍할 수 있는 재료를 말함



05. IDEA소개#10



Engineered Living Materials

■ Engineered Living Materials(Cont'd)

- ▶ 살아있는 전자 소재는 생체 내 또는 생체 내 조건 하에서 생체 유기체에서 활성화 된 것처럼 이온 전도성과 생체 분자 상호작용을 기반으로 신호를 보내고 조절할 수 있는 복잡한 장치임
- ▶ 이들 장치는 데이터를 저장하고 정보를 처리하며 복잡한 문제를 인공지능으로 해결할 수 있는 두뇌와 같은 실체로서의 기능도 할 수 있음
- ▶ 생물 소재는 극도로 민감한 진단과 치료 능력 때문에 동물과 인간의 건강을 전례 없는 수준으로 변화시키는데 도움이 될 것임

◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 비록 인간은 다른 기술과 기구를 사용하여 다양한 재료를 만들 수 있지만, 우리의 재료 제작 과정은 일반적으로 에너지 집약적이며 해로운 화학 처리, 고온 및 압력을 필요로 함
- ▶ 이러한 지속 불가능하고 해로운 인간의 접근은 지난 몇 십 년 동안 우리 행성에 심각하고 돌이킬 수 없는 피해를 입히고 있지만 이와는 대조적으로, 10억년 이상의 진화를 가진 살아있는 세포는 주변 조건에서 단순한 생체적합성 요소로부터 경이로운 생체 물질을 생산하도록 진화해 왔음
- ▶ 우리 생태계가 더 이상 파괴되지 않도록 하고 자연과 조화를 이루며 존재하기 위해서는 지금 생명 소재 기술을 수용하는 것이 무엇보다 중요
- ▶ 합성생물학의 유용한 기초와 다른 분야의 지식으로, 궁극적인 재료 기술을 실현하기 위해 살아있는 세포에서 복원된 기발한 공학 기술을 활용할 수 있는 때가 바로 지금임



## 05. IDEA소개#11



Equity &amp; Beneficence in Sociotech System

## Equity & Beneficence in Sociotech System

- ◆ Michael Ekstrand [Boise State University]
- ◆ #Massive Computing #Privacy #Security #Fairness #Distribution

### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 건강한 사회를 촉진하는 기술이라면 사람들에게 공평하게 혜택을 주어야 한다. 이런 기술 시스템에서 전체적인 효용뿐만 아니라 효과의 분포를 어떻게 설계, 평가 및 모니터링 해야 하는가?

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 차세대 대규모 컴퓨팅 시스템은 시스템 편익과 영향의 공평한 분배를 보장해야 함. 그렇게 하기 위해서는 사회 구성원의 일상생활에 영향을 미치는 시스템의 설계, 개발, 배치 및 모니터링 전반에 걸쳐 형평성과 유익성을 고려해야 함
- ▶ 이는 컴퓨터 과학과 인문학을 포함한 광범위한 학문을 필요로 하며 시작은 NAT 시스템을 이해하는 것에서 출발
- ▶ 배경이나 맥락에 관계없이 다른 시스템의 결과가 모든 개인에게 동등하게 도움이 되는가? 시스템이 모든 사용자에게 프라이버시와 보안을 공평하게 제공하는가? 또한 시스템이 모든 사용자의 요구를 충족시키는지 또는 소수의 모집단의 요구를 인식하지 못하는지와 같은 질문에 대답하기 위해 다양한 시스템의 요구와 기대를 깊이 파고들어야 함
- ▶ 현재와 미래의 노동자와 차세대 연구자를 양성하기 위해 교육과정에 어떻게 형평성과 유익성을 포함시킬 것인가? 이러한 질문을 조사하기 위해 어떤 방법과 도구가 필요한가?
- ▶ 시스템 유틸리티와 영향을 문서화하는 것은 시작에 불과하며 우리가 구축한 기술에 대해 더 나은 윤리적 추론을 가능하게 하면서 새로운 기술의 가능한 영향을 예측하기 위해 그 지식을 체계화해야 할 것임
  - (i) 부정적 영향이나 상이한 영향에 저항하는 기술의 개발을 촉진하는 모델링 전략과 영향 모델
  - (ii) 그러한 특성을 탐지하는 품질 보증 기법
  - (iii) 바람직하지 않은 사회적 영향이나 상이한 효용 저하를 경고하기 위해 배치된 시스템을 감시하는 능력
- ▶ 아직 식별하지 못할 수 있는 그룹이 잘못 처리되거나 서비스되지 않는 경우. 그렇게 하는 것은 다음과 같은 지침으로 안내되어야 함. 이해관계자 참여. 제품 라이프사이클 전체에 걸쳐 점점 더 다양한 이해관계자를 참여시키는 방법이 필요
- ▶ 참여형 설계는 설계 프로세스에 사용자를 참여시키는 프레임워크를 제공하지만, 라이프사이클의 모든 단계와 복잡한 시스템의 평가에 관련 이해관계자가 참여할 수 있도록 아이디어를 확장하는 데 있어 개방적인 과제가 있음

05. IDEA소개#11



Equity & Beneficence in Sociotech System

Equity & Beneficence in Sociotech System(Cont'd)

- ▶ **프라이버시와 보안:** 사회 취약계층에 대한 조직적으로 약한 프라이버시나 보안 보호는 불평등을 악화시킬 뿐임. 프라이버시 관리에 대한 연구는 접근 제어 언어, 응용프로그램의 다른 프라이버시 설정 및 공식적인 프라이버시 정책을 강조하는 반면 기존 툴과 알고리즘은 기업/조직적 프라이버시 관리에 초점을 둠
- ▶ 주체(사용자)를 포함시키고, 개인마다 성격, 문화적 배경 등에 따라 프라이버시의 정의가 다르며, 사용자의 프라이버시 정책은 정보 공유의 맥락과 환경에 따라 동적이고 변화하기 때문에 사용자 정의 가능한 정책을 프라이버시 프레임워크를 제공할 필요가 있음
- ▶ **실시간 모니터링:** 유익성과 형평성을 염두에 두고 시스템을 설계하고 배치하는 것만으로는 충분하지 않으며 그러한 시스템이 사용되었을 때 공평한 편익을 계속 제공하고 그들의 환경과 사용자 입력에 적응하도록 감시해야 함
- ▶ 이질적인 기술을 통합하고 다양한 그룹에 미치는 영향을 평가하려면 거의 실시간에 가까운 실시간 설정의 분산 데이터 분석이 필요하며, 장기 아카이브로 시간 변동 추세를 발견하고 평가할 수 있음
- ▶ **공식적인 방법:** 시스템의 공정한 접근과 배치를 보장하기 위해, 우리는 형식적인 언어로 공정성과 정보적정성 요건을 표현(공정성과 적절성을 포착할 수 있을 만큼 충분히 표현하지만 검증가능성이 있는 도메인 고유 언어의 개발을 포함)하고 복잡한 시스템을 모델링하고 검증할 수 있는 공식적인 방법을 채택해야 함
- ▶ 현재의 컴퓨팅 시스템은 새로운 책임 개념을 요구해야 할 것이며 어떻게 누구에게 책임을 져야 하는가, 그리고 누가 그들의 운영과 효과에 대해 책임을 져야 하는가?

◆ **이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?**

- ▶ 비용, 편익, 기타 효과의 분포에 세심한 주의를 기울이지 않으면, 기술 시스템은 건강하고 번창하는 사회를 촉진하기보다는 불평등을 악화시키고 기존의 사회 계층을 재조정할 가능성이 높음
- ▶ 모든 사람들이 기술로부터 이익을 얻으려면, 우리는 낙하산 효과에 맹목적으로 의존할 수 없으며 그들의 요구를 충족시키기 위해 우리의 현재 기술과 설계에 의해 누가 부족할 수 있는지 고려할 필요가 있음

## 05. IDEA소개#11



Equity &amp; Beneficence in Sociotech System

## Equity & Beneficence in Sociotech System(Cont'd)

- ▶ 누가 기술로부터 부정적인 영향을 받는지 생각해 보고, 부정적인 영향을 어떻게 완화하고 그것이 너무 집중되지 않도록 하는지를 조사해야 함
- ▶ 누가 기술적 시스템으로부터 효과적으로 이익을 얻을 수 있는지, 그리고 그러한 이익에 대한 접근이 공정하게 분배되어 있는지 고려할 필요가 있음. 자본과 이익의 과제는 형식적 방법, 실험 프로토콜과 통계적 방법, 감시와 관찰 능력, 그리고 많은 다른 기술 분야에서 이러한 도전들을 위해 발전시킬 뿐만 아니라 사회적 관심사 전반에서 재사용을 가능하게 하는 모듈형 방식으로 발전하는 것을 촉진하고 현저한 발전을 필요로 할 것임
- ▶ 공정성은 수많은 정의를 가지고 있으며, 그 중 일부는 배타적이고 상호 양립할 수 없음
- ▶ 공정성 보장에 있어 효율적인 진전을 이루고 다른 사회 및 인간적 어려움에 대처하기 위해서는 방법과 도구는 여러 가지 지표와 문제 해결로 적응하고 재사용할 수 있어야 함
- ▶ 기술은 민주화의 원동력과 사회적 평등을 가져올 수 있는 힘을 가지고 있지만, 그것의 이익이 기본적으로 잘 분배될 것이라고 믿어서는 안됨
- ▶ 각기 다른 학제와 기술 수명주기 단계에 걸쳐 연구, 교육 및 적용에 있어 협력적인 노력만이 기술 시스템이 사회의 안녕을 증진할 수 있는 잠재력을 달성하도록 보장할 수 있음.
- ▶ 서로 다른 사용자 경험을 체계적으로 이해, 예측 및 조정할 수 있을 정도로 규모에 맞는 인간 영향 과학을 개발하려면 인간-컴퓨터 상호작용, 프라이버시, 알고리즘의 공정성, 정보 검색, 실시간 성과, 형식적 방법, 사회학, 정치학, 심리학 및 특정 응용 분야의 도메인 전문가 등이 필요
- ▶ 과학기술 연구는 이러한 노력에 대한 로드맵을 제공하지만, 분야와 제품 수명주기 전체에 걸쳐 형평성과 이익을 통합하기 위한 중요한 작업이 남아 있음

### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 주요 목표는 사회 내 소외된 집단에 대한 데이터와 기술의 부정적인 영향을 최소화하는 것이며 이를 위해서는 그러한 상황을 식별하거나 예측, 이해 및 교정해야 하며, 제품 수명주기와 제품평가에 관련된 모든 사람이 필요한 사고 방식과 모드로 교육을 받아야 함
- ▶ 초등학교부터 전문적 지속 교육에 이르기까지 교육 영역과 분야 전반에 걸친 커리큘럼 설계가 필요할 것임. 성공을 향한 첫 번째 단계는 사회기술적 시스템에서 형평성과 유익성을 평가하는 방법과 정의의 개발, 그리고 사회적 지위, 보호 그룹의 구성원 또는 서비스 품질을 결정해서는 안 되는 다른 특징과 관계없이 모든 사용자에게 혜택을 제공하는 능력을 개발하는 것임

## 05. IDEA소개#11



Equity & Beneficence in Sociotech System

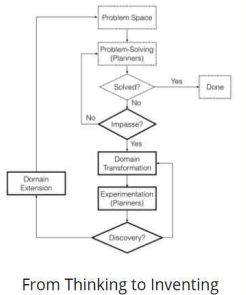
### Equity & Beneficence in Sociotech System(Cont'd)

- ▶ 그 예로, 스마트 그리드 시스템은 모든 사용자에게 공평한 서비스를 제공하는가, 아니면 저소득 지역의 불균형한 비용을 목표로 하는 목표를 달성하는가? 장기적인 성공은 궁극적으로 다양한 그룹들 사이의 이익의 차이를 줄이는 것으로 나타날 것임.

#### ◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 국립과학재단(NSF)은 데이터 혁명 활용, 기술 개척, 현장에서 정형화된 방법의 보급 확대, 융합 연구 등에 많은 투자를 하고 있음.
- ▶ 이러한 노력은 사회에 도움이 될 중요한 기술의 발전을 견인할 기동임. 이러한 기술과 우리의 일상생활에 대한 이들의 참여, 분당 증가된 데이터의 양을 활용하고, 연결하고, 이해할 수 있는 능력, 복수의 이해 당사자를 표로 끌어들이는 능력, 모델 시스템 요건 및 사용자 상호작용, 그리고 여러 보완적 관점에서 전체적인 사고방식의 능력, 진화하는 사회의 요구에 대응하고 원활하게 채택되는 해결책에 초점을 맞추는데 있어 자연발생적인 학문이 필수적일 것임.
- ▶ 우리의 주요 관심사는 기존의 연구 개발 노력이 어떻게 사회 구성원들 사이에서 통합되고, 지속되고, 분배될 것인가 하는 것임.

05. IDEA소개#12



From Thinking to Inventing

From Thinking to Inventing

- ◆ Matthias Scheutz and Vasanth Sarathy [Tufts University]
- ◆ #Computing #A.I. #Creativity

◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

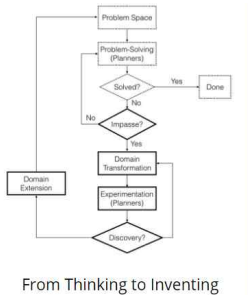
- ▶ 앨런 튜링이 제시한 '기계들이 생각할 수 있을까?'라는 질문은 컴퓨팅에 상당한 발전을 가져왔다.
- ▶ 우리는 '기계가 무엇을 발명할 수 있고 어떻게 발명할 수 있는가?' 라는 질문을 함으로써 새로운 단계로 안내할 것을 제안함.

◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 실제 문제에 처했을 때, 우리의 뇌는 어떻게 생각하는지에 있어서 가설을 만들고, 우리 환경에서 우리가 수행할 수 있는 실험을 제안하고, 흥미로운 관찰을 하고, 실행할 수 있는 해결 전략을 끊임없이 재구성함
- ▶ 말하는 것은 간단하지만, 이 능력은 상당히 복잡하고 주목할 만하며, 수학적으로 난해함.
- ▶ 현재 우리는 인간이 어떻게 이런 식으로 즉흥적으로 행동하는지 정확히 알지 못하며, 이와 유사한 지략성과 복원력을 보여줄 수 있는 기계는 확실히 존재하지 않음
- ▶ 이 주제에 대한 인지심리학 연구는 거의 1세기 전으로, 인간이 통찰 퍼즐을 푸는 것을 관찰함으로써 창의적인 문제해결을 연구하려고 시도함. 이러한 퍼즐을 푸는 데 다양한 휴리스틱스와 기법을 사용한다는 것을 암시하면서 그 결과는 기대가 컸음
- ▶ 인지 신경 과학에서의 작업은 효과적인 문제 해결을 돕는 감정과 정신 상태의 역할에 대한 새로운 발견과 함께 활성화되는 특정 신경계를 확인했고 결국 이러한 결과는 문제해결을 통찰할 수 있는 비밀을 밝혀내는 체계적으로 기여함
- ▶ 그럼에도 불구하고, 이러한 진전은 그 결과가 일반화, 운용화되기 어려웠기 때문에 인공지능(AI)에 관한 연구를 확장할 수 없었음
- ▶ 한 문제를 다른 문제와 비교하거나, 휴리스틱스를 보다 구체적이고 실행가능하게 하기 위한 통일된 수학 언어가 없었기에, 그 결과는 심리학 연보 내에서 선별된 수작업의 통찰력 문제들에게 밀려나고 말았음
- ▶ 한편, AI 연구는 기계 학습, 자동화된 계획, 지식 표현, 컴퓨터 비전 등과 같은 수많은 하위 주제들로 상당한 성장과 광범위한 분열을 보았다.
- ▶ 머신러닝은 체스나 바둑과 같은 지적 게임에서 인간에 대한 승리를 포함한 최근 AI의 많은 업적에서 선두에 있었음
- ▶ Deep Neural Networks(DNN)를 사용함으로써 이러한 최첨단 시스템은 수많은 분야(생물학, 물리학, 천문학, 지질학 등)에서 엄청난 가능성을 보여주었으나 DNN은 상식적 지식을 창의적으로 적용해야 하는 참신한 시나리오를 다루는데 성공하지 못했음

05. IDEA소개#12

From Thinking to Inventing(Cont'd)



▶ 이는 이들 시스템이 그 핵심에서 근본적으로 수학적 최적화 기법을 통해 데이터에서 범용 가능한 패턴을 찾는 데 있기 때문임. 많은 실제 문제에서, 의존해야 할 선행 패턴이 없을 수도 있고, 더 나쁜 것은 최적화할 사전 정의된 객관적 기능이 없을 수도 있음.

▶ 이를 해결하기 위한 다음과 같은 연구 질문을 제기

▶ A. 이론 컴퓨터 과학에서

1. 이런 문제들은 얼마나 어려운가? 튜링 컴퓨터는 이러한 연산들을 포착하기에 충분히 좋은 모델인가?
2. 이러한 문제의 복잡성 등급이 존재하며, 따라서 한 문제가 동일한 등급의 다른 문제로 축소될 수 있음을 시사하는가?
3. 창조적인 문제의 어떤 특징들이 즉시 불능성을 암시하는가?

▶ B. 인지과학(인지심리학, 신경과학, 컴퓨터 모델링)

1. 창조적 문제의 정신적 표현은 무엇인가?
2. 에이전트가 자신의 환경에서 사용할 수 있는 것을 사용하여 문제를 해결할 수 있다면, 어떻게 해당 환경의 어떤 개체를 선택할 것인가?
3. 통찰력 문제해결 문학에서 발달한 휴리스틱스(제약 완화, 체크 분해와 같은)는 다양한 유형의 창조적 문제에 걸쳐 어떻게 일반화되는가?

▶ C. 인공지능에서

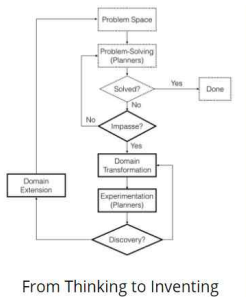
1. 문제가 정말로 해결되지 않을 때와 창의적인 해결책을 위해 더 노력해야 할 때를 어떻게 대리인이 결정할 수 있는가?
2. 문제 해결에 유용한 숨겨진 속성을 추출하기 위해 에이전트가 자신의 환경에서 수행할 탐험을 어떻게 선택할 수 있는가?
3. 어떻게 에이전트가 문제 해결 능력을 배우고 향상시킬 수 있을까?
4. 에이전트의 창의적인 문제 해결 능력을 어떻게 평가할 수 있을까?

◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 인류 역사를 돌이켜 보면 획기적인 과학적 발견은 다른 분야들의 교차점에서 일어남
- ▶ 그것들은 패러다임의 변화와 우리가 특정한 현상이나 과학적 노력에 대해 어떻게 생각하는지에 대한 급진적인 변화에 의해 가능했으며 과거에 이러한 발견은 우연히 한 세기에 한두 번 일어나는 정도였음
- ▶ 여기서 제안하는 것은 AI가 다음 패러다임 전환을 돕는 것임. AI가 연구 촉매 역할을 하면서 잠재적으로 여러 분야에서 과학 발전을 가속화할 수 있기 때문임

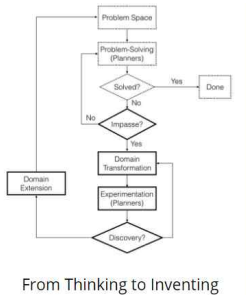
05. IDEA소개#12

From Thinking to Inventing(Cont'd)



- ▶ 이를 위해서는 단순한 컴퓨터가 아닌 발명가, 협업자로서 AI에 의존할 수 있어야 함
- ▶ 이 새로운 비전에 대한 투자의 **단기적인 결과**는 우리가 사회로서 인간과 인위적인 문제 해결에 대해 더 잘 이해할 수 있을 것이라는 것임. 교육과 대중의 지식 분산을 통해, 사회는 현재의 기술 상태의 한계에 대해 더 잘 알게 될 것이고, 중요한 것은, 우리는 그럴 듯하지만 결함투성이인 AI 기술의 선부른 채택을 피할 수 있을 것임.
- ▶ 기계가 발명할 수 있는가라는 질문을 하는 것은 우리가 특정 AI 기술의 범위를 배치하기 전에 신중하게 평가하도록 강조할 것임
- ▶ **중기적인 결과**는 컴퓨터 과학, 인지 과학, 인공지능의 다양한 측면에서 상당한 발전이 있을 것이라는 것임이며 투자는 연구자들이 딥러닝과 같은 독특한 기술에 초점을 맞출 뿐만 아니라 그것이 더 큰 연구 활동의 하나의 단계라는 것을 인정하도록 동기를 부여할 것임.
- ▶ 공식논리학, 지식표현학 등 AI 초기에 인기를 끌었던 많은 연구분야는 창의적 문제해결 문제와 여전히 관련이 있을 가능성이 있음.
- ▶ 투자는 우리가 사회로서 현대의 노력뿐만 아니라 초기 AI 개척자들의 귀중한 공헌을 잃지 않도록 하는 데 도움이 될 것임. 게다가, 우리는 학문 간 교차 분석의 증가와 이러한 연구 노력을 통일하고 일반화해야 할 필요성을 기대함.
- ▶ **장기적인 결과**는 발명가 AI는 데이터에서 흥미로운 패턴을 찾을 수 있을 뿐만 아니라 특정 문제가 어떤 종류의 데이터를 사용해야 하는지 고려할 수 있을 것임.
- ▶ 자율주행차에서부터 로봇 우주 비행사들에 이르기까지 많은 로봇 시스템의 필수 구성품이 될 것이며 수색구조로봇은 최소한의 인적 지원만으로 재난구역을 통해 자율적으로 활동할 수 있게 될 것임
- ▶ AI 혁명은 이미 시작됐고 현재 단계에서는 대규모 데이터셋에서 흥미로운 패턴을 발견할 수 있는 고급 데이터 검색기를 생산하고 있음. AI 기술 자체를 발전시킬 뿐 아니라 인간의 독창성을 더 잘 이해할 수 있는 AI 혁명의 다음 단계를 시작하려면 투자가 필요함
- ▶ 상식적인 추리뿐만 아니라 창의적인 사고와 문제 해결이 필요하기에 이를 통해 차세대 다학제 과학자를 교육하는 기회도 갖게 될 것임

## 05. IDEA소개#12



From Thinking to Inventing

## From Thinking to Inventing(Cont'd)

### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 세 가지 경우를 고려할 수 있음. 우선, 내일의 수색 구조 로봇은 재해 복구 구역에 들어갈 수 있고 사람들을 잔해에서 구출할 수 있도록 도울 것임. 여전히 우리의 환경은 미지의 영역이며 문제는 매번 새로운 것일 수 있음. 그럼에도 불구하고, 이러한 로봇들은 필요에 따라 즉흥적으로 동작할 수 있고, 인간처럼 문제가 발생할 때 문제를 해결할 수 있을 것임
- ▶ 둘째, 생물정보학 및 약물발견에 사용되는 AI 시스템을 고려함. 이러한 시스템은 질병에 대한 설명과 특정 질병에 대한 현존하는 일부 지식을 감안하여 흥미로운 결과를 산출할 가능성이 있는 실험을 제안하기 시작하고 그 결과를 관찰하여 가능한 화합물이나 생물학을 제안할 수 있을 것임
- ▶ 셋째, 오늘날 자율주행차가 이미 우리 도로로 진입하기 시작했지만, 눈 오는 환경에서 예상치 못한 화이트아웃처럼 새로운 상황을 처리하는 능력을 보여 주기 전까지는 진정으로 신뢰가 가지지 않을 것임

### ◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ AI는 이미 우리 사회의 여러 측면에 엄청난 영향을 끼치지만 앞으로 몇 년 동안 AI의 진행 상황을 둘러싼 과대광고와 열기로 볼 때 사회가 AI로부터 기대하는 것과 실제 현실 세계에 배치될 수 있는 것 사이에는 엄청난 격차가 있을 것으로 보임
- ▶ AI 기술의 온건함은 이것이 윤리적, 법적 영향을 미치는 중요한 관심사라는 것을 시사했고 상용화에 임박한 기술인 자율주행차를 생각해보면 그 필요성은 더욱 큼
- ▶ 그러나 자동차 환경의 단순한 변화조차도 현재의 DNN을 매우 중요한 방법으로 떨어뜨릴 수 있음. 우리는 이 문제를 직접 그리고 즉시 다루어야 하며 기존 AI 기술의 한계를 인정할 뿐 아니라 패러다임 전환 가능성도 열어둬야 함
- ▶ 패턴 매칭 기계에서 문제 해결 기계로 AI가 어떻게 변화할 수 있는지 다시 생각해봐야 할 것



## 05. IDEA소개#13



Geomimicry

## Geomimicry

- ◆ Ian Gould, Charlene Estrada, and Kirtland Robinson [Arizona State University]
- ◆ #Geology #Chemistry

### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 지구를 흉내냄으로 다음과 같은 질문에 대한 답할 수 있게 된다. 과연 지구는 어떻게 화학 작용을 할까? 인간이 어떻게 화학을 해야 할지를 지구가 수행하는 화학작용으로부터 제대로 배워 혁명적으로 바뀌어야 하지 않을까?

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 상업적이거나 실험실에서 행해지는 유기화학은 생명을 구하고 공해와 질병을 유발하는 결과를 가진 제품으로 세계를 구하기도 하고 병들게 하였음
- ▶ 화학자들은 더 빠르고 더 구체적인 반응을 만들기 위해 용매, 시약, 촉매를 개발했으나 거의 모든 알려진 유기 반응은 또한 지구 화학적 조건 하에서 화학적 공급 카탈로그에도 미치지 못한 채로 지구 내에서 발생함.
- ▶ 생물권을 고려하더라도 1500만 기가톤 이상의 유기 물질, 즉 지구 유기 탄소의 99.99% 이상이 지구 표면 아래에 위치(Falkowski, 2000).
- ▶ 지구는 흡착을 데 없는 유기화학자로 희소금속, 극한 산화제, 환원제 또는 농축산보다는 주로 풍부하고 양성적인 시약과 촉매를 이용하여 엄청난 범위의 반응을 수행함
- ▶ 중요한 것은, 이러한 반응은 물과 함께 높은 온도에서, 즉 열수 조건과 같은 유일한 용제로 일어남. 그 온도는 그리 높지 않은데 지구의 유기 화학의 대부분은 적당한 온도와 압력(150-250°C 및 ≤1000bar)에서 발생하는데 그러한 조건은 단순한 밀봉 유리관 안에서도 얻을 수 있는 정도임
- ▶ 열수의 성질은 유기 화학 작용을 촉진하고 물의 유전 상수는 더 높은 온도에서 유기 용제를 모방하여 현저히 감소하고, 수산화물과 하이드로늄으로의 분화가 더 커 산성 반응과 염기 촉매 반응을 촉진
- ▶ 열수 화학은 종종 미네랄이 존재하는 곳에서 일어나는데, 그 표면은 시약이나 이질적인 촉매 역할이 가능(Ship et al., 2014).
- ▶ 열수 지질학적 조건을 모방함으로써 양성 물질로 반응을 할 수 있는데 예를 들어, 유기 산화는 종종 독성 및 발암성 물질인 6가 크롬을 사용하여 수행되지만, 지구에는 사실상 6가 크롬이 없음
- ▶ 열수 조건에서는 훨씬 부드러운 2가 구리를 사용하여 산화를 수행할 수 있는데, 전통적인 유기 화학에서는 산화제라고 생각조차 하지 않는 물질임(Yang et al., 2015)

05. IDEA소개#13

Geomimicry(Cont'd)



Geomimicry

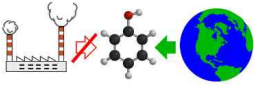
- ▶ 열수/지질 유기 화학은 말 그대로 보편적인 화학이며, 그것은 거의 확실히 우주의 나머지 지역에서 유기 화학이 일어나는 방식임
- ▶ 사실상 모든 유용한 유기화학은 열수학적으로나 생화학적으로 물에서 일어나며 무독성 촉매와 시약을 사용함
- ▶ 그럼에도 불구하고 산업 및 실험실 유기화학은 종종 유독성 용매와 값비싼, 또는 희귀한 시약 및 촉매로 수행됨
- ▶ 지질모방학은 생체모방학의 지질학적 유사성을 지닌 학문으로 지질모방학에서는 녹색 화학이 지구의 화학 작용 방식이기 때문에 오염되지 않는 완전히 새로운 과정으로 전환되는 패러다임을 제시함
- ▶ 생체모방학은 유기화학물질의 특이성과 정밀도가 높은 경로를 제공함. 지질모방학은 강력하고 비용 효율적이며 대규모로 수행될 수 있는 유기화학물질에 대한 새로운 경로를 제공
- ▶ 아직 지질모방학은 걸음마 단계에 있으며 비록 몇몇 기본 원칙이 이해되고 다양한 열 반응이 관찰되었지만, 어떤 지구가 많은 시약들이 어떤 반응에 선택적이고 어떤 광물들이 어떤 반응만을 선택적으로 촉매로 이용하는지에 대한 이해는 이제 갓 나타나고 있음
- ▶ 주요 연구 질문의 예는 다음과 같다:
  - 열수 산화 반응의 범위는 무엇이며, 어디에나 널려있는 3가 철을 어떻게 하면 산화제로 사용할 수 있는가?
  - 수소를 통한 감소(균열)는 거의 항상 이질 촉매제를 사용함. 어떤 미네랄이 수소를 효율적으로 촉매작용을 일으킬 수 있으며, 어떻게 작용하는가?
  - 중합은 화학 산업의 주요 활동을 나타내는데 어떻게 하면 열수분의 내재된 촉매 특성을 이용해서 중합성을 촉진하고 조절할 수 있을까?
  - 즉각적으로 중요한 지질모방학의 상업적 응용은 무엇인가?

◆ **이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?**

- ▶ 지질모방학이 차세대 산업혁명을 견인할 것이기 때문에 우리는 산업 화학적 지형의 변혁에 지나지 않을 것으로 기대하며 여기서는 현재 대표적으로 대규모 산업 유기 화학 공정의 변형을 예로 들 수 있음.
- 석유화학 처리 후, 폴리프로필렌 및 폴리소부틸렌 제조는 가장 큰 규모의 유기 화학 공업 공정 중 일부이며 현재 방법은 유기알루미늄에 기반한 탄화수소 용매와 촉매를 사용함. 열수 제조는 용매를 제거하고 루이스 산 촉매를 온수의 "내장" 하이드로늄 이온 촉매로 대체할 수 있음

## 05. IDEA소개#13

## ❖ Geomimicry(Cont'd)



Geomimicry

- 프로필렌 산화물(Propylene oxide)은 클로로무딘으로 만드는데, 열수 제조는 염소 시약을 보다 양성 금속 산화제로 대체할 수 있음. 열처리되는 놀랍게도 탈수 처리되고 있으며, 에폭시드의 수화는 온도를 조절하여 최소화할 수 있음
- 쿠멘(Cumene)은 현재 고체 인산에 의해 촉매된 벤젠의 프리델-크래프트 알킬레이션에 의해 제조되고 있는데, 벤젠의 열수 프리델-크래프트 알킬레이션은 강력한 산성 촉매를 첨가할 필요 없이 발생하는 것으로 관찰되며 쿠멘 생산은 물에서만 발생할 수 있어 반응 종료 시 제품의 분리는 냉각에 의한 용해성 효과 손쉽게 분리 가능
- 페놀은 여러 가지 방법으로 생성되며, 모두 산화를 수반함. 현재 대부분의 녹색으로 간주되는 공정은 아산화질소를 포함하는데, 이는 어떤 상황에서는 폭발적으로 분해될 수 있음. 페놀은 일반 금속염과 같은 보다 양성 산화제를 사용하여 열수적으로 생산될 수 있음
- 사이클로헥산(Cyclohexane)은 벤젠의 수소화에 의해 만들어지며, 일반적으로 Pt 촉매를 사용함. 열수축소는 값싼 벌크 니켈을 사용해 발생하며, 철과 같은 단순한 금속을 환원제로 사용하는 것으로 나타남
- 아닐린은 니트로벤젠 감소를 통해 열수 조건 하에서 생산될 수 있으며, 이는 다시 열수 조건 하에서 쉽게 관찰되는 벤젠의 전기적 방향제 대체에 의해 만들어질 수 있음. 즉시 변형되는 상업적 응용의 예로는 지질학을 이용한 열수 바이오 연료 가공이 있는데, 적절한 시약을 사용하면 간단한 화학 및 기술을 사용하여 바이오 연료를 고에너지 탄화수소 연료로 상향 변환할 수 있음
- 낮은 품질의 산소가 풍부한 유기 화합물을 탄화수소로 변환할 수 있는 능력을 구축하면 화석 연료에 대한 의존도가 감소하고 제거될 것이며, 예를 들어 조류와 리그노셀룰로오스 바이오 질량에서 나오는 연료의 생산이 가능하게 될 것임. 이러한 반응을 물 처리와 지구 과잉, 양성 금속 촉매를 통해 수행할 수 있는 이점은 명확함

## ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 지질모방학 연구의 지원은 대량 화학 제조업의 지형에 극적인 변화를 가져올 것임.
- 지압법에 기초한 화학적 공정은 물을 용매로 사용함. 용제 포획과 배출물 스크러빙에 중요한 전통적인 화학 제조 공장에서 사용되는 대형 배기 및 냉각 타워는 거의 사라지게 될 것임.
- 지질모방학에 기초한 화학 공정의 생산물은 냉각 시 물의 용해도가 감소하여 용매로부터 주변으로 분리되어 산업 화학 공장의 유비쿼터스 상징인 증류/분리 타워의 필요성이 감소함.
- 열수에서 자체적인 산성 촉매를 생성하여 산중화 산업 처리에서 형성된 슬러지 폐기물을 현저히 감소시킴으로써 "화학물질의 왕"인 황산의 소비가 감소할 것임.

05. IDEA소개#13

Geomimicry(Cont'd)



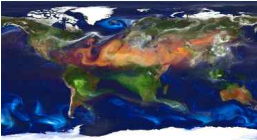
Geomimicry

- 물은 용제이기 때문에 화학 용제 폐기물의 방출이 감소하여 음용 및 레크리에이션 물이 더 깨끗해지고 화학 산업 종사자의 안전성이 향상되며 개인 보호 장비에 대한 요구 사항이 감소되고 화재나 폭발과 같은 사고의 가능성이 현저히 감소할 것
- ▶ 우리의 대표적인 열수 바이오 연료 생산 기술은 탄소 배출을 감소시켜 지구 기후 변화를 개선하고, 대기 오염을 줄이기 위해 화석 연료에서 나오는 황 배출을 제거하며, 해외 연료 공급에 대한 의존도를 낮추고, 국내 생산을 허용하여 운송비를 절감할 것임.
- ▶ 마지막으로 화학 그 자체는 질병과 오염을 일으킬 가능성이 가장 높을 것으로 의심되는 것들로부터 사람과 행성의 건강에 유익하고, 긍정적이고 자애로운 기여자로 대중의 인식에 변화를 겪을 것임.

◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 우리가 21세기의 세 번째 10년에 접어들면서 화학 물질과 연료의 생산 방식을 획기적으로 변화시킬 필요성에 대해 점점 더 중요하게 인식되고 있음
- ▶ 신기술은 순전히 좋은 아이디어에 기반을 둘 수 없으며 새로운 기술은 경제적 원동력이 필요
- ▶ 비용 절감, 폐기물 및 용제 사용의 이점은 현재 업계에 의해 빠르게 평가되고 있어 낭비를 최소화하고, 책임을 줄이고, 에너지 비용을 낮추려는 경제적 추진력은 이제 산업계가 지질모방학 같은 진정한 변혁적 기술을 채택할 준비가 되어 있을 정도로 충분히 큼
- ▶ 일반 대중과 산업은 연료, 제약, 자재, 일반 대중 및 행성 보건에 대한 재생가능하고 지속 가능하며 오염되지 않는 산업 공정의 문제를 해결해야 하는 중요한 필요성에 대해 이견이 없음

## 05. IDEA소개#14



Global Microbiome in a Changing Planet

## Global Microbiome in a Changing Planet

- ◆ Kim Prather [University of California, San Diego]
- ◆ #Microbiology #Ocean

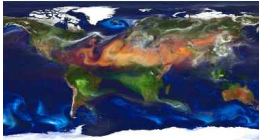
### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 미생물은 어떻게 개별적인 식물이나 동물이나 인간의 규모에서 전체 대기와 바다의 규모에 이르기까지 생태계의 건강을 조절할 수 있는가?

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 미생물(매크로 유기체에 서식하는 미생물의 복잡한 공동체)을 통해 인간, 동물, 식물 건강에 큰 영향을 미친다는 사실이 최근 받아들여짐
- ▶ 미생물이 우리 몸의 건강을 조절하듯, 우리 행성의 건강도 조절하고 있으며 환경 미생물들은 기후, 강수 위치와 양, 지구 온도, 대기의 구성, 빙하의 용해율, 토양 내 식물의 생산성, 지구 탄소 및 질소 순환의 패턴, 그리고 많은 다른 과정들을 조절하는 우리 행성에 심대한 역할을 함
- ▶ 많은 연구들이 개별 시스템에서 미생물의 영향을 기록했지만, 시스템과 규모에 걸친 연결에 대한 우리의 이해는 극히 제한적임. 어떤 환경 미생물이 인간의 마이크로바이옴과 건강에 영향을 미치는지, 그리고 그것을 어떻게 하는지를 이해하는 것은 매우 중요
- ▶ 마찬가지로, 우리가 건설한 환경, 우리의 가축, 그리고 심지어 우리 자신의 신체의 마이크로바이옴을 이해하는 것도 마찬가지로 필수적임
  1. 환경조건이 인간의 마이크로바이옴을 어떻게 형성하고 이것이 차례로 인간의 건강에 어떤 영향을 미치는가? 바다 근처에 사는 사람들이 내륙에 사는 사람들보다 더 건강한가? 토양 미생물에 대한 노출은 면역력과 심지어 행동을 조절하는가? 유해하고 유익한 미생물들이 어디까지 전염되는가?
  2. 해양, 지상 등 공중에 떠다니는 미생물의 근원은 무엇이며, 구름, 기후, 강수량에 어떤 영향을 미치는가? 이러한 서로 다른 원천은 어떻게 인간, 식물, 동물의 건강을 해치고/또는 이롭게 하는가?
  3. 인간이 많은 영역에서 순 1차 생산의 대부분을 소비하고 영양소 순환의 패턴을 전지구적으로 근본적으로 변화시켰다는 점에서, 이러한 영향을 완화하고 지속가능성을 개선하기 위해 인간, 가축, 농업 및/또는 행성 마이크로바이옴을 수정하는 접근법이 있는가?
  4. 변화하는 기후(즉, 따뜻한 바다, 증가하는 산불)가 인간과 지구의 건강에 영향을 미치는 미생물에 어떤 영향을 미칠까?

## 05. IDEA소개#14



Global Microbiome in a Changing Planet

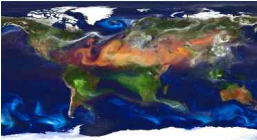
### Global Microbiome in a Changing Planet(Cont'd)

- ▶ 바다는 지구의 유전적, 미생물적 다양성의 주요한 보고이며 복잡한 미생물 공동체는 생물 화학적 순환, 생태계 서비스, 농업과 산업 생산성 등에서 핵심적인 역할을 수행 중
- ▶ 기후변화에 대한 미생물 반응, 그리고 바다에서 에어로졸로 세계적으로 운반되는 미생물들과 구름을 핵화하는 그들의 역할을 이해하는 것은 우리 행성의 미래를 예측하는 데 필수적일 것임.
- ▶ 진핵 조류와 시아노박테리아를 포함한 미생물을 복잡한 지역사회에서 생물연료에 사용하면 농작물 가뭄 내성을 개선하고 양식업과 지상급유업에서 사료 변환을 개선하기 위한 마이크로바이옴을 설계할 수 있듯이 인간의 영향을 엄청나게 줄일 수 있음.
- ▶ 이러한 목표를 달성하기 위해서는 서로 다른 규모에 걸쳐 미생물 분류 및 미생물 기능을 더 잘 판독할 수 있는 학제 간 접근법, 개선된 모델링 접근법, 시공간 전반에 걸쳐 진실한 새로운 생태학적·진화 원리의 설명, 그리고 이를 돕는 데이터 과학과 이론적 접근법이 필요
- ▶ 한 시스템 또는 규모에서 나온 결과가 다른 시스템에 언제 적용될 것인지에 대한 안내를 이해하며, 전문화된 접근법이 필요
- ▶ 고도로 다변량 희소성 합성 데이터셋을 처리하는 개선된 방법, 그리고 개별 화학 결합에서 행성 전체까지의 척도, 그리고 펨토초에서 수십억 년까지의 시간 척도로 미생물 기능을 측정하는 개선된 방법이 지구 생물권에 미생물 임팩트를 이해하고 예측하고 궁극적으로 제어하는 데 필요할 것임

#### ◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 시스템과 규모에 걸쳐 미생물 생태계를 읽어내고, 이해하고, 활용하는 기술을 개발하는 일반적인 이점 외에도, 두드러지는 두 가지 특정 영역이 필요함
- ▶ 첫째, 해양-대기권 인터페이스에서 미생물을 통한 기후 규제를 더 잘 이해할 필요가 있음. 해양 미생물학을 수정하는 것은 가능한 일이며, 사실, 인간은 이미 본의 아니게 그것을 하고 있음. 그리고 의도적인 접근은 알베도 감소와 온난화 증가에 대한 지구촌의 긍정적인 피드백 루프를 상쇄하기 위해 충분히 큰 규모의 추진력을 제공할 수 있음.
- ▶ 둘째, 연안 지역의 기후변화에 따른 인간과 생태계 건강 상태 영향 예측을 개선해야 하는데, 이는 연안 저수지들이 있는 콜레라 같은 질병과 싸우는 데 도움을 주고, 인간에 의해 점점 더 영향을 받고 있는 해안 환경에 대한 하수 등 인간의 영향을 어떻게 완화시킬 수 있는지 이해하는 데 도움이 될 것임.
- ▶ 생태계는 전례가 없는 속도로 변하고 있음. 인간 마이크로바이옴에서, 과도한 위생에서부터 불필요한 제약절개, 항생제, 식이섭유의 부족까지의 일련의 과정들은 우리가 수백만 년 동안 함께 진화해 온 내장 생태계를 파괴하고 있음.

## 05. IDEA소개#14



Global Microbiome in a Changing Planet

## Global Microbiome in a Changing Planet(Cont'd)

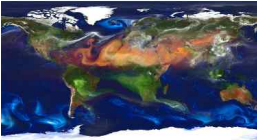
- ▶ 토양에서는 집중적인 농업과 높은 N 투입물과 염도가 이제 재생산된 생태계를 지탱했던 고대 토양세균을 제거하고 있음. 우리는 구름과 심해에서 무슨 일이 일어나고 있는지 거의 알지 못함.
- ▶ 너무 늦기 전에 나머지 마이크로바이옴 다양성에 대한 어떤 종류의 기초 조사를 만들 수 있는 마지막 기회일 수도 있음
- ▶ 미래의 생태계 복원 노력에 대한 씨앗을 제공하고 미래 변화를 평가하는 데 필요할 것
- ▶ 샘플링 능력과 최첨단 숫자 모델링의 기술적 진보는 우리가 이러한 과정을 전례 없는 공간적, 시간적 규모로 연구할 수 있게 해 줄 것이며, 변화를 예측하고 효과를 낼 수 있게 해줄 것이지만, 여전히 지구의 미생물 다양성, 상호작용, 역학을 완전히 이해하기 위해 더 많은 것을 할 필요가 있음.
- ▶ 분류학적 재고나 유전자 표현 데이터로부터 생태계 수준의 긴급 특성 또는 심지어 전체적인 영양 유동성을 예측하는 것은 여전히 불가능하며 우리는 아직 미생물 계층을 화학에 효과적으로 연결시킬 수 없음
- ▶ 천연물의 계층 채굴은 매우 제한적임. 대부분의 유형 변종은 아직 서열화되지 않았으며, 적당한 투자는 유효하게 출판된 미생물 분류법에 대한 과학적 지식의 합계를 유전학적으로 뒷받침한다면 생명의 나무 자체를 다시 그릴 수 있음
- ▶ 동시에, 우리의 해양과 기후 피드백, 그리고 이러한 과정에서 미생물의 역할을 이해해야 한다는 절박한 요구가 있고 기후 변화 효과는 이미 분명하게 가속화되고 있음
- ▶ 따라서 우리가 행성과 생태계 건강에 대한 미생물 규제와 특히 민감한 해안 지역에 미치는 영향을 더 빨리 이해할수록 부정적인 결과를 완화하기 위한 구체적인 조치를 더 빨리 취할 수 있음

### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 기술적 관점에서 미생물의 위치, 순환 패턴, 노출 경로 등을 보여주는 글로벌 지도를 만들 것이며 미생물 이동과 인간과 생태계 건강에 미치는 영향을 예측할 것임
- ▶ 미생물의 변형수준이 강수량에 미치는 영향을 학습해 기상예측과 수질 관리를 개선하고 대규모 실험실을 기반으로 한 해양대기권 시뮬레이터를 사용하여 환경건강을 개선할 수 있는 방법을 이해할 것
- ▶ 서로 다른 방법을 사용하여 연구 전반에 걸쳐 결과를 통합하고 마우스 모델, 인간, 환경 마이크로바이옴에 걸쳐 생태계 서비스를 번역하는 개선된 멀티스케일 모델링 및 머신러닝 접근법을 개발
- ▶ 과학적인 관점에서 우리는 수평적 유전자 전달의 패턴을 포함한 생명의 계통생성 트리를 구축하고, 마침내 모든 유기체와 관련된 완전한 계통생식에 대한 다윈의 비전을 실현해 나갈 것



## 05. IDEA소개#14



Global Microbiome in a Changing Planet

### Global Microbiome in a Changing Planet(Cont'd)

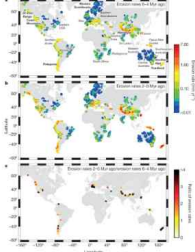
- ▶ 개별 유전자에서 생태계 수준의 서비스와 질병 저항성이나 민감성과 같은 새로운 특성에 이르기까지 체인의 많은 연결고리를 이해할 것이며 이 퍼즐의 핵심이 되는 모자란 부분에 미생물들을 채울 것임. 미생물들은 강수에서부터 폐동맥판 퇴적까지의 과정에 대해 우리에게 정보를 알려줄 것임
- ▶ 실용적인 관점에서 우리는 미지의 염기서열과 질량피크에 대해 추측하는 대신 우리 주변의 미생물, 화학세계를 이해할 것임
- ▶ 광범위한 건강상태와 질병상태, 그리고 상태를 서로 연관시킬 수 있는 능력을 가진 지표를 가질 것임
- ▶ 가장 중요한 것은 미생물 상태뿐만 아니라 우리가 어디에 있고 싶은지, 거기에 어떻게 도달할 수 있는지를 알려주는 '마이크로바이옴 GPS'를 개발할 수 있을 것임

#### ◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 미래는 이미 도래하였고 DNA 염기서열 분석과 계산의 기하급수적인 진보에 의해 움직이는 놀랍도록 빠른 속도로, 미생물이 지구와 모든 인간의 건강에 어떤 영향을 미치는지 이해하기 시작하고 있음.
- ▶ 미생물 생물이 우리의 전반적인 웰빙에 미치는 영향을 탐구하면서, 특정한 문제를 다루기 위해 독특하게 특화된 미생물들의 조합을 이용함으로써 질병의 진단, 예방, 치료(인간, 동물, 농작물 질병에서부터 행성 규모의 생태적 장애에 이르는 가장 넓은 의미에서)가 일어날 때 가까운 미래를 상상할 수 있음
- ▶ 수족관에 미생물을 뿌려 건강을 유지하고, 정원의 각 식물에 꽃을 피우고 열매를 맺는 것을 상상할 수 있음. 우리는 이것을 상상할 수 있을 뿐만 아니라, 오늘날 연못이나 수족관의 질소 사이클을 부팅할 수 있고, 식물 특성을 개선하기 위해 상업적인 제품들이 존재함. 그래서 우리는 또한 산호초에 기후변화와 해양산화와 싸우는 미생물을 제공하는 것을 상상하게 됨



## 05. IDEA소개#15



Globalization of Science Results with AI

## Globalization of Science Results with Artificial Intelligence (AI)

◆ Mihai Surdeanu [University of Arizona]

◆ #A.I.

### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

▶ 과학에서 중요한 과제는 제약이 많은 관찰 행동으로 얻은 데이터로부터 일반화하는 것임. 우리가 관찰하고 측정하는 프로세스가 얼마나 체계적으로 중요한가? AI가 이 질문에 답하는 데 도움이 될 수 있을까?

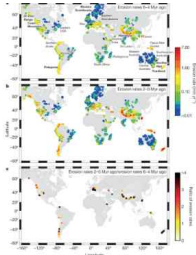
### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

▶ 이 큰 아이디어는 과학적 발견의 체계적인 분석을 위한 하이브리드 기계-인간 접근법을 제안함. 이 과제는 다음과 같은 몇 가지 중요한 연구 문제를 포함함.

1. 기계 판독 - 기계는 과학적 자료를 정확하고 규모에 맞게 읽을 수 있는 능력을 갖추어야 함. 몇 가지 구체적이고 제한된 사용 사례를 제외하고, 이는 예술의 현재 상태를 초과함. 또한, 기계는 신뢰도 점수, 즉, 이 발견을 얼마나 신뢰해야 하는가를 추출된 지식에 할당해야 함. 이러한 신뢰성 점수는 보고된 실험의 강도, 출처(출처, 저자)의 신뢰성, 위험회피 언어와 같은 발견의 신뢰성에 대한 언어적 힌트 등을 포함해야 함.
2. 기계 어셈블리 - 기계는 개별적인 발견을 일관된 지식으로 조합할 수 있어야 함. 예를 들어 암 연구에서 개별적인 생화학적 상호작용은 완전한 단백질 신호 경로로 조립되어야 함. 지오사이언스에서는 특정 주피오-임시 컨텍스트 내의 발견을 일관성 있는 지도로 조합해야 함. 이 조립 과정의 복잡성은 개별 발견들 간의 중복 검출이 비독점적 절차라는 사실에 의해 복잡해진다. 예를 들어, 생물리학 시험에서 동일한 단백질이 여러 개의 다른 이름을 갖는 경우가 많다거나 지구과학에서 위치명은 모호한 경우가 많은 것들임
3. 기계 추론 - 일단 개별적인 발견이 지식 지도에 모아지면, 기계는 기존의 사실로부터 새로운 지식을 유추할 수 있는 잠재력을 가져야 함. 예를 들어, 지구과학에서 기계는 전도와 관련된 매시즘이 플레어 업을 거치고 시간이 지남에 따라 부피적으로 소강상태를 보이는지 감지할 수 있어야 함. 그러한 플레어업 이벤트는 제한적이고 접근성이 높은 지역 및 지역 규모로 문서화되었으며 풍부한 광물 자원과 상관관계가 있는 경우가 많음. 기존의 관찰, 즉 난해한(무엇이 매시즘을 이끄는지를 설명하는 것)과 기회주의적인(우리 사회에 결정적인 금속을 발견하는 것) 모두 연구의 고전적인 영역을 넘어 확대될 수 있을까? 기계는 희토류 금속이나 다른 중요한 자원이 발견될 수 있는 다음 장소로 우리를 안내할 수 있음

05. IDEA소개#15

Globalization of Science Results with Artificial Intelligence (AI)(Cont'd)



Globalization of Science Results with AI

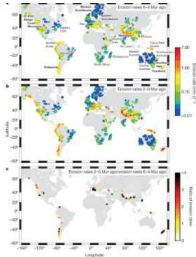
마찬가지로, 생물의학 영역에서도 기계는 개별 간행물에서 획득한 신호 경로로부터 질병에 대해 총체적으로 설명하고 치료법을 제안하도록 일반화해야 함.

4. 하이브리드 인간-기계 분석 - 마지막으로, 그러나 가장 중요한 것은 위의 모든 과정이 기계의 내재적 한계를 설명하기 위해 기계와 인간 사이의 하이브리드 이니셔티브가 되어야 한다는 것임. 예를 들어, 기계 판독은 인간의 품질 관리를 받아야 하는 불완전한 프로세스로 남을 것임. 텍스트/이미지 분류와 같은 단순한 작업에 대해 기계학습에서 휴먼 인 더 루프 접근법을 조사했지만, 조립과 추론 등 복잡한 작업에 대한 '휴먼 인 더 루프' 방법은 예술의 상태를 벗어난 채로 남아 있음. 또한 인간과 기계의 상호작용을 가능하게 하기 위해서는 위의 세 단계에 배치된 기계학습 알고리즘이 모두 인간이 해석할 수 있어야 함. 즉, 그들은 자신의 결정을 설명해야 하며, 인간으로부터 시정 피드백을 받고 통합할 수 있어야 함.

◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 발견의 실제 영향을 평가하기 위해서는 과학 문헌에 대한 객관적이고 세계적인 검토가 필요하며 과학 출판물의 양을 고려할 때, 과학자들은 이용 가능한 모든 문헌을 따라갈 수 없기 때문에 이용 가능한 모든 자료와 관찰을 완전히 볼 수 없음
- ▶ 자연과학의 초석 이론 중 하나인 다윈의 진화론은 지질학적 과거에서 동식물의 진화가 일시적으로 결정되고 새로운 종의 발달로 입증된 불가역적인 멸종을 거치게 된다고 말함.
- ▶ 그 이론은 셀 수 없이 많은 관찰에 의해 검증되어 왔고 오늘날 그 때문에 그러나 자연과학에서 잠재적으로 획기적인 가설은 대부분 관찰의 복잡성 때문에 세계적인 규모로 해결되기가 어렵다.
- ▶ 마찬가지로, 암 연구에서 보고된 발견의 잠재적 일반화를 이해하기 위해 여러 맥락에서 측정된 관찰(다양한 종, 다른 세포 유형 등)을 통합할 필요가 있음. 비록 필요한 데이터가 많은 경우에 공개적으로 이용 가능하지만, 이 모든 정보를 처리하기 위한 대역폭은 인간의 능력을 초과함.
- ▶ 생물의학 출판물들의 보고인 PubMed는 현재 연간 100만 건 이상의 출판물을 인덱싱하고 있으며 Scopus는 지구과학에 매년 10만 건이 조금 넘는 출판물을 인덱싱하고 있음. 귀중한 정보가 숨겨져 있고 다양한 보충 파일들이 있는데, 이 파일들은 보통 독자들이 검토하지 않음

## 05. IDEA소개#15



Globalization of Science Results with AI

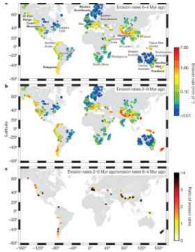
## Globalization of Science Results with Artificial Intelligence (AI)(Cont'd)

- ▶ 이러한 현실은 과학자들이 특정 현상의 세계적 영향에 대한 객관적인 평가를 하는 것을 막게 됨
- ▶ 이것은 새로운 문제가 아니며 이미 1986년에 D. Swanson은 이 문제를 "발견되지 않은 공공 지식"이라고 명명했음. 물론 이 문제는 과학 출판물이 폭발적으로 증가하면서 그 이후 더욱 관련이 깊어짐
- ▶ 이 매력적이고 큰 그림의 아이디어는 시간과 침식률에 대한 대응물에 근거한 가설임. 이것이 세계적인 현상이라고 얼마나 확신하며, 앞으로의 기후변화에 대해 무엇을 배울 수 있을까? 대량의 데이터(BIG DATA) 뿐만 아니라 이들의 해석과 앞으로 나아가야 할 그럴듯한 가설의 객관적 배열까지 종합한 문헌 평가가 필요함
- ▶ 마찬가지로 암 연구에서 이전 연구에서는 동일한 유형의 암에 대한 상호 배타적 유전자 돌연변이가 동일한 다운스트림 효과를 갖는 중복 신호 경로에 의해 설명된다는 것을 입증됨(Babur et al., 2015).
- ▶ 최근의 결과는 기계 판독이 문헌 검토를 몇 가지 정도 확장함으로써 이 과정을 상당히 개선할 수 있는 잠재력을 가지고 있음을 입증하였음 (Valenzuela-Escarcega, et al., 2018).

### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 우리는 단순한 데이터 수집과 개별 해석에서 벗어나 큰 데이터베이스를 수집하고 과학 데이터의 글로벌 범위와 중요성을 평가하는 다른 방법을 제공할 수 있을 것임
- ▶ 거대한 데이터베이스 이니셔티브가 기대만큼 성공적이지 못한 한 가지 이유는 개인이 데이터베이스에 물리적으로 데이터를 입력해야 하기 때문(시간 소모)이며, 데이터가 해석하기 쉽지 않은 경우가 많기 때문임
- ▶ 또 다른 이유는 신중한 해석 없이 단순히 데이터를 수집하는 것이 종종 잘못된 해석을 낳기 때문임. 이 아이디어는 데이터 및 해석을 통합 지식으로 신속하게 컴파일할 수 있는 새로운 프로그램을 만들 것임
- ▶ 이는 위에서 논의한 바와 같이 질병의 이해, 판 경계에서의 지구촌 대형 화산 사건의 반복성 평가 또는 기후변화 예측에서 광범위한 사회적 영향을 미칠 것임

## 05. IDEA소개#15



Globalization of Science Results  
with AI

## Globalization of Science Results with Artificial Intelligence (AI)(Cont'd)

### ◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 우리는 다음과 같은 이유로 지금이 이 큰 아이디어에 투자할 적기라고 믿는다.
  1. 발표되는 과학 지식의 양이 인간 분석 능력을 훨씬 초과함
  2. 인공지능(AI), 특히 자연언어처리는 딥러닝의 등장으로 지난 10년간 엄청난 진보를 관찰했음
- ▶ 우리는 과학 정보를 수집하고 이해하기 위한 AI의 적용은 기회일 뿐만 아니라 흥미진진한 길이 될 것
- ▶ 생물학에 AI를 이용하려는 새로운 이니셔티브가 유망하며 이미 여러 가지 다른 암 유형에 대한 참신한 이해(Valenzuela-Escarcega et al., 2018, inter alia)를 낳기도 함
- ▶ 지구과학에 대한 AI의 적용은 새로운 것이며 관련 과학 문헌을 평가하고 이해할 수 있는 잠재적으로 변화할 수 있는 방법이 될 것임

## 05. IDEA소개#16



Harnessing the Human Diversity  
of Mind

LEARN MORE

## ❖ Harnessing the Human Diversity of Mind

- ◆ Keivan Stassun, David Caudel, Tim Vogus, Claire Barnett, and Tiffany Woynaroski [Vanderbilt University]
- ◆ #A.I. #Neural Network

### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 다중 신경망으로 사고방식을 통합하여 인공지능을 포함한 첨단 컴퓨팅 접근법의 다음 도약을 가능하게 함

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 반더빌트 대학의 컴퓨터 과학자, 신경과학자, 데이터 과학자 팀은 래브의 프로그레시브 매트릭스와 같은 유체 지능 테스트에서 기하학적 패턴을 "관찰"하는 인공지능(AI) 알고리즘을 개발중임
- ▶ 이러한 AI 알고리즘은 현재 17세의 인간 수준으로 작동하고 있으며, 자폐증 스펙트럼의 특정 사람들이 세상을 보는 방법에 대한 연구 덕분에 점점 더 똑똑해지고 있음
- ▶ 템플 그란딘의 글에서 영감을 받아 그란딘이 복잡한 농기구 설계에 사용했던 이미지 기반의 사고방식을 모방하는 코드를 연구하고 있음
- ▶ 그 결과는 AI의 한 형태로, 연구자들이 인간의 인식 모델을 연구하여 그것이 어떻게 문제를 해결하는지 알아낸 다음 그것을 수정하여 더 나은 성과를 낼 수 있게 함
- ▶ 대부분의 인간은 많은 다른 것들의 조합으로 생각함. 우리는 말로, 그림으로, 냄새로, 느낌으로 생각함. 우리가 자폐증을 가진 사람들에게서 볼 수 있는 것은 그들이 시각적인 측면에 있다는 것임. 템플 그란딘은 어떻게 그녀가 정말 강하게 생각하는지에 대해 이미지로 이야기하며, 어떤 종류의 언어 기반의 사고는 그녀에게 조금 더 어려움
- ▶ 우리의 컴퓨터 과학자들과 신경심리학자들 팀은 그 사고 체계를 코드로 바꾸기 위해 노력하고 있음. 컴퓨터는 일반적으로 일련의 패턴을 시각적으로 보는 인간의 피실험자를 포함하는 다양한 종류의 인간 인지 테스트(레이브의 프로그레시브 매트릭스 등)를 해결하도록 프로그램되어 있음. 새로운 AI 접근법은 기존의 AI 접근 방식처럼 상징적이거나 수학적이지가 아닌 '그림'과 그림 조작만으로 작동함.
- ▶ 다루어야 할 주요 질문은 다음과 같음
  - 인간이 문제에 대해 생각하고 접근하는 방법의 다양성은 무엇인가?
  - 문제 해결, 추론, 관념화 및 발견에 대한 접근방식의 차이는 무엇인가?
  - 이러한 차이점이 AI의 새로운 설계와 기타 고급 컴퓨팅 접근 방식에 어떻게 영향을 미칠 수 있는가?
  - 이러한 차이를 어떻게 이해하고, 이를 기반으로 한 계산 도구의 개발, 모든 사람의 삶의 질을 향상 시킬 것인가?

05. IDEA소개#16



Harnessing the Human Diversity of Mind

LEARN MORE

❖ Harnessing the Human Diversity of Mind(Cont'd)

◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 인공지능과 같은 첨단 컴퓨팅 접근법은 우리가 그것들이 기반이 되는 지능의 형태를 제한하는 한 궁극적으로 가능한 과학적 발견, 혁신 및 사회적 결과에서 제한될 것임.
- ▶ 우리는 인간의 정신의 인지적 다양성이 발견과 혁신에 필수적일 수 있다는 것을 알고 있음. 그렇지 않으면 상상할 수도 없는 놀라운 방법으로 말임. 컴퓨터 인지 다양성을 이용하는 학습이 우리가 아직 상상할 수 없는 과학적 발견, 혁신, 사회적 결과로 이어질 것
- ▶ AI는 전형적이지 않은 지능을 관찰함으로써 개선될 수 있음. 그것은 인간 지능의 다양성으로부터 끌어낼 수 있고, 그것을 더욱 창조적이고 효과적으로 만들 수 있음.
- ▶ 동시에, 연구자들은 인공지능을 사용하여 그렇지 않으면 접근하기 어려운 인지모드의 혜택을 받을 수 있는 도구를 개발할 수 있을 뿐만 아니라, 신경다양성자에 대한 보다 효과적인 지원을 개발할 수 있음. 마지막으로, 우리의 계산 방법에서 신경 다양성의 힘을 인정함으로써, 우리는 신경 다양성에 대한 (적자에 기반한) 강점에 기반한 접근방식의 사회적 편익을 더 일반적으로 발전시킬 것으로 예상됨

◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 이 분야의 성공에는
  - 인공지능과 같은 고급 컴퓨팅 접근법에 사용되는 인지 모델의 실질적으로 확대된 배열
  - 다양한 유형의 문제에 가장 적합한 인지 모델 유형에 대한 이해 확대
  - 일반적으로 데이터 혁명을 활용할 수 있는 연구자 및 사회의 능력 향상
  - 신경다양성 및 신경다양성에 영감을 받은 과학 및 공학 접근법에 대한 인식 증대 및 참여 확대
  - 이러한 접근방식으로 인한 발견 및 혁신 결과 증가

◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 인공지능과 같은 진보된 컴퓨터 접근방식은 사회와 우리가 살고 일하고 배우는 방법의 훨씬 더 현재적인 특징이 되고 있음. 동시에 신경다양성이 반드시 또는 결손의 문제일 뿐 아니라 차이점과 독특한 강점과 역량을 나타낼 수 있다는 인식이 급속히 확산되고 있음
- ▶ 오늘날 많은 분야에서, 특히 차이와 다양성의 힘을 활용하는 접근법을 포함하여, 기술과 인간의 융합에서 사회에 대한 최대의 발견과 혁신과 이득이 발견될 것임

## 05. IDEA소개#17



Human vs AI - Gamers Helping Scientists

## ❖ Human vs AI – Gamers Helping Scientists

- ◆ Konrad Gomez-Haibach [University of Nebraska Online High School]
- ◆ #Gaming #Crowdsourcing #Collective Intelligence

### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ NSF와 함께 하는 인기 있는 오픈 월드 게임을 통해 게이머들은 과학을 배우면서 일반적으로 기계 학습이나 AI를 사용하는 시뮬레이션에서 과학자들을 인간의 지능으로 돕는다.

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 과학자들의 문제 해결을 돕기 위해 게임을 사용할 수 있으며 실제로 덴마크의 한 단체는 게이머들이 대략적인 파장 기능을 직관하는 "퀀텀 무브즈"라는 게임으로 이것을 해냄
- ▶ 이 연구는 알고리즘과 결합한 인간이 각각보다 훨씬 더 강력하다는 것을 증명함
- ▶ NSF는 복잡한 문제를 해결하기 위한 기계 학습을 강조함.
- ▶ 알고리즘의 대안은 게이머나 휴먼 인텔리전스(HI)의 민첩한 마인드를 이용하는 것임.
- ▶ NSF가 후원하는 오픈 월드 게임은 NSF 하이라이트에 기반한 도전을 제공하는 게임으로 컴퓨터-휴먼 혼합 시스템에서 게이머를 HI로 사용할 수 있음.
- ▶ 도전은 또한 게이머들에게 간단한 시스템으로 과학을 가르칠 수 있음. 이 도전들은 게이머들에게 그들이 이용할 수 있는 무수한 과학을 보여줄 것임. 게이머들은 게임을 광고하고 NSF가 후원하는 연구를 통해 소셜 미디어에 게시할 수 있는 배지를 얻음
- ▶ NSF가 후원하는 오픈월드 게임을 통해, 과학자들은 게이머들이 과학을 배우도록 도울 것이고 게이머들은 그들의 연구가 자발적인 HI 역할을 하도록 도울 것임. NSF가 게이머들을 동시에 가르치고 HI로 사용하는 오픈 월드 게임을 만들기 전에, 우리는 몇 가지 질문을 해결해야 함
- ▶ 과학자들이 그들의 전문지식을 공유하고 게이머들을 동시에 HI로 사용할 수 있도록 모듈을 기여하는 동시에, 넓은 청중에게 다가갈 수 있는 최고의 소프트웨어 패러다임은 무엇인가?



## 05. IDEA소개#17



Human vs AI - Gamers Helping Scientists

### ❖ Human vs AI - Gamers Helping Scientists(Cont'd)

- ▶ 대부분의 과학자들은 게이머들이 기대하는 그래픽 없이 FORTRAN, C/C+ 또는 Python에서 코딩을 수행 함.
- ▶ 게다가, 오픈 월드 게임에서 게이머들은 자유롭게 탐험하고 시뮬레이션된 세계와 상호작용할 수 있는 능력을 갖기를 기대함. 과학자들이 그들의 NSF 하이라이트 아이디어와 HI 프로젝트를 그들의 모국어로, 그러나 게이머 품질 그래픽으로 기여할 수 있는 플랫폼을 개발할 수 있는가?
- ▶ 게이머들은 새로운 도전과 그에 상응하는 보상을 추구함. 게이머들의 기대에 부응하는 도전과 보상이 이뤄질 수 있을까. 개인 또는 심리학적으로 또는 교육적 관점에서 게이머들을 유인하는 가장 좋은 방법은 무엇인가? 게임 내 및 소셜 미디어에 대한 인식 제공으로 충분한가? 프로그래머들은 더 큰 도전을 받고 있는가, 아니면 더 나은 장비나 게임 내 돈과 같은 새로운 오락 기회를 받고 있는가? 이 오픈월드 게임은 가상세계와 현실세계 사이의 관문을 제공함.
- ▶ 모듈에 대한 세 가지 예는 다음과 같다.
- ▶ NSF의 모든 프로그램 영역도 모듈에 기여할 수 있음.
- ▶ 위의 질문에서, 통화(Currency)는 게이머들이 그들만의 경제 시스템을 만들 수 있도록 할 수 있음.
- ▶ 환경은 경제 시스템의 발전을 연구하는 데 이용될 수 있으며 재료 화학 모듈은 게이머들에게 과학에 대해 가르칠 뿐만 아니라 새로운 재료를 HI로 추론하고 가설을 세우기 위해 게이머들을 이용할 것임.
- ▶ 파단 모듈의 물리학을 구현하는 모듈은 게이머들이 새롭고 더 나은 재료를 사용하여 기반을 구축하고 효과적인 요새화를 구축하기 위해 재료를 어떻게 어디에 배치할 것인지에 대해 생각하도록 권장할 것임.
- ▶ 게이머들은 과학을 이해하고 직업으로 삼을 준비를 더 잘 하게 될 것임
- ▶ 점점 더 많은 NSF 프로젝트들이 머신러닝을 사용하고 있으며 이 HI/알고리즘 하이브리드를 효과적으로 사용하는 방법을 조사하는 것은 향후 연구의 성공에 매우 중요할 것임.
- ▶ 따라서 새로운 알고리즘과 컴퓨터 패러다임은 개발이 필요할 것임
- ▶ 게이머 만족도와 소셜 미디어의 배지 광고를 보장하는 것은 더 많은 플레이어를 유치하여 HI 컴퓨팅 파워를 높이는데 중요할 것임. 이 새로운 도구는 "Ender's Game"에서 영감을 받아 게이머들을 연구에 참여시키는 방식일 뿐만 아니라 기계와 HI의 상호작용에 있어서 완전히 새로운 연구 영역과 자원을 제공함



## 05. IDEA소개#17



Human vs AI - Gamers Helping Scientists

## ■ Human vs AI - Gamers Helping Scientists(Cont'd)

### ◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 게임 플랫폼의 핵심 목표는 시민과학이 과학자들의 NSF에 대한 기여와 그 알고리즘을 보완하는 과학 퍼즐을 이전보다 더 효율적이고 신속하게 해결할 수 있는 환경을 조성하는 것
- ▶ 시민 과학자들은 시뮬레이션과 팀워크를 통해 안내된 환경에서 프로젝트에 데이터, 아이디어 및 솔루션을 제공할 수 있음. 이 게임 플랫폼에 미국 시민들 사이의 광범위한 참여는 과학에 대한 더 많은 정보를 얻고 과학적인 개념과 과정에 더 많이 노출되는 결과를 가져올 것임. 청소년과 과학계에 대한 구체적인 사회적 성과가 기대된다.
- ▶ 적어도 게이머 커뮤니티의 ¼은 18세 이하로 진로 선택을 위해 고민해야 할 기간에 해당함
- ▶ 또 다른 1/3은 18과 35사이에 있으며 이들은 진로선택에 적극 나서고 있는 사람들임. 이러한 젊은이들과 어른들이 그들의 문제 해결 능력을 개선하여 즐거운 환경에 더 많은 과학 과정을 포함하도록 돕는 것은 과학에 대한 더 많은 정보를 제공하고 NSF 하이라이트에 초점을 맞추어 광범위한 과학 영역의 노출 증가로 이어질 것임. 더 넓은 노출은 그들이 직업을 선택하거나 시민들에게 정보를 제공받도록 교육하는 데 도움이 될 것임.
- ▶ 모든 게이머들은 알고리즘을 보완하기 위해 HI를 사용할 수 있는 영역에서 과학자들을 도울 수 있음. HI는 복잡하고 모호한 데이터에서 패턴을 인식하고 대략적으로 예측하는 능력이 특별함
- ▶ 이 자원은 특히 AI와 협력할 때 매우 유용할 것임. 왜냐하면 많은 알고리즘은 객관적으로 설계되고 모든 데이터가 잠재적으로 관련이 있다고 간주하기 때문임
- ▶ 안내되지 않은 AI는 계산적으로 비용이 많이 들고 많은 비생산적인 해결책의 탐구를 초래할 수 있음. 불안전하고 빠른 답변은 알고리즘이 솔루션을 정교하게 만드는 데 효율적으로 작동할 수 있도록 하기 위해 사용될 수 있음
- ▶ 게이머들은 심리학자, 사회학자, 경제학자들에게 그룹 역학, 팀워크, 가치 시스템에 대한 필수적인 데이터를 제공할 수 있음. 심리학자들은 고도로 구조화된 환경의 교육생이나 "프로" 수준에서 기여자로서 복잡한 문제에 대해 연구하는 헌신적인 대상 그룹의 개별 행동 패턴을 탐구하고 개인의 긍정적인 적응적 행동을 이끌어내는 요인을 식별할 수 있음
- ▶ 사회학자들은 팀 조합과 보상이 집단의 생산성과 자기조직화에 어떻게 영향을 미치는지 설계하고 연구할 수 있음.
- ▶ 경제학자들은 도전, 기여, 보상에서 파생된 인위적인 경제를 연구할 수 있음. 예를 들어, 합성 경제는 가치 향상으로서 통화의 추적가능성의 중요성을 결정하는 것과 같이 설계되고 시험될 수 있음. 위에 제시된 포인트는 NSF 보조금 보유자가 플랫폼을 어떻게 사용할 수 있는지에 대한 샘플일 뿐임. 이 플랫폼을 사용하면 HI와 알고리즘 상호작용에 의한 연구 품질이 향상될 것임. 장기적으로 볼 때, 그 플랫폼은 더 많은 더 나은 과학자들을 만들어 낼 것임.

## 05. IDEA소개#17



Human vs AI - Gamers Helping Scientists

### ■ Human vs AI - Gamers Helping Scientists(Cont'd)

#### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 초기 성공은 다음을 의미함.
  - 1) 게이머들 사이에서 인기있는 게임
  - 2) 과학자들은 과학적인 문제를 해결하기 위해 HI와 알고리즘을 사용하기 시작함
- ▶ 초기의 성공은 게이머들이 더 많은 과학적인 도전에 시간을 보내게 할 것이고, 이러한 도전의 해결과 단어 확산에 더 능숙해질 것임. 게이머들은 더 다양한 과학을 경험하고 그들에게 호기심을 갖게 될 것임. 게이머들은 팀으로 일하면서 서로를 돕기 시작하는데, 이것은 그들에게 중요한 삶의 기술인 팀 구성 기술을 가르치게 될 것임
- ▶ 게다가, 이것은 게임에 가져올 수 있는 편견을 제한하는 성별과 인종 차별 없는 플랫폼이 될 것임. 과학자들은 복잡한 문제를 해결하기 위해 그들의 게임 모듈에서 HI를 사용할 수 있을 것이고, 그리고 알고리즘을 사용하여 그 해답을 정교하게 만들 수 있을 것임.
- ▶ 이 조합은 단지 알고리즘을 사용하는 것보다 더 신뢰할 수 있는 해답을 제공함. 게다가, 사회과학자들과 심리학자들은 이 게임을 경제와 팀 형성을 연구할 수 있는 실험실로 사용할 수 있을 것임.
- ▶ 장기적인 성공은 더 많은 학생들이 과학을 직업으로 여길 것이고, 과학의 많은 분야와 특히 NSF에서 인기있는 주제에 대해 더 잘 알게 될 것이라는 것을 의미할 것임
- ▶ 만약 미국의 모든 게이머의 1%만 참여한다면 100만 명의 새로운 과학 참가자를 모집할 수 있을 것임

#### ◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 머신러닝(machine learning)에 대한 NSF 이니셔티브의 수가 증가함에 따라 현재 여러 종류의 과학에 유용성이 부각되고 있음.
- ▶ 기계 학습 알고리즘은 HI/알고리즘 기계에 통합될 때 더 효율적일 수 있음. 게이머들의 직관을 이용해 양자역학 문제에 대한 대략적인 해결책을 얻어낸 덴마크 그룹의 성공은 지금이 적기임을 이미 증명하였음
- ▶ 미국은 더 많은 과학자를 필요로 하고 더 많은 사람들이 과학자가 될 수 있도록 하는 최선의 방법은 과학이 그들에게 실행 가능하고 재미있는 직업 선택이라는 것을 젊은 세대들에게 보여주는 것임.
- ▶ 미국의 거의 70%가 비디오 게임을 하는 사람들로 이루어져 있고 이 숫자는 증가하고 있음. 불과 10년 전만 해도 게이머 인구는 미국의 27%에 불과했음. 게이머들의 연령 분포는 대학 전과 대학 중 진로 선택권을 고민하는 청소년들에게 안성맞춤임

## 05. IDEA소개#18



Imagine a Life with Clean Oceans

## Imagine a Life with Clean Oceans

- ◆ Abhishek Alagaratnam, Shakifur Bhuiyan, and Ahryun Kim [St. John's University]
- ◆ #Ocean #Ecosystem #Environment

### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 바다의 상태, 소음, 열, 화학적 오염, 그리고 그것들이 지구상의 생명에 필수적이라는 것을 감안할 때, 우리는 어떻게 해양의 자원을 보존하고, 그 피해를 되돌리고, 활용해야 하는가?

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 바다는 우리 행성의 70% 이상을 차지하고 있고, 해양 환경은 고통을 받고 있으며, 우리는 해양환경의 현재 상태에 대한 책임이 있음
- ▶ 해양이 육지와 바다의 생명체를 부양하기 때문에 바다를 구하기 위해 힘을 모아야 함.
- ▶ 어떻게 하면 바다를 청소하고 바다가 제공하는 자원을 지속해서 개발할 수 있을까?
- ▶ 해양은 쓰레기 더미를 형성하는 플라스틱, 바다에 버려진 플라스틱 마이크로비드, 물을 오염시키는 기름 유출, 비료 유출, 이산화탄소 산화의 영향을 받아왔음
- ▶ 해양의 플라스틱 오염은 약 27만 톤이며 약 5조 2천 5백억 개의 플라스틱 조각으로 이루어져 있으며 더 큰 플라스틱 조각이 모든 물속에 존재하는 것으로 밝혀짐
- ▶ 해류는 플라스틱 쓰레기를 한 지역에서 다른 지역으로 옮겨다니며 거대한 쓰레기 패치를 만들어내는데, 이것은 바다에 있는 플라스틱 파편의 저장소가 됨. 플라스틱은 동물들을 얽어매고 그들의 서식지를 방해함으로써 동물들을 더욱 위험에 빠뜨리고 있음
- ▶ 화장품이나 개인 관리 용품을 만들기 위해 제조되는 마이크로 비드는 폐수로 들어가 바다로 배출되어 마이크로 비드는 보통 폴리에틸렌, 폴리프로필렌 또는 폴리스티렌으로 구성되어 있으며 해양 생물에 의해 섭취되어 바다 동물들을 죽이게 됨
- ▶ 석유 오염은 탄화수소를 바다로 방출하는 인간의 활동에서 발생함. 물에 남아 있는 잔류물은 성장을 줄이고 간을 넓히고 심장과 호흡수를 변화시키며 지느러미를 부식시키고 번식을 저해함으로써 해양 생태계에 부정적인 영향을 미침
- ▶ 하수, 도시 토지 이용, 농업에서 유출된 물이 소금물 구역으로 유입되면 유출된 영양소의 과잉이 녹조를 일으킬 수 있음

## 05. IDEA소개#18



Imagine a Life with Clean Oceans

### Imagine a Life with Clean Oceans(Cont'd)

- ▶ 데드 존이 생성되어 그 특정 지역에 생명체가 존재하지 않게 되는데 비료와 함께 조류가 건잡을 수 없이 자라고, 그 지역의 모든 산소를 사용하고, 죽어서 바다 밑바닥으로 가라앉게 됨
- ▶ 일단 모든 산소가 사라지면, 물은 죽은 지대가 되며 해양산화가 진행됨. 이는 이산화탄소가 탄산수를 형성하는 물에 흡수되어 바다의 pH를 감소시켜 탄산염 이온 농도와 탄산칼슘 광물화에 영향을 줄 때 발생함
- ▶ 탄산 이온과 칼슘 미네랄은 해양 생물, 특히 조개류와 산호초에서 필수적임. 화석연료를 태워서 대기 중의 이산화탄소가 증가했고, 그 과잉량의 일부는 바다에 흡수되고 있음
- ▶ 기후 변화는 해수면이 상승하고, 산호초가 백화하며, 허리케인이 더 강해지기 때문에 바다에 악영향을 미침
- ▶ EPA에 따르면, 해수면 온도가 상승하고 있으며 바다는 1955년 이후로 따뜻해졌고 앞으로도 계속 증가할 것임.
- ▶ 기후변화로 빙산이 녹고 해수면이 상승하며 바닷물의 짠맛이 줄어들게 됨
- ▶ 바닷물의 온도가 높을수록 허리케인이 강해지고 바다에서 나온 수증기가 응축되어 물방울이 되면서 에너지가 방출되어 폭풍을 부채질함
- ▶ 게다가 수온 상승으로 산호초는 그 안에 사는 해조류를 방출하여 산호를 하얗게 만들게 되는데, 이 표백은 산호를 죽임
- ▶ 인간이 만들어낸 소음 공해는 해양 생물에도 영향을 미치고 있으며 수중 소음은 육지보다 더 멀리 이동하며 해양 생물은 소리에 의존하기 때문에 소음 공해는 그들을 방해함. 소음 공해는 해양 생물 귀의 출혈과 손상을 유발하고, 배아 단계에서 민감성을 증가시키며, 출생 시 사망률을 증가시키며, 성장하는 종의 발전에 영향을 미치게 됨
- ▶ 핵심 연구 질문은 1) 소음, 열, 화학적 오염을 어떻게 줄일 수 있을까? 그리고 2) 해양의 자원을 어떻게 지속해서 사용할 수 있을까?

#### ◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 해양 탐사는 새로운 종에서 의약품, 자원까지 많은 발견으로 이어질 것임. 바다는 많은 종류의 유기체의 서식지일 뿐만 아니라, 지구가 생명체가 살 수 있도록 해주는 몇 가지 기능을 수행함.
- ▶ 바다는 날씨 패턴을 유도하고, 온도를 조절하며, 공기를 깨끗하게 하며 바다는 지구의 거의 모든 자연 수로가 흐르는 최종 종착점임.
- ▶ 즉, 바다는 모든 형태의 오염에 영향을 받는다는 것으로 이러한 오염물질은 선박에서 발생하는 소음, 기후변화와 냉각발전소에서 발생하는 열, 기름 유출로 인한 화학물질, 제약폐기물, 플라스틱, 비료의 형태로 발생함

## 05. IDEA소개#18



Imagine a Life with Clean  
Oceans

## Imagine a Life with Clean Oceans(Cont'd)

- ▶ 만약 우리의 대양 학대 행위가 이런 식으로 계속된다면, 그 영향은 파괴적일 것이며 바다를 청소하는 새로운 수단이 개발되어야만 함
- ▶ 수년간 과학자들은 우리 바다의 생태계 구조가 오랫동안 안정되어 왔다고 결론지었으나 우리 환경 내부의 급격한 변화는 이러한 안정성에 큰 영향을 미치고 있음
- ▶ 우리 바다의 조건들이 변함에 따라, 수백만 마리의 동물들과 그것에 의존하는 사람들의 삶도 변하게 될 것임. 매일의 필요를 바다에 의존하는 사람들의 전체 인구는 다른 형태의 생존에 의지해야 할 것임
- ▶ 가까운 미래에 바다가 어떻게 보일지 예측하는 것에는 기온 상승, 산성화 증가, 그리고 고갈된 산소 농도가 포함된다. 이러한 변화는 불가피해 보일지 모르지만, 이러한 변화가 발생하는 속도를 줄이려는 노력은 우리 바다 안에 안정을 만들어내는데 도움을 줄 수 있고 심지어 많은 피해를 되돌릴 수도 있음
- ▶ 깨끗한 해양의 사상이 이미지의 형태로만 보존될 것이 아니라 현실이 될 수 있도록 지금 우리 바다의 질을 보존하기 위한 조치를 취해야 함. 우리가 직면하고 있는 것과 같은 기념비적인 문제를 해결하는 첫 번째 단계는 그것에 기여하는 요소들을 이해하는 것임
- ▶ 우리는 깨끗한 바다가 있는 세상이 어떨지 상상해야 함. 그렇게 함으로써 우리는 이러한 많은 문제의 근원을 이해할 수 있을 것임
- ▶ 일반 대중과 미래 세대에게 해양 건강에 대해 교육하는 것은 우리가 해결책에 한 걸음 더 다가갈 수 있게 해줄 것임. 우리의 행동이 해양 생물에 부정적인 영향을 미치는 방법에 대한 인식 수준을 포함시킴으로써, 사람들은 우리의 해양 생태계 내에서 긍정적인 변화를 약속하는 그들의 습관과 생활방식을 바꾸는 경향이 생길 것임.
- ▶ 우리 대양의 풍부한 자원은 광물, 양식, 의약품, 에너지로부터 지속가능하게 개발될 수 있음

### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 우리는 육지에서 자원을 얻지만, 바다는 그에 상응하는 양을 저장함. 식량뿐 아니라 석유, 천연가스, 광물 등이 바다 깊은 곳에 묻혀 있음
- ▶ 화산이 폭발하고 지진이 일어날 때 육지에서 일어나는 것처럼 지구에서도 다양한 광물이 흘러나오며 광물에는 철, 구리, 망간 등 육지에서 쉽게 볼 수 있는 광물과 공급이 부족한 금, 니켈, 코발트 등이 포함됨
- ▶ 게다가, 우리는 조류, 조수, 바람을 이용하여 바다에서 무한한 에너지를 생산할 수 있음

## 05. IDEA소개#18



Imagine a Life with Clean Oceans

### Imagine a Life with Clean Oceans(Cont'd)

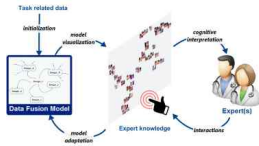
- ▶ 자원의 창고로서의 바다의 가치는 크며 우리가 바다에서 얻을 수 있는 이익은 막대함
- ▶ 바다를 살리는 것에 투자함으로써, 우리는 무엇이 우리에게 이용 가능한지를 더 잘 계량화하고 바다를 더 잘 이용할 수 있을 것임
- ▶ 또한 우리가 해양에 대해 야기시킨 문제들을 이해하는 데 주의를 기울이고 그것들을 되돌릴 계획을 세워야 함. 환경에 미치는 영향이 적은 바다의 장점을 활용하는 기법의 개발이 필요할 것임

#### ◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 해양 오염은 심각한 문제이며 우리는 pH나 온도의 변화로 고통 받는 해양 유기체, 바다에 영향을 미치는 미세플라스틱과 독성 화학물질, 그리고 그것이 인간의 건강에 미치는 영향에 대해 늘 듣고 있음
- ▶ 우리는 바다가 무한히 넓고 우리의 영향은 작다고 생각하는 경향이 있지만, 오염의 비율이 바다가 처리할 수 있는 비율을 초과할 때, 바다는 결국 스스로 청소할 수 있는 능력을 잃게 될 것임
- ▶ 플라스틱, 마이크로 비드, 기름 유출, 비료 유출, 산성화, 열과 소음 공해는 현재 바다에 영향을 미치고 있어 우리는 생태계의 피해가 돌이킬 수 없는 지경에 이르렀음
- ▶ 지금은 바다를 둘러싼 이슈에 투자할 적기이며 지금 우리가 바다에서 조사해야 할 또 다른 이유는 바다에서 천연자원을 확보하기 위한 경쟁이 시작되었기 때문임



## 05. IDEA소개#19



Integrated Human-Machine Intelligence

## Integrated Human-Machine Intelligence

◆ Qi Yu, Pengcheng Shi, Linwei Wang, Rui Li, and Anne Haake  
[Rochester Institute of Technology]

◆ #A.I. #Machine Intelligence

### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

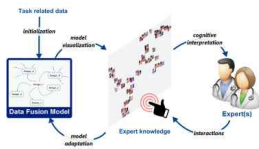
▶ 인간과 기계 간 지능을 원활하게 통합하고 새로운 지식과 데이터가 지속적으로 추가되면서 통합 지능이 역동적으로 진화할 수 있도록 할 수 있을까?

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 인간 지식 기반 인지 처리와 관련된 요소를 탐구하고 이를 기계 지능과 융합시켜야 하는 필요성은 대규모 복합 데이터의 연산 처리를 통해 힘을 얻었으며, 의학, 과학, 사회 심리학, 보안 인텔리전스 등과 같은 광범위한 전문 영역에 의해 인정되어 왔음
- ▶ 머신러닝(machine learning)과 인공지능(AI)의 현저한 진보에도 불구하고 컴퓨팅/통계학적 모델만으로는 인간이 계속해서 문제 해결과 의사 결정에 필수적인 역할을 해야 하는 매우 복잡한 시나리오에서 핵심 통찰력을 포착하기에 여전히 부족함
- ▶ 최근의 연구는 이전 영역 지식이 딥러닝과 다른 고급 통계 학습 방법을 포함하여 기계 학습 알고리즘의 성능을 잠재적으로 향상시킬 수 있는 중요한 학습 단서를 제공한다는 것을 보여줌
- ▶ 그 결과 인간으로부터 얻은 도메인 지식은 차용되어 다양한 알고리즘에 주입되어 컴퓨터 기반의 의사결정을 향상시키는 데 이용된다. 기존의 작품들은 주로 텍스트 기반의 주석이나 하드 코딩된 규칙과 제약조건에 의존하여 다양한 작업에서 기계 지능을 향상시키기 위해 인간 영역 지식을 통합함
- ▶ 그러나 의료 영상이나 감시 비디오와 같은 복잡한 시나리오를 완전히 설명하기 위해 텍스트 주석을 사용하는 것은 종종 어려우며 더욱이 하드 코딩된 규칙/불규칙은 일반적으로 쉽게 공유되지 않는 암묵적인 형태로 존재하는 복잡하고 전문화된 영역에 대한 훈련과 경험을 통해 습득된 지식으로서의 지식 포착 및 표현에 근본적으로 불충분함
- ▶ 통합된 인간-기계 지능은 인간 영역 전문지식과 기계의 컴퓨팅 능력을 완전하고 원활하게 상승시켜, 그들이 개별적으로 수행하지 못한 전문 영역의 고도로 어려운 작업을 집단적으로 처리할 수 있게 함



## 05. IDEA소개#19



Integrated Human-Machine Intelligence

## Integrated Human-Machine Intelligence(Cont'd)

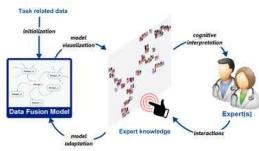
- ▶ 근본적인 도전은 인간의 전문성을 추출하고, 이해하고, 궁극적으로 활용하는 것임. 전문가 지식은 주로 쉽게 공유되지 않는 암묵적인 형태로 되어 있음. 더욱이 인간의 의사결정은 본질적으로 상향식(데이터 중심) 처리와 하향식(지식 중심) 처리를 수반하는 복합적인 과정임. 어떤 형태로든 인간 전문가로부터 암묵적 지식을 대표하는 데이터를 적절히 도출하고 추출하기 위해서는 참신한 데이터 수집 도구와 접근방식이 필요함
- ▶ 일단 수집된 인간 영역 지식을 이해하고 인간의 다원적 인지 처리에 관련된 암묵적 영역 지식의 사용을 추적할 수 있는 중요한 증거를 제공하는 서로 다른 양식의 근본적인 관계를 밝혀낼 수 있도록 진보되고 혁신적인 컴퓨터/통계 모델을 개발할 필요가 있음.
- ▶ 모델링 결과는 인간 지식 데이터와 업무 관련 데이터의 체계적인 융합을 안내할 것이며, 이는 궁극적으로 계획한 인간-기계 지능 통합을 달성하게 될 것임
- ▶ 정적인 과정이 아닌 인간과 기계가 교대로 통합 학습 과정을 반복적으로 합의점에 도달할 때까지 지도하는 쌍방향적이고 협력적인 방식으로 융합이 이루어져야 함
- ▶ 이러한 인간과 기계의 협업 프로세스는 기계 지능이 인간에게 직접 해석될 수 있고 전문가들이 자연적인 형태로 편리하게 피드백을 보낼 수 있는 인터랙티브 인터페이스가 지원하는 직관적인 방식으로 두 파트가 소통할 것을 요구함
- ▶ 나아가 융합은 새롭게 개발된 인간의 지식과 추가적으로 수집된 데이터와 함께 통합지능이 지속적이고 자동으로 진화할 수 있도록 동적인 환경에 자동으로 적응해야 함
- ▶ 업무와 데이터가 모두 빠르게 변화할 수 있는 많은 실제 애플리케이션 (예: 자율주행 자동차 및 군사 운영)에서 발생하는 동적 시나리오를 처리하기 위해서는 자체 진화하는 통합 지성이 필수적임

### ◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 통합된 인간-기계 지능은 기본적으로 인간의 지식 기반 인지 처리와 기계의 컴퓨터 처리 과정을 통합하여 통합 전체가 그 부분의 합보다 크므로 훨씬 더 어려운 문제를 해결할 수 있음. 휴먼-머신 시너지를 통해 인간의 다중모드 인지처리가 머신파워로 더욱 강화되어 대규모 복합 데이터에서 숨겨진 통계적 규칙성을 빠르게 발견함
- ▶ 한편, 기계의 연산 처리 과정은 정확성, 효율성, 해석성 향상을 위해 인간 영역 지식으로 적절하게 안내하여 인간-기계 지능의 동적 융합은 주변 환경이 빠르게 변화하고 있을 때 새로운 업무와 새로운 데이터를 강력하게 처리할 수 있게 함으로써 스스로 진화하고 시간이 지남에 따라 지속적으로 향상될 것임

## 05. IDEA소개#19

## ❖ Integrated Human-Machine Intelligence(Cont'd)



Integrated Human-Machine Intelligence

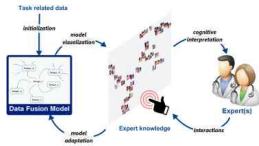
- ▶ 이러한 거대한 비전을 향해 노력하면 특히 인공지능, 머신러닝, 인간 컴퓨터 상호작용 분야에서 이공계 분야의 다중 프론티어가 크게 확장될 것임. 새로운 기술 혁신은 인간의 지식 추출, 다중모달 데이터 융합, 시각 분석, 대화형 머신러닝, 동적 데이터 분석, 해석 가능한 통계 모델링 및 복잡한 의사결정을 위한 근본적인 지원을 제공할 것임
- ▶ 통합된 인간-기계 지능은 고도로 복잡한 컴퓨터 작업을 다루기 위해 인간과 기계 지능의 시너지가 필수적인 다양한 지식이 풍부한 영역에 도움이 될 수 있음. 의학은 지식이 풍부한 모범적인 영역이며, 최근 몇 년간 자료의 폭발적 증가를 목격하기도 함
- ▶ 대규모 임상 데이터에서 지식을 추출하기 위한 머신 인텔리전스(machine intelligence)의 활용은 최근 웨어러블 ECG 기기를 이용한 심장박동 장애 모니터링 등 전문 작업에서 전문 의사들과 동등한 진단 역할을 입증하기 시작했음
- ▶ 그러나 기계 지능의 그러한 최첨단 성능은 종종 의사 패널에 의해 상세하게 주석 처리된 대규모 데이터 집합에 의존함. 인간의 지식을 기계 지능으로 전환하기 위한 그렇게 비싸고 정적인 과정은 상호 상호작용 보다는 단방향성이 있기 때문에 비효율적이고 근본적으로 제한적이라고 여겨질 수 있음
- ▶ 미래의 의학계에서 누가 누구를 대신할 것인가 하는 논쟁에 휘말리기 보다는, 물리적인 시스템에 대한 인간의 지식은 물론, 의사들의 지식과 인지적 추론 과정이 기계력에 의해 강화되어 복잡한 데이터를 이해할 수 있도록 인간과 기계의 지능을 진정으로 통합하는 것이 더 큰 발상이라고 생각됨
- ▶ 기계가 데이터에서 패턴을 추출하는 방법을 안내하는 데 사용될 수 있음. 이것은 잠재적으로 인간 지능과의 원활한 시너지를 통해 고도로 전문화된 과제의 현재 설정에서 보다 광범위한 복잡한 임상 과제에 이르기까지 기계 지능의 잠재력을 잠재적으로 방출할 수 있음

## ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 이 아이디어를 실현하면 의료 진단, 사회 행동 이해, 안보 지능, 군사 작전 등 많은 복잡한 문제에 대한 의사결정 과정이 근본적으로 바뀔 것이며, 인간은 이 문제에 상당한 전문 지식을 가져오고 기계만 있는 최종 의사결정자로 남게 될 것
- ▶ 인간과 기계의 협업 학습 과정은 지속적인 지식 교환을 가능하게 하며, 그 부분의 합보다 더 큰 통합적 지성으로 이어져 해석 가능한 기계 지능과의 투명한 의사소통은 기계가 의사 결정 과정에 더 많이 관여할 수 있도록 하는 신뢰구축 과정으로, 진정으로 인간과 기계의 협업적인 의사 결정을 달성하도록 함
- ▶ 특정한 임무나 임무를 넘어서, 기계 지능을 완전히 활용하면, 인간은 다르게 생각하고 근본적으로 다른 방법을 사용하여 과학적인 발견을 현저하게 진전시킬 수 있는 잠재력을 가진 가장 어려운 문제를 해결할 수 있을 것임

05. IDEA소개#19

Integrated Human-Machine Intelligence(Cont'd)



Integrated Human-Machine Intelligence

- ▶ 보다 일반적으로 통합지능은 AI 가속기와 웨어러블 기술의 최근 발전과 결합하여 일반 인구, 특히 장애인에게 큰 혜택을 주고, 이를 개선할 수 있는 잠재력을 가진 의사결정 능력과 신체 능력을 모두 확장함으로써 사람들의 일상생활을 변화시킬 것임

◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 과학과 공학의 몇 가지 핵심 분야의 주요한 발전은 이 다음 주요한 과학적인 발전을 위한 길을 닦아온 것임
- ▶ 이러한 기술적 준비성은 최근 자율주행차, 스마트홈/시티, 그리고 특히 다양한 종류의 지능 인지보조기(ICA)의 발달로 입증되었고 ICA는 인간의 두뇌에 의해 전달되고 반응하는 기계 지능을 활용함으로써 인간의 인지능력과 물리적 능력을 향상시키는 데 도움을 주는 전자 기기나 플랫폼임
- ▶ 인간의 삶의 질을 향상시키고 업무 성과를 높이기 위한 일반 영역의 발전이 이루어지고 있으며 이러한 것들은 AI/머신 학습 및 마이크로프로세서를 포함한 컴퓨팅 및 엔지니어링의 다른 많은 분야에서 최근 현저한 진보와 결합되어, 우리가 통합되고 자체 진화하는 인간-기계 지능을 실현하기 위한 다음 큰 아이디어를 탐구할 수 있는 탄탄한 기술적 기반을 마련했음

## 05. IDEA소개#20



Large Landscape Resilience by Design

## Large Landscape Resilience by Design

- ◆ Jonathan Jarvis [University of California, Berkeley]
- ◆ #Nature #Climate #Resilience #Data

### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 급변하는 기후에 적응하고 인간과 생물다양성 보존에 다종의 이익을 제공할 탄력적인 환경을 어떻게 설계, 구현, 관리, 유지할 것인가?

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 주피터 인텔리전스의 공동 설립자인 리치 소킨은 최근 기후 변화에 대해 "우리는 더 이상 존재하지 않는 환경을 위해 설계된 세상에 살고 있다"고 말했음
- ▶ 이 아이디어의 내용은 우리에게 환경이 최대한의 복원력을 발휘하여 변화할 수 있게 재설계할 수 있는 **분석 능력**을 가지고 있다는 것임
- ▶ 인류세라고 불리는 우리는 인간이 우리가 의존하는 환경을 직접 변화시키는 시대에 살고 있음. 우리는 점점 불안정해지는 안정적이고 예측 가능한 기후를 바탕으로 우리의 도시, 인프라, 농업, 자연 보호구역들을 건설해 왔음
- ▶ 최근 발표된 정부간 기후변화위원회(IPCC) 보고서를 비롯한 수많은 연구와 보고서를 바탕으로 기후가 인공적인 원인에 의해 변화하고 있으며, 해안 도시의 지속가능성, 전통 농업, 자연 보호의 고정된 경계 영역 내에서 생물다양성의 무결성에 의문을 제기하고 있음을 이제 알고 있음
- ▶ 보존의 역사는 자연의 어떤 독특한 면(흔히 풍경에 의해 추진되는)을 나타내는 중소·중견·대규모 지역을 설정하고, 그 지역을 경계침해로부터 보호하는 관행이 지배해 왔음
- ▶ 전 세계적으로 다양한 접근방법과 모델이 시도되어 왔으며, 일부는 극단적인 조치(밀렵꾼을 보는 즉시 죽이는 것), 울타리치기, 멸종위기에 처한 동물들의 포획 사육, 그리고 생물다양성과 생태계 무결성을 보존하기 위한 경계 확장 등을 시행하고 있음
- ▶ 이러한 접근방식이 장기적 복원력을 달성할 수 있는지 여부는 연구에 있어 공공연한 문제이며 변화의 바다 가운데 섬처럼 행해지는 보호구역에 대한 책임의 개념은 더 이상 실현 가능하지 않을 수도 있음
- ▶ 기후변화는 다른 스트레스 요인과 함께 대규모 경관통합을 다루기 위해 현재의 보호지역 관리 모델을 재검토할 수밖에 없었으며 공원이나 이와 동등한 보호구역이 복도와 연계되어 있고 지역사회, 교통체계, 분수령, 농업, 지속가능한 경제와 통합되어 있는 경관 규모에서 관리하는 법을 배우는 것은 보존의 미래에 중요한 요소임

## 05. IDEA소개#20



Large Landscape Resilience by Design

### Large Landscape Resilience by Design(Cont'd)

- ▶ 우리는 대규모 경관 연결을 구상하거나 설계할 수 있는 강력한 분석 도구를 가지고 있지만, 그것이 지속되도록 요구되는 "거버넌스"를 달성하고 급속한 변화 기간 동안 명시된 목표(생물다양성 보존 등)를 달성하기 위한 **정치 및 공공 정책 도구는 아직 가지고 있지 않음**
- ▶ 집 근처의 자연, 녹지 공간, 도시 공원은 인간의 삶의 질에 필수적인 요소로 더 많이 인식되고 있으며 점점 더 많은 연구 기관들이 건강한 환경과 인간의 건강 사이의 직접적인 연관성을 보여주고 있음. 도시의 녹색 기반 시설은 증가된 온도를 완화(냉각)하고 런오프(run-off), 완충 폭풍 서지를 흡수하며 해안 도시를 보호하는 것으로 나타남
- ▶ 지리공간 데이터와 소프트웨어의 분석력을 이용하여 기후변화 예측(해발고도 상승, 강수량 변화, 허리케인 빈도와 강도, 산불 등), 옥외공간의 다중 가치에 대한 현재 지식(공중보건, 생태계 서비스, 휴양, 기후 완화 등), 대규모 경관은 인간과 자연 모두에게 여러 가지 혜택을 제공하도록 재설계될 수 있음
- ▶ 실제 이 개념의 현재 예로는 키시미 강의 농경지에서 플로리다 만까지 이어지는 포괄적 에버글레이즈 복원 계획이 있음. 에버글레이즈 국립공원의 생태와 마이애미의 음용수 공급에 혜택을 주는 분수대 자연수질, 수량, 타이밍을 복원하기 위한 다각적인 노력이 진행 중임. 중국의 삼강 지역과 칠레와 아르헨티나의 파타고니아 지역과 같이 아직 완전히 통합되거나 실현되지는 않았지만, 다른 예들이 진행 중임

#### ◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 지나친 과장이 없이도 인류의 생존은 변화하는 환경에 어떻게 적응할 것인가에 달려 있음
- ▶ 자원 경쟁(식량, 물 등)은 지역 갈등, 난민 위기, 전면전의 근원이 되는 경우가 많아 기후 변화는 해안 공동체가 내륙으로 강제되고, 농경지가 경작되지 않고, 종들이 새로운 영토로 이동하며, 생명에 필요한 필수 자원이 선택된 지역에 국한(그리고 방어)됨에 따라 이러한 갈등을 악화시킬 것임

## 05. IDEA소개#20



Large Landscape Resilience by Design

## Large Landscape Resilience by Design(Cont'd)

- ▶ 자연의 회복력을 이용함으로써, 심지어 밀집된 도시 공동체 안에서조차, 큰 풍경은 다른 사회적 혼란뿐만 아니라 기후 변화에 대해서도 매우 탄력적으로 될 수 있음
- ▶ 인간과 자연이 함께 일하는 보다 평화롭고 공정하며 협력적인 행성이야말로 생존 가능한 미래임
- ▶ 복원력을 위한 대형 조경 디자인은 과학적인 발견을 위한 광범위한 기회를 제공함
- ▶ 예를 들어, 잘 통합된 큰 경관은 생물 다양성 보존을 위한 최고의 기회를 제공할 것임. 왜냐하면 종들은 이동하거나 새로운 지류를 찾을 수 있기 때문임
- ▶ 하버드대 E.O. Wilson교수에 따르면 지구상 종의 80%가 아직 완전히 설명되지 않아, 새로운 질병 치료에 대한 생물학적 예측을 포함한 연구의 큰 기회를 남기고 있음.
- ▶ 협치 거버넌스가 어떻게 경관 규모로 작동하는지 이해하면 공공정책, 도시계획, 교통, 경제안정에 있어 중요한 연구기회를 제공함
- ▶ 다른 풍경에서 기초부터 시작된 혁신은 국내외의 다른 풍경들에 대한 연구와 적응의 대상이 될 것임
- ▶ (일반적으로 고립되거나 상충되는) 여러 부문에 걸친 새로운 협력을 위한 프레임워크는 안정적인 경제, 삶의 질, 그리고 근로자가 작업 환경의 일부로 야외 녹지 공간에 즉시 접근할 수 있을 때 생산성 및 건강 향상과 같은 예상치 못한 긍정적인 결과와 같은 여러 가지 사회적 이점을 가질 것임. 부족한 자원이나 기후변화에 대한 지역갈등을 피할 수 있음

### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 기후변화의 복원력, 안정적 공동체, 자연공간과 회랑, 효율적인 교통수단 및 재생에너지원을 통합한 성공적인 대형 경관디자인의 예가 미국과 세계의 여러 지역에서 발전될 것임
- ▶ 새로운 형태의 협업 및 거버넌스는 다른 대규모 환경에 적용하기 위해 시도, 테스트 및 평가될 것임. 지구가 계속 따뜻해짐에 따라, 이러한 큰 풍경들은 내장된 복원력으로 인해 가장 적은 영향을 받게 될 것임

## 05. IDEA소개#20



Large Landscape Resilience by Design

### Large Landscape Resilience by Design(Cont'd)

- ▶ 예를 들어, 해안 도시들은 태풍의 에너지를 흡수할 수 있는 해안 습지, 식물성 사구, 모래 엔진, 습지의 넓은 지역을 유지하거나 재건될 것임. 강을 따라 있는 도시들은 주기적인 홍수를 지속하고 빠르게 회복할 수 있는 탄력적인 녹색 기반 시설을 갖춘 수변지, 강 바닥 땅, 홍수 지역을 재건할 것임.
- ▶ 보존에 대한 통일된 비전이 장기적으로 상당한 진전을 가져올 것이라고 확신하며 자연보전, 역사적 보존, 생태계 서비스, 환경정의와 시민권, 지속가능성, 공중보건, 그리고 과학공동체가 함께 모여야 하는 것은 늦었지만, 완전히 이루어지면 상당한 보상을 얻을 것임
- ▶ 이러한 관심사가 점점 더 공동의 대의를 위해 협력의 기술을 실천하고, 밀접하게 협력하는 경험을 쌓아가면서, 그들은 집단적인 '목소리'가 강력하고, 영향력이 있으며, 효과적이 되도록 할 것임

#### ◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 기후변화와 관련된 행동의 대부분은 완화, 즉 탄소 격리 등에 초점을 맞추고 있음. 적응에 거의 초점을 맞추지 않았지만, 모든 징후는 사람과 지구의 생물 다양성에 큰 영향을 미칠 것이라는 것
- ▶ 지금은 지속가능성에서 회복력으로 전환해야 할 때이며 우리가 자연의 기능적이고 회복적인 힘을 수용하는 미래를 설계할 수 있는 능력을 확신하고 있음
- ▶ 사람과 건강하고 생산적인 삶에 대한 모든 요구를 포함하는 큰 조경으로 통합함. 우리는 미래 시나리오를 예측하기 위한 분석 도구와 강력한 모델을 가지고 있지만, 성공하기 위해 정치와 정책 프레임워크에 투자하지 않았으며 여기에는 시간이 걸리고 혁신, 시험 및 평가가 필요함
- ▶ 이러한 접근 방식을 여러 가지 환경에 걸쳐 완벽하게 구현하고 이를 국가적, 국제적 적응 구상으로 확장하여 수백만 명의 생명을 구하고 생물 다양성을 보존하는 것이 지금 시작되어야 할 때임



## 05. IDEA소개#21



Mechanical Morality

## ❖ Mechanical Morality

◆ Megan Condis [Texas Tech University]

◆ #A.I. #Cognitive #ELSI #Interdisciplinary

### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 자율주행차부터 스마트가전, 나노봇에 이르기까지 어떻게 자율기계를 가르칠 것인가, 실질적인 의사결정은 물론 윤리적 판단을 내리는가?

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 인간이 자율주행차부터 스마트 먼지로 만든 감시망에 이르기까지 일상 기술의 지능적인 버전을 개발하는 데 투자하는 만큼, 실제적인 판단은 물론 윤리적 판단도 로봇에게 가르쳐야 함
- ▶ 국립과학재단(NSF)이 인공지능의 윤리철학이나 기계도덕성에 대한 조사를 후원할 것을 제안함. 이 연구는 컴퓨터 과학자들과 프로그래머들 뿐만 아니라 생물학자, 의사, 엔지니어, 인간/기술 상호작용 전문가, 생태학자들뿐만 아니라 언어학자, 심리학자 같은 사회과학과 인문학의 학자들의 노력을 결합시킬 것임

### ◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 가능한 연구 주제는:
  - 윤리적 의사결정 이면의 신경과학에 대한 탐구로서, 도덕적 알고리즘을 개발하는 데 사용될 수 있음
  - 인공적 도덕요원을 양성할 수 있는 가상 생태계의 개발
  - 도덕적 의사결정 및 감각적 입력의 체적, 정서적 구성요소에 대한 조사. 로봇은 환경을 "감각"할 수 있을 뿐만 아니라 감각적 입력까지 발달
  - 덕과 악을 코드화할 수 있는 프로그래밍 언어를 만드는 데 사용될 수 있는 도덕 범주의 언어학에 대한 연구
  - 개발자가 초기단계 AI로부터 인간을 개입시키고 보호하는 데 사용할 수 있는 장애 방지 설계 및 이들을 위한 프로그램적인 "가르칠 수 있는 순간"을 만들 수 있는 기회를 도입할 수 있는 기능

05. IDEA소개#21



Mechanical Morality

❖ Mechanical Morality(Cont'd)

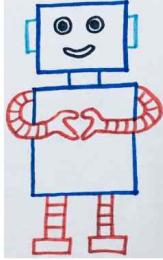
◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 단기적으로 성공은 인공적으로 지적인 존재들이 인간에 의해 개발된 도덕적 틀에 따라 우선순위를 정할 수 있도록 하는 서로 다른 가중된 필수요소를 포함하는 일련의 행동 알고리즘처럼 보일 것
- ▶ 장기적인 측면의 성공은 독자적으로 사고하고 자신의 도덕적 정서를 표현할 수 있는 '인공적인 도덕 에이전트'의 탄생처럼 보일지도 모른다.

◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 똑똑한 기계는 점점 더 똑똑해질 뿐이고, 따라서 실용적인 관점에서 적 보다는 우리와 친구들을 생각하도록 가르치는 것이 이치에 맞지 않음.
- ▶ 그러나 좀 더 근본적인 수준에서, 로봇이 윤리적 과정에 대해 어떻게 배우는지를 관찰하는 과정이 인간에게 도덕적인 질문을 구성하는 것과 도덕적인 결정을 내릴 때 고려해야 할 요소들에 대해 하나 둘 가르쳐 줄 수 있을 것임

## 05. IDEA소개#22



Promoting Empathy-Based AI

## ❖ Promoting Empathy-Based A.I.

- ◆ Karishma Muthukumar [University of California, Irvine]
- ◆ #A.I. #Medical #Emotion

### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 인공지능이 급속도로 확대되고 있는 분야에서 어떻게 하면 세상에 공감과 연민을 고취시키는 방향으로 계속 발전할 수 있을까?

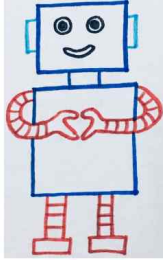
### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 인공지능 시스템의 발전은 인공지능의 윤리와 사회에서의 역할에 대한 양극화 토론으로 이어졌다. 우리가 인간으로서 AI의 장소를 일괄적으로 결정함에 따라, 인공적인 공감과 기술을 구축할 때 인간에게 미치는 영향을 고려하는 것의 중요성에 대한 연구가 진행 중임
- ▶ 우리가 해결해야 할 몇 가지 중요한 질문은:
  - 어떻게 인공지능이 더 공감할 수 있을까?
  - 의료 설정이 환자 전망을 개선하기 위해 어떻게 인공지능을 사용할 수 있는가?
  - 향상된 AI를 통해 어떤 새로운 애플리케이션을 지원할 수 있는가?
  - 어떤 인간의 특성이나 감정의 측면이 AI 시스템에 통합될 것인가?

### ◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 인공지능은 놀라울 정도로 현대적인 연구 분야로, 계속해서 주목할 만한 관심을 얻고 있음
- ▶ 그러나 이러한 역동적인 팽창은 공감과 같은 인간의 가치에 대한 무지로 이어질 수도 있음
- ▶ 공감 기반 AI 시스템에 대한 상당한 자금 지원과 연구가 앞으로 커질 것으로 예상되는 인간-기술 격차를 해소할 것임. 인간의 감정의 복잡성과 짝을 이룬 AI 시스템의 데이터 저장 능력은 기존의 AI 시스템을 개발하는 것 외에도 의학, 정신 건강, 인지 과학과 같은 분야의 혁신을 주도할 것임
- ▶ 환자-의사 간 상호작용을 개선하고 새로운 형태의 커뮤니케이션을 가능하게 함으로써 투자는 여러 분야에 걸쳐 광범위한 영향을 미칠 것임. 본질적으로, 그것은 사람들이 감정을 표현하고, 인식하고, 이해할 수 있기 때문에 더 건강하고 행복한 인구로 이어질 것임

05. IDEA소개#22



Promoting Empathy-Based AI

■ Promoting Empathy-Based A.I.(Cont'd)

◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 대다수의 AI 시스템은 공감 기반 구조를 가지고 있을 것임. 인간의 감정에 의존하는 새로운 도구들은 기술이 새로운 해결책을 제시할 수 있게 해줄 것임. 예를 들어, 개인은 개방적인 표현 플랫폼을 제공하는 인터페이스로 자신의 감정을 공유하는 것이 더 편할 수 있음
- ▶ 이전에 정신질환과 관련된 오명을 두려워했던 환자들은 자신의 생각을 전달하고 도움을 구할 수 있을 것임. 감정을 감지하고 이해함으로써, 이러한 시스템들은 새로운 관점을 제공하고 일상생활에서 만족도를 높일 것임
- ▶ 자동화는 더 효율적일 뿐만 아니라 사용자 상호작용 측면에서도 더 효과적일 것임

◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 인공지능의 급속한 성장과 함께, 이러한 확장의 윤리적 결과를 고려하는 것이 중요함. 인공지능(AI) 규제에 대한 논란이 많은 만큼 인간적 요소를 접목하면 기술과 관련한 현대적 난제가 완화될 것임.
- ▶ 공감 기반 AI를 사회에 통합하는 것은 인간-기술 격차를 해소하고 특히 의료, 고객 서비스, 자동화 같은 분야에서 중요한 혁신으로 이어질 것임

## 05. IDEA소개#23



Public Carbon Capture and Sequestration

## Public Carbon Capture and Sequestration

- ◆ Karin Pfennig [University of North Carolina, Chapel Hill]
- ◆ #Carbon #Air #Chemistry #Biology

### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 대기 중 이산화탄소 증가로 인한 기후 변화는 우리 지구를 재앙 직전까지 몰고 왔다. 더 큰 아이디어는 대중이 대기 탄소를 포착하고 분리할 수 있는 기술을 개발하는 것이다.

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 대기 중 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 수치는 산업화시대 이래로 놀라운 속도로 증가하고 있음. 대기에 이 온실가스가 더해져, 우리 지구는 생물다양성과 인간 사회에 끔찍한 결과를 초래하며, 온난화되고 있음
- ▶ 산업화된 국가의 일반 대중들에게 기후 변화를 억제하려는 노력은 일상생활에서 이산화탄소 배출량을 줄이는 데 초점을 맞추고 있음. 이러한 노력들은 어느 정도 성공을 거두었음: 대중들이 배출량을 줄일 수 있도록 하는 기술과 제품들이 빠르게 발전하고 있고 소비자들에게 채택되고 있음
- ▶ 그럼에도 불구하고 탄소배출량은 기후변화의 영향을 뒤집을 만한 속도로 감소하고 있지 않으며 더욱이 전지구적 탄소배출량이 산업화 이전 수준으로 즉시 감소하더라도, 현재의 CO<sub>2</sub> 수준은 이미 발생하고 있는 해로운 지구적 영향을 계속 부채질할 것임. 그러므로 우리는 탄소 포획과 격리법에 대한 새로운 접근법이 필요함.
- ▶ 현재, 탄소 포획과 격리에 중점을 둔 것은 산업 수준의 탄소 포획과 격리를 통한 대규모 CO<sub>2</sub> 제거 또는 산림 생태계의 보호와 복원임. 그러나 산업 규모의 탄소 포획은 비용이 많이 들고 정치적 저항에 부딪히고, 산림은 농업 전환과 기후 변화로 인한 질병, 가뭄, 화재로 인한 부정적인 영향 모두로부터 증가하는 위협을 받고 있음.
- ▶ 빅 아이디어는: 탄소 포획과 분리수거를 위한 다른 방법은 소규모 탄소 포획과 분리의 대규모 참여임
- ▶ 만약 일반 대중이 참여하는 기존 기반시설과 활동이 탄소 포획과 분리 작업에 활용될 수 있다면, 일반 대중이 광범위하게 채택할 때 낮은 수준의 탄소 포획과 분리 조차도 CO<sub>2</sub> 배출량을 상쇄할 수 있을 것임
- ▶ 이 아이디어는 많은 사람들이 작은 변화의 힘을 이용하여 탄소 감소에 큰 영향을 미치고자 함

05. IDEA소개#23



Public Carbon Capture and Sequestration

Public Carbon Capture and Sequestration(Cont'd)

▶ 구체적으로, 이 큰 아이디어는 다음과 같은 주요 연구 질문을 다루어야 함

1. 기존 인프라를 활용해 탄소 포획과 격리 등을 산업영역에서 벗어나 공공영역으로 끌어낼 수 있을까. 예를 들어, 기존 구조물에 탄소 포획 수단을 장착할 수 있고, 포획된 탄소를 기존의 도시 시설과 네트워크 (폐기물 수집, 매립지 등)를 사용하여 격리하거나 상품화할 수 있는가?
2. 화학 생물 공학을 이용하여 작지만 널리 이용 가능한 탄소 포획 및 격리 경로를 개발할 수 있는가? 이러한 경로가 소비자 제품, 주택, 공공 공간 및 상업용 건물에 쉽게 통합될 수 있는가? 예를 들어, 우리는 공기에 노출되었을 때 CO<sub>2</sub>를 결합하는 소비자 제품을 위한 CO<sub>2</sub> 결합 바이오엠브레인 코팅을 개발할 수 있는가? 그리고 제품이 매립될 때 CO<sub>2</sub>를 효과적으로 분리할 수 있는가?
3. 탄소 포획과 격리 조성을 촉진하는 농업용과 주거용 또는 공동체용 조경을 위해 새로운 농업라인과 광합성 미생물을 설계할 수 있는가? 탄소 배출을 강화하는 토양 첨가제를 개발할 수 있을까?
4. 상기 기술을 구축하는 과정에서 발생하는 리스크와 다운스트림 문제는 무엇인가? 어떻게 위험을 최소화하여 새로운 재료가 사람들의 집, 자치체, 그리고 지역 경관에서 사용하기에 안전할 수 있을까?
5. 특히 지구적 변화의 영향을 받을 수 있는 생물학적, 수생적, 기후적 시스템에 대한 공공 탄소 포획과 격리에는 어떤 의미가 있는가? 위의 기술에 대한 이러한 시스템의 반응에 대한 이해를 혼란스럽게 하는 예상치 못한 영향(시간 지연, 복잡한 상호작용 등)은 무엇인가?

▶ 이러한 문제를 해결하려면 정부, 학계 및 민간 부문의 연구 및 기술 그룹 간의 학제간 연구와 협업이 필요하다. 따라서 이 문제는 국립과학재단의 투자에 이상적으로 적합함

◆ **이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?**

▶ 이 큰 아이디어에 투자함으로써, 국립과학재단은 과학자들과 기술자들에게 널리 퍼지고, 공공의 탄소 포획과 격리를 위한 새로운 물질, 화학 물질, 생물학적 변종을 개발하고 배치하도록 도전할 것임. 그러므로 이 큰 아이디어에 대한 투자는 기술, 공학, 과학, 사회 전반에 걸쳐 광범위한 영향을 미칠 것임. 기술, 재료 과학 및 엔지니어링의 경우, 일반 대중이 탄소 포획과 탄소 분리에 기여할 수 있는 경로를 식별하려면 새로운 화학 물질, 생물학적 변종 및 재료 바인딩 및 격리제 CO<sub>2</sub>의 개발과 전개가 필요하다. 기존 인프라 내에 이러한 자원을 통합하기 위한 수단을 개발해야 할 것임

## 05. IDEA소개#23



Public Carbon Capture and Sequestration

## Public Carbon Capture and Sequestration(Cont'd)

- ▶ 높아진 대기 이산화탄소는 전지구적인 문제이기 때문에 주어진 지역사회에 적합한 해결책을 개발하는 것이 핵심임. 따라서 이 분야에 대한 투자는 기술, 재료 과학자 및 엔지니어의 개발자들이 주어진 지역사회 또는 지역에 적합한 솔루션을 개발하기 위해 국제적으로 그리고 민간과 공공의 협력에 도전할 것임. 그러한 협력은 이러한 해결책을 창출하는 부문에서의 새로운 경제 성장을 촉진할 수 있음.
- ▶ 더욱이, 이 아이디어에 대한 투자는 공공 영역에 맞춰져 있지만, 어떤 혁신도 궁극적으로 산업 수준의 탄소 포획과 격리라는 새롭고 비용 효율적인 수단으로 이어질 수 있음. 과학을 위해, 이 아이디어에 대한 투자는 화학 및 생화학, 유전학과 진화, (특히 새로운 생물학적 변종을 개발하기 위해 사용될 때), 생태학과 생태계 역학, 그리고 이러한 서로 다른 과정들의 상호 작용에 대한 새로운 통찰력을 창출할 수 있을 것임.
- ▶ 더구나 기후변화는 역동적인 과정이며, 지구적 요인과 국지적 요인들이 복합적으로 상호작용할 수 있음. 따라서 과학자들은 복잡하고 역동적인 시스템에서 탄소 포획과 격리(그리고 그에 상응하여 새로운 물질이나 기술의 효능)가 어떻게 변화할 수 있는지를 밝혀내야 함.
- ▶ 실제로, 높아진 CO<sub>2</sub>가 세계적인 문제이기 때문에, 이 아이디어에 대한 투자는 CO<sub>2</sub> 사이클링에 대한 국지적인 영향이 글로벌 패턴에 의해 어떻게 영향을 받는지 평가하기 위한 국제 팀들 간의 학제간 연구를 부채질할 수 있음.
- ▶ 따라서, 이 빅 아이디어에 대한 투자는 복잡하고 역동적인 시스템에 대한 화학적, 생물학적 반응에 대한 글로벌 수준의 이해를 향상시킬 수 있음. 궁극적으로 이 분야에 대한 투자는 우리 사회의 건강과 복지에 영향을 미칠 것임
- ▶ 기후 변화는 점점 심해지는 폭풍과 화재, 해수면 상승, 농작물과 어업 실패의 세계적 패턴으로 인한 사람들을 대체하고, 공동체를 파괴하며, 소득과 경제 발전의 손실을 이미 책임지고 있음
- ▶ 만약 CO<sub>2</sub>가 계속 증가한다면 이러한 영향은 더 심해질 것임. 이러한 영향의 정치적 파장은 심각할 것이며 기근과 집단 이탈은 더 나쁜 경우 난민 위기와 전쟁을 촉발시키는 정치적 긴장을 초래할 수 있음. CO<sub>2</sub>를 상쇄함으로써, 이 아이디어에 대한 투자는 우리가 현재 직면하고 있는 위협을 완화시킬 수 있음

## ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 이 분야에 대한 투자 결정은 즉시 탄소 포획과 은닉에 대한 공공의 참여의 필요성을 일깨워 줄 것임. 따라서 성공의 척도 중 하나는 탄소 배출 감소와 가정과 지역사회에서 탄소 포획과 격리 증대의 필요성에 대한 더 많은 교육과 대중들에 의한 인식임



## 05. IDEA소개#23



Public Carbon Capture and Sequestration

### Public Carbon Capture and Sequestration(Cont'd)

- ▶ 일단 연구와 기술 개발이 진행되면, 중간 성과는 가정과 지역사회에서 탄소 포획과 정리에 대중이 참여할 수 있는 신소재, 제품, 기술의 구현과 배치로 이어질 것
- ▶ 이러한 기술은 애초에 CO2 배출량을 줄이는 제품 및 기술의 추가 개발을 보완하거나 통합할 것임. 궁극적이고 장기적인 성공은 CO2 수준을 감소시킬 것임
- ▶ 그러한 축소가 생물학적, 대기적, 해양적 시스템에 대한 기후 변화의 기존 영향을 되돌릴 수 있을지는 아직 알려지지 않았지만 바라건대, 그 연구 문제가 이 아이디어의 결과로 다뤄질 수 있으면 함

#### ◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 우리는 지금 기후변화의 영향을 몸소 경험하고 있음: 산호초의 소멸과 어업 손실, 멸종하는 생물의 증가, 늘어나는 폭풍, 가뭄, 그리고 화재의 심각성, 그리고 해수면 상승은 기후변화의 영향의 일부에 불과함
- ▶ 이러한 영향은 사람들의 집과 삶이 파괴되고 지역 사회 전체가 음식과 수입의 원천에서 이탈하면서 전세계적으로 일어나고 있음. 우리가 대기 중의 이산화탄소 증가를 막지 않는다면 기후 변화의 영향은 가속화되고 현저하게 악화될 것임
- ▶ 실제로, 일부 과학자들은 우리가 지구의 시스템이 우리 자신을 포함한 많은 종들이 지배할 수 있는 상태로 돌아가지 않을 수도 있는 "티핑 포인트"에 접근하고 있다고 우려함
- ▶ 탄소 배출을 줄이는 기술적 진보에도 불구하고, 현재 적극적인 대기 탄소 감축이 필요한 시점이며 우리는 기후변화의 문제를 빨리 해결하고자 함
- ▶ 일반 대중이 배출량을 줄이고 탄소 포획과 격리성을 강화할 수 있는 수단을 개발해야 함

## 05. IDEA소개#24



Reinventing Scientific Talent

## Reinventing Scientific Talent

- ◆ Jason Williams [Cold Spring Harbor Laboratory]
- ◆ #STEM #Education

### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 과학적 발견의 속도가 기하급수적으로 가속화됨에 따라, 과학자, 교육자 및 기타 STEM 인력 전문가들은 어떻게 커리어 내내 지속되는 배움에 대한 수요를 충족시킬 것인가?

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 국립과학재단은 더 크고 더 다양한 STEM 인재 풀을 개발하는 데 상당한 투자를 했음. 그러나 STEM 준비의 많은 관행은 전문적인 준비가 최종으로 습득한 학위 수준에서 끝난다고 암묵적으로 가정함
- ▶ 평생 학습자가 되는 것이 학문적 이상이지만, 실제로 이러한 열망은 오늘날 과학과 과학 교육에서 우리가 보는 많은 기술 격차를 완화시키지 못했음. 학위취득 후의 훈련이 아무리 업데이트되고 개선되더라도, 급변하는 학제 간 세계 속에서 기술의 저장 수명은 점점 짧아지고 있음
- ▶ 우리는 한 학위의 깊고 천천히 습득한 전문지식과 STEM 인재의 개인들이 그들의 직업에 대해 새로워지고 재창조할 수 있는 새로운 훈련과 학습 접근법을 결합하는 방법을 배워야 함
- ▶ 생물학에서, 적어도 지난 10년은 "빅데이터" 과학으로의 전환이었으며, 이러한 전환에서 여러 기술적 장애물이 두드러졌지만, 가장 높은 장벽은 과학 인력 내에서 컴퓨터 및 데이터 기술을 구축하는 것임
- ▶ Barone 등은 현재 NSF 생물과학국(BIO)이 후원하는 13개 조사관의 미충족 요구 중 상위 3개는 모두 계산 훈련 형태였음을 보여주었음. 계산과 데이터 과학 기술은 어떤 규율이 어떻게 소수의 손으로만 성공적으로 휘두른 방법론에 빠르게 의존할 수 있는지를 보여주는 사례 연구임
- ▶ 파괴적이지만 비판적인 방법론은 진보의 원동력이 되지만, 과학자가 직면하는 기술 격차를 늘리는 데 드는 비용임. 21세기의 과학자들은 교실에 들어가기 위한 변화된 접근법을 기다릴 시간을 가질 수 있을까?
- ▶ 숙련된 연구자들의 전공 학제 밖에서 신기술이 등장하고, 그리고 안식년 연구라는 사치에 접근할 수 없을 때, 어떻게 시대의 흐름에 탑승할 것인가? 오직 시간(관심있고 다양성이 보장된 연구공동체의 도움이 있다는 전제하에)만이 우리가 아직 발견하지 못한 것을 어떻게 배울 것인가에 대한 모든 관련 연구 질문을 정확히 답할 수 있음
- ▶ 두 가지 예시적인 질문은: 새로운 기술을 STEM 실무 커뮤니티에 보급하는 가장 좋은 방법은 무엇인가? 다시 생물학에서의 컴퓨터 기술을 예로 들자면 Feldon 등은 현재의 문제를 구성함

## 05. IDEA소개#24



Reinventing Scientific Talent

### Reinventing Scientific Talent(Cont'd)

- ▶ 미국 53개 기관의 생명과학 박사과정 학생 294명을 대상으로 한 그들의 분석은 부트캠프와 기타 짧은 형식의 훈련에 2800만 달러 이상의 투자를 했음에도 불구하고 학생들의 결과가 지속적인 영향을 보여주지 못한다는 결론을 내리고 있음
- ▶ 이러한 주장이 충격적으로 보일 수도 있지만, 본 논문의 많은 결론은 인지과학과 성인학습 교수학 전문가들에 의해 예상되었을 것임. 거의 생산성이 없는 과정에 우리는 어떻게 그렇게 많은 투자를 하게 되었을까?
- ▶ STEM 인력에 미치는 영향을 규모에 맞게 해결하기 위해 증거 기반 학습 접근법과 구현 과학의 체계적인 보급이 필요하며 어떻게 하면 빠르게 진화하는 방법론을 위한 커리큘럼이 개발되고 규모에 맞게 제공될 수 있을까?
- ▶ 특정 과목을 가르치는 데는 한 가지 또는 몇 가지 최적의 방법이 있을 수 있으나 타당성, 접근성 및 평가성 측면에서 저품질에서 고품질까지 이르는 교육 자원을 만들고 재생산하는 데 수많은 시간이 소요됨
- ▶ 어떻게 하면 기술 보급을 위한 권위 있는 자원의 개발을 위한 환경을 조성할 수 있을까? 예를 들어, 미국 의료 연구 및 품질 기관의 국가 가이드라인 클리닝 센터는 의사들이 권위 있는 치료 프로토콜을 얻을 수 있는 단일 자원이었음
- ▶ 과학의 실천 공동체에 의해 만들어진 교육 저장소는 새로운 방법들이 등장함에 따라 수천 시간의 교육과정 개발을 절약할 수 있을 것임. 흥미롭게도, 카펜트리(소프트웨어 카펜트리와 데이터 카펜트리) (Teal et.al. 2015)는 자원봉사 단체 (강사로 일하는 1,600명 이상의 연구원)가 어떻게 규모에 맞게 이것을 할 수 있는지를 보여주는 유일한 세계적인 예를 제시함
- ▶ 카펜트리는 46개국에서 3만8천명 이상의 연구자들과 닮아있고 평가 자료는 그들이 지속가능한 영향을 미치고 있다는 결론을 뒷받침함

#### ◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 혁명적 접근법(예: 생물학에서의 CRISPR, 데이터 과학에서의 심층 학습)이 나타나 10년 이내에 어떤 학제에 스며들 수 있음. 스킬 전환과 이직은 점점 더 보편화되고 있으며 더욱 빨라지고 있음
- ▶ 따라서 STEM 인력이 더 빠르고 체계적으로 새로운 기술을 습득할 수 있을 때 어떤 과학적 발견이 가능할지를 추측하는 것은 비정보적인 일임
- ▶ 그러나 탄탄한 교육은 언제나 건실한 투자이며 STEM 외부에서 인력 재교육(예: 화석연료 산업에 종사하는 직업을 가진 개인들이 재생에너지 직종으로 전환하는 것) STEM 커리어가 이러한 전환에 면역이 되어야 한다는 어떤 착각도 사라져야 함

## 05. IDEA소개#24



Reinventing Scientific Talent

## ❖ Reinventing Scientific Talent(Cont'd)

- ▶ 한 사회로서, 만약 우리가 과학자들이 그들이 필요로 하는 모든 기술을 가지고 졸업하지 않을 것이라는 것을 인식한다면, 우리는 가장 큰 이익을 볼 것임
- ▶ 과학이 학제 간 다양화됨에 따라, 기술 격차는 STEM 경력과 관련된 비공식 학습의 메커니즘이 빠른 변화 속도에 부합할 가능성을 감소시킬 것임. 또한 기술 격차는 잘 표현되지 않은 그룹과 저자원 기관의 연구자들에 대한 기존의 불균형을 증폭시킬 것임
- ▶ 커리어 내내 지속되는 (평생)학습에 대한 새롭고 체계적인 접근방식은 복잡하고 급변하는 과학적인 도전에 대응할 수 있는 적응력이 있는 STEM 인력을 창출할 수 있을 것임

## ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 여기와 다른 곳에서 요약된 교육 문제와 관련된 연구 질문은 다양하나 영향은 아마도 몇 가지 수렴 측정 지표로 측정할 수 있을 것임. 성공은:
  1. STEM 전문가는 하나의 분야 내의 개인 또는 공통적인 기술, 접근법, 동기 및 관심사를 공유하는 관련 분야와 같은 실무 커뮤니티를 명확하게 구별할 수 있음.
  2. STEM 연습 커뮤니티에는 관련 기술과 정보를 식별하는 방법이 잘 정의되어 있음. 새로운 스킬이 연습 커뮤니티와 관련됨에 따라 개인이 스킬에 탑승하거나 협업을 통해 스킬의 장점을 습득할 수 있는 방법 또한 명확히 정의되어 있음.
  3. STEM 실천 공동체 내의 기술과 지식 훈련은 공동의 공유 자원인 집단과 개인의 재화를 위해 관리되는 자원 풀로서 운영된다. 전문지식은 몇 가지 분야에서만 달성할 수 있기 때문에 개인은 습득한 기술에서 어떤 이익을 얻을 수 있는지에 대해 정보에 입각한 선택을 할 수 있음. 불평등(예: 시간 및 자금 조달과 같은 자원에 대한 접근 부족) 또는 불이익(예: STEM에서 잘 표현되지 않는 그룹이 직면한 추가 장애물)에서 발생하는 기술 격차는 공통의 지배구조와 접근 정책 및 원칙에 의해 다루어져야 함.
- ▶ 궁극적으로 모든 분야의 STEM 전문가(학부, 전문, 정부 등)들은 새로운 기술을 습득하는 과정을 어떻게 진행해야 하는지에 대한 명확한 이해를 가지고 있으며, 재교육의 가치를 이해하는 지역사회와 고용주들의 노력에 지지를 받고 있음.

05. IDEA소개#24

Reinventing Scientific Talent(Cont'd)



Reinventing Scientific Talent

◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 엘빈 토플러는 "21세기의 문맹자는 읽고 쓸 줄 모르는 사람이 아니라, 배우지 못하고, 배운 것을 잊고, 다시 배우는 사람이 될 것"이라고 하였음
- ▶ 생산되는 정보의 양은 상상할 수 없는 속도로 증가하고 있으며, 상황은 더 빠르게 변하고 있음. 학생들이 필요로 하는 기술들은 그들의 조연자나 교육자들이 가지고 있는 기술들과 점점 멀 닳아 가고 있으며, 여기에서도 또한 그 차이는 더 짧은 시간 동안 계속 증가하고 있음
- ▶ 이러한 변화와 함께, 단지 놓친 기회에서부터 심각한 윤리적 도전에 이르기까지 엄청난 우려가 뒤따르는 가운데, NSF가 진정한 빅 아이디어의 탐구를 모색하고 있다면, 지금이 과학자들과 STEM 전문가들의 공식적인 훈련을 마친 후 교육을 혁신할 적기라고 할 수 있음
- ▶ 그러한 노력은 NSF에 의해서만 자금을 지원하고 주도한다면 지속 가능하지 않을 것이지만, 그러한 노력은 그 구현을 촉진하기 위해 독특한 위치에 있음

## 05. IDEA소개#25

Repurposing, Recycling,  
Renewable Energy

## Repurposing, Recycling, Renewable Energy

- ◆ Alec Follmer [University of California, Irvine]
- ◆ #Waste #Nature #Environment #Pollution #Recycling

### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 기존의 쓰레기를 가지고 할 수 있는 것이 많이 있지 않을까? 어떻게 하면 현재 환경적으로 비용이 많이 드는 자원의 용도 변경을 위한 새로운 재활용 재료를 만들고 인프라를 만들 수 있을까

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 지속 가능한 인프라를 만들고 재활용하는 것이 기후, 우리 경제, 그리고 우리 사회에 얼마나 이로운지를 보여주는 풍부한 연구와 데이터가 있지만, 우리의 폐기물 문제를 제거하는데 필요한 기본적인 연구 요구는 충족되지 않음
- ▶ 종종 재앙적인 환경 문제는 단 하나의 사건에서 발생하는 것이 아니라, 어떤 자원의 지속적이고 습관적인 사용(예: 물 부족 또는 남획)이나 의도적인 무지(예: 재활용)에서 발생함. 그러나 그러한 나쁜 습관의 결과로 대재앙이 임박해서야 비로소 인간들은 반응함.
- ▶ 예를 들어 케이프타운의 「0일」에 대비하는 물난리, 자원배급 등이 그것임. 이러한 죽음에 가까운 상황에서야 우리 사회는 물을 배급하도록 강요함으로써 우리 스스로의 본성을 제한하고 나서야 거의 피할 수 없는 재앙을 무한정 연장시킬 수 있었음
- ▶ 우리의 쓰레기 처리와 재활용의 비효율성은 같은 성질의 것임. 만약 준비 조치가 취해지지 않는다면, 우리와 우리의 환경(즉, 우리의 식량과 수도 공급)은 극복할 수 없는 것은 아니지만, 무거운 비용을 지불할 것임.
- ▶ 간단히 말해서, 이 빅 아이디어는 재활용, 용도 변경 및 지속가능성을 위한 재구성을 중심으로 한 세 가지 측면에서 접근하는 것임:
- ▶ 첫째, 우리가 가지고 있는 것(즉, 환경에 미치는 영향을 되돌리기 위해 현재 폐기물을 처리하는 방법)
- ▶ 둘째, 재활용 가능한 전략을 바탕으로 한 신소재 개발임
- ▶ 마지막으로 미래세대를 위한 교육은 기초과학과 정책입안자 모두가 우리 환경의 미래에 미치는 중대한 영향을 평가하기 위한 것임

05. IDEA소개#25



Repurposing, Recycling,  
Renewable Energy

Repurposing, Recycling, Renewable Energy(Cont'd)

- ▶ 첫째, 당면 문제를 다루어야 함. 어떻게 하면 우리 사회를 지속가능한 방식으로 발전시키기 위해 기존의 폐기물을 재활용할 수 있을까? 열분해와 같은 전략이 우리가 할 수 있는 가장 효율적인 단사슬 탄화수소를 추출하기 위한 높은 열과 낮은 산소를 가진 플라스틱의 처리인가? 얼마나 효율적으로 만들 수 있을까? 또한, 우리는 자연을 활용하고 생물학을 조정하여 주변 조건에서도 유사한 과정을 수행할 수 있는가?
- ▶ 둘째, 신소재 개발에 주력해야 함. 다수의 연구단체는 온도와 촉매 등 외부 자극을 이용해 용도가 용이한 재활용이 가능한 물질을 만드는 데 주력하고 있음. 어떤 종류의 재료가 가능하고 우리가 가지고 있는 내구성이 강한 플라스틱과 어떻게 비교될 것인가? 이러한 신소재를 비용 효율적인 방식으로 생산하기 위해 어떻게 확장할 것인가?
- ▶ 마지막으로 위의 전략과 핵심 연구목표는 우리의 낭비를 지속가능한 전략으로 전환하기 위한 기초적인 과학적 접근방식에 초점을 맞추고 있는 반면, 우리는 또한 연구의 중요성을 비과학적 공동체로 확대하는데 초점을 맞추는 필요가 있음.
- ▶ 그러나 이러한 근본적 구조조정을 이루기 위해서는 명확한 지시가 필요함. 해결해야 할 문제들은 크고 작은 규모에 걸쳐 있으며 소규모로, 개인은 일상생활에서 지속 가능한 습관을 구현하기 위한 가장 큰 난제로 무엇을 보고 있으며 일반적인 지식은 우리 환경에 대한 현재의 과학적 증거의 결론을 얼마나 정확하게 반영하고 있는가?
- ▶ 시와 국가 차원에서 우리의 자본주의 민주주의는 전기와 수도와 같은 전력회사의 사용을 통제하기 위해 정부와 민간 산업이 협력할 것을 요구함. 이러한 집단들은 어떻게 의사소통하고 협력하며 더 잘 통합될 수 있는가? 세계적인 차원에서, 정부는 어떻게 우리나라와 지역사회의 생계가 직면하고 있는 가장 큰 요인을 이해하고 해결하기 위해 협력할 것인가?
- ▶ 이러한 연구 노력은 기초 과학자들과 사람들의 사회적, 행동적, 경제적 패턴을 연구하는 과학자들 모두의 중요한 상호 협업을 필요로 함

◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 인구가 계속 증가함에 따라, 우리는 폐기물 생산과 에너지 소비의 불가피한 증가를 직면하게 될것임. 이것은 우리 행성의 한정된 자원에 높은 수요를 부과하게 됨
- ▶ 첫 번째 목표는 우리의 환경에서 기존의 플라스틱과 탄소 기반 폐기물을 분해하기 위한 새로운 전략의 개발에 초점을 맞추는 것임. 이것은 태양으로부터 에너지를 얻고 플라스틱을 분해할 수 있는 새로운 유전자 조작 조류와 박테리아의 형태로 나타날 것이며 우리의 탄소 발자국은 거대하고 우리는 위기에 직면해 있음



## 05. IDEA소개#25

Repurposing, Recycling,  
Renewable Energy

## Repurposing, Recycling, Renewable Energy(Cont'd)

### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 이 분야에서의 성공은 자연에 대한 우리의 영향, 화학적 발전, 우리의 장기적 경제에 대한 우리의 생각 등에 대해 말하는 방식에서부터 많은 면에서 변혁적일 것임.
- ▶ 우리의 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위한 이 아이디어의 접근법은 학제 간 매우 복잡할 것임.
- ▶ 이 제안은 세 가지 객관적 접근법에 초점을 맞추고 있지만, 이러한 목표들은 STEM에서 정책, 교육에 이르는 여러 분야에 걸친 협업을 필요로 함. 학문적 관점에서 성공은 앞의 절에서 다룬 개념을 둘러싼 출판물의 수에 의해 쉽게 측정된다. 더욱이, 산업 연구실뿐만 아니라 학술적 연구실도 이러한 '친환경적' 개념에 더 집중하기 시작할 것임.
- ▶ 그러나, 실용적 관점에서, 우리는 또한 '녹색' 촉매와 지속가능한 탄소 기반 재료와 같은 새로운 기술의 산업적 응용에 대한 구현을 시장에서의 출현에 의해 보기 시작할 것임.
- ▶ 마지막으로, 성공은 지속 가능한 전략 실행의 중요성에 대한 홍보뿐만 아니라 교육 및 정책 이니셔티브의 증가로 보일 것임. 구현 관점에서 보면, 이는 산학연 교차 검토 및 협업의 증가로 보일 것임.
- ▶ 지속 가능한 재료가 시장에 출시되기 위한 한 가지 주요 장애물은 중요함에도 불구하고 신기술에 기초한 종종 값비싼 실험에 대한 시도와 진실된 방법론의 사용임. 새로운 자료를 구현하고 확장하기 위해 이러한 협력을 창조하는 것은 이 빅 아이디어가 어떻게 공공, 민간, 그리고 학문적 전선에 의해 정면으로 마주하고 있는지를 증명할 수 있을 것임.

### ◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 2018 노벨 화학상은 '재활용, 용도 변경, 지속가능성을 위한 구조 조정'이라는 큰 아이디어 아래 미래를 향해 나아가고자 하는 우리의 열망을 반영함. 이는 부분적으로 프랜시스 아놀드에게 수여된 것으로, 그의 연구는 새롭고 도전적인 합성 반응을 수행하기 위해 효소를 용도 변경함으로써 이 빅 아이디어의 첫 두 가지 목표를 완벽하게 구현하고 있음
- ▶ 이제 물 부족에서 종의 멸종에 이르기까지 근시안적인 습관의 결과를 밝혀낸 수많은 상황에 직면해 있음. 그러나 새로운 기술은 우리의 과학을 국경을 가로질러 즉각적으로 전달할 수 있는 능력을 만들어냈음
- ▶ 이는 우리가 보다 빠른 속도로 과학적 발견을 할 수 있고, 세계적인 논의를 만들어 낼 수 있고, 효과적으로 정책을 더 빨리 시행할 수 있다는 것을 의미함
- ▶ 시간이 흐를수록 지구에 대한 우리의 영향은 점점 더 분명해지지만, 우리의 미래를 예측하는 능력도 점점 더 분명해질 것이고 우리의 미래가 밝으려면 지속가능성과 선견지명이 집중된 문화를 만들어야 함

## 05. IDEA소개#26



Reversibility: Future of Life on Earth

### Reversibility: Future of Life on Earth

- ◆ Bilinda Straight [Western Michigan University]
- ◆ # #Organism #Interdisciplinary

#### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 어떤 메커니즘, 동기부여 및 티핑 포인트가 지구 생명체의 미래를 위해 - 유기체, 행동 및 시스템의 - 되돌릴 수 없는 대 되돌릴 수 없는 변화를 결정할 것인가?

#### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 우리는 현재와 향후 수십 년 안에 지구상의 생명체를 형성하는 많은 종류의 시스템들의 변화 역학에 접근하기 위한 패러다임의 전환에 대한 유망한 토대를 가지고 있음
- ▶ 인간, 동물, 환경적 상호작용과 생태계 내부와 생태계 전반의 영향에 대한 이해에 대해 점점 더 미묘한 차이를 보이고 있음. 이러한 상호작용의 주요 측면은 사회적이며, 도덕철학, 경제학, 생물학, 행동과학의 협력은 인간을 포함한 유기체가 단지 이기적인 행동이 아닌 외견상 이타적인 행위에 참여하도록 동기를 부여하는 중요한 통찰력을 우리에게 제공해 주었음
- ▶ 마찬가지로 생물학, 화학, 공학, 지구과학, 사회과학 분야의 연구자들 간의 협력을 촉진하는 후생유전학적 연구는 표현형을 형성하는 데 있어 그것의 역할뿐만 아니라 환경에 의해 의미되는 것을 이해하는 방식을 바꾸었음
- ▶ 우리는 지금 식이요법, 독성 노출, 그리고 심지어 정서적 경험들이 유기체의 표현형들뿐만 아니라 세대에 걸친 그들의 자손들에 대한 동시적인 영향을 조사하고 있음
- ▶ 학제 간 연구는 또한 양자물리학, 공학, 신경과학, 행동과학 등 다른 종류의 네트워크에 대한 우리의 이해와 시스템에 대한 상호작용적 영향을 변화시키고 있음
- ▶ 변화의 동인이나 동기를 부여하는 상호작용의 패턴을 이해하는 것이 과학의 가장 오래 지속되는 논쟁의 핵심이지만, 우리가 지구상 생명의 미래를 고려할 때, 우리는 역행하고 되돌릴 수 없는 변화에 대한 요소들을 정확하게 알고 결정할 필요가 있음
- ▶ 주요 연구 질문은: 질병 과정과 후생유전학적 변화 또는 그것들이 생물학적, 사회적, 환경적, 인위적 시스템인지 여부에 관계없이 시스템의 보류 중인 실패에 관계없이, 다른 종류의 시스템에 대해 가역성을 위한 메커니즘은 무엇인가? 불가역성을 위한 티핑 포인트를 결정하고 어떻게 측정해야 하는가?

## 05. IDEA소개#26



Reversibility: Future of Life on Earth

## Reversibility: Future of Life on Earth(Cont'd)

### ◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 지구적 규모로 볼 때, 우리는 이미 지구 온난화와 그것이 생물 다양성, 물과 식자원에 미치는 누적 영향, 갈등, 이주, 건강에 관한 많은 종류의 불가역성의 티핑 포인트를 넘어섰음
- ▶ 연구와 발견의 동인으로서 비관론을 감당할 수 없으며 가역성과 불가역성을 위한 메커니즘을 통해 시스템의 변환 역학을 이해하는 투자는 연구 질문의 틀에 패러다임 변화를 촉진할 수 있음
- ▶ 이 분야에 대한 투자로 인한 과학적 발견은 가역성의 한계를 전환하고 적응의 본질에 대한 새로운 이해를 창출할 것으로 기대되며, 생물, 기계 및 시스템을 학습, 수리, 개조 및 적응하는 방법의 혁신은 물론 동태에 대한 치명적인 공격까지 도입할 것으로 예상됨
- ▶ 예를 들어 후생유전학 연구에서 가역성에 대한 연구는 유전자 발현에 부정적인 영향을 미치는 환경적 모양의 변화가 중단되거나 역전될 수 있는 방법에 대한 지식을 생산해 낼 것이 기대됨
- ▶ 이를 위해서는 진화적 적응과 현대적 조건의 상호작용 영향에 대한 보다 정밀한 이해가 필요할 것임. 도덕적 행동에 대한 학제 간 연구는 또 다른 예를 제공함
- ▶ 현재의 첨단 연구는 공정성을 평가하는 쪽으로 향하는 인간의 성향에 대한 중요한 발견을 낳았지만, 공정성에 대한 해석과 언제 협력해야 하는지에 대한 해석은 개별적이고 문맥적으로 상이함
- ▶ 공정성과 협력의 매개 변수를 확대하기 위해 개인에게 동기를 부여하고 사회 시스템을 움직이기 위해서는 어떤 조건이 필요한가? 이 영역에서 원하는 사회적 결과에는 인간과 사회 시스템의 행동에서 공통의 보호를 위한 변화가 포함될 것임

### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 성공은 시스템과 유기체가 그들의 진로를 바꾸고 방향을 바꾸는 메커니즘에 집중하기 위해 유기체와 시스템에 복원력을 구축하는 것보다 더 멀리 나아가는 긍정적인 변화로 이끄는 지식을 만들어낼 것임
- ▶ 또한 성공에 대한 주요 지표는 측정과 실험 설계에 대한 방법론적 접근 방식의 혁신을 포함할 것이며 동기부여, 변환의 임계값 및 가역성에 대한 요구사항에 대한 우리의 사고방식을 변화시킬 것임

## 05. IDEA소개#26



Reversibility: Future of Life on Earth

### Reversibility: Future of Life on Earth(Cont'd)

#### ◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 학제 간 협업을 추진하는 것은 이전에 비할 데 없는 수준의 성공을 거두었기 때문에, 제안된 분야에 필요한 투자에 대한 제도적, 지적 지원이 이미 이루어지고 있음
- ▶ 환경, 보건, 사회 문제에 관한 혁신의 필요성이 폭넓게 인정되고 있으며 우리는 지구 문제에 대한 희망적인 해결책을 찾을 준비가 되어 있음

## 05. IDEA소개#27



Saving Coral Reef Ecosystems

## Saving Coral Reef Ecosystems

- ◆ Pupa Gilbert, University of Wisconsin - Madison
- ◆ #Coral #Ocean #Nature #Environment

### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 산호초는 경제적, 생물학적으로 대체할 수 없는 생태계로, 기후변화에 의해 실존적으로 위협받고 있다. 과학과 공학이 이 세기가 끝나기 전에 산호초를 구할 수 있을까?

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 산호초의 생존은 기후 변화에 의해 심각하게 위협받고 있음. Darling & Côté는 내인성 저항(패노타입)과 외인성 저항(위치)이라는 두 가지 요소가 기후 변화에 대한 모든 생태계의 복원력을 결정하고 산호초 보존과 갱신을 위한 가능한 접근법을 기술한다고 서술하였음
- ▶ 산호초가 해양 다양성을 계속 지원할 가능성을 높이기 위해서는 광범위하고 야심찬 다원적 연구 프로그램이 필수적임. 생물학적 메커니즘과 다양성, 생태학적 기능 및 해양 암초와 인류학 시스템 간의 상호작용에 대한 새로운 지식을 개발하기 위한 연구 노력이 필요함
- ▶ 특히 필요한 것은 메커니즘을 더 잘 이해하고 산호 스트레스의 두 가지 원인인 지구 온난화와 해양 산성화의 결과를 완화시키는 것임
- ▶ 질문 1: 해양 산성화에 대한 산호초 복원력의 주요 측면은 무엇인가?
- ▶ 산성화는 바닷물에 함유된 탄산칼슘 골격의 열역학적 안정성을 변화시켜 산호초 생태계 전체에 필수적인 비계와 인프라를 제공하는 암석 구조를 만드는 것을 잠재적으로 방해함
- ▶ 그러나 최근 산호 생물군 형성의 메커니즘에 대한 발견은 일부 산호 종이 해양 화학의 변화에 대한 저항성을 가질 수 있다는 것을 암시함. 적어도 한 종의 산호(*Stylophora pistillata*)에서 골격은 바닷물에서 한 번에 한 개의 이온이 아니라 폴리프 내부 방광에서 한 번에 한 개의 입자로 퇴적됨
- ▶ 산호폴립을 포함한 동물들은 헤엄치거나 사는 물과는 무관하게 내부 화학 작용을 활발하게 조절하기 때문에 산호초는 주변의 해양 화학 작용의 영향을 물리칠 수 있을지도 모르지만 이것은 확실히 스트레스로 이어질 것이고 산호초 건축에 더 큰 신진대사를 필요로 할 것임. 그러나 그것은 기후변화로 인한 한 가지 위협이 실존하지 않을 수 있다는 희망을 제시함
- ▶ 질문 2: 해양 온난화에 대한 산호초 복원력의 주요 측면은 무엇인가?
- ▶ 온난화는 산호 표백의 원인이 되며 - 29 °C 이상의 산호폴립은 광합성을 하는 미세조류(주산텔레) 공생물을 배출함

05. IDEA소개#27



Saving Coral Reef Ecosystems

Saving Coral Reef Ecosystems(Cont'd)

- ▶ 결합된 기후와 해양 모델은 해양 산호의 현재 온도 제한이 어떤 종보다 더 빨리 진화하고 적응할 수 있고, 산호보다 더 빨리 자연적으로 이동할 수 있다고 예측함
- ▶ 현재 산호 백화와의 싸움은 산호초 파편을 채취해 산호초 정원에서 재배하고 어린 산호를 표백한 암초로 대체함으로써 산호초 전파에 의해 진행되고 있음. 이것은 전에 없던 높은 위도에서 산호를 더 차가운 물에 이식하는 것으로 확장될 수 있음.
- ▶ 산호와 공생 양쪽으로부터 DNA를 보존하는 것은 다양성과 본질적인 저항을 보존하고 이해하기 위해 필수적임
- ▶ 질문 3: 어떤 복잡한 생태계 복원력을 위한 새로운 모델이 개입 전략을 안내할 수 있는가?
- ▶ 일단 산호초 복원력의 과학이 이해되면, 다양한 공학이나 생태학적 개입이 구상될 수 있음.
- ▶ 고도의 기술적 노력에는 해양 냉각이나 탈탄산이 포함될 수 있음. 이런 극단적인 생물지질공학은 논란의 여지가 있고 더욱 그럴 것이지만 산호초 생태계의 생존에 얽매여 사는 생물들은 신속한 대처를 요구할 수밖에 없음

◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 산호초는 해저의 1%만 차지하고 전체 해양종의 25%에 보금자리를 제공함. 그들은 생태학적으로나 경제적으로 매우 중요하며 해양 생태와 어업의 핵심인 바다 생선을 위해 필수적인 양묘장을 제공함.
- ▶ 산호초는 어디에 있든지 관광 산업의 기둥역할을 하고, 또한 빈번하고 심각해지는 열대 태풍으로부터 해안선을 보호함
- ▶ 기후변화의 모든 측면에 대한 산호초의 본질적 민감성에 대한 과학에 기초한 지식이 생존 확률을 높이기 위해 필요함
- ▶ 산호초의 헤아릴 수 없는 경제적, 자연적, 문화적 가치를 감안할 때, 새로운 과학지식이 없었더라면, 독립 행위자들이 암초 생태계를 더 손상시킬 위험이 있는 인위적인 개입을 시도할 가능성이 점점 더 높아지고 있음
- ▶ 성공은 과학, 공학, 정책에 직간접적인 영향을 미칠 중요한 분야의 발전을 필요로 할 것임

## 05. IDEA소개#27



Saving Coral Reef Ecosystems

## Saving Coral Reef Ecosystems(Cont'd)

- ▶ 발전해야 할 영역은 다음과 같다.
  1. 산호 생물화의 근본적인 경로와 메커니즘
  2. 생물유민화에 있어서의 공생의 역할
  3. 생물유민화 전략의 다양성과 그 신진대사 비용에 대한 유전학적 이해
  4. 얕고 깊은 해양환경에서 생태네트워크의 구조와 동요에 대한 새로운 모델
  5. 기후변화가 지표면 근해와 해양심층 생물화학에 미치는 영향에 대한 고해상도 예측
  6. 인간 사회의 사회학적 측면은 산호초와 상호작용을 하고 활용함

### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

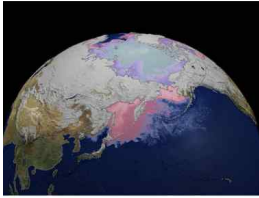
- ▶ 통합된 NSF 연구 프로그램은 급격한 기후 변화의 시대에 세계 산호초의 성공적인 관리를 위한 필수적인 과학적 기초를 개발할 수 있음. 이러한 노력은 또한 산호초 생태계를 보존하려는 국제 정책과 조약에 대한 지식을 제공할 수 있음

### ◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 산호초는 세기말까지 멸종되거나 크게 줄어들 것으로 예상돼 성공적인 보존을 위한 과학기반 전략 개발이 시급하다. 페름기 말 대량 멸종의 지질학적 기록(2억5200만년 전)과 PETM(5600만년 전)은 대기 중 CO<sub>2</sub>와 산호종이 적응할 수 있는 속도보다 온도가 빠르게 상승할 때 광범위한 멸종이 발생한다는 것을 보여줌
- ▶ PETM보다 페름기 말 기간 동안 CO<sub>2</sub>가 더 빨리 증가했고, 몇몇 산호가 죽은 후자에서는 생존했지만 전자는 생존하지 못했음
- ▶ 현재 대기 중 이산화탄소 증가 속도는 전체 해양 생물종의 90% 이상을 멸종시켰던 페름기 말보다 훨씬 빠름
- ▶ 더욱이 산호 백화의 빈도는 백화 사건 사이에 암초가 회복될 수 없을 정도로 증가했음. 지금이 바로 조치를 취할 때이고, 행동은 확고한 과학에 의해 인도되어야 하며, 새로운 지식의 습득에 의해, 빠르게 추진되어야 함



05. IDEA소개#28



Terraforming Earth

❖ Terraforming Earth

- ◆ Adam Schultz [Oregon State University]
- ◆ #Earth #Pollution #Air #Carbon #Methane

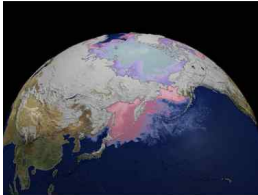
◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ CO2와 CH4 배출량 감소를 통한 기후변화 조정은 미흡한 것으로 입증되고 있으며, 이로 인해 치명적인 영향을 받고 있음. 온실가스를 제거하기 위한 적극적인 지구공학은 주요 연구 투자가 필요하다.

◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 기후 변화를 이전 기준치보다 2도로 제한하기로 한 현재의 국제 협정은 개별 국가가 이러한 프로토콜을 준수하지 못했기 때문에, 그리고 현재 수준의 행성 난방과 함께 이미 보여진 기후에 미치는 영향 때문에 이미 불충분하다는 것이 입증되고 있음
- ▶ IPCC는 기후변화에 영향을 미치기 위한 지구공학이 합법적인 전략이라는 것을 인정했지만 역사는 자연계에 영향을 미치기 위한 인간의 노력이 의도하지 않은 부정적인 결과, 예를 들어 비원생종의 도입으로 심각한 생태계 교란으로 이어지는 경우가 많다는 것을 보여줌
- ▶ 만약 우리가 적극적인 기후지질공학을 시작하려면, 연구에 대한 주요한 투자가 필요하며, 합리적으로 예측 가능한 결과를 얻기 위해 필요한 실험 프로토콜뿐만 아니라 그 투자에 대한 계획을 세우는 것이 중요한 우선 순위가 되어야 함
- ▶ 우리가 기후 시스템에 미치는 CO2의 영향만 고려한다면, 현재 개발 속도에서 알려진 예측 기술을 사용하여 대기에서 CO2를 추출하는 우리의 능력은 2100년까지 현재의 CO2 배출 속도와 일치할 수 있을 것임
- ▶ 향후 82년간 지속되는 CO2 배출의 총효과는 예측 인구와 경제성장과 결합되어, 즉시 시행되더라도 배출량과 보조를 맞추지 못하여 금세기 말까지 거의 알아볼 수 없는 행성으로 이어지는 기술 발전 속도를 나타낼 것임
- ▶ 주요 연구 질문은 다음과 같음:
  - ▶ 1) 하드 엔지니어링 시스템, 전통적인 생물학 시스템, 바이오 엔지니어링 시스템 및 하이브리드 시스템을 포함하여 대기 중 온실 가스를 가장 효율적으로 추출할 수 있는 신흥 기술은 무엇인가?
  - ▶ 2) 이러한 공정에 의해 추출된 탄소를 어떻게 가장 잘 격리시킬 것인가?
  - ▶ 3) 탄소배출 및 격리 시스템은 어디에 배치하여 최대한의 충격을 가해야 하는가?
  - ▶ 4) 이러한 시스템은 어떻게 전원을 공급해야 하는가? 사회를 위한 일반 발전뿐만 아니라 지구공학에도 적용할 수 있는 무탄소 발전 분야의 신기술이 새롭게 등장하고 있는가?

## 05. IDEA소개#28



Terraforming Earth

## ❖ Terraforming Earth(Cont'd)

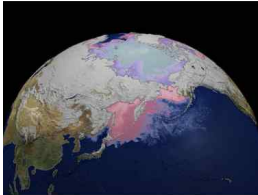
- ▶ 5) 대기 중 탄소 재생이 해수면 상승에 미치는 영향, 폭풍의 강도는 무엇이며, 어떻게 이 프로세스를 관리하여 세계 경제와 사회 기반 시설에 최소한의 붕괴를 달성할 수 있는가?
- ▶ 6) 각국이 지구가 주도하는 기후변화의 영향을 느끼면서 기후의 공학적 중재가 인간의 인구역학, 인구센터의 붕괴, 지정학에 어떤 영향을 미칠 것인가?
- ▶ 7) 지오엔지니어링 기후변화의 무기화를 방지할 수 있는가?
- ▶ 8) 지오엔지니어링된 기후변화가 지상 및 해양 식물과 동물군에 미치는 영향은?
- ▶ 9) 대기 탄소 영향 지질학적 과정과 해양 산성화의 변화는 어떻게 변화하며 대기 탄소 제거를 위한 지구공학은 이러한 과정과 관련된 피드백 루프에 어떤 영향을 미칠 것인가?
- ▶ 10) 지리적 기후가 농업과 인구를 위한 물 공급에 미치는 영향은?
- ▶ 11) 지리적 기후변화가 농업에 미치는 그 밖의 영향은 무엇이며, 대기 탄소 제거 과정이 농작물 생산을 지원하는 데 최적화될 수 있는가?
- ▶ 12) 고위도에서의 배송비 영향과 함께 해빙의 변화를 예측하고 관리할 수 있는가?
- ▶ 북극 얼음 커버의 감소는 예를 들어 새로운 항로가 열리면서 중국, 러시아 및 북극 연안 국가들에게 상당한 경제적 이점이 있을 수 있으며, 이는 해빙 커버 감소를 중재하기 위한 국제 협력에 경제적 저해 요인이 될 수 있음.

### ◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 대기 중 탄소 배출을 줄이는 데만 기반을 둔 국제 프로토콜에서 활성 탄소 제거를 포함하는 프로토콜로 전환하는 것은 지정학적 변화가 심하고 보상이 많지만 심각한 위험(예: 이러한 기술의 무기화 가능성 또는 불충분한 테스트로 인한 의도하지 않은 결과)이 될 수 있음
- ▶ 충분한 투자와 함께 이 분야에 대한 NSF의 노력은 다음과 같은 결과를 가져올 수 있음:
- ▶ 세심하게 조정된 화합으로 작용하면 대기 중 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 및 기타 온실 가스를 제어된 방식으로 감소시킬 수 있는 다양한 기술의 식별, 대기 및 해양 화학 변화를 포함한 다양한 요인을 설명하는 선진 기후 모델에 대한 영향을 지속적으로 평가함
- ▶ 지구 표면 알베도, 지질학적 과정(탄산염의 자연 격리 등), 지상 발전소 커버의 변화, 대기 중 H<sub>2</sub>O 수송의 변화 등, 그 결과로 사회적 혼란을 최소화하고 경제적 이익, 식량, 물 및 사전 이용 가능성을 극대화하는 최적의 전략에 도달하기 위한 것임

05. IDEA소개#28

❖ Terraforming Earth(Cont'd)



Terraforming Earth

- ▶ 발견, 혁신 및 사회적 결과의 범위와 범위는 매우 방대하여 NSF의 임무의 거의 전체를 포괄하고 있으며, NASA, NOAA, USGS 및 기타 연방 기관의 참여와 같은 주요 기관 간 노력의 연결고리 역할을 할 수 있는 교차 책임자의 노력을 NSF 내에서 확고히 할 것임

◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 지구의 기후를 매개하는 데 의미 있는 수준으로 대기에서 탄소를 추출하기 위한 새롭고 개선된 수많은 하드 및 소프트 기술, 새로운 또는 개선된 제로 탄소 기술을 통해 대기 중 탄소 제거에 동력을 공급하고 사회의 일반적인 동력원으로서 기능함
- ▶ 그러한 기술의 적용과 개선되고 발전된 결합 대기/해양/지상권/생물권 시스템 모델과의 조정에서 각 기술이 기후 시스템에 미치는 영향을 신뢰성 있게 측정하여 정의된 최적화 벤치마크를 달성할 수 있음
- ▶ 국제 사회에 의한 이러한 방법의 광범위한 채택과 그러한 채택을 장려할 경제적 기반을 조성하는 것, 지구 난방을 역전시키기 시작한 금세기 중반의 세계, 그래서 금세기 말에 이르러 기후는 산업시대 초기에 발견되었던 것, 즉 대기 탄소 함량 및 행성 온도의 이전 또는 초기 인트로센 수준으로 돌아가기 시작했음
- ▶ 해빙 수준을 국제적으로 합의된 상태로 복원(극성 해상 운송로에 대한 경제적 인센티브를 고려할 때 산업화 이전 수준은 아닐 수 있음)
- ▶ 종 멸종 시 합의된 벤치마크 달성 및 기후 변화로 인한 주요 태풍의 강도 달성

◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 이 과정을 시작하기에는 거의 늦었으며 지구의 온난화는 이전의 기후 변화 모델에 의해 예측된 거의 최악의 시나리오를 따르고 있는 것으로 보임
- ▶ 이 문제를 해결하기 위한 국제규약(파리 협정, 교토 협정)이 서명국들에 의해 엄격히 준수되거나 비 서명국들에 의해 승인되지 않고 있으며, 지구의 기후를 매개하는데 효과적인 것으로 증명되지 않고 있음
- ▶ 2도 벤치마크를 달성하는 정도로 이미 명백하게 드러난 환경 피해의 수준을 방지하기에 불충분하다는 것을 증명할 수 있으며, 이것은 경제적 손실을 초래하고 있고, 대량 이동의 시작, 종의 멸종, 해수면 상승이 주요 인구 센터를 위협에 빠뜨리고 있음
- ▶ 지구공학 기후변화의 실용성, 즉 "테라포밍 어스"를 평가하는 과정은 즉시 시작되어야 하며, 그래야 다음 10년 중반까지 조정된 교차 감독 프로그램의 주요 롤아웃이 시행될 수 있음

## 05. IDEA소개#29



The STEM Teaching and Learning Incubator

## ■ The STEM Teaching and Learning Incubator

- ◆ Todd Ellis [Western Michigan University]
- ◆ #STEM #Education

### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 혁신이 종종 큰 리스크를 안고 있고, 비용이 많이 들며, 장기적인 지원으로만 성장이 가능할 때, 어떻게 K-12 교육자들이 STEM 분야의 교육 및 학습에 대한 그들만의 새로운 접근방식을 개발할 수 있도록 하는가?

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 건설적인 STEM 전문성 개발은 촉진자가 누구인지, 또는 그들이 어떤 의무나 의도를 가지고 있는지에 관계없이 교사들에게 수행될 일이 아님.
- ▶ 일부 교사들은 그러한 기회를 극대화할 수 있지만, 그들은 예외적임. 연구에 따르면 대부분의 교사는 전문 학습 커뮤니티 모델(예: Hord, 2004)과 같은 커뮤니티 모델을 통해 교사들이 주제를 직접 확인할 때, 그리고 적어도 계획 및 실행 단계를 통해 시간 경과에 따라 개발이 지속될 때(구겐하임 2013) 개발의 혜택을 받는다고 함.
- ▶ 이 두 가지 특성은 모두 교사 근무 시간, 장비 취득 및 시행 지원과 관련하여 구현하는 데 비용이 많이 드는데, 비즈니스 세계와 마찬가지로 교육계의 혁신은 종종 끌어모은 공간과 자원, 경험과 전문지식에 대한 접근, 위험 감수 및 책임감을 장려하는 커뮤니티를 통해 지원되어야 함.
- ▶ 학군, 심지어 지역 학군이나 중간 단위도 이러한 지원을 제공하지 못하는 경우가 많음. 그러나 연구대학들이 지역 중소기업이나 기업가와 정부기관과 제휴하여 자원과 전문지식을 제공하기 위해 흔히 사용하는 '비즈니스 인큐베이터' 모델은 과학과 공학에 정통한 미래세대를 발전시키는 데 필요한 바로 그 혁신을 육성하기 위한 새로운 길을 제시함
- ▶ 2026년 빅 아이디어 머신을 위한 이 제안서는 STEM 강의실 및 STEM 전문 개발 분야의 혁신을 촉진하기 위해 STEM 교육 및 학습 인큐베이터로 비즈니스 인큐베이터 모델을 확장할 것을 제안함
- ▶ STEM Teaching and Learning Incubator 모델에 대한 비전에서 고등교육 기관은 교사가 풀링된 공간과 STEM 관련 장비에 접근할 수 있는 지역적 허브와 이를 활용하는데 필요한 기술 및 콘텐츠 워크숍을 제공할 것임
- ▶ 인큐베이터는 또한 교사들에게 지역과 국가 전체에 걸쳐 그들의 아이디어에 대한 설계, 구현, 평가 및 보급에 대한 장기적인 지원을 제공할 것임

## 05. IDEA소개#29



The STEM Teaching and Learning Incubator

## ■ The STEM Teaching and Learning Incubator(Cont'd)

- ▶ 참여 교사들은 자신과 학생들을 위한 연구 기회뿐만 아니라 그들의 가르침을 지지하는 STEM 전문지식에 접근할 수 있을 것이고, 가장 중요한 것은 인큐베이터가 STEM 교육자-과학자를 위한 실천 공동체 형성을 지원하여 지역 및 국가 파트너십을 활용하여 강의실 규모, 위치 또는 지역 예산에 관계없이 자신과 학생들을 위한 새로운 기회를 확보할 수 있는 기회를 제공할 수 있다는 점임.
- ▶ 이렇게 힘을 얻게 되면, 교사들이 STEM 교육에 무엇이 효과가 있는지에 대한 새로운 답을 개발하고 증명할 수 있는 지원 환경에서 혁신할 수 있는 진정한 기회를 얻게 되므로 STEM 교육은 번창할 것임.
- ▶ STEM 교육 및 학습 인큐베이터의 효과를 테스트하려면 먼저 다음 연구 질문을 조사해야 함:
  - 1) 다양한 교육 환경에 걸쳐 지역적 STEM 교육 효과를 높이는 데 있어 장기간에 걸친 K-12 STEM 교사 직업 개발에 대한 접근성이 얼마나 효과적인가?
  - 2) 이공계 실습의 학생 학습을 개선함에 있어 지속적인 구현 지원 및 통합 STEM 연구 자원에 대한 접근성이 얼마나 적절한가?
  - 3) 지역 STEM 교사 전문성 개발을 위한 "비즈니스 인큐베이터" 모델을 구현하는 고등교육 기관의 이점은 무엇인가?
- ▶ 이 전문적 개발 모델의 성공적인 구현과 평가는 STEM 교육 및 학습 인큐베이터가 지역 사회 기반 시설과 관계없이 지역 파트너십이 우리 모든 STEM 교육자들 사이에서 혁신의 핵심 요소들을 어떻게 기를칠 수 있는가에 있어 중요한 변화가 될 수 있는 잠재력을 가지고 있음

### ◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ K-12 STEM 교육 개선은 60년 전 국방교육법이 제정된 이후 미국 교육 정책의 중심임
- ▶ 이후 우수한 STEM 교육은 전문적 개발을 통해 지속적으로 갱신되는 전문적 교사 연수가 필요하다는 것이 널리 받아들여지고 있음. 2000년대까지만 해도 이러한 전문적 발전은 단기간 교류하는 동안 외부 조직에 의해 제공되는 경우가 많았음
- ▶ 이러한 행사들이 끝난 후, 교사들은 다음 학년 동안 계획을 세우고 이행을 수행하기 위해 그들 자신의 도구에 의존하게 됨
- ▶ 평가 연구 결과, 이러한 접근방식은 낮은 채택률 또는 잘못된 신소재 적용으로 이어졌음(Wojnowski와 Pea 2004).
- ▶ 전문적 개발에 대한 지역사회에 기반한 접근방식은 부분적으로 이러한 결함을 해결할 수 있지만 시간, 인력 및 장비 제약으로 인해 많은 지역에 엄청나게 비싼 것으로 입증됨
- ▶ 많은 경우, 지방세 부담의 격차는 새로운 교실 개입의 성공적인 채택과 혹은 재능 있는 교육자들이 학생들이 진정한 STEM 조사와 설계에 참여할 수 있는 기회로부터 벗어나도록 하는 것 사이의 차이를 만들었음

## 05. IDEA소개#29



The STEM Teaching and Learning Incubator

## ❖ The STEM Teaching and Learning Incubator(Cont'd)

- ▶ STEM Teaching and Learning Incubator가 이러한 문제들을 피할 수 있는 방법을 제공할 것으로 기대됨
- ▶ 설계상 인큐베이터는 K-12 교육자들이 스스로 아이디어를 개발하는데 필요한 영역과 자원에 접근할 수 있는 공간임
- ▶ 교수진, 직원 또는 연구 보조원이든 콘텐츠 전문가는 STEM과 관련된 질문에 답하거나 교사와 학생들의 자체 조사 설계에 도움을 줄 수 있음
- ▶ 한편, STEM 교육 전문가들은 계획과 자금 지원에서 현장 또는 교실의 구현을 통해 새로운 아이디어를 채택하는 모든 단계의 교사들을 돕기 위해 장기적인 지원을 제공할 수 있을 것임
- ▶ 또한, 인큐베이터들이 교사들이 보조금 작성 지원, HSIRB 검토에 대한 접근, 그리고 기금 지원 기관들이 추구하는 영향력을 증가시키기 위한 동질적 교사 채용을 통해 재정 지원을 확보할 수 있도록 도울 수 있을 것으로 기대됨
- ▶ 이러한 허용된 기회 외에도 인큐베이터는 대형 3D 인쇄 또는 레이저 목재 절단 장치, 아두이노 센서 및 전자 시험 장비, 강의실 환경 시험 장비 세트 또는 프리즘 분광기 또는 라디오존드(기상풍선) 발사 시스템 같은 훨씬 더 중요하고 민감한 실험 장비와 같은 STEM 장비 공유 수집에 대한 자금을 확보할 수 있어야 함
- ▶ 인큐베이터는 또한 우수한 학생들이 슈퍼컴퓨터나 질량분광기와 시간을 보낼 수 있는 신뢰할 수 있는 방법을 보여줄 수도 있음
- ▶ STEM 교육 및 학습 인큐베이터가 재정 지속가능성을 유지하면서 교사들이 수업에 혁신을 가져올 수 있도록 지원하는 능력을 반영한다면, 이는 K-12 학교에서 STEM 학습을 촉진하는 널리 받아들여지는 방법이 될 수 있음

### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ STEM 교육 및 학습 인큐베이터 모델의 성공은 K-12 STEM 교육에 실질적인 영향을 미치기 위해 혁신과 창의성의 불꽃을 키울 수 있는 지역 기반 K-12 교육자 코호트의 네트워크처럼 보일 것임
- ▶ 이러한 지역 코호트의 교사들은 "놀이" 공간과 자원을 갖게 될 것이며, 새로운 기술을 개발하고 지역 관련 도전을 하게 될 것임
- ▶ 훈련된 교사들은 학생들이 다른 방법으로 접근할 수 없는 장비를 사용하여 이공계 실습에 학생들을 참여시킬 것이며 장비와 전문지식을 접할 수 있게 되면서, 학생들과 교사들은 과학에 능통한 시민으로서의 더 강한 정체성을 보여줄 것임
- ▶ 인큐베이터는 전체 지역 교육자 코호트에 대한 액세스를 활용하여 아이디어의 확장성을 설명하고 교육계에 실질적인 영향을 미칠 수 있는 자금조달 파트너와 가장 효과적인 아이디어를 연결할 것임

## 05. IDEA소개#29



The STEM Teaching and Learning Incubator

## ■ The STEM Teaching and Learning Incubator(Cont'd)

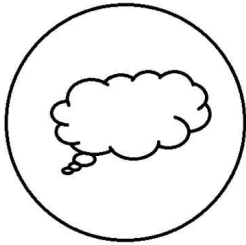
- ▶ 동시에, 대학이나 대학의 STEM 연구자들은 인큐베이터와 제휴하여 STEM 연구를 지역 교육자와 학생들의 요구에 맞추어, 진정으로 영향을 미치는 광범위한 영향 계획을 수립하고 있음
- ▶ 성공적인 인큐베이터는 또한 이 연구원들이 견실한 평가와 평가 계획을 정의하고, 보충 교육 기금을 신청하고, 그들의 작업을 주 의무적인 학생 학습 표준에 맞추고, 필요한 배경 점검과 HSIRB 승인을 확보하고, 그리고 이들에 대한 적극적인 참여에 투자될 교사들을 모집하는 것을 도울 것임
- ▶ 이러한 연결은 우리의 최고의 STEM 연구 프로젝트를 K-12 교실에 있는 차세대 STEM 전문가들에게까지 영향을 미치게 할 것임.

### ◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 2010년 대통령 보고서 '미국의 미래를 위한 STEM 분야 K-12 교육'에 따르면 대통령 직속 과학기술자문회의(PCAST)는 미국 학생들의 STEM 전문성이 떨어지고 있다고 지적했음
- ▶ 부분적으로, 이러한 감소는 STEM 전문지식과 그들의 학생들에게 영감을 줄 수 있는 열정을 가진 교사들이 부족하고 교사들이 적절한 전문성 개발을 포함한 적절한 지원을 필요로 한다는 것을 인식하기 때문임
- ▶ 이러한 문제를 해결하고자 하는 구체적인 권장사항은:
  - STEM에서 경험적으로 검증된 교육 관행의 채택
  - 증거 기반 교수법에 대한 현재 및 미래의 교수진을 위한 교육을 제공하는 프로그램에 대한 실질적인 지원 제공.
  - 자산 및 전문 지식을 활용할 수 있는 새로운 모델 구축 및 STEM 교육 연구 및 평가 수행



## 05. IDEA소개#30



Theory of Conscious Experience

## Theory of Conscious Experience

- ◆ Vincent Conitzer [Duke University]
- ◆ #Brain #Neuron #Intelligence

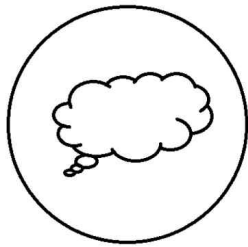
### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 뇌가 의식적 경험을 생성하는 방법에 대한 신경학적 모델이 아니라 보다 추상적인 의식적 이론적 모델을 발견하는 것임.

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 오늘날 의식에 관한 과학 연구의 많은 부분은 그 신경학적 기초에 초점을 맞추고 있음. 이 연구들은 종종 "의식의 어려운 문제"라고 불리는 것을 다루지 않는다는 비판을 받기도 했음
- ▶ 예를 들어, 이 선상의 어떤 연구들은 왜 지금 나로서 생생히 존재하는지를 어떻게 설명할 수 있을지는 명확하지 않음
- ▶ 이 비판의 근거가 충분한지는 논란의 여지가 있으나 또한 다른 방법으로 진전을 이룰 수 있을지 궁금해 할 수도 있음
- ▶ 그 이유를 알기 위해서는, 지능의 신경학적 기초에 대한 우리의 이해가 여전히 매우 제한적이라고 생각하지만, 이것이 인공지능(AI) 연구자들의 발전을 막지는 못했음
- ▶ AI 연구의 결과, 이제 우리는 과거에 비해 전반적으로 지능에 대한 개념적 이해가 훨씬 더 좋아졌다고 주장할 수 있음. 특히, 지능이 어떤 유형의 문제를 해결할 것으로 예상할 수 있는지, 그리고 그렇게 할 수 있는 몇 가지 경로가 무엇인지, 의식연구에서도 비슷한 발전을 바랄 수 있을까? 비록 우리가 의식적 경험의 신경학적 기초를 이해하는 데 진전을 보지 못하더라도, 의식적 경험에 대한 이해를 깊게 할 수 있을까? (물론 의식의 신경학적 기초 위에서 일하는 연구자들과의 유익한 상호작용이 있을 수 없다는 말은 아님. 결과적으로 비슷한 상호작용이 인공지능에 큰 도움이 되었음).
- ▶ 이와 같이 회의적인 이유 가운데 하나는 우리가 '의식'이라는 것이 정확히 무엇을 의미하는지 동의하는 것이 어렵다는 것임. 그러나 '지능'에 대한 정의도 논란이 되고 있으며, AI 연구에서는 '지능'의 의미에 대한 우리의 이전 개념은 종종 오도된 것이라는 것을 가르쳐 주었음
- ▶ 실제로 많은 AI 연구자들은 '지능'이라는 정의를 내리기를 주저하고 있는데, 그 대신 구체적인 문제에 대한 진전을 선호하고 있음
- ▶ 아마도 더 큰 관심사는 우리가 과연 구체적인 진전을 이룰 수 있을 것인가 하는 점임

05. IDEA소개#30



Theory of Conscious Experience

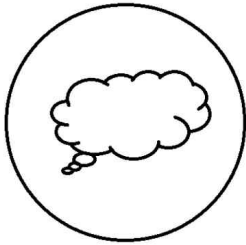
❖ Theory of Conscious Experience(Cont'd)

- ▶ 특히 과학자들은 아마도 신경학적 측면에서 이루어진 어떤 진보를 제외하면 의식의 주제는 철학자들의 영역이라는 인상을 자주 가지고 있는데, 그들은 서로를 지나쳐 가면서 이야기하면서 실질적인 진보를 거의 하지 못하고 있고 누가 옳고 그른지를 해결할 방법이 없음
- ▶ 첫째로, 이것이 철학 연구의 불공평한 특성화라고 생각됨; 사실 그 분야에서는 계속 진보가 있고, 특히 우리가 실제로 직면하고 있는 질문들을 명확히 하는 것에 관한 것이 있음
- ▶ 그러나 컴퓨터 과학의 진보에 비해 더디게 진행되고 있으며 철학적 통찰력과 새로운 기술을 바탕으로 우리는 새롭고 과학적인 방법으로 발전을 이룰 수 있음
- ▶ 그러한 진전은 일부 어려운 문제들을 완전히 해결하지 못할 수도 있지만 아마도 이것들은 피할 수 있을 것임. 예를 들어, 계산 복잡성 이론에서 진보는 종종 컴퓨터 문제가 얼마나 어려운지를 완전히 해결함으로써 이루어지는 것이 아니라, 다른 문제들 간의 관계를 이끌어냄으로써 이루어지는 것임
- ▶ 만약 우리가 A 문제를 해결하는 효율적인 알고리즘을 가지고 있다면, B 문제를 해결하는 데 그것을 사용할 수도 있을 것임. 유사한 접근법의 의식을 연구하는 새로운 이론적 접근방식에서 결실을 맺을 수도 있을 것이라고 의심함
- ▶ 의식적인 경험을 처음부터 어떻게 생성해야 할지 모르지만, 만약 우리가 그것들이 특정한 형태로 존재한다고 가정한다면, 예를 들면, 우리는 시력이 작용하는 사람이 특정한 시각적 경험을 가지고 있다고 규정한다면, 그 가정 하에서 우리가 어떤 다른 의식적인 경험을 만들 수 있는지 물어볼 수 있을 것임. 예를 들면, 가상현실 기술, AI가 생성한 이미지, 또는 심지어 뇌의 직접적인 자극을 사용함으로써.

◆ **이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?**

- ▶ 20세기 대부분에, 이러한 질문들은 우리가 인간의 경험을 수정할 수 있는 방법이 제한되어 있었기 때문에 그렇게 조급하지 않았지만, 우리는 점점 더 우리의 경험을 수정할 수 있고, 이러한 추세가 가속화될 조짐이 있음.
- ▶ 가상현실과 증강현실 기술이 무르익어 가고 있음. 이미 우리는 시각장애인들이 제한된 형태의 초음파 위치를 사용하도록 훈련하거나, 그들의 혀에 연결되는 장치를 사용하여 세상을 "보도록" 훈련시키는 방법을 배우고 있음
- ▶ 20세기 철학에서 가장 유명한 논문들 중 하나는 우리가 박쥐가 되는 것이 어떤 것인지 결코 알지 못할 것이라고 주장함. 박쥐는 아마도 의식은 있지만 주관적인 경험이 반향 위치에 의존하여 우리와 매우 다른 생물일 것이라는 점임

## 05. IDEA소개#30



Theory of Conscious Experience

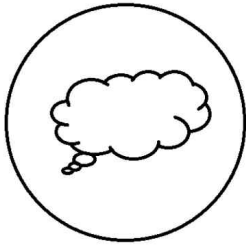
## ❖ Theory of Conscious Experience(Cont'd)

- ▶ 그러한 기법은 많은 사람들의 삶을 현저하게 개선할 수 있는 능력을 가지고 있지만, 의식적인 경험의 본질에 대한 이해가 부족하면 그것들을 성공적으로 개발하지 못하거나 혹은 차선의 발달로 이어질 수 있음. 이와 관련, 인공지능 분야에서는 윤리적 문제가 갈수록 부각되고 있음.
- ▶ 현재로서는 (1) 인간 경험에 미치는 영향이 대부분 명확하고 (2) 오늘날의 AI 시스템이 스스로 의식하지 못하고 있다는 폭넓은 공감대가 형성되어 있기 때문에 이러한 이슈의 대부분은 의식 경험의 본질에 대한 깊은 이해를 필요로 하지 않음
- ▶ 하지만 이것은 바뀔 것이며: 첫째로, 기술은 우리의 신체와 통합되기 시작할 것임. 또한, 우리의 의인화 경향은 사람들이 그들의 AI 시스템이 정교해질수록 더 관심을 갖기 시작하도록 이끌 것이며 이렇게 되면 관련 윤리 문제는 점점 해결하기 어려워질 것임
- ▶ 마지막으로, 노령화 인구와 함께, 알츠하이머와 이와 유사한 질환이 국가(및 국제) 보건에 있어 더욱 시급한 문제가 될 것임. 이러한 조건들을 완전히 치료하는데 부족한 한, 우리는 점점 더 환자로부터 업무를 인계 받는 기술을 개발할 가능성이 높음
- ▶ 그러나 환자의 정신생활을 보조기술로 옮기는 윤리는 어떻게 생각해야 할까? 환자의 정신생활의 많은 부분을 대체하는 완전히 안전한 보조기술과 그 상태를 완전히 치료할 수 있는 잠재력이 있는 위험한 치료 사이에 선택이 있다면, 어느 것을 선택해야 하는가?
- ▶ 의식적인 경험에 대한 우리의 제한된 이해는 그러한 질문에 대답하기 어렵게 만든다. 아마도 최종 선택은 환자에게 남아야 할 것이지만, 우리는 여전히 환자에게 가능한 최선의 방법으로 알려야 할 의무가 있음

### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 국립과학재단(NSF)의 경우 국립보건원(NIH)이 이 영역에서 할 수 있는 일을 복제하는 것이 아니라 NIH를 보완하는 것이 목표여야 함.
- ▶ 일부 중복과 교차는 피하지 못 할 수 있으며, 이 제안은 NSF의 평균 사례보다 더 많은 인간(그리고 아마도 동물) 주제 연구를 포함할 가능성이 있음
- ▶ 그럼에도 불구하고 신경과학에서 이미 수행된 일련의 작업들과 다른 (그리고 다시 한 번 보완적인) 방향은 가능할 것이고 결실을 맺을 가능성이 있음
- ▶ 이러한 방향은 가상/증강 현실과 인공지능이 주요 역할을 할 가능성이 높기 때문에 상대적으로 기술 중심적이 될 것임.
- ▶ 컴퓨터 과학 이론의 프레임워크는 또한 앞서 언급한 바와 같이 이 맥락에서 유사한 이론적 프레임워크를 확립하기 위한 유용한 통찰력을 제공할 수 있으며 그러한 이론의 발견은 주요한 목표들 중 하나가 될 것임

05. IDEA소개#30



Theory of Conscious Experience

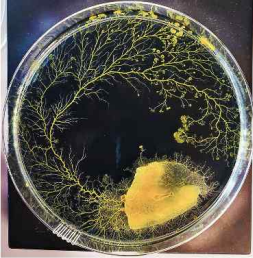
❖ Theory of Conscious Experience(Cont'd)

- ▶ 검증 가능한 가설과 일치해야 하며, 기능적 및 윤리적 관점에서 기술 개발을 안내하는 데 도움이 되어야 함. 그 이론은 의식과 관련된 가장 어려운 문제들 중 몇 가지를 미해결 상태로 남겨둘 수도 있음
- ▶ 이들에 대한 더 많은 통찰력을 제공할 수도 있지만, 이것은 성공을 위해 필요하지 않을 것임. 또한 이러한 문제들에 대해 강력한 디플레이션/유물론자적 입장을 주장하는 것은 불필요하며 역효과적일 것이며 오히려 그 이론은 간결하고 그 가정을 분명히 해야 함

◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 이미 논의된 이유 외에도 오늘날의 AI가 아직 잘 하지 못하는 한 가지는 세계를 넓고, 유연하고, 통합적으로 이해하는 것임
- ▶ 그 대신 AI 시스템은 지금까지 좁은 영역에 초점을 맞추는데, 때로는 초인적인 수준의 성능을 달성하기도 하지만 보다 넓은 맥락에 대한 실질적인 이해가 없음
- ▶ 예를 들어 알파고는 바둑판 위에 있는 돌의 물리적 성질에 대해 전혀 알지 못함. 이는 진정으로 기발한 창의성과 상식적인 이해를 보여주는 등 AI가 아직 할 수 없는 다른 일들과 밀접한 관련이 있는 것임
- ▶ 우리가 현재 광범위하고 유연한 통합적인 이해를 가진 AI 시스템을 만들 수 없는 것이 우리의 제한된 의식에 대한 이해로 인한 것인가?라는 질문이 남아 있음

## 05. IDEA소개#31



Understand Scaling of  
Embodied Cognition

## Understand Scaling of Embodied Cognition

- ◆ Michael Levin [Tufts University]
- ◆ #Cell #Organism #Genom #Cognition

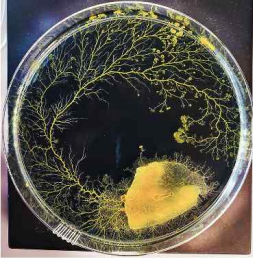
### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 개개의 세포가 어떻게 물리 법칙을 활용하여 복잡한 기능체를 형성하는가? 세포 정보 처리 및 신호 전달 기계는 어떻게 해부학을 구축하고 수리하는 데 통합되어 있는가?

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 자유생존하는 단세포 유기체는 정교하게 복잡한 형태학, 생리학 및 행동(심지어 기억력 및 문제 해결)을 관리함. 이 모든 것은 단일 계산적, 대사적으로 최적화된 세포에서 이루어짐
- ▶ 어떻게든 이 개별 세포들은 다세포 식물과 동물로 함께 결합하여 정보 처리 기술을 복잡한 해부학의 생산과 유지에 적용함. 이것은 '자아'의 경계선을 급진적으로 확장한 것임
- ▶ 메타조아 동물에서, 세포는 발생 동안 몸을 만들고, 손상을 인식하고, 사라진 구조물을 재건하기 위해 협력하고(예: 도롱뇽의 다리 재생) 정확한 형태가 달성되면 멈춰야 함
- ▶ 이러한 발생생성과 재생의 과정은 하드웨어(세포 증식과 분화에 의해 생성된 셀)뿐만 아니라 소프트웨어(세포가 신체 패턴 상태를 인식할 수 있게 하는 네트워크 셀 역학)를 이해하고, 언제 수리해야 하는지, 언제 정지해야 하는지를 가능할 필요가 있음
- ▶ 조직이 유도되는 분자 경로(즉, 분화)는 잘 이해되고 있으며, 우리는 시스템 수준에서 발달 결과를 이해하기 시작하고 있지만, 세포와 세포 집산물의 의사결정 능력에 대한 심오한 미스터리가 존재함. 어떻게 생명체는 세포 수집이 세계적인 목표를 향해 그들의 활동을 확장할 수 있도록 물리학의 기본 특성을 이용할 수 있을까?
- ▶ 유전학은 발달 생물학 및 재생 생물학 전반에 걸쳐 패턴 편집 과정을 구현하는 생물물리학 과정과 어떻게 관련되는가?
- ▶ 우리의 부족한 지식은 다음과 같은 질문을 포함함:
- ▶ 문제를 해결하고, 기억을 형성하며, 스트레스 요인과 변화하는 환경에 역동적으로 적응하는 세포의 능력을 어떻게 뒷받침하는가?
- ▶ 단일 세포 유기체와 체세포의 인지/컴퓨팅 한계는 무엇인가?
- ▶ 이러한 용량은 어떻게 자기 수리 메타조아 신체의 눈에 띄게 적응력이 뛰어난 플라스틱 기능에 맞춰 확장되는가?
- ▶ 세포가 개별적으로 작용하고 몸을 '환경'으로 취급하는 암 중에 어떻게 개별 세포의 협력이 무너지는가? 이 상태를 되돌릴 수 있는가(즉, 중앙 재프로그래밍)

05. IDEA소개#31



Understand Scaling of Embodied Cognition

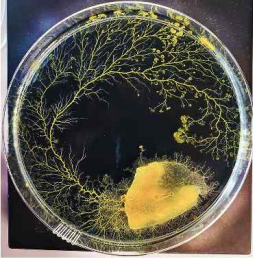
Understand Scaling of Embodied Cognition(Cont'd)

- ▶ 형태생식의 한계는 무엇인가?
- ▶ 대상 형태학(세포를 만들고 수리하는 대규모 해부학)이 암호화된 코드를 알고 있다면 어떤 형태든 (인공 생활 기계)를 만들 수 있는가?
- ▶ 계놈과 기능적 신체를 형성하는 새로운 패턴의 동태현상 사이의 관계는 무엇인가? (그 계놈의 디폴트로부터 신체가 분리될 수 있도록 얼마나 넓게 만들어질 수 있는가)
- ▶ 해부학적 소성성의 기능적 한계가 무엇이며 이러한 모델에서 배운 교훈이 로봇공학으로 번역될 수 있는가? 이러한 질문들은 단일 세포에서 자기 편집체로 연산 및 생물물리학적 특성을 확장할 수 있는 정보 처리를 이해하지 않고는 대답할 수 없음
- ▶ 현재 게임 이론, 진화 생물학, 세포/발전 생물학, 기초 인식, 신경 생물학, 합성 생물학, 정보 이론을 포함한 다양한 학문들에 의해 단편적으로 다루어지고 있음
- ▶ 이렇게 다양하고, 학제 간 높은 영역은 진정으로 근본적인 질문에 대한 결정적인 진전을 이루기 위해 그것을 일관성 있는 분야로 통합하려는 일치된 노력의 혜택을 받을 것임
- ▶ 이 문제는 다양한 분야의 전문가들 사이의 깊은 공감대를 통해 학문 간 과거의 장벽이 초월되는 현대 과학의 영역의 한 예임
- ▶ 주요 연구 방향은 체세포의 원시적 인식의 생물물리학, 체형생식을 조절하는 경로와의 관계, 성장과 형태를 위한 하향식 제어전략의 개발(설계자 인공생리기)과 비유전적 생물전기·생리학적 소프트웨어에 대한 조사 등이며 계놈 편집 없이 신체 전체 결과의 재프로그래밍이 가능한 것으로 보여짐

◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 이것은 근본적인 질문이며, 그 답의 영향은 많은 분야에 걸쳐 확장됨
- ▶ 진화론과 외부 생물학은 어떻게 복잡한 자기 조절 구조가 발생하고 시간이 지남에 따라 변화하는지 더 잘 이해함으로써 혁명을 일으킬 것임
- ▶ 인지과학은 비신경세포 네트워크가 형태생성적 변화에 대한 정보를 저장하고 처리하는 방법을 이해하는 데 성공함으로써 궁극적인 목표인 뇌의 정보를 정신적 내용으로 해독하는 데 더 가까워질 것임
- ▶ 생체 의학 애플리케이션에는 패턴을 목표로 하는 선천성 결함의 수리, 환자 자신의 세포가 손상되거나 노화된 장기를 재구축하는 재생 치료법, 그리고 암 재프로그래밍(투석기 정상화) 등이 포함됨
- ▶ 바이오 공학은 인공 생명 기계를 만드는 능력을 얻게 될 것이며, 합성 생물학을 신진대사 재프로그래밍과 세포 수프를 넘어 바이오 의학에서 우주 식민지화에 이르기까지 수많은 응용과 구조, 기능을 설계한 기능성 '바이오봇'을 향해 나아갈 것임

## 05. IDEA소개#31



Understand Scaling of  
Embodied Cognition

## Understand Scaling of Embodied Cognition(Cont'd)

- ▶ 정보기술은 생체 영감을 받은 자가 수리 통신과 제어 네트워크와 인간의 뇌 구조를 모방하는 것이 아니라 기본적인 세포 기억과 계산 과정을 기반으로 구축된 새로운 (고도로 일반적인) 인공지능 플랫폼의 창조로부터 이익을 얻을 것임
- ▶ 따라서 사회적 성과는 재생 수리를 유도하는 생체의학 치료법(인공 손, 눈 등을 수동으로 구성하는 복잡성 장벽과 이식 시 거부 장벽을 피함)에서부터 광범위한 생명 소프트웨어에 대한 발견을 활용하는 신기술에 이르기까지 다양할 것임

### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

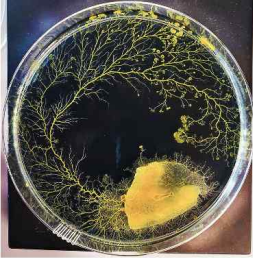
- ▶ 성공은 사용자가 해부학적 수준에서 목표 형태학을 지정할 수 있는 형태학적 컴파일러의 종류(엔진에 대해 CAD에서 하는 것과 같이 생활 구조의 형태를 설계)를 향한 생물학적 제어 전략(분자 하드웨어 수준에서 독점적으로 상향 조정)의 의미 있는 중단을 수반할 것임
- ▶ 컴파일러가 이 설계를 세포가 구축할 수 있는 특정 전략으로 변환하도록 함
- ▶ 성공은 기능적(원자적) 신기성, 다세포성, 진화가능성의 진화적 발달 생물학에 대한 전통적 이론에 대한 이해를 변화시킬 새로운 개념적 통찰로 이어질 것임
- ▶ 성공에는 다음과 같은 새로운 연구 분야, 자금 흐름, 학술지, 그리고 이 새롭게 부상하고 있는 학제 간 분야에서 교육, 자금 지원 및 연구 요구를 다루기에 충분한 폭을 가진 박사 양성 프로그램의 설립이 포함될 것임
- ▶ 구체적인 (실용적인) 성과는 다음과 같은 내용을 가시화 할 것:
  - 1) 재생의학 신규응용 (상황에서의 장기재구축/환자암 재프로그래밍/정상화, 선천적 장애치료)
  - 2) 원하는 구조와 기능을 갖춘 참신한 합성생활기계의 출현
  - 3) 생물학적 강건성에 대한 통찰력을 복원력이 높은 통신망의 개발로 확산함
  - 4) 새로운 (비뉴럴) 셀룰러 정보처리 모드를 기반으로 한 로봇공학(기계학습 플랫폼)

### ◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 이 시기는 다음과 같은 이유로 이상적인 시점임.
  - (1) 이질적인 학문들은 이제 통일로 통합되기 시작할 수 있는 개념적 진보를 만들어냈으며, 시스템 과학과 정보 이론의 새로운 수학적 형식주의는 처음으로 복잡한 삶의 메커니즘뿐만 아니라 살아있는 것의 본질을 기초로 하는 인지적 의미와 계산적 의미를 다루는 것을 가능하게 함



## 05. IDEA소개#31

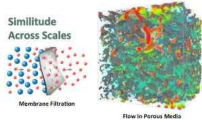


Understand Scaling of  
Embodied Cognition

### Understand Scaling of Embodied Cognition(Cont'd)

(2) 물리학, 세포 생물학, 컴퓨터 과학 분야에서 기술이 온라인에 올라 오고 있으며, 이 기술은 마침내 유도된 자기 계발을 달성하기 위한 세포 인식 공간, 생물학, 멀티스케일 예측 모델에 대한 심문을 시작할 수 있게 하고 있음. 또한 사회는 30억 년의 진화 후 우리 생물권이 발견한 중심 지혜를 활용하지 않고는 생존할 수 없는 인구, 수요, 환경 및 공중 보건 도전 등의 기하급수적인 규모와 관련된 위협에 직면해 있음.

## 05. IDEA소개#32



Universal Similitude Across Scales

## ❖ Universal Similitude Across Scales

- ◆ Hanadi Rifai [University of Houston]
- ◆ #Universal #Model #Application

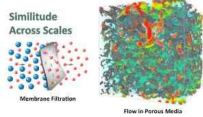
### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 우리는 과학 지식과 기술 혁신을 강화하기 위해 펌토에서 기가까지의 스케일에 걸쳐 시스템이나 인간의 근본적인 과정을 기술하는 보편적 유사도 원칙을 개발할 수 있는가?

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ Similitude는 모델과 실제 적용 사이의 기하학적, 운동학적 또는 동적 유사성을 기술하기 위해 공학에서 사용되는 개념임.
- ▶ 수압 및 항공우주 공학에서 스케일링 모델을 사용하여 흐름 조건을 테스트하기 위해 가장 자주 사용되는 유사도는 유체 역학의 과학과 공학을 촉진함
- ▶ 유사도 원칙이 명확하게 표현된다면, 우리 사회가 직면한 수많은 도전들을 펌토 규모에서 기가 규모에 이르기까지 해결할 수 있는 변혁이 될 것임
- ▶ 예를 들어, 다공성 매체에서의 흐름은 비록 다른 규모의 관측일지라도 막을 통한 흐름과 근본적으로 유사함
- ▶ 막을 통한 흐름은 실험실 규모로 시험할 수 있지만, 다공성 매체의 흐름을 이해하려면 관련된 척도로 인해 실험 및 시뮬레이션 모델에 상당한 투자를 해야 함
- ▶ 게다가, 미세-나노-유체화, 그리고 미세유체학을 이해하는 것은 매우 작은 규모로 유체 흐름의 행동을 이해하는 우리의 능력에 대한 도전임
- ▶ 다공성 매체 또는 막 전체에 걸쳐 있는 유체 내에 서로 다른 크기의 입자 및/또는 화학 및 생물학적 구성요소의 존재와 결합할 때, 복잡성은 관련된 변수의 수와 마찬가지로 확대됨
- ▶ 이 경우 시뮬레이션은 막과 다공성 매체 사이의 기계적 및 기능적 유사성을 규모에 따라 설명할 수 있으며, 이러한 지식을 어떤 규모에서든 더 나은 기술로 변환하여 오일 회수, 막 여과 및 지하수 교정조치를 개선할 수 있도록 할 수 있음
- ▶ 예를 들어, 유사도의 다른 예는 지역화된 규모로 기후 변화의 영향을 해석하고 이해하기 위한 지구 기후 시나리오의 축소임. 기본적으로, 유사도는 어떤 규모에서든 지구 기후 현상을 주도하는 변수나 변수 집단을 이해함으로써 이 과제를 보다 엄격하게 다루기 위해 활용될 수 있음
- ▶ 또 다른 예로는 물리적 물질과 생물학적 인체 조직과 관련된 현상인 부식과 척도 형성이 있음

05. IDEA소개#32



Universal Similitude Across Scales

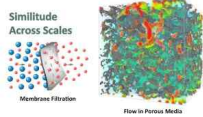
❖ Universal Similitude Across Scales(Cont'd)

- ▶ 시스템 동작(시스템 내 시스템 또는 시스템의 시스템)과 네트워크 분석(전원 그리드, 물 분배 네트워크, 운송 동맥 트래픽 흐름, 인체 내 혈액 흐름)을 위해 유사도 원리를 개발할 수 있음. 실험실 규모 모델을 실제 적용에 연결하는 공학에서 비차원 분석 이외의 현상과 다른 영역에서의 유사도에 대해서는 거의 알려져 있지 않음
- ▶ 주요 연구 질문들은 다양한 영역과 다른 현상의 척도에 걸친 유사도를 식별하고, 관련된 변수를 결정하고, 그들의 기능적 관계를 결정하기 위해 변수들 사이의 관계를 표현하는 비차원적인 양을 개발하는 것을 포함함
- ▶ 어떤 현상은, 더 복잡하기 때문에, 관련될 수 있는 변수들의 그룹을 식별하고 그룹들 사이의 분석적 관계를 개발하는 데 필요한 실험 데이터의 수집을 설계하고 수행할 필요성을 지시할 것임. 또한 공학이 치수, 운동성 및 동적 유사도를 조사하는 동안 다른 유형의 유사도를 정의하고 탐구할 수 있음
- ▶ 다른 주요 연구 질문은 과학 연구에 대한 이 새로운 접근방식을 지원하는 기술 활성화와 관련이 있음. 예를 들어 분석 정량화는 응용수의 규제 표준을 추진하므로, 유사도를 활용할 수 있는 우리의 능력을 강화하는 기술이 필요할 것이라고 주장할 수 있음
- ▶ 예를 들어, 이미징은 다공성 매체에서의 흐름, 막 여과, 그리고 뇌의 세포간 유체 흐름, 그리고 뇌의 막간 유체 흐름에 사용될 수 있는 그러한 가능 기술임. 따라서 유사도 원리를 활용하는 첨단 영상 기술이 필요할 것임

◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 유사성을 이해하고 그러한 지식을 활용하는 것은 발견 속도를 가속화할 것이며, 다양한 분야의 연구자들이 진정으로 함께 접근법과 무엇이 효과가 있었고 무엇이 효과가 없었는지를 토론하도록 할 것임
- ▶ 유사성 연구는 여러 분야에 걸쳐 사용될 수 있는 많은 공통의 기본 구성 요소와 도구로 이해되는 공통 사전을 만들 것임. 학제 간 연구는 서로 다른 학문들이 사용하는 과학적 언어와 명칭의 차이 때문에 연구자들 사이의 의사소통 부족에 의해 가장 방해받고 있음
- ▶ 동일성 분석은 학문과 규모에 걸쳐 구현될 수 있는 공통의 체계를 제공하기 때문에 그러한 경계를 제거하는 한편, 유사도 접근법은 현상과 이러한 현상이 어떻게 다른 규모로 나타나는지 설명함.
- ▶ 위의 예(다공성 매체의 흐름 또는 막 건너편)에서 토양과학자와 지질과학자는 다공성 매질과 그 공정을 다루는 한편 분리 전문가와 환경공학자는 막 공정을 연구함
- ▶ 오늘날과 같이 두 공동체는 이와 매우 유사한 과제를 독립적으로, 그리고 크게는 진공 상태에서 다루며, 그렇지 않으면 두 도전에 대한 더 나은 해결책으로 이어질 수 있는 지식과 아이디어의 교차 배양에서 잃어버린 기회를 사례로 볼 수 있음

## 05. IDEA소개#32



Universal Similitude Across Scales

## ❖ Universal Similitude Across Scales(Cont'd)

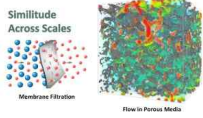
- ▶ 지하수 교정조치나 지표면 하부 매체에서 탄화수소를 추출하는 것과 관련된 더 나은 막, 필터 및 기술은 유사도에 대한 투자의 큰 혜택을 받을 것임
- ▶ 중요한 것은, 유사도 분석은 현상이나 시스템과 관련된 시스템, 중단 및 계단식 고장에 대한 보다 전체적인 이해를 가능하게 할 것이며, 그 규모와 무관하게 그러한 이해를 가능하게 할 것임
- ▶ 예를 들어, 자연자원의 고갈이나 적절히 관리할 수 없는 폐기물의 생성 등 우리 사회가 직면하고 있는 기가톤적 문제를 고려할 때, 유사도를 활용해 자연자원의 고갈률을 줄이거나 안정시키거나, 필요에 맞는 신소재 창출과 천연자원의 수요를 구하는 것이 가능하게 할 수 있음
- ▶ 현재 탄력을 받고 있는 원 워터(One Water) 개념을 워터 그랜드 챌린지(Water Grand Challenge)를 다루기 위한 단일 프레임워크로 활용하면 유추할 수 있음
- ▶ 물 사용의 다양한 측면(먹는 물, 폐수, 폭풍수)에 대한 중요한 투자 대신, 사회는 오염을 최소화하고 재활용과 재사용을 강화하는 기술에 투자함으로써 다양한 용도에 걸쳐 물을 보다 총체적으로 다룰 수 있음
- ▶ Similitude는 현상 자체에 대한 이해와 그것이 규모나 매체에 걸쳐 어떻게 발현되는가에 기초하기 때문에 규모에 구애받지 않고, 매체에 독립적으로 우리 사회가 직면한 수많은 도전들을 해결하는 데 사용될 수 있는 One Water와 비교할 수 있는 틀을 제공함.

### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 이 영역의 성공은 시스템이나 현상에 대한 새로운 차원의 유사성, 유사성과 상호관계에 관련된 변수의 식별과 같은 새로운 지식의 창출일 것임
- ▶ 중요한 것은, 사회적 도전에 대한 사고방식과 그것들을 어떻게 다루어야 하는지에 대한 새로운 보편적 원칙의 개발에서 성공이 될 것임. 성공은 또한 유사성을 이해하기 위한 새로운 시험대를 만드는 데 있을 것임
- ▶ 예를 들어, 풍동 터널은 항공 또는 풍력에너지와 관련된 공기역학을 조사하기 위해 사용되며, 유사도 원리를 사용하여 모델을 설계한 실제 용도를 나타내는 모델을 연구하기 위해 사용됨
- ▶ 유사도 테스트베드는 실험, 모델 또는 시각화될 수 있음. 우리는 현재 유체역학, 열역학, 지하수 흐름, 수처리 등 매우 구체적인 교과서를 사용하여 가르치고 있음. 학생들은 주제와 학문의 연관성을 보지 못하고, 큰 난제를 해결하기 위해 배우고 지식의 종합과 통합에서 준비가 미흡한 특정 정보의 관련성을 보지 못함. 다음 세대를 위한 교과서를 훈육에 특화된 것이 아니라 현상적으로 기반을 둔 이 새로운 지식 프레임워크로 다시 쓰는 것이 성공적일 것임

05. IDEA소개#32

❖ Universal Similitude Across Scales(Cont'd)



Universal Similitude Across Scales

- ▶ 모든 학문이 공유하고 미래 세대가 학습한 새로운 사전을 개발하는 것이 성공일 것임. 예를 들어, 다공성 미디어의 이질성을 계량화하거나 세일 매트릭스를 이해하기 위해 소형화된 영상 기술을 사용하는 기술 발전은 성공을 예시할 것임
- ▶ 만약 우리가 세일 매트릭스를 이해할 수 있다면, 이 지식은 다른 사회적 필요를 충족시키는 세일 같은 유사성을 가진 새로운 물질을 알리는데 사용될 수 있음

◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 분석 및 계산 기술은 새로운 유사도 원리를 개발하고 관찰 척도와 무관한 근본 현상에 대한 이해를 강화할 수 있을 정도로 충분히 발전했음. 사회가 직면하고 있는 도전은 이제 다차원이나 규모뿐만 아니라 훨씬 더 많은 변수까지 복잡하고 관여하게 되었음
- ▶ 이러한 복잡성은 현상학적 공통점에 근거한 지식을 활용하는 프레임워크나 접근방식을 통일하지 않고서는 개별적인 도전을 다루기 어렵게 함
- ▶ 학제 간, 다학제를 뛰어넘어야 할 필요성은 그 어느 때보다 큼
- ▶ 우리는 모든 레벨의 교육에 대한 투자를 통해 인프라를 갖추어 현상에 대해 보고 이해하는 미래 세대와 이러한 현상이 어떤 규모, 어떤 영역이나 도전에서도 어떻게 나타나는지 준비함

## 05. IDEA소개#33



Unlocking the Future of  
Infrastructure

LEARN MORE

## Unlocking the Future of Infrastructure

- ◆ Juan Pablo Gevaudan [University of Colorado at Boulder]
- ◆ Chelsea Heveran [Montana State University]
- ◆ #Autonomy #Construction #Housing #Material

### ◆ 이 제안을 거부할 수 없게 만드는 질문이나 도전은 무엇인가?

- ▶ 자동화 건설과 인공지능의 교차점에서 혁신적이고 재활용 가능하며 적응력이 있는 소재가 지역 환경과 관련해 공생 인프라를 제공할 수 있을까?

### ◆ 이 제안에 대해서 우리가 알고 있는 것은 무엇이며 우리가 다루어야 하는 핵심 연구 질문은 무엇인가?

- ▶ 불평등한 주거비용과 자원부족과 함께 도시환경의 인구증가는 도시의 연속성을 위한 주요한 과제를 제시함. 2050년까지 전세계 인구의 66%가 감당할 수 없는 주거비 때문에 2020년까지 10억 명이 비공식 주택에 거주하는 도시 지역에 거주할 것으로 예측됨
- ▶ 따라서 지상(및 외계)도시의 지속가능한 발전을 위해 대규모 도시 인프라를 구축할 수 있는 자동화 건설 시스템과 차세대 자재에 대한 혁신이 절실함
- ▶ 지역화된 환경침해 요인에 대응하고, 세계화된 저탄소 수요를 충족하며, 지능형 로봇구축과의 접점이 가능한 본격적인 재활용성을 갖춘 혁신적인 차세대 소재를 개발하기 위해서는 복수의 과학기술 분야에 대한 비판적 투자가 필요
- ▶ 현재, 자동화된 건설 시스템(즉, 디지털 제작)은 더 넓은 산업계와 과학계에서 인기를 얻고 있으며, 자유형 건축, 자재 폐기물 감소, 낮은 건설 비용으로 건설에 혁명을 약속하고 있음
- ▶ 자동화된 건설 시스템이 급성장하는 기술인 반면, 이러한 전략들은 현재 일반적인 포틀랜드 시멘트 같은 전통적인 건축 자재를 채용하고 있음
- ▶ 재료는 층으로 압출되어 구조 부재(예: 하중 지지 벽)의 점진적인 구조를 초래함. 최근 외계 디지털 제작을 위해 레이어드 압출 변형, 윤곽 제작 등이 제안됨
- ▶ 그 결과, 연구자들은 현재 포틀랜드 일반 시멘트의 과학적 지식 기반을 탐구하고 있으며, 보다 작은 범위에서는 완전한 디지털 제작이 가능하도록 대체 시멘트를 연구하고 있음. 최근의 연구는 "콜드 조인트"를 피하기 위해 침전된 층들 사이의 고장점인 압출 속도와 항복 응력 관계가 밝혀짐

## 05. IDEA소개#33



Unlocking the Future of Infrastructure

LEARN MORE

## Unlocking the Future of Infrastructure(Cont'd)

- ▶ 더욱이 로봇과 화학 수식어에 대한 현재의 지식은 보강을 통합하고 콜드조인트 관절을 피할 수 있는 새로운 디지털 제작 방법(즉, 스마트 다이나믹 캐스팅)을 개발했음
- ▶ 그러나 현재 일반 포틀랜드 시멘트의 관례적인 사용과 낮은 내구성의 성능은 도시 지속가능성 개발 약속을 지키기 위해 자동 건설이 이루어 지려면 반드시 깨져야 하는 글로벌 패러다임을 제시함
- ▶ 도시의 지속가능한 발전을 위해서는 건설자재의 다양화로 인해 인프라마다 적합한 고성능 자재가 선택되는 새로운 패러다임이 필요함
- ▶ 이러한 차세대 자재의 혁신과 활용은 지능형 메카트로닉스를 통해 지역화된 인프라 내구성 과제를 뛰어넘고, 글로벌 CO2 배출량을 줄이고, 건설 조립 공정에 혁명을 일으킬 수 있는 독특한 기회를 제공할 수 있음
- ▶ 기초적인 연구 질문들은 다음과 같음:
  - 일반 포틀랜드 시멘트가 CO2 배출량의 약 6%를 차지하는 점을 감안할 때, 구현 및 운용 에너지 우려를 낮추기 위해 어떤 차세대 소재를 개발 및 상용화할 것인가?
  - 건설 시스템을 완전히 자동화해야 할 필요성에 비추어 볼 때, 자기 감지, 자기 지역화 및 자기 동력 로봇이 위험한 건설 현장을 운영할 수 있는가?
  - 자원 부족을 방지해야 하는 상황에서, 적응 가능한 재료에 대한 기초 과학이 적용 트리거를 통해 차세대 인프라 재료의 완전한 재활용성을 허용할 수 있는가?
  - 향후 메카트로닉스와 인프라 재료의 발전을 감안할 때, 메카트로닉스와 스마트 로봇공학이 재료 시스템을 디지털 제작 프로세스로 변환할 수 있는가?
  - 완전한 재활용이 가능하고 내구성이 있으며 지속 가능한 재료를 개발해야 하는 경우, 차세대 인프라 재료가 부드러운 유기물과 단단한 무기물질의 교차점에 놓여질 수 있는가?
  - 차세대 우주 프론티어를 식민지화할 필요성을 고려할 때, 혁신적인 소재가 우주 인류 정착지를 만들기 위한 변화와 극한의 환경 조건에 대응할 수 있는가? 필요한 재료 특성을 생성하기 위해 화학적 모디파이어는 어떤 역할을 하는가?



## 05. IDEA소개#33



Unlocking the Future of  
Infrastructure

LEARN MORE

## ❖ Unlocking the Future of Infrastructure(Cont'd)

### ◆ 이 제안이 왜 중요한가? 이 분야에 투자한다면 어떤 과학적 발견, 혁신, 또는 사회적 성과를 얻을 수 있을 것인가?

- ▶ 차세대 인프라 개발과 건설자재 다양화에 대한 새로운 패러다임 조성을 위해서는 지능형 자동화 건설 시스템과 혁신 자재의 미개척 조합이 필수적임
- ▶ 이러한 연구 주제 때문에, 다양한 지역(및 외계) 환경과 공생하는 차세대 기반시설의 자동 생산은 도시 지역의 지속 가능한 발전을 보장할 수 있는 변혁적 잠재력을 가지고 있음
- ▶ 따라서, 이러한 과제를 충족시키는 것은 우주 개척지의 건설을 가능하게 하고, 지상 기반 시설 보수와 건설 비용을 낮추며, 도시 지역의 사회경제적 문제를 해결하는 데 더 큰 영향을 미칠 것임
- ▶ 인프라의 미래를 열기 위한 국가적 투자는 여러 분야에 걸쳐 수많은 과학적 발견을 낳을 것임
- ▶ 첫째로, 재료 과학의 다학제 분야는 대체 시멘트 바인더의 생산과 관련된 새로운 무기중합체 화학으로부터 이익을 얻을 것임. 무기 유기 중합체 물리 화학의 교차점은 전환 가능하고 재활용 가능하며 반응성이 뛰어난 경질 물질로 새로운 관계가 설명될 것임
- ▶ 새로운 합성 경로는 재료 처리-구조-재산 관계가 그 운영 에너지와 구현 에너지 모두에서 지속가능하도록 보장할 것임. 따라서, 차세대 기반 구조의 자동화를 위한 광범위한 예비 재료 제품군을 가능하게 함
- ▶ 둘째, 급격한 동적 조건과 관련하여 로봇의 자기 감지, 자기 작용 및 자기 지역화 능력에 대한 과학적 발견은 자동화된 건설 프로세스를 진전시킬 수 있는 연역형 로봇 지능의 혁신을 가능하게 할 것임
- ▶ 컴퓨터 과학, 토목 공학, 재료 과학의 교차점은 중요한 기반 구조의 감시와 수리를 가능하게 하는 기반 구조 내에 지능형 시스템을 내장할 수 있는 새로운 경로를 산출할 것임
- ▶ 더욱이, 정보 시스템 구축, 우주 범위 모니터링 기술, 컴퓨터 비전에 대한 과학적 발견은 이 난제에 대한 투자로부터 기대되고 있음
- ▶ 미국 건설 산업의 발전을 강화하는 것 외에도, 이 투자의 사회적 영향은 노동력 감소를 통해 주거 비용을 절감하고(현재의 기술로 ERDC가 추산한 약 62%의 노동력 감소) 혁신적인 완전 재활용 재료를 통해 자원 부족을 방지할 것임
- ▶ 혁신적인 재료로 자동화된 건설은 저비용, 내구성, 지속 가능한 인프라를 제공함으로써 현재의 투자 격차를 줄일 것임. 따라서 현재 미국의 노후화된 인프라에 필요한 활성화와 기술적 진화를 제공함
- ▶ 마지막으로 건설노동의 변위는 효과적인 사회정책, 인간-컴퓨터 기술 활용(증강현실), 미래 일자리 창출을 위한 지속적인 교육으로 충족되어야 함

## 05. IDEA소개#33



Unlocking the Future of Infrastructure

LEARN MORE

### ❖ Unlocking the Future of Infrastructure(Cont'd)

#### ◆ 만일 이 분야에의 투자로 인한 성공은 어떤 모습일까?

- ▶ 이 분야에 대한 성공적인 투자는 인프라 보수와 건설이 지능형 로봇 건설 시스템에 의해 수행되는 자동화된 공정이 되는 미래를 초래할 것임. 이러한 인프라 프로젝트는 완전히 재활용되고, 저탄소하며, 지역 환경 침략자들에게 반응하는, 따라서 내구성이 뛰어난 다양한 혁신 물질로 건설될 것임
- ▶ 따라서 건설업계를 다른 건설자재를 활용하여 현지화된 내구성 과제를 해결하는 새로운 패러다임으로 전환함. 나아가, 지상이든 외계든 최소한의 기반시설 보수와 건설 비용은 현재의 노후화된 기반시설에서 기술적 진화를 이루고 노동력의 새로운 분야로의 다변화를 가능하게 할 것임
- ▶ 재료과학, 컴퓨터공학, 토목공학, 건축공학, 기계공학 분야에서의 근본적인 연구 공백이 해소되고 새로운 연구 프런티어가 열릴 것임
- ▶ 컴퓨터 과학 분야의 주요 발견은 사회에서 여러 가지 주요 기능을 수행할 수 있는 연역 지능 로봇의 허용을 가능하게 할 것임. 이러한 과학적 발견은 도시와 농촌 지역의 건물 설계와 건설에 영향을 미칠 것이며, 따라서 에너지 설계의 연관성에 영향을 미칠 것임
- ▶ 혁신적인 건설 자재의 가용성은 유기농 자재 교차성을 연결시켜 줄 것이며, 사상 최초로 재활용이 충분히 가능한 건설 자재를 가능하게 할 것임. 그 결과, 미국의 인프라가 다시 활성화되고 기술적으로 발전하여 미래의 환경 과제를 해결할 수 있을 것임

#### ◆ 왜 지금 이 분야에 투자해야만 하는가?

- ▶ 우리의 현재 건설자재는 노후화된 기반시설을 수리하기에 부적합하고, 줄어드는 자금자원은 지속적이고 지속 가능한 해결책을 필요로 하기 때문에 이 연구 주제에 대한 현재의 투자는 매우 중요함
- ▶ 자동화된 건설 뒤의 현재의 모멘텀은 새로운 재료 다양화와 적절한 선택을 촉진하는 새로운 패러다임으로 활용되어야 함
- ▶ 유엔이 최신 기후변화 보고서에서 실천을 촉구한 것뿐만 아니라, 각각 2020년과 2050년의 임박한 주택과 도시화 과제는 자동화된 지능형 건설 시스템이라는 맥락에서 공생적 인프라를 제공할 수 있는 혁신적이고 재활용 가능하며 적응 가능한 재료로 충족되어야 함
- ▶ 이러한 차세대 재료의 개발은 지능형 자동화 시스템과 연계되어 현재 전 세계에서 생산되는 에너지의 70%를 소비하고 있는 전 세계 도시 에너지 사용을 줄이고, 외계 생물체의 식민화를 가능하게 하는 변환 잠재력을 가지고 있음

## 10. 결론 및 시사점

### [결론]

- ◆ 이번 NSF 2026 Idea Machine에서 제안된 연구과제는 다분히 혁신적이며 실험적이고 그 가운데는 콘셉트에 불과한 내용들도 많음
- ◆ 하지만 NSF와 과학 공동체가 합심하여 제안된 내용들에 대한 진지하고 끈질긴 연구를 추구하여 성과를 일궈낸다면 미국의 건국 250주년은 매우 의미 있는 시간이 될 것임
- ◆ 특히 우수한 성적을 거둔 과제들이 대부분 다학제/ 초학제적 융합연구를 전제로 하고 있어 NSF의 또다른 10 Big Idea인 Growing Convergence Research (GCR)과 연계되어 대규모 지원으로 이어질 것이 예상됨
- ◆ 많은 과제들이 제시한 문제의 해결을 위한 방법론으로 학제 간 융합연구를 전제로 하고 있음. 이는 미국이 국가 차원에서 뿐 아니라 소규모 연구에서도 융합연구의 잠재력에 큰 기대를 걸고 있으며 융합연구의 중요성과 역할을 엿볼 수 있었음
- ◆ 폭넓은 다학제적인 융합연구 뿐 아니라 연구 커뮤니티와 일반시민들의 “참여”를 촉구하는 방법론을 제시하는 연구도 다수 존재함
- ◆ 다수의 빅 아이디어가 A.I., 환경문제, 교육에 대한 관심이 높았으며 이러한 키워드를 미국의 국제적 경쟁력과 더 나아가 인류의 존망과 직결되는 사항들로 생각하고 있음을 알 수 있었음
- ◆ “아이디어머신과 같은 새로운 메커니즘을 개발하고 활용하여 과학과 공학의 최전선에서 탐험의 가능성을 보장하고, 창의적인 사고를 장려하며, 혁신적인 방법으로 경계를 넘나들며, 우리가 인식하고 있는 분리된 지식의 격차를 좁히게 될 것”으로 전망하였음(Suzi Icko, NSF)

## 10. 결론 및 시사점

### [시사점]

- ◆ 최근의 융합 트렌드는 융합을 통해 생성된 지식 및 기술과 학문체계가 과학기술 연구에서 점차 특정 학문중심(discipline-based) 접근을 벗어나 문제중심(problem-based) 접근을 보편화하고 있음
- ◆ 기술 자체로 문제를 해결하는 것이 아닌, 문제해결을 위해 어떤 분야들이 공통적으로 기여해야 하는지에 대한 조명과 시도가 NSF 2026 아이디어 머신에서 공통적으로 제시되어 있음
- ◆ 기술을 어디에, 어떻게, 누구를 위해 사용하는 것이 기술이 지닌 참된 가치와 편익을 높일 수 있는가에 고민을 통해 문제와 직접적으로 연관된 이해관계자의 폭넓은 참여와 더불어 융합적 사고와 탐구가 필요함
- ◆ 국내 융합 연구의 선진화를 위해서는 과학기술 기반의 융합 연구와 인문사회 기반의 융합연구를 따로 구별하는 것이 아닌, 문제해결을 위해 진정한 공통된 융합과 활성화가 필요함
- ◆ 지식, 연구방법론, 교육, 표준 등 학제를 넘어서는 정보혁신적인 융합은 물론이고 기업체, 대학 및 연구기관, 민간 및 사회단체 등 다양한 기관 간 융합과 이를 지원하기 위한 제도적이고 정책적인 융합도 추구해야 할 필요가 있음
- ◆ 이를 위해서는 융합연구자 간 연결과 소통, 협력을 통해 국제적인 트렌드에 귀 기울이는 한편, 연구자와 정책지원기관을 연결하고, 연구자와 연구기관의 필요를 이해하고 수렴하는 넥서스(Nexus)로서의 센터의 역할이 중요함
- ◆ 공통의 보편적 융합 데이터베이스 구축과 성과의 집적을 바탕으로 과학 및 기술 투자 계획 및 정책과 의사결정에 영향을 미칠 수 있는 네트워크 확산과 일반인 및 비전문가 역시 융합연구에서 돌파구를 찾을 수 있는 인식개선과 저변확대가 필요함

### 참고자료

- NSF 홈페이지: NSF 2026 Idea Machine  
([https://www.nsf.gov/news/special\\_reports/nsf2026ideamachine/index.jsp](https://www.nsf.gov/news/special_reports/nsf2026ideamachine/index.jsp))



**발행일 : 2020. 08. 28**  
**발행처 : 융합연구총괄센터**  
**센터장 : 노 영 희 교수**

**작성자 : 박 민 수 박사**