



전략품목 현황분석

환경정화(MOF등) 소재



CONTENTS

■ 전략품목

■ 환경정화(MOF등) 소재

1. 개요	6
2. 동향 조사 분석	10
3. 특허 동향	22
4. 전략품목 기술로드맵	32

환경정화(MOF등) 소재

전략품목 정의 및 범위

- 환경정화 소재란 대기, 하천, 토양 등에 존재하는 이산화탄소, 질소산화물, 폐유, 유기물, 중금속 등 환경오염 물질을 포집할 수 있는 소재로 최근에 가장 주목받는 소재로는 광촉매, MOF 등이 있음
- 환경정화 소재로는 광촉매, 나노소재, MOF 등 다양하지만, 본 품목에서는 MOF를 중심으로 소개

전략품목 관련 동향

◎ 시장전망 및 제품 동향

- (시장전망) 2021년 약 1억 9,100만 달러였던 MOF 세계시장 규모는 2026년 6억 1,200만 달러로 증가할 것으로 전망됨
- (제품동향) MOF는 화학, 환경, 식품, 바이오산업 생태계를 후방에서 지원하는 역할을 수행하고 있으며, 정밀화학 산업 전반의 기술 성숙도를 좌우하는 기반 기술로 정밀화학 산업의 기술 자립을 위한 핵심 무기의 성격을 가지고 있음

◎ 기술개발 및 플레이어 동향

- (기술동향) MOF는 수소, 메탄, 이산화탄소와 같은 가스의 저장장치나 액상 분리, 비균일상 촉매, 센서, 약물전달체 등 다양한 분야에 응용이 가능하며, 최근에는 태양에너지 전환소자로도 연구개발 되고 있음
- (플레이어) BASF(독), CNRS(프), MOF Technologies(영), NuMat Technologies(미), novoMOF(스), framergy(미), Strem Chemicals(미), Nipponfusso(일)
- (중소기업) 에이올코리아, 이치앤에이(H&A)파마켄, 유라스텍, 부강테크

◎ 핵심기술

- 환경정화 소재 복합구조체 설계 기술
- 흡착능력이 우수한 MOF 대량 생산 기술
- 유해가스 선택적 흡착 및 분리 기술
- 인체 유해 중금속 흡착 소재 기술

중소기업 기술개발 전략

- ➔ 세계 최고 수준의 표면적을 갖는 다공성 소재 생산 및 응용 기술로서 응용 분야에 따른 다양하고 우수한 MOF 다공체를 설계, 개발, 제작, 검증하여 국내 화학, 환경, 식품, 바이오산업의 경쟁력 강화
- ➔ 오염물질 제거 성능과 품질향상에 따라 가격경쟁력을 통한 글로벌 진출 확대
- ➔ 핵심 소재 기술 및 응용 기술개발을 통한 시장 확대
- ➔ 중소기업 특화 유해 물질 저감 기술 및 제품 개발을 통해 신시장 개척 및 공급망 다변화 구축

1. 개요

가. 정의 및 필요성

(1) 정의

- ☐ 환경정화 소재란 대기, 하천, 토양 등에 존재하는 이산화탄소, 질소산화물, 폐유, 유기물, 중금속 등 환경오염물질을 포집할 수 있는 소재로 최근에 가장 각광받는 소재로는 광촉매, MOF 등이 있음
 - 금속유기골격체(Metal-organic frameworks, MOF)는 금속이온이나 금속클러스터가 링커로 작용하는 유기물질에 의해 연결되어 네트워크를 형성한 매우 규칙적인 결정성 나노 소재를 말함
- ☐ MOF는 금속이온이나 금속클러스터 종류에 따라, 아연 기반 금속유기골격체, 구리 기반 금속유기골격체, 철 기반 금속유기골격체, 알루미늄 기반 금속유기골격체, 마그네슘 기반 금속유기골격체 등으로 분류됨
- ☐ MOF는 최근에 개발된 다공성물질로 기존의 제올라이트, 활성탄과 같은 흡착제들에 비해 비표면적과 다공성이 우수하고, 기공구조의 조절과 여러가지 작용기를 도입하기가 용이하다는 점들 때문에, 앞으로 이를 응용할 수 있는 분야가 크게 확대될 것으로 예상됨
- ☐ 환경정화(MOF등) 소재는 유기/복합소재 분야에서 바이오 및 친환경 분류에 포함된 전략품목으로, 고부가가치 확보를 목표로 유기/복합소재 분야 중소기업의 경쟁력 확보가 가능할 것으로 전망됨

[유기/복합소재 품목로드맵 내 환경정화(MOF등) 소재]



* 출처 : 자체작성

(2) 필요성

- ☐ 최근 대두되고 있는 가장 큰 환경 문제 중 하나가 온실효과로 인한 지구의 온난화 현상인데, 온실가스의 가장 큰 주범으로 이산화탄소 배출로, 온실가스 저감 기술에 대한 관심 증대 및 친환경 정책 강화
 - 인류가 화석연료를 사용하는 이상 지구의 이산화탄소량은 계속 증가하는데, 온실효과의 주범인 이산화탄소를 효과적으로 포집하는 연구는 인간의 생존과 관계가 있으므로 매우 중요함
 - 온실 가스와 환경오염 문제로 인한 자연재해 증가와 생태계 교란으로 이에 대한 규제가 강화되고 있는 추세
- ☐ 대기 이산화탄소 농도의 가파른 상승은 오늘날 인류가 직면한 가장 큰 환경문제 중 하나로, 화석연료의 연소로부터 세계적으로 80%의 이산화탄소가 배출되고 있으며, 이 양은 개발도상국의 경제성장과 산업발전에 따라 점점 증가할 것으로 예상됨
 - 온실 가스의 주범인 이산화탄소(CO_2)를 직접적으로 감축할 수 있는 이산화탄소 포집 및 저장(carbon dioxide capture & Storage, CCS) 기술에 대한 관심 증가
 - 이산화탄소 포집 공정은 이산화탄소 포집(Absorbing)과 탈착 회수(Stripping) 공정으로 되어 있으며, 경제성은 포집제인 MOF의 종류 및 성능에 좌우됨
- ☐ 최근 미세먼지 이슈화 및 도심의 극심한 스모그 현상, 빈번한 황사 현상 발생으로 대기환경에 대한 국민의 관심도가 크게 증가하여 청정대기환경 구현을 위한 대기오염 물질처리 소재 및 공정기술이 중요해짐
 - 대기 중 먼지농도인 PM10의 연평균 오염도는 더 이상 개선됨이 없이 정체 상황. 서울의 대기 오염도는 2012년까지 개선 추세였으나, 이후 악화 또는 정체로 전환되어 2021년 평균 $48\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - 인체에 잔류하는 특성으로 건강 유해성이 더욱 큰 것으로 알려진 PM2.5의 경우, 최근 고농도 발생이 빈번하여 2021년 93회 주의보 발령. 전국 및 서울의 대기 중 PM2.5 평균 농도는 2021년 $26\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, WHO 권고기준($10\mu\text{g}/\text{m}^3$) 및 선진 주요도시(도쿄 $13.8\mu\text{g}/\text{m}^3$, 런던 $11\mu\text{g}/\text{m}^3$) 대비 2배 이상 높은 수준
- ☐ 각종 화학공장의 사고, 화학물질의 유출, 신종 유해물질의 등장 등에 따른 환경오염에 대한 관심과 우려가 커짐에 따라 이를 효과적으로 해결할 수 있는 신규 기능성 소재에 대한 요구
 - 이에 따른 대체 후보 중 하나로 3차원 다공성 구조를 띠고 있는 MOF임
 - 현재 유해물질의 흡착제거에 가장 널리 사용되는 흡착제인 활성탄보다 MOF가 특정 유해물질에 대한 흡착용량과 흡착선택성 측면에서는 유리하나, 여러가지 유해물질들을 동시에 비선택적으로 흡착제거해야 하는 응용분야에서는 활성탄보다 불리할 것으로 예상됨
 - 태양광 에너지에서 화학적 저장에너지로의 성공적 변환을 위해서는 우수한 광집광, 효과적인 전하 분리 및 이동, 촉매로 기인한 화학적 저장에너지로의 변환반응이 핵심임

나. 범위 및 분류

(1) 가치사슬

- ☐ 금속유기골격체(Metal-Organic Framework, MOF)는 금속이온이나 금속을 포함한 클러스터가 유기 리간드로 연결된 다공성 물질로 배위 고분자의 일종으로, 3차원 다공성 구조체를 형성하여 높은 비표면적을 나타내고 있는 구조체를 말함
- ☐ MOF가 3차원 다공성 구조를 갖는 특성으로 인하여 가스 저장, 촉매, 약물전달, 화학센서 등 다양한 기능을 구현할 수 있어, MOF의 전방산업으로는 정밀화학 산업, 환경 산업, 식품 산업, 바이오, 의약품 산업, 태양광 에너지 산업 등을 들 수 있음
- ☐ MOF 후방산업은 금속 유기 골격체의 금속이온이나 금속을 포함한 클러스터가 유기 리간드(ligands)로 연결된 다공성 물질 등을 들 수 있음

[환경정화(MOF등) 소재 품목 산업구조]

후방산업	환경정화(MOF등) 소재	전방산업
알루미늄 기반 금속유기골격체 원료 아연 기반 금속유기골격체 철 기반 금속유기골격체 마그네슘 기반 금속유기골격체 지르코늄 기반 금속유기골격체	이산화탄소 포집/저장 소재 이차전지 음극 소재 유해가스 흡착/분리 소재 백금촉매 대체 소재 유해물질 센서 소재	정밀화학 산업 환경 산업 식품 산업 바이오, 의약품 산업 태양광 에너지 산업 등

* 출처 : 자체작성

(2) 용도별 분류

- ☐ MOF는 금속 유기 골격체의 금속 이온이나 금속을 포함한 클러스터가 유기 리간드로 연결된 다공성 물질로, 금속의 리간드에 따라 다음과 같이 분류할 수 있음
 - 알루미늄 기반 MOF
 - 아연 기반 MOF
 - 아이온 기반 MOF
 - 마그네슘 기반 MOF
 - 타이타늄 기반 MOF
 - 지르코늄 기반 MOF
- ☐ MOF는 골격의 견고성(Robustness)에 따라 다음과 같이 분류할 수 있음
 - 제1세대 MOF: 손님(Guest) 분자가 제거되면 골격이 무너짐
 - 제2세대 MOF: 영구적인 기공을 가지고, 골격구조가 안정적이며 견고함(손님 분자가 제거되어도 골격을 유지)
 - 제3세대 MOF: 외부자극(열방사, 빛 조사, 온도 및 압력 등)에 반응하여 채널과 기공을 변화시키는 유연하고 동적인 골격구조를 가짐
- ☐ MOF는 형태별에 따라 다음과 같이 분류할 수 있음
 - 그물망 구조를 갖는 MOF(Isoreticular MOF, IRMOF)
 - 미세기공 구조를 갖는 MOF: 금속이온과 유기리간드의 조합과 리간드의 길이를 변화시켜 기공의 크기와 모양을 제어
 - 다공성 배위고분자(Porous Co-ordination Polymer, PCP): 중심 금속이온, 배위결합의 불포화 자리(Co-ordinatively unsaturated Site, CUS), 기능성 리간드 그리고 활성을 띤 화학종들에 의한 부가적인 흡착성능 기대

2. 동향 조사 분석

가. 시장 분석

◎ 글로벌 ESG 의무화

- ☐ 최근 전 세계적으로 ESG, 즉 환경(Environment), 사회(Society), 지배구조(Governance)에 관심이 급증하면서 이에 대한 논의가 활발히 이루어지고 있는 가운데 온실가스의 주범인 이산화탄소 포집 기술 및 소재에 대한 관심이 급증함
- ☐ 산업발전에 따른 지구온난화로 인한 전 세계적으로 벌어지고 있는 기상이변 및 이상기후 등 환경 관련 산업이 주목받고 있으며, 친환경, 에너지 절약이 강조되고 있는 시장이 급성장하는 추세임
- ☐ MOF를 포함한 제올라이트, 활성탄 등의 다공성구조체를 이용한 다양한 ESG 관련 산업이 급성장하고 있으며, 글로벌 기업에서 수출 및 수입 시 ESG 인증을 요구하고 있어 동 산업에 대한 재편을 요구받고 있는 추세이나, 준비되지 않은 중소기업에게는 부담으로 작용할 수도 있음
- ☐ MOF는 구경(Aperture)의 조절 가능, 큰 비표면적, 골격구조 다양성, 표면 수식 가능 등의 특성으로 흡착과 분리, 불균일 촉매, 금속 나노입자 운반체, 형판 및 마이크로 반응기 등에서 광범위하게 사용됨

◎ 온실가스 저감화에 따른 글로벌 탄소배출 제로화

- ☐ 최근 대두되고 있는 가장 큰 환경 문제 중 하나가 온실효과로 인한 지구의 온난화 현상인데, 온실가스의 가장 큰 주범으로 이산화탄소 배출로, 온실가스 저감 기술에 대한 관심 증대 및 친환경 정책 강화되고 있음
- ☐ 인류가 화석연료를 사용하는 이상 지구의 이산화탄소량은 계속 증가하는데, 온실효과의 주범인 이산화탄소를 효과적으로 포집하는 연구는 인간의 생존과 관계가 있으므로 매우 중요화되고 있음
- ☐ 온실가스와 환경오염 문제로 인한 자연재해 증가와 생태계 교란으로 이에 대한 규제가 강화되고 있음

◎ MOF 다공체에 다기능 유기 리간드 도입에 의한 기능화 발현

- ☐ 다공성 구조를 가지는 2차원 전도성 MOF는 전도성 유기 리간드 도입을 통해 전하 수송, 전계 효과 및 전자 상호작용과 같은 전기적 특성 제어 및 초소형 금속 나노입자 촉매의 주입이 가능해, 높은 선택성과 민감도를 요구하는 가스 센서 분야의 차세대 신소재로 각광받고 있는 추세

- MOF는 제올라이트, 활성탄과 유사한 다공성, 낮은 중량밀도, 1g당 축구장 넓이에 해당하는 넓은 비표면적(5,351-6,000m²/g), 유기리간드에 다양한 기능기를 부착할 수 있는 점, 구조설계대로 합성이 가능한 점 등의 많은 장점을 가지고 있음
 - 유해물질 흡착/분리 기술: 대표적 유해물질인 소각장, 화력발전소, 정유공장, 제철소, 시멘트 공장 등 대규모 오염원에서 배출되는 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x), 미세입자 등이 있으며, 석유화학 및 화학물질의 제조, 가공 및 이용 설비에서 배출되는 휘발성 유기화합물질(VOCs) 등을 흡착해서 분리하는 기술 등
- MOF의 구조적/화학적 안정성에 있어, MOF는 배위결합 기반의 구조를 지니지만 작용기 도입을 위한 여러 격렬한 반응 조건에서 때때로 구조가 무너져 MOF 자체의 기능을 상실해 버리는 경우가 존재하고, 유해물질과의 상호작용도 고려해야 함
 - 고내구성의 MOF 합성과 특정 유해물질과의 상호작용을 위해 리간드에 도입한 작용기들이 예기치 않게 금속과 배위하여 초기 의도와 다른 형태의 MOF를 합성하게 됨



(1) 세계시장

- 2021년 약 1억 9,100만 달러였던 MOF 세계시장 규모는 2026년 6억 1,200만 달러로 증가할 것으로 전망됨
 - 2020년부터 2026년까지의 연평균 성장률은 26.0%로 전망
 - 2020년 기준으로 BASF가 독보적인 1위를 차지하고 있음

[MOF 세계 시장 규모 및 전망]

(단위 : 백만 달러, %)

구분	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	CAGR ('20~'26)
세계시장	153	191	241	304	384	485	612	26.0

* 출처 : Metal-Organic Framework Global Market Report 2022(thebusinessresearchcompany, 2022)

(2) 국내시장

- 2021년 약 276억 원으로 추정된 MOF 국내시장 규모는 연평균 17.1%로 성장하여 2026년 약 711억 원으로 증가할 것으로 전망됨
 - MOF 국내 자료는 존재하지 않아 세계 전망치를 참조하여 자체 추정

[MOF 국내 시장 규모 및 전망]

(단위 : 억 원, %)

구분	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	CAGR ('20~'26)
국내시장	276	323	378	443	518	607	711	17.1

* 출처 : Metal-Organic Framework Global Market Report(the business research company, 2022)와 CCU 기술 국내외 연구동향(김학민 외, 한국과학기술연구원, 2019)의 CCU 세계시장 대비 국내 비율과 성장률을 고려하여 자체 추정(환율 달러당 1,300원으로 계산)

나. 기술개발 동향 분석

☐ 기술경쟁력

- 환경정화(MOF 등) 소재는 미국이 최고기술국으로 평가되었으며, 우리나라는 최고기술국 대비 79.8%의 기술 수준을 보유하고 있으며, 최고기술국과의 기술격차는 1.6년으로 분석
- 중소기업의 기술경쟁력은 최고기술국 대비 70.6%, 기술격차는 2.3년으로 평가
- EU(96.9%)>한국(79.8%)>일본(79.5%)>중국(75.8%)의 순으로 평가

☐ 기술수명주기(TCT)¹⁾

- 환경정화(MOF등) 소재는 6.64의 기술수명주기를 지닌 것으로 파악

(1) 기술개발 이슈

◎ 수소, 이산화탄소 포집/저장 기술

☐ 다른 나노화합물에 비해 표면적이 월등히 넓으며, 따라서 주요 응용 분야는 이를 이용한 가스 저장 분야임

- 저장되는 기체로는 수소, 메탄, 이산화탄소 등임. 가스 저장 관련하여 MOF중에서 특히, 표면적인 넓은 MOF로는 MOF-177(5640m²/g), MIL-101(5900m²/g), UMCM-2(>6000m²/g) 등임. 3차원 MOF는 메탄 흡착 측정결과, 5bar이상에서 모든 제올라이트보다 더 많은 메탄을 흡착함. HKUST-1은 상온에서 메탄 저장능(Uptake)이 2300cc(STP)/cc.@35bar, 2700cc(STP)/cc@65bar로 지금까지 보고된 것 중 최고값을 보이며, 미국 에너지부의 부피비 목표치를 충족함
- 전기방사 기술과 마이크로전자기파 기술을 결합해 폴리아크릴로니트릴 고분자 섬유 표면에 UTSA-16(Co), UTSA-16(Zn) MOFs 다공성 결정체를 성장시켜, 제올라이트, 활성탄, 기존 입자 형태의 MOF에 비하여 10% 이상의 선택적 흡착성 보임

☐ MOF 표면의 기능화를 통한 CO₂/N₂ 분리능 향상으로, 열린 금속자리를 이용한 이산화탄소의 선택적 흡착임

- Mg 기반의 MOF74에 있어, 포화되지 않은 열린금속 자리를 이용하는 것으로, 6배위로 둘러싸인 Mg이온이 SBU에 존재할 때 금속에 배위결합되어 있는 용매 분자를 제어하는 등의 방법으로 Mg이온을 5배위로 만드는 것이 가능하여 열린금속 자리를 갖게 되며, 루이스산의 성질을 보여 이산화탄소의 사중극자 모멘트로 인한 산소의 부분 전하가 서로 작용하게 되어 질소에 비하여 더 큰 흡착량을 보이게 됨
- 질소원자 기반 기능화를 통한 이산화탄소 흡착으로, 이산화탄소의 사중극자 모멘트는 아민과 같은 염기성 작용기와 강한 상호작용을 하여 높은 흡착엔탈피를 가지므로 이산화탄소의 흡착량 증가를 기대할 수 있음

1) 기술수명주기(TCT, Technical Cycle Time): 특허 출원연도와 인용한 특허들의 출원연도 차이의 중앙값을 통해 기술 변화속도 및 기술의 경제적 수명을 예측

◎ 이차전지용 음극 소재 기술

- ☐ MOF 구조체에 금속염 게스트(Guest polyhedra)를 첨가하여 고온에서 탄화시켜 높은 비표면적을 갖는 3D 다단계 계층의 섬유 및 웹 등 다양한 형태의 나노탄소 구조체를 합성하여 리튬 이차전지 및 슈퍼커패시터 등 에너지저장장치의 전극소재로 사용함
 - 이온전도도, 전기전도도를 효율적으로 확보하여 고성능(고출력/고에너지밀도) 리튬이차전지 음극 소재로 응용, 가능성이 입증
- ☐ 중국 장춘과학원 응용화학연구소는 MOF형판으로 리튬 이온전지 음극재를 합성하여 높은 방전 비용량과 우수한 순환 안정성을 확보함
 - 공침기술(Co-precipitation technique)을 사용하여 금속 양이온을 효율적으로 산소 자유기를 풍부히 함유한 CNT표면에 흡착시켜, 0.01-3.0v인 전압 범위에서 100mA/g인 전류밀도로 충방전 100번을 진행한 후 비용량 안정성이 813mAh/g이상이고 충방전 전류밀도가 1000mA/g일 때 비용량 안정성은 여전히 514mAh/g에 달하여 우수한 전기화학 에너지 저장 특성을 나타냄

◎ 촉매로 활용

- ☐ 불균일 촉매로 활용은 대부분 경우에 SBU의 금속이나 금속클러스터에 있으며, 유기링커의 아미노기나 아미드기는 고체 염기촉매로 작용하기도 함
 - 헴기성 올레핀 산화반응, 올레핀의 에폭시화 반응, 알데히드의 Cyanosilylation, Friedel-Craft 벤질화 반응, 이산화탄소와 에폭사이드의 첨가환화(Cycloaddition) 반응, 시트로넬라(Citronella)의 고리화반응, 올레핀의 산화반응, 1,3-양극성(Bipolar) 첨가환화반응, Heck 커플링 반응/Knoevenagel 축합반응, 이성질체화 반응, Friedel-Craft 알킬화 반응, 알코올의 산화반응 등
- ☐ 스프레이 열분해법을 통해 코발트 및 질소가 코팅된 MOF계 촉매를 개발하여, 기존의 백금계 촉매보다 40% 이상 성능이 향상됨
 - MOF계열 촉매 성능 향상 외에 MOF의 대량 생산도 가능케 하여, 연료전지 산소 환원반응 촉매 분야 및 흡착제, 배터리 분야 등 다양한 분야에 응용 가능
- ☐ 가시광성 영역대의 빛을 효과적으로 흡수할 수 있는 고성능 광집적 유기리간드 합성 및 여러 전이금속 이온들을 이용한 최적의 광촉매 MOF 개발 기술
 - Co^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} 기반 MOF
 - 유기리간드로 Photosensitizer를 이용하여 집광 및 MOF 구조 내 환원 촉매로의 에너지전달을 통한 촉매반응 현상 보고

◎ 유해물질 선택적 흡착제거 기술

- ☐ NO_x , SO_x , CO_2 , H_2S , NH_3 , VOC 등의 대기환경 오염물질들을 제거하는 기술로, MOF 결정의 외부 표면을 1nm 이하의 두께를 갖도록 덮을 수 있는 에틸렌디아민(EDA) 분자 기체를 도입하여 흡착하게 함
 - MOF 벌집을 효과적으로 밀봉해서 이산화탄소, 이산화황, 산화질소와 같은 가스를 선택적으로 포집함
- ☐ 액체연료 중에 함유된 유황화합물과 질소화합물 흡착 제거함
 - Cu-BTC(Benzene-1,3,5-tricarboxylate)와 CPO-27(Ni) 같은 불포화금속자리(CUS)를 지닌 MOF는 전자가 결핍된 리간드를 지녀 톨루엔보다 액체연료 중에 있는 Thiophene과 같은 전자가 풍부한 유황화합물과 강한 전기적 상호작용을 할 수 있기 때문에 강한 흡착친화력을 보이며, Cu-BTC는 상온에서 제올라이트나 활성탄보다 8배에 달하는 DBT(Dibenzothiophene) 흡착용량을 나타냄
- ☐ 폐수 중의 유기오염물 흡착제거함
 - Fe 기반의 MOF-235는 methyl orange와 methylene blue 염료의 흡착제거 성능이 활성탄보다 매우 높은 흡착량과 흡착속도를 보임
 - MIL-53(Cr)과 같이 유연한 기공구조를 갖는 MOF에 의한 폐수 중의 페놀 흡착성능 테스트에서 기공의 호흡효과(Breathing effect)에 의해 페놀 농도가 증가할수록 흡착량이 단계적으로 증가하고, 순수 MIL-101(Cr) 보다 양성자가 첨가된 EDA가 부착된 것을 사용하면 methyl orange 흡착 용량과 흡착속도를 향상시킬 수 있음
- ☐ 폐수 중의 중금속 흡착제거함
 - MIL-100(Fe)의 5가 비소[As(v)] 흡착 용량은 나노입자의 산화철이나 상업용 산화철 분말보다 각각 6배와 36배 높게 나타났으며, MIL-100(Fe)의 외부표면보다는 내부에서 Fe-O-As 결합을 형성해서 5가 비소가 제거됨
 - 순수 Cu-BTC는 Hg^{2+} 를 흡착하지 못하지만 thiol 작용기를 부여한 Cu-BTC는 매우 높은 Hg^{2+} 흡착 용량을 보였음
- ☐ 유해가스 흡착제거함
 - H_2S 가스의 압력변환 흡착공정에 MOF를 흡착제로 사용 시, 중심 금속자리에 OH기를 갖고 있는 MIL-53(Al)과 MIL-53(Cr)의 경우에는 H_2S 분자와 OH기 사이의 상호작용이 OH기가 없는 MIL-47의 경우에는 V=O 결합의 산소 원자와 H_2S 분자 사이의 수소결합이 흡착을 주도함
 - MOF-5, IRMOF-3, MOF-177, IRMOF-62, Cu-BTC, CPO-27의 SO_2 와 NH_3 가스의 동적 흡착성능 비교 시, MOF의 CUS와 작용기들이 흡착에 중요한 역할을 하고, SO_2 흡착에 CPO-27이 가장 우수했으며, BPL 활성탄의 6배에 달하는 흡착 용량을 나타냄

◎ 효율적인 약물전달체 소재 기술

- ☐ 표면 기능을 조절하거나 기공크기를 미세하게 변화시킬 수 있으므로 효율적인 약물전달체가 될 수 있음
 - 특히, MIL계열 MOF는 25Å의 큰 기공과 3100-5900m²/g의 표면적일 가지므로 약물전달체로 촉망받고 있음
- ☐ MOF로 약물을 전달하는 방법으로는 전하를 띤 MOF를 제조한 후, 반대 전하를 띤 약물을 정전기력으로 부착시키거나, MOF 골격구조 내이나 기능기에 약물을 포함시키는 방법임
 - 비독성인 철(II)이온 기반 MOF는 독소루비신, 아지도티미딘, 부술판 같은 항암제와 레트로바이러스 관련 약물의 나노운반체로서 효능을 보여줌
- ☐ 다공성 MOF 합성 후, 수정(Postsynthetic modification) 공정을 통해 MOF 기공 표면에 아민기를 부착할 수 있는데, 이러한 아민기는 1,3,5,7-tetramethyl-4,4-difluoro-8-bromomethyl-4-bora-3a,4a-diazaindacene 같은 조영제(Contrast agent)와 결합할 수 있음

◎ 응용 기술

- ☐ MOF의 형광성은 발광성 희토류인 유로퓸(Europium)이나 테르븀(Terbium), 발색단(Chromophore)에 기반함
 - Ln₂Cl₆(bpy)₃ MOF는 색상발광을 효율적으로 나타내는데, MOF의 활성화 공정 중에서 형광 성질을 유지함
 - 형광성을 지니는 발색단으로는 trans-4,4'-stilbenedicarboxylic acid가 있으며, 이 화합물은 MOF와 배위결합하면 골격을 견고하게 만들어 형광 MOF의 사용기한을 늘리는 작용도 함
 - 형광성 Pentiptycene 기반 리간드와 Cu(II) 로 구성된 MOF는 여러 용매, 할로벤젠(Halobenzene), N-이종고리화합물(Heterocycle), 아민, 니트로방향족 폭발성 물질의 색 감지체(Clourimetric detector)로 사용이 가능함
- ☐ 형광성 MOF는 형광 성질을 조절함으로써 다양한 센서로 활용 가능함
 - Zn₂(tpce) MOF는 암모니아, Et₃N, 질소, 에틸렌디아민 같은 휘발성유기화합물(VOC)에 노출되면, 최대 방사 위치가 특정 크기만큼 이동하며, 이를 이용하여 감지 센서로 사용할 수 있음
 - Zn₃(TDPAT)-(H₂O) MOF는 온도 센서로 사용 가능한데, 370nm 광조사 시 435nm의 형광 반응을 유도하는데, 온도가 내려가면 방사 피크의 위치는 변하지 않지만 방사 세기가 커짐

☐ 기체 분리막으로 이용할 수 있음

- ZIF-8 MOF는 수소와 더 큰 분자를 분리할 수 있으며, $\text{Co}_3(\text{HCOO})_6$ MOF는 1차원 지그재그형 채널을 가지며 이산화탄소와 메탄을 분리할 수 있음
- 올레핀/파라핀 분리와 관련해서는 알루미나 지지체에 부착된 고품질 ZIF-8막을 사용하여 프로필렌과 프로판을 30:1의 비율로 분리할 수 있음

☐ 전도성 유기 리간드 도입에 의한 화학적 가스 센서 신소재

- 전도성 유기 리간드 도입을 통해 전하 수송, 전계 효과 및 전자 상호작용과 같은 전기적 특성 제어 및 초소형 금속 나노입자 촉매의 주입이 가능해, 높은 선택성과 민감도를 요구하는 가스 센서 분야의 차세대 신소재로 주목받고 있음
- 미세 유체(Microfluidic) 시스템을 도입해 화학 반응을 단계적으로 제어하고 용액 전단 공정 (Solution shearing)을 통해 균일한 전도성 MOF 박막을 제조하는 새로운 공정 개발

(2) 생태계 기술동향

◎ 해외 플레이어 동향

☐ BASF(독일)

- 전기화학적 제조 기술로 MOF 양산화, 다양한 형상으로 가공하는 기술을 보유함
- Al, Zr, Fe계 MOF-5(IRMOf-1) series 양산화
- BASF Japan, Basolite로 에너지, 자동차, 전기 등 폭넓은 분야로 판촉 중임

☐ CNRS(프랑스)

- 유럽은 BASF, CNRS 외 13개 참여기관이 총 1063만 유로(EU 지원 760만 유로 포함)를 지원하여 2009년 7월부터 4년간 MACADEMIA(MOFs As Catalysts and Absorbents: Discovery and Engineering of Materials for Industrial Application)이 진행되는 등 연구가 활발함

☐ MOF Technologies(영국)

- 세계에서 가장 앞선 스타트업으로, 퀸즈대학 벨파스트 출신(북아일랜드)으로, 2016년 9월 과일의 신선도 유지하는 MOF를 제품화 발표

☐ NuMat Technologies(미국)

- 2016년 10월 반도체에 사용되는 비소화합물, 인화합물 등의 독성 유독가스를 안전하게 보관, 운반이 가능한 ION-X 발표
- 스미토모화학과 공동으로 탄소배출을 효율적이고 극적으로 줄일 수 있는 분리기술 개발

☐ novoMOF(스위스)

- 이산화탄소 포집, 독성 가스 센싱, 유해가스 분리, 에너지 저장, 수소가스 저장, 워터 하베스팅 등 용도별로 20,000종의 다양한 MOFs를 제품화하였음

☐ framergy(미국)

- 지르코늄 기반 MOF(UiO-66) 상용화

☐ Strem Chemicals(미국)

- 알루미늄, 구리, 철, , 타이타늄, 지르코늄 기반 MOF 상용화

☐ Nipponfusso(일본)

- 2020년 12월 화학플랜트에서 사용하는 금속제 탱크의 표면을 보호하는 코팅용으로 MOF를 상용화
- Kyoto대학 출신 스타트업인 Atomis가 Kyoto대의 기타가와 스스무 교수의 기술로 생산된 재료를 공급함

◎ 국내 플레이어 동향

- ☐ 대부분이 중소·중견기업으로 구성

◎ 국내 중소·중견기업

- ☐ 에이올코리아

- 2018년 2월 설립되어 한국의 BASF가 되겠다는 각오로, 환기시스템과 저온 재생 MOF 상용화에 성공
- AIREXCHANGE에 국내 최초로 수출에 성공했으며, 미국 MIT 내 벤처회사 및 Strem Chemical사와 MOF 수출계약 체결
- 국내 대기업 자동차회사 및 전자회사와 사업화 프로젝트 수주했으며, 다양한 고객사로부터 MOF 공급 요청받고 있음
- 2020년 수출실적은 회사 전체 매출액의 5%로, 향후 5년 내 매출 목표는 800억 원으로, 이중 MOF 관련 사업매출은 60%로 예상

- ☐ 에이치앤에이(H&A)파마켄

- 2013년 3월 설립된 기업으로, 2019년 10월 프랑스 파리에서 개최된 EURO MOF 2019 학회에 참석하여 화장품 분야에서의 MOF에 대하여 발표

- ☐ 유라스텍

- 2008년 5월 설립된 러시아 보유 기술의 기술거래 및 비즈니스 사업화를 도모하고 있는 상황으로, 러시아의 MOF 기술 및 소재를 국내에 판매하고 있음

- ☐ 부강테크

- 1990년 3월 설립된 극성 & 비극성 물질 분리에 특화된 세라믹 Membrane 제조 기업으로, 30~1,200nm의 Pore size 선택으로 비극성 물질 분리와 함께 입자 및 고형분 제거가 가능(배양액의 비극성 물질+균체 제거, 비극성 단백질 농축, Oil+입자 물질 세척, Oil 폐수의 Oil+고형분 제거 등 비극성 물질을 분자량 단위까지 분리 가능)
- 기능성 코팅을 이용해 Oil이 포함된 물질에서 Oil 제거, 혼합물에서 비극성물질(벤젠, 톨루엔, 자일렌, 비극성 유기물) 분리에 특화되고, Hydrophilic organic acid molecules를 다공성 세라믹 막 전체에 결합하여 비극성 유기화합물을 분자량 단위까지 분리가 가능

다. 국내 연구개발 기관 및 동향

(1) 연구개발 기관

[환경정화(MOF등) 소재 관련 주요 연구조직 현황]

기관	연구분야
한국재료연구원 (KIMS)	탄소복합 재료연구실, 기능복합 재료연구실, 복합재료 구조시스템 연구실, 재료공정 연구실, 재료 인공지능·빅데이터 연구실, 항공재료 연구센터에서 유기/복합소재의 다양한 분야를 연구 중
고등기술연구원	융합소재 연구센터, 신소재 공정 센터에서 유기/복합소재의 다양한 분야를 연구 중
한국화학연구원 (KRICT)	석유화학촉매·공정 연구단, 석유화학촉매 연구센터, 박막재료 연구센터, 고기능고분자 연구센터, 계면재료 화학공정 연구센터, 정밀화학 소재 연구단, 정밀화학 융합기술 연구센터, 바이오 화학소재 연구단, 화학 데이터기반 연구센터, 화학소재 솔루션 센터, 저탄소 화학 공정융합 연구단 (LCP 융합 연구단)에서 유기/복합소재의 다양한 분야를 연구 중

(2) 기관 기술개발 동향

☐ 고등기술연구원

- 대기 중 탄화수소류 회수를 위한 고 비표면적 흡착제 및 연속 흡·탈착 장치
 - 비표면적 2,500m²/g급 탄소계 흡착 소재
 - 고 비표면적 흡착제를 이용한 VOCs 처리 및 회수용 연속 흡·탈착 장치

☐ 한국화학연구원

- 화학공정연구본부- 석유화학촉매·공정연구단
 - 기초화학원료 확보를 위한 촉매 및 흡착 신소재와 신공정 기술개발
- 화학공정연구본부- 석유화학촉매연구센터
 - 납사/메탄올 접촉 분해반응 공정 촉매 개발
 - 연속 반응-재생 유동화 공정용 탈수소 촉매반응 기술개발
 - 에너지 절감형 올레핀/파라핀 분리용 원천소재 기술개발
 - 중질유분 고도화를 위한 수첨분해 공정용 고효율 신촉매 개발
 - 저활용 경질유분 촉매분해 기술개발
 - 물 첨가 중질유분 분해 기술개발
 - 에너지 저감형 흡착·분리용 신소재 기술개발

- 화학공정연구본부 - 탄소자원화 연구단
 - 저활용 화학자원 밸류업을 위한 친환경 공정기술 개발
 - 저활용 탄소원 활용 수소 생산·저장 통합 원천기술 개발
 - 플라스틱 밸류업을 위한 친환경 화학 공정 개발
 - 이산화탄소 유래 친환경 화학원료 제조 기술개발
 - 그린탄소 유래 친환경 화학원료 제조 기술개발

◎ 국내 환경정화(MOF등) 소재 관련 선행연구 사례

[국내 선행연구(정부/민간)]

수행기관	연구명(과제명)	연도	주요내용 및 성과
건국대학교	석탄재의 재자원화 공정과 이를 통한 복합 세라믹 porous 환경정화소재의 개발	2022~2025	<ul style="list-style-type: none"> 산업부산물 석탄재를 자원소재화한 맞춤형 환경정화용 세라믹 복합촉매/흡착제와 복합세라믹 membrane을 제작 석탄재 개질 기법을 개발하는 산업폐기물의 재자원화/소재화 기술 개발 석탄재를 세라믹 기반의 다공성 물질로 변환하는 기법 개발 세라믹계 다공성 재료의 구조 및 표면 개질기술 개발
건국대학교	Si-Al 천연광물을 이용한 친환경 고분산 지중오염 정화소재 및 오염 확산억제 소재의 개발	2020~2022	<ul style="list-style-type: none"> 천연광물을 이용하여 원위치 지중정화공법에 적용 가능한 고효율 정화소재 및 확산 억제소재를 개발 오염부지별 오염물질 확산억제/정화 동시 시행을 꾀할 수 있는 원위치 정화기술 소재로써 활용 가능
강원대학교	매립지 가스처리 부산물 '바이오황'의 환경정화소재 개발	2017~2020	<ul style="list-style-type: none"> 바이오황 물리·화학적 특성 조사 바이오황의 금속 이온 흡착·탈착능 조사 Diffuse Reflectance IR, SEM, XPS 등을 이용한 금속 흡착 메커니즘 규명
전북대학교	미량 오염물질을 농축·분해할 수 있는 바이오차 기반의 기능성 친환경 소재 및 개발 소재의 응용 공정 개발	2020~2022	<ul style="list-style-type: none"> 미량 오염물질을 흡착·농축할 수 있는 바이오차 기반의 고성능 소재 개발 미생물 고정화를 위한 바이오차 폭쇄(explosion) 공정을 통한 공극제어 기술 개발 개발 소재의 미량 오염물질 제거 성능 평가 및 응용 공정 개발
에이티이	폐바이오매스를 이용한 고기능성 친환경 복합소재 개발 및 이를 이용한 고효율 지중오염 정화시스템 개발	2020~2022	<ul style="list-style-type: none"> 바이오차 정화소재의 물리화학적 특성 분석 및 중금속/BTEX 흡착 성능 분석 바이오차를 사용한 정화전극 제작 유기물 산화와 전자 전달을 위한 미생물의 선택 및 배양 제조 특성에 따른 바이오차 기반 정화소재의 중금속/BTEX 흡착능 향상
연세대학교 (원주캠퍼스)	나노 셀룰로오스를 이용한 수질 정화용 소재 개발 및 가능성 평가	2019~2021	<ul style="list-style-type: none"> 나노 셀룰로오스 제조법에 따른 수질 정화용 소재의 응용 가능성 확인 및 최적 제조법 확립 수계 대표 오염 물질인 염료, 중금속, 미량오염 물질 등 광범위적 조사를 통해 각각 개발된 나노 셀룰로오스 소재의 성능 평가 나노 셀룰로오스 소재의 단점을 극복하는 개질 연구를 통해 타겟 오염물질에 대한 대응성 강화

* 출처 : 자체작성

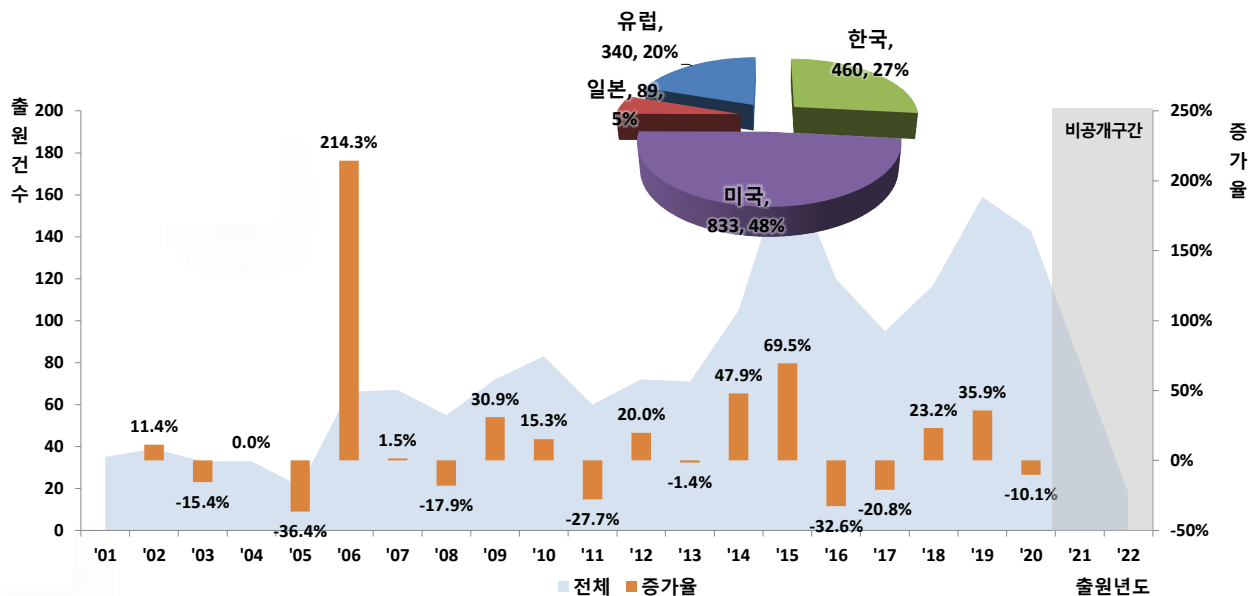
3. 특허 동향

가. 특허동향 분석

(1) 특허 증가율

- ☐ 과거부터 최근까지 해당품목에 대한 특허기술 출원의 양적 트렌드 분석을 통해 해당품목의 기술개발 동향 파악²⁾
- ☐ 한국(KIPO), 미국(USPTO), 일본(JPO), 유럽(EPO) 국가별 특허기술 출원 점유율 분석을 통해 해당품목을 선도하는 국가 파악

연도별 출원증가율

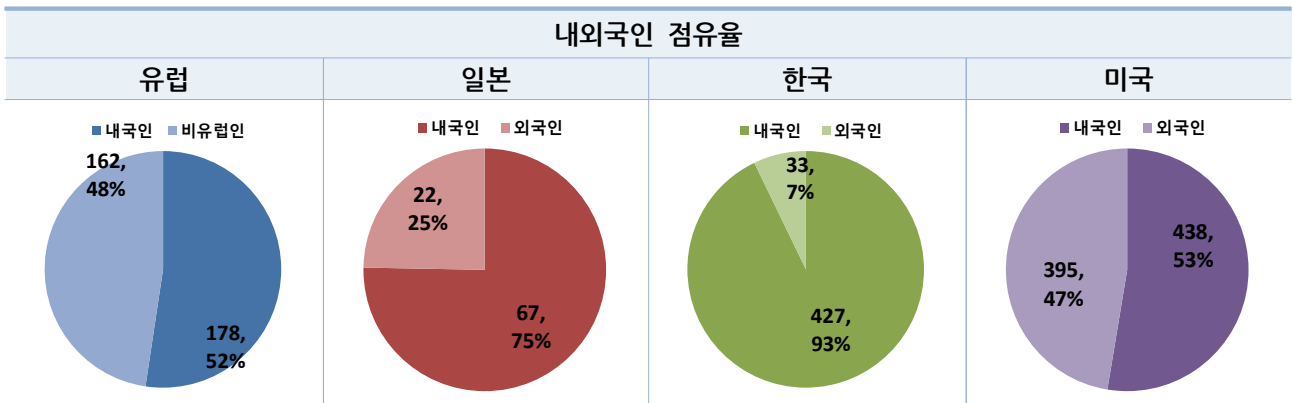


- 환경정화(MOF등) 소재 품목은 2000년대에 특허 출원 증감 추이의 큰 변화가 없었으나 2010년대 들어서 증가하는 추세를 보임
- 각 국가별로 살펴보면 미국이 가장 활발한 출원 활동을 보이고 있는 것으로 나타났으며, 한국, 유럽 및 일본도 유사한 추세의 출원 활동이 진행되고 있는 것으로 나타남
- 전년대비 증가율을 보았을 때 2006년 214.3% 이상의 증가율을 보이고 있는 것으로 나타남. 이는 2006년 직전년도인 2005년 출원활동이 저조한 영향인 것으로 판단되며, 환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 기술개발도 활성화되고 있는 것으로 나타남
- 국가별 출원비율을 살펴보면 미국이 전체의 48%의 출원 비중을 차지하고 있어, 최대 출원국으로 환경정화(MOF등) 소재 분야를 리드하고 있는 것으로 나타났으며, 한국은 27%, 유럽은 20%, 일본은 5% 순으로 나타남

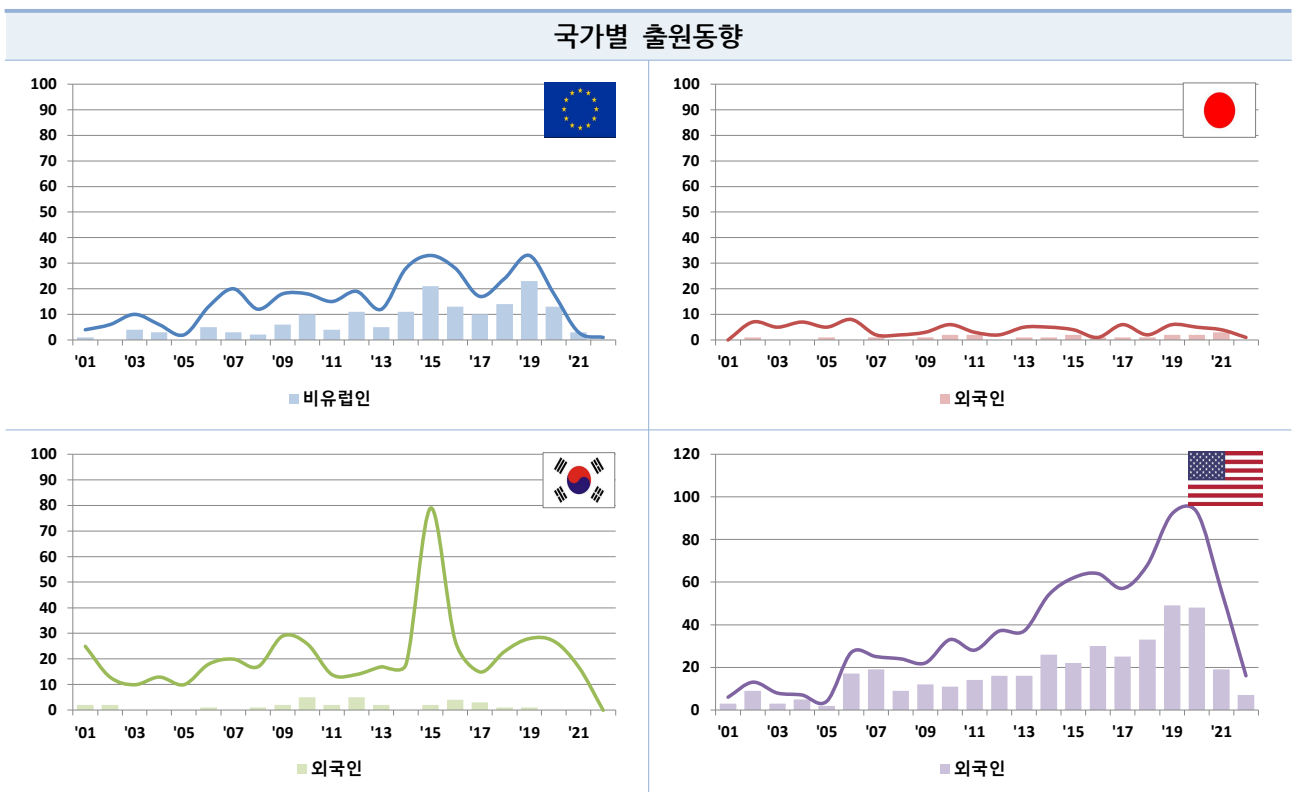
2) 특허출원 후 1년 6개월 경과 후 데이터가 공개되는 특허제도의 특성상, 2021년과 2022년에는 실제 출원이 이루어졌으나 아직 공개되지 않은 미공개데이터의 존재로 유효데이터가 적게 나타날 수 있음에 유의해야 함

(2) 특허 점유율

- 과거부터 최근까지의 국가별 특허기술 출원의 양적 트렌드를 비교하여 타 국가 대비 국내의 기술적 위치 파악
- 한국(KIPO), 미국(USPTO), 일본(JPO), 유럽(EPO) 국가별 내·외국인의 출원분포를 파악하여 해당 국가 내 국외기술의 유입상황 및 국외기술에 대한 의존도 여부, 자국 기술력 등을 유추



- 환경정화(MOF등) 소재 품목에 있어, 한국은 내·외국인 비중이 93% 대 7%로 내국인의 출원 활동이 활발하며, 유럽, 일본, 미국의 경우 외국인의 출원점유율이 더 낮은 것으로 나타남
- 환경정화(MOF등) 소재 품목에 있어, 유럽, 일본, 한국, 미국은 해외 기업의 진출 가능성이 낮은 것으로 나타남



- 미국의 출원활동이 가장 활발히 진행된 것으로 나타남, 미국의 출원 활동은 주로 내국인에 의해 진행된 것으로 나타남

(3) 특허 영향력

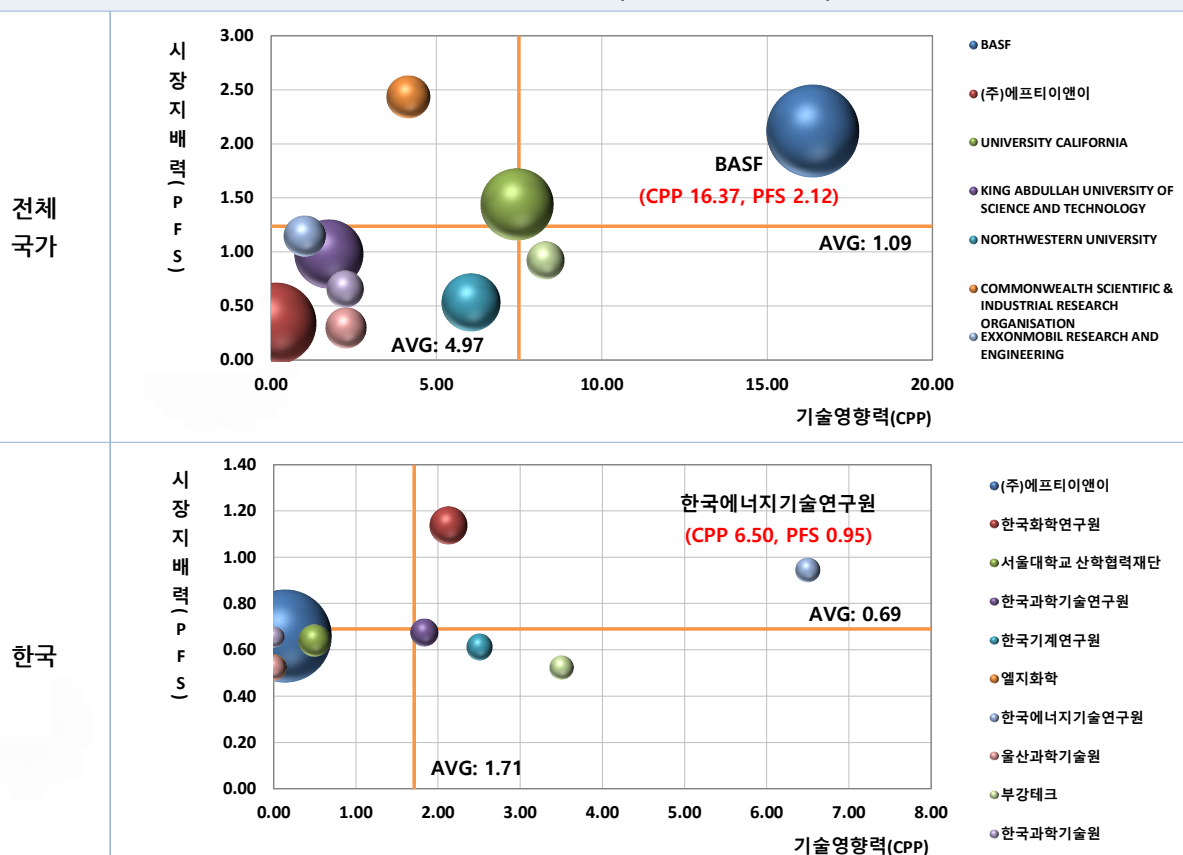
- 기술영향력(CPP) 지수는 특정 등록특허가 다른 특허들에 의해 인용된 횟수를 나타내며, 특허권자의 입장에서 이 값이 클수록 질적 수준이 높은 핵심특허 또는 원천특허를 많이 보유하고 있을 가능성이 높다고 판단

* CPP = 특정 주체의 등록특허의 피인용 횟수 / 해당 주체의 등록특허 수

- 시장지배력(PFS) 지수는 출원인 국적별 패밀리국가수를 분석하는 것으로, 해당품목에서 글로벌 시장을 타겟팅한 출원인이 누구인지 파악 가능

* PFS = 특정 주체의 평균 패밀리 국가수 / 전체평균 패밀리 국가수

주요출원인 IP 경쟁력(기술성 vs 시장성)



- 환경정화(MOF등) 소재 품목에 대한 주요출원인들의 IP 경쟁력 분석결과, 전체 국가에서는 BASF이, 한국에서는 한국에너지기술연구원이 기술영향력 및 시장확보력이 가장 높은 것으로 나타남. 전체 시장에서는 BASF의 특허가, 한국시장에서는 한국에너지기술연구원의 특허가 시장확보력 및 질적 수준이 높아 기술적 파급력과 상업적 가치가 큰 것으로 평가됨

(전체) BASF : 기술영향력(CPP) 16.37 / 시장확보력(PFS) 2.12

(한국) 한국에너지기술연구원 : 기술영향력(CPP) 6.50 / 시장확보력(PFS) 0.95

- 한국출원인 중에는 전체 국가에서 한국화학연구원, 한국에서 한국에너지기술연구원의 기술영향력 및 시장확보력이 가장 높은 것으로 분석됨

(전체) 한국화학연구원 : 기술영향력(CPP) 2.22 / 시장확보력(PFS) 0.66

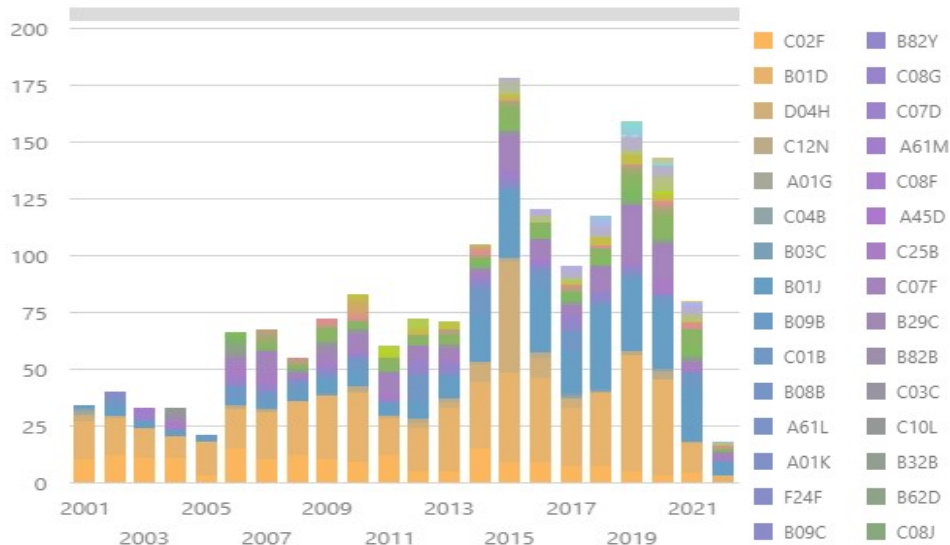
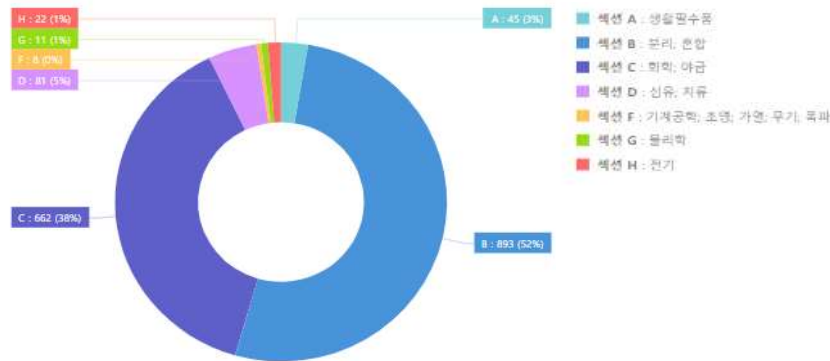
(한국) 한국에너지기술연구원 : 기술영향력(CPP) 6.50 / 시장확보력(PFS) 0.95

(2) 기술 현황 분석

- 전 세계적으로 통용되고 있는 국제특허분류를 통해 해당품목의 기술현황 및 집중기술 분야를 확인할 수 있으며, 연도별 기술현황 변화추이를 확인함으로써 해당품목에 대한 기술변화 트렌드 변화를 유추

* IPC(International Patent Classification) : 국제특허분류

IPC 특허분류별 출원건수



- 환경정화(MOF등) 소재 품목은 섹션 B 분리, 혼합 기술분야의 비중이 가장 높은 것으로 나타났으며, 그중에서도 분리(B01D) 기술분야에서 집중 연구가 되고 있는 것으로 분석됨
- 연도별 기술현황 변화추이를 보았을 때, 최근에는 (B01L) 기술분야인 '가스조작장치' 관련 분야와 (B33Y) 기술분야인 '첨삭가공에 의해 만들어진 제품' 관련 분야에서 출원이 진행된 것으로 나타남

IPC - Sub Class	출원건수
• (B01D) 분리	525
• (B01J) 화학적 또는 물리적 방법, 예. 촉매 또는 콜로이드 화학; 그들의 관련 장치	275
• (C07F) 탄소, 수소, 할로젠, 산소, 질소, 황, 셀레늄 또는 텔루르 이외의 원소를 함유하는 비환식, 탄소 고리	137
• (C07C) 비환 화합물 또는 탄소환 화합물	67
• (C07D) 이종원자 고리 화합물	15

(3) 기술 집중력 분석

- 주요출원인에 의한 특허점유율을 분석하여 기술집중력(시장 독과점 수준)을 판단하는 것으로, 특허동향조사에서는 통상 CR4를 사용하며, CRn값이 0에 가까울수록 시장 독과점 수준이 낮은 것을 의미하고, CR4 값이 40에서 60일 경우(CR1 지수는 50 이상일 경우, CR2 또는 CR3 지수는 75 이상일 경우) 시장의 독과점 수준이 높은 것으로 해석됨

* CRn(집중률지수, Concentration Ratio n) = (1위 출원인의 특허점유율) + ... + (n위 출원인의 특허점유율)

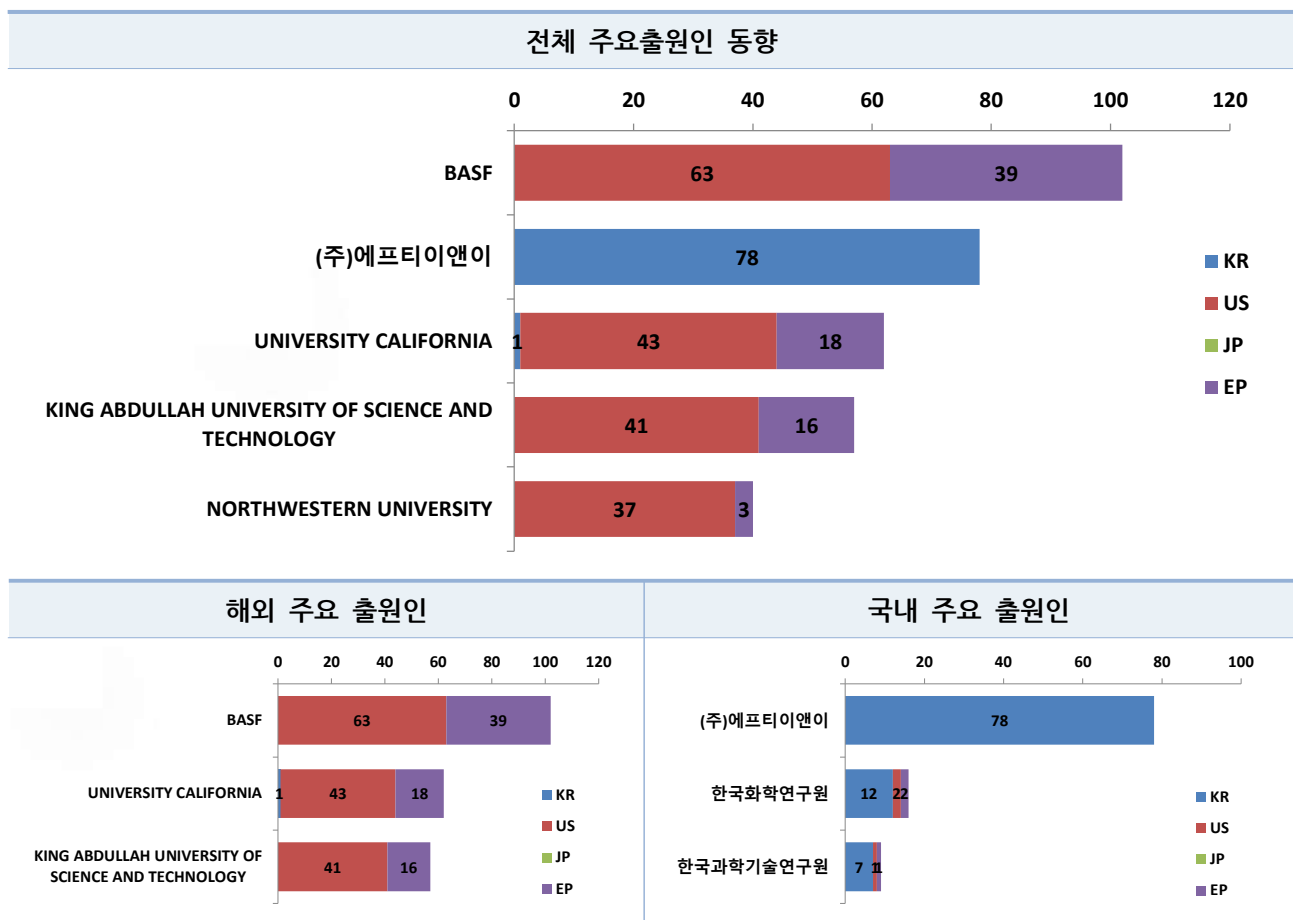
주요출원인 집중력	주요출원인	출원건수	특허점유율	CRn	n
	BASF	102	5.9	7	
	(주)에프티이앤이	78	4.5	11	
	UNIVERSITY CALIFORNIA	62	3.6	15	
	KING ABDULLAH UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY	57	3.3	19	4
	NORTHWESTERN UNIVERSITY	40	2.3	22	
	COMMONWEALTH SCIENTIFIC & INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION	22	1.3	23	
	EXXONMOBIL RESEARCH AND ENGINEERING	20	1.2	24	
	KING FAHD UNIVERSITY OF PETROLEUM AND MINERALS	19	1.1	26	
	MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY	17	1.0	27	
	한국화학연구원	16	0.9	28	
	전체	1,722	100%	CR4 = 19	
국내시장 중소기업 집중력	출원인 구분	출원건수	특허점유율	CRn	n
	중소기업(개인)	303	65.9	65.87	중소기업
	대기업	34	7.4		
	연구기관/대학	91	19.8		
	기타(외국인)	32	7.0		
	전체	460	100%	CR중소기업=65.87	

- 환경정화(MOF등) 소재 관련 기술에 대한 시장관점의 기술독점 현황분석을 위해 집중률 지수(CRn) 분석 결과, 상위 4개 기업의 시장점유율이 19로 독과점 정도가 낮은 수준으로 분석되어 주요 출원인들에 의한 기술 집중화 정도가 거의 없는 시장으로 판단됨. 즉, 환경정화(MOF등) 소재 품목은 제품 구매자가 우위에 있는 기술 분야로 기업들 간의 경쟁 강도가 높고, 시장 진입 용이성이 높은 것으로 분석됨
- 국내 시장에서 중소기업의 점유율 분석결과 65.9로 환경정화(MOF등) 소재 품목에서 중소기업의 점유율은 매우 높은 것으로 분석되고, 국내 시장에서 중소기업의 진입장벽은 낮은 것으로 판단됨

다. 주요 출원인 분석

(1) 주요 출원인 동향

- 주요출원인을 기준으로, 해당품목에 대해 기술개발을 주도하고 있는 기관 및 기업을 파악하고, 한국(KIPO), 미국(USPTO), 일본(JPO), 유럽(EPO) 국가별 출원현황 분석을 통해 주요출원인들이 고려하고 있는 주요시장국이 어디인지 예측하여 거시적 관점의 향후 트렌드를 전망
- 타 국가 대비 국내 기관 및 기업의 출원 활동 현황 및 수준을 파악하여 연구개발에 있어 비중 있는 사전 파악이 필요한 기관 및 기업 제시



- 환경정화(MOF등) 소재 품목의 전체 주요출원인(Top 5)을 살펴보면, 주로 미국 국적의 출원인이 다수 포함되어 있는 것으로 나타났으며, 제 1 출원인으로는 독일의 BASF인 것으로 나타남
- 환경정화(MOF등) 소재 품목 관련 국내 주요출원인으로 (주)에프티이앤이 및 한국화학연구원이 도출되었으며, 한국 다음으로 미국, 유럽 순으로 출원을 진행한 것으로 나타남
- 국내 주요출원인은 기업보다 국가연구기관의 출원인이 출원을 주도하고 있어, 국가 주도의 연구개발이 진행되고 있는 것으로 분석됨

주요 키워드 및 주요특허 분석

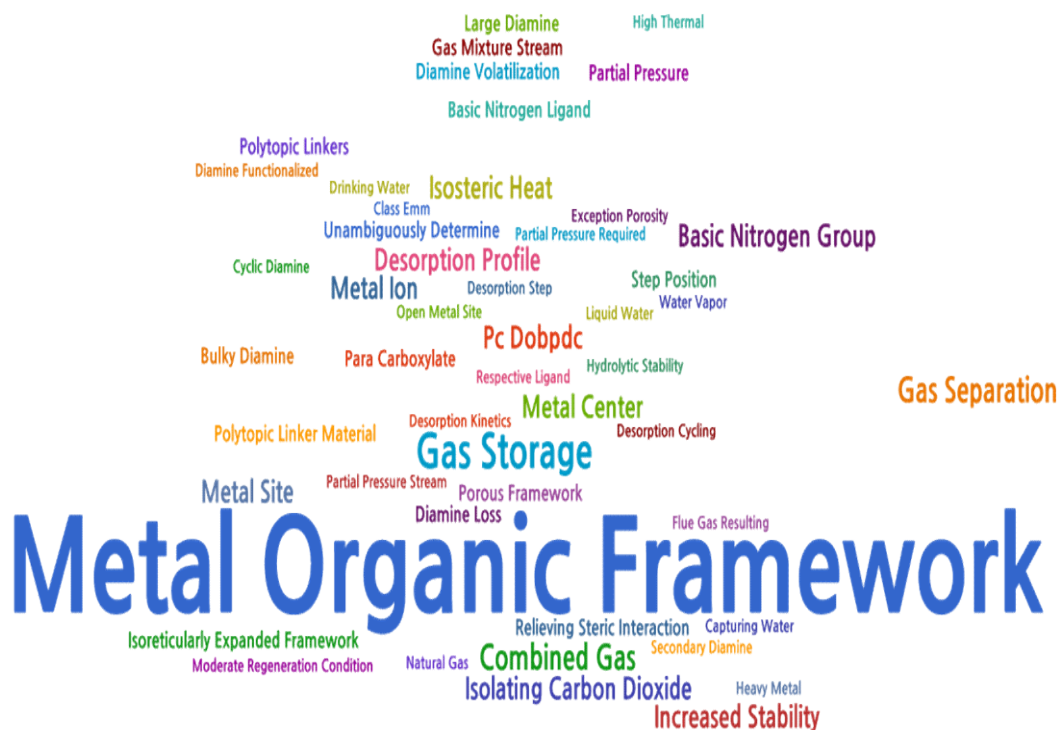


- 공정 효율, 나노 섬유필터, 소수성 고분자 나노섬유층, 폴리비닐리덴 플루오라이드 나노섬유, 에폭시 수지 용액, 경화제 용액, 에폭시 수지, 내열성 고분자 나노섬유층, 저융점 고분자, 에폭시 수지 나노섬유

등록/공개번호 (출원일)	명칭	기술적용분야	IP 경쟁력	
			피인용 문헌수	패밀리 국가수
KR 1866344 (2017.07.12)	나노섬유필터 및 이의 제조방법(nano fiber filter and method of manufacturing the same)	동일 나노섬유의 특정부분 평량을 상이하게 조절할 수 있는 폭 방향(CD)으로 나노섬유의 평량이 상이한 나노 섬유필터 및 이의 제조방법	1	2
KR 1778265 (2015.04.23)	저융점 고분자 접착층이 형성된 폴리비닐알콜 나노섬유 및 소수성 고분자 나노섬유를 포함하는 필터 및 이의 제조방법(filter including polyvinyl alcohol nanofiber and hydrophobic polymer nanofiber with low melting polymer adhesion layer and its manufacturing method)	연속적인 공정이 가능하여 공정의 효율성 및 대량생산이 가능한 이점이 있으며, 탈리(脫離)가 잘 발생되지 않는 장점이 있음	1	2
KR 1778255 (2015.04.23)	나노섬유필터 및 이의 제조방법(nano fiber filter and method of manufacturing the same)	동일 나노섬유의 특정부분 평량을 상이하게 조절할 수 있는 길이 방향(MD)으로 나노섬유의 평량이 상이한 나노 섬유필터 및 이의 제조방법	1	2

- LIME은 환경정화(MOF등) 소재 품목과 관련하여 Top 2 출원인으로, 한국을 위주로 출원을 진행하였으며, 섬유 배열을 위한 장치에 특징이 있는 것 및 기계적 방법에 의해 강화 또는 고정되는 것과 관련하여 높은 기술력을 지닌 것으로 조사됨

주요 키워드 및 주요특허 분석



- Metal Organic Framework, Gas Storage, Combined Gas, Gas Separation, Pc Dobpdc, Metal Ion, Basic Nitrogen Group, Metal Center, Isolating Carbon Dioxide, Isosteric Heat

등록/공개번호 (출원일)	명칭	기술적용분야	IP 경쟁력	
			피인용 문헌수	패밀리 국가수
US 8946454 (2009.06.05)	Chemical framework compositions and methods of use	감지, 가스 흡착, 마이크로일렉트로닉스 및 스위치에 유용한 금속 유기 프레임워크	36	2
US 9078922 (2012.10.12)	Metal-organic frameworks with exceptionally large pore aperatures	금속 유기 프레임워크 또는 이소레티쿨러 금속 유기 프레임워크, 이의 제조 방법 및 이의 사용 방법	22	8
US 10201803 (2016.06.09)	Polymer-metal organic framework materials and methods of using the same	중합된 금속 유기 골격 조성물 및 중합체 조성물 및 이들의 제조 방법 및 사용 방법	26	1

- UNIVERSITY CALIFORNIA은 환경정화(MOF등) 소재 품목과 관련하여 Top 3 출원인으로, 미국과 유럽을 위주로 출원을 진행하였으며, 내부에 가동요소가 없는 고정식 반응장치 및 초고압을 사용하는 공정에 관련하여 높은 기술력을 지닌 것으로 조사됨

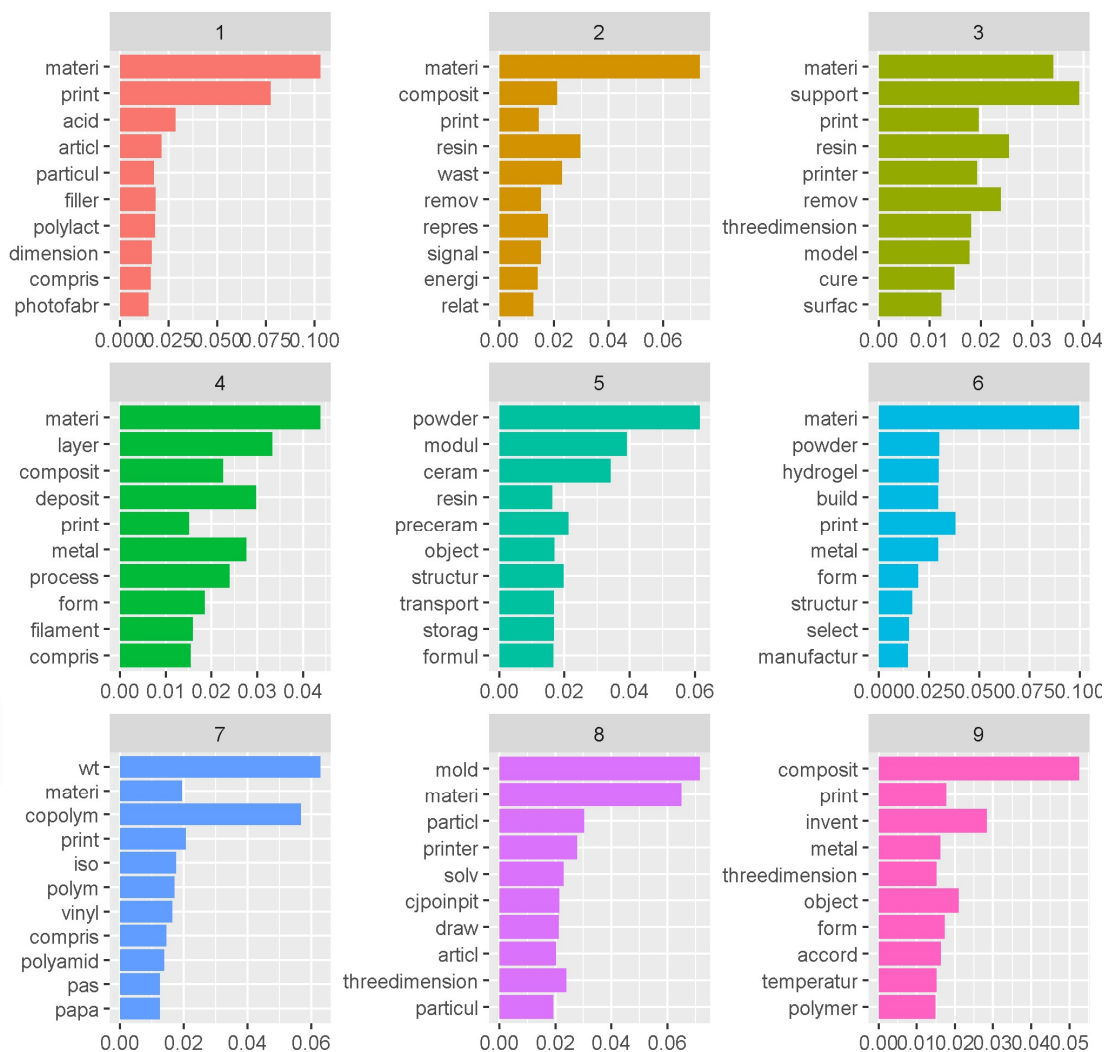
4. 전략품목 기술로드맵

가. 핵심기술

(1) 요소기술 도출

◎ 특허 키워드 클러스터링 기반 요소기술 후보도출

[환경정화(MOF등) 소재 토픽 클러스터링 결과]



* 출처 : 자체작성

[LDA 클러스터링 기반 요소기술 후보도출]

No.	상위 키워드	대표적 관련 특허	요소기술 후보
클러스터 01	compound framework invent relate metalorgan	<ul style="list-style-type: none"> Method of treating sludge from biological water purification stations Reactor and process for biological water purification 	인체 유해 중금속 흡착 소재 기술
클러스터 02	composite metal framework organ mof	<ul style="list-style-type: none"> Metal-organic frameworks having a kagome topology Compositions and methods of making and using metal-organic framework compositions 	인체 유해 중금속 흡착 소재 기술
클러스터 03	water andor contaminate storage purify	<ul style="list-style-type: none"> Biocidal purification device Biogas purification system 	유해가스 선택적 흡착 및 분리 기술
클러스터 04	ein mof wird der und	<ul style="list-style-type: none"> Method for biological purification of wastewater containing ammonium Process for the biological purification of wastewater with simultaneous degradation of organic and nitrogen containing compounds 	환경정화소재 복합구조체 설계 기술
클러스터 05	carbon dioxide adsorb gas adsorpt	<ul style="list-style-type: none"> Biomass syngas purification process under negative pressure for producing oil Biodiesel purification by a continuous regenerable adsorbent process 	제습 탈취 소취 소재 기술
클러스터 06	water tank adsorb biologic sludge	<ul style="list-style-type: none"> Method for biological purification of waste water with enhancement of activated sludge settling speed by means of biofilm carriers Process for biological purification of waste water with simultaneous decomposition of organic and nitrogen-containing compounds 	대면적화 기술
클러스터 07	metal organ framework ion comprise	<ul style="list-style-type: none"> Solid-state crystallization of metal organic frameworks within mesoporous materials methods and hybrid materials thereof Hydrogen storage material containing metal organic structure 	환경정화소재 복합구조체 설계 기술
클러스터 08	filter layer nanofiber material medium	<ul style="list-style-type: none"> Biomagnetic filter Biological membrane filter device 	환경정화소재 복합구조체 설계 기술
클러스터 09	framework mof metalorgan material invent	<ul style="list-style-type: none"> Method for producing metal-organic frameworks and covalent organic frameworks Composite method of trapping carbon dioxide in gas mixture 	환경정화소재 복합구조체 설계 기술

* 출처 : 자체작성

◎ 특허 분류체계 기반 요소기술 후보도출

[IPC 분류체계에 기반 요소기술 후보도출]

IPC 기술트리		
(서브클래스) 내용	(메인그룹) 내용	요소기술 후보
(B01D)분리	(B01D-039) 액체 또는 가스 유체용 여과재	제습 탈취 소취 소재 기술
	(B01D-053) 가스 또는 증기의 분리; 기체로부터 휘발성 용제증기의 회수; 폐가스, 예를 들어 엔진배기가스, 매연, 연기굴뚝연기 등의 화학적 또는 생물학적 정화; 또는 에어로졸	제습 탈취 소취 소재 기술
(B01J)화학적 또는 물리적 방법, 예. 촉매 또는 콜로이드 화학; 그들의 관련 장치	(B01J-020) 고체흡착조성물 또는 여과조제조성물; 크로마토그래피용 흡착제; 그러한 조제, 재생 또는 재활성화를 위한 프로세스	유해가스 선택적 흡착 및 분리 기술
	(B01J-031) 수소화물, 배위 착화합물 또는 유기화합물로 된 촉매(중합반응에만 사용되는 촉매조성물 C08)	유해가스 선택적 흡착 및 분리 기술
(C02F)물, 폐수, 하수 또는 오니(슬러지)의 처리	(C02F-001) 물, 폐수 또는 하수의 처리	대면적화 기술
	(C02F-003) 물, 폐수 또는 하수의 생물학적 처리	대면적화 기술
(C07F)탄소, 수소, 할로겐, 산소, 질소, 황, 셀레늄 또는 텔루르 이외의 원소를 함유하는 비환식, 탄소 고리 또는 이종원자 고리 화합물	(C07F-001) 주기율표의 제1족 원소를 함유하는 화합물	백금 대체 촉매 기술
	(C07F-003) 주기율표의 제2족 원소를 함유하는 화합물	백금 대체 촉매 기술
	(C07F-005) 주기율표의 제3족 원소를 함유하는 화합물	백금 대체 촉매 기술
	(C07F-007) 주기율표의 제4족 원소를 함유하는 화합물	백금 대체 촉매 기술

* 출처 : 자체작성

◎ 최종 요소기술 도출

- ☐ 기술·시장 분석, 기술수요, 기술(특허)분석, 전문가 추천을 바탕으로 요소기술 후보 도출
- ☐ 요소기술 후보를 대상으로, 전문가를 통해 기술의 범위, 요소기술 간 중복성 등을 조정·검토하여 최종 요소기술 확정

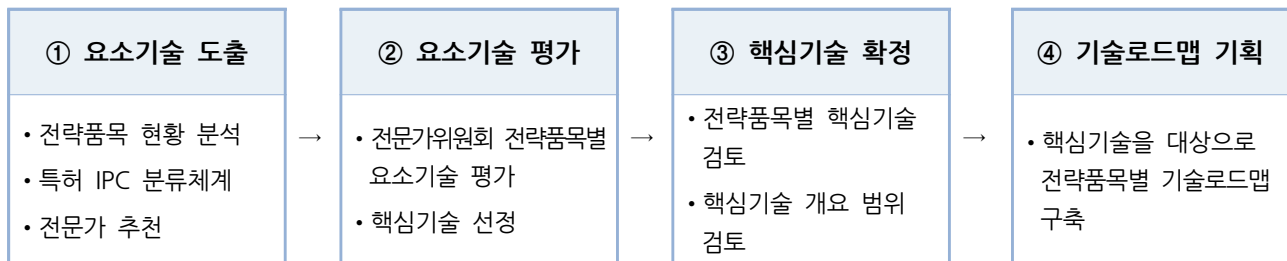
[환경정화(MOF등) 소재 요소기술 도출]

요소기술	출처
대면적화 기술	특허 클러스터링, IPC 분류체계
환경정화소재 복합구조체 설계 기술	특허 클러스터링
흡착능력이 우수한 MOF 대량 생산 기술	전문가추천
백금 대체 촉매 기술	IPC 분류체계
플라스틱 포집가능 소재 기술	전문가추천
제습 탈취 소취 소재 기술	특허 클러스터링, IPC 분류체계
유해가스 선택적 흡착 및 분리 기술	특허 클러스터링, IPC 분류체계
인체 유해 중금속 흡착 소재 기술	특허 클러스터링

(2) 핵심기술 선정 및 기술로드맵 기획 절차

- ☐ 특허 분석을 통한 요소기술과 기술수요와 기술시장분석을 기반으로 한 요소기술, 전문가 추천 요소기술 등을 종합하여 요소기술을 도출한 후, 전문가위원회의 평가과정 및 검토/보완을 거쳐 핵심기술 확정
- ☐ 핵심기술 선정 지표: 기술개발 시급성, 기술개발 파급성, 기술의 중요성 및 중소기업 적합성

[핵심기술 선정 및 기술로드맵 기획 프로세스]



(3) 핵심기술 리스트

[환경정화(MOF등) 소재 핵심기술]

핵심기술	개요
환경정화소재 복합구조체 설계 기술	<ul style="list-style-type: none"> 유기 리간드 설계 및 복합구조체 제조 기술
흡착성능이 우수한 MOF 대량 생산 기술	<ul style="list-style-type: none"> 흡착성능이 우수한 MOF 대량생산을 위한 수율 향상 등 기술
유해가스 선택적 흡착 및 분리 기술	<ul style="list-style-type: none"> 이산화탄소, 질소산화물 등 유해가스 선택적 흡착 및 분리 기술
인체 유해 중금속 흡착 소재 기술	<ul style="list-style-type: none"> As5+ 등 인체 유해 중금속 흡착소재 기술

나. 기술개발 로드맵

(1) 중기 기술개발 로드맵

[환경정화(MOF 등) 소재 기술개발 로드맵]

핵심기술	환경정화(MOF 등) 소재의 원천기술 확보 및 경쟁력 향상을 통한 국산화율 증대			
	'23년	'24년	'25년	최종 목표
환경정화소재 복합구조체 설계 기술				5300~6000 m ² /g
흡착성능이 우수한 MOF 대량 생산 기술				120kgm ⁻³ sec ⁻¹ 이상
유해가스 선택적 흡착 및 분리 기술				30 mmol/g
인체 유해 중금속 흡착 소재 기술				1mol/L 이하

* 출처 : 자체작성

(2) 기술개발 목표

- ☐ 최종 중소기업 기술로드맵은 기술/시장 니즈, 연차별 개발계획, 최종목표 등을 제시함으로써 중소기업의 기술개발 방향성을 제시

[환경정화(MOF 등) 소재 핵심기술 연구목표]

핵심기술	기술 요구사항	연차별 개발목표			최종목표	연계 R&D 유형
		1년차	2년차	3년차		
환경정화소재 복합구조체 설계 기술	비표면적	3000~ 4000 m ² /g	4000~ 5000 m ² /g	5000~ 5500 m ² /g	5300~6000 m ² /g	산학연
흡착성능이 우수한 MOF 대량 생산 기술	시공간 수율 (STY)	20kgm ⁻³ sec ⁻¹ 이상	60kgm ⁻³ sec ⁻¹ 이상	100kgm ⁻³ sec ⁻¹ 이상	120kgm ⁻³ sec ⁻¹ 이상	산학연
유해가스 선택적 흡착 및 분리 기술	이산화탄소 흡착량	10 mmol/g	20 mmol/g	25 mmol/g	30 mmol/g	산학연
인체 유해 중금속 흡착 소재 기술	As ⁵⁺ 흡착용량	10mol/L이하	5mol/L 이하	3mol/L 이하	1mol/L 이하	산학연

다. 중소기업 기술개발 전략

- ☐ 세계 최고 수준의 표면적을 갖는 다공성 소재 생산 및 응용 기술로서 응용 분야에 따른 다양하고 우수한 MOF 다공체를 설계, 개발, 제작, 검증하여 국내 화학, 환경, 식품, 바이오산업의 경쟁력 강화
- ☐ 오염물질 제거 성능과 품질향상에 따라 가격경쟁력을 통한 글로벌 진출 확대
- ☐ 핵심 소재 기술 및 응용 기술개발을 통한 시장 확대
- ☐ 중소기업 특화 유해 물질 저감 기술 및 제품 개발을 통해 신시장 개척 및 공급망 다변화 구축