

■ 論 文 ■

차량시뮬레이터를 이용한 고속도로 복합선형구간에서의 운전자 감성평가

Cognitive Evaluation of Geometrical Structure on Express Highway with Driving Simulator

이 병 주

(원광대학교 토목환경도시공학부 초빙교수)

박 민 수

(원광대학교 토목환경공학과 공학석사)

이 수 범

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

남궁 문

(원광대학교 토목환경도시공학부 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구배경 및 목적
 - 2. 연구동향
 - 3. 연구내용 및 방법
 - II. 기본이론
 - 1. 감성공학
 - 2. 차량시뮬레이터
 - III. 실험 및 자료분석
 - 1. 실험개요 및 범위
 - 2. 도로이미지의 감성요인
 - 3. 응답자 속성 및 단순분석
 - 4. 주성분 분석
 - IV. 도로 안전성 LISREL 모형 구축
 - 1. 정적인 도로 안전성 모형
 - 2. 동적인 도로 안전성 모형
 - V. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 3차원 가상현실, 차량 시뮬레이터, 복합선형구간, LISREL, 도로 이미지, 감성평가

요 약

본 연구에서는 현장실험 실시의 제약을 극복하기 위해 3차원 가상현실(Virtual Reality)로 4차로 고속도로를 모델링한 후, 피실험자가 차량시뮬레이터(Driving Simulator)에 탑승하고 주행하면서 혼합곡선부의 선형변화에 대한 동적인 반응 데이터를 획득함과 동시에 도로 기하구조 이미지 인지특성 데이터를 획득하였다. 특히, 본 실험에 적용된 차량시뮬레이터의 그래픽 모듈은 동역학 해석 모듈로 얻은 데이터에 기초하여 운동재현기와 가상환경의 일치감을 최대로 하여 피실험자로 하여금 Simulator Sickness를 최소화하도록 하였으며, 감성요인으로 사용된 어의는 국어사전 및 전문가의 견해를 바탕으로 추출된 7개 항목의 형용사를 바탕으로 감성평가를 실시하였다. 또한 감성적인 측면에서 도로 선형과 안전성에 대한 인과관계를 규명하기 위하여 LISREL(Linear Structural Relationships) 모형을 이용하여 정적인 도로 안전성 모형과 동적인 도로 안전성 모형을 구축하여 복합선형구간에서 도로 기하구조의 변화에 따른 운전자들의 안전성에 영향을 미치는 요인을 규명하였다. 그 결과, 도로 설계시 운전자의 감성적인 측면을 고려한 도로 설계가 필요하며 이는 안전한 도로를 건설하는데 있어 매우 중요한 요인이며 이를 통하여 도로 안전성 향상에 기여할 수 있다고 생각된다.

이 논문은 2002년도 원광대학교의 교비 지원에 의해서 수행됨.

1. 서론

1. 연구배경 및 목적

안전한 도로설계는 설계자의 의도와 도로를 주행하는 운전자의 인지가 일치하는 경우에 형성된다고 말할 수 있다. 이와 같은 일치가 이루어지지 않는 경우, 도로에서는 상충횟수와 사고발생 확률은 높아지게 되며, 주행중 운전자가 느끼는 피로, 불쾌감, 불안감 등도 함께 증가하게 된다. 국내외 도로설계 지침서에는 곡선 구간이나 종단경사 구간에 대해서는 주행속도 변화에 따라 적용할 수 있는 곡선반경과 종단구배의 설계 기준을 제시하고 있으나 혼합곡선부의 복합선형 구간에서는 명확한 기준이 제시되고 있지 않다. 도로 기하구조와 관련된 선행 연구들에 의하면 도로설계 기준에 의해 설계된 도로라 할지라도 운전자의 인지 여부에 따라 사고발생 위험도가 증가한다. 특히, 대부분의 운전자들은 주행중 시각적으로 도로 기하구조를 인지하게 되는데 이러한 인지가 바로 감성요인이며, 도로 안전에 미치는 영향이 매우 크다고 볼 수 있다. 따라서 도로선형의 안전성을 향상하기 위해서는 도로 설계시 운전자의 감성적인 측면을 고려한 접근이 필요하며, 이러한 연구의 필요성은 국내외적으로 부각되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 현장실험의 제약을 극복하기 위해 3차원 그래픽을 이용하여 4차로 고속도로를 가상현실(Virtual Reality)로 모델링한 후, 혼합곡선부의 선형변화에 대해 피실험자가 느끼는 도로 기하구조의 이미지 인지특성 및 차량시뮬레이터(Driving Simulator)를 이용한 혼합곡선부의 선형변화에 대한 동적 반응실험을 실시하고 주성분 분석 및 LISREL 모형을 이용하여 도로 안전성 모형을 구축하여 복합선형구간 설계시 안전성 향상을 위해 고려해야 할 요인이 무엇인가를 규명함으로써 감성적인 측면을 고려한 안전한 도로 설계의 방향을 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 연구동향

도로 안전성 향상을 위한 도로설계 방안에 대한 기존 연구들을 살펴보면, 시각행태에 관한 연구로 장정화(2002)가 곡선구간에서 운전자의 시각행태에 대한 특성 분석을 통해 운전자의 시각이 안전과 밀접한 관

련이 있음을 확인하였고 남궁문(1999)은 "인간의 행동은 이미지에 의존한다"라는 기존의 연구를 바탕으로 하여 도로 이미지가 경로선택에 미치는 영향에 관한 연구를 수행하였으며, 김종구와 오승훈(2001)은 가로경관의 물리적 공간구성요소에 대한 심리평가를 SD 법과 인자분석을 통하여 가로경관 계획 및 설계에 적용한 연구를 수행하였다. 또한 Penny와 Belluz(1999), Hassan과 Easa(2000)는 실제 도로와 유사하게 제작한 애니메이션을 이용하여 도로 선형변화에 따른 운전자의 인지반응에 대한 연구를 진행하였다. 하지만 이러한 연구들은 실제 상황의 실험이 불가능하므로 가상현실 기법을 이용하여 실제 주행상황을 재현하고 운전자의 안전과 연구 수행의 유연성을 확보하면서 비용 절감의 효과를 가지고 있는 차량 시뮬레이터를 이용한 연구가 선진국에서 활발히 진행되고 있다. 국내에서도 최동찬, 조준희, 이승준 등(1999)은 차량 시뮬레이터를 이용하여 주행환경의 속도감에 대한 인자 분석과 음주 운전자의 운전 특성 분석을 하였으며, 정선경(2001)은 차량 시뮬레이터에 의한 급발진 사고 재현 및 운전자 반응 분석 등의 연구를 수행하였다.

3. 연구내용 및 방법

본 실험에 적용된 차량시뮬레이터의 그래픽 모듈은 동역학 해석 모듈로 얻은 데이터에 기초하여 운동제현기와 가상환경의 일치감을 최대로 하여 피실험자로 하여금 Simulator Sickness를 최소화하도록 하였으며, 감성요인에 사용된 언어는 국어사전 및 전문가의 견해를 바탕으로 추출된 형용사를 바탕으로 7개의 항목으로 설문을 구성하여 감성평가에 대한 데이터를 획득하였다. 먼저 도로 기하구조의 이미지 인지 특성을 규명하기 위하여 주성분 분석을 실시하였으며, 도로 기하구조 설계요인중 복합선형구간에서 안전성과 가장 관련이 높은 동적 요인 데이터를 파악하여 동적 요인에 대한 운전자들의 행동특성을 규명하였다. 그리고 복합선형구간에서 도로 기하구조요인과 감성적인 요인을 동시에 고려한 도로 안전성 LISREL 모형을 구축함으로써 운전자가 느끼는 감성적인 요인이 도로 안전과 어떠한 관련이 있는지를 파악하여 감성적인 측면을 고려한 안전한 도로 설계의 방향을 제시한다.

II. 기본이론

1. 감성공학

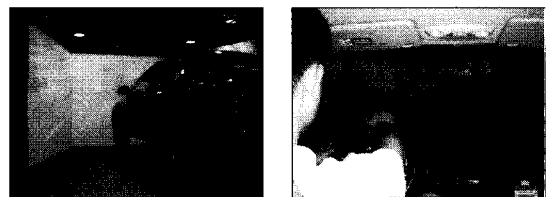
감성공학이란 “감성과 공학을 결부시키는 기술”로서 인간의 감성을 분석하여 이를 제품설계에 이용하여 사람에게 기쁨과 만족을 줄 수 있는 제품 만들기를 공학적으로 행하는 분야를 말한다. 감성공학과 기존의 기술체계의와의 근본적 차이점은 “정서적 충족”과 “물리적 편리성”이라는데 있다. 즉, 인간이 물리적 편리성을 추구한다고 해서 반드시 정서적으로 만족하지는 않는다는 점을 과학기술자들이 심각하게 깨닫게 된 것에서 감성공학이 출현하게 된 것이다. 따라서 감성공학의 핵심은 인간의 쾌적성을 평가하기 위한 기초자료로서 인간의 시각, 청각, 후각, 미각, 촉각 등의 감각기능을 측정하고 인간이 어떤 조건 하에서 “고급스러움”, “친밀감”, “참신함”, “색다름” 등의 감정을 가지게 되는지 등을 측정하는 기술이 된다. 이에 감성공학을 시스템적으로 체계화해 보면 “인간의 이미지를 구체적인 물리적 디자인 요소로 번역하여 그것을 실현하는 기술”로서 말로서 표현된 이미지(감성어)를 구체적인 디자인으로 표현하기 위해 번역하는 시스템이라고 말할 수 있다.

제품과 관련된 인간의 감성은 단순한 제품의 외형 디자인에 한정되지 않는다. 외형 디자인과 밀접한 관계가 있는 모양이나 색상 이외에도 제품 사용시 제품이 주는 모든 느낌이 사용자에게 대한 만족도 또는 선호도를 결정한다. 따라서 감성공학을 인간의 감성 자체에 대한 연구와 그 연구 결과를 이용하여 인간이 사용하는 제품이나 환경을 편리하면서도 만족스럽게 개발하는 과정을 포함시켜 다음과 같이 정의 할 수 있다. “인간이 제품이나 주변 환경에 대하여 감각기관으로부터 받아들인 각종 감각과 정보자극 및 이와 관련된 개인의 경험을 통하여 갖게 되는 복합감정으로서 감성을 측정하고 분석하여 제품이나 환경을 인간 생활에 편리하고 안락하면서도 만족스럽게 개발하는 전체과정이다.” 한편, 감성요인의 측정과 분석에 생리학적 척도(Physiological Measure)들을 이용할 수 있으면 디자인 요소의 결정에 신뢰도가 있는 자료를 제공할 수 있을 것이다.

2. 차량시뮬레이터

차량 시뮬레이터는 현실의 자동차를 운전하는 대신 안전한 실험실 내에서 위급 상황까지 포함하는 다양한 주행 상황을 반복적으로 재현하고 운전자를 포함하는 Driver-in-the-Loop Simulation을 수행함으로써 다양한 전자제어시스템의 성능, 사용성 및 운전자 수용성 등을 효과적으로 평가할 수 있게 한다. <그림 1>은 본 연구에서 사용한 차량 시스템으로서 3채널의 영상 시스템을 갖추어 운전자에게 150×40도의 넓은 시야 범위를 제공하고 전기식 운동 시스템을 갖추어 자동차의 운동감을 운전자에게 피드백 함으로써 높은 현실감을 확보하고 있다.

시각 컴퓨터는 현실감 높은 컴퓨터 이미지를 초당 30프레임의 높은 재현율로 생성하고, LCD 프로젝터를 이용하여 스크린에 영상함으로써 가상 주행환경을 구현하였으며, 음향 컴퓨터는 각종 소음 및 음향을 재현하고 있다. 그리고 제어 힘 로딩시스템은 운전자의 운전 입력을 검출하는 기능과 더불어 운전자에게 현실감 있는 운전조작 장치의 반력 및 반토크를 피드백하는 기능을 수행한다. 또한, 시스템의 안전을 고려하고 전체 시스템의 운전 상황을 효율적으로 파악하기 위하여 제어상태 감시 시스템을 구성하고 시스템의 오작동 및 위험 상황에 적극적으로 대처하기 위한 안전 시스템을 구성하여 적용하고 있다.



<그림 1> Full-Scale 차량 시뮬레이터 및 실험 상황

III. 실험 및 자료분석

1. 실험개요 및 범위

본 연구에서는 운전자가 복합 선형구간에서 도로 기하구조의 변화에 따라 도로 주행시 느끼는 도로 이미지 변화가 안전성과 어떤 관계가 있는지를 파악하기 위하여 감성공학적 접근을 시도한다. 도로 기하구

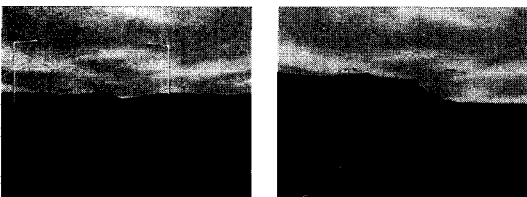
조 설계에 있어 감성공학을 고려하기 위해서는 무엇보다도 운전자가 실제 도로 주행시 느끼는 안전성에 대한 도로 이미지 요인을 파악하는 것이 무엇보다도 선행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 운전자의 안전성에 가장 많이 영향을 미칠 수 있는 도로 기하구조 요인중 종단구배와 곡선반경을 중심으로 운전자의 시각적인 인지에 의해 획득한 정적 데이터와 실제 차량 시뮬레이터를 조작하면서 획득한 동적 데이터를 이용하여 정적 상태와 동적 상태에서의 안전성에 대한 운전자의 반응을 규명한다. 특히, 실험환경을 보다 현실적으로 고려하기 위해서 도로표면, 중앙분리대, 표지판, 차선 등을 고려하고 환경 이미지, 자연색상 등을 부여하여 설계하였다.

복합선형구간의 설계요소와 이에 따른 수준값을 <표 1>과 같이 설정하여 설계요소에 변화를 주었다. 또한, 실제 도로환경의 변화에 따른 운전자 인지특성을 파악할 수 있도록 <그림 2>와 같이 3D 그래픽 화면을 이용하여 각 화면이 바뀔 때마다 운전자가 느끼는 이미지를 명확하게 파악하기 위하여 SD법(Semantic Differential Method)을 이용하여 운전자가 시각적으로 느끼는 도로 이미지에 대하여 5점 척도의 점수를 회답을 받았다.

<표 1> 복합선형구간 설계 요소와 수준값

종단구배	0%, 4%, 6%, 8%					
형태	crest	sag	crest	sag	crest	sag
방향	left	right	left	right	left	right
곡선반경	460m		660m		860m	

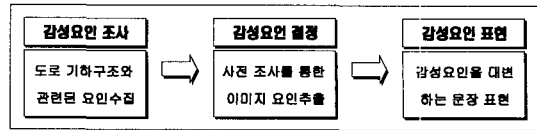


0%. Crest, R=460m, Left Curve 8%. Sag, R=860m, Right Curve

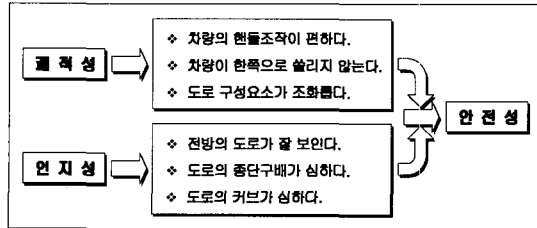
<그림 2> 도로 기하구조의 3D 그래픽 예

2. 도로이미지의 감성요인

단순히 도로 이미지와 관련된 요인 조사에 그치지 않고 감성의 대변 정도나 특정한 감성요인과의 관계되는 대표성 등을 충분히 고려하기 위하여 <그림 3>과



<그림 3> 감성요인의 추출과정



<그림 4> 복합 선형구간에서의 감성요인

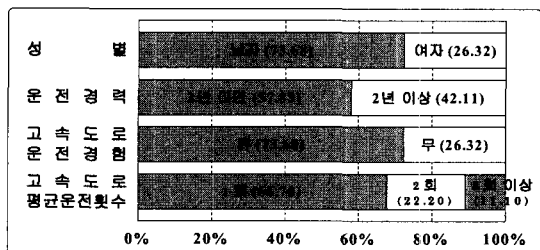
같은 과정을 거쳐 본 연구에서 사용한 도로 이미지에 대한 감성요인을 추출하였다.

<그림 4>와 같이 복합 선형구간에서 운전자가 느끼는 도로 기하구조의 이미지를 회답받기 위해서 감성요인을 표현할 수 있는 항목을 감성요인별로 2개씩 표현하고 각 항목에 대하여 응답자들이 어느 정도로 인식하고 있는지를 회답하는 방법으로 복합 선형구간에서 느끼는 이미지를 조사하였다.

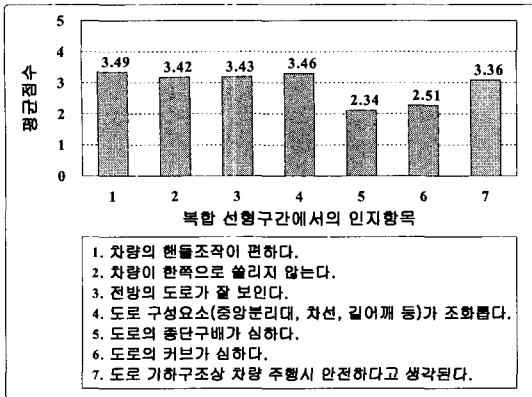
3. 응답자 속성 및 단순분석

본 조사에서는 개인속성으로서 성별, 연령, 운전경력, 고속도로 운전경험과 같은 기본 항목을 조사하였으며, 응답자들의 각 속성별 구성비는 <그림 5>와 같다.

<그림 6>은 복합 선형구간에서 운전자가 느끼는 도로 기하구조의 이미지를 회답 받아 각 항목을 그대로 점수로 바꾸어 전 표본에 대한 평균점수를 나타낸 것이며, 그 결과 다른 항목에 비해 도로의 종단구배와 커브가 심하다는 항목의 평균점수가 다른 항목에 비해 조금 낮게 나타났다.



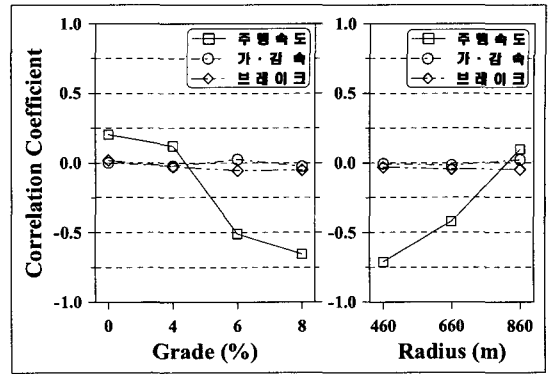
<그림 5> 응답자의 속성별 구성비



〈그림 6〉 도로이미지에 대한 인식척도

1) 안전성에 대한 검증

차량 시뮬레이터에 의한 동적 실험에서 안전성에 대한 요인을 규명하기 위하여 먼저 정적 상태에서의 안전성과 동적 상태에서의 정량적으로 언어진 수치 데이터중 안전성과 가장 관련이 많은 요인인 주행속도, 가감속, 브레이크에 대해 상관분석을 실시하였다. 그 결과 〈그림 7〉에 나타난 것처럼 주행속도의 상관성이 종단구배 6%, 8%, 곡선반경 660m, 460m 구간에



〈그림 7〉 안전성과 동적 데이터의 상관성 관계

서 부(-)의 관계로 높아지고 있어 도로환경 조건에 따라 안전성의 인지가 달라짐을 확인할 수 있어 동적 상태에서의 안전성을 나타내는 요인으로 설정하였다.

도로 기하구조에서 안전성 요인에 대해 정적 상태와 동적 상태에서 개인속성별로 차이가 있는지 알아보기 위하여 항목별 평균치 검정을 실시하였다. 정적 상태에서의 안전성은 “도로 기하구조상 차량 주행시 안전하다고 생각된다”의 이미지 항목을 기준으로 하였으며 동적 상태에서의 안전성은 상관성 분석에서 정

〈표 2〉 도로 안전성 요인에 대한 항목별 평균치 검정

항목		구분	표본수	평균	S.D	t 값	p-value
정적 요인	성 별	남	115,328	3.477	0.956	55.13	0.0001
		여	47,534	3.181	0.856		
	연 령	25세 미만	83,707	3.283	0.961	38.68	0.0001
		25세 이상	79,155	3.461	0.899		
	운전경력	25개월 미만	65,647	3.245	0.895	44.94	0.0001
		25개월 이상	97,215	3.454	0.953		
	고속도로 운전경험	유	116,763	3.275	0.915	-64.66	0.0001
		무	46,099	3.608	0.945		
고속도로 평균운전횟수	2회 미만	73,929	3.513	0.921	78.00	0.0001	
	2회 이상	42,971	3.065	0.963			
동적 요인	성 별	남	159,917	84.452	17.62	114.96	0.0001
		여	47,534	72.3.6	20.084		
	연 령	25세 미만	84,122	83.773	16.484	-62.18	0.0001
		25세 이상	79,410	77.9	21.261		
	운전경력	25개월 미만	66,062	85.846	17.326	-89.58	0.0001
		25개월 이상	97,470	77.584	19.652		
	고속도로 운전경험	유	117,433	83.414	17.156	76.59	0.0001
		무	46,099	74.571	22.34		
고속도로 평균운전횟수	2회 미만	74,341	85.524	15.879	57.98	0.0001	
	2회 이상	43,229	79.527	17.659			

적 상태의 안전성 이미지와 가장 상관성이 높게 나타난 주행속도를 기준으로 하여 분석을 실시하였다. 그 결과 <표 2>와 같이 정적 상태와 동적 상태에서 안전성에 대하여 모든 항목이 차이가 있는 것으로 나타나 도로상에서 운전자가 느끼는 안전성이 개인속성에 따라 다음을 확인할 수 있다.

2) 주행속도에 대한 검정

복합선형구간의 도로 기하구조에서 안전성을 나타내는 주행속도에 대해 종단선형별로 곡선반경과 종단구배가 어떤 영향을 미치는지를 분석함으로써 동적 상태 즉, 실제 주행시 느끼는 안전성에 어떤 영향을 미치는지를 알 수 있다. 따라서 주행속도에 대해 종단선형별로 곡선반경과 종단구배의 변화에 따라 차이가 있는지 분석을 실시하였으며, 분석결과는 <표 3>과 <표 4>에 나타냈다.

복합선형구간의 도로 기하구조 조건 상황에 따른 종단구배별 평균 주행속도에 대한 분석을 실시한 결과 <그림 8>에서와 같이 종단선형과 커브 형태에 따라 운전자들의 평균 주행속도의 특성이 달라지고 있음을 알 수 있었다. 즉, Crest 구간에서는 좌커브에 비하여 우커브에서 평균 주행속도가 높게 나타나고 있는

며, Sag 구간에서는 반대로 좌커브의 평균 주행속도가 높게 나타나고 있었다. 이러한 결과는 종단선형의 도로 구조적인 형태에 의해서 나타난 결과로써 Crest 구간에서 운전자가 주행을 하면서 좌커브 구간에 진입을 할 경우 도로 중앙의 중앙분리대가 운전자의 시거를 제약하는 요인으로 작용하기 때문인 것으로 생각되며, Sag 구간에서는 반대로 중앙분리대의 영향이 적어지는 좌커브에서 주행속도가 증가하고 있는 것으로 생각된다.

또한, 종단구배의 증가에 따라 Crest 구간보다는 Sag 구간에서 평균 주행속도가 다소 높게 나타나고 있는데 그 이유는 Crest 구간에서 종단구배가 증가함으로써 시거가 전체적으로 감소하지만 Sag 구간에서는 시거가 증가하여 도로의 평면선형에 대한 시야가 확보된 결과인 것으로 생각된다. 그리고 도로 기하구조 조건에 따른 주행속도 분포에서도 Sag 구간에 비해 Crest 구간에서는 종단구배가 증가하면 개인별 주행속도의 범위가 좁아지고 있으며, 곡선반경이 증가함에 따라서는 범위가 넓어지고 있었다. 따라서 운전자들은 시거가 확보되는 구간에서 안전하다고 느껴 주행속도를 높이고 있음을 확인할 수 있었다.

<표 3> Crest 구간에서의 속도에 대한 평균치 검정

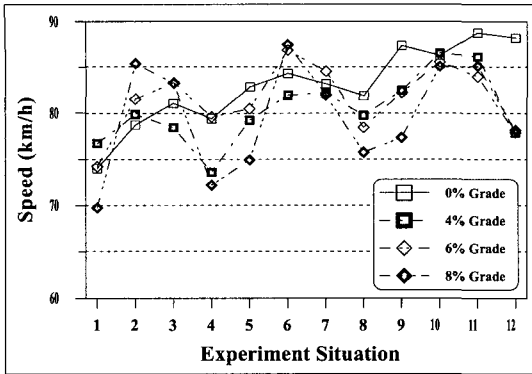
구분	Grade	0%	4%	6%	8%
	Radius				
Left Curve	460m	73.97 (15.98)	76.69 (15.50)	74.18 (12.70)	69.72 (16.28)
	660m	82.83 (19.46)	79.23 (16.38)	80.47 (18.25)	74.91 (18.34)
	860m	87.34 (21.93)	82.47 (15.31)	82.22 (16.81)	77.34 (19.33)
	F	474.90	115.96	248.79	176.60
	p-value	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	RMSE	18.84	15.74	16.00	17.97
	Right Curve	460m	78.72 (20.98)	79.85 (18.06)	81.52 (19.86)
660m	84.30 (19.40)	81.95 (18.36)	86.86 (19.52)	87.45 (15.95)	
860m	86.29 (24.13)	86.54 (17.16)	85.55 (17.75)	85.07 (18.29)	
F	115.79	117.86	68.88	18.12	
p-value	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	
RMSE	21.56	17.88	19.08	16.99	

()는 표준편차임

<표 4> Sag 구간에서의 속도에 대한 평균치 검정

구분	Grade	0%	4%	6%	8%
	Radius				
Left Curve	460m	81.07 (19.40)	78.43 (16.88)	83.31 (19.38)	83.21 (17.15)
	660m	83.16 (21.68)	82.21 (16.76)	84.53 (19.11)	81.97 (18.59)
	860m	88.76 (22.61)	86.13 (17.61)	83.95 (19.39)	85.10 (19.51)
	F	117.77	169.35	3.28	23.83
	p-value	0.0001	0.0001	0.0378	0.0001
	RMSE	21.23	17.07	19.30	18.43
	Right Curve	460m	79.39 (21.37)	73.56 (18.74)	79.59 (19.75)
660m	81.88 (22.37)	79.75 (16.56)	78.45 (17.87)	75.73 (18.48)	
860m	88.18 (20.88)	77.87 (16.78)	77.89 (19.82)	78.17 (20.87)	
F	148.42	118.45	6.97	93.62	
p-value	0.0001	0.0001	0.0009	0.0001	
RMSE	21.56	17.42	19.17	18.74	

()는 표준편차임



번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
형태	Crest		Sag		Crest		Sag		Crest		Sag	
방향	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right
R(m)	460				660				860			

〈그림 8〉 복합선형구간의 도로 기하구조 조건에 따른 종단구배별 평균속도

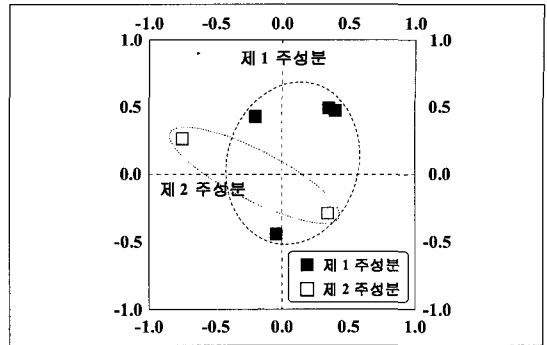
4. 주성분 분석

본 연구에서는 운전자들이 복합선형구간에서 느끼는 도로 기하구조 이미지에 대한 유형별 영향 요인을 분석하기 위해 주성분 분석을 실시하였다. 전체 도로 기하구조 조건에 대한 이미지의 주성분 분석 결과, 〈표 5〉에서와 같이 제3이하의 주성분은 제1주성분, 제2주성분에 비해 고유치와 분산의 기여율이 작고 명확한 해석에 이르지 않으므로 제2주성분까지 해석하기로 한다. 하지만 누적 기여율이 65.21%로 이미지 설명변수가 내재하고 있는 의미를 설명하는데 있어 높은 정도를 나타내지는 못하지만 운전자들이 복합선형구간에서 느끼는 도로 기하구조에 대한 이미지 인지특성 요인은 찾을 수 있었다.

제1주성분에서는 “차량의 핸들조작이 편하다”, “차량이 한쪽으로 쏠리지 않는다”, “전방의 도로가 잘 보인다”.

〈표 5〉 전체 도로 기하구조 조건에 대한 이미지 변수의 주성분 분석 결과

주요항목	제1주성분	제2주성분
1. 차량의 핸들조작이 편하다.	0.471744	0.399304
2. 차량이 한쪽으로 쏠리지 않는다.	0.491382	0.351528
3. 전방의 도로가 잘 보인다.	0.428704	-0.198038
4. 도로 구성요소가 조화롭다.	0.262561	-0.747346
5. 도로의 종단구배가 심하다.	-0.292233	0.342351
6. 도로의 커브가 심하다.	-0.444833	-0.045109
고유치 (Eigenvalue)	2.94254	0.97021
누적기여율 (Cumulative)	0.49040	0.65210



〈그림 9〉 전체 도로 기하구조 조건에 대한 이미지 변수의 주성분 부하량

“도로의 커브가 심하다” 항목의 인자 부하량이 높게 나타나고 “도로의 종단구배가 심하다”, “도로의 커브가 심하다” 항목이 부(-)의 부호조건을 가지고 있어 해석성을 나타낸다고 할 수 있다. 제2주성분에서는 “도로 구성요소가 조화롭다”, “도로의 종단구배가 심하다” 항목의 인자 부하량이 높게 나타나고 “전방의 도로가 잘 보인다”, “도로의 구성요소가 조화롭다”, “도로의 종단구배가 심하다” 항목이 부(-)의 부호조건을 가지고 있어 인지성을 나타낸다고 할 수 있다. 그리고 주성분간의 관련성을 알아보기 위하여 이들 변수들의 주성분 부하량을 제1주성분과 제2주성분의 좌표상에 표시하여 주성분 상호간의 관련성에 의한 변수특성을 분류하여 본 것이 〈그림 9〉이다.

그 결과 2개의 집단이 각각 상호 주성분 축에는 근접해서 존재하지만 각각 독립적인 범위를 가지고 있지 않고 명확하게 구별되지 않고 있다. 따라서 운전자들이 복합선형구간에서 느끼는 도로 기하구조에 대한 이미지를 명확하게 어느 한 요인으로 구분하여 느끼는 것이 아니라 복합적으로 느끼고 있다고 생각된다.

IV. 도로 안전성 LISREL 모형 구축

1. 정적인 도로 안전성 모형

1) 경로도형의 구성개념과 구조방정식

복합선형구간에서의 도로 기하구조 이미지 모형을 구축하기 위하여 먼저 경로도형(Path Diagram)을 설정하기 위해 식(1)~(4)와 같이 방정식을 구축하고 이를 바탕으로 〈그림 10〉과 같이 경로도형을 작성하였다.

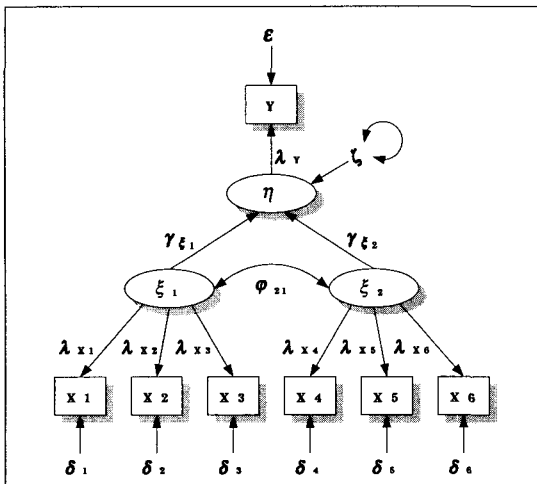
$$\eta = \begin{pmatrix} \gamma_{11} \\ \gamma_{21} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{pmatrix} + \zeta \tag{1}$$

$$y = \eta + \varepsilon \tag{2}$$

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_3 \\ x_4 \\ \vdots \\ x_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_{11} & 0 \\ \vdots & \vdots \\ \lambda_{31} & 0 \\ 0 & \lambda_{42} \\ \vdots & \vdots \\ 0 & \lambda_{62} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \vdots \\ \delta_3 \\ \delta_4 \\ \vdots \\ \delta_6 \end{pmatrix} \tag{3}$$

$$\Psi = \phi_{21} \tag{4}$$

〈그림 10〉의 경로도형에서 X_1 에서 X_6 은 외생변수로서 복합선형구간에서의 도로 기하구조 이미지 변수로서 X_1 은 "차량의 핸들조작이 편하다", X_2 는 "차량이 한쪽으로 쏠리지 않는다", X_3 은 "도로 구성요소가 조화롭다", X_4 는 "전방의 도로가 잘 보인다", X_5 는 "도로의 종단구배가 심하다", X_6 은 "도로의 커브가 심하다"를 나타내고 ξ_1, ξ_2 는 잠재변수로서 쾌적성과 인지성의 이미지를 나타낸다. 그리고 δ 는 관측치와 잠재치의 측정오차를 나타내며, η 는 복합선형구간의 종합적인 도로 기하구조 이미지 잠재변수로서 안전성을 나타내며 Ψ 는 쾌적성과 안전성의 상관을 나타내며, 마지막으로 내생변수 Y 즉, "도로 기하구조상 차량 주행시 안전하다고 생각된다"에 영향을 미친다. ε 은 δ 와 같이 측정오차를 나타낸다.



〈그림 10〉 도로 기하구조 이미지에 대한 가정 모형의 경로도형

2) 도로안전성 모형 구축

복합선형구간에서의 도로 기하구조 이미지를 나타내는 쾌적성, 인지성과 관련된 이미지 항목을 바탕으로 도로 기하구조 이미지 모형을 구축한 결과는 〈표 6〉과 같으며, 〈표 6〉에서 보는 것처럼 모형의 적합도를 평가하는 카이제곱 통계량, 적합도 지수, 조정적합도 지수, 원소평균제곱근 잔차를 종합적으로 고려해 볼 때 제안된 모형은 적절한 모형이라고 할 수 있다.

도로 기하구조 이미지 모형을 구축한 결과, 추정계수 및 t 값이 높게 나타나 운전자들은 복합선형구간에서의 쾌적성과 인지성을 통해 도로 기하구조에 대한 안전성 이미지를 인식하고 있는 것으로 판단된다.

또한, 잠재변수인 γ_{ξ_2} 의 계수 값이 γ_{ξ_1} 의 계수 값보다 높게 나타나 안전성을 인식하는데 쾌적성 보다 인지성이 중요한 요인이며, 도로의 종단구배와 커브가 심하다는 요인이 부(-)의 부호조건을 나타내고 있어 운전자들이 시각적인 정보를 통해 종단구배와 커브가 심하다고 인지하면 복합선형구간에서 안전성을 낮게 인식함을 알 수 있었다.

〈표 6〉 도로이미지 모형의 추정계수

계수	추정치(t 값)	표준화 추정치	계수	추정치(t 값)	표준화 추정치
λ_Y	1.059 (270.320)	1.000	ϕ_1	0.694 (499.404)	
γ_{ξ_1}	0.155 (20.839)	0.137	ϕ_{21}	0.539 (287.649)	0.815
γ_{ξ_2}	1.134 (314.941)	0.960	ε	0.000 (0.000)	
λ_{X1}	1.011 (535.305)	0.842	δ_1	0.290 (168.960)	
λ_{X2}	1.107 (644.562)	0.923	δ_2	0.149 (85.982)	
λ_{X3}	0.312 (104.119)	0.260	δ_3	0.932 (281.916)	
λ_{X4}	0.859 (334.219)	0.687	δ_4	0.528 (227.559)	
λ_{X5}	-0.534 (-179.934)	-0.427	δ_5	0.817 (273.450)	
λ_{X6}	-0.858 (-333.661)	-0.686	δ_6	0.529 (227.947)	
ψ	0.243 (105.665)	0.522			
χ^2				23662.8647	
GFI				0.9602	
AGFI				0.8608	
RMR				0.0618	

2. 동적인 도로 안전성 모형

1) 경로도형의 구성개념과 구조방정식

본 절에서는 동적 도로 안전성 평가 모형을 구축하기 위하여 정적 도로 안전성 모형에 복합선형구간의 도로 기하구조 조건 및 차량시물레이션에 의한 동적 데이터를 고려한 모형화를 시도함으로써 정적 도로 이미지와 도로 기하구조 조건 그리고 동적 반응 요인이 복합선형구간의 안전성에 어떤 영향을 미치고 있는지 명확히 파악할 수 있을 것으로 판단된다. 먼저 복합선형구간에서의 도로 안전성 평가 모형을 구축하기 위하여 식(5)~(8)과 같이 방정식을 구축하고 이를 바탕으로 <그림 11>과 같이 경로도형을 작성하여 모형의 기본 개념을 파악하였다.

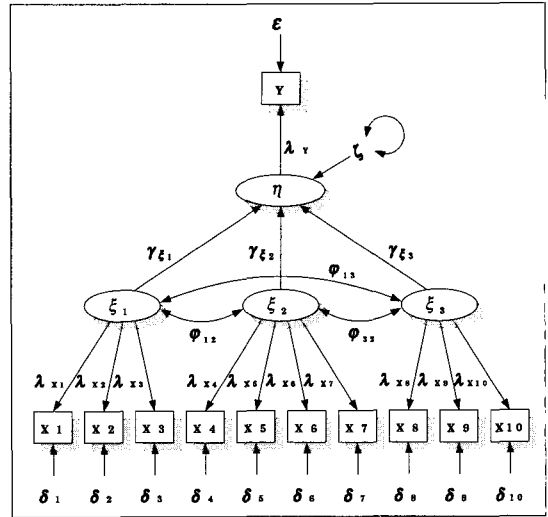
$$\eta = \begin{pmatrix} \gamma_{11} \\ \gamma_{21} \\ \gamma_{31} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \end{pmatrix} + \zeta \quad (5)$$

$$y = \eta + \epsilon \quad (6)$$

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \\ x_9 \\ x_{10} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_{11} & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \lambda_{31} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_{42} & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \lambda_{72} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_{83} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \lambda_{103} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \delta_4 \\ \delta_5 \\ \delta_6 \\ \delta_7 \\ \delta_8 \\ \delta_9 \\ \delta_{10} \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\psi = \begin{pmatrix} \psi_{21} \\ \psi_{32} & \psi_{31} \end{pmatrix} \quad (8)$$

<그림 11>의 경로도형에서 하부구조에 있는 X_1 에서 X_3 은 외생변수로서 인지성을 나타내는 "전방의 도로가 잘 보인다", "도로의 종단구배가 심하다", "도로의 커브가 심하다" 항목을 정적 도로 이미지 변수를 이용하였고 X_4 에서 X_7 은 복합선형구간의 도로 기하구조 조건을 나타내는 "종단구배", "종단선형 형태", "곡선반경", "커브 형태"를 이용하였으며, X_8 에서 X_{10} 은 동적 반응 데이터 변수로 "주행속도", "가감속", "브레이크"를 이용하였다. ξ_1 , ξ_2 , ξ_3 은 잠재변수로서 각각 정적 요인, 도로 기하구조 요인과 동적 요인을 나타내고, δ 는 관측치와 잠재치의 측정오차를 나타낸다.



<그림 11> 도로 안전성 평가에 대한 가정 모형의 경로도형

그리고 정적 요인, 도로 기하구조 요인, 동적 요인은 서로 상관이 있다고 생각되어지므로 이것을 ψ 로 나타냈으며 이것들에 의해 결정되어지는 것이 복합선형구간에서의 운전자가 느끼는 안전성에 대한 태도이고 이들은 내생변수 Y 에 영향을 미친다. ϵ 은 δ 와 같이 측정오차를 나타낸다.

2) 동적도로 안전성 모형 구축

복합선형구간에서 운전자가 느끼는 감성적인 영향을 고려한 동적 도로 안전성 모형을 구축하는데 이용된 정적 도로 이미지 변수는 시각적인 인지특성을 반영하고 있는 인지성 항목인 "전방의 도로가 잘 보인다", "도로의 종단구배가 심하다", "도로의 커브가 심하다" 항목을 이용하였으며, 도로 기하구조 요인에서는 종단구배, 종단선형 형태, 곡선반경, 커브 형태를 이용하였다. 그리고 동적 반응 요인에서는 차량 시물레이터의 동적 실험결과로 획득한 동적 반응 데이터 중 주행속도, 가감속, 브레이크 변수를 이용하였다.

복합선형구간에서의 도로 안전성 평가 모형을 구축한 결과는 <표 7>과 같으며, <표 7>에서 보는 것처럼 모형의 적합도를 평가하는 카이제곱 통계량, 적합도 지수, 조정적합도 지수, 원소평균제곱근 잔차를 종합적으로 고려해 볼 때 제안된 모형은 적절한 모형이라고 할 수 있다.

동적 도로 안전성 모형에서 운전자들의 안전성에 있어 도로 이미지에 대한 정적 요인이 가장 큰 영향

〈표 7〉 동적 도로 안전성 모형에 대한 추정계수

계수	추정치(t 값)	표준화 추정치	계수	추정치(t 값)	표준화 추정치
λ_Y	2.033 (22.770)	1.000	ϕ_2	0.011 (39.455)	
γ_{e1}	0.747 (25.884)	0.850	ϕ_3	0.846 (5.591)	
γ_{e2}	-2.232 (-24.508)	-0.469	ϕ_{21}	0.000 (0.000)	0.000
γ_{e3}	0.010 (2.362)	0.019	ϕ_{32}	0.000 (0.000)	0.000
λ_{X1}	1.263 (169.529)	0.706	ϕ_{31}	0.072 (4.616)	0.141
λ_{X2}	-0.784 (-134.231)	-0.438	ϵ	0.000 (0.000)	
λ_{X3}	-1.173 (-165.688)	-0.655	δ_1	0.502 (208.871)	
λ_{X4}	1.148 (13.178)	0.118	δ_2	0.808 (269.769)	
λ_{X5}	1.153 (13.183)	0.119	δ_3	0.571 (230.790)	
λ_{X6}	-0.108 (-2.917)	-0.011	δ_4	0.986 (239.344)	
λ_{X7}	0.400 (8.878)	0.041	δ_5	0.986 (238.787)	
λ_{X8}	1.087 (4.630)	1.000	δ_6	1.000 (284.819)	
λ_{X9}	-0.031 (-2.472)	-0.028	δ_7	0.998 (283.522)	
λ_{X10}	0.004 (1.259)	0.004	δ_8	0.000 (0.000)	
ϕ	0.013 (1.428)	0.231	δ_9	0.999 (282.176)	
ϕ_1	0.312 (84.897)		δ_{10}	1.000 (284.868)	
χ^2			97756.4891		
GFI			0.9079		
AGFI			0.8311		
RMR			0.0902		

을 미치고 있었으며, 그 다음으로 도로 기하구조 조건이 유의한 영향을 미치고 있었다. 특히, 부호조건을 고려해 볼 때 정적 요인과 동적 요인의 잠재변수들은 안전성에 정(+)의 영향을 미치고 있었으며, 도로 기하구조 조건의 잠재변수는 부(-)의 영향을 미치고 있어 도로 기하구조 조건이 안 좋아지면 안전성에 나쁜 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 또한 운전자들이 주행중 획득하는 대부분의 도로 환경적인 조건은

시각적인 측면에 의존하기 때문에 정적 요인의 잠재 변수 영향이 큰 것으로 나타났음을 알 수 있었다. 그리고 잠재요인별 상관성을 나타내는 계수 ϕ_{21} , ϕ_{32} , ϕ_{31} 에서 정적 요인과 동적 요인의 상관성이 유의하게 나타나 3차원 그래픽을 통한 도로 기하구조 이미지에 대한 시각적 인지실험이 유의함을 알 수 있었다. 따라서 감성적인 측면을 고려한 안전한 도로 설계의 가능성을 확인할 수 있었으며, 이를 통해 복합선형구간에서 안전성을 향상시키기 위해서 운전자의 감성평가를 통한 도로 기하구조의 조화로운 설계가 필요할 것으로 생각된다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 고속도로 기본구간내 복합선형구간을 대상으로 운전자가 도로상에서 느끼는 주된 요인을 파악하기 위하여 주성분 분석을 실시하고 LISREL 모형을 이용하여 운전자의 도로 안전성이 대한 정적 과 동적 모형을 구축하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상관성 분석 결과, 정적 상태에서의 안전성과 가장 관련이 높은 요인은 주행속도였으며, 주행속도는 곡선반경과 종단구배의 변화와 관련이 있고 안전성에 영향을 미침을 알 수 있었다.
2. 종단선형과 커브 형태에 따라 운전자들의 평균 주행속도의 특성이 달라져 시거와 안전성이 밀접한 관련이 있음을 알 수 있었다.
3. 주성분 분석결과, 복합선형구간에서 운전자들은 도로 기하구조 이미지를 종합적으로 인지하고 있음을 알 수 있었다.
4. 정적 도로 안전성 모형에서 운전자들은 복합선형구간에서의 쾌적성과 인지성을 통해 도로 기하구조에 대한 안전성 이미지를 인식하고 있음을 알 수 있었다.
5. 동적 도로 안전성 모형에서 운전자들의 안전성에 가장 큰 영향을 미치고 있는 요인은 정적 요인인 도로 이미지, 도로 기하구조 요인 순으로 유의한 영향을 미치고 있었다.
6. 또한 정적 요인과 동적 요인이 유의한 상관성을 가지고 있어 3차원 그래픽을 통한 도로 기하구조 이미지에 대한 시각적 인지실험이 유의함을 알 수 있었다.

이상의 결과를 바탕으로 볼 때 정적 도로 안전성과 동적 도로 안전성은 밀접한 관련이 있으며, 실제 도로 설계시 복합선형구간이 발생하는 문제점을 정적 도로 이미지 요인의 조사로 사전에 파악하는 것이 가능함을 확인하였다. 따라서 도로 설계시 감성적인 측면을 고려하여 도로 설계요소에 의한 3차원 가상현실 모델링과 차량 시뮬레이터를 이용한 도로 안전성을 검토하면 보다 안전한 도로를 설계하는데 많은 도움이 될 것으로 생각된다.

향후 보다 세부적인 연구방법을 통해 정적인 부분을 보완하고 동적 실험과의 연계성을 향상시키는 연구를 실시하여 정적인 도로 기하구조 이미지 요인만을 가지고 도로 안전성을 파악할 수 있는 모형을 개발해야 할 것이다.

참고문헌

1. 김종구·오승훈(2001), "가로경관의 심리평가와 물리적 공간구성요소", 대한토목학회 논문집 제21권 제1-D호, pp.21~31.
2. 남궁문(1999), "정성적인 성분을 고려한 경로선택 행동모델", 대한토목학회 논문집 제19권 제III-2호, pp.217~224.

3. 이순요·심판모(2001), "가상현실형 감성공학", 청문각.
4. 장정화(2002), "국도 곡선 구간에서의 운전자 시각행태 특성 분석에 관한 연구", 명지대학교 대학원, 석사학위논문.
5. 정선경(2001), "차량 시뮬레이터를 이용한 급발진 사고연구", 국민대학교 자동차공학전문대학원, 석사학위논문.
6. 조선배(1996), "LISREL 구조방정식모델", 영지문화사.
7. 최동찬·조준희·이승준·이운성(1999), "차량 시뮬레이터를 이용한 음주 운전자의 운전 특성 분석", 한국자동차공학회 춘계학술대회논문집 제2권, pp.604~609.
8. Penny, K. and L. Belluz.(1999), "Visual Perception of Horizontal Curves Using 3D Computer Modelling", Graduation Project, Lakehead Universtiy, Thunder Bay, Ontario, Canada.
9. Yasser Hassan and Said Easa(2000), "Visual Perception of Horizontal Curves in Three-Dimensional Combined Alignments", Transportation Research Board 79th Annual Meeting, January 9-13, Washington, D.C.

✉ 주 작 성 자 : 이병주
 ✉ 논문투고일 : 2003. 3. 24
 논문심사일 : 2003. 6. 30 (1차)
 2003. 8. 4 (2차)
 심사판정일 : 2003. 8. 4
 ✉ 반론접수기한 : 2003. 12. 31

On the Introduction of the Internal Metering Policy in COSMOS

LEE, Seung-Hwan · LEE, Sangsoo · LEE, Sung-Ho

Internal metering policy(IMP) is a control strategy to improve the quality of traffic flow within a network by avoiding queue spillback or intersection blockage. It is a more aggressive control strategy than the current control strategy employed in COSMOS. A preliminary study was made to incorporate the IMP logic within the COSMOS system to improve its' functionality at oversaturated conditions. From the study results, a set of guideline for real implementation was recommended: traffic conditions, detector configurations, and control procedures, etc. A simulation study was performed to evaluate the effectiveness of the proposed guidelines. It was shown that the occurrence of queue spillback was minimized, and overall network performance was also improved by applying IMP logic as compared to COSMOS control onl.

Cognitive Evaluation of Geometrical Structure on Express Highway with Driving Simulator

LEE, Byung Joo · PARK, Min Su ·
LEE, Soo Beom · NAMGUNG, Moon

This study modeled 4-lane highway in three-dimensional virtual reality in order to overcome difficulties of field experiment, and the research subject was placed in a driving simulator. We survey the driver's cognitive characteristics to the alignment changes in the three-dimensional virtual reality highway. Especially, maximizing the identity of driving movements and virtual scenery on the basis of the data obtained by dynamic analysis module, we minimized simulator sickness for the graphic module of driving simulator. And we carried out cognitive evaluation on the basis of adjective words extracted by dictionary

and the opinion of specialist.

In this study, LISREL model was used to detect the causal relation between geometry and safety in cognitive side, and found that geometric change affects the safety of drivers by static and dynamic road safety model in three-dimensional combined alignments.

As the result, for constructing safety road, we consider drivers' cognitive characteristics as human factors in road design, and we think that they are very important factors to improve road safety.

A Study on Model Development of Pedestrian Crossing Capacity at Unsignalized Crosswalks with Pedestrian Refuge Area

KIM, Sang Gu

This study proposes methodology determining a basic pedestrian crossing capacity that plays a critical role in the installation of pedestrian signal at the crosswalks. The methodology is based on the pattern of vehicle arrived at the crosswalks. Erlang distribuion is used as headway distribution that can cover the various levels of flow rate. Models using Erlang distribution are represented by Erlang parameter (K) of 1, 2, or 3 at 2-, 4-, or 6-lane roadway in both directions. In addition, this study considered the only type of road with a pedestrian refuge area in the median that is used to wait for the allowable gap provided by the flow of another direction. As a result, the pedestrian capacity decreases as flow rate increases and Erlang parameter increases for the road with the pedestrian refuge. This study develops the models to determine the pedestrian capacity under a variety of flow rates and the outcomes of this study could be used as the criteria for the determination of the installation of pedestrian signal or for the provision of pedestrian refuge in the median of road.