

## 토지이용의 상충성 해결을 위한 지도학적 모델의 개발

### Development of Cartographic Models for the Resolution of Conflicting Land Use

李基哲\*

Yi, Gi-Chul

#### 要 旨

지형공간정보체계와 지도학적 모델링 기법이 전형적인 토지이용계획과정을 개선시키는 방안으로 활용되었다. 미국 국립산림지역에서는 ORV 전용도로, 산림 생산지, 산림 우송도로 및 야생동물 서식처 등의 토지이용이 복합적으로 결정되어야 한다. 이러한 복합적 토지이용에서 나타나는 상충성을 해결하기 위해 자동적인 지도공간 모델이 개발되었다. 서술적 모델링과 기술적 모델링기법은 복합적 토지이용의 결정을 효율적이고 효과적으로 처리할 수 있었다.

#### ABSTRACT

Geo-spatial information system technology and cartographic modeling techniques were used as a way to improve the land use planning process. Off-road vehicle(ORV) trails, timber harvest sites, timber haul roads and wildlife ruffed grouse habitats areas should be allocated together in the Wayne National Forest in the United States. Automated, spatial cartographic models were developed to resolve the conflicts of the multiple land use allocation. The techniques of descriptive and prescriptive modeling made the multiple land use allocation efficient and effective.

#### 1. 서 론

자연자원의 하나로서 모든 토지는 그 소재하는 장소와 환경에서 오는 잠재력이 있다. 효과적이 있다. 효과적이며 효율적인 토지이용은 개별적 토지가 갖는 잠재력을 최대한 발휘하게 해 줌과 동시에 그 토지이용으로 야기되는 환경피해를 최소화 해야 한다.

토지이용의 효율성을 제고하기 위해서는 토지의 적지성을 고려해 산업기반의 정비를 위한 것인가, 생활환경의 개선을 위한 것인가, 관광 또는 레크리에이션을 위한 것인가, 자연환경의 보전을 위한 것인가 하는 평가가 되어야 한다. 그러나 하나의 토지를 놓고 적지로 판정된 하나의 이용에도 불구하고 토지의 이용이 상충되거나 경합되는 경우가 많다.

\* 정회원 : 목포대학교 지연과학대학 조경학과 전임강사

합리적인 토지이용을 위해서는 토지이용의 상충성이 해결되어야 하지만 광범위하고 포괄적 요소와 복합적 요인들을 종합하여 결정하는 것은 단순한 일이 아니고, 수동적 방법에 의한 처리방법으로는 어려움이 많다. 이러한 문제점을 해결하고자 본 연구에서는 미국 오하이오주의 국립 산림지역내의 복합적 토지이용시 유발되는 상충성을 해결하고자 지형공간정보체계(GSIS:Geo-Spatial Information System)의 지도학적 모델(Cartographic Model)이 어떻게 개발·활용되어 그 문제를 효율적으로 해결하는지 그 방안을 서술한다. GSIS는 공간에 관한 정보를 이용해 공간에 관한 제반 문제를 해결하는 도구이며 지도학적 모델은 GSIS 기술이 활용가능하게 하는 근본적 기법이다(Tomlin, 1990).

본 연구의 목적은 지도학적 모델링테크닉을 이용해 토지이용의 상충성이 자동적으로 해결되는 과정을 단계단계별로 자세히 제시하고자 한 것으로, 지도학적 모델이 어떻게 활용되어야 하는지에 대한 모델링 테크닉을 제시함에 그 연구의의를 찾는다.

## 2. 분석방법

본 연구에 이용된 토지이용은 ORV(Off-Road Vehicle) 레크리에이션 전용도로, 산림목재 우송 전용도로(Timber haul road), 산림생산 적지(Timber harvest) 및 야생동물 서식처(Wildlife habitat)로서 이러한 용도로서의 다목적 이용은 산림지역에서 보편적으로 나타난다. 모델을 개발하는 절차는 그림 1에 나타나 있는 바와 같이, 1단계는 필요한 자료의 선정, 자료입력, 자료의 신빙성 검증, 자료의 해석 및 자료 전환 등의 절차는 거쳐 모델개발을 위한 지도자료 데이터베이스를 구축하는 것이다. 2단계는 기술적 모델링(Descriptive Modeling) 단계로서 각기 다른 토지이용에 대한 적지 선정기준(siting criteria)을 확립한 후 이 기준을 만족시키는 최적지 분석 모델을 개발하는 것으로, 개개의 토지이용마다 요구되어지는 적지 선정 기준을 확립한 후 이 기준을 만족시키는 지역을 찾아내는 지도로 나타나지마는 이 지도가 중첩될때 상충되는 토지이용이 나타나기 마련이고 이러한 상충성을

해결하고자 3단계 규정적 모델링(Prescriptive modeling)이 필요하게 된다. 이 단계에서는 토지이용의 상충성을 최소화하는데 그 역점을 두게되어 최적의 토지이용을 판명하게 되는 바, 이를 위해 연속적이고 자동적인(automated iteration) 지도대수 연산이 요구되어 진다.

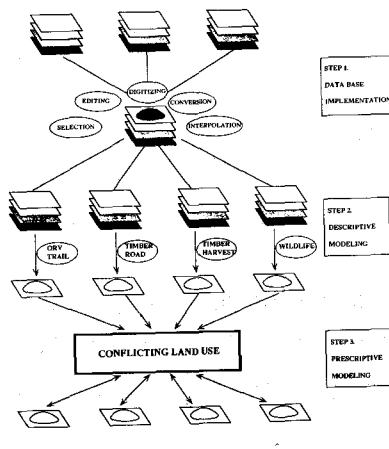


그림 1. Modeling Procedure

## 3. 분석 및 결과

### 3.1 1단계: 지도학적 자료준비

본 연구의 대상지역은 미국 오하이오주 동남쪽에 위치하고 있는 Wayne 국립 산림지역내의 Nwolsonville 시 북쪽이 약 16,500 헥타의 면적으로 삼았다. 연구 대상지역내의 지도학적 자료는 각 자료의 형태적 특성에 따라 벡터(vector), 점(point), 다각형(polygon) 등의 세가지 형태로 분류하여 벡터 및 점형은 ARC/INFO에 의해, 다각형은 ERDAS 디지털이징 시스템에 의해 자료가 각각 입력되었다. 표1은 여러자료들의 출처, 제작년도, 축척과 형태적 특성을 보여주는데, 등고선, 도로, 하천은 벡터형으로, 건물과 유정(oil well)은 점형으로, 토양, 산림, 식생, 토지이용 등은 다각형 형태로 입력되었다. 입력된 디지털 자료는 매킨토시 MapII 로 전환되었는데, 매킨토시 MapII 는 다른 래스터(raster) 구조의 지리정보체계 시스템과

같이 그 근본적 단위가 그리드(grid) 또는 셀(cell) 로 이루어져 있다. 그리드의 크기는 데이터의 획득, 처리, 저장, 분석과 결과에 영향을 미치는 요소로, 본 연구에서는 획득된 자료의 정확도 및 연구대상지의 면적과 유사 연구들의 사례를 비교검토한 후, 하나의 그리드 단위를 100 m<sup>2</sup> (10m × 10m) 로 잡았다.

Data layer	Source map	Date	Feature type	Scale	Software
Elevation	USGS 7.5' quad	1985	line	1:24,000	ARC/INFO
Roads	USGS 7.5' quad	1985	line	1:24,000	ARC/INFO
Hydrology	USGS 7.5' quad	1985	line	1:24,000	ARC/INFO
Oil wells	USGS 7.5' quad	1985	point	1:24,000	ARC/INFO
Buildings	USGS 7.5' quad	1985	point	1:24,000	ARC/INFO
Forest type	USDA forest map	1987	polygon	1:24,000	ERDAS
Forest density	USDA forest map	1987	polygon	1:24,000	ERDAS
Land use	ODNR 7.5' quad	1988	polygon	1:24,000	ERDAS
Soils	USDA soil map	1990	polygon	1:15,840	ERDAS

표 1. Source Data

Following is the full description of acronyms in Table.

USGS: United States Geological Survey

USDA: United States Department of Agriculture

ERDAS: Earth Resources Data Analysis System

ODNR: Ohio Department of Natural Resources

### 3.2 2단계: 기술적 적지분석 모델 (DESCRIPTIVE SUITABILITY MODELS)

아래의 4개의 적지모델이 개발되었는데 그 구체적 내용은 다음과 같다.

- A) ORV 모델: Off-Road Vehicle 레크리에이션 전용 도로 가용적지 분석
- B) 산림도로 모델: 산림목재 우송 전용도로 가용적지 분석
- C) 산림생산 모델: 산림생산 가용적지 분석

D) 야생동물 모델: 야생동물 서식처 가용적지 분석

한 지역의 토지이용도가 적합한지의 여부를 결정하기 위한 적지분석모델은 각각의 이용에 따르는 제반 환경요인들을 종합하여야 한다. 본 연구에서는 4개의 적지모델이 각각의 최적지를 0-100의 스케일에 의해 판정하고 있는데 그 구체적 과정은 다음과 같다.

#### 1) ORV 모델

ORV 모델은 ORV(Off-Road Vehicle) 이용자들이 ORV 이용시 최대한으로 만족할 수 있는 지역을 찾아내는 것으로 미적성향, 안정성 및 심리적 인자들을 고려하였다. 미적성향은 새로운 경관을 조망하며 자연미를 체험할 수 있는 자연성이 높은 지역 지역(예: 호수, 바위 등), 역사성이 있는 랜드마크 지역, 생태적으로 희귀성이 높은 지역(예: 야생초지, 희귀수목) 등에 높은 가중치를 주었다. 안정성은 ORV 이용시 이용자의 안전과 관련되는 인자들로 산사태 우려지역, 급경사지, 지반이 급하게 침하된 지역에 낮은 가중치를 주었다. 심리적 요인으로 ORV 이용자들은 안전 및 프라이버시에 관한 이유 등으로 건물 및 유정으로부터 떨어진 곳을 선호하며 따라서 이러한 지역에 높은 가중치를 두었다.

표2는 미적성향이 높다고 사료되는 미적기준을 설정하기 위해 미적가치를 판단하기 위한 여러 연구를 참고·종합하여 본 연구에서 이용된 미적 가치기준이다(Brown & Itami, 1982; Dearden, 1980; Kaplan and Kaplan, 1982; Kaplan and Wendt, 1972).

Features	Visual Quality Weightage		
	3	2	1
Slope	High Vertical	Steep	Low rolling
Vegetation	Lots of variety	Some variety	Little or no variety
Water	A major component	Present but not dominant	Little or not present

표 2. Visual Quality Criteria

그림2는 MapII 의 지도대수(map algebra)에 의한 구체적 연산과정을 나타내는데 첫번째 단계는 미적가치가 높은 지역을 선정하는 작업으로 이는 등고선도에서 GRADE연산에 의해 경사도를 판명한 후, 경사도, 산림도, 수로도의 RECODE연산을 거쳐 1차적으로 미적가치가 높다고 사료되는 지역을 판명한다. 이후, SCAN DIVERSITY연산에 의해 이러한 미적가치가 다양하게 나타나는 곳을 찾은 후, RADIATE연산에 의해 이런 곳을 조망할 수 있는 지역을 판정하였다. 두번째 단계는 ORV 이용시 안정성이 최대한으로 보장되는 지역을 찾는 단계로 등고선도에서 GRADE 및 SCAN연산에 의해 경사도 및 로울링 상태를 판단하고, RECODE 및 ADD연산을 거쳐 안정성이 높은 지역을 판정하였다. 세번째 단계는 ORV 이용시 건물, 유정, 수로 등으로부터 떨어져 심리적 만족감을 더해 주는 지역을 찾는 작업으로, 유정도, 수로도, 건물도 등에서 SPREAD연산에 의해 각각의 접근성을 판정하고, RECODE 및 ADD연산에 의해 접근성에 의한 종합적 심리적 만족도를 판명하였다. 미적가치, 안정성, 심리적 만족도가 판명된 후 최종단계는 이들 세 조건을 가장 만족시키는 지역으로 이것은 MINIMIZE연산에 의해 완성되었다.

2) 산림도로 모델

산림 우송도로(Timber haul road) 모델은 산림 우

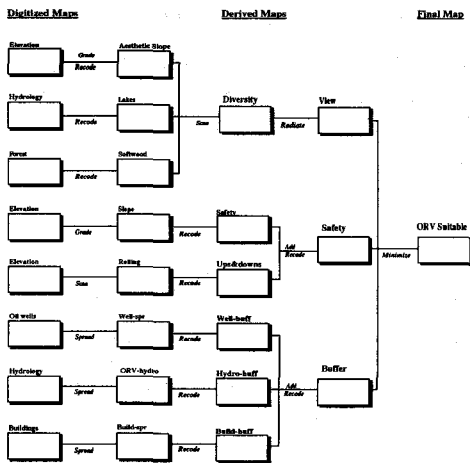


그림 2. Diagram of the ORV model

송도로를 최저비용으로 건설·운영·관리하기 위한 적지를 찾아내는 것으로, 도로건설을 위한 설계, 시공 및 관리에 영향을 주는 인자를 중점으로 선정하였다. 표3은 선정된 10가지 인자를 5개의 등급으로 구분하였는데, 5등급은 도로건설 및 유지·관리시 최적지로 평가하는 항목이고, 1등급은 최하로 평가되는 지역이다

Data Score	5	4	3	2	1
Slope	< 5 %	6-10 %	11-15 %	16-20 %	> 20m%
Soil type	Coarse sands	Loamy sands	Sandy loams	Clays	Loamy soils
Soil depth to bedrock	> 101 "	81-100 "	61-80 "	41-60 "	< 40 "
Depth to high water table	> 81 "	61-80 "	41-60 "	21-40 "	< 20 "
Proximity to water body	> 51 m	41-50 m	31-40 m	21-30 m	< 20 m
Forest density	0	1 - 3	4 - 6	7 - 9	> 10
Forest type	Open grass	Hardwood	Mixed wood	Softwood	Private land
Land use	Forest	Shrub	Agriculture	Industrial	Urban
Proximity to building	> 101 m	61-100 m	31-60 m	1-30 m	Buildings
Proximity to oil wells	> 101 m	61-100 m	31-60 m	1-30 m	Oil wells

표 3. Timber Haul Road Model Criteria

그 구체적 내용을 보면 경사도 항목에 있어서 저경사지(5% 이하)에 최고등급으로 평가했는데 그 이유는 저경사지는 노선설정이 용이하고, 도로시공시 최소한의 절토 및 성토가 요구되어지기 때문이다. 토양의 경우 사토 또는 자갈토를 양토보다 높은 등급으로 평가하였는데 그 이유는 도로의 지하배수를 용이하게 하기 때문이고, 지하암반 및 지하수까지의 토양깊이는 깊을수록 높은 등급으로 평가하였는데 그 이유는 토양깊이가 충분할 수록 시공상 유리하기 때문이다. 시공상의 용이도를 고려해, 수로로부터의 접근성은 하천, 호수 등으로부터 멀어질수록, 산림밀도는 낮을수록

록 높은 등급으로 평가하였다. 산림의 종류에 있어서는 초지, 활엽수, 호합림, 침엽수의 순서로, 토지이용에 있어서는 산림, 농지, 공업용지, 주택지 등의 순서로 등급을 산정하였으며 건물 및 유정으로 부터의 접근성은 이들로 부터 멀리 떨어질수록 높은 등급으로 평가하였다.

그림3은 지도대수에 의한 연산방법을 보여주는데 그 구체적 내용을 살펴보면, 등고선도에서 GRADE연산을 통해 경사도를 만든 후, 선정된 평가기준에 의해 RECODE연산을 하여 경사도에 의한 산림 우송도로적지를 분석한다. 이와 유사한 방법으로 선정된 평가기준에 의해 토양의 종류, 지하암반 및 지하수까지의 깊이, 산림의 종류, 산림밀도, 토지이용도 등에서 RECODE연산에 의해 산림 우송도로 적지성을 분석한다. 수로, 유정, 건물로 부터의 접근성은 SPREAD연산에 의해 산정된 후 선정된 평가기준에 의해 RECODE연산을 하여 접근성에 의한 산림 우송도로적지를 분석한다. 이렇게 분석된 제반 적지분석도는 ADD 및 MULTIPLY연산에 의해 종합되어 최종 산림 우송도로 모델이 완성되었다.

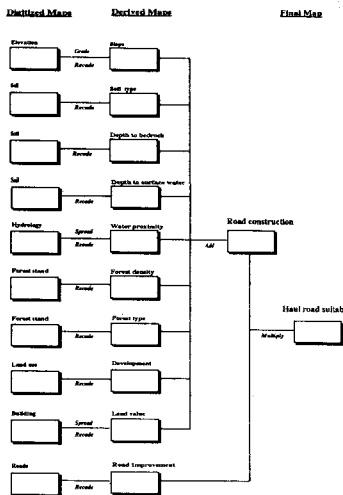


그림 3. Diagram of the Timber Haul Road Model

본 연구대상지역의 경우 참나무(Scarlet and block oak)위주의 산림이 조성되어 있는데 이러한 수종은 수확이 개별적으로 선별 수확되어야 한다. 목재 생산적지로는 산림 밀도가 높은 지역일수록 용이하고, 지형적 요인으로는 사면의 방향이 북동편으로 향한 구릉지, 완만한 경사지, 요철형(convex)에 가까운 지형일수록 생산성이 높다. 이런 지역들을 판명하기위해 그림4에서 보는 바와 같이 산림도를 RECODE연산해 산림밀도 및 생산가능 목재 종류도를 만든 후, 이들을 CROSS연산해 산림 생산가능 적지를 판명한다. 등고선도에서 ORIENT연산에 의해 사면의 방향을 나타내는 ASPECT도를 만들고, GRADE 및 RECODE연산에 의해 경사도를, SCAN, SUBTRACT 및 RECODE연산에 의해 지형의 요철도를 완성한다. 수체도 및 토양도에서 각각의 RECODE연산을 통해 목재생산 적지를 판명한 후, 최종 산림 생산적지는 COMBINE연산에 의해 산림의 종류 및 밀도에 의한 생산적지, 지형의 사면방향, 경사, 요철에 의한 생산적지, 토양 및 수로에 의한 생산적지를 통합하여 완성한다.

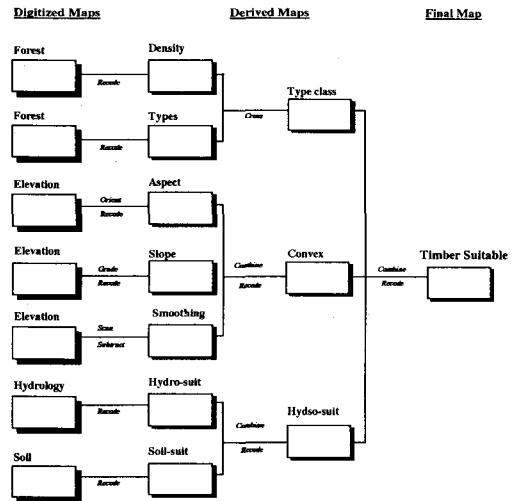


그림 4. Diagram of the Timber Harvest Model

### 3) 산림생산 모델

산림목재 생산적지(Timber harvest)는 산림의 종류 및 밀도, 지형, 토양, 수로 등에 영향을 받는다.

### 4) 야생동물 모델

야생동물 관리는 야생동물의 종류에 따라 특별한 관리를 필요로 한다. 본 연구에서는 목도리노조

이 기 철

(ruffed grouse)를 중점으로 서식처 모델을 개발하였다. 서식처의 필요조건으로서 2개의 인자가 고려되었는데, 첫째, 인간의 활동이나 개발에 영향을 받지 않는 지역으로서 건물, 유정, 도로 등으로 부터의 접근성이 고려되었고, 둘째, 서식처는 식생분포가 양호한

지역으로서 산림목재 생산성이 높은 토양, 야생동물이 선호하는 수목의 종류 및 그 수령이 고려되었다.

구체적 재도대수 연산과정은 그림5에 나타난 바와 같이 건물 및 도로도에서 SPREAD연산으로 이들로 부터, 의 인접성을 파악하고 토지이용도를 서식처에 영향을 주는 지역과 그렇지 않은 지역을 구분하여 RECODE연산을 한 후 COMBINE연산에 의해 인간의 활동에 의해 서식처에 영향을 주지않는 지역을 파악하였다.

식생분포에 의해 서식이 유리한 지역은 산림도를 RECODE연산하여 서식처에 적합한 산림밀도, 수목의 종류 및 수령을 파악하고 토양도를 RECODE연산하여 산림생산성이 높은 지역을 찾은 후 이들 서식적지를 COMBINE 및 RECODE연산에 의해 최적지를 판명하여 서식처 최종모델은 인간의 활동에 의해 영향을 받지않는 지역과 산림 및 토양에 의한 최적지를 COMBINE 및 RECODE연산에 의해 완성하였다.그림 6,7,8,9는 기술적 적지 분석 모델들에 의해 완성된 결과인데 0-100의 스케일에 의해 나타나있다. 짙은 색으로 나타나는 지역일 수록 최고 수치인 100에 접근하고 있는데 이는 각 모델에 있어서 최적지로 판명된 지역이다.

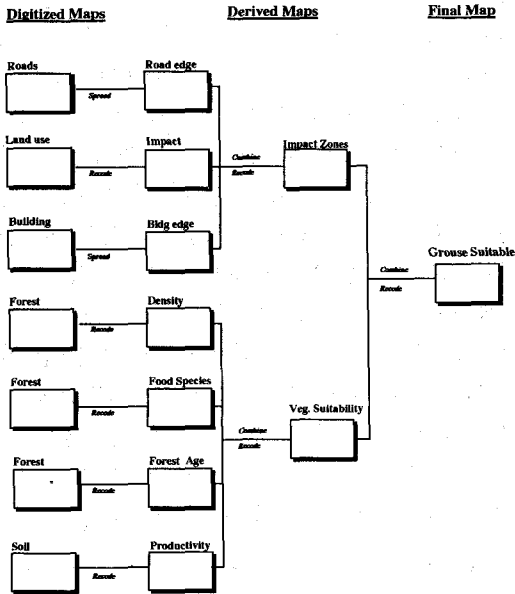


그림 5. Diagram of the Ruffed Grouse Habitat Model

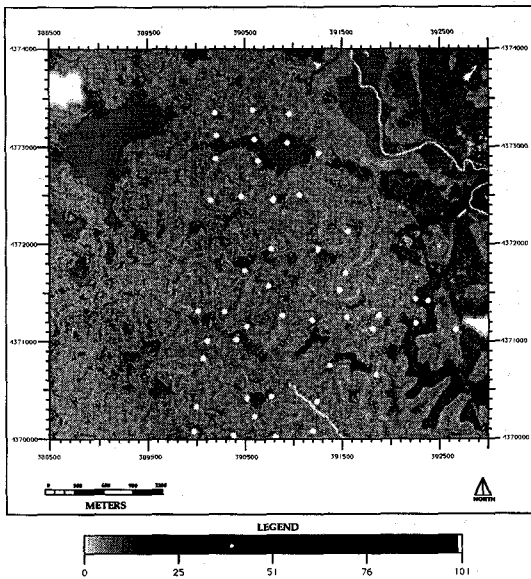


그림 6. The ORV Trail Suitability

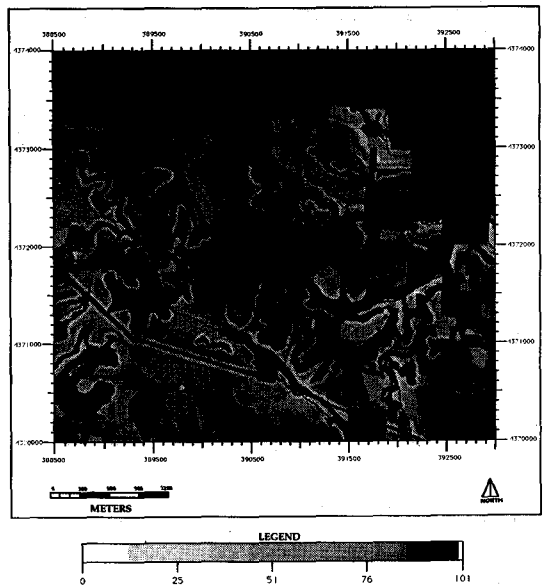


그림 7. The Timber Haul Road Suitability

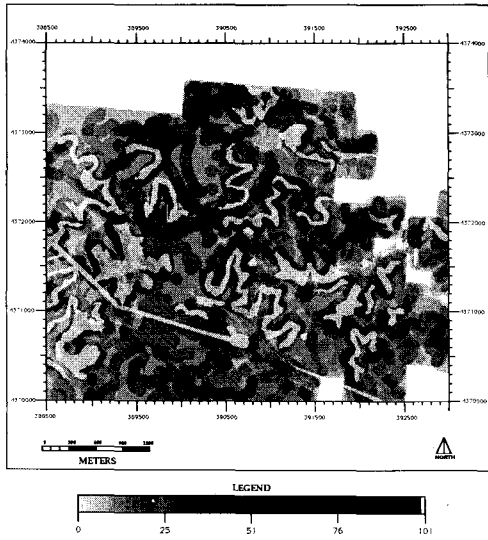


그림 8. Timber Harvest Suitability

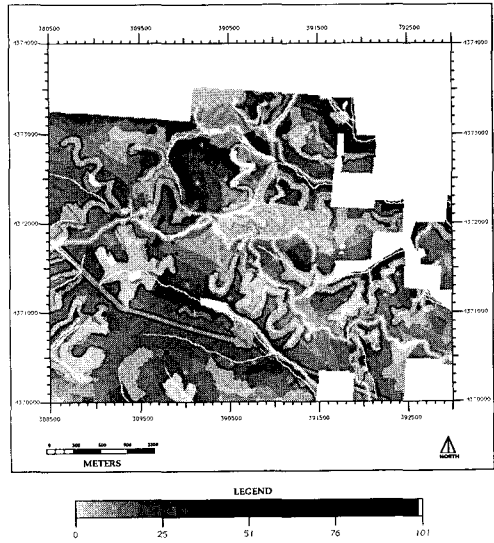


그림 9. The Ruffed Grouse Habitat Suitability

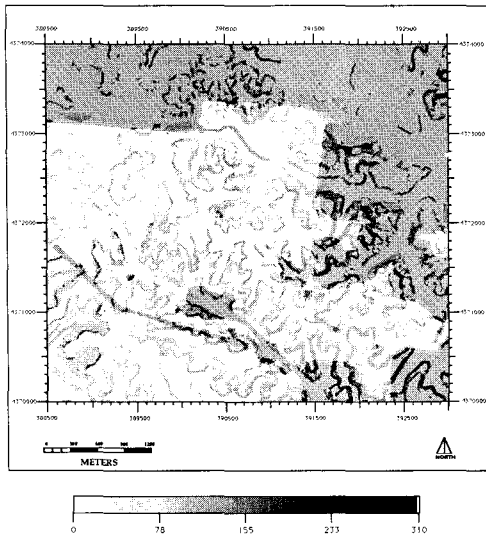


그림 10. Land Use Conflict

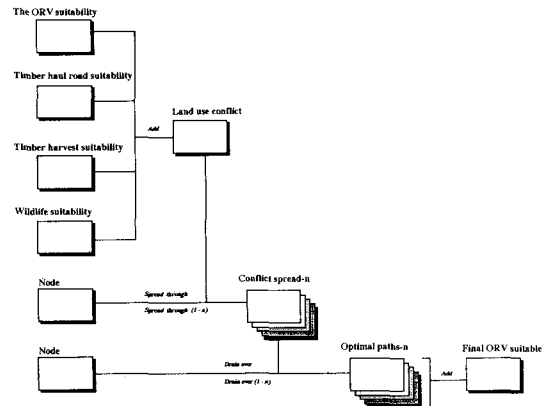
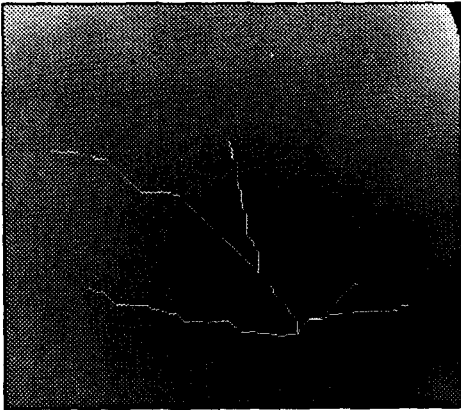


그림 11. Diagram of the Prescriptive Modeling Procedure

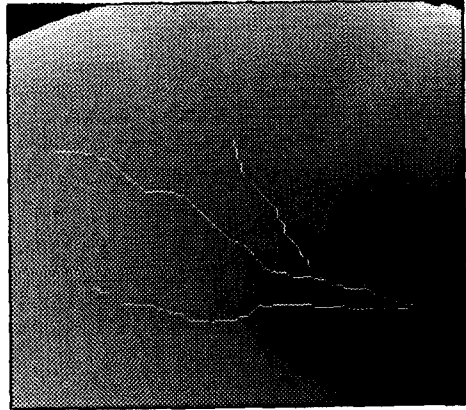
### 3.3. 3단계: 규정적 다중 토지이용 모델 (PRESCRIPTIVE MULTIPLE LAND USE ALLOCATION MODEL)

기술적 모델링에 의한 4모델의 최적지가 분석되었지만 이들 최적지는 상호양립 불가능한 공간을 가지게 되었고, 이러한 지역의 상충성을 해결하기 위해 규

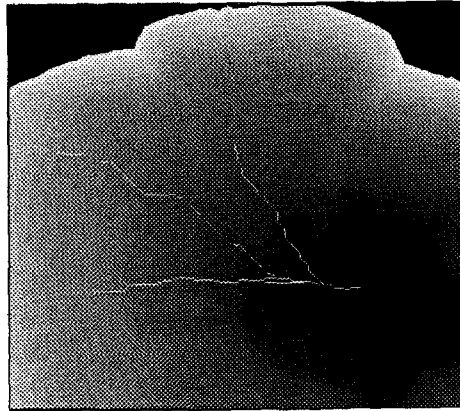
정적 다중 토지이용 모델이 개발되었다. 이 모델은 기술적 모델링에서 나타난 각각의 토지이용 최적도를 최대한 만족시켜 주는 동시에 상충되는 지역의 토지 상충정도를 최소화함으로 완성되게 된다. 이상적인 규정적 모델은 각각의 토지이용 모델에 대해 별도의 규정적 모델이 필요하나 본 연구에서는 ORV 모델을 중심으로 하여 모델을 개발하였다.



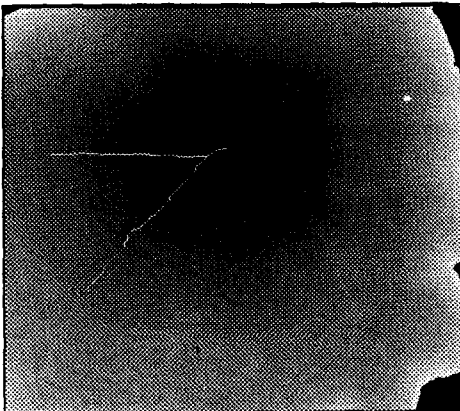
PATHS-1



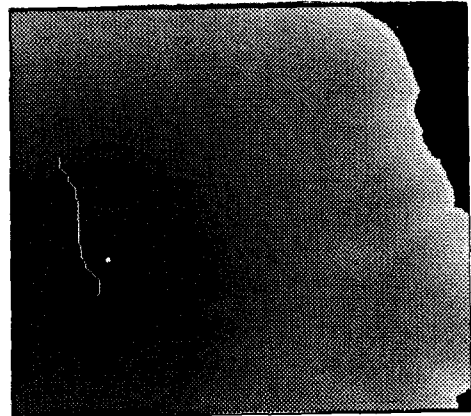
PATHS-2



PATHS-3



PATHS-4



PATHS-5

0 500 1000 Meter

그림 12. Conflict spread and optimal paths



규정적 모델에서의 ORV 도로는 토지이용 상충도(Land use conflict map)를 통과하면서 선상으로 연결되어야 한다. 토지이용 상충도는 기술적 모델에서 판명된 개별 최적지를 중첩함으로써 만들어지는데 이는 지도대수 ADD연산에 의해 완성되었다. 이 토지이용 상충도의 개개지역의 수치는 토지이용의 상충정도를 나타내는데, 수치가 높을수록 상충정도가 높은것을 나타낸다. 그림10에서 보는바와 같이 토지이용 상충도에서는 0에서 310까지의 수치가 나타나는 바 높은 수치로 나타난 지역은 기술적 모델에서 판명된 최적지가 상충되어 나타난 곳이다. 이러한 다중적 토지경합 문제를 해결하기 위해 ORV모델의 경우 낮은 수치로 나타난 지역을 어떻게 선형으로 연결시키느냐 하는 것은 모델링의 주요과제이다.

그림11은 지도대수에 의해 완성되는 규정적모델링 과정을 보여주는데, 앞에서 기술한 바와 같이 1단계는 ADD연산에 의해 상충도를 만드는 것이고, 두번째 단계는 선정된 개개의 ORV모델교점(node point)으로부터 동심거리(concentric distance)를 측정하는 SPREAD THROUGH연산을 통해서 상충도를 비켜서 가는 거리를 360도방향으로 진행하며 측정하였다. 규정적모델링의 마니막 단계는 토지이용의 상충성이 낮은 지역을 ORV도로가 어떻게 연결되는가 하는 것인데 이는 DRAIN연산에 의해 토지이용의 상충이 최소

화되는 지역을 연결함으로써 최적경로가 완성되었다. 이러한 SPREAD THROUGH 와 DRAIN연산은 각 교점으로부터 반복되어 사용되어졌고 이러한 중복과정은 자동적으로 이루어져 그림12에서와 같이 5개의 최적경로가 판명되었다. 규정적 모델링의 최종과정은 이들 최적경로가 중첩되어 완성되었는데 이는 ADD연산에 의해 이루어 졌고 그 결과는 그림 13과 같다.

#### 4. 고 찰

오늘날의 환경문제는 자원의 결핍으로 인해 생기는 피해와 많은 연관이 있고 이는 자연자원의 하나인 토지자원을 효율적·효과적으로 이용하지 못한 결과이다. 개별토지의 적지성을 놓고 이용상의 마찰이 심화되고 있는데 이러한 토지이용의 상충성을 지형공간정보체계에 의해 해결하고자 하는 시도는 컴퓨터에 의해 자동적 방법으로 연석적인 가동을 가능하게하여 전형적인 수동적 해결방법보다 시간·경비상의 절약이 예상되어져 훨씬 효율적이며 효과적인 방법으로 사료된다.

본 연구에서는 지도대수에 의한 지도 모델링 기법에 의해 토지이용의 상충성을 해결하는 방법을 제시하였다. 지도모델은 연속된 지도대수에 의해 하나의 연산에서 나온 결과를 다음 연산의 입력자료로 이용할 수 있으며 연산의 흐름을 나타내는 논리적 개념도는 문제해결에 필요한 단계를 자세히 나타내고 있다. 본 연구에서 개발된 모델링 기법은 크게 기술적 모델링과 규정적 모델링으로 요구되는 ORV 도로, 산림생산지, 산림 우송도로 및 야생동물 서식지에 대한 적지 분석을 하였고, 규정적 모델링은 ORV 도로를 사례로 4개의 모델적지에 상충성이 최소화되는 지역을 연결하였다.

기술적 모델링이 대상 연구지역에 대한 총체적 관점(holistic view)에서 대상지역 전체의 개별적 토지 적합성 여부를 결정하려고 하였다면 규정적 모델링은 세부적 관점에서 각각의 그리드가 하나의 토지이용을 놓고 적지성에 대한 상대적 적합여부를 비교하였다. 따라서 이러한 모델링기법은 다중적 토지이용 문제를 효율적으로 처리할 수 있는 방법으로 제시되고 있다 (Tomlin and Johnston, 1990).

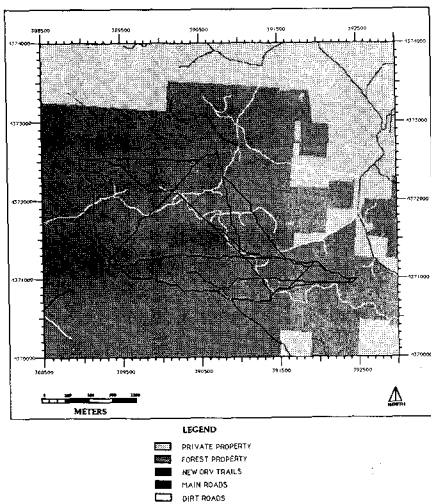


그림 13. Final ORV Trails