

濟州地域의 水平面 日射量과 地温變化에 관한 研究

朴奎殷·洪性樂·李相法

A Study on the Variation of the Soil Temperature and Daily Solar Radiation
on the Horizontal Surface in Jeju-do

Park, Gyu Eun · Hong, Sung Rak · Lee, Sang Bub

Summary

Mean value of the soil temperature at different depths of 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, and 1.5m and the incident radiation on the horizontal surface were calculated based on the climatological data of Jeju-do from 1967 to 1976.

The results indicate that the soil temperature of Seogwipo was 1.36°C higher than that of Jeju, 16.62°C at 0.5m below the surface. We calculated mean value of incident radiation on the top of the atmosphere over Jeju-do appeared to be 740kcal/day, of which 38.6 percent, 286kcal/day, arrived at the horizontal surface.

Temperature decrease with altitude was about 0.6°C/100m at the surface, and 0.5°C/100m at 1.0m below the surface.

I. 序 論

地表面에 가까운 地中 温度 分布와 地上의 氣温 分布 및 日射量은 地上의 生命体에 重要な 役割을 하고 있으며 地域에 따라서 多様な 變化를 보이고 있다. 따라서 地温 變化 및 日射量의 年中 變化를 미리 안다는 것은 이에 適合한 作物을 심고 植物의 生態를 아는에 基礎 資料가 된다. 이에 대한 研究는 理論的으로는, 地球表面의 温度 分布에 관해서 Saltzman (1966)이 地域的 氣象 模型은 Warren (1979)이, 季節別 에너지 平衡의 差에 대해서는 North (1979)가, 輻射平衡에 관해서는 Monteith (1960) 등의 研究가 있다. 日本의 경우는 Kondo (1967)가 日本의 水平面 日射量에 대해서 研究한 바 있다. 韓國에서는 大氣外 水平面 日射量에 대해서 曹 (1974), 韓國 全域의 熱収支에 대해서 曹等 (1975), 地中の 熱 에너지에 관한 研究는 洪 (1979)에 의해서 이루어 졌다. 著者等이 研究한 바는 지금까지의 巨視的인 研究가 아닌 濟州地域의 特性

에 맞는 農業이나 林業 其他 植物의 生態 研究에 바로 適用할 수 있는 結果를 얻어서 이 分野에 必要한 基礎 資料로서 提示코자 한다.

II. 理論 및 方法

1. 地温變化

地表面에서의 깊이에 따른 地温의 變化는 氣温에 따른 熱伝導와 氣象條件의 變化등으로 매우 複雜한 變化를 갖게된다. 그러나 地下로 깊이 들어 갈수록 氣象條件의 日變化에 따른 短期의 影響은 줄어들고 季節的 變化에 따른 要素가 地温 變化를 支配하게 된다. 이때에 地表面을 境界面으로 하는 熱伝導 断面을 생각하고 이를 一次元에서의 熱拡散方程式을 풀고 濟州 地域을 代表하는 西滯浦 地域과 濟州市의 10年間(1967~1976)의 氣温 및 地温變化(表1,2)를 理論値와 比較分析하여 近似式을 얻었다. 一年中 거의 温度變化가 없는 地中點을 $Z=0$ 로 놓고, 温度變化가 가장 많은

* 本 研究는 1979年度 文敎部 學術研究 補助費에 依한 것임.

地表面을 $Z = \ell$ 로 놓은 一次元 熱擴散方程式

$$\frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} = \frac{1}{a^2} \frac{\partial T}{\partial t} \dots\dots\dots (1)$$

을 쓴다. 이때 $a^2 = \frac{k}{\rho C}$ 는 熱擴散度인데 ρ 는 땅의 密度, C 는 比熱, k 는 熱傳導度이다. (1)式에 境界條件을 넣으면, $Z = 0$ 일때 地溫의 年中 變化를 거의 無示할 수 있으므로, $T = T_0 = \text{Const.}$, 이때 T_0 는 $Z = 0$ 에서의 絶對溫度이다. 또 $Z = \ell$ 인 地表面에서는 季節에 따른 年變化가 正弦波의인 變化를 할 것이므로 $T = T_0 + A \bar{e}^{i\omega t}$ 을 (1)式에 넣어서 풀면,

$$T(z, t) = T_0 + A \frac{\sin \frac{z}{a} \sqrt{i\omega}}{\sin \frac{\ell}{a} \sqrt{i\omega}} e^{-i\omega t} \dots\dots (2)$$

$$\beta = \frac{\ell}{a} \sqrt{\frac{\omega}{2}}, \tan \alpha = \cot \beta \tan h \beta, \tau = \frac{z}{a} \sqrt{\frac{\omega}{2}}$$

$\tan \delta = \cot \tau \tan h \tau$ 로 바꾸어 주면 (2)式은

$$T(z, t) = T_0 + A \frac{\sqrt{\cos h^2 \tau - \cos^2 \alpha}}{\sqrt{\cos h^2 \beta - \cos^2 \alpha}} e^{-i(\omega t + (\alpha - \delta))} \dots\dots\dots (3)$$

으로 되고 $\tan h \beta \sim 1, \tan h \tau \sim 1$ 의 근사식을 쓰면

$$\frac{\sqrt{\cos h^2 \tau - \cos^2 \alpha}}{\sqrt{\cos h^2 \beta - \cos^2 \alpha}} \sim e^{\tau - \beta}, \tan \alpha \sim \cot \beta \text{가 되어 } \alpha =$$

$\frac{\pi}{2} - \beta, \delta = \frac{\pi}{2} - \tau$ 가 된다. 따라서 (1)式의 解는

$$T(z, t) = T_0 + A e^{-(\tau - \beta)} \cos[\omega t - (\beta - \tau)] \dots\dots\dots (4)$$

이다. 이때 地表面을 基準으로 해서 밑으로 전 길이 g 를 $g = \ell - z, \beta - \tau = \frac{1}{a} \sqrt{\frac{\omega}{2}} (\ell - z) = Sg, S = \frac{1}{a}$

$\sqrt{\frac{\omega}{2}}$ 로 놓으면 地表面에서 길이 g 되는 곳의 溫度는

$$T(g, t) = T_0 + A e^{-Sg} \cos[\omega t - Sg] \dots\dots (5)$$

이다. (5)式에서 T_0, A, S 및 ω 의 값을 求하기 위해서 西帶地域의 平均値인 표 1 을 統計 處理하여 얻은 값은 各各

$$T_0 = (291.31 \pm 0.04)^\circ K, A = 11, S = 0.472,$$

$\omega = 1.72 \times 10^{-2} \text{ sec}^{-1}$ 이고 이때 t 의 값은 日數로 표시한 時間, g 는 m 로 표시한 地面下의 깊이이다. 따라서 (5)式은 섭시온도 ($^\circ C$) 로 표시할 때,

$$T(g, t) = 11e^{-0.472g} \cos(1.72 \times 10^{-2}t - 0.472g) + 18.15 \dots\dots\dots (6)$$

로 된다.

地域別 地溫分布에 대해서는 測候所의 資料가 西帶

를 除外한 地域에서는 1.0 m 까지의 資料 밖에 구할 수 없는 관계로 濟州市, 西帶浦, 城山浦, 大靜의 平均値 (1978-1979) 만을 가지고 (표 3) 西帶浦와 濟州市 地域의 10年間의 平均値와 比較檢討 했다.

2. 水平面 日射量

濟州 地域의 四個所 即 西帶浦 (N: 33 14, E: 126 34) 濟州市 (N: 33 30, E: 126 32) 城山浦 (N: 33 27, E: 126 55) 大靜 (N: 33 13, E: 126 15) 의 日射量을 比較 檢討했다 (표 4). 濟州市, 城山浦, 大靜의 日射量은 1978年 기상연보와 1979年의 기상일보 및 측후소 기록에 의한 統計를 基礎로 했고, 西帶浦에 있어서는 日射量 測定이 되고 있지 않으므로 Kondo (1967) 가 유도한 아래式에 의해서 계산했다.

$$\frac{Q_s}{Q^*} = \frac{1}{N} [N_1 \{ 1.02(0.3 + 0.7 \times 10^{-4.0 \cos \bar{\alpha}}) \} + (N - N_1) (0.34 + 0.5 \bar{S}_2 - 0.1 \bar{n}_2)] \dots\dots (7)$$

여기서 表示된 記号는 다음과 같다.

Q^* : 月別 大氣 上限의 平均日射量 (cal/day) 으로 曹 (1974) 의 값을 西帶浦의 위도에 따라 換算했음.

Q_s : 水平面 日射量

N_1 : 맑은날의 日數

N : 月 日數이다.

그리고,

$$\bar{\alpha} = (1 + 0.04 \bar{e}) (\sec \bar{Z}_0 + 0.8)$$

$$\bar{S}_2 = \frac{\bar{S}N - 0.9 N_1}{N - N_1}$$

$$\bar{n}_2 = \frac{\bar{n}N - 0.1 N_1}{N - N_1} \text{인데 여기서의 기호는,}$$

\bar{e} : 月平均 水蒸氣壓 (mb)

\bar{Z}_0 : 南中時의 太陽의 月平均 天頂距離

\bar{S} : 月平均 日照率

\bar{n} : 月平均 雲量이다

III. 結果 및 考察

1. 地溫變化

理論에 依한 結果式 (6)은 物理學的으로 이상적인 條件下에서 誘導된 式이므로 地面 가까운 点에서는 잘 맞지 않는다. 氣象條件의 日變化에 따라서 多變한 變化를 나타내기 때문이다. 西帶浦의 地下 1.5 m 에 대해서 誘導된 式과 10年間의 統計値와를 比較한 그림 1

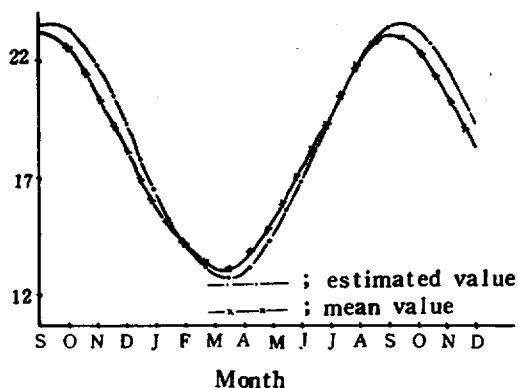


Fig.1. Annual cycle of the mean values for the soil temperature at 1.5m below the surface and estimated value from 1967 to 1976 at seogwipo.

에서와 같이 2월과 8월에는 誤差가 없지만 11월에는 統計値가 推定値보다 21.8°C에 대해서 1.4°C 높아 가장 큰 差異를 나타내고 5월에는 統計値가 推定値보

다 14.4°C에 대해서 0.7°C의 높은 값을 나타내고 있다. 표 1과 2에서 西帰浦와 濟州市의 差는 全般的으로 西帰浦地域이 높고 1월에 地下 0.3m에서는 2.91°C, 約 3°C의 差異를 나타내고 地下 0.5m에서는 3.45°C의 差를 나타내고 있다. 표 3에서 보면 地下 0.5m, 1.0m에서의 年平均値는 西帰浦가 높은 温度를 나타내고 있다. 大靜(N: 33 13)과 西帰浦(N 33 14)는 緯度상으로는 별 差이가 없으나 西帰浦는 바로 북쪽에 漢拿山이 있는 관계로 겨울철에는 大靜보다 높은 温度, 여름철에는 大靜이 높은 温度를 나타낸다.

2. 日射量

大氣上限의 平均 日射量은 濟州市를 包含한 大靜, 城山浦, 西帰浦 地域은 740 *cal*/day(曹 1974)로 나타난다. 全國的인 統計는 이중 42%가 地面에 到達하는 것으로 알려져 있으나 濟州道 地域에 있어서는 理

Table 1. Mean temperature(°C) in soil at Seogwipo from 1967 to 1976.

Month Depth of soil	Month												Mean
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
0.0 m	4.33	5.97	10.43	16.07	20.88	23.97	26.85	29.41	24.94	19.79	12.98	6.52	16.85
0.1 m	6.78	7.36	9.35	13.61	17.68	21.00	24.61	26.99	23.65	18.86	13.66	8.74	16.02
0.2 m	8.24	8.63	10.66	14.48	18.50	21.76	24.99	27.77	24.82	20.17	15.22	10.47	17.14
0.3 m	8.99	9.17	10.84	14.41	18.33	21.48	24.59	27.47	25.00	20.74	16.09	11.36	17.37
0.5 m	10.02	9.84	11.03	14.04	17.91	21.00	24.11	26.99	25.29	21.44	17.03	12.61	17.61
1.0 m	13.44	12.18	12.06	13.52	16.13	18.81	21.63	24.15	24.43	22.25	19.03	15.88	17.79
1.5 m	15.87	14.16	13.29	13.49	15.14	17.32	19.77	21.98	23.06	22.18	20.46	18.11	17.90
Mean	9.67	9.62	11.05	14.23	17.79	20.76	23.79	26.39	24.46	20.78	16.35	11.96	17.24

Table 2. Mean temperature(°C) in soil at Jeju from 1967 to 1976.

Month Depth of soil	Month												Mean
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
0.0 m	3.53	4.11	8.22	15.41	21.58	25.36	27.98	31.28	24.62	17.43	10.60	5.30	16.28
0.1 m	4.97	4.68	6.69	12.05	16.69	20.76	24.80	26.91	22.49	16.65	11.03	6.36	14.50
0.2 m	5.31	5.53	7.65	12.82	17.49	21.40	25.27	27.81	23.63	17.99	12.39	7.47	15.39
0.3 m	6.08	6.13	8.14	13.03	17.70	21.59	25.28	28.12	24.35	19.00	13.45	8.58	15.95
0.5 m	6.57	6.43	8.14	12.60	17.34	21.20	24.83	27.71	24.61	19.48	14.07	9.55	16.04
Mean	5.29	5.38	7.78	13.18	18.16	22.06	25.63	28.37	23.94	18.11	12.31	7.45	15.63

Table 3. Soil temperature(°C) at each area from 1978 to 1978.

Soil temperature Month	Soil temperature at the surface				Soil temperature at 0.5 m below the surface				Soil temperature at 1.0 m below the surface			
	Area Jeju	Seo- gwipo	Seong-Dae- sanpo	jeong	Seo- gwipo	Seong-Dae- sanpo	jeong	jeong	Jeju	Seo- gwipo	Seong-Dae- sanpo	jeong
J	5.31	7.04	5.99	7.63	8.44	10.58	9.68	8.95	10.09	13.81	11.18	11.24
F	5.81	8.14	6.73	7.90	7.74	10.35	8.77	7.89	8.80	12.69	10.64	9.82
M	9.77	11.39	10.73	12.46	9.59	11.87	10.13	9.46	9.54	12.79	10.54	10.29
A	16.22	16.03	17.39	17.52	13.00	15.24	13.66	12.83	12.91	14.25	12.92	12.61
M	22.21	22.22	23.99	24.10	17.99	18.93	17.33	16.82	16.60	16.73	15.86	15.89
J	25.78	24.53	26.66	26.53	22.26	22.89	21.19	20.76	20.66	20.37	19.35	19.14
J	30.38	28.71	31.72	32.07	25.70	26.62	25.47	24.98	24.04	23.70	23.67	22.75
A	29.73	30.23	31.63	32.89	27.31	28.60	27.32	26.74	26.08	26.31	25.89	25.04
S	24.35	25.97	26.18	27.46	24.74	26.73	24.83	24.09	24.64	26.20	24.53	24.08
O	19.78	21.16	20.78	22.80	20.97	22.53	20.82	20.30	21.61	23.50	21.24	21.10
N	11.81	13.40	13.01	14.13	16.32	18.08	16.67	15.92	17.55	20.69	17.60	18.32
D	7.59	9.48	8.32	9.58	11.51	13.50	12.28	11.37	13.12	17.12	13.71	14.18
Mean	17.39	18.17	18.59	19.58	17.13	18.82	17.34	16.67	17.13	19.01	17.26	17.03

Table 4. Daily solar radiation (ly/day) at each area from 1978 to 1979.

Area Month	Area				Mean
	Jeju	Seogwipo	Seongsanpo	Daejeong	
J	105.09	160.35	145.50	141.57	138.13
F	168.79	263.32	215.00	191.68	209.70
M	262.55	306.37	285.57	270.03	281.13
A	357.66	322.17	365.53	314.52	314.97
M	472.73	389.52	434.80	379.73	419.15
J	359.51	263.52	316.08	275.58	311.17
J	398.35	335.86	416.58	381.15	382.99
A	391.26	398.44	393.39	422.45	401.39
S	314.42	312.35	351.12	324.01	325.48
O	289.56	310.79	291.42	309.66	300.36
N	150.45	196.60	177.00	181.95	176.50
D	133.34	186.16	151.48	153.92	156.23
Mean	283.64	287.12	295.27	278.85	286.22

論值 740 ly/day에 비해서 1978~1979年 平均値가 286 ly/day로서 實際 地面에 到達하는 日射量은 38.6%이다. 全國 統計와 濟州地域과를 比較할 때 濟州地域은 낮은 日射量을 나타내고 있으며 또 兩쪽의 代表 地域인 西帶浦와 北쪽의 代表 地域인 濟州市는 漢

驛山으로 因하여 1,2,3月에는 西帶浦가 많고, 6~9月에는 濟州市가 많으며, 10~12月에는 도로 西帶浦가 많은 것으로 나타났다. 1年中 제일 적은 달은 1月로서 138.13 ly/day, 가장 많은 달은 5月로서 419.15 ly/day를 나타내고 있다.

3. 高度에 따른 地温變化

高度에 따른 地温의 變化는 8個 地点(挾才, 橋來里, 城板岳, 靈室山莊, 觀音寺, 新禮里, 城邑, 水岳橋)을 選定하여 24時間을 測定하고, 같은 날자, 같은 時間의 地温은 濟州測候所의 測定資料와(濟州市, 西帰浦, 城山浦, 大靜), 農村振興院의 測定資料(氣温: 松堂牧場, 이시돌牧場, 城邑牧場, 한영목장)를 參考해서 高度에 따른 氣温 및 地温의 分布를 分析했다. 橋來里(440 m), 觀音寺(650 m), 城板岳(750 m), 靈室山莊(1,280 m), 사계비동산(1,450 m)의 높이에 따른 氣温 및 地温의 감소율($^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$)은, 氣温은 $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, 地表面 温度는 $0.92^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, 地表面 0.2m에서는 $0.65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, 地表面 0.5m에서는 $0.575^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, 地表面 1.0m에서는 $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 의 값을 나타내고 있다. 地表面에서의 温度 減少率이 큰 것은 高度가 높아짐에 따라 地表面의 熱輻射가 잘 일어나고 있는 것으로 解析되며 地表面에서 地下로 깊이 들어 갈수록 温度 減少率이 적은 값을 갖는 것은 氣象變化가 地下로 깊이 들어 갈수록 큰 영향을 주지 못하는 것으로 해석된다.

IV. 摘 要

濟州地域의 地温은 西帰浦와 濟州市를 比較할 때 地下 0.5m까지의 10年間(1967~1976)의 平均値의 差는 1.36°C 로 西帰浦가 높은 값을 갖고 大體적으로 地下로 들어 갈수록 西帰浦가 높은 값을 갖는다.

水平面 日射量에 있어서는 濟州道의 大氣上限의 理論値 740 lY/day 의 38.6%인 286 lY/day 가 地表面에 도달하며 1年中 日射量이 제일 적은 달로 1月로서 138 lY/day 이고 가장 많은 달은 5月로서 419 lY/day 이다. 濟州市와 西帰浦를 比較할 때, 1~3月은 西帰浦가 230 lY/day 로서 179 lY/day 인 濟州市보다 높고, 4~9月은 濟州市는 382 lY/day 이고 西帰浦는 337 lY/day 이다. 10~12月은 西帰浦가 231 lY/day 이고 濟州市는 191 lY/day 로 나타났다.

高度에 따른 地温의 變化는 高度가 높아짐에 따라 $-0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 의 減少率을 나타내며 地下 1.0m에서는 $-0.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 의 값을 갖는다. 地下로 깊이 들어 갈수록 氣象的인 영향을 덜 받게 되는 것으로 나타났다.

引 用 文 獻

曹喜九, 1974. 大氣外 水平面 日射量, 韓國氣象學會誌. 10(1): 29~42.
 曹喜九, 李太英, 1975. 韓國全域의 熱收支研究 韓國氣象學會誌. 11(1): 11~20.
 중앙관상대, 기상연보 1967~1968.
 중앙관상대, 기상월보 1979.1~1979.9.
 洪淳復, 1979. 地中の 熱에너지 韓國氣象學會誌 15(1): 29~34.
 Kondo, Junse. 1967. Analysis of solar radiation and downward long-wave radiation data in Japan. Sci. Rep. Tohoku

Univ. 18(3), 91~124.
 North, G. R. 1979. A stability theorem for energy-balance climate models, J. Atmos. Sci. 36, 1178~1188.
 Oerlemans, J. 1978. Energy balance climate models. J. Atmos. Sci. 35, 371~381.
 朴奎殷, 1978. 西帰浦 地域의 地温變化에 관한 研究 濟州大學論文集 10, 177~179.
 Saltzman, Barry. 1967. On the theory of the mean temperature of the earth's surface, Tellus 19(2), 143~153.