

최종보고서(일반과제용)								보안등급	
								일반[✓], 보안[]	
중정기관양행명	국토교통부			사업명	사업명	국토교통기술촉진연구사업			
전문기관명	국토교통과학기술진흥원				내역사업명	국토교통기술혁신연구 (기반연구 유형)			
공고번호	공고-제05호			연구개발과제번호		20CTAP-C157292-01			
국가과학기술 표준분류	EI0408	40%	EH0102	30%	EH0104	30%			
연구주제	(대분류) 친환경 생활공간 조성 기술 개발		(중분류) 온실가스·미세먼지 제로 인프라		(소분류) CO ₂ ·미세먼지 흡착·제거 건설재료				
연구개발과제명	국문	태양광 활용 극대화 광산화/광열전환 융합촉매 기반 미세먼지 전구체 제거용 건설·복합재료 개발							
	영문	Development of Construction Materials for the Removal of Fine Dust Precursors based on Hybrid Photocatalysts of Photo-oxidation/Photo-thermal Conversion Catalyst for Harnessing Full Solar Spectrum							
주관연구기관	기관명	연세대학교 산학협력단			사업자등록번호	110-82-10500			
	주소	(우:03722) 서울특별시 서대문구 연 세로 50(신촌동, 연세대학교)			법인등록번호	274171-0006247			
주관연구책임자	성명	김형일			직위	조교수			
	연락처	직장전화	02-2123-2798		휴대전화	010-2513-9489			
		전자우편	hi.kim@yonsei.ac.kr		국가연구자번호	11096935			
연구개발기간	전체	2020. 04. 13 - 2021. 12. 31(1년 9개월)							
	1년차	2020. 04. 13 - 2020. 12. 31(9개월)							
	2년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(1년)							
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금 자립자립체 기타()		합계		연구개발비 외 지원금	
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물		
	총계	370,000			-	-	370,000		370,000
	1년차	160,000			-	-	160,000		160,000
	2년차	210,000			-	-	210,000		210,000
공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고			
	역할	기관유형							
공동연구기관	한국산업기술시험원	박찬규	책임연구원	010-7196-2292	parkcg@ktl.re.kr	공동	정부출연연		
연구개발담당자 실무담당자	성명	이민형			직위	연구원			
	연락처	직장전화	02-2123-7281		휴대전화	010-6691-4070			
		전자우편	mh_l@yonsei.ac.kr		국가연구자번호	12403015			

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재
처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022 년 04 월 11 일

연구책임자 : 연세대학교 김형일

주관연구개발기관의 장 : 연세대학교 산학협력단 김지현 (직인)

공동연구개발기관의 장 : 한국산업기술시험원 김세종

국토교통과학기술진흥원장 귀하

본 서식은 「국가연구개발혁신법」 시행('21.01.01) 이전에 최종 협약하여 '21.01.01 이후에 최종평가를 시행하는 일반과제용 입니다.

< 요약 문 >

사업명		국토교통기술촉진연구사업		연구개발과제번호		20CTAP-C157292-01		
내역사업명		국토교통기술혁신연구						
국가과학기술표준분류		EI0408	40%	EH0102		30%	EH0104	30%
연구주제		(대분류) 친환경 생활공간 조성 기술 개발		(중분류) 온실가스·미세먼지 제로 인프라		(소분류) CO ₂ ·미세먼지 흡착·제거 건설재료		
연구개발과제명		태양광 활용 극대화 광산화/광열전환 융합촉매 기반 미세먼지 전구체 제거용 건설·복합재료 개발						
전체 연구개발기간		2020. 04. 13 - 2021. 12. 31(1년 9개월)						
총 연구개발비		총 370,000 천원 (정부지원연구개발비 : 370,000 천원)						
연구개발단계		기초[] 응용[✓] 개발[] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도		착수시점 기준(2) 종료시점 목표(4)		
연구개발과제 유형		지정공모 [] 자유공모 [✓]						
연구개발과제 특성		기반연구						
연구개발 목표 및 내용	최종 목표		1) 광산화 기술효과 극대화를 위한 고효율 가시광촉매 및 광열전환 융합촉매 개발 2) 미세먼지전구체 제거용 극대화를 위한 융합촉매 코팅/고정화 기술 개발 3) 태양광 활용 극대화 광산화/광열전환 융합촉매 기반 미세먼지전구체 제거용 건설 및 복합재료 개발					
	전체 내용		○ 고효율 가시광촉매 및 고효율 광열전환촉매 개발 - 광산화 기술효과 극대화를 위한 고효율 가시광촉매 개발 - 단파장 및 장파장대 빛에너지 활용을 극대화한 고효율 광열전환촉매 개발 ○ 다공성 광산화/광열전환 융합촉매 코팅/고정화 기술 개발 - 지지체 및 코팅기술을 이용한 고효율 다공성 융합촉매 고정화 기술 개발 - 미세먼지전구체 제거용 실내공기 정화필터 제조 - 개발한 필터의 미세먼지전구체 제거성능 검증 ○ 태양광 활용 극대화를 위한 광산화/광열전환 융합촉매 기반 미세먼지전구체 제거용 시스템 구축 - 태양에너지 전반을 사용하는 광산화/광열전환촉매 융합화 설계 및 최적 합성방법 확립 - 광산화/광열전환 융합촉매를 활용한 실내공기정화효율 확보 및 융합촉매 안정성 확보					
	1년차	목표	○ 광산화 기술효과 극대화를 위한 고효율 가시광촉매 개발 ○ 단파장 및 버려지는 장파장대(가시광선, 적외선) 빛에너지 활용을 극대화한 고효율 광열전환촉매 개발 ○ 미세먼지 전구체 흡착을 극대화를 위한 융합촉매 다공성 구조화 방법 개발					
		내용	○ 광산화 기술효과 극대화를 위한 고효율 가시광촉매 개발 - 국내외 광에너지/열에너지 기반 촉매소재 개발분야의 연구현황 문헌 조사 및 스크리닝 - 전자전달, 구조 표면 특성 개질을 통한 고효율 광촉매 디자인 - 다양한 조촉매 활용과 촉매자체의 구조개선을 통한 광촉매 성능 향상 - 미세먼지 전구체 제거용 실험장비 구축 및 기존 상용 촉매와의 비교평가 ○ 단파장 및 버려지는 장파장대(가시광선, 적외선) 빛에너지 활용을 극대화한 고효율 광열전환촉매 개발					

			- 미세먼지전구체 제거효율 극대화를 위한 고효율 광열전환촉매 후보군 스크리닝 및 선정 - 광열전환촉매 후보군의 특성 평가 (대기오염물질 분해능 실험, 표면분석, 온도발생량, 전자전달력 등) 및 개질을 통한 고효율 광열전환촉매 개발 - 금(Au), 이산화 규소(SiO2) 를 사용해 만든 촉매(SiO2-Au@SiO2)에 Solar simulator 를 활용해서 태양광을 조사하면 열을 발생, 금속산화물(Metal oxide) 광열전환능력 확인 ○ 미세먼지 전구체 흡착을 극대화를 위한 융합촉매 다공성 구조화 방법 개발 - 광촉매 고정 가능한 지지체에 대한 문헌 조사 및 성능 검토 - 기공제어 지지체로 활용하여 표면에 광촉매를 직접적 성장 및 고정화 방법 최적화 - 온도 및 계면활성제등의 첨가에 따른 기공 및 배열 구조 제어 - 출발물질 조성 변화 및 금속산화물의 양에 따른 조건 최적화 ○ 개발된 다공성 광산화/광열전환 융합 촉매 표면분석 및 유해가스 제거율 평가 - 최종 물질 특성 평가 (BET 표면분석, XRD 분석) - 광산화/광열전환 융합 촉매를 고정화 하여 활성도 개선 - 고정 전후 융합촉매를 비교하여 유해가스 제거율 비교 분석																																								
2년차	목표		○ 태양에너지 활용 극대화를 위한 광산화 및 광열전환촉매의 융합화 ○ 태양에너지 전반 활용 미세먼지 전구체 제거 기술 개발 ○ 개발한 광산화/광열전환 융합촉매의 최적화 및 안정성 향상 ○ 광산화/광열전환 융합촉매 필터 코팅 기술 개발 ○ 광산화/광열전환 융합촉매 코팅 필터 기반 미세먼지전구체 시험 설계 및 성능 정량화																																								
	내용		○ 태양에너지 활용 극대화를 위한 광산화 및 광열전환촉매의 융합화 - 태양에너지 전반을 사용하는 광산화 및 광열전환촉매의 융합화 설계 및 최적 합성방법 확립 ○ 태양에너지 전반 활용 미세먼지 전구체 제거 기술 개발 - 태양에너지 모사 광조사 시스템 활용 실제 다양한 미세먼지 전구체 제거 성능 평가 ○ 개발한 광산화/광열전환 융합촉매의 최적화 및 안정성 향상 - 광산화/광열전환 융합촉매를 활용한 실내공기정화효율 확보 및 촉매의 반응 메커니즘 분석을 통한 안정성 확보 - 단독 광산화 시스템 대비 전환촉매 효율 30% 이상 개선 ○ 광산화/광열전환 융합촉매 필터 코팅 기술 개발 - 필터 코팅 기술 개발 최적화 - 코팅용액 최적화 및 최적 촉매 조성의 확보 ○ 광산화/광열전환 융합촉매 코팅 필터 기반 미세먼지전구체 시험 설계 및 성능 정량화 - 광촉매 유해가스 제거 성능 평가 시스템 구축 - 유해가스 분해성능 분석 및 자외선과 가시광선의 광촉매 효과 확인 - 광촉매 재활용 횟수에 따른 유해가스제거율의 감소를 측정하여 안정성 평가를 통한 광촉매 필터 최적화																																								
연구개발성과			○ 정량적 연구개발성과 <table><tr><th colspan="2">구분</th><th>1차년도</th><th>2차년도</th><th>계</th></tr><tr><td rowspan="3">국외논문 게재</td><td>SCI</td><td>2</td><td>3</td><td>5</td></tr><tr><td>비SCI</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>계</td><td>2</td><td>3</td><td>5</td></tr><tr><td rowspan="3">국내논문 게재</td><td>SCI</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>비SCI</td><td>1</td><td></td><td>1</td></tr><tr><td>계</td><td>1</td><td></td><td>1</td></tr><tr><td rowspan="2">특허출원</td><td>국내</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>국외</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	구분		1차년도	2차년도	계	국외논문 게재	SCI	2	3	5	비SCI				계	2	3	5	국내논문 게재	SCI				비SCI	1		1	계	1		1	특허출원	국내	1	2	3	국외			
구분		1차년도	2차년도	계																																							
국외논문 게재	SCI	2	3	5																																							
	비SCI																																										
	계	2	3	5																																							
국내논문 게재	SCI																																										
	비SCI	1		1																																							
	계	1		1																																							
특허출원	국내	1	2	3																																							
	국외																																										

	계	1	2	3
특허등록	국내		1	1
	국외			
	계		1	1

○ 정성적 연구개발성과

년도	세부 연구목표	세부 연구개발 내용	평가목표 및 착안점
1차년도 (2020년)	고효율 가시광촉매 개발	광산화 및 가시광촉매 관련 자료조사(선행논문, 선행기술, 논문, 특허 등)	-
		광산화 기술효과 극대화를 위한 고효율 가시광촉매 개발 및 최적화 디자인	가시광촉매 2종 이상 개발 및 촉매 특성 분석 [표면분석, 전자전달력, 미세먼지전구체 물질(VOC 2종 이상) 제거실험]
	고효율 광열전환촉매 개발 및 테스트용 실험/평가 시스템 구축 (Lab scale 한정 등)	단파장 및 버려지는 장파장대(가시광선, 적외선) 빛에너지 활용을 극대화한 고효율 광열전환촉매 개발	광열전환촉매 개발 및 특성분석 (광활성도, 온도발생량 등)
		광열전환촉매 실험/평가 시스템 구축 (Lab scale 한정 등)	가시광촉매 2종 이상 개발 및 촉매 특성 분석 [표면분석, 전자전달력, 미세먼지전구체 물질(VOC 2종 이상) 제거실험]
	미세먼지 전구체 흡착을 극대화를 위한 융합촉매 다공성 구조화 방법 개발	광산화/광열전환 융합촉매 고정화 관련 자료조사	-
		기공제어 지지체 이용한 광촉매 고정화 기술 개발 및 최적화	기공제어 지지체 이용한 광촉매 제조 (지지체 2종이상 실험)
2차년도 (2021년)	공성 광산화/광열전환 융합촉매 표면분석 및 유해가스 제거율 평가	최종 물질 특성 평가 (BET 표면분석, XRD 분석)	기공제어 지지체 이용한 광촉매 제조 후 비표면적 증가율 >10%이상
		고정 전후 융합촉매를 비교하여 유해가스 제거율 비교 분석	유해가스 제거율 측정 후 활성도 비교(촉매활성도 제시)
	가시광촉매와 광열전환촉매를 결합한 융합광촉매 기반 미세먼지 전구체 광산화 제거기술 개발 및 실험/평가 시스템 최적화 (lab scale 한정 등)	융합촉매 hybrid-system 기술 개발 및 최적화	광산화/광열전환 융합촉매 개발 및 디자인
		융합촉매 표면 특성평가(비표면적)	광산화/광열전환 융합촉매 결합기술 확립 및 촉매 특성 분석 [표면분석, 전자전달력, 미세먼지전구체 물질(CA 인증 표준유해물질 및 질소산화물 중 2종이상) 제거실험]
	융합촉매 기반 hybrid-system 성능 향상 및 안정성 평가	융합촉매 기반 hybrid-system 성능향상 및 이를 이용한 실내 공기정화효율 확보	미세먼지 전구체 물질 (CA 인증 표준유해물질 및 질소산화물 중 2종 이상) 제거율 90% 이상
		융합촉매의 반응 메커니즘 분석을 통한 안정성 확보	안정성 평가
	광산화/광열전환 융합촉매 코팅 기술 개발을 통한 필터화	코팅용액 최적화 및 최적 촉매 조성의 확보	코팅액에 따른 X-선 회절분석을 통한 결정성 확인
		광산화/광열전환 융합촉매 코팅 기술 개발 및 최적화	SEM 분석 및 비표면적 분석을 통한 표면 거칠기 확인 및 코팅 두께 최적화
	개발된 다공성 광산화/광열전환 융합촉매 필터화 및 표준 유해가스 제거율 평가	다공성 광산화/광열전환 융합촉매 필터 기반 표준유해가스 제거 시험 설계	유해가스 제거 성능 평가 시스템 구축
		표준유해가스 제거 성능 정량화	유해가스 분해성능 분석 및 자외선과 가시광선의 광촉매 효과 확인

연구개발성과
활용방안 및
기대효과

- 활용계획 : 본연구과제의 결과를 바탕으로 미세먼지전구체 제거성능을 최적화 할 수 있는 융합촉매 기반 hybrid-system 을 개발하여 상용화를 위한 후속연구개발을 진행 할 것이며, 경제성 있는 결과가 도출될 경우 사업화 추진 예정
- 활용분야 : 정부 실내공기질관리 정책과 연계하여 본 기술을 이용한 실내공기오염원 발생 시 제거 및 저감 기술로 적용 가능

	○ 기대효과 : 미세먼지전구체 제거성능 및 신뢰성이 향상된 광산화/광열전환 융합촉매의 핵심기술 연구개발을 통해 국가적인 과제인 미세먼지 저감을 위한 효율적인 융합촉매 기반 광산화기술 개발											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당없음											
연구개발성과의 등록· 기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설· 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	5	3										
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장 소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	미세먼지 전구체		광산화		광열전환촉매			휘발성유기화합 물		태양에너지		
영문핵심어 (5개 이내)	fine dust precursors		photo-oxidation		photothermal catalyst			volatile organic compounds (VOCs)		solar energy		

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	01
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	04
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	41
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)	51
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	51
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	51
7. 참고 문헌	51

별첨자료(성과 증빙자료 등)

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

○ 고효율 가시광촉매와 광열전환촉매를 결합한 광산화/광열전환 융합촉매 기반 미세먼지 전구체 광산화 제거 기술 개발

- 미세먼지 전구체 물질 (CA인증 표준유해물질 및 질소산화물 중 2종 이상) 90% 이상 제거 (CA인증 표준유해물질 : 포름알데하이드, 아세트알데하이드, 톨루엔, 암모니아, 초산)
- 단독 광산화 혹은 열전환 촉매 시스템 대비 융합촉매 효율 30% 이상 개선

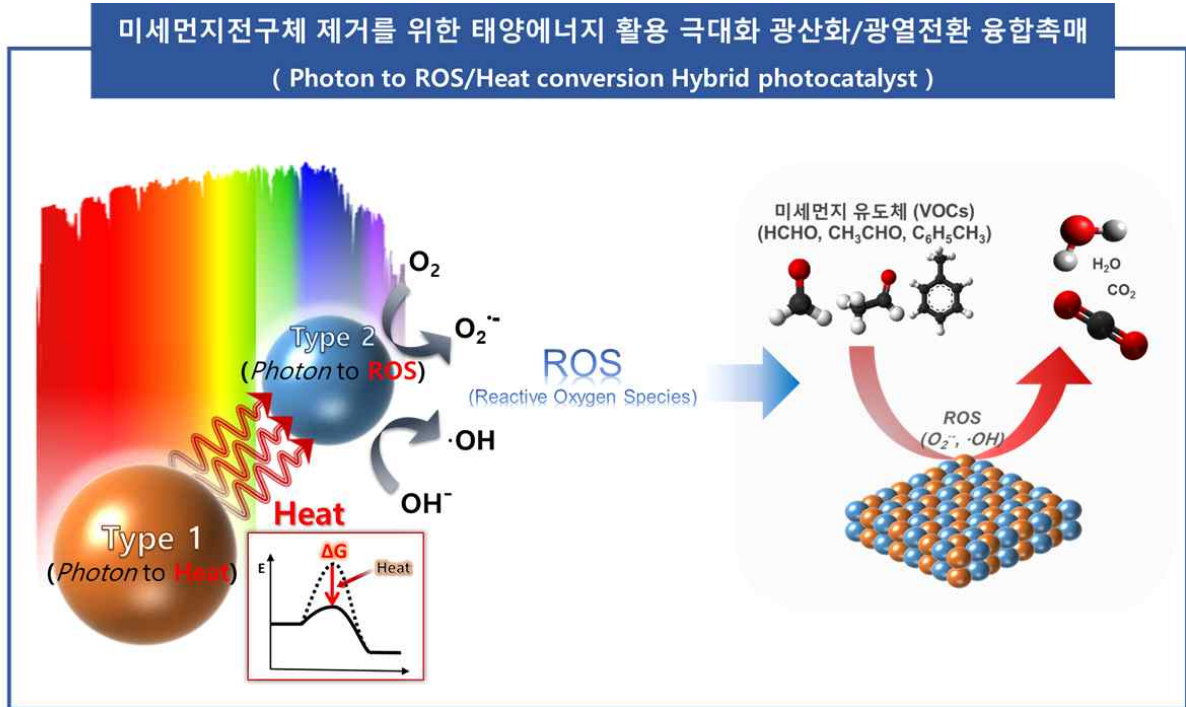


그림 1. 미세먼지 전구체 제거를 위한 태양에너지 활용을 극대화한 융합촉매

○ 미세먼지 전구체 제거를 극대화를 위한 융합촉매 기반 지지체/코팅 방법 개발 및 표준 유해가스 제거시험 설계/성능 정량화

- 1차년도에는 기공제어 지지체로 활용하여 표면에 광산화/광열전환 융합촉매를 직접적 성장 및 고정화시켜, 촉매활성 파장영역을 (NIR) 영역까지 확장할 수 있는 기술 개발.
- 고정화 된 광산화/광열전환 융합촉매 표면적 10% 향상 및 유해가스 제거율 70% 이상
- 2차년도에는 광산화/광열전환 융합촉매 코팅 기술 개발 최적화 및 표준 유해가스제거 시험 설계 기술 확보
- 광산화/광열전환 융합촉매 코팅 필터 기반 미세먼지전구체 제거 성능 80%이상 달성

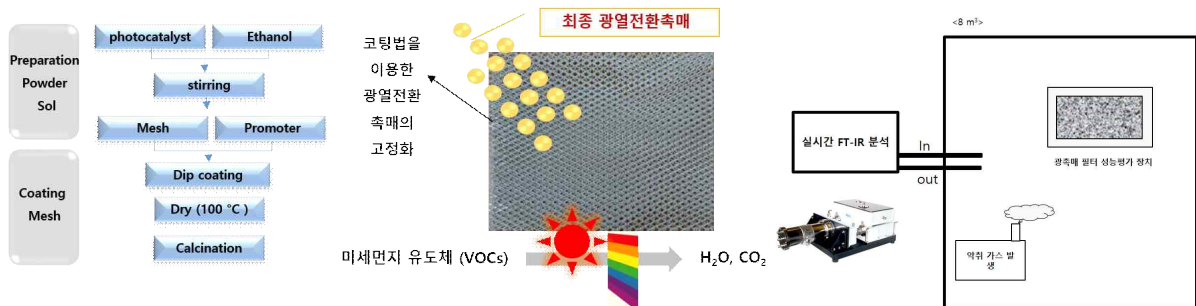


그림 2. 코팅법을 활용한 광산화/광열전환 융합 촉매 고정화 기술 개발 및 표준유해가스 제거시험 설계/성능 정량화 모식도

2) 연구개발과제의 연차별 목표

1) 1차년도

○ 광산화 기술효과 극대화를 위한 고효율 가시광촉매 개발

- 국내외 광에너지/열에너지 기반 촉매소재 개발분야의 연구현황 문헌 조사 및 스크리닝
- 전자전달, 구조 표면 특성 개질을 통한 고효율 광촉매 디자인
- 다양한 조촉매 활용과 촉매자체의 구조개선을 통한 광촉매 성능 향상
- 미세먼지 전구체 제거용 실험장비 구축 및 기존 상용 촉매와의 비교평가

○ 단파장 및 버려지는 장파장대(가시광선, 적외선) 빛에너지 활용을 극대화한 고효율 광열전환촉매 개발

- 미세먼지전구체 제거효율 극대화를 위한 고효율 광열전환촉매 후보군 스크리닝 및 선정
- 광열전환촉매 후보군의 특성 평가 (대기오염물질 분해능 실험, 표면분석, 온도발생량, 전자전달력 등) 및 개질을 통한 고효율 광열전환촉매 개발

○ 미세먼지 전구체 흡착을 극대화를 위한 융합촉매 다공성 구조화 방법 개발

- 기공제어 지지체로 활용하여 표면에 광촉매를 직접적 성장 및 고정화 방법 최적화
- 온도 및 계면활성제등의 첨가에 따른 기공 및 배열 구조 제어
- 출발물질 조성 변화 및 금속산화물의 양에 따른 조건 최적화

2) 2차년도

○ 태양에너지 활용 극대화를 위한 광산화 및 광열전환촉매의 융합화

- 태양에너지 전반을 사용하는 광산화 및 광열전환촉매의 융합화 설계 및 최적 합성방법 확립

○ 태양에너지 전반 활용 미세먼지 전구체 제거 기술 개발

- 태양에너지 모사 광조사 시스템 활용 실제 다양한 미세먼지 전구체 제거 성능 평가

○ 개발한 광산화/광열전환 융합촉매의 최적화 및 안정성 향상

- 광산화/광열전환 융합촉매를 활용한 실내공기정화효율 확보 및 촉매의 반응 메커니즘 분석을 통한 안정성 확보
- 단독 광산화 시스템 대비 전환촉매 효율 30% 이상 개선

○ 광산화/광열전환 융합촉매 필터 코팅 기술 개발

- 필터 코팅 기술 개발 최적화
- 코팅용액 최적화 및 최적 촉매 조성의 확보

○ 광산화/광열전환 융합촉매 코팅 필터 기반 미세먼지전구체 시험 설계 및 성능 정량화

- 광촉매 유해가스 제거 성능 평가 시스템 구축
- 유해가스 분해성능 분석 및 자외선과 가시광선의 광촉매 효과 확인
- 광촉매 재활용 횟수에 따른 유해가스제거율의 감소를 측정하여 안정성 평가를 통한 광촉매 필터 최적화

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2020)	고효율 광산화촉매 및 광열전환촉매 개별 개발	광산화 기술효과 극대화를 위한 고효율 가시광촉매 개발 (UV + Visible light 활용)	국내 : 70~90 (Pt/WO3) 국외 : 90/China (WO3 기준)	가시광촉매 개발 2종 이상 실험 / 미세먼지 전구체 물질 (VOC 2종 이상)제거율 90% 이상	SEM,XRD 분석 / GC-FID 분석	12.5
		단파장 및 버려지는 장파장대(가시광선, 적외선)빛에너지 활용을 극대화한 고효율 광열전환촉매 개발 (NIR light 활용)	-	광열전환촉매 개발 2종 이상 실험 / 미세먼지 전구체 물질 (VOC 2종 이상)제거율	SEM,XRD 분석, 열화상카메라, 적외선카메라 / GC-FID 분석	12.5

2년차 (2021)	미세먼지 전구체 흡착을 극대화를 위한 융합촉매 다공성 구조화 방법 개발	기공제어 지지체 이용한 광산화/광열전환 융합촉매 고정화 기술 개발	-	90% 이상 지지체 개발 기공크기 6-7nm / 고정화 후 기공크기 변화율 <15%이하	질소흡착 등온선을 통한 PSD 분석 ,XRD	15
		고정화 된 광산화/광열전환 융합촉매 성능 평가		고정화 된 융합촉매의 흡수파장 범위 및 분포확인 / VOCs 제거율 60 % 이상	TEM 및 UV VIS spectrum analysis / FT-IR 및 GC 분석	10
	태양에너지 활용 극대화를 위한 광산화 및 광열전환촉매의 융합화/최적화 및 안정성 향상	태양에너지 전반을 사용하는 광산화 및 광열전환촉매의 융합화 설계 및 최적 합성방법 확립	-	융합 hybrid-system 기술개발 및 최적화 / 융합촉매 특성평가(비표 면적, 전자전달력, 안정성 등)	SEM,XRD 분석	15
		개발한 광산화/광열전환 융합촉매를 활용한 실내공기정화효율 확보 및 안정성 향상		단독 광산화 시스템 대비 VOCs 및 질소산화물 중 2종 이상 제거율 30% 이상 개선 / 5회 재활용 30% 감소	GC-FID 분석	10
	광산화/광열전환 융합 촉매 코팅 필터 기반 미세먼지 유도체 제거 시험 설계 및 표준유해가스 제거율 분해성능 정량화	광산화/광열전환 융합 촉매 코팅 기술개발	-	코팅제 개발 2종 이상실험 / 필터 표면 특성평가 코팅 두께 확인	SEM,XRD 분석	10
		융합촉매필터 성능 평가		VOCs 제거율 표준유해가스 제거율 70%이상 / 5회이상 제거율 테스트	RT FT-IR	15

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

2-1. 연구개발 추진전략 · 방법

- 본 연구를 수행함에 있어 주관기관 및 공동연구기관은 각각의 맡은 부분에 대한 연구를 진행하며, 각 연구진행상황에 맞게 협력하여 연구를 진행함.
- 주관연구기관인 연세대에서는 1차년도에 지속가능하고 효과적인 미세먼지 전구체 제거를 위해 광산화 기술효과 극대화를 위한 고효율 가시광촉매와 광열전환촉매를 각각 개발하였음. 2차년도에는 태양에너지 활용 극대화를 위한 광산화 및 광열전환촉매의 융합화, 개발한 융합촉매의 최적화 및 안정성 향상을 연구/개발하였음. 최종적으로 광산화/광열전환 융합촉매를 활용한 실내공기정화효율 확보 및 단독 광산화 시스템 대비 융합촉매 효율 30% 이상 개선목표를 달성함.
- 공동연구기관인 한국산업기술시험원은 1차년도에 지지체 및 코팅기술을 이용하여 고효율 다공성 광산화/광열전환 융합 촉매 고정화 기술을 개발하며, 이를 이용하여 실내 공기정화 적용 가능한 미세먼지 전구체 제거를 위한 필터를 제조하였음. 2차년도에는 개발된 필터의 미세먼지 전구체(유해가스) 제거 성능 검증을 수행하여 실험 결과를 주관기관에 제공함. 이를 통해 고효율 광산화/광열전환 융합 촉매 기반 시스템의 최적이용 방안을 연구하였음.

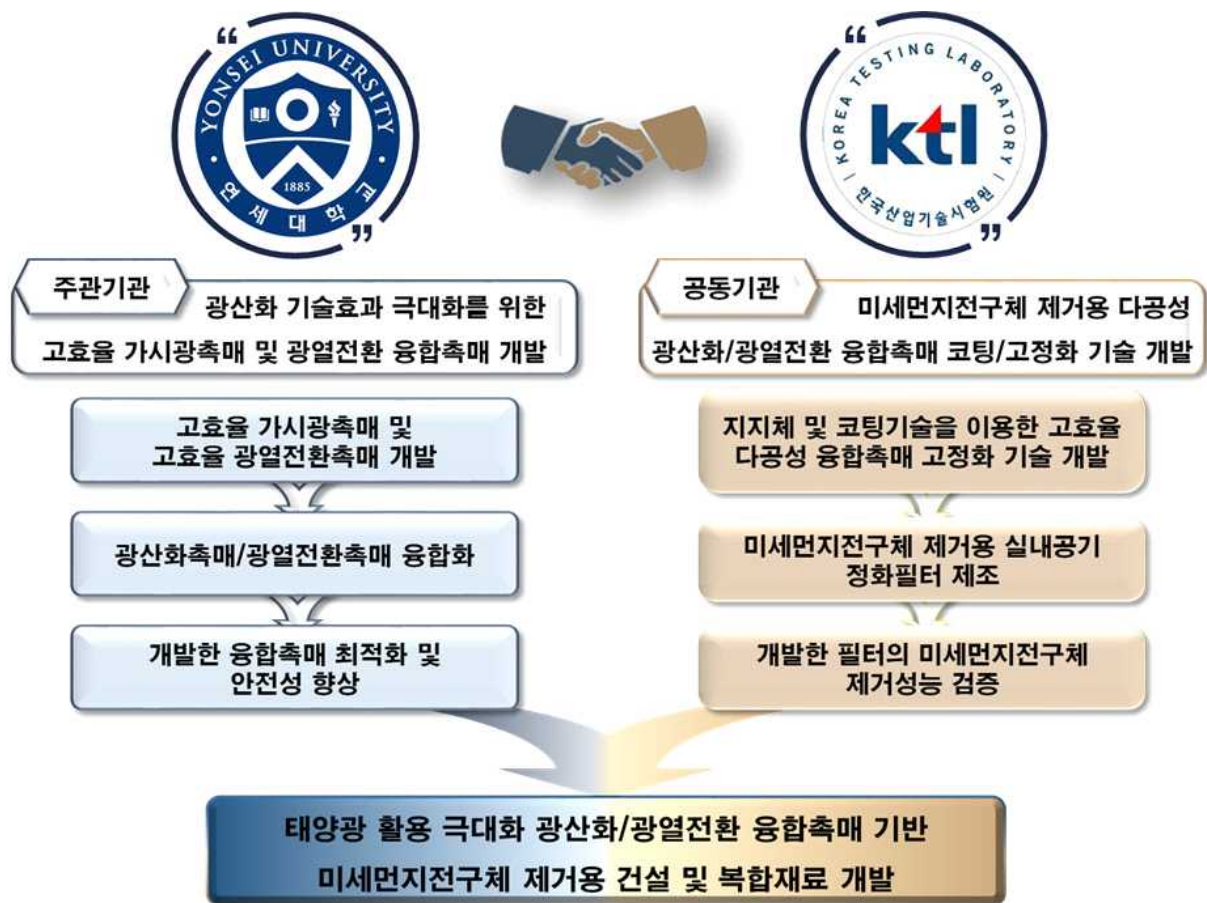


그림 3. 연구개발 추진 전략 및 방법

2-2. 연구개발 추진체계

연구개발과제		총 참여 연구원
(총괄)과제명	태양광 활용 극대화 광산화/광열전환 융합촉매 기반 미세먼지 전구체 제거용 건설·복합재료 개발	주관연구책임자 (김형일)외 총 9명

기관별 참여 현황		
구 분	연구기관수	참여연구원수
대 기 업		
중견기업		
중소기업		
대 학	1	6
국공립(연)		
출 연 (연)	1	4
기 타		

연세대학교 산학협력단
광산화 기반 미세먼지전구체 제거성능 극대화를 위한 고효율 가시광촉매 및 광열전환 융합촉매 개발
연구책임자명 (김형일)외 5명
담당기술개발내용
- 태양에너지 활용을 극대화한 고효율 광산화/광열전환 융합촉매 기반 미세먼지전구체 제거용 건설/복합재료 개발 - 광산화 기술효과 극대화를 위한 고효율 가시광촉매 개발 - 광열전환촉매 소재 선정 및 개발 (촉매표면흡착특성 및 전자전달능력 등 광에너지 평가) - 광산화/광열전환 융합촉매 개발 및 특성평가 (표면분석, 전자전달력, 기체상 VOCs, NOx, SOx 제거 실험진행) - 실내대기오염물질 제거 목표 달성 및 촉매 안정성 확보

한국산업기술시험원
다공성 광산화/광열전환 융합촉매 코팅/고정화 기술 개발
연구책임자명 (박찬규)외 3명
담당기술개발내용
- 지지체 활용하여 표면에 광산화/광열전환 융합촉매 직접적 성장 및 고정화시켜, 촉매활성 파장영역을 (NIR) 영역까지 확장할 수 있는 기술 개발 - 코팅 기술 개발 최적화 및 필터 기반 유해가스제거 시험 설계 기술 개발 - 광산화/광열전환 융합촉매를 코팅하기 위한 분말+졸겔 조성의 코팅액을 제조하고, 이를 활용한 코팅기술을 다양화하여 광촉매의 성능을 안정적으로 제어할 수 있는 기술 개발 - 개발된 다공성 광산화/광열전환 융합촉매 필터화 및 표준 유해가스 제거율 평가 수행(KS C 9314:2019)

2-3. 추진일정

1차년도															
일련 번호	연구내용	추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	국내외 광에너지/열에너지 기반 촉매소재 개발 분야의 연구현황 문헌조사													5,000	김형일 (연세대)
2	국내외 미세먼지 전구체 제거용 광촉매 선행기술/특허 동향 분석													5,000	김형일 (연세대)
3	미세먼지전구체 제거효율 극대화를 위한 광산화촉매 및 광열전환촉매 후보군 스크리닝 및 선정													5,000	김형일 (연세대)
4	기존 상용 촉매와의 비교평가 및 특성분석 시행													5,000	김형일 (연세대)
5	선정된 광촉매 및 광열전환촉매 후보군의 촉매특성 평가													10,000	김형일 (연세대)
6	고효율 가시광촉매 개발 및 디자인													30,000	김형일 (연세대)
7	고효율 광열전환촉매 개발 및 최적화													30,000	김형일 (연세대)
8	국내외 광산화/광열전환 융합촉매 고정 가능한 지지체에 대한 문헌 조사 및 성능 검토													5,000	박찬규 (KTL)
9	광산화/광열전환 융합촉매의 내구성 및 활성화 성능 극대화를 위한 지지체 후보군 선정													30,000	박찬규 (KTL)
10	온도 및 계면활성제등의 첨가에 따른 기공 및 배열 구조 제어													5,000	박찬규 (KTL)
11	고정 전후의 특성 비교													10,000	박찬규 (KTL)
12	출발물질 조성 변화 및 금속산화물의 양에 따른 조건 최적화													10,000	박찬규 (KTL)
13	고정화 된 광열전환촉매특성평가 및 유해가스 제거율 평가													10,000	박찬규 (KTL)
2차년도															
1	광산화촉매 및 광열전환촉매 결합기술개발 및 최적합성방법 확립													40,000	김형일 (연세대)
2	융합촉매 성능테스트 (표면분석, 전자전달력, VOC 제거율 등)													25,000	김형일 (연세대)
3	융합촉매 성능향상 및 안정성 평가													20,000	김형일 (연세대)

4	융합촉매기반 미세먼지 전구체 제거용 hybrid-system 구축 (Lab scale)													35,000	김형일 (연세대)
5	광산화/광열전환 융합촉매 코팅기술개발 및 최적화													20,000	박찬규 (KTL)
6	광산화/광열전환 융합촉매 코팅 필터 기반 표준 유해가스 제거 시험 설계													20,000	박찬규 (KTL)
7	광산화/광열전환 융합촉매 코팅 필터 기반 표준유해가스 제거 성능 정량화													20,000	박찬규 (KTL)
8	광산화/광열전환 융합촉매 코팅 필터 기반 표준유해가스 제거 안정성 평가													30,000	박찬규 (KTL)

2-4. 연구개발 수행과정 및 내용

구분 (연도/ 단계)	세부 과제명	세부 연구목표	연구결과																																																																						
주관기관 1차년도 (2020년)	고효율 광산화촉 매 및 광열전환 촉매 개발개발	광산화 기술 효과 극대화를 위한 고효율 가시광촉매 개발 (UV + Visible light 활용)	해당 목표 평가 착안점 - 고효율 광산화촉매 개발 (UV + Visible light 활용) 및 해당 촉매를 통한 미세먼지전구체 제거율 95 % 이상 달성 ○ 국내외 광에너지/열에너지 기반 촉매소재 개발분야의 연구현황 문헌조사 <table border="1"> <thead> <tr> <th></th><th>Photocatalyst</th><th>Target</th><th>Reference</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="8">Novel metal based</td><td>Ag/TiO₂</td><td>Acetaldehyde</td><td>Q. Zeng. et al.</td></tr> <tr> <td>Pt,N-TiO₂</td><td>Acetaldehyde</td><td>W. Kim. et al.</td></tr> <tr> <td>Pt/LaVO₄/TiO₂</td><td>Benzene</td><td>F. Jialin. et al.</td></tr> <tr> <td>Pd/TiO₂</td><td>Formaldehyde</td><td>H. Huang. et al.</td></tr> <tr> <td>Pt/TiO₂-OH</td><td>Formaldehyde</td><td>Jiaguo Yu. et al.</td></tr> <tr> <td>(Pt, Pd, Rh, Cu, Mn) - TiO₂</td><td>Formaldehyde</td><td>Jiaxi Peng. et al.</td></tr> <tr> <td>F-TiO₂/Pt</td><td>Toluene</td><td>W. Choi. et al.</td></tr> <tr> <td>WO₃, Pt/WO₃</td><td>4-CP (aqueous)</td><td>W. Choi. et al.</td></tr> <tr> <td rowspan="2">Metal based</td><td>ND/WO₃</td><td>Acetaldehyde</td><td>W. Choi. et al.</td></tr> <tr> <td>Ti(IV)- Fe(III) or Cu(II) Grafted TiO₂</td><td>IPA</td><td>Liu et al.</td></tr> <tr> <td>Non-metal based</td><td>N-TiO₂</td><td>Benzene</td><td>L. Zeng. et al.</td></tr> <tr> <td>Carbon based</td><td>WO₃+CDs</td><td>Rh B (aqueous)</td><td>Zharhu Guo. et al.</td></tr> <tr> <td>Hydrophilic surface modification</td><td>H-TiO₂ H-C-TiO₂</td><td>Formaldehyde</td><td>Wulin Song. et al.</td></tr> <tr> <td>Composite</td><td>BiVO₄/TiO₂</td><td>Benzene</td><td>Y. Hu. et al.</td></tr> <tr> <td rowspan="2">Thermal Catalyst</td><td>Ti₂O₃</td><td>60 °C</td><td>Juan Wang et al.</td></tr> <tr> <td>CeO₂/TiO₂</td><td>NOx 250 ~ 400 °C</td><td>Xiaojang Yao, et al.</td></tr> <tr> <td>Photo+ Thermal Condition</td><td>PtO-PdO/TiO₂</td><td>NO UV light +120 °C</td><td>Jeffrey C., et al.</td></tr> <tr> <td rowspan="2">Photo-Thermal Catalyst</td><td>Pt-rGO/TiO₂</td><td>Toluene</td><td>Juan-JuanLi, et al.</td></tr> <tr> <td>Pt/γ-Al₂O₃</td><td>Toluene</td><td>Hong-Peng Ja, et al.</td></tr> </tbody> </table> - 광에너지 기반 촉매 연구현황 조사결과, 단일광촉매 TiO₂에 조촉매와 합성하여 활용한 연구가 많이 이뤄짐 - Pt를 조촉매로 활용한 Pt-TiO₂ 와 탄소양자점을 조촉매로 활용하여 가시광촉매 WO₃ 와 결합한 광촉매 - 비귀금속 조촉매 구리(copper, Cu)를 활용하여 TiO₂의 가시광선 감응촉매로의 개질 - 열에너지 기반 촉매 연구현황 조사결과, 광열전환촉매인 Ti₂O₃ 와 귀금속 조촉매인 Pt를 열촉매로 활용한 연구		Photocatalyst	Target	Reference	Novel metal based	Ag/TiO ₂	Acetaldehyde	Q. Zeng. et al.	Pt,N-TiO ₂	Acetaldehyde	W. Kim. et al.	Pt/LaVO ₄ /TiO ₂	Benzene	F. Jialin. et al.	Pd/TiO ₂	Formaldehyde	H. Huang. et al.	Pt/TiO ₂ -OH	Formaldehyde	Jiaguo Yu. et al.	(Pt, Pd, Rh, Cu, Mn) - TiO ₂	Formaldehyde	Jiaxi Peng. et al.	F-TiO ₂ /Pt	Toluene	W. Choi. et al.	WO ₃ , Pt/WO ₃	4-CP (aqueous)	W. Choi. et al.	Metal based	ND/WO ₃	Acetaldehyde	W. Choi. et al.	Ti(IV)- Fe(III) or Cu(II) Grafted TiO ₂	IPA	Liu et al.	Non-metal based	N-TiO ₂	Benzene	L. Zeng. et al.	Carbon based	WO ₃ +CDs	Rh B (aqueous)	Zharhu Guo. et al.	Hydrophilic surface modification	H-TiO ₂ H-C-TiO ₂	Formaldehyde	Wulin Song. et al.	Composite	BiVO ₄ /TiO ₂	Benzene	Y. Hu. et al.	Thermal Catalyst	Ti ₂ O ₃	60 °C	Juan Wang et al.	CeO ₂ /TiO ₂	NOx 250 ~ 400 °C	Xiaojang Yao, et al.	Photo+ Thermal Condition	PtO-PdO/TiO ₂	NO UV light +120 °C	Jeffrey C., et al.	Photo-Thermal Catalyst	Pt-rGO/TiO ₂	Toluene	Juan-JuanLi, et al.	Pt/γ-Al ₂ O ₃	Toluene	Hong-Peng Ja, et al.
	Photocatalyst	Target	Reference																																																																						
Novel metal based	Ag/TiO ₂	Acetaldehyde	Q. Zeng. et al.																																																																						
	Pt,N-TiO ₂	Acetaldehyde	W. Kim. et al.																																																																						
	Pt/LaVO ₄ /TiO ₂	Benzene	F. Jialin. et al.																																																																						
	Pd/TiO ₂	Formaldehyde	H. Huang. et al.																																																																						
	Pt/TiO ₂ -OH	Formaldehyde	Jiaguo Yu. et al.																																																																						
	(Pt, Pd, Rh, Cu, Mn) - TiO ₂	Formaldehyde	Jiaxi Peng. et al.																																																																						
	F-TiO ₂ /Pt	Toluene	W. Choi. et al.																																																																						
	WO ₃ , Pt/WO ₃	4-CP (aqueous)	W. Choi. et al.																																																																						
Metal based	ND/WO ₃	Acetaldehyde	W. Choi. et al.																																																																						
	Ti(IV)- Fe(III) or Cu(II) Grafted TiO ₂	IPA	Liu et al.																																																																						
Non-metal based	N-TiO ₂	Benzene	L. Zeng. et al.																																																																						
Carbon based	WO ₃ +CDs	Rh B (aqueous)	Zharhu Guo. et al.																																																																						
Hydrophilic surface modification	H-TiO ₂ H-C-TiO ₂	Formaldehyde	Wulin Song. et al.																																																																						
Composite	BiVO ₄ /TiO ₂	Benzene	Y. Hu. et al.																																																																						
Thermal Catalyst	Ti ₂ O ₃	60 °C	Juan Wang et al.																																																																						
	CeO ₂ /TiO ₂	NOx 250 ~ 400 °C	Xiaojang Yao, et al.																																																																						
Photo+ Thermal Condition	PtO-PdO/TiO ₂	NO UV light +120 °C	Jeffrey C., et al.																																																																						
Photo-Thermal Catalyst	Pt-rGO/TiO ₂	Toluene	Juan-JuanLi, et al.																																																																						
	Pt/γ-Al ₂ O ₃	Toluene	Hong-Peng Ja, et al.																																																																						

○ 미세먼지 전구체 제거용 실험장비 구축 및 기존 상용 촉매와의 비교평가

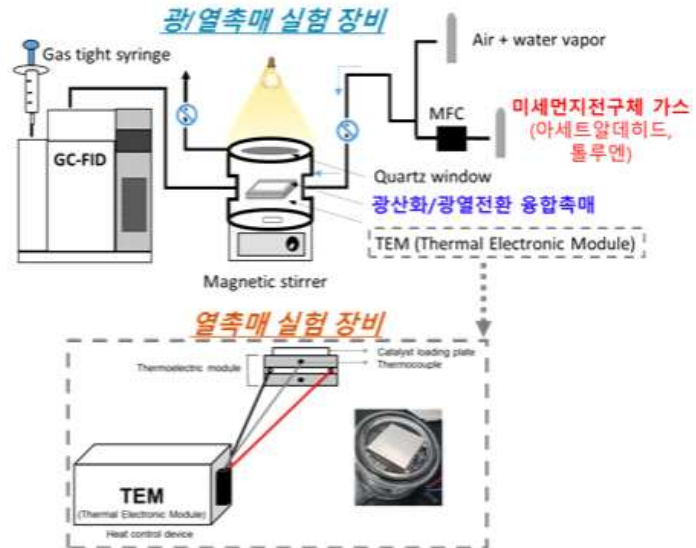


그림 4. 미세먼지전구체 제거용 실험장비 모식도

- 광에너지 및 열에너지를 이용하는 미세먼지전구체(VOCs) 제거 실험장비 구축

○ 기존상용 TiO_2 의 구조 표면 특성개질 및 조촉매 Pt를 활용한 광촉매 성능 향상

- 기존상용 TiO_2 (P25)와 촉매적 특성을 비교하기 위해, TiO_2 (anatase, rutile, and brookite) 금속산화물 촉매들을 직접 합성 및 제조
- 각 촉매들의 빛흡광도 측정 및 촉매특성분석 후, 미세먼지전구체 (아세트알데하이드) 제거실험 진행

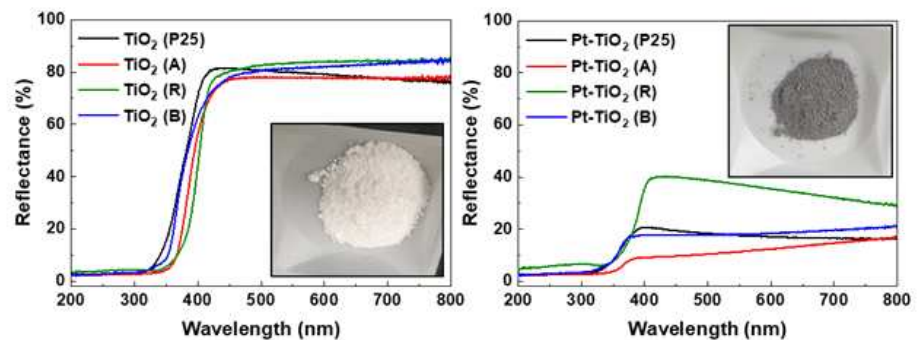


그림 5. DRS-UV-vis 분석법을 활용한 TiO_2 금속산화물 촉매들과 Pt- TiO_2 금속산화물 촉매들의 빛흡광도 측정 (A:anatase TiO_2 , R: rutile TiO_2 , B:brookite TiO_2)

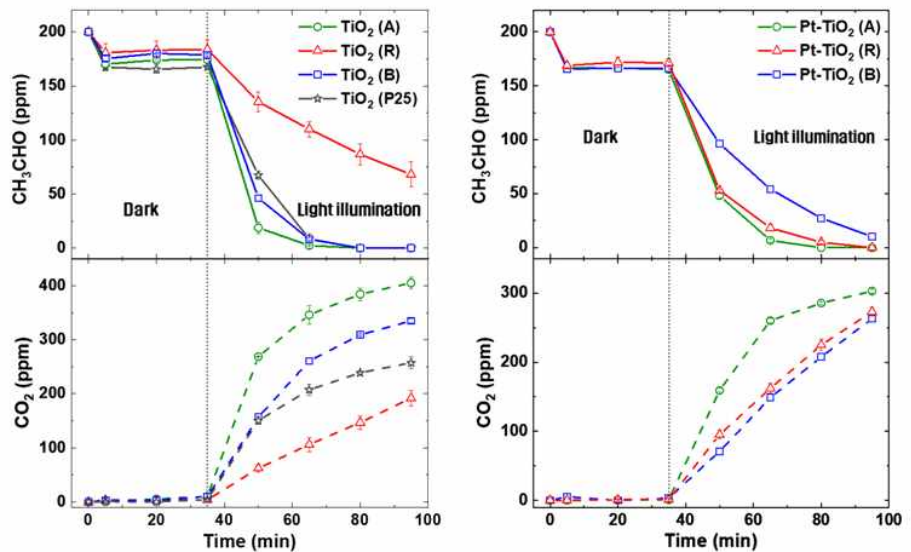


그림 6. TiO_2 의 형태 및 구조개질을 통한 (Pt-) TiO_2 촉매들의 광촉매적 미세먼지전구체 (아세트알데하이드, CH_3CHO) 분해능 비교

- Pt 합성촉매의 경우 태양광빛을 사용하는 photodeposition method 활용
- TiO_2 의 구조특성 개질(Anatase, Rutile and Brookite)을 통한 광촉매 성능 향상 (기존상용 광촉매 P25와 비교하였을 때 anatase TiO_2 와 brookite TiO_2 가 광촉매로써 더 좋은 미세먼지전구체 제거성능을 보임)
- 극소량 Pt(0.1 wt.%)를 조촉매로 활용하여 TiO_2 광활성도 향상
- Pt를 조촉매로 활용한 Pt- TiO_2 촉매들의 미세먼지전구체 제거실험 결과, 마찬가지로 anatase TiO_2 가 가장 좋은 아세트알데하이드 산화-제거 능력을 보임

○ TiO_2 의 구조개질 및 조촉매 Pt를 활용하여 광촉매 Pt- TiO_2 의 열촉매로써 활용가능성 확인

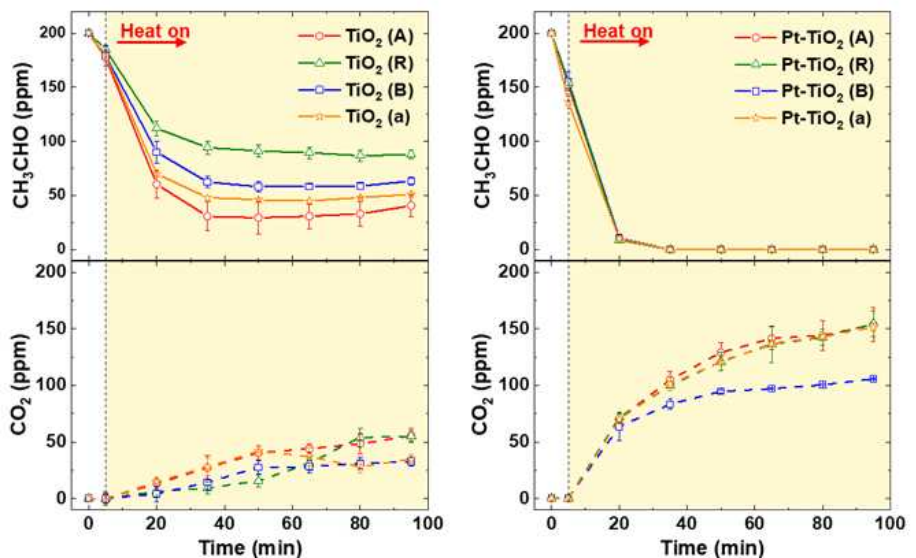


그림 7. (Pt-) TiO_2 금속산화물 촉매들의 열촉매적인 아세트알데하이드(CH_3CHO) 제거성능 비교 (열에너지 : 120도)

- TiO_2 금속산화물에 따라 열에너지에 대한 각각 다른 반응성을 보였으며, anatase TiO_2 가 가장 좋은 미세먼지전구체 제거성능을 보임

- 조촉매로써 Pt를 활용한 경우, 미세먼지전구체 제거성능은 모든 촉매에서 우수하였으나 voc를 무해한 CO₂로 산화시키는 능력은 차이를 보임

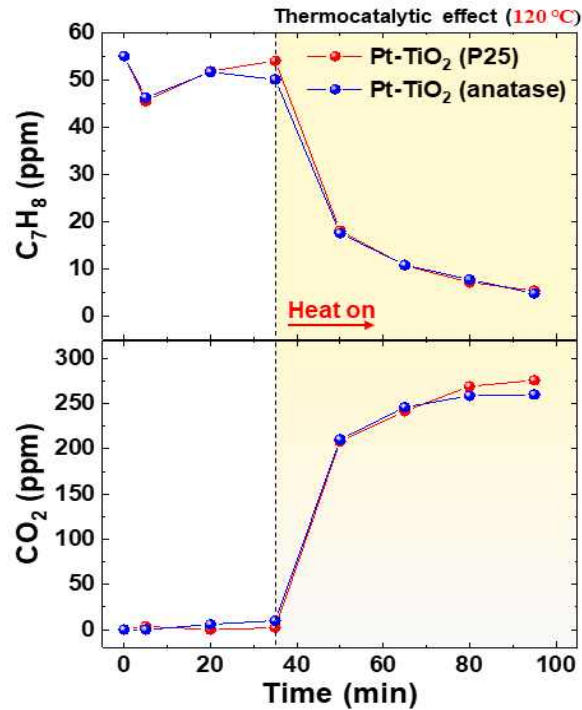


그림 8. Pt-TiO₂ 촉매의 열촉매적인 톨루엔 (C₇H₈) 분해성능 비교 (열에너지 : 120도)

- 미세먼지전구체인 VOC 중 아세트알데하이드와 다른 또 하나의 대표 물질인 톨루엔(C₇H₈)을 선정하여 실험 진행
- 톨루엔의 경우, 아세트알데하이드보다 복잡한 구조와 더 많은 탄소결합으로 이루어져 있어서 완전히 제거하는데 있어 큰 에너지가 요구됨
- Pt-TiO₂ 금속산화물 촉매들의 결과에서 금속산화물 종류에 따른 제거성능 차이는 보이지 않았지만, 모든 촉매에서 톨루엔 90% 이상 제거하는 결과를 보임
- Pt-TiO₂ 촉매를 열촉매적으로 사용하여 톨루엔을 효과적으로 산화-제거하는 결과를 보임에 따라 실내공기오염물질 제거관련 촉매소재 연구에 큰 도움이 될 것으로 보임

○ 비귀금속 조촉매(탄소양자점, 구리) 활용

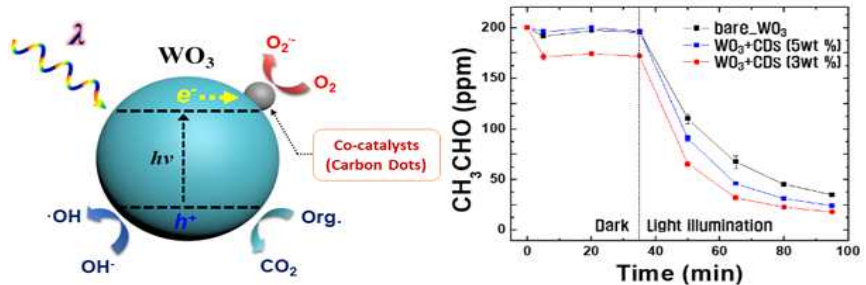


그림 9. 탄소양자점을 조촉매로 활용한 WO₃의 가시광활성도 상승

- 탄소기반 조촉매인 탄소양자점(Carbon Dots, CDs)을 조촉매로 활용하여 단일광촉매 WO₃ 대비 가시광활성도 향상 확인
- 탄소양자점의 WO₃ 대비 무게분율(weight percent)을 조절하면서 미세먼

지전구체 흡착 및 산화능력 비교분석 진행하였음

- 빛에너지를 받은 광촉매로부터 여기된 전자(electron)가 탄소양자점에 의해서 수명시간이 길어지고 미세먼지전구체 제거에 큰 역할을 하는 활성산소종(reactive oxygen species, ROS) 생성이 큰 기여를 함

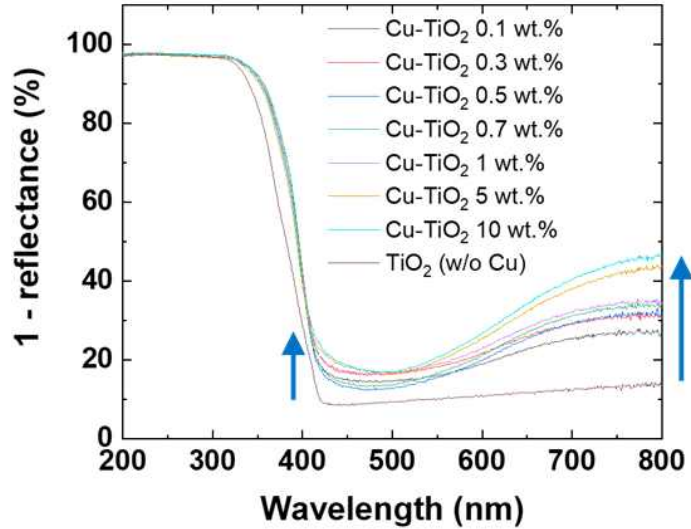


그림 10. DRS-UV-vis 분석법을 활용한 Cu-TiO₂의 빛흡광도 측정

- 단순한 impregnation 합성법을 통해 다양한 weight percent의 비귀금속 조촉매인 구리(Cu)와 TiO₂ 가시광촉매 합성
- Cu의 함량 wt%가 커질수록 400-450 nm 파장 사이의 광활성도가 증가하는 것을 확인
- 가시광선 파장대 (400-800 nm)에서의 향상된 광활성을 통해 가시광촉매로서의 활용가능성 확인

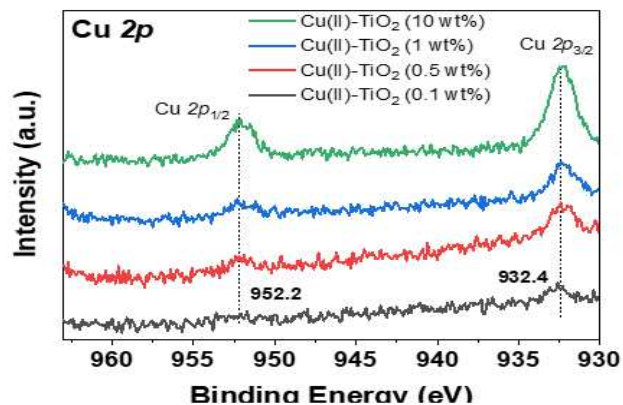


그림 11. Cu-TiO₂ 촉매의 Cu wt%에 따른 XPS Cu 2p 분석

- Cu-TiO₂ 가시광촉매의 XPS 분석을 통해 Cu의 wt%가 증가할수록 Cu를 나타내는 peak(952.2 eV and 932.4 eV)가 증가하는 결과를 확인
- 원하는대로 Cu wt%가 조절된 Cu-TiO₂ 촉매들의 Cu 함량에 따른 미세먼지전구체 제거성능 비교분석을 진행함

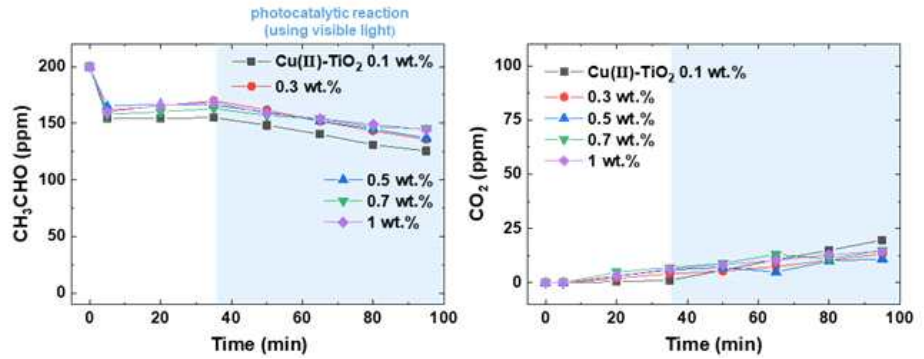


그림 12. Cu-TiO₂의 구리 함량에 따른 광촉매적 미세먼지전구체 (아세트알데하이드) 제거성능 비교

- White LED(visigle light)에서 Cu-TiO₂의 Cu 함량에 따른 광촉매적 CH₃CHO 제거성능 비교실험 진행
- Cu의 함량이 커질수록 제거성능이 감소하는 것을 확인하였고 그 이유로 합성된 Cu가 양이 많아지면 TiO₂표면의 active sites를 가리는 것에 의함
- Cu를 합성한 이후에 가시광선 활성도가 증가하였지만, 단일 빛에너지만으로는 미세먼지전구체 완전제거와 무해한 CO₂로 전환시키는 능력은 부족함 확인

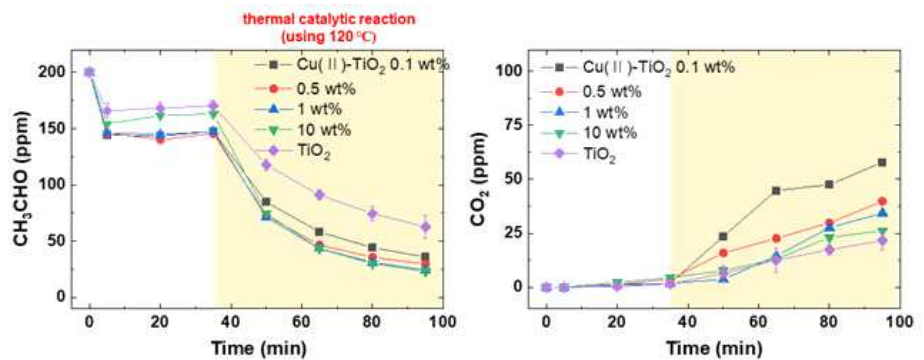


그림 13. Cu-TiO₂의 구리 함량에 따른 열촉매적 미세먼지전구체 (아세트알데하이드) 제거성능 비교

- 비귀금속 조촉매 구리를 활용한 가시광촉매 Cu-TiO₂의 열촉매로써의 미세먼지전구체 제거 활용가능성 확인
- Cu 함량이 많을수록 아세트알데하이드 흡착-제거하는 성능은 향상되었지만, 반대로 Cu 함량이 적을수록 CO₂로의 산화능력은 높았음
- 이를 통해, 적절한 함량의 Cu 조촉매 비율이 중요한 점을 확인하였고, 미세먼지전구체 제거 후 최종산물인 무해한 CO₂ 생성이 더 중요하다고 판단하여 Cu 함량은 0.1 wt%로 정하였음

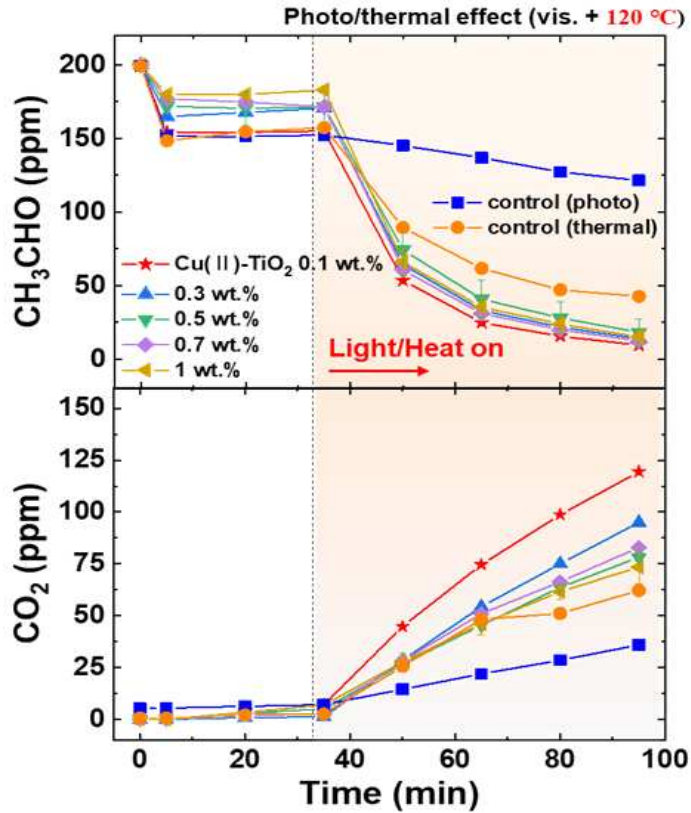


그림 14. Cu-TiO₂의 구리 함량에 따른 광/열 복합에너지를 활용한 미세먼지전구체(아세트알데하이드) 제거성능 비교

- Cu-TiO₂ 촉매에 광열복합에너지(White LED에 의한 가시광에너지와 120도 열에너지)를 통한 아세트알데하이드 제거실험 진행
- 광열복합에너지 하에서 Cu 0.1 wt% 촉매가 가장 뛰어난 아세트알데하이드 흡착제거 성능 뿐만 아니라 산화력에 의한 CO₂ 생성량을 보임
- 이에 따라 이전 결과와 마찬가지로 Cu 0.1 wt%의 함량을 최적화함

단파장 및
버려지는
장파장대(가
시광선,
적외선)빛에
너지 활용을
극대화한
고효율
광열전환촉
매 개발(NIR
light 활용)

○ 광열전환촉매 후보군 Ti₂O₃ 특성평가

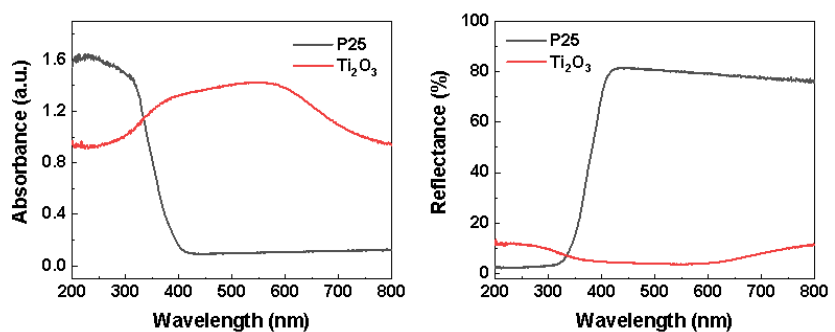


그림 15. 기존 상용 광촉매 TiO₂(P25)와의 빛흡광도 비교분석

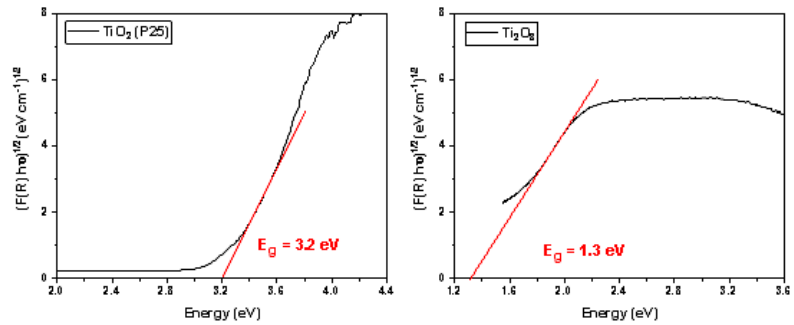


그림 16. 기존 상용 광촉매 $\text{TiO}_2(\text{P25})$ 와 빛흡광도 분석결과에 따른 촉매 고유의 bandgap energy 분석

- 광열전환촉매 후보군 Ti_2O_3 의 빛흡광도 분석 결과, 태양광 전파장대 흡수가 가능함을 확인
- 빛흡광도 결과를 바탕으로 Ti_2O_3 촉매의 고유 bandgap energy 분석결과, 광촉매 TiO_2 와 비교해서 더 작은 1.3 eV의 에너지를 가짐을 확인하였고 이를 통해 가시광선 장파장대 및 적외선 빛영역까지도 활용할 수 있음을 확인함

○ 다양한 광열전환촉매 후보군들의 합성

- 귀금속 금(Au)와 비표면적이 넓은 이산화규소(SiO_2)를 합성한 광열전환촉매 개발
 - 합성방법으로는 calcination과 etching 기법을 주로 활용하였음. 먼저 촉매의 지지체가 되는 tetraethyl orthosilicate (TEOS)로 SiO_2 를 만들고 미리 합성해둔 금 입자(Au particle)을 표면에 합성시킴. 후에 sol-gel coating 방식으로 겔표면을 SiO_2 로 덮어준 뒤, 기 합성했던 촉매속의 SiO_2 를 etching 시킴. 최종적으로 yolk-shell structure를 띄는 Au nanoparticle@ SiO_2 촉매를 개발함. 개발한 광열전환촉매는 SiO_2 로 Au를 보호하며 투과되는 빛의 사용가능성을 크게 증가시키는 장점을 가짐.
 - 해당 powder 촉매를 film 형태로도 제작하여 더욱 사용이 용이한 형태로써 촉매분석 및 광열전환효율 측정에 활용하였음
- 도파민을 활용한 폴리도파민(PDA) 촉매 개발
 - 합성방법으로는 PDA의 전구물질이 되는 dopamine의 oxidation과 self-polymerization 기능을 활용하였음. 먼저 ethanol, distilled water, ammonia aqueous solution을 섞은 뒤, dopamine hydrochloride aqueous solution을 추가하여 30 시간 이상 합성반응을 시킴. dopamine의 자발적인 반응으로 인해 생겨나는 촉매들의 색이 진해지며 최종적으로 PDA 합성을 확인할 수 있음. 개발한 광열전환촉매는 합성이 쉬운 장점이 있으며 다양한 활용가능성을 가지는 장점이 있음.

○ 광열전환촉매 후보군의 특성평가(표면분석, 열 전환효율 등)

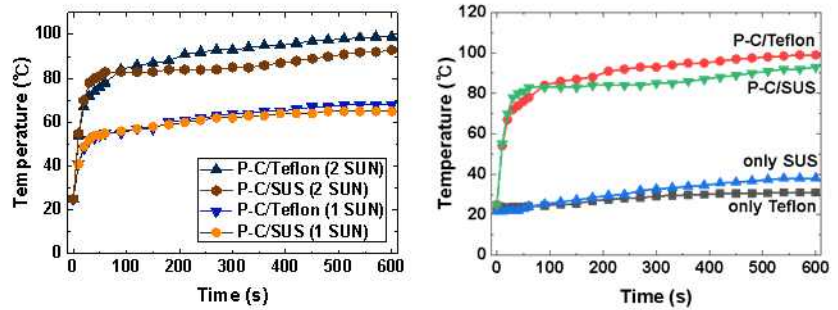


그림 17. 광열전환촉매 Au-SiO₂ film을 활용한 광열전환능력 분석

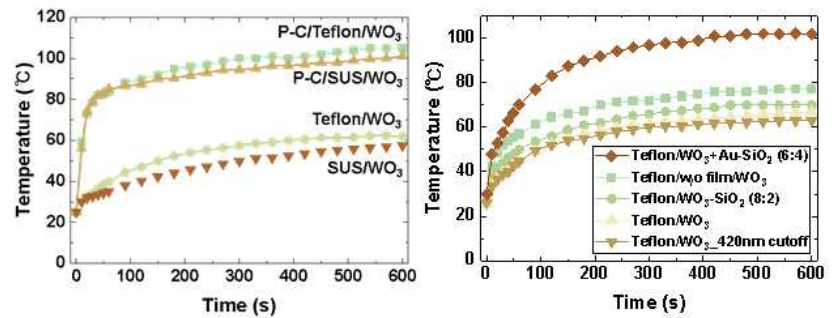


그림 18. 광촉매 WO₃ 와 광열전환촉매 Au-SiO₂ film을 활용한 광열전환능력 분석

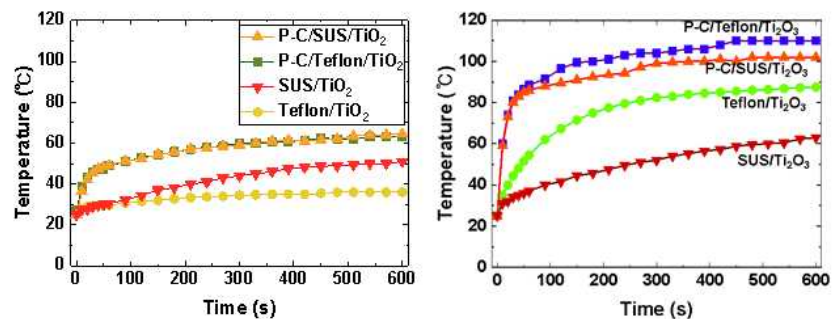


그림 19. 광촉매 TiO₂와 광열전환촉매 Au-SiO₂ film을 활용한 광열전환능력 분석

- 또 다른 광열전환촉매 후보군 Au-SiO₂ 개발촉매를 비롯하여 광촉매 TiO₂와 WO₃을 활용한 광열전환효율 확인 및 표면 열발생량 측정(열화상카메라, 적외선카메라)
- 기존 광촉매로 사용되는 가시광촉매 WO₃의 자체적 광열전환능력 발견
- 태양광모사 빛에너지를 통해 광촉매의 경우, 최대 60℃의 열에너지를 생성하였고 광열전환촉매의 경우, 최대 약 110℃의 열에너지를 생성하였음

○ 금(Au)과 이산화규소(SiO₂)를 합성한 광열전환촉매 및 광촉매 WO₃와 Cu-TiO₂를 융합한 촉매의 광열전환능력 확인

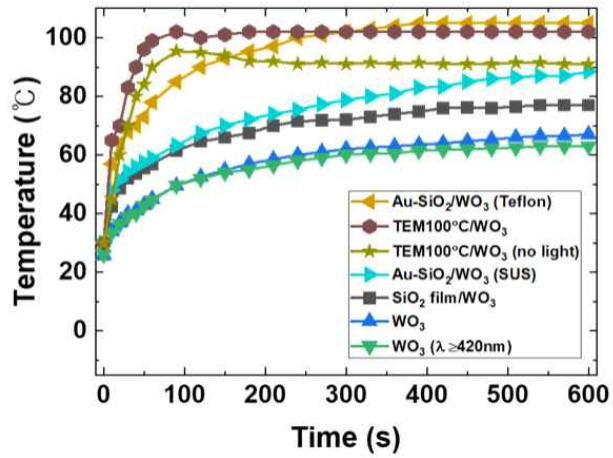


그림 20. 다양한 광산화/광열전환 융합촉매의
광열전환능력 분석

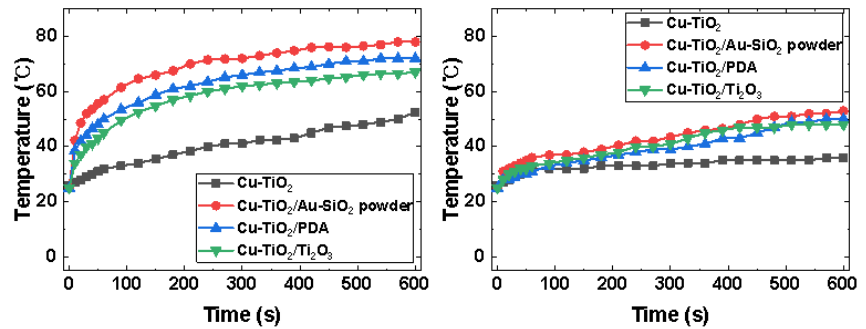


그림 21. 광산화촉매 Cu-TiO₂와 다양한 광열전환 융합촉매의 광열전환능력
분석 (좌 : 2 SUN intensity, 우 : 1 SUN intensity)

- 개발한 광열전환촉매 Au-SiO₂의 광열전환능력 확인
- Au-SiO₂ 촉매가 가지는 요크-셀 구조의 경우, 빛을 흡수한 촉매 내부에서의 높은 빛 축적량(light harvesting) 및 빛 산란률(light scattering)을 통하여 촉매활성도를 높임
- 다양한 광열전환촉매와 가시광촉매를 합성한 융합촉매의 표면온도발생량 분석 및 미세먼지전구체 제거성능, 특성평가 진행

광열전환촉매 (Light intensity: 1 SUN or 2 SUN) (Solar simulator ORIEL LCS-100 사용)		광열전환능력 (온도발생량, °C)	
		1 SUN	2 SUN
laboratory temperature		25	25
w/o catalyst (only light energy)		30	35-38
광촉매	WO ₃	40-45	57-62
	TiO ₂	33-35	46-51
	Cu-TiO ₂	35-36	48-53
광열전환촉매	Ti ₂ O ₃	55-60	73-83
	Au-SiO ₂ (film and powder)	63-65	93-99
	Polydopamine (PDA)	58-62	80-90
광산화/ 광열전환 융합촉매	WO ₃ /Au-SiO ₂ film	70-75	101-105
	WO ₃ /Au-SiO ₂ powder	65-68	90-105
	TiO ₂ /Film	45-50	63-65
	Cu-TiO ₂ /Au-SiO ₂	49-53	70-78
	Cu-TiO ₂ /PDA	48-50	64-72
	Cu-TiO ₂ /Ti ₂ O ₃	43-48	65-69

○ 광열전환촉매 성능확인을 위한 미세먼지전구체 제거실험 진행

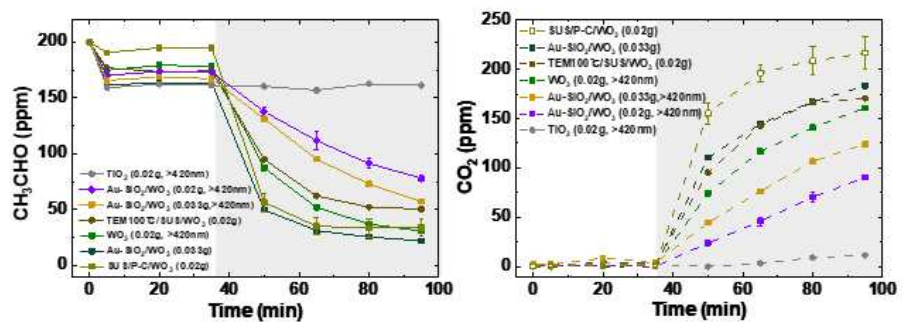


그림 22. 고효율 광산화촉매 및 광열전환촉매를 활용한
미세먼지전구체(아세트알데하이드) 제거실험

- WO₃의 경우, 광열전환촉매 Au-SiO₂와 융합하여 활용한 결과, 미세먼지전구체 제거성능에 있어서 두드러지는 결과를 보이지 않음
- 일반적으로 열에너지가 촉매 활성화에 도움을 주는 이론과 반대의 결과를 보임에 따라, 촉매소재분야 연구에 새로운 발견을 함

주관기관
2차년도
(2021)

태양에너지 활용 극대화를 위한 광산화 및 광열전환촉매의 융합/최적화 및 안정성 향상

태양에너지 전반을 사용하는 광산화 및 광열전환촉매의 융합화 설계 및 최적 합성방법 확립

○ 개발된 광산화 및 광열전환촉매의 융합화 기술 개발

- 태양에너지 전반을 사용하는 광산화 및 광열전환촉매의 융합화 설계 및 최적 합성방법 확립

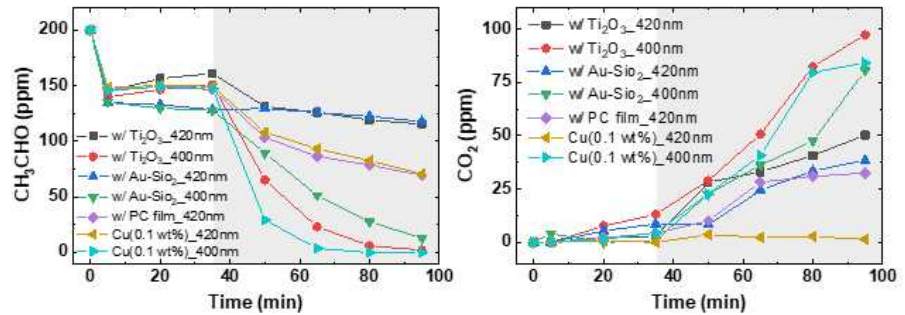


그림 23. 광열전환효과 극대화를 위한 다양한 조건에서의 미세먼지전구체(아세트알데하이드) 제거실험 (solar simulator 2 SUN intensity)

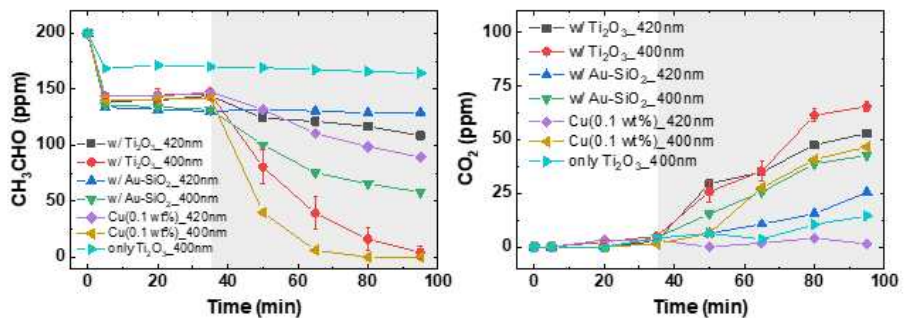


그림 24. 광열전환효과 극대화를 위한 다양한 조건에서의 미세먼지전구체(아세트알데하이드) 제거실험 (solar simulator 1 SUN intensity)

- 촉매 합성방법으로 함침법(impregnation)을 활용하였으며, 광산화촉매 Cu-TiO₂와 다양한 광열전환촉매 (Ti₂O₃, Au-SiO₂, PDA)를 합성 후 융합촉매를 통해 미세먼지전구체(아세트알데하이드) 제거실험을 진행함
- 광열전환촉매의 효과를 극대화하기 위해 자외선 파장대(400 nm 미만)를 제외하는 실험조건으로 진행함
- 아세트알데하이드 흡착은 Au-SiO₂ 광열전환촉매를 융합하였을 때 가장 크게 나타났는데, 그것은 SiO₂ 촉매의 영향으로 인함
- 아세트알데하이드가 산화제거되어 생성되는 최종산출물인 CO₂의 경우, Ti₂O₃를 융합하였을 때 가장 크게 나타남을 확인함
- 다른 융합촉매들의 경우, 미세먼지전구체 성능이 크게 향상되지 않은 결과를 보였는데 그 이유로 합성방법이 최적화되지 않음을 확인
- 이후에 함침법 대신 mechanical mixing을 통해 촉매간의 물리화학적 결합으로 광산화촉매 및 광열전환촉매 각각의 효율을 극대화할 수 있는 방법을 활용함

개발한
광산화/광열
전환
융합촉매를
활용한
실내공기정
화효율 확보
및 안정성
향상

○ 태양에너지 전반 활용 미세먼지 전구체 제거기술 개발 - 광열전환능력이 검증된 광산화/광열전환 융합촉매를 활용한 미세먼지전구체 (아세트알데하이드, 톨루엔) 제거 실험 결과

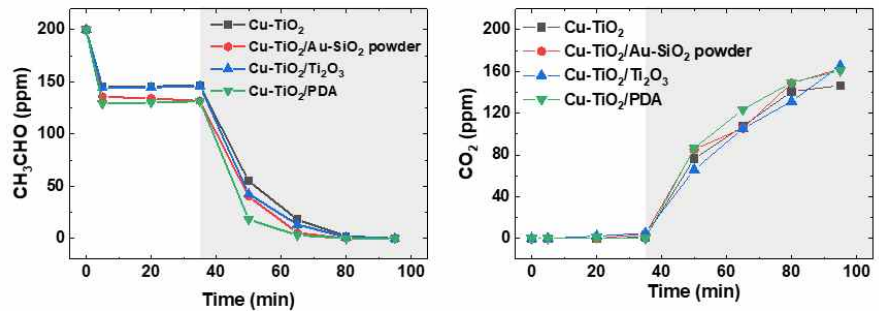


그림 25. 광산화/광열전환 융합촉매를 활용한 미세먼지전구체 (아세트알데하이드) 제거실험

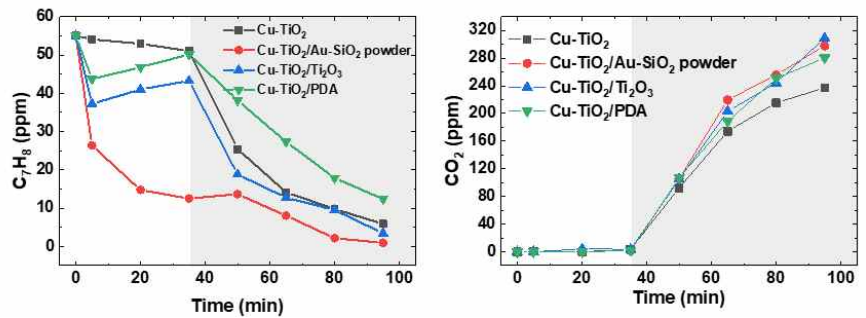


그림 26. 광산화/광열전환 융합촉매를 활용한 미세먼지전구체 (톨루엔) 제거실험

- 고효율 광산화촉매 Cu-TiO₂와 광열전환촉매(Au-SiO₂, Ti₂O₃, PDA) 의 물리화학적 결합으로 합성한 융합촉매로 태양광 전파장대를 활용한 미세먼지전구체 (아세트알데하이드 및 톨루엔) 제거 실험 진행
- 태양광 전파장대를 활용한 실험에서는 이전 실험결과와 다른 결과를 보였으며, 아세트알데하이드에 대한 흡착-산화-제거 능력은 단일광산화촉매 Cu-TiO₂와 비교하여 비슷하였음
- CO₂ 전환능력 또한 융합촉매의 경우 약간의 증가하는 결과를 보였음
- 반면, 또다른 미세먼지전구체인 톨루엔을 제거하는 실험에서는 흡착-산화-제거 능력부터 크게 향상되는 결과를 보였으며 CO₂로 전환하는 능력 또한 향상됨을 확인함
- 아세트알데하이드보다 제거가 어려운 톨루엔을 제거하는 실험결과에서 단일광산화촉매의 부족함이 드러났고, 융합촉매의 필요성이 나타남
- 태양광 전파장대 사용 및 융합촉매의 합성법 변화를 통해 광산화촉매와 광열전환촉매 모두 각각의 최상의 효율을 낼 수 있는 실험환경 조성함

○ 개발한 광산화/광열전환 융합촉매의 최적화 및 안정성 향상

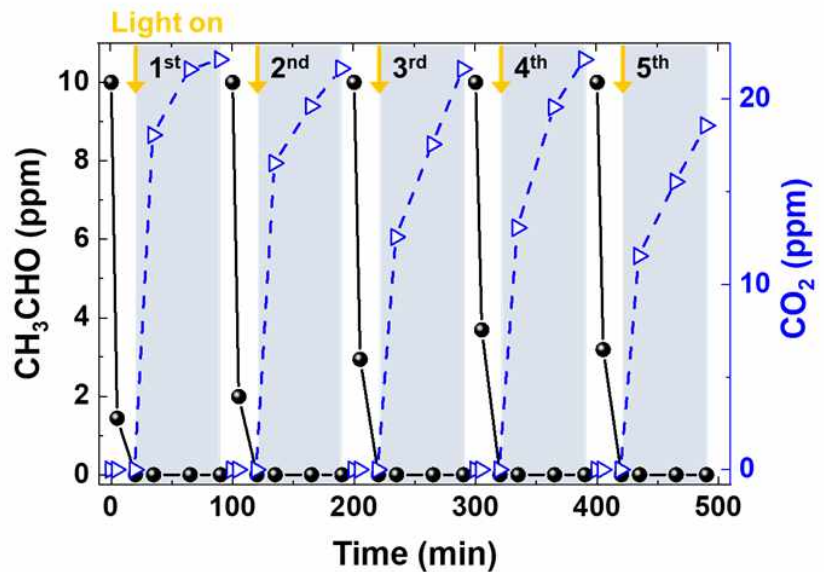


그림 27. 광산화/광열전환 융합촉매(Cu-TiO₂/Au-SiO₂ powder)를 활용한 미세먼지전구체(아세트알데하이드) 5회 반복실험

- 개발된 광산화/광열전환 융합촉매를 활용한 실내공기정화효율 확보 및 촉매의 반응 메커니즘 분석을 통한 촉매안정성 입증(미세먼지전구체 아세트알데하이드 5회 제거 반복실험 및 이후 성능감소 0 %)
- 단독 광산화 시스템 대비 전환촉매 효율 30% 이상 개선 증명

○ 개발한 광산화/광열전환 융합촉매의 실제 실내환경 적용가능성 확인

- 실제 블라인드에 융합촉매를 코팅하여 진행한 미세먼지전구체 제거실험(아세트알데하이드)

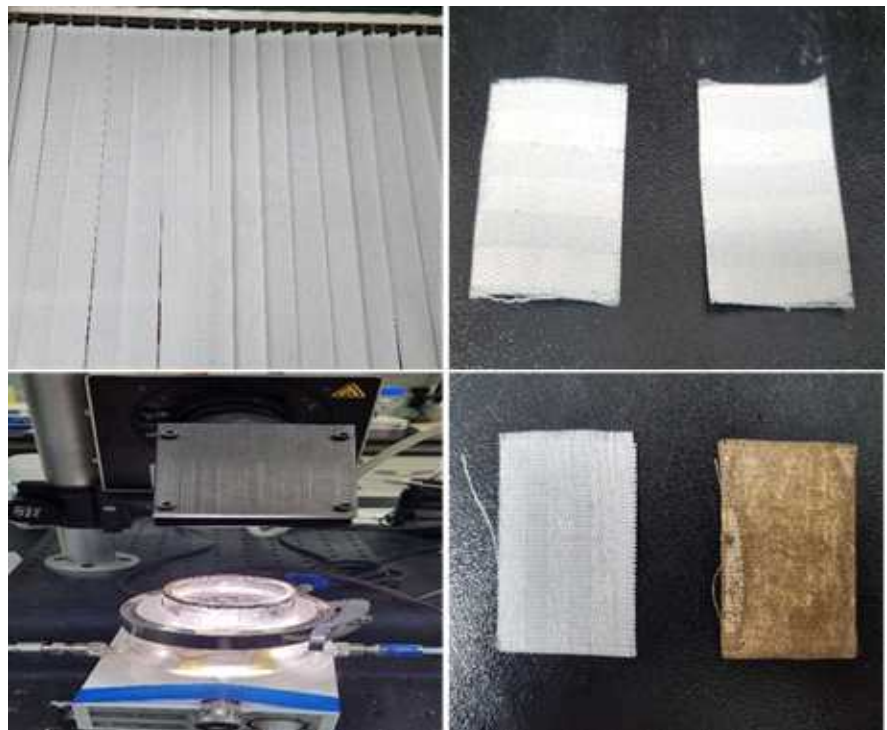


그림 28. (좌측상단부터 시계 방향으로) 실제 사용중인 블라인드, 블라인드 소재 지지체, 오른쪽만 광산화/광열전환 융합촉매 코팅, 코팅한 블라인드를 통한 태양광 활용 미세먼지전구체 제거실험 모습

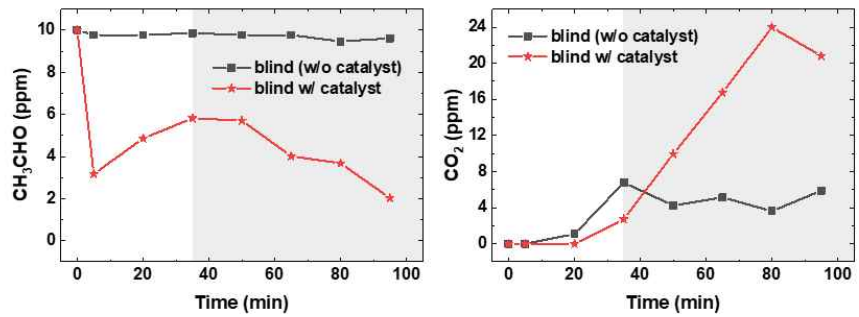


그림 29. 융합촉매를 코팅한 블라인드와 코팅하지 않은 블라인드(대조군)를 활용한 미세먼지전구체 제거실험 결과

- 실제 실험실 블라인드를 적용처로 활용가능성 확인을 위해 같은 소재의 지지체에 광산화/광열전환 융합촉매 코팅
- 융합촉매로는 비귀금속 저비용 Cu-TiO₂/PDA를 사용함으로써 실제 적용하였을 때의 가격적인 측면을 고려함
- 융합촉매를 코팅하지 않은 블라인드 소재의 경우, 태양광 에너지하에서 아세트알데하이드 제거능력이 없었으며 실험결과 발생한 CO₂는 실험적 오차로 판단함
- 융합촉매를 코팅한 블라인드 소재의 경우, 아세트알데하이드에 대한 흡착력이 뛰어났으며 태양광 에너지하에서는 미세먼지전구체를 80% 제거하는 결과를 보였음
- 이에 발생한 CO₂ 농도(빨간선)를 통해 미세먼지전구체가 블라인드 소재에 단순흡착된 것이 아니라 융합촉매에 의해 산화되어 제거됨을 확인함

공동기관
1차년도
(2020년)

미세먼지
전구체
흡착을
극대화를
위한
융합촉매
다공성
구조화
방법
개발

-광산화/광
열전환
융합촉매
고정화 관련
자료조사

-기공제어
지지체
이용한
광촉매
고정화 기술
개발 및
최적화

기공제어 지지체 이용한 광촉매 제조
(지지체 2종이상 실험)
: Hard template와 Soft template를 사용하여 2가지 이상의 다공성 광촉매
개발 및 최적화 (달성도:100 %)

○ 주형합성법을 통한 메조세공 텅스텐 산화물 개발

- 주형합성법을 이용한 메조세공 텅스텐 산화물의 합성법 개발
- SBA-15를 주형으로 활용하여, 메조세공텅스텐 산화물 개발방법 최적화

○ 메조세공을 가진 텅스텐 산화물 합성

1)Hard template (SBA-15) 사용

- P123와 TEOS를 사용하여 SBA-15합성법을 최적화 시킨 후 이를 이용하여 메조세공 텅스텐 산화물을 합성하는 방법 개발

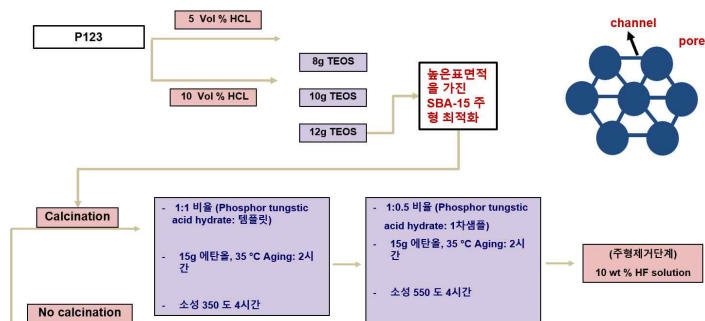


그림 30. Hard template를 이용한 메조세공 텅스텐 산화물의 합성(Hard template법) : SBA-15 사용

- SBA-15를 이용한 Hard template 합성법의 최적화를 위해서 HCl농도와 TEOS농도, 온도, 시간 등을 변화시키면서 합성수행.

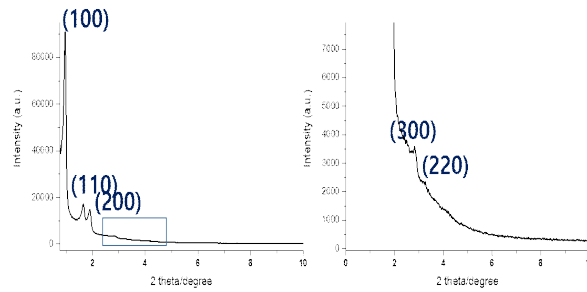


그림 31. SBA-15의 XRD-Pattern

- 제조한 SBA-15 분말의 결정구조 및 결정성을 확인하기 위하여 X-선 회절분석기(XRD)로 분석

- SBA-15의 hexagonal결정모양을 나타내는 (100),(110),(200)등의 결정성이 잘 나타나는 것을 확인.

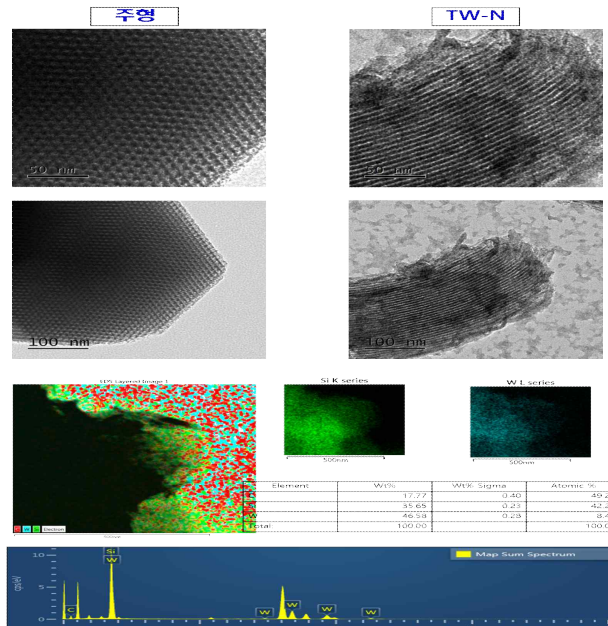


그림 33. SBA-15 및 메조세공 텅스텐 산화물의 TEM 및 EDX 분석

- 주형 제거하기 전에 텅스텐 산화물이 주형에 잘 코팅되었는지 확인하기 위하여 TEM-EDX로 분석

○ 직접합성법을 통한 메조세공 텅스텐 산화물 개발

- P123만 이용하여 메조세공 텅스텐 산화물 개발 및 최적화
- 직접합성법에서는 P123를 Soft template로 활용함.
- P123와 WCl_6 를 사용하여 직접적으로 메조세공 텅스텐 산화물을 합성하는 방법 개발

○ Soft template 사용 : P123 활용

- 직접합성법에서는 P123를 Soft template로 활용함.
- P123와 WCl_6 를 사용하여 직접적으로 메조세공 텅스텐 산화물을 합성하는

		방법. 그림 34. 직접합성법을 이용한 메조세공 텅스텐 산화물의 합성 - 이의 최적화를 위해서 WCl_6의 양, 온도, 시간 등을 변화 시키면서 합성
개발 된 다공성 융합촉매 표면분석 및 유해가스 제거율 분석	고정화 된 광산화/광 열전환 융합촉매 특성평가	기공제어 지지체 이용한 광촉매 제조 후 비표면적 증가율 >10%이상, 기공크기 변화율 <15%이하 : - 최적화 된 방법을 통해서 메조세공을 도입한 광촉매의 경우에는 $228\text{ m}^2\text{g}^{-1}$ 의 높은 비표면적을 가진 것을 확인하였음.(비표면적 증가율 10% 이상임을 확인함) -최적화 된 메조세공 텅스텐 산화물 (W-3)의 경우에는, P123에 의해서 기존의 텅스텐산화물이 형성하는 8.59 nm 세공을 유지하면서 7.3 nm에서 새로운 메조세공이 규칙적으로 형성되었음을 확인함. (기존 텅스텐산화물이 형성한 자체 세공크기 8.59 nm 이며, 기공크기 변화율은 15% 이하임을 확인함) ○ 최종 광산화/광열전환 융합촉매 특성평가 1. XRD 분석 2. BET 분석 3. TEM 4. FT-IR분석 5. UV-VIS 분석

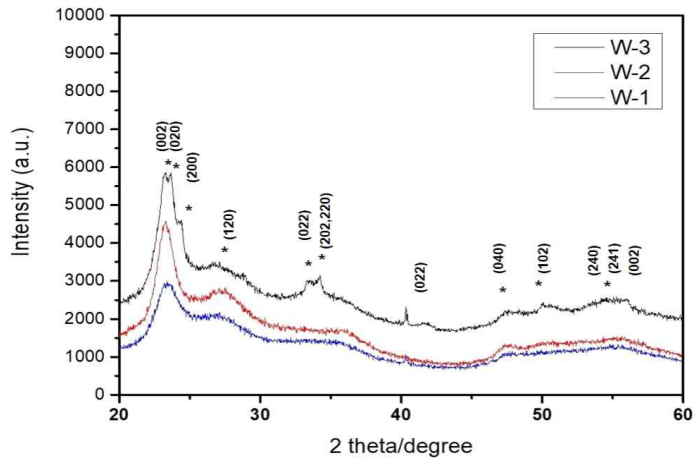


그림 35. XRD분석 : 제조한 메조세공 텅스텐산화물의 결정구조 및 결정성을 확인하기 위하여 X-선 회절분석기(XRD)로 분석

- XRD 분석 결과를 보면, Monoclinic structure을 나타내는 것을 확인 할 수 있음(JCPDS No.072-1465).

○ BET분석 : Micromeritics(미국)의 ASAP 2020(Accelerated Surface Area and Porosimetry) 를 이용하여 비표면적(BET) 및 세공 분포도 분석

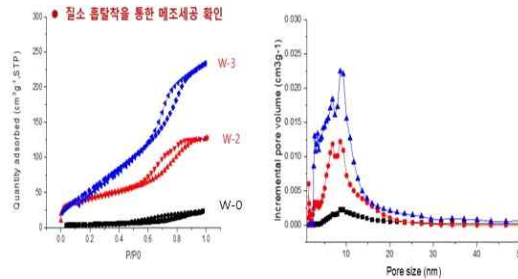


그림 36. 질소 흡탈착 분석 : 제조한 메조세공 텅스텐산화물의 표면적 및 세공크기를 확인하기 위하여 ASAP 2020 장치로 분석

- 그림 36(좌)는 제조한 메조세공 텅스텐 산화물들의 질소흡탈착 등온선을 나타냄. 본그래프를 BET 계산을 통하여 비표면적을 얻음.

-P123를 통하여 메조세공을 도입한 텅스텐 산화물의 경우 (W-2,W-3)은 Type4의 Isotherm을 확인하였으며, 이는 균일한 메조세공을 가짐을 나타냄.

-W-3의 경우, P123의 양과 텅스텐 산화물의 비율을 1:1로 합성하였으며, 이에 대한 비표면적이 제일 높게 나타남. ($228 \text{ m}^2/\text{g}$)

- W-3의 경우에 가장 높은 비표면적을 얻을 수 있었으며, P123를 넣지않고 합성한 W-0의 경우와 비교하여 14배 이상 증가함을 확인하였음.

-따라서, 최종 광산화/광열전환 융합촉매는 P123의 양과 텅스텐 산화물의 비율을 1:1로 하여 최적화함.

- 그림 36(우)는 BJH 식을 적용하여 구한 세공 분포를 비교하였음.

- W-0 의 경우 P123를 사용하지 않았으며, 텅스텐 산화물 자체적으로 8.59 nm에서 불규칙적인 세공이 형성 됨. 이는 크기도 분명하지 않으며, 해당사이즈에 대한 세공부피수치도 0.0025로 매우 적게 나타남.

- W-2, W-3 샘플은 P123에 의해서 고정화 및 메조세공을 도입한 경우이며, 기존의 텅스텐 산화물이 형성하는 세공을 유지하면서 (8.59 nm, 8.48 nm), 7.3 nm에서 새로운 메조세공이 형성됨을 확인하였음.
- 최종적으로 Soft template인 P123의 양과 텅스텐 산화물의 비율을 1:1로 하여 최적화하였으며, 최적화 된 방법을 통하여 높은 표면적과 7-10 nm의 메조세공을 가지는 광산화/광열전환 융합촉매인 메조다공성 텅스텐 산화물을 개발하였음.

○ TEM 및 FT-IR분석: 메조세공 및 W_3O_{13} phase 형성과정 확인

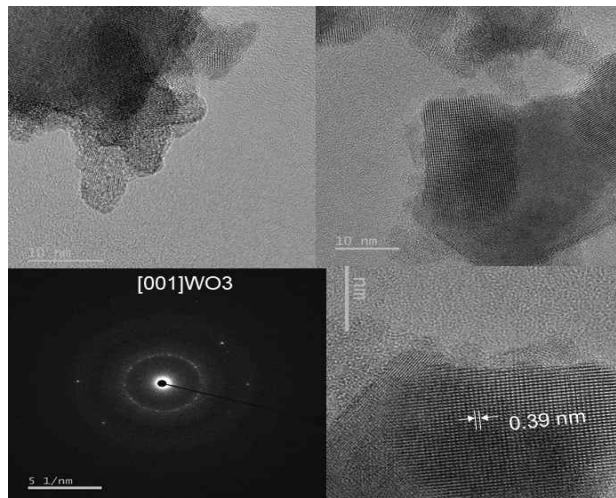
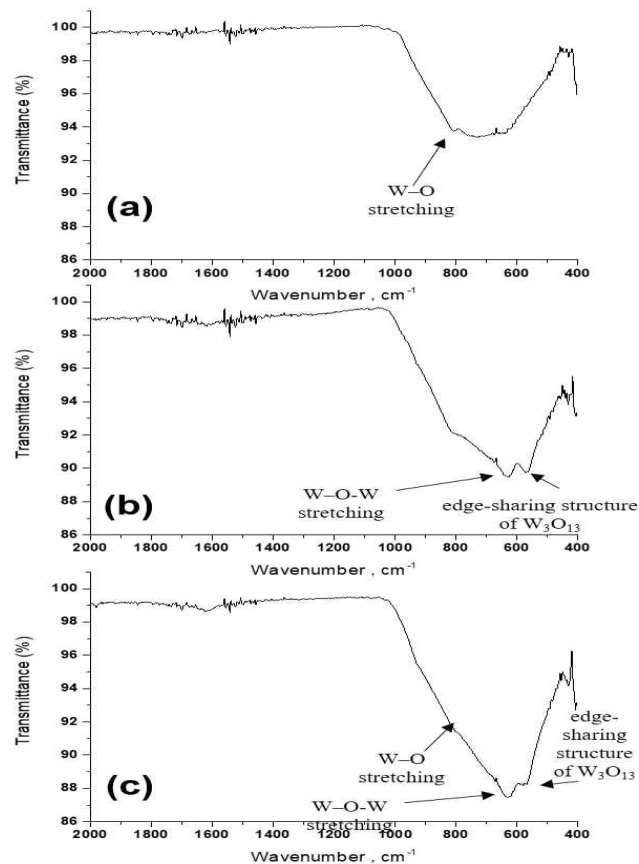


그림 38. FT-IR (W-0, W-1, W-3) 및 TEM (W-3) 분석

- P123 를 넣어서 합성하지 않은 경우는 여러 가지 텅스텐산화물 phase가 혼재되어 있는 형태로 결과가 나왔으나, 메조세공이 형성된 W-3의 경우, 점점 W_3O_{13} phase가 뚜렷해지는 결과를 얻음

○ 그 외 분석: UV-VIS 흡광도 및 밴드갭에너지 확인

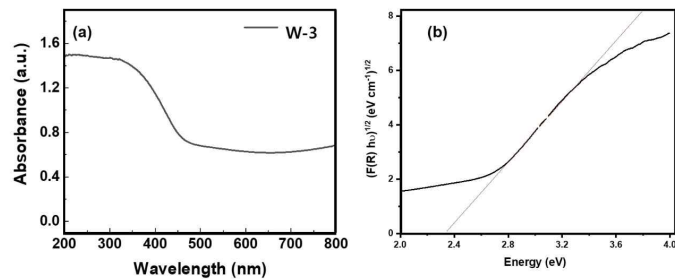


그림 39. UV-VIS 스펙트럼의 분석 (W-3)

- 메조다공성 텅스텐 산화물(W-3)의 UV-vis 흡수 스펙트럼은 그림 10과 같이 400-500 nm 범위에서 흡광도를 나타내는 것을 확인.(UV 및 VIS 범위 모두 광활성화 가능)
- Tauc 플롯에 따르면 메조다공성 텅스텐 산화물(W-3) ~2.40 eV의 밴드갭에너지를 나타냄.

유해가스 제거율 측정 후 활성화도 비교 (촉매활성도 제시)

: 제올라이트 볼의 경우 15 %의 제거율을 보이지만, 메조세공텅스텐산화물 코팅된 제올라이트볼은 65%의 제거율을 나타냄 (UV 광 조사 20분 후) (달성도:100 %)

○ 고정 전후 융합촉매를 비교하여 유해가스 제거율 비교 분석

- 유기물 제거를 이용한 광촉매 특성 평가
- 회분식 반응기(batch reactor)
- 최종 광산화/광열전환 융합촉매인 메조세공 텅스텐 산화물의 유기물 분해 특성을 측정하기 위해 메틸오렌지(Methyl orange, MO)를 사용하여 수행 (UV 254nm + Visible light)

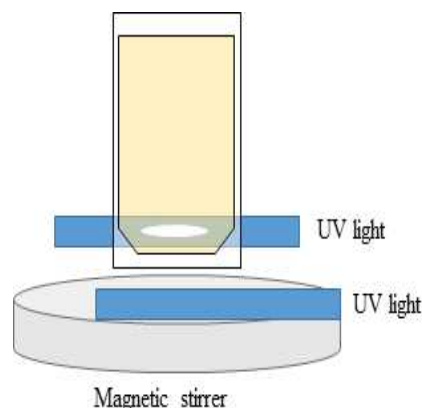


그림 40. 회분식 광촉매 장치

- Methyl orange를 이용한 광촉매 유기물 분해 실험

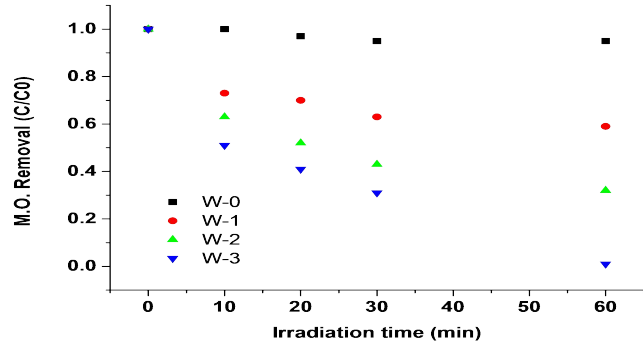


그림 41. 메조세공 텅스텐 산화물을 이용한 유기물 분해실험

- 메조세공 도입에 따른 촉매 특성 변화로써, 비표면적이 높고 메조세공이 잘 발달한 W-3 광촉매가 MO 분해능이 뛰어난 것으로 확인
- 빛에너지를 받아 hydroxyl 라디칼을 형성하는 광촉매 반응은 텅스텐 산화물 표면에 일어나기 때문에 W-3 광촉매가 다른 광촉매에 비해서 비표면적이 높아 유리함
- 이를 통해 지지체의 기공 구조 제어방법에 따라서 비표면적을 늘려 광촉매 성능을 향상시킬 수 있음을 확인

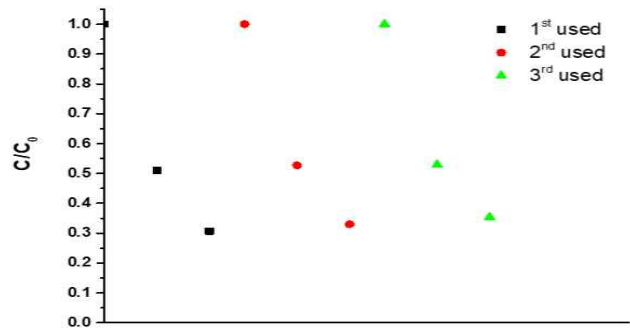


그림 42. 메조세공 텅스텐 산화물을 이용한 유기물 분해실험 (3회반복실험)

- 광촉매의 내구성을 확인하기 위한 3회 반복실험 후에도 유기물 분해 성능이 유지되는 것을 확인

○ 광촉매를 이용한 유해가스 제거성능 실험

-광촉매 VOC 제거장치를 통한 유해가스(Toluene) 제거율 확인

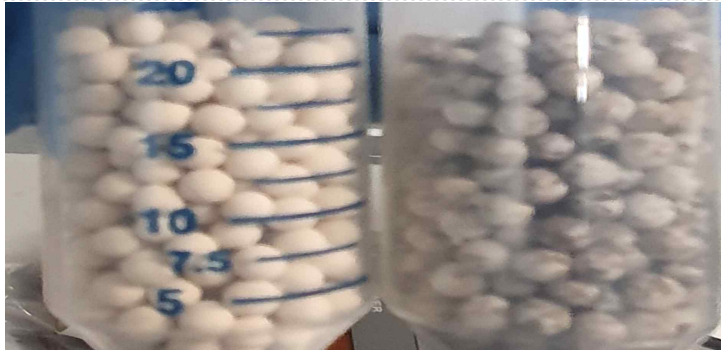


그림 43. 시판용 기상 제올라이트(좌), 메조세공 텅스텐 산화물이 코팅된 제올라이트 볼

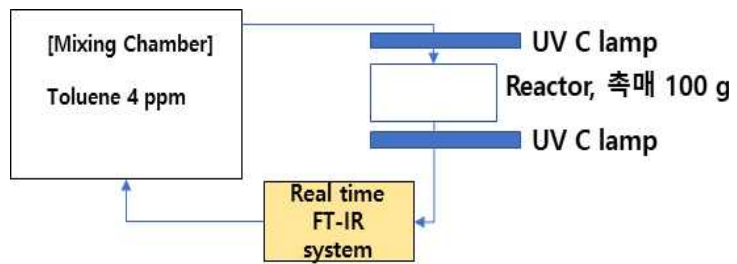


그림 44. 톨루엔 유해가스 제거 테스트 모식도(batch reactor)

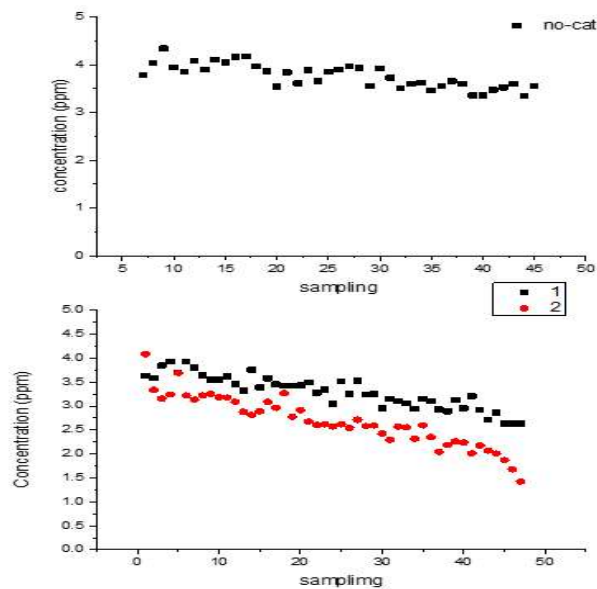


그림 45. 실시간 톨루엔 농도(ppm, 상단: 촉매 없는 상태에서의 톨루엔 농도) (하단-1: 시판용 기상 제올라이트, 하단-2: 메조세공텅스텐산화물 코팅된 제올라이트)

- 메조세공텅스텐산화물 코팅된 제올라이트볼 제거율 65 % 확인 (UV 광 조사 시간: 20분)

공동기관 2차년도	광산화/ 광열전환	광산화/광열 전환	해당 목표 평가 착안점 - 코팅액에 따른 X-선 회절분석을 통한 결정성 확인
--------------	--------------	--------------	---

(2021년)

융합촉매
필터
코팅
기술
개발

융합촉매
코팅 기술
개발을 통한
필터화

: TiO_2 -polydopamine-지지체복합 광촉매를 개발 하였으며, XRD peak search 결과 anataseform TiO_2 를 나타냄을 확인함. (달성도:100 %)

○ 코팅용액 최적화 및 최적 촉매 조성의 확보

○ Polydopamine을 이용한 TiO_2 코팅 기술 개발

- 실험결과 바인더 없이 딥코팅을 이용하여 지지체에 TiO_2 광촉매를 코팅하였을 때 코팅량이 많지 않음을 확인

- Polydopamine을 이용하여 지지체에 TiO_2 코팅

- 그림.17 과 같은 구조를 가지고 있는 Dopamine을 이용하여 TiO_2 광촉매를 지지체에 코팅

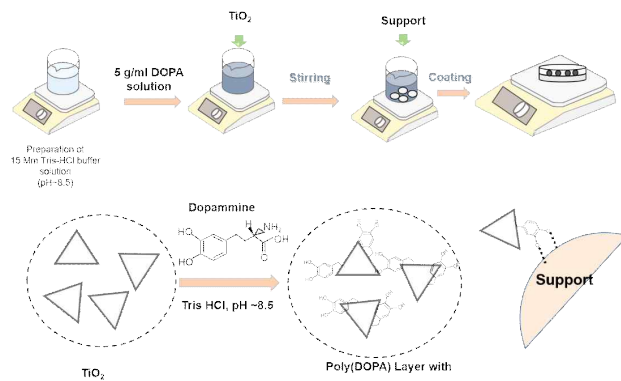


그림 46. Polydopamine 이용 코팅 메커니즘

- 그림.17 과 같은 메커니즘을 통해 폴리도파민의 성질을 이용하여 TiO_2 를 지지체에 코팅

● 폴리도파민 용액을 이용한 광산화 광열전환 융합촉매 코팅기술 최적화 (실험실 규모)



그림 47. Polydopamine- TiO_2 를 이용한 코팅법 순서도

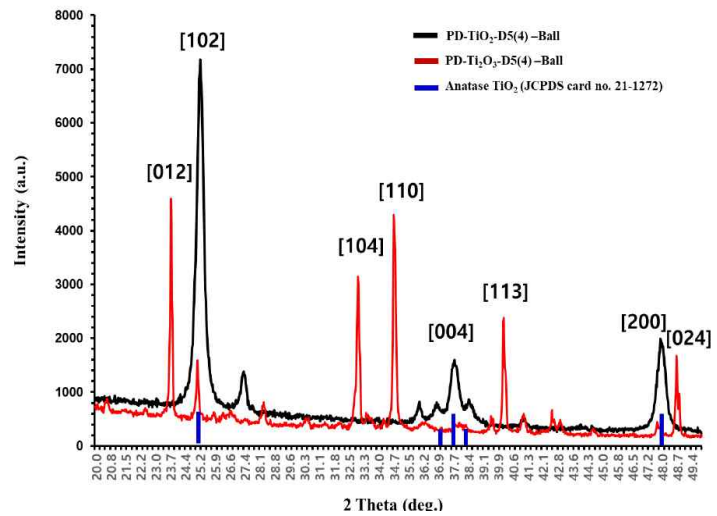


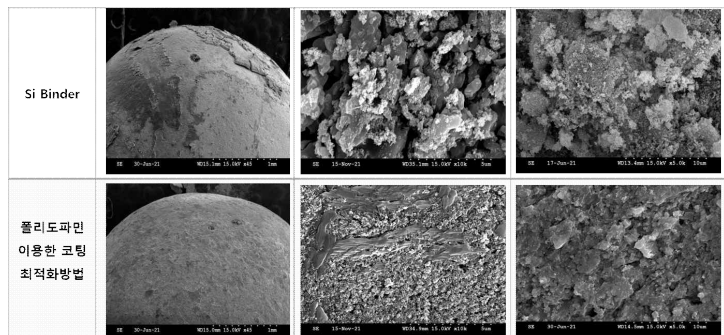
그림 48. Polydopamine-TiO₂의 XRD 분석 결과

- XRD peak search 결과 anatase form TiO₂를 나타냄을 확인함.

해당 목표 평가 착안점 -

SEM 분석 및 비표면적 분석을 통한 표면 거칠기 확인 및 코팅 두께 최적화 및 광산화/광열전환 융합촉매 코팅 기술 개발 및 최적화

○ Si binder를 사용해서 코팅 했을 때와 Polydopamine을 사용해서 코팅 했을 때의, 표면 거칠기 비교 (SEM 분석)



- SEM 분석을 통한 표면 코팅 상태 확인

- Si 바인더를 이용하여 코팅 조성보다 폴리도파민이 포함된 경우에 고르게 코팅됨을 확인

○ 코팅 횟수에 따른 최적코팅조성 확보

-Polydopamine과 TiO₂ 분말을 4회 다중 코팅한 광촉매 표면 특성 분석을 위하여 SEM/FT-IR Imaging 분석

- 그림. 20은 코팅 횟수에 따른 Polydopamine-TiO₂ 졸이 코팅 된 지지체의 표면의 FT-IR Imaging 분석 결과

코팅 횟수 : 1 회



코팅 횟수 : 2 회



코팅 횟수 : 4 회

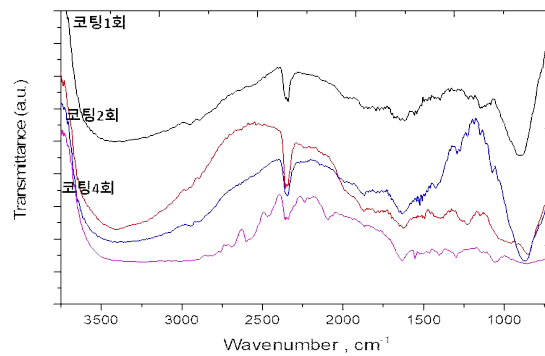
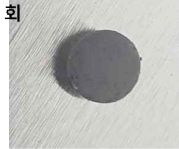


그림 50. Polydopamine 코팅횟수에 따른 FT-IR Imaging 분석 결과

- 최적화 된 방법으로 코팅 했을 경우 3000 cm^{-1} 이상에서 브로드한 하이드록실피크가 나왔으며 이는 폴리도파민이 코팅 되면서 생겨난 하이드록실기와 카테콜기에 의해서 나타남.
- $2925, 2852\text{ cm}^{-1}$ 위치에서 나타난 밴드는 폴리도파민 C-H 에 의해 나타남.
- Polydopamine-TiO₂를 4회 코팅한 광촉매의 경우의 표면이 가장 고르게 코팅됨을 알 수 있음.

○ TEM 을 이용한 TiO₂-PDA 코팅용액의 직접분석(TiO₂ vs TiO₂ PDA sol) : 코팅 두께 확인

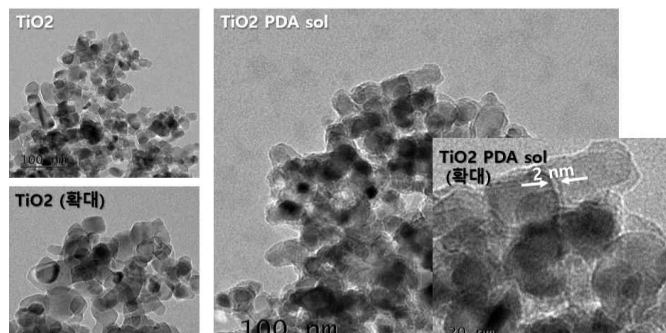


그림 51. TiO₂-PDA 의 TEM분석

- TEM 분석을 통한 표면 코팅 두께 - SEM 분석을 통한 표면 코팅 상태 확인
- Polydopamine-TiO₂졸의 경우 2nm 두께로 코팅됨을 확인함.

○ 최적화 된 조성의 폴리도파민코팅제분석결과 (Raman 및 UV-VIS 분석)

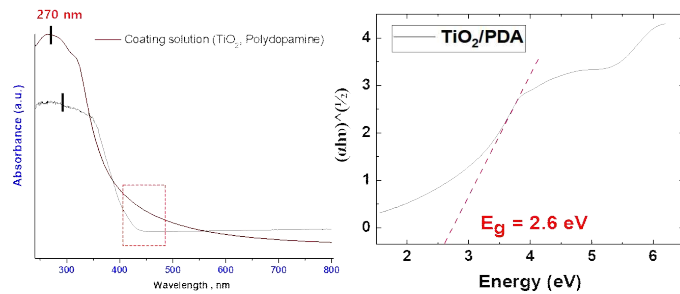


그림 52. TiO₂-PDA 의 UV-VIS 분석

- PDA 코팅으로 인하여 400-500 nm 부분의 흡수범위가 넓어짐, 가시광영역으로의 확장
- 밴드갭 에너지 낮아짐(3.2 → 2.6 eV) : TiO₂ 의 밴드갭에너지를 줄이면서 가시광선 영역에서도 TiO₂ 의 전자가 VB에서 CB로 들뜰 수 있게 함.

○ 최적화 된 조성의 폴리도파민코팅제 분석결과 (Raman 분석)

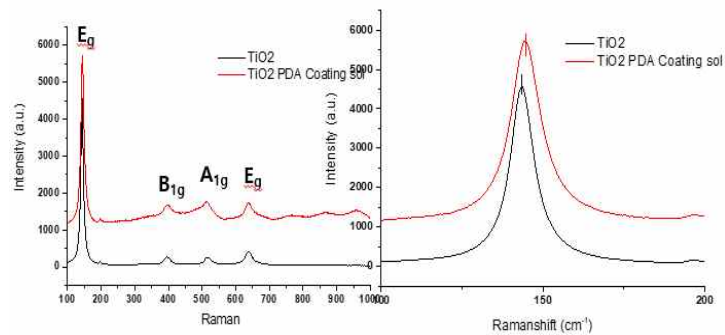


그림 53. TiO₂-PDA 의 Raman분석

- TiO₂ anatase피크 : E_g B_{1g}A_{1g}피크 확인
- E_g피크의 High frequency 로의 shift : 142 → 145 cm⁻¹
- PDA 코팅으로 인한 TiO₂의 composition 의 변화 : 바이브레이션 모드가 달라짐으로써, 피크 shift 현상 일어남.

○ 기능성 건축자재 개발을 위한 코팅기술 최적화

- TiO₂-PDA-유리섬유복합체 개발 및 분석
- 개발된 코팅 방식으로 TiO₂를 실제 블라인드 소재와 유사한 섬유상에 코팅하여 SEM을 통하여 코팅 표면 확인

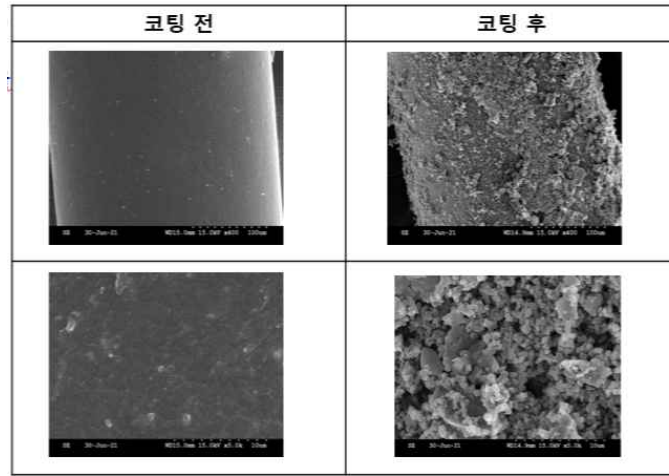


그림 54. 블라인드 소재 코팅 전/후의 SEM 분석

- TiO_2 -PDA-유리섬유복합체의 미세구조와 코팅 상태를 FE-SEM으로 관찰함.
- Polydopamine- TiO_2 코팅층을 나타내며 표면 형태는 모든 지역에서 응집된 비구형 입자로 균질하게 코팅된 것으로 관찰됨.

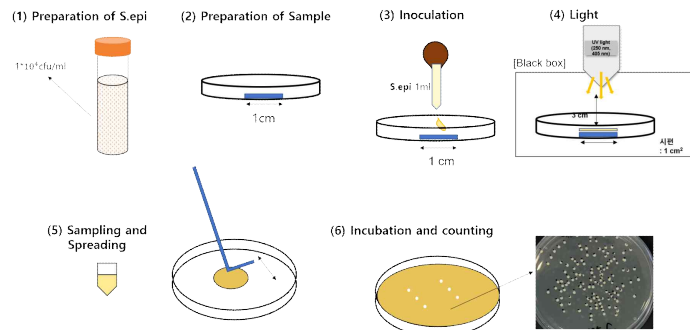
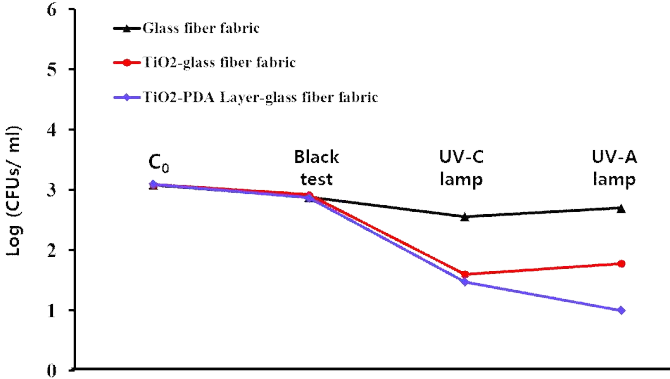


그림 55. 코팅된 블라인드 소재를 이용한 항균성 테스트

- 광원별 polydopamine 층이 없는 시험편 (대조군)과 polydopamine 층이 있는 시험편 각각 1 cm×1 cm로 절단 후 채취하여 aatcctest method100 (contact assay in liquid)을 활용하여 고안한 항균시험 방법으로 UV-A LED 램프 (wavelength=405 nm, 8 W), UV-C 램프(wavelength=254 nm, 8 W) 하에서 살균시험을 실시하였다. aatcctest method100(contact assay in liquid)을 활용하여 고안한 항균시험 방법에 따라 실험을 진행함 (그림 25).

- TiO_2 -PDA-유리섬유복합체가 UV-A 램프를 조사했을 때 높은 항균 효과를 보여주고 있다. 이때 UV-A LED 램프(405 nm)에 3시간 동안 TiO_2 -PDA-유리섬유복합체와 *S.epi*를 노출한 결과, *S.epi* 제거효율은 약 67.6 %로 나타남(그림 26).

		 그림 56. 코팅 된 블라인드 소재를 이용한 항균성 테스트
개발된 다공성 광산화/광열전환 융합촉매 필터화 및 표준 유해가스 제거율 평가	다공성 광산화/광열전환 융합촉매 필터 기반 표준유해가스 제거 시험 설계	해당 목표 평가 착안점 - 유해가스 제거 성능 평가 시스템 구축 : 실제 블라인드 소재(건축자재)를 활용하여 개발된 코팅법으로코팅 후, 미세 먼지 전구체 제거 실험장치를 통해 성능평가 수행 (100% 달성) ○ 광촉매가 코팅 된 기능성 건축자재의 유해가스 제거 시험 평가장치설계 : 블라인드나 벽지등에 코팅 된 광촉매를 이용하여 VOC를 분해할 때, VOC 농도를 정량적으로 평가하기 위한 시험평가장치 개발 및 최적화 ○ 시험장치 설치 - TiO_2-PDA-유리섬유직물 복합체에 대하여 유해가스분해성능을 평가하기 위한 장비는, MIDAS corporation사의 분석 장비인 I-Series gas analysis system을 이용. - 실험은 PDS-TiO_2 코팅액이 처리되지 않은 유리섬유직물과 PDS-TiO_2 코팅액이 처리된 유리섬유직물을 대상으로 UV-A LED 램프 (wavelength=405 nm, 8 W), UV-C 램프 (wavelength=254nm, 8 W)를 사용하여 $21 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 45 %, 0.5 시간의 조건으로 수행. - 가스분해성능의 대상 가스를 암모니아로 하였다. 시험편을 각각 50 mm × 50 mm 크기로 하여 각각을 반응기에 넣고 7 ppm의 암모니아를 주입한 다음 0.5 L/min의 유량으로 연결된 I-Series gas analysis system에 30분 동안 통과. - 반응 시간 동안 암모니아의 농도는 실시간으로 I-Series gas analysis system을 통하여 알 수 있음.

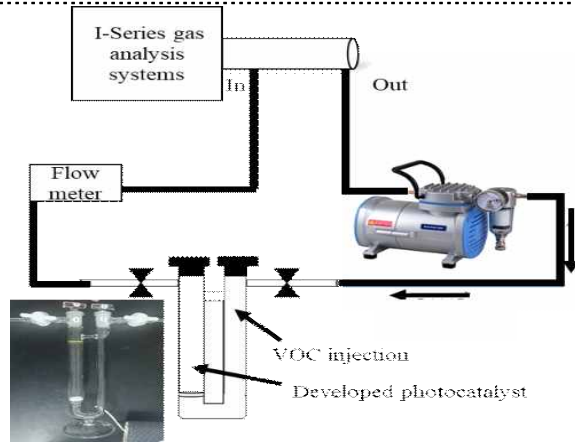


그림 57. 코팅 된 블라인드 소재를 이용한
유해가스 제거 성능 평가 시스템 구축

표준유해가
스 제거
성능 정량화

해당 목표 평가 착안점 -

유해가스 분해성능 분석 및 자외선과 가시광선의 광촉매 효과 확인

: 건축소재의 유해가스 제거 성능시험을 통한 광촉매 효과 확인 (목표달성: 100%)

- TiO_2 -PDA-유리섬유직물에 UV-A 램프 광 조사시간이 증가할수록 암모니아 농도가 UV-C 램프에 비해 빠르게 감소 (그림 28)

- TiO_2 -PDA-유리섬유직물의 암모니아 제거효율은 50%로 나타났다. 최적화된 PDA Layer 층은 가시광에 가까운 UV-C LED 램프의 영역에서 감광제 역할 함.

- TiO_2 입자들이 분포되어있는 PDA에서 광촉매 활성이 증가하는 이유는, 표면에 분포한 PDA 코팅층에 의해 광촉매의 에너지 밴드갭이 좁아지면서 장파장에서도 빛을 흡수하는 능력이 향상되기 때문.

- 또한, PDA 코팅층에서 photoexcitation 된 e^- 는 같이 코팅된 TiO_2 의 CB Band로 transfer 된다. 이는 TiO_2 와의 결합으로, 전자와 정공의 재결합(recombination)을 억제하여 가능한 많은 전자와 정공이 광촉매 반응에 참여할 수 있으므로 광촉매 효율이 향상.

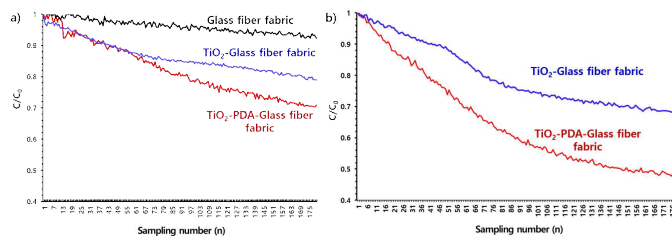


그림 58. 코팅 된 블라인드 소재를 이용한 암모니아
제거 성능 평가 결과 a) UV-C Lamp b) UV-A LED
lamp (반응시간 : 30 min)

○ 광촉매가 코팅 된 기능성 건축자재의 표준유해가스 제거율 분해성능 정량화를 위한 성능평가장치 고안

- KS C 9314 : 2013 규격에 따른 유해가스 제거율 분해성능 정량화를 위한 성능평가 장치 고안

- 광촉매 필터 기반 유해가스 성능평가장치를 개발하였으며 해당 장치는 “유해가스 제거용 필터성능평가장치”로 저작권 등록 완료하였음.



그림 59. 저작권 등록증 : 유해가스 제거용 필터 성능평가장치



그림 60. 유해가스 제거용 필터 성능평가장치

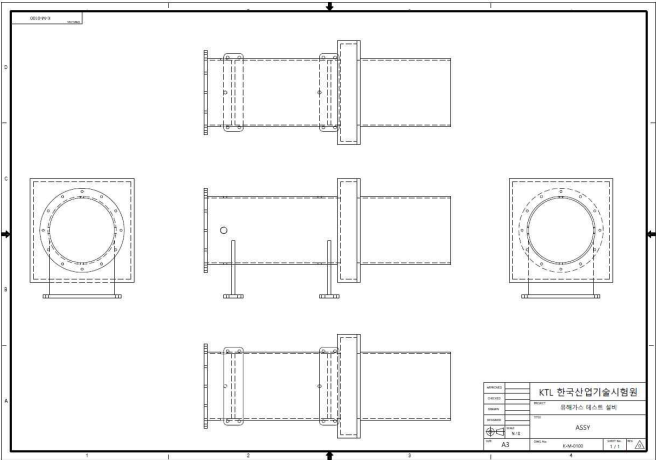


그림 61. 유해가스 제거용 필터 성능평가장치 설계도

○ 유해가스 성능평가장치를 이용하여 KS C 9314 : 2013 시험 수행.

- 개발 된 PDA-TiO₂ 코팅법을 통하여 30 cm x 30 cm 크기의 필터를 제작 하였으며, 광촉매 필터 기반 유해가스 성능평가장치를 이용하여 KS C 9314 : 2013 시험 수행.

- 시험대상 가스는 다음의 3종류로 함.

- ▷ 암모니아
- ▷ 톨루엔
- ▷ 포름 알데하이드

- 시험챔버는 8m³ 의 밀폐공간에서 시험하였으며, 온도는 18~24도, 습도는 35~45 % 하여 시험 진행하였음.

- 유해가스를 일정량 주입시켜 가스 농도가 9~13 ppm의 범위로 되도록 하며, 이를 초기농도로 함.

- polydopamine-TiO₂ 필터의 성능의 경우, 30 분 동안 83.5 %의 유해가스 제거성능을 나타냈으며, 각 제거능력은 암모니아 0.60 m³/min, 톨루엔 0.79 m³/min, 포름알데하이드 0.52 m³/min VOC 광분해 효율을 나타냄.

- polydopamine-TiO₂ 복합체의 polydopamine 코팅층과 TiO₂ 상호작용으로 VOC가 분해됨을 확인함.

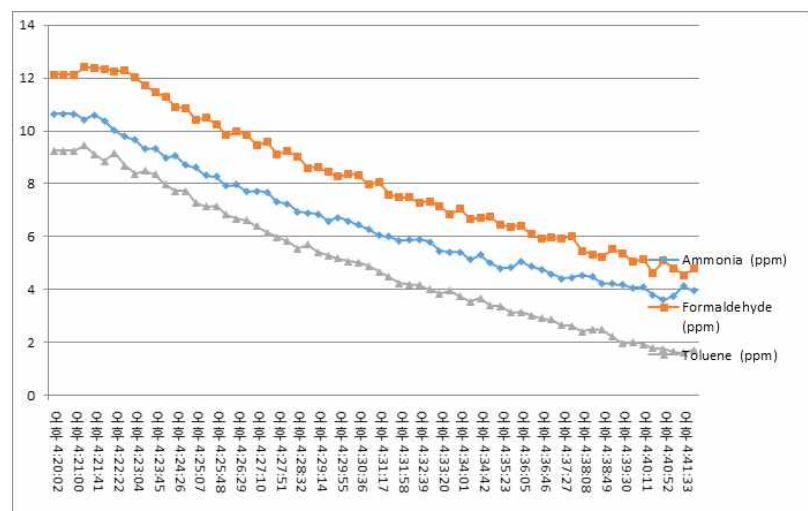


그림 63-1. 제작 필터의 실시간 유해가스 성능평가 측정결과 그래프

시험 성적서 (TEST REPORT)



한국산업기술시험원
Korea Testing Laboratory

성적서 번호 : 21-078332-01-2
Report No.

페이지 (1) / (총 2)
Page of Pages



1. 의뢰자 (Client)

기관명 (Name) : 한국산업기술시험원

주소 (Address) : 경상남도 진주시 충의로 10 (충무공동, 한국산업기술시험원)

의뢰일자 (Date of Receipt) : 2021. 11. 24.

2. 시험성적서의 용도 (Use of Report) : 과제제출용 (R&D)

3. 시험대상품목/물질/시료명 (Test Sample)

제품명 (Description) : 공기살균기

제작회사 (Manufacturer) : ***

모델명 (Model Name) : 제작품

제조번호 (Serial Number) : ***

기타 (Remark) : ***

4. 시험기간 (Date of Test) : 2021년 11월 24일 ~ 2021년 11월 24일

5. 시험장소 (Location of Test) :

■ KTL 고정시험실 (주소 : 서울특별시 구로구 디지털로26길 87 (구로동))

□ 현장시험

6. 시험규격/방법 (Test Standard/Method) : KS C 9314 : 2019

7. 시험결과 (Test Results) : 후면참조

- 비고 (Note) :
1. 이 성적서는 의뢰자가 제출한 시료에 한하며, 별첨 및 기타본격의 근거 등으로의 사용을 금합니다.
 2. 이 성적서는 원본만 유효하며, 임의로 재가공된 사본 및 전자인쇄본 등은 유효하지 않습니다.
(원본이란 KTL에서 정해진 절차에 따라 보안성을 포함시켜 제공하는 모든 성적서를 의미합니다.)
 3. 아래의 2D바코드를 스캔하여 성적서의 원본내용 확인이 가능하며, KTL 보관 원본과의 동일성은 고객전용홈페이지 (customer.ktl.re.kr)의 "성적서 원본확인"창에서 비교가능 합니다.
 4. 본 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 표준 및 KOLAS 인정과 관련이 없습니다.

확인 Affirmation	작성자 (Tested by) 성명 (Name): 박서현	기술책임자 (Technical Manager) 성명 (Name): 전용우
-------------------	-----------------------------------	---

2021. 12. 13.

한국산업기술시험원



서울특별시 구로구 디지털로26길 87 (구로동) (87, Digital-ro 26-gil, Guro-gu, Seoul, KOREA) Tel.02-860-1139 Fax. 02-860-1689

FP104-05-00



※ 위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

그림 63-2. 제작 필터의 유해가스 성능평가 결과 성적서1 (KS C 9314 : 2013)

시험결과 (Test Results)

1. 시험결과

품명	제거능력			유해가스 제거효율 (%) ¹⁾
	암모니아	톨루엔	포름알데하이드	
공기살균기	0.60 m ³ /min	0.79 m ³ /min	0.52 m ³ /min	83.5

¹⁾유해가스 제거효율 : (3종류 가스의 제거율(%) 총합)/3

2. 시험설비 및 장비

시험챔버	시험장비		
	장비명	제조사	모델명
8 m ³	가스측정기	MIDAC	11801 FT-IR

3. 시험방법 및 조건

시험방법	시험조건	온도	습도	시험시간 ²⁾	풍량레벨	비고
KS C 9314 : 2019, 공기청정기		(21 ± 3) °C	(40 ± 5) % RH	30 분	단일	-TiO ₂ -PDA coated filter -광 조사 (UV-C)

²⁾의뢰자 제시방법

4. 시험품 사진



끝.

FP104-06-00



※ 위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

그림 63-3. 제작 필터의 유해가스 성능평가 결과 성적서2 (KS C 9314 : 2013)

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
고효율 광산화촉매 및 광열전환촉매 개발	광산화 기술 효과 극대화를 위한 고효율 가시광촉매 개발 (UV + Visible light 활용) / 단파장 및 버려지는 장파장대(가시광선, 적외선)빛에너지 활용을 극대화한 고효율 광열전환촉매 개발(NIR light 활용)	- 가시광촉매 개발 (전자전달, 구조 표면 특성 개질을 통한 고효율 광촉매 디자인) - 광열전환촉매 개발 (표면분석, 온도발생량, 전자전달력 등) - 미세먼지 전구체 물질 (VOC 2종 이상)제거	- 광산화촉매 (Cu-TiO₂) 개발 및 미세먼지 전구체 (아세트알데하이드, 톨루엔) 제거 성능 95% 이상 달성 - 광열전환효율이 뛰어난 광열전환촉매 (Au-SiO₂, PDA, Ti₂O₃) 개발 및 이를 활용한 미세먼지전구체 (아세트알데하이드, 톨루엔) 제거율 90 % 이상 달성
미세먼지 전구체 흡착을 극대화할 위한 융합촉매 다공성 구조화 방법 개발	기공제어 지지체 이용한 광촉매 고정화 기술 개발 및 최적화	- 기공 구조 제어 메커니즘 개념 정립 - 텅스텐 광산화물을 이용한 기공 제어 기술 개발 - Hard template와 Soft template를 이용한 텅스텐 광산화물을 이용한 기공 제어 확립 - 기기 분석을 통한 기공 구조 분석 및 정량화	- 질소 흡탈착 분석을 통해 메조세공과 228 m²g⁻¹의 표면적 확인 - 400-500 nm 범위에서 흡광도를 나타내는 것을 확인 - 메조다공성 텅스텐 산화물이 2.40 eV의 밴드갭 에너지를 가짐을 확인. -지지체 개발 기공크기 6-10m 사이의 메조세공 확인
	고정화 된 광산화/광열전환 융합촉매 성능 평가	- 회분식, 순환식 광촉매 반응기 설계 및 제작 - Methyl orange 이용한 광촉매 유기물 분해 실험 - 톨루엔을 이용한 유해가스 제거성능 시험(UV-C LAMP)	- 광촉매 유기물 제거 성능 평가 시스템 구축(회분식) - 유기물 제거율 95% 이상 (Methyl orange 기준) -유해가스 제거율 60 % 이상 (Toluene 기준, UV-C lamp)
태양에너지 활용 극대화를 위한 광산화 및 광열전환촉매의 융합화/최적화 및	태양에너지 전반을 사용하는 광산화 및 광열전환촉매의 융합화 설계 및 최적 합성방법 확립 / 개발한 광산화/광열전환 융합촉매를 활용한	- 융합 hybrid-system 기술개발 및 최적화 - 융합촉매 특성평가(전자전달력, 안정성 등) - 단독 광산화 시스템 대비 VOCs 및 질소산화물 중 2종 이상 제거율 30% 개선 - 촉매의 반응 메커니즘 분석 및 5회 재활용 30% 감소 성능 입증	- 광산화촉매 (Cu-TiO₂)와 광열전환촉매 (Au-SiO₂, PDA, Ti₂O₃)의 융합화 및 융합촉매를 활용한 미세먼지전구체 (아세트알데하이드, 톨루엔) 제거율 90 % 이상 달성 - 단독 광산화 시스템 대비 미세먼지전구체 제거율과 CO₂로의 무해화 30 % 이상 개선

안정성 향상	실내공기정화효율 확보 및 안정성 향상	통한 촉매 안정성 확보	- 융합촉매를 활용한 미세먼지전구체 5회 반복실험 후 성능 감소 없음 - Polydopamine-TiO ₂ 광촉매는 anatase구조를 가질 수 있음을 확인 (XRD) - SEM, FT-IR Imaging방식을 이용하여 TiO ₂ 가 지지체에 폴리도파민층과 함께 성공적으로 코팅되었음을 확인 - TEM 이용하여 Polydopamine-TiO ₂ 광촉매의 코팅 두께 확인 -PDA 코팅으로 인하여 400-500 nm 부분의 흡수범위가 넓어짐, 가시광영역으로의 확장 - 밴드갭 에너지 낮아짐(3.2 → 2.6 eV) : TiO ₂ 의 밴드갭에너지를 줄이면서 가시광선 영역에서도 TiO ₂ 의 전자가 VB에서 CB로 들뜰수 있게 함을 확인
광산화/광열전환 융합 촉매 코팅 기술개발	광산화/광열전환 융합촉매 코팅 기술 개발을 통한 필터화	- Polydopamine을 이용한 코팅기술 최적화 - 제조한 융합촉매의 특성 분석	
	개발된 다공성 광산화/광열전환 융합촉매 필터화 및 표준 유해가스 제거율 평가	-다공성 광산화/광열전환 융합촉매 필터 기반 표준유해가스 제거 시험 설계 -표준유해가스 제거 성능 정량화	-블라인드나 벽지등에 코팅 된 광촉매를 이용하여 VOC를 분해할 때, VOC 농도를 정량적으로 평가하기 위한 시험평가 장치 개발 -건축소재의 유해가스 제거 성능시험을 통한 광촉매 효과 확인 (유해가스 제거율 50 % 이상, 암모니아 기준, 405 nm LED LAMP)) - KS C 9314 : 2013 규격에 따른 유해가스 제거율 분해성능 정량화를 위한 성능평가 장치 고안 (저작권 등록 : C-2021-039106호) -개발 필터 KS C 9314 : 2013 규격에 따라 유해가스 제거율 성능시험 수행 (유해가스 제거율 80 % 이상, 암모니아, 포름알데하이드, 톨루엔 기준, 405 nm LED lamp 조사)

(2) 정량적 연구개발성과

1차년도	목표	○ 고효율 광산화촉매 및 광열전환촉매 개별 개발
	정량적 실적	- 부족한 실적은 2차년도에 달성함
	목표	○ 미세먼지 전구체 흡착율 극대화를 위한 융합촉매 다공성 구조화 방법 개발

	정량적 실적	○ SCI 논문 1건, 특허 출원 1건 - SCI 논문 : Synthesis and characterization of mesoporous tungsten oxides and application of its photo-catalytic activity on photo-degradation of methyl orange, Desalination and Water Treatment (SCI), 232, 121-128 (2021) - 특허 출원 : 메조 다공성 텅스텐 산화물의 제조 방법, 10-2020-0172294
2차년도	목표	○ 태양에너지 활용 극대화를 위한 광산화 및 광열전환촉매의 융합화/최적화 및 안정성 향상
	정량적 실적	○ SCI 논문 3건, 특허 출원 1건 - SCI 논문 : Synergistic effect of Sn doping and hydrogenation on hematite electrodes for photoelectrochemical water oxidation, Materials chemistry frontiers / Revisiting the oxidizing capacity of the periodate-H₂O₂ mixture: Identification of the primary oxidants and their formation mechanisms, Environmental Science & Technology / Harnessing Indoor Waste Heat for Sustainable Thermocatalytic mineralization of Acetaldehyde using Platinized TiO₂, Environmental Research - 특허 출원 : 전등갓 폐열을 활용하는 열촉매 시스템, 10-2021-0105840
	목표	○ 광산화/광열전환 융합촉매 코팅 기술 개발을 통한 필터화 및 광산화/광열전환 융합촉매 코팅 필터 기반 미세먼지전구체 시험 설계 및 성능 정량화
	정량적 실적	○ SCI 논문 1건, 비SCI 논문 1건, 특허 출원 1건, 특허 등록 1건 - SCI 논문 : Preparation of polydopamine-coated TiO₂ composites for photocatalytic removal of gaseous ammonia under 405 nm violet-blue light, Korean Journal of Chemical Engineering ,2022, UNDER Review - 비SCI 논문 : Polydopamine (PDA)-TiO₂ 코팅 유리섬유 직물을 이용한 VOCs의 저감 성능 및 항균성 연구, J Environ Health Sci. 2021; 47(6): 540-547 - 특허 출원 : 광촉매가 첨가된 폴리도파민 코팅액의 제조방법, 상기 코팅액을 이용한 지지체의 표면 처리방법, 및 이에 의해 제조된 나노복합재 점착필터 및 흡착제, 10-2021-0115011 - 특허 등록 : 메조 다공성 텅스텐 산화물의 제조 방법, 1023450220000

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

☐ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Synergistic effect of Sn doping and hydrogenation on hematite electrodes for photoelectrochemical water oxidation	Materials chemistry frontiers	Jeon, Tae Hwa;	5(17)	영국	RSC	SCIE	2021.08.02	2052-1529	50
2	Synthesis and characterization of mesoporous tungsten oxides and application of its photo-catalytic activity on photo-degradation of methyl orange	Desalination and Water Treatment	Seo-Hyun Pak	232	미국	the Web of Science	SCI	2021-10-24	1944-3994	100 %
3	Polydopamine (PDA)-TiO ₂ 코팅 유리섬유 직물을 이용한 VOCs의 저감 성능 및 항균성 연구 (Reduction of VOCs and the Antibacterial Effect of a Visible-Light Responsive Polydopamine (PDA) Layer-TiO ₂ on Glass Fiber Fabric)	Journal of Environmental Health Sciences	Seo-Hyun Pak;	47	대한민국	Korean Society of Environmental Health	비SCIE	2021-12-10	1738-4087	100
4	Revisiting the oxidizing capacity of the periodate-H ₂ O ₂ mixture: Identification of the primary oxidants and their formation mechanisms	Environmental Science & Technology	Kim, Yelim;	-	미국	ACS	SCIE	under review	-	50
5	Harnessing Indoor Waste Heat for Sustainable Thermocatalytic mineralization of Acetaldehyde using Platinized TiO ₂	Environmental Research	Minhyung Lee;	-	네덜란드	Elsevier	SCIE	under review	-	50
6	Preparation of polydopamine-coated TiO ₂ composites for photocatalytic removal of gaseous ammonia under 405 nm violet-blue light	Korean Journal of Chemical Engineering	Seo-Hyun Pak;	-	대한민국	Springer	SCIE	under review	-	100

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명

□ 기술 요약 정보

번호	연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용 여부	허용방식

□ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	전등갓 폐열을 활용하는 열축매 시스템	대한민국	연세대학 교	2021.08.1 1	10-2021- 0105840	-	-	-	100	N
2	특허	광촉매가 첨가된 폴리도파민 코팅액의 제조방법, 상기 코팅액을 이용한 지지체의 표면 처리방법, 및 이에 의해 제조된 나노복합재 점착필터 및 흡착제	대한민국	한국산업 기술시험 원	2021.08.3 0	10-2021- 0115011	-	-	-	100	N
3	특허	메조 다공성 텅스텐 산화물의 제조 방법	대한민국	한국산업 기술시험 원	2020.12.1 0	10-2020- 0172294	한국산업 기술시험 원	2021.12.2 4	10-23450 22	100	N

○ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타
1										√	
2										√	
3										√	

☐ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
1	유해가스 제거용 필터 성능평가 장치 상세 설계도	2021.08.24	한국산업기술시 험원	2021.10.01	C-2021-03910 6	한국산업기술시 험원	100
2	유해가스 제거용 필터 성능평가 장치 운전 매뉴얼	2021.08.27	한국산업기술시 험원	2021.10.05	C-2021-03931 7	한국산업기술시 험원	100

☐ 신기술 지정

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

☐ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

☐ 표준화

○ 국내표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

○ 국제표준

번호	표준화단계 구분	표준명	표준기구명	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

☐ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)

☐ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)

□ 사업화 투자실적

번호	연도	투자 자금 성격*	추가 연구개발 투자(천원)	설비 투자(천원)	기타 투자(천원)	합계(천원)

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

□ 매출 실적(누적)

번호	사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
			국내(천원)	국외(달러)		
합계						

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
		국외			
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획					
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
	수 출				

☐ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			yyyy년	yyyy년	
합계					

☐ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	
		생산인력	
	개발 후	연구인력	
		생산인력	

☐ 비용 절감(누적)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

☐ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수, 명)	기타
해당 연도							
기대 목표							

☐ 산업 지원(기술지도)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

☐ 기술 무역

(단위 : 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	총 계약액	기 징수액	해당 연도	징수액	향후 예정액	수출/수입

[사회적 성과]

☐ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

☐ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

☐ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

☐ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)

☐ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타

☐ 산업 기술 인력 양성

번호	연도	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

☐ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)

☐ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

☐ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일

☐ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비

번호	구축 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

[그 밖의 성과](해당 시 작성)

- 해당사항 없음

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성)

○ 유해가스 제거용 성능평가장치 저작권 등록

- (편집저작물_사용설명서) 유해가스 제거용 필터 성능평가 장치 운전 매뉴얼
- (도형저작물_설계도) 유해가스 제거용 필터 성능평가 장치 상세 설계도

○ 광촉매가코팅 된 기능성 건축자재의 표준유해가스 제거율 분해성능 정량화를 위한 성능평가장치 고안

- KS C 9314 : 2013 규격에 따른 유해가스 제거율 분해성능 정량화를 위한 성능평가 장치 고안
- 유해가스 제거용 성능평가장치 저작권 등록
- (편집저작물_사용설명서) 유해가스 제거용 필터 성능평가 장치 운전 매뉴얼
- (도형저작물_설계도) 유해가스 제거용 필터 성능평가 장치 상세 설계도

2) 목표 달성 수준

연구개발목표	달성내용	달성도(%)
○ 고효율 광산화촉매 및 광열전환 촉매 개별 개발 ○ 미세먼지전구체 흡착율 극대화를 위한 융합촉매 다공성 구조화 방법 개발 ○ 태양에너지 활용 극대화를 위한 광산화 및 광열전환촉매의 융합화/최적화 및 안정성 향상 ○ 광산화/광열전환 융합 촉매 코팅 필터 기반 미세먼지 유도체 제거 시험 설계 및 표준유해가스 제거율 분해성능 정량화	○ 고효율 광산화촉매 Cu-TiO₂ 개발 및 광열전환촉매 (Au-SiO₂, PDA, Ti₂O₃) 개발 ○ 타촉매 대비 높은 비표면적을 갖는 다공성 지지체 개발 ○ 광산화/광열전환 융합촉매를 사용하여 태양광 빛에너지 활용을 극대화한 미세먼지전구체 (아세트알데하이드, 톨루엔) 제거 시스템 구축 및 우수한 성능 증명 ○ 표준유해가스 제거율 분해성능 정량화를 위한 성능평가 장치 고안(저작권 C-2021-039106호) 및 유해가스 제거율 80% 이상 달성(암모니아, 포름알데하이드, 톨루엔 기준)	100 %

4. 목표 미달 시 원인분석

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

- 당초 계획 대비 일부 미달성한 양적성과지표(논문게재)에 대한 자체분석 결과, 총 6편 (SCI 5편, 비SCI 1편)의 논문을 모두 학술지에 제출하였고 그 중 3편은 게재되었으며 3편은 학술지의 review 심사중에 있음. 미게재된 3편의 논문의 경우, 학술지 제출시점을 고려했을 때 2022년 4월 내로 모두 게재될 수 있을 것으로 예상됨.

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 대기오염물질을 제거하고 실내공기질을 정화하는 연구분야에서는 발전이 미비한 상태였던 광열전환촉매 관련해서 우수한 성능을 보이는 촉매를 개발함에 따라 국내외 촉매분야소재 개발에 크게 기여함
- 정부 실내공기질관리 정책과 연계하여 본 기술을 이용한 실내공기오염원 발생 시 효율적인 제거 및 저감 기술로 적용 가능

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

- 본 연구과제의 결과를 바탕으로 미세먼지전구체 제거성능을 최적화할 수 있는 융합촉매 기반 hybrid-system의 성능 향상(본 연구에서 사용된 물질 외 대기오염물질 제거 목표)을 목표로 후속연구개발이 진행 가능하며, 경제성 있는 결과를 바탕으로 다양한 촉매분야에 활용 가능할 것으로 보임.
- 본 연구의 한계성 및 보완 연구되어야 할 사항
 - 본 연구에서 사용한 아세트알데하이드, 암모니아, 톨루엔, 포름알데하이드 가스에 더해 초산(CH_3COOH)을 대상으로 한 연구를 추가 및 보완하여 표준유해가스 시험대상가스 5종 전부에 관한 연구가 필요함. 또한 대표적인 대기오염물질인 질소산화물, 황산화물 등에 대한 제거연구도 추가하여 전반적인 미세먼지 전구체 물질들에 대한 개발융합촉매의 성능을 검증할 예정임.
 - 실제 사용조건에서의 성능 및 환경 안정성 평가 : 실내조건을 구현한 챔버반응기를 활용한 미세먼지전구체 제거연구 결과를 바탕으로, 실제 실내조건에서도 효율적인 미세먼지전구체 제거성능을 기대할 수 있으며 별도의 외부 장치나 설비가 필요하지 않은 실내공기 정화방식이므로 높은 환경 안정성이 예상된다.
 - 사용재료의 인체 및 환경 유해영향 평가 : 촉매는 반영구적으로 사용이 가능하다는 장점이 있음과 동시에 인체에 무해한 재료이므로 인체 및 환경 유해영향은 없을 것으로 판단됨.

7. 참고 문헌

-

별첨 자료

1. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료
2. 세부 정량적 연구개발성과 증빙자료(총 연구개발기간 성과점검기준표 실적 증빙자료에 기 포함되어 있는 증빙자료 제외)

논문 1. Synergistic effect of Sn doping and hydrogenation on hematite electrodes for photoelectrochemical water oxidation



MATERIALS CHEMISTRY
FRONTIERS



CHINESE
CHEMICAL
SOCIETY



ICCS



ROYAL SOCIETY
OF CHEMISTRY

RESEARCH ARTICLE
[View Article Online](#)
[View Journal](#) | [View Issue](#)


Check for updates

Cite this: *Mater. Chem. Front.*, 2021, 5, 6592

Synergistic effect of Sn doping and hydrogenation on hematite electrodes for photoelectrochemical water oxidation†

Tae Hwa Jeon, ^{ab} Hae-in Cho, ^c Hyunwoong Park, ^d Hyoung-il Kim ^{*,ce} and Wonyong Choi ^{*,af}

Hematite (α -Fe₂O₃), which is abundant, chemically stable, and environmentally benign, is a promising photoanode material that can oxidize water in photoelectrochemical (PEC) water splitting. However, the poor electrical properties of hematite limit its intrinsic activity with regard to PEC water splitting. Herein, we report an innovative dual modification strategy that combines metal (Sn) doping and H₂ treatment to prepare an efficient hematite photoanode for PEC water splitting. Sn doping and the subsequent H₂ treatment generate different electron donors, Sn⁴⁺ and oxygen vacancies (V_O), in hematite. Electrochemical impedance measurements revealed that dual-modified hematite with a synchronous presence of Sn⁴⁺ and V_O exhibited significantly improved electrical properties with 111 times higher donor density and 10 times smaller charge transfer resistance than those of bare hematite. As a result, the photooxidation current was 4.61 mA cm⁻² (at 1.6 V_{onset}), which is 55 times higher than that of bare hematite (83 μ A cm⁻²) and substantially higher than the sum of the photooxidation current exhibited by the two single-modified hematites (298 μ A cm⁻² for Sn doping and 681 μ A cm⁻² for H₂ treatment). A stable photocurrent was maintained under prolonged illumination over 12 h without showing any sign of deactivation. Additional cobalt treatment further increased the PEC water oxidation performance of the dual-modified hematite, achieving a superior Faraday efficiency (ca. 99%) and stability. Compared to the oxygen-deficient heat treatment (under Ar) of Sn-doped hematite, the combination of Sn doping and H₂ treatment induces outstanding synergistic improvement of PEC activity (photocurrent twice that of Sn-doped and Ar-treated hematite).

Received 12th June 2021,
Accepted 25th July 2021
DOI: 10.1039/d1qm00847a
rsc.li/frontiers-materials

1. Introduction

Hematite (α -Fe₂O₃) is one of the most promising n-type semiconductor photocatalysts for photoelectrochemical (PEC) water oxidation.^{1–3} Hematite photocatalysts have been receiving increased attention owing to their abundance, non-toxicity,

high stability, and ideal bandgap (2.2 eV).^{4,5} The theoretical solar-to-hydrogen (STH) efficiency of hematite is around 13–15%; however, in practice, the efficiency of bare hematite is substantially smaller than the aforementioned value.^{4,6,7} This is because of poor charge separation due to a short hole diffusion length (2–10 nm)^{8–10} and a low absorption coefficient.¹¹ One of the effective ways to enhance the PEC performance of hematite by overcoming these limitations is impurity doping. Various metal and nonmetal impurity dopants (Pt, Si, Cr, Al, Zn, Ti, P) have been applied to hematite electrodes; furthermore, they were found to significantly alter the electronic and physical properties of the hematite electrodes.^{12–17} Among them, Sn⁴⁺ has been extensively studied as a four-valent metal dopant owing to the small lattice mismatch between SnO₂ and Fe₂O₃ that leads to a relatively high stability and enhanced PEC activity.^{18–20} Substitutional doping of Sn⁴⁺ in hematite provides an extra electron as an electron donor and consequently improves the electrical conductivity and PEC activity of hematite electrodes.^{21,22} However, to attain effective Sn doping for high PEC performance, Sn-doped hematite needs to be

^a Division of Environmental Science and Engineering, Pohang University of Science and Technology (POSTECH), Pohang 37673, Republic of Korea. E-mail: uchoi@postech.edu

^b Department of Civil and Environmental Engineering, Rice University, Houston, TX 77005, USA

^c Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul, 03722, Republic of Korea. E-mail: hi.kim@yonsei.ac.kr

^d School of Energy Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

^e Future City Open Innovation Center, Pohang University of Science and Technology (POSTECH), Pohang 37673, Korea

^f Institute for Convergence Research and Education in Advanced Technology, Yonsei University, Seoul 03722, Korea

† Electronic supplementary information (ESI) available. See DOI: 10.1039/d1qm00847a

Synthesis and characterization of mesoporous tungsten oxides and application of its photo-catalytic activity on photo-degradation of methyl orange

Seo-Hyun Pak, Chan-gyu Park*

Environmental Technology Division, Korea Testing Laboratory, 87 Digital-ro 26-gil, Guro-gu, Seoul 08389, Korea, Tel. +82-02-860-1105/+82-02-860-1272; Fax: +82-02-860-1689; email: pcg6189@hotmail.com (C.G. Park), Tel. +82-02-860-1139; Fax: +82-02-860-1689; email: seohyunpak@ktl.re.kr (S.-H. Pak)

Received 19 November 2020; Accepted 21 May 2021

ABSTRACT

In this study, mesoporous tungsten oxide was prepared by optimizing the synthesis conditions using P123 as the structure-directing agent, ethanol, and WCl_6 . The photo-degradation of methyl orange (MO) was investigated using mesoporous tungsten oxide. The thus-synthesized mesoporous tungsten oxide was characterized by X-ray diffraction (XRD), UV-Vis spectroscopy, nitrogen adsorption-desorption analysis, field emission transmission electron microscope (FE-TEM), Fourier transform infrared spectroscopy and its activity in the photocatalytic degradation of methyl orange was investigated by UV-vis spectroscopy. XRD and FE-TEM analyses confirmed that the synthesized mesoporous tungsten oxide catalysts show homogeneity in mesoporosity, along with higher specific surface area with monoclinic structure. The photo-catalytic efficiency of mesoporous tungsten oxide is controlled by the amount of WCl_6 . The results obtained suggest that mesoporous tungsten oxide (W-3) has the highest photo-catalytic performance in the photo-degradation of methyl orange at a shorter time. When the photocatalytic degradation of MO was performed three times, there was no drop in the photocatalytic activity of mesoporous tungsten oxide. As a result, mesoporous tungsten oxide showed that it can be used to decompose organic dye easily, and efficiently and lead to regeneration of the mesoporous tungsten oxide without compromising their performance during reuse test.

Keywords: Mesoporous tungsten oxide; Water treatment; Toxic pollutants; High surface area; Photocatalyst

1. Introduction

Industrial development leads to several environmental problems, and the reduction in environmental pollution is currently a major agenda for international trade. Especially, water pollution is caused by residential waste water, industrial wastewater, etc., causing algal blooms and the death of aquatic organisms [1–3]. A variety of technologies have been suggested to alleviate water pollution and stop the discharge of pollutants; however, water purification is possible only in isolated areas. Physical and chemical treatment technologies such as coagulation, adsorption using activated carbon, membranes and

combined coagulation/carbon adsorption system are being established, but the development of pretreatment technologies, such as advanced oxidation process and advanced biological treatment, still require further research for their practical application [4–9].

Water pollution preventive facilities frequently use excess chemical coagulants to meet the strict environmental regulations, causing secondary pollution. Especially, because they have ineffective facilities for the pretreatment of non-biodegradable materials, their treatment efficiencies are low. Moreover, since they frequently run into activated sludge bulking, the biological treatment facilities sometimes fail to operate normally.

* Corresponding author.

논문 3. Polydopamine (PDA)-TiO₂ 코팅 유리섬유 직물을 이용한 VOCs의 저감 성능 및 항균성 연구

韓國環境保健學會誌
Journal of Environmental Health Sciences

Original Article


pISSN 1738-4087 eISSN 2233-9816
J Environ Health Sci. 2021; 47(8): 540-547
<https://doi.org/10.5668/JEHS.2021.47.6.540>

Polydopamine (PDA)-TiO₂ 코팅 유리섬유 직물을 이용한 VOCs의 저감 성능 및 항균성 연구

박서현 , 최예인 , 이홍주 , 박찬규* 

한국산업기술시험원 환경기술본부

Reduction of VOCs and the Antibacterial Effect of a Visible-Light Responsive Polydopamine (PDA) Layer-TiO₂ on Glass Fiber Fabric

Seo-Hyun Park, Yein Choi, Hong Joo Lee, and Chan-gyu Park*

Environmental Technology Division, Korea Testing Laboratory

ABSTRACT

Background: Indoor air pollutants are caused by a number of factors, such as coming in from the outside or being generated by internal activities. Typical indoor air pollutants include nitrogen dioxide and carbon monoxide from household items such as heating appliances and volatile organic compounds from building materials. In addition there is carbon dioxide from human breathing and bacteria from speaking, coughing, and sneezing.

Objectives: According to recent research results, most indoor air pollution is known to be greatly affected by internal factors such as burning (biomass for cooking) and various pollutants. These pollutants can have a fatal effect on the human body due to a lack of ventilation facilities.

Methods: We fabricated a polydopamine (PDA) layer with Ti substrates as a coating on supported glass fiber fabric to enhance its photo-activity. The PDA layer with TiO₂ was covalently attached to glass fiber fabric using the drop-casting method. The roughness and functional groups of the surface of the Ti substrate/PDA coated glass fiber fabric were verified through infrared imaging microscopy and field emission scanning electron microscopy (FE-SEM). The obtained hybrid Ti substrate/PDA coated glass fiber fabric was investigated for photocatalytic activity by the removal of ammonia and an epidermal *Staphylococcus aureus* reduction test with lamp (250 nm, 405 nm wavelength) at 24°C.

Results: Antibacterial properties were found to reduce epidermal *Staphylococcus aureus* in the Ti substrate/PDA coated glass fiber fabric under 405 nm after three hours. In addition, the Ti substrate/PDA coated glass fiber fabric of VOC reduction rate for ammonia was 50% under 405 nm after 30 min.

Conclusions: An electron-hole pair due to photoexcitation is generated in the PDA layer and transferred to the conduction band of TiO₂. This generates a superoxide radical that degrades ammonia and removes epidermal *Staphylococcus aureus*.

Key words: Polydopamine, anti-bacterial, VOC reduction, photosensitive material

Received October 26, 2021

Revised December 7, 2021

Accepted December 10, 2021

Highlights

- A polydopamine layer with Ti-substrates (Ti/PDA) was developed for supporting glass fiber fabrics.
- Their biocidal capabilities and VOCs elimination were tested under various conditions.
- Photoexcitation of the Ti/PDA reduced epidermal *S. aureus* and VOCs at 405 nm (λ) within 3 hr and 0.5 hr, respectively.

*Corresponding author:

Environmental Technology Division,
Korea Testing Laboratory, 87 Digital-ro
26-gil, Gumi-gu, Seoul 08389, Republic of
Korea

Tel: +82-2-860-1208

Fax: +82-2-860-1689

E-mail: pcg6189@naver.com

1. 서 론

최근 신규 주택의 실내공기 오염 즉, '새집증후군'이 실내공기 오염문제로 항상 대두되고 있다. 새집증후군은 주택 내의 건축 자재나 가구, 가전용품, 그리고 벽지 등을 부착하기 위하여 사

용되는 접착물질 등으로부터 주택의 좁은 실내에 복합적인 화학물질이 배출되어 두통·구토 등을 유발하고, 각종 환경성 질환(아토피, 천식 등)의 원인이 되는 것을 말한다.¹⁾ 발생되는 화학물질로는 난방기구와 같은 생활용품에서 나오는 이산화질소와 일산화탄소, 건축자재의 폼알데하이드, 휘발성 유기화합

Copyright © Korean Society of Environmental Health.



This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://je-jehs.org>

논문 4. (UNDER review) Revisiting the oxidizing capacity of the periodate-H₂O₂ mixture: Identification of the primary oxidants and their formation mechanisms

Environmental Science & Technology

This document is confidential and is proprietary to the American Chemical Society and its authors. Do not copy or disclose without written permission. If you have received this item in error, notify the sender and delete all copies.

Revisiting the oxidizing capacity of the periodate-H₂O₂ mixture: Identification of the primary oxidants and their formation mechanisms

Journal:	Environmental Science & Technology
Manuscript ID	es-2021-08502d
Manuscript Type:	Article
Date Submitted by the Author:	12-Dec-2021
Complete List of Authors:	Kim, Yelim; Korea University - Anam Campus, Civil, Environmental, and Architectural Engineering Lee, Hongshin; Korea University - Anam Campus, Civil, Environmental, and Architectural Engineering Oh, Hoon; Korea University - Anam Campus, Civil, Environmental, and Architectural Engineering Haider, Zeeshan; Yonsei University, Civil and Environmental Engineering Choi, Jaemin; Korea University - Anam Campus, Civil, Environmental, and Architectural Engineering Shin, Yong-Uk; Korea University - Anam Campus, Civil, Environmental, and Architectural Engineering Kim, Hyung-il; Yonsei University, Civil & Environmental Engineering Lee, Jaesang; Korea University - Anam Campus, Civil, Environmental, and Architectural Engineering

SCHOLARONE™
Manuscripts

ACS Paragon Plus Environment

Acknowledgments

This work was supported by a National Research Foundation of Korea Grant, funded by the Korean government [Grant no. NRF-2021R1A2C2003763]; and by the Technology Advancement Research Program, funded by the Ministry of Land, Infrastructure, and Transport of the Korean government [Grant 21CTAP-C157292-02].

논문 5. (UNDER review) Harnessing Indoor Waste Heat for Sustainable Thermocatalytic mineralization of Acetaldehyde using Platinized TiO₂

Environmental Research Harnessing Indoor Waste Heat for Sustainable Thermocatalytic mineralization of Acetaldehyde using Platinized TiO₂ --Manuscript Draft--

Manuscript Number:	ER-22-2534
Article Type:	Research paper
Section/Category:	Environmental Technology
Keywords:	thermocatalytic oxidation; acetaldehyde; low-temperature catalyst; waste-heat energy; mineralization
Corresponding Author:	Hyoung-il Kim, Ph.D. Yonsei University Seoul, Seodaemun-gu KOREA, REPUBLIC OF
First Author:	Minhyung Lee
Order of Authors:	Minhyung Lee Heewon Yim Bupmo Kim Suho Kim Wonyong Choi Wooyul Kim Hyoung-il Kim, Ph.D.
Abstract:	This study demonstrates the first reported thermocatalytic oxidation of an indoor volatile organic compound (VOC), acetaldehyde, harnessing waste-heat energy from indoor light sources (e.g., halogen lamp) without additional energy inputs. To utilize indoor waste-heat energy and attain sustainable thermocatalytic degradation of VOCs, we designed a thermocatalytic lampshade coated with the optimal Pt-TiO₂ catalyst. The proposed catalyst-coated lampshade was successfully able to be activated under waste-heat energy (~ 120 °C) from a lamp source and achieve the complete mineralization of CH₃CHO into CO₂. The catalytic activity on Pt-TiO₂ was extremely dependent on its preparation method which greatly influenced characteristics (e.g., oxidation state and size) of Pt. The thermocatalytic oxidation mechanism of CH₃CHO over the Pt-TiO₂ was investigated by transmission FT-IR spectroscopy, revealing that O₂ and H₂O sources play vital roles for thermocatalytic mineralization of CH₃CHO by shifting the reaction pathway. Although Pt is an expensive noble metal, the thermocatalytic process on the Pt-TiO₂ coated lampshade using indoor waste-heat energy without requiring additional energy, along with its outstanding activity and durability, can offset the high material cost. Therefore, the proposed strategy here offers a sustainable and feasible method for the degradation of indoor VOCs.
Suggested Reviewers:	Detlef W. Bahnemann Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover; Leibniz Universität Hannover bahnemann@iftc.uni-hannover.de expert in Photocatalysis and Nanotechnology Seunghyun Weon, Ph.D. Prof., Korea University s_weon@korea.ac.kr expert in photocatalytic VOC degradation Jaehong Kim, Ph.D. Prof., Yale University jaehong.kim@yale.edu expert in photocatalytic environmental applications Guan Zhang, Ph.D. Prof., Harbin Institute of Technology

Powered by Editorial Manager® and Prodxion Manager® from Aries Systems Corporation

Acknowledgements

This work was supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Grant 21CTAP-C157292-02) and the Ecological Imitation-based Environmental Pollution Management Technology Development Project (2019002790008) funded by the Korea Ministry of Environment (MOE).

논문 6. (UNDER review) Preparation of polydopamine-coated TiO₂ composites for photocatalytic removal of gaseous ammonia under 405 nm violet-blue light

Korean Journal of Chemical Engineering
Preparation of polydopamine-coated TiO₂ composites for photocatalytic removal of gaseous ammonia under 405 nm violet-blue light
 --Manuscript Draft--

Manuscript Number:	KJCE-D-21-00986R1	
Full Title:	Preparation of polydopamine-coated TiO ₂ composites for photocatalytic removal of gaseous ammonia under 405 nm violet-blue light	
Article Type:	Original Article	
Corresponding Author:	Chan-gyu Park Korea Testing Laboratory KOREA, REPUBLIC OF	
Corresponding Author Secondary Information:		
Corresponding Author's Institution:	Korea Testing Laboratory	
Corresponding Author's Secondary Institution:		
First Author:	Seo-Hyun Pak	
First Author Secondary Information:		
Order of Authors:	Seo-Hyun Pak Jung Hoon Park Chan-gyu Park	
Order of Authors Secondary Information:		
Funding Information:	the Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Grant 20CTAP-C157292-01)	Dr. Chan-gyu Park
Abstract:	Background: Although photocatalytic reactions using the ultraviolet (UV) range (particularly UV-B (280–320 nm) wavelengths) is well-established, the photocatalytic effect of longer wavelengths (especially that of UVA (≥380 nm) and visible light (≥400 nm)) have only recently been studied and utilized for environmental applications. Aim: In this work, we coated polydopamine (PDA) and TiO₂ on a support and investigated the synergistic effects of the corresponding composites for the photocatalytic removal of gaseous ammonia under 405 nm violet-blue light. Findings: The PDA layer with TiO₂ was covalently attached on a ceramic ball using the drop-casting method. The roughness and functional groups of the TiO₂-PDA coated ball surfaces were verified using an infrared imaging microscope and field emission scanning electron microscope (FE-SEM). The photocatalytic activity of the obtained hybrid TiO₂-PDA coated ball for the removal of ammonia was investigated using a UV-C and 405 nm LED lamp at 24 °C. The results showed that both the TiO₂ (control sample) and TiO₂-PDA coated balls successfully removed ammonia under similar experimental conditions with the 254 nm UV-C lamp. Notably, the TiO₂-PDA coated ball exhibited an enhanced ammonia removal efficiency of 72% under 405 nm LED light irradiation. Thus, the TiO₂-PDA coated ball can be utilized as a promising indoor air cleaning technique under LED light irradiation.	
Response to Reviewers:	Manuscript Response to Reviewers Dear Dr. Kun-Yi Andrew Lin Thank you for giving us the opportunity to submit a revised draft of the manuscript "Synthetic preparation of polydopamine (PDA) layer-TiO₂/Ti₂O₃ coating on supported materials for photocatalytic removal of gaseous ammonia" for publication in Korean Journal of Chemical Engineering. We appreciate the time and effort that you and the reviewers dedicated to providing feedback on our manuscript. We have incorporated most of the suggestions made by the reviewers. Those changes are red-colored within the manuscript.	

Powered by Editorial Manager® and Prodxion Manager® from Aries Systems Corporation

Acknowledgments

This work is supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA) grand funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Grant 20CTAP-C157292-01)

특허 출원 1. 전등갓 폐열을 활용하는 열촉매 시스템 (10-2021-0105840)

관인생략

출원번호통지서

출원일자 2021.08.11
 특기사항 심사청구(무) 공개신청(무) 참조번호(KPY21006)
 출원번호 10-2021-0105840 (접수번호 1-1-2021-0925512-78)
 (DAS접근코드E070)
 출원인명칭 연세대학교 산학협력단(2-2005-009509-9)
 대리인성명 김인철(9-2006-000612-5)
 발명자성명 김형일 이민형
 발명의명칭 전등갓 폐열을 활용하는 열촉매 시스템

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로
 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
 2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가
 까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
 ※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
 3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하
 여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
 4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에
 문의하여 주시기 바랍니다.
 ※ 심사제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-지식재산제도

2021-08-11

2021-08-11

【서지사항】

【서류명】 특허출원서
 【참조번호】 KPY21006
 【출원구분】 특허출원
 【출원인】 연세대학교 산학협력단
 【명칭】 연세대학교 산학협력단
 【특허고객번호】 2-2005-009509-9
 【대리인】 김인철
 【성명】 김인철
 【대리인번호】 9-2006-000612-5
 【포괄위임등록번호】 2011-075257-3
 【발명의 국문명칭】 전등갓 폐열을 활용하는 열촉매 시스템
 【발명의 영문명칭】 Thermal Catalyst System using waste heat of lampshade
 【발명자】 김형일
 【성명】 김형일
 【성명의 영문표기】 KIM, Hyoung II
 【주인등록번호】 821126-1XXXXXX
 【우편번호】 03722
 【주소】 서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교 제1공학관 N510
 【발명자】 이민형
 【성명】 이민형
 【성명의 영문표기】 LEE, Min Hyung

【주인등록번호】 940323-1XXXXXX
 【우편번호】 03722
 【주소】 서울특별시 서대문구 연세로 50 연세대학교, 연세대학교 공
 학원 307B
 【출원언어】 국어
 【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】
 【과제과유번호】 1615011587
 【과제번호】 157292
 【부처명】 국토교통부
 【과제관리(전문)기관명】 국토교통과학기술진흥원
 【연구사업명】 국토교통기술연구개발
 【연구과제명】 광산화 기반 미세먼지진구체 제거성능 극대화를 위한 고효
 율 가시광촉매 및 광열전환 융합촉매개발(2/2)
 【기여율】 1/1
 【과제수행기관명】 연세대학교 산학협력단
 【연구기간】 2021.01.01 ~ 2021.12.31
 【취지】 위와 같이 특허청장에게 제출합니다.
 대리인 김인철 (서명 또는 인)
 【수수료】
 【출원료】 0 면 46,000 원
 【가산출원료】 14 면 0 원

18-1

18-2

특허 출원 2. 광촉매가 첨가된 폴리도파민 코팅액의 제조방법, 상기 코팅액을 이용한 지지체의 표면 처리방법, 및 이에 의해 제조된 나노복합재 점착필터 및 흡착제 (10-2021-0115011)

2021-08-30

【서지사항】

2021-08-30

【서류명】 특허출원서
 【참조번호】 P20211061KR
 【출원구분】 특허출원
 【출원인】
 【명칭】 한국산업기술시험원
 【특허고객번호】 2-2007-003062-5
 【대리인】
 【성명】 박정우
 【대리인번호】 9-2013-001990-9
 【포괄위임등록번호】 2019-034082-4
 【발명의 국문영칭】 광촉매가 첨가된 폴리도파민 코팅액의 제조방법, 상기 코팅액을 이용한 지지체의 표면 처리방법, 및 이에 의해 제조된 나노복합재 점착필터 및 흡착제
 【발명의 영문영칭】 Manufacturing method of polydopamine coating solution with photocatalyst, Surface treatment method of support using the coating solution, And Nanocomposite adhesive filter and Absorbent manufactured by the same
 【발명자】
 【성명】 박서현
 【성명의 영문표기】 PAK, Seo Hyun
 【주민등록번호】 850529-2XXXXXX
 【우편번호】 08389

29-1

【주소】 서울특별시 구로구 디지털로26길 87 한국산업기술시험원
 【발명자】
 【성명】 박찬규
 【성명의 영문표기】 PARK, Chan Gyu
 【주민등록번호】 760405-1XXXXXX
 【우편번호】 08389
 【주소】 서울특별시 구로구 디지털로26길 87 한국산업기술시험원
 【출원언어】 국어
 【심사청구】 청구
 【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】
 【과제고유번호】 1615011587
 【과제번호】 20CTAP-C157292-01
 【부처명】 국토교통부
 【과제관리(전문)기관명】 국토교통과학기술진흥원
 【연구사업명】 국토교통기술촉진연구사업
 【연구과제명】 태양광 활용 극대화 광산화/광열전환 융합촉매 기반 미세면지 전구체 제거용 건설 복합재료 개발
 【기여율】 1/1
 【과제수행기관명】 한국산업기술시험원
 【연구기간】 2020.04.13 ~ 2021.12.31

29-2

특허 출원 3. & 등록. 메조 다공성 텅스텐 산화물의 제조 방법 (등록번호 : 10-2345022)



특허권자 Patentee
한국산업기술시험원(254371-*****)
경상남도 진주시 중의로 10(충무공동)

발명자 Inventor
등록사양서에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



2021년 12월 24일

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
김 용 래



QR코드로 현재 기준
등록사항을 확인하세요



등록특허 10-2345022



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년12월29일
(11) 등록번호 10-2345022
(24) 등록일자 2021년12월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C01G 41/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C01G 41/02 (2013.01)
C01P 2006/16 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0172294
(22) 출원일자 2020년12월10일
심사청구일자 2020년12월10일
(56) 선행기술조사본문
Journal of Sol-Gel Science and
Technology, (2016.12.27.), vol.82, (1),
pp. 148-156*
Procedia Engineering, (2017.01.04.), vol.168,
pp. 280-292*
KR101905702B1
US20150315035A1
*는 심사청에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국산업기술시험원
경상남도 진주시 중의로 10(충무공동)
(72) 발명자
박시현
서울특별시 구로구 디지털로36길 87 한국산업기술
시험원
박찬규
서울특별시 구로구 디지털로36길 87 한국산업기술
시험원
(71) 대리인
박정우, 이장훈

전체 청구항 수 : 총 13 항

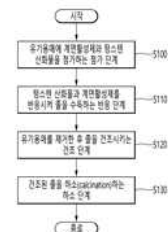
실사관 : 장민구

(54) 발명의 명칭 메조 다공성 텅스텐 산화물의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 메조 다공성 텅스텐 산화물의 제조 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 하드 템플릿을 사용하지 않고 메조 다공성 텅스텐 산화물을 제조하는 메조 다공성 텅스텐 산화물의 제조 방법에 관한 것이다. 상기 제조 방법은 유기용매에 계면활성제 및 텅스텐 산화물을 첨가하는 제1단계, 상기 텅스텐 산화물과 상기 계면활성제가 반응하여 졸(sol)을 형성하는 제2단계, 상기 유기용매를 제거하여 상기 졸을 건조시키는 제3단계, 및 상기 건조된 졸을 하소(calcination)하는 제4단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 501



등록특허 10-2345022

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1615011587
과제번호 20CTAP-C157292-01
부처명 국토교통부
과제관리(전문)기관명 국토교통과학기술진흥원
연구사업명 국토교통기술혁신연구사업
연구과제명 태양광 활용 극대화 광산화/광열전환 융합촉매 기반 미세면지 전구체 제거용 건설·복합재료 개발
기여율 1/1
과제수행기관명 한국산업기술시험원
연구기간 2020.04.13 - 2021.12.31

저작권 1. 유해가스 제거용 필터 성능평가 장치 상세 설계도 (C-2021-039106)

제 C-2021-039106 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(제목) 유해가스 제거용 필터 성능평가 장치 상세 설계도

2. 저작물의 종류 도형저작물>설계도

3. 저작자 성명(법인명) 한국산업기술시험원
경상남도 진주시 중의로

4. 생년월일(법인등록번호) 254371-0012187

5. 창작연월일 2021년08월24일

6. 공표연월일 -

7. 등록연월일 2021년10월01일

8. 등록사항 저작자 : 한국산업기술시험원
창작 : 2021.08.24

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2021년 10월 05일

한국저작권위원회

저작권 2. 유해가스 제거용 필터 성능평가 장치 운전 매뉴얼 (C-2021-039317)

제 C-2021-039317 호

저작권 등록증

1. 저작물의 제호(제목) 유해가스 제거용 필터 성능평가 장치 운전 매뉴얼

2. 저작물의 종류 편집저작물>사용설명서

3. 저작자 성명(법인명) 한국산업기술시험원
경상남도 진주시 중의로

4. 생년월일(법인등록번호) 254371-0012187

5. 창작연월일 2021년08월27일

6. 공표연월일 -

7. 등록연월일 2021년10월05일

8. 등록사항 저작자 : 한국산업기술시험원
창작 : 2021.08.27

「저작권법」 제53조에 따라 위와 같이 등록되었음을 증명합니다.

2021년 10월 06일

한국저작권위원회

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘국토교통기술촉진연구사업’ 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.