

數值地形 資料의 모델링 및 地形分析 S/W의 開發

(Development of Terrain Analysis S/W for Military Use of DTM)

文承煥*, 崔炳奎**, 黃門豪**

Abstract

The fire effectiveness and the operationability of the ground weapon system (such as tank, armored vehicle, howitzer, MLRS, ...), whose operations are usually happened on the ground, are dependent not only on their performances but also on the terrain environments. Especially, the artillery weapons systems' effectiveness is largely varied, because their maneuverability (such as translation, occupation of their sites) and the fire effectiveness are very dependent on the terrain.

In this paper, presented are the methods how to analyze the terrain using the digital terrain data. And a software (which are implemented on the IBM PC compatible personal computer) is developed for the analysis of the terrain using the various method of computer Aided Geometric Design and Modeling.

The S/W is expected to be very useful for the evaluation of the artillery weapon systems and for the commanders' decision making.

* 韓國國防研究院
** 韓國科學技術院

I. 序 論

1. 數值地形 Model

가. 概要

數值地形資料란 地上을 東西南北으로 一定 間隔의 거리로 格子化하여 각 格子地點의 高度와 屬性을 컴퓨터에 入力시킨 地形 data base이다.¹⁾ 1958년 미 M. I. T. 공과대학의 C. L. Miller 教授에 의해 數值地形모델 (DTM : Digital Terrain Model)이 最初로 發表된 以來, 道路設計와 같은 一般 土木分野에 應用되다가 오늘날 地圖 製作分野 및 기타 産業分野로 擴大 發展하였다. 美 DMA (Defense mapping Agency)가 地形研究에 있어서 本格的으로 이 기술을 도입한 것은 1970년 中盤부터 였다. 從來의 手作業에 依存하던 地圖의 作成을 전산화하여 컴퓨터에 의한 自動化 方式으로 轉換한 것은 물론 測地 活動에 依存하던 地形 關係 各種 資料의 蒐集을 航空機나 衛星 등을 통한 數值化 通信 情報로 轉換하여 이를 自動적으로 컴퓨터에 收錄하는 方式을 發展시켰고 從來에는 分析對象에 包含되지 않았던 土壤, 磁場, 氣像資料 까지도 이때부터 蒐集 分析하기 시작하였다.

數值地形Model (DTM : Digital terrain Model)은 一般測量에 의한 方法, 地形圖로부터 digitize하는 方法, 航空寫眞 測量에 의한 方法 및 遠隔探査(remote sensing) 資料에 의한 方法 등에 의해 抽出할 수 있다. 地形圖로부터 DTM자료를 抽出하는데는 地形圖上의

誤差와 digitizing 誤差가 累積되고, 地形도 제작에 소요되는 기일때문에 現在의 地形 狀況과는 다를 수도 있으며, 대단위 지역인 경우 작업량이 많은 문제점이 있다.

一般測量은 좁은 지역에서만 가능하다. 현재 까지 이용되는 方法중 DTM data base를 만드는 데 效果의이며 精確한 方法은 國家基本圖를 만드는 航空寫眞 測量段階에서 解析 도화기를 사용하여 DTM 자료를 생성하고 貯藏하는 方法이다. 그러나 航空寫眞 測量은 撮影可能 지역에 대한 것만을 生成할 수 있으며, 한 장의 寫眞에 包含되는 地上 面積이 작기 때문에 DTM data base 구축에 많은 기일과 豫算이 所要된다. 따라서 韓半島에 대한 DTM 구축의 필요성과 각종기관 및 업체에서 절실히 要求하고 있는 우리나라의 DTM 자료를 提供하고 現자료를 수정하기 위해서는 遠隔探測에 의한 DTM 구축이 절실히 필요하다 하겠다.

遠隔探査資料는 크게 衛星資料와 航空塔載 資料로 구분할 수 있다. 항공탑재자료는 항공기에 센서를 탑재하여 수집한 자료인데 자료수집을 하기 위해서는 항공기, 센서 시스템, 지상처리시스템 등 高價의 裝備가 필요하므로 널리 활용되지 못하고 있다. 衛星資料는 隣近의 地上觀測所에서 쉽게 구할 수 있으므로 현재 널리 활용되고 있다.

현존 위성중에서 1986년 2월에 발사한 프랑스의 SPOT은 HRV(高分解能 可視센서)를 탑재하고 있다. 이 HRV는 두개의 기능을 갖고

1) 孫榮桓, "數值地形資料를 活用한 레이더 視界圖 作成에 관한 연구", 國防論集 1990년 7월, 제10호, pp. 176-202

있는데, 그 하나는 3밴드로서 地上分解能力이 20m이며, 다른 하나는 1밴드(Panchromatic)로 10m의 지상분해능력을 갖으며 立體映像을 얻을 수 있다. 이 입체영상으로부터 1/50,000에서 1/100,000까지의 지형도를 작성할 수 있으리라 기대되며 그에 대한 검증 및 프로그램 개발이 전 세계적으로 수행되고 있다.

나. 數值 地形資料의 種類

1985년까지 美 DMA는 총 3,840만 NM²에 달하는 全世界 陸地 面積中 약440만 NM²의 地形에 관한 情報를 蒐集하여 이에 대한 分析 能力을 갖추었으며 이는 약 1.4×10^{12} bit에 해당하는 龐大한 情報의 양으로 構成되어 있다. 이 정보에는 한번이 30m 間隔으로 되어 있는 각 정사각형에 대한 高度, 土質 및 그 屬性(강, 도로, 건물 등)이 收錄되어 있으며 重力이나 磁場의 세기 등도 包含하고 있다.

美國 DMA에서 製作 및 配布하고 있는 各種 數值地形資料는 다음과 같다.

- 數值地形高度資料(DTED : Digital Terrain Elevation Data)
- 數值地形地勢分析資料(DFAD : Digital Feature Analysis Data)
- 自動化 航空施設情報(AAFIF : Automated Air Facilities Information File)
- 數值 航空飛行情報(DAFIF : Digital Aeronautical Flight Information File)
- 對砲兵 레이다用 數值高度資料(Digital Elevation Data For FIREFINDER)
- 高速數值海圖(HSDC : High Speed Digital Chart)

- 地形對照體系 data base(Terrain contour Matching (TERCOM) Data Base)
- 數值大陸空白資料(Digital Landmass Blanking (DLMB) Data)
- 垂直障礙物資料(VOD : Vertical Obstruction Data)
- 海底深度 data base(Bathymetric Data Base(BDB) Data)
- 世界平均高度資料(WMED : World Mean Elevation Data)
- 局地傾斜資料(LSD : Local Slope Data)

다. 數值地形資料의 軍事的 活用

(1) 可視線(Line of Sight) 分析

野砲의 射擊統制나 對空 레이다의 展開位置 選定 또는 攻擊 航空機의 安全浸透路研究 등 軍事的으로 地形資料의 應用分野中 가장 重要한 것중의 하나가 可視線 分析이다. 可視線 分析은 地形資料中 주로 高度(Altitude) 資料를 利用하여 그 주변의 遮蔽角 또는 遮斷距離 등을 계산하는데 이를 地圖分析이나 測地를 통하여 실시할 경우 막대한 人力과 時間이 所要된다. 따라서 數值化되어 컴퓨터에 貯藏되어 있는 高度資料를 利用하여 이를 分析하는 경우 그 경제성은 대단하며 아울러 手作業에 비하여 상당한 正確度를 유지할 수 있다.

(2) 航法統制分野

長距離 誘導武器인 巡航미사일(Cruise Missile)은 기본적으로 地形對照體系(TERCOM)에 의해 誘導되는 武器體系로서 이 미사일은 地上發射나 空中發射 또는 水中發射의 어떤

方式을 선택하더라도 最初에는 慣性誘導를 받아 高度를 낮추게 되나 일단 低高度로 진입한 이후에는 地形 對照體系의 誘導를 받게 된다. 미사일에 장착된 레이더와 高度計는 航路上의 미리 決定된 地點들을 포착하여 이를 內藏되어 있는 컴퓨터 시스템의 地形資料와 비교함으로써 正確한 航進을 誘導할 수 있게 되어 있다. 여기에 所要되는 地形資料는 극도로 조밀하여 특히 正確한 目標 地域의 식별을 위해 人爲的 地形인 道路, 建物, 橋脚 등과 같은 點目標와의 對照 能力까지 갖추고 있다.

또한 大陸間 誘導彈(ICBM)이나 潛水艦 發射 誘導彈(SLBM)과 같은 超長距離 慣性誘導體系를 갖는 武器體系들에 있어 航路上의 磁場이나 重力의 正確한 算出은 航法の 正確性에 매우 重要的인 영향을 미치게 된다. 이를 위해 이들 武器體系는 Gradiometer라는 裝備를 장착하게 되는데 이 역시 兪급한 확장된 地形資料의 영역에서 算出되는 各種 地形力學的 資料들을 이용하는 裝備이다.

長距離 誘導彈 外에도 早期警報機(AWACS), 重爆擊機 B-52, 對潛哨戒機P-3 등이 그 임무의 수준에 따라 컴퓨터 內藏型 地形資料를 利用하여 航法統制를 실시하고 있다.

航空武器 外에 水上艦艇에서도 電算化된 地形資料가 活用되고 있는데 이는 주로 超高速艇의 安全運航과 관련되어 있다. 즉 航體에 搭載된 레이더로부터 運航中 받게 되는 畵像을 實時間으로 處理 分析되는 電算 地形資料

와 對照하여 海岸線 形態를 식별함으로써 高速下에서 수동적으로는 判斷하기 어려운 航路上의 衝突可能地域 判斷을 짧은 時間內에 식별할 수 있게 하여 안전성 제고에 기여한다. 이러한 方法으로 地形資料를 應用한 裝置는 水上衝突 防止裝置(Hydrofoil collision and Tracking System)로 불리며 동시에 약 45 개까지의 주변 接觸 可能物體와의 衝突 回避 經路를 계산할 수 있게 되어 있다.

(3) 部隊展開時 指揮官의 意思決定 資料

地上軍의 指揮官은 部隊展開時 展開對象 地域의 地勢나 土壤形態에 대해 관심을 갖지 않을 수 없으며 또한 自然的 地形 이외에도 對象地域內의 人造建築物의 特性(예를 들면 戰車가 通過 可能한 橋脚인가 하는 것 등)을 파악할 必要性이 있다. 이러한 구체적 地形情報은 現在의 平面地圖 分析만으로는 不可能하며 특히 現代전에서 처럼 部隊의 展開速度가 신속성을 요하고 作戰地域이 광범위한 때는 재래식 蒐集情報에 의존하여 意思決定을 하기가 매우 어렵다.

(4) 模擬裝備(simulator)에의 應用

地形資料의 活用性이 가장 큰 分野中의 하나는 模型 高速 航空機의 模擬裝備에의 應用이다. B-1B, B-15E, F-15E 등 航空機의 模擬訓練裝備는 적절한 地形資料를 活用함으로써 運航時 연료의 절약과 조종사의 안전성 제고 등을 모색하여 성공을 거두고 있다. 특히 위험도가 높아 실제 訓練을 하기 어려운 超低高度 飛行訓練 등을 地上 模擬訓練裝備에

아 前面에 展示되는 地形畫像으로 訓練함으로써 얻는 성과는 대단한 것이다. 왜냐하면 전투기에 있어 이러한 訓練은 戰時 적의 對空 레이다나 對空 誘導彈의 追跡을 피해 超低高度의 飛行을 할 수 있는 역량을 키울 수 있는 方法中의 하나가 되기 때문이다.

(5) 컴퓨터 war-game 模型에의 活用 解像도가 높은 聯隊나 大隊級 訓練用 컴퓨터 war-game들은 그 目的上 상당히 구체적인 地形 data들을 요구한다. 특히 최근에는 graphic system 위주의 訓練用 컴퓨터 war-game들을 창출해 내고 있으며, 이러한 形態의 war-game은 高度로 精密度가 높은 地形資料를 使用하게 되며 實際狀況을 여러 地域에서 模擬하기 위해서는 다량의 地形 data를 총괄적으로 사전에 준비하여야 하고 따라서 地形資料 자체의 電算 data base가 活用될 수 밖에 없다.

라. 研究의 目的

數値地形資料는 앞에서도 살펴본 바와 같이 軍事的으로도 여러 분야에서 그 活用도가 점점 增大되고 있어서 軍事的인 戰略 樹立과

作戰 展開에 있어서 필수적으로 考慮되고 있는 實情이다. 특히 意思決定權者가 地形與件을 신속히 반영할 수 있도록 計量化 情報를 효율적으로 精確하게 導出/傳達하여야 한다.

이를 위하여 본 研究에서는 Computer Graphics의 여러 技法을 適用하여 數値地形資料를 3次元的으로 畫面(Graphic Monitor)에 示顯하고 地形與件을 分析/導出한 諸情報를 出力시켜 주는 S/W를 開發하였다.

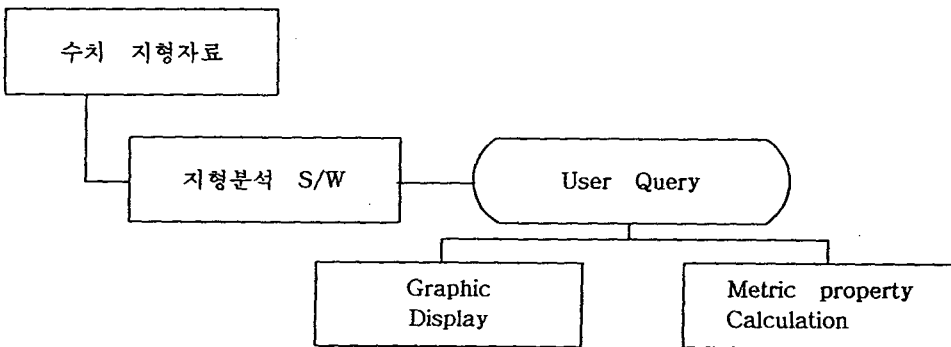
2. 地形分析 S/W의 構成 및 機能

가. 地形與件 分析 S/W의 構成圖 및 環境

前述한 바와 같이, 地形資料의 活用分野에 대한 要求度를 반영하여 開發하고자 하는 數値 地形資料 分析 S/W의 構成圖는 다음의 그림과 같다. 특히 使用의 汎用성과 容易성을 지녀야 하기 때문에 視覺的으로 큰효과를 줄 수 있도록 Computer Graphics의 여러 技法들을 適用하며, 現在 널리 補給되어 있는 IBM-PC 상위 기종급에서 운용되도록 하였다.

나. 主要 開發內容 및 活用度

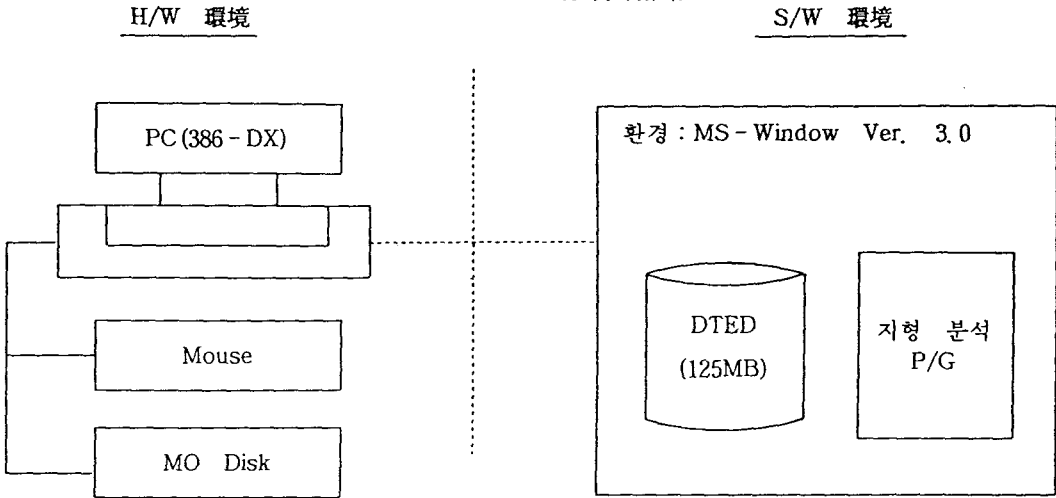
① 주어진 地域의 地形(elevation data)을



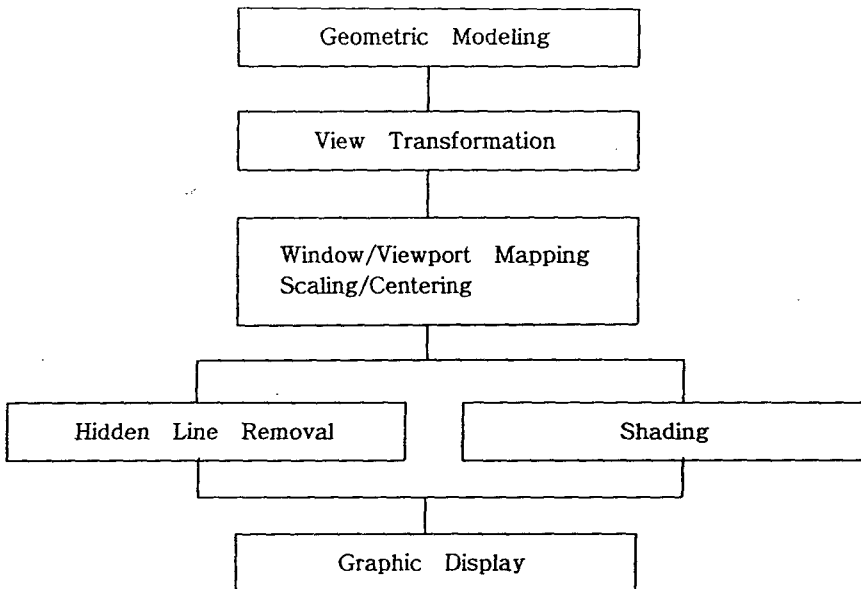
<그림-1> 지형분석 S/W의 구성도

위의 各 節次중에서 View Transformation과 Window/Viewport mapping은 컴퓨터 그래픽스의 技法을 適用하면 되며, 形狀모델

링에 있어서는 Z-map data의 特性上 많은 양의 地形資料의 效率的 示顯을 위해서 各 格子點을 line drawing으로 連結하여 曲面을 形成하였다.



<그림-3> H/W 및 S/W의 환경



<그림-4> 지형곡면 시현 절차

라. 3次元 示顯 알고리즘

(1) 3D Graphic display

1) Window/Viewport Mapping

① 주요단계

- translate to origin : (X_{cw}, y_{cw})

→ $(0, 0)$ by T_1

- scale down (window → viewport) : $S_x = \Delta_v / \Delta_w$, $S_y = \Delta_v / \Delta_w$

- translate to viewport : $(0, 0)$

→ (x_{cv}, y_{cv}) by T_2

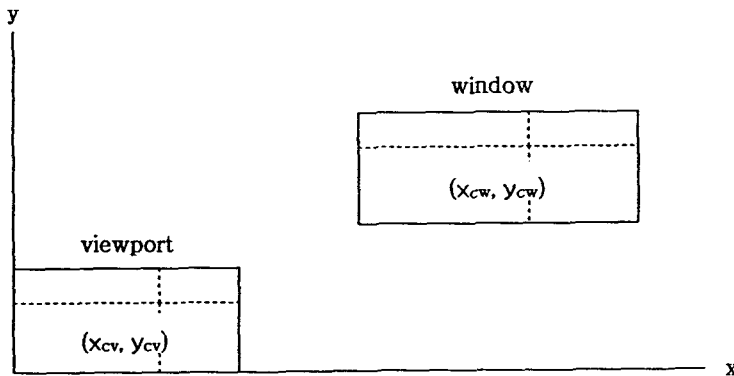
$$② \quad T_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -x_{cw} & -y_{cw} & 1 \end{bmatrix}$$

$$S = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ x_{cv} & y_{cv} & 1 \end{bmatrix}$$

③ window/viewport mapping (for all points)

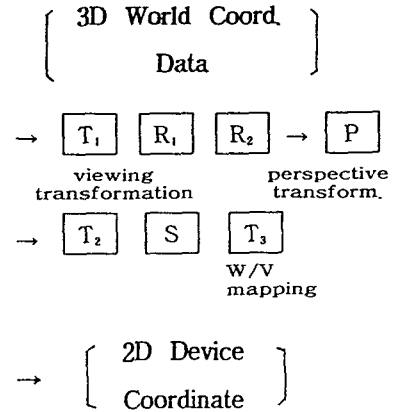
$$(x', y', 1) = (x, y, 1) T_1 S T_2$$



<그림-5> Window 및 화면 좌표계

2) Viewing transformation

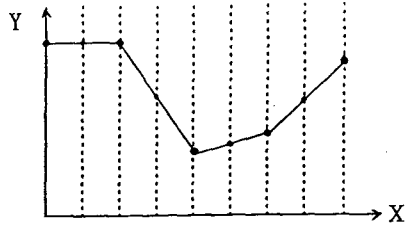
3) 3D plotting 과정



(2) 隱線除去 (Hidden Line Removal)

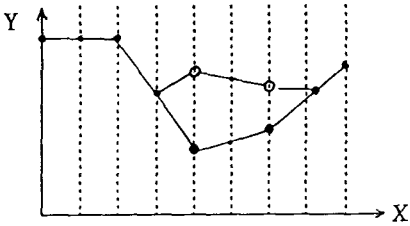
本 研究에서는 Floating Horizontal 알고리즘²⁾을 利用하여 觀測者 位置에서 볼 수 있는 line들 만을 그리고 高度別로 색깔을 달리하여 立體性을 強調하여 示顯하였다. <그림-6> 과 같이 使用하는 컴퓨터 모니터의 가로 方向의 해상도 만큼의 element를 갖는 MaxY() 를 가지고 그려야 할 두 점 $(X1, Y1)$, $(X2,$

2) David F. Rogers, *Procedural Elements for Computer Graphics*, McGraw-Hill, 1988, pp. 191-204.

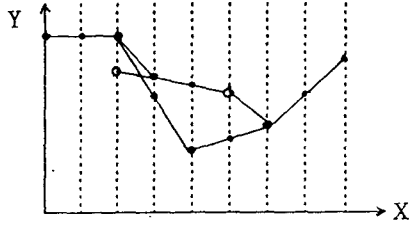


(a) 기존의 MaxY(x) 값들

- 기존의 입력된 MaxY(x)
- 새로 입력된 점
- & · MaxY(x)들간에 구해진 MaxY(x)

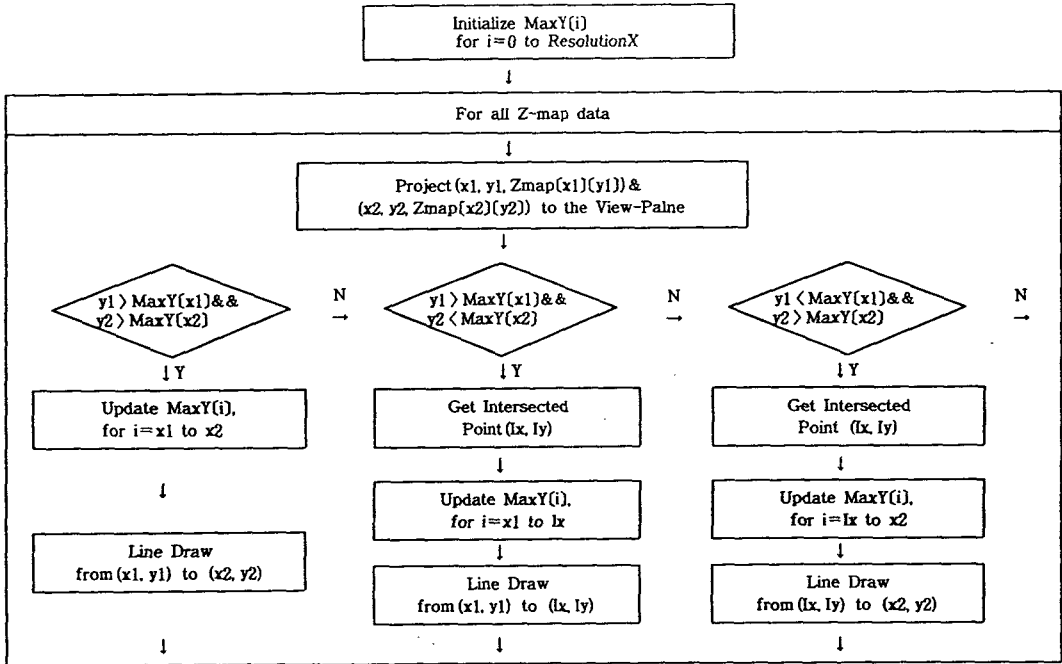


(b) 두 점 모두 MaxY(x)보다 큰 경우



(c) 한 점만 MaxY(x)보다 큰 경우

<그림-6> 은선제거의 기본원리



<그림-7> 은선제거 알고리즘의 흐름도

Y2)이 觀測者의 눈에 보이는가를 點檢하여 MaxY()를 修正해 가면서 line을 그리게 된다.

可視性 檢査는 畫面에 投影된 (x, y)가 있을 때 y > MaxY(x)이면 보이는 점으로 判斷하여 MaxY(x)를 update시키고 y를 畫面에 表示하게 된다. <그림-7>는 "Floating Horizontal 알고리즘"의 흐름도이다.

(3) SHADING

앞에서 언급한 隱線除去 技法을 이용한 示顯이 高度別로 相異한 색깔을 利用하여 立體地圖와 같은 效果를 얻는다면, Shading을 통한 地形資料의 示顯은 實際 事物 그대로를 보여준다 하겠다. 또한 地形資料의 特性이 觀測者로부터 멀리 떨어진 곳부터 x와 y 成分을 增加 또는 減少시켜 나가며 그려오면, 自然의 으로 隱線除去가 具顯되어 別途의 sorting 알고리즘이 必要없게 된다. <그림-8>과 <식-1>

은 Shading 關係式"을 보여주고 있으며, <그림-9>는 Shading 알고리즘의 흐름도를 나타낸다.

$$I = I_a K_a + \frac{I_l}{d + k} (K_d \cos(a) + K_s \cos^2(b)) \dots\dots\dots \langle \text{식 -1} \rangle$$

I_a : ambient light intensity

K_a : ambient diffuse reflection constant

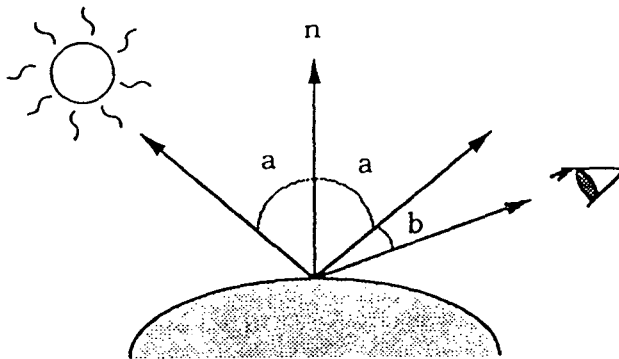
I_l : light source intensity constant

K_d : diffuse reflection constant

K_s : aesthetically or experimentally determined constant

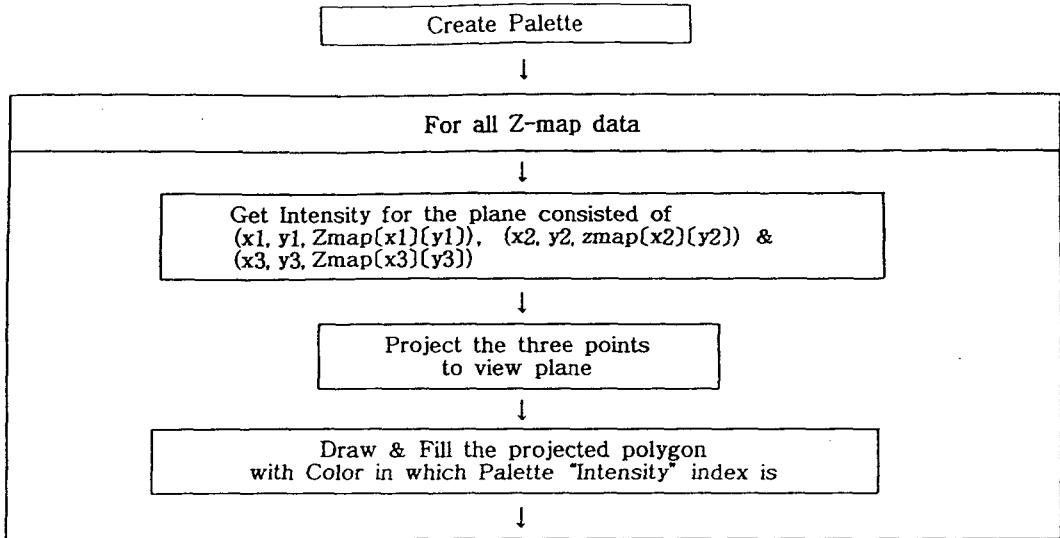
K : arbitrary constant

2. 傾斜圖 및 斷面圖 算出
가. 高度 分析



<그림-8> Shading에 고려된 요소

3) Foley, J. D., *Fundamentals of Interactive Computer Graphics*, Addison-Wesley, 1982, pp. 575-592.



〈그림-9〉 Shading 알고리즘 흐름도

주어진 作戰地域에서의 高度分析은 다음과 같은 出力結果를 얻도록 하였다.

○ 平均 海拔高度 算出

平均海拔高度 = altitude-summation /
number of entry data points

○ 高度 分布 算出

① 100m 間隔으로 入力情報를 區分하여,

各 區間別 高度 갯수를 count

② 各 區間別 高度分布 = 各 區間別 高度

갯수 / num of entry data points

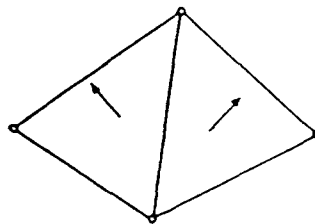
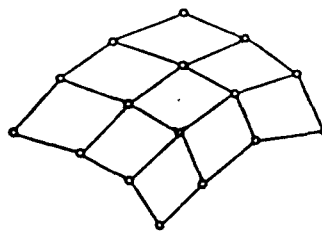
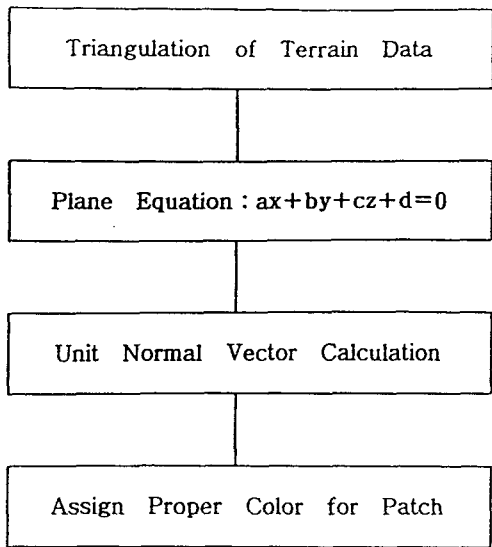
나. 傾斜圖 算出

주어진 地域에서의 地上武器體系의 機動可能性을 判斷하기 위해서는 傾斜圖 (gradient) 를 把握해야 하므로 本 研究에서는 曲面 모델링 (surface modeling) 에서의 Triangulation 을 利用하여 傾斜圖를 算出하는 P/G을 開發하였다. 地形資料는 格子形의 構造를 갖기 때문에 4개의 頂點데이터를 利用하여 바로 平面을

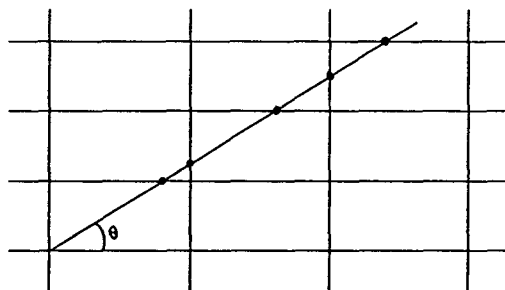
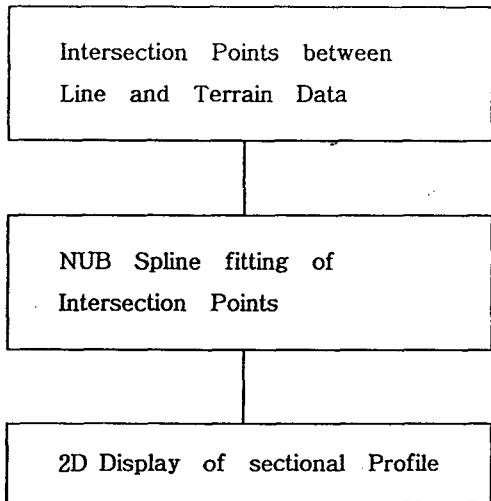
形成할 수 없기 때문에 이를 2개의 3각형 曲面要素 (patch) 로 分割하여 이로부터 各 曲面要素에 該當하는 法線벡터 (normal vector) 를 구하고 이 벡터의 기울기를 구하여 傾斜圖를 算出하였다. 主要 節次는 〈그림-10〉과 같다.

다. 斷面圖 算出

주어진 地域에서의 斷面圖 算出은 두 地點 사이의 直線線分에 대한 斷面曲線을 구하여 示顯하는 方法으로 算出된다. 먼저 〈그림-11〉에서 보는 바와 같이 두 점에 의해서 選擇된 直線 線分과 格子形으로 되어 있는 地形資料와의 交點을 구한다. 이 點열 (point sequence) 은 一定間隔을 갖고 있지 않고, 各점에서의 標高 또한 變化의 幅이 클 수도 있기 때문에 點間 間隔을 補整하면서 보간 (interpolation) 해주는 Non-Uniform B (NUB)-Spline 방식을 적용하여 示顯해준다.



<그림-10> 특정지역내에서의 경사도 산출방법



<그림-11> 특정지역내에서의 단면도 산출방법

III. 結論

數值地形資料는 土木, 建築 등의 非 軍事的分野뿐만 아니라 前述한 바와 같이 可視線分析, 航法統制分野, 部隊展開分析, 模擬裝備(simulator)分野, war-game, 砲兵武器體系 및 機動裝備(戰車, 戰鬪車輛 등)의 活用度 評價分野 등의 여러 분야에서 그 活用度가 漸次 增大되고 있으며, 向後 다른 軍事의 分野에서도 그 有用성이 強調되어 가고 있는 實情이다.

특히 大容量 高速裝備의 尖端化(小型化, 輕量化)와 더불어 Computer Graphics 및 Computer Aided Geometric Modeling의 學問的 發展으로 인해 數值地形資料의 活用度 增加가 크게 期待되고 있다. 우리 軍에서도

DMA의 資料協助와 軍 關聯機關의 關心으로 인해 몇개의 研究가 進行되고 있으며, KIST 및 일부 機關에서 高精度의 DTM 資料 構築에 많은 노력을 하고 있다. 앞으로 軍內의 電算化 裝備의 擴大普及과 함께 이 분야에 대한 좋은 研究結果가 導出될 것이라고 判斷된다.

本 研究에서는 戰場環境(地形與件)分析資料를 導出하고 이를 Computer 畫面上에 示顯하여 作戰指揮官으로 하여금 迅速하고 正確한 意思決定을 내릴 수 있도록 하기 위하여 數值地形資料 分析 S/W를 開發하였다. 本 S/W를 利用하여 주어진 作戰地域 觀察, 機動路 判斷등의 作戰時 必須的인 情報를 提供해줌으로써 作戰樹立 및 展開時 매우 有用할 것으로 期待된다.

參 考 文 獻

1. 한국과학기술원, 국토자원관리를 위한 통합지리정보 시스템의 개발, 1989
2. 한국과학기술원, 지형자료를 이용한 특정포착도 작성에 관한 연구, 1985
3. 한국국방연구원, 120mm 박격포 개발의 필요성 연구, 1990
4. Enderle, G., *Advances in Computer Graphics*, Mc-Graw Hill, 1986
5. Farin, *Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design*, John Wiley & Sons, 1989
6. Faux, I.D. and Pratt, M.I., *Computational Geometry for Design and Manufacture*, Ellis Horwood Limited, 1979
7. MicroSoft, *MS-Windows SDK manual*, 1991
8. MicroSoft, *MS-C V. 6.0 manual*, 1991
9. Morteson, M. E., *Geometric Modeling*, John wiley & Sons, 1987
10. Rogers, D. F., *Mathematical Elements for Computer Graphics*, Mc-Graw Hill, 1976
11. Wozny, M. J., *Geometric Modeling for CAD Applications*, Elsevier, 1987