

최종보고서(일반과제용)										보안등급 일반[☒], 보안[☐]	
중앙행정기관명	국토교통부			사업명	사업명		국토교통기술촉진연구사업				
전문기관명	국토교통과학기술진흥원				내역사업명		국토교통기술혁신연구				
공고번호	공고-제2호			총괄연구개발 식별번호		-					
				연구개발과제번호		19CTAP-C152269-01					
국가과학기술 표준분류	건설 교통		30%	도로교통기술		30%	교통환경 개선기술		40%		
총괄연구개발명	국문	-									
	영문	-									
연구개발과제명	국문	도로교통 안전 및 자율주행차 인지 성능 향상을 위한 자체 발광 안내 표지판 개발									
	영문	Development of self-emission sign boards to improve the road traffic safety and recognizing ability for lane of autonomous vehicles									
주관연구기관	기관명	성균관대학교				사업자등록번호		101-82-12009			
	주소	(16419) 경기도 수원시 장안구 서부로 2066 성균관대학교				법인등록번호		110171-0029501			
주관연구책임자	성명	윤대호				직위		교수			
	연락처	직장전화	031-290-7361				휴대전화		010-8407-7361		
		전자우편	dhyoon@skku.edu				국가연구자번호		10102723		
연구개발기간	전체	2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(2 년 9 개월)									
	1년차	2019. 04. 19 - 2019. 12. 31(0 년 9 개월)									
	2년차	2020. 01. 01 - 2020. 12. 31(1 년 0 개월)									
	3년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(1 년 0 개월)									
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그외기관 등의 지원금 자립단체 기타()				합계		연구개발비 외 지원금	
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	490,000	-	-	-	-	-	-	490,000	-	490,000	
1년차	104,000	-	-	-	-	-	-	104,000	-	104,000	
2년차	115,000	-	-	-	-	-	-	115,000	-	115,000	
3년차	271,000	-	-	-	-	-	-	271,000	-	271,000	
공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화		전자우편		비고			
								역할	기관유형		
공동연구기관	한국광기술원	송영현	선임	010-2909-1310		songyh83@kopti.re.kr		공동	전문연		
연구개발담당자 실무담당자	성명	유정현				직위		대학원생			
	연락처	직장전화	031-290-7388				휴대전화		010-9876-8672		
		전자우편	jungeml@skku.edu				국가연구자번호		11706814		

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

2022 년 2 월 3 일

주관연구책임자 :

윤 대 호

주관연구기관의 장 :

성균관대학교 산학협력단 박 선 구

국토교통과학기술진흥원장 귀하



< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성

사업명		국토교통기술촉진연구사업			총괄연구개발 식별번호		-		
내역사업명		국토교통기술혁신연구			연구개발과제번호		21CTAP-C152269-03		
국가과학기술 표준분류		건설 교통	30%	도로교통기술	30%	교통환경 개선기술	40%		
총괄연구개발명		-							
연구개발과제명		도로교통 안전 및 자율주행차 인지 성능 향상을 위한 자체 발광 안내 표지판 개발							
전체 연구개발기간		2019. 04. 19 - 2021. 12. 31 (2 년 9 개월)							
총 연구개발비		총 490,000 천원 (정부지원연구개발비 : 490,000 천원, 기관부담연구개발비 : 0 천원, 지방자치단체 : 0 천원, 그 외 지원금 : 0 천원)							
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[☒] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]			기술성숙도		착수시점 기준(3) 종료시점 목표(7)		
연구개발과제 유형		지정공모 [☒] 자유공모 []							
연구개발과제 특성		비실용화							
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표	도로교통 안전 향상을 위한 자체 발광형 소재 탐색 및 자체 발광형 표지판 제작 기술 개발							
	전체 내용	■ 본 연구팀에선 공정개선을 통하여 황화물계, 산화물계 형광체 보다 안정성이 뛰어난 자체 발광형 소재를 개발하였으며. 이러한 자체 발광형 소재는 항공기 피난 유도 표시판, 야간 안전 표시판, 위조지폐 방지기술, 비상구 안내 표시 등 폭넓게 적용되고 있음. 또한, 안전 표시뿐만 아니라 자율주행 자동차에 차선 인식성 향상을 위해 시인성이 뛰어난 차선의 개발이 필요해지고 있는 시점으로 이에 본 기관은 “도로교통 안전 및 자율주행차 인지 성능 향상을 위한 자체 발광 안내 표지판 개발” 을 제안하고자 함. ■ 본 연구팀은 사회이슈 해결을 위해 자연광원인 태양빛이나 인공광원인 전등 등의 자극을 받아 에너지를 흡수한 후 그 자극을 제거하여도 어두운 곳에서 장시간 스스로 빛을 발하는 고안정성의 고효율 자체발광 소재 합성을 기본으로 하며, 이 소재를 도로교통 안전에 기여할 수 있는 안내 표지판, 차선 도료 등의 제품화를 하는 것을 목표로 함. ■ 본 연구팀에서는 개발하는 여러 파장 영역의 자체 발광형 소재들의 목록과 특성들을 포함하는 라이브러리를 구축하고, 이를 활용하여 적용 분야별 제품화에 적극 활용 및 실증 테스트를 목표로 함.							
	1년차	목표	- 주관연구기관(성균관대학교): ■ 호스트와 doping 및 co-doping 연구를 통한 핵심 자체 발광형 소재 라이브러리 구축 ■ 자체 발광형 소재의 합성 및 특성 평가 - 참여기관 (한국광기술원): ■ 형광소재의 광학적 시뮬레이션 및 평가 ■ 적용분야에 따른 재료의 적합성 검토 및 적합한 안내판 선정						
		내용	- 주관연구기관(성균관대학교): ■ 호스트·Dopant·Co-dopant 상관관계와 이에 따른 광특성 변화 예측 형광체의 여기는 Dopant에서 흡수하는 직접 여기(고효율)와 호스트에서 흡수하여 dopant로 전이되는 간접 여기 두 가지 경우가 있음. 란타늄 원소 혹은 전이금속 등이 Dopant로 사용되며 여기 및 발광 파장에 직접적인 영향을 줌. ■ 자체 발광 특성은 Co-dopant의 전하균형 차이에 의하여 형성된 결함(defect level)에 전하가 trap 된 후 열적 자극에 의하여 호스트의 conduction band를 타고 다시 emission center로 이동 후 발광형 재결합에 의한. 따라서 Co-doping 및 호스트와 상관관계에 의하여 특성이 좌우됨. ■ 안내판에 적합한 광특성 보유한 핵심 형광 소재의 라이브러리 구축 및 이의 합성 - 자연광 및 자동차 헤드램프에 의하여 여기될 수 있는 형광 소재가 요구됨. (헤드램프 많이 사용되는 종류) - 참여기관 (한국광기술원):						

			■ 형광소재의 광학적 시뮬레이션 및 평가 - 주관기관 개발 형광소재 광특성 측정 및 평가 - 형광소재 광학시뮬레이션 기술 개발 ■ 시작품 적용 범위 및 목표 안내 표지 설정 - 시장조사를 통한 목표 적용 범위 설정 및 시작품 종류 설정 - 재료별 광 효율, 비중, 내마모성, 내화학성, 입도, 물폴로지, 표면특성 등 적합 여부 검토
		2년차	- 주관연구기관(성균관대학교): ■ 자체 발광형 소재 합성공정 조건 최적화 및 효율 향상 ■ 형광소재의 특성 평가를 통한 피드백 - 참여기관 (한국광기술원): ■ 자체 발광형 소재 코팅 기술 개발 ■ 형광소재의 광학적 특성 평가 ■ 목표에 따른 적합한 안내판 디자인 및 시작품 제작
			- 주관연구기관(성균관대학교): ■ 자체 발광형 소재 분말 합성공정 연구 및 최적화 - 기존 단순 공정인 고상법 외에도 자체 발광형 소재의 다양한 합성방법에 접근하고 그 조건을 최적화 시킴. 자체 발광 특성은 dopant, co-dopant 외에도 합성 시 하소 및 열처리 온도, 시간 등에 따라 달라짐. 적절한 trap level을 형성시키기 위한 공정의 선택과 공정 최적화가 필수적임. ■ 조성, Co-dopant 함량, 열처리 온도 등 합성 조건 최적화를 통한 defect 형성 유도 및 잔광효율 개선 ■ 합성된 소재의 광특성, 결정성, 입도, 물폴로지, 표면특성 분석을 통한 피드백 - 참여기관 (한국광기술원): ■ 자체 발광형 소재 코팅 기술 개발 - 내마모성 향상을 위한 자체 발광형 소재 코팅 물질 선정 - 자체 발광형 소재 코팅 위한 공정기술 최적화 - 자체 발광형 소재 두께 최적 기술 개발 ■ 형광소재의 광학적 특성 평가 - 광학 시뮬레이션을 통한 종류별 형광 특성 예측 - 주관기관 개발 형광소재의 광학적 특성평가를 통한 피드백 ■ 안내판 조사 및 분석을 통한 고시인성 안내판 디자인 및 제작 - 시장 조사를 통해 설정된 목표 시작품의 시인성 및 효율 향상을 위한 안내판 디자인 - 주관기관 개발 형광소재를 기반으로 한 시작품 제작 및 특성평가
		3년차	- 주관연구기관(성균관대학교): ■ 안내판 적용을 위한 혼합 공정 시 자체발광형 소재의 균일도 향상 기술 개발 ■ 참여기관과 긴밀한 연계를 통한 시작품 개발 참여 - 참여기관 (한국광기술원): ■ 형광소재의 광학적 시뮬레이션 및 테스트 베드 구축 ■ 자체 발광형 소재 기반 혼합물 최적화 및 시작품 특성 평가
			- 주관연구기관(성균관대학교): ■ 자체 발광형 소재의 사전 처리를 통한 분산성 향상 균일한 발광특성을 나타내는 안내판 제작을 위하여 형광 소재의 분산이 요구됨. 개발된 자체 발광형 소재의 표면 사전 처리를 통하여 입자와 바인더 및 용매와의 상호작용을 개선하여 분산성을 향상. ■ 사전 처리 물질의 선정 및 적용 한국광기술원과의 피드백을 통하여 입자와 바인더 및 용매 사이의 표면에너지 제어하여 적절한 surfactant 연구 및 시작품에 적용. - 참여기관 (한국광기술원): ■ 형광소재의 광학적 시뮬레이션 및 테스트 베드 구축 → 광학 시뮬레이션을 통한 운전자 시인성 예측

			→ 테스트 베드를 통한 도로 조명 실증 연구 → 형광소재 효과 및 개선 피드백 ■ 자체 발광형 소재별 적합 바인더, 용매, 첨가제 종류의 최적화와 시작품 제작 테스트 - 바인더 선택 시 시인성 확보를 위한 특성을 고려하여 선택하며 이를 기반으로 Al ₂ O ₃ , Toluene, n-Butyl acetate 등 다양한 용매 및 첨가제의 선택 - 개발된 시작품의 시인성 평가, 변형, 균형 탈리 등 물성 평가																																					
연구개발성과	■ 자체 발광 소재 화합물 라이브러리 구축 - 본 과제 수행 중 진행되는 실험 방법 및 얻어지는 연구 결과물의 데이터를 수집하여, 관련된 기술 정보들을 요약 정리하여 라이브러리를 구축. ■ 자체 발광 소재를 활용한 교통안전을 위한 시작품 제작 - 주관기관에서 개발한 자체 발광 소재를 이용해 야간에 스스로 빛을 내어 운전자 및 보행자에게 교통정보와 함께 안전을 제공하는 안내 표지판 시작품 제작. ■ 논문 및 지적재산권 - 본 과제 수행 중 얻어지는 연구 결과물을 국외학술지 SCI급 총 4건, 지적재산권 총 4건 (출원, 등록)의 성과를 창출. ■ 인력양성 - 본 과제를 통해 학위과정 중인 참여연구원 중에서 박사, 석사 각 1명씩 배출. <예상되는 연구개발성과 유형> <table><tr><th rowspan="2">구분</th><th rowspan="2">논문</th><th rowspan="2">특허</th><th rowspan="2">보고서 원문</th><th rowspan="2">연구시설 · 장비</th><th rowspan="2">기술요약 정보</th><th rowspan="2">소프트웨 어</th><th rowspan="2">화합물</th><th colspan="2">생명자원</th><th colspan="2">신품종</th></tr><tr><th>생명 정보</th><th>생물 자원</th><th>정보</th><th>실물</th></tr><tr><td>예상성과 (N/Y)</td><td>Y</td><td>Y</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>Y</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>Y</td></tr></table>												구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트웨 어	화합물	생명자원		신품종		생명 정보	생물 자원	정보	실물	예상성과 (N/Y)	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y
구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트웨 어	화합물	생명자원		신품종																														
								생명 정보	생물 자원	정보	실물																													
예상성과 (N/Y)	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y																													
연구개발성과 활용방안 및 기대효과	1. 활용 계획 ■ 자체 발광형 안내 표지판 - 자연광원인 태양빛이나 인공광원인 전등 등의 빛 에너지를 흡수한 후 자극을 제거하여도 어두운 곳에서 장시간 스스로 빛을 발하는 자체발광 소재 합성 및 이 소재를 도로교통 안전에 기여할 수 있는 안내 표지판 시작품 제작을 목표로 함. ■ 자체 발광형 도로 및 페인트 & 자체 발광형 필름 - 과거부터 현재까지 계속 이슈화 되고 있는 악조건에서의 차선 시인성 감소에 대한 문제를 해결하기 위해 표지판뿐만 아니라 차선에 적용이 가능한 자체 발광 소재 도료를 제작. - 기존 도로표지병 또는 차선과 같이 반사를 이용하는 것이 아닌 소재 자체가 발광의 특성을 가지기 때문에 어떠한 상황에서도 운전자에게 차선의 정보를 제공할 수 있음. - 사용이 반영구적이고 유지보수가 용이하므로 비용에 있어서 큰 이점을 지님. - 소재의 표면 처리를 통해 고분자 및 용매 내에서의 분산도를 증가시키고, 이에 따라 균일한 발광을 지니는 발광형 필름 제작이 가능함. 2. 기대 효과 ■ 기술적 측면 - 자체 발광 소재의 원천 기술 및 특허를 확보하여 특허분쟁 차단. - 제조공정 개발을 통한 단가 절감효과 및 품질 개선 실현. ■ 경제적·산업적 측면 - 직접 개발한 자체 발광 소재를 활용하여 원료 수입대체효과에 따른 원가절감과 시장 확대. - 개발된 제품들이 보급 될 경우 가로등 및 LED 설치 비중을 줄여 유지비수 비용 절약. ■ 사회적 측면 - 사고로 인해 발생하는 전력차단이 일어날 시 2차 사고를 예방하고 안전불감증 해소. - 자연재해로 확보되지 않는 도로교통 상황 및 정보에 대한 운전자들의 불만 해소.																																							
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	4	-	-	-	-	-	-	-	-	2
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호		
	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
국문핵심어 (5개 이내)	자체 발광소재		안내 표지판		자율주행 자동차		시인성		도로교통 안전		
영문핵심어 (5개 이내)	Self-emission material		Guide signs		Autonomous vehicle		Visibility		Road traffic safety		

< 목 차 >

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

별첨자료(참고문헌 등)

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

- 본 연구팀에서 제안하는 사회이슈 해결을 위한 연구개발의 목표는 자연광원인 태양빛이나 인공광원인 전등 등의 자극을 받아 에너지를 흡수한 후 그 자극을 제거하여도 어두운 곳에서 장시간 스스로 빛을 발하는 고안정성의 고효율 자체발광 소재 합성을 기본으로 하며, 이 소재를 도로교통 안전에 기여할 수 있는 안내 표지판, 차선 도로 등의 제품화를 하는 것을 목표로 함.
- 신청하는 대상 기술이 도로교통 안전을 위해 표지판 및 차선으로 실 적용될 시에 야간 중 자체적으로 발광이 유지되기 때문에 운전자에게 정보제공을 해줄 수 있을 뿐만 아니라 기존 사용되는 제품인 가로등 및 LED 사용 표지판들에 비해 설치비용 및 유지보수 비용을 저감시킬 수 있음.
- 최근 이슈되고 있는 자율주행자동차의 악조건 속에서 차선 및 구조물 인식 오류로 인한 사고발생을 제안하는 본 과제의 기술을 기반으로 인식률을 상승시키는 실증테스트를 통해 해결책으로써 채택되어 또 다른 사회이슈를 해결하고자 함.
- 기존 개발되고 사용되는 자체 발광형 물질은 황화물계 또는 일본 NEMOTO사에서 개발 판매되고 있는 스트론튬-알루미늄에이트계 산화물 형광체로 이러한 자체 발광형 소재는 화학적, 환경적 안정성이 떨어지거나 파장 영역이 녹색으로 제한이 되어있는 문제점을 지님.
- 하지만 이러한 산화물계 잔광 형광체는 황화물계 잔광 형광체와 달리 방사성 물질과 황화물계 물질을 포함하지 않아 환경에 유해하지 않고, 산화물 모체로써 대기 환경에 황화물 모체보다 비교적 안정적이기 때문에 외부 가혹 환경에 대한 안정성을 해결한다면 안정, 안전성을 모두 갖춘 소재 후보가 될 수 있음.
- 본 연구팀에서는 개발하는 자체 발광형 소재는 부활제 및 합성법 연구를 통하여 기존 SrAl_2O_4 등의 소재의 안정성과 신뢰도를 보완 및 향상하며, 그를 기반으로 소재의 목록과 특성들을 포함하는 라이브러리를 구축하여 기존 소재의 한정된 파장영역을 극복하고 가시광 영역에서 고효율의 자체 발광형 소재를 개발, 그를 활용한 시작품의 실증 테스트를 통한 신뢰성 향상을 목표로 함.
- 더하여 목표 개발 과정에서 파생되어 나오는 소재 코팅기술, 대량화 기술 및 제품 제작 노하우 및 기술을 확보하여 넓은 적용 범위를 지닌 소재 기반 공정 기술 확보 또한 달성하고자 함.

구분	내용
최종 목표	[설정 목표] 도로교통 안전 및 자율 주행차 인식을 향상을 위한 자체 발광형 도로 및 안내 표지 개발 [설정 근거] 성균관대학교 연구팀의 자체 발광형 소재 합성 기술을 참여기관인 광기술원의 시뮬레이션 기술과 접목하여 라이브러리를 구축하고 이를 바탕으로 시작품을 제작한 후 자체 실증평가를 통해 신뢰도를 확보함으로써 기존 사회 이슈를 해결하고 도로 교통안전 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단함.
세부 목표	[설정 목표] ■ 고효율 가시광 영역 자체 발광형 소재 개발 ■ 소재 안정성 및 특성 향상을 통한 적용 범위 확대 ■ 도로교통안전 향상을 위한 안내표지 및 도로 개발 [설정 근거] ■ 고효율 가시광 영역 자체 발광형 소재 개발 - 기존 개발되어 상용화 되어있는 자체 발광형 소재는 대부분 녹색 기반의 제품으로 특유의 색상으로 인하여 다양한 분위기에 맞추어 사용하기 어려움 - 가시광 영역의 자체 발광형 소재는 개발 수준에 한계가 존재하여 상용화되기에 기술 수준이 낮으며 공부활제를 통한 특성 향상이 많이 보고되고 있어 그에 따른 조합의 다양성으로 인해 라이브러리 구축에 인력과 연구비가 필요함 - 본 연구팀에서는 기존 보유한 고효율 자체 발광형 소재 합성 기술을 참여 기관의 시뮬레이션 기술과 연계하여 높은 소재 탐색 효율을 기반으로 한 라이브러리 구축을 제안함

■ 소재 안정성 및 특성 향상을 통한 적용 범위 확대

- 소재의 제품으로의 적용을 위해서는 외부 환경에 대한 안정성 또는 내화학성을 지녀 긴 수명을 지녀야 하지만, 자체 발광형 소재의 경우에는 낮은 안정성을 보여 외부 조건에 적용하기에 적절하지 않음
- 시작품을 제작하기에 앞서 소재의 안정성에 대한 연구 또한 필수적으로 선결되어야 하지만 그에 대한 연구는 미흡하여 기술 개발이 요구되고 있음
- 한국 광기술원이 보유하고 있는 표면 코팅 기술을 적용하여 개발 소재의 안정성을 확보하고 그에 따라 자체 발광형 소재의 적용 범위의 확대가 가능할 것으로 기대함

■ 도로교통안전 향상을 위한 안내표지 및 도로 개발

- 야간 또는 우천 주행 시 차선 시인성에 대한 이슈가 언급됨에 따라서 자체 발광형 도로 개발이 주목받고 있으며 동시에 자율 주행차 분야에서도 센서의 차선 인식을 향상을 위해서 자체 발광형 도로의 필요성이 회자되고 있음
- 전력이 차단된 상태에서도 방향을 지시해줄 수 있는 자체 발광형 안내 표지 또한 하나의 중요한 이슈로써, 도로 교통안전에 포함된 많은 사회 분야에서 요구하는 기술임
- 자체적으로 시작품을 제작할 예정이며 기관간의 긴밀한 피드백을 통하여 소재의 표면처리 및 분산성 향상 등의 특성 향상을 꾀하여 신뢰성 또한 확보할 수 있을 것으로 기대됨
- 최종 시작품으로 설정된 제품인 자체 발광형 도로와 안내 표지는 구축한 라이브러리를 기반으로 각각 적용되는 분야에 높은 효율과 적절성을 가질 수 있는 소재를 선정(ex. 도로 근처 적용 소재에는 자동차 헤드램프에 여기 될 수 있는 소재 선정)하여 시작품을 제작하고 실증 평가를 통해 특성을 평가할 계획임

2) 연구개발과제의 년차별 목표

1) 1차 연도

[개발 목표]

- 주관연구기관(성균관대학교):

- 호스트와 doping 및 co-doping 연구를 통한 핵심 자체 발광형 소재 라이브러리 구축
- 자체 발광형 소재의 합성 및 특성 평가
 - 참여기관 1(한국광기술원):
- 형광소재의 광학적 시뮬레이션 및 평가
- 적용분야에 따른 재료의 적합성 검토 및 적합한 안내판 선정

2) 2차 연도

[개발 목표]

- 주관연구기관(성균관대학교):

- 자체 발광형 소재 합성공정 조건 최적화 및 효율 향상
- 형광소재의 특성 평가를 통한 피드백
 - 참여기관 1(한국광기술원):
- 자체 발광형 소재 코팅 기술 개발
- 형광소재의 광학적 특성 평가
- 목표에 따른 적합한 안내판 디자인 및 시작품 제작

3) 3차 연도

[개발 목표]

- 주관연구기관(성균관대학교):

- 안내판 적용을 위한 혼합 공정 시 자체발광형 소재의 균일도 향상 기술 개발

■ 참여기관과 긴밀한 연계를 통한 시작품 개발 참여

- 참여기관 1(한국광기술원):

■ 형광소재의 광학적 시뮬레이션 및 테스트 베드 구축

■ 자체 발광형 소재 기반 혼합물 최적화 및 시작품 특성 평가

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치(최종)	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2019)	자체 발광형 소재 합성 및 표면 처리 기술	자체 발광형 소재 휘도	일본의 NEMOTO 사의 형광체가 최고 수준으로 평가되고 있음	상용대비 80 (100) %	기존 상용 자체 발광형 소재 수준의 휘도 설정	12
		발광 유지 효율	일본의 NEMOTO 사의 형광체가 최고 수준으로 평가되고 있음	상용대비 100 (120) %	기존 상용 자체 발광형 소재 보다 우수한 수준 설정	13
	표면 코팅 및 형광 시뮬레이션 기술	내습성 향상을 위한 코팅 두께 조절	해당 사항 없음	30-40 nm (10 - 20)	코팅층 두께에 따른 특성 감소 최소화를 위한 두께 설정	12
		수분 접촉각	해당 사항 없음	> 90°	외부 수분 저항성을 고려하여 설정	7
	자체 발광형 안내 표지판 및 도료 제 작 기술	내열성	해당 사항 없음	85 (100) %	외부 환경 노출 시 열에 의한 특성 저하율이 낮도록 설정	9
2년차 (2020)	자체 발광형 소재 합성 및 표면 처리 기술	고습환경 안정성	해당 사항 없음	90 %	외부 가혹환경 대비 특성 유지율을 고려하여 설정	7
		용매 접촉각	해당 사항 없음	< 20°	소재-용매 간 상호작용 개선	7
	자체 발광형 안내 표지판 및 도료 제 작 기술	내광성	해당 사항 없음	99 %	외부환경 노출 시 외부광에 의한 소재 특성 저하율이 낮도록 설정	7
3년차 (2021)	표면 코팅 및 형광 시뮬레이션 기술	표지판 시인성 향상	해당 사항 없음	시인성 향상	실제 제작된 시작품의 휘도 측정 결과를 포함한 자료 또는 이미지	17
	자체 발광형 안내 표지판 및 도료 제 작 기술	시작품 제작	해당 사항 없음	2 건	-	-
		시작품 안정성	해당 사항 없음	95 %	기존 안내 표지 교체 주기를 고려하여 설정	9

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

○ 연차별 수행과정 및 수행 내용

1) 1차년도

[개발 내용 및 범위]

– 주관연구기관(성균관대학교):

■ 호스트·Dopant·Co-dopant 상관관계와 이에 따른 광특성 변화 예측

형광체의 여기는 Dopant에서 흡수하는 직접 여기(고효율)와 호스트에서 흡수하여 dopant로 전이되는 간접 여기 두 가지 경우가 있음. 란타늄 원소 혹은 전이금속 등이 Dopant로 사용되며 여기 및 발광 파장에 직접적인 영향을 줌.

■ 자체 발광 특성은 Co-dopant의 전하균형 차이에 의하여 형성된 결함(defect level)에 전하가 trap 된 후 열적 자극에 의하여 호스트의 conduction band를 타고 다시 emission center로 이동 후 발광형 재결합에 의한. 따라서 Co-doping 및 호스트와 상관관계에 의하여 특성이 좌우됨.

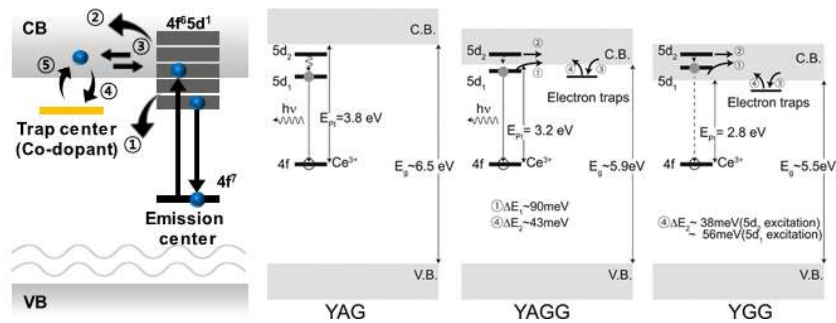


그림 1. 잔광 형광체의 원리

■ 안내판에 적합한 광특성 보유한 핵심 형광 소재의 라이브러리 구축 및 이의 합성

– 자연광 및 자동차 헤드램프에 의하여 여기될 수 있는 형광 소재가 요구됨. (헤드램프 많이 사용되는 종류)

■ 450 nm 중심의 여기 및 가시광 영역의 발광이 가능한 형광소재 정보가 필수적임.

ex) Eu^{2+} 는 NUV, Ce^{3+} 는 450 nm 중심 여기

Dopant	Composition	Excitation(nm)	Emission(nm)	Time	Dopant	Composition	Excitation(nm)	Emission(nm)	Time	Dopant	Composition	Excitation(nm)	Emission(nm)	Time
Eu^{2+}	SrAl_2O_4	UV(350)	520	25 min	$\text{Eu}^{2+}, \text{Tr}^{3+}$	$\text{Ba}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$	UV(355)	505	5 h	$\text{Mn}^{2+}, \text{Ce}^{3+}$	CaAl_2O_4	448	520	10 h
$\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$	SrAl_2O_4	UV(365)	520	30 h	$\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$	$\text{Sr}_2\text{Al}_4\text{O}_{25}$	396	490	20 h	$\text{Mn}^{2+}, \text{Ce}^{3+}$	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$	412	550	10 h
Eu^{2+}	CaAl_2O_4	UV(350)	440	7 min	Eu^{2+}	$\text{Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$	UV(340)	615	1 h	Eu^{2+}	CaAlSiN_3	450	635	45 min
$\text{Eu}^{2+}, \text{Nd}^{3+}$	CaAl_2O_4	UV(350)	440	5 h	$\text{Eu}^{2+}, \text{Tr}^{3+}$	$\text{Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$	UV(365)	620	220 min	$\text{Ce}^{3+}, \text{Yb}^{3+}$	$\text{Y}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$	450	520	138.5 h
$\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$	BaAl_2O_4	UV(365)	500	2 h	Sm^{3+}	Sr_2SnO_4	UV(247)	624	1 h	Eu^{2+}	$\text{M}_2\text{Si}_2\text{N}_8$ (M=Ca, Sr, Ba)	450	623, 640, 650	-
Eu^{3+}	LaAlO_3	UV(266)	592, 618	-	$\text{Sm}^{3+}, \text{Dy}^{3+}$	Sr_2SnO_4	UV(254)	624	1 h	Eu^{2+}	$\text{Sr}_3(\text{BO}_3)_2\text{Cl}$	460	615	± 15min
Tb^{3+}	CdSiO_3	UV	545	2 min	$\text{Eu}^{3+}, \text{Ti}^{4+}, \text{Mg}^{2+}$	Y_2O_3	UV	612	5 min	Ce^{3+}	$\text{Y}_3\text{Mg}_3\text{AlSi}_2\text{O}_{12}$	440	600	-
Mn^{2+}	CdSiO_3	UV(254)	575	2 min	Sm^{3+}	$\text{Y}_2\text{O}_3\text{S}$	UV-413,469	605	5 min	Eu^{2+}	SrSiO_2N_2	450	530	>2.5 h
Dy^{3+}	CdSiO_3	UV(254)	420, 486, 580	5 h	$\text{Sm}^{3+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Ti}^{4+}$	$\text{Y}_2\text{O}_3\text{S}$	UV(269)	570, 606, 659	2.5 h	Eu^{2+}	M_2SiO_4 (M=Sr, Ca, Ba)	450	613, 653, 543	-
Pr^{3+}	CdGeO_3	UV(254)	612	1000 s	$\text{Eu}^{3+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Ti}^{4+}$	$\text{Y}_2\text{O}_3\text{S}$	UV(365)	590, 614, 627, 710	3 h	Eu^{2+}	Sr_2SiO_5	450	580	-
Eu^{2+}	$\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$	UV	535	12.5 h						$\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$	$\text{Ca}_2\text{ZnSi}_2\text{O}_7$	460	580	12 h
Eu^{2+}	$\text{Sr}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$	UV	472	15-20 min						Ce^{3+}	$\text{Y}_3\text{Al}_5\text{-xGa}_x\text{O}_{12}$ (x = 2.5-3.5)	460	505	200-1000 min
$\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$	$\text{Sr}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$	UV(254)	470	10 h						$\text{Ce}^{3+}, \text{Cr}^{3+}$	$\text{Gd}_2\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}$	460	540	120 min

표 1. (Co-)dopant 및 호스트에 따른 다양한 후보군과 이의 여기/발광 특성

– 참여기관 1(한국광기술원):

■ 형광소재의 광학적 시뮬레이션 및 평가

– 주관기관 개발 형광소재 광특성 측정 및 평가

– 형광소재 광학시뮬레이션 기술 개발

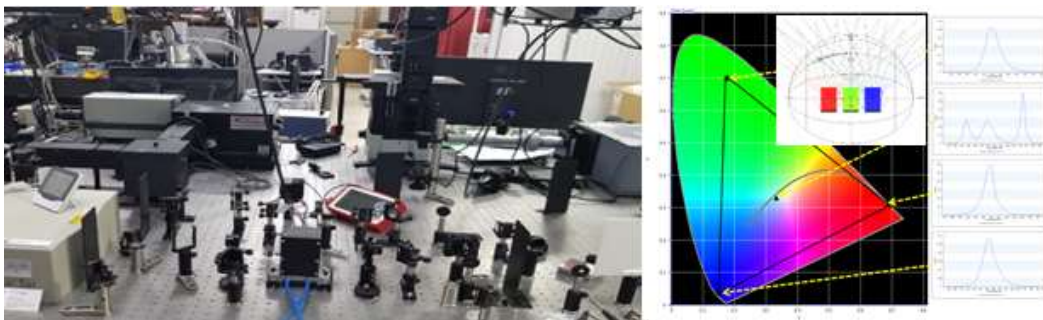


그림 2. 광학시뮬레이션을 통한 형광소재 발광 파장 특성 파악

■ 시작품 적용 범위 및 목표 안내 표지 설정

- 시장조사를 통한 목표 적용 범위 설정 및 시작품 종류 설정
- 재료별 광 효율, 비중, 내마모성, 내화학적, 입도, 물폴로지, 표면특성 등 적합 여부 검토

2) 2차연도

[개발 내용 및 범위]

- 주관연구기관(성균관대학교):

■ 자체 발광형 소재 분말 합성공정 연구 및 최적화

- 기존 단순 공정인 고상법 외에도 자체 발광형 소재의 다양한 합성방법에 접근하고 그 조건을 최적화 시킴. 자체 발광 특성은 dopant, co-dopant 외에도 합성 시 하소 및 열처리 온도, 시간 등에 따라 달라짐. 적절한 trap level을 형성시키기 위한 공정의 선택과 공정 최적화가 필수적임.



그림 3. 자체 발광형 소재 분말 합성공정 및 특성분석을 통한 피드백

- 조성, Co-dopant 함량, 열처리 온도 등 합성 조건 최적화를 통한 defect 형성 유도 및 잔광효율 개선
- 합성된 소재의 광특성, 결정성, 입도, 물폴로지, 표면특성 분석을 통한 피드백

- 참여기관 1(한국광기술원):

■ 자체 발광형 소재 코팅 기술 개발

- 내마모성 향상을 위한 자체 발광형 소재 코팅 물질 선정
- 자체 발광형 소재 코팅 위한 공정기술 최적화
- 자체 발광형 소재 두께 최적 기술 개발

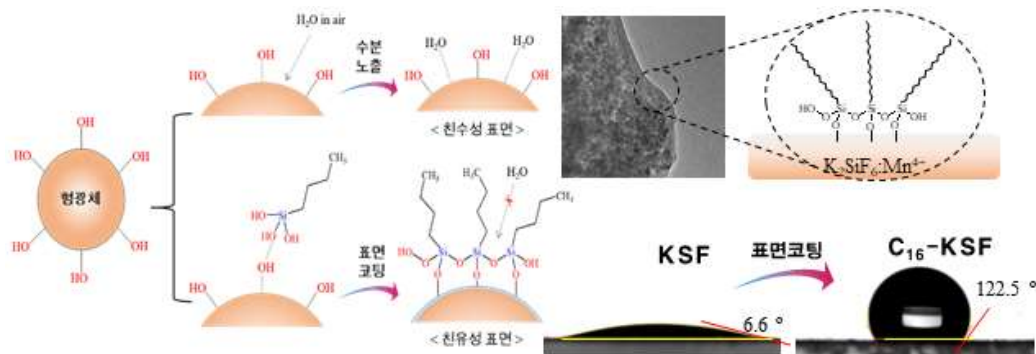


그림 4. 자체 발광형 소재 코팅기술 개발

■ 형광소재의 광학적 특성 평가

- 광학 시뮬레이션을 통한 종류별 형광 특성 예측
- 주관기관 개발 형광소재의 광학적 특성평가를 통한 피드백

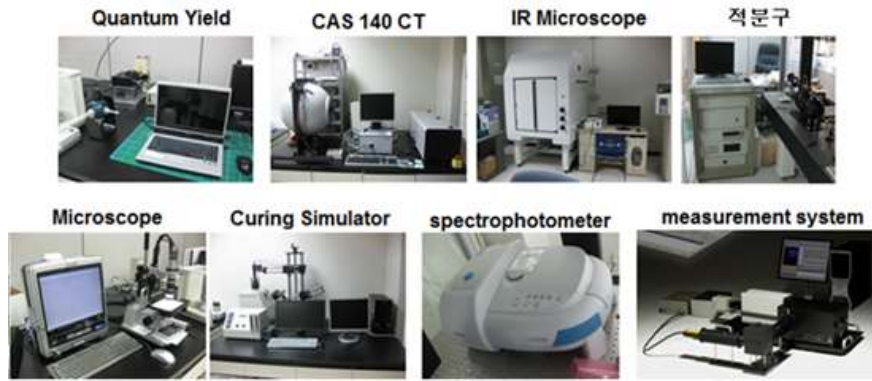


그림 5. 한국광기술원 보유 광 특성 평가 장치

- 안내판 조사 및 분석을 통한 고시인성 안내판 디자인 및 제작
- 시장 조사를 통해 설정된 목표 시작품의 시인성 및 효율 향상을 위한 안내판 디자인
- 주관기관 개발 형광소재를 기반으로 한 시작품 제작 및 특성평가

3) 3차년도

[개발 내용 및 범위]

- 주관연구기관(성균관대학교):

- 자체 발광형 소재의 사전 처리를 통한 분산성 향상

균일한 발광특성을 나타내는 안내판 제작을 위하여 형광 소재의 분산이 요구됨. 개발된 자체 발광형 소재의 표면 사전 처리를 통하여 입자와 바인더 및 용매와의 상호작용을 개선하여 분산성을 향상.

- 사전 처리 물질의 선정 및 적용

한국광기술원과의 피드백을 통하여 입자와 바인더 및 용매 사이의 표면에너지를 제어하여 적절한 surfactant 연구 및 시작품에 적용.

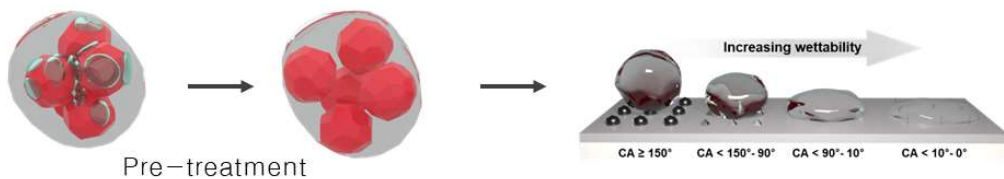


그림 6. 사전 처리를 통한 입자의 상호작용 개선

- 참여기관 1(한국광기술원):

- 형광소재의 광학적 시뮬레이션 및 테스트 베드 구축
- 광학 시뮬레이션을 통한 운전자 시인성 예측
- 테스트 베드를 통한 도로 조명 실증 연구
- 형광소재 효과 및 개선 피드백



그림 7. 실증테스트를 통한 기술개발 최적화

- 자체 발광형 소재별 적합 바인더, 용매, 첨가제 종류의 최적화와 시작품 제작 테스트

- 바인더 선택 시 시인성 확보를 위한 특성을 고려하여 선택하며 이를 기반으로 Al_2O_3 , Toluene, n-Butyl acetate 등 다양한 용매 및 첨가제의 선택
- 개발된 시작품의 시인성 평가, 변형, 균형 탈리 등 물성 평가



그림 8. 자체 발광형 소재 혼합물 페인트

○ 연구개발 추진체계

가. 성균관대학교의 핵심 역할

■ 보유 합성기술과 참여기관의 역량 및 장비를 활용한 자체 발광형 소재 탐색 및 합성

- 본 기관이 보유하고 있는 합성 기술들을 이용해 다조성의 자체 발광형 소재를 합성하고, 그를 토대로 한국 광기술원에 구축되어있는 광학 특성 분석 장비를 활용해 모체, 부활제등의 요소에 따른 데이터베이스를 구축하고자 함. 확보한 데이터베이스를 토대로 효율이 향상된 다색상의 자체 발광형 소재를 합성하고 한국광기술원의 시작품 평가 피드백을 통해 소재의 특성을 개선함.



그림 9. 추진 체계

나. 한국 광기술원의 핵심 역할

■ 보유기술 소재 적용 및 특성 개선

- 한국 광기술원의 보유 기술인 나노 결정의 표면 코팅 기술을 합성된 소재에 적용함으로써 내수분성 및 내열성을 향상시켜 소재 선택의 폭과 적용의 폭을 확장시킴. 해당 기술을 적용한 소재로 시작품을 제작한 후 실증 평가 및 물성 분석을 통해 최적 조건을 확립하여 목표 제품의 특성을 향상시킴.

■ 시뮬레이션 및 특성 평가 장비를 이용한 연구 개발 방향 제시

- 성균관대학교 연구팀에서 합성한 소재의 광학특성을 평가하고 시뮬레이션을 거쳐 연구개발의 방향을 제시하고 적극적인 피드백을 제공함. 또한, 실증평가를 실시함으로써 최종 목표인 자체 발광형 안내표지의 신뢰성을 평가하고 그에 따른 구체적인 적용 방안과 개선 방향을 제시함으로 시작품 제작의 방향 및 특성 향상에 기여함

■ 시작품 제작 및 품질 균일도

- 성균관대학교와 한국 광기술원이 보유한 분석 및 평가 장비를 이용해 피드백을 하며 시작품 품질을 최적화함. 또한 제품의 품질 및 균일도 향상을 위하여 참여 기관의 기술을 접목하여 시작품의 신뢰도를 향상 시키고, 실증 평가를 통한 제품의 우수성을 증명할 계획임

○ 추진 일정

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	계획수립 및 자료조사													9,525	윤대호 (성균관대학교)
2	광학 시뮬레이션 기술 개발													10,000	송영현(한국광기 술원)
3	안내판에 적합한 형광 소재 합성													29,750	윤대호 (성균관대학교)
4	광학 시뮬레이션을 통한 특성 예측 및 평가													20,000	송영현(한국광기 술원)
5	안내판에 적합한 형광 소재 라이브러리 구축													14,725	윤대호 (성균관대학교)
6	시장 조사를 통한 목표 안내 표지 설정													8,000	송영현(한국광기 술원)
7	재료별 적합 여부 테스트													12,000	송영현(한국광기 술원)
2차년도															
1	합성 조건 최적화													18,175	윤대호 (성균관대학교)
2	광학 특성 평가													15,400	송영현(한국광기 술원)
3	광기술원과의 피드백을 통한 소재 효율 개선													16,050	윤대호 (성균관대학교)
4	소재 코팅 물질 선정 및 공정기술 최적화													15,600	송영현(한국광기 술원)
5	자체 발광형 안내판 시작품 디자인													10,400	송영현(한국광기 술원)
6	시작품 제작 및 광학특성 테스트													18,600	송영현(한국광기 술원)
7	시작품 피드백을 통한 소재 개선													20,775	윤대호 (성균관대학교)
3차년도															
1	자체 발광형 소재의 사전 처리 연구													36,000	윤대호 (성균관대학교)
2	소재 및 용매간 최적 물질 선정 및 적용													49,000	윤대호 (성균관대학교)
3	광학 시뮬레이션을 통한 테스트 베드 구축													26,500	송영현(한국광기 술원)
4	시작품 특성 평가 및 피드백													32,000	송영현(한국광기 술원)
5	시작품 물성 평가													38,000	송영현(한국광기 술원)
6	테스트 베드를 이용한 실증 평가 및 피드백													43,500	송영현(한국광기 술원)
7	간밀한 피드백을 통한 시작품 개발 참여													46,000	윤대호 (성균관대학교)

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

■ 호스트의 doping 및 co-doping 연구를 통한 핵심 자체 발광형 소재 라이브러리 구축

composition	number of site	crystal structure	composition	number of site	crystal structure
CaSiO ₃			Sr ₂ SiO ₄	2	monoclinic
Ca ₂ SiO ₄	2	orthorhombic		2	orthorhombic
	2	monoclinic	Sr ₂ SiO ₅	2	tetragonal
	2	orthorhombic		2	hexagonal
Ca ₃ SiO ₅	unknown	triclinic	BaSiO ₃	2	trigonal/rhombohedral
	unknown	monoclinic		1	orthorhombic
	3	trigonal/rhombohedral	BaSi ₂ O ₅	1	orthorhombic
	1	hexagonal	BaSi ₄ O ₉	1	hexagonal
Ca ₃ Si ₂ O ₇	4	orthorhombic	Ba ₂ SiO ₄	2	orthorhombic
	3	monoclinic	Ba ₂ SiO ₅	2	tetragonal
SrSiO ₃	2	monoclinic	Ba ₂ Si ₂ O ₈	2	monoclinic
	2	orthorhombic	Ba ₅ Si ₈ O ₂₁	3	monoclinic
SrSi ₂ O ₅	1	orthorhombic	Ba ₃ Si ₅ O ₁₃	3	monoclinic

표 2. 산화물 형광체 모체 리스트

- 형광체 소재 합성 및 라이브러리 구축을 위한 모체 후보군 선정
- 결정학적 구조 해석을 기반으로 활성제 도핑 자리를 예측하고 이를 기반으로 최종 모체 후보군 확립

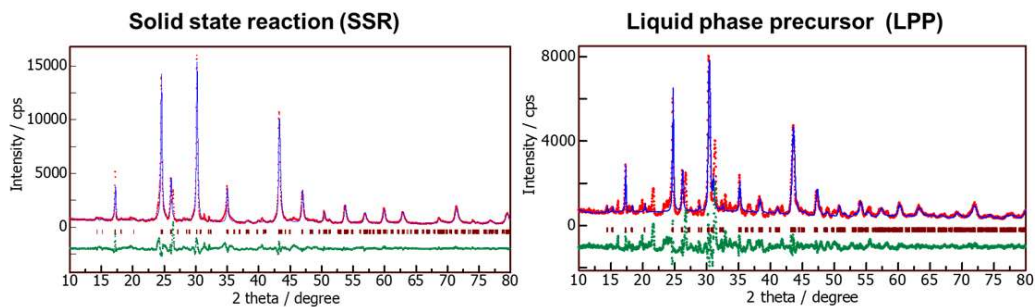


그림 10. 고상법 및 액상 전구체법 기반 합성의 리트벨트 구조분석 결과

- 형광체 합성 공정 선정을 위한 후보군 예비 합성 수행
- 고상법 (SSR)과 액상 전구체법 (LPP)을 사용하여 예비 합성을 각각 수행하고 이를 리트벨트 구조분석법을 통해 도출된 결과와 비교하여 목표하는 조성의 합성 여부를 판단함
- 상기 두 가지 방법 모두 목표하는 조성이 성공적으로 합성되었음을 확인하였으며, 비교적 합성 공정이 간단하고 빠른 피드백이 가능한 고상법이 라이브러리 구축에 유리하다고 판단되어 해당 방법을 선정함

Composition	Condition	λ_{ex} (nm) / λ_{em} (nm)	
(Ba _{0.4975} Sr _{0.4925} Eu _{0.03}) ₂ SiO ₄	1050 °C, 12 h, in N ₂ /H ₂ (5)	430 / 521	
(Ba _{0.4975} Sr _{0.4925} Eu _{0.03}) ₂ SiO ₄	1050 °C, 12 h, in N ₂ /H ₂ (5)	430 / 524	
(Ba _{0.40} Sr _{0.60} Eu _{0.06})SiO ₃	1050 °C, 12 h, in N ₂ /H ₂ (5)	430 / 523	
(Ba _{0.501} Sr _{0.501} Ca _{1.998})SiO ₅ :Eu _{0.06}	1200 °C, 12 h, in N ₂ /H ₂ (5)	450 / 557	
(Ba _{0.999} Sr _{0.999} Ca _{1.002})SiO ₅ :Eu _{0.06}	1200 °C, 12 h, in N ₂ /H ₂ (5)	450 / 578	
(Ba _{1.251} Sr _{0.501} Ca _{1.248})SiO ₅ :Eu _{0.06}	1200 °C, 12 h, in N ₂ /H ₂ (5)	450 / 573	

표 3. Ba₂SiO₅ 기반 산화물 형광체 합성 결과

- 후보군을 기반으로 모체의 조성, 활성제 농도, 환원 온도 등을 변수로 하여 다조건 하에서 합성을 수행하였으며 그 중 눈에 띄는 특성을 보이는 조성을 표 3에 나타냄
- BaSiO₃ 및 Ba₂SiO₅ 조성에서 우세한 발광 특성을 확인하였으며 Eu 활성제 도핑을 통하여 기존 녹색 발광이 황색으로 변화하는 것을 확인함
- 또한 Sr과 Ca 원소의 Ba 자리 치환을 통해 발광 특성이 향상되는 것을 확인함

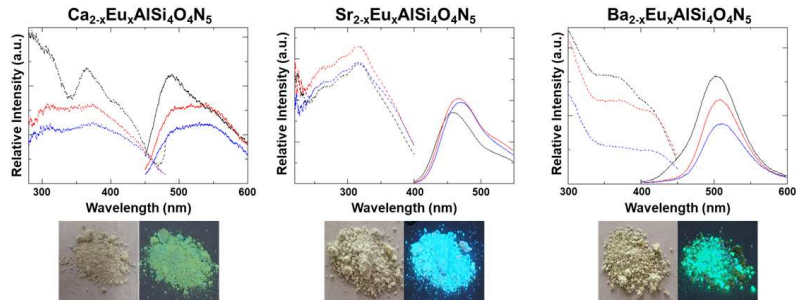


그림 11. $A_{2-x}Eu_xAlSi_4O_4N_5$ (A= Ca, Sr, Ba) 조성의 산 질화물계 형광체 합성 결과

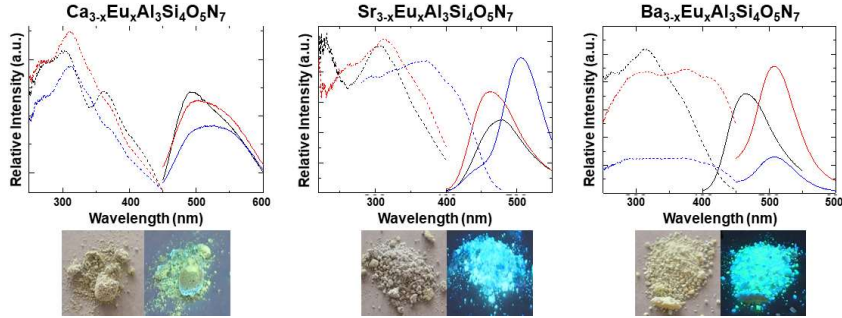


그림 12. $A_{3-x}Eu_xAl_3Si_4O_5N_7$ (A= Ca, Sr, Ba) 조성의 산 질화물계 형광체 합성 결과

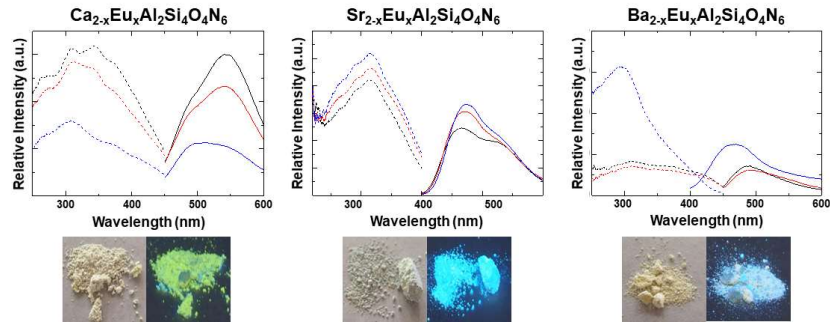


그림 13. $A_{2-x}Eu_xAl_2Si_4O_4N_6$ (A= Ca, Sr, Ba) 조성의 산 질화물계 형광체 합성 결과

- 상기 산화물 형광체 모체 합성 결과를 기반으로 산 질화물계 모체 연구를 이어 수행함
- Eu 활성제를 도핑한 $A_{2-x}Eu_xAlSi_4O_4N_5$ (A= Ca, Sr, Ba) 조성의 모체를 후보군으로 선정하였으며 환원 조건과 조성별 합성 결과를 그림. 11~13에 나타냄
- 조성에 따라 청록색~녹색 파장을 가지는 형광체가 합성되는 것을 확인하였으며 환원 조건에 따라 발광 파장이 다소 영향을 받는 것을 관찰함
- 하지만 상기 산화물 모체와 산 질화물 모체 기반 형광체에서 형광 특성은 관찰할 수 있었으나 잔광 특성은 확인하지 못하였으며, 이는 형광을 지연시켜 줄 수 있는 트랩 준위가 Eu 활성제에 의해 충분히 형성되지 않은 것을 원인으로 판단함
- 따라서 이를 극복하기 위하여 활성제와 더불어 트랩 준위를 보조할 수 있는 부활제를 추가적으로 채택하여 합성을 수행하였으며, 해당 활성제 및 부활제가 효과적으로 도핑될 수 있는 모체 또한 추가적으로 선정하여 연구를 수행함

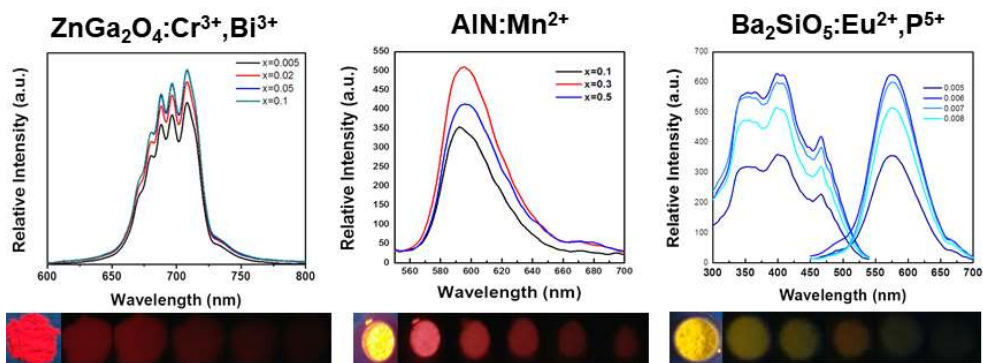


그림 14. 합성한 자체 발광형 소재의 발광 특성 및 잔광 특성

- 모체의 에너지 준위와 활성제 및 공부활제 에너지 준위의 거동 예측을 통하여 적정 조성을 선정하였으며 이를 기반으로 합성을 수행함
- 해당 연구 단계에서 합성은 다성분계 합성 시 조성 균일도 향상을 통해 높은 품질의 형광체를 합성할 수 있는 액상 전구체법을 선택함
- 연구 수행 결과 $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Cr}^{3+}, \text{Bi}^{3+}$, $\text{AlN}:\text{Mn}^{2+}$, $\text{Ba}_2\text{SiO}_5:\text{Eu}^{2+}, \text{P}^{5+}$ 등의 녹색~적색 자체 발광형 형광체 합성 및 특성을 확인함

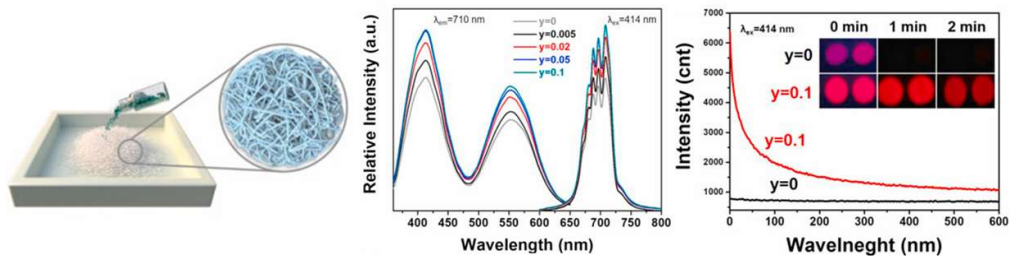


그림 15. $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Cr}^{3+}$ 조성의 LPP 합성 모식도 및 잔광 특성

- 특히, $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Cr}^{3+}, \text{Bi}^{3+}$ 조성의 경우 부활제의 도핑에 따라 잔광 특성이 크게 향상됨이 확인되었으며 해당 연구 내용을 국제학술지에 투고하여 출판되었음 (Journal of Luminescence, 234 (2021) 117945)

■ 자체 발광형 소재의 합성 및 특성 평가

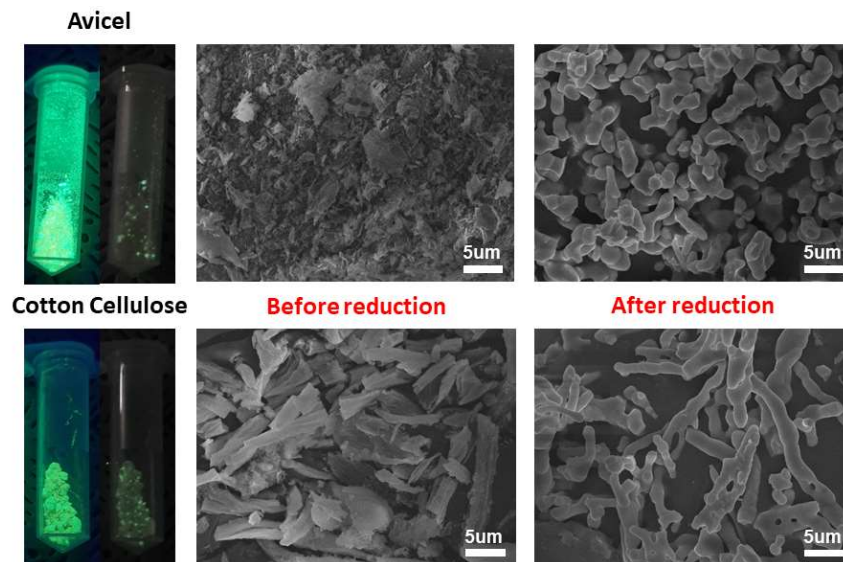


그림 16. Eu 도핑된 SrAl_2O_4 의 함침 물질 별 예비 합성 결과

- 과제 목표를 달성하기 위한 장잔광 형광체로 높은 발광 유지 효율과 녹색 발광을 가지는 SrAl_2O_4 기반 형광체를 선정함
- 액상 전구체 소결 방법의 함침 물질로 미세 기공을 가져 입도 조절에 용이한 cellulose계 물질을 선정하였으며 입도 및 형태를 확인하기 위해 예비 합성을 수행함
- 합성 결과 cotton cellulose 기반으로 합성된 형광체 입자의 경우 가지가 많은 막대형 입자가 형성됨과 동시에 입자간 뭉침이 매우 심한 것을 확인하였으며, 해당 결과는 최종 적용에 적합하지 않다고 판단함. 따라서 비교적 작은 응집과 입도를 가지는 입자를 형성시키는 Avicel을 함침 물질로 선정함
- 또한 Eu만을 활성제로 선정하여 합성한 결과 밝은 발광특성은 확인이 가능했으나 잔광 특성은 매우 불균일하고 낮게 나오는 것을 확인함
- 따라서 잔광 특성을 보완해주기 위한 부활제로 Dy과 Nd를 선정하여 연구를 수행함

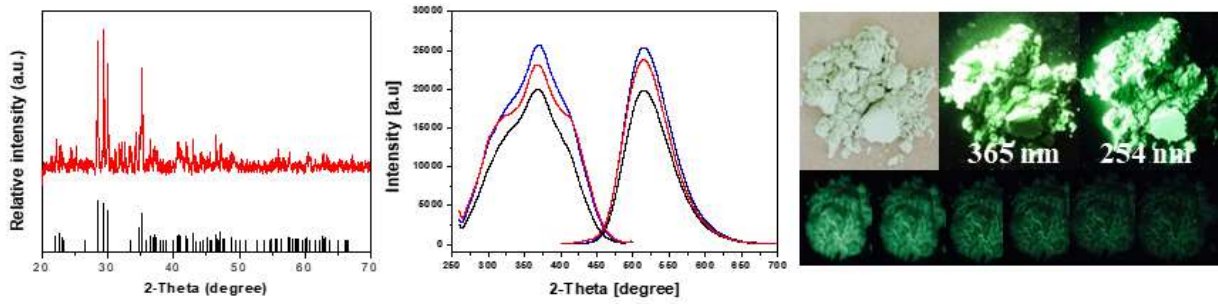


그림 17. 액상 전구체 소결방법을 통해 합성한 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 소재의 발광 특성 및 잔광 특성

- 실험 결과, 부활제로 Dy를 첨가하여 주었을 때 우세한 잔광 특성이 관찰되었으며 고상법으로 합성한 동일 조성의 형광체 대비 140 % 이상의 발광 휘도를 가지는 것을 확인함
- 해당 결과는 액상 기반 전구체 혼합 방식에서 기인하는 높은 조성 균일도에 의한 결과로 사료되며 X선 회절 분석 및 광발광 스펙트럼 분석에서 또한 높은 결정성과 발광 특성을 가짐을 확인함

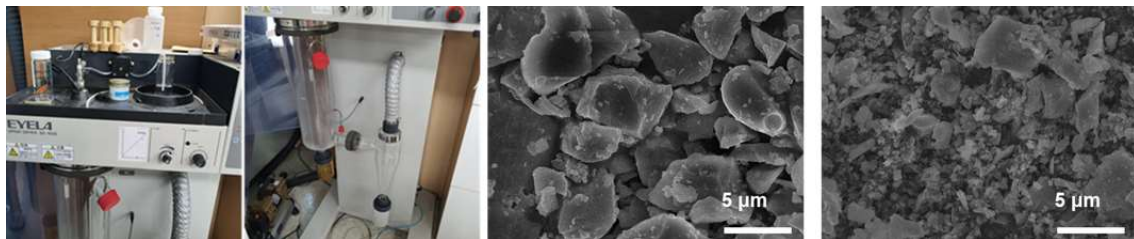


그림 18. (사진) 스프레이 드라이 장비 (SEM 이미지) 합성된 파티클 (좌) 액상 전구체 소결 방법 (우) 스프레이 드라이

- 상기 액상 전구체 하소 공정을 통하여 고품질의 장잔광 형광체의 합성을 달성하였으나, 해당 방법의 경우 미세한 입도 및 형태 조절에 어려움이 있으며 또한 대량화 공정 설계에 한계점이 존재함
- 이를 극복하기 위하여 스프레이 드라이 공정을 도입하였으며 이를 통해 하소공정을 개선하고 대량화를 달성함
- 추가 도입한 스프레이 드라이 공정은 액상 전구체 소결법의 다성분계 균일도 장점을 유지하며 기존 방식의 소규모(0.5g/1회)를 극복하고 100배 이상의 대규모 전구체 합성 공정이 가능하다는 강점을 지님
- 실험 결과, 기존 액상 전구체 소결 방법 대비하여 휘도는 감소하였으나 발광 효율은 1차년도와 동일한 수준을 유지하였으며 우수한 내광성(> 100%)을 지님을 확인함
- 액상 전구체 소결법 대비 낮은 특성은 대량화에 따른 조성 균일도 저하 및 입도 차이에 의한 것으로 판단되며 이는 스프레이 드라이 공정 최적화 연구를 통해 입도를 증가시키고, 균일도를 향상시킴으로써 극복할 수 있을 것으로 판단됨

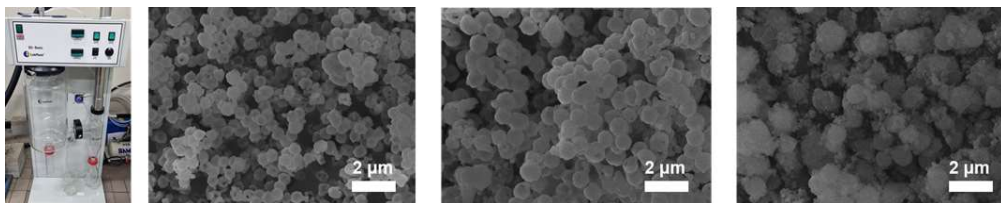


그림 19. 최적화에 사용된 건조 분무 장비 및 조건별 전구체 SEM 사진

- 장잔광 형광체의 성능 향상을 위하여 전구체 입자 형성 온도, 분무 속도 등의 최적화 연구를 수행함
- 연구 결과 전구체 입자의 입도 및 형태 형성은 건조 온도 및 용액에 가장 영향을 많이 받았으며 이를 조절하여 얻어진 입자의 SEM 사진을 그림 19에 나타냄
- 용매 분산성 및 균일한 발광 특성 확보에 유리한 구형 입자의 형성이 확인되었으며, 조건 변경을 통하여 입도의 증가 또한 확인함

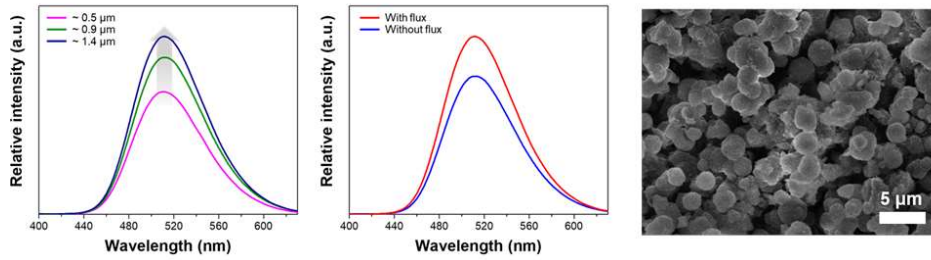


그림 20. (좌) 입도별 발광 강도 (중) flux 첨가에 따른 발광 강도 (우) 열처리 후 SEM 이미지

- 분무 건조법을 통해 합성한 전구체를 열처리 후 PL 분석을 수행함
- 분석 결과, 입도의 증가에 따라 발광 강도가 증가하는 결과를 확인하였으며 이는 전형적인 형광체의 발광 경향과 일치함
- 추가적인 특성 향상을 위하여 합성된 전구체에 flux를 첨가하여 혼합 후 열처리를 수행함
- flux는 형광체 핵생성 과정에서 모체 표면 내에 소량 함유되는 도판트 이온의 확산효율을 증가시키는 특성에 의하여 형광체의 특성 향상에 사용되는 물질로, 형광체 결정성 형성 온도 구배에 고려하여 H_3BO_3 , B_2O_3 , Bi_2O_3 , Li_2CO_3 , NH_4Cl 등 다양한 flux 첨가 실험을 진행하였으며 도판트 이온 농도에 따라 flux 함량 최적화를 진행함
- 최적화 결과 H_3BO_3 flux는 타 소재에 비하여 화학적으로 용액 제도가 용이하여 혼합 및 함량조절이 매우 손쉬운 이점을 지녀 최종 적용 물질로 선정 하였으며, 사용된 모체 및 활성화제 원료 대비 5 wt%일 때 결정 형성 및 발광 특성이 가장 우수하게 나타나는 것으로 확인됨
- 최종적으로 얻어진 장잔광 형광체의 경우 상용대비 약 180% 수준의 발광 휘도를 가짐을 확인하였으며 (성적서 별첨) SEM 분석을 통해 구형 입자를 유지함과 동시에 입도 또한 전구체와 동일한 수준을 유지함을 확인함

■ 표면 코팅을 통한 장잔광 형광체의 안정성 향상 연구

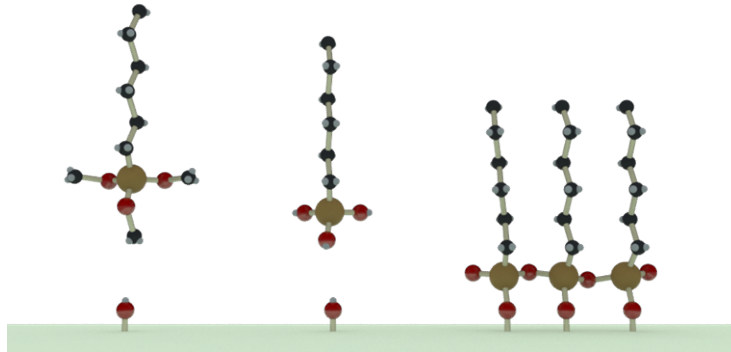


그림 21. 표면 코팅 반응 모식도

- 안정성 향상을 위한 코팅 방법으로 형광체 표면 산소와 직접적으로 결합하여 표면에 부착되는 방식을 채택함
- 표면에 직접 부착되는 작용기로 비교적 반응성이 높은 실란기를 선정하였으며, 다중 실란기를 지닌 물질을 활용하여 단량체 간 실란화 반응을 일으켜 추가적인 표면 부착력 및 투습 방지 효과 증가를 유도함

$R'-SiR_3$	APTES	TPSPMA	HDTMS
Alkoxy group (R)	Ethoxy	Methoxy	Methoxy
Tail linear formula(R')	$H_2N(CH_2)_3-$ (4 / N)	$H_2C=C(CH_3)CO_2(CH_2)_3-$ (7 / O)	$CH_3(CH_2)_{15}-$ (16 / none)
(tail length / hydrophilic atom)			
▲ APTES	▲ TPSPMA	▲ HDTMS	

그림 22. 표면 코팅 물질 후보

- 형광체의 안정성 및 표면 개질을 위한 코팅 물질로 그림 22 에 나타나 있는 물질들을 후보군으로 선정함
- 해당 후보군은 사슬 길이, 말단 작용기, 반응성 등을 고려하여 최종 선정하였으며 습윤 코팅 방법으로 예비 연구를 수행하였음

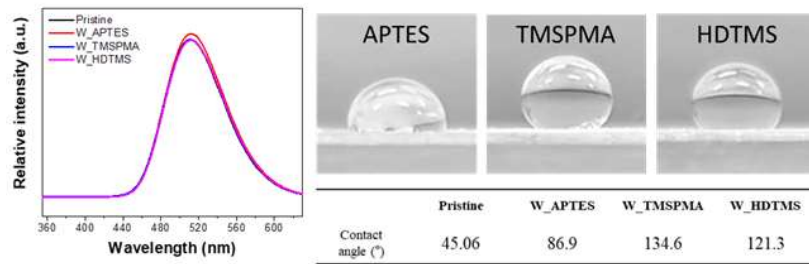


그림 23. 습윤 코팅 후 PL 및 접촉각 분석 결과

- 습윤 코팅의 경우 코팅 물질에 형광체를 분산하여 교반하는 방법으로 수행하였으며 원심분리를 통해 형광체 입자를 분리한 후 잔여 미부착 코팅 물질을 제거하여 주는 정제 과정을 거쳐 최종 물질을 수득함
- PL 분석 결과 눈에 띄는 파장 변화 또는 강도 변화가 없는 것을 확인하여 코팅 물질이 광 특성에 직접적으로 영향을 주지 않음을 확인함
- 코팅층 형성을 확인하기 위하여 접촉각 분석을 수행하였으며, 코팅하지 않은 형광체에 비하여 접촉각이 크게 증가하였음을 확인할 수 있음
- 또한, 비교적 소수성이 더 강한 TMSPMA와 HDTMS에서 접촉각이 더 크게 나오는 것을 확인하여 코팅 물질의 특성이 형광체 코팅 후에도 성공적으로 반영되고 있음을 확인함

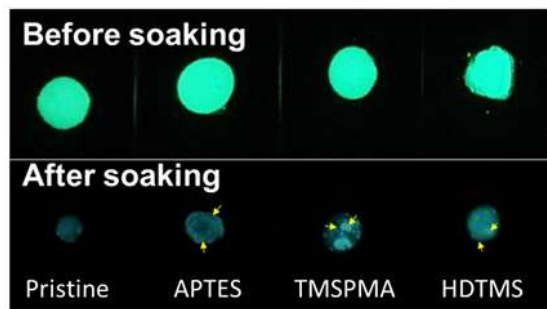


그림 24. 습윤 코팅 형광체의 침지 후 결과

- 상기 습윤 코팅 방법을 통하여 얻은 샘플의 수분 안정성을 확인하기 위하여 24시간 침지 테스트를 수행함
- 테스트 결과 코팅을 하지 않은 형광체의 경우 대부분의 발광 특성이 소실됨을 확인하였으며 부분적으로 녹색 발광에서 청색 발광으로 파장이 이동함을 확인하였음
- 습윤 코팅을 수행한 샘플의 경우에도 부분적인 특성 감소가 관찰되었으며 이는 코팅이 전체 입자에 대하여 균일하게 일어나지 않았음을 의미함

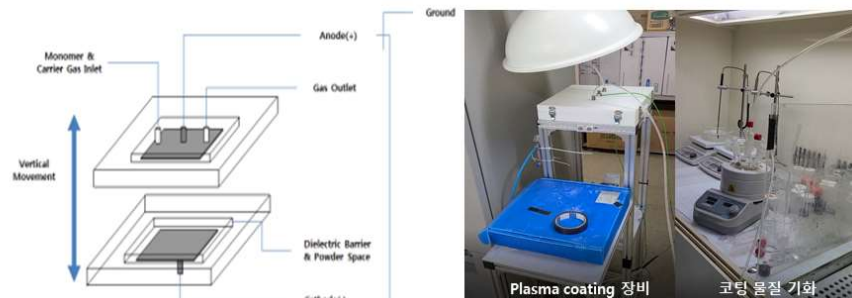


그림 25. 플라즈마 코팅 장비 모식도 및 사진

- 습윤 코팅 방법의 비균일 코팅 형성을 해결하기 위하여 플라즈마 코팅 공정을 도입함
- 플라즈마 코팅 공정의 경우 표면의 반응 지점을 플라즈마를 사용하여 활성화 시켜 줌으로써 기화된 코팅 물질이 표면에서 선택적으로 반응할 수 있도록 설계되었음
- 플라즈마에 노출된 형광체 표면 전체가 반응 지점으로 작용하기 때문에 입자 전체에 대하여 코팅을 할 수 있으며, 낮은

코팅 물질 농도로 인해 코팅 두께 조절이 용이하고 부산물 생성 억제 장점을 지니고 있음

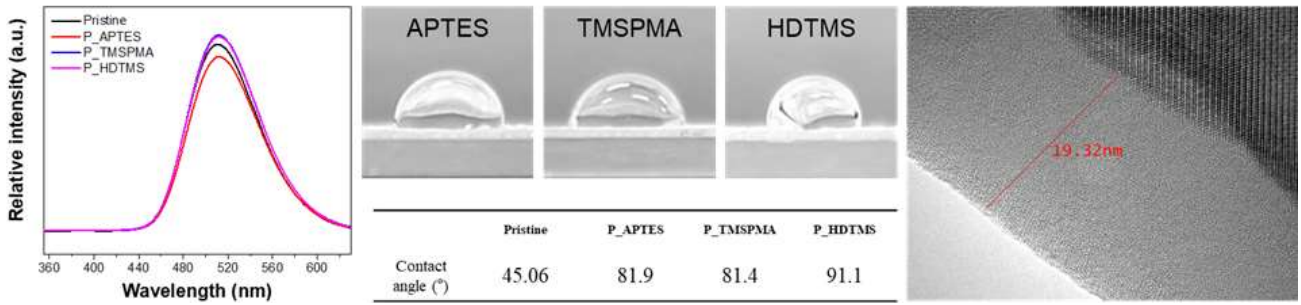


그림 26. 플라즈마 코팅 후 PL, 접촉각 및 TEM 분석

- 플라즈마 코팅을 통해 얻어진 샘플의 특성 확인을 위하여 PL 및 접촉각 분석을 수행하였음
- 습윤 코팅과 마찬가지로 눈에 띄는 발광 파장 및 강도 변화는 관찰되지 않았으며 접촉각 또한 증가함을 확인함
- 접촉각의 경우 습윤 코팅에 비해 낮은 수치를 보이며, 이는 비교적 얇은 코팅 두께와 코팅 물질 간 반응에 의해 형성되는 부산물의 생성이 억제된 결과일 것으로 사료됨
- 플라즈마 코팅이 성공적으로 진행됨을 확인한 후 해당 공정을 최적화 하여 TEM 분석 수행을 통해 코팅층의 존재를 시각적으로 확인하였음

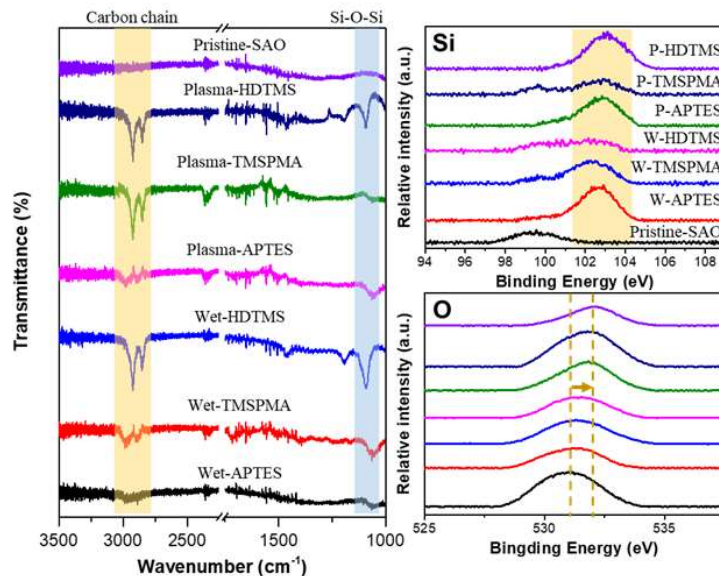


그림 27. 습윤, 플라즈마 코팅 샘플의 (좌) FT-IR (우) XPS 분석 결과

- 보다 정확한 코팅 확인을 위하여 FT-IR과 XPS 분석을 수행함
- FT-IR 분석을 통해 모든 샘플에서 탄소 사슬 피크가 나옴을 확인함. 이는 코팅 물질이 형광체 입자에 존재함을 증명하며, 더하여 Si-O-Si 피크의 존재를 통해 코팅 물질이 단일로 존재하지 않고 실란화 반응을 통하여 서로 연결되어 있음 또한 확인할 수 있음
- 해당 Si-O-Si 결합은 XPS 분석에서도 확인이 가능하며, 이는 외부 환경으로부터 형광체를 보호할 수 있는 실리카 매트릭스 층이 성공적으로 형성되었음을 의미함
- 더하여 산소의 결합에너지가 플라즈마 공정에서 증가함을 XPS 분석에서 확인할 수 있으며 이는 플라즈마가 형광체 표면에 작용하여 반응성을 높여줌을 뒷받침하는 증거임

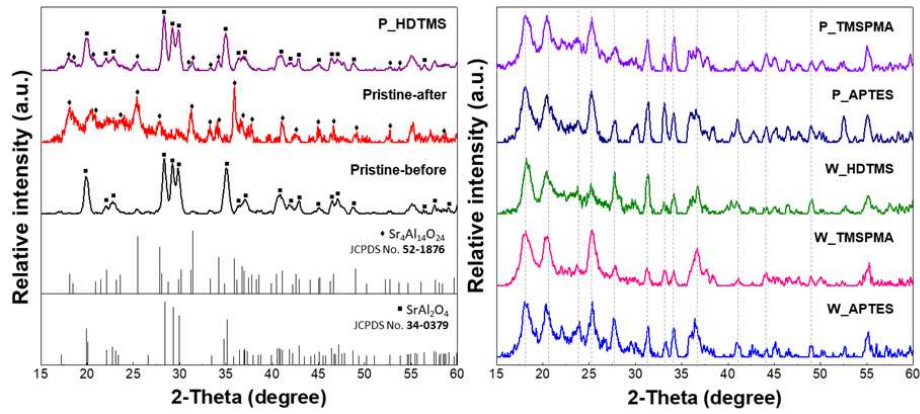


그림 28. 침지 후 XRD 분석 결과

- 습윤 및 플라즈마 코팅을 통해 얻은 샘플의 수분 안정성 평가를 위하여 침지 테스트를 수행하고 XRD 분석을 수행함
- 코팅을 하지 않은 샘플의 경우 SrAl_2O_4 상이 침지 후 $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{24}$ 상으로 변화하는 것을 확인할 수 있으며 이로 인해 발광 특성이 크게 저하됨을 확인함
- 또한 플라즈마 HDTMS 코팅 샘플을 제외한 모든 샘플에서 상이 변화함을 확인하였으며, 이는 높은 소수성을 지닌 코팅 물질이 플라즈마 공정을 통하여 균일 코팅되어야 효과적으로 수분을 차단할 수 있음을 의미함

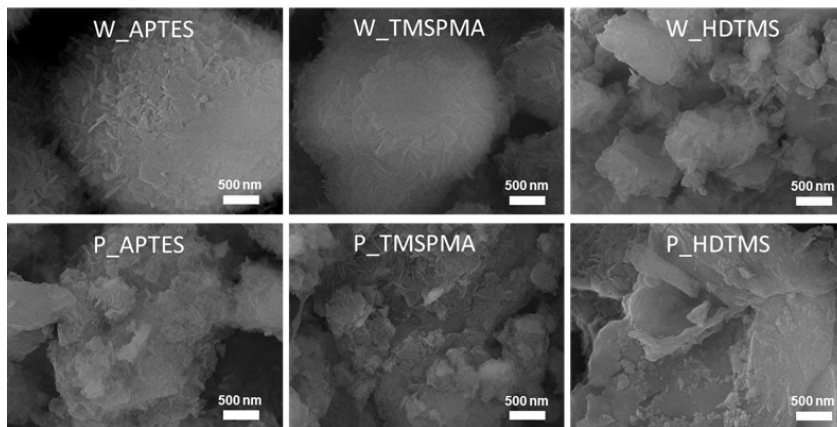


그림 29. 침지 후 SEM 분석 결과

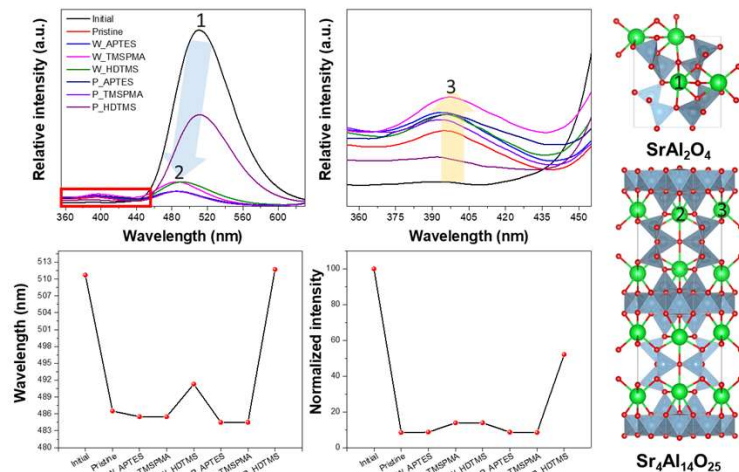


그림 30. 침지 후 PL 분석 결과

- 침지 후 발광 파장의 변화를 확인하기 위하여 PL 분석 및 SEM 분석을 추가로 수행함
- SEM 분석 결과, 침지 후 입자의 표면이 침상으로 변하는 것을 확인할 수 있으며 이는 HDTMS 코팅 샘플에서는 비교적 억제됨을 확인할 수 있음
- PL 분석을 통하여 침지 후 샘플들이 약 490 nm와 395 nm 발광을 띄는 $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{24}$ 상의 발광 경향을 따르고 있음을 확인할 수 있으며, HDTMS 코팅된 샘플을 제외한 샘플에서 조금 더 청색 이동된 발광 파장을 가짐을 관찰함
- 해당 결과는 표면의 침상에 의하여 넓어진 표면적이 형광체의 결정장에 영향을 미쳐 발광 파장이 청색으로 이동한 것이 원인으로, 침상의 형성이 억제된 HDTMS 코팅 샘플에서는 해당 경향이 관찰되지 않음을 확인할 수 있음

- 결과적으로, 플라즈마 공정 기반의 HDTMS 코팅이 침지 후에도 SrAl_2O_4 상을 유지하며 발광 특성을 잘 유지함을 확인하였으며 해당 결과는 학술적으로 가치가 있다 판단되어 논문화 하여 국제 학술지에 투고하였음 (Current Applied Physics, 2021 투고, under review)
- 상기 수분 안정성 실험은 가속 평가를 위하여 침지 테스트로 수행되었으며, 최종 최적화 후 고습환경 (85%) 노출 후 93.9%의 유지율을 확인함(성적서 별첨)

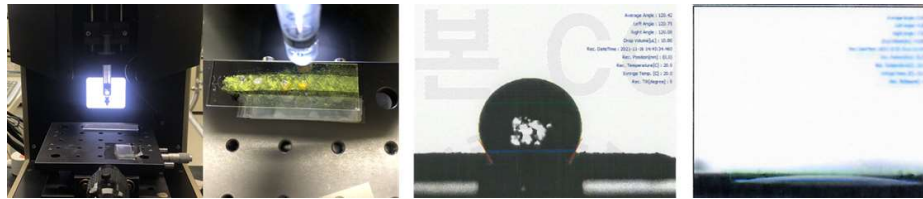


그림 31. (좌) 수분 접촉각 시험 (중) 수분 접촉각 (우) 용매 접촉각

- 코팅을 수행하지 않은 자체 발광형 소재의 경우 수분에 대하여 약한 수준의 친화성을 가지고 있으며 이는 외부환경 노출 시 특성 저하의 주요 원인이 될 수 있음
- 수분의 투습을 방지할 수 있는 지표로 접촉각을 선정하였으며 90° 이상의 접촉각을 지니도록 최종 목표를 설정함
- 연구 과정에서 상기 개발과정에서 나타난 바와 같이 실란 작용기 반대편의 분자 구조에 따라서 접촉각 특성이 크게 변화함을 확인하였으며, 탄소 사슬 길이가 가장 영향을 많이 주는 결과를 확인함
- 탄소 사슬 길이별 코팅 연구 수행 결과 HDTMS (탄소 사슬 길이: 16)을 사용할 시 코팅층 두께 조절 및 투습 방지층 형성에 가장 유리함을 확인하였으며 이를 최적화함
- 또한, 긴 탄소 사슬을 가진 코팅 물질을 사용할 시 도료 등에 많이 사용되는 toluene (비극성) 용매에 친화성이 높아지는 것을 확인할 수 있었음
- 연구 수행 결과 수분에 대하여 최종 120° 수준의 접촉각을 가짐을 확인하였으며, toluene 용매에 대하여 < 10°의 접촉각을 가짐을 확인함(성적서 별첨)



그림 32. 내열성 시험 (좌) 시험 장비 (중) 시험 조건 (우) 시험 시료

- 열적 안정성 향상을 위하여 형광체 입도 및 형태 제어 실험과 표면 코팅을 병행하여 연구를 수행함
- 열에 의하여 일어날 수 있는 손상인 팽창, 응집 등 여러 요인에 대하여 표면 코팅층 형성이 이를 방지해 줄 수 있음을 확인하였으며, 직접적인 표면 결합과 단량체 간 역임 유도로 인해 코팅층 탈락이 개선되는 결과를 얻음
- 상기 연구 결과를 최적화 하여 이를 결과를 기반으로 250 °C, 10분 조건으로 평가를 진행한 결과 99.6%의 유지율을 보임(성적서 별첨)

■ 형광소재의 광학적 시뮬레이션 기술 개발 및 시작품 제작

Green lasting phosphor

- Thickness : 0.15mm
- Weight percentage : 5wt%, 10wt%, 20wt%

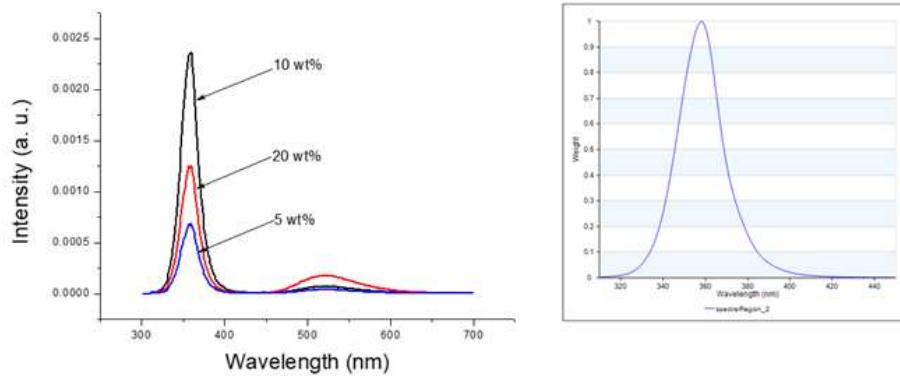


그림 33. Light tool 기반 광학 시뮬레이션

- 주관기관인 성균관대학교와 참여기관인 한국광기술원이 협업하여 형광체 합성 및 특성 향상 연구를 수행하였으며, 한국 광기술원이 보유한 test bed를 활용하여 평가를 수행함
- 협업을 통해 준비된 장잔광 형광체의 시작품 제작 적용을 위하여 최적 형광체 함량 및 두께를 예측할 수 있는 형광소재 광학 시뮬레이션 기술 개발 연구를 수행하였음
- 한국광기술원의 분석 및 시뮬레이션 경험을 바탕으로 light tool 기반 형광소재 시뮬레이션을 수행하였으며 이를 통해 녹색 발광 형광소재 기준 도료 및 필름 제작 시 최적 형광체 함량과 두께를 도출함



그림 34. 시작품 제작 전 prototype 제작 (좌) 실내등 하 (우) 내부 광원 제거

- 상기 결과를 기반으로 하여 시작품 제작 전 prototype 제작을 수행함
- 패턴 또는 글씨의 표면이 명확하였으며, prototype 제작을 위해 첨가한 고분자 및 용매에 의해 발광특성이 저하되지 않고 외부광 제거 후에도 장시간 발광을 유지하는 것을 확인하여 시작품 개발이 우수하게 수행될 수 있을 것으로 판단함



그림 35. 제작된 시작품 샘플 (좌) 자체발광형 (우) 일반

- Prototype 표지 제작에 이어 시작품 자체 발광형 표지를 제작함
- 최초 과제 계획 시 시작품 평가를 위해 한국광기술원 보유 실증동에서 유사환경 실증 평가를 계획하였으나, 시흥시 스마트시티 사업단의 협력을 통해 시흥시 내 스쿨존에서 실제환경 하 실증평가 수행으로 계획을 변경하였음
- 계획 변경에 따라 시작품 결과물을 스마트시티 사업단과의 논의 후 스쿨존 안전표지로 최종 선정하였으며 어린이 보호 구역 표지로 디자인을 최종 채택하였음
- 최종 제작된 표지는 자체발광형표지 디자인 규정에 따라 흑색 배경색과 백색 발광부를 가지도록 제작하였음

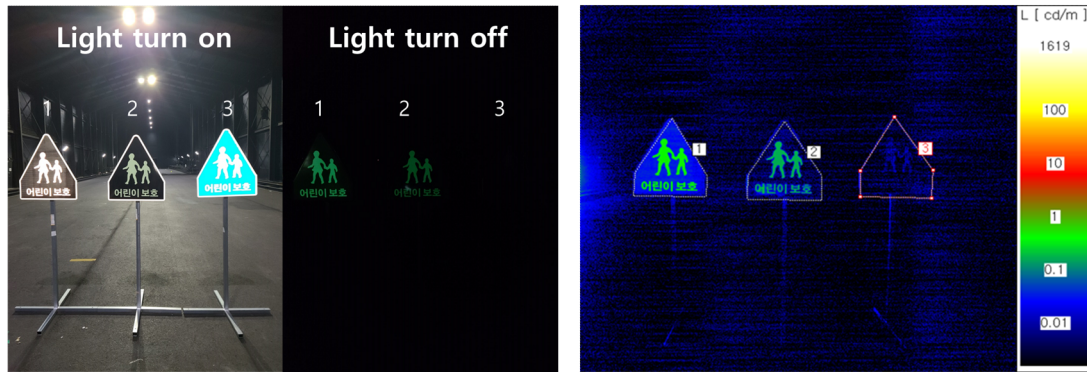


그림 36. 자체 발광형 표지의 (좌) 조명 on/off 사진 (우) 휘도 측정 이미지 (1: 고휘도 자체발광 표지판, 2: 자체발광 표지판, 3: 재귀반사 표지판)

Sample	Region	Area	Min. [cd/m^2]	Max [cd/m^2]	Disp
고휘도자체 발광	1	105000	0	0.5553	0.1605
자체 발광	2	110600	0	0.2858	0.06391
재귀반사	3	112700	0	0.0431	0.004352

표 4. 자체 발광형 표지의 휘도 측정값

- 실증 평가를 위한 표지 설치 전, 제작된 시작품의 성능을 평가하기 위하여 한국광기술원 보유 실증동에서 휘도 측정 평가를 수행함
- 자체발광 표지판(2)과의 비교를 위하여 일반적인 재귀반사 표지판(1)을 함께 제작하였으며, 추가적인 성능 향상을 위하여 재귀반사율을 조절한 고휘도 자체발광 표지판(3)을 추가로 제작함
- 측정 결과 재귀반사 표지판의 암실 내 휘도가 $0.0432 \text{ cd}/\text{m}^2$ 로 나타난 반면에 고휘도 자체발광 표지판은 $0.5553 \text{ cd}/\text{m}^2$ 의 값을 나타내 약 12.9배 휘도가 향상된 결과를 확인함

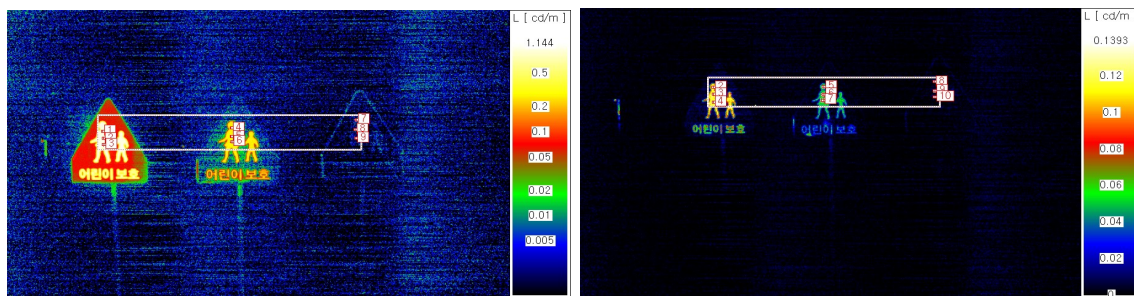


그림 37. 시간에 따른 휘도 측정 결과 이미지 (좌) 태양광 조사 직후 (우) 15분 후

고휘도 자체발광		자체발광		재귀반사	
Region(spot)	Max[cd/m^2]	Region(spot)	Max[cd/m^2]	Region(spot)	Max[cd/m^2]
1	1.075	4	0.291	7	0.012
2	1.071	5	0.299	8	0.012
3	1.126	6	0.304	9	0.014
평균	1.091	평균	0.298	평균	0.013

표 5. 자체 발광형 표지의 태양광 조사 직후 spot 별 휘도 측정 값

고휘도 자체발광		자체발광		재귀반사	
Region(spot)	Max[cd/m^2]	Region(spot)	Max[cd/m^2]	Region(spot)	Max[cd/m^2]
1	0.126	4	0.062	7	0.017
2	0.131	5	0.064	8	0.016
3	0.139	6	0.062	9	0.013
평균	0.132	평균	0.063	평균	0.046

표 6. 자체 발광형 표지의 태양광 조사 15분 후 spot 별 휘도 측정 값

- 야간 시 자체발광의 지속 특성을 평가하기 위하여 암실에서 태양광을 조사하고 그 직후와 15분 후 휘도 측정값을 비교함
- 15분 후 휘도 감소율은 고휘도 자체발광의 경우 87%, 자체발광의 경우 79%로 나타났으며, 고휘도 자체발광 표지판의 경우 ‘한국소방산업기술원에서 시행하는 시험의 기준인 ‘축광표지의 성능인증 및 제품검사의 기술기준에 명시된 10분 후

축광표지의 휘도인 0.05 cd/m^2 보다 5분 초과된 시점에서 약 2.6배의 휘도를 보여 보다 우수한 축광표지 성능을 가졌음을 확인할 수 있음

- 실제 도로 환경에서는 가로등 및 자동차 조명이 상시 존재하기 때문에 이로 인하여 축광 형광소재가 지속적으로 여기되어 상기 휘도 측정 분석에서 나타난 결과보다 더욱 높은 지속력을 지닐 것으로 기대됨
- 상기 분석 결과를 종합하여 볼 때, 고휘도 자체발광 표지판 시작품은 충분한 성능을 지닌 것으로 평가되며 실제 환경 적용에 적합한 것으로 사료되어 실증 평가 수행을 위한 시작품으로 최종 선정함



그림 38. 자체 발광형 표지 실증지 위치와 설치 사진

- 자체 발광형 표지 시작품의 실증 평가는 시흥시 옥터초등학교 앞 도로 세 지점에서 수행되었음
- 해당 표지 설치 위치의 위치적 특성은 아래와 같음
 - 부동산: 자체 발광형 표지 설치 장소에서 5m 이내에 백색광원(가로등)이 존재함, 광원 강도는 약함
 - 문구사: 자체 발광형 표지가 신호등 기둥에 설치됨, 적색 녹색 신호등 광원의 강도가 강함
 - 유치원: 자체 발광형 표지 설치장소 5m 이내에 광원이 없음, 매우 어두움
- 각 설치 장소별 광원의 차이가 뚜렷하여 자체 발광형 표지의 실증 평가 시 외부요인에 의한 휘도 평가에 적합할 것으로 판단함



그림 39. 8월 ~ 11월 휘도분석 당일 표지 사진

- 자체 발광형 표지의 휘도 분석은 설치 후 한달 간격으로 4회 수행하였음
- 일몰 후부터 일출까지 3시간 간격으로 5회 분석 실시하였으며 계절 별 일몰, 일출 시간을 고려하여 분석 시간을 1시간 조정하였음
 - 8월, 9월: 20시, 23시, 2시, 5시, 8시
 - 10월, 11월: 19시, 22시, 1시, 4시, 7시



그림 40. 휘도 분석 시 휘도 측정 위치

- 휘도 측정 시 1. 발광부, 2. 비발광부, 3. 백색 반사부 세 지점으로 나누어 측정하였으며 각 지점 당 5회 측정하여 평균값들을 수집하였음

20 시

위치	부동산			문구사			유치원			참고
spot	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
휘도 (cd/m ²)	3.54	0.09	1.73	3.35	0.20	2.79	0.24	0.01	0.14	1.04
	3.53	0.05	2.02	3.21	0.06	2.91	0.23	0.01	0.15	0.99
	2.72	0.09	1.71	3.35	0.20	2.55	0.23	0.00	0.16	0.88
	4.86	0.06	1.75	3.32	0.21	2.23	0.31	0.00	0.05	0.87
	2.58	0.10	1.70	3.34	0.20	2.91	0.42	0.00	0.15	0.98
평균	3.45	0.08	1.78	3.31	0.17	2.68	0.29	0.00	0.13	0.95

2 시

위치	부동산			문구사			유치원			참고
spot	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
휘도 (cd/m ²)	2.34	0.01	1.43	3.25	0.23	2.84	0.16	0.00	0.12	0.78
	3.17	0.00	1.45	3.30	0.21	2.81	0.18	0.00	0.08	0.85
	2.47	0.00	1.49	3.32	0.22	2.87	0.16	0.00	0.12	0.90
	2.63	0.00	1.47	3.36	0.23	2.76	0.17	0.00	0.11	0.86
	2.74	0.00	1.56	3.36	0.23	2.85	0.17	0.00	0.11	0.85
평균	2.67	0.00	1.48	3.32	0.22	2.83	0.17	0.00	0.11	0.85

8 시

위치	부동산			문구사			유치원			
spot	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
휘도 (cd/m ²)	1620	543	1980	6880	455	5490	14200	1540	9330	
	1610	461	2000	6950	447	5690	13300	1500	9110	
	1550	532	2100	6760	449	5740	13200	1590	9260	
	1530	469	2050	6820	445	5520	13400	1470	9430	
	1530	459	2020	6670	444	5640	13400	1490	9270	
평균	1568	492	2030	6816	448	5616	13500	1518	9280	

23 시

위치	부동산			문구사			유치원			참고
spot	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
휘도 (cd/m ²)	2.30	0.00	1.49	3.10	0.22	2.82	0.23	0.00	0.09	1.02
	2.11	0.06	1.58	3.17	0.21	2.01	0.24	0.00	0.10	0.90
	2.66	0.07	1.59	3.07	0.14	2.30	0.24	0.00	0.09	0.98
	2.57	0.05	1.60	3.12	0.22	2.12	0.17	0.00	0.11	0.98
	2.95	0.00	1.51	3.10	0.23	2.21	0.18	0.00	0.11	0.96
평균	2.52	0.04	1.55	3.11	0.20	2.29	0.21	0.00	0.10	0.97

5 시

위치	부동산			문구사			유치원			참고
spot	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
휘도 (cd/m ²)	2.54	0.03	1.80	3.20	0.11	2.67	0.19	0.00	0.13	0.92
	3.32	0.01	1.64	3.35	0.12	2.58	0.26	0.00	0.12	0.88
	3.20	0.01	1.57	3.28	0.11	2.47	0.22	0.00	0.12	0.92
	3.23	0.01	1.73	3.26	0.12	2.46	0.24	0.00	0.13	0.79
	3.04	0.01	1.63	3.26	0.11	2.61	0.24	0.00	0.12	0.80
평균	3.07	0.01	1.67	3.27	0.11	2.56	0.23	0.00	0.12	0.86

표 7. 210806 휘도 측정 결과

20 시

위치	부동산			문구사			유치원			
spot	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
휘도 (cd/m ²)	3.48	0.08	1.70	3.28	0.15	2.85	0.19	0.00	0.15	
	3.64	0.09	1.78	3.29	0.14	2.95	0.20	0.01	0.15	
	3.53	0.05	1.65	3.29	0.14	2.95	0.19	0.00	0.14	
	3.49	0.05	1.65	3.32	0.15	2.89	0.19	0.01	0.15	
	3.62	0.09	1.66	3.28	0.15	2.89	0.21	0.00	0.16	
평균	3.57	0.07	1.68	3.29	0.15	2.92	0.20	0.01	0.15	

2 시

위치	부동산			문구사			유치원			
spot	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
휘도 (cd/m ²)	2.83	0.05	1.53	3.12	0.25	2.79	0.23	0.00	0.13	
	2.83	0.04	1.59	3.13	0.27	2.76	0.25	0.00	0.12	
	2.80	0.04	1.62	3.15	0.29	2.76	0.21	0.00	0.17	
	2.82	0.07	1.59	3.27	0.25	2.73	0.25	0.00	0.12	
	2.85	0.06	1.61	3.17	0.25	2.81	0.24	0.01	0.11	
평균	2.82	0.05	1.60	3.18	0.27	2.77	0.24	0.00	0.13	

8 시

위치	부동산			문구사			유치원			
spot	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
휘도 (cd/m ²)	1125	320	1200	4200	325	3980	9800	1320	6580	
	1140	330	1210	4190	322	3990	9810	1310	6560	
	1130	332	1200	4190	327	3990	9810	1310	6550	
	1130	323	1205	4195	328	3990	9820	1330	6560	
	1135	328	1205	4190	328	3980	9860	1330	6580	
평균	1134	328	1205	4191	326	3986	9825	1320	6563	

23 시

위치	부동산			문구사			유치원			
spot	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
휘도 (cd/m ²)	2.54	0.02	1.65	2.98	0.25	2.35	0.25	0.00	0.13	
	2.48	0.03	1.68	3.10	0.25	2.43	0.26	0.00	0.14	
	2.48	0.04	1.73	3.05	0.26	2.42	0.26	0.00	0.14	
	2.53	0.04	1.75	3.05	0.26	2.43	0.24	0.00	0.12	
	2.52	0.04	1.73	3.08	0.26	2.39	0.26	0.00	0.15	
평균	2.50	0.04	1.72	3.07	0.26	2.42	0.26	0	0.14	

5 시

위치	부동산			문구사			유치원			
spot	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
휘도 (cd/m ²)	3.27	0.06	1.83	3.17	0.15	2.49	0.31	0.01	0.14	
	3.36	0.07	1.79	3.16	0.14	2.52	0.32	0.00	0.15	
	3.35	0.08	1.78	3.22	0.15	2.52	0.31	0.00	0.15	
	3.33	0.12	1.79	3.16	0.14	2.48	0.29	0.00	0.14	
	3.36	0.09	1.79	3.21	0.13	2.59	0.29	0.00	0.16	
평균	3.35	0.09	1.79	3.19	0.14	2.53	0.30	0	0.15	

표 8. 210924 휘도 측정 결과

19 시

위치	부동산			문구사			유치원		
spot	1	2	3	1	2	3	1	2	3
휘도 (cd/m2)	3.64	0.02	1.74	3.35	0.11	2.83	0.28	0.00	0.05
	3.52	0.05	1.70	3.32	0.12	2.84	0.17	0.00	0.06
	3.64	0.04	1.70	3.18	0.12	2.20	0.19	0.00	0.06
	3.60	0.05	1.70	3.21	0.13	2.83	0.22	0.00	0.05
	3.57	0.05	1.75	3.24	0.12	2.82	0.33	0.00	0.04
평균	3.59	0.04	1.72	3.26	0.12	2.70	0.24	0	0.052

1 시

위치	부동산			문구사			유치원		
spot	1	2	3	1	2	3	1	2	3
휘도 (cd/m2)	3.96	0.04	1.11	2.97	0.20	2.73	0.17	0.00	0.02
	3.96	0.06	1.66	3.09	0.19	2.84	0.28	0.00	0.03
	3.71	0.04	1.68	3.10	0.21	2.87	0.21	0.00	0.01
	3.91	0.07	1.77	2.99	0.19	2.56	0.23	0.00	0.03
	3.98	0.07	1.50	3.06	0.22	2.84	0.25	0.00	0.02
평균	3.90	0.06	1.54	3.04	0.20	2.77	0.23	0	0.02

7 시

위치	부동산			문구사			유치원		
spot	1	2	3	1	2	3	1	2	3
휘도 (cd/m2)	117	11.2	85.8	198	43.5	152	234	14.0	123
	118	11.2	85.6	191	43.9	154	232	14.8	123
	117	11.3	85.1	194	44.0	161	232	17.1	123
	118	11.5	84.5	188	44.3	154	230	15.3	122
	118	11.6	84.2	198	44.8	152	230	14.3	123
평균	117.6	11.36	85.04	193.8	44.1	154.6	231.6	15.1	122.8

22 시

위치	부동산			문구사			유치원		
spot	1	2	3	1	2	3	1	2	3
휘도 (cd/m2)	3.38	0.04	1.68	3.18	0.14	2.76	0.23	0.00	0.04
	3.39	0.01	1.66	2.88	0.15	2.57	0.21	0.00	0.04
	3.61	0.05	1.64	3.09	0.15	2.77	0.19	0.00	0.06
	3.39	0.05	1.64	3.30	0.15	2.72	0.22	0.00	0.04
	3.41	0.06	1.32	3.33	0.15	2.80	0.22	0.00	0.03
평균	3.44	0.04	1.59	3.16	0.15	2.72	0.21	0	0.04

4 시

위치	부동산			문구사			유치원		
spot	1	2	3	1	2	3	1	2	3
휘도 (cd/m2)	3.11	0.09	1.55	3.01	0.10	2.80	0.17	0.00	0.10
	2.49	0.00	1.54	3.05	0.10	2.77	0.17	0.00	0.09
	2.73	0.02	1.53	3.00	0.10	2.84	0.18	0.00	0.09
	3.16	0.00	1.54	3.04	0.10	2.82	0.19	0.00	0.08
	2.95	0.00	1.52	3.09	0.10	2.52	0.18	0.00	0.09
평균	2.89	0.02	1.54	3.04	0.1	2.75	0.18	0	0.09

표 9. 211014 휘도 측정 결과

19 시

위치	부동산			문구사			유치원		
spot	1	2	3	1	2	3	1	2	3
휘도 (cd/m2)	3.78	0.07	1.77	3.75	0.17	3.11	0.29	0.00	0.19
	3.76	0.06	1.83	3.54	0.21	3.30	0.39	0.00	0.18
	3.73	0.06	1.80	3.62	0.17	3.31	0.38	0.00	0.19
	3.76	0.06	1.77	3.63	0.20	3.21	0.38	0.01	0.19
	3.75	0.05	1.78	3.73	0.19	3.23	0.31	0.00	0.17
평균	3.75	0.06	1.79	3.63	0.19	3.26	0.36	0.00	0.18

1 시

위치	부동산			문구사			유치원		
spot	1	2	3	1	2	3	1	2	3
휘도 (cd/m2)	4.07	0.06	1.77	3.18	0.14	2.70	0.23	0.00	0.11
	4.12	0.07	1.83	3.13	0.13	2.69	0.25	0.00	0.13
	4.08	0.06	1.78	3.17	0.10	2.70	0.24	0.01	0.12
	4.10	0.05	1.80	3.17	0.12	2.72	0.24	0.00	0.12
	4.08	0.05	1.80	3.16	0.12	2.71	0.22	0.00	0.14
평균	4.09	0.06	1.80	3.16	0.12	2.70	0.24	0.00	0.13

7 시

위치	부동산			문구사			유치원		
spot	1	2	3	1	2	3	1	2	3
휘도 (cd/m2)	10.5	0.64	5.28	9.08	0.94	8.12	4.12	1.37	2.01
	10.5	0.63	5.21	8.90	0.89	8.39	4.07	1.44	1.98
	10.6	0.65	5.25	8.92	0.95	8.13	4.08	1.42	2.00
	10.8	0.67	5.24	9.02	0.89	8.21	4.08	1.39	2.00
	10.5	0.65	5.25	8.99	0.92	8.22	4.09	1.42	1.99
평균	10.6	0.65	5.24	8.96	0.91	8.24	4.08	1.42	1.99

22 시

위치	부동산			문구사			유치원		
spot	1	2	3	1	2	3	1	2	3
휘도 (cd/m2)	4.02	0.05	1.86	3.16	0.13	2.68	0.27	0.00	0.13
	4.00	0.07	1.82	3.02	0.13	2.71	0.28	0.00	0.12
	3.98	0.06	1.87	3.15	0.13	2.65	0.29	0.00	0.15
	4.02	0.05	1.88	3.21	0.14	2.70	0.29	0.00	0.15
	4.01	0.05	1.83	3.02	0.13	2.69	0.26	0.00	0.14
평균	4.00	0.06	1.85	3.1	0.13	2.69	0.28	0	0.14

4 시

위치	부동산			문구사			유치원		
spot	1	2	3	1	2	3	1	2	3
휘도 (cd/m2)	3.11	0.09	1.55	3.01	0.10	2.80	0.17	0.00	0.10
	2.89	0.08	1.48	3.12	0.09	2.81	0.18	0.00	0.11
	2.98	0.08	1.43	3.11	0.08	2.80	0.16	0.00	0.09
	2.99	0.07	1.48	3.21	0.11	2.79	0.16	0.00	0.09
	2.93	0.05	1.44	3.19	0.11	2.77	0.18	0.00	0.09
평균	2.95	0.07	1.46	3.16	0.10	2.79	0.17	0	0.09

표 10. 211202 휘도 측정 결과

- 월별 휘도 측정 결과를 그림 41~44에 나타내었음
- 총 분석 기간 중 일출 후 분석 결과(7시, 8시)는 전체적으로 매우 높은 휘도 값이 관측되어 발광부에 의한 우세한 휘도 개선은 확인되지 않았으나, 반사부와의 수치 비교결과 유사한 휘도 값을 나타내어 자연광 하에서 일반적인 표지의 역할을 훌륭히 수행함을 확인할 수 있음

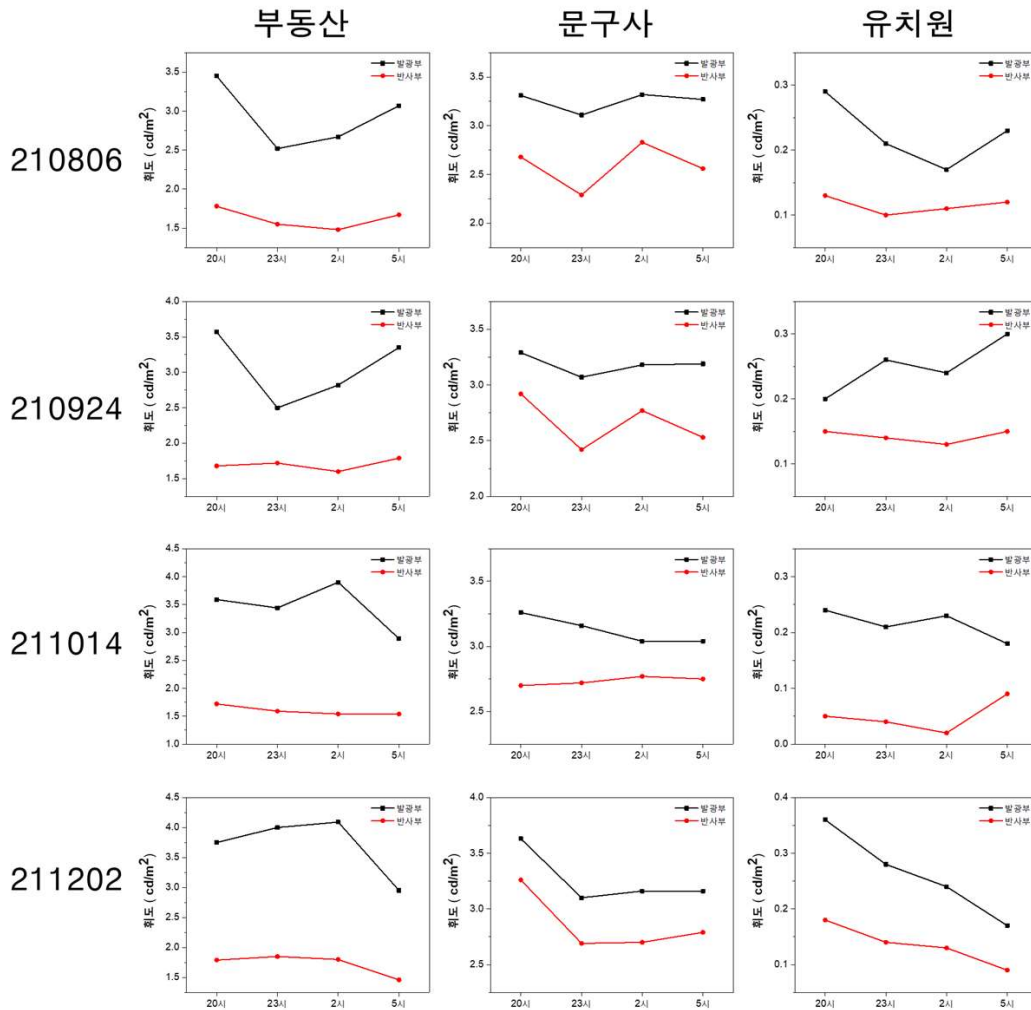


그림 41. 시간, 월별 발광부(흑색) 및 반사부(적색) 회도 경향

- 일몰 후 회도 분석 결과의 경향을 확인하기 위하여 평균 회도 측정치를 그래프화 하여 그림 45에 나타냄
- 광원이 가까운 곳에 존재하는 문구사의 경우 시간별 회도의 변화폭이 크지 않으며 발광부와 반사부의 회도 경향이 다소 일치하는 결과를 확인함
- 광원의 세기가 약하거나 없는 부동산과 유치원의 경우 특정한 회도 변화 경향을 보이진 않았으나, 반사부의 소폭의 회도 증가 및 감소를 통해 외부 간접광(예; 차량 전조등)에 영향을 받음을 확인할 수 있으며, 발광부의 비교적 큰 폭의 회도 변화를 통해 간접광을 통한 축광이 이뤄지고 있음을 알 수 있음
- 전체적으로 발광부(흑색선)의 회도 강도가 반사부(적색선)의 위에 존재하여 우세한 회도를 지니고 있음을 확인할 수 있으며 해당 회도는 발광부의 외부광 반사와 장잔광 물질의 자체 발광이 합쳐진 결과로 사료됨
- 211202에 수행한 실증 평가의 경우 우천 조건 하에서 수행된 평가로, 우천을 제외한 모든 조건에서 다른 분석 수행일과 동일한 조건 하에서 수행되었음
- 평가 결과 눈에 띄는 경향 차이 및 회도 감소는 관찰되지 않았으며, 오히려 실증 평가 기간 중 최대 회도를 나타내는 결과를 확인할 수 있었음
- 모든 시간 및 위치에 대하여 자체 발광형 표지의 회도가 높게 나오는 것을 확인하여 수분에 의한 광의 굴절에도 축광 성능(표지의 성능)이 잘 유지되고 있음을 확인함
- 실증평가 종료 지점의 자체 발광형 표지의 회도는 일몰 직후 기준 최초 평가 대비 부동산 108 %, 문구사 110 %, 유치원 124 % 수준의 회도를 나타내었으며, 이는 측정 당시 분석 환경을 고려하더라도 발광 특성의 저하가 매우 낮거나 없었음을 의미함
- 따라서, 해당 결과는 실증 평가를 위해 제작된 자체 발광형 표지 시작품이 외부환경(실증 평가 시 실제 노출 환경 조건, -5℃ ~ 30℃ 및 우천 등) 노출 후에도 성능이 저하되지 않는 우수한 내구성을 가졌음을 시사함

야간 및 우천 시 표지가 보이지 않아 불편함을 겪으신 경험이 있으십니까? 시행중인 자체 발광형 표지를 보신적이 있으십니까?
 응답 71개



그림 42. 시행한 설문조사 질문 및 응답 1

기존 표지와 비교했을 때, 시인성(눈에 띄는 정도)이 어느정도 향상되었다고 생각하십니까? 향상되었다고 생각하실 때, 어떤 요소로 인하여 시인성이 개선되었다고 생각하십니까?
 응답 31개

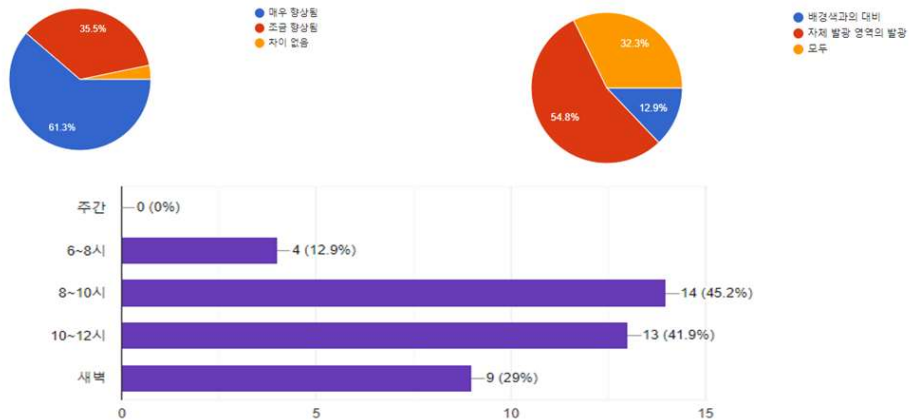


그림 43. 시행한 설문조사 질문 및 응답 2

아래 예시와 같은 표지가 가로등이 적은 어두운 곳에 설치가 된다면 도움이 될 것으로 생각하십니까? 어느 표지에 해당 자체 발광형 표지가 가장 적합할 것으로 생각하십니까?
 응답 71개



그림 44. 시행한 설문조사 질문 및 응답 3

- 자체 발광형 표지와 기존 표지에 대한 보행자 및 운전자의 인식과 수행한 실증 표지의 인지성 평가를 위해 설문 조사를 수행함
- 전체 응답자 중 약 90%가 야간 및 우천 시 표지판의 시인성 저하로 인하여 불편함을 느꼈다고 응답하였으며 이는 해당 과제에서 해결하고자 하는 문제가 일반적으로 시민들에게 인식되고 있음을 의미함
- 약 44%의 응답자가 시행중인 자체 발광형 표지를 본 적이 있다고 응답하였으며, 해당 응답자들에게 한해 그림 47에 나타난 바와 같이 추가 설문을 진행함
- 설문 결과 약 96%의 응답자들이 시인성 향상을 인지하였으며, 그 중 50% 이상이 자체 발광 영역이 시인성 향상에 가장 크게 기여했다고 응답함
- 실증지 방문 시간은 주간은 0%로 일몰 후 ~ 일출시에만 분포되어 있는 것으로 나타나며, 이는 자체 발광형 표지가 주간에는 일반적인 표지로 인식됨을 반증하는 것으로 사료됨
- 그림 48의 질문에 함께 제시된 예시로 그림 37을 함께 제시하였으며, 전체 응답자가 해당 자체 발광형 표지의 적용에 대하여 긍정적인 반응을 보임
- 더하여 해당 표지의 적합한 적용 범위에 대하여 단답형으로 설문한 결과, 주의구간 및 어린이 보호구역이 가장 우세하게 나타났으며 이는 해당 자체 발광형 표지가 일반적 정보전달의 목적보다는 주의 및 사고 예방 등의 용처에 더욱 적합하게 여겨짐을 확인할 수 있음

(2) 정량적 연구개발성과

평가 항목 (주요성능 Spec ¹⁾)		단위	세계최고 수준 보유국/ 보유기업 (/)	연구개발 전 국내수준	개발 목표치			최종 달성치	평가 방법 ³⁾
			성능수준		성능수준	1차년도 (2019년)	2차년도 (2020년)		
소재· 시작품 평가	1. 형광체 휘도	[a.u]	100/일본/네모토	해당없음	80	>100%	>100%	186%	성적서
	2. 형광체 내열성	변색유무	변색無	해당없음	85	95	100	99.6%	성적서
	3. 발광 효율	%	100/일본/네모토	해당없음	100	110	120	102%	성적서
	4. 고습환경 안정성향상	%	해당없음	해당없음	－	80	90	93.9%	성적서
	5. 도로 접촉각	°	해당없음	해당없음	70 이상	80 이상	90 이상	120.4°	성적서
	6. 용매 접촉각	°	해당없음	해당없음	－	30~20	<20	<10°	성적서
	7. 내광성	%	해당없음	해당없음	－	90	100	>100%	성적서
	8. 내습성 향상을 위한 코팅 두께 조절	nm	해당없음	해당없음	30 － 40	20 － 30	10 － 20	19.32 nm	성적서
	9. 시인성 향상	휘도 성능	해당없음	해당없음	－	－	휘도 측정	휘도 향상	사진 및 동영상
	10. 시작품 안정성	%	해당없음	해당없음	－	－	95	>95%	전문가 입회시험
결과 확산 활동		건	－	－	－	2	2	5	논문
특허		건	－	－	1	1	2	4	출원/등록
시작품		개	－	－	－	－	2	4	제작

○ 시작품 안정성

- 과제 기획 당시 시작품 제작 후 안정성 평가는 한국광기술원 보유 실증동 내에서 유사환경 평가로 진행될 예정이었으며, 해당 환경은 실제 환경에 비해 온화한 환경일 것으로 사료되어 별도의 전문가 입회 시험을 기획하였음
- 하지만 과제 수행 중 시흥시 스마트시티 사업단과의 협업을 통한 실증 평가가 결정되면서 실제 환경 하의 안정성 평가 수행이 가능해 졌으며, 중간평가 당시 실증 제출 의견을 반영하여 실제 수행한 표지의 휘도 측정 결과를 제시하여 해당 지표를 평가하고 제출함
- 표 7~10와 그림 41에 나타난 바와 같이 실증 전·후 평균 휘도의 감소 추세는 확인되지 않았으며 동일한 수준 또는 소폭의 향상 결과를 확인할 수 있었음. 따라서 실제 환경 노출 후 발광 특성은 감소되지 않은 것으로 판단되며 이에 따라 달성치를 >95%로 표기함

(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
	Citric acid mediated green synthesis of copper nanoparticles using cinnamon bark extract and its multifaceted applications	Journal of Cleaner Production	Nasir Sarwar	292	USA	Elsevier	SCIE	2021.01.15	0959-6526	50
	Influence of Bi2O3 co-doping on Cr-doped ZnGa2O4 red persistent phosphors synthesized by a liquid phase precursor process	Journal of Luminescence	최승희	234	Netherlands	Elsevier	SCIE	2021.06.01	0022-2313	100
	Drying stability enhancement of red-perovskite colloidal ink via ligand-derived coating for inkjet printing	Ceramics International	유정현	47	England	Elsevier	SCIE	2021.03.01	0272-8842	50
	Engineering of sustainable clothing with improved comfort and thermal properties-A step towards reducing chemical footprint	Journal of Cleaner Production	Nasir Sarwar	261	USA	Elsevier	SCIE	2020.07.10	0959-6526	50
	Fabrication of red-emitting CaAlSiN3: Eu2+ through phosphor-in-glass approach for application in rear combination lamp	Current Applied Physics	권석빈	20	Netherlands	Elsevier	SCIE	2020.08.27	1567-1739	50

☐ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	Phosphor Safari	Orange-emissive Ba3SiO5:Eu persistent phosphor with enhanced properties by phosphorus co-doping	유정현	2019.11.15	Xiamen	중국
2	한국세라믹학회	Silane-based coating on SrAl2O4:Eu, Dy persistent phosphor through the plasma process for stability improvement	유정현	2020.11.23	대전	대한민국
3	ICAE 2021	Silane-based coating on SrAl2O4:Eu, Dy persistent phosphor through the plasma process for stability improvement	유정현	2021.11.09	제주도	대한민국

[기술적 성과]

☐ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	기공이 저감된 형광체 글래스 비드 및 그의 제조방법	대한민국	한국광기 술원	2019.10.2 2	10-2017- 031119				100	활용 예정
2	특허	외부 자극 감응 자체 발광형 글래스 비드 및 그 제조 방법	대한민국	한국광기 술원	2020.10.1 9	10-2020- 0135158				100	활용 예정
3	특허	기공이 저감된 형광체 글래스 비드 및 그의 제조방법	대한민국				한국광기 술원	2021.02.0 9	10-22166 16	100	활용
4	특허	글래스 비드 및 그의 제조방법과 이를 이용한 자율주행 차량의 차선 인식 장치 및 시스템	대한민국				한국광기 술원	2021.03.0 2	10-22248 15	100	활용 예정

○ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타
1										√	
2										√	
3						√					
4										√	

[경제적 성과]

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)
1	지식재산권 양도	기공이 저감된 형광체 글래스 비드 및 그의 제조방법	세라(주)	2021.10.18	2021	22,000

[사회적 성과]

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
1	박사	2021	박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
2	박사	2022	3	-	-	-	2	1	1	-	-	1	1
3	박사	2022											

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성)

○ 등록 특허의 기술이전

- ‘기공이 저감된 형광체 글래스 비드 및 그의 제조방법’ 등록 특허를 세라(주)에 기술이전을 시행함
- 글래스 비드의 경우 도로 및 표지에 포함되어 재귀반사율을 증가 시켜 운전자 및 보행자의 도로 시설물의 시인성을 높여주는 주요 역할을 함
- 해당 이전 기술에서는 글래스 비드에 형광체를 포함시켜 재귀반사와 동시에 형광 성능을 가져 보다 높은 시인성을 가질 수 있게 하였으며, 해당 기술을 통해 시인성과 인식률을 개선시켜 도로교통 안전에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대됨

2) 목표 달성 수준

연구 개발 목표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 자체 발광형 소재 합성 및 특성 향상 기술 - 안내판에 적합한 핵심 형광 소재의 균일 합성 및 발광 특성 향상을 위한 공정 설계 ○ 형광 소재 코팅기술 및 형광 소재 시뮬레이션 기술 - 코팅 물질 선정 및 공정기술 최적화를 통한 자체 발광형 소재의 내수분성 및 내열성 향상 - 적합 함량 및 특성 예측을 위한 시뮬레이션 및 테스트 베드 구축 ○ 자체 발광형 안내 표지판 제작 기술 - 자체 발광형 소재 및 표지의 적합 바인더, 용매, 후처리 등의 최적화를 통한 자체 발광형 표지판 시제품 제작 ○ 연구 개발 성과물 - 결과확산활동(논문) 4건, 특허(출원/등록) 4건, 시제품 제작 2개	○ 자체 발광형 소재 합성 및 특성 향상 기술 - 부활제 및 공부활제 함량 최적화와 입도·형태 제어를 통한 자체 발광형 소재의 특성 향상 - 대량화 공정을 위한 분무 건조 공정 도입 및 이의 공정 최적화 - 발광 휘도 상용 대비 182%, 발광 효율 상용 대비 102%, 내광성 상용대비 >100% 최종 달성 ○ 형광 소재 코팅기술 및 형광 소재 시뮬레이션 기술 - Light tool 기반의 형광 예측 시뮬레이션 기술 개발 및 이의 적용을 통한 최적 함량·두께 도출 - 플라즈마 코팅 공정 설계 및 이를 기반으로 한 실란계 코팅제의 표면 코팅 최적화 - 코팅 두께 19.32nm, 고습환경 노출 후 양자효율 유지율 93.3%, 내열성 99.6% 최종 달성 - 수분 접촉각 >90°, 용매 접촉각 <10° 최종 달성 ○ 자체 발광형 안내 표지판 제작 기술 - 자체 발광형 소재 접목 및 재귀반사율 조절을 통한 고 휘도 자체발광 표지판 시제품 제작 - 한국광기술원 내 실증동과 시험시 실증평가를 통하여 휘도 개선 및 안정성 평가 - 태양광 노출 후 일반 재귀반사 표지판 대비 12.9배 휘도 향상 확인 - 실증 평가 결과 외부환경 노출 후 표지 안정성 하락이 관찰되지 않음, 최종 >95% 이상으로 평가 ○ 연구 개발 성과물 - 결과확산활동(논문) SCI급 5건, 특허 출원 2건/등록 2건, 시제품 제작 자체 발광형 표지 및 고휘도 자체발광형 표지를 포함 5개 제작	98% 달성도 산출 방법: [(항목별 달성 목표/항목별 최종목표)*가중치]/총합 초과달성 지표는 100%로 간주

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

○ 발광 유지 효율

- 발광 유지 효율 항목의 경우 당초 계획 시 최종 120% 목표 대비 102%를 달성하였음
- 과제 계획 시, 성균관대학교 보유 액상 전구체 소결 방법을 통한 조성균일도 향상과 입도 및 형태의 개선을 통하여 발광 유지 효율을 개선할 수 있을 것으로 기대하였으나 해당 연구 과정을 통하여 소재 휘도와 약한 효율 개선만 확인되었음
- 해당 결과에 대하여 기관 간 논의 결과, 상기 변수 조절을 통하여 균일한 에너지 준위 형성 및 부활제 에너지 효율 향상은 달성이 가능하나 모체와 부활제에 의한 에너지 준위 조절은 소재 자체의 본질적 특성이므로 해당 연구 결과가 도출된 것으로 사료됨
- 상기 언급된 바와 같이, 발광 유지 효율 항목의 경우는 호스트와 부활제, 공부활제의 조합에 크게 영향을 받는 특성으로 이의 개선을 위해 희토류 부활제의 조합과 농도를 변수로 연구를 수행하였지만 보고한 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}$, Dy 를 초과하는 결과는 확인하지 못하였음.
- 이의 극복을 위하여서는 소재에 형성되어 있는 트랩 준위에 대한 분석을 통해 소재 내부의 에너지 거동을 이해하고 이를 기반으로 한 연구수행이 필요하나, 국내에는 해당 분석을 위한 분석 인프라가 미흡하고 연구비 활용에 한계가 존재하여 동 연구기간 내 크게 연구 결과를 개선시킬 수 있는 회도에 집중하여 최종 연구결과를 도출해 내었음.

2) 자체 보완활동

○ 이종 소재 탐색 연구

- 발광 소재의 특성 중 특히 발광 유지 효율의 경우 소재의 본질적 특성에 의하여 결정되는 경향이 크기 때문에 이를 개선하기 위한 모체와 부활제에 대한 추가 연구를 수행함
- 1차년도 종료 당시 휘도 항목에 대하여 크게 개선에 성공하였으나, 지속적인 특성 개선 연구에서 유지 효율의 항목이 동일 수준으로 유지되는 것을 확인 하였으며 이를 보완하기 위하여 1차년도 추진계획인 라이브러리 구축 연구를 연장하여 수행하였음

○ 표지 특성 개선 연구

- 소재 단계에서 달성하지 못한 특성 개선을 표지 제작 단계에서 보완을 하고자 연구를 수행함
- 시작품의 제작을 위해서는 발광 소재의 필름 또는 도료 및 페이스트 제작이 필수이며 해당 공정은 형광체의 특성을 저하시킬 수 있음
- 해당 필름 제조 공정은 광학 예측 시뮬레이션을 통하여 적합 두께 및 함량을 도출하였으며 추가 연구를 통해 최적 바인더를 선정함으로써 1차 시작품을 제작하였음
- 제작된 시작품에서 형광체 특성 저하의 원인으로 광 흡수율을 확인하였으며 이에 원인을 주는 표면 거칠기 및 굴절률 개선을 통하여 보다 성능이 개선된 '고휘도 자체발광 표지판' 시작품을 제작하여 특성을 보완하였음

3) 연구개발 과정의 성실성

○ 지속 소재 탐색 연구

- 당초 계획 시 소재 탐색연구는 1차년도에 한정되어 추진될 예정이었으나 연구 개발 결과에 따른 추가 연구의 필요성이 인식되었으며, 이에 따라 추가적인 소재 연구를 2차년도 이후에도 지속적으로 수행함
- 해당 소재 연구는 기존 연구 계획과 별도로 추가적으로 수행되었으며, 다른 항목들에서는 기존 목표한 결과를 달성하였음을 확인할 수 있음
- 따라서 미달성 목표 항목에 대하여 보완하고 추가 달성하고자 성실히 연구에 임하였음을 확인할 수 있음

○ 소재 벤치마킹 연구

- 자체 발광형 소재의 발광 효율 연구를 위해서는 소재 내 trap 준위에 대한 분석이 필수적으로 요구되지만 이를 분석하기 위한 인프라가 국내에는 매우 미흡한 실정으로 이를 극복하기 위하여 기존 상용 자체 발광형 형광체의 벤치마킹 연구를 수행하였음
 - 기존 형광체들의 SEM, FT-IR, XRD 등의 분석을 수행하여 입도, 형태, 조성 등을 분석하였으며 이를 기반으로 특성 개선을 위하여 연구를 수행하였음
 - 벤치마킹 연구를 기반으로 합성 공정을 최적화하고 자체 발광형 소재를 합성하였으나, 해당 소재는 휘도의 큰 개선을 보였지만 유지 효율에서는 크게 개선되지 않은 결과를 확인함
 - 하지만 벤치마킹 연구 및 해당 자료의 신규 공적 적용 등에 성실히 임한 결과 공정최적화 및 휘도의 상용대비 186% 수준을 달성할 수 있었음
-

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 형광체 전구체 대량화 기술

- 기존 고상법 기반 형광체 합성은 다성분계 조성 합성에 있어서 조성 균일도 확보 및 입도 및 형태 조절에 어려움이 있었음
- 과제 계획 당시 제안한 액상 전구체 소결 방법 또한 높은 조성 균일도 확보에는 장점을 지녔지만, 함침 등의 공정에 의하여 대량화에 한계점이 존재하였음
- 해당 과제에서 도출한 분무 건조 전구체 제작 공정은 액상을 기반으로 한 공정이기 때문에 조성 균일도 확보에 장점을 지니며 또한 전구체 제작에 짧은 열처리 시간과 입도 및 형태 제어가 가능한 장점을 지니는 장점을 지님
- 더하여 투입해주는 원료 용액의 양에 따라 대량화가 가능하기 때문에 해당 과제를 통해 도출된 합성 공정은 기존 방식에 대하여 시간단축, 대량화, 특성 향상 등의 장점을 지녀 기존 방식 대비 우수한 공정으로 판단됨
- 해당 공정은 자체 발광형 소재 전구체 합성에만 국한되지 않으며 전구체제작이 필요한 일반 형광체, 에너지 소재, 촉매 소재 등에 모두 적용이 가능해 범용성이 매우 높아 소재 합성 분야에 크게 기여할 것으로 기대됨

○ 고휘도 자체발광 표지판 제작 기술

- 본 과제의 결과물로 고휘도 자체발광 표지판 시작품을 제작하였으며 유사환경 평가 및 실증 평가를 통하여 충분한 성능을 지녔음을 확인하였고, 실제 적용 시 도로교통 안전 개선에 기여할 수 있을 것으로 기대됨
- 제작한 자체발광 표지는 소재부터 표지 제작까지 모두 국내 기술로만 제작되었으며 해당 제작 기술은 소재 합성을 포함하여 필름, 도료, 페이스트 제작 및 안정성, 분산성 향상 등의 기술을 모두 포함하고 있음
- 최종 결과물로 제시한 자체 발광형 표지는 해당 기술로 제작할 수 있는 일레이며, 해당 기술을 기반으로 타 색상 소재의 합성, 안정성 개선, 분산을 통한 표지 및 기타 시설물 제작 등을 달성할 수 있음
- 따라서 해당 기술 개발은 표지 개발뿐만이 아닌 적용 영역의 확대에 기여할 수 있는 원천 기술을 확보하였다는 점에서 차별성을 지니고 있음
- 또한 소재의 함량 최적 두께 등을 예측할 수 있는 광학 시뮬레이션 기술을 확보하여 신규 필름 제작 시 적재적소에 필요한 특성을 얻기 위한 최적화 공정을 단축시킬 수 있음
- 상기 제작 및 시뮬레이션 기술은 소재 안정성 개선 연구 결과를 포함하며 실증을 통해 확인된 적용 가능성은 형광체 분야의 적용 범위 확장에 기여할 것으로 기대됨

○ 형광체 글래스 비드 제작 기술

- 본 과제의 파생 결과물로 형광체 글래스 비드 제작 기술을 개발하였으며 해당 결과는 특허 등록 후 기술이전 되었음
 - 최근, 차선 및 표지의 시인성을 향상하기 위한 주요 방법 중 하나로 고굴절 글래스 비드가 검토 및 적용되고 있음
 - 해당 기술은 형광체를 포함한 글래스 비드를 다룬 것으로 글래스 비드의 재귀반사율과 형광체의 발광을 통하여 시인성을 개선하는 내용을 포함하고 있음
 - 개발한 해당 기술은 운전자의 차선 시인성 개선 뿐만 아니라, 특정 파장을 글래스 비드에서 발광하게 조절함으로써 차선 자율주행 시스템에서의 인식을 개선 또한 기대할 수 있음
 - 해당 기술의 지속적 개발을 통하여 도로교통 안전 및 자율주행차 기술 개선 분야에 모두 기여할 수 있을 것으로 사료됨
-

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

○ 연구개발성과 관리 계획

- 해당 연구개발과제는 주관연구기관이 연구를 수행하고 공동연구기관에서 평가 및 기술 개발을 하는 협업 체계로 추진된 과제임
- 따라서 해당 과제를 통해 도출된 연구 개발 성과 또한 기관 간 공유할 예정이며, 향후 추가 연구에 따라 도출된 성과에 관하여서도 해당 협업 체계를 유지할 계획임

○ 학술적 성과 활용계획

- 본 연구과제 결과 총 5편의 SCIE급 국제 학술논문을 발표하였으며 2건을 추가로 투고하여 검토중에 있음
- 해당 연구결과는 기관 간 공유하고 있으며 이를 기반으로 하여 학술대회 발표 등의 결과확산활동을 적극적으로 수행할 예정임
- 또한 합성 공정 확립 등의 파생 결과는 타 분야 적용 가능성 및 학술적 가치가 있다고 판단되어 추가 연구를 수행할 예정이며, 이를 활용하여 SCIE급 학술지 게재를 추가적으로 계획하고 있음

○ 기술적 성과 활용계획

- 본 연구개발 수행으로 확인된 신규 조성 화합물의 물성 특성들을 확립하여 지속적인 지식재산권 확보를 통해 소재원천기술 확보에 기여하고자 함
 - 합성 공정 설계 기술의 타 소재 적용을 통하여 생산 공정 기술 적용 영역을 확대하고 이를 기반으로 한 지식재산권 또한 확보할 예정임
 - 국내 원료 수급, 희토류 금속의 중국을 통한 수입과 제작 공정을 고려하여 생산 비용을 산정 해 보았을 때, 기존 수입 대비 60% 수준으로 소재의 생산이 가능할 것으로 기대됨. 기존 형성된 시장에 대하여 가격·성능적 우위를 점할 수 있을 것으로 사료되며, 계획 중에 있는 국내 도로 시설물 제조업체와의 추가 기술개발 및 제품 제작 공정 최적화를 통해 국내 기술을 기반으로 자체발광형 시설 시장에 진입하여 우위를 점할 수 있을 것으로 기대됨
 - 해당 과제를 통해 파생된 등록 특허의 기술 이전을 기반으로 형광체 글래스 비드 연구 기술 개발을 지속적으로 수행할 예정임
 - 해당 이전 기술은 차선의 시인성 및 자율주행차 인식을 개선에 크게 기여를 할 수 있을 것으로 기대되는 기술로 추가적인 기술개발을 통해 해당 분야에 크게 기여할 수 있을 것으로 사료됨
-

< 별첨 >

별첨 자료

1. 참고문헌

2. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료

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

[총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료]

구분	핵심 성과물 (level1)		단위 성과물 (level2)		총괄 성과목표				해당 기관	예산 (백만원)	실적목표/달성치	
					질적목표(측정방법)		목표치/달 성치	검증방 법				가중치
주관	A	자체 발광 형 소재 합 성 및 표면 처리 기술	A-1	자체 발광형 소 재 합성	①	소재 휘도 : (합성된 소재 휘도)/(상용휘도)*100	상용 대비 100 / 186%	시험 성적서	12	성균관대학 교	61	특허(목표): 출원 3 건 등록 1 건 특허(달성): 출원 2 건 등록 2 건
					②	유지 효율 (합성된 소재의 20분후 휘도 유지율)/(상용 의20분후 휘도유지율)*100	상용 대비 120 / 102%	시험 성적서	13	성균관대학 교	68	논문(SCIE/목표): 4 건 논문(SCIE/달성): 5 건
			A-2	표면 처리 기술	①	고습환경 안정성 (고습환 경 노출 전 양자효율)/(고 습환경 노출 후 양자효 율)*100	90% / 93.9%	전 문 가 입회 시 험	7	성균관대학 교	44	시작품: 2 건 / 5건
					②	접착각 소재에 용제를 떨어 뜨려 측정	<20 ° / <10 °	시험 성 적서	7	성균관대학 교	43	
공동	B	표면 코팅 및 형광 시 물 레 이 선 기술	B-1	형광 시물레이 션 기술	①	내습성 향상을 위한 코팅 무게조절	10-20 nm / 19.32 nm	시험 성적서	12	한국 광기술원	30	
			B-2	형광 소재 코팅 기술	①	표지판 사인성 향상 실험 동 활용 실제 환경 인식휘 도 확인	표지판 휘도 성능 측정	사진 및 동영상	17	한국 광기술원	62	
					②	접착각 소재에 물을 떨어 뜨려 측정	>90 ° / >120 °	시험 성 적서	7	한국 광기술원	66	
공동	C	자체 발광 형 인쇄 표 지판 및 도 료 제작 기 술	C-1	자체 발광형 인 쇄 표지판	①	내광성 고압수증기에 3시 간 노출 후 휘도 하향치 (합성)/(상용)*100	상용 대비 100 / >100%	시험 성 적서	7	성균관대학 교	24	
					②	시작품 안정성	95% / >95%	전 문 가 입 회 시 험	9	한국 광기술원	25	
			C-2	도료 제작 기술	①	내광성 (7열 후 발광 강 도)/(7열 전 발광 강 도)*100	상용 대비 100% / 99.6%	시험 성 적서	9	한국 광기술원	67	
계							1		100		490	특허: 출원 2 건 특허: 등록 2 건 논문(SCI): 5 건 시작품: 5 건

평가항목(휘도, 유지효율-1)



의뢰 시험 성적서

제2105931호

- 신청인
 - 업체명 : 성균관대학교산학협력단 / 대표자 : 박선규
 - 주 소 : 경기도 수원시 장안구 서부로 2066, 1층(천전동, 성균관대학교내) 제2공학관 26215호
- 시료명 : 축광필름(상용형광체, SKKU-1, SKKU-2)
- 접수일자 및 접수번호 : 2021. 10. 28. / 제2105931호
- 시험결과

시험 항목	시험기준	시료 구분	시험결과				비고
			5분	10분	20분	60분	
축광표지의 표시면적 0 lx 상태에서 1시간 이상 방치한 후 200lx 밝기의 광원으로 20분간 조사한 상태에서 다시 주위 조도를 0lx로 하여 휘도 시험을 실시하는 경우 다음 각 호에 적합하여야 한다.	1. 5분간 발광시간 후의 휘도는 1㎡당 110mcd 이상이어야 한다.	상용형광체	68 mcd/㎡	44 mcd/㎡	25 mcd/㎡	8 mcd/㎡	※ 붙임: 시료 사진 1부
	2. 10분간 발광시간 후의 휘도는 1㎡당 50mcd 이상이어야 한다.	SKKU-1	109 mcd/㎡	69 mcd/㎡	39 mcd/㎡	13 mcd/㎡	
	3. 20분간 발광시간 후의 휘도는 1㎡당 24mcd 이상이어야 한다.	-1					
	4. 60분간 발광시간 후의 휘도는 1㎡당 7mcd 이상이어야 한다.	SKKU-2	127 mcd/㎡	81 mcd/㎡	46 mcd/㎡	15 mcd/㎡	

※ 용 도 : 자체참고용
 시험조건 : 온도 (23 ± 0.6) °C, 습도 (51 ± 2) % R.H.
 시험기준 : 「축광표지의 성능인중 및 제품검사의 기술기준」에 의한 시험결과임.

- 시험담당자 : 품질시험부 주장호 (연락처 : 031-289-2826)

2021. 10. 29.

한국소방산업기술원

- 비고 1. 위 시험결과는 의뢰자가 제시한 시료에 대한 결과이며, 시료의 명칭은 의뢰자가 제시한 것입니다.
 2. 이 시험성적서는 당 기술원의 승인 없이 홍보, 광고, 선전, 소송 및 법적요건으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
 3. 이 시험성적서의 유효기간은 최초 발령일로부터 1년으로 한다.

중 : 2페이지 중 1페이지

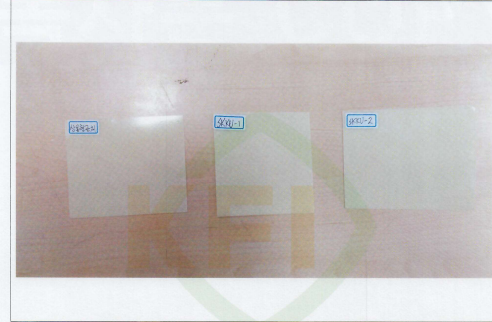
의뢰사항과 관련하여 시험결과자의 금융, 신용, 권리보호 요구 등 부당행위가 있는 경우 기술원 관리신고센터(031-289-2990)로 연락주시기 바랍니다.

평가항목(휘도, 유지효율-2)

[붙임]

시료 사진

- 시료명 : 축광필름(상용형광체, SKKU-1, SKKU-2)



중 : 2페이지 중 2페이지

평가항목(고습환경 안정성-1)



충청남도 천안시 서북구 입장면 양대리길 89
 Tel: 041-589-8114 | Fax: 041-589-8120 | www.kitech.re.kr

시험 성적서 (Test Report)

- 성적서 번호 : C21N980070-01-01-(00-00)
- 의뢰자 : 성균관대학교산학협력단
 경기 수원시 장안구 서부로 2066, 85동 2층 56호 (천전동, 성균관대학교산학협력센터)
- 시험기간 : 2021-09-13 ~ 2021-10-14
- 용도 : 시험 분석
- 품목/시료명 : 나노결정 발광소재
 * 시험의뢰자가 제공한 시료 및 시료명에만 한정됩니다.
- 시험방법 : 발광효율, 파장, 반지름, 색좌표 확인
- 시험결과 : 다음 페이지 참조
- 시험장소 : 인천광역시 연수구 송도동 7-50 갯벌타워 (송도동) 시험생산 0동, 갯벌타워 5층

시험자	기술책임자
확인 성명 : 최원정	성명 : 임경국
연락처 : domonkey@kitech.re.kr	연락처 : moook@kitech.re.kr

2021년 10월 14일

한국생산기술연구원

- 비고: 1. 본 성적서는 고객에 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과에 한하며, 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
 2. 본 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금지합니다.
 3. 본 성적서의 진위 확인은 QR코드로 확인 가능합니다.



page: 1 of 3

[QP-17-03A]

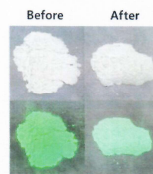
C21N980070-01-01-(00-00)



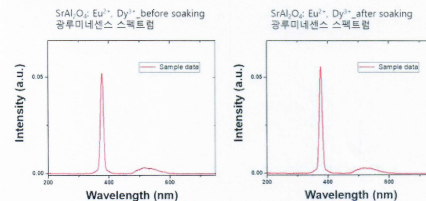
충청남도 천안시 서북구 입장면 양대리길 89
 Tel: 041-589-8114 | Fax: 041-589-8120 | www.kitech.re.kr

시험 결과 (Test Result)

- 분석장비 : 광루미네센스 (모델명/ 제조사 : L5200 / McScience)
- 분석내용 : HDTMS coated SrAl₂O₄ before soaking 재료 발광 분석
- 분석결과 : 시료사진



■ 측정결과



page: 2 of 3

[QP-17-03B]

C21N980070-01-01-(00-00)

평가항목(고습환경 안정성-3)

시료명	발광파장 (nm)	반치폭 (nm)	PLQY (%)
HDTMS coated SrAl_2O_4 Before soaking	517	72	22.9
HDTMS coated SrAl_2O_4 After soaking	517	73	21.5



page: 3 of 3

[QP-17-03B]

C21N980070-01-01-(00-00)



평가항목(용매 접촉각-1)

TEST REPORT

1. 의뢰기관 :
기 관 명: 영남대학교 산학협력단 (유정현 남)
주 소: (16419) 장기 수월시 장안구 서부로 2066 1층
2. 의뢰일자 : 2021. 12. 16.
3. 용도 : 기타
4. 시험대상물품 또는 물질, 시료명 : 표 1 참조
5. 시료형상 : 분말
6. 시험항목 : 접촉각
7. 시험방법 : 표 2 참조
8. 시험기간 : 2021. 12. 16. ~ 2021. 12. 22.
9. 시험결과 : 표 2 참조
10. 시험자 : 권민정 분석원

확인	실무자 성 명: 권 민 정	기술책임자 성 명: 김 은 영
본 Test report는 의뢰자가 제공한 시료를 이용한 측정결과입니다. 본 Test report는 협의 없이 사전 발송 및 광고, 법외소송으로 사용할 수 없으며, 복사되어 사용되는 것을 금합니다. 본 Test report는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인증과 관련이 없습니다.		

2021년 12월 23일

국립공인시험기관 한국고분자시험연구소(주) (인)



(우)02633 서울특별시 용대문구 권호대로 367, 365 한국고분자시험연구소 (주) TEL: 1588-1574

평가항목(용매 접촉각-2)

TEST REPORT

표 1. 시료명 및 시료사진

No.	시료에 기재된 시료명	분석에 사용한 시료명	시료사진
1	Pristine SrAl_2O_4	Koptri- 21-08-19436-1	
2	HDTMS-coated SrAl_2O_4	Koptri- 21-08-19436-2	

(Note) 시료제공 : Koptri () / 의뢰자 (O)

표 2. 시험방법 및 시험결과

시료명	시험항목	단위	시험방법	시험결과
Koptri- 21-08-19436-1	접촉각 (Toluene)	Degree	ASTM D5946에 준함	< 10
Koptri- 21-08-19436-2	접촉각 (Toluene)	Degree	ASTM D5946에 준함	< 10

(우)02633 서울특별시 용대문구 권호대로 367, 365 한국고분자시험연구소 (주) TEL: 1588-1574

평가항목(용매 접촉각-3)

*Raw data

1. 시험조건
(1) 측정방법 : ASTM D5946 (Standard Test Method for Corona-Treated Polymer Films
Using Water Contact Angle Measurements) 에 준함
(2) 측정기기 : Phoenix 300 Touch (S.E.O)
(3) Contact angle measure range : 10 ~ 180 degree
(4) Accuracy : 0.1 degree
(5) Syringe : 3 mL
(6) Needle : 27 G
(7) Drop volume : 0.001 ~ 0.004 mL
(8) 시험용액 : Toluene (의뢰자 제공)

(우)02633 서울특별시 용대문구 권호대로 367, 365 한국고분자시험연구소 (주) TEL: 1588-1574

평가항목(용매 접촉각-4)

Koptri

www.polymer.co.kr
Test report No. : 21-11485
Page 4 / 5

2. 시험결과

표 3-1. 시험결과

시료명	Run	접촉각 (Degree)
Koptri-21-08-19436-1 (Toluene)	1	< 10
	2	< 10
	3	< 10
	4	< 10
	5	< 10
	평균	< 10
Run 1	Run 2	Run 3
Run 4	Run 5	Run 6

(주)02633 서울특별시 동대문구 전로대로 367, 365 한국고분자시험연구소 (주) TEL: 1588-1574

평가항목(용매 접촉각-5)

Koptri

www.polymer.co.kr
Test report No. : 21-11485
Page 5 / 5

표 3-2. 시험결과

시료명	Run	접촉각 (Degree)
Koptri-21-08-19436-2 (Toluene)	1	< 10
	2	< 10
	3	< 10
	4	< 10
	5	< 10
	평균	< 10
Run 1	Run 2	Run 3
Run 4	Run 5	Run 6

(주)02633 서울특별시 동대문구 전로대로 367, 365 한국고분자시험연구소 (주) TEL: 1588-1574

평가항목(코팅 두께 조절-1)

시험결과서

한국기초과학지원연구원 광주센터 광주광역시 북구 용봉로 77 한국기초과학지원연구원 TEL : 02-920-6491 Fax : 02-920-6330	발행번호 2019-GJ-11-15-01 페이지 (1 / 1)	KSI 한국기초과학지원연구원 KOREA BASIC SCIENCE INSTITUTE
--	---	---

1. 의뢰자 : 김보영
 ○ 기관명 : 한국광기술원
 ○ 주소 : 광주광역시 북구 대촌동 첨단벤처로 108번길 9
 ○ 의뢰일자 : 2019.11.15

2. 시험결과서의 용도
 연구수행용

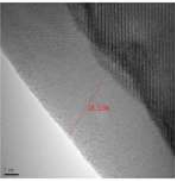
3. 시험대상품목/물질/시료명

4. 시험기간 2019.11.14

5. 시험방법 Multi-TEM을 이용한 물질의 표면 분석 및 성분 분석

6. 시험조건
 ○ 장비명: TECNAI F20 (Philips)
 ○ 분석조건: 200kV

7. 시험결과
 Multi-TEM 장비를 이용한 분석을 통해 물질의 표면 분석 및 성분 분석을 시행함, 이하 분석결과는 의뢰자에게 별첨.



상기 내용은 의뢰자가 제공한 시료에 대한 결과이며, 시료명은 의뢰자가 제시한 것으로 시험결과서의 직인이 없거나 사본은 무효임

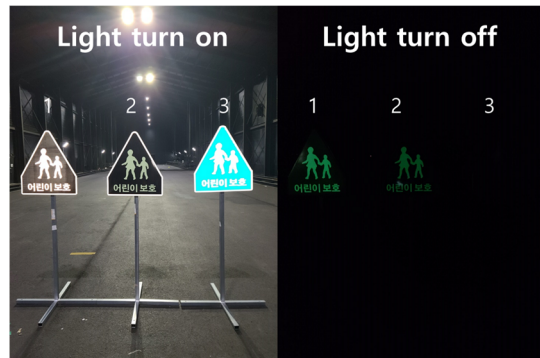
시험결과서는 "용도 이외의 사용 (법적 분쟁 또는 상업적 광고용 등)"을 금함

확인	작성자(시험자)	승인자
성명 : 이강민	성명 : 이영주	직명 : 박영주

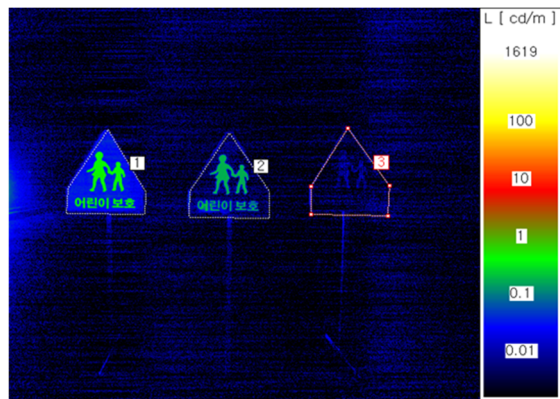
2019. 11. 15.

한국기초과학지원연구원장 (인)

평가항목(표지판 시인성 향상-1)



안내표지판의 조명 on/off 사진

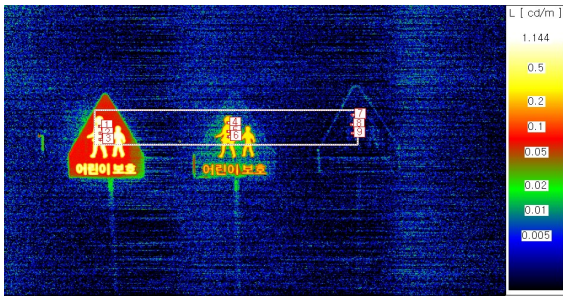


안내표지판의 휘도 측정 이미지

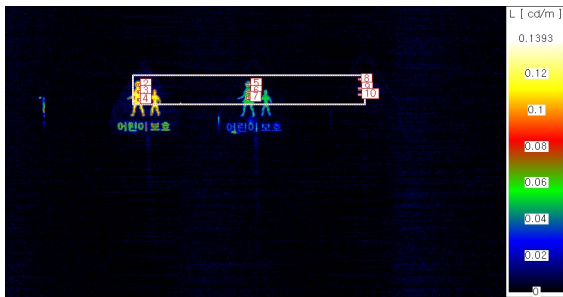
* 1: 고휘도 자체발광 표지판, 2: 자체발광 표지판, 3: 제귀반사 표지판

평가항목(표지판 시인성 향상-2)

시간에 따른 휘도 측정 결과 이미지



태양광 조사 직후 및



15분 후 측정

평가항목(수분 접촉각-1)



시험 성적서



(재)광주테크노파크
주소: 광주광역시 북구 첨단 3길 33
전화: 062-802-8806 팩스: 062-802-8730
http://www.gjtp.or.kr/

성적서번호: GTLED-21-214
페이지 (1) / (총 3)

1. 의뢰자
- 기관명: 한국광기술원
- 주소: 광주광역시 북구 첨단벤처로 108번길 9 (월송동)
2. 시료명: ① 자재발광형 소재_플라즈마 코팅 전
② 자재발광형 소재_플라즈마 코팅 후
3. 수량: 각 1개
4. 시험일자: 2021.11.16.
5. 시험방법: 외피자세시방법(Surface electro optics 이용)
6. 시험장소: ☒ 현장시험 ☐ 고정시험실
(시험실 주소: 광주광역시 북구 첨단벤처로 108번길 9, 한국광기술원 LED 패키징특성실(3408호))
7. 시험환경: 온도: (21.1 ± 0.1) °C, 습도: (34 ± 1) % R.H.
8. 시험결과: 불임 시험결과 참조

확인	작성 성명: 김현	검 성명: 노기영
----	--------------	--------------

본 시험 성적서의 시험결과는 시험뢰뢰인에 의해 제공된 시료에 한한다.

2021. 11. 22.

(재)광주테크노파크원장 (인)

본 시험 성적서의 진위확인을 필요하신 경우, Tel. 062-802-8606으로 연락주시면 확인하여 드립니다.

GTLED-TP-22-02(08)

평가항목(수분 접촉각-2)



붙임.

시험 결과

성적서번호: GTLED-21-214

1. 시험방법: 외피자세시방법 (Surface electro optics 이용)
- 1.1 시험항목 및 사용 장비

시험 항목	사용 장비 (모델명)	제조사 (국가)
접촉각[°]	Surface electro optics (Phoenix-10)	에스이오(대한민국)

- 1.2. 접촉각 시험

- 1.2.1 그림 1. 과 같이 시료를 설치하고 시료에 물을 떨어뜨려 1분 이내에 접촉각[°]을 측정한다.

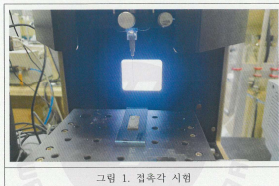


그림 1. 접촉각 시험

2. 시험결과

- 2.1 결과값(접촉각)

시료명	시험항목	접촉각[°]
자재발광형 소재 플라즈마 코팅 전		51.0

GTLED-TP-22-02(08)

페이지 (2) / (총 3)

평가항목(수분 접촉각-3)



붙임.

시험 결과

성적서번호: GTLED-21-214

시료명	시험항목	접촉각[°]
자재발광형 소재 플라즈마 코팅 후		120.4

3. 시료 사진

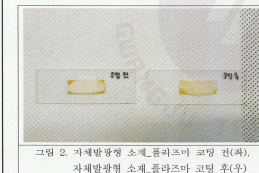


그림 2. 자재발광형 소재_플라즈마 코팅 전(좌), 자재발광형 소재_플라즈마 코팅 후(우)

- 끝 -

GTLED-TP-22-02(08)

페이지 (3) / (총 3)

평가항목(내광성)



의뢰시험성적서

제2006449호

- 신청인
- 업체명 : 성균관대학교산학협력단 / 대표자 : 추현승
- 주 소 : 경기도 수원시 장안구 서부로 206, 1층(천전동, 성균관대학교내)
- 시료명 : 삼용형광체, SKKU-1, SKKU-2
- 접수일자 및 접수번호 : 2020. 09. 29. / 제2006449호
- 시험결과

시험항목	시험기준	시험결과 (mcd/m²)				비고
		시료	SKKU-1	SKKU-2		
제9호 (제9호)	1. 5분간 발광시간 후의 휘도는 1 mcd/m² 이상이어야 한다.	5 분	328	245	324	
	2. 10분간 발광시간 후의 휘도는 1 mcd/m² 이상이어야 한다.	10 분	196	143	195	
	3. 20분간 발광시간 후의 휘도는 1 mcd/m² 이상이어야 한다.	20 분	111	78	115	
	4. 60분간 발광시간 후의 휘도는 1 mcd/m² 이상이어야 한다.	60 분	39	25	38	
제10호 (제10호)	1. 5분간 발광시간 후의 휘도는 1 mcd/m² 이상이어야 한다.	5 분	329	250	354	
	2. 10분간 발광시간 후의 휘도는 1 mcd/m² 이상이어야 한다.	10 분	197	146	216	
	3. 20분간 발광시간 후의 휘도는 1 mcd/m² 이상이어야 한다.	20 분	112	81	125	
	4. 60분간 발광시간 후의 휘도는 1 mcd/m² 이상이어야 한다.	60 분	41	27	45	

* 용 도 : 자체참고용
시험조건 : 온도 (21.1 ± 2.2) °C 습도 (54 ± 4) % R.H.
시험기준 : 「축광표지의 성능인증 및 제품검사의 기술기준」에 의한 시험결과임.

- 시험담당자 : 품질시험부 이 사강 (연락처 : 031-289-2805)

2020. 10. 07.

한국소방산업기술원

- 비고 1. 위 시험결과는 의뢰자가 제시한 시료에 대한 결과이며, 시료의 명칭은 의뢰자가 제시한 것입니다.
2. 이 시험성적서는 당 기술원의 승인 없이 홍보, 광고, 선전, 소송 및 범죄요건으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 시험성적서의 유효기간은 발령일로부터 1년으로 한다.

총 2페이지 중 1페이지

의뢰사항과 관련하여 시험의뢰자의 공문, 형태, 편지형식 요구 부속첨가 및 있는 경우 기술원 공문(신고번호:031-289-2900)로 연락주시기 바랍니다.

평가항목(내열성-1)



충청남도 천안시 서북구 입암면 양대길로길 89
Tel: 041-589-8114 | Fax: 041-589-8120 | www.kitech.re.kr

시험성적서 (Test Report)

- 성적서 번호 : C21N980093-01-01-(00-00)
- 의뢰자 : 한국광기술원
광주광역시 북구 첨단벤처로108번길 (여월동)
- 시험기간 : 2021-11-29 ~ 2021-12-02
- 용도 : 시험 분석
- 품목/시료명 : 발광소재
* 시험의뢰자가 제공한 시료 및 시료명에 한합니다.
- 시험방법 : 발광효율, 광각, 반지름, 색차표 확인
- 시험결과 : 다음 표에 참조
- 시험장소 : 인천광역시 연구수송도 7-50 갯벌타워 (송도동) 시험생산 D동, 갯벌타워 5층

시험자	기술책임자
성명 : 최원형	성명 : 임경록
연락처 : domonkey@kitech.re.kr	연락처 : mook@kitech.re.kr

2021년 12월 02일

한국생산기술연구원

- 비고 1. 본 성적서는 고객이 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과에 한하며, 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 본 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금지합니다.
3. 본 성적서의 진위 확인은 QR코드로 확인 가능합니다.

page: 1 of 2

[QP-17-03A]

C21N980093-01-01-(00-00)

평가항목(내열성-2)



충청남도 천안시 서북구 입암면 양대길로길 89
Tel: 041-589-8114 | Fax: 041-589-8120 | www.kitech.re.kr

시험결과 (Test Result)

시험 장비	모델명/ 제조사 : L5200 / McScience									
시험 방법 1.1. 유효도를 시험 1.1.1 장치들을 측정 전 시료(자체 발광형 소재, 플러즈마 코팅)의 내열성(250°C, 10분) 시험을 진행한다. 1.1.2 장치들을(플루즈마 코팅 장치)의 Xenon lamp 대기(파장 365 nm)를 설정한다. 1.1.3 장치들을(플루즈마 코팅 장치)의 Xenon lamp 대기(파장 365 nm)를 설정한다. 1.1.4 시료를 각각 Quartz cell에 넣고 장치들을 측정한다. 상기(플루즈마 코팅) = 자체발광형 소재 - 플러즈마 코팅 장치(플루즈마 코팅) 1										
결과	시험 결과 시료 사진 시험 결과 <table> <tr> <th>시료명</th><th>영자효율(%)</th><th>영자효율 유지율 (%)</th></tr> <tr> <td>자체 발광형 소재</td><td>25.0</td><td>99.6</td></tr> <tr> <td>자체 발광형 소재, 플러즈마 코팅</td><td>24.9</td><td></td></tr> </table>	시료명	영자효율(%)	영자효율 유지율 (%)	자체 발광형 소재	25.0	99.6	자체 발광형 소재, 플러즈마 코팅	24.9	
시료명	영자효율(%)	영자효율 유지율 (%)								
자체 발광형 소재	25.0	99.6								
자체 발광형 소재, 플러즈마 코팅	24.9									

page: 2 of 2

[QP-17-03B]

C21N980093-01-01-(00-00)

실증평가 결과(휘도측정)-1

210806

20 시

위치	부동산	연구사	유지율	참고
spot	1	2	3	1
휘도	354	0.09	1.73	3.35
(cd/m²)	353	0.05	2.02	3.21
평균	345	0.08	1.78	3.31

2 시

위치	부동산	연구사	유지율	참고
spot	1	2	3	1
휘도	234	0.01	1.43	3.25
(cd/m²)	237	0.00	1.45	3.30
평균	247	0.00	1.49	3.32

8 시

위치	부동산	연구사	유지율	참고
spot	1	2	3	1
휘도	1620	543	1980	6960
(cd/m²)	1610	461	2000	6960
평균	1568	492	2030	6816

210924

20 시

위치	부동산	연구사	유지율	참고
spot	1	2	3	1
휘도	348	0.08	1.70	3.28
(cd/m²)	344	0.09	1.78	3.29
평균	342	0.09	1.76	3.29

2 시

위치	부동산	연구사	유지율	참고
spot	1	2	3	1
휘도	283	0.05	1.53	3.12
(cd/m²)	280	0.04	1.62	3.15
평균	285	0.06	1.61	3.17

8 시

위치	부동산	연구사	유지율	참고
spot	1	2	3	1
휘도	1125	320	1200	4200
(cd/m²)	1140	330	1210	4190
평균	1134	328	1205	4191

23 시

위치	부동산	연구사	유지율	참고
spot	1	2	3	1
휘도	230	0.00	1.49	3.10
(cd/m²)	211	0.06	1.58	3.17
평균	226	0.07	1.59	3.07

5 시

위치	부동산	연구사	유지율	참고
spot	1	2	3	1
휘도	254	0.01	1.89	3.20
(cd/m²)	232	0.01	1.64	3.35
평균	243	0.01	1.77	3.28

8 시

위치	부동산	연구사	유지율	참고
spot	1	2	3	1
휘도	254	0.01	1.89	3.20
(cd/m²)	232	0.01	1.64	3.35
평균	243	0.01	1.77	3.28

210924

20 시

위치	부동산	연구사	유지율	참고
spot	1	2	3	1
휘도	254	0.02	1.65	2.98
(cd/m²)	248	0.03	1.68	3.10
평균	250	0.04	1.72	3.07

2 시

위치	부동산	연구사	유지율	참고
spot	1	2	3	1
휘도	327	0.06	1.83	3.17
(cd/m²)	336	0.07	1.79	3.16
평균	335	0.08	1.78	3.22

8 시

위치	부동산	연구사	유지율	참고
spot	1	2	3	1
휘도	1125	320	1200	4200
(cd/m²)	1140	330	1210	4190
평균	1134	328	1205	4191

실증평가 결과(휘도측정)-2

211014

19 시

위치	부동산	문구사	유치원
spot	1	2	3
휘도	3.64	0.02	1.74
(cd/m2)	3.52	0.05	1.70
3.64	0.04	1.70	3.18
3.52	0.05	1.70	3.18
3.57	0.05	1.75	3.24
평균	3.59	0.04	1.72

1 시

위치	부동산	문구사	유치원
spot	1	2	3
휘도	3.96	0.04	1.11
(cd/m2)	3.96	0.04	1.11
3.91	0.07	1.77	2.99
3.98	0.07	1.50	3.06
평균	3.90	0.06	1.54

7 시

위치	부동산	문구사	유치원
spot	1	2	3
휘도	117	11.2	85.6
(cd/m2)	118	11.2	85.6
117	11.3	85.1	194
118	11.5	84.5	188
118	11.6	84.2	198
평균	117.6	11.36	85.04

211202

19 시

위치	부동산	문구사	유치원
spot	1	2	3
휘도	3.78	0.07	1.77
(cd/m2)	3.78	0.07	1.77
3.73	0.06	1.80	3.62
3.76	0.06	1.77	3.63
3.75	0.05	1.78	3.73
평균	3.75	0.06	1.79

1 시

위치	부동산	문구사	유치원
spot	1	2	3
휘도	4.07	0.06	1.77
(cd/m2)	4.12	0.07	1.83
4.08	0.06	1.78	3.17
4.10	0.05	1.80	3.17
4.05	0.05	1.80	3.16
평균	4.09	0.06	1.80

7 시

위치	부동산	문구사	유치원
spot	1	2	3
휘도	10.5	0.64	5.28
(cd/m2)	10.5	0.65	5.25
10.8	0.67	5.24	9.02
10.5	0.65	5.25	8.99
10.5	0.65	5.25	8.99
평균	10.6	0.65	5.24

22 시

위치	부동산	문구사	유치원
spot	1	2	3
휘도	3.38	0.04	1.68
(cd/m2)	3.39	0.05	1.64
3.41	0.06	1.32	3.33
평균	3.44	0.04	1.59

4 시

위치	부동산	문구사	유치원
spot	1	2	3
휘도	3.11	0.09	1.55
(cd/m2)	3.16	0.09	1.54
2.95	0.00	1.52	3.09
2.89	0.02	1.54	3.04
평균	2.89	0.02	1.54

7 시

위치	부동산	문구사	유치원
spot	1	2	3
휘도	117	11.2	85.6
(cd/m2)	118	11.2	85.6
117	11.3	85.1	194
118	11.5	84.5	188
118	11.6	84.2	198
평균	117.6	11.36	85.04

22 시

위치	부동산	문구사	유치원
spot	1	2	3
휘도	4.02	0.05	1.86
(cd/m2)	4.00	0.07	1.82
4.01	0.05	1.83	3.02
4.00	0.06	1.85	3.11
4.00	0.06	1.85	3.11
평균	4.00	0.06	1.85

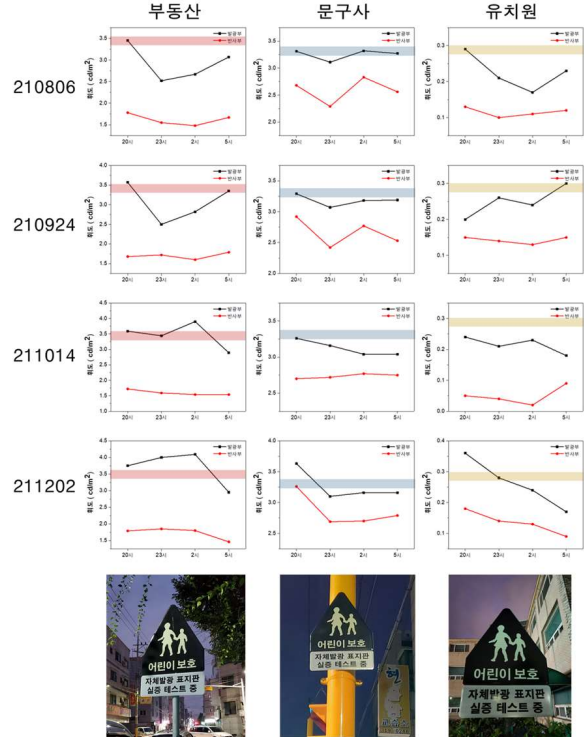
4 시

위치	부동산	문구사	유치원
spot	1	2	3
휘도	3.11	0.09	1.55
(cd/m2)	3.16	0.09	1.54
2.95	0.00	1.52	3.09
2.89	0.02	1.54	3.04
평균	2.89	0.02	1.54

7 시

위치	부동산	문구사	유치원
spot	1	2	3
휘도	10.5	0.64	5.28
(cd/m2)	10.5	0.65	5.25
10.8	0.67	5.24	9.02
10.5	0.65	5.25	8.99
10.5	0.65	5.25	8.99
평균	10.6	0.65	5.24

실증평가 결과(측정결과 그래프)-3



시작품



시작품_Prototype



(좌)고휘도 자체발광 표지 (우) 재귀반사

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘도로교통 안전 및 자율주행차 인지 성능 향상을 위한 자체 발광 안내 표지판 개발’ 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.