

보안 과제(), 일반 과제(✓) / 공개(✓), 비공개() 발간등록번호()

국토교통기술촉진연구사업 제2차 연도 최종보고서

R&D / ○○○○-○○○○

국내 도로설계기준을 만족하는 태양광 도로시스템 개발 최종보고서

2018. 12. .

주관연구기관 / 서경대학교

협동연구기관 / 콘텍이엔지

지오티에스

국토교통부
국토교통과학기술원

제출문

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘국내 도로설계기준을 만족하는 태양광 도로시스템 개발’(연구개발 기간 : 2017.4. ~ 2018. 12.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2019. 2. 15.

주관연구기관명 : 서경대학교 산학협력단 (대표자) 이광엽 (인)
참여기관명 : 콘텍이엔지 (대표자) 박성기 (인)
참여기관명 : 지오티에스 (대표자) 김봉현 (인)

주관연구기관(서경대학교)

연구책임자: 최재순

참여연구원: 서주원, 최윤영, 황경태, 박주용, 강성찬

참여기관(콘텍이엔지)

연구책임자: 박성기

참여연구원: 이재영, 오리온

참여기관(지오티에스)

연구책임자: 김봉현

참여연구원: 이승주

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

보고서 요약서

과제 고유 번호	17CTAP-C129740-01	해당 단계 연구 기간	2018.01 -2018.12	단계구분	2/2
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	창의도전연구분야			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	국내 도로설계기준을 만족하는 태양광 도로시스템 개발			
연구책임자	최 재 순	해당단계 참여연구원 수	총: 8명 내부: 8명 외부: 0명	해당단계 연구비	정부: 192,000천원 민간: 70,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 262,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 8명 내부: 8명 외부: 0명	총 연구비	정부: 370,000천원 민간: 130,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 500,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	서경대학교 산학협력단			참여기업명 콘텍이엔지, 지오티에스	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	보안등급 : 일반
	사유 : 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 제24조의4에 해당하지 않음

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

보고서 면수 : 95

요약문

연구의 목적 및 내용	본 연구에서는 태양광 발전이 2035년까지 핵심에너지원으로 계획된 4차 신재생 에너지기본계획에 부합하여, 이를 위한 요소기술의 하나로 태양광 도로시스템을 개발하고자 함. 이때, 개발될 시스템은 국내 도로설계기준을 만족하는 기술로, 기존 태양광 도로패널의 성능분석을 통한 국내 적합한 태양광 도로시스템의 개발 및 현장시험 성능평가와 태양광 도로시스템의 설계 및 시공지침(안)을 작성하고자 함. 핵심 연구목표를 정리하면 다음과 같음. ① 국내 태양광 도로의 포장설계를 위한 기준 및 지침 작성 ② 기존 태양광 패널에 대해 도로 구조체에 대한 분석, 패널의 에너지 발전 효율에 대한 분석 실시 ③ 국내 실정에 적합한 태양광 도로 시스템 개발 ④ 태양광 도로 응용기술 개발 ⑤ 태양광도로 포장시스템 현장 성능 평가 및 보고서작성				
연구개발성과	○ 본 연구를 통해 개발한 태양광 블록시스템과 관련 설계 및 시공기준 및 전문가 자문 등을 종합하여 태양광 콘크리트 블록공법에 대한 설계기준 및 시방지침을 작성함. 설계기준 및 시방지침은 보고서(2-가)에 수록하고 별책 부록으로 제작함. ○ 본 연구를 통해 개발한 태양광 블록시스템의 미끄럼 저항, 강도, 흡수율, 하중 재하 등의 도로성능평가는 자체실험 및 인증기관에 평가를 의뢰하여 도로설계 기준을 만족여부를 검토하였고, 검토결과를 보고서(2-바)에 수록함. 또한 태양광 발전 효율평가를 위하여 서경대학교의 실험부지에 시험시공을 실시하여 실제 발전량 데이터 측정을 수행하였고, 측정결과를 이용하여 발전효율을 평가하였으며, 기상청 관측자료를 활용한 발전량 예측을 수행함. 시험시공 내용 및 효율분석 결과는 각각 보고서(2-자 및 2-다)에 수록함. ○ 태양광 도로포장시스템에 대한 4종의 특허출원과 2종의 특허등록을 완료하고, 관련 증빙서류를 보고서(2-라)에 수록함. ○ 태양광 도로의 응용기술로 태양광 발전과 압전에 의한 발전을 동시에 수행 가능한 도로포장용 복합발전블록을 개발하고 특허출원 및 특허등록을 완료함. 또한 태양광 콘크리트 블록에 삽입되었던 태양광 패널을 LED 모듈로 교체하여, 야간 주행성 향상 및 주차장의 주차 공간 확인이 가능한 LED 블록의 응용기술을 제안하고 보고서(2-아)에 수록함. ○ 본 연구를 통해 개발한 태양광 블록시스템의 현장 성능평가를 위하여 서경대학교의 실험부지에 시험시공을 실시하고 차량하중재하시험 및 발전량 데이터 측정을 수행함. 시험시공 및 차량하중재하시험 결과는 보고서(2-자)에 수록함. 또한 측정결과를 이용하여 발전효율을 평가하였으며, 기상청 관측자료를 활용한 발전량 예측을 수행함. 발전효율 분석 및 발전량 예측결과는 보고서(2-다)에 수록함.				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 태양광 발전과 도로의 융합을 통한 하이브리드 공공재 창출효과 ○ 제안된 태양광 도로의 적정입지 선정을 위한 적용환경 분석기법을 활용하여 지역적 특성을 반영한 기술의 도입이 가능함. ○ 전력을 창출하는 하이브리드 도로개념으로 기존 전력시설의 이용이 힘든 지역에도 IoT 기술이 접목된 스마트도로의 건설이 가능함. ○ 태양광 도로는 전력공급이 원활하지 않은 지역의 도로에도 다양한 기능이 추가 가능하며, 이를 통한 균형적인 국토발전에 이바지할 수 있음. ○ 태양광 도로포장시스템에 압력센서, LED, 마이크로프로세서 등의 IT 기술을 융복합하여 새로운 고부가가치의 건설기술시장 개척이 기대됨. ○ 주차장에 태양광 도로시스템을 이용하여 전력생산 시 전기자동차의 충전 등에 적극 활용할 수 있을 것으로 예상됨.				
국문핵심어 (5개 이내)	태양광 도로	태양광도로 설계기준	옥외 성능평가	하이브리드 공공재	태양광도로 응용기술
영문핵심어 (5개 이내)	solar road	solar road design standard	field performance evaluation	hybrid public goods	solar road applied technology

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	5
가. 연구개발의 배경 및 필요성	5
나. 연구개발 최종목표 및 최종성과물	10
2. 연구수행내용 및 성과	12
가. 국내외 관련 특허동향 조사	12
나. 도로 및 블록 등의 설계기준 조사	18
다. 국내 태양광 도로포장 시스템 개발	27
라. 개발된 태양광패널 블록 구조체의 시제품 제작	39
마. 태양광 도로시스템의 성능평가	47
바. 태양광 도로 패널의 성능평가	55
사. 태양광 도로 현장 성능평가 보고서	64
아. 국내 태양광 도로의 포장설계를 위한 기준 및 지침 작성	71
자. 국내 태양광 도로시스템 적용을 위한 적용환경 분석	82
차. 태양광 도로의 응용기술 설계도	91
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	93
4. 연구개발성과의 활용 계획	98
붙임. 참고 문헌	104

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

공인시험인증기관 시험성적서
 태양광 도로시스템 설계 및 시방기준 (안)
 태양광 도로시스템 적용환경 분석기법
 태양광 도로시스템 성능평가 보고서
 태양광 도로시스템 응용기술 제안
 태양광 도로시스템 현장 성능평가 보고서
 태양광 도로 선정가이드 (안)

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발의 배경 및 필요성

- 제 4차 신재생에너지 기본계획(산업자원통상부, 2014)에 따르면, 2035년까지 신재생에너지를 1차 에너지 대비 11% 공급하는 것으로 목표를 선정하고, 현재 국내 신재생에너지의 대부분을 차지하고 있는 폐기물 발전 비중을 축소하여 세계적으로도 산업유발효과가 큰 태양광과 풍력을 핵심 에너지원으로 육성할 방침임.

[1차 에너지 기준 태양광 에너지 비중 목표 (단위 : %)]

구 분	2012	2014	2025	2035	연평균증가율
태양광	2.7	4.9	12.9	14.1	11.7

(1) 국내 태양광 발전에 관한 현황

(가) 세종시 자전거도로

세종시에서는 나대지나 기존 건축물의 지붕을 활용하여 태양광모듈을 설치하는 대부분의 태양광발전소와는 다르게 세계 최초로 자전거도로에 태양광발전 시설을 하여 자전거 이용자에게 햇빛과 비를 차단해 주는 편리 제공과 동시에 전기에너지 생산, 토지 이용률 향상 및 태양광발전 사업의 새로운 모델을 제시하였음. 고효율 모듈 선정과 최적의 설치 각도로 에너지 효율적인 부분을 심도있게 다루었으며 구조적인 안전성도 확보하였음.



세종시에 설치된 태양광발전 자전거도로

(나) 태양광주택 보급사업

주택, 주차장, 자전거 도로 등에 태양광 패널을 설치해 태양광 발전을 시행하고 있으며, 2004년 정부의 태양광주택 10만호 보급 사업을 시작으로 국내의 태양광시스템 보급이 활기

를 띠게 되었음. 2008년 한 해 동안 약 268MW 의 태양광시스템이 설치되었고 2009년 한 해 동안 약 170MW가 추가로 설치되었음.

(다) 건설기술연구원의 태양광 관련 연구

최근, 태양광 발전의 효율을 높이기 위한 연구가 진행되었으며, 그 연구 내용으로는 태양광 패널의 오염 및 온도 상승으로 인한 발전 효율 저하를 해결하기 위하여 태양광 패널 상시/자동 쿨링 및 클리닝 시스템을 개발하여 에너지 효율증진, 경량 및 모듈화 된 패널 지지기술의 개발로 태양광 발전 효율증진을 도모하고 드론을 기반으로 하여 태양광 패널 상태 모니터링 기술 확보로 유지관리 효율증진을 목표로 한 유사 기술 개발사례가 있음.

		
태양광 패널 쿨링 및 클리닝	패널지지 구조시스템	드론 기반 태양광 모니터링

(라) 기타 도로발전관련 국내 연구동향

- 압전도로 : 에너지 생산형 도로기술 개발이라는 목표로 국가 차원 온실가스 감축 정책에 따른 도로 에너지 하베스팅 기술 개발 연구가 진행된 바 있음. 압전에너지 발전량 0.8kW/m 달성으로 망향휴게소에 국내 최초로 설치 하였으며 도로 압전 하베스터의 실험 대형 가속파괴시험을 국내 최초 실증 실험 하였음. ‘17년엔 1kW/m 확보 및 국내 실도로 적용 기술 개발을 목표로 하고 있음.
- 급전도로 : 전기를 사용하는 친환경 대중교통 시스템에 대한 필요성이 지속적으로 증대되고 있는 추세에 KAIST에서는 SMFIR(Shaped Magnetic Field in Resonance)방식을 활용하여 비접촉 전력전달방식의 전기자동차 개발을 추진하여 원천기술을 확보하였고, 이를 상용화 하기위하여 현장적용을 위한 표준 급전 인프라 구축 및 최적화 추진이 필요하였음. 따라서 모듈화 된 무선 전력공급구조물(급전구조물)의 성능 보완/최적화와 주행성 및 안전성을 만족하는 급전도로 시공 및 유지관리 기술의 개발과 현장적용 등의 연구가 이루어짐.

(2) 국외 태양광 도로개발 연구현황

(가) 미국의 Solar Roadway

- 미국에서 개발된 Solar Roadway는 특수하게 설계된 태양광 패널을 모듈식으로 조합이 가능한 보도 및 도로로서, 패널 내 LED설치가 가능하여 페인트 없이도 차선의 표시가 가능하며 열선을 삽입하여 적설과 결빙의 방지가 가능함.
- 패널 내에는 마이크로 프로세서를 탑재하여 패널간의 교신이 가능할 뿐만 아니라 중앙 제어 스테이션과 차량과의 통신도 가능함. 태양광 패널은 세미트럭(트레일러)의 무게를 지탱할 수 있도록 특별히 제조된 강화유리로 만들어져 있으며 패널과 차량바퀴와의 접지력을 위해 아스팔트처럼 표면처리가 되어있음.
- Solar Roadway는 현재도 개발중인 시스템으로 도로와 주차장에 시범운영을 계획중이며, 차후 고속도로에도 적용할 계획이 있음. 주차장에 태양광 발전으로 생성된 에너지는 전기자동차 충전에도 활용이 가능하며 추후 고속도로에 충전 인프라가 갖춰지면 적용시 주행중 충전이 가능할 것으로 전망됨.
- 미국 중부 미주리주 콘웨이 내 위치한 66번 국도 웰컴센터에 2016년 말까지 일부 구간 시공될 예정임.

(나) 네덜란드의 SolaRoad

네덜란드의 SolaRoad사는 2014년 세계 최초로 태양광 발전이 가능한 자전거 도로를 암스테르담에 약 70m 길이로 시험시공을 실시하였으며, 당초 예상보다 시간당 3,000kW 를 더 발전한 것으로 나타나 태양광 발전 도로의 발전 가능성을 확인한 바 있음.

(다) 프랑스의 Wattway

프랑스 환경부는 2016년 말 노르망디 내 작은 마을에 약 1km 연장의 태양광 도로 개통을 보도한 바 있으며, 2년의 시험개통기간 동안 매일 2천명의 운전자가 도로를 지날 것으로 추산하였음. 총 공사비는 모두 63억원으로 시범도로에서 발전되는 에너지는 인근 마을의 가로등 운영에 사용되도록 계획됨. 또한 향후 5년간 고속도로 내 1,000km구간에 대해 태양광 패널 포장을 계획 중임.

		
Solar Roadway (미국 미주리주 콘웨이 66번국도)	Solar Bike Path (네덜란드 암스테르담)	Wattway (프랑스 노르망디)

[국의 태양광 도로개발 연구현황]

(3) 국내외 태양광 도로 관련연구의 특징 및 단점

- 국내에 적용된 태양광 패널은 민간주도 건축물, 공공건물 등에 집중되어 있어 설치면적으로 보면 국토면적 대비 보급률이 매우 낮다고 볼 수 있는데 반해, 태양광 패널을 도로에 접목할 경우, 일반 태양광패널보다 높은 보급률 확보가 가능할 것으로 판단됨.
- 일반적인 태양광 패널과 비교하여, 도로에 평평하게 깔린 태양광 패널은 지붕에서 설치된 패널보다 효율이 떨어지며, 비용면에서 고가임. 또한 패널 상부에서 차량의 교통하중을 강화유리가 직접적으로 받는 구조로 포장체 내구성 확보가 필수적임.
- 미국, 네덜란드, 프랑스의 개발 및 기시공된 솔라 로드 사례의 경우, 실증단계 및 현장 적용, 사업화 단계로 기술개발 성숙도 7~9 수준으로 판단됨.
- 한편, 국내의 태양광 발전 사업은 주택, 주차장, 자전거 도로의 캐노피 등의 시설물 설치에 국한되어 있으며, 압전도로 및 집전도로와 같은 유사기술이 연구 중에 있으나 태양광 패널이 도로로 이용되는 일체형 도로개발은 전무함. 따라서 태양광 도로개발은 기술개발 성숙도 평가시 현재 1~2 수준임.

(4) SWOT분석을 토대로 한 태양광 도로시스템 개발의 연구전략

국내에 적용된 태양광 패널은 민간주도 건축물, 공공건물, 자전거 도로 캐노피 등에 집중되어 있어, 설치면적으로 보면 국토면적 대비 보급률이 매우 낮다고 볼 수 있는데 반해, 태양광 패널을 도로에 접목할 경우 일반 태양광 패널보다 높은 보급률 확보가 가능할 것으로 판단됨. 한편, 압전도로 및 집전도로와 같이 전기시설 일체의 도로시스템 개발연구가 수행된 바 있으나 일체형 태양광 도로개발은 전무함. 이로부터 태양광 도로개발은 기술개발 성숙도 평가 시 현재 1~2 수준으로 판단됨. 이상으로부터 국내 실정에 적합한 태양광 도로시스템에 대한 이론적 연구 및 기술적 개념정립을 토대로 국내 적합한 도로시스템을 개발하고 이에 대한 성능평가를 통한 적용성 연구가 필요함.

내부 환경 분석	[강점(S)] - 태양광 패널 국내 기술수준은 최고기술에 근접 - 태양광패널의 내구성은 20년을 상회 - 급전, 압전도로 등의 유사 연구사례 보유	[약점(W)] - 국내 태양광 발전과 도로와의 접목기술 전무 - 태양광 도로패널의 강성확보로 인한 비용증가 - 태양광 패널의 고온/이물질에 의한 효율 저하	
외부 환경 분석	[기회(O)] - 신재생에너지사업관련 정부 정책기조에 부합 4차 신재생에너지 기본계획의 핵심에너지원. - 기존 도로의 노후화에 따른 보수보강 필요.	[위험(T)] - 신재생에너지 공급과잉 및 경제위축으로 전 세계적 구조조정시기를 맞아 위축 - 시장선점을 위한 국내외 업체 간 경쟁 과열	
SO 전략	국가주도의 태양광 도로건설은 광범위한 지역에 설치 가능하므로 태양광 패널제작 기술의 발전과 함께 점차적인 적용 확대	WO 전략	국내 도로설계기준을 만족하는 시작품 제작 및 현장 성능평가 등을 통한 국내 적용성 검토
ST 전략	기존 연구사례와 차별화 전략으로 국내 현장에 적합한 태양광 패널 구조체를 제작 및 기타 열선 및 LED와의 연계기술 개발	WT 전략	태양광발전 관련 우수한 기술을 압전도로 등과 융합한 하이브리드 기술로 신 부가가치 창조

(5) 본 연구개발과제의 차별화 방안

- 현재 국내 연구는 대부분 도로의 유휴공간을 이용하거나 캐노피 등과 같은 구조물을 통해 태양광 발전을 도모하는 방향에 국한되어 있음. 또한 2017년 한국에너지기술평가원에서 기획하고 있는 연구는 본 연구와 유사하게 도로 일체형 태양광 연구이지만, 본 연구가 도로 전체를 아우르는 시스템적 연구라면 태양광 모듈시스템 개발연구는 그 시스템의 가장 중요부품인 태양광 패널을 연구하는 요소기술연구로 볼 수 있음.
- 본 연구에서는 기존 태양광 도로에 사용되는 패널 및 도로시스템에 대한 상세 분석을 통해 국내 도로설계기준을 만족하는 태양광 도로시스템을 개발하는 것으로 태양광 패널은 기존 태양광 도로에 이용하고 있는 국외의 기술 및 자체개발예정인 패널 등 다양한 태양광 패널에 대한 문헌분석을 통해 적절한 패널을 선택하여 옥외 성능평가를 수행하고 이를 통해 태양광 도로시스템 설계 및 시방기준 (안)을 제시하고자 함. 또한, 일사량, 청명지수 등과 관련한 기후환경 및 교통량 등이 함께 분석된 태양광 도로시스템 적용환경 분석기법을 제공함으로써 향후 사업화 전략에 도움이 될 수 있는 기반연구도 함께 수행하고자 함.

나. 연구개발 최종목표 및 최종성과물

(1) 연구개발의 최종목표

구분	내용
최종목표	국내 도로설계기준을 만족하는 태양광 도로 포장시스템 개발
연차별 세부목표	1차년도 : 국내외 태양광 도로시스템에 대한 문헌연구 및 현장조사를 실시하고 성능분석을 통하여 국내실정에 적합한 도로시스템 제안 및 특허출원 2차년도 : 1차년도에 제안한 도로시스템에 대한 적용환경 분석 및 전문가 자문을 실시하고 태양광 도로 현장 성능평가를 수행하여 태양광 도로시스템의 응용기술을 추가 제안

(2) 연구개발의 최종성과물

구분	핵심성과 (CIE)		단위성과		성과접점기준						양적 성과 건수	
					질적 성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치		
주관 (서경대학교)	1	국내 태양광 도로의 포장설계를 위한 기준 및 지침 작성	1-1	국내 태양광 도로 설계기준 마련	①	국내 태양광 도로 설계기준	기준 (안) 작성	-	기준제시	전문가 자문	10	특허: 출원 건 등록 건 논문: 건 시제품: 건 SW: 건 기타: 1 건
				국내 태양광 도로(주차장) 설계기준 마련	②	국내 태양광 도로(주차장) 설계기준	기준 (안) 작성	-	기준제시	전문가 자문	10	특허: 출원 건 등록 건 논문: 건 시제품: 건 SW: 건 기타: 1 건
	2	국내 태양광 도로시스템 적용을 위한 적용환경 분석 작성	2-1	국내 태양광 도로시스템 적용을 위한 적용환경 분석	①	국내 태양광 도로시스템 적용을 위한 환경 분석	태양광 도로 적용 환경 분석 방법 제시	-	분석 방법 제시	국내지역 대상 분석사례	10	특허: 출원 건 등록 건 논문: 건 시제품: 건 SW: 건 기타: 1 건
	3	태양광 도로 패널의 성능평가	3-1	태양광 도로 패널의 에너지 발전효율 평가	①	태양광 도로 포장시스템 옥외 현장 확보 및 효율측정	1건	-	현장 사진 및 효율 측정 기록	현장 사진 및 측정 내용 보고서 삽입	5	특허: 출원 건 등록 건 논문: 건 시제품: 건 SW: 건 기타: ① 건

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과접집기준						양적 성과 건수
					질적 성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치	
공동 (지오티에스)	4	국내 태양광 도로포장 시스템 개발	4-1	태양광 도로포장 시스템 개발	① 특허출원 및 등록 (태양광 도로포장 시스템)	4건	-	특허출원 및 등록여부	특허출원 및 등록 증빙서류	20	특허: 출원 4 건 등록 2 건 논문: _____ 건 시제품: _____ 건 SW: _____ 건
	5	개발된 태양광패널 블록 구조체의 시제품 제작	5-1	시제품 제작	① 제작된 시제품의 도로 및 에너지 효율 평가	시작품 제작	-	시작품 제작	시작품 설계도 및 사진	10	특허: 출원 _____ 건 등록 _____ 건 논문: _____ 건 시제품: _____ 건 SW: _____ 건 기타: ① _____ 건
	6	태양광 도로 패널의 성능평가	6-1	태양광 도로 블록구조체의 도로성능 평가	① 도로 성능평가	도로설계기준 만족	-	미끄럼 저항, 투수, 압축강도 시험 실시	평가결과 보고서	10	특허: 출원 _____ 건 등록 _____ 건 논문: 1 _____ 건 시제품: _____ 건 SW: _____ 건 기타: 1 _____ 건
공동 (콘텍이엔지)	7	문헌자료 조사	7-1	도로 및 블록 등의 설계기준 조사	① 도로 및 블록 등의 설계기준 조사	설계 기준 요약	-	설계기준 요약	설계기준 요약	10	특허: 출원 _____ 건 등록 _____ 건 논문: _____ 건 시제품: _____ 건 SW: _____ 건 기타: ① _____ 건
	8	태양광 도로 응용기술	8-1	태양광 도로의 응용기술 설계도	① 태양광 도로의 응용기술(LED 또는 열선) 설계도	응용 기술 설계도	-	응용 기술 설계도	응용 기술 설계도 작성여부	5	특허: 출원 _____ 건 등록 _____ 건 논문: _____ 건 시제품: _____ 건 SW: _____ 건 기타: 1 _____ 건
	9	태양광도로 포장시스템 현장 성능평가	9-1	태양광 도로 현장 성능평가 보고서	① 현장 시공 및 성능평가 보고서 작성	1건	-	현장 시공 및 성능평가 보고서 작성	현장 성능평가 보고서	10	특허: 출원 _____ 건 등록 _____ 건 논문: 1 _____ 건 시제품: _____ 건 SW: _____ 건 기타: 1 _____ 건
계										100	특허: 출원 4 건 등록 2 건 논문: 2 건 시제품: _____ 건 SW: _____ 건 기타: 6 건

2. 연구수행내용 및 성과

가. 국내외 관련 특허동향 조사

(1) 분석개요

- ‘도로 발전 기술’ 분야에서 주요국가와 주요출원인들의 특허출원동향을 파악하고, 각 기술분야별 기술개발의 흐름 분석, 기술분야별 주요특허 심층분석을 통해 사업화 아이템 발굴, 신규 사업개시 및 기술도입 시 가이드라인 제공, 핵심·원천기술에 대한 체계화 및 기술활용도 제고를 통하여 본 연구의 방향 설정 및 전략 수립에 대한 객관적인 타당성을 제공하기 위함에 있음.
- 본 분석은 도로 자체에 발전모듈을 매설하여 전기를 생산하여 활용하는 기술(발전모듈이 도로를 형성함), 과속방지턱과 같은 도로 매설물에 발전모듈을 매설하여 전기를 생산하여 활용하는 기술, 가드레일과 같은 도로 부속물에 발전모듈을 설치하여 전기를 생산하여 활용하는 기술 등(이하 ‘도로 발전 기술’이라 함)에 대해 2017년 8월 31일까지 특허출원 공개 또는 등록된 한국, 일본, 미국 및 유럽 특허를 검색식을 사용해 조사를 수행함.
- 검색결과 및 검색결과 중 본 연구와 관련이 있는 유효특허의 선별결과는 [표 1] 및 [표 2]에 나타냄.

[표 1] 검색결과

기술분야	기술분류	검색건수				
		한국	일본	미국	유럽	합계
도로 발전 기술	태양광 or 압전 기술	1,289	1,161	371	100	2,921

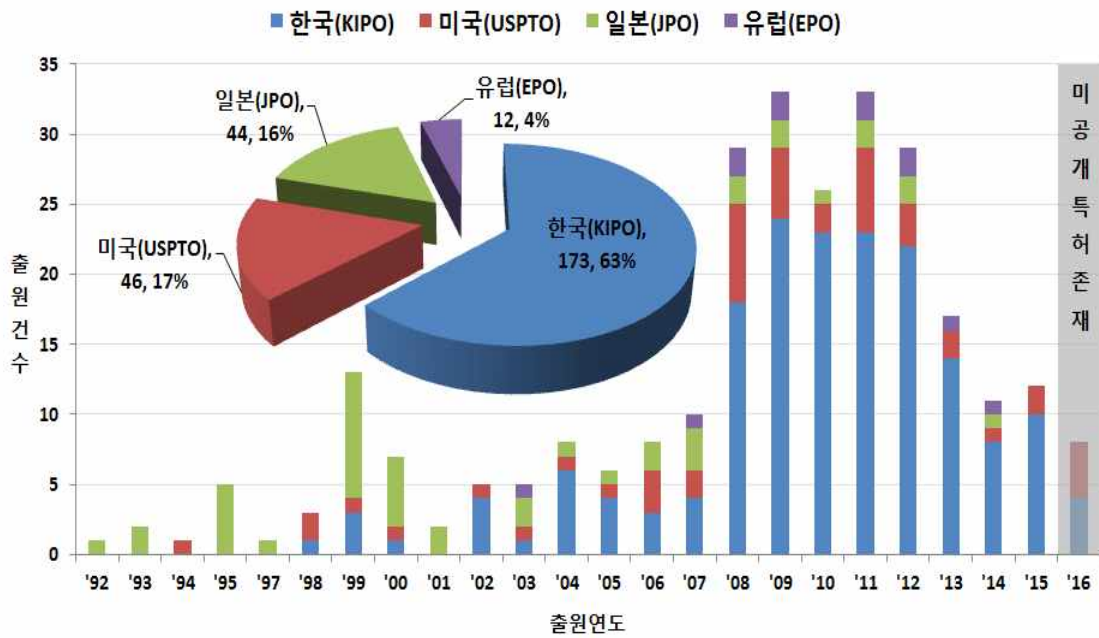
[표 2] 유효특허의 선별결과

대분류	중분류	소분류	유효데이터 건수				
			한국	일본	미국	유럽	합계
도로 발전 기술	도로 자체	태양광	10	7	5	2	24
		압전	75	11	30	9	125
	도로 매설물	태양광	37	22	6	1	66
		압전	1	0	2	0	3
	도로 부속물	태양광	43	4	2	0	49
		압전	7	0	1	0	8
합계			173	44	46	12	275

(2) 특허출원동향 분석

(가) 연도별 출원 동향

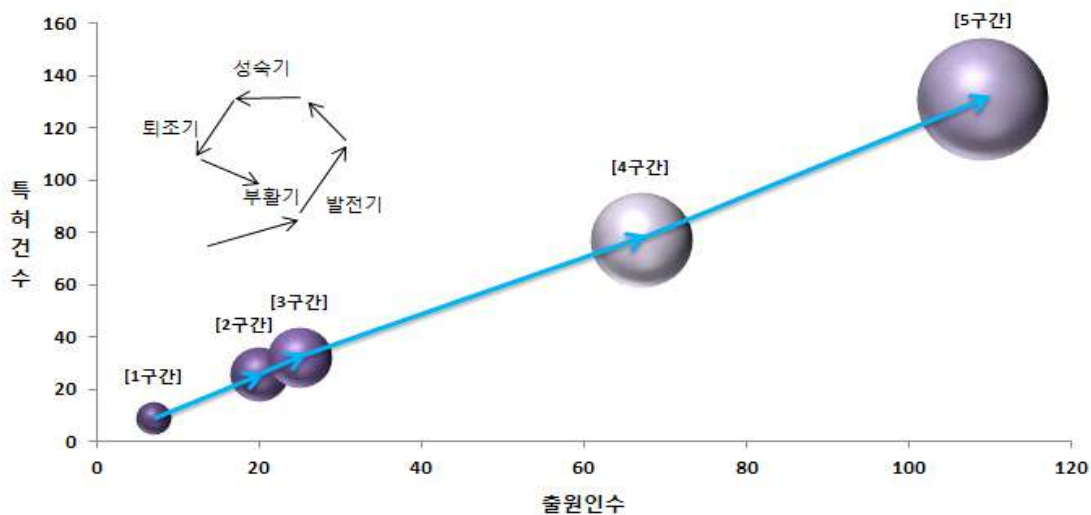
- 도로 발전 기술의 주요 출원국 전체 연도별 출원 동향을 살펴보면, 주요 출원국 전체 연도별 특허 출원건수는 전반적으로 2001년을 기점으로 꾸준히 증가하였으나, 2011년 이후 다소 감소하는 것으로 나타남.
- 특히, 2008년에는 특허 출원건수가 급격히 증가한 것으로 나타나는데, 이는 한국(KIPO)에서의 활발한 특허 활동 때문인 것으로 판단됨.
- 또한, 도로 발전 기술의 국가별 출원점유율을 살펴보면, 한국(KIPO)에서의 특허 출원은 총 특허 출원건수 275건 중 173건(63%)으로, 주요 출원국 중 가장 높은 출원점유율을 차지하는 것으로 나타났고, 반면 유럽(EPO)은 총 특허 출원건수 275건 중 12건(12%)으로, 주요 출원국 중 낮은 출원점유율을 차지하는 것으로 나타남.
- 도로 발전 기술의 각 주요 출원국 연도별 특허 동향을 살펴보면, 한국(KIPO)의 경우, 2008년 특허 출원건수가 크게 증가하였으나, 2012년 이후부터 최근까지 특허 출원건수가 점차 감소하고 있는 것으로 나타남.
- 미국(USPTO)의 경우, 2006년부터 최근까지 특허출원이 증감을 반복하며 꾸준히 진행 중인 것으로 나타남. 특히 2008년 특허 출원이 급증한 것으로 나타남.
- 일본(JPO)의 경우, 2000년 초반 특허 출원이 집중되었으며, 1999년 특허 출원이 가장 높았으며 그 이 후로 최근까지 특허 출원건수가 미비한 것으로 나타남.
- 유럽(EPO)의 경우, 출원이 거의 미비하며, 2003년부터 최근까지 특허출원이 증감을 반복하며 꾸준히 진행 중인 것으로 나타남. 특히 2008년 특허출원이 급증한 것으로 나타남.



[그림 1] 연도별 출원 동향

(나) 기술시장 성장단계 파악

- 도로 발전 기술의 전체 기술성장 단계를 살펴보면, 전체 기술성장 단계는 1구간부터 5구간(1992년~2016년)까지 모든 구간에서 출원인수 및 출원건수가 증가하고 있으므로 성장기인 것으로 판단됨.
- 따라서, 본 과제기술인 “도로 발전 기술”은 R&D의 급격한 증가 및 경쟁이 격화될 것으로 판단됨.



[그림 2] 기술시장 성장단계

(다) 주요 출원인 현황

- 도로 발전 기술의 주요 출원인 현황을 살펴보면, 주요출원인 10개에는 한국 국적(KR)이 4개로 가장 많은 출원인 수를 포함하는 것으로 나타남.
- 주요출원인 10개 중 6개는 타국 보다 자국에 더 많은 특허출원을 한 것으로 나타났으며(유럽 개별국(DE, FR 등)과 유럽(EP)은 같은 국가로 판단함), 주요 출원인 10개중 4개는 자국보다 타국에 더 많은 특허출원을 하거나 비슷하게 출원 한 것으로 나타남.
- 주요 출원인 10개 중 5개는 도로 자체-압전 기술을 주력기술 분야로 삼고 있고, 주요 출원인 10개 중 4개는 도로 매설물-태양광 기술을 주력기술 분야로 삼고 있으며, 주요 출원인 10개 중 1개는 도로 부속물-태양광 기술을 각각 주력기술 분야로 삼고 있음.

[표 3] 주요 출원인 현황

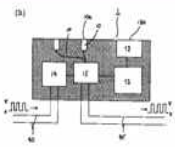
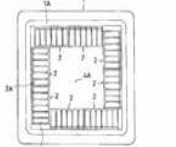
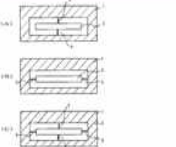
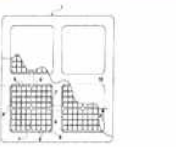
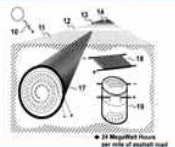
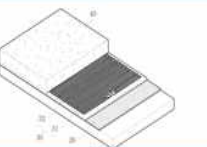
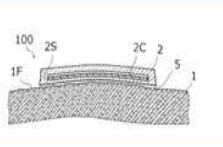
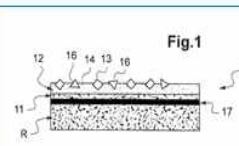
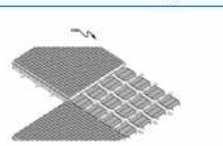
출원인	출원인 국적	합계	KR	US	JP	EP	주력기술분야
INNOWATTECH	IL	10	2	4	2	2	도로 자체-압전
SEKISUIJUSHI	JP	5			5		도로 매설물-태양광
3M	US	4	1	1	1	1	도로 매설물-태양광
KICTEC	JP	4			4		도로 매설물-태양광
서정영	KR	4	2	1	1		도로 부속물-태양광
진우소프트	KR	4	4				도로 자체-압전
티디엔지니어링	KR	4	4				도로 매설물-태양광
한양대학교	KR	4	4				도로 자체-압전
Chih-Yang Lee	CN	3	1		1	1	도로 자체-압전
COMMISSARIAT	FR	3	1	1		1	도로 자체-압전

(3) 도로 자체 태양광 발전기술 흐름분석

- 도로 자체-태양광 기술은, 『자체발광용 기술 ▶▶▶ 전기생산용 기술 ▶▶▶ 자체발열용 기술』 형태로 기술개발 흐름을 보이고 있음.
- 태양광- 전기생산용 기술의 발명이 가장 많은 형태를 보이고 있음.

[표 4] 주요 특허 심층분석

연번	출원번호	출원인	명칭	기술 중요도
1	JP1992 -286640	TOSHIBA	콘크리트 블록	★★★★
2	JP1999 -104058	TAGAWA TADAHIRO	발광 타일	★★★★
3	JP2000 -311552	HONDA	태양전지 내장의 도로 부설용 타일 (tile)	★★★★
4	EP2003 -077347	King & Miranda	Tile with photovoltaic cells	★★★★
5	US12 /290789	William M Peterson	Dynamic capacitor energy system	★★★★
6	KR10-2010 -0131622	엔에스넷	매립형 자연 채광 장치	★★★★
7	KR10-2011 -0004164	고선영	태양광을 이용한 발열층을 갖는 탄성 포장재	★★★★
8	JP2011 -173114	FUJI	태양전지 모듈, 태양전지 부착 도로 및 태양전지의 도로에의 시공 방법	★★★★
9	KR10-2012 -0106672	박규남	자전거 도로용 발광 블록	★★★★
10	EP2014 -707240	COMMISS ARIAT	PHOTOVOLTAIC STRUCTURE FOR A ROADWAY	★★★★
11	JP2014 -084933	SEKI TAKESHIGE	태양광 발전 유닛의 설치 방법	★★★★
12	US15 /140228	Glenn Arthur Hastings	SOLAR ROADWAY SYSTEM AND METHOD	★★★★

JP1992-286640 TOSHIBA  • 자체발광용 • 콘크리트 블록 단체로 중계기를 구성 • 발전(태양전지), 축전 수단을 가짐	JP1999-104058 TAGAWA TADAHIRO  • 자체발광용 • 발광 타일은 발광 전력 발생용 태양전지, 전력 축적용 전기 이중층 콘덴서, 역형 발광부, 발광 제어 회로 마련	JP2000-311552 HONDA  • 전기생산용 • 상면이 투광성 소재로 구성 • 도로 부설용 타일, 감기 용수철, 지지대, 태양전지	EP2003-077347 King & Miranda Design  • 전기생산용 • 보호 배리어, 광 전지, 조립식 구조 부재, 출력 단자, 광 전지를 포함하는 타일
US2008-290789 William Mehrkam Peterson  • 전기생산용 • 아스팔트 도로, 스트리트, 콘크리트 벽, 루프탑에서 캡슐화될 수 있는 pre-charge-enabled 에너지 변환 가변 컨덴서를 사용	KR2010-0131622 엔에스넷  • 전기생산용 • 복층의 투명 패널, 광 굴절 패널, 채광부, 고정부, 집광부재, 광 전송부재 포함 매립형 자연채광 장치	KR2011-0004164 고선영  • 자체발열용 • 기반층, 표면 탄성층, 발열층, 태양전지 모듈, 컨트롤러 포함 탄성 포장재	JP2011-173114 FUJI  • 전기생산용 • 가요성 기판, 태양전지 셀, 태양전지 모듈 • 태양전지 모듈이 설치되는 도로 및 그 설치 시공 방법
KR2012-0106672 박규남  • 전기생산용 • 블록 베이스, 태양전지 발광 유니트, 하부 케이스, 상부 케이스, 손잡이, 도광판 포함 자전거 도로용 발광 블록	EP2014-707240 COMMISSARIAT  • 전기생산용 • 도로용 광기전 구조: 광기전 전지, 불투명하지 않은 코팅(non-opaque coating) 포함	JP2014-084933 SEKI TAKESHIGE  • 전기생산용 • 지반 개량이나 양생을 필요로 하지 않고 휴경논에 광범위하게 설치 가능한 태양광 발전 유닛의 설치 방법	US2016-140228 Glenn Arthur Hastings  • 전기생산용 • 적층형의 태양 컬렉션 스트립(SCS)을 수집 패널(SCP)를 이용해 모듈화된 태양 도로/철도 시스템(MSRS)과 방법(MSRM)으로 개시

[그림 3] 도로 자체 태양광 발전기술 흐름분석

(4) 국내외 관련특허 분석결과

- 국내외 태양광 발전 사업은 주택, 주차장, 자전거 도로의 캐노피 등의 시설물 설치에 국한되어 있으며, 압전도로 및 집전도로와 같은 유사기술이 연구 중에 있으나 태양광 패널이 도로로 이용되는 일체형 도로개발은 전무함을 확인할 수 있음.
- 이에 본 연구에서는 국내 도로설계기준을 만족하는 블록형 태양광 도로 포장시스템을 개발하여 특허출원 및 등록을 수행하고자 함.

나. 도로 및 블록 등의 설계기준 조사

(1) 국내 도로설계기준 조사

(가) 도로의 종류

- 도로는 고속도로 및 일반도로로 구분하며, 고속도로 중 도시지역에 소재하는 고속도로는 도시고속도로로 함.
- 일반도로의 기능별 구분에 상응하는 「도로법」 제8조에 따른 도로의 종류는 주간선도로, 보조간선도로 등이 있음. 도로의 종류는 [표 1]과 같이 나눌 수 있음.
- 설계속도는 도로설계의 기초가 되는 자동차의 속도를 말하며, 도로의 기능별 구분과 지역 및 지형에 따라 [표 2]와 같이 결정됨.

[표 1] 일반도로의 종류

일반도로	도로의 종류
주간선도로	일반국도, 특별시도 · 광역시도
보조간선도로	일반국도, 특별시도 · 광역시도, 지방도, 시도
집산도로	지방도, 시도, 군도, 구도
국지도로	군도, 구도

[표 2] 도로의 기능별 설계속도

도로기능별 구분		설계속도(km/h)			
		지방지역			도시 지역
		평지	구릉지	산지	
고속도로		120	110	100	100
일반도로	주간선도로	80	70	60	80
	보조간선도로	70	60	50	60
	집산도로	60	50	40	50
	국지도로	50	40	40	40

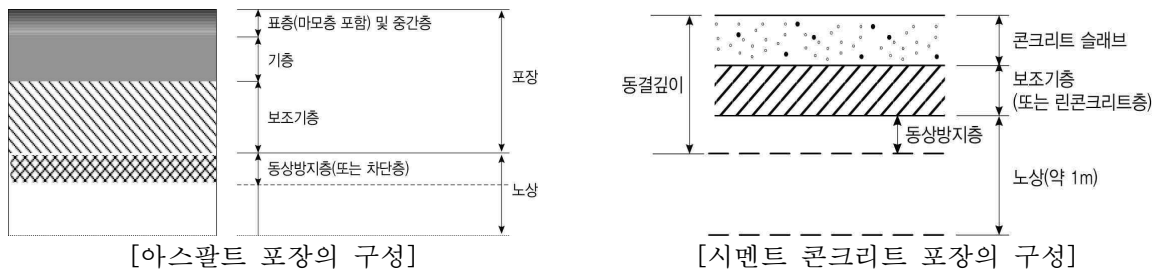
- 설계구간이란 도로가 위치하는 지역 및 지형의 상황과 계획교통량에 따라 동일한 설계기준을 적용하는 구간을 말함. 도로의 설계구간은 노선의 성격이나 중요성, 교통량, 지형 및 지역이 대략 비슷한 구간에서는 동일한 설계구간으로 적용함이 바람직하며, 도로의 구분에 따른 최소 설계구간의 길이는 [표 3]과 같음.

[표 3] 도로구분에 따른 최소 설계구간의 길이

도로의 구분		최소 설계구간
고속도로		5km
일반 도로	지방	2km
	지역	
	도시 지역	주요한 교차점의 간격

(나) 도로설계기준

- 도로 포장은 [그림 1]과 같이 아스팔트 포장 및 시멘트 콘크리트 포장으로 구분됨.
- 도로설계기준에 제시되어 있는 포장 층별 최소 두께는 [표 4]와 같이 표층은 50mm이상, 기층 및 보조기층은 100mm이상으로 되어 있음.
- 또한 버스정차로, 가감속차로, 주차장의 경우 기층 또는 보조기층 두께는 150mm이상을 유지하여야 함.



[그림 1] 아스팔트 포장과 시멘트 콘크리트 포장의 층 구성

[표 4] 포장 각 층별 최소 두께 기준

종류		최소두께(mm)
아스팔트 표층		50≤
아스팔트 안정처리 기층		50≤
린 콘크리트 보조기층		150
아스팔트 보조기층		100
입상재료 기층		150
선택 보조기층	모래, 자갈, 선택층 위에 부설되는 경우	150
	모래 선택층 위에 부설되는 경우	200
비선택 모래, 자갈 보조기층		200
슬래그 보조기층		200
시멘트 또는 안정처리 보조기층		200

- 차량하중을 지지하기 위해 시멘트 콘크리트 포장 배합설계 지침을 조사한 결과, 포장용 콘크리트의 배합기준은 [표 5]와 같음.
- 자전거 도로의 설계속도는 [표 6]과 같으며, 20~30km/h으로 설계함.
- 자전거도로 포장은 아스콘 포장의 경우 보조기층 두께 최소 200mm이상을 원칙으로 하며, 표층은 50~70mm 두께로 함. 또한 시멘트 콘크리트 포장은 보조기층 두께 최소 200mm이상으로 하며, 표층 슬래브 두께를 100mm로 함.

[표 5] 포장용 콘크리트의 배합기준

항목	시험방법	단위	기준
설계기준 휨강도(f28)	KS F 2408	MPa	4.5이상
물/결합재비		%	45이하
굵은 골재 최대치수		mm	40이하
슬럼프 값	KS F 2402	mm	10~60
공기량 범위	KS F 2409	%	5.5±1.5

[표 6] 자전거 도로의 설계속도

구분	설계속도(km/h)
자전거 전용도로	30
자전거보행자 겸용도로	20
자전거 전용차로	20

(2) 블록포장의 기준

- 태양광 블록을 개발하기 위해 기존 블록에 대한 기준을 조사함.
- 현재 사용되고 있는 블록 관련 KS규정은 KS F 4419 보차도용 콘크리트 인터로킹 블록과 KS F 4001 포장용 콘크리트 평판이 있음.
- KS F 4 4419 보차도용 콘크리트 인터로킹 블록 조사하여 현재 설치되어 있는 블록의 기준을 조사함. KS 규정에 제시된 블록의 성능은 차도용, 보도용으로 구분하며, 휨강도, 흡수율, 투수계수 등으로 결정함. 본 연구에서는 투수성 블록은 고려하지 않으므로 보통블록의 기준을 준수하면 될 것으로 판단됨.
- KS 규정에 제시된 블록의 성능은 [표 7]에 정리하여 나타내었음.
- 블록의 두께는 보도용 60mm, 차도용 80mm 이상으로 규정되어 있으며, 블록의 최소 두께 및 허용차는 [표 8]에 정리하여 나타내었음.
- 콘크리트 평판은 모르타르 평판과 인조석층 평판으로 구분되어지나, 본 연구에서는 모르타르 평판을 기준으로 제작 및 설치예정임. 콘크리트 평판의 종류는 [표 9]에 정리하여 나타내었음.

- 블록포장의 성능은 휨강도 하중, 휨강도, 흡수율 및 투수계수 등에 적합하여야 하고, 평판의 종류에 따른 휨강도, 흡수율 및 투수계수의 기준은 [표 10]에 정리하여 나타내었음.

[표 7] KS 규정에 제시된 블록의 성능

구분	휨강도(MPa)		흡수율(%)		투수계수(mm/sec)	
	보도용	차도용	개개	평균	등급	기준
보통블록	5.0		10이하	7이하	-	
투수성블록	4.0이상	5.0이상	-	-	0.1이상	

[표 8] KS 규정에 제시된 블록의 최소두께 및 허용차

구분	두께		허용차
	보도용	차도용	
인터로킹 블록	60mm	80mm	가로, 세로: $\pm 2\text{mm}$ 두께: $\pm 3\text{mm}$

[표 9] 콘크리트 평판의 종류

종류	호칭치수	치수			기능
		가로	세로	두께	
보통 평판	300	300	300	30,60,80	-
	400	400	400		
	450	450	450	60,80	
	500	500	500		
투수 평판	300	300	300	60,80	투수성
	400	400	400		
	450	450	450		
	500	500	500		

[표 10] 평판의 종류에 따른 휨강도, 흡수율 및 투수계수 기준

종류	호칭치수	휨강도 하중(kN)			흡수율(%)	투수계수
		두께 30mm	두께 60mm	두께 80mm		
보통 평판	300	4.0	4.0	4.0	평균 7이내 개개 10이내	-
	400	4.0	4.0	4.0		
	450	-	4.0	4.0		
	500	-	4.0	4.0		
투수 평판	300	-	3.0	3.0	-	0.1이상
	400	-	3.0	3.0		
	450	-	3.0	3.0		
	500	-	3.0	3.0		

- 한국블록협회의 차도용 블록포장 설계시공 및 유지관리지침(안)에서는 KS F 4419, LH, 서울시 등의 기존 기준을 종합하여 [표 11]과 같이 설계기준(안)을 제시함.

[표 11] 평판의 모양, 치수 및 치수의 허용차

기준	휨	압축	휨과괴	흡수율(%)		표면층	허용	W/C	미끄럼	동결융해	비고
	강도 (MPa)	강도 (MPa)	하중 (N/mm)	개별	평균	두께 (mm)	오차 (mm)	(%)	저항 (BPN)	감량(kg/	
KS F 4419	5	-	-	10	7	80	2~3	25	-	-	보차도용
LH	5	-	-	10	7	80	2~3	25	40	-	
서울시	5	20	-	-	-	80	2~3	-	40	-	
협회안	-	-	150	10	7	80이상	2~4	-	40	1.0이하	차도용

- 본 연구에서는 도로설계기준과 KS F 4419 기준을 종합하여 [표 12]와 같이 태양광 블록시스템의 기준을 선정함. 본 연구의 블록포장 시스템은 도로설계기준에 제시되어 있는 보조기층 두께 200mm는 동일 적용하였으며, KS F 4419에 제시되어 있는 차도용 블록 치수인 두께 80mm이상 기준을 만족하는 표면층 두께 200mm를 적용 함.

[표 12] 태양광 블록시스템 기준 선정

항목	단위	기준		본 연구 적용
		도로설계기준	KS F 4419	
쇄석 보조기층	mm	200	-	200
표면층 두께	mm	100	80	200
블록치수	mm	-	300~500	300×200
설계기준 휨강도 (재령28일)	MPa	4.5이상	5.0이상	5.0이상
물/결합재비	%	45이하	25이하	25이하

(3) 국내외 태양광 포장시스템 적용현황 조사

(가) 국내외 태양광 포장시스템 현황

- 해외 태양광 패널을 활용한 도로포장시스템을 조사한 결과 규모가 크고 무게가 상당히 무겁다는 단점이 있음. 국내외 태양광 포장시스템 적용현황은 [표 13]과 같음.
- 국내에서는 태양광 패널을 활용한 도로는 세종시의 지붕형식의 태양광 패널을 설치한 자전거 도로이며, 현재로써 국외와 같은 태양광 패널을 도로포장에 적용한 연구는 미흡한 실정임.

[표 13] 국내외 태양광 포장시스템 적용현황

	
네덜란드 태양광 자전거 도로	미국 Solar Roadways SR2 모델
	
프랑스 태양광 자동차 도로 Wattway	세종시 태양광 자전거 도로

(나) 해외 현지 업체(미국 Solar Roadways) 방문 및 제품 현황

① Solar Roadways 태양광 패널 상세 제원

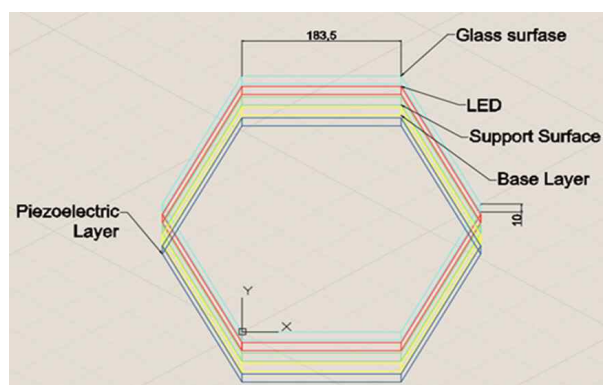
- 시험도로에 설치되어있는 제품의 상판유리 두께는 약 12mm로 제작되었으며 시험용 도로에 동일하게 사용됨.
- 패널의 부품으로 들어가 있는 전선들의 역할은 6줄이 1조를 이루는 구성으로 되어있으며, 열선(해빙), LED, 전선 등 3가지의 역할을 함. 누수 또는 패널 파괴 시 물이 들어가는 경우 성능의 저하는 없고, 강도부분에서는 Semi-Truck 대상으로 파괴실험 진행한 결과, 약 113.4ton의 하중까지 저항하며, 유리의 수명은 20년까지 보증됨.
- 수공업 형태로 제조되는 제품으로 단가의 측정은 불가능하며, Solar Roadways의 대표 계획은 양산 시 단가를 \$200 선으로 맞추는 것임.
- 일반적으로 유리의 종류는 3종으로, 일반과 템퍼, 그리고 라미네이트로 구성됨.
- Solar Roadways에서 제작한 SR2, SR3에 사용된 유리는 상하부 템퍼에 접합부는 라미네이트 처리가 되어있고 패널의 크기는 유지보수의 용이함을 위해 1인이 장비없이 운반 가능하도록 제작되었으며 이 무게는 약 31.8kg임.
- 하중을 분배시켜 파손을 방지하기 위한 6각 형태로 설계되었음.



[그림 2] Solar Roadways 방문 및 제품 현황 조사

② 압전 패널 조사결과

- 태양광 패널은 빛을 받아야하기에 배치를 위로, 압전패널은 압력을 받아야하기에 배치를 아래로 함.
- 압전 패널은 2층 혹은 3층의 적층구조로 설계함.

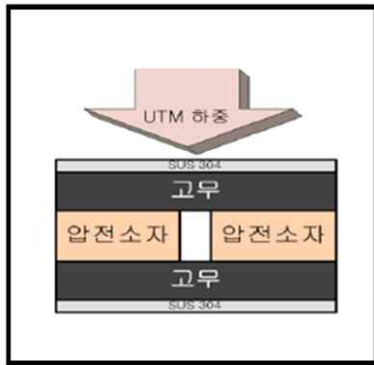


[그림 3] Solar Roadways SR2의 다층구조

③ 압전소자 충전재 분석

- 압전소자간격을 채울 재료로 고무, 토목섬유, 반경화절연물 중 반경화 절연물로 선정 함. 고무막은 너무 탄성적이라 사용이 불가능하며, 토목섬유 역시 비효율적으로 판단

됨. 반경화 절연물은 수지를 그라스포 또는 일방향으로 놓여진 그라스실에 수지를 코팅하여 반경화 시킨 제품으로서 열을 가하면 내열성의 고강도 절연물로 성형이 가능함.



(a) 고무막



(b) Hybrid 3D/2D Fabric 토목섬유

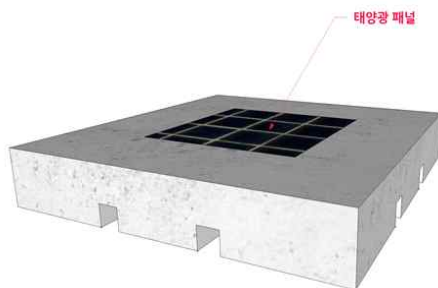


(c) 반경화 절연물

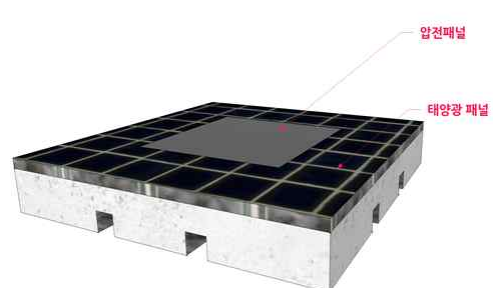
[그림 4] 압전소자 충전재의 종류

(3) 국내에 적합한 태양광 도로시스템 제안

- 본 연구에서는 크기가 크고 무거운 국외 태양광 패널 포장을 개선하고자 태양광 패널과 블록을 일체화한 블록 형식을 도입하고자 함.
- 기존의 포장블록과 태양광패널을 접목시킨 형태의 블록과 기존의 포장블록, 태양광패널, 압전 시스템을 접목시킨 하이브리드형 태양광블록 두 가지를 제안함.



[태양광 블록]



[하이브리드(태양광+압전) 포장블록]

① 도로포장용 태양광블록

- 기존 태양광 패널은 포장 전체면적이 패널로 구성되어 있어 패널 파손에 노출되기 쉽고 패널 자체의 규모가 커서 유지보수비의 증가로 인해 많은 예산이 투입되는 경우가 발생함.
- 본 기술은 블록 중앙 일부분에 블록상단 높이와 동일한 높이로 태양광 패널을 설치함으로써 파손의 위험성을 감소시킴.

- 모듈 형식의 태양광 패널로써 패널 파손시 교체가 원활하며, 현재 사용중인 포장 블록과의 동일한 사이즈로 유지보수 비용절감 및 시공성이 우수한 장점을 가짐.

② 태양광과 압전을 접목시킨 하이브리드 포장블록

- 기존 하이브리드 패널은 태양광 전지판에 필름형 압전소자를 형성하는 기술이었음.
- 압전소자 또는 태양 전지판이 손상되면 발전을 할 수 없는 구성으로 되어있음.
- 본 기술은 태양광 패널과 압전패널을 별도로 일반 보차도용 포장블록에 설치하여 유지보수가 간단한 장점을 지님.

다. 국내 태양광 도로포장 시스템 개발

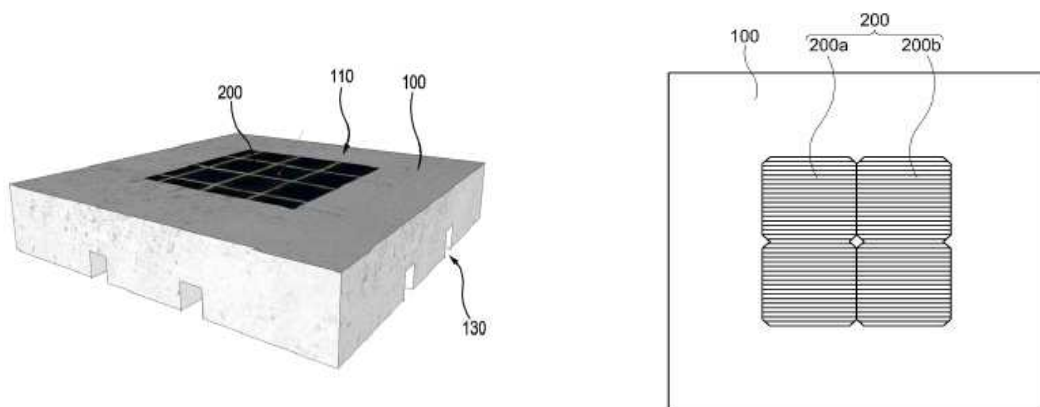
(1) 특허출원 : 총 4 건

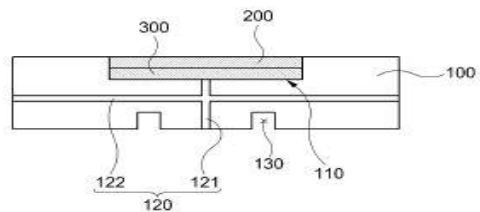
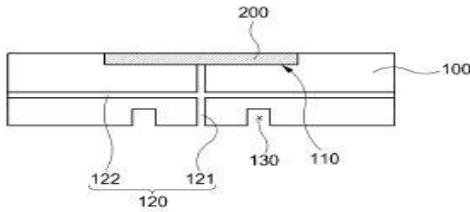
- 본 연구의 1차년도 (2017년) 기준으로 총 4건의 특허출원을 완료함. 출원 완료한 특허의 명칭과 출원번호는 다음과 같음.

- ① 도로포장용 태양광 발전 블록 (출원번호 10-2017-0154699)
- ② 도로포장용 복합발전 블록 (출원번호 10-2017-0154700)
- ③ 도로 발전 구조물 (출원번호 10-2017-0154701)
- ④ 도로포장용 복합발전 블록 (출원번호 10-2017-0154702)

(가) 도로포장용 태양광 발전 블록 (출원번호 10-2017-0154699)

- 도로포장용 태양광 발전 블록의 특허출원(M17-4849)으로 건설 분야에 관한 것이며 상세하게는 도로포장용 태양광 발전 블록에 관한 것임.
- 태양광 패널의 파손 우려가 적고, 파손되더라도 교체비용이 적으며, 안정적인 배수가 가능한 도로포장용 태양광 발전 블록으로 특허출원함.
- [요약서] 본 발명은 콘크리트 재질에 의해 형성됨과 아울러, 상면에 삼입홈(110)이 형성된 본체(100); 상기 삼입홈(110)에 삽입된 태양광 발전패널(200); 상기 태양광발전패널(200)의 배선이 관통하도록 상기 본체(100) 내부에 형성된 배선 관통공(120);을 포함하는 것을 특징으로 하는 도로포장용 태양광 발전 블록을 제시함으로써, 태양광 패널의 파손 우려가 적고, 파손되더라도 교체비용이 적으며, 안정적인 배수가 가능하도록 한다.





관 인 생 략 출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2017.11.20
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(4849)
출 원 번 호 10-2017-0154699 (접수번호 1-1-2017-1151468-64)
출 원 인 명 칭 서경대학교 산학협력단(2-2006-046943-2) 외 2명
대 리 인 성 명 특허법인주원(9-2008-100161-7)
발 명 자 성 명 최재순 박성기 김동현
발 명 의 명 칭 도로포장용 태양광 발전 블록

특 허 청 장

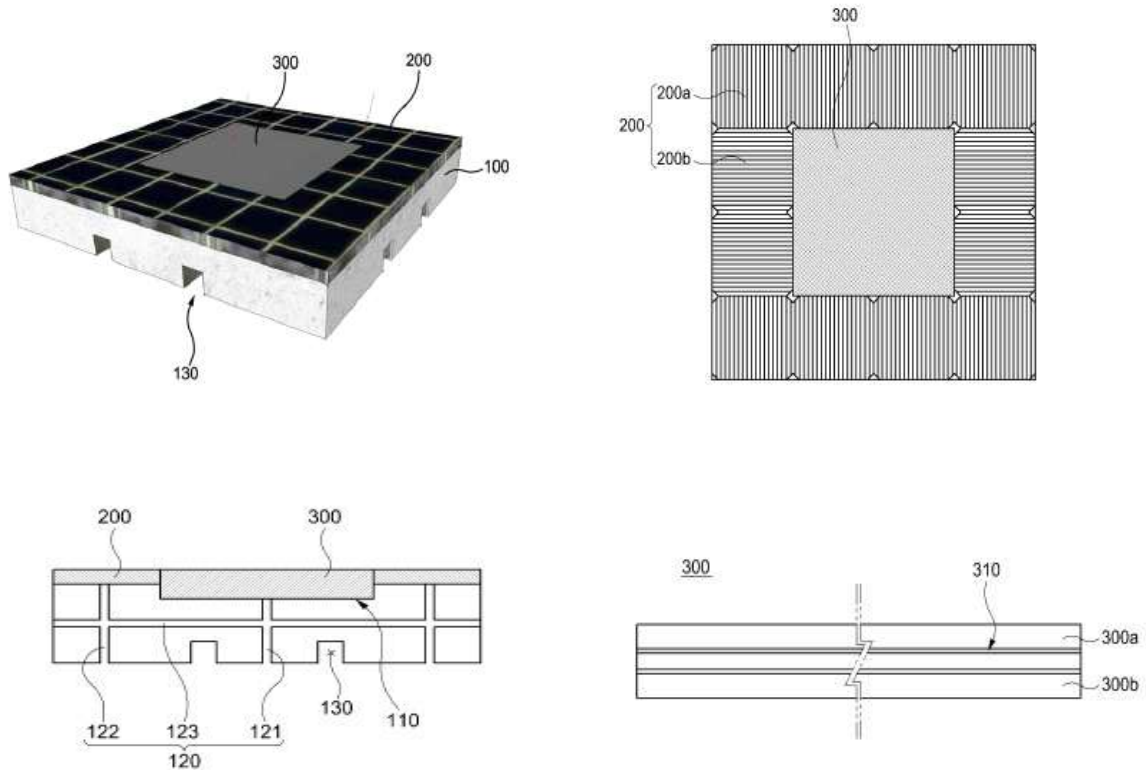
<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경장), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주심출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO-SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.
8. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

(나) 도로포장용 복합발전 블록 (출원번호 10-2017-0154700)

- 도로포장용 복합발전 블록의 특허출원(M17-4850)으로 건설 분야에 관한 것이며, 상세하게는 도로포장용 복합 발전 블록에 관한 것임.
- 압전소자에 의한 발전이 가능하고, 안정적인 배수가 가능한 도로포장용 태양광 발전 블록을 제시함.

- [요약서] 본 발명은 콘크리트 재질에 의해 형성된 본체(100); 상기 본체(100)의 상면 가장자리부를 둘러 설치된 태양광 발전패널(200); 상기 본체(100)의 상면 중앙부에 설치된 압전패널(300); 상기 태양광 발전패널(200) 및 압전패널(300)의 배선이 관통하도록 상기 본체(100) 내부에 형성된 배선 관통공(120);을 포함하는 것을 특징으로 하는 도로포장용 복합발전 블록을 제시함으로써, 태양광 패널의 파손 우려가 적고, 파손되더라도 교체비용이 적으며, 압전소자에 의한 발전이 가능하고, 안정적인 배수가 가능하도록 한다.



관 인 생 략
출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2017.11.20
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무) 창조번호(4850)
출 원 번 호 10-2017-0154700 (접수번호 1-1-2017-1151469-10)
출 원 인 명 칭 서경대학교 산학협력단(2-2006-046943-2) 외 2명
대 리 인 성 명 특허법인추원(9-2008-100161-7)
발 명 자 성 명 최재순 박성기 김봉현
발 명 의 명 칭 도로포장용 복합발전 블록

특 허 청 장

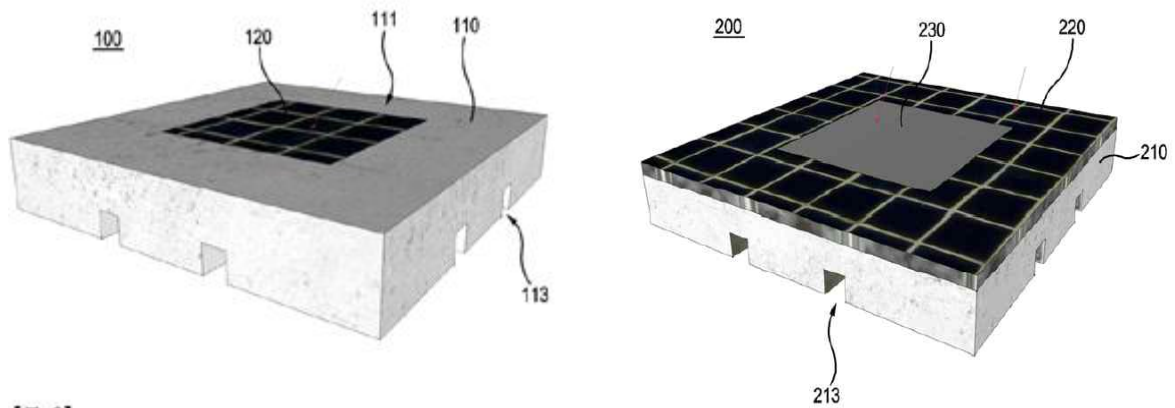
<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경장), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보장이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드>
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허심판부의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허심판부에 [전자적교환가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 출원인이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.
8. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

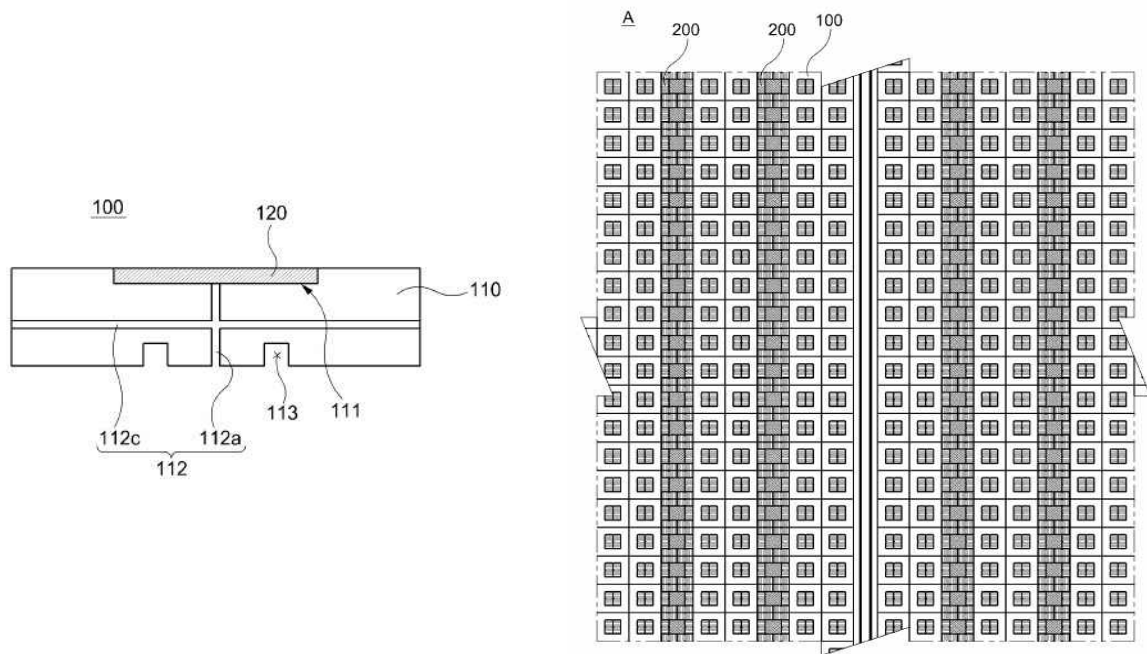
(다) 도로 발전 구조물 (출원번호 10-2017-0154701)

- 도로 발전 구조물의 특허출원(M17-4851)으로 건설 분야에 관한 것이며 상세하게는 도로 발전 구조물에 관한 것임.
- 신재생에너지 생산과 도로의 지표면 유출을 저감하여 홍수 예방 효과가 있는 도로 포장용 태양광 발전 기술이 절실히 필요한 실정임.
- 따라서, 상기 과제의 해결을 위하여 본 발명을 특허출원함.
- [요약서] 본 발명은 콘크리트 재질에 의해 형성된 본체(110)와, 상기 본체(110)의 상면에 설치된 태양광 발전패널(120)과, 상기 태양광 발전패널(120)의 배선이 관통하도록 상기 본체(110) 내부에 형성된 배선 관통공(112)을 구비한 다수의 태양광 발전블록(100); 콘크리트 재질에 의해 형성된 본체(210)와, 상기 본체(210)의 상면에 설치된 압전패널(230)과, 상기 압전패널(230)의 배선이 관통하도록 상기 본체(210) 내부에 형성된 배선 관통공(212)을 구비한 다수의 압전블록(200);을 포함하고, 상기 다수의 태양광 발전블록(100) 및 다수의 압전블록(200)이 열지어 설치되어 도로 포장체(A)를 형성하고, 상기 도로 포장체(A) 중 운행차량의 타이어가 접지되는 부위에는 길이방향을

따라 상기 다수의 압전블록(200)이 배치되고, 상기 다수의 압전블록(200)이 배치된 영역 이외의 영역에는 상기 다수의 태양광 발전블록(100)이 배치된 것을 특징으로 하는
도로 발전 구조물을 제시함으로써, 태양광 패널의 파손우려가 적고, 파손되더라도 교체비용이 적으며, 안정적인 배수가 가능한 도로 발전구조물을 제시한다.



【도 3】



관 인 생 략
출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2017.11.20
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무) 창조번호(4851)
출 원 번 호 10-2017-0154701 (접수번호 1-1-2017-1151470-56)
출 원 인 명 칭 서경대학교 산학협력단(2-2006-046943-2) 외 2명
대 리 인 성 명 특허법인주원(9-2008-100161-7)
발 명 자 성 명 최재순 박성기 김봉현
발 명 의 명 칭 도로 발전 구조물

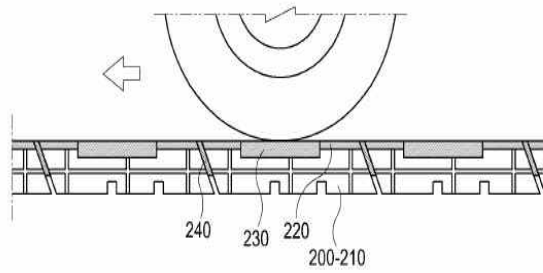
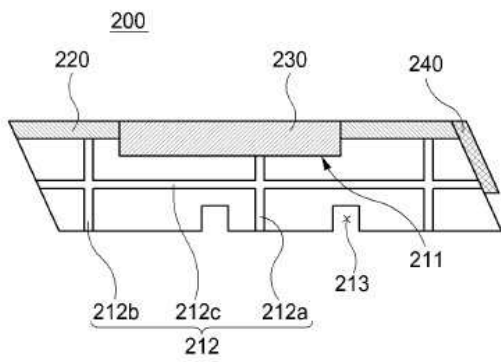
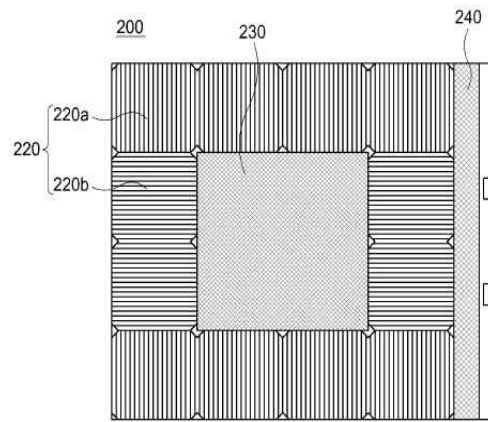
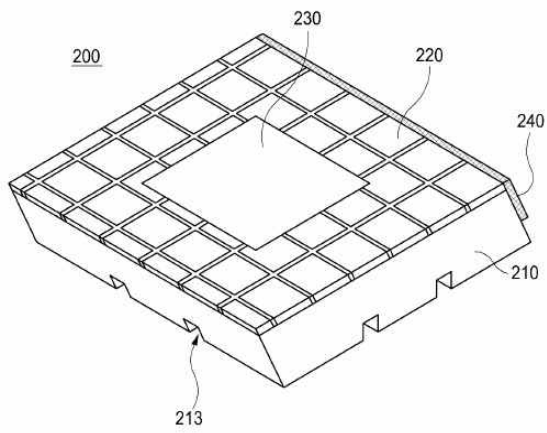
특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 인원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 출원권을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 출원권이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [선지적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.
8. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

(라) 도로포장용 복합발전 블록 (출원번호 10-2017-0154702)

- 도로포장용 복합발전 블록 특허출원(M17-4852)으로 건설 분야에 관한 것이며 상세하게는 도로포장용 태양광 발전 블록에 관한 것임.
- 본 특허출원은 상기 압전블록이 도로의 길이방향을 따라 열지어 배치되고, 상기 본체의 상향경사진 일측면이 전방을 향하고, 상기 본체의 하향경사진 타측면이 후방을 향하도록 설치된 것을 특징으로 하는 도로 발전 구조물을 제시함.
- [요약서] 본 발명은 콘크리트 재질에 의해 형성된 육면체 구조의 본체(210); 상기 본체(210)의 상면에 설치된 상면 압전패널(230); 상기 본체(210)의 일측면 또는 양측면에 설치된 측면 압전패널(240); 상기 상면 압전패널(230) 및 측면 압전패널(240)의 배선이 관통하도록 상기 본체(210) 내부에 형성된 배선 관통공(212);을 포함하는 것을 특징으로 하는 도로포장용 압전블록(200)을 제시함으로써, 압전패널 또는 태양광 패널의 파손 우려가 적고, 파손되더라도 교체비용이 적으며, 안정적인 배수가 가능하도록 한다.



관 인 생 략
출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2017.11.20
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(4852)
출 원 번 호 10-2017-0154702 (접수번호 1-1-2017-1151471-02)
출 원 인 명 칭 서경대학교 산학협력단(2-2006-046943-2) 외 2명
대 리 인 성 명 특허법인주원(9-2008-100161-7)
발 명 자 성 명 최재순 박성기 김봉현
발 명의 명 칭 도로포장용 복합발전 블록

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경장), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보장이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허-실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허-실용신안은 12개월, 상표-디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 출원인이 적수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.
8. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

(2) 특허등록 : 총 2 건

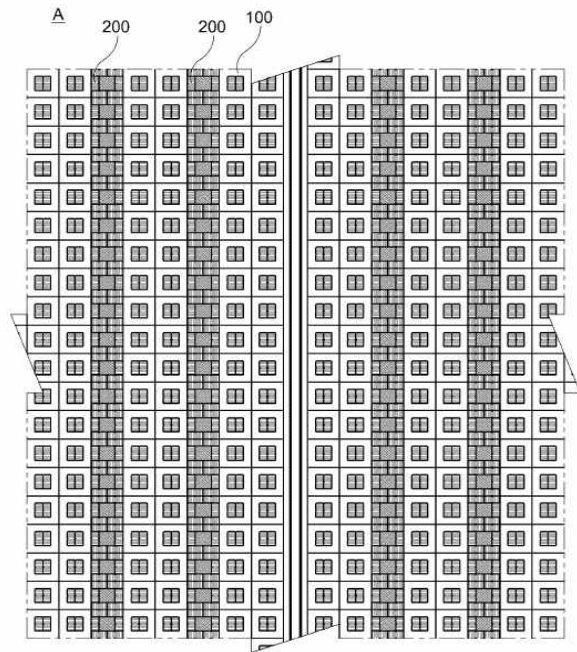
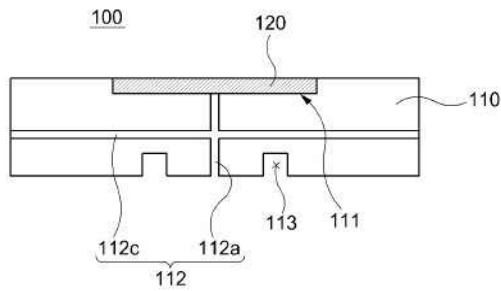
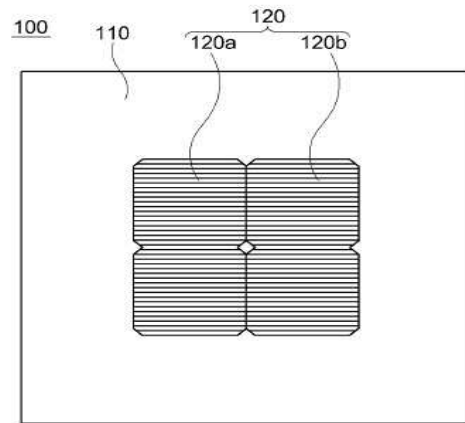
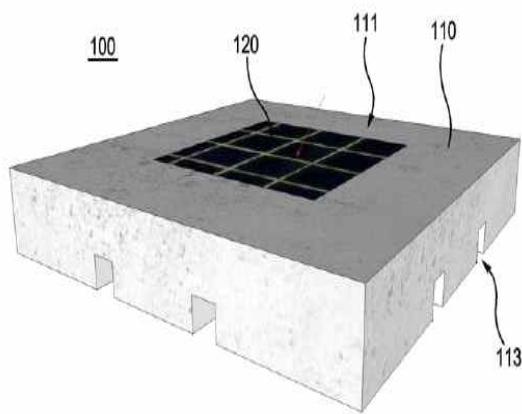
- 본 연구의 2차년도 (2018년) 기준으로 총 2건의 특허등록을 완료함. 등록 완료한 특허의 명칭과 등록번호는 다음과 같음.

- ① 도로 발전 구조물 (등록번호 제 10-1934537)
- ② 도로포장용 복합발전 블록을 이용한 도로 발전 구조물 (등록번호 제 10-1934538)

(가) 도로 발전 구조물 (등록번호 제 10-1934537)

- 본 발명은 콘크리트 재질에 의해 형성된 본체(110)와, 상기 본체(110)의 상면에 설치된 태양광 발전패널(120)과, 상기 태양광 발전패널(120)의 배선이 관통하도록 상기 본체(110) 내부에 형성된 배선 관통공(112)을 구비한 다수의 태양광 발전블록(100); 콘크리트 재질에 의해 형성된 본체(210)와, 상기 본체(210)의 상면에 설치된 압전패널(230)과, 상기 압전패널(230)의 배선이 관통하도록 상기 본체(210) 내부에 형성된 배선 관통공(212)을 구비한 다수의 압전블록(200);을 포함하고, 상기 다수의 태양광 발전블록

(100) 및 다수의 압전블록(200)이 열지어 설치되어 도로 포장체(A)를 형성하고, 상기 도로 포장체(A) 중 운행차량의 타이어가 접지되는 부위에는 길이방향을 따라 상기 다수의 압전블록(200)이 배치되고, 상기 다수의 압전블록(200)이 배치된 영역 이외의 영역에는 상기 다수의 태양광 발전블록(100)이 배치된 것을 특징으로 하는 도로 발전 구조물을 제시함으로써, 태양광 패널의 파손우려가 적고, 파손되더라도 교체비용이 적으며, 안정적인 배수가 가능한 도로 발전구조물을 제시한다.



발송번호: 9-5-2018-079727243
발송일자: 2018.11.22.

수신 서울특별시 강남구 연주로 711, 9층(논현동, 건설회관)(특허법인주원)
특허법인주원(일홍준)

06050

YOUR INVENTION PARTNER

특허청 특허결정서

출원인 성명 서경대학교 산학협력단 외 2명 (특허고려번호: 220060469432)
주 소 서울특별시 성북구 서경로 124 (정릉동, 서경대학교내)
대리인명 특허법인주원
주 소 서울특별시 강남구 연주로 711, 9층(논현동, 건설회관)(특허법인주원)
지정면리사 일홍준
발명자 성명 최재순
주 소 서울특별시 강북구 숭실로 174 SK아파트 146동 902호
발명자 성명 박성기
주 소 경기도 수원시 장안구 경수대로976번길 22 한일타운아파트 155동 402호
발명자 성명 김봉현
주 소 경기도 의왕시 봇물2길 33, 4층(포일동)
출원번호 10-2017-0154701
발명의명칭 도로 발전 구조물
청구항수 1

이 출원에 대하여 특허법 제66조에 따라 특허결정합니다.
(특허권은 특허료를 납부하여 특허법 제87조에 따라 설정등록을 받음으로써 발생하게 됩니다.)

[특기사항]

이 건 발명의 출원에 대한 검색은 2018.11.19 까지 출원된 자료를 대상으로 하였으며, 이 날짜 이후 조약우선권 주장을 통해 진입하는 출원에 의한 특허법 제29조제3항 및 제4항 또는 제36조제1항 내지 제3항 위반 여부는 판단하지 아니하였습니다. 끝.

[참고문헌]

1. KR101117493 B1
2. KR101603629 B1
3. KR1020120103099 A
4. KR200433331 Y1

2018.11.22.

특허청

특허심사1국

국토환경심사과

심사관 이재욱

이재욱

<< 안내 >>

- 【 등록료 납부, F0, 전자등록증 발급 서비스 개시, 특허기술상징 안내 및 등록공보 확인 등 】
1. 등록료 납부안내
 - o 특허료 납부예정금액(1-3년차분) : 84,000 원(1-3년차분을 정상납부기간내에 납부하는 경우), 42,000 원(50% 감면대상자인 경우), 25,200 원(70% 감면대상자인 경우)
 - o 특허료의 정상납부기간을 경과하여 추가납부하거나, 특허료납부기간 중 특허료의 변경요인이 있을 때에는 위 납부금액이 달라질 수 있습니다.
 - o 자세한 안내는 아래의 첨부파일(특허료 납부 안내)을 참조하시기 바랍니다.
 2. 출원인인 이 특허결정서를 송달받은 날로부터 3개월 이내의 기간(다만, 특허법 제79조에 따른 설정등록을 받으려는 날이 3개월보다 짧은 경우에는 그 날까지의 기간)에 분할출원을 할 수 있습니다.
 3. F0출원 후 특허결정의 등본을 받기 전에 보장을 한 자는 특허료납부서 제출시까지 보증내용의 전부가 변경된 최종본의 F0 1통을 첨부하여 특허청에 제출하여야 합니다.
 4. 2018. 7. 1. 설정 등록부터 등록증 수령 방법을 선택할 수 있습니다. 납부서(특허권 등의 등록증 시정규식 서식 제25호)에 등록증 수령 방법을 전자로서 수령으로 선택하여 등록료를 납부할 경우, 특허료의 「전자등록증 수신함」과 특허고려번호상의 e-mail을 통해 전자등록증을 내려받을 수 있습니다. 또한, 등록된 납입고지서로 설정 등록료를 납부시 기원과 동일하게 서면 등록증으로 받아 보실 수 있습니다.
 5. 내국인은 매년 3월, 9월경 특허기술상 홈페이지(http://www.patent.go.kr/jsp/kiponet/mp/patentprize/index.htm)에 공지된 신청기간에 아래 각 부문의 요건을 만족하는 발명(고안)에 대해 특허기술상을 신청하실 수 있습니다.
 - o 세종대왕상 등 부문: 권리 또는 실시권의 설정등록일로부터 5년 이내의 발명(고안)
 - o 홍대용상 부문: 개인, 중소기업, 산학협력단 또는 지방자치단체의 출원으로서 권리 또는 실시권의 설정등록일로부터 5년 이내의 발명(고안)
 - * 상기요건 모두 충족시 두 부문에 중복 신청 가능
 6. 출원인은 설정등록일로부터 3개월 이내에 (다만, '12.3.15. 이후의 출원이고, 특허권의 설정등록이 특허출원일로부터 4년과 출원심사 청구일로부터 3년 중 늦은 날보다 지연된 경우에 한 함) 등록지연에 따른 특허권의 존속기간의 연장등록출원을 할 수 있습니다.
 - * 등록공보는 등록수수료를 납부하신 후 7일 전후로 특허청 홈페이지(특허마당→인턴넷공보)에서 확인하실 수 있습니다. 다만 심사관의 적중 보장사항이 있으면 평균 등록일로부터 약 30일 정도 더 소요될 수 있습니다.
 - * 「특허」 고액선에서 알뜰서비스를 신청하시면 담당 심사관 지정 알림, 마감기한 알림 등 각종 민원처리 사항을 이메일과 휴대폰(SMS)으로 받아 보실 수 있습니다.
 - * 특허청 국제지식재산연수원에서는 전 국민을 대상으로 지식재산 인식제고를 위해 무료 온라인 교육서비스(www.ipacademy.net)를 제공하고 있으니 이용 바랍니다.
 - * 이 통지서의 내용에 대해 문의사항이 있으시면 특허청 ☎ 042-481-3530(담당심사관 이재욱)로, 서식 또는 절차에 대하여는 특허고객상담센터 ☎1544-8080로 문의하시기 바랍니다.
 - * 우 35208 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사)



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



2018년 12월 26일

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

박원주



QR코드로 한국지식
재산청을 확인하세요

등록사항

특허 등록 제 10-1934537 호

특허권자 Patentee

서경대학교 산학협력단(114471-*****)
서울특별시 성북구 서경로 124 (정릉동, 서경대학교내)

(주)온택이연지(134511-*****)
경기도 용인시 기흥구 죽전로 10(보정동)

주식회사 지오티에스(134111-*****)
경기도 안양시 동안구 엘레스로 92, 7동303호(호계동, 국제유통단지)

발명자 Inventor

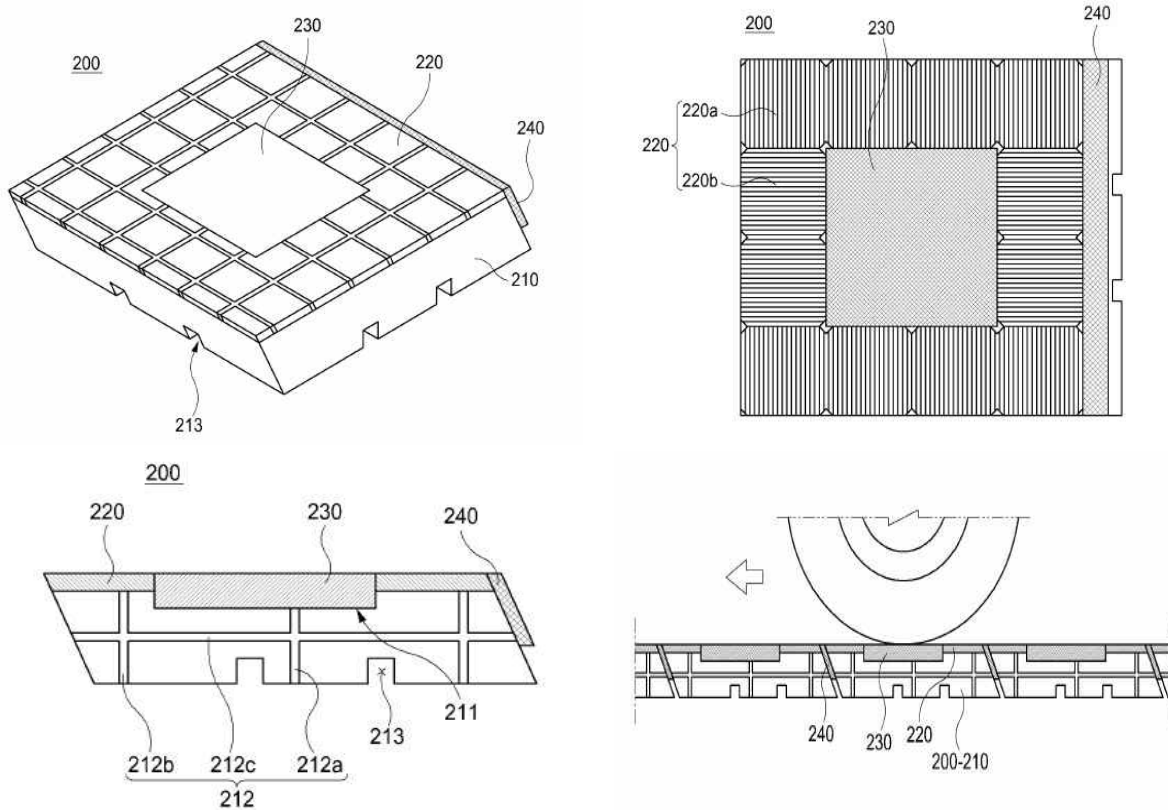
최재순(680213-*****)
서울특별시 강북구 숭실로 174 SK아파트 146동 902호

박성기(730701-*****)
경기도 수원시 장안구 경수대로976번길 22 한일타운아파트 155동 402호

김봉현(690215-*****)
경기도 의왕시 봇물2길 33, 4층(포일동)

(나) 도로포장용 복합발전 블록을 이용한 도로 발전 구조물 (등록번호 제 10-1934538)

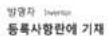
- 본 발명은 콘크리트 재질에 의해 형성된 육면체 구조의 본체(210); 상기 본체(210)의 상면에 설치된 상면 압전패널(230); 상기 본체(210)의 일측면 또는 양측면에 설치된 측면 압전패널(240); 상기 상면 압전패널(230) 및 측면 압전패널(240)의 배선이 관통하도록 상기 본체(210) 내부에 형성된 배선 관통공(212);을 포함하는 것을 특징으로 하는 도로포장용 압전블록(200)을 제시함으로써, 압전패널 또는 태양광 패널의 파손 우려가 적고, 파손되더라도 교체비용이 적으며, 안정적인 배수가 가능하도록 한다.



06050

독어듣기서

1. JP2009221668 A
2. KR101117493 B1
3. KR101603629 B1
4. KR1020120103099 A
5. KR200433331 Y1



특허청
Korean Intellectual
Property Office

- 38 -

라. 개발된 태양광패널 블록 구조체의 시제품 제작

- 본 연구를 통해 개발된 태양광 도로시스템은 콘크리트 블록과 태양광 패널 모듈로 구성됨. 콘크리트 블록과 태양광 패널 모듈의 설계도, 시제품 제작 과정 및 완성된 시제품 사진은 다음과 같다.

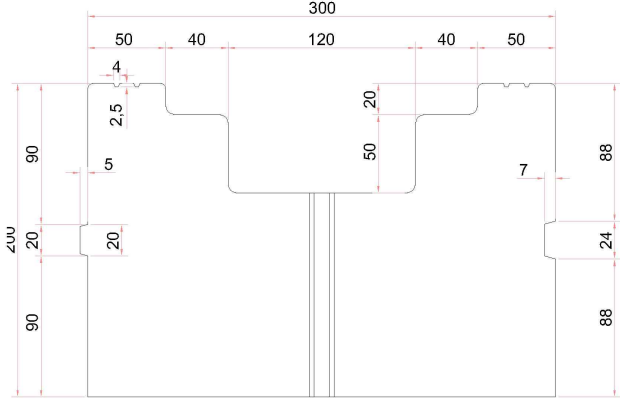
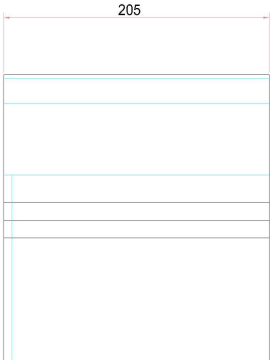
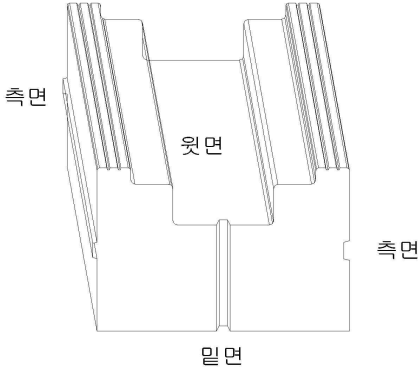
(1) 콘크리트 블록 제작 설계도 및 생산 공정

- 콘크리트 블록 제작을 위한 절차는 금형설계, 금형제작, 금형조립, 시멘트 콘크리트 혼합물 생산, 블록 성형 및 블록 양생으로 이루어짐.
- 1회 성형으로 총 6개의 블록을 동시에 제작할 수 있는 금형은 [표 1]과 같이 설계함. 또한 생산된 콘크리트 블록의 평면도, 입면도, 측면도 및 조감도를 [표 1]에 정리하여 나타냄.

[표 1] 콘크리트 블록 설계도 (계속)

구분	설계도
금형배치도	
평면도	

[표 1] 콘크리트 블록 설계도 (계속)

구분	설계도
입면도	
측면도	
조감도	

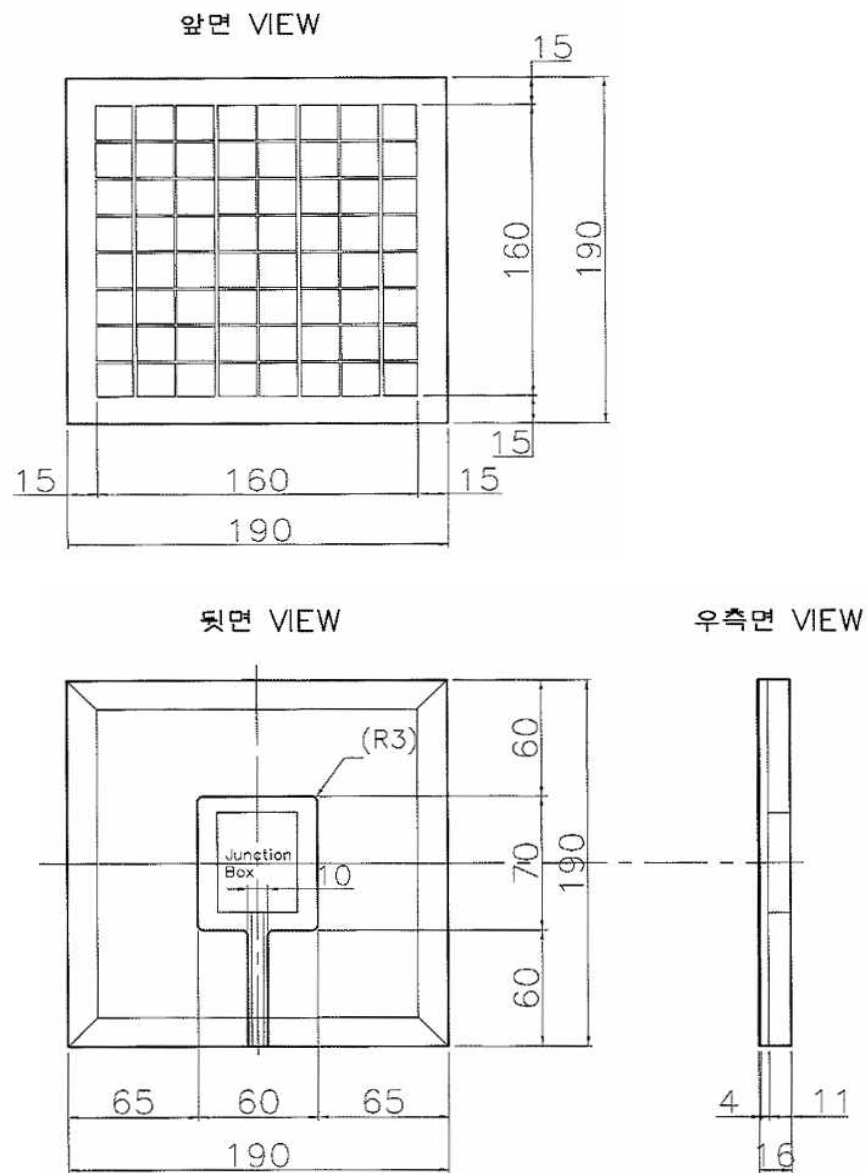
- 콘크리트 블록 생산을 위한 금형 제작과정, 혼합물 제작과정 및 블록의 성형, 추출 및 양생과정을 [표 2]에 나타냄.

[표 2] 콘크리트 블록 생산 공정

	
금형제작 - 밑판	금형제작 - 누름틀
	
금형 조립	시멘트 콘크리트 플랜트
	
시멘트 콘크리트 혼합물 배합	혼합물 주입 및 블록 성형
	
블록 추출	증기양생

(2) 태양광 패널 모듈 제작 설계도

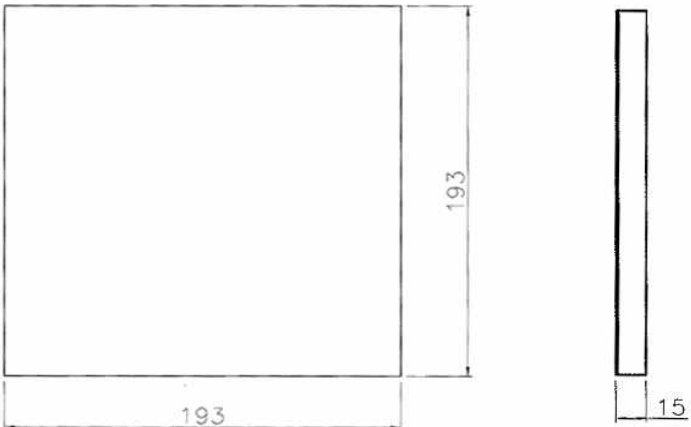
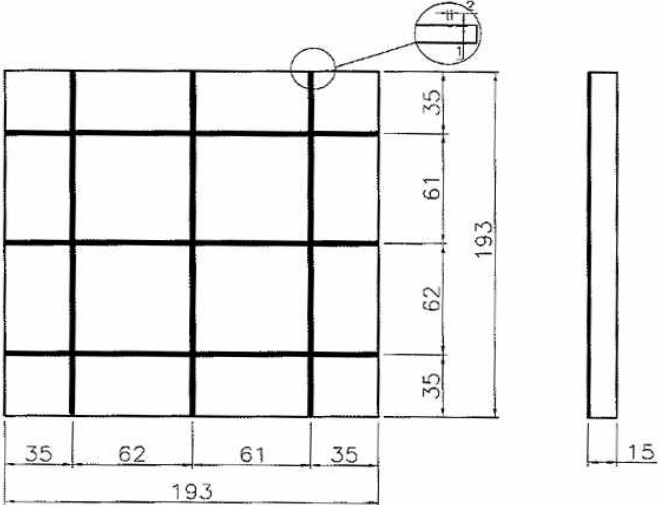
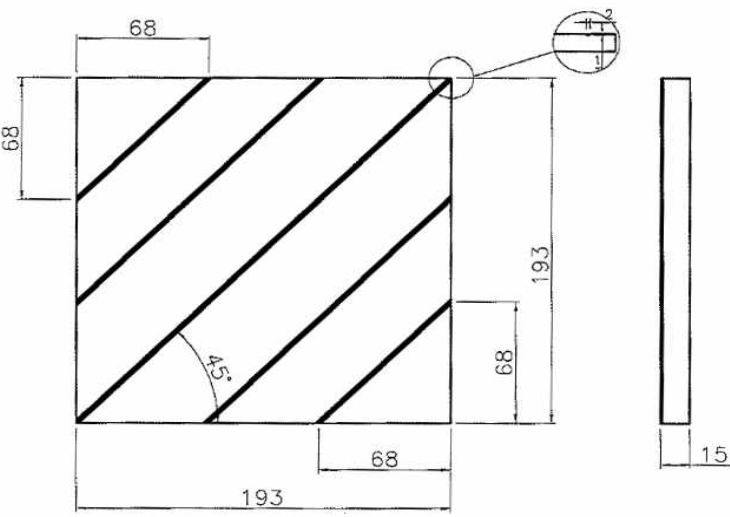
- 태양광 패널 모듈은 태양광 패널과 보호 아크릴 패널을 결합하여 제작됨.
- 태양광 패널은 태양광 전지, 컨트롤러, 전지 고정판, 컨트롤러 보호대 등으로 구성되며, 태양광 패널의 앞면, 뒷면 및 옆면의 설계도는 [그림 1]에 나타냄.



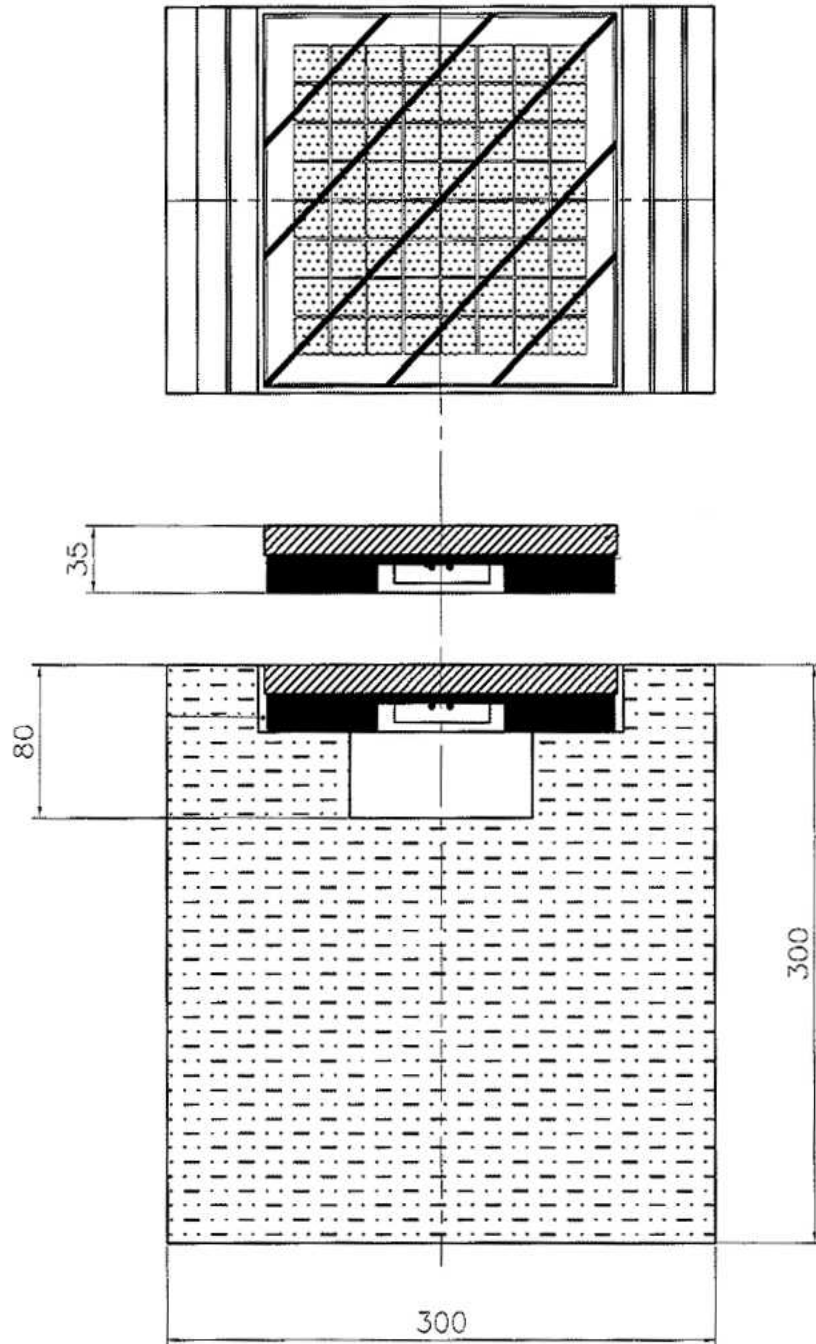
[그림 1] 태양광 패널 설계도

- 보호 아크릴 패널은 3종의 표면 패턴형태와 3종의 두께로 설계되었고, 최종적으로 두께는 15mm로 결정됨. 두께 15mm 의 세 가지 표면패턴을 가지는 보호 아크릴 패널의 설계도는 [표 3]에 나타냄.

[표 3] 보호 아크릴 패널 설계도

구분	설계도
아크릴 패널 Type 1 (무늬 없음)	
아크릴 패널 Type 2 (격자 무늬)	
아크릴 패널 Type 3 (사선 무늬)	

- 태양광 패널 모듈은 태양광 패널과 보호 아크릴 패널을 결합하여 [그림 2]의 중간에 나타난 바와 같이 두께 35mm의 모듈로 조립되고, 조립된 태양광 패널 모듈을 콘크리트 블록에 [그림 2]와 같이 삽입하여 태양광 도로시스템 1개 유닛이 완성된다.



[그림 2] 태양광 도로시스템의 구성

(3) 태양광 도로시스템 시제품 제작 및 설치

- 본 연구에서는 콘크리트 블록과 태양광 패널 모듈 시제품을 생산하고, [그림 3]과 같이 현장 발전효율 측정을 위한 시험시공을 수행함.

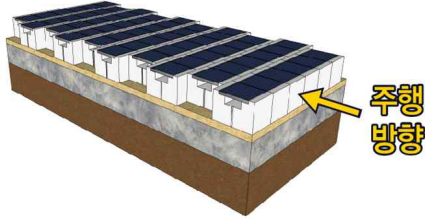


[그림 3] 콘크리트 블록 및 태양광 패널 모듈 시제품 제작 및 설치

(4) 시제품 생산단가를 고려한 기존 기술대비 경제성 분석

- 현재 국내외에서 개발된 태양광 도로패널 중 기술발전도와 활용도가 가장 높다고 판단되는 미국 솔라로드웨이사의 SR2 모델을 대상으로 간이 경제성 분석을 수행함.
- 본 연구에서 개발한 태양광 블록시스템과 솔라로드웨이 SR2 모델의 가격, 개당 면적 및 개당 발전량은 [표 4]와 같음. 면적과 발전량을 비교할 때 본 연구의 태양광 도로시스템 7개 블록은 1개의 SR2 패널과 거의 동일함이 확인됨.
- 태양광 도로시스템 (블록 및 패널 모듈) 개당 제작단가는 약 60,000원이 소요되었음.
- 동일한 포장면적과 동일한 발전량일 경우 본 연구에서 개발한 태양광 블록시스템의 가격은 SR2 패널의 53% 수준으로 확인됨. 이는 SR2 제품 내에는 LED전등도 함께 설치된데 기인한 것으로 판단됨. (두 제품 모두 블록의 형태이므로 설치 및 시공비는 동일하다고 가정함.)
- 설치 후 공용 중에 파손이 발생할 경우 1개당 교체비용 역시 설치 시와 동일한 수준의 차이가 발생할 것으로 예측 가능함. 본 연구의 태양광 블록시스템은 파손된 모듈 (면적 0.06m^2)의 크기가 작으므로 1인이 작업 가능하나, 약 31.8kg의 하중을 가지는 SR2 패널의 경우 1인 작업이 어려울 것으로 판단되어 유지보수비용의 차이는 더욱 늘어날 것으로 판단됨.
- 두 제품 모두 양산 시 생산가격이 크게 낮아질 수 있으므로, 제품의 개선, 실용화 및 확대적용을 통한 제품양산으로 태양광 도로시장을 선제적으로 선점하는 전략이 경제성을 높일 수 있는 가장 큰 요인으로 판단됨.

[표 4] 태양광 블록시스템과 솔라로드웨이 SR2 모델 비교

구분	태양광 블록시스템 (본 연구)	SR2 Model (미국)
형태		
개당 면적 (m ²)	0.06	0.41
개당 가격(만원)	60,000원	USD \$800 (약 880,000원)
최대 발전량 (W)	5	36
1m ² 기준 제품가	1,000,000원	USD \$1950 (2,145,000원)
1m ² 기준 발전량	83.3W	87.8W
비고	태양광 발전 위주	태양광 + LED전등

마. 태양광 도로시스템의 성능평가

(1) 개요

- 태양광 도로시스템의 성능평가는 본 연구에서 개발한 태양광 도로시스템용 콘크리트 블록과 기존의 블록과의 형상에서 [표 1]과 같이 상당한 차이를 보여 KS F 4419 “보·차도용 콘크리트 인터로킹 블록”의 모양 및 치수에 제시되어 있는 기준을 따르기에는 무리가 있음. 이에 일부 시험에 대해서는 코어를 채취를 통하여 획득한 공시체로 성능평가를 수행하였음.

[표 1] 기존 블록과 태양광 도로시스템용 블록 형상 비교



(2) 성능평가 항목

- 태양광 도로시스템용 콘크리트 블록의 구조적 성능평가를 위하여 아래와 같이 6종의 실내시험을 수행함.
 - ① 미끄럼 저항성 시험
 - ② 콘크리트 블록의 압축강도 시험
 - ③ 콘크리트 블록의 흡수율 시험
 - ④ 태양광 패널 보호용 아크릴 패널의 휨강도 시험
 - ⑤ 태양광 도로시스템 하중재하 시험
 - ⑥ 태양광 패널 모듈의 하중재하 시험

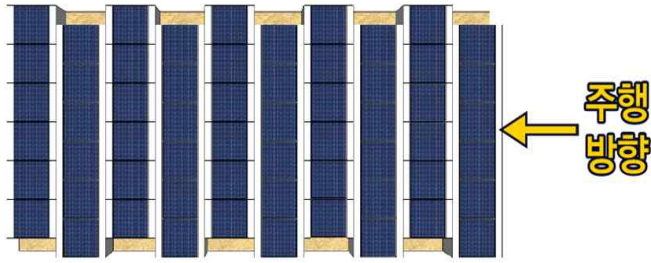
(3) 성능평가 절차 및 시험결과

(가) 미끄럼 저항성 시험

- 미끄럼저항성시험은 태양광 패널 모듈 중앙부, 모듈과 블록의 경계부 및 콘크리트 블록부분 3가지 위치에서 시험을 수행함. [표 2]는 시험위치 별 미끄럼 저항성 시험수행 일례를 나타냄.
- 미끄럼 저항성 시험결과 태양광 패널 모듈 중앙부, 모듈과 블록의 경계부 및 콘크리트 블록부분 3가지 위치에서 각각 27 BPN, 41 BPN 및 47 BPN로 나타남. 콘크리트 블록의 BPN 기준은 40으로, 패널 모듈 중앙부에서는 기준을 만족시키지 못하는 결과를 얻게 됨.
- 미끄럼 저항성 증대를 위해 본 연구에서는 태양광 패널 보호용 아크릴 패널의 표면요철을 세 가지로 제작하여 미끄럼 저항성 시험을 실시하였고, 그 중 가장 높은 미끄럼 저항성을 보이는 사선패턴의 아크릴 패널에서 27 BPN의 결과가 도출됨. (패턴이 없을 경우 15 BPN, 격자무늬 패턴일 경우 17 BPN)
- 이는 태양광 패널 보호 시 아크릴 패널을 적용할 경우 피할 수 없는 한계로, 미끄럼 저항성을 증가시키기 위하여 태양광 패널의 설치는 [그림 1]과 같이 주행방향에 직교하도록 설치하도록 조치함. [그림 1]과 같이 시공을 실시할 경우 일반적인 승용차의 접지 길이는 [그림 2]에서 보이는 바와 같이 200mm 이상으로, 길이가 193mm 인 아크릴 패널에 의한 미끄러짐 발생은 방지할 수 있을 것으로 판단됨.

[표 2] 시험위치 별 미끄럼 저항성 시험결과

태양광 패널 모듈 중앙부	모듈과 블록의 경계부	콘크리트 블록부
		
27 BPN	41 BPN	47 BPN
불만족	만족	만족



[그림 1] 태양광 패널의 설치방향



[그림 2] 일반 승용차의 접지 길이

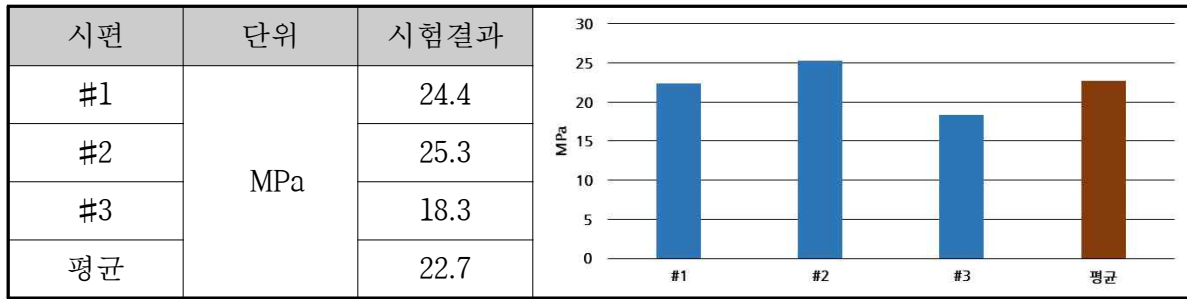
(나) 콘크리트 블록의 압축강도 시험

- 이형블록 등 휨강도 측정이 불가능한 블록은 압축강도 시험을 통한 휨강도 추정을 할 수 있다는 “투수블록 포장 설계시공 및 유지관리 기준” (서울시, 2011) 에 따라, 콘크리트 블록의 압축강도 시험은 콘크리트 블록을 코아드릴을 이용하여 코아를 채취한 후 UTM(만능재료시험기)에 의한 하중재하를 통해 압축강도를 측정하였음.
- 휨강도 시험 대신 코아 압축강도를 시험 시 품질기준은 20MPa 이상임. [표 3]은 콘크리트 블록의 압축강도 시험 일례를 나타냄.
- 코아압축강도시험을 총 3개의 시편에 대해 실시하였으며, 그 결과는 [표 4]와 같음. 3개 시편의 압축강도는 각각 24.4MPa, 25.3MPa 및 18.3MPa 이며, 평균 22.7MPa 로 품질기준 20MPa 이상을 만족하는 것으로 확인됨.

[표 3] 콘크리트 블록의 압축강도 시험

코아채취	압축강도 시험전	압축강도 시험후

[표 4] 콘크리트 블록의 압축강도 시험결과



(다) 흡수율

- 흡수율 시험에 사용하는 시험체는 블록 전체 모양 그대로를 사용하여야 하나, 본 시험체는 KS 규정과는 상이한 형태의 블록이므로 코아 채취 후 흡수율 시험을 실시함.
- 실온 15℃에서 25℃의 맑은 물속에 24시간 침지시킨 후, 즉시 틀에서 꺼내어 철망 위에 놓고 1분간 물기를 뺀 후, 젖은 형겅으로 표면을 닦아 내고 시험체의 습윤 질량(m_0)를 측정함. 이후 100℃~110℃ 온도로 24시간 건조시켜 시험체의 건조 질량(m_1)을 측정함. 흡수율은 다음 식에 따라 계산함.

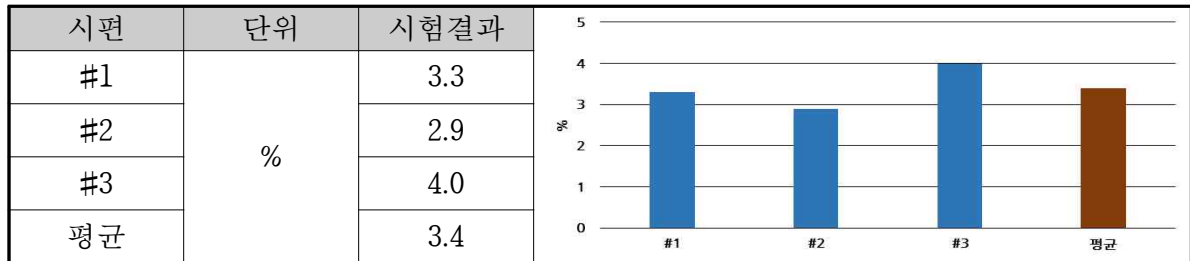
$$\text{흡수율}(\%) = \frac{m_0 - m_1}{m_1} \times 100$$

- [표 5]는 콘크리트 블록의 흡수율 시험 일례를 나타냄.
- 흡수율 시험은 총 3개의 시편에 대해 실시하였으며, 시험 결과 3개의 시편에 대한 흡수율 시험결과는 [표 6]에 나타낸 바와 같이 각각 3.3%, 2.9%, 4.0%이며, 평균 3.4%으로 나타남. 흡수율 시험의 품질기준은 7% 이하로, 품질기준에 만족함.

[표 5] 콘크리트 블록의 흡수율 시험



[표 6] 콘크리트 블록의 흡수율 시험결과



(라) 태양광패널 보호용 아크릴 하중재하시험

- 태양광패널 보호용 아크릴 하중재하시험은 KS F 4419 보차도용 콘크리트 인터로킹 블록의 휨강도 시험에 준하여 시험을 실시하였으며, 두께를 8mm, 10mm, 15mm로 구분하여 하중재하시험을 실시함.
- [표 7]은 태양광패널 보호용 아크릴 하중재하시험 과정을 나타내고, [표 8]에 시험결과를 정리함. 시험결과 두께 15mm의 아크릴 패널은 패널 1개당 평균 2.6tonf 의 하중 이상에서도 파괴되지 않음을 알 수 있어, 축중량 5.2tonf 이상의 차량하중이 집중 하중 형태로 재하 되어도 파손이 일어나지 않음을 알 수 있음.

[표 7] 태양광패널 보호용 아크릴 하중재하시험 과정

구분	1	2	3
T=8mm			
T=10mm			
T=15mm			

[표 8] 태양광패널 보호용 아크릴 하중재하 시험결과

시편	단위	T=8mm	T=10mm	T=15mm
#1	kgf	683	1,112	2,662
#2		683	1,102	2,591
#3		697	1,102	2,581
평균		688	1,105	2,611

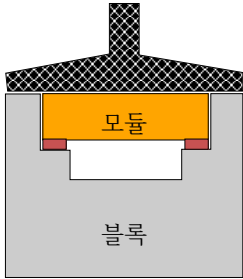
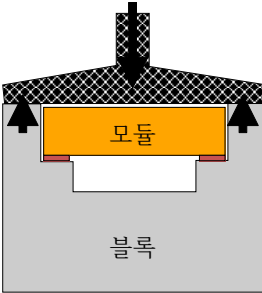
(마) 태양광 도로시스템 하중재하 시험

- 태양광 도로시스템 전체(블록+모듈)를 대상으로 수행한 실내하중재하시험은 현장 성능평가 전 차량하중재하를 모사하기 위하여 태양광 패널 모듈을 블록 내부에 삽입 후, 차량 진행방향과 같은 횡방향으로 UTM(만능재료시험기)를 활용하여 하중재하를 실시함. [표 9]에 태양광 도로시스템 하중재하 시험전경을 나타냄.
- 실내 하중재하시험 결과 블록과 태양광 모듈 동시에 하중을 재하 할 경우, [표 10]과 같이 중앙에 삽입되어 있는 태양광 모듈 하부에 설치된 고무판의 탄성에 의해 태양광 패널 모듈은 파손되지 않았으나, 콘크리트 블록의 경우에는 상부에 집중하중을 받아 파손 됨.
- 2개의 시편으로 시험한 결과 파괴 시 최대하중은 6,535.7kgf 과 6,112.2kgf 로 나타남. 이는 본 연구의 태양광 도로시스템의 적용기준인 ‘최대적재량 4ton이하의 일반 도로’에 가해지는 차량하중에 충분히 견딜 수 있는 강도로 판단됨.

[표 9] 태양광 도로시스템 하중재하 시험전경



[표 10] 태양광 도로시스템 하중재하 시 모듈의 거동 및 블록 파손형상

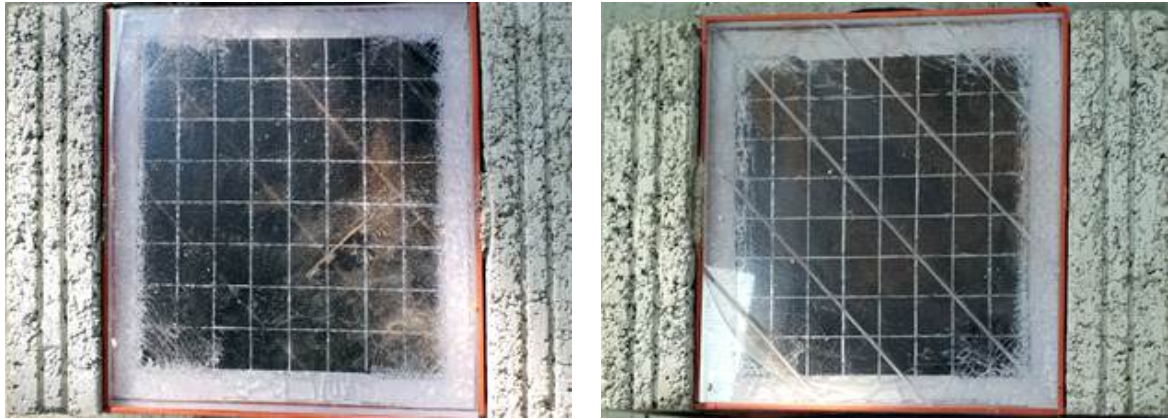
하중재하 전	하중재하 중	블록 파손형상
		

(바) 태양광 패널 모듈의 하중재하 시험

- 차량 하중이 패널 모듈에만 집중될 경우의 상황을 모사하기 위하여, 태양광 패널 모듈을 대상으로 실내 하중재하시험을 수행함. 태양광 패널 모듈을 블록 내부에 삽입 후, UTM(만능재료시험기)를 활용하여 태양광 패널 모듈에만 하중을 재하할 수 있도록 시험을 실시함. [표 11]에 태양광 패널 모듈의 하중재하 시험전경을 나타냄.
- 2회에 걸친 태양광 패널 모듈의 하중재하 시험결과, 파괴 시 최대하중은 각각 24,209kgf 및 28,030kgf 로 나타남. [그림 3]은 시험완료 후 태양광 패널 모듈의 상태를 나타냄. 이 결과는 축중량 환산 시 50tonf에 가까운 차량하중에서 파손된다는 결과를 얻을 수 있었으나, 이는 태양광 패널 모듈의 구조적 파손일 경우임.
- 일반적으로 블록포장에서의 구조적 파손은 곧 기능적 파손을 의미하지만, 태양광 도로시스템의 경우에는 성능은 유지하면서 견딜 수 있는 최대하중인 기능적 파손에 대한 시험은 추가적으로 진행되어야 할 것으로 판단됨.
- 또한, 향후 연구성과 실용화를 위해서는 실제 주행하중을 모사할 수 있는 반복재하시험을 통한 내구성에 대한 검토가 반드시 선행되어야 할 것으로 판단됨.

[표 11] 태양광 패널 모듈의 하중재하 시험전경

하중재하 전	하중재하 중	하중재하 상부
		



[그림 3] 태양광 모듈 패널 파손형상

바. 태양광 도로 패널의 성능평가

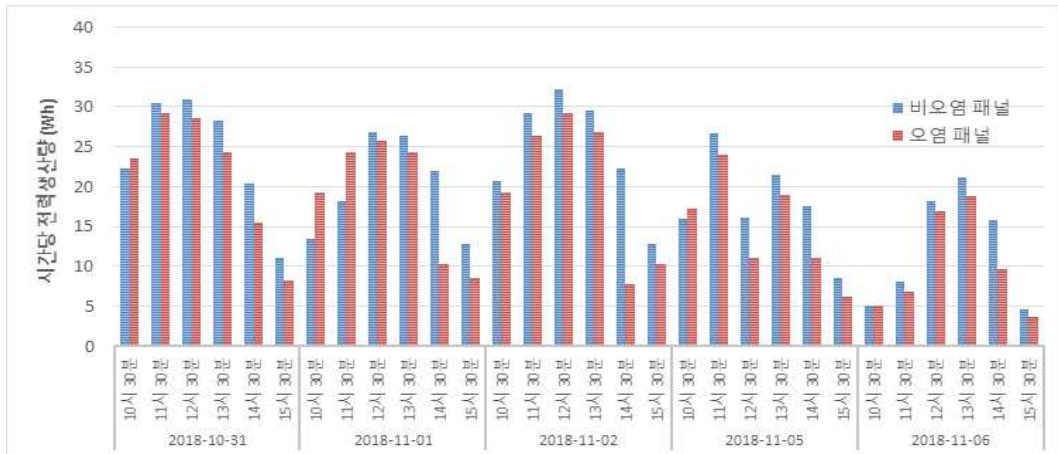
- 태양광 발전시스템의 도로 적용 시 태양광 패널의 발전성능 평가를 위하여 현장시험을 수행함. 현장시험은 서경대학교 토목건축공학과 야외 실습장 중 일조가 양호한 지점을 선정한 후 6개의 시험조건에 각 10개의 패널을 병렬로 연결하여 총 60개의 태양광 패널을 설치함. 시험조건은 다음과 같음.
 - ① 보호 아크릴 표면 패턴 : 정방형 패턴, 사선 패턴
 - ② 패널 표면의 상태 : 흙집이 있는 표면, 비오염 상태, 오염 상태
- 미끄럼 저항 시험결과 사선 패턴이 미끄럼저항성이 높게 측정되었고, 흙집이 있는 표면은 비오염 상태와 큰 차이를 보이지 않았으므로, 본 연구에서는 사선 패턴의 오염 상태와 비오염 상태의 측정 데이터를 우선적으로 이용하여 비교를 실시함.
- 총 5일간 수집한 발전량 데이터와 기상청에서 측정한 일사량 데이터를 이용하여 일사량과 발전량의 상관관계를 도출하고, 1년간의 기상청 측정데이터를 확보하여 연간 월 평균 발전량 예측을 수행함.
- 발전량 예측결과를 활용하여 실제 태양광 도로시스템 구축 시 발전에너지를 이용한 가동 등 전원공급 적용사례를 기술함.

(1) 태양광 블록시스템 발전량 측정

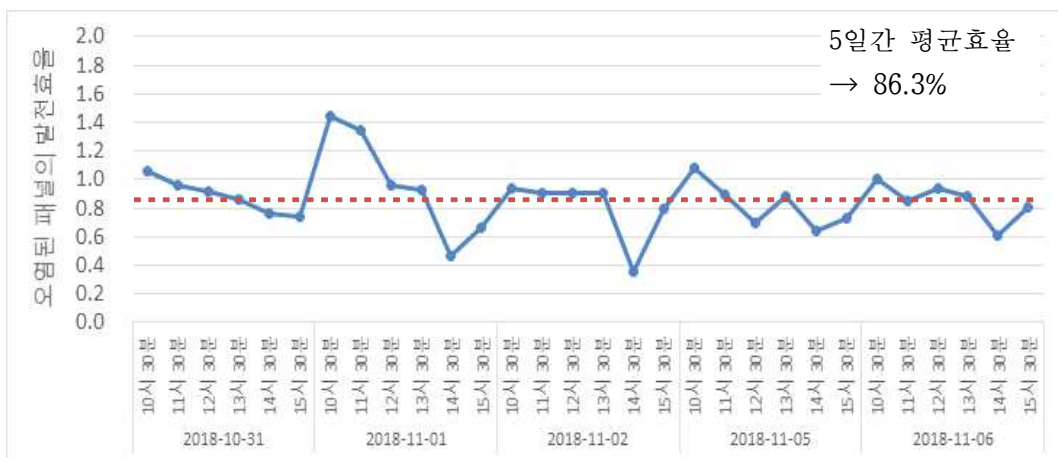
- 비오염 패널 : 5W 용량 태양광 패널 10개 병렬연결, 오전 시험 전 청소 수행
- 오염 패널 : 5W 용량 태양광 패널 10개 병렬연결, 2018년 10월 20일 설치 이후 청소 수행 안함, 오전 시험 전 낙엽 등 이물질만 수작업으로 제거
- 2018년 10월 31일부터 11월 6일까지 5일간, 10시 30분부터 1시간 간격으로 1일 6회 측정 수행 (전압, 전류 및 전력량 수집, [표 1] 참조)
- 2018년 10월 31일부터 11월 6일까지 5일간 측정결과, 일 기준으로 12시 30분 ~ 13시 30분에 최대 전력을 생산하고, 최대 발전량은 11월 2일 12시 30분에 32.2Wh의 전력생산을 보임. ([그림 1] 참조)
- 본 측정결과는 10개의 태양광 패널이 병렬로 연결된 상태이므로, 패널 1개당 생산량은 최대 3.2Wh 이고, 본 패널의 최대 발전량은 5.0Wh 이므로, 이 때의 발전효율은 64%로 확인됨.
- 오염 패널의 발전량은 비오염 패널에 비해 평균 86.3%의 발전효율을 보임. ([그림 2] 참조)
- 일반적으로 시일이 지남에 따라 오염도는 증가하므로, 긴 시간동안의 측정결과 분석이 필요할 것으로 판단됨. (본 연구에서는 총 오염일수 17일까지만 측정함.)

[표 1] 오염 패널과 비오염 패널에서의 발전량 측정결과 (패널 10개 당)

날짜	시간	오염 패널			비오염 패널			오염패널 발전효율
		전압 (V)	전류 (A)	전력량 (W)	전압 (V)	전류 (A)	전력량 (W)	
2018-10-31	10시 30분	12.4	1.9	23.6	12.4	1.8	22.3	1.06
	11시 30분	12.7	2.3	29.2	12.7	2.4	30.5	0.96
	12시 30분	12.4	2.3	28.5	12.4	2.5	31.0	0.92
	13시 30분	12.2	2.0	24.4	12.3	2.3	28.3	0.86
	14시 30분	11.9	1.3	15.5	12.0	1.7	20.4	0.76
	15시 30분	11.7	0.7	8.2	11.1	1.0	11.1	0.74
2018-11-01	10시 30분	12.1	1.6	19.4	12.2	1.1	13.4	1.44
	11시 30분	12.2	2.0	24.4	12.1	1.5	18.2	1.34
	12시 30분	11.7	2.2	25.7	11.2	2.4	26.9	0.96
	13시 30분	12.2	2.0	24.4	12.0	2.2	26.4	0.92
	14시 30분	11.4	0.9	10.3	12.2	1.8	22.0	0.47
	15시 30분	10.7	0.8	8.6	11.7	1.1	12.9	0.67
2018-11-02	10시 30분	12.9	1.5	19.4	12.9	1.6	20.6	0.94
	11시 30분	13.2	2.0	26.4	13.3	2.2	29.3	0.90
	12시 30분	13.3	2.2	29.3	13.4	2.4	32.2	0.91
	13시 30분	13.4	2.0	26.8	13.4	2.2	29.5	0.91
	14시 30분	13.1	0.6	7.9	13.1	1.7	22.3	0.35
	15시 30분	12.9	0.8	10.3	12.9	1.0	12.9	0.80
2018-11-05	10시 30분	12.3	1.4	17.2	12.3	1.3	16.0	1.08
	11시 30분	12.6	1.9	23.9	12.7	2.1	26.7	0.90
	12시 30분	12.4	0.9	11.2	12.4	1.3	16.1	0.69
	13시 30분	12.6	1.5	18.9	12.6	1.7	21.4	0.88
	14시 30분	12.4	0.9	11.2	12.5	1.4	17.5	0.64
	15시 30분	12.4	0.5	6.2	12.2	0.7	8.5	0.73
2018-11-06	10시 30분	10.2	0.5	5.1	10.2	0.5	5.1	1.00
	11시 30분	11.4	0.6	6.8	11.5	0.7	8.1	0.85
	12시 30분	12.1	1.4	16.9	12.1	1.5	18.2	0.93
	13시 30분	12.5	1.5	18.8	12.5	1.7	21.3	0.88
	14시 30분	12.1	0.8	9.7	12.2	1.3	15.9	0.61
	15시 30분	9.4	0.4	3.8	9.3	0.5	4.7	0.81



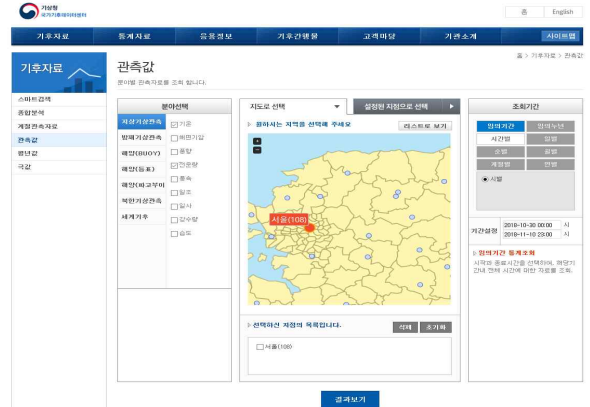
[그림 1] 오염 패널과 비오염 패널에서의 시간대 별 발전량 (패널 10개 당)



[그림 2] 비오염 패널 대비 오염 패널에서의 시간대 별 발전효율 (평균 86.3%)

(2) 일사량과 발전량의 상관관계 도출

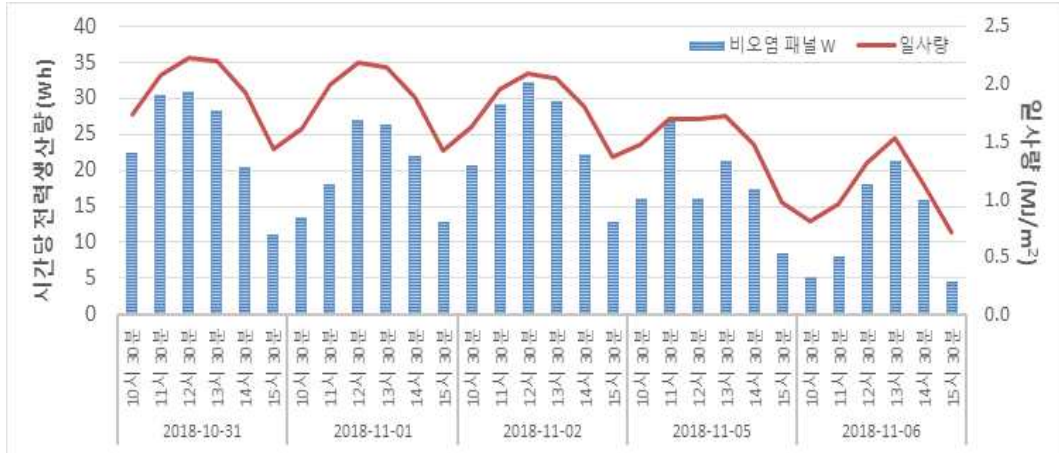
- 일사량과 발전량의 상관관계를 도출하기 위하여 시험 수행 기간 동안의 일사량 관측데이터를 수집함. [그림 3]에서 보이는 바와 같이 기상청에서 운영하는 국가기후데이터센터 누리집 활용하였고, 측정구간과 가장 인접한 서울(종로구)에서 측정한 일사량 데이터를 수집함.
- 본 누리집에서 제공하는 일사량 데이터의 경우 지표면에서 일사량계를 통해 직접 실측한 자료로, 구름, 안개, 미세먼지 등을 투과한 태양에너지가 지표면에 직접적으로 도달한 일사에너지임. 수집한 일사량은 매 시 정각의 데이터로, 본 연구에서 수행한 실측값과 비교를 위하여 인접한 시각의 데이터를 평균하여 매 시 30분의 데이터를 산정함.
- 수집한 일사량과 비오염 패널에서 측정된 발전량을 정리하여 [표 2]에 나타냄. [표 2]의 데이터를 [그림 4]에 도시하였고, 일사량과 시간 당 전력생산량은 양의 비례관계를 보임.



[그림 3] 국가기후데이터센터 누리집 및 서울지역 일사량 데이터 수집

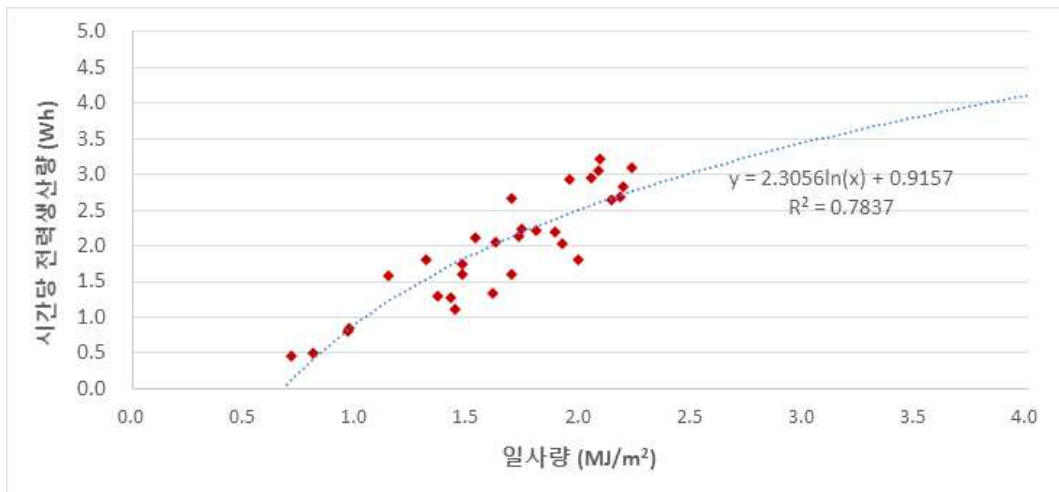
[표 2] 시간대 별 일사량과 발전량 데이터 (패널 10개 당)

시간	날짜	일사량 (MJ/m ²)	시간당 전력 생산량 (비오염 패널, Wh)	날짜	일사량 (MJ/m ²)	시간당 전력 생산량 (비오염 패널, Wh)
10시 30분	2018-10-31	1.74	22.3	2018-11-01	1.61	13.4
11시 30분		2.08	30.5		1.99	18.2
12시 30분		2.23	31.0		2.18	26.9
13시 30분		2.19	28.3		2.14	26.4
14시 30분		1.92	20.4		1.89	22.0
15시 30분	2018-11-02	1.44	11.1		1.42	12.9
10시 30분		1.62	20.6	2018-11-05	1.47	16.0
11시 30분		1.95	29.3		1.70	26.7
12시 30분		2.09	32.2		1.70	16.1
13시 30분		2.05	29.5		1.73	21.4
14시 30분		1.81	22.3		1.48	17.5
15시 30분		1.36	12.9		0.97	8.5
10시 30분	2018-11-06	0.81	5.1	2018-11-06	0.81	5.1
11시 30분		0.96	8.1		0.96	8.1
12시 30분		1.31	18.2		1.31	18.2
13시 30분		1.53	21.3		1.53	21.3
14시 30분		1.14	15.9		1.14	15.9
15시 30분		0.71	4.7		0.71	4.7



[그림 4] 시간대 별 일사량과 발전량과의 관계 (패널 10개 당)

- 본 연구에서 개발한 태양광 블록시스템 1개의 시간 당 전력생산량과 일사량의 관계를 회귀분석한 결과, [그림 5]와 같은 관계를 얻음. 회귀분석식의 R^2 는 0.78의 상관관계를 나타내고, 추후 추가적인 데이터 수집을 통해 상관관계의 정밀도를 높일 수 있을 것으로 판단됨.



[그림 5] 태양광 블록시스템 1개의 시간 당 전력생산량과 일사량의 상관관계

(3) 태양광 도로시스템의 연간 발전량 예측

- 본 연구에서 개발한 태양광 블록시스템의 연간 발전량을 예측하기 위하여, 기상청에서 운영하는 국가기후데이터센터 측정 자료를 활용함.
- 2018년 1월 1일 0시부터 2018년 12월 31일 23시까지의 서울시의 일사량 데이터를 수집
- 수집된 일사량 데이터와 일사량-발전량 상관관계식을 활용하여 매 시간별 전력생산량의 예측 값을 산정함.

- 월평균 기준으로 최소 발전량을 보이는 1월과, 최대 발전량을 보이는 6월의 전력생산량 예측의 일례는 [표 3]과 같음.

[표 3] 발전 가능시간대별 일사량과 예측된 발전량 일례 (2018년 1월, 6월)

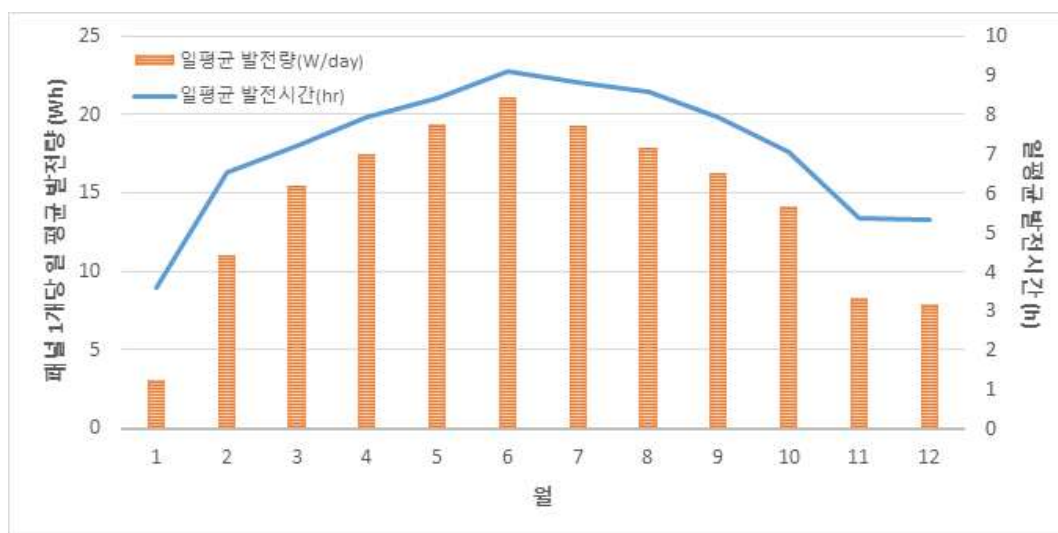
일시	일사량 (MJ/m ²)	시간당 발전량 (예측, Wh)	일시	일사량 (MJ/m ²)	시간당 발전량 (예측, Wh)
2018-01-01 11:00	0.84	0.52			
2018-01-01 12:00	1.03	1.00	2018-01-02 12:00	0.88	0.63
2018-01-01 13:00	1.10	1.15	2018-01-02 13:00	0.95	0.81
2018-01-01 14:00	1.01	0.95	2018-01-02 14:00	0.91	0.71
2018-01-01 15:00	0.78	0.35	2018-01-02 15:00	0.76	0.29
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2018-01-29 11:00	0.91	0.71	2018-01-30 11:00	0.79	0.38
2018-01-29 12:00	1.17	1.29	2018-01-30 12:00	1.01	0.95
2018-01-29 13:00	1.28	1.50	2018-01-30 13:00	1.18	1.31
2018-01-29 14:00	1.25	1.44	2018-01-30 14:00	0.72	0.16
2018-01-29 15:00	1.06	1.06			
2018-01-29 16:00	0.78	0.35			

일시	일사량 (MJ/m ²)	시간당 발전량 (예측, Wh)	일시	일사량 (MJ/m ²)	시간당 발전량 (예측, Wh)
2018-06-01 8:00	1.21	1.37	2018-06-02 8:00	1.23	1.41
2018-06-01 9:00	1.88	2.39	2018-06-02 9:00	1.91	2.43
2018-06-01 10:00	2.45	3.01	2018-06-02 10:00	2.52	3.07
2018-06-01 11:00	2.99	3.47	2018-06-02 11:00	2.98	3.46
2018-06-01 12:00	3.26	3.67	2018-06-02 12:00	3.29	3.69
2018-06-01 13:00	3.30	3.70	2018-06-02 13:00	3.42	3.78
2018-06-01 14:00	3.25	3.66	2018-06-02 14:00	3.32	3.71
2018-06-01 15:00	2.94	3.43	2018-06-02 15:00	3.00	3.48
2018-06-01 16:00	2.46	3.02	2018-06-02 16:00	2.58	3.13
2018-06-01 17:00	1.87	2.38	2018-06-02 17:00	1.93	2.45
2018-06-01 18:00	1.21	1.37	2018-06-02 18:00	1.19	1.33
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2018-06-29 9:00	0.76	0.29	-	-	-
2018-06-29 10:00	1.58	1.99	-	-	-
2018-06-29 11:00	1.41	1.72	2018-06-30 11:00	1.36	1.64
2018-06-29 12:00	2.15	2.70	-	-	-
2018-06-29 13:00	2.37	2.93	2018-06-30 13:00	0.71	0.13
2018-06-29 14:00	2.62	3.16	2018-06-30 14:00	1.84	2.34
2018-06-29 15:00	2.47	3.03	2018-06-30 15:00	0.93	0.76
2018-06-29 16:00	2.36	2.92	-	-	-
2018-06-29 17:00	1.33	1.59	-	-	-
2018-06-29 18:00	1.05	1.04	-	-	-

- 2018년 1년 동안의 일사량과 예측된 발전량 데이터를 이용하여 월별 일평균 발전량 및 발전시간을 산정하면 [표 4]와 같이 나타낼 수 있음. 이를 도시하면 [그림 6]과 같고, 2018년 서울을 기준으로 최대 발전량을 보이는 6월과 최소 발전량을 보이는 1월의 일평균 발전량과 발전시간은 각각 21.09Wh/day(9.1시간) 과 3.07Wh/day(3.6시간) 으로 예측됨.

[표 4] 2018년 월별 일평균 발전량 및 발전시간의 예측결과 (패널 1개당)

연월	월간 총 발전시간 (h)	발전 시간당 평균 일사 (MJ/m ² /h)	일 평균 발전시간 (h)	총 발전량 (예측, Wh)	일 평균 발전량 (예측, Wh/day)
2018년 1월	111	0.98	3.6	95.06	3.07
2018년 2월	183	1.59	6.5	341.76	11.02
2018년 3월	223	1.83	7.2	479.54	15.47
2018년 4월	238	1.98	7.9	542.88	17.51
2018년 5월	261	1.99	8.4	601.28	19.40
2018년 6월	273	2.04	9.1	653.77	21.09
2018년 7월	274	1.88	8.8	598.84	19.32
2018년 8월	266	1.80	8.6	553.60	17.86
2018년 9월	238	1.82	7.9	503.43	16.24
2018년 10월	219	1.68	7.1	437.64	14.12
2018년 11월	161	1.41	5.4	258.37	8.33
2018년 12월	165	1.32	5.3	246.13	7.94
평균	-	1.69	7.16	-	14.30



[그림 6] 패널 1개당 월별 일평균 발전량 및 일평균 발전시간

- 2018년 1년 동안의 연간 일평균 발전량 및 발전시간은 14.3Wh/day과 7.16시간으로 예측됨. 이를 태양광 패널의 최대 발전용량 기준 일일 평균 발전시간으로 환산하면 다음과 같음.
 - 5W 용량 패널 1개당 연간 일평균 발전량 = 14.30Wh/day
 - $14.30\text{Wh/day} / 5\text{W(패널 최대발전량)} / 0.83(\text{발전효율}) = 3.45\text{h/day}$
 - 2018년 일일 평균 발전 가능시간 = 3.45시간 (기존 서울시 자료와 비교 시 부합)
- 일평균 발전 가능시간 환산결과 3.45시간으로 산정되었고, 이 결과는 기존 문헌분석결과와 도출된 3.2시간에 크게 벗어나지 않음을 알 수 있음.

(참고 1) 설치경사가 0° 일 경우 발전효율 약 83% ([그림 7] 참조)

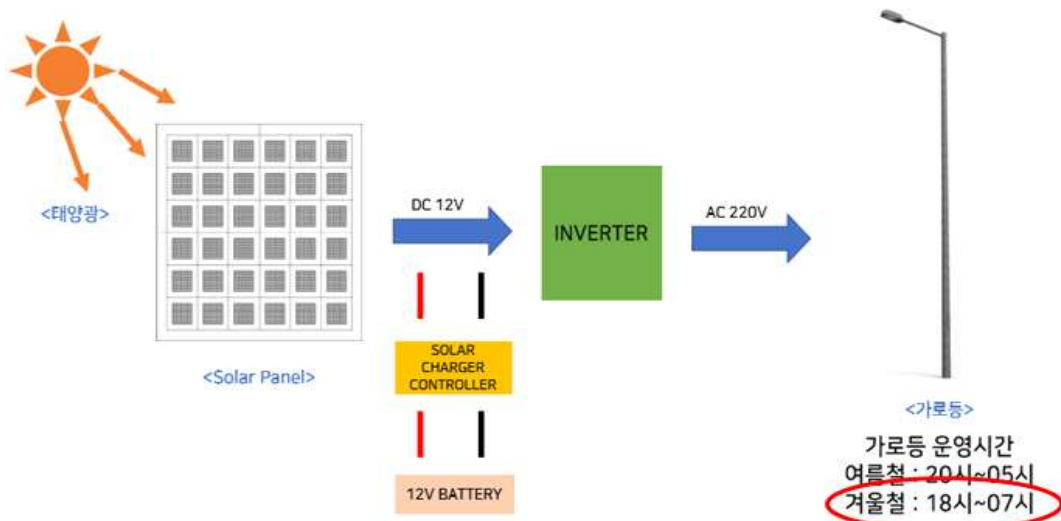
연평균	정서										정남										정동									
경사	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	-10°	-20°	-30°	-40°	-50°	-60°	-70°	-80°	-90°											
10°	85	86	88	89	90	91	92	92	92	91	91	90	89	88	86	85	88	81	80											
20°	84	87	90	92	94	96	97	97	97	97	96	94	92	89	87	84	85	77	74											
30°	80	85	89	92	95	98	99	100	100	99	97	95	92	89	85	80	81	72	67											
40°	75	81	86	90	94	97	99	100	100	98	96	93	90	85	81	76	75	65	60											
50°	69	75	81	86	90	93	95	96	96	95	92	89	85	80	75	69	67	57	51											
60°	62	68	74	79	83	87	89	90	90	88	86	82	78	72	67	61	59	49	43											
70°	54	60	66	71	75	78	80	81	81	79	76	73	68	64	58	53	50	41	36											
80°	45	51	56	61	65	68	69	70	69	68	65	62	58	53	49	44	41	34	28											
90°	37	42	46	50	53	56	57	57	56	55	52	49	46	42	39	34	32	26	22											

[그림 7] 패널 설치방향과 설치경사에 따른 발전효율 (서울시 햇빛지도 누리집)

(참고 2) 일평균 발전 가능시간 : 일반적으로 태양광 발전량을 개략적으로 산정 시 1일 발전 가능시간과 태양광 패널의 최대 발전용량의 곱으로 일평균 발전량을 산정함. 서울지역의 경우 3.2시간(서울연구원, 2013)의 값을 가짐.

(4) 태양광 도로시스템 발전에너지를 이용한 가로등 전원공급 적용사례

- 태양광 도로시스템을 이용한 가로등 전원 공급 가능성을 파악하기 위하여 다양한 설계 기준들을 검토함.
- 태양광 도로시스템을 이용한 가로등 전원 공급 프로세스는 태양광 패널, 컨트롤러, 배터리, 인버터 및 가로등으로 구성되며, 이를 [그림 8]과 같이 도식화하였음.
- 도로조명기준 (KS A 3701:2014)에 따르면 가로등 설치간격은 휘도기준에 맞춰 최소 30~48m로 명시됨.
- 가로등 설치 및 운영에 관한 매뉴얼 (에너지관리공단, 2011)에 따르면 일반적으로 사용되는 가로등 램프의 소비전력은 [그림 9]와 같이 70W~250W의 분포를 보임.

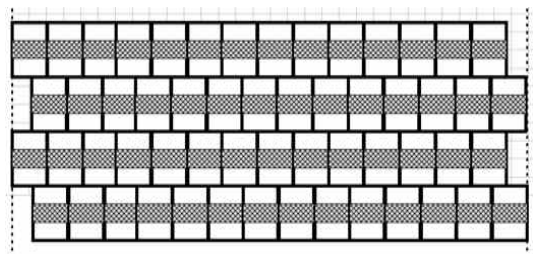


[그림 8] 태양광 도로시스템을 이용한 가로등 전원 공급 프로세스

- 차로 폭 3m 기준으로 길이 1m 당 설치할 수 있는 태양광 패널의 개수는 [그림 10]에서 보이는 바와 같이 42개로 산정됨.
 - 겨울철 가로등 운영시간은 총 13시간으로, 250W 소비전력의 나트륨램프 사용 시 일 전력소비량은 3.25kWh/day로 산정됨.
 - 가로등 최소간격 30m 기준으로 태양광 도로시스템의 일 발전량은 다음과 같이 산정할 수 있음. 산정결과 태양광 도로시스템 30m 길이당 일 발전량은 최소 3.87kWh/day에서 최대 18.02kWh/day로 예측할 수 있으며, 최대 소비전력의 램프 사용 시에도 가로등 점등을 위한 전력은 충분히 공급할 수 있다는 결론을 얻을 수 있었음.
- ① 길이 30m × 패널 42개 × 최소 (1월) 일평균 발전량 3.07Wh/day = 3.87kWh/day
 - ② 길이 30m × 패널 42개 × 최대 (6월) 일평균 발전량 21.09Wh/day = 26.57kWh/day
 - ③ 길이 30m × 패널 42개 × 연간 일평균 발전량 14.30Wh/day = 18.02kWh/day

구 분	나트륨 250W	CDM 70W	삼파장 100W	LED 150W
램프형상				
유효수명	10,000 시간	15,000 시간	8,000 시간	반영구
소비전력	250[W]	70[W]	85[W]	150[W]
연 색 성	65[RA]	94[RA]	80[RA]	조절가능
조 도	35[lx]	32[lx]	10[lx]	10[lx]
발열온도	130℃	90℃	60℃	50℃
눈 부 심	있음	있음	없음	없음
안 정 기	있음	있음	없음	없음
가 격(원)	15,000~20,000	28,000~32,000	15,000~20,000	150,000~250,000
장 점	기준	전기료 절감 수명이 길다	안정기 내장형 교체비 절감	반영구적이다 효율이 높다
단 점	기준	나트륨램프 대비 고가임	수명이 짧음 조도가 낮음	가격이 제일 고가임

- 1개 차로 폭 : 3m
- 1열 14개 배치 가능
- 1개 차로 1m 길이 당 42개



[그림 9] 가로등 램프규격(에너지관리공단, 2011) [그림 10] 태양광 도로시스템 블록배치

사. 태양광 도로 현장 성능평가 보고서

(1) 현장 시험시공

(가) 현장 성능평가 시험부지 선정

- 태양광 도로시스템의 성능을 평가하기 위하여 현장 실험장소를 [그림 1]과 같이 서경대 토목건축공학과 야외시험장에 마련함.
- 일사량이 높은 지역을 선정하여 태양광 도로시스템의 구조적 성능 및 발전효율을 확인하기 위함.

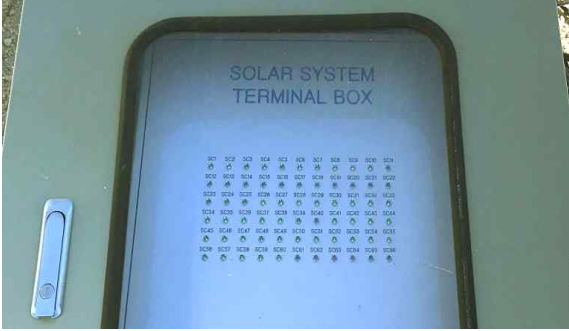


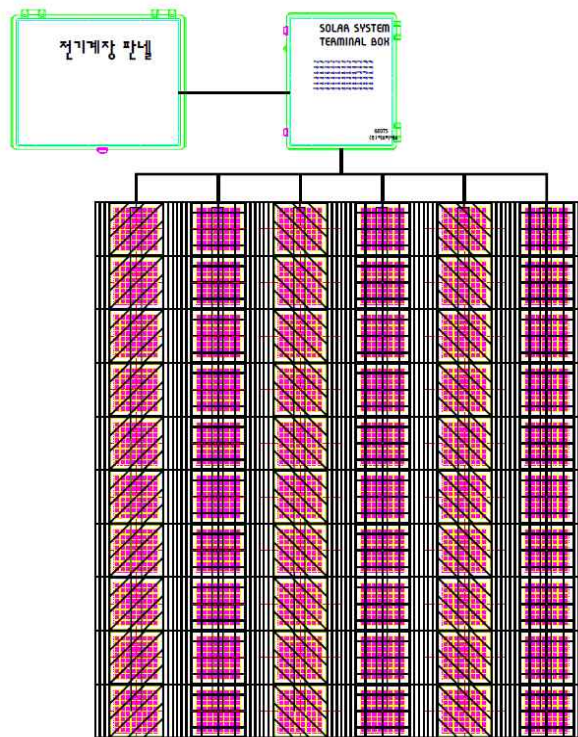
[그림 1] 현장 성능평가 시험부지 선정

(나) 시험시공 실시

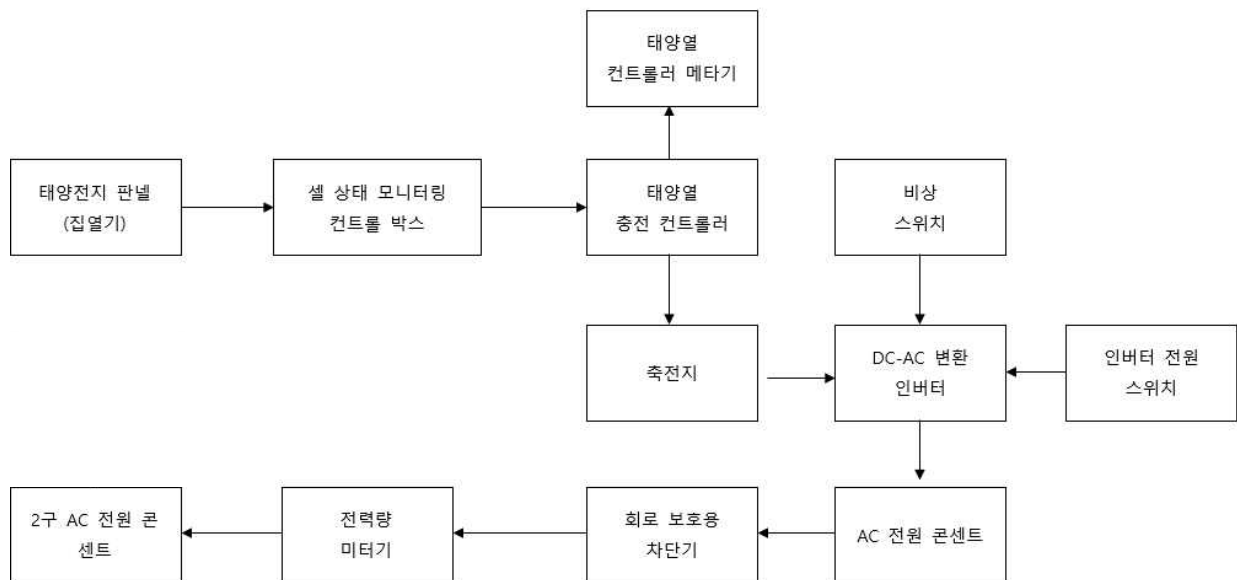
- 태양광 도로시스템의 성능평가를 위한 시험시공을 [표 1] 과 같은 절차로 수행함.
- 현장시험은 서경대학교 토목건축공학과 야외 실습장 중 일조가 양호한 지점을 선택한 후 태양광 도로시스템 시공기준에 맞도록 콘크리트 블록을 설치함. 설치된 콘크리트 블록에 6개의 시험조건, 각 10개의 태양광 모듈 패널을 [그림 2]의 형태로 설치하고 병렬로 연결하여 총 60개의 태양광 패널을 설치함. 시험조건은 다음과 같음.
 - ① 보호 아크릴 표면 패턴 : 정방형 패턴, 사선 패턴
 - ② 패널 표면의 상태 : 흠집이 있는 표면, 비오염 상태, 오염 상태
- [그림 3]과 같이 태양광 패널 모듈, 터미널 박스, 컨트롤 박스 등을 연결하여 태양광 도로시스템을 완성함.

[표 1] 현장 시험시공 절차

	
부지선정 : 서경대학교 토목건축공학과 실습실	시험시공 위치선정
	
터파기 및 포장 하부구조 다짐	블록 시공 및 줄눈메우기
	
태양광 패널 매설 및 선 정리	패널 연결 및 터미널 박스를 통한 작동확인
	
케이블 방수처리 및 컨트롤러와 연결	태양광 발전 계측시스템 구성



[그림 2] 태양광 패널 모듈 배치도



[그림 3] 태양광 도로시스템 전원 계통도

(2) 현장 차량하중 재하시험

- 현장시험시공구간에 실제 차량하중에 의한 현장 하중시험을 수행함. 현장 여건 상 중 차량 진입이 불가하여, 일반 승용차(아반떼, 공차중량 약 1380kg)에 의한 하중재하시험을 수행함.
- 현장 하중재하시험의 목적은 차량하중 재하뿐만 아니라 태양광 패널 모듈 위에서 정지한 상태로 축 조향 실시에 의한 시험 및 일반 승용차의 접지길이 측정을 통한 미끄러짐 저항시험결과 검토 등을 수행하기 위함.
- 시공완료 후 차량을 올려 태양광 패널 및 블록에 대한 파손 여부 및 차량의 공차중량, 타이어 공기압 등을 고려하여 접지면적 및 접지장을 계산함. 접지면적을 계산하기 위한 조건 및 계산식은 [표 2]에 나타내었고, 현장 차량하중 재하시험은 [표 3]과 같이 수행하였음.
- 시험 결과 태양광 패널 모듈과 콘크리트 블록 모두 균열 등의 파손이 발생하지 않았음. 또한 태양광 패널 모듈을 통한 발전기능 및 단선 등의 기능적 파손도 발생하지 않음을 확인함. 그러나 추후 중차량에 대한 하중재하 시험이 필요할 것으로 판단됨.
- 타이어의 접지면적 및 접지길이를 계산한 결과 타이어 공기압을 35psi로 가정하였을 경우 접지면적은 561cm², 접지길이는 25cm로 산정되어, 길이 20cm인 태양광 패널 모듈 위로 차량 주행 시 미끄러짐 없이 주행이 가능할 것으로 판단됨.

[표 2] 접지면적, 접지장 계산을 위한 조건 및 계산식

구분		세부내용
아반떼 공차중량(kg)		1,380
타이어 폭(cm)		22.5
타이어	psi	35
공기압	kgf/cm ²	2.46
타이어 접지면적(cm ²)		561
접지길이 (cm)		25
접지면적 계산식		$A(\text{면적}) = F(\text{힘}) / P(\text{압력})$ A : 접지면적, F : 자동차 중량, P : 타이어 공기압

[표 3] 차량하중 재하시험

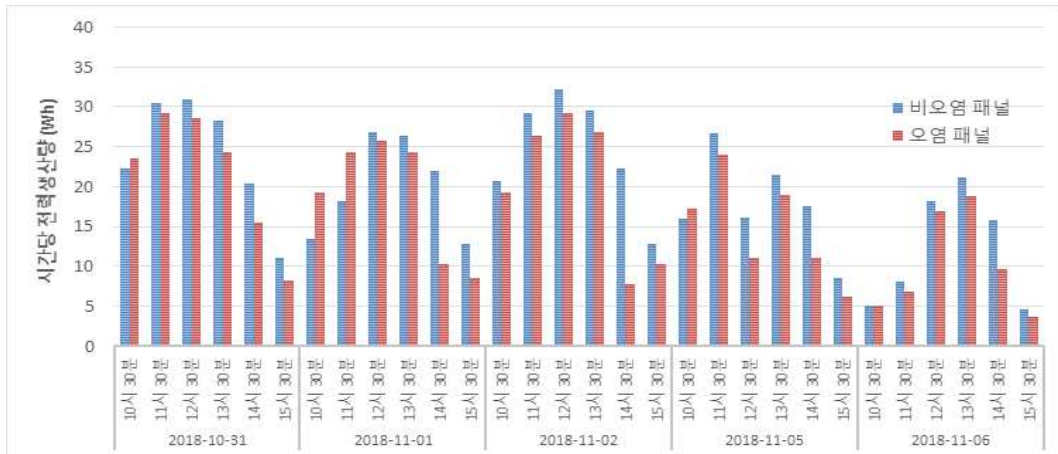


(3) 태양광 블록시스템 발전량 측정

- 비오염 패널 : 5W 용량 태양광 패널 10개 병렬연결, 오전 시험 전 청소 수행
- 오염 패널 : 5W 용량 태양광 패널 10개 병렬연결, 2018년 10월 20일 설치 이후 청소 수행 안함, 오전 시험 전 낙엽 등 이물질만 수작업으로 제거
- 2018년 10월 31일부터 11월 6일까지 5일간, 10시 30분부터 1시간 간격으로 1일 6회 계측 수행 (전압, 전류 및 전력량 수집, [표 4] 참조)
- 2018년 10월 31일부터 11월 6일까지 5일간 측정결과, 일 기준으로 12시 30분 ~ 13시 30분에 최대 전력을 생산하고, 최대 발전량은 11월 2일 12시 30분에 32.2Wh의 전력생산을 보임. ([그림 4] 참조)
- 본 측정결과는 10개의 태양광 패널이 병렬로 연결된 상태이므로, 패널 1개당 생산량은 최대 3.2Wh 이고, 본 패널의 최대 발전량은 5.0Wh 이므로, 이 때의 발전효율은 64%로 확인됨.
- 오염 패널의 발전량은 비오염 패널에 비해 평균 86.3%의 발전효율을 보임. ([그림 5] 참조)
- 일반적으로 시일이 지남에 따라 오염도는 증가하므로, 긴 시간동안의 측정결과 분석이 필요할 것으로 판단됨. (본 연구에서는 총 오염일수 17일까지만 측정함.)

[표 4] 오염 패널과 비오염 패널에서의 발전량 측정결과 (패널 10개 당)

날짜	시간	오염 패널			비오염 패널			오염패널 발전효율
		전압 (V)	전류 (A)	전력량 (W)	전압 (V)	전류 (A)	전력량 (W)	
2018-10-31	10시 30분	12.4	1.9	23.6	12.4	1.8	22.3	1.06
	11시 30분	12.7	2.3	29.2	12.7	2.4	30.5	0.96
	12시 30분	12.4	2.3	28.5	12.4	2.5	31.0	0.92
	13시 30분	12.2	2.0	24.4	12.3	2.3	28.3	0.86
	14시 30분	11.9	1.3	15.5	12.0	1.7	20.4	0.76
	15시 30분	11.7	0.7	8.2	11.1	1.0	11.1	0.74
2018-11-01	10시 30분	12.1	1.6	19.4	12.2	1.1	13.4	1.44
	11시 30분	12.2	2.0	24.4	12.1	1.5	18.2	1.34
	12시 30분	11.7	2.2	25.7	11.2	2.4	26.9	0.96
	13시 30분	12.2	2.0	24.4	12.0	2.2	26.4	0.92
	14시 30분	11.4	0.9	10.3	12.2	1.8	22.0	0.47
	15시 30분	10.7	0.8	8.6	11.7	1.1	12.9	0.67
2018-11-02	10시 30분	12.9	1.5	19.4	12.9	1.6	20.6	0.94
	11시 30분	13.2	2.0	26.4	13.3	2.2	29.3	0.90
	12시 30분	13.3	2.2	29.3	13.4	2.4	32.2	0.91
	13시 30분	13.4	2.0	26.8	13.4	2.2	29.5	0.91
	14시 30분	13.1	0.6	7.9	13.1	1.7	22.3	0.35
	15시 30분	12.9	0.8	10.3	12.9	1.0	12.9	0.80
2018-11-05	10시 30분	12.3	1.4	17.2	12.3	1.3	16.0	1.08
	11시 30분	12.6	1.9	23.9	12.7	2.1	26.7	0.90
	12시 30분	12.4	0.9	11.2	12.4	1.3	16.1	0.69
	13시 30분	12.6	1.5	18.9	12.6	1.7	21.4	0.88
	14시 30분	12.4	0.9	11.2	12.5	1.4	17.5	0.64
	15시 30분	12.4	0.5	6.2	12.2	0.7	8.5	0.73
2018-11-06	10시 30분	10.2	0.5	5.1	10.2	0.5	5.1	1.00
	11시 30분	11.4	0.6	6.8	11.5	0.7	8.1	0.85
	12시 30분	12.1	1.4	16.9	12.1	1.5	18.2	0.93
	13시 30분	12.5	1.5	18.8	12.5	1.7	21.3	0.88
	14시 30분	12.1	0.8	9.7	12.2	1.3	15.9	0.61
	15시 30분	9.4	0.4	3.8	9.3	0.5	4.7	0.81



[그림 4] 오염 패널과 비오염 패널에서의 시간대 별 발전량 (패널 10개 당)



[그림 5] 비오염 패널 대비 오염 패널에서의 시간대 별 발전효율 (평균 86.3%)

아. 국내 태양광 도로의 포장설계를 위한 기준 및 지침 작성

- 본 연구를 통해 얻은 결과로부터 다음과 같이 태양광 콘크리트 블록공법에 대한 설계기준 및 시방지침을 작성함. 아래 제시한 기준 및 지침은 시내도로(50km/h이하), 주차장, 버스정류장, 주거지역도로, 최대적재량 4톤 이하의 일반도로에 공통으로 적용할 수 있음.

(1) 총칙

(가) 적용대상

- 본 시방서는 시내도로(50km/h이하), 주차장, 버스정류장, 주거지역도로, 최대적재량 4톤이하의 일반도로에 사용되는 차도용 태양광 콘크리트 블록(이하 블록이라 함.)에 대하여 규정한다.

(나) 적용범위

품명	세부품명	규격명	용도	인도조건
콘크리트 블록	차도용 태양광 콘크리트 블록	태양광블록 (200X300X200, 회색, 불투수)	주차장, 버스정류장, 주거지역도로 등의 포장	납품장소 하차도

(다) 용어의 정의

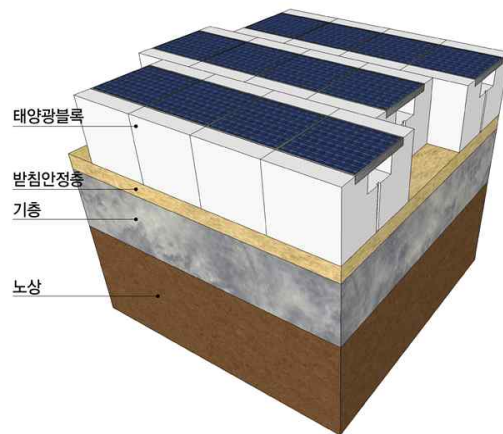
- 차도용 태양광 콘크리트 블록은 AADT(Annual Average Daily Traffic, 연평균 일일 교통량) 4,000대 이하의 주거지역도로 등에 포장되는 개별 표면적이 0.09제곱미터 이하의 차도용 블록을 말한다.
- 표층 (Surface Layer, 태양광 콘크리트블록 층)은 다층구조 포장층의 최상부 층을 말하며, 차도용 블록과 줄눈채움재(필요시)로 구성되어 있다. 표층은 교통하중을 분산시켜 하부층에 전달하고, 차량에 의한 마모와 전단에 저항하고 미끄럼에 견디어 쾌적한 주행환경을 제공하는 기능을 한다.
- 줄눈채움재 (Jointing Materials)는 블록간의 줄눈에 충전되어 인접 블록 간의 맞물림 효과를 발휘함과 동시에 일정한 줄눈 폭을 확보하고 블록의 모서리 깨짐을 방지하는 재료를 의미한다.
- 받침안정층 (Bedding Layer)은 상부 블록의 수평유지와 블록에 작용하는 수직하중을 하부로 분산 전달하는 역할을 한다.

- 기층 (Base)은 노상과 표층의 사이에 위치하는 층으로 표층과 받침안정층을 통해서 전달되는 교통하중을 분산시켜 노상에 전달하는 목적으로 설치되는 층을 말한다.
- 노상 (Subgrade)은 포장층의 기초로서 포장에 작용하는 모든 하중을 최종적으로 지지하는 면이다. 노상의 지지력을 구하는데 널리 사용되는 방법은 노상토 지지력비 (CBR, California Bearing Ratio, KS F 2320) 시험법이다. CBR 치가 5%이하인 흙에 대해서는 지반개량 혹은 다짐을 철저히 하여 충분한 지지력을 확보해야 한다.
- 상부구조는 표층과 받침안정층을 말한다.
- 하부구조는 받침안정층의 아래 쪽에 위치하는 층(쇄석기층, 노상층)을 말한다.
- 교통하중은 포장단면을 결정하는 중요한 결정변수로서 포장을 통과하는 차량의 수와 하중의 크기를 통칭하는 용어이다. 차도용 블록포장 설계에서 교통하중은 EDA를 이용하여 정량화 한 값을 사용한다.
- EDA (Equivalent Design Axles) 또는 등가설계축수는 블록포장 단면설계에 있어서 교통량에 따른 차량의 통과 축을 계산하는 방식이다. 1 EDA는 블록 포장을 통과하는 차량의 1개 축하중을 기준 축하중으로 나눈 값의 4승으로 정의한다. 기준 축하중으로 1륜1축 6.7tonf, 2륜1축 8.2 tonf, 2륜2축 14.5 tonf, 2륜3축 20 tonf를 사용한다.
- CBR (California Bearing Ratio)은 노상토의 지지력을 비교하기 위한 관입 시험값으로 시료에 피스톤을 관입했을 때 관입 깊이와 단위 하중에 대해 시험한 흙의 동일한 깊이에 대한 단위 하중이 몇 %인가를 구하는 시험이다.
- LFWD (Light Falling Weight Deflectionmeter)는 포장체의 역학적 물성을 평가하기 위한 개발된 휴대용 장비이다. 일정 중량의 추를 일정높이에서 낙하시켜 포장체의 거동을 측정하며, 측정된 데이터를 바탕으로 포장체의 CBR, 탄성계수 등을 추정한다.
- AADT (Annual Average Daily Traffic) 또는 연평균 일일 교통량은 포장 설계 시 교통량을 평가하는 하나의 척도로서 연중 통과하는 차량의 총 댓수를 365로 나눈 값이다.
- 세립화는 받침안정층 및 줄눈채움재의 골재가 블록에 전달된 수평, 수직하중에 의하여 작은 알갱이로 분쇄되는 것을 말한다.
- 스크리닝스 (Screenings)는 쇄석골재를 생산하기 위하여 원석을 파쇄하는 과정에서 발생하는 돌 부스러기들로서 일반적으로 직경 5mm 이하의 골재를 칭한다. 세척을 통하여 200번체 통과량은 5% 이하로 억제하는 것이 일반적이다.
- 평탄성은 포장면의 평활도 정도를 나타내는 지표로서 일반적으로는 도로의 종횡단 방향의 요철량을 측정하여 지표로 하고, 포장면 마감 작업의 양부나 포장의 파괴 정도를 표시하는 지표를 말한다.

(2) 차도용 태양광 콘크리트 블록포장의 설계

(가) 차도용 태양광 콘크리트 블록포장 단면구성

- 차도용 태양광 콘크리트 블록포장 단면은 그림 1과 같이 표층(태양광 콘크리트블록), 받침안정층, 기층(쇄석기층) 및 노상으로 구성된다.



[그림 1] 태양광 콘크리트 블록포장 단면

(나) 표층

① 겉모양

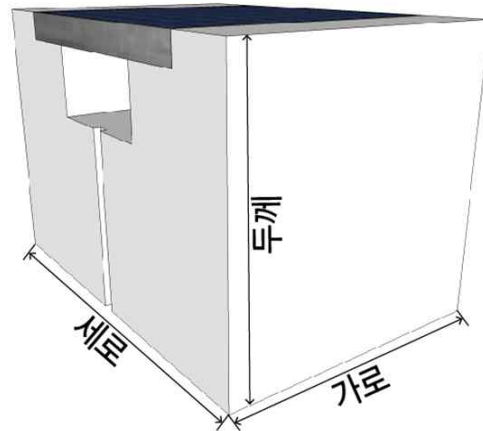
- 블록의 겉모양에는 해로운 균열 또는 흠 등의 결점이 없어야 한다.
- 표면의 가장자리는 미려한 모떼기를 하여도 된다.
- 유색 블록의 색상을 넣을 경우 균일해야 하며, 색 얼룩 등이 없어야 한다.
- 블록의 측면에는 2~3mm 이내의 돌기가 있어야 한다.

② 치수 및 허용차

- 블록의 모양은 [그림 2]와 같고 그 치수 및 허용오차는 [표 1]과 같다.
- 블록의 측면에는 블록 간 하중 분산 역할 및 블록간격 유지로 충돌에 의한 파손을 방지하기 위하여 블록의 규격(두께)에 따른 적절한 크기의 돌기가 있어야 한다.(차도용 블록포장 설계 시공 유지관리 지침 참조)

[표 1] 블록 치수

구분	치수(mm)			허용오차
	가로	세로	두께	
태양광콘크리트블록	200	300	200	가로, 세로 : $\pm 2\text{mm}$, 두께 : $\pm 3\text{mm}$



[그림 2] 태양광 콘크리트 블록의 형상

③ 제조 및 가공

㉠ 재료

- 시멘트 : 시멘트는 KS L 5201, KS L 5210, KS L 5211 또는 KS L 5401에 규정하는 것으로 한다.
- 골재 : 골재는 깨끗하고 강하고, 단단하고 내구적이며, 적당한 입도를 가지고, 점토 덩어리 등 유기물, 가늘고 긴 돌조각 등의 유해물질을 함유해서는 안 된다. 다만, 굵은 골재의 최대 치수는 13mm 이하로 한다.
- 물 : 기름, 산, 염류, 유기물 등 제품에 영향을 미치는 물질을 포함해서는 안 된다.
- 혼화 재료 : 혼화 재료는 제품에 해로운 영향을 주어서는 안 된다.
- 물-시멘트 비 : 시멘트 콘크리트의 물-시멘트 비는 25%이하로 한다.

㉡ 재료의 계량

- 재료의 계량은 모두 질량으로 한다. 다만 물 또는 액상의 혼화제는 부피 또는 기타 확실한 방법으로 계량해도 된다.

㉢ 성형

- 블록의 성형은 형틀에 믹서로 혼합한 콘크리트를 투입하고, 진동압축기 또는 이와 동등 이상의 품질을 얻을 수 있는 방법으로 한다.

㉣ 양생

- 블록의 양생은 제품 출하 시에 소요 강도를 얻을 수 있도록 하여야 한다. 실내 양생 시 증기양생을 표준으로 한다. 증기양생은 아래 <비고>를 참조한다.

<비 고>

1. 초기 실내 양생에 상압의 증기 양생을 하는 경우에는 다음 주의가 필요하다.
 - (1) 시멘트가 응결을 시작하는 시기에 급격한 온도 변화를 주어서는 안 된다.
 - (2) 양생실의 온도를 올리거나 내릴 때는 급격한 온도 변화(20℃/h 이내) 를 주어서는 안된다.
 - (3) 양생실의 최고 온도는 65℃를 초과하지 않는 편이 좋다.
2. 양생 및 보존 기간 중 초기 동해를 받아서는 안 된다.

㉠ 품질

- 태양광콘크리트블록의 성능은 [표 2]를 만족해야 한다.
- [표 2]에 규정된 성능 이외에 사용자가 요구하는 성능은 당사자 간의 협의에 따라 성능기준과 시험방법을 정한다.
- 시험에 사용되는 시료는 10,000개 미만은 5개, 10,000개부터 100,000개 미만은 10개, 100,000개 초과 시는 50,000개마다 5개를 추가한 시료를 무작위로 채취한다.

[표 2] 차도용 블록 품질 기준

압축강도	흡수율		미끄럼 저항계수
	개별	평균	
20MPa 이상	10% 이하	7% 이하	BPN 40 이상
※ 휨강도 측정이 불가능한 경우(이형블록 등), 내경 4.5cm의 코어를 채취하여 압축강도로 대체하여 평가함.			

- 압축강도 시험방법은 시편에 내경 4.5cm 코어링 실시하며, 시편의 표면에 그라인딩 실시하고, 시편의 높이와 지름을 측정한다. 이때 시편의 높이는 지름의 길이보다 커야 한다. 그리고 압축강도를 측정한다. 압축강도는 다음 식에 따라 계산하며 시료의 평균값으로 나타낸다.

$$\text{압축강도}(MPa) = \frac{4P}{\pi d^2} \times n$$

여기서 P : 시험기가 나타낸 최대 파괴하중(N)

d : 시편의 지름(mm)

n : 시편 높이/직경 비율에 따른 보정계수 [표 3]

[표 3] 압축강도 측정 시 시편 높이/직경에 따른 보정계수

시편의 높이/직경 비율	보정계수 (n)
2.00	1.12
1.75	1.10
1.50	1.08
1.25	1.04
1.00	1.00

- 흡수율 시험방법은 흡수율 시험에 사용하는 시험체는 블록 전체 모양 그대로를 사용하여 하나, 본 시험체는 KS규정과는 상이한 형태의 블록이므로 코아채취 후 실온 15℃에서 25℃의 맑은 물속에 24시간 수침시킨 후, 즉시 틀에서 꺼내어 철망 위에 놓고 1분간 물기를 빼고 젖은 형궤으로 표면을 닦아 낸 후 시험체의 습윤질량(m_0)를 측정한다. 다음에 100℃에서 110℃의 공기 건조기 안에서 24시간 건조시켜서 시험체의 건조 질량(m_1)을 측정한다. 흡수율은 다음 식에 따라 계산하며, 시료 수의 평균값으로 나타낸다.

$$\text{흡수율}(\%) = \frac{m_0 - m_1}{m_1} \times 100$$

- 미끄럼저항성 시험방법은 KS F 2375 “노면의 미끄럼저항성 시험방법”에 준하여 시험을 실시한다. 공시체 표면에 완전하게 충분히 물을 적신 후 처음 측정할 때에는 그 값을 기록하지 않는다. 공시체 표면을 충분히 습윤 시킨 후, 측정값이 거의 일정할 때까지 눈금을 읽어 기록한다. 시험 결과 보고에는 다음 사항을 기재한다.
 - 미끄럼 저항 지수(BPN)
 - 시험 표면의 온도
 - 종류(기층, 표층) 및 시험 표면의 위치

(다) 줄눈채움재

- 줄눈채움재는 0-2.5mm의 규사성분이 60%이상 함유된 절대건조비중 2.5g/cm³ 이상의 모래 또는 경질 부순 모래의 사용을 원칙으로 한다. 이때 1.2mm 이하의 굵기가 5% 미만이어야 한다.
- 줄눈의 너비는 8~12mm, 줄눈채움재의 골재는 표 4의 입도기준을 따른다.
- 줄눈 채움재는 완전 건조된 상태(수분함량 3%미만)로 반입되어 줄눈에 완전하게 투입될 수 있도록 되어야 한다.
- 블록의 수평 밀림에 역반응하여야 하며 받침안정층에 대한 여과저항성을 가져야한다.

- 세립화에 대한 저항성은 [KS F 2541]굵은 골재의 파쇄 시험 방법에 의하여 실시하며, 공급원별 최초 100㎥에 실시하고, 이후 300㎥마다 실시한다.
- 세립화 저항성 시험 이후 파쇄된 골재의 기준치는 [표 5]의 기준에 통과하여야 한다.

(라) 받침안정층

① 재료의 품질기준

- 받침안정층의 재료는 포장의 공용성에 큰 영향을 주므로 반입 및 인수 시 설계서 상의 규격과 일치하는지를 확인 하여야 한다.
- 재료는 상부 하중에 높은 저항력을 보이는 채석(절대건조비중 2.5g/cm³이상의 부순 모래, 화강암 권장)를 사용하여야 한다. (석회질의 경우 하중에 의한 세립화로 수분과 결합하여 몰탈 형태의 층을 형성하여 받침안정층의 기능 저하로 이어질 수 있어 사용을 제한 한다.)
- 받침안정층의 골재는 [표 4]의 입도기준을 따른다. 또한 받침안정층의 입도는 유실 방지를 위한 하부기층에 대한 여과 저항성을 지녀야 한다.
- 세립화에 대한 저항성은 [KS F 2541]굵은 골재의 파쇄 시험 방법에 의하여 실시하며, 공급원별 최초 100㎥에 실시하고, 이후 300㎥마다 실시한다.
- 세립화 저항성 시험 이후 파쇄된 골재의 기준치는 [표 5]의 기준에 통과하여야 한다.

② 설계

- 받침안정층은 20~30mm 범위의 두께를 확보해야 한다.
- 받침안정층에 사용되는 재료는 [표 5]에 제시하는 최소 품질기준을 만족해야 한다.

[표 4] 줄눈채움재의 받침안정층 및 입도기준

입도 (mm)	통과백분률 (%)
10	100
5	70-90
2.5	0-7
1.2	0-5

[표 5] 받침안정층 및 줄눈채움재의 품질기준

구분	AADT 500대 초과	AADT 500대 이하
받침안정층	67회, 75μm체 통과량 1%이하	67회, 75μm체 통과량 3%이하
줄눈채움재	67회, 75μm체 통과량 5%이하	

(마) 기층

- 기층은 투수가 가능한 입상재료를 사용해야 한다.
- 기층에 사용 되는 입상재료는 [표 6]에 제시하는 최소 품질기준을 만족해야 한다.
- 교통하중은 EDA (Equivalent Design Axles, 등가설계축수)로 정의하며 [표 7]에 제시하는 방법으로 산정해야 한다.

[표 6] 기층 재료의 품질기준

구분	시험방법	기준
액성한계	KS F 2303	25 이하
소성지수(%)	KS F 2303	6 이하
마모감량(%)	KS F 2508	50 이하
수정 CBR 값(%)	KS F 2320	30 이상
모래당량	KS F 2340	25 이상

[표 7] 교통하중 산정

구분	세부내용
교통하중	• EDA (Equivalent Design Axles, 등가설계축수)로 정의한다.
1 EDA	• 포장을 통과하는 차량의 1개 축하중(Lx)을 기준 축하중(Ls)으로 나눈값의 4승으로 정의한다.
기준 축하중 (Ls)	① 1륜1축 (single tyred single axle) : 6.7 tonf ② 2륜1축 (dual tyred single axle) : 8.2 tonf ③ 2륜2축 (dual tyred tandem axle) : 14.5 tonf ④ 2륜3축 (dual tyred tridem axle) : 20.0 tonf
기타	• 총 중량이 3.5 tonf이하인 상용차는 설계 EDA 산정시 무시할 수 있다. • EDA 산정시 적용할 차종은 1~12종 차량의 교통량 분포를 고려하여 산정해야 한다. • 설계 차도가 생활도로인 경우 1~5종 차량만을 통가 차량으로 고려하여 산정할 수 있다. • 설계 EDA는 통과 차량들의 1일 누적 EDA를 설계공용년수와 교통량증가를 고려하여 산정한다.

(3) 태양광 콘크리트 블록포장의 시공

(가) 재료의 반입, 운반, 보관 및 취급

- 블록의 인수 및 반입은 시공계획에 근거하여 결정한다.

- 블록의 인수 시에는 도면 및 시방에서 정한 종류, 규격, 표면가공 등이 일치하는지 확인한다.
- 블록의 하차 또는 공사장 내 운반 시에는 팔레트 단위로 작업을 권장하며, 팔레트가 수평이 되도록 지게차로 하차 또는 이동하여야 한다. 크레인 또는 굴삭기 등 기타 장비 사용 시에는 벨트로 하역 운반을 금지하며 팔레트의 면이 수평을 유지하도록 하여야 한다.
- 반입된 팔레트는 지반이 견고하고, 블록의 하중에 수평을 유지할 수 있는 장소에 보관한다. 날장으로 운반 시에는 블록표면에 흠집 및 블록의 모서리가 파손되지 않도록 주의 하여야 한다.
- 현장에 장기간 보관 시에는 백화나 오염 방지를 위하여 비닐 등으로 보양 조치하여야 한다.
- 블록은 운반 및 취급 시 손상을 주지 않도록 주의하고 손상을 입었거나 기타 결함이 있는 것을 사용해서는 안 된다. 블록의 외관에 대해서는 유해한 자국, 금 갈림, 변형 등의 손상이 없는 것, 그리고 정해진 표면 색조의 이상 여부를 육안으로 확인한다.
- 블록은 종류별, 제조업체별, 규격별로 분리하여 저장하며 적치장소의 바닥면을 정리하고 먼지나 흙 등에 의해 오염되지 않도록 운반용기에 적치한 상태로 보관하여야 한다. 현장에서 보관 중인 블록은 백화나 오염을 방지하기 위해 비닐 덮개를 한다.

(나) 하부층(기층)의 시공

- 기층의 포설을 시작하기 전에 노상 표면의 먼지, 점토, 유기물, 기타 불순물을 제거 하여야 한다.
- 기층골재와 노상의 교반 방지를 위하여 토목섬유를 설치해야 한다.
- 골재의 입도, 다짐은 설계도서를 따른다. 다짐기계의 종류, 중량 및 다짐회수는 재료의 성질 및 함수량을 고려하여 정해야 한다.
- 기층의 시공은 다짐 후 1층의 두께가 150mm를 넘지 않도록 균일하게 깔아야 하며, 균일한 혼합물로 반입해서 재료분리가 없도록 포설해야 한다.

(다) 받침안정층 시공

- 받침안정층의 보관 시에는 오물이나 진흙 등의 혼입, 빗물 등에 의한 모래의 함수비가 변화하는 것을 막기 위해 보양 조치를 하여야 한다.
- 받침안정층의 포설 전에 잔돌 등을 제거함과 동시에 장애물이나 기층 다짐 이후 패임 현상 등이 없는지 확인 한다.
- 받침안정층의 두께는 설계도서에 의하며, 별도의 명기가 되어있지 않는 경우 20mm 이상으로 시공하여야 하며 30mm 이상으로 시공되지 않도록 하여야 한다.
- 포장의 편경사는 이전 공종에서 실시하여야 하며 받침안정층으로 편경사를 조정해서

는 안된다.

- 포설 후 포장면의 마감높이로부터 블록두께를 빼고 수평실을 이용하여 받침안정층의 마무리 높이를 정한다. 포설시 블록층 표면다짐 및 침하를 고려하여 시험시공을 통하여 3~5mm 정도 여유를 두어 포설 한다.
- 포설 후 시공면의 불규칙한 다짐도로 인하여 블록표면층의 부분 침하가 발생할 수 있으므로 장비 다짐을 실시하지 않는다. 필요시 목재판 등의 수공 장비도 다짐할 수 있다.
- 받침안정층 및 기층의 시공은 기온이 1.5℃ 이상일 때만 시행할 수 있다. 기온이 1.5℃ 이하로 내려가면 완성된 각 층은 동해에 의한 피해를 막을 수 있도록 승인된 방법으로 보호되어야 한다.

(라) 태양광 콘크리트 블록 시공

- 태양광블록 시공 시 차량 진행방향 줄눈을 막힌 줄눈으로 시공하기 위하여 [그림 3]과 같이 블록 너비의 최소 1/3 이상 엇갈림배치를 하여야 한다.
- 노상, 기층, 받침안정층 및 콘크리트 블록을 설치한 후 규격에 맞는 태양광패널을 블록의 중앙에 삽입한다. 이후 태양광패널의 케이블을 주행방향과 직각 방향의 홈으로 정리하여 빼낸 후 컨트롤 시스템에 연결한다.
- 채움재 및 블록 다짐 시 태양광패널 삽입 전 줄눈 채움재가 밀실하게 채워지도록 다짐을 실시한다.
- 일몰 또는 타 공종과의 연관성으로 인하여 블록포설을 일시 중지할 경우 시공 말단의 블록이 훼손, 밀림, 블록 간 벌어짐 등이 발생되지 않도록 적절한 보양 조치를 취하여야 한다. 특히 포설된 받침안정층이 오염, 유실되지 않도록 거적 등을 이용하여 임시 보양한다.
- 일시 중지 구간의 이음 시공 시에는 반드시 1미터 이상을 철거 후 재시공하여야 한다. 훼손 구간이 1미터 이상일 경우 훼손종단 거리의 1.5배를 재시공 한다.



[그림 3] 태양광블록 시공패턴

(마) 줄눈 채우기

- 줄눈 모래의 메우기가 불충분하면 블록의 이동과 국부 침하 등을 유발하여 태양광블록 포장의 파손을 발생시키는 원인이 되므로 줄눈 채우기를 꼼꼼히 한다.
- 블록 표면에 모래(백색규사)를 균일하게 뿌린 후 빗자루, 솔 등으로 블록 표면을 빗질 하듯이 모래를 줄눈 틈 사이에 쓸어 넣는다.
- 잘 건조시킨 가는 모래를 사용한다.
- 흙 성분이 섞이지 않은 건조시킨 양질의 가는 모래 (최대입자크기:2.5mm 이하)를 사용한다. 젖어있는 경우는 블록위에 뿌려 태양으로 자연건조 시킨 후에 쓸어 채워 넣는다.

※주의 사항

- 핸드 컴팩터 등으로 진동을 가하면 좀 더 조밀하게 채울 수 있다.
- 태양광패널 삽입 전 실시하며, 태양광패널 삽입구에 모래가 없도록 빗질하여 줄눈 틈 사이에 쓸어 넣어야 한다.

(4) 하자관리

- 하자원인이 시공과 자재 간에 판단이 불가하거나 명확하지 않을 경우에 하자보수의 책임은 시공을 한 계약상대자와 자재를 공급한 납품자간의 상호 협의에 의하여 하자보수비를 분담하고 협의가 되지 않을 경우에는 준공된 전체공사비에서 시공과 자재가 차지하는 비율만큼 하자보수비를 각각 분담한다.

(5) 검수

- 계약자는 납품된 제품에 하자가 발생하거나 구매설명서 기준에 적합하지 않으면 즉시 교환납품 하여야 한다.

(6) 기타

- 지방서에 명기되지 않은 사항이라도 납품 상 고려되어야 할 사항은 발주자 대리인의 지시에 따른다.
- 구매계약 수량은 현장여건에 따라 증감될 수 있다.
- 발주자 요구 시 제 3자에게 동일한 계약조건으로 승계할 수 있다.

자. 국내 태양광 도로시스템 적용을 위한 적용환경 분석

- 태양광 발전시스템의 도로 적용 시 고려해야 할 요건은 태양자원의 양, 인접 구조물에 의한 음영의 정도 및 시공 후 차량 주행 음영에 의한 발전효율 등이 있음.
- 본 절에서는 국내 태양광 도로시스템 적용을 위한 적용환경 분석을 위하여 국내 자원 지도시스템을 활용한 적용 지역 선정방법, 인접 구조물에 의한 음영영향 및 음영을 피하기 위한 최소 확보거리 산정을 위한 수치적 분석방법, 그리고 차량 통행에 따른 발전효율 산정방안에 대한 수치적 분석방안을 차례대로 정리하여 나타내었음.

(1) 적용 지역의 선정

- 태양광 도로시스템은 일반 태양광 발전시스템과 달리 설치경사 조절이 불가함. (도로 설계 시 결정된 중횡단 경사에 따라 설치경사가 정해지며, 설치경사는 10° 미만임.)
- 설치경사가 0° 부근일 경우, [그림 1]에서 보이는 바와 같이 설치방향에 따른 발전효율은 거의 동일함.

연평균	정남																			정동
경사	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	-10°	-20°	-30°	-40°	-50°	-60°	-70°	-80°	-90°	
10°	85	86	88	89	90	91	92	92	92	91	91	90	89	88	86	85	88	81	80	
20°	84	87	90	92	94	96	97	97	97	97	96	94	92	89	87	84	85	77	74	
30°	80	85	89	92	95	98	99	100	100	99	97	95	92	89	85	80	81	72	67	
40°	75	81	86	90	94	97	99	100	100	98	96	93	90	85	81	76	75	65	60	
50°	69	75	81	86	90	93	95	96	96	95	92	89	85	80	75	69	67	57	51	
60°	62	68	74	79	83	87	89	90	90	88	86	82	78	72	67	61	59	49	43	
70°	54	60	66	71	75	78	80	81	81	79	76	73	68	64	58	53	50	41	36	
80°	45	51	56	61	65	68	69	70	69	68	65	62	58	53	49	44	41	34	28	
90°	37	42	46	50	53	56	57	57	56	55	52	49	46	42	39	34	32	26	22	

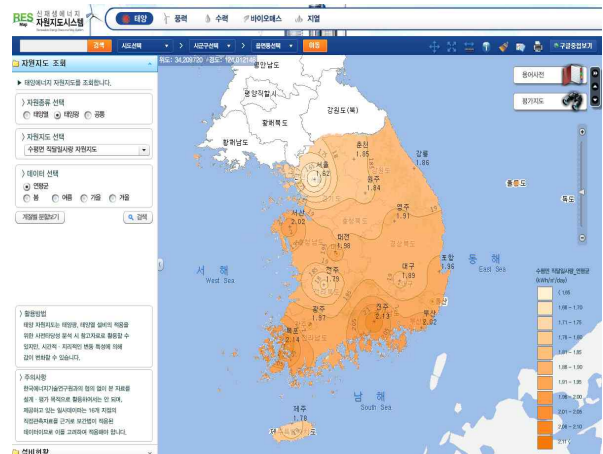
[그림 1] 패널 설치방향과 설치경사에 따른 발전효율 (서울시 햇빛지도 누리집)

- 태양광 도로시스템에 도달하는 태양에너지는 구름, 안개 및 미세먼지에 의해 반사 혹은 산란된 태양광을 제외한 직달일사량이고, 설치경사가 일반적으로 0° 부근인 도로의 특성에 따라 도달면은 수평면에 거의 근접함. 따라서 태양자원량에 따른 적용지역 선정 시 이용할 수 있는 일사량은 수평면 직달일사량으로 판단됨.
- 신재생에너지 자원지도시스템을 활용한 적용지역의 선정
- 적용대상 지역이 여러 곳일 경우 태양자원량이 많은 곳을 우선적으로 고려할 수 있으므로, 신재생에너지 자원지도시스템의 일사량 자원지도를 이용하여 적용 우선순위를 결정할 수 있음. 일사량 자원지도 활용방법은 아래와 같음.

① 신재생에너지 데이터센터 누리집 접속 ([그림 2] 참조)

② 자원지도시스템-WebGIS, 옵션 : 태양광 / 수평면 직달일사량 자원지도 / 연평균

- ③ 2018년 12월 현재 자원지도를 살펴보면 연평균 수평면 직달일사량의 최대값과 최소값은 각각 $2.14\text{kWh/m}^2/\text{day}$ (목포)와 $1.62\text{kWh/m}^2/\text{day}$ (서울)의 분포를 보임 ([그림 3] 참조)
- ④ 태양광 자원지도를 활용한 태양광 도로시스템 적용 우선순위 검토



[그림 2] 신재생에너지 데이터센터 누리집 [그림 3] 국내 연평균 수평면 직달일사량 분포

(2) 음영에 의한 영향 분석

- 일반 태양광 시스템은 건물 옥상이나 캐노피와 같이 인접 구조물보다 고도가 높은 곳에 설치가 가능하나, 태양광 도로시스템의 경우 일반적으로 인접 구조물보다 고도가 낮은 곳에만 설치가 가능함. 따라서 인접 구조물에 의한 음영구간 발생확률이 매우 높음.
- 음영구간을 최소화하기 위하여 설치위치와 시간에 따른 태양의 위치를 정확히 계산하고, 인접 구조물의 위치와 높이 및 이에 따른 발전 가능시간 내 음영구간 파악이 필요함.

(가) 태양 고도와 방위각 계산

① 태양의 적위(δ) 계산

태양의 적위(δ)는 지구의 중심과 태양의 중심을 잇는 선이 지구의 적도와 이루는 각도이며 다음 식에 의해 구해진다.

$$\delta = 23.45 \times \sin\left[\frac{360(n + 284)}{365}\right]$$

여기서, n 은 1월 1일을 기준으로 한 계산 대상일의 일수
(예 : 1월 1일은 1, 12월 21일은 355)

② 태양의 고도각(α) 계산

태양의 고도각은 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin\delta \cdot \sin\varphi + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega)$$

여기서, φ : 대지의 위도[°], δ : 태양의 적위[°]
 ω : 시각 (時角) (예 : 1시간은 15°, 24시간은 360°)

③ 태양의 방위각(ϕ) 계산

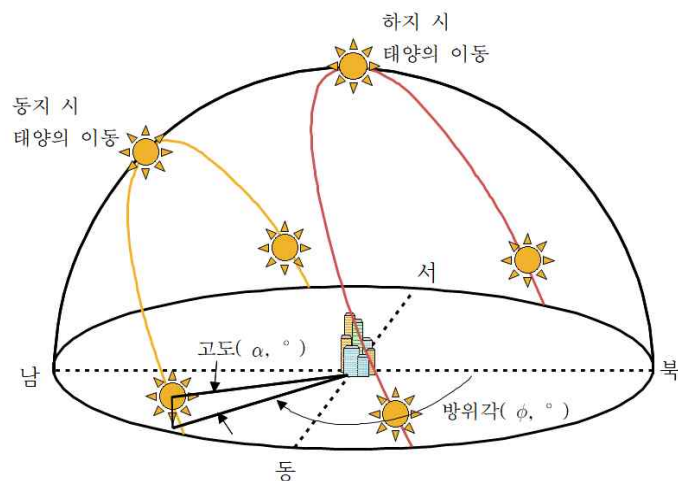
태양의 방위각은 다음 식에 의해 구한다.

$$\phi = \sin^{-1}\left(\frac{\cos\delta \cdot \sin\omega}{\cos\alpha}\right)$$

(나) 인접 구조물 고저차에 의한 음영구간 산정

① 태양의 연중 이동변화

- [그림 4]는 태양의 고도가 가장 높은 하지 시와 태양의 고도가 가장 낮은 동지 시의 태양의 이동을 나타냄.
- 구조물의 고저차에 의한 음영의 영향반경은 동지 때에 가장 넓게 나타남.

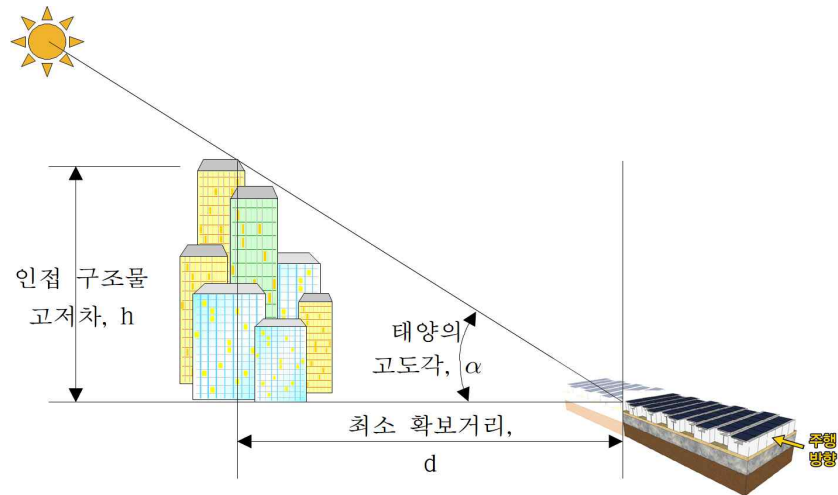


[그림 4] 동지와 하지의 태양의 1일 이동궤적

② 인접 구조물 음영의 영향거리 분석 방법

- 인접 구조물의 높이(h)와 태양의 고도각(α)에 의한 최소 확보거리(d)는 다음 식에 의해 산정할 수 있음.

$$d = \frac{h \cdot \cos \alpha}{\sin \alpha}$$



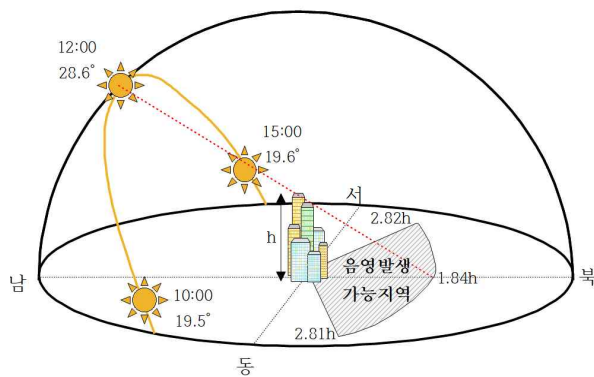
[그림 5] 음영방지를 위한 인접 구조물과의 최소 확보거리

③ 인접 구조물 음영의 영향거리 분석 일례 (간이 분석방법)

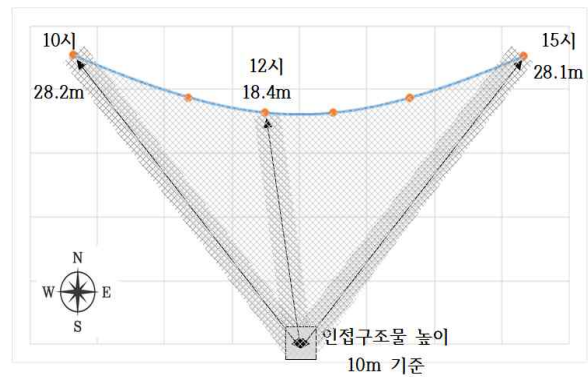
- 인접 구조물 음영의 영향위치는 적용구간의 위도, 경도, 인접 구조물의 높이에 따라 달라짐.
- 인접 구조물 음영의 영향거리 분석 일례로, 서경대학교 (북위 37.62° , 동경 127.01°) 선정함. 2018년 동지 (12월 22일) 기준, 태양광 발전 가능 시간 10시 ~ 15시의 태양의 고도와 방위각, 이에 따른 최소 확보거리 산정결과는 [표 1]과 같음.
- [표 1]의 태양의 방향과 고도각을 이용하여 산정한 최소 확보거리를 도시하면 [그림 6]과 같이 나타낼 수 있고, 구조물 높이가 10m 일 경우의 시간에 따른 음영구간의 길이와 방향의 일례를 도시하면 [그림 7]과 같이 나타낼 수 있음.
- 주요 인접 구조물의 개략적인 위치와 높이를 2D 지도에 표시 후 음영발생 가능지역을 도시하여 태양광 블록시스템의 설치가능구간을 설정할 수 있음. [그림 8]은 서경대학교 2D 지도의 일례로, A, B 및 C 구조물의 높이가 각각 10m, 20m 및 30m 일 경우 A, B 및 C 구조물에 의한 2D 간이 음영분석결과를 [그림 8]의 2D 지도에 도시하였음.

[표 1] 태양광 발전시간 내의 태양의 위치 및 최소 확보거리 일례 (서경대학교, 동지)

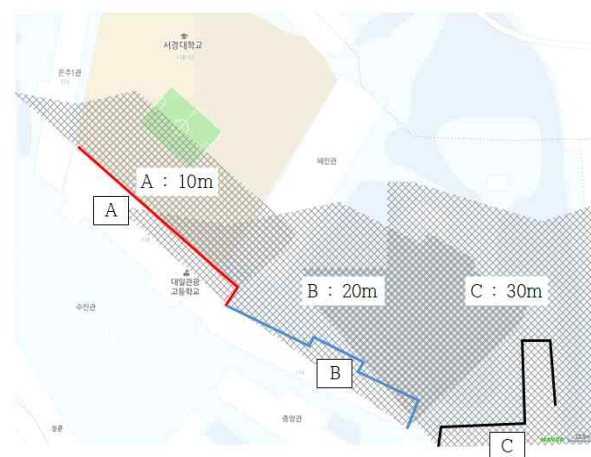
시간	태양의 고도각 $\alpha (^{\circ})$	방위각 $\phi (^{\circ})$	최소 확보거리 / 고저차 (d/h)
10:00:00	19.5	143.6	2.82
10:30:00	22.8	150.1	2.38
11:00:00	25.4	157.1	2.11
11:30:00	27.4	164.4	1.93
12:00:00	28.6	172.1	1.84
12:30:00	29.0	179.9	1.81
13:00:00	28.6	187.7	1.84
13:30:00	27.4	195.4	1.93
14:00:00	25.4	202.8	2.10
14:30:00	22.8	209.7	2.38
15:00:00	19.6	216.3	2.81



[그림 6] 태양 궤적 일례 (서경대, 동지)



[그림 7] 시계열 음영구간 일례 (h=10m)

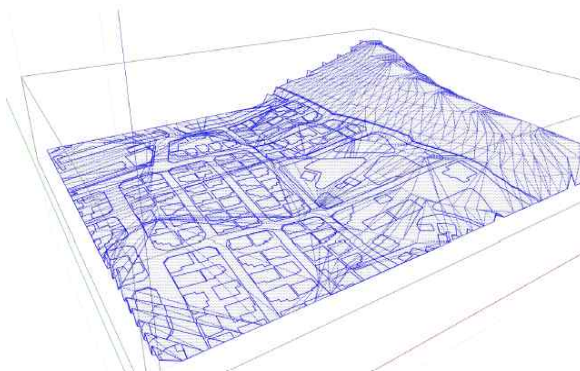
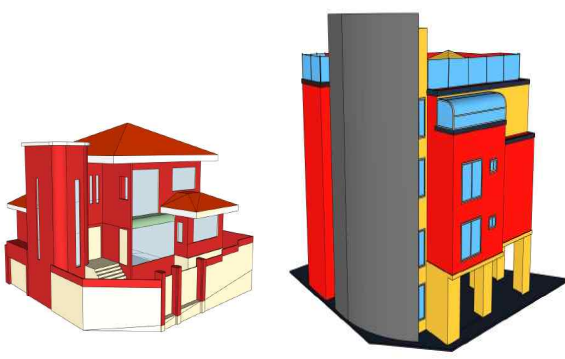
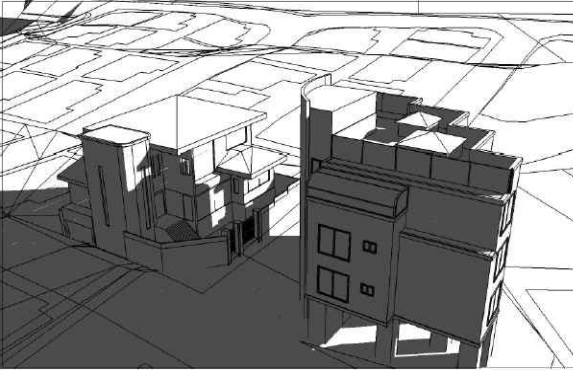
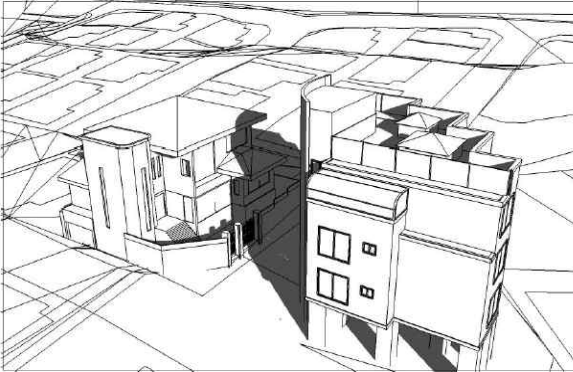


[그림 8] A, B 및 C 구조물에 의한 간이 음영분석결과 일례

④ 기존 일조권 분석 툴 활용 일례 (상세 분석방법)

- 간이 분석방법에 의한 개략적인 음영분석은 설치위치 주변에 영향을 줄 수 있는 구조물의 수가 적을 경우 사용 가능하나, 주위 구조물의 수가 많은 복잡한 지역에서의 위치선정이나 실시설계 시에 사용은 부적합함.
- 태양광 도로시스템 설치위치 선정 후 상세설계 시에는 아래 제시한 절차에 의한 상세 분석방법 적용을 권장함.
- 태양광 도로시스템의 상세 음영분석절차 일례는 [표 2]와 같음. (장일몽, 2014)
- 태양광 도로시스템의 상세 음영분석절차는 아래와 같음.
 - ㉠ 설치위치 인근의 항공사진을 이용한 2차원 지형도 작성
 - ㉡ 3D 스캐닝을 통한 3차원 모형도 제작
 - ㉢ 주요 인접 구조물의 3차원 모델링 수행
 - ㉣ 설치위치 기준 태양의 방위각 및 고도각 산정
 - ㉤ 산정된 방위각, 고도각 및 기존 일조분석 툴을 이용한 음영분석 수행
 - ㉥ 음영분석 수행결과를 이용하여 연간 발전효율 산정
 - ㉦ 발전효율을 고려한 설치위치 상세조정 (위치조정 또는 음영구간은 일반블록으로 대체)

[표 2] 태양광 도로시스템의 상세 음영분석절차 일례 (장일몽, 2014)

	
항공사진 수집	3차원 모형화
	
주요 인접 구조물 모델링	동지 시 음영분석 일례 (10시)
	
동지 시 음영분석 일례 (12시)	동지 시 음영분석 일례 (15시)

(3) 차량 통행에 따른 발전효율 산정방안

- 태양광 도로시스템의 인접 구조물에 의한 영향은 설치위치 선정 단계에서 고려할 수 있으나, 실제 공용 시 차량주행 혹은 주차에 의한 영향은 고려할 수 없음.
- 차량 주차에 의한 영향은 주차 공간 만차 시를 고려하여 음영분석을 실시하고, 차량 주행에 의한 발전효율은 아래와 같은 절차에 의하여 산정할 수 있음.

(가) 차량 통행에 따른 발전효율 산정절차

- ① 시간별 교통량 수집
- ② 발전시간 내/외 교통량 분류
- ③ 차종 분류
- ④ 차종별 교통량을 이용한 음영시간 산정
- ⑤ 시간대별 발전효율 산정

(나) 차종 및 평균 구간속도를 고려한 차량 통행에 따른 음영시간 산정

- 국내 차종분류는 현재 [그림 9]와 같이 12종으로 분류 (한국건설기술연구원, 2006)

종별	분류기준	대표적 차체 및 차축 배열	차종 정의	해당 차량의 예	종별	분류기준	대표적 차체 및 차축 배열	차종 정의	해당 차량의 예
1종	축수 2		16인승 이상의 여객 수송용 버스 형식으로 2축 1단위 차량	콜릭, 벤투라, 아반떼, 투스카니, 그랜저, 에쿠스, 모닝, 프라이드, 세라토, 로제, 오퍼러스, 토스카, 윈스톨, 레조, 라세티, 쟈트라, 칼로스, 마티즈, 체어맨, 쏘나타, 프라이드, 갤로퍼, 라비타, 트라제, 샌타페 등	6종	축수 4		화물 수송용 트럭 형식으로 4축 1단위 차량	탱크로리, 덤프 트럭, 카고트럭 등
	단위 1					단위 1			
2종	축수 2		16인승 미만의 여객 수송용 차량, 미니 트럭 등 2축 1단위 차량	그랜버드, 뉴롬비, 에어로 고속, 에어로 버스, 도시형 버스, 직행 버스, 관광 버스, 좌석 버스, 스모스, 시외 버스, 전세 버스 등	7종	축수 5		화물 수송용 트럭 형식으로 5축 1단위 차량	탱크로리, 덤프 트럭, 카고트럭 등
	단위 1					단위 1			
3종	축수 2		화물 수송용 트럭으로 2축의 최대 적재량 1~2.5톤 미만의 1단위 차량	봉고, 포터, 세레스 등 2.5톤 이하 트럭, 2.5톤 미만 내장탑, 2.5톤 미만 냉동탑 등	8종	축수 4		화물 수송용 세미 트레일러 형식으로 4축 2단위 (견인차, 피견인차) 차량	평판 세미 트레일러, 탱크로리 트레일러 등
	단위 1					단위 2			
4종	축수 2		화물 수송용 트럭으로 2축의 최대 적재량 2.5톤이상의 1단위 차량	타이탄, 복사, 트레이더, 2.5~5톤 트럭, 트럭디, 8~8.5톤 카고, 8톤 냉동차, 8~8.5톤 덤프, 8톤 견인차, 5톤 핵가, 견인차, 라이노, 4.5톤 내장탑, 4.5톤 냉동탑, 사료 운반차	9종	축수 4		화물 수송용 풀 트레일러 형식으로 4축 2단위 (견인차, 피견인차) 차량	카고 풀 트레일러 등
	단위 1					단위 2			
5종	축수 3		화물 수송용 트럭으로 3축 1단위 차량	믹서, 15톤 덤프, 트레더, 봉워서, 5.4톤 트럭디, 9.5~10톤 카고, 10KL 탱크로리, 11톤 냉동차, 11.5톤 임물, 11~12톤 카고, LPG 탱크, 냉동 6x4, 11톤~12톤 카고 트럭, 베스트 믹서, LPG 탱크로리, B.C. 트럭, 견인차, 대형 콘크리트 펌프, 탱크로리 등	10종	축수 5		화물 수송용 세미 트레일러 형식으로 5축 2단위 (견인차, 피견인차) 차량	평판 세미 트레일러 등
	단위 1					단위 2			
6종	축수 5		화물 수송용 풀 트레일러 형식으로 5축 2단위 (견인차, 피견인차) 차량	카고 풀 트레일러 등	11종	축수 5		화물 수송용 세미 트레일러 형식으로 5축 2단위 (견인차, 피견인차) 차량	평판 세미 트레일러 등
	단위 2					단위 2			
7종	축수 6		화물 수송용 풀 트레일러 형식으로 6축이상 2단위 (견인차, 피견인차) 차량	평판 세미 트레일러 등	12종	축수 6		화물 수송용 세미 트레일러 형식으로 6축이상 2단위 (견인차, 피견인차) 차량	평판 세미 트레일러 등
	단위 2					단위 2			

[그림 9] 통합 12종 차종분류 (한국건설기술연구원, 2006)

- 본 연구에서는 12종 대표차종의 길이를 조사하고, 대상지역의 평균 구간속도와 차량 주행에 의한 음영시간을 산정하였으며, 산정된 음영시간은 [표 3]과 같음.
- 산정결과 승용차 등 1종차량은 시속 60km로 주행 시 교통량 1대 당 음영시간은 0.3초로 산정되었고, 대형 트레일러가 시속 10km 구간에서 주행 시 교통량 1대 당 음영시간은 총 6.5초로 산정됨.

[표 3] 대표 차종의 속도별 음영 시간 (초)

차종	대표종류	대표차종 일례	최대 길이	평균속도 (km/h)					
				10	20	30	40	50	60
1종	대형 RV	코란도 스포츠	5m	1.8	0.9	0.6	0.5	0.4	0.3
2종	관광버스	리무진 버스	12m	4.3	2.2	1.4	1.1	0.9	0.7
3종	2.5톤 트럭	마이티 카고	6.5m	2.3	1.2	0.8	0.6	0.5	0.4
4종	8톤 2축트럭	뉴파워트럭 8톤	10m	3.6	1.8	1.2	0.9	0.7	0.6
5종	3축트럭	엑시언트 6x4 카고	12m	4.3	2.2	1.4	1.1	0.9	0.7
6종	4축 트럭	엑시언트 8x4 카고	13m	4.7	2.3	1.6	1.2	0.9	0.8
7종	5축 트럭	엑시언트 10x4 카고	13m	4.7	2.3	1.6	1.2	0.9	0.8
8종	4축 세미 트레일러	트랙터5.5m +트레일러12.5m	18m	6.5	3.2	2.2	1.6	1.3	1.1
9종	4축 풀 트레일러								
10종	5축 세미 트레일러								
11종	5축 풀 트레일러								
12종	6축 세미 트레일러								

(다) 차량 통행에 따른 발전효율 산정방안 일례

① 대상구간 개요

- 태양광 블록시스템 설치위치 : 시속 30km 어린이보호구역 도로
- 1일 교통량 : 승용차, 버스 및 트럭이 각각 2000, 650 및 100대가 주행한다고 가정함.
(토지주택연구원, 2010)

② 대상구간 기준 차량 통행에 따른 발전효율 산정결과

- 태양광 발전 가능시간 (연평균 7.16시간/일) : 10시 ~ 17시
- 발전 가능시간 내 시간당 교통량 산정 : 시간당 교통량 = 1일교통량/14시간 (07~21시)
- 통행차량에 의한 시간당 음영시간 산정 : 182초
- 통행차량 음영에 의한 발전효율 산정 : $1 - (182\text{초}/1\text{시간}) = 0.95$
- 대상구간의 통행차량 음영에 의한 발전효율은 95%로 산정됨.

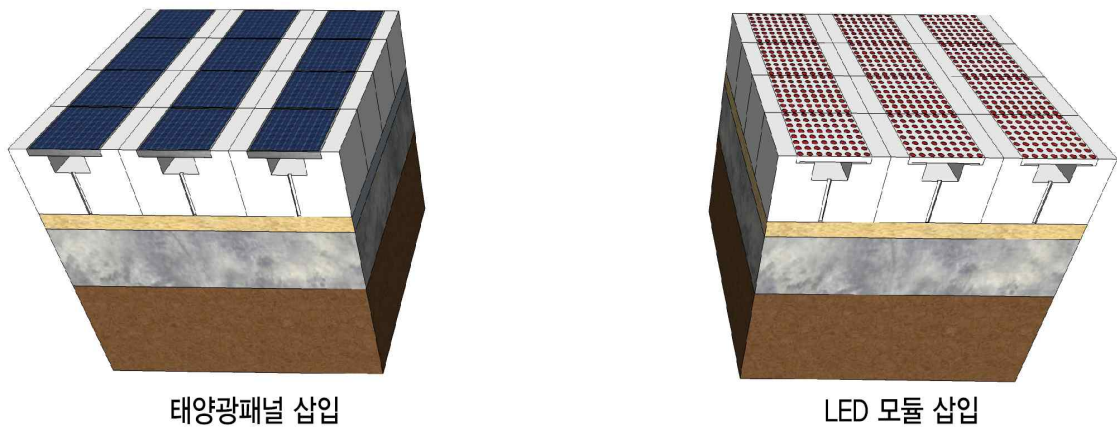
[표 4] 태양광 도로시스템의 상세 음영분석절차 일례

차종	1종	2종	트럭	계
1일 교통량 (대)	2000	650	100	2750
발전시간 내 시간당 교통량 (대)	150	50	10	210
발전시간 내 시간당 음영시간 (초)	90	70	22	182

차. 태양광 도로의 응용기술 설계도

(1) LED 패널 모듈의 개요

- 태양광 콘크리트 블록에 삽입되었던 태양광 패널을 LED 모듈로 교체하여 야간에 주행성 향상 및 주차장의 주차 공간 확인이 가능하도록 응용기술을 제안하고자 함. LED 패널 모듈의 형상은 [그림 1] 과 같이 제안함.



[그림 1] 태양광 패널 모듈과 LED 패널 모듈 개요도

(2) 가로등 없는 이면도로에서의 LED 블록 활용 방안

- 주택가 등 가로등이 없는 이면도로의 경우 야간 주행 시 전방에 장애물 또는 보행자의 무단횡단 등이 잘 보이지 않아 사고 발생위험이 높음.
- 이러한 사고 발생 저감 및 운전자 전방 시야 확보를 위해 태양광 콘크리트 블록 설치 시 태양광 패널을 LED 모듈로 교체하여 주행 방향 표시 및 시야 확보가 가능하도록 태양광 콘크리트 블록의 응용기술을 제안하고자 함.
- LED 모듈의 전원은 LED블록 설치지역 외 태양광콘크리트 블록 설치지역에서 전기를 생산하여 LED 모듈의 전원으로 활용 가능할 것으로 판단됨.
- 가로등이 없는 이면도로에서의 LED블록 활용의 개요도는 [그림 2]와 같음.

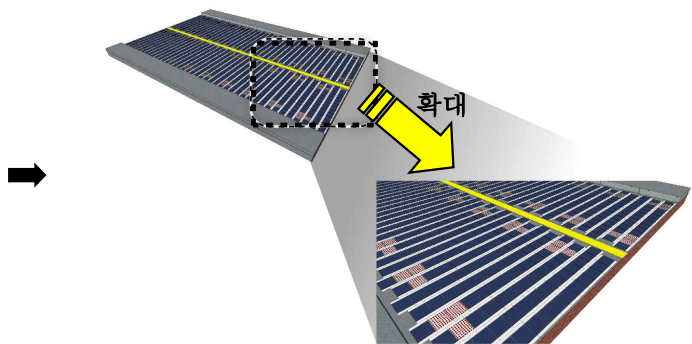
(3) 야외 주차장에서의 LED블록 활용 방안

- 기존 야외 주차장의 야간 주차 시 주차장 내의 주차가능 구역을 확인하기 어려운 경우가 발생함.

- 본 연구에서 개발한 태양광 콘크리트 블록을 활용하여 태양광패널 제거 후 LED모듈을 삽입하여 LED 블록으로 활용 가능할 것으로 판단됨.
- LED 모듈의 전원은 LED블록 설치지역 외 태양광콘크리트 블록 설치지역에서 전기를 생산하여 LED 모듈의 전원으로 활용 가능할 것으로 판단됨.
- 야외 주차장에서의 LED블록 활용의 개요도는 [그림 3]과 같음.



기존 이면도로 상황 (가로등 없음)

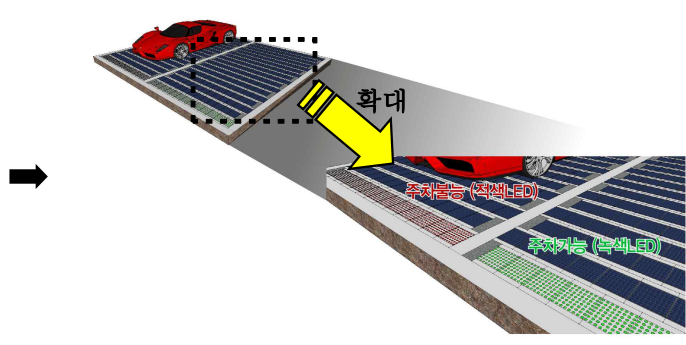


LED 블록을 활용한 이면도로 도로면 조명

[그림 2] 가로등 없는 이면도로에서의 LED블록 활용 방안



기존 야외 주차장



LED 블록을 활용한 야외 주차장 바닥 조명

[그림 3] 야외 주차장에서의 LED블록 활용 방안

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표

(1) 핵심 연구목표

연번	핵심성과 (CTE)	핵심성과 설명	성과 유형	연구 기관	해당 연차	TRL
1	설계기준 작성	국내 태양광 도로의 포장설계를 위한 기준 및 지침 작성	공법 기법	주관	1, 2	3~4
2	태양광패널 성능평가	기존 태양광 패널에 대해 도로 구조체에 대한 분석, 패널의 에너지 발전 효율에 대한 분석 실시	공법 기법	주관, 공동1	2	1~2
3	태양광도로 포장시스템 개발	국내 실정에 적합한 태양광 도로 시스템 개발	공법 기법	공동1	1, 2	3~4
4	태양광 도로 응용기술	태양광 패널 도로에 LED 및 열선 탑재	공법 기법	공동2	1, 2	3~4
5	현장 성능평가 보고서	태양광도로 포장시스템 현장 성능 평가 및 보고서작성	공법 기법	공동2	2	3~4

(2) 성과 점검 기준표

구분	핵심성과 (CIE)		단위성과	성과점검기준						양적 성과 건수
				질적 성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치	
주관 (서경대학교)	1	국내 태양광 도로의 포장설계를 위한 기준 및 지침 작성	국내태양광 도로 설계기준 마련	① 국내태양광 도로 설계기준	기준 (안) 작성	-	기준제시	전문가 자문	10	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 1건 시제품: 1건 SW: 1건 기타: 1건
			국내태양광 도로(주차장) 설계기준 마련	② 국내태양광 도로(주차장) 설계기준	기준 (안) 작성	-	기준제시	전문가 자문	10	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 1건 시제품: 1건 SW: 1건 기타: 1건
	2	국내 태양광 도로시스템 적용을 위한 적용환경 분석 작성	국내 태양광 도로시스템 적용을 위한 적용환경 분석	① 국내 태양광 도로시스템 적용을 위한 환경 분석	태양광 도로 적용 환경 분석 방법 제시	-	분석 방법 제시	국내지역 대상 분석사례	10	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 1건 시제품: 1건 SW: 1건 기타: 1건
공동 (지오티에스)	3	태양광 도로 패널의 성능평가	태양광 도로 패널의 에너지 발전효율 평가	① 태양광 도로 포장시스템 옥외 현장 확보 및 효율측정	1건	-	현장 사진 및 효율 측정 기록	현장 사진 및 측정 내용 보고서 삽입	5	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 1건 시제품: 1건 SW: 1건 기타: ① 1건
	4	국내 태양광 도로포장 시스템 개발	태양광 도로포장 시스템 개발	① 특허출원 및 등록 (태양광 도로포장 시스템)	4건	-	특허출원 및 등록여부	특허출원 및 등록 증빙서류	20	특허: 출원 4건 등록 2건 논문: 1건 시제품: 1건 SW: 1건
	5	개발된 태양광패널 블록 구조체의 시제품 제작	5-1 시제품 제작	① 제작된 시제품의 도로 및 에너지 효율 평가	시제품 제작	-	시제품 제작	시제품 설계도 및 사진	10	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 1건 시제품: 1건 SW: 1건 기타: ① 1건
공동 (콘텍이엔지)	6	태양광 도로 패널의 성능평가	태양광 도로 블록구조체의 도로성능 평가	① 도로 성능평가	도로설 계기준 만족	-	미끄럼 저항, 투수, 압축강도 시험 실시	평가결과 보고서	10	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 1건 시제품: 1건 SW: 1건 기타: 1건
	7	문헌자료 조사	도로 및 블록 등의 설계기준 조사	① 도로 및 블록 등의 설계기준 조사	설계 기준 요약	-	설계기준 요약	설계기준 요약	10	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 1건 시제품: 1건 SW: 1건 기타: ① 1건
	8	태양광 도로 응용기술	8-1 태양광 도로의 응용기술 설계도	① 태양광 도로의 응용기술(LED 또는 열선) 설계도	응용 기술 설계도	-	응용 기술 설계도	응용 기술 설계도 작성여부	5	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 1건 시제품: 1건 SW: 1건 기타: 1건
공동 (콘텍이엔지)	9	태양광도로 포장시스템 현장 성능평가	태양광 도로 현장 성능평가 보고서	① 현장 시공 및 성능평가 보고서 작성	1건	-	현장 시공 및 성능평가 보고서 작성	현장 성능평가 보고서	10	특허: 출원 1건 등록 1건 논문: 1건 시제품: 1건 SW: 1건 기타: 1건
계									100	특허: 출원 4건 등록 2건 논문: 2건 시제품: 1건 SW: 1건 기타: 6건

3-2. 목표 달성여부

(1) 핵심 연구목표의 성과달성 결과

핵심성과 1	
정의	국내 태양광 도로(도로 및 주차장) 설계기준 작성
목적	국내 태양광 도로의 포장설계를 위한 기준 작성
성능목표	기존기술 수준 : 태양광 발전 도로에 대한 국내기술은 전무한 수준이며 해외기술은 현장적용/사업화단계임. (TRL 9) 개발기술 수준 : 태양광 발전 도로를 보도 및 주차장에 적용하기 위한 설계기준 작성(TRL 1~2)
달성결과	본 연구를 통해 개발한 태양광 블록시스템과 관련 설계 및 시공기준 및 전문가 자문 등을 종합하여 태양광 콘크리트 블록공법에 대한 설계기준 및 시방지침을 작성함. 설계기준 및 시방지침은 보고서(2-가)에 수록하고 별책부록으로 제작함.

핵심성과 2	
정의	태양광패널 성능평가
목적	본 연구에서 개발한 태양광 패널에 대한 구조적 특성 및 태양광 발전 효율 분석 실시
성능목표	기존기술 수준 : 태양광 발전 도로에 대한 국내기술은 전무한 수준이며 해외기술은 현장적용/사업화단계임. (TRL 9) 개발기술 수준 : 본 연구에서 개발 중인 태양광 패널에 대한 구조적 특성은 지오티에스에서 태양광 발전 효율은 서경대학교에서 분석 실시(TRL 1~2)
달성결과	본 연구를 통해 개발한 태양광 블록시스템의 미끄럼 저항, 강도, 흡수율, 하중 재하 등의 도로성능평가는 자체실험 및 인증기관에 평가를 의뢰하여 도로설계기준을 만족여부를 검토하였고, 검토결과를 보고서(2-바)에 수록함. 또한 태양광 발전 효율평가를 위하여 서경대학교의 실험부지에 시험시공을 실시하여 실제 발전량 데이터 측정을 수행하였고, 측정결과를 이용하여 발전효율을 평가하였으며, 기상청 관측자료를 활용한 발전량 예측을 수행함. 시험시공 내용 및 효율분석 결과는 각각 보고서(2-자 및 2-다)에 수록함.

핵심성과 3	
정의	태양광도로 포장시스템 개발
목적	국내 실정에 적합한 태양광 도로 시스템 개발
성능목표	기존기술 수준 : 태양광 발전 도로에 대한 국내기술은 전무한 수준이며 해외기술은 현장적용/사업화단계임. (TRL 9) 개발기술 수준 : 태양광 도로포장시스템에 대한 특허출원(TRL 1~4)
달성결과	태양광 도로포장시스템에 대한 4종의 특허출원과 2종의 특허등록을 완료하고, 관련 증빙서류를 보고서(2-라)에 수록함.

핵심성과 4	
정의	태양광 도로 응용기술
목적	태양광 패널 도로에 LED 및 열선 탑재
성능목표	기존기술 수준 : 태양광 발전 도로에 대한 국내기술은 전무한 수준이며 해외기술은 현장적용/사업화단계임. (TRL 9) 개발기술 수준 : 기존 태양광 발전 도로에 LED 또는 열선도로를 탑재하는 특허출원(TRL 3~4)
달성결과	태양광 도로의 응용기술로 태양광 발전과 압전에 의한 발전을 동시에 수행 가능한 도로포장용 복합발전블록을 개발하고 특허출원 및 특허등록을 완료함. 또한 태양광 콘크리트 블록에 삽입되었던 태양광 패널을 LED 모듈로 교체하여, 야간 주행성 향상 및 주차장의 주차 공간 확인이 가능한 LED 블록의 응용기술을 제안하고 보고서(2-아)에 수록함.

핵심성과 5	
정의	현장 성능평가 보고서
목적	태양광도로 포장시스템 현장 성능 평가
성능목표	기존기술 수준 : 태양광 발전 도로에 대한 국내기술은 전무한 수준이며 해외기술은 현장적용/사업화단계임. (TRL 9) 개발기술 수준 : 태양광 도로포장시스템에 대해 옥외현장에 시험시공을 실시하여 현장 성능평가를 실시 (TRL 1~4)
달성결과	본 연구를 통해 개발한 태양광 블록시스템의 현장 성능평가를 위하여 서경대학교의 실험부지에 시험시공을 실시하고 차량하중재하시험 및 발전량 데이터 측정을 수행함. 시험시공 및 차량하중재하시험 결과는 보고서(2-자)에 수록함. 또한 측정결과를 이용하여 발전효율을 평가하였으며, 기상청 관측 자료를 활용한 발전량 예측을 수행함. 발전효율 분석 및 발전량 예측결과는 보고서(2-다)에 수록함.

(2) 성과목표 달성도

성과지표	성과목표	최소성과목표	성과달성	달성도(%)
SCI(E)급 학술지 게재(2점)				
일반학술지게재(1점)	2건	1건	(2)건 (국내외학술발표)	0
특허출원(1점)	4건	4건	4건	100
특허등록(2점)	2건	1건	2건	100
디자인 등록(1점)				
소프트웨어(1점)				
하드웨어(1점)				
기타(1점)				
소계(점수)	10점	7점	8점	80

3-3. 목표 미달성 시 원인 및 차후대책 (후속연구의 필요성 등)

- 태양광 발전 블록시스템의 개발과 도로적용 소개에 관한 국내외 학술발표 3건 수행
- 태양광 발전 블록시스템의 특허등록을 위해서 불가피하게 학술지 게재준비는 특허등록 이후로 계획함. 아래는 관련내용에 관한 자문내용임.
(자문내용 참고) ‘원칙적으로 개발기술 내용은 특허출원 전 비밀로 유지되어야 하고, 그 내용이 공개된 이후에는 특허출원을 하더라도 특허법 제29조 제1항 위반으로 특허등록을 받을 수 없습니다.’
- 현재 특허등록 2건은 완료된 상태임. (2018.12.26), 등록번호: 10-1934537 , 등록번호: 10-1934538
- 국내 블록포장 기준 태양광 발전 블록시스템 성능평가와 관련한 내용들을 정리하여 국내학술지 논문 작성 및 제출예정임. (2019년 2월 지반환경공학회)

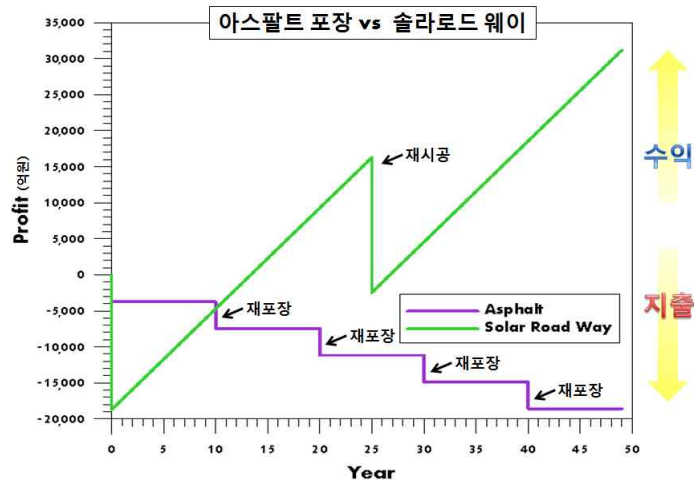
4. 연구개발성과의 활용 계획

4-1. 연구개발성과의 활용방안

- 태양광 도로시스템 적용환경 분석방법을 이용한 타당성 검토 활용
 - 본 연구에서 제안한 기존 일조권 분석 틀을 활용한 최적의 설치위치 및 교통통행량에 따른 발전효율 산정법을 이용하여 위치 선정 및 발전효율 예측이 가능함.
 - 또한 기상청에서 제공하는 수평면 직달일사량 관측 자료를 이용한 태양광 도로시스템의 발전량 예측기법을 활용하여 국내 적용지역에 따른 예상 발전량을 추정하여 경제성 분석 및 설치 타당성 검토에 활용할 수 있음.
- 국가주도하의 전력과 도로를 접목한 하이브리드 개념 도로 개발에 따른 경제적 활용
 - 최근 도로를 포함한 SOC시설물의 노후화로 인해 유지보수에 관련된 정책이 크게 집중받고 있는 실정으로 이에 본 연구개발성과는 국가가 주도하는 2가지의 공공재인 도로와 전력이 혼재된 하이브리드 개념을 갖고 있음. 특히, 2015년 기준 도로연장이 아래와 같이 10만km를 상회하는 점은 국가주도의 태양광 에너지 증산에 큰 도움을 줄 수 있음.



- 본 연구진이 1차년도 연구한 태양광 도로의 경제성은 아래의 그림에 나타난 바와 같음. 아래 그림은 아스팔트 포장은 10년, 태양광 도로는 25년으로 재시공한다는 가정 하에서 태양광이 만들어 내는 전력을 돈으로 환산하여 수익 및 지출을 비교한 것으로, 대략 13.37년에 태양광 설치로 인한 비용을 회수할 수 있어 초기 비용은 크게 발생하지만 매년 감가 상각되는 기존 도로보다는 수익창출이 가능함. 이는 압전도로의 현재 초기 비용을 회수하는 기간인 13년(한국건설기술연구원, 2016)과 유사한 수준임. 다만, 연구종료시점에서 한국전력이 태양광을 매입하는 기준가격이 현저하게 하락하여 태양광 설치로 인한 비용 회수기간은 더 길어질 것으로 예상됨.



- 해외 태양광 도로 적용현황 및 적용확대의 가능성 (프랑스 노르망디의 일레)
 - 프랑스 환경부는 2016년 말 노르망디 내 작은 마을에 약 1km 연장의 태양광 도로 개통을 보도한 바 있음.
 - 프랑스 정부는 500만 유로(약 63억원)의 국가 보조금을 지원하여 폭 2m, 연장 1km 구간에 태양광 전지판 총 $2,800km^2$ 을 설치함.
 - 공사에 사용된 태양광 전지판은 도로나 주차장의 기존 기능을 그대로 유지할 수 있도록 특수 제작됐는데, 이 도로는 도로 바닥에 콘크리트 모듈과 견고한 실리콘 시트가 포함된 수지로 덮은 태양광 패널을 설치함.
 - 프랑스 도로망의 1/4를 태양광 도로로 대체할 경우, 에너지의 자급자족이 가능한 수준으로 집계됨.



프랑스 wattway

- 기존 개발된 기술과의 차별화된 블록 개발을 통한 경제적 활용
 - 도시화에 의한 영향으로 기존에는 우천 시 땅 속으로 스며들던 빗물이 일시에 지표면과 배수시설을 통해 하천으로 유입되어 집중호우 시 하천변이나 저지대 침수

피해가 상습적으로 발생하고 있음. 이러한 문제를 해결하기 위해 분산식 빗물관리를 통하여 지반으로 스며들게 하는 등의 지표면 유출을 저감시키고 있음. 따라서, 태양광 에너지 생산과 더불어 도로의 지표면 유출을 저감하여 홍수예방 효과가 있는 도로 포장용 태양광 블록을 활용할 수 있음.

- 기존 태양광 패널은 포장 전체면적이 패널로 구성되어 있어 패널 파손에 노출되기 쉬우며, 패널 자체의 규모가 커서 유지보수비의 증가로 인해 많은 예산이 투입되는 경우가 발생하나, 본 연구의 기술은 블록 중앙 일부분에 블록상단 높이와 동일한 높이로 태양광 패널을 설치하여 파손의 위험성을 감소시켰음.
 - 본 연구에서 적용한 태양광 도로시스템은 모듈 형식의 태양광 패널로, 패널 파손 시 교체가 원활하며, 현재 사용 중인 포장블록과의 사이즈 동일화로 유지보수와 비용절감 및 시공성이 우수한 장점을 지님.
- 전기시설과 관계된 연계기술의 개발 등을 도모하는 학술적 활용
- 도로가 점점 스마트해지고 IOT 기술 기반의 유지관리를 위한 모니터링기술이 계속적으로 발전해가며 전기에너지를 포함한 도로시스템의 변화가 박차를 가하고 있는 실정임. 이러한 점에서 도로가 전력을 창출하는 하이브리드 효과를 갖게 되면 기존 전력시설의 이용이 힘든 지역에도 이러한 스마트한 도로의 건설이 가능하게 됨.
 - 특히, 열선을 통한 결빙방지 도로나 자동염수분사장치의 전원공급, LED 등을 이용한 도로표지 및 표시등 등 관련시설도 태양광 도로의 설치를 통해 일정부분 이러한 기능을 발휘할 수 있음.
 - 또한, 압전도로, 집전도로 등 전기와 관련된 도로시스템과의 연계도 가능하게 될 경우, 시너지효과가 클 것으로 기대됨. 예를 들어 압전도로와 태양광 도로를 같이 병설하게 되면 교통하중의 경우, 접촉면보다 다소 깊은 곳에서 최대하중이 작용한다는 토질역학적 특성에 부합되어 교통량이 많은 경우에는 압전을 통한 전력 창출이 가능하며 교통량이 적은 경우에는 태양광을 통해 전력을 창출하는 시너지 효과를 가질 수 있음.



솔라로드 시공

○ 태양광 패널의 문제점 극복 방안

- 태양광 발전에 관하여는 온도, 바람의 세기 등 많은 영향 인자들이 존재함. 특히 선행 연구에 의하면, 태양광 패널의 효율 등은 일사량 및 청명일수에 영향을 많이 받음을 확인할 수 있음. 본 연구에서는 태양광 패널의 현장 성능평가를 수행한 결과, 태양광 도로시스템의 발전량은 수평면 직달일사량과 일정한 상관관계를 가짐을 확인할 수 있었음. 추후 추가적인 데이터 확보를 통해 태양광 에너지 성능에 대한 정밀한 분석을 수행한다면 보다 정확한 발전량 예측이 가능할 것으로 판단됨.
- 추후 한국기술연구원에서 개발한 태양광 패널 자동 클리닝/쿨링 시스템을 도입하게 된다면, 태양광 패널의 유지관리의 문제점과 유지관리비용의 절감을 동시에 극복할 수 있음.
- 태양광 패널의 내구성 또한 다양한 문헌조사와 현장 성능평가를 통해 국내 도로에 적용이 가능한 태양광 도로시스템의 시제품을 개발하여 이동차량의 하중에 대한 내구성 검토를 수행하였고, 현재 다방면으로 진행 중인 국내 태양광 패널 개발 연구와도 상호 교류하여 국내 환경에 적합한 태양광 도로시스템에 대한 성능의 발전을 꾀할 수 있음.

4-2. 연구개발성과의 활용방안

(1) 기술적 측면

- 태양광 패널은 20년 이상 그 효율이 80% 이상 유지되는 장점이 있으나, 이는 외부 하중작용이 거의 없는 건축물 외부 설치 패널 중심이고, 도로에 적용될 경우에는 교통하중과 빛의 통과를 담당할 보호패널 등의 설비가 추가되어야 함. 이러한 점들을 충분히 고려한 태양광 도로시스템의 개발은 태양광 패널 요소기술의 개발에 앞서 기존 태양광 도로에서의 특징점을 분석하여 국내 적합한 도로시스템을 개발하는 것이 바람직함.
- 본 연구는 이러한 점을 고려하여 국내 도로설계기준을 만족하는 태양광 도로시스템을 개발하였고 이를 현장 성능평가를 통해 적용성 검토를 수행하였음. 이러한 주 연구목표 외에, 태양광 콘크리트 블록공법에 대한 설계기준 및 시공지침(안) 작성을 포함하고 있어 향후 관련 연구에 많은 도움을 줄 수 있음.
- 또한, 태양광 도로의 적정입지 선정을 위한 적용환경 분석기법을 제안하였고, 이를 활용하여 지역적 특성을 반영한 기술의 도입이 가능함.
- 미국, 프랑스, 네델란드 등 선진국이 최근 시범도로를 운영하고 있으며, 이를 벤치마킹하여 국내 우수한 태양광패널 제작기술을 기초로 국내 우수한 도로시공기술이

접목되면 향후 세계적으로도 선도적인 위치에 도달할 수 있을 것으로 기대됨.

- 도로가 점점 스마트해지고 IOT 기술 기반의 유지관리를 위한 모니터링기술이 계속적으로 발전해가며 전기에너지를 포함한 도로시스템의 변화가 박차를 가하고 있는 실정임. 이러한 점에서 도로가 전력을 창출하는 하이브리드 효과를 갖게 되면 기존 전력시설의 이용이 힘든 지역에도 이러한 스마트한 도로의 건설이 가능하게 될 것으로 기대됨.

(2) 경제적 · 산업적 측면

- 화석연료와 원자력의 이용이 점차 기후변화와 재난발생의 위험으로 인해 점진적으로 외면받고 있는 시점에 태양광을 통한 에너지창출원의 확보는 바람직하며 특히, 전 세계적으로 태양광이 적절한 국내의 환경에서도 가장 바람직한 신재생에너지의 창출이 될 것으로 기대됨.
- 4차 신재생에너지 기본계획에 따르면 2025년까지 태양광 에너지는 핵심에너지로 선정되어 향후 10년간 3배 정도의 신장을 계획해야 함. 이때, 민간참여를 유도하는 것 보다는 최근 도로의 노후화로 인한 보수보강, 재포장 등이 후속되는 점을 고려하여 국가재산인 도로에 전력생산이 가능한 태양광 패널을 설치하여 운영하게 되면 도로의 교통기능과 전력생산기능을 함께 담당하는 하이브리드 효과가 발생할 수 있음.
- 도로연장이 2015년 현재 10만km 이상인 점은 중장기계획의 설립으로 태양광 도로의 건설을 시행에 옮길 경우, 태양광 패널이 갖는 내구성을 감안한다면 장기적 측면에서 경제적 효과가 높을 것으로 판단됨.
- 현재, 압전도로 등과 연계될 경우, 그 시너지 효과는 매우 클 것으로 예상되며 이는 새로운 고부가가치의 건설기술로 해외에 진출가능성을 높일 수 있을 것으로 기대됨.

(3) 사회적 측면

- 태양광 도로는 전력공급이 원활하지 않은 지역의 도로에도 다양한 기능의 추가가 가능하게 되어 균형적인 국토발전에 이바지할 수 있음.
- 또한, 전력공급이 원활하지 않은 산악지역에서의 재난관리 모니터링에도 도움을 줄 수 있음.
- 태양광 도로포장시스템에 압력센서, LED, 마이크로프로세서 등의 IT 기술이 융복합될 경우, 지방에서 야생동물 출현 시 주행중인 차량에 경고신호를 보내거나, 도로에 LED를 이용한 경고신호를 보냄으로써 운전자와 야생동물의 안전을 도모할 수 있는 기술 등으로 발전이 가능함.

- 주차장에 태양광 도로시스템을 이용하여 전력생산 시 주차장의 전력을 자체적으로 해결할 수 있으며, 전기자동차의 충전 시 적극 활용할 수 있을 것으로 예상됨. 또한 급전도로와 태양광 도로시스템이 융합된다면 도로 주행 중에도 충전 및 전력공급을 기대할 수 있음. 이는 충전소 등과 같은 인프라 부족으로 보급이 더딘 전기자동차 시장에 대한 파급효과가 기대됨.

붙임. 참고 문헌

국토교통부 (2012), 도로설계편람, 국토교통부

국토교통부 (2016), 도로공사 표준시방서, 국토교통부

국토교통부 (2016), 도로설계기준, 국토교통부

김화영, 김보배, 권오규, 최재순 (2015), 신재생에너지 발생이 가능한 솔라로드웨이의 국내 적용성 검토, 제17회 한국도로학회 학술대회 발표논문 초록집, 한국도로학회, pp. 99.

장일몽 (2014), 3차원 공간정보를 이용한 건축물 일조권 분석, 충북대학교 산업대학원 석사 학위논문, 충북대학교

서울연구원 (2013), 태양광 발전량 예측모델 구축 및 햇빛지도 제작 용역, 최종보고서, 서울시

서울시 (2013), 투수 블록포장 설계, 시공 및 유지관리 기준, 서울시

최재순, 황충희, 김봉현, 박성기, 최윤영 (2017), 태양광 패널 도로 적용 시 문제점과 해결방안, 제19회 한국도로학회 학술대회 발표논문 초록집, 한국도로학회, pp. 25.

토지주택연구원 (2010), 택지개발지구 및 단지 내 도로포장설계 개선 연구, 한국토지주택개발공사

한국건설기술연구원 (2006), 통합 12종 교통량조사 차종분류가이드, 건설교통부

한국건설기술연구원 (2016), 태양광 도로 발전 효율 향상 기술 개발, 최종보고서, 한국건설기술연구원

한국건축친환경설비학회 (2011), 가로등 설치 및 운영에 관한 매뉴얼(안) 개발, 최종보고서, 에너지관리공단

한국블록협회 (2017), 차도용 블록포장 설계, 시공, 유지관리 지침(안), (사)한국블록협회

국가기술표준원 (2014), 도로조명기준, KS A 3701:2014

국가기술표준원 (2016), 노면의 미끄럼저항성 시험방법, KS F 2375:2016

국가기술표준원 (2016), 보차도용 콘크리트 인터로킹 블록, KS F 4419:2016

국가기술표준원 (2016), 포장용 콘크리트 평판, KS F 4001:2016

기상청 국가기후 데이터센터 누리집, sts.kma.go.kr

서울특별시 햇빛지도 누리집, solarmap.seoul.go.kr

신재생에너지 데이터센터 누리집, kredc.kier.re.kr

특허정보넷 키프리스 누리집, www.kipris.or.kr

자체평가의견서

주관연구기관 자체평가의견서

1. 과제 현황

		과제번호			17CTAP-C129740-01		
사업 구분	국토교통기술촉진연구사업						
연구 분야	창의도전연구분야				과제 구분		단위
사업명	국토교통기술촉진연구사업 창의도전연구분야						공동
주관과제	국내 도로설계기준을 만족하는 태양광 도로시스템 개발				주관연구책임자		최재순
세부과제명	국내 도로설계기준을 만족하는 태양광 도로시스템 개발				과제 유형		(기초), 응용, 개발)
연구기관	주관 : 서경대학교 공동 : (주)지오티에스, (주)콘텍이엔지				연구책임자		최재순 김봉현/박성기
연구 기간 연구비 (천원)	연차	연구개발기간	정부출연금	민간부담금	정부 외 출연금	상대국 부담금	계
	1차 연도	2017.04~12	178,000	60,000	-	-	238,000
	2차 연도	2018.01~12	192,000	70,000	-	-	262,000
	3차 연도	-	-	-	-	-	-
	4차 연도	-	-	-	-	-	-
	5차 연도	-	-	-	-	-	-
	계	2017.04~2018.12	370,000	130,000			500,000
참여기업							
상대국			상대국 연구기관				

※ 총연구 기간이 5차 연도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성

2. 평가일: 2018년 12월 31일

3. 평가자(연구책임자):

소속	직위	성명
서경대학교	부교수	최 재 순

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가 대상 과제에 대한 연구 결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 이 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초 자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	최 재 순 
----	---

I. 연구 개발 실적

※ 다음 각 평가 항목에 따라 자체 평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구 개발 결과의 우수성/창의성

■ 등급: (아주 우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

태양광 패널의 도로적용을 위한 SWOT분석을 통해 크기가 크고 무거워 다루기 쉽지 않은 국외의 태양광 포장시스템과 차별화된 소규모 블록형식의 태양광 패널 모듈과 콘크리트 블록을 개발하였으며, 국내 도로설계기준을 만족하는 태양광 도로시스템을 개발하였음.

2. 연구 개발 결과의 파급 효과

■ 등급 : (아주 우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

친환경 에너지 개발에 대한 관심이 높아지고 있는 현 시점에 친환경 에너지인 태양광 패널을 활용한 도로포장시스템을 개발하여 정부정책에 부합하는 기술개발로, 도로기능과 전기창출이라는 하이브리드 공공재로서 사회에 기여하는 바가 클 것으로 기대됨.

3. 연구 개발 결과에 대한 활용 가능성

■ 등급 : (아주 우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

본 연구의 태양광 도로시스템에서 생산한 전기를 활용하여 가로등 외에도 열선을 통한 결빙방지 도로, 자동염수 분사장치 등 도로 안전시설의 전원공급, LED 블록 등과 연계한 도로표지 및 표시, 압전도로, 집전도로 등 전기와 관련된 도로시스템과의 연계 등과 같이 다양한 시설에 활용이 가능할 것으로 기대됨.

4. 연구 개발 수행 노력의 성실도

■ 등급: (아주 우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

국내외 태양광 적용 사례를 조사하여 기존 제품과 차별화된 규모와 형식을 제안하였고, 다양한 실내외 시험을 통하여 제안된 도로시스템의 기준충족여부를 확인함. 또한 시제품을 이용한 시험시공을 실시하고, 현장계측결과를 이용하여 향후 발전량 예측기법, 태양광 도로의 적정입지 선정을 위한 적용환경 분석기법 및 태양광 도로시스템의 설계기준 및 시공지침(안)을 작성하는 등 연구목표 달성을 위하여 연구를 성실하게 수행하였음.

5. 공개 발표된 연구 개발 성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급: (아주 우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

국내외 태양광 적용 사례를 조사하여 기존 제품과 차별화된 규모와 형식을 제안하였으며, 국내 도로설계기준 및 블록포장 기준에 적합한 포장시스템을 개발하였으며, 또한 이러한 포장 시스템의 특허 출원 4건과 특허 등록 2건을 완료하였음.

II. 연구 목표 달성도

세부 연구 목표 (연구 계획서의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
설계기준 작성	15	100	태양광 블록시스템 관련 설계/시공기준을 작성하고 전문가 자문 등을 종합하여 태양광 콘크리트 블록공법에 대한 설계기준 및 시방지침(안)을 작성함.
태양광패널 성능평가	20	100	태양광 블록시스템을 자체 실험 및 인증기관 평가를 통해 도로기준 만족여부를 검토함. 또한 시제품 제작 및 시험시공을 실시하여 태양광 패널의 발전효율 평가를 수행함.
태양광도로 포장시스템 개발	40	100	국내 실정에 적합한 태양광 도로포장시스템에 대한 4종의 특허출원과 2종의 특허등록을 완료함.
태양광 도로 응용기술	10	100	태양광 발전과 압전에 의한 발전을 동시에 수행 가능한 도로포장용 복합발전블록을 개발하고, 태양광 패널을 LED 모듈로 교체한 LED 블록의 응용기술을 제안함.
현장 성능평가	15	100	시험시공을 통한 차량하중재하시험 및 발전량 데이터 측정을 수행함. 측정결과를 이용하여 발전효율 평가 및 향후 발전량 예측을 수행함.
합계	100점	100	

III. 종합 의견

1. 연구 개발 성과에 대한 종합의견

- 본 연구에서는 국내 실정에 적합한 태양광 도로시스템을 개발하고 자체 실험 및 인증기관 평가를 통해 도로기준 만족여부를 검토함. 또한 시제품을 제작하고 시험시공을 실시하여 태양광 패널의 발전효율 평가를 수행함. 태양광 콘크리트 블록공법에 대한 설계기준 및 시방지침(안)을 작성하였으며, 태양광 도로의 적정입지 선정을 위한 적용환경 분석기법을 제안하였음.
- 정량적 연구개발성과로는 최종적으로 포장블록형태 4종의 태양광 도로시스템 개발을 제안하고 이와 관련하여 4건의 특허 출원 및 2건의 특허등록을 완료함. 이는 계획된 특허관련 연구개발성과 목표치 모두를 달성한 것으로 판단됨.

2. 평가 시 고려할 사항 또는 요구사항

- 정량적 연구개발성과 목표 중 일반학술지게재는 2건으로, 태양광 발전 블록시스템의 개발과 도로적용 소개에 관한 국내외 학술발표 3건은 수행하였으나, 개발기술내용에 대한 특허등록 전 비밀유지조항에 따라 태양광 발전 블록시스템의 특허등록을 위해서 불가피하게 학술지 게재준비는 특허등록 이후로 계획하였음. (2018년 12월 26일 특허등록 완료)
- 국내 블록포장 기준 태양광 발전 블록시스템 성능평가와 관련한 내용들을 정리하여 국내학술지 논문 작성 및 제출예정임. (2019년 2월 예정)

3. 연구 결과의 활용 방안 및 향후 조치에 대한 의견

- 태양광 도로시스템은 태양광 발전과 도로의 융합을 통한 하이브리드 공공재의 창출효과를 가져올 수 있고, 추가적으로 압력센서, LED, 마이크로프로세서 등의 IT 기술을 융복합하여 새로운 고부가가치의 건설기술시장 개척이 가능할 것으로 기대됨.
- 주차장에 태양광 도로시스템을 이용하여 전력생산 시 전기자동차의 충전 등에 적극 활용할 수 있을 것으로 예상되고, 기존 전력시설의 이용이 힘든 지역에도 IOT 기술이 접목된 스마트도로의 건설이 가능하며, 이를 통한 균형적인 국토발전에 이바지할 수 있을 것으로 판단됨.
- 추후 국내외 태양광 도로관련 연구진과의 협력교류를 통해 상용화를 위한 후속연구도 기획 가능할 수 있을 것으로 판단됨.

IV. 보안성 검토

해당 없음.

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성(연구책임자의 보안성 검토 의견, 연구기관 자체의 보안성 검토 결과를 기재)

1. 연구책임자의 의견

해당 없음.

2. 연구기관 자체의 검토 결과

해당 없음.

공인시험인증기관 시험성적서

시험 성적서

시 료 명	: 태양광 콘크리트 블록	접 수 번 호	: KTI18-LRS-1106-01
시 료 채 취 장 소	: 자연과 환경	발 급 번 호	: KTI18-TRS-1109-01
시 험 용 도	: 품질관리용	접 수 일	: 2018년11월06일
업 체 명	: ㈜콘택이엔지	발 급 일	: 2018년11월09일
의뢰 자	: 이재영	폐 이 지	: 1/2
주 소	: 경기도 성남시 분당구 성남대로 69(로드랜드EZ타워 403호)		

귀하가 의뢰한 위 시료에 대해서 아래 시험 방법에 따라 시험한 결과를 다음과 같이 알려드립니다.

- 결 과 -

시험항목	시험방법	단위	시험결과	비고
압축강도	#1	MPa	24.4	
	#2	MPa	25.3	
	#3	MPa	18.3	
	평균	MPa	22.7	
흡수율	#1	%	3.3	
	#2	%	2.9	
	#3	%	4.0	
	평균	%	3.4	

시 험 자	건설재료시험기사(16204140434V)	책 임 기 술 자	건설재료시험기사(05204101341A)
성 명	최 재 희	성 명	황 윤 석

< 비 고 >

1. 위 내용은 의뢰자가 제출한 시료에 대한 결과이며 시료의 명칭은 의뢰자가 제시한 것입니다.
2. 이 성적서는 용도이외의 사용을 금하며, 광고·소송 및 기타 법적으로 사용될 수 없습니다.

2018년 11월 09일



(주)한국건설품질시험연구원장 정원경

주소 : (우) 17555 경기도 안산시 원곡면 만세로 990-30
TEL : 031-668-9380 FAX : 031-668-9382



시험 성적서

시 료 명	: 태양광 콘크리트 블록	접 수 번 호	: KT118-LRS-1106-01
시 료 채 취 장 소	: 자연과 환경	발 급 번 호	: KT118-TRS-1109-01
시 험 용 도	: 품질관리용	접 수 일	: 2018년11월06일
업 체 명	: ㈜콘택이엔지	발 급 일	: 2018년11월09일
의 회 자	: 이재영	폐 이 지	: 2/2
주 소	경기도 성남시 분당구 성남대로 69(로드랜드EZ타워 403호)		

- 사진매지 -



시 험 자	건설재료시험기사(16204140434V)	책 임 기 술 자	건설재료시험기사(05204101341A)
성 명	최 재 희	성 명	황 윤 석

< 비 고 >

1. 위 내용은 의뢰자가 제출한 시료에 대한 결과이며 시료의 명칭은 의뢰자가 제시한 것입니다.
2. 이 성적서는 용도이외의 사용을 금하며, 광고·소송 및 기타 법적요건으로 사용할 수 없습니다.

2018년 11월 09일



(주)한국건설품질시험연구원장 정원경

주소 : (우) 17555 경기도 안성시 원곡면 만세로 990-30
TEL : 031-668-9380 FAX : 031-668-9382



품질검사 성적서

시 료 명 (생 산 국) : 태양광 패널(대한민국) 접 수 번 호 : G-181030-01
 시 료 채 취 장 소 : 서경대학교 건축토목실험장 접 수 일 자 : 2018년 09월 28일
 성 과 이 용 목 적 : 확인시험용 시 료 채 취 일 : 2018년 10월 01일
 공 사 명 : 국내 도로설계기준을 만족하는 태양광 도로시스템 개발
 발 주 자 : 서경대학교 산학협력단
 시 공 자 : (주)지오티에스
 의 회 인 : 김 봉 현
 국가중요시설여부 : 해당사항 없음
 시 료 채 취 자 : (주)지오티에스 김 봉 현
 입 회 자 : 서경대학교 산학협력단

귀하가 품질시험·검사를 의뢰한 위 시료에 대해서 아래 시험 방법에 따라 시험·검사한 결과를 「건설 기술 진흥법 시행규칙」 제56조제3항에 따라 다음과 같이 알려드립니다.

- 결 과 -

연번	시험·검사 종목	시험·검사 방법	시험·검사 결과	책임기술자			시험·검사자	
				자격종목 및 자격증 번호	성명	서명	성명	서명
1	미끄럼저항(BPN) (민 무늬)	KS F 2375-'16	15	토목품질시험 기술사 96147050012M	최원호		임용혁	

시험전경



이 시험·검사 결과는 당초 의뢰 시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

한국건설시험원 (건설기술용역업자) 대표 최 원 호

2018년 10월 31일

전화번호 : 033)920-2777

주 소 : 강원도 강릉시 구정면 칠성로 46

비고

1. 국가중요시설 여부는 "국가중요시설(시설명)"로 적습니다.
2. 국가중요시설이란 대통령관저, 국회의사당, 대법원, 국가정보원, 중앙행정기관의 청사, 원자력발전소, 발전용량 100만kW 이상 발전소, 전국권으로 방송되는 공영 라디오·TV방송국, 라디오방송 송신출력 500만kW 이상의 송신시설, 군사시설, 공항 및 댐 등을 말합니다.

유의사항

책임기술자 및 시험검사자의 성명과 서명이 없을 경우에는 결과에 대한 보증을 할 수 없습니다.



총 2 페이지 중 1 페이지

품질검사 성적서

G-181030-01

- 결 과 -

연번	시험·검사 종목	시험·검사 방법	시험·검사 결과	책임기술자			시험·검사자	
				자격종목 및 자격증 번호	성명	서명	성명	서명
2	미끄럼저항(BPN) (격자 무늬)	KS F 2375-'16	17	토목품질시험 기술사 96147050012M	최원호	최	임용혁	임용혁

시험전경



복사본 COPY

복사본 COPY



총 2 페이지 중 2 페이지

태양광 도로시스템 설계 및 시방기준 (안)

- 도로 및 주차장 -

2018. 12. .

주관연구기관 / 서경대학교
협동연구기관 / 콘텍이엔지
지오티에스

국토교통부
국토교통과학기술원

태양광 도로시스템 설계 및 시방기준(안)

1. 총칙

1.1 적용대상

- 본 시방서는 시내도로(50km/h이하), 주차장, 버스정류장, 주거지역도로, 최대적재량 4톤이하의 일반도로에 사용되는 차도용 태양광 콘크리트 블록(이하 블록이라 함.)에 대하여 규정한다.

1.2 적용범위

품명	세부품명	규격명	용도	인도조건
콘크리트 블록	차도용 태양광 콘크리트 블록	태양광블록 (200X300X200, 회색, 불투수)	주차장, 버스정류장, 주거지역도로 등의 포장	납품장소 하차도

1.3 용어의 정의

- 차도용 태양광 콘크리트 블록은 AADT(Annual Average Daily Traffic, 연평균 일일 교통량) 4,000대 이하의 주거지역도로 등에 포장되는 개별 표면적이 0.09제곱미터 이하의 차도용 블록을 말한다.
- 표층 (Surface Layer, 태양광 콘크리트블록 층)은 다층구조 포장층의 최상부 층을 말하며, 차도용 블록과 줄눈채움재(필요시)로 구성되어 있다. 표층은 교통하중을 분산시켜 하부층에 전달하고, 차량에 의한 마모와 전단에 저항하고 미끄럼에 견디어 쾌적한 주행환경을 제공하는 기능을 한다.
- 줄눈채움재 (Jointing Materials)는 블록간의 줄눈에 충전되어 인접 블록 간의 맞물림 효과를 발휘함과 동시에 일정한 줄눈 폭을 확보하고 블록의 모서리 깨짐을 방지하는 재료를 의미한다.
- 받침안정층 (Bedding Layer)은 상부 블록의 수평유지와 블록에 작용하는 수직하중을 하부로 분산 전달하는 역할을 한다.
- 기층 (Base)은 노상과 표층의 사이에 위치하는 층으로 표층과 받침안정층을 통해서 전달되는 교통하중을 분산시켜 노상에 전달하는 목적으로 설치되는 층을 말한다.
- 노상 (Subgrade)은 포장층의 기초로서 포장에 작용하는 모든 하중을 최종적으로 지지

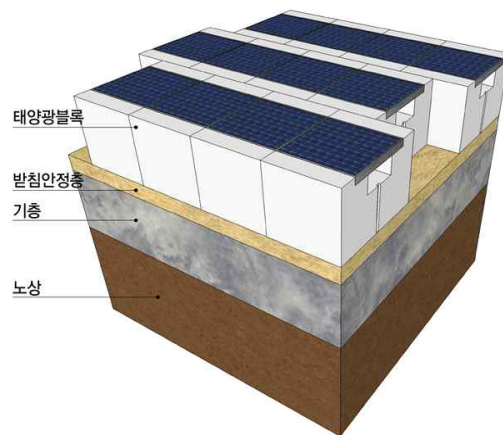
하는 면이다. 노상의 지지력을 구하는데 널리 사용되는 방법은 노상토 지지력비 (CBR, California Bearing Ratio, KS F 2320) 시험법이다. CBR 치가 5%이하인 흙에 대해서는 지반개량 혹은 다짐을 철저히 하여 충분한 지지력을 확보해야 한다.

- 상부구조는 표층과 받침안정층을 말한다.
- 하부구조는 받침안정층의 아래 쪽에 위치하는 층(쇄석기층, 노상층)을 말한다.
- 교통하중은 포장단면을 결정하는 중요한 결정변수로서 포장을 통과하는 차량의 수와 하중의 크기를 통칭하는 용어이다. 차도용 블록포장 설계에서 교통하중은 EDA를 이용하여 정량화 한 값을 사용한다.
- EDA (Equivalent Design Axles) 또는 등가설계축수는 블록포장 단면설계에 있어서 교통량에 따른 차량의 통과 축을 계산하는 방식이다. 1 EDA는 블록 포장을 통과하는 차량의 1개 축하중을 기준 축하중으로 나눈 값의 4승으로 정의한다. 기준 축하중으로 1륜1축 6.7tonf, 2륜1축 8.2 tonf, 2륜2축 14.5 tonf, 2륜3축 20 tonf를 사용한다.
- CBR (California Bearing Ratio)은 노상토의 지지력을 비교하기 위한 관입 시험값으로 시료에 피스톤을 관입했을 때 관입 깊이와 단위 하중에 대해 시험한 흙의 동일한 깊이에 대한 단위 하중이 몇 %인가를 구하는 시험이다.
- LFWD (Light Falling Weight Deflectionmeter)는 포장체의 역학적 물성을 평가하기 위한 개발된 휴대용 장비이다. 일정 중량의 추를 일정높이에서 낙하시켜 포장체의 거동을 측정하며, 측정된 데이터를 바탕으로 포장체의 CBR, 탄성계수 등을 추정한다.
- AADT (Annual Average Daily Traffic) 또는 연평균 일일 교통량은 포장 설계 시 교통량을 평가하는 하나의 척도로서 연중 통과하는 차량의 총 댓수를 365로 나눈 값이다.
- 세립화는 받침안정층 및 줄눈채움재의 골재가 블록에 전달된 수평, 수직하중에 의하여 작은 알갱이로 분쇄되는 것을 말한다.
- 스크리닝스 (Screenings)는 쇄석골재를 생산하기 위하여 원석을 파쇄하는 과정에서 발생하는 돌 부스러기들로서 일반적으로 직경 5mm 이하의 골재를 칭한다. 세척을 통하여 200번체 통과량은 5% 이하로 억제하는 것이 일반적이다.
- 평탄성은 포장면의 평활도 정도를 나타내는 지표로서 일반적으로는 도로의 종횡단 방향의 요철량을 측정하여 지표로 하고, 포장면 마감 작업의 양부나 포장의 파괴 정도를 표시하는 지표를 말한다.

2. 태양광 콘크리트 블록포장의 설계

2.1 차도용 태양광 콘크리트 블록포장 단면구성

- 차도용 태양광 콘크리트 블록포장 단면은 그림 1과 같이 표층(태양광 콘크리트블록), 받침안정층, 기층(쇄석기층) 및 노상으로 구성된다.



[그림 1] 태양광 콘크리트 블록포장 단면

2.2 표층

① 겉모양

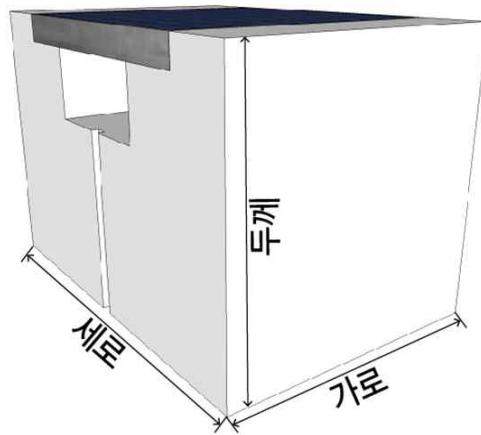
- 블록의 겉모양에는 해로운 균열 또는 흠 등의 결점이 없어야 한다.
- 표면의 가장자리는 미려한 모떼기를 하여도 된다.
- 유색 블록의 색상을 넣을 경우 균일해야 하며, 색 얼룩 등이 없어야 한다.
- 블록의 측면에는 2~3mm 이내의 돌기가 있어야 한다.

② 치수 및 허용차

- 블록의 모양은 [그림 2]와 같고 그 치수 및 허용오차는 [표 1]과 같다.
- 블록의 측면에는 블록 간 하중 분산 역할 및 블록간격 유지로 충돌에 의한 파손을 방지하기 위하여 블록의 규격(두께)에 따른 적절한 크기의 돌기가 있어야 한다.(차도용 블록포장 설계 시공 유지관리 지침 참조)

[표 1] 블록 치수

구분	치수(mm)			허용오차
	가로	세로	두께	
태양광콘크리트블록	200	300	200	가로, 세로 : $\pm 2\text{mm}$, 두께 : $\pm 3\text{mm}$



[그림 2] 태양광 콘크리트 블록의 형상

③ 제조 및 가공

㉠ 재료

- 시멘트 : 시멘트는 KS L 5201, KS L 5210, KS L 5211 또는 KS L 5401에 규정하는 것으로 한다.
- 골재 : 골재는 깨끗하고 강하고, 단단하고 내구적이며, 적당한 입도를 가지고, 점토 덩어리 등 유기물, 가늘고 긴 돌조각 등의 유해물질을 함유해서는 안 된다. 다만, 굵은 골재의 최대 치수는 13mm 이하로 한다.
- 물 : 기름, 산, 염류, 유기물 등 제품에 영향을 미치는 물질을 포함해서는 안 된다.
- 혼화 재료 : 혼화 재료는 제품에 해로운 영향을 주어서는 안 된다.
- 물-시멘트 비 : 시멘트 콘크리트의 물-시멘트 비는 25%이하로 한다.

㉡ 재료의 계량

- 재료의 계량은 모두 질량으로 한다. 다만 물 또는 액상의 혼화제는 부피 또는 기타 확실한 방법으로 계량해도 된다.

㉢ 성형

- 블록의 성형은 형틀에 믹서로 혼합한 콘크리트를 투입하고, 진동압축기 또는 이와 동

등 이상의 품질을 얻을 수 있는 방법으로 한다.

㉔ 양생

- 블록의 양생은 제품 출하 시에 소요 강도를 얻을 수 있도록 하여야 한다. 실내 양생 시 증기양생을 표준으로 한다. 증기양생은 아래 <비고>를 참조한다.

<비 고>

1. 초기 실내 양생에 상압의 증기 양생을 하는 경우에는 다음 주의가 필요하다.
 - (1) 시멘트가 응결을 시작하는 시기에 급격한 온도 변화를 주어서는 안 된다.
 - (2) 양생실의 온도를 올리거나 내릴 때는 급격한 온도 변화(20℃/h 이내) 를 주어서는 안된다.
 - (3) 양생실의 최고 온도는 65℃를 초과하지 않는 편이 좋다.
2. 양생 및 보존 기간 중 초기 동해를 받아서는 안 된다.

㉕ 품질

- 태양광콘크리트블록의 성능은 [표 2]를 만족해야 한다.
- [표 2]에 규정된 성능 이외에 사용자가 요구하는 성능은 당사자 간의 협의에 따라 성능기준과 시험방법을 정한다.
- 시험에 사용되는 시료는 10,000개 미만은 5개, 10,000개부터 100,000개 미만은 10개, 100,000개 초과 시는 50,000개마다 5개를 추가한 시료를 무작위로 채취한다.

[표 2] 차도용 블록 품질 기준

압축강도	흡수율		미끄럼 저항계수
	개별	평균	
20MPa 이상	10% 이하	7% 이하	BPN 40 이상
※ 휨강도 측정이 불가능한 경우(이형블록 등), 내경 4.5cm의 코어를 채취하여 압축강도로 대체하여 평가함.			

- 압축강도 시험방법은 시편에 내경 4.5cm 코어링 실시하며, 시편의 표면에 그라인딩 실시하고, 시편의 높이와 지름을 측정한다. 이때 시편의 높이는 지름의 길이보다 커야 한다. 그리고 압축강도를 측정한다. 압축강도는 다음 식에 따라 계산하며 시료의 평균값으로 나타낸다.

$$\text{압축강도}(MPa) = \frac{4P}{\pi d^2} \times n$$

여기서 P : 시험기가 나타낸 최대 파괴하중(N)

d : 시편의 지름(mm)

n : 시편 높이/직경 비율에 따른 보정계수 [표 3]

[표 3] 압축강도 측정 시 시편 높이/직경에 따른 보정계수

시편의 높이/직경 비율	보정계수 (n)
2.00	1.12
1.75	1.10
1.50	1.08
1.25	1.04
1.00	1.00

- 흡수율 시험방법은 흡수율 시험에 사용하는 시험체는 블록 전체 모양 그대로를 사용하여 하나, 본 시험체는 KS규정과는 상이한 형태의 블록이므로 코아채취 후 실온 15℃에서 25℃의 맑은 물속에 24시간 수침시킨 후, 즉시 틀에서 꺼내어 철망 위에 놓고 1분간 물기를 빼고 젖은 형겔으로 표면을 닦아 낸 후 시험체의 습윤질량(m_0)를 측정한다. 다음에 100℃에서 110℃의 공기 건조기 안에서 24시간 건조시켜서 시험체의 건조 질량(m_1)을 측정한다. 흡수율은 다음 식에 따라 계산하며, 시료 수의 평균값으로 나타낸다.

$$\text{흡수율}(\%) = \frac{m_0 - m_1}{m_1} \times 100$$

- 미끄럼저항성 시험방법은 KS F 2375 “노면의 미끄럼저항성 시험방법”에 준하여 시험을 실시한다. 공시체 표면에 완전하게 충분히 물을 적신 후 처음 측정할 때에는 그 값을 기록하지 않는다. 공시체 표면을 충분히 습윤시킨 후, 측정값이 거의 일정할 때까지 눈금을 읽어 기록한다. 시험 결과 보고에는 다음 사항을 기재한다.
 - 미끄럼 저항 지수(BPN)
 - 시험 표면의 온도
 - 종류(기층, 표층) 및 시험 표면의 위치

2.3 줄눈채움재

- 줄눈채움재는 0-2.5mm의 규사성분이 60%이상 함유된 절대건조비중 2.5g/cm³ 이상의 모래 또는 경질 부순 모래의 사용을 원칙으로 한다. 이때 1.2mm 이하의 굵기가 5%

미만이어야 한다.

- 줄눈의 너비는 8~12mm, 줄눈채움재의 골재는 표 4의 입도기준을 따른다.
- 줄눈 채움재는 완전 건조된 상태(수분함량 3%미만)로 반입되어 줄눈에 완전하게 투 입될 수 있도록 되어야 한다.
- 블록의 수평 밀림에 역반응하여야 하며 받침안정층에 대한 여과저항성을 가져야한다.
- 세립화에 대한 저항성은 [KS F 2541]굵은 골재의 파쇄 시험 방법에 의하여 실시하며, 공급원별 최초 100m³에 실시하고, 이후 300m³마다 실시한다.
- 세립화 저항성 시험 이후 파쇄된 골재의 기준치는 [표 5]의 기준에 통과하여야 한다.

2.4 받침안정층

① 재료의 품질기준

- 받침안정층의 재료는 포장의 공용성에 큰 영향을 주므로 반입 및 인수 시 설계서 상 의 규격과 일치하는지를 확인 하여야 한다.
- 재료는 상부 하중에 높은 저항력을 보이는 쇄석(절대건조비중 2.5g/cm³이상의 부순 모 래, 화강암 권장)를 사용하여야 한다. (석회질의 경우 하중에 의한 세립화로 수분과 결합하여 몰탈 형태의 층을 형성하여 받침안정층의 기능 저하로 이어질 수 있어 사 용을 제한 한다.)
- 받침안정층의 골재는 [표 4]의 입도기준을 따른다. 또한 받침안정층의 입도는 유실 방지를 위한 하부기층에 대한 여과 저항성을 지녀야 한다.
- 세립화에 대한 저항성은 [KS F 2541]굵은 골재의 파쇄 시험 방법에 의하여 실시하며, 공급원별 최초 100m³에 실시하고, 이후 300m³마다 실시한다.
- 세립화 저항성 시험 이후 파쇄된 골재의 기준치는 [표 5]의 기준에 통과하여야 한다.

② 설계

- 받침안정층은 20~30mm 범위의 두께를 확보해야 한다.
- 받침안정층에 사용되는 재료는 [표 5] 에 제시하는 최소 품질기준을 만족해야 한다.

[표 4] 줄눈채움재의 받침안정층 및 입도기준

입도 (mm)	통과백분률 (%)
10	100
5	70-90
2.5	0-7
1.2	0-5

[표 5] 받침안정층 및 줄눈채움재의 품질기준

구분	AADT 500대 초과	AADT 500대 이하
받침안정층	67회, 75 μ m체 통과량 1%이하	67회, 75 μ m체 통과량 3%이하
줄눈채움재	67회, 75 μ m체 통과량 5%이하	

2.5 기층

- 기층은 투수가 가능한 입상재료를 사용해야 한다.
- 기층에 사용 되는 입상재료는 [표 6]에 제시하는 최소 품질기준을 만족해야 한다.
- 교통하중은 EDA (Equivalent Design Axles, 등가설계축수)로 정의하며 [표 7]에 제시하는 방법으로 산정해야 한다.

[표 6] 기층 재료의 품질기준

구분	시험방법	기준
액성한계	KS F 2303	25 이하
소성지수(%)	KS F 2303	6 이하
마모감량(%)	KS F 2508	50 이하
수정 CBR 값(%)	KS F 2320	30 이상
모래당량	KS F 2340	25 이상

[표 7] 교통하중 산정

구분	세부내용
교통하중	• EDA (Equivalent Design Axles, 등가설계축수)로 정의한다.
1 EDA	• 포장을 통과하는 차량의 1개 축하중(Lx)을 기준 축하중(Ls)으로 나눈값의 4승으로 정의한다.
기준 축하중 (Ls)	① 1륜1축 (single tyred single axle) : 6.7 tonf ② 2륜1축 (dual tyred single axle) : 8.2 tonf ③ 2륜2축 (dual tyred tandem axle) : 14.5 tonf ④ 2륜3축 (dual tyred tridem axle) : 20.0 tonf
기타	• 총 중량이 3.5 tonf이하인 상용차는 설계 EDA 산정시 무시할 수 있다. • EDA 산정시 적용할 차종은 1~12종 차량의 교통량 분포를 고려하여 산정해야 한다. • 설계 차도가 생활도로인 경우 1~5종 차량만을 통가 차량으로 고려하여 산정할 수 있다. • 설계 EDA는 통과 차량들의 1일 누적 EDA를 설계공용년수와 교통량증가를 고려하여 산정한다.

3. 태양광 콘크리트 블록포장의 시공

3.1 재료의 반입, 운반, 보관 및 취급

- 블록의 인수 및 반입은 시공계획에 근거하여 결정한다.
- 블록의 인수 시에는 도면 및 시방에서 정한 종류, 규격, 표면가공 등이 일치하는지 확인한다.
- 블록의 하차 또는 공사장 내 운반 시에는 팔레트 단위로 작업을 권장하며, 팔레트가 수평이 되도록 지게차로 하차 또는 이동하여야 한다. 크레인 또는 굴삭기 등 기타 장비 사용 시에는 벨트로 하역 운반을 금지하며 팔레트의 면이 수평을 유지하도록 하여야 한다.
- 반입된 팔레트는 지반이 견고하고, 블록의 하중에 수평을 유지할 수 있는 장소에 보관한다. 날장으로 운반 시에는 블록표면에 흠집 및 블록의 모서리가 파손되지 않도록 주의 하여야 한다.
- 현장에 장기간 보관 시에는 백화나 오염 방지를 위하여 비닐 등으로 보양 조치하여야 한다.
- 블록은 운반 및 취급 시 손상을 주지 않도록 주의하고 손상을 입었거나 기타 결함이 있는 것을 사용해서는 안 된다. 블록의 외관에 대해서는 유해한 자국, 금 갈림, 변형

등의 손상이 없는 것, 그리고 정해진 표면 색조의 이상 여부를 육안으로 확인한다.

- 블록은 종류별, 제조업체별, 규격별로 분리하여 저장하며 적치장소의 바닥면을 정리하고 먼지나 흙 등에 의해 오염되지 않도록 운반용기에 적치한 상태로 보관하여야 한다. 현장에서 보관 중인 블록은 백화나 오염을 방지하기 위해 비닐 덮개를 한다.

3.2 하부층(기층)의 시공

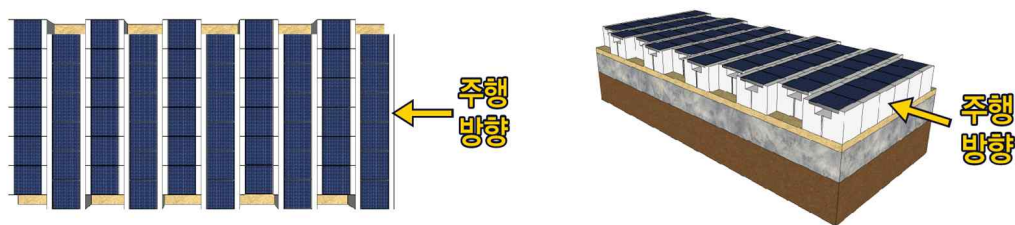
- 기층의 포설을 시작하기 전에 노상 표면의 먼지, 점토, 유기물, 기타 불순물을 제거하여야 한다.
- 기층골재와 노상의 교반 방지를 위하여 토목섬유를 설치해야 한다.
- 골재의 입도, 다짐은 설계도서를 따른다. 다짐기계의 종류, 중량 및 다짐회수는 재료의 성질 및 함수량을 고려하여 정해야 한다.
- 기층의 시공은 다짐 후 1층의 두께가 150mm를 넘지 않도록 균일하게 깔아야 하며, 균일한 혼합물로 반입해서 재료분리가 없도록 포설해야 한다.

3.3 받침안정층 시공

- 받침안정층의 보관 시에는 오물이나 진흙 등의 혼입, 빗물 등에 의한 모래의 함수비가 변화하는 것을 막기 위해 보양 조치를 하여야 한다.
- 받침안정층의 포설 전에 잔돌 등을 제거함과 동시에 장애물이나 기층 다짐 이후 패임 현상 등이 없는지 확인 한다.
- 받침안정층의 두께는 설계도서에 의하며, 별도의 명기가 되어있지 않는 경우 20mm 이상으로 시공하여야 하며 30mm 이상으로 시공되지 않도록 하여야 한다.
- 포장의 편경사는 이전 공종에서 실시하여야 하며 받침안정층으로 편경사를 조정해서는 안된다.
- 포설 후 포장면의 마감높이로부터 블록두께를 빼고 수평실을 이용하여 받침안정층의 마무리 높이를 정한다. 포설시 블록층 표면다짐 및 침하를 고려하여 시험시공을 통하여 3~5mm 정도 여유를 두어 포설 한다.
- 포설 후 시공면의 불규칙한 다짐도로 인하여 블록표면층의 부분 침하가 발생할 수 있으므로 장비 다짐을 실시하지 않는다. 필요시 목재판 등의 수공 장비도 다짐할 수 있다.
- 받침안정층 및 기층의 시공은 기온이 1.5℃ 이상일 때만 시행할 수 있다. 기온이 1.5℃ 이하로 내려가면 완성된 각 층은 동해에 의한 피해를 막을 수 있도록 승인된 방법으로 보호되어야 한다.

3.4 태양광 콘크리트 블록 시공

- 태양광블록 시공 시 차량 진행방향 줄눈을 막힌 줄눈으로 시공하기 위하여 [그림 3]과 같이 블록 너비의 최소 1/3 이상 엇갈림배치를 하여야 한다.
- 노상, 기층, 받침안정층 및 콘크리트 블록을 설치한 후 규격에 맞는 태양광패널을 블록의 중앙에 삽입한다. 이후 태양광패널의 케이블을 주행방향과 직각 방향의 홈으로 정리하여 빼낸 후 컨트롤 시스템에 연결한다.
- 채움재 및 블록 다짐 시 태양광패널 삽입 전 줄눈 채움재가 밀실하게 채워지도록 다짐을 실시한다.
- 일몰 또는 타 공종과의 연관성으로 인하여 블록포설을 일시 중지할 경우 시공 말단의 블록이 훼손, 밀림, 블록 간 벌어짐 등이 발생되지 않도록 적절한 보양 조치를 취하여야 한다. 특히 포설된 받침안정층이 오염, 유실되지 않도록 거적 등을 이용하여 임시 보양한다.
- 일시 중지 구간의 이음 시공 시에는 반드시 1미터 이상을 철거 후 재시공하여야 한다. 훼손 구간이 1미터 이상일 경우 훼손종단 거리의 1.5배를 재시공 한다.



[그림 3] 태양광블록 시공패턴

3.5 줄눈 채우기

- 줄눈 모래의 메우기가 불충분하면 블록의 이동과 국부 침하 등을 유발하여 태양광블록 포장의 파손을 발생시키는 원인이 되므로 줄눈 채우기를 꼼꼼히 한다.
- 블록 표면에 모래(백색규사)를 균일하게 뿌린 후 빗자루, 솔 등으로 블록 표면을 빗질 하듯이 모래를 줄눈 틈 사이에 쓸어 넣는다.
- 잘 건조시킨 가는 모래를 사용한다.
- 흙 성분이 섞이지 않은 건조시킨 양질의 가는 모래 (최대입자크기:2.5mm 이하)를 사용한다. 젖어있는 경우는 블록위에 뿌려 태양으로 자연건조 시킨 후에 쓸어 채워 넣는다.

※주의 사항

- 핸드 컴팩터 등으로 진동을 가하면 좀 더 조밀하게 채울 수 있다.
- 태양광패널 삽입 전 실시하며, 태양광패널 삽입구에 모래가 없도록 빗질하여 줄눈 틈 사이에 쓸어 넣어야 한다.

4. 하자관리

- 하자원인이 시공과 자재 간에 판단이 불가하거나 명확하지 않을 경우에 하자보수의 책임은 시공을 한 계약상대자와 자재를 공급한 납품자간의 상호 협의에 의하여 하자 보수비를 분담하고 협의가 되지 않을 경우에는 준공된 전체공사비에서 시공과 자재가 차지하는 비율만큼 하자보수비를 각각 분담한다.

5. 검수

- 계약자는 납품된 제품에 하자가 발생하거나 구매설명서 기준에 적합하지 않으면 즉시 교환납품 하여야 한다.

6. 기타

- 지방서에 명기되지 않은 사항이라도 납품 상 고려되어야 할 사항은 발주자 대리인의 지시에 따른다.
- 구매계약 수량은 현장여건에 따라 증감될 수 있다.
- 발주자 요구 시 제 3자에게 동일한 계약조건으로 승계할 수 있다.

태양광 도로시스템 적용환경 분석기법

2018. 12. .

주관연구기관 / 서경대학교
협동연구기관 / 콘텍이엔지
지오티에스

국토교통부
국토교통과학기술원

국내 태양광 도로시스템 적용을 위한 적용환경 분석기법

1. 개요

- 태양광 발전시스템의 도로 적용 시 고려해야 할 요건은 태양자원의 양, 인접 구조물에 의한 음영의 정도 및 시공 후 차량 주행 음영에 의한 발전효율 등이 있음.
- 본 절에서는 국내 태양광 도로시스템 적용을 위한 적용환경 분석을 위하여 국내 자원 지도시스템을 활용한 적용 지역 선정방법, 인접 구조물에 의한 음영영향 및 음영을 피하기 위한 최소 확보거리 산정을 위한 수치적 분석방법, 그리고 차량 통행에 따른 발전효율 산정방안에 대한 수치적 분석방안을 차례대로 정리하여 나타내었음.

2. 적용 지역의 선정

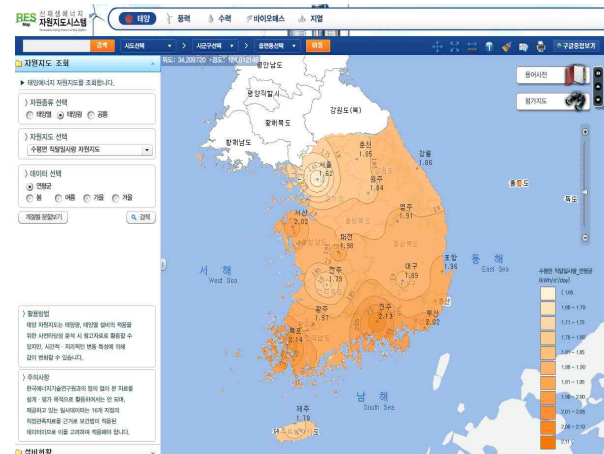
- 태양광 도로시스템은 일반 태양광 발전시스템과 달리 설치경사 조절이 불가함. (도로 설계 시 결정된 중횡단 경사에 따라 설치경사가 정해지며, 설치경사는 10° 미만임.)
- 설치경사가 0° 부근일 경우, [그림 1]에서 보이는 바와 같이 설치방향에 따른 발전효율은 거의 동일함.

연평균	정서										정남										정동									
경사	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	-10°	-20°	-30°	-40°	-50°	-60°	-70°	-80°	-90°											
10°	85	86	88	89	90	91	92	92	92	91	91	90	89	88	86	85	88	81	80											
20°	84	87	90	92	94	96	97	97	97	97	96	94	92	89	87	84	85	77	74											
30°	80	85	89	92	95	98	99	100	100	99	97	95	92	89	85	80	81	72	67											
40°	75	81	86	90	94	97	99	100	100	98	96	93	90	85	81	76	75	65	60											
50°	69	75	81	86	90	93	95	96	96	95	92	89	85	80	75	69	67	57	51											
60°	62	68	74	79	83	87	89	90	90	88	86	82	78	72	67	61	59	49	43											
70°	54	60	66	71	75	78	80	81	81	79	76	73	68	64	58	53	50	41	36											
80°	45	51	56	61	65	68	69	70	69	68	65	62	58	53	49	44	41	34	28											
90°	37	42	46	50	53	56	57	57	56	55	52	49	46	42	39	34	32	26	22											

[그림 1] 패널 설치방향과 설치경사에 따른 발전효율 (서울시 햇빛지도 누리집)

- 태양광 도로시스템에 도달하는 태양에너지는 구름, 안개 및 미세먼지에 의해 반사 혹은 산란된 태양광을 제외한 직달일사량이고, 설치경사가 일반적으로 0° 부근인 도로의 특성에 따라 도달면은 수평면에 거의 근접함. 따라서 태양자원량에 따른 적용지역 선정 시 이용할 수 있는 일사량은 수평면 직달일사량으로 판단됨.
- 신재생에너지 자원지도시스템을 활용한 적용지역의 선정
- 적용대상 지역이 여러 곳일 경우 태양자원량이 많은 곳을 우선적으로 고려할 수 있으므로, 신재생에너지 자원지도시스템의 일사량 자원지도를 이용하여 적용 우선순위를 결정할 수 있음. 일사량 자원지도 활용방법은 아래와 같음.

- ① 신재생에너지 데이터센터 누리집 접속 ([그림 2] 참조)
- ② 자원지도시스템-WebGIS, 옵션 : 태양광 / 수평면 직달일사량 자원지도 / 연평균
- ③ 2018년 12월 현재 자원지도를 살펴보면 연평균 수평면 직달일사량의 최대값과 최소값은 각각 $2.14\text{kWh/m}^2/\text{day}$ (목포)와 $1.62\text{kWh/m}^2/\text{day}$ (서울)의 분포를 보임 ([그림 3] 참조)
- ④ 태양광 자원지도를 활용한 태양광 도로시스템 적용 우선순위 검토



[그림 2] 신재생에너지 데이터센터 누리집 [그림 3] 국내 연평균 수평면 직달일사량 분포

(2) 음영에 의한 영향 분석

- 일반 태양광 시스템은 건물 옥상이나 캐노피와 같이 인접 구조물보다 고도가 높은 곳에 설치가 가능하나, 태양광 도로시스템의 경우 일반적으로 인접 구조물보다 고도가 낮은 곳에만 설치가 가능함. 따라서 인접 구조물에 의한 음영구간 발생확률이 매우 높음.
- 음영구간을 최소화하기 위하여 설치위치와 시간에 따른 태양의 위치를 정확히 계산하고, 인접 구조물의 위치와 높이 및 이에 따른 발전 가능시간 내 음영구간 파악이 필요함.

(가) 태양 고도와 방위각 계산

① 태양의 적위(δ) 계산

태양의 적위(δ)는 지구의 중심과 태양의 중심을 잇는 선이 지구의 적도와 이루는 각도이며 다음 식에 의해 구해진다.

$$\delta = 23.45 \times \sin\left[\frac{360(n+284)}{365}\right]$$

여기서, n 은 1월 1일을 기준으로 한 계산 대상일의 일수
(예 : 1월 1일은 1, 12월 21일은 355)

② 태양의 고도각(α) 계산

태양의 고도각은 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin\delta \cdot \sin\varphi + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega)$$

여기서, φ : 대지의 위도[°], δ : 태양의 적위[°]
 ω : 시각 (時角) (예 : 1시간은 15°, 24시간은 360°)

③ 태양의 방위각(ϕ) 계산

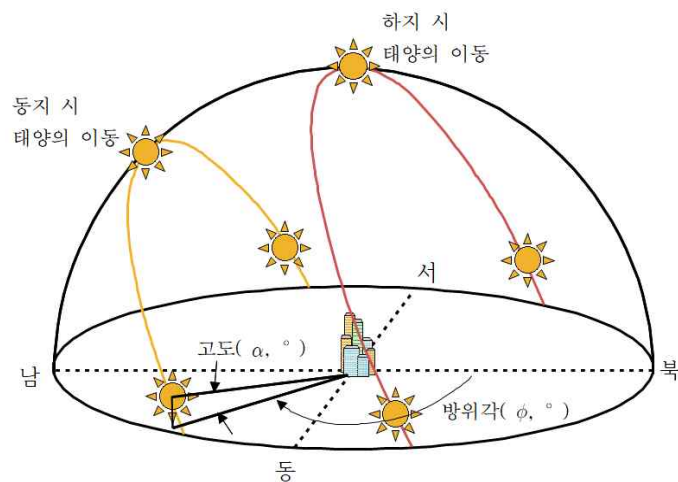
태양의 방위각은 다음 식에 의해 구한다.

$$\phi = \sin^{-1}\left(\frac{\cos\delta \cdot \sin\omega}{\cos\alpha}\right)$$

(나) 인접 구조물 고저차에 의한 음영구간 산정

① 태양의 연중 이동변화

- [그림 4]는 태양의 고도가 가장 높은 하지 시와 태양의 고도가 가장 낮은 동지 시의 태양의 이동을 나타냄.
- 구조물의 고저차에 의한 음영의 영향반경은 동지 때에 가장 넓게 나타남.

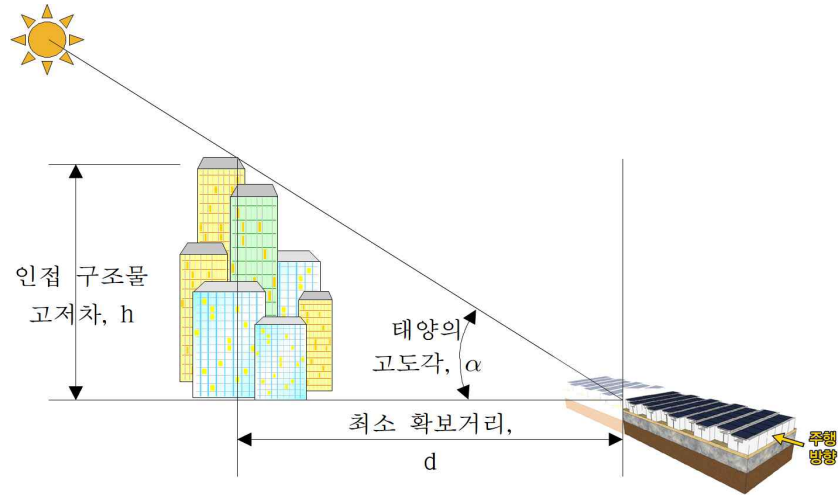


[그림 4] 동지와 하지의 태양의 1일 이동궤적

② 인접 구조물 음영의 영향거리 분석 방법

- 인접 구조물의 높이(h)와 태양의 고도각(α)에 의한 최소 확보거리(d)는 다음 식에 의해 산정할 수 있음.

$$d = \frac{h \cdot \cos \alpha}{\sin \alpha}$$



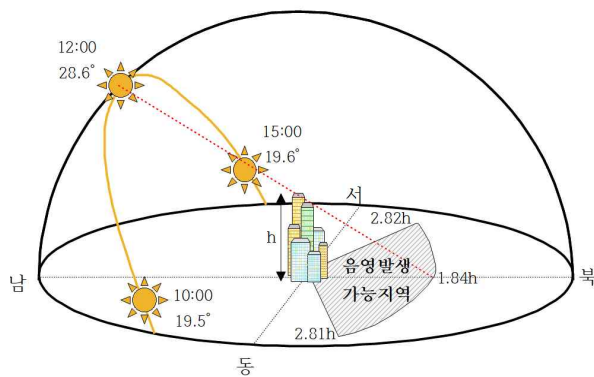
[그림 5] 음영방지를 위한 인접 구조물과의 최소 확보거리

③ 인접 구조물 음영의 영향거리 분석 일례 (간이 분석방법)

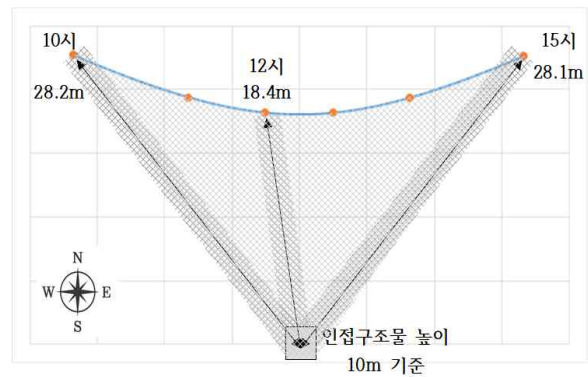
- 인접 구조물 음영의 영향위치는 적용구간의 위도, 경도, 인접 구조물의 높이에 따라 달라짐.
- 인접 구조물 음영의 영향거리 분석 일례로, 서경대학교 (북위 37.62° , 동경 127.01°) 선정함. 2018년 동지 (12월 22일) 기준, 태양광 발전 가능 시간 10시 ~ 15시의 태양의 고도와 방위각, 이에 따른 최소 확보거리 산정결과는 [표 1]과 같음.
- [표 1]의 태양의 방향과 고도각을 이용하여 산정한 최소 확보거리를 도시하면 [그림 6]과 같이 나타낼 수 있고, 구조물 높이가 10m 일 경우의 시간에 따른 음영구간의 길이와 방향의 일례를 도시하면 [그림 7]과 같이 나타낼 수 있음.
- 주요 인접 구조물의 개략적인 위치와 높이를 2D 지도에 표시 후 음영발생 가능지역을 도시하여 태양광 블록시스템의 설치가능구간을 설정할 수 있음. [그림 8]은 서경대학교 2D 지도의 일례로, A, B 및 C 구조물의 높이가 각각 10m, 20m 및 30m 일 경우 A, B 및 C 구조물에 의한 2D 간이 음영분석결과를 [그림 8]의 2D 지도에 도시하였음.

[표 1] 태양광 발전시간 내의 태양의 위치 및 최소 확보거리 일례 (서경대학교, 동지)

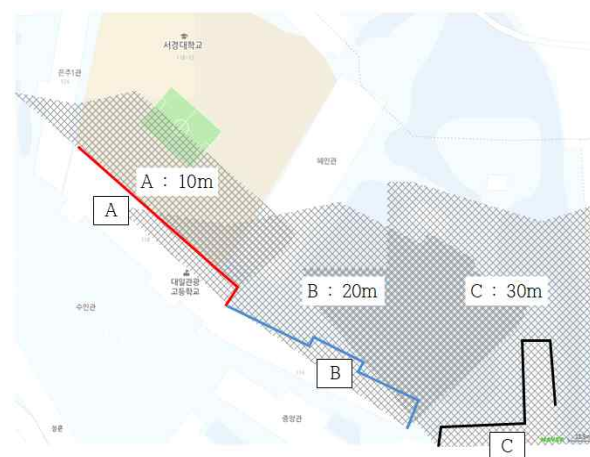
시간	태양의 고도각 $\alpha (^{\circ})$	방위각 $\phi (^{\circ})$	최소 확보거리 / 고저차 (d/h)
10:00:00	19.5	143.6	2.82
10:30:00	22.8	150.1	2.38
11:00:00	25.4	157.1	2.11
11:30:00	27.4	164.4	1.93
12:00:00	28.6	172.1	1.84
12:30:00	29.0	179.9	1.81
13:00:00	28.6	187.7	1.84
13:30:00	27.4	195.4	1.93
14:00:00	25.4	202.8	2.10
14:30:00	22.8	209.7	2.38
15:00:00	19.6	216.3	2.81



[그림 6] 태양 궤적 일례 (서경대, 동지)



[그림 7] 시계열 음영구간 일례 (h=10m)

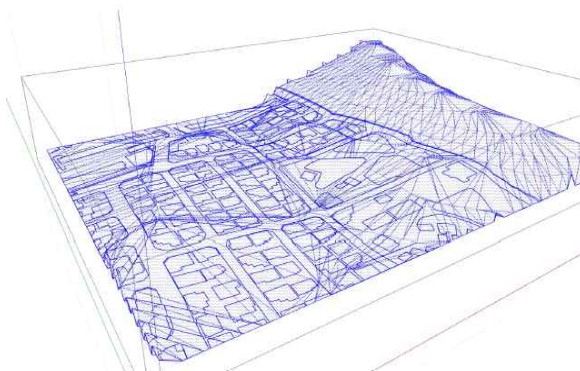
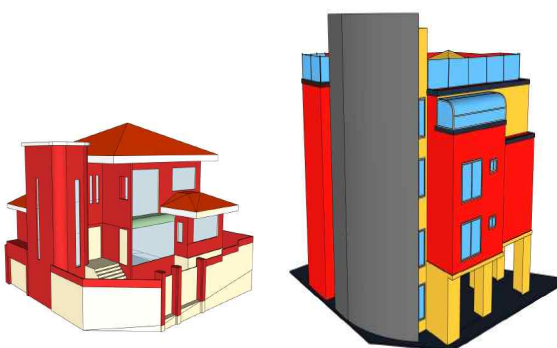
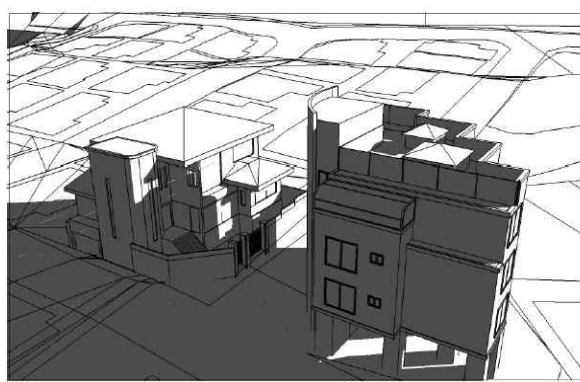
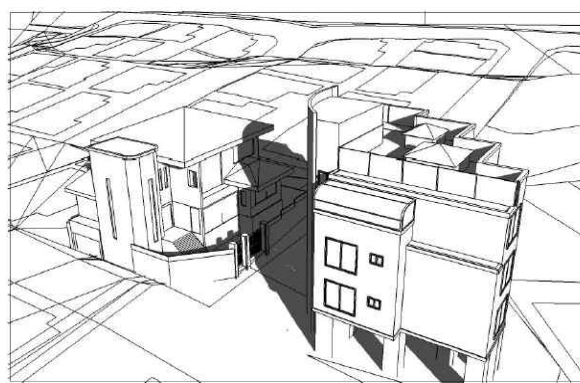


[그림 8] A, B 및 C 구조물에 의한 간이 음영분석결과 일례

④ 기존 일조권 분석 툴 활용 일례 (상세 분석방법)

- 간이 분석방법에 의한 개략적인 음영분석은 설치위치 주변에 영향을 줄 수 있는 구조물의 수가 적을 경우 사용 가능하나, 주위 구조물의 수가 많은 복잡한 지역에서의 위치선정이나 실시설계 시에 사용은 부적합함.
- 태양광 도로시스템 설치위치 선정 후 상세설계 시에는 아래 제시한 절차에 의한 상세 분석방법 적용을 권장함.
- 태양광 도로시스템의 상세 음영분석절차 일례는 [표 2]와 같음. (장일몽, 2014)
- 태양광 도로시스템의 상세 음영분석절차는 아래와 같음.
 - ㉠ 설치위치 인근의 항공사진을 이용한 2차원 지형도 작성
 - ㉡ 3D 스캐닝을 통한 3차원 모형도 제작
 - ㉢ 주요 인접 구조물의 3차원 모델링 수행
 - ㉣ 설치위치 기준 태양의 방위각 및 고도각 산정
 - ㉤ 산정된 방위각, 고도각 및 기존 일조분석 툴을 이용한 음영분석 수행
 - ㉥ 음영분석 수행결과를 이용하여 연간 발전효율 산정
 - ㉦ 발전효율을 고려한 설치위치 상세조정 (위치조정 또는 음영구간은 일반블록으로 대체)

[표 2] 태양광 도로시스템의 상세 음영분석절차 일례 (장일몽, 2014)

	
항공사진 수집	3차원 모형화
	
주요 인접 구조물 모델링	동지 시 음영분석 일례 (10시)
	
동지 시 음영분석 일례 (12시)	동지 시 음영분석 일례 (15시)

3. 차량 통행에 따른 발전효율 산정방안

- 태양광 도로시스템의 인접 구조물에 의한 영향은 설치위치 선정 단계에서 고려할 수 있으나, 실제 공용 시 차량주행 혹은 주차에 의한 영향은 고려할 수 없음.
- 차량 주차에 의한 영향은 주차 공간 만차 시를 고려하여 음영분석을 실시하고, 차량 주행에 의한 발전효율은 아래와 같은 절차에 의하여 산정할 수 있음.

(가) 차량 통행에 따른 발전효율 산정절차

- ① 시간별 교통량 수집
- ② 발전시간 내/외 교통량 분류
- ③ 차종 분류
- ④ 차종별 교통량을 이용한 음영시간 산정
- ⑤ 시간대별 발전효율 산정

(나) 차종 및 평균 구간속도를 고려한 차량 통행에 따른 음영시간 산정

- 국내 차종분류는 현재 [그림 9]와 같이 12종으로 분류 (한국건설기술연구원, 2006)

종별	분류기준	대표적 차체 및 차축 배열	차종 정의	해당 차량의 예	종별	분류기준	대표적 차체 및 차축 배열	차종 정의	해당 차량의 예
1종	축수 2 단위 1		16인승 이상의 여객 수송용 버스 형식으로 2축 1단위 차량	콜릭, 베르나, 아반떼, 투스카니, 그랜저, 에쿠스, 모닝, 프라이드, 세라토, 로제, 오피러스, 토스카, 윈스톨, 레조, 라세티, 쟈트라, 칼로스, 마티즈, 체어맨, 쏘나타, 프라이드, 갤로퍼, 라비타, 트라제, 샌타페 등	6종	축수 4 단위 1		화물 수송용 트럭 형식으로 4축 1단위 차량	탱크로리, 덤프 트럭, 카고트럭 등
2종	축수 2 단위 1		16인승 미만의 여객 수송용 차량, 미니 트럭 등 2축 1단위 차량	그랜버드, 뉴콜비, 에어로 고속, 에어로 버스, 도시형 버스, 직행 버스, 관광 버스, 좌석 버스, 스모스, 시외 버스, 전세 버스 등	7종	축수 5 단위 1		화물 수송용 트럭 형식으로 5축 1단위 차량	탱크로리, 덤프 트럭, 카고트럭 등
3종	축수 2 단위 1		화물 수송용 트럭으로 2축의 최대 적재량 1~2.5톤 미만의 1단위 차량	봉고, 포터, 세레스 등 2.5톤 이하 트럭, 2.5톤 미만 내장탑, 2.5톤 미만 냉동탑 등	8종	축수 4 단위 2		화물 수송용 세미 트레일러 형식으로 4축 2단위 (견인차, 피견인차) 차량	평판 세미 트레일러, 탱크로리 트레일러 등
4종	축수 2 단위 1		화물 수송용 트럭으로 2축의 최대 적재량 2.5톤이상의 1단위 차량	타이탄, 복사, 트래이드, 2.5~5톤 트럭, 트랙터, 8~8.5톤 카고, 8톤 냉동차, 8~8.5톤 덤프, 8톤 잔개차, 5톤 렉카, 잔개차, 라이노, 4.5톤 내장탑, 4.5톤 냉동탑, 사료 운반차	9종	축수 4 단위 2		화물 수송용 풀 트레일러 형식으로 4축 2단위 (견인차, 피견인차) 차량	카고 풀 트레일러 등
5종	축수 3 단위 1		화물 수송용 트럭으로 3축 1단위 차량	믹서, 15톤 덤프, 트랙터, 봉워서, 5.4톤 트랙터, 9.5~10톤 카고, 10KL 탱크로리, 11톤 냉동차, 11.5톤 암물, 11~12톤 카고, LPG 탱크, 냉동 6×4, 11톤~12톤 카고 트럭, 베스트 믹서, LPG 탱크로리, B.C. 트럭, 잔개차, 대형 콘크리트 펌프, 탱크로리 등	10종	축수 5 단위 2		화물 수송용 세미 트레일러 형식으로 5축 2단위 (견인차, 피견인차) 차량	평판 세미 트레일러 등
					11종	축수 5 단위 2		화물 수송용 풀 트레일러 형식으로 5축 2단위 (견인차, 피견인차) 차량	카고 풀 트레일러 등
					12종	축수 6 단위 2		화물 수송용 세미 트레일러 형식으로 6축이상 2단위 (견인차, 피견인차) 차량	평판 세미 트레일러 등

[그림 9] 통합 12종 차종분류 (한국건설기술연구원, 2006)

- 본 연구에서는 12종 대표차종의 길이를 조사하고, 대상지역의 평균 구간속도와 차량 주행에 의한 음영시간을 산정하였으며, 산정된 음영시간은 [표 3]과 같음.
- 산정결과 승용차 등 1종차량은 시속 60km로 주행 시 교통량 1대 당 음영시간은 0.3초로 산정되었고, 대형 트레일러가 시속 10km 구간에서 주행 시 교통량 1대 당 음영시간은 총 6.5초로 산정됨.

[표 3] 대표 차종의 속도별 음영 시간 (초)

차종	대표종류	대표차종 일례	최대 길이	평균속도 (km/h)					
				10	20	30	40	50	60
1종	대형 RV	코란도 스포츠	5m	1.8	0.9	0.6	0.5	0.4	0.3
2종	관광버스	리무진 버스	12m	4.3	2.2	1.4	1.1	0.9	0.7
3종	2.5톤 트럭	마이티 카고	6.5m	2.3	1.2	0.8	0.6	0.5	0.4
4종	8톤 2축트럭	뉴파워트럭 8톤	10m	3.6	1.8	1.2	0.9	0.7	0.6
5종	3축트럭	엑시언트 6x4 카고	12m	4.3	2.2	1.4	1.1	0.9	0.7
6종	4축 트럭	엑시언트 8x4 카고	13m	4.7	2.3	1.6	1.2	0.9	0.8
7종	5축 트럭	엑시언트 10x4 카고	13m	4.7	2.3	1.6	1.2	0.9	0.8
8종	4축 세미 트레일러	트랙터5.5m +트레일러12.5m	18m	6.5	3.2	2.2	1.6	1.3	1.1
9종	4축 풀 트레일러								
10종	5축 세미 트레일러								
11종	5축 풀 트레일러								
12종	6축 세미 트레일러								

(다) 차량 통행에 따른 발전효율 산정방안 일례

① 대상구간 개요

- 태양광 블록시스템 설치위치 : 시속 30km 어린이보호구역 도로
- 1일 교통량 : 승용차, 버스 및 트럭이 각각 2000, 650 및 100대가 주행한다고 가정함.
(토지주택연구원, 2010)

② 대상구간 기준 차량 통행에 따른 발전효율 산정결과

- 태양광 발전 가능시간 (연평균 7.16시간/일) : 10시 ~ 17시
- 발전 가능시간 내 시간당 교통량 산정 : 시간당 교통량 = 1일교통량/14시간 (07~21시)
- 통행차량에 의한 시간당 음영시간 산정 : 182초
- 통행차량 음영에 의한 발전효율 산정 : $1 - (182\text{초}/1\text{시간}) = 0.95$
- 대상구간의 통행차량 음영에 의한 발전효율은 95%로 산정됨.

[표 4] 태양광 도로시스템의 상세 음영분석절차 일례

차종	1종	2종	트럭	계
1일 교통량 (대)	2000	650	100	2750
발전시간 내 시간당 교통량 (대)	150	50	10	210
발전시간 내 시간당 음영시간 (초)	90	70	22	182

태양광 도로시스템 성능평가 보고서

2018. 12. .

**주관연구기관 / 서경대학교
협동연구기관 / 콘텍이엔지
지오티에스**

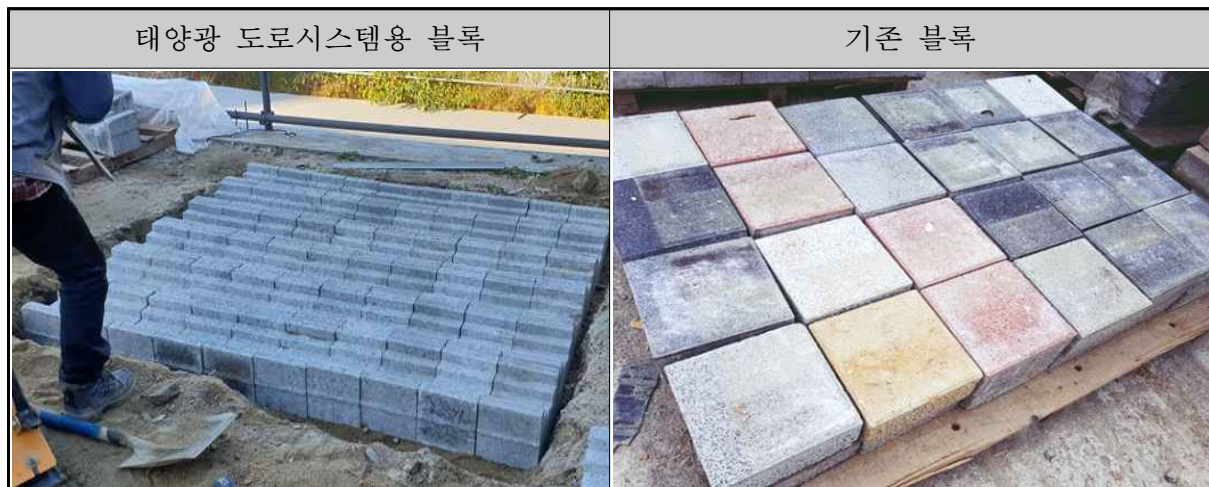
**국토교통부
국토교통과학기술원**

태양광 도로시스템의 성능평가 보고서

1. 개요

- 태양광 도로시스템의 성능평가는 본 연구에서 개발한 태양광 도로시스템용 콘크리트 블록과 기존의 블록과의 형상에서 [표 1]과 같이 상당한 차이를 보여 KS F 4419 “보. 차도용 콘크리트 인터로킹 블록”의 모양 및 치수에 제시되어 있는 기준을 따르기에는 무리가 있음. 이에 일부 시험에 대해서는 코어를 채취를 통하여 획득한 공시체로 성능평가를 수행하였음.

[표 1] 기존 블록과 태양광 도로시스템용 블록 형상 비교



2. 성능평가 항목

- 태양광 도로시스템용 콘크리트 블록의 구조적 성능평가를 위하여 아래와 같이 6종의 실내시험을 수행함.
 - ① 미끄럼 저항성 시험
 - ② 콘크리트 블록의 압축강도 시험
 - ③ 콘크리트 블록의 흡수율 시험
 - ④ 태양광 패널 보호용 아크릴 패널의 휨강도 시험
 - ⑤ 태양광 도로시스템 하중재하 시험
 - ⑥ 태양광 패널 모듈의 하중재하 시험

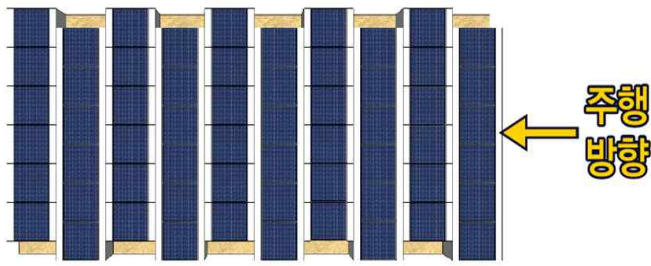
3. 성능평가 절차 및 시험결과

(가) 미끄럼 저항성 시험

- 미끄럼저항성시험은 태양광 패널 모듈 중앙부, 모듈과 블록의 경계부 및 콘크리트 블록부분 3가지 위치에서 시험을 수행함. [표 2]는 시험위치 별 미끄럼 저항성 시험수행 일례를 나타냄.
- 미끄럼 저항성 시험결과 태양광 패널 모듈 중앙부, 모듈과 블록의 경계부 및 콘크리트 블록부분 3가지 위치에서 각각 27 BPN, 41 BPN 및 47 BPN로 나타남. 콘크리트 블록의 BPN 기준은 40으로, 패널 모듈 중앙부에서는 기준을 만족시키지 못하는 결과를 얻게 됨.
- 미끄럼 저항성 증대를 위해 본 연구에서는 태양광 패널 보호용 아크릴 패널의 표면 요철을 세 가지로 제작하여 미끄럼 저항성 시험을 실시하였고, 그 중 가장 높은 미끄럼 저항성을 보이는 사선패턴의 아크릴 패널에서 27 BPN의 결과가 도출됨. (패턴이 없을 경우 15 BPN, 격자무늬 패턴일 경우 17 BPN)
- 이는 태양광 패널 보호 시 아크릴 패널을 적용할 경우 피할 수 없는 한계로, 미끄럼 저항성을 증가시키기 위하여 태양광 패널의 설치는 [그림 1]과 같이 주행방향에 직교하도록 설치하도록 조치함. [그림 1]과 같이 시공을 실시할 경우 일반적인 승용차의 접지 길이는 [그림 2]에서 보이는 바와 같이 200mm 이상으로, 길이가 193mm 인 아크릴 패널에 의한 미끄러짐 발생은 방지할 수 있을 것으로 판단됨.

[표 2] 시험위치 별 미끄럼 저항성 시험결과

태양광 패널 모듈 중앙부	모듈과 블록의 경계부	콘크리트 블록부
		
27 BPN	41 BPN	47 BPN
불만족	만족	만족



[그림 1] 태양광 패널의 설치방향



[그림 2] 일반 승용차의 접지 길이

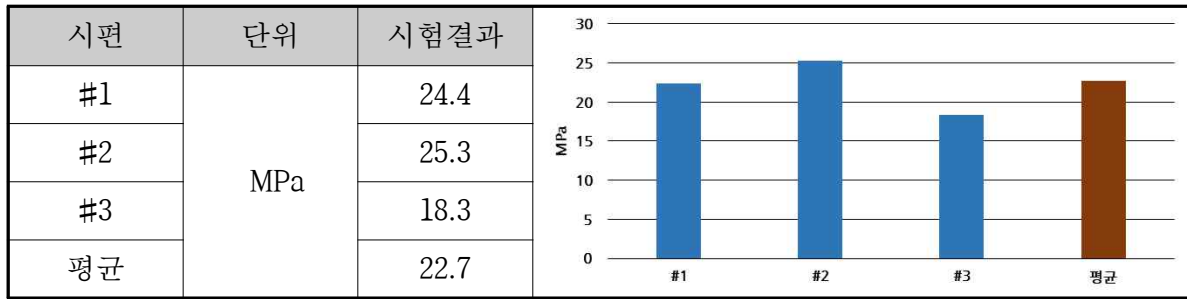
(나) 콘크리트 블록의 압축강도 시험

- 이형블록 등 휨강도 측정이 불가능한 블록은 압축강도 시험을 통한 휨강도 추정을 할 수 있다는 “투수블록 포장 설계시공 및 유지관리 기준” (서울시, 2011) 에 따라, 콘크리트 블록의 압축강도 시험은 콘크리트 블록을 코아드릴을 이용하여 코아를 채취한 후 UTM(만능재료시험기)에 의한 하중재하를 통해 압축강도를 측정하였음.
- 휨강도 시험 대신 코아 압축강도를 시험 시 품질기준은 20MPa 이상임. [표 3]은 콘크리트 블록의 압축강도 시험 일례를 나타냄.
- 코아압축강도시험을 총 3개의 시편에 대해 실시하였으며, 그 결과는 [표 4]와 같음. 3개 시편의 압축강도는 각각 24.4MPa, 25.3MPa 및 18.3MPa 이며, 평균 22.7MPa 로 품질기준 20MPa 이상을 만족하는 것으로 확인됨.

[표 3] 콘크리트 블록의 압축강도 시험

코아채취	압축강도 시험전	압축강도 시험후
		

[표 4] 콘크리트 블록의 압축강도 시험결과



(다) 흡수율

- 흡수율 시험에 사용하는 시험체는 블록 전체 모양 그대로를 사용하여야 하나, 본 시험체는 KS 규정과는 상이한 형태의 블록이므로 코아 채취 후 흡수율 시험을 실시함.
- 실온 15℃에서 25℃의 맑은 물속에 24시간 침지시킨 후, 즉시 틀에서 꺼내어 철망 위에 놓고 1분간 물기를 뺀 후, 젖은 형겅으로 표면을 닦아 내고 시험체의 습윤 질량(m_0)를 측정함. 이후 100℃~110℃ 온도로 24시간 건조시켜 시험체의 건조 질량(m_1)을 측정함. 흡수율은 다음 식에 따라 계산함.

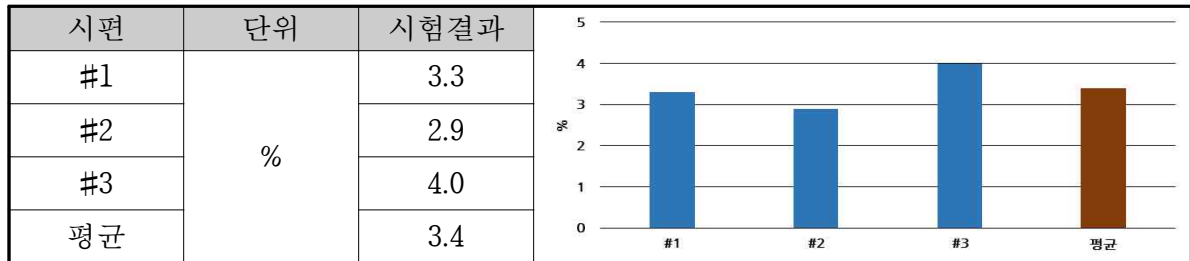
$$\text{흡수율}(\%) = \frac{m_0 - m_1}{m_1} \times 100$$

- [표 5]는 콘크리트 블록의 흡수율 시험 일례를 나타냄.
- 흡수율 시험은 총 3개의 시편에 대해 실시하였으며, 시험 결과 3개의 시편에 대한 흡수율 시험결과는 [표 6]에 나타낸 바와 같이 각각 3.3%, 2.9%, 4.0%이며, 평균 3.4%으로 나타남. 흡수율 시험의 품질기준은 7% 이하로, 품질기준에 만족함.

[표 5] 콘크리트 블록의 흡수율 시험



[표 6] 콘크리트 블록의 흡수율 시험결과



(라) 태양광패널 보호용 아크릴 하중재하시험

- 태양광패널 보호용 아크릴 하중재하시험은 KS F 4419 보차도용 콘크리트 인터로킹 블록의 휨강도 시험에 준하여 시험을 실시하였으며, 두께를 8mm, 10mm, 15mm로 구분하여 하중재하시험을 실시함.
- [표 7]은 태양광패널 보호용 아크릴 하중재하시험 과정을 나타내고, [표 8]에 시험결과를 정리함. 시험결과 두께 15mm의 아크릴 패널은 패널 1개당 평균 2.6tonf의 하중 이상에서도 파괴되지 않음을 알 수 있어, 축중량 5.2tonf 이상의 차량하중이 집중하중 형태로 재하 되어도 파손이 일어나지 않음을 알 수 있음.

[표 7] 태양광패널 보호용 아크릴 하중재하시험 과정

구분	1	2	3
T=8mm			
T=10mm			
T=15mm			

[표 8] 태양광패널 보호용 아크릴 하중재하 시험결과

시편	단위	T=8mm	T=10mm	T=15mm
#1	kgf	683	1,112	2,662
#2		683	1,102	2,591
#3		697	1,102	2,581
평균		688	1,105	2,611

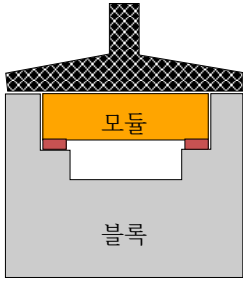
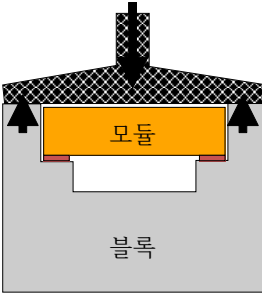
(마) 태양광 도로시스템 하중재하 시험

- 태양광 도로시스템 전체(블록+모듈)를 대상으로 수행한 실내하중재하시험은 현장 성능평가 전 차량하중재하를 모사하기 위하여 태양광 패널 모듈을 블록 내부에 삽입 후, 차량 진행방향과 같은 횡방향으로 UTM(만능재료시험기)를 활용하여 하중재하를 실시함. [표 9]에 태양광 도로시스템 하중재하 시험전경을 나타냄.
- 실내 하중재하시험 결과 블록과 태양광 모듈 동시에 하중을 재하 할 경우, [표 10]과 같이 중앙에 삽입되어 있는 태양광 모듈 하부에 설치된 고무판의 탄성에 의해 태양광 패널 모듈은 파손되지 않았으나, 콘크리트 블록의 경우에는 상부에 집중하중을 받아 파손 됨.
- 2개의 시편으로 시험한 결과 파괴 시 최대하중은 6,535.7kgf 과 6,112.2kgf 로 나타남. 이는 본 연구의 태양광 도로시스템의 적용기준인 ‘최대적재량 4ton이하의 일반 도로’에 가해지는 차량하중에 충분히 견딜 수 있는 강도로 판단됨.

[표 9] 태양광 도로시스템 하중재하 시험전경



[표 10] 태양광 도로시스템 하중재하 시 모듈의 거동 및 블록 파손형상

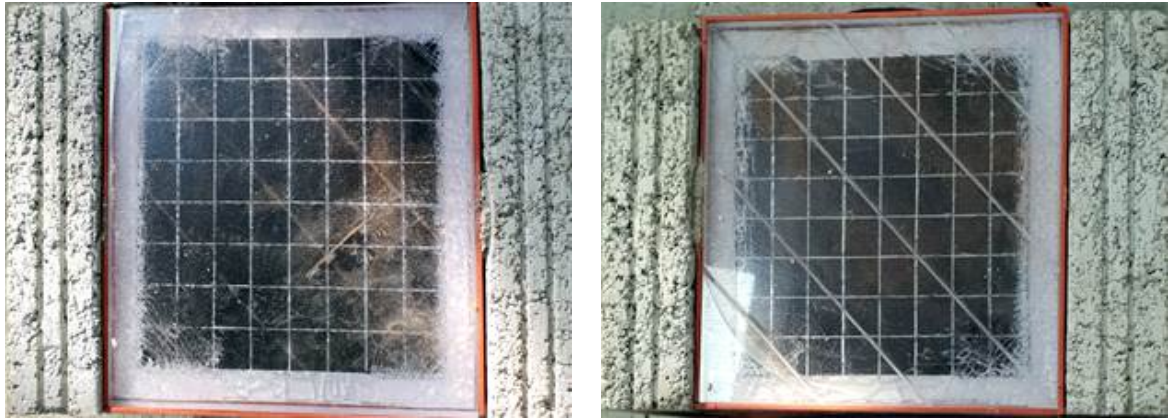
하중재하 전	하중재하 중	블록 파손형상
		

(바) 태양광 패널 모듈의 하중재하 시험

- 차량 하중이 패널 모듈에만 집중될 경우의 상황을 모사하기 위하여, 태양광 패널 모듈을 대상으로 실내 하중재하시험을 수행함. 태양광 패널 모듈을 블록 내부에 삽입 후, UTM(만능재료시험기)를 활용하여 태양광 패널 모듈에만 하중을 재하할 수 있도록 시험을 실시함. [표 11]에 태양광 패널 모듈의 하중재하 시험전경을 나타냄.
- 2회에 걸친 태양광 패널 모듈의 하중재하 시험결과, 파괴 시 최대하중은 각각 24,209kgf 및 28,030kgf 로 나타남. [그림 3]은 시험완료 후 태양광 패널 모듈의 상태를 나타냄. 이 결과는 축중량 환산 시 50tonf에 가까운 차량하중에서 파손된다는 결과를 얻을 수 있었으나, 이는 태양광 패널 모듈의 구조적 파손일 경우임.
- 일반적으로 블록포장에서의 구조적 파손은 곧 기능적 파손을 의미하지만, 태양광 도로시스템의 경우에는 성능은 유지하면서 견딜 수 있는 최대하중인 기능적 파손에 대한 시험은 추가적으로 진행되어야 할 것으로 판단됨.

[표 11] 태양광 패널 모듈의 하중재하 시험전경

하중재하 전	하중재하 중	하중재하 상부
		



[그림 3] 태양광 모듈 패널 파손형상

태양광 도로시스템 응용기술 제안

2018. 12. .

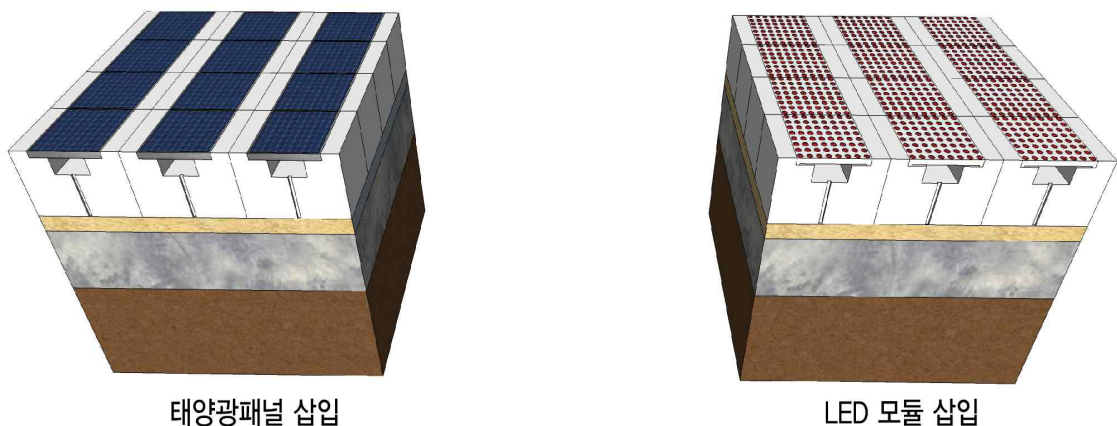
주관연구기관 / 서경대학교
협동연구기관 / 콘텍이엔지
지오티에스

국토교통부
국토교통과학기술원

태양광 도로시스템의 응용기술 제안

1. LED 패널 모듈의 개요

- 태양광 콘크리트 블록에 삽입되었던 태양광 패널을 LED 모듈로 교체하여 야간에 주행성 향상 및 주차장의 주차 공간 확인이 가능하도록 응용기술을 제안하고자 함. LED 패널 모듈의 형상은 [그림 1] 과 같이 제안함.



[그림 1] 태양광 패널 모듈과 LED 패널 모듈 개요도

2. 가로등 없는 이면도로에서의 LED 블록 활용 방안

- 주택가 등 가로등이 없는 이면도로의 경우 야간 주행 시 전방에 장애물 또는 보행자의 무단횡단 등이 잘 보이지 않아 사고 발생위험이 높음.
- 이러한 사고 발생 저감 및 운전자 전방 시야 확보를 위해 태양광 콘크리트 블록 설치 시 태양광 패널을 LED 모듈로 교체하여 주행 방향 표시 및 시야 확보가 가능하도록 태양광 콘크리트 블록의 응용기술을 제안하고자 함.
- LED 모듈의 전원은 LED블록 설치지역 외 태양광콘크리트 블록 설치지역에서 전기를 생산하여 LED 모듈의 전원으로 활용 가능할 것으로 판단됨.
- 가로등이 없는 이면도로에서의 LED블록 활용의 개요도는 [그림 2]와 같음.

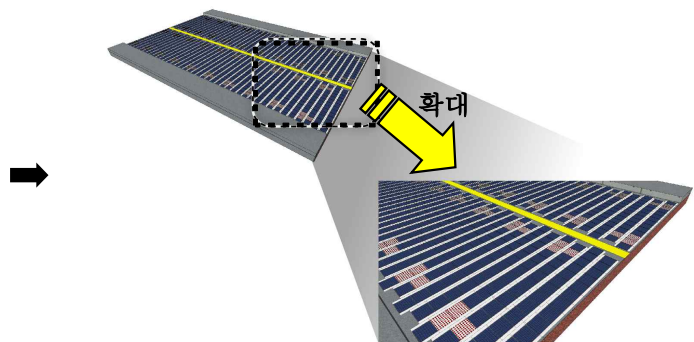
3. 야외 주차장에서의 LED블록 활용 방안

- 기존 야외 주차장의 야간 주차 시 주차장 내의 주차가능 구역을 확인하기 어려운 경우가 발생함.

- 본 연구에서 개발한 태양광 콘크리트 블록을 활용하여 태양광패널 제거 후 LED모듈을 삽입하여 LED 블록으로 활용 가능할 것으로 판단됨.
- LED 모듈의 전원은 LED블록 설치지역 외 태양광콘크리트 블록 설치지역에서 전기를 생산하여 LED 모듈의 전원으로 활용 가능할 것으로 판단됨.
- 야외 주차장에서의 LED블록 활용의 개요도는 [그림 3]과 같음.



기존 이면도로 상황 (가로등 없음)

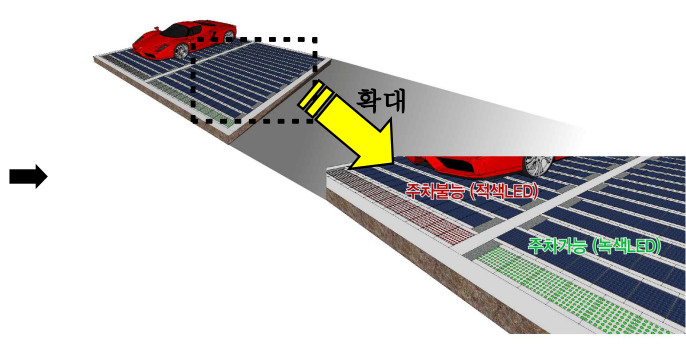


LED 블록을 활용한 이면도로 도로면 조명

[그림 2] 가로등 없는 이면도로에서의 LED블록 활용 방안



기존 야외 주차장



LED 블록을 활용한 야외 주차장 바닥 조명

[그림 3] 야외 주차장에서의 LED블록 활용 방안

태양광 도로시스템 현장 성능평가 보고서

2018. 12. .

주관연구기관 / 서경대학교
협동연구기관 / 콘텍이엔지
지오티에스

국토교통부
국토교통과학기술원

태양광 도로시스템 현장 성능평가 보고서

1. 현장 시험시공

(가) 현장 성능평가 시험부지 선정

- 태양광 도로시스템의 성능을 평가하기 위하여 현장 실험장소를 [그림 1]과 같이 서경대 토목건축공학과 야외시험장에 마련함.
- 일사량이 높은 지역을 선정하여 태양광 도로시스템의 구조적 성능 및 발전효율을 확인하기 위함.

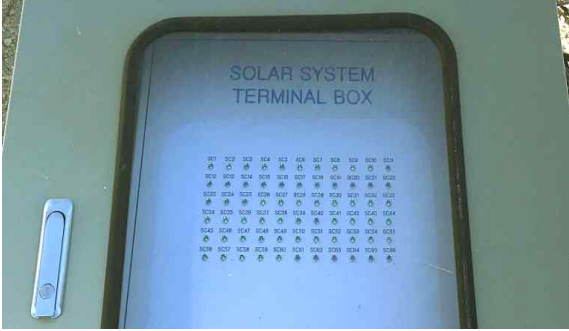


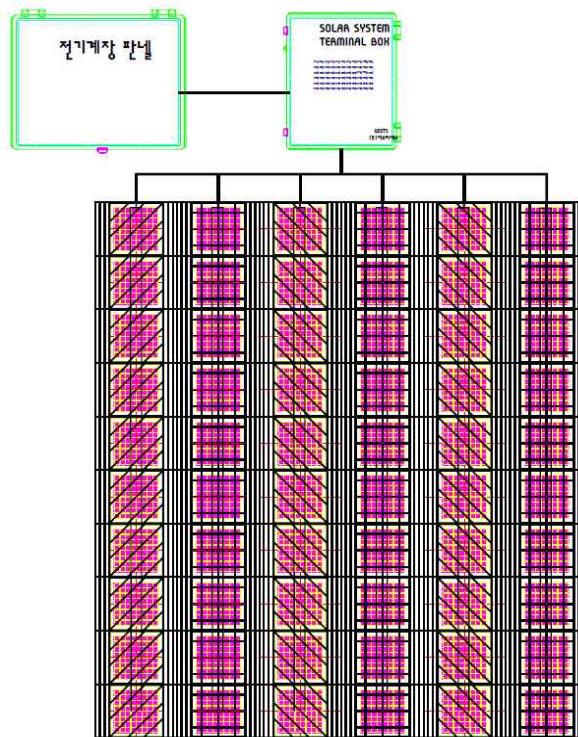
[그림 1] 현장 성능평가 시험부지 선정

(나) 시험시공 실시

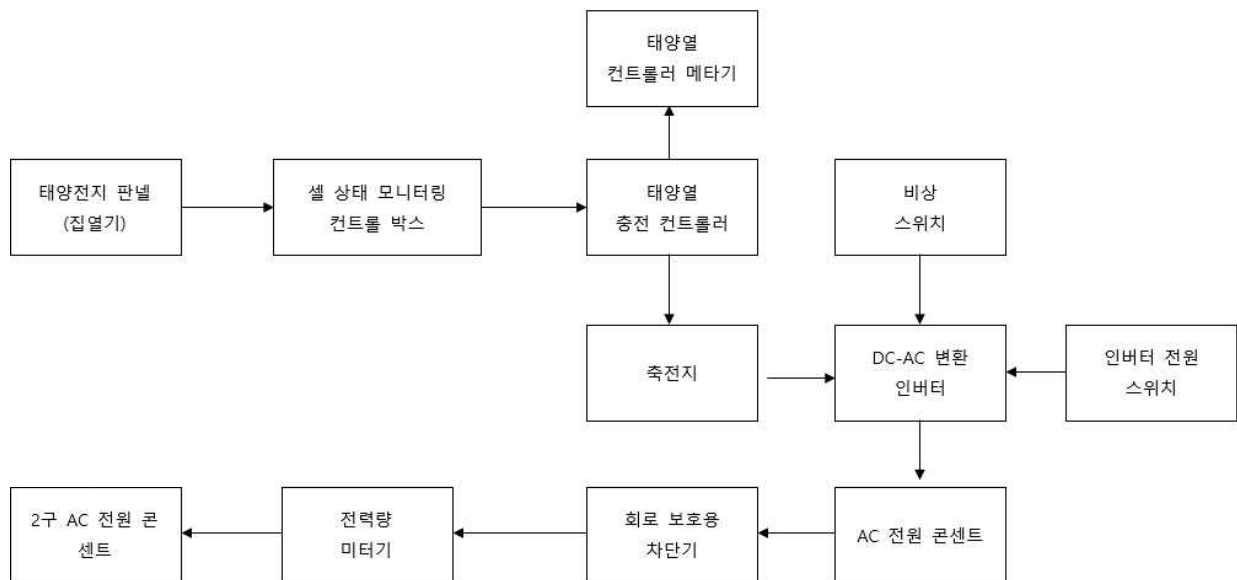
- 태양광 도로시스템의 성능평가를 위한 시험시공을 [표 1] 과 같은 절차로 수행함.
- 현장시험은 서경대학교 토목건축공학과 야외 실습장 중 일조가 양호한 지점을 선택한 후 태양광 도로시스템 시공기준에 맞도록 콘크리트 블록을 설치함. 설치된 콘크리트 블록에 6개의 시험조건, 각 10개의 태양광 모듈 패널을 [그림 2]의 형태로 설치하고 병렬로 연결하여 총 60개의 태양광 패널을 설치함. 시험조건은 다음과 같음.
 - ① 보호 아크릴 표면 패턴 : 정방형 패턴, 사선 패턴
 - ② 패널 표면의 상태 : 흙집이 있는 표면, 비오염 상태, 오염 상태
- [그림 3]과 같이 태양광 패널 모듈, 터미널 박스, 컨트롤 박스 등을 연결하여 태양광 도로시스템을 완성함.

[표 1] 현장 시험시공 절차

	
부지선정 : 서경대학교 토목건축공학과 실습실	시험시공 위치선정
	
터파기 및 포장 하부구조 다짐	블록 시공 및 줄눈메우기
	
태양광 패널 매설 및 선 정리	패널 연결 및 터미널 박스를 통한 작동확인
	
케이블 방수처리 및 컨트롤러와 연결	태양광 발전 계측시스템 구성



[그림 2] 태양광 패널 모듈 배치도



[그림 3] 태양광 도로시스템 전원 계통도

2. 현장 차량하중 재하시험

- 현장시험시공구간에 실제 차량하중에 의한 현장 하중시험을 수행함. 현장 여건 상 중 차량 진입이 불가하여, 일반 승용차(아반떼, 공차중량 약 1380kg)에 의한 하중재하시험을 수행함.
- 현장 하중재하시험의 목적은 차량하중 재하뿐만 아니라 태양광 패널 모듈 위에서 정지한 상태로 축 조향 실시에 의한 시험 및 일반 승용차의 접지길이 측정을 통한 미끄러짐 저항시험결과 검토 등을 수행하기 위함.
- 시공완료 후 차량을 올려 태양광 패널 및 블록에 대한 파손 여부 및 차량의 공차중량, 타이어 공기압 등을 고려하여 접지면적 및 접지장을 계산함. 접지면적을 계산하기 위한 조건 및 계산식은 [표 2]에 나타내었고, 현장 차량하중 재하시험은 [표 3]과 같이 수행하였음.
- 시험 결과 태양광 패널 모듈과 콘크리트 블록 모두 균열 등의 파손이 발생하지 않았음. 또한 태양광 패널 모듈을 통한 발전기능 및 단선 등의 기능적 파손도 발생하지 않음을 확인함. 그러나 추후 중차량에 대한 하중재하 시험이 필요할 것으로 판단됨.
- 타이어의 접지면적 및 접지길이를 계산한 결과 타이어 공기압을 35psi로 가정하였을 경우 접지면적은 561cm², 접지길이는 25cm로 산정되어, 길이 20cm인 태양광 패널 모듈 위로 차량 주행 시 미끄러짐 없이 주행이 가능할 것으로 판단됨.

[표 2] 접지면적, 접지장 계산을 위한 조건 및 계산식

구분		세부내용
아반떼 공차중량(kg)		1,380
타이어 폭(cm)		22.5
타이어	psi	35
공기압	kgf/cm ²	2.46
타이어 접지면적(cm ²)		561
접지길이 (cm)		25
접지면적 계산식		$A(\text{면적}) = F(\text{힘}) / P(\text{압력})$ A : 접지면적, F : 자동차 중량, P : 타이어 공기압

[표 3] 차량하중 재하시험



3. 태양광 블록시스템 발전량 측정

- 태양광 발전시스템의 도로 적용 시 태양광 패널의 발전성능 평가를 위하여 현장시험을 수행함. 현장시험은 서경대학교 토목건축공학과 야외 실습장 중 일조가 양호한 지점을 선정 후 6개의 시험조건에 각 10개의 패널을 병렬로 연결하여 총 60개의 태양광 패널을 설치함. 시험조건은 다음과 같음.
 - ① 보호 아크릴 표면 패턴 : 정방형 패턴, 사선 패턴
 - ② 패널 표면의 상태 : 흙집이 있는 표면, 비오염 상태, 오염 상태
- 미끄럼 저항 시험결과 사선 패턴이 미끄럼저항성이 높게 측정되었고, 흙집이 있는 표면은 비오염 상태와 큰 차이를 보이지 않았으므로, 본 연구에서는 사선 패턴의 오염 상태와 비오염 상태의 측정 데이터를 우선적으로 이용하여 비교를 실시함.
- 총 5일간 수집한 발전량 데이터와 기상청에서 측정한 일사량 데이터를 이용하여 일사량과 발전량의 상관관계를 도출하고, 1년간의 기상청 측정데이터를 확보하여 연간 월 평균 발전량 예측을 수행함.
- 발전량 예측결과를 활용하여 실제 태양광 도로시스템 구축 시 발전에너지를 이용한 가로등 전원공급 적용사례를 기술함.

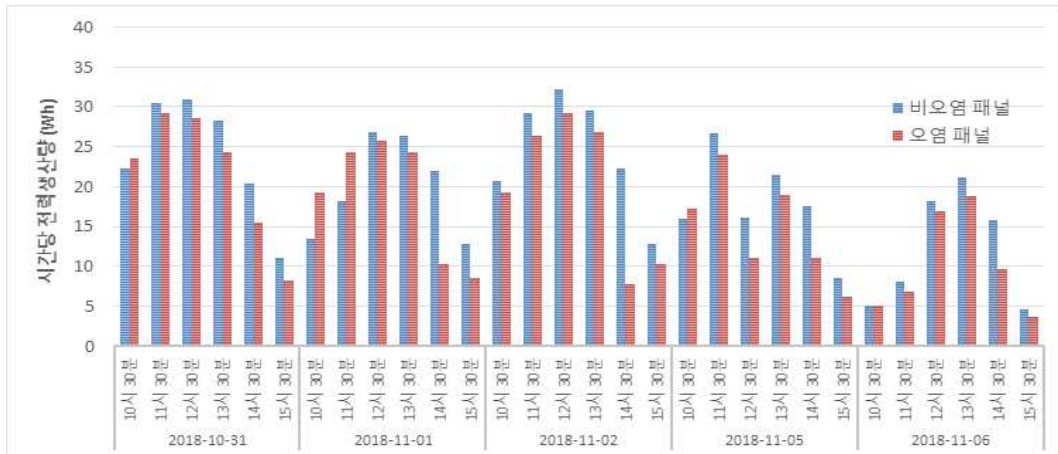
(1) 태양광 블록시스템 발전량 측정

- 비오염 패널 : 5W 용량 태양광 패널 10개 병렬연결, 오전 시험 전 청소 수행
- 오염 패널 : 5W 용량 태양광 패널 10개 병렬연결, 2018년 10월 20일 설치 이후 청소 수행 안함, 오전 시험 전 낙엽 등 이물질만 수작업으로 제거
- 2018년 10월 31일부터 11월 6일까지 5일간, 10시 30분부터 1시간 간격으로 1일 6회 계측 수행 (전압, 전류 및 전력량 수집, [표 4] 참조)

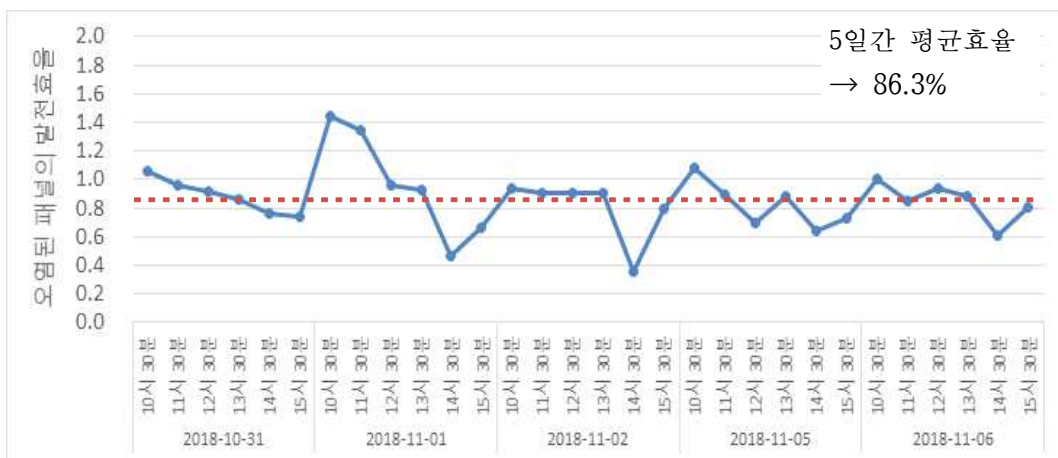
- 2018년 10월 31일부터 11월 6일까지 5일간 측정결과, 일 기준으로 12시 30분 ~ 13시 30분에 최대 전력을 생산하고, 최대 발전량은 11월 2일 12시 30분에 32.2Wh의 전력생산을 보임. ([그림 4] 참조)
- 본 측정결과는 10개의 태양광 패널이 병렬로 연결된 상태이므로, 패널 1개당 생산량은 최대 3.2Wh 이고, 본 패널의 최대 발전량은 5.0Wh 이므로, 이 때의 발전효율은 64%로 확인됨.
- 오염 패널의 발전량은 비오염 패널에 비해 평균 86.3%의 발전효율을 보임. ([그림 5] 참조)
- 일반적으로 시일이 지남에 따라 오염도는 증가하므로, 긴 시간동안의 측정결과 분석이 필요할 것으로 판단됨. (본 연구에서는 총 오염일수 17일까지만 측정함.)

[표 4] 오염 패널과 비오염 패널에서의 발전량 측정결과 (패널 10개 당)

날짜	시간	오염 패널			비오염 패널			오염패널 발전효율
		전압 (V)	전류 (A)	전력량 (W)	전압 (V)	전류 (A)	전력량 (W)	
2018-10-31	10시 30분	12.4	1.9	23.6	12.4	1.8	22.3	1.06
	11시 30분	12.7	2.3	29.2	12.7	2.4	30.5	0.96
	12시 30분	12.4	2.3	28.5	12.4	2.5	31.0	0.92
	13시 30분	12.2	2.0	24.4	12.3	2.3	28.3	0.86
	14시 30분	11.9	1.3	15.5	12.0	1.7	20.4	0.76
	15시 30분	11.7	0.7	8.2	11.1	1.0	11.1	0.74
2018-11-01	10시 30분	12.1	1.6	19.4	12.2	1.1	13.4	1.44
	11시 30분	12.2	2.0	24.4	12.1	1.5	18.2	1.34
	12시 30분	11.7	2.2	25.7	11.2	2.4	26.9	0.96
	13시 30분	12.2	2.0	24.4	12.0	2.2	26.4	0.92
	14시 30분	11.4	0.9	10.3	12.2	1.8	22.0	0.47
	15시 30분	10.7	0.8	8.6	11.7	1.1	12.9	0.67
2018-11-02	10시 30분	12.9	1.5	19.4	12.9	1.6	20.6	0.94
	11시 30분	13.2	2.0	26.4	13.3	2.2	29.3	0.90
	12시 30분	13.3	2.2	29.3	13.4	2.4	32.2	0.91
	13시 30분	13.4	2.0	26.8	13.4	2.2	29.5	0.91
	14시 30분	13.1	0.6	7.9	13.1	1.7	22.3	0.35
	15시 30분	12.9	0.8	10.3	12.9	1.0	12.9	0.80
2018-11-05	10시 30분	12.3	1.4	17.2	12.3	1.3	16.0	1.08
	11시 30분	12.6	1.9	23.9	12.7	2.1	26.7	0.90
	12시 30분	12.4	0.9	11.2	12.4	1.3	16.1	0.69
	13시 30분	12.6	1.5	18.9	12.6	1.7	21.4	0.88
	14시 30분	12.4	0.9	11.2	12.5	1.4	17.5	0.64
	15시 30분	12.4	0.5	6.2	12.2	0.7	8.5	0.73
2018-11-06	10시 30분	10.2	0.5	5.1	10.2	0.5	5.1	1.00
	11시 30분	11.4	0.6	6.8	11.5	0.7	8.1	0.85
	12시 30분	12.1	1.4	16.9	12.1	1.5	18.2	0.93
	13시 30분	12.5	1.5	18.8	12.5	1.7	21.3	0.88
	14시 30분	12.1	0.8	9.7	12.2	1.3	15.9	0.61
	15시 30분	9.4	0.4	3.8	9.3	0.5	4.7	0.81



[그림 4] 오염 패널과 비오염 패널에서의 시간대 별 발전량 (패널 10개 당)

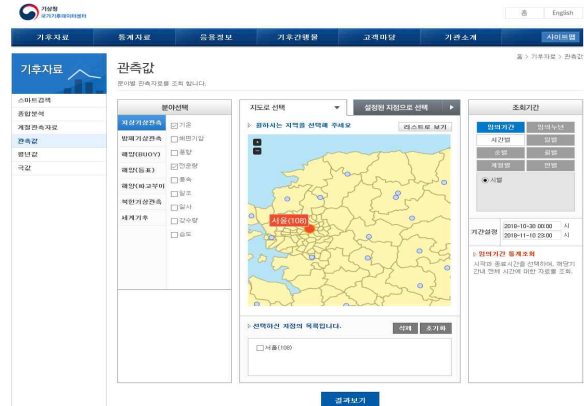


[그림 5] 비오염 패널 대비 오염 패널에서의 시간대 별 발전효율 (평균 86.3%)

4. 일사량과 발전량의 상관관계 도출

- 일사량과 발전량의 상관관계를 도출하기 위하여 시험 수행 기간 동안의 일사량 관측 데이터를 수집함. [그림 6]에서 보이는 바와 같이 기상청에서 운영하는 국가기후데이터센터 누리집 활용하였고, 측정구간과 가장 인접한 서울(종로구)에서 측정한 일사량 데이터를 수집함.
- 본 누리집에서 제공하는 일사량 데이터의 경우 지표면에서 일사량계를 통해 직접 실측한 자료로, 구름, 안개, 미세먼지 등을 투과한 태양에너지가 지표면에 직접적으로 도달한 일사에너지임. 수집한 일사량은 매 시 정각의 데이터로, 본 연구에서 수행한 실측값과 비교를 위하여 인접한 시각의 데이터를 평균하여 매 시 30분의 데이터를 산정함.
- 수집한 일사량과 비오염 패널에서 측정된 발전량을 정리하여 [표 5]에 나타냄. [표 5]의 데이터를 [그림 7]에 도시하였고, 일사량과 시간 당 전력생산량은 양의 비례관계를 보

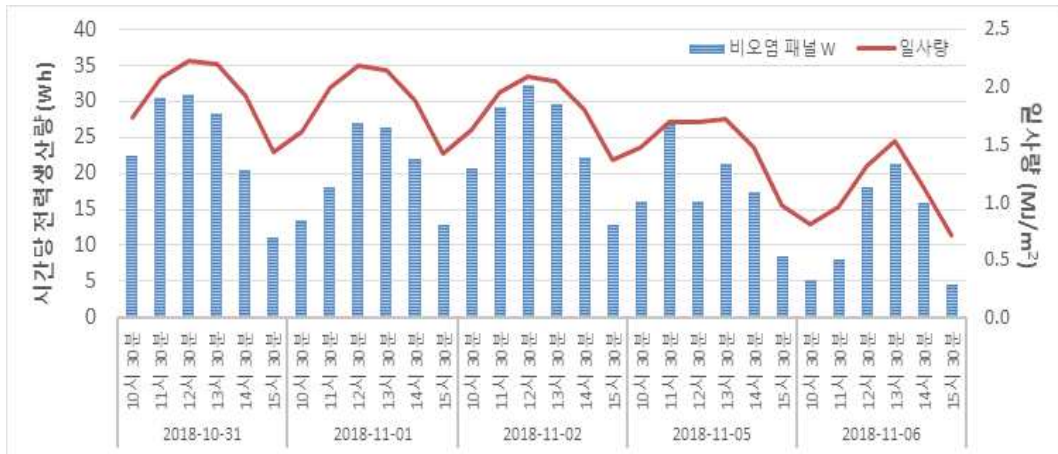
임.



[그림 6] 국가기후데이터센터 누리집 및 서울지역 일사량 데이터 수집

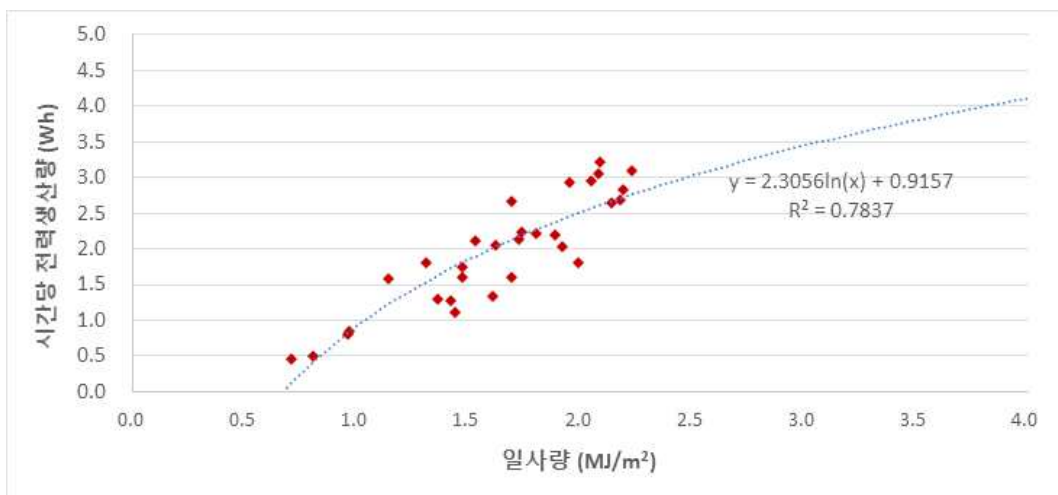
[표 5] 시간대 별 일사량과 발전량 데이터 (패널 10개 당)

시간	날짜	일사량 (MJ/m ²)	시간당 전력 생산량 (비오염 패널, Wh)	날짜	일사량 (MJ/m ²)	시간당 전력 생산량 (비오염 패널, Wh)
10시 30분	2018-10-31	1.74	22.3	2018-11-01	1.61	13.4
11시 30분		2.08	30.5		1.99	18.2
12시 30분		2.23	31.0		2.18	26.9
13시 30분		2.19	28.3		2.14	26.4
14시 30분		1.92	20.4		1.89	22.0
15시 30분		1.44	11.1		1.42	12.9
10시 30분	2018-11-02	1.62	20.6	2018-11-05	1.47	16.0
11시 30분		1.95	29.3		1.70	26.7
12시 30분		2.09	32.2		1.70	16.1
13시 30분		2.05	29.5		1.73	21.4
14시 30분		1.81	22.3		1.48	17.5
15시 30분		1.36	12.9		0.97	8.5
10시 30분	2018-11-06	0.81	5.1	2018-11-06	0.81	5.1
11시 30분		0.96	8.1		0.96	8.1
12시 30분		1.31	18.2		1.31	18.2
13시 30분		1.53	21.3		1.53	21.3
14시 30분		1.14	15.9		1.14	15.9
15시 30분		0.71	4.7		0.71	4.7



[그림 7] 시간대 별 일사량과 발전량과의 관계 (패널 10개 당)

- 본 연구에서 개발한 태양광 블록시스템 1개의 시간 당 전력생산량과 일사량의 관계를 회귀분석한 결과, [그림 8]과 같은 관계를 얻음. 회귀분석식의 R^2 는 0.78의 상관관계를 나타내고, 추후 추가적인 데이터 수집을 통해 상관관계의 정밀도를 높일 수 있을 것으로 판단됨.



[그림 8] 태양광 블록시스템 1개의 시간 당 전력생산량과 일사량의 상관관계

5. 태양광 도로시스템의 연간 발전량 예측

- 본 연구에서 개발한 태양광 블록시스템의 연간 발전량을 예측하기 위하여, 기상청에서 운영하는 국가기후데이터센터 측정 자료를 활용함.
- 2018년 1월 1일 0시부터 2018년 12월 31일 23시까지의 서울시의 일사량 데이터를 수집
- 수집된 일사량 데이터와 일사량-발전량 상관관계식을 활용하여 매 시간별 전력생산량의 예측 값을 산정함.

- 월평균 기준으로 최소 발전량을 보이는 1월과, 최대 발전량을 보이는 6월의 전력생산량 예측의 일례는 [표 6]과 같음.

[표 6] 발전 가능시간대별 일사량과 예측된 발전량 일례 (2018년 1월, 6월)

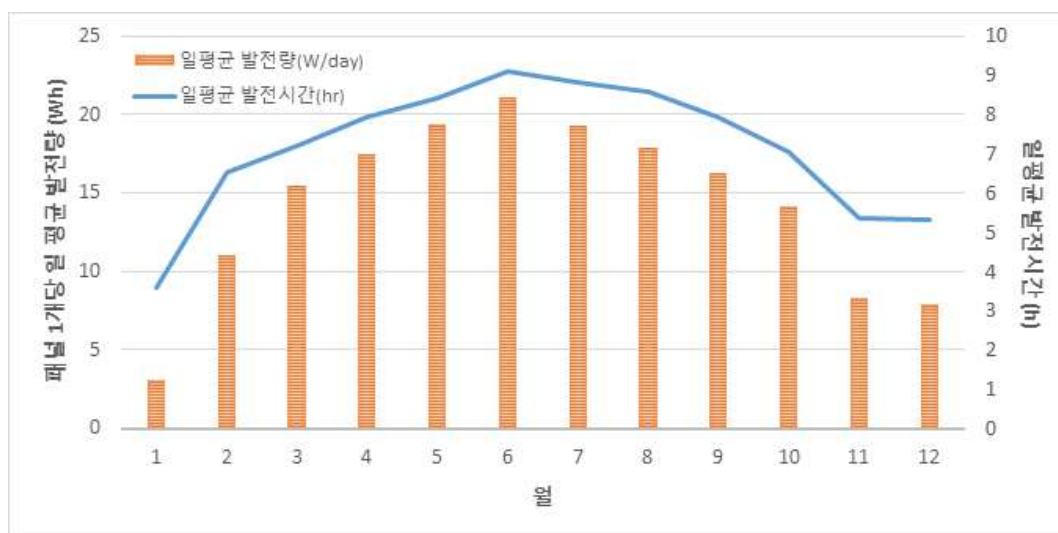
일시	일사량 (MJ/m ²)	시간당 발전량 (예측, Wh)	일시	일사량 (MJ/m ²)	시간당 발전량 (예측, Wh)
2018-01-01 11:00	0.84	0.52			
2018-01-01 12:00	1.03	1.00	2018-01-02 12:00	0.88	0.63
2018-01-01 13:00	1.10	1.15	2018-01-02 13:00	0.95	0.81
2018-01-01 14:00	1.01	0.95	2018-01-02 14:00	0.91	0.71
2018-01-01 15:00	0.78	0.35	2018-01-02 15:00	0.76	0.29
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2018-01-29 11:00	0.91	0.71	2018-01-30 11:00	0.79	0.38
2018-01-29 12:00	1.17	1.29	2018-01-30 12:00	1.01	0.95
2018-01-29 13:00	1.28	1.50	2018-01-30 13:00	1.18	1.31
2018-01-29 14:00	1.25	1.44	2018-01-30 14:00	0.72	0.16
2018-01-29 15:00	1.06	1.06			
2018-01-29 16:00	0.78	0.35			

일시	일사량 (MJ/m ²)	시간당 발전량 (예측, Wh)	일시	일사량 (MJ/m ²)	시간당 발전량 (예측, Wh)
2018-06-01 8:00	1.21	1.37	2018-06-02 8:00	1.23	1.41
2018-06-01 9:00	1.88	2.39	2018-06-02 9:00	1.91	2.43
2018-06-01 10:00	2.45	3.01	2018-06-02 10:00	2.52	3.07
2018-06-01 11:00	2.99	3.47	2018-06-02 11:00	2.98	3.46
2018-06-01 12:00	3.26	3.67	2018-06-02 12:00	3.29	3.69
2018-06-01 13:00	3.30	3.70	2018-06-02 13:00	3.42	3.78
2018-06-01 14:00	3.25	3.66	2018-06-02 14:00	3.32	3.71
2018-06-01 15:00	2.94	3.43	2018-06-02 15:00	3.00	3.48
2018-06-01 16:00	2.46	3.02	2018-06-02 16:00	2.58	3.13
2018-06-01 17:00	1.87	2.38	2018-06-02 17:00	1.93	2.45
2018-06-01 18:00	1.21	1.37	2018-06-02 18:00	1.19	1.33
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2018-06-29 9:00	0.76	0.29	-	-	-
2018-06-29 10:00	1.58	1.99	-	-	-
2018-06-29 11:00	1.41	1.72	2018-06-30 11:00	1.36	1.64
2018-06-29 12:00	2.15	2.70	-	-	-
2018-06-29 13:00	2.37	2.93	2018-06-30 13:00	0.71	0.13
2018-06-29 14:00	2.62	3.16	2018-06-30 14:00	1.84	2.34
2018-06-29 15:00	2.47	3.03	2018-06-30 15:00	0.93	0.76
2018-06-29 16:00	2.36	2.92	-	-	-
2018-06-29 17:00	1.33	1.59	-	-	-
2018-06-29 18:00	1.05	1.04	-	-	-

- 2018년 1년 동안의 일사량과 예측된 발전량 데이터를 이용하여 월별 일평균 발전량 및 발전시간을 산정하면 [표 7]과 같이 나타낼 수 있음. 이를 도시하면 [그림 9]과 같고, 2018년 서울을 기준으로 최대 발전량을 보이는 6월과 최소 발전량을 보이는 1월의 일평균 발전량과 발전시간은 각각 21.09Wh/day(9.1시간) 과 3.07Wh/day(3.6시간) 으로 예측됨.

[표 7] 2018년 월별 일평균 발전량 및 발전시간의 예측결과 (패널 1개당)

연월	월간 총 발전시간 (h)	발전 시간당 평균 일사 (MJ/m ² /h)	일 평균 발전시간 (h)	총 발전량 (예측, Wh)	일 평균 발전량 (예측, Wh/day)
2018년 1월	111	0.98	3.6	95.06	3.07
2018년 2월	183	1.59	6.5	341.76	11.02
2018년 3월	223	1.83	7.2	479.54	15.47
2018년 4월	238	1.98	7.9	542.88	17.51
2018년 5월	261	1.99	8.4	601.28	19.40
2018년 6월	273	2.04	9.1	653.77	21.09
2018년 7월	274	1.88	8.8	598.84	19.32
2018년 8월	266	1.80	8.6	553.60	17.86
2018년 9월	238	1.82	7.9	503.43	16.24
2018년 10월	219	1.68	7.1	437.64	14.12
2018년 11월	161	1.41	5.4	258.37	8.33
2018년 12월	165	1.32	5.3	246.13	7.94
평균	-	1.69	7.16	-	14.30



[그림 9] 패널 1개당 월별 일평균 발전량 및 일평균 발전시간

- 2018년 1년 동안의 연간 일평균 발전량 및 발전시간은 14.3Wh/day과 7.16시간으로 예측됨. 이를 태양광 패널의 최대 발전용량 기준 일일 평균 발전시간으로 환산하면 다음과 같음.
 - 5W 용량 패널 1개당 연간 일평균 발전량 = 14.30Wh/day
 - $14.30\text{Wh/day} / 5\text{W(패널 최대발전량)} / 0.83(\text{발전효율}) = 3.45\text{h/day}$
 - 2018년 일일 평균 발전 가능시간 = 3.45시간 (기존 서울시 자료와 비교 시 부합)
- 일평균 발전 가능시간 환산결과 3.45시간으로 산정되었고, 이 결과는 기존 문헌분석결과 도출된 3.2시간에 크게 벗어나지 않음을 알 수 있음.

(참고 1) 설치경사가 0° 일 경우 발전효율 약 83% ([그림 10] 참조)

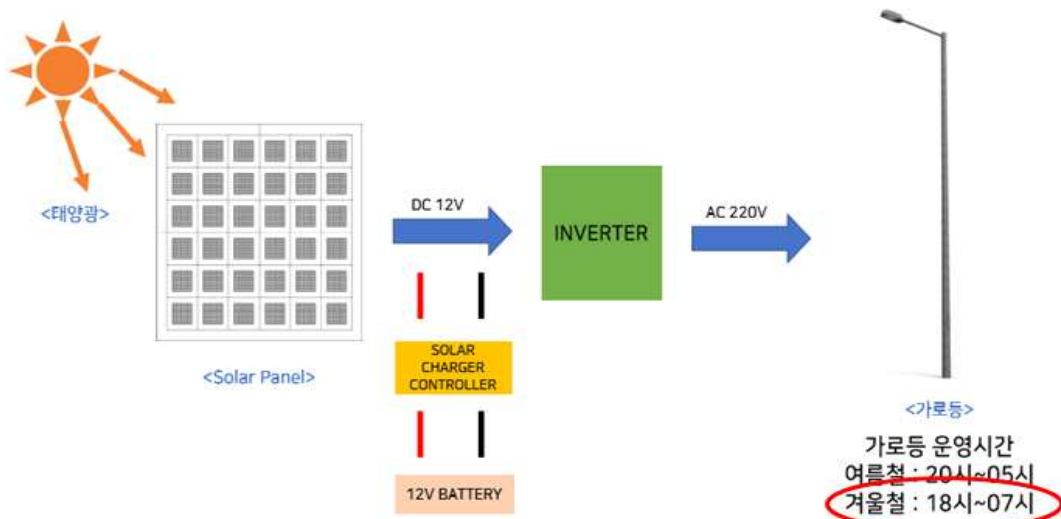
연평균 경사	정서	정남																		정동	
		90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	-10°	-20°	-30°	-40°	-50°	-60°	-70°	-80°		-90°
10°	85	86	88	89	90	91	92	92	92	91	91	90	89	88	86	85	88	81	80		
20°	84	87	90	92	94	96	97	97	97	97	96	94	92	89	87	84	85	77	74		
30°	80	85	89	92	95	98	99	100	100	99	97	95	92	89	85	80	81	72	67		
40°	75	81	86	90	94	97	99	100	100	98	96	93	90	85	81	76	75	65	60		
50°	69	75	81	86	90	93	95	96	96	95	92	89	85	80	75	69	67	57	51		
60°	62	68	74	79	83	87	89	90	90	88	86	82	78	72	67	61	59	49	43		
70°	54	60	66	71	75	78	80	81	81	79	76	73	68	64	58	53	50	41	36		
80°	45	51	56	61	65	68	69	70	69	68	65	62	58	53	49	44	41	34	28		
90°	37	42	46	50	53	56	57	57	56	55	52	49	46	42	39	34	32	26	22		

[그림 10] 패널 설치방향과 설치경사에 따른 발전효율 (서울시 햇빛지도 누리집)

(참고 2) 일평균 발전 가능시간 : 일반적으로 태양광 발전량을 개략적으로 산정 시 1일 발전 가능시간과 태양광 패널의 최대 발전용량의 곱으로 일평균 발전량을 산정함. 서울지역의 경우 3.2시간(서울연구원, 2013)의 값을 가짐.

6. 태양광 도로시스템 발전에너지를 이용한 가로등 전원공급 적용사례

- 태양광 도로시스템을 이용한 가로등 전원 공급 가능성을 파악하기 위하여 다양한 설계 기준들을 검토함.
- 태양광 도로시스템을 이용한 가로등 전원 공급 프로세스는 태양광 패널, 컨트롤러, 배터리, 인버터 및 가로등으로 구성되며, 이를 [그림 11]과 같이 도식화하였음.
- 도로조명기준 (KS A 3701:2014)에 따르면 가로등 설치간격은 휘도기준에 맞춰 최소 30~48m로 명시됨.
- 가로등 설치 및 운영에 관한 매뉴얼 (에너지관리공단, 2011)에 따르면 일반적으로 사용되는 가로등 램프의 소비전력은 [그림 12]와 같이 70W~250W의 분포를 보임.

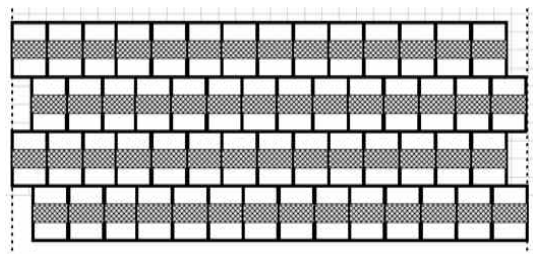


[그림 11] 태양광 도로시스템을 이용한 가로등 전원 공급 프로세스

- 차로 폭 3m 기준으로 길이 1m 당 설치할 수 있는 태양광 패널의 개수는 [그림 13]에서 보이는 바와 같이 42개로 산정됨.
 - 겨울철 가로등 운영시간은 총 13시간으로, 250W 소비전력의 나트륨램프 사용 시 일 전력소비량은 3.25kWh/day로 산정됨.
 - 가로등 최소간격 30m 기준으로 태양광 도로시스템의 일 발전량은 다음과 같이 산정할 수 있음. 산정결과 태양광 도로시스템 30m 길이당 일 발전량은 최소 3.87kWh/day에서 최대 18.02kWh/day로 예측할 수 있으며, 최대 소비전력의 램프 사용 시에도 가로등 점등을 위한 전력은 충분히 공급할 수 있다는 결론을 얻을 수 있었음.
- ① 길이 30m × 패널 42개 × 최소 (1월) 일평균 발전량 3.07Wh/day = 3.87kWh/day
 - ② 길이 30m × 패널 42개 × 최대 (6월) 일평균 발전량 21.09Wh/day = 26.57kWh/day
 - ③ 길이 30m × 패널 42개 × 연간 일평균 발전량 14.30Wh/day = 18.02kWh/day

구 분	나트륨 250W	CDM 70W	삼파장 100W	LED 150W
램프형상				
유효수명	10,000 시간	15,000 시간	8,000 시간	반영구
소비전력	250[W]	70[W]	85[W]	150[W]
연 색 성	65[RA]	94[RA]	80[RA]	조절가능
조 도	35[lx]	32[lx]	10[lx]	10[lx]
발열온도	130℃	90℃	60℃	50℃
눈 부 심	있음	있음	없음	없음
안 정 기	있음	있음	없음	없음
가 격(원)	15,000~20,000	28,000~32,000	15,000~20,000	150,000~250,000
장 점	기준	전기로 절감 수명이 길다	안정기 내장형 교체비 절감	반영구적이다 효율이 높다
단 점	기준	나트륨램프 대비 고가임	수명이 짧음 조도가 낮음	가격이 제일 고가임

- 1개 차로 폭 : 3m
 - 1열 14개 배치 가능
 - 1개 차로 1m 길이 당 42개



[그림 12] 가로등 램프규격(에너지관리공단, 2011) [그림 13] 태양광 도로시스템 블록배치

태양광 도로 선정 가이드 (안)

2018. 12. .

주관연구기관 / 서경대학교
협동연구기관 / 콘텍이엔지
지오티에스

국토교통부
국토교통과학기술원

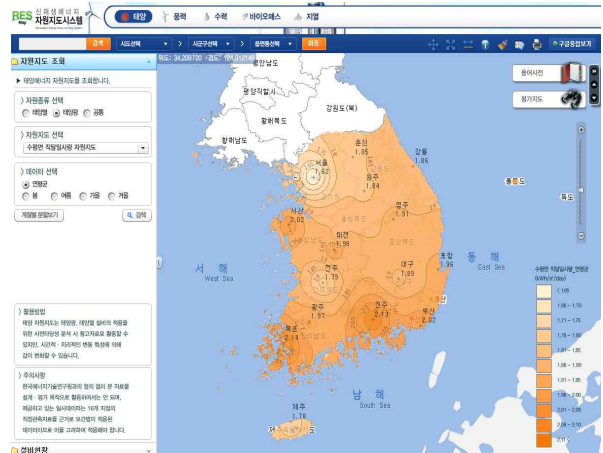
태양광 도로 선정 가이드 (안)

2. 개요

- 태양광 도로 선정 시 고려해야 할 요건은 태양자원의 양, 인접 구조물에 의한 음영의 정도 및 시공 후 차량 주행 음영에 의한 발전효율 등이 있음.
- 국내 태양광 도로 선정 절차는 다음과 같은 순서로 분석할 것을 제안함.
 - ① 국내 자원지도시스템을 활용한 후보지 선정
 - ② 인접 구조물에 의한 음영을 피하기 위한 최소 확보거리 산정
 - ③ 차량 통행에 따른 발전효율 산정

2. 국내 자원지도시스템을 활용한 후보지 선정

- 태양광 도로시스템에 도달하는 태양에너지는 구름, 안개 및 미세먼지에 의해 반사 혹은 산란된 태양광을 제외한 직달일사량이고, 설치경사가 일반적으로 0° 부근인 도로의 특성에 따라 도달면은 수평면에 거의 근접함. 따라서 태양자원량에 따른 적용지역 선정 시 이용할 수 있는 일사량은 수평면 직달일사량으로 판단됨.
- 신재생에너지 자원지도시스템을 활용한 후보지 선정
- 적용대상 지역이 여러 곳일 경우 태양자원량이 많은 곳을 우선적으로 고려할 수 있으므로, 신재생에너지 자원지도시스템의 일사량 자원지도를 이용하여 적용 우선순위를 결정할 수 있음. 일사량 자원지도 활용방법은 아래와 같음.
 - ① 신재생에너지 데이터센터 누리집 접속 ([그림 1] 참조)
 - ② 자원지도시스템-WebGIS, 옵션 : 태양광 / 수평면 직달일사량 자원지도 / 연평균
 - ③ 2018년 12월 현재 자원지도를 살펴보면 연평균 수평면 직달일사량의 최대값과 최소값은 각각 $2.14\text{kWh/m}^2/\text{day}$ (목포)와 $1.62\text{kWh/m}^2/\text{day}$ (서울)의 분포를 보임 ([그림 2] 참조)
 - ④ 태양광 자원지도를 활용한 태양광 도로시스템 적용 우선순위 검토



[그림 1] 신재생에너지 데이터센터 누리집 [그림 2] 국내 연평균 수평면 직달일사량 분포

3. 인접 구조물에 의한 음영을 피하기 위한 최소 확보거리 산정

- 일반 태양광 시스템은 건물 옥상이나 캐노피와 같이 인접 구조물보다 고도가 높은 곳에 설치가 가능하나, 태양광 도로시스템의 경우 일반적으로 인접 구조물보다 고도가 낮은 곳에만 설치가 가능함. 따라서 인접 구조물에 의한 음영구간 발생확률이 매우 높음.
- 음영구간을 최소화하기 위하여 설치위치와 시간에 따른 태양의 위치를 정확히 계산하고, 인접 구조물의 위치와 높이 및 이에 따른 발전 가능시간 내 음영구간 파악이 필요함.

(가) 태양 고도와 방위각 계산

① 태양의 적위(δ) 계산

태양의 적위(δ)는 지구의 중심과 태양의 중심을 잇는 선이 지구의 적도와 이루는 각도이며 다음 식에 의해 구해진다.

$$\delta = 23.45 \times \sin\left[\frac{360(n + 284)}{365}\right]$$

여기서, n 은 1월 1일을 기준으로 한 계산 대상일의 일수

(예 : 1월 1일은 1, 12월 21일은 355)

② 태양의 고도각(α) 계산

태양의 고도각은 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin\delta \cdot \sin\varphi + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega)$$

여기서, φ : 대지의 위도[°], δ : 태양의 적위[°]

ω : 시각 (時角) (예 : 1시간은 15°, 24시간은 360°)

③ 태양의 방위각(ϕ) 계산

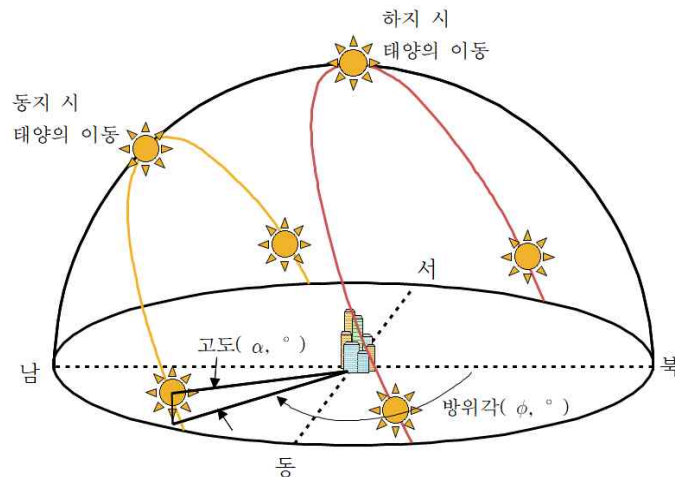
태양의 방위각은 다음 식에 의해 구한다.

$$\phi = \sin^{-1}\left(\frac{\cos\delta \cdot \sin\omega}{\cos\alpha}\right)$$

(나) 인접 구조물 고저차에 의한 음영구간 산정

① 태양의 연중 이동변화

- [그림 3]은 태양의 고도가 가장 높은 하지 시와 태양의 고도가 가장 낮은 동지 시의 태양의 이동을 나타냄.
- 구조물의 고저차에 의한 음영의 영향반경은 동지 때에 가장 넓게 나타남.

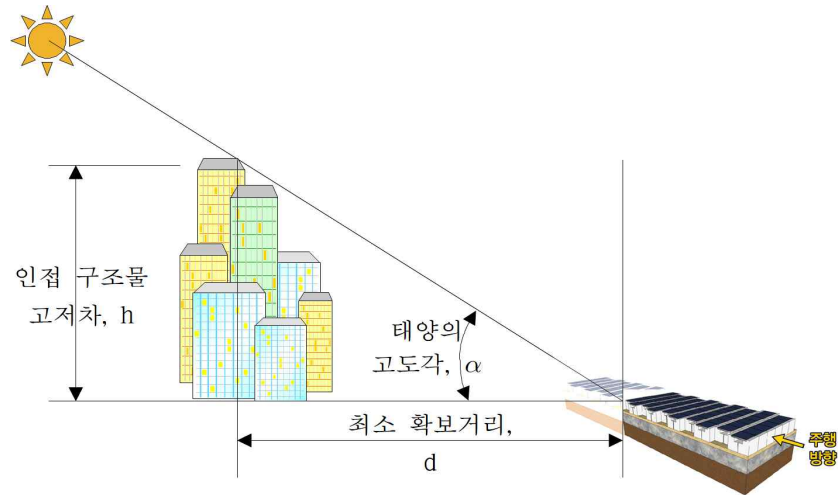


[그림 3] 동지와 하지의 태양의 1일 이동궤적

② 인접 구조물 음영의 영향거리 분석 방법

- 인접 구조물의 높이(h)와 태양의 고도각(α)에 의한 최소 확보거리(d)는 다음 식에 의해 산정할 수 있음.

$$d = \frac{h \cdot \cos \alpha}{\sin \alpha}$$



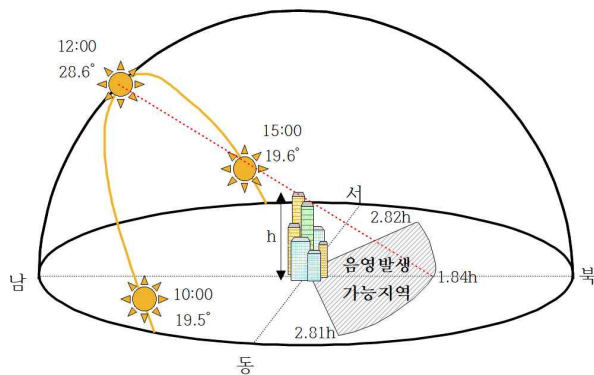
[그림 4] 음영방지를 위한 인접 구조물과의 최소 확보거리

③ 인접 구조물 음영의 영향거리 분석 일례 (간이 분석방법)

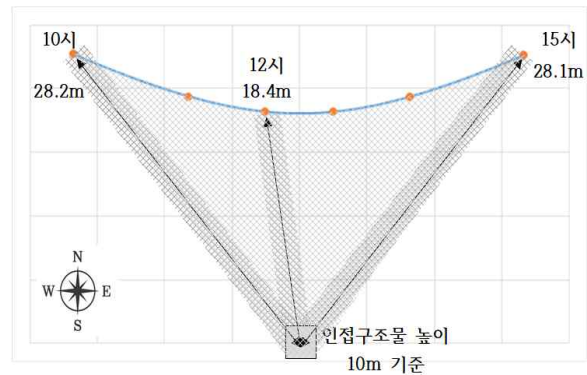
- 인접 구조물 음영의 영향위치는 적용구간의 위도, 경도, 인접 구조물의 높이에 따라 달라짐.
- 인접 구조물 음영의 영향거리 분석 일례로, 서경대학교 (북위 37.62°, 동경 127.01°) 선정함. 2018년 동지 (12월 22일) 기준, 태양광 발전 가능 시간 10시 ~ 15시의 태양의 고도와 방위각, 이에 따른 최소 확보거리 산정결과는 [표 1]과 같음.
- [표 1]의 태양의 방향과 고도각을 이용하여 산정한 최소 확보거리를 도시하면 [그림 5]와 같이 나타낼 수 있고, 구조물 높이가 10m 일 경우의 시간에 따른 음영구간의 길이와 방향의 일례를 도시하면 [그림 6]과 같이 나타낼 수 있음.
- 주요 인접 구조물의 개략적인 위치와 높이를 2D 지도에 표시 후 음영발생 가능지역을 도시하여 태양광 블록시스템의 설치가능구간을 설정할 수 있음.

[표 1] 태양광 발전시간 내의 태양의 위치 및 최소 확보거리 일례 (서경대학교, 동지)

시간	태양의 고도각 $\alpha (^{\circ})$	방위각 $\phi (^{\circ})$	최소 확보거리 / 고저차 (d/h)
10:00:00	19.5	143.6	2.82
10:30:00	22.8	150.1	2.38
11:00:00	25.4	157.1	2.11
11:30:00	27.4	164.4	1.93
12:00:00	28.6	172.1	1.84
12:30:00	29.0	179.9	1.81
13:00:00	28.6	187.7	1.84
13:30:00	27.4	195.4	1.93
14:00:00	25.4	202.8	2.10
14:30:00	22.8	209.7	2.38
15:00:00	19.6	216.3	2.81



[그림 5] 태양 궤적 일례 (서경대, 동지)



[그림 6] 시계열 음영구간 일례 (h=10m)

4. 차량 통행에 따른 발전효율 산정방안

- 태양광 도로시스템의 인접 구조물에 의한 영향은 설치위치 선정 단계에서 고려할 수 있으나, 실제 공용 시 차량주행 혹은 주차에 의한 영향은 고려할 수 없음.
- 차량 주차에 의한 영향은 주차 공간 만차 시를 고려하여 음영분석을 실시하고, 차량 주행에 의한 발전효율은 아래와 같은 절차에 의하여 산정할 수 있음.

(가) 차량 통행에 따른 발전효율 산정절차

- ① 시간별 교통량 수집
- ② 발전시간 내/외 교통량 분류
- ③ 차종 분류
- ④ 차종별 교통량을 이용한 음영시간 산정
- ⑤ 시간대별 발전효율 산정

(나) 차종 및 평균 구간속도를 고려한 차량 통행에 따른 음영시간 산정

- 국내 차종분류는 현재 [그림 7]과 같이 12종으로 분류 (한국건설기술연구원, 2006)

종별	분류기준	대표적 차체 및 차축 배열	차종 정의	해당 차량의 예	종별	분류기준	대표적 차체 및 차축 배열	차종 정의	해당 차량의 예
1종	축수 2		16인승 이상의 여객 수송용 버스 형식으로 2축 1단위 차량	클릭, 벤투라, 아반떼, 투스카니, 그랜저, 에쿠스, 모닝, 프라이드, 세라토, 로제, 오피러스, 토스카, 윈스톨, 레조, 라세티, 쟈트라, 칼로스, 마티즈, 체어맨, 쏘나타, 프라이드, 겔로퍼, 라바타, 트라제, 샌타페 등	6종	축수 4		화물 수송용 트럭 형식으로 4축 1단위 차량	탱크로리, 덤프 트럭, 카고트럭 등
	단위 1					단위 1			
2종	축수 2		16인승 미만의 여객 수송용 차량, 미니 트럭 등 2축 1단위 차량	그랜버드, 뉴클레, 에어로 고속, 에어로 버스, 도시형 버스, 직행 버스, 관광 버스, 좌석 버스, 스모스, 시외 버스, 전세 버스 등	7종	축수 5		화물 수송용 트럭 형식으로 5축 1단위 차량	탱크로리, 덤프 트럭, 카고트럭 등
	단위 1					단위 1			
3종	축수 2		화물 수송용 트럭으로 2축의 최대 적재량 1~2.5톤 미만의 1단위 차량	봉고, 포터, 세레스 등 2.5톤 이하 트럭, 2.5톤 미만 내장탑, 2.5톤 미만 냉동탑 등	8종	축수 4		화물 수송용 세미 트레일러 형식으로 4축 2단위 (견인차, 피견인차) 차량	평판 세미 트레일러, 탱크로리 트레일러 등
	단위 1					단위 2			
4종	축수 2		화물 수송용 트럭으로 2축의 최대 적재량 2.5톤이상의 1단위 차량	타이탄, 복사, 트레이드, 2.5~5톤 트럭, 트럭디, 8~8.5톤 카고, 8톤 냉동차, 8~8.5톤 덤프, 8톤 견인차, 5톤 핵가, 견인차, 라이노, 4.5톤 내장탑, 4.5톤 냉동탑, 사료 운반차	9종	축수 4		화물 수송용 풀 트레일러 형식으로 4축 2단위 (견인차, 피견인차) 차량	카고 풀 트레일러 등
	단위 1					단위 2			
5종	축수 3		화물 수송용 트럭으로 3축 1단위 차량	믹서, 15톤 덤프, 트래커, 불믹서, 5.4톤 트럭디, 9.5~10톤 카고, 10KL, 탱크로리, 11톤 냉동차, 11.5톤 암물, 11~12톤 카고, LPG 탱크, 냉동 6x4, 11톤~12톤 카고 트럭, 베스트 믹서, LPG 탱크로리, B.C. 트럭, 견인차, 대형 콘크리트 펌프, 탱크로리 등	10종	축수 5		화물 수송용 세미 트레일러 형식으로 5축 2단위 (견인차, 피견인차) 차량	평판 세미 트레일러 등
	단위 1					단위 2			
6종	축수 3		화물 수송용 트럭으로 3축 1단위 차량	믹서, 15톤 덤프, 트래커, 불믹서, 5.4톤 트럭디, 9.5~10톤 카고, 10KL, 탱크로리, 11톤 냉동차, 11.5톤 암물, 11~12톤 카고, LPG 탱크, 냉동 6x4, 11톤~12톤 카고 트럭, 베스트 믹서, LPG 탱크로리, B.C. 트럭, 견인차, 대형 콘크리트 펌프, 탱크로리 등	11종	축수 5		화물 수송용 풀 트레일러 형식으로 5축 2단위 (견인차, 피견인차) 차량	카고 풀 트레일러 등
	단위 1					단위 2			
7종	축수 4		화물 수송용 트럭으로 4축 1단위 차량	클릭, 벤투라, 아반떼, 투스카니, 그랜저, 에쿠스, 모닝, 프라이드, 세라토, 로제, 오피러스, 토스카, 윈스톨, 레조, 라세티, 쟈트라, 칼로스, 마티즈, 체어맨, 쏘나타, 프라이드, 겔로퍼, 라바타, 트라제, 샌타페 등	12종	축수 6		화물 수송용 세미 트레일러 형식으로 6축이상 2단위 (견인차, 피견인차) 차량	평판 세미 트레일러 등
	단위 1					단위 2			

[그림 7] 통합 12종 차종분류 (한국건설기술연구원, 2006)

- 본 연구에서는 12종 대표차종의 길이를 조사하고, 대상지역의 평균 구간속도와 차량 주행에 의한 음영시간을 산정하였으며, 산정된 음영시간은 [표 2]와 같음.
- 산정결과 승용차 등 1종차량은 시속 60km로 주행 시 교통량 1대 당 음영시간은 0.3초로 산정되었고, 대형 트레일러가 시속 10km 구간에서 주행 시 교통량 1대 당 음영시간은 총 6.5초로 산정됨.

[표 2] 대표 차종의 속도별 음영 시간 (초)

차종	대표종류	대표차종 일례	최대 길이	평균속도 (km/h)					
				10	20	30	40	50	60
1종	대형 RV	코란도 스포츠	5m	1.8	0.9	0.6	0.5	0.4	0.3
2종	관광버스	리무진 버스	12m	4.3	2.2	1.4	1.1	0.9	0.7
3종	2.5톤 트럭	마이티 카고	6.5m	2.3	1.2	0.8	0.6	0.5	0.4
4종	8톤 2축트럭	뉴파워트럭 8톤	10m	3.6	1.8	1.2	0.9	0.7	0.6
5종	3축트럭	엑시언트 6x4 카고	12m	4.3	2.2	1.4	1.1	0.9	0.7
6종	4축 트럭	엑시언트 8x4 카고	13m	4.7	2.3	1.6	1.2	0.9	0.8
7종	5축 트럭	엑시언트 10x4 카고	13m	4.7	2.3	1.6	1.2	0.9	0.8
8종	4축 세미 트레일러	트랙터5.5m +트레일러12.5m	18m	6.5	3.2	2.2	1.6	1.3	1.1
9종	4축 풀 트레일러								
10종	5축 세미 트레일러								
11종	5축 풀 트레일러								
12종	6축 세미 트레일러								

(다) 차량 통행에 따른 발전효율 산정방안 일례

① 대상구간 개요

- 태양광 블록시스템 설치위치 : 시속 30km 어린이보호구역 도로
- 1일 교통량 : 승용차, 버스 및 트럭이 각각 2000, 650 및 100대가 주행한다고 가정함.
(토지주택연구원, 2010)

② 대상구간 기준 차량 통행에 따른 발전효율 산정결과

- 태양광 발전 가능시간 (연평균 7.16시간/일) : 10시 ~ 17시
- 발전 가능시간 내 시간당 교통량 산정 : 시간당 교통량 = 1일교통량/14시간 (07~21시)
- 통행차량에 의한 시간당 음영시간 산정 : 182초
- 통행차량 음영에 의한 발전효율 산정 : $1 - (182\text{초}/1\text{시간}) = 0.95$
- 대상구간의 통행차량 음영에 의한 발전효율은 95%로 산정됨.

[표 3] 태양광 도로시스템의 상세 음영분석절차 일례

차종	1종	2종	트럭	계
1일 교통량 (대)	2000	650	100	2750
발전시간 내 시간당 교통량 (대)	150	50	10	210
발전시간 내 시간당 음영시간 (초)	90	70	22	182

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.