

참조표준 일사량 데이터에 대한 불확도 평가

김상엽, 조덕기, 윤창열, 김광득

한국에너지기술연구원 재생에너지연구본부
(sykim@kier.re.kr), (dokkijo@kier.re.kr), (yuncy@kier.re.kr), (kdkim@kier.re.kr)

An Evaluation of Uncertainty for Reference Standards Solar Radiation Data

Kim, Sang-Yeob Jo, Dok-Ki Yun, Chang-Yeol Kim, Kwang-Deuk

Dept. of Renewable Energy Research, Korea Institute of Energy Research
(sykim@kier.re.kr), (dokkijo@kier.re.kr), (yuncy@kier.re.kr), (kdkim@kier.re.kr)

Abstract

The energy makes the basic element which improves the quality of life with motive power of industry and life. However, using the fossil fuel resources was restricted through it's abuse and exhaustion, and that cause a global warming resultingly. According to the reason, the world increased the interest that are stability and use of new and renewable energy which is clean energy with environment. Therefore, the property data of new and renewable is needed for developing and supplying the energy. In other words, the data of new and renewable energy becomes the standards for supply and evaluation of new and renewable energy with development of industry and technology. Also, the necessity came to the fore as the reference and standards of new and renewable energy data.

Therefore, in this study, we evaluate and collect the solar radiation data as the new and renewable data and process the collected data through the standards for valuation. We evaluate uncertainty with standards which are NREL, WMO, and GUM. Whereby the data becomes reference standards data and gains the credibility. For the reliability data, we correct the measuring instrument with correction period. Using the DQMS and SERI QC, we efficiently manage and evaluate the solar radiation data. As a result, we evaluate uncertainty as 1,120 case about 16 area. we achieve credibility of data from evaluated solar radiation data and provide an accurate information to user. The annual average of horizontal radiation presents between 1,484 and 4,577, then the uncertainty evaluates from 163 to 453. The error of uncertainty presents smaller than the measurement values. So, we judge a credibility of data by expression of reliability quantitatively.

In additional, the reference standards data which is possible to approach anywhere will be used for the supporting related industry and policy making.

Keywords : 참조표준 (Reference Standards), 불확도 (Uncertainty), 일사(량) (Solar radiation),
신재생에너지 (New and Renewable Energy)

투고일자 : 2010년 12월 22일, 심사일자 : 2011년 1월 5일, 게재확정일자 : 2011년 2월 16일
교신저자 : 김광득 (kdkim@kier.re.kr)

기 호 설 명

kcal/m ² /d	: 일사량 단위
1SUN	: 100mW/cm ²
u(x)	: 측정값의 산포에 의한 표준 불확도
u(b)	: 측정기에 의한 표준불확도
S	: 측정값의 표준편차
U _x	: 측정기의 교정불확도 (상대확장불확도)
U _f	: 측정기의 실제 환경 하에 서의 추가적인 불확도 (상대확장불확도)
u _c	: 합성표준 불확도
U	: 확장 불확도

1. 서 론

에너지는 산업 및 생활의 원동력으로, 삶의 질을 향상시키는 근본 요소이다. 하지만 석탄, 천연가스, 석유등과 같은 화석에너지 자원의 남용과 고갈로 인해 그 사용이 제한되고 있으며, 결과적으로 지구온난화를 초래하였다. 이에 따라 세계는 친환경적이며, 청정에너지인 신재생에너지의 확대 사용과 함께 그 안전성에도 관심이 고조되고 있다. 이러한 신재생에너지의 발굴, 보급에는 신재생에너지의 속성데이터가 필요하다.

다시 말해 신재생에너지의 속성데이터는 국가적으로 녹색성장의 동력인 신재생에너지의 보급 및 산업육성에 필요한 기준이 된다. 또한 신재생에너지의 잠재량 및 생산량을 평가하기 위한 에너지원별 속성 데이터의 참조기준과 표준은 신재생에너지 보급정책 및 데이터의 신뢰성을 제고함으로써 그 필요성이 대두 되었다. 또한 신재생에너지 데이터에 대한 참조 모델로 설계된 종합적인 데이터베이스 구축이 필요하다.

본 연구에서는 신재생에너지 데이터 중 태양에너지 데이터를 측정하고, 인증된 기준에

따라 데이터에 대해 불확도 평가를 수행한다. 측정되는 데이터는 총 10가지의 일사량 데이터이며, 수집된 데이터에 대해 NREL (National Renewable Energy Laboratory), WMO (World Meteorological Organization) 및 GUM (Guide to the expression of Uncertainty in Measurement) 의 기준에 의거하여 가공 및 평가를 수행한다. 이를 통해 측정된 데이터에 대한 신뢰성을 확보함과 동시에 국가참조표준¹⁾으로서 활용된다. 신뢰성 있는 데이터의 측정을 위해 정해져있는 교정주기에 따라 측정기를 교정한다. 또한 데이터 품질관리기법 (DQMS) 및 데이터 품질평가기법 (SERI QC)을 통하여 보다 효율적으로 데이터에 대해 관리, 평가를 수행한다.

신재생에너지 데이터를 직·간접적인 방법으로 측정, 평가하여 언제 어디서나 접근이 가능하고 용이한 웹 기반의 종합적인 신재생에너지 참조표준을 통하여 정책입안자, 관련 산업체의 지원 및 자료 공유도 가능할 것이다.

2. 일사량 데이터의 수집 및 가공

이 절에서는 태양에너지 데이터 중 일사량에 대한 불확도 평가를 위해 데이터의 측정부터 가공에 이르는 절차 및 방법에 대해서 기술한다.

2.1 데이터의 생산 및 수집

각 일사량 자동 측정네트워크에 설치된 시스템에 의하여 측정되는 데이터는 데이터프로세서의 원격제어에 의해 원격지 전송되며, 전송된 데이터는 다시 데이터 파일로 구분하여 하드디스크에 저장시켜 각종 데이터의 분석 및 전산처리를 행할 수 있다. 이와 같이 전산 처리되고 있는 전산프로그램은 데이터 회수 및 처리용 프로그램(Data Retrieval and Process Program)으로 이를 통하여 시간별

1) 국가 사회의 모든 분야에서 널리 지속적으로 사용 될 수 있도록 정확도와 신뢰도가 공인된 자료(국가표준기본법 제3조 7항)

일사량 자료를 전송 받아 데이터베이스로 재처리해서 저장하고, 이를 지속적으로 보완할 수 있도록 한다. 일사량 측정시스템은 수평면 일사계 및 직달일사계 등과 같은 일사측정용 센서와 태양자동추적장치, 그리고 장기간 데이터를 측정 및 저장할 수 있는 데이터수집장치 등, 관련 부속 기기를 설치하고 원거리 네트워크 구조의 컴퓨터 통신방식에 의한 일사량 자동측정네트워크를 구성하여야 한다.

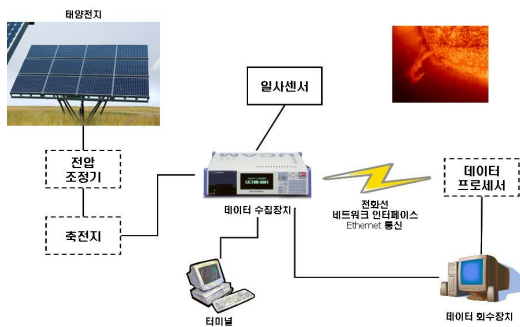


그림 1. 일사량 자동 측정시스템 구성도

표 1. 일사량 데이터 측정항목

측정항목
수평면 전일사량
법선면 전일사량
법선면 직달일사량 (청명일 기준)
법선면 직달일사량 (전일 기준)
수평면 직달일사량
수평면 산란일사량
대기권밖 일사량
청명일사량
방위별 경사면 일사량
파장별 경사면일사량 (자외선 및 적외선 등)

측정지역은 춘천, 강릉, 서울, 원주, 서산, 청주, 대전, 포항, 대구, 전주, 광주, 부산, 목포, 제주, 진주 및 영주로 국내 16개 지역을 대상으로 일사량 데이터를 측정하였다.

2.2 측정기기의 교정 및 데이터 품질관리

일반적인 교정방법에는 표준기기의 보상이

론을 이용한 방법, 태양입사차단법 등이 있다.

(1) 측정기기의 교정 (KS B ISO)

기준 수평면 일사계와의 비교에 의한 교정에서 현장 수평면 일사계를 교정하는 2가지 방법이 있다. 태양 복사를 열원으로 하여 실외 교정하는 방법과 인공 복사 열원을 바탕으로 교정을 수행하는 실내 교정이 있다. 직달 일사계를 교정하는 기준은 다음과 같다.

- ① 모든 직달 일사계는 세계 일사 기준 (World Radiometric Reference : WRR) 에 의거
- ② 주기준 직달 일사계는 제대로 유지된 주기준들 중 선택된 그룹과 비교를 통해 WRR에 적용
- ③ 주기준 직달 일사계는 부기준 직달 일사계 및 일등급 및 이등급의 직달 일사계의 교정시 기준으로 사용

측정된 태양에너지 데이터, 즉 일사자료의 정확도는 측정기기상의 오차나 관리자의 관측과정에 의하여 좌우된다. 보다 정확도가 높은 데이터를 얻기 위해서는 일사자료에 대한 정확도 평가는 실측사업과 더불어 반드시 수행되어야 하며, 불확실한 자료들은 일정기준 기법 하에서 수정되어야 한다.

(2) 데이터 품질평가 (SERI QC)

SERI QC는 1993년 태양에너지자원 평가를 위하여 NREL에서 개발되었다. 이 품질평가 기법에 적용된 품질평가 기준은 경험적 접근이라 할 수 있으며, 대상이 되는 측정 자료를 자체적으로 사용하여 품질을 판단한다. 즉 특정지역에서 어느 일정기간 측정된 일사량 자료에 대한 품질평가를 수집하기 위해서 수집된 자료를 이용하는 것이다.

(3) 데이터 품질관리 (DQMS)

DQMS는 1996년 일사량 데이터 품질관리

를 위하여 NREL에서 개발되었다. 이것은 측정 및 모니터링 프로그램 안에서 수집되는 연속 데이터의 품질을 평가 조정하는 종합적이고 알기 쉬운 수단을 제공하는 데이터 처리 환경이라 할 수 있다. 즉 모니터링이 되는 네트워크 운영을 매일 관리하는 네트워크 관리자를 돕는 역할을 한다. DQMS는 데이터 처리단계, 즉 데이터 파일들이 현장 모니터링 위치에서 수집된 후와 마지막으로 사용처에 응용되기 전에 사용된다.

(4) WMO의 품질관리지침

이 지침은 세계기상기구(WMO) 지시에 따라 1987년 세계복사자료센터에서 작성된 것으로 이 지침은 관측을 수행하거나 그 결과를 처리할 때, 오류는 검출되어 가능한 수정되어야 하며, 복사 측정결과는 임계적 조건 품질관리(Critical Control)에 국한된 사항만 다루게 된다.

2.3 측정 데이터에 대한 정의 및 활용

측정된 일사량 데이터의 정의와 활용은 다음과 같다.

(1) 수평면 전일사량

수평면상에서 입사되는 직달일사량과 산란일사량의 합계를 말하며, 통상적으로 일사량은 이 값을 말한다. 태양자원 부존 가용량 평가에 사용된다.

(2) 법선면 전일사량

태양과 수직인 상태에서 입사되는 전일사량을 말하며, 평판형 추적식 태양광 발전에 이용된다.

(3) 법선면 직달일사량(청명일²⁾, 전일 기준으로 나뉜다)

2) 청명한 상태의 정의는 하늘에 구름이 완전히 덮은 상태를 운량 1로 보고, 운량이 0~0.1 사이인 값을 말한다.

태양과 수직인 상태에서 입사되는 직달일사량을 말하며, 집광식 태양열 및 태양광 발전에 이용된다.

(4) 수평면 직달일사량(수평면 전일사량 = 수평면 직달일사량 + 수평면 산란일사량)
수평면상에서 입사되는 직달일사 성분이며, 경사면 일사량 예측에 사용된다.

(5) 수평면 산란일사량
수평면상에서 입사되는 산란일사 성분이고, 그린하우스 설계에 이용된다.

(6) 대기권밖 일사량
대기권밖에서의 일사량을 말하며, 해당 도시의 대기환경 평가에 이용된다.

(7) 청명일사량
청명한날 지표면(수평면)에 입사되는 전일사량이며, 대기청명도 평가 및 태양에너지 시스템 설계에 이용된다.

(8) 방위별 경사면 일사량
방위 및 입사각도에 따른 전일사량을 말하며, 방위별 경사각도에 따른 태양에너지(태양열 및 태양광) 시스템 최적 설계기준 제시 및 최대 일사량을 받을 수 있는 경사각도 산출에 이용된다.

(9) 파장별 일사량
파장별 일사에 따른 일사량으로 가시광선, 적외선, 자외선으로 구분되며 인체에 유해한 자외선 차단을 위한 연구 및 유독성 폐기물 분해에 사용된다.

3. 일사량 데이터에 대한 불확도 평가

이절에서는 불확도 평가에 대한 일반사항 및 평가방법에 대해서 기술한다.

3.1 일반사항

불확도는 측정결과에 관련하여, 측정량을 합리적으로 추정된 값의 분산 특성을 나타내는 파라미터로 정의된다. 정의된 기준에 의해 측정된 데이터를 바탕으로 GUM를 준수하여 A형 불확도, B형 불확도 및 확장 불확도를 평가한다.

3.2 불확도 평가 기준

일사량 데이터에 대한 불확도 평가를 위해 GUM의 기준에 의거하여 불확도 평가식을 구성하였다. 가장 기본적인 식은 다음과 같으며, 이 식에 의거하여 불확도를 계산한다. NREL의 기준에 따라 측정기기에 대한 상대 확장 불확도³⁾는 표 2와 같다.

$$y = x + b \quad (1)$$

표 2. 측정기기에 의한 상대 확장 불확도

	Pyheliopmeter (Dierct Normal)	Pyranometer (Global)
Calibration	1.6	4.2
Field Data (Best practice)	5	5

이에 따라 측정값의 합성표준 불확도⁴⁾를 계산하는 식은 다음과 같다.

$$u_c = \sqrt{u^2(x) + u^2(b)} \quad (2)$$

위의 식을 자세히 나타내면 다음 식³과 식⁴와 같다. 각각 A, B형 불확도를 나타낸다.

$$u(x) = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

3) 여기서는 B형 불확도를 말함

4) 측정결과가 여러 개의 다른 입력량으로부터 구해질 때 이 측정결과의 표준 불확도

$$u(b) = \frac{U_x + U_f}{2} \cdot x \quad (4)$$

식 5는 일사량 데이터의 합성표준 불확도를 바탕으로 하여 확장 불확도⁵⁾를 구하는 식이다. 확장 불확도는 신뢰수준이 약 95%에서 k상수의 값을 2로 하여 구한다.

$$U = k \cdot u_c \quad (5)$$

3.3 불확도 평가 결과

측정된 일사량 데이터를 월평균 데이터로 가공하여 총 1,120건의 데이터에 대해 불확도 평가를 실시하였다.

표 3. 일사량 데이터의 측정기간 및 평가건수

측정항목	기간	건수
법선면 전일사량	2008.6~2008.12	12
법선면 직달일사량	1991.1~2008.12	192
수평면 직달일사량	1996.8~2009.12	12
수평면 산란일사량	1996.8~2009.12	12
과장별 일사량	2009.1~2009.12	4
수평면 전일사량	1982.1~2008.12	192
법선면 직달일사량	1992.1~2008.12	192
대기권밖 일사량		192
청명일사량	1991.1~2008.12	192
방위별 경사면 일사량	1996.8~2008.12	120

각 일사량의 데이터에 대한 측정기간 및 평가건수는 표 3에 자세히 기술하였다. 각 일사량은 월평균 데이터로 구성되어 있으며, 평가는 총 10개 항목의 일사량에 대해 수행하였다. 불확도 표현은 측정값(평균) ± 확장 불확도로 나타낸다.

5) 측정량의 합리적인 추정값이 이루는 분포의 대부분을 포함할 것으로 기대되는 측정결과 주위의 어떤 구간을 정의하는 양

표 4. 수평면 전일사량 불확도 평가 결과

No.	지역	측정값/ 확장불확도 (kcal/m ² /d)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	춘천	1801	2476	3182	3961	4332	4274	3481	3632	3238	2589	1795	1555
		197	260	335	383	434	455	377	390	344	275	191	169
2	강릉	2025	2570	3154	3950	4291	3925	3407	3306	3052	2719	2057	1853
		220	271	334	397	427	420	393	351	328	271	218	187
3	서울	1695	2390	3007	3757	4030	3743	2797	3095	3037	2610	1769	1484
		187	248	312	379	413	410	309	324	322	270	183	163
4	원주	1813	2480	3124	3943	4298	4155	3413	3565	3235	2747	1889	1629
		197	253	318	395	422	436	367	374	333	270	190	175
5	서산	1970	2723	3414	4185	4570	4284	3490	3766	3468	2968	1993	1705
		202	273	342	411	456	472	366	396	359	294	202	178
6	청주	1939	2631	3209	4029	4435	4116	3502	3585	3271	2852	1970	1672
		202	282	349	405	428	421	369	379	331	280	216	179
7	대전	1942	2692	3347	4166	4395	4042	3578	3711	3301	2924	2066	1758
		212	295	335	414	454	437	403	424	346	288	220	194
8	포항	2114	2722	3260	4073	4379	4053	3535	3564	3018	2813	2224	1991
		238	327	343	400	428	430	441	383	338	288	247	206
9	대구	1984	2623	3299	4040	4340	3998	3502	3425	3050	2803	2088	1860
		239	291	354	407	425	407	379	354	311	276	215	194
10	전주	1803	2422	3096	3932	4207	3894	3378	3451	3168	2832	1951	1619
		191	251	319	392	415	409	364	373	331	283	201	167
11	광주	1989	2690	3369	4138	4409	3956	3525	3677	3350	3042	2180	1802
		204	277	340	403	433	428	384	402	369	317	229	184
12	부산	2211	2820	3303	3980	4307	3963	3623	3804	3120	2965	2324	2055
		241	320	351	396	447	433	418	431	326	297	247	216
13	목포	1981	2721	3480	4302	4577	4214	3874	4214	3577	3215	2244	1795
		207	287	354	418	453	436	418	427	362	313	225	177
14	제주	1242	2025	2921	3905	4322	4022	4231	3952	3213	2865	1915	1287
		144	253	328	391	432	408	475	420	330	287	203	158
15	진주	2304	2937	3534	4197	4421	3963	3680	3732	3308	3164	2398	2161
		241	296	354	410	433	414	416	391	335	316	237	209
16	영주	1939	2567	3266	4055	4441	4129	3492	3523	3249	2821	2032	1769
		205	270	330	411	448	481	393	397	356	276	205	176

평가한 데이터를 모두 나타낼 수 없기 때문에 표 4에서 가장 일반적인 일사량인 수평면 전일사량을 한 예로 표현한 것이다. 각 지역의 1월부터 12월까지의 일사량 평균과 그 측정값에 대한 불확도 평가 결과를 나타낸다.

예를 들어 춘천에 대한 불확도 평가를 수행하는 방법은 다음과 같다. 표 3에서 기술한 것과 같이 27년간의 월평균 데이터를 기반으로 각 월에 대한 표준편차를 구한다. 다음으로 A형 불확도 및 B형 불확도를 구하면 그 값이 각각 52.973과 82.846이 되며, 식 2에 의해 합성표준 불확도를 구하면 98.334의 값을 가진다. 합성표준 불확도를 이용하여 신뢰수준 95%에서 상수 k를 2로 하여 확장 불확도를 구하면 197(kcal/m²/d)을 구할 수 있다. 유효숫자 3자리까지 표현해야 하므로 정수로

표현된다.

도출된 결과는 다른 측정자가 측정했을 때 비교할 수 있는 대상이 되며, 오차범위 안으로 측정하였을 때 정확하게 측정했다고 할 수 있다. 즉, 참조표준으로써의 역할을 수행한다.

그림 2는 측정지역에 대한 수평면 전일사량의 월평균(5월)을 나타낸 것이다. 확장 불확도는 신뢰수준 95%에서 약 ±413~456 사이의 값으로 나타났다. 측정 시에 최대값과 최소값 사이의 값이 측정되었을 때 그 값은 신뢰할 수 있는 값으로 판단된다. 그림 3, 4는 대전 및 춘천지역의 수평면 전일사량의 월평균을 나타낸 것이다. 월별로 변화되는 수평면 전일사량의 값을 나타내며, 측정지역의 태양 자원 부존 가용량 평가에 사용된다. 그림 5는 수평면 전일사량의 연평균을 지도와 매칭하

여 한눈에 정보를 알 수 있다.

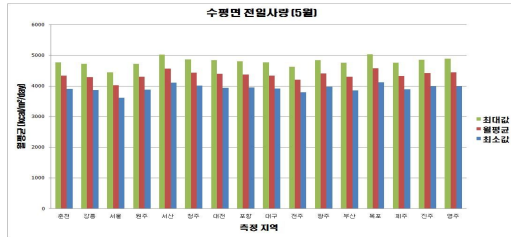


그림 2. 수평면 전일사량 월평균 (5월)

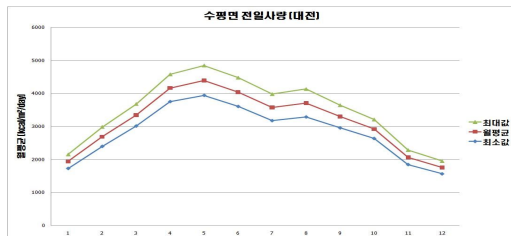


그림 3. 수평면 전일사량 월평균 (대전)

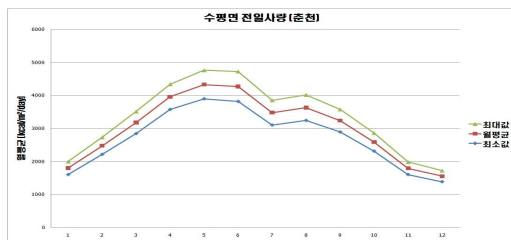


그림 4. 수평면 전일사량 월평균 (춘천)

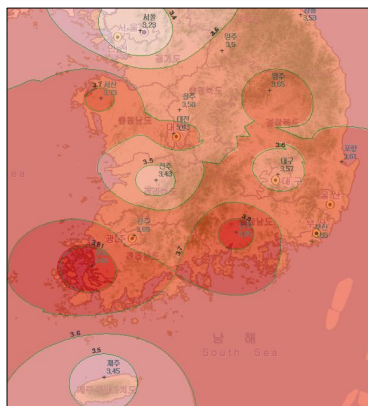


그림 5. 수평면 전일사량 연평균

그림 6은 법선면 직달일사량(청명일)의 월 평균을 나타낸 것이다. 이 값은 집광식 태양열 및 태양광 발전에 이용된다. 그림 7과 8은 강릉 및 제주 지역의 법선면 직달일사량(청명일)의 월평균을 나타낸 것이며 월별 추이를 알 수 있다.

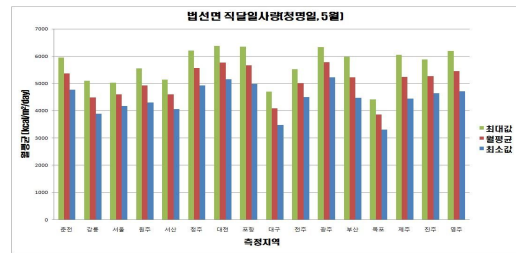


그림 6. 법선면 직달일사량 월평균 (청명일, 5월)

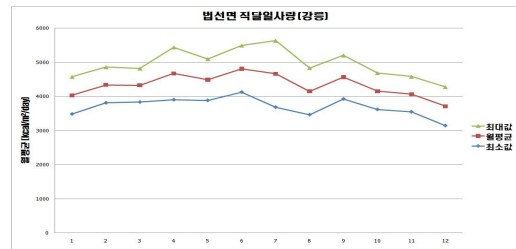


그림 7. 법선면 직달일사량 월평균 (강릉)

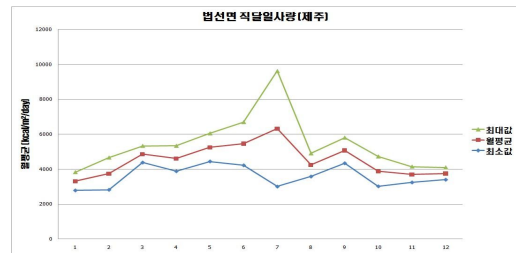


그림 8. 법선면 직달일사량 월평균 (제주)

그림 9는 대전지역에 대한 방위별 경사면에 대한 월평균(E90)을 나타내며 최대 일사량을 받을 수 있는 경사각도 산출에 이용된다. 방위별로 남쪽 0~90° 및 동, 북, 서쪽 90°로 총 10 가지에 대한 경사면 일사량 측정하고 평가하였다.

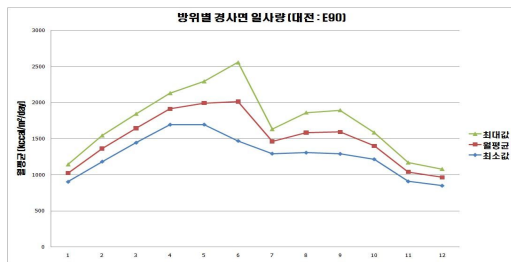


그림 9. 방위별 경사면 일사량 월평균 (대전)

4. 결 론

본 연구에서는 태양에너지 중 일사량 데이터에 대한 불확도 평가를 실시한 결과 다음과 같다.

- (1) 16개 지역에서 측정된 일사량 데이터에 대해 총 1120건에 대해 불확도 평가를 실시하였다. 측정값에 대한 신뢰성을 확보하였으며, 사용자에게 보다 정확한 데이터를 제공할 수 있다.
- (2) 수평면 전일사량의 연평균의 경우에는 신뢰도 95%에서 $1484 \sim 4577 \pm 163 \sim 453$ 으로 나타났다. 5월의 측정값이 대체로 높게 측정되었으며, 12월에 가장 낮게 측정되었다. 다른 일사량의 경우도 비슷한 분포를 나타내었다. 또한 측정값에 대한 불확도의 오차범위는 측정값에 비해 다소 작은 것으로 나타났다.
- (3) 불확도 평가를 수행한 데이터는 측정값이 얼마의 오차범위를 가지며, 정확하게 측정이 이루어졌는지에 대한 비교대상으로 사용된다. 또한 2절에서 설명했듯이 각 일사량의 사용처에 따라 활용된다.
- (4) 불확도 평가를 통해 측정결과의 신뢰도를 정량적으로 표현함으로써 측정 데이터에 대한 신뢰성을 판단할 수 있다. 또한 일련의 절차를 거쳐 생산된 일사량 데이터는 국가참조표준센터를 통해 등록되어 표준 데이터로서 활용된다.
- (5) 일사량 데이터는 자연현상을 표현하는

데이터이기 때문에 불확도 평가를 수행하는데 어려움이 있다. 하지만 본 연구를 수행함으로써 이러한 분야의 참조표준 데이터를 마련하는데 기여할 수 있다.

후 기

본 연구는 신재생에너지자원데이터 참조표준 활용체제구축의 연구비지원으로 수행되었음

참 고 문 헌

1. "User Manual for SERI QC Software (Assessing in the Quality of Solar Radiation Data)", National Renewable Energy Laboratory, 1993.
2. "Data Quality Management System", National Renewable Energy Laboratory, 1996.
3. "Guidelines on the Quality Control of Data from the World Radiometric Network", WMO/TD, No. 258, 1987.
4. "측정불확도 표현 지침(GUM)", 한국표준과학연구원, 1999.
5. "태양에너지 최적이용을 위한 Typical Day 산출에 관한 연구", 조덕기 외, (한국태양에너지학회지 제 20권 제1호), 2000.
6. "태양에너지-기준 직달 일사계와 비교를 통한 현장 직달 일사계의 교정", KS B ISO 9059, 기술표준원, 2003.
7. "태양 에너지-직달 일사계를 이용한 수평면 일사계의 교정", KS B ISO 9846, 기술표준원, 2003.
8. "태양 에너지-기준 수평면 일사계와 비교에 의한 현장 수평면 일사계의 교정", KS B ISO 9847, 기술표준원, 2003.