

■ 論 文 ■

교통 예비점멸등 사용에 따른 운전자 행동반응 비교

A Comparison Study of Driver's Responsive Action by
Using the Traffic Light Change Anticipation

장 명 순

(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

김 영 준

(한양대학교 교통공학과 박사과정수료)

목 차

- | | |
|-----------|--------------|
| I. 서론 | 4. 실험설계 및 과정 |
| II. 문헌고찰 | 5. 분석방법 |
| III. 연구방법 | 6. 실험결과 |
| 1. 연구가설 | IV. 토의 |
| 2. 실험대상 | V. 결론 |
| 3. 실험장비 | 참고문헌 |

Key Words : 신호등, 보조녹색신호, 운전자 행동반응, 예비신호, 자동차모의실험

요 약

본 연구는 기존의 신호등의 시각적 인지도를 향상시켜 운전자의 인지실수를 예방하고 안전운전을 도모하기 위해 보조녹색신호가 추가된 신호등에 대한 연구를 수행하였다. 기존의 3색, 4색 신호등과 보조녹색신호를 추가로 제시한 3색, 4색 신호등을 자동차 모의실험장치를 통하여 비교한 결과 두 가지의 신호등간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 개선된 신호등이 현장 적용시 운전자가 스스로 의식하지 못하는 상태에서 제동시점을 다소 앞당겨준다는 점에서 안전운전에 기여할 수 있는 가능성을 보여주었다. 본 연구 결과는 실제 운전자의 반응을 비교함과 동시에 주관적인 행동반응을 조사함으로써, 연구결과의 실제 적용가능성을 제시하였는데 그 의의가 있다고 할 수 있다.

I. 서론

국내 교통사고 통계자료를 살펴보면, 신호위반으로 인한 교통사고의 경우 1998년 17,536건, 1999년에 22,135건, 2000년에는 23,811건으로 지속적으로 증가하고 있는 추세에 있다(통계청, 2002). 이러한 교통사고의 증가추세는 차량증가로 인한 문제뿐만 아니라, 국내 교통신호기의 문제로 인하여 증가한다고 여겨진다.(신호체계의 문제점) 국내의 교통신호체계는 지방도로를 기준으로 하여 불 때, 2색, 3색, 4색의 신호로 이루어져 있다. 이러한 신호기들의 경우에 예비신호인 황색등의 점멸시간이 짧고 녹색신호에서 적색신호로 바뀔 때, 운전자들이 주행하던 속도로 인하여 정지를 하지 않고, 속도를 증가시켜 통행하는 경우가 있다. 이러한 체계의 문제점은 황색등의 경우 교차로를 진입하는 차량들 중에서 정지하지 못한 차량이 교차로를 빠져나갈 수 있도록 시간을 결정할 때 문이다. 교차로의 통행량이 적은 경우 140ms 이내에서 조정이 되도록 되어 있으며, 통행량이 많은 교차로의 경우 140ms로 운전자가 신호를 충분히 인지하고 정지하기에는 적당하지 않다고 한다(도로교통안전관리공단, 2003). 또한, 낮시간의 경우 주위의 밝기로 인하여 신호등의 점등상태를 확인하지 못하는 팬텀(phantom) 현상이 발생하는 경우도 있다(김용주 외 2인, 1999). 특히, 3색과 4색 신호의 경우는 진행신호인 녹색 신호에서 정지신호인 적색으로 바뀔 때 예비신호인 황색 신호가 점멸되지만 2색 신호의 경우 예비신호가 없는 녹색과 적색 신호만으로 이루어져 있기 때문에 운전자가 신호인식과정에서 충분히 정지할 수 있는 시간적 여유를 가질 수 없다(도로교통안전관리공단, 2003).

따라서, 본 연구는 기존의 신호등의 시각적 인지도를 향상시켜 운전자의 인지실수를 예방하고 안전운전을 도모하기 위해 보조녹색신호가 추가된 신호등에 대한 연구를 수행하였다.

II. 문헌고찰

교통 신호기의 신호 점멸주기에 관한 연구로는 Richard의 2인(2002)이 교차로 교통신호의 적색, 황색등의 점멸주기에 관련된 연구가 있다. 총 51개의 실험구간을 선정하여 황색등 4초, 적색등 2초의 점멸

주기에 대한 실험을 실시하였고, 같은 구간을 신호등의 점멸주기를 바꾸어 실험을 실시하였다. 그 결과 청색예비신호의 점멸시간과 적색등을 위반하는 건수는 반비례하는 것을 발견하였다. 따라서, 총 40(78%)곳에서 신호등의 점멸주기를 기존의 점멸주기보다 길게 바꾸어 줄 필요가 있다고 하였다. Kell의 3인(2003)의 연구에서는 황색등이 켜지기 전에 녹색등을 점멸시킬 때와 점멸시키지 않을 때의 운전자의 행동반응을 비디오 촬영을 통해 분석하였다. 총 5000번의 신호등 주기에 대하여 50km/h의 차량속도로 실험한 결과 녹색등을 4초간 점멸시킬 때, 정지하는 시간이 짧아진다고 하였다. Mahalele과 Zaidel(1985)의 연구에서는 기존의 3색 신호등과 3색 신호등 중에서 녹색등이 꺼지기 3초전에 2Hz 주기로 녹색등이 점멸되는 신호등에 대한 비교연구를 수행하였다. 이 연구는 TLCAS(traffic light change anticipation)에 대한 연구의 시초가 되었다. Craig 등(1997)의 연구에서는 기존의 3색 신호등과 3색 신호등 중에서 황색등이 점멸되는 신호가 추가된 신호등에 대한 비교를 수행하였다. 총 41명의 운전자를 대상으로 자동차 모의 실험장치를 이용하여 운전자당 2회의 실험을 실시하였다. 실험결과 기존 신호등 체계와 TLCAS 체계를 비교할 때, 운전자가 신호를 인지하고 반응하기까지의 시간은 TLCAS 체계가 더 길게 나타났다. 하지만, 각 운전자당 2회에 걸쳐 실험한 결과 적색신호일 때 진행되는 사례가 총 52회 발생하였으며, 이 중에서 기존 신호등체계일 경우 43건이 발생하였고, TLCAS 체계에서는 9건이 발생하였다. 이러한 결과는 황색등이 점멸될 때 운전자의 반응시간이 길어지지만 정지 신호를 더 정확하게 인지하고 정지하는 것을 알 수 있었다.

신호등의 인지반응에 대한 연구를 살펴보면, 적색 신호의 경우 운전자의 평균인지 시간이 Chang 외 2인(1985)의 연구에서는 0.7~1.5초, Wortman과 Matthias(1983)의 연구에서는 1.09~1.55초인 것으로 나타났다. 또한 황색등의 경우 Craig 등(1997)의 연구에서 2.5~4.5초로 나타났다. 운전자의 신호등에 대한 평균인지시간을 비교해보면, 적색신호보다는 황색신호를 인지하는 시간이 평균적으로 더 길게 나타나는 것을 알 수 있었다. 김용주 등(1999)은 신호등의 팬텀(phantom)현상에 따른 인지반응시간에 대한 연구를 하였다. 이 연구에서는 주위의 밝기수준

에 따라 운전자가 신호등을 인지하는 시간을 조사하였으며, 팬텀현상이 발생할 경우 운전자의 인지반응 시간이 0.1~0.3초 정도 길어진다고 하였다.

기타 연구로는 Chiu와 2인(1996)의 황색등의 점멸주기에 관련된 연구가 있으며, 이 연구에서는 도로 상황과 차량의 속도에 따른 황색등의 점멸주기를 수학적인 모델로 제시하였다.

III. 연구방법

1. 연구기설

본 연구에서는 기존연구 결과를 착안하여 운전자가 신호등을 인지하는 오류를 줄이고 예비신호를 주어 정지신호를 정확하게 지킬 수 있는 신호등 체계를 개발하고자 하였다. 기존의 신호등에 녹색 신호를 동일하게 추가하여 운전자에게 신호등을 인지하는 것을 좋게 하였으며, 녹색등의 점멸이 되기 2초, 3초전에 추가로 설치한 녹색등이 1 Hz 주기로 미리 점멸됨으로써 기존 녹색등의 점멸을 미리 예상할 수 있도록 하였다(Mahalel과 Zaidel, 1985).

또한, 운전시 운전자가 다양한 신호등을 감지하나 신호의 내용을 판단하기 위해서는 선택적 주의(Selected attention)를 사용하므로 본 연구에서는 1개의 신호등에 대한 반응을 조사하였다. 이것은 신호등에 대한 연구방법 중에서 정지시거 향상을 위한 연구라고도 할 수 있다.

연구기설로는 첫째, '기존의 신호등의 평균인지시간과 개선된 신호등의 평균인지시간의 차이가 없다'를 귀무

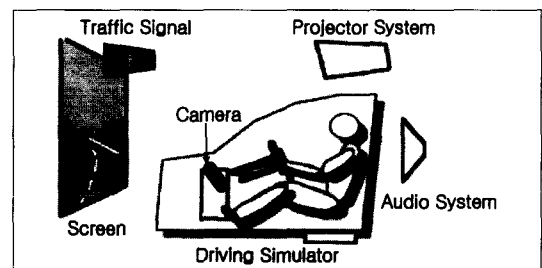
가설로 설정하였다. 둘째로 '기존의 신호등의 녹색신호가 켜져 있을 때와 개선된 신호등의 보조 주행신호가 점멸하고 있을 때, 운전자의 의사결정 여부는 차이가 없다'로 설정하였다. 셋째로 '기존의 신호등과 개선된 신호등의 선호도는 차이가 없다'로 설정하였다.

2. 실험대상

피실험자는 신체 건강한 20명의 성인을 대상으로 하였으며, 나이는 평균 28.86(±2.11)세, 운전경력은 평균 4.82(±3.26)년이었으며, 성별은 구분하지 않았다. 또한, 반드시 운전면허를 소지하고 있으며, 최소 1년 이상의 운전경력이 있는 사람을 대상으로 하였다. 실험 당일에는 흡연, 카페인이나 알코올을 복용하지 않도록 하였다.

3. 실험장비

실험을 위한 장비로는 H사의 실차를 개조하여 제작한 자동차 모의실험장치(〈그림 1〉)와 신호등 실험



〈그림 1〉 실험에서 사용한 자동차 모의실험장치 개념도

	기존 신호등	개량된 신호등
3색 신호등	<p>(기존 A형)</p>	<p>(개량 A형)</p>
4색 신호등	<p>(기존 B형)</p>	<p>(개량 B형)</p>

〈그림 2〉 기존 신호등과 본 연구에서 제안된 신호등의 개념도

을 위해 제작된 기존 3색(기존 A형), 4색(기존 B형) 신호등과 본 연구에서 제안한 보조녹색신호를 추가한 3색(개량 A형), 4색(개량 B형) 신호등이 사용되었다. 제안된 3색과 4색 신호등은 기존의 3색과 4색 신호등의 아래쪽에 보조 녹색 신호를 추가하여 2초, 3초의 시간동안 1 Hz의 주기로 점멸되는 신호등을 제작하였다(〈그림 2〉).

4. 실험설계 및 과정

피실험자 20명을 대상으로 자동차 모의실험장치를 이용하여 기존의 지방도로 신호등을 제시하고 신호에 따른 운전자의 반응시간을 조사해 보았다. 기존의 3색 신호등을 제시했을 때와 보조 녹색신호를 추가로 제시하였을 때, 기존의 4색 신호등을 제시하였을 때와 보조 녹색신호를 추가로 제시하였을 때의 운전자의 반응을 네 가지로 분류하고, 각 상황에 대하여 실험을 실시하였다. 보조 녹색신호가 점멸되는 조건은 2초, 3초로 제시하였으며, 차량의 주행속도는 왕복 2차선 지방도로의 주행 제한 속도인 60km/h에 대하여 실험을 실시하였다.

본 연구에서 측정된 신호등에 따른 운전자의 행동 반응 측정 변수로는 신호등의 인지에 따른 반응 시간과 기존 신호등의 황색신호를 인지했을 때와 개선된 신호등의 보조 녹색신호를 인지했을 때의 반응시간으로 하였다. 신호등과 운전자의 행동반응을 동기화하기 위하여 차량의 아래쪽에 카메라를 부착한 후, 운전자의 발과 신호등이 동시에 촬영되도록 하였다. 각 실험에 대하여 Within-Subject 실험설계를 하였고, 각 실험 세트(set)에 대하여 피실험자가 2회의 반복 실험을 실시하였다. 추가적으로 운전자의 주관적인 의사결정 반응과 신호등에 대한 선호도를 조사하기 위하여 실험이 종료된 후에 운전상황에 대한 설문조사를 실시하였다.

5. 분석방법

실험자료의 분석은 운전자의 신호등 인지에 따른 행동반응 시간을 측정하여, 신호등의 종류에 따라 paired t-test를 실시하였다. 또한, 주관적인 의사결정 반응과 신호등의 대한 선호도 반응도 paired T-test를 이용하여 비교하여 보았다. 본 연구에서는 실험자

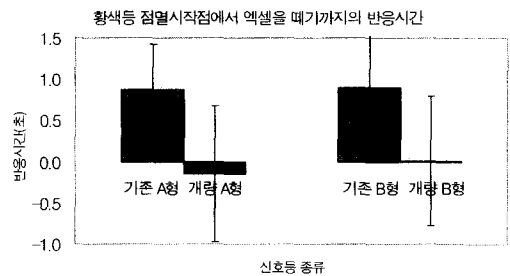
료 분석을 위하여 SPSS Version 10을 사용하여 기술통계 분석을 실시하였다.

6. 실험결과

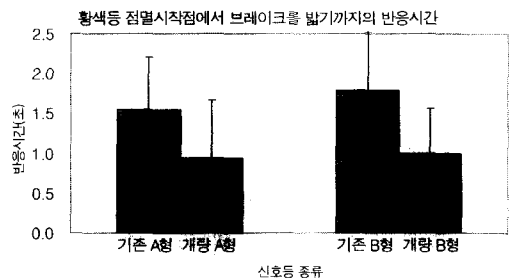
1) 운전자 행동반응

본 연구에서 적색등이 들어온 이후에 브레이크 패달을 밟는 경우 중에서, 0.5초 이후는 fault, 1초 이후는 fail로 분류하여 측정자료를 조사하여 보았다. 그 결과, 기존 A형 신호등에서는 20명중 총 4명이 fault의 값을 나타내었으며, 1명이 fail을 하였고, 개량 A형 신호등에서는 1명이 fault의 값을 나타내었다. 기존 B형에서는 6명이 fault의 값을 나타내었으며, 개량 B형에서는 1명이 fault의 값을 나타내었다.

운전자 행동반응에 대한 결과를 살펴보면, 〈그림 3〉에서 운전자가 황색 신호를 인지했을 때, 가속페달에서 발을 떼는 시간을 측정한 값으로, 개량 A형과 개량 B형 신호등이 기존 A형과 기존 B형 신호등보다 상대적으로 가속페달에서 발을 먼저 떼는 것을 알 수 있었다. 또한, 〈그림 4〉는 운전자가 황색 신호를 인



〈그림 3〉 황색신호가 점멸을 시작한 후 가속페달에서 발을 떼기까지의 반응시간 비교



〈그림 4〉 황색신호가 점멸을 시작한 후 브레이크 패달을 밟기까지의 반응시간

〈표 1〉 신호등의 종류에 따른 운전자의 반응시간 비교

기존 신호등		개량형 신호등	
신호등 종류	반응시간(초)	신호등 종류	반응시간(초)
기존 A형	1.55(±0.65)	개량 A형	0.94(±0.73)
기존 B형	1.79(±0.41)	개량 B형	1.00(±0.57)

〈표 2〉 신호등의 종류에 따른 반응시간 비교(Paired t-test : $\alpha=0.01$)

기존 신호등 vs. 개량형 신호등	반응시간	t	Significance of Difference
기존 A형 vs. 개량 A형	황색등 점멸 시작점에서 엑셀을 떼기까지의 반응시간	6.449	0.001
기존 A형 vs. 개량 B형	황색등 점멸 시작점에서 브레이크를 밟기까지의 반응시간	3.472	0.004
기존 B형 vs. 개량 B형	황색등 점멸 시작점에서 엑셀을 떼기까지의 반응시간	4.527	0.001
기존 B형 vs. 개량 A형	황색등 점멸 시작점에서 브레이크를 밟기까지의 반응시간	4.796	0.001

〈표 3〉 신호등의 종류에 따른 운전자의 주관적 의사결정반응과 선호도 비교

설문 항목	기존 신호등		개량형 신호등	
	신호등 종류	측정결과(점)	신호등 종류	측정결과(점)
주관적 선호도	기존 A형	4.64(±1.08)	개량 A형	4.71(±1.33)
	기존 B형	5.00(±1.11)	개량 B형	4.50(±1.40)
녹색신호 인지용이도	기존 A형	5.29(±1.20)	개량 A형	4.79(±1.48)
	기존 B형	5.07(±1.21)	개량 B형	4.79(±1.53)
적색신호 인지후 의사결정 용이성	기존 A형	4.36(±1.01)	개량 A형	5.00(±1.24)
	기존 B형	4.86(±1.17)	개량 B형	5.07(±1.07)

지한 후, 브레이크 페달을 밟는 시간을 측정한 값이다. 가속페달과 마찬가지로 개량 A형과 개량 B형 신호등이 기존 A형과 기존 B형 신호등 보다 운전자가 상대적으로 브레이크 페달을 먼저 밟는 것으로 나타났다(〈표 1〉).

추가적으로 본 연구에서는 보조 녹색신호의 점멸주기에 따른 차이를 비교해 보았다. 점멸주기를 각각 2초와 3초를 제시하였을 때, 운전자의 행동반응은 가속페달과 브레이크 페달에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다($\alpha=0.05$).

신호등의 차이를 비교하기 위하여 기존 A형과 개량 A형, 그리고 기존 B형과 개량 B형 신호등에 대하여 각각 paired t-test를 실시하여 보았다. Paired t-test를 실시하기 전에 20명의 피실험자를 대상으로 2회 반복실험 한 결과에 대하여 정규성 검정을 위하여 Chi-square test를 실시하여 정규분포에 근사한 분포를 나타내는 것을 확인할 수 있었다($\alpha=0.05$). Paired t-test를 실시한 결과 각 신호등에 대하여 운전자의 반응시간을 비교하였을 때, 유의수준($\alpha=0.01$)에서 모두 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다(〈표 2〉).

2) 운전자 주관적 설문

운전자의 주관적인 의사결정 반응과 선호도를 조사하기 위하여, 문항당 7점 척도로 구성된 Likert 평가 척도의 설문지를 이용하여 실험이 종료된 후 운전자에게 설문조사를 실시하였다. 설문내용은 기존 신호등과 개량된 신호등에 대한 운전자의 주관적 선호도에 대한 평가와 녹색신호등을 인지했을 때의 인지용이도, 그리고 적색신호등을 인지했을 때 의사결정의 용이성을 조사하였다. 신호등에 대한 선호도평가 결과는 기존 신호등과 제안된 신호등에 대한 선호도와 신호등의 인지에 따른 의사결정 반응은 〈표 3〉과 같다. 각 신호등에 따른 차이를 비교하기 위하여 paired t-test를 실시한 결과 모든 신호등에 대하여 유의한 차이를 나타내지 않는 것을 알 수 있었다. 또한, 선호도의 경우에는 개량 A형과 개량 B형 신호등의 선호도 결과가 더 낮은 것을 알 수 있었다.

IV. 토의

본 연구의 결과를 살펴보면, 기존의 신호등에 추가

로 보조 녹색신호를 제시하였을 때, 운전자가 주관적으로 인식하지는 못하지만 상대적으로 신호등 인지후 브레이크 페달에 반응하는 시간이 빨라지는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 결과는 우리나라와 같이 교통량이 많고, 사고가 빈번하게 발생하는 상황에서는 주목할 만한 결과로 여겨질 수 있다.

본 연구의 결과는 Kell의 2인(2003)과 Richard의 2인(2002)의 연구결과와 마찬가지로 운전자가 신호를 더 빨리 인지할 경우 제동시작 시간이 앞당겨지는 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 하지만, Richard의 2인(2002)의 연구결과에서 기존 신호등의 점멸주기를 변화시킬 때, 운전자가 비상등이나 야간점멸등으로 오해할 수 있는 가능성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구는 기존 신호등의 점멸 주기를 변화시키지 않고, 보조 녹색신호를 추가로 제시하였다는 점에서 기존의 연구들과는 다른 의미를 가진다고 할 수 있다. 다시 말해서, 운전자들에게 혼동을 주지 않고, 예비신호를 줌으로써 정차시간을 더 앞당겨 줄 수 있는 가능성을 제시하고 있다.

운전자의 주관적 선호도의 경우는 기존 신호등과 보조 녹색신호를 제시하였을 때의 신호등이 별다른 차이를 보이지 않았다. 이는 운전자들이 기존의 신호에 익숙해져 있음으로 새로운 형태의 신호등에 대한 거부감이나 생소함을 느끼는 것으로 볼 수 있다. 따라서, 보조 녹색신호가 제시된 신호등에 얼마나 쉽게 운전자가 적응할 수 있는가에 대한 연구가 필요하다.

또한, 국내 신호등 설치 기준에 의하면 횡방향신호등을 사용하도록 되어 있다. 하지만, 본 연구에서는 실제적인 개선안이 되기 위해서 횡방향신호등을 개선하는 방향으로 연구가 진행되었고, 이러한 보조신호등이 종방향 신호등의 경우에는 다른 형태로 장착되어 질 수 있으나, 종방향 신호등에 대한 평가는 본 연구의 범위에서 벗어난다고 판단되기 때문에 고려하지 않았다. 종방향 신호등의 경우 보조등과 혼동되지 않도록 하기 위한 것은 후후 연구로 실시되어야 한다고 사료된다.

본 연구는 실험실 상황에서 자동차 모의실험장치를 이용하여 신호체계의 변화에 따른 운전자의 행동반응을 비교해 보았다. 본 연구결과의 현장성을 증대시키기 위하여 도로주행 상황에서 교통량변화, 사용 횟수에 따른 변화 등을 고려하는 것이 필요하다.

V. 결론

본 연구는 기존의 신호등의 시각적 인지도를 향상시켜 운전자의 인지실수를 예방하고 안전운전을 도모하기 위해 보조녹색신호가 추가된 신호등에 대한 연구를 수행하였다. 연구결과 기존 신호등에 보조녹색신호를 추가할 경우 운전자가 인식하지는 못하지만 신호등을 인지하고 브레이크를 밟는 시간이 현저하게 짧아지는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 연구의 결과는 개선된 신호등이 현장 적용시 운전자가 스스로 인식하지 못하는 상태에서 제동시점을 다소 앞당겨준다는 점에서 안전운전에 기여할 수 있는 가능성을 보여주었다. 또한, 실제 운전자의 행동반응을 비교함과 동시에 주관적인 설문문을 통해 연구결과의 실제 적용가능성을 제시하였는데 그 의미가 있다고 할 수 있다.

참고문헌

1. 김용주·한종성·김 훈(1999), "신호등에서의 팬텀 현상과 인지반응시간의 관련성", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol.13, No.2, pp.12~16.
2. 도로교통안전관리공단(2003), "교통안전시설: 신호기", <http://www.rtsa.or.kr/>, 도로교통안전관리공단.
3. 통계청(2002), "교통사고 발생현황", www.nso.go.kr/statcms/main.jsp, 통계청.
4. Chang M., Messer C. J. and Santiago A. J. (1985), "Timing Traffic Signal Change Intervals Based on Driver Behavior", Transportation Research Record, Vol.1027, pp.20~30.
5. Chiu L., Robert H. and Denos C. G. (1996), "A Review of the Yellow Interval Dilemma", Transportation Research, Vol.30, No.5, pp.333~348.
6. Craig N., Renatus N. M., Edward K. S., Elizabeth K. B. and Judson M.(1997), "Evaluation of an Alternative Traffic Light Change Anticipation System", Accident Analysis and Prevention, Vol.29, No.2, pp.201~209.

7. Koll H. Bader M. and Axhausen K. W. (2003), "Driver Behaviour during Flashing Green before Amber: a Comparative Study", Accident Analysis and Prevention, Vol.947, pp.1~8.
8. Mahalel D., Zaidel D. and Klein T.(1985), "Driver's Decision Process on Termination of the Green Light", Accident Analysis and Prevention, Vol.17, No.5. pp.373~380.
9. Richard A. R, Janella F. C, and Allan F. W. (2002), "Change in Crash Risk Following Re-timing of Traffic Signal Change Intervals", Accident Analysis and Prevention, Vol.34, pp.215~220.
10. Worthman R. H. and Matthias J. S.(1983), "Evaluation of Driver Behavior at Signalized Intersections", Transportation Research Record, Vol.904, pp.10~20.

✉ 주 작 성 자 : 김영준

✉ 논문투고일 : 2003. 11. 6

논문심사일 : 2003. 12. 1 (1차)

2003. 12. 15 (2차)

2003. 12. 17 (3차)

심사판정일 : 2003. 12. 17

✉ 반론접수기한 : 2004. 4. 30