

항공사진판독에 의한 자연재해예측을 위한 기초적 연구 Fundamental Study of Prediction of Natural Disaster Using the Aerial Photo Interpretation

강인준* · kw재하** · 정재형**

Kong, In-Joon · Kwak, Jae-Ha · Jung, Jae-Hyung

요 지

산지가 많은 우리나라에서는 인구가 증가함에 따라 토지의 이용이 평지에서 경사지로 이동되고 있으며, 산사태와 같은 자연재해는 인명의 손실, 재산상의 손실, 그리고 자연환경 파괴를 일으켜 그 연구의 중요성이 증가하고 있다. 산사태 예측에 있어서 단일사면에 대한 안정검토해석이 아닌 광범위한 지역의 위험지 예측은 중요한 과제라 할 수 있다.

본 연구에서는 산사태 지역의 항공사진 스캐닝으로 얻은 이미지밝기값의 평균 및 표준편차에 대한 상관관계를 알 수 있었다. 산사태 지역에서는 밝기값 범위가 35~65에 분포하였고, 표준편차가 경년변화에서 조금씩 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 넓은 지역의 산사태 조사에서는 항공사진 자료에 의해 경사도, 토질특성, 피복상태의 상관관계를 구할 수 있다.

ABSTRACT

As population is increased, land use types are changed mountainous areas from flatland in Korea. Because natural disaster as landslides occur loss of life, property, and environmental damage, prediction of landslides have become increasingly important. We focus on the issue for assessment of landslides, not slope stability analysis for a simple slope site.

In this study, we could know the correlations of mean, standard deviation for brightness value of imagery by aerial photo scanning. The range of brightness values and standard deviation of landslide area is 35~65 and tend to increment of value, in the every years. When evaluating large regions with past occurrence of landslides, it is possible to search for correlation of site conditions such as degree of slope, soil characteristics, vegetative cover, and rainfall conditions in aerial photo interpretation data.

1. 서 론

환경 및 자연보호 문제와 함께 자연재해를 예방하고자 하는 노력은 어느 지역을 막론하고 중요한 과제로 떠오르고 있다. 자연재해 중에서 산사태는 비록 발생빈도수는 적으나 발생시 그 피해규모는 대단히 큰 특징을 가지고 있다. 부산직할시의 경우 1991년 태풍 글래디스호의 영향으로 인한 피해의 복구비용이 약 300억원 소요되었다. 미국의 경우 1년당 산사태로 인한 손실액이 거의 1백만 달러가 소요되었다고 발표되었으며, 산이 많은 지역은 전세계를 통하여 이와

유사한 피해가 있는 것을 알 수 있다.¹⁾ 산지가 많은 우리나라의 경우 인구증가와 함께 토지의 이용이 평지에서 경사지로 이동되면서 자연재해로 인한 사고가 늘어나면서 인명의 손실, 재산상의 손실이 증가하고, 자연환경 피해의 보호측면에 까지 그 중요성이 점점 증가하고 있다.

사면재해는 토질조건 및 강우강도 등 여러 요인으로 발생되고 있으며, 사면안정문제에서 단일사면에 대한 토질역학적 안정검토 문제는 많은 연구를 하고 있다. 그러나, 이것은 정역학적 해석이고 또한 산사태 발생 후 그 피해복구를 목적으로 진행되므로 산사태 발생 예측에 대한 연구가 아님을 알 수 있다. 산사태 위험평가는 한 지역을 대상으로 하지 않고 넓은 지역에

*부산대학교 토목공학과 부교수

**부산대학교 대학원 토목공학과 석사과정

걸쳐 수행해야 하기 때문에 위치, 시간, 그리고 공간적 변화특성을 알아내야 한다. 위치의 특성을 나타내기 위하여 토질특성, 경사도, 기저암의 형태, 우수조건, 그리고 산사태 발생 이전의 식물분포 등 다중통계방법을 채택하고 그 상관관계를 이용하여 도식화하고 특성에 따른 지도제작을 하여야 한다. 산사태 위험 평가를 위한 단순한 조사의 경우 지형조건의 평가에 의존하며, 공간적 조건변화는 다양하고 복잡하게 표본화하고 정확하게 이러한 요소들을 지도로 만든다. 넓은 지역을 개괄적으로 볼 수 있는 지형조건지도의 제작과 산사태 위험평가를 위한 지반거동을 조사하기 위해 원격탐사 방법을 채택하여 평가하는 것이 가능하다.

그리고, 항공사진을 판독할 경우 사진판독요소인 색조, 질감, 형상, 크기, 음영의 6가지 요소와 상호위치관계 및 과과감 등을 이용하여 식생도를 만들 수 있는 정보의 수집이 가능하고 산불, 산사태, 곤충이나 질병 등에 의한 피해평가에도 사용할 수 있다.²³⁾

1.1 연구목적

예상되는 자연재해 중에서 특히 산사태 위험지역의 선정에 대한 연구보고가 현재까지 체계적으로 이루어지지 않고 있으며 기존의 연구는 재해 후 그 피해 복구를 위주로 진행되고 있고, 대규모지역에 대한 자연재해예측은 조사가 어려우므로 소홀히 하는 경향이 있다. 따라서, 기존의 사진판독 기법들 중에서 판독자의 주관에 의한 단순판독이 아니라 항공사진을 스캐닝하여 얻은 이미지데이터를 분석하여 재해위험 예측의 정확도를 증가시켜 보다 과학적으로 산사태 위험지역을 자동적으로 발견할 수 있는 기초적인 자료를 얻고자 함을 그 목적으로 한다.

1.2 연구동향

외국의 경우 원격탐사에 의한 산사태위험 평가에 대한 연구에서는 식생과 토양의 깊이에 따른 다중스펙트럼 데이터의 스펙트럼 관측으로 산사태 지역의 발견에 대한 연구가 있었고,¹⁾ 사진판독을 이용한 삼림지도의 제작으로 병충해의 피해량 산출에 대한 연구가 있었으며,²⁾ 삼림지역의 사진판독에 의한 경사도에 따른 분류에 대한 연구와³⁾ vector-based GIS에서 slope line의 발견이라는 연구에서 산사태 지역 및 퇴적지 위치를 발견하기 위해 벡터방법으로 지형해

석을 하여 slope line을 발견하는 연구가 있었다.⁵⁾ 그리고, 식생에 따른 분석으로 산불피해에 대한 평가⁶⁾와 SPOT 영상에 의한 스펙트럼 지도와 토양도 사이의 비교분석에서 토양의 비교가 있었고,⁷⁾ 다중스캐너 데이터를 이용하여 수심, 퇴적량 등의 영향평가가 있었다.⁸⁾

그러나, 국내의 경우 1990년 항공사진 판독에 의한 사전, 사후의 환경영향 평가에서 사전평가의 중요성이 강조되었으며,⁹⁾ 1991년 항공사진측량에 의한 산사태의 분석에 관한 연구에서 사진축척 1:6,000 흑백항공사진을 이용하여 산사태지역의 소나무, 잡목 및 나대지, 그리고 도로의 판독기법이 소개되었다.¹⁰⁾ Landsat TM 데이터를 이용한 병충해 영향에서 솔잎혹파리에 의한 삼림의 피해유출에 관한 연구가 있었으며,¹¹⁾ 산사태 위험도 추정을 위한 간극수압 예측에 관한 연구에서 지하수위의 예측과 그 영향에 대한 고찰이 있었다.^{12,13)} 또한, 저고도 항공사진 측량으로 판독효과를 높이고자 무인항공사진에 의한 연구가 활발히 진행 중이다.¹⁴⁾

그러나, 인공위성 영상이나 항공사진 영상의 판독을 이용한 대규모지역의 산사태 위험예측에 대한 연구는 아직까지 미개척분야인 것을 알 수 있었다.

2. 기본이론

밝기값에 대한 라디오메트릭 해상력은 1비트인 2단계에서 8비트인 256단계까지 구분되고 있다. 다중스펙트럼을 이용하면 각 영상의 밴드에서 밝기값의 최소·최대값, 평균, 표준편차, 분산-공분산행렬, 그리고 밝기값의 빈도수를 히스토그램으로 나타낼 수 있다. 또한, 사진이나 필름을 스캐닝하여 영상화시키면 같은 방법으로 이미지 데이터의 분석이 가능하며 기호는 다음과 같다.¹⁵⁾

i = 화상에서의 행(row)

j = 화상에서의 열(column)

k = 화상밴드

l = 화상의 다른 밴드

BV_{ijk} = i 행, j 열, k 밴드에서의 밝기값

BV_i = 밝기값의 범위

n = 배열에 있는 화상요소(픽셀)의 총 개수

μ_k = 화상밴드의 평균

s_k = 화상밴드의 표준편차

Var_k =화상밴드의 분산

Cov_{kl} =두개의 밴드 k와 l에 있는 픽셀값 사이의 공분산

r_{kl} =두개의 밴드 k와 l에 있는 픽셀값 사이의 상관관계

X_c =i행, j열, k밴드에 대한 밝기값으로 구성된 클래스 c의 관측벡터

M_c =클래스 c에 대한 평균벡터

M_d =클래스 d에 대한 평균벡터

μ_{ck} =밴드 k의 클래스 c에 있는 데이터의 평균값

s_{ck} =밴드 k의 클래스 c에 있는 데이터의 표준편차

V_{ckl} =밴드 k에서 밴드 l에 대한 클래스 c의 공분산 행렬 ; V_c

V_{dkl} =밴드 k에서 밴드 l에 대한 클래스 d의 공분산 행렬 ; V_d

평균, 표준편차, 분산으로 중앙에 물리는 경향을 관측하기 좋다. 그러나, 보다 유용한 것은 다중밴드사이의 상관관계와 공분산의 값이다. 각 픽셀의 스펙트럴 관측치는 독립적이지 않기 때문에 어떤 상호관측이 필요하다. 이것을 공분산(covariance)이라고 하며 스펙트럴 관측치의 평균에 대한 두개의 변화에 연관된 편차이다. 공분산을 구하기 위해서는 먼저 다음 식을 계산하여야 하는데 이것을 SP라고 하고 다음 식으로 정의한다.

$$SP_{kl} = \sum_{i=1}^n (BV_{ik} - \mu_k)(BV_{il} - \mu_l) \quad (1)$$

이 식에서 BV_{ik} 와 BV_{il} 는 각각 연구지역에 있는 n 픽셀에 대한 밴드 k의 i번째 관측값이고 밴드 l의 i번째 관측값이다. 밴드 k와 l의 평균은 각각 μ_k 와 μ_l 이다. 여기에서 변수 k는 밴드 1을 의미하고 변수 l은 밴드 2를 의미한다. 식 (2)를 사용하면 계산적으로 보다 효과적이다.

$$SP_{kl} = \sum (BV_{ik} \times BV_{il}) - \frac{\sum_{i=1}^n BV_{ik} \sum_{i=1}^n BV_{il}}{n} \quad (2)$$

만약 k와 l을 같게 하면 제곱의 합(SS)에 대한 SP_{kl} 의 관계를 볼 수 있다.

$$SP_{kk} = \frac{\sum_{i=1}^n BV_{ik}^2 - \left(\sum_{i=1}^n BV_{ik} \right)^2}{n} = SS_k \quad (3)$$

간단한 분산은 제곱의 합 SS를 (n-1)로 나누어 계산할 수 있으며 공분산은 SP를 (n-1)로 나누어 계산할 수 있다. 따라서, 밴드 k와 l에 있는 밝기값 사이의 공분산 Cov_{kl} 은 다음 식이 된다.^{15,16)}

$$COV_{kl} = \frac{n \sum_{i=1}^n (BV_{ik} \times BV_{il}) - \sum_{i=1}^n BV_{ik} \sum_{i=1}^n BV_{il}}{n(n-1)} \quad (4)$$

3. 적용 예

3.1 모델지역 및 사진판독

항공사진 판독은 항공사진 자료를 색, 농도, 크기 등의 정량적으로 관측하여 산사태지역의 길이, 면적, 체적 등의 붕괴량을 산정하고 5회 이상의 사진을 비교분석하여 변화상태를 파악하여 산사태 발생 요인을 발견할 수 있다.

모델지역은 부산직할시 금정구 금곡동과 서 2동에 있는 구월산(374m)의 일부로 산사태와 산불로 인한 재해가 발생했었던 지역이며, 식 (5)에 의한 평균경사도는 약 16°이며 면적은 약 0.4 km²로 소나무 밀식지역 이었다.

$$\text{경사}(\circ) = \tan^{-1} \left(\frac{\text{표고차}}{\text{수평거리}} \right) \quad (5)$$

그림 1은 모델지역의 위치를 나타내고 있다.

그림 2는 모델지역의 3차원 지형도를 나타내고 있으며 화살표는 산사태의 경로이다. 그리고, 사진 1은



그림 1. 모델지역의 위치

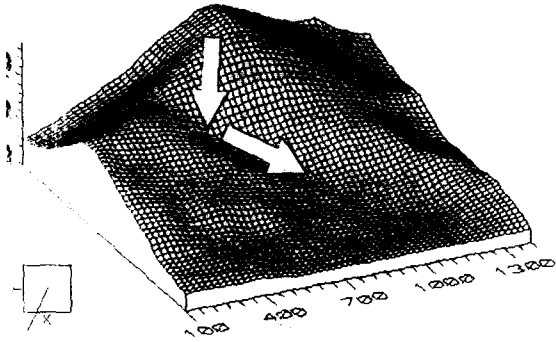


그림 2. 모델지역의 3차원 지형도(단위 : 미터)

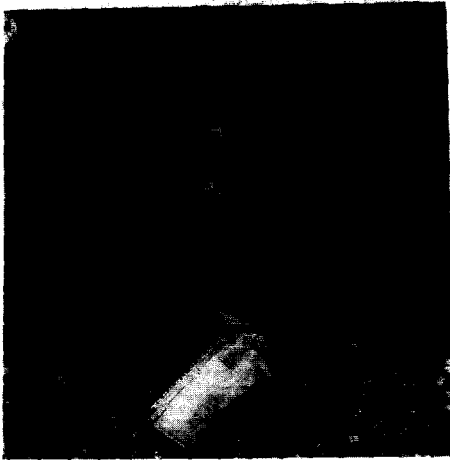


사진 1. 모델지역의 항공사진(1992년)

모델지역의 1992년에 촬영한 항공사진으로 학교 왼쪽의 흰 부분이 산사태 지역이며 산사태 지역 하단에는 단독주택이 밀집하여 있다.

3.2 항공사진 판독

분석자료는 부산직할시에서 매년 2회 촬영하고 있는 사진축척 1 : 6000 흑백항공사진으로 1975년, 1980년, 1985년, 1990년, 1992년 각 1매로 총 5매의 항공사진을 이용하였다.

3.2.1 항공사진 판독

1975년에는 계곡에 소나무숲(A, B, C, D, E)이 우거져 있고 남쪽에는 농경지(a)로 되어 있다. 1980년에는 소나무숲의 규모가 전체적으로 감소되었고, 남쪽의 농경지가 주택지(b)로 바뀌었으며 계곡의 북동쪽에 산불로 인한 넓은 나대지(E)가 형성되어 있다. 1985년에는 계곡중앙부의 나무가 상대적으로 적어진

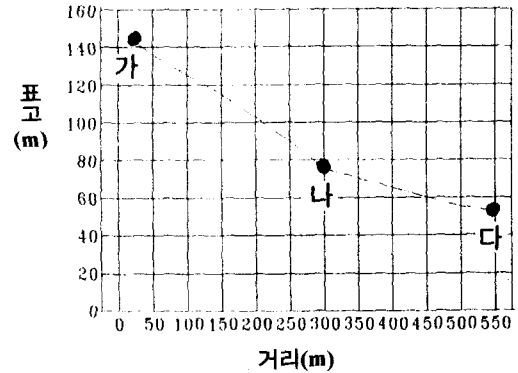
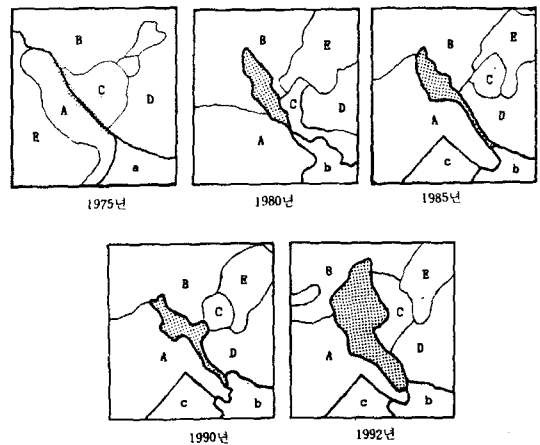


그림 3. 산사태 지역 계곡의 종단도(단위 : 미터)



반면에 계곡주위에 균일한 소나무숲을 형성하고 있고 학교(c)가 생겼으며 산불로 인한 나대지에 어린나무가 자라고 있음을 알 수 있다.

1990년에는 계곡의 중앙부에 부분적인 산사태가 발생하여 석축 등 방재공사를 한 것을 알 수 있다. 1992년 항공사진을 판독한 결과 방재공사로 안정상태를 유지하여 왔으나 1991년 8월 태풍 글래디스호의 영향으로 산사태가 발생하였다.

그림 3은 산사태지역 계곡의 종단도를 나타내고 있는데 여기에서 "가" 지역에서 산사태가 발생하여 "나" 지역을 거쳐 주택지인 "다" 지역으로 토괴가 밀려 내려와 많은 피해를 가져왔다.

3.2.2 밝기값에 따른 분류

산사태지역의 지형분류에 따른 밝기값을 소나무숲의 패턴에 따라 A, B, C, D 지역으로 분류하였고 산불로 형성된 대규모 나대지를 E 지역으로 분류하여

표 1. 모델지역의 밝기값

| 연도 | 1975년 | | 1980년 | | 1985년 | | 1990년 | | 1992년 | |
|----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| | 최소 | 최대 | 최소 | 최대 | 최소 | 최대 | 최소 | 최대 | 최소 | 최대 |
| A | 27 | 70 | 29 | 122 | 26 | 82 | 23 | 86 | 35 | 188 |
| B | 35 | 71 | 26 | 122 | 30 | 72 | 29 | 103 | 31 | 131 |
| C | 31 | 118 | 27 | 132 | 21 | 123 | 22 | 112 | 35 | 123 |
| D | 35 | 135 | 31 | 131 | 30 | 79 | 39 | 96 | 37 | 126 |
| E | 29 | 80 | 43 | 171 | 29 | 84 | 32 | 85 | 40 | 151 |

표 2. 모델지역의 밝기값

| 구분 | 1975년 | | 1980년 | | 1985년 | | 1990년 | | 1992년 | |
|----|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|
| | 평균 | 표준 편차 | 평균 | 표준 편차 | 평균 | 표준 편차 | 평균 | 표준 편차 | 평균 | 표준 편차 |
| A | 37 | 3 | 49 | 11 | 49 | 6 | 48 | 8 | 67 | 20 |
| B | 48 | 5 | 45 | 7 | 49 | 6 | 51 | 8 | 42 | 7 |
| C | 44 | 9 | 46 | 14 | 55 | 5 | 55 | 14 | 50 | 8 |
| D | 47 | 7 | 49 | 6 | 49 | 6 | 61 | 6 | 63 | 11 |
| E | 36 | 4 | 123 | 17 | 55 | 7 | 55 | 6 | 55 | 10 |

각각의 밝기값 변화를 표 1과 표 2로 나타내었다.

3.3 비교분석

1975년부터 5년 간격의 항공사진을 판독한 결과 계곡사면의 평균경사도가 약 16°이고 토지의 이용이 농경지에서 주거지로 바뀌는 과정에서 계곡 중앙부가 단순조림에 의한 소나무숲인 경우 비록 그 소나무숲의 규모가 크더라도 방재효과를 가져오지 못하였다. 그리고, 지형변화단계를 볼때 계곡이 점진적으로 발달하고 있으며 소나무숲의 밝기값 변화는 1975년의 경우 최소 37에서 최대 48, 1980년은 43에서 49, 1985년은 49에서 57, 1990년은 49에서 61로 밝기값과 표준편차가 커지고 있으며, 계곡전체 밝기값의 범위는 35~65이었다. 그리고, 소나무가 밀식된 지역의 경우 단순 조림 보다는 방재식목을 통한 삼림관리의 필요성을 알 수 있었다.

4. 결 론

자연재해 예측에 관한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 밝기값이 커지고 표준편차가 증가할 때 산

사태가 발생하였으며, 재해지역은 35~65의 밝기값을 갖고 있었다.

둘째, 삼림관리의 경우 직군끼리의 단순조림목격 보다는 수종특성에 따른 사방용 식목을 고려하여야 하며, 식목후 관리의 중요성을 알 수 있었다.

셋째, 사진판독에 의한 지형의 수종, 토질조건, 강우강도 등과 함께 이미지의 밝기특성을 고려한 프로그램으로 대규모 지역의 재해발생 위험도 예측이 가능함을 알 수 있었다.

그리고 항공사진의 스캐닝을 통한 이미지데이터의 분석 뿐 아니라 인공위성 영상 데이터를 이용하여 산사태 가능지역을 선정하는 과학적인 연구가 지속적으로 필요하다.

참고문헌

1. J. Mackean, S. Buechel, L. Gaydos, "Remote Sensing and Landslide Hazard Assessment", PE & RS, Vol. 57, No. 9, 1991, pp. 1185-1193.
2. Paul, R. Wolf, Elements of Photogrammetry, 2/e. MGH, pp.514-529.
3. 유복모, 사진측정학, 문운당, 1992, pp.73-76.
4. William D. Hudson, "Photo Interpretation of Montane Forests in the Dominican Republic", PE & RS, Vol.57, No.1, 1991, pp.79-84.
5. Yue Hong Chou, "Slope-Line Detection in a Vector-Based GIS", PE & RS, Vol.58, No.2, 1992, pp.227-233.
6. Warren B. Cohen, "Chaparral Vegetation Reflectance and its Potential Utility for Assessment of Fire Hazard", PE & RS, Vol.57, No.2, pp.203-207.
7. Patrick A. Agbu, Egide Nizeyimana, "Comparisons between Spectral Mapping Units Derived from SPOT Image Texture and Field Soil Map Units", PE & RS, Vol.57, No.4, 1991, pp.397-405.
8. John Grimson Lyon, Ross S. Lunetta, Donald C. Williams, "Airborne Multispectral Scanner Data for Evaluating Bottom Sediment Types and Water Depths of the St. Marys River, Michigan", PE & RS, Vol.58, No.7, 1992, pp.951-956.
9. 강인준, "항공사진을 이용한 사전과 사후의 환경영향평가 기법", 대한토목학회 논문집, 제 9권, 제 2호, 1989, pp.91-98.
10. 강인준, "항공사진측량에 의한 산사태분석에 관한 연구", 한국측지학회지, 제 9권, 제 2호, 1991, pp.119-125.

11. 안철호, 연상호, 박병욱, 양경락, "LANDSAT TM DATA를 이용한 슬럼프파리피해 지역 유출에 관한 연구", 한국측지학회지, 제 6권, 제 2호, 1988, pp.42-51.
12. 이인모, 박경호, 임충모, "산사태 위험도 추정을 위한 간극수압예측에 관한 연구(I)", 한국지반공학회지, 제 8권, 제 1호, 1992, pp.81-100.
13. 이인모, 박경호, 임충모, "산사태 위험도 추정을 위한 간극수압예측에 관한 연구(II)", 한국지반공학회지, 제 8권, 제 2호, 1992, pp.5-20.
14. 유복모, 강인준, 이홍우, "저고도 항공사진 측량에 의한 공정사진의 활용", 대한토목학회 학술발표회 개요집(II), 1992, pp.409.
15. 강인준, "인공위성영상을 이용한 토지정보시스템의 자료처리기법 개발", 한국측지학회지, 제 10권 제 1호, 1992, pp.115-118.
16. John R. Jensen, Introductory Digital Image Processing, Prentice-Hall, pp.63-72.