

친환경 도로노선의 재해위험도 평가시스템 개발

Development of Disaster Risk Analysis System for Environment Friendly Road

송민태	Song, Min Tae	정회원 · 평화엔지니어링 기술연구원 선임연구원 · 교신저자 (E-mail: diazsong@pec.kr)
강호근	Kang, Ho Geun	정회원 · 평화엔지니어링 기술연구원 책임연구원 (E-mail: angelg@dreamwiz.com)
김흥래	Kim, Heung Rae	정회원 · 평화엔지니어링 기술연구원 부사장 (E-mail: hrkpro@hanmail.net)
이태옥	Lee, Tae Ock	정회원 · 평화엔지니어링 민자단지개발부 전무 (E-mail: taock63@pec.kr)
이한주	Lee, Han Joo	단국대학교 토목환경공학과 연구원 (E-mail: jungwoo3@dankook.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study is to investigate the consideration which relates with a disaster from route alignment process and proposed the method it will be able to evaluate a disaster danger fixed quantity.

METHODS : Use the landslide disaster probabilistic map of GIS based and in about landslide occurrence of the route alignment at the time of neighboring area after evaluating a risk fixed quantity, it compared LCC expense in about each alternative route. It developed the system it will be able to analyze a LCC and a disaster risk in about the alternative route. In order to verify a risk analytical algorithm and the system which are developed it selected national road 59 lines on the demonstrative route and it analyzed a disaster risk.

RESULTS : Demonstrative route not only the disaster risk to be it will be able to compare a disaster risk fixed quantity like the economical efficiency degree in compliance with LCC expense productions it compared and there being the designer will be able to decide the alternative route, it confirmed.

CONCLUSIONS : Roads can be designed by considering occurs repeatedly landslides and debris flow caused by disasters in advance and expect to be able to effect that can reduce the overall cost to recover losses caused by the disaster, and temporally loss is expected.

Keywords

environment friendly road, GIS(Geographic Information System), disaster risk, road alignment, LCC(Life Cycle Cost), landslide disaster probabilistic map

Corresponding Author : Song, Min Tae, Senior Researcher
R&D Center, Pyunghwa Engineering Co, Pyunghwa Bldg., 1474-21,
Gwanyang-dong, Dongan-ku, Anyang-si, Gyeonggi-do, 431-810, Korea
Tel : +82.31.420.7336 Fax : +82.31.420.7331
email : diazsong@pec.kr

International Journal of Highway Engineering
<http://www.ksre.or.kr/>
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 연구배경 및 목적

우리나라의 경우 대부분의 지형이 산지로 형성되어 있으며, 특히 강원지역은 산지가 89%를 차지하고 있어 도로의 대부분이 산지부와 하천을 끼고 형성되어 있다. 이러한 지형에 도로가 건설될 경우 집중호우 시 하천 만

곡 수충부에서 급격한 홍수위 상승과 하상세굴이 발생 되고 산지의 수로나 계곡 등에서 토석류가 발생되기 때문에 극심한 도로피해가 예상된다. 최근에는 도심지의 산지에서도 산사태 및 토석류가 발생되어 재해로 인한 도로피해에 대한 경각심이 높아지고 있다.

그러나, 이러한 피해들은 반복적으로 계속 발생되고 있으나 근본적인 재해대책 마련은 미비한 실정이며 피해도로 복구공사는 빠른 시간 내에 교통 소통을 목적으로 하기 때문에 단순 복원 개념으로 시행되고 있어 반복적인 피해 원인을 제공하고 있다. 또한, 도로 건설이나 기존 유지관리에서 호우피해 방지를 위한 구체적인 설계지침이나 기준이 마련되어 있지 않다.

이러한 이유로 2008년 구성된 「수충부 및 토석류 연구단」에서는 산지하천도로의 호우 피해 방지를 위한 도로설계 기술개발을 제안하고, 그에 따라 재해를 고려한 노선선정 알고리즘을 개발하였다. 이 방법은 도로노선의 산사태 재해위험도를 평가하기 위해 평가항목 및 지표를 도출하고, 이를 GIS 기반의 산사태 확률지도로 나타내었으며, 이 확률지도를 기반으로 하여 도로노선의 재해위험도를 분석하는 방법이다.

본 연구에서는 산지부에서 산사태로 인한 반복되는 도로의 피해저감을 위해 수충부 및 토석류 연구단에서 개발된 산사태 재해확률지도를 기반으로 도로노선 계획 시 산사태 재해에 대한 고려와 그로 인한 위험도를 평가할 수 있는 분석시스템을 개발하고 시범노선 적용을 통해 분석시스템을 검증하고자 하였다.

2. 도로 노선계획 시 재해관련 고려사항

2.1. 도로노선 계획과정

도로의 노선계획은 각종 상위계획을 토대로 개략적인 도로망 계획을 선행한 후, 경제성 평가와 사업투자 우선순위 결정 단계를 거치게 되며, 사업대상으로 선정된 노선에 대해 타당성조사, 기본설계, 실시설계 등의 과정을 거쳐 최적노선선정을 하게 된다.

최적노선 선정은 현지여건과 노선이 통과하게 될 지역의 도시계획, 토지이용계획 등 각종 관련계획을 종합적으로 검토하여 우선 2~3개의 비교노선을 선정하고 선정된 각 노선에 대한 사회적·경제적·기술적 타당성과 교통 및 환경 고려사항 등을 종합적으로 비교하여 검토한 후 결정한다.

비교노선 선정과정에서 환경, 교통, 재해 등을 고려하게 되어 있으며 환경영향평가, 교통영향분석 및 개선대책, 사전재해영향성 검토 등을 시행하도록 되어 있어 노선선정과정에서 그 중요도를 알 수 있다.

특히, 산악지 도로의 경우에는 집중호우로 인한 산사태 취약구간, 토석류 피해예상구간 등을 파악하여 우회통과 방안을 수립하고, 통과가 불가피한 경우에는 피해

방지대책을 마련하도록 되어 있다(건설교통부, 2007).

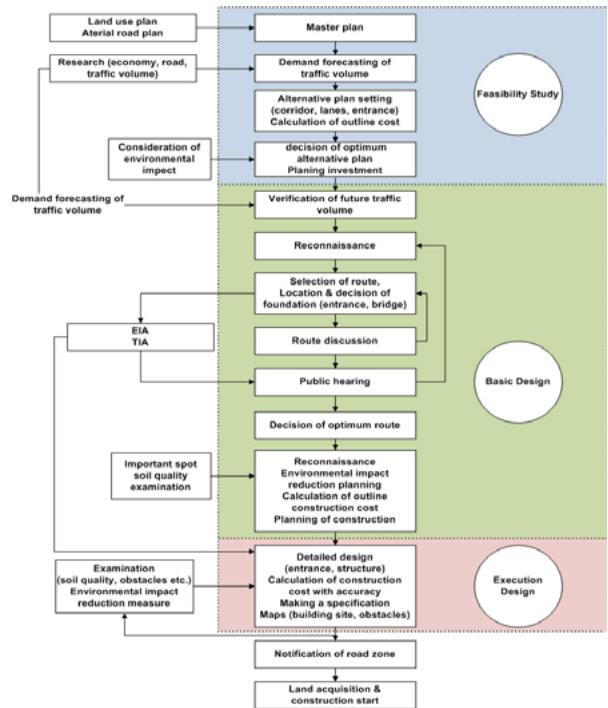


Fig. 1 Flowchart of Road Design

2.2. 노선계획 시 재해관련 고려사항

계획도로 노선 선정 시 기술적, 사회적, 경제적 및 환경적으로 가장 큰 제약조건이 되는 장소가 있으며, 이를 일반적으로 Control Point라 한다. 즉, 도로 설계 시 수치형도(1/25,000, 1/5,000) 상에서 노선이 통과 가능한 구간과 반드시 피해야 할 지점을 표시해 나가는 것으로 노선의 기본을 결정하는 중요한 것이라 할 수 있다.

현재 산사태 재해와 관련되어 노선선정의 제약조건으로 고려할 수 있는 자료는 산림청에서 제공하고 있는 Fig. 2의 산사태 위험지 관리시스템으로 각 격자별 산사태 위험등급이 제시되어 있다.

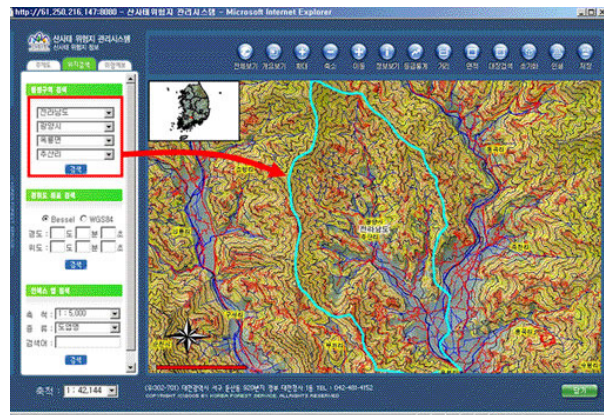


Fig. 2 Landslide Risk Area Management System (Korea Forest Service)

산림청의 산사태 위험지 판정은 경사길이, 모암, 경사 위치, 임상, 사면형, 토심, 경사도를 항목별로 점수화하여 붕괴위험도를 4등급으로 구분하였으며, 이를 GIS기반의 격자에 표현하고 있다. 그러나 이는 설계에 활용되기 위한 기초자료라기보다는 산사태 예경보를 위한 지도의 성격이 강하며 산사태 발생의 주요원인이 되는 강우량에 대한 정보가 고려되지 않는 한계점을 가지고 있다. 이런 문제점을 보완하기 위해 수충부 및 토석류 연구단에서는 강우량을 고려한 강원도 지역의 산사태 발생확률지도를 개발하였다.

3. 산사태 발생확률지도

수충부 및 토석류 연구단에서 개발된 산사태 발생확률지도를 간단히 살펴보면 다음과 같다(이승우 등, 2012).

산사태 발생 주요 영향인자의 경우 선행연구 및 국내외 문헌조사를 수행하여 대상을 선정하였으며 자체 분석 결과를 토대로 강우량 및 산불 발생이력 등의 주요 영향인자를 선정하여 GIS기반의 수치지도를 통하여 DB를 구축하였다.

Table 1. Landslide Occurrence Principal Influence Factor

Factors	Influence factor	Date Base
Geology Factor	Slide Slope	Occurrence Slope
	Slide Form	Concave, Convex
	Slope Direction	8 Direction
Geology Factor	Soil layer Thickness	Potential failure depth
	Surface Soil Character	Sort of soil
Hydrology Factor	Rainfall	Maximum rainfall(per hour), continuous rainfall, accumulate rainfall (3, 7, 14, 21, 28days)
Disaster	Forest Fire	Soil layer weakness by forest fire
Forestry Factor	Forest Physiognomy	sort of tree
	Tension Strength of root	Preventive factors of ground deformation (Age class)

산사태 발생 예측DB는 사면경사, 경사방향, 경사모양, 강우량, 유효토심 표토의 토성, 산불발생 이력, 식생자료의 영향인자 항목을 GIS 기반의 수치지도 및 현장조사 자료를 통해 수집되었으며, 각 항목들은 로지스

틱 회귀분석을 통해 산사태 발생확률식이 산정되었다. GIS 기반의 산사태 발생확률지도는 로지스틱 회귀분석식을 이용한 레스터 연산으로 생성되며 각 항목별 레스터데이터를 중첩하여 최종적인 산사태 발생확률지도가 작성되었다.

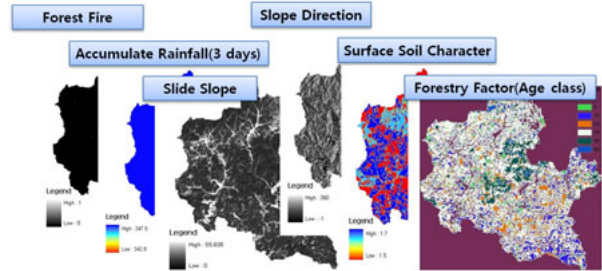


Fig. 3 Landslide Disaster Probabilistic Map of GIS Based

4. 도로의 산사태 재해위험도 분석시스템 개발

4.1. 시스템 개요

산사태 재해위험도 분석시스템은 도로선형 설계 시 산사태나 토석류에 의한 위험도와 경제적 비용의 분석으로 최적의 노선을 선정하기 위한 프로그램으로 앞장에서 언급하였던 GIS 기반의 산사태 발생확률지도를 기반으로 도로노선의 산사태위험도의 분석이 이루어진다.

본 시스템은 도로노선 산사태위험도 분석과 경제성 분석 등 크게 2가지 기능을 가지고 있다. 산사태 위험도 분석은 산사태발생확률도를 기반으로 도로노선의 전체 위험도를 분석하는 기능을 수행하며 경제성 분석기능은 LCC(Life Cycle Cost) 분석을 통한 도로노선의 총비용을 분석하는 기능을 수행한다.

이렇게 분석된 도로노선의 산사태 위험도와 경제성 분석은 비교 노선선정의 의사결정 수단으로 활용된다.

4.2. 시스템 개발 환경

본 시스템은 ArcGIS 기반으로 Microsoft Visual Studio 2008의 C#언어로 개발된 프로그램이다. 그 외 ArcGIS Spatial Analyst, Analysis Extension을 활용하였으며 C#을 사용하여 단독으로 실행이 가능한 애플리케이션을 개발하는데 사용되는 GIS 툴인 ArcGIS 9.3 Engine을 이용하여 단독으로 실행할 수 있게 개발되었다.

4.3. 시스템 구조 및 평가항목별 알고리즘 설계

시스템은 사용자가 산사태발생확률지도 및 도로노선 기본정보입력을 통하여 자동으로 분석되어 도로노선별 위험도 및 경제성 평가를 실행하게 된다. 시스템을 실행하기 위해서 입력해야 할 파일로는 Raster 형식의 산사태발생확률지도, Cad 형식의 도로노선 경계파일과 교량, 터널 등의 구조물 파일이며 이외 도로노선의 기본정보를 사용자가 직접 입력하거나 기본 값으로 설정되어 있는 값들을 사용하여 분석할 수 있도록 하였다. 다음 Fig. 4는 시스템 분석 흐름도를 나타내고 있다.

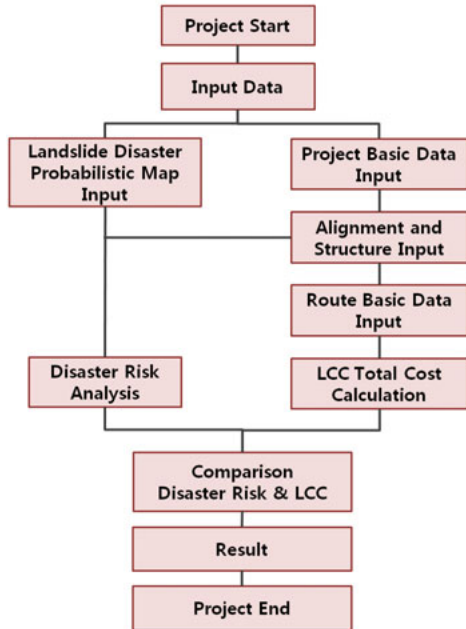


Fig. 4 System Analysis Flowchart

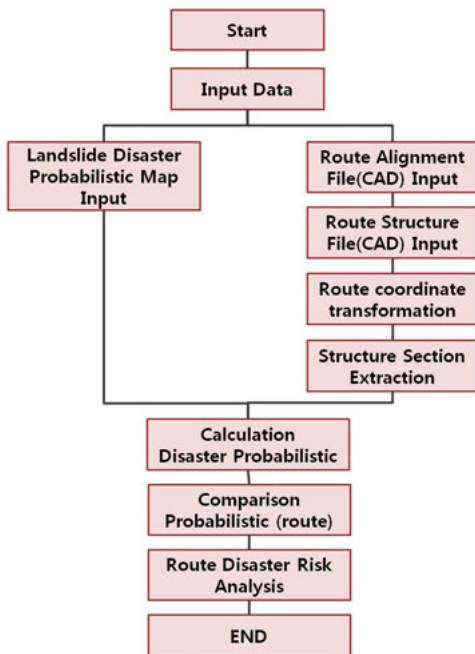


Fig. 5 Landslide Disaster Risk Analysis Algorithm

시스템은 도로노선 위험도 산정과 LCC 총비용 산정을 주요기능으로 구성되었으며 도로노선 위험도는 Fig. 5의 알고리즘을 통하여 산정된다.

다음으로 도로노선의 LCC 경제적 분석을 실행하기 위한 알고리즘은 Fig. 6과 같다.

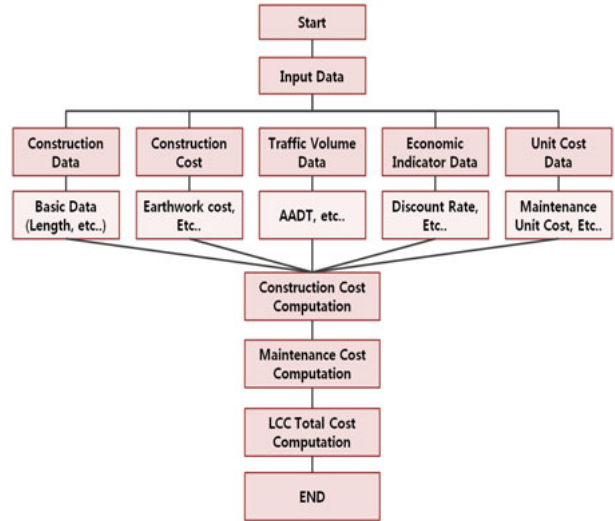


Fig. 6 Economy Analysis Algorithm

4.4. 시스템 메뉴 구성

본 시스템은 파일, 보기, 자료관리, 도로노선 분석, 도움말 등 메뉴로 구성하였다. 파일에는 프로젝트 생성, 열기, 저장, 시스템 종료 등이 포함되는데 이는 새로운 프로젝트생성이나 기존에 저장하였던 프로젝트를 불러 오기 및 현재의 프로젝트를 저장하고 시스템을 종료할 수 있는 기능들로 구성되었다. 또한 보기에는 레이어관리가 있는데 이는 시스템상의 자료관리에서 입력된 레이어의 GIS표출을 관리하는 기능을 한다.

자료관리에는 산사태발생확률지도, 도로노선, 배경화면이 있는데 이는 분석에 필요한 파일이나 자료를 시스

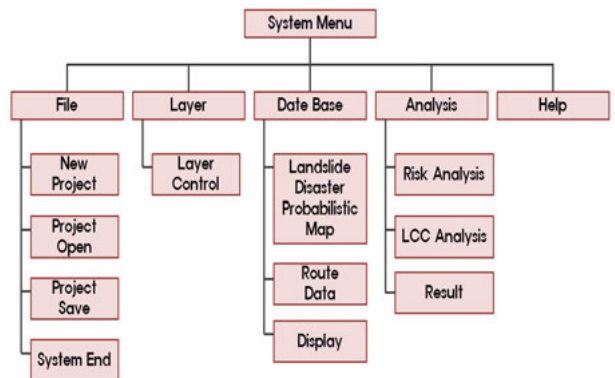


Fig. 7 System Menu

템으로 입력하는 기능을 가지고 있다. 자료관리에서 필요한 데이터 입력 후 도로노선분석에서 노선안 분석을 실행한 다음 결과보고기를 실행할 수 있다. 마지막 도움말에서 시스템에 대한 도움말을 확인할 수 있다. Fig. 7은 시스템 메뉴 구성을 나타내고 있다.

4.5. 프로그램 주요기능

본 시스템은 도로노선을 평가하기 위한 위험도 분석과 경제성 분석을 목적으로 하는 시스템으로 위험도 분석 기능과 경제성 분석 기능이 주요 기능으로 되고 이외 GIS표출 등 보조기능들이 있다.

4.5.1. 위험도 분석 기능

위험도 분석 기능은 산사태 발생확률지도를 기반으로 진행되는 것으로 시스템 화면상에서 산사태 발생확률지도를 GIS화면으로 표출이 된다. 또한 화면의 확대 및 축소 등 기본 화면의 도구모음들이 있어 지도를 확인할 경우 편리하다.

위험도 분석 기능은 산사태발생확률지도(Raster 파일)와 도로 및 구조물위치 파일(Cad 파일)을 입력한 후 도로노선에 해당되는 확률 값들의 합을 추출함으로써 위험도 분석을 실행하며, 노선에 대한 평균 위험률을 고려한 방법을 통하여 노선의 재해위험률을 Eq. (1)과 같이 계산한다.

이 방법은 산사태 발생, 미발생 판단기준인 50%를 기준으로 하여 재해확률지도상 50% 이상에 해당하는 값만 계산하였다. 이는 50% 미만의 낮은 확률값이 위험도의 합에 계산되어 위험도가 높아지는 것은 무의미하다고 판단되기 때문이다. 노선의 재해위험률은 다음과 같이 산정하였다.

$$R_{route} = \frac{R_{total-50\%}}{C_{route}} \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서, R_{route} : 노선의 재해위험률(%)

$R_{total-50\%}$: 50% 이상 재해위험률의 합(점수)

C_{count} : 노선이 지나간 셀의 개수(50% 이상)

50% 이상의 위험률의 합은 재해확률지도의 셀을 통과하는 각 격자의 재해위험률 중 50% 이상의 값(0.5~1의 범위)을 계산하며 이 중 교량, 터널 등 구조물 구간은 합에서 제외하였다. 이는 교량이나 터널구간의 경우 산

사태 재해위험에서 안전하다고 판단되어 계산값에서 제외하였다.

다음 Fig. 8은 산사태발생확률지도와 도로노선파일이 입력된 화면을 보여주고 있다.

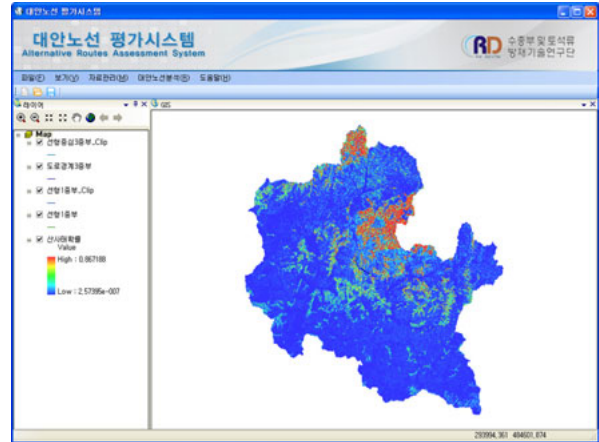


Fig. 8 GIS Screen Display

4.5.2. LCC 경제성 분석 기능

경제성 분석기능은 도로노선의 초기비용과 분석기간 동안의 유지비용을 산정하는 기능으로서 도로노선의 공사정보, 공사비용, 교통량정보, 경제지표 등 인자들을 입력받아 분석이 실행된다.

도로노선의 초기비용은 기존 도로설계 상용프로그램(RP, RD 등)을 이용하거나 설계자들이 각 공종별로 직접 산출한 개략공사비가 입력되며 유지비용은 본 연구단의 중앙대학교에서 개발한 LCC 모델을 사용하였다.

LCC 모델은 의사결정자의 최적대안 선택을 위한 경제성분석 모형으로 생애주기비용을 산출한다. 이때, 생애주기비용을 구성하는 항목으로 설계 구조에 따라 구조물의 생애주기비용, 도로 포장의 생애주기비용으로 구분한다. 또한 공사 시점에 따라 초기비용 및 유지보수비용으로 구분하여 계산한다. 재해를 고려한 산지하천도로 경제성 모델의 비용계산 로직은 Fig. 9와 같다.

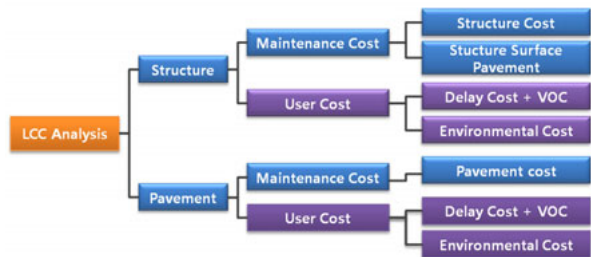


Fig. 9 Cost Calculation Logic of Economic Model

① 유지보수비용 산출

유지보수비용은 크게 구조물 보수 시에 지출되는 유지보수비용과 도로 이용자가 도로를 이용함으로써 발생하는 사용자비용으로 나누어져 계산한다. 각 부분은 세부적으로 터널 및 교량 등의 구조물 유지보수비용, 도로 포장의 유지보수비용으로 구분된다.

• 구조물 유지보수비용

구조물의 유지보수비용은 설계자가 선택한 구조물의 유무에 따라 계산한다. 일반적인 포장의 경우 아스팔트가 사용되고 보수는 10년 주기로 시공 후 10년, 20년, 30년에 재포장한다고 가정한다.

• 포장 유지보수비용

포장 유지보수는 구조물 포장을 제외한 일반 토공부 포장의 유지보수를 의미하는 것으로 아스팔트 포장을 기본으로 하여 10년 주기 보수로 가정하여 계산한다.

LCC 총비용 = 초기공사비용 + 유지보수비용

유지보수비용 = 구조물 유지보수비용 + 포장유지보수비용

구조물 유지보수비용 = (교량/터널+교면포장/터널포장)유지보수비

유지보수비 = (단가×연장)×(1/1+할인율(%)^분석기간(년))

포장 유지보수비용= [단가×(총연장-구조물연장)×(1/1+할인율(%)^분석기간(년))

② 사용자비용 산출

사용자비용은 도로 사용자가 이용함으로써 발생하는 비용으로 차량운영비와 운행지연비용, 환경비용으로 나누어 계산한다. 정상운영 상태에서 차량운영비용은 도로상태에 직접적으로 영향을 받는 비용과 속도변화에 따른 비용으로 구분된다.

• 차량운영비용

차량운영비용은 차량의 운행으로 인하여 발생하는 비용으로 연료소모비, 엔진오일비 등이 있다. 이 비용은 차량의 종류, 속도, 중량뿐만 아니라 교통량, 보수 시공 사기간에 따라 변화하는 비용이다. 차종은 승용차, 소형버스, 대형버스, 소형트럭, 중형트럭, 대형트럭 등 6종

의 분류를 하였으며 속도변화에 따른 차량운영비용은 차량별 및 속도에 따른 평균 오염물질 배출비용을 기초로 하여 산정한다.

$$VOC_s = 365 \times AADT_i \times PL \times (CVOC_0 - CVOC_i) \quad (2)$$

여기서, VOC_s : 속도변화에 따른 차량운영비용

$AADT_i$: 차량별 일평균 교통량

PL : 노선의 사업구간 길이

$CVOC_0, CVOC_i$: 차량별 및 속도에 따른 평균 차량운영비용

• 운행지연비용

운행지연비용이란 도로상태의 저하, 보수작업으로 인해 차량 운행이 지연됨으로써 운전자의 시간에 대해 발생하는 비용이다. 속도조절계수에 따른 운행지연비용은 다음 식을 이용하여 산정한다.

$$DC = 365 \times AADT_i \times PL \times \left(\frac{V_0 - V_i}{V_0 \times V_i} \right) \quad (3)$$

여기서, $AADT_i$: 차량별 일평균 교통량

PL : 노선의 사업구간 길이

V_0 : 설계속도/제한속도

V_i : 포장상태에 따른 차량속도

• 환경비용

정상운영 상태에서 환경비용은 포장상태 변화에 따른 속도의 차이에서 발생하며 다음 식을 이용하여 산정한다.

$$EC_s = 365 \times AADT_i \times PL \times (CE_0 - CE_i) \quad (4)$$

여기서, EC_s : 속도변화에 따른 차량운영비용

CE_0, CE_i : 차량별 및 속도에 따른 평균 오염물질 배출비용

• 순현재가치

각 년도에 발생한 비용은 시간이 지나면서 물가변동에 따라 그 가치가 달라진다. 따라서 할인율을 이용하여 순현재가치로 변환해 주어야 하며 식은 다음과 같다.

$$NPV = C_t \times \frac{1}{(1+r)^t} \quad (5)$$

여기서, C_t : 계산된 비용, r : 할인율, t : 해당년도

4.5.3. 입력자료

도로노선 추가 시 새로 입력할 수 있고 기 입력된 도로노선의 값을 수정 및 삭제를 할 수 있으며 구체적인 입력인자들은 다음의 Table 2와 같이 나타낼 수 있다.

Table 2. Route Input Data

Basic Information	Cost Information	Traffic Volume Information	Economic Indicator
Road Location	Earth work section	AADT (car/day)	Analysis period (year)
Structure Location	Drainage section	Traffic increase ratio(%)/years	Discount rate(%)
Number of Lane	Bridge section	Passenger car AADT ratio(%)	Reference year
Length of Road(km)	Tunnel section	Small bus AADT ratio(%)	Small bus value of travel time indicator
Length of Bridge(km)	Supplementary section	Large bus AADT ratio(%)	Large bus value of travel time indicator
Length of Tunnel(km)		Small truck AADT ratio(%)	Small truck value of travel time indicator
Bridge Service Life		Mid-size truck AADT ratio(%)	Mid-size truck value of travel time indicator
Tunnel Service Life		Large truck AADT ratio(%)	Large truck value of travel time indicator
Pavement Service Life			

5. 사례구간을 통한 시스템 검증

5.1. 시범노선 개요

본 시스템의 시범적용을 위한 대상지역은 국도 59호선이 위치한 강원도의 평창군과 정선군으로 선정하였다. 시범지역 노선은 국도 59호선 중 강원도 정선군 북평면 나전리를 시점으로 하여 강원도 평창군 진부면 마평리를 종점으로 하는 노선으로 노선연장 총 20.0km 중 2공구 5.94km 구간을 대상으로 하였다. 이 구간은 2006.7.14~18 집중호우로 대부분의 도로가 유실되었으며, 기존도로의 선형이 불량하여 사고위험이 상존한 지역이다.

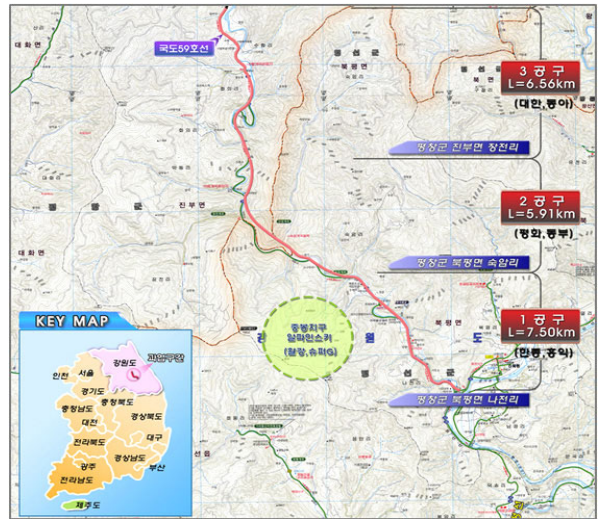


Fig. 10 Test-Bed Route(Natl. 59) Location Map



Fig. 11 Test-Bed Route(Natl. 59) Damage Drawing

5.2. 입력자료

산사태발생확률지도는 2006년 7월 집중호우 시의 3일누적강우량을 적용하여 추출된 지도를 적용하였으며 노선안 3개를 시범적용하였다. 노선안 1, 2, 3의 공사정보 등 입력정보는 Table 3과 같다.

시스템을 실행하여 새로운 프로젝트를 생성하였으며 프로젝트명은 “시범적용 1”이라고 하였다. 산사태발생확률지도의 파일경로를 찾아 산사태발생확률지도 폴더를 입력하였다. 산사태발생확률지도 입력 후 시스템 화면에서 GIS 화면으로 표시가 되는 것을 확인할 수 있다. 다음의 Fig. 12~Fig. 14는 프로젝트 생성 및 산사태발생확률지도 입력화면을 보여주고 있다.

다음은 자료관리에서 3개의 노선안에 대해 Table 3의 입력자료를 입력한 후 노선분석을 실행하였다. 분석이 완료된 후 결과보기를 통하여 각 노선별 위험도, LCC 총비용 및 위험도 변동률과 LCC 비용증가율을 확인할 수 있으며 해당 노선안을 클릭하면 상세분석내용을 확인할 수 있다.

도로노선 입력자료에서 노선 위치를 입력하는 파일은

Table 3. Route(Natl. 59) Input Data

Factors	Items	Route 1	Route 2	Route 3
Basic Information	Location	local	local	local
	Number of lane	2	2	2
	Length of road(km)	5.94	6.19	5.94
	Length of bridge(km)	0.660	0.605	0.915
	Length of tunnel(km)	1,800	1,910	2,250
Cost (one hundred million)	Earth work section	30	23	32
	Drainage section	23	28	23
	Bridge section	175	174	249
	Tunnel section	250	265	320
	Supplementary section	265	288	280
	Total	743	778	904
Traffic Volume	AADT(car/day)		7,839	
	Traffic Increase ratio(%)/years		0.9	
	Vehicle Type AADT Ratio (%)	Passenger car	58.8	
		Small bus	0.9	
		Large bus	2.2	
		Small truck	33.7	
		Mid-size truck	4.2	
Large truck	0.2			
Economic Indicator	Analysis period(years)		20	
	Discount rate (%)		5.5	
	Value of Travel Time Indicator (2007)	Passenger car	17,547	
		Small bus	120,825	
		Large bus	120,825	
		Small truck	16,864	
		Mid-size truck	16,864	
Large truck	16,864			
Unit Cost (won)	Bridge		500,803,000	
	Bridge Surface pavement		7,414,430	
	Tunnel		58,547,000	
	Tunnel pavement		7,414,430	
	Asphalt overlay		15,210,900	

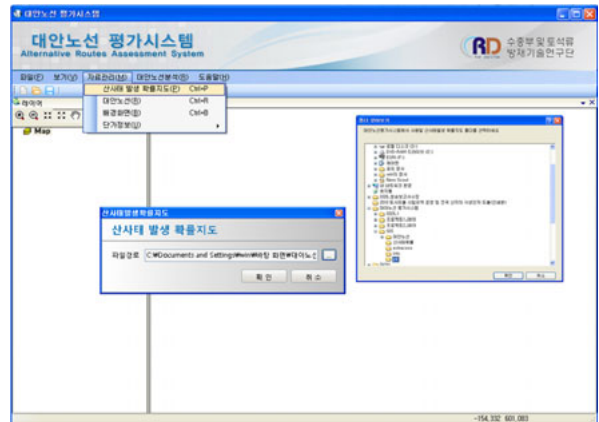


Fig. 13 Landslide Disaster Probabilistic Map Input

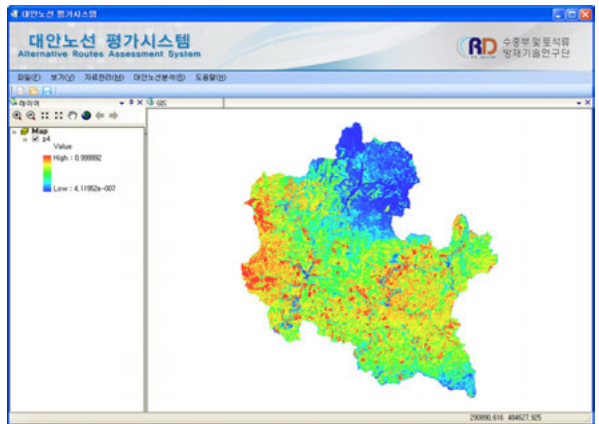


Fig. 14 Landslide Disaster Probabilistic Map Screen

도로경계파일과 구조물파일이 있으며 이들의 좌표계는 모두 동부원점을 기준으로 사용하고 있다. 앞서 입력된 산사태발생확률지도는 중부원점을 기준으로 되어 있으므로 본 시스템에서는 도로노선 파일을 입력하면 자동으로 좌표변환이 되면서 Project 파일이 생성되며 실제 분석에서는 이 Project 파일을 활용하여 실시하게 된다.

다음의 Fig. 15~Fig. 16은 도로노선 분석과정 및 결과보기 화면을 나타내고 있다.

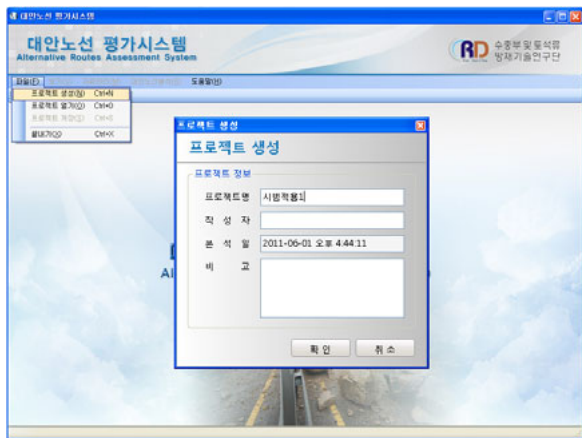


Fig. 12 Route Input and Modification

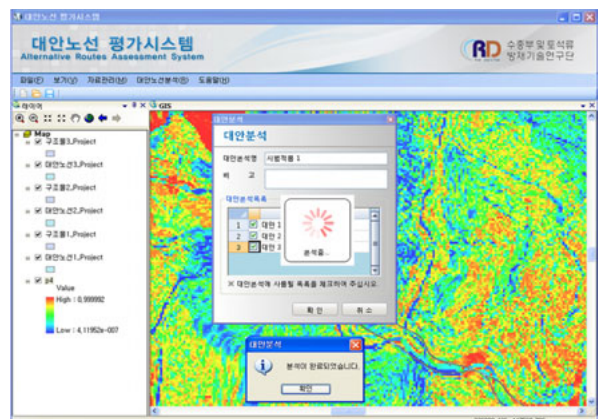


Fig. 15 Analysis Process



Fig. 16 Analysis Result

5.3. 결과 및 고찰

시범적용 구간의 재해 위험도는 Eq. (1)에 의해 계산되어 Table 4와 같이 조사되었다.

Table 4. Landslide Disaster Risk Result

Route	Sum of Risk Rate ($R_{total} = 50\%$)		Cell Count (C_{count})	Risk Ratio (R_{route}) (%)
	Route Total	Structure Section		
Route 1	159.87	83.07	216	35.55
Route 2	57.84	34.74	83	27.84
Route 3	159.87	89.64	216	32.51

각각의 노선안에 대한 재해위험도를 분석한 결과 Eq. (1)에 의한 노선안 1의 재해위험도는 35.6%로 산출되었으며, 노선안 2는 27.9%, 노선안 3은 32.5%로 산출되었다.

초기공사비를 포함한 LCC 비용은 Table 5와 같이 산출되었다. 유지보수비는 각 노선별로 큰 차이를 보이지는 않았으나 초기공사비가 큰 영향을 차지함을 알 수 있었다.

재해위험도 측면에서 볼 때 재해위험지역을 우회해서 계획한 노선인 노선안 2가 재해위험을 최소화시킬 수 있을 것으로 사료되며 노선안 3의 경우 노선안 1에 비해 재해위험도는 낮았지만 재해위험지역을 터널 및 교량 구조물로 계획하여 LCC 총비용이 많이 증가함을 알 수 있었다. 이는 노선선정 결정자의 의사결정 시 참고자료로 활용될 수 있다.

도로의 노선선정의 경우 공사비를 비롯한 다양한 항목의 장단점 분석을 통하여 결정되므로 노선의 최종결정은 사용자가 판단하여 결정하는 것이 타당할 것으로

사료되며 본 시스템은 그러한 의사결정의 보조수단으로서 매우 유용할 것으로 판단된다.

Table 5. Life Cycle Cost Result

(Unit : one hundred million)

Route	Construction Cost	Maintenance Cost	LCC Total Cost
Route 1	743	4.6	747.6
Route 2	778	4.8	782.8
Route 3	904	4.3	908.3

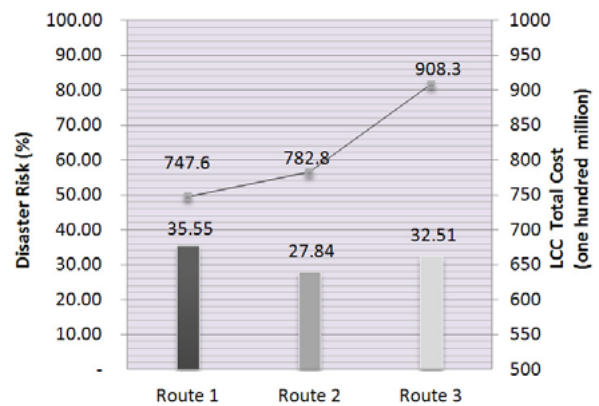


Fig. 17 Disaster Risk and Life Cycle Cost Comparison

6. 결론

본 연구에서는 도로노선 선정 시 계획구간 주변지역의 산사태 발생에 대한 위험도를 정량적으로 평가한 후 각 노선안에 대한 LCC 비용을 비교하고, 이를 바탕으로 실제노선에 대한 LCC 비용 및 재해위험도를 분석할 수 있는 시스템을 개발하였다. 개발된 위험도 분석 알고리즘 및 시스템의 적용성을 파악하고자 본 연구에서는 국내 도로노선에 적용하여 산지하천도로의 재해위험도를 분석하였다.

그 결과 시범지역 구간의 해당 노선에 대한 재해위험도를 산출하였으며 이를 통하여 각 노선에 대한 재해위험도를 정량적으로 비교할 수 있었다. 또한 노선에 대한 LCC 비용을 산출함으로써 재해위험도 뿐 아니라 경제성도 같이 비교하여 설계자가 최적노선을 결정할 수 있도록 제시하였다.

본 산사태 재해위험도 분석 시스템은 현행도로 설계 시 비교노선 선정을 위한 도로설계자의 의사결정을 하는데 객관적인 자료를 제공할 수 있으며, 시스템의 핵심인 산사태 발생 확률지도는 이미지 형태의 파일로 출력

이 가능하여 설계자가 노선계획 시 산사태 재해위험을 사전에 고려할 수 있도록 정보를 제공할 수 있다.

향후 본 분석 시스템은 사용자가 보다 편리하고 간단하게 사용할 수 있는 시스템으로 발전하기 위한 고도화 과정이 필요하며 현재 수충부 및 토석류 연구단에서 개발 중인 대표위험구간의 유역단위의 토석류 재해위험도 분석시스템이 완료되면 산사태 및 토석류를 고려한 통합 분석 시스템으로 발전될 것으로 사료된다.

이를 통해 반복적으로 발생하는 산사태 및 토석류에 의한 재해를 사전에 고려하여 도로를 설계할 수 있어 재해로 인한 손실, 복구에 드는 막대한 비용, 시간적 손실 등을 줄일 수 있는 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 수충부 및 토석류 연구단(08 지역기술혁신 B-01)을 통하여 지원된 국토해양부 지역기술혁신 연구사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

References

D.de Wrachien, C.A. Brebbia, M.A Lenzi (2008). "Monitoring, Simulation, Prevention and Remediation of Dense and Debris Flow II", WIT press

D.de Wrachien, C.A. Brebbia (2010). "Monitoring, Simulation, Prevention and Remediation of Dense and Debris Flow III", WIT press

Kang Ho-Geun (2010), "GIS based Environmentally Friendly Route Selection for Road Construction", Doctoral dissertation, Ajou Univ.

Kang Ho Geun, kim Sang Tae, Kim Heung Rae, Park Tae Kweon, An Seoung Sun, Lee Sang Eun (2011), "Assessment of Environment - Friendly Degree in Road routes", *The Journal of Korean Society of Road Engineers*, no. 13 vol. 1, pp.129-138

Korea Highway Corporation (2009), "Development of Debris Flow Hazard Analysis Method and Its Application"

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (2009), "Development of the System for Landslide Risk Analysis based on GIS Techniques"

Lee Seung-Woo, Kim Gi-Hong, Yune Chan-Young, Ryu Han-Joong, Hong Seong-Jae (2012), "Development of Landslide-Risk Prediction Model thorough Database Construction", *The Journal of Korean Geotechnical Society*, Vol. 28 No. 4, pp.23-39

Matthias Jakob, Oldrich Hungr, "Debris-flow Hazards and Related Phenomena", Springer

Ministry of Construction and Transportation, Korea (1999), "Road Design Handbook"

Ministry of Construction and Transportation, Korea (2007), "Design Manual of National Highway"

Ministry of Construction and Transportation, Korea (2007), "Road Design Manual of Mountain Area"

Wle Gwang-jae, Lee Young-kyun, Lee Dong-ha, Suh Yong-cheol (2010), "Development of GIS-based Debris Flow Simulation Program", *The Journal of Korea Society of Hazard Mitigation*, Vol.10 no.1, pp.49-55

Yoon-Seuk Oh, Jee-Hee Koo, Tae-Hoon Kim (2005), "Decision Support System Design for GIS based Construction Planning of Urban Railroad", *The Journal of GIS Association of Korea*, Vol. 13 No. 2, pp.139-155

(접수일 : 2012. 7. 3 / 심사일 : 2012. 7. 3 / 심사완료일 : 2012. 9. 12)