

林道設計 自動化를 위한 電算모델의 開發¹

鄭主相 · 鄭雨潭²

Developing a Computer Model for Forest Road Design¹

Joo Sang Chung and Woo Dam Chung²

要 約

이 연구에서는 많은 시간과 인력이 투입되어야 하는 林道設計業務를 전산화함으로써 업무의 효율성을 증진시키기 위한 林道設計用 전산모델을 개발하였다. 전산모델은 크게 資料入力모듈, 林道設計모듈, 土積計算모듈, 圖面出力모듈로 구성되어 있으며, 이들은 測量資料와 設計諸元의 입력, 設計圖面の 작성, 平面曲線과 縱斷曲線の 처리, 곡선부의 확폭, 土工量の 산출, 土量運用計劃의 수립, 도면의 인쇄 등 산악지형 임도설계에 요구되는 다양한 기능을 수행한다. 또한 다원적인 設計變更機能을 제공함으로써 설계과정에서 공학적 판단에 따라 각종 設計內譯의 변경이 가능하며 그 결과를 즉시 확인할 수 있음은 물론 변경내용에 따라 모든 설계과정이 자동적으로 재실행됨으로써 효율적인 설계업무가 이루어질 수 있다. 이러한 종합적인 기능을 갖추고 있는 전산모델은 林道線形의 評價 및 土量の 均衡 評價 등 일련의 工學的 分析은 물론 環境的인 評價도 가능하게 한다. 따라서 험준한 산악지형에 적합한 임도의 線形을 결정하고 土量均衡을 유지시킬 수 있어 環境的으로 안정되고 경제성 있는 林道計劃을 가능하게 할 수 있다.

ABSTRACT

A user-oriented computer model to aid designing forest road is developed to release the burden by increasing efficiency of time-consuming and laborious road design works. In this paper, the structures and functions of the model are discussed. The model consists of functional modules: 1)input module to treat survey data and design criteria; 2)road design module to generate preliminary road layout, horizontal and vertical curvatures and curve widening; 3)earthwork analysis module to determine the economic mass movement; 4)report writer module to produce hard copies of engineering drawings for plan views, cross-sections and profiles, earthwork calculation sheets and mass movement diagrams. In addition, the report writer also provides the information on earthwork disturbance along the cut-and-fill slopes. The modules are designed to be fully-integrated to enable the users to perform engineering analyses and evaluate design alternatives in a series of road-design procedures.

Key words : Forest road design, Computer model, Road layout, Earthwork analysis, Mass movement, Engineering drawings, Engineering analyses

¹ 接受 1995年 5月 15日 Received on May 15, 1995.

² 서울대학교 山林資源學科 林業經營·收穫工學研究室 Department of Forest Resources, Seoul National University, Suwon, Korea.

緒 論

林道設計業務는 산지측량에 의한 측량자료를 기준으로 도로를 설계하여 圖面化하고 土工量을 산출해야 하는 등 복잡하고 반복적인 작업이 많은 것이 특징이다. 이러한 임도설계업무가 手作業으로 이루어질 경우에는 상당한 시간과 인력이 투입되어야 하고, 설계결과에 대한 충분한 검토가 이루어질 수 없는 것이 현실이다. 따라서 수작업에 의한 단점을 보완하고 임도설계업무의 효율성을 증진시키기 위하여 설계업무의 전산화가 요구된다. 이를 위해서는 林道測量을 비롯한 林道設計方法의 올바른 확립과 아울러 임도의 路線評價 및 施工의 妥當性 評價와 같은 工學的 分析과 費用分析 등을 가능하게 하는 종합적인 임도설계 전산모델의 개발이 요구된다고 할 수 있다.

林道設計의 전산화와 관련하여 외국에서는 미국, 스위스, 일본 등 임업선진국을 중심으로 일찍이 임도설계 전산화에 관한 연구가 수행되었으며 그와 관련한 소프트웨어가 개발되었다(Fides, 1983; Softree, 1993). 특히 최근에 캐나다의 Softree Technical System Inc.(1993)가 개발한 ROADENG은 Windows를 運營體系로 사용하는 전산모델로 임도설계에서 가선집재시스템의 분석까지 가능한 다기능 상업용 소프트웨어라 할 수 있다.

한편 국내의 연구로는 金鍾閔 等(1987)에 의한 林道 土積 設計의 電算化에 관한 연구와 林業協同組合中央會에서 자체적 요구에 의해 추진한 林道設計圖面 作成의 전산화 작업을 제외하면 전산화에 관한 연구가 전무한 실정이다. 林業協同組合中央會에서는 현재 縱斷面圖와 橫斷面圖의 작성을 전산화하여 사용하고 있다. 이 모델은 CAD 시스템을 이용하여 기계적인 설계도면 작성과정을 부분적으로 자동화한 것으로 기존 수작업 체계의 효율성을 증진하였다고 할 수 있다. 그러나 이 모델의 기능은 橫斷面圖와 縱斷面圖 出力과 같은 圖面그리기 作業으로 제한되어 다양한 분석에 의한 工學的인 設計가 어렵고 또한 CAD 이용에 대한 專門的인 教育이 없이는 사용하기 어렵다는 단점이 있다.

이 研究에서는 林道設計圖面의 작성, 수정, 출

력 및 土工量 산출 등 일련의 설계작업을 전산화함으로써 현장 실무자가 쉽게 사용할 수 있는 보급형 林道設計用 전산모델을 개발하였다. 특히 이 모델은 험준한 山岳地形 林道の 路線評價, 土量의 均衡評價 등의 工學的 分析을 가능하게 하고, 流土曲線 分析에 의한 經濟的 土工量의 算出이 가능하도록 설계되었다.

電算모델의 開發

1. 電算모델의 開發環境

컴퓨터가 등장한 이후 많은 분야에서 컴퓨터가 必須的인 道具로 사용되고 있다. 특히 개인용 컴퓨터의 성능이 급속히 발달하면서 이전에는 대형 컴퓨터가 처리하던 작업을 개인용 컴퓨터가 대신하고 있고, 임업분야에서도 많이 응용되고 있다. 한편 使用者가 컴퓨터를 보다 편리하게 이용할 수 있도록 하기 위한 電算機의 사용자 인터페이스로 최근에는 GUI(Graphic User Interface)와 Mouse 등의 지시기구(Pointing device)를 이용한 直接操作方式이 개발되었다. 이러한 방식의 運營體系인 Windows시스템은 각종 응용프로그램의 汎用性이 뛰어나며, DOS상에서 640KB로 제한되어 있는 메모리 使用領域을 확장할 수 있는 장점을 가지고 있다.

이 研究에서는 이러한 컴퓨터의 使用環境 變化에 대응하기 위해 Windows시스템을 기본 運營體系로 사용하였으며, 사용 프로그램言語 역시 최근 각광을 받고 있는 客體指向形(Object-Oriented) 언어인 Visual BASIC(Microsoft 사)을 사용하였다. 또한 전산모델을 'Top Down' 방식의 메뉴체계와 'Command Button'을 이용하여 사용자 편의를 도모함으로써 實用性과 便利性을 증진하였다. 이 전산모델을 사용하기 위한 하드웨어는 기본적으로 IBM 호환기종이면 되지만 프로그램의 처리속도와 화상처리를 위해 386DX 급 이상의 중앙처리장치와 VGA 이상의 그래픽 카드가 적당하다. 또한 사용언어의 한글처리를 위해 컴퓨터의 運營體系로 한글Windows 3.1(Microsoft 사)이 요구된다. 그 밖의 외부 연결 장비로는 Mouse가 필요하며, 출력장비로는 Microsoft Windows에서 지원하는 도면 인쇄용 Plotter 혹은 Printer들을 사용할 수 있다.

2. 林道 測量 原理

현재 국내에 소개된 林道の 路線測量方法에는 측량기준점의 설정위치에 따라 中心線을 測量하는 方法과 零線을 測量하는 方法이 있다(山林廳, 1988; 林業研究院, 1994). 中心線測量은 도로의 平面線形을 먼저 결정한 후 결정된 平面線形에 의해 도로의 中心線이 지나는 지점들을 測點으로 설정하여 노선을 측량하는 것으로 도로의 縱斷線形은 설계단계에서 計劃高를 조정함으로써 결정하는 방법이다. 반면 零線測量은 임도의 施工豫定面(施工基面, road plane)과 橫斷地盤線이 만나는 零點(zero point)을 기준으로 측량하는 것으로 零點을 연결한 선을 零線(zero line)이라 하고 이는 임도시공시 절토부와 성토부의 경계선을 의미하게 된다.

中心線測量은 국도나 고속도로에서와 같이 평지에서 차량의 주행속도와 안정성을 높이기 위해 平面線形을 우선적으로 고려하여 노선을 측량하는데 사용되며 장거리 구간의 시준을 위한 精密測量機具가 이용되는 것이 일반적이다. 이와는 달리 零線測量은 결정된 종단물매에 의한 林道の 施工豫定面을 따라 測點을 설치하고 측량하는 것으로 도로의 平面線形 보다는 縱斷線形을 먼저 고려하여 측량하는 방법이라 할 수 있다. 또한 零線測量은 일반적으로 簡易測量機具를 이용하여 단거리 구간의 시준에 사용되는 低費用의 簡易測量方法으로 알려져 있다.

한편 零線測量에 의한 단거리 視準方法은 交角點 사이의 거리를 줄여 山地形狀에 따른 임도를 계획하게 함으로써 안정되면서 자연훼손을 감소시킬 수 있는 자연친화적 임도의 시설이 가능하게 된다. 또한 험준한 산악 지형에 시설되는 임도의 특성상 走行速度보다는 接近性이 중요한 문제가 되므로 임도의 구조적인 측면에서 도로의 平面線形보다는 縱斷線形이 중요한 설계요인이 되어야 하므로 歐美등의 先進林業國에서도 零線測量이 일반화되어 있다.

그 외에도 우리나라에서의 林道測量은 일반도로 개설에 비해 현저하게 낮은 林道施設單價와 산악지형에 시설되는 지형적 특수성으로 인해 測量的 精密性과 經濟性을 동시에 고려하여야 한다. 따라서 林道測量에는 많은 비용이 투입되어야 하는 精密測量的 적용보다는 작업이 보다 쉽고 적은 인력과 비용으로 가능한 零線測量을 적

용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 실제로 국내에서 이루어지고 있는 대부분의 임도측량은 零線測量에 의존하고 있으나 임도개설 초기단계에 一般 土木分野의 영향을 받아 中心線 測量이라는 用語 및 概念上的 혼선을 빚고 있는 것으로 판단된다.

한편 이 연구에서 개발한 전산모델은 林道設計를 위한 기본 측량자료로 零線測量資料를 이용할 수 있도록 하였으며, 임도설계에 요구되는 중심선은 零線測量資料를 이용하여 기하학적으로 산출할 수 있도록 하였다.

3. 電算모델의 構造

그림 1은 이 研究에서 개발된 電算모델의 構造를 나타내고 있다. 電算모델은 크게 資料入力모듈, 도로의 설계와 결과의 분석 그리고 설계변경작업이 가능한 林道設計모듈, 土積計算모듈, 설계결과의 出力모듈로 구성되어 있으며 이들은 각 기능에 따라 몇개의 세부모듈로 분리된다. 전산모델을 구성하고 있는 세부모듈에는 測量資料 및 設計諸元의 入力모듈, 測量誤差의 補正모듈, 中心線 導出모듈, 平面圖 作成모듈, 橫斷面圖 作成모듈, 縱斷面圖 作成모듈, 각 圖面의 設計變更모듈, 流土曲線의 作成과 土積運用計劃의 樹立모듈, 圖面의 印刷모듈이 있다.

1) 入力모듈

電算모델에 입력되는 자료에는 계획된 임도노선의 測量資料와 설계시 요구되는 設計諸元이 있다. 입력모듈에서는 독자적인 'Top Down' 메뉴 체계를 구축함으로써 이들 入力資料의 관리 작업, 즉 자료의 입력과 저장, 출력 그리고 수정 작업을 사용자가 쉽게 처리할 수 있도록 개발하였다. 특히 입력된 測量資料들은 Random Access File 방식을 사용하여 저장하고 관리하도록 하여 자료의 저장과 출력이 신속하게 처리될 수 있도록 하였다.

電算모델에서 요구하는 산지 측량 자료로는 測點番號, 縱斷물매, 山地橫斷물매, 測點間 距離, 方位角, 岩石構成比, 暗渠直徑 및 길이, 土質 그리고 橫斷傾斜의 方向이 있다. 또한 임도설계시 요구되는 設計諸元으로 전산모델에서 입력하거나 변경할 수 있는 항목으로는 林道幅, 側溝幅, 適正曲率半徑, 最小曲率半徑, 車輛길이, 盛土面물매, 切土面물매, 最初 測點의 地盤高, 曲線設置

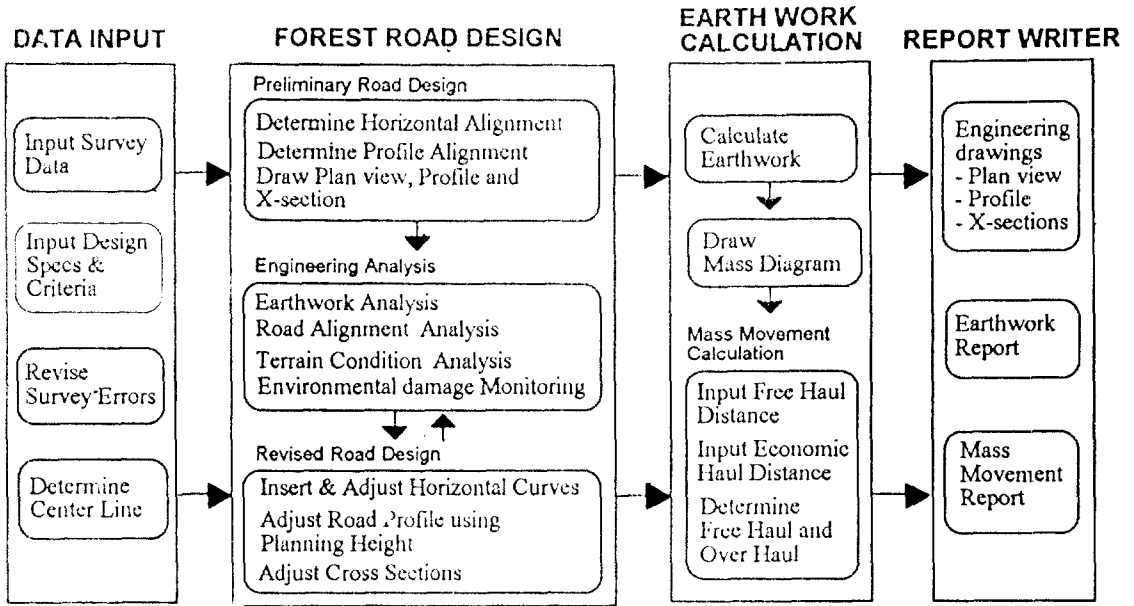


Fig. 1. Structure of the forest road design model.

內角基準, 曲線設置 接線길이 基準이 있다. 車輛 길이는 平面線形의 곡선부에서 차량의 원활한 흐름을 위해 도로를 확폭하기 위한 기준으로 사용되는 것이며, 曲線設置 內角基準와 曲線設置 接線길이 基準은 평면선형의 결정 과정에서 전산 알고리즘에 의한 곡선부의 자동처리를 위한 것으로 곡선설치를 위해 확보되어야 하는 내각의 크기와 접선길이를 의미한다.

한편 자료의 入力모델에는 임도 측량시 발생된 測量 誤差를 補正하기 위한 誤差補正모델과 측량 자료를 이용하여 中心線을 도출하는 中心線 導出 모델이 포함되어 있어 이를 선택적으로 이용할 수 있다.

2) 林道設計모델

林道設計모델은 임도를 幾何學的으로 解析하여 圖面化하는 기능과 설계결과를 분석하는 기능 그리고 설계변경과 그에 따른 도면의 수정 기능을 제공한다. 특히 平面圖, 縱斷面圖, 橫斷面圖, 流土曲線이 각 측정별로 한 화면에 출력되는 林道 開設 시뮬레이션 과정은 복잡한 細部設計內譯을 사용자가 쉽게 이해할 수 있도록 모든 결과를 圖式化하여 제시한다.

평면도 작성은 도출된 臨時 中心線위에 지형특성과 설계제원에 의해 결정된 平面曲線을 추가함으로써 최종 平面線形을 결정하는 전산 알고리즘

에 의해 실행된다. 종단면도의 경우는 측량자료에 의한 地盤高와 입력되는 計劃高를 기준으로 작성되며, 횡단면도는 평면도와 종단면도의 작성 결과로부터 임도 노면의 수평방향과 수직방향의 위치를 입력받아 작성된다. 이들 설계도면들은 중앙을 원점으로한 좌표체계 속에서 幾何學的 解析方法에 의해 圖式化 된다.

또한 林道設計모델에서는 설계결과를 토대로 土量均衡評價, 地形條件의 分析, 도로의 線形評價, 山地毀損量 과약 등 다양한 분석이 가능하다. 이러한 분석기능을 이용하여 산지에 적합하고 안정적이며 자연친화적인 임도설계 방안이 마련될 수 있으며, 이를 설계에 반영하기 위하여 전산모델은 設計의 變更과 修正 및 補完機能을 제공한다. 이러한 設計變更機能은 전산기의 신속한 처리속도를 이용하여 설계변경이 발생할 때마다 모든 설계과정을 자동적으로 일괄 재처리하도록 함으로써 설계변경이 다른 모든 설계과정에 반영될 수 있도록 하였고, 그 결과를 즉시 검토할 수 있어 설계작업의 효율성을 증진하였다.

전산모델의 이러한 모든 기능들은 GUI(Graphic User Interface)를 활용하여 설계자가 설계도면을 시각적으로 확인하면서 설계내역을 검토할 수 있고 각종 기능들을 편리하게 실행시킬 수 있다.

3) 土積計算모듈

土積計算모듈은 林道設計모듈에서 작성한 橫斷面圖로부터 斷面續을 계산하여 각 구간별 盛土量과 切土量을 파악하는 기능을 수행한다. 특히 土積量의 파악은 도면에 대한 수정작업이 발생할 때마다 자동적으로 변경된 자료에 의한 토적량이 자산출되어 설계변경에 따른 결과가 제시된다. 전산모델의 이러한 기능은 사용자로 하여금 설계변경에 따른 土工量 變化를 즉시 확인할 수 있게 함으로써 土工量의 增減과 設計의 適合性을 동시에 고려하는 합리적인 설계를 가능하게 한다.

또한 土積計算모듈은 流土曲線(mass diagram)을 작성하고 土積運用計劃을 수립한다. 이 때 전산모델은 사용자로부터 유도곡선에 적용할 流用無代距離(free haul distance)와 Limits of economic haul의 크기 및 위치를 입력받고, 이를 해석하여 土量의 移動經路와 移動量 그리고 捨土量 및 取土量 등 土積運用計劃을 수립하게 된다.

4) 出力모듈

전산모델은 자체적으로 인쇄모듈을 포함하고 있어 모델에서 작성된 각종 도면과 토적계산서 등 설계내역을 전산모델 환경 내에서 직접 출력시킬 수 있다. 출력내용에는 설계 도면으로 平面圖, 橫斷面圖, 縱斷面圖가 있고 토공량 산출 결과로 土積集計表와 土積移動計劃表가 있다. 전산모델에서 사용가능한 외부 出力裝置로는 Microsoft Windows에서 프린터 드라이버(printer driver)를 지원하는 플로터(plotter) 혹은 프린터(printer)가 있다. 전산모델의 출력모듈은 인쇄방법 및 인쇄모양, 인쇄내용 등을 변경할 수 있는 각종 인쇄옵션을 지원하여 설계자가 원하는 출력 형태를 선택할 수 있다. 전산모델에서 사용하는 도면 축척으로는 평면도의 경우 1:1000과 1:500을 선택할 수 있도록 하였고, 종단면도의 경우는 도로의 종단선형을 쉽게 파악할 수 있도록 하기 위해 가로 방향과 세로 방향에 각각 1:1000과 1:200의 다른 축척을 적용하였으며, 횡단면도는 1:100의 축척으로 고정하였다.

4. 圖面 作成을 위한 幾何學의 原理

1) 中心線의 導出

設計圖面을 작성하기 위해서는 中心線이 요구되며 이 中心線은 零線測量 資料로부터 간단한 幾何學의 原理를 적용하여 導出할 수 있다. 한편

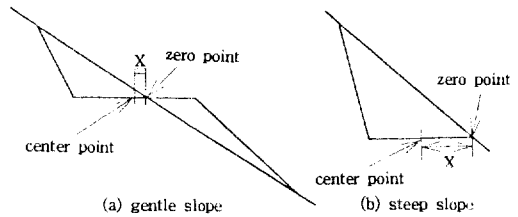


Fig 2. Cross sections illustrating the relative locations of center point and zero point.

전산모델에서는 임도시공으로 발생하는 토량이동과 자연훼손을 감소시키기 위하여 산지 지반경사에 따라 緩傾斜地와 急傾斜地로 구분하고 각기 다른 幾何學의 解析을 통한 中心線 求出방법을 적용하도록 하였다.

緩傾斜 地域에서는 토량의 이동을 最小化 하기 위하여 土量換算係數를 고려한 切土面積과 盛土面積이 일치하도록 중심선을 유도하였고, 이를 위하여 그림 2(a)와 같이 횡단면도를 기하학적 요소로 파악하여 각 요소들의 相互 關係式을 도출하였다. 즉, 산지횡단사면의 %물매를 gs라고 하고 절토사면 및 성토사면의 계획물매를 각각 1:cs와 1:fs로 표현하며, 道路幅을 rw라고 할 때 零點으로부터 道路 中央線까지의 距離 X는 식 1과 같이 유도할 수 있다.

$$X = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad [Eq. 1]$$

이 식에서 A, B, C는 각각 다음과 같이 定義된다.

$$A = \frac{gs \cdot cs}{gs \cdot cs - 100} - \frac{gs \cdot fs}{gs \cdot fs - 100}$$

$$B = rw \cdot \left\{ \frac{0.5 \cdot gs \cdot cs + 50}{gs \cdot cs - 100} + \frac{0.5 \cdot gs \cdot fs + 50}{gs \cdot fs - 100} - 1 \right\}$$

$$C = \frac{25 \cdot rw^2}{gs \cdot cs - 100} - \frac{25 \cdot rw^2}{gs \cdot fs - 100}$$

한편 성토가 불가능한 急傾斜 地域에서는 무리한 성토로 인하여 발생하는 자연의 毀損을 막고 노면의 安定性을 높이기 위해 성토면적이 발생되지 않도록 中心線을 결정한다. 그림 2(b)는 성토가 불가능한 急傾斜 地域에서 절토면으로만 이루

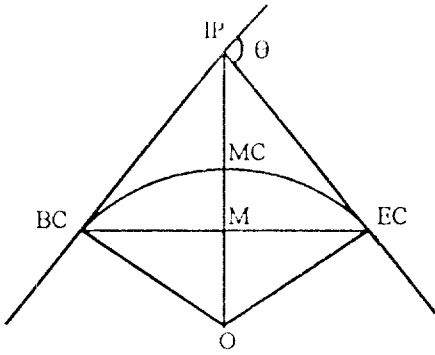


Fig. 3. The geometry of a horizontal curve.

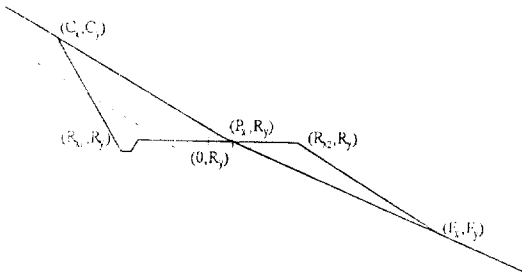


Fig. 4. A typical cross-section of a forest road.

어진 임도의 橫斷面圖를 나타내고 있다. 이 때 中心點은 零點에서부터 道路幅의 1/2이 되는 지점에 위치한다.

2) 平面圖의 作成

林道設計圖面으로서의 平面圖는 각 測點과 中心線의 위치, 林道幅 그리고 곡선이 설치된 구간에 있어서는 曲線의 始點과 終點 및 交角點 등의 設計內譯으로 구성된다. 이러한 평면도의 작성을 電算化 하기 위해서는 평면도에 나타나는 모든 設計要素들을 좌표화하여 圖式化하는 작업이 요구된다. 平面圖는 크게 直線區間과 曲線區間으로 구분되어 幾何學的으로 해석될 수 있다.

直線區間에서는 두 측점 사이의 距離(D)와 後視의 方位角(α)을 이용하여 인접한 두 측점간의 相對的 位置를 나타낼 수 있다. 즉, 한 측점의 座標를 (X₁, Y₁)이라고 할 때 다음 좌표의 相對的 位置를 나타내는 座標(X₂, Y₂)는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D \sin(\alpha+180) + X_1 \\ D \cos(\alpha+180) + Y_1 \end{bmatrix} \quad [Eq. 2]$$

곡선구간은 交角點과 곡선의 始點 및 終點으로 구성되는데 이들은 그림 3과 같은 幾何學的 關係

를 가지고 있다. 이 그림의 林道 路線에서 곡선부가 시작되고 끝나는 始點(BC)과 終點(EC)을 알고 있을 때 두 점의 상대적 위치는 좌표체계 (BC_x, BC_y) 및 (EC_x, EC_y)에 의해 나타나게 된다. 또한 시점과 종점의 두 점을 잇는 線分의 中心點(M) 位置는 두점의 座標體系에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{BC_x + EC_x}{2} \\ \frac{BC_y + EC_y}{2} \end{bmatrix} \quad [Eq. 3a]$$

한편 曲線部의 弧를 이루는 원의 中心(O)을 나타내는 좌표 (O_x, O_y)는 곡선부의 시점 및 종점에 연결한 직선부의 延長線들이 만나는 交角點(IP)의 좌표(IP_x, IP_y)와 交角 θ 그리고 위의 식 3a에서 계산된 중점의 좌표를 이용하여 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} O_x \\ O_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -[(IP_x - M_x) \tan^{-2}(\theta/2)] + M_x \\ -[(IP_y - M_y) \tan^{-2}(\theta/2)] + M_y \end{bmatrix} \quad [Eq. 3b]$$

3) 橫斷面圖의 作成

그림 4는 전형적인 임도의 橫斷面圖를 보여주고 있다. 그림에서는 편의상 노면의 중심(0, R_y)을 기준으로 하여 이 점에서 영점까지의 거리를 P_x로 나타내고 있다. 이 값은 平面圖 작성시 零點으로부터 中心點의 이동거리를 의미한다. R_y는 임도노면 중앙선의 수직적 위치를 나타내는 것으로 임도노면이 영점과 동일한 표고에 위치할 때 그 값이 0이 되는 반면 설계상의 필요성에 의해 노면의 위치가 절성도에 의해 零點보다 높아지거나 낮아지는 경우 각각 陽數 혹은 陰數의 값을 지니게 된다. 즉, R_y가 陽數인 경우는 성토를 함으로써 路面을 測點의 위치보다 높게 設定함을 뜻하고, 陰數의 경우는 절토를 함으로써 측점보다 路面의 높이를 낮추는 것을 의미한다. 한편 (R_{x2} - R_{x1})의 값은 排水口의 幅을 포함한 林道 路面의 全體幅을 의미하며 平面圖 작성시 곡선이 설치되어 있는 회전구간에서는 曲率半徑에 따른 擴幅의 양도 포함할 수 있도록 되어 있다.

이 그림에서 측점을 기준으로 하는 좌, 우측의 % 산지횡단물매를 각각 gs₁, gs₂라 하고, 절토면과 성토면의 계획물매를 각각 1 : cs와 1 : fs로 표현할 때 山地橫斷傾斜面과 切土面 그리고 盛土

面이 만나는 交叉点들은 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} C_x \\ C_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{100R_{c1} - gs_1 cs P_x}{100 - gs_1 cs} \\ -\frac{1}{cs} (C_x - R_{c1}) + R_y \end{bmatrix} \quad [\text{Eq. 4}]$$

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{100 R_{c2} - gs_2 fs P_x}{100 - gs_2 fs} \\ -\frac{1}{fs} (F_x - R_{c2}) + R_y \end{bmatrix} \quad [\text{Eq. 5}]$$

4) 縱斷面圖의 作成

縱斷面圖를 작성하기 위한 각 측정점의 수직적 위치는 縱斷測量資料로부터 파악한다. 즉, 측정점간의 거리(m)와 중단물매(%)에 의하여 지점의 地盤高를 기준으로 하는 각 측정점의 相對的 位置가 결정된다. 이러한 상대적 위치를 결정하기 위하여 幾何學的 原理를 이용한 관계식 6과 7을 유도하였다. 이 식들은 연결되어 있는 두 측정점의 상대적 위치를 세로 및 가로방향의 變化量(ΔX, ΔY)으로 나타낸 것이다. 두 식에 나타난 D는 두 測點사이의 거리를 의미하고, fws와 bws는 각각 前視와 後視에 의한 %중단물매를 의미한다. 즉, 중단물매를 前視로 측량하였을 경우에는 식 6을, 後視로 測量하였을 경우에는 식 7을 이용하여 측정점의 位置를 決定한다.

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D \cos \left\{ \tan^{-1} \frac{fws}{100} \right\} \\ D \sin \left\{ \tan^{-1} \frac{fws}{100} \right\} \end{bmatrix} \quad [\text{Eq. 6}]$$

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D \cos \left\{ -\tan^{-1} \frac{bws}{100} \right\} \\ D \sin \left\{ -\tan^{-1} \frac{bws}{100} \right\} \end{bmatrix} \quad [\text{Eq. 7}]$$

5) 流土曲線의 幾何學的 特性과 土積運用計劃의 樹立

1 流土曲線의 幾何學的 特性

流土曲線(mass diagram)이란 구간별로 切土量과 盛土量의 차이를 산출하고 이를 累積한 값을 임도의 진행방향에 따라 그래프로 표시한 것을 의미한다. 즉, 流土曲線의 수평축에는 임도의 진행방향에 따른 거리를 나타내며, 수직축에는 절토량과 성토량의 차이를 累積量으로 나타낸다. 이러한 유토곡선은 절토와 성토의 균형지점을 비롯하여 土積運搬量과 運搬方向 또는 捨土量 및 取土量 그리고 그 發生位置 등 토량의 모든 이동

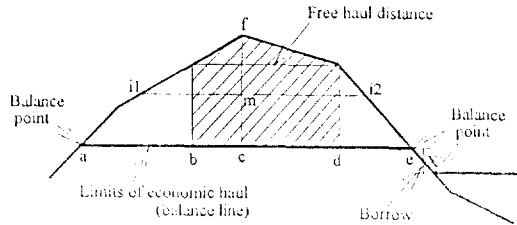


Fig. 5. An example of a mass diagram illustrating the nomenclatures of earth work movement.

상황을 파악하는데 사용될 수 있다.

流土曲線(그림 5 참조)은 幾何學的으로 다음과 같은 몇가지 特性을 갖는다.

流土曲線은 각 측정점까지 累加된 토량을 나타내며, 곡선의 변화에 의해 土工內譯을 이해할 수 있다. 즉, 곡선이 상승하는 구간은 절토량이 성토량보다 많은 구간을 의미하고 반대로 곡선이 하강하는 구간은 성토량이 절토량 보다 많은 구간을 의미한다. 또한 곡선의 變化率은 그 구간에서 누적되는 절토량 혹은 성토량의 다소를 나타낸다. 유토곡선의 극대점은 절토요구량이 성토요구량 보다 많은 구간에서 그와 반대인 성토요구량이 더 많아지는 구간으로 변화하고 있음을 나타내며, 극소점은 반대의 현상을 의미한다. 또한 유토곡선의 모양이 위로 볼록한 구간에서는 절토된 剩餘土量이 좌측에서 우측으로 운반됨을 의미하며 반대로 아래로 볼록한 구간에서는 剩餘土量이 우측에서 좌측으로 운반됨을 뜻한다.

2 流土曲線의 幾何學的 特性을 利用한 土積運用計劃의 樹立

구간별 토공량 산출에 의하여 작성된 流土曲線에 流用無代距離(free haul distance)와 Limits of economic haul을 적용함으로써 土積의 運搬量 및 運搬距離, 捨土量, 取土量 그리고 이들의 발생위치 등을 파악하여 경제적인 土積運用計劃을 수립할 수 있다. 流用無代距離란 토공비용 및 생산성 측면에서 별도의 토량운송장비가 요구되지 않는 운반거리를 의미하는 것이다. 또한 Limits of economic haul은 토량이동비용의 경제성을 고려할 때, 어떤 구간의 잉여토량을 토량이 부족한 구간으로 운반해 사용하는 것이 취토장에서 토량을 운반해 사용하는 것보다 더 경제적인 구간 거리를 의미한다.

그림 5는 流土曲線을 이용한 토적 이동량의 산출 과정을 나타내고 있다. 유토곡선이 상승하고 있는 a-c구간은 과다한 절토가 발생한 지역을 의미하고, 하강하고 있는 c-e구간은 과다한 성토가 발생한 구간임을 뜻한다. 여기에 Limits of economic haul에 해당하는 길이를 적용함으로써 土量均衡線(balance line)을 그을 수 있다. 이때 토량균형선과 유토곡선에 의하여 나타나는 구간 a-e는 발생한 절토량과 성토량이 일치하는 토량의 均衡區間(balanced loop)이 된다. 이 均衡區間(balanced loop)이 의미하는 바는 구간 내에서 발생한 절토량이 구간 내에서 모두 성토됨을 뜻하는 것이다. 또한 均衡線에서 流土曲線의 頂点까지의 높이(그림 5의 cf)는 절토부에서 성토부로 운반해야 할 전체 토량을 나타낸다. 또한 토량의 均衡區間(balanced loop) 내에 流用無代距離를 적용함으로써 토량의 이동에 따른 추가비용이 발생하지 않는 流用無代土量을 산출할 수 있다. 그림 5에서는 빗금친 면적이 곧 流用無代土量을 나타내는데, 이 면적은 토량의 부피에 거리를 곱한 단위($m \cdot m$)로 나타낸다. 이 단위는 단위 토적량을 단위 거리만큼 이동시키는 것을 의미하므로 토량의 운반 비용으로 이해될 수 있다. 또한 土量均衡區間(balanced loop)의 전체면적(total haul)에서 流用無代土量을 제외하면 구간 내의 運搬土量(over haul)이 $m \cdot m$ 의 단위로 산출된다.

土量均衡線은 반드시 하나의 연속되는 직선이어야 할 필요는 없다. 따라서 곡선과 교차점에서 별도의 土量均衡線을 설정할 수 있다. 이러한 경우에 인접한 두개의 土量均衡線 사이에서 나타나는 상하 간격은 Limits of economic haul 外의 지역에서 발생한 과부족 토량으로 인접한 平衡點(balance point) 사이에서 발생하는 捨土量 혹은 取土量을 의미하게 된다(그림 5의 X). 이 값은 앞에서 설명한 流用無代土量이나 運搬土量과는 달리 면적이 아닌 수직방향의 차이를 나타내는 것으로 m의 부피단위로 산출된다. 특히 그림 5의 X와 같이 유토곡선이 하강하고 있는 상태에서 나타나는 두 土量均衡線의 차이는 取土量을 의미하고, 반대로 상승하고 있는 상태에서 나타나는 차이는 捨土量을 의미한다.

土量均衡區間(balanced loop) 내에서 발생한 절취토량을 성토지역으로 운반할 때 나타나는 평

均運搬距離는 절토부와 성토부의 중심거리로 산출할 수 있다. 그림 5의 선분 iii2는 均衡區間 aef 내에서 발생하는 토량의 平均運搬距離를 뜻하게 된다.

電算모델의 利用

電算모델의 다양한 特性和 機能을 설명하기 위하여 단구간의 測量資料를 가상으로 설정하고 전산모델에 適用하였다.

그림 6은 전산모델의 入力모듈 중 測量資料管理 화면을 나타내는 것으로 화면에는 7개 구간의 총연장 125m로 설정된 가상측량자료가 입력되어 있다. 그림 7은 林道規格을 결정하기 위한 設計諸元들을 입력하는 화면으로 입력된 임도폭과 측구폭은 각각 5m와 0.9m로 되어 있다. 이 전산 모델에서는 특징적으로 林道開設地域의 土壤性質에 따라 흙, 연암, 경암으로 구분하여 측량하

구간	구간길이	구간단위	구간단위	구간단위	구간단위	구간단위	구간단위	구간단위	구간단위
0	15	20	40	50	50	0	0	0	1
1	13	20	45	50	50	0	0	0	1
2	10	15	40	60	40	0	0	0	1
3	8	20	25	60	40	0	0	0	1
4	8	20	37.5	80	60	50	0	0	3
5	5	15	25	65	50	10	1000	7	2
6	5	15	20	65	50	0	0	0	1
7	0	0	0	50	50	0	0	0	1

Fig. 6. A worksheet for data input.

Fig. 7. A window to input road specs.

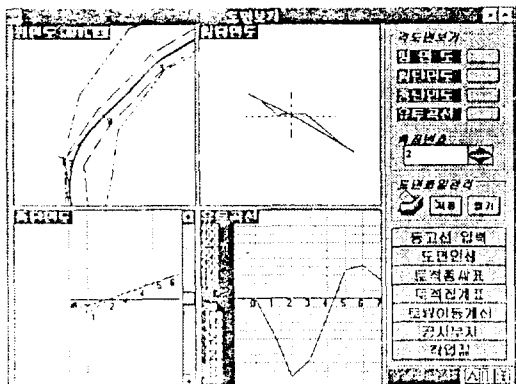


Fig. 8. A window showing plan view, profile, cross-section and mass diagram simultaneously.

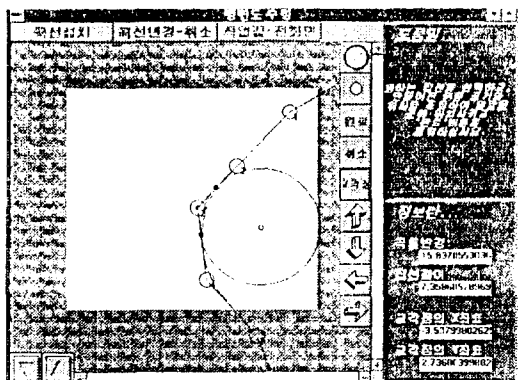


Fig. 9. A window illustrating the procedure to adjust the horizontal alignment.

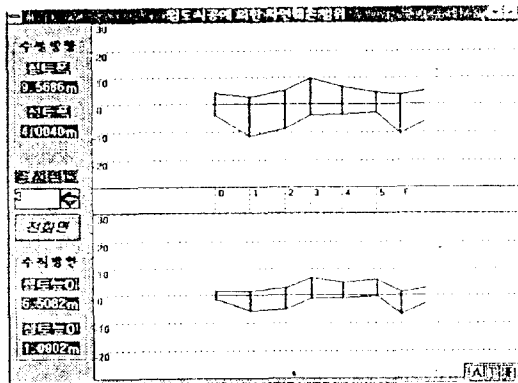


Fig. 10. A window for monitoring the environmental damages occurred by forest road construction.

고 여기에 각기 다른 切土面 물매를 적용하여 설계할 수 있다. 반면 盛土面 물매의 설계기준은

일단 입력 후 설계과정에서 각 측정별로 변경시킬 수 있도록 설계되어 있다.

그림 6, 7의 과정에서 입력된 測量資料와 設計諸元을 바탕으로 전산모델에서 제공하는 測量誤差의 補正 과정과 臨時 中心線의 導出 과정을 선택적으로 실시하면, 전산모델은 도면작성 알고리즘에 의하여 입력된 設計諸元을 기준으로 각 도면을 설계하고 작성하게 된다. 그림 8은 전산기에 의한 설계결과를 나타내는 모델의 기본모드로 측정별 設計圖面들과 流土曲線이 동시에 제시되는 특징이 있어 사용자가 복잡한 임도설계 상황을 쉽게 파악할 수 있다. 또한 이 기본모드를 통해 設計의 變更, 設計結果 및 內譯의 확인, 林道施工에 따른 결과의 분석, 도면의 출력 등 각종 設計作業을 수행하게 된다. 설계과정의 모든 기능은 Keyboard 혹은 Mouse와 같은 입력장치와 화면에 제시된 'command button'을 이용하여 수행할 수 있다.

그림 9는 전산모델에서 제공하는 設計變更機能 중 平面線形의 변경과정을 나타내는 것으로 平面曲線의 半徑을 재결정하는 화면이다. 전산모델에서는 이와같은 平面線形 이외에도 橫斷線形과 縱斷線形의 設計變更機能을 제공하며, 설계변경 작업 후에는 모든 설계과정을 재실행하므로써 변경 내용을 연관된 다른 設計圖面에 반영하게 된다. 따라서 복잡한 변경과정과 도면을 다시 그려야 하는 어려움으로 인해 수작업으로는 거의 불가능한 설계변경을 쉽게 수행할 수 있으며, 변경 결과를 즉시 제시하므로써 임도설계에 관한 각종 분석이 가능하다.

그림 10은 전산모델에서 제공하는 分析機能의 하나로 林道施工에 의해 발생하는 自然毀損 範圍를 수평방향과 수직방향으로 제시하는 화면이다. 이것은 각 측정별로 완성된 設計內譯에 의해 임도를 시공할 경우 발생하는 절토 및 성토의 폭과 높이를 나타내는 것으로 토공이 과다하게 발생하거나 훼손범위가 큰 구간을 파악할 수 있어 이들의 설계변경을 통해 자연친화적이고 안정된 임도를 계획할 수 있다.

結 論

林道設計作業의 효율성을 증진시키고 林道計劃에서 施工에 이르는 종합적인 분석을 통해 공학

적으로 안정된 임도의 시설을 위하여 林道測量 자료의 관리에서부터 圖面 作成과 出力에 이르기 까지 일괄적으로 林道設計業務를 수행할 수 있는 電算모델을 개발하였다. 이 모델의 林道設計 기능에는 크게 資料 入力機能과 임도의 幾何學的 解析을 이용한 圖面 作成機能, 設計結果의 分析 機能, 設計變更機能, 土積計算機能 그리고 資料의 出力機能이 있다. 이러한 기능들을 수행하는 電算모델의 細部모듈에는 測量資料 管理모듈, 測量誤差 補正모듈, 中心線 導出모듈, 平面圖와 縱斷面圖 그리고 橫斷面圖 作成모듈, 圖面の 修正 모듈, 流土曲線의 作成과 土量運用計劃 樹立모듈, 圖面 印刷모듈이 있다. 그리고 이들 모듈은 서로 유기적인 관계로 연결되어 있어 設計變更과 修正 및 補完 등의 추가작업이 一括적으로 처리 되도록 구성되어 있다.

電算모델을 이용한 임도 설계는 복잡하고 어려운 설계 과정을 단순화하여 시간과 노력을 절약하고 임도설계에 소요되는 비용을 감소시켜 보다 경제적인 임도 설계를 가능하게 한다. 또한 도로의 설계나 시공에 관한 깊은 지식이 없이도 원하는 설계를 누구나 쉽게 수행할 수 있다. 특히 電算모델을 이용함으로써 林道の 工學的 分析 및 經濟性 分析, 林道 施設로 야기되는 環境 毀損의 시뮬레이션 등 다양한 分析이 가능하게 되어 계획 임도에 대한 妥當性 檢討 및 林道開設 結果의 豫測에 유용할 것으로 판단된다.

이 研究에서 개발한 임도 설계용 電算모델이 實用的으로 사용되기 위해서는 계속적인 適用性 檢討를 통해 電算모델이 개선되고 보완되어야 하며, 여기에는 임도업무를 담당하고 있는 관계기관 및 실무자와의 긴밀한 협조가 요청된다. 그리고 이 研究에서 개발한 電算모델은 木材收穫方法에 관한 電算모델, 山林經營計劃의 樹立을 위한 電算모델, GIS 情報시스템 등 다양한 분야의 電算化 작업과 연계됨으로써 綜合的인 山林資源經營 電算化시스템으로 發展될 수 있을 것으로 期待된다.

引用 文 獻

1. 金鍾閔·盧載厚·金在源·金思日·金瓊會. 1987. 林道 土積設計의 簡略化와 電算化에

關한 研究. 林研研報 35:20-27.
 2. 馬相圭. 1987. 林道設計用 土量換算表의 製作. 韓國林學會誌 76(4):348-356.
 3. 山林組合中央會. 1992. 林道 測量設計 現地 研鑽 報告書. 176pp.
 4. 山林廳. 1988. 林道便覽. 67-202.
 5. 山林廳. 1990. 林道施設規定. 71pp.
 6. 山林廳. 林道測量 및 設計指針. 127pp.
 7. 林業機械訓練院. 1987. 林道の 設計와 施工. 296pp.
 8. 林業研究院. 1994. 山林測量實務. 184pp.
 9. 全權雨·車斗松·張京植·沈尤燮. 1991. 山岳 林의 林道開設에 關한 研究(III) - 林道の 施工 및 施工管理 -. 江大演報 11:27-36.
 10. 鄭寅峻·金明模. 1990. 土質工學原論. 歐美 書館. 593pp.
 11. 山下敏夫. 1993. 林道設計に便利なプログラムの紹介. 林道:141-146.
 12. 佐藤幸勇. 1986. ホケットコンピュータ-の起工測量への應用. 第二十一回 林道研究發表論文集:54-58.
 13. 栗本修·服部富雄. 1982. 林道測量におけるホケットコンピュータ-の利用. 第十七回 林道研究發表論文集:110-116.
 14. Fides Treuhandgesellschaft. 1983. WALD (Programm zur Projektierungshilfe bei der Ausarbeitung von Detailprojekten für Sekundärstrassen). Zürich. 38pp.
 15. George, Thomas A. 1975. The forest service's computer-aided road design system. Proceeding of a workshop on Low-volume Roads:75-81.
 16. Kuonen, V. 1983. Computergestützte Projekttausarbeitung. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 83(3):85-90.
 17. Lecklider, G.R. and J.W. Lund. 1976. Road Design Handbook. 122pp.
 18. Peurifoy, R.L. 1979. Construction Planning, Equipment, and Methods. 3rd Edition. McGraw-Hill. 720pp.
 19. Softree. 1993. ROADENG(Forest engineering software). Canada. 284pp.