

보행자 통행안전성을 고려한 회전교차로의 고원식횡단보도 설치기준 연구

임창식* · 최양원**

Lim, Chang-Sik*, Choi, Yang-Won**

A Study of the Roundabout Hump type Crosswalks Installation Criteria That Takes Into Account the Safety of Pedestrian Traffic

ABSTRACT

In order to calculate the optimum installation interval between a speed hump and hump type crosswalk that are installed continuously in succession, this study examined the speed of a vehicle that passes different intervals between speed humps and hump type crosswalks from the approach section of a roundabout having a maximum speed limit of 30km/h; analyzed the effects of speed humps and hump type crosswalks installed continuously in succession on vehicle driving speed; and simulated the optimum installation height of hump type crosswalk. As a result, the following conclusion was drawn. First, it was found that the optimum interval between a speed hump and hump type crosswalk, which are the representative traffic calming techniques for reducing vehicle speed, to control vehicle speed under 30km/h is 30m. Second, as a result of comparing the deceleration of a vehicle that pass hump type crosswalks, it was found that if the installation interval is 65 m and above, a speed hump and hump type crosswalk had no effect. Therefore, it is desirable that the maximum installation interval between a speed hump and hump type crosswalk for controlling vehicle speed within a fixed road section should not exceed 65m. Third, the analysis showed that the optimum installation height of hump type crosswalk is 6-8cm in case vehicle speed at the approach section is 20km/h or lower, 8-10cm in case of 30km/h, and 10cm in case of 30km/h or higher, respectively. Fourth, even at a road section on which a speed hump and hump type crosswalk are installed, speed reduction effects may sometimes be insignificant due to a driver's studying effect, traffic conditions and so on. Thus, it is judged that speed reduction effects will be greater if several traffic calming techniques such as speed hump, chicane, and choker are applied at the same time. Therefore, in case of applying traffic calming techniques for the purpose of reducing vehicle speed in order to promote pedestrian safety, the composite application of several techniques should be considered.

Key words : Hump type crosswalk, Traffic calming, PC-crash, Space headway, Operating speed

초 록

본 연구에서는 과속방지턱과 연속으로 설치된 고원식횡단보도의 적정 설치간격을 산정하기 위하여 최고속도제한이 30km/h로 운영되는 회전교차로의 접근부에서 과속방지턱과 고원식횡단보도 간 서로 다른 간격을 통과하는 차량의 속도를 조사하여 연속으로 설치된 과속방지턱과 고원식횡단보도가 차량의 주행속도에 미치는 영향을 분석하였고, 고원식횡단보도의 적정 설치높이에 대한 시뮬레이션에 다음과 같은 결론을 도출하였다. 첫째, 과속방지턱과 고원식횡단보도는 차량의 속도를 저감시키는 대표적인 교통정온화 기법으로 차량의 속도를 30km/h 이하로 제어하기 위한 과속방지턱과 고원식횡단보도의 적정 간격은 30m로 나타났다. 둘째, 고원식횡단보도를 통과하는 차량의 감속도를 비교한 결과 설치 간격이 65m 이상인 경우 과속방지턱과 고원식횡단보도의 효과가 없는 것으로 나타났다. 따라서 일정 구간의 차량 속도를 제어하기 위한 과속방지

* 정희원 · 교신저자 · 도로교통공단 부산지부 차장대우 (Corresponding Author · Busan Branch of Road Traffic Authority · cslim@koroad.or.kr)

** 종신희원 · 영산대학교 교통공학과 교수 (Yongsan University · ywchoi@ysu.ac.kr)

Received October 21, 2016/ revised October 26, 2016/ accepted November 7, 2016

턱과 고원식횡단보도의 최대설치 간격은 65m 이내로 설치하는 것이 바람직하다. 셋째, 고원식횡단보도의 설치높이는 차량의 접근부 속도가 20km/h 이하일 때 6~8cm, 30km/h일 때 8~10cm, 30km/h 이상일 때 10cm의 설치가 가장 적절한 것으로 분석되었다. 넷째, 과속방지턱과 고원식횡단보도가 설치된 구간이라도 운전자의 학습효과, 교통상황 등에 의하여 속도감소 효과가 미미한 경우가 있으므로 과속방지턱, 시के인, 초커 등 여러 가지 교통정온화 기법을 동시에 적용할 경우 속도감소 효과가 더 클 것이라 판단된다. 따라서 보행자의 안전을 도모하기 위하여 차량의 속도를 저감시킬 목적으로 교통정온화 기법을 적용하는 경우 여러 가지 기법의 복합 적용을 고려하여야 할 것이다.

검색어 : 고원식횡단보도, 교통정온화, 사고재현, 차두간격, 운행속도

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

회전교차로는 평면교차로의 일종으로 교차로 중앙에 원형교통섬을 두고, 교차로를 통과하는 자동차가 원형교통섬을 우회하도록 하는 교차로 형식이다. 일반적으로 평면교차로에 비해 상충 횡수가 적고, 저속으로 운영되며, 운전자의 의사결정이 간단하여 운전자의 피로와 사고를 줄일 수 있다. 회전교차로에서 보행자 통행방식은 회전교차로 설계지침(Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, 2014) 및 교통안전시설 설치관리 매뉴얼(경찰청, 2012.12)을 따르며, 횡단보도는 양보선으로부터 6m 이상 이격시켜 설치하고 분리교통섬에 보행자 대피공간이 마련되어야 하며, 횡단보도 폭은 유효보도폭의 2배 정도로 하고 최소폭은 4.0m로 한다.

또한, 과속방지턱은 도로법 제2조 및 도로법 시행령 제2조11의 도로부속물로서, 도로법 제37조 및 도로의 구조시설 기준에 관한 규칙 제38조에 의하여 도로 교통의 안전 증진을 도모하고, 교통사고를 예방하기 위해 설치하는 과속방지 시설이다. 과속방지턱은 교통량을 감소시키거나 통과하는 자동차의 속도를 저감시키는 대표적인 교통정온화 시설물로서 집산도로, 국지도로 등 차량의 속도를 저감시킬 필요가 있는 구간에 널리 사용되고 있다. 과속방지턱을 연속으로 설치하였을 경우 독립적으로 설치하는 것에 비하여 일정구간의 속도를 저감시키는 효과를 볼 수 있다는 장점이 있다.

본 연구는 최고속도제한이 20~30km/h로 운영되고 있는 회전교차로에 과속방지턱이 연속적으로 설치되어 있거나 과속방지턱과 고원식횡단보도의 조합으로 설치된 도로구간에서 차량의 주행속도를 조사하고, 최고속도제한에 부합하는 적정 설치간격을 산정하기 위한 모형을 개발하였으며, 회전교차로 내에 설치된 고원식횡단보도를 통과하는 차량의 감속도를 이용하여 고원식횡단보도와 과속방지턱이 연속으로 설치된 경우, 감속 효과를 유지할 수 있는 적정 설치간격과 설치높이를 제시하였다.

1.2 연구의 범위와 방법

속도조사는 운전자가 장비를 인식하지 못하는 위치에 설치하고, 첫 번째 과속방지턱 진입부터 두 번째 고원식횡단보도의 진출까지 속도를 수집하였다. 먼저 과속방지턱과 고원식횡단보도를 통과하

는 차량의 최대 속도를 산출하고, 85백분위 속도(이하 V_{85})를 이용하여 자동차의 주행속도와 설치간격의 관계를 나타내는 선형회귀식을 개발하였다.

또한 첫 번째 과속방지턱을 통과하는 차량의 감속도와 두 번째 고원식횡단보도를 통과하는 차량의 감속도를 서로 비교하여 과속방지턱과 고원식횡단보도의 조합에 대한 효과를 분석하였으며, 이를 통하여 보행자의 통행안전성을 고려한 회전교차로 고원식횡단보도의 적정 설치 간격과 설치 높이를 제시하였다.

2. 선행연구 고찰

2.1 시설 정의

과속방지턱은 형상에 따라 원호형 과속방지턱, 사다리꼴 과속방지턱(고원식횡단보도) 및 가상 과속방지턱 등으로 구분할 수 있으며, 원호형 과속방지턱은 상부면의 형상이 원호 또는 포물선인 과속방지턱이고 사다리꼴 과속방지턱은 상부면의 형상이 사다리꼴인 과속방지턱이다.

가상 과속방지턱은 운전자에게 도로면 위에 장애물이 설치되어 있는 것 같은 시각 현상을 유도하여 주행속도를 줄일 수 있도록 노면표시, 테이프 등을 이용하여 설치된 시설이다. 일반적으로 원호형 과속방지턱이 설치되고 있으며, 운전자가 속도 30km/h로 통과 시 불쾌감이 최소화되고 이를 초과한 속도에서는 불쾌감이 가중됨으로써 속도를 줄이도록 유도하는 개념이 과속방지턱(고원식횡단보도)의 기하구조 제원에 반영되어 있다.

과속방지턱에 대한 연구는 영국의 TRRL (Transportation and Road Research Laboratory)의 실험을 시작으로 미국과 네델란드, 독일, 일본 등 여러 나라에서 연구가 이루어져 왔다. 영국의 TRRL 실험에서는 과속방지턱은 원호의 단면으로 길이는 0.05m에서 3.66m로 하고, 높이는 1.3cm에서 15cm까지로 하여 15종류의 과속방지턱을 대상으로 실험을 실시하였다. 그 결과 길이 3.6m, 높이 10cm의 과속방지턱은 속도가 32km/h를 초과하면 주행에 있어서 불쾌감을 발생시켰으나 8km/h의 저속에서는 차나 운전자에게 적절한 쾌적함을 느끼게 하였으므로 이를 과속방지턱의 표준구격으로 결정하였다(Watts, 1973). 미국의 Speed Bump는 길이가 0.91cm 이하이고, 높이가 12.7cm에서 15.3cm의 급경사의 과속방지

턱이다. 미연방도로국(FHWA : Federal Highway Administration)의 보고에 의하면, Bump는 저속에서 충격이 큰 위험이 있지만 오히려 고속에서는 충격이 감소하는 좋지 않은 특징이 있다고 보고되고 있어 TRRL의 Short Hump와 비슷한 실험결과가 보고되고 있다(Smith and Appleyard, 1981).

Dft (2007)에 의하면, 원형 과속방지턱의 속도감소 효과는 22km/h이며, 사다리꼴 과속방지턱도 동일하게 22km/h임을 제시하고 있다.

2.2 설치 간격

연속으로 설치된 과속방지턱과 고원식횡단보도의 설치 간격은 해당 구간에서 목표로 하는 일정한 주행 속도 이하를 유지할 수 있도록 해당도로의 도로 및 교통 특성을 고려하여 정하며, 시설 상호간에 독립적으로 작용하는지의 여부에 따라 단일형과 연속형으로 분류할 수 있다. 단일형 고원식횡단보도만을 설치하면 고원식 횡단보도 통과 후 속도를 다시 올리는 소위 ‘캥거루 효과(kangaroo effects)’로 인해 과속방지 기능이 충분히 발휘되지 못하는 단점이 있다. 이런 이유로 구간 개념의 속도 관리를 위해 과속방지턱과 고원식횡단보도의 조합인 연속형을 설치하게 된다.

또한, Fig. 1과 같이 회전교차로를 통과하는 자동차가 진입부에서 충분히 속도를 줄여 회전차로에 진입하고, 점진적으로 가속하여 진출시 신속하게 교차로를 통과하도록 회전교차로 설계지침서의 속도프로파일이 제시되어 있다.

도로안전시설 설치 및 관리지침(국토해양부, 2011)에는 구간의

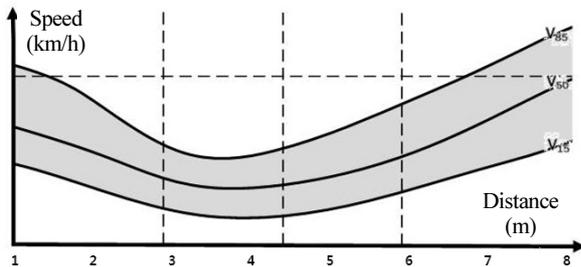
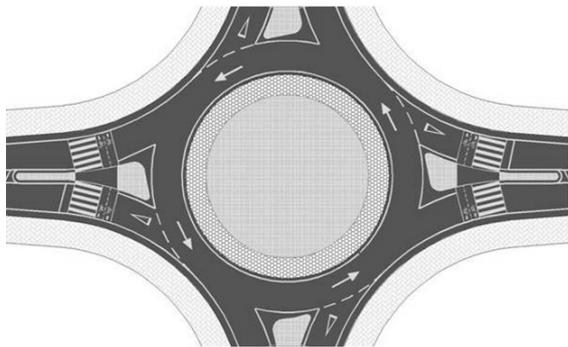


Fig. 1. Roundabout passing traffic speed change

최대 주행속도를 30km/h 이하로 제한하고자 할 때 과속방지턱의 설치간격을 35m로 제시하고 있으며, 아래 Eq. (1)과 같이 자동차 주행속도와 설치간격간의 관계 모형을 제시하고 있다. 속도제한을 20km/h로 하고자 할 때에는 20m, 30km/h로 하고자 할 때에는 35m, 40km/h로 하고자 할 때에는 90m로 제시하고 있다.

$$Y=9.7573X^{0.315821} \quad (1)$$

여기서, Y : 85백분위수 속도(km/h)

X : 고원식횡단보도의 설치 간격(m)

ITE(2011)에 의하면 연속형 과속방지턱의 설치 간격이 약 79~152m사이인 경우 V_{85} 는 45~52km/h로 분석하였다. LOS Angeles Country (2011)에 의하면, 일정 간격으로 설치되는 속도 감속시설의 경우 약 76~91m의 설치간격을 제안하고 있으며, 적정 간격은 운전자들이 속도 감속시설들 사이 구간에서 가감속을 보다 안전하게 할 수 있는 환경을 제공한다고 하였다.

2.3 기존 연구 한계점 및 보완 방안

도로안전시설 설치 및 관리지침(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011)에는 최고속도제한과 설치간격에 관한 모형을 제시하고 있으나 이 연구에서는 사전에 실험준비가 되어 있는 피 실험자가 직접 운전을 하며, 얻어진 자료를 이용하였다는 점과 피 실험자 인원이 5명으로 제한되어 있어 다소 피 실험자의 수가 적다는 한계가 있었다.

따라서 실험에 대해 사전에 의식하지 않고 과속방지턱을 통과하

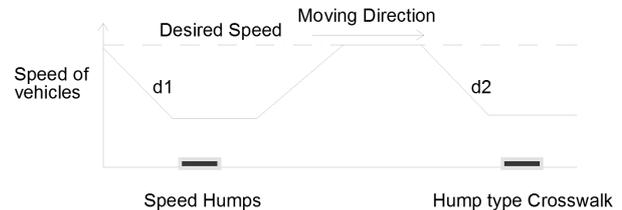


Fig. 2. Speed Profile in Case of Independence Speed Humps and Hump type Crosswalk



Fig. 3. Speed Profile in Case of dependence Speed Humps and Hump type Crosswalk

는 실제 운전자들의 주행 행태를 조사하고 결과도출에 이용되는 샘플 수를 충분히 확보하여 실험결과가 최대한 대표성을 가질 수 있는 연구가 필요하였다. 또한, 과속방지턱 설치 간격에 관한 관계식은 제시되었으나 과속방지턱의 효과가 발휘되는 최대 간격에 대한 검토가 이루어지지 않아 이를 검토할 필요가 있다. 이를 위하여 본 연구는 과속방지턱과 고원식횡단보도가 상호간에 영향을 미치는 지의 여부를 판정하고, 보행자의 통행안전성을 고려한 고원식횡단보도의 설치 간격과 높이에 대한 연구를 수립하였다.

본 연구에서 수립한 가정은 두 번째 고원식횡단보도의 감속도 값이 첫 번째 과속방지턱의 감속도와 같거나 큰 값이면 과속방지턱과 고원식횡단보도가 독립적으로 작용하는 것으로, 두 번째 고원식횡단보도의 감속도 값이 작은 경우는 첫 번째 과속방지턱의 영향을 미치는 것으로 전제하였다. Fig. 2는 “독립”에 해당한 경우의 속도 프로파일을 개념화한 것으로, 전방 과속방지턱을 통과한 운전자의 속도가 시설에 영향이 없는 속도에 도달한 이후에 다시 고원식횡단보도의 존재를 인지하고 속도를 줄이는 것으로 전제하였다.

Fig. 3은 과속방지턱과 고원식횡단보도 상호 간 영향을 준 경우의 속도 프로파일을 개념화한 것으로 첫 번째 과속방지턱을 통과한 운전자가 미처 희망속도에 도달하기 전에 두 번째 고원식횡단보도를 인지하고 다시 감속을 하는 경우이다.

Table 1. Description of Study Sites

Location	Site Characteristics	Spacing (m)
Sasang-gu, Changjo Century APT	Roundabout	26
Buk-gu, Manduk Middle School	Roundabout	30
Seo-gu, Ami Police Substation	Roundabout	34
Gangseo-gu, Sinho Well the Heim APT	Roundabout	36
Gangseo-gu, Sinho Booyoung 3 rd APT	Roundabout	40
Gangseo-gu, Busanbank Myeongji Branch	Roundabout	42
Gangseo-gu, Busan T-Plex Serve Entrance	Roundabout	45
Saha-gu, Jangnim Hyupsung APT	Roundabout	47
Gangseo-gu, Busan T-Plex Main Entrance	Roundabout	48
Gangseo-gu, Vehicle Registration Office	Roundabout	50
Dong-gu, Beomil 5dong Entrance	Roundabout	54
Seo-gu, Guduk Presbyterian Church	Roundabout	58
Heaundae-gu, Hikoreahostel Entrance	Roundabout	62
Gangseo-gu, Myeongil Oceancity Center	Roundabout	65
Saha-gu, Dangni Five-way Intersection	Roundabout	68
Gangseo-gu, Dukcheon Intersection	Roundabout	73
Heaundae-gu, Songjeong Beach Entrance	Roundabout	76
Gijang-gun, Ilkwang Elementary School	Roundabout	78
Gijang-gun, Top Mart West Branch	Roundabout	82
Nam-gu, Nulbit Presbyterian Church	Roundabout	90

3. 실험장소 및 방법

3.1 조사장소

조사장소는 최고속도제한이 30km/h인 회전교차로에 과속방지턱과 고원식횡단보도가 연속으로 설치된 구간 총 20개 장소를 조사하였다. 20개 장소의 과속방지턱과 고원식횡단보도 간격은 최소 26m에서 최대 90m로 다양하게 조사되었으며, 40~50m의 간격이 전체의 약 50% 정도로 가장 많았다. 본 연구의 속도조사 장소에 대한 상세한 내용은 Table 1과 같다. 회전교차로는 기본적으로 접근부의 최고속도제한이 30km/h로 설정되어 운영되고 있으므로 운전자는 제한속도를 엄수하고 운전할 것으로 가정할 수 있다.

3.2 조사방법

본 연구에서는 국외 부쉬넬사가 개발하여 속도측정 등에 활용되고 있는 부쉬넬 스피드건 속도측정기(이하 레이저건)를 활용하여 과속방지턱과 고원식횡단보도를 연속으로 통과하는 차량의 속도를 측정하였다. 레이저 건은 초당 300회의 레이저를 발사하여 차량과의 거리변화를 이용하여 0.2초 간격으로 속도를 측정한다.

차량이 첫 번째 과속방지턱을 인지하고 속도를 줄이는 것을 파악할 수 있는 정도의 거리에서 속도를 측정하기 시작하여 두 번째 고원식횡단보도를 통과하고 다시 가속을 시작하는 것을 측정하였으며, 가로등, 주차차량, 나뭇가지 등 장애물의 영향이 없는 곳에서 측정하였다. 또한, 운전자가 차량의 속도측정을 인지하지 못하도록 대부분 측정지점을 통과한 차량의 후방에서 레이저를 발사하여 속도를 측정하였다. 차량 후면의 경우 전면에 비하여 평평하고, 네모난 형태이므로 레이저의 위치를 고정시킬 수 있는 넓은 영역을 제공한다는 장점도 있다.

차량이 첫 번째 과속방지턱을 인지하고 속도를 줄이는 것을 파악할 수 있는 정도의 거리에서 속도를 측정하기 시작하여 두 번째 고원식횡단보도를 통과하고 다시 가속을 시작하는 것을 측정하였으며, 가로등, 주차차량, 나뭇가지 등 장애물의 영향이 없는 곳에서 측정하였다. 또한, 운전자가 차량의 속도측정을 인지하지 못하도록 대부분 측정지점을 통과한 차량의 후방에서 레이저를 발사하여 속도를 측정하였다. 차량 후면의 경우 전면에 비하여 평평하고, 네모난 형태이므로 레이저의 위치를 고정시킬 수 있는 넓은 영역을 제공한다는 장점도 있다.

3.3 차량 이동거리 보정

차량의 지점별 속도 자료는 측정위치와 차량과의 거리 변화로 산출한다. 즉, 속도는 차량이 일정 위치에서 멀어지는(또는 가까이

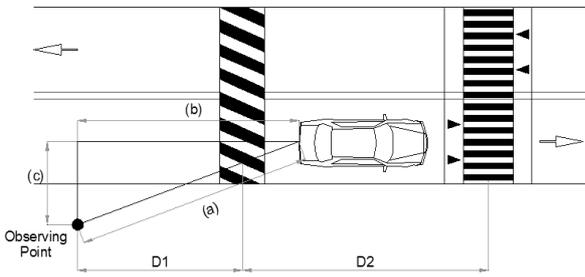


Fig. 4. Geometry of Speed Measurement for Data Calibration

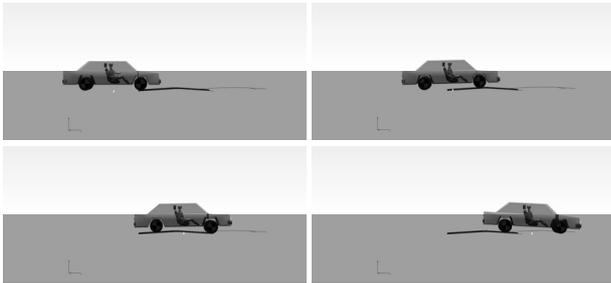


Fig. 5. Description of using PC-Crash

지는) 거리를 레이저의 주파수 간격을 통하여 계산된다. 하지만 실제로 차량이 이동하는 거리는 차로의 중심선을 따라 이동하게 되며, 이를 보정해줄 필요가 있다. 아래의 Fig. 4와 같이 장비로부터 얻어진 차량과의 거리(a)와 측정위치로부터 차로의 중심선까지의 거리(c)를 이용하여 실제로 차량이 이동한 거리(b)를 산정하였다.

3.4 PC-Crash 시뮬레이션 분석

PC-CRASH는 오스트리아 ‘DSD(사)’에서 개발한 충돌해석 전용 소프트웨어로 차량 충돌사고, 장벽 충돌실험, 보행자 및 추락 전도사고, 오토바이 사고, 트레일러 사고, Madymo와 연계한 승객 거동해석 등의 사고재현이 가능하며, 속도산출방식을 적용하는 EES (Equivalent Energy Speed)와 EBS (Equivalent Barrier Speed)등이 있다. PC-CRASH는 충돌 후 차량의 회전 및 이동상태, 차내 탑승자 거동재현 등 시뮬레이션 기능을 최적화한다. 본 연구에서는 Fig. 5와 같이 PC-Crash 10.1을 활용하여 회전교차로의 접근부 차량속도별 차내 탑승자 거동재현(충격력)을 통하여 보행자 통행안전성을 고려한 고원식횡단보도의 적정 설치규격(높이)에 대하여 분석하여 설치기준을 제시하였다.

4. 실험결과 및 분석자료

4.1 자료분석

과속방지턱과 고원식횡단보도가 연속적으로 설치된 구간을 통과하는 개별 운전자는 일반적으로 첫 번째 과속방지턱을 확인하는

Table 2. Statistical Description for Speed Data with Spacing

Site No	Spacing (m)	Speed			
		Number of Observation	MEAN	SD	V85
1	26	31	25.52	4.01	29.91
2	30	54	26.08	3.98	29.50
3	34	28	29.25	3.11	31.91
4	36	34	28.60	2.80	31.97
5	40	51	28.45	4.84	32.14
6	42	62	29.64	3.84	32.70
7	45	26	28.64	3.29	31.52
8	47	47	28.76	4.15	33.10
9	48	28	29.52	2.51	32.91
10	50	39	28.12	5.46	32.59
11	54	32	30.62	3.35	33.20
12	58	39	28.20	4.06	33.49
13	62	25	29.93	5.74	35.32
14	65	33	29.70	3.59	33.05
15	68	33	29.38	4.07	34.10
16	73	46	30.82	3.40	34.43
17	76	43	31.46	4.31	36.10
18	78	40	29.67	4.49	34.34
19	82	35	34.61	3.98	38.77
20	90	11	36.34	2.49	38.93

순간부터 감속이 이루어지며, 두 번째 고원식횡단보도까지의 가속은 설치 간격에 따라 약간의 차이는 있었지만 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 운전자가 첫 번째 과속방지턱을 통과하는 순간 두 번째 고원식횡단보도의 존재를 파악하고 가속할 의사를 포기한다고 판단된다.

조사장소에서 측정된 운전자별 속도자료를 시간별, 위치별로 정리한 이후에 운전자별 최대속도를 도출하고, 이 값들의 평균, 표준편차, V₈₅ 주행속도 값을 산출하였으며, Table 2와 같다.

4.2 분석결과

본 연구는 보행자의 통행안전성을 고려한 고원식횡단보도 설치 간격과 속도의 관계 모형 도출을 위해 V₈₅를 사용하였다. V₈₅는 도로 기하구조와 관련한 주행속도를 통계적으로 기술하는 대표적인 값으로 85%의 운전자가 이 속도 이하로 운행하는 속도를 의미하며, 지점속도를 측정하고 이를 이용하여 85백분위수를 산출한다. 이를 위하여 과속방지턱과 고원식횡단보도 설치간격별 통과차량의 최대속도를 산출하고, 85백분위 속도를 결정하였다. 총 20개 실험 장소의 실험 데이터를 활용하여 Fig. 6과 같이 속도-간격 그래프를

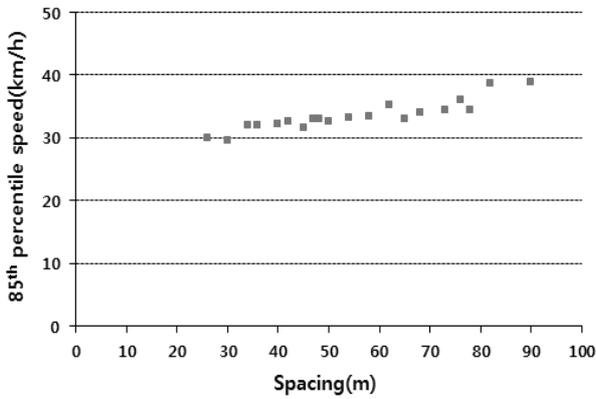


Fig. 6. Relationship between Spacing and Speed

Table 3. Statistical Analysis Results

Model	B	S.E.	t	p	Radj
Constant	26.8980	0.6082	45.8303	0.0000	0.7358
Speed	0.1034	0.0103	9.5167	0.0000	

작성하였다.

과속방지턱과 고원식횡단보도의 설치간격별 V_{85} 주행속도를 이용하여 속도-설치간격 간의 선형회귀 분석을 “S+(비진 8.1)”을 이용하여 분석한 결과는 Table 3과 같다. 선형회귀식은 유의한 것으로 나타났고, 조정 회귀계수(Adjusted Rsquare)가 0.7358로 나타났다.

고원식횡단보도 설치간격에 따른 V_{85} 주행속도 관계모형은 Eq. (2)와 같다. 설치간격을 20m부터 120m까지 늘려가며, 모형을 통해 도출한 주행속도는 Table 4와 같다. Table 4에 보인바와 같이 간격이 10m 커짐에 따라 속도가 약1km/h 수준으로 증가하는 것으로 나타났으며, 30m로 하는 경우는 30km/h로 자동차의 속도를 감속시킬 수 있고, 간격을 120m로 하는 경우는 속도를 40km/h 수준으로 감속시킬 수 있다. 그러나 현장 조사지점이 최대 90m로 이를 초과한 간격에 대해서는 모형만으로 결과를 완전하게 추정하기 곤란한 연구의 한계가 있었다. 이런 이유로 본 연구에서는 연속되는 과속방지턱과 고원식횡단보도 간에 상호 영향을 미치는 최대 간격에 대한 연구를 현장조사의 한계를 보완하기 위해 수행하였다.

$$V_{85}=0.1034S+26.898 \quad (2)$$

여기서, V_{85} =85백분위 속도(km/h)

S= 고원식횡단보도 설치간격(m)

본 연구는 과속방지턱과 고원식횡단보도가 독립적인지 상호

Table 4. Relationship between Spacing and Speed using Equation

Spacing	V_{85}
20	28.97
30	30.00
40	31.03
50	32.07
60	33.10
70	34.14
80	35.17
90	36.20
100	37.24
110	38.27
120	39.31

Table 5. Statistical Description for Speed Data with Spacing

Site No	Spacing	d1	d2	d1-d2	judgment
1	26	0.603	0.211	0.393	-
2	30	0.423	0.085	0.339	-
3	34	0.557	0.225	0.332	-
4	36	0.794	0.347	0.447	-
5	40	0.302	0.180	0.122	-
6	42	0.281	0.156	0.125	-
7	45	0.506	0.229	0.276	-
8	47	0.425	0.246	0.179	-
9	48	0.278	0.146	0.131	-
10	50	0.226	0.185	0.041	-
11	54	0.354	0.156	0.197	-
12	58	0.362	0.298	0.064	-
13	62	0.101	0.297	-0.196	independence
14	65	0.313	0.332	-0.019	independence
15	68	0.285	0.321	-0.036	independence
16	73	0.241	0.104	0.137	-
17	76	0.539	0.459	0.080	-
18	78	0.260	0.113	0.147	-
19	82	0.274	0.265	0.009	-
20	90	0.438	0.411	0.027	-

영향인자를 구분하기 위한 가정을 세웠으며, 현장 조사된 자료를 통하여 가정의 타당성을 판단하기 위해 설치간격과 감속도 차이(전방 감속도와 후방 감속도 차)의 관계를 검토하였다. 차량의 감속패턴을 분석해본 결과 고원식횡단보도 전방 5m 지점부터 감속하는 형태를 보였으므로 고원식횡단보도 통과 5m 전방부터 고원식횡단보도 진입순간까지의 속도자료를 이용하여 감속도를 산정하였다.

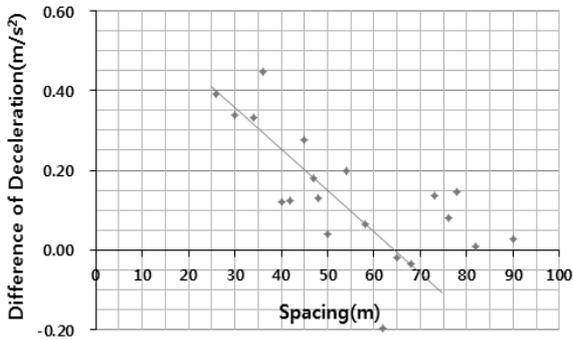


Fig. 7. Relationship of Spacing and Difference of Deceleration

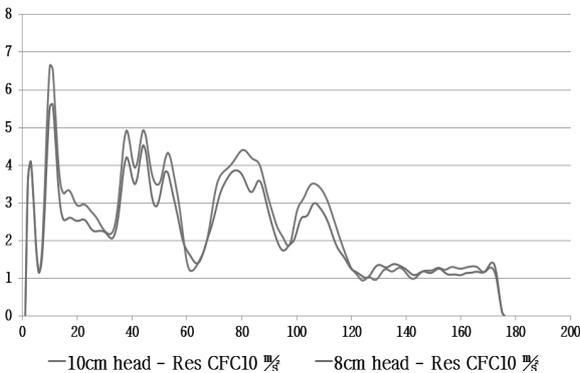


Fig. 8. Hump type Crosswalk 8cm and 10cm when Passing Head Impact

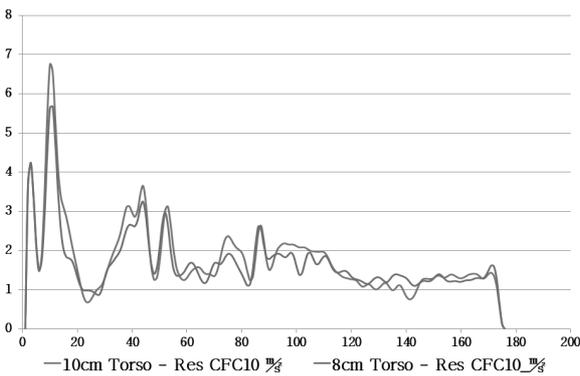


Fig. 9. Hump type Crosswalk 8cm and 10cm when Passing Body Impact

분석결과 Fig. 7에 보인바와 같이 설치간격이 커질수록 감속도 차이가 줄어들고 설치간격 65m를 경계로 감속도 값의 차이가 거의 발생하지 않음을 알 수 있었다. 특히 본 연구 가정에 의해 “독립”으로 판정되는 설치간격 65m 이상의 조건에서 오히려 두 번째 고원식횡단보도 진입 시의 감속도가 근소한 차이로 증가하는 경우도 있었으며, 이는 운전자가 전방의 고원식횡단보도를 이미

Table 6. Comparison Across Studies on Spacing and Speed

Target Speed (km/h)	Spacing (m)	
	The study	MLTM (2011)
30	30	35

경험한 소위 학습효과로 인하여 후방 고원식횡단보도에서 감속도가 같거나 미소한 차이로 증가한 것으로 볼 수 있다.

Table 5는 과속방지턱과 고원식횡단보도를 통과 시 운전자의 감속도를 각각 구한 후 그 차이를 토대로 본 연구에서 전제된 독립 여부를 검토한 것이다. 검토결과, 과속방지턱과 고원식횡단보도 설치간격이 65m가 전방에 비해 크거나 같은 것으로 나타났다. 지점 20에서 간격 90m의 경우는 $0.027m/s^2(0.26g)$ 로 나타났지만 본 연구는 지점 12, 13, 14에서의 결과를 토대로 65m를 경계로 정하고자 한다.

또한, Fig. 8은 사고재현프로그램 PC-Crash 10.1을 활용하여 고원식횡단보도 통과 시 운전자의 머리와 몸통에 전달되는 충격력을 나타낸 것으로 8cm의 높이와 10cm의 높이 고원식횡단보도 전체를 통과하기까지 충격력이 머리에 전달되는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 운전자의 몸통으로 전달되는 충격력을 나타낸 것으로 진입초기에 충격의 차이가 있으나 그 이후에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

4.3 결과 검토 및 토의

본 연구의 결과를 국내 기준과 비교하면 Table 6과 같다. 과속방지턱과 고원식횡단보도를 연속적으로 설치하여 달성하고자 하는 목표속도(Target Speed)를 30km/h로 하는 경우 본 연구는 30m, 국토해양부(2011)는 35m로 나타났다.

고원식횡단보도의 최대 설치간격에 있어서는 Los Angeles (2011)에는 경험적으로 약 76-91m 수준으로 설치하는 것을 제안하였으나, 본 연구에서는 실제 현장에서 조사된 가속도 자료 및 연구가정을 토대로 최대 65m 간격을 제시하였다. 이러한 차이는 나라별로 과속방지턱과 고원식횡단보도를 인지하고 주행함에 있어 운전자 형태에 차이도 일정부분 기인하는 것으로 볼 수 있으며, 국외 기준은 경험에 의한 것으로 본 연구의 결과와 직접 비교는 어렵지만 국내 운전자의 경우 과속방지턱과 고원식횡단보도의 설치간격에 대해 보다 민감하게 반응하는 것으로 볼 수 있다.

과속방지턱이나 고원식횡단보도는 주로 교통정온화를 위한 수법으로 사용되며, 교통정온화의 일반적 목표속도는 30km/h로 본 연구 결과로 제시한 30m의 간격이 바람직하다. 다만, 현장의 여건상 고원식횡단보도의 설치간격을 30m로 유지하기 어려운 경우는 이를 초과하는 간격으로 설치할 수밖에 없으나 이때에도 본 연구에서 검토한 최대간격인 65m 이내로 설치하는 것이 과속방지턱과 고원

식횡단보도를 연속으로 설치하여 일정구간의 자동차 속도를 낮추는데 효과를 얻을 수 있다.

또한, 회전교차로의 접근부 속도가 20km/h 이하이고, 과속방지턱과 고원식횡단보도의 설치간격이 30m 이상 ~ 65m 이하일 때 고원식횡단보도의 적정 설치높이는 6cm, 설치간격이 65m 이상일 때에는 적정 설치높이가 8cm로 나타났으며, 접근부 속도가 30km/h이고, 설치간격이 30m 이상 ~ 65m 이하일 때 고원식횡단보도의 적정 설치높이는 8cm, 설치간격이 65m 이상일 때에는 적정 설치높이가 10cm로 나타났으며, 접근부 속도가 30km/h 이상일 경우 설치간격과 관계없이 고원식횡단보도의 설치높이는 과속방지턱 설치기준을 적용하여 10cm로 설치하는 것이 바람직하다.

5. 결론

5.1 결론 및 연구요약

본 연구에서는 과속방지턱과 연속으로 설치된 고원식횡단보도의 적정 설치간격을 산정하기 위하여 최고속도제한이 30km/h로 운영되는 회전교차로의 접근부에서 과속방지턱과 고원식횡단보도 간 서로 다른 간격을 통과하는 차량의 속도를 조사하여 연속으로 설치된 과속방지턱과 고원식횡단보도가 차량의 주행속도에 미치는 영향을 분석하였고, 고원식횡단보도의 적정 설치높이에 대한 시뮬레이션에 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 과속방지턱과 고원식횡단보도는 차량의 속도를 저감시키는 대표적인 교통정온화 기법으로 차량의 속도를 30km/h 이하로 제어하기 위한 과속방지턱과 고원식횡단보도의 적정 간격은 30m로 나타났다.

둘째, 고원식횡단보도를 통과하는 차량의 감속도를 비교한 결과 설치 간격이 65m 이상인 경우 과속방지턱과 고원식횡단보도의 효과가 없는 것으로 나타났다. 따라서 일정 구간의 차량 속도를 제어하기 위한 과속방지턱과 고원식횡단보도의 최대설치 간격은 65m 이내로 설치하는 것이 바람직하다.

셋째, 고원식횡단보도의 설치높이는 차량의 접근부 속도가 20km/h 이하일 때 6-8cm, 30km/h일 때 8-10cm, 30km/h 이상일 때 10cm의 설치가 가장 적절한 것으로 분석되었다.

넷째, 과속방지턱과 고원식횡단보도가 설치된 구간이어도 운전자의 학습효과, 교통상황 등에 의하여 속도감소 효과가 미미한 경우가 있으므로 과속방지턱, 시케인, 초커 등 여러 가지 교통정온화 기법을 동시에 적용할 경우 속도감소 효과가 더 클 것이라 판단된다. 따라서 보행자의 안전을 도모하기 위하여 차량의 속도를 저감시킬 목적으로 교통정온화 기법을 적용하는 경우 여러 가지 기법의 복합 적용을 고려하여야 할 것이다.

5.2 연구의 한계점 및 향후 연구과제

본 연구는 현장 조사된 자료를 이용하여 속도와 설치간격의 관계를 분석한 것으로 과속방지턱과 고원식횡단보도의 설치폭 등에 대한 고려가 이루어지지 않았다는 한계가 있다. 따라서 고원식횡단보도의 설치간격 뿐만 아니라 설치 폭을 고려한 고원식횡단보도 설치기준에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 아울러 현장에서 관찰된 속도 및 가속도 자료를 근간으로 자동차 시뮬레이터 등을 이용하여 보완조사를 하는 것도 향후 연구로 필요하다.

감사의 글

본 연구는 영산대학교 연구비 지원을 받아 수행된 연구입니다.

References

- Bruce, R., Elizabeth, W. and James, C. (1997). "City of portland speed bump peer review." Kittelson & Associates, inc., City of Portland, Bureau of Traffic Management.
- Dan, S., Shauna, H., Keith, K. and Gary, T. (2002). "Temporary speed hump impact evaluation." CTRE Project 00-73 final report, IOWA Department of Transportation, Center for Transportation Research and Education Iowa State University.
- Department for Transport (2007). Traffic Calming. Institute of Transportation Engineers (2011). Guidelines for the Design and Application of Speed Hump and Speed Tables.
- Kim, Y.-S. and Cho, W.-B. (2005). "A study on the relationship between road design, operating and posted speeds." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 23, No. 7, pp. 35-42.
- Lim, C.-S. and Choi, Y.-W. (2013). "An analysis of velocity patterns and improvement effect after application of domestic roundabout design guidelines." *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 33, No. 1, pp. 305-316.
- Lim, Choi, Jeong (2011). "Analysis about speed variations factors and reliability of traffic accident collision interpretation." *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 31, No. 4D, pp. 539-546.
- Los Angeles County (2011). Model Design Manual for Living Streets. Ministry of Land, Transport and Mraitime Affairs (2011). The Guidelines for Road Safety Facilities Installation and Management.
- Smith, Daniel T and Donald Appleyard (1981). Improving the Residential Street Environment. Report FHWA/RD-81/031. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
- Watts, G. R. (1973). Road humps for the control of Vehicle speeds. TRRL Laboratory Report 597. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire.
- Kim, Y. S., Yeo, I., Baek, J.-G. and Choi, J.-W. (2013). "The optimal spacing of speed humps in traffic calming areas" *Journal of Korean Society of Road Engineers*, Vol. 15, No. 3, pp. 151-157.