

기상매개변수와 상관관계에 의한 일사예측에 관한 연구

조덕기*, 강용혁*

*한국에너지기술연구원(dokkijo@kier.re.kr / yhkang@kier.re.kr)

A Study on Estimating Solar Radiation in Relation to Meteorological Parameters

Jo, Dok-Ki*, Kang, Young-Heack*

Korea Institute of Energy Research(dokkijo@kier.re.kr / yhkang@kier.re.kr)

Abstract

It is necessary to estimate empirical constants in order to predict the monthly mean daily global radiation on a horizontal surface in the developing areas for alternative energy. Therefore many different equations have proposed to evaluate them for certain areas. In this work a new correlation has been made to predict the solar radiation for any areas over Korea by calculating the regression models taking into account latitude, percentage of possible sunshine, and cloud cover.

Results clearly demonstrates the reliability of the single linear equation for the estimation of global radiation, which is proposed by using percentage of possible sunshine method. When compared with the measured values, the average annual deviation falls between -3.1 to +0.6 %.

Keywords : 기상매개변수(Meteorological Parameter), 수평면 전일사량 (Horizontal Global Radiation), 일조율(percentage of possible sunshine), 운량(cloud cover), 회귀모델(Regression Model)

기 호 설 명

G_{sc}	: 태양상수 ($1,353 \text{ W/m}^2$)
H_0	: 월평균 1일 대기권밖 일사량
H	: 월평균 1일 수평면 전일사량
H_c	: 월평균 1일 청명일사량
n/N	: 월평균 1일 일조율
C	: 월평균 1일 운량치

1. 서 론

최근에 태양에너지사업 수행지역이 확대됨에 따라 태양열 및 태양광시스템의 설계기준 및 이에 따른 설계자료로서 해당지역에 대한 정확한 일사자료가 매우 절실히 요구되고 있다. 그러나 일사측정 지역이 일부지역에만 국한됨에 따라 우리나라 전 지역에 대한 일사

투고일자 : 2008년 4월 4일, 심사일자 : 2008년 4월 15일, 게재확정일자 : 2008년 5월 30일

교신저자 : 조덕기(dokkijo@kier.re.kr)

량 산출은 현실적으로 불가능한 실정이다.

일반적으로 일사자료가 없는 지역에서는 기상조건이 유사한 지방의 측정자료를 사용하는 것이 통상적이나, 그렇지 못한 지역에서는 그 지역의 일조율이나 운량 등 관련 기상자료를 이용하여 일사량을 예측하는 방법이 매우 유효하게 널리 사용되고 있다.

즉, 태양으로부터 지구표면에 도달되는 복사에너지는 대기권을 통과하는 사이에 전리층과 오존층에 흡수되며, 또한 대기 중의 구름이나 수증기, 이산화탄소, 먼지 등에 의해 상당량이 흡수되거나 산란되어 지표면에 도달되고 있다. 이와 같이 일사량은 대기상태 및 특성에 의해 크게 달라짐에 따라 많은 학자들은 일사량과 관련 기상매개변수사이에 함수관계가 있을 것으로 간주하여 이들 간의 상관관계를 오래 전부터 연구하여 왔다.

따라서 본 논문에서는 일사량을 측정하지 않는 지역들에 대하여 이들 근접지역에서 측정된 일사자료와 관련 기상매개변수와의 상관관계를 유도하여 지역상수를 산출하고, 이상수를 미측정 지역에 적용하여 해당지역의 일사량을 예측코자 하였으며, 또한 현재 관측을 수행중인 지역에 대해서도 일사자료를 추정하여, 그 지역 측정자료의 질적수준을 평가하는 보편으로도 이용하고자 하였다.

2. 일사에측 해석의 이론적 배경

2.1 일조율에 의한 방법

1922년 초기에 분광학자인 Angstrom은 최초로 월평균 1일 청명일사량에 대한 수평면 전일사량의 비를 그 지방의 월평균 1일 일조율 즉, 월평균 1일 가조시간에 대한 일조시간의 비와의 관계식으로 식 (1)과 같이 제시하면서 일사량을 이론적으로 예측하기 위한 연구가 시작되었다.

$$\frac{H}{H_c} = a' + b' \frac{n}{N} \quad (1)$$

여기서 H : 월평균 1일 수평면 전일사량
 H_c : 월평균 1일 청명일사량
 n : 월평균 1일 일조시간
 N : 월평균 1일 가조시간
 n/N : 월평균 1일 일조율
 a', b' : 경험적 상수

그러나 위 식은 청명일이라는 개념이 명확하지 않아 최근에 와서는 이와 같은 문제점을 보완하기 위하여 Page(1964) 및 Garg(1967) 같은 학자들은 청명일사량 대신에 대기권밖 일사량을 근거로 한 관계식으로 식 (2)와 같이 유도하였다.

$$\frac{H}{H_o} = a + b \frac{n}{N} \quad (2)$$

여기서 H_o : 월평균 1일 대기권밖 일사량
 H/H_o : 월평균 1일 일사율
 a, b : 개정된 경험적 상수

이며, 월평균 1일 대기권밖 일사량¹⁾은 식 (3)에 의해 산출할 수 있다.

$$H_o = 24 \times 3600/\pi \cdot G_{sc} [1 + 0.033 \cos(360d/365)] \times [\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + 2\pi\omega_s/360 \cdot \sin \phi \sin \delta] \quad (3)$$

여기서 G_{sc} : 태양상수 (1,353 W/m²)
 d : 통산일(通算日)
 ϕ : 해당지방의 위도
 δ : 일적위
 $= 23.45 \sin(360 \cdot 284d/365)$
 ω_s : 일몰시간각
 $\cos \omega_s = -\tan \phi \tan \delta$

이때 해당일의 1일 최대 가조시간 N'는 해당지방의 위도와 일적위를 통하여 산출할 수 있으며, 그 산출식은 식 (4)와 같다.

1) Duffie John A. and Beckman William A., Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons, Inc., 1991.

$$N' = \frac{5}{12} \cos^{-1} (-\tan \phi \tan \delta) \quad (4)$$

2.2 운량에 의한 방법

전천을 하나로 하여 육안으로 본 구름의 면적과의 비로 표시되는 운량치를 이용한 일사량 예측방법²⁾ 역시 많은 학자들에 의해 연구되어 월평균 1일 대기권밖 일사량에 대한 수평면 전일사량의 비와 월평균 1일 운량과의 경험적인 상관관계를 식 (5)와 같이 제시하였다.

$$\frac{H}{H_0} = a'' + b'' C \quad (5)$$

여기서 C : 월평균 1일 운량치
a'', b'' : 운량을 기초로 한 상수

그러나 위 식은 일사와 운량의 상호관계를 더욱 발전시키기 위해 Norries(1968)에 의해 여러 번 재검토가 시도되었고, 또한 Bennet(1965)는 일사율 H/H₀와 운량 C, 그리고 일조율, n/N과의 상관관계를 서로 비교하여 일조율이 운량치보다도 일사율과 더 이상적인 상호관계를 갖는다는 점을 발견하였다.

3. 일사예측 상관식 산출

최근 대체에너지 활용에 따른 태양에너지 이용의 중대성이 인식되어 지역에 따른 정확한 일사자료가 요구되고 있다. 그 일사측정 지역이 일부지역에만 국한되어 있어 우리나라 전 지역에 대한 일사량 산출은 현실적으로 불가능한 실정이다.

따라서 우리나라 주요지역에서 최근에 걸쳐 측정된 일사량과 기상매개변수와 상관관계를 도출하여 일사량 관측이 수행되지 않은 지역들에 적용할 뿐만 아니라 현재 관측

을 수행중인 지역에 대해서도 일사자료를 추정하여 해당지역 측정자료의 질적수준을 평가할 수 있도록 하였다.

예측기법에 적용되는 인자로서는 대기권밖 일사량, 수평면 전일사량, 가조시간, 일조시간, 운량 등의 입력자료로서 표 1에서 보는 바와 같이 전국 주요 16개 지역을 선정하여 이들 지역에서 '82.1 ~ 2006.12 기간 동안에 측정된 25년간의 평균자료를 이용하였다.

또한 이들 인자중 수평면 전일사량은 미국 Eppley사에서 제작한 수평면일사계와 동사의 적분기록장치, 그리고 Vaisala사의 데이터수집장치에 의해 관측되었으며, 기타 관련 기상자료는 동 기간동안에 기상청에서 발행한 "기상년·월보" 자료를 사용하였다. 그 외에 대기권밖 일사량과 가조시간의 산출은 식 (3)과 식 (4)에서 계산된 값을 취하였다.

한편, 일반적으로 일조율과 운량에 의한 일사예측 방법에서 지역상수 a, b 값은 표준치의 일차함수로 나타나며, 각 측정지역에서 관측된 수평면 전일사량, 일조시간, 운량 등의 기상자료를 기초로 최소자승법을 사용하여 다음 식과 같이 산출할 수 있다.

표 1. 일사예측 시뮬레이션을 위한 선정지역 명세

지역명	지역번호	위도	경도	고도
춘천	101	37° 54'	127° 44'	74.0m
강릉	105	37 45	128 54	26.0
서울	108	37 34	126 58	85.5
원주	114	37 20	127 57	149.8
서산	129	36 46	126 28	19.7
청주	131	36 38	127 26	59.0
대전	133	36 22	127 22	67.2
포항	138	36 02	129 24	2.5
대구	143	35 53	128 37	57.8
전주	146	35 49	127 09	51.2
광주	156	35 10	126 53	70.3
부산	159	35 06	129 02	69.2
목포	165	34 49	126 22	36.5
제주	184	33 31	126 32	22.0
진주	192	35 12	128 06	21.5
영주	272	36 52	128 31	209.5

2) H.P. Garg, Treatise on Solar Energy, John Wiley New York, 1982.

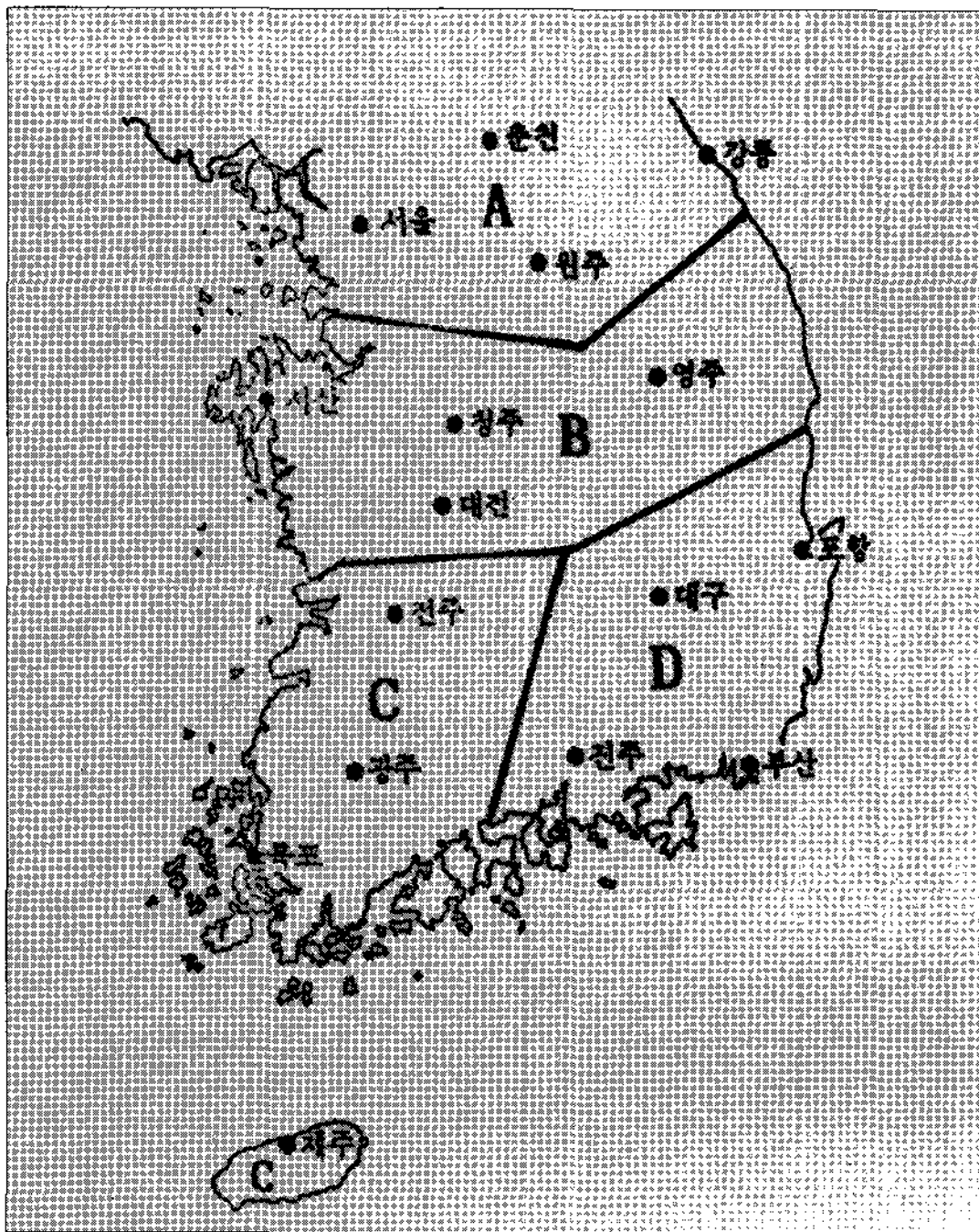


그림 1. 지역별에 따른 지대 구분도

즉, $\sum_{i=1}^N [a X(i) + b - Y(i)]^2$ 의 식이 최소가 되는 a, b를 구하는 것으로서,

$$a = \frac{\{N\sum X(i)Y(i) - [\sum X(i)][\sum Y(i)]\}}{\{N\sum [X(i)]^2 - [\sum Y(i)]^2\}}$$

$$b = \frac{1}{N} [\sum Y(i) - \sum X(i)] \quad (6)$$

이다. 여기서 Y(i)는 일사율(H/H₀)이며, X(i)는 일조율(n/N), 또는 운량(C)이다.

한편 R은

$$R = \frac{\{\sum [X(i) - \bar{X}] - [Y(i) - \bar{Y}]\}}{\{\sum [X(i) - \bar{X}]^2 \sum [Y(i) - \bar{Y}]^2\}} \quad (7)$$

이며, R이 1에 가까울 수록 회귀식이 실측치와 거의 일치하는 a, b 값들을 계산함을 나타낸다.

따라서 위 식을 토대로 표 1에서 나타난 지

표 2. 우리나라 지대별 지역상수 값 (일사량-일조율)
(단위 : ×0.01)

지대	상수	월 별											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	a	227	272	266	305	270	239	201	233	259	284	220	205
	b	446	384	380	301	359	395	441	401	379	357	438	458
B	a	256	228	221	283	305	251	217	211	233	271	234	222
	b	409	475	468	354	300	366	412	463	448	397	428	447
C	a	160	177	132	258	269	194	204	200	222	203	204	200
	b	589	567	658	411	381	538	503	519	484	531	492	473
D	a	207	174	172	244	269	185	189	203	182	268	242	307
	b	492	565	577	430	370	535	507	489	554	400	432	325

표 3. 우리나라 지대별 지역상수 값 (일사량-운량)
(단위 : ×0.01)

지대	상수	월 별											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	a	685	629	656	635	639	707	723	692	649	634	640	645
	b	-561	-356	-399	-355	-354	-475	-518	-458	-372	-358	-464	-506
B	a	659	692	687	678	630	762	767	754	691	657	636	603
	b	-413	-442	-431	-406	-310	-550	-559	-548	-433	-370	-406	-339
C	a	768	715	697	636	608	672	730	730	673	680	650	634
	b	-636	-509	-454	-323	-278	-404	-501	-505	-409	-414	-424	-434
D	a	715	723	657	614	604	713	689	685	663	635	622	576
	b	-601	-552	-371	-285	-282	-478	-464	-448	-411	-323	-341	-206

역들을 같은 위도 상에 분포되는 일사량은 서로 유사성이 일치한다는 점³⁾에서 서로 유사한 위도나 그동안 전국 주요 16개 지역에서 '82.1 ~ 2006.12 기간 동안에 측정된 25년간의 평균 일사량 값이 상호 비슷한 지역들끼리 서로 묶어 그림 1과 같이 지대별로 구분하여 각 지대에서 공히 적용할 수 있는 지역상수 a, b 값을 일조율과 운량에 의한 방법의 상관관계식을 이용하여 표 2와 표 3에 각각 월별로 제시하였다.

4. 시뮬레이션에 의한 측정일사량과의 비교분석

각 지대별에 따른 임의의 지역의 수평면 전 일사량을 예측하기 위한 시뮬레이션은 여러

3) 조덕기 외, 국내 수평면 전일사량 자원의 분포특성 분석, 한국태양에너지학회지, 제20권, 제1호, pp 31-42, 2000.

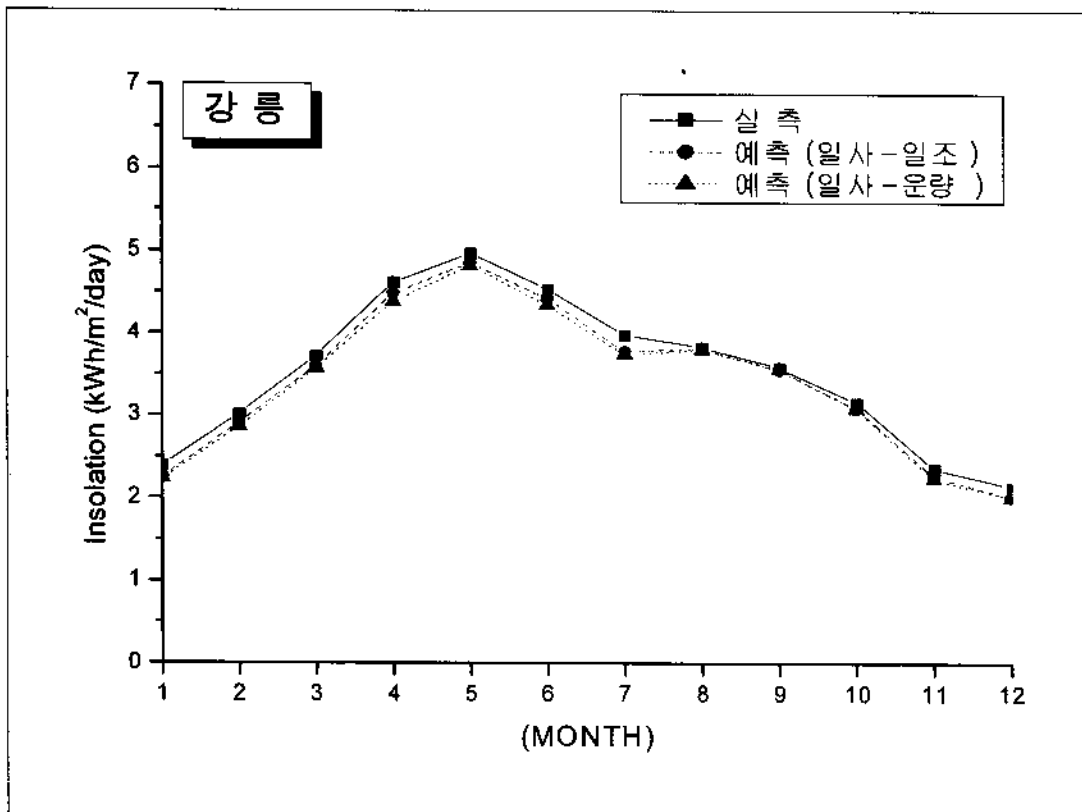


그림 2. 시뮬레이션에 의한 월별 일평균 실측치와 예측치와의 비교 (강릉)

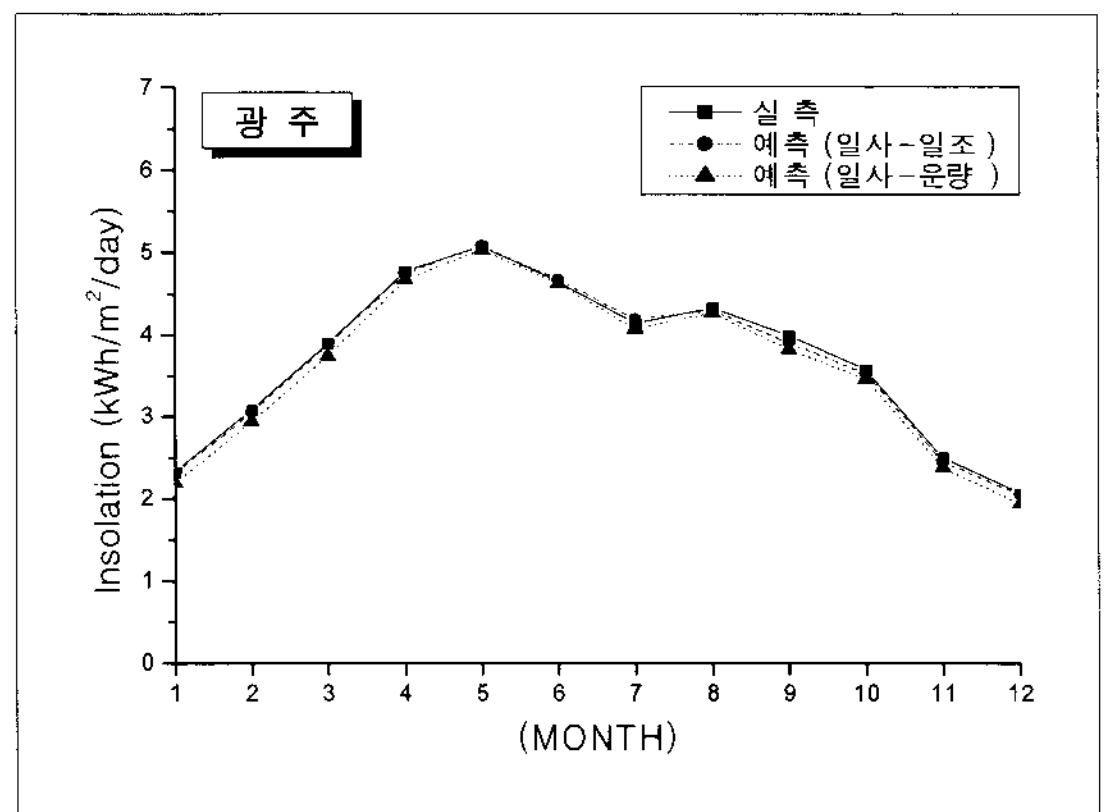


그림 5. 시뮬레이션에 의한 월별 일평균 실측치와 예측치와의 비교 (광주)

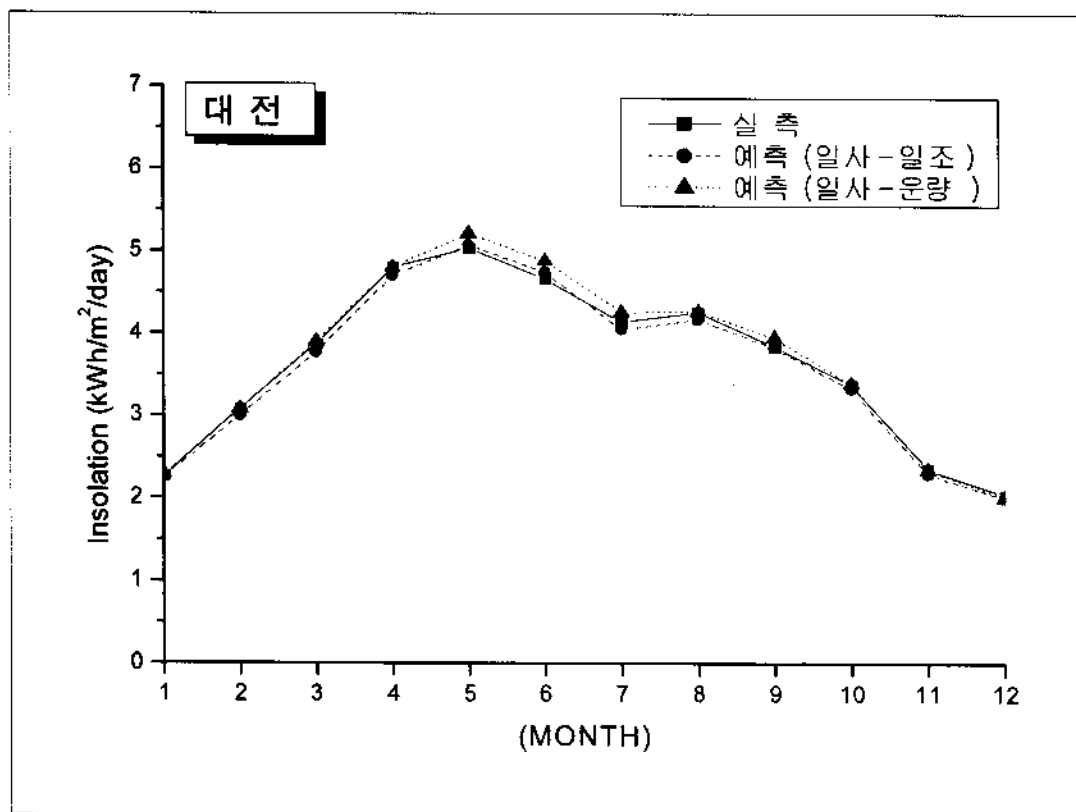


그림 3. 시뮬레이션에 의한 월별 일평균 실측치와 예측치와의 비교 (대전)

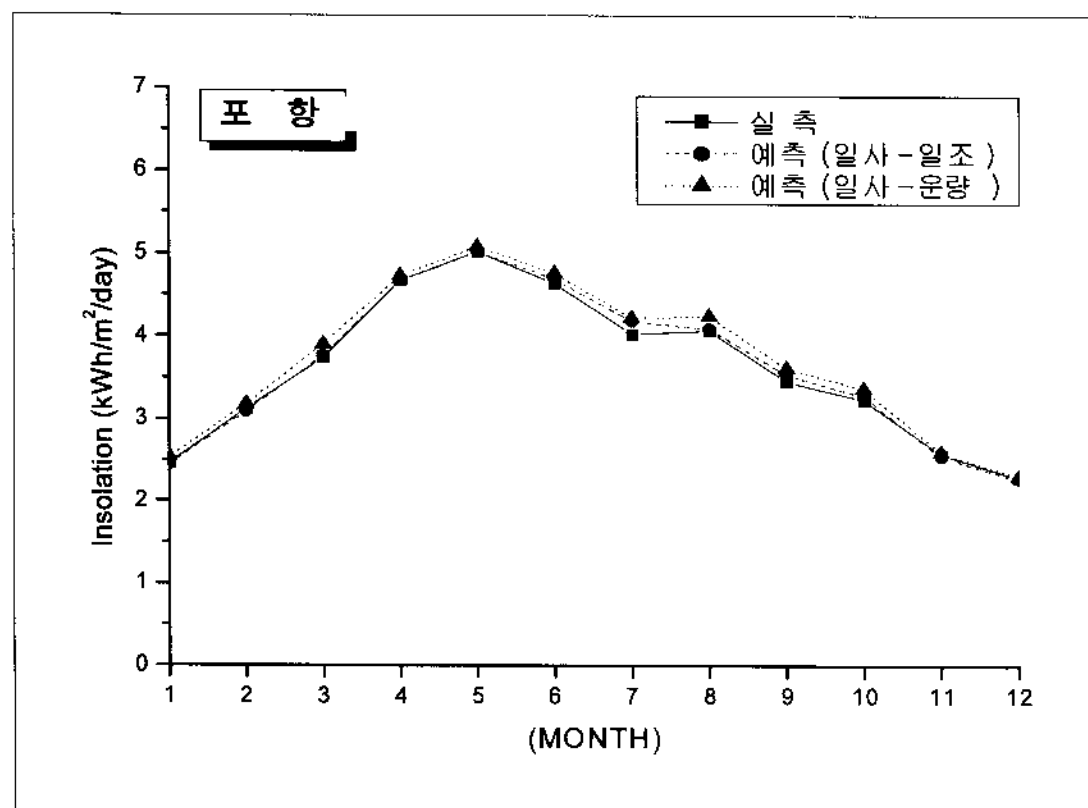


그림 4. 시뮬레이션에 의한 월별 일평균 실측치와 예측치와의 비교 (포항)

표 4. 각 지대별에 따른 예측치와 실측치와의 비교 (일사량-일조율)

(단위 : kcal/m²/day)

지대	구분	월 별												평균
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
강릉 (A)	예측	225	291	360	449	485	442	378	381	355	309	226	202	342
	실측	239	302	372	462	497	454	398	383	358	316	236	214	353
	오차	-59	-36	-32	-28	-24	-26	-50	-05	-08	-22	-42	-56	-31
대전 (B)	예측	226	300	377	470	507	474	405	417	383	333	230	201	360
	실측	227	308	387	480	503	466	414	426	384	338	236	204	364
	오차	-04	-26	-26	-21	+08	+17	-22	-21	-03	-15	-25	-15	-11
포항 (C)	예측	245	309	376	467	502	469	418	409	354	328	255	227	363
	실측	246	312	374	467	502	464	403	407	346	324	258	229	361
	오차	-04	-10	+05	0	0	+11	+37	+05	+23	+12	-12	-09	+06
광주 (D)	예측	231	305	388	475	508	467	419	43	390	353	245	205	368
	실측	233	308	390	477	507	465	414	433	399	357	250	207	370
	오차	-09	-10	-05	-04	+02	+04	+12	-07	-23	-11	-20	-10	-05

* 오차(%) : [(예측치/실측치)-1]×100

해석 기법중 일조율과 운량에 의한 방법을 적용하여 지대별로 주요 1개 지역씩 선정하여 1982 ~ 2006년도에 측정된 실측일사량⁴⁾과 비교하였으며, 그 비교결과를 표 4와 표 5, 그리고 그림 2 ~ 그림 5에 제시하였다.

일조율과 운량에 의한 시뮬레이션 예측치와 실측치를 비교하여 보면, 표 4와 표 5에서 보는바와 같이 일조율에 의한 방법은 연평균오차가 -3.1 ~ +0.6 % 범위로 나타났으며,

4) 기상청, "기상년·월보", 1982 ~ 2006.

표 5. 각 지대별에 따른 예측치와 실측치와의 비교
(일사량-운량)

(단위 : kcal/m²/day)

지대	구분	월												평균
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
강릉 (A)	예측	223	286	357	439	482	434	374	38	356	308	223	201	339
	실측	239	302	372	462	497	454	398	383	358	316	236	214	353
	오차	-67	-53	-40	-50	-30	-44	-60	-08	-06	-25	-55	-61	-40
대전 (B)	예측	229	308	390	480	521	488	426	427	355	339	235	202	370
	실측	227	308	387	480	508	466	414	426	384	338	236	204	364
	오차	+09	0	+08	0	+36	+47	+29	+02	+29	+03	-04	-10	+16
포항 (C)	예측	254	318	390	473	508	476	422	424	362	337	260	231	371
	실측	246	312	374	467	502	464	408	407	346	324	258	229	361
	오차	+33	+19	+43	+13	+12	+26	+47	+42	+46	+40	+08	+09	+28
광주 (D)	예측	219	294	374	467	508	463	407	427	382	346	238	194	359
	실측	233	308	390	477	507	465	414	433	399	357	250	207	370
	오차	-60	-45	-41	-21	-08	-04	-17	-14	-43	-31	-48	-63	-30

* 오차(%) : [(예측치/실측치)-1]×100

운량에 의한 방법은 -4 ~ +2.8% 정도의 범위로 나타나 두 방법 모두 실측치와 상당히 근접한 값을 나타내었다.

그러나 전년을 통하여 일조율 보다는 운량에 의한 방법이 실측치와의 편차를 높게 나타나게 하는 경향을 보이고 있다. 이와 같이 운량에 의한 방법이 일조율에 의한 방법보다도 오차를 높게 하는 원인은 측정기기에 의한 일조관측과는 달리 운량관측은 관측자의 목적에 의하여 이루어지기 때문에 각기 다른 관측자의 관측관점에 따라 상당한 차이를 나타내기 때문으로 생각된다.

5. 결 론

본 연구에서는 일사예측 해석의 이론적인 배경 및 연구동향에 대한 고찰을 통하여 우리나라 전 지역에 적용될 수 있는 경험적 상수 값을 위도나 기상조건이 상호 비슷한 지역들끼리 서로 묶어 지대로 구분하여 어느 임의의 지점에서도 공히 적용할 수 있는 기후지역상수를 도출하였으며, 각 지대별로 산출된 상수 값을 각 지대에서 선정된 1개 표준지역에 적용하여 실측지역과 예측기법에 의한 시뮬레이션치와 비교 분석하였다.

이에 대한 연구결과로서,

- (1) 일조율에 의한 방법은 실측치와 연평균 -3.1 ~ +0.6% 정도의 오차를 나타내었으며, 운량에 의한 방법은 -4 ~ +2.8% 정도의 범위에서 실측치와의 오차를 나타내었다.
- (2) 일조율에 의한 예측치는 다른 지역보다도 남해동부지역이 기상변화로 하절기에 실측치와의 편차가 심했던 것으로 나타났으며, 운량에 의한 예측치는 전 지역에서 공히 하절기에 실측치보다 높은 편차를 나타내었다.
- (3) 일조율에 의한 방법은 운량에 의한 방법보다도 실측치에 근사한 값을 보이고 있어, 일조율에 의한 상관식을 적용하는 것이 실제 값과의 편차를 적게 하고, 보다 높은 신뢰도를 나타내는 것으로 판단되었다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 연구비지원으로 수행되었음 (과제번호 : 2007-N-NC04-P-02).

참 고 문 헌

1. J.A. Duffie and W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Process, Wiley New York, pp. 3-145, 1991.
2. H.P. Garg, Treatise on Solar Energy, John Wiley New York,
3. 조덕기 외, 국내 수평면 전일사량 자원의 분포특성 분석, 한국태양에너지학회지, 제 20권, 제1호, pp 31-42, 2000.
4. 기상청, "기상년·월보", 1982 ~ 2006.