



[2016-12-PV-003]

국내의 시간에 따른 수평면전일사량 상관식 제안 및 정확성 평가(II)

박상미¹⁾ · 김정배^{1)*}

Correlation to predict Global Solar Insolation and Evaluation of that Correlation for Korea(II)

Sang-Mi Park¹⁾ · Jeongbae Kim^{1)*}

Received 31 May 2016 Revised 15 December 2016 Accepted 15 December 2016

ABSTRACT Several studies have been performed to show how well the horizontal global solar radiation in Korea can be predicted using the Zhang-Huang model proposed in 2002 for China. A previous study proposed a new correlation with a new term of the duration of sunshine proven to be closely related to the hourly solar radiation in Korea into Zhang-Huang model. Therefore, this study performed a validation and accuracy estimation for the model for all regions in 2012. Another modified correlation for the regions without measuring the cloud cover was proposed and the accuracy and validity were evaluated. Finally, this study proposed a new correlation that could well predict the hourly and daily total solar radiation for all regions, seasons, and weather conditions, including overcast and clear, with higher accuracy and lower error than other models previously proposed in Korea.

Key words Hourly horizontal global radiation(시간 수평면전일사량), ZHM(Zhang and Huang model, Z&H 모델), Estimation of solar radiation(일사량 예측), Dry-bulb temperature(건구온도), Relative humidity(상대습도), Cloud cover(운량), Duration of sunshine(일조시간), Wind velocity(풍속)

1. 서론

우리나라의 신재생에너지 자원의 부존량의 평가와 평가 결과를 활용하는 예측 상관식을 제시하는 것은 매우 중요하다. 특히, 신재생에너지의 대표 분야 중의 하나인 태양광 분야는 태양에너지 자원량의 정확한 예측이 매우 필요하고 또한 중요하다.^[1]

특히, Kim and Kim은 수평면전일사량의 측정지역은 전국적으로 15개 지역(춘천, 강릉, 서울, 원주, 서산, 청주, 대전, 포항, 대구, 전주, 광주, 진주, 부산, 목포, 제주)뿐

이지만, 건구온도 등을 포함하는 기상 관측데이터의 측정 개소는 300개 이상이므로, 태양에너지 분야의 보급사업의 수행지역이 확대됨에 따라 태양광 및 태양열 시스템의 설계를 위한 기초 자료로서 해당지역에 대한 정확한 일사량 예측자료가 필요함을 제시하였다.^[1]

Jo and Kang은 1982~2008년까지의 전국 16개 지역에서의 측정된 수평면전일사량을 기준으로 온도, 습도, 일조시간과 운량 중에서 운량을 선택하여 월평균 1일 대기권 밖 일사량과 수평면전일사량과의 비를 지역별로 제시하였다.^[3]

Jo et al.은 1982~2010년까지의 전국 16개 지역에서의 수평면 전일사량 측정값을 이론적으로 예측하는 식과 비교하고, 이를 보정하기 위하여 16개 지역에서 측정하고 있는 건구 온도, 상대 습도, 일조시간과 운량 중에서 운량과 일

1) Dept. of Energy System Engineering, Korea National University of Transportation E-mail: jeongbae_kim@ut.ac.kr
Tel: +82-43-841-5282 Fax: +82-43-841-5280

조시간을 선택하여 월평균 1일 대기권 밖 일사량과 수평면 전일사량과의 비를 지역별로 제시하였다. 다만, 지역별 일조율 상수의 오차가 약 15.8% 정도 수준에 머물러 있음을 알 수 있다. 또한, 논문의 결론에서 제시하는 것과 같이 현재 기상청에서 측정하고 있는 일조, 운량, 건구 온도, 상대습도 전체를 고려하는 일사량과의 관계 규명 이후에 기상 관측 변수를 포함하는 일사량 예측식의 필요성을 강조하였다.^[4]

최근에, Kim and Kim은 시간에 따른 정확한 일사량의 예측을 위한 다양한 기존의 연구결과들을 평가하여 건구 온도, 상대습도, 일조시간 및 운량의 기상 관측 변수를 포함하는 예측식이 필요하고, 수평면전일사량을 예측하기 위하여 전국 혹은 위도별로 적용 가능한 한국형 모델식이 필요함을 제안하였다.^[1,2]

기상 측정 데이터를 이용하여 중국의 시간별 수평면전일사량을 예측하기 위해 Zhang&Hwang은 운량, 건구온도, 상대습도, 및 풍속을 포함하는 식 (1)을 제안하였고 중국 전역(북경에서 광주까지)에 대해 일정한 계수로서 높은 정확도를 얻을 수 있음을 보여주었다.^[5]

$$I = [I_0 \sin(h) \left\{ \begin{array}{l} \beta_0 + \beta_1(CC) + \\ \beta_2(CC)^2 + \\ \beta_3(T_{db,n} - T_{db,n-3}) + \\ \beta_4RH + \beta_5V_w \end{array} \right\} + d]/k \quad (1)$$

여기서, I는 수평면전일사량(W/m²), I₀는 태양 상수(1355 W/m²), h는 고도각, CC는 0~1로 측정된 운량, T_{db,n}은 n 시간의 건구온도, RH는 상대습도(%), V_w는 풍속(m/s), d와 k 그리고 β₀ ~ β₅는 상수 계수들이며 아래와 같다.

$$\begin{aligned} d &= -17.853, k = 0.843, \\ \beta_0 &= 0.5598, \beta_1 = 0.4982, \beta_2 = -0.6762, \\ \beta_3 &= 0.02842, \beta_4 = -0.00317, \beta_5 = 0.014 \end{aligned}$$

최근에 Zhang&Hwang 모델(Z&H 모델)을 기본으로 하여 미국의 텍사스주에 대하여 새로운 계수를 찾고, 새롭게 얻어진 계수를 이용하여 텍사스주의 대부분의 지역에 대하여 수평면전일사량의 예측이 정확할 수 있음을 확인하였다.^[6](참고문헌 1-5번까지의 연구 내용 소개는 본 논문과 동일한 제목의 (I)번 논문과 동일함)

따라서, 본 연구에서는 저지들에 이미 제안된 시간에 따른 수평면전일사량 예측 상관식(KKP 모델) 식 (2)를 활용하여 2012년의 365일 그리고 15개 측정 지역에 대하여 적용하고 식 (2)의 적용 가능성과 예측 정확도를 평가하였다.

$$I = I_0 \sin(h) \left\{ \begin{array}{l} \beta_0 + \beta_1(CC) + \beta_2(CC)^2 + \\ \beta_3(T_{db,n} - T_{db,n-3}) + \beta_4RH + \\ \beta_5V_w + \beta_6t_{ds} \end{array} \right\} \quad (2)$$

여기서, t_{ds}는 일조시간(hr)임.

$$\begin{aligned} \beta_0 &= 0.4545, \beta_1 = 0.0577, \beta_2 = -0.0906, \\ \beta_3 &= -0.01408, \beta_4 = -0.3193, \beta_5 = 0.004518, \\ \beta_6 &= 0.371 \end{aligned}$$

또한, 현재 국내의 93개 기상 관측 지역 중에서 운량을 측정하고 있지 않는 54개 지역을 위해 식 (2)를 수정한 예측 상관식을 제시하고 동일한 방법으로 적용 가능성과 정확도를 평가하였다.

2. KKP 모델의 제안과 예측 정확도 평가

식 (2)를 적용하여 계산된 시간에 따른 수평면전일사량

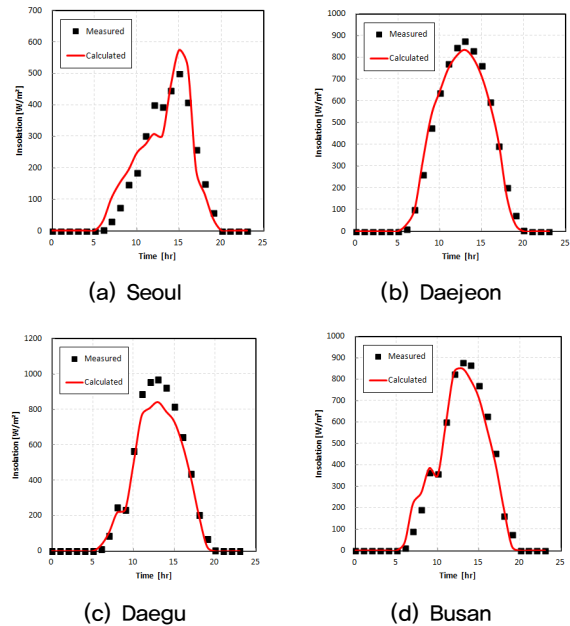


Fig. 1. Solar radiation in clear May, 12, 2012 with time using KKP model

은 청명일인 2012년 5월 12일에 대해서는 Fig. 1과 같이, 비청명일인 2012년 8월 2일에 대해서는 Fig. 2와 같이 전국적으로 시간에 따른 일사량의 거동을 잘 예측할 수 있었다. Table 1에 식 (3)에 의해 정리된 1일 총 수평면전일사량으로 평가된 정확도도 기존에 제시된 다른 예측식에 비하여 매우 높음을 알 수 있다(식 (2)의 상세한 정확도는 (I) 번 논문 참조).

2012년 12개월 전체와 15개 지역의 측정된 1일 총수평면전일사량 측정값과 식 (2)를 이용하여 계산된 예측값을 비교하여 Fig. 3에 나타내었다. 15개 지역의 2012년 1월에서 12월까지 1일 총 수평면전일사량에 대한 일치율(A_{total} , 식 (3) 참조)로 평가된 KKP식의 예측 정확도는 평균 약

110.6%이었으며, 5490개의 데이터에 대하여 약 73.4%의 데이터들이 $\pm 20\%$ 수준 이내인 것으로 평가되었다. 나머지 26.6%의 데이터들은 주로 청명도가 아주 낮은 조건에서 발생함을 확인하였다.

2012년 12개월 전체와 15개 지역의 측정된 1일 수평면전일사량 피크 측정값과 식 (2)를 이용하여 계산된 피크 예측값을 비교하여 Fig. 4에 나타내었다. 2012년의 특정일 기준 수평면전일사량 피크 일치율(A_{peak} , 식 (4) 참조)로 평가된 KKP식의 예측 정확도는 평균 약 94.7%이었으며, 총 수평면전일사량에 대한 경향과 유사하게 대부분의 데이터들이 $\pm 20\%$ 수준 이내인 것으로 평가되었다.

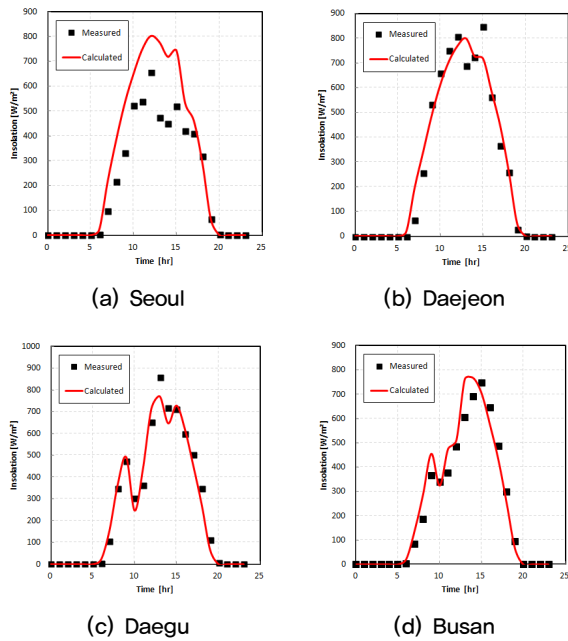


Fig. 2. Solar radiation in overcast Aug. 2, 2012 with time using KKP model

Table 1. Total daily solar radiation accuracy estimated using KKP model [%]

Day/Region	Seoul	Daejeon	Daegu	Busan	Avg.
Jan.3	79.1	75.3	98.9	81.4	84.43
Jan.14	81.2	93.0	97.5	93.0	90.57
May.12	95.5	98.1	89.0	99.3	94.20
May.13	87.0	80.9	95.0	94.3	87.63
Aug.2	61.8	97.6	98.5	93.2	85.97
Aug.5	77.9	89.2	93.5	98.1	86.87

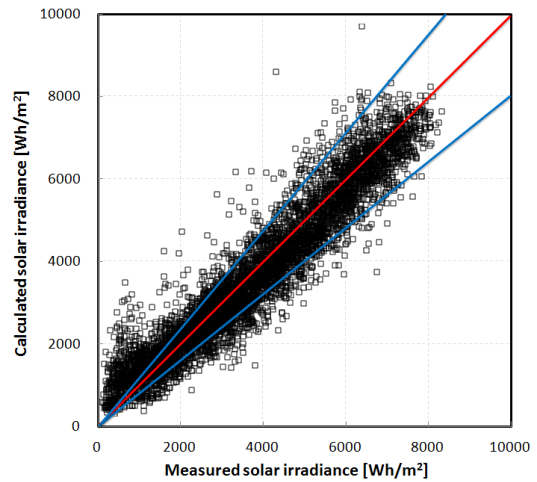


Fig. 3. Solar radiation comparison for 2012 yr. using KKP model ($R^2=87.0\%$)

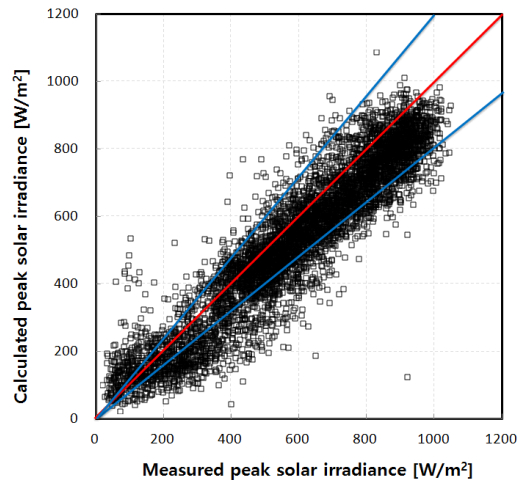


Fig. 4. Solar radiation peak comparison for 2012 yr. using KKP model ($R^2=81.4\%$)

$$A_{total} = \frac{\sum I_{cal}}{\sum I_{meas}} \times 100 \quad (3)$$

$$A_{peak} = \frac{I_{cal,peak}}{I_{meas,peak}} \times 100 \quad (4)$$

여기서, I_{cal} 는 계산 수평면전일사량(W/m^2), I_{meas} 는 측정 수평면전일사량(W/m^2)을 나타냄.

식 (2)의 계수들은 Z&H 모델의 상관식 식 (1)을 기준식으로 하여, 모델의 단순화를 위하여 상수 계수들인 d 와 k 를 $d=0$, $k=1$ 로 하고 일조시간을 추가하여 수평면전일사량을 측정하고 있는 15개 지역과 2012년 중에서 대표 6일을 선정하여 기상청에서 측정하고 있는 기상 관측 자료로부터 미니탭을 이용하여 얻어진 것이었다. 2012년 대표 6일이 아닌 12개월 전체에 대하여 식 (2)의 계수들을 평가하여 아래와 같이 구해졌다.

$$\begin{aligned} \beta_0 &= 0.3248, \beta_1 = 0.128, \beta_2 = -0.210, \\ \beta_3 &= -0.00581, \beta_4 = -0.131, \beta_5 = 0.00736, \\ \beta_6 &= 0.388 \end{aligned} \quad (5)$$

2012년 12개월 전체와 15개 지역의 측정된 1일 총수평면전일사량 측정값과 식 (2)와 계수 식 (5)를 이용하여 계산된 예측값을 비교하여 Fig. 5에 나타내었다. 15개 지역의 2012년 1월에서 12월까지 1일 총 수평면전일사량에 대

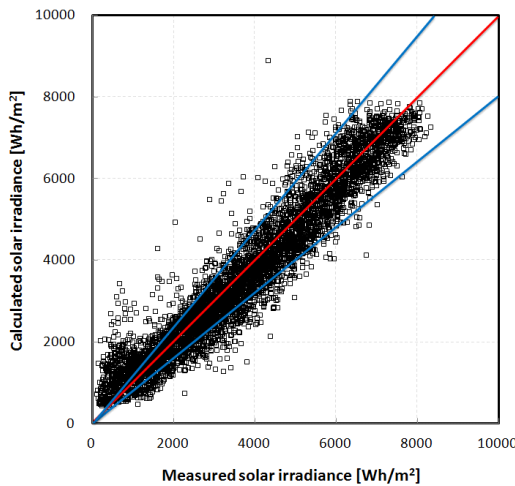


Fig. 5. Solar radiation comparison for 2012 yr. using KKP model with Eq. (5) constants ($R^2=90.9\%$)

한 일치율(A_{total} , 식 (3) 참조)로 평가된 KKP식의 예측 정확도는 평균 약 109.7%이었으며, 5490개의 데이터에 대하여 약 75.1%의 데이터들이 $\pm 20\%$ 수준 이내인 것으로 평가되었다. 피크 일치율은 상대적으로 약 1% 정도 높은 95.7%인 것으로 평가되었다.

12개월 전체로부터 얻어진 계수들과 대표 6일로부터 얻어진 계수들에 의한 결과로부터 예측 정확도의 차이가 거의 없음을 알 수 있다.

3. 수정 KKP 모델의 제안과 정확도

현재 기상청에서 제시하고 있는 기상 관측 자료를 확인해 본 결과, 기상 데이터를 측정하고 있는 93개 지역 중 54개 지역이 운량을 측정하지 않음을 확인할 수 있었다. 이러한 54개 지역에 대하여 수평면전일사량을 예측하기 위해서는 식 (2)의 수정이 필요하다.

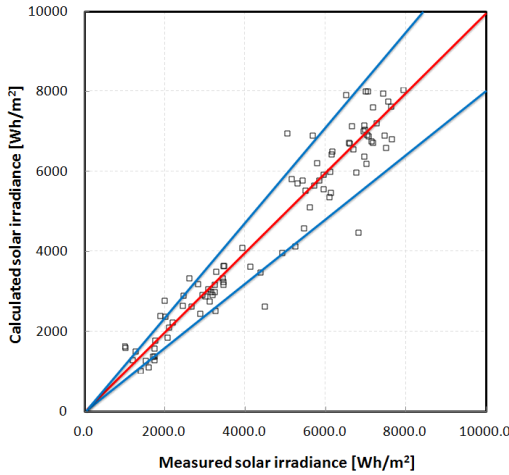
$$I = I_0 \sin(h) \left\{ \beta_0 + \beta_1 (T_{db,n} - T_{db,n-3}) + \beta_2 RH + \beta_3 V_w + \beta_4 t_{ds} \right\} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \beta_0 &= 0.44645, \beta_1 = -0.0147, \beta_2 = -0.327, \\ \beta_3 &= 0.00362, \beta_4 = 0.391 \end{aligned}$$

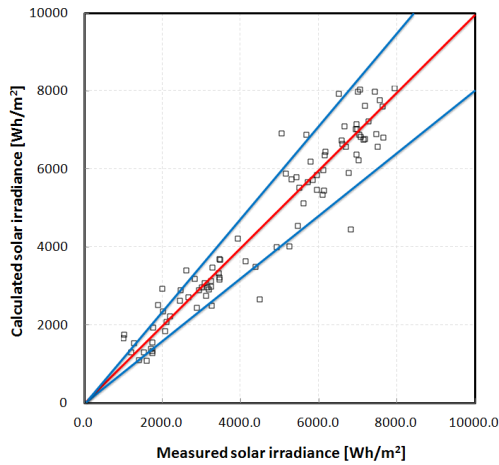
2012년 12개월 전체의 데이터를 활용하여 운량 변수를 제외하고 식 (6)에 대하여 식 (2)의 계수 도출 방법과 동일한 과정을 거쳐 식 (6)의 계수들을 구하였다.

식 (6)과 같이 수정된 KKP 모델의 정확도는 2012년의 대표 6일(1월3일, 1월14일, 5월6일, 5월13일, 8월2일, 8월5일)에 대하여 식 (2)의 1일 총 수평면전일사량 일치율과 피크 일치율로 비교하였다. 12개월 전체로 비교할 경우 발생하는 세부적인 경향의 차이가 상대적으로 잘 드러나지 않는 특성을 고려하여 대표 6일에 대해서만 상대 비교를 수행하였다.

Fig. 6에서와 같이 1일 총 수평면전일사량에 대한 측정값과 계산값의 차이는 식 (2)의 식 (3)의 정확도가 100.2%인데 비하여 식 (6)의 정확도는 100.9%로, 식 (4)에 의한 피크 일치율의 경우에는 각각 식 (2)가 93.4%인데 비하여 식 (6)은 94.1%로 얻어졌다. 이러한 결과로부터 운량 변수가



(a) Results using KKP model



(b) Results using modified KKP model

Fig. 6. Solar radiation comparison for 6 days of 2012 yr. using KKP models

없는 수정된 KKP 모델식도 충분한 예측 정확도를 가지고 있어 다수의 지역에 대하여 적용 가능할 것으로 판단된다.

4. 결론

국내의 전지역에 적용 가능한 수평면전일사량 예측 모델식의 제안을 위한 연구결과로부터 아래와 같은 결론을 도출하였다.

- 1) Z&H 모델식을 활용하여 이를 국내에 적합한 수평면전일사량 모델로 수정하는 것이 매우 바람직함을 다양한

평가를 통하여 확인하였다. 이러한 수정은 국내 기상 조건에 맞게 일조시간을 추가하는 것이었다.

- 2) KKP 모델은 1일 총 수평면전일사량의 예측 정확도는 평균적으로 약 109.7% 수준이었으며, 1일 피크 시간에서의 피크 오차율도 약 95.7%를 나타내어 전국적으로 위치 및 기상 조건에 관계없이 적용 가능성이 매우 높음을 알 수 있었다. KKP 모델식은 아래와 같이 고도각, 운량, 건구온도, 상대습도, 풍속 및 일조시간을 가지는 비선형식으로 아래와 같다.

$$I = I_0 \sin(h) \left\{ \beta_0 + \beta_1(CC) + \beta_2(CC)^2 + \beta_3(T_{db,n}) \right. \\ \left. - T_{db,n-3} + \beta_4RH + \beta_5V_w + \beta_6t_{ds} \right\}$$

$$\beta_0 = 0.3248, \beta_1 = 0.128, \beta_2 = -0.210, \\ \beta_3 = -0.00581, \beta_4 = -0.131, \beta_5 = 0.00736, \\ \beta_6 = 0.388$$

- 3) 현재 국내의 다수 지역에서 운량 측정 결과가 없는 상황을 고려하여 KKP 모델을 운량 변수를 제외한 수정된 모델을 아래와 같이 제시하였다.

$$I = I_0 \sin(h) \left\{ \beta_0 + \beta_1(T_{db,n} - T_{db,n-3}) + \right. \\ \left. \beta_2RH + \beta_3V_w + \beta_4t_{ds} \right\}$$

$$\beta_0 = 0.44645, \beta_1 = -0.0147, \beta_2 = -0.327, \\ \beta_3 = 0.00362, \beta_4 = 0.391$$

수정된 모델식의 예측 정확도는 KKP 모델과 거의 유사함을 알 수 있었다.

- 4) 향후 2012년을 제외한 해들에 대하여 기상 관측 데이터를 확보하여 KKP 모델식의 정확도 평가가 필요하며, 수평면전일사량의 성분들인 직달과 산란 일사량 평가를 위한 예측 모델을 추가하여 제시가 필요하다.

References

[1] Kim H. Y. and Kim J., 2016, "Prediction Correlation of Solar Insolation using Relationships between Meteorological Data and Solar Insolation in 2012(I)", Journal of KSES,

- 36(1), 1-9.
- [2] Kim H. Y. and Kim J., 2016, “Correlation to Predict Global Solar Insolation and Evaluation of that Correlation for Korea(I)”, *New & Renewable Energy*, **12**(S2), 30-35.
- [3] Jo D. K. and Kang Y. H., 2010, “A Study on the Solar Radiation Estimation of 16 Areas in Korea Using Cloud Cover”, *Journal of KSES*, **30**(4), 15-21.
- [4] Jo D. K., Yun C. Y., Kim K. D. and Kang Y. H., 2012, “A Study on the Estimating Solar Radiation in Korea Using Cloud Cover and Hours of Bright Sunshine”, *Journal of KSES*, **32**(2), 28-34.
- [5] Zhang Q. Y. and Huang, Y. J., 2002, “Development of Typical Year Weather Files for Chinese locations”, *ASHRAE Transactions*, **108**(2), 1063-1075.
- [6] Kim K. H., Baltazar J. C. and Haberl J. S., 2014, “Evaluation of Meteorological Base Models for Estimating Hourly Global Solar Radiation in Texas”, *Energy Procedia*, **57**, 1189-1198.
- [7] Park S. M. and Kim J., 2016, “The Time Variant Prediction of Solar Irradiation using Meteorological Observation Data(II)”, *Spring Conference Proceedings of KSES*, 38.