



융합연구리뷰

Convergence Research Review

융합기술

기후변화 대응 융합기술

이미혜(고려대학교 지구환경과학과 교수)

융합정책

초학제 융합연구 R&D 프로그램: 사례 및 시사점

권혜연(한국과학기술연구원 기술정책연구소 선임연구원)

CONTENTS

- 01** 편집자주
- 03** 기후변화 대응 융합기술
- 17** 초학제 융합연구 R&D 프로그램: 사례 및 시사점

융합연구리뷰

Convergence Research Review

2024 September Vol.10 No.09

발행일 2024년 9월 25일

발행인 임혜원

발행처 한국과학기술연구원 미래융합전략센터
02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5
Tel. 02-958-4987 | <https://kist.re.kr/fcsc>

펴낸곳 공간기획 Tel. 044-863-0978

편집자주

대기환경과 기후오염: 미세먼지 문제의 융합적 접근

우리나라는 2015년 PM_{2.5}을 도입해 대기오염 관측을 시작한 이후, 미세먼지가 국가적 이슈로 떠오르며 약 20조 원의 예산이 투입되었다. 이중 상당 부분이 전기차 보급에 활용되었으며, 이는 에너지 사용이 대기오염과 기후오염의 근본 원인을 잘 보여준다.

대기오염과 기후오염은 밀접하게 연결되어 있어 통합적 접근이 필요하며, 이를 위해 에너지 정책과의 연계가 필수적이다. 대기화학 연구는 이러한 문제를 진단하고 저감 기술을 개발하는 데 중요한 역할을 하며, 성층권 오존 문제 해결 노력도 이와 같은 과정의 일환으로 향후 2050년까지 회복을 기대하고 있다.

환경 문제를 다루는 여러 사례를 볼 때, 정책은 과학적 연구 결과에 기반해야 하며, 지속적인 평가와 재수립이 중요하다는 시사점을 지닌다. 본 호 기술리뷰에서는 대기오염과 기후오염 문제의 복잡성을 다루며, 이를 해결하기 위한 정책적 접근과 연구 결과를 소개한다.

초학제 융합연구: OECD로 만나는 성공의 교과서

오늘날 사회가 마주한 문제들은 어느 때보다도 복잡하게 얽혀 있어, 전통적인 경계를 허물고 다양한 지식을 융합하는 '초학제 융합연구'가 필수적이다. 초학제 융합연구는 다양한 분야의 연구자와 비학계 참여자가 협력하여 혁신적인 해결책을 모색하는 접근 방식으로, 실제 문제 해결에 있어 매우 중요한 역할을 한다.

그러나 이러한 접근 방식이 실현되기 위해서는 언어와 방법론의 차이, 연구 문화의 다양성 등 여러 도전 과제가 존재한다. 이러한 문제들은 초학제 연구의 잠재력을 제한할 수 있다.

본 호 정책리뷰에서는 OECD의 자료를 바탕으로 국내외 초학제 융합연구 R&D 프로그램의 사례를 분석하고, 이를 통해 정책적 시사점을 도출하는 데 중점을 두고자 한다. 이어서 초학제 융합연구 R&D 프로그램의 개념을 정리하고, 주요 사례를 통해 극복 가능한 접근법을 탐색하고자 한다. 이러한 분석이 향후 유사한 연구 프로그램의 기획과 운영에 실질적인 도움을 줄 것으로 기대한다.



융합연구리뷰
Convergence Research Review

2024 September Vol. 10

No. 09



융합기술

기후변화 대응 융합기술

이 미 혜

고려대학교 지구환경과학과 교수

기후변화 대응 융합기술

이 미 혜 (고려대학교 지구환경과학과 교수)

I. 서론

1. 기후변화

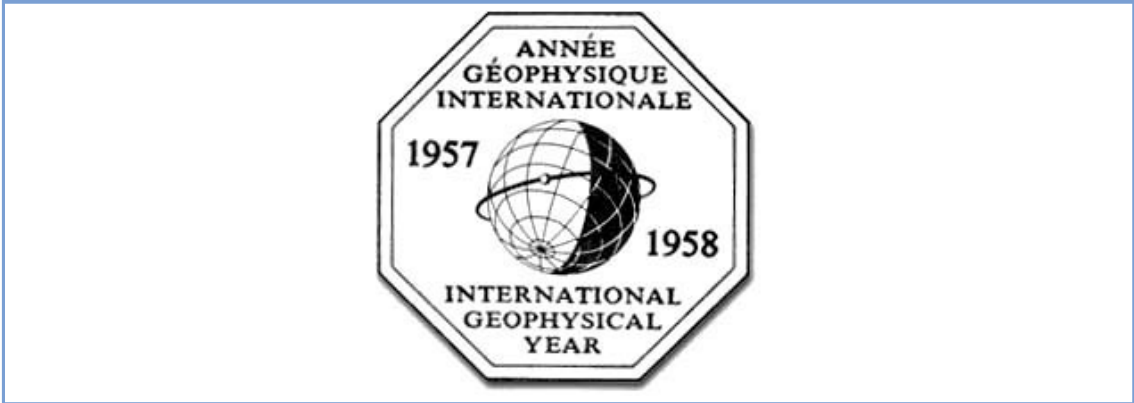
기후는 지구의 총체적인 환경을 나타내는 단어로 지구를 구성하는 모든 요소는 시간과 공간 그리고 기여도에 차이가 있을 뿐 모두 기후를 만드는 조력자이다. 지구의 환경은 45억년 역사를 통해 내외적인 영향에 대응하며 새로운 평형상태를 찾아 변화를 거듭해 왔다. 지구가 경험했던 강력한 첫 오염은 대기 중 산소의 증가인데 이를 통해 생태계가 완전히 변화되며 인간이 지구에 출현하여 번성할 수 있었다. 이때 이산화탄소는 급격히 감소하였다. 현재 지구가 직면한 위기는 이와 반대인 이산화탄소의 증가이며 아주 미미하지만 산소도 함께 감소하고 있다. 현재의 변화를 과거와 비교할 때 가장 큰 차이는 변화의 속도이며 인간의 개입이다. 지구는 이러한 급격한 변화까지도 극복하고 인간의 존속에 적절한 지구환경을 계속 유지할 수 있을까? 이러한 기후위기 앞에서 우리는 삶의 터전인 지구가 지속 가능하도록 가장 중요한 기후변화유발물질인 이산화탄소의 배출을 저감하여 2050년까지 탄소중립을 달성하려는 거대한 목표를 선언하게 되었다.

II. 본론

1. 변화의 진단

이런 지구환경 문제의 진단에는 지구에 대한 이해를 향상시키기 위한 관측이 중요한 기여를 하였다. 전세계가 냉전체제로 급편성되던 1957년에, 극지역, 대기, 지구 내부, 태양을 포함한 지구에 대한 이해를 향상시키기 위한 목적으로 IGY(International Geophysical Year)가 선포되었다.

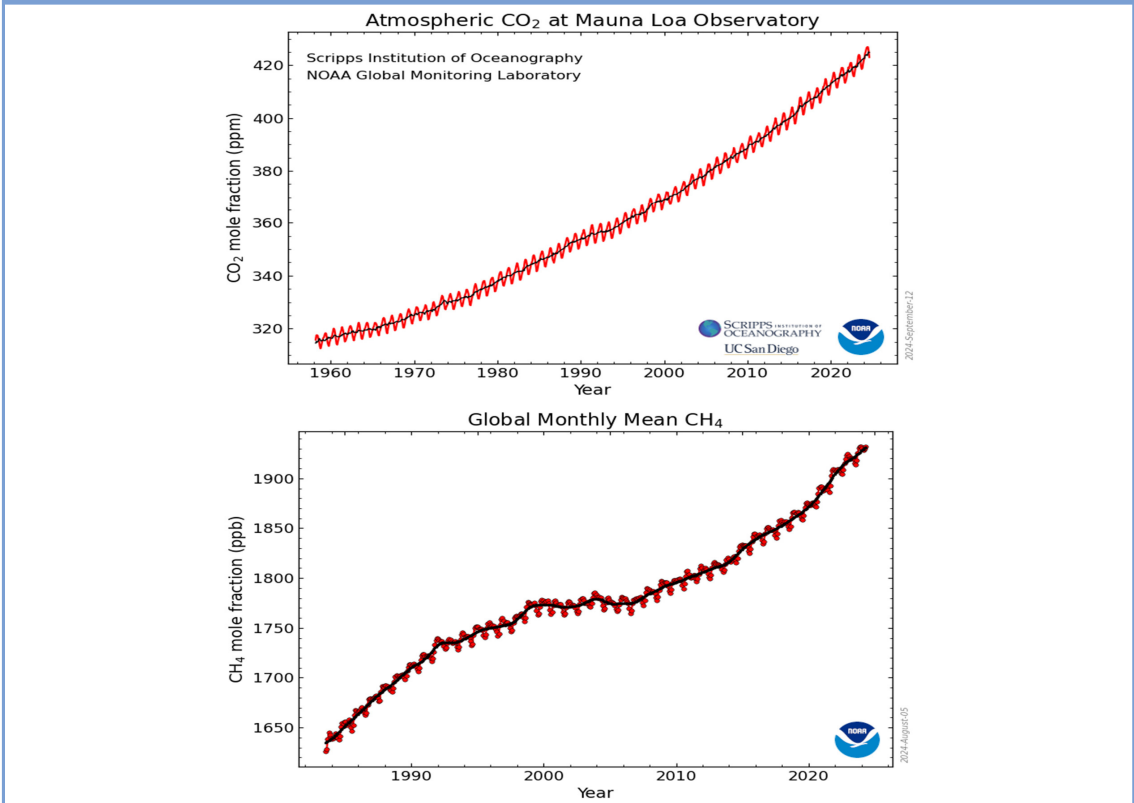
그림 1. IGY (국제 지구물리의 해) 공식 엠블럼



* 출처: Wikipedia

그리고 인간의 손길이 닿기 어렵고 영향이 적은 지구 곳곳에 관측소를 설치하여 대기의 주요 조성을 측정하기 시작하였다. 대표적인 예로 영국의 남극기지에서 지구 대기의 오존(O₃) 전량 측정이 시작되었고 하와이 마우나로아 3400미터 정상에 관측소를 설치하고 이산화탄소(CO₂)를 측정하기 시작하였다.

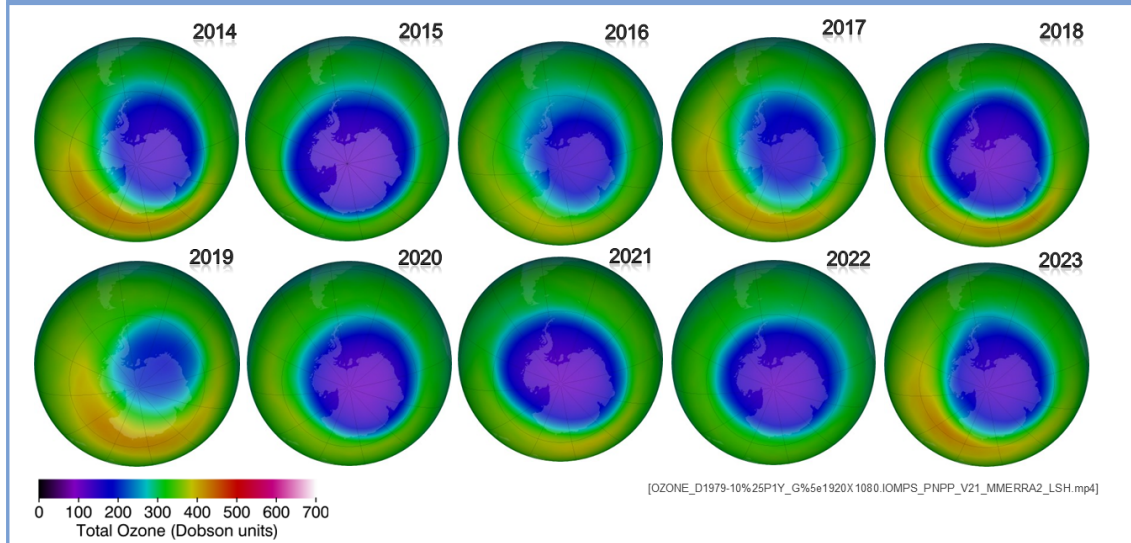
그림 2. 하와이 마우나로아에서 측정된 CO₂와 전지구 평균 CH₄ 농도 변화



* 출처: NOAA

더불어 소련에 의해 첫 지구의 위성이 발사되었다. 이후 1985년에 남극지역 오존이 이른 봄철 정상시의 절반 이하로 감소하는 오존구멍이 보고되었으며 이산화탄소가 매년 ~2ppmv의 빠른 속도로 증가함을 알게 되었다.

그림 3. 남극 성층권 10월 평균 오존 총량



* 출처: NOAA

미국의 해양대기청 (National Oceanic and Atmospheric Administration)이 전세계 관측소의 측정 결과를 기반으로 최근에 제시한 건조공기의 평균 조성은 CO₂가 0.042%, CH₄이 1.93ppm, O₃이 70 ppbv이다 (NOAA). 극지역 빙원에서 채취된 빙하시추공 (ice core) 안에 포집된 과거의 공기 중 이산화탄소 농도는 2000여 년 동안 0.028 % 정도로 유지되었다가 1850여 년부터 급격하게 증가하기 시작했음을 보여준다.

공기는 이상기체로 취급해도 가능한 정도로 매우 희박한 기체인데 그 안에 백만분의 일 이하의 미량으로 존재하는 화학 성분이 기후변화와 대기오염을 유발한다. 이렇게 미량으로 존재하는 대기중 화학성분의 정확한 측정은 20세기 과학기술의 발달과 더불어 가능해졌고 이와 함께 대기의 화학 조성에 대한 이해가 급속도로 향상되었으며 그 변화에 대한 진단이 가능해졌다. 그러면서 여러 지구환경 문제가 불거졌으나 해결책 또한 고안되었다. 따라서 기후변화 대응의 출발은 지구 곳곳에서 공기 중 존재하는 핵심 미량 조성을 정확하게 그리고 지속적으로 측정하는 것이고 이를 위한 기술을 개발하는 것이다.

2. 문제 해결의 예

인간의 삶의 편의를 위해 다양한 목적으로 고안되어 사용되던 물질도 측정이 시작되어 대기중 농도 변화가 지속적으로 관찰되다 보면 관련된 문제가 발견되고 이에 대한 연구를 수행하면서 문제를 해결해 가는 일종의 사이클이 반복되고 있다. 가장 좋은 예가 wonder gas로 불리던 프레온(CFC)이다. 과거 산업계에서 합성되어 우리 생활 중 폭넓게 사용되던 물질이 성층권으로 이동해 오존을 소멸하며 더불어 지구의 온난화를 촉진하는

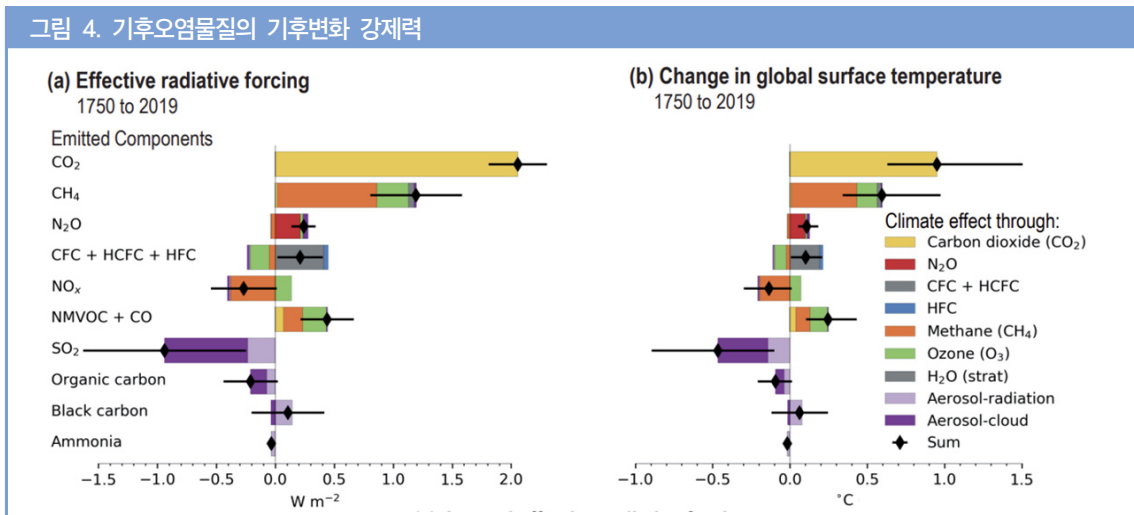
물질로 자리매김하게 된 것이다. 이후 대체물질의 개발과 함께 국제적인 정책적 합의를 거쳐 이 물질의 사용은 금지되었고 현재 이들의 대기중 농도는 느리지만(대기중 수명이 100년 이상으로 길기 때문) 감소하고 있다.

3. 기후오염물질

이와 유사한 또 하나의 도약은 대기의 오염물질이 기후변화유발물질로 정의된 것이다. 오존이 대표적인 물질이다. 현재 CO₂와 CH₄에 세 번째로 온난화 기여도가 크다. 일반적으로 온실기체는 대기중 수명이 100여 년 이상으로 길어 대기 중에 잘 섞여 분포가 비교적 균일하다. 이들을 장기 체류 온실기체(long-lived greenhouse gas)로 구분하며 CO₂와 CFC가 가장 대표적인 물질이다. 성층권에서 오존은 인위적으로 만들어진 물질에 의해 원래 농도보다 감소하는 것이 문제인데, 대류권에서 오존은 도시를 중심으로 대기 오염물질의 증가와 함께 농도가 증가하는 것이 문제이다. 오존은 대륙간 이동도 가능하므로 regional scale에서 기후변화를 유발하는 중요한 물질이다.

특히 정부간 기후변화 협의체인 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 2021년 제 6차 보고서를 통해 Short-lived climate forcer(단수명 기후변화 유발물질 - 기후오염물질)를 정의하고 온실기체 중 수명이 수년 정도로 짧은 메탄(CH₄)부터 오존과 미세먼지 그리고 이를 생성하는 반응기체를 모두 SLCF로 구분하여 이에 대한 상세한 분석을 수행하였다(IPCC 2021). 여기에 속하는 대표적인 물질이 오존이다.

그림 4. 기후오염물질의 기후변화 강제력



* 출처: IPCC (2021)

오존은 특히 온도가 높아지면 생성이 촉진되므로 온난화와 오존 생성 사이의 positive feedback(양의 되먹임작용)을 climate penalty로 정의하여 온도에 대한 오존 증가 정도를 산정한다(Otero et al., 2018). 온난화의 가장 분명한 특성 중 하나가 폭염과 같은 극한기상의 빈도와 강도의 증가인데 우리나라는 2018년 폭염의 기록을 갱신한 이래 2024년 다시 기록적인 폭염과 함께 기록적으로 높은 숫자의 오존 주의보가 발령되었다

(www.airkorea.or.kr). 농도 증가는 현재 우리나라에서 대기오염과 기후변화 측면에서 모두 문제가 되고 있다. 따라서 이제는 국지적 대기오염과 글로벌 기후오염 사이의 간격이 사라지고 이들이 함께 취급된다. 인구가 밀집된 도시민의 건강과 지구환경의 지속가능성은 더 이상 구분하지 않게 되었다.

4. 대기화학의 비선형성

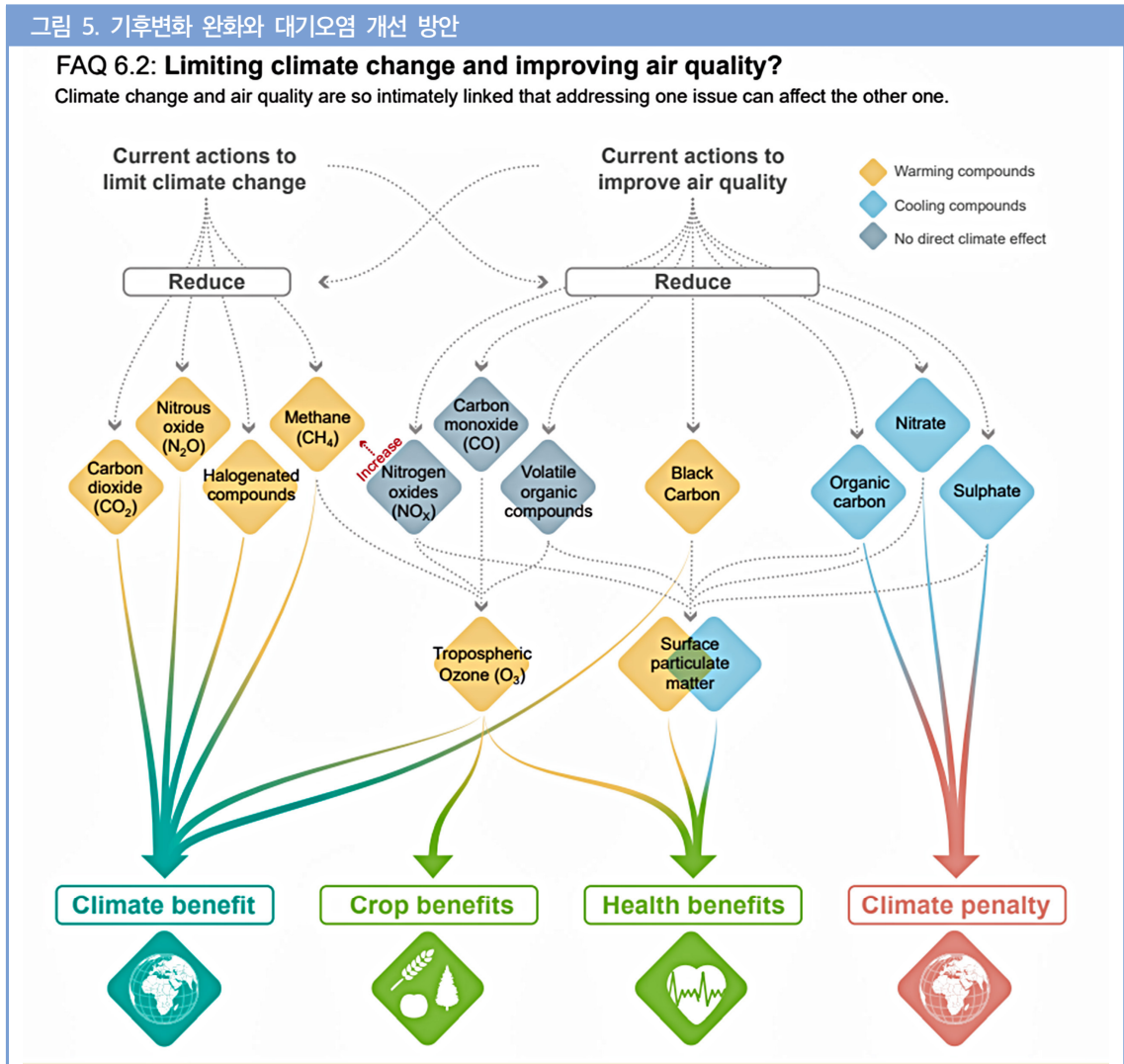
특히 미세먼지(PM_{2.5})는 아시아지역에서 농도가 특히 높는데 전세계적으로 사망률을 높이는 상위 원인으로 지목되어 오염과 건강 사이의 관련성에 대한 연구가 크게 촉진되었다.

우리나라는 미세먼지의 환경기준을 2018년 선진국 수준으로 낮추었는데 이후 세계 건강기구(WHO)에서는 이를 연평균 5mg m⁻³으로 더욱 낮추었다. COVID19를 기점으로 미세먼지 농도는 현저하게 감소했으나 현재 이 기준을 충족시키는 곳은 거의 찾기 어려울 정도이므로 이를 달성하려면 또 다른 노력이 필요하다. 최근에는 대기오염과 기후오염의 저감이 인체의 건강 증진을 목표로 이루어지고 있다. 감염병으로 인한 팬데믹을 경험하는 대기오염물질의 급격한 감소가 위성 관측을 통해 드러났다. 전세계적으로 인간의 활동이 제한되며 질소산화물(NO_x)의 농도가 급격히 감소하였고 미세먼지가 개선되었다. 이러한 대기의 오염이 인간 활동의 직접적인 결과임이 분명하게 인식되었다. 하지만 대기 중의 화학 메커니즘은 이러한 이처럼 단순하지는 않다. 미세먼지는 감소했지만 오존 농도가 증가하였다.

5. 대기환경 정책

우리나라는 2015년 대기환경 기준에 PM_{2.5}을 도입해 대기오염 관측망에서 공식적인 측정을 시작하였고 이후 미세먼지가 국가와 사회적인 이슈가 되어 이를 해결하기 위한 노력으로 국가전력프로젝트를 수행하여 거의 20조 가까운 예산이 투입되었다. 막대한 예산 중 대부분이 전기차 보급에 활용되었다. 대기오염과 기후오염의 근원은 에너지 사용이므로 통합적인 관리의 한 예라 할 수 있다. 미세먼지는 주로 황산염, 질산염, 암모늄염, 탄소성분 등으로 구성되는데 이는 다양한 경로를 통해 대기 중으로 배출되는 질소산화물, 휘발성유기탄소화합물(VOCs), 이산화황(SO₂), 암모니아(NH₃) 등과 같은 기체상 물질이 대기 중에서 산화되는 과정에서 이차적으로 생성된 것이다. 물론 이 과정에서 오존도 생성된다. 오존은 온난화를 유발하지만 미세먼지는 이와 반대로 온난화를 저지하는 역할(diming)을 한다. 따라서 이 두 물질을 생성하는 반응성기체는 모두 SLCFs로 구분된다. 우리나라의 고농도 미세먼지는 질산염의 비중이 크므로 정부에서는 NO_x 저감을 적극적으로 추진하였고 COVID19를 기점으로 농도가 상당히 감소하여 큰 효과를 보았다. 하지만 이는 오존의 증가를 초래하였다. 우리나라뿐 아니라 중국도 적극적으로 미세먼지 저감 대책을 시행하여 농도가 상당히 감소하였다. 하지만 온난화 측면에서 미세먼지의 감소는 온난화를 가중시키는 결과를 초래하게 된다. 이를 미세먼지의 climate penalty라 부른다.

그림 5. 기후변화 완화와 대기오염 개선 방안



* 출처: IPCC (2021)

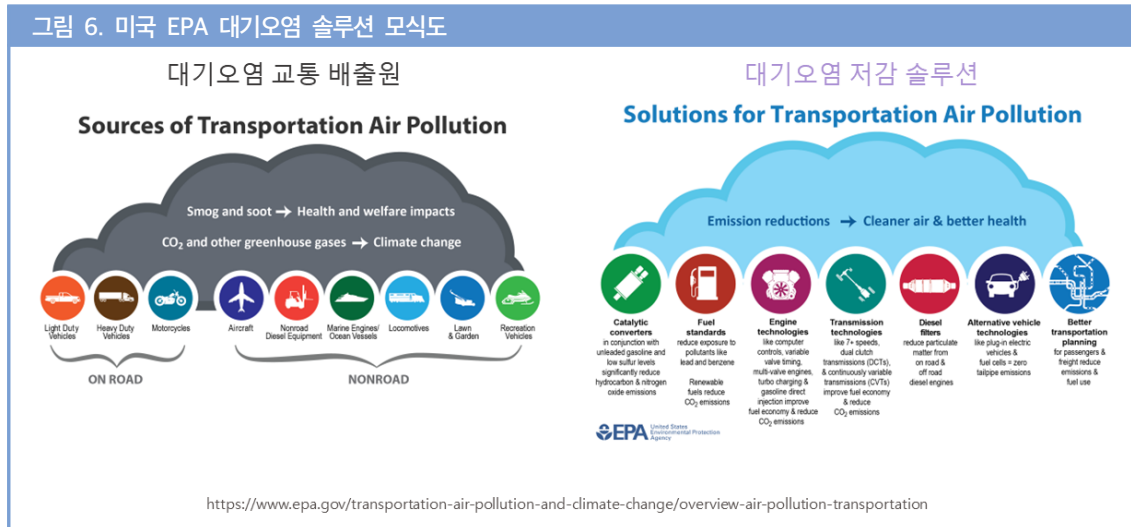
이와 같이 대기중의 화학과정은 매우 복잡하므로 선부르게 대응할 경우 지구의 환경에 또다른 인위적인 개입을 하게 되는 결과를 초래할 수 있다. 대기의 화학 과정은 지표에서 배출되는 다양한 물질을 받아들여 인간을 포함한 생태계의 유지가 가능하도록 이를 정교하게 처리한다. 따라서 기후오염물질의 저감은 대기오염저감과 함께 대기 조성의 지속성을 고려하면서 인간의 건강을 목표로 매우 신중하게 접근해야 한다. 과학적 연구는 필수이며 그 결과를 기반으로 대응 정책을 수립하고 정기적인 점검을 통해 이를 평가하는 과정이 반복되어야 한다. 또한 이러한 원인 물질은 대부분이 우리 인간의 활동을 지지하기 위한 에너지 사용의 결과이므로 에너지정책과도 맥락을 같이 해야 한다.

6. 정책 수립을 위한 연구

지구는 하나의 거대 시스템으로 그 안에 존재하는 모든 물질은 순환되는 특성이 있어 피드백(되먹임작용)이 존재하는데 이를 정량적으로 예측하기 어렵고 또 아직 알려지지 않은 무수한 피드백이 존재할 수도 있다. 피드백은 나타나는 시간과 공간 범위가 다르며 비선형성이 클 뿐 아니라 모든 문제가 서로 연관된 복잡계이므로 이를 이해하기 위한 장기적인 연구가 필요한 결과에 기반하여 정책을 수립한다. 더불어 정기적인 평가를 통해 정책을 재수립한다. 지구환경 문제의 완벽한 솔루션은 인간의 영향을 차단하는 것이므로 지속가능 발전을 목표로 하는 한 이 과정은 반복될 수밖에 없다.

오존과 미세먼지의 생성 메커니즘을 포함한 대기중의 화학 기작을 이해하고 진단하고 변화를 파악하고 예측하기 위한 학문의 분야가 대기화학인데 이는 문제 해결형 학문의 대표적인 예이다. 문제 파악도 연구를 기반으로 가능하지만 다음에는 문제를 정확하게 진단하기 위한 연구가 필요하며 궁극적으로는 이를 어느 정도로 저감할 것인지 또 어떻게 저감할 것인지를 결정해야 하는데 이를 위해서도 정책 수립을 위한 연구가 필요하다.

문제가 진단되었다면 다음 단계에서는 원인 물질을 저감하기 위한 노력이 필요하다. 이 과정에서 큰 불편이 초래된다면 실질적인 저감이 어려우므로 대체물질을 개발하거나 타겟 오염물질을 효과적으로 제거하기 위한 기술개발이 우선되어야 한다.



* 출처: EPA

이와 더불어 배출량의 점진적인 감축이 필요하다. 이 과정에 우리 일상이 깊숙이 관여된다. 지역별로 국가별로 사정이 다 다르므로 적극적인 기술의 개발과 더불어 국제적인 합의가 필요하고 결과적으로는 국제협력은 필수이며 핵심 역할을 하게 된다.

7. 국제협력

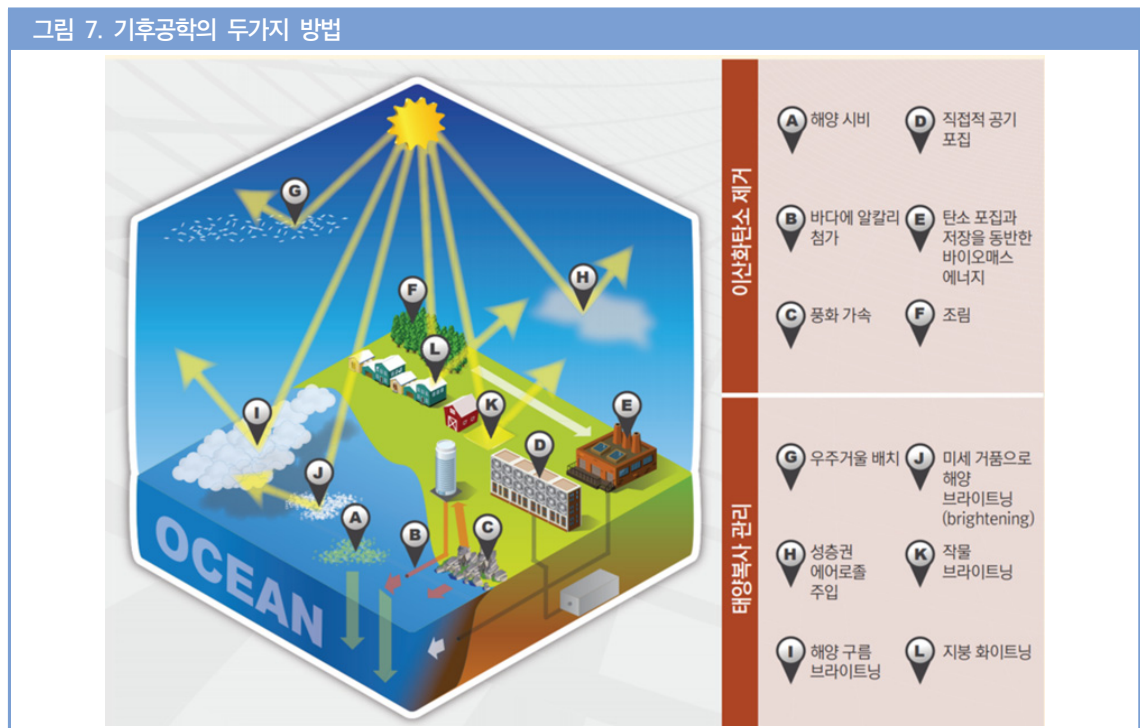
위의 성층권 오존 소멸 대응은 이의 모범적인 사례이다. 성층권에서 오존을 제거하는 물질을 대체할 수 있는 물질을 개발하는 동시에 사용을 금지하기 위한 여러 번의 국제조약을 통해 성공적으로 해결이 되었으며 지금은 효과가 조금씩 나타나고 있다. 현재 위성으로 성층권 오존을 모니터링하며 소멸과 회복 정도를 면밀히 파악하고 있다. 약 2050여년 즈음으로 예상되는 성층권 오존의 원 상태로의 회복을 기대하면서.

이러한 과거의 유산을 기후변화 대응에도 적극 활용하기 위해 UN에서 기후변화 협약을 주도하였으나, CO₂는 우리의 일상과 그리고 산업과 더욱 가까이 밀착되었다. 1997년 교토 의정서 이후 2015년이 되어서야 파리협정이 맺어졌고 전 세계는 신기후체제로 재편성되었다.

III. 결론

1. 환경 정의를 향한 기술 개발과 공유

신기후체제 아래 기후공학기술(Geo/climate-engineering)이 미래기술로 제안되어 연구가 집중되고 있다.

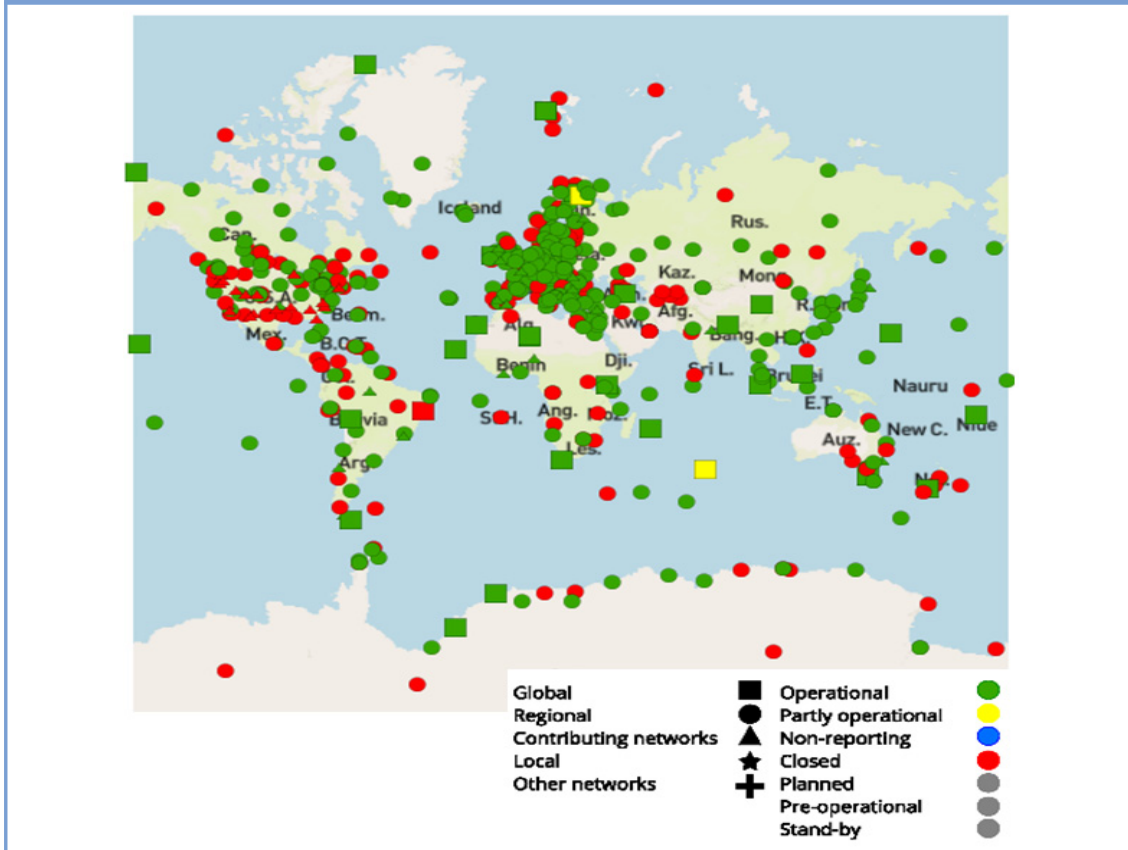


* 출처: IPCC (2013)

이는 크게 이산화탄소 제거기술(Carbon Dioxide Removal, CDR)과 태양에너지조절기술(Solar Radiation Management, SRM)로 구분되는데 이 중 CDR 분야의 기술 개발이 실질적으로 진행되고 있다. SRM은 주로 모델링을 통해 수행되고 있으며 만일 기술 개발의 속도가 온난화를 완화시키기에 충분하지 않다고 판단된다면 언젠가 실행될 가능성도 있으나 아직은 예측 가능하지 않은 위험성으로 인해 기술을 개발하고 비축하는 단계이다. SF 영화 설국열차의 배경인 급격한 빙하기 도래는 이러한 기술을 선부르게 적용한 후유증으로 발생한 것이다. 우주에 반사경을 설치해 태양에너지를 반사시키거나 구름 응결핵을 담은 로켓을 성층권으로 발사해 구름을 만들어 지구로 유입되는 에너지를 줄이는 방법 또는 바다에 철을 비료로 주어 대기중의 이산화탄소 흡수를 촉진하는 방법 등이 알려진 지구공학적 조치이다. CDR은 지역적인 규모로 시행이 가능하나 SRM은 그 영향이 전지구적 규모로 나타날 수 있으므로 이 기술을 도입하여 시행하기 위해서는 국제적인 합의는 필수이다.

기상과 대기 조성 측정 자료는 공적인 목적으로 생산되므로 이들 자료의 공유에 대한 요구가 매우 크다. 국제기상기구(WMO)는 GAW(Global Atmospheric Watch) 프로그램을 통해 전세계 측정망을 구축하였고 글로벌 표준 관측자료 생산을 지원한다.

그림 8. 국제기상기구(WMO) 산하 GAW 프로그램 운영 관측망



* 출처: GAW Report (2024)

현재 기상자료 뿐 아니라 대기오염과 기후오염 자료를 포함한 대기조성 전체에 대한 서비스를 목적으로 측정자료를 생산하고 연구를 지원하고 있다. 이는 전세계적인 경향으로 연구 부분에서도 Future Earth의 IGAC(International Global Atmospheric Chemistry) 프로그램에서 TOAR(Tropospheric Ozone Assessment Report)를 통해 전세계의 오존 및 전구기체 측정자료 및 모델 자료를 모아 이를 상세하게 분석하고 그 결과를 전문학술지에 발표하고 있다. 특히 유럽의 연구 기관은 소속 연구자가 이러한 연구에 참여하도록 적극 지원하고 있다.

최근에는 머신러닝 기법이 발달하며 빅데이터를 기반으로 하는 AI 모델의 성능이 월등히 개선되어 실시간으로 생산되는 측정 자료를 기반으로 오존 및 미세먼지를 즉석에서 예보할 수 있는 모델을 개발하는 연구가 활발하게 진행되고 있다(예: 독일 Intelli-AQ 프로젝트). 이러한 측면에서 고밀도의 측정자료 생산에 대한 요구 역시 더욱 증가하고 있다. 하지만 아직 기준 대기오염물질의 농도조차 측정이 어려운 곳이 많다. 기존의 대기오염 측정 방법이나 측정망은 선진국을 중심으로 체제가 갖추어졌고 운영과 관리에 예산과 노력이 들어가므로 경제적 여건이 충분하지 않거나 설치가 어려운 곳에서는(예: 아프리카, 사막, 고산, 섬지역 등) 이러한 시스템을 구축하기 어렵다. 대기오염 뿐 아니라 기후오염 또한 취약한 지역과 계층 그리고 국가가 존재하기 마련이다. 따라서 이러한 한계를 극복하며 조밀한 측정 자료를 얻기 위해 저가의 고성능 센서 개발과 이를 통한 센서시스템 네트워크 구축에 큰 관심을 기울이고 있다(예: GAW 리포트, 2024). 더불어 이러한 기법을 활용하면 미규명 배출원을 파악하거나 감시가 가능하고 이해가 부족한 현상과 생성 기작을 파악할 수도 있다. 아직은 이러한 센서의 안정성이 충분히 보장되지 않으므로 이를 위한 기술개발이 필요하다. 지속가능목표 중 하나인 환경정의의 실현은 신기후체제의 핵심 모토로 자리매김하고 있다.

저자소개 **이미혜** (Meehye Lee)

• 학력

University of Rhode Island Graduate
School of Oceanography 대기화학 박사
서울대학교 자연과학대학 해양화학 석사
서울대학교 자연과학대학 해양학 학사

• 경력

現) 고려대학교 지구환경과학과 교수
現) 고려대학교 대학원혁신본부 본부장
前) 고려대학교 BK21 지구과학교육사업단 단장
前) 국립기상과학원 연구원
前) 한국해양과학기술원 연구원

참고문헌


- 1) Airkorea, <https://www.airkorea.or.kr/>
- 2) GAW Report No. 293, Integrating Low-cost Sensor Systems and Networks to Enhance Air Quality Applications, WMO, 2024.
- 3) IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.
- 4) IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Pean, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekci, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.
- 5) NOAA Global Monitoring Laboratory, <https://gml.noaa.gov/ccgg/>
- 6) Otero, N., Sillmann, J., Mar, K. A., Rust, H. W., Solberg, S., Andersson, C., Engardt, M., Bergström, R., Bessagnet, B., and Colette, A.: A multi-model comparison of meteorological drivers of surface ozone over Europe, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18, 12269–12288, 2018.



융합연구리뷰
Convergence Research Review

2024 September Vol. 10

No. 09



융합정책

초학제 융합연구 R&D 프로그램: 사례 및 시사점

권혜연

한국과학기술연구원 기술정책연구소 선임연구원

초학제 융합연구 R&D 프로그램: 사례 및 시사점

권혜연 (한국과학기술연구원 기술정책연구소 선임연구원)

I. 서론

현대 사회가 직면한 복잡하고 다층적인 문제들은 단일 기술이나 학문 분야의 접근만으로는 해결하기 어려워지고 있다. 기후변화, 고령화 사회, 지속 가능한 발전, 인공지능의 윤리적 사용 등 우리 시대의 중요한 과제들은 여러 학문 분야의 지식과 방법론을 통합적으로 활용할 뿐만 아니라, 공동연구의 설계와 적용 전단계에서 정책입안자, 수혜자, 기업을 포함하는 새로운 접근방법을 요구한다.

초학제(Transdisciplinary) 융합연구는 서로 다른 분야의 연구자와 비학계 참여자가 함께 협력하여 복잡한 사회 문제를 해결하고자 하는 접근 방식이다. 단순히 여러 분야의 지식을 조합하는 것을 넘어, 새로운 통합적 관점과 혁신적인 해결책을 도출하는 것을 목표로 한다. 이러한 접근방법은 현실 세계의 복잡한 문제들을 보다 효과적으로 다룰 수 있게 해주며, 분야의 경계를 넘어서는 창의적인 아이디어를 창출할 수 있다.

그 필요성과 잠재적 가치에도 불구하고, 실제로 초학제 융합연구를 실행하는 것은 여러가지 도전과 어려움을 수반한다. 학문 분야 간의 언어와 방법론의 차이, 서로 다른 연구 문화와 평가 기준, 그리고 기존의 연구 체계와 제도적 구조 등이 초학제적 연구의 실행을 방해하는 요인으로 작용할 수 있다. 또한, 연구자들 간의 효과적인 의사소통과 협력을 위한 플랫폼의 부족, 융합연구에 대한 적절한 평가 및 보상 체계의 미비 등도 중요한 장애물로 지적되고 있다.

여러 어려움을 극복하고 초학제 융합연구를 성공적으로 수행하기 위해서는 실제 사례를 통한 학습과 경험의 공유가 필수적이다. 그러나 초학제적 연구의 개념과 이와 같은 접근방식을 채택하는 R&D 프로그램이 등장한 것이 비교적 최근인 이유로, 아직까지 초학제 융합연구 R&D 프로그램의 사례에 대한 체계적인 보고와 리뷰가 상대적으로 부족한 실정이다. 특히, 다양한 국가와 기관에서 시행된 여러 프로그램 사례들의 성공 요인과 한계점, 그리고 이를 통해 얻을 수 있는 정책적 시사점을 분석한 연구는 매우 제한적이다.

이러한 배경에서, 이 글은 OECD(2020)을 통해 체계적으로 조사된 국내외 초학제 융합연구 R&D 프로그램의 사례들을 조사하고 이를 통해 시사점을 도출하고자 한다. OECD에서는 초학제 융합연구로 분류할 수 있는 R&D 프로그램들을 체계적으로 조사하였다. 이들 사례는 다양한 국가와 기관에서 실행된 초학제적 R&D 프로그램의

중요 요소가 무엇인지 가능할 수 있도록 연구 리소스, 조직 기반과 연구팀 구성 등의 정보를 보여주고 있다.

이어지는 글에서는 먼저 초학제 융합연구 R&D 프로그램의 개념을 정리한 뒤, 국내외 주요 사례를 리뷰하며 프로그램이 직면하였던 어려움과 이를 극복할 수 있는 접근법들을 살펴볼 것이다. 이를 통해 향후 유사한 융합연구 R&D 프로그램의 기획과 운영에 활용할 수 있는 실질적인 교훈과 시사점을 도출하고자 한다.

II. 초학제 융합연구: 개념과 특성

1. 초학제 융합연구(Transdisciplinary Research)의 정의

초학제 융합연구의 정의에 대한 논의는 시간이 지남에 따라 더욱 정교화되고 확장되어 왔다. Klein et al., (2001)은 초학제 융합연구를 “현실 사회의 구체적 문제를 연구 주제로 삼아 해결책 도출을 지향하는 연구”로 정의하며, 다양한 분야의 과학자들뿐만 아니라 이해관계자 및 일반 시민들과의 협력의 중요성을 강조하였다. 초학제적 연구가 그 범위를 학술적 영역에서 실제 생활 영역으로 확장시켰다는 중요한 특징을 지적한 것이다.

이후 Pohl & Hadorn (2008)은 초학제 융합연구를 “생활세계의 문제를 해결하려는 목표 지향적 연구”로 정의하며, 시스템 사고를 기반으로 한 문제의 복잡성 이해, 다양한 지식 체계의 통합, 그리고 공공선을 위한 실질적 해결책 도출의 중요성을 강조하는 연구법이라고 그 특성을 짚었다. Brandt et al. (2013)은 한 걸음 더 나아가 초학제 융합연구를 “여러 분과 학문 연구자들의 학제적 연구에 현장 생활인이 함께 참여하여 현실 문제 해결을 위한 방법과 지식을 개발하는 연구방법론”으로 정의한다. 학문과 현장의 융합을 더욱 강조하며, 이론과 실천의 간극을 좁히는 데 초학제적 연구가 중요한 역할을 할 수 있음을 시사하고 있다.

현재 스위스 예술 및 과학아카데미는 초학제 융합연구(TDR, Transdisciplinary Research)는 다양한 맥락과 다양한 목적으로 개발되었기 때문에 여러 가지 정의가 존재하지만 “초학제 융합연구의 목표는 과학 연구자와 비과학적 행위자 간의 협력을 통해 사회 문제를 해결하는 새로운 지식과 이론을 공동으로 창조”하는 목표를 갖는다고 선언하고 있다(Swiss Academies of arts and sciences, n.d.). 지식 창출의 협력적 본질을 강조하며, 초학제적 연구가 단순한 지식의 조합이 아닌 새로운 패러다임의 창출을 목표로 한다는 점을 명확히 하는 것이다.

이처럼 초학제 융합연구의 정의는 학자들 사이에서 다양한 표현으로 제시가 되었지만, 그 핵심에는 복잡한 사회 문제의 해결을 위한 통합적 접근법이라는 공통된 인식이 자리 잡고 있다. 초학제 융합연구란 단순히 여러 학문 분야의 연구자들이 협력하는 것을 넘어, 현장의 실무자와 일반 시민들까지 포함하는 광범위한 협력 체계를 의미하며, 이를 통해 실질적인 사회 문제 해결을 추구하는 것이다.

2. 초학제 융합연구의 특성

초학제 융합연구의 특성을 보다 명확하게 이해하기 위해서는 서로 다른 분야 간 협력 혹은 융합의 정도에 따라 연구를 어떻게 분류할 수 있는지 비교를 통해 파악하는 것이 유용하다. 다학제적(Multidisciplinary), 초학제적(Transdisciplinary) 또는 교차학제적(Crossdisciplinary) 등 학문 간의 접점과 융합을 설명하는 여러가지 다른 용어가 사용되고, 종종 혼용되어 사용되기 때문에 용어적으로 이를 구분하는 것이 필요하기 때문이다.

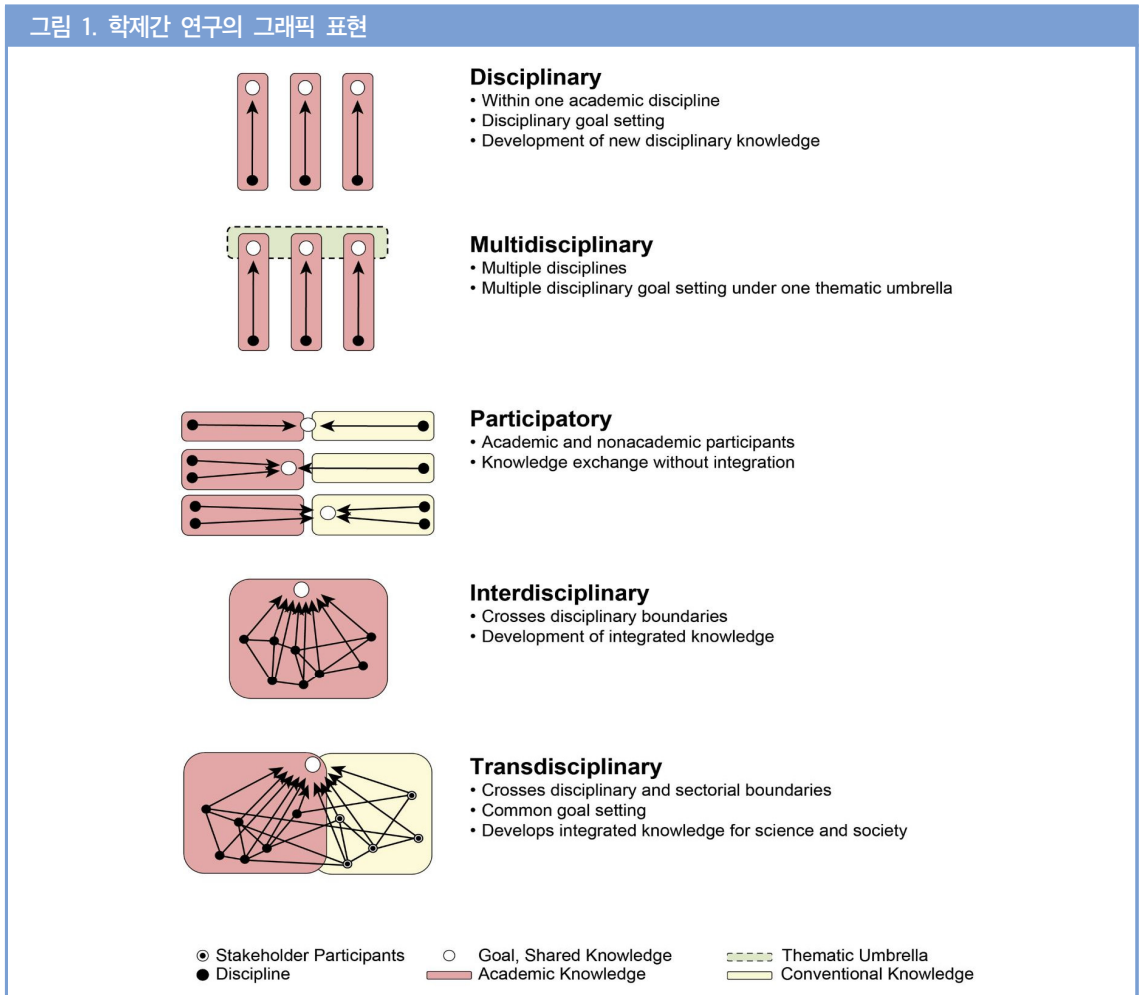
학문적(Disciplinary) 연구는 같은 학술 분야 내에서 수행되는 작업을 말한다. 예를 들어, 생물학자가 다른 생물학자와 함께 신종 바이러스의 생물학적 분류를 연구하는 것이 학문적 협업의 한 형태이다. 교차학제적(Crossdisciplinary) 연구는 한 분야를 다른 분야의 관점에서 바라보는 것을 말한다. 자연과학 학부에서 과학사(史)를 강의하고 연구하는 경우를 생각할 수 있다.

다학제(Multidisciplinary) 연구는 여러 분야가 참여하여 문제나 이슈에 대해 각각 다른 관점을 제공하는 것을 의미하는데, 예를 들어, 건축가 팀이 전기 엔지니어 및 인테리어 디자이너와 협력하여 현대적인 사무실 레이아웃을 만들기 위해 다학제적 작업을 진행할 수 있다. 이 과정에서 서로 다른 아이디어가 결합되어 공통의 문제(ex. 효율적으로 전기장치가 배선된 사무실)에 대한 해결책을 찾게 됩니다. 다학제 협업은 여러 분야의 전문가가 함께하는 팀이 구성되는 가장 일반적인 사례중 하나이다.

학제간(Interdisciplinary) 연구는 부분과 서로 다른 지식의 상호 의존적인 부분을 조화로운 관계로 가져와서 문제나 이슈에 여러 학문의 기여를 통합하는 것을 의미한다. 따라서 학제 간 접근법은 상호 관계의 총체적인 복합성을 다룬다. 예를 들어, 도시설계는 건축, 심리학, 환경과학 등 여러 다른 분야의 지식을 끌어와 이들 간의 전통적인 경계를 넘나드는 통합적 사고와 방법의 공유를 장려하기 때문에 학제 간 분야로 간주할 수 있다.

초학제적(Transdisciplinary) 연구는 앞에서 논의한 것과 같이 학문적 관점을 넘어선 모든 지적인 프레임워크의 통합을 활용한다. 연구 뿐만 아니라 실무 측면에서도 더 넓은 관점으로 문제를 바라보고 해석하며, 해결점을 탐구한다. 이를 위해 연구진은 공동의 목표를 설정하고 그 과정에서 지식을 통합하며, 학술적 및 사회효용적 관점에서 새로운 지식을 생산한다. 그림 1은 이렇게 융합 정도에 따른 학제간 연구의 유형을 그래픽으로 비교한 것이다.

그림 1. 학제간 연구의 그래픽 표현



* 출처: Morton et al. (2015)

표 1은 초학제성에 대한 담론의 바탕이 되는 몇가지 주요 용어에 대한 실무적 정의를 나타낸다. 이를 통해 학제간 융합의 정도가 심화됨에 따라 연구의 특성과 활동이 달라짐을 파악할 수 있다.

표 1. 융합연구의 개념적 이해를 위한 용어집

학문적 연구 Disciplinary Research	현재 인정되는 단일 학문 분야의 범위 내에서 이루어지는 연구.
학제간 연구 Interdisciplinary research	서로 관련이 없는 여러 학문 분야가 주제 경계를 넘나들며 공동의 목표를 달성하기 위해 새로운 지식과 이론을 창출하는 연구. 자연과학과 사회과학 및 인문학의 통합은 특히 인간-환경 시스템(HES)과 관련된 문제를 포함하여 복잡한 사회적 문제를 해결하는 데 적합할 것으로 평가받지만 실현에 상당한 도전 과제를 안고 있다.
다학제 연구 Multidisciplinary research	하나의 주제나 문제에 대해 여러 학문 분야가 공동의 목표를 가지고 병렬적으로 연구하지만, 각자의 학문적 교훈과 작업 방식을 따르는 연구. 참여자들은 지식은 교환하지만, 새롭고 통합된 지식과 이론을 창출하기 위해 학문의 경계를 넘나드는 것 자체를 목표하지는 않는 특징을 가짐. 이러한 통합의 부족은 복잡한 사회 문제를 만족스럽게 해결하기 어렵게 만들 수 있음.
참여형 연구 Participatory research	학계 및 비학계 파트너가 함께 모여 지식을 교환하는 연구로, 반드시 지식을 통합하지 않아도 되는 형태의 연구. 연구 과정에 비학계 참여자가 다양한 수준으로 참여하는 다양한 방법을 포괄하는 포괄적인 용어로 사용되기도 함
초학제 융합연구 Transdisciplinary research	서로 관련이 없는 분야의 학계 연구자와 비학계 참여자가 새로운 지식 창출이라는 공동의 목표를 달성하기 위해 통합적으로 연구하는 것을 의미. 초학제 융합연구는 예외없이 학제 간 연구에 해당하며, 이에 더하여 지역 및 전통 지식, 문화적 규범과 가치와 같은 비과학적 지식 영역까지 활용하여 과학적 통찰력을 보완하고 사회를 위해 변화시키는 것을 목표로 함.
공동디자인 Co-design	연구 프로세스의 첫 번째 단계로, 연구자와 비학계 파트너가 공동으로 연구 프로젝트를 개발하고 공동의 관심사와 필요에 맞는 연구 질문을 정의하는 것
공동생산 Co-production	연구 과정의 지식 생산 단계에서, 이해관계자를 포함하는 협업 모델 (예: 환자의 건강-질병 연구 프로젝트 참여 등)
출처: OECD(2020) (Tress, Tress and Fry, 2006; Moser, 2016; Noah and Jean, 1980 재인용)	국가는 협동연구개발과제 알선 및 중개 업무를 수행하는 기관을 지원기관으로 지정할 수 있으며, 지정된 기관에 필요한 사업비 지원 가능.

* 출처: OECD(2020) (Tress, Tress and Fry, 2006; Moser, 2016; Noah and Jean, 1980 재인용)

Pregernig(2006) 및 임흥탁과 송위진(2017)의 분석에 따르면 초학제 융합연구의 핵심적인 특성들을 다음과 같이 파악할 수 있다.

첫째, 융합적 학제성이다. 복잡한 사회 문제는 단일 학문 분야의 접근만으로는 해결하기 어렵기 때문에, 여러 학문 분야의 방법론과 지식 체계의 융합이 필수적이다. 이는 단순한 학문의 병렬적 협력 접근이 아닌, 진정한 의미의 통합적 접근을 의미한다.

둘째, 이해당사자의 참여이다. 초학제적 연구는 현장 적용을 통해 실질적인 문제 해결을 목표로 하기 때문에, 관련 이해당사자들과 현장 실무자들의 참여가 수반되어야 한다. 탄자니아의 HIV/AIDS 예방 연구에서 의학적 접근뿐만 아니라 지역 사회의 문화적 맥락을 고려한 젊은이들의 성생활 습관에 대한 논의를 통해 보다 효과적인 예방 대책을 도출할 수 있었던 것(Bagamoyo College of Arts et al., 2002)을 그 예라고 할 수 있다.

셋째, 문제 중심 접근이다. 초학제적 연구의 대상과 주제는 순수하게 학문적 관심사에서 비롯되기보다는 실제 생활에서 발생하는 구체적인 문제들에서 비롯된다. 따라서 초학제 융합연구들은 전통적인 학문 분류 체계보다는 문제의 성격과 특성에 따라 분류되는 것이 더 적절할 수 있다.

마지막으로, 해결방안 중심의 연구라는 점이다. 초학제 융합연구는 실제 생활 문제 해결에 직접적인 기여와 도움을 주는 것을 목표로 한다. 따라서 학술 논문이나 특허와 같은 전통적인 연구 성과보다는 실질적인 문제의 해결 정도 또는 문제 해결 능력의 향상에 더 큰 가치를 두게 된다.

3. 초학제 융합연구 실행의 난제

초학제 융합연구는 학제 간 연구와 학계 외부 주체와의 공동 창작(연구 공동 설계 및 지식 공동 생산)을 모두 특징으로 한다. 앞서 소개한 바와 같이, 다양한 형태의 학제 간 융합연구 방식이 초학제 융합연구와 일부 중첩되지만, 모든 학제 간 연구가 공동 연구와 공동 생산을 포함하는 것은 아니다. 다학제 융합연구는 서로 다른 분야의 통합을 특징으로 하는 반면, 참여형 연구 및 개발은 공동 창작을 포함하는 경우가 많지만 반드시 학제 간 통합이나 공동 창작을 수반하지는 않는다.

따라서 초학제적 융합연구는 일반적으로 기존 연구보다 시간과 리소스가 더 많이 필요하다(Lawrence et al., 2022). 이는 다양한 파트너들이 서로 익숙해져야 할 뿐만 아니라, 모든 이해관계자의 규범, 운영 절차, 지식을 바탕으로 작업 방식, 의사 결정 기준, 공유 목표를 개발해야 하기 때문이다. 계획 및 참여 단계에서는 상호 이해와 조율에 가장 큰 어려움을 겪을 가능성이 높다. 특히, 이 시기에는 목표와 기대치가 크게 변화할 수 있으므로, 프로젝트는 이를 인식하고 장벽을 극복하는 데 충분한 시간을 할애해야 할 수 있다. 더불어 초학제적 융합연구는 상당한 탄력성을 필요로 한다. 프로젝트의 실행 중에 목표, 프로세스, 관계, 계층 구조가 기회나 새로운 통찰에 따라 변화할 수 있기 때문이다.

프로젝트 파트너 선정 시에는 분야별 또는 부문별 요건뿐만 아니라 융합연구를 진행했던 경험, 다른 분야에 대한 공감성, 사회적 기술 등을 고려해야 한다. 초학제적 연구는 비학계 파트너를 포함한 연구팀이 구성되기에 지역 사회 및 행위자들과 밀접한 관계를 맺고 있거나, 이해관계자 간의 관계를 촉진하는 데 능한 전문가 또는 지식 중개자를 포함시키는 것이 중요할 수 있다. 동시에 학술 파트너와 협업 이해관계자를 선정할 때에 당연히 해결해야 할 이 연구의 임무와 과제를 지속적으로 반영해야 한다.

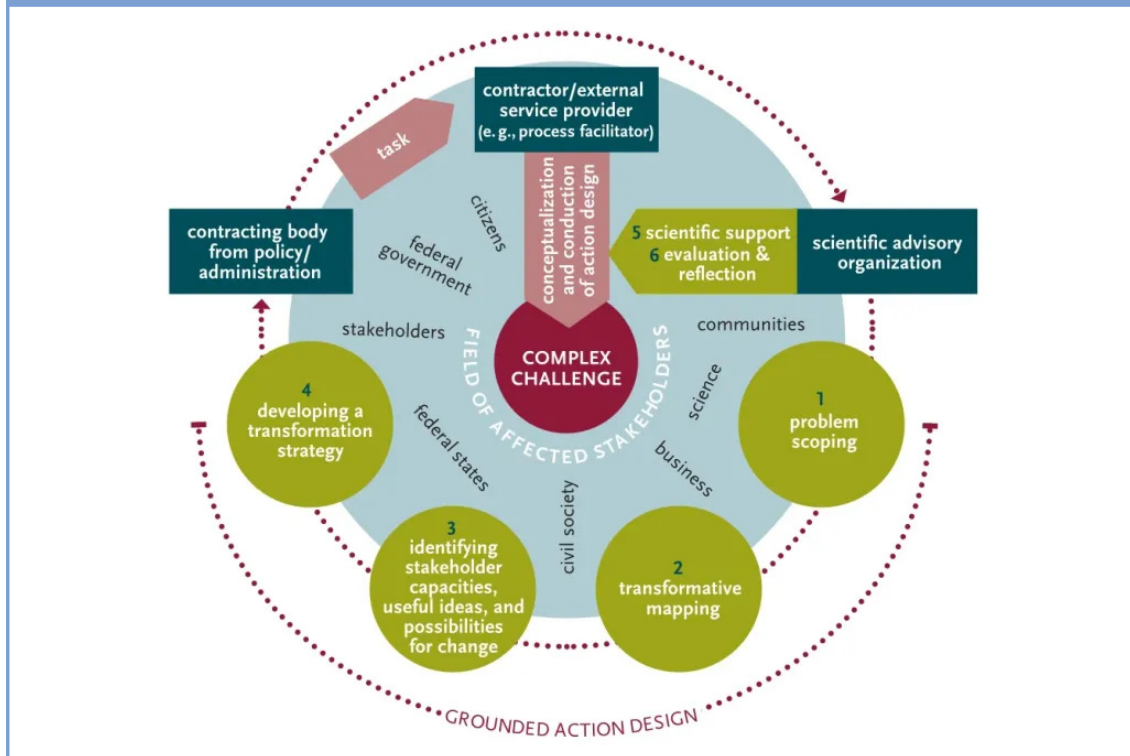
효과적인 초학제 융합연구의 실행을 위해서는 복잡성을 관리할 수 있는 구조적 메커니즘이 필요하다. 프로젝트의 관리에는 상당한 규모의 전담 리소스가 요구되곤 하는데, 다층적, 다단계적, 분야 간 거버넌스 구조가 통합된 주제별 또는 지역별 구조를 관리해야 하기 때문이다(Gray, 2008). 효과적인 프로젝트의 관리를 위해서는 분쟁 해결, 목표 변경, 자문 계약, 예산 관리 등에 대한 공식적 합의가 필요할 수 있으며, 외부의 독립적이고 공정한 자문도 효용이 있을 수 있다.

프로젝트 내의 효과적인 커뮤니케이션은 효율성 증대, 파트너 간 신뢰 구축, 결과의 엄격성 보장 등 다양한 역할을 한다. 다만, 이해관계자마다 커뮤니케이션에 대한 기준, 기대치, 인센티브가 다를 수 있으며, 일부는 부정적인 결과 보고를 꺼리는 등의 문제가 있을 수 있다. 그렇기에 커뮤니케이션 체계를 정립하고 모든 상황에서 연구팀과 파트너 간 정기적이고 일관된 소통을 나누는 것이 필요하며, 가능하다면 물리적 근접성도 도움이 될 수 있다.

초학제적 융합연구의 실행이 직면하는 난제들은 주로 '현실 문제'의 복잡성에서 비롯된다. 기후행동, 에너지 안보,

자원 효율성과 같은 현대 인류의 중요한 과제는 모두 이런 복잡한 문제이다. 글로벌 관점에서 이와 같은 과제를 다루는 포츠담 헬름홀츠 센터의 지속가능성 연구소는 초학제적 융합연구가 이러한 과제를 해결하는데 필수적이라고 보고 있다.(Research Institute for Sustainability Helmholtz Centre Potsdam, n.d.) 이에 ‘공동창조와 현대 정책 조언’(Co-creation and Contemporary Policy Advice) 프로젝트를 통해 초학제적 연구의 실행을 위해서는 그림 2의 ‘근거 기반 행동 설계’방식의 프로세스 프레임워크가 필요하다고 제시하였다. 더불어, 효과적인 초학제 R&D 프로그램의 실행을 위해서는 정치 및 의사결정 기관이 혁신적인 변화를 추진하기 이전에 이해관계자, 관련 전문가, 의사 결정권자가 과학 자문 기관과 연구자의 안내를 받아 복잡한 현실 문제를 탐색하고, 매핑하고, 이해를 확장하는 공동 창조적인 프로세스가 중요하다는 점을 강조한다.

그림 3. STI R&D 프로그램을 위한 근거기반 행동설계



* 출처: Bruhn et al. (2019)

III. 초학제 융합연구 R&D 프로그램 사례

1. OECD의 초학제 융합연구 R&D 프로그램 조사

1970년대, '전문 연구 프로젝트 간의 상호작용이나 상호성을 포괄할 뿐만 아니라 학문 간의 확고한 경계가 없이 전체 시스템 내에서 관계를 형성하는 더 높은 단계의 학제 간 관계(Piaget, 1972)'를 표현하기 위하여 '초학제(Transdisciplinary)'라는 용어가 등장한 이후, 학제 간 연구에 대한 강조는 점점 확대되었다. 이에 따라 다수의 학제 간 융합연구 R&D 프로그램과 초학제적 연구 프로그램이 기획되었다.

OECD(2020)은 2010년부터 2019년 기간 사이에 진행된 최신 초학제 융합연구 R&D 프로그램의 사례를 조사하였다. 이 사례들은 초학제의 개념 형성 및 발전과 함께 지속적으로 변화해 온 초학제 R&D 프로그램의 현재 양상을 보여준다는 점에서 의미가 크다. OECD는 사례 수집을 위해 두 차례의 워크숍(파리(2019년 5월), 도쿄(2019년 12월))을 갖고, 국제 컨퍼런스와 펀딩 및 연구기관, 정책 이니셔티브 등 다양한 출처의 정보를 결합하였다.

정보 수집 대상 사례를 확인한 후에는 국제 전문가 그룹을 구성하여 사례별 정보 수집 작업의 체계성을 높였다. 각 R&D 프로그램 사례의 연구책임자에게는 온라인 설문지를 발송한 뒤, 전문가 그룹에서 인터뷰를 진행하며 사례별 도전과제와 성공·우수 요인에 대하여 묻고 기록하였다. 이와 같은 조사를 거쳐 총 28건의 R&D 프로그램을 현대 초학제 융합연구로서 범주화하여 제시하였는데 이들 사례의 주요 특징은 표 2와 같다.

표 2. 현대의 주요 국내외 초학제 융합연구 R&D 프로그램

#	프로젝트명(약어)	주제 영역	관련 학문 분야	국가(규모)	이해관계자	기간
1	아클라마테라	기후 변화	기후 과학, 농업, 수문학, 생물다양성, 역사, 사회학	프랑스(지역)	지자체, 공공 기관, NGO, 시민	2013-2019
2	영농형 태양광 발전 - 자원 효율적인 토지 이용 (APV-RESOLA)	에너지·식품 지속가능성	기술, 환경 및 생물 다양성, 에너지 경제, 농업, 정치	독일(지역)	농부, 재생 에너지 그리드 기업, 지방 정부, 정치인, NGO, 시민	2015-2019
3	사막 도시를 위한 ASU 의사결정 센터 (DCDC)	수자원	의사결정론, 정책학, 지리학, 수문학, 생명과학, 경제학, 인류학, 컴퓨터 과학, 도시계획, 공공 관리	미국(지역)	지방정부, 환경 단체	2004-현재
4	카미놀라르고	전통 음악	음악, 예술, 법률	콜롬비아(국가)	음악가, 댄서, 교사	2017-2019
5	인류세 관점에서의 기후 변화와 해수면 상승	기후 변화	법학, 국제법, 지질학, 지구과학	노르웨이(국제)	국제 협회, 미디어, 영화 제작자, 아티스트, 문화 단체 등	2014-2019
6	지속 가능한 어획 및 가공을 위한 연구혁신 센터(CRISP)	지속 가능한 수산업	어군 탐지, 어획물 식별, 어구 관리 및 품질 개선	노르웨이(국가)	낚시 장비 제조업체, 어부 협회 등	2011-2019

#	프로젝트명(약어)	주제 영역	관련 학문 분야	국가(규모)	이해관계자	기간
7	CuveWaters	수자원 관리	사회 과학, 토목 공학, 도시 물관리	독일(국제)	물재생 기업, 정부 부처, 지역 및 지방 당국, NGO 등	2006-2015
8	Food4Sustainability	지속가능 식품	경제학, 정책학, 경영학, 철학, 심리학, 농학	벨기에(지역)	슈퍼마켓, 현지 생산자, 벨기에 정부	2014-2018
9	검소한 혁신과 책임의 기업이 정신	물 건강	기술, 의학, 인류학, 윤리학	네덜란드(국제)	전자 및 수자원 회사, NGO	2015-2019
10	위험 관리 사회 (GOVRISK)	홍수, 산사태 및 기후변화	환경 과학, 지구과학, 생태학, 정치학, 법률	노르웨이(국제)	민간 기업, 노르웨이 정부	2014-2018
11	비용 효율적이고 생명을 구하는 상품 활용을 위한 국제 협력 강화 (i4C)	공중 보건	예술, 정치학, 다학제 인문학 및 의학	노르웨이(국제)	국제기구, 나미비아 정부 등	2014-2019
12	토지 소유권 및 거버넌스 차별화를 통한 공간개발혁신 (INDIGO)	토지 사용	공간 계획, 영토 개발, 지리학, 법학, 환경사회학, 정치경제학	벨기에(국제)	공간계획 컨설팅 기업, 농촌개발 담당 정부 부처, 토지 소유자, 자연보호 단체, 농부 등	2015-2018
13	국제 재난 과학 연구소 (IRIDeS)	자연 재해	공학, 물리학, 의학, 사학	일본(국가)	지방 정부, IT 기업, 시민	2012-
14	일본-아세안 과학기술 및 혁신 플랫폼 (CHIRP/JASTIP) 국제 연구를 위한 협업 허브 프로그램	에너지, 생물자원 및 재난	에너지, 소재과학, 임업, 생명공학, 재난·재해 관련 과학, 인류학, 인문사회학	일본(국제)	중앙 및 지방 정부, 민간기업 및 시민사회	2015-2025
15	직지가 대학교 원헬스 이니셔티브(JOHI)	공중 보건	인간 건강, 수의학, 영양학, 위생학, 목초지 관리	스위스(국제)	농업·목축 공동체, 동물보건 의료서비스 제공자, 지역·연방 당국	2015-2025
16	생동 농업 환경	농업	농학, 사회과학, 환경학, 생태학	독일(지역)	농부, 와인생산자 및 지역 당국	2014-2021
17	MobilAir	운송, 대기 오염 및 건강	환경경제학, 사회학, 지리학, 행동심리학, 생물학, 보건학	프랑스(지역)	연구관할 부처, 지방 당국 및 시민	2018-2021
18	나고야 대학교 모빌리티 혁신 센터	모빌리티	공학, 인간 건강, 사회심리학 및 법학	일본(지역)	자동차 제조 회사, 지방 정부, 시민	2013-2021
19	몬타아쿠아 (MontanAqua)	물 관리	지리학, 환경 및 사회 과학	스위스(지역)	수력 발전, 포도 농업, 관광산업, 주민공동체	2010-2013
20	에너지 정책의 참여적 가치 평가	CO ₂ 배출량	에너지 시스템, 행동 계량 경제학 및 윤리	네덜란드(국제)	에너지 컨설팅 회사	2018-2021
21	소외된 인구를 위한 정밀·첨단 기술 및 의료 시스템 (PATHS-UP)	건강	생물학, 의학, 전기, 기계 및 산업 공학, 컴퓨터 과학, 화학, 재료, 행동심리학 등	미국(지역)	환자, 의료 서비스 업계, 보험사, 민간 재단 및 공공에이전시	2017-
22	PigSustain	양돈 산업	동물학, 환경학, 공중보건, 위험 평가, 인문지리학, IT, 농업경제학	영국(국내)	양돈 생산자, 소매업체, NGO, 수의사, 영국 정부	2017-2021

#	프로젝트명(약어)	주제 영역	관련 학문 분야	국가(규모)	이해관계자	기간
23	스마트하고 연결된 에너지-인식 주거 커뮤니티 지원 사회 기술 시스템 (SSC-IRG)	에너지	토목·기계 공학 및 정치학	미국(로컬)	지방 정부 및 주택 개발업체	2015 -
24	스마트 커뮤니티 치안	치안 시스템	가상현실(VR), 로봇 공학, 빅 데이터, 재료 과학, AI, 경찰 연구, 법의학, 법률	대한민국(지역)	한국 정부	2018 -2025
25	스마트 그리드	에너지	과학기술 연구, 인문 사회학	네덜란드(국제)	민간 기업 및 시민	2016 -2020
26	인도 태양 에너지 혁신을 위한 전략적 대학 네트워크 (SUNRISE)	태양 에너지	광물리학, 화학	영국(국제)	민간 재단, 인도 정부 및 시민	2017 -2021
27	룩셈부르크 기반 학제간 연구참여 (TRIAL)	환경	사회과학, 인류학, 철학	벨기에(지역)	정치인, 경제주체, 시민	2017 -2021
28	도시 생태와 건축 및 도시계획의 만남 (U-EM-A-UP)	도시 계획	생태학, 도시계획, 조경학, 예술, 과학 커뮤니케이션, 환경심리학, 문화연구 등	스위스(지역)	지방 정부, 시민	2016 -2021

출처 : OECD(2020), pp.20-22

2. 사회현안 문제의 해결도구

OECD가 조사한 28개의 사례들은 지역, 국가, 또는 국제적 단위에서 모두 다양한 사회적 문제를 해결하고자 설계된 프로그램이다. 이 R&D 프로그램들이 다루는 문제 또는 연구 영역을 살펴보면, 전통적인 관점에서의 학술 영역으로 국한되지 않는 주제라는 것이 확인된다. 문제를 구성하는 요소들의 인과 경로가 학문의 경계를 초월하고, 복잡성과 불확실성이 높은 주제들을 다룬다. 특히, 비학문적 이해관계자가 문제 해결에 아주 중요한 고유의 지식을 보유하고 있는 경우가 다수 확인된다. 이는 초학제적 융합연구가 다양한 학문 분야의 지식을 통합하고, 학문적 경계를 넘어 비학문적 이해관계자들과 협력하는 접근 방식을 통해 전통적인 학문적 경계를 초월한다는 점을 명확히 보여주고 있다.

노르웨이의 '지속 가능한 어획 및 가공을 위한 연구혁신 센터(CRISP)(2011~2019)', 벨기에의 'Food4Sustainability (2014~2018)', 독일의 '생동 농업 환경(2014~2021)', 그리고 영국의 'PigSustain(2017~2021)'까지 28개중 4개의 프로그램은 지속가능한 1차 산업과 식품 자원의 문제를 다루고 있다. 각 프로그램 과제의 범위는 지역내 논의로서 다루지기도 하고, 혹은 국가적 관점에서 연구되기도 하였다.

【 사례 #6. CRISP(지속 가능한 어류 포획 및 가공 기술 연구 기반 혁신 센터) 개요 】

SFI CRISP

Centre for Research-based Innovation in Sustainable fish capture and Processing technology

The goal of the centre was a paradigm shift within fisheries technology.



Kaptein Torgeir Mannvik sitter på broen på Nergård-tråleren "J. Bergvoll". Til venstre Kjell Larssen, daglig leder i Nergård Havfiske AS, til høyre Ragnhild Aven Svalheim, stipendiat i Nofima og Stein Harris Olsen, seniorforsker i Nofima. Bildet er tatt i anledning forskningsprosjektet CRISP. Foto: Lars-Åke Andersen/Nofima

* 사진출처: 프로젝트 웹사이트

웹사이트 <https://nofima.com/projects/crisp-2/>

주요 기관 노르웨이 국립해양연구소(IMR)

관련 분야 해양 음향학, 어업 기술

사회적 파트너

- 낚시 장비 제조업체
- 노르웨이 원양 어류 판매 협회
- 노르웨이 어업인 판매 조직

자금 및 기간

- 총액: 24,000 유로
- 기간: 2011-2019
- 지원 기관: 노르웨이 연구위원회, 민간 기업

프로젝트 배경

- 연구 기반 혁신 센터(CRI) 프로그램의 일환
- 노르웨이 산업 경쟁력 향상 및 국제 연구 네트워크 참여 목적

주요 목표

- '스마트 기술' 개발을 통한 책임 있는 어업 실현
- 어선 및 수산 지원 산업의 수익성 개선

세부 과제

- 바다의 어종과 크기 식별 도구 개발
- 환경 영향 최소화 트롤방법 설계
- 신기술의 경제적 이익 분석

연구 방법

- 산업계와 연구 파트너의 협력적 주제 선정
- 산업계의 혁신 아이디어 제시, 연구팀의 이론적 기반 추가 및 현장 테스트

주요 성과

- 수산업 분야 인재 양성 (산업계 및 학계 진출)
- 여성 참여 증가 (참여 학생의 약 50%)

주요 연구 장애요인

- 연구 결과 공개와 비즈니스 기밀 유지 사이의 갈등

교훈 및 시사점

- 초학제 프로젝트에서 데이터 공개와 보호 사이의 균형 필요성 인식
- 학생들의 다양한 경험 및 기술 개발 기회 제공
- 연구 평가 시스템의 조정 필요 (학술 출판물 외 연구 기반 혁신 활동 중요성 인식)

2. 연구 기간과 자금 규모가 다양하지만, 모든 프로젝트가 장기적인 관점(최소 4년 이상)에서 진행되어 초학제적 연구의 시간 집약적 특성을 보여준다.
3. 각 프로젝트는 특정 산업(농업, 수산업, 축산업)에 초점을 맞추고 있지만, 모두 환경적, 경제적, 사회적 지속가능성을 통합적으로 고려하는 시스템적 접근을 취하였다.
4. 데이터 공유와 보호 사이의 균형, 다양한 이해관계자 간의 소통, 그리고 연구 결과의 실용적 적용이 공통적인 과제 또는 해결해야했던 문제로 응답하였다.
5. 모든 사례에서 연구책임자는 연구 평가 체계의 조정 필요성을 언급하고 있어, 초학제적 연구의 특성을 반영한 새로운 평가 및 지원 메커니즘 개발이 중요함을 시사한다.

【 사례 #16. 생동 농업 환경 프로젝트 개요 】



© Knuth/ Deutscher Bauernverband



**Verbundprojekt
Lebendige Agrarlandschaften**

* 사진출처: 프로젝트 웹사이트

웹사이트 <http://lebendige-agrarlandschaften.de/>

참여 기관

라이프니츠 농업 경관 연구 센터(ZALF)
독일 농민 협회(DBV)
농업 및 와이너리 협회 라인란트-나소
베스트팔렌 문화 경관 재단
레니쉬 경작 경관 재단

관련 분야

농업, 사회과학, 환경과학, 생태계 서비스

사회적 파트너

농부, 포도 재배자, 독일 농민 협회

자금 및 기간

총액: 3억 유로
기간: 2014-2021
지원 기관: 연방 자연보전청(BfN), 연방 환경·자연보전·원자력 안전부(BMU), 토지임대 은행

프로젝트 특징

3개 모델 지역에서 시행
컨설턴트, 농부, 포도 재배자 협력
성공 사례 타 지역 이전 계획

주요 어려움

과학적 지식의 실용적 솔루션 전환
지역 주체와 과학자 간 신뢰 구축
초학제 융합 프로젝트의 학술적 평가 문제

교훈 및 시사점

초학제적 프로젝트의 시간 소요성 고려 필요
다양한 주체 간 커뮤니케이션 기술 필요성
데이터 공유와 결과 투명성의 중요성
초학제 융합R&D 프로그램에 맞는 연구 평가 체계 조정 필요
연구 수행을 위한 추가 시간 허용 자금 지원 메커니즘 필요

【 사례 #22 PigSustain 프로젝트 개요 】



* 사진출처: 프로젝트 웹사이트

웹사이트

<https://gtr.ukri.org/projects?ref=BB%2FN020790%2F1>

참여 기관

리즈 대학교, 링컨 대학교, 런던 위생 및 열대 의학 학교
레딩 대학교, 동물 및 식물 보건국

관련 분야

시스템 모델링, 동물 건강 및 복지, 수의학 역학, 공중 보건, 환경 역학, 수의학 진단, 사회학, 인문지리학, 컴퓨터 과학
원격 모니터링, 경제학

사회적 파트너

영국 환경식품농촌부(DEFRA), 식품표준청(FSA)
레드 트랙터, 농업원예개발청(AHDB)
돼지고기 생산자/가공업체(크랜스윅, 요크월드, 엘삼, 카로 푸드 그룹)

자금 및 기간

총액: 약 240만 유로
기간: 2017-2021
지원 기관: 영국 연구 및 혁신(UKRI), 스코틀랜드 정부

주요목표

영국 양돈 산업의 회복력에 대한 이해 증진
AI 기반 원격 모니터링 감시 시스템 및 시스템 모델 개발

프로젝트 특징

5개의 작업 패키지(WP)+1개의 조정·통합 조직
월별 WP 리더 원격 회의
학제 간 기술 개발을 위한 전용 교육 세션
연례 이해관계자 워크숍
정기 뉴스레터 발행

주요 어려움

초기 참여와 신뢰 구축
다분야 협력으로 인한 의사결정 지연

교훈 및 시사점

명확한 의사소통과 정보 공유의 중요성
다분야 연구 자금 프로그램의 긍정적 효과 경험
초학제적 연구의 지원을 위한 연구 환경 및 인프라 조정 필요

3. 더 포괄적 협력으로의 변화

사례를 통해 확인한 초학제 융합연구의 두드러진 장점은 자연과학, 사회과학, 인문학 등 다양한 분야의 전문가들을 한데 모아 다차원적인 문제를 해결할 수 있도록 지식을 결합한다는 점이다. 이처럼 다양한 관점을 통합함으로써 TDR은 단순히 아이디어를 결합하는 것을 넘어, 실제 문제의 복잡성을 보다 효과적으로 다룰 수 있는 새로운 프레임워크를 창출한다. 이는 종종 지식을 특정 학문 내에서만 제한하고, 그 결과물의 범위와 적용 가능성을 제한하는 전통적인 연구 모델과는 현저하게 대조적이다.

협력 관점에서 직지가 대학교 원헬스 이니셔티브(JOHI) 사례는 여러 가지 중요한 통찰을 제공한다. 인수공통 전염병의 위협을 예방하기 위한 에티오피아의 초학제 융합연구 프로그램인 이 이니셔티브는 에티오피아의 직지가 대학교(JJU)와 아르마우어 한센 연구소(AHRI), 스위스 열대 및 공중보건 연구소(Swiss TPH)가 연구 개발 파트너십을 맺고 스위스 개발협력청(SDC)의 자금을 지원받아 진행하고 있다. 2015년부터 약10년의 장기적 계획으로, 소말리아와 에티오피아 지역 주의 목축업 공동체의 건강과 복지를 개선하는 것을 목적으로 한다.

JOHI 사례에서 주목할 만한 특징은, 경제문화 및 과학기술적 발전의 정도가 현저히 다른 국가들을 포함하는 국제적 협력이라는 점이다. 그래서 이니셔티브는 2015~2020년 동안 직지가 대학의 연구 및 교육 역량 강화에 집중하고 인간과 동물 건강에 대한 시스템 지식을 구축하는 데 중점을 두었다. 현지 젊은 과학자 훈련과 대학 커리큘럼을 개발하고 지속가능한 발전을 위한 지역 역량 구축하는 것을 강조하고 있다. 이러한 개입은 지역 전체의 인간과 동물의 건강, 환경 관리 및 생계 기회 개선에 기여할 수 있을 것으로 예측된다(Swiss Tropical and Public Health Institute (n.d.)).

【 사례 #15. 직지가 대학교 원헬스 이니셔티브(JOHI) 개요 】



* 사진출처: Swiss Tropical and Public Health Institute (n.d.)

<p>참여 기관</p> <p>직지가 대학교 에티오피아 소말리아 지역 주 에티오피아 아르마우어 한센 연구소 스위스 열대 및 공중 보건 연구소</p>	<p>주요 방법론</p> <p>다분야 이해관계자 참여형 회의 연례 연구 의제 검토 및 수정 지역사회, 당국, 전문가의 적극적 참여</p>
<p>관련 분야</p> <p>인간 건강, 수의학, 영양, 물, 위생, 목초지 관리</p>	<p>주요 성과</p> <p>현지에 적합한 개입 및 정책 권장사항 개발 새로운 형태의 인간/동물 공동 보건 감시 및 대응 시스템 개발</p>
<p>사회적 파트너</p> <p>에티오피아 소말리아 지역의 목축업 및 농업 목축 공동체 보건 및 동물 의료 서비스 제공자 지역 및 연방 당국, 지역사회 지도자</p>	<p>직지가 대학의 새로운 커리큘럼 개발 현지 젊은 과학자 코호트 훈련 대학 내 및 비학계 파트너 역량 강화</p>
<p>자금 및 기간</p> <p>470만 유로 (스위스 개발협력청) 기간: 2015-2025 추가 60% 매칭 기부금</p>	<p>교훈 및 시사점</p> <p>초기부터 참여적, 범분야적 접근의 중요성 역량 강화의 필수성 장기적 헌신을 보장할 수 있는 파트너 선택의 중요성</p>
<p>주요 목표</p> <p>이동 목축업자와 농업 목축업자의 건강과 복지 동물 건강 개선 현지에 적합한 개입 개발</p>	<p>저개발국과의 파트너십에서 역량 강화를 필수 요소로 고려 장기적 노력과 헌신적 자원 필요</p>

초학제 융합연구의 개념이 등장한 이후, 특히 1980년대부터 2000년대 초반까지는 주로 과학기술 선진국을 중심으로 초학제적 R&D 프로그램들이 기획되고 실행되었다. 예를 들어, 1980년대 후반에 기획된 유럽입자물리연구소(CERN)의 대형 하드론 충돌기(Large Hadron Collider, LHC) 프로젝트의 경우에는 유럽국가들을 중심으로 미국, 일본, 캐나다 등이 참여하는 기술선진국 주도형 기획이 있다. 1987년에 시작된 국제 지권-생물권 프로그램(International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP)은 지구 시스템의 변화를 연구하고 이해하기 위한 국제적 협력을 목적으로 하면서도 미국, 영국, 독일, 프랑스, 일본 캐나다 등의 선진국만을 포함하였다.

직지가 대학교 원헬스 이니셔티브(JOHI)와 같은 사례는 이러한 초학제 융합연구 프로그램들이 주로 선진국에서 시작되었지만, 점차 개발도상국으로도 확산되었다는 증거를 제공한다. 더불어, 초학제적 연구가 선진국과 개발도상국 간의 협력을 통해 글로벌 발전에 기여할 수 있음을 보여준다. 이는 초학제 융합연구가 사회현안 문제의 해결방안을 찾는 도구를 넘어, 국가 간 기술 및 지식 격차를 줄이는 데 중요한 역할을 할 수 있다는 점을 시사한다. JOHI 사례에서 볼 수 있듯이, 초학제적 연구는 선진국의 전문 지식과 개발도상국의 현지 지식을 결합하여 복잡한 글로벌 문제에 대한 공동의 이해와 해결책을 도출하는 데 기여한다. 이러한 접근 방식은 국가 간 불균형을 줄이는 동시에, 전 세계적 문제에 대한 더욱 포괄적이고 효과적인 해결책을 제시할 수 있다.

4. 초학제 융합연구의 부가가치

OECD(2020)의 사례 조사연구는 초학제적 융합연구 프로그램의 책임연구자 관점에서 어떻게 부가가치를 창출할 수 있는지를 다양한 방식으로 강조하고 있다.

사회적 논란 해결: 초학제 융합연구 R&D 프로그램은 활용해야 하는 지식의 경계가 불확실하고, 문제의 구체적 성격에 대한 의견이 분분하며, 이해관계자에게 미치는 잠재적 영향이 큰 논란이 되는 사회적 문제를 다룬다. 이에 프로그램에는 시민, NGO, 지역 생산자, 관련 산업계, 에이전시, 서로 다른 정부 에이전시 등 다양한 참여자를 포함하게 된다. 이렇게 R&D 프로그램 단위에 비학문적 당사자들을 포함하는 것은 당연한 사회적 문제의 해결방안을 도출함과 동시에 더불어, 그 과정에서 이미 상당한 수준에서 당사자간의 잠재적 갈등 관계를 해결하는 소통과 협력을 이끌어 낸다. 이는 프로그램이 도출하거나 결론내린 솔루션을 문제해결을 위해 적용할 때, 정책 수용성 측면에서의 사회적 비용을 크게 절감시킬 수 있다.

【 사례 #19. 몬탄아쿠아(MontanAqua) 프로젝트 개요 】

Approaching water stress in the Alps (MontanAqua)

The MontanAqua project examined the water situation and water management of the Crans-Montana-Sierre (Valais) region. Within this framework, the researchers developed sustainable water utilisation strategies for the future together with the parties involved. The research team first analysed the current water availability and utilisation as well as the current water management in the region's eleven municipalities. This was taken as the basis for an examination of the future impact of climate, societal and economic change. The research team ascertained the current situation via quantitative and qualitative surveys in the terrain, and combined these with model calculations. When modelling the future, the research team considered regional climate scenarios and four scenarios of possible societal and economic developments, drawn up jointly with local players.



MontanAqua focuses on developing more sustainable water management strategies in the Crans-Montana-Sierre region Photo: Flurina Schneider, CDE

Project duration: 2010 - 2013

기본 정보

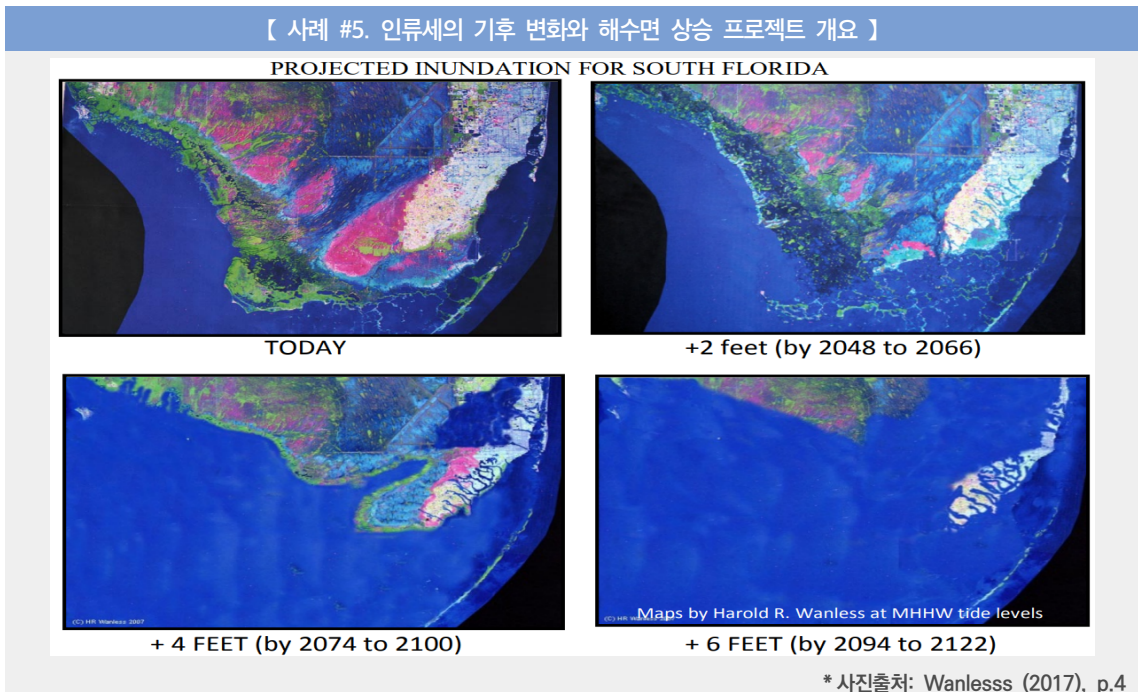
기간: 2010-2013
 예산: 약 90만 유로
 자금지원: 스위스 국립과학재단

주요 방법론

초학제적 접근법 적용
 체계적 모델, 개입, 목표, 변혁적 전략의 공동 생산
 지역 이해관계자와의 협력

<p>주요 기관</p> <p>베른 대학교 스위스 로잔 대학교 프리부르 대학교</p> <p>관련 분야</p> <p>지리학, 환경 과학, 수문학, 사회 과학</p> <p>사회적 파트너</p> <p>스위스 지역 주 정부 및 공동 당국 수력 발전, 포도 재배, 농업 관련 기관 환경 관련 NGO</p> <p>주요 목표</p> <p>스위스 알프스 크랑스-몬타나-시에르 지역의 지속 가능한 물 관리 전략 개발</p>	<p>주요 성과</p> <p>지역 물 상황의 복잡성 파악 물 지속가능성의 경합적 성격 인식 관련성 있는 물 관리 옵션 개발 비공식 다중 행위자 '지식 네트워크' 형성</p> <p>핵심 발견</p> <p>사회경제적 요인이 기후 변화보다 미래 수자원 시스템에 더 큰 영향을 미침</p> <p>교훈 및 시사점</p> <p>협력과 경쟁을 통한 새로운 협상의 중요성 숙련된 코디네이터/퍼실리테이터의 필요성 협력, 역할 명확성, 동기 부여, 헌신, 신뢰의 중요성 장기적 영향 평가의 필요성 초학제 융합연구를 위한 새로운 성과 측정 방법 개발 필요</p>
--	--

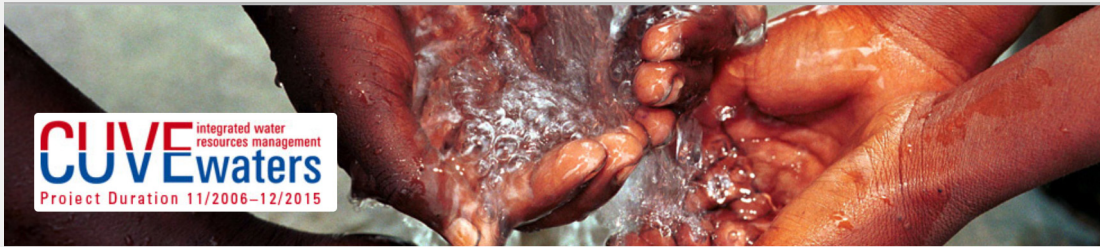
혁신적 연구로의 확장: 사례들은 전통적인 연구 접근법에 새로운 차원과 관점을 더해서 더 혁신적이고 포괄적인 해결책을 도출하는 양상을 갖는다. 이 접근법은 학문적 연구가 실용적·경험적 지식뿐만 아니라, 규범과 윤리적 교훈, 추상적 아이디어들을 사례별 지식과 통합할 수 있게 해주고 있다. 이 때, 자연스럽게 프로그램에 참여하는 사람들은 서로 다른 우선 순위와 이해 방식을 조정하고 해결하는 과정을 거치는데 서로의 이해를 통합하고자 새로운 질문을 던질 수 있다. 낯선 영역과 소통하는 논의를 통한 해결 과정에서 아이디어가 풍부해지고 진화할 수 있을 것이다.



<p>기본 정보</p> <p>기간: 2014-2019 예산: 78만 2천 유로 지원기관: 노르웨이 연구 위원회</p> <p>주요 기관</p> <p>프리트요프 난센 연구소</p> <p>관련 분야</p> <p>국제법, 지질 과학</p> <p>사회적 파트너</p> <p>국제법률협회(ILA), 미디어, 영화 제작자 예술가, 문화 단체, 민간 단체 및 정부 간 기구</p> <p>프로젝트 목표</p> <p>해수면 상승 예측에 대한 국제법의 잠재적 대응 연구</p> <p>주요 내용</p> <p>해수면 상승으로 인한 영토 변화와 법적 영향 분석 국제법의 관점 재검토</p>	<p>협력 구조</p> <p>국제 인류세 워킹그룹(AWG)과 ILA 위원회 간 협력 연구책임자는 AWG와 ILA에 동시 참여</p> <p>주요 성과</p> <p>유엔 국제법위원회(ILC)의 해수면 상승 주제 포함 프리트요프 난센 연구소의 유럽 최고 싱크탱크 수상 다큐멘터리 '인류세' 제작 및 상영 문화 및 예술 행사를 통한 결과 전파</p> <p>교훈 및 시사점</p> <p>비학문적 이해관계자와의 기존 관계의 중요성 결과 확산 및 영향력 증대를 위한 국제 협회/ 네트워크의 중요성 기존 학제 간 활동을 기반으로 한 연구 자금 지원 필요 다양한 이해관계자 포함을 통한 학제 간 연구 촉진</p>
--	--

지속 가능한 장기적 혜택 창출: 사례의 R&D 프로그램들은 종종 지속적인 장기적 혜택을 창출하는 양상을 보인다. 연구의 진행부터 다양한 층위의 이해관계자를 포함하면서 이들이 연구의 과정 혹은 최종 산출물을 어떻게 활용할지 동시에 학습하고 연계하기 때문이다. 그래서 솔루션의 개입이 수용되거나 채택될 가능성이 높은 상황 또는 과정을 명확히 할 수 있을 뿐만 아니라 개입을 친숙하게 만들고, 이를 최대한 활용하기 위해 필요한 사회적 지식을 개발함으로써 사회적 수용성과 활용도를 높일 수 있다. 또한, 사회가 개별 프로젝트를 넘어서는 관계, 도구, 행정 구조 및 메커니즘을 개발하고, 이를 통해 지속 가능한 혜택을 창출할 수 있게 한다.

【 사례 #7. CuveWaters 프로젝트 개요 】



Contact | Sitemap | Privacy Policy | Legal information

About CuveWaters

The Cuvelai-Etoshia Basin

Approaches

Rainwater Harvesting

Floodwater Harvesting

Groundwater Desalination

Sanitation and Water Reuse

Sharing Knowledge

Media

SPONSORED BY THE

Integrated Water Resources Management in Northern Namibia

Natural water sources have always been in short supply in Northern Namibia. It is becoming clear that water as a resource is going to come under increasing pressure from climate change. How can the population still be guaranteed a regular supply of drinking water? How can farm land be effectively irrigated or sewage disposed of safely? In the German-Namibian research and development project entitled CuveWaters, close collaboration between scientist/researchers, partners in the field, and the population itself has made it possible to develop and implement solutions for a sustainable water supply and wastewater disposal. These solutions serve as a blueprint for other so-called semi-arid regions of the world. CuveWaters was funded by the Federal Ministry for Education and Research (BMBF).



* 사진출처: 프로젝트 웹사이트

웹사이트 <http://www.cuvewaters.net>

주요 기관

ISOE-사회-생태학 연구소

관련 분야

사회 과학, 토목 공학, 도시 물 관리

사회적 파트너

간척 회사, 정부 부처
지역 및 마을 의회, 전통 당국
시민 및 NGO
나미비아 사막 연구 재단
독일 국제협력공사(GIZ)
독일 연방 지구과학 및 천연자원 연구소(BGR)

지원 및 기간

기간: 2006-2015
지원 기관: 독일 연방 교육 연구부

프로젝트 구조

ISOE: 프로젝트 조정, 사회과학 연구, TDR
접근 방식 담당
다름슈타트 공과대학교 및 독일 기업: 건설 및 기술 구현 옵션 주도

주요 목표

나미비아 북부 쿠벨라이-에토샤 분지 지역의 통합 수자원 관리(IWRM) 지원 및 개선

주요 방법론

초학제적 접근법 적용
참여형 및 적응형 수요 대응 절차
지역 주민 참여 기술 설계 및 실현
요구사항 분석 및 주요 이해관계자 파악
비학계 이해관계자 대상 설문조사
기술 구현 및 지역 주민 교육

핵심 특징

지역 주민의 기술 설계 및 실현 참여
엔지니어링 혁신과 역량 개발 결합

교훈 및 시사점

잠재적 사용자의 수요와 요구 사항 탐색의 중요성
현지 이해관계자 간 신뢰 구축의 필요성
기술 혁신과 사회적 혁신의 결합 필요성
현지 파트너 교육의 중요성
초학제 연구 역량 강화 및 장기적 후속 조치 지원 필요

IV. 정책적 시사점

다양한 사례의 비교와 분석을 통해 얻은 통찰력과 교훈은 향후의 초학제 융합연구 R&D 프로그램의 설계와 실행에 있어 중요한 지침이 될 것이다. 특히, 기술의 진화 속도가 가속화되고 다양하고 복잡한 글로벌 현안문제들이 등장하는 상황에서 최신 사례를 분석하고 이를 통해 통찰을 얻는 것은 중요하다.

1. 초학제 융합연구의 중요성 재확인

앞에서 살펴본 사례들은 초학제 융합연구가 현대 사회문제 해결에 중요한 해결책으로 기능하고 있음을 확인시켜 준다. 이제 초학제적 융합연구는 더 이상 개념적이거나 선언적인 연구방법의 이상향이 아니라, 현대 사회의 가장 중요한 과제들을 풀어내는 가장 일반화된 도구로 자리잡고 있다. 기후 변화, 공중 보건 위기, 기술적 변화와 같은 복잡한 현대 사회적 문제들이 점점 더 부각되는 시대에 혁신적이고 포괄적인 해결책에 대한 필요성은 그 어느 때보다도 크다. 28개의 다양한 최신 사례들은 초학제 융합연구가 현대 사회의 복잡한 문제들을 해결하는 데 필수적인 접근 방식임을 명확히 보여주고 있다. 지속 가능한 농업, 공중 보건, 수자원 관리 등의 사례에서 초학제 융합연구는 단일 학문 분야로는 해결하기 어려운 다차원적 문제들에 대해 혁신적이고 포괄적인 해결책을 제시하였다. 특히, JOHI(직지가 대학교 원헬스 이니셔티브)와 같은 문제 해결을 위한 국가 간 지식과 기술의 격차를 줄이고 글로벌 협력을 강화하는 데 기여할 수 있음을 보여주었다. 또한, 몬탄아쿠아 프로젝트에서 확인된 바와 같이, 초학제 융합연구는 학술적 지식과 현장의 실제적 요구를 효과적으로 연결하여 지역 사회에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 해결책을 도출하는 데 성공하였다. 이러한 사례들은 초학제 융합연구의 단순한 이론적 개념을 넘어 실질적인 사회 변화를 이끌어내는 강력한 도구로 자리잡고 있음을 입증하고 있다.

2. 연구 지원 체계의 혁신

초학제 융합연구의 효과적인 수행과 성과 창출을 위해서는 기존의 연구 지원 체계를 혁신할 필요가 있다. 먼저, 장기적이고 유연한 자금 지원 구조의 확립이 중요하다. 영국의 주요 R&D 펀딩기관인 영국연구혁신기구(UK Research and Innovation, UKRI)와 같은 기관의 역할 확대, 평가 및 지원 전문성 강화가 유용할 수 있다. 융합연구 지원의 좋은 모델이 될 수 있다. UKRI는 영국 내 규모가 가장 큰 펀딩기구로 9개 산하 위원회를 통해 학제 간 연구혁신을 장려하고, 전략적 우선펀드(Strategic Priorities Fund) 및 산업전략 챌린지펀드(Industrial Strategy Challenge Fund)를 통해 새로운 투자를 유치하는 데 핵심적인 역할을 수행한다. 이러한 접근은 연구자들이 단기적 성과에 얽매이지 않고 복잡한 문제에 장기적으로 접근할 수 있게 해준다. 융합연구 생태계의 한 참여자로서 정부와 연구 지원 전문 기관은 초학제 융합연구의 특성을 고려한 안정적인 자금 지원 체계를 마련해야 한다.

또한, 연구책임자들은 초학제 융합연구 R&D 프로그램이나 프로젝트에 적합한 새로운 평가 기준과 메커니즘의 개발이 시급하다고 공통적으로 응답했다. 융합연구는 앞서 살펴본 것과 같이 다양한 유형과 목적으로 설계된다.

이러한 다양성은 결국 연구 성과의 평가를 위한 단일한 절차를 찾기 어렵게 한다(이광호 외, 2015). OECD(2020) 보고서에 따르면, 일부 국가에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 혁신적인 접근법을 도입하고 있다. 예를 들어, 미국 국립과학재단(NSF)의 융합연구 프로그램은 다양한 분야의 전문가로 구성된 ‘리뷰어 컬리지’를 설립하여 융합 및 초학제적 제안을 공정하게 평가할 수 있도록 특별 훈련을 제공하고 있다. 또한, 벨기에의 브뤼셀 혁신연구소(Innoviris)는 ‘공동 창조’ 프로그램에서 전문가와 시민으로 구성된 혼합 패널을 통해 프로젝트를 선정하고 평가하는 방식을 채택한다.

3. 주요 이해관계자의 역할과 협력

정부, 연구기관, 지역사회와 국제기구는 모두 초학제 융합연구를 촉진하기 위한 효과적인 정책 이니셔티브를 설계하고 실행하는 데 중요한 역할을 담당한다. 각 주체별 역할에 대한 시사점을 요약해보면 다음과 같다.

먼저, 정부는 복잡한 사회 문제를 해결하는 데 있어 초학제 융합연구를 다른 전통적인 연구 접근법을 보완하는 필수 요소로 인식하고 장려해야 한다. 정부는 효과적인 융합연구 R&D 프로그램을 설계하고, 실행하며 지원하는 전반적인 프레임워크를 구축하는 데 중요한 역할을 한다. 더하여, 연구 자금 지원 기관은 R&D 프로그램을 직접 지원하고 인센티브를 제공함으로써 중요한 역할을 담당한다. 이는 연구 분야의 우선순위 선정과 자금 지원 기준, 동료 검토 및 평가를 포함한 자금 지원 절차의 변경에 영향을 미친다.

대학과 공공 연구기관은 초학제 융합연구를 수행하는 핵심 기관으로, 복잡한 사회 문제를 해결하는 데 필요한 규모로 초학제 융합연구를 앞으로 더욱 확대하려면 이들의 장기적인 전략적 헌신과 지원이 필수적이다. 이는 연구뿐만 아니라 교육과 훈련에도 영향을 미친다. 한편, 학계는 과학 정책 개발과 연구 전략 및 우선순위의 정의에 큰 영향을 미친다. 학계는 동료 검토 및 평가 프로세스를 수행할 책임이 있으며, 종종 이러한 프로세스의 설계 및 수행 방식에 대해 강력한 의견을 표명할 수 있다. 대학과 공공 연구기관은 상당한 자율성을 가지고 있으면서, 이런 의견들을 적절히 수용하고 대응해야 한다.

마지막으로 국제기구나 정부 간 조직, NGO 등은 초학제 융합연구를 촉진할 수 있다. 개념의 등장 이후에 더 많은 초학제 융합연구가 실행될 수 있었던 주요한 정책 동인 중 하나는 유엔의 지속 가능한 개발 목표(SDGs) 이었다. 이들 목표가 설정되는 데에는 어느 한 국가가 독자적으로 이 문제를 완전히 해결할 수 없으며, 보다 효과적인 국제 협력과 교류가 필요하다는 인식이 내재되어 있다. UN과 OECD를 비롯한 기타 국제기구는 사회적 도전과제를 해결하는 데 필요한 정도의 규모 초학제 융합연구를 실행할 자원이거나 권한이 없지만, 이러한 국제기구는 합의를 도출하고 행동을 촉진하는 데 매우 중요한 역할을 할 수 있다.

과학 연구 시스템 내에서 TDR을 촉진하고 활성화하는 데 주요 책임이 있는 주체 그룹 외에도, 현재 사회가 직면하고 있는 복잡한 문제를 효과적으로 해결하려면 초학제 융합연구를 전통적인 연구 접근법을 자연스럽게 보완하는 방식으로 적극적으로 장려하고 지원해야 한다. 이를 위해서는 과학 시스템 내부의 변화뿐만 아니라 사회의 다른 부문에서도 지원과 참여가 필요하다. 관련된 광범위한 정책 입안자들은 초학제 융합연구에 대한 장벽을 낮추고, 장애요인을 해소하여 모든 주체들의 참여를 장려하는 프레임워크를 개발하는 역할을 담당해야 한다.

4. 도전과 기회

초학제 융합연구가 단순한 이론적 개념을 넘어 실질적인 사회 변화를 이끌어내는 강력한 도구로 자리잡고 있지만, 여전히 융합연구를 실행하는 데에는 어려움과 장애물이 많다. 28 사례의 연구책임자들은 프로그램을 지휘하는데 있어 직면했던 도전과제들에 대하여 응답하였는데, 다수가 학문 간 협력을 조정하고 다양한 이해관계자의 기대치를 관리하는 일이 복잡하고 시간이 많이 걸리는 어려움이라고 지적하였다. 또한, 전통적인 학문적 평가 기준과 자금 조달 구조는 초학제 융합연구의 가치를 충분히 인정하지 못하는 경우가 많아, 연구자들이 이러한 이니셔티브를 지원받기가 어려운 경향이 있다고 토로하기도 하였다.

그럼에도 불구하고 초학제 융합연구의 이점은 이러한 장애요인과 도전과제들을 훨씬 능가한다. 비록 초기에는 참여자들의 신뢰 구축이 어렵고, 다분야 협력으로 인한 의사결정이 지연될 수 있지만, 협력 정신을 고취하고 복잡성을 수용함으로써, 초학제 융합연구는 세계에서 가장 시급하고 중요한 문제들을 해결할 수 있는 새로운 가능성을 열어준다. 28개의 조사된 사례분석 결과는 연구의 미래, 더 나아가 과학 및 기술 정책의 미래가 초학제적 협력의 힘에 달려 있을 수 있음을 시사한다. 미래를 내다볼 때, 전통적인 학문 간 경계가 점점 더 흐려지고 있는 것이 분명하다. 이러한 맥락에서 초학제 융합연구는 단순한 새로운 탐구 방법이 아닌, 그 자체로 연구할 만한 대상이자 연구의 새로운 패러다임을 나타낸다. 학문 및 분야 간의 장벽을 허물고 협력을 증진함으로써, 초학제 융합연구는 지식 생성과 그 지식을 세계의 가장 긴급한 문제들에 적용하는 방식을 혁신할 잠재력을 가지고 있다.

결론적으로, 초학제 융합연구는 현대 사회가 직면한 복잡하고 다차원적인 문제들을 해결하기 위한 필수적인 접근 방식으로 자리잡고 있다. OECD(2020)의 조사 결과가 전하는 메시지는 명확하다. 21세기의 복잡한 문제들을 헤쳐나가려면, 우리는 초학제적 연구를 받아들이고 적극 활용해야 한다. OECD(2020)이 조사한 28개의 사례에 대하여 본 글에서 분석한 결과는 초학제 융합연구가 단순한 학문적 개념을 넘어 실질적인 사회 변화를 이끌어내는 강력한 도구임을 입증하고 있다. 그러나 이러한 잠재력을 최대한 실현하기 위해서는 연구 지원 체계의 혁신, 평가 기준의 재정립, 그리고 다양한 이해관계자들 간의 긴밀한 협력이 필수적이다. 정부, 연구 기관, 대학, 국제기구, 그리고 시민사회를 포함한 모든 관련 주체들의 적극적인 참여와 지원이 요구된다. 향후 초학제 융합연구의 발전을 위해서는 지속적인 모니터링과 평가, 그리고 새로운 도전과제에 대한 유연한 대응이 필요할 것이다. 본 보고서가 제시한 분석과 제언들이 앞으로의 초학제 융합연구 R&D 프로그램 설계와 실행에 있어 유용한 지침이 되기를 기대한다. 궁극적으로 이를 통해 우리 사회가 직면한 복잡한 문제들에 대해 더욱 효과적이고 혁신적인 해결책을 찾을 수 있기를 희망한다.

저자소개 권혜연 (Kwon Hye Yeon)

• 학력

서울대학교 정책학 박사
KDI국제정책대학원 정책학 석사
포항공과대학교 생명과학 학사

• 경력

現) 한국과학기술연구원 선임연구원
前) 고려대학교 연구교수
前) 서울대학교 행정대학원 강사

참고문헌

〈국내문헌〉

- 1) 임홍탁 & 송위진. (2017). 사회문제해결을 지향하는 초(超) 학제적 연구의 특성. *동향과 이슈*, 39
- 2) 이광호, 최종화, 정장훈, 양승우, 이지혜, 최고야, & 정윤정. (2015). 융합 연구개발사업 평가체계 개선방안. *정책연구*, 1-188.

〈국제문헌〉

- 1) Bagamoyo College of Arts., Centre, T. T., Mabala, R., & Allen, K. B. (2002). Participatory action research on HIV/AIDS through a popular theatre approach in Tanzania. *Evaluation and Program Planning*, 25(4), 333-339.
- 2) Brandt, P., Ernst, A., Gralla, F., Luederitz, C., Lang, D. J., Newig, J., ... & Von Wehrden, H. (2013). A review of transdisciplinary research in sustainability science. *Ecological economics*, 92, 1-15.
- 3) Bruhn, T., Herberg, J., Molinengo, G., Oppold, D., Stasiak, D. and Nanz, P. (2019). Grounded action design – Transdisciplinary co-creation for better transformative processes. *Frameworks for Transdisciplinary Research #9. GAIA*, 28, 4: 336., DOI: 10.14512/gaia.28.4.3
- 4) Gray, B. (2008). Enhancing transdisciplinary research through collaborative leadership. *American journal of preventive medicine*, 35(2), S124-S132.
- 5) Klein, J. T., Grossenbacher-Mansuy, W., Häberli, R., Bill, A., Scholz, R. W., & Welti, M. (2001). *Transdisciplinarity: Joint Problem Solving Among Science, Technology, and Society? an Effective Way for Managing Complexity*. Springer Science & Business Media.
- 6) Lawrence, M. G., Williams, S., Nanz, P., & Renn, O. (2022). Characteristics, potentials, and challenges of transdisciplinary research. *One Earth*, 5(1), 44-61.
- 7) Morton, L. W., Eigenbrode, S. D., & Martin, T. A. (2015). Architectures of adaptive integration in large collaborative projects. *Ecology and Society*, 20(4).
- 8) Organisation for Economic Co-operation and Development. (2020). *Addressing societal challenges using transdisciplinary research*. OECD Publishing.
- 9) Piaget, J. (1972). The epistemology of interdisciplinary relationships. *Interdisciplinarity: Problems of teaching and research in universities*, 127-139.
- 10) Pohl, C., & Hadorn, G. H. (2008). Methodological challenges of transdisciplinary research. *Natures Sciences Sociétés*, 16(2), 111-121.

참고문헌

- 11) Pregernig, M. (2006). Transdisciplinarity viewed from afar: Science-policy assessments as forums for the creation of transdisciplinary knowledge. *Science and Public Policy*, 33(6), 445-455.
- 12) Wanless, H. R. (2017). The coming reality of sea level rise: Too fast too soon. *Coral Gables, FL: University of Miami*.

〈기타문헌〉

- 1) Swiss Academies of arts and sciences (n.d.), td-net Network for *Transdisciplinary Research*, <http://www.transdisciplinarity.ch/en/td-net/Transdisziplinarit-t/Definitionen.html> (접속일, 2024-08-12).
- 2) Swiss Tropical and Public Health Institute (n.d.), The Jigjiga University One Health Initiative (JOHI), <https://www.swisstph.ch/en/impact-stories/world-zoonoses-day-the-jigjiga-one-health-initiative> (접속일, 2024-08-10).
- 3) Research Institute for Sustainability Helmholtz Centre Potsdam (n.d.), *Our Approach - A transdisciplinary and co-creative approach to research*, <https://www.rifs-potsdam.de/en/our-approach> (접속일, 2024-08-20).



융합연구리뷰

Convergence Research Review



이 보고서는 2024년 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 작성되었음.

(2023M3C1A604340012)



융합연구리뷰

Convergence Research Review