

서울지역 지역계수가 적용된 직산분리 모델의 성능 비교

서동현* · 김혜진***

*충북대학교 건축공학과, 부교수

**충북대학교 건축공학과, 박사과정

Comparative Analysis of Decomposition Models with Site-fitted Coefficients for Seoul

Seo Dong-Hyun* · Kim Hye-Jin***

*Department of Architectural Engineering, Chungbuk National University, Associate Professor

**Department of Architectural Engineering, Chungbuk National University, Ph.D. program

†Corresponding author: kimhj1755@cbnu.ac.kr

Abstract

Decomposition models are essential in TMY development and solar energy system design. Up until recently, only a few decomposition model related researches are implemented in Korea due to lack of measured direct normal solar irradiance. In contrast, numerous researches have been conducted in various countries, and some quasi-universal composition models have been recommended by several papers. In this research, three decomposition models - Watanabe model, Reindl-2 model and Engerer1 model - are selected and their site-fitted coefficients are developed using measured direct normal solar irradiance in Seoul. R-squared, RMSE, MBE of the site-fitted models are compared with the case of original coefficients and then each other. The comparison result shows that the Reindl-2 model with site-fitted coefficients is best suitable for Seoul. Further researches will be conducted to find the best model using more various measured data of Korean cities and site-fitting methods.

Keywords: 직산분리모델(Decomposition model), 와타나베 모델(Watanabe model), 렌달모델(Reindl-2 model), 엔게러 모델(Engerer1 model), 직달일사(DNI), 지역계수(Site-fitted coefficients)

기호설명

I_0 : 지구밖 일사 [W/m^2]

$I_{0,sc}$: 태양상수 [$=1367 W/m^2$]

I_g : 수평면 전일사 [W/m^2](Global Horizontal Irradiance, GHI)

I_b : 법선면 직달일사 [W/m^2](Direct Normal Irradiance, DNI)

I_d : 수평면 산란일사 [W/m^2](Diffuse irradiance, DFI)



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.39, No.3, pp.91-102, June 2019
<https://doi.org/10.7836/kSES.2019.39.3.091>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 27 May 2019

Revised: 13 June 2019

Accepted: 27 June 2019

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

K_t : 청명계수 (0~1)

$K_{t,clear}$: 가상의 천청공시 청명계수

K_{DS} : 산란일사율 (0~1)

그리스 문자

h : 태양 고도각 [Degree]

θ_z : 태양 천정각 [Degree]

NEI : Normal Extraterrestrial Irradiance [W/m^2]

ECCF : Eccentricity Correction Factor

AST: Apparent Solar Time

1. 서론

직산분리(decomposition)모델은 상대적으로 측정하기 용이한 수평면 전일사(Global horizontal irradiance, GHI)데이터를 기반으로 건축물이나 신재생에너지 시스템에서 직접적으로 필요로 하는 법선면 직달일사(Direct normal irradiance, DNI)와 확산일사(Diffuse irradiance, DFI)를 분리하는 모델을 의미한다.

직산분리 모델은 대부분의 상세 건물에너지모델링 도구에 활용되어 입력된 표준기상데이터에서 제공하지 못하는 DFI, 지표면 반사 일사량 등 다양한 일사관련 데이터를 제공하며, 특히 표준기상데이터 작성을 위해 필요한 장기간의 일사데이터를 생산함에 있어 핵심적인 기능을 담당한다. 국내 표준기상데이터는 최근 한국에너지기술연구원은 Lee et al.(2017a)¹⁾연구에 따라 국가 참조표준데이터¹⁾로 Reindl-2모델¹⁾을 이용하여 DNI를 추정하였으며 태양에너지학회에서는 Lee et al.(2010)³⁾의 연구를 기반으로 공개하고 있는 표준기상데이터는 Kasten and Czeplak 모델(1980)⁴⁾을 활용하여 DFI를 계산하고 있다. 하지만, 이 연구에서 이 모델이 국내 DFI를 신뢰성 있게 추정한다는 근거는 제시하지 않고 있다. 요약하면, 지금까지 국내 도시별 기후에 적합화된 직산분리 모델을 제시한 사례와 직산분리 모델로 DNI추정 후 표준기상데이터를 제작한 사례는 아주 드문 것을 확인할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 국내 표준기상데이터에 필수적으로 포함되어야 하는 장기간 DNI 및 DFI값의 도출을 위한 예비연구로 1) 국내 주요 도시들의 측정 DNI데이터를 입수하고²⁾, 범용성이 높고(지역 기후특성에 영향을 덜 받는) 국내에서 측정된 입력데이터를 적용할 수 있는 직산분리 모델을 선정하여³⁾ 측정된 DNI데이터를 활용하여 선정된 직산분리 모델의 도시별 지역계수를 개발하고⁴⁾ 개발된 지역계수에 기반하여 선정된 직산분리 모델의 성능을 비교하여 최종적으로 국내에 적합한 직산분리 모델을 선정의 가능성을 확인하고자 한다.

1) 국가참조표준센터, <https://www.srd.re.kr:446/main/page.do>, Access as of 23nd, May.

2. 직산분리 모델 고찰

국내의 직산분리 모델에 관한 연구사례는 아주 드물다. 기본적으로 필요한 측정 DNI나 DFI데이터를 확보하기 어렵기 때문이다. 국내에서는 Yoon(2000)⁵⁾, KIER(2016)⁶⁾, Lee et al.(2017b)⁷⁾, Kim et al.(2019)⁸⁾ 연구가 측정한 DNI 데이터를 활용하여 직산분리 모델의 성능을 비교 분석하여 본 연구와 직접적인 연관성이 있는 논문이며, Lee and Lee(2018)⁹⁾는 PV발전량을 추정하기 위해 경사면 일사량 계산에 필요한 직산분리 모델을 비교 분석 하였으나 측정한 DNI 데이터를 구하지 못하여 최종적으로 측정한 PV발전량을 비교하는 간접적인 직산분리 모델 성능 비교 연구를 수행한 바 있다. Lee et al.(2015)¹⁰⁾는 미국 도시에서 측정한 DNI 데이터를 이용하여 직산분리 모델의 성능을 비교한 후, 각 모델별 데이터를 건물에너지 모델에 적용하여 건물모델에 따른 직산분리 모델의 영향을 분석한 연구를 수행한 바 있다.

Yoon(2000)⁵⁾의 연구는 Erbs, Udagawa, Reindl-1, Reindl-2, Bouguer 모델을 그대로 국내 도시에서의 측정값을 적용한 결과를 제시하여 비교적 지리적으로 가까운 일본에서 개발된 Udagawa 모델이 가장 성능이 좋은 것으로 결론지었다. KIER(2016)⁶⁾연구와 Lee et al.(2017b)⁷⁾는 10개의 직산분리 모델을 비교 분석하여 Reindl-2모델의 성능이 가장 좋은 것으로 평가하였으며, 이 결과를 기반으로 측정한 DNI를 활용하여 대전지역에 적합된 추정계수를 도출하여 수정된 Reindl-2모델을 제안하였다. Kim et al.(2019)⁸⁾는 직산분리 모델 중 가장 신뢰성이 높은 모델인 Engerer모델로 서울, 부산, 제주의 DNI를 추정함에 따라 Engerer모델의 적용 타당성에 대하여 논하였다.

한편, 국외의 경우 수많은 직산분리 모델이 개발되고, 상호 성능이 비교되어왔으며, 특히 최근에 발표된 Gueymard and Ruiz-Arias(2016)¹¹⁾의 연구는 140여 개의 DNI 모델을 선정하고, 7개 대륙에 걸친 54개 도시의 1분 단위 정밀 측정데이터 총 2,500만 개를 활용하여 모델의 성능을 비교 분석하였다. 그들은 이 연구를 통해 어느 기후존에서나 일관성 있게 높은 추정성능을 보이는 직산분리 모델을 찾고자 하였으나 어느 모델도 그러한 성능을 갖추지 못했으나 그 중 Engerer2 모델이 가장 신뢰성이 있는 것으로 판단하였다. 그들은 직산분리 모델의 지역성을 극복하기 위해서는 경험적(empirical) 모델보다 더 물리적(physical)인 관계에 기반한 모델이 필요할 것이라고 주장하였다.

직산분리 관련 모델에 관한 국내외 연구를 종합하면, 국내에서는 측정 DNI데이터를 확보한 소수의 연구자에 의해 2000년 이후 4차례 진행되었지만, 연구기관에서 수행된 연구이다. 국외의 경우는 이미 다양한 기후존에서 대부분 청명계수에 기반한 모델이긴 하지만 (유사) 물리적, 인공위성 이미지해석 등 여러 유형의 직산분리 모델이 개발되고 적용성이 검토된 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 기존 연구고찰을 바탕으로 지역성이 비교적 덜한 것으로 보고된 Reindl-2모델, 전 세계 3,000여 개 도시를 대상으로 한 표준기상데이터 DB인 IWEC2(International Weather for Energy Calculation 2)¹²⁾에 활용된 Watanabe 모델을 선정하였다. 에너지기술연구원에서 측정한 서울의 DNI를 통해 지역계수를 개발하여 직산분리 모델의 성능개선 정도를 확인하고 적용성을 분석하고자 한다. Engerer2 모델은 지역계수 개발이 난해하여 원 모델을 그대로 사용하여 비교 대상으로 활용하였다.

2.1 대기권밖 수평면 일사량(I₀) 및 태양 고도각 검증

직산분리 모델의 계산에 기본이 되는 청명계수와 태양고도각의 계산이 중요하기 때문에 본 연구에서 사용한 수식 및 계산 결과의 검증부터 연구를 진행하였다.

우선, 대기권밖 수평면 일사량(I₀)은 대부분의 직산분리 모델에서 활용되는 청명계수를 계산할 때 활용되는 데이터로 그 특성상 이론적 수식을 통해 계산하여 사용한다. 본 연구의 대기권밖 수평면 일사량(I₀) 계산은 Kreider et al.(2009)¹³⁾에서 제안하는 계산식에 따라 I₀를 식(1)~식(4)에 따라 계산하였으며, 이를 검증하기 위해 샌디아랩²⁾의 계산 결과와 비교하였다. 샌디아랩에서 제안하는 대기권밖 수평면 일사량(I₀)은 식(5)에 따라 계산하며 NEI는 식(2), ECCF는 식(3)으로 계산하는데 이때, Day Angle은 식(6)으로 계산한다. Fig. 1은 계산한 대기권밖 수평면 일사량(I₀) 결과를 비교한 것으로 태양고도각이 아주 낮은 시간에 약간의 오차가 발생하나 그 이외의 시간에는 거의 차이가 없어 본 연구의 I₀의 계산 결과는 신뢰성이 있다고 판단하였다.

$$[Kreideretal(2009)]$$

$$I_0 = \frac{12}{\pi} \times NEI \times \cos(latitude) \times \cosh \times (\sin wR - \sin wF) + (wR - wF) \times \sin(latitude) \times \sin \delta \quad (1)$$

$$NEI = 1367 W/m^2 * ECCF \quad (2)$$

$$ECCF = 1.00011 + 0.034221 * \cos(DayAngle) + 0.00128 * \sin(DayAngle) + 0.000719 * \cos(2 * DayAngle) + 0.000077 * \sin(2 * DayAngle) \quad (3)$$

$$DayAngle = 2 \times \pi \times (day - 1) / 365 \quad (4)$$

$$[Sandia Lab]$$

$$I_0 = NEI \times \cos \theta_z \quad (5)$$

$$DayAngle = 2 * \pi * day / 365 \quad (6)$$

태양고도각의 경우 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)³⁾에서 제안하는 고도각 계산과 비교하였다. Fig. 2는 본 연구와 NOAA 계산 결과를 비교한 것으로 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

즉, 본 연구의 직산분리 모델에 적용하는 주요 변수인 대기권밖 일사량과 태양고도각의 값은 신뢰성 있다.

2) 샌디아랩, https://pvpmc.sandia.gov/applications/pv_lib-toolbox/, Access as of 23nd, May.

3) NOAA, <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/>, Access as of 23nd, May.

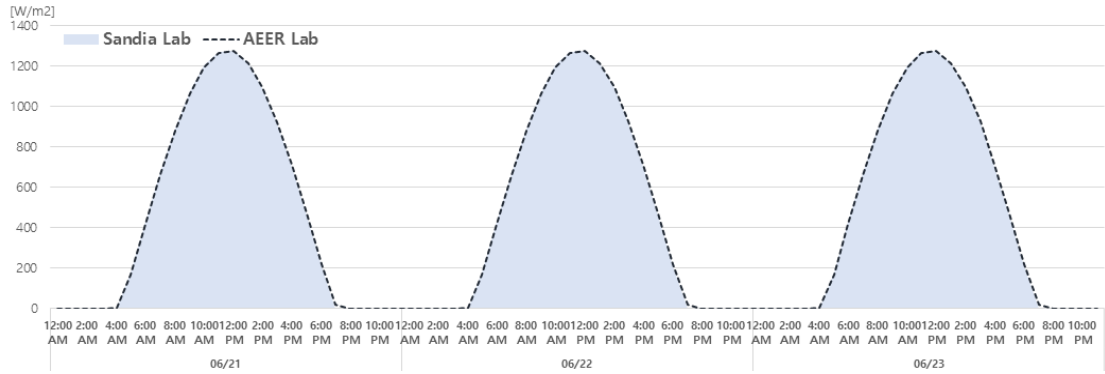


Fig. 1 Verification of I0 calculation result against Sandia Method

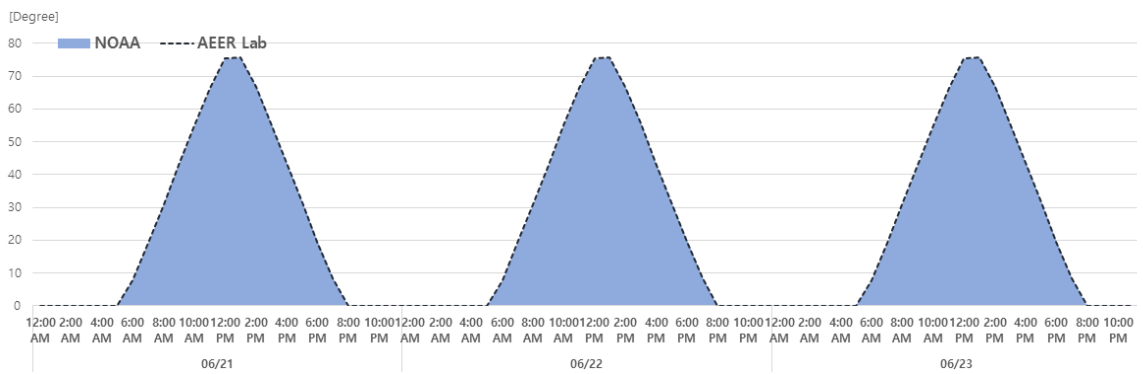


Fig. 2 Verification of sin h calculation result against NOAA Method

2.2 Watanebe 모델

Watanabe 모델(Watanabe 1983)¹⁴⁾은 청명계수(K_t)와 가상의 천청공시 청명계수($K_{t,clear}$)를 기준으로 천공 상태를 맑은 날과 흐린 날로 구분하여 산란일사율(K_{DS})을 계산하며 이에 따른 계산식은 식(7) ~ 식(10)과 같다. 본 연구에서는 Clear Sky Model은 지역계수를 만들지 않았으며 확산일사의 추정과 관련한 부분에 대해서만 지역계수를 새롭게 개발하였다.

$$K_t = I_g / I_{0,sc} \cdot \sinh \tag{7}$$

$$K_{t,clear} = 0.4268 + 0.1934 \cdot \sinh \tag{8}$$

$$K_t \geq K_{t,clear} \text{ 일 때,} \tag{9}$$

$$K_{DS} = K_t - (1.107 + 0.03569 \sinh + 1.681 \sin^2 h) \cdot (1 - K_t)^3$$

$$K_t < K_{t,clear} \text{ 일 때,} \\ K_{DS} = (3.996 - 3.862\sinh + 1.54\sin^2 h) \cdot (K_t)^3 \quad (10)$$

2.3 Reindl-2 모델

Reindl-2모델(Reindl et al. 1990)¹⁾은 청명계수를 사용하는 대표적인 직산분리 모델 중 하나로 Batlles et al. (2000)¹⁵⁾ 등의 연구 등에서 지역성이 상대적으로 낮은 모델로 평가를 받았다. Reindl-2의 계산에서 청명계수 (K_t)는 시간별 대기권밖 수평면 일사량(I_0)값을 사용한다. 청명계수(K_t)값의 범위에 따라 산란일사율(K_{DS})인 I_d/I_g 를 식(11) ~ 식(14)에 따라 계산한다. Reindl모델 논문의 원문에서 산란일사율을 I_d/I_g 로 표기하며 이는 K_{DS} 와 동일한 의미이다.

$$K_t = I_g/I_0 \quad (11)$$

$$0.78 \leq K_t \leq 1.00 \text{ 일 때,} \\ K_{DS} = I_d/I_g = 0.486K_t - 0.182\sinh \quad (12)$$

$$0.30 < K_t < 0.78 \text{ 일 때,} \\ K_{DS} = I_d/I_g = 1.4 - 1.749K_t + 0.177\sinh \quad (13)$$

$$0 < K_t \leq 0.30 \text{ 일 때,} \\ K_{DS} = I_d/I_g = 1.02 - 0.254K_t + 0.0123\sinh \quad (14)$$

2.4 Engerer 모델

Engerer(2015)¹⁶⁾는 모델은 호주의 기상청에서 측정한 1분 단위 GHI, DNI, DFI값을 활용하여 확산일사율 추정모델을 개발하였다. 이 모델은 Gueymard and Ruiz-Arias(2016)⁷⁾의 연구에 따르면, 140개의 직산분리 모델 중 상대적으로 가장 지역성이 덜한 모델로 평가되어 본 연구에서 비교분석대상 모델로 선정되었다.

Engerer 모델은 세 가지 모델로 세분되는데 Engerer1 모델은 non-cloud enhanced Case, Engerer2 모델은 Cloud-enhanced Case, Engerer3 모델을 Clear Sky Case 모델이다. 본 연구에서는 청명계수를 1 이하로 제한한 값만 사용하기 때문에 non-cloud enhanced Case에 해당하므로 Engerer1 모델에 적용하였다. 아래 식(15)는 Engerer1 모델의 기본 식이다.

$$K_{DS} = 0.1527 + \frac{(1 - 0.1527)}{(1 + \exp(-4.1092 + 6.1661 * K_t \pm 0.0022304 * AST + 0.011026 * \theta_z \pm 4.3314 * \Delta K_{tc}))} \quad (15)$$

Engerer1 모델의 K_{Ds} (diffuse fraction)계산을 위한 변수 중 K_t 는 식(11), $K_{t,clear}$ 는 식(8)로 계산하며, ΔK_{tc} 는 다음의 식(16)으로 계산한다.

$$\Delta K_{tc} = K_{t,clear} - K_t \tag{16}$$

3. 측정데이터 및 데이터 처리절차

3.1 측정 GHI 및 DNI 수집

본 연구에 활용된 서울의 측정 GHI와 DNI 데이터는 한국에너지기술연구원의 협조를 얻어 입수한 데이터로 이는 Lee et al.(2013)¹⁷⁾에 따라 전처리 된 데이터이다. 한국에너지기술연구원은 1990년 말부터 우리나라 주요 지역에서 DNI를 측정하고 있는데 최근에는 6개 도시에서 측정 네트워크를 유지하고 있다. 측정장치는 Kipp & Zonen사의 CMP11모델과 태양자동추적장치 Solys 2를 사용하고 있다. Table 1은 본 연구에 사용할 측정데이터의 측정 기간과 결손데이터의 상태를 요약하고 있다. 지역계수는 2016.04.01 ~ 2017.12.31의 측정데이터로 계수를 추정하여 2018.01.01 ~2018.11.30 기간에 적용하여 DNI예측 성능을 분석하였다.

Table 1 Features of Measured GHI & DNI data

City	Measurement period	Total Time (h)	Deficit Time (h)	Total Days (day)	Deficit days (day)	Measuring Component	Estimation period	Validation period
Seoul	2016.04.01 ~ 2018.11.30	23,352	291	973	5	GHI, DNI	2016.04.01 ~ 2017.12.31	2018.01.01 ~ 2018.11.30

3.2 측정데이터 및 직산분리 모델의 데이터 처리

측정데이터에는 정전, 장비 고장 등으로 불가피하게 결손데이터가 발생한다. 연구의 목적에 따라 결손 데이터를 보간법으로 채워 넣기도 하나, 본 연구의 목적상 보간은 불필요하다고 판단하여 측정 GHI 및 DNI의 결손이 발생한 시간의 모든 데이터는 삭제하여 지역계수 개발에 불확실성을 제거하였다. 또한, 직산분리 모델의 지역계수 개발에서 태양고도각이 낮을 때 필연적으로 발생하는 되는 이상 청명계수값을 제거하는 과정이 진행되었다. 태양고도각의 기준은 Gueymard and Ruiz-Arias(2016)¹¹⁾의 ‘Data Quality Control’과정에 따라 15° 이하 값을 제거하였으며, 청명계수는 0~1의 값을 갖는 값으로 1을 초과하는 값을 제거하였다. Fig. 3은 데이터 처리의 주요 프로세스이다.

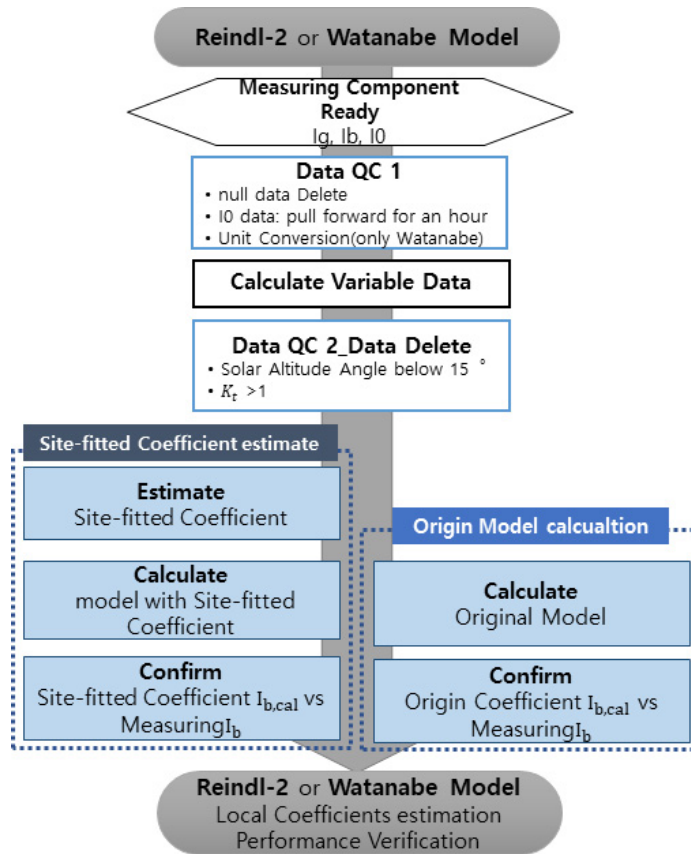


Fig. 3 Diagram of site-fit coefficient estimate process

4. 지역계수의 개발 및 모델성능비교

각 모델은 1단계로 원 모델에 국내 측정데이터를 그대로 적용했을 경우 계산결과(좌측)를 도출하였으며, 이후 측정데이터와의 회귀분석을 통해 지역계수를 도출했을 경우 개선결과(우측)를 비교하였다. 마지막으로 각 모델별 도출 지역계수와 추정성능을 MBE와 RMSE로 제시하였다.

4.1 Watanabe 모델

원 Watanabe모델의 계수추정 방식은 복잡한 단계를 거치지만, 본 연구에서는 단순히 최종 수식을 활용해서 울의 지역계수를 개발하였다. 그러한 영향으로 Fig. 4와 같이 지역계수를 개발함에 따른 성능은 개선되었으나 일사값이 높은 범위에서 과소평가하는 경향을 완전히 제거하지 못하였다. Table 2는 기존 계수와 새로 추정된 계수를 보여주고 있다.

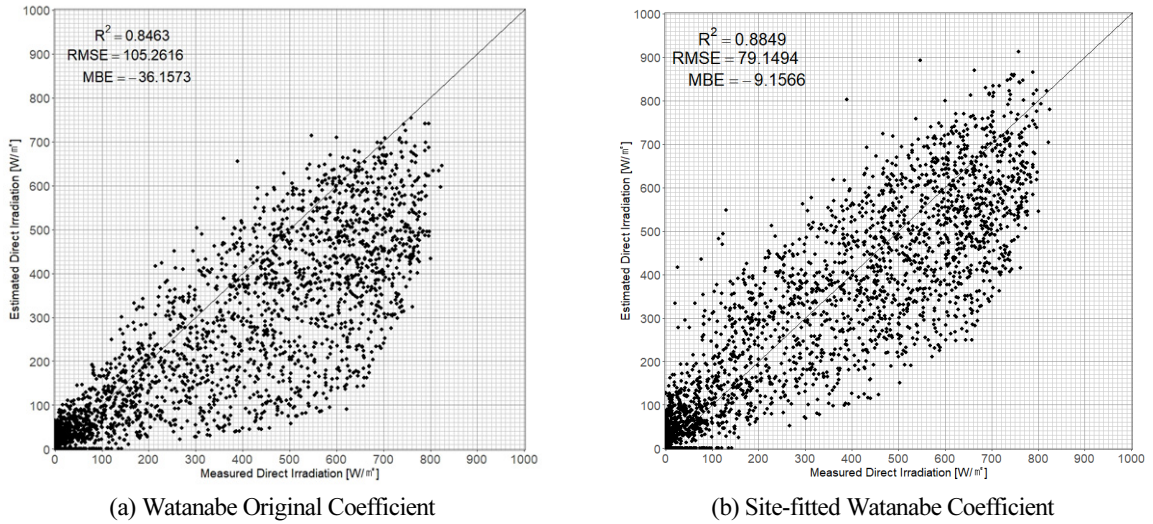


Fig. 4 Comparative scatter plots of Watanabe Model

Table 2 Site-fitted coefficient of Seoul by Watanabe Model

Class		β_0	β_1	β_2	β_3
Origin Model	$K_t \geq K_{t,clear}$	1	-1.107	-0.03569	-1.681
	$K_t < K_{t,clear}$	-	3.996	-3.862	1.54
Watanabe Seoul	$K_t \geq K_{t,clear}$	1.034564	-2.984655	11.421369	-12.553174
	$K_t < K_{t,clear}$	-	12.8947	-23.5280	12.7216

4.2 Reindl-2 모델

Reindl-2 모델은 K_t 값의 범위에 따라 다른 수식을 사용하게 되는데 원 계수를 사용하였을 경우 예측값이 특정 범위에서 과대표되는 경향을 보이니, 이러한 현상은 지역계수를 개발하면서 상당히 완화되었음을 Fig. 5(b)

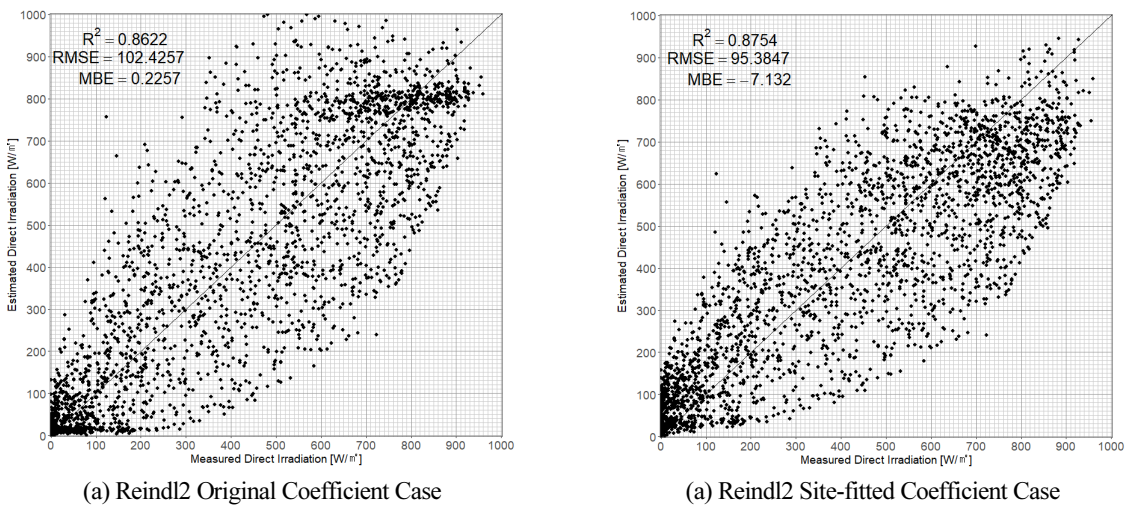


Fig. 5 Comparative scatter plots of Reindl-2 Model

을 통해 알 수 있다. 또한, RMSE와 MBE가 각각 102.4에서 95.4로, 0.22에서 -7.13으로 상당 수준 개선되었음을 알 수 있다. Table 3은 기존 계수와 새로 추정된 계수를 보여주고 있다.

Table 3 Site-fitted coefficient of Seoul by Reindl-2 Model

Class		C	β_0	β_1
Origin Model	$0.78 \leq K_t \leq 1.00$	-	0.486	-0.182
	$0.30 < K_t < 0.78$	1.4	-1.749	0.177
	$0.00 < K_t \leq 0.30$	1.02	-0.254	0.0123
Reindl-2 Seoul	$0.78 \leq K_t \leq 1.00$	-	0.81418	-0.58187
	$0.30 < K_t < 0.78$	1.19152	-1.18758	0.01152
	$0.00 < K_t \leq 0.30$	0.983994	-0.547567	0.117445

4.3 Engerer 모델

Engerer1 모델은 지역계수 개발을 수행하지는 못하여, 원 계수를 그대로 적용한 결과로 수집데이터 전체를 Engerer1 모델에 적용한 것을 Fig. 6과 같이 나타내었다.

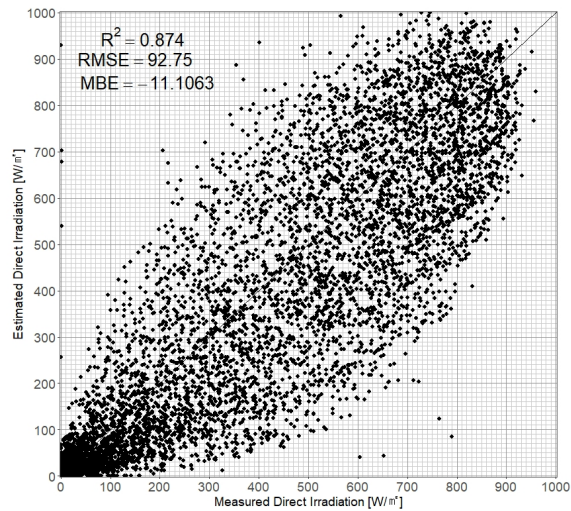


Fig. 6 Scatter plot Engerer1 Model

4.4 소결

기존 연구 문헌 검토를 통해 지역성이 적은 3가지 직산분리 모델을 선정하여 서울에서 측정된 GHI, DNI 측정값을 이용하여 각 모델별 지역계수를 개발하고 기존 계수를 사용했을 경우보다 개선의 정도를 분석하였고, 각 모델별 성능도 동시에 분석하였다. Table 4는 그 결과를 R-square, RMSE, MBE로 비교한 결과를 보여주고 있다.

대상 검토모델에 한정해서 특정 모델이 차별화된 높은 성능을 가진다고 할 수 없으며, Reindl-2 모델은 원계

수나 개발된 지역계수를 사용함에 관계없이 안정적인 성능을 보여주고 있음을 알 수 있다. 그러나, 문헌고찰에서 검토한 타 도시의 성능에 대비해서는 R-square값과 RMSE의 개선이 추가적으로 필요함을 확인할 수 있다. 이에 관해서는 Kt 값의 분포 특성을 보다 심도 있게 분석하여 국내 기후특성을 반영한 구분기준을 세우는 것이 필요하며, Watanabe와 Engerer1 모델의 경우는 원 계수 개발에서 진행한 절차를 엄격히 따를 필요가 있을 것으로 판단된다. 마지막으로, 많은 DNI 측정데이터를 확보하여 같은 절차를 진행하여 결과의 타당성을 보다 객관적으로 확보할 예정이다.

Table 4 Comparison of Estimation results of Seoul Decomposition models

Class		R ²	RMSE	MBE	
Est 2016.04 ~ 2017.11 Val. 2018.01 ~ 2018.11	Watanabe	Origin Coefficient	0.846	105.262	-36.157
		Watanabe Seoul EC1	0.885	79.149	-9.157
	Reindl-2	Origin Coefficient	0.862	102.426	0.226
		Reindl Seoul EC1	0.875	95.385	-7.132
	Engerer1	Origin Coefficient	0.874	92.750	-11.106

5. 결론

표준기상데이터 개발에 필수적인 직산분리 모델을 국내 도시에 적합화 시키기 위하여 서울의 측정 DNI데이터를 활용하여 Watanabe 모델, Reindl 모델, Engerer 모델의 성능을 비교분석 하였다.

- (1) 세 모델의 원 계수를 활용한 경우와 지역계수를 개발하여 적용한 경우로 분리하여 적용한 경우를 비교한 결과 원계수를 적용할 경우 Engerer1 모델이 가장 높은 성능을 보였으며, 지역계수를 개발한 경우 Reindl-2모델이 가장 개선된 성능을 보였다. 다만, Engerer1 모델의 지역계수를 개발하지 못하여 비교대상에서 제외하였다.
- (2) 지역계수를 개발하여 적용함에도 불구하고, 기존 연구인 Lee et al.(2017)⁷⁾연구의 Reindl-2모델 결과 R-square값 93.7%, MBE -17.82, RMSE 70.29와 본 연구의 모델 성능을 비교하였을 때 확산도가 높아 RMSE값을 축소하기 위한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 주로 청명계수에 따른 변화가 커, 이 값의 기후 특성별 분포를 분석할 필요가 있을 것으로 사료된다.
- (3) 마지막으로, 보다 많은 도시에 대한 측정 DNI값을 확보하여 보다 객관적인 기반 하에 국내 도시에 적합한 직산분리 모델을 선정하기 위한 추가 연구가 진행될 예정이다.

후기

본 연구는 한국산업기술평가관리원에서 지원하는 국가표준기술개발 및 보급-국가참조표준데이터 개발 보급사업 (과제번호: 20001554)의 지원을 받아 진행되었습니다.

REFERENCES

1. Reindl, D. T., Beckman, W. A., and Duffie, J. A., Diffuse Fraction Correlations, *Solar Energy*, Vol. 45, No. 1, pp. 1-7, 1990.
2. Lee, H. H., Kim, S. Y., and Yun, C. Y., Generation of Typical Meteorological Year Data Suitable for Solar Energy Systems and Analysis of Solar Irradiance Data, *New&Renewable Energy*, Vol. 13, No.3, 2017a.
3. Lee, K. H., Yoo, H. C., and Geoff, J. L., Generation of Typical Weather Data Using the ISO Test Reference Year (TRY) Method for Major Cities of South Korea, *Building and Environment*, Vol. 45, No. 4, pp. 956-963, 2010, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.10.002>.
4. Kasten, F. and Czeplak, G., Solar and Terrestrial Radiation Dependent on the Amount and Type of Cloud. *Solar Energy*, Vol. 24, pp. 177-189, 1980.
5. Yoon, J. H., Performance Validation of Five Direct/Diffuse Decomposition Models Using Measured Direct Normal Insolation of Seoul, *Korea Institute of Energy Research*, Vol. 20, No. 1, pp. 45-54, 2000.
6. Korea Institute of Energy Research, New-Renewable Energy Resource Map 3.0 Standardization and Forecasting Technology Development, National Research Council of Science & Technology, NST, Vol. 12, pp. 31-37, 2016.
7. Lee, H. J., Kim, S. Y., and Yun, C. Y., Comparison of Solar Radiation Models to Estimate Direct Normal Irradiance for Korea, *Energies*, Vol. 10, No. 5, p. 594, 2017b.
8. Kim, C. K., Kim, H. G., Kang, Y. H., Yun, C. Y., and Kim, S. Y., Probabilistic Prediction of Direct Normal Irradiance Derived from Global Horizontal Irradiance Over the Korean Peninsula by using Monte-Carlo simulation. *Solar Energy*, Vol. 180, pp. 63-74, 2019
9. Lee, S. H. and Lee, K. S., A Research on the Decomposition Model and Transposition Model Using the Measured Pyranometer Irradiation Data, *Korea Institute of Energy Research*, Vol. 38, No. 3, pp. 1-20, 2018.
10. Lee, H. Y., Yoon, S. H., and Park, C. S., The Effect of Direct and Diffuse Split Models on Building Energy Simulation, *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol. 31, No. 11, pp. 221-229, 2015.
11. Gueymard, C. A. and RuizArias, J. A., Extensive Worldwide Validation and Climate Sensitivity Analysis of Direct Irradiance Predictions from 1-min Global Irradiance, *Solar Energy*, Vol. 128, pp. 1-30, 2016.
12. Huang, J., ASHRAEReasearch Project 1477-RP Development of 3,012 Typical Year Weather Files for International Locations, Final Report, 2011.
13. Kreider, J. F., Curtiss, P. S., Rabl, A., Heating and Cooling of Buidling: Design for Efficiency, Revised Second Edition, CRC Press, 2009.
14. Watanabe, T., Procedures for Separating Direct and Diffuse Insolation on a Horizontal Surcace and Prediction of Insolation on Tilted Surface, *Transations of the Architecrural Institute of Japan*, Vol. 330, pp. 96-108, 1983.
15. Batles, F. J., Rubio, M. A., Tovar, J., and Olmo, F.J., Alados-Arboledas,L., Empirical Modeling of Hourly Direct Irradiance by Means of Hourly Global Irradiance, *Energy*, Vol. 25, pp. 675-688, 2000.
16. Engerer, N. A., Minute Resolution Estimates of the Diffuse Fraction of Global Irradiance for Southeastern Australia, *Solar Energy*, Vol. 116, pp. 215-237, 2015.
17. Lee, K. H., Yoo, H. C., and Geoff, J. L., Quality Control and Estimation Hourly Solar Irradiation on Inclined Surfaces in South Korea, *Renewable Energy*, Vol. 57. pp. 190-199, 2013.