
디지털 영상을 이용한 도로 절취사면 정보 획득

이종출* · 김진수**

Acquisition of Information on Road Cutting Slope Using Digital Imagery

Lee, Jong-Chool* · Kim, Jin-Soo**

이 논문은 2004년도 부경대학교 기성회 학술연구비 지원을 받아 연구되었음

요 약

산지가 많은 국내의 지형적 특성으로 절취사면의 발생은 필수적이며, 해마다 발생되는 사면 붕괴로 인해 많은 인명·재산 피해가 발생되고 있다. 또한 최근 무분별한 개발로 인한 산림지역의 훼손으로 토양의 침식이 발생하고, 이는 강우와 결부되어 하천 오염 및 하천의 바닥고를 상승시켜 통수능을 저하시키는 원인이 된다. 국내에서는 환경영향평가, 재해영향평가 등을 통하여 적절한 대책을 수립하고 있으며, 이를 위한 정량적 분석을 위해서는 신뢰할 수 있는 사면정보가 필요하다. 본 연구의 목적은 비측량용 사진기를 장착한 RC 모형 헬기를 이용하여 사면에 관련한 디지털 영상을 획득하고, 이를 처리하여 보다 정확한 사면정보를 획득하는데 있다. 이를 위해 절취사면을 대상으로 획득된 디지털 영상을 처리하여, 사면의 수치 정보를 획득하였고, 획득된 사면 정보를 바탕으로 신뢰할 수 있는 토사유출인자를 산정하였다.

ABSTRACT

Given the mountainous nature of Korea, cutting slopes are bound to happen. Every year, slope failures lead to enormous human and material losses. More recently, reckless development and subsequent degradation of forests has brought about soil erosion, which, coupled with heavy rainfall, contaminates rivers, raises the level of river bottoms and thereby deteriorates their discharge capacity. In Korea, environmental impact assessments and disaster impact assessments have been conducted to come up with proper countermeasures. In order to perform quantitative analysis for this purpose, reliable slope information is quintessential. This study aims to obtain slope-related digital images using an RC model helicopter with a non-metric camera embedded, and to process these images to gain more accurate slope information. To this end, digital images obtained regarding cutting slopes were processed to gain numerical information of slopes and, on the basis of slope information gained here, reliable soil erosion factors were estimated.

키워드

Digital Imagery, Slope, Non-metric Camera, Soil Erosion, Environmental and Disaster Impact Assessments

* 부경대학교 공과대학 건설공학부

** 부경대학교 공과대학 공학연구원

접수일자 : 2007. 8. 9

I. 서 론

우리나라의 경우 집중호우에 의한 사면붕괴가 대부분 발생하고 있으며, 사면에 관련된 실무자에게 강우에 의한 사면의 안정성을 적절하게 평가하는 것은 매우 중요한 문제이다[1]. 특히 개발사업의 일환으로 시행되는 각종 토목공사 시 강우가 발생하면 토사 및 지표면에 누적된 오염물이 하천으로 유입되어 하천의 수질오탁 및 하상고의 상승을 초래하게 되어 재해의 원인이 된다. 이를 위해 국내에서는 환경영향평가 및 재해영향평가를 통하여 토사유출의 정량적 분석을 실시하여 적절한 대책을 수립하도록 하고 있다. 또한 다양한 형태의 사면 설계 시 절취경사는 지질, 토질 및 함수량의 변화 등을 충분히 고려하고 있으며, 이를 위한 정밀한 측정 및 분석이 선행되고 있다.

그러나 토사유출 등의 산정에 있어 매개변수의 추정이 설계자의 주관적 요소에 크게 좌우되고 있으며, 사면 정보의 획득을 위해 종래의 기법을 그대로 적용함으로써 시간적, 경제적 측면뿐만 아니라, 접근성 및 조사자의 안전성 확보에 많은 문제점이 따른다.

최근에는 이러한 문제점을 보완하고, 효율적이고 체계적인 사면안정 관리시스템 구축을 위한 많은 연구가 수행되고 있다[2, 3]. 그러나 사면을 대상으로 한 기존 연구들은 주로 지상에서 획득된 영상을 활용함으로써, 대규모 사면의 정보 획득에는 많은 시간과 경비가 소요된다.

따라서 본 연구에서는 국내·외에서 활발한 연구가 진행되고 있는 무선조정(radio control) 헬리콥터 사진측량시스템을 이용하여 비접근 사면의 다양한 정보를 획득하는데 그 목적을 두고 있다[4, 5, 6]. 이를 위해 사면에 관련한 디지털 영상을 보다 효율적으로 획득하고, 획득된 사면 정보를 바탕으로 신뢰할 수 있는 토사유출인자를 산정하였다.

II. RC 헬리콥터 사진측량시스템

현재 소규모 특정지역의 정확한 관측을 위하여 저고도 항공사진측량은 근접 사진측량기법과 연계하여 기존의 항공사진측량으로 측정할 수 없는 지역의 지형형태를 효율적이고 정확하게 획득 및 분석할 수 있다. 특히

RC 헬리콥터는 활영 대상물까지의 이동성 및 접근성이 뛰어나고, 가장 근접해서 사진 활영을 할 수 있는 장점 등으로 인해 이를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다.

2.1. 카메라 검정

수치사진측량의 경우 활영 이전에 카메라의 초점거리와 주점의 결정, 정오차 보정에 관련한 부가매개변수의 취득을 위해 카메라 검정이 선행되어야만 한다. 이론적으로 이상적인 카메라는 대상물 공간속에서 카메라에 입사하는 빛이 렌즈 중심을 통하여 입사각과 같은 각으로 내부에서 직진하지만, 실제 카메라는 이와 같이 작용하지 않고 두 개의 투영중심이 생긴다.

이러한 렌즈의 특성으로 인하여 대상물 공간상에서 카메라에 들어오는 입사각과 카메라 내부에서 렌즈의 중심을 통해 굴절하는 굴절각이 일정하지 않기 때문에 방사방향과 편심방향 왜곡수차가 발생한다. 일반적으로 편심방향 왜곡수차는 극히 미세하여 특수한 경우를 제외하고는 고려하지 않으며, 방사방향 왜곡수차(DR)는 식(1)과 같다.

$$DR = A_1 R (R^2 - R_0^2) + A_2 R (R^4 - R_0^4) \quad (1)$$

여기서, A_1 과 A_2 는 1차 및 2차 왜곡상수이며, R 은 반지름, R_0 는 왜곡수차가 0이 되는 주점으로부터의 반경이다. 본 연구에서 사용된 카메라는 저가의 비측량용 카메라로써 활영 전의 카메라 검정이 획득된 정보의 양부에 매우 큰 영향을 미친다. 따라서 그림 1과 같이 카메라 위치를 왼쪽 및 오른쪽의 상단, 중앙, 중앙 수직(90° 회전), 하단에 위치시키고 8장의 사진을 획득하여 검정을 수행하였다.

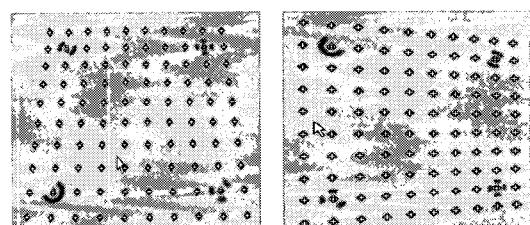


그림 1. 카메라 검정에 사용된 영상 예
Fig. 1. Example of Imagery using camera calibration

카메라 검정을 위하여 사진측량용 소프트웨어인 Photomodeler 5.0을 이용하였다. 검정 시 프로그램에서 자동으로 측점간의 상호 연관성을 계산하여 정확한 매개변수를 결정하게 되며, 표 1은 카메라 검정 결과를 나타낸 것이다.

표 1. 카메라 검정 결과
Table 1. Result of camera calibration

카메라 제원 [SONY DSC-W1 Digital Camera]		
내부 표정 요소	초점 거리	7.8898mm
	포맷 크기	W 7.0391 mm
		H 5.2774 mm
	주점 위치	X 3.4999 mm
		Y 2.6776 mm
	렌즈 왜곡	K1 9.033e-004
	방사	K2 5.303e-005
		K3 0.000e+000
	편심	P1 5.750e-005
		P2 1.170e-0045
영상 크기		2592×1944

2.2. 다중영상표정

표정은 여러 다른 영상들과 대상물에 관련된 각 영상의 카메라 위치(X_c, Y_c, Z_c)와 회전요소(ω, ϕ, κ)에 대한 계산이고, 표정점에 대한 대상물 좌표를 계산하는 과정으로 내부표정과 외부표정으로 구분된다.

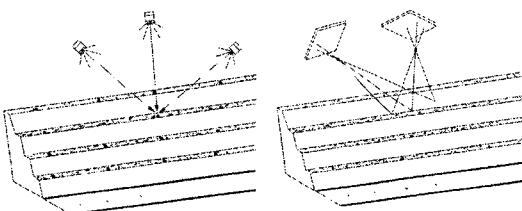


그림 2. 공간 전방교회법
Fig. 2. Space intersection

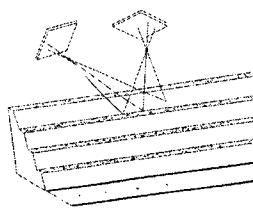


그림 3. 공간 후방교회법
Fig. 3. Space resection

다중영상표정은 표정을 위해 공간 전방교회법(space intersection)과 공간 후방교회법(space resection)을 동시에 수행하는 것이다. 공간 전방교회법은 광속이 3차원 공간에서 교차하는 것을 기초로 하는 사진측량학적 계산방법으로 그림 2와 같이 두 장의 사진에 대한 외부표정과 사진좌표로부터 공통된 대상물의 표정점을 계산하는 과정이다. 공간 후방교회법은 그림 3과 같이 이미 알고

있는 위치와 일치하는 지점에서 적어도 3개의 기지방향으로 교차시킴으로써 공간 위치를 결정하는 것이며, 기지의 대상물 좌표와 적어도 3개의 표정점의 사진 좌표로부터 어떤 사진의 외부표정을 결정하는 과정이다.

공선조건에 만족하기 위하여 대상물 좌표체계 결정에 이용된 표정점은 표정 순서에서 최소 3장의 사진에 나타나야 하며, 맨 처음 두 장의 사진은 공간 전방교회법으로 모델 좌표를 계산하게 된다. 두 장의 사진방향은 3차원 공간에서 $60\sim90^\circ$ 의 각도가 이루어지도록 하고, 대상물 전역에 골고루 분포되어 있는 최소 7개의 표정점을 갖고 있어야 한다. 또한 공간 후방교회법에서는 각 표정 순서에서 이미 알고 있는 3개의 표정점이 적어도 3장의 사진에 나타나야 하며, 결과값에 대한 정확도를 미리 고려하여 사진의 표정 순서를 결정하게 된다.

III. 관측실험 및 결과

3.1. 촬영시스템 구성

본 연구에서는 경남 김해시 일원에 소재한 약 350m 절취사면을 대상 사면으로 선정하였고, 대상 사면을 촬영하기 위한 시스템은 그림 4와 같이 구성하였다. 본 시스템은 무선으로 조정되는 소형 헬리콥터의 기체와 헬리콥터의 진동이나 롤링(rolling)에 관계없이 연직 상태를 유지할 수 있는 짐벌(gimbal mount)장치에 카메라를 장착하고 헬리콥터가 이동하면서 포착하는 장면을 지상의 모니터를 통해 촬영되는 영상을 제어하면서 촬영하는 시스템이다.

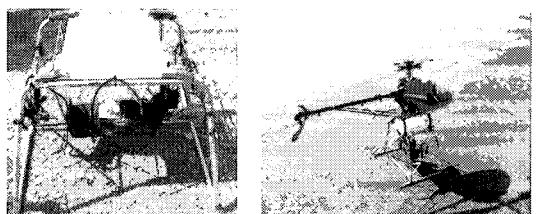


그림 4. RC 헬리콥터 촬영시스템의 모습
Fig. 4. RC helicopter photographic surveying system

3.2. 지상 기준점 측량

영상 획득을 위한 촬영 이전에 취득된 영상의 절대표정을 위한 지상 기준점 측량과 번들 조정에 의한 결과값

의 정확도를 분석하기 위한 검사점 측량을 선행하였다. 약 350m 구간의 대상 사면에 대하여 표정 작업의 효율성을 극대화시키기 위해 표정점의 위치를 일정한 간격으로 120여개 설치하였으며, 이 중 22개의 자료는 최종 결과의 정확도를 분석하기 위한 검사점으로 활용하였다.

3.3. 영상 처리

수치영상에는 주변부의 경사에 따른 지형왜곡과 카메라나 센서의 표정, 지형의 굴곡, 측량 오차 등이 많이 포함되어 있기 때문에 처리단계에서 내부표정과 외부표정 과정을 거쳐야 한다[7]. 본 연구에서는 영상 처리를 위하여 Z/I Imaging사의 Image Analysis 프로그램을 이용하였다. 먼저 ISDM(Image Station Digital Mensuration) 모듈을 이용하여 상호표정 및 절대표정을 실시하였다.

상호표정에서는 그림 5와 같이 각각의 표정점을 좌·우 영상에서 탐색하고, 운영자에 의해 표정의 정확도가 확인된다. 또한 외부표정요소의 초기값과 지상기준점 및 이에 대응하는 사진좌표를 입력하고 최소제곱원리에 의해 반복 계산되어 촬영된 영상의 외부표정요소를 결정한다.

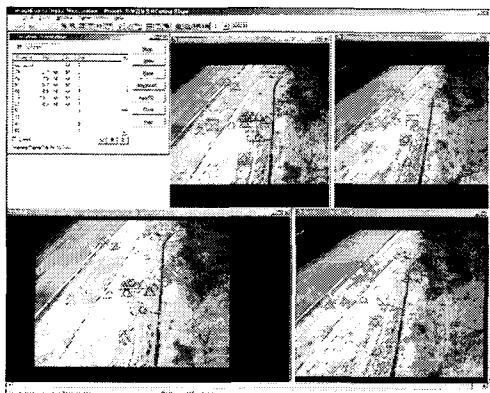


그림 5. 상호표정(ISDM)
Fig. 5. Relative orientation using ISDM module

절대표정은 상호표정을 거친 영상을 대상 사면에 관련한 절대좌표계로 변환하는 작업으로써, 그림 6과 같이 미리 부착된 지상 기준점을 좌·우 영상에서 탐색하고, 이를 계산하는 과정이다.

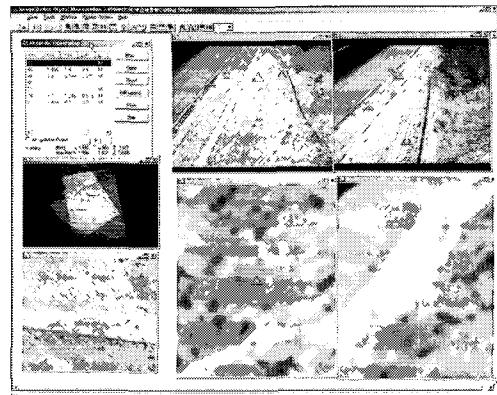


그림 6. 절대표정(ISDM)
Fig. 6. Absolute orientation using ISDM module

표정작업이 완료된 영상에 대한 Triangulation 계산 결과는 그림 7과 같이 계산되고, 각 표정점에 대한 잔차 통계를 바탕으로 과대오차를 나타내는 표정점에 대한 탐색을 다시 반복 실시하였다.

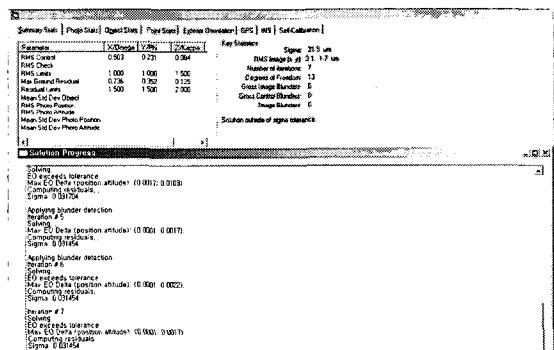


그림 7. 절대 표정 계산 결과
Fig. 7. Result of photo triangulation

표정단계를 거친 영상은 그림 8과 같이 ISSD (Image Station Stereo Display) 모듈을 통해 3차원 입체영상으로 생성되며, ISFC(Image Station Feature Collection) 모듈과 MicroStation을 통해 그림 9와 같이 최종적으로 수치 도화된다. 그림 10은 도화작업을 거친 대상 사면의 평면도를 나타낸 것이며, 그림 11은 도화된 3차원 자료를 이용한 대상사면의 횡단면도를 작성한 결과이다.

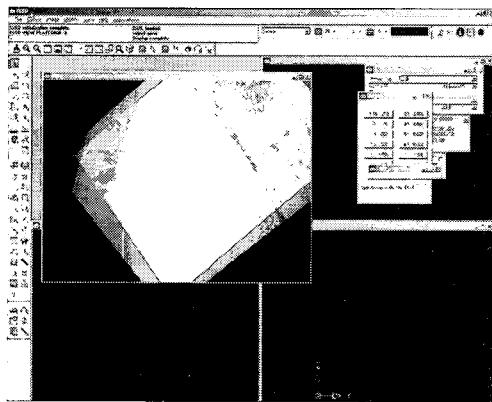


그림 8. 입체영상(ISSD)

Fig. 8. Generation of stereo image using ISSD module

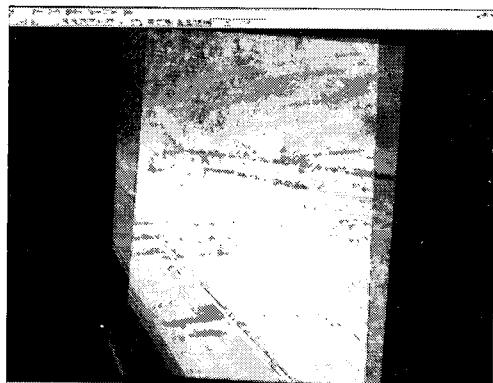


그림 9. 수치도화(ISFC)

Fig. 9. View of digitizing from stereo image using ISFC module

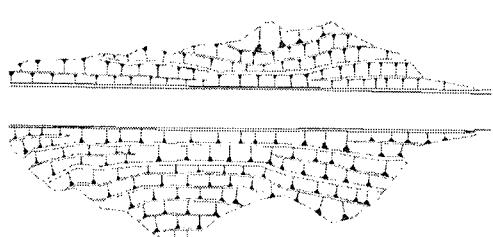
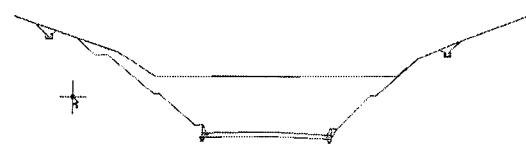
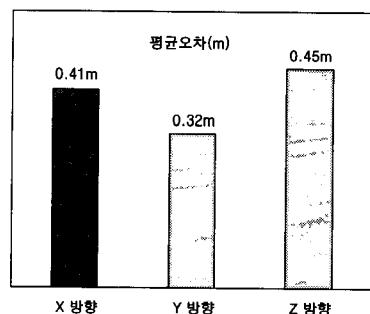


그림 10. 수치도화에 의한 대상지의 평면도

그림 11. 도화된 자료를 이용한 횡단면도
Fig. 11. A cross section of test-field generated by digitizing

3.4. 결과 분석

본 연구에서는 최종적으로 결정된 사면 위치정보의 정확도를 분석하기 위해서 RC 헬리콥터 사진측량시스템에 의한 성과와 22개의 검사점 성과를 비교·분석하였다.

그림 12. 검사점 성과
Fig. 12. Mean error of check points

그 결과, 그림 12와 같이 각 방향별 평균오차는 X방향으로 0.41m, Y방향으로 0.32m, Z방향으로 0.45m로 나타났다. 이는 수치지도작성작업내규에 명시된 축척 1:5,000에서의 허용오차범위를 만족하는 값들로 사면에 관련한 다양한 정보 획득에 그 활용성이 충분히 있을 것으로 기대된다.

또한 이렇게 획득된 사면 정보를 바탕으로 사면경사계수(LS)와 토양피복계수(C)를 산정하였다. 이러한 계수들은 강우의 토양침식에 대한 토지이용의 영향을 예측할 목적으로 개발된 수정법용토양손실 공식(RUSLE; revised universal soil loss equation)에 있어 토양침식량을 산정하는데 매우 중요한 요소이다.

먼저 추출된 대상 지역의 평면도를 ESRI 사의 ArcView를 이용하여 그림 13과 같이 대상유역의 불규칙 삼각망(TIN; triangular irregular network)을 구축하였으며, 그림 14와 같이 벡터 자료인 TIN을 분석에 용이한 형태인 Grid로 변환시켜 경사길이와 경사도를 이용하여 경사 분석을 실시하였다.

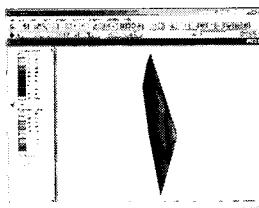


그림 13. TIN 생성결과
Fig. 13. TIN generation

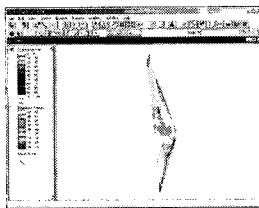


그림 14. 경사 분석 결과
Fig. 14. Slope analysis

이렇게 분석된 경사를 바탕으로 경사장 인자(L)를 계산하기 위해 최근 GIS 발달과 함께 많이 이용되고 있는 Desmet과 Govers가 제안한 수식을 사용하였으며, 경사도 인자(S)는 Nearing의 연속방정식을 사용하여 산정하였다[8, 9]. 표 2는 대상유역을 등경사를 기준으로 총 4개의 구역으로 구분하고, 각 구역에서의 사면경사계수를 산정한 결과를 나타낸 것이다.

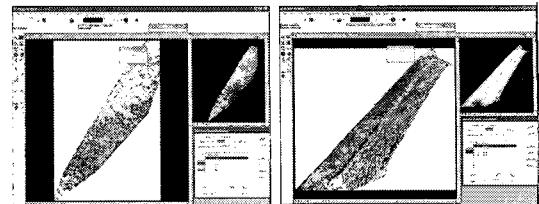
표 2. 각 구역별 사면경사계수 산정 결과
Table 2. Result of LS for each section

구분	1 구역	2 구역	3 구역	4 구역
LS	0.53	0.80	1.77	3.98

또한 그림 15와 같이 Image Analyst의 분류 기능 중 감독분류를 사용하여 취득된 디지털 영상을 각 밴드별로 분류하였다. 각각의 구역을 피복상태(초지, 나지, 기타)에 따라 영상의 밴드별로 분류하고, 피복 상태에 따른 해당 픽셀을 추출한 후 면적을 추출한 결과는 표 3과 같다.

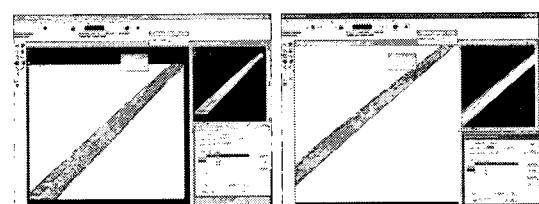
표 3. 각 구역별 피복 상태에 따른 면적 추출 결과
Table 3. Result of calculating area on coverage condition for each section

구분	초지	나지	기타	계
1 구역	197.34	246.13	286.25	729.73
2 구역	1346.43	968.70	88.340	2403.46
3 구역	1282.56	994.29	561.90	2838.75
4 구역	992.74	1752.15	343.64	3088.53



(a) 1 구역

(b) 2 구역



(c) 3 구역

(d) 4 구역

그림 15. 각 구역별 피복 상태에 따른 분류 결과
Fig. 15. Result of classification on coverage condition for each section

추출된 면적에 초지, 나지 및 기타 구간의 토양피복계수는 0.05, 0.66 및 0.01을 적용하여 각 구역별 토양피복계수(C)를 산정한 결과는 표 4와 같다[10].

표 4. 각 구역별 토양피복계수(C) 산정 결과
Table 4. Result of C for each section

구분	1 구역	2 구역	3 구역	4 구역
C	0.24	0.29	0.26	0.39

IV. 결 론

본 연구에서는 RC 헬리콥터 사진측량시스템을 이용하여 사면에 관련한 3차원 위치정보를 획득하고, 이를 활용한 다양한 사면 정보의 획득 방법을 제시하였다.

제안된 시스템에 의해 획득된 사면의 위치정보는 항공사진 및 고해상도의 위성영상을 이용한 기존 연구 결과와 비교해 볼 때, 정량적 측면에서 양호한 결과를 나타내었다. 또한 수치지도작성작업내규에 명시된 축척 1:5,000에서의 허용오차 범위를 만족하는 값들로 사면에 관련한 다양한 정보 획득에 그 활용성이 충분히 있을

것으로 판단된다. 또한 접근이 어려운 사면의 정보 획득에 있어서 종래의 기법에 비해 시간적, 경제적 측면 뿐만 아니라, 조사자의 안전성 측면에서 효율성을 극대화시킬 수 있다.

이렇게 획득된 사면 정보를 바탕으로 대상 유역을 등 경사로 총 4개의 구역으로 구분하고, 각 구역에서의 사면 경사계수(LS)와 토양피복계수(C)를 산정한 결과, 각 구역별 LS 값은 0.53, 0.80, 1.77, 3.98, C 값은 0.24, 0.29, 0.26, 0.39로 결정되었다. 이는 토사유출 등의 산정 시 매개변수의 추정이 설계자의 주관적 요소가 가미될 수 있는 사면 경사계수(LS) 및 토양피복계수(C)를 객관적 기준으로 산정함으로써 그 결과에 대한 신뢰도를 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 환경영향 평가, 재해 영향 평가 등에서 적절한 대책 수립을 위한 정량적 자료로 활용될 수 있다.

향후 개발대상 유역의 하류지역에 미치는 직접, 간접적인 피해를 정량적으로 산정함으로써 그에 대한 대비책을 수립하는데 있어 디지털 영상의 활용이 증대될 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 장용구, 곽영주, 강인준, 지상 LiDAR를 활용한 접도 사면 위험 평가에 따른 GIS 관리, 대한토목학회 논문집, 제26권 제1D호, pp.169-175, 2006.
- [2] 엄대용, 이성순, 3차원 수치 영상을 이용한 암반 사면의 불연속면 정보 추출, 한국측량학회지, 제22권 3호, pp.233-244, 2004.
- [3] 박경렬, 수치 사진측량 기법을 이용한 사면의 안정성 해석 시스템, 한국측량학회 추계 학술 발표회 논문집, pp.379-392, 2005.
- [4] Theodoridou, S., Tokmakidis, K., and Scalatos, D., Use of Radio Controlled Model Helicopters in Archaeology Surveying and in Building Construction Industry, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. X X X III, Part B5, Amsterdam, pp.825-829, 2000.
- [5] Zischinsky, T., Dorffner, L., and Rottensteiner, F., Application of a New Model Helicopter System in Architectural Photogrammetry, International Archives

of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. X X X III, Part B5, Amsterdam, pp.117-183, 2000.

- [6] 장호식, 노태호, 무선조정 헬리콥터 사진측량 시스템을 이용한 도로의 평면선형 정보 추출, 한국지리정보학회지 8(4), pp.44-51, 2005.
- [7] 최현, 소규모 지역에서 3차원 정사사진 구현을 위한 GPS와 EDM의 적용, 한국해양정보통신학회 논문지 10(5), pp.890-896, 2006.
- [8] Desmet, P. J. J., and Govers, G., A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units, Journal of Soil and Water Conservation, Vol.51, No.5, pp.427-433, 1996.
- [9] Bartsch, K. P., Miegroet, H. V., Boettinger, J., and Dobrowolski, J. P., Using empirical erosion models and GIS to determine erosion risk at Camp Williams Utah, Journal of Soil and Water Conservation, Vol.57, No.1, pp.29-37, 2002.
- [10] 행정자치부 국립방재연구소, 개발에 따른 토사유출량 산정에 관한 연구(1), pp.1-260, 1998.

저자소개



이 종 출(Jong-Chool Lee)

1990년 2월 동아대학교 대학원 토목공학과 공학박사
1986년 3월-2007년 현재 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수

※ 관심분야 : 사진측량학, 원격탐사, GIS, GPS



김 진 수(Jin-Soo Kim)

2007년 2월 부경대학교 대학원 토목공학과 공학박사
2007년 3월-2007년 현재 부경대학교 공과대학 공학연구원

※ 관심분야 : 사진측량학, 원격탐사, GIS, GPS