

GIS를 이용한 광산개발지역의 추이 현황 분석

Analysis of Terrain Change Caused by Mining Development using GIS

이형석¹⁾

Lee, Hyung Seok

Abstract

There is a need to restore the terrain back its natural environment after mining development. It is necessary to compare the original and developing surfaces for post-management and to analyze the terrain change to develop a process for efficient restoration plan. This study analyzes and compares change to the terrain by annual mining development using GIS. Contours digitized with CAD based on photogrammetry are classified into annual data and created by Triangulated Irregular Network (TIN). By producing profiles and cross sections using TIN, many stations are distinguished. As a result of the terrain changes caused by mining development from 2000 to 2003 by operating elevation values each cell converted to raster from TIN, 11,094,460 m^3 are cut and 5,127,968 m^3 are filled up to 46% of cut volume, and annual surface changes of cut and fill area to mining are analyzed to visual and quantitative data. This study is used for the restoration plan and additional mining. And it is expected that this annual change, caused by mining development, can be used to return the terrain close to its original condition for finished mining area.

Keywords : Digital Elevation Model, Triangulated Irregular Network, Profile and cross section, Raster conversion, Change analysis

초 록

광산 개발후 자연환경과 유사한 지형으로의 복원 및 복구에 대한 필요성이 부각되고 있어 사후 관리를 위하여 원 지형과 개발중인 지형에 대한 특성 비교가 필요하며, 효율적인 복원계획을 위한 개발 진행에 따른 지형의 추이 분석이 요구되고 있다. 본 연구는 GIS를 이용하여 년별 광산개발에 따른 지형의 추이 현황을 비교 분석하고자 하였다. 항공사진측량으로 수치화된 캐드 자료중 년도별로 등고선 자료를 분류하고 각각 불규칙삼각망으로 생성하였다. 수치지형모형인 불규칙삼각망을 통해 종·횡단면을 작성하여 변화량이 많은 지점들을 판별할 수 있었으며, 불규칙삼각망을 래스터로 변환하여 각 셀별 고도값을 연산함으로써 2000년부터 2002년과 2003년까지 광산개발로 인한 지형변화량을 분석한 결과 11,094,460 m^3 가 절토되고 절토량의 46%인 5,127,968 m^3 이 성토되었다. 또한 채굴에 따른 년도별 절·성토 지역의 표면 변화 양상을 정량적 및 시각적으로 분석할 수 있었다. 따라서 광산개발에 따른 년별 추이 현황 비교는 채광이 완료되는 지역의 경우 성토를 통해 최대한 과거 지형에 근접하도록 설계할 수 있도록 광산 추가개발 및 복원계획에 대한 자료로 사용가능할 것이다.

핵심어 : 수치표고모형, 불규칙삼각망, 종·횡단면, 래스터 변환, 추이 분석

1. 서 론

석회석 광산개발직업에는 계단식 채굴법에 의한 지형 변형과 산림훼손, 폐석, 분진, 광산폐수, 소음 등 많은 환경파괴요소들이 수반되며, 지반침하, 토사유출, 산사태

등 2차적 환경재해 유발요인들이 내재되어 있다.

특히 국내 노천채굴방식의 광산의 경우 산림파괴 현상이 시각적으로 잘 나타나 있고, 개발에 따른 훼손된 산림과 지형은 산림법의 규정에 따라 다시 복구되어야 한다. 대부분의 석회석 광산이 강원도 임해 지역 등 관광 조건

1) 정회원 · 한중대학교 토목환경공학과 조교수(E-mail:hslee@hanzhong.ac.kr)

이 양호한 지역에 위치해 있어 평지화된 지역을 레저 및 휴양을 위한 시설로의 복구로 전환할 경우 보다 효율적인 복구지 활용도 가능하다(김대형 등, 1999).

효율적인 채광의 시행 및 환경적 피해를 최소화하기 위해서 서로 개발과 병행한 자연으로의 복원 계획 수립이 모색되고 있다. 이러한 맥락에서 대규모로 개발이 이루어지고 있는 광산 등을 대상으로 자연환경과 유사한 지형으로의 복원 및 복구에 대한 필요성이 부각되고 있으며, 이러한 효율적인 복원을 위해서 조사한 다양한 결과들을 다각적인 차원에서 분석하는 것이 매우 중요하다.

한편 지형 변화에 관한 분석 연구로서는 산지에 대단위 시설물이 위치할 경우에 수치지형모형을 이용한 지형분석 기법을 이용하여 지형변화 모델링 방법과 지리적으로 참조된 경관변화 모델링 방법을 제시하여 자연경관 훼손을 최소화하는 국토개발의 효율성 제고 방안의 일례를 제시한 바 있다(고제웅 등, 1999). 그리고 주기적인 수준측량 결과를 경년변화(change detection) 기법을 중심으로 수치영상 해석기법, 보간법, 수치지형모형을 이용하여 해안의 모래유동을 현상학적으로 해석하였고(최철웅 등, 1995), 두 시기의 분류영상으로부터 추출된 각각의 정보를 지리정보의 속성정보로 입력하여 두 시기의 지표변화 정보를 추출하고 지표의 변천 과정을 추적하였다(최승필 등, 2003). 또한 GIS 공간분석기법을 적용하여 다중시기의 위성영상에 대한 변화탐지를 수행하여 토지피복에 대한 년도별 변천 내용을 질의하고 검색할 수 있게 함으로써 특정 지역의 토지 피복에 대한 변천 정보를 획득한 바 있다(양인태 등, 2004).

따라서 광산 개발에 따른 사후 관리를 위하여 광산 지형과 조성될 지형에 대한 특성 비교가 필요하며, 효율적인 복원계획을 위한 개발 진행에 따른 병행된 지형 변화의 추이 분석을 수행하고자 한다.

본 연구는 항공사진측량하여 수치화된 캐드 자료를 수집하여 대상 지역을 3차원 모형화하고 추가 개발에 따른 년차별 시계열적 지표 변화를 비교함으로써 과거 지형에 근접하도록 설계할 수 있도록 광산 개발에 대한 복원 및 복구 자료로서의 활용 가능성을 제시하고자 한다.

2. 수치표고모형과 래스터 표면

2.1 수치표고모형

수치표고모형(Digital Elevation Model ; DEM)은 지형의 표고를 수치적 형태로 표현하는 것으로 수치고도모형이라고도 불리며, 인공 지물을 제외한 지형의 표고를 수

치화한 모형을 나타낸다.

수치고도모형과 수치지형모형을 이용한 지형모델링에는 격자(grid)와 불규칙삼각망(Triangulated Irregular Network ; TIN)에 의한 방법으로 구분된다(Lee, 1991). 이 두 방법은 3차원 지형의 표면 모델링에 효과적으로 사용되고 있다.

수치지형모형을 이용한 토공량 계산에서 보간방법과 격자 간격, 그리고 토공량 계산 방법들이 토공량의 정확도에 어떻게 영향을 주는가(문일석 등, 1995), 점과 선 자료의 조합에 의해 불규칙삼각망을 생성하는 방법이 정확도 향상의 측면에서 가장 효율적인 구축 방안으로 나타나 있다(신봉호 등, 1996). 불규칙삼각망 방식의 3차원 지형모형구축 방법은 정확한 면적 산출과 더불어 현장의 보다 현실감을 줄 수 있는 3차원 지형의 시각화가 가능하기 때문에 건설 현장에 3차원 지형모델 구축 알고리즘을 활용하면 현장 시공 및 감리면에서 많은 도움을 준다(강인준 등, 2002).

불규칙삼각망 모형은 표면을 저장하고 분석하는 효율적인 방법으로서 x, y 및 z 값으로 이루어진 공간상에 불규칙하게 분포된 점들 간에 그려진 삼각형들이 연계된 망을 나타낸다. 삼각형의 세 개의 노드에 대한 xyz 좌표값은 경사, 방향, 면적, 길이와 같은 정보를 추출하는데 사용된다. 전체 삼각형을 전부 고려할 때 체적, 종단면도, 가시권 분석 등과 같은 추가적인 정보도 추출하는 것이 가능하다.

2.2 래스터에 의한 절·성토 산정

절토와 성토는 그림 1과 같이 하나의 지역상에서 표현된 두 개의 래스터(전·후)간에 변화되어 면적과 체적으로 계산될 수 있다. 지면의 고도값이 지면의 성토 및 절토에 의해 수정되어 나타나는 과정이다. 래스터 표면 전의 입력과 래스터 표면 후의 입력은 형식이 일치해야 하며, 셀의 행과 열에서 동일한 수이고 같은 셀 크기이어야 한다.

절·성토량은 성토 및 절토에 의해 수정된 지면의 면적과 체적을 표현하는 두 개의 입력 표면(전·후)에 근거하여 래스터값이 생성된다. (-)지역이 채워짐(성토)을, (+)지역은 절토를 가리킨다.

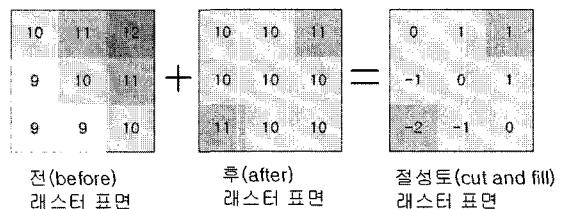


그림 1. 래스터 표면의 절·성토 계산 과정

3. GIS 분석 및 토공량 산정

3.1 대상지역 및 현황

대상지의 위치는 강원도 강릉시 옥계면 산계리에 있는 석회석 광산으로서 연간 940만톤을 생산, 공급하고 있으며, 표고 330m~850m로 표고차가 심하고, 대상 지역중 경사 30%이상을 차지하는 비중이 79.5%로 많은 부분이 급경사로 이루어져 있다. 그림 2와 같이 개발 진행중인 지역은 현재 시행하고 있는 채광 지역으로 노천 채광을 하고 있으며, 개발 완료 지역은 채광이 완료된 지역으로서 광산 채굴로 인하여 수리·수문이 사라진 상태이고, 계단식으로 암반 비탈면이 노출되어 있어 급경사면을 형성하여 지형의 변화가 심하다.

3.2 수치표고자료 구축

수치표고모형 자료구축 방법중 항공사진측량에 의한 방법은 효과적이고 정밀한 방법이지만, 한 장의 항공사진

에 포함되는 지상면적이 작기 때문에 광역에 대한 자료를 얻는데 한계도 있다(안철호 등, 1991).

광산 개발의 복원 계획에 따른 지형 변화를 분석하기 위해 본 연구에서는 항공사진측량을 통해 1:5,000 수치지형도를 작성하고 수치표고자료를 레이어로 획득하였다.

지형도로부터 수치표고자료를 제작하는 경우 등고선과 함께 표고점을 함께 사용하지만 관심 지역이 산림 지역에 국한되어 있어 등고선의 양이 충분하며, 1:5,000 자료의 등고선 고도 간격이 5m로 원하는 정밀도를 충분히 유지할 수 있다는 판단에 따라 등고선만을 이용하여 수치표고자료를 생성하였다.

대상 지역의 수치지형도로부터 등고선 자료를 추출하여 이들의 경계 지역의 연속성을 보정해 준 뒤, 그림 3과 같이 년도별 등고선을 각각 보여준 것으로서 개발에 따른 주변화된 지역을 시각적으로 나타내었다.

ArcGIS 8 버전을 이용하여 각 년도별 지형 현황을 불규칙삼각망으로 그림 4와 같이 생성하였다. 그림 4에서

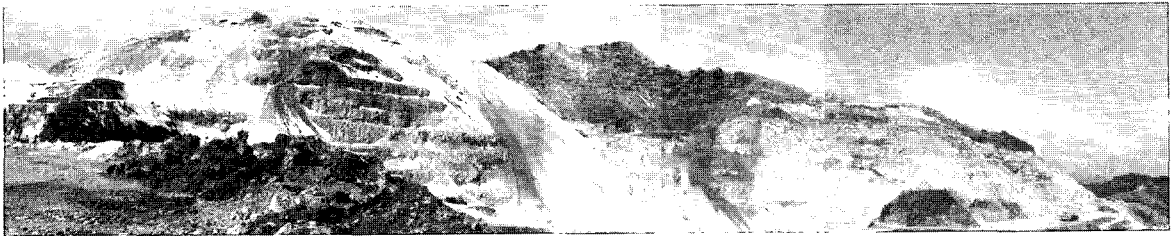


그림 2. 대상지역의 현황사진

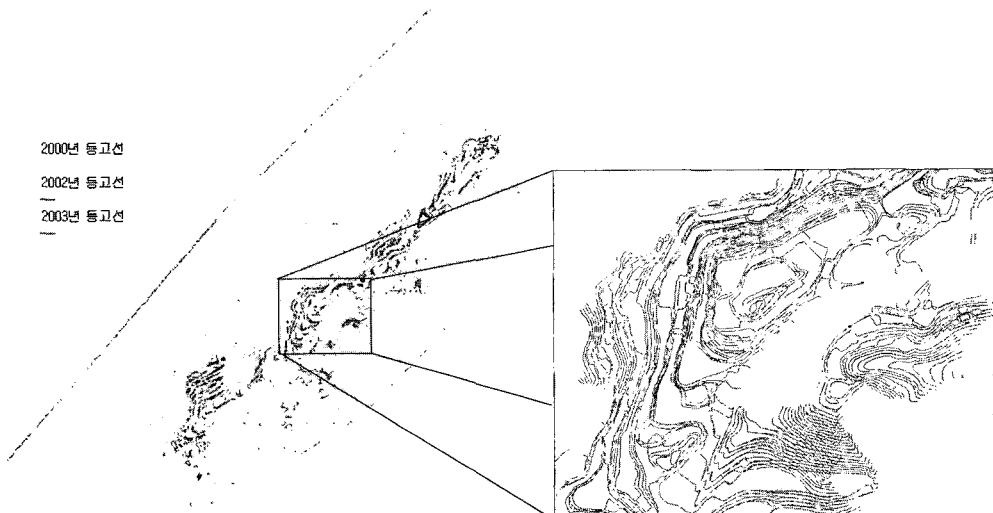
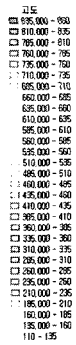


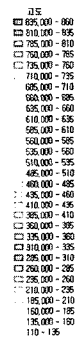
그림 3. 년도별 등고선 개발 추이 양상



(a) 2000년



(b) 2002년



(c) 2003년

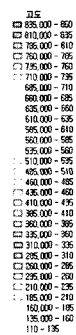


그림 4. 년도별 수치표고모형(등고선도와 불규칙삼각망도)

보듯이 등고선만으로는 년도별 변화 상황을 판단하기는 다소 어려운 점이 있다.

3.3 단면에 대한 년도별 지형변화 추이

대상 지역의 각 년도별 지형 변화 상태를 정략적으로 파악함으로써 지형 변화를 예측하고 향후 과거 지형으로 복원하고자 할 때 사용할 수 있다. 각 년도별 지형을 세부적으로 파악하기 위해 MTA(MGE Terrain Analyst)를 사용하여 그림 5와 같이 채광에 의한 지형 변화가 많이 예상되는 곳을 선정하였고, 동일 종·횡단면상에 따른 년

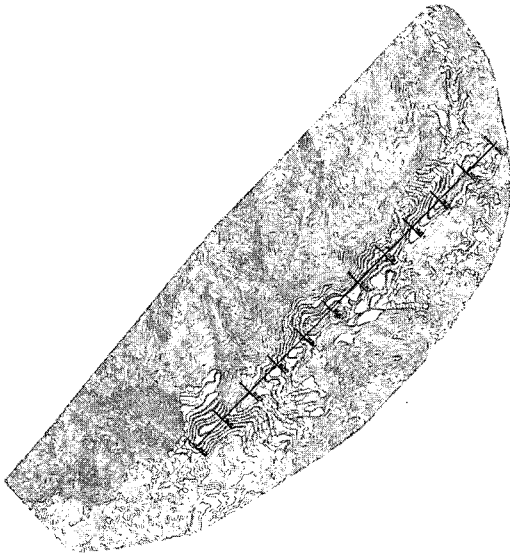


그림 5. 종·횡단면 위치

도별 지형 추이를 그림 6과 7에서와 같이 종·횡단면도로 작성하였다.

그림 6에서 2000년부터 2003년까지 종단면 형태를 살펴보면, 300m, 1000m, 1500m 및 3500m 지점 부근이 성토되었고, 2500m 및 3000m 지점 부근에서는 절토가 되었음을 알 수 있다.

그림 7은 절토와 성토가 이루어졌던 지면의 횡단면을 보여준다. 초기의 2000년 표면이 시간이 경과된 채광 기간동안 절토되거나 성토되는 현황을 알 수 있다. 300m, 900m, 1500m, 1800m, 2100m 및 2400m 지점에서는 주로 절토가 되었고, 600m지점부근이 성토가 이루어졌음을 알 수 있다.

3.4 지형분석

경사(slope), 향(aspect), 유하선 및 경관 변화 시뮬레이션 등과 같이 다양한 형태로 각 년도별 지형현황을 효율적으로 비교함으로써 그 개발 진행 상황에 따른 복원 대책을 수립할 수도 있다. 그림 8은 년도별에 따른 경사를 각각 비교하여 나타낸 결과이다.

3.5 불규칙삼각망의 래스터 변환

지형 표면은 등고선, 경사, 경사의 방향, 음영기복 및 가시권 등을 생성하는데 사용되며, 광산 채굴동안 제거된 지면의 양을 계산할 때 유용하다. 그림 4의 각 년도별 불규칙삼각망들을 그림 9와 같이 래스터 형태로 변환(conversion)하였다. 소프트웨어 사용의 특성상 래스터 변환은 대상지역의 가로와 세로를 각각 기본값인 250등분하여 셀 크기

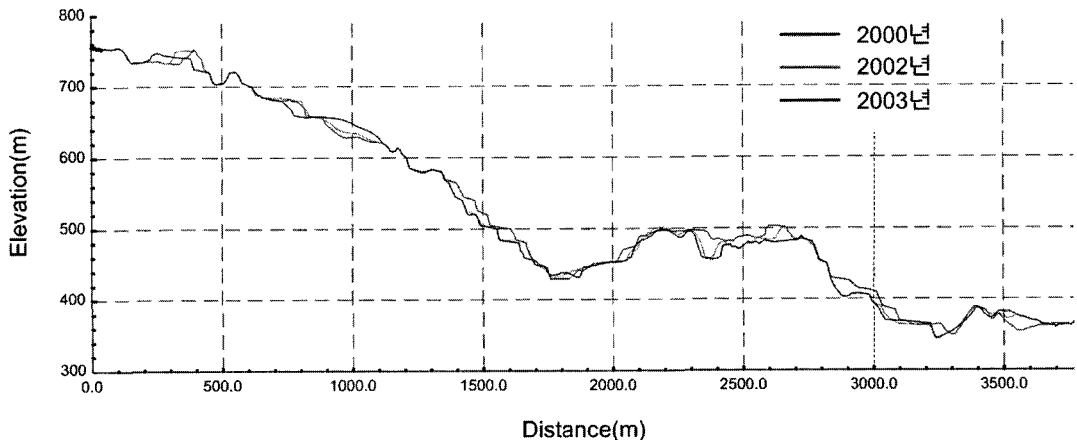


그림 6. 종단면에 대한 년도별 지형변화 비교

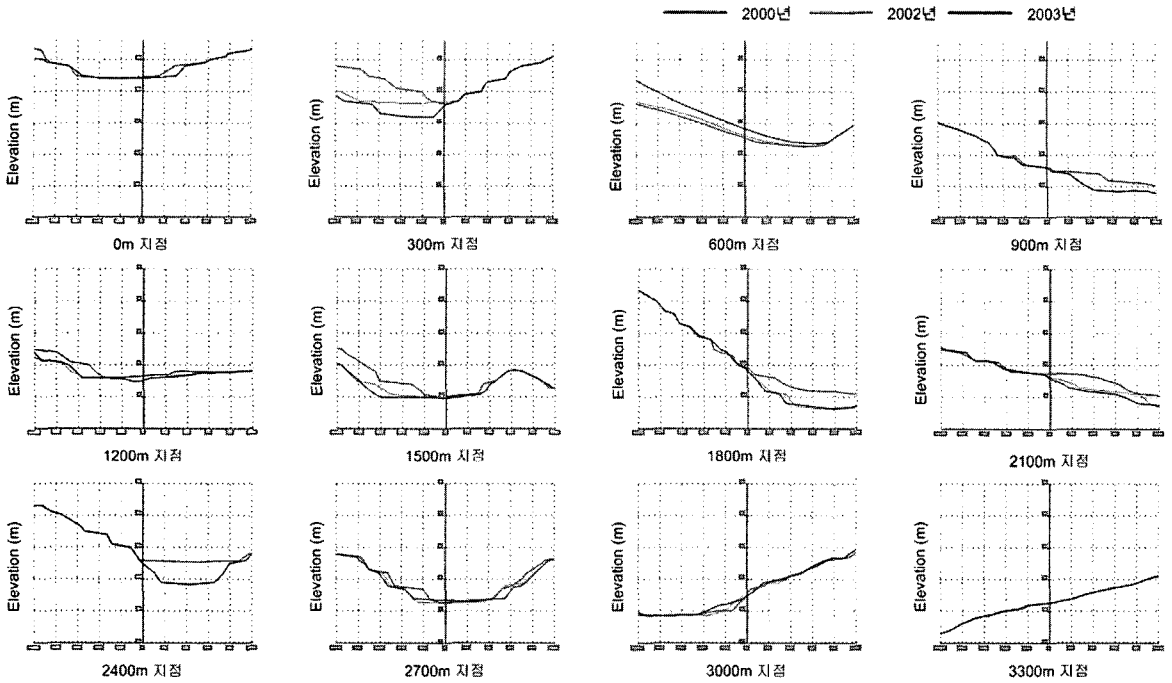


그림 7. 횡단면에 대한 년도별 지형변화 비교

를 나타내게 되었으며, 연구 지역의 래스터 셀의 크기, 즉 해상도는 $285.37m^2$ 으로 계산되었다.

불규칙삼각망에서 변환된 래스터는 입력되는 불규칙삼각망으로부터 특정 해상도나 표본화(sampling)한 간격으로 셀 z값을 보간하여 래스터로 생성된다. 불규칙삼각망에 대한 래스터의 표현 정도는 래스터의 해상도와 불규칙삼각망의 간격 변화에 의해 좌우된다.

규칙적인 간격으로 입력된 불규칙삼각망 표면의 선형(linear) 보간과 자연근린(natural neighbor) 보간 방법을 사용할 수 있으며(El-Sheimy, 1998), 본 연구에서는 선형 보간으로 셀 값을 계산하여 래스터를 출력하였다. 해상도가 높아짐에 따라 출력되는 래스터는 불규칙삼각망 표면을 보다 더 근접하게 표현할 수 있다.

래스터가 셀 구조이므로 불규칙삼각망 생성에 필요한 하드 브레이크라인(hard breakline) 및 소프트 브레이크라인(soft breakline) 가장자리(edge)를 유지할 수는 없다. 하드 브레이크라인은 표면 경사에서 불연속을 말하며 하천의 흐름, 도로의 끊김이 있으며, 표면에서 가파른 변화를 나타내어 불규칙삼각망의 표현과 분석을 향상시킨다. 소프트 브레이크라인은 표면의 지역적 경사를 바꾸지 않는 선형 지형요소를 표현하는데 불규칙삼각망에 가장자

리를 추가할 수 있게 한다. 연구지역 경계가 소프트 브레이크라인으로서 불규칙삼각망에 포함될 수 있다.

3.6 절·성토량 및 영역 계산

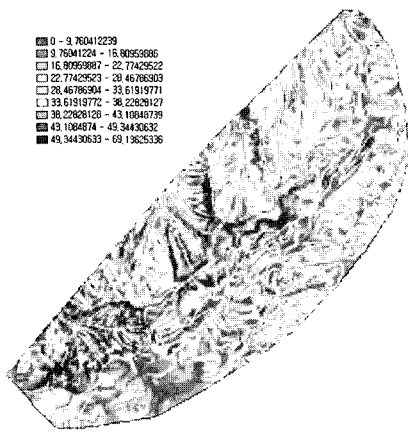
서로 다른 시간에 주어진 위치의 두 지면을 취함으로써 절·성토는 지면이 성토된 지역, 지면이 제거된 지역, 그리고 변화하지 않는 영역을 구별시키는 래스터 형태로 사용하였다.

그림 10과 같이 2000년, 2002년 및 2003년의 광산개발 전후의 변화된 래스터 결과로서 성토된 영역, 절토된 영역, 그리고 변하지 않은 영역을 분류하여 보여준다. 성토된 면적은 빨강색으로, 절토된 면적은 파란색으로, 표면이 변하지 않은 지역은 노란색으로 나타내었다.

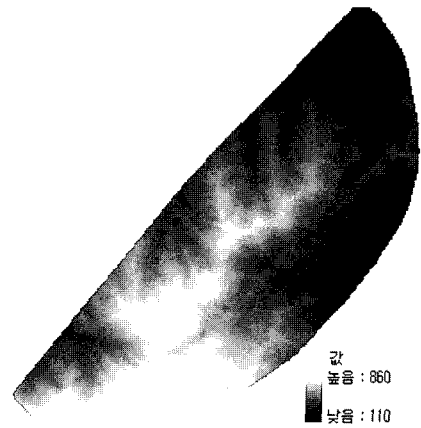
또한 그림 11과 같이 절·성토지역에 대한 래스터 결과 값에 대하여 속성표(attribute table)가 각각 연계하여 계산하였으며, 각 지역에 대한 성토 또는 절토의 체적 및 면적을 표 1과 같이 비교하였다.

표 1에서 보면 계산되어진 래스터 결과에서 각 값(value)에서 해당하는 절·성토된 지역의 체적과 값에서 해당하는 셀의 면적들을 나타낸 것이다.

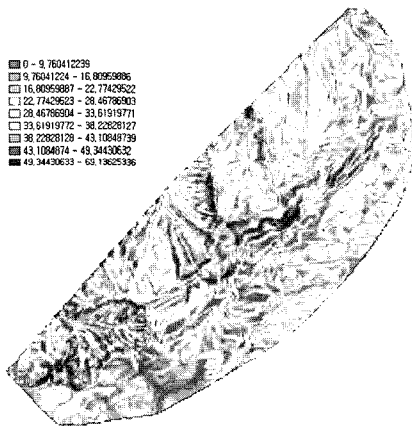
그림 12에서 보듯이 2000년부터 2002년과 2003년까지



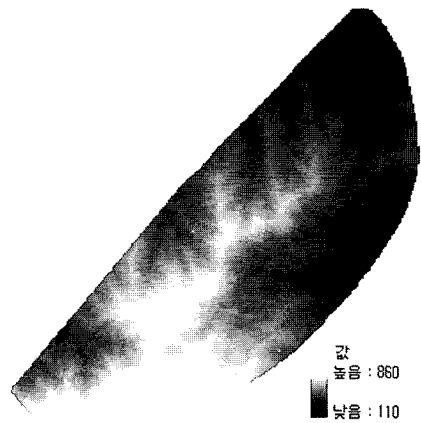
(a) 2000년도



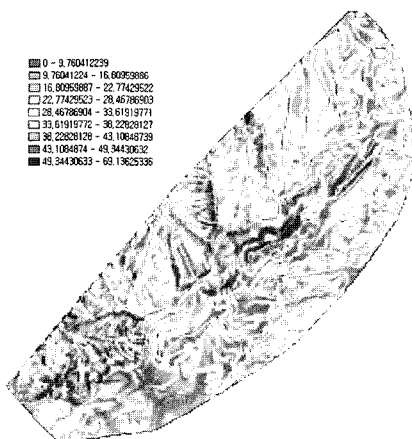
(a) 2000년도



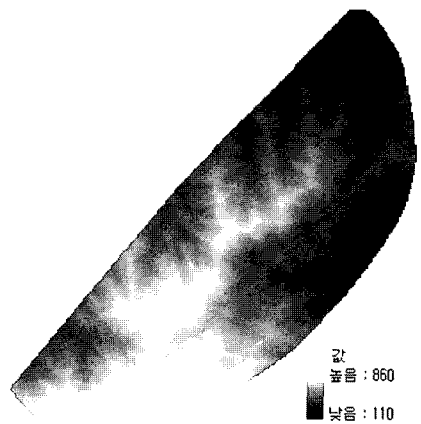
(b) 2002년도



(b) 2002년도



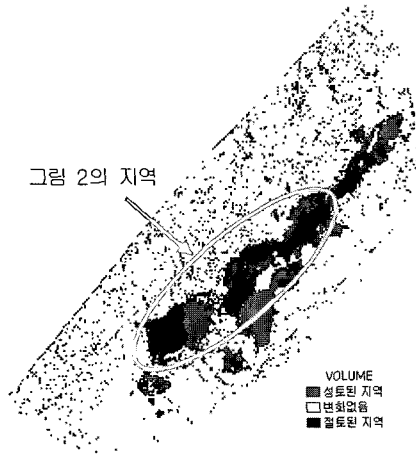
(c) 2003년도



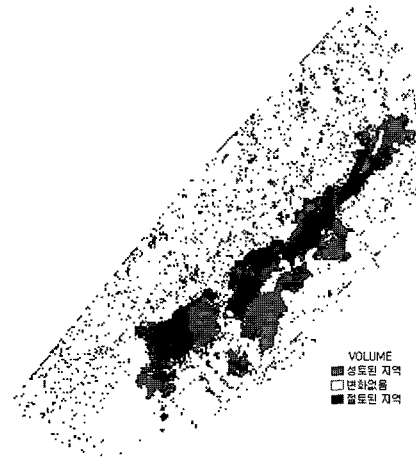
(c) 2003년도

그림 8. 년도별 경사 비교

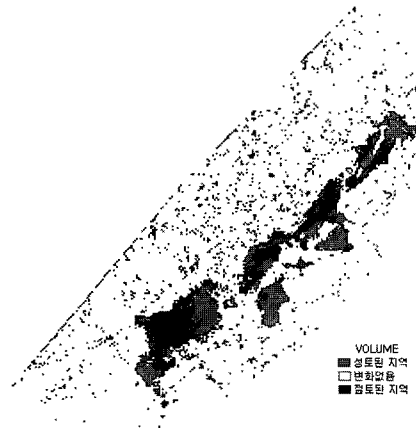
그림 9. 년도별 불규칙삼각망의 래스터 변환



(a) 2000년-2002년



(b) 2000년-2003년



(c) 2002년-2003년

그림 10. 래스터 분석에 의한 절·성토 지역의 추출

세 차례에 걸쳐 지난 3년 동안 광산 개발로 인해 지형 변화를 조사한 결과 11,094,460 m^3 이 절토되고 5,127,968 m^3 이 성토되었다.

분석 결과를 보면, 2000년과 2002년 사이에는 2년에 걸친 채굴 기간에 맞게 성토보다 절토량이 우세하게 많이 나타났으며, 2002년과 2003년 사이에는 성토량보다 절토량이 252,306 m^3 만큼 많아졌다. 그림 10(a)에 표시된 그림 2에서 보이는 지역들이 절토량의 변화가 뚜렷하게 나타났다.

2000년부터 2003년까지 채굴된 량(11,094,460 m^3)의 46%가 성토된 것으로 추정되고 나머지 개발 진행중인 지역과 비교하여 차후 복원에 필요한 토공량을 짐작할 수 있다.

또한 그림 13에서 보면 2000년에 비해 2003년에는 성토보다 절토 면적이 1.3배 더 많았다.

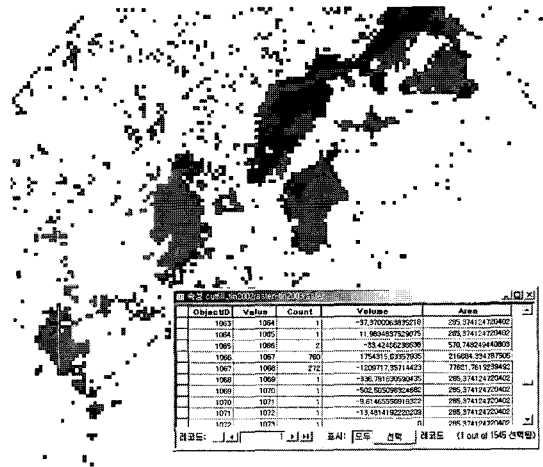


그림 11. 절·성토지역과 연결된 속성표(2002년-2003년의 경우)

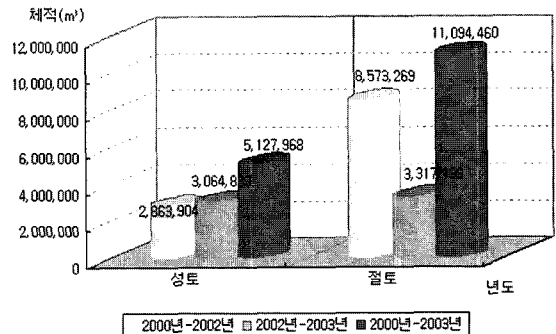


그림 12. 연도별 체적 변화

표 1. 년도별 추이에 따른 체적 및 면적 계산

년도	구분	체적(m ³)		면적(m ²)			
		성토	절토	성토	절토	변화없음	전체
2000년-2002년		2,863,904	8,573,269	783,637	1,041,616	6,048,219	7,873,472
2002년-2003년		3,064,833	3,317,139	654,077	792,769	6,426,055	7,872,901
2000년-2003년		5,127,968	11,094,460	868,679	1,135,218	5,871,287	7,875,184

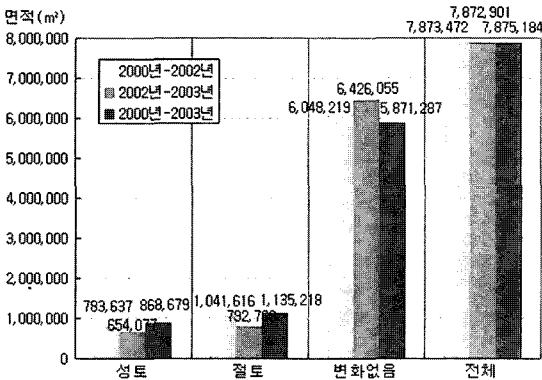


그림 13. 년도별 면적 변화

4. 결 론

GIS의 수치표고모형과 래스터 분석을 이용하여 광산개발에 따른 채광 지역의 년별 지형 추이 현황을 비교하고 광산 개발의 복원시 필요한 지형 변화를 분석함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 수치지형모형 및 래스터 표면 분석을 통해 2000년부터 2002년과 2003년까지 지난 3년 동안 광산 개발로 인해 지형 변화를 조사한 결과 11,094,460m³가 절토되고 46%인 5,127,968m³이 성토되었고 성토 면적보다 절토 면적이 1.3배로 산정되었고 개발에 따른 지표면 변화를 시각적으로 파악할 수 있었다.
2. 광산 개발시 지형 변화를 년도별로 파악하기 위해 항공사진측량을 실시하여 지형정보를 획득하였고 경제성 및 시간적인 면에서 부분적으로는 지형측량과 실시간적인 측량기법의 도입이 필요하였다.
3. 광산 개발에 따른 년별 현황 비교 자료는 채광이 완료되는 지역은 성토를 하여 최대한 과거 지형에 근접하도록 설계할 수 있도록 광산 추가 개발 및 복원 계획에 대한 자료로 충분히 사용할 수 있으며, 복원 계획에 따른 경관 및 조망 분석이 추가적으로 필요할 것이다.
4. 향후 하천의 계곡에서 침전물의 침식과 퇴적의 지역을 구분하거나 건물 신축, 토지 정지 작업 및 재해 방지를

를 위한 절·성토 지역이 되는 면적이나 토공량을 산정하는데 적용할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구를 위해 귀중한 자료를 제공해주신 라파지한라 시멘트(주) 관계자분들께 감사드립니다.

참고문헌

강인준, 장용구, 김상석, 김윤수 (2002), 3차원 지형모형을 이용한 면적산출에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 20권, 제 2호, pp. 7-14.

고제웅, 정영동 (1999), 수치지형모형을 이용한 가시권에 따른 경과모델링에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 17권, 제 2호, pp. 153-160.

김대형, 이경한 (1999), 석회석광산개발관련 환경규제제도 개선에 관한 고찰, 월간 자원정보, 5월호, 한국지질자원연구원.

문일석, 전재홍, 조규진 (1995), DTM에서의 토공량의 산정방식에 따른 토공량의 정확도 비교, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 13권, 제 2호, pp. 277-283.

신봉호, 양승용, 엄재구, 송왕재 (1996), 3차원 지형 모델링의 정확도 향상에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 14권, 제 2호, pp. 151-157.

안철호 외 9인 (1991), 위성영상을 이용한 3차원 정사투영 영상 생성법에 관한 연구, 국방과학연구소, p. 228.

양인태, 한성만, 윤희천, 김홍규 (2004), 사용자 중심적 GIS 인터페이스를 이용한 시계열적 원격탐사 영상의 변화탐지 기법의 개발, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 22권, 제 2호, pp. 151-159.

최승필, 양인태 (2003), Landsat TM 영상을 이용한 지표변화정보 추출, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 21권, 제 3호, pp. 261-267.

최철용, 박재하, 박상길, 강인준 (1995), 경년변화추출기법을 이용한 해안지형변화 예측, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 13권, 제 2호, pp. 169-176.

Jay Lee (1991), Comparison of existing methods for building triangle at irregular network models of terrain from grid digital elevation models, *International Journal of Geographical Information Systems (IJGIS)*, Taylor and Francis Ltd., Vol. 5, No. 3, pp. 267-285.

Naser El-Sheimy (1998), *Digital Terrain Modeling (ENGO 573)*, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, pp. 13-21.

(접수일 2006. 2. 4, 심사일 2006. 2. 16, 심사완료일 2006. 3. 21)