

GIS 모델링을 이용한 유지관리를 고려한 최적노선 선정

The Optimal Road relevant to Maintenance Using GIS Modeling

강인준*, 이준석**, 최현***, 이철승****

Kang, In Joon · Lee, Jun Seok · Choi, Hyun · Lee, Chul Seung

1. 서론

1.1 연구동향

도로의 유지관리는 도로개발의 계획단계에서 고려되어야 할 중요한 문제로서 도로의 라이프사이클동안 많은 시간과 비용을 필요로 한다. 그러므로 도로 설계에 필요한 여러 특성들을 유지관리와 연관하여 결정하여야 한다. 1973년 OECD는 지난 30년 동안에 고려되지 않은 유지보수 비용을 실제 가치로 환산하면 전체 공사비용의 5%를 차지한다고 밝혔다.

1987년 AASHTO는 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. 1993년 Novak등에 의하면 미시간의 주요간선도로와 다른 도로의 좋지 못한 도로포장 상태에 드는 평균 유지보수 비용은 1989-90년의 데이터에 의하면 각각 ₩745,000/lane-km와 ₩2,857,000/lane-km이었다. 1997년 미국의 도로 통계 자료(Teets)에 의하면 정부는 1995년도에 도로 비용지출의 26%를 도로 유지보수관리와 서비스향상에 투자하였다고 한다. 많은 정부의 도로 관리기관에서는 도로 유지관리 데이터를 기반으로 하여 예산 결정의 효율성을 위한 도로 유지보수 관리 시스템이나 포장 관리 시스템과 같은 자산 관리 시스템을 개발해 왔다. 이러한 노력들이 앞으로의 도로 유지보수 비용 산정에 유용하지만 도로 경사를 유지보수 관리와 연계시키는 등의 유지보수 비용을 도로 설계 특성들과 연계시키는 부분에서는 연구 초기 단계이다. 그렇게 연계시키는 부분은 최적화된 설계 변수값 선정 시에 도로개발 계획단계에서 의사결정의 기본 근거가 되는 초기비용과 유지보수비용을 최소화할 수 있도록 한다. 그와 유사한 개념으로 1998년 Vogt와 1973년 Gupta의 도로안전에 관한 보고서는 도로 교통사고와 차선 수, 길 어깨 폭, 수평 곡률, 수직 곡률 등과 같은 설계요소를 연계시켜 수행하였다. 여기서 최적화된 설계 변수값 선정은 사고 빈도수와 규모를 최소화 할 수 있다. 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 도로 선형 설계방법(정천수, 1990)이 있었고 선형이 속도에 미치는 속도추정모델(최재성, 1998)가 있었다.

* 정회원 · 부산대학교 토목공학과 교수 (kangprof@hanmail.net)
** 정회원 · 부산대학교 토목공학과 박사수료 (jaslee@pusan.ac.kr)
*** 정회원 · 부산대학교 토목공학과 박사수료 (zuchon@hanmail.net)
**** 정회원 · 부산대학교 토목공학과 석사과정 (aspha@hanmail.net)

1.2 연구목적

도로건설사업은 국가의 기간산업으로서 도로를 신설하거나 개량하고자 할 때 목적에 맞는 적절한 조사를 하고 신설 또는 개량의 필요성을 파악할 뿐만 아니라, 이를 통한 파급효과와 사업의 규모, 시기 등에 대해 과학적으로 검토하여 최적 계획을 수립해야 한다.

도로설계는 계획도로가 그 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 대상지역의 여러 가지 조건을 고려하여 가장 적합한 노선의 위치를 결정하는 과정이다. 도로 유지보수 비용은 도로 라이프 사이클 동안 많은 시간과 비용을 필요로 하며, 이러한 도로설계 과정의 계획단계에서 고려되어야 할 중요한 사항이다. Holland에 의해 제시된 유전자 알고리즘은 기존의 방법들과는 달리 여러 설계점들이 집단을 이루어 설계영역에 대한 탐색을 수행하므로 전역 최적해에 수렴할 확률이 상대적으로 높다. 또한 유전자 알고리즘은 설계변수로서 이산 변수를 사용하므로 정수치 혹은 이산적 수치를 가지는 실제적인 공학문제에 효율적으로 적용할 수 있으며, 도함수나 연속성 등과 같은 목적함수에 대한 부가적인 정보를 필요로 하지 않는다. 따라서 유전자 알고리즘은 도로 유지관리의 최적화 문제에 적용하기에 이상적이라 할수 있다. 따라서 도로 계획 단계에서 도로 설계의 특성들을 최적화함으로써 도로의 라이프사이클에서 발생하는 유지보수 관리비용을 감소시킬 수 있다.

본 연구는 도로의 유지관리비용을 고려한 도로설계를 통해 도로의 라이프사이클에서 발생하는 유지관리 보수비용을 감소시키는 방법을 제시한다. 도로의 특성들을 최적화 하는데 유전자 알고리즘을 사용하며, GIS기법을 이용하여 데이터 베이스를 구축하여, 구축된 데이터의 분석과 활용에 의해 최적의 노선을 선정한다.

2. 본론

2.1 유전자 알고리즘

최근 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm : GA)는 그 잠재력으로 인해 많은 관심을 받고 있으며 다양한 분야에서 광범위하게 응용되고 있다. 많이 알려진 대표적인 응용으로는 조합최적화 문제, 스케줄링, 화상복원, 공장 레이아웃, 패턴인식, 유향 그래프 배치, 트리구조, 인공지능, 하드웨어 진화 등이 있으며 공학을 비롯한 거의 모든 분야에 적용되고 있는 실정이다.

유전자 알고리즘이란 자연계의 진화 현상을 모방한 것으로, 다윈이 주장한 적자생존과 자연도태의 원리를 이용하여 정립된 최적화 알고리즘이다. 다윈의 진화론에 의하면 집단 내 개체는 주위환경에 적합한 형질을 가질수록 생존할 확률이 높으며 교배(crossover)와 돌연변이(mutation)을 통해 더 나은 방향으로 진화하고(적자생존) 부적합한 형질을 가질수록 진화의 과정에서 점차 도태되어 간다(자연도태). GA는 이러한 자연진화의 법칙을 컴퓨터의 논리로 모방하며, 일반 최적화 문제나 탐색문제에 적용시켜 해를 구하는 알고리즘이라 할수 있다.

유전자 알고리즘은 자연선택과 진화에 기인한 확률적 탐색 기법이다. GA는 기존의 탐색기 기법과는 달리 집단(population)이라고 불리는 임의의 초기 해집단을 이용하여 진화를 수행한다. 또한 집단을 구성하는 각 개체는 게놈(genome)이라고 부르며 GA에서 문제의 해를 표현하는 역할을 하게 된다. 지놈은 대개의 경우 설계변수의 실제값을 직접 사용하지 않고 이진 스트링(binary string)을 사용한다. 이러한 GA는 선택, 교배, 돌연변이 이 세가지 기본적인 연산자를 이용하여 진화를 수행한다. 이들은 GA의 기본적인 연산자들로서 알고리즘의 메커니즘을 규정하고 그 효율성에 영향을 미치게 된다.

2.2 도로설계 최적화 모델링

도로설계 최적화 모델은 전체적인 도로 비용을 최소화함으로써 최적의 도로 선형을 찾는다. Jong(1998)은 유전자 알고리즘을 적용하여 도로 선형을 최적화하는데 성공하였다. 유전자 알고리즘은 지역적으로 여러 가지 최적의 조건을 가진 복잡한 탐색 공간에서 적절한 해법을 찾는데 아주 효율적이다. 유전자 알고리즘에서 많은 선형들은 각 세대에서 평가되어 진다. 여기서, 선형의 초기 개체군은 무작위로 생성되고 그들의 적합도(가령, 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. 진화는 모든 인자의 개체군을 평가함으로써 끝이 난다. 이러한 과정은 목적함수 값이 일정수준 이상이 되어 무시할 수 있을 때까지 연속적으로 세대를 통해서 계속된다. 세대를 걸쳐 이루어지는 개체 인자의 평가 단계를 계속 반복하게 된다. 몇몇의 유지보수 및 건설비용에 있어 중요한 변수는 측면경사, 차선, 길 어깨 폭 그리고 고도를 포함한다. 이러한 것들 중에서, 측면경사는 초기와 유지보수 측면에서 볼 때 가장 적절한 설계 변수로 생각된다. 그 이유로는 고도를 비롯한 차선과 길 어깨 폭은 일반적으로 교통량과 설계속도 조건에 의존하기 때문이다.

2.2.1 도로 비용

많은 도로비용은 도로 개발 과정의 계획단계에서 추정된다. 도로설계시 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 비용은 전체비용에서 상대적인 비중에 의존하는 다른 선형 계산에 도움을 줄 것이다. 예를 들면, 이질적인 토지 사용에 있어 토지보상 비용은 우회하는 선형에 도움을 줄 것이며 직선 선형은 도로 사용자 비용에 도움을 줄 것이다. 이와 같이 높은 포장비용은 짧은 선형에 도움을 줄 것이다. 이러한 예를 볼 때 주행 시간 비용은 일반적으로 전체비용의 비율이 아주 높다는 것을 나타낸다. 토지보상 비용의 공식은 새로운 선형에 의해 얻어진 표면의 실제 마찰력뿐만 아니라 토지사용 패턴과 토지가격의 변화 등에 의존하기 때문에 다소 복잡하다. 일반적으로 초기 도로건설 비용을 감소할 때 가파른 측면경사는 사실상 유지보수비용을 증가시킨다. 특이한 토질의 형태는 도로의 라이프사이클동안 유지보수 비용을 증가시키며 흙을 지탱할 수 있는 용벽을 설치하도록 하는 충분한 근거가 된다.

2.2.2 도로 횡단면

도로 단면 평균법은 도로와 지형 표고사이의 차이에 의존하는 성토, 절토 그리고 변형 상황은 개별적으로 다르게 제시된다. 그것들은 토공량 비용 계산에 사용된다. 토공량 비용 계산에 있어 일반적으로 사용되는 방법은 각주 공식과 양단면 평균법이다. 각주공식이 좀더 정확하게 토공량을 계산할 수 있는 반면 양단면 평균법은 계획단계에서의 비용 산정에 주로 사용된다. 토공량 계산에 요구되는 데이터는 지표면 각 변곡점의 지형과 도로 높이이다. 주요한 변곡점은 지형 표고에서 확연한 변화가 나타나는 곳에서 발생한다.

절토의 경우 면적, A_{ci} 는 다음과 같이 표현된다.

$$A_{ci} = \left(\begin{aligned} & \left(\frac{H_{1i} + H_{2i}}{2} \times W_{P_i} \right) + \left(\frac{H_{2i} + H_{3i}}{2} \times W_{S_i} \right) + \left(\frac{H_{3i} + H_{4i}}{2} \times W_{d_i} \right) \\ & + \left(\frac{H_{4i} + H_{5i}}{2} \times W_{a_i} \right) + \left(\frac{H_{5i}^2}{2 \times m_{ci}} \right) \end{aligned} \right) \quad (1)$$

성토의 경우 면적, A_{fi} 는 다음과 같다.

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

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

$$A_{hi} = A_{t_{fi}} + A_{t_{ci}} \quad (3)$$

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

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

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

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

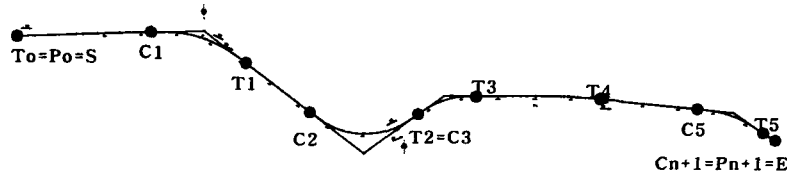


그림 1. 도로 선형에서의 접선과 원곡선

Δ_i 는 선형에서 원곡선을 기하학적으로 해석함으로써 다음과 같다.

$$\Delta_i = \cos^{-1} \left(\frac{(x_{P_i} - x_{P_{i-1}})(x_{P_{i+1}} - x_{P_i}) + (y_{P_i} - y_{P_{i-1}})(y_{P_{i+1}} - y_{P_i})}{\sqrt{(x_{P_i} - x_{P_{i-1}})^2 + (y_{P_i} - y_{P_{i-1}})^2} \sqrt{(x_{P_{i+1}} - x_{P_i})^2 + (y_{P_{i+1}} - y_{P_i})^2}} \right) \quad (6)$$

2.2.3 유지보수 관리비용과 총비용함수

유지보수관리 비용은 일반적으로 다소 높은 비용 이상의 어떤 지점까지는 경사지며 비선형적으로 증가한다. 반면에, 초기값은 횡단면이 작아질수록 경사지며 감소하는 경향을 가질 것이다. 전체 비용함수는 초기비용과 유지보수 관리비용의 합으로써 얻을 수 있으며 최적의 경사는 전체 비용을 최소화함으로써 얻을 수 있다.

$$C_M = \sum_{j=1}^4 \frac{1}{(1+r)^j} \sum_{i=1}^n L_i \left[\frac{a + 365 T_j b + c_{ij} (\alpha W_{C_i} m_{ci}^2 + \beta W_{F_i} m_{fi}^2)}{(1 - \alpha - \beta) (W_{C_i} m_{ci}^2 + W_{F_i} m_{fi}^2)} \right] \quad (7)$$

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

$$+ \sum_{j=1}^n \frac{1}{(1+r)^2} \sum_{i=1}^n L_i \left[\frac{a + 365Tb + c_{ij}(\alpha \cdot W_{Ci} \cdot m_{Ci}^2 + \beta \cdot W_{Fi} \cdot m_{Fi}^2 + (1-\alpha-\beta)(W_{Ci} \cdot m_{Ci}^2 + W_{Fi} \cdot m_{Fi}^2)}{(1-\alpha-\beta)(W_{Ci} \cdot m_{Ci}^2 + W_{Fi} \cdot m_{Fi}^2)} \right] \quad (8)$$

2.2.4 GIS를 이용한 자료입력과 지도 입력

필지의 면적, 지가, 토지의 용도, 건물의 가격 등의 정보는 GIS로 자동적으로 구해졌다. 또한, 지형의 높이정보는 자동적으로 속성정보에 입력되었다. 비용 최적화 모듈이 matlab언어와 GIS이기 때문에 데이터 공유를 위해서 두개의 환경을 자연스럽게 연결하는 것이 필요한데 이것은 Arc View DLL을 통해 가능하다. DLL을 통해 GIS에서 생성된 속성자료를 Matlab에 자동적으로 넘겨서 처리하게 하였다. 그 외 절성토 단가와 측면 경사가 흙에 의해 결정되므로 흙의 속성에 관한 정보도 처리되었다.

유전자 알고리즘과 관련된 전체 세대수, 비정규 돌연변이 계수, 진화형태에 의해 수동적으로 비용과 높이값을 추출하는 것은 매우 시간이 걸리며 사실상 불가능한 일이다. 실제로 탐색 영역안에는 수천개의 필지가 있고 호수, 산과 다른 지형적인 요소가 있다. 단가와 높이값의 입력또한 마찬가지이다. 본 연구에서는 속성자료는 ArcGIS(Arcview, ArcInfo)를 이용하여 구축되었다.

필지 면적과 필지의 단위 비용의 획득을 위해 높이값은 GIS데이터베이스에서 구한 GIS레이어에서 구할 수 있다. 높이 데이터를 속성 맵에 중첩을 시키고 수정된 속성 테이블을 만들게 된다. 최적 선형을 탐색하는데 있어 기존도로는 도로에 관한 추가적인 비용이 들지 않기 때문에 비용을 매우 낮게 정하고, 호수와 강이 있는 지역에 대해서는 이곳을 피하기 위해 매우 높은 단위비용을 적용하여 선형을 유도하였다.

2.3 적용 예

도로 선형 선정에서의 유지보수 관리비용의 관계를 조사하기 위해서 실제 충북 청주-상주간 고속도로 예비 지역 지도가 선정되었다.

그림 2,3은 연구대상지의 LADSAT 위성영상과 1/5000 수치지도이다.

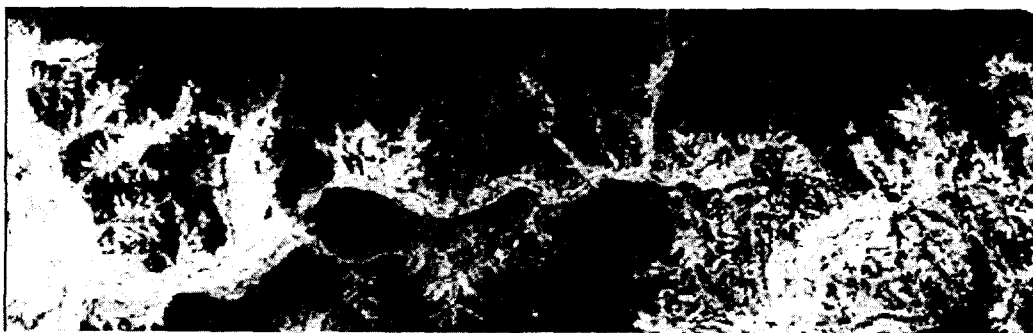


그림 2. LADSAT TM 위성영상

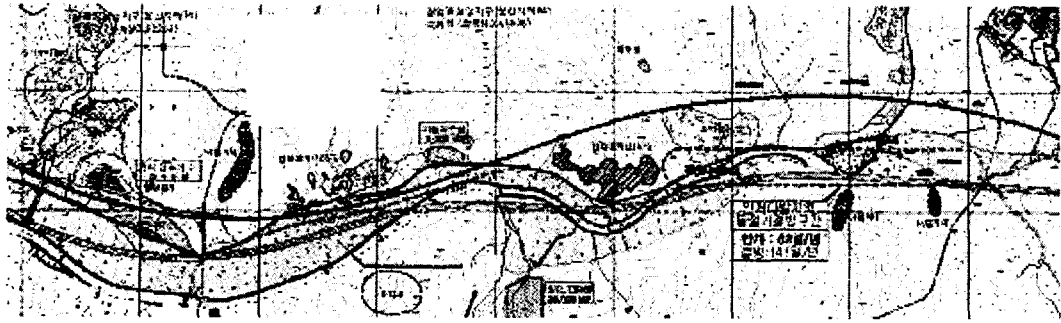


그림 3. 연구대상지 수치지도

연구대상지의 토질 지수는 1부터 50까지이며, 이곳의 지형은 산지이므로 대부분의 토질은 암석이다. 소유권에 대한 보상비용은 농촌지역의 경우는 일반적으로 낮으며 일정하다. 그러므로 새로운 선형 선정에서 통행권 비용은 그리 민감한 사안은 아니며 토공 비용에 많이 의존한다고 볼 수 있다. 그림 4는 비용에 대한 속성자료이며 그림 5는 유전자 알고리즘을 이용한 500번째 세대에서 얻은 도로 최적 선형으로 전체 최적 선형의 길이는 11.2km이고 견고한 토질부분은 포함되지 않았다. 견고한 토질은 비록 도로 횡단 폭이 작더라도 안정적인 수 있으며 그것은 초기 비용은 적을 수 있으나 유지보수 비용은 그만큼 더 커질 수 있다는 것을 의미한다.

Area	Perimeter	Parcel	Cost	Area	Start	Spthcost	Zone
28665886.000	131231.016	1	46.01	0.00	183000	0.00	1
3284905.000	27551.871	2	32.53	0.00	63000	0.00	2
10598879.000	29381.252	3	48.63	0.01	178000	0.00	1
176101.438	3367.983	4	8.38	0.02	44000	0.00	1
4969334.000	12896.378	5	47.45	0.03	236000	0.00	1
169580.016	2395.947	6	14.28	0.03	186000	0.00	2
265064.031	3024.891	7	46.53	0.03	398000	0.00	3
153550.469	2874.329	8	27.48	0.02	126000	0.00	2

그림 4. 비용에 대한 속성 자료

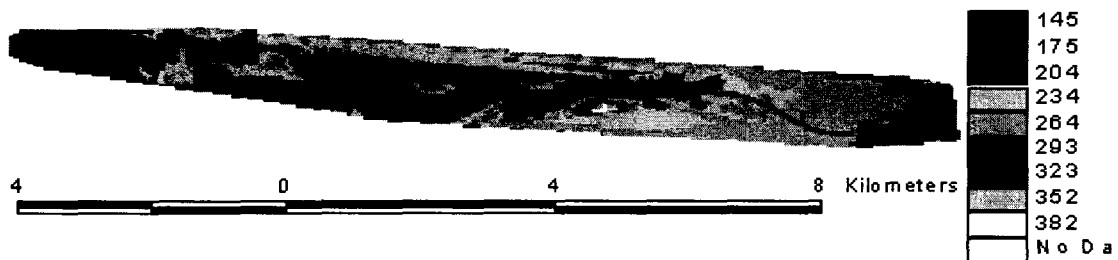


그림 5. 유전자 알고리즘을 이용한 최적노선

3. 결론

유전자 알고리즘과 GIS를 이용한 모델링을 도로유지관을 고려한 도로 선형 최적화에 적용함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 최적 유지관리비용을 위해 GIS데이터를 이용하여 길어깨 측면 경사, 단위 정성토 비용, 토질의 함수로 표현된 토랑계수를 이용하여 고속도로 초기 건설 비용과 유지 관리 비용에 관한 공식을 모델링에 적용하였다.

둘째, 실제 지도를 이용한 적용예를 이용하여 선형을 선택함에 있어서 유전자 알고리즘을 이용하여 500번째 세대에서 얻은 도로 최적 선형을 구할 수 있었다.

셋째, 초기비용과 유지 관리 비용 사이에서 길어깨의 최적 측면 경사는 토질 특성에 따라 영향을 받으며 이는 전체 선형에 걸쳐 크게 영향을 미침을 알았다.

참 고 문 헌

1. 정천수, 음성직, 확률 및 경제요소를 고려한 도로선형 설계, 대한교통학회지 Journal of Transportation Research Society of Korea 1990 v.8, n.2, pp.109-118
2. 최재성, Datalog Information System을 이용한 도로선형설계 및 안전분석기법, 대한교통학회지 1988 v.6, n.1, pp.33-41
3. 진강규, “유전알고리즘과 그 응용”, 교유사, 2000
4. 박해영, “유전자 알고리즘을 이용한 3차원 철골 구조물의 최적설계에 관한 연구”, 부산대학교 대학원 석사학위 논문, 건축공학과, 2000
5. 강인준, “측량지형정보공학(II)”, 문운당, 2001.
6. Optimization of Road Alignment by the use of Computers. Organization of Economic Co-Operation and Development, Paris, 1973
7. 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
8. AASHTO. AASHTO Maintenance Manual, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 1987.
9. 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.
10. 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.
11. Jong, J. C. Optimizing Highway Alignment with Genetic Algorithms, Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Maryland, College Park, 1998.