

## 그린투어리즘 및 공공서비스 기반의 지속가능한 농촌도로노선의 최적계획에 관한 연구

김대식 · 정하우\*

충남대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부 · \*서울대학교 명예교수

### A Study on Optimal Planning of Sustainable Rural Road Path based on Infrastructure for Green-Tourism and Public Service

Kim, Dae-Sik · Chung, Ha-Woo\*

*Dept. of Agri. Engineering, College of Agri. & Life Sciences, Chungnam Nat'l Univ.*

*\*Dept. of Agri. Engineering, College of Agri. & Life Sciences, Seoul Nat'l Univ.*

**ABSTRACT** : The purpose of this study is to develop a simulation model of rural road path for infrastructure of green-tourism and public service in rural areas. This study makes an objective function for moving cost minimization considering car travel time according to road characteristics, which can route the optimal shortest road paths between the center places and all rear villages, based on GIS coverages of road-village network for connecting between center places and rural villages as input data of the model. In order to verify the model algorithm, a homogeneous hexagonal network, assuming distribution of villages with same population density and equal distance between neighborhood villages on a level plane area, was tested to simulate the optimal paths between the selected center nodes and the other rear nodes, so that the test showed reasonable shortest paths and road intensity defined in this study. The model was also applied to the actual rural area, Ucheon-myun, which is located on Hoengsung-gun, Kangwon-do, with 72 rural villages, a center village (Uhang, 1st center place) in the area, a county center (Hoengsung-eup, 2nd center place), and a city (Wonju, 3rd center place), as upper settlement system. The three kinds of center place, Uhang, Hoengsung-eup, and Wonju, were considered as center places of three scenarios to simulate the optimal shortest paths between the centers and rural villages, respectively. The simulation results on the road-village network with road information about pavement and width of road show that several spans having high intensity of road are more important than the others, while some road spans have low intensity of road.

**Key words** : GIS, Road intensity, Rural road planning, Shortest path

### 1. 서론

농촌의 정주체계 형성을 위한 가장 기본적인 하부구조로 여겨지는 도로는 상위 중심지와외의 정주체계 연결 및 이웃 마을간 공동체 형성에 중요한 동맥과 같은 역할을 하고 있다. 그동안 농촌개발에 투자해온 사업비의 집행내역에서 알 수 있듯이 대다수 농민들이 우선적으로 요구해온 시설로서, 면단위 정주권 개발 사업비의

63% 정도가 도로개발에 사용된 것으로 보고되고 있다 (농어촌진흥공사, 1991). 이것은 제한된 사업비가 주민들이 요구하는 사업의 우선 순위에 따라 도로의 개선에 대부분 소요된 것을 의미한다. 농촌도로는 상위 중심지로 정주체계 연결뿐만 아니라 농촌지역내 마을까지 이동진료소, 이동도서관, 노인복지, 대중교통 등과 같은 이동시설을 포함하는 농촌공공서비스의 필요성이 점차 증가되는 것을 고려할 때, 농촌마을과 농촌정주체계의 관리차원에서 지속가능한 농촌공간이 될 수 있도록 기본 네트워크 구조인 도로를 계획하는 것이 필요하다. 나아가 농촌 인구의 고령화를 감안하면 마을 주민들이 상위 중심지의 서비스를 방문했던 기존의 개념

에서 중심지의 서비스가 각 마을을 방문하는 신개념을 도입해야 하며, 이러한 측면에서 미래의 농촌 공공서비스 문제 해결의 시작은 상위 중심지에서 모든 마을을 최단시간에 방문할 수 있도록 하는 도로망의 확충이라 할 수 있으며, 더불어 농촌 개발의 기본전략으로서 그린투어리즘을 활성화하기 위해서는 도시민의 접근성을 개선할 수 있는 농촌도로노선의 개발방안이 적절히 검토되어야 한다.

지금까지 도시간 연결 등 각종 도로의 개발이 농촌 내부에 난개발을 유도하며 농촌마을 단위의 정주체계를 고려하지 않고 농촌지역을 단순히 통과하는 등 비효율적인 결과를 초래하여 왔다. 농촌내 마을간 또는 마을 중심지간 도로개발 사업의 경우에도 농민들의 요구에 의해 기존의 도로를 부분적으로 확대 포장하는 사업이 그 지역 전체의 정주체계 관리 차원에서 다루어지기보다는 마을간 분배 등 부분적이고 무계획적인 사업이 대부분이었다. 따라서 농촌도로 개발은 마을과 주변마을 및 상위중심지와의 관계에서 계획적으로 이루어질 필요가 있다. 그러나 투자재원의 한정으로 모든 마을간, 국도-마을 등의 도로를 확대 개발 또는 포장하기는 어려우므로 기존의 농촌도로들 중에서 마을간 연결, 상위중심지에 연결을 위한 노선들을 선정하여 우선 개발함으로써 모든 도로를 개발하는데 소요되는 비용을 줄일 수 있으며, 반면 주요 도로에 대한 투자를 통하여 도로의 기능을 효율적으로 발휘케 함으로서 제한된 재원에 대한 비용-효과문제를 해결할 수 있다.

본 연구에서는 최적 노선 선정을 위하여 도로 네트워크 분석 모델들의 이론적 체계를 구성하고, 전산 모형화 하여 시험지역에 대한 모형의 적용성을 검토한다. 구체적 연구수행을 위하여 시험지역으로 대상 면을 선정하고, 자료조사를 통하여 모형에 필요한 GIS 자료를 구축하며, 모형의 이론적 타당성을 검증한 후에, 모형의 적용성을 평가하여 대상지역에 대한 최적화된 도로 노선을 제시하고자 한다.

## II. 모형의 개발

### 1. 이론의 전개

도로노선의 최적화 문제는 이동시설 계획 문제로 접근할 수 있으며 입지문제와 분류될 수 있다. 입지 문제는 교통문제, 최소 노선 문제, 판매원 이동 문제, 최소 신장나무해석 문제, 중국 배달부 문제, 최적 네트워크 설계 문제 등 다양한 현실적인 문제를 해석하기 위하여 발전되어 왔는데(Current 등, 1984), 대부분 접근성

또는 유효성 등을 고려한 비용함수 또는 부하함수를 목적함수로 해석하는 것으로 요약할 수 있다. Ossensbruggen 등(1992)은 이동비용을 최소화하는 목적함수를 선형계획법으로 해석하였고, Densham과 Rushton(1996)은 최소 작업부하를 필요로 하는 농촌 공공 서비스 시설들의 입지를 선정하였으며, Higgs와 White (1997)는 농촌지역에서 우체국에 대한 접근성을 분석하였으며, Aultman-Hall 등(1997)은 도보거리를 최소화하는 접근성을 분석한 바 있다. 벡터자료 기반의 도로 네트워크를 사용한 연구에서 Mainguenaud 등(1992)은 도시를 노드(node)로 도로를 선으로 표현한 바 있으며, Naevdal 등(1996)은 도로 네트워크 내에 읍들의 공간적 상호작용을 위한 모형을 제시하였으며, Kim과 Chung (2001)은 농촌 중심마을의 선정 및 배분지역 추적을 위하여 가중된 비용함수를 목적함수로 해석한 바 있다. 도로망에서 수요노드(마을)을 고려하여 이동시설을 위한 노선의 하드웨어적인 계획을 고려하면서 도로정비의 우선순위를 위한 도로의 중요도 탐색을 목적으로 하는 고려하는 본 연구의 접근은 지금까지 유사사례를 보기 어렵다.

본 연구에서는 두 노드사이( $i$ 와  $j$ )에 이동 비용 또는 부하함수를 고려하여 식 (1)과 같은 도로 노선 최적화함수를 구성하였다.

$$Z = \sum_{k=1}^n \frac{\alpha}{v_{ij}^k} d_{ij}^k \quad (1)$$

여기서,  $Z$ 는 두 노드  $i$ 와  $j$ 사이의 최단노선의 시간거리이며,  $n$ 은 최단노선을 구성하는 구간들의 전체개수(최단 노선은 수 개의 구간으로 연결됨),  $\alpha$ 는 상대적 속도를 나타내는 상수,  $v$ 는 각 구간의 도로 설계속도,  $d$ 는 각 구간의 길이를 나타낸다.

두 노드 사이에 무수히 많이 존재하는 구간들을 하나의 최단 노선으로 연결된 조합을 찾기 위해서는 가중된 시간거리를 고려하여 최단 노선 추적 알고리즘이 필요하다. 최단노선을 추적할 경우에 어떤 구간은 여러 번 통과하게 되는데, 교통량의 개념과 유사한 것으로서 이러한 통과횟수에 비례하여 도로구간의 중요도를 추정할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 최단노선에 소요되는 각 구간의 통과회수를 도로 중요도(road intensity)라 정의하고 이를 모형의 출력결과로 설정하였다.

### 2. 모형의 구성

식 (1)의 목적함수를 해석하기 위해서는 네트워크 해

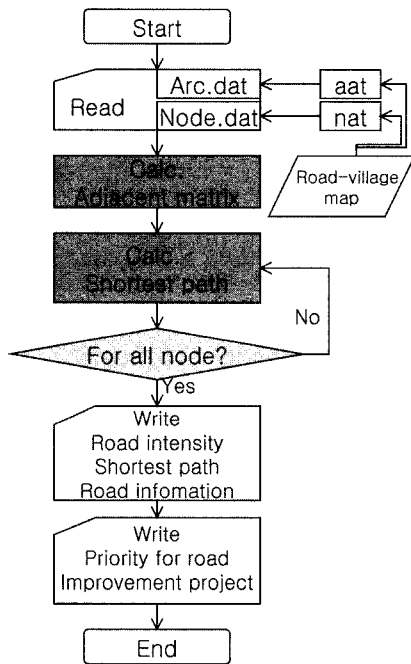


그림 1. Flow chart of road intensity simulation model.

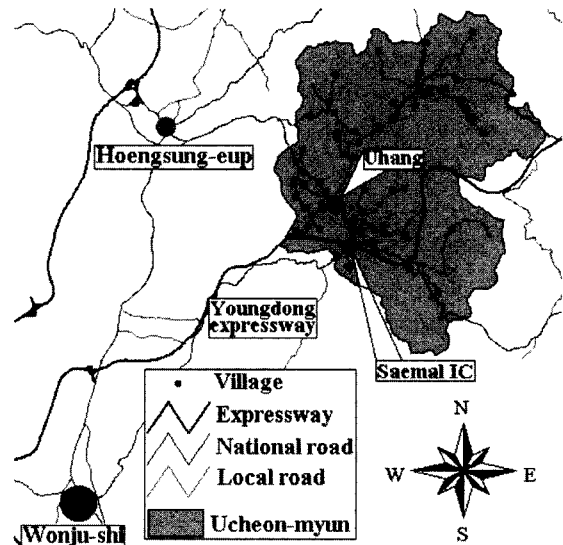
석 알고리즘이 필요하다. 두 지점을 연결하는 많은 조합들 중에서 비용 부하가 최소값을 가지는 노선을 추적하는 방법은 깊이 우선 탐색법, 너비 우선 탐색법 등 다양하다. 그 중에서 Dijkstra의 최소노선 추적법이 본 연구의 목적에 효율적으로 사용될 수 있는 것으로 판단하여 그림 2와 같은 최소노선 추적 및 도로중요도 계산 모형을 구성하였다. GIS의 도로-마을 커버리지로부터 모형의 입력자료인 도로자료와 마을자료를 추출하는데, 각각 선과 절점의 속성테이블인 aat(arc attribute table)와 nat(node attribute table)를 ASCII로 전환하여 네트워크 해석의 기초자료인 adjacent 매트릭스를 만드는 데 사용된다. 이 매트릭스를 기본으로 중심지로 설정된 노드와 나머지 노드사이의 모든 최단 노선을 추출하는 shortest path 추적을 시작하며, 이후 각 구간별로 최단 노선과 여기에 사용된 횟수(도로 중요도)를 기록하고 도로의 포장상태, 차선수, 설계속도 등의 도로정보를 출력하고 나아가 도로상태와 도로 중요도를 비교하여 도로포장 및 도로 확장 우선 구간을 추출한다.

### III. 모형의 적용

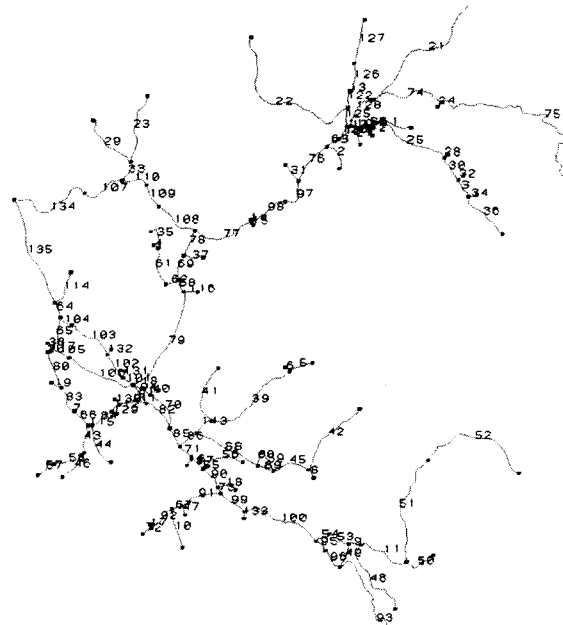
#### 1. 시험지역 및 자료

본 연구에서는 그림 4에서와 같이 우리나라 농촌지역 중에서 중산간 및 평야지역으로 분류되는 강원도 횡성군 우천면을 모형의 시험지역으로 선정하였다. 시

험지역의 해석과 결과의 제시보다는 모형의 적용성을 합리적으로 평가하기 위한 것으로서, 기존에 많이 연구되고 정교한 자료를 구비한 장점이 있는 점을 고려하여 동 시험지역을 채택하였다. 시험지역은 강원도 서남부에 위치한 횡성군의 9개 읍면중 1개면으로 동서남북에 각각 둔내면, 횡성읍, 안흥면, 갑천면과 접하고 있으며, 횡성읍에서 10.7km, 원주시에서 17.6km의 거리에 위치하고 있고, 서울과 강릉을 연결하는 영동고속국도가 하단부를 가로지르고 있다. 행정구역은 14개의 법정리, 19개의 행정리, 72개의 자연마을과 87개의 반으로



(a) Location map



(b) Road-village map

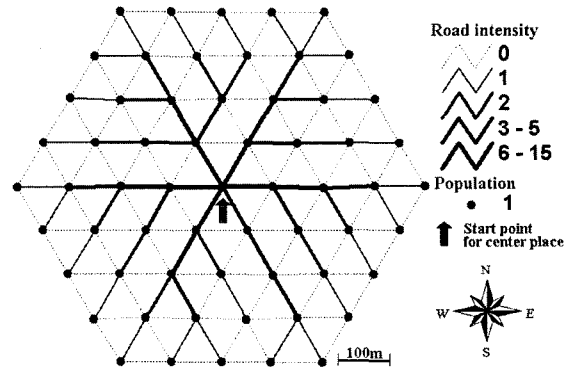
그림 2. Location and road-village maps for the test area.

구성되어 있으며, 전체 면적은 96.62km<sup>2</sup>로서 상위 생활권은 황성읍과 원주시로 형성되어 있고, 산업구조는 농축산업을 근간으로 하고 있다. 1990년에 착수한 정주권 개발의 9개 시범지구 중의 하나로서 문화(집단)마을 조성지구이며 면 단위 농촌 개발의 대표적인 표본이 되어온 지역이다(김대식, 1999). 이 지역은 중심도시(원주)-소도읍(황성읍)-중심마을(우향)-자연마을의 4단계 정주체계를 형성하고 있어 모형의 적용성을 합리적으로 평가해볼 수 있는 정주체계 단계별 도로의 중요도 분석이 가능할 것으로 판단된다.

마을 위치는 행정리별 자연부락의 개수와 명칭에 관한 자료를 기초로 마을의 번호를 임의로 부여하여 1:25,000도에 사전에 표기하고 각 마을을 방문하여 마을 주민에 의해 마을의 명칭과 위치를 확인한 후 수정하였으며, 마을의 위치는 마을의 입구가 진입도로와 만나는 점을 도로망에 표시하고 마을 위치 노드에 마을의 일련번호와 인구수를 입력하였다. 도로위치 및 도로폭은 국도, 지방도, 군도로 부터 마을까지 진입하는 도로의 상태를 포장 유무, 차선수로 구분하여 조사하고 1:25,000 지형도에 표기한 후 도로망에 각 구간(span)별 속성을 입력하였으며, 그림 2(b)의 도로망은 각 구간에 대한 도로 일련번호를 나타내며, 절점으로 표신된 노드에는 마을의 번호와 인구수를 입력한 도로-마을 커버리지를 사용하였다.

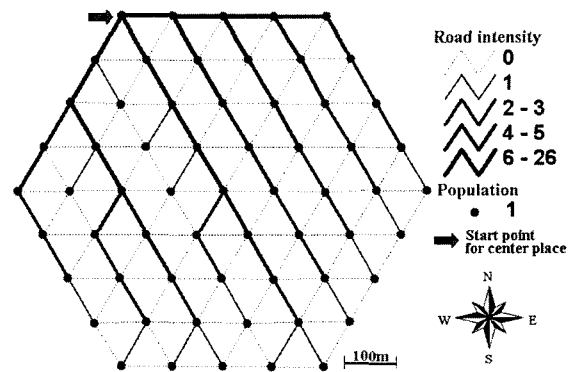
## 2. 모형의 알고리즘 검증

개발된 모형의 최소 노선 추적 알고리즘이 타당함을 검토하기 위하여 그림 3과 4와 같이 인구 밀도가 균일하고 마을의 분포가 일정한 평야부를 표현하는 Christaller의 육각형 네트워크를 사용하였다. 본 네트워크는 모든 마을이 인구수 “1”을 가지며 거리 100m의 삼각망으로 이루어져 있다. 그림 3은 네트워크의 중심에 있는 마을이 중심지일 경우이며, 그림 4는 좌상의 가장자리에 있는 마을이 중심지일 경우에 대하여 모형의 적용 결과를 나타낸 것으로서, 전체 최단 노선길이의 합은 각각 6,000m(60개 구간)로 나타났으며, 각각 중심지로 접근하면서 도로의 중요도가 점점 높게 나타나는 결과를 보였으며, 중심지로 접근 또는 중심지에서 마을들로 순회할 경우에 중요한 도로구간과 전혀 통과하지 않는 점선으로 된 구간이 함께 추출되는 합리적인 결과를 보였다. 본 결과로부터 모형의 주어진 입력 자료로부터 최소노선추적 알고리즘의 결과와 각 도로구간의 중요도를 합리적으로 추출할 수 있을 것으로 판단되었다.



Total minimum length : 60 x 100m = 6,000m

그림 3. Optimal path to a center node.



Total minimum length : 60 x 100m = 6,000m

그림 4. Optimal path to an edge node.

## 3. 모형의 적용 및 결과

모형의 적용은 우천면이 도시-읍-면소재지-마을의 4단계의 정주체계에서 상위 중심지인 면소재지, 읍, 도시에 대하여 각 자연마을에서 접근 또는 각 중심지에서 각 마을을 순회하는 것을 고려하여 최적 도로노선을 모의하였다. 그 결과 면중심지, 읍, 도시에 대하여 각각 그림5, 그림 6 그리고 그림 7과 같이 나타났다. 각 도로구간의 정보와 함께 모의된 도로중요도(통과회수)는 표 1과 같다. 결과에서처럼 면중심지에서 출발 또는 면중심지로 접근의 경우에는 면 중심지로 접근할 수록 도로의 중요도가 높아지며 좌상에 위치한 134번 및 135번 도로와 아래쪽의 93번 구간은 최단노선에 사용되지 않음을 알 수 있으며, 반면 중심지 주변의 79, 82, 85, 88, 89번 구간은 매우 중요한 것으로 나타났다. 군의 중심지인 황성읍에 접근하는 시나리오에서는 좌상에서 접근하는 134번 및 135번이 면중심지에 접근할 경우에 비교해보면 오히려 중요한 구간이 되며 중간에 위치한 79번은 거의 사용되지 않는 것으로 나타났다. 원주시에 접근하는 경우에는 새말 인터체인지에서 출

발하는 시나리오에 대하여 모의하였으며, 그 위치가 면 중심지 주변에 있으므로 최종결과는 면 중심지 주변 및 IC 주변도로를 제외하면 면 중심지로 접근하는 경우와 거의 비슷한 결과를 보였다. 한편 실제 생활에서는 상위 세가지 중심지를 모두 접근하므로 이들을 동시에 고려하면 그림 8에서 보는 바와 같이 면 중심지에 82번과 85번이 통과회수 120과 122로 최상위 값을 보여 중요도가 가장 높은 도로로 추정된 반면 아래쪽에 위치한 93번과 중심지 주변의 14, 53, 72, 129번 구간은 통과 빈도가 없는 것으로 나타났다. 모형의 적용

결과로 부터 두번째로 중요도가 높은 82번은 자료조사년도 현재 1차선으로 되어 있으므로 연결된 85번과 같이 2차선으로 확대 포장할 필요가 있으며, 그림 9에서 처럼 비포장도로인 9, 25, 26, 45, 49번 구간은 마을간 도로임에도 중요도가 높게 나타나 포장도로화 우선순위가 높음을 알 수 있다.

#### 4. 결과 고찰

본 연구에서 개발한 모형과 적용결과는 해석 대상 지역을 단순히 통과하는 경우를 제외하고 동 지역내

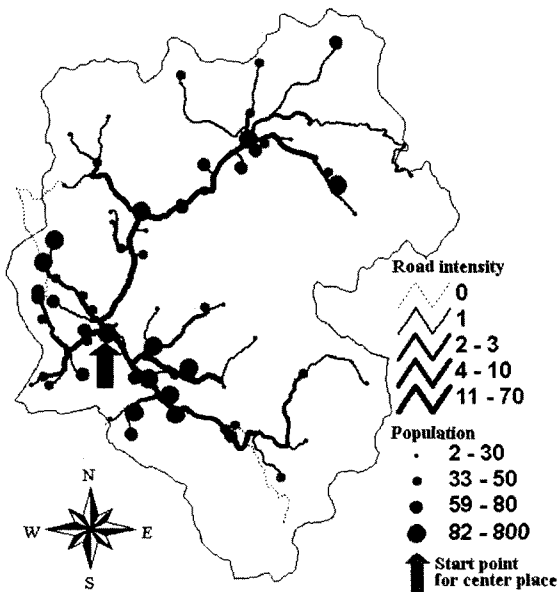


그림 5. Optimal path to a center, Uhang.

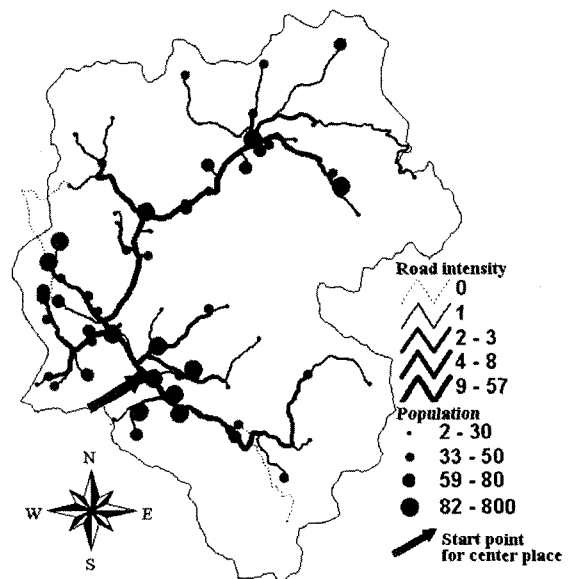


그림 7. Optimal path to a center, Wonju.

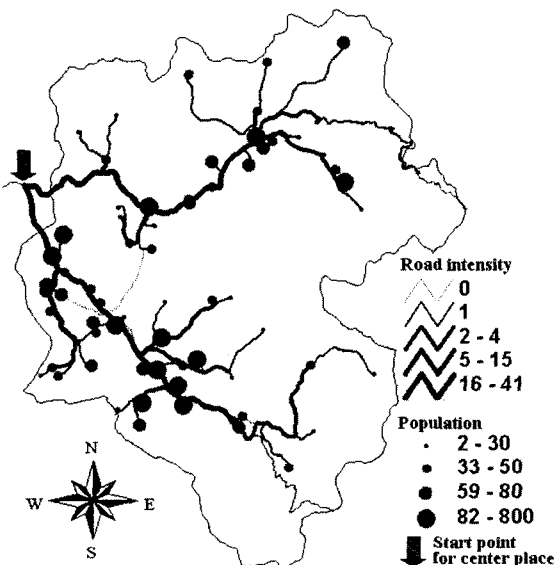


그림 6. Optimal path to a center, Hoengsung.

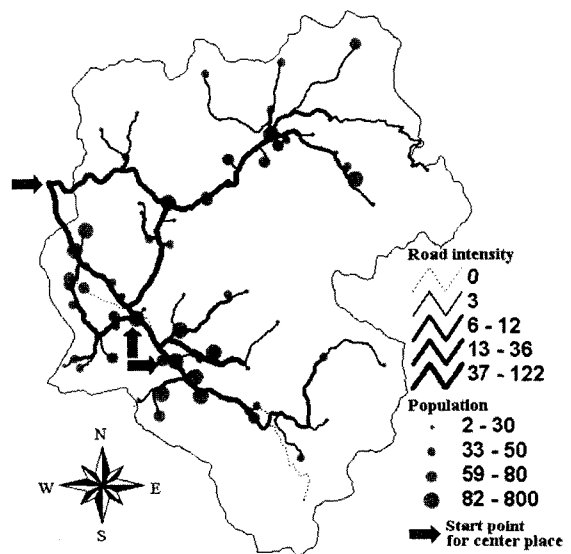


그림 8. Optimal path to three centers.



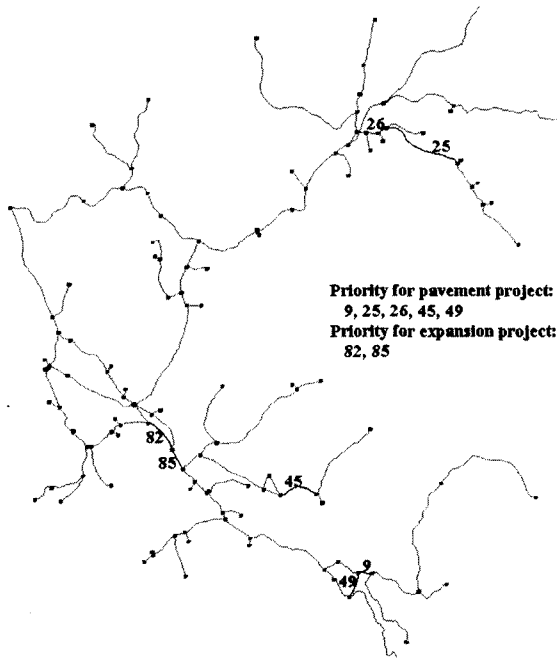


그림 9. Priority road map for improvement project by the road intensity.

각 마을에서 상위 중심지로 또는 상위 중심지에서 각 자연마을로 접근하는 것을 전제로 도로의 중요도를 모의하였다. 그 결과로서 면 내부에서 우선 개선해야하고 관리 대상으로 중요성이 높은 도로를 객관적이고 합리적인 계산 결과를 통해서 설정할 수 있음을 보여 주었으며, 기존에 각 주민들의 요구에 의해 부분적으로 포장 또는 확대사업을 펼쳐왔던 농촌도로를 지역 전체에 시스템적 접근으로 도로 정비의 우선순위를 설정할 수 있는 하나의 방안을 제시한 것으로 판단된다. 나아가 신규도로의 개설 계획이나 도로의 정비에 따른 설계속도의 변화 등을 고려하여 모형을 적용해봄으로서 도로 개발 계획 이후의 도로의 중요도 변화 등에도 모형의 적용성이 있을 것으로 판단된다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 농촌의 공공서비스 기반으로 그 역할을 시스템적으로 할 수 있도록 농촌 도로의 노선을 합리적으로 최적화 할 수 있는 기법을 개발하였으며, 실용화가 가능한 모형으로 구성하였다. 점차 농촌 마을들이 그린투어리즘의 거점으로 부각되고 있는 현 시점에서 상위 중심지에서 접근 가능한 최적노선의 추적과 이 최적노선을 우선적으로 정비함으로써 최소 규모의 투자로 지역 전체의 도로 기능을 최대한 발휘할 수 있

는 가능성을 발견하였다.

상위 중심지와 연결이 필요한 마을들에 대하여 GIS 지도로 구축된 도로-마을 네트워크를 기본 입력자료로 중심지와 모든 배후 마을들간의 최적 노선을 추적하는 비용 최소화 목적함수를 구성하였으며, 구체적으로 실현 가능한 최적노선 추적 모형을 개발하였다. 개발된 모형의 알고리즘 검증을 위하여 평야부의 균질한 인구 밀도의 마을 분포를 가정한 Christaller의 육각형 네트워크를 대상으로 가정된 중심지에 대한 각 마을들간의 최적 노선을 추적한 결과 합리적인 결과를 나타내었다. 실제 농촌지역에 대한 모형의 적용성 평가를 위하여 강원도 횡성군 우천면에 대하여 72개 자연마을과 4단계 정주체계의 상위 세 가지 중심지인 원주시, 횡성읍, 우항마을에 대한 접근의 경우에 각각 최적 노선을 모의하였으며, 각각의 경우에 세 중심지를 동시에 고려한 현실적으로 근접한 시나리오 등에 대해서도 도로의 구간별 중요도와 비포장을 포장도로로 또는 1차선을 2차선으로 확대 필요성 등 대상지역의 도로들에 대하여 정비에 대한 우선순위를 과학적이며 객관적으로 평가할 수 있었다.

이상의 결과로부터 농촌의 도로정비는 그린투어리즘의 활성화 및 농촌의 정주기능을 상위 중심지와 연결 측면에서 강화할 수 있는 방안으로 계획되어야하고, 그 구체적 방안으로서 본 연구에서 개발한 방법론 및 모형의 응용이 실용적인 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 신규 도로개발 계획이나 마을의 인구 감소 등을 고려한 중심지와 하부 마을들의 연결 유무를 고려한 도로노선의 최적 계획에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2003-003-D00595).

#### 참고문헌

1. 김대식, 1999, 지리정보시스템과 다기준평가법을 이용한 농촌중심마을 계획 모의모형의 개발에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문
2. 농어촌진흥공사, 1991, 정주생활권개발지표설정에 관한 연구
3. Aultman-Hall, L., M. Roorda, and B. W. Baetz, 1997, "Using GIS for evaluation of neighborhood pedestrian accessibility", Journal of Urban Planning and Develop-

- ment, ASCE 123(1) : 10-17
4. Braid, R. M., 1996, "The optimal locations of branch facilities and main facilities with consumer search", *Journal of Regional Science* 36(2) : 217-234
  5. Current, J., C. ReVelle, and J. Cohon, 1984, "The shortest covering path problem: An application of locational constraints to network design", *Journal of Regional Science* 24(2) : 161-183
  6. Dehsham, P. J. and G. Rushton, 1996, "Providing spatial decision support for rural public service facilities that require a minimum workload", *Environment and Planning B: Planning and Design* 23 : 553-574
  7. Higgs, G. and S. D. White, 1997, "Changes in service provision in rural areas. Part 1: The use of GIS in analyzing accessibility to services in rural deprivation research", *Journal of Rural Studies* 13(4) : 441-450
  8. Kim, D. S. and H. W. Chung, 2001, Spatial location-allocation model for multiple center villages, *ASCE, Journal of Urban Planning and Development* 127(3) : 95-117
  9. Naevdal, G., I. Thorsen, and J. Uboe, 1996, "Modeling spatial structures through equilibrium states for transition matrices", *Journal of Regional Science* 36(2) : 171-196
  10. Okabe, A., B. Boots, and K. Sugihara, 1992, *Spatial tessellations - concepts and applications of voronoi diagrams*, John Wiley & Sons Ltd.
  11. Ossenbruggen, Paul J. and Paul C. Ossenbruggen, 1992, SWAP: A computer package for solid waste management, *Comput., Environ., and Urban Systems* 16 : 83-100