ISSUE PAPER
2023-13

연구재료 우수사례 소개

연구장비재료팀 송명원 선임연구원

2023.10.



COMPA 과학기술사업화진흥원

연구재료 우수사례 소개

CONTENTS

Ⅰ. 연구재료 현황 01

Ⅱ. 연구재료개발 우수사례 06

Ⅲ. 연구재료 생태계 활성화방안 설문조사 25

Ⅳ. 시사점 29

Ⅴ. 참고문헌 30

발간사

기초연구를 통해 창출된 신재료와 물질은 다양한 기술 및 산업 분야에서 응용과 상용화 연구를 통해 미래 경제와 사회에서 혁신의 원천으로 활용되고 있습니다. 초기에는 과학적 가치 위주로 높게 평가되는 이러한 신재료와 물질들은, 이후 다양한 기술과 산업 분야의 연구를 통해 미래 시장을 선도하는 혁신적인 소재나 부품으로 전환될 수 있는 가능성을 갖추고 있습니다. 그래핀, CRISPR 유전자 편집 소재, 퀀텀 닷 등은 특정 연구재료의 깊은 이해를 바탕으로 새로운 과학적 발견과 기술적 혁신으로 연결되었으며, 연구자에게는 노벨상의 영예를 안겨주었습니다.

국내의 재료과학 및 소재 분야 기초연구 수준은 최근 10년간 상위 1% 저널 게시 기준으로 세계 3위에 해당하는 높은 수준에 이미 도달하였다고 평가됩니다. 하지만 이러한 우수 성과에도 불구하고, 국내 연구재료 생태계는 영세한 연구환경과 외산재료 선호 문제로 인해 아직 그 형태조차 미미한 상태입니다.

두말할 나위 없이 진취적인 연구재료의 개발과 그에 연계된 연구 활동은 새로운 기술과 제품 창출에 필수적이며, 이는 국가 경쟁력을 높이는 데 기여할 것입니다. 따라서 연구재료에 대한 체계적이고 지속 가능한 관리 전략은 학문적 이슈를 넘어 국가적 차원에서 중요한 과제로 취급되어야 합니다. 이를 위해 과기정통부는 '21년 부터 연구재료 분야의 체계적 지원을 위한 「연구재료 개발·확산 지원 사업」을 운영하고 있습니다.

본 이슈페이퍼는 연구재료의 주요 사례들을 중심으로 소개하며, 연구재료 개발·확산 지원 사업에 참여하는 연구책임자들의 의견을 수렴하여 지원 현황, 문제점, 그리고 효과적인 지원 방안을 분석하였습니다. 이를 통해 연구자뿐만 아니라 정책 결정자들도 연구재료 분야에 대한 깊은 이해를 할 수 있을 것이라 기대합니다.

마지막으로, 본 이슈페이퍼가 연구재료의 중요성을 널리 알리고, 적절한 대응 방안을 마련하는 데 기여할 수 있기를 바랍니다. 이 노력이 과학기술의 지속 가능한 발전을 위한 기반을 마련하는 데 도움이 되길 희망합니다.

2023년 10월

과학기술사업화진흥원 원장 김봉수

I

연구재료 현황

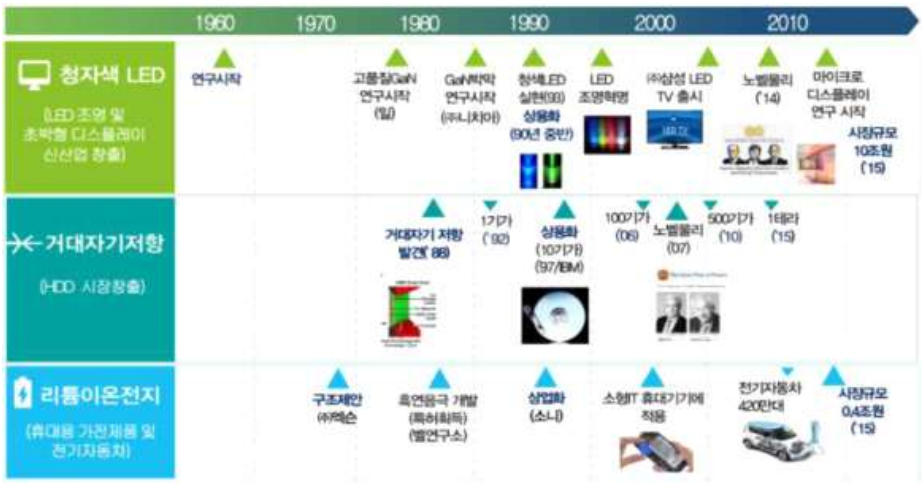
1 배경

배경

■ 기초연구 등을 통해 창출된 新재료/물질 등은 다양한 기술/산업 분야에서의 응용연구 및 상용화 연구를 통해 미래 경제/사회 혁신의 원천을 제공

- 기초연구성과로 창출된 신재료/물질 등은 개발 당시에는 새로운 현상/기능성 등에 대한 발견/규명 등 과학적 가치가 높게 평가되나, 이후 다양한 기술/산업분야에서의 응용연구 등을 통해 미래 시장을 선도하는 혁신적 소재/부품으로 전환되어 소재/부품산업 및 관련 산업의 글로벌 경쟁력 제고 등에 기여
- 질화갈륨(GaN)의 경우 '90년대 중반 GaN을 활용한 청색 LED 기술개발 이후 지속적인 응용연구를 통해 LED, 디스플레이 등의 산업으로 파급되었으며, 반도체 소자 등에의 활용을 위한 다양한 응용연구가 추진중

※ GaN 기반의 청색 LED 제조기술은 '14년 노벨물리학상을 수상하였으며, 이를 개발한 니치아화학공업은 매출 300억원 규모의 중소기업에서 세계적 LED기업으로 발돋움



〈그림 1〉 기초 · 원천연구를 통해 창출된 주요 혁신재료의 산업화 History

■ 특히 최근 과학기술의 초미세화 등에 따른 나노/바이오소재, 극한소재 및 고기능성 소재 등 재료/소재기술의 진화로 인해 혁신적 재료(소재) 경쟁력이 미래 신산업 분야의 글로벌 경쟁력을 좌우하는 핵심 동인(Driving Forces)으로 평가

- 과학기술의 초미세화에 따른 나노/바이오기술의 급진전에 따라 초미세 소재의 산업적 응용이 증가하고, 전세계적인 기초연구 투자 증가에 따라 양자, NK세포 등과 같은 新재료/물질이 출현하고, 이를 기반으로 새로운 시장이 창출되기 시작
- 나노기술의 발달에 따라 CNT, 그래핀 등 나노소재의 산업적 응용이 증가하면서 다양한 산업 분야의 제품 경쟁력을 결정짓는 요소로 작용
  * 그래핀은 반도체, 디스플레이, 2차 전지 등 첨단산업 뿐만 아니라 골프공, 운동화 등 다양한 일반 산업 분야의 제품에도 폭넓게 응용되기 시작
- 바이오 분야에서도 NK세포, 줄기세포 등을 활용한 신약 개발이 활성화되고 있으며, 세포치료제, 항체신약 등 신산업 성장을 견인
  * NK세포 치료제 기반의 면역항암제는 항암제 시장 중 가장 빠른 속도로 성장하는 분야로써 '24년까지 연평균 17% 고속 성장을 통해 글로벌 시장 기준 1,034억 달러(한화 약 113.7조원) 규모의 시장으로 성장할 전망(GBI Research, 2017)
- 메타물질, 합성미생물 등 다양한 고기능성 소재 및 초고강도/초내구성 등 극한소재 등과 같은 혁신적 재료(소재) 기술의 발달에 따라 혁신적 재료(소재) 기술 경쟁력이 산업경쟁력의 핵심으로 부상
  * 메타물질은 빛, 소음, 진동 등의 변환을 통해 투명 망토, 전력 생산, 스텔스 기능 등 다양한 기능성을 구현할 수 있는 재료(소재)로의 활용성이 기대

2 연구재료 정의 및 특징

연구재료란

■ (연구재료) 공공·민간의 혁신적 소재·부품·제품·공정 R&D 활동에 사용되는 중간재로서 전문시약, 바이오자원, 물질 및 소재 등을 포괄함

■ (연구재료 주요 예시) 원료 특성에 따라 크게 전문시약, 바이오재료, 연구용 유·무기 재료 등을 포함함

〈표 1〉 **연구재료의 주요 예시**

구분	항목	주요 품목(안)
전문 시약	분석시약	네슬러 시약, 밀론 시약 등과 같이 특별한 반응을 통해 정성분석/정량분석 등에 사용하는 시약
	진단시약	분자생물학 기법이나, DNA Probe 기술 등이 적용된 시약으로 의료용으로 사용되는 시약
연구용 바이오 재료	실험용 미생물 및 유전체	병원균, 대장균, 박테리아 등 미생물 및 유전체, 형광단백질 등 동식물 자원 등
	생체모사 인공 재료/소재	장기칩, 휴먼온어칩 등 인체모사형 스몰 머신과 더불어 바이오 임플란드 재료/소재 등과 같은 생체모사형 인공재료, 슈퍼버그 등 합성 미생물
연구용 유무기 재료	메타물질	자연계에 존재하지 않는 특성을 구현하기 위해 매우 작은 크기의 금속 또는 유전물질로 설계된 메타원자의 주기적 배열로 이루어진 물질
	극한환경형 재료	초고온/초저온, 초고압 및 극자외선 등 극한환경 및 지진 등 자연재해 등의 상황에서 내구성 및 운용성을 보장하는 극한재료/물질(Ex. 슈퍼 콘크리트)

	자원 대체 재료	화석연료 고갈 등 자원고갈 또는 희토류 등 희소/고가 자원 대체 목적의 연구용 재료/물질
	친환경/고에너지 재료	생분해성 바이오플라스틱 등 친환경 대체재료 및 수소생산/저장 물질, 압전/열전 등 에너지 하베스팅 재료 등과 같은 고에너지 재료/물질
	패러독스형 슈퍼 재료	초경량/고강도, 초미세/고용량 등 다양한 분야에서 한계 극복을 지원하는 超고기능성 재료/물질 (그래핀 등)
	천연물 유래 재료/물질	자연계에 존재하는 천연물로부터 추출/배양 및 합성 등을 통해 기능성이 과학적으로 검증된 재료/물질
	슈퍼 촉매 재료	화학적/생물학적 반응을 유도하여 새로운 기능을 구현하거나, 기존 공법의 한계를 넘는 수율 등의 구현이 가능한 촉매용 재료/물질

■ (연구재료 특징) 연구재료는 연구개발 단계에서 요구되는 시약, 물질, 자원 등으로, 산업화시 다품종·소량 생산 등에 따른 기술혁신형 중소기업에 적합한 업종임

- 산업용 재료(소재·부품)는 타 제조업을 위한 소재를 납품하는 특성에 따라 장기공급계약 기반의 Bulk형 거래, 소품종 대량 생산에 따른 장치산업 특성을 보이는 것이 일반적
  * 산업용 재료들은 일반적으로 전방 제조기업의 제품 생산에 필요한 소재 또는 부품을 공급함으로써 납품기업과의 장기공급계약을 토대로 대량생산 및 공급하는 Bulk형 거래가 일반적
- 반면, 연구재료의 경우 공공/민간 연구소가 주요 고객이며, 연구개발단계에 필요한 재료임에 따라 단발성 소량 거래가 일반적이며, 이에 따라 다품종 소량 생산의 특성에 따라 기술혁신형 벤처기업 또는 중소기업에 적합한 업종
  * 연구재료는 연구개발과정에서 실험을 위한 용도이거나, 시제품 제작 등을 위한 용도로 활용하는 소모성 자재임에 따라 일반적으로 단발성·소량 거래를 통해 유통되는 특성
  * 또한 연구재료의 개발 및 제조는 고도의 기술력을 요하는 분야임에 기술혁신형 스타트업 또는 중소기업에 적합한 특성

■ 이러한 특성 차이에 따라 연구재료의 육성 방향은 기존 소재·부품의 육성 방향과는 상이한 접근이 요구됨

- 기존 소재·부품의 경우 대학/출연(연)이 보유한 기술을 기존 기업에 이전 및 사업화하여 업종 고도화 및 신사업 창출이 가능한 전통적 육성방식이 적합한 반면,
- 연구재료의 경우 실험실 설비 또는 Pilot-scale 설비를 통해 제조·판매하는 특성에 따라 규모의 경제 실현이 어려워 실험실 창업 기업 등 소규모 전문기업 중심의 생태계로 인해 기존 기술이전·사업화를 통한 육성이 제한적임

3 연구재료시장의 특성

글로벌 연구재료시장 현황

■ 연구재료시장은 다품종 소량 중심의 산업 특성에 따라 다국적 화학기업, 전문 재료기업 등 선진국 기업 중심의 과점형 시장 구조가 지속

- 시약 및 실험용 소재 시장은 Merck, BASF, Covestro 등 다국적 화학기업이 글로벌 시장을 과점하고 있으며, 실험동물 시장 또한 찰스리버 Lab, Taconic Farms 등 글로벌 전문기업이 시장을 과점

* (MERCK) 2015년 시그마-알드리치를 170억 달러에 인수하여 첨단소재를 적용한 혁신제품 출시 및 약 40만개 시약을 공급하고 있으며 헬스케어, 제약, 생명공학 등 다양한 분야로 사업을 확장하고 있으며 시그마-알드리치는 약 3조의 매출 발생
* (Covestro) 독일 종합화학기업인 Bayer의 Material Science 사업본부가 2015년 분사한 폴리머 솔루션 전문기업으로써 폴리우레탄, 폴리카보네이트 등 폴리머 솔루션을 제공하고 있으며, 각 국가별 지점을 두고 해당 국가의 대표 기업과 공동개발 등을 통해 솔루션을 공급
* (찰스리버 Laboratory) 의약/바이오 분야의 실험시약 및 테스트 서비스 등을 제공하며, 실험동물 및 미생물 등의 개발/생산 및 공급 등에 특화된 전문기업으로써 실험용 마우스 및 랫 등을 공급
* (Taconic Farms) 미국에 소재한 실험용 동물 전문기업으로 전세계 실험용 마우스 시스템의 선도기업으로 자리매김

■ 국내 R&D투자 증대에 따라 연구시약, 실험동물, 실험소재 등 연구재료 수요 증대로 국내 연구재료 시장의 급성장 추세가 지속

- (실험동물) 국내 실험동물 시장은 2018년 665억 원에서 연평균 10.9% 확대되어 2022년 1,006억 원 규모로 성장할 전망
- (실험시약) 국내 실험시약 시장은 2018년 4,065억원에서 연평균 4.2% 확대되어 2022년 4,800억원 규모로 성장할 전망

국내연구재료시장의 현황 및 문제점

■ 정부의 지속적인 기초 · 원천 R&D투자 증대 등에 따라 국내 재료과학 및 소재 분야의 기초연구 수준은 세계적 수준에 도달

- 재료과학 분야의 피인용 상위 1% 논문수를 기준으로 국내 재료과학 분야의 연구수준은 중국, 미국에 이어 세계 3위 수준
  * 최근 11년간(2010~2020) 재료과학 부문의 SCI급 학술지에 발표된 국내 피인용 상위 1% 논문은 734건으로 중국, 미국에 이어 세계 3위 수준

〈표 3〉 재료과학분야 피인용 상위 1% SCI 논문 국가순위(2010~2020)

분야	순위	국가	논문수	점유율(%)
재료과학	1	중국	5,459	41.8
	2	미국	3,911	29.2
	3	한국	734	5.6
	4	독일	679	5.2
	5	싱가폴	644	4.9
	6	호주	628	4.8
	7	영국	611	4.7
	8	일본	505	3.8
소계			13,171	100

출처 : 한국연구재단(2022), 2010~2020 주요국의 상위1% 논문실적 비교보고서

- 중국, 미국 등이 절대적 우위를 차지하고는 있으나, 일본 등에 비해 높은 순위를 차지함으로써 상대적으로 재료(소재) 관련 과학기술 경쟁력은 주요국 중 높은 수준에 도달한 것으로 판단

■ 이러한 국내 연구재료 시장의 성장에도 연구현장의 외산재료 선호, 국내 연구재료산업 생태계 미흡 등으로 외산의존도가 높은 구조적 한계가 지속

- 국내 실험시약은 대정화금, 삼전순약공업, 덕산약품공업 3사가 국내외 유통망 및 기술력 확보 우위로 과점(寡占)하고 있으나, 대부분 저부가가치 범용재료 중심
- 실험동물 시장 또한 세포배양에서의 핵심소재인 혈청의 경우 100% 수입 의존하고 있으며, 실험동물은 모두 수입 또는 수입된 모체동물로부터 생산·활용하는 등 외산 의존도가 매우 높은 구조가 지속

■ 특히 다품종소량 생산 특성에 따라 자생적 산업화가 어려운 영역임에도 '연구개발 과정의 소모품'으로 치부하는 인식에 따라 연구재료 산업 육성을 위한 정책적 지원 또한 미흡하여 외산의존형 시장구조가 지속되는 악순환 초래

- 국내 재료 관련 R&D정책은 대부분 소재·부품 산업 육성을 목적으로 추진됨에 따라 연구개발단계에서의 혁신적 연구재료 개발/제조 및 보급 등 연구재료 생태계 육성을 도외시되고 있는 현실
- 그간 국가소재은행 등 일부 지원사업이 존재하였으나, 소규모 지원을 통해 대학, 출연(연) 등에서 연구재료를 공급할 수 있도록 지원하는 수준에 그침에 따라 자생력있는 연구재료 생태계 조성에는 한계

■ 국내 대학/출연(연) 등이 개발한 혁신물질 및 재료, 바이오자원 등이 기술 자산화되어 관리되고 있으나, R&D 수요현장에서는 이러한 정보를 획득한 채널 및 방법 등이 없어 이를 활용한 연구개발이 제한적인 상황

- 연구자간 알음알음식 네트워크에 의존하여 혁신재료/물질 등에 대한 정보를 취득하고 있으나, 인적 네트워크의 범위 한계 등으로 포괄적인 연구재료 정보 확보에는 제한적
- 이에 새로운 물질/재료의 발굴보다는 기존 외산 연구재료 활용 등의 조달 채널을 활용하고는 있으나, 벌크 구매, 수입/통관과정에 따른 조달기간 소요 등 다양한 불편을 호소하고 있는 상황

■ 공공/민간의 응용/상용화 R&D현장에서 다양한 혁신 물질/재료 등을 연구개발에 활용하여 혁신적 제품/공정 개발 등에 활용할 수 있도록 하는 연구재료 생태계 조성이 필요함

Ⅱ

연구재료 주요사례

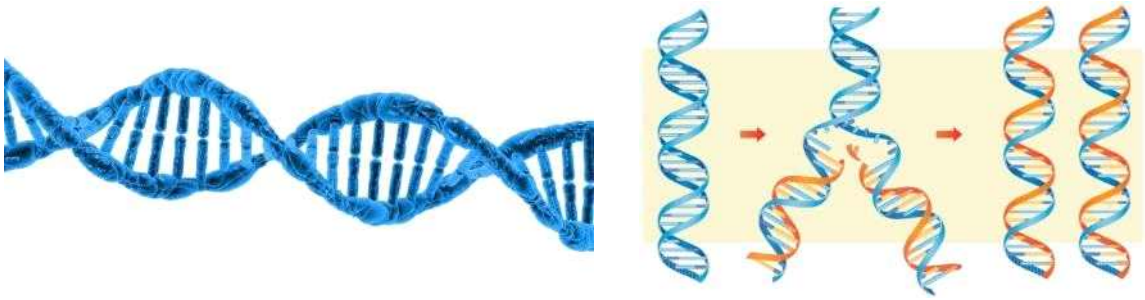
1 Taq 중합효소(Taq polymerase)

PCR(Polymerase Chain Reaction)과 Taq 중합효소(Taq Polymerase)

■ **(DNA 개념 및 복제)** DNA는 모든 생명체의 유전정보를 담고 있는 고분자화합물로서, 두 개의 긴 가닥이 서로 꼬여있는 이중나선구조* 형태임

* 1953년 왓슨과 크릭에 의해 보고되었으며, 1963년 노벨상 수상

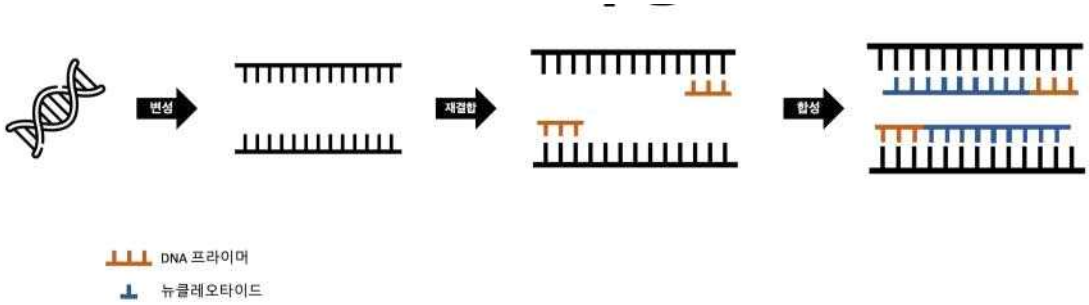
- 세포 분열시 DNA의 유전정보는 복제되며, 두 개의 동일한 DNA를 갖는 세포로 분배됨



〈그림 3〉 **DNA 이중나선구조 및 DNA 복제과정**

■ **(PCR 개념)** PCR(polymerase chain reaction)법은 DNA 또는 RNA의 특정영역을 시험관 내에 대량으로 증폭하는 기술로, DNA 복제 과정을 인의적으로 n회 반복하는 과정을 통해 내가 원하는 DNA 염기서열을 본래의 양보다 2의 n 제곱근 형태로 증폭, 분석·검사를 용이하게 하는 획기적인 기술임.

- 극히 단순하고, 쉽게 응용 가능한 장점을 바탕으로 분자생물학 뿐 아니라 의학, 환경, 인류학 등 다양한 환경에서 활용 중
- 기본적으로 DNA변성(Denaturation)을 통해 DNA 이중나선이 단선으로 분리되면, Annealing 과정을 통해 DNA 조각들이 분리된 DNA 가닥 위에 배열되고, 신장반응(Extension)시 중합효소를 통해 DNA를 합성함. 이후 이 과정을 n 회 반복하며 원하는 DNA를 증폭함.



〈그림 4〉 PCR을 통한 DNA 복제 개념

■ **(PCR 개발 및 상용화)** 과학자들에 의해 DNA 복제의 원리가 제안된 이후 1983년 Cetus社에서 근무하던 Kary Mullis*는 '일단 복제가 일어난 뒤 또 복제가 일어날 수 있는 조건을 잘 통제해서 반복하면 기하급수적으로 DNA 수를 늘릴 수 있지 않을까?' 라는 PCR의 기본 아이디어를 제안함.

* PCR 개발의 공로를 인정받아 1963년 노벨상을 수상함

- 이후 1988년 역시 Cetus사의 Randall Saiki, Henry Erlich등이 고온에서도 활용 가능한 Taq 중합효소를 PCR에 적용함으로써 DNA 복제과정을 혁신적으로 개선함

■ **(PCR과 Taq 중합효소)** Taq 중합효소는 고온에서도 변성되지 않는 내열성을 가진 효소로, n회 반복되는 PCR 과정중 추가적인 효소 투입없이 연속적으로 진행될 수 있도록 지원하는 핵심 재료임

- (기존 PCR 문제점) DNA 이중나선을 단일 가닥으로 분리할 때 비교적 높은 온도(90℃이상)로 가열하는데, 초기 PCR에 활용된 대장균의 중합효소 등은 단백질 형태로 높은 온도를 견디지 못하고 변성되어 비활성화됨. 이에 기존에는 매 회 반복 시 새로운 중합효소를 투입함
- (Taq 중합효소란) Thermus aquaticus는 80℃에서도 증식가능한 세균으로, 주로 온천 등에서 발견됨. 이 세균에서 추출된 Taq 중합효소는 높은 온도(단백질 변성조건)에서도 견딜수 있는 특성을 갖춤
- (Taq 중합효소와 PCR) Cetus의 연구진은 이 세균에서 추출된 내열성 중합효소 PCR 과정에 적용함으로서 매 회 새로운 효소의 투입 없이 PCR 자동화 과정이 매우 간단히 이루어질수 있다는 점을 확인함.

■ **(PCR 현황)** PCR은 현재 거의 모든 생물학 분야에서 활용 중이며, 과학수사, 친자감별 등 일상의 영역으로까지 확대되어 활용 중이며, 특히 최근 코로나19 관련 바이러스의 특정 유전자를 증폭하여 검출하는데 민감도와 특이도가 가장 높아 전 세계적으로 코로나19 감염의 표준 검사법으로 활용됨





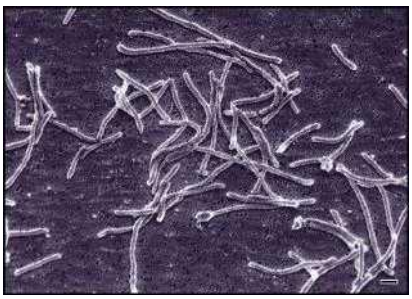
〈그림 5〉 PCR을 통해 대중화된 유전자 검사(좌) 및 코로나19 PCR 검사(우)

Taq 중합효소(Taq Polymerase)의 발견 및 PCR 발전과정

■ 초기발견

- 1960년대 후반 인디애나 대학 Thomas D. Brock은 미국 옐로스톤 국립공원의 뜨거운 온천이 다양한 색을 띄고 있는 것은 광합성을 하는 미생물에 의한 것이라고 추측한 뒤, Hudson Freeze과 함께 높은 온도에서 살아가는 초호열성*(Hyperthermophiles) 미생물을 발견함. 이를 Thermus aquaticus로 명명하고 보고함

  * 60℃ 이상 극도의 높은 온도에서 살아가는 유기체





〈그림 5〉 **Thermus aquaticus 및 최초 발견된 엘로스톤 국립공원의 다양한 색을 띠고 있는 온천**

-1976년 신시내티 대학의 Trela[1] 등에 의해 처음으로 초고열에서도 성능저하없이 작동하는 Taq 중합효소*가 초호열성 박테리아로부터 추출되어 보고됨.

*Taq 중합효소의 최적 활성 온도는 75~80°C이며, 92.5°C에서 반감기는 2시간이 넘는 등 높은 열적 특성을 갖추고 있음

■ 1980년대 PCR과 Taq Polymer

-1980년대 초 캐리 멀리스는 Cetus 社에서 DNA 올리고를 합성하는 업무를 하던 중 특정 DNA 돌연변이를 쉽게 검출할 수 있는 방법이 없을지 고민함. 그는 문득 DNA 이중나선을 풀어 한가닥씩 중합반응을 한 뒤, 다시 해당 과정을 반복하면 2 → 4 → 8 → 16 →32와 같이 증폭하는 것이 가능할 것으로 추측함. 이단위과정(분리→결합→합성)의 반복을 통해 DNA를 복제·증폭하는 PCR의 기본 개념으로 제시함

-초기 PCR 과정시 DNA 합성을 위해 대장균 유래의 중합효소를 사용하였지만, 다음 반복 단계를 수행하기 위해 다시 온도를 올리면, 해당 효소가 온도를 견디지 못하고 비활성화되어 매번 새로운 중합효소를 투입했어야 함

-1988년 Cetus社의 Randall K. Saiki, David H. Gelfand[2]등은 과거 논문 조사시 고온에서 활성화되는 Taq 중합효소의 존재를 확인함. 고온에서도 작동 가능한 Taq 중합효소를 PCR 과정에 활용시 추가적인 중합효소 투입 없이 수행가능하다는 점을 발표함. 이는 비교적 작은 기계 하나 안에 닫힌 튜브를 넣은 뒤 n번 반복 수행하는 것을 가능하게 함으로서, PCR을 누구나 쉽게 진행할 수 있는 실용화의 핵심 기술로 평가됨

-1989년 Science 지는 Taq 중합효소를 '올해의 분자' 로 명명함

1) CHIEN, Alice; EDGAR, David B.; TRELA, John M. Deoxyribonucleic acid polymerase from the extreme thermophile Thermus aquaticus. Journal of bacteriology, 1976, 127.3: 1550-1557.
2) SAIKI, Randall K., et al. Primer-directed enzymatic amplification of DNA with a thermostable DNA polymerase. Science, 1988, 239.4839: 487-491

■ 1990년대

-Cetus 등 다양한 바이오 기업들이 Taq 중합효소의 상용화를 추진함

-1991년 Roche는 Cetus로부터 Taq 중합효소 및 PCR 특허를 인수하였으며, 이를 바탕으로 다양한 PCR키트를 개발·출시함

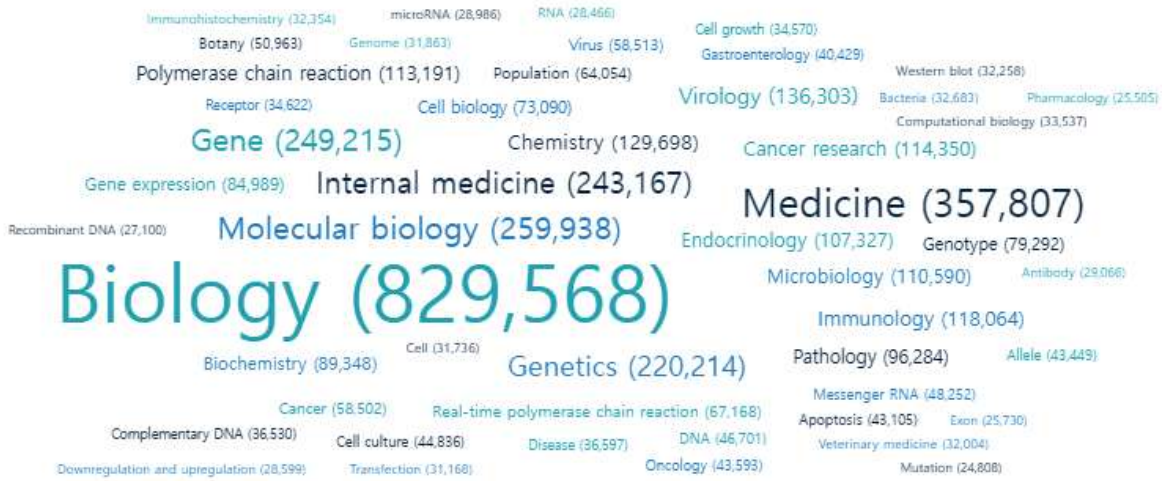
-캐리 멀리스는 1993년 노벨상을 수상함

■ 2000년대 이후

-Taq 중합효소의 변형이나 개량된 버전이 개발되어, 더 높은 정확도와 효율성을 가진 PCR로 연계 발전함

■ 주요 연구분야

- Cetus 사의 발견 이후 생물학 뿐 아니라 의학, 화학 등 다양한 분야에 영향을 미침



〈그림 5〉 **PCR 및 Taq 중합효소 관련 연구성과의 주요 연구분야 검토(1986년 이후, Lens.org 참조)**

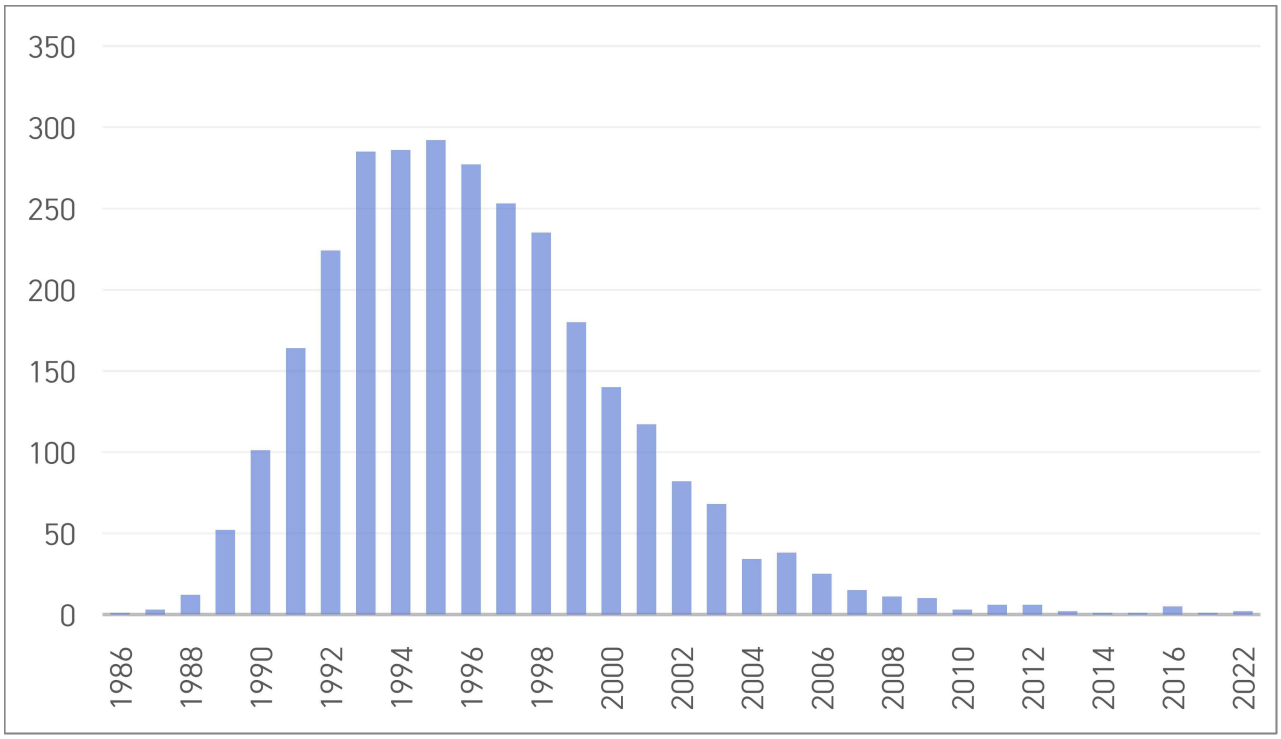
Taq 중합효소의 연구재료화 및 발전 : CETUS社[3)]

■ (연구성과의 연구재료화)1971년 미국 캘리포니아에서 설립되었으며 생명공학 분야의 연구 및 상업화에 중점을 둠

-1983년 Cetus社 내에서 Kary Mullis가 PCR 개념을 고안함. 이를 바탕으로 1985년 PCR 기술을 처음으로 상업화함

-1988년 Saiki 등의 Taq 중합효소 연구를 바탕으로 PCR 기술을 선도하며 다양한 특허들을 확보함

3) Bio통신원(Mad Scientist)(2016), [Mad Scientist] 돈되는 기술의 원천을 찾아서 : PCR 이야기



〈그림 6〉 Cetus社의 연구재료 및 기술을 활용한 연구논문 2,932건의 연도별 현황



Nature, 1989 Nature, 1990 Nature, 1994

〈그림 7〉 프랑스국립건강의학연구소, NIH, 도쿄대, 하바드대 등 Cetus社의 협업기관(대학, 연구소) 및 우수 논문 성과

■ (연구재료의 활용·확산) Roche와의 협업을 통해 PCR 키트를 출시하였으며, 관련 특허와 기술들을 1991년 판매함

- 1991년 Chiron社로 인수되어 더 이상 독립회사로 존재하지는 않지만, PCR 기술의 개념 및 핵심 재료, 제품들을 공급함으로서 생명과학분야의 연구를 선도함





〈그림 8〉 초기 PCR 장비(좌) 및 국내 Taq 중합효소 제품예시(우)

■ (연구재료의 상용화–PCR과 Taq 중합효소 시장 현황) 21년 PCR 시장 규모는 약 9조5천억원 규모로 추정되며, 이중 Taq 중합효소의 경우 약 3.5~ 4.0천억원 규모로 확인됨

- Taq 중합효소는 PCR 반응을 위한 필수 시약 및 소모품으로 취급되며, 이미 많은 연구 및 이를 바탕으로 한 제품이 출시됨
- 임상진단/연구개발/법의학/기타응용(환경, 농업, 바이오 등)분야에서 지속적으로 활용 중
- Covid-19의 영향으로 검사량이 급증하며, 시장이 크게 확장됨
- Thermo Fisher Scientific, QIAGEN, Roche 등 글로벌 제조사에서 주로 만들어지며, 가격 경쟁력 및 제품혁신, 그리고 PCR 제품과의 연계에 따라 주로 선택됨

2 그래핀(Graphene)

그래핀의 개념

■ **(그래핀이란)**그래핀(Graphene)은 탄소 원자 한층 두께의 2차원 물질로, 다양한 차원의 탄소 물질을 구성하는 기본 물질임

- 구조적으로는 2차원의 그래핀이 어떻게 말리느냐에 따라 0차원(플러린, 구모양), 1차원(탄소나노튜브)이 될 수 있으며, 적층될 경우 일반적인 3차원의 흑연으로 구성될 수 있음
- 기존 금속재료 대비 우수한 기계적, 전기적 성질을 바탕으로 주요 탄소 소재로 급부상함



〈그림 9〉 **그래핀과 탄소 물질간 관계[4] 및 그래핀의 응용 가능 분야[5]**

■ **(주요 특성)** 기존 일반적인 물질 대비 우수한 전기적 특성 및 기계적 성질 등을 갖추고 있음

- 2010 노벨상 수상자인 맨채스터 대 노보셀로프 교수는 그래핀을 아래와 같이 소개함

〈 그래핀의 주요 특성 〉

* 가장 얇은 물질(탄소원자두께), * 가장 표면적이 큰 물질 (~2,700 m2/g)
* 측정한 물질 가운데 가장 강한 물질(이론 한계 근접), * 가장 강성이 큰 물질(다이아몬드보다 큼),
* 가장 잘 늘어나는 결정(20% 신장까지 탄성 영역임), * 가장 열을 잘 통하는 물질(다이아몬드를 능가)
* 상온에서 가장 큰 전류밀도(구리의 100배), * 완전 비투과성(헬륨 원자조차도 통과 불가)
* 가장 큰 고유 이동도(실리콘 대비 100배), * 전기전도도가 무한대(전자의 한계 없음)

4) The rise of graphene(A. K. Geim & K. S. Novoselov, 2007)
5) 2011, 지식경제 R&D 전략기획단, 그래핀 워크샵

- 일반적으로 알려진 그래핀의 정량적 특성치는 아래와 같음

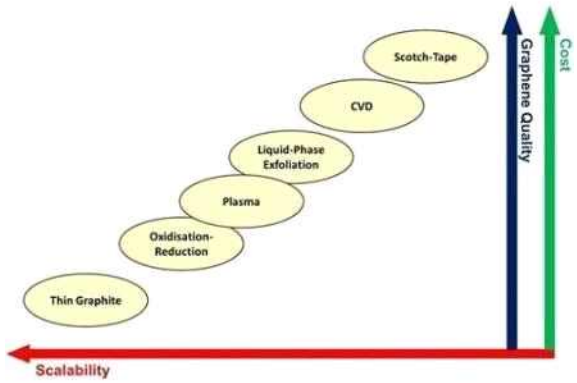
〈표 4〉 일반적인 그래핀의 정량적 특성치

성질	구분	그래핀 특성	비고
전기적 성질	전하이동도	200,000	실리콘의 100배, 구리의 150배
	최대허용 전류밀도	~5.0 x 10^8	구리의 100배
	면저항	〈 50	구리의 35% 미만, 탄소나노튜브(CNT)의 10% 미만
기계적 성질	강도	1,100	강철의 200배, 다이아몬드의 2배
	유연성/신축성	원면적의 20%	ITO* : 1% 미만
열적 성질	열전도율	5,000	다이아몬드의 2배, 탄소나노튜브의 1.5배
광학적 성질	투명도	98%	ITO와 유사

* ITO(Indium Tin Oxide) : 전기전도성을 가지는 투명한 무기산화물로 투명전극 등에 사용

■ (그래핀의 제조) 그래핀은 기계적 박리, 화학적 제조 등 다양한 방식으로 제조 가능하나, 많은 함량의 불순물(산소 등) 포함하거나, 단층이 아닌 복수 층의 그래핀이 만들어지는 등 제조 방법에 따른 품질 및 특성의 차이가 큼

- 또한 제조법 별 경제성이 상이하여 아직 저가, 대량으로 고품질의 그래핀을 생산하는 적합한 제조법은 아직 부재함



〈그림 5〉 그래핀의 제조법에 따른 비용, 품질 및 대형화 가능성 비교[6)]

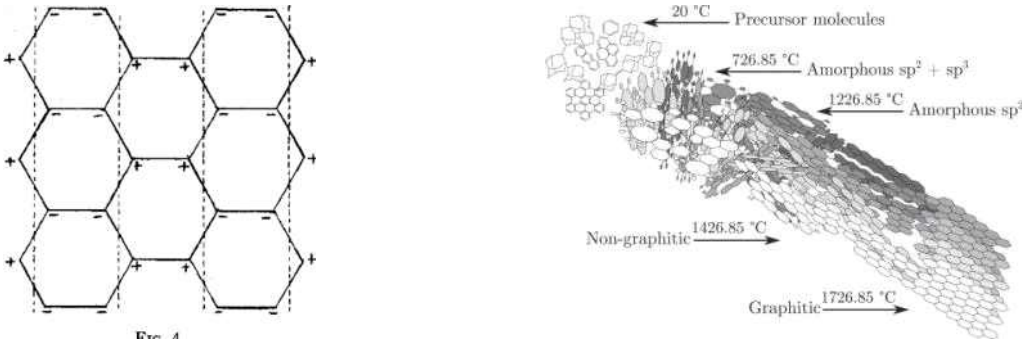
6) (Source: IDTechEx) Scalability, cost and graphene quality trends for different manufacturing techniques

그래핀의 발견 및 발전 과정[7)]

■ 90년대 이전

- 1947년 이미 2차원적 물질의 가능성이 이론적으로 제안[8)]되었으나, 초기 과학자들은 해당 물질들이 구조적인 불안정성 등으로 실존하지는 않을 것으로 예상함
- 2차원적 물질 관련 지속적인 연구*도 이루어졌지만, 실제 본격적인 검토는 90년대부터 시도됨

* 60년대 흑연화(Graphitization)를 통해 층별로 결정을 성장시키는 적층법이 발견되었으며, 70년대에는 다른 물질의 표면에서 단일원자 두께의 탄소층이 우연히 발견되기도 함



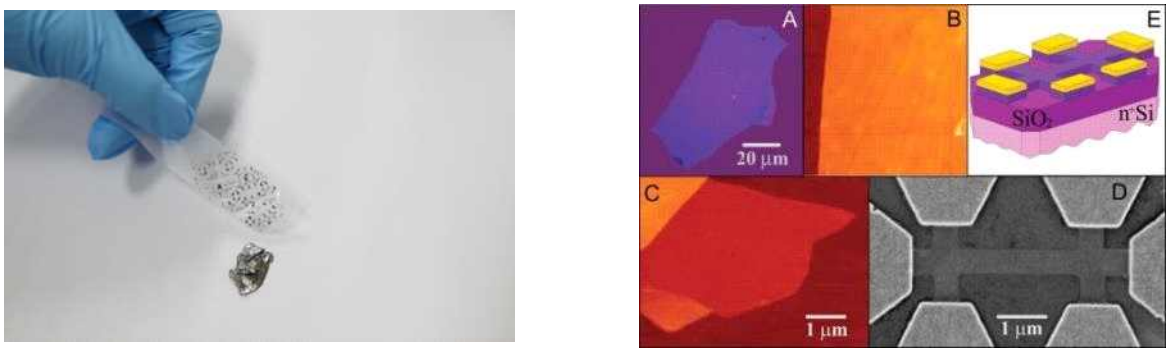
〈그림 5〉 **1940년대 계산된 그래핀의 이론적 형태 및 열처리를 통한 탄소의 흑연화/구조화**

■ 90년대

- 1994년 맨체스터 대학교의 Andre Geim과 Konstantin Novoselov는 "세상에서 가장 얇은 물질을 만들어 볼까?"라는 호기심을 해결하기 위해 스카치테이프*를 흑연에 붙인 후 반복적으로 붙였다 떼었다 한 뒤 남은 물질을 확인한 결과 단일 원자두께의 그래핀**을 확인함

* 접착 테이프를 사용하여 흑연 조각에서 층을 벗겨낸 뒤 해당 과정을 반복, 최종적으로 2차원 벌집 격자로 배열된 탄소 원자 단일 층을 확보함.

**진정한 2차원 물질의 최초 분리를 의미하며 물리학과 재료 과학에 새로운 길을 개척함



〈그림 5〉 **스카치테이프를 활용한 물질 분리 및 이를 통한 그래핀 분리 확인**

7) https://m.cafe.daum.net/graphene9988/Y8tm/9

8) WALLACE, Philip Richard. The band theory of graphite. Physical review, 1947, 71.9: 622.
MERMIN, N. David; WAGNER, Herbert. Absence of ferromagnetism or antiferromagnetism in one-or two-dimensional isotropic Heisenberg models. Physical Review Letters, 1966, 17.22: 1133.

- Geim 과 Novoselov 등은 그래핀을 쉽고 효율적으로 분리/분석한 공로를 인정받아 2010년 노벨물리학상을 수상함

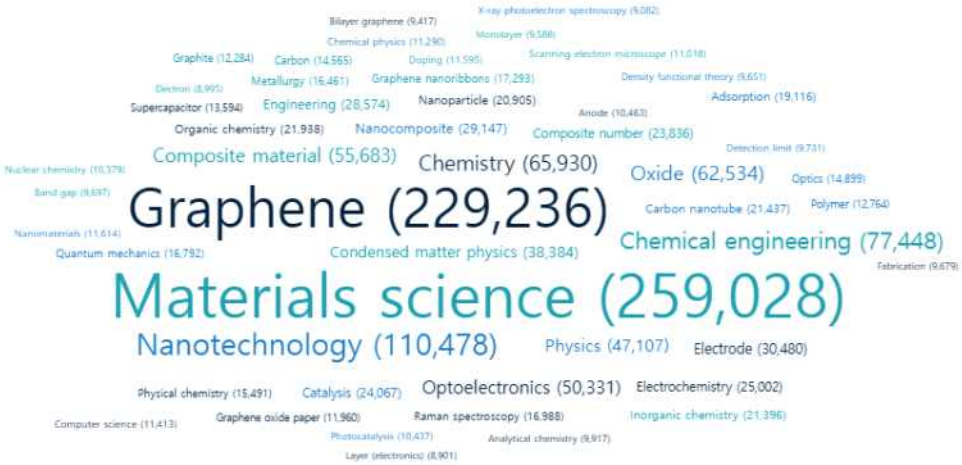
■ 00년대 이후

- 00년대 부터는 이론적 연구*와 더불어, 고품질/경제성을 갖는 대량 그래핀 합성에 대한 연구, 디스플레이/반도체/이차전지 등 실용화 연구가 혼재되어 추진됨

  * Geim 연구팀 및 하바드대학교 김필립 교수연구팀[9]은 그래핀 내 전하 이동이 마치 질량이 없는 준입자형태를 따른다는 점을 증명함으로서 그래핀의 전기적 특성에 대한 이론적 토대를 마련함

■ 연구분야

- 2004년 이후 Graphene을 keyword로 포함하는 연구성과 335,365건 검토시[10] 기초연구(Graphene, Material Science) 뿐 아니라 응용연구 (Nanotechnology, Chemical Engineering), 실용화(Composite materials, Optoelectronics, Electrode 등)분야도 주요 연구 대상으로 확인됨



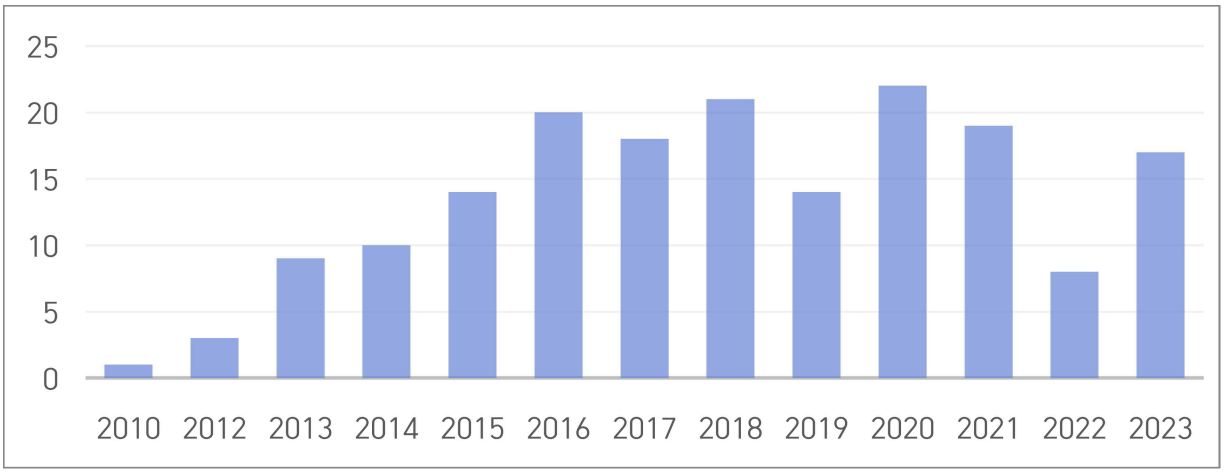
〈그림 5〉 그래핀 관련 연구성과의 주요 연구분야 검토(2004년 이후, Lens.org 참조)

9) ZHANG, Yuanbo, et al. Experimental observation of the quantum Hall effect and Berry's phase in graphene. nature, 2005, 438.7065: 201-204.

10) lens.org, http://www.lens.org

그래핀의 연구재료화 사례 : Graphenea社

■ (연구성과의 연구재료화) 2010년에 설립되었으며 스페인에 본사를 둔 민간회사로, 초기 화학기상증착(CVD) 방식을 통해 고품질 그래핀을 소량 생산하였으며, 창업 초기부터 다양한 연구기관과 협력하여 그래핀의 품질을 검증하고, 연구결과에 활용될 수 있도록 지원함



〈그림 6〉 Graphehenea 社의 연구재료를 활용한 연구논문 178건의 연도별 현황





Nature, 2012 Nature Physics, 2013 Nature Photonics, 2017

〈그림 7〉 캠브리지, MIT, 막스플랑크 연구소 등 Graphehenea 社의 협업기관(대학, 연구소) 및 우수 논문 성과

■ (연구재료의 상용화) 주요 연구결과 및 협업에 따른 수요 증가에 힘입어 2013년부터 생산능력을 강화하였으며, 그래핀 나노판, 에너지 저장 장치, 센서 등 다양한 신제품을 출시함



〈그림 8〉 그래핀 기반의 맞춤형 제품, 그래핀 필름, 그래핀 옥사이드(액형, 고형) 제품 등 Graphenea社의 주요 제품군

■ (연구재료의 표준화 및 활용·확산) EU 지원 연구프로젝트 참여 및 ISO 인증 등을 통해 그래핀 관련 국제활동을 지원 중임

- 고품질 재료의 개발·공급 및 활발한 연구활동 등 다양한 연구 커뮤니티 서비스 제공에 힘입어 연구자들이 선호하는 공급업체로 자리매김함

■ (연구재료의 상용화–그래핀 시장 현황) 21년 PCR 시장 규모는 약 9조5천억원 규모로 추정되며, 이중 Taq 중합효소의 경우 약 1.5천억원 규모로 추정됨

- 그래핀은 응용분야에따라 주로 그래핀옥사이드, 단층레이어 등 제품 필요 유형이 결정됨
- 전자제품(트렌지스터, 센서 등), 에너지(배터리, 태양전지 등), 복합재(자동차, 항공우주 등) 등 다양한 응용분야에서 활용중임
- 높은 생산비용 및 규제장벽 등을 갖춘 초기 단계의 시장으로 학인됨
- Graphenea, Applied Graphene Materials, XG Science 등에서 주로 만들어지며, 혁신적인 응용 및 제품차별화에 따라 선택됨

3 녹색형광단백질(Green Fluorescent Protein, GFP)

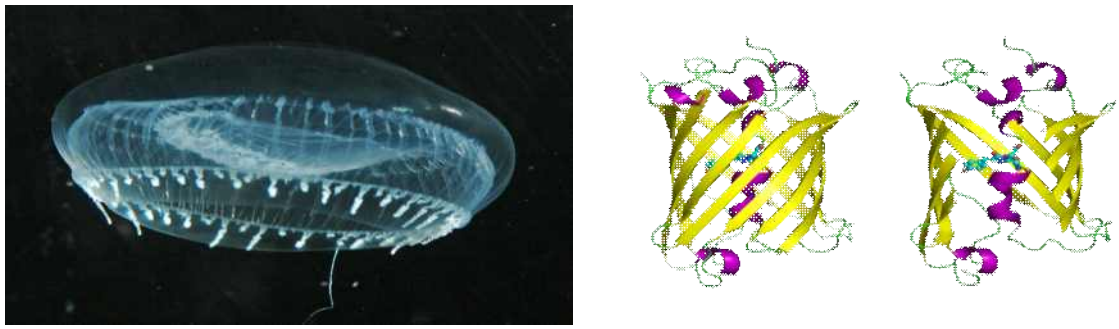
녹색형광단백질이란

■ **(개념)** 녹색형광단백질(Green Fluorescent Protein, GFP)은 해파리*에서 채취한 물질로, 238개 아미노산 서열로 이루어진 단백질임. 세포 내 칼슘에 의해 에너지 전달 수용체로 작용하며, 에너지를 받아 508nm의 녹색 형광을 방출함

* Aequorea victoria 종의 해파리로 에쿼린(aequorin)이라는 고유의 발광 단백질(Protoprotein)을 보유

- 생명체 표지자(Marker)로서 세포 및 유전자에 주입하여 생체 내 다양한 현상을 관찰*하는 도구로 활용됨

* 세포 구조, 단백질·유전자 발현 여부 및 위치 추적 등



〈그림 9〉 **해파리(Aequorea victoria 종) 모습(좌) 및 Green Fluorescent Protein 구조(우)(출처 : Wikipedia)**

■ **(주요 특성)** 짧은 길이의 단백질 조각으로 형광체(fluorophore)만 있으면 발현을 위한 이온 등의 보조인자도 필요하지 않으며, 세포 내 주입 시 독성이 없어 다른 염색 방법들과 다르게 살아있는 세포 상태에서 원하는 곳을 관찰할 수 있음

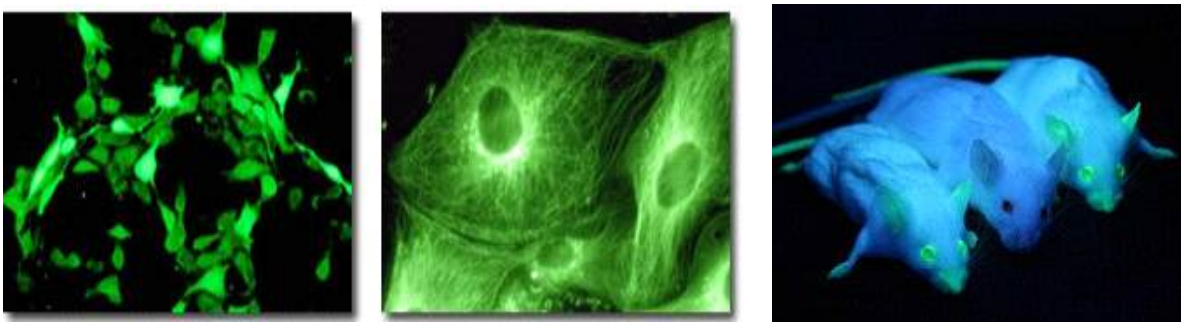
*손쉽게 다른 유전자, 단백질 등과의 결합을 통해 형광 발현 확인이 가능함

주요 응용분야

■ **(바이오이미징 프로브)** 질병 진단, 치료 기술 등을 개발하기 위한 목적으로 광학현미경 등의 광학장비를 활용하여 전임상 연구 및 동물실험에 활용됨

- 안정성이 우수하고 형광 민감성이 뛰어나며, 표적 물질과의 결합을 통해 주입하였을 때 선택적으로 원하는 위치와 형태 등의 식별이 가능함
- 또한 세포 내 소기관 위치, 구조 등의 관찰이 가능하여 구조 및 기능 연구에 많이 사용하고 있음
- 살아있는 세포의 모습을 관찰할 수 있는 장점으로 인해 단백질이 이동하는 모습이나, 자극에 대한 반응 등의 확인이 가능함

*시냅스에서의 반응연구, 인간면역결핍바이러스-human immunodificiency virus-HIV의 감염 경로, 암세포의 전이, 발생과정에서 특정 단백질의 역할 등



〈그림 10〉 **세포 내 GFP 발현 모습(좌) 및 동물(우, 생쥐)에서 GFP 발현 모습(출처 : Wikipedia)**

■ **(유전자 재조합)** 연구자들은 특정 유전자가 발현되는 위치, 패턴, 양 등을 확인 할 수 있도록 표적 DAN 유전자 서열에 GFP 서열을 부착하여 GFP 발현 정도를 정량 측정함

- 연구자들은 원하는 유전자의 발현 정도를 확인 할 수 있는 플라스미드 제작 시에 GFP를 암호화하는 서열을 연결함

*세포 내 삽입 후 유전자가 발현되는 곳에서 GFP가 형광을 발현하게 되어, 유전자의 발현 유무, 장소, 시간 등을 확인할 수 있음

녹색형광현미경의 발견 및 발전과정

■ 1960년대 이후

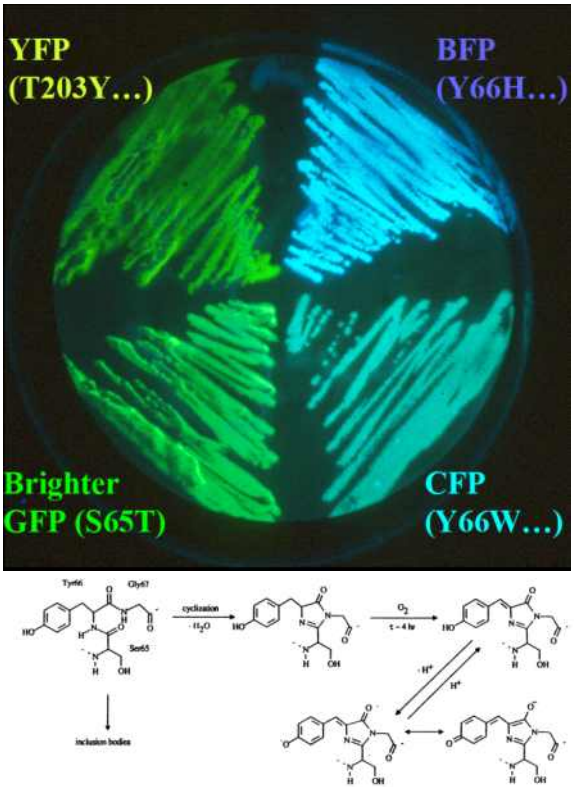
- 일본의 해양 생물학자인 시모무라 오사무 박사는 해파리 중 일부가 발광하는 이유를 모색하다 녹색형광단백질을 발견하고 추출에 성공함
- 해파리 내 발광물질을 찾아 이를 추출하고자 다양한 방법을 모색 중 바닷물에 포함된 칼슘이 발광의 원인으로 깨닫고, 발광을 정지시켜 얻은 추출물로부터 에쿼린 단백질을 정제함

* 빛은 분해가 되며 나타나는 것으로 해파리로부터 빛나는 물질을 추출하고자 하기 위하여 발광을 중지할 저해물질을 연구

■ 1990년대 이후

- 1992년 더글러스 프레셔 박사는 GFP가 생명과학 분야에서 연구용 표지자로 사용이 가능할 것으로 생각하였고, 연구에 몰두하여 유전자 서열 분석 및 유전자 복제에 성공하였음
- 연구 자금 부족으로 GFP 연구를 포기하던 중, 본인의 연구에 관심을 가진 마틴 챌피 박사와 로저 첸 박사에게 연구 자료를 공유하였음
- 이후, 마틴 챌피 박사는 대장균과 선충 체내에 GFP 유전자를 삽입하여 GFP 발현을 성공시킴
- 하지만, 세포 내 물질수송 관련 실험을 위해 GFP 유전자를 사용하였을 때, 원하는 형광 시그널이 발현되지 않아, 생체 내에서 유용한 사용을 위해서는 개선해야 하는 점을 깨달음
- 이를 접한 로저 첸 박사는 발색단의 생성에 관여하는 아미노산의 변형을 통해 다른 파장의 형광 및 빛의 세기를 조절할 수 있다는 것을 발견함

* GFP 형광 발생단 생성 메커니즘 규명을 논문으로 투고함





Wavelength mutations and posttranslational autoxidation of green fluorescent protein

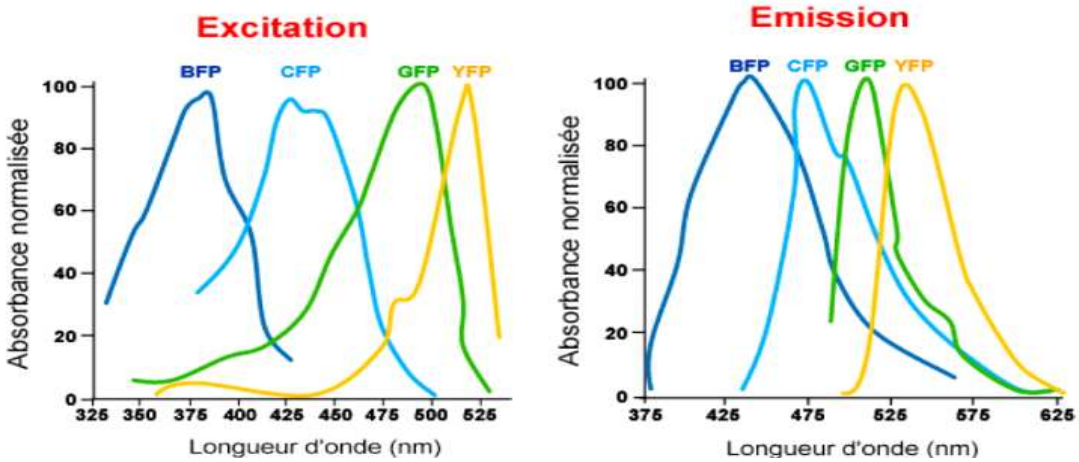
ROGER HEIM*, DOUGLAS C. PRASHER†, AND ROGER Y. TSIEN*‡

ABSTRACT The green fluorescent protein (GFP) of the jellyfish *Aequorea victoria* is an unusual protein with strong visible absorbance and fluorescence from a *p*-hydroxybenzylidene-imidazolidinone chromophore, which is generated by cyclization and oxidation of the protein's own Ser-Tyr-Gly sequence at positions 65–67. Cloning of the cDNA and heterologous expression of fluorescent protein in a wide variety of organisms indicate that this unique posttranslational modification must be either spontaneous or dependent only on ubiquitous enzymes and reactants. We report that formation of the final fluorophore requires molecular oxygen and proceeds with a time constant (~4 hr at 22°C and atmospheric pO_2) independent of dilution, implying that the oxidation does not require enzymes or cofactors. GFP was mutagenized and screened for variants with altered spectra. The most striking mutant fluoresced blue and contained histidine in place of Tyr-66. The availability of two visibly distinct colors should significantly extend the usefulness of GFP in molecular and cell biology by enabling *in vivo* visualization of differential gene expression and protein localization and measurement of protein association by fluorescence resonance energy transfer.

MATERIALS AND METHODS

〈그림 10〉 **녹색형광미경의 발현 및 조절[11)]**

- GFP로부터 아미노산 돌연변이에 의해 만들어진 형광 단백질은 파랑(BFP; Blue fluorescent protein), 청록색(CFP; Cyan fluorescent protein), 노랑(YFP; Yellow fluorescent protein) 세 가지의 형광물질임
  *파랑 형광 단백질(BFP)는 375nm를 흡수하고 435nm의 파장을 방출, 청록색 형광 단백질(CFP)는 425nm을 흡수하고 480nm을 방출, 노랑 형광 단백질(YFP) 540nm를 흡수하고 550nm를 방출함



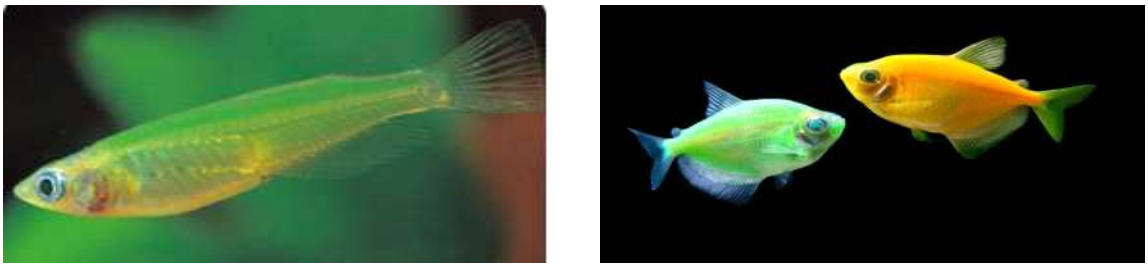
〈그림 11〉 **형광단백질별 파장 스펙트럼(출처 : Wikipedia)**

11) HEIM, Roger; PRASHER, Douglas C.; TSIEN, Roger Y. Wavelength mutations and posttranslational autoxidation of green fluorescent protein. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1994, 91.26: 12501-12504.

■ 2000년대 이후

- GFP 유전자 재조합을 통해 형광 유전자를 넣어 빛을 낼 수 있도록 유전자변형생물체(LMO, Living Modified Organism)를 판매함

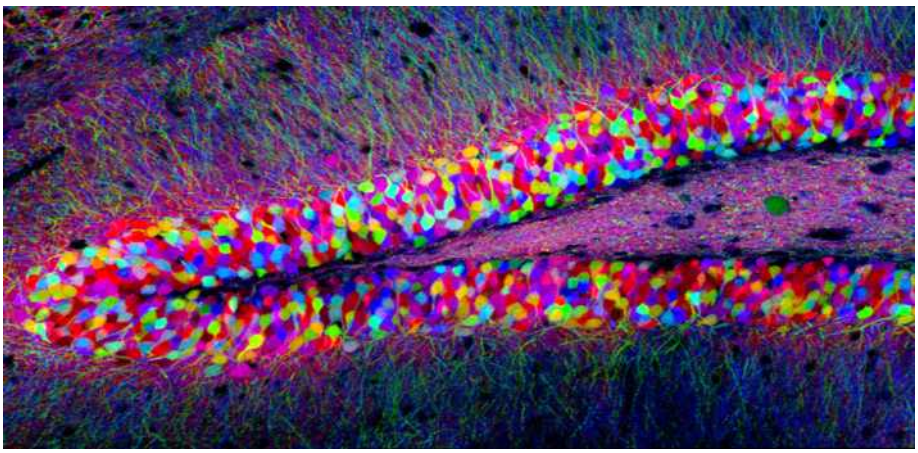
  * 2001년 대만 타이콩社는 TK 시리즈로 송사리, 제브라피시를 개발하였으며, 2003년 미국 요크타운테크놀로지社는 글로피시(GloFish)라는 형광 관상어(테트라, 바브 등)를 개발함



〈그림 12〉 대만 타이콩社 TK 시리즈(좌) 및 미국 요크타운테크놀로지社 GloFish 시리즈(우)(출처 : 유전자변형 관상생물, 국립수산과학원)

- 2008년 녹색 형광 단백질의 GFP의 발견과 개발을 인정받아 시모무라 오사무, 마틴 챌피, 로저 첸 박사는 노벨상을 받음
- 이들의 연구는 생명과학 연구 분야뿐만 아니라, 유기화학 분야의 Small molecule dye 및 Chemical Probe의 설계 및 합성과 관련 연구 붐을 일으키는 계기가 됨

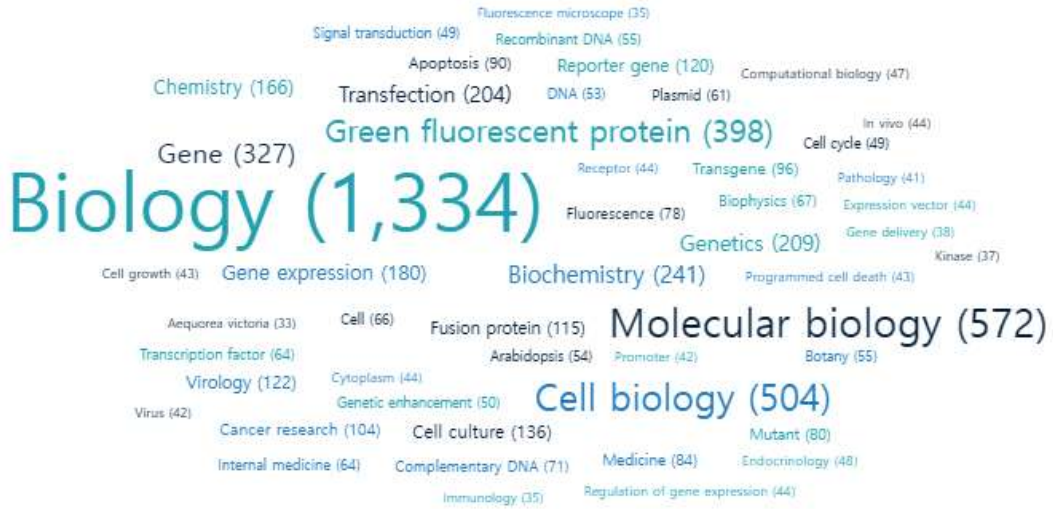
  * 2007년 네이처에 발표된 '브레인보우' 기술은 신경세포에 다양한 형광단백질 유전자가 신경세포에 조합되어 다양한 색을 띠고, 신경세포 구조 및 세포 간 연결 등을 보여줌



〈그림 13〉 형광 단백질별 파장 스펙트럼(출처 : Harvard Center for Brain Science)

■ 연구분야

- 1986년 이후 녹색형광단백질을 활용한 주요 연구분야 검토시 유전자를 다루는 대부분의 분야에서 활용중인 것을 확인함



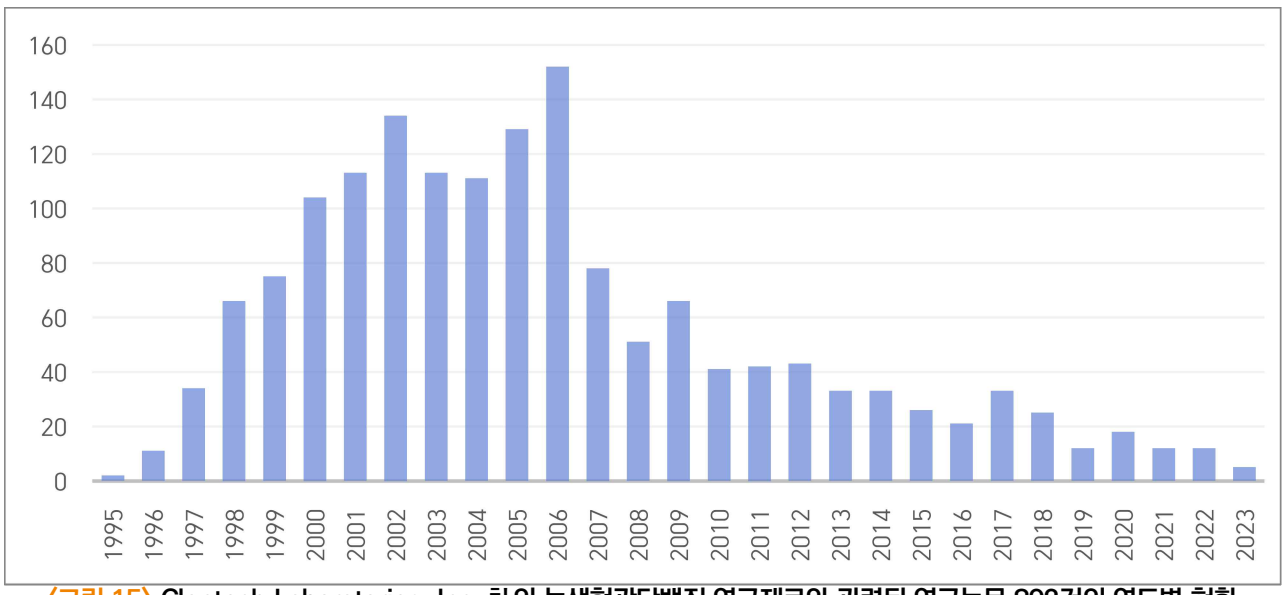
〈그림 14〉 녹색형광현미경 관련 연구성과의 주요 연구분야 검토(1986년 이후, Lens.org 참조)

녹색형광단백질의 연구재료화 및 발전 : Takara Bio社

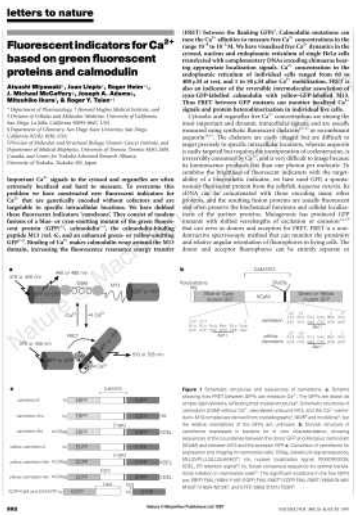
■ (연구성과의 연구재료화) 1984년 실리콘밸리에 설립된 Clontech Laboratories, Inc.사는유전자 발견, 조절, 기능 등의 연구를 위한 Kit, 연구용 시약, 서비스 등을 제공함

* 1999년 Bection Dickinson(BD)에 인수된 후, 2005년 Takara Bio에 인수됨

-녹색형광단백질을 세포 생물학 등의 연구 응용 분야를 위해 관련 논문 및 특허를 출원하고 상용화함

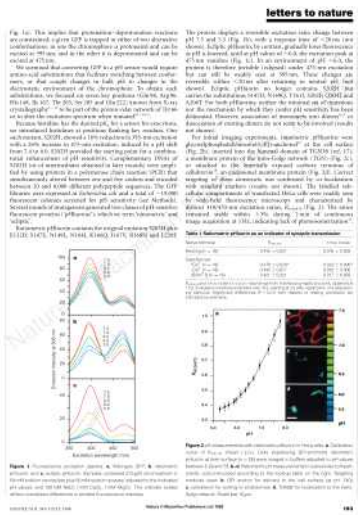


〈그림 15〉 Clontech Laboratories, Inc. 社의 녹색형광단백질 연구재료와 관련된 연구논문 892건의 연도별 현황

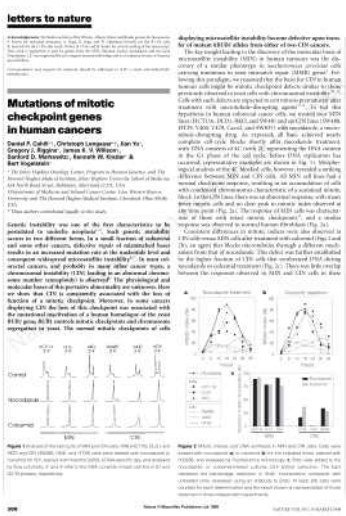

letters to nature

Fluorescent indicators for Ca^{2+} based on green fluorescent proteins and calmodulin

Nature, 2012


letters to nature

Nature Physics, 2013


letters to nature

Mutations of mitotic checkpoint genes in human cancers

Nature Photonics, 2017

〈그림 15〉 프랑스국립건강의학연구소, NIH, 프랑스 농업과학관, 하바드대 등 Clontech Laboratories社 협업기관(대학, 연구소) 및 우수 논문 성과

■ (연구성과의 활용확산) Clontech社의 주요 제품으로는 다양한 형광 단백질 벡터* 및 복제 및 돌연변이 유발(In-Fusion Cloning 시스템), 단백질 정제 게놈 편집(Guide-it Kit)을 위한 혁신적인 솔루션을 개발·확산함

* 유전자 기능 및 단백질-단백질 상호작용 분석을 위한 시약 및 발현 시스템, cDNA 합성 및 라이브러리 구축을 위한 키트, 차등 유전자 발현 분석을 위한 cDNA 어레이, 유전자 발현 및 단백질 국소화 연구용 재료로 활용

- 주요 제품군 중 AcGFP1 단백질은 EGFP 단백질과 아미노산 수준에서 94%의 homology를 가진 재조합 형광단백질로, human codon을 이용하기 위하여 최적화된 pen reading frame을 가지고 있음

-최적화를 통해 AcGFP1 mRNA의 translation 효율이 상승하고 단백질 발현량의 향상되었으며 안정성이 뛰어난 AcGFP1 단백질은 아주 긴시간에 걸쳐 형광 관찰이 가능함

* 빠른 시간 내에 포화 수준으로 발생하여 transfection 8~12시간 후 검출이 가능함

-Anthozoa-class 산호초로부터 추출한 ZsGreen1 단백질은 포유류 세포에서 밝은 형광 및 발현을 위해 설계된 단백질임

* EGFP보다 약 4배 이상 밝음

〈표 5〉 녹색형광단백질 주요 제품군

연번	형광단백질	Exc/Em(nm)	밝기(%, GFP 기준)
1	GFP&GFPuv	488/510	100
2	EGFP	488/509	135
3	AcGFP1	475/505	166
4	ZsGreen1	493/505	243

■ (연구재료의 상용화–녹색형광단백질 시장 현황) 21년 녹색형광단백질 시장 규모는 약 3천억원 규모로 추정됨

- 녹색형광단댑질은 응용 분야에 따라 주로 세포 및 유전자 연구에 사용되고 있으며, 의료진단(암, 신경질환 등) 및 산업(환경 모니터링, 식품안전 등) 분야에서 활용중임
- 다양한 분야로 확장 중이나, 높은 생산비용 및 규제장벽 등이 주요 제약요인으로 작용중임,
- Thermo Fisher Scientific, Bio-Rad laboratory 등 경쟁력을 갖춘 대기업 위주로 시장을 주도중임

III

연구재료 생태계 활성화방안 설문조사

조사개요

■ **(목적)** 연구재료 분야의 사업화 사례 및 활성화를 위해 '연구재료 개발·확산지원'사업 수행 책임자를 대상으로 설문조사 실시

■ **(대상)** '21년~'23년 '연구재료 개발·확산지원 사업 수행 연구책임자 16명
* 총 16개 사업 수행 연구책임자 중 1명을 제외한 15명의 응답 기준으로 분석

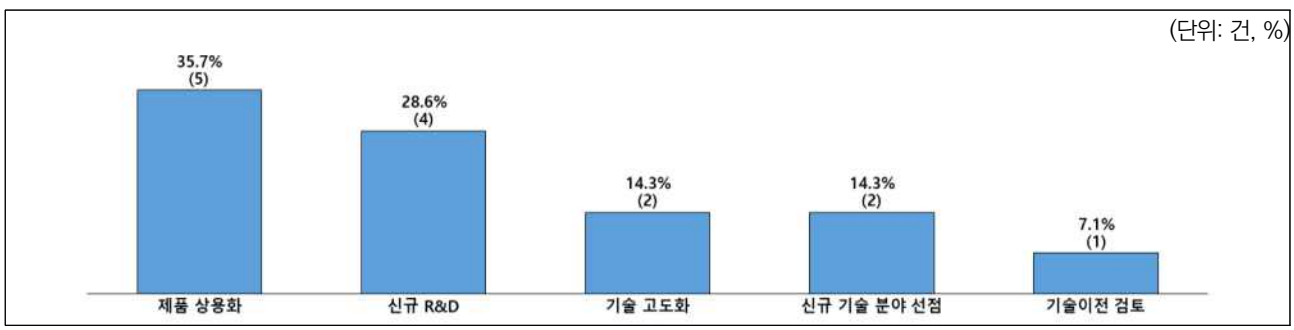
조사개요

■ 사업화 전환을 위한 중요요인 및 생태계 활성화 방안 등의 의견 조사

조사결과

■ **연구재료 개발을 통한 사업화 경험**

- **(연구재료 사업화 경험)** 연구재료 개발·확산지원사업 수행 전 연구재료의 개발을 통해 사업화 및 산업적 활용한 경험을 조사한 결과 경험 없음이 60%(9명), 활용한 경험이 있음이 40%(6명) 순으로 나타남
- **(연구재료 활용목적)** 연구재료를 사업화 및 산업적 활용하기 위한 목적으로 제품 상용화가 35.78%(5건)으로 가장 높았으며, 그 다음으로 신규 R&D 28.6%(4건), 기술고도화 및 신규기술분야 선점 14.3%(2건) 순으로 나타남



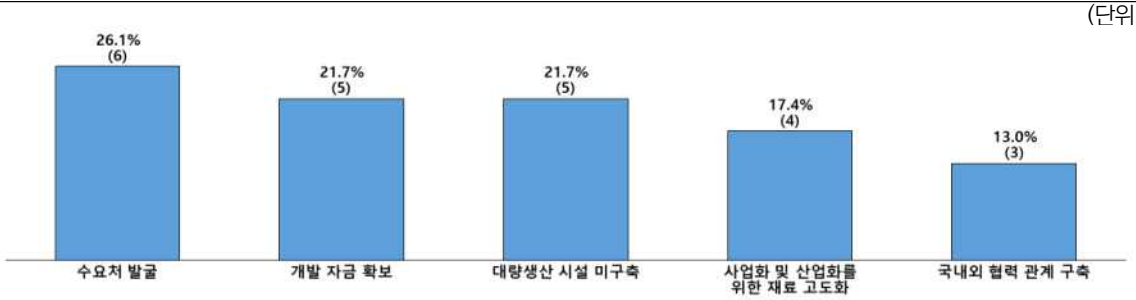
〈그림16〉 **연구재료 활용목적**

- **(대표적 활용 사례)** 창업 준비, 양산(스케일 확대), 신규사업 수주를 위한 기초연구 수행, 제품개발 및 응용 등에 연구재료가 활용됨

■ 연구재료 개발사업 추진 현황

- **(추진 방향)** 개발중이거나 개발된 연구재료들을 바탕으로 양산 공정 개발, 기술이전 및 이전기업 발굴, 기업과의 협업 등을 통해 연구재료 개발 및 상용화, 고도화 추진중임
- **(추진 중 애로사항)** 연구재료의 개발 및 상용화를 위하여 개발과정에서 수요처 발굴이 26.1%(6건) 주요 애로사항으로 인식되었으며, 개발자금확보 및 대량생산 시설 미구축 21.7%(5건) 순으로 나타남

(단위: 건, %)



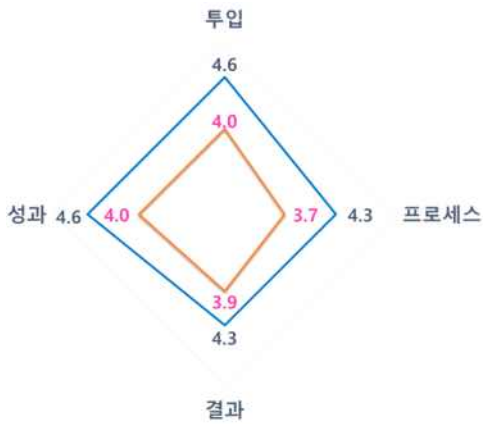
〈그림17〉 **연구재료 개발 및 상용화 과정 애로사항**

- **(지원 사업 만족도)** 연구재료 사업화 및 산업화 전환을 위하여 「연구재료 개발·확산 지원 사업」은 '투입'과정과 '성과'도출 과정에서 가장 만족한 것으로 답변하였음
  * '매우그렇다' (5점)에서 '전혀 아니다' 1점까지 5점 척도를 기준으로 각 과정별 평균 값을 산출하였음

■ 연구재료의 사업화 과정 중 핵심요인

- **(지원사업이 필요한 단계)** 연구재료 개발을 통한 사업화 및 산업화 전환 시 자금 및 시설장비, 전문인력 등을 투입하는 초기 단계와 사업화 이후 제품개선 및 생산성 향상, 타 분야 전파 등 사업화 성과를 도출하는 단계에서 지원사업이 가장 필요한 것으로 확인됨
  * '매우그렇다' (5점)에서 '전혀 아니다' 1점까지 5점 척도를 기준으로 각 과정별 평균 값을 산출하였음

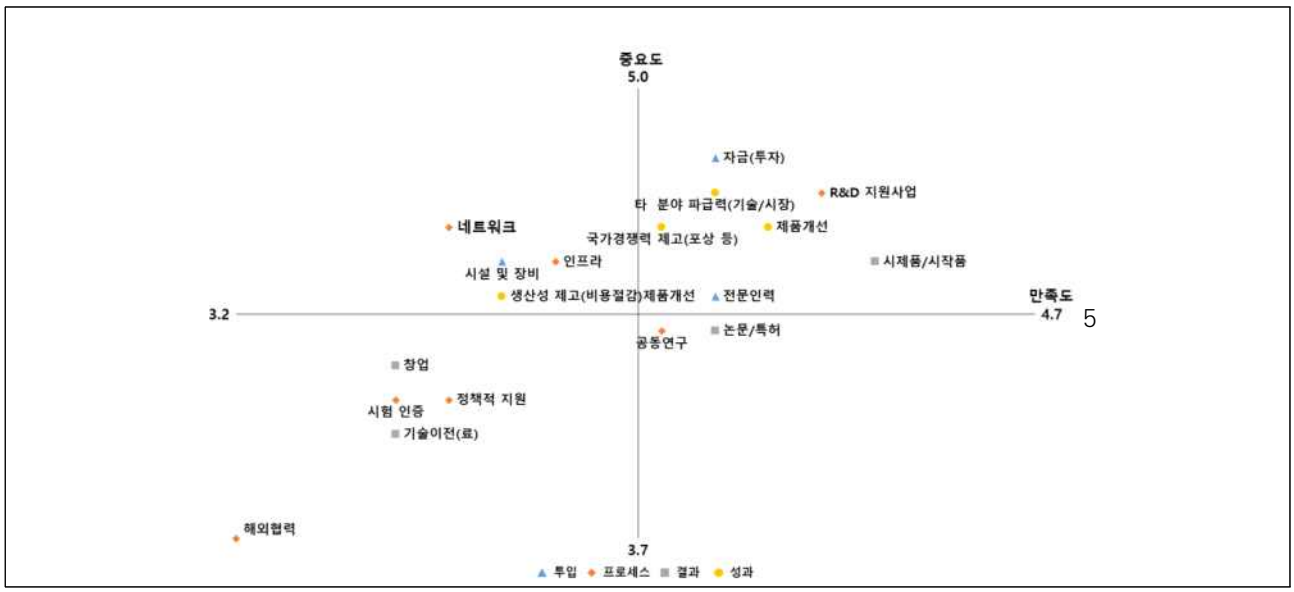
(단위: 5점 만점, 평균)



구분	만족도	중요도
투입	4.0	4.6
프로세스(과정)	3.7	4.3
결과	3.9	4.3
성과	4.0	4.6
평균	3.4	4.4

〈그림18〉 **지원 사업 만족도 및 산업화 전환 중요도**

- **(연구재료 사업화 과정 중 핵심요인)** 연구재료 사업화 및 산업화 전환을 위하여 투입, 프로세스, 결과, 성과 등의 각 과정별로 지원 사업 만족도 및 중요도를 우선순위로 도출한 결과 프로세스 과정의 'R&D 지원사업' 요인이 가장 만족도가 높고, 가장 중요한 요인으로 인식
- 연구재료 개발·확산 지원 사업을 통해 프로세스 과정의 '시제품/시작품' 제작에 만족도가 가장 높았으며, 프로세스 과정의 '해외협력'은 만족도가 가장 낮은 것으로 응답함
  * 시작품/시제품 4.4점, R&D 지원사업 4.3점, 제품개선 4.2점 순으로 나타남
- 또한, 연구재료 사업화 및 산업화 전환을 위해서는 투입과정의 '자금(투자)'가 가장 중요한 것으로 나타났으며, 프로세스 과정의 '해외 협력'은 중요하지 않은 것으로 응답함
  * 자금(투자) 4.8점, 타 분야 파급력 4.7점, R&D 지원사업 4.7점 순으로 나타남



〈그림19〉 **연구재료 사업화 및 산업화 전환 과정의 지원 사업 만족도 및 중요요인**

- **(지원 사업 장·단점)** 연구재료 개발·확산 지원 사업은 자금 조달방식의 효과적으로 정립되어 있어 연구재료의 개발 범위, 개발 몰입도 향상 등을 통해 결과물 도출을 손쉽게 진행할 수 있었음
- 또한, 협력 형태의 사업 수행구조로 사업기획 시부터 맞춤형으로 연구재료 개발을 통해 최종 판매까지 연계될 수 있는 기반이 마련되었음
- 반면에 지원 사업은 시장개척에 대한 지원이 미미하고 과제 종료 이후에 가장 필요한 개발자금, 인력, 네트워크 구축 등을 진행하기 위한 연장지원이 미흡함

- **(지원 필요성)** 연구재료를 사업화 및 산업화까지 활용을 확대하기 위하여 국가적인 차원에서 활용 촉진에 대한 지원이 필요하다는 의견은 100%(15명) 으로 절대적으로 많음

- 현재 국내 연구기관, 기업 등에서 사용하는 대부분은 고가의 연구재료를 해외로부터 수입하고 있으며, 연구재료 국산화 및 신규시장 진출을 위해서는 연구재료 특성에 맞는 장기적 지원 및 개발 비용 투자가 필요함

■ 연구재료 사업화 및 산업화 전환을 위한 제도적 활성화 방안

- **(개선 필요사항)** 과제의 지원 기간을 다년으로 확대하고, 자유 주제 공모를 통해 경쟁력있는 사업화 연구주제 선정을 할 수 있는 기반이 마련이 필요함
- 또한, 개발한 기술 유출을 막기 위하여 보안 강화, 인력양성을 위한 인건비 지원, 장비 도입 규제 완화 등의 과제 지원방식의 개선이 필요함
- **(활성화 방안 제안)** 우수한 성과를 도출한 과제에 대해서는 후속 지원과 과제 선정 시 평가 지표 항목을 기술별 차별성·시장성 분석을 통해 세분화 하고, 개발자·수요처 간의 협력 활성화 교류 프로그램을 운영하여 연구재료 발굴, 개발, 유통까지 이르는 전주기 차원의 지원 방안 마련 필요

Ⅳ 시사점

■ R&D 투자의 지속적 증대에 따라 연구재료에 대한 R&D 수요는 지속적으로 증가하나, 국내 연구재료 산업의 경우 품종 소량 생산 등 구조적 한계와 더불어 연구현장의 외산 재료 선호 등으로 산업화가 미흡하여 수입 의존 등이 지속되는 악순환 초래 중

■ 연구재료 주요 사례를 통한 연구재료의 개발 과정 및 활용확산, 상용화 과정을 확인함

- 초기 연구단계에서는 낮은 상용화 가능성을 보이더라도 과학적 가치를 갖춘 다양한 연구재료들을 통해 새로운 산업 분야 창출을 선도할 수 있는 핵심 소재 개발 및 활용확산 가능함(PCR과 Taq 중합효소 예시)
- 연구자와 산업계 간 협업 촉진 네트워크의 구성 및 활성화를 통한 연구재료의 다양한 활용 및 확산 가능함(그래핀 소재의 연구개발 및 확산 예시)
- 연구재료의 개발 이후 표준화 및 규제를 통해 성장이 제한될 경우 경쟁력을 갖춘 대기업 위주의 시장으로 제편될 수 있으므로, 시장 초기 역량을 갖춘 중소기업의 표준화 및 규제관련 참여 지원 필요함(녹색형광단백질 예시)

■ 연구재료 참여 전문가들을 통해 연구재료 생태계 구성 및 추가지원 효율화 방안 확인함

- 낮은 연구재료 생태계 자생력 고려시 향후 연구재료 사업화 관련 정부의 R&D 지원사업이 매우 중요하다는 점 확인함
- 연구재료개발확산지원사업은 초기 연구재료의 개발단계에서 가장 유용하게 활요중이며, 특히 시제품/시작품을 만드는 것에 많은 도움을 받고 있음
- 연구재료 개발 초기 단계에서는 국내 수요 발굴을 위한 연구자–산업계간 네트워크가 중요하며, 해외 협력은 국내 시장 검증 이후 필요한 것으로 확인됨
- 단순한 연구재료 사업의 지원이 아닌 사업화/규제제도 개혁 등 후속 지원 과정들이 유기적으로 연계된 전주기 차원의 지원 필요함

V

참고문헌

- 과학기술사업화진흥원(2020), 「유망연구재료 비즈니스 창출 지원사업 기획 용역보고서」.
- 과학기술사업화진흥원(2020), 「연구재료 및 연구장비 산업 육성 정책연구 보고서」.
- 과학기술정보통신부(2022), 「제1차 연구산업 진흥 기본계획(2022~2016)(안)」.
- 채희엽(2015), 「그래핀 소재의 개발 현황」, 진공 이야기 , 2015, 2.2: 46-48.
- 미래창조과학부(2015), 「그래핀 사업화 촉진 기술 로드맵(2015~2020(안)」
- 연구개발특구(2017), 「그래핀 시장-연구개발특구기술 글로벌 시장 동향 보고서」
- 지식경제 R&D 전략기획단(2011), 「그래핀 워크샵」
- 한국연구재단(2022), 「2010~2020 주요국의 피인용 상위 1% 논문실적 비교분석 보고서」.
- ABERGEL, D. S. L., et al.(2010) Properties of graphene: a theoretical perspective. Advances in Physics, 59.4: 261-482.
- Bio통신원(Mad Scientist)(2016), [Mad Scientist] 돈되는 기술의 원천을 찾아서 : PCR 이야기
- CHIEN, Alice; EDGAR, David B.; TRELA, John M. Deoxyribonucleic acid polymerase from the extreme thermophile Thermus aquaticus. Journal of bacteriology, 1976, 127.3: 1550-1557.
- EHRENBERG, Mans. The green fluorescent protein: discovery, expression and development. Information Department, The Royal Swedish Academy of Sciences, 2008.
- GEIM, Andre K.; NOVOSELOV, Konstantin S. The rise of graphene. Nature materials, 2007, 6.3: 183-191.
- HEIM, Roger; PRASHER, Douglas C.; TSIEN, Roger Y. Wavelength mutations and posttranslational autoxidation of green fluorescent protein. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1994, 91.26: 12501-12504.
- MERMIN, N. David; WAGNER, Herbert. Absence of ferromagnetism or antiferromagnetism in one-or two-dimensional isotropic Heisenberg models. Physical Review Letters, 1966, 17.22: 1133.
- SAIKI, Randall K., et al. Primer-directed enzymatic amplification of DNA with a thermostable DNA polymerase. Science, 1988, 239.4839: 487-491.
- (Source: IDTechEx) Scalability, cost and graphene quality trends for different manufacturing techniques

- TSIEN, Roger Y. The green fluorescent protein. Annual review of biochemistry, 1998, 67.1: 509-544.
- WALLACE, Philip Richard. The band theory of graphite. Physical review, 1947, 71.9: 622.
- ZHANG, Yuanbo, et al. Experimental observation of the quantum Hall effect and Berry's phase in graphene. nature, 2005, 438.7065: 201-204.
- 홈페이지
  - ㈜레이저닉스 https://www.lasernics.com/
  - ㈜코셈 https://www.coxem.com/
  - ㈜나노베이스 https://www.nanobase.co.kr/
  - ㈜토모큐브 https://www.tomocube.com/
  - Thermo Fisher Scientific https://www.thermofisher.com/
  - JEOL, https://www.jeol.com/
  - BRUKER, https://www.bruker.com/

VI

발간목록

발간 월	분야	이슈페이퍼 제목
2023년 1월	연구장비	· 일본 연구장비 관련 동향 및 정책 시사점(연구장비 기업 현장방문 중심)
2023년 2월	주문연구	· 국내 시작품·시제품 제작 산업 실태 및 시사점
2023년 3월	연구장비	· 연구 신뢰성 향상을 위한 연구장비 성능평가제도
2023년 4월	연구관리	· 국내 IP 서비스 산업 현황 및 시사점
2023년 5월	연구장비	· 국산 연구장비 지속 성장을 위한 연구성과의 산업화 전환 사례분석
2023년 6월	주문연구	· 의약·바이오 분야 연구개발서비스 동향 및 시사점
2023년 7월	연구장비	· 국산연구장비 활용 우수 연구사례 분석 및 시사점
2023년 8월	연구관리	· 국내 R&D 기획·관리 서비스 동향 및 시사점
2023년 9월	연구재료	· 연구재료 우수사례 소개

필자소개 송명원

과학기술사업화진흥원 연구장비재료팀 선임연구원

연구산업 이슈·동향 페이퍼 2023-13

연구재료 우수사례 소개

발행일 2023년 10월 17일

발행처 과학기술사업화진흥원 연구산업진흥본부
서울 강서구 양천로 570 17층, 20층
T. 02-736-0047 F. 02-736-9799

■ 본 이슈페이퍼의 내용은 필자의 개인적 의견이며, 진흥원의 공식적인 의견이 아님을 밝힙니다.