

컴퓨터 지도분석을 통한 산지개발 대안 제시

이규성, 김윤형, 최영국*

인하대학교 지리정보공학과, 국토개발연구원 자원환경연구실*

1. 서론

우리 나라와 같이 인구에 비하여 매우 한정된 국토 상황에서 급증하는 토지 수요에 따른 국토의 효율적인 개발과 보전은 매우 중요한 과제라 할 수 있다. 특히 전 국토의 65% 이상이 산림으로 구성되어 있는 현실을 감안한다면, 현재와 같이 급증하는 토지 수요에 손쉽게 대처할 수 있는 방안으로 산지의 개발을 꼽을 수 있을 것이다. 우리 나라의 산림은 기능에 따라 보전임지, 준보전임지, 그리고 공익임지의 세 가지로 산지이용을 구분하고 있는 데, 상대적으로 개발의 대상이 되는 산림은 준보전임지가 된다. 그 동안 준보전임지 등과 같이 개발이 가능한 산림 지역에서 개발 여부에 대한 기준은 마련되어 있다고 할지라도, 어떠한 방식으로 산지가 개발되어야 하는 가에 대한 준비는 상대적으로 미흡한 상태이다.

따라서 택지개발 또는 골프장 건설 등과 같은 대규모의 산지개발에서 있어서 많은 문제점이 제기되어 왔던 까닭은 그 지역이 비록 개발이 허용되는 지역이었지만, 기존의 산림에서 단순히 입목을 제거하는 수준에서 훨씬 벗어나 지형 자체를 완전히 바꾸는 대규모의 개발로 인하여 심각한 환경 훼손을 야기하였기 때문이다. 산지 개발을 허용하되, 개발 후의 모습에서 기존의 산림이 가졌던 환경적, 생태적, 경관적 가치가 최대한 유지될 수 있는 방향으로 산지개발이 이루어져야 할 것이다.

산지개발과 같은 공간적인 의사결정과정에 있어서 지리정보시스템(GIS)의 공간분석 기능은 매우 유용하게 적용될 수 있을 것이다. 다양한 형태의 지도분석기법을 복합적으로 적용함으로써, 어디를 어떻게 개발할 것인가 하는 공간적인 의사결정에 필요한 대안을 도출해내는 과정을 지도모델링(cartographic modeling)이라 한다 (Berry, 1986; Burrough, 1986; Tomlin, 1990). 지도모델링은 현재의 지리정보시스템에서 커다란 비중으로 다루고 있는 공간자료의 획득, 유지 및 관리 등의 기능보다는 공간적인 분석 과정에 중점으로 두고 있다고 할 수 있다. 최근 다양한 형태의 공간분석기법을 복합적으로 적용함으로써 지도모델링의 틀을 갖춘 분석과정을 제시한 연구들이 꾸준히 발표되어왔다 (Lee, 1991; 이기철, 1994; 이신호 외, 1995; 이희연 외, 1997).

본 연구는 택지개발을 위하여 이미 지정된 산림지역에서 어떠한 방식으로 개발되어야 할 것인가를 보다 체계적이고 합리적인 방법으로 도출해 내고자 하였다. 기존의 산지가 가지고 있었던 경관과 환경적 기능을 최소한으로 훼손하는 산지개발 방식은 결국 할당된 개발 가능 지역 내에서 존치 시켜야 할 구역을 합리적으로 결정하는 과정으로 설명될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 산지개발에 있어서 환경보전과 경관유지를 위하여 반드시 존치되어야 할 구역의 객관적 선정을 위한 제반 방법을 개발하는 데 그 목적이 있다. 먼저 존치항목을 검토하고, 각각의 존치항목을 컴퓨터 분석이 가능한 수치지도 자료를 제작한 뒤 컴퓨터 지도분석을 통하여 모든 존치항목이 연계되는 공간분석기법을 제시하고자 한다.

2. 연구지역 및 공간자료 구축

택지개발 대상지에 적합한 면적 규모와 지형적 특성을 갖춘 세 곳의 사례지를 선정하였다. 본

논문에서는 그 중 충청남도 금산군 추부면 요광리에 위치한 산림지역을 연구지역으로 하여 기술하고자 한다. 연구지역은 접근 도로로부터 상대적 높이가 약 220m인 야산의 한 쪽 사면을 택하였는데, 이 지역은 약 15 - 40%의 경사도를 이루고 있다. 연구지역의 전체 면적은 약 23ha로서 전 지역의 83%는 산림으로 구성되어 있고 나머지는 농지, 과수원, 초지등으로 사용되고 있다.

산지개발에 있어서 대상지의 전 지역을 개발하는 방식을 지양하고, 환경친화적이고 경관의 훼손을 최소화하는 부분적인 개발이 되기 위해서는 무엇보다 먼저 대상지에서 남겨져야 할 부분을 선정하기 위한 명확한 기준이 제시되어야 할 것이다. 본 연구에서는 현실적으로 적용이 가능하고 또한 컴퓨터지도분석을 위하여 도면화가 가능한지 여부를 검토하여 사면의 경사도, 방위도, 토지이용 및 식생도, 하천 근접도, 가시빈도 등을 존치검토 항목으로 설정하였다. 이러한 존치항목들에 대한 공간적 분석을 위하여 필요한 공간자료가 구축되었다.

1) 수치고도자료 (Digital Elevation Model data)

본 연구에서는 국립지리원에서 판매하고 있는 1:5,000 축척의 기본도에서 주곡선과 계곡선, 그리고 표고점을 추출하여 수치고도자료를 구축하였다. 등고선 자료로부터 격자형 DEM자료의 제작은 여러 종류의 알고리즘과 과정을 통하여 이루어 질 수 있으며, 각각의 알고리즘에 따라 생성되는 DEM자료의 정확도 역시 달라질 수 있다 (조규전 외, 1998). 본 연구에서는 먼저 등고선과 표고점자료를 이용하여 불규칙삼각망(Triangulated Irregular Network - TIN)형태의 지형자료를 제작하였고, 이 TIN형태의 자료를 다시 $3 \times 3m^2$ 의 격자형 DEM 자료로 변환하였다. 이렇게 제작된 격자형 수치고도자료로부터 사면의 기울기와 방위각을 나타내는 지도가 생성되었다.

2) 토지이용 및 식생도

연구지역의 토지이용과 식생 현황을 동시에 파악할 수 있는 기존의 지도가 적절하게 구비되어 있지 않기 때문에, 지난 '90년대 초반 촬영된 1:15,000 축척의 흑백적외선 항공사진판독을 통하여 토지이용 및 임상분류를 실시하여 도면을 제작하였다. 사진판독의 분류등급은 논, 밭, 초지, 과수원, 묘지, 주거지, 공장, 수면, 나지, 산림 등으로 구분하였는데 산림은 기존의 임상도와 같이 수종구성, 영급, 경급, 수관밀도에 의한 분류 기준을 적용하였다. 항공사진 판독 결과는 1:5,000 축척의 기본도에 옮긴 후, 이 지도를 디지털화하여 컴퓨터지도분석을 위한 수치지도로 제작하였다.

3) 기타

산림 존치항목을 공간적으로 표현할 수 있는 지도를 도출하고자, 국립지리원에서 제작된 1:5,000 축척의 수치지도자료로부터 필요한 레이어가 추출되었다. 하천근접도와 가시빈도에 해당하는 지도를 도출하기 위하여 하천, 도로, 취락지 등의 레이어가 추출되었다.

3. 존치구역 선정을 위한 컴퓨터지도분석

국가기본도 수치지도자료와 항공사진판독을 통하여 구축된 공간자료를 이용하여 개발대상지의 각 지점에 대하여 존치여부의 상대적 적합도를 보여줄 수 있는 지도를 도출하기 위한 공간적인 모델을 수립하였다 (그림 1). 먼저 앞에서 구축된 공간자료로부터 산림의 존치여부를 검토하는 항목별 지도를 도출하였다. 경사 및 방위는 DEM자료로부터 간단한 필터링(moving convolution) 과정을 통하여 구할 수 있다. 또한 하천근접도는 추출된 하천레이어로부터 거리측정(distance measurement)과정을 통하여 하천으로부터의 직선거리에 따라 격자값이 표시되는 지도를 도출하였다. 가시빈도는 개발대상지가 주변의 도로 및 마을로부터 어느 정도 잘 보이는가를 판정하기

위하여 적용되었다. 일반적인 가시권분석(viewshed analysis)의 경우 특정 지점으로부터의 가시 여부를 분석하기 위하여 적용되나, 본 연구에서는 개발대상지내의 각 지점이 수 많은 관측점으로부터 보이는 상대적 정도를 나타내는 지도를 제작하였다. 일반적인 가시범위를 약 2-3km정도로 하여 사례지 주변의 도로와 마을을 관측점으로 하여 수치고도자료와 함께 가시분석을 함으로써 제작되었다.

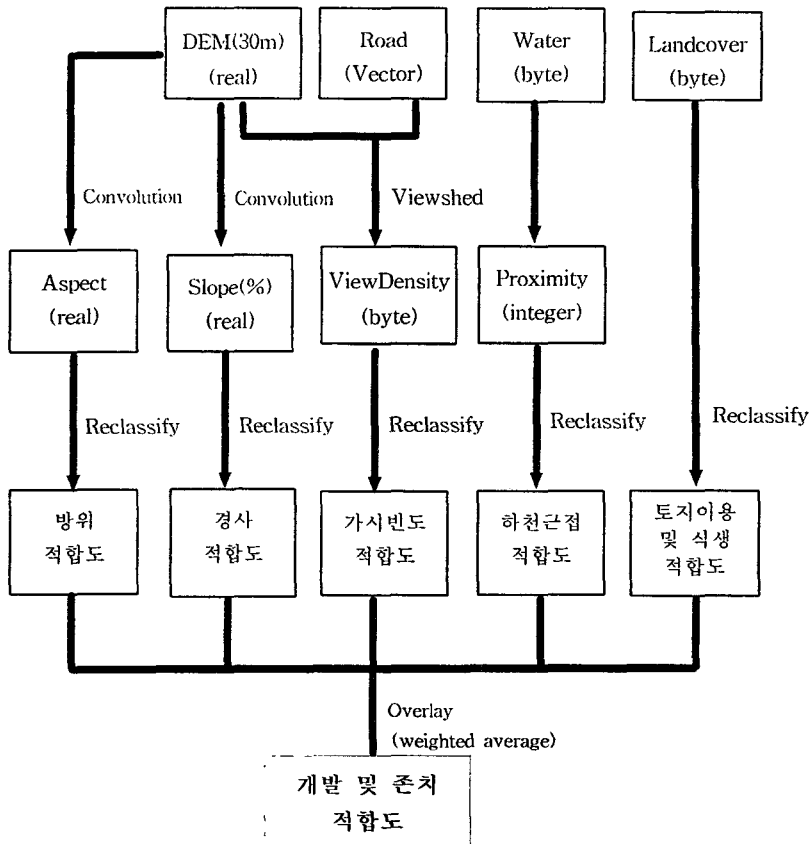


그림 1. 존치구역 선정과 분석을 위한 컴퓨터지도분석 과정

1) 존치 항목별 적합도

각각의 존치항목에 대한 수치지도자료가 구비된 후 각 지점마다 존치 여부의 적합도를 나타내는 지도분석을 실시하기 위하여, 지형, 토지이용 및 산림식생, 수계근접도, 경관 등의 항목마다 존치를 위한 상대적 적합도 여부를 등급화 하였다. 이렇게 점수화된 상대적 적합도를 가중 평균하여 3x3m²의 모든 격자점마다 존치 적합여부를 표시하였고, 점수별로 합산함으로써 개발대상지의 존치율을 동시에 판단할 수 있게 된다.

존치 대상지를 선정하기 위한 지형적 인자로서 사면의 경사도와 방위를 들 수 있다. 일반적으로 택지개발에 적합한 사면의 경사는 20% 이내로 알려져 있다. 급경사면은 개발시 옹벽을 설치하여야 되고, 또한 과도한 절토로 인하여 사면의 붕괴와 토양유실의 가능성이 높다. 따라서 사면의 경사도에 따라 존치 적합여부를 네 가지 등급으로 나누어 경사지도를 재분류하였다. 또한 경

사면이 향하고 있는 방위각에 따라 남향, 북향, 동서향의 세 등급으로 나누어 존치 적합도를 부여하였다.

토지이용 및 산림의 상태는 개발과 존치 여부를 결정하는 가장 중요한 인자중 하나이다. 우선 산림이 아닌 기존의 주택, 공장, 농지 등은 이미 인간의 접근이 허용된 지점이기 때문에 개발에 적합한 지역으로 설정하였다. 그러나 하천, 소택지 등의 수면은 개발에 따른 경관의 훼손, 지반 침하 그리고 토양유실과 같은 환경적 피해가 우려되기 때문에 존치에 비중을 두어 재분류하였다. 산림내에서의 존치 적합여부는 산림식생의 울폐도와 자연도에 따라 등급을 부여하였는데, 항공사진판독에 의하여 분류된 임상의 수종구성, 영급, 소밀도 등을 고려하여 II영급 이상이고 수관밀도가 70% 이상인 천연림을 보존에 최우선하여 등급을 나누었다.

실개천이라 할지라도 산지에서는 집중호우시 중요한 배수구의 역할을 하게되므로, 하천에 근접한 지역은 개발보다는 존치에 우선하여 등급을 분류하였다. 가시빈도 분석결과에 따라 주변의 도로와 마을로부터 가장 잘 보이는 곳과 잘 보이지 않는 곳, 그리고 중간 정도 보이는 곳의 세 등급으로 나누어 잘 보이는 곳을 보존에 우선하는 등급을 부여하였다.

2) 존치항목간의 중첩분석

대상지의 각 지점에 대하여 종합적인 존치 적합도를 나타내기 위해서는 다섯 가지 존치 항목에 대하여 결정된 개별 지도를 중첩하는 지도대수(map algebra)에 의하여 실행될 수 있다. 각각의 존치항목이 동일한 비중으로 고려된다면 다섯 지도를 합하거나 단순 평균하는 과정을 통하여 종합적인 존치적합도를 구할 수 있으나, 본 연구에서는 각 항목에 대하여 상대적 중요도를 달리해봄으로써 나타나는 결과를 비교하고자 하였다. 즉 종합적인 존치 적합도는 다섯 가지의 존치항목의 가중평균치로 해석될 수 있는 데, 본 연구지역에서는 각 항목에 대한 가중치를 달리하는 세 가지 경우로 나누어 그 결과를 분석하였다. 이 세 가지 각각의 경우에서 사면의 방위는 가중치를 3으로, 하천근접도는 1로 동일하게 설정하였으며 경사도와 가시빈도, 토지이용 및 식생에 대해서는 가중치를 변화 시켰다. 각각의 경우에 대한 가중치는 다음의 표 1과 같다.

표 1. 존치항목 중첩분석에 적용한 세 가지 경우에 대한 가중치

존치항목	경우 1	경우 2	경우 3
사면 방위(aspect)	3	3	3
사면 경사도 (slope)	3	2	3
가시 빈도	1	1	2
하천 근접도	1	1	1
토지이용 및 산림식생	2	3	4

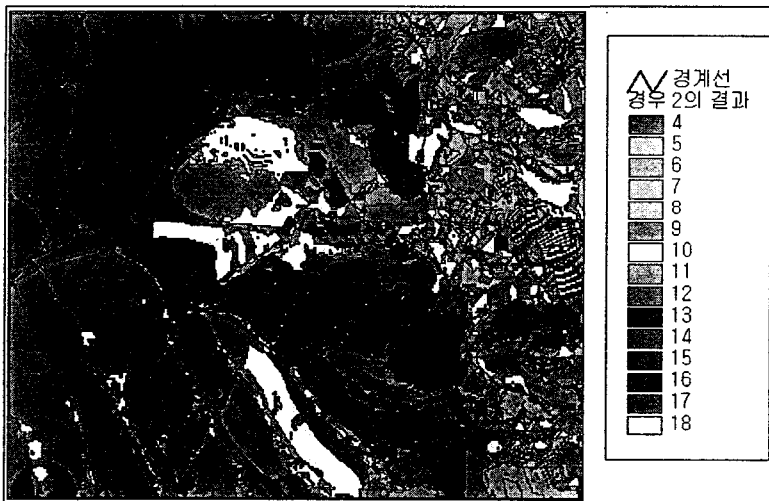
존치적합도에 따라 등급화된 다섯 가지 존치항목에 대하여 이러한 가중치를 부여하여 합산한 결과는 각각의 경우에 따라 지도중첩에 따른 종합적인 존치적합도의 최소값과 최대값이 다르게 나타난다. 이렇게 최소값과 최대값이 다른 경우에 있어서 그 결과를 직접적으로 비교하는 것이 어렵기 때문에 각각의 경우에 따라 나타나는 결과를 정규화(normalize)하여 동일한 척도로 비교가 가능하게 하였다.

4. 결 과

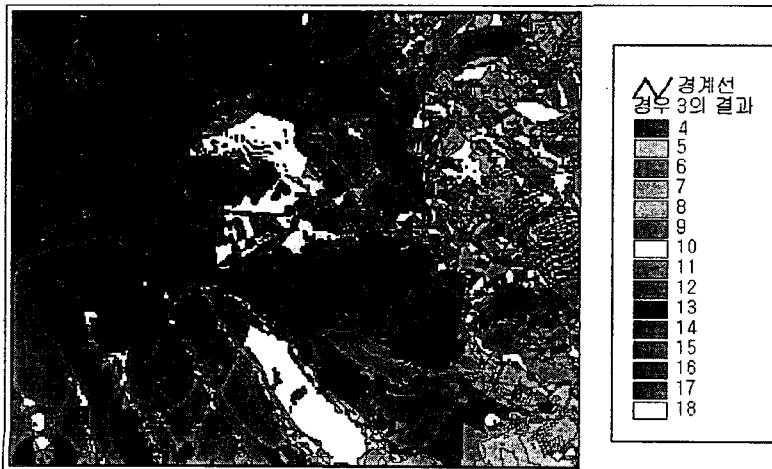
분석대상으로 선정된 존치항목들에 대한 상대적 적합도를 등급화하고 이들을 종합화한 가중평균치를 산출함으로써 개발사레지내의 모든 지점에 대하여 종합적인 존치적합도를 나타내는 지도

를 도출하였다 (그림 2). 최종적으로 정규화된 존치적합도는 가중치를 달리 부여한 세 가지 경우 모두 동일하게 5에서부터 18까지의 값을 가지게 된다. 여기서 각 지점의 존치적합도가 클수록 개발보다는 보존이 우선되는 곳이고, 그 값이 작을수록 존치하기에 부적합 곳이 되는 셈이다. 도면에서 22.85ha의 산지개발 대상지의 구획이 표시되어 있는데, 이 대상지 뿐 아니라 주변지역에 대해서도 동일한 과정의 지도분석이 실시되었다. 따라서 지도분석결과에 따라 나타난 존치적합도 값의 분포를 판단하여 대상지의 구획을 재조정 할 수 있다. 도면에 나타난 존치적합도에 따라서 부분적인 산지개발 방식에서 어느 지점을 우선하여 보존할 것인가 하는 판단이 매우 용이할 것이다.

토지이용 및 식생과 사면의 경사도에 가중치를 다르게 적용한 경우2와 경우3의 분석 결과를 비교하면, 전반적인 구획에는 커다란 차이가 없으나 세세한 지점에서의 존치적합도가 다르게 나타나고 있음을 관찰할 수 있다. 물론 이 지도를 원하는 산림존치율에 따라 적절하게 재분류함으로써 어느 등급까지를 보존할 것인가를 공간적으로 표현할 수 있게 된다.



경우 2



경우 3

그림 2. 지도중첩 결과로 나타난 존치적합도 (금산 지구)

다음의 표 2는 가중치를 달리하여 지도 중첩한 결과 얻어진 존치적합도에 대한 토지이용 및 임상별 면적에 대한 통계치를 보여주고 있다. 이와 같이 각 지점에 부여된 존치적합도에 따라 그 면적을 합산해 보면 두 가지 경우에서 모두 보존이 가장 우선되는 18등급에 해당하는 면적은 각각 63m²로서 이는 전체 개발대상지의 0.03%에 불과하다. 그 다음의 존치 우선 등급인 17에 해당하는 면적을 합해도 두 경우 모두 1%에 미치지 못한다. 환경훼손과 경관유지를 위한 부분적인 산지개발 방식에 있어서 가령 산림존치율을 30%로 하여야 할 경우 경우 2는 14등급까지 보존하게 되면 그러한 기준을 맞출 수 있으나, 경우 3은 14등급까지 38.3%로서 14등급중 반 이상을 개발지로 다시 선정하여야 하는 문제가 있을 수 있다.

이와 같은 상황에서 존치적합도를 보다 세분하여 분석할 경우 존치비율에 맞는 존치적합도 한계를 설정할 수 있는 방안도 생각할 수 있으나, 그 보다는 이러한 분석결과를 어느 정도까지 활용할 것인가를 고려하는 것이 우선이라 판단된다. 가령 18등급에 해당되는 지점이라도 수 평방미터의 좁은 면적으로 개발대상지 안에 고립되어 있는 상태라면 그 지점만을 보존하기는 곤란할 것이다. 지도중첩분석에 따라서 나타나는 결과들은 각 지점에 따라 다섯 가지 항목에서의 존치적합도 여부를 종합적으로 판단한 결과일 뿐, 개발과 존치에 있어서 결정되어야 할 많은 경험적 지식을 모두 포함할 수는 없다. 따라서 이러한 분석결과가 곧 존치구역을 선정하는데 있어서 절대적인 기준으로 적용되는 것보다는 보다 객관적인 입장에서 존치구역을 선정하기 위한 공간의사결정을 지원하는 도구로서 적용되어야 할 것이다.

표 2. 금산지구 존치적합도별 통계치

경우 2 (단위 m²)

적합도 Type	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	SUM
주거지역	0	0	0	0	0	18	72	90	126	0	0	0	0	306
농 지역	0	0	0	0	36	531	1341	2826	1926	225	9	0	0	6894
밭 지역	72	378	900	4311	6669	2259	3123	954	0	0	0	0	0	18666
묘지	0	0	342	765	423	243	0	0	0	0	0	0	0	1773
과수원	0	0	90	1233	2160	558	63	0	0	0	0	0	0	4104
초지	0	0	0	1215	5544	180	45	0	0	0	0	0	0	6984
PR ₁ -IIb	0	0	63	198	504	1044	1224	6444	7128	144	0	0	0	16749
PR ₁ -IIc	0	0	0	9	18	1332	7371	17064	1944	36	0	0	0	27774
PL ₁ -IIb	0	0	0	0	0	63	702	5328	1251	1800	0	0	0	9144
PL ₁ -IIc	0	0	0	0	0	81	315	8037	1008	2700	27	0	0	12168
H ₁ -IIa	0	0	0	0	81	855	414	3015	9	0	0	0	0	4374
H ₁ -IIc	0	0	0	0	18	81	279	864	261	5562	18	0	0	7083
M ₀ -I	0	0	9	9	27	0	0	0	0	0	0	0	0	45
PL ₀ -I	0	0	288	1179	17514	16839	8829	0	0	0	0	0	0	44649
M ₁ -IIb	0	0	0	45	819	12510	5049	5931	171	0	0	0	0	24525
H ₂ -IIc	0	0	0	0	0	0	0	9	2061	10287	234	0	0	12591
M ₂ -IIc	0	0	0	0	18	189	783	1710	4401	12294	9009	2205	63	30672
SUM	72	378	1692	8964	33831	36783	29610	52272	20286	33048	9297	2205	63	228501
%	0.03	0.17	0.74	3.92	14.81	16.10	12.96	22.88	8.88	14.46	4.07	0.96	0.03	100
누적 %	100	99.97	99.80	99.06	95.14	80.33	64.24	51.28	28.40	19.52	5.06	0.99	0.03	

경우 3

(단위 m²)

적합도 Type	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	SUM
주거지역	0	0	0	0	0	18	9	153	117	9	0	0	0	306
농 지역	0	0	0	0	36	603	1314	2853	1737	351	0	0	0	6894
밭 지역	81	450	1188	3438	6354	4923	1620	612	0	0	0	0	0	18666
묘지	0	0	342	243	945	243	0	0	0	0	0	0	0	1773
과수원	0	0	126	1116	2349	513	0	0	0	0	0	0	0	4104
초지	0	0	63	198	711	999	1314	8937	4383	144	0	0	0	16749
PR ₁ -IIb	0	0	0	9	45	729	6624	6246	14022	99	0	0	0	27774
PR ₁ -IIc	0	0	0	0	0	63	144	3204	3933	1800	0	0	0	9144
PL ₁ -IIb	0	0	0	0	0	81	108	2115	7137	2700	27	0	0	12168
PL ₁ -IIc	0	0	0	0	54	486	477	1602	1755	0	0	0	0	4374
H ₁ -IIa	0	0	0	0	36	72	72	657	549	5679	18	0	0	7083
H ₁ -IIc	0	0	9	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	45
M ₀ -I	0	0	288	99	16218	19215	8829	0	0	0	0	0	0	44649
PL ₀ -I	0	0	0	36	603	5823	9918	5976	2169	0	0	0	0	24525
M ₁ -IIb	0	0	0	0	0	0	0	0	45	12312	234	0	0	12591
H ₂ -IIc	0	0	0	54	1314	5571	45	0	0	0	0	0	0	6984
M ₂ -IIc	0	0	0	0	36	504	54	1710	3600	14022	9396	1287	63	30672
SUM	81	450	2016	5193	28737	39843	30528	34065	39447	37116	9675	1287	63	228501
%	0.04	0.20	0.88	2.27	12.58	17.44	13.36	14.91	17.26	16.24	4.23	0.56	0.03	100
누적 %	100	99.96	99.77	98.89	96.61	84.04	66.60	53.24	38.33	21.07	4.82	0.59	0.03	

5. 결론

컴퓨터기술의 개발과 함께 종래에 보고 관독하는 대상으로서 인식되어 왔던 지도가 이제 컴퓨터자료화 됨으로써, 분석을 위한 중요한 정보의 역할을 담당하게 되었고 동일 공간에서의 다양한 형태의 지도자료를 보다 과학적이고 효과적으로 분석할 수 있는 제반 기법들이 가능하게 되었다. 본 연구에서 시도된 산지개발에 있어서, 존치구역 선정을 위한 지도분석은 보존되어야 대상에 관하여 일반적으로 고려되어야 할 제반 항목을 공간적으로 표현할 수 있는 수치지도자료로 제작한 뒤, 이들 자료를 중첩 분석함으로써 여러 가지 고려 인자를 복합적으로 분석할 수 있었다. 각각의 존치항목에 대한 수치지도자료 제작이 가장 많은 노력과 비용이 요구되는 작업과정이지만, 사회 여러 분야에서 지리정보시스템의 활용이 증가하고 또한 국가적인 사업에 의하여 여러 종류의 수치지도가 공급되고 있기 때문에 종래에 비하여 비교적 쉽게 수치지도자료를 사용할 수 있게 되었다. 따라서 본 연구에서 적용된 분석을 위하여 요구되는 수치지도자료의 경우, 산지개발과 같은 소규모 지역에 있어서는 커다란 어려움 없이 쉽게 해결될 수 있으리라 판단된다.

분석결과 도출되는 지도는 존치우선지역과 개발가능지역에 대한 구체적인 점수로서 표시하고 있지만, 이는 한정된 범위의 존치 항목을 종합한 결과이며 인간의 의사결정과정에서 요구되는 경험적, 주관적 지식을 포함하고 있지 않다. 물론 향후 새로운 존치항목에 대한 추가적인 분석이 가능하지만, 컴퓨터지도분석 결과는 보다 과학적이고 객관적인 공간의사결정을 위한 도구로서 그 기능이 강조되어야 할 것이다.

6. 참고문헌

- Berry, J.K. 1987. Fundamental operations in computer-assisted map analysis. *International Journal of GIS*, 1(2):119-136.
- Burrough, P.A. 1986. Principles of geographic information systems for land resources

- assessment. Oxford Univ. Press, N.Y. 193 pp.
- Lee, K.S. 1991. Computer assisted map analysis for planning forest road network, *Journal of Korean Forestry Society*, 80(3):318-325.
- Tomlin, C.D. 1990. Geographic Information Systems and Cartographic Modelling, Prentice Hall Inc., 249pp.
- 이 기철, 1994. 토지이용의 상충성 해결을 위한 지도학적 모델의 개발, *한국지형공간정보학회지* 논문집, 2(1):131-139.
- 이 신호, 오 무영, 최 진용, 김 한중, 1995. “지형공간정보체계를 적용한 농장의 적지분석에 관한 연구”, *한국지형공간정보학회지*, 제3권 제2호, pp.173-181.
- 이 신호, 최 진영, 김 한중. 1993. “지리정보시스템을 이용한 농촌지역의 토지적합성 분석”, *한국지형공간정보학회지*, 제1권 제1호, pp.153-158.
- 이 희연, 김 은미, 1997. “GIS기법을 활용한 은행입지분석에 관한 연구”, *한국 GIS 학회지*, 제5권 제1호, pp.11-26.
- 조 규진, 조 영호, 정 의환, 1998. “정규격자 수치고도모델의 생성과 정확도 분석에 관한 연구”, *한국측지학회지*, 16(1):119-132.