

도로주행 시뮬레이터 개발과 도로 선형 안전성 분석

Development of Driving Simulator and Road Alignments Analysis for Safety

김종민* · 노관섭** · 이석기*** · 김용석****

Kim, Jong Min · Noh, Kwan Sub · Lee, Seok Ki · Kim, Yong Seok

1. 서론

도로 교통사고는 2002년 한 해 동안 약 23만 건으로 이로 인해 사회적 손실비용은 11조원에 달하고 있으며 이중, 일반국도상의 사고건수는 5만 4천 여건으로 전체 사고건수의 23%를 차지하고 있다. 교통사고를 미연에 예방하고, 운전자에게 쾌적한 도로주행환경을 제공하기 위해서는, 운전자 행태에 관한 연구를 통해 운전자와 도로와의 상호관계를 인간공학적 측면에서 명확히 하고, 이를 도로설계에 반영하여야 한다. 이에 한국건설기술연구원 도로연구부에서는 운전자 행태 관련 연구수행의 유연성 확보와 피험자의 안전성 확보를 위하여 가상현실 기법을 활용하여 가상의 도로를 운전자가 직접 운전·주행할 수 있는 도로주행 시뮬레이터, K-ROADS (KICT-ROad Analysis Driving Simulator)를 개발했다.

본 논문에서는 도로안전성 및 경관 분석을 위해 개발된 도로주행 시뮬레이터, K-ROADS의 개발 내용을 소개하고, 이를 이용하여 긴직선에 곡선이 연결된 구간에서 직선부 및 곡선부 진입시의 운전자행태를 분석하여 도로안전성을 도로이용자 측면에서 평가하고 이를 설계기술에 적용하고자 한다.

2. 도로주행 시뮬레이터 개발

2.1 개발 목적

도로주행 시뮬레이터(K-ROADS)는 기존도로 및 설계단계에 있는 도로를 운전자가 직접 주행하면서 도로의 안전성 및 경관을 분석·평가할 수 있는 시스템을 말한다. 선진 외국에서는 주로 대학이나 연구소 등에서 자동차 개선을 위한 운전자행태 연구와 도로교통의 안전성 향상과 ITS운영방법 개선에 관한 연구 등에 활용하고 있다.

이에 K-ROADS는 다음과 같은 분야에서 도로안전성 향상 및 경관분석을 위해 실험 연구에 활용될 수 있도록 설계·개발되었다.

- 도로선형 및 노면에 대한 주행안전성 분석모형 개발연구
- 사고 잦은 곳에 대한 사고원인분석 및 개선방안 연구
- 악천후 도로안전시설에 대한 인간공학적 설치기준 연구
- 과속방지시설에 대한 인간공학적 설치기준 연구
- 도로경관의 정량화와 도로시설물의 설치기준 연구

2.2 도로주행 시뮬레이터 개요

본 도로주행 시뮬레이터는 인간공학적 도로안전성 분석 및 경관평가를 위하여, 차량 시뮬레이션, 3차원 영상 재현 및 실제적인 운전 상황을 재현함으로써 다양한 분야에서의 여러 시험 인터페이스와 복합적으로

* 정회원·한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원·공학박사·031-9100-173(E-mail:kimbellsky@kict.re.kr)
** 정회원·한국건설기술연구원 도로연구부 수석연구원·공학박사·031-9100-163(E-mail:ksno@kict.re.kr)
*** 비회원·한국건설기술연구원 도로연구부 연구원·공학석사·031-9100-182(E-mail:oksk@kict.re.kr)
**** 비회원·한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원·공학석사·031-9100-178(E-mail:safeyes@kict.re.kr)

시험을 수행할 수 있는 연구용 도로주행 시뮬레이터로서 다음과 같은 관점에서 설계되었다.

- **운전자 시야 360도 제한** : 교차로 등 교통사고 잦은 도로를 평가하기 위해서는 차량의 진행방향 이외에도 측·후방의 교통까지 재현
- **노면의 요철 재현** : 과속방지턱, 그루빙 등 다양한 노면의 안전시설을 평가하기 위해서는 노면의 요철로부터 전달되는 차량진동까지 가진기를 통해 재현
- **다양한 도로DB 작성** : 도로의 안전성 및 경관을 평가하기 위해서는 다양한 도로선형 및 노면요철, 도로시설물, 지형 등을 기존의 도로설계 데이터를 활용하여 간편히 도로DB로 제작가능

도로주행 시뮬레이터는 다음과 같이 운전자의 차량조작정보를 실험차량이 받아들여 차량시뮬레이션에서 이를 계산하여 시각 및 운동감각 모의장치 등을 통해 운전자에게 다시 재현하는 기능을 하고 있다.

도로주행 시뮬레이터의 개발은 많은 예산과 장기적인 개발기간이 필요하므로, 다음과 같은 5개년 계획을 수립하여 개발 중에 있다. 개발과정에서도 제한된 범위 내에서 주행실험이 가능하도록 설계하였다.

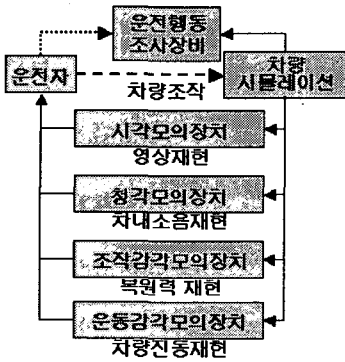


그림 1. 시뮬레이터 구성요소

년도	1차년도(03)	2차년도(04)	3차년도(05)	4차년도(06)	5차년도(07)
도운 재현	시각재현 (전방스크린)	시각재현 기술 개발 (360도 스크린 및 도로DB제작 프로그램 개발)		시각재현 보완 (악천후/원거리)	
차량 재현		차량시뮬레이션	운동감각 재현 (노면진동, 속도)		
인간 측정		운전감각 재현			
활용 계획	시스템 아키텍처 설계	운전자 시시각 특성 (도로선형)	도로선형에 대한 안전성 연구	도로경관 평가 방법 연구	악천후 도로 안전 시설 연구
		교차로 주행 안전성 (인지반용)	과속방지시설에 관한 연구	인간공학에 반영한 도로 시설 안전성 분석 지침 연구	
		심박측정 장비	안구측정 장비	뇌파측정 장비	

그림 2. K-ROADS의 개발5개년 계획

2.3 2004년도 개발내용

2004년도 K-ROADS는 도로주행 시뮬레이터의 핵심요소인 시각재현기능을 중심으로 개발하고 있으며, 브이에스텍 주식회사(VSTEC)가 실험차량 개조 및 차량시뮬레이션 개발, 영상장비 개발 등에 참여하다.

K-ROADS는 하드웨어적으로 실험차량과 360도 영상을 재현할 수 있는 8면 스크린, 8대의 프로젝터와 컴퓨터로 구성된 시각재현 시스템이 있으며, 소프트웨어적으로는 차량 동력학에 입각한 17자유도의 차량 모델링을 실시간으로 계산하는 차량 시뮬레이션과 다양한 도로 오브젝트의 조합을 통하여 도로주행 환경을 쉽게 구현할 수 있는 도로 DB를 제작 툴, Map-Editor로 구성되어 있으며, 추후 보완해 가고 있다.

이 중 360도 영상재현을 할 수 있는 8면 스크린은 피험자(운전자)의 시야(전방, 후방, 측면, 사각지대) 모두를 재현하며, 시험용 차량은 핸들 조향감 재현 장치, 계기(속도계, rpm 등), 차량 주행음 등을 재현하였으며 차량의 진동을 느낄 수 있도록 운전석 시트에 진동매트를 설치하였다.

한편 차량의 운동감각재현은 차기년도(2005년)에 계획되어 있으며, 도로의 선형과 요철에 의해 발생하는 차량의 진동까지 운동역학적으로 재현할 수 있다.

안구운동측정기(faceLAB)는 오스트레일리아 SeeingMachines사의 비디오 영상처리방식의 안구 및 머리 궤적을 추적·기록하는 장치로서 스테레오 비디오 카메라가 얼굴을 자동적으로 추적·계측하며, 분석 프로그램은 영상정보로부터 3차원의 얼굴의 특징(안구 및 얼굴형상)을 추출하고 추적한다. 이 장비는 좌우 30cm, 상하 12cm, 전후 50cm의 범위의 머리이동과 ±90도의 머리 회전까지 검지하고 안구운동 이외에도 6자유도의 머리위치정보를 얻을 수 있다. 특히 faceLAB은 타 장비에 비해 장비착용에 대한 부담감이 없고, 주시점 측정을 자동으로 할 수 있다는 특징이 있다.

다음 표는 2004년도 도로주행 시뮬레이터의 주요 모듈별 개발내용이다. K-ROADS는 추후 활용방안에 따



라 세부시스템을 연차적으로 개발·보완해 나갈 계획이다.

표 1. 도로주행 시뮬레이터의 하부모듈별 주요 개발내용

(1) 실험차량	운전자에게 실험차량에 대한 현실감을 부여
- 캐빈	현실감을 고려한 full scale의 중형급 차량(소나타 3)으로 구성되며, 운전석 내부의 각종 계기 및 스위치, 레버 등을 개조하고, 운전석 시트에 진동매트 장착
- 제어 힘 로딩 시스템	운전자가 핸들 조작 시 느끼는 반 토크를 구현해주는 부분으로 EPS(Electric Power Steering)을 이용하여 여러 운전 상황에서의 운전 반력을 구현
(2) 차량 시뮬레이션	차량 동역학에 입각한 17DOF(자유도)의 차량 모델링을 활용하여 실시간 차량 시뮬레이션을 구현
(3) 영상시스템	운전 중에 발생하는 외부환경에 대한 재현을 담당하며, 도시 환경의 렌더링은 물론, 이동 객체에 대한 애니메이션, 날씨 변화에 따른 환경 변화 등을 재현
- 프로젝터/스크린	전방, 측방, 후방 360도에 대한 8대의 프로젝터 및 8면 평면스크린으로 구성
- 실시간 영상 렌더링 엔진	PC기반의 실시간 영상 렌더링 엔진(DirectX)으로서, 작성된 도로DB에 따른 신호등, 주변차량 등 다양한 교통상황과 안개 등 기상조건을 재현
- 도로DB작성 프로그램 (Map Editor)	다양한 환경의 도로안전성 분석이 가능하도록 도로 및 도로시설물에 대한 데이터 베이스를 작성
(4) 운전행동 조사장비	운전자행태 조사를 위한 안구운동측정기(faceLAB)와 심박측정기(POLAR)를 장착

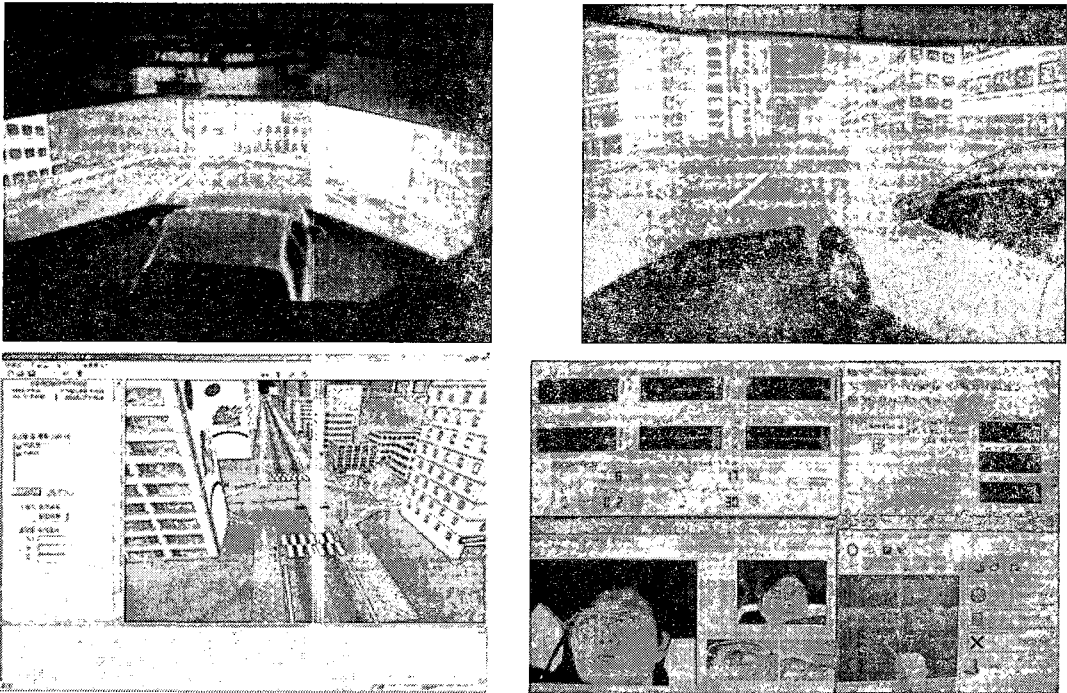


그림 3. K-ROADS 실험실 전경과 Map Editor, 안구운동측정기



3. 도로 선형 안전성 분석

3.1 연구 개요

도로 설계에 있어서 중요한 요소들은 정지시거, 평면선형 및 종단선형, 교차로 시거 등이 있으며, 이들은 도로 유형과 접속 형태에 따라 설계속도가 정의된다. 설계속도는 설계구간 내에서 도로조건, 기후 등이 양호한 상태에서 승용차가 안전하게 달릴 수 있는 최고 속도로 정의되고 있다. 설계속도 기반의 도로 설계는 설계속도가 평면이나 종단곡선에만 적용되며 곡선들을 연결해주는 직선에는 적용하지 못함으로써, 평면곡선부 진입전의 긴 직선 끝에서 운전자의 주행속도는 평면곡선에 적용된 설계속도 보다 큰 값을 갖게 되고 이는 운전자에게 주행상의 부담으로 작용하게 된다.

Krebs 와 Kloecker(1977)의 연구에서는 평면곡선반경과 사고율은 반비례의 관계이며 평면곡선반경 200m 전후로 사고율의 변화가 크며 평면곡선반경 400m를 넘어서는 지점부터는 사고율의 변화가 상대적으로 둔화됨을 제시하였다. 또한 Spacek(1987)에 의하면, 평면곡선반경 350m 미만의 경우가 평면곡선반경 400m를 초과하는 경우에 비해 약 5배정도 사고율이 높음을 제시하였고, 사고율의 급한 변화가 평면곡선반경 200m에서 350m 사이에서 발생함을 제시하였다.

이에 본 연구는 도로주행 시뮬레이터, K-ROADS를 이용하여 긴직선에 곡선이 연결된 구간에서 직선부 및 곡선부 진입시의 운전자행태를 분석하여 도로안전성을 도로이용자 측면에서 평가하고 설계기술에 적용하는데 그 목적이 있다.

3.2 연구내용 및 방법

도로는 수많은 선형의 조합으로 이루어져 있으며 이중, 긴 직선과 곡선의 조합은 운전자에게는 운전하기 곤란한 선형으로 인식될 수 있으며 실제로 이와 같은 선형에서의 사고유발 가능성은 잠재적이다. 따라서 일 반국도상에서 긴직선과 곡선이 조합된 지역을 선정하였으며 해당 지역은 전라북도 진안군 진안읍 가림리를 경유하는 국도30호선상이며 선정지의 수치지도와 지형도를 이용하여 도로선형과 주변 지형의 정보를 가지고 다음 그림과 같이 영상을 재현하였다.

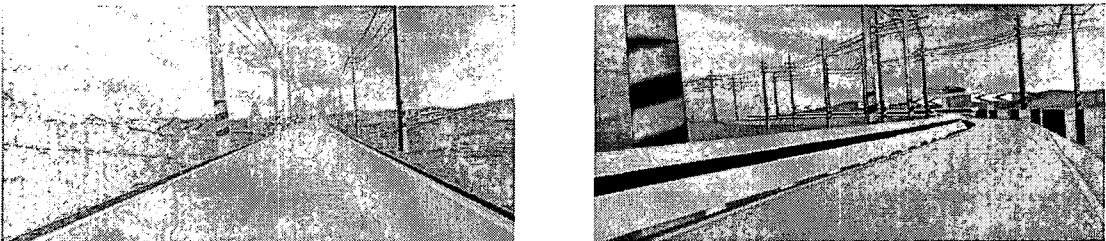


그림 4. 직선과 곡선 조합의 영상 재현

우선 해당노선의 주행속도 패턴을 NC-97을 이용하여 조사하였다. 곡선부 진입전의 긴직선에서는 검지기(NC-97)를 100m 간격으로 설치하였고, 곡선시점 전방 50m, 곡선부시점(BC), 1/4L, 1/2L지점, 3/4L, 곡선부종점(EC), 곡선종점 후방 100m에 설치하였다.

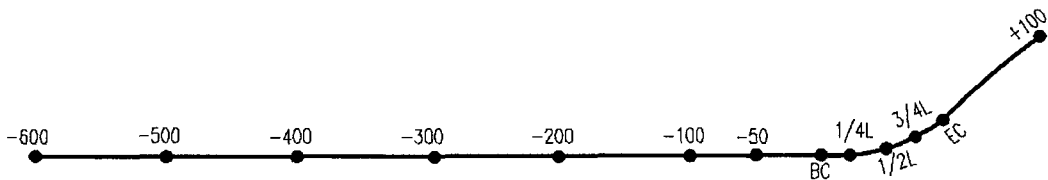


그림 5. 검지기 설치 위치



속도 패턴은 곡선부에 진입하면서 감소하고, 곡선 탈출부에서 다시 가속이 이루어지는 패턴의 형태를 가졌다. 따라서 시뮬레이터 상에서 위의 조사지점과 동일한 도로기하구조 및 주변 경관을 재현하여 피험자(운전자)의 주행 패턴을 알아보려 한다. 또한 시뮬레이터 차량 내부에 안구추정장비(faceLAB)이 설치되어 있어 운전자의 속도 패턴 및 안구의 움직임을 데이터화 하여 주시점을 파악할 것이다. 이 안구추정장비는 실시간으로 운전자의 머리움직임, 안구움직임, 주시시간 등을 파악할 수 있는 장비이다. 또한 심박 측정장비를 통해 직선부와 곡선부에서 운전자가 갖는 심리적 압박감을 측정한다.

3.3 실험 내용

주행실험은 도로주행 시뮬레이터의 적용을 위하여 직선로의 단순주행 2회와 측정주행 2회로 총 4회를 실시한다. 첫번째 단순주행은 운전자(피험자)에게 도로주행시뮬레이터의 차량 장치와 주행에 대한 적용 주행으로 이때에는 측정보다는 적용의 주행에 초점을 둔다. 두 번째 단순주행은 적용과 함께 주행 후 운전자의 안정심박수를 측정한다. 측정 주행시 즉, 직선부와 곡선부의 선형이 결합된 구간에서 직선부 주행 후 곡선부에서 운전자의 심리적 압박감을 비교한다. 이 실험에서 측정하는 항목과 그 내용은 다음 표와 같다.

표 2. 주행실험 진행 방법

주행 횟수	실험 내용	목적	심박수 측정
연습	직선로 단순주행	도로주행 시뮬레이터 적용	-
1회	직선로 단순주행	도로주행 시뮬레이터 적용	주행 후 안정심박수 측정
2회	해당 지점 주행	운전자 행태 측정	주행 중 심박수 측정
3회	해당 지점 주행	운전자 행태 측정	주행 중 심박수 측정

표 3. 실험 측정 항목 및 내용

측정 항목	내용
주행속도(km/h)	전 구간에 대한 지점별 주행속도
인지반응시간(sec)	곡선부 진입시의 브레이킹 포인트 및 시간
심박수(bit/min)	직선부와 비교하여 곡선부에서의 운전자의 압박감 측정
주시대상물별 주시시간(sec)	운전자의 주시점 좌표를 측정(faceLAB 이용)
운전행태조사	주행모습과 주시점 영상을 비디오 녹화, 실험 후 1:1 면접을 실시

따라서 본 실험대상지는 긴직선과 평면곡선반경이 결합된 구간중, 평면곡선반경이 200m 인 지점을 선정하여 운전자의 속도프로파일을 측정하였다. 곡선부 진입전의 긴 직선상에서의 주행속도는 설계속도 80km/h 보다 다소 높게 측정이 되었으며 곡선부 진입 전 100~200m에서 최대의 감속을 하여 가속을 시작하는 주행 패턴을 보이고 있다. 이러한 주행속도 프로파일을 가지고 K-ROADS를 통해 주행속도 뿐만 아니라 인지반응 시간, 곡선부 진입시의 심박수, 주시대상물별 주시시간, 운전행태 등을 측정하려 한다.

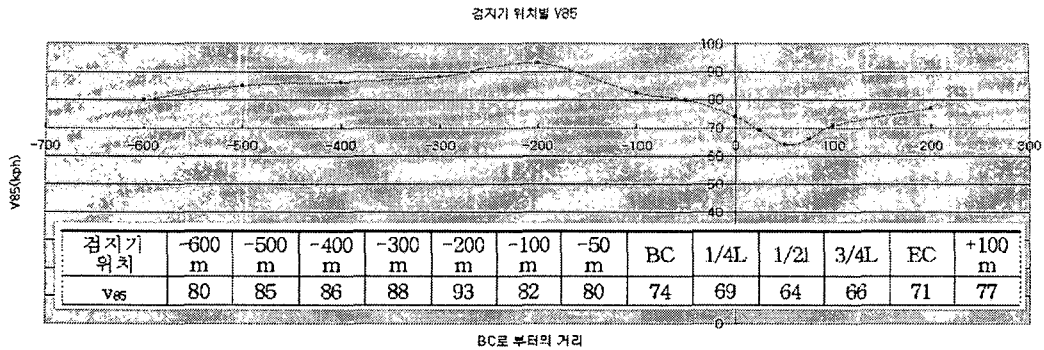


그림 6. 검지기 위치별 V85

4. 결론 및 향후과제

도로선형안전성분석 Tool로서의 K-ROADS는 도로 및 주변 경관에 대한 영상, 차량 내외의 주행음, 운전 감각(조향, 브레이크, 엑셀레이터 등), 운전자의 주시점, 운전자 심전도 변화 등을 재현 또는 측정할 수 있다. 차량 동역학적 구성요소의 재현은 모션 플랫폼을 이용하여 도로의 종단, 횡단 등을 향후(2005년)에 추가할 계획이며 도로영상 D/B를 현재 연구중인 곡선반경 200m 이외의 곡선반경, 곡선장, 주행속도에 따른 운전자의 특성 및 안전성에 관한 연구를 할 계획에 있다.

도로경관을 고려한 계획설계는 도로의 기능적 안전성과 이용자의 심미적 안정성을 바탕으로 이루어지는 것이므로 도로시설 이용의 안전성을 더욱 높이고, 쾌적성을 확보하여 도로 이용자에게 보다 좋은 삶의 공간을 제공해야 한다. 따라서 바람직한 도로경관의 조성을 위해서는 노선 등 도로자체(vista)뿐 아니라 주변환경(view)까지 고려한 다각적 접근이 필요하다. 또한 같은 조건의 도로기하구조에 있어서도 도로 주변 경관에 따라 운전자의 행태 변화가 있을 것이며, 이에 따른 도로경관지표를 K-ROADS를 통해 정량적으로 제시할 필요성이 있다.

참고문헌

1. RoSAS(1차년도) 인간공학적 도로안전성 분석시스템 개발, 한국건설기술연구원, 2003.
2. RoSAS(1차년도) 도로 선형 및 노면 안전성 분석 모형 개발, 한국건설기술연구원, 2003.
3. 윤석준, “시뮬레이션과 시뮬레이터”, 선학사, 2003.
4. 강제수 편역, “도로에서의 인간공학”, 엔지니어즈, 2000.
5. 이순철, “교통심리학”, 학지사, 2000.
6. 가즈우라 테즈오(勝浦哲夫) 등(1992), 인간공학 기준 수치 수식 편람.
7. Krebs, h. G. and J. H. Kloechner,(1977), Investigations of the Effect of Highway and Traffic Conditions Outside Built-Up Areason Accident Rates, Research Road Consturction and Road Traffic Technique.
8. Spacek, P,(1987), Superelevation Tates in Tangents and Curves, ETH Zurich, Institute for Traffic Planning, Highway and Railroad Construction, Research Report 22/79 of the Swiss Association of Road Specialists, Zurich, Switzerland.