

농촌마을 개발계획 지원을 위한
토지이용계획 모형(II)
- GIS와 항공사진을 이용한 모형의 적용 -

A Land Use Planning Model for Supporting
Improvement of Rural Villages(II)
- Application of Model using GIS and Aerophoto -

김 대 식* · 정 하 우**

Kim, Dae Sik · Chung, Ha Woo

Abstract

The purpose of this study is to apply land use planning model (LUPM) to a test village. The LUPM was tested to Uhang village, Ucheon-myeon, Gangwon-do, and its parameters calibrated by land use data from 1973 to 1980. When two test cases were considered of its extended built areas of 10,600m² from 1980 to 1985 and 51,300m² from 1985 to 1992, there was good similarities between simulated and observed results with R² being more than 0.95. Land use transfer patterns to residential use could be very similarly simulated from LUPM when comparing the observed patterns, so, LUPM can be applied to the comprehensive simulation of land use change due to the village growth.

Keywords : GIS, Land use plan, Cellular automata, Land suitability analysis, AHP, MCE

I. 서 론

토지이용계획 모형 (LUPM)은 격자자동변환기법 (Cellular Automata, CA)에 의해 농촌마을의 확장 개발에 필요한 적지를 자동으로 확보할 수 있도록

구성되었는데, 적지평가를 위해서 다기준 평가법 (Multi-Criteria Evaluation method)을 적용하여 경사, 토양배수, 경사향, 도로에서 거리, 마을 중심점에서 거리, 하천에서 거리 등 여섯가지의 평가기준을 채택하였으며, 각 평가기준들의 가중치들은 모형의 보정 매개변수로서 과거 자료에 의해 최적화할 수 있도록 하였을 뿐만 아니라 평가자가 임의로 지정 또는 AHP(Analytic Hierarchy Process) 법의 기준들간의 상대적 비교에 의해 결정할 수 있도록 구성하였다. 모형은 출력결과로서 확

* 충남대학교 농업생명과학대학 농업공학부
** 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부
* Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5795
fax: +82-42-825-9889
E-mail address: drkds19@cuvic.cnu.ac.kr

산된 마을의 개발 적지를 2차원 지도로 나타내는 데, 이를 위해 여섯가지의 평가기준 등을 도형자료들로부터 지리정보시스템의 기능에 의해 분석하여 격자단위로 수치화하여 입력반도록 구성하였다.⁴⁾

본 모형의 적용을 위해서는 집촌 형태 마을의 확장 개발에 관한 기존의 자료가 필요하다. 여기에는 시계열 마을 토지이용도와 어느 시점에서 확장 개발한 계획도의 실제 자료가 포함되어야 한다. 그러나 농촌의 자연마을의 확장에 관한 시계열 토지이용도는 현실적으로 획득하기가 어려울 뿐만 아니라 실제 마을을 확장 개발한 경우의 자료 또한 쉽게 구하기 어려운 실정이다. 모형의 적용성을 합리적으로 평가하기 위해서는 적절한 대상지역의 선정과 이에 관한 자료를 확보하는 것이 가장 중요하다. 한편, 어떤 모형이든지 실제 대상에 적용하는 데는 한계가 있으므로 모형의 적용성 평가를 통하여 이를 밝혀 두는 것도 매우 중요하다.

모형의 적용성 평가는 여섯가지의 평가기준 인자들과 각 인자들의 가중치인 매개변수들을 적용마을의 마을 확산에 대한 과거자료들로부터 최적화하여 보정한 후, 또 다른 시계열 자료에 적용하여 보정된 매개변수들의 타당성을 검정하므로써 이루어질 수 있다.⁴⁾ 매개변수의 보정은 대상마을의 두 시계열 토지이용도에 모형을 적용하여 여섯가지 인자들의 가중치들을 구하는 과정인데, 여기서 시계열 토지이용도의 획득이 매우 중요하다. 그러나 마을단위의 과거 시계열 토지이용도는 최소한 1:5,000도의 축척으로부터 확보해야 하는데, 국립지리원 발행 1:5,000도는 1985년에 항공사진으로부터 제작된 것으로 지형변화의 수정없이 지금까지 사용되어 왔으므로, 시계열 자료를 얻기 위해서는 실천적인 방법을 강구할 수 밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 마을단위의 미시적인 과거의 토지이용 상태를 알기 위해서 과거 항공사진을 이용한 토지이용 추출방법이 보다 효율적이라고 생각하여 이를 채택하였으며, 이로부터 획득한 토지이용도와 평가기준의 지도자료들로부터 모형의 입력자료를 쉽게 가공하기 위

해서 지리정보시스템의 분석 기능들을 사용하였다.

본 연구의 목적은 토지이용계획 모형(LUPM)을 적용성을 실제 마을에 대하여 평가하고, 그 응용성을 살펴보기 위한 것으로서, 항공사진으로부터 과거의 토지이용상태를 나타내는 시계열 자료들을 추출하고 지리정보시스템을 이용하여 모형의 입출력 자료들을 효율적으로 구성하도록 한다.

II. 대상마을의 GIS 자료 구축

1. 대상마을의 개요

모형의 적용 대상 마을은 강원도 횡성군 우천면의 면소재지인 우항마을로 선정하였다. 우천면은 전형적인 농촌지역에 해당되는 곳으로 내륙 농업지대, 평야지대로 분류된 바 있으며, 1991년에 착수한 문화(집단)마을 조성지구이고, 1990년에 착수한 정주권 개발의 9개 시범지구 중의 하나로서 면단위 농촌 개발의 대표적인 표본이 되어온 지역이다.^{2),3)} 우항마을은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 우천면의 중심에서 좌하에 입지하고 있으며, 우천면의 72개 자연마을 중에 하나로서 하천에서 가깝고, 국도가 마을을 지나가며, 1997년말 현재 260가구에 800명의 인구가 거주하고 있다.³⁾

2. GIS 자료 구축

모형의 적용성 평가를 위하여 우항마을에 대한 GIS 자료를 1985년 촬영 항공사진으로부터 제작된 국립지리원 1:5,000 지형도(1:5,000 국립지리원 발행 지형도)로부터 본 연구에서 설정한 마을의 활동 범위 내에 대하여 각각 등고선, 도로, 하천, 토지이용도, 토양도를 구축하였다. Fig. 4는 우항마을의 등고선도를 나타내며, Fig. 5는 토지이용도를 나타낸다.

개발용지 확보를 위한 토지이용 변화 모델링에 필요한 시계열 토지이용도를 구축하기 위하여 임업

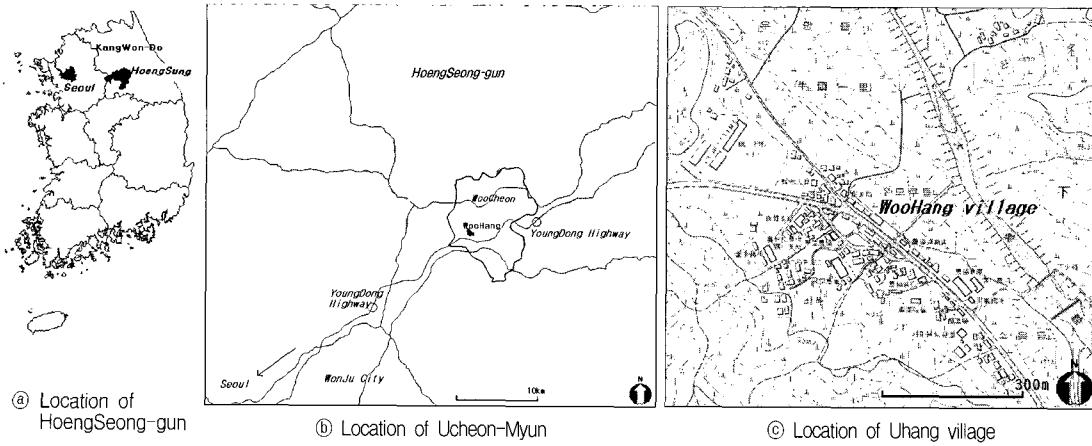


Fig. 3 Location map of test area, Uhang village

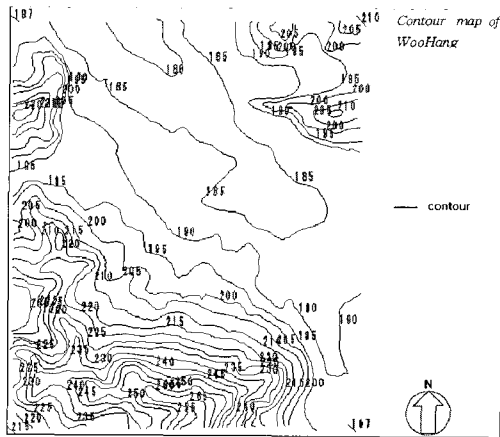


Fig. 4 Contour map of Uhang

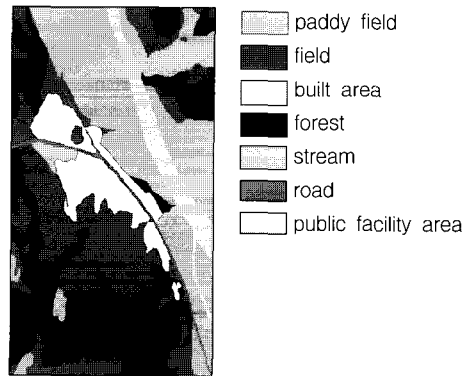


Fig. 5 Land use map of Uhang(1985)

연구원에서 1973년 7월, 1980년 9월, 1992년 9월에 각각 촬영한 1:12,000 항공사진으로 부터 마을의 토지이용도를 작성하였다. 각 항공사진을 1:5,000 지형도로 부터 구축한 토지이용도를 기준으로 ARC/INFO의 이미지 좌표 변환 기능을 가진 "RESISTER" 프로그램을 이용하여 트랜스폼(transform)하고 이로부터 각 해당 년도의 토지 이용도를 구축하였다.¹⁾ Fig. 6, Fig. 8 및 Fig. 10은 항공사진의 트랜스폼 과정을 나타낸 것이며, Fig. 7, Fig. 9 및 Fig. 11은 작성된 각 해당 년도의 토지 이용도를 나타낸다.

항공사진으로 부터 구축한 토지이용도의 정확성을 분석하기 위하여 문화마을 사업 시행 결과로 증가된 마을 면적과 본 연구에서 항공사진을 이용하여 구한 마을 면적을 비교하였다. 이 두 자료를 비교할 수 있는 것은 1992년 9월 항공사진은 우천면 문화마을 사업이 시행되어 마을 개발용지 확보 공사가 마무리 된 후의 것이므로 개발 계획 이전의 마을 면적과 개발 후의 면적의 차이는 문화마을 조성사업의 결과라고 판단하였기 때문이다. 비교 결과 문화마을 조성사업에서 확장한 마을 면적은 52,714m²이며,²⁾ 본 연구에서 항공사진으로부터

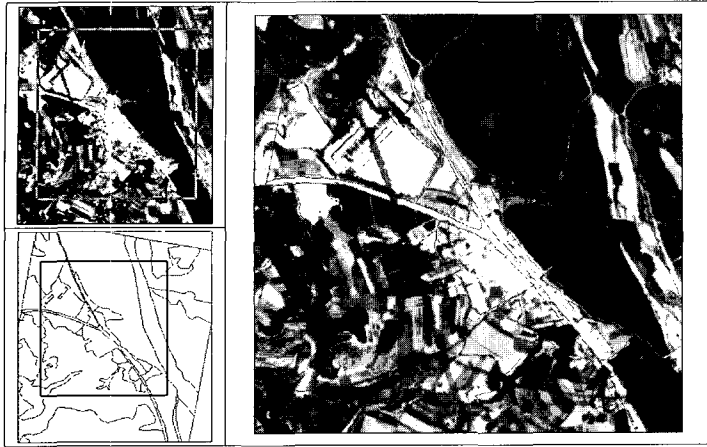


Fig. 6 Transformation process from aerophoto to coverage



Fig. 7 Land use map, 1973

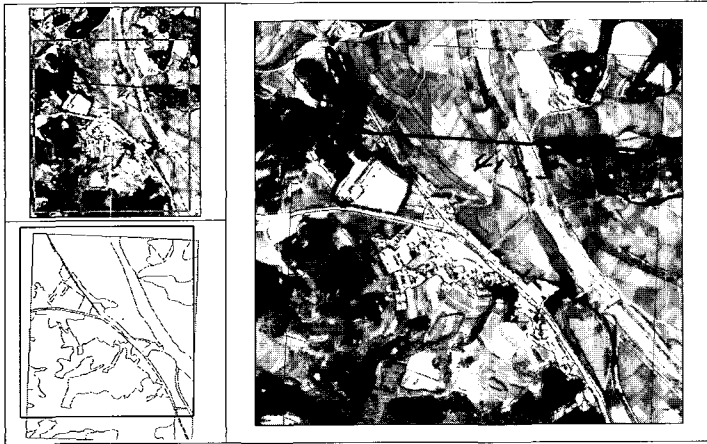


Fig. 8 Transformation process from aerophoto to coverage



Fig. 9 Land use map, 1980

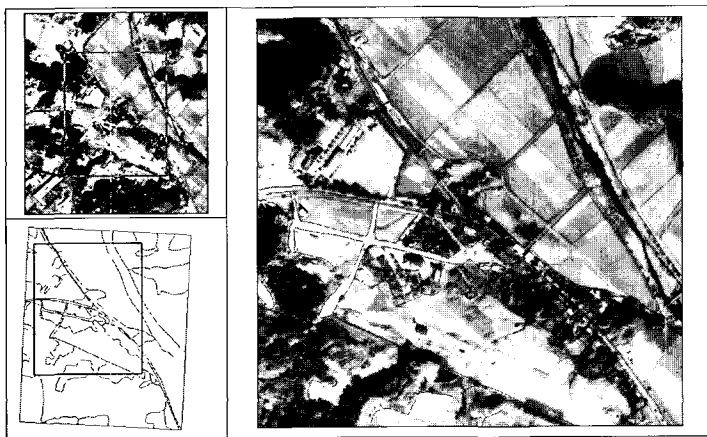


Fig. 10 Transformation process from aerophoto to coverage



Fig. 11 Land use map, 1992



Fig. 12 Slope map



Fig. 13 Drainage map

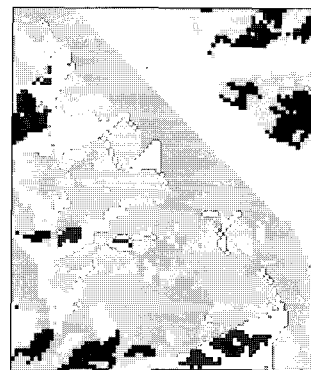


Fig. 14 Aspect map

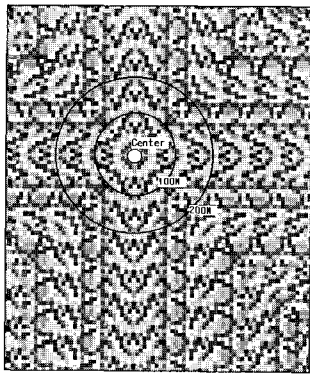


Fig. 15 ADM* from village center point

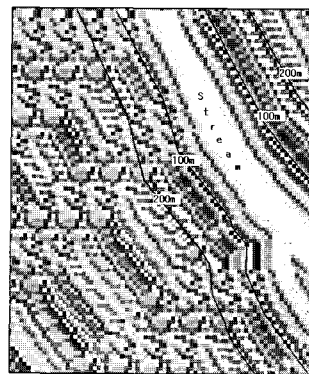


Fig. 16 ADM from stream

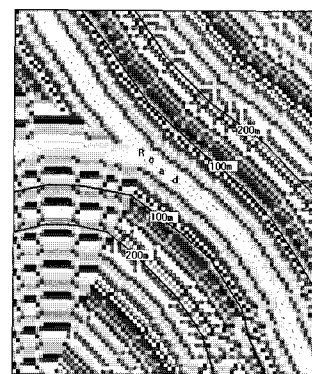
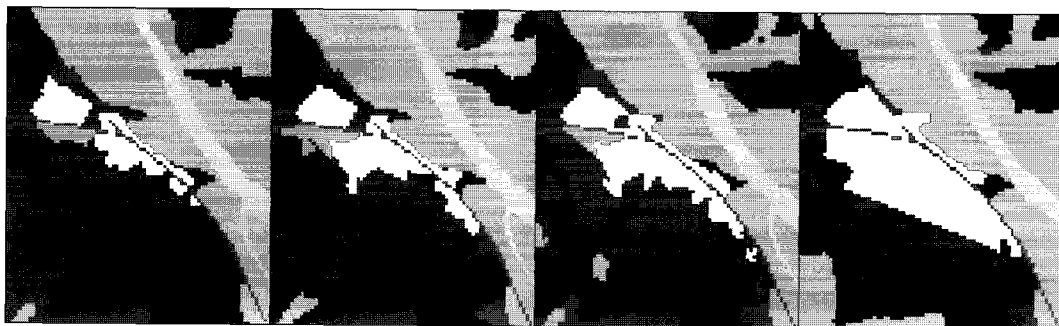


Fig. 17 ADM from road

(* ADM: Accumulated distance map)



㉑ 1973

㉒ 1980

㉓ 1985

㉔ 1992

Fig. 18 Grid map of land use

구축한 토지이용도에서 계산한 마을 증가 면적은 $51,300\text{m}^2$ 로 두 값의 상대오차가 2.7%로 거의 일치하였다.

구축된 GIS 자료로부터 모형 입력자료인 경사도, 토양배수, 도로에서의 거리, 마을 중심점에서의 거리, 하천에서의 거리, 경사방향 등 6개 격자 지도

와 초기조건에 해당되는 토지이용도, 모형의 보정을 위한 시계열 토지이용도를 구축된 벡터(vector) 자료로부터 10×10m의 격자지도도 나타낸 결과를 Fig. 12~Fig. 21에 나타내었다.

III. 모형의 적용

1. 모형의 보정

본 모형은 개발용지 적성값 산정을 위하여 경사(Slope), 토양배수(Drainage), 도로에서의 거리(Road), 마을 중심에서의 거리(Village-center), 하천에서의 거리(Stream), 경사방향(Aspect)의 6개 평가기준의 가중치를 매개변수로 하고 있는데, 모형의 보정은 이 매개변수들을 최적화하는 것이다.

매개변수 보정 방법은 시간이 오래 걸리지만 정확한 해를 얻을 수 있는 장점이 있어 널리 사용하는 단순시행착오법을 선택하였다. 매개변수 최적화를 위한 비교 대상 물리량은 White and Engelen(1993),⁵⁾ Wu(1998),⁶⁾ Wu and Webster(1997),⁷⁾ Yeh and Li(1998)⁸⁾가 사용한 바 있는 형태학적 비교방법의 개념을 도입하여, 본 연구에서는 거리-면적(distance-area relationship) 또는 면적-반경(area-radius relationship)의 값을 설정하였다. 이로 부터 본 연구에서는 마을 중심점에서의 거리에 대한 주거지 면적(residential area vs distance from center point, RADC)과 주 간선도로(국도)에서의 거리에 대한 주거지 면적(residential area vs distance from road, RADR)의 두가지를 선정하였다.

모형의 보정을 위해 1973년에서 1980년까지 마을 주거지의 변화 실측치와 모의 발생치를 비교하

였으며, 매개변수의 최적화는 통계적 유의성 검정을 위한 R²의 최대화와 절대 오차의 정도 파악을 위한 RMSE의 최소화를 목적함수로하여 시도하였다. 마을 중심점에서의 거리에 대한 주거지 면적과 주 간선도로(국도)에서의 거리에 대한 주거지 면적 값에 대한 최적화는 RADC와 RADR에 대한 각각의 R² 평균 최대화로 하되 편차가 적은 것을 선택하였으며, 두개의 RMSE에 대해서는 평균을 최소화하고 편차가 적은 값을 선택하여 최종 보정 매개변수로 결정하였다.

매개변수의 최적화에서는 6개 매개변수의 합이 1이 되도록 시행착오를 반복하였는데, 특정 인자를 무시하지 않도록 하기 위하여 6개 매개변수 모두 0.01~0.5사이의 범위내에서 최적화하였다. 결과는 Table 7과 같이 나타났으며, 거리-면적 값은 Fig. 19 ㉔에 RADC, ㉕에 RADR의 산포도로 나타내었다. 보정결과 마을 중심점에서의 거리의 가중치가 0.284로 제일 높게 나타났고, 주 간선도로에서의 거리의 가중치가 0.261로 두번째로 높게 나타났으며, 토양배수의 가중치가 0.065로 제일 낮게 나타났는데, 이것은 주거영역의 확장에 마을 중심점에서의 거리, 주 간선도로에서의 거리, 경사, 경사방향의 순으로 큰 영향을 미치고 있음을 나타내고 있다. 이에 대하여 RADC는 R²가 0.92, RMSE가 830, RADR은 R²가 0.98, RMSE가 521로 최적값을 나타내었다.

2. 모형의 검정

보정된 매개변수를 1980년도에서 1985년까지 마을 주거지가 소규모 증가(10,600m²)와 1985년도에서 1992년도까지 문화마을 개발계획에 의해

Table 7 Optimal parameters of LUPM for Uhang

criteria item	Slope	Road	Stream	Aspect	Village-center	Drain-age	RADC		RADR	
							R ²	RMSE	R ²	RMSE
value	0.161	0.261	0.068	0.161	0.284	0.065	0.92	830	0.98	521

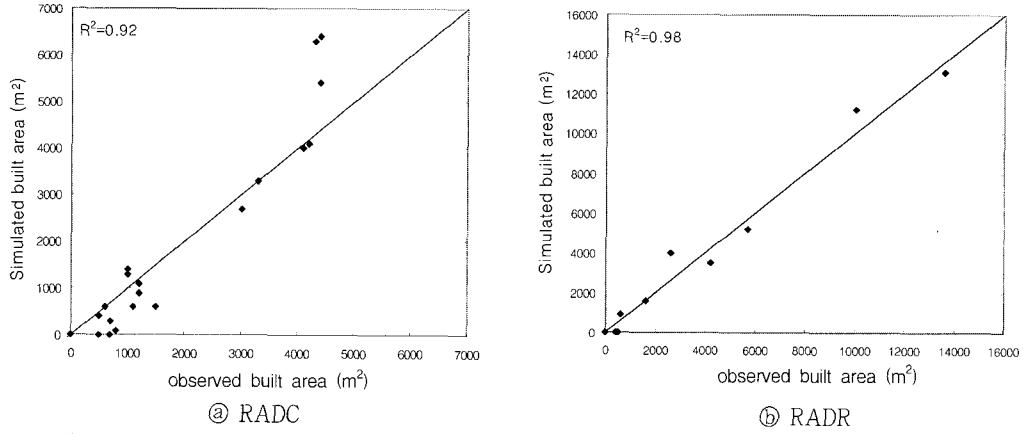


Fig. 19 Scatter diagram of observed and simulated land use(1973→1980) as calibration result

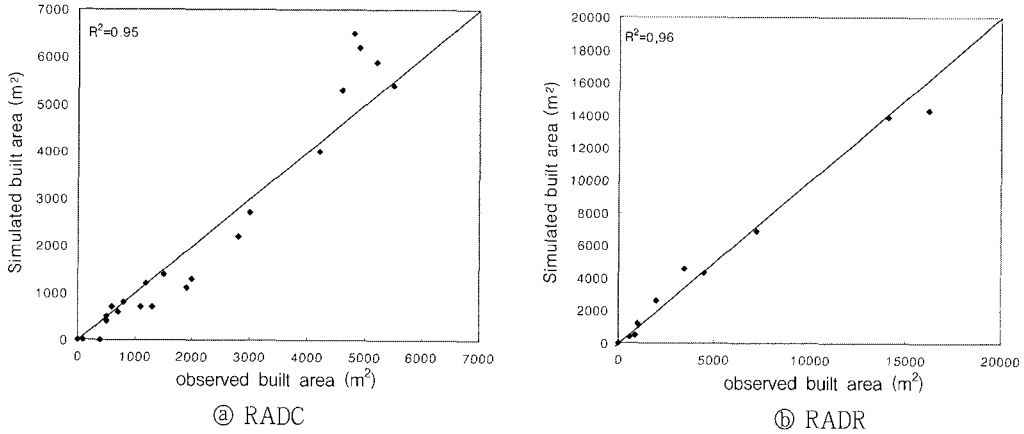


Fig. 20 Scatter diagram of observed and simulated land use(1980→1985) as verification result

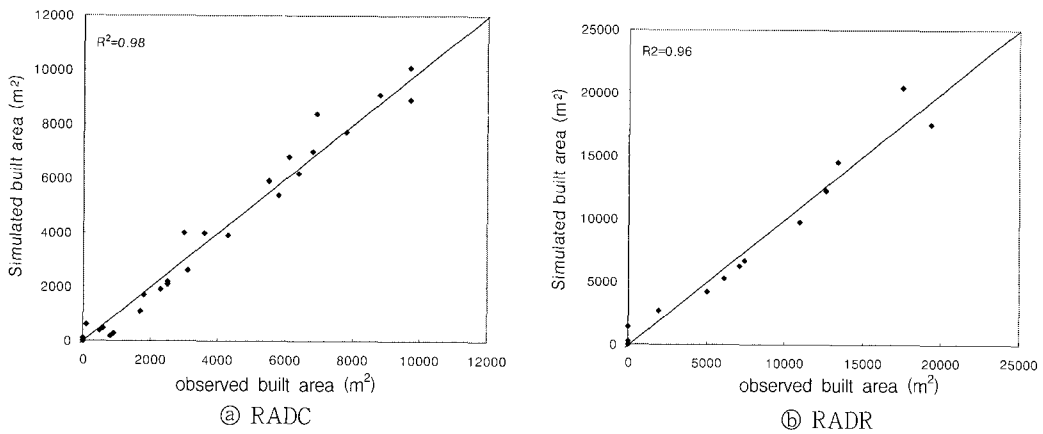


Fig. 21 Scatter diagram of observed and simulated land use(1985→1992) as verification result

마을 주거지가 대규모로 증가(51,300m²)된 경우에 대해 각 각 검정을 실시하였다. 1980~1985년 사이에는 자연적 확산에 의한 것이며, 1985~1992년사이에는 문화마을 사업의 일환으로 인위적으로 확산이 이루어졌다. 후자의 경우에는 전술한 바와 같이 개발계획에 의해 52,714m²가 확장되었는데, 본 연구에서는 당시 개발계획 보고서를 고려하여²⁾ 이러한 확장패턴이 과거의 마을확산을 고려하는 등 개발자, 평가자 및 주민 등에 의해 어느정도 다양한 분석과 평가에 의해 최적화 된 것으로 간주하여 모형의 검정대상으로 선정하였다.

검정결과 1980~1985년사이 RADC의 R²는 0.95, RADR의 R²는 0.96으로 나타났으며, 1985~1992년사이 RADC의 R²는 0.98, RADR의 R²는 0.96으로 나타났다. 이 결과들을 각각 Fig. 20, 21과 같이 산포도로 나타내었다. 결과에서 보는 바와 같이, 시간에 따른 실제 마을 주거지의 확장 패턴과 토지 적성 값을 기저로 모의 발생한 주거지의 확장 패턴이 유사한 것으로 나타나 모형의 유용성이 있음을 확인할 수 있었다.

3. 모형의 적용 결과

토지이용 변화를 모의하고 이에 따라 개발용지의 필요 면적을 확보하는 절차에 모형을 적용하였다. 적용대상은 1985년 토지이용 상태에서 개발계획이

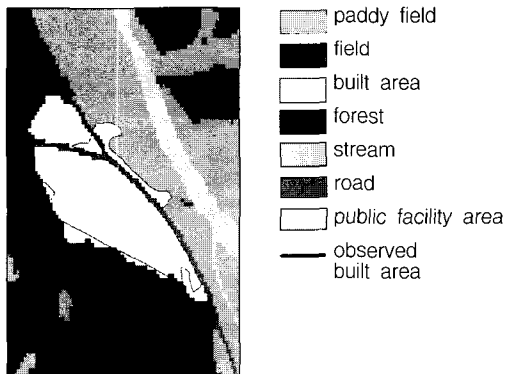
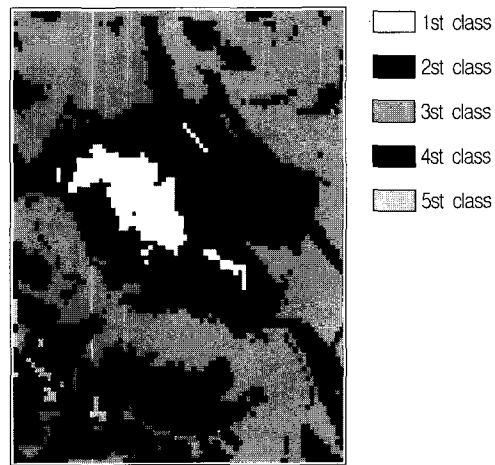


Fig. 22 Map of observed and simulated built area

요구하는 1992년도 개발용지의 확보를 위한 토지 공급대책을 수립하는 것으로 하였으며, 적용 결과는 1992년 현황의 마을 주거지 면적과 비교하여 Fig. 22에 나타내었다. 실측된 주거지 형태와 신규 개발용지를 확보한 모의 발생 결과 주거지의 형태가 거의 일치함을 알 수 있다.

결과를 도출하는 과정에서 모형의 개발용지 적성



㉓ Built area suitability map



㉔ With reference to restricted area

Fig. 23 The optimal suitability map of Uhang village

값 계산 결과 도면, 개발제한구역(경지정리 지구)를 고려한 주거지 적성값 도면, 각 반복 계산에서의 토지이용 변화를 각각 Fig. 23 ㉔, ㉕ 및 Fig. 24에 나타내었다. Fig. 23 ㉔에서와 같이 주거지 적성값이 높은 지역은 마을중심과 도로의 주변으로 1, 2등급이 형성되었으며, Fig. 23 ㉕는 경지정리 지구를 개발 금지지역으로 설정하여 주거지 적성 5등급으로 나타낸 것이고, Fig. 24는 개발용지를 확보해 나가는 과정에서 모형이 12번의 반복계산을 수행하였는데, 일부를 나타낸 것이다.

연구결과로 부터 개발용지 적성분석을 통하여 개발계획을 수립할 수 있는 토지를 확보할 수 있는 가능성을 확인하였다.

IV. 모형의 응용

1. 토지 용도 변경에 의한 공간 변화

모형을 대상마을 토지의 용도지역 지정을 변경한 경우에 대한 공간 변화의 모의에 응용하였다. 우항 마을에 대해 LUPM에 의해 모의 발생된 1992년 마을 토지이용도를 초기조건으로 하였으며, 모형의 매개변수는 보정된 값을 사용하였다. 새로운 공간 변화 예측을 위하여 마을 주위의 경지정리지역을 준농림지로 변경한 후에 개발 수요 면적을 50,000 m² 확보하였는데, 이의 결과는 Fig. 25와 같이 나타났다. Fig. 25에서 보면 신규 생성된 마을의 주

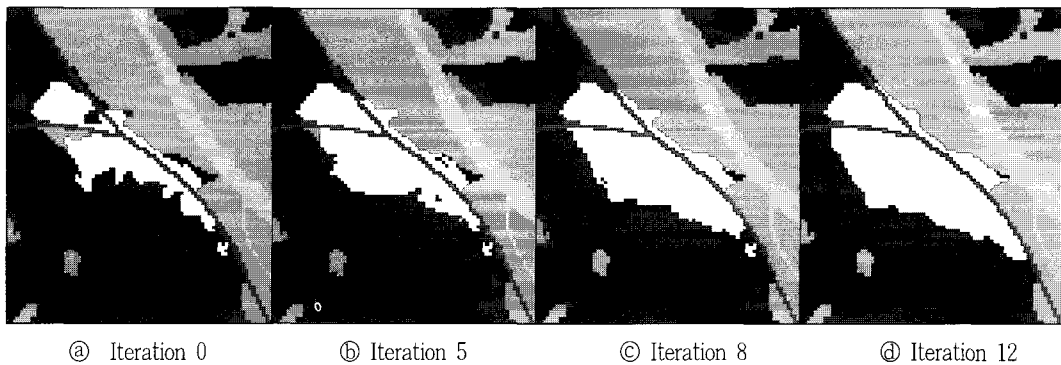


Fig. 24 The result of land use simulation

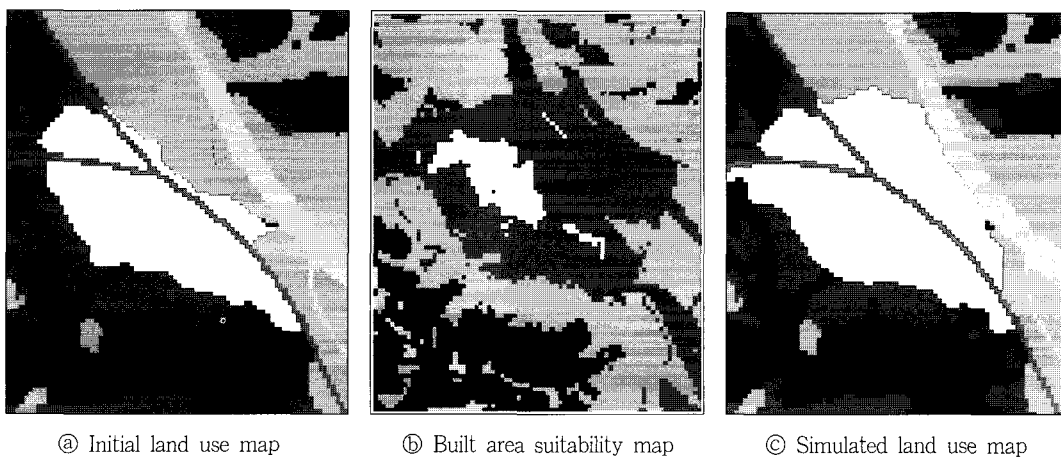
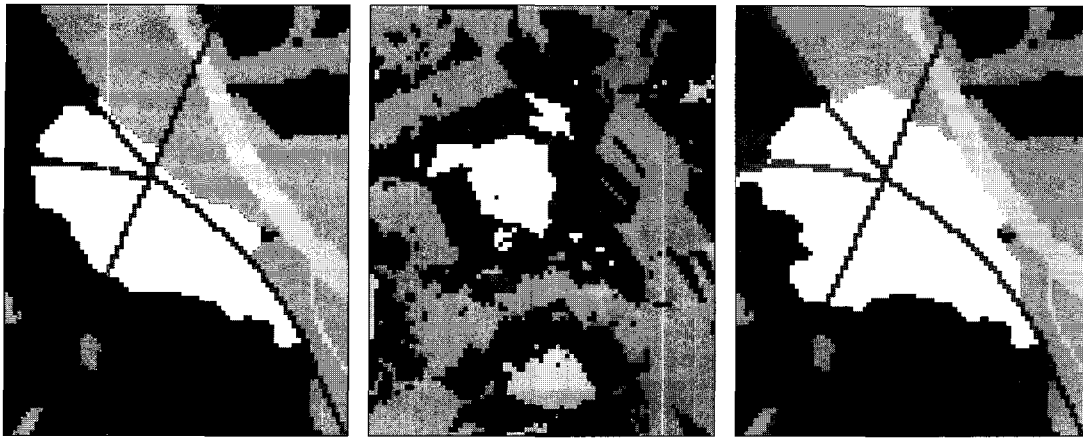


Fig. 25 Case 1: Agricultural zoning be called off and target area of new housing site 50,000m²

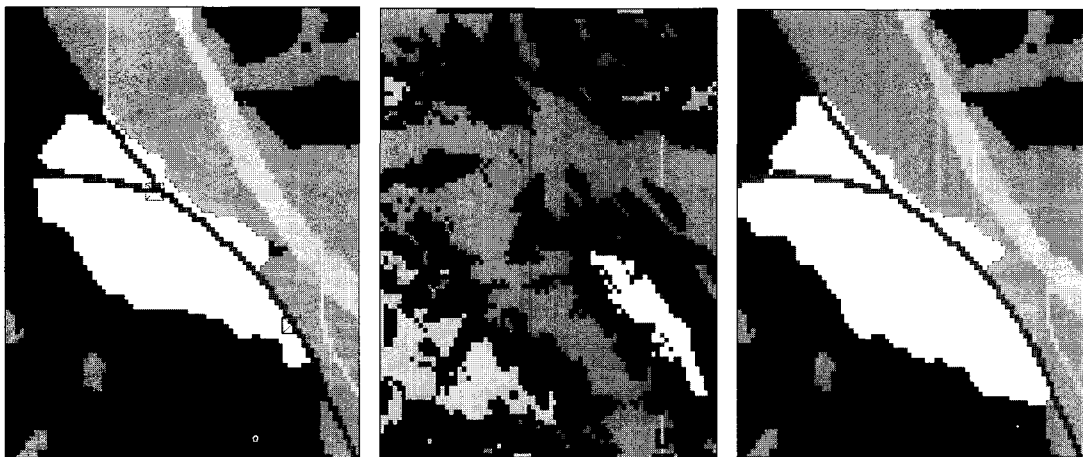


㉔ Initial land use map

㉕ Built area suitability map

㉖ Simulated land use map

Fig. 26 Case 2: Agricultural zoning be called off, a new road constructed, and target area of a new housing site 50,000m²



㉔ Initial land use map

㉕ Built area suitability map

㉖ Simulated land use map

Fig. 27 Case 3: Center point of village be moved and target area of housing site 50,000m²

거영역은 주 간선도로를 기준으로 기존 마을의 주거점과 반대쪽에 형성되었다. 모의결과 변경된 준농림지역으로 주거지가 확장되었음을 알 수 있다.

2. 도로 신규 개발에 의한 공간 변화

대상 마을을 통과하는 도로를 신규로 개발했을 경우의 마을 공간 변화 예측에 모형을 응용하였다. Fig. 26 ㉔는 새로운 도로를 개발한 후의 마을의

토지이용도를 나타낸 것이다. 모형의 모의 조건을 “1. 토지 용도 변경에 의한 공간 변화”에서 설정한 것과 같이 입력하였다. Fig. 26 ㉕는 도로 신규개발 후의 주거지 적성을 평가한 것으로 마을 중심점, 기존의 주 간선도로 및 신규 도로에서 멀어짐에 따라 1등급에서 5등급까지 등급 변화가 있는 것을 볼 수 있다. 모의 발생된 주거지는 Fig. 26 ㉖와 같이 나타났다. 이의 결과를 Fig. 25의 동일한 조건에서 모의한 결과와 비교해보면 도로를 개

발했을 경우에 마을의 주거지가 신규 도로를 중심으로 형성되어있는 것을 알 수 있다. 따라서 도로의 신규 개발에 따른 마을의 공간 변화 예측에 모형의 응용성이 있는 것으로 판단되었다.

3. 마을 중심점 이동에 의한 공간 변화

주요시설의 정비에 의해 마을의 중심점이 이동되면서 장래 야기 될 수 있는 마을의 공간 변화를 모의하는데 모형을 응용하였다. 대상마을의 기존 중심점을 Fig. 27 ㉔와 같이 마을 주거 영역의 우측 하단으로 옮겼을 때에 주거지 적성 평가 결과는 Fig. 27 ㉕와 같이 나타났다. Fig. 27 ㉕에서 보는 바와 같이 새로운 마을 중심점 주변에 주거지 적성 1등급 토지가 분포하고 있는 것을 알 수 있고, 개발 면적 50,000m²는 Fig. 27 ㉖와 같이 확보할 수 있음을 알 수 있다. 결과에서 마을 주거 영역의 우측하단에 있는 마을 중심점을 기저로 하여 새로운 마을 주거영역이 확보되었음을 알 수 있어 마을의 주요 거점인 중심점의 위치 변경에 의한 공간 변화의 모의에도 응용이 가능하다.

V. 결 론

본 연구에서는 농촌마을의 정비 계획 지원을 위한 토지이용계획 모형(land use planning model, LUPM)의 적용성을 평가하였다. 대상마을 공간계획에 대한 응용 측면에서 모형을 적용한 것으로서 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 마을 공간계획을 위한 모형의 적용성 평가를 위하여 우항마을의 GIS 자료를 1:5,000 지형도로 부터 각각 등고선, 도로, 하천, 토지이용도 등의 수치지도를 구축하였다. 개발용지 확보를 위한 토지 이용 변화 모델링에 필요한 시계열적 자료를 구축하기 위하여 임업연구원에서 1973년 7월, 1980년 9월, 1992년 9월에 각각 축량한 1:12,000 항공사진으로 부터 마을의 토지이용현황을 지도화하였다.

2. LUPM의 보정 매개변수 6개를 단순시행착오

법에 의해 최적화하였다. 1973년에서 1980년까지의 증가된 토지이용도의 주거지 면적을 모의 발생치와 실측치를 비교하여 R²와 RMSE 값을 목적함수로 최적한 결과 마을 중심점에서의 거리의 가중치가 0.284, 주 간선도로에서의 거리의 가중치가 0.261의 순으로 높게 나타났으며, 토양배수의 가중치가 0.065로 제일 낮은 값을 나타내었다.

3. LUPM의 보정된 매개변수를 1980년도에서 1985년까지의 10,600m²의 소규모 증가와 1985년도에서 1992년도까지의 문화마을 사업에 의해 51,300m²으로 대규모 증가된 경우에 각각 검증을 실시한 결과 R²가 모두 0.95 이상으로 잘 맞는 것으로 나타나 모형의 유용성을 확인할 수 있었다.

4. LUPM을 토지이용계획 수립에 적용한 결과 실측된 토지이용도와 모형의 결과가 거의 일치하게 나타났다. 또한 토지수요 면적을 확보하는 과정에서 주거지가 점점 확장되어가는 과정을 재현할 수 있었으며, 이로 부터 마을의 확장에 대한 토지이용 변화의 모의에도 응용이 가능할 것으로 판단하였다.

5. LUPM을 토지 용도 변경에 의한 공간 변화, 도로 신규 개발에 의한 공간 변화, 마을 중심점 이동에 의한 공간 변화의 세가지 임의의 계획에 적용한 결과 모형이 합리적인 결과를 도출하여 개발계획의 평가에도 응용성이 있는 것으로 판단되었다.

연구결과로부터 비계량적인 요소들을 많이 포함하고 있는 농촌마을 정비계획 수립에 결정론적 모형의 적용이 가능함을 알 수 있었다. 본 연구는 이러한 계획분야에 공학적 기반의 모형화가 가능함을 보여준 것으로서 앞으로 다양한 정보와 보다 정교한 의사결정과정을 가미한다면 실제 계획 수립에 이용할 수 있는 실용화가 가능할 것으로 사료되었다.

References

1. ESRI. 1991. ARC command reference.
2. Hoengsunggun. 1991. Master plan and design for development project of center village in

- Woocheon district. (in Korean)
3. Kim, Dae Sik. 1999. A study on development of a simulation model for rural key villages planning using geographic information system and multi-criteria evaluation method. Ph.D. Thesis. Suwon, Kyunggi Prov.: Seoul National University. (in Korean)
 4. Kim, Dae Sik and Ha Woo Chung. 2002. Development of a land use planning model for supporting improvement of rural villages(I) - Development of model using GIS, CA and MCE -. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 44(5): 85-98. (in Korean)
 5. White, R. and G. Engelen. 1993. Cellular automata and fractal urban form: A cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environment and Planning A*, vol. 25, 1175-1199.
 6. Wu, F.. 1998. SimLand: A prototype to simulate land conversion through the integrated GIS and CA with AHP-derived transition rules. *International Journal of Geographical Information Science* 12(1): 63-82.
 7. Wu, F. and C. J. Webster. 1998. Simulation of land development through the intergration of cellular automata and multicriteria evaluation. *Environment and Planning B: Planning and Design* vol. 25: 103-126.
 8. Yeh, Anthony Gar-on and Xia Li. 1998. Sustainable land development model for rapid growth areas using GIS. *International Journal of Geographical Information Science* 12(2): 169-189.