보안과제( ), 일반과제(O) / 공개(O), 비공개( )

국토교통기술사업화지원사업 제3차 연도 최종보고서

R&D / 18TBIP-C112826-03

야간 악천후 시 시인성 확보가 가능한 에너지 자립형 낮은 조명시스템 개발 최종보고서

2019. 01. 25

주관연구기관 / ㈜매직마이크로

공동연구기관 / 한국건설기술연구원

㈜선린

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

국토교통과 R&D Report

제 출 문

국토교통부장관 귀하

'야간 악천후 시 시인성 확보가 가능한 에너지 자립형 낮은 조명시스템 개발'(연구개발 기간 : 2016. 04. 27 ~ 2018. 10. 26) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2019. 01.

주관연구기관명 : (주)매직마이크로 (대표자) 장 원 (인)

공동연구기관명 : 한국건설기술연구원 (대표자) 한 승 헌 (인)

공동연구기관명 : (주)선린 (대표자) 임 광 옥 (인)

주관연구기관책임자: (주)매직마이크로 정 덕 인

공동연구기관책임자: 한국건설기술연구원 정 준 화

공동연구기관책임자: (주)선린 김 순 규

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서요약서

과제 고유 번호	18TBIP-C112826-03	해당 단계 연구 기간	2018.01.01.~ 2018.10.26	단계구분	(3)/(3) (최종)
연구사업명	중사업명	국토교통기술사업화지원사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	야간 악천후 시 시인성 확보가 가능한 에너지 자립형 낮은 조명시스템 개발			
	세부과제명				
연구책임자	정 덕 인	해당단계 참여 연구원 수	총: 13명 내부: 13명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부:270,000천원 기업:211,900천원 정부 외: 천원 계:481,900천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 48명 내부: 48명 외부: 명	총 연구개발비	정부:1,089,000천원 기업:791,300천원 정부 외: 천원 계:1,880,300천원
연구기관명 및 소속 부서명	㈜ 매직마이크로			참여기업명 한국건설기술연구원 ㈜ 선린	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

○ **단위요소 핵심기술 개발**
- 저가격, 등기구 간격 최적화 낮은 조명 기술
- 야간 악천후 대응 최적 시인성 확보 기술
- 태양광 기반 에너지 자립형 전력 공급 기술

○ **핵심기술을 적용한 낮은 조명시스템 개발**
- 배광 도구에 의한 구분 : Lens type, Reflector type
- 전력 공급 방식에 의한 구분 : 상용전력형, 태양광시스템형

○ **On Road Test-bed 구축**
- 강릉시 소재 교량 및 무조명 터널 구간
- 캄보디아 씨엠립 소재 앙코르와트 외곽도로 무조명 무전원 구간
- 경기 광주시 소재 제2중부고속도로 터널 진출입 무조명 무전원 구간

○ **기술사업화**
- 대상
  · 국토교통부 : 일반국도 야간 사고 잦은 곳 및 악천후 위험도로 개선사업
  · 지자체 : 도로안전 개선사업
  · 한국도로공사 : 고속국도 안전개선사업, 야간 및 악천후 대응 안전시설물 설치사업
- 적용 구간
  · 안개 상습·취약 구간과 같이 악천 후 대응이 필요한 구간
  · 교량, 인터체인지 등 높은 조명의 구조적 안정성 확보가 어려운 구간

☞ 정량적 성과 : 논문 6편, 특허 출원 7건 등록 4건, S/W 3건

☞ 기술사업화 성과 : 현장 시범적용 4개소(강릉시 내곡동, 강릉시 강동면 안인진리, 캄보디아 씨엠립, 경기 광주시 남한산성면 광지원리)

보고서 면수: 96

< 국문 요약문 >

연구의 목적 및 내용	○ 도로조명은 야간 운전자의 전방 시인성을 확보해 주어 안전운전이 가능하도록 하는 대표적 공공 사회기반시설임 ○ 일반적으로 설치·운영되고 있는 도로조명은 등주식 형태로서 높은 위치에서 고용량의 광원을 이용하여 노면에 조사하는 방식으로 빛의 덩어리를 노면에 연출하게 되며 운전자의 야간 시야에 방해를 주며 잘못된 조명설계는 에너지 손실과 함께 빛 공해로 인한 주위 생태계 파괴의 원인이 되고 있음 ○ 도로조명은 설치 및 유지관리 비용이 수반되기 때문에 고속국도 및 일반국도 중 IC, JC 등의 주요 교차점 중심으로 약 12%만이 설치·운영되고 있음 ○ 조명이 없는 도로는 주행안전성 문제가 심각할 뿐만 아니라 특히, 우천, 안개 등 기상 조건이 열악한 경우에 사고 심각도는 타 기상조건시보다 더욱 치명적임 ※ 교통사고 분석 결과, 야간 안개 시 치사율 및 사망률은 타 기상조건 시 대비 약 3~6배 수준이며, 주간 안개 시 대비 약 3배 수준(2012~2014, 도로교통공단 교통사고통계) ○ 근본적으로 도로 조명 설치 보급이 낮은 가장 큰 이유는 등기구 설치 비용과 상시전력 공급 인프라 구축비용 및 소비 전력 비용의 문제로 볼 수 있음 ○ 따라서 본 제안 기술은 도로 이용자 측면에서 야간 주행 안전성을 확보함과 동시에 범국가적 측면에서 설치 및 운영 비용 절감을 통한 설치 극대화, 탄소 배출 최소화를 최종목표로 함 ○ 전통적 등주형(pole) 가로등은 광원과 도로면의 높이차로 인한 구조적·성능적 한계로 야간 시인성(안전) 확보의 최소 근거인 도로 조명 성능 기준 만족 및 악천후 시 시인성 확보(선형 및 위험요소, 차선 확인 등)가 근본적으로 불가함 ○ 기존 낮은(라인) 조명시스템은 등주식 가로등의 구조적 한계로 인한 단점을 획기적으로 개선한 조명 방식이나 낮은 광원 높이 및 적용 광학계의 한계로 등기구 가격 상승 및 도로 조명 기준 만족을 위한 설치 간격 조밀화(설치수량 증가)를 수반, 경제성 측면에서 불리하였음 ※ 제2영동고속도로의 설계과정에서 반영된 바 있으나 높은 설치비용으로 인해 현장 미적용 ○ 더불어, COP21에서 새 기후 변화 ‘파리협정(2015.12.12.)’을 최적 채택함에 따라 에너지·환경 문제가 전 세계적으로 가장 주요한 이슈로 부각 ○ 현 상황에서 대표적 도로조명인 등주형 가로등 시스템과 라인조명 시스템 등의 공공 조명분야는 막대한 상용전력 소비를 기반으로 운영됨에 따라, 적극적인 신재생에너지 시스템 적용을 통한 에너지 자가 수급형 도로조명 적용 필요 ○ 따라서, 기존 등주식 가로등에 비해 다각적인 장점을 갖고 있는 낮은 조명의 **1)광학적·구조적 개선을 통해 가격 경쟁력을 향상**시키고 **2)야간 악천후 대응력을 추가로 확보**하고, 이와 더불어 전세계적 이슈로 부각되고 있는 에너지, 환경 문제 대응을 위한 **3)신재생 에너지 기반 자체 전력 공급 기술을 개발**하여 낮은 조명 시스템의 경쟁력을 강화하여 기술 실용화 및 시장진입의 확대·보급이 가능할 것으로 기대함 ○ 본 연구는 실용화 연구로서 연구개발 단계에서 랩 테스트, 오프로드 테스트, 온로드 테스트를 통한 실증실험이 필수적임

	○ 현장 실증실험 연구를 토대로 본 연구는 총 3단계로 구성됨 - 1단계 : (단위 요소기술 개발) 랩 테스트, 오프로드 테스트 - 2단계 : (단위/통합시스템 기술 개발) 랩 테스트, 오프로드 테스트, 온로드 테스트베드 구축 - 3단계 : (효과 평가, 검인증, 사업화) : 온로드 테스트베드 구축 및 운영을 통한 실증기반 성능 검증 및 검·인증, 기술 사업화 ○ 성과 목표에 따른 핵심 개발 기술은 1)저가격, 등기구 간격 최적화 낮은 조명 기술개발, 2)야간 악천후 대응 최적 시인성 확보 기술 개발, 3)태양광 기반 에너지 자립형 전력 공급기술 개발 ○ 체계적이고 효율적인 연구 및 테스트, 검·인증 과정을 거쳐 과제 기간 내에 국내·외 시장에 적극적인 마케팅을 통한 확대·보급을 목표로 설정함 **① 핵심 기술 개발** ○ 저가격, 고효율 낮은 조명 기술 - 광효율, 성능기준 및 경제성을 고려한 광학계 및 배광 최적화 기술 개발 - 디밍 제어 기술 및 최적 운용 전략 개발 ○ 야간 악천후 대응 최적 시인성 확보 기술 - 악천후 조건별 요구 시인성능 정의 - 악천후 조건별 최적 시인성능 확보 기술개발 - 악천후 대응 최적 시인성 확보 운영 전략 ○ 태양광 기반 에너지 자립형 전력 공급 기술 - 전력 공급 효율화·안정화, 장수명 확보를 위한 배터리 충·방전 제어 알고리즘 및 시스템(PV, Battery management system, Battery system controller, Converter 등) - 태양광 패널 및 배터리 모듈 최적화 설계 **② 테스트베드 구축, 성능 검증** ○ 악천후 조건별 시인성능 검증(안개, 우천) ○ 에너지 자립형 전력 공급 시스템 충·방전 효율성, 장기 운용 안정성 검증 ○ 조명 설치 조건 별 광학 성능 및 전기적 안정성, 디밍 제어 기술 검증
연구개발성과	○ 저가격, 고효율 낮은 조명기술 개발 - 광효율 향상, 생산·설치 비용 절감을 위한 설계 컨셉 정의 ◦ 광효율 향상, 생산·설치 비용 절감 및 안개시 색상 변경을 고려한 설계 (KS규격 및 도로공사표준에 따른 안전성, 내구성 설계) - 낮은조명 광학 성능 평가 ◦ Line type 낮은조명 도로조명 휘도 기준에 따른 도로평가 실시 ○ 야간 악천후 대응 최적 시인성 확보 기술 개발 - 시인성능 향상을 위한 기술 개발 방향 설정 및 목표성능 구체화 ◦ 안개농도별 운전자 시인거리 측정 실증연구(안개 도로에서 조명 조건별 시인성 영향 분석) . 관련 문헌 및 유사연구 고찰 . 실 도로구간 안개 환경 재현 및 피험자 활용 실증실험 수행 . 야간 안개농도 별 도로조명의 색온도에 따른 운전자 시인거리 관계식 도출 . 시정거리와 시인거리와의 관계 규명

	○ 태양광 기반 에너지 자립형 전력 공급 기술 개발 - 기술 검토 및 국내외 기후 환경 분석을 통한 목표 시장 및 목표 성능 정의 ◦ 태양광 발전 패턴 분석 . 국내 태양광 발전 패턴 분석 . 해외 주요 도시 기후 분석 ◦ Target Market 및 목표 성능 설정 - 핵심 부품 성능 실험 및 평가, 최적 제품군/조합 선정, 기술설계, 개발 ◦ 핵심 부품 성능 조사 및 분석 . 태양전지, 커패시터 . 화학전지 성능 비교 : 납축전지, 인산철 ◦ 최적 효율 구현 시스템 설계 . 태양전지 용량, 전압 구성, 기울기 검토 . 시스템 전압 및 발전-충전 운영 전압 검토 ◦ 제어시스템 개발 - 태양광 발전 충방전 기술 개발 ◦ Capacitor를 적용한 에너지 독립형 태양광 전력 공급 시스템 제작 ◦ 하이브리드 배터리 시스템의 배터리 용량 설계 기준과 시스템의 운영 전략을 수립하고 이를 이행하는 제어 시스템을 개발/제작 ◦ 수명이 길고 외기 온도에 대한 대응력에서 우수한 커패시터를 주된 배터리로 선정하고 커패시터의 상대적인 단점인 에너지 밀도와 가격 부문을 화학전지로 보완하는 하이브리드 배터리 시스템을 구성 ○ 핵심 기술을 적용한 낮은 조명 시스템 및 설치 기술 개발 - Spot Type 낮은조명 시스템 기술 개발 ◦ Spot type은 Reflector를 활용한 배광 기술을 적용하였으며, 낮은 조명 특유의 배광을 구현하기 위하여 특수 reflector 개발 ◦ 배광의 변화는 reflector 외형 설계와 reflector의 너비 및 깊이의 조절을 통해 가능 ◦ reflector의 특성 상 감소하는 광효율의 보전을 위하여 플라스틱 사출물에 UV 진공 증착 방식의 표면처리를 적용 ◦ 낮은 가로등의 설치는 주로 가드레일, 콘크리트 방호벽, 교량형 가드레일을 이용하여 설치하는 것을 원칙으로 함. ◦ 이를 기준으로 기본형(가드레일용), 벽부형(콘크리트 방호벽용), 걸이형(교량형 가드레일용)으로 구분하여 설계 및 시제품 제작을 진행함 - Line type 낮은조명 시스템 기술 개발 ◦ Line type 은 렌즈를 이용한 배광 기술을 적용하였으며, 도로 조명 규격을 위하여 낮은 조명 특유의 배광 구현을 위하여 특수 lens를 개발 ◦ 렌즈는 투과율, 내자외선 특성이 우수한 PMMA 재질로 사출, 전면부 WINDOWS는 PC소재에 UV HARD 코팅을 하여 내구성을 향상 ○ 테스트베드 구축 및 운용 - 악천후 실험환경 구축 및 등기구 오프로드 성능 평가 ◦ 실규모 도로환경의 안개 및 노면 습윤 구현 실험장 구축 ◦ 해당 실험장에서 Spot / Line type 낮은 조명의 악천후 대응 능력 평가 - On Road 테스트 베드 구축 ◦ 테스트베드 도입을 위한 기관 협의 및 구축지 선정 ◦ Spot Type(상용전력형) 및 Line Type(태양광시스템형) 낮은 조명시스템 구축
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 적용 분야 - 일반 고속화 도로용 가로등(경기 광주시 남한산성면 광지원리 **제2중부고속도로** 시범설치) ◦ 야간 고속 주행에 가장 안전한 주행 환경을 제공할 수 있는 낮은 조명시스템이며, 우천 및 안개 등 악천후 상황에서의 대응 측면에서도 우수하고 설치

	및 유지 관리가 용이한 장점이 있음. - 사고 다발 위험 구간용 가로등 ◦ 우수한 도로 시인성으로 선로가 복잡한 도로 및 굽은 도로에 적합(강릉시 강동면 안인진리 **해안도로** 및 캄보디아 씨엠립 **앙코르와트 외곽 굽은 도로** 시범설치) ◦ 안개 다발 구간(경기 광주시 남한산성면 광지원리 제2중부고속도로 **산곡터널~번천5교 안개구간** 중 광지원터널로부터 약 200m 이격 터널 진·출입부 시범설치), 노면 침수 다발 구간 등에 적합 - 인터체인지(**베트남 다낭** 시범설치 예정), 램프 등 도로 형태가 입체적인 구간 - 교량 구간(강릉시 내곡동 **내곡교** 시범설치) - 터널 진·출입 구간(강릉시 강동면 안인진리 **피암터널** 및 경기 광주시 남한산성면 광지원리 제2중부고속도로 **광지원터널로부터 약 200m 이격 터널 진·출입부** 시범설치) - 빛 공해 문제가 발생할 수 있는 도심 내부 고속화도로 - IoT 기반의 스마트 가로등(경기 광주시 남한산성면 광지원리 제2중부고속도로에 **시정계와 무선통신으로 연동하여 안개 상황 시 적정 색온도(Amber 계열) 변경이 가능**한 낮은 조명시스템 시범설치) ○ 기대 효과 - 야간 고속 주행 안전성 향상(경기 광주시 남한산성면 광지원리 **제2중부고속도로** 시범설치) ◦ 도로 시인성 강화, 악천후 대응방안 강화 등 야간 주행 상황에서의 주행 안전성 향상을 우선 목표로 개발된 제품으로 안전 주행 환경 향상 기대 - 빛 공해 최소화 ◦ 빛이 도로 노면에 국한되도록 설계한 도로 조명 방식으로, 자연 생태계 및 인체 악영향까지 거론되고 있는 빛 공해를 최소화할 수 있는 최적의 도로 조명 시스템으로 적용 기대 - Energy Saving + 신재생에너지(캄보디아 씨엠립 및 경기 광주시 남한산성면 광지원리 제2중부고속도로 **태양광기반 에너지 자립형 전력공급시스템** 시범설치) ◦ 노면에 집중하는 배광 방식과 고효율 배광을 통해 소비전력을 기존 등주형 LED 가로등 대비 15% 이상 절감할 수 있으며, ◦ 에너지 절감의 부수적인 효과로 태양광시스템으로도 M3 도로조명 등급에 충족하는 도로 조명이 가능함 - 유지관리에 용이 ◦ 설치 방법의 차이로(노면으로부터 1m) 설치 및 유지 관리가 용이하고, 이와 관련된 비용 절감은 물론 간접 손실(공사에 따른 도로 정체 등) 최소화 효과가 기대됨. - 스마트 가로등 시장 선도 ◦ IoT 기반의 통신·제어 기술과 연계하여 안개, 우천 등 기상 환경에 대응한 조명 제어는 물론 주변 교통 환경에 따른 점멸, 색온도 변경 등 도로 교통 시설물로서의 기능 등의 추가 구현이 가능하여 스마트 가로등 시장 선도 기대(경기 광주시 남한산성면 광지원리 제2중부고속도로에 **시정계와 무선통신으로 연동하여 안개 상황 시 적정 색온도(Amber 계열) 변경이 가능**한 낮은 조명시스템 시범설치)

핵심어 (5개 이내)	낮은 조명시스템	배터리 관리 시스템	색온도	배광	휘도

< Summary >

Purpose & Contents	○ Road lighting is the typical infrastructure to make safe driving possible by providing the driver with good visibility at night ○ A pole type lighting system is generally used for road lighting but as it illuminates from the elevated position using high capacity light source, a lump of light is thrown to the road surface which may interfere with the driver's view and improper lighting design causes energy loss and light pollution, destroying the ecosystem ○ Road lighting requires the cost for installation and maintenance and thus installation rate at IC or JC on expressway or national highway reaches only to 12%. ○ Driving safety on the road without lighting system is critical which is further threatened at inclement weather such as rainy or foggy condition. ※ According to the traffic accident report, fatality and mortality in foggy nighttime is increased 3 to 6 times comparing to normal weather condition and 4 times of that in foggy daytime (2012~2014, traffic accident data, Road Traffic Authority) ○ Low installation rate of road lighting system is basically attributable to the cost for installing lighting pole, power supply system and energy consumption. ○ The proposed technology is thus intended to provide the drivers with driving safety at night from the road user's standpoint as well as reduce the installation and maintenance cost throughout the nation, thereby maximizing the installation rate while minimizing the carbon emission. ○ Traditional pole type street lamp has the structural and functional limits due to different level between light source and road surface, causing difficulties fundamentally in satisfying the performance requirements necessary to secure the visibility at night (safety) and the visibility in inclement weather (alignment, risk factors and lane) ○ Existing low (Line) lighting system was significantly improved from previous pole lighting system which had the shortcoming due to structural constraint but was economically inefficient because of high cost due to low height, limited optical system and dense installation (increased number of poles) ※ It's once considered in design for #2 Youngdong Expressway but not applied because of high installation cost. ○ On the back of COP21 Paris Climate change agreement (2015.12.12.)' energy and environment have been emerged as most critical issue globally. ○ Given the pole type street lamp which is currently used requires a huge power consumption, energy self-sufficiency road lighting using new and renewable energy system is necessary. ○ Thus it's intended to improve the various benefits of Low lighting system such as 1) **increasing price competitiveness through optical & structural**

	enhancement 2) securing the performance to deal with inclement weather at night and furthermore, in response to energy and environmental issues, **3) developing new & renewable energy-based power supply system** which is then expected to strengthen the competitiveness of low lighting system, making commitment to commercializing the technologies and expanding the market. ○ This study is aimed at commercializing and verification test including lap test, off-road test and on-road test is a must. ○ This study based on field verification test is divided into 3 stages - Stage 1: (Unit element technology development) Lap test & off-road test - Stage 2: (Unit/Integrated system technology development) Lap test, off-road test & on-road test bed - Sage 3: (Evaluation, verification and commercialization): Performance verification, verification/certification and commercialization through on-road test bed installation and operation ○ Core technology development to achieve the goal includes 1) Low lighting at low price and optimal interval 2) Optimal visibility in inclement weather at night and 3) Solar energy-based self-sufficiency power supply system. ○ Distribution to domestic & foreign market through proactive marketing after systematic & efficient research & test verification process. **① Development of core technologies** ○ Low cost & high efficient low lighting technology - Optical system considering light efficiency, performance and cost efficiency and optical light distribution technology. - Dimming control technology and optimal operation strategy ○ Optimal visibility to deal with inclement weather at night - Definition of visibility by level of inclement weather condition - Technology to secure the visibility by inclement weather condition - Operation strategy to secure the visibility in inclement weather ○ Solar energy-based self-sufficiency power supply system - Battery charging/discharging control algorithm & system for efficient, stable and long-term power supply (PV, Battery management system, Battery system controller, Converter) - Design to optimize solar panel and battery modularization **② Test bed installation and performance verification** ○ Verification of visibility by inclement weather condition (foggy, rainy) ○ Verification of energy self-sufficiency power supply system, charging/discharging efficiency, long-term operation stability ○ Verification of optical performance and electrical stability by lighting system installation and dimming control technology
Results	○ Development of low cost and high efficient low lighting technology - Design concept definition for improving lighting efficiency and production/installation cost. ◦ Design considering lighting efficiency, production & installation cost and color temperature change in foggy condition

	(Safety and durability design according to KS and road standards) - Evaluation of optical performance of low lighting system ◦ Road evaluation according to Line type road lighting luminance ○ Technology to secure optimal visibility in inclement weather in night - Strategy and goal in developing the technology to improve the visibility ◦ Study to measure driver's visual distance by level of foggy condition (Analysis of visibility effect on foggy road by level of lighting condition) . Review of related documents and previous studies . Real foggy condition on road and verification test with the subject . Development of equation on visual distance depending on lighting color temperature by level of foggy condition at night . Identification of relationship between visible distance and visibility ○ Development of solar energy-based self-sufficiency power supply system - Determination of target market and performance through technical review and global climatic condition ◦ Analysis of solar energy generation pattern . Analysis of domestic solar energy generation pattern . Analysis of the weather in foreign countries - Test & evaluation of core parts, determination of optimal product groups/combination, technical design and development ◦ Investigation and analysis of the performance of core parts . Photovoltaic cell, capacitor . Comparison of chemical cell performance: Lead battery, ferric phosphate ◦ System design for optimal efficiency . Photovoltaic cell capacity, voltage, gradient . System voltage & generation, charging/discharging voltage ◦ Development of control system - Development of solar energy generation charging/discharging technology ◦ Manufacture of Capacitor-using energy self-sufficiency solar power supply system ◦ Hybrid battery system capacity design criteria and system operation strategy and development of control system ◦ Hybrid battery system comprising of durable and temperature-resistance capacitor as main battery and chemical battery as supplementary battery ○ Development of low lighting system using core technologies. - Development of Spot Type low lighting system ◦ Spot type adopts light distribution technology using the Reflector and developed the particular reflector for unique light distribution of low lighting system. ◦ Change to light distribution is possible through reflector design and adjustment of width and depth of the reflector. ◦ Vacuum evaporation type surface treatment was applied to maintain decreasing light efficiency which the reflector has. ◦ Low lighting pole shall be in principle installed using guardrail, concrete wall and bridge guardrail ◦ Based on above, it's categorized into basic type (guardrail) wall type (concrete wall) and hanger type (bridge guardrail) for design and manufacture.

	- Development of Line type low lighting system technology ◦ Line type adopts light distribution technology using lens and specialized lens was developed to create unique low lighting features. ◦ PMMA material with high transmissivity and UV-resistance while frontal window has PC material and UV HARD coating to enhance the durability ○ Development and operation of test bed - Test under inclement weather condition and off-road performance of lighting fixture. ◦ A full-scale road environment and wet road surface ◦ Performance test of Spot / Line type low lighting system at inclement weather - On Road test bed ◦ Consultation with local authorities for installing the test bed ◦ Spot Type(service power) and Line Type(solar system) low lighting system
Expected Contribution	○ Area for application - Street lamp on highway (on #2 Joongbu Expressway, Gwangjiwon-ri, Namhansansung-myun, Gwangju, Gyeonggi-do) ◦ Low lighting system which can provide most safe road environment at night particularly advantages in inclement weather such as rainy and foggy condition. - At the section where frequent accidents occur ◦ High visibility on road which is also appropriate on complex and bent alignment (test installation on Coast road at Aninjin-ri, Gangreung and the bend outskirt of Ankor wat at Siem Reap in Cambodia) ◦ Foggy section (Sangok tunnel ~ Beonchun #5 bridge on Joongbu Expressway) and road-flooded area - Fluctuated road such as Interchange or ramp - Bridge section (Naegok bridge in Gangreung) - Tunnel entrance/exit (Piam tunnel in Aninjin-ri, Gangreung and 200m away from Gwangjiwon tunnel at Gwangjiwon-ri, Gwangju) - Urban highway where light pollution is likely - IoT-based smart street lamp (on #2 Joongbu expressway at Gwanggjiwon-ri, Gwangju, which is interlocked with visibility meter through wireless communication for changing the color temperature in foggy condition) ○ Expected effect - Improvement of high speed running stability at night (on #2 Joongbu expressway at Gwangjiwon-ri, Gwangju) ◦ The product developed to enhance the running stability at night including improved visibility in inclement weather - Minimization of light pollution ◦ Road lighting system designed to limit the light on road surface which is optimal to minimize the light pollution to surrounding environment. - Energy Saving + New & renewable energy (**Solar energy-based self-sufficiency power supply system** on #2 Joongbu expressway in Korea and Siem Reap in Cambodia) ◦ Energy-saving by 15% at least from existing pole type LED street lamp

	through road surface-concentrated and high efficiency light distribution system. ◦ Road lighting satisfying M3 grade requirement is possible thanks to energy conservation effect. - Easy maintenance ◦ Installation at 1m level from the ground level, easy maintenance and cost efficiency with reduced indirect loss (traffic congestion due to installation) - Leading role in smart street lamp market ◦ IoT-based communication & control technology which provides lighting control depending on weather such as foggy or rainy condition as well as flickering and color temperature control which will lead the market (Interlocking with visibility meter through wireless communication for color temperature control in foggy condition on #2 Joongbu expressway at Gwangjiwon-ri, Gwangju)				
Key words (5 or less)	Low lighting system	Battery management system	Color Temperature	Light distribution	Luminance

〈 CONTENTS 〉

1. Outline of Research and Development Project ····· 1

2. Status of Domestic and Overseas Technology Development ····· 9

3. Research Performance and Achievements ····· 19

4. Achievement of Research Goals & Contribution to Relevant Fields ····· 65

5. Plan to utilize of R&D Achievements ····· 69

6. Overseas Scientific and Technical Information collected in the process ····· 87

7. Security Grades of R&D Achievement ····· 91

8. Status of Research Facilities and Equipments registered at NTIS ····· 91

9. Implementation of Safety Measures in the Lab. based on R&D Project ····· 93

10. Representative Research Achievements R&D Project ····· 93

11. References ····· 95

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1

2. 국내외 기술 개발 현황 ····· 9

3. 연구 수행 내용 및 성과 ····· 19

4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 65

5. 연구개발성과의 활용 계획 ····· 69

6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 87

7. 연구개발성과의 보안등급 ····· 91

8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황 ···· 91

9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ·· 93

10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 93

11. 참고 문헌 ····· 95

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

본 연구는 기존 개발된 낮은 조명시스템의 한계를 극복하기 위하여 안개, 비 등의 도로 기상 조건하에 **운전자의 야간 시인성 증진 극대화, 설치 제약 조건 완화**(상시전원 미인가 구간), 등기구 배광 최적화로 **설치 수량 최소화**를 개발 목표로 설정하였으며 국내 시장뿐만 아니라 **동남아, 중동 지역 수출을 통한 개발 기술의 적극적 실용화**를 **최종 목표**로 설정하였음

○ 본 연구는 실용화 연구로서 연구개발 결과물들은 랩 테스트, 오프로드 테스트, 온로드 테스트를 통한 철저한 현장 검증이 필수적임

○ 현장 실증실험 연구를 토대로 본 연구는 총 3단계로 구성됨

- 1단계 : (단위 요소기술 개발) 랩 테스트(주), 오프로드 테스트(부)
- 2단계 : (단위/통합시스템 기술 개발) 랩 테스트, 오프로드 테스트(주), 온로드 테스트베드(주) 구축
- 3단계 : (효과 평가, 검인증, 사업화) : 온로드 테스트베드 구축 및 운영을 통한 실증기반 성능 검증 및 검·인증, 기술 사업화

○ 최종성과 목표에 따른 핵심 개발 기술은 **1) 저가격, 등기구 간격 최적화 낮은 조명 기술개발, 2) 야간 악천후 대응 최적 시인성 확보 기술 개발, 3) 태양광 기반 에너지 자립형 전력 공급기술 개발**임

- 광학계 및 재료 · 기구적 개선을 통한 등기구 자체의 가격 경쟁력 확보, 기존 대비 등기구 설치 수량 1/2~1/4, 안전 측면에서 악천후 시 시인성능을 극대화하고, 태양광 기반 전력 공급시스템의 충전 효율성 및 전력 공급 안정성, 장수명을 확보하기 위한 기술 개발을 통한 낮은 조명시스템의 시장성 증대 및 신기후체제 대응과 동시에 친환경 도로 구현에 일조

○ 체계적이고 효율적인 연구 및 테스트, 검·인증 과정을 거쳐 과제 기간 내에 국내·외 시장에 적극적인 마케팅을 통한 확대·보급을 목표로 설정함

2. 연구개발의 필요성

가. 현재 기술 수준

○ 도로 조명의 목적은 운전자 전방의 시인성을 향상시켜 주행 안전을 도모함에 있으나 기존 라인조명은 비, 안개 시 최적 시인성능을 확보하지 못하는 단점이 있음. 따라서, 야간 및 악천후시 전방시야를 확보함으로써 안전하고 편안한 도로 주행 환경을 제공할 필요성이 있음

○ 본 제안 연구의 공동연구기관인 한국건설기술연구원은 국토교통 R&D(도로시인성 향상 및 안전운전 환경 확보기술 개발, 2010~2014)를 통하여 기존 폴 가로등의 단점을 개선한 낮은 조명을 개발, 실용화하였으나 당시 LED 팩키징 기술의 한계로 인한 광효율 문제, 협소한 설치간격(1m)으로 인한 등기구 수량 과다 및 비용상승의 원인으로 실용화 확대보급에 난항을 겪었음. 또한 가장 중요한 야간 및 악천후 주행 안전문제에 있어서 최적 운전자 시야 확보에 부적합

○ 기 개발된 낮은 조명의 단점은 다음과 같음

1) 등기구 배광

- 광원 중심에서 좌우 대칭 배광의 형태로 개발되었으며 상하 배광의 경우 도로 길어깨 부근에 음영지역이 발생하여 길어깨가 협소한 교량구간 등에서는 차로 측면에 음영이 발생하여 차로를 균일하게 비추지 못하는 단점이 있음

<기 개발 낮은 조명의 단점 : 등기구 근접 하단부 음영지역 발생>

2) 설치간격 및 가격 경쟁력 부문

- 기 개발된 라인조명은 2010년 LED 패키징 기술, 반사판의 한계로 배광 및 광효율에 있어서 2015년 현재보다 뒤쳐져 있었기 때문에 1m 간격으로 설치하여 도로 조명 기준을 만족할 수 밖에 없었음
- 기존 낮은 조명의 가격은 개당 약 75만원으로 기존 폴조명 대비 약 2배로서 가격 경쟁력에 있어서 한계점을 가지고 있었음

<기 개발 낮은 조명(반사판 형식, 1m 간격 설치)>

<낮은 조명 시스템 설치 효과>

나. 추가 연구개발 필요성

○ **(기존 폴 가로등의 한계)** 도로조명은 야간 운전자의 시인성 확보 및 안전운전 지원을 위한 대표적 공공 사회기반시설이나 설치 및 유지관리 비용 부담으로 설치장소가 제한, 기존 폴 가로등의 한계 극복 및 악천후 대응, 에너지 자립이 가능한 고성능 · 저가격 조명 기술 개발 필요

- 고속도로 및 일반국도 도로조명 설치율은 12%에 불과('11년 기준, 최금인 등(2011))
- 국내 '14년 야간 교통사고 발생건수는 전체 발생건수의 45.3%, 사망자수는 전체 사망자수의 51.4%, 야간의 교통량이 주간 대비 1/3 수준임을 감안 시 위험도는 약 3배(도로교통공단(2015년))
- 전통적인 폴(pole) 가로등은 광원과 노면의 높이차로 인한 구조적 한계로 에너지 낭비 및 빛 공해 초래, 악천후 시 시인성 확보(선형 및 위험요소, 차선 확인 등) 불가, 유지보수 난이, 등주 및 기초 설

치 공사비 등으로 인한 비용 상승 등의 문제가 발생

○ **(낮은 조명 시스템)** 기존 낮은 조명은 폴 가로등의 구조적 한계로 인한 단점을 획기적으로 개선한 조명 방식이나 가격 경쟁력 측면의 불리함으로 시장 진입 · 확대에 난항, 등기구 가격 절감 및 설치 간격 확장 필요

- (악천후 시인성 확보 가능) 낮은 높이의 측면조사 방식 적용으로 우천 시 맑은 날 수준의 차선 식별 가능, 안개 시 산란도 저감으로 폴 가로등 대비 전방 선형 및 위험요소 확인에 유리
- (구조적 안정성 확보 및 유지보수 용이) 교량, 인터체인지 등의 구간에서의 구조적 안정성 확보에 유리하고, 신설, 유지 보수 시 특수 장비 및 차로 차단 불필요
- (폴 가로등 대비 낮은 가격 경쟁력은 시장 진입·확대의 최대 걸림돌) 1km 양방향 설치 시 6억원 이상 소요(기존 가로등 대비 3배), 고가의 등기구 가격 및 짧은 설치 간격이 원인

※ 제2서해안 평택~시흥간 고속도로 시화대교 양방향 5.4km에 적용(2012년)

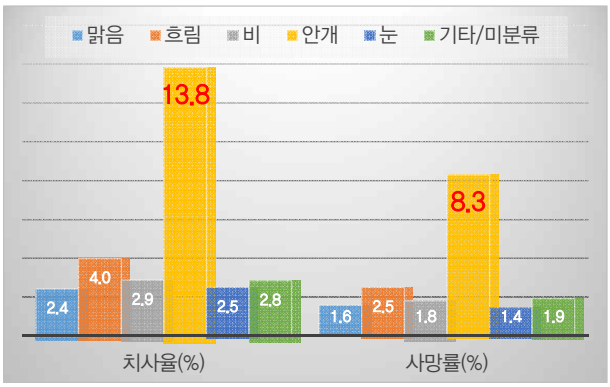
※ 제2영동고속도로 설계 반영 후 현장 적용 무산(수요는 지속적으로 증대), 높은 가격이 원인

폴 가로등	낮은 조명
차선 및 도로 선형 식별 난해	건조노면과 거의 동일

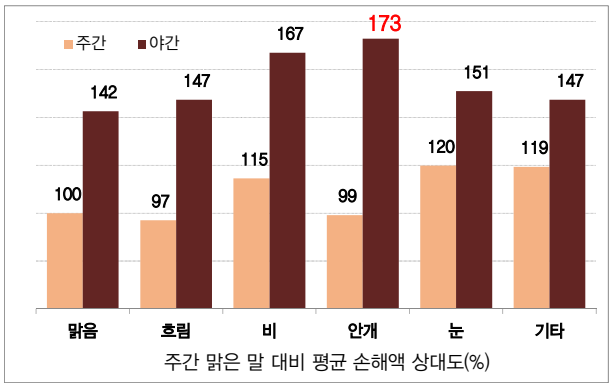
<우천 시 기존 폴 가로등과 낮은 조명의 노면 차이>

○ **(안개 등 악천후 대응 분야)** 야간 안개로 인한 사고 심각도는 타 기상 조건 시 보다 심각, 야간 안개 시 안전 확보를 위한 적극적 대응 기술 개발 필요

- 야간 안개 시 치사율 및 사망률은 야간 강우 및 강설 시 대비 약 3~6배 수준이며, 주간 안개 시 대비 약 3배 수준 ('12년~'14년(3년), 도로교통공단(2015))
- 야간 교통사고로 인한 평균손해액은 주간 맑은 날 사고 대비 1.4~1.7배 높으며, 특히 야간 안개 시 평균손해액이 가장 높은 수준(보험개발원 보도자료(2012.12),)



<야간 기상 상태별 심각도 비교>



<주간 맑은 날 대비 평균손해액 상대도(%)>

○ **(태양광 기반 전력 공급 기술 분야)** 에너지, 환경 문제가 전 세계적으로 가장 주요한 이슈로 부각, 파리기후변화협약에 의한 우리나라 2012년 대비 온실가스 감축량은 세계 최고 수준(2020년까지 2012년 대비 27% 감축), 도로에서 발생되는 전력소비 및 이산화탄소 배출량을 줄이기 위한 신재생 에너지 수확기술의 적극적인 활용이 필요한 상황

- 태양광 발전시스템은 타 신재생 에너지시스템에 비해 도로환경에서의 운용성이 우수하고 상대적으로 안정적인 발전이 가능하나, 핵심 기술인 배터리 시스템 및 구성 요소의 최적화 정도에 따라 전력 공급의 안정성 및 효율성이 좌우
- 독립형(Off-Grid) 태양광 발전시스템은 수 kW 이하의 소규모로 판매되고 설치되는 관계로 중소기업에 적합한 사업아이템이며, 지속적인 시장 점유율 증가 예상
- 낮은 시장 진입 장벽으로 인한 성능 미달 제품 난립 및 이로 인한 시장 침체를 막기 위한 최적의 태양광 발전 시스템 개발이 필요

※ 국내 대부분의 독립형 태양광 가로등 시스템이 배터리 시스템의 성능 저하로 2~3년 내에 작동 불능 상태가 되는 상황이 반복, 신뢰도 급락 및 사업 규모 축소로 귀결, 이러한 이유로 독립형 태양광 가로등은 조명 소등에 따른 위험도가 미미한 공원, 주택가 보안등에 제한적으로 적용되고 있는 실정

○ 따라서 기존 낮은 조명 방식의 악천후 시 시인성 확보 기능을 강화하고, 광학적 · 구조적 · 재료적 개선을 통해 비용을 기존 폴 가로등 수준 이하로 낮춘 적정가격 · 고성능의 낮은 조명 기술과 더불어 혹독한 도로 환경, 불규칙적인 기상환경에서도 안정적인 충전 및 전력 공급이 가능한 독립형 태양광 발전 시스템 개발을 통해 야간 및 악천후 시 도로 이용자 안전성을 향상시키고 전 세계적 에너지 및 환경정책 기조에 부응하는 신개념 도로 조명 시스템의 개발이 필요

○ **(원격 중앙 제어 시스템 기반 조성)** 야간 및 악천후 환경에서의 운전자 안전을 확보하기 위한 조명등기구의 성능을 안정적으로 제공하기 위하여 원격(중앙) 제어와 자동 검지(auto sensing) 기반의 제어 기능 필요

- 등기구 제어시스템의 디지털 기반 강화

- 무선 통신 기능 및 IC(MCU) 기반의 시스템 운영 강화

○ 도로조명 분야의 경우 잠재시장은 매우 거대하나 신기술 개발에 대한 민간투자 리스크가 큰 공공기술 분야로 국가차원의 기술개발이 절실

- 야간 및 악천후 시인성 향상 기술에 대한 정부의 적극적 현장적용 지원 예상, 적극적인 기술 대안 개발이 필요한 시점

· 정부는 야간 교통사고 사망자수 50% 감소를 국가교통안전 추진목표('12~'16)로 설정·관리, 도로조명 설치 수요 증가 예상

· 도로 신설 및 정부 주도 도로안전확보 사업(사고잦은곳 개선사업, 위험도로 개량사업 등)의 지속적 규모 확대 추세

- 국내 조명 관련 업체는 대부분 영세, 중소업체로 신기술 개발을 위한 자금여력 및 개발 후 시장 창출을 위한 영업력 등에 한계가 존재하여 소극적 기술개발에 안주, 공공 주도의 기술개발이 필요

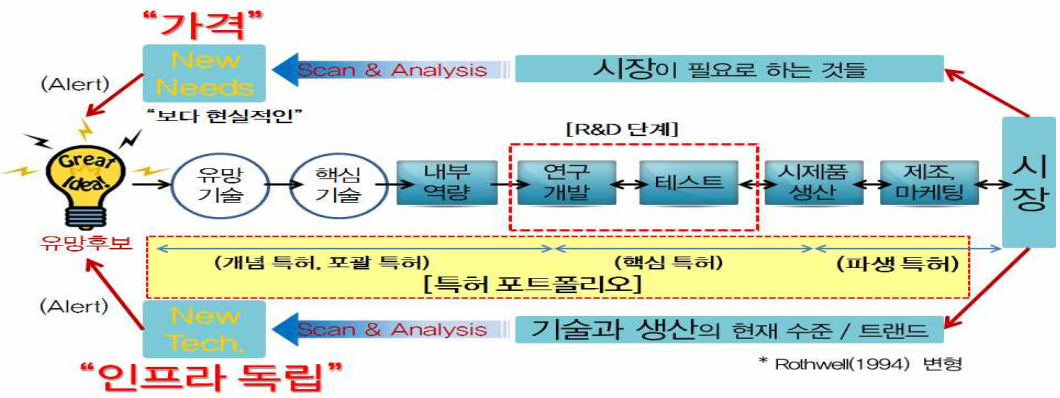
※ 2012년 기준 조명시스템 개발 관련 업체수 총 479개사 중 대부분은 중소기업(477개사)이며, 평균 매출액은 약 35억 수준으로 영세한 수준, 기술 개발 리스크 감당 여력 없음

다. 추가 연구개발 요약

○ 기존 폴 조명보다는 낮은 조명형태가 도로를 주행하는 운전자에게는 시환경 확보차원에서 유리하다는 것이 선행 연구개발을 통하여 규명되었음

○ 따라서 도로 조명은 낮은 조명의 행태를 띄되, 이상 기후에 대응할 수 있는 기술, 시장에서 필요로 하는 기술, 기술 발전 트랜드에 부합하는 기술, 국내외 환경적 동향 등을 고려한 신개념의 조명형태를 개발할 필요성과 시점이 도래했음

○ 아래 그림은 기술과 시장의 지속적인 모니터에 의한 R&BD의 결합 분석을 나타낸 것으로 개발 기술의 지속적 모니터링(시장, 기술 트랜드)과 추가 개발을 통한 시장 선도형 제품이 본 제안 과제의 최종 목표임



<기술과 시장의 지속적인 모니터에 의한 R&BD의 결합분석>

3. 연구개발 범위

가. 핵심 기술 개발

1) 저가격, 고효율 낮은 조명 기술

○ 현 도로조명기준과 더불어 동 기준에서 반영하고 있지 않은 야간 운전자의 시인 특성에 기반한 시인 성능 요구기준을 동시에 충족시킴으로서 정책결정자 및 생산자의 거부감 없이 시장 진입이 가능한 환경 조성 및 야간 운전자의 실질적인 안전성 확보

- 광효율, 성능기준 및 경제성을 고려한 광학계 및 배광 최적화 기술 개발
- 디밍 제어 기술 및 최적 운용 전략 개발

2) 야간 악천후 대응 최적 시인성 확보 기술

○ 야간 우천 시 노면과 차선의 구분, 야간 안개 시 전방 시거 확보를 통해 야간 악천후 시 안전성 확보 및 범국가 차원의 악천후 사고 방지 목표 달성을 위한 지원 기술 마련

- 악천후 조건별 요구 시인성능 정의
- 악천후 조건별 최적 시인성능 확보 기술개발
- 악천후 대응 최적 시인성 확보 운영 전략

3)태양광 기반 에너지 자립형 전력 공급 기술

○ 효율 및 안정성을 향상시킨 태양광 발전 및 전력 공급 기술 개발을 통해 격오지 등 전력공급이 어렵거나 과도한 전력 인입비용이 소요되는 구간에 적용 가능한 인프라 독립형 기술을 마련, 낮은 조명시스템의 시장성 향상 및 국내 신기후체제 미션 달성 지원

- 전력 공급 효율화·안정화, 장수명 확보를 위한 배터리 충·방전 제어 알고리즘 및 시스템(PV, Battery management system, Battery system controller, Converter 등)
- 태양광 패널 및 배터리 모듈 최적화 설계

나. 테스트베드 구축, 성능 검증

○ 악천후 조건별 시인성능 검증(안개, 우천시)

○ 에너지 자립형 전력 공급 시스템 충 · 방전 효율성, 장기 운용 안정성 검증

○ 조명 설치 조건 별 광학 성능(조명 등급) 및 전기적 안정성, 디밍 제어 기술 검증

다. 도로 조건별 운영전략 수립

○ 야간 악천후 대응, 에너지 자립형 전력 공급, 낮은 조명 기술 적용 통합 설계 및 운영 전략

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과

가. 국가연구개발사업 유사연구 검토

○ 국가연구개발사업으로 수행된 유사 연구 검토결과는 다음과 같음

<유사 연구 검토 결과>

부처명	사업명	과제명	예산 (억원)	비 고
국토교통부	국토교통기술 촉진사업	안개 및 우천시 주행의 안전성을 높이기 위한 환경대응형 도로조명용 멀티배광 LED가로등기구 개발	4	-
지식경제부	에너지자원융합원천기술개발	고온저장특성이 개선된 리튬폴리머전지를 탑재한 태양광 가로등용 에너지저장장치 개발	2.17	-
중소기업청	산학연 공동기술개발	태양광 모듈용 에너지 절약형 고효율 정션박스 및 커넥터의 개발	1.34	-

○ 안개 및 우천시 주행의 안전성을 높이기 위한 환경 대응형 도로조명용 멀티배광 LED가로등기구 개발

<안개 및 우천 시 시인성 향상을 위한 폴(등주식 가로등) 개발>

연구목적	안개 및 우천 시 시인성 향상을 위한 폴(등주식 가로등) 개발
연구방법	도로상에 시설되어있는 도로 기상 관측 시스템을 통해 수신된 정보를 기반으로 폴가로등 배광조건을 기상 상화별로 차별화 적용
주요 연구내용	• 멀티 배광 광학체 : 개별 광학체(반사판 또는 렌즈)를 이용한 광원 조합 방식의 가변 배광 시스템 • 색온도 변환 기능 : 백색 및 황색 LED를 활용, 안개 및 우천 시 등의 악천후에서 기준 밝기는 유지하되 색상에 변화를 주어 도로의 환경 상황별 대처 • 기상 변화를 고려한 시스템 : 도로상에 시설된 기존'도로 기상 관측 시스템'에서 취득된 기상정보 및 노면 상태를 확인하고, 가로등으로 전송하여 기상 상황에 적합한 배광체를 활용

○ 고온저장특성이 개선된 리튬폴리머전지를 탑재한 태양광 가로등용 에너지저장장치 개발

<태양광 가로등 성능 개선을 위한 에너지 저장장치 개발>

연구목적	태양광 가로등 성능 개선을 위한 에너지 저장장치 개발
연구방법	태양광 기반 전력공급 시스템의 고온 기후 조건에서의 성능을 확보하기 위한 리튬폴리머전지 성능 개선 및 배터리팩 개발
주요 연구내용	• 고온성능이 개선된 태양광 가로등 전원용 리튬폴리머 전지 개발 : 고온 안정성 전해질 설계 및 기술 개발, 열적·전기화학적 성능 개선 양극 전극 개발, 고온형 리튬폴리머전지 설계 최적화 • 태양광 가로등 전원용 배터리팩 개발 : BMS (Battery Management System) 개발, 배터리팩 기구 및 회로기술 개발, 배터리팩 공정기술 개발

○ 태양광 모듈용 에너지 절약형 고효율 정션박스 및 커넥터의 개발

<태양광 모듈용 에너지 절약형 고효율 정션박스 및 커넥터의 개발>

연구목적	태양광 모듈용 에너지 절약형 고효율 정션박스 및 커넥터의 개발
연구방법	태양광 모듈의 구성품인 정션박스의 방열 특성 및 커넥터의 효율성 증대, 소형화를 통해 태양광 모듈의 효율 및 시스템 안정성 제고
주요 연구내용	• 정션박스의 방열 성능 확보를 위한 통기성 섬유재 (Goretex) 적용 기술 개발 • 다이오드 리드 리본 케이블과 bus bar와의 안정적인 접촉구조 설계기술 리팩 기구 및 회로기술 개발, 배터리팩 공정기술 개발 • 정션박스의 출력단인 케이블 측 고성능 커넥터의 개발기술 • 사각형 SMT type의 다이오드 적용 시 방열 성능 극대화, 소형화를 위한 적층형 Stamped circuitry 기술 개발

나. 사업화과제의 차별화 방안

<사업화과제의 차별화 방안>

개발 부문	차별화 내용
안개 및 우천시 주행의 안전성을 높이기 위한 환경대응형 도로조명용 멀티배광 LED가로등기구 개발	- 선행 과제에서 개발하고자하는 폴(등주식) 가로등 조명 방식은 광원과 노면의 높이차로 인해 광효율이 낮으며, 미세한 배광각의 차이에도 성능 변화 발생 - 따라서 정밀 배광 및 배광 제어 방법의 특성화·다양화가 곤란하여 안개 및 우천시 시인성 향상을 위한 기술적 대안 적용 한계 - 본 과제는 낮은 위치의 측면 조사방식을 취한 낮은 조명 방식을 적용, 근본적으로 폴 가로등 대비 광효율 및 악천후 대응 성능이 우수하고, 정밀배광 및 추가적인 배광 제어 방법의 적용이 용이 - 또한 독립형 전력 공급시스템을 활용, 도로상 전력 인프라 상황에 영향을 받지 않아 현장 적용성 및 시장 진입·확대에 유리
고온저장특성이 개선된 리튬폴리머전지를 탑재한 태양광 가로등용 에너지저장장치 개발	- 선행 과제 등을 통해 인프라 독립형 에너지 저장장치의 개선 노력이 진행되고 있으나, 기존 2차전지의 특성을 부분적으로 개선하는 방식은 근본적인 문제 해결 불가, 고온/저온, 부조일수, 악천후 등에 따른 충·방전 효율 저하, 수명(충·방전 Cycle 횟수) 단축 문제 등에 대한 종합적인 성능 개선이 절대적으로 필요 - 본 과제는 온도, 기후, 수명은 물론 운영 효율성의 문제까지 동시에 해결 가능한 인프라 독립형 태양광 전력공급 시스템을 개발
태양광 모듈용 에너지 절약형 고효율 정션박스 및 커넥터의 개발	- 선행 과제 개발 정션박스 및 커넥션 역시 태양광 발전 시스템의 에너지 효율을 강화하는 개발이지만, 인프라 독립형 전력공급시스템의 운영 측면에서 접근, 보다 핵심적인 효율성 개선 연구가 추가로 필요 - 본 과제는 전체 태양광 시스템, 즉, 태양 전지(solar cell)와 축전장치 간의 역학 관계를 기반으로 하는 에너지 효율 강화를 목표로 함

2. 국내외 관련 기술 특허 동향

○ 선행 특허기술을 조사하기 위해 낮은 조명 시스템, 야간 악천후 대응 기술, 태양광, 신재생 에너지 독립형 저장 장치와 관련하여 키워드를 도출하였으며, 최종 검색식을 사용하여 분석함

○ 특허 검색 툴은 국토교통기술 정보 사이트 및 WISDOMAIN을 사용했으며, 국내, 일본, 미국, 유럽에서 1975년 이후에 등록, 공개된 특허를 대상으로 동향을 분석함

<검색 key word>

대분류	Key Word
낮은 조명 시스템	낮은, 라인, 조명, 시스템, LED low beam, line beam, light, system, LED
야간 악천후 대응 기술	야간, 악천후, 안개, 시인성, LED night, inclement weather, fog, visibility, LED
태양광, 신재생 에너지 독립형 저장 장치	태양광, 신재생, 독립형, 자립형, 저장, 배터리 solar, renewable, independent, self-sufficient, storage, battery

<검색식>

대분류	검색식	한국	미국	일본	유럽
낮은 조명 시스템	(낮은 or 라인) and 조명 and 시스템 and LED	103	347	70	254
	(low beam or line beam) and light and system and LED				
야간 악천후 대응 기술	(야간 or 악천후 or 안개) and 시인성 and LED	67	89	31	49
	(night or inclement weather or fog) and visibility and LED				
태양광, 신재생 에너지 독립형 저장 장치	(태양광 or 신재생) and (독립형 or 자립형) and (저장 or 배터리)	38	436	473	0
	(solar or renewable) and (independent or self-sufficient) and (storage or battery)				

<국내 주요 특허>

등록번호	발명의 명칭	특허권자	주요내용
KR1098264B1	도로용 엘이디 조명시스템	권영현	o 정형화 되는 엘이디셀의 조합으로 이루어진 광원에 의해 일정조도를 형성토록 설치되는 단위하우징을 지면의 일정높이에서 설치되는 본체하우징에 연결수단을 통하여 다단 조립토록 하는 구성의 시스템
KR1065709B1	조명 제어 방법, 조명 장치 및 조명 시스템	엘지전자	o 조명 장치, 조명 시스템 및 조명 제어 방법
KR1315178B1	엘이디 조명 제어 시스템 및 방법	(주)싱크펄스	o 센서에서 센싱된 신호로부터 점등 또는 점멸 상태를 판단하고, 그에 따라 LED의 조도를 제어하는 조명 장치 및 시스템
KR1192580B1	전원공급장치 및 디밍제어장치를 이용하여 다수의 LED 모듈을 제어하는 LED 조명 디밍제어시스템	(주)에디슨솔라이텍	o 하나의 전원공급장치와 디밍 제어부를 사용하여 다수의 LED 모듈들을 제어하도록 하는 LED 조명 디밍제어시스템 장치
KR1462645B1	스마트 드라이버를 이용한 LED 시스템 조명장치	(주)소룩스	o 주변환경에 따라 자동으로 또는 사용자의 조작에 따라 색온도와 밝기를 조절할 수 있는 시스템 조명장치
KR0805684B1	기상에 따라 휘도 및 색상이 가변되는 엘이디 전광판	(주)한일디스플레이	o 조도센서 외에 별도의 안개센서를 구비하여 안개 발생으로 인한 조도 감소시 휘도를 높이고 문자 색상을 변경하여 전광판 시인성이 향상되도록 제어되는 엘이디 전광판
KR0528439B1	지능형 엘이디 교통신호등 제어장치	(주)엠아이티엔터프라이스	o 신호등 광 표출장치의 표출 광도를 광도 및 기후환경에 따라 자동조절이 가능한 제어 장치
KR1514642B1	환경에 따라 색온도 가변수단을 갖는 엘이디 등기구	(주)서경라이텍	o 엘이디 등기구에 포그센서 및 습도센서와 조도센서로 구성되는 센서부를 형성하고, 이를 통해 색온도 조절이 가능한 등기구
KR0805684B1	기상에 따라 휘도 및 색상이 가변되는 엘이디 전광판	(주)한일디스플레이	o 조도센서 외에 별도의 안개센서를 구비하여 안개 발생으로 인한 조도 감소시 휘도를 높이고 문자 색상을 변경하여 전광판 시인성이 향상되도록 제어되는 엘이디 전광판
KR0528439B1	지능형 엘이디 교통신호등 제어장치	(주)엠아이티엔터프라이스	o 신호등 광 표출장치의 표출 광도를 광도 및 기후환경에 따라 자동조절이 가능한 제어 장치
KR1514642B1	환경에 따라 색온도 가변수단을 갖는 엘이디 등기구	(주)서경라이텍	o 엘이디 등기구에 포그센서 및 습도센서와 조도센서로 구성되는 센서부를 형성하고, 이를 통해 색온도 조절이 가능한 등기구

<국외 주요 특허>

등록번호	발명의 명칭	특허권자	주요내용
US8434898	Modular light arrays	Nila Inc.	o 모듈러 조명 어레이 장치의 네트워크와 제어 방법
US7566155	LED light system	Koninklijke Philips Electronics N.V.	o 휘도 패턴을 생성하는 배열로 구성된 LED light system
US9125267	LED arrayuminaires with max power applied to LEDs based on the lighting requirements for the LED in a dynamic lighting plan	Kubis, Frantisek	o 온도와 LED전력과의 관계 모니터링을 통해 색온도 감소, 빛유출 감소, 빔각도 제어 방법
US7692535	Lighting control system for control dependent on weather condition	DENSO Coporation	o 기상 조건 및 정도에 따라 차량의 조명 시스템을 제어하는 방법
US8643287	Lighting device with switchable day/night illumination mode	National Tsing Hua University	o 주간/야간 조명 모드를 가진 조명장치
US8963518	Device for distributed maximum power tracking for solar arrays	Tigo Energy, Inc.	o 각각의 셀 또는 셀 어레이의 최대 허용 전력을 생산하고, DC/DC 컨버터에 의해 변환된 태양 전지에서 전력을 공급하기 위한 시스템
US8352084	Renewable electricity generation system, electric power measurement device and method	Hitachi, Ltd.	o 태양전지 패널의 전력량을 측정하여 전력 컨버터의 출력을 제어하는 방법

○ 국내외 특허 분석결과, LED 조명 장치의 시스템 및 제어방법, 주변 환경에 색온도·밝기 조절이 가능한 조명장치, 태양광 발전시스템에 대한 특허가 대다수이고, 본 연구를 통해 개발하려는 낮은·라인 조명, 하이브리드 형태의 태양광 축전시스템에 관한 특허는 매우 제한적으로 등록된 실정임

3. 국내외 시장분석 및 사업화 전망

○ LED 가로등 시장 분야

- 각국의 고효율 및 그린 에너지 정책에 따른 적극적인 LED 조명 도입 · 확산 정책(표 *)과 LED 조명의 기술적 안정화로 인해 LED 가로등 시장 규모는 급속도로 확대될 것으로 전망

· 미국은 2013년 이후 33만여개의 고속도로 가로등 교체 계획 수립 및 시행, 중국은 2012년 이후 약 51만여개 설치 및 교체 진행, 브라질은 세계 최대 규모 LED 공공조명 입찰을 통해 5년 내 62만 개의 가로등의 광원을 LED 전구로 교체, 7.6만개의 장소에 중앙원격조정시스템을 기반으로 하는 공공조명을 신규 설치를 계획(KOTRA 해외비지니스정보포털)

· 국내의 경우 2013년 신규 착공 고속도로의 가로등(3,000등)과 터널등(34,000등)의 약 30%(각각 900등 및 12,000등)를 LED 조명으로 설치 예정, 고속도로 LED 조명 시장 태동

<국가별 조명 관련 세부 정책>

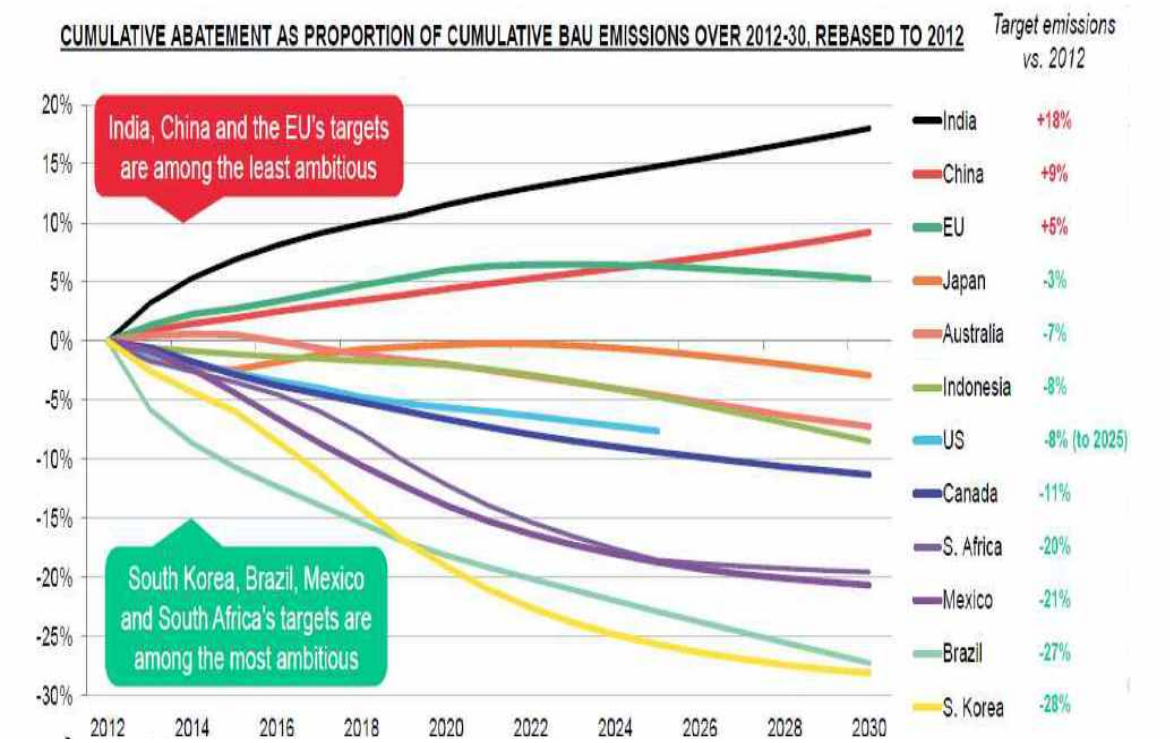
국가명	세부 정책 내용
미국	▪ LED 조명 관련 법안 제정 - Next Generation Lighting Initiative(Vision 2020), ▪ 에너지독립안보법(Energy Independence and Security Act) ▪ LED 연구개발, 상용화·표준화 지원 등 포괄적 육성전략 추진
중국	▪ 반도체 조명산업 기술개발 중점 프로젝트 - 7개 지역을 반도체조명 산업화 발전기지로 선정 ▪ LED 핵심기술, 주요 설비 및 응용분야 기술 향상 ▪ 시범도시 가로등을 LED 조명으로 대체
일본	▪ 'Eco-Point' 제도 도입을 통한 LED 조명 보급 초진 - 친환경제춤 구매시 포인트 적립 및 활용 ▪ 지자체별 다양한 에너지절약방안(환경세 감면 등) 지원
대만	▪ 범국가적으로 백열등을 LED 조명으로 교체 - '12년 총 5개년 계획으로 실시(585 백열등 교체계획)
한국	▪ 'LED 조명 2060 계획'을 통해 다중이용 시설(가로등, 고속도로 터널 등)에 LED 조명 보급을 추진

○ 태양광 발전 시장 동향

- 新기후변화체제 출범으로 세계 신재생에너지산업의 성장성에 대한 기대감이 고조, 이중 태양광 발전은 풍력 대비 풍부한 자원, 높은 공간활용도 및 일반소비자의 접근 용이성, 지속적 발전단가 하락 등으로 신재생에너지 원 중 가장 각광, 독립형(Off-Grid) 태양광 발전시스템은 전체 시장의 30% 이상 점유 지속

- 파리기후변화협약에 제출한 주요국들의 감축안 중 우리나라의 2012년 대비 온실가스 감축량이 최고 수준

  - 국내 온실가스 배출량은 6.2억 톤으로 세계 7위를 차지하고 있으며, 1인당 배출량 기준으로는 12.5톤에 달해 세계 5위권 수준
  - 우리나라는 2012년 대비 27% 감축 예정이며, 주요 OECD 국가들 중 목표치가 가장 높은 수준



<2012년 대비 2030년 배출 증감량(주요국 자발적 온실가스 배출 기준)>

(출처 : New Energy Finance)

4. 종합결론

<SWOT 분석결과>

외부환경분석 \ 내부환경분석		강점(S)	약점(W)
		1) 개발기술 관련 지식재산권 보유 2) 유사분야 관련 다수의 연구수행 경험	1) 국제표준에 준하는 규격 및 인증에 어려움 예상 2) 장기적인 성능 검증 필요
기회(O)	1) 왕복2,4차로 구간 대상, 조명 미설치구간 비율 80%이상 2) 야간 안개로 인한 사고 심각도는 타 기상 조건시보다 심각 3) 에너지, 환경 문제가 세계적으로 가장 주요한 이슈로 부각	우선수행과제(S-O[강점-기회] 전략) ◦야간 악천후 조건별 대응 기술 개발 ◦신재생 에너지를 활용한 자체 에너지 생산 기술 적용	우선보완과제(O-W전략) ◦중장기적 개발로 국제적 표준화 확보 전략 요구 ◦극한 환경 및 가속 실내 실험을 통한 성능검증
위기(T)	1) 상용화시까지의 각종 성능인증 및 공인기관 시험절차 확보 요구됨	RISK포함과제(S-T전략) ◦기준 현실화 측면의 평가체계 및 표준지침 개정으로 기술 선도 ◦주문생산에 따른 재원 조달 위한 전략 요구됨	장기보완과제(W-T전략) ◦성능평가 시간 대폭단축 필요

제3장 연구 수행 내용 및 성과

구분	핵심성과	단위성과	세부 연구 목표	달성도 (%)
1	낮은조명기술	광학부 및 배광 최적화 설계	◦ 광학부 및 배광 최적화 설계 - 시뮬레이션 평가	100
2			◦ 광학부 및 배광 최적화 설계 - 배광 측정	100
3		외함 및 취부구조 설계	◦ 외함 및 취부구조 설계 - 안전(절연, 보호 내열 점등 등) 설계	100
4			◦ 외함 및 취부구조 설계 - 내구성(IP65, 진동, 내식성) 설계	100
5		디밍 조명 모듈 개발	◦ 색조절 디밍 조명 모듈 개발	100
6	악천후 대응 기술	악천후(안개) 조건별 시인성능 정의	◦ 악천후 조건별 시인성능 정의 - 목표 시인성능 정의	100
7		광조건 제어 모듈 및 알고리즘 개발	◦ 광조건 제어 모듈 및 알고리즘 개발 - 알고리즘 판단 정확도	100
8	에너지자립형 전력공급 기술	전력 공급 효율화 최적화 기술 개발	◦ 전력 공급 효율화 최적화 기술 개발 - 국내 기후 기준 최전화 전력 공급 시스템 구성 개발	100
9			◦ 전력 공급 효율화 최적화 기술 개발 - 극한 기후 기준 최적화 전력 공급 시스템 구성 개발	100
10		배터리 장수명 확보 기술 개발	◦ 배터리 장수명 확보 기술 개발 - 국내 환경 기준 장수명 시스템 개발	100
11			◦ 배터리 장수명 확보 기술 개발 - 극한 기후(고온,저온) 장수명 시스템 개발	100
12		시스템 제어 알고리즘 개발	◦ 시스템 제어 알고리즘 개발 - 전력 공급 제어 알고리즘	100
13			◦ 시스템 제어 알고리즘 개발 - 배터리 제어 알고리즘	100
14			◦ 시스템 제어 알고리즘 개발 - 충전 효율 제어 알고리즘	100

구분	핵심성과	단위성과	세부 연구 목표	달성도 (%)
15	Spot Type 낮은조명 기술 개발	Spot type 낮은 조명 설계	◦ Spot Type 낮은조명 안개 및 우천시 오프로드 성능 평가	100
16		시작품 제작	◦ 시작품 제작	100
17	Line Type 낮은조명 기술 개발	Line type 낮은 조명 설계	◦ Line Tyepe 낮은 조명 시뮬레이션 평가	100
18			◦ Line Type 낮은 조명 단위 모듈별 H/W 개발	100
19			◦ Line Type 도로 조명 광학 성능 평가`	100
20		시작품 제작	◦ Line Type 낮은조명 - 안개 및 우천시 오프로드 성능평가	100
21			◦ Line Type 낮은조명 - 시작품 제작	100
22	전력 공급 시스템 개발	태양광 발전 충방전 기술 개발	◦ 제어시스템 개발	100
23	온로드 테스트 베드 구축	온로드 테스트 베드 구축	◦ Spot type 현장 설치	100
24			◦ Line type 현장 설치	100
25	실용화 (계약, 설치)	공인시험성적서 확보	◦ Spot Type 공인시험성적서	100
26			◦ Line Type 공인시험성적서	100
27		편익/효과분석	◦ Spot Type 편익/효과 분석	100
28			◦ Line Type 편익/효과 분석	100
29		다매체 활용 기술 홍보	◦ 홍보 건 수	100
30		기술 사업화	◦ 기술실시	50

▣ 1. 광학부 및 배광 최적화 설계 - 시뮬레이션 측정

○ [연구 목표치]

- 도로조명기준(M3 등급)을 만족하는 낮은 조명 개발
- 도로조명기준(KS A 3701)

도로조명 등급	평균노면휘도	노면상태(최소허용치)		
		건조한노면		젖은노면
	Lavg(cd/㎡)	종합균제도(Uo)	차선축균제도(UI)	종합균제도(Uo)
		Lmin/Lavg	Lmin/Lmax	Lmin/Lavg
M1	2	0.4	0.7	0.15
M2	1.5	0.4	0.7	
M3	1	0.4	0.6	
M4	0.75	0.4	0.6	
M5	0.5	0.35	0.4	

○ [측정 내용]

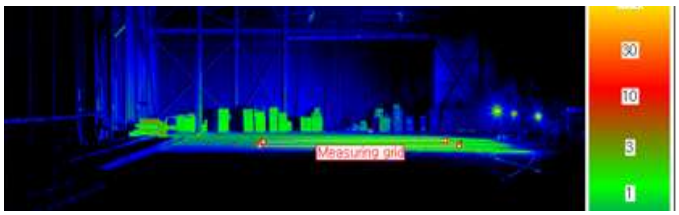
- LMK5(Luminance Measuring Kamera)를 이용한 휘도 측정

○ [연구 결과]

- "KS A 3701 도로조명기준"의 M3 도로조명 휘도 기준 만족(측정:한국광기술원 LED실증센터)

[시작품 배광 측정]

구 분	연 구 결 과
시작품 배광 측정	▪ 평균휘도, 종합균제도, 차선축 균제도 등을 분석하여 해당시작품의 도로조명등급 도출



▪ 시작품 배광 측정 결과는 아래 표와 같음(측정:한국광기술원 LED실증센터)

	PT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	L_Max	L_Min	평균노면휘도	차선축균제도	종합균제도
1차선	6	0.47	0.49	0.50	0.49	0.51	0.54	0.58	0.61	0.62	0.59	0.62	0.47	1.11	0.77	0.43
	5	0.64	0.67	0.67	0.68	0.72	0.76	0.79	0.78	0.76	0.75	0.79	0.64		0.81	
	4	0.80	0.89	0.88	0.88	0.93	1.01	1.02	0.98	0.93	0.93	1.02	0.80		0.79	
	3	1.07	1.16	1.17	1.23	1.33	1.33	1.20	1.16	1.15	1.14	1.33	1.07		0.81	
	2	1.34	1.53	1.65	1.85	1.83	1.67	1.51	1.43	1.36	1.30	1.85	1.30		0.70	
	1	1.52	2.25	2.23	2.23	2.17	1.93	1.57	1.29	1.17	1.07	2.25	1.07		0.48	

	PT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	L_Max	L_Min	평균노면휘도	차선축균제도	종합균제도
2차선	6	0.49	0.50	0.52	0.52	0.51	0.55	0.58	0.63	0.65	0.64	0.65	0.49	1.16	0.75	0.42
	5	0.65	0.70	0.72	0.71	0.74	0.79	0.83	0.84	0.82	0.80	0.84	0.65		0.78	
	4	0.83	0.93	0.94	0.92	0.96	1.07	1.09	1.06	0.99	0.97	1.09	0.83		0.76	
	3	1.11	1.21	1.23	1.26	1.40	1.43	1.30	1.22	1.20	1.17	1.43	1.11		0.78	
	2	1.39	1.56	1.75	1.92	1.86	1.75	1.61	1.49	1.41	1.35	1.92	1.35		0.70	
	1	1.65	2.25	2.27	2.26	2.24	1.99	1.63	1.35	1.20	1.10	2.27	1.10		0.49	

▪ 본 조명은 최대 6m 간격으로 설치하여도 "KS A 3701 도로조명기준"에 의한 M3 도로 조명의 휘도 기준을 만족함

▪ 향후 대향차선으로의 누설광 정밀제어 및 조명효율 향상을 위한 광학설계, 차선폭/설치간격에 대응하는 다양한 제품 라인업 등을 통하여 공공조명 시장에서의 상품성 및 경쟁력 있도록 보완할 계획임

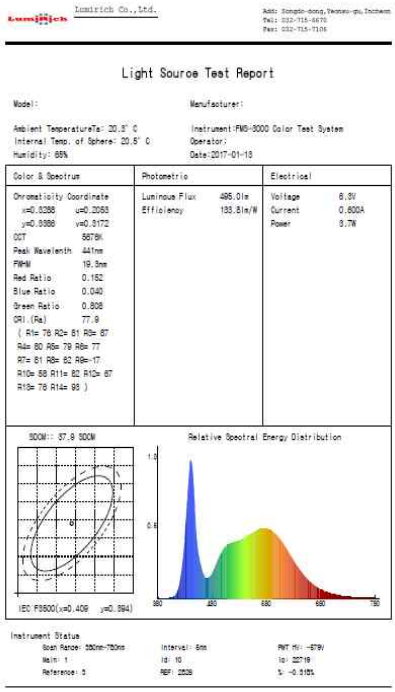
▣ 2. 광학부 및 배광 최적화 설계 - 배광 측정

○ [연구 목표치]
- 광 효율 130lm/W 이상

○ [측정 내용]
- 개발한 시작품을 적분구를 이용하여 측정하여 광효율 측정 후 향후 개발방향 논의

○ [연구 결과]
- 단위 모듈의 광효율 측정 결과 : 133.8 lm/W

[적분구 광효율 측정]

구 분	연 구 결 과
모듈 광효율 측정	▪ 낮은조명 시작품 모듈의 광효율 측정 ▪ 시작품 광모듈 사진 ▪ 측정 결과는 아래 표와 같음(측정: 루미리치 보유 적분구) 

Lumirich Co.,Ltd.

Add: Songdo-dong,Yeonsu-gu,Incheon
Tel: 032-715-6670
Fax: 032-715-7106

Light Source Test Report

Model:

Manufacturer:

Ambient Temperature(Ta): 20.3° C
Internal Temp. of Sphere: 20.5° C
Humidity: 65%

Instrument:PMS-3000 Color Test System
Operator:
Date:2017-01-13

Color & Spectrum		Photometric		Electrical	
Chromaticity Coordinate		Luminous Flux	495.0lm	Voltage	6.3V
x=0.3286	u=0.2053	Efficiency	133.8lm/W	Current	0.600A
y=0.3386	v=0.3172			Power	3.7W
CCT	5673K				
Peak Wavelenth	441nm				
FWHM	19.3nm				
Red Ratio	0.152				
Blue Ratio	0.040				
Green Ratio	0.808				
CRI (Ra)	77.9				
(R1= 76 R2= 81 R3= 67					
R4= 80 R5= 79 R6= 77					
R7= 81 R8= 82 R9=-17					
R10= 58 R11= 82 R12= 67					
R13= 78 R14= 95)					

SDCM:: 37.8 SDCM

(IEC F3500(x=0.409 y=0.394)

Relative Spectral Energy Distribution

Instrument Status
Scan Range: 380nm-780nm
Main: 1
Reference: 3
Interval: 5nm
Id: 10
REF: 2526
PMT (%): -67%V
Io: 22719
%: -0.518%

Photometric		Electrical	
Luminous Flux	495.0lm	Voltage	6.3V
Efficiency	133.8lm/W	Current	0.600A
		Power	3.7W

▣ 3. 외함 및 취부구조 설계 - 안전(절연, 보호, 내열, 점등 등)설계

○ [연구 목표치]
- 안전(절연, 보호, 내열, 점등 등)설계, KS C 7658 기준 만족

○ [연구 내용]
- 개발한 시작품에 대하여 규격에 따른 검토 진행 및 향후 개발방향 논의

○ [연구 결과]
- 각 항목 검토결과, 규격에 만족

[설계 규격 및 결과]

구 분		규격 내용	연 구 결 과
안전 KS C 7658	절연	▪ 절연저항 500V의 직류 전압을 1분간 적용 후 측정(KS C IEC 60598-1의 10.2)	▪ 등기구는 PC로 전면이 구성되어 있고 금속 부분 없음 ▪ 상용전원 구동시에는 절연 컨버터를 사용하고 출력DC가 SELV임 ▪ 규격의 절연특성을 만족함.
	보호	▪ 등기구의 감전에 대한 보호장치의 요구사항을 규정 ▪ 전도성이 있는 부분이 감전을 일으킬 수 있는 전기가 통하는 부분인지 판단하는 시험 (KS C IEC 60598-1의 8절)	▪ 등기구는 전체가 PC로 구성되어 있어서 감전에 대하여 보호됨.
	내열	▪ 75±2℃ 수평면 지름5mm인 강 철공이 이 면을 20N의 힘으로 누르게 한다. 1시간 후 강 철공 제거 후 물로 10초간 담가서 냉각 후 자국 지름을 측정하여 2mm를 넘어서는 안 된다. (KS C IEC 60598-1의 13.2)	▪ 기존 직관램프와 동일한 평가규격으로서 직관램프와 동일한 PC소재로서 두께가 2.5mm로 증가함으로써 강성이 증가하였고 내열성 만족
	점등	▪ 30℃ 와 70℃에서 미점등 상태로 각각 1시간 동안 방치한 후, 정격전압 92%와 106%에서 점등(KS C 7658 7.2)	▪ LED와 PC, 알루미늄 압출물, Metal PCB로 구성되어 있어서 재료 및 기존 제품들의 성능으로 점등 조건 만족

▣ 4. 외함 및 취부구조 설계 - 내구성(IP65, 진동, 내식성)설계

○ [연구 목표치]
- KS C IEC 60598-1 4.13,4.20, 한국도로공사표준 7.3.5 만족

○ [연구 내용]
- 개발한 시작품에 대하여 규격에 따른 검토 진행 및 향후 개발방향 논의

○ [연구 결과]
- 각 항목 검토결과, 규격에 만족

[설계 규격 및 결과]

구 분		규격 내용	연 구 결 과
내구성 KS C IEC 60598-1 4.13, 4.20 한국도로공사 표준7.3.5	IP65	▪ IP65	▪ 등기구는 PC압출물로 구성되고 좌우측에 방수형 실리콘 실링이 들어간 막음과 전선입력부분은 GLAND CABLE로 처리되어 IP65를 만족하는 구조를 가짐
	진동	▪ 기간 : 30분 ▪ 진폭 : 0.35㎜ ▪ 주파수 범위 : 10Hz, 55Hz, 10 Hz ▪ 일소 비율 : 약1분당 1옥타브 (KS C IEC 60598-1 4.20)	▪ 등기구 내부에 모듈은 브라켓으로 AL FRAME에 나사로 고정되어 있고 전선은 모듈에서 POKE CNT를 사용하여 PCB에 POKE CNT로 연결되어 있으며 진동에 대비하여 전선 중간부는 실리콘으로 고정되어 있어 규격 만족
	내식성	▪ 15~35℃ 염용액을 2시간 분무한 후 온도 40±2℃, 상대습도 90~95%에서 20~22시간 방치한느것을 1사이클 3사이클 수행후 등기구 표면에 이상이 없어야함 ▪ 염용액의 농도는 5±1%로 하고 pH 값은 수온 20±2℃에서 6.5~7.2로 시험	▪ 등기구 함체가 폴리카보네이트로 구성되어 염수에 강하며 규격조건 만족

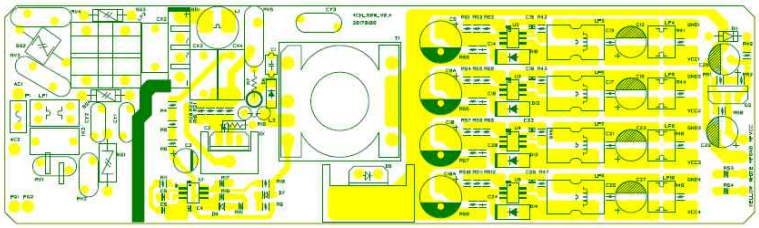
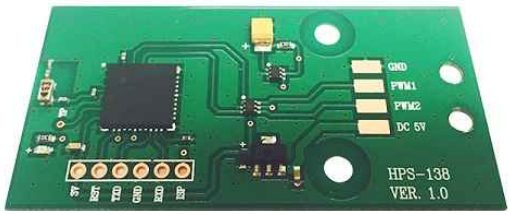
▣ 5. 디밍 조명 모듈 개발 - 색조절 디밍 모듈

○ [연구 목표치]
- 디밍 컨버터 : 통신대응, WHITE와 AMBER색상을 별도 구동 및 디밍 가능하도록 개발
- 통신 모듈 : 도로설치간격 MAX. 10m 기준으로 정상 작동하도록 개발

○ [연구 내용]
- 개발한 시작품에 대하여 white 및 amber 개별 구동 및 디밍 검토 진행 및 향후 개발방향 논의

○ [연구 결과]
- 각 항목 검토결과, 연구목표에 만족함

[색조절 디밍 모듈 컨버터 및 통신 모듈 연구결과]

구 분	연 구 결 과
색조절 및 디밍	▪ 디밍 컨버터 및 통신모듈 ▪ 디밍 컨버터 색조절 구동 확인 - 중앙관제모듈에서 WHITE On시, Amber on시 실험용 3개 등기구는 지연없이 동시 명령에 따라 동작 ▪ 디밍 구동 확인 - 디밍은 각 색상별로 0~100%까지 총 8단계로 디밍 동작  <디밍 컨버터> ▪ 통신 모듈 동작 거리 확인 - 10m 간격으로 일직선상에 있는 3개 조명에서 1번 조명에 전원 ON/OFF, 디밍, WHITE점등, AMBER점등을 무선 지령시 2번 및 3번 조명이 지연 없이 (0.3sec 미만)동시 동작함 확인  [통신모듈 크기: 60mm x 30mm x 3mm] RF 2.4GHz

▣ 6. 악천후 조건별(안개) 시인성능 정의 - 목표 시인성능 정의

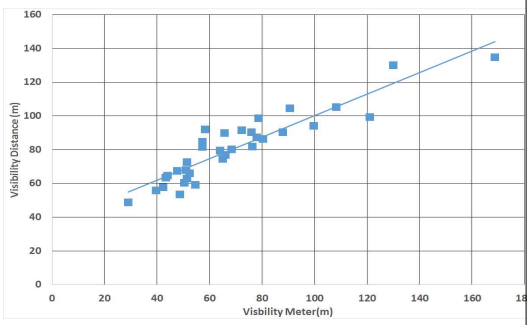
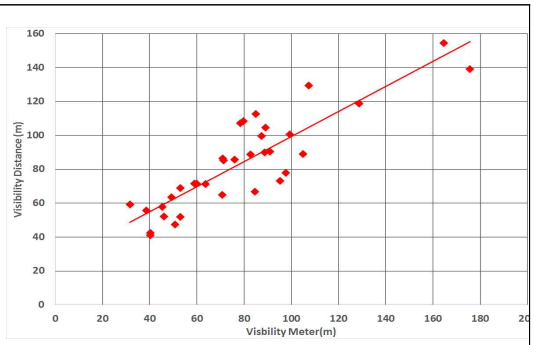
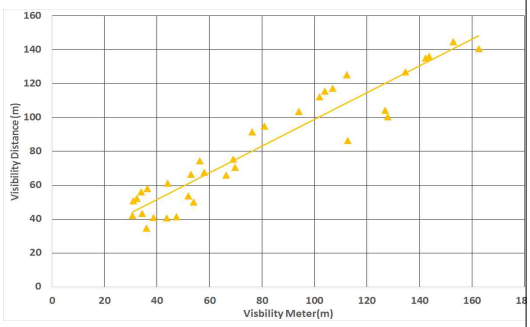
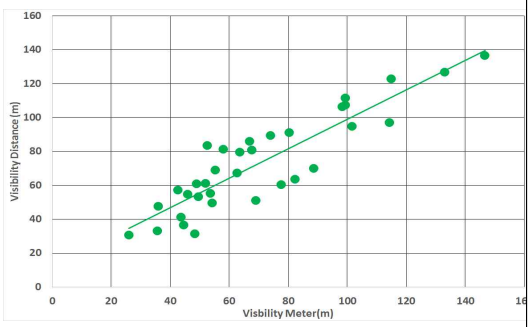
○ [연구 목표치]
- 안개 상황 및 조명 색온도 조건에 따른 최대 시인거리 도출 및 색온도와 시인거리와의 관계 규명, 개발품의 목표 시인성능 정의

○ [연구 내용]
- 실 도로구간 안개모사 환경 구현 국·내외 최대 규모 실험 수행
- 도로조명 색온도 및 안개농도 별 피험자 장애물 시인거리 분석을 통해 운전자의 최대 시인 거리 및 최적 시인성 확보가 가능한 조명 색온도 도출

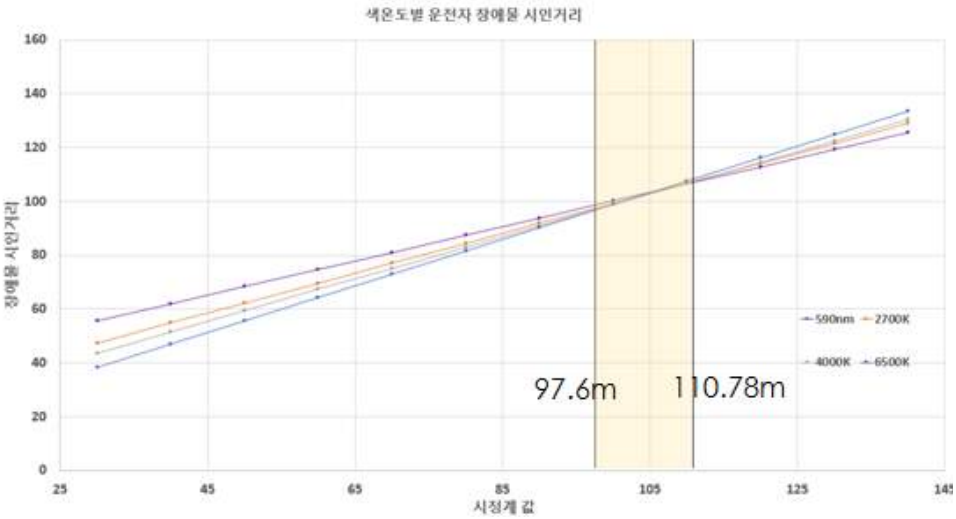
○ [연구 결과]
- 실증 실험을 통해 도출 된 시정거리와 도로조명 색온도에 따른 최대 시인거리를 개발품의 목표 시인성능으로 정의

[시정거리, 조명 색온도와 시인성과의 관계 규명 현장 실증 실험]

구 분	연 구 결 과
시인거리와 시정거리 관계	▪ 실 도로구간 안개 환경 재현(시정거리 20~200m) ▪ 조명 조건 : 색온도 4단계(590nm, 2700K, 4000K, 6500K) ▪ 피험자 수 : 약 120명 ▪ 실험 방법 : 안개 및 조명조건별 전방 피사체(정방형 150cm) 인식 거리 측정 ▪ 시인거리와 시정거리 관계 규명 - 시정거리와 시인거리는 강한 상관관계가 있음 - 색온도 높을수록 급격한 기울기 - 안개농도가 짙어 시정거리가 짧은 도로 상황에서는 낮은 조명 색온도가 운전자의 안전에 유리 - 안개상황 시 도로조명의 색온도가 운전자의 시인성에 영향을 미침

구 분	연 구 결 과
시인거리와 시정거리 관계	 (a) Color Temperature 590nm  (b) Color Temperature 2700K  (c) Color Temperature 4000K  (d) Color Temperature 6500K - 시정거리(시정계 계측 값)와 시인거리와의 관계는 색온도별로 다음과 같음 $D = 0.6367x + 36.497(C_K = 590nm),\ R^2 = 0.8423$ $D = 0.7416x + 25.146(C_K = 2700K),\ R^2 = 0.7714$ $D = 0.7877x + 19.931(C_K = 4000K),\ R^2 = 0.9013$ $D = 0.8681x + 12.184(C_K = 6500K),\ R^2 = 0.799$ [D : 시인거리(Visibility Distance), x : 시정거리(시정계 계측 값)]

구 분	연 구 결 과
안개농도 및 색온도 별 운전자 시인거리 변화	▪ 시정값(안개농도)에 따른 색온도 별 운전자 시인거리 - 시인거리의 변화가 생기는 시정 값 구간은 97.6m~ 110.8m - 시정거리 97.6m 이하에서는 색온도가 낮을수록, 110.78m 이상에서는 색온도가 높을수록 운전자의 시인성에 유리 - 시정거리 변화에 따른 적절한 색온도 운영이 필요



▪ 본 분석 결과는 색온도 별로 수행된 실험의 평균 값으로, 향후 개발 제품은 각 시정거리별 최대값을 성능 목표로 함

: Max 값 : Min 값 Unit : m

시정거리	590nm	2700K	4000K	6500K	Max-Min, Max/Min	
					m	Ratio
30m	55,59	47,39	43,59	38,22	17.37	145.4%
40m	61,96	54,81	51,47	46,90	15.06	132.1%
50m	68,33	62,22	59,36	55,58	12.75	122.9%
60m	74,69	69,64	67,25	64,27	10.42	116.2%
70m	81,06	77,06	75,14	72,95	8.11	111.1%
80m	87,43	84,47	83,02	81,63	5.8	107.1%
90m	93,80	91,89	90,91	90,31	3.49	103.9%
100m	100,16	99,30	98,80	98,99	1.36	101.2%
110m	106,53	106,72	106,68	107,67	1.14	98.9%
120m	112,90	114,14	114,57	116,356	3.456	97.0%
130m	119,26	121,55	122,46	125,037	5.77	95.4%
140m	125,63	128,97	130,34	133,71	8.08	94.0%

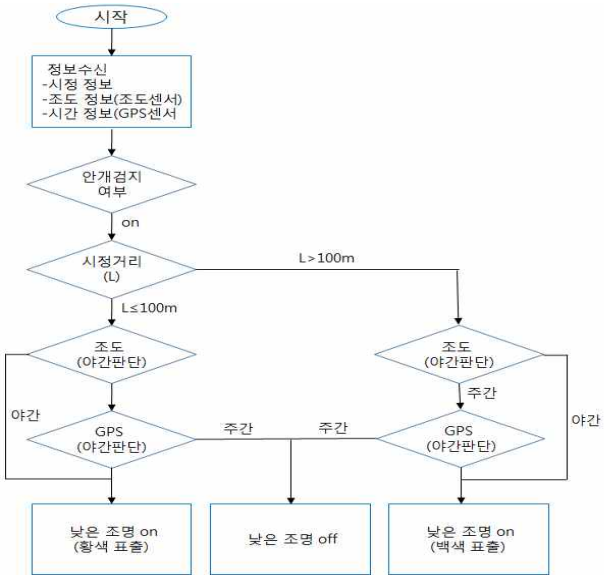
▣ 7. 광조건 제어 모듈 및 알고리즘 개발 - 알고리즘 판단 정확도

○ [연구 목표치]
- 알고리즘 판단 95% 이상

○ [연구 내용]
- 안개 도로구간의 조명의 제어를 위한 알고리즘의 개발

○ [연구 결과]
- 안개 농도별 색온도 조절, 조도 및 GPS 기반 조명 on/off 알고리즘 개발
- 알고리즘 판단 정확도 100%

[광조건 제어 알고리즘]

구 분	연 구 결 과
광조건 제어 알고리즘	▪ 도로 측면에 설치된 낮은 조명과 시정계가 시스템 제어기에 연결되고 안개 농도, 조도, GPS 센서에 의하여 자동으로 점등 및 소등, 조명 색온도가 조절되도록 작동  ▪ 해당 알고리즘 기반 프로그램 제작 후 자체 테스트 결과로 알고리즘 판단 정확도 100% 달성

회차	판단결과
1	S
2	S
3	S
⋮	S
1,000	S
판단 정확도	100%

주) S: 성공, F : 실패

▣ 8. 전력 공급 효율 최적화 기술 개발 - 국내 기후 기준 최적 전력 공급 시스템 구성

○ [연구 목표치]
- 국내 기후 특성을 고려한 태양광 기반 최적 전력 공급 시스템 개발 : 부조일 7일 이상

○ [연구 내용]
- 국내 기후 환경 분석 및 최적 전력 공급 시스템 설계 및 구성 기술 개발

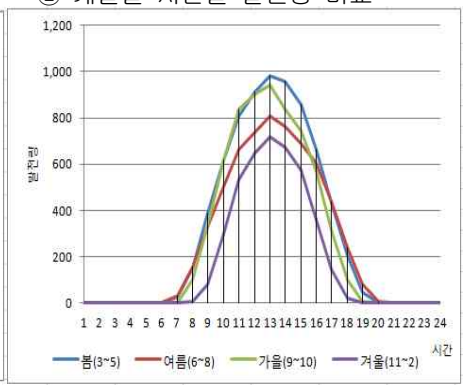
○ [연구 결과]
- 국내 태양광 발전 현황 분석을 근거로 태양광 전력공급 시스템 구성의 주요 기준 검토 및 재도출
- 도출 기준에 근거한 운영 정책 수립 및 구성 기술 개발
- 커패시터와 화학전지로 구성된 하이브리드 배터리시스템, 태양전지 최적 운영 계획, 고 효율 운영 시스템 개발로 부조일 7일 대응 가능성 확보

구 분	연 구 결 과
국내 태양광 발전 현상 분석	▪ 국내 태양광 발전 현황 검토를 통한 태양광 관련 기준의 재 도출 : 국내 6개 태양광 발전 시설의 연간 발전 자료 분석

구분	검토 의견
태양광 발전율	- 일 평균 3.07배이나 1.5배로 적용 - 연 평균이 아닌 가장 열악한 11월평균 기준 적용 필요
일조 시간	- 전압과 전류 발생 현상을 기준으로 유효 일조시간 적용 필요 - 시간별 발전량을 기준으로 3단계 차등적용
부조일	- 시스템 안정성 확보를 위하여 부조일 기준 확인 및 세분 파악 - 태양전지 대비 발전율을 기준으로 1이하인 날을 부조일로 적용 - 부조일의 심도와 발생 간격을 고려
월별/계절별 발전량	- 봄-가을-여름-겨울 순 - 단순 평균 적용이 아닌 독립형 시스템의 특성을 감안하여 겨울(11월)을 기준으로 한 보수적 기준 적용 필요

① 월별 일 평균 발전 비율

② 계절별 시간별 발전량 비교



③ 일별 태양전자 발전비율

구분	태양전지 용량 대비 발전 배수				
	2배 초과	1배 초과	3/4배 초과	1/2배 초과	1/2배 이하
연평균	256.5	52	13	12.5	31
비율(%)	70.3	14.2	3.6	3.4	8.5
11월기준	11.8	4.8	2	1	10.5
비율(%)	39.3	16.0	6.7	3.3	35.0

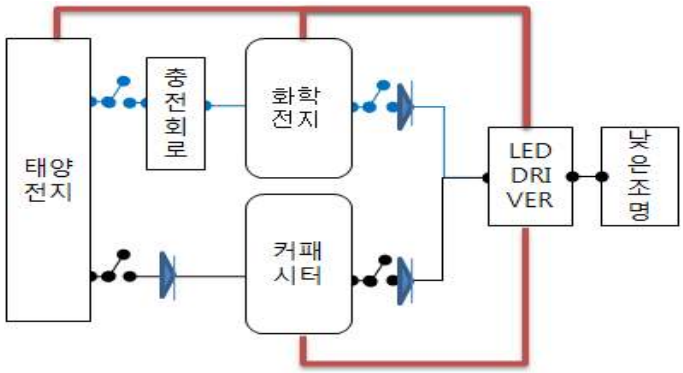
- 국내 평균 5일 수준 부조일이 발생하며, 최장 7일 발생(2014년11월,태안)

구 분	연 구 결 과

최적화 기술 개발

▪ Hybrid Battery System의 설계

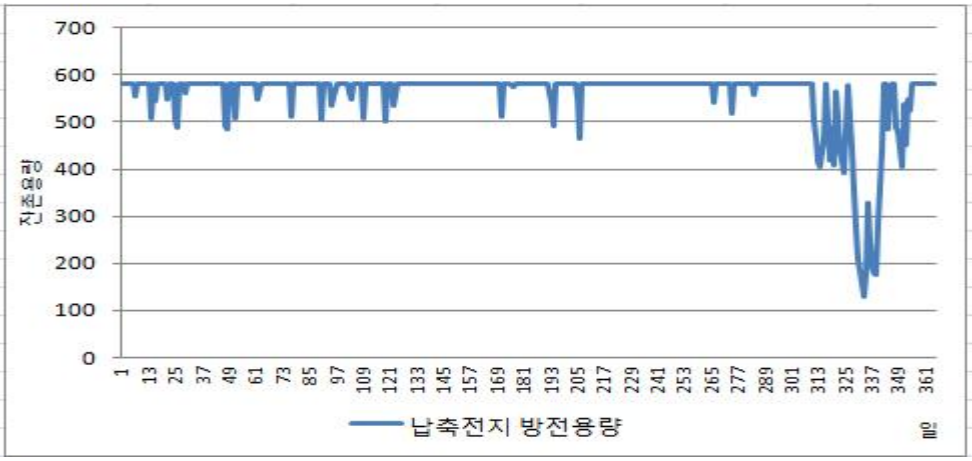
- 커패시터의 빠른 충전, 장 수명, 고 에너지 효율 등 장점을 최대한 적용하고 커패시터의 단점인 낮은 에너지밀도, 높은 자가 방전율을 화학전지를 통해 보완
- 전반적인 시스템 효율 향상과 부조일 대응력 강화 가능
- 커패시터와 호학전지의 배터리 운영 정책을 통한 화학전지 수명 연장
- 하이브리드 컨트롤러, BMS의 개발



- 시스템 구성 simulation

일 소비 전력	배터리		태양전지	
	Capacitor	Lead Acid	용량	기울기
100W	80W	50Ah	100W	60°

- simulation 결과
  * 커패시터의 주된 역할을 기반으로 화학전지의 예비 전력 기능 조합 시 부조일 7일 해결 가능성 확인
  * 태양전지 기울기는 겨울에 적합한 60° 적용이 유리



※ 1. Lead Acid 잔존 전류량
2. 국내 최장 부조일 발생(2014년 11월, 태안) 기록 적용 : 7일

구 분	연 구 결 과
최적화 기술 개발	

▪ 시스템 효율 강화 기술 적용

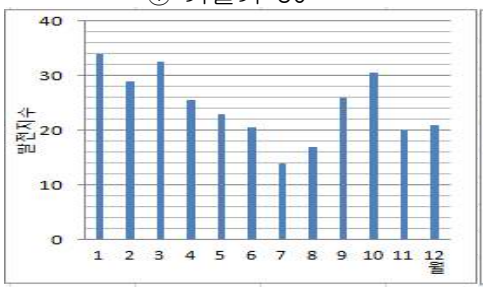
①태양전지 용량 산출 기준 및 기울기 설정

- 태양전지 발전율, 충전 효율, 에너지 효율 적용
- 배터리 복원력 고려

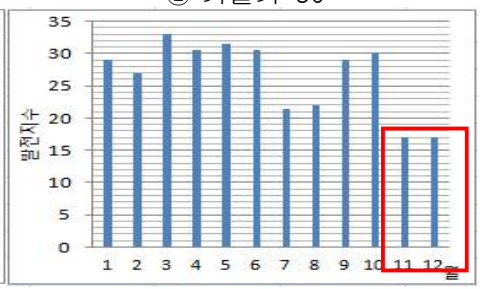
구분	일 소비전력	발전율 적용	충전효율 적용	에너지효율적용
납축전지	100W	66.7W	83.3W	111.1W
커패시터	100W	66.7W	70.2W	73.9W
비고		1.5적용	80%~95%적용	75%~95%적용

- 태양전지 기울기의 검토 : 상대적으로 취약한 시기인 겨울에 최적화된 기울기 50˚ ~ 60˚ 적용 유리

① 기울기 30°

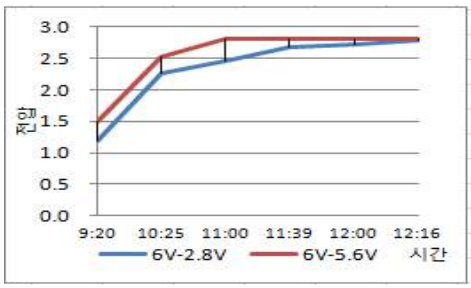


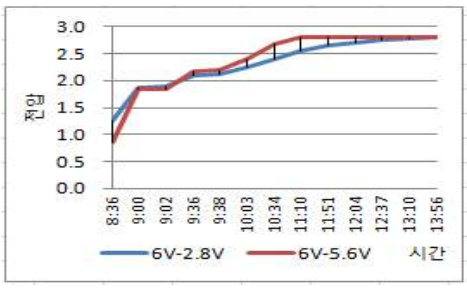
② 기울기 60°



②태양전지와 배터리시스템 간 최적 조합 도출

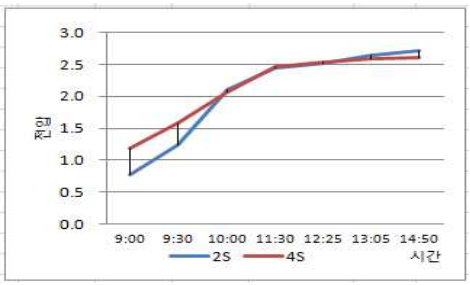
- 태양전지의 최대 출력 발생 시간을 최대 확보하기 위한 방안 연구
- 배터리모듈 전압*0.95 ≤ 태양전지 전압 ≤배터리모듈 전압

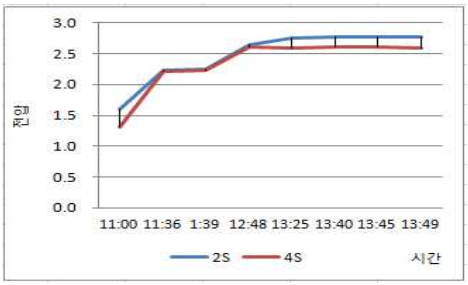


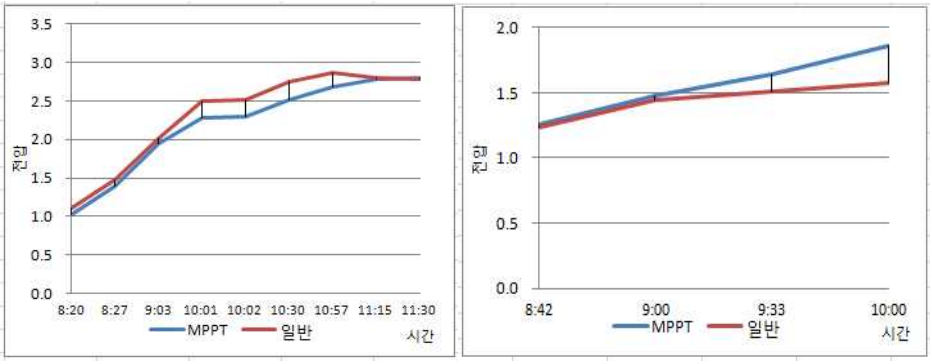


③Low-Voltage 운영 시스템의 적용

- 태양광 발전 과정에서의 전압형성과 전류형성 과정의 차별성 검토
- 전류 중심의 발전-충전 시스템 구성이 보다 안정적이고 효율 우수
- 일기 상황이 저조할 경우에도 발전-충전 효율 우수
- 실증 실험 진행 및 결과 확인





구 분	연 구 결 과
최적화 기술 개발	④Boosting 기반으로 DC-DC Driver 설계 - Low-Voltage 운영 시스템 강화를 위한 Boosting 기반 Driver 설계 - 태양전지와 배터리 모듈간의 최적 조합 구성에도 유리 ⑤충전제어 시스템의 개발 및 적용 - 커패시터 배터리 시스템의 경우 양호한 기상 환경에서는 충전제어시스템 장착 시 역 효과 발생 - 기상 환경이 좋지 않은 경우에는 발전-충전 효율 강화 효과 발생 ① 기상 양호일 ② 우천 시  - 독립형 시스템 운영을 고려할 때, 악천후 시 발전 효율을 강화한다는 측면에서 적용 필요 - 하이브리드 배터리 시스템의 운영 시에도 화학전지의 충전 과정에서 적용 필요 - 발전-충전 효율에서 우수한 MPPT 방식으로 개발

▣ 9. 전력 공급 효율화 최적화 기술 개발 – 극한 기후 기준 최적화 전력 공급 시스템 구성

○ [연구 목표치]
- 온도 대응(고온, 저온) 환경 테스트

○ [연구 내용]
- 세계 시장 진출을 위한 해외 기후 환경 분석 및 극한 기후 최적화 시스템 설계 및 구성 기술 개발

○ [연구 결과]
- 해외 주요 대상 시장의 기후 환경을 분석하고 이을 근거로 해당 기후에 최적화한 전력 공급 시스템 의 운영 정책 수립 및 구성 기술 개발

[극한기후 분석]

구 분	연 구 결 과
극한 기후의 분석	▪ 극한 기후의 구분 : 독립형 태양광 전력공급 시스템과 관련하여 해외 극한 지역 구분

구분	검토 의견
(아)열대 지역	- 장기간의 우가가 있는 기후 - 동남아시아, 아프리카 등
극서 지역	- 강우량은 적고 50℃ 수준의 고온 지역 - 중동 등 사막 기후 지역
극한 지역	- 영하 30℃ 이하의 절대 냉온 지역 - 몽골, 북중국 등

▪ (아)열대 지역 : 방글라데시(다카) 기상 기후 분석
- 열대 몬순 기후 지역으로 건기와 우기로 형성된 기후

구분	10월 ~ 3월	점유율(%)	4월 ~ 9월	점유율(%)
강수량	38.0	2.0%	1,897.8	98.0%
강우 횟수	18	7.3%	227	92.7%

- 저 위도 지역으로 일사량이 우수하여 일조시간 대비 발전 효율 우수
- 강수량은 많으나, 강수 형태가 squall이어서 연중 유효 태양광 발전 시간 중에 3시간 이상의 일조 시간이 형성

적용 시간 대역	일조 시간				
	12시간 이상	9시간 이상	6시간 이상	3시간 이상	0시간 미만
09~15시			288	365	0
09~18시		288	365	365	0
06~18시	265	322	365	365	0

▪ 극서 지역 : 아랍에미리에이트(두바이) 기상 기후 분석
- 강수량이 적고 고온으로 유효 태양광 발전 시간이 제한적(9~12시)이지만 연중 3시간 이상의 일조 시간이 형성

적용 시간 대역	일조 시간			
	9시간 이상	6시간 이상	3시간 이상	0시간 미만
09~12시			365	0
06~12시		355	365	0
06~15시	353	360	365	0

[실증실험 결과]

<table>
<tr><th>구 분</th><th>연 구 결 과</th></tr>
<tr><td>극한 기후의 분석</td><td>

- 연중 5월~10월간은 극 고온 유지로 배터리의 유지 운영이 곤란한 지역

구분	4월	5월	6월	7월	8월	9월
최고기온	43.5	47.0	46.7	49.0	48.7	45.1
최고평균	32.9	37.6	39.5	40.8	41.3	38.9

- 사막 기후 지역으로 강수량은 절대적으로 적음

월별	시가대역 별								
	0~3시	3~6시	6~9시	9~12시	12~15시	15~18시	18~21시	21~24시	계
강수량	10.4	0.0	19.3	0.0	18.8	0.0	11.2	0.0	59.7
강수빈도	7	0	10	0	7	0	7	0	31

</td></tr>
<tr><td>최적화 기술 개발</td><td>

▪ 전용 배터리 시스템의 개발

- 커패시터 전용 배터리 시스템의 적용
- 극서지역(사막기후)의 경우, 연중 일 3시간 이상의 유효 태양광 발전 시간이 조성되는 지역이며 50℃~60℃고온 상황을 고려하여 커패시터 배터리 적용
- 열대몬순 기후 지역의 경우에도 우기에도 일 평균 3시간 이상의 유효 태양광 발전 시간 조성되는 지역으로 급속 충전이 가능한 커패시터 배터리 적용
- 열대몬순 기후 지역의 경우는 필요 시 부조일을 일부 적용하여(1~2일) Hybrid Battery System 적용도 고려
- 현재 두바이(2015.11~), 인도네시아(2015.3~), 몽골(2015.1~) 지역에서 커패시터 배터리 시스템의 테스트를 진행 중임

두바이 인도네시아 몽골

▪ 시스템 효율 강화 기술 개발 및 적용

- Low-Voltage 운영 시스템의 적용
- 태양전지와 배터리시스템 간 최적 전압 조합 구축
- Boosting 기반으로 DC-DC Driver 설계
- 충전제어 시스템의 개발 및 적용

</td></tr>
</table>

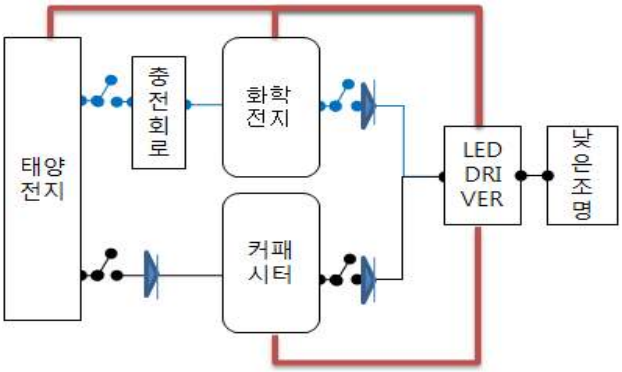
▣ 10. 배터리 장수명 확보 기술 개발 : 국내 환경 기준 장수명 시스템 개발

○ [연구 목표치]
- 국내 환경 기준 목표 수명 : 10년 이상

○ [연구 내용]
- 독립형 전력공급시스템의 장수명 확보의 핵심인 배터리 시스템의 장수명 확보 설계

○ [연구 결과]
- 상대적으로 변수가 다양한 국내 기후 대응을 위하여 커패시터와 화학전지의 장점을 접목한 Hybrid Battery System 개발하고 화학전지의 장수명 유지 방안 확보 : 10년 사용 가능성 확인

[국내 환경을 고려한 하이브리드 배터리 시스템 개발]

<table>
<tr><th>구 분</th><th>연 구 결 과</th></tr>
<tr><td>기후 환경의 분석</td><td>▪ 국내 기후의 다양한 악 영향 분석
<table>
<tr><th>구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td>일사량</td><td>- 전반적으로 충분하지 못한 일사 조건
- 심한 계절별, 월별 차이(2.7배 수준)로 시스템 효율성 저하</td></tr>
<tr><td>부조일</td><td>- 기후에 따른 강우 형태로 부조일이 많음
- 부조일 연속 발생 : 최장 7일</td></tr>
<tr><td>강우 형태</td><td>- 일단위로 장시간 강우 발생하는 패턴이 많아 부조일 문제 발생
- 독립형 시스템의 효율성 저하 원인</td></tr>
<tr><td>기온</td><td>- 연간 온도 편차가 심해(-20~38℃) 배터리 성능 저하</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>하이브리드 배터리 시스템의 적용</td><td>▪ 시스템 구성 및 운영 방안 수립
- 커패시터와 화학전지의 하이브리드 배터리 시스템 개발
- 커패시터를 주된 배터리로 운영하고 화학전지는 에너지 bank 기능을 주로 하며 보조 배터리 역할 수행
 

▪ 시스템 용량 설계 기준 수립
- 목표 소비 전력 대비 태양전지, 배터리 적정 용량 산출 기준 정립
- 태양전지 용량 산출 적용 변수 산출
* 태양전지 발전율, 충전 효율, 에너지 효율, 배터리 복원력 적용
<table>
<tr><th>구분</th><th>일 소비전력</th><th>발전율 적용</th><th>충전효율 적용</th><th>에너지효율적용</th></tr>
<tr><td>납축전지</td><td>100W</td><td>66.7W</td><td>83.3W</td><td>111.1W</td></tr>
<tr><td>커패시터</td><td>100W</td><td>66.7W</td><td>70.2W</td><td>73.9W</td></tr>
<tr><td>비고</td><td></td><td>1.5적용</td><td>80%~95%적용</td><td>75%~95%적용</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

구 분	연 구 결 과

하이브리드 배터리 시스템의 적용

▪ 화학전지 안정화 및 장수명 구현 방안 연구

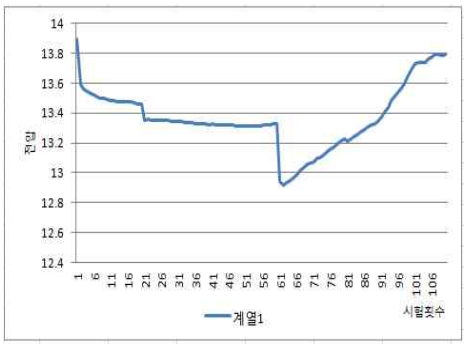
- 화학전지의 장수명 확보 방안 연구
- Lead Acid를 대상으로 충 · 방전 실험 수행
- 실험 조건

> * 대상 배터리 : Lead Acid
> * 3,000 cycle 이상 충·방전 환경 적용 실험 진행 : 0.1C, 0.2C 2가지 형
> * 실험 진행 내용
> - 각 시료를 대상으로 110회 씩 충·방전실험 진행
> - 일정 전압(14.4V)까지 충전한 후 일정한 량을 반복 방전 : 50회
> - 방전과 충전을 동일한 량으로 반복 : 10회
> - 방전량의 120%를 충전 반복 : 50회

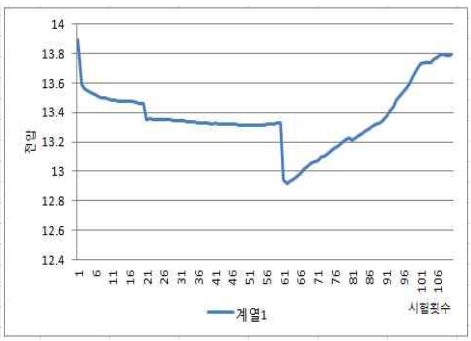
no.	0.1C	0.2C	비고
1	13.8924	13.154	-동일 전압 까지 충전 -동일 전류 방전
5	13.5309	13.206	
10	13.4894	13.191	
15	13.4772	13.180	
20	13.4589	13.160	
25	13.3526	13.139	
30	13.3428	13.116	
35	13.3355	13.095	
40	13.3245	13.064	
45	13.3196	13.050	
50	13.3135	13.029	
55	13.3159	12.956	-동일 전류 충·방전
60	13.3306	12.975	
65	12.9679	12.764	-충전 120% -방전 100%
70	13.0631	12.921	
75	13.1401	13.073	
80	13.2268	13.207	
85	13.2756	13.245	
90	13.3477	13.267	
95	13.5150	13.293	
100	13.6982	13.307	
105	13.7617	13.321	
110	13.7922	13.327	

- 실험 결과

①0.1C



②0.2C



구 분	연 구 결 과

하이브리드 배터리 시스템의 적용

▪ 시스템 설계 및 Simulation
- 최적 시스템 구성 및 화학전지 충·방전 cycle 추측
- 적용 변수

구분	내용
일별 발전량	- 2014년 태안태양광 발전소 자료 적용(부조일 7일)
태양전지 기울기	- 30도, 60도, 75도 각각 적용 - 각도 적용에 따른 월별 발전 편차 반영
충전 효율	- MPPT 적용에 따른 손실 적용
에너지 효율	- 배터리별 에너지 효율 적용

- Simulation Test Module 규격

구분	일 소비전력	태양전지	커패시터	Lead Acid
내용	100W	100W	80W	600W

- 테스트 결과
  * Lead Acid의 충방전 cycle이 연간 24.7 ~ 31회 수준
  * 추가적인 시스템 설계 강화 및 효율 강화 시 10년 사용 가능성 발견
  * 태양전지 기울기의 영향이 크게 나타남

구분	태양전지 기울기		
	30도	60도	75도
커패시터 cycle	365	365	365
Lead Acid cycle	30.963	24.684	25.027

<시간별 Lead Acid cycle 변화>

구분	태양전지 기울기		
	30도	60도	75도
1월말	2.037	1.902	1.914
2월말	3.779	3.624	3.639
3월말	5.672	5.468	5.493
4월말	7.571	7.317	7.352
5월말	9.204	8.929	8.968
6월말	10.840	10.551	10.593
7월말	12.811	12.433	12.492
8월말	14.360	13.982	14.041
9월말	16.099	15.682	15.749
10월말	17.631	17.181	17.254
11월말	27.398	21.574	21.786
12월말	30.963	24.684	25.027

▣ 11. 배터리 장수명 확보 기술 개발 : 극한 기후(고온, 저온) 장수명 시스템 개발

○ [연구 목표치]
- 극한 기후 기준 목표 수명 : 10년 이상

○ [연구 내용]
- 해외 극한 기온 환경에서의 배터리 시스템의 장수명 확보 설계

○ [연구 결과]
- 태양광 발전 극한 지역은 커패시터 배터리 시스템과 시스템 효율 향상 기술 적용

[해외 극한 기후를 고려한 하이브리드 배터리 시스템 개발]

<table>
<tr><th>구 분</th><th>연 구 결 과</th></tr>
<tr><td>기후 환경의 분석</td><td>▪ 극한 기후의 태양광 시스템 운영 문제점 분석
<table>
<tr><th>구분</th><th>문제점</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>열대 몬순</td><td>- 약 6개월간의 우기
- 고온, 다습한 기후</td><td>- Squall성 강우
- 일사량 풍부</td></tr>
<tr><td>극서 지역</td><td>- 50℃ 이상의 극 고온
- 모래바람, 큰 일교차</td><td>- 일조시간 확보
- 재한된 고온 지속시간</td></tr>
<tr><td>극한 기후</td><td>- -40℃ 수준의 극 저온
- 적은 일사량</td><td>- 에너지효율 향상 효과</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>커패시터 전용 배터리 시스템 적용</td><td>▪ 기후 별 시스템 구성 및 운영 방안 수립
- 현존 배터리 시스템 중 아웃도어용 배터리로 가장 우수한 특성을 보유한 커패시터 배터리 시스템 적극 적용
- 기후 별 적용 방안
<table>
<tr><td>열대 몬순</td><td>- 커패시터 배터리 시스템 적용
- 일 3시간 이상 일조시간 확보로 부조일 고려 최소화 설계
- 일기 분성을 통해 필요 시 하이브리드 시스템 적용 가능</td></tr>
<tr><td>극서 지역</td><td>- 커패시터 배터리 시스템 적용
- 일교차로 인해 커패시터 배터리 적용 가능성 충분
- 부조일 고려 최소화 설계</td></tr>
<tr><td>극한 기후</td><td>- 커패시터 배터리 시스템 적용
- 저온에서의 커패시터 배터리 에너지 효율 강화
- 부조일 대응을 위한 강제 Dimming 기능 보완</td></tr>
</table>
- 커패시터 온도 대응 수명 예시
<table>
<tr><th>℃ / Voltage</th><th>25℃</th><th>35℃</th><th>45℃</th><th>55℃</th><th>65℃</th></tr>
<tr><td>2.7V</td><td>15</td><td>6</td><td>2.4</td><td>1.0</td><td>0.4</td></tr>
<tr><td>2.6V</td><td>22</td><td>8.4</td><td>3.4</td><td>1.4</td><td>0.6</td></tr>
<tr><td>2.5V</td><td>30</td><td>11.8</td><td>4.7</td><td>2.0</td><td>0.9</td></tr>
<tr><td>2.4V</td><td>44</td><td>16.0</td><td>6.0</td><td>2.8</td><td>1.2</td></tr>
<tr><td>2.3V</td><td>64</td><td>24</td><td>9.0</td><td>4.0</td><td>1.8</td></tr>
<tr><td>2.2V</td><td>95</td><td>36</td><td>14.0</td><td>6.0</td><td>2.7</td></tr>
</table>
[출처] ; LS Mtron Ultra-Cap Report, 2016

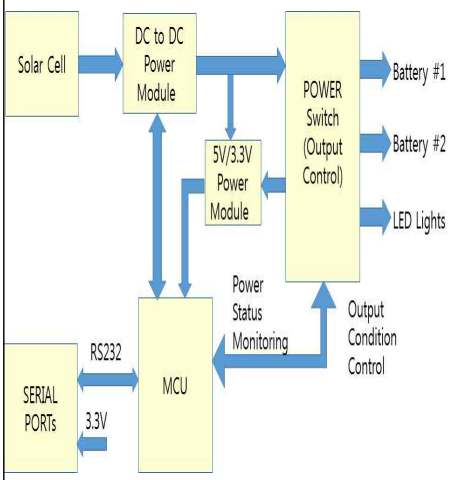
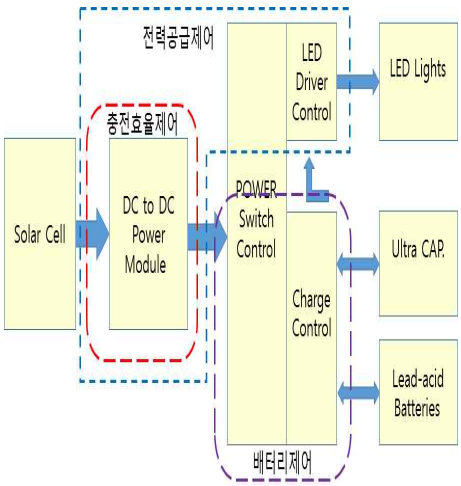
- 시스템 효율 강화 기술 적용</td></tr>
</table>

▣ 12~14. 시스템 제어 알고리즘 개발

○ [연구 목표치]
- 전력 공급 제어 알고리즘 개발(동작 정확도 95%)
- 배터리 제어 알고리즘 개발(동작 정확도 95%)
- 충전 효율 제어 알고리즘 개발(동작 정확도 95%)

○ [연구 내용]
- 전력공급 알고리즘 : MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어기술, 센서(차량 감지, 기상정보)를 이용한 디밍제어, 안개, 비 등의 기상조건을 고려한 조명 색온도 제어, 배터리 충전 용량에 의한 엘이디 조명 동작 제어(자동 디밍)
- 배터리 제어 알고리즘 : 배터리 용량에 의한 충전, 방전 전류량에 따른 충전 관리, 혼합형(슈퍼커패시터와 납축전지 또는 리튬인산철) 배터리 충/방전 제어
- 충전 효율 제어 알고리즘 : MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어기술, 충전효율 개선 효율대비 제품원가 고려 Constant Voltage MPPT Algorithm방식 도입

○ [연구 결과]
- 시스템 동작 정확도 95% 이상

구 분	연 구 결 과
시스템 제어 알고리즘 내용	▪ 에너지 자립형 전력 공급 장치는 솔라전지에서 발생하는 전기에너지를 복수개의 배터리에 전기를 저장하는 기술과 기상정보, 차량정보 배터리정보, 조명 원격제어에 의해 엘이디등의 색온도, 밝기 등을 신호출력과 엘이디등 파워를 공급하는 장치이며 이장치의 알고리즘 블록도와 시스템 구성도는 다음과 같음 ▪ 시스템 제어 알고리즘은 그림2에서 표시한 전력공급제어, 배터리제어, 충전효율 제어로 구분  

▣ 12. 시스템 제어 알고리즘 개발 - 전력 공급 제어 알고리즘

○ [연구 목표치]
- 전력 공급 제어 알고리즘 개발(동작 정확도 95%)

○ [연구 내용]
- 전력공급 알고리즘 : MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어기술, 센서(차량 감지, 기상 정보)를 이용한 디밍제어, 안개, 비 등의 기상조건을 고려한 조명 색온도 제어, 배터리 충전 용량에 의한 엘이디 조명 동작 제어(자동 디밍)

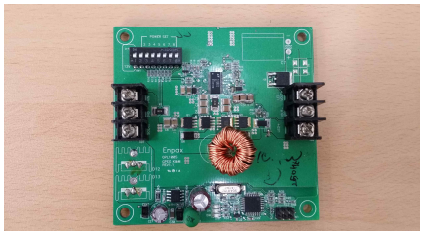
○ [연구 결과]
- Dimming제어는 PWM방식을 사용하여 전력 딤밍을 구현하였으며 95%이상 동일한 결과 도출

구 분	연 구 결 과

전력공급제어

▪ PWM 비율 변화에 따른 부하 전력값과 조도값을 분석하여 해당시작품의 전력 대 밝기 상관관계 도출

▪ 시작품(LED DRIVER Board)은 아래 그림과 같음



▪ 시작품 전력과 조도 측정 결과는 아래표와 같음(측정:매직마이크로 기술연구소)

PWM(%)	100	90	80	70	60	50	비고
소비전력(W)	17.822	16.06	14.193	12.558	10.605	8.987	
전압(V) 전류(A)	11.908 1.4962	11.763 1.3645	11.630 1.2211	11.506 1.0915	11.356 0.9346	11.226 8.962	부하 측정기준
조도(LUX)	3870	3570	3240	2950	2570	2240	
조도 비율	100	92	83.7	76.2	66.4	57.8	

조도비율	100	90	80	70	60	50	비고
소비전력(W)	17.822	15.474	13.443	11.2	9.321	7.524	
전압(V) 전류(A)	11.908 1.4962	11.7 1.321	11.558 1.1548	11.393 0.9897	11.242 0.8295	11.097 0.678	
조도(LUX)	3870	3470	3090	2710	2320	1940	
소비전력비율	100	86.8	75.4	68.4	52.3	42.2	

▪ PWM DIMMING으로 전력변동과 조도 변화를 확인하였으며 10회 반복시 동일한 특성을 유지하는 것을 확인 하였으며 편차는 1% 이내로 95%이상을 만족함

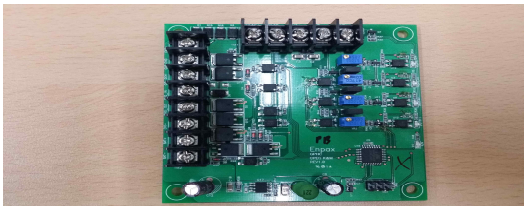
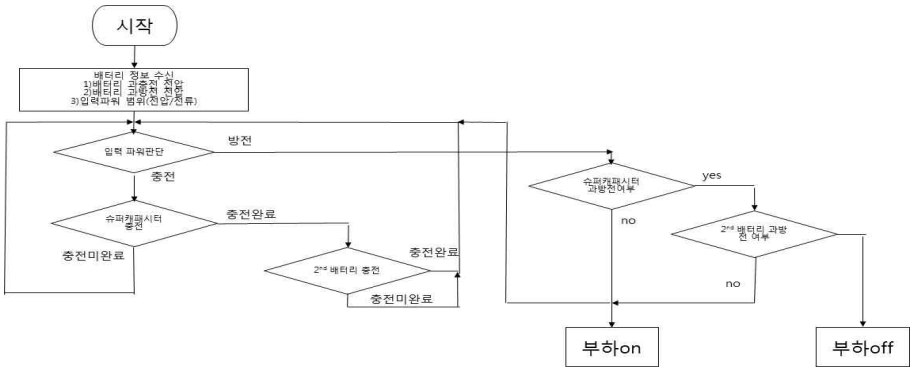
▪ 향후 엘이디 조명에 대하여 전력 딤밍과 조도비율을 측정하여 조명효율 향상을 위한 조도 딤밍 등을 통하여 상품성을 강화할 예정임

▣ 13. 시스템 제어 알고리즘 개발 - 배터리 제어 알고리즘

○ [연구 목표치]
- 배터리 제어 알고리즘 개발(동작 정확도 95%)

○ [연구 내용]
- 배터리 제어 알고리즘 : 배터리 용량에 의한 충전, 방전 전류량에 따른 충전 관리, 혼합형(슈퍼 커패시터와 납축전지 또는 리튬인산철) 배터리 충/방전 제어

○ [연구 결과]
- 슈퍼 커패시터 배터리와 납축전지(또는 리튬이온,리튬 인산철)를 스위칭 연결에서 충전 및 방전 시험을 한 결과 : 배터리 제어 100%만족

구 분	연 구 결 과
배터리 제어	▪ 배터리 충전시 슈퍼커패시터 배터리를 우선 충전을 하고 충전이 완료되면 다른 배터리를 충전하도록 충전 경로를 스위칭 제어를 하여 전력 로스를 최소화를 고려하여 FET소자를 사용하였음 ▪ 배터리 방전시 슈퍼커패시터 배터리를 우선 방전을 하고 최소전압이 되면 다른 배터리로 스위칭하여 방전을 계속 출력토록 제어 하였음. ▪ 시작품(Hybrid Battery Control Board) 및 베터리 제어 흐름도는 아래와 같음   ▪ 해당 알고리즘 기반으로 프로그램 설계후 자체 테스트 결과로 알고리즘 정확도100% 달성

시행 횟수	판단 결과
1	성공
2	성공
….	성공
100	성공
정확성	100%

▣ 14. 시스템 제어 알고리즘 개발 - 충전 효율 제어 알고리즘

○ [연구 목표치]
- 충전 효율 제어 알고리즘 개발(동작 정확도 95%)

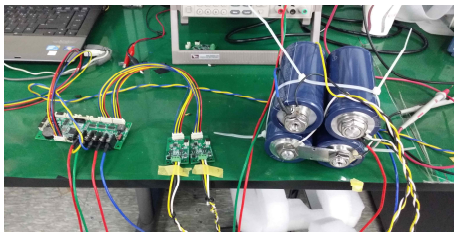
○ [연구 내용]
- 커패시터 셀 발란싱 제어장치를 제작하여 커패시터 전압 편차 제어와 충전 제어를 위한 알고리즘 개발

○ [연구 결과]
- 슈퍼 커패시터 배터리 4개를 직렬로 연결에서 충전 및 방전시험을 한 결과 : 95%이상 만족함

구 분	연 구 결 과

충전효율 제어

- 슈퍼커패시터의 충전 최대전압을 기준으로 최대전압에 도달하면 개별 커패시터의 전압과 상호 비교하여 높은 커패시터의 전압을 방전 경로에 의해 서서히 전압을 줄여주는 방식으로 각각의 충전 전압을 조절하도록 작동
- 슈퍼커패시터 4개를 직렬로 연결하여 충전전압 11.2V 방전최대전압 8V를 설정하여 충전완료시,방전 종료시 각 셀 전압을 측정을 5회 실시하여 각 커패시터의 전압의 실제값과 센서값의 편차를 도출
- 시작품(Cap.Management Board)은 아래 그림과 같음



- 측정 결과는 아래표와 같음(측정:매직마이크로 기술연구소)

측정횟수	1차충전 (센서)	1차충전 (측정)	1차방전 (차이)	1차방전 (센서)	1차방전 (측정)	1차방전 (차이)
커패시터 1전압(mV)	2809	2815	6	2031	2021	10
커패시터 2전압(mV)	2828	2831	3	2033	2023	10
커패시터 3전압(mV)	2827	2828	1	2045	2039	6
커패시터 4전압(mV)	2823	2826	3	2029	2024	5
커패시터 전체(mV)	11270	11290	20	8128	8109	19

측정횟수	5차충전 (센서)	5차충전 (측정)	5차방전 (차이)	5차방전 (센서)	5차방전 (측정)	5차방전 (차이)
커패시터 1전압(mV)	2791	2800	9	2024	2022	2
커패시터 2전압(mV)	2813	2815	2	2024	2024	0
커패시터 3전압(mV)	2813	2814	1	2041	2041	0
커패시터 4전압(mV)	2808	2812	4	2026	2027	1
커패시터 전체(mV)	11220	11230	10	8118	8114	4

- 슈퍼커패시터의 각각의 충전, 방전전압을 측정한 결과 실제값과 센서값 차이가 1% 미만으로 만족
- 해당 충전 효율 제어 알고리즘을 적용한 결과 정확도 98%이상의 결과를 달성하였음
- 향후 슈퍼커패시터의 충전 효율을 고려하여 충전전류 변화량을 실시간 처리하여 배터리 충전 용량(Ah)을 표시 기능을 추가하고 슈퍼커패시터 발란싱 제어보드의 상품성을 강화할 예정임

▣ 15, 20. Spot type / Line Type 설계 - 안개 및 우천 시 오프로드 성능 평가

○ [연구 목표치]
- 안개 및 우천 상황에서의 기존 Pole 조명에 비해 우수성 증명

○ [측정 내용]
- LMK5(Luminance Measuring Camera)를 이용한 휘도 측정

○ [연구 결과]
- Pole 조명에 비해 Spot Type / Line Type은 낮은 조명은 안개시 빛의 난반사가 없으며, 균제도 역시 안정적임

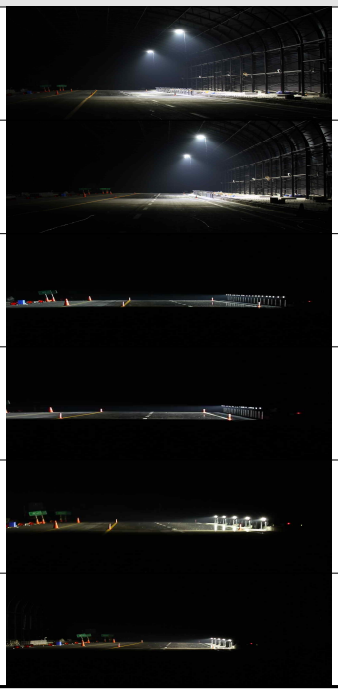
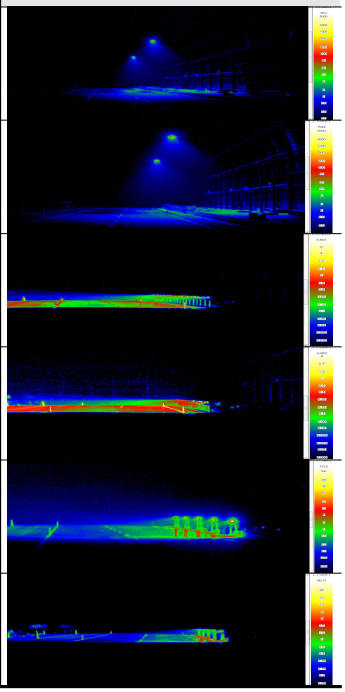
구 분	연 구 결 과

Spot Type / Line Type 낮은 조명 안개 및 우천시 오프로드 성능 평가

- 기존 Pole 조명 대비 우천/안개 시 성능평가

■ 우천 시 LED 가로등과 낮은조명(Spot/Line) 비교

▪ 측정 사진 및 휘도분포는 아래 표와 같음

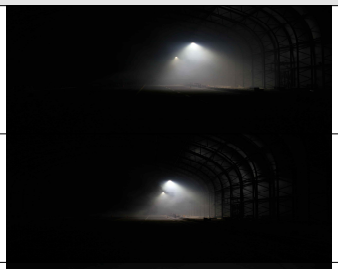
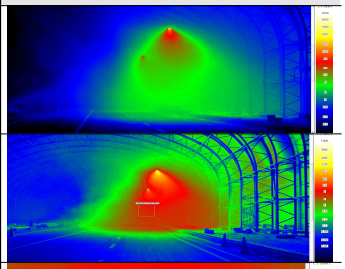
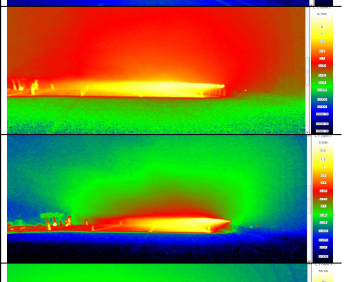
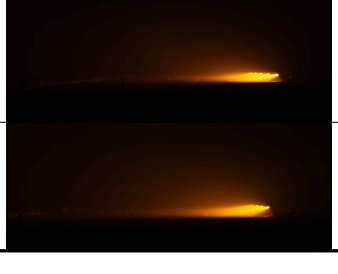
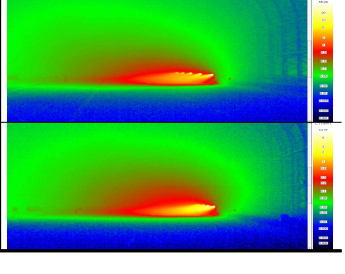
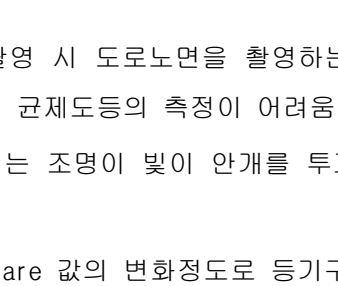
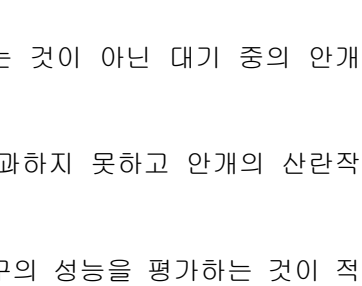
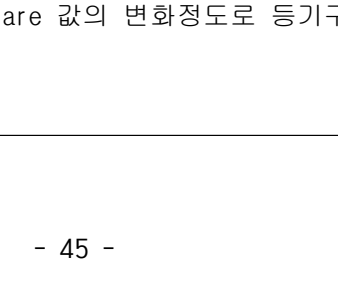
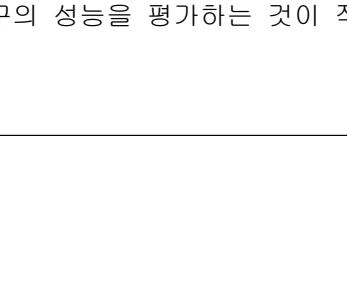
Type	조건	측정 위치	사진	휘도분포
LED 가로등	우천	1차로		
		2차로		
Spot Type		1차로		
		2차로		
Line Type		1차로		
		2차로		

▪ 측정결과는 아래와 같음

조명기구	조건	측정 위치	종합 균제도	차선축 균제도	임계치증분 (%)	
LED 가로등	건조	1차로	0.30	0.34	6.57	2.46
		2차로	0.27	0.62	35.8	12.9
	우천	1차로	0.31	0.76	16.2	7.52
		2차로	0.21	0.55	36.7	21.7
Spot Type	건조	1차로	0.48	0.89	0.04	
		2차로	0.54	0.83	0.01	
	우천	1차로	0.44	0.76	0.2	
		2차로	0.45	0.55	0.1	
Line Type 백색광	건조	1차로	0.45	0.81	0.5	
		2차로	0.41	0.68	0.4	
	우천	1차로	0.56	0.84	4.7	
		2차로	0.53	0.81	1.6	

※ LED가로등의 경우 등기구 TI값을 산출하였고, 낮은조명의 경우 광원전체의 TI값을 사용함

구 분	연 구 결 과
Spot Type / Line Type 낮은 조명 안개 및 우천시 오프로드 성능 평가 - 기존 Pole 조명 대비 우천/안개 시 성능평가	▪ KS 3701에 따라 종합균제도는 0.35 이상, 차선축 균제도는 0.4 이상이 되어야 도로 조명등급 계산이 가능함. 그러나 본 실험결과 LED 가로등의 종합균제도는 모든 우천의 경우에서 종합균제도 최소값을 만족하지 못함 ▪ 반면에 낮은조명 Spot Type, Line Type의 경우 최소 종합균제도 값이 0.44, 최소 차선축균제도 값이 0.55로 우천의 모든 조건에서 최소 안정적인 균제도를 보임 ▪ 가로등은 경우에 따라, TI가 최대 36.7% 까지 상승함, 반면에 낮은조명은 우천시에도 굉장히 낮은 값을 보여 운전자에게 적은 눈부심을 주는 것을 알 수 있음 ▪ 따라서, 우천시 LED가로등에 비해 낮은조명이 운전자에게 안전한 것으로 판단 ■ 안개 시 LED 가로등과 Line Type 황색광 비교(시정거리 약 30~80m 시) ▪ 측정 사진 및 휘도분포는 아래 표와 같음

Type	조건	측정 위치	사진	휘도분포
LED 가로등	안개	1차로		
		2차로		
Spot Type		1차로		
		2차로		
Line Type 황색광		1차로		
		2차로		

▪ 안개상황에서는 휘도계 촬영 시 도로노면을 촬영하는 것이 아닌 대기 중의 안개를 촬영하게 되어, 노면휘도, 균제도등의 측정이 어려움

▪ 일반적으로, 안개상황에서는 조명이 빛이 안개를 투과하지 못하고 안개의 산란작용으로인해 빛이 번지게 됨

▪ 따라서, 별도로 측정한 Glare 값의 변화정도로 등기구의 성능을 평가하는 것이 적절하다고 판단 됨

구 분	연 구 결 과

Spot Type / Line Type 낮은 조명 안개 및 우천시 오프로드 성능 평가

- 기존 Pole 조명 대비 우천/안개 시 성능평가

▪ 시작품 측정 결과는 아래 표와 같음

조명기구	조건	측정 위치	글레어 값	건조노면대비 글레어 변화율
LED 가로등	건조	1차로	13.79	-
		2차로	10.96	-
	안개	1차로	11.96	-13%
		2차로	16.50	51%
Spot Type	건조	1차로	-1.29	-
		2차로	-0.97	-
	안개	1차로	0.05	104%
		2차로	-0.85	12%
Line Type 황색광	건조	1차로	-3.41	-
		2차로	-2.91	-
	안개	1차로	-10.39	-205%
		2차로	-7.79	-168%

▪ 건조상황에서 LED 가로등의 경우 글레어 값이 최소 10.96의 값을 보이지만, 이에 비해 Line type 황색광의 경우 글레어 값이 기본적으로 상대적으로 상당히 낮은 것을 확인할 수 있음

▪ 또한, 안개 상황에서 LED가로등은 경우에 따라 글레어가 높아지는데 비해, Line Type황색광은 글레어 값이 안개상황에서 상당히 감소하는 것을 확인할 수 있음.

▪ 따라서, 안개상황시 색의 변환이 불가능한 LED 가로등에 비해 안개상황에 따라 빛의 색의 변환이 가능한 Line Type의 안전성이 높을 것으로 판단 할 수 있음

■ On Road Test를 통한 효과 비교

강릉 남산교(Pole 조명)

강릉 내곡교(낮은 조명)

■ 연구 수행 결론

▪ Pole 조명의 경우 안개 시 빛의 난반사가 심하게 나타나면서 평균 휘도값의 증가가 심하게 나타나고 있으며, 균제도 값 역시 상승하는 등 조명을 통한 시인성 확보 기능이 급격하게 저하되는 것을 확인할 수 있는데 반해, 낮은 조명은 안정적인 수치를 보이고 있음

▪ 안개 시 TI 값의 변화를 통해 백화현상을 간접적으로 확인할 수 있으며, 낮은 조명에서 백화현상 발생이 현격하게 낮은 것을 확인할 수 있음

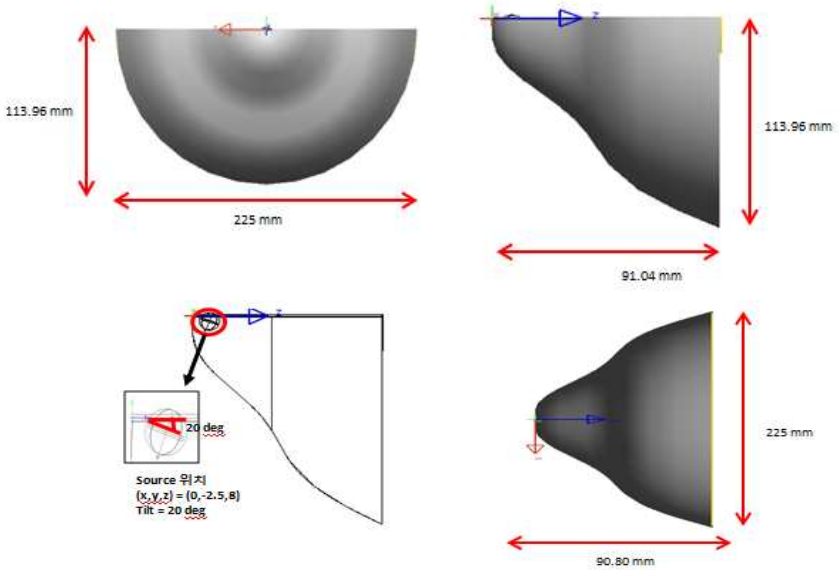
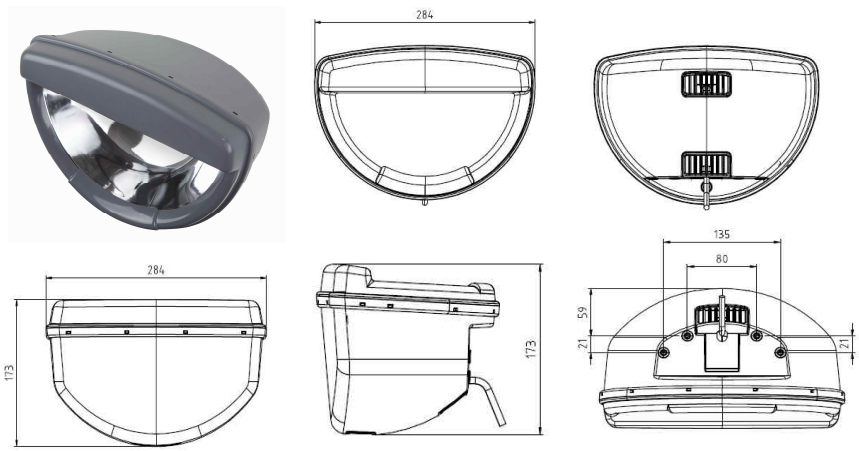
▪ 우천으로 인한 젖은 노면에서도 낮은 조명이 Pole 조명에 비해 현격하게 낮은 글레어 수치를 나타내고 있어, 안전 조명에 적합한 것으로 나타남

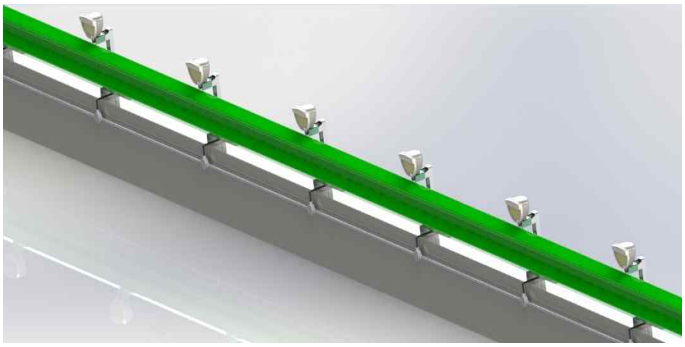
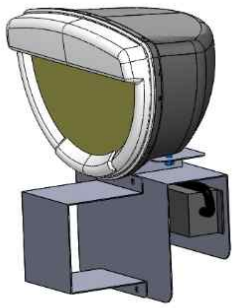
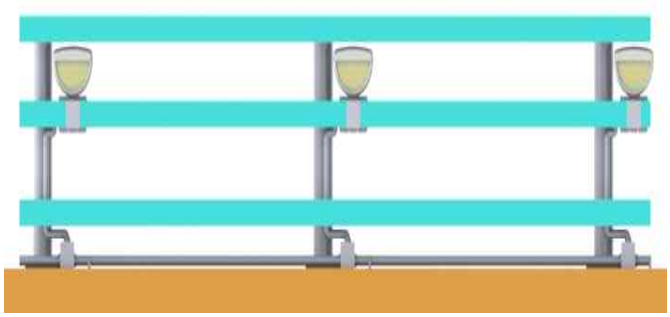
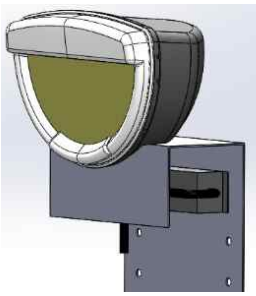
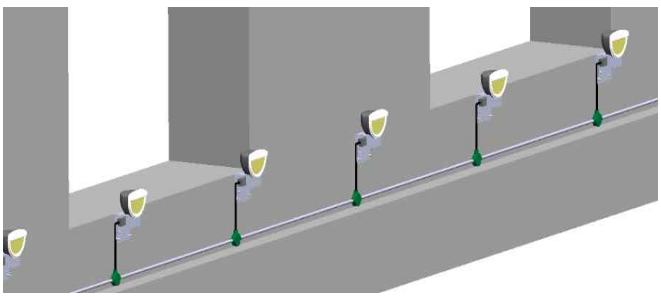
▣ 16. 낮은조명 설계 - 시작품 제작

○ [연구 목표치]
- 시제품 제작 및 On Road Test

○ [연구 내용]
- Reflector, 등기구 기구물 및 Bracket 설계 및 시제품 제작

○ [연구 결과]
- Reflector 기반의 Spot type 시제품 제작 및 설치용 Bracket 개발 : 3종

구 분	연 구 결 과
Reflector형 Spot type 시제품 제작	▪ Reflector 설계 및 시제품 제작 - 낮은 조명 특유의 배광을 구현하기 위하여 특수 reflector 개발 - reflector 외형 설계와 reflector의 너비 및 깊이 조절로 배광 조정 - 광효율의 보전을 위하여 UV 진공 증착 방식의 표면처리를 적용  ▪ 등기구 설계 및 시작품 제작 

구 분	연 구 결 과
Bracket 시제품 제작	▪ 설치 형태별 Bracket 설계 및 제작 - 낮은 가로등의 설치는 주로 가드레일, 콘크리트 방호벽, 교량형 가드레일을 이용하여 설치하는 것을 원칙으로 함. - 기본형(가드레일용), 벽부형(콘크리트 방호벽용), 걸이형(교량형 가드레일용)으로 구분하여 설계 및 시제품 제작을 진행함 ▪ 기본형(가드레일용) - 가드레일을 지지하는 지주(139.8∮)에 부착하는 형태의 Bracket으로 가장 범용적인 Bracket으로 양산성과 가격을 기준으로 추가 수정  ▪ 걸이형(교량형 가드레일용) - 교량형 가드레일 또는 일반 가드레일 중 지주의 높이가 900mm 이상인 경우 에 주변 시설물에 고정시키는 형태의 Bracket   ▪ 벽부형(콘크리트 방호벽용 - 콘크리트 방호벽 및 일반 벽면에 설치하기 위한 Bracket  

▣ 17. Line Type 낮은 조명 설계 - 시뮬레이션 평가

○ [연구 목표치]

- 도로조명기준(M3 등급)을 만족하는 낮은 조명 개발
- 도로조명기준(KS A 3701)

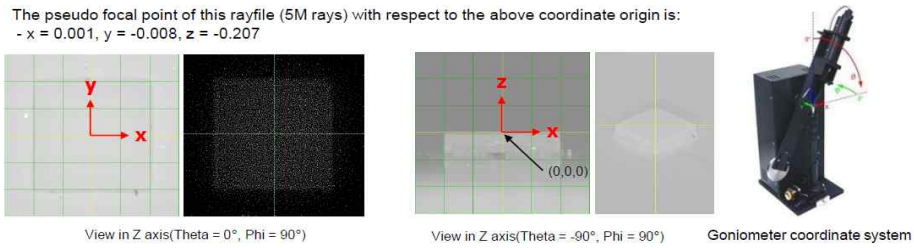
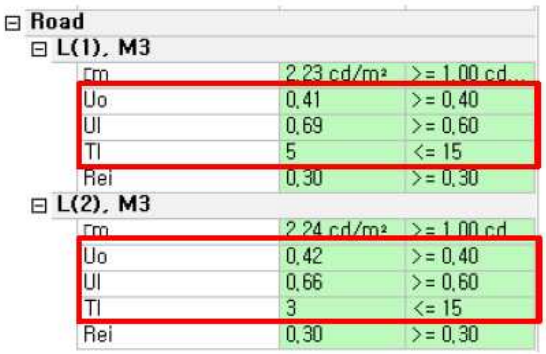
도로조명 등급	평균노면휘도	노면상태(최소허용치)		
		건조한노면		젖은노면
	Lavg(cd/㎡)	종합균제도(Uo)	차선축균제도(UI)	종합균제도(Uo)
		Lmin/Lavg	Lmin/Lmax	Lmin/Lavg
M1	2	0.4	0.7	0.15
M2	1.5	0.4	0.7	
M3	1	0.4	0.6	
M4	0.75	0.4	0.6	
M5	0.5	0.35	0.4	

○ [측정 내용]

- RELUX 도로조명 시뮬레이션

○ [연구 결과]

- “KS A 3701 도로조명기준”의 M3 도로조명 휘도 기준 만족

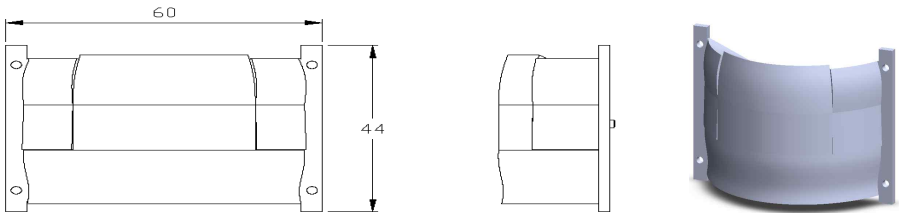
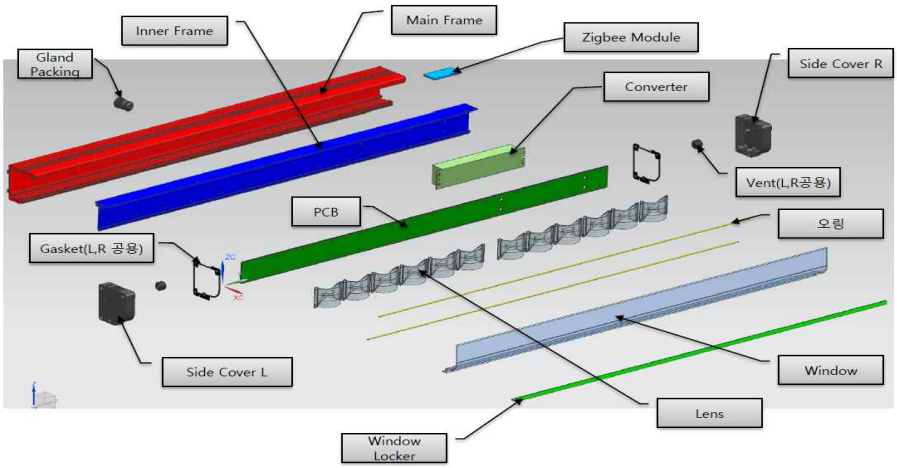
구 분	연 구 결 과
Line Type 시뮬레이션 평가	▪ 시뮬레이션을 위한 광원 RAY SET DATA - 적용광원 : SZ8-Y22-WN-C7, SZ8-Y18-WN-C7/C8 - RAY DATA 측정  * Measuring equipment and software : RIGO801, Converter801 (TechnoTeam, Germany) - Accuracy of Standard Source < 3% - Position Precision : Phi<0.02deg / Theta < 0.05deg ▪ Relux Simulation 결과  ▪ Simulation Parameter - 도로표면 : R3, 보수율 : 1.0, q0:0.08, 길어깨2.0m, 차선폭3.5m 2차선

▣ 18. Line Type 낮은 조명 설계 - 단위 모듈별 H/W 개발

○ [연구 목표치]
- Line Type 낮은 조명개발을 위한 렌즈, 기구등 H/W개발

○ [연구 내용]
- 렌즈설계, 기구 배광설계, 방수방진 기구물 설계 및 Bracket 설계

○ [연구 결과]
- 렌즈 기반의 Line Type 낮은 조명 H/W 개발 및 설치용 Bracket 개발 : 1종

구 분	연 구 결 과
렌즈를 이용한 Line type 낮은 조명 H/W 개발	▪ 렌즈설계 - 낮은 조명 특유의 배광을 구현하기 위하여 특수 렌즈 개발 - Goniometer 측정시 140[lm/W](@19W) 광효율 구현함.  ▪ 등기구 설계 및 브라켓 설계 - 방수,방진, UV 내후성 고려한 설계 - 악천후로 인한 성능 방지를 위해 등기구는 자동차 헤드램프에 적용하는 UV 하드코팅을 적용하여, 옥외사용에 따른 성능 저하를 최대한 방지함  ▪ 렌즈 및 등기구 H/W 설계 완료 및 설치현장에 따른 브라켓을 추가 개발

▣ 19. Line Type 낮은 조명 설계 - 광학 성능평가

○ [연구 목표치]

- 도로조명기준(M3 등급)을 만족하는 낮은 조명 개발
- 도로조명기준(KS A 3701)

도로조명 등급	평균노면휘도	노면상태(최소허용치)		
		건조한노면		젖은노면
	Lavg(cd/㎡)	종합균제도(Uo)	차선축균제도(UI)	종합균제도(Uo)
		Lmin/Lavg	Lmin/Lmax	Lmin/Lavg
M1	2	0.4	0.7	0.15
M2	1.5	0.4	0.7	
M3	1	0.4	0.6	
M4	0.75	0.4	0.6	
M5	0.5	0.35	0.4	

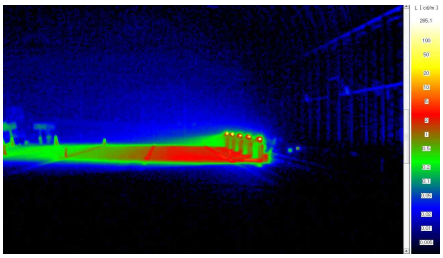
○ [측정 내용]

- LMK Mobile (Luminance Measuring Camera)를 이용한 휘도 측정

○ [연구 결과]

- "KS A 3701 도로조명기준"의 M3 도로조명 휘도 기준 만족
  (측정: 한국조명연구원, 장소: 한국건설기술연구원 연천 SOC 시험장)

구 분	연 구 결 과
렌즈를 이용한 Line type 낮은 조명	▪ 평균휘도, 종합균제도, 차선축 균제도 등을 분석하여 해당시작품의 도로조명등급 도출



▪ 시작품 배광 측정 결과는 아래 표와 같음(측정:한국조명연구원, 한국건설기술연구원 연천 SOC 시험장)

조명기구	조건	측정위치	평균휘도	최대휘도	최소휘도	균제도 (%)	차선축 균제도 (%)	글레어 값	TI 값 (%)
Line Type White	건조	추월	1.190	2.640	0.534	45.1	81.1	4.02	0.50
		주행	1.180	2.510	0.487	41.3	68.2	-1.33	0.46
Line Type Amber	운무 60m	추월	0.696	1.250	0.287	41.3	76.9	-10.39	0.44
		주행	0.553	0.980	0.196	35.4	80.5	-7.79	0.27
	운무 30m	추월	0.251	0.449	0.169	67.2	95.9	-1.17	1.14
		주행	0.477	0.899	0.224	47.0	81.6	-1.72	1.47

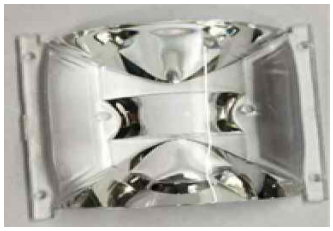
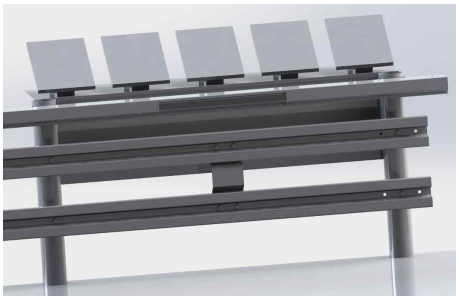
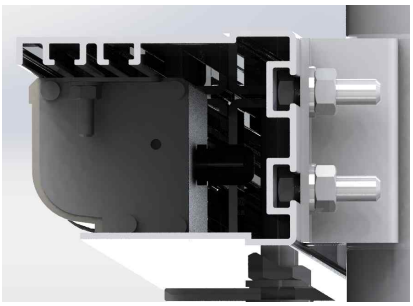
▪ 본 조명은 8m 간격으로 설치하여도 "KS A 3701 도로조명기준"에 의한 M3 도로 조명의 휘도 기준을 만족함

▣ 21. Line Type 낮은 조명 기술 개발 - 시작품 제작

○ [연구 목표치]
- 시제품 제작 및 브라켓 설계 제작

○ [연구 내용]
- 사출렌즈 제작, 압출WINDOW, 압출MAIN FRAME제작, 브라켓제작

○ [연구 결과]
- 렌즈 기반의 Line type 시제품 제작 및 설치용 Bracket 개발 : 1종

구 분	연 구 결 과
렌즈를 이용한 Line type 낮은 조명 시제품 제작	▪ 사출렌즈 제작 - 낮은 조명 특유의 배광을 구현하기 위하여 고효율 PMMA 렌즈 제작 - 커버렌즈에 자동차 헤드램프적용 UV HARD 코팅을 적용하여 내구성 향상  ▪ 시작품 제작 ▪ 브라켓 제작 설치적용 ▪ Line Type 조명의 가드레일 인입 적용   ▪ Line Type 낮은 조명을 가드레일 인입형으로 제작하여 현장 설치하였고 향후 벽면 부착형, 다리난간 부착형, 기존 가드레일 부착형 등 다양한 브라켓과 압출제품의 특성을 살린 짧은 형태의 제품도 개발하여 다양한 제품 라인업 ▪ 충돌 및 도난사고 방지를 위해 설계단계부터 가드레일이나 콘크리트 내부에 인입하여 주변시설물과 일체화 하는 방안 도입

▣ 22. 태양광 발전 충방전 기술 개발 - 제어시스템 개발

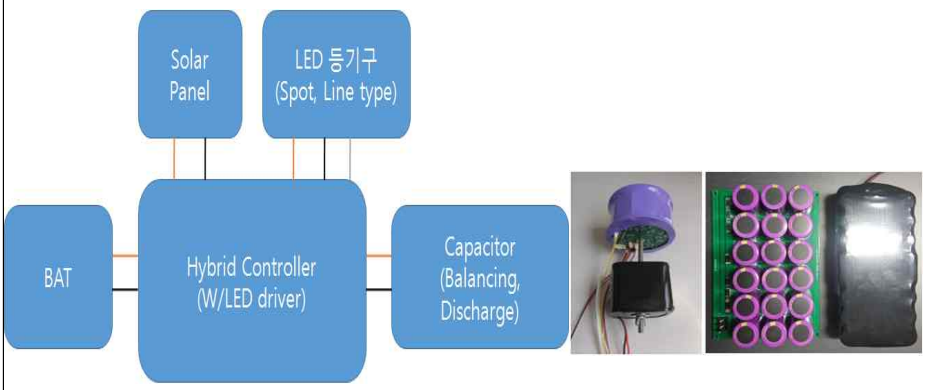
○ [연구 목표치]
- 하이브리드 배터리 시스템의 제작 및 실증 실험

○ [연구 내용]
- 하이브리드 배터리 시스템의 배터리 용량 설계 기준과 시스템의 운영 전략을 수립하고 이를 이행하는 제어 시스템을 개발/제작

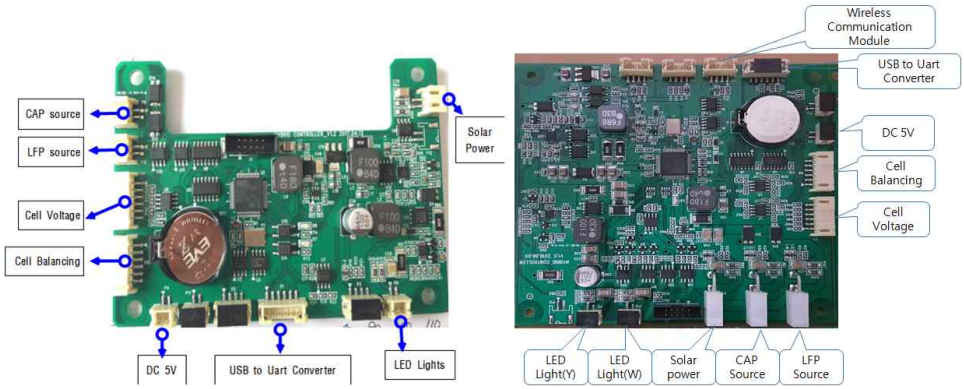
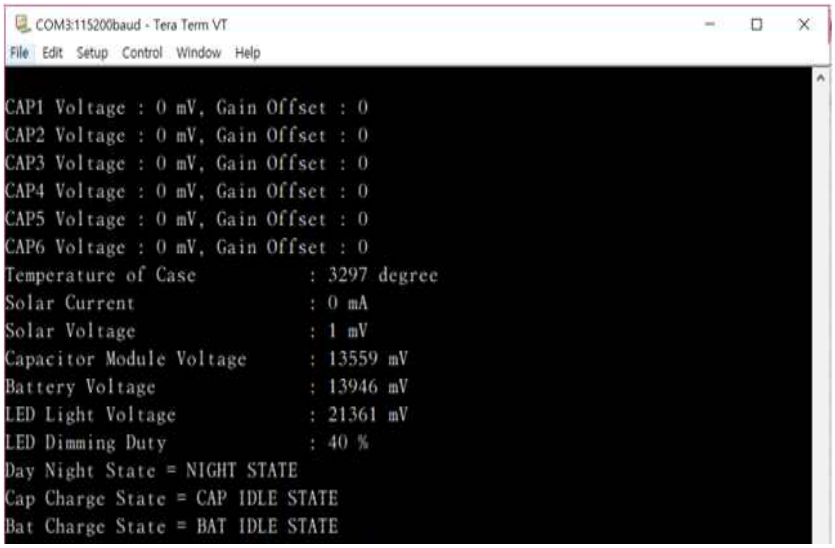
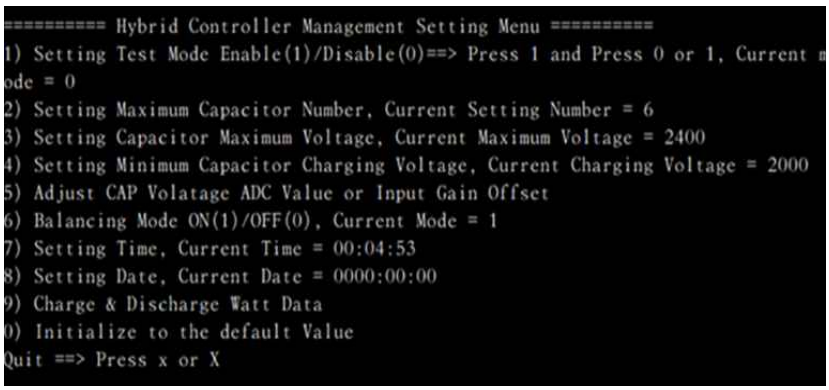
○ [연구 결과]
- 기후에 따른 태양광 전력 공급시스템 운영 전략 수립을 위한 simulation tool 제작
- 하이브리드 배터리 시스템의 용량 설계 기준 수립 및 제어회로 개발
- 부조일 목표와 희망 사용 기간에 따른 배터리 시스템 구성 방안 도출

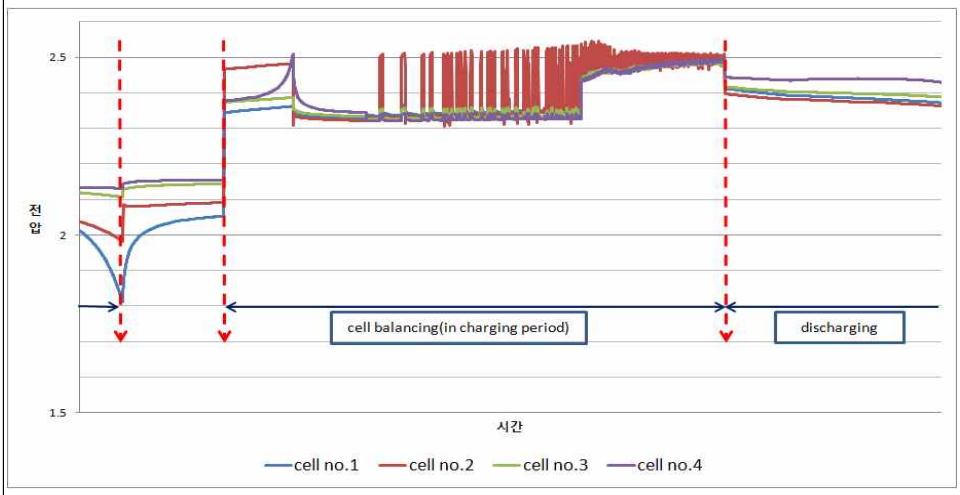
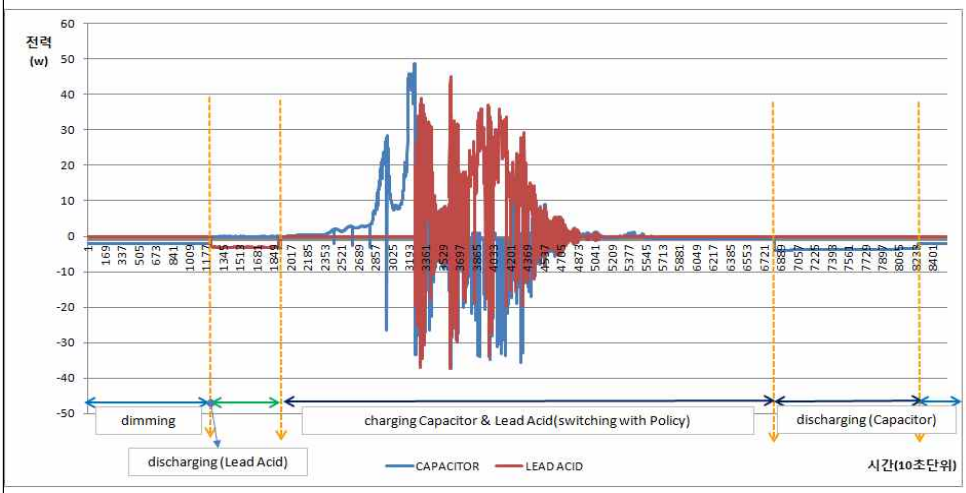
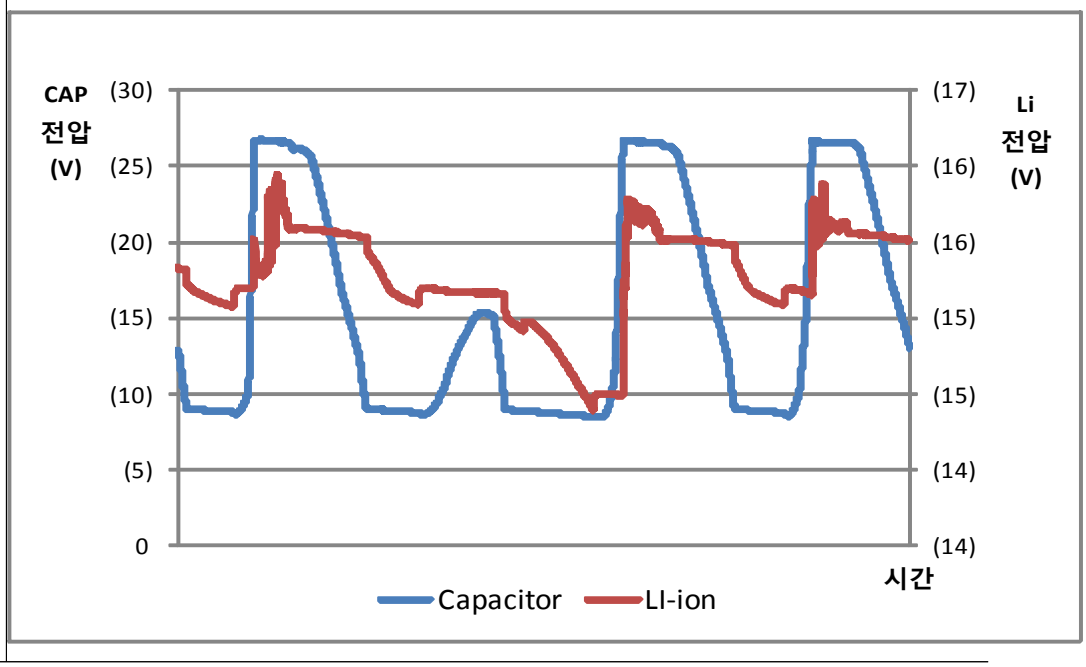
구 분	연 구 결 과
하이브리드 배터리 시스템 구성	▪ Hybrid Battery System의 구성 - 커패시터를 주된 배터리로 선정하고 화학전지를 보조배터리로 운영하여 에너지 밀도를 보완하는 하이브리드 배터리 시스템을 구성 → 하이브리드 배터리 : 주 배터리(커패시터) + 보조 배터리(화학전지) - 보조 배터리는 화학전지를 적용하며, 10년 이상 사용 가능한 배터리 시스템의 개발을 목적으로, 상대적으로 충·방전 cycle 가능 횟수가 많으며 소형화의 이점도 있는 리튬인산철을 보조 배터리로 우선 적용 #1. 화학전지 특성 비교

구분	리튬인산철 (LiFePo4)	리튬이온 (Li-ion)	납축전지 (Lead-Acid)
cycle	1,000~2,000	300~500	200~300
온도 특성	-10~50℃	-10~40℃	-5~40℃
가격 비교	700원/w	500원/w	100원/w



▪ 제어시스템의 구성
- 제어시스템은 충전 제어부, 배터리 제어부, 방전 제어부로 구성됨.
- 충전 제어부는 MPPT 방식의 충전 효율 강화 장치를 구성함
- 배터리 제어부는 커패시터와 리튬인산철의 cell balancing을 관리하는 BMS와 배터리의 충전과 방전을 제어하는 하이브리드 컨트롤러로 구성됨.
- 방전 제어부는 DC-DC Converter와 디밍기능을 포함한 LED Driver로 구성

구 분	연 구 결 과
하이브리드 배터리 시스템 구성	
시스템 설정	▪ 시스템 설정 Tool 개발 - 운영 목표에 따라 시스템 설정 가능토록 개발하였으며, 각 항목별 수치 설정 가능함. 장기적으로는 중앙 제어 장치와 연계 가능토록 준비 - 현재 충전 제한 기준 전압, 방전 제한 기준 전압, 디밍 단계(2단계) 설정이 가능하도록 개발되었으며, 지속적인 실증 운영을 통해 필요 항목을 추가 계획임  

구 분	연 구 결 과
시스템 운영 테스트	▪ Cell Balancing 테스트  ▪ 하이브리드 배터리 동작 테스트  ▪ 부조일 대응력 테스트 

구 분	연 구 결 과

Simulation Tool 확보 및 최적 설계

▪ 제반 변수를 적용한 연간 동작 예측

- 태양광 전력공급 시스템의 적정 용량 설계를 위하여 「발전-저장-사용」을 반영하는 예측 시뮬레이션 tool을 제작하여 테스트 진행

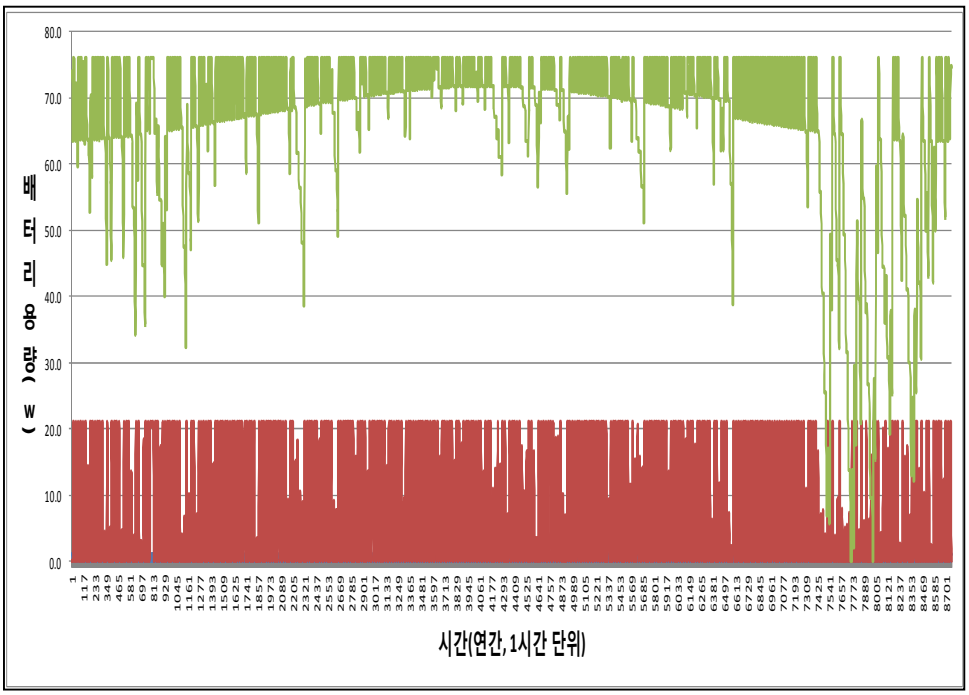
구분	내용
발전 부문	기후, 태양광 패널 용량, 설치 각도, 최저 발전 용량
배터리 부문	주 배터리 및 보조 배터리 용량, 충전 효율, 에너지 효율
방전 부문	소비전력, dimming 정도, 점등 및 소등 시간

▪ 최적 시스템 설계 기반 조성

- 시뮬레이션 결과를 통해 기후 상황에 따른 부 동작 발생 상황 및 연간 배터리 cycle 횟수 등을 추산하고 이를 근거로 운영 목표에 적합한 태양광 전력공급 시스템 설계 가능

▪ Simulation 가정

발전 부문		배터리 부문			방전 부문		
태양광 패널	25wp	용량	CAP	21w	소비전력		4w
설치 각도	60°		LFP	76w	디밍	4hrs	100%
최소 발전	진도 실측	충전 효율	CAP	70%		4hrs	50%
			LFP	90%		이후	40%
		에너지 효율	CAP	95%	점등		일몰 10분 후
			LFP	95%	소등		일출 20분 전
추정 배터리 cycle 횟수(연간) : 커패시터 365회, LFP 50.7회							



▣ 23. 온로드 테스트 구축 - Spot type 현장 설치

○ [연구 목표치]
- 실제 도로 환경에서의 낮은 조명 시스템의 성능 확인

○ [연구 내용]
- 도로 환경 수준에 맞은 등기구 개발 및 설치 형태별 Bracket의 개발
- 실제 다양한 유형의 도로 환경에서의 적용 가능성 검토

○ [연구 결과]
- 차별화된 조명 성능 확인 : 상향광 및 누설광 제어
- 젖은 노면에서의 글레어 최소화 확인

구 분	연 구 결 과
강릉 내곡교	▪ 적용 도로 : 왕복 5차선, 교량 구간 ▪ 상용전력용 Spot type 낮은 조명시스템 ▪ 총 설치 구간 : 총 300m(왕복 차선 기준) ▪ 총 설치 수량 : 150대(설치 간격 2m)
정동진 피암터널	▪ 적용 도로 : 왕복 2차선, 무 조명 지방도 구간(부분 터널) ▪ 상용전력용 Spot type 낮은 조명시스템 ▪ 총 설치 구간 : 총 200m(편도 설치 기준) ▪ 총 설치 수량 : 100대(설치 간격 2m)

▣ 24. 온로드 테스트 베드 구축 - Line type 현장 설치

○ [연구 목표치]
- 실제 도로 환경에서의 Line type 낮은 조명 시스템 및 하이브리드 전력공급 시스템의 성능 확인

○ [연구 내용]
- 도로 환경 수준과 악천후 대응 가능한 등기구 개발 및 설치 형태별 Bracket의 개발
- 태양광 하이브리드 배터리시스템 적용 가능성 검토

○ [연구 결과]
- 차별화된 조명 성능 확인 : 상향광 및 누설광 제어
- lens type의 Line type으로 설치 간격 8m 도로 조명 성공
- 하이브리드 배터리 시스템 적용 완료 및 성능 검증
- 악천후(안개) 대응 적정 색온도(Amber 계열) 변경 가능

구 분	연 구 결 과
Siem Reap (캄보디아)	▪ 적용 도로 : 왕복 2차선, 무조명 도로, 무 전력 구간 ▪ 태양광 하이브리드 배터리시스템 적용 ▪ 총 설치 구간 : 200m(편도 설치 기준) ▪ 총 설치 수량 : 26대(설치 간격 8m)
제2중부고속도로 광지원터널 진·출입부	▪ 적용 도로 : 왕복 4차선, 무 조명 고속화 도로 터널 진·출입부 ▪ CIGS 패널 태양광 하이브리드 배터리시스템 적용 ▪ 시정계와 통신으로 연동, 안개 상황 시 적정 색온도(Amber 계열) 변경 가능 ▪ 총 설치 구간 : 총 100m(편도 설치 기준) ▪ 총 설치 수량 : 12대(설치 간격 8m)

▣ 25. Spot Type 환경, 전기 관련 공인시험성적서

○ [연구 목표치]
- Spot Type 낮은 조명에 대한 전기 및 환경 변화에 대한 성능공인시험

○ [연구 내용]
- Spot Type 낮은조명에 대한 IP등급, 누설전류, 충전부에 대한 감전보호, 내습후 절연저항 및 내력, 내구성 및 내열성 시험

○ [연구 결과]
- Spot Type 낮은조명에 대한 IP65, 누설전류, 내구성 및 내열성 등 환경 및 전기 안전성능 관련 공인시험성적 확보

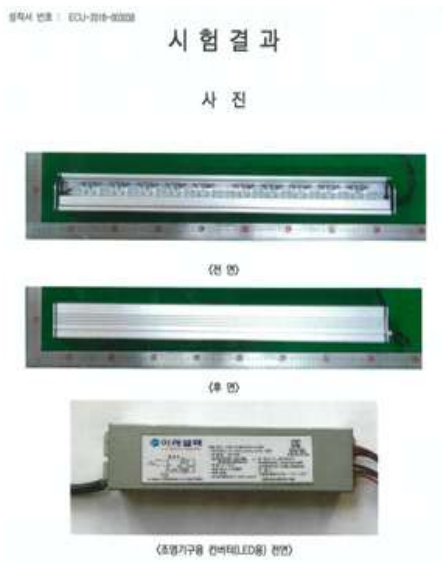
구 분	연 구 결 과
Spot Type 환경, 전기 관련 공인시험성적서 확보	▪ 환경변화에 의한 고장 및 오작동의 최소화를 위한 IP65등급, 누설전류, 내구성 및 내열성등 환경 및 전기 안전성능에 관련한 공인시험성적을 확보함

▣ 26. Line Type 환경, 전기 관련 공인시험성적서

○ [연구 목표치]
- Line Type 낮은 조명에 대한 전기 및 환경 변화에 대한 성능공인시험

○ [연구 내용]
- Line Type 낮은조명에 대한 IP등급, 누설전류, 충전부에 대한 감전보호, 내습후 절연저항 및 내력, 내구성 및 내열성 시험

○ [연구 결과]
- Line Type 낮은조명에 대한 IP66, 누설전류, 내구성 및 내열성 등 환경 및 전기 안전성능 관련 공인시험성적 확보

구 분	연 구 결 과
Line Type 환경, 전기 관련 공인시험성적서 확보	▪ 환경변화에 의한 고장 및 오작동의 최소화를 위한 IP66등급, 누설전류, 내구성 및 내열성등 환경 및 전기 안전성능에 관련한 공인시험성적을 확보함 

▣ 27, 28. Spot/Line Type 편익/효과분석

○ [연구 목표치]
- Spot/Line Type 낮은 조명시스템의 기존가로등 대비 경제성 확보

○ [연구 내용]
- 도로공사 표준 LED(100W) 폴 가로등과 낮은 조명시스템(기개발 낮은등, 본과제 낮은등(Line/Spot type), 해외제품 낮은등) LCC(Life Cycle Cost, 생애 주기 비용) 경제성을 비교함

○ [연구 결과]
- 본과제 낮은등(Line type)은 기존 LED 폴 가로등 대비 설치 개수가 몇 배 많음에도 불구하고 기존 가로등 대비 초기투자비와 전기요금에서 경제성 확보
- 본과제 낮은등(Spot type)은 기존 LED 폴 가로등 대비 설치 개수가 너무 많아 기존 가로등 대비 경제성 여부는 추가 검토할 필요 있음

구 분	연 구 결 과

경제성 분석

▪ 비교대상군은 다음과 같음

표준LED 폴가로등 100W	기개발 낮은등 17W	본과제낮은등 (Line type) 18W	본과제낮은등 (Spot type) 8W	해외낮은등 (ORUS 1L70) 27W

▪ 20년간 가로등별/구간별 원가계산을 비교해 보면 다음과 같음

(단위:원)

구분	도로공사가로등	기개발 낮은등	과제 낮은등(L)	과제 낮은등(S)	해외 낮은등	경제성분석
초기설치비용	4,060,853	제외	3,887,412	5,309,648	6,361,486	과제 낮은등(L) 유리
유지보수비용	221,706	제외	918,694	2,050,458	1,638,202	도로공사가로등 유리
전기료	1,945,459	제외	1,384,698	2,461,685	1,817,416	과제 낮은등(L) 유리
잔존가액	(79,450)	제외	(120,000)	(160,000)	(245,000)	과제 낮은등 유리
합계	6,148,568	제외	6,070,804	9,661,790	9,572,103	도로공사가로등 거의 동일

※ 고소작업이 필요없고 차로 차단이 용이한 낮은 조명에 대한 유지보수비용 기준이 없으므로 추후 이를 반영 시에는 추가 경제성 확보 가능

▪ 2018.12.31일 기준으로 현재가치를 계산하여 비교해 보면 다음과 같음

(단위:원)

구분	도로공사가로등	기개발 낮은등	과제 낮은등(L)	과제 낮은등(S)	해외 낮은등	경제성분석
초기설치비용	4,060,853	제외	3,887,412	5,309,648	6,361,486	과제 낮은등(L) 유리
유지보수비용	155,500	제외	644,354	1,438,150	1,149,002	도로공사가로등 유리
전기료	1,379,893	제외	983,050	1,747,644	1,290,253	과제 낮은등(L) 유리
잔존가액	(43,990)	제외	(66,441)	(88,588)	(135,651)	과제 낮은등 유리
합계	5,552,257	제외	5,448,375	8,406,854	8,665,090	도로공사가로등 거의 동일

▪ 기간별 원가를 분석하면 다음과 같은 결론이 도출됨
- 초기 투입비용에 따른 경제성의 경우 "과제 낮은등(L)"이 유리하거나 거의 유사할 것으로 예상되며
- 유지보수비용의 경우에는 현재의 데이터와 구간 기준으로는 과제 낮은등의 갯수가 많아 도로공사가로등이 유리할 것으로 판단되며
- 전기료는 "과제 낮은등(L)"이 유리할 것으로 판단됨

▣ 29. 언론 홍보 및 마케팅

○ [연구 목표치]
- 국제 전시회 부스 운영 및 TV, 신문기사 등을 통한 언론 홍보

○ [연구 내용]
- 생소할 수 있는 신개념의 도로조명 홍보를 위한 국내외 전시회 및 바이어 매칭 상담회 참가
- 대중매체를 통한 언론 홍보

○ [연구 결과]
- 국제 전시회 1건, 국내 전시회 1건 참가 / 부스 운영을 통한 낮은 조명시스템 적극 홍보
- KOTRA 주관 바이어 매칭 상담회 참가하여 Buyer와 Seller간 1:1 프로젝트 상담
- 국문, 영문 홍보물(리플렛) 제작

<table>
<tr><th>구 분</th><th>연 구 결 과</th></tr>
<tr><td>국제 전시회

네덜란드 암스테르담</td><td>▪ Intertraffic AMSTERDAM 2018 전시회 부스 운영
- 전시품목 : Lens 배광방식 Line type / Spot type, Reflector 배광방식 Spot type, 가드레일 일체형 Lens 배광방식 Line type(협력사 부스에서 전시)
- 전시회 주요활동
. 홍보 : Intertraffic Daily News 게재
. 네트워크 구축 : 유럽 2, 중동 1 기업과 협의
. 협업 파트너 물색 : 유럽 12, 중국 1 기업과 미팅 상담
 </td></tr>
<tr><td>국내 전시회</td><td>▪ 2018 국토교통기술대전 전시회 부스 운영
<table>
<tr><th>전시품목</th><th colspan="2">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="3">낮은조명 일체형 가드레일</td><td colspan="2">일체형 guard rail(8m)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">라인 타입</td><td>LAMP1: 상전 형으로 전시, 색온도 변경</td></tr>
<tr><td>LAMP2: 태양광 형으로 전시, CIGS 패널 전시</td></tr>
<tr><td rowspan="2">일반형 가드레일 1</td><td colspan="2">일반형 guard rail(2m)</td></tr>
<tr><td colspan="2">LINE 타입: 1, SPOT 타입: 1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">일반형 가드레일 2</td><td colspan="2">일반형 guard rail(2m)</td></tr>
<tr><td colspan="2">태양광 형 SPOT 타입: 2(일반 패널형, CIGS 패널형)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">낮은조명 일체형 갈매기 표지</td><td colspan="2">LENS 형 SPOT 타입 적용(LENS 2개 적용)</td></tr>
<tr><td colspan="2">상전 형(1), 태양광 형(1, CIGS 적용)</td></tr>
</table>
- 주요 상담 내방객 : 공공기관 / 지자체 15, 기업 7 외
 </td></tr>
</table>

구 분	연 구 결 과
홍보물 제작	▪ 국문 리플렛 / 영문 리플렛 제작

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표 달성도

○ 본 연구는 단위 요소 핵심기술인 낮은 저가격, 등기구 간격 최적화 낮은 조명 기술, 야간 악천후 대응 최적 시인성 확보 기술, 태양광 기반 에너지 자립형 전력 공급 기술을 기반으로 Spot Type, Line Type 낮은 조명시스템을 각각 개발하였으며 이에 따른 성과점검기준을 설정하였음

○ 목표로 설정한 질적 성과지표와 정량적 성과지표를 모두 달성하였음

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		총괄 성과점검기준							해당 기관	예산 (백만원)	정량목표	
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치			목표치	달성치
1차년도	A	[단위요소 핵심 기술 1] 낮은조명기술	A-1	광학부 및 배광 최적화 설계	①	시뮬레이션 평가	도로조명기준 M3 충족	M3 충족	시뮬레이션	시뮬레이션 결과	1	루미리치(주) 건기연(부)	150	특허 : 출원 1건	특허 : 출원 1건 [달성완료]
					②	배광 측정	광효율 130lm/W이상	광효율 130lm/W이상	단위테스트	시험성적서	1		6		
			A-2	외함 및 취부구조 설계	①	안전(절연, 보호, 내열, 점등 등)설계	KS C 7658	만족	시뮬레이션	보고서	1		12		
					②	내구성(IP65, 진동, 내식성)설계	KS C IEC 60598-1 4.13,4.20;한국도로공사표준7.3.5	만족	시뮬레이션	보고서	1		120		
			A-3	디밍 조명 모듈 개발	①	색조절 디밍 모듈	통신대응	디밍 구동 확인	단위테스트	테스트결과 보고서	1.5		16		
	B	[단위요소 핵심 기술 2] 악천후대응기술	B-1	악천후 조건별(안개) 시인성능 정의	①	목표 시인성능 정의	자체 평가	실증실험을 통한 결과 도출 값	자체평가	보고서	1	건기연	15	특허 : 출원 1건 논문 : 2건 S/W : 1건	특허 : 출원 1건 논문 : 2건 S/W : 1건 [달성완료]
			B-2	광조건 제어 모듈 및 알고리즘 개발	②	알고리즘 판단 정확도	95%	100%	자체평가	보고서	3		19		
	C	[단위요소 핵심 기술3] 에너지 자립형 전력 공급 기술	C-1	전력 공급 효율화 최적화 기술 개발	①	국내 기후 기준 최적화 전력 공급 시스템 구성 개발	부조일 7일 이상	7일 대응 가능성 확인	단위테스트	테스트 결과보고서	2	매직마이크로(주) 건기연(부)	20	특허 : 출원 1건 S/W : 1건 논문 : 1건	특허 : 출원 1건 S/W : 1건 논문 : 1건 [달성완료]
					②	극한 기후 기준 최적화 전력 공급 시스템 구성 개발	온도 대응(고온,저온) 환경테스트	극한 기후 최적화 설계 기준 및 구성 기술 개발	단위테스트	기관의뢰	2		44		
			C-2	배터리 장수명 확보 기술 개발	①	국내 환경 기준 장수명 시스템 개발	10년이상	10년 사용 가능성 확인	단위테스트	테스트 결과보고서	1.5		50		
					②	극한 기후(고온,저온) 장수명 시스템 개발		극한 기후 대응 가능 시스템 구현	단위테스트	기관의뢰	1.5		110		
			C-3	시스템 제어 알고리즘 개발	①	전력 공급 제어 알고리즘	정확도 95%	95%이상	자체 작동시험	보고서	1		150		
					②	배터리 제어 알고리즘		100%			1				
					③	충전 효율 제어 알고리즘		95%이상			1.5				

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		총괄 성과점검기준							해당 기관	예산 (백만원)	정량목표	
						질적 성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치			목표치	달성치
2차년도	A	Spot type 낮은 조명 시스템 기술 개발	A-1	Spot type 낮은 조명시스템 설계	①	양천후 시 오프로드 성능평가	투과율 측정	측정 완료	광학 측정	자체 보고서	5	매직마이크로(주) 한국건설기술연구원(부)	55	특허(출원) : 1건 논문 : 1건 시작품 :1건	특허(출원) : 2건 논문 : 1건 시작품 :1건 [달성완료]
				시작품 제작	②	시작품 제작	실물 제작	제작 완료	오프로드 테스트	자체 보고서	10		80		
	B	Line type 낮은 조명 시스템 기술 개발	B-1	Line type 낮은 조명시스템 설계	①	시뮬레이션 평가	도로조명등급 M3	M3 도출	시뮬레이션	자체 보고서	5	(주)선린(주) 한국건설기술연구원(부)	11	특허(출원) : 1건 논문 : 1건 시작품 : 1건	특허(출원) : 2건 논문 : 1건 시작품 : 1건 [달성완료]
					②	단위 모듈별 H/W 개발	배광설계 및 입출금형	개발 완료	설계도	자체 보고서	5		10.4		
					③	광학 성능 평가	도로조명등급 M3	M3 도출	광학 측정 (공인인증기관)	공인시험 결과서	5		15		
			B-2	시작품 제작	①	양천후 시 오프로드 성능평가	투과율 측정	측정 완료	광학 측정	자체 보고서	5		55		
					②	시작품 제작	실물 제작	제작 완료	오프로드 테스트	자체 보고서	10		60		
	C	전력 공급 시스템 개발	C-1	태양광 발전 충방전 기술 개발	①	제어시스템 개발	정확도 95% 이상	정확도 95%이상 달성	자체 테스트	자체 보고서	15	매직마이크로(주)	50	S/W : 1건	S/W : 1건 [달성완료]
	D	온로드 테스트 베드 구축	D-1	온로드 테스트 베드 구축	①	Spot type 현장 설치	온로드 테스트베드 구축 완료	구축 완료	관련 지자체 인증	구축 현장 개요도	20	한국건설기술연구원(주) 매직마이크로(부) (주)선린(부)	150	시작품 : 2건	시작품 : 2건 [달성완료]
					②	Line type 현장 설치	온로드 테스트베드 구축 완료	구축 완료	관련 지자체 인증	구축 현장 개요도	20		200		
3차년도	E	실용화 (계약, 설치)	E-1	공인시험성적서 확보	①	Spot Type 공인시험성적서	인증서(환경,전기)	공인시험성적서 발급 완료	기관의뢰	보고서	15	매직마이크로(주) 건기연(부) 선린(부)	75	특허 :등 록 : 1건 논문 : 1건	특허등록 1건 [달성 완료] 논문 :1건 [달성완료]
					②	Line Type 공인시험성적서	인증서(환경,전기)	공인시험성적서 발급 완료	기관의뢰	보고서	15		75		
			E-2	편익/효과분석	①	Spot Type 편익/효과 분석	기존 가로등 대비 경제성 확보	수행완료	기관의뢰	보고서	20		100		
					②	Line Type 편익/효과 분석	기존 가로등 대비 경제성 확보	초기투자비/전기요금 경제성 확보	기관의뢰	보고서	20		100		
			E-3	디바이스 활용 기술 홍보	①	홍보 건 수	1건	국제 전시회 1건, 국내 2018기술대전 참여	기관의뢰	자체 보고서	10		81.9		
			E-4	기술 사업화	①	기술실시	1건	계약 예정	기술실시 계약서	자체 보고서	20		50		
계													1,880.3		

나. 관련 분야 기여도

○ 기존 하향식 조명 구조(pole)형 조명 시스템의 단점을 극복한 낮은 조명 방식은 도로면과 물체간의 휘도 차를 강화하는데 매우 유리하여 시인성 확보를 통한 야간 안전 운행에 최적의 기술임. 유사한 시선 유도용의 조명 방식은 존재하나, 도로 전담 조명 방식으로는 세계 최초로 상용화하는 기술임

○ 도로조명과 신재생에너지 산업의 결합체인 본 기술의 특성 상 에너지산업과 IT산업 나아가 건설 산업과의 융합을 통한 시너지도 기대되는 등, 산업 시장 전반에 지대한 파급 효과가 예상

○ 야간 및 악천후 상황 시 도로 차선 인식 성능 우수 및 시인성 확보로 전방상황 확인이 용이하여 사고 감소 효과 기대

○ 관련 규정/기준 및 빛 공해 방지법 준수

- '인공조명에 의한 빛 공해 방지법'(환경부), 법률 제11261호 / 공포일 : 2012.02.01., 시행일 : 2013.02.02
- 국제적으로 이슈화 되고 있는 빛 공해, 저탄소 녹색 성장 및 지구 온난화 최소화에 기여

○ 경제적 · 산업적 측면에서 수출입 효과 등 산업 시장전반에 지대한 파급 효과 예상

- 가격 경쟁력 및 안개 등 악천후 대응 성능 확보를 통한 조명 기술 수출 가능

  ※ 2014년 기준 국외 LED 도로조명 분야 규모는 21억 달러 수준, 시장규모의 지속적 성장 예상
- 전력 공급 인프라가 부족한 동남아시아, 중동, 중국 등 광대한 개발대상국 시장이 1차, 친환경에너지 시장을 선호하는 선진국시장도 2차 대상 시장이 될 것으로 예상
- 고온다습한 기후와 장기간의 우기(동남아시아), 초고온과 모래바람(중동), 극저온(몽골, 러시아) 등의 자연환경에서 안정적으로 구동 가능한 태양광 기반 에너지 자립 기술의 개발은 향후 대표적인 수출 제품으로 자리 잡을 것으로 예상
- 인프라 사업의 특성을 보유하고 있어 도로 등 건설업종과 연계된 사업 형태로의 해외사업 가능

제5장. 연구개발성과의 활용계획

가. 성과물의 활용방안

○ 본 연구의 성과물은 야간 악천후 시 시인성 확보가 가능한 에너지 자립형 낮은 조명 시스템으로, 부분성과물로는 1)-1 반사판 배광도구 저가격 고효율 낮은 조명 기술 1)-2 렌즈 배광도구 저가격 고효율 낮은 조명 기술 2) 야간 악천후 대응 최적 시인성 확보 기술, 3) 낮은 조명 전용 태양광 기반 에너지 자립형 전력 공급 기술이며 각각의 활용방안은 아래 표와 같음

<성과 활용방안>

성과물		성과물의 사용자 또는 사업화 주관기관	사업화 또는 정책 방안 제시
전체 성과물	악천후 대응 에너지 자립형 낮은 조명 시스템	국토교통부, 지자체, 한국도로공사 등	• 국토교통부, 일반국도 야간 사고잦은 곳 개선사업 및 악천후 위험도로 개선사업 • 국토교통부, 악천후 대응 안전시설물 설치사업 ITS 구축[안전부문] 사업) • 지자체, 도로안전 개선사업 및 ITS 구축[안전부문] 사업) • 한국도로공사, 고속국도 안전개선사업 • 한국도로공사, 야간 및 악천후 대응 안전시설물 설치사업(서해대교 등 장대교량 안전사업) • 한국도로공사, ITS 구축[안전부문]사업 사업도로안전개선사업
부분 성과물	반사판/렌즈 배광도구 저가격 고효율 낮은 조명 기술	국토교통부, 지자체, 한국도로공사 및 유관업체, 연구기관	• (유관업체) LED 조명 관련산업분야 기술전파 • (연구기관) 도로조명 기능개선 연구과제 도출 • 차세대 도로조명시스템으로 신규시장 확보 • 특수조명으로 확장 : 교량, 빛공해 방지용
	야간 악천후 대응 최적 시인성 확보 기술	국토교통부, 지자체, 한국도로공사 및 유관업체, 연구기관	• 악천후 안전조명으로 시장 진입. • 특성 강화 및 세계시장 공략
	낮은 조명 전용 태양광 기반 에너지 자립형 전력 공급 기술	국토교통부, 지자체, 한국도로공사 및 유관업체, 연구기관	• (유관업체) 태양광 배터리 설계 및 시스템 제작 기술전파 • (연구기관) 신재생에너지 배터리 효율성 증진연구사업 과제 도출 • 전력 인프라 미비 도로시장(국도, 지방도) 공략 및 해외 개발 시장 공략 • 신재생에너지 산업용으로 시장 확대

나. 사업화 계획

1) 생산 계획

구분			(2019 년) 개발 종료 후 1년	(2020 년) 개발 종료 후 2년	(2021 년) 개발 종료 후 3년
국내	시장점유율(%)		5.0%	10.0%	10.0%
	판매량 (설치구간:km)	상용전력 형	44.6	95.5	146.4
		태양광 형	15.1	45.3	75.5
	판매 단가 (설치단가:km)	상용전력 형	51.2	51.2	46.1
		태양광 형	200.0	200.0	180.0
	국내 매출액(백만원)		5,302.6	13,952.8	20,342.6
해외	시장점유율(%)		-	-	-
	판매량 (설치구간:km)	상용전력 형	6.7	222.8	477.3
		태양광 형	2.3	75.5	226.6
	판매 단가 (설치단가:km)	상용전력 형	51.2	25.6	23.0
		태양광 형	200.0	100.0	90.0
	해외 매출액(백만달러)		0.7	12.1	28.5
당사 생산 능력[1)]			-	-	-

○ .국내 시장 규모는 10%를 목표로 함. 2020년 이후 무조명 도로 구간(국도/지방도)을 대상으로 하는 시장 추가확대 예상

○ 해외 시장은 국내 시장 규모의 5배 수준까지 확보하는 것을 목표로 설정

○ 해외사업은 현지 사업자와의 협력 사업으로 진행할 계획으로 2020년 이후는 핵심부품 공급사업 형태로 진행을 계획하고 있어 판매단가를 국내 단가의 50%만 반영함(2019년도는 100% 반영)

2) 투자 계획

(단위: 백만원)

항목		(2019 년) 개발 종료 후 1년	(2020 년) 개발 종료 후 2년	(2021 년) 개발 종료 후 3년
매출원가		8,120	22,030	54,430
판매관리비		709	975	1,377
자본적 지출	토지	-	-	-
	건물/구축물	60	40	40
	기계 장치 등	580	30	320
자본적 지출 합계		640	70	380

3) 사업화 전략

① 형태/규모

○ 상용화 전략

- 상용전력형(첨단도로조명)과 하이브리드형(태양광+상시전원), 인프라 독립형(태양광 독립전원) 시장으로 구분하여 시장 공략

구분	상용전력형 (첨단도로조명)	하이브리드형 (태양광+상시전원)	인프라 독립형 (태양광 독립전원)
특성	- 차별화된 조명 방식 - 세계 최초 lens 기반 배광기술 - 기술 및 가격 경쟁력 확보	- 설치지역 전력 인프라 발주처 요구조건 맞춤형 전력 공급	- 최적의 태양광 가로등 시스템 - 배터리시스템 경쟁력 우위 확보
시장	- 고속화 도로, 일반도로 - 선진국 시장 공략 - 빛 공해 방지 시장 공략 - 교량, 위험구간, ramp 등 집중	- 전력난이 심하여 상시 전원만으로 안정적 도로조명 운영이 어려운 지역	- 국도, 지방도 - 무 전력 도로 시장 공략 - 전력 인프라 부족 국가 공략 - 친 환경에너지 시장 공략

- 가격 경쟁력 확보

→ 기존 pole type 가로등 시스템 보다 저렴한 가격 유지

○ 수요처 분석 및 추진 전략

구분	국내 시장	해외 시장
수요처	- 도로공사 - 국도 관리청 - 지방 자치 단체	- 선진국시장 + 개발국 - 현지 정부 및 관련 유력 사업자 (기술이전을 통한 현지 사업화)
기타	- 건설사, 설계회사 대상 홍보 활동 병행 - 친 환경 관련 기관 공략	- KOTRA, KOICA 대상 홍보 및 정보 확보 - 글로벌 지원 단체 대상 홍보
추진 전략	- 국내 시장은 지역사업자(대리점) NETWORK을 구축하여 빠른 시장 진출을 모색 - 제품 개발사와 판매사 구조로 사업 전개하며, 개발사는 제품 홍보와 생산/공급 및 개발 업무에 주력하고, 지역별 사업권자인 대리점의 영업력을 적극 활용하여 시장 진출력 강화	- 「차별화된 조명+기술적 우위」를 기반으로 전 세계 시장 공략 - 특히, 1)태양광 기반의 구동되는 최적의 가로등시스템이며, 2)하이브리드 배터리시스템의 기술적 우위를 바탕으로 저개발국 시장 공략 - 현지 유력사업자와의 기술이전을 통한 전략적 사업협력방식을 적극적으로 검토 중임(부품 제조 기술 이전은 단계적 이전)

○ 가격 정책

- 판매 경쟁력 확보를 위해 기존 가로등과의 가격 경쟁력 우위 확보
- 가격 목표

구분	상용전력형		태양광형
	Spot type	Line type	(Spot type)
등기구 대당 가격	200천원	600천원	180천원
전기공사/배터리	60천원	60천원	250천원
설치비	50천원	50천원	50천원
계	310천원	710천원	480천원

- 가격 비교

(1) 상용전력형

구분		가로등1 (도로공사)	가로등2 (도로공사)	낮은가로등	
				Spot type	Line type
설치 기준	소비전력	100w	150w	8w	18w
	설치간격	32m	55m	2m	8m
기준 가격 (천원)	등기구	645	754	200	600
	등주/암	944	1,000	-	-
	전기공사	60/m	60/m	40/m	40/m
	설치비	552/기	552/기	52/기	52/기
1km 설치 비용 (천원)	등기구비	20,156	13,709	100,000	75,000
	등주/암	29,500	18,182	-	-
	전기공사비	60,000	60,000	40,000	40,000
	설치비	17,250	10,036	26,000	6,500
	계	**126,906**	**101,927**	**166,000**	**121,500**
	일소비전력	**3.3kw**	**2.7kw**	**4.0kw**	**2.25kw**

(2) 태양광형

구분		Pole type	낮은 가로등(spot)
설치기준	소비전력	50w	7w
	설치간격	20m	2m
기준가격	등기구	4,500	480
	설치비	500	50
1km 설치 비용(천원)	등기구	225,000	240,000
	설치비	25,000	25,000
	계	**250,000**	**265,000**

○ 해외 진행 상황

(1) Philippine

- ORO FILIPINO Enterprise & DEVT.CO
- 필리핀 교량 및 도로 안전 시설물 제조 및 설치 전문사
- 현재 공사 중인 SKYWAY220에 적용을 위한 테스트 협의 중

(2) Indonesia

- PT LEN Industri, PT SEI와 전략적 사업 협력 협의
- 하이브리드 태양광 전력공급시스템, 낮은조명시스템
- 인도네시아 현지 협력 사업 추진 협의
- 현지 생산 인프라 활용 협의

(3) 캄보디아

- APSARA Authority(문화관광청), MPWT(국토교통부)와 협의
- 도로안전 시설물에 대한 기술 홍보 및 테스트 베드 진행
- 장기적으로 기술이전을 통한 캄보디아 제품화 방안 협의
- 대표적인 관광지인 앙코르왓뜨 주변에 테스트베드 운영 합의
- 하이브리드 태양광 전력공급시스템, 라인타입, 가드레일 일체형(신도산업과 공동)

(4) Maryland(USA)

- Takoma Park City에서 제품 설치 및 검토
- 하이브리드 태양광전력공급시스템에 관심
- 총 8기 설치하여 동절기 테스트 진행 중

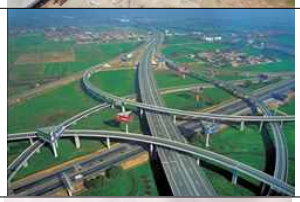
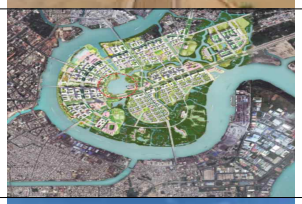
(5) Dubai

- NAKHEEL, DEWA와 협의
- 2015.11 이후 진행해온 태양광 전력공급시스템 테스트 결과에 만족
- 낮은조명시스템에 대한 테스트 희망

(6) Vietnam

- 베트남 호치민 등의 공용중이거나 시공 완료 시점의 교량을 대상으로 하여 베트남 현지 관련 시행사와 낮은 조명시스템 도입 관련 협의 진행 중
- 베트남 도로공사(Vietnam Expressway Corporation)등 여러 기관에서 낮은 조명시스템에 관심을 갖고 설계에 관해 지속적으로 요청중이며, 시범설치를 요구하고 있음
- 현재 12site 중 4site에 설계를 완료하였고 그 중 3site는 제안서를 제출한 상태임

<베트남 낮은 조명시스템 설치 요구 지역 현황>

No.	프로젝트 명칭	장소	사진		비고 (도입예정시기)
1	CHU LAI INTERSECTION	Quang Nam Province			설계 완료 (2018)
2	BEN LUC - LONG THANH EXPRESSWAY	Dong Nai Province			제안서 제출 (2018)
3	LO TE - RACH SOI HIGHWAY	Can Tho City			(2019)
4	CENTRAL LAKE	Ho Chi Minh City			제안서 제출 (2019)
5	CAN THO CITY URBAN DEVELOPMENT	Can Tho City			(2019)
6	TRUNG LUONG-MY THUAN EXPRESSWAY	Tien Giang Province			(2019)
7	THU THIEM 2 BRIDGE CONSTRUCTION	Ho Chi Minh City			설계 완료 (2019)

8	PHONG DIEN BRIDGE	Can Tho City		(2019)
9	BIEN HOA-VUNG TAU EXPRESSWAY	VungTau City		(2020)
10	HCM-MOC BAI EXPRESSWAY	Ho Chi Minh city		(2020)
11	AN PHU INTERCHANGE CONSTRUCTION	Ho Chi Minh city		(2020)
12	BINH TIEN BRIDGE CONSTRUCTION	Ho Chi Minh city		(2020)

○ 개발 투입 인력 및 기간

구분	2018	2019
내용	제품화 설계 제품인증	효율 강화
인력	8	5

② 상용화 능력 및 자원 보유

○ 상용화에 필요한 안정적 기반 확보

- LED 조명관련 제품들을 생산·판매하는 사업을 영위하고 있어 상용화를 위한 기반 기술 및 생산 시설을 보유
- 국내는 물론 베트남, 중국에 현지법인을 운영하고 있어 해외사업을 위한 안정적인 교두보와 경험 보유
- 장기적으로 global 사업 기반 강화를 위한 해외 생산 기반 확보

○ 사업적 시너지 발생 가능

- 낮은 조명 생산 공정이 회사의 기존 제품 생산과 유사하여 업무대응이 용이하며, 수입 및 출하 등의 검사 설비는 물론 조립라인 등 기존 생산라인 활용 가능

- 더불어 기존 LED 사업 영위 과정에서 확보하고 있는 유관업체, 협력업체 등 유·무형의 사업 인프라를 적극적으로 활용 가능하며, 사 업화 과정을 통해 유관 협력업체간의 사업적 시너지 창출도 가능
- 원재료 측면에서는 50% 수준의 공용화가 예상되며, 원재료의 수급 편의성과 품질 유지, 가격 경쟁력 확보 측면에서도 많은 이점 예상
- 해외 현지 공장(베트남, 중국)을 해외 생산 시설로 운영 가능하여 가격 경쟁력 등 global 경쟁력 확보에 용이

③ 상용화 계획 및 일정

○ 상용화 계획
- 2019년 상반기 상용화를 목표로 사업 진행
- 상용전력용 제품을 범용제품으로 운영
- 에너지 독립형 제품은 전략적으로 고부가가치 제품으로 사업화
- 사업 진행 이원화 검토

<상용화 계획>

구분	대상 시장	기술 내용
내용	-첨단 도로조명 -친환경 도로조명 : 빛공해, 친환경에너지	-첨단 조명 기술 -친환경 전력공급시스템

○ 사업 진행 Schedule

<사업화 진행 스케쥴>

구분	2017	2018		2019
	8월~12월	1월~5월	6월~12월	1월~6월
내용	-국내외On-Road Test Bed 3군데 구축/운영 -영업 방안 수립	-Test Bed 운영 -제품인증 /협력기업을 통한 조달등록 -영업 개시	-국내외Test-Bed 구축/운영 -제품 인증 /협력기업을 통한 조달등록 -협력기업을 통한 국내외 설계 /제안서 제출 -생산 준비	-국내외Test-Bed 구축/운영 -협력기업을 통한 국내외 설계 /제안서 제출 -공급자로 선정 -생산 개시

4) 사업화 모형 제시

① 사업화 모형 수립(BM) 배경

○ 본 사업은 도로조명, 신재생에너지, 첨단 기술, 안전, 인프라 등의 특징을 보유하고 있으며, 수요처가 官이라는 사업 특성을 보유하고 있음

○ 이러한 제품 특성 중 사업적 측면에서 주요하게 고려해야 할 특성은 도로조명, 신재생에너지, 첨단기술이라는 점으로, 사업화 검토 시 다음과 같은 고려가 필요할 것으로 판단됨

<사업화시 고려사항>

도로조명	-수요처가 정부(지방자치단체) -지역별 사업권 분리(대리점제) 운영 계획 → ODM기반 사업 진행까지 검토 필요 -해외시장은 對官제품의 특성 상 현지 사업화 필요 → 단계적 기술이전을 전제로 하는 현지 사업화 추진 계획
신재생에너지	-해외 시장 진출에 더 유리 -다양한 어플리케이션으로 확대 가능
첨단기술	-경쟁 제품 등장 시기에 대한 고려 -reference site 중요 -지속적인 기술 up-grade

○ 국내와 해외사업 진행 방법의 이원화의 필요성과 확장성이 큰 제품의 특성 상 제품 중심이 아닌 기술 중심의 사업화 방안이 적합할 것으로 판단.

② 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

(1) 사업화 모형의 목표

○ 국내 사업과 해외 사업 전략 차별화 운영

○ 국내 사업의 운영

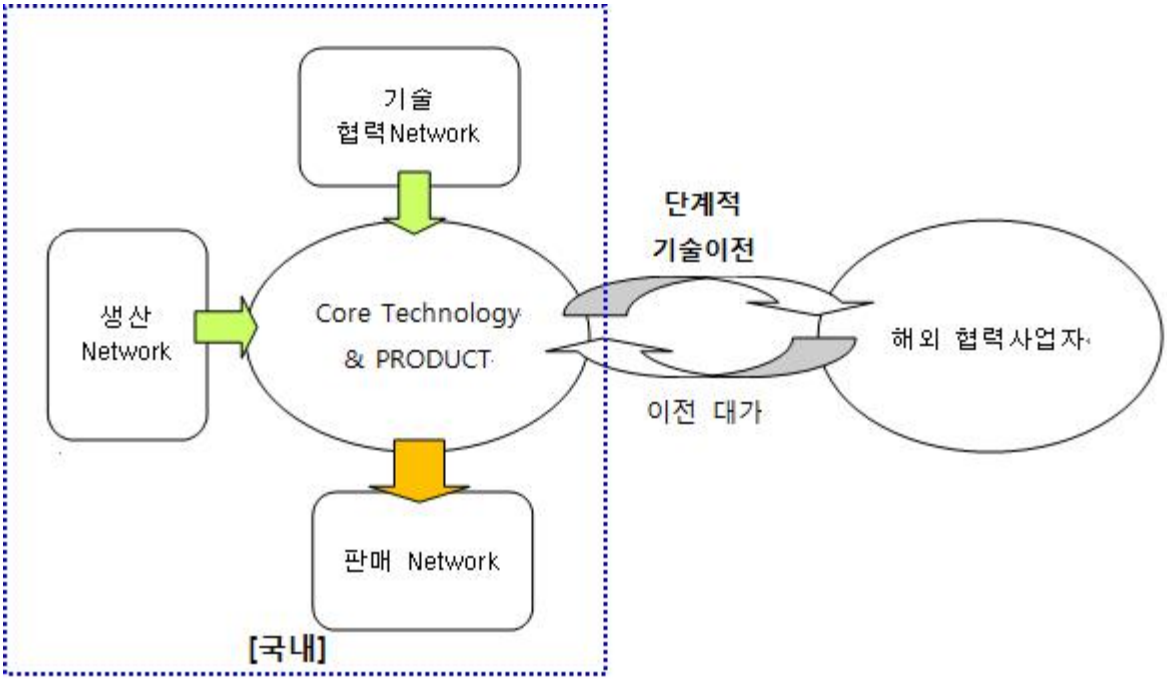
- 직접 생산 기반의 직접 운영 원칙
- 판매의 효율적 운영을 위하여 지역별 사업권자 운영

○ 해외 사업의 운영

- 기술 이전을 통한 각 국별 현지 사업화 형태의 사업 전개
- 기술적 지원은 국내에서 담당하고 생산 및 영업, 설치·유지관리 등 실질적 사업은 현지 협력사업자가 주관
- 각 별로 유력 사업자를 현지 협력 사업자로 유치하여 사업 파급력 강화에 주력

○ Global Business Network의 구축

- Global 시장을 대상으로 하는 지속적인 사업 환경 확보
- 국내 우수 기술의 현지 공급자 지위 확보



<Global Business Network>

(2) 핵심 경쟁 요인

○ 우수한 제품 경쟁력

- 낮은조명은 전 세계적으로 선도적인 도로조명 기술을 적용한 제품으로 세계 시장에서도 선도제품으로의 충분한 경쟁력 보유
- 특히, Lens 기반의 낮은조명 배광기술은 전 세계적으로 기술적 우위를 확보한 것으로 판단
- 커패시터를 적용한 태양광전력공급시스템(배터리시스템)은, 화학전지로 유지되어 온 기존 태양광전력공급 시장의 문제점을 극복할 아주 적합한 제품으로 가치 보유

○ 상생 기반의 친화적 사업전략

- 국내의 경우, 유관사업자와의 전략적 사업 공유 방안 모색을 통해 경쟁적 구조에서 분권·공유 형 구조의 사업 전개로 사업 시너지 강화
- 해외 사업의 경우, 기술 현지화를 통해 단순 판매구조가 아닌 '자국 제품화'를 추진함으로써 장기적 관점에서의 안정적 기술 수출 시장 구축

③ 목표 시장 구조

(1) 경쟁 기업 현황

○ 낮은조명 시스템

- 국내의 경우 1개 유사업체가 영업 중이나 본 제품과는 가격 및 성능 측면에서 큰 격차를 보이고 있어 본 제품이 상용화될 경우 뚜렷한 경쟁 제품은 없는 것으로 파악 됨
- 해외의 경우에는 Zumtobel사(Zumtobel그룹의 자회사인 Thorn Lighting사)에서 개발한 경쟁 제품이 있으며 유럽을 중심으로 활동 중임. 현재까지는 본 개발 제품이 가격 및 성능 측면에서 우위에 있는 것으로 판단됨. 지속적인 제품 경쟁력 검토를 진행하고 있음.
- Lens type 낮은 조명 배광기술 개발로 성능(광효율, 배광 수준), 가격, 에너지 효율 측면에서 상당한 기술적 우위 확보 가능 판단

○ 태양광 전력공급시스템

- 국내는 물론 세계 시장에서도 커패시터를 적용한 태양광 전력공급시스템은 확인되지 않고 있음(커패시터 global maker를 통해 신규 application 및 시장 경쟁자 현황 파악하고 있음)
- 커패시터를 화학전지와 결합한 하이브리드시스템은 미국에서도 긍정적인 평가를 받는 등 세계시장 진출 가능성이 높을 것으로 판단하고 있음
- 보다 안정적인 경쟁력 확보를 위하여 커패시터 제조사와의 커패시터 공동개발 등의 협업 프로그램을 추진 중에 있음

(2) 시장 진입 장벽

○ 낮은 조명시스템

- 낮은 조명시스템은 2012년 하반기 국내에 소개된 바 있는 도로조명방식으로 우호적인 시장 반응이 있었으나 기존 pole 형 조명방식 대비 과다한 가격 문제로 시장 진입에 실패한 바 있음
- 본 개발품은 기 개발 제품의 성능을 향상시키고 가격 경쟁력을 확보한 제품이라는 점에서 가장 주요한 시장 진입 문제는 해결하였으나, 일부 애로 사항과 보완 사항이 나타나고 있음.
- 낮은 조명 설치 위치 특성으로 인해 도난 및 고의적 파손이 우려되나, 이러한 문제의 방지를 위하여 낮은 조명을 도로 설계단계부터 가드레일이나 콘크리트 내부에 인입하여 주변시설물과 일체화 하는 방식을 취하고 있음

○ 커패시터 적용 태양광 전력공급시스템

- 2000년 대 이후 전국적으로 보급된 태양광시스템은 대다수가 배터리 문제로 실패한 바 있으며,이로 인한 태양광 전력공급시스템(배터리포함)에 대한 수요처의 불신과 저항감이 팽배해 있음
- 제품에 대한 충분한 설명과 실증으로 극복해야할 사항으로 판단

○ 국내 적용 활성화를 위한 방안 마련

- 낮은 조명은 도로안전시설 설치 및 관리 지침의 조명시설 편의 연속조명 파트 내 구조물 설치 방식으로 반영이 되어있음
- 도로조명의 경우 도로조명기준(예:M3등급)을 만족시키기 위한 인증을 한국도로공사로부터 받기 위하여, 조명전문프로그램(ex: 리룩스)을 이용한 시뮬레이션 평가 절차를 거쳐야 함
- 평가 절차를 위해 제조업체에서는 등기구 IES파일을 제출하여야 하나 낮은 조명의 경우 낮은 설치 높이 특성으로 인해 현 시뮬레이션 프로그램 특성상 정상적인 값이 도출되지 않아(R-Table 값이 안 나오는 영역이 존재), 낮은 조명의 성능을 시뮬레이션 상으로 증명할 수 없음
- 이와 같은 사항으로 인한 낮은 조명 도입 제한 문제를 해소하기 위해 시뮬레이션이 아닌 실측정을 통해 도로조명등급 M3를 도출(Spot type 간격 2m, Line Type 간격 8m 시)하여 성능을 검증함
- 또한, 실제 On Road 상에 Test-bed를 구성하여 중장기 운영을 통한 성능을 실증함
- 국내 On Road Test-bed 사례로는 강릉 내곡교, 강릉 안인피암터널, 제2중부고속도로 광지원터널 진출입부 구간이 있음
- 이와 같이, 실측정 및 실증운영을 통해 국내적용 활성화를 위한 방안을 마련하였음

④ 수익 확보 전략

(1) 주요 고객군

○ 국내 시장

- 국내 시장의 주요 수요처는 정부(지방자치단체)이거나 도로 부대시설의 특성상 시공업체가 될 수 있을 것으로 판단됨
- 국내사업 진행에 있어 지역사업자를 선정하는 분권형 영업망 구축을 계획하고 있으며, 지역 협력사업자의 영업력을 최대한 활용할 계획임
- 궁극적으로 회사는 건설사, 설계사 및 관을 대상으로 홍보영업을 진행하고, 지역 협력사업자는 현장 중심의 영업을 병행 진행할 계획임

○ 해외 시장

- 해외 시장 역시 주요 수요처는 관급공사일 수밖에 없으며, 이를 국내 업체가 직접 능동적으로 수행하는 사업 진행 방식은 비효율적이라 판단
- 이를 감안하여 해외 사업은 기술이전을 전제로 해외 협력사업자를 확보하는 방식으로 진행할 계획이며, 현지 협력사업자의 영업력을 활용한 사업 전개를 추진할 계획임

(2) 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안

○ 국내 사업은 일반적인 제조업의 사업 모델로 적극적인 판매를 통한 수익 창출의 구조임.

○ 해외 사업은 기술이전 사업 형태로 국내 우수 기술과 현지의 생산능력을 결합한 사업 모델로, 현지에서의 수익 창출은 물론 나아가 '국내 기술+현지 생산 경쟁력'으로 유럽, 북미 등 선진 세계 시장을 공략하는 형태의 수익 창출로 발전할 수 있을 것으로 예상.

○ 공장 자동화 생산 체계 구축으로 원가절감

○ 해외 생산 시설 적극 활용

○ 수요국 현지 생산 체계 구축으로 물류비 절감을 통한 원가절감

다. 기대성과 및 파급효과

1) 과학기술적 측면

○ 도로 조명 구조의 변경 : Paradigm Shift 선도

- 기존 하향식 조명 구조(pole)형 조명 시스템의 단점을 극복한 낮은 조명 방식은 도로면과 물체간의 휘도 차를 강화하는데 매우 유리하여 시인성 확보를 통한 야간 안전 운행에 최적의 기술임. 유사한 시선 유도용의 조명 방식은 존재하나, 도로 전담 조명 방식으로는 세계 최초로 상용화하는 기술임

○ 고효율 신재생 에너지 개발

- 본 연구에서 전세계적으로 차세대 배터리 시스템으로 부각되고 있는 커패시터(Capacitor) 배터리 시스템을 개발·적용하여 차별화된 고효율 신재생 에너지 시스템을 개발하였으며, 향후 신재생에너지 사업은 물론 배터리 사업 전반에 적용이 가능한 기술로 확장 가능할 것으로 판단됨.

○ 도로조명의 악천후 대응

- 야간 및 악천후 상황 시 도로 차선 인식 성능 우수 및 시인성 확보로 전방상황 확인이 용이하여 사고 감소
- 도로조명을 악천후 시 안전성 향상을 위한 핵심수단으로 활용 가능, 도로조명 적용 분야를 악천후 대응 분야로 확장

2) 사회・경제적 측면

○ 교통사고 및 환경 개선

- 국제적 기후변화 협약 선제적 대응 : 공공분야 중 도로 조명 에너지의 자가 수급을 통한 탄소저감 기대
- 야간, 악천후 사고 저감 기대 : 최적 시인성 확보를 통한 대국민 도로 안정성 향상 도모, 향후 10년간 야간 사망자 10% 감소 가정 시 280명 감소, 인적피해비용 1,168억원 절감 가능

○ 선진 기술 확보 및 시장 선도

- 국내는 물론 세계시장을 선도, 선점할 수 있는 기술로 조명 분야와 더불어 독립형 태양광 발전시스템 적용 시장 전반에 지대한 영향을 미치는 영역
- 도로 조명 교체 시장의 일부와 신규 설치 시장의 상당수를 시장으로 확보 가능
- 국내 태양광 기반 신재생에너지 산업 기술 경쟁력을 대폭 보완함으로써 성장이 둔화된 해당 산업 시장의 활성화 및 건설 산업과의 융합을 통한 국내 기업의 세계 에너지시장 진출 핵심 경쟁력 제고에 기여

○ 수출입 효과

- 가격 경쟁력 및 안개 등 악천후 대응 성능 확보를 통한 조명 기술 수출 가능

  ※ 2014년 기준 국외 LED 도로조명 분야 규모는 21억 달러 수준, 시장규모의 지속적 성장 예상

- 전력 공급 인프라가 부족한 동남아시아, 중동, 중국 등 광대한 개발대상국 시장이 1차, 친환경에너지 시장을 선호하는 선진국시장도 2차 대상 시장이 될 것으로 예상

- 고온다습한 기후와 장기간의 우기(동남아시아), 초고온과 모래바람(중동), 극저온(몽골, 러시아) 등의 자연환경에서 안정적으로 구동 가능한 태양광 기반 에너지 자립 기술의 개발은 향후 대표적인 수출 제품으로 자리 잡을 것으로 예상

- 인프라 사업의 특성을 보유하고 있어 도로 등 건설업종과 연계된 사업 형태로의 해외사업 가능

○ 도로조명과 신재생에너지 산업의 결합체인 본 기술의 특성 상 에너지산업과 IT산업 나아가 건설 산업과의 융합을 통한 시너지도 기대되는 등, 산업 시장 전반에 지대한 파급 효과가 예상

○ 시장 규모 : 가격 경쟁력 확보 시 대부분의 신규 도로구간에서 기존 폴 가로등 대비 시장 경쟁력 확보가 가능하여 도로 조명 교체 시장의 일부와 신규 설치 시장의 상당수를 시장으로 조성이 가능할 것으로 판단. 개발 조명 설치비용 2억원/km 적용 시 시장 수요 규모는 향후 5년간 915km(안개상습구간, 교량 및 인터체인지 구간, 일반도로 구간 등), 약 1,638억원 수준의 매출 기대

(단위 : km)

도로구분	총연장	계		상시전력용		태양광기반	
		거리	적용율	거리	적용율	거리	적용율
고속도로	3,913	98	2.5%	98	2.5%	-	-
국도	13,517	372	2.8%	203	1.5%	169	1.3%
지방도	16,755	84	0.5%	-	-	84	0.5%
신설 고속/국도	5,947	156	2.6%	156	2.6%		
교량	2,950	118	4.0%	118	4.0%		
특수도로	2,500	88	3.5%	50	2.0%	38	1.5%
계	45,582	915	2.0%	625	1.4%	290	0.6%

주) ① 2019년부터 5년간 도로총연장 중 적용 목표 구간계획임.(시내도로 제외)
② 총연장은 2014년 말 개통도로 기준 임
③ '신설 고속/국도'는 제2차 도로정비기본계획(2011~2020)에 근거한 추치임.
④ 2019~2023(5개 년간) 연차별로 배분율 적용(상시전력용/태양광기반)
2019(5~7%), 2020(15%), 2021(23~25%), 2022(26~27%), 2023(28~29%)

3) 정책적 측면

○ 산업구조의 효율적 변화

- 본 기술은 세계 시장에서 공용 제품으로 사용될 수 있는 기술로 현지화를 통한 사업 활성화가 중요
- 원천기술을 보유하고 각 국별로 생산/사업화를 진행하는 글로벌 기술사업화의 산업 구조로의 산업 구조 선도 가능

○ 산업 시장의 활성화

- 인프라 독립형 시스템에 최적화된 축전시스템의 개발은 인프라 독립형 신재생에너지 산업의 경제성을 대폭 보완함으로써 축전시스템의 비효율성으로 성장이 둔화된 해당 산업 시장을 활성화하는 역할을 수행할 것임

○ 국내기업의 경쟁력 확보

- 축전시스템은 에너지 산업과 IT산업의 융합제품으로 독자적인 축전시스템의 개발을 통해 전용 IC, Controller, 태양전지 모듈 등 다양한 연관 산업의 활성화를 유도할 수 있으며 나아가 건설산업과의 융합을 통한 시너지도 기대되는 등, 국내기업의 세계 에너지시장 진출을 위한 핵심 경쟁력으로 이어질 것임

○ 인프라 독립형 에너지시장 선점

- 세계적인 에너지 정책을 고려할 때, 인프라 독립형 시장은 지속적으로 확대될 것으로 예상
- 전력공급장치의 핵심인 최적화된 축전시스템의 개발은 인프라 독립형 에너지시장을 선점하는 기술개발로, 본 도로조명부문은 물론 향후 개발된 다양한 인프라 독립형 어플리케이션에 광범위하게 적용 가능

○ 선진기술 보유 이미지 제고

- 자원 및 환경 문제와 연계되어 이해하면서, 에너지 문제가 전 세계적으로 가장 주요한 이슈로 부각되고 있는 추세, 공공시설 중 하나인 도로에서 사용되는 전력을 자체 수급하게 된다면 선진기술을 보유한 국가 이미지 제고에 도움이 됨

라. 연구성과의 등록·기탁 의향

○ 과제 수행을 통해 창출한 논문, 특허, 보고서원문 등은 해당 전문기관에 등록하겠음

○ 다양한 언론매체를 이용한 개발기술의 적극적 홍보 계획(개발 기술의 확대 보급)

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1. 해외 경쟁 제품

○ 전 세계적으로 낮은 조명에 관한 검토는 일본을 비롯한 여러 나라에서 진행된 바 있지만, 도로 환경에 적합하게 개발된 제품은 다국적 조명전문기업인 ZUMTOBEL사의 ORUS와 ES-SYSTEM사의 Roadline이 전부임.

○ 기술적 특이성의 이유로 개발에 많은 어려움 존재

○ 해외 경쟁사의 제품 모두 반사판(Reflector)을 이용한 배광 기술을 적용한 제품이며, 본 연구 성과물이 유일하게 Lens 기반의 배광 기술 보유하고 있어 이러한 기술적 우위는 제품의 경쟁력으로 나타나고 있음.

○ 조명 부문 다국적기업인 ZUMTOBEL사의 ORUS가 대표적인 경쟁 제품으로, 유럽을 중심으로 낮은 가로등(Low Level Mounted Lighting System)의 개발 및 사업화가 활발하게 진행 중임.

조명 부문 다국적기업인 ZUMTOBEL사의 ORUS가 대표적인 경쟁 제품으로, 유럽을 중심으로 낮은 가로등(Low Level Mounted Lighting System)의 개발 및 사업화가 활발하게 진행 중임.

<본 연구 성과물 낮은 조명시스템과 유사 제품 비교>

구분	본 연구성과물 낮은 조명시스템	ORUS LED 1L70 NB	ES-SYSTEM Roadline
제조사	-	ZUMTOBEL	Ark Lighting
조명 차선	2차선	2차선	1차선
배광 Tool	Lens	Reflector	Reflector
설치 간격	8m	9m	4m
소비 전력	18w(2.3w/m)	27w(3.0w/m)	20w(10w/m)
SIZE	740*74*76	540*463*193	950*150*147

* 2차선 도로 기준 m당 소비 전력 비교 값임

1) ZUMTOBEL사의 ORUS 제품

○ 등기구 형태

<ZUMTOBEL사의 ORUS 제품 등기구 형태>

○ 적용 사례 : 스칸디나비아, 남아프리카, 캐러비언, 뉴질랜드 등 전 세계적으로 25,000개 이상 설치 운용 중

<ZUMTOBEL사의 ORUS 제품 적용사례>

○ 설치 및 유지관리

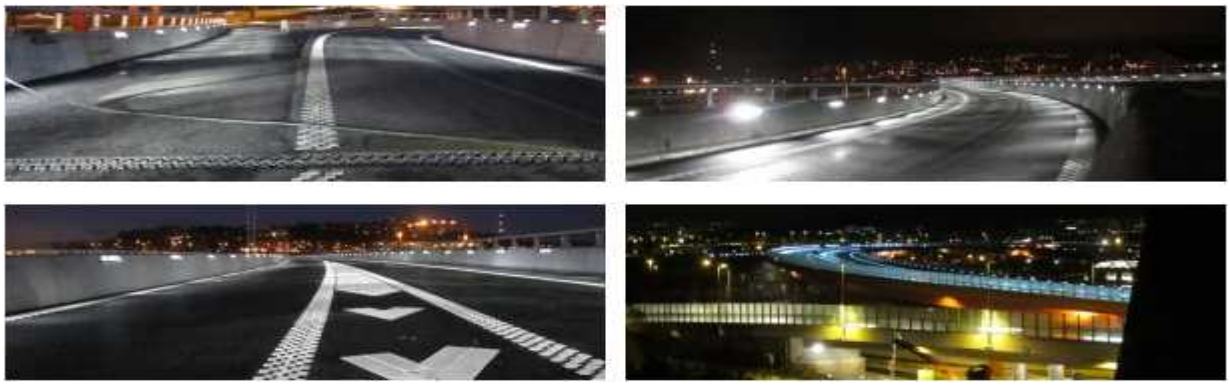
<ZUMTOBEL사의 ORUS 제품 설치 및 유지관리 전경>

2) Ark Lighting사의 ES-SYSTEM Roadline 제품

○ 등기구 형태

<Ark Lighting사의 ES-SYSTEM Roadline 등기구 형태>

○ 적용 사례



<Ark Lighting사의 ES-SYSTEM Roadline 적용 사례>

3) 경쟁제품 브로셔

○ ORUS와 ES-SYSTEM Roadline의 제품 브로셔

<ORUS와 ES-SYSTEM Roadline의 제품 브로셔>

제7장. 연구개발성과의 보안등급

○ 본 연구개발은 일반등급임

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
㈜매직마이크로	오실로스코프	GDS-1104B	1	2016-10-31	1,340.90	화신텍시스템(주)	기술연구소	NFEC-2017-01-235572
㈜매직마이크로	DC전자부하기	M9812	1	2016-10-31	1,320.00	화신텍시스템(주)	기술연구소	NFEC-2017-01-235560
㈜매직마이크로	배터리팩충방전기	WBCS3000	1	2016-10-31	29,759.18	㈜원아테크	기술연구소	NFEC-2017-01-235654
㈜매직마이크로	휴대용 휘도계	LS160	1	2016-10-31	6,215.00	㈜삼희인스트루먼트	기술연구소	NFEC-2017-01-235549
㈜매직마이크로	전류프루브	GCP-100	1	2016-10-31	1,357.62	㈜원아테크	기술연구소	NFEC-2017-01-235600
㈜매직마이크로	전력분석기	PM-2400A	1	2016-12-30	1,513.00	에이디파워(주)	기술연구소	NFEC-2017-01-235573
㈜매직마이크로	안개감지기(시정계)	JSFS_100	2	2017-05-31	8,360.00	㈜정상라이다	기술연구소	NFEC_2017-06-238134
㈜매직마이크로	안개센서 감지 가로등 양방향 점멸기	주문개발품이라 모델명 없음	1	2017-11-01	4,950.00	㈜가보테크	기술연구소	NFEC-2017-12-241320

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

■ ㈜매직마이크로

○ 기술적 위험요소 분석 : 시작품 제작 및 실차 충돌시험으로 현장 안전교육 필요, 연구실 화재 및 도로 시범설치 구축시 안전조치 불이행에 대한 위험요소

○ 안전관리대책 : 내부 자체 교육훈련 실시, 소방법에 따른 소방시설 점검 및 구축, 연구원 상해 보험 가입

○ 안전표지, 안전관리규정, 비상시 응급조치 요령이 포함된 표시판을 각 연구실 등 현장에 부착 및 비치

■ 한국건설기술연구원

○ 안전보건교육 수행

· 교육대상 : 연구원내 업무 종사자

· 교육내용 : 담당 업무조상 전 업무와 관련되는 안전보건교육 수행

- 기계 · 기구의 위험성과 작업의 순서 및 동선에 관한 사항, 작업 개시 전 점검에 관한 사항
- 정리정돈 및 청소에 관한 사항, 사고발생 시 긴급 조치에 관한 사항
- 산업보건 및 직업병 예방에 관한 사항, 물질안전보건자료에 관한 사항
- 산업안전보건법 및 연구실 안전환경 조성에 관한 법령에 관한 사항
- 기타 일반 관리에 관한 사항

■ ㈜선린

○ 연구실 안전점검 실시 : 매 실험 전 연구활동종사자가 체크리스트 활용하여 점검하고 기록

○ 기술적 위험요소 분석 : 연구실 화재 및 도로 시범설치 구축시 안전조치 불이행에 대한 위험요소

○ 안전관리대책 : 내부 자체 교육훈련 실시, 소방법에 따른 소방시설 점검 및 구축, 연구원 상해 보험 가입

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분(논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일/특허 등록일	사사 여부(단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항(SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	Establishment of the Method to Measure Driver's Visibility Distance Depending on Fog Density and Low Lighting Color Temperature	한국건설기술연구원	공동연구기관	GLOBAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCE AND RESEARCHES	-	2017.01	단독	-
2	논문	Determination of Performance Evaluation and Development Direction of a Trial Product for a Low Lighting	한국건설기술연구원	공동연구기관	GLOBAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCE AND RESEARCHES	-	2017.01	단독	-
3	논문	Study on the Evaluation of Low Lighting System Operation	한국건설기술연구원	공동연구기관	GLOBAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCE AND RESEARCHES	-	2017.02	단독	-

4	논문	Identification of The Difference in Transmittance in Fog Depending on Illumination Color Temperature and Visibility	한국건설기술연구원	공동연구기관	AMERICAN JOURNAL OF ENGINNERING RESEARCH	-	2017.8	단독	-
5	논문	Study on the Relationship between Visibility Distance and Retroreflection of Chevron Sign	한국건설기술연구원	공동연구기관	GLOBAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCE AND RESEARCHES	-	2017.10	단독	-
6	논문	등주식 조명과 낮은 조명의 성능 비교에 관한 연구	한국건설기술연구원	공동연구기관	한국ITS학회	-	2018.12	단독	-
7	특허(출원)	조명장치 (10-2017-0011847)	한국건설기술연구원	공동연구기관	대한민국	-	2017 01.31	단독	출원
8	특허(출원)	조명장치 (10-2017-0011852)	한국건설기술연구원	공동연구기관	대한민국	-	2017 01.31	단독	출원
9	특허(출원)	도로조명시설물 (10-2017-0011858)	한국건설기술연구원	공동연구기관	대한민국	-	2017 01.31	단독	출원
10	특허(출원)	조명장치 (PCT/KR2017/004923)	한국건설기술연구원	공동연구기관	PCT		2017. 05.12	단독	출원
11	특허(출원)	조명장치 (PCT/KR2017/004922)	한국건설기술연구원	공동연구기관	PCT	-	2017. 05.12	단독	출원
12	특허(출원)	도로조명시설물 (PCT/KR2017/004924)	한국건설기술연구원	공동연구기관	PCT	-	2017. 05.12	단독	출원
13	특허(출원)	방음구조물 일체형 조명장치 (10-2017-0148515)	한국건설기술연구원	공동연구기관	대한민국	-	2017. 11.09	단독	출원
14	특허(등록)	조명장치 (10-1748164)	한국건설기술연구원	공동연구기관	대한민국	-	2017. 06.12	단독	등록
15	특허(등록)	조명장치 (10-1748165)	한국건설기술연구원	공동연구기관	대한민국	-	2017. 06.12	단독	등록
16	특허(등록)	도로조명시설물 (10-1772406)	한국건설기술연구원	공동연구기관	대한민국	-	2017. 08.23	단독	등록
17	특허(등록)	방음구조물 일체형 조명장치 (10-1863121)	한국건설기술연구원	공동연구기관	대한민국	-	2018. 05.25	단독	등록
18	S/W	안개 감응형 자동 색온도 조절 조명 알고리즘	한국건설기술연구원	공동연구기관	대한민국	-	2017. 01.09	단독	등록
19	S/W	슈퍼커패시터 셀 발란싱 및 충방전제어	㈜매직마이크로, 한국건설기술연구원	주관연구기관 공동연구기관	대한민국	-	2017. 01.18	단독	등록
20	S/W	태양광 전력공급 시스템 통합 제어 알고리즘	㈜매직마이크로	주관연구기관	대한민국	-	2017. 10.18	단독	등록

제11장. 참고 문헌

국가과학기술지식정보(http://www.ntis.go.kr/)

경찰청, 도로교통법(2016.02.12. 시행).

국민안전처·국토교통부·경찰청·기상청 합동(2015), 안개상습구간 도로교통안전 종합대책.

국토교통부(2009), 도로의구조·시설기준에관한규칙.

국토교통부(2011), 제7차 국가교통안전기본계획(`12 ~ `16).

국토교통부(2015), 도로업무편람.

도로교통공단, 교통사고통계검색(http://taas.koroad.or.kr)

대한무역투자진흥공사(2012), "두바이 이제 태양광 LED 가로등이 대세", KOTRA 해외비지니스정보포털(http://www.globalwindow.org).

대한무역투자진흥공사(2015), "브라질, 세계 최대 규모 LED 공공조명 입찰 검토 중", KOTRA 해외비지니스정보포털(http://www.globalwindow.org).

대한무역투자진흥공사(2015), "멕시코 태양광 모듈 시장 동향", KOTRA 해외비지니스정보포털(http://www.globalwindow.org).

메리츠종금증권(2012), 2013 LED 조명 산업전망.

보험개발원 보도자료(2012.12), 기상상태별 자동차보험 사고위험도 분석.

산업통상자원부, 공공기관 에너지 이용 합리화 추진에 관한 규정(2014.06.26. 고시).

토러스투자증권리서치센터, 2014. Industry Indepth Report, 모든 조명의 LED 교체.

통계청, KOSIS 국가통계포털(http://kosis.kr/)

한국건설기술연구원(2011), 다기능 라인조명 시스템 기술 개발, 최종보고서(국토교통과학기술진흥원).

한국건설기술연구원(2015), 인프라 독립형 라인조명시스템 실용화 기술 개발, 최종보고서(자체 주요사업).

한국건설기술연구원(2015), 야간 시환경 확보 및 평가기술 개발, 연차보고서(자체 주요사업).

한국건설기술연구원(2015), 기상환경 재현 도로 성능평가 실험시설 구축, 연차보고서(국토교통과학기술진흥원).

한국과학기술정보연구원(2013), KIST Market Report, 독립형 태양광 발전시스템, 에너지저장 시스템 시장과 동반 성장 전망.

한국도로공사(2012), 도로조명 선진화 종합 개선 계획.

한국도로공사(2013), 고속도로 안개구간 낮은 가로등 연구.

한국도로공사(2015), LED 조명 도입 전략 및 로드맵 수립.

한국수출입은행(2016), 2016년 세계 신재생 에너지 산업전망 및 이슈.

KDB산업은행(2014), 국내외 LED 조명업계의 시장 대응현황 비교와 시사점

월간전기, "경관 · 도로조명의 LED 보급 추진, 70% 에너지 절감, 스마트 제어로 추가 효과", 2013.1.23., 인터넷판.

전기신문, "조명업계 불황 심상찮다. 조명조합, 2011년도 시장현황 자료공개", 2012.8.13., 인터넷판.

디지털타임즈, "국내 LED조명 시장 `활짝` 실외등 상승세 눈에 띄네", 2015.8.6., 인터넷판.

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.