

센서를 이용한 고원식 횡단보도 설계요소 검증 연구

전우훈¹ · 양인철^{2*} · 이진각³ · 최건식⁴

^{1,2*}한국건설기술연구원 도로교통연구본부 연구위원

³(주)내일이엔시 도로교통안전연구소 연구소장

⁴안양시청 주무관

A Study of Design Elements Verification for Speed Bump with Crosswalk using Simulation

Woo Hoon Jeon¹ · Inchul Yang^{2*} · Jin Kak Lee³ · Gunsik Choi⁴

^{1,2*}Research Fellow, Dept. of Highway & Transportation Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang-si, Gyeonggi-do, Korea

³Research Director, NAEIL E&C Highway Traffic Safety Research Institute, Anyang-si, Gyeonggi-do, Korea

⁴Action Officer, Div. of Transportation Policy, Anyang City, Anyang-si, Gyeonggi-do, Korea

[요약]

본 연구의 목적은 센서를 이용한 도로 디지털콘텐츠 활용성 연구의 일환으로 센서 및 시뮬레이션 분석을 통한 현재의 고원식 횡단보도 설계요소(주행속도 30km/h, 높이 0.1m, 길이 4m)의 적정성을 검토하고, 30km/h 초과와 제한속도 구간에 대한 설계요소를 제안하고자 한다. 이를 위해 실제 현장조사 및 실험을 통해 시뮬레이션의 정산에 필요한 데이터를 수집하고, 설계요소를 다양화하여 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 분석하였다. 이때, 자동차 주행속도는 20km/h, 30km/h, 40km/h로 구분하고, 횡단보도부의 높이는 0.075m, 0.1m, 0.125m로, 길이는 4m, 6m, 8m로 설정하였다. 시뮬레이션 분석 결과, 자동차의 제한속도가 30km/h 이하인 경우에는 횡단보도부 길이를 4m로 설치하는 것이 바람직하며, 30km/h 초과인 경우 횡단보도부 길이를 6m 이상으로 설치하는 것이 자동차의 주행성과 보행안전성을 확보하는데 유효할 것으로 판단된다.

[Abstract]

The purpose of this study is to see the usability of road digital contents from sensors. The main target of the usability is the design elements of speed bump with crosswalk (driving speed 30km/h, height 0.1m, width 4m), and we proposed the design elements for the road section with driving speed of more than 30km/h through simulation with collected data. For this purpose, the data for simulation calibration were collected, and simulations were performed for various design elements which includes driving speeds of 20km/h, 30km/h, 40km/h, heights of 0.075m, 0.1m, 0.125m, and widths of 4m, 6m, 8m. The simulation results show that the adequate width of speed bump with crosswalk is 4m when the driving speed is less than or equal to 30km/h, and it becomes more than 6m when the speed is more than 30km/h when it comes to both driving comfort and pedestrian safety.

색인어 : 고원식 횡단보도, 시뮬레이션, 설계요소, 수직가속도, 보행자 안전

Keyword : Raised Crosswalk, Simulation, Design Elements, Vertical Acceleration, Pedestrian Safety

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2021.22.11.1765>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 21 October 2021; Revised 02 November 2021

Accepted 02 November 2021

*Corresponding Author; Inchul Yang

Tel: +82-31-910-0489

E-mail: ywinter75@kict.re.kr

I. 서 론

4차 산업혁명이 화두로 떠오르면서 빅데이터(Big Data), 인공지능(Artificial Intelligence) 등에 대한 관심이 집중되고 있으며, 다양한 분야에서 관련 분야의 연구와 사례가 광범위하게 이루어지고 있다. 특히 도로교통분야에서는 공공재의 특성상 수많은 센서를 통한 빅데이터가 생성되고 있는데, 유료도로에 설치된 하이패스와 교통량과 속도를 측정하는 루프 및 영상검지기, 교통상황을 모니터링하는 CCTV(Closed-Circuit Television) 등에서는 지금도 엄청난 양의 빅데이터가 축적되고 있다. 이에 해당 센서를 운영하고 있는 도로관리청에서는 이러한 빅데이터를 활용하여 도로이용자들에게 적절한 정보를 제공하고 있다. 도로이용자의 안전과 편의, 정확한 정보 제공을 위해 도로상에 센서는 지속적으로 증가하고 있으며, 이러한 빅데이터는 향후 자율주행차와 IoT(Internet of Things), 그리고 V2X(Vehicle to Everything) 등에서도 중요한 역할을 할 것으로 예측되고 있다. 또한 센서를 이용한 많은 연구들이 현재도 수행되고 있고 그 결과는 도로상태 분석과 예측 등에서 적용되고 있다.

최근에는 도로의 구조와 시설기준을 제시하는 도로설계 측면에서도 센서를 통한 시설기준의 제정과 검증이 많이 적용되고 있다. 기존에는 실제 충돌실험이나 주행실험 등을 통해서만 시설기준의 검증이 가능했으나, 실제 실험의 경우에는 다양한 실험조건을 만족하지 못할 뿐 아니라 일시적으로 대규모 예산이 소요되어 제한적일 수밖에 없었다. 이에 2000년대 이후부터는 차량의 충돌이나 주행상태 등에 대해 시뮬레이션을 통한 시설기준 분석이 많이 이루어지고 있다. 초기에는 교통사고에 따른 충돌 모의실험 등 주로 자동차 중심의 분석이 많이 수행되었으나, 점차 보행자를 위한 시설기준에도 센서를 이용한 연구가 많아지고 있는 실정이다. 특히 보행자와 자동차가 상충하는 횡단보도에 대한 관심이 많이 높아지고 있는데, 이는 2000년대 이전의 자동차중심 도로정책에서 이후 대기오염과 지구온난화 등 환경오염에 대한 이슈가 불거지고, 특히 자동차에 의한 대기오염을 줄이기 위한 교통정책이 우선시되면서 자전거와 보행자 교통을 위한 시설확대 및 정책들이 도입되기 시작하였기 때문이다. 특히 보행교통은 인간의 가장 기본적인 교통수단일 뿐 아니라 육체적, 정신적 건강에 대한 관심이 높아지면서 최근에는 단순한 보행이 아니라 보행권의 개념으로 인지되고 있어 관련 연구가 많아지고 있다.

보행자의 안전확보를 위해 도로법과 도로교통법 등 기존 도로관련 법이 보행자를 위한 내용으로 변경되기 시작하였고, 상위법에 따라 하위 지침 및 매뉴얼 등에서 보행자를 위한 도로설계기준과 인프라시설의 규격 등이 신설되거나 추가되고 있다. 하지만 이러한 노력에도 불구하고 여전히 국내의 보행자에 대한 인프라시설은 부족하며, 보행자 교통사고는 인구 10만명당 4.1명으로 경제협력개발기구(OECD)국가 평균 1.4명의 3배에 이르고 있으며, 전체 교통사고의 40% 이상이 보행자 사고로 OECD국가 중 최하위에 머물고 있다[1]. 특히

국도변의 마을입구나 학교주변 등은 고속으로 주행하는 자동차와 보행자와의 상충이 지속적으로 발생하는 구간이며, 보행자도로의 설치가 부족한 지역에서는 보행자의 통행권과 접근권이 제한받고 있다. 특히 차도를 횡단하고자 하는 보행자는 횡단보도를 이용하여야 하나, 횡단보도가 없는 경우 신호위반 또는 과속으로 인한 심각한 교통사고로 이어지는 경우가 많이 발생하고 있다.

횡단보도는 법에 따라 보행자의 통행 흐름을 자연스럽게 유도할 수 있는 위치에 설치하도록 하고 있으며, 도심 및 지방부에서 가장 많이 접할 수 있는 교통안전시설이다. 다만 횡단보도는 기존 보행자도로의 경계적으로 인해 필수적으로 경사로를 만들어야 하는데, 보행자도로의 폭에 따라 경사로는 자칫 보행자들에게 불편을 미치게 된다. 반면 이면도로 진입로나 아파트 단지 진입로 등에 주로 설치되는 고원식 횡단보도는 보행자도로의 경계석 높이와 동일하거나 조금 낮게 설치되어 경사로의 크기를 최소화할 수 있다는 장점으로 인해 많이 설치되고 있다.

고원식 횡단보도는 최초로 차도에 설치하여 자동차의 속도 감소를 유도하는 과속방지턱의 형상을 도입하여 설치되었으며, 큰 개념에서는 과속방지턱의 한 종류로 분류될 수 있다. 국내에서는 ‘보도설치 및 관리지침’, ‘어린이·노인·장애인 보호구역 통합지침’ 등에서 고원식 횡단보도의 형상과 체원 등 설치기준을 제시하고 있다. 국내의 고원식 횡단보도 설치 기준은 자동차의 주행속도를 30km/h(kilometer per hour) 이하로 유도하기 위함이며, 어린이보호구역이나 노인보호구역 등 자동차의 감속과 보행자의 횡단 편의성을 향상시키기 위해 설치하고 있다. 그러나 최근의 안전속도 3050정책에 따라 도심 간선도로뿐만 아니라 보조간선도로, 집산도로 등의 도로유형에 따라 제한속도가 다양하게 적용되고 있는 실정이다. 특히 도심 간선도로변에 위치하는 어린이 및 노약자 관련 시설 주위에는 제한속도를 다양하게 적용하고 있으며, 고원식 횡단보도를 설치할 경우에는 기존 30km/h 이하로 유도하기 위한 현재의 설계기준을 그대로 적용하고 있다. 제한속도가 30km/h 이상인 경우에 설치할 수 있는 고원식 횡단보도의 설계기준은 현재 국내에 없는 실정이며, 기존의 설계요소는 제한속도가 다른 경우에도 효과적인지에 대한 연구는 이루어지지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 고원식 횡단보도를 통행하는 자동차와 관련된 요소들 중 주행속도와 설치높이, 횡단보도부 길이에 대한 센서 및 시뮬레이션 분석을 통해 현재의 고원식 횡단보도의 적정성을 검토하고 추가적인 제한속도에 대한 적정여부를 판단하고자 한다. 이를 위해 먼저 센서를 활용해 실제 현장조사 및 실험을 통해 시뮬레이션의 정산에 필요한 데이터를 수집하고, 정산이 완료된 시뮬레이션을 활용하여 주행속도와 설치높이, 횡단보도부 길이를 다양화하여 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 통해 현재의 고원식 횡단보도 설계요소의 적정성 판단과 함께, 제한속도의 변경에 따른 고원식 횡단보도의 설계요소에 대한 분석을 수행하였다. 본 연구에서 제시

된 고원식 횡단보도의 설계요소에 대한 사례 연구는 향후 도로교통분야에서 센서를 활용한 다양한 연구에 적용이 가능하며, 보행자의 안전확보에 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

II. 고원식 횡단보도 설계요소 기존 문헌 고찰

기존문헌 고찰은 도로교통분야에서 센서와 시뮬레이션을 이용한 고원식 횡단보도 및 이와 유사한 시설물에 대한 설계 기준 분석과 관련된 연구에 대해 수행하였다. 주요 고찰방법은 관련 연구의 목적과 진행내용 및 결과를 제시하고 본 연구에서 수행하는 방법론과의 차이점을 제시하여 연구 진행방향을 제시하고자 하였다.

먼저 금기정 등[2]은 현장실험을 통한 수직가속도에 의한 과속방지턱의 형상을 제시하였다. 실험에 필요한 요소는 과속방지턱의 규격(폭, 높이)와 주행속도에 따라 발생하는 충격량(수직가속도)을 기준으로 하였으며, 주행속도는 20~50km/h 까지를 범위로 하고 10km/h씩 구분하여 각각의 실험속도로 하였다. 수직가속도는 (+)방향의 수직가속도와 (-)방향의 수직가속도의 합을 산출하여 분석하였다. 실험자는 각 규격의 과속방지턱과 실험속도에 따른 운전자의 불편감 등을 정성적인 평가를 통해 제시하였다. 실험결과는 주행속도가 증가함에 따라 수직가속도 역시 증가하는 비례관계를 확인하였으며, 이에 따른 정성평가 역시 속도와 비례적으로 증가하고 있는 것으로 나타났다. 발생된 수직가속도와 정성적 평가를 종합적으로 고려한 과속방지턱의 설치 제원에 관해서는 10종의 시설과 4단계의 주행속도 등을 고려할 때 3.6m×10cm의 제원이 가장 우수한 것으로 파악되었다. 그러나 이 제원의 경우 본 시설이 설치되는 도로가 비 간선도로임을 감안할 때 2m×7.5cm의 설치제원도 매우 유효한 것으로 제시하였다. 김용석 등[3]은 고원식 횡단보도의 색상과 재질, 오르막경사부에 대한 기호의 위치 등에 대해 도로주행 시뮬레이터를 활용하여 형상 대안들을 평가하였다. 이를 위해 경사부와 횡단부의 재질과 색상을 유형별로 구분하고, 각 유형별로 실험대안을 선정하였다. 가상실험은 조사자가 동승하여 총 43명의 피실험자에게 각 유형별 설문문을 통해 평가를 수행하였으며, 실험 결과 형상은 과속방지턱과 동일하게 적용하고 색상은 암적색을 표준으로 하되 재질은 현장에서 결정할 수 있도록 하였다. 임창식 등[4]은 과속방지턱과 연속으로 설치된 고원식 횡단보도의 설치간격을 산정하기 위하여 고원식 횡단보도가 주행속도에 미치는 영향을 충돌 관련 시뮬레이션 프로그램인 PC-CRASH를 이용하여 분석하였다. 분석결과 차량의 속도를 30km/h 이하로 제어하기 위한 과속방지턱과 고원식 횡단보도의 적정 간격은 30m이며, 설치간격이 65m 이상인 경우에는 효과가 없는 것으로 나타났다. 고원식 횡단보도의 설치높이는 차량의 접근부 속도가 20km/h이하일 때 6~8cm, 30km/h일 때 8~10cm, 30km/h 이상일 때는 10cm의 설치가 가장 적절한 것으로 분석되었다.

선행연구 검토 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다. 먼저 금기정 등[2]의 연구는 기존의 영국 교통연구소인 TRRL 등에서 제시하고 있던 과속방지턱의 설계요소를 그대로 도입하여 사용하던 것에서 벗어나, 현장실험을 통해 국내 상황에 적합한 과속방지턱의 설계기준을 제시하였다는데 큰 의의가 있다. 또한 과속방지턱의 설계요소에서 중요한 제원인 높이와 폭, 주행속도 등을 고려하였으며, 현장실험을 통해 실제 운전자들이 시나리오에 따라 제작된 과속방지턱을 주행하면서 느끼는 정성적인 평가를 반영한 점은 중요한 분석방법인 것으로 판단된다. 그러나 실제 현장주행 실험의 한계로 인해 피실험자가 5명으로 제한되어 있어 반복적이고 다양한 데이터가 수집되지 못하여 실제 운전자들의 주행에 따른 샘플 수를 충분히 확보하지 못하였다는 단점이 있다. 김용석 등[3]의 연구는 국내에서 최초로 고원식 횡단보도의 형상과 재질, 색상 등에 대해 도로주행 시뮬레이터를 활용하여 평가하였다는데 큰 의의가 있다. 또한 실제 운전자들이 직접 가상으로 구현된 시뮬레이터를 주행하면서 평가를 진행함으로써 인해 고원식 횡단보도의 실질적인 평가결과가 도출될 수 있었을 것으로 판단된다. 다만 가상으로 구현된 실험환경의 한계로 인해 재질에 대한 차이를 실제적으로 표현하는 것이 어려우며, 본 연구에서 분석하고자 하는 설계요소에 대해서는 기존 과속방지턱의 설계기준을 그대로 인용하는데 그쳤다.

임창식 등[4]의 연구에서는 과속방지턱과 고원식 횡단보도의 적정간격을 시뮬레이션 프로그램으로 분석하여 30m를 제시하였으며, 설치높이는 차량의 접근부 속도가 20km/h이하일 때 6~8cm, 30km/h일 때 8~10cm, 30km/h 이상일 때는 10cm의 설치가 적절하다고 제시하였다. 이는 고원식 횡단보도의 설계기준인 설치높이를 제시하였다는 점에서 의의가 있으나, 설치길이(폭)이 고려되지 않고 주행속도와 설치높이에 대해서만 분석되었다. 따라서 본 연구에서는 고원식 횡단보도의 설계요소에 해당하는 설치높이와 횡단보도부 길이에 대해 주행속도에 따른 적정성을 검토하고자 한다. 또한 반복적이고 다양한 데이터를 수집하기 위해 센서데이터 및 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 데이터를 분석하였으며, 실제 현장을 모사하기 위해 현장 데이터를 수집하여 정산하고 시뮬레이션을 진행하였다.

III. 고원식 횡단보도 설치요소 검토

3-1 설계요소 검토방법 설정

고원식 횡단보도의 기존 설치기준을 검토하기 위해서 본 연구에서는 먼저 설치기준의 적정성을 판단하기 위한 평가지표를 선정하고, 시뮬레이션 분석을 위한 현장 데이터를 수집하였다. 또한 시뮬레이션 시나리오 설계를 통해 다양한 규격의 고원식 횡단보도 분석을 하고자 하였으며, 시뮬레이션의 특성상 필요한 초기값 정산을 위해 현장 데이터를 통한 시뮬레이션 파라미터를 조정하였다.

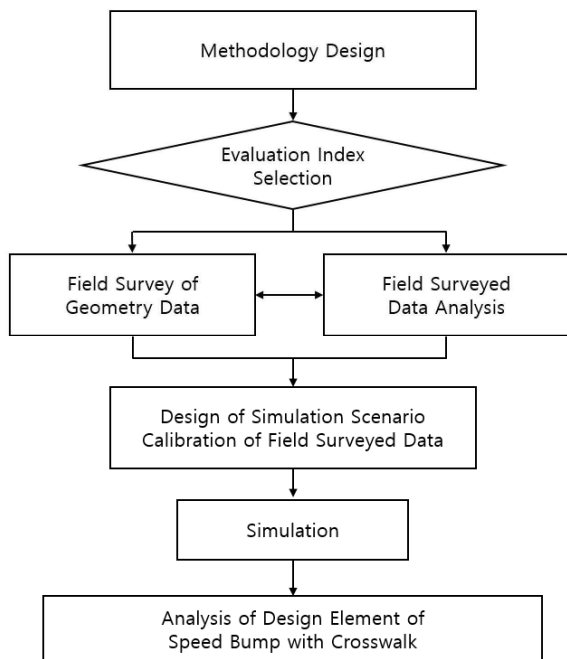


그림 1. 고원식 횡단보도 설계요소 분석 프로세스
 Fig. 1. Analysis process of design elements of speed bump with crosswalk

이후 설계된 시나리오에 따라 시뮬레이션 분석을 시행하였고, 분석 결과값을 토대로 현재의 고원식 횡단보도에 대한 설계요소의 적정성을 평가하였다. 고원식 횡단보도의 설치기준 검토를 위한 연구 진행방법을 도식화하면 그림 1과 같다.

3-2 평가지표 및 측정방법 선정

고원식 횡단보도는 횡단하는 보행자의 안전성 확보를 위해 주행차량의 속도를 일시적으로 저감시키기 위한 물리적 교통 안전시설로서, 금기정 등[2]의 연구에 따르면 통과속도에 비례하여 발생하는 수직가속도에 의한 운전자의 불쾌감과 이로 인한 심리적인 속도 억제효과를 발생시키는 것으로 분석되었다. Eric Evain 등[5]의 속도저감시설 형상에 대한 연구에 따르면 운전자 불쾌감을 평가하는 항목으로 수직가속도를 활용하였고, 수직가속도는 과속방지턱 등 속도저감시설을 통과할 때의 속도 뿐만 아니라 형상과 규격에 따라 다르게 측정되어 수직가속도가 높을수록 운전자 불쾌감은 높아지는 것으로 연구되었다. 따라서 본 연구에서는 고원식 횡단보도의 형상에 따른 평가지표를 고원식 횡단보도와 유사 시설인 과속방지턱과 같은 속도저감시설에서 사용된 평가지표인 수직가속도를 선정하였다. 이를 통해 기존 과속방지턱과 동일한 평가지표 적용으로 고원식 횡단보도뿐만 아니라 과속방지턱의 형상 분석에도 적용이 가능할 것으로 판단된다.

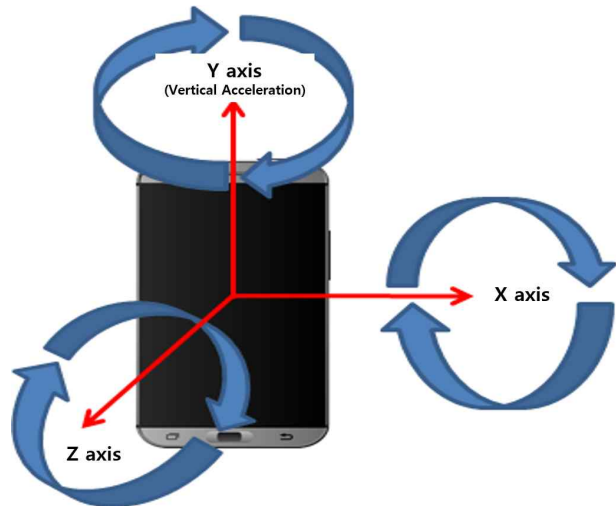


그림 2. 스마트폰 자이로센서 축
 Fig. 2. Axis of gyro sensor in smartphones

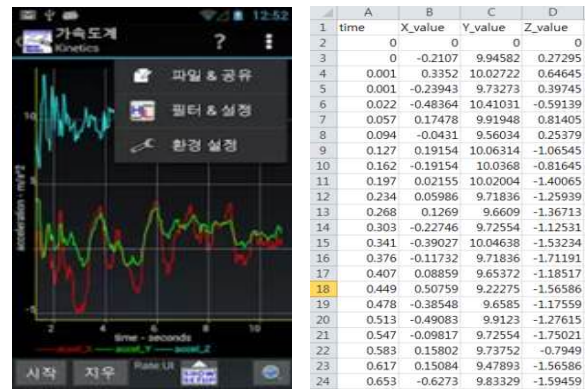


그림 3. 수직가속도 측정 어플리케이션 화면 및 결과 표출
 Fig. 3. Vertical acceleration measurement application display and result

고원식 횡단보도의 설치기준 적정성 분석을 위한 현장수직가속도 측정방법으로는 스마트폰 자이로센서를 기반으로 측정이 가능한 어플리케이션인 Sensor Kinetics pro(Ver.2.1.2, INNOVE NTIONS Inc, US, 2015)를 활용하였다. 해당 어플리케이션은 스마트폰의 가속도 센서를 이용한 정적균형능력 실험 등 다양한 분야의 연구에서 활용된 바 있어 본 연구에서도 활용하였다. 현장에서의 수직가속도 측정은 고원식 횡단보도를 넘어갈 때 나타나는 수직가속도를 측정하였으며, 수직가속도 측정이 정확할 수 있도록 스마트폰을 조사차량의 앞유리에 부착하여 측정 조사를 실시하였다. 스마트폰의 자이로센서와 Sensor Kinetics pro에서 인식하는 수직가속도 축은 Y축이며, 자이로센서의 X,Y,Z 축의 개념은 그림 2와 같다. Sensor Kinetics pro 어플리케이션의 실행하면, 측정결과 등 화면구성과 측정결과 표출은 그림 3과 같다.

3-3 센서를 이용한 설계요소 콘텐츠 수집



그림 4. 현장계측 및 실험준비
Fig. 4. Field measurement and experiment

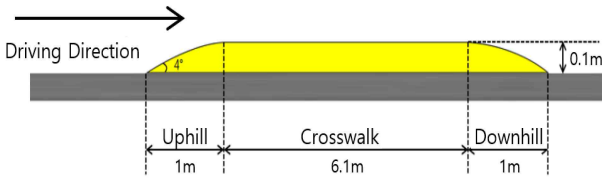


그림 5. 현장조사 고원식 횡단보도의 설계제원
Fig. 5. Design specification of speed bump with crosswalk

고원식 횡단보도의 설계요소 적정성 검토를 위한 시뮬레이션에 위해서는, 먼저 고원식 횡단보도가 설치된 실제 현장에서 시뮬레이션에 필요한 데이터를 수집하고 정산(calibration)하는 작업이 필요하다. 이를 위해 실제 고원식 횡단보도가 설치된 구간을 선정하여 데이터를 수집하고자 하였다. 현장조사 후보지는 조사용이성을 위한 교통량과 주차차 및 회차공간 여부, 현 설계요소의 적합성 여부, 단일로 등을 고려하여 선정하고자 하였으며, 대상지는 현재 고원식 횡단보도의 설계기준과 유사한 광교신도시 내 경기도청 신청사 인근의 4차로 도로로 선정되었다. 현장조사를 위한 기초자료 수집단계로, 설치된 고원식 횡단보도의 제원(폭, 길이, 오르막 경사부의 경사각 등)을 실측하고 데이터 수집을 위해 실험시 자동차의 가속구간과 정속구간을 위한 위치를 표시하였다. 자동차의 계기판 기준 주행속도와 수직가속도 측정 어플리케이션의 속도 및 수직가속도를 정산하기 위해 차체가 가장 동적으로 움직이는 앞유리 전면에 스마트폰을 설치하였다.

시뮬레이션에 입력되는 주행속도 및 수직가속도 값에 대한 정산을 위해 실제 차량 계기판에 표시되는 주행속도와 수직가속도를 측정하였다. 주행속도는 기존 고원식 횡단보도의 통과속도를 30km/h로 규정하고 있으므로, 제한속도의 변경에 따른 고원식 횡단보도의 설계요소 적정성 판단을 위해 20km/h와 40km/h를 추가하여 3가지로 실험을 진행하였다. 정해진 속도로 고원식 횡단보도를 통과하면서 진입지점과 진출지점에 자동차의 앞바퀴가 통과하는 시점의 주행속도와 수직가속도를 측정하였다. 통계적 유의성을 확보하기 위해 각 주행속도별로 30회씩 조사를 진행하였으며, 실험에 활용된 고원식 횡단보도의 제원은 그림 5와 같다.

표 1. 차량계기판 속도별 실제 진입속도

Table 1. Enter speeds by dashboard speed

Field Speed	Descriptive Statistics			
	Max.(km/h)	Min.(km/h)	Avg.(km/h)	85% (km/h)
20km/h	17.34783	14.86957	16.38191	17.13116
30km/h	26.02174	24.42857	25.28733	25.81518
40km/h	34.94891	31.92000	33.85082	34.81617

표 2. 차량계기판 속도별 실제 진출속도

Table 2. Exit speeds by dashboard speed

Field Speed	Descriptive Statistics			
	Max.(km/h)	Min.(km/h)	Avg.(km/h)	85% (km/h)
20km/h	16.85549	14.43564	15.92698	16.66286
30km/h	24.66680	22.49810	23.65198	24.35392
40km/h	32.76404	28.62534	31.25283	32.57291

표 3. 차량계기판 속도별 실제 진입 수직가속도

Table 3. Enter vertical accelerations by dashboard speed

Field Speed	Descriptive Statistics			
	Max.(km/h)	Min.(km/h)	Avg.(km/h)	85% (km/h)
20km/h	12.32812	11.69843	12.03475	12.27355
30km/h	16.23558	12.92190	14.25487	15.19359
40km/h	17.74158	15.42631	16.86216	17.48515

표 4. 차량계기판 속도별 실제 진출 수직가속도

Table 4. Exit vertical accelerations by dashboard speed

Field Speed	Descriptive Statistics			
	Max.(km/h)	Min.(km/h)	Avg.(km/h)	85% (km/h)
20km/h	8.49249	7.87928	8.10787	8.30173
30km/h	7.58985	6.74228	7.14567	7.53070
40km/h	7.63534	6.55552	7.05624	7.50081

현장에서 실측된 자동차의 계기판 속도와 실제 진입 및 진출속도를 측정된 결과는 표 1과 표 2와 같으며, 대푯값은 교통 및 도로분야에서 일정 데이터의 대푯값으로 많이 사용되는 85퍼센타일(백분위수) 속도를 사용하였다. 본 연구에서 사용된 백분위수(percentile)는 모집단을 100개의 균등한 영역으로 나누는 99개의경계점 값들을 뜻하고 85백분위는 그 값보다 작은 값이 85%에 해당함을 의미하며, 주로 교통류의 운영속도 또는 주행속도에서 가장 많이 사용되고 있어 본 연구에서도 사용하였다.

고원식 횡단보도 진입지점과 진출지점 통과시의 수직가속도는 차량 앞유리에 부착한 스마트폰의 Sensor Kinetics pro 어플리케이션을 실행하여 측정하였으며, 진입지점 및 진출지점의 수직가속도는 표 3, 표 4와 같이 분석되었다.

표 3 및 표 4의 차량 속도별 수직가속도는 중력가속도 값이 반영된 것이므로, 실제 수직가속도로 활용하기 위해서는 중력가속도($g=9.80665$)를 감해서 적용해야 한다. 따라서 차량속도별 실제 수직가속도는 표 5와 같이 산출되었으며, 검토 결과 진입 시의 수직가속도가 진출 시의 수직가속도에 비해 크게 나타났음을 알 수 있다. 이는 오르막 경사부에 최초 충격으로 인해 수직가속도가 크게 측정된 후, 수평면인 횡단보도부에서 안정기를 지나 내리막 경사부로 진출하기 때문인 것으로 판단된다.

표 5. 중력가속도를 고려한 실제 진입 수직가속도

Table 5. Enter vertical accelerations considering gravity

Field Speed	Descriptive Statistics			
	Max. (km/h)	Min. (km/h)	Avg. (km/h)	85% (km/h)
20km/h	2.52147	1.89178	2.22810	2.46690
30km/h	6.42893	3.11525	4.44822	5.38694
40km/h	7.93493	5.61966	7.05551	7.67850

표 6. 중력가속도를 고려한 실제 진출 수직가속도

Table 6. Exit vertical accelerations considering gravity

Field Speed	Descriptive Statistics			
	Max. (km/h)	Min. (km/h)	Avg. (km/h)	85% (km/h)
20km/h	-1.31416	-1.92737	-1.69878	-1.50492
30km/h	-2.21680	-3.06437	-2.66098	-2.27595
40km/h	-2.17131	-3.25113	-2.75041	-2.30584

IV. 시뮬레이션 시나리오 설계 및 분석

시뮬레이션 분석의 목적은 현장조사를 통해 얻은 실측값을 만족하는 기준 파라미터 등을 설정하여 실제 현실을 모사한 환경에서 다양한 시나리오의 고원식 횡단보도 형태에 대한 시뮬레이션 실험을 수행한 후에 적절한 최적 규격을 도출하기 위함이다. 또한, 실제 시설을 구축하여 현장조사를 하는 방법에 비해 시뮬레이션으로 실험을 수행함에 따라 시간적, 비용적 절감 효과가 있을 뿐만 아니라 다양한 고원식 횡단보도의 규격을 검토할 수 있다. 따라서 고원식 횡단보도 설치를 위한 규격 검토를 위해 시뮬레이션 프로그램을 활용하여 고원식 횡단보도 설치 규격 시나리오에 따른 수직가속도를 도출하는데 활용하고자 하였다. 본 연구의 시뮬레이션 실험에 활용된 시뮬레이션 프로그램은 차량의 동적 특성을 이용하여 분석하는 CarSim(ver.10.1)으로, 미국 Mechanical Simulation사에서 개발한 대표적인 시뮬레이션 tool로서 1960년대 ‘University of Michigan Transportation Research Institute formerly HSRI(UMTRI)’에서 최초 개발되어 현재 북미, 일본 등 세계 500개 이상의 회사 및 200개 이상의 대학, 연구소 등에서 다양한 분야에 적용되어 활용되고 있다. CarSim(ver.10.1)은 차량의 동적 특성을 컴퓨터를 통해 모의 분석할 수 있는 Tool이며, 3차원 노면상에서 일반차량의 동적 특성을 빠른 속도로 분석하여 애니메이션이나 수치적 결과로 출력할 수 있다.

시뮬레이션 시나리오는 차량의 수직가속도 변화에 큰 영향을 주는 4가지 요소(제한속도(진입속도), 형상, 높이, 길이)로 구성하며, 「도로교통법」 시행규칙에 따라 제한속도 30km/h, 볼록 사다리꼴, 높이 10cm 규정을 설정하였다. 차량의 수직가속도에 영향을 미치는 첫 번째 요소인 제한속도(진입속도)는 현재 「도로교통법」에 따라 ‘고원식 횡단보도 표시는 제한속도를 30km/h이하로 제한할 필요가 있는 도로에 설치’ 내용을 준용하되, 설치 목적에 따라 제한속도를 ±10km/h를 적용하여 20km/h, 30km/h, 40km/h로 각각 실험을 수행하였다.

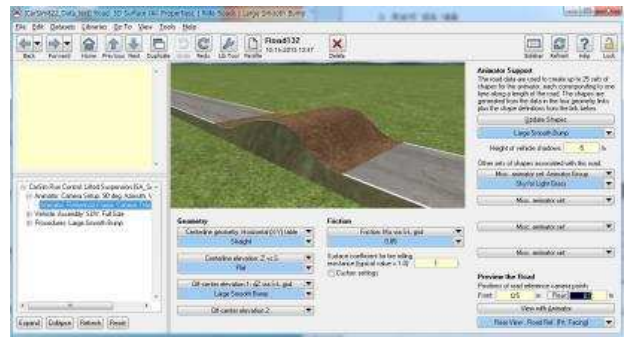


그림 6. CarSim(ver.10.1) 실행화면

Fig. 6. Execution display of CarSim(ver.10.1)

형상은 고원식 횡단보도에서 현재 표준적으로 활용되고 있는 사다리꼴 모형을 기준으로 하며, 경사부의 형태는 「도로교통법」 볼록사다리꼴(표준형) 형태를 준용하였다. 설치높이는 「도로교통법」에 따라 10cm를 준용하되, 기존 설계요소의 적정성 검토를 위해 높은 속도에 의한 차량 통과 시를 고려하여 7.5cm, 10cm, 12.5cm로 각각 실험을 수행하였다. 고원식 횡단보도의 길이는 「도로교통법」에 따라 횡단보도의 최소 길이인 4m를 준용하며, 보행교통량 및 차로폭을 고려하여 4m, 6m, 8m로 각각 실험을 수행하였다. 현장조사에서 수집한 차량 진출입속도에 따른 실제 속도와 수직가속도 데이터는 시뮬레이션 실행단계에서 파라미터 값으로 적용하였다.

고원식 횡단보도의 설치높이와 횡단보도부 길이에 따른 수직가속도를 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 수직가속도는 자동차가 진행하는 방향을 기준으로 위쪽으로 향하는 수직가속도는 (+)로, 아래쪽으로 향하는 수직가속도는 (-)로 표기가 가능하며, 실제 운전자가 느끼는 수직가속도의 값은 양방향 수직가속도의 합인 Peak to Peak 값을 분석하였다. 먼저 횡단보도부의 길이 변화에 따른 수직가속도 Peak to Peak 값은 차량 속도가 높아짐(20kph → 40kph)에 따라 수직가속도도 증가하나, 설치길이인 횡단보도부 길이가 증가함에 따라 수직가속도 Peak to Peak 값은 낮아지는 것으로 분석되었으며 다만 20km/h에서는 큰 변화가 없었다.

차량 접근속도 변화에 따른 수직가속도를 살펴보면, 횡단보도 높이 변화에 따른 수직가속도 Peak to Peak 값은 20kph의 경우 횡단보도부 길이에 따른 변화가 미미하며, 30kph 이상부터 수직가속도 변화가 발생하는 것으로 분석되었다.

고원식 횡단보도의 길이와 속도에 따른 수직가속도를 종합적으로 분석해보면, 그림 9와 같이 고원식 횡단보도가 동일한 제원(높이, 길이 등)인 경우 속도가 증가할수록 수직가속도 Peak to Peak 값도 증가하는 것으로 분석되었다. 횡단보도부 길이에 따른 분석결과는 차량 주행속도 20km/h에서는 변화가 크지 않았으나, 30km/h와 40km/h에서는 횡단보도부 길이가 4m일 때 보다 6m 이상일 경우에 수직가속도 Peak to Peak 변화값이 안정화되는 것으로 분석되었다.

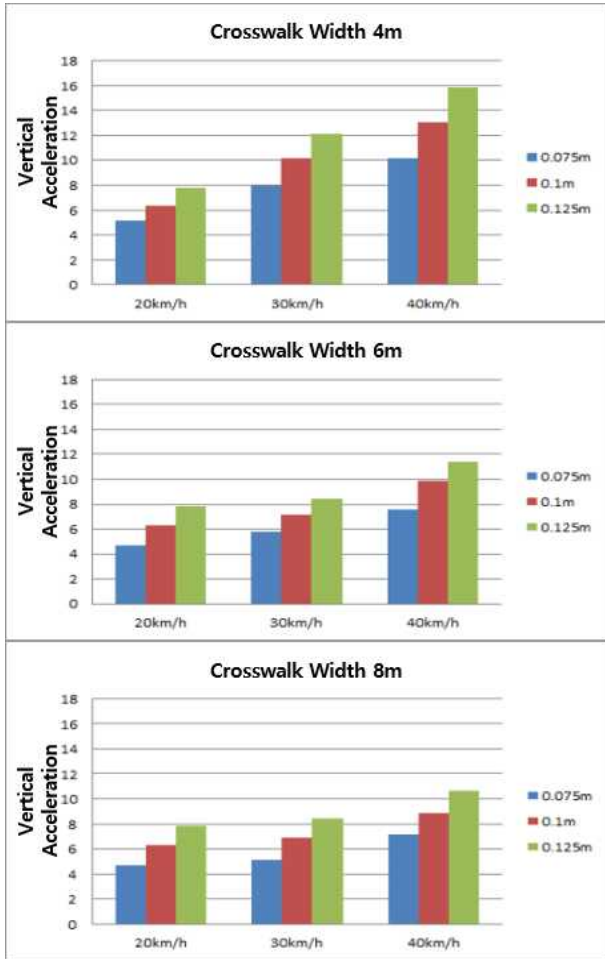


그림 7. 횡단보도부 길이별 Peak to Peak 값 분석
Fig. 7. Analysis of peak to peak values by crosswalk Width

높이와 속도에 따른 수직가속도 Peak to Peak 값 변화를 비교해 본 결과, 고원식 횡단보도의 설치높이가 증가할수록 수직가속도의 Peak to Peak 값도 증가하는 것으로 분석되었다. 주행속도에 따른 설치높이의 변화가 그룹간에 차이가 있는지를 분석하기 위해 높이에 따른 그룹간 수직가속도 Peak to Peak의 평균을 추세선으로 분석하였으며, 변화에 따른 추세선은 그룹간 차이가 없는 것으로 분석되었다($R^2=0.9994 \approx 1$). 이는 고원식 횡단보도의 설치높이가 높을수록 운전자가 느끼는 수직가속도 역시 동일하게 증가하는 것으로 판단할 수 있다.

시뮬레이션 분석결과를 요약하면, 고원식 횡단보도가 동일한 제원(높이, 길이)인 경우 속도가 증가할수록 수직가속도 Peak to Peak 값이 증가하며, 횡단보도부 길이의 경우 20km/h에서는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 자동차속도가 30km/h와 40km/h일 때 횡단보도부 길이가 4m에서는 수직가속도가 큰 것으로 나타났으며, 6m 이상이 되면 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 또한 고원식 횡단보도의 진입높이와 주행속도에 따른 수직가속도 변화를 비교해 본 결과, 높이가 증가할수록 수직가속도도 일정하게 증가하는 것으로 나타났다.

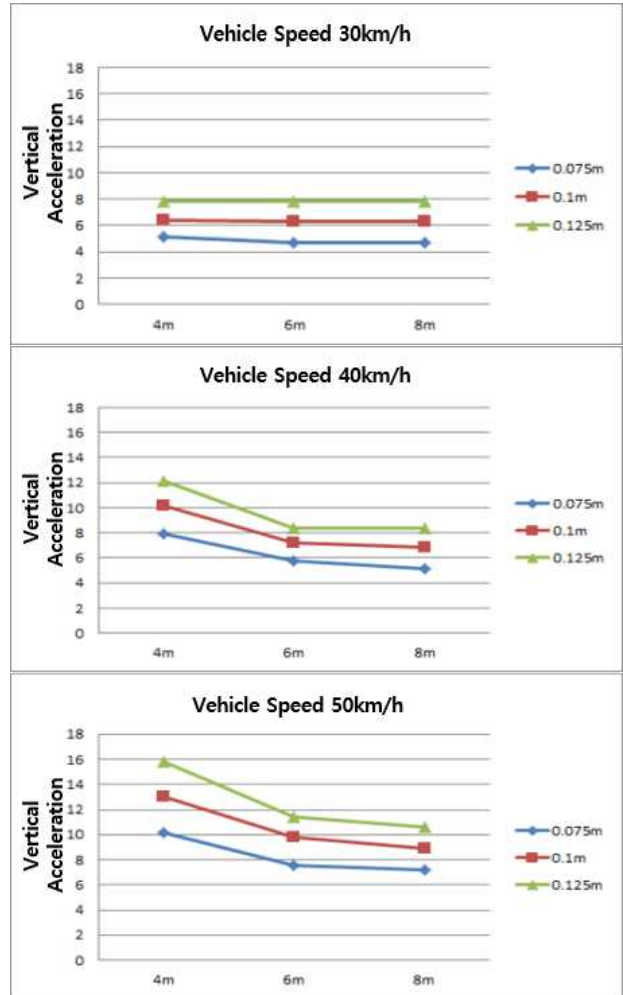


그림 8. 자동차 접근속도별 Peak to Peak 값 분석
Fig. 8. Analysis of peak to peak values by Vehicle speed

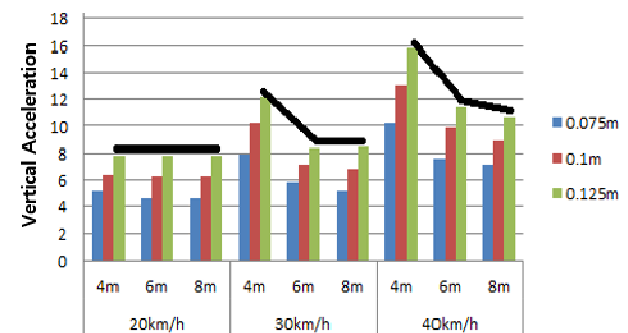


그림 9. 길이와 속도에 따른 수직가속도 변화 비교
Fig. 9. Vertical acceleration change comparison by length and speed

시뮬레이션 분석결과를 요약하면, 고원식 횡단보도가 동일한 제원(높이, 길이)인 경우 속도가 증가할수록 수직가속도 Peak to Peak 값이 증가하며, 횡단보도부 길이의 경우 20km/h에서는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

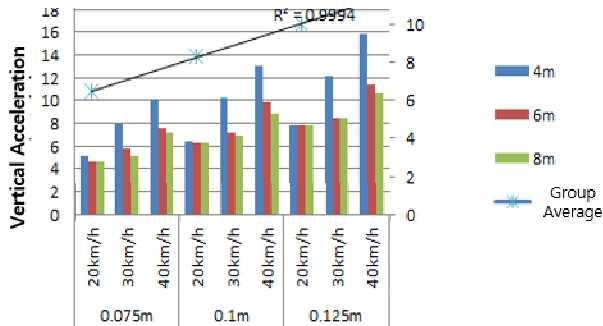


그림 10. 높이와 속도에 따른 수직가속도 변화 비교
 Fig. 10. Vertical acceleration change comparison by height and speed

자동차속도가 30km/h와 40km/h일 때 횡단보도부 길이가 4m에서는 수직가속도가 큰 것으로 나타났으며, 6m이상이 되면 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 또한 고원식 횡단보도의 진입높이와 주행속도에 따른 수직가속도 변화를 비교해 본 결과, 높이가 증가할수록 수직가속도도 일정하게 증가하는 것으로 나타났다.

V. 결론

본 연구에서는 센서를 이용한 디지털 콘텐츠의 활용성을 고원식 횡단보도의 설치요소 검증을 통해 알아보고자 하였다. 연구 방법은 기존 차도에 많이 설치되어 운영되고 있는 고원식 횡단보도의 형상에 대한 적정성을 검증하고 제한속도의 변화에 따른 영향을 분석하고자 하였다. 이를 위해 국토교통부의 설계요소에 따른 실제 고원식 횡단보도를 선정하고 시뮬레이션 정산을 위한 주행속도별 수직가속도를 측정하였다. 현장에서 수집된 데이터를 차량의 동적 특성을 이용하여 분석하는 시뮬레이션 프로그램인 Carsim(ver.10.1)에 입력하여 실제 현장의 데이터와 유사하도록 구현하였다. 자동차의 주행속도와 설치높이, 횡단보도부 길이에 대한 시뮬레이션 분석 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

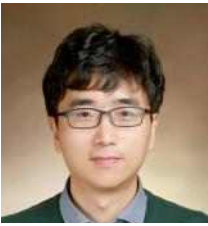
첫째, 고원식 횡단보도가 동일한 설계제원(높이, 길이)인 경우 속도가 증가할수록 수직가속도 Peak to Peak가 증가하는 것으로 분석되었으나, 길이의 경우 20km/h에서는 큰 변화가 나타나지 않았다. 둘째, 자동차속도가 30km/h와 40km/h일 때, 횡단보도부 길이가 4m에서는 수직가속도 Peak to Peak가 크며 6m 이상이 되면 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 셋째, 고원식 횡단보도의 진입높이와 주행속도에 따른 수직가속도 Peak to Peak 변화를 비교하면 높이가 증가할수록 수직가속도 Peak to Peak도 일정하게 증가하는 것으로 분석되었다.

이를 종합하면 고원식 횡단보도에서 운전자가 느끼는 수직가속도는 높이보다는 길이(4m 이하)에서 높은 영향력이 있는 것으로 분석되었다. 따라서 기존의 설계기준에서 규정하고 있

는 고원식 횡단보도의 설계제원에서 자동차의 속도를 30km/h 이하로 줄이고자 하는 지역(어린이보호구역, 노인보호구역, 장애인보호구역 등)에 고원식 횡단보도를 설치하고자 하는 경우에는 기존과 같이 높이는 0.1m로 하되, 횡단보도부 길이는 4m로 설치하여 운전자의 속도 감속을 유도할 수 있다. 또한 지방부 도로구간에서 자동차의 주행속도를 30km/h 이상으로 유지해야 하는 도로구간에 고원식 횡단보도를 불가피하게 설치할 경우에는 횡단보도부 길이를 6m로 설치하여 자동차의 주행성과 보행자의 보행안전성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 향후에는 고원식 횡단보도의 다양한 형상에 대한 분석 및 실제 운전자가 느끼는 수직가속도에 따른 불편감에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 특히 본 연구에서 제시한 접근속도와 높이를 보다 다양화한 실험 및 분석을 통해 각 도로의 조건에 맞는 설계요소가 제안될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 도로분야의 센서를 이용한 디지털 콘텐츠 활용에 대한 방법론을 제시하여 다양한 분야에서 적용이 가능하도록 하였다. 본 연구에서 제시된 제한속도별 고원식 횡단보도의 설치높이와 횡단보도부 길이는 현재 국내에서 도입되어 확대되고 있는 안전속도 5030 등의 교통안전 정책에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] KoRoad, “Traffic Accident Data Comparison between OECD Countries (2020 version)”, 2020.
- [2] Kum, Ki-Jung, Noh, Kwan-Sub, Kim, Young-Suk, “A Study on the Hump of Installation Standard by the Vertical Acceleration test”, Journal of The Korean Society of Civil Engineers, Vol. 19, pp. 541-551, 1999.
- [3] Kim, Yongsuk, Cho, Wonbeom, Park, Eunsoo, Kim, Jongmin, Han, Sangjin, “A Study on the shape of speed bump with crosswalk using virtual driving simulator”, 2009.
- [4] Lim, Chang-Sik, Choi, Yang-Won, “A Study on the Roundabout Hump type Crosswalks Installation Criteria That Takes into Account the Safety of Pedestrian Traffic”, Journal of The Korean Society of Civil Engineers, Vol. 36, pp. 1075-1082, 2016. <https://doi.org/10.12652/Ksce.2016.36.6.1075>
- [5] Eric Evain, Nicolas Dubos, “Experimentation of New Speed Reducer Profiles Suitable for Maximum Speeds of 20km/h”, 2010.



전우훈(Woo Hoon Jeon)

2016년: 서울대학교 도시계획학 박사
2001년: 한양대학교 교통공학 석사
1999년: 한양대학교 교통공학 학사

2001년~현 재: 한국건설기술연구원 연구위원
※관심분야: 도로안전, 무동력 교통수단, 모바일 앱, 도로시설



양인철(Inchul Yang)

2011년: Ph.D. in Civil Engineering at Univ. of California, Irvine
2000년: 연세대학교 도시공학석사
1998년: 연세대학교 도시공학 학사

2000년~2006년: 현대엘앤소프트 (현 현대오토에버)
2006년~2011년: Institute of Transport Studies, UCI
2011년~현 재: 한국건설기술연구원 연구위원
※관심분야: 첨단교통, 자율주행, C-ITS, 도로안전, 도로시설



이진각(Jin Kak Lee)

2010년 : 명지대학교 교통공학 박사
2001년 : 명지대학교 교통공학 석사
1992년 : 명지대학교 교통공학 학사

20019년~현 재: (주)내일이엔시 연구소장
※관심분야: 도로안전, 지하도로, 교통운영, 스마트모빌리티



최건식(Gunsik Choi)

2010년: 중앙대학교 도시공학과 석사
2008년: 중앙대학교 도시공학과 학사

2019년~현 재: 안양시청 교통정책과 주무관
※관심분야: 도로안전, 자율주행, 도시교통(도로, 철도)