

■ 論 文 ■

교통상충기법을 이용한 고속도로 하이패스차로 안전성 개선에 관한 연구

(서울외곽순환고속도로 본선영업소를 중심으로)

Safety Improvement of Installation of "Hi-pass" System at Expressway Toll Gate

유 봉 석

((주)건화 교통계획부 과장)

박 완 용

((주)건화 교통계획부 부사장)

이 수 범

(서울시립대학교 교수)

박 준 태

(서울시립대학교 박사과정)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 범위 및 방법
- II. 기존 이론고찰 및 관련연구
 - 1. 이론고찰
 - 2. 관련연구 고찰
- III. 분석방법론 정립
 - 1. 현장조사 지점 및 방법
 - 2. 분석방법론 정립
- IV. 데이터분석
 - 1. 현장조사 수행 및 결과
 - 2. 분석결과
- V. 개선대안 제시
- VI. 결론
- 참고문헌

Key Words : 하이패스, 영업소 진출부, 상대속도, TA분석, 안전성 개선

Hi-pass, Expressway Entrance/Exit at Toll Gate, Relative Vehicle Speed, TA Analysis, Safety Improvement

요 약

본 연구는 고속도로 영업소 진출부의 차량속도와 상충발생을 조사하여 상대속도 및 상충으로 인한 차량 감속시간 등을 분석한 결과 상대속도가 클수록 상충으로 인한 차량 급감속이 발생한다는 문제점을 파악하였으며 특히 운영형태가 상이한 지점들을 비교 분석하여 차로 운영형태에 따라 상충 및 상대속도가 다름을 확인할 수 있었다. 이러한 관찰을 통하여 하이패스 차량과 일반차량간 상대속도에 의한 사고 위험성을 정량적으로 비교 분석하였다. 그 결과 하이패스 차량과 일반차량간 합류가 하이패스차량간 합류보다 사고위험이 더 높은 것으로 분석되었다. 이는 차량간 상대속도차가 클수록 상충시 급감속 및 감속시간이 큼에 따라 사고위험이 높은 것으로 분석되었다. 또한 합류 시점부가 영업소 진출 후 가까울수록 상대속도가 큼에 따라 상충시 TA분석값이 낮은 것으로 분석되었다.

영업소 진출부에서 발생하는 상대속도차에 의한 상충을 분석하였으며 이를 통해 급감속 및 사고발생을 줄일 수 있는 대안을 제시 영업소 내 하이패스 차로 설치시 안전성을 높여줄 수 있을 것으로 기대된다.

This study analyzed the relative vehicle speed and vehicle deceleration time caused by traffic conflicts using vehicle speed data at expressway toll gates and traffic conflict occurrence data.

According to the analysis, the greater the relative vehicle speed is at the toll gate, the more sudden vehicle deceleration occurs due to traffic conflicts. In particular, a comparison study of cases in similar operating conditions presents a finding that usage of lanes influences traffic conflict occurrences as well as relative vehicle speed. With this finding, the study further conducted a quantitative analysis of the accident rates in relation to the relative vehicle speed between vehicles using a "Hi-Pass" lane and a regular lane at the toll gate. It indicates that when the relative vehicle speed is greater, the accident rate is higher due to sudden vehicle deceleration and shorter deceleration time.

Furthermore, when the expressway entrance/exit point is closely located to a toll gate and the relative vehicle speed is great, a analysis at a traffic conflict shows a low value.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

1980년대 이후 국민경제의 활성화로 승용차의 보유 및 이용 증가, 화물 수요의 증대 등으로 고속도로의 교통 수요가 크게 증가한데 비하여 고속도로의 기반시설 및 서비스가 수요에 미치지 못하여 교통체증이 가중되는 현상으로 연간 약 3조원 이상의 지역간 교통혼잡비용을 유발하고 있다. 또한 고속도로 이용률이 매년 17%이상 지속적으로 증가되고 있어 이러한 현상이 계속됨으로써 개인의 이용불편, 사회 경제적 손실은 물론 국가 경쟁력에 악영향을 초래할 수밖에 없는 실정이다.

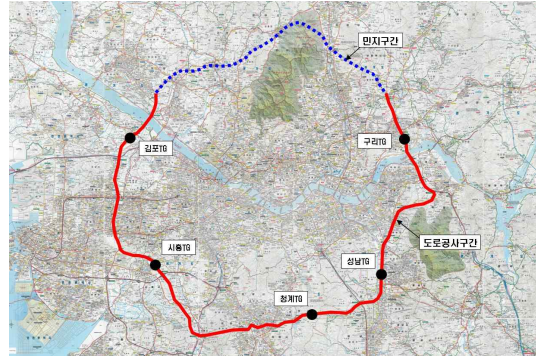
이러한 톨프라자에서 발생하는 교통문제를 해결하고 교통효율성을 높이기 위해 요금징수에 요구되는 시간을 최소화하여야 하며, 이를 위해 기존 통행료 징수시스템(Toll Collection System : TCS)에 마그네틱 형태의 고속도로 카드와 출·퇴근 에매권 등 다양한 요금징수 방법을 도입해 왔다. 특히 2000년 6월 30일부터 서울 외곽순환고속도로의 청계, 판교, 성남 톨게이트에서 하이패스라는 전자요금징수시스템(Electronic Toll Collection System :ETCS)의 시범사업을 진행하였으며, 최근(2007년 12월) 전국 144개소 영업소에서 운영 중에 있다.

그러나 이러한 시스템들이 단기간에 보급 및 확대됨에 따라 운영 및 안전상에 문제점들이 발생하고 있다. 하이패스 차량이 설치된 톨프라자의 설계 및 운영은 고속도로의 교통류와 운전자의 심리에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 도로의 기하구조, 차량도착패턴 및 속도, 운전자 행태 등 다양한 분석을 통하여 운전자 안전에 대한 노력이 필요하며, 아울러 하이패스 요금징수시스템에 대한 톨프라자 설계 및 운영 방법에 대한 적극적인 검토가 필요하다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 현재 고속도로에 설치되어 있는 하이패스 톨프라자에 대한 상대속도 및 교통상충을 근거로 하이패스 차량이 설치된 톨프라자 광장 진출부에 대한 적정 기준 및 운영 모형을 제시하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 서울외곽순환고속도로(민자고속도로 구간 제외) 본선상의 구리, 성남, 청계, 시흥, 구



<그림 1> 연구대상 지역 및 범위

리영업소로 총 5개소이다. 또한 본 연구는 하이패스차로 이용차량과 일반 버스 이용차량의 속도 및 운행행태를 관찰 이를 토대로 영업소 내에서 발생하는 차량간 속도 및 상충을 바탕으로 상대속도 및 교통상충을 통하여 하이패스차로가 설치된 영업소에 대한 안전성을 개선할 수 있는 개선대안과 적정 기준을 정립하는 연구를 수행하였다.

II. 기존 이론고찰 및 관련연구

1. 이론고찰

1) 톨게이트 및 속도이론

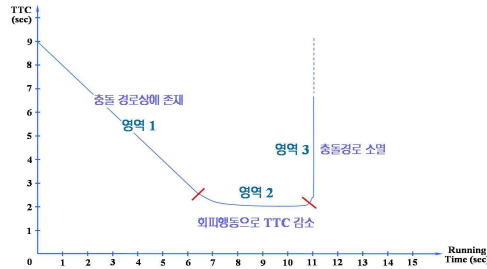
(1) 자동요금징수 시스템

(ETCS : Electronic Toll Collection System)

ETCS는 유료도로의 통행료를 자동으로 징수하는 것으로서 톨게이트에서 통행료 징수에 따른 교통혼잡을 완화시키며, 수동징수로 인하여 나타나는 인력을 절감할 수 있는 효과를 볼 수 있다. ETCS는 크게 터치패스와 하이패스로 구분된다. 터치패스는 지하철이나 버스에서 쓰이고 있는 것과 같이 가치가 저장되어 있는 전자카드를 요금소 단말기를 통하여 통행료를 징수하는 방식이고, 하이패스는 전자카드를 차량 내부의 앞 유리 중앙 하단에 부착된 차량탑재기(OBU : On Board Unit)에 삽입하여 요금소를 무정차 통과하면서 요금소 안테나 간 무선통신(또는 적외선)을 통해 통행료를 징수하는 방식이다. 위반 차량에 대해서는 자동으로 촬영하여 통행료 및 과태료를 부과할 수 있다. ETCS는 유럽, 아시아 및 미주의 일부 국가에서도 사용 중에 있으나 현재 한국도로공사에서 쓰이는 기술은 해외기술수준보다 앞서는 국내에서 자체 개발한 최첨단 자동요금징수 시스템이다.



<그림 2> 한국도로공사 하이패스 예시도



<그림 3> TTC와 Running time의 관계

(2) 시간평균속도

어느 시간 동안 도로상의 어느 점(또는 짧은 구간)을 통과하는 모든 차량들의 속도를 산술평균한 속도.

(3) 공간평균속도

어느 시간 동안 도로구간을 통과한 모든 차량들이 주행한 거리를 걸린 시간으로 나눈 속도.

(4) 설계속도

설계구간 내에서 도로조건, 기후 등이 양호한 상태에서 승용차가 안전하게 달리수 있는 최고속도이다. 설계속도는 선형설계를 하는 데 있어서 기본이 되는 속도이며, 이 속도에 따라 구체적인 선형요소 즉 곡선반경, 곡선의 길이, 곡선부의 확폭, 시거, 종단곡선, 오르막차로 등이 결정된다.

(5) 주행속도

주행속도는 차량이 주행하는 85백분위속도로서 통계학적 의미는 일정 구간의 속도측정에서 느린 속도에서 빠른 속도를 정렬하였을 때 상위 15%를 제외한 나머지 85%의 평균속도를 말한다.

본 연구에서는 주행속도(85%속도)를 산정하여 분석 및 연구하였다.

2) 상충이론

(1) 상충의 정의

상충(Conflict)이란 2개 이상의 교통류가 동일한 도로 공간을 사용하려 할 때 발생하는 교통류의 교차, 합류 및 분류되는 현상을 말한다.¹⁾ 교통상충은 어떤 운전자가 다른 차량과의 충돌을 피하기 위해 제동이나 엇갈림에 의한 회피행동을 할 때 발생하는 현상으로 보며 1977년 Norway의 Oslo에서 열린 국제학술대회에서 “둘 또는 그

이상의 도로 이용자들이 현 상태를 유지할 때 충돌의 위험을 갖는 공간과 시간의 범위로 서로 접근하는 모습이 관찰 가능한 상황”으로 제시되었다.

(2) 상충유형 및 Severity of Conflict

가. 상충유형

교차로에서 발생하는 상충은 교차지점의 상충 합류 및 분류 지점의 상충으로 구분할 수 있으면 상황에 따라 후미상충, 측면상충, 직각상충 등의 형태로 분류할 수도 있다.

교차로에 유입하는 도로의 수가 많아지면 교차로 내에서 교차, 합류 및 분류하는 교통류가 수가 기하급수적으로 많아져 교차로에서의 교통처리가 매우 복잡하게 될 뿐만 아니라 사고위험 등이 급격하게 증대된다.

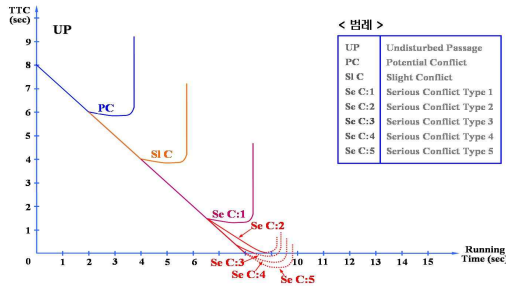
나. Severity of Conflict

<그림 3>은 상충의 심각도를 구분하기 위해 Time to Collision의 개념으로 표현한 그래프이다. 여기서 TTC (Time to Collision)는 3개의 영역으로 구분된다.

- 영역 1
두 도로 이용자는 충돌 경로상에 있으며 속도와 방향을 바꾸지 않으면 충돌함.
- 영역 2
둘 중 한명의 운전자가 브레이크를 조작하여 회피행동을 취하는 영역으로 이때 TTC 값은 급격히 감소.
- 영역 3
둘 중 한명이 정지함으로써 충돌경로는 사라지고 끝나는 지점부터 수직선의 형태가 됨.

<그림 4>는 도로 이용자 사이에 발생하는 Event를 TTC-graph를 이용하여 설명한 것이다. Elementary Event는 두 차량이 현재 운행상태를 지속할 때 사고로 이

1) 건설교통부(2000)“도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 '해설 및 지침'”제6장 평면교차



<그림 4> Elementary Event와 TTC

여기는 시간을 기반으로 사고의 심각도를 단계적으로 구분한 것이다.

- Undisturbed Passage
도로 이용자들이 서로 어떤 영향도 주고 있지 않는 상태이며 TTC 값은 매우 높다.
- Potential Conflict
도로 이용자들이 서로 계속 접근하여 상충발생 가능성이 존재하는 상태이며 최소한 한 명의 이용자가 속도 또는 방향을 바꾸면 상충 가능성이 사라진다.
- Slight Conflict
접근하는 운전자들이 회피행동을 취하지 않으면 Serious Conflict가 발생할 가능성이 내재되어 있는 상태이며 적어도 한 명의 운전자가 회피행동을 취한다면 심각한 상충의 가능성은 소멸된다.
- Serious Conflict Type 1
TTC가 작지만 회피할 수 있는 여유시간이 남아 있으며 적어도 한명의 운전자의 브레이크 조작을 통해 충돌 가능성이 사라질 수 있는 상태이다.
- Serious Conflict Type 2
운전자가 회피행동을 취해도 충돌을 피하기에는 너무 늦어버린 상태이며 두 도로 이용자 사이에 Slight Touch가 발생한다. 이때 TTC는 0에 도달한다.
- Serious Conflict Type 3
도로 이용자의 둘 중 한 사람의 초기속도와 거의 같은 속도로 다른 이용자를 충돌해 버린 상태이다.
- Serious Conflict Type 4
충돌이 발생할 때 회피행동을 취하기에는 너무 늦었다는 사실을 적어도 한 명이 인지하는 상태이며 둘 중 하나의 초기속도로 충돌한다.

- Serious Conflict Type 5
두 도로 이용자는 서로의 초기속도로 충돌했으며 충돌이 발생할 때까지 어떠한 회피행동도 할 수 없는 상태이다.

다. 심각한 상충의 정의

Conflict Severity는 Time to Accident(TA-Value²)로 정의할 수 있으며 TA값은 사고를 피하기 위해서 어떤 행동을 취한 시점에서부터 도로이용자가 방향과 속도를 변경하지 않는다면 사고가 일어날 수 있다고 추정되는 지점 즉, 잠재된 사고 발생지점까지 남아 있는 시간을 말한다. 다음 식은 TA를 구하는 일반적인 방법이다.

$$TA = \frac{s \times 1,000}{v \times 3,600}$$

여기서,

s : 사고를 피하기 위해 행동을 취하는 지점에서 상충 지점까지의 거리(m)

v : 사고를 피하기 위해 행동을 취하는 지점에서의 속도 (km/h)

도로 이용자들로부터 측정된 TA값을 서로 비교하여 더 작은 값이 더 위험하게 된다. 그 이유는 상충지점까지 도달하는 시간이 더 짧기 때문에 회피행동을 취할 수 있는 여유시간과 연관되어 있기 때문이다.

2. 관련연구 고찰

1) 속도와 교통사고 상호 관련성 연구

(1) Garber와 Gadiraju의 연구

이 연구에서는 지방부 2차로 도로와 고속도로, 도시부 고속도로 등 여러 종류의 도로의 지표표를 종합하여 속도편차와 교통사고와의 관계를 제시하였다.

교통사고는 속도 편차가 증가함에 따라 증가되고 제한속도가 설계 속도보다 5~10mph 정도 낮을 경우에 속도 편차가 가장 적게 나타났으며, 이 범위 밖에서는 제한속도와 설계속도 차이가 커질수록 편차가 커지고 있음을 보고하였다.

(2) Nillson(1948)의 연구

이 연구에서는 세계 각국의 광범위한 자료를 수집하여

2) 김현국(2006), 교통상충기법을 이용한 다인승차로 안전성 개선에 관한 연구

분석한 결과로서 평균속도의 변화 시 예측되는 사고발생 및 인명 피해를 평균 속도 함수로 나타내었는데, 경상사고의 발생 확률 및 피해정도는 사고 전·후의 평균속도 변화비의 제곱에 비례하고, 중상은 3제곱에, 치명사고는 4제곱에 비례한다는 결과를 제시한 바 있다.

(3) Solomon의 연구

이 연구에서는 속도와 사고율의 관계를 광범위하게 조사하여 차량속도와 사고율의 관계를 U형태로 나타남을 보였는데, 차량의 속도가 평균 주행속도와 가까울 때 사고율이 가장 적고, 평균속도 보다 크거나 낮아져도 사고율이 증가함을 보였으며, 주행속도 증가에 따라 반드시 교통사고의 발생률이 증가하지 않음을 입증하였다. 또한 교통사고 기록을 통해 각 사고 차량들의 속도와 사고 시 유사한 상태에서 측정된 평균속도를 비교해 본 결과, 전반적으로 사고와 관련된 차량들이 유사한 상태에서 측정된 속도분포범위보다 높거나 낮았다고 평가하였다.

(4) Lave의 연구

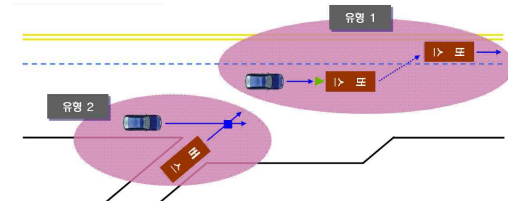
이 연구에서는 사망 확률이 속도 자체와는 통계적 유의성이 없었으나, 속도편차와 깊은 관계가 있었다고 연구결과를 발표하였다. 따라서 사망률을 감소시키기 위해서는 속도의 편차를 최대한 감소시킬 수 있는 제한속도를 설정해야 한다고 결론지었다.

또한, “평균 속도가 증가함에 따라 반드시 사고가 증가하지 않지만, 속도분산의 증가에 따라서 사고율은 증가한다.”는 연구 결과를 발표하여 속도 자체가 사고를 증감시키는 요인이라기보다는 각 개별 차량들이 나타내는 속도 편차의 크기가 사고 발생율과 밀접한 관계가 있음을 재확인하였다.

2) TCT(Traffic Conflict Technique) 연구

(1) 신호교차로 교통상충 측정방법의 개발과 평가

도철웅 등은 신호교차로의 안전도를 측정하기 위해 교통사고 자료를 이용하는 기존의 방식은 사고자료를 수집하는데 많은 기간이 소요되고 자료의 정확도 측면에서 문제점이 있다는 단점이 있었던 것을 보완하는 방법으로 “교통상충 기법”을 이용하였다. 교통공학의 이론을 배경으로 하여 객관적이고 비교적 정확한 교통상충의 기준을 정립하기 위해 사고자료와 교통상충 가능성이 있는 자료를 순위상관분석 기법을 도입하여 분석하였고 이를 이용하여 여러 교차로의 위험도를 구하는 방법을 제안하였다.



<그림 5> 고속도로 합류부의 상충 발생 유형

(2) 상충기법을 이용한 교차로 안전진단에 관한 연구

이수범 등은 스웨덴의 상충분석기법을 기반으로 하여 국내에 적용할 수 있는 모형을 개발하고 상충의 심각한 정도에 따라 4개 준으로 분류하여 위험순위를 평가할 수 있는 방법을 제시하였으며 국내의 3개 교차로를 대상으로 모형을 적용하였다.

(3) 퍼지추론을 적용한 교통상충기법(TCT) 개발

김원철 등은 조사원에 의해 수집된 상충자료가 조사원의 개인적 특성과 지식 정도에 따라 다르게 나타나는 오류를 최소화하기 위해 퍼지추론 이론을 기존의 교통상충 모형에 적용하여 새로운 교통상충 모형을 개발하였다.

(4) 교통상충기법을 이용한 다인승차로 안전성 개선에 관한 연구

김현국 등은 고속도로를 대상으로 합류연결로구간의 상충유형 및 상충발생 위험도에 관한 연구를 수행하였으며 다인승차로의 안전성 증진방안에 대해 검토하였음 차량의 차로변경을 연속변경과 불연속변경으로 구분하여 상충발생 가능성을 제시하였음.

III. 분석방법론 정립

1. 현장조사 지점 및 방법

1) 조사지점 선정

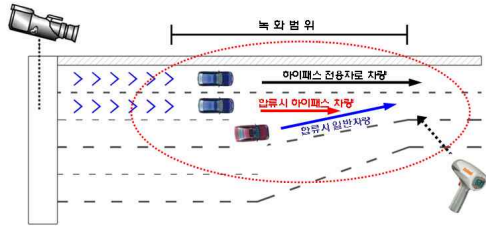
본 연구의 분석 대상지점은 하이패스차로를 운영 중인 서울외곽순환고속도로(민자구간 제외)내 본선영업소(구리, 성남, 청계, 시흥, 김포)를 조사지점으로 선정하였으며, 2008년 8월 7일부터 하이패스 차로에 대한 안전바(제한속도 30km/h)를 설치 운영 중에 있다.

2) 현장조사 방법

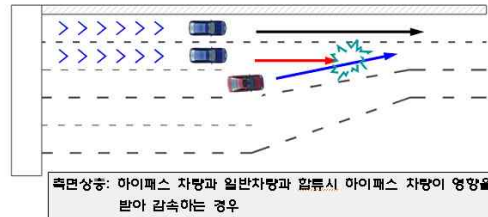
심각한 상충이 발생할 가능성이 높아지게 되면 도로 운

<표 1> 조사지점 영업소 운영현황

구분	영업소	영업소 톨부스						AADT (대/일)
		상행			하행			
		하이패스	일반	계	하이패스	일반	계	
1	구리	4	13	17	3	13	16	171,916
2	성남	3	12	15	3	9	12	134,676
3	청계	3	12	15	3	10	13	185,080
4	시흥	3	9	12	3	9	12	151,160
5	김포	3	11	14	3	8	11	160,506



<그림 6> 현장조사 방법



<그림 7> 상충유형 정립

전자들은 브레이크를 이용하여 속도를 줄이거나 핸들을 조작하여 위험에서 벗어나려는 회피행동을 취할 것으로 가정하여 캠코더를 영업소 캐노피에 배치하여 운전자의 운전행태를 녹화하였으며, 스피드건을 이용하여 주행 차량별 속도를 측정하였다.

다음은 상충이 발생하는 조건을 설정한 것이다.

첫째, 영업소 진출 후 하이패스 이용차량 및 일반차량의 본선 진입시 속도 측정

둘째, 영업소 진출후 안전시설물 이후 하이패스 차량과 일반차량간 합류시 상충 발생 가능성 및 상충 횟수 측정

셋째, 하이패스 및 일반차량간 상충 발생시 브레이크 사용시간 및 횟수 측정

넷째, 구리영업소 하행 진출부의 경우 본선1차로에서 하이패스 차량간 합류시 상충 발생 가능성 및 횟수 측정

2. 분석방법론 정립

1) 상대속도 정립

기존 국내 및 국외연구에서는 ETCS(하이패스)차로 설치로 인한 하이패스 이용차량과 일반차로 차량의 상대 속도차에 대한 연구가 없었다. 특히 영업소 광장 내에서 하이패스 차로는 연속류인 반면 일반부스 차로는 단속류 특성이 강하다.

따라서 본 연구에서는 하이패스차로 설치로 인한 영업소 진출부에서 하이패스 이용차량과 일반부스 이용차량간

속도분포 및 두 차량간 상대속도, 상충분석을 통한 영업소 진출부 안전성에 관한 연구를 수행하였다.

서울의곽순환고속도로 본선 영업소 내 하이패스 설치 위치는 각 영업소마다 상이하나 본 연구에서는 하이패스 전용차로 및 하이패스 차로와 일반차로 합류시 등 두 가지 유형으로 구분하였다.

특히 구리영업소 하행 진출부의 경우는 본선 1차로에서 하이패스 차량간 합류시 속도를 측정하여 향후 하이패스 및 일반차량간 합류시의 상대속도차를 비교할 수 있는 자료로 활용하였다.

2) 상충유형 및 심각한 상충 정립

기존 국내연구에서 교통상충기법은 단속류의 교차로에 주로 적용하였지만 본 연구의 대상지인 고속도로 영업소 내 하이패스 차로와 일반차로간의 상충에 대한 연구가 없었다. 따라서 본 연구에서는 영업소 광장 내 연속류와 단속류간 상대속도에 따른 상충유형 및 TA분석을 정립하였다.

서울의곽순환고속도로 본선영업소 내 설치된 하이패스 차로와 일반차로간 상충은 하이패스 차로측으로 중앙분리대가 설치되어 있기 때문에 대향 및 직각 방향의 상충은 발생할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 고속도로의 상충유형을 결정하는 데 있어 하이패스 차량과 일반차량 사이에 발생할 수 있는 측면충돌을 분석하였다.

현장조사를 통해 광장부에서 나타나는 상충유형은 차로 변경으로 인한 측면상충이 대표적인 유형으로 나타났으며

<표 2> 현장조사 개요

구분	주요 내용
조사 방법	광장부 비디오 촬영, 프레임 분석
조사 구간	구리, 성남, 청계, 시흥, 김포 영업소
조사 시간대	오전 08:00~10:00, 오후 02:00~04:00
교통량입수	한국도로공사 내부 영업소 교통량자료 활용

후미추돌상충은 발생횟수가 매우 미비하게 나타나 본 연구에서는 측면상충을 분석유형으로 정립하였다.

IV. 데이터 분석

1. 현장조사 수행 및 결과

1) 현장조사 방법

현장조사는 2008년 8월~9월 2달간 매주 금요일 실시하여 총 6회 조사를 하였다.

2) 현장조사 결과

본 연구에서 현장조사 및 모니터링에서 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째 영업소 광장 진출부 하이패스 차량과 일반차량간 합류시 차량간 상대속도 차이는 16km/h 이상으로 하이패스 차량간 합류시 상대속도차보다 높은 것으로 판단된다.

둘째 영업소 광장 진출부 하이패스 차량과 일반차량간 상충발생시 측면상충이 더 많이 발생하며, 상대속도차가 클수록 차량 브레이크에 의한 차량 감속시간이 더 긴 것으로 나타났다.

초기속도는 하이패스차로 부스 내 설치된 검지기를 통과하는 속도로 한국도로공사 내부자료를 활용하였다.

현장조사에서 관측된 상대속도 및 상충에 의한 영향이

<표 3> 영업소별 85% 속도분석 결과

영업소		구리		성남		청계		시흥		김포	
		상행	하행	상행	하행	상행	하행	상행	하행	상행	하행
광장거리(m)		370	360	290	250	310	310	320	290	270	260
하이패스 차량	초기속도(km/h)	51	51	50	47	50	53	54	52	54	51
	1차로 속도(km/h)	88	84	84	84	85	87	86	85	84	86
	2차로 속도(km/h)	77	81	76	77	79	80	80	78	77	78
일반차량	속도(km/h)	61	61	60	61	62	64	64	62	60	62
하이패스차량과 일반차량간 속도차(km/h)		16	-	16	16	17	16	16	16	17	16

※ 구리영업소 하행 진출부는 본선 1차로에서 하이패스차량간 합류함.

<표 4> 차량간 상충 횟수

구분	구리		성남		청계		시흥		김포	
	상행	하행	상행	하행	상행	하행	상행	하행	상행	하행
0~50m	2	1	8	16	2	8	14	10	8	2
50~100m	8	3	28	44	25	12	32	11	35	6
100m이상	52	32	35	48	64	32	44	22	21	22
소계	62	36	71	108	91	52	90	43	64	30

교통사고 위험성과 밀접한 관계가 있을 것으로 판단되며 특히 차량간 상대속도차에 의한 영향이 상충발생 및 사고 위험에 영향을 줄 것으로 판단된다.

3) 연구방향 설정

현장조사에 얻은 관찰결과 분석은 운전지특성 및 차량군 형성 등 초기차량으로 인한 후미차량의 영향을 배제하고 객관적으로 분석하기 위해 다음과 같은 연구방향을 설정하였다.

- ① 영업소 진출부 하이패스 차량간 합류시 상대속도와 상충에 대한 영향 정도를 분석한다.
- ② 하이패스 차량과 일반차량 합류시 상대속도 및 상충발생에 따른 사고위험성을 비교한다.
- ③ 차로별 및 차량간 상대속도와 상충에 따른 위험성을 비교 분석한다.
- ④ 상대속도 및 사고위험성 비교 분석을 통한 적장 차로 운영, 광장길이 및 진로변경제한구간 산정을 통한 안전성 제고 방안을 모색한다.

2. 분석결과

1) 상대속도 분석 및 가속도 산정

하이패스 차량과 일반차량의 합류에 따른 상대속도는

<표 5> 브레이크를 이용한 하이패스 차량 감속시간

(단위:초)

구분	구리		성남		청계		시흥		김포	
	상행	하행	상행	하행	상행	하행	상행	하행	상행	하행
0~50m	2.79	1.86	2.16	2.21	2.37	2.81	2.51	2.41	2.17	2.21
50~100m	1.74	1.57	1.54	1.73	1.75	1.61	1.42	1.73	1.52	1.89
100m이상	0.96	1.09	0.86	1.01	0.98	0.91	1.01	1.92	0.89	1.12
평균	1.83	1.51	1.52	1.65	1.7	1.78	1.65	2.02	1.53	1.74

교통류상태에서 실제 운영속도를 알아보고 제한속도를 설정하는데 사용되는 주행속도(85%속도)를 사용 분석하였다.

또한 영업소 진출부 하이패스 차량 및 일반차량에 대한 주행 가속도 산정은 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」에서 제시된 가속차로 소요길이 산정 식을 이용주행가속도(a)를 산출하였다.

$$a = \frac{V_2^2 - V_1^2}{25.92L}$$

V2 : 종점부 도달속도(km/h)

V1 : 시점부 초기속도(km/h)

L : 소요길이(광장길이)(m)

2) 적정 상대속도(ΔV) 결정

차량간 상대속도차(ΔV)는 <표 8>에서 제시된 기준을 준용하여 설정한 결과 적정 광장길이 산정시 ΔV는 15km/h, 진로변경제한선은 20km/h로 설정하였다.

- 적정 광장길이 : ΔV < 10mph로 15km/h 기준으로 산정

- 진로변경제한구간 : ΔV < 20km/h 기준으로 산정

3) TA분석 결과

상대속도 및 상충에 따른 위험성 분석은 심각한 상충의 기법인 TA(Time to Accident)분석을 사용하였으며

<표 7> 영업소별 상대속도 분석

구분	거리(m) 속도(km/h)	0	100	200	250	300	
		구리	상행	하이패스 1차로	51.0	63.2	73.3
		하이패스 2차로①	51.0	59.2	66.3	69.6	72.8
		일반차로②	0.0	31.7	44.8	50.1	54.9
		상대속도(①-②)	51.0	27.5	21.5	19.5	17.9
	하행	하이패스 1차로①	51.0	61.9	71.2	75.4	79.4
		하이패스 2차로②	51.0	61.2	69.9	73.9	77.7
		일반차로	0.0	32.2	45.5	50.8	55.7
		상대속도(①-②)	0.0	0.7	1.3	1.5	1.7
성남	상행	하이패스 1차로	50.0	63.8	75.1	80.2	-
		하이패스 2차로①	50.0	60.3	69.0	73.0	-
		일반차로②	0.0	35.2	49.8	55.7	-
		상대속도(①-②)	50.0	25.0	19.2	17.3	-
	하행	하이패스 1차로	47.0	64.4	78.0	84.0	-
		하이패스 2차로①	47.0	60.8	72.0	77.0	-
일반차로②		0.0	38.6	54.5	61.0	-	
	상대속도(①-②)	47.0	22.2	17.5	16.0	-	
청계	상행	하이패스 1차로	50.0	63.4	74.5	79.4	84.1
		하이패스 2차로①	50.0	60.9	70.1	74.3	78.3
		일반차로②	0.0	35.2	49.8	55.7	61.0
		상대속도(①-②)	50.0	25.7	20.3	18.6	17.3
	하행	하이패스 1차로	53.0	65.9	76.7	81.5	86.1
		하이패스 2차로①	53.0	63.0	71.6	75.5	79.3
일반차로②		0.0	36.4	51.4	57.5	63.0	
	상대속도(①-②)	53.0	26.6	20.2	18.0	16.3	
청계	상행	하이패스 1차로	54.0	65.7	75.6	80.1	84.4
		하이패스 2차로①	54.0	63.3	71.4	75.1	78.6
		일반차로②	0.0	35.8	50.6	56.6	62.0
		상대속도(①-②)	54.0	27.5	20.8	18.5	16.6
	하행	하이패스 1차로	52.0	65.3	76.3	81.2	85.0
		하이패스 2차로①	52.0	62.2	71.0	75.0	78.0
일반차로②		0.0	36.4	51.5	57.5	62.0	
	상대속도(①-②)	52.0	25.8	19.5	17.4	16.0	
김포	상행	하이패스 1차로	54.0	66.7	77.4	82.2	
		하이패스 2차로①	54.0	63.5	71.8	75.6	
		일반차로②	0.0	36.5	51.6	57.7	
		상대속도(①-②)	54.0	27.0	20.1	17.8	
	하행	하이패스 1차로	51.0	66.7	79.3	84.9	
		하이패스 2차로①	51.0	62.8	72.7	77.1	
일반차로②		0.0	38.4	54.4	60.8		
	상대속도(①-②)	51.0	24.3	18.3	16.4		

* 구리영업소 하행 진출부는 본선 1차로에서 하이패스차량간 합류함.

<표 6> 영업소 진출부 가속도 산정 결과

영업소	광장거리(m)	구리		성남		청계		시흥		김포	
		상행	하행	상행	하행	상행	하행	상행	하행	상행	하행
		370	360	290	250	310	310	320	290	270	260
하이패스 차량	1차로 가속도(m/sec ²)	0.536	0.477	0.606	0.748	0.588	0.592	0.54	0.601	0.592	0.712
	2차로 가속도(m/sec ²)	0.347	0.424	0.436	0.574	0.466	0.447	0.42	0.45	0.431	0.517
일반 차량	가속도(m/sec ²)	0.4	0.399	0.479	0.574	0.478	0.51	0.494	0.511	0.514	0.57

<표 8> 적정 상대속도 산정을 위한 이론고찰

Lave(1985) Garber, Gadiraju (1989)	교통사고는 속도의 편차와 큰 상관관계를 가지므로 교통사고 감소를 위해서는 속도의 편차를 최소화할 수 있는 제한속도 선정이 필요
Solomon (1964)	주행속도의 표준편차가 클수록 교통사고의 위험성이 증가하게 되며, 특히 평균속도에 비해 10mph 차이가 발생하게 되면 교통사고가 급격하게 증가하므로 각 개별 차량들이 나타내는 속도편차의 크기가 사고 발생율과 밀접한 관계가 있음을 재확인
Lamm의 도로설계 분류	차량 주행속도 85% 속도시 도로 설계 분류 - 좋은 설계: 주행속도의 변화가 10km/h 보다 작거나 같도록 설계 - 적절한 설계: 주행속도의 변화가 10km/h 보다 크고 20km/h보다 작도록 설계 - 불량한 설계: 주행속도의 변화가 20km/h 보다 큰 설계

TA값은 사고를 피하기 위해서 어떤 행동을 취한 시점에서 서부터 도로이용자가 방향과 속도를 변경하지 않는다면 사고가 일어날 수 있다고 추정되는 지점 즉 잠재된 사고 발생지점까지 남아 있는 시간을 말한다.

$$TA = \frac{s \times 1,000}{v \times 3,600}$$

- s : 사고를 피하기 위해 행동을 취하는 지점에서 상충 지점까지의 거리(m)
- v : 사고를 피하기 위해 행동을 취하는 지점에서의 속도(km/h)

여기서, v는 차량간 상대속도차(ΔV)를 적용하여 산정하였다.

영업소 진출부 안전시설물 끝단부터 본선 진입시까지 하이패스 차량과 일반차량의 합류시 상충에 따른 TA분석 결과 구리영업소 하행 진출부의 경우 본선 1차로에서 하이패스와 하이패스간 합류시 하이패스 차량과 일반차량간

<표 9> TA분석결과

구간(m)	구리		성남		청계		시흥		김포	
	상행	하행	상행	하행	상행	하행	상행	하행	상행	하행
30*100	0.306	12.41	0.555	0.625	0.541	0.522	0.505	0.538	0.514	0.571
100*150	0.578	8.883	0.643	0.716	0.616	0.606	0.588	0.627	0.602	0.667
150*200	0.647	7.103	0.725	0.796	0.683	0.688	0.669	0.712	0.689	0.758
200*250	0.712	6.009	0.805	0.868	0.745	0.770	0.751	0.797	0.778	0.848
250*300	0.777	5.265	-	-	0.803	0.852	0.834	-	-	-
평균	0.644	7.936	0.682	0.751	0.678	0.688	0.669	0.688	0.646	0.711

합류시 보다 TA값이 높은 것으로 분석되었다. 구간 거리가 가까울수록 TA값이 낮게 분석되어 잠재적 사고 위험이 낮은 것으로 판단할 수 있다. 차량간 상대속도가 클수록 사고위험성이 높은 것으로 분석되었다.

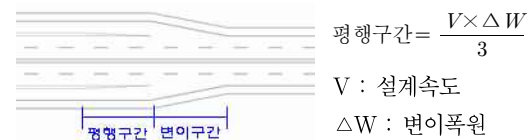
V. 개선대안 제시

본 연구는 서울외곽순환고속도로 상에 운영 중인 본선 영업소 진출부에 하이패스차로 설치로 인한 일반차량과의 상대속도에 의한 문제점을 개선하는 방안으로 영업소 진출부에 대한 차로운영과 적정 광장길이 및 진로변경제한 구간을 검토하는 방안을 고려해 보았다.

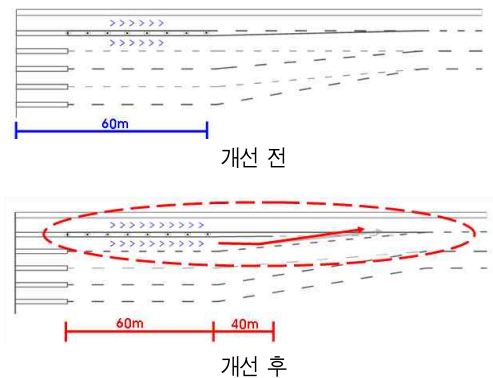
하이패스 차량간 합류시와 하이패스 및 일반차량간 합류시 TA분석결과를 보면 하이패스 차량간 합류시 TA분석값이 적음을 알 수 있다.

즉 하이패스 차량과 일반차량간 합류시 상대속도차가 클수록 TA분석값이 높아 사고위험성이 클 것으로 분석됨에 따라 기존의 하이패스와 일반차량간의 합류방식에서 하이패스 차량간 합류방식으로 차로운영 개선이 필요하며, 이에 따라 하이패스 차량간 상충방지를 위하여 진로변경제한구간이 필요하다.

여기서 하이패스와 하이패스 차량간 합류시 적정 진로 변경구간(이중실선)에 대한 검토는 「도로의 구조·시설



<그림 8> 접속설치구간 중 평행구간 설치기준



<그림 9> 하이패스 차량간 합류시 개선대안

<표 10> 영업소 차로운행별 평균 주행가속도 산정결과

가속도(m/sec ²) \ 거리(m)	구리		성남		청계		시흥		김포		평균
	상행	하행	상행	하행	상행	하행	상행	하행	상행	하행	
하이패스전용(m/sec ²)	0.536	-	0.606	0.748	0.588	0.592	0.54	0.601	0.592	0.712	0.618
하이패스+하이패스 합류시 1차로 가속도(m/sec ²)	-	0.477	-	-	-	-	-	-	-	-	0.460
하이패스+하이패스 합류시 2차로 가속도(m/sec ²)	-	0.442	-	-	-	-	-	-	-	-	
하이패스+일반차량 합류시 하이패스 속도(m/sec ²)	0.347	-	0.436	0.574	0.466	0.447	0.42	0.45	0.431	0.517	0.459
하이패스+일반차량 합류시 일반차량 속도(m/sec ²)	0.388	-	0.479	0.574	0.478	0.51	0.494	0.511	0.514	0.57	0.506

기준에 관한 규칙,의 입체교차 유출입부의 접속 설계기준을 적용하였다.

진입변경구간 산정시 V는 하이패스 평균 주행속도인 85km/h, ΔW는 3.5m를 적용하여 산정한 결과, 하이패스 차량간 합류시 진로변경제한구역(이중실선)은 약 100m로 분석되었다.

또한 기존 운영 중인 하이패스 차량과 일반차량의 합류시 상대속도를 고려하여 상충지점을 최소화 할 수 있는 진로변경제한구간 및 본선 진입시 적정 상대속도차 15km/h를 충족시킬 수 있는 적정 광장 길이 산출이 필요하다.

각 영업소에 대한 차로별 주행가속도를 산정한 결과 하이패스 전용차로인 경우 평균 가속도는 0.618m/sec², 하이패스 차량간 합류시(구리 하행 진출부) 평균가속도는 0.460m/sec²이며 하이패스 차량과 일반차량간 합류시 하이패스 차량 가속도 및 일반차량 가속도는 각각 평균 0.459m/sec² 및 0.506m/sec²로 분석되었다.

위의 가속도를 이용하여 거리별 차량속도를 분석한 결과는 다음과 같다.

이러한 각 차량별 가속도 및 속도를 고려하여 영업소

진출부 적정 광장거리(L)를 산출하기 위하여 속도 및 거리에 관한 식은 다음과 같다.

$$L = \frac{V_2^2 - V_1^2}{25.92a}$$

- V2 : 종점부 도달속도(km/h)
- V1 : 시점부 초기속도(km/h)
- a : 주행가속도(m/sec²)

위의 식을 적용하여 적정 광장길이 및 진로변경제한 구역 검토를 위하여 다음 조건들을 만족하는 거리를 산출하였다.

분석결과 하이패스 전용차량이 100km/h에 도달하는 거리는 약 460m이며, 하이패스 차량이 모두 80km/h를 넘는 지점은 317m로 분석되었다. 또한 하이패스 차량과 일반차량간 상대속도(ΔV)가 20km/h인 지점은 약 191m, 상대속도차가 15km/h 이하가 되는 지점은 약 338m인 것으로 분석되었다.

이러한 분석 결과를 바탕으로 현재 운영 중인 서울외곽

<표 11> 차로운행 및 이용차량별 거리 및 속도 산정결과

속도(km/h) \ 거리(m)	0	100	200	300	400	500	600
	하이패스 전용 속도(km/h)	51.3	65.1	76.4	86.2	95.1	103.2
하이패스+하이패스 합류시 하이패스 속도(km/h)	51.3	61.8	70.8	78.8	86.0	92.7	98.9
하이패스+일반차량 합류시 하이패스 속도(km/h)(A)	51.3	61.8	70.8	78.7	86.0	92.6	98.8
하이패스+일반차량 합류시 일반차량 속도(km/h)(B)	0.0	36.2	51.2	62.7	72.4	81.0	88.7
증감(A-B)(km/h)	51.3	25.6	19.6	16.0	13.5	11.7	10.1

<표 12> 차로 및 이용차량별 상대속도에 의한 거리 산정결과

속도(km/h) \ 거리(m)	50	100	191	200	317	338	400	500
	하이패스 전용차로 속도(km/h)	58.6	65.1	75.4	76.4	87.8	89.7	95.1
하이패스+하이패스 합류시 하이패스 속도(km/h)	56.8	61.8	70.1	70.8	80.1	81.6	86.0	92.7
하이패스+일반차량 합류시 하이패스 속도(km/h)(A)	56.8	61.8	70.0	70.8	80.0	81.6	86.0	92.6
하이패스+일반차량 합류시 일반차량 속도(km/h)(B)	25.6	36.2	50.1	51.2	64.5	66.6	72.4	81.0
증감(A-B)(km/h)	22.7	32.2	44.4	45.5	57.3	59.1	64.3	71.9

<표 13> 영업소 진출부 광장거리 및 적정거리 비교 결과

구분	구리		성남		청계		시흥		김포		
	상행	하행	상행	하행	상행	하행	상행	하행	상행	하행	
광장거리(m)(A)	370	360	290	250	310	310	320	290	270	260	
상대속도차(ΔV) 20km/h(B)	191										
상대속도차(ΔV) 15km/h(C)	338										
증감	A-B	179	169	99	59	119	119	129	99	79	69
	A-C	32	22	-48	-88	-28	-28	-18	-48	-68	-78

순환고속도로 본선영업소 진출부 5개소에 대한 적정 광장 거리를 검토한 결과, 구리영업소를 제외한 나머지 영업소에서 차량간 상대속도차가 15km/h인 338m보다 “18~88m”가 부족한 것으로 분석되었다.

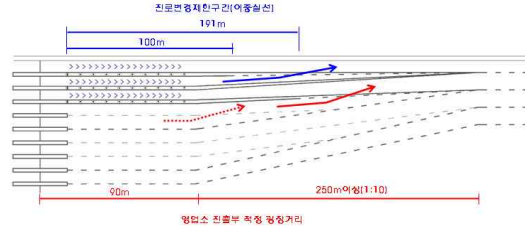
이러한 분석결과와 도로설계요령에서 제시하고 있는 영업소 설계기준을 적용한 결과 하이패스 차량과 일반차량간 진로변경제한구간은 191m이며, 광장부 적정 길이는 하이패스 전용차량의 속도가 100km/h지점 및 상대속도차가 15km/h 이하에 도달하는 지점을 고려할 때 338m 이상으로 광장거리를 계획하는 것이 적정한 것으로 분석되었다.

VI. 결론

고속도로 영업소 하이패스 차로는 영업소에서 발생하는 지·정체 해소 및 처리용량 증대라는 장점을 지니고 있지만 기존 영업소의 경우 하이패스라는 연속류와 TCS 이용차량은 단속류적 성격을 지니고 있어 연속류와 단속류간 합류시 상대속도 및 상충발생으로 사고위험이 높아질 수 있다. 이에 본 연구에서는 하이패스 차량과 일반차량간 상대속도 및 상충분석을 통하여 서울외곽순환고속도로 본선영업소 진출부에 대한 안전성을 개선하기 위한 연구를 수행하였다.

고속도로 영업소 진출부의 차량속도와 상충발생을 조사하기 위하여 실험차량법, 스피드 건 및 캠코더를 이용하였으며, 조사 후 모니터링을 통하여 속도와 상충에 대한 분석을 실시하였다. 속도 조사 및 상충으로 인한 차량 감속시간 등을 분석한 결과 차량간 상대속도가 클수록 상충으로 인한 차량 급감속이 발생한다는 문제점을 파악하였으며, 특히 운영형태가 상이한 지점들을 비교 분석함으로써 차로 운영 형태에 따라 차량간 상대속도 및 상충으로 인한 사고위험성이 다름을 확인할 수 있었다.

본 연구는 이러한 관찰을 통하여 하이패스 차량과 일반



<그림 10> 하이패스 설치시 적정 광장거리 및 진로변경제한구간

차량간 상대속도에 의한 사고 위험성을 정량적으로 비교 분석하였다.

그 결과 하이패스 차량과 일반차량간 합류시 하이패스 차량간 합류시보다 TA분석결과 하이패스 차량과 일반차량간 합류시 사고위험이 더 높은 것으로 분석되었다. 이는 차량간 상대속도차가 클수록 상충시 급감속 및 감속시간이 짧아 따라 사고위험이 높은 것으로 분석되었다. 또한 차량간 합류 시점이 영업소 진출과 가까울수록 상대속도가 클수록 상충시 TA분석값이 낮은 것으로 분석되었다.

이와 같은 분석결과를 종합해 볼 때 고소도로 영업소 하이패스 설치로 인한 안전성을 개선하기 위해서는 영업소 진출부에 대한 차로운영 개선이 필요하며, 이는 기존 하이패스와 일반차량간 합류를 하이패스 차량간 합류로 개선하여 차량간 상대속도 차를 줄이고 상충시 TA값을 줄여 사고위험성을 낮출 수 있는 차로 운영개선이 필요하다고 판단된다.

또한 하이패스 차로 설치로 인한 하이패스 차량과 일반차량간 합류시 상충에 따른 상대속도차를 줄이고 TA값을 높여 사고위험성을 저하시키기 위하여 진로변경제한구간을 설정할 필요가 있으며, 합류시 원활한 흐름 및 안전을 위한 상대속도차가 최소 15km/h가 되도록 적정 광장거리 및 구간을 확보할 필요가 있다고 판단된다.

본 연구의 개선대안은 영업소 진출부에서 발생하는 속도차에 의한 상충으로 급감속 및 사고를 억제함으로써 영업소 내 하이패스 차로 설치시 안전성을 높여줄 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 건설교통부(2000), “도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙”.
2. 교통안전공단(2006), “고속도로 진출입구 속도관리 방안 연구”.

3. 김원철·이수범·남궁문·今田寬典(2002), “퍼지추론을 적용한 교통상충기법(TCT) 개발”, 대한교통학회지, 제20권 제1호, 대한교통학회, pp.55~63.
4. 김현국(2006), “교통상충기법을 이용한 다인승차로 안전성 개선에 관한 연구”, 서울시립대 대학원.
5. 도철웅(2001), “交通工學原論”, 淸文閣.
6. 박형규(2002), “교통상충기준 개발 및 적용에 관한 연구”, 전남대 대학원.
7. 이수범·강인숙(1999), “상충기법을 이용한 교차로 안전진단에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제17권 제4호, 대한교통학회, pp.9~17.
8. 하태준·박계진·박형규·박찬모(2002), “교차로 교통상충기준 개발 및 평가에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제20권 제2호, 대한교통학회, pp.105~115.
9. 한국도로공사(2008), “한국도로공사 설계실무자료집”
10. AASHTO(2001), “A POLICY on GEOMETRIC DESIGN of HIGHWAYS and STR-EETS(4th Edition)”, American Association of State Highway and Transportation Officials.
11. Charles A. Lave(1985), “Speeding, Coordination, and the 55mph Limit”, The American Economic Review, vol75, no5, pp1159~1164.
12. <http://www.abd.org.uk/speeddh.html>, “The effect of altering level of speed limit: summary of experience”.
13. Nillson G(1984), “Speed Accident Rates and Personal Injury Consequences for Different Road Type”, VIT Report 277.

☞ 주 작성자 : 유봉석

☞ 교신저자 : 유봉석

☞ 논문투고일 : 2009. 3. 26

☞ 논문심사일 : 2009. 6. 16 (1차)

2010. 2. 7 (2차)

2010. 4. 15 (3차)

2010. 7. 28 (4차)

☞ 심사판정일 : 2010. 7. 28

☞ 반론접수기한 : 2010. 12. 31

☞ 3인 익명 심사필

☞ 1인 abstract 교정필