

SPOT 위성영상을 이용한 3차원 그래픽 화일 생성연구

A Study on the Generation of 3 Dimensional Graphic Files Using SPOT Imagery

조 봉 환*
Cho, Bong-Whan

이 용 웅*
Lee, Yong-Woong

박 완 용**
Park, Wan-Yong

要 旨

SPOT 위성영상은 궤도의 안정성, 높은 공간해상력 및 적절한 기선대 고도비등을 제공하며 사각 촬영으로 얻어진 위성영상으로부터 3차원 지형정보를 추출할 수 있는 계기를 가져다 주었다. 본 연구에서는 SPOT 입체 위성영상을 이용하여 3차원 지형지물의 특징자료를 추출하고, 이 자료를 이용하여 지형과 지물에 대한 3차원 그래픽 자료를 생성하는 기법과 지형정보의 3차원 그래픽 화일을 컴퓨터상에서 자동생성하고 도시하는 기법을 연구하였다.

ABSTRACT

Using SPOT satellite imagery, 3 dimensional geographic information can be obtained from SPOT's oblique viewing image. Especially, SPOT provides high spatial resolution, adequate base/height ratio and stable orbit characteristics. In this paper, 3D terrain features were extracted using SPOT stereo image and also the techniques for generation of 3D graphic data were developed for the extracted terrain features. We developed computer programs to generate automatically 3D graphic files and to display geographic information on the computer screen. The results of this study may be effectively utilized for the development of 3D geographic information using satellite images.

1. 서 론

수치지형표고모델과 더불어 입체위성영상으로부터 생성할 수 있는 자료로는 도로, 하천, 가옥 등과 같은 지형지물에 대한 3차원 위치자료이다. 이 같은 지형지물자료는 지도제작에 이용될 뿐만 아니라 정사영상(ortho-image), 수치지형표고자료와 함께 지형의 형태를 재현할 경우 필수적인 요소로 활용된다. 특히 항공기의 임무지원 시뮬레이션, 지상차량의 기동 시뮬레이션, 가시영역 판단, 그래픽 3차원 원근도 제작 등과 같은 분야를 비롯하여 그 활용분야는 매우 다양하다.¹⁾

기존의 컴퓨터매핑시스템을 사용한 지형 지물의 위치 결정은 지도의 2차원적인 특성으로 인하여 대부분 2차원 활용에 국한되고 있으며, 지형지물자료의 3차원적 활용에 필수적인 3차원 구조화와 그래픽화일 제작에 관한 연구는 미진한 상태이다. 따라서 수치지형표고모델 생성과 3차원 지형지물자료 생성, 그리고 이들을 실제 응용분야에서 활용할 수 있도록 그래픽 구조화와 그래픽 프로그램에 관한 연구가 요구된다.

본 연구에서는 1987년 11월에 촬영된 SPOT 입체영상을 기준영상으로 사용하여, 3중 입체영상 분석 연

* 정회원, 국방과학연구소 선임연구원

** 정회원, 국방과학연구소 연구원

구²에서 실험된 지상기준점(ground control point) 자료와 외부표정요소(exterior orientation parameter)를 이용하여 스테레오 매칭 기법에 의해 수치지형표고모델을 10m 격자간격으로 생성하였다. 지형지물의 3차원 위치자료는 입체 해석도화기를 이용하여 취득하였고, 취득된 자료는 AutoCAD를 이용하여 위치편집 및 구조화편집을 수행하였다. 이 과정에서 벡터자료의 화일형식으로는 ASCII DXF(Drawing Exchange File Format)를 사용하였다.

구조화된 지형지물자료는 3차원 그래픽화일을 생성하기 위하여 컴퓨터 프로그램에 의해 고유의 그래픽 자료구조로 변환하였고, 자료구조화된 지형지물자료로부터 3차원 그래픽 화일을 생성하였다. 생성된 3차원 그래픽 화일을 이용하여 그래픽 워크스테이션 상에서 그래픽 디스플레이 프로그램을 구현하였고, 마지막으로 최근의 컴퓨터 성능과 비교하여 3차원 그래픽 생성의 활용가능성을 보였다.

2. 그래픽 자료 획득

2.1 수치지형표고모델 생성 프로그램

영상자료로부터 3차원 정보를 획득하기 위해서는 동일지역을 서로 다른 각도로 촬영한 두 개 이상의 입체영상이 필요하다. 본 연구에서는 상업위성으로서 사각촬영능력을 보유한 프랑스 SPOT 위성영상을 기준영상으로 사용하였으며 영상특성은 표 2.1 과 같다.

SPOT 입체영상을 이용한 수치지형표고모델 생성기법²⁾을 이용하여 이를 자동생성하는 프로그램을 그래픽 워크스테이션상에서 FORTRAN, C, C++ 언어로 구현하였으며 영상과 수치지형의 그래픽 디스플레이를 위해 IRIS GL 그래픽 라이브러리를 사용하였다. 전체 프로그램 구성도는 그림 2.1과 같으며, 이들 프로그램을 통해 자동생성된 수치지형표고모델을 수치지형표고자료로 활용하였고, 실험지역에 대한 수치지형표고모델은 그림 2.2 와 같다.

표 2.1 SPOT 입체영상 특성

구분	좌측영상	우측영상
G.R.S	305-277	305-277
영상 위도	036° 22' 02"	036° 22' 02"
중심좌표 경도	127° 25' 41"	127° 25' 08"
촬영경사각	L05.6°	R26.2°
촬영일자	1987.11.29	1987.11.30
위성체계	SPOT-1	SPOT-1
센서형태	HRV-2	HRV-1
영상종류	Panchromatic	Panchromatic
Line 수	6,000	6,000
Pixel 수	6,000	6,000
전처리 수준	1A	1A

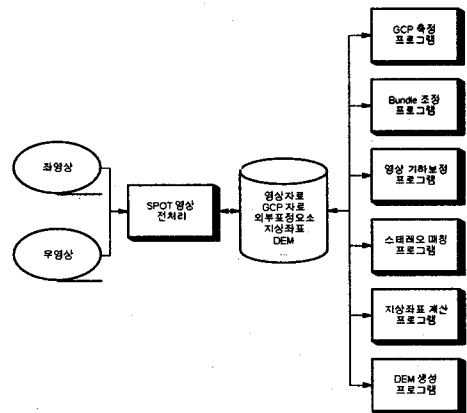


그림 2.1 DEM 생성 프로그램구성도

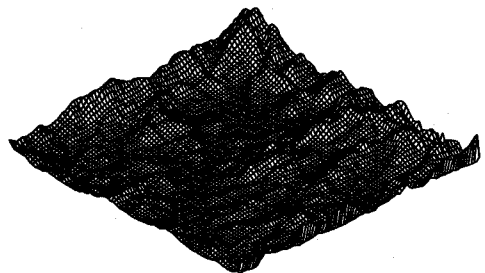


그림 2.2 실험지역의 수치지형표고모델

2.2 지형지물자료와 자료변환

입체영상을 이용할 경우 두 영상의 시차를 이용한 입체시(stereoscopic view)를 통하여 영상 상의 지형지물을 3차원 입체로 판독할 수 있으므로 입체화된 지형지물의 3차원 좌표를 획득할 수 있다.^{3),4)}

추출된 지형지물의 구조는 자료특성에 따라 Line, Polyline, Symbol 로 분류하였고, 3차원 좌표를 위해 사용된 좌표체계는 UTM이다. 취득된 지형지물을 각각 특성에 따라 고유의 layer로 분류하였고 원시자료의 layer 별 해당 지형지물은 표 2.2와 같으며 실험지역에 대해 추출된 지형지물의 각 layer를 통합하여 도시하면 그림 2.3과 같다.

표 2.2 Layer 별 지형지물

Layer	지형지물
0111	도로
0211	하천
2211	콘크리트
2215	제방
3111	큰건물
3112	단독주택
3113	일반건물
5111	지류경계
5211	논
5213	과수원
5232	침엽수
6116	암거
7322	심불가옥

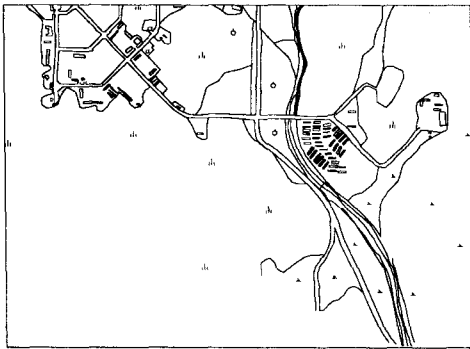


그림 2.3 통합도시한 지형지물 자료

해석도화 시스템 PHOCUS Planicomp P2로 취득된 3차원 지형지물자료를 일차적으로 PHOCUS 고유의 자료 형식인 PHODAT 형식의 파일로 저장한 후 이를 자료호환을 위하여 Autodesk사의 DXF 벡터 형식으로 변환하여 모든 지형지물자료를 처리하였다. 전체적인 지형지물자료의 자료 변환과정은 그림 2.4와 같다.

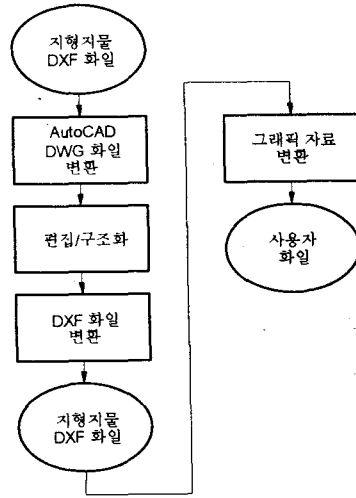


그림 2.4 DXF 자료변환 과정

3. 그래픽 자료 생성

3.1 3차원 정위치 편집

해석도화기에서 취득된 지형지물의 3차원 위치자료는 지형지물의 특성과는 상관없이 일반적으로 3차원 point 또는 polyline으로 자료구조가 형성된다. 따라서 자연지물이나 인공지물의 모든 형태를 반영하기에 부족하고, 기준영상의 해상력에 따라 취득된 지형지물의 형태나 정확도가 좌우되며, 여러가지 오차요인으로 인하여 일차 취득된 지형지물자료는 구조화 작업에 들어가기 전에 취득된 자료가 정확한 위치에 놓이도록 하는 정위치(正位置) 편집이 필수적이다.⁵⁾ 정위치 편집은 지형지물의 3차원 위치에 대한 좌표값의 수정, 추가, 삭제 등의 작업을 지칭하는 것으로써, 자동화된 도구를 사용하는 것이 속도와 정확도 면에서 효과적이다. 편집작업의 종류로는 점, 선, 기호 등의 위치조정, 좌표 첨가 및 삭제, 직각조정, 시작점과 끝점처리 등을 들 수 있다. 특히 대부분의 자료가 3차원 polyline 형태로 취득된 지형지물자료는 AutoCAD의 2D/3D polyline 편집기능인 PEDIT 명령을 사용하여

대부분의 편집처리가 가능하므로 PEDIT 명령을 중심으로 3차원 지형지물자료의 정위치 편집을 수행하였다.

정위치편집은 취득된 자료의 형태가 point, line, 또는 polyline의 형태를 취하고는 있지만 실제로 중요한 것은 각 정점의 3차원 위치좌표이다. 따라서 각각의 자료에서 정점의 위치좌표를 추출한 후 이를 기반으로 3차원 지형지물의 형상을 구조화하게 된다. 본 연구에서는 DXF 화일 변환 프로그램을 개발하여 line 또는 polyline 형태의 자료구조를 point 형태의 자료구조로 변화하였으며, 구조화 편집시 이를 기존의 자료와 중첩도시하므로써 정점의 위치를 확인할 수 있도록 하여 정확한 편집작업이 가능하도록 하였다.

3.2 3차원 구조화 편집

구조화(構造化)편집이란 데이터간의 위상관계를 파악하기 위하여 정위치 편집된 지형지물자료를 기하학적인 형태로 재구성하는 것으로서 3차원 지형지물자료에서 구조화편집시 도로, 하천, 지류경계 등과 같이 선형특성을 갖는 자료는 각 자료의 특성에 따라 독립된 polyline으로 구조화되며, 건물, 가옥 등과 같이 구조적 특성을 갖는 자료는 polygon 또는 polyface 형태로 구조화 된다. 또한 작은 독립건물 등과 같이 하나의 point 형태로 취득된 자료나, 아파트 건물과 같이 polyline 형태로 취득된 자료지만 여러개가 동일한 형태의 구조적 특성을 갖는 자료들은 polyline 또는 polygon으로 구조화된 후 이를 하나의 block으로 정의하여 독립된 객체로 취급한다.

선형의 특징을 갖는 도로, 하천, 지류경계 등의 구조화 편집은 각각의 특성을 선형구조로 분리한후 line 또는 polyline 형태로 취득된 3차원 자료를 vertex 형태로 변환하고 이들 vertex를 기준위치로 하여 자료를 구조화한다. 이와같은 도로, 하천, 지류경계 등과 같은 선형구조를 구조화 편집을 할 경우 AutoCAD의 3DPOLY 명령을 사용하여 3차원 polyline 구조를 생성할 수 있다.

한편 구조적 특징을 갖는 건물, 가옥 등과 같은 경

우에는 실제 건물의 다면체 구조와는 상관없이 구조물의 각 모서리들의 좌표를 연속적으로 획득하는 방법을 사용하므로 구조화편집을 통하여 polyline 형태의 자료를 polygon 또는 polyface 형태의 자료로 변환하여 주어야 한다. 그림 3.1은 3차원 구조를 갖는 건물에 대한 좌표측정 결과이며 그림에서와 같이 획득된 자료는 건물의 윗 부분과 아랫 부분 각각에 대한 3차원 좌표값을 나타내는 연속적인 3차원 polyline의 형태를 갖게된다.

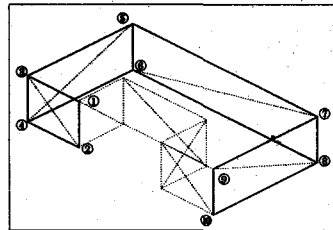


그림 3.1 3차원 구조물의 좌표측정

디지털이징을 통해 획득한 건물에 대한 3차원 자료는 하나의 polyline이지만 일반적으로 건물은 여러개의 평면으로 구성된 다면체의 객체로 정의된다. 따라서 polyline의 각 정점의 위치를 기준으로 polygon을 형성하여 다면체의 건물구조를 생성한다. AutoCAD에서는 여러 평면에 의해 하나의 다면체를 형성하기 위하여 사용할 수 있는 polyface mesh 명령인 PFACE 를 사용할 수 있다. 그림 3.1의 건물구조를 PFACE 명령을 사용하여 구조화하는 방법은 그림 3.2와 같다.

Command: osnap	Face 1, vertex 1: 1
Object snap modes: nod	Face 1, vertex 2: 3
	Face 1, vertex 3: 4
	Face 1, vertex 4: 2
Command: pface	Face 1, vertex 5: 5
Vertex 1: ①의 좌표	Face 2, vertex 1: 3
Vertex 2: ②의 좌표	Face 2, vertex 2: 5
Vertex 3: ③의 좌표	Face 2, vertex 3: 6
Vertex 4: ④의 좌표	Face 2, vertex 4: 4
Vertex 5: ⑤의 좌표	Face 2, vertex 5: 5
Vertex 6: ⑥의 좌표	
Vertex 7: ⑦의 좌표	Face 4, vertex 1: 7
Vertex 8: ⑧의 좌표	Face 4, vertex 2: 9
Vertex 9: ⑨의 좌표	Face 4, vertex 3: 10
Vertex 10: ⑩의 좌표	Face 4, vertex 4: 8
Vertex 11:	Face 4, vertex 5: 5
→ continue	Face 5, vertex 1:

그림 3.2 PFACE 를 이용한 구조화 명령

위의 명령을 실행하면 그림 3.1은 그림 3.3과 같은 네개의 polygon으로 구성된 다면체를 생성한다. polygon 구조화에서 주의하여야 할 점은 반드시 polygon 생성순서는 반시계방향으로 하고, 가능하면 convex polygon 형태로 구조화를 하여야 한다는 것이다.

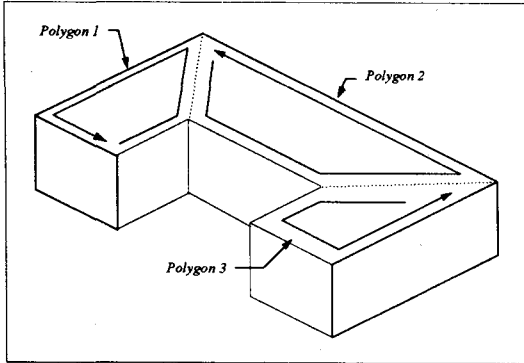


그림 3.3 Polygon 구조화

block 구조화 작업에서는 영상의 공간해상력으로 인해 정확한 형태를 기준영상 상에서 확인할 수는 없으나 판독은 가능한 독립가옥과 같이 작은 지형지물의 경우 3차원 위치만이 point 형태로 취득되므로 그 형태를 알 수 없으나 일반적인 구조를 정의하여 하나의 기호와 같이 사용한다. 즉 일반적인 구조를 하나의 블록으로 정의하여 취득된 각각의 위치에 정의된 블록을 삽입하여 구조화한다. 이와 같이 블록으로 정의할 수 있는 지형지물로는 아파트 단지와 같이 동일한 형태의 지형지물이 위치와 방향만 틀릴 뿐 연속적으로 나타나는 것들이다. 이 경우 영상상에서 취득된 3차원 자료를 이용하여 하나의 건물을 구조화한 후 이를 기준 블록으로 정의하여 각각에 대해서는 위치와 방향만을 지정하여 블록을 삽입하므로써 쉽게 전체를 구조화할 수 있다. 그림 3.4는 기준블럭과 이를 반복 삽입하여 지형지물을 구조화한 결과를 보여주고 있다.

블럭의 사용으로 반복되는 그래픽 요소를 하나의 심볼과 같이 처리하므로써 컴퓨터 상에서 처리시 기억공간과 처리시간을 단축시킬 수 있고, 전체적인 그래픽 구조를 단순화하여 나타낼 수 있게 한다. 따라서 다양한 지형지물에 대한 블럭화와 데이터베이스화는

그래픽 화일의 생성시간을 단축시키고 자료의 호환성을 증대시킬 수 있다.

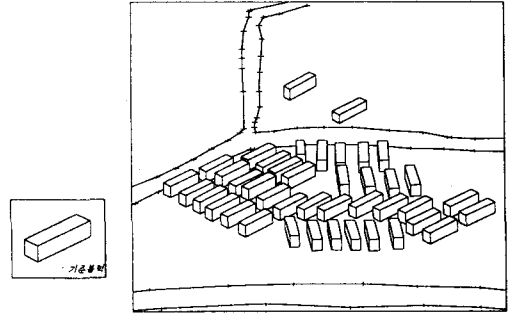


그림 3.4 기준블럭과 블럭구조화

3.3 그래픽 자료 생성

편집작업이 완료된 지형지물자료를 DWG 형식에서 DXF 형식으로 변환하여 그래픽 자료를 생성하기 위한 기준자료로 사용하였으며, layer 이름, polyline 구조, closed polyline 구조, polyface 구조, block 등 과 같은 지형지물자료요소에 대한 처리를 통하여 그래픽 자료를 생성하였다. DWG 화일을 DXF로 변환하였을 경우 layer에 대한 정보는 TABLE section에 기록된다. TABLE section에서 layer의 정의는 정해진 순서에 의해 각각의 layer에 대한 정보가 반복하여 기록되며 표 3.1은 TABLE section에서 layer 정보가 기록되는 형식을 나타낸다.

표 3.1 Layer 이름의 DXF형식

Line#	Group Code	Group Value	설명
n	0	TABLE	
n+2	2	LAYER	
n+4	70	66	
n+6	0	LAYER	Layer 1
n+8	2	Layer name	Layer 이름
n+10	70	65	
n+12	62	Color #	ex)3
n+14	6	Line type	ex)CONTINUOUS
n+16	0	LAYER	Layer 2
:	:	:	
n+m	0	ENDTAB	

표 3.1에서와 같이 각각의 layer는 line (n+6) ~ (n+14)와 같은 형식이 반복되므로 예약어 ENDTAB을 만날 때까지 루프(loop)를 수행하여 모든 layer 이름을 추출할 수 있다. layer 이름에 대한 처리결과는 layer 이름들의 리스트이고, 모든 그래픽 요소에 대한 처리에서 기준자료로 사용된다. 표 3.2는 polyline 구조를 갖는 그래픽 요소들에 대한 DXF 화일 형식이며 그림 3.5는 자료추출 흐름도이다.

표 3.2 Polyline 구조의 DXF 형식

Line#	Group Code	Group Value	설명
n	0	POLYLINE	
n+2	8	Layer name	Layer 이름
n+4	66	1	Always
n+6	10	0.0	Ignore
n+8	20	0.0	Ignore
n+10	30	z-evaluation	z축의 기본높이
n+12	70	8	Code for 3D polyline
n+14	0	VERTEX	Vertex1
n+16	8	Layer name	Layer 이름
n+18	10	x	x 좌표
n+20	20	y	y 좌표
n+22	30	z	z 좌표
n+24	70	32	Code 3D polyline vertex
n+26	0	VERTEX	Vertex2
⋮	⋮	⋮	
n+m	8	Layer name	

이와 유사한 방법을 사용하여 기타의 지형지물 요소에 대한 그래픽 자료를 생성할 수 있게 된다.

4. 그래픽 화일 생성

일반적으로 그래픽 자료를 디스플레이하는 방법으로는 그래픽 요소의 각 정점과 정점을 선으로 연결한 후 이를 디스플레이하는 wireframe이 많이 쓰이고 있지만 모든 그림들이 선으로 구성되므로 일반적으로 복잡한 그림의 경우 이해하기가 어렵고, 실제로 은선(hidden line)을 제거하여 보다 이해하기가 쉬운 형태로 나타낸다 하더라도 3차원 면(three dimensional surface)으로 형성되어 있는 실세계를 표현하기는 불가능한 단점이 있다. 이와 같은 wireframe의 문제점은 3차원 모델의 모든 표면을 특정 색상으로 처리하고, 빛에 의해 물체의 윤곽이 구별되는 현실 세계와 같이 모든 표면에 대하여 음영처리(shading)를 하여 실세계와 유사한 형태로 3차원 모델을 생성하므로써 극복할 수 있다.⁶⁾ 이를 위하여 광원처리(light modeling), 음영처리(shading), 색상처리(coloring), texture 매핑(texture mapping)과 같은 그래픽 속성에 대한 처리가 필요하다.

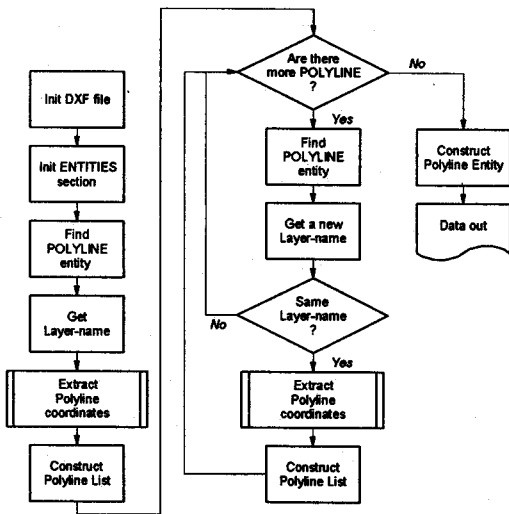


그림 3.5 Polyline 자료추출 흐름도

4.1 그래픽 속성 모델링

광원과 물체간의 기하학적인 관계를 결정하는 가장 중요한 요소는 물체를 형성하는 각 평면 또는 정점과 광원과의 방향을 결정하는 normal vector이다.⁷⁾ 본 연구에서는 normal vector 계산을 크게 수치지형표고자료와 3차원 지형지물 자료로 나누어 처리하였다. 수치지형표고자료는 연속적인 지표의 형태를 나타내는 자료로 그래픽 처리 후 지표면의 형태가 연속적으로 표현되어야 한다. 따라서 수치지형표고자료는 모든 정점을 기준으로 normal vector의 계산이 이루어져야 한다. 수치지형표고자료에 대한 normal vector는 4개의 인접한 정점의 표고값을 이용하여 중심정점의 vertex normal vector를 계산한다. 한편 3차원 지형지물 자료의 경우는 하나의 평면을 이루는 정점들의 좌

표값을 이용하여 평면에 대한 normal vector인 surface normal vector를 이용한다. 구해진 vertex normal vector 또는 surface normal vector n 과 임의의 광원에 대한 벡터 l 과의 기하학적 관계는 두 벡터에 대한 dot product의 결과를 통해 알 수 있다. 지형지물에 대한 normal vector와 광원의 방향이 주어지면 광원과 지형지물과의 기하학적인 관계를 정의할 수 있다. 이와 같은 관계는 음영처리와 색상처리에 중요한 요인으로 작용한다.

지형지물과 광원과의 기하학적인 관계가 정의되면 광원으로부터 방사되는 빛의 영향으로 형성되는 물체의 음영값(shading value)을 결정할 수 있다.⁸⁾ 일반적으로 컴퓨터 상에서 처리할 수 있는 밝기의 정도(gray level)는 2^8 , 즉 256 단계이다. 위에서 정의된 지형지물의 normal vector와 광원에 대한 벡터간의 dot product 결과를 이용하여 물체의 밝기를 결정한다. 임의의 광원에 대하여 물체의 밝기를 결정하기 위한 알고리즘은 그림 4.1과 같다.

```

l ← light source vector
n ← normal vector
d ← Dot_Product( l, n ) // -1 ≤ d ≤ 1
d ← (d + 1) / 2 // 0 ≤ d ≤ 1
gray_level ← integer( d*255 )

if ( gray_level > 255 ) gray_level ← 255
if ( gray_level < 0 ) gray_level ← 0
    
```

그림 4.1 물체 밝기 결정 알고리즘

위의 알고리즘에서 dot product의 결과는 밝기를 계산하기 위하여 0과 1사이로 정규화되었고, 밝기의 정도는 0과 255 사이로 정해진다. 여기서 0은 가장 어두운 것이고, 255는 가장 밝은 것을 의미한다. 그림 4.2는 음영값과 물체의 색이 주어졌을 때 색의 명도를 처리하는 알고리즘이다.

```

gray_level ← gray-level of an object
color ← RGB color of the object
red ← color.red
green ← color.green
blue ← color.blue

red ← red * gray_level / 255
green ← green * gray_level / 255
blue ← blue * gray_level / 255

color.red ← red
color.green ← green
color.blue ← blue
    
```

그림 4.2 색의 명도처리 알고리즘

위의 알고리즘에 의하여 물체의 색은 음영값에 의해 원래의 색을 유지하면서 밝기의 정도만이 변화됨을 알 수 있다. 따라서 하나의 물체에 대하여 원래의 색은 변하지 않고 밝기의 정도만을 변화시키므로 빛에 의한 물체의 음영을 처리하게 된다.

Texture 매핑은 3차원 물체의 표면을 칠할 때 단일 색을 사용하는 것이 아니라 연속적인 패턴이나 영상 보간(interpolation)을 통하여 다각형내에 채워 넣는 것으로서 항공사진이나 위성영상을 이용하여 texture 매핑을 시도할 경우 필수적인 요건은 영상상의 좌표와 지형의 좌표가 일대일로 대응되어야 한다는 것이다. 만약 이 같은 대응관계가 부정확하면 생성된 모델이 왜곡된 형태를 보이게 된다. 본 연구에서는 수치지형 표고모델과 함께 실험지역의 정사영상을 생성하여 이를 이용한 texture 매핑을 시도하였다.

4.2 그래픽 자료구조 결정

3차원 자료를 컴퓨터 그래픽으로 처리하기 위해서는 일반적인 지형지물의 데이터베이스 자료와 달리 지형지물의 속성과 그래픽 속성에 대한 모든 정보를 갖고 있는 3차원 그래픽 자료구조가 필요하다. 본 연구에서는 지형지물의 3차원 그래픽을 위한 자료구조를 수치지형표고자료, 지형지물자료, texture 로 분류하였다. 각각에 대한 자료구조는 그림 4.3과 같다.

구분	자료구조	
수치지형 표고자료	1. 수치지형 표고자료	M. Longitude Origin N. Latitude Origin O. Longitude Interval P. Latitude Interval Q. Longitude Line Count R. Latitude Line Count
	A. Designator	S. Surface Vector
	B. Features	T. Features Type
	C. System Identifier	U. Surface Interval
	D. Data Source	V. Data Type
	E. Version Number	W. Vector Count
	F. Creation Date	X. Polygon Count
	G. Elevation Data	Y. Vector List
	H. Elevation Code	Z. Vector List
	I. Vertical Datum	1. Vector Index Count
	J. Horizontal Datum	2. Vector Index List
	K. Vertical Accuracy	3. Surface Normal Vector
	L. Horizontal Accuracy	4. Surface Normal Vector
지형지물 자료	1. 지형지물 표고자료	1. Polygon 자료
	A. Designator	2. Feature Type
	B. Features	3. Polygon Interval
	C. System Identifier	4. Data Type
	D. Data Source	5. Vector Count
	E. Version Number	6. Polygon Count
	F. Creation Date	7. Vector List
	G. Elevation Data	8. Vector List
	H. Elevation Code	9. Vector Index Count
	I. Vertical Datum	10. Vector Index List
	J. Horizontal Datum	11. Surface Normal Vector
	K. Vertical Accuracy	12. Surface Normal Vector
	L. Horizontal Accuracy	13. Polygon 자료
M. Longitude Origin	14. Feature Type	
N. Latitude Origin	15. Polygon Data Pointer	
O. Longitude Interval	16. Creation Point Count	
P. Latitude Interval	17. Creation Point List	
Q. Longitude Line Count	18. L, R, Y, Z coordinates	
R. Latitude Line Count	19. Polygon Angle	
S. Surface Vector	20. Feature Type	
T. Features Type	21. Vector	
U. Surface Interval	22. Width	
V. Data Type	23. Height	
W. Vector Count	24. Polygon 자료	
X. Polygon Count	25. Feature Type	
Y. Vector List	26. Surface Interval	
Z. Vector List	27. Data Type	
1. Vector Index Count	28. Vector Count	
2. Vector Index List	29. Width	
3. Surface Normal Vector	30. Height	
4. Surface Normal Vector		
Texture 자료	1. Texture 표고자료	K. Longitude Origin
	A. Designator	L. Latitude Origin
	B. Features	M. Longitude Interval
	C. System Identifier	N. Latitude Interval
	D. Data Source	O. Longitude Line Count
	E. Version Number	P. Latitude Line Count
	F. Creation Date	Q. Texture 자료
	G. Elevation Data	R. Vector Color Data
	H. Elevation Code	
	I. Vertical Datum	
	J. Horizontal Datum	
	K. Vertical Accuracy	

그림 4.3 3차원 세부 자료구조

4.3 3차원 그래픽 화일 생성

4.2에서의 수치지형표고자료와 지형지물자료, 그리고 texture 자료를 이용하여 실험 지역에 대한 3차원 그래픽 화일을 제작하였으며 지형에 대한 3차원 그래픽 화일은 지형지물에 대한 정보뿐 아니라 컴퓨터 그래픽으로 지형을 디스플레이할 때 필요한 정보도 함께 포함한다. 3차원 그래픽 화일의 전체적인 구조는 그림 4.4와 같다.

그림 4.4에서와 같이 그래픽 화일은 그래픽 자료들이 하나의 layer에 지정되어 여러 종류의 그래픽 layer들이 모여서 하나의 구조를 이루는 형태로서 그래픽 화일의 자료구조는 그림 4.5와 같다.

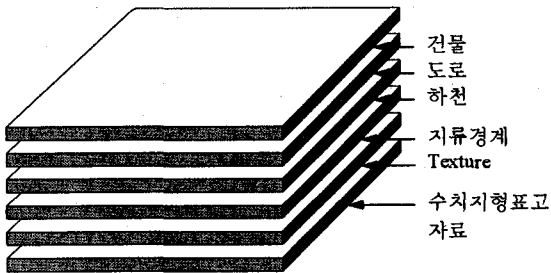


그림 4.4 3차원 그래픽 화일의 구조

1.	그래픽 화일 보조자료
1.1.	Designator
1.2.	Filename
1.3.	Version Number
1.4.	Creation Date
1.5.	Expiration Date
1.6.	Security Code
1.7.	Vertical Datum
1.8.	Horizontal Datum
1.9.	Longitude Origin
1.10.	Latitude Origin
1.11.	Longitude SW Corner
1.12.	Latitude SW Corner
1.13.	Longitude NW Corner
1.14.	Latitude NW Corner
1.15.	Longitude NE Corner
1.16.	Latitude NE Corner
1.17.	Longitude SE Corner
1.18.	Latitude SE Corner
1.19.	Layer Count
2.	그래픽 화일 Layer 자료
2.1.	Layer Type
2.2.	Graphic Data Pointer
2.2.1.	DEM
2.2.2.	Feature
2.2.3.	Texture

그림 4.5 그래픽 화일 자료구조

5. 실험 및 평가

5.1 그래픽 프로그래밍

본 연구에서는 지형의 부드러운 곡면처리를 위하여 Gouraud shading 방법⁹⁾을 사용하여, 수치지형모델을 그래픽 처리하였으며 수치지형표고자료를 처리한 과정은 다음과 같다.

- 1) 수치지형표고자료의 격자에 대한 정점의 normal vector와 광원에 대한 vector를 이용하여 각 정점의 음영값을 계산한다.
- 2) 정점의 음영값을 이용하여 각 정점의 색상을 결정한다.

결정된 각 정점의 색을 이용하여 다각형의 내부를 Gouraud shading 방법으로 칠한다.

건물과 같은 인공지형지물의 음영처리를 위하여 polyhedron shading 방법을 사용하였으며 도로와 하천과 같은 선형적인 지형지물의 그래픽 처리절차는 다음과 같다.

- 1) 취득된 선형지형지물의 각 정점에 대한 음영값을 수치지형모델로부터 선형보간에 의하여 결정한다.
- 2) 결정된 음영값에 의하여 각 정점의 색상을 결정한다.
- 3) Gouraud shading 방법에 의하여 선형지형지물의 다각형 내부를 칠한다. 단 선형지형지물이 하나의 선분으로 취득된 경우 지형지물의 폭(width)에 따라 선의 두께를 결정한 후 정점과 정점사이의 색상을 보간한다.

또한 건물과 같은 지형지물의 그래픽 처리절차는 다음과 같다.

- 1) 지형지물의 각 평면에 대한 normal vector와 광원에 대한 vector값을 이용하여 평면의 음영값을

결정한다.

- 2) 각 평면의 색상을 음영값을 이용하여 결정한다.
- 3) Polyhedron shading 방법에 의하여 지형지물의 각 평면을 이루는 다각형의 내부를 칠한다.

본 연구에서는 polygon-fill에 의하여 지형의 색상처리를 하였으며, 이 때 texture를 이용한 texture 매핑을 사용하였으며 다음과 같은 네가지 방법을 사용하여 texture 자료를 제작하였다.

- ① 지형의 표고에 따라 색상을 달리하여 지형을 음영처리
- ② 지류경계에 따라 색상을 달리하여 지형을 음영처리
- ③ 정사영상
- ④ 정사영상과 지류경계를 중첩

5.2 3차원 그래픽 도시

수치지형표고모델과 지형지물을 3차원 그래픽으로 도시하는 절차는 다음과 같다.

단계 1. 수치지형표고자료의 격자점(grid point)에 대한 normal 벡터와 광원에 대한 벡터를 이용하여 격자점에 대한 음영값을 계산한다.

단계 2. 격자점에 대한 음영 값과 texture 자료를 이용하여 격자와 격자사이를 칠하여 3차원 그래픽 지형모델을 생성한다.

단계 3. 그래픽 지형모델상에 자연지물의 그래픽 자료를 도시한다.

단계 4. 그래픽 지형모델상에 인공지물의 그래픽 자료를 도시한다.

그림 5.1은 위의 처리절차에 따라 3차원 그래픽을 도

시하는 과정을 보여주고 있다.

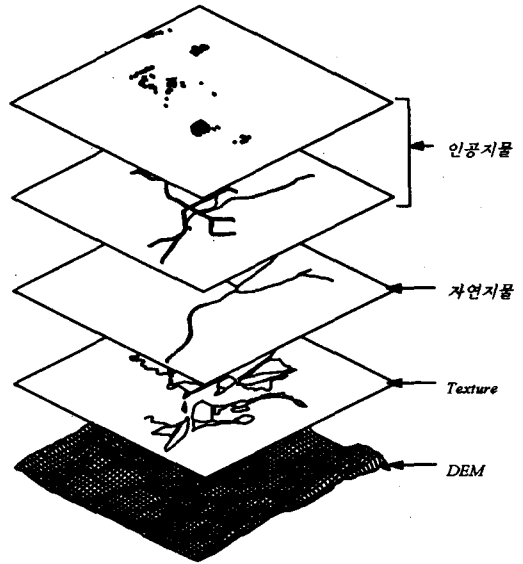


그림 5.1 3차원 그래픽 도시 절차

그림 5.2는 그래픽 워크스테이션상에서 실험지역에 대한 3차원 그래픽 화일을 디스플레이한 결과로서 정사영상 / 지류경계 texture를 사용한 결과이다. 이 때 사용된 그래픽 처리방법은 아래와 같다.

- Hidden surface 방법 : Z-buffering
- 지형모델 shading 방법 : Gouraud shading
- 지형지물shading방법 : Polyhedron shading
- 광원의 방향 : 북서쪽 45°



그림 5.2 3차원 그래픽 도시

5.3 평가 및 활용분야

실험지역으로부터 제작된 수치지형표고자료와 지형지물자료를 3차원 그래픽 자료로 변환하였을 경우 생성된 그래픽 요소의 수는 표 5.1과 같다. 표에서 보는 바와 같이 실험지역에 대한 그래픽 요소의 수는 vertex의 수가 약 66K, polygon의 수가 약 63K이다.

표 5.1 그래픽 요소의 수

구분	Vertex	Polyline	Polygon
수치지형표고자료	62,500	-	62,500
지류경계	1,082	15	28
하천	336	12	1
도로	1,356	120	60
건물	502	-	282
기타	115	-	23
계	65,891	147	62,894

최근에 생산되는 그래픽 워크스테이션들은 일반적으로 vertex는 초당 1M, polygon은 200K개 이상 처리할 수 있는 그래픽 성능을 보이고 있으며, 보다 고성능의 그래픽 워크스테이션에서는 texture 매핑을 겸하여 초당 수백만개의 vertex 자료를 처리할 수 있다. 따라서 이와 같은 그래픽 워크스테이션을 사용한다면 3차원 그래픽 화일의 실시간 그래픽 처리가 가능하다.

이와 같은 지형에 대한 3차원 그래픽 화일의 활용분야로는 항공기 시뮬레이션, 기동차량 시뮬레이션, 임무지원 분석, 이동경로 선정, 지형차폐 분석, 가시영역 분석 등 매우 다양하다. 특히 본 연구에서와 같이 위성영상을 이용하여 수치지형표고 모델과 지형지물 자료를 제작할 경우 일반 항공촬영이 불가능한 지역이나, 접근 어려운 지역에 대한 지형정보를 주기적으로 생산 또는 갱신할 수 있으므로 그 활용성이 매우 높아질 것이다.

6. 결 론

본 연구에서는 SPOT 입체 위성영상을 이용하여 3

차원 그래픽 화일 생성을 연구하여 다음과 같은 연구 성과를 얻었다.

- 1) 입체영상의 스테레오 매칭을 통하여 실험지역의 수치지형표고모델을 격자간격 10m로 자동생성하고, 해석도화 시스템을 이용하여 지형지물의 3차원 위치측정
- 2) 취득된 지형지물자료를 AutoCAD를 이용하여 위치 편집과 구조화 편집 수행, 구조화 편집된 지형지물자료의 DXF 화일을 이용하여 지형지물자료의 그래픽 자료 생성
- 3) 수치지형표고자료와 지형지물자료를 이용하여 3차원 지형에 대한 그래픽 화일 실험 제작
- 4) 결론적으로 그래픽 워크스테이션상에서 실험지역의 3차원 그래픽 화일 및 지형모델 디스플레이를 통하여 SPOT 위성영상으로부터 3차원 지형지물 자료 생성에의 활용가능성 입증

추후 연구과제로는 현재 해석도화기에 의해 취득되는 지형지물자료를 스테레오 이미지 워크스테이션에 그 기능을 구현하고, 위성영상을 이용한 지형자료 생성과정의 많은 부분을 자동화 하고 보다 고성능의 그래픽 워크스테이션을 사용한 3차원 그래픽 화일의 실시간 도시 및 활용성을 증대하는 것이다.

참 고 문 헌

1. P.H. Swain and S. M. Davis, "Remote Sensing: The Quantitative Approach", McGraw-Hill, New York, 1978.
2. 신대식, "3중 입체위성사진 분석 연구", 국방과학연구소, 1993.
3. Doug C. Brockelbank and Ashley P. Tam, "Stereo Evaluation Determination Techniques for SPOT Imagery", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 57, No. 8, pp.1065~1073,

- Aug. 1991.
4. Christian Heipke, "Performance and state-of-the-art of digital stereo processing", *Photogrammetric Week 93*, Wichmann, 1993.
 5. Stan Aronoff, "Geographic Information System: A Management Perspective", WDL, 1989.
 6. A. C. Kilgour, "Techniques for Modelling and Displaying 3D Scene, *Advanced in Computer Graphics I*", Springer-Verlag, 1986.
 7. Berthold K. P. Horn, "Obtaining Shape From Shading Information, *Shape from Shading*", MIT, 1989.
 8. Berthold K. P. Horn, "Hill Shading and the Reflectance Map", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 69, No. 1, Jan. 1981.
 9. William M. Newman and Robert F. Sproull, "Principle of Interactive Computer Graphics", 2nd Edition, McGraw-Hill, 1981.
 10. John R. Jensen, "Introductory Digital Image Processing : A Remote Sensing Perspective", Prentice-Hall, 1986.
 11. Russell Priebbenow and Enrico Clerici, "Cartographic Applications of SPOT Imagery", *IAPRS*, Vol. 27, Part B4, pp.289~297, 1988.
 12. 조봉환, 신대식, 박완용, "SPOT 위성영상을 이용한 수치지형모델 자동생성 및 응용", MSDC - 408 - 92492, 국방과학연구소, 1992.