

日射計測의 最近 動向

編輯委員會

1. 序 文

日射測定의 目的은 크게 나누면 크게 3가지로 구분된다. 우선 純粹氣象學이나 地球物理學의 한 分野로서 確立되어지고 있는 大氣放射學의 立場에서 日射 그 자체를 연구하기 위한 計測이 있으며 다른 하나는 氣象要素中の 하나로서 溫度나 바람과 같이 計測되어지는 것으로 農業, 水産, 土木, 建築中에도 空調工學에 필요한 보완자료나 연구대상과의 연관성을 조사하기 위한 것이다. 마지막으로 日射를 적극적으로 利用하는 工學的인 立場에서 計測되어지는 것이 있다. 예를 들면 植物의 生理, 生態와의 연관성이나 집열기, 太陽電池, 發電시스템의 評價를 연구하는 분야이다. 각각의 目的에 의한 計測의 精밀도와 편리성은 어디에 중점을 두고 측정되었는가에 따라 달라질 수 있다. 또한 日

射 그 자체의 直達光과 散亂光은 그 작용도 상당히 다르지만 本稿에서는 3가지의 目的중 日射를 資源으로 利用하는 것에 대한 計測을 중점적으로 全天日射量 計測에 대한 것만을 살펴 보도록 하겠다.

2. 日射計測의 誤差 實態

計測의 目的에는 당연히 요구되어지는 精밀도가 있으며 目的에 따라 그 精밀도는 차이가 있다. 예를 들면 太陽電池 그 자체의 校正에는 단시간으로 1%의 精밀도가 요구되고 있으며 그 發電시스템의 모니터링등에는 장시간으로 5%의 精밀도가 요구된다. 이것은 한 예이지만 日射計測을 필요로 하는 各種의 專門分野는 상당히 여러 分野에 걸쳐있고 그 각각의 요구사

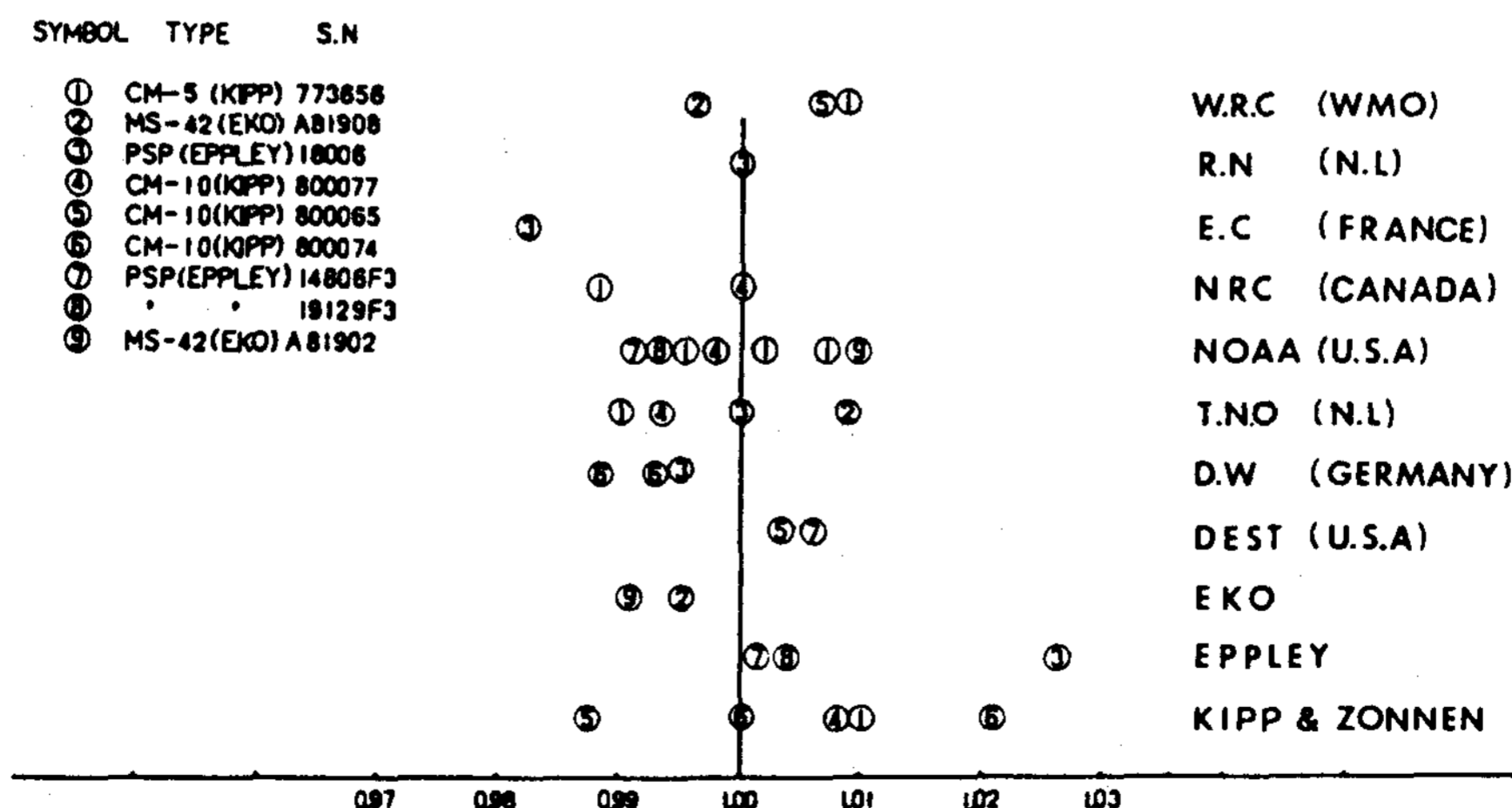


그림 1 世界各機關에서의 全天日射計의檢定 1)

* 三宅行美, 日本 Solar Energy, Vol.14, No.5 p.34-40 (1988)의 번역임

Table 1 Classification of Pyranometer³⁾

Characteristic	Secondary standard	First class	Second class
Resolution (smallest detectable change in $W m^{-2}$)	± 1	± 5	± 10
Stability (percentage of full scale, change/year)	± 1	± 2	± 5
Cosine response (percentage deviation from ideal at 10 solar elevation on a clear day)	$< \pm 3$	$< \pm 7$	$< \pm 15$
Azimuth response (percentage deviation from the mean at 10 solar elevation on a clear day)	$< \pm 3$	$< \pm 5$	$< \pm 10$
Temperature response (percentage maximum error due to change of ambient temperature within the operating range)	± 1	± 2	± 5
Non-linearity (percentage of full scale)	± 0.5	± 2	± 5
Spectral sensitivity (percentage deviation from mean absorptance 0.3 to $3\mu m$)	± 2	± 5	± 10
Response time (99% response)	$< 25 s$	$< 1 min$	$< 4 min$

항도 다양하지만 共通的으로 취급되어지는 것은 정밀도 문제이다. 많은 研究者는 다른 工業計測과 같은 생각으로 日射計測을 받아 들이고 있는 실정이다. 예를 들면 집열기를 통한 流量은 1% 정도 손실이 있지만 집열기를 통한 日射量은 流量보다 현격히 손실이 많다는데 문제가 있다. 이 문제에 대해서는 뒤에 서술하는 IEA* 日射部會에서는 日射計測의 정밀도를 3%로 설정하고 있다. 實狀을 설명하는 資料로서 IEA의 各部의 報告書에 보고되어 있는 데이터를 利用하여 그림 1을 작성하였다. 1) 그림 1은 세계에서 사용되어지고 있는 대표적인 日射計 3종류로 日射計測으로 유명한 연구소에 의해 校正한 結果로 통계치는 약 6%에 이르고 있다. 이 그림으로 부터 알 수 있는 것은 日射計測의 권위자가, 校正하여도 그 이상의 誤差가 발생하고 있다는 것이다. 日射計測의 誤差는 1) 日射計 자체의 특성에 起因하는 것, 2) 校正方法과 그 조건에 의한 것, 3) 데이터 收集시스템에 起因하는 것이 제일 크다. 이상은 지금부터 3~4년전의 실상이지만 현재는 이와같은 점을 보완하여 대

부분 計測하고 있다. 이 誤差要因에 대해서는 본문²⁾에서 상세하게 설명할 것이다. 日射計 자체의 특성에 의한 誤差에 대한 지침으로 Table.1에 WMO의 資料를 나타내었다. 이 표에 나타나 있는 1등급에 分類되어져 있는 日射計는 그림 1의 것을 사용하였다. Table.1에 나타난 오차를 단순히 더하면 오차도 매우 커지며 그림 1의 평균치에서 벗어난 크기도 잘 이해할 수 없게 된다. 그림 1에는 校正方法과 그 조건(예를 들면 太陽高度, 方位, 溫度)에 의한 誤差도 들어 있다. 校正方法이라는 것은 全天日射기준을 확립하고 그것과 校正日射計의 出力관계를 얻는 수단으로 그 순서, 방법이 포함되어 있다. 여기서 基準이라는 것은 Table.1에는 나타나 있지 않지만 첫번째로 기준이 되는 것은 상식적인 것으로 여러가지 方法으로 확립되어 있다. 그림 2에는 대표적인 3가지 方法을 나타내었다. 1) (1)의 方法은 오래된 方法으로 直達日射量의 수직성분을 기준으로 한다. (2)의 方法은 (1)의 方法의 변형으로 태양과 범선면인 直達일사량을 기준으로 하여 (1)의 方法보다 직달일사량이 많아 유리하다. (3)의 方法은 최근 사용하는 방

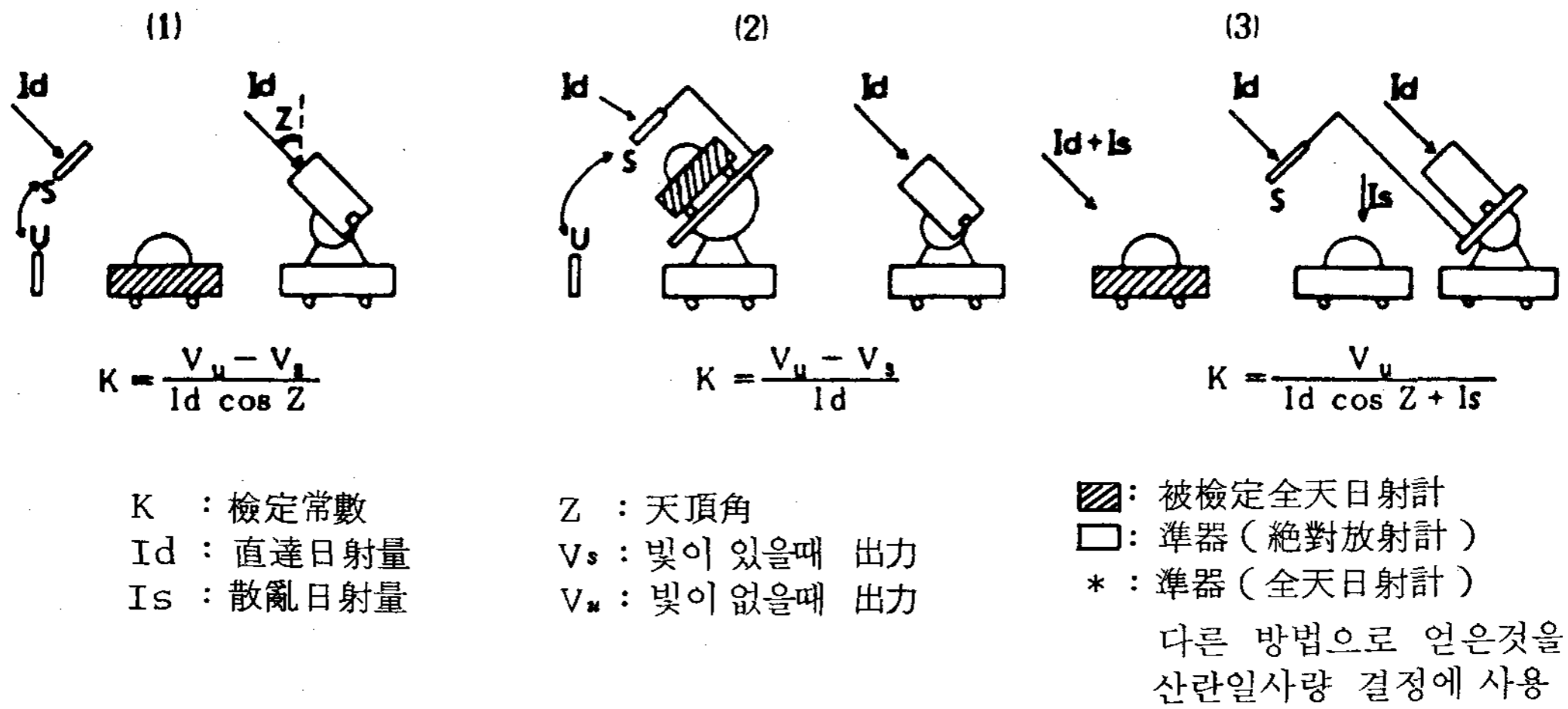


그림 2 全天日射計의 檢定法

법으로 연속적으로 얻을 수 있는 직달일사량과 산란일사량의 합계를 기준으로 하는 것이다. 이 방법으로는 직달일사량은 얻어지고 산란일사량은 미리 校正된 全天일사계에 의해 얻어질 수 있으며 맑은 날일때 全天日射量에 대한 산란일사량의 비율이 낮을 경우는 산란일사량 기준이 되는 全天日射計의 精밀도가 다소 떨어져도 높은 精밀도의 기준일사량을 얻을 수 있다. (1)과 (2)의 方法은 全天日射計의 응답속도에 의하여 1회 측정하는데 5分 정도 걸리므로 다소 어려움이 있다. 그것에 비해 (3)의 방법은 연속적인 全天일사량을 필요로 하는 研究分野에서는 많이 사용되어지고 있다. 그러나 이 방법의 결점은 총괄시스템으로 가격이 비싸다는 점이다.

Table.1에 표시한 2차준기 (Secondary Standard) 에서는 일등급의 全天日射計로서 각항목에 표시되어져 있는 性能에 대하여 충분히 평가되어진 후 항목마다 그 性能내에 들어 있는 것을 표시하였다. 後述하는 1EA의 活動中에도 각기관이 경쟁적으로 각 性能에 대하여 평가를 하였지만 溫度係數, 直線性, 時間應答性을 제외하면 결과는 각기 달라 이 報告書도 바람직하지 못한 상태이다. 특히 어려운 것은 角

도에 대한 특성이다. 실내에서는 太陽光을 모의실험에 의한 光源을 사용하지만 그 스펙트럼에서 충분한 平行光을 얻는 것은 매우 어려운 실정이다. 日射特性試驗裝置의 기본구성도는 그림3 과 같다. 여기서 光源은 放射照度로 檢定되어지는 한편, 受光面의 위치를 光軸方向으로 바꾸어도 放射照度는 반대편 거리의 2배인 곳에 일치하는 특수한 표준램프를 사용하고 있다. 이 장치는 受光面積 7cm 직경내에서 강도는 3%이내로 억제되어진다. 垂直으로 놓여진 日射計를 軸주위를 회전시키면 日射角度가 변한다. 이 入射角과 日射計의 出力의 상관관계로부터 코사인特性이 얻어진다. 또한 光源을 고정하여 日射計를 경사진 一定角度에 고정된 軸

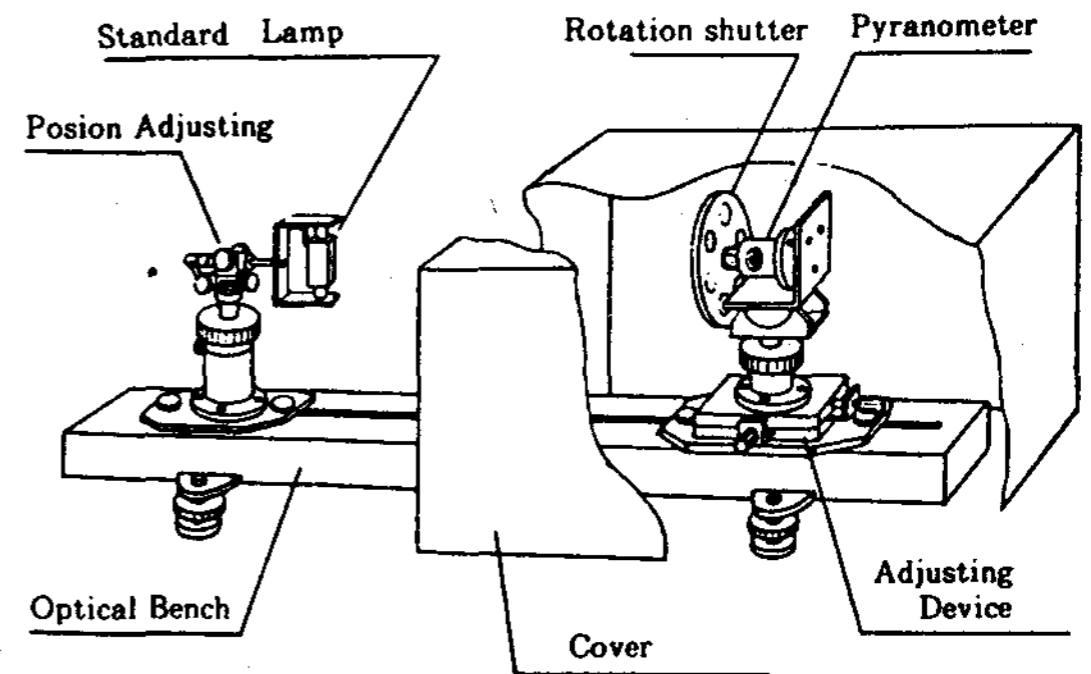


그림 3 日射特性試驗機의概略圖

Table.2 Expected maximum error in integrated radiation total for different classes of Pyranometer³⁾

Radiation totals	Secondary standard	First-class	Second-class
Hourly	3%	8%	20%
Daily	2%	5%	10%

주위를 日射計로 회전시키면 方位特性이 얻어지고 光源과 日射計를 고정한 光學系를 경사지게 하면 日射計의 傾斜特性이 얻어진다.

그러나 예비준기 (Primary Standard)를 실현할 수 있는 高價의 설비가 가능하지 않은 경우에는 이 해결법으로 제안되어 실행되고 있는 방법은 조건에 맞추어 日射計의 特性을 補正하면서 計測하는 方法이 있다.^{2,4)} 이 方法을 사용하면 精밀도는 대략 2% 정도라고 생각된다.⁴⁾ Table.1의 일등급 全天일사계를 사용한 경우 誤差의 목표를 Table.2에 표시하였다.

(Table 2)의 일등급을 사용한 경우는 時間積分値의 誤差가 8% 정도 되지만 이 중에는 校正誤差가 포함되어 있지 않다.

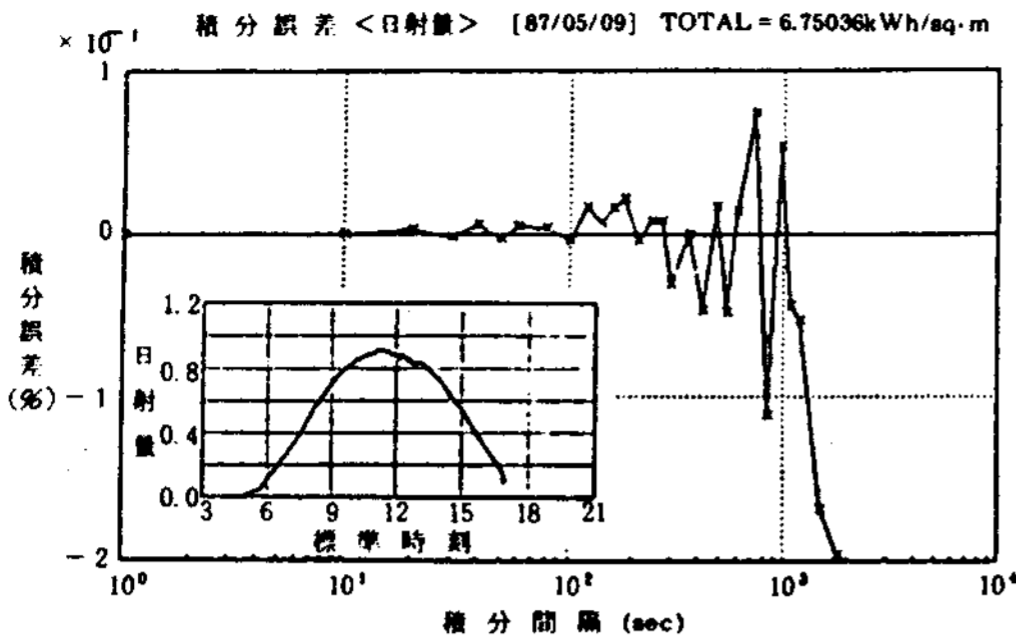
한편 市販되어지고 있는 全天일사계가 좋은 것은 일등급의 限界보다도 特性이 뛰어나며 이 두가지를 고려하여 Table.2에 표시된 誤差는 校正誤差를 포함한 實態를 잘 반영하고 있다.

3. 日射計測의 데이터 處理

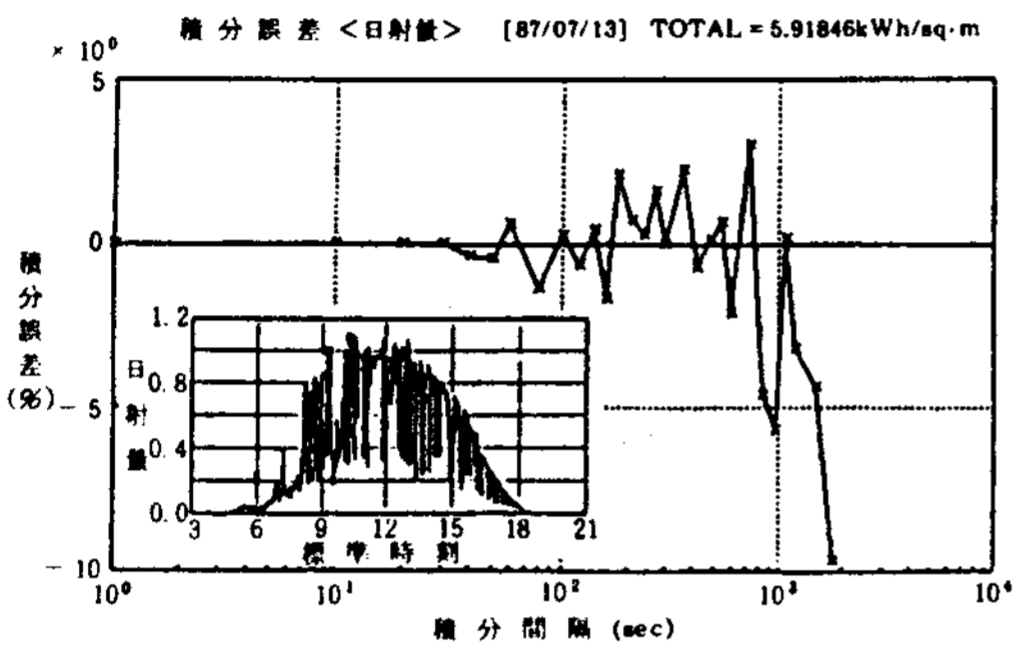
데이터處理上에 起因한 誤差는 日射計測의 소프트웨어部分으로 이 부분에 대해 살펴보면 우선 日射計出力 平均은 약 $7\text{mV/KW}\cdot\text{m}^{-2}$ 이고 최근의 計測으로는 대부분의 경우 아날로그 出力을 A/D (analog/digital) 변환기에 의한 디지털로 변환하여 처리한다. 이 경우 필히 A/D 변환기의 前處理로서 增幅이 행해진다. 이 增幅의 경우 주의하지 않으면 안되는 것은 增幅率도 물론이거니와 그 분해능력에 있다. 日射計 자체의 分解능력은 Table.1에 의하면 약

$\pm 4\text{Wm}^{-2}$ 이고 出力은 약 $\pm 0.035\text{mV}$ 에 달한다. 따라서 증폭기의 분해능력은 이것 이하 0.010mV ($10\mu\text{V}$)를 사용할 필요가 있다. 가능하면 이것보다 다소 적은 것이 좋으리라 생각된다. 이 2개의 分解能力에 起因하여 디지털 出力에 의한 데이터는 夜間에 日射가 없는 때는 잡음 (noise)이 나온다. 잡음은 +의 경우, -의 경우도 나오지만 日射計의 特性을 생각해 보면 -의 경우가 대부분이다. 증폭時의 잡음을 아주 작게 하여 놓으면 소프트웨어 상에서 夜間에 表示가 -가 나올 때는 0이 되는 처리를 함에 따라 實用上 하등의 문제는 없다. 一般的으로 市販計器로는 A/D變換器中에서 增幅器는 미리 프로그램된 것으로 A/D변환기로서의 入力抵抗과 함께 분해능력을 충분히 주의하지 않으면 안된다.

다음은 日射計測의 대부분의 경우인 時間帶 (分, 時間, 日等)로서 日射量의 積分値를 구하는 것이 必要하다. 데이터處理上 적분으로는 2가지 方法이 있다. 하나는 日射出力을 고정시켜 일정한 시간동안 콘덴서에 충전하여 그 전압을 A/D 변환後 디지털로 표시하는 방법과 또는 아날로그로 표시하는 방법이다. 長時間의 콘덴서의 충전은 高精密度는 기대하기 어려워 (적분 精밀도 1% 정도) V/F (voltage / frequency) 변환에 의한 방법을 행하면 보다 高精密度적분은 가능하게 된다. 또 한가지는 표본추출간격으로 日射를 計測하여 그 데이터를 가산하는 방법이다. 최근 대부분의 경우 후자방법을 사용한다. 이 방법으로 제일 문제가 되는 것은 어느 정도의 표본추출간격으로 표본추출을 하면 적분밀도가 얻어질 수 있는가이다. 日射의 시간적 변화는 상당히 크며 그 변동의 실태는 충분히 해석되어 있지 않아 가능한 한 표본추출 간격을 짧게하여 데이터를 수집하는 것이 좋지만 데이터處理用 마이크로 프로세서 (microprocessor)의 속도나 용량



A) 日射變動이 적을 때



B) 日射變動이 클 때

그림 4 日積算日射量の 積分誤差 5)

의 한계에 따라 제약을 받게된다. 예를들면 10 초마다 표본추출한 데이터를 3.5인치 마이크로프로세서에 입력하게 되면 약 10일정도면 더 이상 입력할 수 없게 된다. 따라서 표본추출 속도와 적분대의 길이(分, 時間, 日, 月等)에 의한 一定精密度를 유지하기 위하여는 용량을 계산하여 서로 같도록 하여야 한다.

一般的인 예를 들면 WMO안내서 3) 등에서는 10 초에 1 회 주사(Scanning)로 충분하다고 하나 1일의 적분일사량을 알고싶을 경우에는 더 긴간격으로 하는 것이 바람직하다.

이것을 밝히기 위하여 최근 행해지고 있는 실험에 대해 소개하면, 이 방법은 最多頻度 데이터를 재어놓고 소프트상에서 간헐적인 간격으로 표본추출하여 양자의 적분치를 비교하는 것이다. 5) 이 결과를 그림 4 에 표시하였다. 橫軸은 표본추출속도(積分間隔)을 秒로 표시하고 縱軸에 積分誤차를 표시하였다. 이것은 전

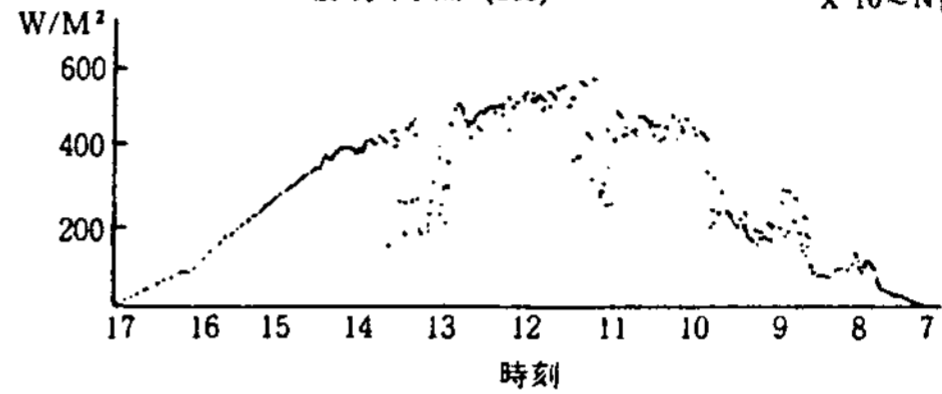
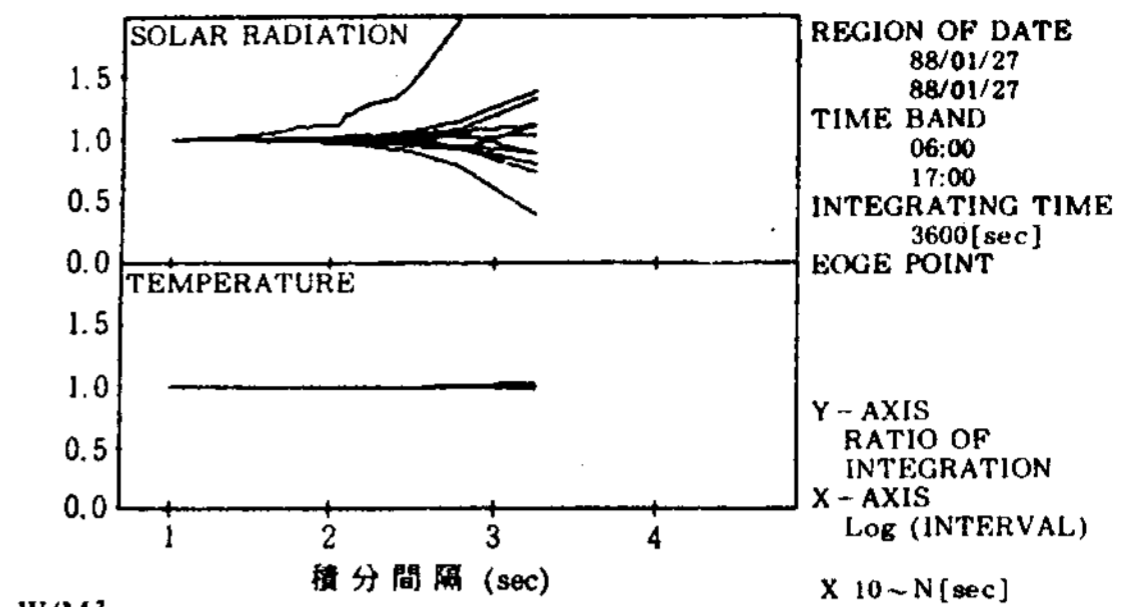


그림 5 時間積分日射量の 積分誤차 6)

형적인 예이지만 불규칙한變動이 없는 날은 그림 4 (A) 에 나타났듯이 積分値의 誤차는 30 분에 1 회 표본추출하여도 0.2 %에 지나지 않는 것으로 나타났다. 한편變動이 심한 날은 그림 4 (B) 에 표시된 것같이 積分誤차는 지극히 커지는 것으로 나타났다.

또한 다음에 제시되는 예는 時間積分에 대하여 같은 方法을 사용한 실험 6) 으로 단지 縱軸은 最多頻度 積分値에 대한 간헐적인 간격積分値의 비교를 나타내었다. 그래프의 선은 6 시 ~ 17 까지 각시간대의 積分値에 對應한다. 그림에 표시된 日射경향의 各 時間帶의 積分値를 1 %정밀도로 얻기 위해서는 120 초 간격으로 표본추출하여 積分하면 좋다는 하나의 方法을 표시하고 있다. 그림 5 에서는 비교하기 위하여 같은 상태로 처리한 온도例도 표시하고 있다. 온도는 같은 정밀도를 얻기 위하여 1 시간 에 1 회의 計測으로 충분하게 알 수 있다. 그림 4, 5 에 표시된 것은 문자 그대로 한 예에 지나지 않지만 (社) 日本電機工業會에 설치되어 있는 新發電시스템 標準化調査研究委員會의 太陽光분과위원회에서는 이 소프트웨어를 사용하여 せん샤인계 획득으로 지금까지 計測되어져 있는 全國日射데이터를 해석하여 장래의 日射

計測의 표본추출속도 방법을 첨가하여 太陽光發電시스템의 장기간 모니터링하는 計測시스템의 JIS化에 도입하는 계획이 추진되고 있다. 이와 같은 작업은 상당히 흥미로운 일이지만 지금까지 日射計測의 모호한 점을 확실하게 하고 太陽에너지利用技術 確立을 위하여 상당히 유익한 것이라 생각된다.

4. 國際規格의 動向

太陽에너지利用技術의 進展과 함께 지금까지 氣象觀測에 지나지 않았던 日射計測도 여러분야로서 國際規格화하기 위한 검토가 진행되고 있다. 크게 나누면 크게 세가지로 대두된다. 우선 ISO의 TC 180/SCI로서는 먼저 언급한 WMO의 안내서와 같은 日射計의 성능이 등급별로 나뉘는 것에 대하여 日射利用의 입장보다 상세한 規格化가 진행되고 있다. 일본은 그것에 대해 회원국이 아닌 관계상 상세한 情報가 얻어 질 수 없지만 제안 단계인 것만을 소개하겠다. 日射計의 등급 분류에 대해서 WMO것과 비교하여 보면 다음과 같은 특징이 있다.

1) 코사인 반응은 入射角 60° 이하의 경우와 $60\sim 80^\circ$ 의 경우로 나누어 규정한다. 또 해(Resolution)는 초기설정을 0으로 하고 200 W/m^2 의 長波放射의 변화와 분위기 온도가 5° k/h 의 속도로 변한 경우의 日射計 각각의 출력 수준의 變化量으로서 표시되어 있다. 표시되어 있는 數字는 WMO보다 약간 적게 되어 있다. 조건이 다르기 때문에 엄밀히 어느쪽이 세밀한가는 단언할 수 없다.

2) 반응 시간(Response time)은 WMO 規定의 약 절반의 속도로 규정되어 있다. 예를 들면 일등급은 1분이 30초로 되어 있다. 미선형성(Non Linearity)도 약 2배 세밀하게 되어 있다. 안정성(Stability)은 어느 등급도 0.8%로 되어 있다.

3) 온도반응은 표현이 다를지도 모르지만 $\pm 1\%$ 가 $\pm 2\%$ 로 되어 있다.

4) 경사반응은 first class로 $\pm 2\%$ 이다. 以上을 총괄하여보면 ISO는 日射의 응용이라는 입장보다는 WMO의 것을 개선하고 있는 것을 잘 알 수 있다. 한편 규격화의 문제점으로서 日射計의 特性測定法 두가지를 합한 日射量의 補正法과 주요 항목등에 상세하게 나타냈다.

IEA의 TASK IX에 따르는 다음 3가지의 作業部會의 활동이 1987년까지 행해졌다.

(1) 全天 일사량의 時間的, 空間的 分布

이 部에서는 各國의 日射나 日照量의 觀測網 상태를 조사하여 일본은 세계적으로 볼때 가장 높은 密度의 데이터를 얻을 수 있다는 것이 판명되었다. 地形이나 氣象條件에 의한 日射觀測點을 어떤 상태로 설치했는가, 또는 측정되지 않으면 안되는 것등이 결국 최종 보고되는 것이다.

(2) 전체일사량의 모델 正當性

과거의 氣象데이터 특히 水平面 全天日射量이나 日照時間보다 傾斜面에 대한 全天日射量 모델 계산과 實測值등이 비교가 되어진다. 그 방법으로서 水平面모델中 4~5개의 모델을 각 연구기관의 계산기를 사용하여 어떤 모델이 가장 사용하기 쉽고 적당한지를 검토하였다. 1988년 3월에 최종보고서가 정리될 예정이다.

(3) 日射計測

먼저 각 기관의 校正法 및 日射計 特性 차이에 의한 校正値의 차이를 檢討하였다. 다음은 Table.1이나 ISO項으로 표시된 日射計의 特性에 대하여 연구기관이 計測한 결과를 수렴하여 검토하고 해석작업에 들어간 곳도 있다. 그중 밝혀진 것은 각 기관에서 測定한 日射計의 特性이 반듯이 일치하지 않아 원인 규명을 위해 다시한번 再計測하기도 하였다.

以上이 1987년까지의 경과이지만 最終報

告書가 나오지 않은 상태로 재출발하여 다시 3년간 연장되었다. 各國은 물론이고 일본도 에너지관계 豫算이 줄었기 때문에 재정적으로 어려운 형편에 있다. 再出發後는 3개의 部가 新設되었다. 이 3개의 部는 1987년까지 활동이 진전되지 않았던 것이나 남아 있는 作業을 재검토할 예정이다. 새로운 것으로서는 日射의 기준설계년도(Design year)와 보다 정확한 Net work data의 供給方法을 淸급할 예정이다.

日射計測 그 자체에 대해서는 다음 6가지 作業이 예정되어 있다.

1. 태양에너지의 공학적측면을 위한 日射計測의 지침서 작성
2. 各種 日射計에 대한 特性과 氣象條件에 기초를 둔 測定誤差의 計算
3. 長波放射量의 計測精密度 檢討
4. 기준 全天日射量의 確立을 위한 比較測定
5. 이상 4가지에서 얻어진 結果를 작성하여 그의 유효성 檢討
6. 日射計의 경과년도 변화를 포함하여 1987년까지의 日射計의 特性測定結果의 불확실성을 解明

以上이 대략적인 것이지만 IEA의 活動은 별로 형식에 치우치지 않고 자유자재로 활동할 수 있는 것은 좋지만 중간 中間의 結果가 정리되지 않아 誌上에 발표되지 않는 것이 유감이다.

또 하나 標準化의 分野로는 太陽電池 評價를 다루는 IEC*의 TC82에 따라서 日射計測의 문제가 받아들여 진다. 이 分野로는 太陽電池의 效率이나 電氣的 特性을 計測하기 위한 入力標準으로서 放射하든가 屋外光을 사용하여 검토한 것이 最終적으로는 前記한 WMO

주) * International Electric Commission
** World Radiometric Reference

안내서에 표시되어 있는 WRR**을 입력시켜 日射量의 規準을 결정하였다. 그런데 全天日射計의 校正方法이 문제가 되는 ISO나 WMO 안내서를 참고하면서 IEC 獨自的인 校正法이 規格化될 예정이다. 이 배경은 太陽電池 效率을 決定하는 수단으로서 우선 標準太陽電池를 確立할 必要가 있다. 이것의 確立을 위해 特別히 精밀한 全天日射量이 필요하여 全天日射計 校正方法을 엄밀하게 규정할 必要가 있기 때문에 WMO 안내서를 더욱 상세하게 검토하여 자세하게 규정할 예정이다. 내용적으로는 그림 2,3 의 方法이 사용되고 있다.

5. 맺는말

以上 간단히 淸근의 日射計測의 Topics을 紹介하였지만 언급되지 않은 것도 많다. 예를 들면 校正부분에서 설명한 것 같이 全點日射計는 相對計器이다. 이것을 直達日射計의 경우는 이미 실현되어 있는 상태이고 自己校正이 가능한 全天日射計의 개발이 문제이다. 또 直達이나 散亂成分別로 計測하는 문제든가 分光測定중에서도 赤外放射 單獨으로 計測하는 赤外放射計의 문제등이 있다. 이점에 대해서는 다른 기회에 다루겠지만 太陽에너지와 그 計測法의 일반적인 것에 대해서는 상세하게 설명되어 있는 책⁷⁾이 있으니 참고하시기 바랍니다. 이후에도 日射計測의 技術向上을 위해 더욱 경주해 나아가겠습니다.

REFERENCES

- 1) 光技術振興協會：オプトエレクトロニクスの標準化に関する調査研究Ⅴ, 672, 670 (昭和61年3月)
- 2) 三宅行美：太陽エネルギー Vol.9, No.4, 2 (1983)
- 3) WMO: Guide to Meteorological

Instruments and Methods of Observation, Fifth edition, 9.20 (1988)

- 4) 篠木誓一, 吉田作松: 太陽エネルギー, Vol. 14, No.1, 24 (1988)
- 5) 横須賀孝一, 堀米孝, 黒川浩助, 谷辰夫: 昭

和63年電氣學會全國大會講演予稿集836

- 6) 日本電機工業會: 新發電システムに関する調査研究報告書 昭和63年3月
- 7) 柴田和雄, 内島善兵衛: 太陽エネルギーの分布と測定 學會出版センター (1987)