■ 論 文 ■

IHSDM의 국내도로 적용성 분석 및 도로설계 안전성 평가 시스템의 사용자 요구분석

Analysis of Applicability of IHSDM into Korea and User Requirements for Development of Road Design Safety Assessment System

김 응 철
(인천대학교 토목환경공학과 조교수)

이 동 민
(한국교통연구원 도로교통연구실 책임연구원)

최 은 진
(인천대학교 토목환경공학과 석사과정)

김 도 훈
(한국교통연구원 도로교통연구실 연구원)

목 차

Ⅰ. 서론
1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구 수행 방법
Ⅱ. 선행연구고찰
1. 도로설계 안전성 평가 시스템
2. IHSDM 적용하여 분석한 연구
3. 시사점
Ⅲ. IHSDM의 국내도로 적용성 평가
1. IHSDM의 분석알고리즘
2. 적용대상 도로구간
3. 분석결과 및 결론
Ⅳ. 잠재적 사용자 요구분석 결과
1. 잠재적 사용자 요구분석 수행방법
2. 잠재적 사용자 요구분석 수행결과
3. 사용자요구분석을 통한 결론
Ⅴ. 시스템 기본개발 방향 및 향후 연구과제
1. 시스템 기본개발방향
2. 향후 연구과제
참고문헌

Key Words : 도로설계 안전성 평가 시스템, 사용자요구분석, 시스템 기본개발방향, 적용성 분석, IHSDM
Road Design Safety Assessment System, User Requirement, Basic Direction for Development System, IHSDM(Interactive Highway Safety Design Module)

요 약

국내에서의 도로설계 안전성 평가는 도로설계 전문가의 설계도면 검토, 현장방문을 통한 자문자료를 통하여 이루어져왔다. 이러한 설계 안전성 평가는 전문가의 판단을 뒷받침 할 수 있는 객관적인 근거가 부족하다는 문제점과 안전측 편익을 계산하기 위한 수치적인 결과가 부족하다는 문제점이 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 개선ㆍ보완할 수 있는 도로설계 안전성 평가 시스템을 개발하기 위해 IHSDM의 국내도로 적용성 평가, 잠재적 사용자 요구분석을 수행하였다. IHSDM의 사고예측모듈에서 안전성을 평가하기 위해 도로구간별 사고빈도 및 사고율을 산정하는 방법론과 도로의 특성을 반영할 수 있도록 하고 있는 AMF의 개발은 기존의 사고예측모형을 통한 사고예측이나 전문가 판단을 통한 안전성 평가의 한계점을 보완하고 있다. 그러나 이 같은 장점에도 불구하고 국내도로의 IHSDM 적용성 평가 결과 국내도로의 사고를 과대 예측하는 경향을 보여 국내도로의 사고특성을 반영하지 못하는 것으로 나타났다. IHSDM이 반영하지 못하는 대표적 지방부 국내도로 특성으로는 도로변 토지이용도와 미국과는 상이한 지방부 도로의 교통량특성인 것으로 나타났다. 또한, 사용자 요구분석을 통해서는 데이터 입력방식과 도출된 결과를 제시하는 방법의 다양성과 편의성이 확보가 중요시 되는 것으로 분석되었다.

Road design safety assessment by existing tools and methods have normally been examined by expert judgements using design documents and on-site inspections. The existing methods, however, have two main problems such as insufficiency of objectiveness and inability to measure effects of accident countermeasures. This paper studies ways to develop a road safety assessment system through reviewing the IHSDM developed in USA. The crash prediction module of IHSDM calculate accident frequency and rate of roadway segments using accident prediction models and accident modification factors for safety evaluation. The methodology of evaluation and development of accident modification factors somewhat overcome the problems of the existing methods. In spite of these advantages, IHSDM could not relevantly reflect characteristics of domestic rural roadways since it overestimate the number of accidents and rate of korean rural roadways. Especially, IHSDM may not evaluate or consider land use patterns of Korean roadways, and futhermore, original environment on base conditions used to develop IHSDM may not be different from ours. The user requirements being developed for a road safety assessment system for Korean roadways include enhanced flexibility and diversity of data input-output processes.

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비지원(06교통핵심C01)에 의해 수행되었습니다.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

국외의 경우 도로설계 안전성 평가의 중요성을 인식하여 1990년대부터 이미 관련 제도를 정비하고, 도로의 안전성을 평가함으로써 안전한 도로를 설계 및 건설하기 위한 기술개발 연구가 활발히 진행되어 왔다. 그 결과 도로의 안전적 편익을 정량적으로 예측할 수 있는 다양한 평가방법 및 평가 프로그램이 개발되어 활용되고 있으며, 새로운 프로그램의 개발이 지속적으로 진행되고 있는 실정이다. 반면, 국내의 경우 최근에서야 교통안전법(제34조, 36조)에 의해서 '도로교통안전진단 제도'가 의무화됨으로써 도로설계 안전평가에 대한 활동이 시작되었다. 그러나 '도로교통안전진단' 제도는 설계 안전성 평가결과의 수량화, 객관화의 문제를 해결하지 못하고 있다. 즉, 현장조사 및 설계도면 검토를 통해 전문가 자문을 받는 형태이므로 전문가의 의견을 뒷받침할 수 있는 정량적이고 객관적인 기준이 부족하며, 수치적 결과를 제시할 수 없으므로 안전을 포함한 편익의 산정이 불가능한 실정이다.

따라서 효과적인 도로설계 안전성 평가 결과는 도로의 안전성을 평가함과 동시에 실제적인 의사결정에도 활용될 수 있도록 정량적인 수치 또는 지표를 제시할 수 있어야 할 것으로 판단된다.

도로의 안전한 정도를 평가하기 위한 척도의 한가지로 사고건수 및 사고율이 제시될 수 있다. 이러한 값을 제시하기 위하여 기존의 많은 연구들이 통계적 사고예측모형을 통하여 사고빈도 및 사고율을 예측함으로써 도로의 안전도를 평가하고자 하는 노력을 기울이고 있다. 그러나 통계적 사고예측모형은 기반이 되는 데이터에 따라 통계적으로 유의한 변수가 변화하고, 평가되어야 할 항목임에도 불구하고 변수로 포함되지 않아 평가되지 못하는 경우가 많다. 또한 기존도로를 평가하는 경우 과거의 사고이력을 통해 예측력을 높일 수 있으나 예측모형을 통해서는 이역시도 불가능한 것이 현재 실정이다.

그러나 본 연구에서 적용해보고자 하는 국외의 도로설계 안전성 평가 시스템인 IHSDM은 이러한 문제점을 보완하기 위하여 몇 가지 방법을 사용하고 있다. 먼저 교차로 및 도로구간에서 반드시 고려되어야할 변수를 AMF (Accident Modification Factor)라는 계수로 개발하여 예측모형에서 반영하지 못하는 변수를 반영하도록 하고 있으며, 경험적 베이지안 기법을 통해 과거의 사고이력을 반영한 분석을 수행함으로써 기존의 사고예측모형을 통한 예측의 한계점을 보완하고 있다.

따라서 본 연구에서는 국외의 도로설계 안전성 평가 프로그램 IHSDM을 활용하여 국내도로의 안전성을 평가해 봄으로서 국외 프로그램의 국내 적용성을 살펴보는 한편, 도로설계 실무자의 사용자 요구분석을 통해 도로설계 안전성 평가 시스템의 기본개발방향을 설정하고자 한다.

2. 연구수행방법

본 연구에서는 국내 실정에 맞는 도로설계 안전성 평가 시스템의 기본개발방향을 도출하기 위해 국외에서 개발된 도로설계 안전성 평가 프로그램을 국내의 지방부 도로에 적용하여 적용성을 분석하는 한편 도로설계 안전성 평가 시스템에 대한 잠재적 사용자 요구분석을 수행하고자 한다.

적용성 분석을 수행하기에 앞서 설계 안전성을 평가할 수 있는 국외의 프로그램을 조사 분석하여 적용성 분석을 수행할 프로그램을 선정한다. 분석 자료는 현장조사 및 설계 도면을 통해 수집한 도로기하구조 및 도로 환경적 데이터와 사고데이터를 이용하였다. 평가 결과는 실제 사고데이터와 비교함으로서 적용성 여부를 평가하였다.

사용자 요구분석은 적용성 평가를 수행한 프로그램을 활용하여 도로설계 전문가를 대상으로 도로설계 안전성 평가 시스템의 사용 환경 및 분석항목에 대하여 전문가 면담조사 형식으로 수행하였다.

분석과정 및 분석결과를 통하여 국외 프로그램의 국내 적용상의 한계점과 잠재적 사용자의 요구를 파악하여, 국내 실정에 맞는 도로설계 안전성 평가 시스템 개발의 기본방향을 설정하기 위한 참고자료로 활용하고자 한다.

II. 선행연구고찰

1. 도로설계 안전성 평가 시스템

국외의 경우 도로설계 안전성을 평가할 수 있는 시스템이 다수 개발되어 있는 상태이며, 안전성을 평가하는 방법도 다양하다. 그 방법으로 도로의 과거 사고이력 및 제원을 이용하여 도로의 사고 및 사고율을 예측하는 방법, 속도추정 모형을 통하여 도로의 설계 일관성을 평가하는 방법, 설계 기준과의 일치여부를 평가하는 방법이 있다. 또한 편익에 중점을 두어 안전성을 고려한 편익을

산출하는 프로그램, 위험구간을 탐색하는 프로그램 등이 개발되어 있다. 반면 국내의 경우 프로그램화 되어있는 것은 Road Designer 2000의 설계검사 모듈뿐 인 것으로 조사되었다.

1) IHSDM

IHSDM (Interactive Highway Safety Design Module)은 도로의 계획과 설계시 도로의 안전성을 평가하기 위해 미국에서 개발한 프로그램으로 CPM (Crash Prediction Module)을 포함하여 6가지 세부 모듈로 구성되어 있으며, 현재는 지방부 2차로 도로의 분석만 가능하며, 다차로 구간에 대한 연구가 진행 중이다. 6가지 세부 모듈 중 CPM은 설계요소를 통해 설계 대안의 충돌 잠재성을 예측하고, 사고 심각도 및 사고 유형별 사고 빈도를 예측하는 기능을 한다.

2) MicroBENCOST

MicroBENCOST는 기존의 경로와 제안경로의 도로특성, 교통량, 자본비용 등을 통해 도로이용자와 관련된 각종 비용 절약을 편익으로 추정하고 적절한 할인율로 비용과 편익을 현재 가치화 하여 비용-편익 비율, 증분비용 편익 비율, 순현재가치, 내부수익률을 산출하는 실무적인 계산 프로그램이다. 이 중 사고비용절약을 추정하기 위해 백만주행차량당-mile 사고율로 분석구간의 사고율을 계산한다.

3). GIS Safety Analysis Tools

Safety Analyst의 부가적인 Tool 중 하나로 사고데이터, 도로특성, 교통운영 데이터를 통하여 사고를 분석하는 시스템으로 각 주(state)의 도로구간 및 교차로의 사고가 빈번히 발생하는 지점을 찾고 개선책의 효과를 분석하는 기능을 한다. 일정 도로 축을 선정하여 선정된 도로축에서의 위험구간 탐색이나, 지역을 선택하여 사용자가 정의한 반경 이내의 사고 지점을 탐색하는 기능을 가진다.

4) Road Designer 2000

국내에서는 유일하게 설계를 검사할 수 있는 기능을 가지는 프로그램이다. 기본적으로 토목설계를 위한 프로그램이나, 선형의 운용 및 안전도를 체크하는 기능을 포함하고 있다. 프로그램에서 체크하는 항목은 평면선형(곡선 반경, 편경사, 확폭, 완화곡선 구간 등), 종단선형(종단경사, 종단 곡선장, 오르막차로 등), 횡단설계(토공, 배수) 이다.

2. IHSDM을 적용하여 분석한 선행연구

Hildebrand(2008)의 연구에서는 도로의 안전성을 평가하기 위한 시스템인 IHSDM의 CPM, MicroBEN-COST, TAC (Transportation Association of Canada)에서 안전성을 평가하기 위해 사용하는 사고예측모형의 예측력을 비교하였다.

NewBrunswick의 도로구간을 대상으로 세 가지 모형을 비교한 결과 IHSDM이 분석을 위해 요구하는 데이터가 많이 불편한 반면 예측 값이 실제와 가장 근접한 예측을 하는 것으로 나타났다.

Zhang(2003)의 연구에서는 IHSDM의 CPM의 적용성을 평가하기 위해 Louisiana의 4,746개의 도로구간을 분석하였다. 그 결과 전체적인 예측 사고건수는 실제 사고건수에 가깝게 예측되었으나 사고 심각도, 사고 유형별 사고율과 사고건수가 실제와 차이가 있는 것으로 분석되었다.

Conkin(2004)의 연구에서는 개선사업 추진 계획구간의 횡단구성 및 도로구간의 선형 변화가 안전도 개선에 미치는 영향을 분석하였다. 길어깨를 포함한 총 도로폭이 예측 사고율과 직접적인 관계가 있는 것으로 나타났으며, 트럭의 오르막차로, 평면곡선부의 큰 곡선반경, 곡선부의 확폭이 사고를 감소시키는 효과가 있음을 확인하였다.

Donnell(2007)의 연구에서는 펜실베니아의 지방부 2차로도로 두 개 구간을 IHSDM을 통해 분석하고 그 결과를 실제 사고데이터와 비교 분석하였다. 두 개 구간 중 한구간의 예측 값은 실측값과 5%정도 차이가 있었던 반면 다른 한 구간은 73.5%차이가 있었으며, 사고데이터를 적용하는 경우도 32.5%정도의 차이를 보여 사고데이터를 적용하는 경우 예측력이 개선됨을 밝혔다.

3. 시사점

국내의 도로설계 프로그램은 토목설계프로그램에 한정되어 있는 반면, 국외의 경우 도로설계 안전성을 정량적으로 평가하기 위한 평가 프로그램의 개발이 활성화되어 다양한 기능의 도로설계 안전성 평가 프로그램이 개발되어 있는 상태이다.

국외의 대부분의 도로설계 평가 프로그램은 분석방법

과 고려하는 항목 각기 다르지만 설계 대안간의 편익 분석이 가능하다. 따라서 대부분의 프로그램은 안전적 편익 산출시 사용자의 여러 가지 편익을 함께 포함시킴으로써 안전성만을 독립적으로 평가하기 어려운 반면, IHSDM의 CPM은 예측사고건수와 사고율을 통해 설계 대안간의 사고감소만을 편익으로 고려할 수 있으므로 직접적이고 구체적인 안전성 판단이 가능하다는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 적용성을 평가하기 위한 프로그램으로 IHSDM의 CPM을 선택하였다.

IHSDM의 국내 적용성 평가하기 위한 기존의 연구를 살펴 본 결과 IHSDM을 적용하여 예측한 예측사고빈도 및 사고율은 지역 또는 구간마다 예측편차가 존재하는 것으로 판단되었다. 이러한 지역적 편차를 감소시키기 위해 IHSDM에서는 지역적 특성을 반영할 수 있는 지역보정계수(Calibration Factor)와 사고 데이터를 반영함으로서 예측치를 보정하는 과정을 거치고 있었다.

따라서 사고데이터의 적용과 지역보정계수의 적용이 국내에서의 적용성을 평가하는데 있어서 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다.

III. IHSDM의 국내도로 적용성 평가

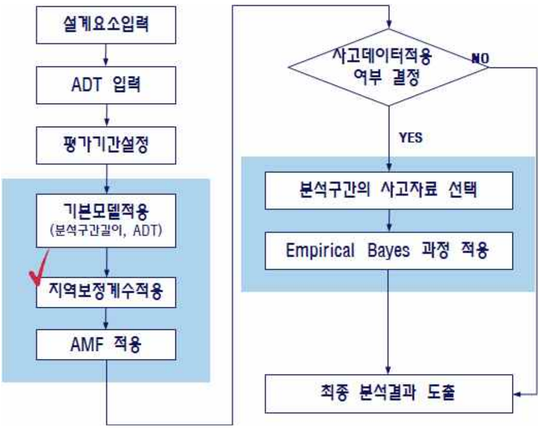
1. IHSDM의 CPM 분석 알고리즘

IHSDM의 CPM은 예측사고빈도를 산출하기 위해 지방부 2차로 도로구간을 대상으로 개발한 사고예측모형을 이용한다. 사고예측모형은 교통량과 도로구간의 연장만을 변수로 가지는 기본 모형으로, 이외에 사고에 영향을 미치는 기하구조적 요소와 교통공학적 요소는 Accident Modification Factor(AMF)를 통해 적용하고 있다. 분석모형은 식(1), 식(2)와 같으며, 분석알고리즘은 <그림 1>과 같다.

$$N_{rs} = N_{br} C_r AMF_{1 \cdots 9} \qquad (1)$$

$$N_{br} = (ADT_n)(L)(365)(10^{-6})\exp(-0.4865) \qquad (2)$$

N_{rs} : 도로구간의 총 예측사고건수(crashes/year)
N_{bs} : 기본모델로부터 산출된 총 예측사고건수
C_r : 지역보정계수
$AMF_{1...9}$: 도로구간의 Accident Modification Factor
ADT_n : 분석도로구간의 평가 기간의 교통량
L : 도로구간 길이(mile)



<그림 1> 분석알고리즘

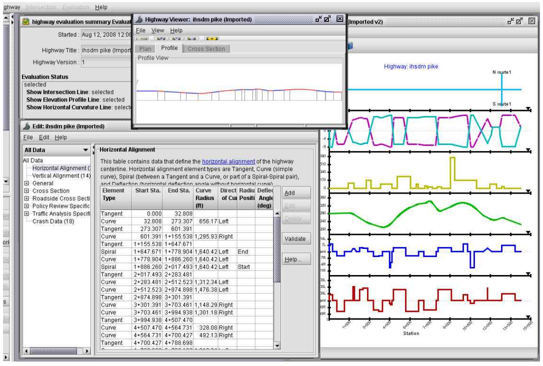
<표 1> IHSDM Crash Prediction Module 평가항목

입력항목	평가항목
사고예측모형	교통량(ADT)
	도로구간 길이
Accident Modification Factor	차로폭
	길어깨 폭 및 길어깨 포장유형
	평면곡선 길이, 반경
	편경사
	종단경사
	간선도로 밀도
	부가차로(오르막, 추월, 짧은 4차로구간)
	도로변 위험률(RHR)
	지역보정계수(Cr)
	사고데이터

기존의 도로를 분석하는 경우 과거 사고이력을 적용함으로써 경험적 베이지안 기법을 통해 예측사고 빈도 및 사고율을 보정하도록 하고 있다. 베이지안 기법을 통한 보정은 과거 사고이력을 통계적으로 분석하여 해당 구간의 총 발생사고 건수, 사고유형별 건수 등에 구간별로 가중치를 산출하여 적용함으로서 비사고 지점 또는 사고 다발지점을 효과적으로 반영할 수 있도록 하고 있다. 다만 이러한 분석과정을 수행하기 위해서는 최소한 2년 이상의 사고 이력이 확보되어 있어야 하며, 분석당시의 기하구조 및 도로환경이 사고이력이 수집된 시점과 변동이 없어야 한다는 제약이 있다.

안전성 분석을 위해 평가하는 항목은 <표 1>과 같으며 각 항목은 분석구간 내에서 항목의 변화가 있을시 마다 도로구간의 Station number와 함께 입력하도록 하고 있다.

지역적 특성을 반영하기 위해서 IHSDM에서는 지역보정계수(C_r)를 산출하여 적용할 수 있도록 지역보정계



<그림 2> IHSDM 분석화면

수를 산출하는 Administration Tool을 추가로 제공하고 있다. 그러나 본 연구에서는 지역보정계수를 산출하기 위한 데이터가 충분치 않아 지역보정계수는 기본 값으로 가정하고 분석을 실시하였다. 마찬가지로 편경사의 변화는 현장조사 및 도면상에서 알 수 없는 관계로 기본 값으로 설정하였다.

사고예측력을 향상시켜주는 사고데이터의 적용은 분석구간 2구간 중 사고데이터가 2년 이상 확보된 전북구간에 대해서만 실시하였다.

<그림 2>는 IHSDM의 도로구간 분석을 위한 데이터의 입 출력 화면이다.

2. 적용 대상 도로구간

국내도로의 IHSDM 적용성 평가는 전라북도 무주군 설천면에 위치한 국도 37호선 2차로 도로구간 10.3km 구간과 경기도 포천시 영중면에 위치한 국도 37호선 2차로 도로구간 5.08km 구간에 대해 분석을 실시하였다. 도로구간의 기하구조 및 교통특성은 현장조사(2008)와 설계도면을 통해 수집하였다.

전북구간은 2007년의 사고를 예측하여 실제 2007년 사고 데이터와 비교분석하였다. 또한 비교대상인 2007년 사고데이터를 제외하고도 2005~2006년 2년간의 데이터가 확보되어 있었으므로 사고데이터를 적용하여 추가적인 분석을 실시하였다.

경기도 구간은 2006년 한 해 동안의 사고데이터만 존재하므로 2006년 사고를 예측하여 실제 2006년 사고데이터와 비교 분석하였다. 2006년 이외의 사고데이터를 확보하지 못하여 경기도 구간의 경우 사고데이터를 적용한 분석을 수행하지 못하였다.

1) 전라북도 37호선 도로 및 사고정보

- 적용대상 : 전북 국도 37호선 (10.3km)
- 위치 : 전라북도 무주군 설천면
- 교통량 : 2005~2007년

<표 2> 분석도로구간 교통량 정보

지점	8+200~18+500		
교통량(ADT)	2005	2006	2007
	13,777	16,516	17,342

- 사고데이터

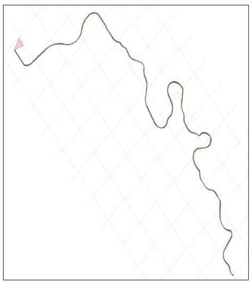
<표 3> 2007년 사고데이터

사고지점	사고빈도	사망·중상	경상
8+400-8+500	4	3	1
8+950-9+050	3	3	0
16+350-16+500	1	0	1
합계	8	6 (75%)	2 (25%)

비교분석할 2007년의 사고데이터를 <표 3>을 통해 살펴보면 분석구간의 8+400~9+050지점 약 700m 구간 내에서 총 8건 중 7건이 발생하였다. 사고가 발생한 구간은 현재 주거 및 상업지역이 도로와 인접한 구간이며, 일반적인 지방부 교차로에 비하여 교통량이 많은 것으로 나타났다.

또한 대부분의 사고가 차대차 사고이며, 전체 사고의 약 75%가 사망 및 중상사고로 사고 심각도가 높은 것으로 나타났다.

<그림 3> 전북 국도 37



<그림 4> IHSDM입력도로

2) 경기도 37호선 도로 및 사고정보

- 적용대상 : 경기도 국도 37호선 (5.08km)
- 위치 : 경기도 포천시 영중면 영평리
- 교통량 : 2005~2007년

<표 4> 분석도로구간 교통량 정보

지점	8+200~18+500		
교통량(ADT)	2005	2006	2007
	8,382	8,148	8,159

- 사고데이터

<표 5> 2006년 사고데이터

사고지점	사고빈도	사망·중상	경상·물피
0+120-0+180	1	1	0
1+050-1+090	1	1	0
1+475-1+905	1	1	0
3+110-3+340	1	0	1
4+000-4+175	1	0	1
합계	5	3(60%)	2(40%)

특정구간에서 대부분의 사고가 발생한 전북 37호선 구간과 달리 분석구간 5.08km 내에 사고지점이 골고루 분포하는 것으로 나타났다. 5개 사고지점 중 상가와 인접한 구간은 2지점인 것으로 나타났으며, 총 5건 중 사망 중상사고가 60%인 3건으로 역시 사고심각도가 높은 편인 것으로 나타났다.

<그림 5> 경기도 국도 37

<그림 6>IHSDM 입력도로

3. 분석결과 및 결론

1) 전라북도 37호선

사고데이터를 적용하여 분석한 결과와 적용하지 않고 분석한 결과를 실제사고데이터와 비교 분석하였다.

<표 6>의 2007년 예측된 총사고빈도 및 사고율을 살펴보면 사고데이터를 적용한 경우 총 예측사고건수 17.1건, 적용하지 않은 경우는 58.34건으로 나타났다. 실제 2007년 발생한 총 사고빈도가 8건임을 감안하면, 사고데이터를 적용하지 않은 경우 7배 정도 과도하게 예측하는 것을 알 수 있다. 이에 비해 사고 데이터를 적용한 경우 사고빈도가 약 70%감소해 실제 사고빈도에 근접하게 예측하는 것으로 나타났다.

<표 6> 전북 37호선 사고예측 결과

사고	사고데이터 적용	사고데이터 미적용	실제사고 데이터
총사고빈도	17.1	58.34	8
사망·중상 사고빈도	7.97(47%)	18.73(32%)	6(75%)
경상·물피 사고빈도	9.14(53%)	39.61(68%)	2(25%)

<표 7> 구간별 예측 값의 MAD, MPB

	사고데이터 적용	사고데이터 미적용
MAD/year	0.219	0.793
MPB/year	-0.115	-0.637

사고 심각도를 살펴보면 사고데이터를 적용하지 않은 경우 사망·중상이 전체 사고의 32%, 경상이 68%로 나타났다. 실제 사고의 사망·중상이 75%, 경상이 25%인 점을 감안하면 사고 데이터를 적용하지 않고 예측한 경우 사고 심각도를 전혀 반영하지 못한 것으로 나타났다. 반면 사고데이터를 적용한 경우 사망·중상이 47%, 경상이 53%로 실제 사고 심각도를 다소 반영하는 것으로 나타났다.

<그림 7>은 동질성 구간으로 분류되는 구간별 사고빈도로 구간별 사고예측빈도를 나타내 사고위험성이 높은 지점을 파악할 수 있도록 한다. 그러나 예측지점 역시 사고데이터를 적용하지 않은 경우 실제 사고발생지점과 예측사고발생지점이 일치하지 않는 것으로 분석되었다. 사고발생 위험이 높을 것으로 예측된 지점은 주로 곡선구간이었으나 실제 사고가 발생한 구간은 대부분 직선구간인 것으로 나타났다. 실제 사고가 발생한 직선구간은 주거 및 상업지역이 인접한 부분으로 도로외적인 요소에 의한 작용으로 사고가 발생한 것으로 보여, IHSDM이 도로외적인 요소의 반영이 미비한 것으로 판단되었다.

사고데이터를 적용하여 분석하는 경우는 사고지점이 일치하는 것으로 분석되어 예측력이 상승하는 것으로 나타났다. 실제 예측력을 평가하는 지표로 쓰이는 MAD, MPB 값을 산출한 결과 MAD는 사고데이터 적용한 분석의 경우 0.219, 적용하지 않고 분석한 경우 0.793으로 두 가지 경우의 예측값이 구간별 평균 0.5건 이상 차이를 보여 사고데이터를 적용하는 경우 예측력이 좋은 것으로 분석되었다.

전북37호선 구간의 경우 사고데이터를 적용하지 않고 기하구조 및 교통량을 통해 예측한 결과가 실제 사고를 전혀 반영하지 못하는 것으로 분석되어 IHSDM이 국내 도로특성을 반영하지 못하는 것으로 나타났다.

2) 경기도 37호선

경기도 37호선의 경우 사고데이터가 충분히 확보되지 않아 사고데이터를 적용한 분석은 수행하지 않았다.

실제 2006년 사고데이터와 사고데이터를 적용하지 않고 분석한 2006년 예측사고빈도를 비교하였다.

2006년 분석구간에서 발생한 총 사고건수는 5건, IHSDM을 통한 예측사고건수는 실제 사고건수의 약 1.5배인 7.85건으로 나타났다. 사고 심각도는 실제 사망 중상사고가 5건 중 3건인 60%인 반면 예측된 사고는 사망 중상을 32%로 예측하였다.

지점별 사고 빈도를 나타낸 <그림 8>과 <표 8>를 통하여 경기도 37번 국도의 경우 실제 사고빈도와 예측사고빈도에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 예측력을 평가하는 지표로 쓰이는 MAD, MPB 값 역시 0.0038, -0.0039로 0에 가까운 값을 나타내어 예측력이 좋은 것으로 나타났다.

경기도 37호선의 경우 전북구간과 달리 사고데이터 적용 없이도 예측빈도가 과도하지 않게 분석되었는데 이는 교통량의 영향이 많도록 되어 있는 IHSDM의 예측모형으로 인한 결과로 판단된다. 실제 전북구간의 경우 교통량이 17,342 veh/day로 경기도 8,148veh/day에 비하여 2배 이상의 교통량을 가지므로 전북구간의 예측사고빈도가 과대 예측된 것은 교통량의 영향이 큰 것으로 판단된다.

<표 8> 경기도 37호선 사고예측 결과

사고	사고데이터 적용	실제사고데이터
총사고빈도	7.85	5
사망·중상 사고빈도	2.52(32%)	3(60%)
경상·물피 사고빈도	5.33(68%)	2(40%)

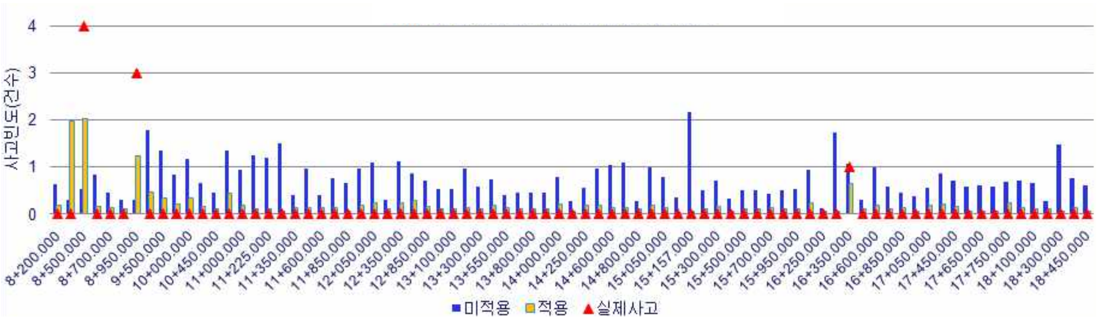
<표 9> 구간별 예측 값의 MAD, MPB

	사고데이터 미적용
MAD/year	0.0038
MPB/year	-0.0039

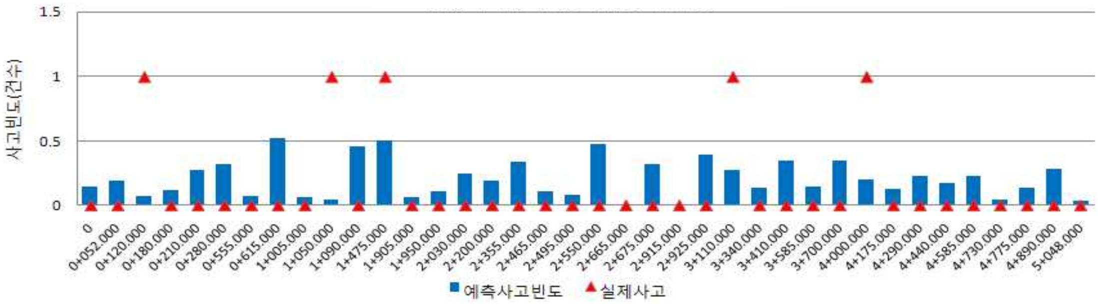
3) 분석결론 및 한계점

IHSDM의 CPM을 통해 전북 37호선 10.3km구간과 경기도 37호선 5.08km의 안전성을 분석한 결과 예측된 총 사고빈도 및 사고율에 있어서 두 구간의 예측력이 다소 차이를 보이는 것으로 나타났다.

전북구간의 경우 실제 발생한 사고빈도는 총 8건, 예측사고빈도는 58.34건인 것으로 나타났으며, 경기도 구간은 실제 사고빈도 5건, 예측사고빈도 7.85건으로 나타났



<그림 7> 전북 국도 37호선, 2007년 평가기간동안 지점별 사고빈도



<그림 8> 경기도 37호선, 2006년 평가기간동안 지점별 사고빈도

다. 전북구간이 특히 예측사고빈도의 과대예측 정도가 큰 것으로 나타났는데 이는 IHSDM의 사고예측모형이 교통량이 지배하는 영향이 크기 때문인 것으로 판단된다.

전북 구간의 교통량은 미국의 지방부 2차로 도로의 일반적인 교통량 (IHSDM의 사고예측모형 구축을 위한 데이터 중 95%이상이 5000veh/day 이하) 의 3배 이상, 경기도 구간의 교통량의 2배 이상인 것으로 나타났다. 즉 경기도 구간의 예측력이 크게 과대 예측되지 않은 점을 감안하면 전북구간의 과대예측요인은 교통량에 의한 영향인 것으로 판단된다.

전북구간의 경우 사고데이터를 적용한 분석이 가능하여 사고데이터를 반영한 분석을 추가적으로 진행하였다. 그 결과 총 사고 빈도 및 사고의 심각도 비율이 변화됨으로써 사고데이터의 적용이 사고예측력을 높이는 것을 확인할 수 있었다. 즉 교통량 및 도로설계요소만을 통한 예측이 국내 도로의 특성을 반영하지 못하는 것으로 분석되었다.

사고데이터의 적용이 총 사고 빈도 및 사고 심각도에도 영향을 미치지만, 사고가 발생하는 지점에 대한 결과에도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 전북구간 및 경기도 구간의 지점별 사고예측빈도 및 실제사고빈도를 나타낸 <그림 7>, <그림 8>를 보면 사고가 발생할 것으로 예측한 구간과 실제 사고 발생구간이 일치하지 않는 것으로 나타났다. 또한 IHSDM은 주로 곡선구간에서 사고가 발생할 것으로 예측하는데 비하여, 실제 사고가 발생한 지점은 직선구간 인 것으로 나타났다.

즉, 국내 지방부 도로의 경우 도로와 인접하여 주거 및 상가가 형성되어있는 경우가 잦고, 도로변 저속차량의 출현이 잦은 등 도로외적인 요소가 미치는 영향이 높게 나타나지만, IHSDM의 사고예측은 이러한 국내 특성을 반영하지 못하여 사고발생지점과 예측지점이 불일치하는 것으로 분석되었다.

적용성 분석결과 현재 IHSDM을 통한 국내 적용성 평가 결과는 유효하지 못한 것으로 분석되었다. 무엇보다 도로외적인요소에 의한 사고가 잦은 국내 지방부 도로의 특성을 반영하지 못하여 실제 사고가 발생할 것으로 예측되는 지점을 판단하지 못하는 점이다. 두 번째 적용상의 문제점은 IHSDM의 분석 알고리즘이 국내 교통량 특성을 반영하지 못하여 국내도로를 분석하는 경우 유효한 결과를 도출하지 못하는 것이다. 마지막으로는 지역적 특성을 반영하기 위한 지역보정계수, 편경사 변화구간의 반영 등 실제 기존도로에 대해 수집할 수 없는 많은 데이터를 요구함으로서 기본 값으로 가정된 채 분석되어야 하는 항목이 적지 않은 점이다.

따라서 국내 실정에 맞는 도로설계 안전성 평가 시스템 개발을 위해서는 기존의 IHSDM이 갖는 장점을 부각시키되 국내 실정과 맞지 않는 부분을 개선 보완할 수 있는 방법이 모색되어야 할 것으로 판단된다.

그 방법으로 국내의 지방부 도로의 특성을 반영하는 적절한 사고예측모형의 개발이 가장 우선시 되어야 할 것이다. 국내 지방부 도로의 경우 교통량의 편차가 크게 나타나므로 일정범위의 교통량 범위를 설정하여 교통량이 많은 지방부 도로와 교통량이 적은 지방부 도로를 구분하여 예측모형을 개발하여 적용하는 것이 한 가지 방법이 될 수 있을 것으로 판단된다.

두 번째로 기존의 사고예측모형의 한계점을 보완하는 역할을 하는 AMF의 개발이 필수적일 것으로 사료된다. 국내 지방부 도로의 사고특성을 살펴본 결과 도로기하구조에 문제가 없음에도 불구하고 도로변 환경적 요인으로 인하여 사고가 발생하는 경우가 적지 않았다. 그러므로 국내 도로 특성을 반영할 수 있는 적절한 항목과 값을 선택하여 AMF를 개발할 필요가 있다.

세 번째, 미국의 IHSDM의 경우 각 주별로 지역보정계수를 산출할 수 있는 툴을 추가로 제공함으로서 지역적인 특성을 반영한 사고예측이 가능하도록 하고 있는데 국내 역시 이를 산출할 수 있는 기본적인 툴을 제공해야 할 것이다. 하지만 Administration Tool을 살펴보면, 지역보정계수를 산출하기 위해 요구되는 데이터는 국내에서 실무자, 설계자들이 수집하기 불가능한 데이터가 다수 포함되어 있다. 때문에 분석시 또다시 데이터 불충분으로 인한 문제점이 발생하는데, 이는 AMF의 산출로서 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 지역보정계수는 지역적 특성을 반영하기 위한 것이므로 AMF 개발시 토지이용도(주거, 상업, 농업, 산업지), 지형(산악지, 평지, 구릉지)의 항목에 대하여 AMF를 개발한다면 AMF를 통하여 지역적 특성을 반영할 수 있으므로 지역보정계수 산출을 위한 별도의 계수산출과정 없이 분석이 가능할 것이므로 위와 같은 문제를 해결할 수 있을 것이다.

마지막으로 IHSDM은 사고유형별 예측건수 또는 사고심각도별 예측건수를 정확히 반영하고 있지 못한 한계점이 있다. 그러므로 좀 더 발전된 도로설계 안전성 평가를 위해서는 사고심각도 모형을 함께 반영하여 사고유형 및 심각도도 반영할 수 있도록 해야 할 것이다.

Ⅳ. 잠재적 사용자 요구분석

1. 잠재적 사용자 요구분석 수행방법

1) 수행 방법

도로설계 안전성평가 프로그램에 대한 사용자 요구분석은 IHSDM을 활용하여 도로설계 전문가를 대상으로 면담조사를 통해 실시하였다.

IHSDM은 사고건수와 사고율을 이용하여 대안간 사고감소만을 편익으로 고려함으로써 안전성에 대해 직접적이고 구체적인 장점이 있어 개발하고자하는 프로그램의 사용자 요구분석 면담조사에 참고자료로 활용하였다.

사용자 요구분석을 위한 면담조사는 도로설계 안전성 평가 시스템에 반영되어야 할 기능, 평가시 적용되어야 할 항목, 결과도출방법, 데이터 입력방법, 시각적 결과물에 관한 전반적인 시스템 기본 개발방향에 대한 내용을 조사하였다. 다음은 면담조사의 과정과 내용이다.

<과 정>

- Step1. 도로설계 안전성 평가 시스템도입의 필요성과 전문가 면담조사의 목적 제시
- Step2. IHSDM 분석 알고리즘과 평가항목 설명
- Step3. IHSDM을 활용한 안전성을 분석 과정 시연
- Step4. 도로설계 안전성 판단 시스템의 개발방향과 관련한 내용에 대한 의견수렴

<내 용>

1. 도로설계 안전성 평가시스템의 입·출력방식
2. 국내 도로설계 안전성 평가시 평가 필요항목
3. 도로설계 안전성 평가 시스템의 활용도
4. 도로설계 안전성 판단 시스템의 시각적 결과물
5. 도로설계 안전성 판단 시스템의 추가필요기능

2) 면담조사 기간 및 면담조사 대상자

- 면담조사 기간 : 2008년 12월~2009년 2월
- 면담조사 대상자 :도로설계 전문가
- 면담조사 인원 : 총 30명
- 총 면담조사 대상자 중 15명은 도로 및 공항 기술사, 그밖에 15인은 10년 이상 경력자임

2. 잠재적 사용자 요구분석 수행 결과

본격적인 면담조사 설문에 앞서 도로설계 안전성 평가 시스템의 인지도와 필요성에 대한 간단한 설문을 진행하였다. 그 결과 도로설계 안전성 평가 시스템에 대해 인지하고 있는 응답자는 총 30명중 17%인 5명으로 이들은 도로설계 검사 시스템 개발 관련 연구에 참여한 경험이 있는 경우였다.

도로설계 안전성 평가 시스템에 필요성에 대해서는 전체의 87.5%가 자사의 설계 안전성을 증명, 입찰에서의 경쟁성 확보, 설계 검사 등의 이유로 긍정적인 의견을 보였다. 그러나 평가 결과의 신뢰도와 추가적인 업무로 인한 부담감 등을 이유로 부정적인 의견을 가진 응답자도 있었다. 필요성에 대해 긍정적인 의견을 제시한 응답자도 해당 시스템의 실용화를 위해서는 설계시 설계 안전성 평가를 의무화 할 수 있는 법적인 규제가 우선되어야 할 것으로 판단하였다.

1) 도로설계 안전성 평가 시스템의 입·출력방식

(1) 입력방식

도로설계 안전성 평가 시스템의 입력방식에 대해서는 응답자의 98% 가 추가적인 업무를 최소화하기 위해 보편적으로 사용하는 도로설계 프로그램 및 Auto CAD와의 데이터 호환성이 이루어져야 한다고 응답했다. 그러나 기존 도로의 경우 준공도면이 없는 경우에는 직접입력방식이 가능해야하므로 다양한 입력방식이 제공될 필요가 있다는 응답도 있었다.

(2) 결과제공방식

분석 결과를 사고빈도 및 사고율로서 제시해 주기 위해서는 해당도로구간의 안전여부를 판단할 수 있는 사고빈도 기준이 필요하다는 의견이 있었다.

또한 기존의 IHSDM의 결과 제공방식이 쉽게 결과를 해석하기 힘들다는 응답이 많았으며, 향후 개발될 도로설계 안전성 평가 시스템은 누구나 쉽게 결과를 해석할 수 있도록 안전등급 LOS(Level of Safety)를 제공하는 것이 바람직 할 것이라는 응답이 많았다.

추가적으로는 결과 제공시 노선도, 종단도 등에 시각적으로 결과를 확인할 수 있도록 표현해주는 방식을 제공할 것을 추천하였다.

2) 도로설계 안전성 평가시 평가 필요항목

평가항목에 대해서는 각 응답자가 항목수의 제한 없이 자유롭게 기재 하도록 하여 총 15가지 평가항목이 집계되었다. 이중 도로의 평면, 종단선형은 응답자 전원이 공통으로 응답하였으므로 집계에서 제외하였다.

도로의 기하구조적인 측면에서는 구조물의 위치나 평면선형과 종단선형의 조합에 대해 고려해야한다는 응답이 많았다.

가장 많은 응답 항목은 기후의 고려로 강풍지역, 안개지역, 기후로 인한 노면의 결빙 습윤 상태가 잦은 지역을 고려한 사고예측이 필요하다고 응답하였다.

또한 대부분의 응답자가 국내의 지방부 도로의 경우 도로선형에 문제가 없음에도 불구하고 운전자 또는 도로변환경에 의해 사고가 빈번히 발생하므로 도로변 토지이용도 및 주민생활의 패턴 등을 반영하도록 해야 한다고 응답하였다.

<표 10> 평가 필요항목

항목	응답수
구조물 위치 반영	8
중차량 혼입률	3
차로폭	3
속도	3
편경사 변화 구간	3
도로외적요소(경관, 주변토지이용도)	9
교통안전시설(가드레일,과속카메라,과속방지턱 등)	5
국내지형조건	7
보행자	1
운전자 습성	6
포장마찰계수	3
노면결빙	3
평면선형과 종단선형의 조합	6
기후	10
시거	6

3) 도로설계 안전성 평가 시스템의 활용도

시스템의 활용도에 대한 의견은 주로 턴키입찰시 안전성 평가 결과 자료로 제공하거나 기본설계 및 실시 설계시 자료로 활용될 수 있다는 의견이 많았다. 이밖에도 설계 중간평가나 설계 자문자료로 활용 가능할 것으로 예측하였다.

턴키입찰의 경우 입찰서를 통해 자사의 경쟁력을 보여줘야 하므로 현재 가능하다면 도로설계 안전성 평가결과를 추가할 의향이 있는 것으로 나타났다.

<표 11> 면담조사를 통한 전문가 요구사항 도출

입력 방식	• 도로설계시 사용하는 프로그램과 데이터 호환이 가능하도록 하여 추가적인 분석 시간 감소
출력 방식	• 간단한 결과 해석필요(LOS제공 방법) • 시각적으로 결과를 제시할 수 있는 기능 필요
평가 항목	• 강풍지역, 안개지역 등 기후적 특성 반영필요 • 국내 운전자 주행 특성반영 • 국내특성에 맞는 사고유형분류 • 주행환경 및 주변의 토지이용도를 고려한 분석 • 속도제어시설, 위험구간 정보제공유무 • 선형의 입체적 조합 • 횡단구배, 편경사변화구간의 적정성 • 구조물 인접 구간에서의 시거
활용도	• 설계 중간평가(대안별 비교) • 제안설계의 1차 평가, 노선 선정시
시각적 결과물	• 주행시뮬레이션 기능은 비전문관계자에게 평과결과 제시시 용이 • 입력된 설계요소의 3차원 조감
추가 기능	• 경제성분석기능 • 설계불안전 구간의 원인 및 대안제시기능

4) 도로설계 안전성 평가 시스템의 시각적 결과물

안전성 평가 결과 제공될 수 있는 도로조감도 또는 주행시뮬레이션의 필요성에 대한 질문에 응답자의 100%가 해당기능이 활성화 될 필요성이 있다고 응답하였다. 주행시뮬레이션과 3차원 입체조감의 기능 등은 이미 보편화 되어있는 기능일 뿐만 아니라 일부 발주처에서는 해당 기능에 대한 비용항목이 설정되어 있는 경우도 적지 않아 시스템 자체적으로 해당기능을 포함하지 않더라도 해당 프로그램과의 호환이 가능해야 할 것으로 판단하였다.

5) 도로설계 안전성 평가 시스템의 추가 필요 기능

추가적으로 필요한 기능에는 경제성 분석 기능과 분석결과 사고발생 가능성이 높은 지점의 원인 및 그에 따른 대안을 제시 할 수 있는 기능에 대한 의견이 가장 많았다.

경제성 분석의 경우 설계 대안에 따른 사고 감소효과와 사용자 비용 및 건설비용등을 총체적으로 고려한 경제성 분석이 필요하다는 응답이었다.

사고예측빈도가 높게 나오는 구간의 경우 설계 안전성을 확보하기 위한 개선대안을 제시해주거나 최소한 안전성을 저해시키는 요인에 대하여 제시해줄 수 있어야 해당시스템이 도로설계 안전성 평가에 활용될 수 있을 것이라는 의견이었다.

Ⅴ. 시스템 기본개발방향 및 향구연구과제

도로설계 안전성 평가 시스템의 개발은 전문가의 설계 안전성 평가를 뒷받침 할 수 있는 객관적인 평가 자료로서의 역할을 함과 동시에 수량적인 값으로 표현함으로서 안전적 편익산출을 가능하게 할 수 있다. 이는 향후 도로의 안전성 평가에 큰 영향을 미칠 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 본 연구에서는 도로설계 안전성 평가시스템의 기본개발방향 도출을 위해 국외에서 개발된 도로설계 안전성 평가 시스템인 IHSDM의 국내 적용성을 분석하는 동시에 도로설계 전문가 면담조사를 통해 도로설계 안전성 평가 시스템에 대한 사용자 요구분석을 실시하였다.

IHSDM의 국내도로적용 분석결과, IHSDM이 제공하는 결과는 도로의 직접적인 안전편익을 고려할 수 있어 설계 안전성을 판단하는데 매우 효과적일 것으로 판단된다. 그러나 국내 적용시 IHSDM의 대표적인 문제점은 IHSDM의 사고예측모형이 국내의 지방부도로의 특성을 적절하게 반영하지 못하는 것과 국내의 지역적 특성을 반영하기 위한 지역보정계수 산출과 사고자료가 필수적인데 반하여 이러한 데이터의 적용이 현실적으로 불가능하다는 점으로 분석되었다.

사용자의 요구사항 분석 결과, 설계 안전성 평가 시스템의 분석결과를 신뢰할 수 있다는 결과를 전제로 사용성 측면에서 사용자의 중점적 요구사항은 시스템 사용에 있어서 정보입력의 편의성과 간단한 결과 해석이었다.

IHSDM의 국내도로 적용성 분석과 사용자 요구사항 분석을 통해 국내 도로에 적합한 도로설계 안전성 평가 시스템을 구축하기 위한 기본개발방향을 다음과 같이 설정할 수 있었다.

도로설계 안전성 평가 시스템의 안전성 분석 알고리즘 측면에서 볼 때, 교통량 편차가 많은 국내의 지방부 도로 특성을 고려하여 동일한 특성을 보일 수 있는 교통량 범주를 설정하여 범주별 사고예측모형을 설정하고, 지역보정계수의 역할을 수행할 수 있는 도로 환경적인 요인(토지이용도, 지형 등)의 AMF개발이 필요하다.

사용자의 시스템 사용 환경적 측면에서는 추가적인 업무를 최소화 할 수 있도록 기존에 보편적으로 사용하는 설계 프로그램과의 호환성을 확보함과 동시에 직접 입력 방식 등의 다양한 입력방식이 가능해야한다.

결과 제공방식에 있어서도 실무자가 간편하게 결과를 해석할 수 있도록 안전성 등급(Level of Safety)을 제시하고 동시에 시각적으로 결과를 제시하여 누구나 간편히 해석할 수 있도록 해야 한다. 또한 안전성 평가와 더불어 해당 시스템의 활용도를 높이기 위해 안전 및 다른 사용자 비용을 고려한 총체적인 대안간 편익분석이 가능해야 할 것이다.

도로설계 안전성 평가 시스템이 실무에서 활용되도록 하기 위해서는 사용자의 요구를 반영하여 사용의 편의성을 높일 수 있는 구체적인 방법에 관한 연구가 좀 더 구체적으로 이루어져야 할 필요가 있다. 또한 무엇보다 중요한 것은 국내의 지방부 도로의 특성을 효과적으로 반영하여 신뢰할 수 있는 결과를 제공할 수 있도록 분석 알고리즘상의 사고예측모형과 AMF(Accident Modification Factor)계수의 한국형 모형과 계수의 개발일 것이다. 이후 한국판 도로설계 안전성 평가 시스템이 구체화 될 수 있을 때 좀 더 구체화된 사용자 요구분석을 통해 실시한다면 완성도 높은 도로설계 안전성 평가 시스템을 완성할 수 있을 것이다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제60회 학술발표회(2009. 2.21)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. Bonneson J. et al(2006), “Roadway Safety Design Synthesis”, FHWA/TX-06/0-4704-P4, Texas Department of transportation.
2. Eric Hildebrand(2008), “Evaluation of accident prediction for rural highways”, National Research Council Canada, pp.647~651.
3. Hong Zhang(2003),“Application of Highway Crash Frequency Prediction Model for Highway Transportation Planing”, 9th TRB Conference on the Application of Transportation Planing Method, pp.201~211.
4. Will Conkin(2004), “Evaluation of US 119 Pine Mountain Safety Improvements: IHSDM Analysis of Pst Construction”, Kentucky Transportation Cabinet Commonwealth of Kentucky.

5. Warren Hughes et al(2004), "Development of a highway Safety Manual", NCHRP, pp.17～18.
6. Eric T. Donnell(2007), Appraisal of the Interactive Highway Safety Design Model's Crash Prediction and Design Consistency Module Results: Case Study from Pennsylvania, TRB Annual Meeting.
7. Federal Highway Administration(2002), "Safety Analyst", White paper for module.
8. British Columbia Ministry of Transportation (2005), "MicroBENCOST Guidebook".
9. Interactive Highway Safety Design Module Engineer Manual.
10. 국토해양부(2002), "도로설계검사시스템개발".

♧ 주 작 성 자 : 김응철
♧ 교 신 저 자 : 최은진
♧ 논문투고일 : 2009. 2. 21
♧ 논문심사일 : 2009. 4. 15 (1차)
2009. 6. 2 (2차)
♧ 심사판정일 : 2009. 6. 2
♧ 반론접수기한 : 2009. 12. 31
♧ 3인 익명 심사필
♧ 1인 abstract 교정필