

[논문] 태양에너지  
*Solar Energy*  
Vol. 20, No. 1, 2000

## 서울지역 실측일사량을 이용한 일사량 직산분리 모델의 정밀성 검증 연구

윤종호\*

\*한국에너지기술연구소

### Performance Validation of Five Direct/Diffuse Decomposition Models Using Measured Direct Normal Insolation of Seoul

J. H. Yoon\*

\*Korea Institute of Energy Research

#### 요 약

본 논문에서는 건물 및 에너지 시스템 시뮬레이션에 적용되는 시간별 기상자료의 핵심항목인 일사량 관련자료의 신뢰성 검증을 위해, 서울지역 성분별 일사량의 장기간 측정치를 이용해 다양한 일사량 직산분리 모델의 정밀성 오차분석을 수행하였다. 1991년~1998사이 법선면직달일사량 및 수평면전일사량 시간별 측정치중 총 12,710시간의 유효데이터가 분석에 활용되었다. 직산분리 예측모델은 국내외에서 일반적으로 활용되고 있는 5개 모델을 분석하였다. 포트란 프로그램을 작성하여 5개 모델의 이론적 일사량 예측치를 계산하고, 6개의 오차 분석 지표를 이용해 측정치와 예측치의 정밀성이 분석되었다. 분석결과 대부분의 직산분리 모델이 실측치보다 작게 예측하고 있으며, CV(RMSE)가 34%~48%로 비교적 큰 오차폭을 보였다. 전반적으로 태양고도가 낮은 일출 및 일몰 시간대의 오차폭이 크며, 태양고도에 대한 영향이 회귀모델에 반영된 宇田川의 직산분리 모델이 5개 모델중 가장 오차가 작은 것으로 평가되었다.

## Abstract

Five direct/diffuse decomposition models were validated using the eight years data set of direct normal beam insolation measured in Seoul. The comparison has been performed in terms of the widely used statistical indicators such as MBE, RMSE, CV(RMSE), t-Statistic and Degree of Agreement. Result indicates that most of the correlations exhibit a tendency to underestimate the direct normal beam insolation except Bouguer's model. Most of big discrepancies between the measured and the predicted values was mainly shown in near the sunrising and the sunset period. Even though the investigated five models showed fairly large disagreement for the measured values by 34%~48% of CV(RMSE), Udagawa's correlation which includes the effect of solar altitude variation appears to performs always better in every statistical error tests.

## 1. 서 론

개인용 컴퓨터의 급진적 성능향상과 함께 건물 및 에너지 시스템 해석분야에서도 시간별 성능평가가 일반화되고 있다. 그러나 국내의 경우 각종 시뮬레이션 해석 프로그램의 필수요소인 시간별 표준기상자료의 신뢰성 문제로 인해 오랜 기간 논란이 되고 있다. 일반적으로 태양열과 관련되는 건물 또는 에너지 시스템의 성능해석을 위해서는 각 방위별 경사면 시간별 일사량이 요구된다. 그러나 국내외의 대부분 일사량 자료는 수평면전일사량만 측정되고 있으며, 이를 이용해 경사면 일사량을 예측하기 위해서는 필히 직달일사 성분과 확산일사 성분으로 직산분리(直散分離)가 필요하다. 이는 확산일사의 경우 방향성이 없기 때문이다. 따라서 대부분의 에너지 해석용 시간별 기상 자료는 수평면전일사량, 확산일사량, 법선면직달일사량 중 최소 2개 이상의 일사량 성분을 요구 하고 있다.

실제로 각 기상지역 마다 성분별 일사량을 직접 측정하는 것은 측정비용 및 기술적 측면에서 곤란하기 때문에 대부분 수평면전일사량만 측정하고 있으며, 이는 국내 뿐 아니라 국외의 경우도 동일한 실정이다. 따라서 이론적 경험식에 의해 직달성분과 산란성분을 분리시키

는 방법이 다양하게 제시되어 왔으며 현재까지도 대부분 이러한 방법을 통해 직산분리를 수행하고 있다.

국내의 경우도 시간별 기상자료를 작성할 때 측정된 수평면전일사량의 직산분리를 위해 국외에서 제시된 다양한 형태의 예측모델을 이용하여 왔다.<sup>1)~4)</sup> 그러나 근본적으로 수평면전일사량 이외에 다른 성분에 대한 장기적 일사량 실측데이터가 없기 때문에 예측모델을 통한 직산분리 결과의 신뢰성이 항상 문제가 되어왔다. 즉 국내 조건에 어떠한 직산분리 예측모델을 적용한지, 또는 이론적 직산분리 결과가 어느 정도의 오차를 포함하는 것인지에 대한 검증연구가 실측자료의 부재로 인해 전혀 수행되지 못해왔다. 또한 이러한 검증자료의 부족으로 인해 표준기상데이터의 결정도 지연되고 있다고 볼 수 있다.

이러한 배경 하에 본 논문에서는 1991년부터 측정된 다년간의 시간별, 성분별 일사량의 실측 데이터<sup>5)</sup>를 이용해 이론적 계산결과와 실제 측정치간의 통계적 오차분석을 수행함으로써 현재 활용되고 있는 각종 일사량 직산분리 예측모델의 신뢰성을 검증하는데 목적이 있다.

법선면직달일사량 및 수평면전일사량 측정값은 1990년 12월부터 측정이 수행되었으나, 항상 태

양을 2축으로 추적해야하는 법선면직달일사량 측정의 난이성으로 인해 실제 데이터는 불연속 점이 많이 발생하였다. 따라서 분석에 사용된 데이터는 서울지역 91년~98년 사이 6개년의 시간별 일사량이며, 이중 측정 불연속 점과 야간시간대 및 건전하지 못한 측정치를 제외하고 총 12,710 시간의 유효자료가 분석에 활용되었다. 직산분리 예측모델은 국내외에서 일반적으로 활용되고 있는 5개 방식을 선택하였으며, 별도의 Fortran 프로그램을 작성하여 이론적 일사량 예측치의 계산 및 오차분석을 수행하였다.

## 2. 직산분리 모델 및 오차분석 지표

직달일사량과 산란일사량의 상관관계를 예측하는 모델은 크게 대기투과모델과 직산분리모델의 두 개 부류로 구분된다.<sup>7)</sup> 대기투과모델은 운량과 대기혼탁도, 습도수준 등 비교적 상세한 입력정보를 요구하는 반면, 직산분리 모델은 단순히 수평면전일사량의 측정치만 있다면 대기권 밖 일사량에 대한 수평면전일사량의 비로 표현되는 청명계수(clearness index), 즉  $K_t$ 의 상관회귀식을 통해 직달과 산란일사를 추정할 수 있기 때문에 일반적으로 널리 활용되고 있는 방식이다. 직산분리 방식은 일일적산 일사량에 대한 최초의 모델이 1960년 Liu and Jordan에 의해 제시된 이후 다양한 형태의 발전 모델이 제안되어왔으며, 최근 들어서는  $K_t$  단일변수의 상관식으로는 정확한 직산분리가 이루어질 수 없는 한계성을 해결하기 위해 태양고도와 대기중 수증기 함유량, 대기혼탁도 등 기타 기상요소의 영향을 포함한 개선 모델이 지속적으로 제시되고 있다.<sup>8)~14)</sup>

국내의 경우도 80년대부터 표준기상자료 작성을 위해 국외의 다양한 직산분리 모델을 사용하여 왔다.<sup>1)~4)</sup> 본 연구에서는 Erbs 및 宇田川의

모델에 대한 선행연구<sup>6)</sup>에 이어 Reindl의 2개 모델 및 Bouguer 모델을 추가하여 총 5개 모델에 대한 검증을 수행하였다.

Erbs의 방식<sup>9)</sup>은 전형적인  $K_t$ 에 대한 단일변수 회귀식으로 수평면전일사량에 대한 산란일사량의 비를 결과로 제시한다. 본 연구에서는 계산된 산란일사비를 통해 직달일사량을 계산하고 여기에 태양고도  $h$ 에 대한  $\sin(h)$ 값을 이용해 시간별 법선면직달일사량 예측치를 계산하였다.

宇田川과 木村이 제시한 방식<sup>14)</sup>은 수평면전일사량 측정값을 이용해 직접 법선면직달일사량을 계산하는 방식으로, 청명계수인  $K_t$ 외에  $K_tC$ 라는 새로운 판정변수를 추가하여 태양고도에 대한 영향, 즉 계절별 변화를 예측모델에 포함시킨 것이 특징이다.

Reindl의 모델<sup>12)</sup>은 Erbs 모델과 같이 수평면전일사량에 대한 확산일사량의 비를 산출하는 방식이다. Erbs모델 보다는 개선된 형태로 회귀식의 독립변수로  $K_t$  외에 태양고도 영향을 추가한 모델과, 태양고도 및 외기온, 상대습도 등을 추가한 모델 등 2개 회귀식을 제시하고 있다.

Bouguer의 모델<sup>1)</sup>은 앞서 4개 모델과는 약간 상이한 방식으로 대기투과율  $P$ 를 이용해 직접 법선면직달일사량을 계산하는 방식이다. 그러나 수평면전일사량의 측정데이터가 유효한 경우는 대기투과율 값을 역으로 추적해 법선면직달일사량을 계산하는 방식을 사용한다. 이 방법은 그동안 국내에서 시간별 표준기상자료 작성시 자주 활용되어온 방식이기도 하다.<sup>1) 3) 4)</sup> 법선면직달일사 계산 후 확산일사량의 결정을 위해서는 일반적으로 Berlage 식을 이용한다.

이상 본 연구에서 검증된 5개 직산분리 모델의 계산식을 요약하면 다음과 같다.

[Erbs모델]

$$\begin{aligned}
 (K_t \leq 0.22) & ; \frac{H_{Diff}}{H_{Tot}} = 1.0 - 0.09K_t \\
 (0.22 < K_t < 0.8) & ; \frac{H_{Diff}}{H_{Tot}} = 0.9511 - 0.160K_t \\
 & \quad + 4.388K_t^2 - 16.638K_t^3 + 12.336K_t^4 \\
 (K_t \geq 0.80) & ; \frac{H_{Diff}}{H_{Tot}} = 0.165
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

[宇田川, 木村의 모델]

$$\begin{aligned}
 (K_t \geq K_{tC}) & \\
 H_{DN} & = (-0.43 + 1.43K_t)H_{Ext} \\
 (K_t < K_{tC}) & \\
 H_{DN} & = (2.277 - 1.258\sin(h) + 0.2396\sin^2(h)) K_t^3 H_{Ext}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

[Bouguer, Berlage 모델]

$$\begin{aligned}
 H_{Nor} & = H_{Ext} P^{\frac{1}{\sin(h)}} \\
 H_{Diff} & = \frac{1}{2} \sin(h) (H_{Ext} - H_{Nor}) \frac{1}{(1 - 1.4 \log_e P)}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

[Reindl 모델1]

$$\begin{aligned}
 (0 \leq K_t \leq 0.3, \frac{H_{Diff}}{H_{Tot}} \leq 1.0) & \\
 \frac{H_{Diff}}{H_{Tot}} & = 1.020 - 0.254K_t + 0.0123\sin(h) \\
 (0.3 < K_t < 0.78, 0.1 \leq \frac{H_{Diff}}{H_{Tot}} \leq 0.97) & \\
 \frac{H_{Diff}}{H_{Tot}} & = 1.400 - 1.749K_t + 0.177\sin(h) \\
 (K_t \geq 0.78, \frac{H_{Diff}}{H_{Tot}} \geq 0.1) & \\
 \frac{H_{Diff}}{H_{Tot}} & = 0.486K_t + 0.182\sin(h)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

[Reindl 모델2]

$$\begin{aligned}
 (0 \leq K_t \leq 0.3, \frac{H_{Diff}}{H_{Tot}} \leq 1.0) & \\
 \frac{H_{Diff}}{H_{Tot}} & = 1 - 0.232K_t + 0.0239\sin(h) - 0.000682T_a + 0.0195 \frac{rh}{100} \\
 (0.3 < K_t < 0.78, 0.1 \leq \frac{H_{Diff}}{H_{Tot}} \leq 0.97) & \\
 \frac{H_{Diff}}{H_{Tot}} & = 1.329 - 1.716K_t + 0.267\sin(h) - 0.00357T_a + 0.106 \frac{rh}{100} \\
 (K_t \geq 0.78, \frac{H_{Diff}}{H_{Tot}} \geq 0.1) & \\
 \frac{H_{Diff}}{H_{Tot}} & = 0.426K_t - 0.256\sin(h) - 0.00349T_a + 0.0734 \frac{rh}{100}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

여기서

$$\begin{aligned}
 K_t & = \frac{H_{Tot}}{H_{Ext}\sin(h)} \\
 K_{tC} & = 0.5163 + 0.333\sin(h) + 0.00803\sin^2(h) \\
 H_{DN} & = \frac{H_{Tot}(1 - \frac{H_{Diff}}{H_{Tot}})}{\sin(h)} \\
 H_{Ext} & = 1382(1 + 0.033\cos\frac{2\pi n}{365}) : \text{대기권밖일사량,} \\
 H_{Tot} & : \text{수평면전일사량, } H_{Diff} : \text{수평면산란일사량,} \\
 H_{DN} & : \text{법선면직달일사량, } n : \text{연중일수, } h : \text{태양고도} \\
 T_a & : \text{외기온, } rh : \text{상대습도, } P : \text{대기투과율}
 \end{aligned}$$

이상 5개 직산분리 예측모델에 대해 시간별 수평면전일사량 측정치를 이용해 법선면직달일사량을 비롯한 성분별 일사량을 계산하고, 이를 법선면직달일사량 실측치와 비교하여 오차분석을 수행하는 Fortran 프로그램을 작성하였다. 일사량 계산을 위한 표준시간은 매시의 30분을 기준하였으며, 일출 일몰시간을 계산하여 일출 일몰시의 일사량은 가까운 쪽의 정시를 기준하였다.

예측모델에 의해 도출된 계산치와 측정치의 오차를 분석하기 사용된 지표는 MBE (Mean bias error)와 RMSE(Root mean square error) 및 이의 비율 형태인 MBE(%)와 변동계수 CV(Coefficient of Variation)<sup>15)</sup>이다. 이외에도 최근 일사량 실측치와 예측치의 효율적 오차분석을 위해 Stone이 제시한 t-Statistic 지표<sup>16)</sup> 및 Gonzalez가 제시한 일치도(degree of agreement), d 지표<sup>17)</sup>에 대해서도 분석을 실시하였다. 비교하는 예측모델간에 t값이 작을수록 적합 성능이 더 우수함을 나타내는 t-Statistic 지표의 경우 계산식 내에 MBE와 RMSE를 동시에 포함하기 때문에 각각 계산시 무시되던 결과의 흠어짐 정도도 고려할 수 있는 장점이 있다. 한편 0과 1사이의 값으로, 1에 가까울수록 예측모델이 측정치에 잘 적합함을 의미하는 일치도, d는 예측모델간의 상관식 성능을 상대 비교하는데 효과적으로 사용될 수 있는 방법이다. 이들에 대한 계산식은 다음과 같다.

$$MBE = \frac{\sum_{i=0}^n (H_{pred,i} - H_{obs,i})}{n} \quad (6)$$

$$MBE(\%) = \frac{\sum_{i=0}^n (H_{pred,i} - H_{obs,i})}{n\bar{H}} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (H_{pred,i} - H_{obs,i})^2}{n}} \quad (8)$$

$$CV = \frac{RMSE}{\bar{H}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (H_{pred,i} - H_{obs,i})^2}{n}}}{\bar{H}} \quad (9)$$

$$t = \sqrt{\frac{(n-1)MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2}} \quad (10)$$

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (H_{pred,i} - H_{obs,i})^2}{\sum_{i=0}^N (|H_{pred,i} - \bar{H}| + |H_{obs,i} - \bar{H}|)^2} \right] \quad (11)$$

이상 5개 직산분리 모델의 신뢰성 및 오차를 검증하기 위해 6가지 통계적 오차분석 지표에 대해 각 연도별 및 전체 데이터에 대한 성능으로 구분하여 수행하였다.

### 3. 실측치와 예측치의 오차분석 결과

그림 1은 법선면직달일사량 측정값에 대해 5개 직산분리 모델의 계산결과를 상관관계도 형태로 도식한 결과이다. Reindl의 2개 모델은 분석결과 큰 차이를 나타내지 않아 Reindl 2 모델만을 도식하였다. 산점도에 나타난 바와 같이 Bouguer 모델은 전반적으로 실측치보다 높게 예측된 반면, 나머지 모델들은 모두 실제 측정치보다 낮게 일사량값을 예측하는 것으로 판명되었으며, 흠어짐 정도로 판단할 때 宇田川의 모델이 다른 모델에 비해 중심 대각선 쪽으로 밀집하게 위치하여 보다 근접된 예측 성능을 가지고

있음을 알 수 있다.

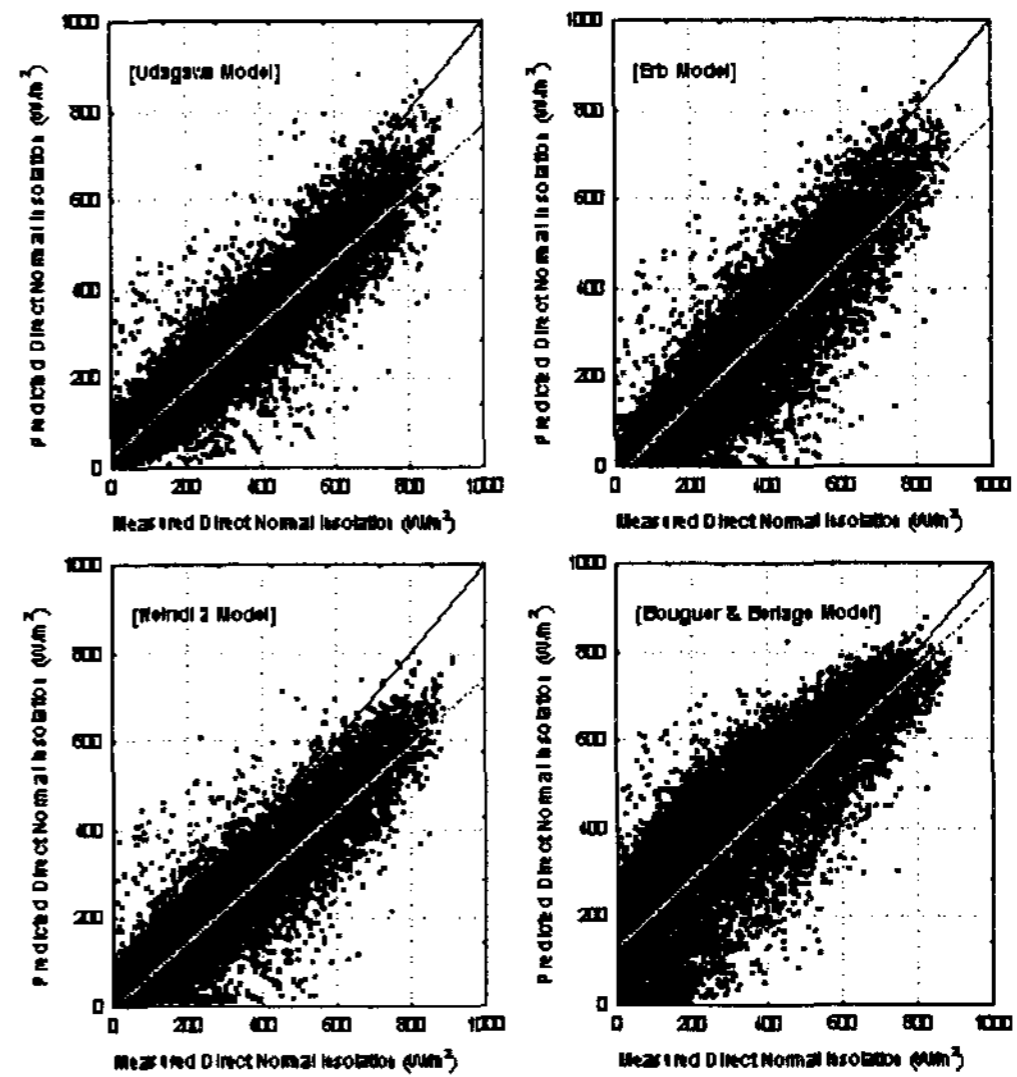


Fig. 1. XY plot of measured and predicted direct normal insolation(1991~1998, Seoul)

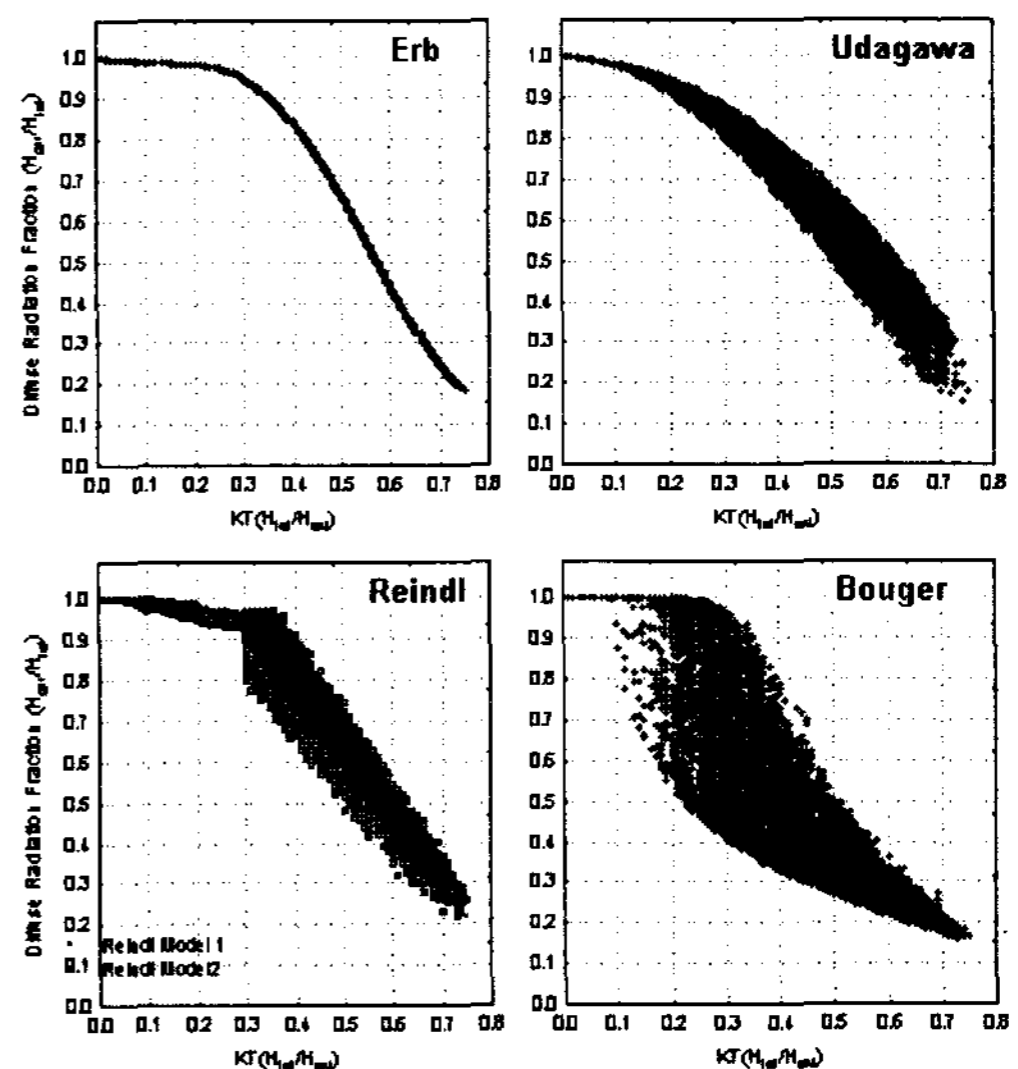


Fig. 2. Distribution of diffuse insolation ratio with respect to clearness index, Kt(1991~1998, Seoul)

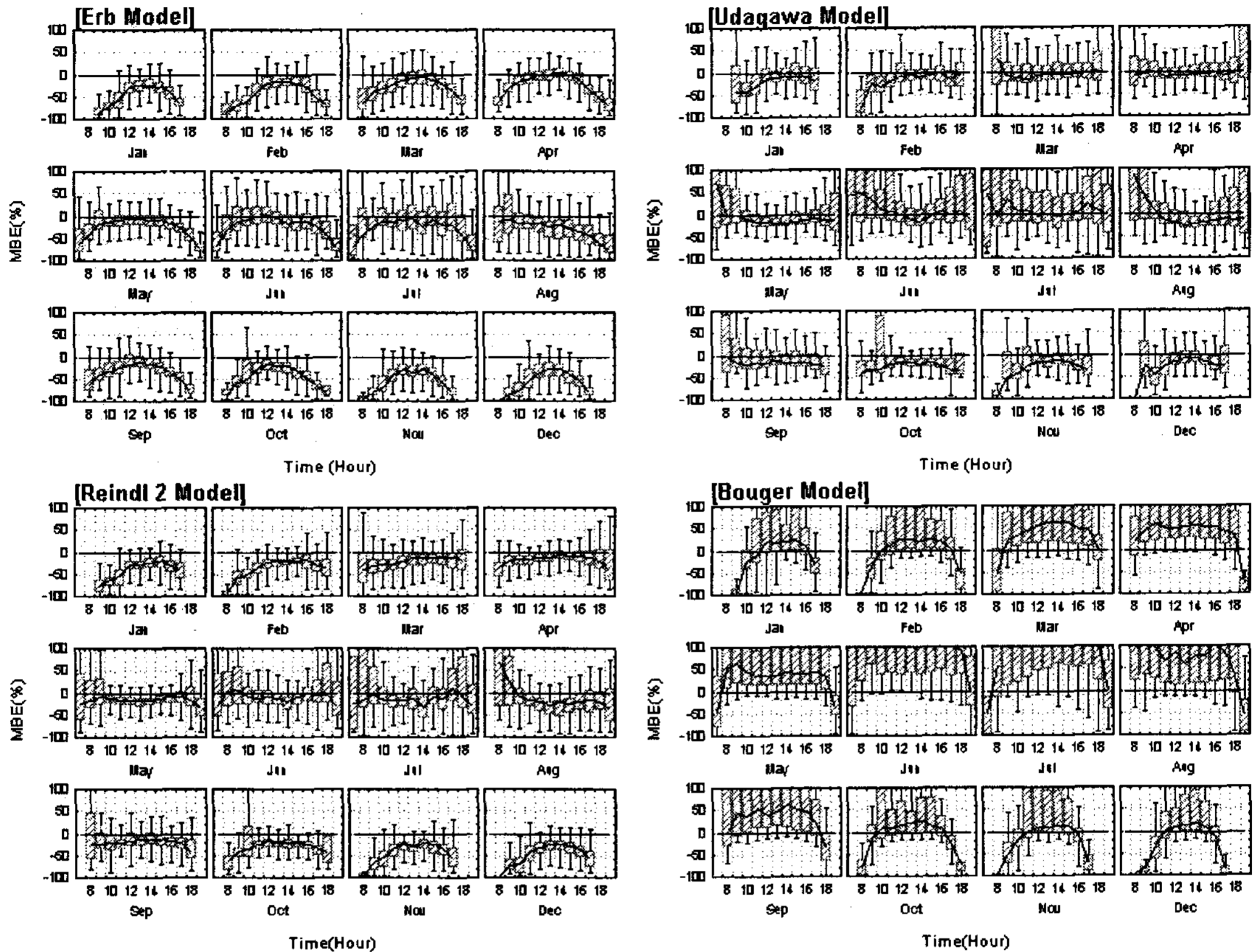


Fig. 3. Distribution of Error( $H_{Nor,predicted} - H_{Nor,measured}$ ) with respect to hour and month (1991~1998, Seoul)

그림 2는 수평면전일사량에 대한 확산일사량의 비로 표현되는 확산일사비를  $K_t$ 에 대해 도식한 결과로서, 이 결과를 통해 계산된 확산일사량의 건전성을 판정할 수 있다. 대부분의 모델이 확산일사비 곡선의 일반적 경향을 나타내고 있는 반면 Bouguer 모델은 전혀 다른 양상의 결과를 나타내고 있다. 이는 Bouguer 모델이 청명일의 대기투과율을 기준한 방식이기 때문에 발생한 현상으로 판단되며, 따라서 청명조건이 아닌 상태에 이 모델을 적용하는 것은 바람직하지 않는 것으로 판정되었다.

5개 직산분리 모델의 법선면 직달일사량 예측값과 실측값의 각 시간별 편차비율인 ( $H_{Nor,predicted}$

-  $H_{Nor,measured}$ )/ $H_{Nor,measured}$ 를 월별, 시간별로 분류, 통계처리하고 그 결과를 Box-Whisker 그래프 형태로 그림 3에 도식하였다. 그래프에서 수직선 |는 각 시간대별 전체 데이터의 변화범위를, 박스  $\square$ 는 각 시간대별 50% 데이터의 변화범위를, 박스간의 연결선은 각 시간대의 중간값을 나타낸다. Bouguer 모델의 경우 일출, 일몰시를 제외하고 연중 대부분의 시간대에 실측치보다 과대 평가하고 있으며, 특히 6월~8월은 매우 큰 오차변동을 나타내고 있다. 나머지 모델에 의한 계산값은 연중 대부분의 시간대에 걸쳐 실제 측정값보다 낮게 예측되고 있으며, 특히 일출 일몰시간에 측정값과 큰 편차를 보이고 있다. Erbs 모델과



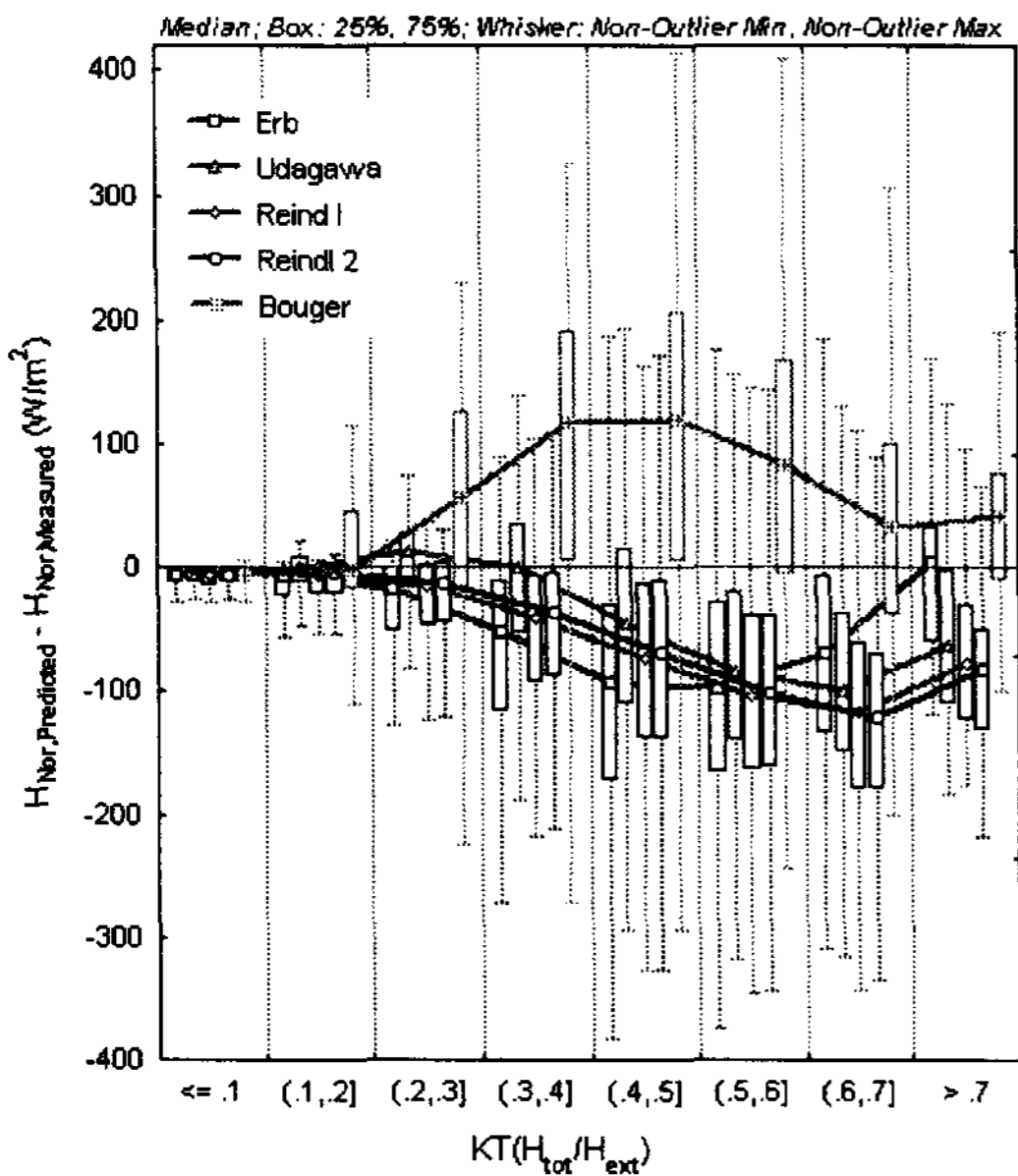


Fig. 4. Variation of Error( $H_{Nor,predicted} - H_{Nor,measured}$ ) with respect to  $K_t$  (1991-1998, Seoul)

Reindl의 모델은 거의 유사한 결과를 나타내고 있다. 5개 모델 중 宇田川 방식은 상대적으로 중간값의 시간별 변화가 고르게 중심쪽으로 분포되어 다른 모델보다 예측성능이 우수함을 도식적으로도 판정할 수 있다.

그림 4는 예측값과 실측값의 시간별 오차인 ( $H_{Nor,predicted} - H_{Nor,measured}$ )를  $K_t$ 값의 변화에 대해 분석한 결과이다. 宇田川의 결과는 산란일사 성분비가 큰  $K_t < 0.4$ 범위에서 실측치와 잘 적합되는 반면,  $K_t$ 값이 증가할수록 즉, 청명조건에서 실제 법선면일사량보다 과소평가 되는 경향을 보인다. 반면 Erbs 및 Reindl의 결과는 전반적으로 모든 범위에서 과소평가 되는 경향을 보이고 있으나  $K_t > 0.6$ 인 청명조건에서는 宇田川의 방식보다 우수한 적합성능을 나타내고 있다. Bouguer의 모델은 전구간에 걸쳐 높게 예측되며 상대적으로 오차범위도 크게 나타나고 있다.

이러한 현상은 그림 5에 도식된 바와 같이  $K_t$

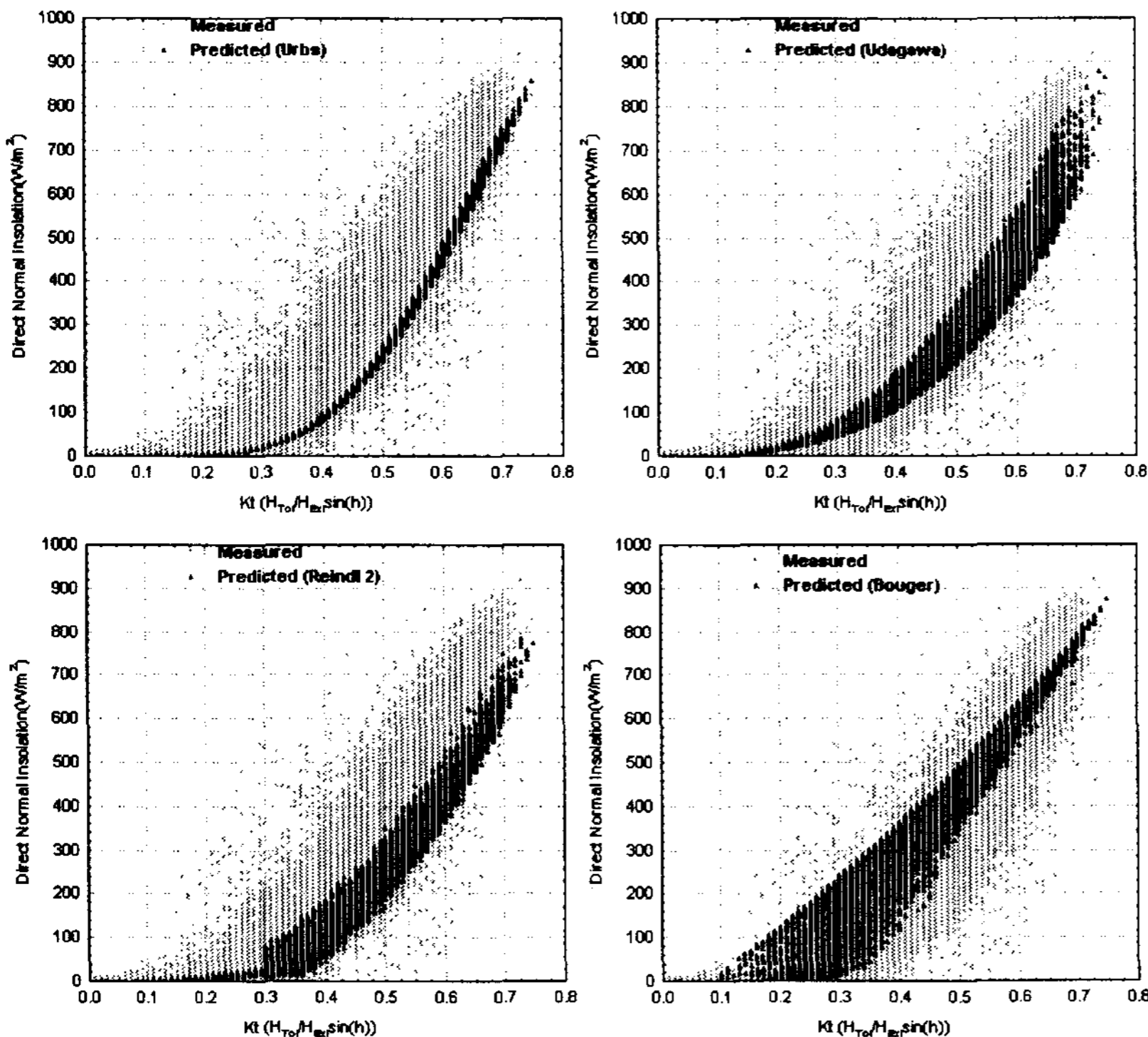


Fig. 5. Distribution of measured and predicted direct normal solar radiation with respect to  $K_t$  (1991-1998, Seoul)

Table 1. Results of statistical error test for five insolation decomposition models

분석 년도	도수	측정평균 (w/m <sup>2</sup> )	Mean Bias Error					Mean Bias Error(%)				
			Erb	Uda.	Bou.	Rei1	Rei2	Erb	Uda.	Bou.	Rei1	Rei2
1991	2252	277.2	-67.0	-41.5	90.5	-67.9	-61.7	-24%	-15%	33%	-24%	-22%
1992	2378	271.7	-63.1	-30.3	87.9	-58.5	-58.5	-23%	-11%	32%	-22%	-22%
1993	2150	269.0	-69.9	-38.5	82.4	-66.8	-70.0	-26%	-14%	31%	-25%	-26%
1994	1852	305.0	-73.5	-41.1	64.9	-70.8	-72.7	-24%	-13%	21%	-23%	-24%
1996	2689	333.0	-105.5	-75.1	35.5	-104.2	-101.8	-32%	-23%	11%	-31%	-31%
1998	1391	283.8	-77.7	-49.0	82.0	-76.3	-75.6	-27%	-17%	29%	-27%	-27%
전체	12710	291.4	-77.0	-46.8	72.4	-75.0	-74.1	-26%	-16%	25%	-26%	-25%
분석 년도	도수	측정평균 (w/m <sup>2</sup> )	Root Mean Square Error					Coefficient of Variance (RMSE%)				
			Erb	Uda.	Bou.	Rei1	Rei2	Erb	Uda.	Bou.	Rei1	Rei2
1991	2252	277.2	117.3	106.7	152.4	116.5	112.6	42%	38%	55%	42%	41%
1992	2378	271.7	104.4	83.6	138.7	95.4	96.0	38%	31%	51%	35%	35%
1993	2150	269.0	110.7	89.7	137.8	103.3	105.5	41%	33%	51%	38%	39%
1994	1852	305.0	116.8	87.2	134.8	105.5	109.7	38%	29%	44%	35%	36%
1996	2689	333.0	146.5	116.9	131.1	138.9	139.6	44%	35%	39%	42%	42%
1998	1391	283.8	130.8	113.7	157.7	127.1	129.5	46%	40%	56%	45%	46%
전체	12710	291.4	122.3	100.5	141.2	115.7	116.5	42%	34%	48%	40%	40%
분석 년도	도수	측정평균 (w/m <sup>2</sup> )	Degree of Agreement					T_statistic				
			Erb	Uda.	Bou.	Rei1	Rei2	Erb	Uda.	Bou.	Rei1	Rei2
1991	2252	277.2	0.925	0.928	0.875	0.919	0.924	33.1	20.0	35.0	34.0	31.1
1992	2378	271.7	0.928	0.948	0.888	0.934	0.933	36.9	18.9	39.9	37.8	37.4
1993	2150	269.0	0.924	0.944	0.893	0.929	0.925	37.7	22.0	34.6	39.3	41.2
1994	1852	305.0	0.933	0.959	0.909	0.942	0.936	34.8	23.0	23.6	39.0	38.1
1996	2689	333.0	0.913	0.938	0.921	0.916	0.915	53.9	43.5	14.6	58.9	55.3
1998	1391	283.8	0.907	0.921	0.864	0.906	0.901	27.5	17.8	22.7	28.0	26.8
전체	12710	291.4	0.919	0.939	0.898	0.922	0.920	91.44	59.28	67.30	95.95	93.04

에 대한 범선면직달일사량의 실측치 및 예측치 분포도에서 뚜렷이 나타난다. 각 그림에서 바탕에 깔린 넓은 분포의 데이터가 실제 측정 범선면일사량의 분포를 나타내며, 4개 그래프 모두 동일한 값이다. 宇田川의 예측 결과는 측정 일사량 분포의 우측 하부 1/2 지점에 분포되며, 월별 분포변화 분석결과 측정값과 유사하게 동절기는 좌측상부, 하절기는 우측하부로 분포되었다. 이는 宇田川의 모델에 태양고도의 영향, 즉 계절별 영향이

포함되었기 때문이다. 한편 Erbs의 결과는 월별 변화에 따른 산포가 거의 나타나지 않으며 좁은 단일선 영역에 대부분 분포되었다. Erbs식의 결과는 일부 Kt값이 높은 영역을 제외하고 대부분 측정값 분포의 우측 최하단부에 위치함에 따라 실제 일사량보다 작게 계산됨을 입증하고 있다. Reindl의 모델은 태양고도 및 온·습도의 영향을 고려하기 때문에 宇田川의 모델과 유사한 분포를 보인다. 반면 Bouguer 모델은 Kt값이 작아질수



록 넓게 퍼지는 형태로 실제 측정치의 분포와는 상이한 경향을 나타냄을 알 수 있다.

도식적 오차분석 방법에 이어 예측모델간의 정량적 신뢰성 검증을 위해 6개 오차지표에 대한 세부적 오차분석을 수행하였다. 표 1은 직산분리 예측모델별로 예측치와 측정값간의 통계처리 분석 결과를 나타낸다. 12,710시간의 유효데이터에 대한 평균 법선면직달일사량 측정값은 291.4 W/m<sup>2</sup>이다. 모든 지표에서 가장 작은 오차율을 나타낸 宇田川 모델의 경우 MBE(%)가 -16%, CV(RMSE)가 34%의 오차범위를 보이며, 그 외 모델은 이 보다 큰 오차를 나타냈다. 온습도의 영향을 추가시킨 Reindl 2 모델은 Reindl 1 모델에 비해 약간의 성능개선은 있지만 큰 차이를 보이지는 않는 것으로 평가되어, 직산분리 모델에 온도, 습도는 핵심 영향변수가 아닌 것으로 평가되었다. Bouger 모델은 일부 오차지표에서 높은 적합 성능을 보이지만 기본적으로 청명일을 대상으로한 이론적 모델이기 때문에 전체 Kt구간에 대해 이 모델을 적용하는 것은 바람직하지 않은 것으로 판명되었다. 가장 최초로 개발, 제안된 Erbs모델은 Kt만을 독립변수로 설정했기 때문에 전 지표에 걸쳐 오차도 가장 큰 것으로 나타났다. 종합적인 분석결과 앞서 도식적 분석에서 나타난 바와 같이 모든 통계적 지표에서 宇田川의 모델이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 이는 일사량 예측의 주요 변수인 태양고도의 영향이 회귀모델 내에 포함되었기 때문으로 판정된다.

#### 4. 결 론

성분별 일사량 예측을 위한 직산분리 5개 모델의 신뢰성 검증결과 대부분 모델은 모두 실측치보다 낮게 예측하는 경향을 나타낸 반면 Bouguer의 모델은 오히려 매우 높게 예측하고 실측치와의 오차도 매우 크게 나타났다. 이는 Bouguer모

델이 청천일 일사량을 예측하는 모델이기 때문으로 판단되며, 따라서 표준기상자료 작성시 연중 전구간에 대한 직산분리 모델로는 적합하지 않은 것으로 판단된다. Reindl의 모델은 Erbs 모델보다 약간 개선된 성능을 나타내지만 그 차이는 크지 않았다. 또한 온습도의 영향까지 고려한 Reindl의 2번째 모델도 큰 성능개선을 기대하기는 힘든 것으로 판명되었다.

종합적으로 판단할 때 Erbs 및 Reindl 모델의 경우 Kt>0.6인 일부 청명 조건에서는 宇田川의 모델보다 적합성능이 우수했지만 6개의 통계지표를 통한 오차분석에서 나타난 바와 같이 전체영역에 대한 예측모델의 정확성은 宇田川의 방식이 가장 우수한 것으로 나타났다. 그러나 5개 모델 모두 변동계수, CV 값이 34%~48%를 나타내 개선될 필요성이 있는 것으로 나타났다.

본 연구는 성분별 측정일사량에 기준해 국내 일사량 자원을 재평가하고 보다 개선된 일사량 직산분리 예측모델을 개발하는 것이 궁극적 목표이다. 이를 위한 다음단계 연구로 산란일사 성분에 대한 심층분석 및 서울지역 이외에 전국 지역 데이터에 대한 검증을 통해 국내 실정에 적합한 상관 회귀식을 도출해야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

1. 김두천 외, 열부하계산 computer software의 설계자료 개발, 과학재단 연구보고서, 1990
2. 김두천 외, 건물의 공조부하계산용 표준 전산 프로그램 개발 및 기상자료의 표준화 연구에 관한 최종보고서, 통상산업부 연구보고서, 94-P-11-03, 1996
3. 김효경 외, 서울표준기상데이터, 공기조화냉동공학회, 1990
4. 손장열, 서울지역 표준기상 자료에 관한 연구, 대한건축학회지, 29권 125호, 1985

5. 한국에너지기술연구소, 국내 직달일사량 분석 측정 및 데이터 평가연구, 통상산업부 연구보고서, KIER-951120, 1996
6. 윤종호, 김창범, 조덕기, 서울지역 직달일사 측정치를 이용한 일사량 직산분리 예측모델의 성능검증 연구”, 한국태양에너지학회 '99 춘계학술발표대회 논문집, 1999
7. Olmo, F.J. and F.J. Batlles, et al., Performance of global to direct/diffuse decomposition models before and after the eruption of mt. Pinatubo, Solar Energy, Vol 57. No 6, 1996, pp.433~443
8. Orgill J. F. and Hollands K. F., Correlation equation for hourly diffuse radiation on a horizontal surface. Solar Energy 19, 1977, pp.357~359
9. Erbs D.G., Klein S.A. and Duffie J.A., Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation. Solar Energy 28, 1982
10. Skartveit A. and Olseth J. A., A model for the diffuse fraction of hourly global radiation. Solar Energy 38, 1987, pp.271~274
11. Maxwell E. L., A Quasi-physical Model for Converting Hourly Global to Direct Normal Insolation. SERI/TR-215-3087, SERI, Golden, CO., 1987
12. Reindl D. T., Beckman W. A. and Duffie J. A., Diffuse fraction correlations. Solar Energy 45, 1990, pp.1~7
13. Perez R., Ineichen p., Maxwell E, Seals R. and Zelenka A., Dynamic global-to-direct irradiance conversion models. ASHRAE Trans. 3578 (RP-644), 1991
14. 宇田川光弘, 木村建一, 水平面全天日射量觀測值よりの 直達日射量の推定, 日本建築學會論文報告集, 第267號 年5月, 1978
15. Kreider J.F. and J.S. Haberl., Predicting hourly building energy use, ASHRAE Transactions, 100(2) : 1004~1118, 1994
16. Stone, R.J., Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models, Solar Energy, Vol. 51, No.4, 1993, pp.289~291
17. Gonzalez, J. and J. Calbo, Influence of the global radiation variability on the hourly diffuse fraction correlations, Vol. 65, No. 2, 1999, pp.119~131