

옥상공간의 태양광 자원 해석을 통한 PV 시스템 및 녹화식재에 대한 적지조건분석*

김태한¹⁾ · 박대근²⁾ · 권지영²⁾

¹⁾ 상명대학교 환경조경학과 · ²⁾ 상명대학교 일반대학원 환경자원학과

The Analysis of Optimal Site Condition for Photovoltaic System and Green Roof Planting through Sunlight Component Simulation of Rooftop Area*

Kim, Tae Han¹⁾ · Park, Dae Keun²⁾ and Kwan, Ji Young²⁾

¹⁾ Dept. of Environmental Landscape Architecture, Sang Myung University,

²⁾ Dept. of Environmental Resources, Graduate School, Sang Myung University.

ABSTRACT

These day morden cities have serious climatic problems due to enviornmental load caused by excessive development of urbanization. As technological improvement to answer to various ecological disasters and climate changes are also called on the field of construction, inter-disciplinary studies linked to the estabilishment of sustainable energy generation systems and enviornmental control is needed in a consilient point of view.

This study aims to analyse optimal site conditions for photovoltaic system and green roof planting through solar radiation simulation in a integrated perspective. In so doing, it seeks to proffer basic study for developing a sound use of roof area that is sustainable in environmental and resources aspects. A computer simulation showed that, in the case of total seasonal solar radiation, summer season resulted 312.5kWh in 35% of total annual solar radiation. This season indicated the lowest

* 본 연구는 환경부의 차세대에코이노베이션기술개발사업 ‘인공지반부 도시생태계 적응, 관리 기술개발(과제번호 : 416-111-016)’의 지원으로 수행됨.

First author : Kim, Tae Han, Dept. of Environmental Landscape Architecture, Sang Myung University,
Tel : +82-41-550-5303, E-mail : taehankim@smu.ac.kr

Corresponding author : Kim, Tae Han, Dept. of Environmental Landscape Architecture, Sang Myung University,
Tel : +82-41-550-5303, E-mail : taehankim@smu.ac.kr

Received : 8 May, 2013. **Revised** : 11 July, 2013. **Accepted** : 14 July, 2013.

radiation rate of the year for direct sunlight in 45.8% of total seasonal solar radiation. Due to such solar radiation simulation, at the largest optimal planting area, *Glechoma hederacea* var. *longituba* secured 719.16m² of gross roof area.

Key Words : *Direct and diffuse solar radiation analysis, Solar access analysis, Sky division model, Photovoltaics system, Green roof, Ecotect analysis.*

I. 서 론

현대도시는 과도한 개발행위로 인한 도심환경부하가 심화되어 복합적인 기후변화재해에 직면하고 있다. 최근 이러한 기후변화로 인해 발생하는 평균기온 상승, 도심홍수 등의 근원적인 원인을 도출하려는 다양한 연구들이 시도되고 있다. 여기서 다수 연구자들은 주요원인을 수자원, 에너지 순환 체계의 교란에서 기인된 도시시스템의 생태적 기능성 저하로 제시하고 있다. 따라서 이를 도심환경개선 측면에서 해결하려는 노력은 건설관련학계의 공통적인 연구 주제로 인식되고 있다.

이외에 중요한 기후변화 요인은 전통적인 화석 에너지 시스템에 있으며 이는 온실가스, 도심열섬화 효과 등을 유발하는 대표적인 환경부하 요소이다. 이를 개선하기위해 국내외에 재생 가능한 에너지원에 대한 활발한 연구가 진행 중에 있으며 정부는 미래사회의 중점 육성산업으로 인식하고 있다.

최근 재생에너지원에 대한 전향적인 사회인식제고는 오일쇼크를 겪었던 1970년대의 상황과 매우 유사하다. 하지만 원천기술의 더딘 개발속도와 더불어 주변환경 요소를 고려하지 않은 불합리한 적용기술수준은 이러한 관심이 1980년대 중반 유가하락과 맞물려 점차 정책 우선순위에서 멀어지게 된 결정적인 계기를 제공하게 된다. 최근 원천기술개발에 비해 이를

활용하는 건설부문의 재생에너지관련 연구방향은 건전한 기술적용부문이 선행되어야 할 것이다. 해당분야에서 현재 기존학문과 융합적으로 이루어지고 있는 기술적용연구는 건축부문의 건축물통합형 태양광발전시스템 (BIPV¹⁾)이 대표적이다.

반면 점차 기후변화에 대응하는 학문적 전문성과 기술적 제고가 조경분야에도 요구됨에 따라 지속 가능한 유지관리 및 에너지시스템 구축과 연동된 학문연계연구가 필요한 시점이다. 특히 태양광발전시장의 80%이상을 차지하고 있는 결정형 실리콘 태양전지의 경우 전력변환효율이 고온에 급격히 저감되는 특징을 가지고 있다. 여기서 주변기온저감효과가 예상되는 옥상녹화는 태양전지의 전력변환효율을 제고하는 최적 통합운용으로 재해석될 수 있다. 이렇게 이·화학학적 특징에 대한 이해를 바탕으로 한 상호기술 간의 긍정적 관계도출은 새로운 산업, 학문분야를 촉진하는 매개로 작용할 것으로 사료된다.

현재 보고되고 있는 태양광자원분야의 학문간 융합연구는 실내조경식물 생육을 고려하여 4면형 아트리움에 유입되는 자연채광성능을 평가한 연구(송일학 등 2011), 스마트가로등시스템을 적용하여 수익형 도시공원모델의 타당성을 도출한 연구(이지희 등 2012), 일사량 분석하여 PV모듈 발전량을 도출하고 실내조명에너지부하 저감량을 산정한 연구(박윤민 등 2010)

1) BIPV : Building Integrated Photovoltaics.

등이 있다.

일반적으로 태양광자원 이용과 관련된 연구는 환경인자와 연동된 전산모의가 수반되며 적용되는 기후자료는 연구결과의 신뢰도를 결정하는 중요한 지표로 작용한다. 이와 연계된 연구는 주요 건설환경 전산모의 프로그램에서 사용되는 기상자료, 일사량을 분석한 연구(이선동 등 2010), 집광식 태양광발전설비 유치를 위해 태양광자원 성분을 모니터링 한 연구(조덕기 등 2007)등이 있다.

그리고 옥상에 도입 가능한 식물과 광환경에 관련된 연구는 차광정도가 좁쌀바귀, 땅채송화, 기린초 등의 생육과 피복속도에 미치는 영향에 관한 연구(노희선 등 1997), 지피용 자생식물의 음지조건내 생장 및 관상 가치 평가에 관한 연구(김귀순 등 2009), 다양한 광도조건에 따른 자생화해식물의 생육 및 개화반응에 관한 연구(이종석 2001) 등이 있다.

이러한 연구경향에서 국내기후환경이 고려된 태양광자원의 전산해석을 기반으로 한 적지분석 관련연구는 미비한 상황이다. 따라서 본 연구는 현실적인 국내기후자료를 적용하여 건물에서 가장 태양광 확보가 용이한 옥상공간의 체계적인 광자원해석을 진행하려 한다. 이를 통해 옥상을 단순녹화공간만으로 해석하는 것을 지양하고 태양광 자원에 따른 최적전력생산과 객관적인 식재계획에 대한 이론적 기반을 제공하는 기초연구를 제안하고자 한다.

II. 이론적 고찰

1. 건축물 일사환경 해석

최대 일사량 확보가 가능한 태양광발전시스템 설치를 위해 적지분석은 필수적인 요소이다. 주변 지형지물과 연동된 대상면에 수반되는 일사량을 예측함으로써 태양광발전시스템의 도입 최적지를 유추할 수 있다. 이는 한 지점에 도달하는 총 일사량을 $G_{incident}$ 으로 규정하여

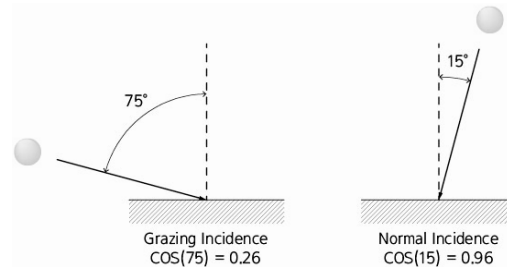


Figure 1. Effect of Incidence Angle (the cosine law).

다음과 같은 산식을 통해 유추할 수 있다.

$$G_{incident} = [(G_{beam} \times \cos(A) \times F_{shad}) + (G_{diffuse} \times F_{sky})]$$

여기서 G_{beam} 은 직달 태양일사량, A 는 태양 입사각, F_{shad} 는 주변지형지물에서 발생하는 음영면적을 의미한다. $G_{diffuse}$ 는 산란 태양일사량, F_{sky} 는 실질적인 산란 태양일사량 도달량 유추를 위한 천공 가시율을 나타낸다.

일반적으로 직달 태양일사량은 입사각에 따라 대상면에 유입되는 최종 에너지량이 변화하며 cosine law가 적용된다(Figure 1). 이는 글레이징 입사, 일반입사 두 가지 유형으로 구분할 수 있으며 입사각이 75°인 글레이징 입사의 경우 수평면에 총 에너지 대비 약 26%의 에너지를 전달하고 15°의 일반입사는 전체의 96%가 표면에 도달한다. 따라서 전력변환 효율을 극대화하는 태양광발전시스템의 설치를 위해 대상지의 위도, 경도 및 주변 환경에 따른 분석이 선행되어야 한다.

2. 천공분할모델

대상지의 태양광환경 분석은 일사량, 음영분석 등으로 구분되며 천공구획을 통해 이루어진다. 천공구획은 분할방법에 따라 다양한 모델로 구분되며 동일면적분할, 삼각형분할, 각도분할 등이 있다.

가장 태양광자원을 모의하기위한 기본 천공분할의 유형은 Tregenza(1987)의 최적직경 0.2 rad

(11.5°)을 적용한 CIE²⁾(국제조명위원회)의 145 동일천공분할모델이 있다. 여기서 8개의 동일고도를 기준으로 구분된 총 145개의 동일면적의 분할구획은 태양광자원의 기준점을 제공한다.

CIE에서 제안한 145 천공분할모델은 동일한 면적구획방법을 추구한 반면 다른 모델은 보다 간단한 위도, 경도 분할 또는 동일각도분할을 통한 접근방법을 제안하고 있다. 여기서 동일면적 분할방법의 경우 각 고도층은 동일면적으로 수

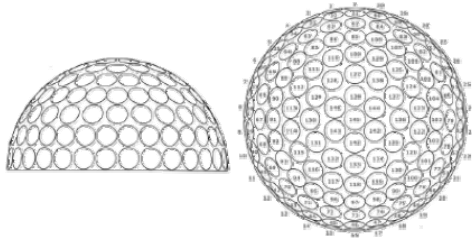


Figure 2. Simulating the sky using 145 evenly-distributed virtual light sources.³⁾

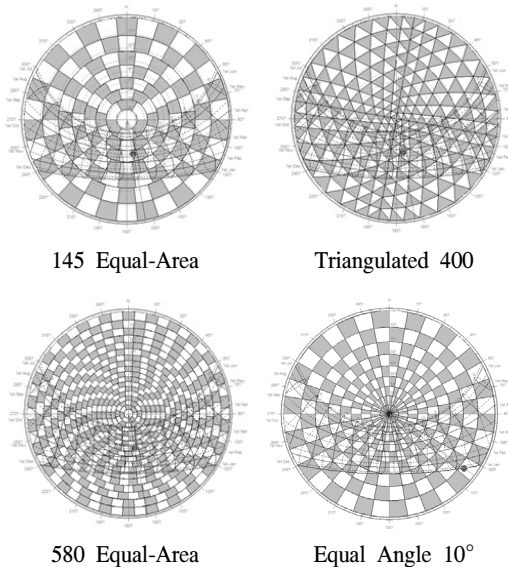


Figure 3. Some examples of different approaches to sky subdivision.

렴되는 서로 다른 개수의 분할면으로 이루어지지만 정확히 동일면적으로 구획할 수 없는 한계를 지닌다.

이러한 문제를 최소화하기 위해 580 동일분할(580 Equal-Area)모델과 같이 분할면적수를 총량적으로 증가시켜 보다 조밀한 면적구분이 가능하다. 삼각형으로 구획된 400 삼각구획(Triangulated 400)모델은 Song과 Kimerling (Song *et al.* 2002)에 의해 제안된 것이다. 이는 작은 원 분할을 통해 구면에 동일면적의 격자를 투영하는 연구에서 착안한 것으로 낮은 고도의 경우 각 격자면적의 차이가 저감되는 특징을 가진다. 마지막으로 등각분할 10°모델의 경우 천구를 지구 표면의 위도, 경도와 같은 방위 및 고도층으로 구획하고 있다. 여기서 방위층에 의한 분할면적이 저고도에서 극점으로 갈수록 상대적으로 축소되며 수렴되는 특징을 보인다(Figure 3).

각 분할면의 구획은 이들 면적간의 관계에 의해 표현되며 이는 면적가중으로 정의되고 다음과 같은 방정식으로 정리된다.

$$Sky = \sum \frac{Z_{area} \times Z_{value}}{Z_{area}}$$

여기서 *Sky*는 천공분할 면적가중을 의미하며 Z_{area} 는 분할면적, Z_{value} 는 분할면적당 값을 나타낸다.

본 연구에서 사용되는 Ecotect Analysis는 사용자 설정의 방위와 고도각을 기반으로 하는 등각분할방법(Equal Angle Method)을 적용하고 있다. 이 모델은 연간 태양고도에 따른 공간좌표를 신속하게 계산하고, 창호와 벽체의 음영설계조건을 결정하는 수직입면의 차양설비효과를 고려하는데 보다 정확한 연산을 가능하게 한다. 기본적으로 Ecotect Analysis에서 정밀한 천공계산은 2°분할을 적용하지만, 10°분할법 또한

2) CIE : Commission Internationale de l'Eclairage.

3) [http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/sky_sub division](http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/sky_sub%20division).

145 동일면적모델에 비해 높은 정확도를 제공한다. 이는 건축모델의 차양효과에 대한 보다 정밀한 표면연산을 가능하게 한다.

3. 분석격자모델

Ecotect Analysis은 가상건축모델의 광환경 해석을 위해 공간분석격자망 (Spatial Analysis Grid)방법을 사용하고 있다. 직달, 산란의 형태로 유입되는 태양복사는 3차원 가상모델에서 유발되는 차양, 반사 등의 물리적 현상과 연동하여 최종적으로 2차원 공간분석격자망에 에너지량으로 표현된다. 이때 경계부문의 불규칙 연속면은 면적가중 평균알고리즘 (area weighted average algorithm) 이 적용된 자동조정 격자망(auto fit grid)시스템이 사용된다.

구축된 공간분석 격자망을 통해 유형별 복사에너지량의 면적가중평균(area-weighted average) 이 산출되며 이는 다음과 같은 방정식으로 정의된다.

$$Avg = \frac{\sum V \times (dx \times dy)}{\sum (dx \times dy)}$$

Avg는 면적가중평균, V는 격자 교점 값, dx

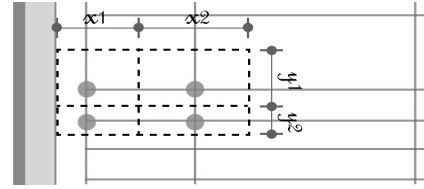


Figure 4. Spatial analysis grid setting principle.⁴⁾

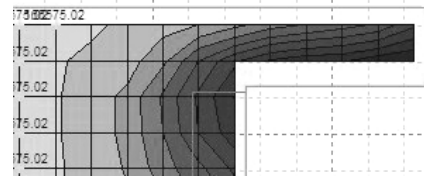


Figure 5. Example of Area Weighted Average.

는 각 교점 간 형성되는 너비, dy는 각 교점 간 형성되는 높이를 의미한다.

여기서 불연속적 모서리에서 발생하는 표준 격자망 적용한계를 보완하기 위해 면적가중알고리즘이 적용되며 교점간의 가중연산을 통한 경계선(contour)형태의 시각표현이 제공된다(Figure 5).

4. 적정 식생생육을 위한 태양광 조건

자연광환경은 식물생장에 직접적인 영향을 미

Table 1. Optimal growth condition of 10 native ground cover plants under different shading levels (period : Apr.15 ~ Jul.15)⁵⁾

Species	Scientific name	Light intensity(W/m ²)	Shading level (%)
Lily of the valley	<i>Convallaria keiskei</i>	564.8	0
Haichow Elsholtzia	<i>Elsholtzia splendens Nakai</i>		
Jom-sseum-ba-gwi	<i>Ixeris stolonifera</i>		
Stonecrop	<i>Sedum oryzifolium</i>		
Kamtschat sedum	<i>Sedum kamtschaticum</i>	344.5 ~ 564.8	0 ~ 35
Aster koraiensis	<i>Aster koraiensis Nakai</i>		
Argun Dragon-head	<i>Dracocephalum argunense</i>		
Thymus Magnus	<i>Thymus quinquecostatus var. japonica</i>	112.9 ~ 564.8	0 ~ 75
Chosen-kasha-yuri	<i>Glechoma hederacea var. longituba</i>		
Lobate Champion	<i>Lychnis cognata</i>	344.5	35

4) fitting a spatial analysis grid, issn : 1833-7570, andrew j. marsh.

5) 노희선 외, 자생지피식물별 적정 차광정도 규명, 2004, 한국화훼연구회지 12(4).

치는 주요인자이다. 일반적으로 식물은 광부족이 발생하면 정상적인 수형을 이루기 어려울 뿐 아니라 개화에 영향을 미쳐 관상적 가치를 저감시키게 된다. 반면에 음지성 식물에 광도가 초과되면 엽왜소화 현상을 유발하고 심하면 고사되기도 한다. 따라서 건전한 식생생육을 위해 적정 태양광도가 요구되며 이에 대한 객관적인 지표가 필요하다. 이와 관련하여 국내자생수종의 적정생육을 위한 광환경 조건을 구체적인 광도구간 제시로 규명한 연구(노희선 등, 2004)가 보고되고 있다. 여기서 연구자는 국내자생수종 10종의 식생생육과 4월 중순에서 7월 중순동안 정량적 태양광도 간의 상관관계를 유추하고 있다 (Table 1).

III. 연구의 내용 및 방법

1. 대상지 개요

대상지는 상명대학교 천안캠퍼스 상록관 옥상으로 1984년 6월 29일 준공한 4층 벽돌조의 학교 설립 초기 건물이다. 지하 1층, 지상 4층, 총 3,600m² 규모이며 외벽은 적벽돌 치장쌓기, 천정은 텍스, 바닥은 인조석물갈기로 마감되었다. 이 중 옥상부 면적은 719.16m²로 우레탄 방수마감으로 처리되었으며 평균 132cm의 난간벽이 형성되어 있다. 건물은 중심축이 진북에서 12° 동편으로 기울어져 있으며 맞은편에는 상록관과 유사한 3층 벽돌조의 청록관이 위치해 있다.

2. 전산모의과정

본 연구는 현실적인 대상지 기후분석을 위해 한국태양 에너지학회에서 제공하는 20년 평균 대한민국 표준 기상데이터를 활용하였다. 현재 학회는 DOE-2, 기준 SI 단위의 형태로 국내 총 11개 주요도시의 기상데이터를 구축하고 있다. 전산모의를 위해 Table 1에서와 같이 대상지와 가장 인접한 대전지역자료를 적용하여 위

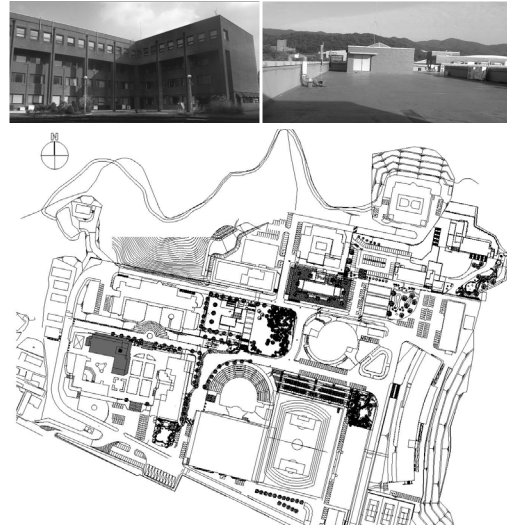


Figure 6. Cheonan Campus of SangMyung University.

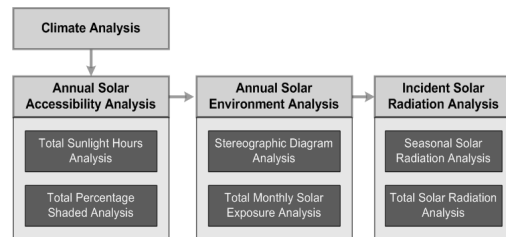


Figure 7. Simulation process.

도, 경도, 해발고도 등의 위치자료를 천안자료로 수정하고 기후현황 분석을 실시하였다. 대상 건물의 태양광발전설비의 최적입지유추를 위해 Ecotect Analysis를 사용하여 대상지 기후분석, 연중 태양광 환경분석, 태양접근성분석, 태양복사량분석을 순차적으로 수행하였다(Figure 7). 이를 바탕으로 태양전지에 의한 전력생산에 필요한 수평면 전일사량을 중심으로 정량적 태양광환경 분석을 실시하였다.

3. 3D 전산모의 모델

본 연구는 전산모의에 적용되는 Geometry 구축을 위해 우선 AutoCAD로 기본물리모델을 생성하여 태양광설비 최적 입지 도출을 위한 일조환경분석을 수행하였다. 일조환경분석은 대상

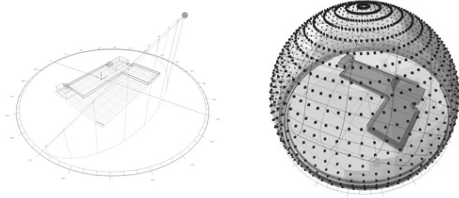


Figure 8. 3D Geometry for ecotect analysis.

천공분할을 위한 극사영도 모델구축은 등각분할방법을 적용하여 방위각 5°, 고도각 5°로 구분하여 총 1,296개의 분할면으로 구현하였다. 분석대상면인 옥상면을 1m×1m의 격자로 구분하고 결점에 총 732개의 측정센서를 설정하여 전산모의환경을 구축하였다(Figure 9).

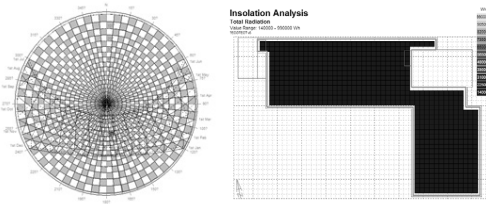


Figure 9. Equal angle 5° model and analysis grid.

4. 적정 식생생육을 위한 태양광 조건

옥상공간에 도입되는 식물의 적정생육을 위한 태양광 조건을 유추하기 위해 앞서 제시된 국내자생수종의 정량적 태양광도 조건을 적용하였다(Table 1). 이를 통해 대상옥상공간의 자생수종에 대한 식재환경을 모의하고자 한다.

지인 상록관 옥상을 CAD 3차원 모델링 후에 Ecotect Analysis에서 전산모의를 진행하였으며 일사에 대한 차폐여부만을 고려하여 외피에 대한 물성치는 부여하지 않았다(Figure 8).

IV. 결과 및 고찰

1. 대상지 기후분석

태양광환경과 연관된 기후특성을 살펴보면 7월은 기온 25.6°C와 상대습도 76%를 보여 연

Table 2. Monthly climate properties of CheonAn.⁶⁾

Month	Average temperature (°C)	Relative humidity (%)	Daily total solar radiation (Wh/m ²)	Daily direct solar radiation (Wh/m ²)	Cloud coverage (%)
1	-1.0	65	2,141	1,928	41
2	0.9	63	3,200	2,761	45
3	5.0	59	3,680	2,750	52
4	12.9	53	5,057	3,885	44
5	17.6	63	5,234	3,424	49
6	22.1	72	4,317	2,346	67
7	25.6	76	4,182	2,313	76
8	25.4	76	3,992	2,319	66
9	21.8	75	3,627	2,674	64
10	14.2	71	3,196	2,775	40
11	9.1	68	3,051	2,929	38
12	2.3	67	2,130	1,917	45
Mean	13.0	67	3,651	2,668	52

6) DaeJeon SI unit, Korean Standard Climate Data, The Korean Solar Energy Society.

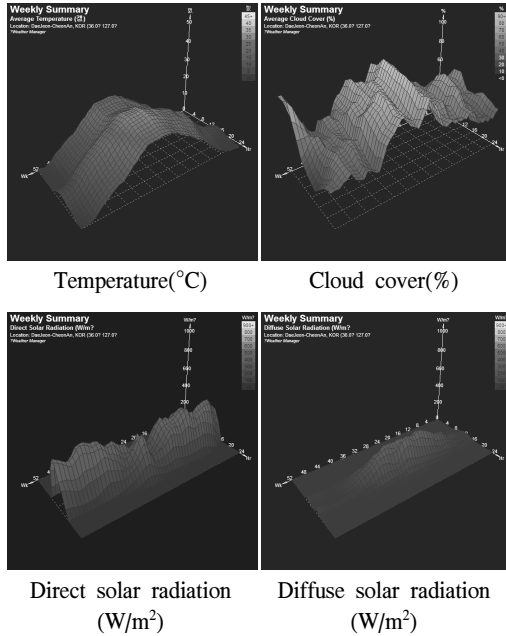


Figure 10. Weekly summary of climate.

평균기온에 비해 12.6°C가 높은 연중 가장 고온다습한 달로 기록되었다. 반면 전운량은 집중우기가 형성되는 7월에 가장 높은 76%를 기록한다. 이는 7월이 상대적으로 대기 외 일사량이 가장 많은 기간임에도 불구하고 일일직달태양복사량이 연평균에 비해 약 13%에 해당하는 355Wh/m²가 부족한 이유로 해석된다. 결과적으로 7월은 1, 12월을 제외한 최저 일일직달태양복사량을 기록하였고 하절기인 6, 7, 8월 모두 평균에 미치지 못하는 직달태양복사량 분포유형을 보인다. 직달태양복사량은 연중 총 태양복사량의 73%를 차지하고 있는데 일일태양복사량 기준 총일사는 5월이 5,234Wh/m²으로 가장 많은 달로 기록되고 있다. 반면 직달일사의 경우 4월이 현저히 높은 3,885Wh/m²를 보이고 있어 대상지의 태양광자원은 4, 5월의 춘절기가 총량 및 직달복사비 측면에서 모두 하절기보다 우수하다는 것을 확인할 수 있다 (Table 2, Figure 10).

2. 연중 물리적 태양 접근성 분석

물리적 태양 접근성은 균일한 천공환경에서 유입되는 대상면의 태양광 자원현황으로 해석할 수 있으며 연중 일조시간 및 음영을 분석을 통해 도출된다. 즉, 전운량이 배제된 태양광 환경 해석을 의미하며 월별 누적 일조시간이 가장 긴 달은 7월로 연중 약 10%에 해당하는 281.9시간을 기록하였다. 반면 가장 낮은 음영율을 기록한 달은 6월로 약 8%에 해당하는데 이는 높은 남중고도로 인하여 주변 환경에 따른 태양광 간섭이 저감된 것으로 판단된다. 이렇게 태양고도와 연동된 음영율은 12월이 가장 높은 34.3%를 보이며 6월을 중심으로 저감된다(Figure 11).

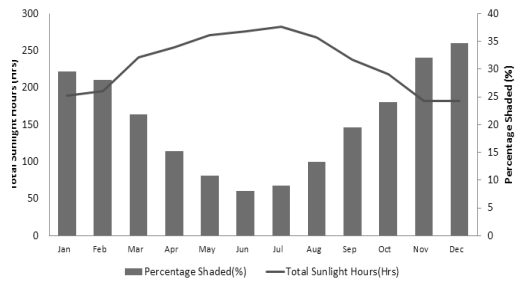


Figure 11. Cumulative Values of total sunlight hours and percentage shaded on the roof top area.

또 다른 물리적 태양 접근성 분석은 대상지인 상록관 옥상 전체면적의 누적 연간평균 일조시간과 음영율을 통해 이루어진다. 우선 연간평균 일조시간은 최저 300시간에서 300시간 단위로 최대 3,300시간까지 총 10단계의 경계선표현을 통해 분석 옥상면에 확보되는 일조시간을 산출하였다. 여기서 3,000, 3,300시간이 주요 누적구간으로 형성되었으며 연간 평균 2,796.8시간을 기록하고 있다. 반면 연간평균 음영율은 10% 단위로 총 11단계의 경계선표현으로 분석하여 0, 10%가 주요누적구간으로 유추되었으며 연간 평균 20.1%의 음영율을 보였다 (Figure 12).

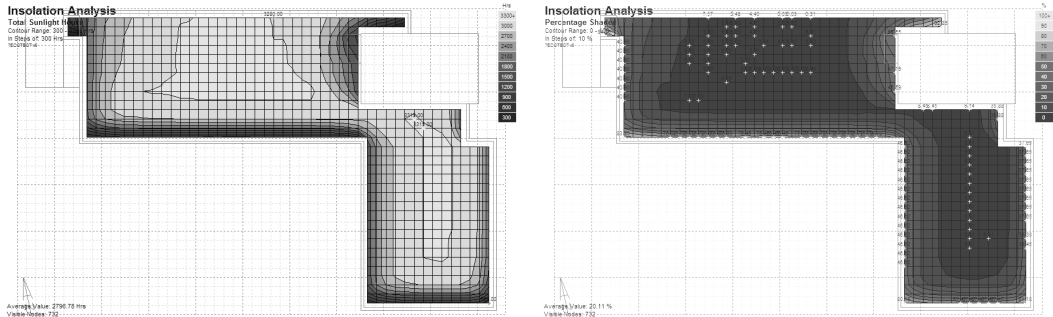


Figure 12. Annual cumulative average value of total sunlight hours and percentage shaded.

3. 연중 태양광환경 분석

1) 연중 극사영도 분석

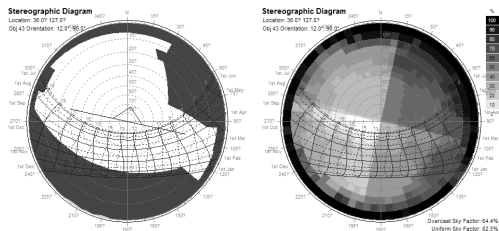
대상지 주변의 지형지물에 의해 형성되는 음영현상을 해석하기 위해 기상모델구축 시 5° 등각분할방법으로 구축된 극사영도 분석을 사용하였다. 계단실 및 난간벽에 의해 총 719.16m²의 옥상면에서 발생하는 음영현상은 연중 음영범위를 포괄하는 극사영도를 통해 객관적 분석이 이루어진다(Figure 13). 여기서 왼쪽 극사영도는

12월 17일 08:30에서 2월 5일 09:30에 이르는 변곡점을 거치고 점차 오후시간대로 접어들면서 4, 9월을 포함하는 음영간섭영역이 형성된다. 오른쪽 극사영도는 총 1,296개 분할면을 통해 대상건공의 음영율을 모의한 것으로 담천공 조건은 64.4%, 균일천공은 62.5%의 음영율을 기록했다.

2) 월별 총 태양노출분석

태양노출분석을 통해 대상건물 옥상면에서 확보 가능한 태양광자원 총량을 유추할 수 있다(Figure 14).

여기서 연간 총 유입 태양복사량은 492.1MWh로써 면적당 평균 684.3kWh/m²의 에너지가 확보된다. 여기서 직달 태양복사량은 약 65.6%를 차지하는 322.8MWh로 평균 448.9kWh/m²를 기록하고 있다. 월간 최고치를 기록한 달은 5월로 73.3MWh로 최저치를 기록한 12월에 비하여 496% 많은



Stereographic diagram Overshading percentage

Figure 13. Stereographic diagram analysis.

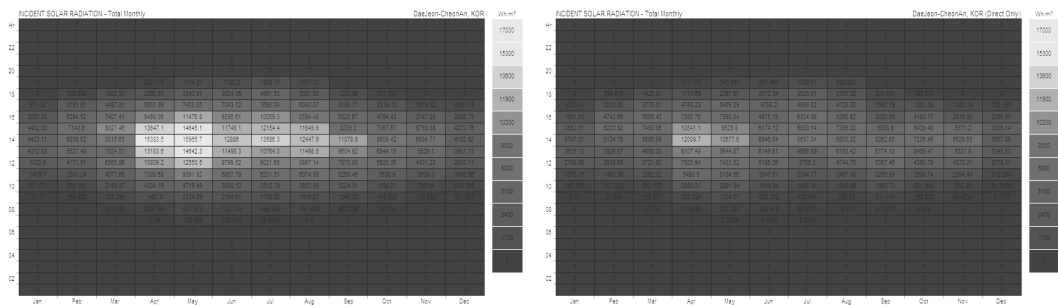


Figure 14. Total monthly solar exposure analysis of incident and direct solar radiation (Wh/m²)

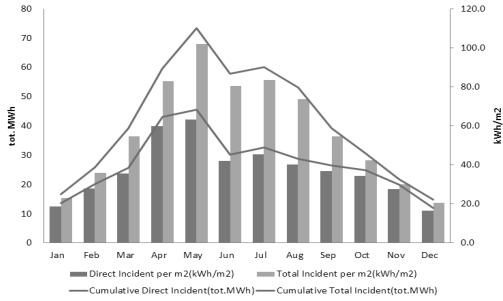


Figure 15. Total monthly solar exposure analysis of total and direct solar incident on the roof top area.

복사량을 수반하게 된다. 우측 직달 태양복사량 그래프에서와 같이 7월은 일출에서 13시까지 복사량이 일정하게 확보되지 않고 있다. 이러한 현상은 6월 15시 이후에도 확인되며 반면에 좌측 누적 총 태양복사량 그래프는 일조시간과 연동된 일사량 확보추이를 보이고 있다.

또한 총 태양복사량과 직달태양복사량의 월별 누적추이를 통해 태양광자원의 연중 분포경향을 확인할 수 있다(Figure 15). 여기서 5월을 중심으로 6, 7, 8월은 총 태양복사와 직달태양복사의 변폭이 가장 크며 이는 동절기로 갈수록 저감되는 경향을 보이고 있다. 특히 하절기인 6, 7, 8월은 52~54%의 직달 태양복사량 비를 기록하여 평균에 비하여 11~13% 낮은 분포를 형성했다.

4. 태양복사량 분석

1) 계절별 태양복사량 누적분포 분석

태양복사량의 연중 누적분포 분석을 통해 대

상지의 계절별 태양광 자원분포현황을 객관적으로 해석할 수 있다. 이는 계절에 따라 옥상면적 719.16m²에 설치된 732개 측정센서에 유입된 평균 누적 태양복사량을 의미하고 있다 (Table 3). 여기서 가장 많은 누적 태양복사량은 하절기에 확보되며 연간 총 태양복사량의 약 35%에 해당하는 평균 312.5kWh를 기록했다. 반면 동기간 유입된 직달태양복사량은 143.2kWh으로 총 태양복사량 대비 45.8%에 해당하였다. 이는 동절기에 비해 28.3% 적은 것으로 연중 유일하게 직달복사량 비가 50%미만인 계절로 기록되었다.

이를 시각적으로 해석한 태양복사량 누적분포도를 통해 분석결과에 대한 실질적인 설계적용이 가능하다(Figure 16). 여기서 각 절기별로 30kWh 단위로 최소 60kWh에서 최대 360kWh까지 11단계의 경계선표현으로 옥상면에 유입되는 태양복사 분포를 도출하였다. 춘절기와 하절기는 평균 누적 태양복사량 차이가 3kWh 미만으로 330kWh가 주요 공통누적구간으로 산출되었다. 반면 추절기로 접어들면 누적태양복사량 구간은 45%미만으로 저감된 180kWh가 주요 누적구간으로 유추되었으며 동절기는 90kWh, 120kWh가 주요누적구간으로 산출되었다.

2) 연간 총 태양복사량 누적분포 및 적지 분석

대상지에서 지속 가능한 태양광자원 확보가 가능한 최적지를 유추하기 위하여 연간 총 태양복사량 누적분포를 옥상면과 연동하여 산출하였다 (Figure 17). 여기서 100kWh단위로 최소 100kWh

Table 3. Cumulative average values of incident solar radiation falling on the roof area.

Season	Total (kWh)	Direct (kWh)	Diffuse (kWh)	Direct (%)
Spring (3,4,5)	309.5	188.3	121.2	60.8
Summer (6,7,8)	312.5	143.2	169.3	45.8
Autumn (9,10,11)	166.3	120.2	46.1	72.3
Winter (12,1,2)	101.7	75.4	26.2	74.1

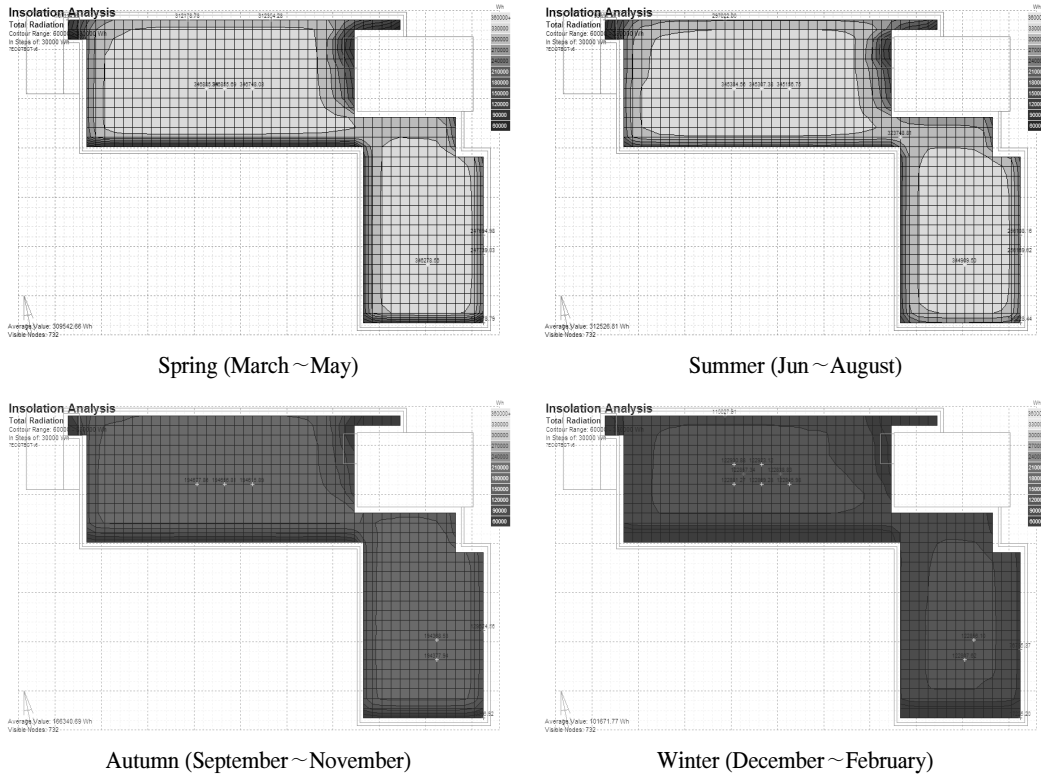


Figure 16. Seasonal analysis of total solar radiation in the roof top area.

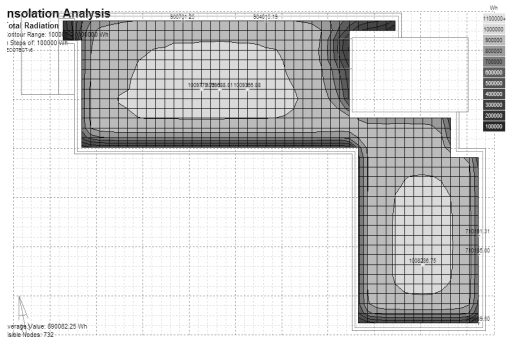


Figure 17. Average annual value of total solar radiation in the roof top area.

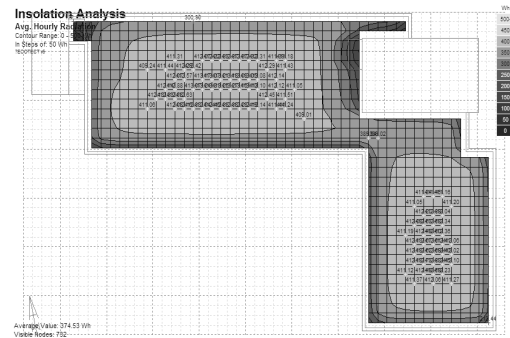


Figure 18. Average hourly value of solar radiation in the roof top area (Apr.15~Jul.15).

에서 최고 1100kWh까지 11단계의 경계선표현으로 연간 태양복사량 누적분포를 도출하였다. 여기서 732개 측정센서에 유입된 총 태양복사량의 누적평균이 890.1kWh로 기록되었고 직달태양복사 누적평균은 총 태양복사의 59.2%인

527.2kWh가 산출되었다. 반면 산란태양복사량은 362.9kWh로 총 태양복사량의 40.8%를 기록했다. 그리고 최대 누적태양복사량 도달지점은 좌측상단의 서측과 북측 난간벽에서 각각 13m, 7m 이격된 격자점에 1,009.8kWh, 우측

하단의 동측과 남측 난간벽에서 각각 6m, 6m 이격된 격자점의 1,008.2kWh가 대상면에서 가장 우수한 태양복사 확보지점으로 도출되었다.

마지막으로 총 옥상면적 719.16m² 중에서 최적전력변환이 가능한 태양광발전시스템의 설치 가능지역은 좌측상단의 126.6m²와 우측하단의 71.3m²에서 연평균 태양복사량이 1,000kWh 이상 확보되는 영역으로 해석되었다.

3) 적정 식생생육조건을 위한 태양광환경 분석

앞서 제시한 국내자생수종 10종의 적정생육을 위한 태양광 조건은 4월 중순부터 7월 중순까지 10일 간격으로 총 10회 오전 10시경에 조사한 평균치로써 112.9W/m² (75% 차광), 344.5W/m² (35% 차광), 564.8W/m² (무차광)의 3단계의 광도로 설정되어 있다. 따라서 본 연구에서는 4월 15일부터 7월 15일까지 시간당 평균 태양복사량 누적분포를 대상건물 옥상면과 연계하여 산출하였다(Figure 18). 여기서 50Wh단위로 최소 0Wh에서 최고 500Wh까지 11단계의 경계선 표현으로 시간당 평균 태양복사량 누적분포를 도출하였다.

결과적으로 설정기간 동안 옥상면에 유입된 시간당 태양복사량 평균이 374.5Wh로 기록되었고 400~450Wh구간이 가장 복사량이 많은 구간으로 모의되었다. 여기서 무차광조건에서 생육상태가 양호했던 은방울꽃(*Convallaria keiskei*), 꽃향유(*Elsholtzia splendens Nakai*), 즙쌈바귀(*Ixeris stolonifera*), 땅채송화(*Sedum oryzifolium*), 기린초(*Sedum kamtschaticum*)는 대상지 중 364.93m²의 공간에서 적정생육을 할 수 있을 것으로 예상되며 해당 영역에서 400Wh 이상의 태양복사량이 확보 가능한 것으로 파악되었다. 반면 벌개미취(*Aster koraiensis Nakai*), 용머리(*Dracocephalum argunense*), 섬백리향(*Thymus quinquecostatus var. japonica*)은 549.38m², 동자꽃(*Lychnis cognata*)은

가장 좁은 면적인 184.45m², 긴병꽃풀(*Glechoma hederacea var. longituba*)은 전체 옥상면적인 719.16m²에서 건전한 생육을 위한 태양광조건이 확보되는 것으로 산출되었다.

V. 결 론

본 연구는 국외에서 제시된 국내 표준기후데이터로 태양광관련 전산모의가 진행되었던 기존연구방법을 개선하고자 한국태양에너지학회의 표준 기상데이터를 모의에 적용했다. 이를 통해 국내 기후현황에 순응하는 모의결과를 도출하였으며 옥상공간에 유입되는 태양광자원을 체계적으로 해석하였다. 연구의 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 국내기후자료 기반의 태양광전산모의를 통해 태양광자원성분비 분석이 가능하였으며 총 태양복사량 대비 직달복사량 비가 연 평균 73.1%로 기록되었다. 여기에서 대상건물 옥상면에 유입된 연평균 직달복사량 비는 65.6%로 물리적 건물환경을 고려할 때 수렴 가능한 것으로 사료된다.

2) 계절별 누적태양복사량은 하절기가 연간 총 누적량의 약 35%에 해당하는 312.5kWh를 기록했다. 해당기간의 직달복사량 비는 동절기에 비하여 28.3% 적은 45.8%를 기록하여 연 중 가장 낮았다.

3) 대상지의 하절기 태양광환경은 직달태양복사를 요구하는 중고온 태양열발전시스템에 적합하지 않으며 국내 연간 태양광자원 활용에는 저온태양열시스템 또는 태양광발전시스템에 적합한 것으로 사료된다.

4) 최적전력변환을 확보를 위한 태양광발전설비의 최적 설치지역은 총 옥상면적 719.16m² 중에서 좌측상단 126.6m²와 우측하단의 71.3m²

7) 노희선 외, 자생지피식물별 적정 차광정도 규명, 2004, 한국화훼연구회지 12(4).

로 연평균 태양복사량 1,000kWh이상이 확보 가능한 것으로 산출되었다.

5) 기존 연구에서 제시된 국내자생수종 10종의 적정생육을 위한 태양광조건을 모의한 결과 가장 넓은 면적에 식재가 가능한 초종은 긴병꽃풀 (*Glechoma hederacea* var. *longituba*)로 719.16m²의 전체 옥상면적에서 적정생육환경이 확보되며, 가장 좁은 면적에 식재 가능한 초종은 동자꽃(*Lychnis cognata*)으로 총 184.45m²에서 적정 태양광환경이 확보될 것으로 예상된다.

본 연구는 일반적으로 건물옥상공간이 조경 측면의 단순녹화공간만으로 이해되는 것을 보완하고 체계적인 태양광 자원 해석방안을 제시하여 연계연구에 활용될 수 있는 적지분석과정을 제공하고자 하였다.

연구의 한계는 대상지의 기후자료 및 자생수종에 대한 명확한 원단위 데이터가 구축되어 있지 않아 도출된 모의결과가 현실적인 측면에서 제한적이었다. 따라서 이를 보완하여 옥상공간에 유입되는 태양광자원의 객관적 활용을 위한 의사결정시스템 구축이 요구되고 이에 대한 관련연구가 필요할 것으로 사료된다.

인 용 문 헌

- Kim, Gui Soon and Lee, Jeong Sik. 2009. Growth Reaction of Some Ground Cover Plant in Korean Native Greening According to Shading Levels. *Journal of the Korean Association for Flower Industry Development*. 17(2), 75-80.
- Noh, Hee Sun · Ahn, Myung Hun · Ko, Jae Young · Lee, Kyeong Koog and Hong, Jong Woon. 1997. Effect of Growth, Development and Covering on Ground Cover Plants by Shading Degree. *Journal of the Korean KSHS*. 15(2), 452-453.
- Noh, Hee Sun · Byong, Chan Jeong · Lee, Kyeong Koog and Lee, Jeong Sik. 2004. Studies of the Proper Shading Levels for the Native Ground Cover Plants, *Journal of the Korean Association for Flower Industry Development*. 12(4), 330-336.
- Park, Yoon Min · Hong, Seong Kwan and Choi, An Seop. 2010. A Study on the Comparison of the PV Module Generation from Daylight Irradiation and Indoor Lighting Savings with Lighting Simulation. *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 24(12), 17-24.
- Song, Il Hak · Kim, Ji Hyun and Song, Kyoo Dong. 2011. Evaluation of the Daylight Performance of Four-Sided Atria with Various Well Configurations for Interior Vegetation Growth, *Journal of the KIEAE Vol. 11(5)*, 137-143.
- Lee, Seon Dong and Yoo, Ho Chun. 2010. The Study on Solar Radiation as Weather Data Stored in Programs such as VE, Ecotect and Energy Plus, *Change of AIK Journal Submission Procedure* 30(1), 475-476.
- Lee, Jong Suk. 2001. Effect of Light Intensity on Growth and Flowering of Several Korean Native Wild Flower Plants. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*. 4(1), 52-56.
- Lee, Ji Hee · Cho, Han Bo and Kim, Tae Han. 2012. A Study on the Profitable Urban Park Model Using Smart Street Light System, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*. 40(4), 28-35.
- Jo, Dok Ki and Kang, Young Heack. 2007. A Study on the Analysis of Solar Radiation Components for the Installation of Concentrating Photovoltaic System, *Journal of the Korean Solar Energy Society* 27(2), 53-59.
- Andrew J. Marsh, *Fitting a Spatial Analysis Grid*, ISSN : 1833-7570.

Song, L. · A. J. Kimerling and K. Sahr. Developing an Equal Area Global Grid by Small Circle Subdivision, in M. Goodchild and A. Jon Kimerling (editors), Discrete Global Grids.

Santa Barbara, CA, USA : National Center for Geographic Information & Analysis, 2002.
http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Sky_Subdivision.