



차교량의 태양광발전시스템 적용을 통한 경관조명 에너지 절약

박윤민(세종대학교 건축공학과 석사과정) · 최안섭(세종대학교 건축공학과 교수)

1. 들어가기

최근 도시기반시설에 대한 개선과 더불어 도시환경의 발전도 이뤄짐에 따라 한강은 서울시민과 근교 대도시의 급수원의 역할, 치수의 역할과 여가활동공간의 역할까지 수행하게 되었다. 또한 한강에 설치된 24개의 교량은 교통의 요소 뿐 아니라 야간 경관조명을 계획하여 도시의 야간 이미지를 개선하고 여행자에게 도시의 야경을 아름답고 쾌적하게 느끼게 하는 중요한 관광자원이 되었다. 그러나 국제 유가가 연일 배럴당 100달러 이상 상회하자 초고유가 시대를 극복하기 위해 국가 에너지 위기 경보를 '주의'단계로 상향하였다. 이에 따라 서울시는 한강의 교량 24개 중에서 12개 교량의 경관조명만 점등하기로 결정했다고 밝혔다.

관광지나 관광도시에 있어서 야경은 생활 환경의 중요한 한 부분을 차지하고 있다. 따라서 야간 경관조명의 단편적인 소등은 정책적인 에너지 절약이라는 사회적 분위기에 부응할 수 있지만 경제 활성화와 활력 촉진에 도움이 되는 관광산업과 연계해 볼 때, 오히려 경제성 파급 효과에 절감이 될 수 있는 정책인가에 관한 우려가 있다. 그러므로 야간 경관조명의 점등시간의 축소 및 소등 이외의 근본적인 대안이 필

요한 시점이며 본고에서는 Bridge Integrated Photovoltaic 시스템을 대안으로 제안하였다.

2. Bridge Integrated Photovoltaic

태양광발전 시스템은 1940년대 초고순도 단결정 실리콘을 제조할 수 있는 Czochralski Process가 개발된 후 눈부신 발전을 하였다. 1970년대에 이르러 알루미늄 프레임의 PV(Photovoltaic) 모듈이 교외지역의 건축물에서 자가발전을 위해 사용되었고, 80년대에는 지붕 위에 설치가 됨으로써 BIPV (Building Integrated Photovoltaic) 시스템의 개념이 도입되었다. 90년대에는 PV 모듈을 건축 자재화하여 건물 외피에 적용함으로써 경제성은 물론 각종 부가가치를 높여 보다 효율적인 지금의 BIPV 시스템의 모습이 나타났다. BIPV 시스템은 PV 시스템을 위한 별도의 부지확보 비용과 PV 시스템 지지를 위한 구조물 건립 비용이 필요하지 않으며, 전기 부하가 발생하는 그 지점에서 발전이 된다는 장점을 가지고 있다. 그러나 인접건물의 그림자로 인하여 일사취득에 방해받을 수 있으며 조광을 할 수 없어 재실자에게 쾌적한 실내 환경을 제공할 수 없다는 단점도 지니고 있다. 본고에서 제안하는 BrIPV(Bridge

Integrated Photovoltaic) 시스템은 기존의 BIPV(Building Integrated Photovoltaic) 시스템의 개념을 확장시켜 교량에 적용시킨 시스템으로써 설치 면적에 대한 부담 감소와 인접 건물의 그림자로 인한 일사취득의 감소 없이 발전할 수 있다는 강점을 지니고 있다.

3. 한강 교량의 분석

3.1 한강 교량의 소비에너지 분석

한강에는 24개의 교량이 있으며 그 중에서 22개는 차량이 통행할 수 있는 차도교이며, 2개는 전철이 통행할 수 있는 철도교이다. 이들 교량은 한강의 수변공간을 보다 아름답게 하기 위하여 야간경관조명이 설치되어 있어 도시의 야간이미지를 개선시키는 긍정적인 역할을 수행하고 있다. 표 1은 한강교량에서 경관조명으로 가장 많이 사용하는 광원과 설치 교량을 정리한 표이다. 한 교량에서 사용하는 광원의 종류는 적어도 2개에서 많게는 4개를 사용하며 LED를 제외한 대부분의 광원은 100[W] 이상의 소비전력을 필요로 한다. 그리고 500[W] 이하의 MH(메탈헬라이드)램프를 사용하는 교량이 13곳으로 가장 많다.

표 1. 광원 종류와 설치 교량

광원		설치 교량
MH	500[W] 이하	광진, 천호, 올림픽, 잠실(철), 잠실, 동호, 반포, 동작, 한강, 양화, 행주, 청담, 당산
	500[W] 이상	광진, 올림픽, 동작, 원호, 가양, 행주, 당산
NH		올림픽, 잠실, 성수, 반포, 양화
CCL		천호, 잠실(철), 한강, 양화
HQI		한남, 동작
CDM		한강, 원호, 양화, 성산
LED		광진, 잠실, 영동, 동호, 한남, 마포

표 2. 경관조명 설치 전경


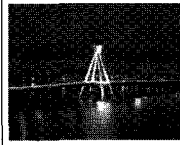
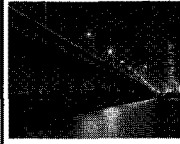





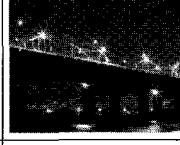



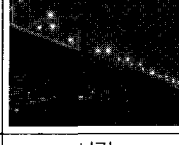





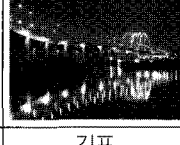
		
광진	천호	올림픽
		
잠실(철)	잠실	청담
		
영동	성수	동호
		
한남	반포	동작
		
한강	한강(철)	원호
		
마포	서강	양화
		
당산	성산	가양
		
방화	행주	김포

표 2는 서울시 한강교량의 야간경관모습이다. 교량의 특성에 맞게 광원의 색과 색온도를 선정하여 사용하고 있으며 주 2회 정기점검을 통해 야간경관을 유지하고 있다.

서울시는 교량에서 경관조명의 과도한 에너지 소비를 막기 위하여 점등시간을 일몰 후 15분부터 익일 02시까지 운영하고 있으며 각 기간별 평균 점등시간을 산출하여 표 3에 정리하였다. 표 3는 일출·일몰 시간에 의한 점등시간을 산정하였으며, 담천공과 눈, 비 등 날씨에 의한 점등시간은 고려하지 않았다. 산출된 점등시간으로 교량에서 사용되는 전기에너지를 구할 수 있으며 점등시간을 저녁과 심야로 구분한 것은 전기요금이 시간별로 다르게 책정되기 때문이다.

표 3. 기간별 평균 일출, 일몰, 일사 및 점등 시간

기간	겨울 (11~2월)	봄·가을 (3~5, 9~10월)	여름 (6~8월)
일출시간	07시 27분	06시 15분	05시 20분
일몰시간	17시 19분	18시 26분	19시 34분
일사시간	9시간 52분	12시간 11분	14시간 14분
점등 시간	저녁 5시간 26분	4시간 19분	3시간 11분
	심야 3시간	3시간	3시간

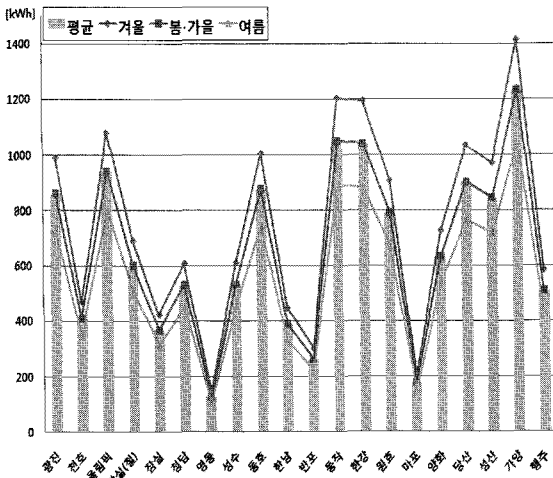


그림 1. 각 교량의 에너지 소비량

위의 표 3을 이용하여 각 교량에 설치된 일간 평균 조명에너지 소비량을 그림 1과 같이 그래프로 나타내었다. 가양대교는 그림 1에서와 같이 하루 동안 1,400(kWh) 이상의 전력을 소비하고 있다. 각 계절의 소비 에너지량을 비교해볼 때 일몰시간이 이른 겨울철이 소비 에너지량이 가장 많음을 알 수 있다.

3.2 태양광발전시스템 적용의 적합성 분석

서울의 동서를 가로지르는 한강에 설치된 24개의 교량은 그림 2와 같이 위치한다. PV모듈 설치를 고려하기 전에 우선적으로 PV모듈이 교량에 설치가능하며 어떻게 설치하여야 하는지에 관한 검토가 이루어져야 한다.

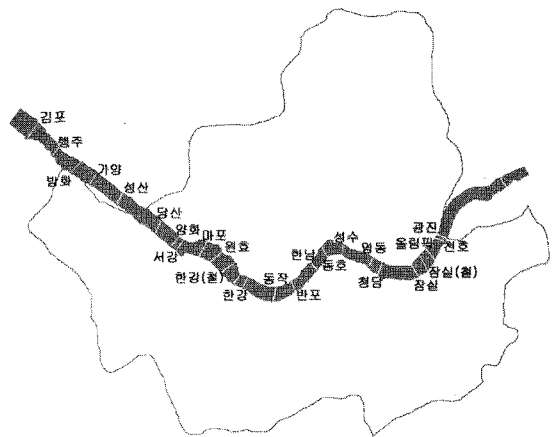


그림 2. 한강교량 위치

무엇보다 교량의 미적인 부분을 해치지 않아야 하며 이를 판단하기 위해 교량을 두 가지로 구분하여 분류하였다. 첫째로 표 4와 같이 차량이나 사람이 통행 가능한 교면의 위치에 따라 분류하였다.

교면의 위치가 상부에 있는 상로교와 하부에 있는 하로교 일수록 PV모듈이 교량의 입면에 설치되었을 때 시야 또는 미적인 부분에 방해되지 않아 PV모듈

설치가 유리하며 한강교량의 대부분은 상·하로교로 PV모듈 설치가 가능하다.

표 4. 교량의 교면위치에 따른 분류

구분	교량 입면
상로교	
중로교	
하로교	

표 5. 교량의 구조형식에 따른 분류

구분	교량 입면
거더교	
라멘교	
트러스교	
아치교	
현수교	
사장교	

두 번째 분류방법은 구조형식에 따른 분류이다. 표 5와 같이 거더, 라멘, 트러스, 아치, 현수, 사장교로 분류된다. 거더교나 라멘교는 상부가 거더로 연결되므로 PV모듈 설치가 용이하다. 그러나 트러스교 아

치교는 그 구조자체가 미관상으로 뛰어나고 선부재를 이용하기 때문에 구조미를 해치는 PV모듈 설치 계획은 하지 않아야 한다. 현수교와 사장교는 케이블의 인장력으로 지지되는 교량이며 이 케이블의 인장력이 매우 크기 때문에 장대교량에서 많이 사용되는 방식이다. 현수교와 사장교는 미관상 수려하고 하부 구조의 간격이 넓기 때문에 PV모듈 설치를 지양해야 하는 교량형식이다.

한강교량은 대부분 1,000(m)가 넘는 비교적 큰 교량이다. 본 논문에서 PV모듈 설치를 고려한 부분은 상부 거더의 측면이며 이 거더의 높이는 표 6과 같이 2(m)에서 10(m)가 넘는 것까지 다양하다. 또한 교량의 거더가 정확하게 남북 방향으로 위치하지 않으므로 정확한 방위각을 조사하여야 태양광발전 시스템의 신뢰도도 증가한다. 표 6은 각 교량의 기본 재원을 정리한 표이다. 구조형식은 위의 표 5에 따라 분류하였으며 트러스교와 아치교 중에서 청담대교나 서강대교와 같이 그 구조 자체가 선부재로 되어있어 PV모듈 설치가 불가능한 교량은 적합성 항목에서 부적합하다는 판단을 하였다. 총 24개의 교량 중 9개의 교량을 부적합 판단을 하였으며 15개의 적합한 교량만 태양광발전시스템 적용성 분석을 하였다. 방위각 항목에서 '-'부호는 남쪽을 기준으로 동쪽에 위치한 교량이고 반대로 '+'부호는 서쪽에 위치한 교량을 의미한다.

표 6. 서울시 한강교량의 제원

교량명	구조 형식	교장(m)	거더 높이(m)	방위각 (°)	적합성
광진	라멘	1055.85	3.5	-68	적합
천호	라멘	1150.00	2.0	-67	적합
올림픽	사장	1470.00	3.0	-42	적합
잠실(철)	라멘	1270.00	3.0	-29	적합
잠실	라멘	1280.00	2.0	-34	적합

교량명	구조 형식	교장(m)	거더 높이(m)	방위각 (°)	적합성
청담	트러스	1211.00	17.1	22	부적합
영동	라멘	850.00	2.6	23	적합
성수	트러스	768.00	5.7	0	부적합
동호	트러스	1220.00	2.2	-27	부적합
한남	라멘	916.60	3.2	-39	적합
반포	라멘	1490.00	2.0	-21	적합
동작	아치	1245.00	3.5	10	적합
한강	아치	381.30	2.5	40	부적합
한강(철)	트러스	1112.80	17.0	56	부적합
원효	라멘	1120.00	6.0	52	적합
마포	라멘	1389.60	3.0	28	적합
서강	아치	1320.00	6.0	36	부적합
양화	라멘	1048.00	3.3	40	적합
당산	라멘	810.00	6.6	25	적합
성산	아치	1040.00	13.0	28	부적합
가양	라멘	1603.00	10.0	33	적합
방화	트러스	2559.00	8.1	41	부적합
행주	라멘	1460.00	4.5	36	적합
김포	라멘	1080.00	7.0	34	부적합

4. 태양광발전

태양광발전 시장은 2009년에 증설 설비량이 약 6.4(GW) 규모로 증가하였으며 전 세계적으로 총생산능력이 20(GW)를 넘을 것으로 판단된다. 또한 2014년까지 30(GW)급에 도달할 것이라고 예상되어 PV모듈 생산업체의 증가와 생산력은 더욱 발전할 것이다. 특히 독일, 일본, 미국은 그들이 가지고 있는 기존의 기술력과 생산력으로 현재 세계 PV모듈 시장의 1, 2, 3위를 차지하고 있다.

표 7. 제조사별 PV모듈 사양 비교

모듈 type	Poly-crystalline				
	L사 (한국)	Q사 (독일)	S사 (미국)	K사 (일본)	S사 (중국)
제조사	L사 (한국)	Q사 (독일)	S사 (미국)	K사 (일본)	S사 (중국)
Pmax(W)	230	240	318	210	225
발전량 (W/m ²)	139.70	143.71	152.35	141.41	136.36
PV모듈 효율(%)	13.9	14.3	15.2	14.1	13.6

PV모듈은 크게 단결정질, 다결정질, 비결정질로 구분되며 비결정질은 두께를 매우 얇게 만들 수 있으나 발전량이 미비하여 특수한 목적 없이는 많이 이용되지 않는다. 표 7은 세계적으로 PV모듈을 많이 생산하는 제조사의 다결정질 모듈의 기본 사양이다.

표 7의 기본 사양은 STC(Standard Test Conditions)에서의 사양이므로 실제 설치 시 차이가 발생할 수 있다. 이들 5개의 제조사의 다결정 PV모듈은 평균적으로 1000(W/m²)의 일사량이 입사되면 약 140(W)의 전기를 생산할 수 있다. 본고에서 제안한 BrIPV 시스템에서는 PV모듈당 140(W)의 전기를 발전할 수 있다고 가정하고 발전량을 계산하였다. 그리고 본고의 BrIPV 시스템의 설치 조건은 다음과 같다.

- ① 시스템의 설치각도는 90도로 설정하였다.
- ② 시스템의 방위각은 앞 절의 표 8에서 정리한 각도를 이용하여 교량의 방위각도에 맞게 설정하였다.
- ③ 서울지역의 일사량은 동절기 8.4130(MJ/m²), 춘·추절기 14.6414(MJ/m²), 하절기 15.7879(MJ/m²)으로 산출하였다.
- ④ 각 교량을 남단에서 북단으로 바라보았을 때 오른쪽 측면을 1번, 왼쪽 측면을 2번으로 정하였다.
- ⑤ 각 교량의 PV모듈 설치면적은 교장의 90(%)의 가로길이와 1(m)의 세로길이를 설정하였

으며 교량 입면 양쪽에 PV모듈 설치를 고려하였다.

그림 3은 교량에서 연간 소비되는 전력량 대비 시스템에서 발전되는 전력량의 그래프이다. 영동대교, 반포대교, 마포대교에서는 발전량이 소비량을 초과하므로 소비되고 남은 전력을 다시 한전에 공급하는 것도 가능하다.

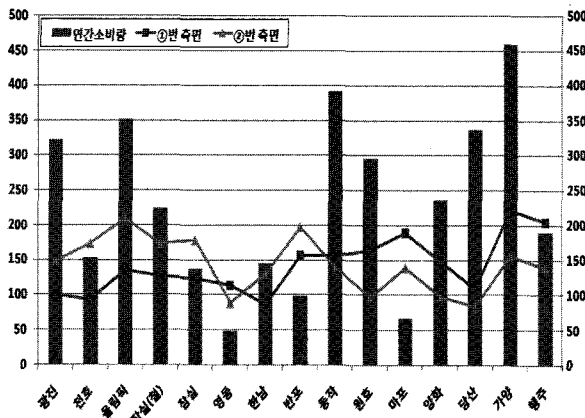


그림 3. 교량의 소비 에너지량과 시스템발전량

현재 우리나라에서는 가정용 전기와 산업용 전기로 구분하여 전기요금을 책정하고 있다. 본고에서는 교량에서 소비되는 전기에너지를 산업용(병) 전력 요금으로 계산하여 분석하였다. 산업용(병) 전기요금은 [kW]당 6,800원의 기본요금과 시간대별 사용요금으로 책정된다. 부하시간이 가장 많은 시간을 최대부하시간대, 부하가 가장 적은 시간을 경부하 시간대, 그 중간을 중간부하 시간대로 구분하여 요금에 대한 가중치를 두어 책정하게 된다. 연간전기요금은 산업용(병) 전기요금표에 따라 누진세를 적용하여 책정하였으며, 실 전기요금은 교량에서 소비되는 전력량을 양쪽 측면에 설치한 태양광발전시스템에서 발전된 전력으로 소비하고, 부족한 전력을 한전에서 공급받았을 경우를 상정한 요금이다. 당산대교의 경우 태양광

발전시스템을 이용하여도 연간 13,459,000원의 전기요금을 납부하여야 한다. 그러나 태양광발전시스템을 적용하지 않을 경우의 납부요금은 31,321,000원으로 기존 전기요금보다 약 57(%)의 전기요금을 절약할 수 있다.

공급액은 발전량이 소비량을 초과할 경우, 다시 한전으로 공급할 때의 연간 수익률이며 공급 가격은 [kWh]당 408.62원으로 책정된다. 천호, 잠실(철), 잠실, 영동, 한남, 반포, 마포, 양화, 행주 대교는 소비되고 남은 전력으로 연간 적게는 3,885,000원, 많게는 106,940,000원의 이익을 창출할 수 있다.

표 8. 교량에서 전기요금의 책정

교량명	소비량 (MWh)	발전량 (MWh)	연간 전기요금 (천원)	실 전기요금 (천원)	공급액 (천원)
광진	322	248	29,725	6,804	0
천호	153	265	13,907	0	45,944
올림픽	352	345	31,993	630	0
잠실(철)	225	300	21,142	0	30,948
잠실	138	302	12,807	0	67,164
영동	48	202	5,478	0	62,919
한남	145	215	13,335	0	28,458
반포	98	354	8,971	0	104,638
동작	392	297	36,411	8,805	0
원호	296	261	28,476	3,367	0
마포	67	329	6,747	0	106,940
양화	237	246	21,251	0	3,885
당산	337	192	31,321	13,459	0
가양	460	378	39,925	7,097	0
행주	190	344	18,416	0	62,845

5. 맺음말

본고에서 태양광발전 시설을 교량의 입면에 적용함

으로써, 그 발전된 전기에너지를 이용하여 경관조명을 점등하는 개념을 살펴보았다. 위에서 제시된 발전량과 금액은 PV모듈의 정확한 설치 각도, 축전 시설의 효율 등의 구체적인 요소들이 적용되지 못하였다. 본고에서 살펴본 BrIPV 시스템은 경관조명을 유지하는 좋은 대안으로써, 사회·문화적 이익을 창출할 수 있으며 신·재생에너지를 이용하는 친환경설비이므로 그 적용성을 고려해 볼 만한 충분한 가치가 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Building-integrated PV modules, Joachi Benemann, Solar Energy Materials & Solar Cells.
- [2] 서울시도시기반시설본부(www.smih.seoul.go.kr), 서울메트로.
- [3] RetScreen, Ver.2010.
- [4] 기상청(www.kma.go.kr), 전자민원센터, 기상자료제공.
- [5] 국제에너지기구(International Energy Agency).
- [6] LG 솔라 에너지(www.taeon.ipitime.org).
- [7] Q-cells(www.q-cells.com).
- [8] Sunpower(www.sunpowercorp.com).
- [9] Kyocera(www.kyocera.com).
- [10] Suntech(www.suntech-power.com).
- [11] 조효남, 교량공학, 개정판, 구미서관, 2002.
- [12] RETScreen International(www.retscreen.net).
- [13] 에너지관리공단 신재생에너지센터(www.energy.or.kr), 태양광발전 보조금 지원 자료.
- [14] 지식경제부, 태양광발전 차액 지원, 2010 태양광 전원의 용량 및 적용기간 별 기준가격.
- [15] 충북지역 야간관광명소 개발전략, 2002.
- [16] 한국전력공사, 2010 전기요금제도(www.kepco.co.kr).
- [17] 데일리 경제.

◇ 저 자 소 개 ◇



박윤민(朴允旻)

1987년 7월 17일생. 2010년 세종대 토목환경공학과 전공. 건축공학과 부전공 졸업. 현재 세종대 건축공학과 석사과정.



최안섭(崔安燮)

1967년 10월 4일생. 1991년 한양대 건축공학과 졸업. 1993년 The Pennsylvania State University 건축공학 건축조명시스템 전공 졸업(석사). 1997년 The Pennsylvania States University 건축 공학 건축조명시스템전공 졸업(박사). 현재 세종대 건축공학과 교수. 본 학회 이사.