

교차로 사고 감소를 위한 신호등 보완에 관한 연구

박인덕
대덕대학교 전기과

A Study of the Intersection in Reduce Car Accidents for Traffic Signal Light to Supplement

In-Deok Park
Department of Electrical Engineering, Daeduk University

요약 국내 신호등은 2색등, 3색등, 4색등의 신호체계를 적용하고 있다. 2색등은 적색·녹색 등화로 주로 횡단보도에서 사용되며 3색등은 적색·황색·녹색(녹색화살표)등화로 T자형 교차로, 4색등화 표시는 적색·황색·녹색화살표·녹색으로 일반적인 교차로에서 사용되고 있다. 교차로에 진입하는 운전자는 딜레마 존 영역에서 교차로 진입 또는 정지선에 정지 판단을 해야 한다. 교차로 진입 전 딜레마 존에서 운전자는 교차로 폭, 차량속도, 인지반응시간, 기준 황색신호 시간에 따라 교차로 통과 또는 정지선에 정지, 과속차량, 꼬리물기, 끼어들기, 신호위반 차량 등 많은 정보를 수집 판단하고 있다. 본 논문은 교차로 3,4색 신호등의 기준 황색신호 시간과 교차로 통과 속도를 50km/h, 60km/h 하향 조정에 따른 딜레마 존 영역 길이 변화가 황색신호 시간에 영향을 줄 수 있음을 제시한다. 이러한 영향에 따른 황색신호 시간은 0.1~2.3초 증가함을 알 수 있었으며 딜레마 존 영역도 1.22~26[m] 증가함을 알 수 있었다. 교차로 사고 감소를 위해 딜레마 존의 운전자에게 빠른 판단할 수 있도록 직진(3색,4색) 녹색신호의 잔여시간을 표시함으로써 교차로 통행에 발생하는 교통사고를 줄이는 방안을 제시하며, 심야시간에 운영되어지는 교차로 점멸신호에 진입하는 차량에 적색(LED 손바닥)신호와 좌회전 녹색 화살표 신호를 교차 점멸함으로 안전한 진입 방안을 제시하고자 한다.

Abstract Three types of traffic signal systems are two-color signal systems that flash red and green and are mainly used on crosswalks, next, three-color equalization systems mainly used at T-shaped intersections with red and yellow lights and a green arrow, and third, four-color intersections that generally have red, yellow and green colored lights and a green arrow. In what is known as the "dilemma zone" area, a driver collects information that influences his/her decision whether to stop, speed, tail, interrupt, or violate a traffic light, depending on the intersection width, vehicle speed, cognitive response time and reference yellow signal time. This study examined the impact of changes in the length of the dilemma zone areas based on changes in yellow signal times, the speed of the intersection passages, and signal lamps. Downward adjustments of 50km/h and 60km/h affected yellow signal time. The yellow signal time increased by 0.1 to 2.3[s] due to this effect and the dilemma zone area increased by 1.22 to 26[m]. The driver of the dilemma zone could quickly decide to reduce the time remaining of the straight (3color, 4color) green signal to reduce the potential of a traffic accident at the intersection traffic. Safe entry of red (LED palm) and left-turn signals for entering flashed at the intersection and operated at midnight.

Keywords : Intersection, Dilemma Zone, Quick Judgment, Flashing Signal, Remaining Time

*Corresponding Author : In-Deok Park(Daeduk Univ.)

email: han7770@ddu.ac.kr

Received March 9, 2020

Accepted June 5, 2020

Revised March 25, 2020

Published June 30, 2020

1. 서론

1.1 연구배경

교통사고 통계로 보았을 때 제일 안전해야 할 교차로에서 교차로 사고가 많이 발생되고 있다. 교차로 교통사고 요인으로 신호변환(녹색→적색)시 차량운전자는 교차로 진입 전 딜레마 존(Dilemma Zone)에서의 교차로 통과 또는 정지에 대해서 판단을 해야 한다. 짧은 시간 판단에 따른 후미추돌사고, 교차로사고 등 교통사고 빈도수가 많은 것으로 조사되었다. 또한, 심야시간대의 통행량이 적은 도로에서는 원활한 차량소통을 위해 교차로 신호등을 점멸신호로 운영하고 있다. 심야시간대에 이루어지는 점멸신호에서는 교차로 진입 시 전방에 대한 안전부주의 및 과속에 따른 주간 교차로사고와는 다른 대형사고가 대다수이다. 이러한 교차로에서 교통사고를 줄이기 위해 주간에는 과속, 꼬리물기, 끼어들기, 신호위반 단속 등 노력을 하고 있으나 심야시간에는 교차로 점멸신호 운영으로 교차로사고에 대한 교통사고를 줄이기 위한 제도적인 노력을 하고 있으나 안전하게 교차로 통과에 대해 운전자에게 위임하고 있다[1].

본 논문에서는 교차로 직진신호등(3색,4색) 녹색신호의 잔여시간을 표시함으로써 교차로 통행에 발생하는 교통사고율을 줄이는 방안을 제시하며, 심야시간에 운영되어지는 교차로 점멸신호에 진입하는 차량에 적색(LED 손바닥)신호와 좌회전 신호와 교차 점멸함으로 안전한 진입, 교차로 통행 등 교통사고 감소 방안을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 교통신호체계

도로교통에 관한 UN협약 가입국의 수정 요구에 따라 교통신호등 체계는 지속적으로 수정 및 보완되어 왔으며 표지 및 신호체계에 국제적 통일성을 부여함으로써 국제 도로교통의 안전성을 높이고 활성화하고 있다. 비엔나협약의 3색 신호체계의 경우 적색, 황색, 녹색 신호등으로 구성하고 있다. 4색 신호등은 적색, 황색, 녹색화살표시, 녹색 신호등으로 구성되어 있으며 현재 우리나라 교차로 횡형 4색 신호등으로 운영되고 있다. 신호 순서로는 녹색 등화 → 황색등화 → 적색 및 녹색화살표 → 적색 및 황색 등화 → 적색등화의 순서로 한다. 3색 등화로 표시되는 신호등의 경우 좌로부터 적색·황색·녹색(녹색화살표)의

순서로 배치되며 신호 순서로는 녹색(적색 및 녹색화살표)등화 → 황색등화 → 적색등화의 순서로 한다. 다만, 교차로와 교통여건상 특별히 필요하다고 인정되는 장소는 신호의 순서를 달리하거나 녹색화살표 및 녹색등화를 동시에 표시할 수 있다. 라는 예외를 제시하고 있다. Fig. 1은 네거리 4색 및 3색 신호체계를 나타내고 있다.

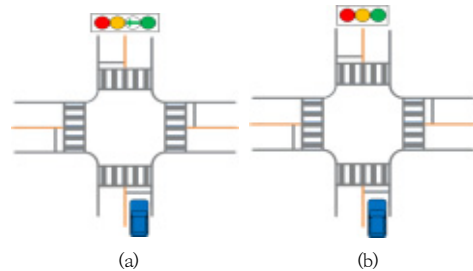


Fig. 1. Intersection signal lamp
(a) Four-color traffic light (b) Three-color traffic light

Fig. 1의 교차로 4색, 3색 신호체계의 딜레마 존(Dilemma Zone)영역에서 차량운전자는 교차로 정지선 차량 정지 또는 교차로 통과 판단, 이때 운전자는 뒤차와의 간격, 앞차와의 간격, 교통신호 변화, 교차로 교통량에 따른 전방주시, 교차로 과속 차량 등 교통사고의 유발 원인에 대해 판단과 결정을 해야 한다[2]. 심야시간(24시~06시)에 점멸신호 전환 시 교차로 통행에도 공통점이 존재한다.

2.2 교통신호등형태

우리나라의 차량신호등의 경우 UN교통신호 협약처럼 3색신호체계로 황색신호등을 공유하지 않는다. 우리나라 도로교통법 신호등 신호체계에서는 좌회전 후 황색신호, 직진 후 황색신호를 공유하여 사용하고 있다[3].

또한, 가변형 가변등의 경우 적색 X표시를 하고 있으나 UN교통신호 협약은 황색 또는 백색 하향대각선 화살표 등화로 규정되어 있어 우리나라와는 다르다. Fig. 2는 중앙주식 신호등으로 각 회전부의 연석 중심에 총 4개의 신호등 지주를 설치하여 각 지주별 2개씩 8개의 신호등을 설치한다.

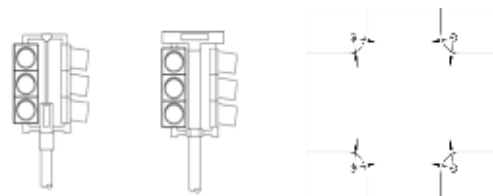


Fig. 2. Central traffic light

Fig. 3은 지주와 강선을 이용한 신호등으로 도로 양편에 지주를 설치하고 이를 강선으로 연결한 신호등을 도로 중간지점까지 내밀어 설치하는 형식이다. 연결선이 길어서 도시미관에 좋지 않으며 장소별 제약으로 우리나라에서는 잘 사용하지 않은 방식이다.

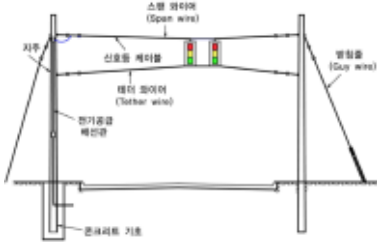


Fig. 3. Pillar and steel wire using traffic light

Fig. 4은 지주와 부착대를 이용한 신호등으로 신호등의 등기선과 연결선의 외부 노출 없이 내민 구조로 부착대 내에 등기선 등을 삽입하여 신호등을 설치하는 방법으로 시인성 등 타 방식보다 양호한 편이다. 주로 우리나라에서 사용하는 방식이다.

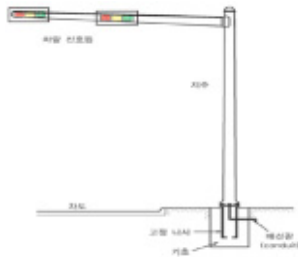


Fig. 4. Pillar and supports using traffic light

2.3 운전자의 황색 신호등 시간

우리나라는 UN교통신호 협약과 다르게 좌회전 신호를 활용하고 있다. 4색 신호체계에서 황색과 적색신호를 이용하여 직진과 좌회전(녹색화살표시) 모두를 다루고 있다. 이와 같이 하나의 신호등 면에서 적색신호와 녹색화살표시가 동시등화, 좌회전 후 황색신호, 직진 후 황색신호를 공유하고 있어 교차로 과속, 신호가 바뀌어도 앞차를 따라 진행하는 꼬리물기, 신호등 변화에 따른 급출발 등 운전자로 하여금 교차로 사고 유발을 가지고 있다. 이와 같이 교차로 내에서 운전자는 많은 정보와 판단으로 딜레마 존에서 교차로 통과, 정지의 판단을 하여야 한다. 딜레마 존에서 운전자에게 판단에 영향을 줄 수 있는 황색신호등 시간이다. Eq. (1)은 녹색신호에서 적색신호

로 변경되기 전 황색 신호등으로 황색등 시간(Y) 차이 변수 설정에 활용하기 위한 식이다. 황색시간은 운전자 인지 반응시간이 약0.7초-2.1초로 다양하게 나타나지만 인지반응 시간(T_b)를 1초와 고령 운전자의 증가 추세로 2초, 교차로 폭, 진입 차량속도를 통해 딜레마 존 영역의 크기를 정할 수 있다.

$$Y = T_b + \frac{v}{2a} + \frac{W+l}{v} - T_s \quad (1)$$

where, T_b stop cognitive reaction time(1.0s~2.0s)

v approach velocity(m/s)

a deceleration rate($3m/s^2 \sim 5m/s^2$)

W intersection width(m)

l vehicle length(5m)

T_s start cognitive reaction time(1.5s)

Fig. 5의 딜레마 존이란 교차로를 접근하는 운전자가 주행 중 황색신호가 시작되는 것을 보았지만 임계 감속으로 도로 정지선 전에 정지하기가 불가능하며 계속 진행하더라도 황색시간 내에 교차로를 완전히 통과하지 못하게 되어 발생하는 구간을 말한다.



Fig. 5. Intersection dilemma zone

딜레마 존에 빠진 운전자들은 교차로를 통과하기 위해 가속을 하거나 정지선에 정지하기 위해 급격한 감속을 하게 되며, 이때 인접한 선행-후행 차량 운전자에게 상반된 의사결정이 이루어 질 경우 사고 발생 확률이 매우 높아지게 된다. 딜레마 존 크기를 계산하기 위한 산출식 Eq. (2)와 같다.

$$D = x_c - x_0 \quad (2)$$

x_c dilemma zone fastest at the stop line

x_0 dilemma zone slowest at the stop line

교차로 도록 폭에 따른 황색시간 설정이 잘못된 경우 운전자가 황색신호를 너무 민감하게 반응하여 교차로 내

에서 교통사고를 발생시킬 수 있다.

Table 1,2는 Eq. (1)에서 감속율 a 를 $5m/s^2$, 인지 반응시간 T_b 를 각각 $1m/s, 2m/s$ 설정하였을 때 교차로 폭과 차량속도에 따른 적정 황색시간을 나타낸다. Table 1,2에서 살펴보면 인지 반응시간에 따라 황색신호 시간이 늘어나는 현상을 볼 수 있다.

Table 1,2에 필요한 딜레마 존 영역의 크기를 구하는 식 Eq. (3)와 같다.

$$D = x_c - x_0 = v_0 \times Y \quad (3)$$

딜레마 존은 교차로 황색시간에 차량이 통과하기 위해 운전자가 판단 할 수 있는 영역으로 Fig. 6은 딜레마 존 영역의 크기를 2부분으로 나누어 교차로 통과 또는 정지선 차량정지에 대한 판단의 영역으로 나누었다[4].

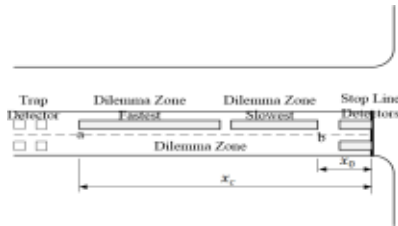


Fig. 6. Intersection dilemma zone three part

Table 1. Yellow signal time required according to intersection width and vehicle speed(Unit : s), $T_b:1s$

Approach velocity	40		50		60		70		80	
	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h
Intersection width [m]	proper yellow time (s)	criteria yellow time (s)	proper yellow time (s)	criteria yellow time (s)	proper yellow time (s)	criteria yellow time (s)	proper yellow time (s)	criteria yellow time (s)	proper yellow time (s)	criteria yellow time (s)
	20	2.86	3	2.41	3	2.67	3	2.73	3	2.84
25	3.31	3	2.77	3	2.97	3	2.99	3	3.07	3
30	3.76	4	3.13	4	3.27	3	3.25	3	3.29	3
35	4.21	4	3.49	4	3.57	4	3.51	4	3.52	4
40	4.66	5	3.85	4	3.87	4	3.76	4	3.74	4
45	5.11	5	4.21	5	4.17	4	4.02	4	3.97	4
50	5.56	5(1)	4.57	5	4.47	5	4.28	4	4.19	4
55	6.01	5(1)	4.93	5	4.77	5	4.53	5	4.42	4
60	6.46	5(2)	5.29	5(1)	5.07	5	4.79	5	4.64	5
65	6.9	5(2)	5.65	5(1)	5.37	5	5.05	5	4.87	5
70	7.35	5(2)	6.01	5(1)	5.67	5(1)	5.3	5	5.09	5

Table 2. $T_b:2s$

Approach velocity	40		50		60		70		80	
	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h
Intersection width [m]	proper yellow time (s)	criteria yellow time (s)	proper yellow time (s)	criteria yellow time (s)	proper yellow time (s)	criteria yellow time (s)	proper yellow time (s)	criteria yellow time (s)	proper yellow time (s)	criteria yellow time (s)
	20	3.86	3	3.69	3	3.67	3	3.73	3	3.84
25	4.31	3	4.05	3	3.97	3	3.99	3	4.07	3
30	4.76	4	4.41	4	4.27	3	4.25	3	4.29	3
35	5.21	4	4.77	4	4.57	4	4.51	4	4.52	4
40	5.66	5	5.13	4	4.87	4	4.76	4	4.74	4
45	6.11	5	5.49	5	5.17	4	5.02	4	4.97	4
50	6.56	5(1)	5.85	5	5.47	5	5.28	4	5.19	4
55	7.01	5(1)	6.21	5	5.77	5	5.53	5	5.42	4
60	7.46	5(2)	6.57	5(1)	6.07	5	5.79	5	5.64	5
65	7.9	5(2)	6.93	5(1)	6.37	5	6.05	5	5.87	5
70	8.35	5(2)	7.29	5(1)	6.67	5(1)	6.3	5	6.09	5

Fig. 6에서 Dilemma Zone fastest 구간에서는 진입 차량이 교차로 통과하기 위한 진입구간이며 Dilemma Zone slowest 구간은 정지선에 정지할 수 있는 구간을 나타낸다. Table 1의 딜레마 존 영역의 크기는 Table 3와 같다. Table 2에서 교차로 인지반응시간을 2s 경우 교차로 폭 영역에 필요한 기존 황색시간 조정이 필요함을 알 수 있다.

Table 3. Intersection width and vehicle speed according to Dilemma zone(Unit : m), $T_b:1s, a:5m/s^2$

Approach velocity	40		50		60		70		80		
	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	
Intersection width [m]	D zone (m)	D zone (m)	D zone (m)	D zone (m)	D zone (m)	D zone (m)	D zone (m)	D zone (m)	D zone (m)	D zone (m)	
	20	-1.56	-8.2	-5.50	-5.25	-3.56	25	3.45	-3.2	-0.50	-0.19
30	-2.67	-12.1	4.50	4.87	6.45	35	2.34	-7.1	-7.17	-9.54	-10.7
40	-3.78	-2.1	-2.17	-4.67	-5.78	45	1.22	-11.0	2.84	0.39	-0.67
50	6.23	-6.0	-8.84	5.45	4.23	55	11.2	-1.0	-3.84	-9.15	9.34
60	16.2	4.0	1.17	-4.09	-8.01	65	21.1	9.0	6.17	0.97	-2.89
70	26.1	14.0	11.2	5.84	2.00						

Table 3에서 알 수 있듯이 교차로 운전자의 인지반응 속도에 비례해서 딜레마 존의 영역의 변화를 알 수 있다. 운전자는 교차로 통과를 위해 기준속도 보다 높은 속도

로 교차로를 통과해야 한다. Table 4은 2014~16년의 시간대별로 T자형, 네거리 교차로의 사망자 수를 나타낸다.

Table 4. Intersection Dead Count by Time

Year	Time	Dead Count	
		T Intersection	Intersection
2014	06h ~ 08h	68	80
	18h ~ 20h	85	91
2015	06h ~ 08h	41	85
	18h ~ 20h	85	83
2016	06h ~ 08h	44	80
	18h ~ 20h	72	67

교차로 통과 교통량 대비 사고 비율을 보면 출·퇴근 시간에 집중되어 있음을 알 수 있으며 점멸신호에서 신호체제로 변환되는 시간대에서 사고비율이 높음을 알 수 있다. 교차로의 점멸신호는 4방향 모두 같은 동작 신호(황색등 점멸, 또는 적색 점멸)로써 동시에 점멸하여 교차로 진입 운전자의 주위운전(서행운전)을 요구한다. Table 5는 광역도시에서 발생한 2015년 1월과 2월의 시간대별 교통사고를 나타낸다. Table 5에서 교통량이 3배 이상 많은 시간대의 사고로 인한 사망자 수 보다 교통량이 적은 심야시간에 점멸 신호로 운영되는 시간대의 사망자 수가 많은 것을 알 수 있으며, 심야시간대에 이루어지는 교차로 점멸신호는 안전한 통행에 부족함이 있을 수 있다.

Table 5. Flashing signal time of traffic accidents number(National Statistical Office)

Time (24h)	2015.01		
	Traffic accidents(N)	Death toll (N)	Injured person(N)
00 - 02	505	8	804
02 - 04	346	14	532
04 - 06	270	11	416
Subtotal	1,121	33	1,752
08 - 10	564	5	831
10 - 12	492	4	720
16 - 18	638	4	943
Subtotal	1,694	13	2,494
Time (24h)	2015.02		
	Traffic accidents(N)	Death toll(N)	Injured person(N)
00 - 02	451	8	734
02 - 04	272	3	436
04 - 06	242	8	351
Subtotal	1,121	33	1,752
08 - 10	449	6	643
10 - 12	512	3	743
16 - 18	567	7	823
Subtotal	1,694	13	2,494

3. 결론

교차로 통행에 운전자는 교차로 진입 전 황색신호 점등시간 판단으로 딜레마 존 영역의 크기가 작으면 후미 추돌사고, 교차로 진입 후 교차로 내 추돌사고와 같은 위험요소를 포함하고 있다. Table 3,5에서 보면 운전자는 인지반응시간, 교차로 폭, 진입 속도, 교차로 황색신호시간 등 많은 정보수집과 운전자판단에 따라 교차로 통행을 하고 있다. 교차로 진입 전 운전자에게 판단 할 수 있는 시간을 알려준다면 안전한 교차로 통행이 될 것이다. 운전자에게 교차로 통행에 필요한 녹색신호 잔여시간을 표시해줌으로써 교차로 진입 전, 후에 발생 할 수 있는 추돌사고를 방지 할 수 있다. Fig. 7는 녹색신호 잔여시간표시하는 시스템 구성으로 PLC G7M-DR40A(처리속도 0.5μs, 메모리 32Kbyte, 정격부하전압/전류 DC24[V], 2[A]), 잔여시간 표시등(LED), DC/DC Convertor 24[V]3 [A]로 구성하였다.



Fig. 7. Intersection green signal remaining time

Fig. 8은 3색 교차로 신호등 등화순서를 나타내며 녹색신호 잔여시간 표시를 함으로써 딜레마 존에서 운전자에게 판단 할 수 있는 시간을 줄 수 있다. 녹색신호(a)→녹색신호 잔여시간표시(b)→황색신호(c)→적색신호(d)→녹색신호(a) 순으로 동작한다. 이때 녹색신호 잔여시간은 9초부터 시작하여 1초씩 감소하여 0초까지 진행된다.

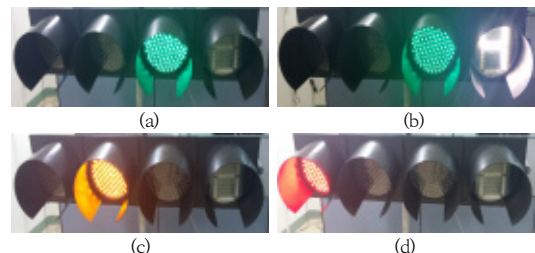


Fig. 8. Intersection traffic signal light sequence

- (a) Green light signal
- (b) Green light signal remaining time
- (c) Yellow light signal
- (d) Red light signal

심야시간에 운영되는 교차로 점멸신호시 적색신호 Fig 9(b)와 같이 정지신호 손바닥 모양의 신호와 녹색화살표 신호 Fig 9(c)와 교차 점등하여 안전하게 통행을 유도 할 수 있다.

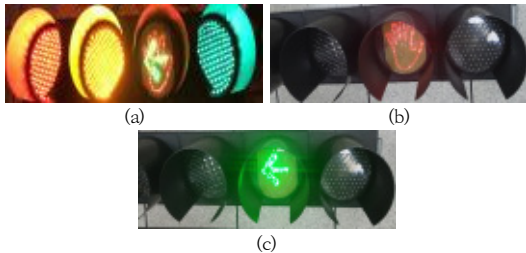


Fig. 9. Intersection flashing signal light
 (a) Traffic signal full light
 (b) Intersection a warning signal for entry flashing signal
 (c) Red flashing signal cross left arrow signal

현재 교차로 3,4색 신호등의 기준 황색신호 시간이 짧은 것과 교차로 통과 속도를 $50km/h$, $60km/h$ 로 하향 조정에 따른 딜레마 존에서의 운전자는 교통신호등의 적색신호 시 좌회전(녹색화살표) 직진 정지신호 중복사용에 따른 잘못된 해석, 과속에 의한 교차로 통행, 무리한 꼬리물기 등 교차로 내 교통사고 유발 변수를 포함한 판단을 해야 한다. 본 논문에서 이러한 변수들을 줄이고 교차로 사고를 미연에 방지하기 위해 딜레마 존의 운전자에게 빠른 판단으로 안전하게 교차로를 통행 할 수 있도록 직진 녹색신호 잔여시간 표시를 제안함으로써 교통사고비용 인적·물적 피해액 연간 10조3,254억원(2015년 기준), 10%절감 효과가 나타나면 연간 1조원의 절감 효과를 기대 할 수 있다.

References

- [1] "Analysis of Traffic Accident Factors and Establishment of Traffic Safety Improvement Plan in Crossroads," Korea Road Traffic Authority Traffic Science Institute, pp. 39~40, 2016.12.
- [2] Hong Soon Jin, Park Soon Yong, Kim Myung-joo, Lim Jang Hyuk, "A Study on the Improvement of Operation Criteria for Lightning at Night by Signal Crossing to Improve Traffic Safety," Korea Road Traffic Authority Traffic Science Institute, pp. 38-41, 2018.01.
- [3] "Manual for Installation and Management of Communication Units," Korean National Police Agency, pp. 103-107, 2011.12.
- [4] "Field Evaluation of Detection-Control System, U.S.

Department of Transportation," Federal Highway Administration. Publication FHWA-HRT-14-058, pp. 3~4, April. 2015.

박 인 덕(In-Deok Park)

[정회원]



- 1999년 2월 : 명지대학교 전기정보대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 공주대학교 전기정보통신대학원 전기공학 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 2008년 2월 : 대덕대학교 전기과 겸임교수
- 2008년 3월 ~ 현재 : 대덕대학교 전기과 교수

<관심분야>

전력전자, 교통신호기