

위성영상 자료에서 요인분석에 의한 산불 피해 지역 추출 The Abstraction of Forest Fire Damage Area using Factor Analysis from the Satellite Image Data.

최승필* · 김동희** · 이석군***

Choi, Seung Pil · Kim, Dong Hee · Lee, Suk Kun

要 旨

산불의 피해를 조사함에 있어서 현재 상당수의 조사가 육안 관측에 의존하고 있으나, 광범위한 면적에 걸쳐 피해가 확대되고, 발생 직후 접근이 용이하지 않다는 점에서 위성영상 등을 이용한 산불 피해 조사가 이용되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 산불 직후의 위성영상을 이용하여 통계적 해석에 의해 산불 피해 정도를 분류하고자 하며, 1차와 2차에 걸쳐 요인분석을 실시하였다. 그 결과 1차 요인 분석에서는 분류하기 어려웠던 산불 발생 지역에 포함되어 있는 하천의 수초, 논두렁 등을 2차 요인분석에 의하여 비교적 정확하게 분류할 수 있었다. 또한, 1차 요인분석으로 분류된 영역들에 대하여 2차 요인분석을 하여 산불 피해가 경미한 지역과 강한 지역을 각각 분류 할 수 있었다. 이를 검증하기 위하여 위성영상에서 얻은 산불 피해 영상과 분광반사계를 이용하여 얻은 실측 자료와는 높은 상관 관계를 가지고 있으므로 위성영상자료를 이용하여 산불 피해 정도를 분류하는데 유용하게 이용될 수 있다.

핵심용어 : 산불피해, 요인분석, 식생지수

Abstract

When investigating the damage of a forest fire, quite a few are depending on the naked eye observation. However, if the damage spreads to another area, it is easy to use the satellite images because it is hard to reach all the damaged areas on foot. From this research, we did a statistical interpretation of after fire using satellite image data to classify the damage on first and second factor analysis. As a result, it was more easier to classify the river's plants and ridges between rice fields that were in the forest fire damage area in the second observation than the first observation. Also, we could classify the area by areas that were damaged more or less using the second factor analysis. To verify this, we used the forest fire images collected from the satellite images and the actual survey data collected from spectral radiometer to see if these two data were correlated and as a result we found out that they were highly involved.

Keywords : Damage of Forest Fire, Factor Analysis, NDVI

1. 서 론

세계적으로 대형 산불 피해에 대한 관심과 우려는 환경학적 측면과 자연 생태계적인 측면에서 매우 중요한 관심사이다. 우리나라에서도 이러한 대형 산불에 의한 피해가 연이어 발생 하였으며, 이에 따른 산림 자원 피해와 재산상의 피해가 발생 하였다. 특히, 천혜의 자연환경을 보전하고 있는 강원도 지역에서는 1996년을 시작으로 거의 해마다 대형 산불이 발생 하여 경제적인 손실은 물론 생태계적으로도 매우 심한 피해를 입었다(최승필, 2004). 현재까지 산불 피해 발생지역에 대한 많은 연구는, 산

불 피해 지역의 추출 및 확산 등에 관한 연구가 주를 이루고 있으며, 대부분의 현지조사가 산불 발생 직후가 아닌 상당한 시간이 경과한 후에 육안 조사에 의존하는 실정이고, 이마저도 시간적·경제적인 이유로 일회성 조사에 그치는 것이 대부분이다.

따라서 산불의 여러 가지 특징 중에서도 광범위한 지역에 신속하게 피해를 입히는 특성을 감안하여 보면, 시간이 경과한 후에 실시하게 되는 육안에 의한 조사는 한계가 있음을 알 수가 있으며, 육안조사에 의한 한계를 보완하기위해 많은 위성영상 자료를 이용한 산불 피해 조사 등이 이루어지고 있다(양인태, 1999). 이러한 영상

2006년 2월 8일 접수, 2006년 2월 27일 채택

* 정희원, 관동대학교 토목교통공학부 교수 (spchoi@kd.ac.kr)
** 교신저자, 강릉영동대학 토목건설과 시간강사 (kdhlsy@hanmail.net)
*** 정희원, 영남건설기술교육원 겸임교수 (aimsk@hitel.net)

자료는 디지털 자료로 변환 되어 컴퓨터 등에서 처리가 가능하므로 지구상의 자원 관측, 환경의 감시 등에 널리 이용되고 있다.

위성 영상 자료를 이용하여 산불의 피해들을 연구할 때 널리 이용 되는 방법 중에 유감독 분류에 의한 것과 무감독 분류에 의한 방법을 들 수가 있다.

유감독 분류에 의한 방법은 현재까지 많은 연구 결과와 나와 있으므로, 본 논문에서는 상세한 설명을 피하고자 하였다. 또한 무감독 분류는 디지털 자료만을 가지고 수학적 처리에 의해 기계적으로 분류를 하는 방법이지만, 몇 개로 요인 분석을 할 것인가에 대한 기준이 명확하지 않고, 분류된 요인과 현지 피복물의 대응 관계가 명확하지 않을 경우가 있으며, 분류된 요인과 기대되는 분류항목과의 대응관계가 반드시 좋은 결과를 보이지는 않는다.

최근까지 산불 전후에 관해서 여러 연구자들이 위성영상 자료를 이용한 피해조사의 실효성에 관하여 연구하였지만, 이러한 경우 산불 전후의 공중사진과 산불 직후에 실시한 현지조사에서 얻어진 트레이닝 지역이 있는 경우에만 유감독 분류에 의해 좋은 결과가 나왔다(秋山, 1989)(L. Samarakoon, 1990).

그러나, 산불 발생 직후의 공중사진을 입수하기 어려우며, 현지조사만으로 다수의 트레이닝 지역을 추출하지 않으면 정확한 위치의 확정이 곤란한 경우가 대부분이며, 이러한 단점을 보완하기 위해 많은 연구자들에 의해 통계적 해석에 의한 산불 피해 조사에 관한 논의가 활발해지고 있다(L. Samarakoon, 1990)(宇宙開發事業團, 1988)

통계적 해석에 의해서 산불 피해 지역을 추출할 때는 많은 영역으로 분류 하게 되며 이러한 영역들의 정보 손실을 최소화하면서 소수의 영역으로 압축을 하여야 한다. 또한, 이렇게 압축된 소수의 영역으로 산불 피해 지역을 피해 정도 별로 분류하는 것이 용이하다.

여러 가지 통계적 해석 중에서 요인분석(Factor Analysis, 이하 요인분석)은 다수의 변수들간의 상관관계를 기초로 많은 변수들 속에 내재하는 체계적인 구조를 발견하는 기법으로 요인들 사이에 유사한 특징을 지닌 대상을 하나로 묶는 기법이다. 따라서 산불 피해 지역 등에 있어서 산불의 피해 정도 별로 유사한 요인을 분류하는데 유용한 기법이라 할 수 있다.

따라서, 본 연구는 산불 발생 지역에서 현지 조사를 실시하지 않고 위성영상 자료만으로 산불 피해 정도를 요인분석에 의하여 피해지역을 추출하고자 하였다. 또한, 산불 피해 정도에 대한 분류의 정확성을 검증하기 위하여 실제 산불 피해 지역에서 분광반사계를 이용하여 관측한 식생지수와의 상관관계를 검토하고자 하였다.

2. 연구 대상 지역

2000년 4월 강릉시 사천면 일대에서 발생한 산불피해 지역을 대상으로 LANDSAT TM 영상을 이용하여 연구하였다(그림 1). 이 산불은 1999년 가을부터 시작된 겨울 가뭄이 65일간의 장기간 건조기의 지속으로 인한 봄 가뭄으로 이어졌으며 이 때 순간 최대 풍속 27m/sec는 대형산불로 발전 하였다(강릉시,2001).

해석에 사용된 위성영상 자료는 산불 발생 직후인 2000년 5월 25일에 촬영된 LADSAT TM 영상으로 7개의 밴

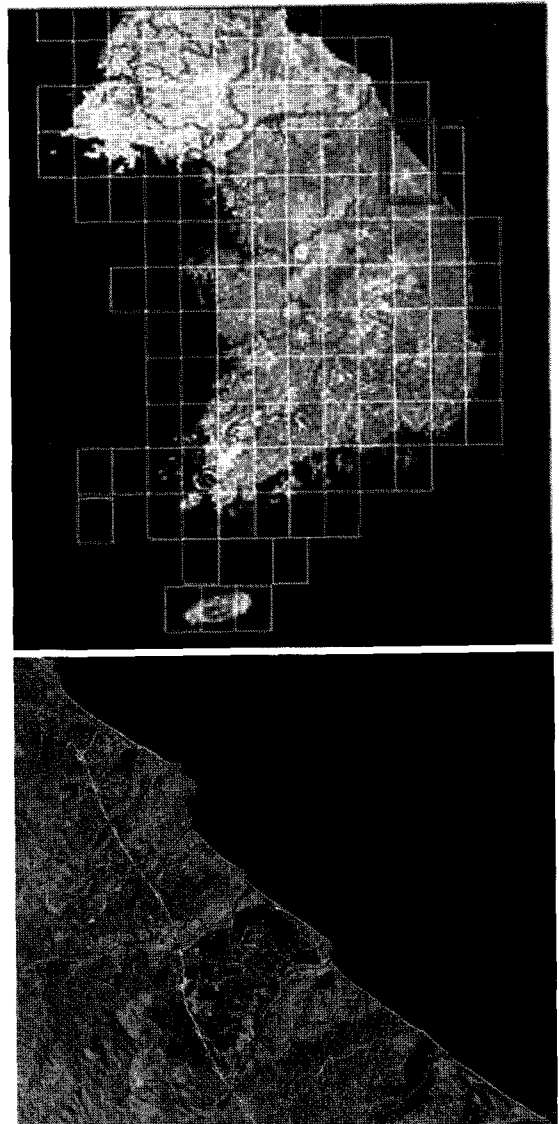


그림 1. 연구 대상 지역

를 가지고 있는 공간해상도 30m의 다중 분광영상을 이용하였다.

이 영상의 제원을 표 1에 나타내었다.

3. 요인분석에 의한 피해 지역 추출

산불 피해 지역을 추출하기 위하여 식생의 특성을 주로 나타내는 LANDSAT TM 3, 4, 5, 7의 4개 밴드의 DN값을 이용하여, 20개의 영역으로 나누어 요인분석을 하였다. 이 때 각 영역 DN값의 평균을 나타낸 것이 표 2이다.

평균을 나타낸 것이 표 2이다.

요인분석시 최적의 요인수를 결정하기 위하여 그림 2와 같은 스크리 도표(Scree Plot, 이하 스크리 도표)를 작성하였다. 이 스크리 도표를 이용하여 고유값이 줄어드는

표 1. 위성영상 제원

위성 명	센서 명	Path/Row	촬영일자	비 고
LANDSAT	TM	114/34	2000년 5월 25일	산불발생 직후

표 2. 영역 DN값의 평균

영역 No.	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7
1	24.25	14.54	9.16	4.24
2	33.41	70.47	67.07	24.86
3	47.23	89.77	106.71	46.12
4	85.1	82.66	147.02	85.38
5	57.29	89.97	124.51	59.65
6	106.16	99.67	189.56	107.63
7	40.64	47.25	61.69	30.08
8	125.39	114.65	227.15	131.71
9	61.28	68.84	102.29	55.25
10	45.36	49.31	87.03	49.24
11	45.97	49.24	34.18	14.89
12	71.88	74.96	123.4	71.28
13	69.62	90.58	145.89	75.11
14	33.13	96.32	86.19	29.53
15	112.89	104.77	207.84	120.79
16	45.22	71.93	85.2	37.72
17	51.2	62.65	59.64	26.74
18	90.39	94.61	172.69	94.22
19	63.39	61.96	35.96	15.97
20	28.57	118.19	90.26	26.51

는 정도를 기준으로 요인수를 결정할 수 있다.

즉, 요인이 2에서 3으로 증가하면 고유값의 감소폭이 둔화되므로 이때의 요인의 수를 2로 결정하였으며, 요인 분석을 행함에 있어서 각 축에 해당하는 요인을 구분하기 위하여 각 밴드별 요인축에 대한 영역을 추출하여 회귀분석을 실시한 회전 성분 행렬을 표 3에 나타내었다.

주성분 분석(Principal component Analysis, 이하 주성분 분석)에 의하여 요인을 추출하였으며 회전 성분 행렬에 사용된 방법은 Varimax with Kaiser Normalization법을 사용하였다. 요인 1과 밴드 사이의 상관계수가 비교적 큰 값을 나타내는 것은 TM Band 3, 5, 7이며, 특히 Band 3의 값이 가장 크게 나타났으며, 요인 2와 밴드 사이의 상관계수가 가장 크게 나타난 것은 Band 4이다.

요인 1을 X축, 요인 2를 Y축으로 하여 각 영역들을 도시한 것이 그림 3이다.

TM Band 5, 7은 중간적외 파장대로 수분에 잘 반응을 하며, 식생 및 토양의 수분 함유상태의 추정에 유효하다. 또한 TM Band 3은 물과 식생에 민감하게 반응을 한다. 따라서 요인 1은 식생 및 토양의 함수상태와 관련이 있

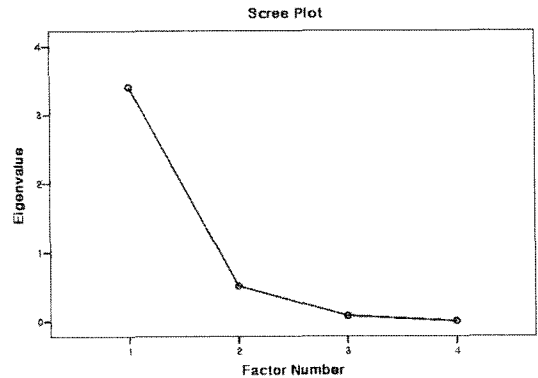


그림 2. 스크리 도표(Scree Plot)

표 3. 회전 성분 행렬

	Factor 1	Factor 2
Band 3	0.9497	0.2387
Band 4	0.3169	0.9453
Band 5	0.8208	0.5544
Band 7	0.9127	0.3914
Cumulative Variance	85.182%	98.017%

으며, 값이 작을수록 식생 및 토양의 수분 함유량이 높아 지는 것을 알 수 있다. 요인 2는 TM Band 4에서 높은 값을 나타내며, 이 밴드는 식생의 상태 및 물 영역의 구별 등에 적합한 근적외 파장대와 관련이 크다. 따라서 값이 클수록 식생의 활성이 높아지는 것을 알 수 있다(S. Tanaka, 1983).

I 평면에 표시된 영역 6, 8, 13, 15, 18은 가시영역, 근적외, 중간적외 파장대에서 높은 값을 나타내며, 반사율이 높은 지표물 등으로 분류될 가능성이 높다. II 평면에 표시된 영역 3, 5, 14, 20은 식생의 활성상태가 좋은 산림 지역이나 수분의 함유량이 높은 습지나 식생지역으로 분류될 가능성이 있다. III 평면에서 표시된 영역들은 낮은 반사율을 나타내고, 수분 함유량이 어느 정도 있는 것으로 판단된다. IV 평면은 식생의 활력이 낮고 수분도 거의 포함하고 있지 않으므로, 산불 피해 지역으로 분류될 가능성이 높다.

그러나 이러한 요인 분석에서 식생 및 토양의 함수상태와 관련이 있는 요인 1축에 인접해 있는 영역들은 어느 평면에 속하는지를 구분하기 모호하다. 이러한 영역들이 어느 평면에 속하는지를 알기 위하여 영역 2, 4, 9, 12, 16 요인에 대하여 밴드간의 비율을 구하여 판단하였다.

즉, Band 7/Band 4(비율 I)와 Band 4/Band 3(비율 II)의 비율을 가지고 분류를 행하였으며, 영역 4, 9, 12의 경우는 비율 I과 비율 II에서 비교적 높은 값을 보이고 있으므로, I 평면에 속할 가능성이 높다. 또한 영역 2, 16의 경우 비율 I에서는 낮은 값을 나타내고, 비율 II에서는 높은 값을 보이고 있으므로 II 평면에 속할 가능성이 높다.

따라서 산불 피해 지역으로 분류될 가능성이 높은 영역 7, 10, 11, 17, 19를 대상으로 2차 요인분석을 실시하여 영역 분포들을 도시한 것이 그림 4이다.

영역 11의 경우 식생의 활성상태가 비교적 낮고, 수분 함유량이 많으므로 논으로 분류될 가능성이 높다. 이러한 이유는 본 연구에 사용된 영상이 촬영된 5월말이 모심기를 한 후 논에 물이 채워져 물에 대한 성분이 높게 나타나는 것으로 판단된다. 또한 영역 7의 경우는 수분의 함량이 많고 식생의 활력상태는 낮으나 논으로 판단될 가능성이 높은 영역 11과 비슷한 식생의 활력을 보이고 있으므로 하천변의 수초나 논두렁으로 판단될 가능성이 높다.

그러나, 영역 17과 19의 경우는 1차 요인 분석에서는 영역 17과 19 모두 산불 피해 의심 지역으로 분류가 되었지만 영역 19의 경우 식생의 활력이 나타나고 수분의 함량이 적은 것으로 보아 산불 피해 지역에 연한 하천 인근의 수초나 논두렁일 가능성이 높다. 영역 17의 경우 식생의 활력 상태는 비교적 높고 수분의 함량이 적은 것으로 보아 그림 5 (a)에 나타낸 것과 같이 산불 피해가

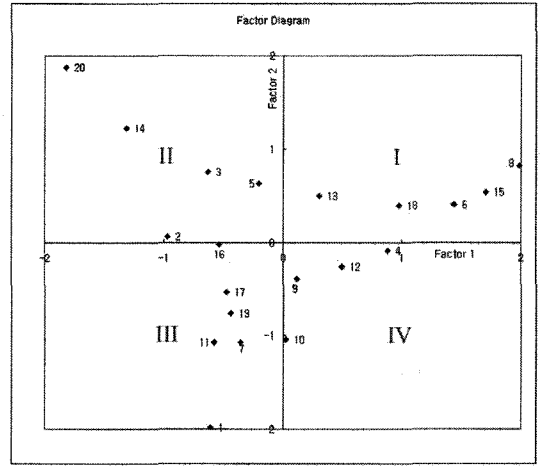


그림 3. 1차 영역 분포도

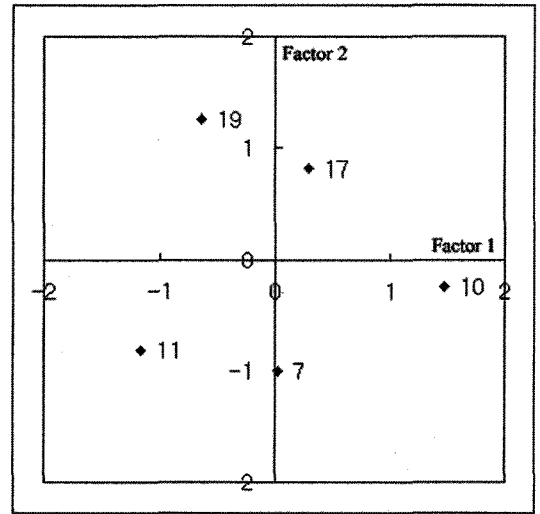


그림 4. 2차 영역 분포도

경미한 지역으로 분류될 수 있다. 또한 영역 10의 경우 상당한 산불 피해를 입은 것으로 판단 할 수 있는데 이러한 지역을 추출하여 그림 5 (b)에 나타내었다.

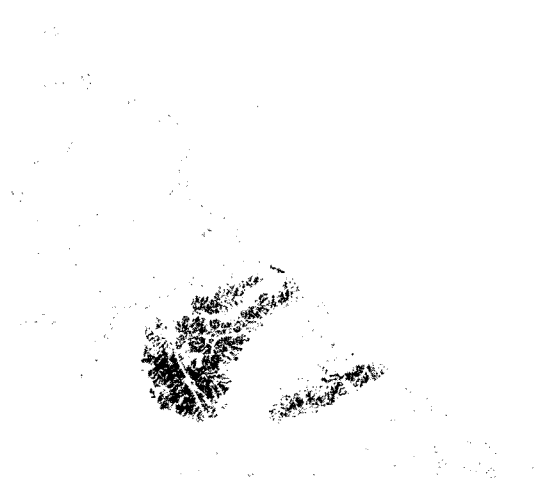
따라서, 산불 피해 정도를 추출하기 위하여 피해가 경미한 지역과 심한 지역을 합성하여 나타낸 것이 그림 6이다.

4. 피해지역 검증

산불 피해를 검증 하기 위하여 강릉시 사천면과 인접해 있는 양양군 현남면 부근의 산불 피해 현장에서 측정 한 실측 자료와 비교 분석을 행하였다. 그림 7은 피해 현



(a) 산불피해 경미(영역 17)



(b) 산불피해 강(영역 10)

그림 5. 각 피해별 추출 이미지

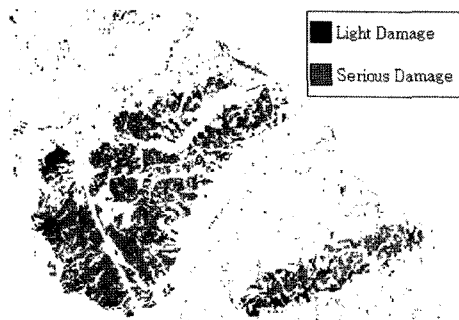


그림 6. 산불 피해 지역 분류

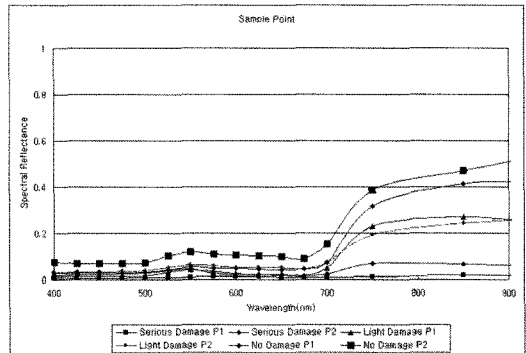


그림 7. 산불 피해 정도별 분광반사율

장에서 측정한 관측 자료에 대하여 피해정도 별로 나타낸 분광반사율이다.

실측에는 FieldSpec@HandHeld 분광반사계를 사용하여 측정을 하였으며, 이 때 파장대역은 325~1075nm, 측정간격이 1.6nm이므로 512 채널로 측정할 수 있다.

이 실측자료는 산불 발생 후 현지에서 분광반사계를 이용하여 측정한 것으로, 산불 피해를 심하게 입은 지역과 경미한 피해를 입은 지역, 그리고 피해를 전혀 입지 않은 지역에 따라 식생지수 값의 변화가 있음을 알 수 있다. 따라서 산불 현장에서 측정한 실측 자료와 위성영상을 이용한 2차 요인 분석에 의해서 분류된 영상자료에 대한 식생지수 값을 비교하였다.

실측 자료에서 분광반사율에 의한 정규식생지수는 식(1)로 표시된다.

$$NDVI = \left[\frac{(NIRband - REDband)}{(NIRband + REDband)} + 1 \right] \times 128 \quad (1)$$

여기서, NIR band : 근적외 영역

RED band : 가시광 RED 영역

계산된 식생지수는 최대 +1, 최소 -1의 범위 내에 분포를 하며 식생의 활성도가 높을수록 +1에 가까운 값을 가지므로, 이를 위성영상의 DN값과 비교하기 위하여 128을 곱하였다.

분광반사계로 실측된 자료는 LANDSAT TM의 Band 3, 4와 동일한 파장영역인 630~690nm 파장대와 750~900nm 파장대의 평균값을 이용하였다.

본 연구에서는 산불 피해가 경미한 지역과 산불 피해가 심한 지역의 식생지수 값을 서로 비교하기 위하여 위

표 4. 위성영상 자료와 실측자료의 식생지수 비교

샘플링 포인트	산불피해 강		산불피해 경비	
	위성영상자료	실측자료	위성영상자료	실측자료
1	6.340	10.550	29.183	34.498
2	10.324	14.787	30.243	34.989
3	7.823	13.545	27.467	32.429
4	8.587	12.829	28.849	32.876
5	9.376	14.335	30.254	34.980
6	7.357	12.878	31.456	35.362
7	8.534	13.453	30.345	35.210
8	9.243	14.376	31.587	35.878
9	8.674	12.976	29.621	33.807
10	9.121	13.356	30.489	35.329

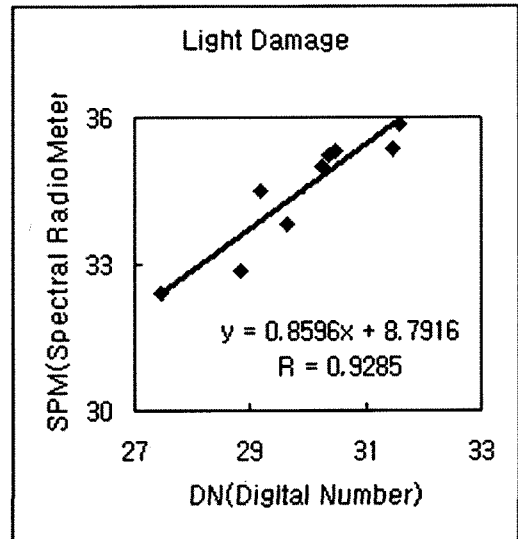
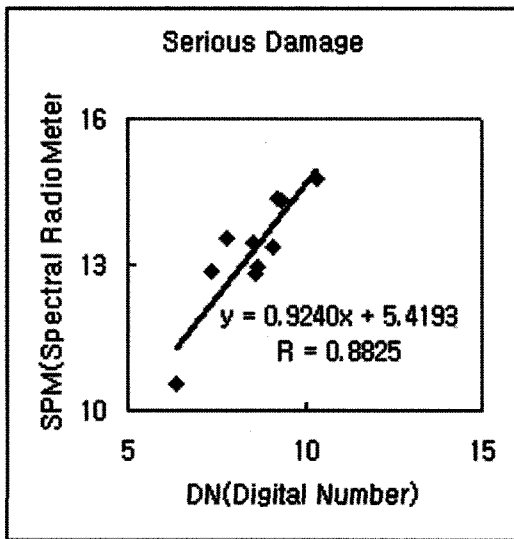


그림 8. 위성영상자료와 실측 자료와의 상관관계

성영상자료에서 각 피해도 별로 샘플링 포인트를 3×3 픽셀로 10개를 추출하여, 각 픽셀의 평균값을 구하여 표 4에 나타내었다.

위성영상에서 얻은 식생지수와 분광반사계로 측정하여 얻은 식생지수와의 상관관계를 분석하여 나타낸 것이 그림 8이다.

산불 피해가 심한 지역과 경미한 지역에서 위성영상 자료와 실측자료와의 상관관계를 분석한 결과 각각 0.8825, 0.9285로 비교적 높은 상관관계를 보여주고 있다.

따라서, 위성영상 자료를 이용하여 얻은 산불 피해 영상

과 분광반사계를 이용하여 얻은 실측 자료는 높은 상관관계를 가지고 있으므로, 앞으로 위성 자료를 이용하여 산불 피해 정도를 추출하는데 유용하게 이용될 수 있다.

5. 결 론

위성영상 자료를 이용하여 통계적 해석에 의한 산불 피해 정도를 추출한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 산불 피해 지역을 추출하기 위하여 위성영상자료를 20개의 영역으로 나누어 이를 1차와 2차에 걸쳐 요인분석을 한 결과 1차 요인분석에서 분류가 곤란한 하천의 수초, 논두렁 등을 2차 요인분석에 의하여 비교적 정확하게 추출할 수 있었다.

둘째, TM band 3, 4, 5, 7에 회전 성분 행렬에 의하여 요인과 밴드 사이의 상관관계를 보면, 요인 1에서는 Band 3, 5, 7이, 요인 2에서는 Band 4에서 높은 상관관계가 나타났다.

셋째, 산불 피해 지역으로 의심되는 영역들을 2차 요인분석에서 재분류 하여 산불 피해가 경미한 지역과 강한 지역으로 각각 추출할 수 있었다.

넷째, 위성영상 자료를 이용하여 얻은 산불 피해 영상과 분광반사계를 이용하여 얻은 실측 자료와는 높은 상관관계를 가지고 있으므로 앞으로 위성영상 자료를 이용하여 산불 피해 정도를 추출하는데 유용하게 이용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 지정 관동대학교 첨단해양공간개발연구센터의 지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 최승필, 박종선(2004), "산불피해지역에서정규산화물지수와 정규식생지수의 비교분석", 한국측량학회회지, Vol. 22, No. 3, pp. 261-268.
2. 양인태, 유영걸, 김응남, 최승필(1999), "GIS에 의한 산불 피해 지점의 공간 분포 분석", 한국지형공간정보학회, 지형공간정보 7권 2호, pp. 93-100.
3. 秋山 實ほか(1989), 主成分分析手法の応用による人工衛星データ解析システムの開発, 日本寫眞測量學會, 秋季學術講演會發表論文集, pp. 99-102.
4. L. Samarakoon, N. Nishihara, S. Ogawa, S. Inopue(1990), 랜드사트 데이터による林野火災燃焼程度の分類手法に関する研究, 日本リモートセンシング學會誌, Vol. 10, No. 4, pp. 5-12.
5. L. Samarakoon(1988), "Fire-Damage Mapping by Landsat Data and an Analysis of the Factors Affecting Forest Fires", J. Jpn For Soc., 70, 9, pp.403-406.
6. 宇宙開發事業團編集(1990), 地球觀測データHandBook, RESTEC.
7. 강릉시(2001), "강릉시산불백서", 강릉시. pp. 131-171
8. S. Tanaka, H. Kimura(1983), "Preparation of a 1:25,000 Landsat map for assesment of burnt area on Etajima Island", INT. J. REMOTE SENSING, Vol. 4, No. 1, pp. 17-31.