



도로의 최적노선대 선정방법 비교 연구

Comparative Study on Determining Highway Routes

김 관 중* 장 명 순**
 Kim, Kwan Jung Chang, Myung Soon

Abstract

By using the current road design method that is based on the regulation about structure and facilities standard of the road and the route plan guide of a national road and the alignment optimization road design method which is studied in the inside and outside of country, this study operate the route plan of the sample study and compare and analysis the route character, consequently the current design method has local optimization that is formed the plan by the stage and the section. Alignment optimization road design has the system optimal route search. But cost function has limite that caused by construction parameter that is not included in cost function. So we design a road route included cost function in main fields. As a result, we obtain a realistic and economically road route. The alignment optimization road design model has to be made up some problems, like the change of vertical gradient in the tunnel section, though this defects it has a lot of merits as a geometric design tool, especially in the feasibility study and the scheme design.

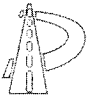
Keywords: alignment, optimization, cost function, local optimization, system optimization

요 지

도로의 구조·시설기준에 관한 규칙과 국도의 노선계획 설계지침에 준하여 실행되는 현행 노선선정방법과, 컴퓨터 발전과 함께 국내외에서 연구되고 있는 선형최적화 모형식으로 사례연구 구간의 도로 노선을 선정하여 노선 특성을 비교 분석해본 결과, 현행 노선선정방법은 단계별, 구간별로 순차적인 노선선정이 이루어지는 국지적 최적을 추구하나, 선형최적화 모형식 선정방법은 모든 설계요소가 동시에 고려된 체계최적(System Optimal)의 노선탐색 능력이 있는 것으로 분석되었다. 또한, 선형최적화 모형에서 기존 설계공종별 실제공사비로 비용함수를 보정하여 노선을 선정한 결과 현실에 부합되게 설계되었으며, 경제성이 높은 (B/C=1.66) 대안 노선이 탐색되었다. 선형최적화 설계모형은 터널 종단에서 종단 경사가 변화하는 등 보완될 점이 있음에도 타당성조사와 기본설계단계에서 노선선정 도구로서 설계시간 및 비용단축, 다양한 대안 노선의 검토 등의 많은 장점을 지니고 있음이 확인되었다.

핵심용어 : 도로선형최적화, 비용함수, 선형최적화 도로설계, 국지적 최적, 시스템 최적

* 정회원 · 한양대학교 대학원 교통공학과 박사과정
 ** 정회원 · 한양대학교 교통시스템공학과 교수



1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

도로건설 사업에서 계획노선은 타당성 조사를 거쳐 기본설계 과정에서 결정되는데, 현지여건과 노선이 통과하게 될 지역의 도시계획, 토지이용계획 등 각종 관련계획을 종합적으로 검토하여 우선 2~3개의 비교노선을 선정하고 선정된 각 노선에 대한 사회적, 경제적 타당성 및 교통·환경적 고려사항 등을 종합적으로 비교·검토한 후 최적 노선을 선정하여야 한다.

그러므로 최적노선 선정은 다양한 자료조사와 설계기준에 따른 정량적인 요인 이외에도 기술자의 경험과 정성적인 판단이 동원되어야 하는 어려운 과제이다.

사회가 발전하고 국민들의 요구가 다양해지면서 고려해야 할 요소들이 증가하고 여러집단의 의사를 반영하기 위해서는 최적노선 선정방법은 가급적 정량화, 객관화, 신속한 재검토 능력이 요구되고 있다.

한편 정보화시대를 맞이하면서 도로-교통분야에 따른 정보화 기술(IT)과 데이터 정보관리 시스템기술(GIS-T) 그리고 지형공간정보체계(GIS)와 위치정보시스템(GPS)등과 같은 정보원이 비약적으로 발전하여 3차원 데이터 구축이 용이해지고 컴퓨터의 발달로 대량 정보의 동시처리가 가능해지게 되었다.

따라서 최적노선 선정과정에서 고려해야할 기술적 항목을 GIS와 컴퓨터를 이용하여 효율적으로 처리할 수 있게 되었다.

최근에는 도로중심선 3차원좌표와 GIS자료들을 수학

적 모형과 컴퓨터를 이용하여 건설비와 유지관리비 뿐 아니라 연료소모비와 사고비용 등 사용자 비용까지 평가하며 최적화할 수 있는 모형이 개발되었다(Jong, 1998; Jha 2000).

그동안 도로선형 최적화 방법들이 학문연구차원에서 발전되어 왔으나, 최근에는 국가지원하에 건설 핵심기술 연구 개발사업으로 선정되어 선형최적화 도로설계기술 개발로 실용화하기 위한 연구가 진행되고 있다.

본 연구는 현행도로 설계방법에 의해 선정된 노선과 최적화 모형에 의해 선정된 노선을 비교하여 각 방법별 장·단점과 특성을 규명하고 보다 합리적이고 효율적으로 최적노선을 선정하는 방법을 고찰해보는데 목적이 있다.

1.2 연구수행방법

국내·외에서 도로선형 최적화에 관한 연구는 꾸준히 발전해 왔다. 연구 분야별로 보면 GIS 공간분석 연구, 정성적인 의사결정요소를 계량화 하기위한 AHP적용연구, 신경망이론 등의 최적화 탐색 알고리즘에 관한 연구 등이다. 연구가 수행되는 과정을 보

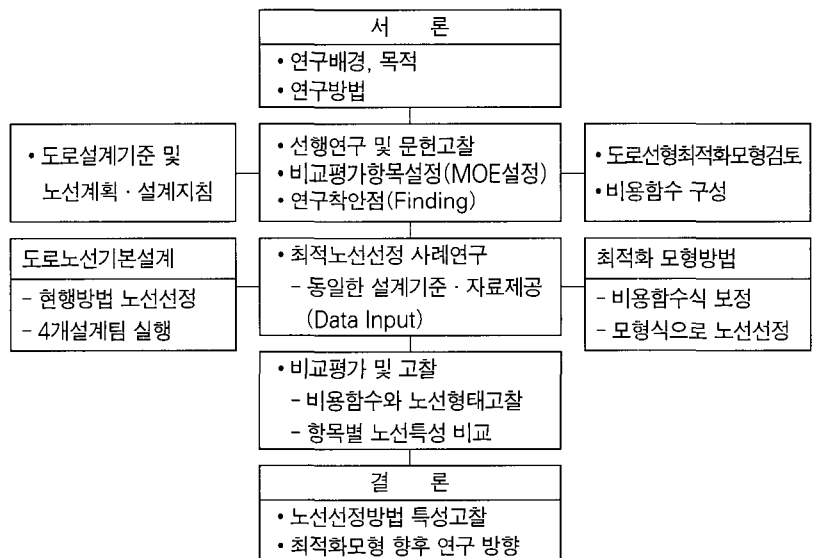


그림 1. 도로의 최적노선대 선정방법 비교연구



면 선형설계를 실행하여 적용성을 검증하는 방법으로 진행되고 있다. 그러나, 일정구간을 대상으로 현행도로 설계방법과 도로선형 최적화모형으로 설계된 최적노선을 동시에 비교하여 노선특성과 장·단점을 비교 검토하는 연구는 없었다.

본 연구에서는 선형최적화 모형에 의한 노선선정 방법과 현행 도로설계방법으로 동일구간의 노선설계를 사례연구로 실행하여, 최적노선대 선정방법을 비교 평가하였다. 선형최적화 모형의 정확성을 제고하기 위하여 실제로 설계·시공되는 도로설계자료와 정산하는 방법을 모색한다.

노선선정시 고려사항인 토지이용계획등 사회적 측면, 선형검토등의 기술적 측면, 지형훼손, 환경오염 등의 환경측면과 B/C분석 등 경제적 측면이 비교노선의 주요검토항목이나 본 연구에서는 도로설계과정에서 주로 활용되는 경제성평가, 즉 B/C 분석값을 평가척도로 하여 연구를 수행한다.

2. 기존 문헌고찰

2.1 노선계획·설계지침

도로노선의 계획에 관하여는 건설교통부 지침으로 국도의 노선계획·설계지침(이하 “지침”이라 함)이 정하는 바를 따르도록 규정되어 있다.

지침 제 4조에, 노선을 계획할 때는 다음 사항을 고려하도록 규정하였다.

첫째, 계획노선은 전국도로망 정비계획 등 국가 및 지역차원의 도로정비계획과의 연계성, 교통용량, 교통특성, 도로간 간격 등을 면밀히 분석하여 그 노선의 기능을 먼저 설정한 다음 지역 및 지형여건 등을 고려하여 선정한다.

계획노선은 가능한 장거리축에 대한 기본설계 등을 실시하여 노선을 선정하고 이에 따라 구간을 설정하여 실시설계를 시행한다.

둘째, 계획노선은 현지역건과 노선이 통과하게 될

지역의 도시계획, 토지이용계획 등 각종 관련계획을 종합적으로 검토하여 우선 2~3개의 비교노선을 선정하고 선정된 각 노선에 대한 사회적, 경제적, 기술적 타당성 및 교통·환경적 고려사항 등을 종합적으로 비교, 검토한 후 최적 노선을 선정한다.

도로설계과정의 노선선정단계에는 위 지침을 준용하여 비교노선 2~3개안을 제시하고 비교검토한 후 최종 노선을 채택한다.

설계구간을 평지, 산지, 도시부, 지방부로 구분하여 설계속도를 설정하고, 비교노선 과정에서는 평면선형, 종단선형의 선형조합을 검토하여 주행시 안전성을 고려하며, 공종별 공사비와 총사업비를 비교하고 사회적으로, 기술적으로, 환경적으로 정성적으로 종합검토한 후 최종노선을 결정한다. 타당성 조사나 기본설계일 경우에는 추정된 교통량에 의해 산정되는 편익과 도로건설사업비, 유지비용을 이용하여 도로건설에 따른 경제성 분석을 검토하여 최적노선의 타당성을 검증한다.

2.2 선행연구 고찰

2.2.1. 노선선정에 관한 국내 연구

강인준·이준석(2002)은 고속도로 선형최적화에 관한 GIS모델링에서 선형최적화에 관한 비용요소를 조사하여 이전 모델을 보완하였고, 이종달(2001)등은 GIS공간분석기법과 신경망 알고리즘에 의한 도로노선결정연구에서 원 데이터를 임의적으로 가공없이 입력하여 노선선정이 가능한 신경망기법을 제시하였다.

양인태(2001)등은 도로의 최적노선 결정을 위한 GIS와 AHP적용연구에서 다양한 결정인자를 지형공간 정보체계를 이용하여 구축하고 AHP를 이용하여 평가하는 기준을 제시하였다.

김응철(2002)은 교차로 특성을 고려한 도로선형 최적화 연구에서 교차로비용산정 모형을 개발하고 교차로 국소최적화 방법을 새로이 제시하여 최적대안 탐색과정의 유연성을 증대하였다.



표 1. 국내의 선형최적화 연구

연구 목적	접근 방법	연구자
3차원 지형분석 모듈개발	3D-GIS, 토공량	김성철(1995)
도로설계 시뮬레이션	3D-GIS, 가상공간	최현(2001)
3차원 도로노선 설계	3D-GIS, 종평면도	김태훈(2000)
인자의 가중치 평가 및 최적노선 선정	GIS, AHP, 결정인자	양인태, 김동문(2001)
최적노선 선정	GIS, 신경망 알고리즘	이종달(2001)
선형최적화 비용요소 보완	GIS, 유전자 알고리즘, 비용요소	강인준, 이준석(2002)
3차원도로 선형최적화	매개변수 유전자 알고리즘, 비용함수	김응철(2002, 2004)

컴퓨터 성능향상으로 1990년대에 들어 측량학에서 3차원 지형공간 정보체계 분야가 발달하면서 도로의 설계자동화가 진전되었고, 최근에는 인공지능(AI)분야인 유전자 알고리즘과 신경망이론을 적용하여 도로 선형최적화에 관한 연구가 진행되고 있다.

김성철(1995)은 3차원 지형모델링을 활용한 지형분석 모듈개발에 관한 연구에서 지형분석의 기본적인 이론을 제시하고 지형분석 모델을 개발하였는데 3차원 지형모델링을 바탕으로 경사각, 절토량, 성토량, 저수량을 계산할 수 있는 개별적인 모듈을 개발하였고 GIS를 이용한 3차원 분석은 고도 같은 연속적인 자료를 이용한 격자와 불규칙 삼각망의 공간모델을 이용하여 점의 고도, 프로파일, 가시권, 경사로를 구할 수 있도록 하였다.

최현(2001)등은 3차원 지형공간 정보를 이용한 도로 시뮬레이션 기법에서 3차원 가상현실 구현을 위한 3D-GIS를 기반으로 도로설계 시뮬레이션 기법에 대한 도입의 적

용가능성과 필요성을 제시하였다.

김태훈(2000)등은 수치지도를 이용한 3차원 도로 노선결정 연구에서 수치지도에 이미 설계된 노선의 설계조건을 입력한 후 종·평면도를 산출하고 토공량을 산정한 후 주행 시뮬레이션을 수행하였다.

2.2.2. 외국의 선형최적화 연구

도로설계모형은 공간상의 두 지점을 연결하는 수많은 노선대안을 평가하기 위하여 개발되었다. 모형 개발 초기인 1960~70년대에는 주로 2차원적인 평면선형 또는 종단선형만을 대상으로, 토공비용 등 한 두가지의 단순한 비용항목과 단순한 지형을 대상으로 모형이 개발되었다.

최근에는 인공지능방법의 하나인 유전자 알고리즘을 모형에 사용되는 탐색 알고리즘으로 이용하여 3차원 최적화 모형의 개발이 이루어지고 있어 도로의 평면 및 종단선형을 동시에 고려하는 방법이 개발되었다.

표 2. 도로선형 최적화 모형 연구

최적화목표	접근 방법	연구 문헌
평면선형	변수의 계산	Wan(1995), Howard et al (1968) Tamson and Sykes(1998), Shaw and Howard (1981 and 1982)
	네트워크 최적화	OECD(1973), Turner and Miles(1971), Athsanassoulis and Calogero(1973), Parker(1977), Trietsch(1987 and 1987b)
	다이나믹 프로그래밍	Hogan(1973) and Nicholson et al.(1976)
종단선형	유전자 알고리즘	Jong(1998)
	다이나믹 프로그래밍	Puy Huare(1973), Murchland(1973), Goh et al.(1988) and Fwa(1989)
	선형 프로그래밍	ReVile et al.(1997) and Chapra and Canale(1988)
	통계연구	Hayman(1970), Goh et al.(1988), Robinson(1973), Fwa(1989) and MINERVA(OECD, 1973)
평면선형과 종단선형 동시	유전자 알고리즘	Jong(1998)
	다이나믹 프로그래밍	Hogan(1973) and Nicholson et al.(1976)
	통계연구	Chew et al.(1989)
	2단계 최적화	Parker(1977) and Trietsch(1987a)
	유전자 알고리즘	Jong(1998)

자료) A dopted from Jong (1998) and JHA(2000). partiy revised
 김응철(2004) 도로선형최적화를 위한 유전자 연산자의 적용, 대한교통학회지 제22권 2호, p.251 인용



3. 선형최적화 모형 개요

3.1 선형최적화를 위한 매개변수 묘사법

도로노선 선정을 위한 선형최적화(Jong, 1998; Jha, 2000; Kim, 2001; Jong et. al., 2003 및 2001)는 이론적으로 무한한 노선대안들 중에서 목적함수(노선대안의 총 비용함수)를 최소화하는 동시에 다양한 설계제약요소들을 만족시키는 최적노선대안을 탐색하는 것으로 정의할 수 있다.

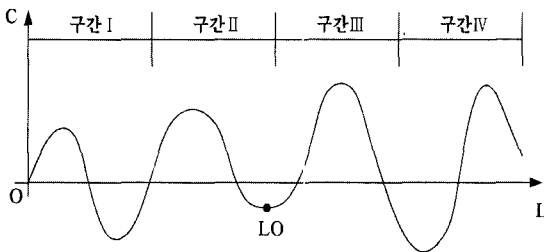
이것을 모형으로 표현하면

$$\text{Min } T_C = S_C + U_C$$

여기서, T_C = 대안노선의 총 비용

S_C = 공급자 비용

U_C = 사용자 비용



- L_0 = Local Optimum(국소최적점)
- 현행 노선 선정방법에는 구간별 단계별 노선검토를 실행하므로 국소최적점에 함몰되는 한계 발생 가능성 있음

그림 2. 공간상 곡선의 매개변수적 묘사

도로선형은 기본적으로 도로공학적 제약요소(예 : 최소곡선반경)를 반영한 3차원 공간상의 곡선임은 위에서 설명하였다. 이러한 도로선형을 묘사하기 위해서는 매개변수 묘사법이 유용하다(Lovell, 1999; Mortenson, 1997). 진한 대문자가 공간에서의 벡터를 표현하기 위해 사용되었으며 그림 2는 공간상에서의 곡선을 묘사하는 예를 보여준다.

정의(Definition): $P(u)$ 를 도로선형 L 상의 위치 벡터로 가정하자.

여기서,
$$\frac{\int_0^u \|P'(t)\| dt}{\int_0^1 \|P'(t)\| dt}$$

그리고
$$\|P'(t)\| = \sqrt{(x'(u))^2 + (y'(u))^2 + (z'(u))^2}$$

기본적으로 P 는 u 에 의해 매개변수화 되며 u 는 P 의 위치까지의 곡률경로를 나타내는 비율로 표시된다.

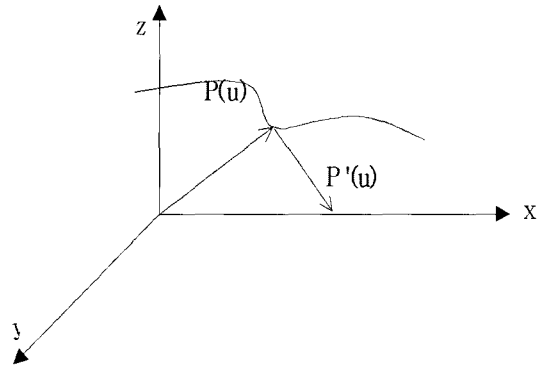


그림 3. 공간상 곡선의 매개변수적 묘사

만약, L 이 도로 출발점($S=(X_s, Y_s, Z_s)T$)과 도로종점($E=(X_e, Y_e, Z_e)T$)를 연결하는 도로선형이라면, 위치벡터 $P(u)$ 는 $P(0)=S$ 와 $P(1)=E$ 를 만족해야 한다. 또한 $P(u)$ 는 간격 0과 1사이에서 ($u \in [0, 1]$) 연속하여야 하는 동시에 연속적으로 미분 가능하여야 한다.

3.2 최적화 과정 및 유전자 알고리즘

(1) 결정변수(교차점)

도로설계과정에서, 교차점(P_i)은 초기선형의 작성 시 사용된다. 그러므로, 교차점(P_i)은 도로선형최적화 모형의 결정변수(decision variable)가 되며, 이러한 교차점들의 한 집합(set)이 특정한 도로선형 대안을 표시한다.

(2) 도로선형대안의 유전자 암호화

각각의 교차점(P_i)은 3차원 좌표에 의해 표현된



다. n 개의 교차점에 의해 적성된 도로선형 대안은 $3n$ 개의 유전원질(gene)로 구성된 암호화된 염색체(encoded chromosome)로 표현된다. 즉, 염색체(노선대안)는 아래와 같이 정의될 수 있다.

$$\Lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_{3n-2}, \lambda_{3n-1}, \lambda_{3n}]$$

$$= [x_{p1}, y_{p1}, z_{p1}, \dots, x_{pn}, y_{pn}, z_{pn}]$$

여기서, Λ = 염색체

λ_i = i th 유전원질, $i=1, \dots, 3n$

(x_{p1}, y_{p1}, z_{p1}) = 교차점에서의 좌표, $i=1, \dots, n$

(3) 목적함수

현재 개발된 도로선형 최적화 모형에서는 목적함수를 작성함에 있어 다양한 설계관련 요소들 중, 이론적으로 모형화 및 정량화가 가능한 다섯 가지 주요 항목 즉, 사용자비용(C_U), 토지보상비(C_R), 포장비(C_P), 토공비(C_E) 및 구조물비용(C_S)으로 구성된 총 비용함수로 작성하였다.

$$\text{Minimize } x_{p1}, y_{p1}, z_{p1}, \dots, x_{pn}, y_{pn}, z_{pn} \quad C_T = C_U + C_R + C_P + C_E + C_S$$

$$\text{Subject to } x_0 \leq x_p \leq x_{\max}, -\forall i=1, \dots, n$$

$$y_0 \leq y_p \leq y_{\max}, -\forall i=1, \dots, n$$

여기서, (x_0, y_0) = 연구대상지역 좌측하단의 X, Y 좌표

(x_p, y_p) = 교차점(P_i)의 X, Y 좌표

(x_{\max}, y_{\max}) = 연구대상지역 우측상단의 X, Y 좌표

사용자 비용은 주행시간비용, 자동차 주행비용 및 사고비용을 포함하고 있으며(Jong et. al., 2000) 토지보상비는 도로선형에 의해 점유된 토지의 보상비용과 그 토지에 존재하는 건물등의 보상비를 포함한다(Jha & Schonfeld, 2000). 여기서 구조물 비용은 교량, 터널, 교차로 및 인터체인지를 포함한다(Kim, 2001).

(4) 유전자 연산자

Jong(1998)은 최적의 도로선형을 탐색하기 위해 8개의 유전자 연산자를 도입하였다(Jong, 1998). 개발된 8개의 유전자 연산자는 유전자 알고리즘에서 기본적으로 연구되어진 돌연변이 연산자와 교차연산자의 개념에서 시작하여 도로선형 최적화 문제에 적합하도록 재설계된 연산자들이며 그들의 특징은 다음 표 3과 같다.

3.3 비용함수 구성

3.3.1 비용항목별 민감성

도로설계에 고려해야 할 비용항목은 기본적으로

표 3. 8개 연산자의 특성

연산자 종류		특징	
돌연변이 연산자	균일 돌연변이	하나의 특정교차점(P_i)의 x, y 좌표를 무작위로 변화	-탐색영역(searchspace)의 전체공간탐험(exploration)을 가능하게 함 -각각의 연산자는 하나의 노선대안(offspring)을 생성
	직선 돌연변이	두 개의 특정교차점(P_i, P_j)간을 직선으로 연결	
	비균일 돌연변이	하나의 특정교차점(P_i)의 x, y 좌표를 초기에는 무작위에 가깝게, 그리고 점차 변화폭을 줄여 변화	
	전체 비균일 돌연변이	모든 교차점의 x, y 좌표를 초기에는 무작위에 가깝게, 그리고 점차 변화폭을 줄여 변화	
교차 연산자	단순교차	하나의 교차점을 선정하여 두 개의 노선대안을 교체	-뛰어난 노선대안의 형질을 다음 노선대안(offspring)의 생성시 전이 -각각의 연산자는 두 개의 노선대안(offspring)을 생성. 단, 학습교차연산자는 하나의 노선대안(offspring)만 생성
	두 개의 점을 이용한 교차	두 개의 교차점을 선정하여 두 개의 노선대안을 교체	
	산술교차	두 개의 노선대안의 중간에 두 개의 새로운 노선대안(offspring)을 생성	
	학습교차	두 개의 노선대안 중 우수한 노선대안의 형질에 가깝게 새로운 노선대안(offspring)을 생성	



도로용지 보상비와 건설공사비가 포함된다. 부가적으로 계획·설계·감리 및 행정비용을 제경비 항목으로 포함한다.

국가의 기반시설인 도로의 건설사업비는 효율적으로 집행되어야 하는 공공예산이므로 도로설계시 경제성 분석을 위한 편익산정을 위해 차량운행비, 통행시간비용, 사고비용 등을 포함한다. 그동안의 타당성 조사에서 간과되었던 공공시설물 생애주기비용(LCC, Life Cycle Cost)을 포함하는 포괄적인 도로 비용모델이 제안되었다.

또한 최적노선 탐색을 위해 목적(비용)함수를 구성해야 한다. 주요한 구성인자를 찾기 위해서 선형변화에 따라 지배적인(dominating) 요소와 민감한(sensitive) 요소를 분류하였다.

3.3.2. 공중별 비용함수

(가) 토공비용

양단면 평균법은 토공량 추정에 자주 사용되는 방법이다. 그것은 두 연속되는 횡단면의 양 단면적의 평균치와 거리를 곱하여 산출한다.

$$V = L \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right)$$

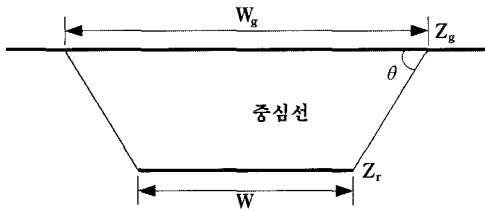
여기서, V = 토적(m^3), A_1, A_2 = 양단면(m^2),
 L = 거리(m)

$$V = \frac{L}{6} (A_1 + 4A_m + A_2)$$

여기서, A_m = middle area(m^2)

표 4. 도로건설 비용항목

대분류	세부분류	비 용 항 목	선형에 대한 민감도			비용함수 적용방식
			소	중	대	
공 급 자 비 용	행정비	설계·감리·관리비	√			생략
	건설비	지가보상비용			√	토지이용별, 면적당 공시지가
		토공비용			√	횡단면적, 거리, 단위 공사비
		포장비용			√	포장면적, 두께, 단위공사비
		배수비용	√			생략
		안전·부대비용	√			생략
	구조물비	교차로 건설비용			√	생략
		교량 및 터널 건설비용			√	교량경간장, 교각수/터널반경, 연장
		인터체인지 건설비용			√	IC의 leg길이, R, 단위공사비
		단순입체교차 건설비용			√	표고차, 거리
	유지관리비	포장 유지보수관련 비용	√			포장유지비
		도로변 관리비용	√			토량유실보수
		안전시설물 관리비용	√			조명시설보수
사 용 자 비 용	주행비	VKT(Vehicle Kilometer Traveled)			√	시간가치
	교통사고비	교통사고율			√	사고율과 단위시간당 사고비 추정
	차량운영비	연료, 타이어마모 등 차량노후비용			√	연료, 타이어, 차량 감가상각
	환경비	소음관련 비용		√		
		오염관련 비용		√		
		환경 및 사회적 비용			√	

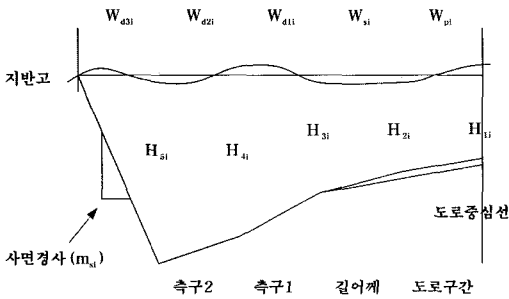


W_g = 절토 지반폭(m)
 W = 계획 도로폭(m)
 Z_g = 도로 중심선 지반고(m)
 Z_r = 도로 중심선 계획고(m)
 θ = 사면경사(degree)

그림 4. 일반적인 횡단면 절토계획

$$A_{c1} = \frac{1}{2}(W + W_g)(Z_g - Z_r)$$

토공량 산정과정에서, 지반면이 고르지 않을 경우 도로 중심선의 지반고를 확인하기 위해 Moavenzaher는 불규칙한 지형에서 토공량 산정 방법을 개발했다. 그들은 설계기준에 의해 여러 조각으로 나누어진 횡단면의 계산을 위한 분석적 방법을 소개했다. 그림 4와 다음 식은 전형적인 절단 부위에 기반한 기본개념을 보여준다. 그러나, 이 방법은 도로면의 가장자리, 즉 길어깨와 같은 많은 참고 지점을 제공하지 못한다.



$H \cdot i$ = 참고점의 표고(m)
 $W \cdot i$ = 절편의 폭(m)
 m_i = 사면경사(degree)

그림 5. 상세 단면 작성도

$$A_{ci} = 2\left[\left(\frac{H_{li} + H_{2i}}{2} * W_{\pi}\right) + \left(\frac{H_{2i} + H_{3i}}{2} * W_{di}\right) + \left(\frac{H_{3i} + H_{4i}}{2} * W_{di}\right) + \left(\frac{H_{4i} + H_{5i}}{2} * W_{d2i}\right) - \left(\frac{H^{2s_i}}{2m_{3i}}\right)\right]$$

자동화된 최적화 과정에서 도로횡단부분의 각각 참고지점의 지면표고는 또한 자동적으로 찾아야 한다.

공간곡선상의 벡터 표시와 정의에 기반한 벡터 표기를 이용한 도로선형 묘사는 다음과 같다. I 번째의 station이 7개의 참조점을 가진다고 가정하자. 그렇다면 도로선형 최적화 모형에서 습득된 도로 중앙선은 다음과 같다.

$$S_i = X_{Si}^C = [x_{xi}^C, y_{xi}^C, z_{xi}^C]^T$$

여기서, X_{Si}^C = I 번째 측정 도로 중심점의 3차원 벡터 기호

이동방향에서 다른 관련점을 위한 x,y의 도로좌표를 얻기 위해 따로 조사 되어야 한다. 한편 S_i 는 직선 구간 또는 곡선구간의 어느 곳에도 위치가 가능하다.

(나) 교량공사비

교량공사비를 추정하기 위해 O'connor(1971)에 의해 상부, 하부 구조물을 위한 선형비용함수를 이용한다 (Intelligent Road Design, p.307, 표 12.26, 표 12.27 참조).

$$C_U^B = (a_1 + a_2L) \quad C_L^B = (a_3 + a_4L)$$

여기서, C_U^B = 교량 상부 구조물
 C_L^B = 교량 하부 구조물
 L = 경간장

(다) 터널공사비

터널공사의 토공량 산정 모형은 도로 횡단면 구성 요소의 시설한계항목에서 규정하는 터널 높이(h_t)와 터널폭(w_t) 그리고 원형 굴착단면의 반경(r_t)를 따라



메터로 구성되며, 터널공사비용은 다음과 같이 산출된다.

$$C_E^T = K_T L_T \pi (r_t)^2$$

여기서, K_T = 단위당 터널토공비
 L_T = 터널의 길이

터널공사에서 추가되는 공사비는 굴착비용 이외에 환기·조명·안전설비 교통통제 시스템 비용을 고려할 수 있으며, 일반적으로 150ft보다 짧은 터널에서는 생략될 수 있는 시설들이다.

추가되는 터널비용은 다음과 같이 나타낸다.

$$C_a^T = \alpha_1^T (L^T)^2 + \alpha_2^T (L^T) + \alpha_3^T$$

여기서, C_a^T = 부가되는 터널비용

(라) 기타비용

현재까지 개발된 3차원 최적선형 모형식에는 도로 교차시설(intersection construction cost), 부가차로(underpass and overpass), 입체교차시설(interchange), 포장(pavement)공사비용 함수가 포함되었다.

3.4 비용함수의 보정

3.4.1 배수시설물 비용함수

도로건설비용중에서 배수공사비가 지배적이고 민감한 요소라고 판단되므로 비용함수를 보정하여 적용하는 방법을 모색해 본다. 부대공의 경우 공사비에는 함수관계가 성립할 주요 인자가 없어 여러 공종간의 상관계수를 분석해 적용키로 한다.

도로의 배수시설은 도로구조를 보호하는데 중요한 시설이며, 측구, 도수로, 집수정, 배수관 및 배수암거와 그 부속물로 구성되며 신속한 노면의 배수와 침투수의 차단, 침투된 물의 지하배수, 도로 인접지로부터의 적절한 배수처리가 요구된다(도로배수시설 설계 및 유지관리 지침 (2003. 12 건교부)을 적용한다).

배수시설은 계획홍수량을 산정하고 그 홍수량을

소화할 수 있는 배수구조물 규격을 정하는 순서로 설계 된다.

(1) 설계홍수량 산정

홍수량에 영향을 미치는 지역을 유역면적 ($A\text{km}^2$)이라 하며, 4km^2 이상일 경우는 교량으로 검토하고 그 미만인 경우涵관 등의 일반적인 배수구조물로 계획한다.

계획홍수량 산정에는 합리식(rational method)를 적용한다.

$$Q = \frac{1}{3.6} \cdot C \cdot I \cdot A$$

여기에서,

Q : 첨두홍수량(m^3/sec)

A : 유역면적(km^2)

C : 유출계수(포장면 0.9, 도시지역 0.7, 경작지 0.7, 들판숲 0.2)

I : 홍수도달시간내의 평균강우강도(mm/hr)

본 설계노선에 근접하고 대체적으로 장기우량 기록치를 보유한 지점을 선택하여 그 지점에 대한 중앙기상대 강우량 통계자료를 근거로 각각 강우량-강우시간 - 강우빈도곡선(rainfall intensity-duration-frequency curve)을 작성하므로 그 지점에 있어서 소요확률년에 대한 임의의 지속기간 강우강도를 산정하도록 작성되어있다.

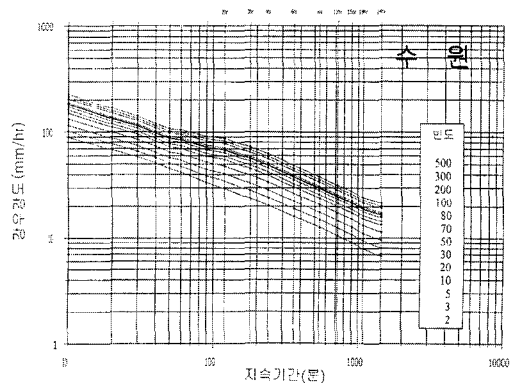


그림 6. 수원지점의 강우강도 - 지속기간 - 빈도 곡선



(2) 배수시설물 규모산정

수로내의 평균유속은 Manning의 식으로 구한다.

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

여기에서, V : 평균유속(m/sec)

S : 수로의 종산경사(m/m)

n : Manning의 조도계수

A : 통수로의 단면적(m^2)

R : 동수반경, 경심 $R:A/P$

P : 윤변(물에 접하는 부분의 길이)

Manning 공식에서 적정유속을 확보할 수 있는 배수구조물의 규격이 경심과 윤변을 통해 결정된다.

따라서 배수공의 계획에서 소규모 일정지역의 유출계수 C 값과 강우강도는 같은 값을 적용하므로 비용함수는 단순화하면 유역면적 A 의 함수라고 할 수 있다.

$$C_D = f(A)$$

여기서, C_D = 배수시설 비용함수

A = 유역면적(km^2)

이것을 확인해보기 위해 도로설계 완료된 자료를 통하여 유역면적과 배수공사비와의 상관관계를 조사하였다.

조사자료는 중부, 영남, 호남, 제주지역의 국도, 지방도, 고속도로 설계자료를 수집하여 공종별 공사비와 연장, 유역면적 등을 조사하여 회귀분석에 의한 상관관계를 분석하였다.

유역면적과 배수공사비와는 상관관계가 적은 것으로 분석된다.

홍수량과 배수시설물 규모와 상관성이 적은 이유는 계산된 홍수량이 적게 산출되었어도 시설물규모는 유지관리를 위하여 일정규모 이상 확보하도록 하는 규정이 있고, 유역면적이 넓어 설계홍수량이 많아지면 교량구조물로 처리되기 때문으로 판단된다.

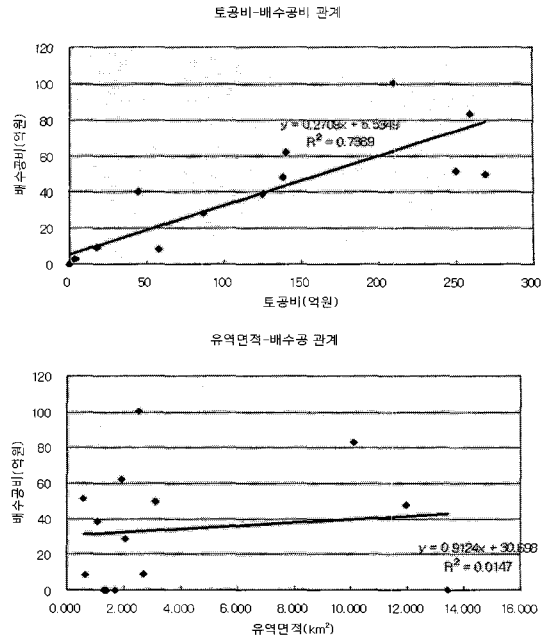


그림 7. 배수공사비 상관관계 분석

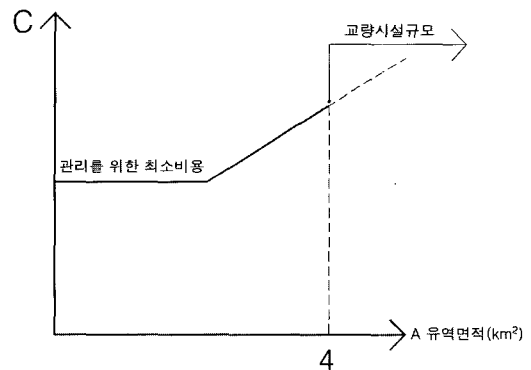


그림 8. 유역면적과 배수시설 규모의 상관관계

3.4.2 비용함수 적용

본 논문에서는 목적함수(비용함수)를 재정립하되, 이론적으로 모형화 및 정량화가 가능한 다섯 가지 주요항목(사용자비용(C_U), 토지보상비(C_R), 포장비(C_P), 토공비(C_B) 및 구조물비용(C_S))으로 구성된 총비용함수로 작성하였고, 배수공은 상관관계가 밀접한 토공비에 보정계수를 적용, 실제에 적합하도록 보정한다.



표 5. 지역별 도로 공사비 비교표

사 업 명	김천~어모 국도	익산~장수 고속도로 제10공구 (친천~장계)	양천~월곡 국도	소천~서면 국도	제주~서귀포 국도	퇴계원~진건 지방도	창녕~고암 국도	포항 영일신항만 배후도로	인보~도계 국도 확장	미양~현매 지방도	부산~울산간 고속도로 제8공구 (덕하~두현)	고속국도 제45호선 (현풍~김천간)
시점 시점	경상북도 김천시 어모면 남산리	전라북도장수군 친천면 춘송리	경상북도 김천 시 양천동	경상북도 울진 군 서면 광회리	제주도 서귀포 시 토평동	경기도 남양주 시 건간음 진관리	경상남도 창원 군 태지면 본초 리	경상북도 포항 시 흥해읍 성곡리 의현마 울	울산광역시 울산광역시 전용리	경기도 안성시 미양면 양지리	울산광역시 울주군 청광면 덕하리	대구시 달성군 현풍면 지리
	경상북도상주시 송성면 기창리	전라북도장수군 계남면 호덕리	경상북도김천시 농소면 월곡리	경상북도울진군 서면 광회리	제주도담례군 남원읍 신해리	경기도 남양주 시 지금동	경상남도 창원 고면면 중대리	경상북도 포항시 북구 흥해읍 용환리	울산광역시 울산광역시 봉개리	경기도 안성시 서운면 현매리	울산광역시 울주군 청광면 울리	경북 고령군 상산면 오곡리
사업시행자	부산지방 국토관리청	한국도로공사	부산지방 국토관리청	부산지방 국토관리청	건설교통부 제주개발 건설사무소	경기도 제2청사	부산지방 국토관리청	포항지방 해양수산청	부산지방 국토관리청	안성시	한국도로공사	한국도로공사
실제년도	2003	2001	2004	2004	1998	2004	2004	2006	1998	2003	2001	2001
설계속도(km)	80	100	80	60	60	60	80	80		60	100	100
폭원(차로수)	20.0m(4차로)	23.4m(4차로)	20.0m(4차로)	10.5m(2차로)	23.5m(4)	20.0m(4차로)	20.0m(4차로)	20.0m(4차로)		8.5m(2차로)	30.6m(6차로)	23.4m(4차로)
연장(km)	11.980	5.031	5.420	6.800	10.080	4.480	8.280	9.680	8.514	4.800	5.860	6.040
유역면적(km ²)	10.083	0.659	1.076	2.044		2.690	1.934	2.531	11.937	3.110	3.110	0.576
총공사비(억원)	691	556	917	708	180	58	508	584	432	32	772	1,013
토공비(억원)	259	58	125	87	45	18	140	210	138	3	269	250
배수공비(억원)	83	8	39	29	40	9	62	100	48	3	50	51
구조물 연장(m)	340	965	1,155	1,510	210		612	491	417	210	1,000	2,630
공사비 공사비 (억원)	139	126	492	293	39	2	206	120	154	13	262	451
터널 연장(m)		5,376	1,790	2,488								912
공사비 공사비 (억원)		271	139	242								51
포장공(억원)	123	54	62	26	25	11	59	98	45	2	107	83
부대공(억원)	87	39	59	32	31	17	40	56	47	11	84	126



Minimize

$$x_{p_1}, y_{p_1}, z_{p_1}, \dots, x_{p_n}, y_{p_n}, z_{p_n} \quad C_T = C_U + C_R + C_p + a \cdot C_E + b \cdot C_S + C_D$$

$$\text{Subject to } x_0 \leq x_p \leq x_{\max}, -\forall i = 1, \dots, n$$

$$y_0 \leq y_p \leq y_{\max}, -\forall i = 1, \dots, n$$

여기서, (x_0, y_0) = 연구대상지역 좌측하단의 X, Y좌표

(x_p, y_p) = 교차점(P_i)의 X, Y 좌표

(x_{\max}, y_{\max}) = 연구대상지역 우측상단의 X, Y좌표

a = 배수공의 보정계수

b = 구조물공 보정계수

3.5 비교항목 설정

표 6. 선형최적화 설계방법과 현행 설계방법의 비교요소

구 분	항 목 별 내 용	
설 계 단 계 시	설계자의 주관성 개입여부	<ul style="list-style-type: none"> •누구나 이해할 수 있는 설계 객관성이 확보되어 있는가? •노선 설계시 어떤 사람이 하더라도 동일한 결과를 도출할 수 있는 객관적인 설계가 수행되었는가?
	설계작업수행방법	<ul style="list-style-type: none"> •설계공종이 단계별로 이루어지는가? 또는 모든 공종을 동시에 수행 가능한가?
	설계최적화방법	<ul style="list-style-type: none"> •단계별로 최적화(optimization)가 이루어지는가? 또는 설계완료후 feedback을 통한 최적화가 이루어지는가?
	동시작업	<ul style="list-style-type: none"> •다수의 설계대안에 대한 동시작업이 가능한가?
	사용자 비용(편익)	<ul style="list-style-type: none"> •사용자 비용(편익:차량운행비용, 통행시간절감, 사고비용, 환경비용 등)을 고려한 설계가 가능한가?
	설계비용 및 인력투입효과	<ul style="list-style-type: none"> •설계비는 공사비 대비 몇 %가 적정 한가? •인력투입대비 효과는 어떠한가?
	설계대안작성시간	<ul style="list-style-type: none"> •설계대안별 작성시간은 어떠한가?
정 책 판 단 시	노선대안수	<ul style="list-style-type: none"> •설계후 대안선택시 제시가능한 대안은 몇개인가?
	의사결정	<ul style="list-style-type: none"> •설계대안에 따른 정책판단자의 의사결정시 합리적인가?
	대안평가속도	<ul style="list-style-type: none"> •대안별 평가에 소요되는 시간은 어떠한가?

선형최적화 설계방법과 현행 설계방법의 비교분석을 위해 표6과 같은 항목을 설정하였으며, 두 개의 설계방법에 대한 결과 도출후 정성적 및 정량적인 분석을 수행하였다.

4. 사례연구

4.1 연구노선 개요

현행 노선설계방법과 선형최적화 설계방법을 비교 연구하기 위하여 동일한 구간을 대상으로 동일한 설계자료를 제공하여 도로설계 경험이 풍부한 고급기술자 4명에게 현행방법으로 노선설계를 실행토록 하고 동시에 선형최적화 설계를 진행하였다.

대상구간은 여러 가지 대안노선이 제안될 수 있는 구간을 선정하였다. 기존도로확장, 우회통과방안, 터널, 교량, 토공구간이 고르게 발생할 수 있고 장래 교통량 증가가 예상되는 수도권내 지방도로를 선택하였다.

4.1.1 설계기준

본 사례연구를 위하여 아래와 같은 설계기준을 선정한 후 기본적인 설계요소 및 교통량 등에 대해 설계기준을 설정하였다.

또한, 사례노선에 대한 교통수요예측을 개략적으로 수행하여 장래교통량 29,000대/일로 예측하여 적용하였으며, 노선에 대한 장래 공용기간은 20년, 할인율은 예비타당성 지침(도로철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완연구 제 4판, 한국개발연구원, 2004.9)에 의한 6.5%로 설정하여 선형최적화 설계방법과 현행 설계방법의 비용편익 분석을 수행하였다.

- 도로시점:경기도 화성시 비봉면 자안리
($X=189289.3648, Y=410687.0184, Z=17$)
- 도로종점:경기도 화성시 봉담읍 분천리
($X=194659.8449, Y=410833.9836, Z=71$)



- 도로연장 : L=6.4km
- 도로구분 : 지방지역 보조간선도로
- 설계속도 : 70km/h
- 도로폭원 : 20.0m(4차로)
- 공용기간 : 20년(2026년)
- 장래교통량 : 29,000대(AADT)
- 할인율 : 6.5%

- 생태자연도(환경부)
- 유물지도(경기도 박물관)
- 농지현황등급(지적도)
- 주변관련계획 종합도

4.2 노선선정 방법별 설계요소 비교

4.1.2 설계참고자료

사례연구를 수행하기 위한 자료로 아래와 같은 자료가 설계참고자료로 공히 사용되었으며, 선형최적화 설계방법에서는 아래의 자료가 도면상으로 표시되지 않고 디지털맵화(digital mapping)하여 표시되었다.

- 수치지도
- 노선조사자료 및 사진
- 지질도(한국자원연구소)
- 공시지가자료

노선설계방법과 현행 도로설계방법 모두 노선계획·설계지침에 부합되고 있다. 사회적인, 경제적인, 기술적인 및 교통·환경요인을 모두 고려하고 있다. 도로비용 측면에서는 선형최적화 설계가 공급자비용과 사용자비용을 동시에 고려하면서 최적노선을 탐색하는 반면에 현행 설계방법은 건설비용을 중점적으로 노선을 검토하고 다음 단계에서 유지비용과 사용자비용을 고려하여 경제성을 평가한 후 최적노선을 선정한다.

선형최적화 설계방법은 건설비용 함수를 구축하여 유전자 알고리즘으로 시·종점간 전체구간에서 가장

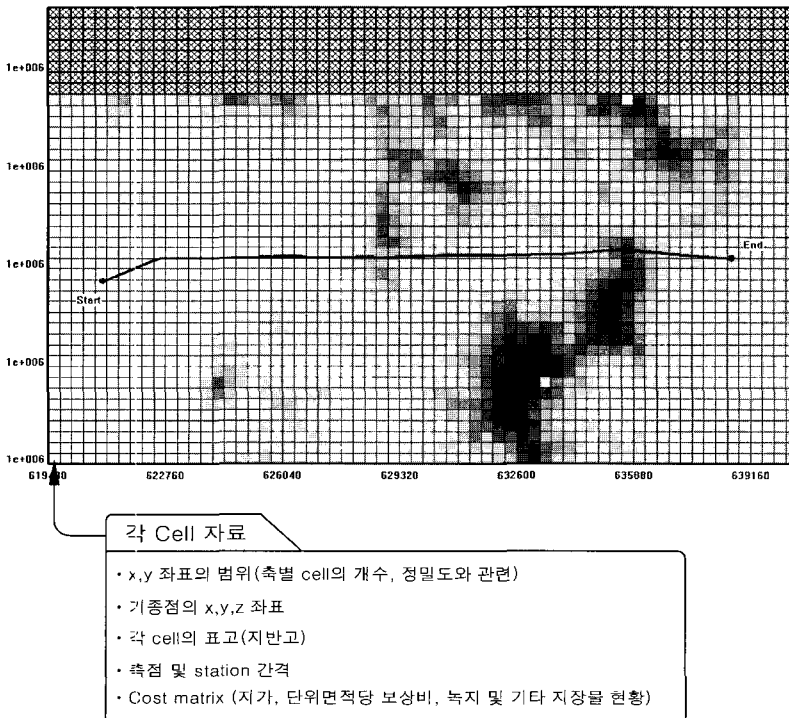


그림 9. 선형최적화 설계방법 입력예

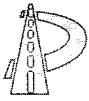


표 7. 선형최적화 설계방법과 현행 노선설계방법의 비교

구 분		선형최적화 노선설계방법		현행 노선설계방법
주요 고려요소	사회적요인	사회경제지표, 지역사회여건		좌동
	경제적요인	건설비용, 유지관리비용, 예상편익		좌동
	기술·교통· 환경요인	교통수요, 설계속도 및 기하구조, 시공가능성·안전성, 환경저촉최소화		좌동
공급자 비용	분류	비용항목	비용함수 적용방식	기본설계단계의 설계
	행정비용	설계·감리비	생략	총사업비중 차지하는 비율이 매우 적어 생략
	건설비용	용지보상비	토지이용별, 면적당 공시지가	RD 프로그램으로 면적산출 후 지목별 공시지가 적용
		토공공사비	횡단면적과 거리, 단위공사비	RD 프로그램으로 횡단면적과 토공물량 자동산출
		포장공사비	단위면적, 두께, 단위공사비	RD로 물량산출
		배수공사비	회귀분석으로 공사비를 적용	유역면적으로 계획홍수량 산출후 배수시설물 규격결정
		부대공사비	회귀분석으로 공사비를 적용	토공·배수·구조·포장공사비의 15% 추산 적용
	구조비용	교차로	생략	도로 부대시설로 간주
		교량과 터널	교량경간장, 교각수/터널 반경, 연장, 단위공사비	경험식에 의한 단위공사비 적용
		인터체인지	IC의 Leg 길이, 랩프반경, 단위공사비	경험식에 의한 단위공사비 적용
경사연결로		표고차, 거리	경험식에 의한 단위공사비 적용	
유지관리비		실적통계치	노선선정단계에서는 정성적으로 감안	
사용자 비용	통행시간 비용	차량통행거리(VMT)	교통량 통계	노선선정단계에서는 생략하고 다음 단계에서 경제성 고려
	사고비용	사고율 추정	교통량과 사고율	노선선정단계에서는 생략하고 다음 단계에서 경제성 고려
	차량 운영비용	연료, 차량 감가상각	Webster 모형, HCM 방법	노선선정단계에서는 생략하고 다음 단계에서 경제성 고려
	환경비용	대기오염, 소음비용	생략	생략
사회·환경적으로 민감한 사항		용지보상비로 대체	정성적 판단으로 우회하여 노선 설정	
설계 TOOL의 특성	모형식을 구축하여 설계조건을 입력하면 유전자 알고리즘으로 가장 경제성 있는 최적노선을 탐색함			설계자가 노선을 직선으로 설계하여 IP점을 정하고 입력된 설계조건에 따라 RD 프로그램으로 자동화 설계함
소요 자료	비용함수가 요구하는 세부적 변수(예 : 성토구배, 토량환산 계수, 유류대, 사고비용 등)			<ul style="list-style-type: none"> • 도로등급, 설계속도, 설계교통량 등 계획기준 • 도로선형의 기하구조 결정을 위한 설계기준 • 공사비 산출을 위한 공종별 단위공사비 • 수치지도, 지질도, 생태자연도, 유물지도, 지적별 공시지가 등

경제성 있는 최적노선을 탐색한다. 반면에 현행 설계 방법은 설계자가 지형여건을 고려하여 구간별로 직선으로 계획하여 IP점을 선정한 다음 입력된 설계조건에 따라 도로설계 프로그램인 RD프로그램을 이용해 자동화 설계로 진행한다.

선형최적화 설계방법은 모형식이 요구하는 세부적

인 데이터를 입력하므로 정량적인 설계방법이며, 현행 설계방법, 특히 노선선정이 주관적인 기본설계 단계에서는 설계속도, 곡선반경, 최대경사 등 주요 설계기준을 준수하면서 노선을 계획하되 공사비 부분은 최근 설계공사비를 원단위화하여 적용하는 경험적 정성적인 설계방법이다.



현행설계방법은 숙련된 도로기술자가 사회·경제적인 요소를 감안하며 기술적 기준이 충족되도록 지형 순응형 노선을 설계한다. 주요한 구간(control point)을 집중적으로 검토하여 노선을 설계하므로 부분 최적(local optimum)이 달성된다. 반면에 선형최적화 설계법은 시종점 전체구간의 체계최적(global optimum, system optimum)을 목표로 한다. 다음 절에서는 사례연구를 통하여 최종 선정된 노선의 특성을 비교한다.

4.3 선형최적화 설계 입력자료 (data input)

현행 설계방법은 현행방법을 통한 상당히 복잡한 설계자료가 필요하다. 선형최적화 설계방법은 아래와 같이 다소 간단한 작업을 통해 많은 자료의 입력

이 가능하다. 또한, 추가로 입력되는 자료가 있다면 공중에 따른 각각의 모듈을 수정함으로써 효과적인 입력자료의 시간을 단축시킬 수 있다.

4.4 노선설계결과

4.4.1 현행 및 선형최적화 노선설계결과 개요

사례연구로 수행한 노선설계는 상호비교를 위하여 지형도상에 출력하였다. 현행 설계방법으로 수행한 1, 2, 3, 4안과 선형최적화 설계방법으로 설계하되 배수공, 부대공, 가시설공등 일부 비용이 누락된 연구모형식을 이용한 A안, 누락된 부분을 보완하여 구축된 모형식으로 설계된 B안, 1, 2, 3, 4안과 같은 개념으로(사용자비용 : 편익제외) 설계된 C안을 각각 출력하여 비교도면으로 작성하였다.

표 8. 선형최적화 설계방법 입력자료

구 분	입력자료	내 용	입 력 자 료	내 용
설계 요소	계획도로폭	20m(4차로)	분석기간(년)	20년
	IP점의 수	자동생성	이자율	6.5%
	측점, station 간격	30m	AADT	29,000 대/일
	설계속도	V=70km/hr 지방지역보조간선	중방향계수	60.8%
	마찰계수 fs	0.16	설계시간계수	0.10
	superelevation	0.06	중차량비율	12.8%
	최대 종단경사(%)	평균 6.5% (기준:평지 5%,산지 7%)	중차량 중 소형 트럭 비율	20.0%
	rolling friction (decimal)	0.28	중차량 중 대형 트럭 비율	80.0%
	성토구배	1:1.65(1차 소단 6m까지) 1:1.5(2차 소단 6m까지)	토량 환산계수	0.9
	절토구배	1:1.2(1차 소단까지 5m~1:1.2, 리핑암 1:0.9 2차 소단까지 ~1:1.5, 발파암 1:0.65)	-	-
단 위 공사비	연장단위 건설·유지비 포장비	1억4천만원/차로·km당	성토비용	
	디젤유(경유)가격	983원/li	이동비용(각기)	
	가솔린	1,248원/li	운반비용(성토)	
	절토비용	2,800원/m ³ (토사:1,170원/m ³ , 발파암:11,900원/m ³ , 리핑암:2,100원/m ³)	-	-

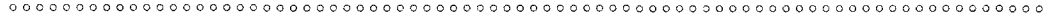


4.4.1 현행 설계방법에 따른 설계대안별 노선 특징

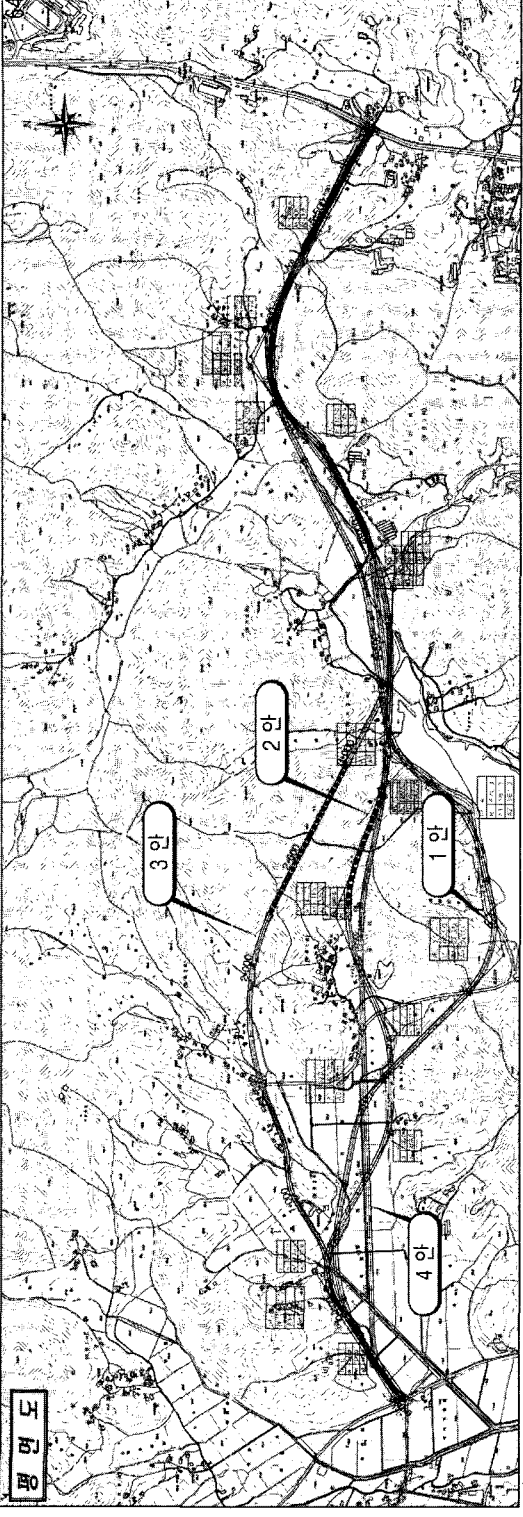
구 분	비교 1안	비교 2안	비교 3안	비교 4안	공사단가(원)	비 고
연 장	L=5.85km	L=6.01km	L= 5.95 Km	L=5.89km, B=20.0m (4차로)		
주요경유지	화성시 비봉면 청요2리~청궁1 리 ~ 왕림리	화성시 자안리 ~ 기천저수지	청궁2리, 재골, 상기1리	자안리~청요리 ~상기리~ 왕림리		
구조물 현황	터 널 (연장/개소)	500m/1개소	-	460m/1개소	710m/1개소	
	교 량 (연장/개소)	36m/3개소		85m/3개소	140m/3개소	
사업비 (억원)	공사비	367	344	374	603	
	보상비	59	70	70	47	
	계	426	413	444	650	
공 사 비 내 역 (억원)	토공	54	128	54	56	
	배수공	15	15	19	21	
	교량공	11		17	26	20,689,655 공사비평균(원/m), 여타기준은 43,279,100원/m)
	터널공	83		46	142	10,000,000 NATM 터널 2차로 기준 (원/m)
	포장공	42	53	42	42	755,274 공사비 평균(원/m)
	부대공	31	29	27	43	

4.4.2 선형최적화 설계방법에 따른 설계대안별 노선 특징

구 분		A안 (공사비미보정, 유지비,사용자비 포함)	B안 (공사비미보정, 유지비,사용자비 포함)	C안 (공사비미보정, 유지비,사용자비 포함)
공사비	터널1	14	108	74
	터널2	22	69	39
	터널3	60	-	69
	터널4	-	-	25
	교량1	36	-	-
	토공	91	63	70
	포장	41	41	42
	합 계	264	280	319
용지비		49	63	49
소 계		313	343	367
토공 + 구조물		223	239	276
포장 + 유지관리		694	1,171	-
유지관리		653	1,130	-
편익비	연료절감비	389	436	-
	시간절감비	1,915	1,900	-
	사고감소비	38	28	-
	합 계	2,342	2,364	-



현행 설계안 중 평면도



종단면도

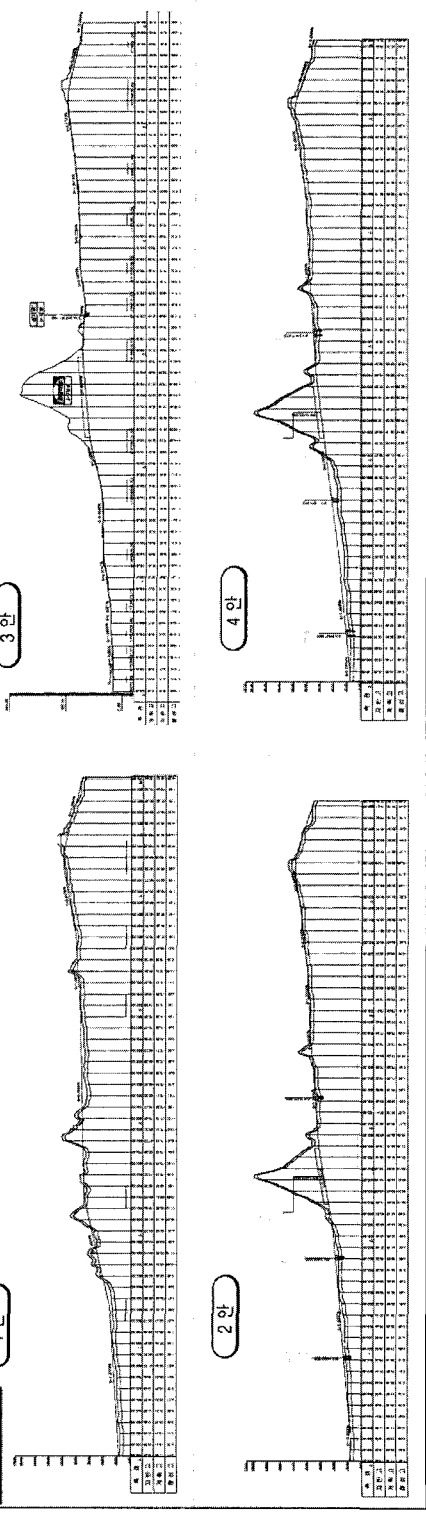
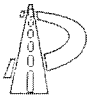
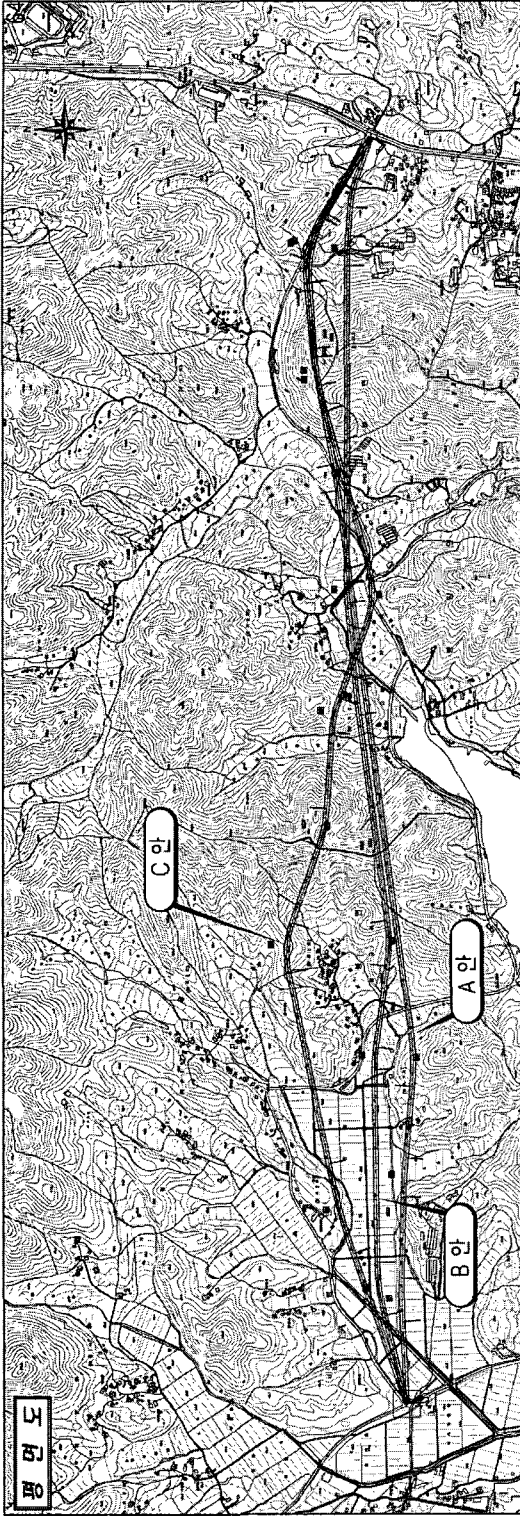


그림 10. 현행 설계안 중 평면도



지능형 설계안 중 평면도



종단면도

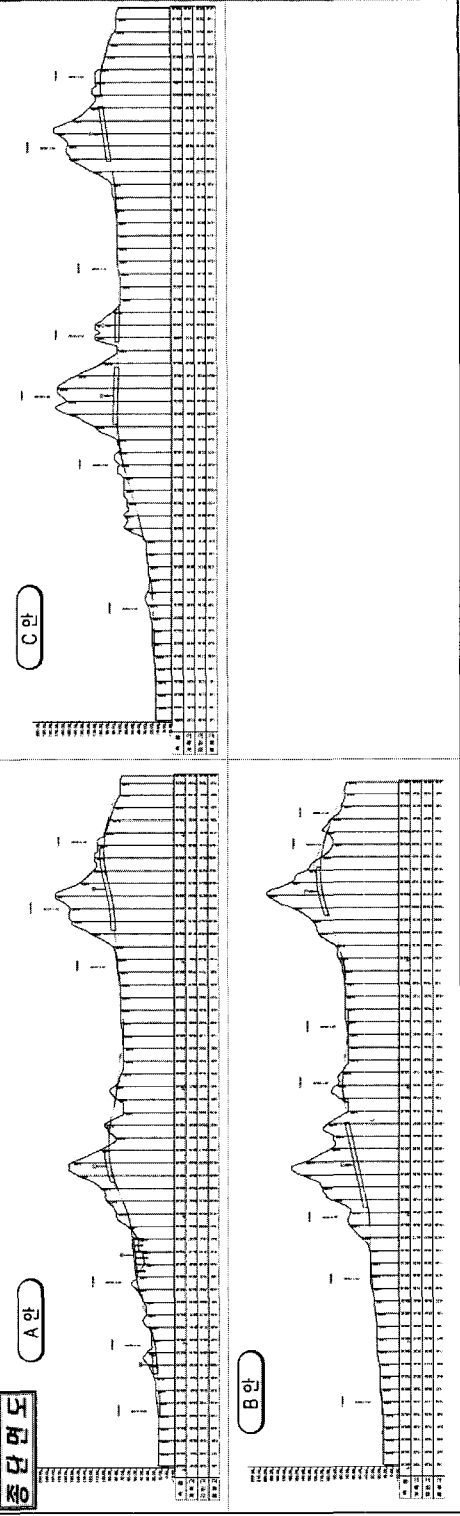


그림 11. 신형최적화 설계안 중 평면도



4.5 현행 도로 설계결과와 선형최적화 설계결과 비교

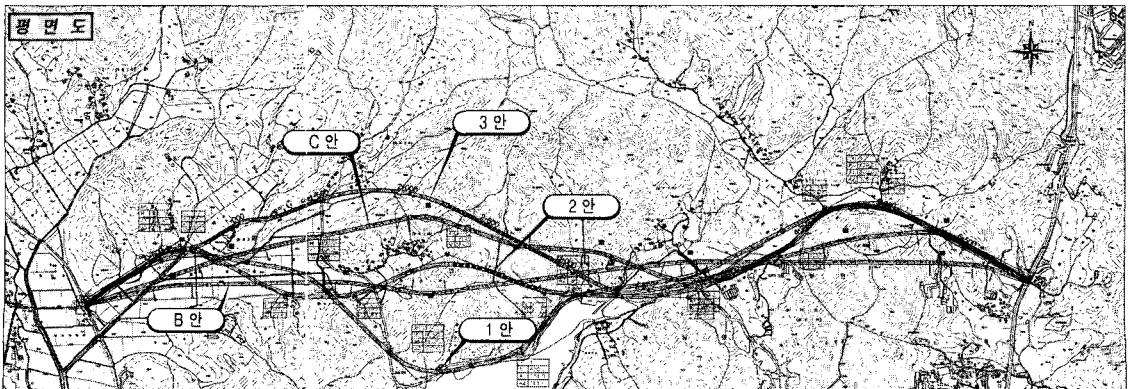
현행 노선설계방법은 설계자가 축적된 경험으로 사회·경제·기술적 사항을 정성적으로 판단하여 설계 구간별 최적노선을 선정하는 방식이다. 직선적으로 노선을 계획하고 IP점을 정한 후 곡선설계를 하여 구간별로 노선을 정하고 순차적으로 전구간의 최적 노선을 선정한다. 또한, 공사비 측면에서 최적노선을 정하고 그 노선의 유지비와 사용자 비용을 포함한 경제성을 다음 단계에서 판단한다. 즉, 현행 노선설계

방법은 국부최적상태라 할 수 있다.

반면에 선형최적화 설계는 목적함수를 구성하여 유전자 알고리즘으로 최적해를 탐색하여 시스템(체계) 최적의 노선을 선정한다. 비교 연구 결과 선형최적화 설계에서는 주요공종의 주요 변수만으로 비용함수를 구성하여 도로건설에서 수반되는 부수적인 공종의 비용을 누락한 점이 발견되어 배수공, 부대공의 비용을 추가하여 노선설계를 실행한 결과 실행가능한 선형설계 결과를 출력할 수 있었다. 비교를 위하여 선형최적화 설계 모형식에서 유지비용과 사용자 비용을 제외하고 노선설계를 한 결과, 현행 노선

표 9. 평면도상의 특성

노 선		노 선 특 성	연장(km)	건설비(억원)	B/C
현행 설계 방법	1안	기존 노선 확장안. 연장은 길으나 공사비 절감하여, 경제성 우수함. 지역사회적 여건 수용안	6.01Km	413	1.36
	2안	저수지구간 우회 터널로 통과. 기존 선형개량, 이동성, 접근성 절충안	5.85km	426	1.33
	3안	평지부 기존선형개량, 저수지구간 우회터널로 통과, 우회거리 길고 터널 과대 발생	5.89km	650	0.91
	4안	2안과 유사성이 많아 편의상 생략	-	-	-
선형 최적화 모형 방법	A안	배수공, 부대공사비 등 일부 비용누락	-	-	-
	B안	최적 노선 탐색 결과 분석기간내 경제성을 확보하기 위해 사용자 비용이 절감되는 최단거리 직선 지향형 노선임	5.41km	342.8	1.60
	C안	현행 설계 방법대로 사용자 비용은 제외하고 건설비측면에서의 국부최적이 달성됨	-	-	-





설계방식대로 기술자의 정성적 판단으로 노선설계한 결과와 유사한 선형이 출력되었다. 그러므로, 선형최적화 설계가 분석년도(20~30년)동안 사용자 비용과 유지비, 건설비가 총 망라된 최적노선을 탐색하는 기능이 있음을 알 수 있다.

5. 결론

도로의 구조·시설기준에 관한 규칙과 국도의 노선 계획 설계지침에 준하여 실행되는 현행 노선설계방법과, 컴퓨터 발전과 함께 국내외에서 연구되고 있는 선형최적화 도로설계 방법으로 사례연구 구간의 도로 노선설계를 실행하여 노선특성을 비교·분석해본 결과, 현행 설계 방법은 단계별, 구간별로 노선계획이 이루어지는 국지적최적 상태이나, 선형최적화(모

형식) 설계방법은 체계최적(system optimal)의 노선탐색 능력이 있는 것으로 분석되었다. 다만 비용함수 구성과정에서 수많은 공사 변수를 모두 담아내지 못하는 한계가 발견되어서 주요 공종에 대해서는 비용함수에 추가로 포함시켜 노선설계를 해 본 결과 현실에 부합되게 도로개설이 가능하고 경제성이 높은(B/C=1.66) 노선이 탐색되었다. 그러나, 선형최적화 설계모형은 터널 중단에서 중단경사가 변화하는 등 보완될 점이 지적되었다.

그럼에도 선형최적화 설계방법은 타당성 조사와 기본설계 단계에서 노선설계 tool로서 아래와 같이 많은 장점을 지니고 있음이 확인되었다.

도로건설과정에서 나타나는 수많은 요소들은 수학적 모형식으로 일반화하기는 매우 어려운 과제이며, 지속적인 연구가 필요한 향후 연구과제로 남아 있다.

표 10. 현행설계방법과 선형최적화 설계방법 차이

구 분	현행 설계방법	선형최적화 설계방법	선형최적화 설계방법의 우수점	
설계 단계시	설계자의 주관성	개입	불개입	설계 객관성 확보 (현행설계방법은 설계자에 따라 다른 결과 도출되나 선형최적화 방법은 동일한결과 도출)
	설계작업수행방법	순차적 (2차원)	통합적 (3차원)	현행설계방법은 한 단계 완료후 다음 단계 작업가능
	설계최적화방법	단계별 최적화 (phase optimal)	체계 최적화 (system optimal)	모든 공종을 고려하므로 시스템최적화된 상태임
	동시작업	불가능	multi-tasking 및 multi-user 작업가능	동시에 2개 이상의 노선 및 타 노선 검토도 가능함
	사용자 비용 (편익)	미고려	고려	사용자 비용(통행시간절감, 시간절감 등에 따른 편익을 고려하여 노선설계 가능)
	설계비용 및 인력투입효과	고비용, 저효율	저비용, 고효율	적은 인력으로 높은 효율을 얻을 수 있음
	설계대안작성시간	주단위	분단위	실시간(real-time)으로 설계 가능
정책 판단시	노선대안수	한정된 대안	∞	수학적 모형으로 무한대 대안 설정 가능
	의사결정	불편	유용	선형최적화 설계시 다수의 대안이 존재하므로 의사결정시 유리하며 대안변경시 또다른 대안검토 시간 절약
	대안평가속도	일단위	시단위	평가속도차이가 큼



참고문헌

1. 건설교통부, 국도의 노선계획설계지침, 2002. 7
2. 한국도로공사, 친환경·지능형 도로설계기술개발 착수회의자료, 2006. 4
3. 김태훈·강인준·이준석·홍순현, 수치지도를 이용한 3차원 도로노선결정, 대한토목학회지, 2000.
4. 양인태·김동문·유영걸, 도로최적노선결정을 위한 GIS와 AHP의 적용 연구, 대한토목학회지, 2001. 3
5. 이종달·도명식·최기주, GIS 공간분석기법과 신경망 알고리즘에 의한 도로노선결정, 대한토목학회지, 2001. 7
6. 강인준·이준석, 고속도로 선형최적화에 관한 GIS모델링, 대한토목학회지, 2002. 3
7. 김응철·손봉수·장명순, 교차로의 특성을 고려한 선형최적화, 대한교통학회지 20권 4호, 2002.
8. 김응철, 도로선형최적화를 위한 유전자 연산자 적용, 대한교통학회지, 22권 2호, 2004.
9. 김응철·김홍석·강진구, 도로선형최적화를 위한 유전자 알고리즘내 주요매개변수들의 민감도분석, 대한토목학회 논문집, 24권 5호, 2004. 9
10. 부산지방국토관리청, 김천-어모간 국도건설공사 실시설계보고서, 2003.
11. 경기도, 퇴계원-진건 지방도 확포장공사 실시설계보고서, 2004.
12. 한국개발연구원, 예비타당성수행을 위한 일반지침수정·보완연구(제4판), 2004. 12
13. Eungcheal Kim, Modeling Intersections and Other Structures Highway Alignment Optimization University of Maryland, *Colleague park, Ph. D. dissertation*, 2001.
14. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, *American Association of state Highway sna Transportation Officials*, Washington D.C., 2001
15. M.K.Jha, P.Schonfeld, J-C Jong, E.K, *Intelligent Road design*, 2006

접 수 일: 2006. 11. 22
심 사 일: 2006. 11. 24
심사완료일: 2006. 12. 6