

지형정보를 이용한 도로의 최적 유지관리 비용 산정 Highway Maintenance Cost Optimization Using GIS

강인준* · 이준석**

Kang, In Joon · Lee, Jun Seok

요 旨

주요 간선도로의 유지관리는 도로 발전 과정의 계획 단계에서 고려되어야 하는 중요한 문제이다. 많은 도로 유지 관리 시스템들이 좀더 효율적인 의사 결정을 통해 정밀하게 유지보수 비용과 도로포장 비용을 산정 할 수 있도록 개발되었지만 이러한 시스템은 유지관리 비용을 줄이는데 별다른 도움을 주지 못했다. 본 연구에서는 도로 계획 단계에서 도로 설계의 특성들을 최적화함으로써 도로의 설계 수명동안 발생하는 유지보수 관리비용을 감소시켰으며, 절성토면의 경사에 비중을 두고 유지보수 비용을 최소화 할 수 있는 설계변수들에 기초한 초기비용 및 유지보수 비용을 공식화하였다. 도로 유지보수비용은 측면경사와 도로 횡단폭 그리고 연 평균 일일 교통량으로 표현되었다. 적용된 모델지역은 충북 청주-상주간의 실제 지형 데이터베이스를 사용하였으며, 도로 선형 결정시 도로 유지보수 비용과 토질 특성의 민감한 사안들을 조사하기 위해 제시하였다. 결과는 도로 유지보수 비용과 토질 특성은 도로선형 최적화에 중요한 고려사항임을 알 수 있었다.

ABSTRACT

Maintainability of highways is an important problem that is considered in the planning steps of a highway development process. A number of asset management systems have been developed to precisely predict maintenance and pavement expenditures for better decision making, But these systems are not helpful in reducing maintenance costs. Optimization of some highway design characteristics in the planning phases may reduce maintenance costs over the life cycle of highway. The formulations for initial and maintenance costs have been developed based on which design variables can be chosen to minimize these costs, focusing on the sideslope in cut and fill sections. Maintenance cost has been represented as a function of sideslope, width of highway cross section, and annual average daily traffic. A real geographic database of between Chung joo and Sang joo city in Choong buk was used and it is presented to investigate the sensitivities of maintenance cost and soil characteristics in selecting alignments. In this study, we present that maintenance cost and soil characteristics are important considerations in alignment optimization.

1. 서 론

도로 유지보수 비용은 간선도로의 생명주기 동안 많은 시간과 비용이 필요하며 도로 개발 프로젝트의 계획단계부터 고려되어야 한다. OECD(1973)는 지난 30년 동안에 고려되지 않은 유지보수 비용을 실제 가치로 환산하면 전체 공사비용의 5%를 차지한다고 밝혔다. Novak (1993) 등에 의하면 미시간주 도로의 좋지 못한 도로포장상태의 평균 유지보수 비용은 1989-1990년의 데이터에 의하면 각각 1차로 1km당 745,000원과 2,857,000원이었다.

AASHTO(1987)는 도로 유지보수 비용을 도로 표면, 길 어깨와 진입로, 배수관거, 주거지역, 다리와 터널, 도로 설비, 제설 및 제빙 설비 그리고 교통 제어 설비 등 최소 8가지의 분류항목으로 구분하였다. 미국의 도로 통계 자료(Teets, 1997)에 의하면 정부는 1995년도에 도로 비용지출의 26%를 도로 유지보수관리와 서비스향상에 투자하였다고 한다.

많은 나라의 도로관리기관에서는 도로 유지관리 데이터를 기반으로 하여 예산 결정의 효율성을 위한 도로 유지보수 관리 시스템이나 포장 관리 시스템과 같은 자산 관리 시스템을 개발해 왔다. 이러한 노력들은 앞으로의 도로 유지보수 비용 산정에 유용하지만 도로 경사를 유지보수 관리와 연계시키는 등 유지보수 비용을 도로 설계 특성들과

*정회원 · 부산대학교 공과대학 토목공학과 교수

**정회원 · 부산대학교 공과대학 토목공학과 박사수로

연계시키는 부분에서는 아직 연구 초기 단계이다. 이렇게 연계함으로써 최적화된 설계 변수값 선정 시에 도로개발 계획단계에서 의사결정의 기본 근거가 되는 초기비용과 유지보수비용을 최소화할 수 있도록 한다. 이와 유사한 개념으로 도로안전에 관한 보고서(Vogt, 1998, Gupta 1973)는 도로 교통사고와 차선 수, 길 어깨 폭, 수평 곡률, 종단 곡률 등과 같은 설계요소를 연계시켜 수행하였다. 여기서 최적화된 설계 변수값 선정은 사고 빈도수와 규모를 최소화할 수 있었다. 실제로 미 연방 고속도로 관리부에서는 고속도로의 안전을 높이고 사고비용을 줄이는 대화형 고속도로 안전설계 모델(IHSDM; Vogt, 1998)을 연구하였다. 국내에서는 Datalog를 이용하여 도로의 평면, 종단, 횡단 요소를 얻어서 안전분석을 하고 선형설계에 필요한 인자를 얻는 방법(최재성, 1988)이 있었고, 도로사용자 비용과 도로시공 및 유지관리 비용 등을 포함하는 총비용을 예상비용함수로 나타내어 이 비용함수를 최소화함으로써 최적 도로선형을 설계하는 방법(정천수, 1990)이 있었다. 그리고, 선형이 속도에 미치는 속도추정모델(최재성, 1998)이 있었지만 유지관리를 고려한 선형최적화에 관한 연구는 없었다.

2. 도로설계 최적화 모델링

도로설계 최적화 모델은 전체적인 도로 비용을 최소화함으로써 최적의 도로 선형을 찾는 것이다. 비용공식을 일반화하여 문제 해결의 신뢰도를 높이고 비선형 비용도 고려하기 위해 유전자 알고리즘이나 시뮬레이티드 어닐링기법과 같은 최단거리 검색 알고리즘이 목적 함수 최적화에 사용된다. Jong(1998)은 유전자 알고리즘을 적용하여 도로 선형을 최적화하는데 성공하였다. 유전자 알고리즘은 국지적으로 여러 가지 최적인 조건을 가진 복잡한 탐색 공간에서 적절한 해법을 찾는 데 아주 효율적이다. 유전자 알고리즘에서 많은 선형들이 각 세대마다 평가된다. 여기서, 선형의 초기 개체군은 무작위로 생성되고 그들의 적합도(목적 함수 값)가 평가된다. 적응하지 못한 인자들은 도태/대체 개념에 의해서 새로운 것들로 대체된다. 잘 적응된 인자들은 일반적으로 유전적인 재결합을 통해서 자식을 생성하며 계속해서 생존한다. 한 세대는 모든 인자의 개체군을 평가함으로써 끝이 난다. 이러한 과정은 목적함수 값의 증가가 무시할 정도로 작아질 때까지 연속된 세대를 통해서 계속된다.

본 연구에서는 유지보수 비용을 변수의 최적화가 가능한 설계변수 함수로써 공식화하는 것이 목적이다. 유지보수 및 건설비용에 있어 중요한 변수는 측면경사, 차선, 길 어깨 폭 그리고 표고값이 포함된다. 이 중에서 측면경사는 유지보수 측면에서 볼 때 가장 적절한 설계 변수로 생각된다. 그 이유로는 표고값을 비롯한 차선과 길 어깨 폭은 일반적으로 교통량과 설계속도 조건에 의존하기 때문이다. 다른 많은 요인들도 유지보수 비용에 영향을 줄 수 있다. 가령, 범람원은 도로의 표고를 높일 필요가 있으며 그로 인해 초기비용은 증가하지만 홍수피해를 미연에 방지함으로써 유지보수 비용은 감소하게 될 것이다. 또한, 도로 곡률은 안전을 위해 난간과 조명의 설치가 필요하며 그로 인해 초기비용과 유지보수 비용이 증가하게 된다.

도로선형 선정 시 유지보수 비용의 효과를 조사하기 위하여 초기비용과 유지보수 비용이 고려되었다. 측면경사 조건은 토질 특성에 의존할 것이다. 주어진 토질 특성은 안정성을 고려한 최대 허용 측면경사이다. 일반적인 연구에서는 유지보수관리비용이 무시되기 때문에 이러한 최대 측면경사 값이 사용되지만 만약 초기비용과 유지보수 비용이 함께 고려된다면 최대 측면 경사 값보다 더 낮은 경사가 전체 비용을 최소화하기 위해 사용될 것이다. 도로 비용에 관한 주요한 내용은 다음과 같다.

2.1 도로 비용

도로비용은 주로 도로 개발 과정의 계획단계에서 추정된다. 도로설계 시 선형 선정에서 주요한 비용은 토지보상 비용, 토공 비용, 구조물, 포장, 유지보수 관리비용과 도로 사용자 비용이 있다. 도로 사용자 비용의 세 가지 유형은 일반적으로 주행시간비용, 자동차 조작비용, 사고비용이 있다. 이러한 비용으로 전체비용 중에서 상대적인 가중치에 의존하는 선형 계산이 가능할 것이다. 예를 들어 토지보상 비용을 중시하면 우회하는 선형이 될 것이며 직선 선형은 도로사용자 비용을 줄일 수 있다. 이와 같이 높은 포장비용은 짧은 선형을 산출할 것이다. 토지보상 비용의 공식은 새로운 선형의 표면 마찰력뿐만 아니라 토지사용 패턴과 토지가격의 변화 등에 의존하기 때문에 다소 복잡하다. 토공량 비용 계산에서 Jong(1998)은 단순한 단면법을 사용했고, Jha(2000)는 절토와 성토 그리고 변화상황에서의 좀더 세부적인 단면법을 사용했으며 높이와 측면경사, 측구 그리고 토질의 특성 효과를 고려했다. 그러나 유지보수비용과 경사와 토질 특성의 관계는 고려하지 않았

다. 일반적으로 초기 도로건설 비용이 감소할 때 가파른 측면경사는 유지보수비용을 증가시킨다. 특이한 토질의 형태는 도로의 생명주기 동안 유지보수 비용을 증가시키며 흙을 지탱할 수 있는 옹벽의 설치 필요하다. 유지보수 비용 공식은 도로 단면에 기초하므로 이러한 공식은 다음과 같다.

2.1.1 도로 횡단면

토공량 비용 계산에 있어 일반적으로 사용되는 방법은 각주 공식 방법과 양단면 평균법이다. 각주 공식 방법이 좀 더 정확하게 토공량을 계산할 수 있는 반면 양단면 평균법은 계획단계에서의 비용 산정에 주로 사용된다. 토공량 계산에 요구되는 데이터는 지표면 각 변곡점의 지형과 도로 높이이다.

그림 1, 2, 3은 각각 절토, 성토, 그리고 절성토가 함께 나타난 횡단면도이다. 전체 면적은 그림 1, 2, 3에 나타난 사다리꼴 면적을 합산함으로써 계산하였다. 따라서 절토의 경우 면적 A_{ci} 는 다음과 같이 표현된다.

$$A_{ci} = \left(\left(\frac{H_{1i} + H_{2i}}{2} \times W_{d_{1i}} \right) + \left(\frac{H_{2i} + H_{3i}}{2} \times W_{d_{2i}} \right) + \left(\frac{H_{3i} + H_{4i}}{2} \times W_{d_{3i}} \right) + \left(\frac{H_{4i} + H_{5i}}{2} \times W_{d_{4i}} \right) + \left(\frac{H_{5i}^2}{2 \times m_{ci}} \right) \right) \quad (2-1)$$

여기서 A_{ci} : i 번째 단면도의 절토 단면적
 H_{ni} : i 번째 단면도의 n 번째 구역에서의 지표까지의 높이
 W_{dni} : i 번째 단면도의 n 번째 구역에서의 구역의 넓이
 m_{ci} : i 번째 단면도의 절토경사

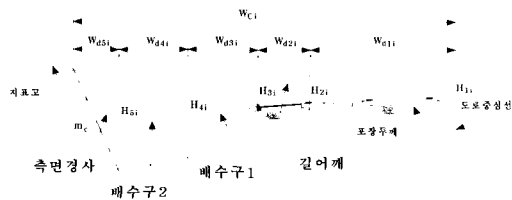


그림 1. 도로 설계에서 절토 단면도

성토의 경우 면적, A_{fi} 는 다음과 같다.

$$A_{fi} = \left\{ \left(\frac{H_{1i} + H_{2i}}{2} \times W_{d_{1i}} \right) + \left(\frac{H_{2i} + H_{3i}}{2} \times W_{d_{2i}} \right) + \left(\frac{H_{3i}^2}{2 \times m_{fi}} \right) \right\} \quad (2-2)$$

여기서 A_{fi} : i 번째 단면도의 성토 단면적
 H_{ni} : i 번째 단면도의 n 번째 구역에서의 지표까지의 높이
 W_{dni} : i 번째 단면도의 n 번째 구역에서의 구역의 넓이
 m_{fi} : i 번째 단면도의 성토경사

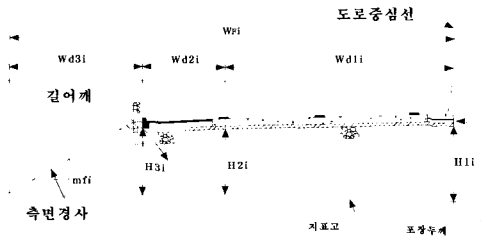


그림 2. 도로 설계에서 성토 단면도

그리고, 절성토가 함께 나타나는 면적, A_{ti} 는 다음과 같다.

$$A_{ti} = A_{t_{fi}} + A_{t_{ci}} \quad (2-3)$$

여기서, $A_{t_{fi}}$ 와 $A_{t_{ci}}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A_{t_{fi}} = \left\{ \left(\frac{H_{1i} + H_{2i}}{2} \times W_{d_{1i}} \right) + \left(\frac{H_{2i} \times W_{d_{2i}}}{2} \right) \right\} \quad (2-4)$$

$$A_{t_{ci}} = \left\{ \left(\frac{H_{3i} \times W_{d_{3i}}}{2} \right) + \left(\frac{H_{3i} + H_{4i}}{2} \times W_{d_{4i}} \right) + \left(\frac{H_{4i} + H_{5i}}{2} \times W_{d_{5i}} \right) + \left(\frac{H_{5i}^2}{2 \times m_{ci}} \right) \right\} \quad (2-5)$$

여기서 $A_{t_{fi}}$: i 번째 단면도의 성토부분의 단면적
 $A_{t_{ci}}$: i 번째 단면도의 절토부분의 단면적
 H_{ni} : i 번째 단면도의 n 번째 구역에서의 지표까지의 높이
 W_{dni} : i 번째 단면도의 n 번째 구역에서의 구역의 넓이
 m_{ci} : i 번째 단면도의 절토경사

식 (2-1), (2-2), (2-5)에서, m_{ci} 와 m_{fi} 는 각각 절성토 단면의 측면 경사를 나타낸다.

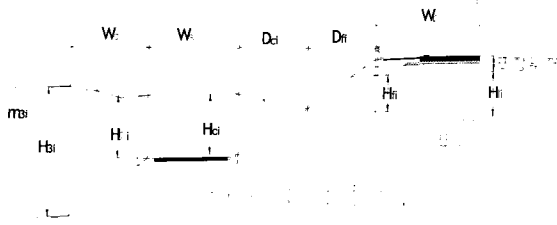


그림 3. 도로설계에서 절성토 혼합 단면도

2.1.2 초기 비용

토공비용은 토질 특성과 측면 경사에 민감하며 도로 건설과정에서 이미 발생된다. 이것은 초기 값으로 처리된다. 일단 절토, 성토 그리고 절성토가 혼합된 도로 횡단면적이 아래와 같이 공식화되면 토공비용은 다음과 같은 양단면 평균법을 근거로 계산된다.

$$C_I = C_E = C_H + \sum_{i=1}^n \left[\frac{\alpha \cdot K_{ci} \cdot s \cdot A_{ci} \cdot L_i}{2} + \frac{\beta \cdot K_{fi} \cdot A_{fi} \cdot L_i}{2} + (1 - \alpha - \beta) \frac{(K_{ci} \cdot s \cdot A_{ci} + K_{fi} \cdot A_{fi}) L_i}{2} \right] \quad (2-6)$$

여기서,

C_H : 전체 수송비용(전체 토공량의 균형을 위해 가장 가까운 절성토 단면사이에서 흙을 이동하는데 드는 비용)

n : 도로 단면의 총 수

α, β : 절성토 단면 분석에 쓰인 상수

$$\begin{cases} \alpha = 1, \beta = 0 & ; \text{절토 단면} \\ \alpha = 0, \beta = 1 & ; \text{성토 단면} \\ \alpha = \beta = 0 & ; \text{성토와 절토 혼합단면} \end{cases}$$

K_{ci} : i 번째 절토단면에서 절토하는데 드는 단위비용 ($\text{₩}/\text{m}^3$)

K_{fi} : i 번째 성토단면에서 성토하는데 드는 단위비용 ($\text{₩}/\text{m}^3$)

L_i : i 번째 도로단면의 길이(m)

s : 토량환산계수

C_H 값은 Jha(2000)의 공식에 의하여 산출된다. 도로단면 L_i 의 길이는 선형에서 접선구간과 원곡선 구간을 나타낸다. Jong(1998)는 그림 4에서 보는 바와 같은 선형의 접선과 원곡선구간 길이의 개별적 관계를 다음 공식으로 전개하였다.

$$L_{nT} = \sum_{i=0}^n \sqrt{(x_{T_i} - x_{C_{i+1}})^2 + (y_{T_i} - y_{C_{i+1}})^2} \quad (2-7)$$

그리고

$$L_{nC} = \sum_{i=1}^n R_i \Delta_i \quad (2-8)$$

여기서,

L_{nT} : 접선구간의 전체 길이

L_{nC} : 원곡선구간의 전체 길이

(x_{C_i}, y_{C_i}) : i 번째 접선단면이 원곡선과 만나는 점 좌표

(x_{T_i}, y_{T_i}) : i 번째 원곡선이 접선단면과 만나는 점 좌표

R_i : 선형에서 i 번째 원곡선의 반경

Δ_i : 선형에서 i 번째 원곡선 반경에 의해 대응되는 각

n : 선형에서 시점과 종점 사이의 교차점의 총 개수

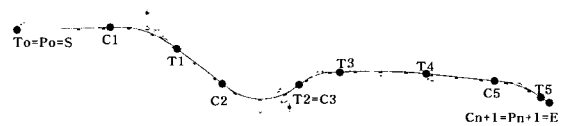


그림 4. 도로 선형에서의 접선과 원곡선

Δ_i 는 선형(그림 5)에서 원곡선을 기하학적으로 해석함으로써 다음과 같다.

$$\Delta_i = \cos^{-1} \left(\frac{(x_{P_i} - x_{P_{i+1}})(x_{P_{i+1}} - x_{P_i}) + (y_{P_i} - y_{P_{i+1}})(y_{P_{i+1}} - y_{P_i})}{\sqrt{(x_{P_i} - x_{P_{i+1}})^2 + (y_{P_i} - y_{P_{i+1}})^2} \sqrt{(x_{P_{i+1}} - x_{P_i})^2 + (y_{P_{i+1}} - y_{P_i})^2}} \right) \quad (2-9)$$

초기 비용 값을 계산함에 있어 선정된 지점들의 지형 자료는 가령 실제 측측이나 GIS 데이터베이스와 같은 외부 자료를 통해 얻을 수 있다. 좀더 정밀도를 높이기 위해서 실제 측측을 해야 하지만 넓은 공간을 검색할 때에는 다소 불충분한 비 측측 자료에 의존해야 한다. 본 연구 모델은 두 가지 경우 모두에서 적용된다. 중간 지점에서의 지형

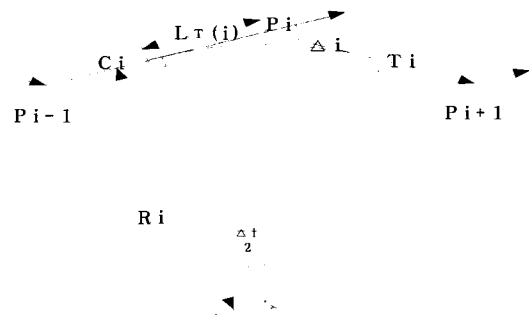


그림 5. 원곡선도

높이를 계산함에 있어서는 내삽법이 이용되었다.

2.1.3 유지보수 관리비용

유지보수관리 비용은 일반적으로 다소 높은 비용 이상의 어떤 지점까지는 경사지며 비선형적으로 증가한다. 반면에, 초기값은 횡단면이 작아질수록 감소하는 경향을 가질 것이다. 전체 비용 함수는 초기비용과 유지보수 관리비용의 합으로써 얻을 수 있으며 최적의 경사는 전체 비용을 최소화함으로써 얻을 수 있다. 이러한 값들은 그림 6에서 언급하고 있으며 여기서, m^* 과 m_{max} 는 각각 최적 경사와 최대 경사값을 나타낸다.

유지보수 관리비용은 횡단면 폭(그림 3에서 W_{Ci} 와 W_{Fi})과 측면 경사(그림 3에서 m_{ci} 와 m_{fi}), 토질 특성 그리고 연평균 일일 교통량(AADT)에 기인한다. 연구지역의 토질 특성은 토질이 1부터 50까지의 토질지수 값으로 나타나는 지리정보 시스템 레이어 형태로 사용 가능하다. 낮은 토질지수는 암석과 같은 굳은 토질이며 반면에 높은 토질지수는 점토, 모래 그리고 습지대 등의 특성을 가진다.

유지보수 관리비용이 교통량과는 선형적으로, 측면 경사와는 비선형적으로 되는 경향이 있으므로 상수 조건, 선형 교통의존 조건 그리고 비선형 측면경사 조건 등을 가진 함수를 가정해야 한다. 그러므로 유지보수 관리비용 함수는 다음과 같다.

$$C_M = \sum_{i=1}^n \frac{1}{(1+r)^i} \sum_{j=1}^n L_j [a + 365Tj] b + c_{ij} [a W_{Ci} m_{ci}^2 + \beta W_{Fi} m_{fi}^2 + (1-\alpha-\beta)(W_{Ci} m_{ci}^2 + W_{Fi} m_{fi}^2)] \quad (2-10)$$

여기서,

C_M : 전체 유지보수 관리비용(₩)

r : 추정 이자율

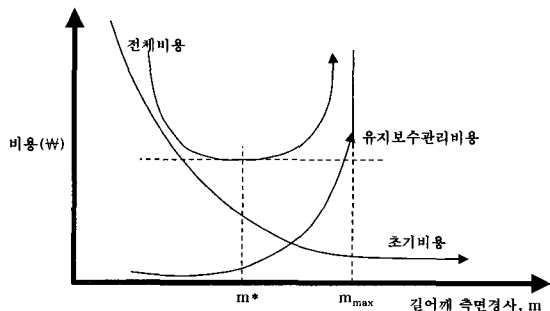


그림 6. 측면 경사 비용도

t : 분석하고자하는 연도기간

n : 도로 단면의 총 개수

L_i : i 번째 도로단면의 길이(m)

a : ₩/㎡-year 단위를 가지는 상수

T : $AADT \times 365 \times (1+0.01r_j)^t$

AADT : 연평균 일일 교통량

r_j : 연 교통량 증가 인자

b : ₩/vehicles-㎡-year 단위를 가지는 상수

c_{ij} : 토질 특성(₩/㎡²-year)에 의존하는 토질 비용 계수

W_{Ci}, W_{Fi} : 절토와 성토 단면에 있어 횡단면 폭

m_{ci}, m_{fi} : 절토와 성토 단면에서의 측면 경사

2.1.4 총 비용 함수

총 비용 함수는 전체 도로에 있어 초기비용과 유지보수 관리비용을 합산함으로써 얻을 수 있고 다음과 같다.

$$C_T = C_H + \sum_{i=1}^n L_i \left[\frac{\alpha K_{ci} s A_{ci}}{2} + \frac{\beta K_{fi} A_{fi}}{2} + (1-\alpha-\beta) \frac{(K_{ci} s A_{ci} + K_{fi} A_{fi})}{2} \right] + \sum_{i=1}^n \frac{1}{(1+r)^i} \sum_{j=1}^n L_j [a + 365Tj] b + c_{ij} [a \cdot W_{Ci} \cdot m_{ci}^2 + \beta \cdot W_{Fi} \cdot m_{fi}^2 + (1-\alpha-\beta)(W_{Ci} \cdot m_{ci}^2 + W_{Fi} \cdot m_{fi}^2)] \quad (2-11)$$

식 (2-11)에서, 도로 단면 길이 L_i 는 식 (2-7), (2-8)에서 얻을 수 있다.

3. 최적 경사 계산

최적 경사를 계산하기 위해, 전체 비용을 최소화하기 전에 개별적으로 절토와 성토 단면을 분석한다.

3.1 절토 단면

절토 단면의 총 비용은 다음과 같다.

$$C_T = C_H + 0.5L s K_c \left[\left(\frac{H_{1i} + H_{2i}}{2} \times W_{d_i} \right) + \left(\frac{H_{2i} + H_{3i}}{2} \times W_{d_i} \right) + \left(\frac{H_{3i} + H_{4i}}{2} \times W_{d_i} \right) + \left(\frac{H_{4i} + H_{5i}}{2} \times W_{d_i} \right) + \left(\frac{H_{5i}^2}{2 \times m_{ci}} \right) \right] + Lt [a + 365Tj] b + c [W_{d_i} + W_{d_{2i}} + W_{d_{3i}} + W_{d_{4i}} + \frac{H_{5i}}{m_c}] m_c^2 \quad (3-1)$$

m_c 와 연관된 C_T 를 소거하고 0의 값으로 만들면 다음과 같다.

$$m_c^2(Am_c + B) - C = 0 \quad (3-2)$$

여기서,

$$A = 2c(W_p + W_s + W_a + W_w)$$

$$B = c \cdot H_5$$

$$C = 0.25K_c s H_5^2$$

식 (3-2)을 풀이함으로써 절토단면에 대한 최적 경사 m_c^* 를 얻을 수 있다.

3.2 성토 단면

성토 단면에서 전체 비용은 다음과 같다.

$$C_T = C_H + 0.5L K_f \left\{ \left(\frac{H_{1i} + H_{2i}}{2} \times W_{a_i} \right) + \left(\frac{H_{2i} + H_{3i}}{2} \times W_{a_i} \right) + \left(\frac{H_{3i}^2}{2 \times m_f} \right) + L \left[a + 365Tb + c(W_{a_i} + W_{w_i} + \frac{H_{3i}}{m_f}) m_f^2 \right] \right\} \quad (3-3)$$

m_f 와 연관된 C_T 를 소거하고 0의 값으로 만들면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$m_f^2(Dm_f + E) - F = 0 \quad (3-4)$$

여기서

$$D = 2c(W_p + W_s)$$

$$E = cH_3$$

$$F = 0.25K_f H_3^2$$

식 (3-4)로 전체 비용 값을 최소화시킬 수 있는 성토 단면에서의 최적 경사값 m_f^* 을 얻을 수 있다. 절성토 혼합단

면도 이와 유사하게 처리된다.

최적 경사 값은 전체 비용을 최소화하기 위해서 식 (2-11)에서 사용된다. 단위 절토 비용은 토질 특성에 따라 다르다. 느슨한 토질의 경우 단위 절토 비용은 적지만, 견고한 토질이나 암석의 경우는 상당히 많은 비용이 든다. 또한 토질 특성은 토량환산계수(Jha, 2000)에 따른 성토량에도 영향을 미친다.

4. 적용 예

도로 선형 선정에서의 유지보수 관리비용의 관계를 조사하기 위해서 실제 충북 청주-상주간 고속도로 예비 지도가 선정되었다. 토질 지수는 1부터 50까지이다. 이곳의 지형은 산지이므로 대부분의 토질은 암석이다. 기존 도로와 토질 특성이 나타나 있는 지질 지도는 그림 7에 나타나 있다. 검게 칠해진 부분은 높은 토질 지수를 가지고 있음을 나타내고 보이는 선들은 기존의 도로를 나타낸다.

그림 8과 같이 실험지역의 시점과 종점 사이에 2차선 도로를 건설한다는 시나리오를 계획했다. 그림 8의 기본지도는 기존의 지기를 나타내며 짙은색 부분은 더 높은 단위 비용을 나타낸다. 소유권비용은 농촌지역의 경우는 일반적으로 낮으며 일정하다. 그러므로 새로운 선형 선정에서 통행권 비용은 그리 민감한 사안은 아니며 토공 비용에 많이 의존한다고 볼 수 있다.

Jha(2000)가 개발한 도로 설계 최적화 모델에서 제안된 총비용 공식을 구체화한 후에 초기비용과 유지보수 관리 비용을 고려하면서 시점과 종점 사이를 연결하는 최적 선형을 얻기 위해 500 세대를 거치며 유전자알고리즘을 이용한 연구가 수행되었다. 수직단면에서 원곡선과 경사도의 최소 길이제한 위반에 따른 법률 위반 비용도 고려하였다. 입력자료는 표 1과 같으며 예제를 실행하는데 사용된다. 부가적으로 단위 절성토 비용 계수 a, b, c와 절성토면의



그림 7. 연구지역의 지질도

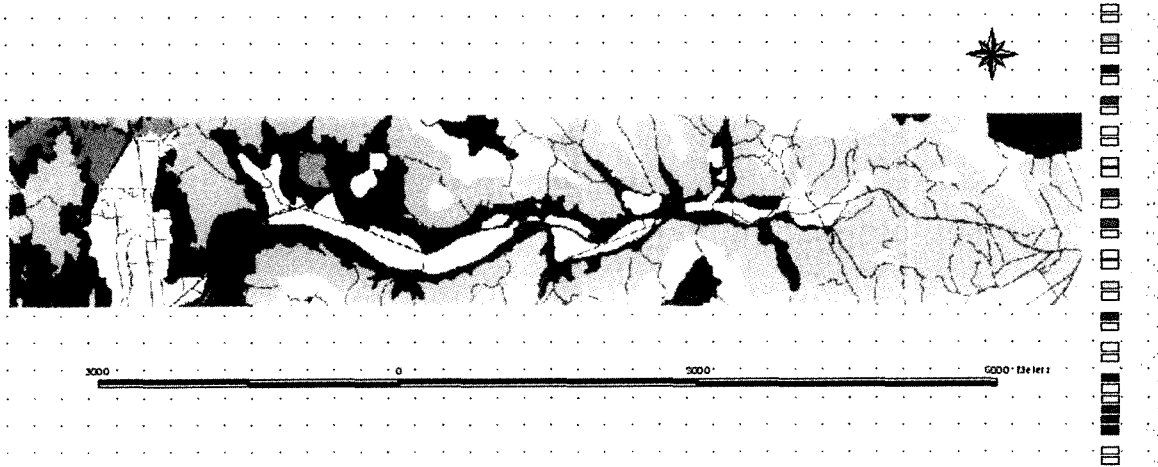


그림 8. 지가 분포

표 1. 연구지역 입력 자료

항 목	입력값	항 목	입력값
도로 폭	14.4m	해석 기간	30년
설계 속도	120km/h	이자율	6%
최대 편경사	0.06%	년 평균 일일교통량(AADT)	8,000
최대 종단 경사	3%	교통 증가율	0.005
단위 성토 비용	85,000원/m ³	탐색 세대수	500

경사도의 적절한 값이 선정되었다. 단위 절토량 비용, 토질 비용 계수 c와 경사도는 토질 특성에 의존한다.

그림 9는 유전자알고리즘을 이용한 500번째 세대에서 얻은 도로 최적 선형으로 전체 최적 선형의 길이는 11.23km 이고 견고한 토질부분은 포함되지 않았다. 견고한 토질은

비록 도로 횡단 폭이 작더라도 안전할 수 있으며(가파른 경사에서도 붕괴되지 않음) 초기 비용은 적으나 유지보수 비용은 그만큼 더 커질 수 있다는 것을 의미한다. 게다가, 본 연구 프로그램은 초기비용과 유지보수 관리비용을 함께 최소화시키기 때문에 이것들 사이의 가장 적절한 타협

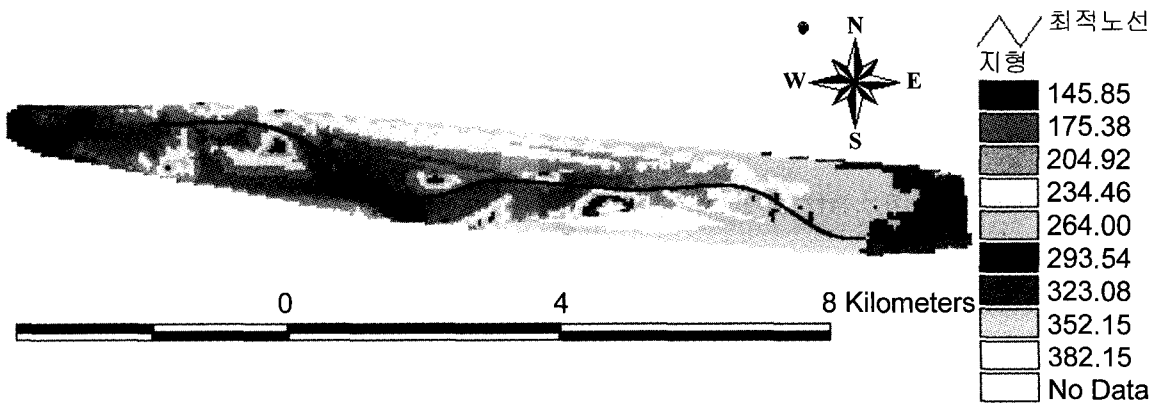


그림 9. 유전자 알고리즘을 이용한 최적노선

점을 찾는 것이 중요하다. 견고한 토질에서는 필요한 횡단 면적이 적은 반면에 그만큼 견고한 토양을 깎아내는데 있어 순 토공 비용은 증가할 수밖에 없다. 이러한 이유로 가능한 한 견고한 토양은 최적화 선형 설계에서 배제되도록 해야 한다.

연구의 주요한 문제는 평방 km당 지도내부의 속성 밀도 뿐만 아니라 주로 GIS 계산 환경에서 수행된 다양한 연산에 따라서 계산 시간이 상당히 증가하는 것이다. 예를 들어서 500MB RAM을 가진 550MHz pentium III 컴퓨터가 지도 내부 속성밀도 200인 경우 최적화를 한번 반복(iteration)하는데 걸리는 시간은 대략 2초 정도이다. 그러므로 한 세대마다 대략 30번의 반복을 가지는 100세대의 경우는 1.7시간이 걸린다. 비록 0-100,000의 범위 값을 가지는 밀도지역에서는 계산시간이 다소 느리기는 하지만 지도 밀도에 따라서 비선형적으로 증가하였다. 제시된 모델이 100,000까지의 지도 밀도지역이라면 도로 선형 최적화 연구는 데스크톱 PC에서 충분히 사용될 수 있다는 것을 의미한다. 복잡단계에서의 연구이든 더 좁은 공간에서의 연구이든 간에 좀더 넓은 분야에서 적용되는 것이 바람직할 것이다.

5. 결 론

지형정보를 이용한 도로의 최적 유지관리 비용 산정에 관한 연구로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 연구에서 길어깨 측면 경사, 단위 절성토 비용, 토질의 함수로 표현된 토량계수를 이용하여 고속도로 초기 건설비용과 유지 관리 비용에 관한 공식을 만들었고 이 공식은 최적화 탐색을 위한 유전자 알고리즘을 이용한 고속도로 최적화 모델에 포함되었다.

2. 실제 지도를 이용한 적용례를 이용하여 선형을 선택함에 있어서 유지관리 비용과의 관계를 연구하였다. 그 결과 초기비용과 유지 관리 비용 사이에서 길어깨의 최적 측면 경사는 토질 특성에 따라 영향이 있으며 이는 전체 선형에 걸쳐 영향을 미친다.

3. 최적 유지 관리 비용 계산시간은 밀도에 따라서는 비선형적으로 증가하였으며 10^5 의 지도밀도까지는 PC로 계산이 가능하였다.

참고문헌

1. 정천수, 음성직, 확률 및 경제요소를 고려한 도로선형 설계, 대한교통학회지 1990, Vol. 8, No. 2, pp. 109-118.
2. 최재성, Datalog Information System을 이용한 도로선형설계 및 안전분석기법, 대한교통학회지 1988, Vol. 6, No. 1, pp. 33-41.
3. 최재성, 도로선형에 대한 설계일관성 평가모형의 개발, 대한교통학회지 1998, 12, Vol. 16, No. 4, pp. 195-212.
4. AASHTO, AASHTO Maintenance Manual, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 1987.
5. Gupta, R. C. and R. Jain, Effects of Certain Geometric Design Characteristics of Highways on Accident Rates for Two-Lane, Two-Way Roads in Connecticut, School of Engineering, The University of Connecticut, Storrs, Connecticut, 1973.
6. Jha, M. K, A Geographic Information Systems-Based Model for Highway Design Optimization, Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Maryland, College Park, 2000.
7. Jong, J. C, Optimizing Highway Alignment with Genetic Algorithms, Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Maryland, College Park, 1998.
8. OECD, Optimization of Road Alignment by the use of Computers, Organization of Economic Co-Operation and Development, Paris, 1973.
9. Optimization of Road Alignment by the use of Computers. Organization of Economic Co-Operation and Development, Paris, 1973.
10. Novak, E. C., W.-H. Kuo, and G. Y. Baladi. Evaluation of Alternative Network Preservation Strategies, In Transportation Research Record 1395, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1993, pp. 88-98.
11. Teets, M. K, Highway Statistics, U.S. DOT, Federal Highway Administration, Office of Highway Information Management, Washington D.C., 1997.
12. Vogt, A. and J. G. Bared, Accident Models for Two-Lane Rural Roads: Segments and Intersections, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, FHWA-RD-98-133, 1998.

(2002년 2월 5일 원고접수)