

cds 光電素子を 이용한 人工太陽 日射強度의 同時測定

“One-time measurement of irradiation intensity of Solar Simulator using cds photo-sensors”

裴 崗*, 曹 瑞鉉*, 李 楠浩*, 吳 正茂*
(K. Bai) (S.H.Cho) (N.H.Lee) (P.C.M.Auh)

ABSTRACT

There are two kinds of irradiation intensity deviation, depending on time and position, on illuminated plane when thermal performance of solar collector is tested by using solar simulator. In this study we measured only position deviation of irradiation intensity using 45-cds photo-sensors and data acquisition system and found the point of average value. By this result we can improve the accuracy of irradiation measurement in indoor test of solar collector.

1. 序 論

太陽熱을 모아 必要한 用途에 使用하는데 가장 重要한 器機는 太陽熱集熱器 (Solar Collector)이며 이의 性能을 알아야만 太陽熱시스템의 設計를 할 수 있다. 그러나 太陽熱集熱器의 性能試驗을 野外에서 할 경우, 雨天時나 구름이 많은 날에는 試驗이 不可能 할 뿐 아니라, 淸明한 날에도 周邊條件 (日射量, 大氣溫度, 淸明度 등)의 變化로 인하여 많은 時間이 所要되며 試驗結果의 正確度도 低下될 수가 있다. 그러므로 太陽빛과 거의 같은 特性의 빛을 낼 수 있는 光源과 각종 調節裝置를 附着하여 室內에서 太陽과 같은 役割을 하는 器機가 人工太陽 (Solar Simulator)이다.

이는 太陽熱集熱器를 室內에서 試驗할 때 없어서는 안될 器機이며 일반적으로 다음 條件을 만족하여야 한다.¹⁾

- ① 스펙트럼 特性 (Spectral qualities)
- ② 照射面의 均一性 (Uniformity of illumination)
- ③ 光線의 平行性 (Collimation)
- ④ 光度의 安定性 (Stability of Flux)
- ⑤ 光度의 調節範圍 (Control Range of Flux)

또한 室內에서 太陽熱集熱器를 試驗할 때 갖추어야 할 人工太陽의 性能基準은 ASHRAE 93-77²⁾에 收錄되어 있다.

현재 人工太陽의 光源으로는 Xenon 램프,³⁾ 텅스텐 램프⁴⁾ 및 Metal halid 放電램프⁵⁾ 등 여러가지를 사용하고 있으나 본 韓國 動力資源研究所에서는 좋은 스펙트럼 特性, 運營의 簡便性 및 低消耗電力의 利點이 있는 英國 Thorn社의 CSI (Compact Source Iodide) metal halid 放電램프를 사용한 人工太陽을 製作하여 運營하고 있다.⁶⁾ 그러나 大容量 (1Kw)의 램프를 비교적 적게 (14개)

* 正會員 : 韓國動力資源研究所

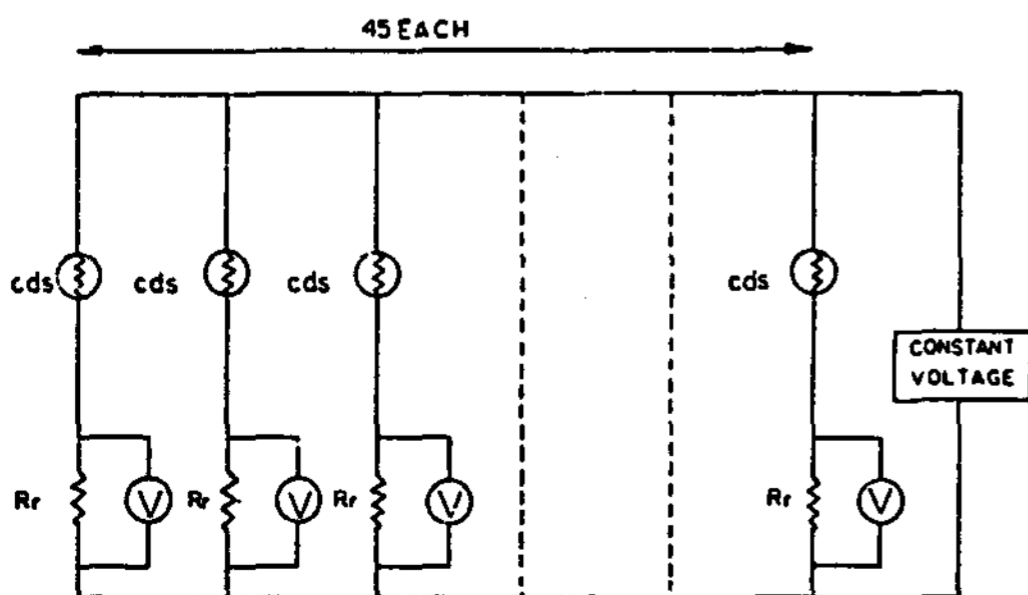
사용하는 방식을 택하고 있기 때문에 위의 일반적인 條件중 照射面의 均一性이 약간 떨어지며 放電램프의 特性上 時間에 따른 光度가 약간 不安하다.

人工太陽을 사용할 때 照射面(4 × 8 ft)의 日射強度는 日射量計(Pyranometer)를 사용하여 153개 點(0.5 ft 간격의 交叉點: 9 × 17)의 값을 測定하나 한개의 日射量計를 각 點으로 移動하여 測定하여야 하므로 많은 時間(약 30分)이 必要하게 된다. 그러므로 人工太陽의 日射強度 測定時, 位置 및 時間에 따른 不均一性이 同時에 存在하여 이런 方法으로 이들의 값을 각기 測定한다는 것은 不可能하다.

이런 理由로 비교적 價格이 싼 다수의(本 研究에서는 45개) cds 光電素子(Photo-Sensor)를 照射面に 一定하게 固定配置하여 전체 照射面이 받는 瞬間日射強度(Instantaneous Irradiation Intensity)를 資料 收集 裝置(Data acquisition system)를 통하여 連續적으로 同時測定하는 方法을 開發 하였다.

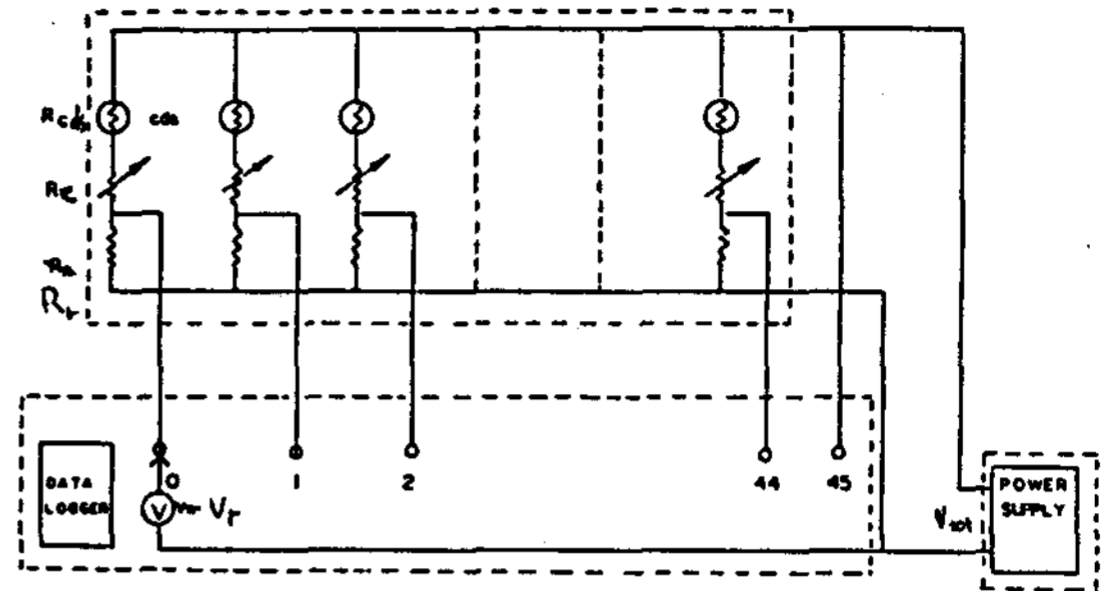
2. 測定原理

測定판넬의 基本原理는 그림 1과 같다. 여기에 사용된 抵抗 R_r 은 cds의 抵抗變化에 따른 電壓降下를 유도하여 並列로 연결된 電壓計를 통하여 cds의 抵抗值($R_{c ds}$)를 환산하기 위한 것이다.



[그림 1] 測定판넬의 概念圖

한편 이와 같은 原理를 基礎로 한 본 測定판넬의 回路圖는 그림 2와 같다.



[그림 2] 測定판넬의 回路圖

즉, 각 cds素子の 미세한 特性差를 補正하기 위한 補正抵抗 R_c 를 直列로 연결하고 R_r 의 電壓測定은 資料收集裝置가 수행하도록 하였다. 여기서 읽힌 電壓資料로 부터 cds의 抵抗를 이끌어 내는 關係式은 다음과 같다.

$$R_{tot} = R_{c ds} + R_c + R_r \dots\dots\dots (1)$$

한편 V_{tot} , R_r 은 一定하므로

$$I = \frac{V_{tot}}{R_{tot}} = \frac{V_{tot}}{R_{c ds} + R_c + R_r} \dots\dots (2)$$

$$V_r = R_r \cdot I$$

$$= \frac{V_{tot} \cdot R_r}{R_{c ds} + R_c + R_r} \dots\dots\dots (3)$$

$$R_{c ds} + R_c = \frac{V_{tot} \cdot R_r}{V_r} - R_r \dots\dots\dots (4)$$

또한 $R_{c ds} + R_c$ 를 日射強度(U)로 환산하는 關係式은

$$U = U_0 + (R_{c ds} + R_c - R_0) \alpha$$

$$= U_0 + \left(\frac{V_{tot} \cdot R_r}{V_r} - R_r - R_0 \right) \alpha \dots\dots (5)$$

와 같이 表現 할 수 있으며, 여기서 U_0 는 cds의 抵抗值가 R_0 일 때의 日射強度이다.

3. 實驗裝置

cds 光電素子は 光源의 照射強度에 따라 그 抵抗值가 變하는 特性이 있다. 規格이 다른素

子는 물론 規格이 같은 cds 光電素子라 할지라도 照射強度에 反應하는 程度는 다소 差異가 있다. 따라서 測定이 容易하도록 미세한 強度變化에도 反應幅이 큰 素子の 선정과 선정된 素子들 中에도 反應特性이 일치하는 것들의 選別作業이 必要하다.

본 研究에서는 <표 1>에서 보는 바와 같이 세 種類의 見本素子들 中에서 어두운 室內과 밝은 人工太陽 아래에서 反應幅이 비교적 큰 B 型을 實驗用으로 選定하였다.

<표 1> cds 光電素子の 反應特性 比較

| 광도 종류 | 室內 (~100w/m ²) | 人工太陽 (~1000w/m ²) | 비 고 |
|----------|-------------------------------|----------------------------------|-----|
| A 型 | 1 KΩ | 20 Ω | |
| B 型 | 4 KΩ | 150 Ω | |
| C 型 | 3 KΩ | 9 Ω | |

또한 B 型 素子들 中에서도 反應特性이 같은 것을 選別하기 위한 作業은 AIR-MASS 2에 비슷한 500w 靑色텅스텐 램프를 使用하여 약 700 w/m²의 強度下에서 抵抗値를 測定하였다. 測定結果는 <표 2>와 같으며 이 中 選擇된 45 개의 cds 의 統計値는 다음과 같다.

<표 2> cds 光電素子の 選別試驗 結果

| x _i | f _i | x _i | f _i | x _i | f _i |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 180 | 1 | 217 | 3 | 239 | 5 |
| 181 | 1 | 218 | 3 | 240 | 4 |
| 191 | 1 | 219 | 2 | 241 | 1 |
| 192 | 1 | 220 | 4 | 244 | 1 |
| 195 | 1 | 221 | 3 | 245 | 1 |
| 197 | 2 | 222 | 1 | 247 | 1 |
| 198 | 1 | 223 | 3 | 250 | 1 |
| 199 | 3 | 224 | 9 | 251 | 1 |
| 202 | 1 | 225 | 1 | 252 | 1 |
| 203 | 1 | 226 | 4 | 253 | 1 |
| 204 | 1 | 227 | 1 | 254 | 1 |
| 206 | 3 | 228 | 2 | 257 | 1 |
| 207 | 4 | 229 | 5 | 258 | 1 |
| 208 | 5 | 230 | 2 | 259 | 1 |
| 209 | 3 | 231 | 4 | 260 | 1 |
| 210 | 3 | 232 | 1 | 267 | 1 |
| 211 | 3 | 233 | 5 | 273 | 1 |
| 212 | 3 | 234 | 2 | 282 | 1 |
| 213 | 5 | 235 | 3 | 296 | 1 |
| 214 | 5 | 236 | 2 | 312 | 1 |
| 215 | 1 | 237 | 1 | | |
| 216 | 3 | 238 | 3 | | |

즉 n (選定個數) : 45

\bar{x} (平均) : 224.13

σ_n (標準偏差) : 4.09

한편 光度變化에 따른 cds 素子の 反應特性 (抵抗變化)을 평가하기 위하여 比較對象素子를 BLUE SILICON SOLAR CELL, 光源으로는 ZENON 램프와 WATER FILTER 을 使用한 SOLAR SEMICONDUCTOR SOLAR SIMULATOR로 하여 두개의 cds 에 대한 特性實驗을 實施하였다. 이들에 대한 實驗結果는 <표 3>에 수록하였다. 이 結果에서 각각의 cds는 대략 1Ω당 2.5 w/m²의 變化를 維持하면서 거의 直線的인 變化特性을 갖는 것으로 나타났다. 따라서 抵抗의 變化率은 같으므로 補正用 抵抗을 cds에 直列로 연결한다면 비교적 定確한 試驗을 할 수 있을 것으로 생각된다.

<표 3> 代表的 cds의 特性 試驗 結果

a) 224 Ω cds

| Ref. Sensor (mV) | Insolation [w/m ²] | cds (Ω) |
|------------------|--------------------------------|---------|
| 35.0 | 546.5 | 273 |
| 36.0 | 562.2 | 270 |
| 37.0 | 577.8 | 267 |
| 38.0 | 593.4 | 264 |
| 39.0 | 609.0 | 260 |
| 40.0 | 624.6 | 258 |
| 41.0 | 640.2 | 256 |
| 42.0 | 655.8 | 253 |
| 43.0 | 671.5 | 251 |
| 44.0 | 687.1 | 249 |
| 45.0 | 702.7 | 246 |
| 46.0 | 718.4 | 243 |
| 47.0 | 733.9 | 241 |
| 48.0 | 749.5 | 238 |
| 49.0 | 765.2 | 235 |

| Ref. Sensor (mV) | Insolation [w/m^2] | cds(Ω) |
|------------------|------------------------|-----------------|
| 50.0 | 780.8 | 233 |
| 51.0 | 796.4 | 229 |
| 52.0 | 822.0 | 227 |
| 53.0 | 827.0 | 225 |
| 54.0 | 843.2 | 223 |
| 55.0 | 858.8 | 221 |

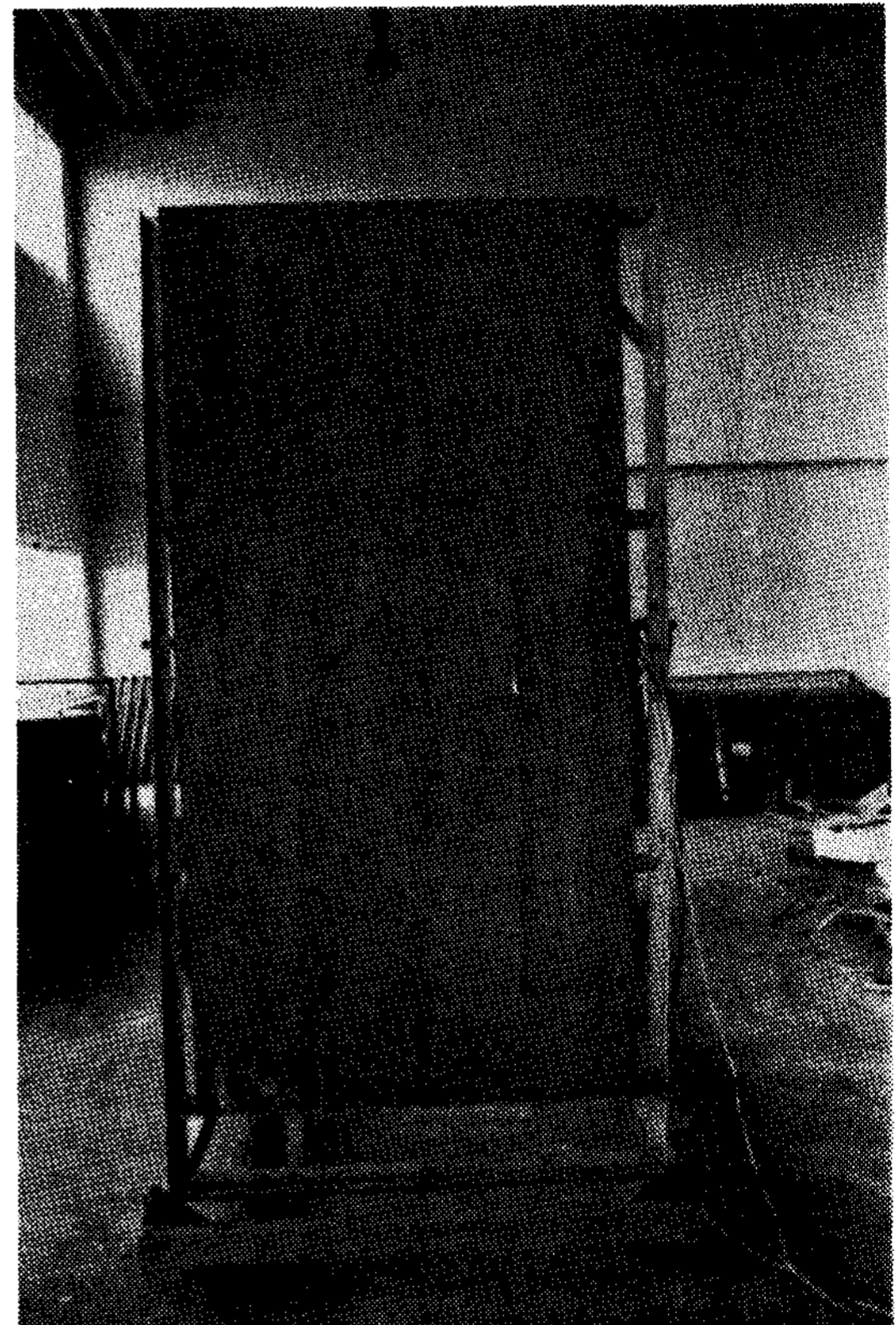
※ Reference Sensor 64.04 mV = 1,000 w/m^2

b) 226 Ω cds

| Ref. Sensor (mV) | Insolation (w/m^2) | cds (Ω) |
|------------------|------------------------|------------------|
| 35.0 | 546.5 | 271 |
| 36.0 | 562.2 | 268 |
| 37.0 | 577.8 | 265 |
| 38.0 | 593.4 | 262 |
| 39.0 | 609.0 | 258 |
| 40.0 | 624.2 | 255 |
| 41.0 | 640.2 | 251 |
| 42.0 | 655.8 | 248 |
| 43.0 | 671.5 | 245 |
| 44.0 | 687.1 | 243 |
| 45.0 | 702.7 | 240 |
| 46.0 | 718.3 | 237 |
| 47.0 | 733.9 | 234 |
| 48.0 | 749.5 | 232 |
| 49.0 | 765.2 | 229 |
| 50.0 | 780.7 | 227 |
| 51.0 | 796.4 | 224 |
| 52.0 | 822.0 | 222 |
| 53.0 | 827.6 | 220 |
| 54.0 | 843.2 | 217 |
| 55.0 | 858.8 | 215 |

※ Reference Sensor 64.04 mV = 1,000 w/m^2

그림 3은 研究중에 製作한 測定판넬의 사진이며 4×8 ft의 合板 前面에 가로, 세로 각각 1ft의 간격으로 線을 그어 그 交叉點에 cds를 固定시켰으며, 後面에는 R_c , R_r 을 附着시키고 앞의 cds와 配線으로 連結하였다.



[그림 3] 測定판넬의 外形

각각의 配線은 資料收集裝置 (Fluke 2240C)의 45개 채널 (0~44)에 連結하였으며 마지막 채널 (45)에는 定電壓裝置에서 공급되는 V_{tot} 를 測定하도록 하였다.

한편 각 cds의 特性을 補正하기 위한 R_c 의 調整은 맑은 날에 太陽光線을 垂直으로 늘어난 狀態에서 實施하였다.

4. 測定 및 分析

앞에서 설명한 測定판넬을 利用하여 現在 運

營 중인 人工太陽의 照射強度(日射強度)를 實驗적으로 測定하였다. 즉, 動作 중인 人工太陽의 前方 5 m에 光線이 垂直으로 들어 오도록 測定판넬을 固定시키고 1分 간격으로 5分 동안에 걸쳐 日射強度를 測定하였다. 測定판넬에 위치한 45개 點의 日射強度는 電位差의 形態로 測定되며 測定된 각각의 資料는 소형컴퓨터(Fluke 1720A)의 電算處理課程을 통하여 入力하였다. 여기서 電位差로 부터 日射強度를 算出하기 위한 關係式은 식(5)와 같다.

여기서 얻은 結果를 편의상 日射強度에 따라 다음과 같이 여러 等級으로 나누어 視覺적으로 평가하기 쉽게 測定 판넬상의 日射地圖(Radiation map)를 作成하였다. 分類된 等級別 日射強度는 다음과 같다.

| 記號 | 日射強度 |
|----|----------------------------|
| A | 900 w/m ² 이상 |
| B | 850 ~ 900 w/m ² |
| C | 800 ~ 850 w/m ² |
| D | 750 ~ 800 w/m ² |
| E | 700 ~ 750 w/m ² |
| F | 650 ~ 700 w/m ² |
| G | 650 w/m ² 이하 |

한편 分析課程에서 照射面上的의 平均日射強도와 標準偏差(Standard deviation), 45개 測定點에서의 最大值와 最小值를 제시하였다. 또한 評價를 돕기 위하여 (最大值 - 平均值) ÷ 平均值의 값을 +型 最大偏差(Extreme Positive Deviation)라 하고 (最小值 - 平均值) ÷ 平均值의 값을 -型 最大偏差(Extreme Negative Deviation)라 하여 그 算出 값도 제시하였다.

<표 4>는 이들 測定한 값을 電算프로그램을 이용하여 計算한 結果이다. 이 結果에서 알 수 있는 바와 같이 測定판넬상의 日射強度는

<표 4> cds 測定판넬에 의한 日射強度 測定데이터

a) 1分後

| SIN.000 | 1 MIN | | | | |
|---------|-------|-----|-----|-----|--|
| 721 | 779 | 747 | 614 | 862 | |
| 597 | 660 | 630 | 566 | 578 | |
| 576 | 775 | 604 | 906 | 764 | |
| 733 | 823 | 739 | 766 | 557 | |
| 517 | 729 | 644 | 741 | 622 | |
| 738 | 723 | 673 | 720 | 641 | |
| 705 | 615 | 558 | 763 | 650 | |
| 717 | 783 | 720 | 738 | 714 | |
| 718 | 722 | 701 | 641 | 675 | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| E | D | E | G | B |
| B | F | B | G | G |
| G | D | G | A | D |
| E | C | E | D | G |
| G | E | G | E | G |
| E | E | F | E | G |
| E | G | G | D | F |
| E | D | E | E | E |
| E | E | E | G | F |

AVERAGE = 692.5554
 STANDARD DEVIATION = 82.87998
 MAXIMUM VALUE = 906
 MINIMUM VALUE = 517
 EXTREME POSITIVE DEVIATION((MAX-AVE)/AVE) = 0.3081983
 EXTREME NEGATIVE DEVIATION((MIN-AVE)/AVE) = -0.2534895

b) 2分後

| SIN.000 | 2 MIN | | | | |
|---------|-------|-----|-----|-----|--|
| 744 | 794 | 767 | 629 | 884 | |
| 621 | 679 | 656 | 596 | 607 | |
| 609 | 806 | 670 | 942 | 791 | |
| 754 | 840 | 782 | 797 | 583 | |
| 561 | 757 | 686 | 775 | 645 | |
| 779 | 780 | 760 | 765 | 660 | |
| 761 | 919 | 640 | 798 | 671 | |
| 740 | 818 | 759 | 763 | 729 | |
| 741 | 759 | 749 | 649 | 683 | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| E | D | D | G | B |
| G | F | F | G | G |
| G | C | F | A | D |
| D | C | D | D | G |
| G | D | F | D | G |
| D | D | D | D | F |
| D | A | G | D | F |
| E | C | D | D | E |
| E | D | E | G | F |

AVERAGE = 731.1111
 STANDARD DEVIATION = 85.89172
 MAXIMUM VALUE = 942
 MINIMUM VALUE = 561
 EXTREME POSITIVE DEVIATION((MAX-AVE)/AVE) = 0.2884498
 EXTREME NEGATIVE DEVIATION((MIN-AVE)/AVE) = -0.2326748

c) 3分後

| SIN.000 | 3 MIN | | | |
|---------|-------|-----|-----|-----|
| 744 | 794 | 769 | 638 | 885 |
| 624 | 487 | 456 | 598 | 407 |
| 628 | 816 | 669 | 942 | 790 |
| 757 | 842 | 778 | 788 | 583 |
| 555 | 758 | 679 | 765 | 650 |
| 776 | 777 | 760 | 758 | 458 |
| 763 | 921 | 641 | 796 | 669 |
| 740 | 815 | 759 | 763 | 730 |
| 741 | 759 | 750 | 662 | 691 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| E | D | D | G | B |
| G | F | F | G | B |
| G | C | F | A | D |
| D | C | D | D | G |
| G | D | F | D | F |
| D | D | D | D | F |
| D | A | G | D | F |
| E | C | D | D | E |
| E | D | D | F | F |

AVERAGE= 731.8
STANDARD DEVIATION= 84.72743

MAXIMUM VALUE= 942
MINIMUM VALUE= 355

EXTREME POSITIVE DEVIATION((MAX-AVE)/AVE)= 0.2872369
EXTREME NEGATIVE DEVIATION((MIN-AVE)/AVE)=-0.2415961

e) 5分後

| SIN.000 | 5 MIN | | | |
|---------|-------|-----|-----|-----|
| 743 | 787 | 763 | 628 | 886 |
| 431 | 680 | 450 | 596 | 405 |
| 624 | 809 | 669 | 942 | 792 |
| 757 | 840 | 781 | 796 | 592 |
| 554 | 759 | 683 | 775 | 647 |
| 776 | 779 | 763 | 763 | 458 |
| 765 | 921 | 643 | 795 | 668 |
| 741 | 801 | 760 | 767 | 728 |
| 743 | 743 | 754 | 662 | 683 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| E | D | D | G | B |
| G | F | F | G | G |
| G | C | F | A | D |
| D | C | D | D | G |
| G | D | F | D | G |
| D | D | D | D | F |
| D | A | G | D | F |
| E | C | D | D | E |
| E | E | D | F | F |

AVERAGE= 731.1556
STANDARD DEVIATION= 84.80434

MAXIMUM VALUE= 942
MINIMUM VALUE= 354

EXTREME POSITIVE DEVIATION((MAX-AVE)/AVE)= 0.2883715
EXTREME NEGATIVE DEVIATION((MIN-AVE)/AVE)=-0.2422953

d) 4分後

| SIN.000 | 4 MIN | | | |
|---------|-------|-----|-----|-----|
| 743 | 792 | 767 | 635 | 886 |
| 624 | 679 | 653 | 600 | 406 |
| 612 | 805 | 669 | 942 | 791 |
| 757 | 839 | 778 | 789 | 590 |
| 553 | 757 | 678 | 763 | 648 |
| 773 | 775 | 758 | 757 | 656 |
| 763 | 919 | 639 | 795 | 670 |
| 738 | 807 | 756 | 763 | 742 |
| 738 | 746 | 751 | 648 | 681 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| E | D | D | G | B |
| G | F | F | G | G |
| G | C | F | A | D |
| D | C | D | D | G |
| G | D | F | D | G |
| D | D | D | D | F |
| D | A | G | D | F |
| E | C | D | D | E |
| E | E | D | G | F |

AVERAGE= 729.4
STANDARD DEVIATION= 85.28655

MAXIMUM VALUE= 942
MINIMUM VALUE= 353

EXTREME POSITIVE DEVIATION((MAX-AVE)/AVE)= 0.2914724
EXTREME NEGATIVE DEVIATION((MIN-AVE)/AVE)=-0.2418426

位置에 따라 상당한 差異를 보여주고 있다. 특히 램프의 焦點부분은 높고 그사이에는 상대적으로 낮은 현상이 뚜렷하였다. 이와 같은 현상은 램프의 構造上 빛의 擴散特性和 램프의 配列, 그리고 램프들 간의 老朽度 差異에서 오는 것이라 생각된다.

또한 平均値의 비교에서 動作이 시작된 후 약 2分후 부터 安定狀態에 도달함을 알 수 있다. 이는 최소한 2分후 부터 太陽熱集熱器의 性能試驗을 실시해야 함을 나타낸다.

5. 結 論

본 研究에서는 cds 光電素子를 利用하여 人工太陽의 照射面에 대한 日射強度를 비교적 짧은 時間에 測定하였다.

이 方法으로 時間에 따른 日射強度의 不均一性을 排除할 수 있으므로 단지 位置에 따른 不均一性만을 밝힐 수 있었다. 그러므로 太陽熱

集熱器의 性能試驗시 전체 照射面의 日射強度를 代表할 수 있는 位置(平均값에 가까운 곳)에 日射量計를 設置하므로서 보다 正確한 日射量을 測定할 수 있으며 차후 研究할 光分散裝置에 의한 照射面의 均一性 向上試驗에서도 有用하게 利用할 수 있다고 판단된다.

한편 본 測定판넬에 사용한 cds 光電素子は

比較적 값이 싼 것이므로 測定된 日射強度가 絕對值로서의 價値보다 相對值의 意味를 갖으며 cds의 特性이 溫度에 따라 다소 不安한 動作을 하기 때문에 長時間에 걸친 試驗에서는 좋은 結果를 얻기가 힘들었으므로 必要에 따라서는 溫度維持裝置(冷却팬 등)를 사용하는 것이 좋으리라 생각된다.

References

1. P. Krusi and R. Schmid, "The CSI 1000w lamp as a source for solar radiation simulation", solar energy Vol. 30, No. 5, 1983.
2. ASHRAE standard 93-77, "Methods of Testing to determine the thermal performance of a solar collector", New York, 1977.
3. R. Schmid, "Der EIR-Kunstlichtpruef stand fuer sonnenkollektoren.", Wuerenlingen, switzerland, 1977.
4. F. F. Simon, "Flat-plate Solar-Collector Performance Evaluation with a Solar Simulator" solar energy Vol. 18, No. 6, 1976.
5. D. Proctor and M. K. Peck, "CSIRO Collector Test Facilities" proc. ISES Conf, Atlanta, 1979.
6. 韓國動力資源研究所 KE - 81 - 20, "太陽에너지 利用機器性能 試驗技術開發 및 太陽에너지 資源調查, 評價", 韓國動力資源研究所, 1981.