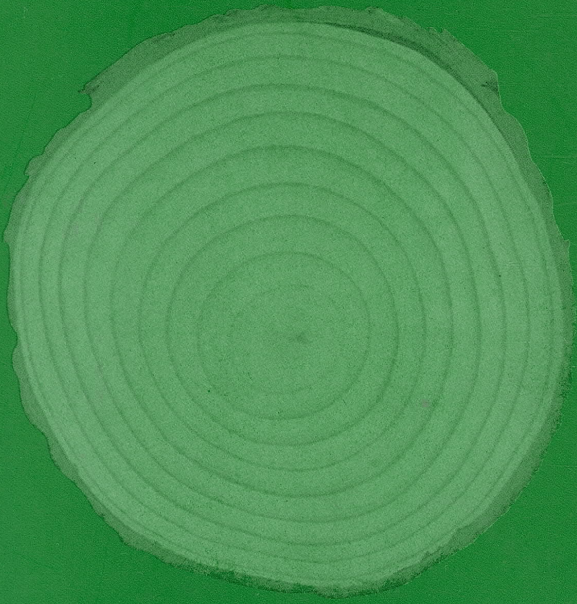


ISSN 1226-8186

한국산림측정학회지

제2권 제2호 1999년 12월



한국산림측정학회

한국산림측정학회지

제2권 제2호

1999년 12월

특집 : 전환기의 산림자원조사

論 文

우리나라 山林資源調查 事業의 발자취 韓甲俊... 3

산림자원조사의 발전과 개념의 변천 金喆民... 6

先進國의 國家山林調查 動向과 展望 鄭榮敎...12

山林調查情報의 更新 方法論 孫英模...24

산림자원조사에 원격탐사 및 GIS 기술 적용 李承鎬...32

多目的 山林資源調查技法 李祐均...45

角算定測定法の 林分調查 設計와 適用 申萬鏞...57

핀란드의 全國山林調查 李慶學...65

우리나라 山林資源調查 事業의 발자취

韓 甲 俊¹

Process of Forest Inventory in Korea

Gab-Jun Han¹

I. 緒 論

文獻上에 나타난 우리나라 山林資源調查事業을 要約하면 다음과 같이 그 歷史는 짧은 편이다. 특히 日帝侵略期間의 統計值(1935~1943)는 年報에 나타난 數值로서 調查方法이나 實行主體에 關한 資料를 找지 못하여 全國調查結果인지를 確認 못하고 있다. 다만 當時의 技術的, 時間的 側面을 勘案한다면 標準地法을 利用한

標準地의 蓄積을 測定하고 이를 參考로 調查區域單位의 總蓄積을 目測하는 方法으로 調查했을 것으로 推定할 수도 있으나 하루빨리 이에 關한 文獻이나 資料가 發見되어 事實이 밝혀지기를 期待하는 바이다. 따라서 現時點에서는 南北韓全體의 調查記錄을 蒐集整理하기 어렵고 紙面制約도 있어 1950年代以後의 南韓만의 山林調查概要를 간단히 整理하고자 한다.

우리나라 山林資源調查의 年代

- 1935年末(*) : 山林面積-16,334千町步, 立木蓄積-216,000千m³
- 1937年末(*) : 山林面積-16,314 " , 立木蓄積-224,011 "
- 1943年末(*) : 山林面積-16,274 " , 立木蓄積-212,186 "
- (*) ; 南北韓全體統計로 調查方法未詳, 資料; 朝鮮總督府統計年報
- 1952年末(#) : 以下 南韓만의 調查統計임
 山林面積-6,468千町步, 立木蓄積-36,315千m³
- 1964年末(\$) : 山林面積-6,743 " , 立木蓄積-60,405 "
 (調查期間 : 1963~1964)
- 1974年末(@) : 山林面積-6,641 " , 立木蓄積-102,458 "
 (調查期間 : 1971~1975)
- 1980年末(@) : 山林面積-6,568 " , 立木蓄積-145,694 "
 (調查期間 : 1978~1981)
- 1992年末(&) : 山林面積-6,464 " , 立木蓄積-272,387 "
 (調查期間 : 1986~1992)
- 全國闊葉樹資源調查(@) : 全國 및 道別 10大闊葉樹種別 分布面積 및 林木蓄積
 (調查期間 : 1993~1995)
- 第4次 全國山林資源調查(&) : 1996~2005년(10년간)

<備考> (#) ; 行政統計
 (\$) ; 統計의 方法에 의한 全國一齊調查
 (@) ; 航空寫眞을 利用한 統計의 方法에 의한 全國一齊調查
 (&) ; 航空寫眞을 利用한 統計의 方法에 의한 全國循環調查

¹ 學會 顧問.

II. 調査時期別 統計資料內誌

1. 1952年末 統計

1945年 解放以後 社會의 無秩序와 6.25 動亂을 겪으면서 우리나라 山林은 急速度로 荒廢化되고 있음에도 山林政策立案基礎資料인 山林統計를 確保할 수 없었으므로 既存統計資料를 利用한 南韓의 行政集計方法으로 算出한 것이 1952年末 統計인데 不幸하게도 이 統計의 集計資料는 1956년 農林部廳舍(當時 光化門 近處) 火災때 消失되었으므로 찾을 길이 없다.

2. 1964年末 統計

1960~1962年の 營林署所管 國有林野調査에서 얻은 技術과 經驗을 바탕으로 大韓山林組合聯合會(現 林業協同組合中央會)主管下에 全國林野의 資源現況과 實態를 正確히 調査하여 山林基本計劃樹立의 基礎統計資料를 얻는데 目的을 둔 山林基本統計調査를 1962~1964, 2年間に 實施하였다. 調査는 서울特別市, 市, 郡, 區, 山林關係公務員 및 營林署職員(管轄國有林調査)이 擔當하였다.

調査內容은 林野의 所有區分, 國有林의 所管區分, 林相區分[立木地, 無立木地, 除地로 區分하고 立木地는 林相, 徑級, 令級, 疏密度(鬱廢度), 樹種 및 混濶率] 및 林地利用區分(林地生産能力區分)等이며 調査方法은 地番境界, 林相 및 利用區分은 林野圖를 参照하여 目測으로 1:50,000에 記入하고, 立木蓄積은 林相別標本木測定値를 参照한 目測으로 推定하였다.

本 調査의 主要結果는 1:50,000 林相圖, 市, 郡, 區別 山林調査簿, 所管別, 林相別, 面積, 蓄積表 等이다.

3. 1974年末 統計

第1次 治山綠化10年計劃에 의한 計劃의 山林綠化의 基盤造成과 山林行政의 科學化를 위한 山林基本調査로서 1974年末 現在의 全國山林의 實態把握과 山林統計 整備를 目的으로 實施하였으며 1972년부터 1975년까지 4個年에 걸쳐 各種業務를 段階別로 年次的으로 實施完了하였다. 本 調査는 山林廳 山林資源調査研究所에서 實施하였고, 本 調査를 위해 우리나라 技術陣

이 全國林野에 대한 林業用航空寫眞을 縮尺 1:15,000으로 撮影하였으며, 이를 利用하여 林相圖(縮尺 1:25,000)를 作成하고 全國 市, 郡營林署에서 保管管理하던 林野圖 64,554枚를 Micro-Film에 收錄하고 이를 縮尺 1:25,000으로 擴大印書하여 林相圖上的 林地所管區分에 利用하였다.

全國의 立木蓄積을 5%以內의 誤差(信賴度 95%)로 測定하기 위해 總 7,051個의 0.1ha크기 圓形標本點을 系統抽出配置하고 1975年 3~6月에 2人1組로 構成된 60個 標本點測定組가 現地測定하고 標本點測定資料의 集計分析은 電算處理하였다.

4. 1980年末 統計

第1次 治山綠化10年計劃의 成果分析和 第2次 治山綠化10年計劃 推進資料提供을 目的으로 1978년부터 1981년까지 4個年에 걸쳐 林業用航空寫眞撮影(1978~1980), 林相區分 및 林相圖作成(1978~1981), 標本點測定(1980. 11~1981. 5) 作業을 1974年末 統計調査要領을 基準으로 實施하였다. 本 調査는 統計法 第10條의 規定에 依하여 經濟企劃院長官(當時 統計局主管)으로부터 一般統計作成承認된 調査였다. 慶北 鬱陵郡 山林調査는 航空寫眞撮影 不可能으로 本 調査時 實行하지 못하고 行政統計를 引用하였다가 1984年 別途로 調査하여 山林統計에 反映하였다.

5. 1992年末 統計

第2次 治山綠化10年計劃인 山地資源化計劃을 成功的으로 完遂함에 따라 全國林相이 急速하게 變化되고 있어 現在까지 推進하였던 事業들의 成果를 分析, 評價하고 앞으로의 山林施策 樹立方向 設定에 必要한 資料를 얻고자 1986年에 全國山林資源調査 年次別計劃을 (1986~'90)을 樹立하고 1974年末 및 1980年末 統計調査와는 달리 山林基本計劃區를 調査單位로 하되 蓄積推定을 市, 郡, 管理所單位까지 擴大하여 一線 山林行政機關에서 地域別 各種山林事業計劃에 活用할 수 있도록 資料를 分析集計하였다.

本 調査에서는 우리나라에서 처음으로 全國山林資源調査用 地上固定標本點을 設置, 測定하였으며 基本計劃區別調査는 地上固定 및 臨

調査年度	調査地域(山林基本計劃區)
1986	江原道 및 東部營林署基本計劃區
1987	中部營林署基本計劃區
1988	慶北(大邱直轄市包含) 및 南部營林署基本計劃區
1989	慶南(釜山直轄市包含) 基本計劃區
1990	全南 및 全北 基本計劃區
1991	忠南 및 忠北 基本計劃區
1992	濟州 및 京畿(서울特別市, 仁川直轄市包含)基本計劃區

時標本点を 市, 郡, 管理所別 蓄積推定은 航空寫眞標本点を 配置, 測定하여 所要情報을 確保하였다. 아울러 向後 全國山林資源은 週期的인 反復調査를 할 수 있도록 計劃하였다.

本 調査는 實行期間中에 林業試驗場의 組織改編에 따른 調査人力과 豫算減縮으로 計劃期間을 2年 延長하여 다음과 같이 1993年에 全國調査를 完了하게 되었다.

6. 全國 闊葉樹資源調査

全國 闊葉樹 資源量을 樹種別로 把握하여 闊葉樹資源의 管理體系樹立과 漸增하는 國際 環境問題에 戰略的 對應을 위한 基礎資料를 提供하기 위하여 1993年 부터 '95년까지 3年間に 걸쳐 全國調査를 實施 完了하였다.

<追記>

- 1960~1962年, 農林部山林局에서 實施한 營林署所管 國有林의 經營案編成에 必要한 基本調査였던 國有林野調査
- 1964~1969年, 國際聯合韓國山林調査機構에서 實施한 太白山脈을 中心으로 한 江原道 및 慶北 北部 山林 約 100萬ha에 대한 綜合的인 山林實態 調査
- 1968~1972年, 國際聯合韓國山林調査 및 開發事業機構에서 實施한 洛東江流域 概略山林調査와 三江(安城川, 東津江, 尙州川)流域調査 等等은 全國山林이 아닌 特定地域의 調査였으므로 省略하였음

7. 第4次 全國山林資源調査(1996~2005년)

1) 目的

- 全國 山林資源을 調査하여 山林統計를 作成하고, 山林基本計劃 樹立 基礎 資料 提供
- 漸增되는 國際環境問題에 積極 對應하기 위한 基礎資料 確保

- 全國 山林에 대한 航空寫眞을 撮影하여 各種 山林事業計劃 및 調査와 確認業務에 活用
- ※ 法的根據
統計法 2條 2項 指定統計에 의함
統計廳 統計承認番號 13614(81. 5. 16)

2) 方針

- 山林資源調査
 - 第4次 全國山林資源調査를 1996년부터 2005년까지 10個年間に 實施
 - 本 調査는 基本計劃區別(道, 山林管理廳)로 標本調査方法에 依據 循環調査
- 航空寫眞撮影
 - 全國 山林에 대한 航空寫眞은 1996년부터 2005년까지 10년동안 實施
- 林相圖 作成
 - 航空寫眞(縮尺 1 : 15,000)을 判讀하여 山林을 林種別, 林相別, 徑級別, 齡級 別로 區分하여 地形圖(縮尺 1 : 25,000)상에 林相圖를 作成함

3) 期待效果

- 全國 山林基本計劃區別 및 郡(管理所)別 山林基本統計 作成
 - 內容
主要 樹種別 및 林相別, 齡級別, 徑級別, 密度別, 林木等級別 面積, 蓄積 및 生長量
- 第3次 山林資源化計劃 成果分析 및 第4次 山地資源化計劃 實行 基礎資料 提供
- 漸增하는 國際環境問題에 積極 對應할 수 있는 基礎資料 確保
- 航空寫眞의 確保로 各種 山林事業의 計劃 및 確認 業務에 活用
- 測定資料의 蒐集貯藏 및 分析 等の 電算 system화

산림자원조사의 발전과 개념의 변천

金 喆 民¹

History and Conceptual Changes in Forest Inventory

Cheol-Min Kim¹

산림자원조사의 유래

산림자원조사(forest resources inventory)는 분류(classification)라는 행위와 함께 인류가 원시상태에서부터 취해 온 고전적 행동 양식의 하나라고 볼 수 있다. 이것이 저것과 같은가 아니면 다른가, 이것은 먹을 수 있는 것인가 혹은 아닌가 등으로 사물의 성격을 결정하는 일이 원시 인류가 행해 온 분류 행위의 한 형태라고 보듯이(Sokal, 1974), 어디에 어떤 물건이 얼마나 또 어떤 상태로 있는지를 알아보는 조사 활동도 역시 원시 상태부터 존재해 왔을 것이라는 점이다. 물론 이 때의 조사라는 것은 매우 단순하며 생존을 위한 거의 본능적인 활동의 한 형태였을 것이다. 즉 산림을 대상으로 하여 물과 먹을거리를 찾고 연료로 쓸 땃감 등을 구하며, 한편으로는 맹수나 추위로부터 몸을 지킬 은신처 확보를 위한 탐문 차원의 조사 정도에 머물렀을 것으로 생각된다(Lund, 1993a).

그러나 보다 실질적이고 개념적인 체계를 갖춘 산림자원조사는 이용, 혹은 채취할 수 있는 산림자원이 더 이상 무한정하지 않다(not inexhaustible)라는 사실이 인식되면서부터이다. 인구가 증가하고 영토가 확정되면서 자원에 대한 수요가 늘어가자 이를 소진시키지 않고 지속적으로 이용해야 할 필요성이 대두된 것이다. 독일을 비롯한 중부 유럽의 나라들은 중세기 말, 즉 15세기경에 목재 공급의 부족을 느끼면서 먼저 마을 주변의 산림에 대해 계획 경영을 실시하기 이르렀는데, 산림조사 기술도 이와 함께 발달하기 시작하였다. 초기에 산림조사를 통

해 수집한 정보는 이용가능한 산림의 크기, 즉 면적에 관한 것이 주를 이루었고 그 결과로써 임상도와 같은 산림 지도가 만들어졌다(Loetsch and Haller, 1964).

미국의 경우는 유럽에서 식민지 개척을 위해 이주민들이 신대륙으로 옮겨올 당시만 해도 일부만 제외하고는 대부분의 지역이 원시림으로 덮여 있던 것으로 알려지고 있다. 특히 대서양 연안은 내륙 쪽으로 수천 마일에 걸쳐 용재림이 뻗어 들어차 있어 거의 무한정한 목재의 공급원이 되어 주었다. 그러나 이 원시림은 개척과 농경을 위해 벌채, 이용, 개간되었고, 또한 영국의 식민지로서 영국 해군이 필요로 하는 용재 공급을 위해 약탈적으로 이용되었다. 이 과정에서 1685년부터 검사관이 파견되어 영국 해군과 왕실에서 사용하기 위해 지상 1피트 높이에서의 직경이 24인치(약 60cm) 보다 큰 나무들은 따로 조사하여 아무나 손대지 못하도록 붉은 화살표 모양의 표시를 나무에 남겨두게 하였다(Van Hooser 등, 1992). 1729년에 이 제도는 "Broad Arrow" 정책으로 법제화되었는데, 이것은 구체적인 산림조사와 그를 뒷받침하는 법제도의 시작으로 생각해 볼 수 있다.

우리 나라는 산림조사의 시작을 어디에서부터 찾아야 할까. 우리 민족의 정서와 역사적, 그리고 문화적인 배경에서 보면 산림은 一個人이 독점 혹은 私占할 수 없는 공용 공익의 대상물로서 無主空山の 개념이 지배적이었다. 따라서 高麗朝와 朝鮮朝 초에 이르기까지 '산림과 하천, 바다는 온 나라 사람이 그 이익을 나

¹ 임업연구원 Forestry Research Institute, Seoul, Korea.

누어 갖는 것(山林川澤與民共利之者也)'과 따라서 '산림 내에 자라는 나무와 풀은 사점함을 금한다(山場柴草勿令私占)'라는 것을 산림정책의 기본이 되어 왔다(池鑄夏, 1964). 이는 산림에서 생산되는 각종 산물을 누구나 필요에 의해서 얻고 생활을 유지하도록 한 것으로써, 이러한 환경에서는 산림보호와 자원육성은 물론 체계적인 산림조사를 기대하기는 어려웠다. 그러나 국가의 필요에 의해서 백성의 이용을 제한하고 국가의 수요에 따라 산림을 기능에 따라 관리 보호해 온 朝鮮朝의 禁山, 封山제도가 있었는데 그 속에서 산림조사 행위의 일단을 발견해 볼 수 있다.

즉 黃腸木을 생산하는 황장봉산 혹은 황장금산에 대해서 '황장목은 敬差官(조선 때 지방에 임시로 보냈던 벼슬. 주로 田穀의 손실을 조사하고 민정을 살피는 임무를 띠)이 친히 산에 올라 나무 한 그루 한 그루마다 封하고 숫자를 헤아린다' 라고 한 것에서(朴烽宇, 1996), 조사를 근거로 하여 특정한 산림의 유지 관리가 이루어졌음 엿볼 수 있다. 또 순조 31년(1831) 船材封山으로 이름난 莞島 지방의 松林 보호를 위해 만들어진 '莞島松禁節目'에는 소나무를 大松, 中松, 將來松으로 나누고 그 수를 소상히 하여 한 나무 한 나무에 대해 보호 책임자를 지정하여 관리하도록 하고 있는데, 내용을 보면 대송 84그루, 중송 94그루, 장래송 397그루가 있다고 기록하고, 조사년도 곧 式年마다 거듭 조사해서 대송, 중송, 장래송의 등급별 그루 수를 다시 조정한다고 하여(任慶彬, 1995) 경우에 따라서 매우 세부적인 데까지 산림조사가 이루어지고 있었음을 짐작할 수 있다.

산림조사의 목적

이렇듯 여러 가지 모습으로 시작된 산림조사는 그것이 보호를 위한 것이든지 목재 이용을 위한 것이든지 막론하고 어떤 형태로는 그 실시의 목적이 있게 마련이다. 산림조사의 실시 단계를 i) 조사의 목적 설정, ii) 원하는 정보의 내용과 데이터 수집 방법의 결정, iii) 자료 수집, 그리고 iv) 조사 결과의 분석 및 보고서 작성으로 크게 나누어 볼 수 있는데(Lund,

1990), 첫 번째 단계인 목적의 설정이 무엇보다도 먼저 그리고 가장 중요하다. 설정된 목적에 따라 도달해야 할 목표가 정해지고, 원하는 자료의 종류 및 조사 방법들도 따라서 달라지기 때문이다.

산림조사의 목적은 한마디로 산림에 관한 정보를 수집하는데 있다. 이 근본적인 목적은 산림조사라는 행위가 시작된 처음이나 지금이나 크게 달라지지 않았다. 다만 그 정보의 내용이 무엇이냐에 대해서는 당연히게도 그 시대 상황과 사회 경제적 여건에 따라 변화가 있어 왔다.

상당 기간 사회가 요구해왔던 산림정보는 임목자원에 관한 정보였다. 당시에는 임목자원이 가장 경제적 가치가 있는 산림 수물이었기 때문이다. 따라서 임목의 생산과 수확에 관한 정보를 얻는 것이 산림조사의 목적이 되었다. 최근 지구환경문제의 등장과 함께 지구 산림보전과 생물다양성 보전, 건전한 산림생태계의 유지, 그리고 지속가능한 산림경영을 위한 지표와 기준들에 관한 논의가 많이 전개되고 있는데, 이와 관련되어 산림환경정보를 수집하는 일이 산림조사의 대상과 목적이 되기도 한다.

산림조사의 목적은 산림의 경영 주체나 그 정보를 이용하는 사람, 혹은 집단 등 이해 당사자들이 동의하는 수준에서 명확하고 구체적이어야 한다(FAO, 1981; Atterbury, 1990). 1972년에 시작된 우리 나라 제1차 전국산림자원실태조사에서는 '치산녹화 10년 계획에 의거 계획적 산림녹화의 기반 조성과 산림행정의 과학화를 위한 산림기본조사로써 1974년 말 현재의 전국산림실태 파악과 산림통계를 정비함을 목적으로 함'이라고 산림조사의 목적을 밝히고 있다. 한편 1996년부터 실시되고 있는 제4차 전국산림자원조사에서는 산림조사의 목적을 '전국의 임목축적 및 임목 생산량을 조사하여 산림통계를 작성하고 산림기본계획 수립의 기초자료를 확보한다(임업연구원, 1996)'라고 하고 있다. 1차 산림실태조사가 시작되던 당시의 시대 상황과 사회 여건에서 보면 산림녹화나 산림통계의 정비가 시급한 문제였으며, 최근에는 산림통계 작성과 산림기본계획 수립을 위해 산림조사가 실시되고 있음을 알 수 있다.

산림조사의 과거와 현재

산림조사는 임업의 발달과 함께 진보하였으며, 일반인들이 산림을 대하는 태도의 변화에 따라 변화를 겪었다. 길지 않은 역사를 가지고 있지만 산림조사의 변화한 내용을 비교적 잘 보여주는 미국을 예로 들어 산림자원조사의 과거와 현재, 그리고 미래의 모습을 설명한다.

1. 목재생산 중심의 산림조사

미국의 산림조사는 1928년에 제정된 산림연구에 관한 법(Forest Research Act)에 뿌리를 두고 있다. McSweeney-McNary법으로 잘 알려져 있는 이 법은 미국의 농무장관으로 하여금 '미국내 임목과 다른 산림생산물의 현재와 앞으로의 수요, 목재의 공급, 그리고 이들의 수지를 맞출 수 있는 수단과 방법의 결정에 필요한 사실들에 관해 포괄적인 조사를 수행하고 이를 지속적으로 유지해 나갈 것'을 명시하였다. 그리고 이 법령에 따라 미국 임업시험장은 국가산림조사(National Forest Survey)를 실시하도록 규정하였다(Van Hooser 등, 1992)

산림조사가 실시된 처음 25년 동안 임업시험장은 州수준의 조사를 수행하였으며, 사를 위한 정확한 기준 설정과 용어의 정립, 그리고 이를 기초로 나라 전체의 자원량을 집계하는 방안을 검토하였다. 1970년대 초까지 북미의 48개 주에 대한 산림조사가 완료되었고 그에 따른 보고서도 제출되었는데, 그 내용은 대부분 임목자원의 평가 수준에서 크게 벗어나지 못하였다. 이러한 산림조사의 결과는 당연히 목재회사들로부터 크게 환영을 받았다.

이 시기에는 표본 설계와 조사 기술에 있어서 상당한 변화가 있었다. 1950년대에는 2차 세계 대전의 전쟁 중에 경험했던 항공사진과 원격탐사 기술을 이전하여 새롭고 보다 효과적인 표본 추출방법의 개발에 관한 연구가 많이 이루어졌다. 특히 항공사진을 이용한 층화(stratification)와 이층추출법의 통계적 기술은 획기적인 것이었으며, 지금도 대부분의 산림조사에서는 이 방법이 그대로 사용되고 있다.

2. 다중 산림자원조사의 시대

1970년대에 접어들면서 미국의 산림조사는 큰 변화를 가져왔다. 1974년에 공포된 산림과 원야지의 재생가능한 자원 계획에 관한 법(The Forest and Rangeland Renewable Resources Planning Act)이 그러한 전기의 전환점이 되었다고 볼 수 있다. 이 법은 이전의 산림조사에 관한 법을 일부 수정하여 '미국의 재생가능한 자원인 산림과 원야지에 대해 현재와 앞으로의 실태, 그리고 수요를 조사 분석하고 이를 지속적으로 유지해 갈 것'을 규정한 것으로, 산림조사의 개념이 이 때부터 국가내의 모든 다양한 재생가능한 자원을 조사 평가하는 것으로 그 범위와 영역이 확대되었다. 이에 따라 산림조사 프로그램은 '산림조사와 분석(FIA; Forest Inventory and Analysis)'이라는 새로운 이름을 가지게 되었고, 임업뿐만 아니라 야생동물, 휴양, 수자원, 토양, 에너지, 식물학, 수문학, 그리고 사회과학 분야의 전문가 및 관련기관과 관계와 협력체계를 모색하였다.

산림조사를 위해 현지에서 조사 수집하는 변수의 항목과 유형도 크게 달라졌다. 1974년 이전에는 하나의 현지 표본점에서 조사하는 항목의 수가 60가지가 채 되지 못하였으나 1990년에는 150개 이상의 변수와 항목들이 한 표본점에서 조사되었다. 과거에는 조사되는 항목이 대부분 목재와 관련된 것이었다면 추가된 항목의 절반 이상은 목재의 공급과 직접 관련이 없어 보이는 토지이용, 식생구조, 그리고 입지에 관한 내용들이었다. Rudis(1991)는 400개가 넘는 문헌을 검토하여 FIA가 1979년부터 1990년까지 어떻게 발전하였는지를 정리 발표하였다.

이 시기에 눈에 띄이는 일 중의 하나는 산림의 건강성에 관한 관심의 증대이다. 환경오염, 곤충과 병해, 산불, 그리고 그 외의 산림 교란행위는 명백히 산림에 스트레스를 준다는 사실을 점점 인식하게 되었고, 일반인들도 가세하여 생태계의 건강성에 대한 해명을 요구하게 됨에 따라 미국 임업시험장은 산림건강모니터링 프로그램(Forest Health Monitoring Program)을 가동하기에 이르렀다. 이 프로그램은 원격탐사와 같은 기술을 이용하여 산림에 있어서의 변화와 징후, 산림에 스트레스를 주는 요인의 평

가, 그리고 관리에 따른 결과를 예측하는 일을 하며, 이 과정에서 FIA는 산림생태계의 상태를 진단하는 조사와 탐지의 기능을 수행하였다.

3. 생태적 산림조사

앞으로의 산림자원조사의 형태와 내용을 전 망할 때 가장 가능성이 높은 것은 생태적인 산림자원조사가 이루어질 것이다라는 점이다. 그리고 어떤 형태로든 그것은 이미 시작이 되었다고 보아도 될 것이다. 산림의 다양성과 생산성을 유지하면서 또한 지속가능한 개발과 한편으로는 보전적인 측면까지를 고려할 때 생태적인 개념의 접근없이 불가능하기 때문이다. 미국의 경우 산림의 생태적 경영과 관련된 이러한 움직임은 1980년 후반에 나타나기 시작하여 새로운 전망(New Perspective)이라는 이름으로 산림관리에 적용되었으며 후에 생태계 경영이라는 새로운 패러다임으로 확장되었다. 생태계 경영의 필요한 전제조건은 조사(inventory), 생태적 구분(ecological classification), 데이터 관리(data management), 그리고 분석(analysis) 기능으로 요약된다(Douglas 등, 1994).

생태적 산림조사의 핵심은 통합(integration)이다. 지금까지 미국은 입시시험장이 실시해 온 산림조사를 통해 산림 일반에 대해 매우 세부적이고 많은 정보를 축적하게 되었다. 산림의 다른 자연자원 정보에 대해서도 사정은 비슷할 것이며, 그렇다면 정보의 통합은 생태계 경영에서 피할 수 없는 과정이 되었다(Lund, 1993b). 이것은 미국 내무성의 국가생물조사(NBS; National Biological Survey) 프로그램의 주요 내용중의 하나이기도 하다. 이 프로그램에서 FIA는 NBS와 기타 다른 조사기관(예를 들면 토양보전국)과 긴밀한 관계를 유지해 나갈 것이며, 조사 결과를 통합하는 작업에서 중요한 역할을 맡을 것이다.

생태적 산림조사는 산림을 가장 넓은 의미로 이해하며, 그러한 맥락에서 생태계에 관한 정보를 확대하고 수준을 높인다. FIA는 미국의 산림지역에 대해 생태적 관점에서 조사, 분석, 그리고 모니터링하는 연구를 시작하였다. 즉 산림의 생태적 요소와 관계에 비중을 높이는 전략을 개발중인 것이다. 이렇게 얻은 산림 정보

는 여러 면에서 기존의 정보보다 더 많은 가치를 갖는 정보로 활용될 것이다.

변화의 요인

1. 산림조사에 영향을 준 가장 큰 요인중의 하나는 인구의 증가이다. 1950년에 단지 25억에 불과하던 세계 인구는 54억으로 늘었으며, 2000년에는 약 63억이 될 것으로 예측되고 있다. 인구의 증가는 더 많은 토지와 자원을 필요로 하게 되며, 사회 경제적인 발전을 위하여 더 많은 정보를 요구하게 된다. 다양한 사회적 요구에 부응하기 위해 소요되는 예산은 그대로 있거나 오히려 줄어드는데 비해 더 많은 정보를 이끌어내기 위해서는 새로운 기술과 방법의 개발이 요구되었다.

2. 환경문제에 대한 인식의 변화이다. 인구의 증가는 계속 되는데 비해 재화와 용역을 생산하기 위한 자원은 한계에 부딪히게 되었다. 과도한 개발은 직접적으로 환경문제를 야기하였다. 환경문제는 어느 개인이나 한 국가만의 문제가 아니라 세계적인 문제로 등장하였다. 지구환경에 관한 많은 협약이 국가간 맺어지고 있으며, 각 나라는 자국의 자연자원을 평가하고 보전하는 일에 큰 관심을 기울이게 되었다. 그것은 바로 국가의 경쟁력과도 직결되기도 한다.

3. 정보를 수집하고 해석하는 기술의 발전이 눈부시다. 표본조사와 자료를 분석하는 통계적 방법의 발전은 앞에서도 언급하였거니와, 항공산업과 컴퓨터 등의 발달은 산림자원조사의 방법과 개념을 또다시 바꾸고 있다. 증가하는 정보를 충족시키기 위해 원격탐사와 항공사진, 비디오, 디지털 화상처리, GPS, GIS 등의 새로운 기술에 의존하는 정도가 점차 커지고 있다.

앞으로의 전망

정보에 대한 수요는 점차 다양하고 커지고 있다. 산림자원에 대한 정보 수요는 표 1과 같이 정리할 수 있다(Lund, 1993a). 이들 정보를 수집하기 위한 올바른 자원조사, 평가, 그리고 모니터링은 모든 수준에 있어서 세계의 산림생태계를 지속적으로 유지 발전시키는 기초가 될 것이다.

Table 1. Listing of information needs in order of desirability.

INFORMATION NEEDS
Land Cover
Biodiversity
Biomass
Land Use
Forest Health
Socio-Economic
Vegetation Type
Carbon Storage
Other Lands
Ownership
Soils
Burned Area / Fires
Greenhouse Gases
Ecofloristic Zone
Soil Productivity
Fragmentation
Watershed / Hydro
Logged Area
Topography
Fauna
Accessibility

증가하는 정보수요에 부응하기 위해 원격탐사와 이와 관련된 새로운 기술에 의존하는 정도가 점차 커질 것이다. 항공사진, 비디오, 디지털 화상처리, GPS, GIS등의 기술의 도움으로 산림자원을 보전하고 관리하게 될 것이다.

과거에는 지역적이고 단순한 목적의 산림조사가 수행되었으나 앞으로는 점차 전체적이고 (holistic) 다양한 목적에 부응하는 자원조사의 형태로 변화할 것이다. 줄어드는 예산과 늘어나는 환경에 대한 관심을 충족시키는 수단으로 다원적인 자원조사의 형태를 취하지 않을 수 없기 때문이다. 이렇게 얻은 정보는 평가를 통해 바로 정책의 의사결정 수단으로 활용된다.

미래의 산림자원조사는 보다 완전하고 정확하고 빨라야 한다. 그리고 다음과 같은 내용을 포함하여야 한다(Lund, 1993b).

1. 현행 산림조사에 산림과 관련되어 있는 모든 다른 내용(초지, 농경지, 습지 등)을 포함시키는 종합적인 자원조사를 실시한다.

2. 식량, 연료, 거주지, 고용, 환경 등에 관해서도 예측조사가 가능하게 한다.
3. 환경생태적인 요소에 대한 조사항목의 신설 및 조사방법 모색.
4. 자료의 수집과 표현에 있어서 최근 발달하고 있는 신기술을 적용한다.
5. 지구환경과 자원에 가해지는 인간의 영향을 평가한다.
6. 모델의 평가, 데이터 분석의 강력한 도구로써 지리통계학에 대한 언급도 추가되어야 한다.
7. 산림의 기능을 잘 설명하기 위한 통계적 기초를 확고하게 세운다.

인 용 문 헌

1. 朴烽宇. 1996. 黃腸禁標에 관한 考察. 韓林誌 85(3) : 426-438.
2. 任慶彬. 1995. 소나무. 대원사.
3. 林業研究院. 1996. 全國山林資源調查要領. 49pp.
4. 池鏞夏. 1964. 韓國林政史. 明秀社.
5. Atterbury, T. 1990. Forest inventory purposes and goals. Pages 8-10, in State-of-the-art Methodology of Forest Inventory : A Symposium Proceedings. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-263.
6. FAO. 1981. Manual of Forest Inventory. FAO Forestry Paper 27. Rome. 200pp.
7. Loetsch, F., and K.E. Haller. 1964. Forest Inventory. Vol. I. BLV Verlagsgesellschaft, München. 436pp.
8. Lund, H.G. 1990. The platonic verses and inventory objectives. Pages 1-7, in State-of-the-art Methodology of Forest Inventory : A Symposium Proceedings. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-263.
9. Lund, H.G. 1993a. Resources inventories: the next generation. Pages 58-67, in Advancement in Forest Inventory and Forest Management Sciences. Proceedings

- of the IUFRO Seoul Conference, Sep. 20-25, 1993.
10. Lund, H.G. (ed.) 1993b. Proceedings of a national workshop : integrated ecological and resource inventories. USDA For. Serv. WO-WSA-4.
 11. Powell, D.S., McWilliams, W.H., and R.A. Birdsey. 1994. History, changes and the U.S. forest inventory. *J. of Forestry* 92(12) : 6-11.
 12. Rudis, V.A. 1991. Wildlife habitat, range, recreation, hydrology, and related research using forest inventory and analysis surveys : a 12-year compendium. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. SO-84.
 13. Sokal, R.R. 1974. Classification : purposes, principles, progress, prospects. *Science* 185 : 1115-1123.
 14. Van Hooser, D.D., Cost, N.D. and H.G. Lund. 1992. The history of the forest survey program in the United States. Pages 19-27, *in* Forest Resources Inventory and Monitoring and Remote Sensing Technology. Proceedings of the IUFRO Centennial Meeting in Berlin, Aug. 31-Sep. 4, 1992. Japan Society of Forest Planning Press.

先進國의 國家山林調查 動向과 展望
 鄭 榮 教¹

Trends and Prospects of National Forest Inventories
 of Advanced Nations
 Young-Gyo Chung¹

I. 선진국 산림자원조사시스템의 주요 동향

선진국의 국가산림자원조사의 내용을 크게 분류하면 CFI형식에 의한 국가산림자원조사, 각주의 기존의 산림자원조사를 이용하여 국가 집계를 산출하는 방법, 산림부 정보 등의 축적에 의해 국가 집계를 산출하는 방법으로 나누어진다. CFI형식의 방법은 유럽, 미국, 중국 등이 이 방법을 채용하고 있다. 각주의 기존 방법을 이용하는 나라는 캐나다, 오스트리아에서 실시하며 주마다 독립적으로 실시하는 자원조사 양식을 통일하여 GIS를 이용하여 통합화하고 전국 집계를 산출하는 것이다. 산림부에 의한 방식은 일본의 독특한 방법이며 지역적인 산림부(민유림), 산림조사부(국유림)를 이용하여 전국 집계를 산출하고 있다. 일본의 산림부 자료를 집계하여 지역, 전국의 자료를 산출하는 방식은 캐나다방식에 가깝다고 할 수 있다. 캐나다 방식(통합법)과 CFI법은 각기 장단점이 있다(표 1).

Lowe에 의하면 캐나다 방식은 모니터링이 불가능하기 때문에 전국의 변화를 모니터링하는 것을 목적으로 sample의 수를 적게 하여 다만 sampling법을 실행하는 것이 효과가 있다고 말하였다.

1. 선진국 조사시스템의 주요 특징

선진국의 사례로서 스위스, 핀란드, 스웨덴, 캐나다, 미국에 대하여 국가산림자원조사 내용을 항목별(sampling법, 지리정보와 리모터센싱의 이용현황, 정보내용, 시스템의 내용, 결과의 발표, 조사체제, 조사회수)로 나누어서 국가별 주요한 특성을 나타낸 바 <표 2>와 같다.

1) 스위스

(1) sampling법

스위스의 sampling법은 체계적인 고정점표본 추출법으로서 각 plot은 1km 간격의 grid상에 배치되어 있다. plot은 동심원상의 고정plot로서 200m²와 500m²의 동심원상 plot를 갖고 각

<표 1> 캐나다방식과 CFI방식의 비교

	캐나다법(통합법)	CFI법(Sampling법)
비용	저렴하다.	많이 든다.
시기	자료에 의존	적기에 수집
모니터링	불가능	가능
오차의 추정	불가능	가능
정밀조사	임분수준, 자료조사에 의존	단목수준, 어떤 수준도 가능
새로운 정보	자료조사에 의존	추가가능(미국의 산성우 등)

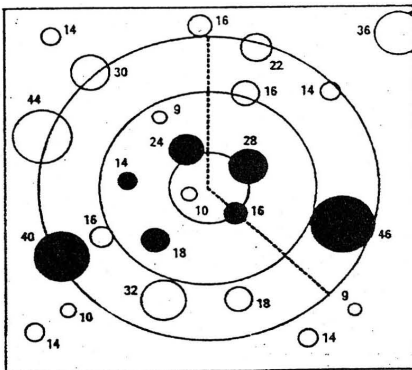
자료원: Lowe(1992)

¹ 임업연구원 Forestry Research Institute, Seoul, Korea.

〈표 2〉 각국의 국가산림자원조사 시스템의 특징

국 명	Sampling 방법	지리 정보	Remote sensing	정보항목	시스템	성과발표	조사체계	조사회수
스위스	CFI 전체고정점 일부고정, 일부 임시고정점 이중추출	mesh圖	지상-항공사진	자원정보 환경정보	3900VAX 시스템	정밀 보고서 (제1차)	조사팀 구성	2차 (1992년)
핀란드	CFI 이중추출 트랙	GIS	remote sensing과 GIS의 통합	환경모니터링	야외조사의 컴퓨터입력, 대형 컴퓨터 분석	지역, 국가적 인 보고서	조사팀	8차 (1992년)
스웨덴	CFI 일부고정, 일부 임시표본점		7차까지 remote sensing 이용	자원정보 환경정보	목재자원추정 자료의 제공 산성우조사에 이용 대형컴퓨터로 처리	대학보고서 산림점검시 리즈 국가통계 요람	조사팀 (대학)	6차(7차는 1993-2002년)
캐나다	GIS에 의한 기존 자료 이용 임시표본점이 많음	GIS	remote sensing정보	자원정보 (37종류)	CFRDS	국가자원조사보고서	입업통계 시스템부	2차
미 국	CFI 이중추출 다목적산림조사 10point집락추출	GIS	remote sensing에 의한 전국조사 고려	다목적 자원정보	AFIS	州와 국가차원의 보고서	RPA법 FIA팀	1933년부터 매 10년 주기로 州 조사

각 흉고직경 12cm와 36cm 이상의 수목을 측정한다. 갱신조사는 반경 3m내에서 실시된다. tariff표 조제를 위한 수목으로서는 방위 0°에서 150°내에서 흉고직경 60cm 이상의 수목이 측정된다(그림 1).



자료원 : Mahrer(1987)

〈그림 1〉 스위스의 동심원상 표본점 (흑색 원이 측정되는 임목, 숫자는 DBH)

스위스에서는 제1차 국가산림자원조사에 있어 41,000점의 표본점중에서 11,863점이 산림내에 귀속되어 있다. 이와 같은 고정표본점 자료를 바탕으로 국가나 지역수준으로 자원량 추정치가 구간추정치의 형태로 나타나 있다.

Brassel에 의하면 제2차 국가산림자원조사가 1993년부터 시작되어 왔지만 일부 고정표본점은 임시표본점방식으로 교체될 예정이며, 여기에 충화를 위한 중복추출법을 조합시킨 방법이 제2차 조사의 주요한 특성이 있다고 하였다.

(2) GIS와 리모트센싱

스위스는 리모트센싱 특히 항공사진(1/25,000의 흑백사진)을 많이 이용하고 있다. 자료의 공평성을 위하여 포인트 등으로서 표본점의 “표식이 나타나지 않거나 보이지 않음”을 기입하는 표본점방식을 채용하고 있기 때문에 항공사진은 표본점 위치 확인에 사용되는 외에 면적 등의 판단과, 항공사진과 지상조사를 병용한 이중추출에 의한 임분의 충화와 측정추정, 산림의 보호기능조사(지형해석 등), 토양이용조사 등에 광범위하게 이용되고 있다.

(3) 조사항목

제1차 국가자원조사의 목적은 산림면적, 산림의 구조, 산림의 안정, 갱신상태, 유령림의 상태, 밀도의 추정, 현존입분의 분류, 수종구성, 입지조건, 개발가능성 등 산림의 현존상태를 파악하는 것이었다. 제2차 산림조사에서는 이것 외에 산림의 기능, 토양조건, 식물사회학에 관한 조사가 추가되었다. 조사항목과 용도 등은 본 자료집 내용중 『이승호-산림자원조사에 원격탐사 및 GIS 기술적용』에 있으므로 참고바람.

(4) 조사시스템

항공사진 판독을 위하여 도화기 KERN DSR-1이 1991년에 설치되었다. 데이터베이스는 VHx (32MB와 5KB의 HD)를 바탕으로 3900마이크로 VAX가 이용되고 있다. 야외조사에서는 노트북컴퓨터가 산림피해조사와 제2차 조사를 위하여 사용되고 있다.

스위스의 조사팀은 스웨덴과 오스트리아와 같이 지속적인 형태로 조직화되어 있지 않기 때문에 팀구성원을 훈련시키는데 약간 어려움이 있다. 야외 팀의 몇 사람은 겨울동안에는 산림기능의 평가, 토양시료의 정리와 분석, 항공사진의 판독, 표본점에서의 접근방법 검토, 차년도조사의 준비에 종사한다.

(5) 성과의 발표와 사용자

제1차 산림자원조사보고서(약 400page)가 1988년에 발행되었다. 산림면적, 소유형태, 축적, 산림입지, 입분구조, 갱신, 산림환경조건, 임도망과 개발에 관한 분석과 이들 항목의 스위스 전국도에 걸친 Mesh표시가 나타나 있다. 정부기관, 주정부, 민간회사 등이 주요한 사용자인데, 국가의 산림정책, 산림이용계획, 보조금의 교부, 산림피해조사 등의 기초자료로서 더 많이 이용되고 있다.

2) 핀란드

(1) 추출법

핀란드는 1927년에 Line sampling(帶狀調査)을 시행하여 폭10m, 길이 50m의 거형 표본점을 2km의 간격으로 배치하였다. 5차 국가산림자원조사(1964-1970)에서는 항공사진을 1/형의 트랙으로 채용하였다(『이경학-핀란드의 전국산림조사』참고). 8차 국가자원조사(1985-1995)

에 있어서는 1989년부터 새로운 조사 계획이 시도되어 지상조사라는 모델에 바탕을 둔 갱신시스템이 추가되어 위성데이터와 디지털지도(장래는 지도data와 기상data)의 이용이 시도되고 있다. 더욱이 1992년에는 새로운 지상조사법이 시작되었으며, 이 경우 cluster간의 거리는 7km이며, 1track은 15개의 sample plot로 구성되어 그중 3개는 고정plot, 나머지12개는 임시plot이다. Sample의 수는 북부와 남부에 따라 다르지만, 표본점 조사는 비타리헛법에 따라서 릴라스코프로서 측정목이 선발되고 단면적정수는 입분에 따라 다르다.

국가의 산림조사는 종래의 임시표준지조사에서 일부 고정과 일부 임시 표준지 형식에 의한 다목적 산림자원 모니터링과 자원관리 시스템에로의 추이가 계속되고 있다.

(2) GIS와 리모트센싱

1950년대에는 항공사진은 야외조사용의 지도 대신에 이용되어 왔지만 1970년대에는 항공사진과 지상조사의 병용조사에 이용되게 되었으며, 이 경우에 1차추출은 면적추정과 층화로, 2차추출은 고정표준지에 의하여 재적 등의 조사로 되어 있다. 그후 1989년부터는 리모트센싱을 GIS와 결합하여 해석하는 기술을 도입하였는데, 이는 앞에서 논한 바 있으나 이것은 야외조사의 밀도가 낮은 sampling에서는 상당히 큰 면적, 말하자면 15만ha이상의 경우가 아니면 신뢰할 수 있는 기대가 불가능한 지역, 국토전체의 조사에 10년 소요, 임시표준지에서는 산림 변화의 추정이 곤란하다는 등의 이유로 인하여 보다 지역적인 새로운 정보가 얻어질 수 있도록 임업시험장이 개발한 것이다. 이 방법은 Landsat TM과 SPOT위성의 조합에 의한 방법으로 지역정보는 행정계, 농지, 도시역, 수역 등으로서 리모트센싱의 정도를 위하여 이용되고 보다 좁은 지역에서의 산림data의 제공과 환경의 모니터링기능을 높이는 것에 도움이 되고 있다.

(3) 조사항목

정보의 항목에 관하여 말하면 앞에서 언급한 새로운 리모트센싱, 지도정보, 지상조사를 조합에 의하여 성장과 枯損의 파악, 산림건전도, 병충해모니터링, 馴鹿의 생식지역 조사 등 다목

적인 산림조사에 효과가 있다고 볼 수 있다.

(4) 조사시스템

조사시스템은 국가산림자원조사에서는 전문팀을 만들어 대응하고 있으며 야외조사의 컴퓨터화와 함께 중앙에서의 대형컴퓨터에 의한 시스템이 완성되어 있다. 제8차 자원조사에서 사용된 리모트센싱에 의한 새로운 시스템은 TM에서 5KB를 필요로 하지만 핀란드임업시험장의 장기목재생산시스템(MELA)과도 호환성이 있으며 다른 기관의 지도정보도 받아들인다.

(5) 성과의 공표와 사용자.

야외조사가 완료되어 반년이내에 지역 및 국가 수준의 집계가 되며 목재구입계획, 산업개발, 사업계획, 지역경제활동 등에 이용된다. 이용되는 주요한 data로서는 시업대상임분, 축적량, 자원내용, 성장량, 벌채가능량 등이다. 또 핀란드에서는 국가산림자원조사에 벌채조사가 포함되어 있어서 국가자원감정(Accounting System)작성의 기초자료로 되어 있다.

3) 스웨덴

(1) sampling법

추출법에서는 대상조사에서 고정 및 잠정track 방식이 이행되고 있다. track은 전국도에 배치되어 있지만, 지역(5개의 지역으로 분할)에 따

라서 다르다. track내에서는 재적, 갱신, 벌근 조사를 행한다. 가령 지역1-4에서는 고정track은 8개, 임시track은 13개의 재적측정용 표준지가 되며, 그 반경은 7.07m이다(<그림 2>).

(2) GIS와 리모트센싱

GIS와 리모트센싱관계에서는 제7차 조사(1993-2002년)에서 리모트센싱이 취급될 예정이며 다른 규모의 지역마다 최신정보를 제공하여 지역경영계획의 기초자료로서 이용된다.

(3) 조사항목

자원조사의 내용은 산림상태에 관한 항목, 가령 축적 등에서 산림기능의 변화에 관심이 옮겨가고 있다. 조사항목으로서는 임지(표고, 식생형, 土壤水文, 토양깊이와 성질, 지역의 기후형태, 鳥獸類의 害害等), 면적임분인자(임분의 특성을 반영하는 인자로서 ha당 단면적합계, 벌채급, 시업방법 등), 재적, 성장, 고사(고정표준지에서 측정), 갱신(track의 주변상에 특별히 표준지를 설정하여 평균수고 1.3m이하의 수목, 식생의 조사), 벌채(년별채량을 조사하기 위한 벌근조사), 임지조사(식생, 부식층, 토양깊이와 성질) 등이다.

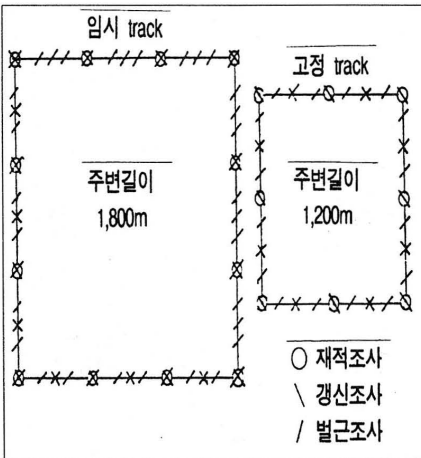
(4) 조사시스템

조사시스템에서는 조사를 위탁받은 스웨덴농과대학내에서 조사부문과 컴퓨터 부문이 설치되어 있다. 조사부문의 스텝은 45명이지만, 조사팀은 22개의 조사반과 2개의 점검반으로 구성된다. 약 18,000표본점에서 약 200개의 다른 인자를 측정한다. 야외조사에서는 휴대마이크론(Micronic 445)을 이용하여 수집된 data는 대형 중앙컴퓨터(CYBER 170-730)에 전송시킨다.

스웨덴의 국가산림자원조사시스템처럼 대규모의 테이타 수집에서는 잘못된 자료를 기록할 위험이 있다. 그래서 마이크론에 의한 확인 테스트, Cyber컴퓨터에 있어서 테스트, 점검 등의 대책이 있다.

(5) 성과의 발표와 사용자

성과는 스웨덴농과대학보고서, 산림자료집, 국가통계요람에 정리되지만, 공공기관, 민간회사 등 요구에 따라서 유료로서 레포터를 작성한다. 특히 스웨덴의 장기목재예측시스템 HUGIN은 체계적으로 자원정보를 제공하고 있다.



<그림 2> 스웨덴의 track

4) 캐나다.

(1) sampling법

캐나다의 국가산림자원조사에서는 CFI방식을 채용하지 않고 각주에서 실시한 sampling 조사 data를 공통의 형식으로 편집한다. 주요한 기본data는 1986년의 산림자원조사와 1984년의 바이오매스 조사이다.

(2) GIS와 리모트센싱

캐나다는 GIS와 리모트센싱기술을 전국자원조사에 가장 고도로 이용하고 있는 국가의 하나이다. 많은 조사를 결합시키기 위하여 용어의 체계를 표준화하고 전국 규모의 코드 사용이 필수적이다. 이 때문에 각각의 조사항목에 대하여 변환표를 사용하여 임분수준의 정보를 국가수준의 정보로 변환할 데이터의 재코딩화를 행하여 캐나다 산림자원데이터시스템(CFRDS)에 보관한다. CFRDS는 1986년 산림자원, 1984년 바이오매스의 속성정보와 cell단위의 위치 정보를 갖고 있으며 통계분석, mapping(43,172의 단위를 갖는 각각 100km) 등이 가능하다. 정보의 수집은 대부분 리모트센싱(항공사진 포함)을 기본으로 하고 1976년에서 1986년에 걸쳐 있다.

(3) 조사항목

정보의 항목에서는 토지형태, 지위, 임목도, 교란의 원인, 임령, 성숙도, 임형, 우점종, 재종, 수종이 있고, 이외에 보조정보로서 형질불량율, 정책상의 제약, 생산성, 임목도 혼합, 크기/재적의 관계 등이 있다.

(4) 조사시스템

캐나다의 CFRDS는 1986년의 산림자원, 1984년의 바이오매스조사 내용을 속성정보로 하여 지도정보로서는 셀 및 산림계를 갖고 있다. GIS로서는 ARC/INFO를 사용하고 있으며 분석, 보고기능을 갖고 있다. 사용자에게 도표 및 데이터 등의 정보 제공을 하고 있다.

(5) 성과의 발표와 사용자

성과는 표와 지도로 만들어진 간행물 혹은 데이터베이스로서 보존되며 각종 요구에 따른 분석과 탐색이 행해지고 있다. 데이터는 정부기관과 대학, 공공단체에 알맞게 재편되어 이용되고 있다. 예를 들면 정부기관에서의 이용은 자금할당(캐나다 기관상호산림화재센터 등), 의사결정지원시스템(국가목재수급분석 등), 기

후변동, 산성우의 특별영향분석 등이다.

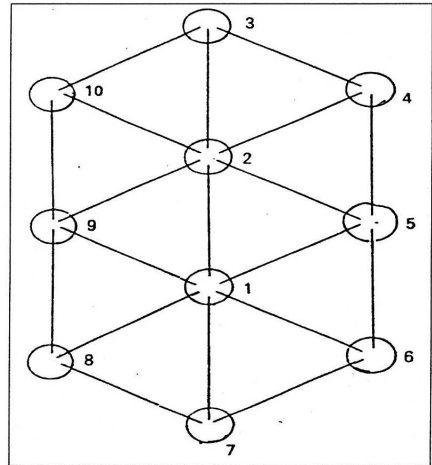
5) 미국

(1) sampling법

미국에서는 1950년대에 국가산림자원조사를 시작하여 산림면적과 축적을 추정하였다. 그러나 그 이후 미국에서는 국가자원조사라고 하여 각주마다의 조사가 우선하는 통일된 형태에서의 국가산림자원조사는 실시되지 않았다. 조사는 산림자원해석 FIA(Forest Inventory and Analysis) project team를 편성하여 행하였으며 팀은 각주의 임업시험장마다 배치되어 데이터의 수집, 분석을 다루고 있다.

고정표본점은 주에 따라서 다르지만 5-15년 주기로 재측정한다. 지상조사는 통상 1에이커를 대표하는 점집락추출법이며(표본점간 거리는 70feet), 그 추출율은 1,000-6,000에이커당 1에이커이다.

일반적으로는 측정되지 않는 곳의 추정은 회귀를 위한 이중추출 특히 항공사진과 고정표본점을 병행한 이중추출에 의하여 실행한다. 조사항목에서는 성장과 고손량의 추정, 벌채량, 목재생산량의 변화 등이 중심으로 되지만, 현재에는 산림의 건전도가 최대의 관심사로 되어 있다.



〈그림 3〉 10점 집락추출법

(2) GIS와 리모트센싱

항공사진을 CFI와 결부시켜서 이용하는 이중추출법은 다음에 언급하는 것처럼 미국에서는 자주 사용되고 있으며 디지털처리와 도화기술의 발전은 광역조사데이터의 연도마다 갱신과 임분수준의 정보제공을 가능하게 하였다. 가령 남부임업시험장의 FIA팀은 GIS의 환경중에 리모트센싱데이터, 비디오키메라, GOS의 총합이용기술을 개발중에 있다. 여기에서는 고정표본점은 3마일×3마일 격자점상에 설정되어 수회에 걸쳐서 재측정된다. 각각의 표본점에서 비타리히법에 의해 10집락포인트가 측정되어 휴대용 data기록기에 전송된다. 리모트센싱에서는 광역의 조사에는 NOAA의 AVHRR 데이터가 이용되지만 이것과 항공사진을 비교한 결과 1980년과 1990년의 변화를 나타낸 2개의 측정치가 매우 가까운 것으로 판명되었다.

임분과 임분마다의 정보를 필요로하는 국유림에서는 LandsatTM data가 이용된다. 가령 미시시피리모트센싱센터와 FIA팀이 공동프로젝트에서는 임분 및 임분계, 지형, 도로, 하천 등이 GIS에 입력되어 TM데이터와 관련지어 표시된 분석에 이용되고 있다.

(3) 조사항목

FIA의 목재관계 조사에서는 표본점수준에서는 소유자, 위치, 지위지수, 임령, 임형, 흉고단면적 등 31항목, 표본점내 임목에 대해서 재적, 직경, 수종, 등급구분, 성장과 고사 등 19항목이다.

1970년대에 산림자원의 총괄적인 평가가 법제화되어 1975년에는 FIA산림자원조사를 다목적의 자원조사로 확장하는 프로그램이 시작되었다. 주요한 측정항목은 목재, 어류, 야생동물, 초지자원, 레크레이션, 토양과 물이다. 또 소유구조조사 등의 사회적인 조사와 풍치적인 경관조사, 바이오매스, 생태조사, 리모트센싱, 병충해조사 등도 포함되어 있다.

이 FIA프로그램과 전후하여 1974년에 RPA법(Resources Planning Act: 자원계획법)이 제정되어 미국 전국토의 산림을 현재 및 장래를 통하여 정기적으로 평가하고 보고하는 것이 의무로 되어 있다. 평가해야 할 재생자원에는 야생생물, 어류, 레크레이션, 초지자원, 광물,

물, 그리고 목재자원이 포함되어 있다. 1989년에는 RPA법의 평가에 필요한 정보를 정비하기 위하여 FIA와 국유림지방사무소가 수집한 data를 이용하여 RPA법 목재자원 데이터베이스에는 면적, 임분인자로서의 위치, 소유자, 국유림코드, 확대지수치, 임형, 생산력, 임분의 크기, 임령 등이 있고 재적인자로서는 이용재적, 저질목 이용재적, 고손 및 수생장량 등 43개의 조사항목이 있다. 또 비목재자원조사에서는 각지역의 임업시험장에 의하여 다소간 차이는 있으나 주요한 항목은 거의 비슷하다 (『이승호-산림자원조사에 원경탐사 및 GIS 기술적용』 참고).

한편 1990년에 시작된 산림의 건전도 모니터링조사에서는 FIA의 항목 대부분외에 토양, 낙엽의 양분, 산림의 수직구조, 광합성, 야생생물 등이 측정되어 있다.

(4) 조사시스템

국가수준의 것으로서는 앞에서 언급한 FIA 프로그램과, RPA법에 관한 것 외에 산림의 건전도 모니터링조사의 데이터베이스, 해석시스템 등이 있다. 1980년에는 FIA팀의 4개의 프로젝트를 통합하여 시스템의 통합화를 도모하였으며 국내외의 이용자에게 편의를 도모하기 위하여 데이터베이스화가 진행되었다.

RPA법에서는 전국토에 걸쳐서 표본점수준의 정보가 시스템 2,000 Oracle등의 데이터베이스에 보관되어 있다. 아직 미공개 데이터베이스이지만 정보에 대한 요구에 인색물, 컴퓨터파일로의 데이터베이스 관리국이 직접 대처하고 있다.

(5) 성과의 발표와 사용자

성과는 2가지 종류의 보고서 형식으로 발표된다. 하나는 총괄적인 통계해석 보고서이고, 다른 하나는 특별한 단행본의 보고서이다. 전자는 가령 RPA법의 요청에 의하여 제출된 미국산림, 초지자원의 평가류에서 목재자원전망에 관한 것까지 포함되어 있다. 또한 7개의 FIA팀은 주 혹은 지역수준의 자원내용, 공급의 평가 등을 분석하고 있다. 특별한 레포트로서는 캔사스의 산림바이오매스와 수확에 관한 보고서 등이 있다. 사용자는 지역의 여러 部·局, 기업, 조합, 대학 등이 있고 이들과 끊임없이

교류하면서 희망을 듣고 규정이외의 조사에는 기금과 회원의 원조를 받고 있다.

6) 일본

다음은 우리나라와 인접해 있고, 산림자원조사 방법이 거의 유사하여, 추후 이들의 조사방향이 우리에게 직간접적으로 영향을 미칠 것은 자명하므로, 일본에 있어 앞으로의 조사방향을 집중 조명해 보도록 하겠다. 현재의 조사체계는 앞서 언급한 바 있듯이 캐나다방식과 거의 유사하므로 여기에서는 설명하지 않겠다.

(1) 일본에서의 국가산림자원조사시스템의 방향

일본에서 가장 적절한 시스템의 기본적인 방향제시와 이를 부연 설명하면 다음과 같다.

- 山林簿와 CFI의 병용방식의 적용
- 다목적적인 자원내용을 파악하여 모니터링 기능을 중시한 CFI의 도입
- GIS, 리모트센싱의 통합에 의한 조사기술의 고도화

가. 山林簿와 CFI의 병용방식의 적용

일본에서의 산림부는 나라 및 지역수준에서 각종의 산림계획, 자원예측 등에 전통적으로 이용되어 왔으며 세계에서 예를 볼 수 없이 정착된 기술로 되어 있다. 이와같이 일본의 국가산림자원통계는 산림부를 축적하는 방식을 채용하고 있는 것에서 그 이점을 살리고, 이의 결점을 보충하기 위해서 CFI와 병용하는 시스템이 바람직하다. 그러나 산림부의 정도를 높이기 위해서는 내용의 개선을 행할 필요가 있을 것이다. 예를들면 산림부를 포함한 데이터베이스구조의 개선, 필요없는 항목의 삭제와 새로운 항목의 추가 등에 의한 항목의 개선, 소유자, 성장량, 축적 등의 갱신방법의 개발 등이다. 산림부의 결점의 하나로 정확한 자원내용의 모니터링기능을 갖고 있지 않은(임령을 조사하여 간이수확표에서 축적과 성장량을 확정하는 방식을 택하고 있기 때문에 현실에서 간벌 등의 시업이 변해도 종래의 수확표가 사용되고 있다) 점을 들 수 있다. 이것을 보충하는 역할로서 CFI는 유효한 수단이며 전국, 지역의 집계를 하는 것보다도 자원과 환경변화의 모니터

링에 중점을 둔다. 이 때문에 샘플의 수는 그만큼 많이 들 필요가 없을 것이다. 앞에서 언급한 것처럼 일본은 지역데이터를 축적하고 있는 캐나다방식에 가깝고 Lowe가 지적한 것처럼 어쨌든 저밀도의 샘플을 병용하여 모니터링기능을 충실하게 할 필요가 있다. 또 산림부에 의한 전국, 지역집계치를 사전정보로서 CFI데이터에 의해 보정하는 Bayesian적인 수법의 개발도 필요할 것이다.

나. 다목적 자원내용을 파악하여 모니터링기능을 CFI에 도입

a) 다목적적인 자원조사

미국에서는 山林局이 목재자원 뿐만 아니라 레크레이션, 물, 고기, 야생동물, 광물자원, 牧野資源 등의 다목적적인 자원정보를 정기적으로 수집분석하여 정보를 공개하고 있다. 이미 지적한 것처럼 스위스, 북유럽을 시작으로 선진국에서는 목재자원만의 조사에서 환경을 포함한 산림변화의 모니터링조사에로 변화하고 있다(표 1). 현재 일본에서는 이와같은 다목적적인 자원조사는 실행하지 않지만 일본에서 단지 하나의 정점관측을 실행하고 있는 벌채조사를 개선하는 것도 하나의 방법일 것이다. 벌채조사는 벌채면적, 벌채방법, 임종, 수종, 임령, 벌채율, 벌채시기를 매년 조사하는 것으로 그 조사비용, 精度의 면에서 재고할 필요가 있다고 할 수 있다. 스웨덴처럼 CFI와 결부된 벌채조사가 효율이 좋고 뒤에서 언급한 GIS를 다룬 다목적적인 자원조사에로 전환을 시도할 필요가 있다.

b) 산림환경변화의 모니터링

이를 위해서는 기본적으로는 토지이용, 시업, 산림환경에 관한 변화를 감시하는 것이고, 기법으로는 리모트센싱과 지상조사에 의한 병용이 바람직하다.

리모트센싱에 의한 조사는 변화가 있다고 생각되는 장소를 화상에 표시할 수가 있을 것이다. 토지이용에는 침엽수림, 활엽수림, 건조물, 농지, 수역 등으로 분류하여 토지이용변화를 추적하는 것으로서 가령 침엽수에서 농지, 혹은 활엽수에서 수역 등으로 변화된 경우 등이 고려되며 리모트센싱에서 변화되었다고 생각되는 個所를 선택한다. 어쩌면 정확한 정도에서

몇 개의 급(rank)으로 나누어질 것이다. 실제로는 토지이용도 등 GIS에 의한 기존정보를 이용하여 분류의 정도를 높이고 지상조사 또는 항공사진 등으로서 그것을 점검하는 시스템을 생각할 필요가 있다. 사업에서는 개별, 택벌, 간벌 등의 실행면적 파악이 목적이지만 리모트 센싱에서 파악이 가능한 것은 일정면적 이상의 개별과 강도의 간벌, 택벌 등일 것이다.

산림환경에 있어서는 병충해, 풍해, 설해, 불량조림지 등 자연 혹은 인공적인 교란에 의한 것외에 산림식생의 변동, 활력도와 산림의 건전도, 산성우의 영향을 모니터링한다. 더욱이 리모트센싱에 의한 산림변화의 예찰기법에 대해서는 차기산림자원조사시스템에서는 경보 시스템으로서 검토가 진행되고 있다.

지상조사에 있어서는 이미 언급한 것처럼 선진국의 CFI가 단순히 자원조사에서 환경의 모니터링조사로 바뀌어가고 있기 때문에 이들을 참고로 항목마다 조사법의 검토가 바람직하며 특히 일본에서는 CFI를 도입하여 시업별 재측정데이터를 기초로 보다 정도가 높은 수확표를 이용하여 산림부 정보의 자동갱신시스템의 확립이 바람직하다.

다. GIS, 리모트센싱의 통합에 의한 조사기술의 고도화

a) GIS와 리모트센싱의 결합

다목적 산림조사 가운데 표본점의 정보로서 토양, 지형 등은 토양도, 지형도에서 얻어지는 것이 많고, 지상조사를 행하는 대신에 이들의 정보를 이용하는 것이 나은 방법이다. 이들 지도정보는 사전에 GIS 정보로서 축적되어 있어도 좋다. 그러나 국토수치정보, 환경청, 기상청의 각종 정보, 縣의 각종 지도정보는 플로피로서 이용가능하기 때문에 데이터의 입력면에서 간소화가 될 수 있다.

다음은 이와 같은 면에서 기존의 정보를 잘 사용하여 성과를 올릴 수 있는 몇가지 예를 들어보자.

① 리모트센싱과 국토수치 정보의 이용

鷹尾(1992)는 태풍의 전후 2시기의 MOS · MESSR의 데이터를 이용하여 大分縣玖珠町을 대상으로 광역의 산림피해조사를 확립하고 있

다. 국토수치정보의 고도 및 市町村界데이터를 리모트센싱과 조화시켜서 지역별 피해도 및 사면방위별 피해도를 구한다. 이것에 의하면 산림피해는 남, 남서사면에 많이 발생하는 것으로 판명되었다.

② 리모트센싱과 산림부 정보의 이용

加藤(1990)는 북해도에 있어서 인공위성의 화상해석시스템(ERDAS)을 도입하여 랜셋TM의 화상에서 임반계, 임도를 중복해서 표시하며 각 임소반의 점검과 불량조림지의 추출이 가능하다는 것을 언급하였다. 또한 동일임령의 소반표시를 사용하여 각소반의 간벌적기의 판정, 임분상태의 비교에 의하여 경영임목 전체의 지위의 판정에도 도움이 되는 것으로 밝혀졌다.

③ 기존정보를 이용한 산림관리정보의시스템

富山縣은 자연의 혜택으로 산림의 水土보전, 생활환경보전 등 산림의 다양한 기능에 관한 주민의 관심도 높다. 이와같은 점에서 산림의 자연적, 사회적인 정보정비를 시도함과 함께 그 정보를 총합적으로 평가하는 산림관리정보시스템을 구축했다. 이 시스템은 갱신, 신항목의 추가 축적자료의 평가, 입체도 등의 출력이 가능하며 대화가 가능한 PC에 의한 형식을 채용하고 있다.

- 산림정보 관리를 실행하는 데이터베이스 기능
- 산림정보의 표시를 실행하는 GIS 기능
- 총합평가를 실행하는 산림정보축적의 기능

데이터베이스 정보로서 국토수치정보, 기상청의 mesh기후도, 환경청의 자연환경보전기초조사 등의 기존데이터를 이용한다. 수집한 mesh의 크기는 500m mesh로서 산림지역, 산림계획구, 국유림, 보안림에 대해서는 컴퓨터에 입력하고 있다.

b) GIS와 모니터링

Clark에 의하면 GIS를 이용한 모니터링기능은 다음의 6개의 역할을 갖고 있다고 하였다.

① 데이터수집, 변환에 대한 체계

지역과 목적에 따른 데이터의 수집, 변환하고 있기 때문에 체계화된 데이터 작성순서를 표시할 필요가 있다. 새로운 데이터 수집방식과 기존정보이용방식이 검토된다.

② 데이터의 통합, 합성

데이터의 통합에 대해서는 다른 데이터를 결

합, 또는 통합화하거나 결손치를 추정하는 모델이 필요하다. 산림부에 축적하는 방식을 채택하여 전국 집계에 있어서는 산림부 항목 양식의 통일 등이 중요하게 될 것이다. Matumoto (1991)는 임야청 활엽수 부존량조사의 데이터를 이용하여 지역별 수증비율, 축적별 부존량을 산출하여 전국지도를 작성한 바 있다.

③ 정보의 갱신

데이터의 갱신에 있어서는 소유자의 변경, 벌채수종, 면적, 임령 등의 변경, 토지이용의 변경에 따른 데이터의 갱신이 필요하다. 그러나 縣에서는 인력이 부족하여 충분히 대응이 되지 않기 때문에 협조체제 등 사업계획시의 갱신, 혹은 성장모델에 의한 갱신 등의 방안을 강구할 필요가 있다.

④ 예보

데이터의 변경이 과거에서 현재까지를 다루는데 대하여 예측은 장래에 있어서는 정보를 필요로 한다. 또 지역적인 요청에 따르기 때문에 지리적인 조건에서의 변화 분석이 요구된다. 단순한 방법에서 보다 수학적 혹은 섬세한 방법이 필요하게 될 것이다. 국가 또는 유역수준의 산림자원예측은 가장 중요한 데이터이다.

⑤ 영향 분석

예를 들면 지역과 도시계획에서 새로운 슈퍼마켓이 생겼다면 어떠한 영향이 미칠 것인가 등의 경우가 해당된다. 임업에서는 개발과 온난화에 의한 산림생태계의 바이오매스조사 등이 고려될 것이다.

⑥ 최적화

최적화의 문제는 공간적인 분석 분야에서도 다루어지며 장소의 할당문제와 비선형계획법으로 그 성과가 얻어지지만 임업분야에서도 지역수준의 계획에는 급후 필수적인 것이다.

II. 국가산림자원조사의 총괄적인 검토

1. 선진국의 국가산림자원조사에 있어 공통된 주요 특징

각국에 있어 국가의 산림조사 프로젝트를 수행함에 있어, 표본추출, 조사, 분석 등에 있어 공통된 주요한 특징을 요약하여 보면 다음 몇 가지와 같다(〈표 1〉 참고).

1) 표본추출기법과 CFI기법의 고도화

추출의 수법에서는 표본점의 형상, 배치에 관해서는 계통적인 동심원상 표본점(스위스)과 트랙(북유럽, 오스트리아 등)이 있다. 트랙의 가운데에는 고정표본점과 잠점표본점을 병용하고 있는 것이 많지만 표본점의 형상은 표본점(스웨덴)과 plotless(핀란드)의 경우가 있다.

다음에, 추출방법에 대해서는 〈표 1〉을 보아도 알 수 있는 것처럼 스위스, 미국, 핀란드는 리모트센싱과 지상조사에 이중추출을 응용하고 있다. 이중추출은 層化를 위한 추출에 잘 이용되고 있다. 층화를 위한 추출에는 층화추출과 비슷하지만 층의 구획작업을 하지 않는 점이 다르며 항공사진에서 얻은 보조정보는 어디까지나 샘플의 할당을 위한 것이다. Köhl et al.(1992)은 층화를 위한 추출과 회귀추정을 위한 추출의 정도가 뛰어난 것으로 사업과 생태적인 정보를 필요로 하는 다목적 조사에서는 층화를 위한 추출이 적합하다고 말하고 있다.

또 미국에서는 이중추출의 표본추출은 2차 또는 3차의 경우가 많다. 가령 2차표본추출에서는 1차표본에서 항공사진에 토지이용급, 산림형태, 재적급, 개발가능성, 소유형태, 수목크기급 등을 읽고 이것을 바탕으로 층화를 실시한다. 2차표본에서는 1차표본과 같은 단위로 (같은 형상과 면적)로 읽으며 층마다의 통계치 추정에 이용한다. 표본점은 1차, 2차표본 모두 CFI의 격자상의 점에서 얻어지는 것이 많다. 또 일부 교체추출(Sampling with Replacement)을 조합시키는 것도 있다.

핀란드에서는 이중추출기법을 GIS와 결합시켜서 데이터의 수집, 분석, 갱신에 응용시키는 것도 연구되고 있다. 또 이 나라에서는 위성데이터와 지상데이터에 의한 이중추출이 이용되고 있으며 급후에는 다목적 자원조사에서의 층화법, 1차추출과 대응된 지상조사법의 연구가 기대되고 있다.

일본과 같이 산림부제도가 채택되어 있는 나라에서는 통상 간이수확표(임령별 재적을 나타낸 것이 대부분)를 이용하여 임령을 바탕으로 재적을 갱신하는 경우가 많다.

선진국에서 CFI시스템을 채택하고 있는 국가에서는 표본점이 5년에서 10년 간격으로 재

측정되기 때문에 매년도별 데이터가 필요한 경우 성장모델에 의한 갱신을 행한다. 일례로 핀란드의 MELA라고 하는 LP에 의한 자원예측 시스템은 성장모델에 의한 자동갱신을 실행하고 있다.

더욱 미국에서는 북부중앙 로키산입업시험장, 미네소타천연자원국 임업부의 공동의 과제로 매년 산림자원조사시스템(AFIS; Annual Forest Inventory System)을 개발하고 있다. 리모트센싱에서 자원변화를 파악하여 변화가 있는 경우에는 FIA팀이 시행하는 지상고정표본점에서 재측정할 지 여부를 판단한다. 고정표본점데이터에 의한 성장 모델을 작성하여 재측정하지 않는 표본점의 재적 등의 데이터는 이 모델에 의하여 예측한다.

CFI를 채용하고 있는 국가에서는 스위스와 같이 전통적인 전체 고정표본점을 설정하는 국가와 미국과 같이 일부고정, 일부 임시표본점으로 하는 국가로 분류된다. 그러나 스웨덴도 1993년에 시작한 제2차 국가자원조사에서는 일부고정, 일부임시방식으로 교체할 예정이다. 측정비용이 그 중요한 이유이지만 새로운 조사의 쓰임이 발생한 경우 등은 어느 정도 자유로운 임시표본점이 효과적일 때도 있을 것이다. 그러나 반면 추정산출식과 오차의 계산은 복잡하게 되는 경향이 있다.

2) 자원정보에서 환경정보(생태, 산림기능의 조사, 다목적적인 산림조사)로의 추이와 모니터링기능의 중시(산성우, 산림건전도 조사 등)

각국에서도 지금까지 이제까지 산림자원관련 정보에 대한 정보를 CFI에서 수집하였으며 병충해(미국), 눈사태(스위스) 등에 대해서는 이미 산림자원정보와 함께 측정되고 있다. 그러나 근래 환경에 관한 관심이 높아짐에 따라서 선진국에서는 산성우(스웨덴), 산림건전도조사(스웨덴, 미국), 식물사회학적인 식생조사(스위스), 야생생물조사(미국, 스웨덴) 등의 조사는 CFI의 조사에 포함되어 있지만 CFI의 표본점에 보조표본점을 설정하여 조사를 하고 있다. 더욱 미국에서는 RPA법에 바탕하여 목재, 어류, 야생동물, 초지, 레크레이션, 토양, 물의

조사를 시행하고 있다. 이것은 앞에서 언급한 바 있다.

CFI를 산성우, 산림의 건전도, 피해도 조사에 이용하는 경향은 스위스, 스웨덴, 핀란드에서 알 수 있는 바와 같이 점차로 증가하고 있다. 일본에서는 CFI시스템을 채용하고 있지 않기 때문에 산성우 조사는 별도로 1,200개의 정점 관측망을 설치하여 모니터링을 시행하고 있다.

산성우조사에서 일본과 동일한 방식을 채택하고 있는 나라로서 미국이 있으며 산림국, 환경보호청은 1990년에 산림건전도 모니터링 프로그램(FHM)을 시작하였다. 이것은 상위의 산림 모니터링과 평가프로그램(EMAP)의 일부이다. FHM의 추출포인트는 미국 전국토의 EMAP 12,600개의 육각형 grid상에 배치되어 각 grid 점은 同心圓上의 원형표본점 4조를 단위로 하는 입지, 토양, 수목크기, 시각적인 기후, 잎분석, 식생의 조사를 행한다.

산림피해조사에 CFI의 표본점을 이용하는 예로서 스웨덴이 있으며, 1975년부터 5년마다 환경청의 요청으로 선택투에 있어서 중급속의 함유조사를 행하고 있다. 이어서 1984년부터 산림피해조사가 시작되었다. 이때 CFI의 표본점을 이용하여 토양조사, 식생조사 및 화학분석을 위한 토양조사를 시행했다. 나방에 의한 수목의 食害, 風倒·枯死木조사, 성장량조사는 건전도 모니터링의 일환으로서 실행되고 있다. 리모트센싱과 표본목의 침엽조사와 아미노산의 분석은 환경의 모니터링에 중요한 역할을 가지고 있다. 또한 핀란드는 1985년부터 산림피해에 관하여 UN-ECE프로그램에 참가하여 1986년부터 1990년까지 산림환경조사(Forest Condition Survey)를 실행한 바 있다. 제8차 국가산림자원조사의 70,000개의 잠정표본점 중에서 11,000개의 표본점은 낙엽조사가 행해지고 3,009의 고정표본점에서는 낙엽, 新葉나이, 수관변색 등에 의한 활력도조사가 행해졌다.

3) 항공사진, 리모트센싱과 GIS의 응용(리모트센싱, 지상조사와 병행, 지도화)

캐나다, 미국이 국가산림자원조사에 GIS를 본격적으로 다루고 있는 한편 핀란드는 리모트센싱과 GIS를 CFI에 포함한 연구를 실행하고

있다. 또 스위스에서는 본격적인 GIS를 이용하고 있지는 않지만 CFI에서 측정된 각종의 정보를 메슈에 의한 도화하여 공표하고 있다.

국가산림자원조사의 목적이 다목적의 자원관리로 이행함에 따라서 시공간적인 정보를 바탕으로 효과적인 정보의 축적과 정보상호의 분석이 필요하게 되어 있다. GIS는 이 때문에 가장 적절한 수단이며 리모트센싱, 기온정보와 지상조사 데이터를 통합하는 것을 가능하게 한다.

현재 CFI 조사에 리모트센싱을 도입하고 있는 것은 어느 국가도 마찬가지지만 국가실태에 따른 특색이 있다. 가령 스위스에서는 항공사진을 중시하고 있으며, 캐나다, 미국에서는 리모트센싱과 항공사진을 중심으로 조사를 행하고 있다.

4) 조사팀의 편성, 데이터 처리시스템, 성과의 발표, 자원정보의 이용

국가산림자원조사는 국가가 책임을 갖고 실행하는 것이 원칙이지만, 형태가 각기 다른데, 국가가 예산을 내어서 전문적인 조사팀을 만들거나(스위스, 핀란드), 대학에 조사팀을 편성하는(스웨덴)경우가 그러하다. 혹은 미국처럼 지역의 각 입업시험장내에 다목적의 자원정보의 조사, 분석을 행하는 프로젝트팀(FIA)을 편성하고 있는 경우도 있다.

조사데이터의 집계는 중앙에 대형컴퓨터(예를 들면 스웨덴에서는 Cyber 170-730, 스위스에서는 3900마이크로VAX에 SAS와 Oracle 등의 소프트웨어가 설치되어 있다)에서 처리되지만 이외에 항공사진해석용으로 도화기KERN DSR 1이 정비되어있는 경우도 있다(스위스).

야외조사에서는 휴대용컴퓨터가 야장대신에 이용되고 있다. 그러나 협의회 등을 설치하여 지역의 의견을 듣도록 되어 있으며, 민간 등에서 규정이의 조사를 필요로 하는 경우 유료로 하는 경우도 있다.

Ⅲ. 국가산림조사의 미래 방향

국가산림조사의 금후의 방향에 대하여 Pelz (1992)는 다음과 같이 말하고 있다. 현재의 자원조사 자료는 목재자원에 관한 것이 중심이고

토양, 식생 등의 정보가 대부분이지만 금후 레크레이션 이용의 잠재력, 야생동물의 생활영역, 수역, 비목재자원의 식생 등이 중요하게 되었다. 이러한 정보, 예를들면 레크레이션 정보는 다른 정보에서 간접적으로 평가 가능한 것이 많다. 토양, 생물권지도, 목재소비에 관한 통계, 水流정보, 특수임산물 수출 등에서 얻어지는 보조정보는 산림의 독특한 기능을 평가할 가능성을 가지고 있다. 혹은 음료용 수목, 야생생물용 공간에 관한 정보도 필요할 지도 모른다. 이 보조정보를 사용하는데는 지리적인 정보를 획득하는 것이 필요해서 GIS는 없어서는 안될 수단인 것이다.

다른 하나는 지구차원에 관한 문제로서 특히 지구온난화, 생물의 다양성에 관련된 것이다. 이들은 지상의 바이오매스와 토양층에 관계되지만 전자에서는 산림자원을 일종의 변환률로서 변환한다면 된다. 생물의 다양성에 대해서는 시계열적인 국가자원조사에서 그 변화를 조사할 수 있지만 필요에 따라 보조적인 조사를 추가하면 좋다.

결론적으로 금후 국가산림자원조사에 대한 국민의 요구는 다양화될 것으로 보여지며, 이것과 관련되지 않는 조사는 다목적의 것으로 되어 각각 새로운 조사법의 개발이 필요할 것이다.

인 용 문 헌

1. Forest Service. 1987. Forest service resources inventory : an overview. pp.1-29.
2. Lowe, J.J. 1992. National forest inventories by aggregation of existing inventories. Proc. of Ilvessalo Symposium on National Forest Inventories. Finn. For. Res. Inst, Res. Pap. 444 : 25-31.
3. Pelz, D.R. 1992. National forest inventories; past developments and future prospects. Forest inventory and monitoring and remote sensing technology, 11-18. Jap. Soc. of For. Plan. Press.
4. Schieler, K. 1992. Contribution of a permanent forest inventory to a national inform

system from the Austrian point of view, Forest resource inventory and monitoring and remote sensing technology. pp. 67-70. Jap. Soc. of For. Plann. Press.

5. 西川匡英. 1994. 先進諸外國の國家森林資源調査の動向と展望-多目的森林資源調査への推移を通して. 日本森林計劃學會誌 22:1-18.
6. 富山縣. 1991. 森林管理情報システム. 107pp.

山林調査情報の更新方法論

孫英模¹

Updating Method of Forest Inventory Information

Yeong-Mo Son¹

I. 緒論

山林經營者와 政策立案者는 산림경영 및 정책의 현명한 결정을 위하여 산림자원의 현재와 미래상황에 대한 정보가 필요하다(그림 1)). 따라서 산림자원에 대한 전반적인 조사가 週期的으로 수행되는데(보통 10년) 이 조사는 실제 그 조사시기만의 자원량을 알 수가 있다. 그러나 산림은 지속적으로 변화하는 動態生物學的의 시스템이다. 이에 적절한 대안으로 산림자원의 보다 빈번한 조사 및 확대 또는 자료의 更新(update)을 들 수 있다. 그러나 前者의 경우 조사의 표본 추출과 방법론적인 연구, 진보된 계산기술과 데이터베이스 구축, 그리고 적시의 遡隔探查에도 불구하고 표본점의 배치와 측정은 많은 시간과 경비가 요구된다. 따라서 後者인 산림자원조사 자료의 갱신 - 또는 생장예측 - 이 효과적인 산림경영을 위하여 매우 중요하다.

갱신은 과거 또는 알려진 시기의 임분상태에 대한 동태적인 변화를 모델링하여 현 산림상태를 추정하는 것이라 정의할 수 있으며, 이 정의의 주된 개념은 "모델링"이라 할 수 있다(Smith and Raile, 1979). 그리고 갱신의 필요성을 들자면, 산림자원을 모니터링하기 위한 기본토대인 동시에 모니터링의 수준을 결정할 수 있는 요인이며, 또한 산림조사주기를 결정함에 있어 요인으로 작용한다는 점을 들 수 있다.

산림자원조사자료의 갱신은 보통 생장 및 수확모델의 적용을 통해 이루어지며, 여기에는 많은 종류의 생장·수확모델이 있을 수 있다.

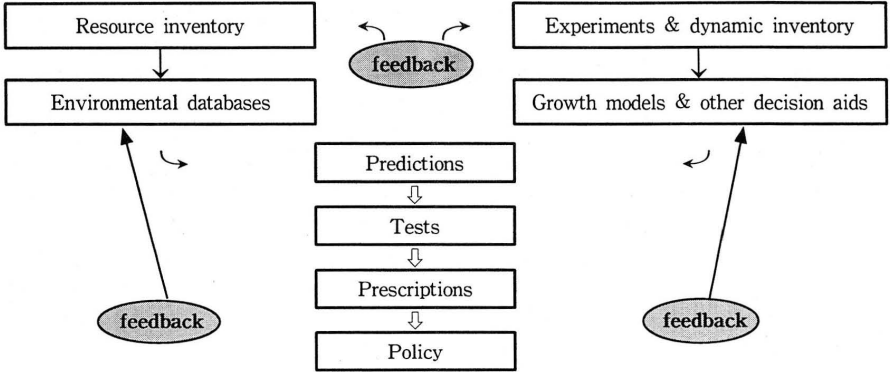
이들 방법에는 가장 기본적인 예측단위로서 개개목을 이용하는 기법으로부터 전체임분의 요약된 자료만을 이용하는 방법까지 다양하다.

생장 및 수확예측은 산림경영에 있어 절대적인 것이다. 생장 및 수확예측이 사실상 모든 山林經營 意思決定에 관여하며, 생장 및 수확정보의 기본적인 이용은 다음의 카테고리로 나뉜다; i) 山林資源調査의 更新, ii) 造林의 施業의 評價, iii) 經營計劃, iv) 收穫스케줄.

생장 및 수확정보는 다양한 목적을 위하여 이용된다. 예를 들자면, 사람들이 조림 사업의 평가에 우선적으로 관심을 가진다면, 아마도 적절한 조림적 사업을 포함하는 실험설계형태가 이용될 것이다. 모델형태는 식의 구조는 아주 상세할 것이고, 출력형태는 전 처리과정이 다양한 가정에 따라 변화하면서 산출될 것이다. 이와는 다르게 사람들이 산림자원조사 갱신에 우선을 둔다면, 데이터는 모델을 응용하고자 하는 임분형태의 대표적인 표본에서 얻게 될 것이며, 모델에 입력되는 자료는 필수적으로 산림자원조사에서의 데이터 정의와 모순되지 않는 적절한 양이 요구될 것이다. 식의 형태는 산림자원조사 데이터베이스 구축에 필요한 출력물 산출을 위하여 가능한한 단순하고 직선적일 것이다.

본 稿에서는 산림자원조사의 주기적 조사에 따른 주기내 자원량을 추정하기 위한 몇가지 갱신 방법을 제시할 것이며, 특히 생장·수확모델을 이용하는 방법에 대하여 집중적으로 언급하고자 한다.

¹ 임업연구원 Forestry Research Institute, Seoul, Korea.



〈그림 1〉 산림자원조사와 정책결정의 순환

II. 자료갱신(Updating)의 도구

1. 時系列分析(Time series analysis)

시계열 분석은 一連의 시간경과가 있는 데이터 분석과 과거 推移에서 미래를 推論하는데 있어 가장 典型的인 방법이다. 기본적인 假定은 예측하고자 하는 기간동안 이전의 趨勢가 변화없이 계속된다는 것과 예측을 변화시키는 우연한 일은 발생치 않는다는데 두고 있다. 그리고 추이에 대한 추론은 직선적이거나 보다 복잡한 곡선적인 형태로 할 수 있다.

과거 추이에 의한 추론은 短期間의 산림자원조사 갱신을 위한 단순하고 효과적인 기법이라 할 수 있다. 과거 추이에 기초한 장기간의 추론은 대체로 실제 추이와 다르게 될 확률이 높다. 그럼에도 불구하고 주기적인 산림자원조사 자료의 많은 이용자들은 재적 및 성장 등을 과거추이에서 추론하고, 5년 또는 10년된 산림자원조사로부터 현재의 材積을 추정하기 위하여 伐採量을 이용하기도 한다. 과거 추이의 추론에 의해 蓄積資料를 갱신할 수 있는 가장 단순한 방법은 다음과 같은 식을 이용한다.

$$V_2 = V_1 + n(G - R)$$

여기서, V_1 =가장 최근의 재적 추정치,
 V_2 =갱신된 재적 추정치,
 G =최근의 연간 순 성장량 추정치,
 R =최근의 연간 벌채량 추정치
 n =갱신되는 연도 수

2. 推移確率行列(transition probability matrix)

徑級分布를 갱신하거나 어떤 분류에 의해 면적 추정치를 갱신하기 위한 기본적인 도구는 Markov 추이확율행렬이다. 추이확율행렬은 두 점간에서 또 다른 계급으로 변화하는 주어진 계급의 비율을 나타낸다. 열은 과거의 계급을 말하고, 행은 현재의 계급을 말한다. 만약 T 가 K 년 동안에 2회 조사에서 얻어진 추이확율행렬이고, 초기 계급분포로 표현되는 열 벡터가 At 라면, 그때 $t+k$ 계급분포는 AtT 이다. n 기간후 계급분포는 AtT^n . 여기에서 정의되는 시스템은 K 년의 성장으로 한정짓는다. 그리고 推移確率은 靜的이라고 가정하여 제한한다. 이러한 제한은 수정할 수가 있으며, 단기간의 갱신을 위하여 일정 기간으로부터의 年間確率行列(annual probability matrix)을 유도하는 것이 필요하다(Edwards *et al*, 1985). 면적 갱신을 위한 分類 시스템(classification systems)은 임상, 소유 및 방해물 등과 같은 다양한 변수를 포함한다. 그러나 추이행렬에서의 각 셀에 대한 추이확율의 정확한 추정치를 가지기 위해서는 커다란 데이터 셀이 요구된다(Birdsey, 1988).

3. Remote sensing

이 도구는 산림의 가장 기본적인 정보 획득을 위한 가장 큰 규모의 산림자원조사와 산림변화에 대한 情報源으로서의 산림조사자료 갱신을

위하여 이용된다. Remote sensing 기법은 임지의 특별한 지역을 갱신하거나 일부 표본조사 갱신을 위하여도 사용할 수 있다. 갱신을 위한 표본추출설계는 일반적으로 두 독립된 표본의 변화를 효율적으로 알기 위하여 먼저 수행된 조사에 근거한다(Cunia, 1985).

통계적으로 독립된 표본들에 있어, 2개 임의 변수간의 차이는 그 分散과 같은 分散을 갖는다. 그리고 분산값은 차이 크기에 비교해 상대적으로 높다. 만약 표본점이 再測定된다면 연속적인 값들은 일반적으로 높은 상관을 갖게 되고, 두 임의 변수간 차이의 분산은 그들 분산합에서 共分散의 2배를 뺀 것과 동일하다. 따라서 대부분의 當代에 계속되는 산림조사는 일부의 재측정 또는 永久標本點 전부의 재측정을 포함하는 설계를 한다. 갱신을 위한 기본적인 표본추출기법은 연속적인 산림조사를 위하여 이용되는 표본추출기법과 유사하다.

4. 地理情報시스템(Geographic Information System)

GIS는 植生, 道路 또는 국가 경계 등과 같은 다양한 종류의 부분적인 정보를 통합하는 가장 기본적인 도구로서 급속한 진전을 가져온 분야이다. 또 GIS는 어떤 地圖化된 정보와 함께 航空寫眞 또는 人工衛星 자료를 overlay하여 폭넓게 사용된다. 또 이것은 林地 또는 표본점에서의 특별한 지점의 구성상태에 대한 자료갱신을 위해 무한한 潛在의 가치를 지니고 있다.

Ⅲ. 生長수확모델에 의한 자료갱신

1. 산림자원 정보에의 生長수확모델 적용

林分動態(즉, 生長, 枯死, 更新, 임분에서의 종합적인 변화)는 직간접적인 방법을 통하여 예측된다. 林分表에 의한 豫測(stand table projection)과 같은 직접적인 방법은 기존 임분에서의 野外調查로서 해결한다. 과거의 生長과 고사경향은 조사된 임분에서의 미래에 대한 경향을 추정하기 위하여 이용된다(Avery and Burkhart, 1983; Clutter *et al.*, 1983). 그러나 산림생장과 고사의 직접적인 관찰이 곤란한 많은 상황이 있다. 임분표 예측기법을 통해 개

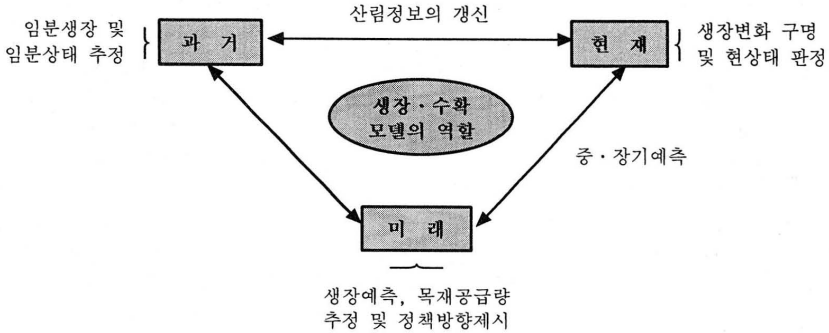
발된 직경생장, 고사 및 進界生長관계는 오랜 기간 동안 非合理的으로 사용되어 왔다.

과거로부터의 生長추론은 과거 生長과정에 있어 주변의 많은 환경적 요인들에 의해 제한 받는다. 따라서 산림경영활동이 산림의 특성을 변화시킬 때 임분표예측은 미래생장에 대한 실제적인 추정을 제공하지 못한다. 여러 상황이 변화하는 미래생장을 추정하기 위하여 과거생장을 이용한다는 것은 곤란한 일이기 때문에 임업인들은 지속적으로 임분동태를 예측하기 위한 간접적인 방법들에 의존해왔다. 즉, 生長, 고사 및 임분에 관계되는 기타 양 등은 生長·수확모델이 응용된 다른 임분의 연구에서 추론된다.

산림자원조사는 실제 조사시의 현 재계에 대한 정보만을 제공한다. 그러나 生長모델을 위한 변수가 산림조사의 일부분으로 설계되어 정확히 측정된다면, 모델을 이용한 분석은 과거 뿐만 아니라 미래생장까지도 정확히 예측될 수가 있다(<그림 2>). 일반적으로 同齡林을 위한 예측변수로서는 林齡, 地位指數, 林分密度(단위면적당 임목본수 또는 叢고단면적) 및 施業處理 등을 들 수 있다.

여러 가지 접근법이 生長 및 수확예측을 위하여 개발되었다. 미국에서 이용되는 용어중에 있어 “經驗的인 收穫式(empirical yield equation)”은 주로 “平均蓄積”을 사용한다. 왜냐하면 밀도가 예측변수로서 명확하게 포함되지 않으므로, 경험적인 수확함수가 식의 파라미터 추정을 위해 이용된 표본점에서의 평균밀도 수준만을 대표하기 때문이다. 경험적인 수확함수는 산림자원조사 설계를 위한 도구로서 산림자원조사 데이터베이스에 적용된 바 있다(Hahn and Stelman, 1989; McClure and Knight, 1984). 그러나 대부분의 生長수확식은 임분연구시스템의 동태적인 부분으로 밀도를 포함한다. 이런 모델은 보통 “變數-密度式(또는 모델)”이라 불린다.

많은 연구자들은 전체임분 또는 어떤 임분의 상업적 측면에서의 生長 및 수확을 예측하기 위하여 多重回歸技法을 이용해 왔다(Beck and Della-Bianca, 1972; Bennett, 1970; Burkhart and Sprinz, 1984; Farrar, 1979; Murphy and



(그림 2) 산림경영에 있어 성장 및 수확모델의 역할

Beltz, 1981; Sullivan and Clutter, 1972). 임령, 지위지수, 흉고단면적 또는 단위면적당 분수 등과 같은 임분수준변수는 일부 특별히 집약된 임분축적을 예측하기 위한 전체임분수준의 기법에서 이용된다. 크기급별 재적분포는 제공되지 않는다. 많은 모델들이 크기급별 단위면적당 임목분수분포로서 임분을 해석하기 위하여 개발되어져 왔으며, 이때 대부분의 경우 胸高直徑級이 이용된다. 일반적인 범주내에서 보통 모델링기법은 직경분포 분석처리에 기초한 방법이다(Bennett and Clutter, 1968; Burkhart and Strub, 1974; Dell *et al.*, 1979; Schreuder *et al.*, 1979; Smalley and Bailey, 1974). 여러 가지 직경분포모델은 직경분포를 기술하기 위해 이용되는 함수와는 근본적으로 다르다. 이런 방법에서 각 직경급의 단위면적당 임목분수는 직경별 임목의 상대적 빈도를 제공하는 확률밀도함수를 이용하므로써 추정된다. 전체임목의 평균수고는 일정한 임분조건하에서 성장하는 일정한 임목의 직경을 위하여 예측된다. 직경급당 재적은 예측된 평균수고와 직경급의 중간점을 임목재적식에 대입하므로써 계산된다. 또 수확예측은 각 직경급 재적을 합하므로써 얻게 된다. 비록 전체를 나타내는 임분값들(임령, 지위지수, 단위면적당 임목분수)만이 입력변수로 필요하지만 이에 반해 임분에 대한 상세한 정보가 출력결과로서 나타나게 된다.

확률밀도함수의 이용에도 불구하고 처리공정은 데이터셀(積率 또는 最大尤度法에 의한)의

각 표본점에 대한 확률밀도함수의 파라미터를 추정하고, 임령, 지위지수 및 단위면적당 임목분수 등과 같은 임분특성으로서 이들 파라미터 추정치와 관련된 회귀식을 개발한다. 그러나 불행히도 임분특성을 위한 확률밀도함수 파라미터와 관련된 함수는 아직 완전하게 만족스럽지는 못하다. 결국 代案의인 방법으로서 소위 "파라미터 復舊方法(parameter recovery method)"이라는 것이 개발되고 응용되어졌는데, 이 방법은 全體林分屬性(평균직경, 전체흉고단면적)을 예측해 주고, 전체임분 특징들에서 발생하는 이론적 직경분포모델(Beta 또는 Weibull)의 파라미터를 해결할 수 있게끔 구성되어 있다. 또 이 방법은 전체임분재적과 재적 분포간의 직접적인 數學的 連結고리를 제공해 준다. 파라미터 복구방법의 추가적인 정보는 Hyink and Moser(1983), Matney and Sullivan(1982), Cao *et al.*(1982) 및 Knoebel *et al.*(1986)의 연구에 잘 나타나 있다.

기본적인 단위로 個體木을 이용한 임분생장 및 수확을 예측하는 방법을 "개체목모델"이라 부른다. 이들 모델에 있어 임목생장의 구성요인은 보통 각 개체목의 성장을 시뮬레이터하는 컴퓨터프로그램을 통하여 함께 연결되고, 그때 임분생장 및 수확의 추정치를 제공하기 위해 이들이 통합된다. 개체목 생장에 기초한 모델들은 크기급별 임분재적의 분포를 포함하는 임분동태와 구조에 대한 상세한 정보를 제공한다.

개체목모델은 距離獨立모델과 距離從屬모델의 두 가지로 나뉜다. 거리독립모델은 개개의 임목생장 또는 크기급별 연구되는데, 보통 현재의 크기 및 임분수준변수(임령, 지위지수, 단위면적당 흉고단면적)의 函數에 대한 연구이다. 이들 모델을 응용할 때 개개목의 위치를 안다는 것은 필요치 않다. 定型的으로 거리독립모델은 세 가지 기본적 구성요소를 갖는다; (1) 직경생장인자, (2) 수고생장인자(또는 흉고직경값으로 수고를 예측할 수 있는 수고/직경 관계), (3) 枯死인자. 이를 이용한 방법의 예로는 Belcher *et al.*(1982), Harrison *et al.*(1986) 및 Amateis *et al.*(1989) 등이 있다.

거리중속모델은 상기와는 엄격히 말해 다르다. 그러나 전체적인 개념과 구조는 아주 유사하다. 각 임목의 생장은 그것의 속성, 지리 및 이웃간의 경쟁 등에 의해 시뮬레이션된다. 競爭指數는 모델들에 있어 다양하지만 일반적으로 主林木의 크기, 경쟁인자(competitors)의 크기 및 거리 등의 함수라고 할 수 있다. 生存率은 경쟁 및 개체목 속성의 함수로서 統計 또는 決定論에 의해 제한된다. 대표적인 거리중속모델로는 Newnham and Smith(1964), Ek and Monserud(1974), Hegyi(1974), Burkhardt *et al.*(1987) 등의 모델을 들 수 있다.

2. 갱신을 위한 성장·수확모델 이용

성장·수확모델링의 방법은 갱신 뿐만 아니라 설계를 위하여 종종 이용되기 때문에 흥미가 있으며, 또 그 방법론은 다양하고 문헌상으로 잘 정리되어 있다.

많은 학자들은 유용한 성장·수확모델의 광범한 연구를 발표한 바 있는데, 그중 가장 초기의 모델은 臨時標本點으로부터 구축된 수확표라고 할 수 있다(USDA, 1929). 이어지는 모델들은 앞서 언급한 바 있듯이 임령, 수고, 임분밀도 등의 변수에 의한 임분성장모델과 임분구조(직경분포) 파악을 위한 임분성장모델, 개체목에 대한 성장, 벌채 및 고사율을 시뮬레이션 하기 위한 모델들이 연구되었다.

최근 산림자원조사의 갱신을 위한 방법을 설명함에 있어, Birdsey(1990)는 趨勢外挿法(trend extrapolation), 推移確率行列(transition proba-

bility matrices), 목재공급모델, 성장·수확모델, 표본추출방법, 리모트센싱 및 GIS, 그리고 이들 기법들의 조합 등을 언급한 바 있다.

그러나 가장 적절한 방법은 산림자원조사의 범위, 요구되는 정보, 그리고 조사된 데이터를 갱신할 수 있는 도구 등에 근거하여 적절한 기법을 찾아야 할 것이다.

산림자원조사 갱신을 위한 성장모델 응용에 있어 가장 중요한 제약요인은 조사 데이터와 성장모델에 필요한 자료간의 一致性의 缺如를 들 수 있다. 보통 많은 산림자원조사에서는 특정 직경이상의 임목직경급만을 측정하는 반면에 전형적인 성장모델은 입력자료로서 임분내 모든 임목에 대한 정보를 요구한다.

또 다른 어려운 점은 잘못된 데이터의 발생이다. 예를 들자면, 성장모델을 위하여 지위지수가 요구될 지도 모르겠으나, 이 추정을 위한 적절한 야외조사 자료는 산림자원조사로서 수집될 수가 없다는 점을 들 수 있다. 산림자원조사 자료를 성장모델에 이용할 수 있는 적절한 측정은 상대적으로 쉬우나, 설계와 통합이 명백하게 요구된다. 더욱이 산림자원조사에 따른 데이터와 성장모델간의 부조화는 성장모델이 이용가능한 모든 정보를 이용하지 못하였을 시 발생한다.

대부분의 산림조사에서 林分表(흉고직경급별 임목본수)가 산출된다. 그러나 전체 임분모델에 이 임분표를 이용하면 작경급별 임목본포에 대한 어떠한 정보도 얻을 수가 없다. 전체 임분성장모델을 적용했을 경우 산림조사 표본점으로부터의 재적추정과 성장모델로부터의 현재 재적 추정이 서로 다르기 때문에 또 다른 어려움이 있다. 한편 Burk *et al.*(1981)과 Green and Strawderman(1986)은 산림자원조사와 성장모델을 통해 현재의 재적을 복합적으로 추정할 수 있는 방법을 개발한 바 있다.

산림자원조사 표본점에서의 초기재적 추정과 성장모델에 의한 초기재적 추정치간의 불일치에 대한 문제는 임목리스트에 근거한 산림조사를 수행한 후의 성장모델을 이용하므로써 극복할 수 있다. 물론 개개목 재적 추정함수를 이용할 경우에는 산림자원조사와 성장모델 계산에 있어 똑같은 것이다. 게다가 이 재적 추정

함수의 일치성은 야외에서의 직경, 수고 또는 특정 재적함수에 대해서는 形數의 측정이 생장 모델에서 계획된 임목특성들과 일치해야 된다는 것이 요구된다.

3. 산림자원조사와 생장모델의 통합

산림자원조사와 생장·수확모델은 둘다 경영 결정을 위한 정보를 제공하는데 그 목적이 있다. 산림자원조사 갱신을 위해 도입된 생장모델은 주기적 조사에서의 비용절감에 있다. 그리고 산림자원조사 데이터는 수확식의 구축을 위해 중요하다(Walters *et al.*, 1990).

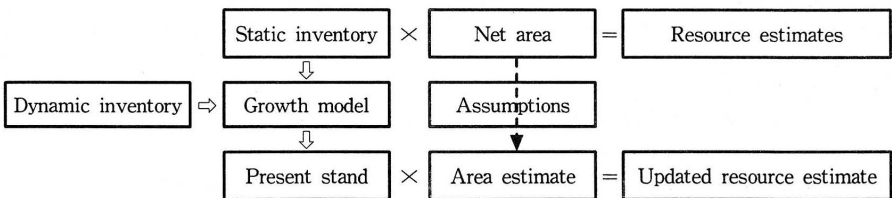
임시표본점 데이터는 임령 이상의 재적함수에 대해 유용한 반면, 영구표본점으로부터의 정보는 생장·수확적 측면에서 보다 더 중요하다. 산림자원조사 데이터는 또한 다른 데이터 원으로부터 구축된 생장·수확모델의 타당성을 확인하기 위해 매우 가치가 있다.

생장·수확모델은 종종 국부적인 표본데이터로부터 구축되지만 특별한 임분에 적용이 된다. 특별한 임분에 적용되는 자원조사 데이터는 생장모델 예측을 조정하기 위하여 이용될 수 있다. Turnbull(1978)은 생장·수확모델에 있어 feedback의 필요성을 “施業과 林分狀態 變動에 기인하는 추정을 수정하기 위하여”라고 역설하였다. Feedback은 모델연구의 결과를 모니터링 할 수 있게 하며, 모델과 그의 계획기간중에 일어나는 현상들과 비교할 수 있다. 自體檢定工程 (self calibration procedure)은 Prognosis모델 (Stage, 1981)에서 구축되었으며, Gertner(1984)는 직경생장모델을 지역화하기 위하여 Bayesian 공정을 응용하였다. Bayesian공정과는 다른 feedback으로 filtering기법이 있는데, Kalman (1960)에 의해 소개된 Kalman filter기법이 대

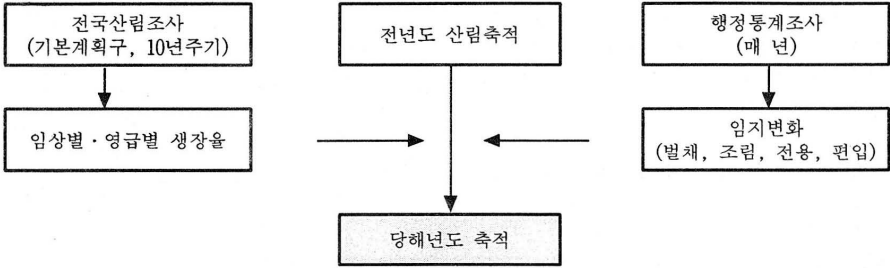
표적이다. 이방법은 표본자료나 사전정보 자료의 분포에 어떤 가정도 필요치 않기 때문에 매우 간단하고 直觀의인 추정법으로서 工學分野에 먼저 적용되었다. 유일한 가정이라면, 일반 모델의 母數推定法에 모두 적용되는 모형의 殘差가 獨立的이어야 한다는 것이다. 이를 처음으로 산림조사분야에 이용한 사람들은 Dixon and Howitt(1979)로서 산림조사에 얻어진 통계량의 精度 提高를 위하여 이용한 바 있다. 그 외 수고-수령, 지위수수식 및 수확예측 모형의 정도 제고를 위하여 이용된 바도 있다(Walters and Burkhart, 1987; Walters *et al.*, 1991; 신만용, 1996).

생장모델은 또한 보다 효율적인 標本抽出設計方法을 개발하기 위하여 이용된다. 스위스의 전국산림자원조사(1차) 데이터는 직경분포형 모델을 개발하기 위하여 이용된 바 있다(Kaufmann, 1990). 이 모델은 산림자원조사 설계에 있어 가장 우선적으로 변화에 대한 정책의사결정을 도와주며, 또 어떤 잠재적인 새로운 공정을 평가하는데 이용될 것이다. 목적은 시간과 경비를 절감하는데 있다.

결론적으로 산림자원조사와 생장모델링은 산림경영을 위해 정보를 제공하는데 있어 최대의 효율성을 가지기 위해 통합되어야 한다. 산림자원조사는 필요하다면 생장모델의 구축과 생장예측을 설계할 필요할 필요가 있다. 그리고 연구자는 모델의 기초가 되는 표본추출방법을 적절하게 하는 것이 중요하다. 생장·수확모델과 산림자원조사를 완전하게 統合(completely interfacing)하므로써 경영을 위한 필요정보보다 효율적으로 제공될 수 있을 것이다(〈그림 3〉). 참고적으로 우리나라 산림자원조사의 갱신 절차를 살펴보면 〈그림 4〉와 같다.



〈그림 3〉 산림자원조사와 조사자료 갱신



※ 매 10년마다 전국산림조사에 의해 현실통계로 자료갱신

〈그림 4〉 우리나라 산림조사자료 갱신 체계

우리나라의 산림조사는 10년 주기로 되어 있는 각 기본계획구의 조사가 수행되는데, 조사년도 사이 통계갱신체계는 해당계획구에 대한 산림조사시 얻은 임상별, 영급별 성장율과 매년 실시되는 벌채, 조림 등의 행정통계에 의하여 〈그림 4〉와 같이 산림축적에 대한 행정통계자료가 갱신된다.

IV. 기타 기법에 의한 자료갱신

定期的인 조사 중간의 조사는 기본 표본점에서의 副次標本抽出과 산림자원조사 통계치를 갱신하기 위하여 현재 remote sensing으로부터의 면적변화 추정을 할 수 있는 回歸推定變數를 통합시켜 주는 역할을 한다. Maclean (1984)은 우선 영구표본점을 항공사진 判讀으로서 妨害받은(disturbed) 標本點과 받지 않은(undisturbed) 표본점으로 層化하고, 다음으로 모든 방해받지 않은 표본점에서의 회귀식에 의한 갱신을 위하여 방해받지 않은 표본점을 다시 부차표본추출하였다. 이들 과정은 전체를 재측정하는 것보다 더 효율적이다.

또 다른 갱신을 위한 표본추출방법으로 Ware and Cunia(1962)에 의해 개발된 'Sampling with Partial Replacement(SPR)'가 있다. SPR은 변화에 대한 효과적인 추정을 하는데 비용이 많이 드는 영구표본점의 측정을 최소화시켜 주는 표본추출설계로서 세계적으로 많은 支持를 얻게 되었다(Matis et al, 1984). 비록 표본에 기초한 갱신이 효과적이기는 하지만, 이것은 설계, 표본선택, 야외조사, 항공사진의 선택과 판독,

데이터 수집 및 분석 등에 많은 투자가 요구된다. 그러나 일부 다른 모델링 방법이 많은 다른 나라 산림자원조사 자료의 빈번한 갱신을 위하여 보다 더 정확할 지도 모른다. 표본추출과 모델링기법의 통합은 표본점이 항공사진 해석에 의해 방해받은 지역과 방해받지 않은 지역으로 나누어 질 때 표본추출의 효율성을 증대시킬 수 있다.

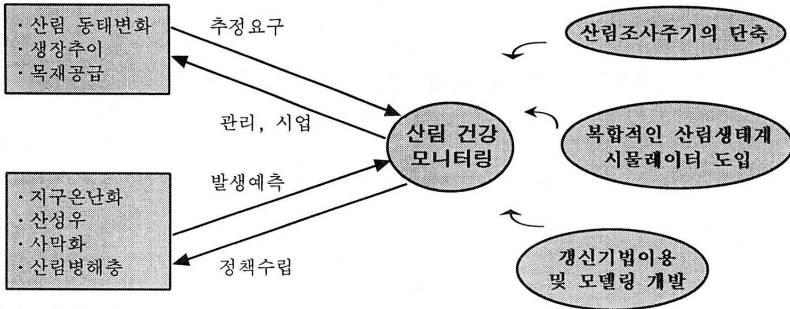
Hahn(1984)은 방해받은 표본점과 방해받지 않은 표본점에서의 변화를 모델화하여 보고한 바 있다. 일부 방해받지 않은 표본점은 전체 방해받지 않은 산림내 성장 등을 위한 회귀추정을 하기 위하여 재측정된다.

Fairweather and Turner(1983)은 이중 표본추출체계에서 보조변수로서 성장모델에서 유도된 예측값을 이용하였다. North Central U.S의 STEMS 모델은 방해받지 않은 표본점에 대해 추정치를 갱신할 목적으로 정기적인 산림자원조사를 이용, 추정하는 방안을 제안하였다. 이 방법은 표본추출의 효율성을 높이기 위하여 직선적인 filter(Kalman filter)를 이용한다(Dixon and Howitt, 1979; Jameson, 1983).

연년 갱신되기 위해 설계된 시스템에 있어, Birdsey(1989)는 經濟統計學인 면에서 임상별 면적을 갱신하기 위한 행렬 모델과 수확·식재에 있어 외부 데이터를 이용하는 다른 기법과를 조합시켰다.

V. 결 론

山林資源에 대한 調査는 山林經營에 있어 아



〈그림 5〉 산림정보의 갱신과 관련 인자

주 큰 比重을 차지한다. 또 이를 이용한 更新은 산림조사 週期間의 자원량 추정뿐만 아니라 산림정책에 있어 필수적이다. 이러한 갱신은 나아가 산림내의 모든 情報를 모니터링하는데 있어 중요한 일이다. 산림조사에 따른 갱신의 방법에 대하여 많은 연구들이 수행되어 왔으며, 그중 특히 生長 및 收穫모델의 이용은 지금까지도 갱신에 있어 유용한 방법으로 인정되고 있다. 최근들어 여기에 Remote Sensing, GIS 및 기타 確率推移技法 들이 상호간에 복합적으로 連繫되면서 보다 정확한 추정이 이루어져 왔으며, 앞으로도 많은 발전이 있을 것이다. 이상의 결과들 요약함과 아울러 山林情報의 갱신과 관계되는 산림내의 重要 事案을 圖式化하면 〈그림 5〉와 같다.

인 용 문 헌

1. Birdsey, R.A. 1990. Updating methods for forest inventories-an overview. State-of-the-art methodology of inventory : a symposium proceedings, USDA PNW-

GTR-263 : 429-435.
 2. Burkhart, H. E. 1992. Tree and stand models in forest inventory. Proceedings of Ilvessalo Symposium on National Forest Inventories, FFRI pp. 164-170.
 3. Gillis, M.D. and D.G., Leckie. 1996. Forest inventory update in Canada. The forestry chronicle 72(2) : 138-156.
 4. Scott, C.T., D.L., Cassell and J.W., Hazard. 1992. Sampling design of the U.S. national forest health monitoring program. Proceedings of Ilvessalo Symposium on National Forest Inventories, FFRI pp. 150-157.
 5. Smith, W.B. 1990. Inventory updates : overview of the north central experience. State-of-the-art methodology of inventory : a symposium proceedings, USDA PNW-GTR-263 : 442-448.
 6. Vanclay, J. K. 1994. Modelling forest growth and yield-applications to maxed tropical forests-. CAB International. 312pp.

산림자원조사에 원격탐사 및 GIS 기술 적용

李承鎬¹

Application of Remote Sensing and GIS in Forest Inventory

Seung-Ho Lee¹

I. 緒論

오늘날 산림의 역할과 기능이 점차 다변화되 가면서 사회 각 부문으로부터 다양한 산림정보에 대한 수요가 증가하고 있고 이들 정보를 가급적이면 신속하게 실시간(real-time)으로 제공받기를 원한다. 산림정보 또한 과거에는 주로 목재생산에 기반을 둔 임목자원 중심의 정보 획득에서 오늘날에는 환경자원을 모니터링하기 위한 다목적 다원산림자원정보의 수집 방식으로 점차 바뀌어가고 있다.

일반적으로 산림은 분포면적이 광활하고 대부분 오지나 산악지형에 위치하고 있으며, 시공간적으로 구성상태나 생육현상이 다양한 특성을 지니고 있다. 즉, 지형이나 토양, 기후조건에 따라 분포하는 수종이 다르고, 입지환경요인에 따라 임목이나 임분의 생장 차이가 크다. 그래서 이들 산림정보는 자료의 종류가 다양하고 복잡하며 자료량이 방대할 뿐만 아니라 시간의 경과에 따라 그 내용이 변화하기 때문에 수시로 갱신 보완하지 않으면 안된다. 그리고 이러한 산림의 체현상에 대한 내용과 현황을 정확히 파악하고 조사하는 데는 상당한 시간과 노력, 막대한 비용이 소요되기 때문에 세계 각국은 오래 전부터 나라별로 자국의 실정에 가장 적합한 산림자원조사 체계를 수립하여 주기적으로 산림조사를 실시해오고 있다.

산림조사(forest inventory)는 산림현황에 대한 유용한 각종 정보를 가능한 최소의 비용으로 수집하는 것이며, 이러한 산림정보를 가장 효율적으로 조사, 수집, 분석하여 제공해줄 수 있는 방법중의 하나가 항공사진이나 인공위성

자료를 이용한 원격탐사(remote sensing) 기술이다.

그 동안 산림조사는 주로 표본추출법에 의한 지상조사를 이용하여 왔고, 1970년대 이후에는 항공사진을 병용한 표본조사법을 널리 적용해 왔다. 오늘날에는 산림자원량의 변화를 예측하고 산림건전도 변화를 모니터링하기 위해서 영구표본점(permanent plot)을 설정하여 지속적인 반복조사를 실시하고 있으며, 인공위성 화상자료나 수치지도(digital map) 자료 등을 이용한 다원산림조사체계(multi-resource forest inventory)를 도입하고 있다.

따라서, 산림조사의 대상이 임목자원이나 기타 임산물뿐만 아니라 모든 환경계를 포함하고 있으며, 이들 정보를 종합적으로 수집할 수 있도록 다원(multi-source), 다공간(multi-spatial), 다시기(multi-temporal) 조사체계로 추진되고 있다. 즉, 종래의 산림자원조사는 주로 야외조사(field survey)에 의해 수종이나 임상별 산림 분포 면적 및 임목축적량 등을 주로 조사하였으나, 최근에는 야생동물분포, 지피식생과 종 분포, 레크레이션, 토양 및 수자원, 산림의 건전도 등을 추정하기 위한 다목적(multi-purpose) 다원산림자원조사로 그 개념이 바뀌어가고 있다.

산림조사방법도 항공사진과 인공위성 자료의 이용이 보편화되면서 다중/다단표본조사법(multi-phase/multi-stage sampling)과 같은 새로운 표본추출방법이 개발 도입되고, 특히 컴퓨터개발과 더불어 자료처리 기술이 비약적으로 발전하면서 최근에는 지리정보시스템(geographic information system ; GIS)을 원격탐

¹ 林業研究院 Forest Research Institute, Seoul, 130-012 Korea

사에 접목시킴으로써 자료의 수집, 처리, 분석 및 응용에 이르기까지 일련의 과정을 전산화하여 산림정보에 대한 데이터베이스 구축은 물론 임상도나 식생분포도와 같은 주제도를 자동으로 작성할 수 있게 되었다. 또한, 지구측위시스템(global positioning system; GPS)을 이용하여 현장에서 직접 위성으로부터 지도좌표, 고도, 방위 등 위치정보를 실시간으로 제공받음으로써 표본점이나 개개목의 위치와 방향을 빠르고 정확하게 식별할 수 있게 되었다.

이러한 관점에서 볼 때, 앞으로의 산림조사는 임목자원 중심에서 환경생태 개념이 포함된 다원산림자원조사 체계로 전환될 수밖에 없고, 또한 원격탐사나 GIS와 같은 새로운 기술과 표본추출기법이 도입되므로써 최소의 비용으로 적시에 신속하게 자료를 획득할 수 있게 되어, 이제 산림자원조사의 역할이 자료의 수집은 물론 각종 계획을 수립하거나 다양한 의사결정을 지원해주는 필수적인 수단으로서 보다 중요시되고 강화될 것으로 본다.

II. 산림자원조사란

1. 산림자원조사의 개념

산림조사는 본래 산림경영안을 편성하기 위해 필요한 자료를 수집할 목적으로 소반단위로 임황이나 지황을 조사하는 것으로서 비교적 좁은 면적에 대해 표본조사나 전림조사를 실시하는데 비하여, 산림자원조사는 대개 국가전체의 산림기본통계를 작성하기 위해서 전국 또는 도단위와 같이 넓은 산림지역에 대해 일정한 기간 내에 산림자원실태를 조사하는 것으로서 대개 항공사진과 지상조사를 병용한 표본추출법을 적용해서 실시되며 속성상 임정에 속한다. 또한 산림조사가 비교적 높은 정도를 요구하는데 비해 산림자원조사의 정도는 일반적으로 낮다.

산림조사는 독일을 발상지로 하여 오스트리아나 스위스와 같이 산림구획이 잘 확립되어 있고 대축척의 산림기본도를 보유하고 있으며 산림을 집약적으로 경영하는 나라에서 발달되었으며, 이에 비해 산림자원조사는 주로 스칸디나비아, 미국, 캐나다와 같이 대면적의 산림

을 보유하고 있고 산림을 조방적으로 경영하는 나라에서 실시하고 있다.

산림조사의 목적이 경영계획에 있는지 아니면 기본통계를 얻고자 하는가에 따라 산림조사와 산림자원조사는 개념상 차이점이 있지만, 최근에는 산림조사의 결과를 집계하여 산림자원조사의 결과로 활용할 수 있어서 이제는 두 가지 용어를 구분 없이 함께 사용하기도 한다.

최근에는 산림자원을 사정하고 모니터링하는데 있어 다양하고 새로운 기법들이 개발되었다. 그 동안 항공사진은 지상조사와 병용하여 산림자원조사에 널리 실용적으로 이용되어 왔지만, 현재는 인공위성 화상자료의 처리기법이 급속히 발전하면서 원격탐사 기법을 대면적 산림조사나 환경 모니터링에 주로 활용하고 있다. 따라서, 앞으로의 산림조사는 더 이상 단지 목재자원량만을 평가하는 단순한 체계가 아니고, 주변의 환경이나 사회와 밀접하게 상호 관련된 산림생태계의 기능과 동태에 관한 정보를 획득하고 이용하는 다원적산림자원조사 체계가 될 것이다.

2. 산림자원조사 체계의 변천

산림자원조사 체계의 시대적 변천과정을 조사내용이나 조사방법 및 체계로 나누어 살펴보면 대략 3단계로 구분할 수 있다(표 1). 20세기 이전까지는 주로 목재자원에 관련된 자료를 지상조사에 의해 획득하여 왔으나, 이후 항공기의 개발과 더불어 항공사진을 이용한 총화추출법이나 이중추출법 등이 현재까지도 널리 활용되고 있고 조사항목은 일부 환경자원정보를 포함하고 있으나 대부분은 임목자원에 관련된 정보를 주로 조사 수집하고 있다. 1970년 중반 이후에는 산림자원조사에 인공위성 자료를 이용하는 추세가 점차 증가하고 있어서 산림자원 정보 뿐만 아니라 산림환경정보를 포함한 다목적 다원조사체제로 전환되고 있으며 조사항목이나 내용도 비목재자원을 포함하여 대폭 증가하였고 조사방법은 위성자료 및 항공사진을 복합 이용한 다중다단추출법을 고정표본점에 대해 주기적으로 지속조사하고 있다.

〈표 1〉 산림자원조사 체계의 변천 과정

	20세기 이전	20세기 중반	20세기 후반
조사 방법	지상조사 표준지법	항공사진+지상조사 표준지법 : 층화추출법 이중추출법	위성자료+항공사진+지상조사 표준지법 : 다중/다단표본추출법
조사 체계	목재자원중심	목재자원중심 일부환경재 포함	다목적 다원조사 CFI(Continuous Forest Inventory)
조사 항목	수종, 임상, 축적, 성장량, 형질급 등	수종, 임상, 축적, 성장량 등 60항목 미만	150항목 이상(50%이상 비목재) 산림자원정보 : 임상, 임목축적, 성장량 등 산림환경정보 : 생태(동, 식물), 토양 산림건전도, 유역, 휴양 등

〈표 2〉 국별 산림자원조사 체계

국명	표본조사법	지리정보	원격탐사	정보의 항목	비고
스위스	지속산림조사 CFI	수치지도	지상+항공사진	자원정보 환경정보	2차
핀란드	지속산림조사	수치지도	원격탐사+GIS+ CFI 병용	자원정보 환경모니터링	8차
스웨덴	지속산림조사		7차조사부터 원격탐사 이용	자원정보 환경정보	6차 7차 (93~)
캐나다	기존자료이용	GIS (셀단위)	원격탐사	자원정보 (37종류)	2차
미국	지속산림조사 이중추출조사 다목적자원조사 10포인트· 군집표본추출	GIS	원격탐사 전국조사 고려	다목적자원정보 (목재, 물, 어류 및 야생생물, 레크리에이션)	AFIS* 10년주기

* AFIS : Annual Forest Inventory System

3. 산림자원조사 체계

현재 주요 몇 나라에서 적용하고 있는 산림자원조사 체계는 〈표 2〉와 같다.

최초의 국가산림조사는 노르웨이가 1919년, 핀란드가 1920년, 스웨덴이 1923년 시작한 이래 그 동안 핀란드는 8차, 노르웨이 6차, 스웨덴이 6차의 산림조사를 실시하였다.

이들 스칸디나비아 3국의 경우 산림조사는 주로 표본추출법에 의한 지상조사를 해오다가 1970년대에 들어 항공사진을 병용한 2중추출법(double/two-phase sampling)을 적용해 왔으며, 최근에는 산림자원량의 변화를 예측하고 산림건전도 변화를 모니터링하기 위해서 영구 표본점을 설정하여 반복조사를 실시하고 있다.

현재는 인공위성 화상자료나 수치지도 자료 등을 이용해서 임목자원 외에 산림건전도, 지피식생, 중분포의 추정을 위한 다원산림조사 체계를 도입하고 있다.

미국에서의 산림조사사업(Forest Survey Program)은 1928년에 시작된 이후 오늘날까지 농무성 산림청의 활동 중 가장 오랜 기간에 걸쳐 지속적으로 수행되고 있는 사업으로서 미국의 목재수지(timber budget)를 모니터링하기 위해 시작되었다. 최초의 산림조사는 선표본조사법(line plot)을 사용하다가 고정표본점에 대하여 Bitterlich plot을 적용하였으며, 지금은 3P(probability proportional to prediction)나 SPR(sampling with partial replacement) 표본

추출법을 채택하고 있다. 이후 1974년에 RPA (Forest and Rangeland Renewable Resources Planning Act) 법 - 「매 10년마다 전국의 산림과 목야지 자원에 대한 평가서를 작성하고, 국유림내의 천연자원을 체계적으로 개발하는데 지침이 될 장기적인 계획을 개발하도록 농무장관에 지시」- 이 제정되고, 1978년에는 Forest and Rangeland Renewable Resources Research Act 법이 만들어졌다. 이 두 가지 법안의 가장 중요한 핵심은 산림조사에 있어서 전국의 산림과 목야지의 재생 가능한 모든 자원에 대해 조사영역을 확대하도록 한 점이다.

이에 따라 산림청 내에 6개의 산림조사단 (FIA; Forest Inventory Analysis Unit)을 두어 지역별로 산림자원조사를 전담하고 있으며, 1970년대 중반부터는 목재자원 중심의 조사에서 다목적 다원자원조사로 개념이 확산되기 시작하면서 조사영역도 야생동물, 유역관리, 레크레이션과 같은 모든 산림자원에 대한 조사체제로 전환되었다. 1974년 이전에는 각 표본점

당 목재에 관한 조사항목이 60개 미만이었으나, 오늘날에는 150항목 이상으로 늘어났고, 조사항목의 반수 이상이 목재공급과 직접 관련이 없는 토지이용이나 식생구조 및 입지환경인에 관한 것이다(<표 3>, <표 4>).

최근에는 점차 환경에 대한 중요성이 높아지면서 1988년에 Forest Ecosystem and Atmospheric Pollution Research Act 법이 제정되어 산림생태계의 생산력과 진전도를 장기적으로 모니터링하도록 명령하고, 산림조사도 환경보호국(EPA)의 '생태계 모니터링 및 사정계획 (Ecosystem Monitoring and Assessment Program)'과 협조하여 공동으로 추진하고 있으며, 공동조사단에는 입업전문가 외에 생태학자, 식물학자, 곤충학자, 병리학자, 토양학자 및 심지어는 레크레이션 전문가나 사회경제학자 등이 조사요원으로 함께 참여하고 있다.

따라서, 산림조사기법도 1950년대 후반과 1960년부터는 항공사진과 지상조사를 병용한 이중추출법을 사용해 왔으나 최근에는 항공기

<표 3> 미국 FIA에서 채택하고 있는 다목적 산림자원데이터 종류

입지데이터	표본점데이터	수목데이터	기타 식생데이터
- 토지이용	- 도로와의 거리	- 수종	- 엽량구조
- 이용의 변화	- 휴양기회	- 흉고직경	- 生命型에 대한 엽량의 할당
- 경사	- 표본점의 임령	- 수고	- 갱신/잡목림/만경류
- 방위	- 삼림관리급	- 불량목	· 수종 · 수고
- 지형적 위치	- 벌채력	- 수목의 품질	· 어린 잎으로 먹힐 가능성
- 소유형태	- 벌채경과	· 통나무의 등급	
- 삼림형	- 장비류의 제한	· 외형적 결합	
- 임령	- 地表石	· 내부적 결합	
- 임분크기급	- 표고	· 수관급	
- 임분의 재적급	- 토양자료	· 상품성	
- 단면적 및 임분축적	· 부식층의 깊이	· 피해/고사의 원인	
- 지황급	· 근계의 깊이	· 품등구분	
- 임분의 起源	· 토양층별 깊이	- 재측정되는 표본점 수목의 과거	
- 종자의 起源	· B층의 성질	· 과거의 흉고직경	
- 지형학적 분류	· 기암의 깊이	· 과거의 상품성	
- 경영의 경과	· 母材	· 과거의 품등구분	
- 재측정 표본점에 대한 실제생산력	· 토양습도	- 상품성, 수종, 크게 관련된 야생동물의 가치	
- 생산력 가능성	· 토양통	· 폭목 · 고사입목	
- 경영 가능성	- 지위지수	· 給餌場所, 空洞 등	
- 임형의 크기		- 갱신	
- 야생생물생식조사			
· 물 · 주위 · 疏開部			

〈표 4〉 미국 FIA의 비목재계 산림자원 조사항목

항 목	내 용
비목재계의 식생 상록, 낙엽의 관목, 초본류 전체 식생	수종, 생활형 및 계급에 대한 엽량분포, 재적비율, 엽량상태 수종, 수종구성, 생중, 건중, 엽량분포, phenology
야생생물 고사입목 수목에 있는 구멍 生息에의 적용성 중요한 관목류 食餌植物 倒木 야생생물과의 거리 生息形態	단위면적당 본수, 수고, 절단까지의 유무 수목당 수, 크기, 위치 수종, 직경 수종, 직경 수종, 길이, 중앙직경, 부패정도, 지상부 잔여부분 마을, 도로, 물, 은신처, 어류가 사는 계류까지의 거리 수종, 계층별 엽량, 생활형
비목재계 biomass biomass 관목의 biomass 상록관목, 낙엽관목 전식물	식물군별 단면적비, 전체목의 직경, 수고 수종, 직경, 지표피복율 수종, 계층별 엽량, 생활형 수종, 종구성비, 생량, 건량, 엽면적, phenology
레크레이션 기대도 정보의 제공 이용의 종류 보도 및 도로 환경정비 근접도 풍치	원시적인 것과 도시적인 각종 레크레이션의 기대도, 수정레크레이션, 기회 정보의 종류(표식, 소유자 등) 이용정도와 이용자 계층 보도 및 도로의 종류 물, 도로, 도시와의 거리, 농지면적, 임도의 폭 1/4마일內, 도로형태, 벽, 계사의 유무, 인구밀집지와의 거리 각 방위별 전망사진
물 환경정비 야생동식물 보호, 給餌 하천의 근접 물의 특징	물과의 근접도 토지이용도, 식생의 피복율, 어린 임의 습식정도, 불까지의 거리, 물의 형태 가장 가까운 하천까지의 거리 형태, 영구 또는 일시적, 표본까지의 거리
토양 土壤統에 대한 면적과 토양형별 생산력 유역의 상대적평가 토양통에 대한 식생조성 식생급과 토양통에 대한 식생생산력	유기물의 깊이, 근경의 깊이, B층토성, 기암까지 깊이, 모재, 토양침 투급 낙엽층의 깊이, 부식, 토성, 침식의 유무, 경사 A층의 형태, 낙엽층 깊이, 경사, 지형 토양단면, 토습, 토성, SCS시리즈급
기타 자가소비용 신탄재생산과 이용	지역, 수종, 소유자, 삼림형별 목재량

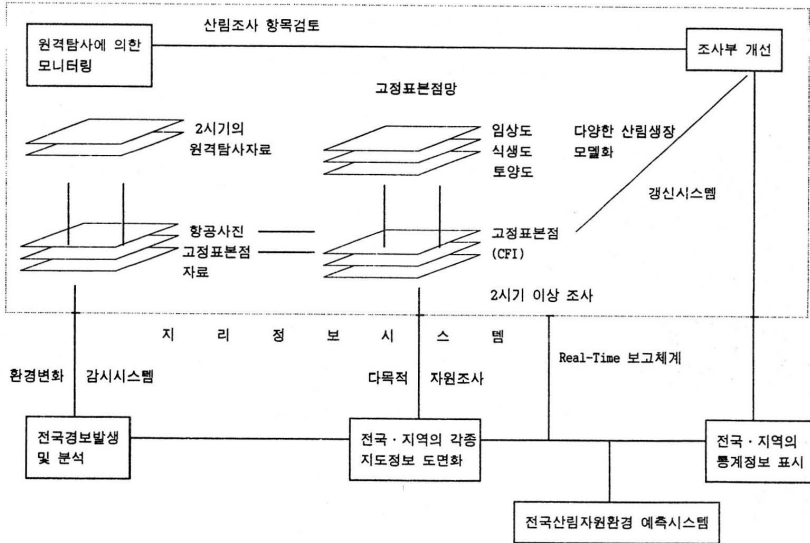
에서 촬영한 고해상력 비디오 영상자료, 인공 위성자료 및 GIS를 응용한 다단표분추출법을 적용하고 있다.

일본에서는 전국 산림을 대상으로 지형도의

경위도 교차점을 무작위추출법에 의해 구형표 본점을 3,000개 추출하여 산림조사를 실시하였는데, 1958년부터는 국유림 경영을 위하여 항공사진과 지상조사를 병용한 산림조사법을 사

용하고 있다. 1994년에는 각분야의 관련전문가들이 3년간의 연구와 준비를 거쳐 작성한 「차기산림자원조사시스템 개발보고서」에 의하면 앞으로 일본이 도입하고자 하는 산림자원조사체계는 목재의 안정적 수급과 환경에 조화된 산림자원의 합리적 이용과 관리에 목적을 두고 있으며, 이를 위해 고정표본점에 대하여 목재와 비목재자원 즉, 자원정보와 환경정보에 대

한 모든 정보를 지속적으로 조사하는 다목적 다원산림자원조사 방식을 채택하고 있으며, 이를 효율적으로 달성하기 위해 항공사진, 원격탐사와 GIS기법의 이용도를 높여서 원격탐사와 지상조사를 병용한 표본조사법을 적용하고 더불어 산림환경변화를 지속적으로 모니터링할 수 있는 조사체계로 전환하고 있다(그림 1)). 한편, 스위스에서 적용하고 있는 지속적인



〈그림 1〉 일본의 전국 산림자원조사 체계

〈표 5〉 스위스의 CFI 조사항목

조사항목	자료수집방법					내 용	용 도
	측정	추정	평가	토의	기타		
표본의 판독 · 좌표 · 경영단위 · 영림서번호 · 주 · 소유형태				*	*	카테고리별	층화
삼림/비삼림	*					사진판독의 지상확인	삼림면적
입지 · 방위 · 지형 · 경사 · 표고 · 土壤標木	*	*			*	항공사진판독에 의한 표층의 토양표목	지위급별 분류

〈표 5〉 스위스의 CFI 조사항목

조사항목	자료수집방법					내 용	용 도
	측정	추정	평가	토의	기타		
재해/삼림기능 · 토양침식 · 낙석 · 눈사태 · 산화 · 방목 · 과도한 이용			*			낙석후의 평가	
목재의 벌채 · 방해물 · 벌출방법과 거리			*		*	벌출하는 시간비용을 산출하는 보정인자 트럭벌출도로와 집재시설	벌출을 위한 시간비용 산출의 기초 수확가능성과 진단
개발 · 벌근 · 최종개발시간			*		*	벌근존재의 기록	삼림/비삼림지의 분류
임황 · 토지이용형태 · 삼림형태 · 삼림형 · 직경급 · 갱신 · 보존목 · 임령 · 혼효율 · 임분밀도 · 임분구조 · 개발가능성 · 시업			*			비목재생산지 제외 동령림의 벌근조사 보육과 처리의 필요성 차기 시업의 제안	계층구조
단목 · 수종 · 흉고직경 · 극좌표 · 계층 · 수관급 · 피해 · 7m상부직경 · 수고 · 품질	*	*	*			수종의 리스트 고정조사	수목번호 단목의 재적 수종별 재적표 품질구분, 벌채목의 피해와 病
갱신 · 수종, 경급, 전전도의 조사와 구분	*	*				수고 0.3m이상, 흉고직경 12cm이하의 수목분류와 본수추정	갱신의 조건, 수목번호, 동물 피해, 보호 척도
삼림의 안정성		*	*			안정성평가	안정성의 추정
임도의 연결 · 지도상 조사				*		network의 갱신과 분류	도로망 밀도, 전송거리, 잠재적 수확 가능성

산림조사(CFI)의 조사항목은 <표 5>와 같다.

Ⅲ. 원격탐사 기술

1. 원격탐사의 개념

지구상의 모든 물체는 태양으로부터 빛을 받으면 파장역에 따라 각각 고유의 전자파에너지를 반사하는 특성을 갖고 있으며, 이러한 분광반사 특성은 물체의 종류나 성질에 따라 다르게 나타난다. 원격탐사는 빛의 이러한 성질을 이용해서 항공기나 인공위성에 탑재되어 있는 카메라나 다과장 센서에 의해 관측 수신된 위성자료를 해석하여 지표물에 대한 각종 현상과 특성을 알아내는 것을 말한다.

광의의 개념에서 볼 때 항공사진 판독 및 측정은 초기의 원격탐사 기술에 포함되었으나 최근에는 인공위성 화상자료를 이용한 정보획득

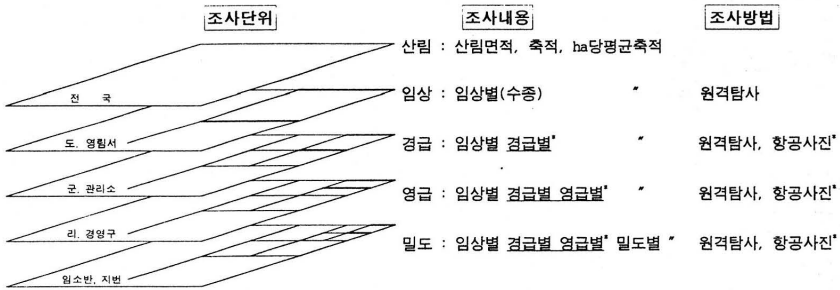
을 원격탐사라고 부른다.

원격탐사는 크게 자료획득(data acquisition)과 얻어진 자료의 분석(analysis & interpretation)의 두 단계로 구분되어진다(<그림 2>).

2. 원격탐사 기술의 발달과정

인공위성을 이용한 원격탐사 기술은 1957년 소련에서 최초로 스푸트니크 1호 인공위성을 지구상공에 발사한 이래 우주항공산업과 컴퓨터산업의 발달에 따라 급속히 발전하여 왔으며 현재는 미국과 소련을 비롯한 여러 나라에서 다양한 종류의 인공위성을 발사하였다(<표 6>).

최초의 지구자원탐사위성은 1972년 미국 항공우주국(NASA)에서 발사한 LANDSAT 1호 인공위성이며, 현재는 1984년에 발사한 LANDSAT 5호가 운행 중에 있고 해상력이 70m인 MSS 센서 외에 해상력이 30m이고 7개



<그림 2> 원격탐사 자료 분석 과정

<표 6> 임업분야에 활용 가능한 자원탐사위성의 종류 및 개요

위 성 명	국 명	발사년도	센 서	파장대수	해상력	주 기	관측폭
LANDSAT-5	미 국	1984	TM MSS	7개 4개	30m 80m	16일	185km
SPOT-3	프랑스	1993	HRV(X) HRV(P)	3개 1개	20m 10m	26일	60km
MOS-2	일 본	1990	MESSR	4개	50m	17일	100km
ERS-2	유 럽	1995	SAR	C-band	30m		75km
JERS-1	일 본	1992	OPS	7개	18~24m	44일	75km
NOAA-11	미 국	1991	AVHRR	4개	1100m	1/2일	3,000km
RADARSAT-1	캐나다	1995	SAR	C-band	10~100m	2~5일	50~500km
IRS-1C	인 도	1995	LISS-III	1개(PAN) 4개(X)	5m 23.5m		

의 파장대 체널을 갖고 있는 TM 센서를 탑재하고 있다.

프랑스는 1986년도에 해상력이 20m인 다파장 화상자료와 10m인 흑백화상자료를 관측할 수 있는 HRV 센서를 탑재한 SPOT 위성을 발사하였으며, 이후 1990년에 SPOT 2호를, 1993년에 SPOT 3호를 발사하였다. 일본도 1987년에 최초로 해상력이 50m이고 4개의 밴드를 갖고 있는 MOS 해양관측위성을 발사하였으며, 이후 1990년에 MOS 2호를, 1992년에는 보다 성능이 우수한 센서를 탑재한 지구자원탐사위성인 JERS 1호를 발사하였다.

이밖에 소련은 해상력이 2m인 초고해상력 카메라를 탑재한 소유즈 위성을 발사하였으며, 1991년에 유럽 몇 나라가 공동으로 제작한 ERS 1호 위성을, 1995년에는 ERS 2호를 발사하였고, 캐나다는 주야간 전천후로 영상관측이 가능한 RADARSAT 1호 인공위성을 발사하였다.

한편, 미국은 1993년 기존의 TM보다 성능이 우수한 ETM 센서를 탑재한 LANDSAT 6호를 발사하였으나 실패하였고, 이밖에 미국 대기해양국(NOAA)은 기상, 해양 및 육지에 대한 정보를 하루에 두 번씩 관측할 수 있는 NOAA 기상위성 계열을 주기적으로 발사하여 기상분야 뿐만 아니라 국가적 또는 지구적 차원의 광역 산림에 대한 정보분석에도 유용하게 활용할 수 있는 각종 자료를 제공해 주고 있다.

한편, 우리 나라도 최근에 본격적인 우주개발 시대에 진입하면서 1992년에 최초로 초소형 과학위성인 『우리별 1호』를 발사하였으며, 이듬해인 1993년에는 우리 기술진에 의해 자체 제작된 『우리별 2호』 위성이 발사되었다. 그러나 해상력이 400m로 낮고 관측할 수 있는 파장대 범위가 좁아서 아직은 실험적 과학위성에 불과하다. 1999년에는 해상력이 6m인 전자광학카메라(EOC)를 탑재한 우리 나라 최초의 다목적 실용위성인 『아리랑(KOMSAT) 1호』를 발사할 예정이다.

3. 원격탐사의 특성

원격탐사 자료는 항공사진에 비해 해상력은

낮으나 한번에 관측할 수 있는 범위가 상당히 크기 때문에 산림과 같이 분포지역이 넓은 경우 저렴한 비용으로 신속하게 정보를 수집할 수 있다. 또한, 대부분의 자원탐사위성은 일정한 주기로 지구궤도를 순회하기 때문에 동일한 지역에 대하여 주기적으로 반복해서 정보를 수집할 수 있다.

일반적으로 인간은 가시광선역 내에서 육안 식별이 가능하며, 보통의 항공사진이 감지할 수 있는 파장대의 범위도 가시광선과 근적외선 파장대까지로 한정되어 있다. 반면에 원격탐사에 이용되는 센서는 가시광선과 적외선파장대는 물론 마이크로 파장대까지 감지할 수 있어서 넓은 파장역에 걸쳐서 관측할 수 있을 뿐만 아니라 파장대를 몇 개의 체널(밴드)로 세분해서 관측하기 때문에 사물의 외관적 현상뿐만 아니라 육안으로 식별해낼 수 없는 내면적 특성까지도 효과적으로 밝혀낼 수가 있다. 즉, 산림이 병충해, 산불 및 대기오염에 의해 피해를 받았을 때 잎의 엽록소나 수분함량이 줄어들고 식물의 활력이 떨어져서 건전한 산림에 비해 반사율 차이가 발생하는데 다파장 센서는 특정 파장대를 이용해서 이러한 피해현상을 효과적으로 구명해낼 수가 있다.

한편, 기존의 항공사진은 아날로그 사진형태로 육안해석이나 간단한 광학기구를 이용해서 판독 분석하기 때문에 작업의 효율성이 낮고 판독자에 따라 정확도에 차이가 있다. 반면에 인공위성 화상자료는 컴퓨터시스템 내에서 읽을 수 있는 수치형태(CCT)로 기록되어 있고, 화상해석은 주로 통계적 기법이나 패턴인식 기법과 같은 알고리즘을 이용해서 과학적으로 자료를 분석하기 때문에 판독이 자동적이고 정량적인 측정이 가능할 뿐만 아니라 GIS와 연계하여 자료를 종합적으로 분석 관리할 수 있다.

〈원격탐사기법의 장점〉

- 단시간내 광역 산림정보 수집 → 비용 측면에서 효율적
- 주기적 반복적 정보 수집 → 동태변화, 모니터링에 효과적
- 다파장 관측에 의한 다양한 정보수집 → 산림생태, 환경, 재해현상 규명

- 과학적 자료분석 체계 → 일관성 있는 분석
- GIS와 연계 종합적 DB 구축 및 자료 분석 관리

4. 원격탐사 및 GIS 기술의 전망

인공위성자료를 이용한 원격탐사는 분석체계나 자료의 기하학적 정밀성으로 미루어 볼 때 관련 환경특성을 탐지하는데 있어 미흡한 부분이 있기 때문에 아직 연구개발 단계에 머무르고 있다. 즉, 대부분의 환경특성들이 상당히 넓은 범위의 반사값을 갖고 있기 때문에 다른 대상물 사이에도 유사점이 존재할 우려가 있다. 비록 SPOT이나 Landsat TM과 같이 해상력이 높은 화상자료를 사용한다 하더라도 지형이 복잡하고 소규모로 집약적으로 경영되는 산림지역이나 토지이용 형태에 대해서는 신뢰도가 떨어진다.

따라서, 원격탐사 및 GIS 기술이 산림조사 분야에 보다 실용적으로 활용되기 위해서는 야외측정이나 지상관측과 유기적으로 연계하여 획득된 정보의 신뢰성이나 소요된 비용효과 및 기술대가를 면밀히 평가할 필요가 있다.

〈원격탐사 기법 이용시 고려할 점〉

- 원격탐사 자료의 적용범위 설정
 - 조사지역의 크기, 조사항목 내용 및 수준, 정확도
- 지상측정 및 관측자료와의 연계성(상관관계)
- 관측자료의 적합성 : 시기, 해상력, 파장대
- 적합한 분석 알고리즘 개발 : 국별 자연환경 요인 상이

인공위성 자료를 원활하게 이용하기 위해서는 분석 목적이나 궁극적으로 얻고자하는 정보의 종류나 내용 및 그 수준에 따라 적합한 시기에 관측된 양질의 원격탐사 자료를 이용해야 하며, 화상분류처리에 필수적인 지상실제자료(ground truth data)를 효과적으로 선정하여 이용해야 한다.

원격탐사 기술은 산림전진도 모니터링에 매우 유용하게 활용될 수 있지만 실제로 넓은 지역에 대해 매년 같은 계절에 수신된 화상자료를 얻기가 어렵고, 매년의 비교과정에서 소규모의 점진적인 식생피복도 변화는 식별이 곤란하다. 또한, 인공위성 자료 자체만으로는 산림조사에 실용적으로 활용될 수 없어서 대부분 항공사진이나 야외조사를 병용하는 방법을 적용하고 있다.

최근에는 컴퓨터 분야의 급속한 발달에 따라 고속연산처리, 대용량의 자료저장, 보다 해상력이 좋고 다양한 색조 표현이 가능한 그래픽 기능 등이 첨가된 화상처리시스템의 개발되어 인공위성 화상자료를 이용한 원격탐사 기법을 대면적 산림조사나 환경 모니터링에 널리 활용하고 있다. 이러한 자원탐사위성 자료는 산림의 분포 및 자원량을 파악하고, 아울러 산지이용형태의 변화상황을 파악한다든지, 산림병충해 및 대기오염에 의한 산림재해 모니터링 등과 같은 산림의 동태변화를 파악하고 감시하는데 매우 효과적으로 활용될 수 있다.

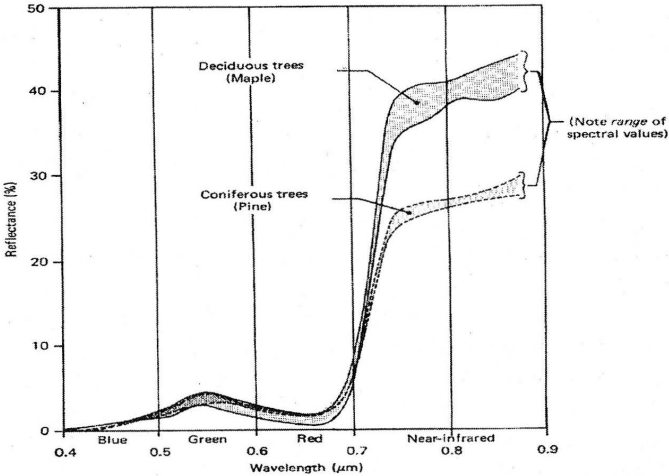
한편, 1960년대 이후 GIS 개념이 최초로 도입된 이래 각종 정보를 효율적으로 저장, 검색, 분석, 표현할 수 있는 자료관리 시스템인 GIS의 등장으로 원격탐사와 GIS의 통합 이용에 의한 화상처리 및 패턴 인식기법이 보다 향상되고, 수치고도모델(digital elevation model ; DEM)의 응용은 주변 입지환경요소와 관련된 산림특성을 보다 잘 이해할 수 있게 되었다. 또한, GPS 장비를 이용하여 표본지역의 위치 식별이나 지형특성을 정확하고 손쉽게 기록할 수 있게 되었으며, 이러한 기법들이 도입됨에 따라 산림자원조사나 모니터링에 있어 커다란 진보를 이루었다.

그러나, 산림자원을 사정하기 위한 원격탐사 기법과 표본추출법에 대한 연구개발 못지 않게 새로운 정보의 수집이나 지속적으로 기존 정보의 갱신에 매우 효과적인 GIS 응용기법 개발에도 많은 노력을 기울여야 할 것으로 본다.

IV. 산림자원조사에 원격탐사 기술의 이용

1. 임상 및 식생구분

산림은 토양이나 물과 같은 지표물과는 다른 분광반사 특성을 갖고 있다. 일반적으로 식생은 녹색파장대에서 약간 높은 반사율을 나타내고 적색파장대에서는 거의 반사가 없다가 근적



〈그림 3〉 식생의 반사율 특성

외선과장대에서 50%에 가까운 높은 반사율을 보인다(〈그림 3〉).

이러한 현상은 식생의 종류나 수종, 임상, 수령, 임분밀도, 임분구성상태 등에 따라 차이가 있으며, 일반적으로 활엽수가 침엽수보다 근적외선과장대에서 상대적으로 높은 반사율을 나타내기 때문에 적외선사진을 이용하면 침엽수와 활엽수를 쉽게 구분해낼 수 있다. 반면에 고사하여 엽록소가 없는 식생의 경우는 가시광선역에서 건전한 식생보다 높은 반사율을 보이거나 근적외선역에서는 오히려 낮게 나타난다. 토양은 가시광선역에서는 녹색식물보다 높은 반사율을 보이지만 근적외선역에서는 낮게 나타나고 있으며 이러한 현상은 토양의 수분함량이나 토성에 따라 차이가 있다.

현재의 원격탐사 기술로는 식생의 존재유무와 분포현황은 100% 파악이 가능하며, 조림지, 벌채지, 초지, 경지, 나지 등의 토지이용 구분은 80% 이상의 정도로 식별이 가능하고, 산림 수종구성 및 소밀도 등을 감안한 임상구분도 각기 다른 계절에 수신된 위성자료를 사용하면 정확도가 향상될 수 있다.

임상구분시 정확도를 높이기 위해서는 원격탐사 자료의 관측 시기를 잘 선택하여야 한다. 일반적으로 여러 시기에 수신된 다시기 화상자

료를 사용하면 분류 정확도는 높아지지만 식생의 분광반사 특성은 식물의 계절상(phenology)과 밀접한 관련이 있기 때문에 사용 데이터의 시기 선택이 보다 중요하다. 즉, 식생의 반사 특성은 계절에 따라 다른데 특히 활엽수에서 차이가 현저하게 나타나서 활엽수림의 구분은 근적외선과장대의 반사가 강한 봄철의 신록기나 적색과장의 반사가 큰 가을이 적합하다.

한편, 화상해석에 있어서 분류정도를 떨어뜨리는 가장 큰 요인은 지형이 험준한 산악지대에서 지형의 기복 현상과 일조조건에 의한 정보의 손실이다. 따라서, 화상분류처리에 앞서 먼저 이러한 지형효과를 없애기 위해서는 사면방위, 경사, 태양고도, 태양방위 등의 매개변수값을 이용해서 상대일사계수를 구하여 그림자현상을 제거해야 한다.

2. 원격탐사에 의한 산림자원조사

항공사진을 이용하여 산림자원조사를 할 경우에 먼저 항공사진을 판독하여 임상을 구분한 후 임상별로 층화(stratification)하여 조사표본점의 수나 표본점 위치를 설계한 다음 야외조사를 실시하기 때문에 많은 시간과 비용이 소요된다.

〈표 7〉 항공사진과 원격탐사의 산림조사방법 비교

	항공 사진	원격 탐사
판독 및 분석 요소	shape & size, color & tone, texture, pattern	파장대별 DN Value, color composite, 결정법칙
산림자원 조사방법	<ul style="list-style-type: none"> • 항공사진 판독 → 층화추출법 → 표본 점조사 → 자료분석 및 집계 → 산림통계표 및 입상도 작성 • 항공사진 측정 → 이중추출법(항공사진 임분제적표) → 표본 점조사 	<ul style="list-style-type: none"> • 이중추출법: 위성자료, 지상 조사 • 다중추출법: 위성자료, 항공사진(입상도), 지상조사 • 도면작성(입상도)전산화, 통계처리 및 DB구축, 공간분석 및 모델링
산림자원량 추정법	항공사진임분제적표 이용	<ul style="list-style-type: none"> • pixel의 DN값과 지상측정 재적과의 상관관계 분석 • 1차 임상분류후 기존조사자료 적용

이에 반하여 인공위성자료를 이용하면 산림 자원조사에 소요되는 시간은 기존의 방법에 비해 1/3, 비용은 1/4~1/9 정도로 줄일 수 있다. 그래서 광범위한 지역의 산림자원의 파악은 한번에 넓은 지역을 커버하는 위성자료를 사용하는 것이 효과적이다. 원격탐사를 이용한 산림조사기법은 인공위성 자료가 해상력이 낮기 때문에 항공사진과 현지조사를 병행하는 다 단추출법과 층화 clustering 방법을 주로 이용하고 있다.

또한, 다시기 위성자료를 이용해서 고정표본점에 대해 지속적으로 산림자원조사를 실시하여 산림자원량 변화를 효과적으로 파악할 수가 있으며, 식생지수법(vegetation index)과 같은 분석기법을 이용하면 식생의 피복도 및 biomass 양을 추정해 낼 수도 있다.

V. 結 論

오늘날 우리는 인류의 번영과 삶의 질을 높이고자 각고의 노력을 시도하고 있으며 이러한 과정 속에서 지구환경은 급속한 변화를 겪고 있다. 그 동안 산림의 역할이나 임업의 목표는 목재자원에 중심을 두어 산림정책이나 임업경영은 단순히 최소의 비용으로 목재생산을 최적화하는 것에 초점을 맞추어 왔으나, 그린라운드 이후 UNCED는 산림을 환경적으로 건전하게 유지하면서 지속 가능한 개발이 가능하도록 경영관리할 것을 요구하고 있다.

이러한 여건의 변화에 능동적으로 대응하기 위해서는 산림자원의 실태를 올바르게 평가해서

얻어진 자료나 정보를 토대로 하여 합리적인 대응방안이나 전략을 수립하여야 한다. 또한 앞으로는 산림이나 산림과 관련된 모든 정보에 대한 국가적 또는 국제적인 차원의 수요가 점차 늘어날 것으로 예상된다.

따라서, 그 동안의 산림조사 체계나 개념을 새로이 통합 조정하여 시급히 개선할 필요성이 높아가고 있다. 즉, 산림자원의 평가나 모니터링도 지속 가능한 개발과 연계하고, 생태적 문제점들을 사회경제적 측면과 연관시켜 다루어야 하며, 산림과 보속수확의 균형도 목재생산의 균형뿐만 아니라 모든 산림자원과 모든 산물과의 균형을 적용할 수 있는 개념으로 바뀌어야 한다.

이를 위해 현재 세계각국은 기존의 목재자원 중심의 산림조사에서 야생동물, 토양, 수자원, 목야지, 레크레이션 등을 포함한 다목적 다원조사 체계로 전환하고 있으며, 조사방법도 주로 항공사진과 지상조사를 병용해오던 이중추출법에 의한 표본조사법에서 점차 원격탐사나 GIS 기법을 활용한 다중표본조사법을 개발하여 적용해오고 있으며, 동시에 고정표본점에 대해 지속적으로 산림조사를 실시하여 산림자원량 변화를 모니터링하고 있다.

한편, 현지점에서 이용 가능한 인공위성 자료의 특성에 비추어 볼 때 원격탐사기법을 임업에 보다 실용적으로 활용하기 위해서는 앞으로도 해결해야 할 문제점들이 있다. 대부분의 산림은 입지환경요인이나 임분구성 상태가 복잡하여 현재의 인공위성 센서의 해상력으로는 산림관리 업무에 충족한 자료를 얻기가 어렵다.

그러나, 인공위성 자료는 각종 현상을 파악하고 변화상태를 효과적으로 모니터링하거나 updating하는데 유용한 정보원으로서 널리 활용되고 있으며, 이후 각종 정보를 효율적으로 저장, 검색, 분석, 표현할 수 있는 자료관리 시스템인 GIS가 개발되어 이들 원격탐사 및 GIS 기법을 통합해서 이용함으로써 각종 산림 정책 및 계획을 수립하거나 모델링을 설정하는데 필요한 정보나 의사결정을 효과적으로 지원해줄 수 있게 되었다.

앞으로 항공우주 및 컴퓨터산업의 발달추세를 감안해 볼 때 머지않아 현재 운행 중인 인공위성보다 훨씬 해상력이 높고 파장대의 관측 범위도 넓은 기능이 대폭 향상된 새로운 센서를 탑재한 자원탐사위성이 계속 발사될 것으로 예상되고, 원격탐사 자료의 이용 기술 또한 새로운 알고리즘이나 분석기법의 개발에 따라 임업분야의 활용성은 더욱 높아질 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Shikui, P. 1987. On the combination of Multi-temporal Satellite and Field Data

for Forest Inventories. ACTA Forestalia Fennica. 97pp.

2. 林野廳. 1990. 리모-센싱게活用手法開發調査報告書. 224pp.

3. Van Hooser, D.D., N.D. Cost and H. G. Lund. 1992. The History of the Forest Survey Program in the United States. Proceedings of the IUFRO Centennial Meeting in Berlin. p.19~27.

4. Lillisand, T.M. and R.W. Kiefer. 1994. Remote Sensing and Image Interpretation (3rd ed.) John Wiley and Sons. 750pp.

5. 林野廳. 1994. 次期森林資源システム開發調査報告書. 165pp.

6. Patrono, A. 1996. Synergism of remotely sensed data for land cover mapping in heterogeneous alpine areas: an example combining accuracy and resolution. ITC Jour. 1996(2) : 101~109.

7. 현신규·김갑덕. 1976. 측수학. 향문사. 245pp.

8. 이승호. 1996. 원격탐사기술과 산림자원조사. 임정연구 27 : 121~148.

多目的 山林資源調査技法

李 祐 均¹

Multi-purpose Forest Resources Survey

Woo-Kyun Lee¹

I. 緒 論

산림경영은 경영목적, 산림의 현상황 및 미래상황 등이 충분히 고려되어 이루어져야 한다. 산림의 형태와 기능은 매우 다양한데, 이와 같은 산림의 다양한 형태 및 기능을 산림경영에 고려하기 위해서는 다양하고 많은 양의 정보가 확보되어야 한다. 따라서 산림에 대한 정보를 제공하는 산림자원조사는 합리적 산림경영을 위한 필수요소로 꼽히고 있다.

산림상태를 파악하기 위한 정보의 양 및 내용은 경영목적이 무엇이냐에 따라 달라진다(그림 1). 즉, 목재생산을 위한 정보의 내용과 산림의 생태·환경적 기능을 위한 정보의 내용은 다를 것이다. 따라서 산림조사방법 및 성장모델은 필요로 하는 정보의 내용, 궁극적으로는 경영목적에 부합되도록 설정되어야 한다.

최근 들어 산림의 생태·환경적 가치에 대한 중요성이 증대되자, 목재생산위주의 산림경영에 적용되어 왔던 기존의 산림조사방법 및 자료분석방법은 새롭게 요구되고 있는 環境親和的 산림경영에는 더 이상 부합되지 못하는 문제가 발생하고 있다. 따라서 산림의 경제성뿐만 아니라 생태·환경적 가치도 동시에 증진시키고자 하는 지속 가능한 또는 환경친화적 경영이념이 실현되기 위해서는 이에 부합되는 산림자원조사방법 및 자료분석방법이 마련되어야 한다.

본 稿에서는 산림경영에 필요한 정보의 내용과 그를 파악할 수 있는 산림자원조사 및 자료분석방법을 논하고자 한다.

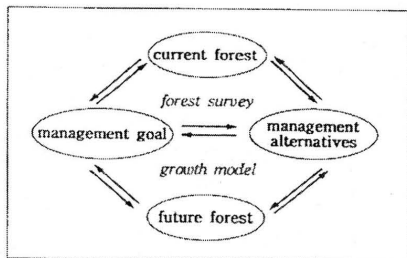


Fig. 1. Process of decision-making in forest management

II. 山林經營에 必要한 情報

산림조사의 목적은 산림경영에 필요한 정보를 제공하는 것이다. 따라서 필요한 정보의 내용에 따라 산림조사방법이 결정되어야 하는데, 산림경영에 필요한 정보는 경영목적이 무엇이냐에 따라 달라진다(표 1).

현재 우리 나라의 산림은 목재생산을 위한 생산임지와 공익기능 및 산업발전을 위한 공익 및 산업임지로 용도 구분되어 있다. 이 중에서 산림경영의 주된 대상은 생산임지와 공익임지로 볼 수 있으며, 환경문제의 대두와 결부되어 공익임지에 대한 관심이 증대되고 있는 현실이다. 표 2는 공익임지의 유형 및 기능을 나타내고 있는데, 기능을 보면 이들의 경영형태 및 관리기법이 생산임지와는 구분될 필요성이 있다는 것을 쉽게 알 수 있다.

목재생산을 목적으로 하는 산림경영에서는 생산량에 대한 정보가 무엇보다도 필요하며, 이러한 생산량에 근거하여 계획이 수립되고 수

¹ 고려대학교 Korea University, Seoul, 136-701 Korea.

Table 1. Required management index and information by management goal

management goal	management index	required information
timber production	growth, volume, weight	stand age, dbh, height, site index, density, growth
ecological or environmental function	diversity scenic value stability	stand age, dbh, height, site index, density, growth, stand structure(vertical, horizontal), diversity, mixed rate, spatial distribution (aggregation)

Table 2. The classification by forest function

유형	기능	해당산림
국토보전림	토사유출, 토사붕괴방지	사방지(사방사업법 3조) 토사유출·붕괴, 비사방비 및 낙석방지보안림(산림법 56조)
수자원보전림	수자원함양, 수질정화	수원함양보안림(산림법 56조 3호) 상수원보호구역(수도법 제5조)
생활환경림	대기정화, 소음방지, 보전휴양, 경관보전	보전녹지지역 개발제한구역안의 산림(도시계획법 17,21조) 도시공원안의 산림(도시공원법 제3조) 자연공원 및 공원보호구역안의 산림(자연공원법 4,6,25조)* 문화재보호구역안의 산림(문화재보호법 8조)* 자연휴양림(산림법 31조) 생활환경·보건·풍치보안림(산림법 56조) 사찰림(전통사찰보존법 3조)
생태보전림	생물다양성의 보호 및 보전	천연기념물의 보호를 위하여 지정한 문화재보호구역안의 산림(문화재보호법 8조) 어부보안림(산림법 56조) 천연보호림(산림법 67조) 자연보존지구(자연공원법 16조 1항 1호) 자연생태계보전지역안의 산림(자연환경보전법 15조) 조수보호구중 특별보호지구 안의 산림(조수보호 및 수렵에 관한 법률 4조 2항)
군사시설보호림	국방·군사시설의 보호	군사시설보호구역안의 산림(군사시설보호법 4조)

행되어야 한다. 생산량은 재적 또는 중량으로 나타낼 수 있는데, 지금까지는 통상 입목의 부피를 나타내는 재적(volume)으로 생산량을 파악하고 있다. 입분재적의 파악을 위해서는 입령, 흉고직경(또는 흉고단면적), 수고 등과 같은 비교적 단순한 정보가 요구된다.

생태 및 환경기능을 위한 산림경영에서는 재적과 같은 생산량에 대한 정보보다는 산림의 안정성, 경관적 가치, 다양성 등에 대한 정보가 더욱 중요하다. 예를 들어 산악지역에서의 토사유출 및 붕괴방지를 위한 국토보전림에서는 무엇보다도 산림의 안정성을 기준으로 관리가 이루어져야 할 것이다. 또한 휴양림의 경우

에는 경관적 가치가, 생태보전림의 경우에는 다양성이 관리를 위한 중요한 인자가 될 것이다. 이들 인자들을 나타낼 수 있는 척도로는 종적·횡적 입분구조, 종다양성 인자, 혼효율, 공간분포 등을 들 수 있겠다.

1. 입분구조(stand structure)

입분의 종적 및 횡적 구조는 수고 및 직경급 별 본수의 분포로 나타낼 수 있다. 지금까지 대부분의 산림조사에서는 수고 및 직경의 평균치를 최소·최대치와 함께 나타내고 있어 입분구조를 개략적으로 파악하고 있다. 입분구조를 보다 정확하게 파악하는 방법으로는 직경 및

수고급별 본수를 통계적 분포식을 이용하여 표현하는 방법이 주로 이용되고 있다. 최근에는 임분구조를 공간적으로 파악할 수 있는 방법이 개발되어 임분구조의 횡적 및 종적 다양성을空間적으로 파악하고 있는 추세이다.

1) 공간적 임분구조지수(spatial stand structure index)

Gadow와 Fuldner(1995)는 임분의 횡적구조를 개체목의 공간적 위치와 흉고직경을 이용하여 다음과 같이 파악하는 방법을 제시하였다.

$$SDj_{dbh(i)} = \frac{1}{j} \sum_{k=1}^j (1 - R' dbh_{i,k}) ;$$

$$R' dbh_{i,k} = \frac{dbh_{small}}{dbh_{big}}$$

$SDj_{abh(i)}$: 흉고직경의 공간분포다양성

$R' dbh_{i,k}$: i개체목과 i개체목의 k번째 인접목과의 직경비

j : 적용된 인접목 수

$SDj_{abh(i)}$ 는 i번째 나무와 i개체목의 j번째 인접목까지의 평균 직경차이율을 나타낸다. 예를 들면 가장 가까운 인접목하고만 비교하면 j=1이 되며, 두 번째 가까운 인접목까지 비교하면 j=2가 된다. 이 $SDj_{abh(i)}$ 는 i번째 나무의 직경이 인접목의 직경과 얼마나 다른가를 나타내는 지수로서, 계산인자인 dbh_{large} 와 dbh_{small} 은 i번째 나무와 인접목의 두 나무 중 큰 흉고직경 및 작은 흉고직경을 각각 나타낸다. $SDj_{abh(i)}$ 는 0에서 1 사이의 값을 가지며 두 나무의 흉고직경이 같으면 0이고 직경차이가 클수록 1에 가까워진다. j번째 인접목까지 고려하여 각 개체목의 직경차이율($SDj_{abh(i)}$)을 구한 다음, 조사본수를 n이라 하면 표본점의 평균 직경차이율(SDj_{abh})은 다음과 같이 계산된다.

$$SDj_{dbh} = \frac{\sum_{i=1}^n SDj_{dbh(i)}}{n}$$

$SDj_{abh(i)}$ 의 평균치 SDj_{abh} 는 인접목의 흉고직경이 평균적으로 얼마나 더 크거나 작은가의 정도 및 흉고직경의 공간적 분포를 나타내며, 0에서 1 사이의 값을 가진다. 임분이 동질할수록 0에 가까워지고, 1에 가까울수록 임분내

흉고직경간의 차이가 크고, 그 차이가 공간적으로 다양하게 분포되어 있음을 나타낸다. 임분의 종적구조도 직경대신에 수고를 변수로 하면 횡적구조와 같은 방법으로 파악할 수 있다.

2) 비공간적 임분구조지수(non-spatial stand structure index)

통계적 분포식을 이용한 직경 및 수고급별 본수분포로 임분구조를 나타내는 기법은 임목의 공간적 위치가 고려되지 않기 때문에 비공간적 임분구조지수로 분류된다. 이와 같은 비공간적 임분구조지수로는 정규 및 t분포식, β 분포식, Weibull분포식, 지수함수식 등이 이용되고 있다(Kramer, 1988; 변우혁 등, 1996).

Kramer(1988)는 Lorenz곡선을 이용하여 임분구조의 동질성을 파악할 수 있다고 하였다(변우혁 등, 1996). 그에 의하면 x축을 본수의累積率(NR)로, y축을 흉고단면적 또는 재적의 누적율(VR)로 하고, 직경급별로 파악된 누적율을 연결하면 임분의 동질성을 나타낼 수 있다는 것이다. 임분이 완전히 동질적이라면 모든 나무의 재적은 동일할 것이며, 이에 따라 본수의 누적율과 재적의 누적율은 같게 되어 Lorenz곡선은 (0,0)과 (1,1)을 잇는 線形을 띠게 될 것이다. 임분이 비동질적일수록 완전동

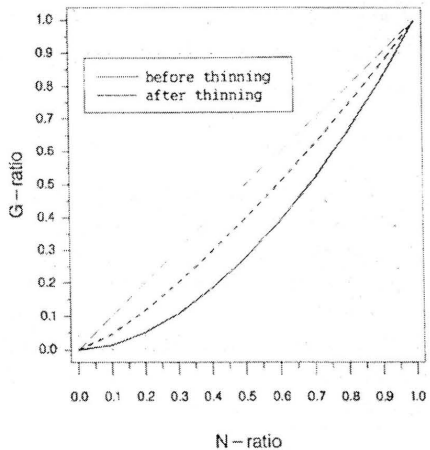


Fig. 2. Lorenz curve showing the influence of the low-thinning on stand homogeneity

질성을 나타내는 이 직선으로부터 밑으로 멀어지게 된다(그림 2).

여기에서 이와 같은 Lorenz곡선을 함수식으로 유도하여 임분구조의 동질성을 지수화하는 방안을 제시하고자 한다. 식에서 VR_i 은 i 경급까지의 재적비를, 그리고 NR_i 는 i 경급까지의 본수비를 각각 나타낸다.

$$VR_i = NR_i^\beta ; (VR_i = \frac{\sum_{j=1}^i V_j}{V_g}, NR_i = \frac{\sum_{j=1}^i N_j}{N_g})$$

V_g : total volume,

V_j : volume of j-th dbh class

N_g : total number,

N_j : number of j-th dbh class

係數 β 는 임분의 동질성을 나타내는데, 임분이 완전동질적이면 1의 값을 가지며 비동질적이면 1보다 큰 값을 가지게 된다. 즉 임분이 비동질적일수록 β 의 값은 1로 부터 멀어지게 되는 데 그 상한선이 정해져 있지 못하다. 따라서 의미를 보다 정확히 나타내기 위해 β 의 역수를 1에서 빼면 다음과 같은 횡적구조의 多樣性指數($L\beta$)를 유도할 수 있다.

$$L\beta = 1 - \frac{1}{\beta}, 0 \leq L\beta < 1$$

이렇게 되면 임분의 다양성 또는 동질성 나타내는 $L\beta$ 지수는 0에서 1사이의 값을 갖게 되며, 0에 가까울수록 동질적인, 1에 가까울수록 비동질적인(다양한) 임분구조를 나타낸다.

2. 종다양성(species diversity)

1) 공간적 다양성지수(spatial diversity index)

그간 산림경영에서는 혼효림의 경우 임목도의 비율을 이용해 수종점유율을 나타내어 혼효 정도를 파악하고 있다. 그러나 이는 단면적 또는 재적의 양적 비교에 의해 혼효정도를 나타내는 것으로서 임분의 혼효정도를 정확하게 나타낸다고는 볼 수 없다. Gadow와 Fuldner(1995)는 임목의 공간분포로부터 다음과 같은 식을 이용하여 混滯度를 파악하였다.

$$E(p) = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

여기에서 d_i 는 i 번째 수종의 공간혼효도를 나타내며, 인접목이 같은 수종이면 0, 다른 수종이면 1의 값을 가진다. $E(p)$ 는 가장 가까운 거리에 있는 인접목의 수종이 다를 확률을 뜻한다. 즉, 임의로 한 나무를 선발했을 때 인접목의 수종이 다를 확률이다. $E(p)$ 는 0에서 1사이의 값을 가지며($0 \leq E(p) \leq 1$), 모두 같은 수종이면 0이고, 수종이 다양할수록 1에 가까워진다. 이 혼효도는 기존의 수종점유율과는 달리 임목의 공간배치를 고려한 혼효정도를 나타낸다.

2) 비공간적 다양성지수(non-spatial diversity index)

그간 종다양성을 數量化시킬 수 있는 인자는 생태분야의 연구를 통해 많이 개발되었는데(표 3), 이들 종다양성인자들은 임목의 공간분포를 배제한 상태에서 다양성 정도를 수량화시켰기 때문에 비공간적 다양성지수로 볼 수 있다. 산림관련분야에서는 주로 식생조사와 관련하여 이와 같은 다양성지수가 파악되고 있지만, 산림경영계획 및 임분관리를 위한 인자로는 활용되고 있지 못하고 있는 실정이다.

풍부도(richness index)는 종이 얼마나 풍부하게 나타나는가를 나타내는데, 보통 전체수에 대한 출현종수의 비율로 나타내고 있다. 표에 제시한 Margalef지수($R1$) 및 Menhinick지수($R2$)가 클수록 출현종이 많다는 것을 의미한다.

균재도(evenness index)는 출현종이 어느 정도로 유사하게 분포되어 있는가 나타내는 지수로서 0에서 1사이의 값을 가진다. 모든 종이 동일한 빈도로 출현할 때 최대치인 1을 나타내며, 균재도가 작을수록 조사대상지가 어느 특정 종에 의해 점유되어 있음을 나타낸다. 따라서 1에서 균재도를 뺀 지수를 우점도(dominance index)라 한다.

다양성도(diversity index)는 풍부도와 균재도를 통합한 개념이며(Ludwig and Reynolds, 1988), 이질도(herterogeneity index)라 불리기도 한다. Shannon의 다양성도(H')는 임의로 선택한 개체가 어느 종에 속할 것인가를 추정할 때 발생하는 불확실성(uncertainty)의 정도

Table 3. Diversity, evenness, richness index and important value

Index	Equation	Remark
1. Diversity Index		
Shannon(1949)	$H' = - \sum_{i=1}^S \left[\left(\frac{n_i}{n} \right) \ln \left(\frac{n_i}{n} \right) \right]$	0 : only if there is one species maximum : only when all S species are represented by the same number of individuals
Simpson(1949)	$\lambda = \sum_{i=1}^S \left(\frac{n_i(n_i-1)}{n(n-1)} \right)$	0(high diversity) ↔ 1(low diversity)
Hill(1973)	$NA = \sum_{i=1}^S (p_i)^{\frac{1}{1-A}}$	if A=0, N0=S : no. of all species if A=1, N1=e ^{H'} : no. of abundant species if A=2, N2=1/λ : no. of very abundant species
2. Richness Index		
Margalef(1958)	$R1 = \frac{S-1}{\ln(n)}$	the greater, the richer
Menhinick(1964)	$R2 = \frac{S}{\sqrt{n}}$	the greater, the richer
3. Evenness Index(J)		
Hurlbert(1971)	$V' = \frac{D}{D_{max}}$	0(low evenness) ↔ 1(high evenness)
Pielou(1977)	$E1 = \frac{H'}{\ln(S)} = \frac{\ln(M)}{\ln(M0)}$	
Sheldon(1969)	$E2 = \frac{e^{H'}}{S} = \frac{M}{M0}$	
Heip(1974)	$E3 = \frac{e^{H'} - 1}{S - 1} = \frac{M - 1}{M0 - 1}$	
Hill(1973)	$E4 = \frac{1/\lambda}{e^{H'}} = \frac{N2}{M1}$	
Peet(1974)	$E5 = \frac{(1/\lambda) - 1}{e^{H'} - 1} = \frac{N2 - 1}{M1 - 1}$	
4. Important value		
Ludwig(1988)	$RDs = \left(\frac{n_s}{n} \right) 100$	Relative Density
	$RFs = \frac{Fs}{\sum_{i=1}^S Fi}, \text{ here } Fs = \left(\frac{np_s}{np} \right) 100$	Relative Frequency
	$RCs = \frac{Cs}{C} 100$	Relative Coverage
	$IVs = \frac{RDs + RFs + RCs}{3}$	Important Value

n_i : number of individuals belonging to the *i*th of S species in the sample
n : total number of individuals in the sample, S : number of species
D : some observed diversity index, *D_{max}* : maximum diversity index
P_i : proportion of individuals belonging to the *i*th species(*n_i/n*)
n_s : number of species S, *np_s* : number of plot, in which species S appears,
np : total number of plot, *C_s* : coverage area of species S, *C* : total coverage area

를 의미한다. 한 종으로 구성된 표본점의 경우 선발된 개체의 종을 추정할 때 불확실성의 문제는 발생하지 않게 되어 H' 는 0의 값을 가진다. 출현종이 다양할수록 종추정의 불확실성은 증가하게 되므로, H' 는 종이 다양할수록 증가하여 출현개체수가 모두 서로 다른 종으로 구성되어 있을 때 최대값을 가지게 된다. Simpson의 다양성도(λ)는 임의로 선택한 두 개체가 동일종에 속할 확률을 의미한다(Ludwig and Reynolds 1988). λ 는 0에서 1의 값을 가지며, 작을수록 임의로 선택한 두 개체가 동일종에 속할 확률이 낮은 것을 의미하므로 종다양성은 역으로 높다는 것을 나타낸다. Hill의 다양성지수는 측정의 기본단위가 종(species)의 수이다. 종의 수를 어느 범위에서 파악할 것인가에 따라 Hill의 다양성지수는 보통 3가지로 분류된다. 첫 번째 Hill의 다양성지수(N_0)는 출현한 모든 종의 수를, 두 번째 Hill의 다양성지수(N_1)는 많이 출현한 종의 수를, 그리고 세 번째 Hill의 다양성지수(N_2)는 아주 많이 출현한 종의 수를 각각 나타낸다. 두 번째와 세 번째 지수는 표본점의 개체가 각 출현종들에 어느 정도로 균형을 이루고 분포되어 있나를 의미하며 1과 그 이상의 값을 가진다. 표본점이 주로 어느 한 종으로 구성되어 있으면서 기타 다른 종들이 아주 소수로 출현할 경우 N_1 과 N_2 는 1에 접근하며, 표본점 내에서 출현종의 점유도가 비슷할수록 N_1 과 N_2 는 증가한다. 이러한 Hill의 3가지 경쟁지수는 군계도파악을 위한 계산인자로 이용된다.

생태학적인 조사에서는 산림식생 중 어느 한 종이 차지하는 중요성(important value)을 보통 상대밀도, 상대빈도 및 상대피도의 평균으로 나타내고 있다.

3. 집락도(aggregation)

산림의 생태적 안정성 및 경관적 가치의 평가를 위해서는 임목의 공간적 분포를 파악할 필요성이 있다. 임목의 공간적 분포는 임의, 규칙적 또는 群狀分布로 분류될 수 있다. 기존의 산림경영계획에서는 임목의 공간분포를 군상혼효, 단목혼효 등과 같이 서술식으로 임황란에 간단히 설명만 하고 산림의 경영계획수립

및 관리를 위한 인자로는 활용하지 못하고 있다. 집락도(aggregation)는 임목이 어떻게 공간적으로 분포되어 있는가를 나타내는 것으로서 단순림에서의 임목의 공간적 분포는 물론, 혼효림에서의 공간적 혼효분포를 설명할 수 있다.

Clark와 Evans(1954)는 기대되는 임목간 평균거리에 대한 인접목간의 평균거리의 비를 집락도로 하였다(표 4). Clark와 Evans의 집락도는 임의분포일 경우에는 1에, 그리고 집락적으로 분포되어 있을수록 0에 가까워진다. 또한 규칙적으로 분포되어 있으면 1보다 크며, 모든 임목간의 거리가 일정할 때 최대 2.1491의 값을 가진다. Ludwig와 Reynolds(1988)의 집락도는 가장 가까운 인접목까지의 거리와 그 인접목으로부터 또 다른 가장 가까운 인접목간의 거리를 계산인자로 하고 있는데, 임의분포일 때는 0.5에 근접하며, 균일한 분포일 때는 0.5보다 작아지고, 군상분포일 때는 0.5보다 큰 값을 가진다. Johnson과 Zimmer(1985)는 가장 가까운 인접목과의 거리를 계산인자로 하는 산포거리지수(distance index of dispersion)라는 집락도 지수를 유도하였다. Johnson과 Zimmer의 지수는 임의분포일 때는 2에 근접하며, 균일한 분포일 때는 2보다 작아지고, 군상분포일 때는 2보다 큰 값을 가진다.

4. 임분밀도 및 경쟁지수(stand density and competition index)

임분 내의 개체목들은 바람 및 폭풍 등으로 부터는 서로를 보호하는 반면 광선, 수분, 양분 및 생육공간 등을 위해서는 상호 경쟁관계에 있다(Kramer 1988). 이러한 생장요인인 경쟁에 의해 어느 정도 제한을 받는가에 따라 개체목 및 임분의 생장이 좌우된다. 임분생장모델(stand growth model)에서는 생장을 임분의 평균치로 파악하고 있으며, 이러한 임분차원의 평균생장과 경쟁과의 관계를 구명하기 위해 경쟁관계를 임분차원에서 양적으로 나타낸 임분밀도(stand density)를 이용하고 있다(Davis와 Johnson 1987). 지금까지 이와 같은 임분밀도를 나타내는 척도 및 측정방법이 다양한 각도에서 개발되어 임분의 생장추정 및 관리의 기

Table 4. Aggregation index and its meaning

Index	Equation	random	uniform	clumped
Clark & Evans	$CE = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i}{\frac{1}{2} \sqrt{\frac{10000}{N}}}$	CE=1	CE>1	CE=0
Ludwig & Reynolds	$C = \frac{\sum_{i=1}^n [x_i^2 / (x_i^2 + y_i^2 / 2)]}{N}$	C=0.5	C<0.5	C>0.5
Johnson & Zimmer	$I = (N+1) \frac{\sum_{i=1}^N (x_i^2)^2}{[\sum_{i=1}^N (x_i^2)]^2}$	I=2	I<2	I>2

r_i : distance from subject tree i to nearest neighbour trees, N = number of stems per ha, n = number of stems in plot

x_i : distance from subject tree(O) to the nearest individual trees(P)

y_i : distance from nearest tree(P) of subject tree(O) to the nearest tree(Q) of P(Individuals that lie in the same "half-plane" as O(i.e., below the horizontal line passing P and acrossing the line between O and P) are exclude when selecting Q)

준으로 이용되어 왔는데(표 5), 지금까지 널리 알려진 임분밀도의 척도로는 ha당 단면적 및 재적, ha당 본수, 입목도(stocking), Reineke의 임분밀도지수(stand density index), 상대공간지수(relative spacing index), 수관경쟁요인(crown competition factor) 등을 들 수 있다(박태식 외, 1991; Davis와 Johnson, 1987). 이와 같은 임분밀도 인자들은 파악이 간단하고 쉽게 활용될 수 있는 반면, 경쟁과 성장간의 인과관계를 명확하게 설명해 주지 못하는 한계를 지니고 있다(Bella, 1971).

최근 들어 환경 및 생태문제와 결부되어 임분성장모델보다는 성장을 개체목별 경쟁상태에 따라 개체목단위로 파악하는 단목성장모델(individual or single tree growth model)에 대한 중요성이 증대되면서, 개체목단위의 경쟁지수(competition index)가 다양한 각도에서 개발되고 있으며, 개체목별 경쟁지수를 통해 개체목 및 임분의 성장을 보다 명확히 구명하려는 연구가 활발하게 수행되고 있다(Biging과 Dobbertin, 1995; Daniels, 1976; Daniels *et al.*, 1986; Lee, 1993; Pukkala와 Kolström, 1987; Tomé와 Burkhardt, 1989).

경쟁지수를 파악하는 방법은 각 개체목간 거리의 고려여부에 따라 거리종속경쟁지수(dis-

tance dependent competition index)와 거리독립경쟁지수(distance independent competition index)로 크게 분류된다(Biging과 Dobbertin, 1992, 1995; Davis와 Johnson, 1987; Holmes와 Reed, 1991; Tomé와 Burkhardt, 1989). 지금까지 임분밀도의 척도로 많이 이용되어온 입목도, Reineke의 임분밀도지수, 상대공간지수 등은 각 개체목의 공간적 위치, 즉 각 개체목간의 거리가 고려되지 않은 일종의 임분차원(stand level)의 거리독립경쟁지수로 분류될 수 있다(Biging과 Dobbertin, 1992, 1995).

각 개체목의 공간적인 위치를 파악하고 경쟁목과의 관계를 고려하여 개체목별로 경쟁지수를 파악하는 단목차원(tree level)의 거리종속 경쟁지수는 경쟁목과의 경쟁관계파악을 위해 고려되는 인자에 따라 수관면적중첩지수(crown area overlap index), 크기비율지수(size ratio index), 생육공간지수(growing spacing index) 등으로 분류될 수 있다(Biging과 Dobbertin 1992, 1995; Holmes와 Reed 1991; Tomé와 Burkhardt 1989). 수관면적중첩지수는 경쟁목과 중첩되는 수관면적을 고려하여 경쟁지수를 결정하는 방법으로 이를 위해서는 수관폭을 측정해야 하는 어려움이 뒤따른다(Bella, 1971). 이에 비해 크기비율경쟁지수 및 생육공간경쟁지

Table 5. Competition indices and their type, equation.

Source	Type*1	Equation*2
Hegy(1974)	TL DD SR-DW	$\sum_{j=1}^n \left(\frac{D_j/D_i}{Dist_{ij}} \right)$
Martin-Ek(1984)	TL DD SR-DW	$\sum_{j=1}^n \left(\frac{D_j}{D_i} \cdot e^{-\frac{16 \cdot Dist_{ij}}{D_j + D_i}} \right)$
Alemdag(1978)	TL DD GS-DW	$n / \sum_{j=1}^n \left[\pi \left(\frac{Dist_{ij} \cdot D_i}{D_i + D_j} \right)^2 \cdot \frac{D_j}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{D_j}{Dist_{ij}} \right)} \right]$
Lorimer(1983)	TL DD SR	$\sum_{j=1}^n \left(\frac{D_j}{D_i} \right)$
Daniels(1986)*3	TL DD SR	$\frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{D_j^2}{n} \right)}{D_i^2}$
Spurr(1962)	TL DD SR-DW	$\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{D_j}{Dist_{ij}} \right)^2 \left(j - \frac{1}{2} \right) \right]$
Stocking	SL DI	$\frac{real\ basal\ area}{basal\ area\ on\ yield\ table}$
Reineke's SDI(1933)	SL DI	$N \cdot \left(\frac{25}{dbh} \right)^{-1.605}$
Relative Spacing Index	SL DI	$\frac{\sqrt{10000}}{N} \cdot \frac{1}{ho} \cdot 100$

*1) TL : Tree level competition index SL : Stand level competition index
 DD : Distance dependent competition index DI : Distance independent competition index
 SR : Size ratio competition index GS : Growing spacing competition index
 DW : Distance weighted competition index

*2) D_i : dbh of subject tree i D_j : dbh of competitor trees ($j \neq i$)
 $Dist_{ij}$: Distance of subject tree i to competitor j
 N : Number of trees per ha ho : dominant height
 n : Number of competitors dbh : diameter at breast height

*3) Inversed index of Daniels's Basal Area Index(BAI), $BAI = \frac{D_i^2}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{D_j^2}{n} \right)}$

수는 수관폭을 측정하지 않고도 경쟁목과의 직경 및 거리를 고려하여 개체목의 경쟁지수를 파악하는 비교적 간단한 방법으로 알려져 있다 (Daniels, 1976 ; Daniels *et al.*, 1986).

III. 산림조사방법

1. 영구표본조사와 일시표본조사

표본조사는 반복여부에 따라 영구표본조사

(permanent plot survey)와 일시표본조사(temporary plot survey)로 분류된다. 영구표본조사방법은 산림조사를 한번 설정된 고정표본점 내에서 정기적으로 반복하는 방법을 말한다. 처음 표본점을 설정할 때에는 표본점의 위치 및 개체목마다 고유번호를 표시하여야 하기 때문에 시간이 비교적 많이 소요되지만, 반복조사에서는 번호표시 없이 측정만 이루어져 첫 번째 조사에 비해 시간을 많이 단축시킬 수 있

다. 이와 같은 영구표본조사는 임분관리방법에 따른 성장차이 분석, 산림생장의 장기관측을 통한 성장분석, 정기적인 자원조사 등을 목적으로 이루어지고 있는데, 영구표본지는 특정 시업의 영향을 파악하기 위한 시험조사지(Versuchsfläche)와 산림자원의 monitoring을 위한 지표조사지(Weiserfläche)로 분류될 수 있다.

일시표본조사는 설정된 표본점에서 단 한 번의 조사만을 실시하는 표본조사방법이다. 재조사를 하지 않기 때문에 표본점의 위치 및 개체목의 번호를 표시할 필요가 없고, 단순한 측정만 이루어지기 때문에 시간이 비교적 적게 소요된다. 일시표본조사는 각종 피해지의 조사, 벌채전의 재적조사 등과 같은 어느 한 시점에서 자료확보를 위해 실시될 수 있다. 또한 고정표본점의 보안을 위한 방법으로 일시표본조사가 이루어지기도 한다.

2. 위치독립조사방법과 위치종속조사방법

표본점 내에서의 조사방법은 개체목 위치의 파악여부에 따라 위치종속조사방법(distance dependent survey)과 위치독립조사방법(distance independent survey)으로 구분될 수 있다(표 6).

위치독립조사방법은 개체목의 위치를 파악하지 않고 각 개체목에 대한 성장인자만을 조사하는 방법이다. 산림경영측면에서 보면 이 조사방법은 임목의 재적을 추정하는데 주목적을 두고 있다. 또한 이 조사방법에서는 재적을 비롯한 각종 성장인자가 평균치로 파악된다. 따라서 이 위치독립조사방법은 성장인자의 평균치를 이용한 산림경영기법이 적용될 수 있는 동령·단순림을 위한 조사방법이다. 또한 평균치를 성장인자로 이용하는 임분차원의 생장모

델의 구축 및 운용을 위해 필요한 조사방법이기도 하다.

입목재적을 파악하는 방법으로서 아주 간단한 조사방법중의 하나로 角算定法(Winkelzählprobe, angle count method)을 들 수 있다. Bitterlich에 의해 개발된 이 방법은 표본점을 설정하지 않기 때문에 무표본점법(plotless method)으로 분류되기도 한다. 이 방법은 1cm 폭의 가늠자를 눈으로 부터 50cm에 고정시킨 상태에서 360° 돌면서 주위 임목의 흉고부위를 가늠자를 통해 조준한 후, 조준된 임목의 흉고부위가 가늠자보다 넓게 보이는 임목의 수를 헤아리는 방법이다. 이와 같이 헤아린 수가 바로 ha당 흉고단면적을 나타낸다. 이와 같이 간단하게 조사되는 흉고단면적과 함께 임분의 평균임령 및 평균수고만 조사되면 임분의 재적을 수확표를 이용하여 간단히 추정할 수 있다. 우선 임령과 평균수고로부터 임지의 생산능력을 나타내는 지위지수를 파악하고, 수확표상의 단면적에 대한 실제단면적의 비를 나타내는 立木度を 추정한다. 조사임분의 입목재적은 수확표상의 ha당 재적에 입목도를 곱하여 간단히 추정할 수 있다. 이와 같이 조사 및 계산의 간편성 때문에 각산정법은 목재생산을 주목적으로 하는 산림경영에 많이 이용되어 왔다.

6목법은 표본점의 크기가 고정되지 않는 일종의 圓形標本點에 의한 조사방법이다. 원형표본점법에서는 표본점의 크기가 임의로 결정되는 데 반해, 6목법에서는 중심점과 6번째 나무까지의 거리에 따라 표본점의 크기가 표본점마다 다르게 결정된다. 6목법은 중심점과 6번째 나무 중간까지의 거리를 반경으로 하는 원형을 표본점의 크기로 하고 있으며, 중심점으로부터 가까운 순서대로 6본만을 조사대상으로 하고

Table 6. Distance independent and distance dependent survey method

Distance	No	Type	Method	Goal	Model
Distance independent survey	1	Plotless method	angle count method	volume	stand or
	2	Distance method	6-tree method	volume	size class
	3	Sample plot method	circular, rectangular	volume	model
Distance dependent survey	4	Plotless method	cross method	volume, structure	single-
	5	Distance method	structural 4-group	volume, structure	tree
	6	Sample plot method	circular, rectangular	volume, structure	model

있다. 즉, 6분의 흉고직경을 조사한 후, 표본 점비례에 의해 ha당 단면적을 추정하는 방법이다. 이는 각산정방법보다는 복잡하지만 크기를 고정하는 원형표본점보다는 간단한 방법으로 인정되고 있다.

위치중속조사방법은 개개목의 위치를 파악하는 방법이다. 개개목의 위치는 중심점으로부터의 각도와 거리로 파악할 수도 있고, 중심점으로부터의 수평 및 수직거리로 파악할 수도 있다. 원형표본점의 경우는 보통 전자에 의한 방법을, 정방형 또는 방형표본점의 경우에는 후자에 의한 방법을 통해 개체목의 위치를 파악하고 있다. 이 방법은 위치독립조사방법에 비하면 시간은 많이 요구되지만 보다 광범위한 정보를 파악할 수 있다. 즉 흉고직경, 수고, 재적 등과 같은 성장인자 이외에도 임분의 구조 및 다양성을 공간적으로 파악할 수 있게 된다. 특히 장기적인 관측이 정기적으로 이루어지는 고정표본점에 위치중속조사방법을 적용하면 조사의 효율성은 물론 분석의 다양성을 피

할 수 있다.

IV. 조사방법별 정보파악력

동령·단순림 경영에 이용되는 평균생장은 모든 조사방법에서 파악이 가능하다. 따라서 단순히 성장인자의 평균치만 필요로 하는 경우에는 조사방법이 간단한 각산정법이나 六木法 등으로 임분을 조사하는 것이 효율적이다.

임분구조 파악에 있어서는 조사방법에 따라 임분구조를 나타내는 각 인자의 파악가능성이 크게 달라진다. 흉고직경 및 수고분포는 각산정법을 제외한 모든 조사방법에서 파악이 가능하지만, 공간인자를 고려한 임분구조 및 집락도는 위치중속조사기법을 통해서만 파악될 수 있다. 따라서 공간개념을 필요로 하는 정보를 파악하기 위해서는 위치중속조사방법을 적용해야 한다.

다양성파악에서도 마찬가지이다. 기존의 대부분의 다양성인자는 위치독립조사방법에 의해

Table 7. Forest information and performance of survey method

information	survey method(No. in table 5)						remark
	1	2	3	4	5	6	
mean value of growth factors	○	○	○	○	○	○	
structure							
distribution of growth factors	×	○	○	○	○	○	
spatial distribution of dbh and height	×	×	×	○	○	○	*
aggregation	×	×	×	○	○	○	*
diversity							
spatial diversity	×	×	×	○	○	○	*
Shannon-weaver	×	○	○	○	○	○	
Simpson	×	○	○	○	○	○	
Hill	×	○	○	○	○	○	
richness	×	○	○	○	○	○	
evenness	×	○	○	○	○	○	
important value	×	○	○	○	○	○	
relative density	×	○	○	○	○	○	
relative frequency	×	○	○	○	○	○	
relative coverage	×	○	○	○	○	○	
density							
relative spacing index	×	○	○	○	○	○	
stocking	○	○	○	○	○	○	
Competition index	×	×	×	○	○	○	*

○ : can be measured, × : cannot be measured,

* : information to be measured only by distance dependent survey method

파악이 가능하지만 공간인자를 고려한 다양성 인자는 개체목의 위치가 파악되어야 한다.

또한 밀도를 나타내는 기존의 척도는 대부분의 조사방법에서 파악이 가능하지만 개체목의 경쟁지수는 입목의 위치가 파악된 상태에서 추정될 수 있다.

따라서 평균치를 이용할 수 없고 개체목의 생장이 고유의 경쟁상태에 따라 각기 예측되어야 하는 이령·혼효림경영이나 공간분포인자, 집락도, 공간다양성인자 및 경쟁지수를 필요로 하는 산림경영을 위해서는 위치종속조사방법이 채택되어야 한다.

V. 結 論

최근 환경문제에 대한 세계적 관심이 고조되면서 지속 가능한 개발(ESSD: Environmentally Sound and Sustainable Development), 즉 환경 및 생태계의 안정을 추구하면서 경제발전을 동시에 이루자는 경제개발이념이 강하게 대두되고 있다. 이러한 경제발전에는 대한 새로운 이념과 함께 소위 지속 가능한 산림경영(sustainable forest management) 또는 親自然的 산림경영(naturmahe Waldwirtschaft)이라는 새로운 경영이념이 임업경영분야의 중심과제로 부각되고 있다. 즉, 과거의 목재생산 위주의 산림경영에서 벗어나 경제성도 높고 생태·환경적으로도 안정된 산림을 조성해야 한다는 것이다. 우리 나라의 경우 산림의 기능별로 산림자원관리지침을 제정하였다.

이와 같이 산림의 환경재로서의 기능에 대한 수요가 증대됨에 따라 동령·단순림보다는 이령·혼효림의 중요성이 증대되고 있다. 그러나 지금까지의 동령·단순림위주의 산림경영기법은 이령·혼효림을 선호하는 위와 같은 새로운 산림경영이념에는 부합되지 못하는 문제점을 안고 있다. 즉, 현재의 산림경영계획은 동령·단순림의 간벌 및 주벌생산량 추정에 초점이 맞추어져 있기 때문에 흉고직경 및 수고 등과 같은 재적추정에 필요한 정보만 고려하여 이루어지고 있으며, 입분구조, 종다양성 및 혼효율, 개체목간의 경쟁, 입분밀도 등 친자연적 산림경영을 위해 필요한 정보는 고려하지 못하

고 있다.

따라서 친자연적 산림경영이 가능해지기 위해서는 이에 필요한 산림조사 및 관리기법이 시급히 개발되어야 한다. 우선적으로 산림으로부터 다양한 생태·환경적 정보를 효율적으로 파악할 수 있는 산림조사방법이 개발되어야 할 것이다. 산림조사방법은 필요한 정보, 요구되는 정확성, 산림조건, 주어진 시간 및 경비에 따라 결정되어야 한다. 이중 필요로 하는 정보의 내용 및 범위는 경영목적 및 방법에 따라 결정되어야 한다. 목재생산을 위한 산림경영에서는 산림조사가 생산을 위한 현황파악위주로 이루어 졌다면, 미래의 산림조사는 산림자원의 지속적 관측이라는 시각에서 이루어져야 할 것이다. 산림을 생태·환경적으로 이용하기 위해서는 산림자원의 monitoring이 전제되어야 한다는 것이다. 이와 같은 산림자원의 지속적인 monitoring은 개체목의 위치가 파악되는 고정표본점조사방법이 적용될 때 가능해 진다.

한편으로는 장기적인 관측시험 및 연구를 통해 산림의 성장 및 구조를 다양하게 예측할 수 있는 단목차원의 성장모델이 구축되어야 할 것이다. 이와 같은 단목성장모델의 구축을 위해서는 다양한 시업방법이 산림의 구조 및 성장에 미치는 영향이 파악되어야 하며, 이를 위해서는 다양한 입상에 시업별로 고정시험지가 설치되어 지속적인 관측이 우선적으로 이루어져야 한다.

이상을 종합하면, 소위 지속 가능한 또는 친자연적 산림경영이념을 현실적으로 가능하도록 하기 위해서는 위치종속조사기법 및 위치종속 단목성장모델이 개발되어 산림경영에 이용되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 변우혁·이우균·배상원. 1996. 산림생리학. 유천기획. 399pp
2. Bella, I.E. 1971. A new competition model for individual trees. Forest Science 17(3): 364-372.
3. Biging, G.S. and M. Dobbertin. 1992. A comparison of distance-dependent

- competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees. *Forest Science* 38(3) : 695-720.
4. Biging, G.S. and M. Dobbertin. 1995. Evaluation of competition indices in individual tree growth models. *Forest Science* 41(2) : 360-337.
 5. Clark, P.J. and F.C. Evans. 1954. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology* 35 : 445-453
 6. Daniels, R.F. 1976. Simple competition indices and their correlation with annual loblolly pine tree growth. *Forest Science* 22(4) : 454-456.
 7. Daniels, R.F., H.E. Burkhart, and T. R., Clason. 1986. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. *Can. J. For. Res.* 16 : 1230-1237.
 8. Davis, L.S. and K.N. Johnson. 1987. *Forest management*. McGraw-Hill, Inc. 790pp.
 9. Gadow, K.V. and K., Fuldner. 1995. Zur Beschreibung forstlicher Eingriffe. *Forstw. Cbl.* 114, 151-159pp.
 10. Holmes, M.J. and D.D. Reed. 1991. Competition indices for mixed species northern hardwoods. *Forest Science* 37(5) : 1338-1349.
 11. Johnson, R.B. and W.J. Zimmer. 1985. A more powerful test for dispersion using distance measurements. *Ecology* 66 : 1084-1085.
 12. Kramer, H. 1988. *Waldwachstumslehre*. Verlag Paul Parey. 374pp
 13. Lee, W.K. 1993. *Wachstums-Ertragsmodelle für Pinus densiflora in der Kangwon-Provinz, Korea*. Dissertation, Göttingen
 14. Ludwig J.A. and J.F. Reynolds. 1988. *Statistical ecology*, John Wiley & Sons
 15. Pukkala, T. and T. Kolström. 1987. Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine. *Silva Fennica* 21(1) : 55-67.
 16. Tomé, M. and H.E. Burkhart. 1989. Distance-dependent competition measures for predicting growth of individual trees. *Forest Science* 35(3) : 816-831.

角算定測定法の 林分調査 設計와 適用

申 萬 鏞¹

Stand Inventory Design and Application of Angle Count Sampling

Man-Yong Shin¹

I. 緒 論

임학 분야의 기초자료를 수집하기 위하여 수행되는 임분조사는 정밀한 측정기구의 개발과 측정방법 및 이론의 발달에 힘입어 많은 발전을 가져왔다. 한편 임분조사 자체는 방대한 면적을 대상으로 하는 표본조사를 원칙으로 하기 때문에, 조사경비와 표본을 통한 모집단의 추정능력을 조화시키는 것이 필요하다. 따라서 임분조사의 목적에 따라 가능한 한도 내에서 精度를 유지함과 동시에 조사비용을 절감할 수 있는 방법을 선택해야 한다.

임분조사는 임분의 특성을 조사하여 합리적인 경영계획과 그 경영목적에 맞는 적절한 시업을 위한 기초자료의 수집이라는 측면에서 매우 중요한 과제이다. 이러한 임분조사의 방법 중에서 표본조사의 효율성을 높이면서 동시에 조사경비와 시간을 단축할 수 있는 방법으로 알려져 있는 것이 角算定測定法이다. 이 조사는 오스트리아의 영림서장이었던 Bitterlich에 의하여 손쉽게 단위 면적당 흉고단면적을 측정할 수 있는 방법으로 이미 1930년대에 이론을 정립하였지만 제2차 세계대전이 끝난 후인 1947년에 비로서 발표하게 되었고, 1950년대 이후 세계 각국의 학자들이 이 이론을 확대 발전시켜 왔으며 측정기구인 Relascope가 제작됨으로써 다양한 측정을 가능케 했으며, 그 이후 이 분야에 대한 많은 연구가 수행되었다 (Grossenbaugh, 1952; Deutschman, 1956; Spurr, 1962; Beers and Miller, 1964;

Smalley and Bower, 1968; Mctague and Bailey, 1985; Lappi and Bailey, 1987; Roesch *et al.*, 1989). 우리 나라에서도 이미 30여 년 전에 김갑덕(1962, 1963)에 의하여 각산정측정법의 우리 나라에서의 활용 가능성 및 우리 나라의 실정에 적합한 측정기구의 고안 등이 연구된 바 있고, 윤중화 등(1986)과 신만용 등(1993)은 각산정측정법의 이론과 기구의 이용방법을 고찰한 바 있으나 단순히 소개하는 차원에 머물렀다. 실제 임분조사에 적용한 예는 이홍균(1986)과 “국유림 경영 현대화 산학협동 실연 연구”(1990, 1991, 1992)에서 찾을 수 있다. 한편 신만용 등(1997)은 최근 각산정측정법에 의하여 수집된 자료를 분석할 수 있는 컴퓨터 프로그램 SIDAS(Stand Inventory Analysis System)를 개발하여 실무에서 활용할 수 있도록 하였다. 하지만 이 방법이 시간과 경비를 줄이면서 목표로 하는 모집단의 추정능력을 확보할 수 있는 임분조사 방법의 하나로 알려져 있음에도 불구하고 아직 우리 나라 실정에 맞는 조사체계가 정립되어 있지 못한 것이 사실이며 연구도 극히 미미한 수준에 있는 실정이다.

따라서 본 논문은 각산정측정법의 일반적인 원리, 임분조사 설계방법, 그리고 각산정측정법의 적용 가능성을 고찰함으로써 산림측정에 관심을 가지고 있는 임업인과 학자들에게 각산정측정법의 임분조사에서의 가능성을 제시하고 이 측정방법에 대한 이해와 관심을 강조하고자 한다.

¹ 國民大學校 Kukmin University

II. 角算定測定法の 原理

각산정측정법의 원리를 한마디로 표현하면 “단순히 측정대상목을 count하여 단위 면적당 흉고단면적을 추정하는 방법”으로 요약할 수 있다. 여기서 측정 대상목을 어떻게 선정하느냐 하는 것은 각산정측정법의 가장 핵심이 되는 원리이며, 이와 연결하여 이 측정법은 다른 방법에 비하여 신속하고 비용이 적게 드는 임분조사 방법이라는 장점을 가지고 있다. 여기서는 각산정측정법과 관련하여 세계적으로 이용되는 용어와 기구, 그리고 측정방법 및 계산법에 대하여 논하고자 한다.

1. 용어와 사용기구

이 측정법과 관련되어 다양한 용어가 사용되고 있는데 세계적으로 20여 개의 다른 용어가 이용되고 있다. 우리 나라는 각산정측정법으로 번역하여 사용하고 있고, Horizontal variable radius plot sampling, Angle count sampling, Point sampling, Plotless sampling, Variable radius plot sampling 등 다양한 용어가 활용되고 있는 실정이다. 이 측정법의 고안자인 Bitterlich(1984)는 실제 이 측정방법의 내용을 가장 잘 설명해 준다고 하여 Angle count sampling을 가장 적합한 용어로 보고 있으며, 미국에서는 plot sampling과 비교하여 point sampling이라 부르고 있고 경우에 따라서는 이 측정법의 특징이 plot sampling에서와 같은 plot의 경계가 없기 때문에 plotless sampling(이홍경, 1986)이란 용어도 사용되고 있다.

각산정측정법에서 사용되는 기구는 그 동안 다양한 형태로 개발되어 이용되어 왔다. 그 중에서 대표적인 기구로는 angle gauge, wedge prism, 그리고 spiegel relascope 등이 있다. 각 측정기구는 각각의 특징과 장단점이 있으나 우리나라와 같은 산악지 산림에서는 사거리를 수평거리로 자동으로 보정해 주는 spiegel relascope가 오차를 줄일 수 있는 기구이나 가격이 다른 기구에 비하여 비싸다는 단점을 가지고 있다. 이 spiegel relascope에 대한 구조와 사용법은 관련 논문(윤중화 등, 1986; 신만용 등, 1993)에 소개된 바 있다.

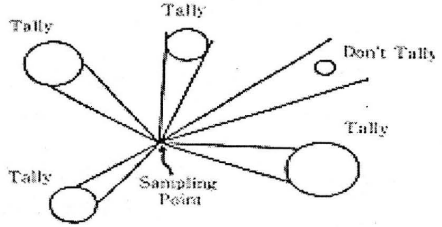


Fig. 1. Selection of trees in angle count sampling.

2. 측정방법과 계산방법

1) 측정방법

각산정측정법에서 측정 대상이 되는 임목의 선정은 표본점(sampling point)에서 대상 임목까지의 거리(R)와 그 임목의 직경(D)이 복합적으로 작용하여 결정된다. 이러한 원리는 측정기구에 의하여 미리 고정된 角 α 에 의하여 표본점에서 360° 돌면서 전체 방향으로 모든 임목에 대하여 視準하여 임목의 직경이 고정된 각 α 의 연장선보다 크면 측정 대상이 되고 작으면 측정 대상에서 제외시키는 것이 가장 기본적인 원리이다(그림 1).

각산정측정법의 개념은 위에서 언급한 측정기구에 의하여 측정 대상이 되는 임목은 일단 그 크기에 관계없이 일정량의 단위면적당 흉고단면적을 할당하는데 이 값을 흉고단면적정수(BAF; Basal Area Factor)라 한다. 이 값은 측정기구의 고정된 각 α 에 의하여 달라지는데 사용되는 기구에 따라 약간의 차이는 있으나 일반적으로 BAF는 1, 2, 4m²가 있다. 따라서 미리 정한 BAF 값에 따라 각 α 가 고정되면 임목이 포섭되느냐 아니냐는 그 임목의 직경과 표본점까지의 거리에 의하여 결정된다. 결국 BAF에 따라 직경별로 포섭되어 측정임목으로 선택될 수 있는 한계거리(Limiting Distance)를 계산할 필요가 있다.

이 한계거리와 관련하여 각산정측정법에서 임목의 직경 D_i (cm)와 표본점에서 그 임목까지의 거리 R_i (m)는 다음의 관계를 갖는다.

$$R_i = c D_i$$

여기에서 c 는 선택된 BAF에 의하여 달라지는 상수이다. 이 상수 c 를 계산하여 각산정측정법에서 측정 대상 입목의 한계거리를 계산하기 위해서는 다음의 관계를 이용한다. 각산정측정법은 모든 측정 대상 입목으로부터 계산되는 통계량이 단위 면적 단위로 얻어지는데 각 입목은 직경의 크기에 따라 가상적표준지의 면적을 가지며 그 면적은 다음과 같다.

Plot Size=

$$\frac{(\pi D^2)/40000}{BAF} = \frac{\pi R^2}{10000} = \frac{\pi c^2 D^2}{10000}$$

이 식을 c 에 대하여 풀면 $c=0.5\sqrt{\frac{1}{BAF}}$ 가 되어 BAF가 각각 1, 2, 4m²로 선택되었을 때 c 는 0.5, 0.3536. 그리고 0.25가 된다. 이는 예를 들어 흉고직경 30cm를 갖는 입목은 표본점으로부터 BAF 1을 이용하였을 경우에는 15m 이내, BAF 2를 이용하였으면 약 10.6m 이내, 그리고 BAF 4를 이용하였을 경우에는 7.5m 이내에 있을 때 측정 대상 입목이 되는 것이다. 그림 2는 입목의 크기에 따른 가상적 표준지의 크기와 측정 대상목의 선정 원리를 나타내고 있다.

2) 계산방법

각산정측정법에서의 계산은 먼저 단위 면적당 흉고단면적은 측정기구에 의하여 포섭된 표본점별 본수, 즉 P개의 표본점에서 포섭된 전

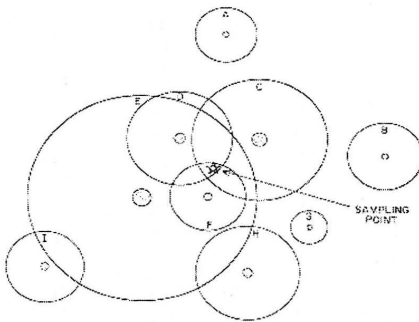


Fig. 2. Graph of imaginary zones propotional to stem basal area.

체 본수를 P로 나눈 값에 선택한 흉고단면적 정수 BAF를 곱하여 계산한다. 이것이 바로 각산정측정법의 장점으로 상당히 간단하게 흉고단면적을 계산하는 것이다.

$$BA/ha = \left(\sum_{n=1}^P n_i / P \right) \times BAF$$

반면에 단위 면적당 본수는 직경의 크기에 관계없이 일정한 양의 흉고단면적을 할당함으로써 불합리하게 계산된 것으로 생각할 수 있는 문제를 해결하는 방향으로 계산된다. 즉 직경이 작을수록 많은 수의 본수가 할당되고 직경이 크면 측정기구에 의하여 포섭될 확률이 크기 때문에 적은 본수를 할당하여 이러한 문제를 해결한다. 이를 바꾸어 이야기하면 흉고단면적을 계산하는 원리인 입목의 크기에 관계없이 같은 양의 흉고단면적을 할당하기 위하여 단목의 크기에 따라 단위 면적당 할당되는 본수는 모두 합하여 일정량의 BAF가 되도록 조치하기 때문에 직경이 작을수록 많은 본수를 할당하고, 반대로 직경이 클수록 적은 수의 본수가 배정되며 그 식은 P개의 표본점에서 포섭된 각각의 단목의 실제 흉고단면적의 역수를 취하여 더한 후 표본점의 평균을 구하고 이 값에 BAF를 곱하여 얻어지는데 그 식은 아래와 같다.

$$n_i = \left(\frac{1}{ba_i} \right) \times BAF$$

$$N/ha = \left[\sum_{n=1}^P \left(\frac{1}{ba_i} \right) / P \right] \times BAF$$

III. 角算定測定法の設計

각산정측정법의 설계는 일반적으로 일정한 방위를 유지하면서 가로와 세로의 방향으로 미리 정한 거리를 옮기면서 표본점을 설치하는, 즉 格子點別로 표본점을 설치하는 系統的抽出法을 적용한다. 일반 통계에서 표본의 추출은 무작위 추출을 원칙으로 하는 것이 사실이다. 하지만 면적을 대상으로 하는 표본 추출은 표본 그 자체와 인접지역의 정보를 제공하는 점, 일정한 거리마다 추출되는 표본이 제한적

이지만 불편추정이라는 점, 그리고 어느 정도 동질성을 보장하는 일정면적에서 표본점을 추출하기 때문에 層化抽出法의 일종이라는 점 때문에 이 방법을 적용하는 것은 큰 문제가 없는 것으로 보인다. 각산정측정법의 설계에서는 계통적추출법을 채택하여 조사를 할 때 면적에 따라 몇 개의 표본점을 설정하여야 하는가 하는 표본점의 밀도 문제와 흉고단면적정수의 결정, 표본비율, 그리고 정도 문제에 대하여 고찰하고자 한다.

1. 표본점의 밀도

표본점의 밀도는 조사지역의 조건, 즉 임분의 동질성 정도, 한편으로는 요구되는 경제성, 시간, 비용 등의 문제에 따라 달라질 수 있고 경우에 따라서는 선택된 흉고단면적정수에 따라 다소 차이가 있는 것이 사실이다.

우리 나라의 경우(산림청, 1981)에 제시되고 있는 표본점의 수는 유령의 인공림일 경우에는 0.5ha 이하에서는 4개, 0.5~1.5ha는 6개, 그리고 1.5~5ha는 8개를 기준으로 삼고 있고 활엽수림은 각각 6, 12, 16개로 상당히 많은 표본점의 수를 제안하고 있다. 한편 독일의 바덴부르템베르그 주의 영림계획을 위한 보조표를 보면 BAF 1을 사용하였을 경우 ha 당 1.6~2개를 배정하도록 규정하고 있는데 독일은 경영단위인 입소반의 크기가 작은 편이기 때문에 상대적으로 많은 표본점의 수를 배정한 것으로 판단된다.

각산정측정법의 고안자인 Bitterlich(1984)가 제시한 일반적인 법칙에 의하면 필요한 표본점의 수는 흉고단면적정수 k와 조사면적 A에 의하여 결정되는데 조사면적이 5ha 미만인 경우와 이상인 경우로 나누어 다음과 같은 식을 적용하도록 제시하고 있다. 만일 $A < 5ha$ 이면 $n = 2\sqrt{kA}$ 에 의하여 계산하고, 만일 $A \geq 5ha$ 인 경우에는 $n = 2\sqrt{k5^{\log A}} / \log A$ 로 계산한다. 이 법칙은 어느 정도 임분의 동질성을 유지하고 있는 인공조림지에 적용할 수 있는 법칙이다.

면적별로 이 식에 의하여 계산된 필요한 표본점의 수는 표 1과 같다. 이 결과는 우리 나라의 임업기술에서 제시하는 표본점의 수나 독

일의 영림계획을 위한 보조표보다 상대적으로 적은 표본점을 요구하는 것이다. 최근 유사한 연구가 신만용(1997)에 의하여 수행되었는데 그 결과는 Bitterlich가 제시한 값과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 요약하면 대면적의 인공 조림지를 대상으로 조사할 경우에 30개의 표본점이면 충분한 것으로 판단된다.

표본점의 밀도와 관련하여 한가지 방법은 "Ten-point sampling design"이다. 이 방법은 10개의 표본점을 cluster 형식으로 적용하는 특수한 기법으로 미국에서 많이 사용하고 있으며 여러 가지 장점을 가지고 있다. 그림 3에서 보는 바와 같이 1번째 표본점에서 일정한 방위를 가지고 20m 간격으로 10개의 표본점을 설치하여 조사하는 방법이다. 이 측정법은 한 입지에 10개의 표본점 조사를 통하여 원 또는 정사각형의 지역의 정보를 얻는 측정방법이다. 특히 최초의 표본점인 표본점 1의 위치에 쇠말뚝을 박아 표시해 두고 5년 후에 다시 이 지점을 찾

Table 1. Recommended number of sampling points by the size of area

A (ha)	Basal Area Factor (k)			Case Study (k=1)
	1	2	4	
1	2	3	4	3
2	4	6	8	4
3	6	9	12	6
4	8	12	16	8
5	9	13	18	9
6	9	13	18	10
7	10	14	18	11
8	10	14	19	12
9	10	14	19	13
10	10	15	20	14
20	13	18	25	19
30	15	21	29	21
40	17	24	33	23
50	19	26	36	24
60	20	28	40	25
70	22	30	43	26
80	23	32	45	26
90	24	34	48	27
100	25	36	50	27

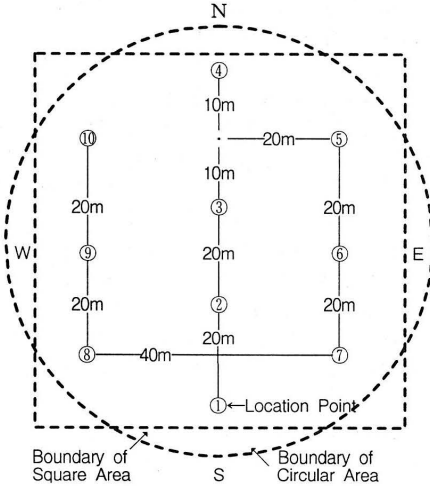


Fig. 3. Ten-point sampling design

아 임분의 변화와 생장을 지속적으로 측정할 수 있는 특징을 가지며 또한 표본점별로 측정 임목의 방위와 거리를 기록하여 다음 번 측정에서 해당 임목을 찾도록 되어 있다.

이 측정법의 장점은 단일 표본점보다 주변지역에 대한 정보를 더 잘 추정할 수 있다는 것이다. 이는 한 지역에 10개의 표본점을 설치하기 때문인데, 이러한 설계는 전체 지역을 몇 개의 층으로 나누어 각 층마다 동질성을 유지하는 임분에 대하여 cluster 형식의 조사를 하는 것이다. 또한 조사지역의 상태등급 설정 (area condition class)에 유용하며, 비교적 큰 수의 흉고단면적정수의 사용이 가능하고, cluster 내의 變異를 계산하는 것이 가능하여 각산정측정법의 표본오차의 도출이 가능하다는 장점을 가지고 있고 작업시간을 단축할 수 있는 장점도 가지고 있다. 이 측정법에 대한 우리 나라 산림조사에서의 적용 가능성으로는 정기적인 산림자원조사에 있어 유용할 것으로 판단된다. 또한 유령림보다는 비교적 임령이 큰 임분조사에 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

2. 흉고단면적정수의 결정

각산정측정법에서 미리 결정하여야 할 흉고

단면적정수는 일반적으로 2가지를 고려하여 결정하여야 한다. 첫 번째는 조사지역의 임목의 크기가 얼마나 하는 것이다. 이는 결국 가상적 표준지의 반경과 관련이 있는 것으로 360° 회전하면서 시준하였을 때의 가지거리와도 관련이 있는 것이다. 즉 하층의 덩불이 많다든가 밀도가 너무 밀하여 나무의 중복에 의하여 시준에 지장을 가져오는 경우가 있기 때문에 흉고단면적정수를 결정하기 위해서는 임목의 크기를 고려하여야 한다. 다음은 측정의 효율성과 관련하여 표본점별로 적정 포섭본수가 몇 본인가 하는 점이다. 어느 한 지역에서 식물집단이나 수목집단은 정육각형의 면적을 차지하며 따라서 최소 유형단위는 그 임목이 차지하는 육각형과 각 면에 인접한 다른 육각형을 포함하여 모두 최소 7본이 필요한 것으로 알려져 있다. 이와 관련된 미국의 연구에서는 표본점별 적정 포섭 본수를 3~8본으로 보고하고 있으나, 최근의 연구결과에서는 최소 10본이라고 보고된 바 있다. 따라서 표본점별 적정 포섭 본수는 7~10본 정도로 판단되며 조사지역의 조건에 따라 유연하게 결정되어야 할 것으로 보인다.

이와 관련되어 일반적으로 권장할 수 있는 흉고단면적정수는 다음의 식으로 계산할 수 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 ha당 흉고단면적은 포섭 본수 x BAF이기 때문에 적정 흉고단면적정수는 추정된 ha당 흉고단면적을 표본점별 적정 포섭 본수로 나누어 계산하면 된다. 예를 들어 어떤 임분의 ha당 흉고단면적이 20 m²이었고 적정 포섭본수가 10본이라면 흉고단면적정수는 2로 계산되는데 이를 식으로 요약하면 다음과 같다.

$$\text{흉고단면적정수} = \frac{\text{추정된 } BA/ha}{\text{표본점별 적정 본수}}$$

흉고단면적정수를 결정하기 위한 몇 가지 특수한 방법이 있다. 원래 각산정측정법은 기구를 이용하여 360° 회전하면서 측정하지만 만일 조사지역의 경사가 너무 심한 경우에는 그 반인 180° 만 측정하여 오차를 줄이는 것이 일반적이다. 이 경우 표본점을 중심으로 경사의 하부 반원만을 측정대상으로 삼는데, 이 때에는

미리 정한 BAF의 반에 해당하는 값을 사용하여 더 많은 입목이 측정대상에 포함되도록 하고 포섭된 본수는 경사의 상부를 고려하여 2배로 계산한다.

다른 방법은 실험적인 방법을 적용하는 것으로 같은 표본점에 대하여 다양한 BAF를 사용하여 표본점당 7~10본에 해당하는 BAF를 선택하는 것이다. 다른 방법은 constant-tally rule을 적용하는 것으로 먼저 큰 수의 BAF를 이용하여 조사를 시작하고 미리 정한 적정 본수보다 적은 입목이 포섭되면 그 다음 단계의 낮은 BAF를 적용하여 적정 본수가 포섭될 때까지 계속하여 BAF를 결정하는 방법으로 각 표본점마다 다른 BAF를 적용하는 것이 가능하지만 편의(偏倚)의 문제 때문에 조심스럽게 다루어야 할 방법으로 생각된다.

3. 각산정측정법의 표본비율

표본비율은 조사면적에 대한 표본면적의 비를 나타내는 것으로 plot sampling 에서는 표본강도(sampling intensity)라는 용어를 사용한다. 앞에서 언급한대로 각산정측정법에서는 포섭된 각 입목이 직경에 따라 달라지는 가상적 표준지의 크기를 갖기 때문에 각산정측정법의 표본비율은 포섭된 입목의 평균 가상적표준지의 크기를 %로 나타낸 것을 의미한다.

표 2는 BAF 1을 사용하였을 경우 7본이 포섭된 표본점에서 계산된 표본비율의 예이다. 이 표에 의하면 포섭된 7본의 직경, 가상적표준지의 반경, 면적의 크기, 그리고 입목별 표본비율을 나타내고 있는데 이 7본의 입목별 평

Table 2. An example of percentage sampled in angle count sampling (BAF=1m²).

DBH(cm)	R(m)	Area(ha)	Percentage sampled(%)
10	5	0.0079	0.8
14	7	0.0154	1.5
20	10	0.0314	3.1
26	13	0.0531	5.3
30	15	0.0707	7.1
36	18	0.1017	10.2
44	22	0.1520	15.2

Average : 6.2%

균 표본비율인 6.2%가 이 표본점에서의 표본비율로 계산된 것이다.

4. 정도(precision)의 문제

精度는 표본의 수와 밀접한 관계를 가지고 있는데, 결국은 통계적 신뢰구간의 문제로 판단할 수 있다. 어떤 측정치가 어떤 범위에 포함되느냐 하는 문제로 이는 확률과 밀접한 관계가 있는 것이다. 이는 표본값의 동질성 문제인 표본오차와도 관련이 있는데, 일정한 면적으로 구분된 일종의 층화인 계통적추출법과 표본점의 수, 그리고 선택된 흉고단면적 정수와도 연관이 되며 또한 대상이 동령림이나 또는 이령림이나 하는 점과도 관계가 되는 것으로 앞에서 언급한 표본점의 밀도, 흉고단면적정수의 결정, 그리고 표본비율은 모두 일정한 정도를 유지하는 방향으로 결정되고 선택되어야 한다는 것이다.

이와 관련하여 Matern(1969)은 각산정측정법과 표준지조사법을 비교하면서 같은 표준오차를 유지하기 위하여 표본점수와 같은 표준지의 수를 설정할 때, 표준지의 크기 a가 얼마이어야 하는가를 연구하였다. 결과적으로 면적 a는 각산정측정법에서 각 표본점별로 포섭된 입목의 평균 흉고단면적을 흉고단면적정수로 나눈 값으로 얻을 수 있다고 결론 내리고 있다. 또한 이렇게 결정된 면적 a의 표준지조사와 각산정측정법의 정도를 비교하였는데, 흉고단면적의 추정에서는 두 방법의 정도가 동일하였고, 본수의 추정은 표준지조사법이 정도 면에서 더 우수하다고 보고하였다. 반면 재적의 경우에는 각산정측정법이 정도 면에서 더 우수하다고 결론 내리고 있다. 이러한 결과는 먼저 표준지의 면적 a자체가 각산정측정법과 동일한 흉고단면적이 측정되도록 결정되었기 때문에 흉고단면적의 추정에서는 같은 정도를 나타내는 것이고, 본수의 측면에서는 각산정측정법은 소경목보다는 중·대경목을 더 많이 측정하게 되므로 결국 총 본수는 적어져서 면적 a의 표준지조사법보다 정도가 낮음을 알 수 있다. 그러나 재적의 경우에는 반대로 적은 본수이지만 중·대경목이 많이 포함되어 같은 재적의 양을 추정하기 위하여는 a보다 큰 면적이 필요하므로 각

산정측정법이 더 효율적임을 알 수 있는 것이다. 이러한 결론은 매우 유용한 것으로서 앞으로 계속 연구해 볼 가치가 있는 것으로 판단된다.

IV. 角算定測定法の 適用

각산정측정법은 앞에서 언급한대로 신속하고 저렴한 비용으로 임분조사를 수행할 수 있는 방법이기 때문에 우리 나라에서도 格子型 계통적추출법을 적용하여 활용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 특히 한정된 인원과 예산을 이용하여 주기적인 임분조사를 통하여 경영계획을 수립해야 하는 대면적 산림조사에는 매우 적합한 방법으로 판단된다. 이를 위하여는 먼저 측정기구인 relascope를 보급하고 사용법을 숙지할 수 있도록 하는 교육이 필요할 것으로 생각된다. 다소 가격이 비싸지만 精度를 유지하면서 대면적의 산림조사를 성공적으로 완수하기 위해서는 이 기구가 필수적인 것으로 보이며, 장기적으로 보면 기구의 비용은 큰 문제가 되지 않을 것으로 생각된다.

또한 우리 나라의 주기적인 산림조사에서 앞에서 언급한 "ten-point sampling design"의 적용을 고려할 필요가 있을 것으로 생각된다. 이 방법은 적은 비용으로 動的인 임분변화, 즉 성장 등을 관찰할 수 있는 방법이기 때문이다.

인 용 문 헌

1. 김갑덕. 1962. 비타릿히씨법에 대하여(1). 서울대 농대 연습림 보고 2 : 15-18.
2. 김갑덕. 1963. 비타릿히씨법에 대하여. 서울대 논문집(생농계) 13 : 37-52.
3. 산림청. 1987. 임업기술. 1362pp.
4. 산림청. 1990. 국유림 경영 현대화 산학협동 실연 연구 보고서(I). 210pp.
5. 산림청. 1991. 국유림 경영 현대화 산학협동 실연 연구 보고서(II). 371pp.
6. 산림청. 1992. 국유림 경영 현대화 산학협동 실연 연구 보고서(III). 420pp.
7. 신만용·임주훈·전영우·고영주. 1992. 신갈나무 - 전나무 천연 혼효임분의 갱신

- 및 무육방법 - I. 임분구조와 작업종. 한림지 81(1) : 21-29.
8. 신만용·고영주. 1993. Spiegel Relaskop를 이용한 임분조사 방법. 한국임학회지 82(2) : 207-219.
9. 신만용. 1997. 점조사법에 의한 인공조림지 임분조사 체계의 정립. 산림과학 9 : 67-80.
10. 신만용·오정수·천정화. 1997. 임분조사 자료분석을 위한 컴퓨터 프로그램(SIDAS)의 개발. 산림경제연구 5(1) : 33-48
11. 윤종화·최정기. 1986. Relaskop의 이론과 실제. 강원대 연습림보고 6 : 41-61.
12. Avery, T.E. and H.E. Burkhaet. 1983. Forest measurements. McGraw-Hill Book Co. 331pp.
13. Beers, T.W. and C.I. Miller. 1964. Point sampling : Research results-theory and applications. Purdue Univ. Research Bulletin No. 786. 54pp. 14. Bitterlich, W. 1947. Measurement of basal area per hectare by means of angle measurement. Allg. Forst. Holzwirtschaft. Ztg. 58 : 94-96.
15. Bitterlich, W. 1984. The relascope idea. CBA 242pp.
16. Deitschman, G.H. 1956. Plotless timber cruising tested in upland hardwoods. J. Forestry 54(12) : 844-845.
17. Freese, F. 1982. Elementary forest sampling. Agriculture Handbook No. 232 USDA. 91p.
18. Grosenbaugh, L.R. 1952. Plotless timber estimates - New, fast, easy. J. Forestry. 50 : 32-37.
19. Landesforstverwaltung Baden-Wuerttemberg. 1966. Hilfstabellen fur die forsteinrichtung. Teil II. 163 pp.
20. Lappi, J. and R.L. Bailey. 1987. Estimation of the diameter increment function or other tree relations using angle-count samples. Forest Science 33(3) : 725-739.

21. Matern, B. 1969. Wie gross die Relaskop-Flaeche? Allgemeine Forstzeitung 80(2) : 21-22.
22. McTague, J.P. and R.L. Bailey. 1985. Critical height sampling for stand volume estimation. Forest Science. 31(4) : 899-911.
23. Muller-Dombois, D. and H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley & Sons, New York. 547pp.
24. Prodan, M. 1965. Holzmesslehre. J.D. Sauerlinder's Verlag Frankfurt am Main. 644pp.
25. Roesch, F.A., R.J. Green, and C.T. Scott. 1989. New compatible estimators for survivor growth and ingrowth from remeasured horizontal point samples. Forest Science 35(2) : 281-293.
26. Smalley, G.W. and D.R. Bower. 1968. Volume tables and point sampling factors for loblolly pines in plantations. Res. pap. So. 32. 13pp.
27. Snedecor, G.W. and W.G. Cochran. 1980. Statistical methods. The Iowa State Univ. Press. 507pp.
28. Spurr, S.H. 1962. A measure of point density. Forest Science 8(1) : 85-95.

핀란드의 全國山林調査

李 慶 學¹

National Forest Inventory in Finland

Kyeong-Hak Lee¹

I. 緒 論

핀란드의 산림조사체계는 크게 두 가지로 나누어진다. 하나는 임분수준의 산림조사(stand-level forest inventory)이고 다른 하나는 전국산림조사(National Forest Inventory, NFI)임 조사결과, 그리고 조사를 책임지고 있는 기)이다.

임분수준의 산림조사는 개인이나 주정부 또는 회사가 소유하고 있는 산림에 대해서 별도로 이루어지고 있으며 핀란드에서 실제적인 산림사업경영계획단위인 임분의 크기는 보통 0.5~5ha 정도이다. 이 조사에서는 전통적으로 항공사진과 야외조사방법이 사용되어왔으며 여기서 얻어진 정보는 실제적인 산림경영계획수립 시 이용되고 있다. 이 산림조사는 10~15년을 주기로 반복된다.

전국산림자원조사는 신빙성 있는 대면적의 산림자원에 대한 정보를 제공하기 위해 지난 70년간 수행되어왔다. 이 산림조사의 역할은 국가적 혹은 지역적 차원의 의사결정을 위하여 산림자원현황, 山林健全度 및 자원변화추이 등에 대한 객관적이고 새로운 정보를 제공하는 것이다. 이러한 정보는 벌채수준이나 필요한 산림사업수준의 결정과 같은 대면적 산림의 경영계획, 산림정책수립의 기초자료, 산림사업투자에 관한 의사결정 및 산림관련 수입에 대한 과세자료, 그리고 최근에는 임분수준조사에서 얻어진 추정치를 조정하는 기준으로서 이용되어 왔다. 전국산림조사는 모든 산림을 대상으로 한다. 본 보고서에서는 이러한 핀란드의 전국산림조사와 현재 실행중인 조사방법 및 산

관과 예산 및 인력 상황을 파악, 기술하고 최종적으로 핀란드 전국산림조사시스템의 우리나라 적용성에 대해 검토하였다.

II. 歷 史

과거 火田耕作의 증가, 타르생산원료, 건축재료, 조선재료로서의 목재의 이용 및 19세기 이후의 임산업의 확장은 핀란드의 산림자원을 고갈시켰다. 목재가공산업은 1870년대에 가장 주요한 산업이 되었으며 이에 따라 점점 더 깊숙한 원시림지역에서도 벌채가 이루어지게 되어 산림자원에 대한 관심이 고조되었다. 본격적인 자원조사이전의 문서에 따르면 핀란드의 산림자원은 화전이 사라질 무렵인 19세기에서 20세기로 전환될 무렵에 가장 劣惡한 상태에 놓여져 있는 것으로 나타났다.

이러한 배경에서 핀란드가 독립한 지 얼마 안되는 1920년대 초에 전국산림조사가 시작되었다. 이 제1차 전국조사(1921~1924)의 표본추출체계는 선조사표본추출법(line survey sampling)이었으며 그 결과 임지 및 임분급별 산림면적 추정치가 얻어졌다. 선은 남서에서 북동쪽으로 26km간격으로 설정되었으며 이 선상에 있는 표본점으로부터 축적 등 산림특성이 조사, 추정되었다. 이후 2차(1936~1938), 3차(1951~1953), 4차(1960~1963)조사에서도 표본추출밀도만 달랐을 뿐 거의 동일한 방법을 사용하였다.

5차 조사(1964~1970)이후에는 연속된 선 대신에 서로 떨어져 있는 L자형 집락으로 표본추출을 했으며(cluster survey sampling), 이

¹ 林業研究院 Forest Research Institute, Seoul, 130-012 Korea

표본설계는 통계적으로 더 효율적일 뿐만 아니라 개선된 도로망에 적합하였다. 이와 함께 조사작업은 매년 실시되었으며 남쪽에서 북쪽으로 지역단위로 진행되었다. 크기가 고정되었던 조사구도 또한 비터리히조사구로 바뀌었다. 제5차 조사, 제6차 조사(1971~1976), 제7차 조사(1977~1984)의 새로운 특징은 북부 핀란드 지역에서 항공사진을 이용하였다는 것이다. 이와 같은 산림조사는 표본추출 및 이에 따른 표본점 조사에 근거하였으며 핀란드 임업연구원 이 조사의 모든 책임을 지고 있다.

이 연구원에서는 이전보다 소면적의 산림에서 사용될 수 있는 지역적이고 새로운 정보를 얻기 위하여 제8차 조사기간중인 1989년 새로운 조사체계인 다원산림조사체계(Multi-source National Forestry Inventory System)를 개발하기 시작했다. 이 체계에서 표본설계와 표본조사구 측정방법이 어느 정도 바뀌었다. 표본조사구중 1/5는 영구표본점으로 설치되었다. 방법에 있어서는 지상조사와 병행하여 인공위성 화상자료, 수치지도자료를 사용하였으며 앞으로는 기타 지리적 자료, 예를 들면 토양 및 기후자료 등도 이용할 예정이다. 화상분석에 있어서는 모든 조사대상변수들에 대한 추정치가 각 격자(pixel)에 대해 얻어질 수 있는 방법이 채택되었다. 이 시스템은 현재 가동중이며 대면적과 소면적지역에 대한 주제도(thematic maps) 및 통계치를 포함한 전국에 대한 조사결과가 1995년 중에 얻어질 예정이다. 1992년 여름부터는 새로운 야외표본추출체계가 적용되었다. 이 방법을 사용하면 축적과 생장이외에 山林健全度 및 地被植生, 種分布를 추정하기 위한 특정한 조사에서의 야생동물 관찰수, 그리고 향 및 중금속 농도와 분포를 분석하기 위한 蕨苔類 표본 등 여타 정보도 얻게 된다. "1995~1996 산림건전도 모니터링"을 목적으로 설치된 3000개의 영구표본점이 1995 시즌 중에 3번째로 측정되었다. 제9차 조사는 1996년부터 시작되었으며, 이번 조사부터는 산림생물다양성을 나타내는 몇몇 특성에 대한 측정이 부가되었다. 산림조사에 관해 현재 진행중인 연구 과제에서는 레이더자료(ERS-1 SAR, RADARSAT)와 공중화상스펙트로미터를 시스템

내에 도입하는 시험 등이 있다.

II. 多元全國山林調査(Multi-source National Forestry Inventory)

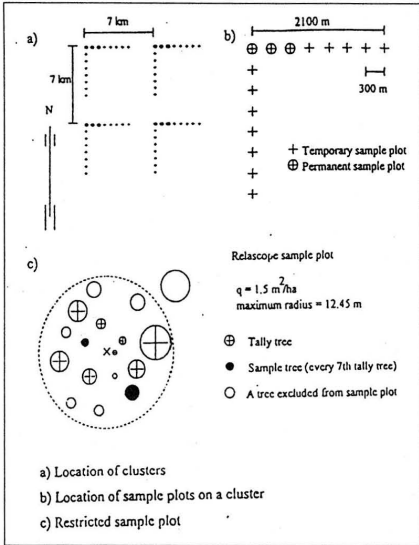
1980년대의 산림의 급격한 변화와 핀란드 경제에서의 임업의 중요성이 새로운 산림조사방법을 개발하는 중요한 동기가 되었다. 또한 일반 국민은 환경 및 이에 관련된 산림의 이용수준에 관심을 갖게 되었다. 언론 또한 점점 확산되는 산림피해에 대한 일반 국민의 관심을 고조시켰다. 다른 한편 새로운 기술은 산림정보에 관한 새로운 정보원을 제공하였다. 이러한 기술은 또한 산림조사의 비효율성을 증진시켰으며 야외조사만 했을 때보다도 더 작은 면적에 대한 좀 더 양질의 지역화된 정보 획득을 가능케 하였다. 1995년 완료된 제8차 조사는 다원 전국산림조사체계로서 수행되었으며, 여기에서는 야외조사자료, 인공위성화상자료 및 수치지도자료를 이용하였다. 각 자료의 구성과 수집방법은 다음과 같다.

1. 야외표본추출체계

야외표본점은 대면적의 산림자원현황을 추정하는 데 이용되며 또한 인공위성화상처리과정에서 지상실제자료로서 이용되기도 한다. 이 야외표본추출체계는 제8차 조사기간 중에 새로 바뀌었으며 이는 1992년 여름 조사시 북쪽 국경선 인접행정구역부터 적용되어왔다.

표본추출단위는 여전히 트랙(track)이라고 불리는 集落이고 트랙간거리는 남부지역과 북부지역이 다른 데, 중부지역의 경우 남북방향과 동서방향 공히 7km이다. 한 트랙에 15개의 표본점이 있는데 그 중 3개는 영구표본점 그리고 나머지는 임시표본점이다. 실시간보정(real time correction)을 한 GPS(Global Positioning System)와 RDS(Radio Data System)가 최근 도입되었으며, 이에 따라 표본점의 위치표시는 물론 이 시스템을 이용하여 표본점을 찾아가는 것도 가능하게 되었다. 영구표본점 내의 수목의 위치 좌표는 다음 조사시 수목 확인을 위해 기록되었다.

표본점은 여전히 비터리히표본점을 사용하



〈그림 1〉 표본추출방법

였다. 릴라스코프에 의해 표본점에 포함되는 대상 수목이 선정되는 데 이 때 릴라스코프 요인은 남쪽에서 북쪽으로 그리고 서쪽에서 동쪽으로 각 지역의 임목밀도에 따라 달라지며 중부지역에서 이 값은 1.5이다. 하지만 최대반경은 12.45m로 제한되며, 표본점에 포함된 나무 중 매 7번째 나무가 표본목으로 측정된다(〈그림 1〉).

2. 인공위성화상자료

지금 시점에서 가장 유용한 위성자료는 Landsat TM, Spot, MoS-1 화상자료이다. 지금까지 주로 TM, 그리고 부수적으로 Spot 화상이 적용되어왔다. TM화상이 Spot보다 더 넓은 지역을 커버하는 반면 Spot화상은 조사지역을 덮고 있는 구름에 영향을 덜 받은 화상을 제공하여 준다. 우주로부터의 레이더자료(space-borne radar data)의 이용에 대해서는 현재 시험 중에 있다.

3. 수치지도자료

수치화상분석만으로 임지와 여타 토지이용 형태를 신빙성 있게 분리해낸다는 것은 불가능

하다. 예를 들면 동일한 임목축적이라도 피트 지역에 있는 것과 일반 광물질 토양지역에 있는 것은 서로 다른 파장반응을 보인다. 이에 따라 국립조사원(National Board of Survey)에서 만든 수치지도자료가 좀 더 정확하게 임지를 구분하는 데 이용된다.

농지와 도로는 1/5만 기본도로부터 수치화되었다. 현재로서는 지도자료만이 토지이용구분에 이용되지만, 이것이 반드시 최선 자료가 될 수 없기 때문에 농지구분에 있어서 앞으로는 화상자료를 가지고 보정할 예정이다. 건물 지역의 수치자료는 등록된 주택지역의 각 주택 좌표에 의해 얻어진다. 수면면적은 기본도에서 뿐만 아니라 인공위성화상으로부터도 꽤 신빙성 있는 자료를 얻을 수 있다. 행정경계나 소유경계 같은 행정정보 또한 이러한 그룹별 조사 추정치 계산을 위해 수치형태로 이용될 것이다. 수치지형모델(Digital Terrain Models) 또한 토지형상의 변이에 의해 야기되는 화상분석에서의 왜곡을 피하기 위해 이용된다.

4. 추정치의 신뢰도

추정치치의 신뢰도는 통계학적으로 또는 경험적으로 추정될 수 있다. 7차 조사에서 전국 수준에서 표본추출을 함으로써 발생하는 몇몇 특성의 표준오차는 산림율의 경우 0.4%, 전체임목축적은 0.7%, 전체 성장량은 1.1%이다. 일반적인 계산단위(1.2백만ha)의 경우에는 각각 1%, 2%, 3%이다. 각 산림자원 특성의 추정치는 각 지역단위로 매년 순환하면서 연속되는 산림조사에서 얻어진 결과를 이용하여 계산되기 때문에 이에 대한 신뢰도는 높게 유지될 수 있다. 전회 조사의 산림축적에 새로운 산림조사에서 얻어진 성장량을 더하고 여기에 별채나 고사에 의해 제거된 부분을 제한 값과 새로운 산림조사에서 얻어진 산림축적 추정치의 차이는 1%보다 작다. 예를 들면 제6차 산림조사시 초기축적과 조사기간내 성장량은 각각 1,519.5 백만 m^3 및 69.4백만 m^3 이었으며, 별채 및 고사량은 334.2백만 m^3 이었다. 따라서 이 계산에 의하면 제7차 조사의 초기축적은 1,654.7백만 m^3 이며, 반면 실제 산림조사에 의해 얻어진 값은 1,663.6 m^3 로서 그 차이는 0.5% 이내이었다.

IV. 調査結果

핀란드의 전국산림조사 결과는 지난 70년간에 걸쳐 지역 및 전국수준에서 산림자원, 산림의 상태 및 산림생태계에 대해 통계수치, 지도 및 기타 인쇄물 형태로 제공되어 왔다. 여기서 제공된 통계에는 임지의 분포, 지위, 임령, 수종, 생육단계 및 시엽강도별 임분특성의 분포, 그리고 이러한 특성의 지역별, 소유별 분포 등이 있다. 산림의 건전도에 관한 정보 또한 포함되며 어떤 조사에서는 지표식생 및 야생동물 분포에 대한 상세한 정보도 제공하였다.

한편 MELA 프로젝트에서는 전국산림조사의 정보를 이용하여 앞으로 목재생산 및 이에 따른 축적과 성장량의 변화를 예측하고 있다. 그 결과 중의 하나가 'Forest 2000' 프로그램이다.

새로 도입된 다원조사시스템에서는 地方(평균 10,000ha) 수준의 정보를 제공하며 필요에 따라 더 작은 면적에 대한 정보도 제공해 줄 수 있고, 또한 여러 가지 축척의 주제도(thematic map)도 제공할 수 있다. 전형적인 주제도에는 우점수종, 임목축적 그리고 임령 등에 관한 것이 있다.

V. 機關, 人員 및 豫算

핀란드 전국산림조사의 책임기관은 핀란드 임업연구원이며 연구원내에 전국산림조사팀이 구성, 운용되고 있다. 전국산림조사에 관여하고 있는 총 인원은 79명으로서 그 내역을 보면 다음과 같다. 먼저 고정직으로서 프로젝트 책임자(현재 Erkki Tomppo)를 포함한 연구진 22명, 야외조사지도원 6명, 야외조사자료처리원 3명, 행정지원요원 4명, 공동연구자 4명 등 총 39명이며, 다음은 야외조사기간인 5월~10월에 일시적으로 고용하는 임시직으로서 야외조사지도원 10명과 야외조사원 30명 등 40명이 있다. 한편 연구진 22명중 15명은 산림자원조사에 관한 연구만 수행 중에 있다.

1995년 완료된 제8차조사의 연간 전국산림조사예산은 8백만 핀란드 마르크(약 15억원)이며, 이중 3백만 핀란드 마르크는 현지조사에

쓰였다.

VI. 結 論

먼저 조사대상인 핀란드 산림의 특징을 보면 우리 나라와는 달리 대부분 평지림이고 수종도 매우 단순하며, 동일수종이 대면적을 차지하고 있다. 따라서 기술적인 면에서 볼 때 전국산림조사를 하는 데 있어 상대적으로 적은 표본점수를 가지고도 신뢰성 있는 추정치를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 畫素의 크기가 30m×30m인 LANDSAT TM 인공위성화상자료를 응용할 수 있는 자연적인 조건을 갖추었다고 볼 수 있다. 제7차까지의 산림조사체계는 우리 나라가 현재 채택하고 있는 전국산림자원실태조사방법과 그다지 차이 나지는 않으나, 1995년 완료된 제8차 조사에서는 인공위성화상자료 및 수치지도자료를 이용하였다는 면에서 많은 차이를 보이고 있다. 이 조사체계의 장단점은 제8차조사의 결과를 통해 평가할 수 있을 것이다. 우리나라에의 도입가능성을 살펴보면 그들이 채택하고 있는 인공위성 화상자료의 해상력은 우리나라와 같이 지형 및 수종이 다양한 환경에서는 얻어진 결과의 신뢰성 및 이에 따른 적용에 있어 아직까지는 어렵다고 볼 수 있다. 그러나 앞으로 해상력이 높은 화상자료를 얻을 수 있는 인공위성이 개발되고 이들 자료가 상용화된다면 우리나라에서도 이러한 기술을 적용할 수 있을 것이다. 즉 현재의 항공사진 및 야외조사에 겸하여 이를 활용한다면 좀 더 비용효율적이고 객관적인 산림조사 추정치를 얻을 수 있을 것이다. 현재 우리가 국립지리원에서 행하고 있는 지형도의 수치지도화, 임업연구원에서 수행하고 있는 임상도 전산화 및 인공위성 화상자료 해석에 관한 연구결과들이 이러한 조사체계의 기초가 된다고 볼 수 있다. 이 분야와 관련하여 현재 세계에서 가장 앞서나가고 있는 조사기관중의 하나인 핀란드 임업연구원의 연구협조가 요망된다.

다음으로 조사체계를 보면 우리와 같이 연속되는 조사기간 내에 매년 일정지역을 조사하여 전국을 순회하는 循環調査方法을 채택함으로써 조사결과의 신뢰성을 일정하게 유지하고 있

며, 조사책임기관 또한 임업연구원으로 되어있다. 그러나 우리와 크게 다른 것은 79명으로 구성된 산림자원조사팀이 산림자원조사방법에 관한 연구를 맡고 있는 연구진과 야외산림조사 지도요원, 그리고 야외산림조사전문요원을 확연히 구분해 운영하고 있다는 점이다.

이에 비해 우리 나라는 조사관련기구가 계속 축소되어 현재 10여명으로 구성되어 있으며 이에 따라 연구와 조사를 병행하면서 전국산림조사를 담당할 수밖에 없기 때문에 인원에 비한 업무량의 과다와 연구나 조사에서의 전문화 미비로 효율적인 조사를 기대하기 어려운 실정이

다. 따라서 임업연구원내에 조사관련기구를 확장하여 연구와 조사를 전문화하거나, 혹은 장기적으로 일본과 같이 전문적으로 산림조사 기술개발과 대부분의 산림조사용역을 맡고 있는 임업기술협회와 같은 민간단체를 육성하여 전문적이고 효율적인 산림조사가 이루어지도록 하는 것이 바람직할 것이다. 이렇게 함으로써 국가 산림정책결정이나 산림경영계획에 가장 중요한 정보를 제공하는 전국산림조사의 발전을 기할 수 있는 기반을 마련할 수 있을 것이다.

韓國山林測定學會 會則

- 第1條 本會는 韓國山林測定學會라 稱한다.
- 第2條 本會의 事務室은 山林廳 林業研究院 內에 둔다.
- 第3條 本會는 山林測定에 關한 研究와 會員 相互間의 親睦을 圖謀하며 林業 및 林學 發展에 寄與함을 目的으로 한다.
- 第4條 本會는 第3條의 目的을 達成하기 위하여 다음 事業을 한다.
1. 學會 開催
 2. 共同研究의 企劃 및 遂行
 3. 學會, 其他 有關 團體와의 協力 및 交流
 4. 會誌, 會員名簿의 發刊
 5. 其他, 本會의 目的 達成에 必要한 事業
- 第5條 本會의 會員은 名譽會員, 定會員 및 機關會員으로 한다. 會員은 山林測定 分野에 關心을 갖고 本會의 趣旨에 贊同하는 사람 또는 機關으로 한다. 名譽會員은 本會의 發展에 功績이 있는 사람으로서 理事會의 推薦으로 總會의 認准을 받은 사람으로 한다.
- 第6條 本會는 다음 任員을 둔다.
1. 會長 1名
 2. 副會長 약간명
 3. 理事 약간명
 4. 監事 2名
 5. 幹事 약간명
- 第7條 會長, 副會長, 理事, 監事は 總會에서 選出하고 幹事は 會長이 委囑한다.
- 第8條 任員의 任期는 2年으로 한다. 단 連任할 수 있다. 補選任員의 任期는 前任者의 殘餘期間으로 하고 모든 任員은 任期 終了 後일지라도 後任者의 就任時까지는 그 職務를 管掌한다.
- 第9條 會長은 本會를 代表하며 總會 및 理事會의 議長이 된다. 副會長은 會長을 補佐하며 會長 有放時는 그 職務를 代理한다. 그리고 副會長으로 林業研究院 山林調査科長은 當然職으로 한다. 理事는 會務執行에 關한 事項을 審議한다. 監事は 本會의 財産 및 會務 執行狀況을 監査하고 總會에 報告한다.
- 第10條 會長은 每年 1回 定期總會를 召集한다. 단 必要時는 臨時總會를 召集할 수 있다. 總會에서는 다음 事項을 審議決定한다.
1. 會則의 變更
 2. 事業報告 및 會務報告
 3. 事業計劃
 4. 其他 必要한 事項
- 第11條 理事會는 必要에 따라 會長이 召集한다. 理事會는 會長, 副會長, 理事, 監事로 構成하며 總會에서 委任받은 事項과 本會 運營에 關한 重要事項을 議決한다.
- 第12條 本會의 財政은 會費, 寄與金, 贊助金, 其他 收入으로 充當한다.
- 第13條 本會의 會計年度는 每年 1月 1일부터 當年 12月 31일까지로 한다.

附 則

- (1) 本會則은 1987年 2月 12일부터 施行한다.
- (2) 本會則 第9條는 1996年 1月 31일부터 效力을 發生한다.
- (3) 改正된 會則은 1997年 7月 1일부터 效力을 發生한다.

韓國山林測定學會 原稿投稿規定

1. 투고자격은 회원에 한하여 공동연구시 비회원을 포함할 수 있다. 단, 공동 또는 비회원 단독으로 투고할 경우 편집위원회의 심의를 거쳐 게재할 수 있다.
2. 본 학회지에는 연구논문(Research Articles), 총설(Review)로서 다른 일반 공개간행물에 발표하지 않은 것이어야 하며, 원고의 종별은 저자가 원고 표지에 명시하여야 한다.
3. 논문은 국문 또는 영문으로 작성할 수 있고, 어느 경우애나 반드시 제목과 요약(Abstract)은 국문과 영문 두 가지로 작성되어야 한다.
4. 원고 작성은 제목, 저자의 소속기관을 국문으로 적고, 이어서 영문으로 반복한 후, 국문요약, 영문 ABSTRACT, 서론, 재료 및 방법, 결과, 고찰(또는 결과 및 고찰), 감사의 글, 인용문헌의 순으로 한다. 영문의 경우 제목, 저자, 소속기관을 영어로 적고, 이어서 국문으로 반복한 후, ABSTRACT, 국문요약, INTRODUCTION, MATERIALS AND METHODS, RESULTS, DISCUSSION(REULTS AND DISCUSSION), ACKNOWLEDGEMENT, LITERATURE CITED의 순으로 함을 원칙으로 한다. 단, 속보, 총설, 논설 등은 저자의 편의상 위의 순서를 변경할 수 있다. 주요어(KEY WORDS)는 5구절 이내로 하며 국문요약 다음에 고딕체로, 그리고 영문 ABSTRACT 다음에 이탤릭체 대문자로 표기하되 학명은 고딕으로 표기한다.
5. 제목, 저자명, 저자의 소속기관명은 국문과 영문으로 모두 표기하며, 가급적 저자의 전자우편(e-mail)주소를 포함시키도록 한다.
6. 표(Table)과 그림(Figure)은 영문으로 작성하되 표 제목은 표 상단에, 그림 제목은 그림 하단에 적으며 별지에 첨부하고 본문에 표와 그림의 위치를 표시한다. 그림은 Tracing paper에 그리거나 컴퓨터로 출력하되, Tracing paper의 그림내 활자는 별지(그림의 복사지)에 적고, 컴퓨터 프린터 출력은 Lazer 프린터나 이에 준하는 프린터를 사용한다.
7. 인용문헌의 순서는 맨 앞의 저자명에 의해 국내, 국외순으로 하며 국내 문헌은 가나다순, 국외 문헌은 언어별 자순으로 한다. 정기간행물의 경우 저자명, 연도, 논문제목, 잡지명, 권수(호수), 쪽순으로 적고, 단행본의 경우는 저자명, 연도, 책명, 출판사명, 출판지명, 쪽순으로 한다. 저자와 편집자가 서로 다른 경우, 저자명, 연도, 논문제목, 쪽, 편집자명, 단행본명(논문집 등), 출판사명, 출판지명을 차례로 적는다. 영문으로 쓰여진 단행본을 인용할 때는 단어 첫자만 대문자로 표시해 주되 전치사는 예외로 하고, 쪽은 pp로 한다. 인용한 문헌의 저자나 편집자가 여럿일 때는 모두 적는 것을 원칙으로 한다.
8. 본문에 논문 및 저서를 인용할 때에는 국내 저자의 경우(홍길동, 1993), (홍길동과 박문수, 1993), (홍길동 등, 1993)의 방법으로, 그리고 국외 저자의 경우(Smith, 1993), (Smith and Baker, 1993), (Smith *et al.*, 1993) 등으로 표시한다.
9. 투고는 본학회 투고규정과 인용문헌 작성 규정에 따라 한글로 작성하고 프린터된 원고 3부(그림 원본 포함)를 투고료 및 심사료와 함께 제출하고 디스켓 1부는 논문심사결과 수정시 수정본과 동봉하여 제출한다.
10. 별쇄는 50부를 무료로 증정하며 그 외의 부수는 투고자가 실비를 부담한다.
11. 논문 및 논설 투고자는 1편당 기본 투고료 100,000원을 부담하여야 하며, 인쇄 후 8면을 초과할 경우 초과 면당 20,000원의 초과계재료를 부담하고, 칼라사진을 게재할 경우 1면당 현재 실비로 부담한다.

한국산림측정학회지

제 2 권 제 2 호

서기 1999년 12월 19일 인쇄

서기 1999년 12월 30일 발행

발행인 鄭 永 觀
편집인 申 萬 鏞
발행처 韓國山林測定學會

130 - 012 서울시 동대문구 청량리2동 207번지
임업연구원 산림조사과내
전화 : 02-961-2842
FAX : 02-961-2639
E-mail : pine21c@hanmail.net
농협계좌 : 031-01-341485(김철민)

인쇄처 : 정민사 2278-0199

