

셀 기반 모델링을 이용한 경사계산 알고리즘 개발

안상현^{1*} · 강용석¹ · 신영철¹

Developing of Slope Calculation Algorithm using Cell-based Modeling

Sang-Hyun AN^{1*} · Yong-Seok KANG¹ · Young-Chul SHIN¹

요 약

산불은 지형인자 중 경사에 의하여 대형화되는 경향이 강하다. 이러한 경사는 보통 GIS를 이용하여 분석하게 되는데 어떠한 분석 방법을 사용하는가에 따라 결과가 다르게 나타난다. 따라서 산불확대위험 분석에 합당한 경사 분석 방법을 선택하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 셀기반 모델링을 이용하여 기존에 DEM 자료를 이용하여 경사를 계산하는 방법들을 검토하고, 산불확대위험 분석에 적합한 경사계산 알고리즘을 개발하고자 하였다. 그 결과 산불이 상향사면을 따라 급속하게 번지는 특성을 이용하여 산불확대위험 분석에 가장 적합한 경사계산 알고리즘으로 maximum uphill slope 알고리즘을 개발하였다.

주요어 : 경사계산 알고리즘, 셀 기반 모델링, 지리정보시스템

ABSTRACT

Forest fire is expanded to large-scale forest fire based on topographic characteristics, particularly slope. This report addresses the currently available methods of calculation slope angle from a digital elevation model and develops a new method that circumvents a number of the shortcomings associated with other algorithms. The results of the comparison of five different slope angle calculation algorithms show that maximum uphill slope angle calculation is the proper method for the purpose of predicting forest fire hazard.

KEYWORDS : Slope Calculation Algorithm, Cell-based Modeling, GIS

서 론

GIS(geographic information system)는 1960년대부터 시작되어 자원관리, 재난관리 등 많은

분야에서 분석 및 관리도구로 이용되고 있다. 특히 산불에 있어서는 산불위험분석, 산불행태 분석 및 시뮬레이션, 산불관리시스템 등 많은 곳에 사용되고 있다. 산불은 각고의 노력 끝에

2005년 8월 8일 접수 Received on August 8, 2005 / 2005년 8월 27일 심사완료 Accepted on August 27, 2005

¹ 충북대학교 Chungbuk National University

*연락처 E-mail: shan508@hanmail.net

이러한 산림을 일시에 태워 경제적, 인명적, 환경적으로 엄청난 피해를 주는 재해다. 최근 5년간('99~'04) 우리나라의 산불피해 상황을 보면 연평균 586건, 피해면적 6,621ha의 산불이 발생하여 160억원의 피해액이 발생되었으며, 산림녹화, 가뭄, 지역적인 기상이변 등으로 산불이 대형화되고 있다. 이러한 산불을 효과적으로 관리하기 위하여 여러 나라에서 GIS를 기상, 지형, 임상 등 산불관련 인자들과 연계하여 많은 연구가 진행되고 있다(Rothermel, 1972; Albin, 1976; Andrews et al., 2003). 우리나라에서는 1986년 산불연구를 시작으로 1998년에 이기철 등은 GIS를 이용하여 산불진화용 저수탱크 적지분석 모델을 개발하였다. 신영철 등(2000)은 청주시 우암산 지역을 중심으로 산불방재방안에 관한 연구를 하였으며, 조명희 등은 2001년 산불정보관리시스템 개발하였다. 정주상 등(2001), 이병두 등(2002)은 산불의 효율적 진화를 위하여 산불의 확산예측에 관한 연구를 수행하였다. 조명희 등(2002, 2003)은 산불현황정보관리시스템과 산불진화헬기관리시스템을 개발하였다. 안상현 등(2004)은 GIS를 이용하여 공간분석에 의한 산불발생확률모형 개발 및 위험지도 작성에 관한 연구를 수행하였다. 산불의 효율적인 관리를 위하여 산불이 발생한 후에 대형 산불로 진행되는 특성을 파악하는 것이 중요하다.

GIS 분석 중 산불연구에 있어서 많이 쓰이는 것 중의 하나가 지형분석이다. 정확한 지형분석은 현장조사를 통해서 하는 것이 좋지만 넓은 지역을 분석할 때는 시간과 비용이 많이 들기 때문에 GIS를 이용하게 된다. 그러나 지형을 분석함에 있어서 어떠한 분석 방법을 사용하는가에 따라 결과가 다르게 나온다. 따라서 본 연구에서는 산불확대위험에 있어서 중요한 인자인 경사를 대상으로 하였으며, GIS 분석기법 중 셀기반 모델링을 이용하여 산불확대위험 분석에 적합한 경사 계산 알고리즘을 개발하고자 하였다. 또한 이러한 결과가 기존에 존재하는 경사 계산 알고리즘과 어떠한 차이가 있는지 비교 검토하였다.

관련연구

GIS 분석자료 중 DEM(digital elevation model) 자료는 지형을 분석하는데 있어 중요한 부분을 차지하고 있으며, DEM으로부터 계산되는 경사, 사면향 등도 많이 이용되고 있다. 본 연구에서 경사를 구하는데 사용되는 자료로 DEM 자료를 이용하였다.

DEM 자료를 이용하여 경사를 구하는 방법은 neighborhood 알고리즘, quadratic surface 알고리즘, Maximum slope(최대경사) 알고리즘, Maximum downhill slope(최대하향경사) 알고리즘 등 크게 4가지가 있다. neighborhood와 quadratic surface 알고리즘은 경사를 구하고자 하는 셀 주변 8개 셀 중에서 적어도 4개의 셀을 이용하여 분석하지만 최대경사, 최대하향경사 알고리즘은 주변 8개 셀 중에서 하나만을 선택하여 분석에 이용한다. 그림 1은 본 연구에서 경사계산 알고리즘 분석에 사용되는 셀 번호를 부여한 것이다. 경사 값은 도(degree)를 기준으로 하였다.

1	2	3
8	9	4
7	6	5

FIGURE 1. 3×3 Mask Schematic.

1. neighborhood 알고리즘

이 방법은 일반적으로 많이 사용되는 알고리즘으로 Arc/Info GRID(ESRI, 1995)에서 현재 사용되고 있다. 경사는 인접 8개 셀을 이용하여 분석하며, 경사를 구하는 알고리즘은 식 1과 같다.

$$S = \text{ATAN}(\sqrt{((dz/dx)^2 + (dz/dy)^2)} \times 57.29578 \quad (1)$$

$$dz/dx = \frac{(z_3+2z_4+z_5)-(z_1+2z_8+z_7)}{8 \times d}$$

$$dz/dy = \frac{(z_1+2z_2+z_3)-(z_7+2z_6+z_5)}{8 \times d}$$

S : 경사값(degree)

z_1-z_9 : 1-9번 셀 고도값 d : 셀 해상도

2. quadratic surface 알고리즘

이 방법은 Zevenbergen과 Thorne(1987)에 의해 제안되었으며 중심셀에 직교하는 인접셀만을 대상으로 하여 분석한다. 경사를 구하는 알고리즘은 식 2와 같다.

$$S = \text{ATAN}(\sqrt{(G^2 + H^2)}) \times 57.29578 \quad (2)$$

$$G = \frac{z_4 - z_8}{2 \times d}$$

$$H = \frac{z_2 - z_6}{2 \times d}$$

S : 경사값(degree)

z_2, z_4, z_6, z_8 : 2, 3, 4, 8번 셀 고도값

d : 셀 해상도

3. maximum slope 알고리즘

이 방법은 Shanholtz et al.(1990)에 의해 제안되었으며 앞의 두 방식과는 다르게 중심셀 값을 이용하여 경사를 계산한다. 중심셀과 인접 8개 셀에 대해 각각의 경사도를 계산하여 절대값으로 가장 큰 값을 선택한다. 경사를 구하는 알고리즘은 식 3과 같다.

$$S = \text{ATAN}(\max | \frac{z_9 - z_i}{L_c} |) \times 57.29578 \quad (3)$$

S : 경사값(degree) i : 1, 2, 3, ... 8

L_c : 중심셀에서 인접셀까지의 거리(z_1, z_3, z_5, z_7 셀은 $d \times \sqrt{2}$)

4. maximum downhill slope 알고리즘

Hickey et al.(1990)에 의해 제안된 이 방법은 토양침식량을 계산할 때 주로 사용된다. Maximum slope 방법과 유사하지만, 중심셀에

서 인접셀 값을 뺀 다음 절대값을 취하지 않고 최대값을 선택하여 최대하향경사를 계산한다. 경사를 구하는 알고리즘은 식 4와 같다.

$$S = \text{ATAN}(\max \frac{(z_9 - z_i)}{L_c}) \times 57.29578 \quad (4)$$

S : 경사값(degree) i : 1, 2, 3, ... 8

L_c : 중심셀에서 인접셀까지의 거리(z_1, z_3, z_5, z_7 셀은 $d \times \sqrt{2}$)

산불확대위험 분석에 합당한 경사계산 알고리즘 개발

이시영(1991)은 산불확산속도와 관련있는 인자로 경사, 풍속, 연료습도 등을 선정하였으며, 상향사면이 하향사면보다 평균 3배가 빨리 진행하고, 경사가 45°에서는 9.4-16배 정도 빠르다고 하였다. 따라서 산불은 경사가 있는 지역에서 발생하였을 경우 상향사면 쪽으로 확산되고자 하는 경향이 강하다. 또한 이시영 등(2002)은 대형산불과 소형산불피해지역 특성을 분석하여 대형산불에 영향을 주는 인자로 사면장, 풍속, 경사, 산불발생지임상, 임상연속성이 관련된 것으로 구명하였다. 결과적으로 산불확대위험에 있어서 경사는 급할수록, 산불의 진행방향에 상향사면일 때 산불이 대형화 될 가능성이 큰 것을 알 수 있다. 이러한 특성을 바탕으로 산불확대위험에 있어서 경사를 DEM 자료를 이용하여 분석할 때 기존에 사용되던 방법 보다는 상향사면을 중심으로 하는 최대상향경사를 계산하는 것이 더 실효성이 있다고 사료된다.

최대상향경사(maximum uphill slope) 계산 알고리즘은 maximum slope 알고리즘이나 Hickey 등(1990)에 의해 제안된 maximum downhill slope 알고리즘과 유사하지만 인접셀에서 중심셀 값을 뺀 다음 절대값을 취하지 않고 최대값을 선택하여 최대상향경사를 계산한다. 경사를 구하는 알고리즘은 식 5와 같다.

$$S = \text{ATAN}(\max \frac{(z_i - z_9)}{L_c}) \times 57.29578 \quad (5)$$

S : 경사값(degree) i : 1, 2, 3, . . . 8

L_c : 중심셀에서 인접셀까지의 거리(z₁, z₃, z₅, z₇ 셀은 d×√2)

경사계산 알고리즘 비교 평가

새롭게 제안한 maximum uphill slope 알고리즘이 기존의 경사계산 알고리즘과 어떠한 차이가 있는지 비교평가하기 위하여 7×7 DEM 자료를 이용하였으며, 실제적으로 비교평가는 가운데 5×5 셀에 대하여 실시하였다. 그림 2a는 분석에 사용된 DEM 자료를 나타낸 것이고, 그림 2b는 분석되어지는 셀 위치를 나타낸 것이다.

표 1은 각 셀별 경사도를 계산한 것이다. neighborhood와 quadratic surface 알고리즘을 이용하여 경사도를 구한 평균값이 다른 알고리즘을 통하여 계산한 값보다 작게 나타났는데 이러한 결과는 이 두 알고리즘은 경사도를 계산할 때 인접 셀들을 이용하여 보다 넓은 지역을 대상으로 분석하기 때문으로, 중심 셀의 경사도와 인접 셀의 경사도 값과의 차이가 다른

알고리즘보다 부드럽게 변화되는 경향을 보인다. maximum slope 알고리즘을 사용하여 계산된 경사도는 maximum downhill slope과 maximum uphill slope 알고리즘을 사용하여 계산된 각 셀의 경사도 값 중 큰 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 따라서 maximum slope 알고리즘을 이용하여 경사도를 계산하게 되면 실제 경사도 보다 과장되게 계산되어지는 것을 알 수 있다.

표 1의 결과값을 이용하여 각 알고리즘에 따라 계산된 경사값 사이에 어떠한 관련성이 있는지를 표 2와 같이 상관분석을 실시하였다. 그 결과 neighborhood와 quadratic surface에서는 고도로 유의한 양의 상관관계를 보였고, maximum downhill slope와 maximum uphill slope에서는 고도로 유의한 음의 상관관계를 보였는데 이러한 결과는 경사계산 방식에 있어서 유사성이 높기 때문인 것으로 생각된다.

5가지 경사계산 알고리즘을 보다 쉽게 비교평가 하기 위하여 그림 3과 같이 중심지점이 최고점을 가지는 봉우리 형태로 단순 비교하였다. 분석에 사용된 자료는 100m 해상도, 고도단위 m인 5×5 DEM 자료를 생성하여 경사를 계산하였으며, 최종적으로 중심 3×3 DEM 자료를 이용하였다.

546	500	460	432	498	550	580
521	474	452	420	478	490	553
538	489	434	413	447	507	553
533	479	422	412	477	484	496
497	472	407	406	446	432	440
444	412	385	387	388	395	395
380	380	378	372	366	360	350

(a)

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25

(b)

FIGURE 2. (a) Sample DEM (resolution 100 meters) illustrating the area(center cells highlighted in bold), (b) 5×5 Mask Schematic.

TABLE 1. Results of slope calculations on sample DEM

No.	Neighborhood	Quadratic surface	Maximum slope	Maximum downhill slope	Maximum uphill slope
1	27.0	27.1	31.0	31.0	23.3
2	24.4	21.3	32.5	32.5	21.6
3	20.4	18.4	33.3	33.3	18.8
4	25.3	27.6	30.4	23.7	30.4
5	21.0	25.1	30.1	30.1	15.6
6	25.2	23.4	32.5	16.9	32.5
7	20.9	24.0	32.2	32.2	19.1
8	18.6	18.4	33.4	33.4	15.1
9	23.6	24.3	33.4	14.0	33.4
10	24.2	27.0	30.1	18.3	30.1
11	21.4	28.0	31.0	31.0	24.7
12	19.0	20.0	29.7	29.7	8.8
13	19.7	22.5	34.2	34.2	13.0
14	23.9	21.9	34.2	18.0	34.2
15	20.8	23.8	26.7	24.7	26.7
16	20.4	21.1	27.5	27.5	26.0
17	27.7	31.3	29.7	29.2	29.7
18	22.5	23.4	32.2	32.2	13.0
19	26.7	25.9	32.2	26.3	32.2
20	20.0	24.6	31.0	22.8	31.0
21	24.7	24.0	27.5	20.3	27.5
22	28.4	28.4	32.2	24.2	32.2
23	26.2	30.6	31.0	31.0	30.1
24	26.4	25.2	29.2	28.4	29.2
25	18.0	16.4	33.9	9.1	33.9
Mean	23.1	24.1	31.2	26.2	25.3

TABLE 2. Correlation analysis by slope concerning slope calculation algorithms

	neighborhood	quadratic surface	maximum slope	maximum downhill slope	maximum uphill slope
Neighborhood	1 0	0.7403 <.0001	-.1298 0.5361	-.0632 0.7640	0.5178 0.0080
Quadratic surface	0.7403 <.0001	1 0	-.3202 0.1187	0.1185 0.5727	0.3500 0.0863
Maximum slope	-.1298 0.5361	-.3202 0.1187	1 0	-.06552 0.7567	-.0339 0.8720
Maximum downhill slope	-.0632 0.7640	0.1185 0.5727	-.06552 0.7567	1 0	-.7264 <.0.0001
Maximum uphill slope	0.5178 0.0080	0.3500 0.0863	-.0339 0.8720	-.7264 <.0.0001	1 0

100	100	100	100	100
100	100	100	100	100
100	100	150	100	100
100	100	100	100	100
100	100	100	100	100

FIGURE 3. Sample DEM (resolution 100 meters) illustrating the area(center cells highlighted in bold) affected by a single peak.

샘플 DEM 자료를 이용하여 각 경사계산 알고리즘을 적용하여 경사도를 계산한 결과 그림 4와 같이 나타났다. 그림 4a와 4b는 중심 셀을 이용하지 않고 인접 셀들의 평균값만을 이용함으로써 중심 셀의 경사도가 0°를 나타내었으며, 넓은 지역을 대상으로 분석하기 때문에 한 셀의 값을 부드럽게 변환하여 상대적으로 경사도가 낮게 나왔다. 따라서 산불확산에 있어서는 실제보다 느리게 확산되는 것으로 나타난다. 그림

4c, 4d, 4e는 중심 셀로부터 계산하기 때문에 실제 경사도를 나타내지만 그림 4c의 경우에는 3×3 셀에서 가장 큰 절대값을 취하기 때문에 실제보다 산불확산이 빠르게 나타난다. 그림 4d의 경우에는 하향사면에 대한 최고값을 선택하기 때문에 최고점에서만 경사가 나타나 토양침식량이나 유수량을 계산할 때는 적당할지 모르지만 산불확산에 있어서는 맞지 않는다. 그림 4e의 경우에는 최고점에서는 경사값을 가지지 않고 최고점을 향한 인접 셀들이 경사값을 가지므로 실제 산불확산을 계산할 때 가장 적당하다는 것을 알 수 있다. 따라서 여러 가지 경사계산 알고리즘 가운데 산불확대위험 분석에 적당한 알고리즘은 maximum uphill slope 알고리즘이 적합한 것으로 생각된다.

결론

산불확대위험 분석에 있어서 GIS를 이용한 지형분석이 많이 사용되고 있지만, 지형을 분석함에 있어서 어떠한 분석 방법을 사용하는가에 따라 결과가 다르게 나온다. 따라서 산불확대위

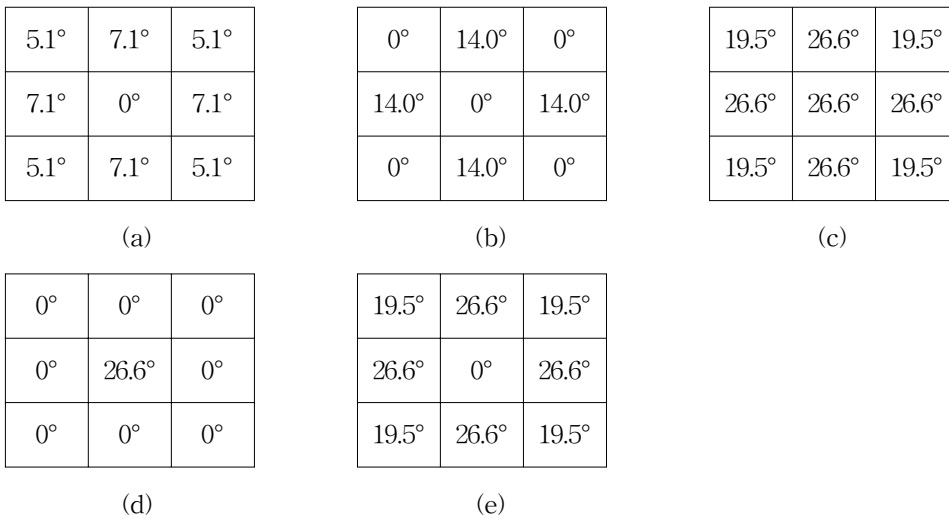



FIGURE 4. Results of slope calculations on sample DEM: (a) neighborhood, (b) quadratic surface (c) maximum slope, (d) maximum downhill slope, (e) maximum uphill slope.

험 분석에 합당한 분석 방법을 선택하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 산불확대위험에 있어서 중요한 인자인 경사를 대상으로 셀기반 모델링을 이용하여 산불연구에 적합한 경사계산 알고리즘을 개발하였으며, 기존에 존재하는 경사계산 알고리즘과 어떠한 차이가 있는지 비교 검토하였다.

우선 기존에 개발된 알고리즘 중 neighborhood와 quadratic surface 알고리즘은 인접 셀을 포함하는 넓은 지역을 대상으로 분석하기 때문에 한 셀의 값을 부드럽게 변환하여 상대적으로 경사도가 낮게 나왔다. maximum slope 알고리즘은 중심 셀로부터 계산하기 때문에 실제 경사도를 나타내지만, 3×3 셀에서 가장 큰 절대값을 취하기 때문에 실제보다 산불확산이 빠르게 나타난다. maximum downhill slope 알고리즘은 하향사면에 대한 최대경사를 구하는 식으로 산불이 상향사면을 따라 급속하게 번지는 특성과 맞지 않는다. 따라서 산불확대위험 분석에 적당한 알고리즘으로 상향사면에 대한 최대경사를 구하는 maximum uphill slope 알고리즘을 개발하였다. 따라서 이러한 결과는 산불확대위험 분석에 사용되는 경사를 GIS를 이용하여 분석할 때 정확성을 향상 시킬 수 있으며, 현재 개발 중에 있는 산불확산예측 시스템 개발에 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다. 

참고문헌

- 신영철, 안상현. 2000. 지리정보시스템을 이용한 산불방재방안: 청주시 우암산 지역을 중심으로. 한국지리정보학회지 3(1):23-34.
- 안상현, 이시영, 원명수, 이명보, 신영철. 2004. 공간분석에 의한 산불발생확률모형 개발 및 위험지도 작성. 한국지리정보학회지 7(4):57-64.
- 이병두, 정주상, 이시영. 2002. GIS 응용을 위한 산불확산예측 알고리즘의 개발. 한국임학회 91(6):812-819.
- 이시영. 1991. 환경인자가 산불의 온도 및 진행 속도에 미치는 영향. 동국대학교 석사학위논문. 44쪽
- 이시영. 1995. 산불발생 위험도 및 연소확대요인 분석에 관한 연구. 동국대학교 박사학위논문. 104쪽
- 이시영, 강용석, 안상현, 오정수. 2002. GIS를 이용한 산불피해지역 특성분석. 한국지리정보학회지 5(1):20-26.
- 정주상, 이병두, 김형호, 이시영. 2001. GIS 응용에 의한 2000년 삼척 산불의 확산속도 분석. 한국임학회 90(6):781-787.
- 조명희, 김준범, 김현식, 조운원. 2002. 웹 지리정보시스템 기술을 이용한 산불 현황정보 관리시스템 개발. 한국지리정보학회지 5(4):93-105.
- 조명희, 오정수, 이시영, 조운원, 백승렬. 2001. GIS를 이용한 산불정보관리시스템 개발. 한국지리정보학회지 4(3):51-50.
- Albini, F.A. 1976. Estimating wildfire behavior and effects. Gen. Tech. Rep. INT-30. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 92pp.
- Andrews, P.L. and L.P. Queen. 2001. Fire modeling and information system technology, International Journal of Wildland Fire, 10:343-352.
- ESRI. 1995. Arc/Info Version 7 on-line user's manual. Redlands, CA.
- Hirsch, K.G. 1996. Canadian Forest Fire Behavior Prediction(FBP) System: user's guide. Canadian Forest Service. 121pp.
- Hickey, R., A. Smith, P. Jankowski. 1994. Slope Length Calculations from a DEM within Arc/Info GRID. Computing, Environment and Urban Systems. 18(5):365-380.
- Lee, S.Y., J.H. Lim, and J.S. Oh. 1999. Analysis of Spread Rate and Pattern of Forest Fire in Kosung, Korea. Proceedings

of the 3rd International Conference on Long-Term Ecological Research in the East Asia-Pacific Region. pp160-167.

Pereira, J.M.C., M.T.N. dos Santos, Fire Risk and Burned Area Mapping in Portugal, 64pp, Direcção-Geral das Florestas(2003).

Rothermel, R.C. 1972. A mathematical model for prediction fire spread in wildland fuels. Research Paper INT-115(Ogden, UT: USDA Forest Service, Intermountain Research Station). 40pp.

Zevenbergen, L.W., C.R. Thorne. 1987. Quantitative Analysis of Land Surface Topography. Earth Surface Processes and Landforms. 12:12-56. 