

# IT 기술을 이용한 교차로 충돌 교통사고방지 연구

문 병 혁 \*

## 차 례

1. 들어가며
2. Traffic Signal Engering에 의한 교차로 충돌방지대책
3. INFRASTRUCTURE -BASED 교차로 충돌방지대책
4. INFRASTRUCTURE-VEHICLE BASED 교차로 충돌방지기술
5. 교차로 안전과 경찰의 역할

## 1. 들어가며

우리나라는 최근 경찰 등 교통관련 기관의 노력으로 교통사고사망자가 많이 줄어들고 있다. 그러나 아직 7~8천명 선을 유지하고 있어<sup>1)</sup> 더욱 사망사고 감소를 위한 노력이 필요하다 하지도 아니할 수 없다. 미국의 경우 교통사고로 인한 사망자는 연간 약4만명 정도인데, 사망교통사고의 원인은 2003년의 예<sup>2)</sup>와 같이 도로이탈 사고로 인한 사망, 교차

\* 경찰대학 경찰학과 교수(경감)

1) 경찰청, 교통사고통계, 2004,

2) 총 사망자 42,643명중 운전중 도로이탈로 인한 사망(road departure fatalities)이 25,321명(전체 사망자의 59%), 교차로 통행(intersection fatalities)중 사망이 9,213명 (전체 사망자의 21%), 기타 보행자 사망(pedestrian fatalities)이 4,749 (전체사망자의 11%)

로 통행중 사고로 인한 사망, 기타 보행자 교통사고로 인한 사망 순으로 나타나고 있다. 그런데 교차로 충돌로 인한 사망사고는 사망사고의 제2의 원인으로 나타나고 있지만 부상 및 재산손실 교통사고를 아울러 살펴보면 그 심각도가 커진다. 2000년 미국의 교차로 충돌사고 통계의 사망 및 부상 통계<sup>3)</sup>를 자세히 보면 교차로 충돌로 인한 사망이 전체사망의 22.6%를 차지하하지만 전체 충돌 교통사고로 인한 부상자중 교차로 충돌사고로 인한 부상사고가 48.1%를 차지하고, 전체 충돌로 인한 재산손실 교통사고(Total property-damage-only (PDO))의 42.1%를 교차로 충돌사고가 차지 하고있다. 이러한 통계는 교차로 충돌사고의 심각성을 나타내고 있다.

<표1 2000년 미국의 자동차 충돌사고현황 및 피해 현황>

	Number	Percent Total
Total fatality crashes	37,409	
Total inter section-related fatality crashes	8,474	22.6
Total injury crashes	2,070,000	
Total intersection-related injury crashes	995,000	48.1
Total property-damage-only (PDO) crashes	4,286,000	
Total PDO intersection-related crashes	1,804,000	42.1
All crashes	6,394,000	
Total intersection-related crashes	2,807,000	43.9
Total fatalities	41,821	
Total intersection-related injured persons	1,596,128	

이러한 통계에 바탕하여 미국에서는 사망사고의 효과적인 대응을 위해 원인별 대책을 강구하고 있다. 도로이탈로 인한 교통사고의 경우에는 도로의 구조<sup>4)</sup>를 주로 변경하여 차

3) Key Year 2000 National Highway and Traffic Safety Administration (NHTSA) statistics, <http://safety.fhwa.dot.gov/intersections/interbriefing/01prob.htm>

4) TIMOTHY R. NEUMAN 등 5인, NCHRP REPORT 500, Volume 6: A Guide for Addressing

량 이탈로 인한 사망사고를 방지하고자 노력하며, 보행자 교통사고는 교통정온화<sup>5)</sup>(Traffic Calming), 횡단보도(Crosswalk)의 개조, 보행시설의 개선 등으로 보행자 사고를 감소시키고자 노력하고, 교차로 충돌사고로 인한 사망사고는 Traffic Signal Design을 기반으로 한 충돌방지대책, INFRASTRUCTURE-BASED 교차로 충돌방지대책, INFRASTRUCTURE-VEHICLE BASED 교차로 충돌방지대책 등을 강구하고 있다.

우리나라의 경우 경찰의 교통사고통계에 교차로 충돌로 인한 사상자 통계가 없어 정확한 현황을 알 수 없는데, 2003년 범규위반별 교통사고 발생건수를 보면 신호위반에 의한 교통사고가 전체교통사고의 10.2%, 교차로 통행방법위반으로 인한 교통사고가 7.3%를 나타내고 있다. 신호위반과 교차로 통행방법위반으로 인한 교통사고를 교차로 통행중 충돌사고로 가정하면 우리나라도 교통사고의 약 17%가 교차로에서 일어난다고 추정할 수 있다. 그리고 전체교통사고의 원인중 안전운전 불이행이 차지하는 비율이 59.1%를 차지하는 것을 고려하면 교차로 통행 관련 충돌사고는 더 많을 것으로 추정된다. 향후 우리나라도 교차로 충돌사고에 대한 보다 정확한 통계가 필요하다고 판단되는데 이는 별론으로 하고 여기서는 우리나라도 향후 더욱 교통사고로 인한 사망자를 줄이기 위해서는 사고원인별 대책이 필요하므로 최근 추진되고 있는 교차로 충돌사고의 방지대책을 주로 공학적인 관점에서 언급하고자 한다.

아래에서는 교차로 충돌방지대책으로 Traffic Signal Engineering을 기반으로 한 충돌방지대책, INFRASTRUCTURE-BASED 교차로 충돌방지대책, INFRASTRUCTURE-VEHICLE BASED 교차로 충돌방지대책으로 크게 3개 항목으로 구분하여 설명하고, 끝으로 경찰에서 앞으로 추진하여야 할 교차로 충돌방지대책에 대하여 언급한다.

*Run-Off-Road Collisions*, NCHRP, 2003. v2의 도로이탈 방지 등을 위한 강조 전략은 다음과 같다.

1. 차량이 도로에서 벗어나는 것 방지대책

shoulder rumble strips, edgeline “profile marking”, midlane rumble strips, enhanced shoulder or in-lane delineation, skid-resistant pavement surfaces 설치등

2. 차량이 길어깨를 벗어난 경우 전복, 타 구조물 충돌을 방지하기 위한 대책

Design safer slopes and ditches to prevent rollovers, Remove/relocate objects in hazardous locations, Delineate trees or utility poles with retroreflective tape, Improve design and application of barrier and attenuation systems 등

문병혁, 경찰학연구 제2호, 경찰대학, 2002년 참고

5) 문병혁, 경찰학연구 제2호, 경찰대학, 2002년 참고

## 2. Traffic Signal Engineering에 의한 교차로 충돌방지대책

교차로의 신호시스템 운영 효율화로 교차로에서 일어나는 충돌사고를 방지하고자 하는 시스템이다. 교차로 충돌사고는 신호 또는 규제를 고의로 위반하여 일어나는 경우와 신호를 보지 못하거나 인식하지 않은 사이에 발생하는 경우로 나눌 수 있다. 고의에 의한 신호위반은 도로가 혼잡하거나 교차로 신호의 주기(cycle)이 길어서 한번 신호를 놓치면 다음 녹색신호를 오래 대기하여야 하는 경우에 황색신호를 무시하고 교차로에 진입하는 형태로 주로 발생하며, 고의가 아닌 신호위반은 도로 굴곡에 의한 정지시거 문제 또는 황색신호와 교차로에 진입하는 자동차의 속도 관련 문제 등으로 교차로 신호를 인식하지 못하거나 인식하고도 신호에 따라 정지하지 발생한다.

교차로 충돌사고의 원인인 신호위반의 원인에 따른 대처방안으로 고의에 의한 신호위반은 교통공학적 대응보다는 단속에 의한 대응이 효과적이며, 고의에 의하지 않은 신호위반은 신호위반을 하게 만드는 원인을 찾아 이를 교통공학적으로 수정하는 공학적 대처방법이 효과적이다. 다음 표는 신호위반 운전자의 분류, 신호위반 (추정)원인, 신호위반에 대한 대응방안을 정리한 것이다.<sup>6)</sup>

<표2. 신호위반 운전자 및 원인별 대응대책>

RLR DRIVER TYPE	Possible Scenario	Countermeasure Class	
		Engering	Enforcement
Intentional	Congested Cycle overflow	Less	Most Effective
Unintentional	Incapable(Grade, yellow) Inattentive	Most Effective	Less

Traffic Signal Engineering에 의한 교차로 충돌방지대책으로는 Dilemma Zone Control 등 5가지 방안을 간단히 설명하고 항을 바꾸어 미국의 Emergency Vehicle Preemption

6) Patrick Hasson, Engineering Safer Intersections, Federal Highway Administration Midwestern Resource Center (www.fhwa.dot.gov)

에 대하여 상술한다.

## 가. Traffic Signal Engineering에 의한 교차로 충돌방지대책의 종류

### (1) Dilemma Zone Control

Dilemma Zone은 운전자가 황색신호가 시작되는 것을 보고 제동을 하여도 임계감속도로 정지선에 정지하는 것이 불가능하고 또한 주행하던 속도로 계속 교차로를 통과하는 것도 불가능한 구간을 말한다.<sup>7)</sup> 이러한 구간에서 황색신호가 시작될 때 주행하고 있던 자동차는 황색신호 이후의 적신호시 교차로 내에 위치하게 되어 측면 녹색신호에 따라 진행하는 자동차와 충돌사고가 나기 쉬운데 이러한 현상을 막아주는 신호제어방법이 Dilemma Zone 제어이다. Dilemma Zone 제어 방법으로는 녹색신호시간 종료직전에 Dilemma Zone에서 자동차가 진행중인 것이 감지되면 녹색시간을 약2초 정도 연장, 황색시간 시작을 늦추어 자동차가 황색신호시간에 교차로를 완전히 빠져나갈 수 있도록 하는 방법 등이 있다.

### (2) All Red

교차로의 일정한 방향 신호가 황색에서 적색으로 변경시 이와 교차하는 신호가 동시에 적색에서 녹색으로 변경되면, 신호가 황색에서 적색으로 변경시 무리하게 황색신호에 교차로로 진행하는 자동차와 교차하는 도로에서 녹색신호 변경과 동시에 교차로에 진입하는 차량간에 충돌사고가 야기되기 쉽다. 이에 따라 일정한 방향의 신호가 황색에서 적색으로 변경시 이와 교차하는 도로의 신호를 동시에 적색에서 녹색으로 전환하지 아니하고 약2초정도 적색신호를 유지후 녹색으로 변경하여 교차로 모든 방향의 신호가 잠시(약2초) 적색을 표시하도록 하는 제어를 All Red 제어라고 한다. 교차로 신호가 모든 방향 적색을 표시하므로 황색신호에 무리하게 교차로에 진입한 차량과 녹색신호 변경과 동시에 진입한 차량간의 충돌을 방지할 수 있다. 그러나 이러한 All Red 제어는 신호시

7) 도철웅, 교통공학원론, 청문각, 2003, pp.461-462

간의 낭비를 초래하여 교차로의 정체를 증가시킬 수 있다.

### (3) Red Light Hold System

교차로 충돌사고를 예방하기 위해 신호변경 시간마다 All Red 신호를 계속 주게되면 교차로의 신호효율이 떨어지게 된다고 설명하였다. 이에 따라 교차로 진입로 일정 거리 후방에 검지기를 부설하여 황색신호위반 예상차량이 검지되었을 경우에만 교차하는 도로의 신호를 적색으로 잠시(약2초) 유지(hold)하여 교차로의 신호를 일시적으로 All Red 로 운영하는 방법이다.<sup>8)</sup> 황색신호위반 예상차량의 검지는 다음 절의 Violator Warning system의 위반자 검지 시스템을 응용할 수 있다.

### (4) Actuated Traffic Control

Actuated Traffic Control은 교통신호기 운영방법의 하나로 “실시간 신호제어” 라고도 한다. 이 제어를 행하기 위해서는 교차로 접근로에 검지기를 설치하는데 이 검지기에 서 도로별 직진 교통량, 좌회전량 등을 파악하여 교통량에 따라 신호제어변수(주기, 녹색 시간, 좌회전 시간 및 신호 생략 여부 등)를 조정<sup>9)</sup>, 교차로의 교통상황에 적합한 신호제어를 하여 차량이 교차로에 진입 전 정지선에서 필요 없이 대기하는 시간을 줄여 차량의 지체를 최소화하는 신호운영방식이다. 교차로 정지선에서 대기하는 시간을 최소로 줄여주므로 운전자는 신호변경 시 또는 적신호시 무리하게 신호위반을 하지 않게 되고 이에 따라 부수적으로 교차로에서의 신호위반에 따른 충돌사고를 줄이는 것 것이다. 그러나 Actuated Traffic Control은 신호등이 연동되어 있거나 교차로가 몹시 혼잡한 경우에는 교차로 진입대기 지체를 최소화하는 효과가 반감된다.

### (5) Emergency Vehicle Preemption

Emergency Vehicle Preemption은 긴급자동차 교통신호우선을 의미하는데, 긴급차량이

8) BMI, Intersection Collision Avoidance Study, FHWA, 2003, prt 2.2.5

9) MnDOT, Traffic Signal Timing and Coordination Manual, 2004, 3-23

교차로에 접근시 교차로 검지센서가 이를 검지하여 긴급차량이 진행하려는 방향의 신호를 진행신호(녹색)로 변경하고 여타 방향의 신호는 적색신호(또는 주의신호)로 하여 긴급차량 출동으로 인한 충돌사고 유발을 방지하고 출동의 신속성을 제고하는 방법으로 이는 항을 바꾸어 미국의 Emergency Vehicle Preemption 운영에 대하여 상술한다.

## 나. 미국의 Emergency Vehicle Preemption 소개

Emergency Vehicle Preemption(EVP)은 소방, 의료, 경찰 등의 긴급차량이 긴급사태에 즉시 대응하게 하여 주는 신호운영체제로 교차로 충돌방지대책중 하나로서 뿐만 아니라 사회 긴급사태 대응 시스템의 하나로 이해하여야 한다. 미국에서는 EVP 시설을 MUTCD<sup>10)</sup>에 규정하여 교차로 기본설비로 규정하고 있는데 이에 대하여 설명한다.

### (1) 설치근거 : MUTCD

미국의 MUTCD Chapter4F에서는 교통신호기 설치기준에 미달하더라도 EVP 신호시설은 설치할 수 있으며<sup>11)</sup>, 교차로가 신호등 설치기준에 적합하여 신호등 설치가 결정되었다면 EVP 신호시설은 반드시 설치하여야 한다고 규정하고 있다<sup>12)</sup>. 설치시설은 신호검지시설과 EVP 경고 표지판이며, 동 규정에서는 EVP신호가 작동중일 경우 다른 방 hướng도로를 향한 신호등(signal phase)의 신호운영 방법에 대하여도 규정하고 있다. 이와 같은 MUTCD의 규정에 따라 Minnesota주에서도 교차로에 신호등을 새로 설치할 경우 반드시 EVP신호시설을 설치하도록 하고 있다.<sup>13)</sup>

10) manual on uniform traffic control device, 우리나라의 “교통안전시설실무편람”

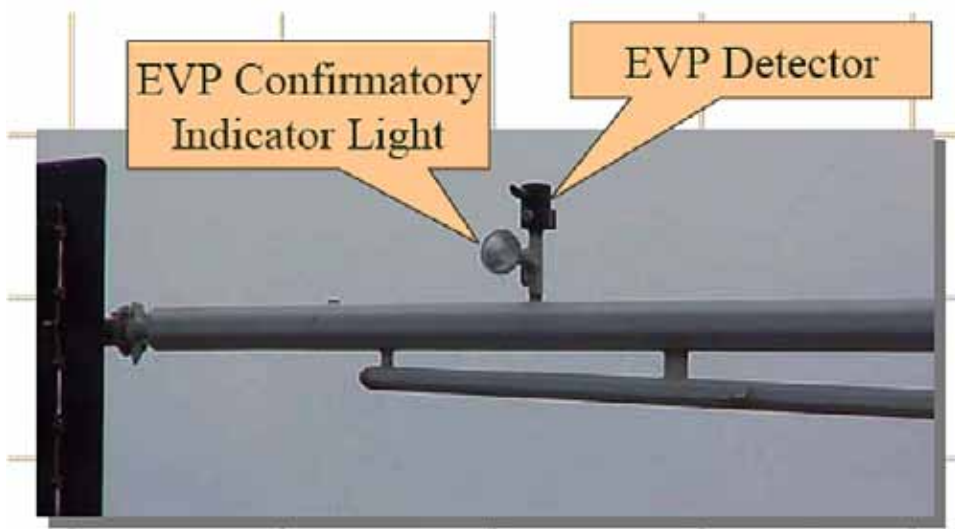
11) An emergency-vehicle traffic control signal may be installed at a location that does not meet other traffic signal warrants such as at an intersection or other location to permit direct access from a building housing the emergency vehicle.

12) If one of the signal warrants of Chapter 4C is met and a traffic control signal is justified by an engineering study, and if a decision is made to install a traffic control signal, it should be installed based upon the provisions of Chapter 4D.

13) <http://www.dot.state.mn.us/trafficeng/>

## (2) 설치사례 : Minnesota

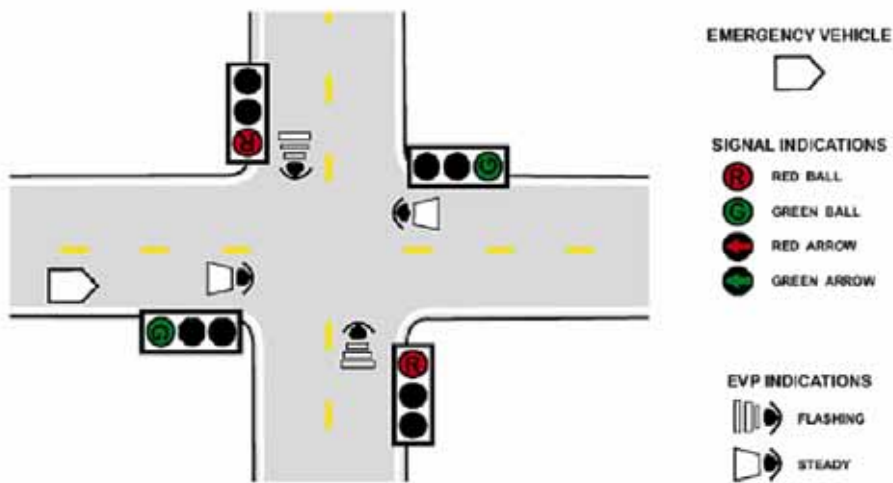
EVP 신호시설은 Emergency Vehicle Emitter, EVP Detector, Traffic Signal Control 로 구성되어 있는데, EVP Detector는 높은 수준의 우선(14.035Hz)과 낮은 수준의 우선(9.639Hz)에 대응하도록 설계되어 있다. 긴급차량이 특정 주파수의 전파를 발산하며 교차로에 접근하면 신호기에 설치되어 있는 EVP Detector가 이를 감지하고, 교통신호기는 타 방향의 교차로 신호를 종료하여 긴급차량이 교차로를 통과할 수 있도록 하는데 이때 신호기 지주위의 EVP Confirmatory Indicator Light가 우선신호가 작동중임을 빛을 점등하여 나타내 준다. 긴급차가 여러방면에서 출동하는 때에는 교차하는 도로에서도 긴급차량이 우선신호를 요구하는 경우가 발생하는데 이때에는 한 방향의 신호에만 우선신호를 주고, 우선신호가 주어지지 않는 방향에는 EVP Confirmatory Indicator Light가 계속적으로 점멸하여 현재 진행중인 방향의 긴급자동차에 우선신호가 주어지고 있지 않음을 알려준다.<sup>14)</sup>



<그림1. EVP Confirmatory Indicator Light 및 EVP Detector 설치모습>

14) MnDOT, Traffic Signals 101 Course Presentation, <http://www.dot.state.mn.us/trafficeng/>





<그림2. EVP 신호 작동모습>



<그림3. EVP 표지판>

### 3. INFRASTRUCTURE-BASED 교차로 충돌방지대책

Traffic Signal Engineering 시스템에 의한 교차로 충돌사고 방지가 어렵거나 적합하지 않은 경우 등에 Traffic Signal Engineering 외에 도로에 각종 시설(검지시설, 경고시설, 알림판 등)을 추가로 설치하여 교통정보 특히 상충되는 차량(충돌이 예상되는 차량)의 정보를 파악하고 이를 운전자에게 제공(경고)하여 교차로의 충돌을 방지하고자 하는 시스템이다. 이 시스템의 핵심은 충돌이 예상되어 위험한 자동차를 정확히 검지하여 해당 운전자에게만 한정하여 명확히 이와 관련된 예상정보를 제공하는 것인데, 충돌이 예상되어 자

동차를 검지하고 해당 운전자에게 충돌정보를 알리는 시설을 도로변(INFRASTRUCTURE)에 설치하였다고 하여 INFRASTRUCTURE-BASED 교차로 충돌방지 대책이라고 한다. 향후 도로변에 설치한 통신기기(RSE<sup>15</sup>)와 자동차에 설치한 통신기기(OBE<sup>16</sup>)의 통신이 이루어지면 충돌 등에 관련된 정보가 자동차 내부에 통신에 의해 전달되고 운전자는 이를 이용하여 사고를 회피할 수 있는데 이는 “INFRASTRUCTURE-VEHICLE BASED 교차로 충돌방지기술”이라고 한다. INFRASTRUCTURE-BASED 교차로 충돌방지 대책은 INFRASTRUCTURE-VEHICLE BASED 충돌방지를 위한 중간단계의 교차로 충돌방지 시스템이라고 할 수 있다.<sup>17)</sup>

INFRASTRUCTURE-BASED 교차로 충돌방지 대책으로 Major-Minor Road Intersection Warning 등 5가지를 간단히 설명하고 INFRASTRUCTURE-BASED 교차로 충돌방지 대책의 가장 기본적인 violater warning에 대하여 상술한다.

## 가. INFRASTRUCTURE-BASED 교차로 충돌방지 방안의 종류

### (1) Major-Minor Road Intersection Warning

교차로의 검지기로 진행중인 차량을 검지하고 교차하는 도로의 진행차량과 충돌위험여부를 판단하여 주도로 또는 부도로의 운전자에게 교차하는 도로에 차량이 진행하고 있고 진입시 충돌의 위험이 있음을 사전에 알려주어(경고) 교차로의 사고를 예방하는 방법이다.<sup>18)</sup>

### (2) Left Turn/Oncoming Traffic Warning

좌회전 하고자 하는 차량에 대하여 전방 교차로에서 교차하는 차량이 있어 적정한 좌회전시간(Gap Time)이 확보되지 않으면 좌회전 차량 운전자에게 좌회전을 하지 말도록 경고하는 방법이다.

15) Road Side Equipment

16) On Board Equipment

17) INFRASTRUCTURE-VEHICLE BASED 충돌방지 기술은 아직 검증 안되었고, 이를 실현하기 위해서는 RSE 설치 및 차량 단말기(OBE) 보급이 되어야 하는데 이들 시설이 아직 보급되지 않았다.

18) BMI, 앞의 책, p art 2.1.7

### (3) Red Light Run Photo Enforcement

교차로 신호위반차량으로 인한 충돌을 방지하기 위하여 교차로에 적신호시 진입하는 차량을 자동으로 단속하는 시스템으로 교차로에서 고의로 신호를 위반하여 진행하는 차량에 대하여 효과적인 방법이다.

### (4) Pedestrian Light-in-Pavement Crosswalks

교차로 횡단보도에 조명을 설치하여 운전자가 횡단보도 보행자를 잘 볼수 있도록 하여 차량대 보행자사고를 방지하는 방법이다.

### (6) Pedestrian Detection in Crosswalk

횡단보도의 보행자를 자동으로 검지하여 보행자 존재정보를 운전자에게 도로상에 설치된 표지판등으로 알려 줌으로써 차량 대 보행자 사고를 방지하는 방법이다.

## 나. Violater Warning System

교차로 신호위반에 의한 충돌사고는 고의의 신호위반에 의해 야기된 경우와 고의가 아닌 신호위반에 의해 야기된 경우로 구분할 수 있는데, 고의의 신호위반에 의해 야기된 경우에는 위에서 설명한 Red Light Run Photo Enforcement가 유효하고, 고의가 아닌 신호위반에 의해 야기된 경우는 Violator Warnings이 충돌을 예방하는데 유효하다. Violator Warning system은 교차로 상류부에서 신호위반 예상 자동차를 검지하여 해당 운전자가 정지선에 안전하게 정지할 수 있는 시간 간격을 유지하며 위반을 사전에 경고하는 시스템이다. 이 시스템에서는 차량이 교차로에 도달하기 전에 위반이 예상되는 자동차와 정지선에 신호에 따라 정지할 자동차를 구별하는 것은 중요한데 구별방법은 두 가지로 구분할 수 있다. 구별방법에 따라 위반예상 자동차가 검지되면 간단 명료한 경고를 해당 운전자에게 전달하여 운전자가 적신호에 정지선에 정지하도록 경고하는데, 아래에서는 신호위반 예상운전자를 구별하는 방법과 경고방법에 대하여 설명한다.<sup>19)</sup>

## (1) 위반자 구별방법

위반자 구별방법은 상시 모든 차량의 위치와 속도를 측정하여 이를 위반자의 최고 제동률 기준표와 비교하는 방법과, 속도와 정지선까지의 거리와의 관계에서 위반자를 구별하는 역학적 조건(예 : 속도, 감속도 등)을 찾기 위해 현장자료를 조사하는 방법이 있다.

### (가) First Violator Detection Method

다음 식에 의해서 교차로 상류부에서 진행되는 차량이 교차로 정지선에 완전히 정지하기 위해 필요한 감속도  $a$ 가 구하여 진다.

$$a = \frac{V^2}{2 \times D}$$

여기서  $a$ =감속도

$D$ =자동차와 정지선 까지의 거리

$V$ = 자동차의 속도

만일 어떤 차량의 감속도가 교차로 진입 속도와 정지선까지의 거리 관계에서 주어진 기준표(threshold)의 감속도  $a$ 보다 높다면(예 : 0.35 g's) 그 차량은 위반자로 특정지어 진다. 기준표의 감속도 수치는 속도가 감소함에 따라 선택적으로 늘어날 수 있다. 예를 들어 속도가 45 mph에서 25 mph로 감속됨에 따라 기준표의 감속도는 0.35g's에서 0.5g's로 커질 수 있다. 이 감지방법은 특정된 “위반자 감지구역” (교차로의 상류부)에서 속도와 위치를 감지하는 능력을 필요로 한다. 위반자 감지구역은 통상적인 교차로 접근 자유 속도의 범위에 따라 결정되며, 위반자 감지의 정확도는 속도와 위치 감지의 정확도에 영향을 받는다.

그리고 위 식만으로는 위반 예상자의 경고에 대한 반응시간을 계산할 수 없다. 즉 위

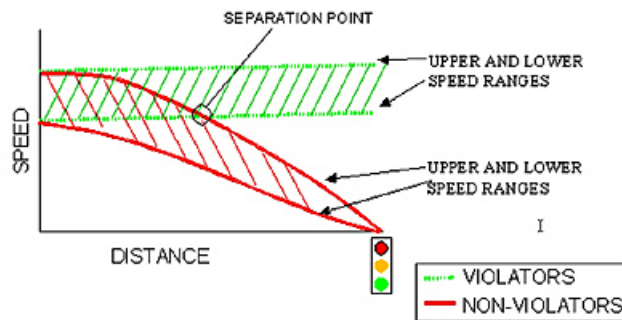
19) BMI, 앞의 책, part4.2

식에 따라 위반예상자가 구분되고, 운전자가 제동을 시작하기 전에 경고가 제공되고 이 경고가 위반예상자에게 인식되어야 한다.

이러한 추가의 시간은 운전자가 정지하는데 필요한 거리보다 짧다. 이 결과는 정지선에 정지하기 위한 운전자의 제동율(braking rate)은 항상 위반예상자를 결정하는 기준표의 제동률보다 높아야 한다는 것을 의미한다. 그러나 이것은 신호위반 예상자의 인지반응시간<sup>20)</sup> 후 필요한 제동률이 부족하지 않도록 기준표의 감속도를 너무 높지 않게 가정한다면 문제가 되지 않는다. 이와 동시에 기준표의 감속도가 너무 낮게 책정되면 이 경고 시스템은 너무 많은 경고를 운전자에게 발령할 것이다.

#### (나) Second Violator Detection Method

위반예상자를 구별하는 두번째 방법은 대상 교차로에서 얻어지는 경험적 자료에 의한 것이다. 교차로 접근로에서 정지선까지의 거리를 고려하며 위반자와 비위반자의 속도와 감속도를 측정한다. 이를 그래프로 그려보면 교차로 상류부 원거리에서는 위반자와 비위반자의 속도가 중복되게 표시되다가 교차로에 접근하며 어느 한 지점에서 위반자는 일정속도를 상회하고 비 위반자는 일정한 속도를 하회하며 감속하게 된다.



<그림4. 신호위반자와 비위반자의 거리, 속도 비교>

20) perception reaction time 약자로 PRT

위 그림4의 위쪽의 빗금영역은 교차로에 접근하며 감속하지 않고 계속 진행한 차량(위반차량)을 나타내고, 아래쪽의 빗금영역은 교차로에 접근하며 감속하여 교차로 정지선에 정지한 차량의 속도를 나타내고 있다. 위 그림4의 일정 지점(“separation point”)에서 위반자와 비위반자의 속도가 명확히 갈리고 있는데 이는 위반자 경고시스템의 이상적인 속도측정지점을 의미하며 동 지점의 특정 속도를 상회하는 차량은 위반 예상자동차로 특정하여 경고를 발령하는 것이다. 그런데 위의 separation point가 교차로 정지선에 너무 근접하여 관측될 경우에는 위반자에게 위반을 경고하여도 위반운전자는 경고를 인지하고 반응하여 제동할 시간이 없으므로 결국 신호위반을 하게 되므로 이러한 경우에는 경고시스템의 설치가 부적합하다.

## (2) Warning Display

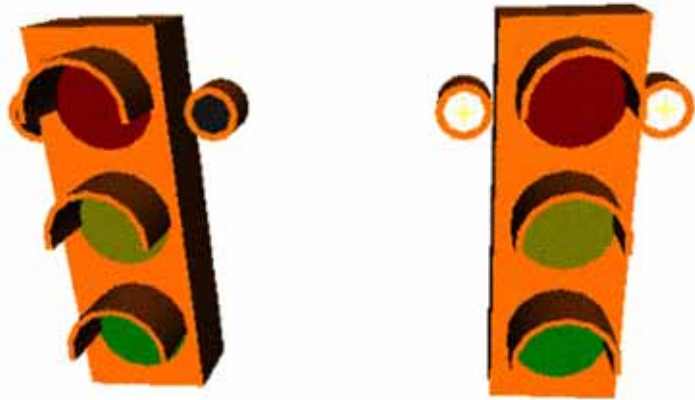
신호위반 예상자에 대한 경고는 비위반 운전자에게 신경이 쓰이거나 인식되어서는 아니되고 위반자에 대해서만 주어져야한다. 경고는 소리, 영상 등으로 주어지는데 영상에 의한 경고(비콘, 스트로브(strobe), 표지)가 현재 가장 유력하다.

도로시설에 의한 경고(차량 외부에 설치된 시설에 의한 경고)는 위반운전자 개인을 목표로 발령되기가 어렵다. 따라서 주어지는 경고는 위반자에 대한 인식도와 효과성이 충분히 검토되어야 한다. 경고는 가장 작은 인지반응시간을 가지고 인식하기 편한 것이 좋다. 위반자 경고방법의 한가지 예가 교차로 신호등의 적색 신호등면 옆에 설치하는 스트로브 전구(strobe light)방식이다. 위반자가 검지될 경우 스트로브 전구가 점등되며 위반자에게 신호위반 가능성을 경고하는 것이다.

## 4. INFRASTRUCTURE-VEHICLE BASED 교차로 충돌 방지기술

도로에 각종 시설을 추가로 설치하여 교통정보 특히 상충되는 차량의 정보등을 수집하여 운전자에게 차량 내의 정보단말기에 제공하여 교차로의 충돌을 방지하고자 하는

시스템으로 이러한 시스템에서는 차량과 도로시설간의 통신(DSRC 등)이 필요하다. 이러한 시스템은 아직 도로와 차량간의 통신시스템이 구축되지 않아 구상단계로 여기서는 그나마 구체적으로 구상되어 있는 일본의 Advanced Cruise-Assist Highway Systems(AHS)에 대하여 예를 들어 알아본다.



<그림5. 신호등 옆에 설치된 스트로브 전구 경고표시>

#### (1) Advanced Cruise-Assist Highway Systems (AHS) 개요

AHS시스템은 도로시설과 차량 내의 정보단말기의 통신으로 위험한 상황을 운전자에게 전달하여 이를 운전자가 인지하고 판단하도록 도와주는 시스템이다. 이 시스템은 도로와 차량간 통신시스템 외에는 INFRASTRUCTURE-BASED 시스템에서 설명한 위반자 경고시스템과 비슷한 구조를 취한다. 시스템은 노면 검지기, 보행자 및 차량 검지기, 시작지점 검지기, 양방향 도로-차량 통신장치로 구성된다.

시작지점 검지기는 13.56 MHz의 짧은 주파수를 방출하는데 이는 도로 지하에 설치된다. 차량에 설치된 안테나와 통신하며, 이는 경유검지기(passage detector)로서 역할을 한다. AHS에서 수집, 사용되는 자료는 다음과 같다.

- 차량제원 자료(braking ability, vehicle type, etc.),
- 차량주행상태 자료(speed, position) - 시작지점 검지기로 검지한 자료
- 차량주행상태 자료(speed, position) - 노변검지기에서 검지한 자료
- 도로제원 자료(shape, intersection dimensions, lateral and longitudinal grade)
- 도로상태 자료(i.e. wet, dry, icy).

운전자에게 제공되는 안전운전과 관련되는 중요 자료(critical variables)는 운전자반응과 관련된 인지반응시간, 통상적인 감속도 등이 반드시 고려되어야 한다. AHS에서는 교통정보에 대한 운전자 반응시간은 2.65 초를 사용하고 있다. 그러나 경보에 대한 반응시간은 1.0초를 사용한다. 그리고 통상적인 감속도는 0.3g를 긴급상황에 대한 감속도는 0.5g를 사용한다. 또한 이러한 값은 평지, 직선의 젖은 도로(최소 마찰계수 0.5)를 가정한 것으로 반응시간은 운전자의 90%(노인운전자의 70%)를 감당할 수 있도록 선택되어 진다. 도로와 차량간의 통신은 양방향 RF통신으로 5.8 GHz 대역을 사용하며 통신거리는 약 100미터이다. 다음에는 AHS 서비스 개요를 간단히 설명하고, 서비스 중 교차로충돌방지 지원 서비스에 대하여 상술한다.

## (2) Advanced Cruise-Assist Highway Systems (AHS) 서비스 개요

### (가) 전방장애물 충돌방지지원

자동차전용도로에서는 전방장애물과의 충돌 또는 추돌사고가 전체 사고의 약 70%에 달하고 있어 이에 대한 대책이 필요하다. 전망이 좋지 않은 커브등에서 도로 인프라(센서)가 정지차량이나 낙하물 등의 장애물을 탐지하고 그 정보를 비콘을 통하여 차량에 전달한다. 차량은 운전자에 대하여 정보제공, 경보, 조작지원을 행한다. 이 서비스에 의해 자동차전용도로나 일반도로에서의 추돌사고 등의 감소를 목적으로 한다.<sup>21)</sup>

### (나) 커브진입위험방지지원

자동차전용도로나 일반도로에서는 커브에서 많은 사고가 발생하고 있어 조속한 사고예

21) <http://www.mlit.go.jp/road/ITS> (일본 국토교통성 ITS 홈페이지)



방대책이 요구되고 있다. 커브의 전방에서 비콘이 커브까지의 거리 및 커브의 형태를 차량에 전달한다. 차량은 운전자에게 정보제공 및 경고, 조작지원을 행하여 안전하게 커브를 돌 수 있도록 운전자를 지원한다. 이 서비스에 의해 자동차전용도로 및 일반도로에서 커브에서의 정면충돌사고 및 스치는 충돌사고, 차선일탈 사고 등의 감소를 목적으로 한다.

#### (다) 차선일탈방지지원

차선일탈사고의 치사율은 전체사고에 비하여 상당히 높아 조속한 사고예방대책이 필요하다.

도로노면에 설치된 차선 또는 센서 등에 의해 차량이 차선내의 위치정보를 탐지한다. 차량이 주행차선을 일탈하려고 하는 때에는 운전자에게 경고, 조작지원을 한다. 이 서비스에 의해 도로에서의 차량의 정면충돌사고, 스치는 사고, 차선일탈 전복사고 등의 감소를 목적으로 한다.

#### (라) 교차로 측면충돌방지지원

##### 접근 시 지원

신호등 없는 교차로의 부 도로에서 교차로에 접근하는 차량에 대하여 노변 통신기기가 교차로의 존재, 위치를 차량에 전달한다. 차량은 운전자에게 정보제공을 한다. 이 서비스에 의해 교차로에서의 측면충돌 등의 감소를 목적으로 한다.

##### 발진 시 지원

신호등 없는 교차로의 부 도로에서 발진하려고 하는 차량에 대하여 도로 인프라(센서)가 접근차량을 감지하여 그 위치와 속도 등 정보를 노변통신기기를 통하여 차량에 전달한다. 차량은 운전자에게 정보제공을 한다. 이 서비스에 의해 교차로에서의 측면충돌사고 등의 감소를 목적으로 한다.

#### (마) 우회전시 충돌방지지원

교차로에서 도로 인프라(센서)가 대향차선에서 접근하는 차량의 위치와 속도 등을 감지하

여 비콘으로 그 정보를 우회전하려는 차량에 전달한다. 차량은 운전자에게 정보를 제공한다. 이 서비스는 교차로에서의 우회전 중 대향차와의 충돌사고 등의 감소를 목적으로 한다.

#### (바) 횡단보도충돌방지지원

교차로에서 도로 인프라(센서)가 횡단보도상의 횡단보행자를 감지하여 그 정보를 우회전, 좌회전하려는 차량에 비콘을 통하여 전달한다. 차량은 운전자에게 정보제공을 한다. 이 서비스는 교차로를 횡단 중인 보행자 교통사고의 감소 등의 감소를 목적으로 한다.

#### (사) 노면정보활용 차간거리 확보 등 지원

도로 인프라(센서)가 도로의 노면상황(동결, 수막, 적설) 등을 파악하여 비콘을 통하여 차량에 제공하면 차량은 그 정보를 운전자에게 제공하여 차량간격 유지에 활용한다. 이 서비스는 추돌사고의 감소를 목표로 제공된다. 다음 그림은 AHS서비스를 종합하여 나타낸 그림이다.



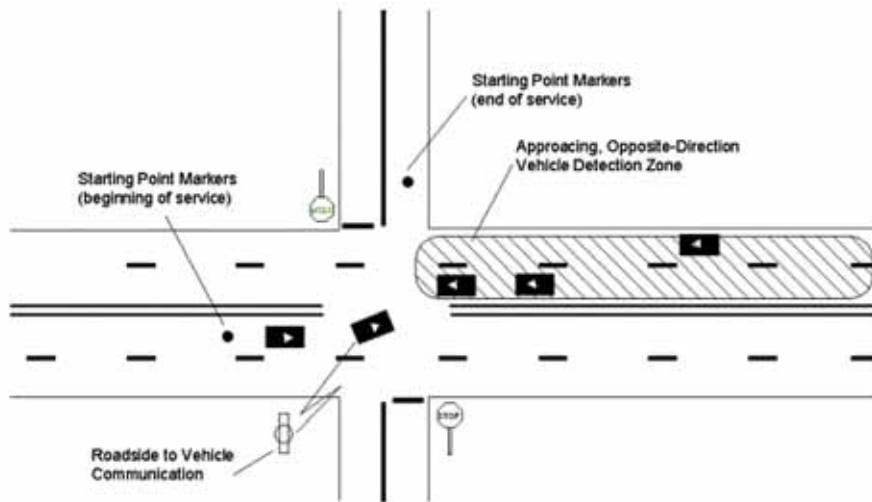
<그림6, 일본의 AHS서비스>

### (3) AHS중 교차로 충돌방지시스템의 개요

AHS의 여러 서비스 중 교차로충돌방지시스템에 대하여 자세히 알아본다.<sup>22)</sup>

## (가) Support for prevention of LTAP/OD crashes

LTAP/OD<sup>23)</sup> 충돌방지 시스템은 그림과 같이 차량내와 노변 검지기를 이용하여 반대 방향의 차량의 속도와 위치를 탐지한다. 이 시스템은 차량이 노면 지하에 매설된 시작지점검지기(a starting point marker)를 통과하면 작동되고 차량이 좌회전을 종료하여 종료지점검지기 (another starting point marker)를 통과하면 작동을 종료한다. 도로의 형상, 치수, 경사도 등 일반적인 교차로 정보는 노변기기에 저장되어 있다. 도로의 차량검지장치는 반대방향 차량의 속도와 위치를 검지한다. 이 두 가지 정보는 가공되어 DSRC통신을 이용하여 정보가 또는 경보가 차량내의 운전자에게 전달된다.



<그림7. LTAP/OD 충돌방지 시스템 개념도>

## (나) Support for Prevention of Crossing Path Crashes

AHS와 관련된 다른 교차로 충돌방지시스템은 CP<sup>24)</sup> 충돌방지시스템이다. 이 시스템은

22) BMI, INFRASTRUCTURE-BASED INTERSECTION COLLISION AVOIDANCE CONCEPT STUDY, Federal Highway Administration, January 5, 2001, Appendix A: Proposed Infrastructure-Based ICAS Deployments

23) Left Turn Across Path - Opposite Direction (LTAP/OD)

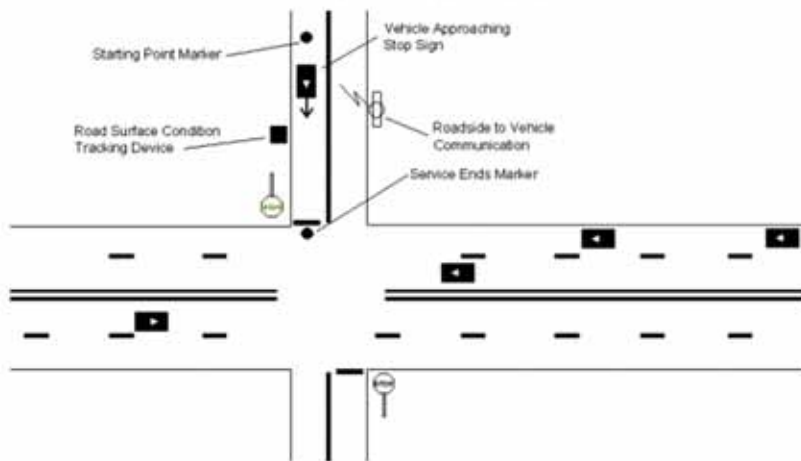
24) Crossing Path

신호교차로 뿐만 아니라 양방향 정지신호 교차로 및 한방향 정지신호 T자형 교차로에도 적용이 가능하다. 이 시스템은 2가지로 나눌 수 있다.

첫번째는 교차로에 접근하는 통행권을 가지지 않은 차량을 대상으로 하고, 두번째는 교차로 정지선에 정지하여 직진하거나 좌회전을 대기중인 차량을 대상으로 한다.

첫번째 시스템은 통행권이 없는 교차로에 접근하는 차량에게 경보를 할 수 있도록 아래 그림8과 같이 설계되었다. 교차로에 접근하는 차량은 도로 지하에 설치된 시작지점검지기를 통과한다. 차량이 시작지점검지기를 통과하면 노변통신기가 차량에 교차로에 대한 정보(구조, 경사, 도로 상태 등)를 제공한다.

그러면 차량은 안전한 정지속도를 결정하고 운전자에게 전방에 통과하기 전에 정지할 필요가 있는 교차로가 있음을 알린다. 그리고 만일 차량이 안전한 정지속도로 감속이 되지 않으면 두번째 경보를 차량은 운전자에게 제공된다. 최종적으로 만일 운전자가 차량을 적절한 속도로 제동하지 않으면 차량은 이를 탐지하고 긴급히 제동기를 작동시킨다.

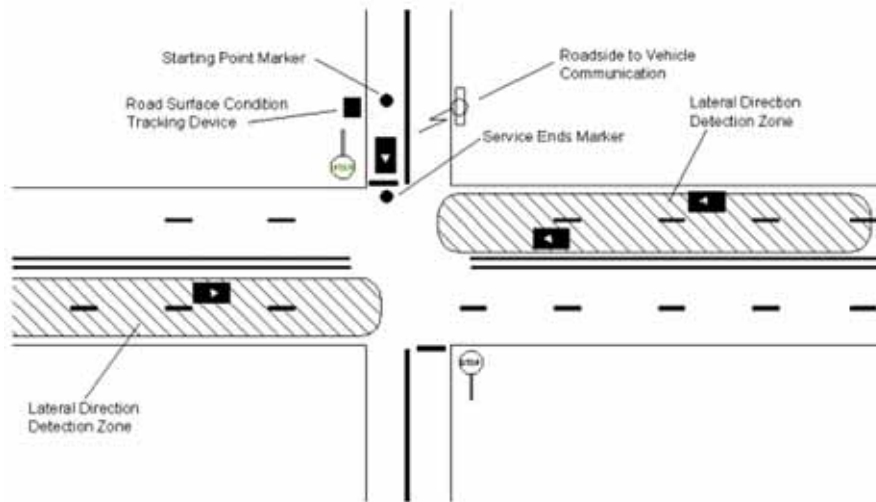


<그림8. crossing path 충돌방지 시스템 개념도>

두번째 AHS의 CP충돌방지시스템은 정지표지 또는 신호기에 의해 정지선에 정지한 운전자에게 측면 통과차량 정보를 제공하는 시스템이다. 이 시스템은 아래 그림9와 같이 구성되어 있다.

이 시스템의 시작검지기는 교차로 전에서 속도를 줄이거나 정지한 차량의 통과 또는 존재를 검지하는 작용을 한다. 그리고 노변통신기기는 교차로의 구조 및 측면에서 접근하는 차량의 존재, 속도 등을 차량에게 제공한다. 차량은 제공된 정보로 계산을 하여 좌·우의 차량의 접근(gap time 부족)으로 교차로 통과가 위험하다는 정보를 차량운전자에게 제공한다.

좌·우의 차량이 충분한 원거리에 있는 경우(gap time 충분)에는 위험정보는 사라져서 교차로를 통과하여도 좋다는 신호를 보낸다. 차량이 교차로를 통과하면 종료검지기가 시스템의 서비스 작동을 종료시킨다.



<그림9. crossing path 충돌방지 시스템 개념도 2>

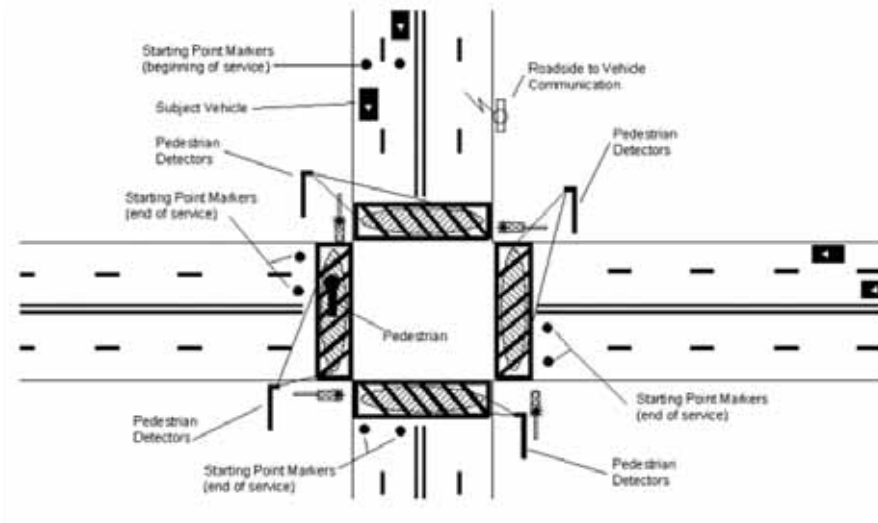
#### (다) Support for Prevention of Vehicle/Pedestrian Collisions

VP<sup>25)</sup> 충돌방지시스템은 위의 다른 시스템과 비슷한 기능을 하지만 대향차를 검지하여 정보를 제공하는 것이 아니고 보행자 존재정보를 검지하여 정보를 제공하는 것이 다르다.

이 시스템은 교차로의 각 횡단보도 보행자 검지기, 서비스 시작과 종료를 위한 시작·종료 검지기, DSRC를 이용하여 차량에 정보를 제공하는 노변통신기기로 구성된다.

25) vehicle-pedestrians

차량이 시작검지기를 통과하면 노변통신기기는 차량에 교차로 정보(구조, 횡단보도위치, 보행자의 존재 등)를 제공한다. 차량은 제공된 정보와 동 차량의 속도를 바탕으로 운전자에게 제동될 정보(보행자 및 횡단보도의 존재, 위치-좌우, 원근 등)가 차량 내 장치에 표시될 정확한 시점을 계산한다. 이 시스템의 경우에는 운전자에게 급박한 충돌정보만을 제공하고 기타 과도한 정보는 제공되지 않는다.



<그림10. 보행자 충돌방지 시스템 개념도>

## 5. 교차로 안전과 경찰의 역할

최근 수년간 경찰은 교통사고 사망자를 줄이기 위해 많은 노력을 기울여 왔다. 이러한 노력은 성과를 거두어 사망자수가 6~7천명 수준으로 많이 줄어들었다. 그러나 교통사고로 인한 부상자수는 대동소이한 현상을 보이고 있다. 이는 경찰의 안전띠 매기운동 및 단속, 도로 중앙방호시설 증설, 과속 단속 등으로 치명적인 교통사고는 감소하였으나 인명 사상 교통사고 건수 자체는 줄지 않고 있는 것이 원인이라고 생각한다. 미국의 교차로 교통사고 통계에서 보았듯이 부상을 야기한 충돌교통사고의 약 48%는 교차로에서 발

생하고 있다. 따라서 미국에서는 교차로 충돌교통사고를 교통사고 감소의 주요과제로 선정, 감소를 위한 노력을 기울이고 있다. 우리나라의 정확한 통계는 알수 없지만 미국과 같이 교차로에서의 충돌이 인사사고의 상당수를 차지할 것으로 추정된다. 향후 인명피해 교통사고 건수 자체를 줄이고 교통사고로 인한 인명사상을 계속적으로 줄이기 위해서는 어디서 어떠한 원인으로 인명사상 교통사고가 발생하는지 파악하고 이에 대한 적절한 대책이 강구되어야 하는데 그 중요한 교통사고 발생 원인 및 장소가 교차로라고 판단된다. 따라서 여기서는 앞으로 경찰이 교차로 충돌로 인한 인명피해 교통사고를 줄이기 위해 역점적으로 우선 추진하여할 교통공학적 교차로 충돌방지대책에 대하여 몇가지 언급하고자 한다.

첫째는 Red Light Run Photo Enforcement 즉 신호위반 자동단속이다. 현재 속도위반에 대하여는 자동단속이 활발히 이루어지고 있지만 신호위반에 대한 단속은 활발하지는 않다. 신호위반이 치명적인 교차로 측면충돌사고의 원인이므로 이에 대한 단속이 필요하다. 일부 연구에 의하면 신호위반 자동단속으로 충돌사고가 증가하는 것으로 나타나는데 이는 치명적인 교통사고에 해당하지는 않는다. 이러한 결론에 따라 미국, 유럽 등에서는 확립된 IT기술을 이용한 교차로 안전대책으로 꾸준히 설치, 단속하고 있다.

둘째는 Traffic Signal Engineering에 의한 교차로 충돌방지대책을 각 교차로의 상황에 맞도록 설정하여 적극 활용하는 것이다. 특정 교차로가 통행속도가 높고 신호위반이 많다면 All Red신호방법을 도입하고, 연동이 중요하지 않은 지방 독립신호등에는 완전한 Actuated Traffic Control을 도입하여 지체도 줄이며 잠재적 충돌위험도 감소시키며, 딜레마구간이 발생하는 도로에는 딜레마 제어도 도입하는 것이다. 또한 연동화된 도로에서는 야간 등 교통이 한적한 시간에 연동속도를 안전속도에 설정하여 연동신호에 과속주행하는 자동차가 자주 걸리게 하여 과속을 방지하는 방법도 적극 사용하여야 할 것이다.

셋째는 Emergency Vehicle Preemption의 도입이다. 이는 교차로 충돌사고의 획기적인 감소를 가져오지는 않겠지만 우리사회의 안전을 도모하는 기반시설의 역할을 할 것이다. 긴급자동차에 대한 신호우선으로 많은 운전자가 좀 통행에 지체가 발생할지 모르지만 긴급사태는 누구에게 발생할지 알수 없으므로 자동차를 좀더 소통시키기 보다는 안전한 사회기반 구축을 위해 Emergency Vehicle Preemption을 도입하여야 할 것이다.

넷째는 우리나라 도로사정에 적합한 INFRASTRUCTURE-BASED 교차로 충돌방지대책을 연구하고 시험적으로나마 시행하여야 한다고 판단된다. INFRASTRUCTURE-BASED 교차로 충돌방지대책 중 전방신호경고시스템은 이미 기술이 확립되어 미국에서 많이 설치되고 있는데 그 외의 시스템도 활발히 연구되고 있다. INFRASTRUCTURE-BASED 교차로 충돌방지대책은 이후 도로시설에서 제동되던 정보 또는 경고를 도로와 차량간 통신시스템을 구비하여 차량 내부에 제공하면 위에서 일본의 예를 들어 설명한 INFRASTRUCTURE-VEHICLE BASED 교차로 충돌방지기술로 발전하게 된다. 따라서 향후의 INFRASTRUCTURE-VEHICLE BASED 교통환경에 대응하기 위해 사전에 전단계의 안전대책인 기술인 INFRASTRUCTURE-BASED 교차로 충돌방지대책 등을 연구하고 시험적으로 실시하여 보는 것도 의미 있는 사업일 것이다.



## <참 고 문 헌>

### 1. 국내문헌

경찰청, 교통사고통계, 2004,  
문병혁, 경찰학연구 제2호, 경찰대학, 2002년 참고  
도철웅, 교통공학원론, 청문각, 2003, p461-462

### 2. 외국문헌

2000 National Highway and Traffic Safety Administration (NHTSA) statistics,  
TIMOTHY R. NEUMAN 등 5인, NCHRP REPORT 500, Volume 6: A Guide for  
Addressing Run-Off-Road Collisions, NCHRP, 2003. v2  
Patrick Hasson, Engineering Safer Intersections, Federal Highway Administration  
Midwestern Resource Center (www.fhwa.dot.gov)  
BMI, Intersection Collision Avoidance Study, FHWA, 2003  
FHWA, manual on uniform traffic control device, 2003,  
MnDOT, Traffic Signal Timing and Coordination Manual, 2004  
BMI, INFRASTRUCTURE-BASED INTERSECTION COLLISION AVOIDANCE  
CONCEPT STUDY, Federal Highway Administration, January 5, 2001, Appendix A:  
Proposed Infrastructure-Based ICAS Deployments

### 3. 기 타

<http://safety.fhwa.dot.gov/intersections/interbriefing/01prob.htm>

<http://www.dot.state.mn.us/trafficeng/>

MnDOT, Traffic Signals 101 Course Presentation, <http://www.dot.state.mn.us/trafficeng/>

<http://www.mlit.go.jp/road/ITS> (일본 국토교통성 ITS 홈페이지)