

地形-氣候 關係式에 의한 濟州道の 月別 氣溫分布의 推定^{1*}

申萬鏞² · 尹進一²

Estimation of Monthly Temperature Distribution in Cheju Island by Topoclimatological Relationships^{1*}

Man Yong Shin² and Jin Il Yun²

要 約

林業을 비롯한 産業活動을 效率的으로 遂行하기 위해서는 專門 氣象情報의 活用이 必需的이다. 本研究는 地形氣候 關係式을 利用한 濟州道 全域의 精密 氣候 推定 및 表出 方法을 開發하였다. 먼저 道全域을 250m 間隔의 直交格子로 區劃하고 交叉點의 海拔高度를 地形圖上에서 判讀하여 사방 1km 地域의 平均 海拔高度 등 多様な 地形因子를 定量化하였다. 19個의 氣象觀測所가 位置한 單位格子의 地形因子 값과 實際 月別로 觀測된 日最低氣溫의 월 平均값, 日最高氣溫의 월 平均값, 그리고 日平均氣溫의 월 平均값에 대하여 各各 重回歸分析하여 36個의 地形-氣溫 關係式을 導出하고 이로부터 未觀測 格子에 대한 推定值를 계산하였다. 아울러 이 關係式에 의한 月別 氣溫別 格子型 氣候圖를 作成하여 道全域의 氣溫分布의 豫測 및 活用을 손쉽게 하였다.

ABSTRACT

The use of meteorological information is essential in the industrial society. More specialized weather services are required to perform better industrial activities including forestry. A topoclimatological technique, in this study, which makes use of empirical relationships between the topography and the weather in Cheju Island was applied to produce reasonable estimates of monthly air temperatures over remote land area where routine observations are rare.

Altitude values of the 250m grid points were first read from a 1 : 25000 topographic map. The mean altitude and other valuable topographical variables were then determined for each 1 km² land area. Daily minimum, maximum and mean air temperature data were collected from 19 points in Cheju Island from June 1987 to September 1988. The data were analyzed and grouped into 36 sets by type of air temperature and by month. Each of data set was regressed to the topographical variables to delineate empirical relationships between the local air temperature and the site topography. The total of 36 regression equations were finally selected and the equations were used to calculate the monthly air temperature for each 1 km² land area. The outputs were presented in a fine-mesh grid map with a 6-level contour capability.

Key words : topoclimatological technique, mesh grid, forward selection method.

¹ 接受 1992年 1月 17日 Received on January 17, 1992.

² 慶熙大學校 食糧資源開發研究所 Institute of Food Development, Kyung Hee University.

* 本 研究는 1991年度 科學技術處 特定課題(濟州地域 農業氣象 情報시스템의 開發 및 利用)로 遂行된 結果의 일부임.

緒 論

林木의 生長은 그 林木이 자라고 있는 環境에 의하여 많은 影響을 받는데 그 중에서 氣象因子는 人爲的인 調節이 거의 不可能한 狀態이다. 따라서 效率的인 林業活動을 위하여는 對象 地域의 局地的 氣象條件을 考慮한 計劃의 樹立이 必要하다. 이러한 計劃을 통해 樹種에 따른 林木의 敵地判斷과 緯度 및 地理的 條件을 考慮한 樹種別 造林限界의 設定 등이 보다 合理的으로 決定될 수 있다. 또한 氣象條件을 考慮한 이러한 計劃에 의하여 植生의 構造 및 遷移過程의 變化 豫測 등도 可能할 것으로 보인다.

우리나라의 氣象情報의 生産과 利用의 最優先 目標은 주로 正確한 日氣豫報를 통한 氣象關聯 災害의 最小化에 있기 때문에 廣域의 區分이 보통이다. 이러한 區分을 林業에 適用하기에는 너무 包括的이고 實用的이지 못한 것이 事實이며 실제로 林業에 대한 氣象因子의 適用은 森林帶를 年平均 氣溫에 의하여 區分하는 水準⁷⁾에 머물러 있었다. 그러나 오늘날의 細分化된 産業社會에서는 各 分野의 專門 氣象情報의 活用이 要求되고 있고 이러한 傾向은 林業에서도 마찬가지이다.

林業에서의 專門 氣象情報은 무엇보다도 먼저 山林의 局地的인 氣象現狀의 把握이 必需的이나 正規 氣象觀測網을 통하여는 局地 氣候의 把握이 용이하지 못한 實情이다. 따라서 여러가지 局地 氣候에 影響을 미치는 要因중에서 比較的 資料의 收集이 용이하고 定量化가 可能한 地形因子를 利用한 氣候推定에 관한 研究가 최근 遂行되어 왔다.

이러한 地形-氣候 推定 研究는 주로 農業 分野를 中心으로 遂行되어 왔는데 初期 段階에서는 地形因子를 地圖로부터 手作業에 의하여 判讀함으로써 얻어져 많은 努力에도 불구하고 實用的이지 못하였다. 또한 研究의 內容도 地形因子와 氣候資料의 相關關係를 밝히는 初步的인 水準에 머물렀다¹¹⁾. 그러나 1970년대 中반 日本 氣象廳이 全國土의 地形資料를 토대로 1km² 單位로 主要 기후값을 生産, 提供함으로써 이 分野의 研究는 괘목할 만한 發展을 하였다. ‘그물망’(Mesh) 氣候圖라 불리는 이 格子型 氣候情報시스템은 無人自動氣象觀測所로 부터 얻어진 氣象資料와 國

土廳의 250m 間隔 全國土 海拔高度 資料사이의 重回歸 關係를 통한 客觀的 方法을 利用하여 任意의 未觀測 地點의 기후값을 推定하여 日本內 많은 地方의 産業分野에서 實用化되고 있는 實情이다¹³⁾. 이 電算化된 資料를 利用하여 Nakai (1987)는 任意의 未觀測 地點의 기후값과 地形的, 地理的 因子와의 重回歸 關係를 통한 客觀的 推定 方法을 試圖한 바 있다.

우리나라의 林業 分野의 境遇는 盧(1983, 1988)에 의하여 主要 山林樹種의 生育 範圍 및 適地適樹 判斷을 위한 基礎 資料의 提供을 위하여 몇가지 基本的인 地形資料와 氣象因子와의 關係가 細明된 바 있으나 格子型 氣象情報보다는 다소 包括的인 것이 사실이며 使用된 地形因子도 小數로 制限되어 있다.

地形-氣候關係를 利用한 氣候情報 시스템의 開發은 우리나라의 境遇 正規 氣象觀測網의 不足으로 인한 資料의 貧困으로 다소 어려운 實情이다. 그러나 濟州道에서는 1987-1988年의 期間동안 正規 氣象觀測所, 農業械關 氣象觀測所, 그리고 氣象研究所 委託觀測所 등에서 位置別, 標高別로 21個 地點에서 氣溫, 降水量 등 基本要素를 觀測^{2,3)} 하였으므로 本 研究는 濟州道를 對象으로 이 시스템을 適用하였다. 따라서 本 研究는 먼저 收集된 氣象資料와 濟州道 全地域을 1km² 單位로 定量化한 地形資料를 利用하여 多樣한 地形因子의 定量化 方法을 提示하고 그 定量化된 地形因子에 의하여 局地氣候 形成에 重要한 變數인 月別 最低氣溫, 平均氣溫, 그리고 最高氣溫의 總 36個 推定式을 開發함으로써 格子型 氣溫分布圖 作成을 위하여 實行되었다.

材料 및 方法

1. 氣溫資料의 收集

地形特性에 의하여 任意 地域의 기온값을 推定할 경우 그 正確度を 높이기 위하여는 氣溫資料를 收集하는 觀測所들이 分析 對象地域 全體를 代表하도록 地形的, 地理的으로 多樣한 곳에 골고루 設置되어야 하는 것이 重要하다. 또한 可能하면 長期間의 累積된 氣溫資料가 必要하다. 濟州道에는 正規 氣象觀測을 통해 最小한 15年 以上の 累積 氣溫資料의 收集이 可能한 地點은 聚落이 發達한 海岸線을 따라 5個의 地域에(제주,

서귀포, 제주공항, 성산포, 대정) 分布되어 있다.

이들 5個 地域은 地形因子들 가운데 氣溫에 影響을 주는 가장 重要한 要素의 하나인 海拔高度가 100m 以內 이므로 濟州道 全體 海拔고도 範圍 1950m의 5% 水準에 머무르고 있다. 따라서 이들 正規 氣象觀測所의 資料만으로는 道全域을 망라하는 地形-氣溫 特性을 導出하는 것이 不可可能하여 補助資料의 必要性이 생긴다.

직접 利用할 수 있는 補助資料는 農村振興廳 所屬機關에서 運營하는 2個所의 自動化 農業氣象觀測所와 제동홍산(주) 所有 제동목장 氣象觀測所로 부터의 氣溫資料가 있다. 이 밖에 제주도 농촌진흥원에서 한라산 中山間地帶 農業資源 開發을 위한 事前 氣候調查 目的으로 設置 運營중인 6개소의 簡易 氣象觀測所의 資料가 있으며 제주시 및 북제주군 農村指導所 등 指導機關에서 管理하는 簡易 氣象觀測所 資料도 利用 可能하다. 이상의 正規 및 補助 氣象資料 外에 地形特性의 多樣性을 最大한 얻기 위하여 기상연구소에서 設置하고 제주측후소에서 管理하는 6個 簡易 氣象觀測所 資料를 追加하였다.

本 研究에서 使用된 氣溫資料는 위에서 言及한 總 21個의 氣象觀測所 가운데 使用 可能한 19개 觀측소로 부터 1987년 6월 부터 1988년 9월까지

總 16個月間 每 6時間 間隔으로 氣溫 資料를 收集하여 日最低氣溫의 月 平均값, 日最高氣溫의 月 平均값, 그리고 月 平均氣溫을 整理하였다. 두해에 걸쳐 重複되는 6월 부터 9월까지의 4개월의 값은 算術 平均값으로 대신하였다. 本 研究의 氣溫資料가 收集된 氣象觀測所의 位置와 간단한 說明이 Fig. 1과 Table 1에 要約되어 있다.

2. 地形特性의 定量化

本 研究의 窮極의 目標은 濟州道 全域을 四方 1 km의 正方形 格子로 分割하여 各 格子에 該當하는 1km²(약 30만평)의 토지가 갖는 地形特性으로부터 각 격자의 微氣候 特性을 推定하고자 하는 것이다. 이를 위하여 使用된 地形因子는 기

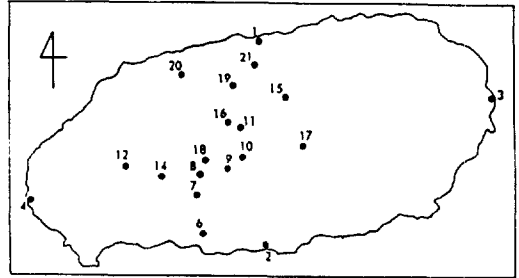


Fig. 1. Location of the data collecting sites in Cheju Island.

Table 1. Description of the weather stations and observation sites from which the meteorological and topographical data were collected.

No.	Station code	Description	Altitude (m)	Remarks
1	CHEJU	제주측후소	22	종합기상관측
2	SOGWIPO	서귀포 기상관측소	52	
3	SONGSAN	성산포 기상관측소	11	
4	KOSAN	고층 레이더측후소	72	
20	ORDSTN	도진홍원상귀시험포	107	농업기상관측
21	EXPSTN	제주시험장	190	
12	ISIDORE	이시돌목장	343	농진청소속기관
14	KWANGPNG	광평리 새마을회관	508	간이 기상관측
15	COLLEGE	제주 전문대학	457	
16	KONAENG	고냉지 시험지	720	
17	SONGPAN	성판악 휴계소	760	
18	P1100	1100 휴계소	1085	
19	LIVESTOK	축산개발 사업소	293	
6	HAWON	하원 국민학교	102	기상연구소취탁
7	RANCH	염소 목장	650	기상 관측
8	WOOSUNG	우성 산업	902	
9	YONGSIL	영실 대피소	1248	
10	P1700	윗세오름대피소	1700	
11	ORIMOK	어리목 대피소	957	

Table 2. Topographical variables used in the multiple regression analysis of monthly climatic normals of air temperature.

지형인자	기호	단위	비고	
해발고도	Z	m	1km* Mesh 내의 250m 표고로 부터	
경사방향	ASP	1-8	계산한 지형인자	
X-좌표	X	숫자	지리적 인자	
Y-좌표	Y	숫자		
해안거리	CODI	km		
평균고도	AVAL(R)	m	1km ² Mesh 해발 고도로 계산한	
표고차	ELDI(R)	m		
육도	LDR(R)	%	지형인자	
개방도	OPM2(R)	%		
	OPM1(R)	%		
	OPM0(R)	%		
	OPP1(R)	%		
	OPP2(R)	%		
	방위별개방도	OPEM2(R)-OPEP2(R)	%	
		OPWM2(R)-OPWP2(R)	%	
OPSM2(R)-OPSP2(R)		%		
OPNM2(R)-OPNP2(R)		%		
평균경사 I	AVG1(R)	m/km		
평균경사 II	AVG2(R)	m/km		
평균개방도	AVOP(R)	m		

* (R)이 포함된 지형인자는 반경 R을 1, 2, 3, 4 그리고 5km의 5영역으로 변화시켜 가면서 구하였다.

존의 研究 結果들을^{1,6)} 參考하여 기온값에 影響을 미치는 地形因자를 Table 2와 같이 設定하였다. 이들 지형인자는 총 13種類 170個로서 各 地形因자의 定量化 方法은 다음과 같다.

(1) 250m 格子點 海拔高度 判讀

國立地理院 發刊 1 : 25,000 濟州地形도를 購入하여 濟州道 남서쪽 海상에 位置한 地圖上的 基

準點으로부터 동쪽 및 북쪽으로 1cm(실제거리 250m) 間隔의 垂直線을 作圖하여 그 交叉點의 海拔고도를 肉眼으로 判讀, 記錄하였다. 濟州道는 남북길이 43km, 동서길이 75km의 長方形 座標平面에 완전히 包含되므로 이와같이 判讀된 格子點의 數는 모두 51,600個였다. 따라서 1km² 基準의 格子平面에는 16個의 250m 單位 格子點이 包含되어 있다(Fig. 2).

(2) 1km² 基準 格子의 平均 海拔高度의 計算과 基準 格子의 X-Y 좌표값

各 基準 格子의 平均 海拔高度는 1 km²의 格子內에 包含된 16個의 格子點 海拔 高度를 算術 平均하여 求하였다. 이때 基準格子의 X-Y 좌표값은 이 16개 格子點 가운데 左側上段에 該當하는 格子點의 地形圖上 基準點으로부터의 距離로 代表하였다. 이 過程에서 總 3,225個(43×75)의 觀測值로 이루어진 基準格子 海拔高度 화일이 만들어 졌으며, 各 관측치는 X 좌표(km), Y 좌표(km), 그리고 平均 海拔高度(m)로 構成되어 있다. 이 화일을 토대로 컴퓨터 그래픽을 利用하여 作圖한 3次元 地形圖는 Fig.3에 나타나 있다.

(3) 海岸距離

해안거리는 各 基準格子로부터 가장 가까운 海

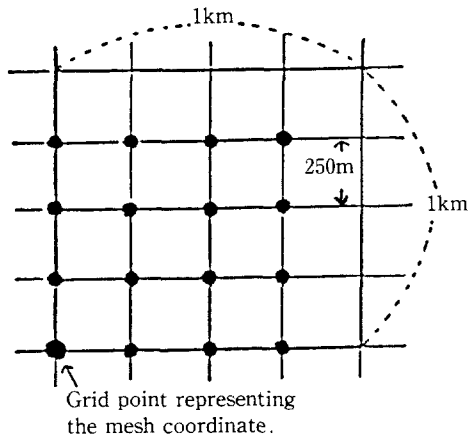


Fig. 2. The 16 within-mesh grid points which are used to calculate the basic topographical values for a given mesh.

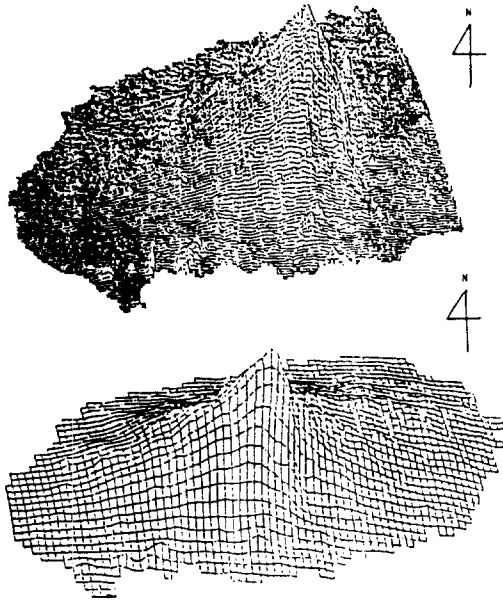


Fig. 3. The 3-dimensional graphic outputs of the topographical characteristics based on the 250m and 1km grid point data.

岸까지의 直線距離에 의하여 計算되었다. 즉, 各 基準格子의 X, Y 座標로부터 平均 海拔高度 0을 갖는 모든 座標까지의 直線距離를 計算하여 그중에서 最小值를 취하여 各 基準格子의 海岸距離로 삼았으며 그 計算 方法은 다음과 같다.

$$CODI_i = \{(X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2\}^{1/2}$$

여기에서 $CODI_i$ 는 平均 海拔高度 0을 갖는 i 번째 座標의 海岸距離이고 X, Y 는 基準格子의 X, Y 좌표, 그리고 X_1, Y_1 는 海拔高度 0을 갖는 i 번째 격자의 X, Y 座標이다. 이렇게 기준격자에

대하여 計算된 여러개의 $CODI$ 중에서 最小값을 취하면 그것이 그 該當 基準格子의 海岸距離이다.

(4) 平均高度

한변이 $(2R+1)$ 개의 mesh로 構成된 正方形 內에 있는 各 mesh의 平均 海拔高度의 平均値에 의하여 計算되었다. 여기서 R 은 1, 2, 3, 4, 5 km의 5領域으로 變化시켜 가면서 求하였다. 半徑 R 의 變化에 따른 包含 格子數의 變化 圖面은 Fig. 4에 나타나 있다.

(5) 標高差

한변이 $(2R+1)$ 개의 mesh로 構成된 正方形 內에서 平均 海拔高度의 最大值와 中心 mesh의 平均 海拔高度의 差異로서 R 을 1km에서 5km까지 變化시켜 가면서 구하였다.

(6) 陸度

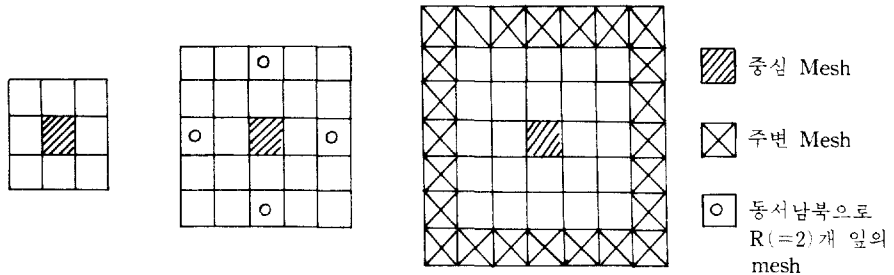
한변이 $(2R+1)$ 개의 mesh로 構成된 正方形 內에서 平均 海拔高度가 0보다 큰 mesh가 차지하는 比率을 %로 表示하였다.

(7) 開放度

中心 mesh를 둘러싼 $(2R+1)^2 - 1$ 개의 mesh 중에서 중심 mesh의 平均 海拔高度보다 각각 $-200m, -100m, 0m, +100m, +200m$ 以上 높지 않은 mesh의 比率을 R 을 1에서 5까지 變化시켜 가면서 各 基準格子別로 總 25個의 開放度を 計算하였다.

(8) 方位別 開放度

위의 開放度を 좀더 細分하여 東西南北의 各方位別로 R 개의 mesh를 취한 正方形의 周邊 mesh에서 中心 mesh의 平均 海拔高度보다 각



R	1	2	3	R
Mesh의 수	9	25	49	$(2R+1)^2$
주변 Mesh의 수	8	16	24	$8R$

Fig. 4. Conceptual diagrams for topographical parameter calculation.

각 -200m, -100m, 0m, +100m, +200m 以上 높지 않은 mesh의 比率로서 R을 5km까지 總 100個를 各 基準 格子別로 구하였다.

(9) 平均開放度

中心 mesh를 둘러싼 $(2R+1)^2$ 개의 平均高度와 中心 mesh의 標高와의 差를 R을 1에서 5km까지 變化시키면서 구하였다.

(10) 平均傾斜 I

平均傾斜 I은 南北方向 海拔高度差와 東西方向 海拔高度差의 平均이다. Rkm 떨어진 두 格子點으로부터 平均경사 I을 구하려면

$$AVG1 = \{ (Z[I+R, J] - Z[I-R, J])^2 + (Z[I, J+R] - Z[I, J-R])^2 \}^{0.5} / 2R$$

에 의하여 計算할 수 있다. 여기에서 AVG1은 平均경사 I을 말하고 $Z[I+R, J]$, $Z[I-R, J]$ 는 基準格子 $[I, J]$ 로 부터 각각 南쪽으로 Rkm, 북쪽으로 Rkm 떨어진 基準格子의 平均 海拔高度이며, $Z[I, J+R]$, $Z[I, J-R]$ 은 각각 東쪽으로 Rkm, 서쪽으로 Rkm 떨어진 基準格子의 平均 海拔高度이다.

(11) 平均傾斜 II

平均傾斜 II는 위의 平均경사 I에서 平均 海拔高度 대신에 平均高度를 利用하여 計算하였다.

(12) 傾斜方向

基準格子의 傾斜方向은 먼저 기준격자를 通過하는 直線을 隣接格子點 사이에 作圖 하고 이 4개의 直線이 갖는 傾斜度를 計算한 다음, 이들 가운데 가장 큰 값이 어떤 方向인지 찾아서 그 방향을 基準格子의 傾斜方向으로 삼았다. 경사방향은 북동, 동, 남동, 남, 남서, 서, 북서 그리고 북향을 각각 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 및 8로 數值化 하였다.

3. 地形-氣候 多重 線型回歸式의 作成

(1) 候補 地形因子의 選定

Table 2에서 設定된 地形因子는 半徑 R을 1 km에서 5km까지 變化시켜서 구하여 總 170개나 되고 또한 全體 變數들 間に 內部相關(collinearity)도 매우 높을 可能性이 많은 點을 考慮하여 各 月別의 氣候值(最低, 平均, 最高)들과의 單純 相關을 구하여 相關係數의 絕對值가 가장 큰 地形因子 9개 만을 制限하여 候補 地形 因子로 選定하였다. 이는 氣候資料 收集 可能 觀測所의 數가 19개소임을 考慮한 것이다. 이 過程에서 半徑

R에 따라 달라지는 같은 種類의 地形因子는 아무리 상관계수가 높은 것이 2개 以上 있다 하더라도 候補 地形因子에 1개 만을 選定하였다.

(2) 多重 線型回歸 分析

여러가지 다른 地形因子들로부터 局地的인 氣候特性을 豫測, 推定하기 위하여는 地形因子의 變化에 따른 氣候特性의 反應을 連結짓는 한개의 數式이 必要하다. 統計學에서 使用되는 回歸는 2개 以上の 變數들간의 關係式을 찾아내고 이 關係式의 精度(precision) 등을 檢討하는 方法을 말한다. 윤 등(1989)은 5개의 基本的인 地形因子의 1차형, 2차형, 그리고 그 因子들의 相互作用 등 20개의 變數를 利用하여 多重回歸 技法에 의하여 濟州道 氣候特性을 數式化한 바 있다.

그러나 本 研究에서는 基本的인 地形因子 외에도 거의 모든 可能的인 地形因子를 數值化하여 獨立變數로 使用하였기 때문에 地形因子의 變化에 따라 나타나는 氣候 特性의 發현을 直線的인 影響만을 考慮하여 地形因子 값의 1차형 만을 使用하여 數值化하였다. 따라서 앞에서 1차로 選定된 候補 地形因子와 氣候值와의 多重 回歸式은 다음과 같이 表現할 수 있다.

$$Y = \beta X + e$$

여기에서 Y = 各 觀測所의 氣候值 vector

X = 各 觀測所의 地形資料 matrix

β = 重回歸係數 vector

e = 殘差의 vector

위의 重回歸式의 回歸係數를 推定하기 위하여 널리 알려진 最小自乘法(Least Square Estimation Method)을 利用하였다. 卽, 殘差(Residual)의 自乘合(Sum of Squares)을 最小化하는 回歸係數의 集合을 選擇하였다. 한편 앞에서 月別 氣候 값에 대하여 選定된 19個의 候補 地形因子를 모두 回歸式의 說明變數로 하는 境遇 기후 값에 影響度가 微微한 地形因子도 同時에 包含되어 推定度가 떨어지고 推定式이 지나치게 複雜해지는 問題點이 있다. 따라서 本 研究에서는 많은 潜在的인 地形因子 가운데 月別, 氣候別로 最適 獨立變數의 組合을 選擇하기 위하여 여러가지 最適 多重 回歸 模型을 檢索하는 方法 중에서 前向選擇法(Forward Selection method)을 利用하여 變數選擇과 回歸係數를 推定하였다.

前向選擇法은 最初 模型에 아무런 獨立變數가 없이 始作하여 하나 하나의 독립變數들에 대하여

Table 3. Primary topographical data for the 1 km²-grid meshes where the weather data were obtained.

STATION	X	Y	Z	CODI	AVAL(5)	ELDI(1)	LDR(5)	AVG1(1)
CHEJU	35	37	3.8	1.0	45.5	40.4	55	14.8
SOGWIPO	39	7	41.1	1.4	89.3	34.6	63	35.1
SONGSAN	71	30	17.0	2.2	30.8	18.4	66	16.0
KOSAN	2	12	14.6	1.0	24.3	4.5	78	10.8
ORDSTN	24	30	136.8	5.0	178.5	73.1	90	58.4
EXPSTN	35	31	206.3	7.0	262.4	74.2	100	51.1
ISIDORE	17	18	348.7	10.6	306.4	33.9	100	27.6
KWANGPNG	22	16	495.6	10.2	463.3	76.5	100	68.1
COLLEGE	40	28	495.6	10.2	530.0	93.4	100	84.5
KONAENG	32	25	703.6	11.4	747.6	295.3	100	21.6
SONGPAN	44	22	768.0	13.6	692.9	97.6	100	62.9
P1100	29	19	1040.2	13.6	884.5	66.3	100	70.2
LIVESTOK	32	29	309.7	7.6	366.1	105.7	100	71.2
HAWON	29	8	106.1	3.0	164.3	66.2	75	55.7
RANCH	28	14	616.3	8.5	579.4	133.8	100	104.7
WOOSUNG	29	16	857.0	10.8	770.5	129.9	100	100.8
YONGSIL	33	18	1276.6	13.2	1044.2	322.6	100	193.6
P1700	35	20	1705.0	14.9	1108.6	115.8	100	104.7
ORIMOK	32	23	950.9	13.3	252.4	555.4	100	81.2

變數가 模型에 包含될 境遇의 寄與度를 나타내는 F 값을 計算해 보고, 增加하면 模型에 包含시키고 減少하면 除外시키는 方法으로 미리 정해둔 有意水準에 到達할 때까지 이 過程이 계속되어 最終의인 選擇變數가 決定된다. 이를 위하여 本 研究에서는 SAS(Statistical Analysis System) Package의 Regression Procedure의 Forward Selection을 利用하였으며 變數의 stay level은 0.2(SLE=0.2)로 하였다.

이와같이 完成된 月別, 氣候別 36個의 多重回歸式에 대하여 多重共線(multi collinearity) 問題點이 있는지를 點檢하였다. 多重共線이란 다중 회귀식의 獨立變數들 間에 높은 相關關係를 갖는 變數가 包含될 경우 그 模型이 커다란 變異를 가져서 豫測能力이 떨어지는 現狀을 말한다. 많은 독립變數를 갖는 多重 直線回歸式에서 흔히 볼 수 있는 이 현상은 여러가지 方法에 의하여 點檢할 수 있고 또한 最小自乘法이 아닌 다른 回歸係數 推定 方法에 의하여 그 問題點을 解決할 수 있다¹⁴⁾. 本 研究에서는 이를 檢證하기 위하여 SAS의 Regression Procedure에서 VIF(Variance Inflation factor) option을 使用하였다.

一般的으로 이미 開發되어 利用되는 模型에 어느 特定 data를 適用할 때 그 模型에 多重共線이

發見되면 그 模型의 모든 獨立變數의 特性을 살리기 위하여 Ridge Regression과 같은 다른 推定方法을 使用한다. 그러나 本 研究에서와 같이 比較的 많은 地形變數가 독립變數로 使用되었고 아직 開發 段階에 있는 模型에 多重共線이 있으면 그 該當 變數를 除外시켜 問題를 解決하는 것이 便利한 方法이다. 따라서 위의 檢證 方法에 의하여 多重共線을 나타낸 變數는 그 模型에서 除去한 후 그 模型을 最終 地形-氣候 關係式으로 看做하였다.

이상의 方法을 통하여 濟州道 地形因子와 氣候 觀측값을 適用하기 위하여 먼저 19개 氣候 觀測 地點이 包含된 X-Y 座標點 및 기타 地形資料 化 일을 作成하였다. Table 3은 X-Y 座標를 포함한 19개 氣候 觀測 地點別 몇가지 地形因子의 內容을 보여주고 있다.

4. 格子型 地形氣候圖 作成

위의 多重回歸 方法에 의하여 完成된 36個 地形-氣候 關係式을 利用하면 濟州道 내의 모든 1 km²의 基準格子에 대하여 月別 日最低 氣溫의 月平均, 日最高 氣溫의 月平均, 그리고 月平均 氣溫 推定值를 算出해낼 수 있다. 이미 濟州도 全域의 地形 因子의 定量化가 이루어져 있으므로 各 基準格子의 地形因子를 이 關係式에 代入하면

제주도 전역을 포함한 地形氣候圖를 作成할 수 있다. 卽, 주어진 格子의 X-Y 座標와 計算에 의하여 산출된 氣候推定值로 이루어진 資料 화일을 根據로 二次元 혹은 三次元 地形氣候圖를 作成할 수 있다. 지형기후도 작성을 위하여 本 研究에서는 SAS/GRAPH 소프트웨어를 利用하였으며 Dot Matrix 프린터로 出力하였다. 만일 Color 그래픽이 可能한 컴퓨터 시스템을 가지고 있는 地形氣候圖 使用者는 本 소프트웨어를 利用하여 多樣한 Color Hardcopy도 作成할 수 있을 것이다. 本 研究에서는 흑백 프린터를 利用하여 全體 氣候推定值 變異를 6段階의 濃淡水準에 맞추어 出力시켰다.

結果 및 考察

1. 觀測地點에서의 濟州道 氣溫 分布

濟州地方의 氣候는 韓半島의 氣候와 뚜렷한 差異를 보이는데 그 基準이 되는 資料로서 남, 북쪽 海岸에 가까이 位置한 서귀포와 제주측후소의 관측값이 使用되어 왔다^{8,9)}. 이와같은 基準은 現在와 같이 道 全域이 各種 經濟 活動의 對象이 되고 각종 產業活動으로 인한 各 地域의 微氣候에 대한 關心이 增大되고 있는 現實에서는 좀더 細密한 局地的 氣候情報의 必要性을 느끼고 있기 때문에 충분치 않은 實情이다. 그렇다면 濟州道 全域의 平均의인 氣候特性, 그리고 어떤 特定地域의 氣候特性은 제주지방 기후의 資料로 알려진 서귀포와 濟州의 기후특성과 얼마나 差異가 있는 지가 分析되어야 한다.

濟州道는 南北方向으로 40km 未滿이면서 垂直的인 高度의 差異가 1950m에 달하여 高度에 따라 氣候가 현저히 달라진다. 全體 觀測點은 海岸地域으로부터 1700m의 高山地域까지 比較的 골고루 分布되어(Table 1) 高度에 따른 道內 氣溫 差를 잘 說明해 줄 수 있었다. 氣候 觀測資料를 收集한 19개 지점의 算術平均 기온값은 제주와 서귀포의 기온값과 3-6도의 偏差를 보였는데 이는 調査된 3가지 기온값에서 同一하게 나타났다. 觀測 地點別 氣溫의 變異도 濟州道의 面積을 考慮할 때 크게 나타났는데 특히 여름철보다는 겨울철의 氣溫差가 더 두드러졌다. 海拔 1248m인 영실대피소(YONGSIL)의 氣溫은 겨울철 氣候가 海岸氣候보다 10도 以上 낮게 觀測되었다. 濟州

道는 面積이 작고 地形이 比較的 單純한 것을 考慮할 때 局地的인 氣候 形成에 海拔高度 등 地形의 影響이 至大함을 알 수 있다.

2. 地形-氣溫 豫測 模型

月別 기온값에 대하여 相對的으로 높은 單純相關을 보이는 候補 地形因子를 說明變數로 하여 SAS의 Forward Selection Method(SLE=0.2)에 의하여 選擇된 變數의 回歸係數를 推定한 結果는 Table 4-6와 같다. 特異한 事項은 各 mesh의 座標를 나타내는 X, Y 變數가 36개의 模型에서 하나도 採擇되지 않은 事實이다. 특히 緯度를 나타내는 Y-좌표도 選擇되지 않았는데 緯度 單獨보다는 다른 變數와의 相互作用(例를 들어 緯度-海拔高度)이 더 氣溫에 影響을 미치는 것으로 생각된다. 模型의 豫測 能力을 低下시키는 多重 共線을 選擇된 地形因子에 대하여 點檢해 본 結果 36개의 모든 模型에서 問題가 없는 것으로 判明되었다. 卽, 重回歸 技法의 Forward Selection Method에 의하여 일단 選擇된 地形因子는 比較的 서로간에 낮은 相關을 보여 模型의 說明 變數로서 重複되는 役割을 하지 않음을 알 수 있었다. 1월의 月平均 氣溫의 境遇 8개의 地形因子를 說明變數로 選擇하여 상당한 多重共線의 可能性을 가질 것으로 思料되었으나 實際는 그렇지 못하였다. 그 理由는 2가지로 說明될 수 있을 것인데 첫째는 Forward Selection method의 變數 選擇 過程에서 어느 程度 그 問題點을 除去한 것으로 생각되고 다른 하나는 使用된 地形因子의 變數가 2차형이나 相互作用이 아니고 단지 1차형만을 使用하여 그 可能性을 어느정도 解消한 것으로 看做된다.

3. 地形-氣溫 分析에 의한 格子型 氣溫分布 圖 作成

(1) 日 最低氣溫의 月 평균값(月平均 最低 氣溫)

最低氣溫 資料는 樹種의 耐寒性 側面에서는 必需的인 氣象情報이다. 특히 日 最低氣溫은 다른 氣溫보다 相對的으로 더 地形因子의 影響을 받는 것으로 알려져 있다. Table 4에서 보는 바와같이 推定에 選擇된 全體 變數는 14개, 그리고 月別로 2-6개 였으며 重回歸式의 決定係數 R^2 는 0.57에서 0.98의 範圍를, 그리고 誤差의 平均 平方

Table 4. Multiple regression coefficients of topographical parameters to climatic normal of minimum temperature.

Parameter	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
INTERCEPT	-26.2275	-26.5978	-0.0124	-0.1717	0.5964	0.0463	0.9148	-0.2511	-0.8107	5.6434	6.6942	0.1216
Z			-0.0095	-0.0046	-0.0034	-0.0036	-0.0036	-0.9500	-0.0089	-0.0097	-0.0141	-0.0109
CODI				-0.1376	0.1927	0.1247	-0.1419			-0.0295		
AVAL(5)				-0.0456						-0.0908	-0.0998	-0.0763
ELDI(1)										0.0246		
LDR(5)												
OPM1(5)	0.0705									0.0284		
OPP1(2)	0.1318									-0.0657	-0.0715	
OPP2(3)		0.1738										
OPEP2(3)		0.0878										
OPSM1(1)								0.0400				-0.0261
OPNMI(2)												
AVG1(1)												
AVG1(2)			0.1202					0.0665	0.1421	0.0615	-0.0206	0.1847
AVG2(5)	-0.1009											
RMSE	1.27	1.46	1.70	1.83	2.09	1.04	1.13	0.98	1.67	0.53	0.91	0.90
R ²	0.89	0.85	0.77	0.69	0.57	0.82	0.79	0.91	0.74	0.98	0.95	0.94

Table 5. Multiple regression coefficients of topographical parameters to climatic normal of maximum temperature.

Parameter	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
INTERCEPT	-6.6774	0.1202	0.6770	0.4397	-0.4906	0.3484	-0.1632	0.0057	-1.4223	6.4996	0.1673	0.7583
Z	-0.0070	-0.0074	-0.0054	0.0066	0.0030	-0.0042	-0.0042	-0.0074	-0.0046		-0.1052	-0.0060
CODI	0.0719	0.1374				0.0716				-0.0966		
AVAL(5)		-0.0589										
ELDI(1)			-0.0378	-0.0969						-0.0619		0.0489
LDR(5)												
OPM2(5)										-0.0364		
OPP1(1)	0.0645											
OPWM2(4)	-0.0803											
OPWM1(2)										-0.0324	-0.0325	
OPNM2(5)	-0.0550							-0.0249				
AVG1(1)											0.0394	-0.2195
AVG1(2)								0.0925		-0.2809		
AVG2(2)	0.2396											
AVOP(5)			0.1335									
RMSE	1.11	1.41	1.83	1.51	2.12	1.25	1.33	1.04	2.14	1.41	1.15	1.44
R ²	0.95	0.88	0.76	0.81	0.32	0.77	0.71	0.91	0.53	0.80	0.91	0.89

根(RMSE)은 0.9-2.09度로서 比較的 推定精度가 높았다. 5월의 경우가 비교적 推定精度가 낮았는데 R^2 가 0.57, RMSE는 2.09度였다.

海拔高度는 1, 2월을 除外하고 모든 달에서 最低氣溫의 說明變數로 採擇되었는데 海拔高度의 回歸係數로 判斷해 보면 海拔高度에 따른 氣溫減率은 1,000m 當 3.4-14.1度の 範圍에서 變하였으며 4월-7월은 氣溫減率이 적었고 겨울철에 가장 큰 것으로 나타났다. 4-7월이 다른 달에 比하여 海拔高度에 따른 氣溫減率이 相對的으로 적었지만 오직 이 4달에서만 海岸距離(CODI) 變數를 採擇하여 海岸에서 距離가 멀수록 氣溫의 下落의 要因이 됨을 알 수 있었다. 그 밖에 많이 採用된 因子는 平均傾斜(AVG)로서 3월과 8-12월에 選擇되었는데 南北과 東西의 海拔高度 平均의 差가 클수록 最低氣溫의 上昇 要因으로 作用하고 있음을 알 수 있었다. 月別 12개의 格子型 氣溫分布圖가 作成되었는데 Fig. 5는 2월의 最低氣溫 分布를 나타내는 例로서 -8에서 2도까지의 分布를 보이고 있다.

(2) 日 最高氣溫의 月 平均값(月平均 最高氣溫)

最高氣溫의 豫測도 病蟲害 防除 등의 氣象情報의 귀중한 資料로 使用되는데 地形 因子를 利用한 月別 最高氣溫의 豫測 模型式은 Table 5에 나타나 있으며 그 式에 의한 1월의 格子型 氣溫 分布圖는 Fig. 6에 나타나 있다. 最高氣溫의 推定에 使用된 全體 地形變數의 數는 15個, 그리고 月別로 1-6個인데 5, 7, 9월은 海拔高度(AVAL) 하나의 變數만으로 最高氣溫을 豫測할 수 있었

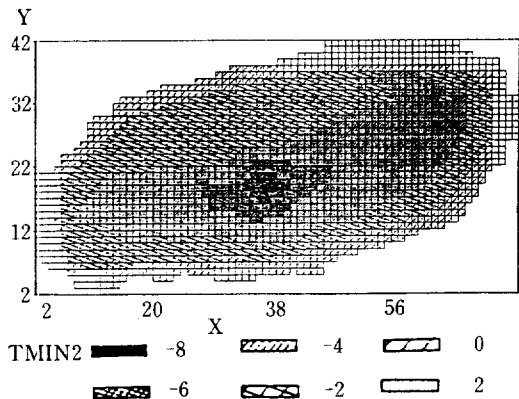


Fig. 5. Monthly average pattern of daily minimum temperature for February expressed on 1 km² mesh grid scale.

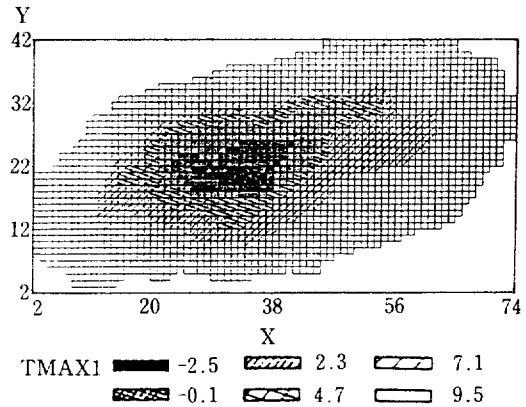


Fig. 6. Monthly average pattern of daily maximum temperature for January expressed on 1 km² mesh grid scale.

다.

그러나 模型의 決定係數 R^2 는 0.32-0.95, 그리고 RMSE는 1.04-2.14度로서 最低氣溫보다 推定精度가 多少 떨어지는 傾向이 있었다. 특히 海拔高度 하나의 地形因子만을 採擇한 5월과 9월이 가장 推定精度가 낮았으며 겨울철은 3-6개의 變數를 選擇하여 決定係數가 0.89-0.95로서 상당히 높은 推定精度를 보였다.

最低氣溫과 마찬가지로 海拔高度가 가장 많은 달에서 採擇된 變數였는데 10월과 11월을 除外하고는 모두 採擇되었다. 이 變數의 係數에 의하면 海拔高度에 의한 氣溫減率은 1,000m 當 3.0-7.4度로서 最低氣溫에 比하여 훨씬 變異의 幅이 좁음을 알 수 있었다. 다시말하여 最高氣溫은 最低氣溫에 比하여 海拔高度가 上昇하더라도 氣溫의 減少가 比較的 적음을 알 수 있었다. 氣溫의 減少 要因으로 作用하는 海岸距離가 두번째로 많은 달에서 採擇되었으나 最低氣溫에서와는 달리 어떤 일정한 傾向을 보이지 않았고 다만 11월에 海拔高度 대신 採擇된 것이 最低氣溫에서와 같은 傾向이었다.

(3) 月 平均氣溫

分析에 使用된 資料는 1987년 6월 부터 1988년 9월 까지 16개월간 19개 觀測 地點에서 每 6時間마다 얻은 기온값의 월별 算術平均이다. Table 6 에서 보는바와 같이 全體 22개의 地形因子가 月 平均氣溫의 豫測에 使用되어 最低氣溫이나 最高氣溫보다 훨씬 많은 因子가 月 平均氣溫에 影響을 미치고 있음을 알 수 있었다. 月別로는 3,

Table 6. Multiple regression coefficients of topographical parameters to climatic normal of average temperature.

Parameter	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
INTERCEPT	4.6873	0.2701	-0.2156	-23.4601	-0.0713	-0.2383	0.2218	1.6370	0.0943	3.8072	6.2636	-9.2344
Z	-0.0108	-0.0078	0.0098		-0.0025	-0.0042	-0.0041	-0.0067	-0.0064	-0.0035	-0.0065	-0.0126
CODI		-0.1183					-0.1997			0.1627		
AVAL(5)							-0.1997	-0.0254		-0.1627		
ELDI(1)										-0.0610		
ELDI(2)	-0.0355	0.0443					0.0186			0.0381		0.0232
LDR(5)	-0.0112					-0.0309						
OPM2(5)												
OPM1(4)				-0.0814	-0.0784							
OPM1(5)	-0.0837										-0.0556	0.0875
OPP1(1)												
OPP2(3)												
OPEM2(2)						0.0230						
OPEM2(5)							0.0221					
OPEM1(5)					-0.0180				0.0131		-0.0231	
OPEP1(3)-0.0459												
OPWM2(4)	-0.1188											
OPWM1(2)	0.1098				0.0234			0.0334	0.0650			
OPNM2(3)					0.0512	0.0105			-0.0419			
OPNM1(5)							-0.1195		-0.0136	-0.0158	-0.0125	
AVG1(1)					-0.0144							
AVG1(2)			0.1480									0.2696
RMSE	0.44	1.24	1.40	1.32	0.98	0.70	0.78	0.56	0.83	0.60	1.00	0.93
R ²	0.99	0.91	0.86	0.85	0.90	0.94	0.92	0.97	0.95	0.98	0.94	0.96

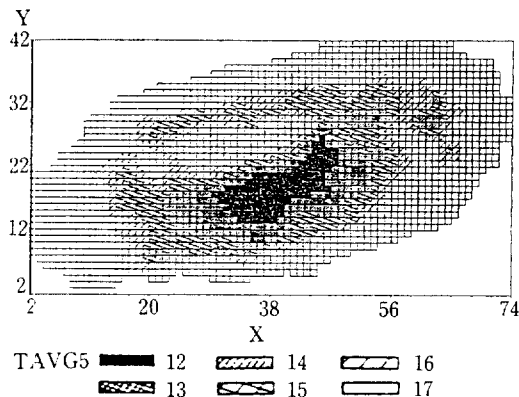


Fig. 7. Monthly average pattern of daily mean temperature for May expressed on 1km² mesh grid scale.

4월이 最低인 2개의 地形因子에 의하여 평균기온을 豫測하고 있지만 R²는 각각 0.86과 0.85로서 상당한 豫測 能力을 보이고 있었다. 1월의 경우는 最大인 8개의 地形因子를 利用하여 거의 완벽한 豫測(R²=0.99)을 하고 있는 것으로 나타났다. 月別 決定係數의 範圍는 0.85-0.99였고 RMSE도 0.44-1.40도로서 다른 氣溫에 比하여 地形因子에 의하여 豫測이 쉬움이 判明되었다.

採擇된 地形因子 중에서 海拔高度는 4월을 除外한 全體 달에서 出現하였는데 그 係數를 이용한 1,000m 당 氣溫減率의 範圍는 2.5-12.6도로 最低氣溫과 비슷한 傾向을 보였으며 5-7월에서는 낮은 氣溫減率을, 그리고 겨울철에는 높은 氣溫減率을 나타냈다. 中央氣象臺(1988b)의 報告에 의하면 韓半島 南韓 地域의 1,000m 當 氣溫減率은 5-9度인 것으로 알려져 있다. 本 研究의 結果와 比較할 때 濟州道는 地形의인 影響때문에 半島보다 海拔高度에 따른 氣溫減率의 變異가 심함을 알 수 있었다. 그밖의 因子 중에서 特異한 因子는 方位別 開放度인데 基準格子의 海拔高度보다 북쪽 mesh의 海拔高度가 200m 이상 낮은 (OPEM2) 比率이 높을수록 5, 6, 8 그리고 9월의 경우 月 平均氣溫의 上昇作用을 알 수 있었다. 平均傾斜의 境遇 最低氣溫과 比較하여 採擇된 달은 類似性을 찾을 수 있으나 그 結果는 正反對임을 確認할 수 있었다. 卽, 月 平均氣溫의 境遇 南北과 東西 海拔高度差의 平均이 클수록 氣溫이 떨어지는데 이는 最低氣溫의 境遇와는 相反된 結果이다. 12개의 月 平均氣溫 分布圖중에

서 5월의 例가 Fig. 7에 있다.

結 論

우리나라는 좁은 國土에 三面이 바다로 둘러싸여 있으며 山地가 全國土의 66%를 차지하는 등 複雜한 地形으로 말미암아 氣候의 심한 地域의 偏差를 보이고 있다. 環境要素로서의 氣溫因子가 林木의 生長에 미치는 影響을 考慮할 때 局地氣溫 分布를 正確히 把握하는 것은 林業活動을 合理的으로 遂行하기 위하여 必需的이다. 그러나 現實적으로 氣象觀測所의 密度가 낮고 大部分의 觀測所가 都市 近郊에 設置되어 있어 山地의 氣溫分布를 正確히 豫測하여 그 氣溫分布에 알맞는 計劃을 세우는데 어려움이 따르고 있다.

本 研究에서 開發된 地形-氣候 格子型 氣溫分布는 이러한 問題點을 解決할 수 있는 하나의 方案으로서 濟州道를 對象으로 그 方法을 提示하였다. 물론 氣候資料의 收集期間이 짧고 觀測密度가 充分치 못한 制約條件이 있었음에도 불구하고 多樣한 地形因子를 定量化하여 地形-氣候 關係를 토대로 상당한 程度의 豫測能力을 가진 模型을 統計의 方法에 의하여 開發하였기 때문에 實用化 展望은 밝다고 하겠다.

이러한 方法은 本 研究에서 試圖한 氣溫分布의 推定 뿐만 아니라 林木의 生長과 密接한 關聯이 있는 空中濕度, 降雨量 등의 다른 氣象要素에 대하여서도 地形因子를 利用하여 推定이 可能한 것으로 判斷되며 全 山林地域에 대한 氣候圖의 作成을 完遂함으로서 造林, 撫育, 伐採 등의 林業活動에 合理的 計劃을 세울 수 있을 것으로 보인다.

이를 위한 앞으로의 課題는 山地를 中心으로 좀더 많은 지역에 無人 自動氣象 觀測網(Automated Weather Data Network)과 같은 氣候資料 收集 觀測所를 設置, 運營함으로서 未來를 내다보는 氣候資料의 蓄積에 있다. 또한 農業 등의 分野에서 이미 實用化 段階에 있는 氣象情報 시스템을 林業 分野에서도 開發, 活用하기 위한 더 많은 研究와 努力이 切實히 要求된다.

引 用 文 獻

1. 科學技術處. 1990. 全國 그물망 기후값 推定

- 및 氣候圖 作成 研究(I), 214pp.
2. 氣象研究所. 1987. 濟州道 積지층 氣象特性 調査(I) MR 87-5. 96pp.
 3. 氣象研究所. 1988. 濟州道 積지층 氣象特性 調査(II) MR 88-5. 102pp.
 4. 盧義來. 1983. 氣象因子에 依한 우리나라 山林樹種의 生育範圍 및 適地適樹에 關한 研究. 韓國林學會誌 62 : 1-18.
 5. 盧義來. 1988. 氣象因子에 依한 우리나라 主要 山林樹種의 生育條件 및 適地適樹. 林育研報 24 : 138-191.
 6. 尹進一·柳根培·李珉榮·鄭貴源. 1989. 濟州道の 農業氣象 分析. I. 地形氣候 推定法과 冬季 日最低氣溫 分布. 韓國作物學會誌 34(3) : 261-269.
 7. 鄭台鉉, 李遇喆. 1965. 韓國森林植物帶 및 適地適樹論. 成大論文集 10 : 329-435.
 8. 中央氣象臺. 1987. 濟州地方 氣候要覽(1986년판). 제주축후소.
 9. 中央氣象臺. 1988a. 濟州地方 氣候要覽(1987년판). 중앙기상대 제주축후소.
 10. 中央氣象臺. 1988b. 標高別 農業氣候圖. 중앙기상대 응용기상국 농업기상과. 103pp.
 11. Hopkins, J. W. 1968. Correlation of air temperature normals for the Canadian Great Plains with Latitude, Longitude, and Altitude. Weather and Climate J. of Earth Sciences 5 : 199-210.
 12. Nakai, K. 1987. Japanese system of the meteorological information service to user communities including the education and training. Preprint from the WMO symposium on education and training in meteorology with emphasis on the optimal use of meteorological information and products by all potential users. Shinfield Park. U.K., 13-18 July 1987.
 13. Okamura, T. 1987. Mesh climatic data-present and prospect of production and application. Tenki 34(3) : 25-42.
 14. Shin, M. Y. 1989. Methods of parameter estimation of linear regression models for yield prediction. Ph.D Dissertation at Louisiana State University, USA. 110pp.