

# Smart Bollard를 이용한 어린이보호구역에서의 안전성 제고에 관한 연구

김회경\* · 임재문\*\* · 설재훈\*\*\* · 오윤표\*\*\*\*

Kim, Hoe Kyoung\*, Lim, Jae Moon\*\*, Sul, Jae Hoon\*\*\*, Oh, Yun Pyo\*\*\*\*

## School Zone Safety Improvement Using Smart Bollard

**ABSTRACT :** This paper is aimed to introduce to a moving bollard (i.e., smart bollard) to improve the pedestrian safety along the crosswalk in the school zone as a means to physically separate pedestrians and approaching vehicles, to propose the appropriate criteria for its installation and implementation from the traffic engineering perspective, and to evaluate its effectiveness with the microscopic simulation model. The simulation results indicate that implementing the smart bollard results in the decrease of average approaching speed and traffic throughput and the most critical factors affecting its effectiveness are yellow time of the traffic signal directly associated with the location of the advance warning sign and its operation time, 5~6 seconds and 2~3 seconds, respectively.

**Key words :** school zone, smart bollard, advance warning sign, microscopic simulation model, VISSIM

**초 록 :** 본 연구에서는 어린이보호구역에서 교통안전의 증진을 위하여 상류부에 접근하는 차량의 감속과 어린이보호구역 내에 위치한 횡단보도에서 발생하는 차대사람 간의 교통사고를 최소화하기 위하여 물리적인 보차분리가 가능한 구동식 bollard, 즉 smart bollard를 제안하고 설치와 운영에 요구되는 조건들을 교통공학적인 측면에서 이해하고 그 제원을 제시하였다. 미시적 시뮬레이션 모델을 통해 제안된 smart bollard를 평가해본 결과, 설치 전과 비교하여 구간 평균통행속도와 통과교통량의 감소효과를 보여 어린이보호구역 교통안전의 증진에 효과가 있음을 보였다. 또한 구간 평균통행속도와 통과교통량을 효과적으로 줄여줄 수 있는 가장 결정적인 파라미터는 smart bollard 사전 경보등의 설치에 관여하는 황색신호시간의 길이와 smart bollard의 구동시간으로서 각각 5~6초와 2~3초가 적합한 값으로 판명되었다.

**검색어 :** 어린이보호구역, smart bollard, 사전 경보등, 미시적 시뮬레이션 모델, VISSIM

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

현재 대도시를 중심으로 보행권의 확보와 보행환경 개선을 위하여 도시의 경관을 해치고 교통약자에게 사용상의 어려움으로 간주되는 노후화된 육교의 철거와 횡단보도의 설치가 점진적으로 추진 중에 있다. 모순되게도 차량과 보행자를 물리적으로

\* 정회원 · 동아대학교 도시계획학과 조교수, 공학박사 (hoekim@dau.ac.kr)

\*\* 정회원 · 정림이엔씨 건축사사무소 대표 (Corresponding Author · JL · E&C · bfn@naver.com)

\*\*\* 동아대학교 미디어디바이스 연구센터 책임연구원, 공학박사 (sjh6733@dau.ac.kr)

\*\*\*\* 동아대학교 도시계획학과 교수, 공학박사 (ypoh@dau.ac.kr)

※ 이 논문은 동아대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

Received June 15 2012, Revised August 13 2012, Accepted October 11 2012

그리고 공간적으로 분리시키는 육교나 지하도로 주위에서 빈번한 교통사고가 발생하고 있는 이유는 실제 교통시설을 사용하는 수요자의 욕구나 행태를 제대로 파악하지 못하는 것에서 이유를 찾을 수 있을 것이다. 이와 같이 교통 실수요자의 요구에 부응하는 교통정책을 운영함과 동시에 고려해야 될 사항은 교통안전으로서 차와 보행자가 일정한 시차를 두고 통행권을 번갈아 부여 받는 신호교차로 혹은 미드블럭 횡단보도에서의 보행자 안전 확보는 양질의 도시생활환경 조성의 필수적인 요소라고 할 것이다.

본 연구에서는 이러한 시대적인 요구에 부합하여 교통안전의 확보가 가장 우선시 되어야 할 어린이보호구역 내에서의 교통사고 현황을 살펴보고 교통안전 증진 방안을 강구해 보고자 한다. Table 1에서는 매년 지속적으로 어린이보호구역의 지정건수가 증가하고 있음을 보여주고 있지만 Fig. 1에서 어린이보호구역의 지정이 해마다 증가하고 있는 만큼 어린이보호구역에서 어린이 관련 교통사고건수도 비례적으로 증가하고 있는바 어린이보호구역의 지정 그 자체만으로는 어린이보호구역에서의 어린이 교통안전의 확보가 이루어지지 않고 있다고 사료된다. 또한 Fig. 2에서는 어린이보호구역에서 발생하는 어린이 관련 교통사고로 인한 사망률이 모순되게도 일반적으로 발생하는 어린이 관련 교통사고로 인한 사망률보다 높음을 보여주고 있다. 그리

고 Table 2에서 인지할 수 있는 바와 같이 어린이보호구역에서 차대사람 간의 어린이 교통사고의 60%~70%가 횡단 중에 발생하고 있으므로 어린이보호구역에서 특히 횡단 중에 발생하는 교통사고를 효과적으로 줄일 수 있는 좀 더 강력하고 적극적인 교통안전수단의 활용이 요구된다고 하겠다.

본 연구에서는 어린이보호구역에서의 교통안전 증진방안을 제안하고자 어린이보호구역 내 신호 횡단보도에서 등·하교시에 발생 가능한 차대사람 간의 교통사고를 적극적으로 효과적으로 차단할 수 있는 방법으로 차량신호·보행신호와 연동된 구동식 bollard(automatic retractable bollard, 본 연구에서는 smart bollard라고 명칭함)의 운영을 제안한다. 원래 bollard는 차량의 보도 진입을 차단하는 목적으로 사용하는 자동차 진입 억제용 말뚝을 의미하지만, 본 연구에서 제안하는 smart bollard는 도로를 가로지르는 횡단보도의 측면에 교통신호와 연동된 bollard를 지하에 매설하고 보행신호 시에 상승하게 함으로써 횡단보도로 접근하는 차량을 보행자와 물리적으로 완벽하게 분리시켜 보행자의 통행권과 안전을 확보하고 통행을 마친 후 bollard를 다시 하강시킴으로써 원래의 교통흐름으로 되돌려 주는 새로운 개념의 교통안전시설을 의미한다.

또한 본 연구에서는 어린이보호구역 내의 횡단보도에 smart bollard 설치·운영에 요구되는 다양한 조건들, 예를 들면 smart

Table 1. The Status of School Zone Designation

Year	Elementary School	Kindergarten	Special School	Daycare	Total
2006	5,287	2,591	48	420	8,346
2007	5,365	2,369	76	619	8,429
2008	5,526	2,602	93	778	8,999
2009	5,654	2,781	107	1,042	9,584
2010	5,850	5,476	126	1,755	13,207
2011	5,917	6,766	131	2,107	14,921

Source) e-National INDICATORS, 2012

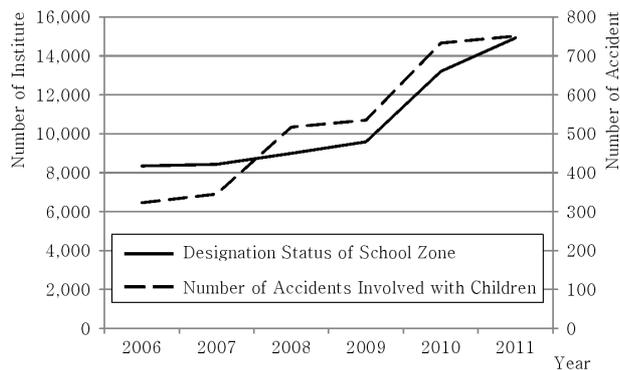


Fig. 1. Comparison of School Zone Designation Status and the Number of Children-involved Traffic Accidents

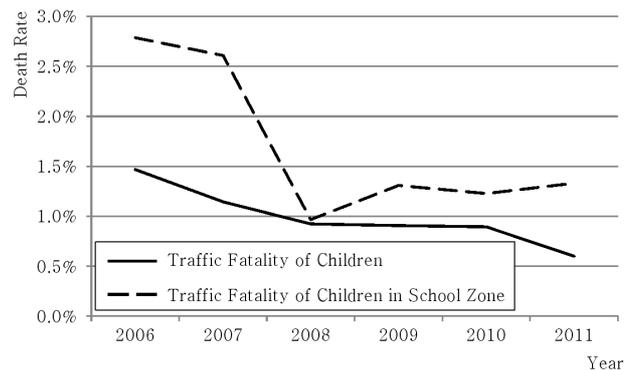


Fig. 2. Comparison of Children-involved Traffic Fatality

Table 2. Classification of Children-involved Accident in School Zone by Accident Type, Focusing on Car-to-Person Accident Type

Year	No. of Accidents	Crossing	Walking on Road	Walking on Shoulder	Walking on Sidewalk	Other
2006	275	196	20	20	15	24
		71.3%	7.3%	7.3%	5.5%	8.7%
2007	279	189	36	12	13	29
		67.7%	12.9%	4.3%	4.7%	10.4%
2008	399	297	35	12	29	26
		74.4%	8.8%	3.0%	7.3%	6.5%
2009	441	305	37	24	29	46
		69.2%	8.4%	5.4%	6.6%	10.4%
2010	649	435	45	29	47	93
		67.0%	6.9%	4.5%	7.2%	14.3%
2011	659	396	37	21	42	163
		60.1%	5.6%	3.2%	6.4%	24.7%

bollard의 사전 정보등 위치 선정, 높이, 그리고 구동 속도 등에 대한 설치 및 운영 기준을 교통공학적인 측면에서 제안하고자 한다. 그리고 smart bollard의 구동에 영향을 미치는 다양한 변수들로 구성된 다수의 시나리오를 만든 후 미시적 교통 시뮬레이션 모델(microscopic simulation model)을 이용해 그 효과를 구간 차량주행속도와 통과교통량을 통해서 평가하고 적정 변수 값들을 제안하고자 한다.

## 2. Smart Bollard의 소개

한국에서 bollard는 교통약자의 이동편의증진법 시행규칙 제9조(보행시설물의 구조 등) 별표 2(보행시설물의 구조·시설 기준에 관한 세부기준)에서 자동차 진입억제용 말뚝으로 정의하고 있으며 보행자의 안전하고 편리한 통행을 방해하지 않는 범위 내에서 설치가 가능하다. 예를 들면, 횡단보도 부근의 턱 낮추기 구간에 자동차의 진입 및 우회전 자동차가 보도로 진입하는 것을 사전에 예방하기 위한 교통안전시설로 사용하고 있다. 밝은 색의 반사도료의 사용으로 식별이 쉽도록 설치토록 규정하고 있으며 보행자의 안전을 고려하여 bollard의 높이는 80~100cm 내외로 하고, 그 지름은 10~20cm 내외, 설치간격은 휠체어 사용자 등을 감안하여 1.5m 내외를 원칙으로 하고 있다. 또한, bollard의 재질은 보행자, 자전거 이용자 등의 충격을 흡수할 수 있는 재료를 사용하되, 속도가 낮은 자동차의 충격에 견딜 수 있는 구조이어야 하며 시각장애인과의 같은 교통약자와 bollard의 충돌을 예방하기 위해 bollard의 0.3m 전면에 점형 블록의 설치를 요구하고 있다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011a; Ministry of Construction and Transportation, 2007).

### 2.1 구동식 Bollard(automatic retractable bollard)

앞서 언급한 바와 같이 본 연구에서 제안하고 있는 smart bollard는 미국이나 유럽과 같은 교통선진국에서 주로 교통평온 화기법(traffic calming)의 수단이나 차량의 선별적 진출입 통제를 목적으로 사용되고 있는 구동식 bollard(automatic retractable bollard)의 한 형태이다. Table 3은 일반적인 bollard와 구동식 bollard의 차이점을 보여주고 있다. 구동식 bollard는 전기가 유압을 이용하여 구동하고 있으며 운전자가 휴대하는 리모콘의 조작이나 RFID를 통한 자동차량인식기법 혹은 진출입부에서 관제센터와의 통화시설 등을 통해 하강과 상승을 관리하고 있다.(City of Palo Alto, 2001; City of Palo Alto, 2004) 교통선진국에서는 접근하는 차량의 속도에 따라 구동식 bollard의 설치·운영비를 약 1200만원~1억1500만원(\$11000~\$100000, 환율 1150원/\$ 기준)으로 산정하고 있으며 한국에서는 사망사고가 발생한 어린이보호구역의 횡단보도를 중심으로 smart bollard의 실험적 설치·운영이 가능하리라고 사료된다. Fig. 3은 구동식 bollard의 개념도로써 독자들의 이해를 돕고자 한다(Wikipedia, 2012).

반면에 기존의 bollard 그리고 구동식 bollard와 본 연구에서 제안하고 있는 smart bollard는 차량의 보행시설 진입 억제를 통한 보행자의 안전과 통행권의 확보라는 근본적인 설치목적은 동일하지만 bollard가 설치되는 대상 교통시설(보도와 횡단보도)에서 차이가 있다.

어린이보호구역 내 횡단보도에서 녹색 보행신호 시간 동안 상류부에서 횡단보도로 접근하는 과속 차량들이 횡단보도 정지선을 지키지 못하고 넘어서서 정지하는 상황 혹은 어린이 보호구역 주위 교차로에서 등·하교시간에 충분한 시야를 확보하지 못한 상태에서 진행되는 무리한 비보호우회전 상황에서 대부분

Table 3. Comparison of Conventional and Automatic Retractable Bollards (Wikipedia, 2012)

	Conventional Bollard	Automatic Retractable Bollard
Purpose	· Security of safety and right-of-way for pedestrian by preventing vehicles from entering pedestrian facilities	· Selective access control · Security of safety and right-of-way for pedestrian by preventing vehicles from entering pedestrian facilities
Pros	· Lower costs for installation, maintenance, management, and operation · Installation and operation of pedestrian-only facilities · Security of social understanding of the bollard	· Selective access control (i.e., resident, public transit, delivery vehicle, etc.) · High accessibility of emergency vehicle · Temporal access control time-of-day · Operation of public transit-only area
Cons	· Low accessibility under emergency situation	· Higher costs for installation, maintenance, management, and operation · Latency of accident due to the lack of understanding of the new facility
Other		· Operation with electricity or oil pressure · Activation by personal remote controller, RFID, or control center

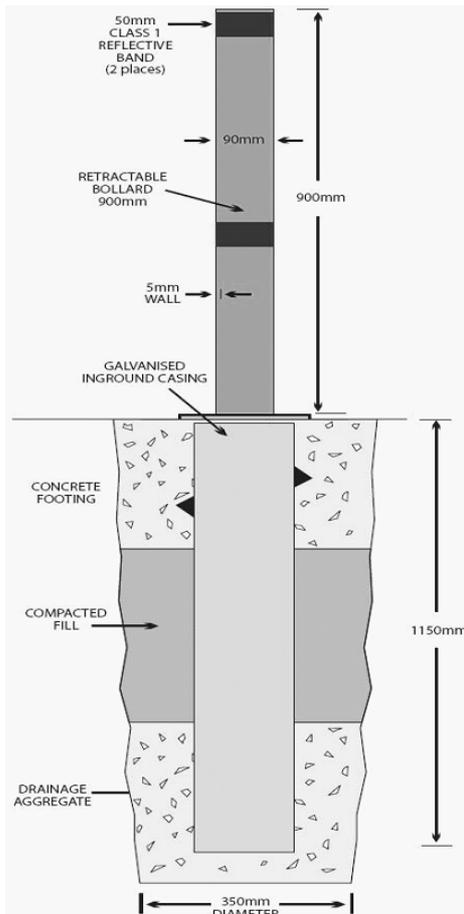


Fig. 3. The Conceptual Diagram of Automatic Retractable Bollard (EQUIPEnterprises Pty Ltd., 2006)

의 어린이 관련 교통사고가 발생하기 때문에 smart bollard와 같은 물리적인 보차분리시설의 필요성이 대두된다고 하겠다.

## 2.2 Smart Bollard의 구동방식

Smart bollard는 어린이보호구역에 위치한 횡단보도에서 서로 상반되는 교통수요(자동차와 보행자)를 물리적으로 분리시켜 보행자의 통행권과 안전을 보장하고자 하는 것으로써 자동차가 통행권을 가지는 경우(녹색 차량신호 그리고 적색 보행신호)는 smart bollard를 하강시켜 둔 상태에서 차량의 소통을 원활하게 유지하고 보행자에게 통행권이 주어지는 경우(적색 차량신호 그리고 녹색 보행신호)는 smart bollard를 상승시켜 줌으로써 보행자가 무사히 횡단할 수 있게 한다. 따라서 smart bollard는 차량신호 그리고 보행신호와 연동시켜 구동이 이루어져야하며 smart bollard의 상승과 하강을 위해 소요되는 시간을 차량신호 그리고 보행신호로부터 확보할 필요가 있다.

경찰청 도로교통안전관리공단의 “어린이보호구역 개선사업 업무편람”에서 정의하고 있는 어린이보호구역 내 교통신호기 설치 기준을 바탕으로 횡단보도의 신호기와 연동된 smart bollard의 효율적인 운영 조건을 제시하고자한다. “어린이보호구역 개선사업 업무편람”에서는 어린이보호구역 개선사업의 방안으로서 어린이보호구역 내 횡단보도에 교통신호기의 설치를 제안하고 있는데 신호등 설치 운영조건을 다음과 같이 정의하고 있다(Road Traffic Safety Authority, 2006).

- 필요시 신호등 전방 300m 이상에 경보등 설치
  - 어린이 보행속도인 0.8mps 적용하여 운영
  - 노퍽의 중앙까지는 녹색신호를 부여하고, 나머지는 녹색점멸
  - 차량등이 적색으로 바뀐 후 2~3초 후에 보행자 녹색신호 점등(Before Pedestrian 2~3초 연장), 보행신호 종료 시에도 마찬가지로 2~3초 후에 녹색차량등 점등(보행자 후 All Red).
- 본 연구에서는 smart bollard 상승과 하강을 위해 요구되는

시간의 확보를 위해 Before Pedestrian 시간과 All Red 시간을 활용하고자 한다. 다시 말하자면, 상류부에서 적색 차량신호를 인지하고 횡단보도로 접근하는 차량들을 녹색 보행신호가 점등되기 전에 횡단보도 정지선에 완벽하게 정지시키기 위해서 적색 차량신호의 초기 시간과 적색 보행신호의 마지막 시간을 증첩시켜 smart bollard를 상승시키는 시간으로 배정한다 (Before Pedestrian 시간). 마찬가지로 적색 차량신호의 마지막 시간과 적색 보행신호의 초기 시간을 증첩시켜 smart bollard 하강시간으로 활용한다(All Red 시간).

### 3. Smart Bollard의 설치 및 운영 조건

본 장에서는 smart bollard의 설치 및 운영을 위하여 상류부에서 횡단보도로 접근하는 차량에게 smart bollard의 존재를 사전에 인식시키는 위한 사전 경보등의 위치, smart bollard의 높이, 그리고 구동속도에 대해서 다양한 편람이나 지침서를 통해서 정의하고 교통공학적인 측면에서 보편적으로 통용되면서 smart bollard의 성능을 제고할 수 있는 변수 값들의 제원을 제안한 후 각각의 영향 변수들의 범위에 해당하는 설치 조건을 제시하였다.

#### 3.1 Smart Bollard 사전 경보등의 설치

기본적으로 smart bollard의 상승은 적색 차량신호등이 점등된 직후부터 진행되게 되므로 횡단보도를 접근하는 상류부의 차량들이 smart bollard의 위치 즉 횡단보도의 정지선 이전에서 정지할 것으로 가정하고 있지만, 사실상 운전자의 정지선 준수는 잘 지켜지지 않는 실정이며 게다가 갑작스러운 smart bollard의 상승으로 고속으로 접근하는 운전자로 하여금 최소정지거리를 확보하지 못하는 상황에 처하게 되는 경우, 횡단중인 보행자와의 교통사고 위험이나 뒤 따르는 차량 간의 추돌사고와 같은 이차사고의 위험 등에 노출될 수 있기 때문에, 접근로 상류부에 경보등의 설치로 smart bollard의 존재와 구동을 사전에 운전자에게 인지시킬 필요가 있다. 본 연구에서는 smart bollard 사전 경보등의 설치 위치를 최소정지거리 방식과 황색신호시간 산정에 따른 거리계산 방식을 통해서 산출하였다.

##### 3.1.1 최소정지거리를 이용한 위치 선정

Smart bollard의 사전 알림 경보등은 이 경보등을 인지한 최초의 차량이 현재 주행 중인 속도와 노면의 마찰력을 고려하여 smart bollard의 위치 즉 횡단보도의 정지선 이전에서 멈출 수 있는 거리만큼의 상류부에 설치하는 것이 바람직하다. 예를 들면, 아래 정지거리를 구하는 식 (1)에서 경사가 없는 직선 평지와 상대적으로 불량한 노면 상태 예를 들면 젖은 노면에

대한 마찰계수 그리고 접근 차량의 속도 40kph를 적용할 경우 28.8m 상류부에 경보등이 설치되어야 한다(Do, 2004).

$$d = \frac{V^2}{254(f+s)} + 0.278 \times V \times t$$

$$= \frac{40^2}{254(0.357+0)} + 0.278 \times 40 \times 1 = 28.8m$$
(1)

$d$  = 최소정지거리, m

$V$  = 차량주행속도, 40kph

$f$  = 타이어-노면의 종방향 미끄럼 마찰계수, 0.357

$s$  = 경사, 0%

$t$  = 운전자 반응시간, 1초

##### 3.1.2 황색신호시간 산정 방식을 이용한 위치 선정

이 방식은 황색 차량신호시간과 연계된 지점에 smart bollard 경보등을 설치함으로써 직접적으로 접근로의 차량신호·횡단보도의 보행신호와 연동이 가능하다. 다시 말하자면, 하류부 차량신호등의 황색신호 시작 시점과 상류부 smart bollard 사전 경보등의 점등 시작 시점을 연동시켜 횡단보도로 접근하는 차량에게 반복적으로 주의를 주는 방식이다. 식 (2)는 황색 차량신호시간을 계산하는 일반식으로써 최소정지거리를 이용한 이전 방식과는 달리 횡단보도의 형태(예를 들면, 교차로 횡단도보, 미드블럭 횡단도보)에 따라 차별화된 값이 구해진다. 교차로 횡단보도의 경우 교차로 내부 공간과 한쪽 방향 두 개의 횡단보도의 폭이 황색신호시간 계산에 사용되었다.

$$Y = t + \frac{v}{2a} + \frac{(w+l)}{v}$$

- Type 1:  $Y = t + \frac{v}{2a} + \frac{(w_I+l)}{v}$

$$= 1 + \frac{11.1}{2 \times 5} + \frac{(26+6)}{11.1} = 5.0\text{초}$$

- Type 2:  $Y = t + \frac{v}{2a} + \frac{(w_M+l)}{v}$

$$= 1 + \frac{11.1}{2 \times 5} + \frac{(6+6)}{11.1} = 3.2\text{초}$$
(2)

$Y$  = 황색시간, 초

$v$  = 차량주행속도, 11.1mps

$a$  = 진입차량의 임계가속도, 5.0m/sec<sup>2</sup>

$w$  = 교차로 폭, 26m

$w_I$  = 교차로 + 횡단보도 폭, 6m

$w_M$  = 미드블럭 횡단보도 폭, 6m

$l$  = 차량의 길이, 6m

주어진 조건 하에서 구해진 황색시간은 교차로 횡단보도의 경우 5.0초, 미드블럭 횡단보도의 경우 3.2초로써 상류부 접근속도 40kph(11.1mps)를 고려할 때, 구해진 황색시간 동안 주행 가능한 거리는 각각 55.5m와 35.5m가 된다. 교차로 횡단보도의 황색시간 5.0초는 교통신호운영에 있어서 상당히 긴 시간으로 간주되기 때문에 더 이상의 시간 추가는 무리가 있겠으나, 미드블럭 횡단보도 황색신호의 경우에는 접근로 운전자에 임계감속도 이내에서 정지선에 멈추게 하거나 황색시간이 끝나기 전에 횡단보도를 안전하게 통과할 수 있도록 하는 여유 있는 황색시간(4초)을 부여하고자 한다(Option 구간). 따라서 미드블럭 횡단보도에서 황색시간 4초에 해당하는 상류부 44.4m 지점에 smart bollard 사전 경보등의 설치가 가능하다고 하겠다. Smart bollard의 사전 경보등의 설치 위치는 최소정지시거를 이용해서 구해진 28.8m 보다는 황색신호시간을 이용해서 구해진 상류부 55.5m(교차로 횡단보도)와 44.4m(미드블럭 횡단보도) 지점이 접근로 운전자들에게 더 신속한 정보전달이 가능할 것으로 판단된다.

### 3.2 Smart Bollard의 높이

본 연구에서는 교통약자의 이동편의증진법 시행규칙 제9조(보행시설물의 구조 등) 별표 2(보행시설물의 구조·시설기준에 관한 세부기준)에서 권장하고 있는 80~100cm 내외의 bollard 높이를 접근로 운전자들로 하여금 smart bollard 시인성 확보를 위한 최대한의 기준치(100cm)로 정의(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011a)하고 최소한의 높이 기준치는 사전 경보등의 위치 선정에서 사용되었던 정지시거의 개념(도로상의 물체를 운전자가 인식하고 정지할 수 있는 거리)에서 유추하고자 한다. 한국의 “도로의 구조시설기준에 관한 규칙”(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2011b)에서는 정지시거는 “차로 중심선상 1m 높이에서 그 차로의 중심선에 있는 높이 15cm 물체의 맨 윗부분을 볼 수 있는 거리”라고 정의하고 있고 미국에서 도로설계 기준을 제시하고 있는 American Association of State Highway and Transportation Officials(AASHTO)의 “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets”에서는 운전자 눈높이 1.08m에서 전방 도로상에 60cm의 물체를 시각적으로 인지할 수 있는 거리라고 정의하고 있다. (AASHTO, 2011) 본 연구에서는 한국의 기준인 15cm 보다는 60cm를 smart bollard의 최소 높이로 제안하고자 한다. 따라서 smart bollard의 높이는 60~100cm 범위 내에서 접근로 운전자의 시인성 확보가 가능하다고 판단된다.

### 3.3 Smart Bollard의 구동속도

Smart bollard의 상승과 하강을 위해서 앞서 언급한 “어린이보호구역 개선사업 업무편람”에서 정의하고 있는 Before Pedestrian 시간(2~3초)과 All Red 시간(2~3초)을 각각 사용하고 있으며 동시에 접근로 운전자의 시인성 확보를 위하여 smart bollard의 높이를 60~100cm로 제안하고 있기 때문에 자연스럽게 smart bollard의 구동속도의 범위는 0.2mps~0.5mps (60cm/3sec~100cm/2sec)로 계산된다.

## 4. 시뮬레이션기법을 통한 Smart Bollard의 효과 평가

본 연구에서는 개별차량의 임의적이고 확률적인 움직임과 기존의 다양한 교통류 이론들(예를 들면, 추종모델, 간격수락모델, 대기행렬모델 등)을 구성요소로 하는 미시적 시뮬레이션 모델 VISSIM (PTV, 2010a)을 이용하여 두 가지 형태의 횡단보도(교차로 횡단보도와 미드블럭 횡단보도)를 구축하고 Table 4에서 제공하는 smart bollard의 효과에 영향을 미치는 다양한 파라미터(진입교통량, 진입차량속도, 황색신호시간, smart bollard의 구동시간, 그리고 횡단보도 폭)들의 조합으로 구성된 600개의 시나리오를 평가하였다. 그리고 미시적 시뮬레이션 모델의 랜덤효과에 의한 영향을 최소화하고자 개별 시나리오 당 시뮬레이션 30회의 평균값을 통해 smart bollard의 효과를 비교·평가하기 위하여 VISSIM에서 제공하는 Component Object Model(COM) (PTV, 2010b)을 Microsoft사의 Visual Studio .NET을 통해 총 18,000회의 시뮬레이션을 자동화함으로써 그 결과 값을 추출하였다.

어린이보호구역에서 운전자의 속도를 줄임으로써 운전자로 하여금 돌발상황에 대한 보다 더 긴 반응시간을 확보하여 보행자 관련 교통사고의 빈도를 줄여줄 수 있을 뿐만 아니라 보행자와의 교통사고 상황에서도 저속에서 보행자의 부상 정도는 더 경미할 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 정지선으로부터 상류부 100m 구간에 존재하는 차량들의 평균주행속도를 smart bollard의 성능을 평가하는 효과적으로 사용하고자 한다. 또한 어린이보호구역 내에서 등·하교 시간의 교통수요, 즉 교통량에 따라

Table 4. Simulation Parameters and Their Ranges

Parameter	Range
Entering Traffic Volume (vph)	800, 1500
Approaching Speed (kph)	30, 35, 40, 45, 50
Yellow Time (sec)	4, 5, 6
Smart Bollard Running Time (sec)	0, 1, 2, 3
Crosswalk Width (m)	4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0

어린이들이 사고위험에 노출되는 확률이 달라진다고 판단하고, 한 시간 동안 정지선을 통과하는 교통량의 변화를 또 다른 효과적으로 선정하였다.

#### 4.1 시뮬레이션 결과 및 분석

Fig. 4~7은 두 가지 형태의 횡단보도 접근로에서 교통량이 많은 경우와 교통량이 적은 경우, 접근로의 진입차량속도, smart bollard 사전 경보등의 위치(즉, 황색신호시간의 길이), smart bollard의 구동시간(즉, Before Pedestrian 시간과 All Red 시간), 그리고 횡단보도의 폭에 따른 효과적도(정지선으로부터 접근로 상류부 100m 구간에서의 평균차량속도와 정지선 통과 후 횡단보도를 주행하는 차량통행량)를 시뮬레이션을 통해서 관측한 값을 보여주고 있다.

한 가지 주목할 점은 앞서 언급한 두 가지 효과적도는 모두 정지선을 기준으로하고 있기 때문에 횡단보도 폭의 변화에 따른 직접적인 영향은 관찰되지 않고 있지만, 횡단보도 폭은 smart bollard 사전 경보등의 위치(즉, 황색신호시간의 길이) 산정 시에 사용되는 값으로써 횡단보도 폭의 변화가 효과적도에 미치는 영향은 황색신호시간의 차이로 설명될 수 있다. 따라서 시뮬레이션 결과의 황색신호시간 4초는 미드블럭 횡단보도의 option 구간에 해당하고 5초와 6초는 교차로 횡단보도의 option 구간에 해당하는 값으로 정의된다.

또한 Fig 4-7은 smart bollard가 설치·운영되지 않는 일반적인 보행환경의 횡단보도(즉, Before Pedestrian 시간과 All Red 시간이 0인 경우)에 대한 평가도 병행함으로써 시뮬레이션 모델의 정산(calibration)을 수행함과 동시에 smart bollard의

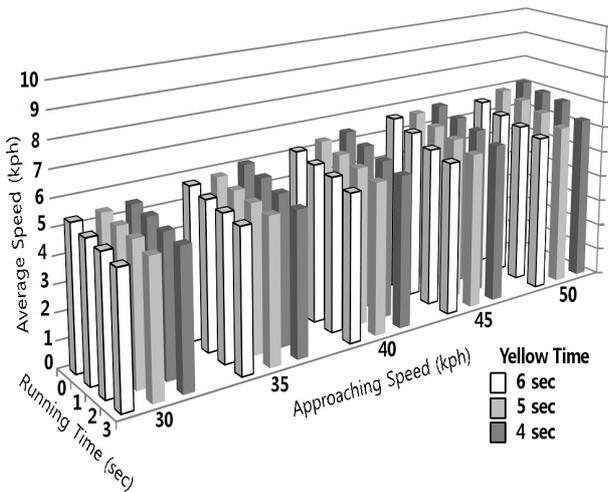


Fig. 4. Average Speed Comparison (High Traffic Volume)

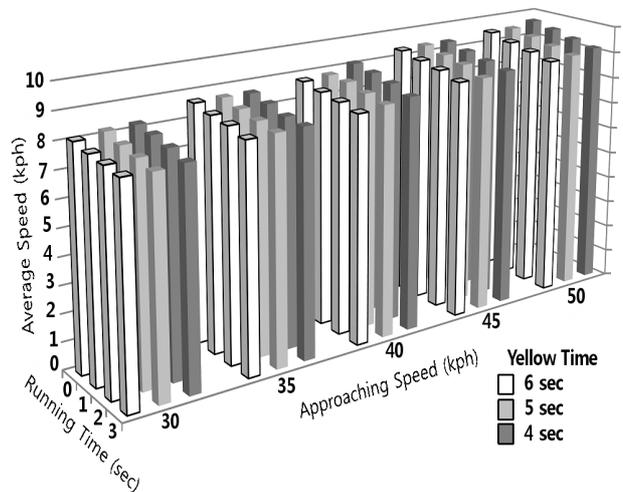


Fig. 5. Average Speed Comparison (Low Traffic Volume)

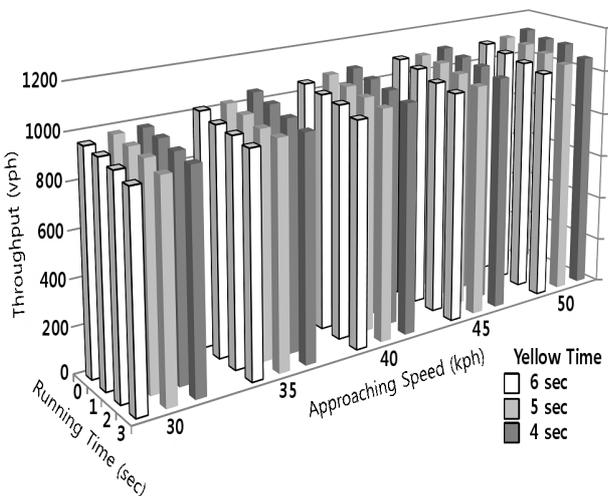


Fig. 6. Vehicle Throughput (High Traffic Volume)

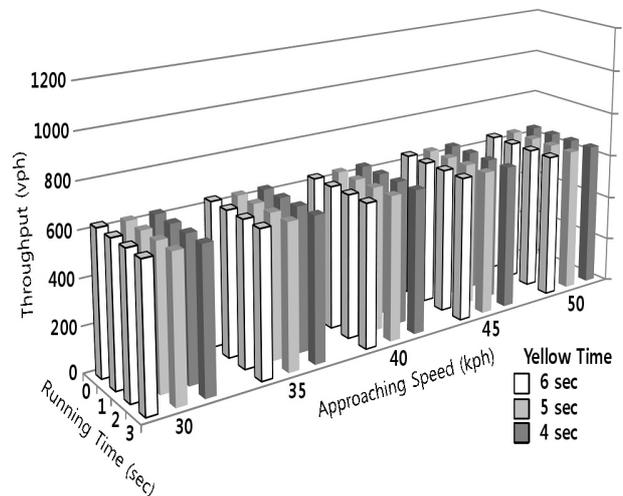


Fig. 7. Vehicle Throughput (Low Traffic Volume)

설치·운영 전·후 어린이보호구역 보행환경의 개선 효과도 관찰하였다.

Fig. 7을 제외하고, 시뮬레이션 결과를 통해서 인지하게 되는 공통적인 교통현상으로써는 교통신호로 인한 단속류 상황에서 정지선으로부터 상류부 100m 구간의 평균주행속도는 구간 진입속도에 비해 상당히 낮은 편이며 진입속도가 증가함에 따라 속도의 변화폭 또한 큰 편차를 보이고 있다. 또한 황색신호 점등 시간의 차이에 따라 접근로 상류부에서 운전자가 황색신호에 반응하는 위치가 달라지기 때문에 황색신호시간이 길어짐에 따라 접근로 상류부 일정 구간에서의 평균차량속도와 정지선을 통과하는 차량수도 줄어들고 있다. 그리고 smart bollard의 구동시간(Before Pedestrian 시간과 All Red 시간)이 길어짐에 따라 횡단보도 통과차량에 대한 유효녹색시간이 줄어들게 되고 그 결과로서 두 가지 효과척도가 줄어드는 현상이 목격되었다.

구체적으로 살펴보면, 진입 교통량이 많은 Fig. 4의 경우 (1,500vph), 접근차량의 속도가 빨라질수록 구간평균속도가 조금씩 증가하고 있지만 접근로의 교통수요가 용량을 초과함(즉 상당수의 차량이 대기행렬에서 한 주기 이상 정체되어 있는 상황)으로써 차량의 구간평균속도는 5~7kph 수준으로 형성되었다. 이에 반해 진입 교통량이 상대적으로 적은 Fig. 5의 경우 (800vph), 구간 평균속도가 Fig. 4보다 전체적으로 3kph 정도 빠른 것으로 나타났지만 10kph를 넘는 시나리오는 존재하지 않았다.

두 번째 효과척도인 정지선 통과교통량을 비교해 볼 때, 앞서 언급한 바와 같이 교통량이 많은 Fig. 6의 경우(1500vph), 교통수요가 접근로차로의 용량을 초과하기 때문에 접근로진입 차량의 속도, 황색신호시간, 그리고 smart bollard의 구동시간은 정지선에서 방출되는 차량의 수에 영향을 미치게 된다. 정지선 통과교통량에 가장 큰 영향을 미치고 있는 요소는 접근차량의 속도이며 구간접근평균속도의 경우(Fig. 4와 5)와 마찬가지로 속도가 증가할수록, 황색시간이 길어질수록, 그리고 smart bollard 구동시간이 길어질수록 정지선에서 방출되는 차량대수가 줄어드는 것으로 관측되었으며 그 범위는 900~1150vph 수준이다. 반면 교통량이 적은 Fig. 7의 경우 (800vph), 형성된 대기행렬이 한 신호주기내의 유효녹색신호시간 동안 정지선을 통해 충분히 방출되고 있기 때문에 접근로의 속도와 황색신호시간에 의한 영향은 앞서 언급된 일반적인 교통특성으로 관측되고 있지만 smart bollard의 구동시간은 방출되는 교통량에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났으며 그 범위는 630~650vph 수준이다.

Smart bollard의 구동으로 smart bollard의 설치 전(구동시간이 0초인 경우)에 비교하여 접근로 일정구간의 차량평균속도

와 정지선 통과차량의 감소 효과가 목격되었으며 smart bollard의 사전 경보등의 적절한 위치선정(황색 신호시간)과 smart bollard 구동을 위해 교통신호와 연동된 충분한 시간 확보는 smart bollard의 성공적인 적용에 결정적인 고려사항이라고 판단된다. 본 연구에서는 어린이보호구역에서의 차량 속도와 횡단보도를 통한 통과교통량을 최소화하기 위해서 사전 경보등을 이용하여 smart bollard의 충분한 시인성과 적절한 smart bollard의 구동시간 확보를 위해 황색시간 5~6초 그리고 구동시간 2~3초가 가장 적절한 것으로 사료된다.

## 5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 어린이보호구역 내에서 상류부에서 고속으로 접근하는 차량의 감속을 유도함과 동시에 횡단보도에서 물리적인 보차분리를 목적으로 차량신호·보행신호와 연동된 구동식 bollard, 즉 smart bollard를 제안하고 운영에 필요한 몇 가지 조건들을 교통공학적인 관점에서 살펴보고 그 효과를 미시적 시뮬레이션 모델을 통해서 평가해 보았다.

Smart bollard의 운영에 요구되는 조건들을 “어린이보호구역 개선사업 업무편람”에 정의된 Before Pedestrian/All Red 시간 기준들과 융합해서 교통공학적인 관점에서 제시하였다. 두 가지 형태의 횡단보도(교차로 횡단보도와 미드블럭 횡단보도)에서 황색신호시간 산정방식을 이용한 smart bollard 사전 경보등의 위치를 정의하였으며 smart bollard의 높이는 최소 60cm 그리고 구동 속도는 0.2mps 이상으로 운영하는 것이 바람직하다고 사료된다.

또한 미시적 시뮬레이션 모델을 통해 smart bollard의 효과에 영향을 미치는 다양한 파라미터(진입교통량, 진입차량속도, 황색신호시간, smart bollard의 구동시간, 그리고 횡단보도 폭)로 구성된 시나리오들을 구간 평균주행속도와 정지선 통과교통량을 이용해 평가해 본 결과, smart bollard 사전 경보등의 위치와 직접적으로 관련 있는 황색신호시간의 길이와 smart bollard의 구동에 소요되는 Before Pedestrian/All Red 시간의 길이가 가장 결정력 있는 파라미터로써 본 연구에서는 5~6초의 황색시간과 2~3초의 구동시간이 가장 적합한 것으로 분석되었다.

지금까지는 이론적인 차원에서 smart bollard의 운영에 필요한 조건들을 제안하고 미시적 시뮬레이션 기법으로 평가를 진행하였지만, 궁극적으로는 실제 도로상황에서의 운영과 그 효과의 분석이 필요할 것이다. 따라서 향후 과제로서는 smart bollard의 존재와 구동에 대한 충분한 사전 교육을 실시하고 사망사고가 발생한 어린이 보호구역을 시범구간으로 지정하여 smart bollard를 설치·운영한 후 그 효과를 심도 있게 평가해볼

필요가 있을 것이다. 또한 본 연구에서는 어린이보호구역에서 smart bollard의 운영에 대한 제안과 평가를 하고 있지만, 다양한 교통환경에서 교통안전을 확보한다거나 교통시설의 효율적인 운영을 목적으로 smart bollard의 활용이 가능하리라 사료된다. 예를 들면, 구동식 bollard의 기본적인 목적인 차량의 선택적 진입을 허용하는 진출입로 관리나 혹은 가변차로의 차선 변경 시에 적용이 가능할 것이다.

## References

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2011), *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*.
- Cho, HyunOh (2011), *Statistics about Traffic Accident in 2011*, The National Police Agency.
- City of Alto (2001), *Inventory of Local and Collector Street Traffic Calming Measures*, <http://www.cityofpaloalto.org/civicax/filebank/documents/7265>.
- City of Alto (2004), *Planning and Transportation Commission Recommendation to City Council to Install New Permanent Traffic Calming Project in Downtown North*, <http://www.cityofpaloalto.org/civicax/filebank/documents/2874>.
- Do, ChulWoong (2004), *Fundamental of Traffic Engineering I*, Cheong Moon Gak Publishers.
- e-National INDICATORS (2012), *The Status of School Zone Designation*, Statistics Korea, [http://www.index.go.kr/egams/stts/jsp/potal/stts/PO\\_STTS\\_IdxMain.jsp?idx\\_cd=1616&bbs=INDX\\_001](http://www.index.go.kr/egams/stts/jsp/potal/stts/PO_STTS_IdxMain.jsp?idx_cd=1616&bbs=INDX_001).
- EQUIPEenterprises Pty Ltd. (2006), *Retractable Bollards*, [http://equipeenterprises.com/cat\\_item.php?did=3&cid=16&scid=0&pid=257](http://equipeenterprises.com/cat_item.php?did=3&cid=16&scid=0&pid=257).
- Kang, HeeRock (2010), *Statistics about Traffic Accident in 2010*, The National Police Agency.
- Kang, HeeRock (2009), *Statistics about Traffic Accident in 2009*, The National Police Agency.
- Kim, KiYong (2012), *Statistics about Traffic Accident in 2012*. The National Police Agency.
- Lee, TackSoon (2007), *Statistics about Traffic Accident in 2007*. The National Police Agency.
- Ministry of Construction and Transportation (2007), *Guideline for Sidewalk Installation and Management*.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2011a), *The Mobility Enhancement for the Mobility Impaired Act*.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2011b), *Regulation about Road Structure and Facility Standard*.
- PTV (2011a), *VISSIM 5.40-01 User manual*.
- PTV (2011b), *VISSIM 5.40-01 COM interface manual*.
- Road Traffic Safety Authority (2006), *A Implementation Manual for School Zone Improvement*.
- Uh, ChungSoo (2008), *Statistics about Traffic Accident in 2008*. The National Police Agency.
- Wikipedia (2012), *Bollard*, <http://en.wikipedia.org/wiki/Bollard>.