

■ 論 文 ■

고속도로 진출구 제한속도에 관한 연구

A Study of Posted Speeds on Freeway Exits and Entrances

임근호

(한국교통안전컨설팅 대표이사)

김홍상

(명지대학교 교통공학과 교수)

최현석

(명지대학교 교통공학과 석사과정)

목 차

- I. 서론
- II. 본론
 - 1. 기존연구 고찰
 - 2. 진출입구 교통사고 분석
 - 3. 제한속도 관리실태 분석
 - 4. 진출구 제한속도 설정방안
- III. 결론
- 참고문헌

Key Words : 속도관리, 제한속도, 85백분위 속도, 속도 행태, 고속도로 진출입구
 speed management, posted speed, 85th percentile speed, speed behavior, Freeway Exits and Entrances

요 약

속도제한의 목적은 주어진 도로상황에 따라 차량 흐름의 안전을 위해 안전한 속도로 교통운영적 측면에서 안전한 속도를 제공하는 것이다. 그렇기 때문에 속도제한은 반드시 신중히 검토되어야 하며 특히 고속도로 진출입구의 속도제한은 차량의 특성을 고려해야 한다. 고속도로 진출입구에서의 속도제한은 곡선 반경에 따라 변화하는 속도를 고려해야 하며 이러한 과정에서 85 백분위 속도는 중요한 고려 요소가 된다.

교통사고의 대부분이 차량 사이에 속도편차가 원인이라는 점을 감안할 때 제한속도는 차량의 주행특성을 고려하여 설정되어야 한다. 이러한 차원에서 제한속도의 상향 조정 혹은 하향 조정에 의미를 두기보다는 각 도로의 특성에 맞는 속도분포를 충분히 고려해야 한다. 차량의 속도분포를 가장 잘 설명하는 85백분위 속도에 대한 조사 및 추정을 통해 속도차를 줄일 수 있는 방안을 모색해야 한다.

따라서 본 논문에서는 양지, 용인, 청원 인터체인지의 진출구를 대상으로 제한속도 설정 방법론을 제시하여 운영 중인 도로에 대한 제한속도의 조정을 통해 교통사고 위험성을 줄이고 적절한 제한속도를 설정하도록 하였다. 또한 제한속도 표지판을 설치하는 위치에 대한 연구를 통해 적절한 표지판 설치 위치를 찾고자 하였다.

The purpose of posted speeds is to provide a speed that ensures the safety of vehicle flow according to given road situations. Because of this, posted speeds must be carefully examined, and posted speeds at freeway exits and entrances in particular should consider car characteristics. Posted speeds at freeway exits and entrances must take changing speeds due to curve radiuses into consideration and in this study, an 85th percentile speed becomes the most important element to consider. When it is considered that most traffic accidents occur because of variations in speed between cars, posted speeds should be set after considering car traveling characteristics. Within these dimensions, instead of putting significance on an upper direction regulation or lower direction regulation, speed distributions which fit to the characteristics of each road should be fully considered. Accordingly, this study evaluated appropriate posted speeds that will reduce the dangers of traffic accidents through posted speed regulations of roads now in operation by offering a posted speed setting method theory, using entries at Yangji, Yongin, and Cheongwon interchanges as subjects.

본 연구는 건설교통부 "도로교통안전진단 및 관리를 위한 통합정보시스템 구축"연구개발사업의 연구비지원(과제번호 "05-기반구축 B02")에 의해 수행되었습니다.

I. 서론

고속도로 안전진단 등 교통사고 감소를 위한 국가적인 노력과 운전자들의 교통안전 의식의 고취로 전체적인 고속도로 총 사고건수는 2004년도 3,585건으로 전년대비 9.6%의 감소율을 보였으며 2005년도 고속도로 총 사고건수 또한 2004년도에 비해 2,880건으로 11.2%의 감소율을 보이고 있지만 고속도로 진출입 구간의 사고건수는 여전히 증가하는 추세를 알 수 있다.

고속도로 진출입구는 본선 주행 차량과 하위도로로 진출하려는 차량의 차로변경, 감속 그리고 하위도로에서 고속도로로 진입하려는 차량과 본선 주행차량간의 상충 등 서로 다른 교통특성을 가진 교통류들이 혼재되어 있는 구간이다. 이처럼 사고의 위험성이 높은 구간임에도 불구하고 현재까지의 고속도로 진출입구는 운전자의 속도행태나 개별차량간의 속도편차, 곡선반경 등 교통안전에 영향을 미치는 중요한 요소를 고려하지 못한 채 일률적인 제한속도를 적용하고 있다.

해외의 경우 고속도로 진출입구, 램프에서 도로선형 변화에 따라 제한속도보다 낮은 권장속도(Advisory speed)를 설정하여 도로조건에 따라 차량주행속도를 보다 안전하게 유도하고 있다.

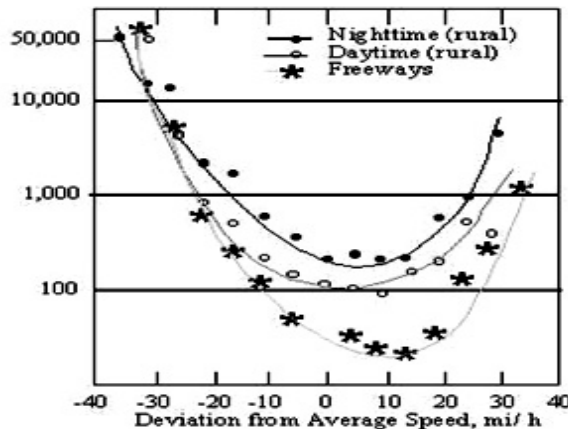
이에 본 연구는 고속도로 진출입구의 교통사고 통계 자료를 통해 교통사고의 유형, 발생원인, 선형, 노면상태, 기상상태 등에 따른 교통사고의 특성을 파악하고, 양지, 용인, 청원 IC의 진출입구를 속도조사를 통한 제한속도 적정성을 검토한 후 진출입구 도로 선형에 따라 단계적 제한속도 부여 및 제한속도 표지판 설치방안을 제시하고자 한다.

II. 본론

1. 기존 연구 고찰

1) 속도와 교통사고 상호 관련성 연구

차량속도와 교통사고 발생과 관련해서는 속도의 크기와 교통사고와의 밀접성 보다는 개별차량간의 속도편차가 교통사고와 밀접성을 입증한 연구사례가 많이 발표되



〈그림 1〉 개별차량속도 및 평균속도의 편차와 교통사고 발생율과의 관계

어 왔다. Solomon의 연구¹⁾에서는 속도와 사고율의 관계를 광범위하게 조사하여 차량 속도와 사고율의 관계를 〈그림 1〉과 같이 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, 교통사고기록을 통해 각 사고 차량들의 속도와 사고 시 유사한 상태에서 측정된 평균속도를 비교해 본 결과, 전반적으로 사고와 관련된 차량들이 유사한 상태에서 측정된 속도분포범위 보다 높거나 낮았다고 평가하였다.

Garber와 Gadiraju²⁾는 지방부 2차로 도로와 고속도로, 도시부 고속도로 등 여러 종류의 도로의 지표를 종합하여 속도편차와 교통사고와의 관계를 제시하였으며 교통사고는 속도 편차가 증가함에 따라 증가되고 제한속도가 설계속도보다 5~10mph(약 16km/h)정도 낮은 경우에 속도편차가 가장 적게 나타났으며, 이 범위 밖에서는 제한속도와 설계속도 차이가 커질수록 편차가 커지고 있음을 보고하였다.

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

1) <http://www.abd.org.uk/speeddh.htm>, "The effect of altering level of speed limit: summary of experience"

2) Nicholas J. Garber and Ravi Gadiraju, "Factors Affecting Speed Variance and its Influence on Accidents", TRR 1213. 1989

2) 곡선부에서 주행속도에 따른 안전성 관련 연구

정준화, 유수현, 윤여찬(2000)³⁾은 일반국도의 지방부 4차로 도로를 대상으로 종단경사 3%이하인 편도 구간 1차로의 자유속도를 곡선부 진입 100m 전방, 곡선부 시점, 곡선부 1/4지점, 1/2지점, 3/4지점, 곡선부 종점에서 개별차량의 연속적인 주행속도 측정함으로써 도로 곡선부에서 기하구조와 차량의 주행속도와의 상관관계를 검토하였다. 각 지점 차량주행속도의 최대값과 최소값 차이는 선형이 불량한 곳에서는 40~50km/h의 차이를 보이는 것으로 나타났으며, 표준편차는 7~12 km/h의 범위 내에 있는 것으로 분석되었다. 일반적으로 차량주행속도의 최대값과 최소값의 차이 및 표준편차는 선형이 양호할수록 크고 선형이 불량할수록 작은 것으로 나타나 도로조건에 따라 운전자들의 속도선택이 이루어지고 있다고 보았다. 각 곡선반경별로 최저속도를 보이는 곡선부 중앙에서의 85백분위 속도를 비교분석하여 곡선반경(R)을 독립변수로 85백분위 주행속도(V85)를 종속변수로 한 회귀모형 수립 결과 곡선반경이 클수록 85 백분위 속도가 증가하나 추세선의 기울기는 점점 감소하는 로그함수의 형태를 보이는 것으로 파악하였다.

$$V_c(85) = 95.809 - 4646.9(1/R) \quad (1)$$

R: 곡선반경(m)

박재범, 이승준, 강재규, 김일환⁴⁾은 고속도로 분류부(오창, 둔내, 원주, 충주)에서의 감속구간 및 완화곡선의 길이에 따른 차량 주행행태 특성을 파악하기 위해 감속구간 진입부, 국내의 연결로 노즈부에서의 평균주행속도를 비교하였다. 분석대상지점은 감속구간 시점부, 노즈부, 완화곡선 시점부, 종점부를 선정하였으며 속도분석은 최고속도, 85%속도, 평균속도, 최저속도 각각에 대해 실시하였다.

분석결과 감속구간의 시점부에서의 평균속도는 현 설계기준 값과 비슷하나 종점부인 노즈부에서의 평균속도는 현 설계기준 값보다 큰 것으로 나타났다. 또한 구간별

〈표 1〉 구간별 차량감속도

구간	감속도(m/s ²)	비고
지점1~2(감속구간 시점~종점)	1.32	설계기준 1.96m/s ²
지점2~3(감속구간 종점~노즈부)	0.67	
지점3~4(노즈부~완화곡선 시점)	3.02	
지점4~5(완화곡선 시점~곡선 내부)	1.65	

감속도를 비교했을 때 〈표 1〉과 같이 지점 3~4에서 3.02m/s²의 높은 감속율을 보였으며 이는 차량이 본선을 주행하다 감속구간으로 진입한 차량들이 노즈부에 이르러서야 연결로 구간임을 인식하여 급격한 감속을 하는 것으로 판단하여 본선구간 또는 감속구간과 노즈부 사이의 속도편차로 인한 사고위험성이 높다고 판단하였다.

Babkov(1992)⁵⁾는 곡선부 이전과 곡선부 동안의 속도차이에 대해서는 다음과 같은 연구결과를 보고했다.

- 속도 변화가 20~40% 사이일 때 “상대적인 안전한 곡선”
- 속도 변화가 40~60% 사이일 때 “위험한 곡선선”
- 속도 변화가 60% 이상일 때 “매우 위험한 곡선”

3) 제한속도 관련 연구

김용석(1996)⁶⁾은 제한속도가 적절치 못한 구간에 대해 제한속도 조정의 필요성에 대한 근거를 제시하였고 현장실제속도, 속도분산, 설계속도에 의한 3가지 제한속도 조정방법을 소개하고 있다.

Harkey et.al(1998)⁷⁾은 미국의 4 개주에서 통상적으로 주행하는 도로를 대상으로 조사한 결과, 70%이상의 주행차량이 제한속도를 초과하여 운행하고 있음을 확인하였으며, 유럽교통안전협회(ETSC: European Transport Safety Council, 1995)에서도 이와 비슷한 결과를 보고한 바 있다.

Parker(1992)⁸⁾는 운전속도와 제한속도 그리고 사고율과의 관계를 연관지어 연구한 결과로써, “대다수의 운전자들은 어떤 상태에서도 운전자가 공감하지 못할 정

3) 정준화, 유수현, 윤여찬, “곡선부에서 주행하는 차량의 행태 분석”, 대한토목학회 논문집, 제20권, 제5-D호, 2000
 4) 박재범, 이승준, 강재규, 김일환, “고속도로 분류부 설계기법 개선연구”, 대한교통학회지, 제25권 제1호, 2007
 5) Australian Transport Advisory Council, “The National Road Safety Strategy”, Canberra, Australia, 1992.
 6) 김용석, “고속도로 차종별 규제속도 타당성 연구”, 한양대학교 환경과학대학원 석사학위 논문, 1996
 7) Jack Stuster & Zail Coffman, “Synthesis of Safely Research Related to Speed and Speed Management”, FHWA-RD-98-154, 1998
 8) Martin R. Parker, “Effects of Raising of Lowering Speed Limits: Final Report”, FHWA U.S.DOT, 1992

〈표 2〉 제한속도 조정방법

조정방법	내용
현장 설계 속도	<ul style="list-style-type: none"> 조사된 85 백분의 속도와 최빈속도 중 적은 값을 기준으로 최고제한속도는 기준값에서 5km/h 이상 낮아지지 않게 설정하도록 권장
속도 분산과 사고율	<ul style="list-style-type: none"> 영국의 Munden은 동일 지점을 포함한 노선에서의 사고건수와 조사된 차량의 속도를 비교하여 속도분산과 사고율의 관계를 추정 - 조사된 각 차량 간의 속도비율을 위해 속도비율(Speed Ratio) 및 도로의 지역차를 없애기 위한 표준화 속도 비율(Standard Speed Ratio) 도입 - 속도비율(SpeedRatio) = $\frac{x}{\mu}$ - 표준화 속도 비율(Standard Speed Ratio) = $\left(\frac{x}{\mu}\right) - 1 / \sigma\left(\frac{x}{\mu}\right)$ <p>여기서 x : 어느 차량의 속도 μ : 어느 차량의 전·후방 4대 차량의 평균속도 $\sigma\left(\frac{x}{\mu}\right)$: 속도비율의 분산</p> <p>따라서 표준화 속도비율이 - : 평균속도 보다 적은 속도 + : 평균속도 보다 높은 속도 0 : 평균속도 임을 의미</p>
설계속도	<ul style="list-style-type: none"> 일반적으로 외국에서는 최고제한속도를 설계속도보다 5~10km/h 정도 낮게 설정하는 것을 권장

도의 낮은 제한속도를 지키기 위해 속도를 바꾸지 않는다.”고 하였으며 “이 경우 제한속도를 상향조정하였을 때 차량속도가 높아지는지에 대한 관계는 명확하지 않지만 사고는 감소되는 경향이 있다.”고 주장하였다.

2. 고속도로 진출입구 교통사고 현황분석

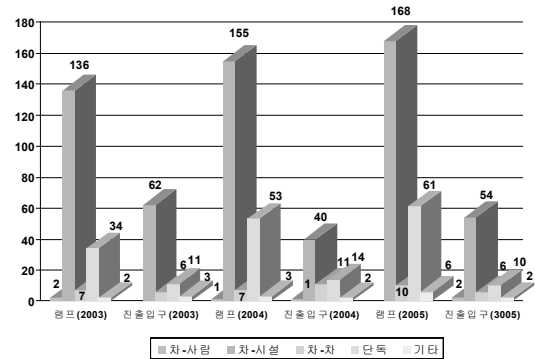
1) 교통사고 추이 분석

2005년도 기준으로 고속도로에서 발생한 교통사고는 2,880건이며, 램프와 진출입구 각 245건, 74건으로 나타났다. 2004년 대비로는 고속도로 전체사고는 11.2% 감소하였으나, 램프와 진출입구에서는 각 11.9%와 25.9%가 증가하여 램프와 진출입구에 대한 관리가 부족한 것으로 나타났다.

(1) 사고유형별 교통사고

『차-시설』사고의 경우 2003년도 198건, 2004년도 195건, 2005년도 222건으로 증가한 것으로 나타났다. 또한 “단독사고”의 경우에도 연도별로 45건, 67건, 71건

으로 점차 증가하였는데 사실상 “단독사고”와 『차-시설』은 동일한 유형으로 대부분의 사고가 차량 단독 사고라고 볼 수 있다.

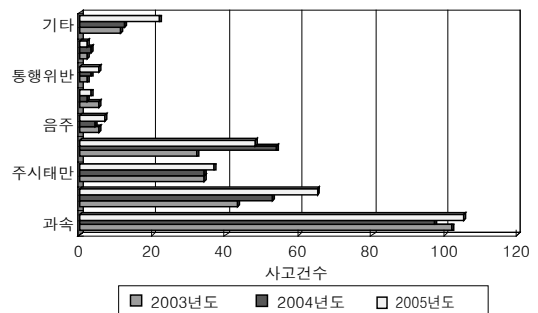


〈그림 2〉 사고 유형별 교통사고 발생현황

(2) 사고원인별 교통사고 발생현황

대부분의 교통사고가 “과속”과 “핸들 과대조작”이 원인으로 구분되었는데, 이 두 항목은 램프와 진출입구의 선형 및 시거 등 도로 기하구조 측면은 물론 속도 관리 측면에서도 큰 관련성이 있다고 볼 수 있다.

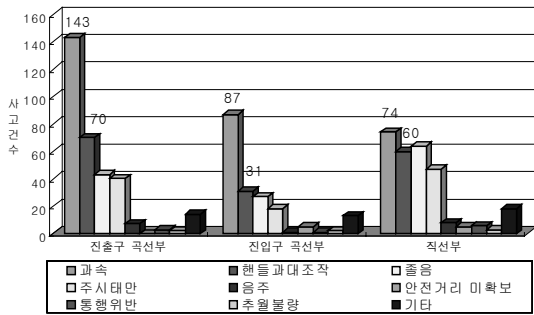
또한 “과속”과 “핸들 과대조작”으로 인한 교통사고 발생건수와 사망자수, 부상자수는 각 연도별로 전체에서 절반이상을 차지할 정도로 대부분의 교통사고 원인이 되고 있는 것으로 밝혀졌다.



〈그림 3〉 사고원인별 교통사고 발생현황

2) 교통사고 특성분석

곡선부와 직선부에서의 교통사고 원인을 비교해 보면, “과속”으로 인한 교통사고가 각 230건과 74건으로 가장 큰 차이를 나타냈으며, 그 다음으로는 “핸들 과대조작”이

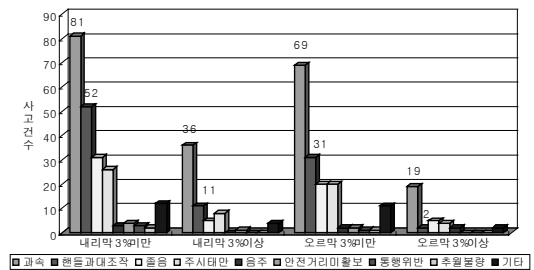


〈그림 4〉 평면선형 및 사고원인별 교통사고

각 101건과 60건으로 높은 수치를 나타냈다. 이를 통해 운전자의 운전행태가 곡선부에서 영향을 많이 받는 것을 알 수 있을 것이다. 특히 곡선부에서의 “과속”은 교통사고에 치명적인 것임을 알 수 있다.

『내리막 구간』과 『오르막 구간』은 3%를 기준으로 사고원인별로 구분하였다. 내리막 구간에서 발생한 교통사고는 총 315건으로 오르막 구간의 교통사고보다 높게 나타났고, 전체적으로 많은 분포를 보인 평탄한 구간에서의 교통사고가 가장 많은 것으로 나타났다.

운전자과실에 속하는 “과속”으로 인한 교통사고 중에서는 “평탄한 구간”, “내리막 3%미만”인 구간, “오르막 3%미만”인 구간 순으로 높게 나타났다. 즉 운전자가 속도를 높일 수 있는 구간에서 더욱 많은 교통사고가 발생하는 것을 알 수 있다.



〈그림 5〉 종단선형 및 사고원인별 교통사고

3. 제한속도 관리실태 분석

1) 진출입구 속도조사

(1) 지점선정

- 수도권 고속도로 인터체인지 2곳(양지, 용인IC), 광역권 인터체인지 1곳(청원IC)을 선정

〈표 3〉 속도조사 장소 현황

IC명	지점	방향	제한속도(km/h)	
			본선	연결로
양지IC	진입	양지IC → 서울	100	50
	진출	서울 → 양지IC	100	50
용인IC	진출	강릉 → 용인IC	100	50
청원IC	진입	청원IC → 부산	100	40
	진출	서울 → 청원IC	100	40

(2) 조사방법

- 각 IC별로 진출입 각 1곳씩 조사를 실시(용인IC의 경우에는 진출 구간만 조사)
- 차종은 승용차와 화물차로 구분
- 차두간격 6초 이상의 차량 조사
- 낮 시간대, 양호한 기상상태에서 조사
- 조사장비는 스피드 건 활용
- 도로 기하구조에 따라 4군데 조사지점 선정

〈표 4〉 속도조사 지점

지점	위치	측정지점
진출부	A	본선
	B	물리적 노즈부
	C	곡선시점
	D	곡선내부
진입부	A	곡선시점
	B	곡선내부
	C	물리적 노즈부
	D	본선

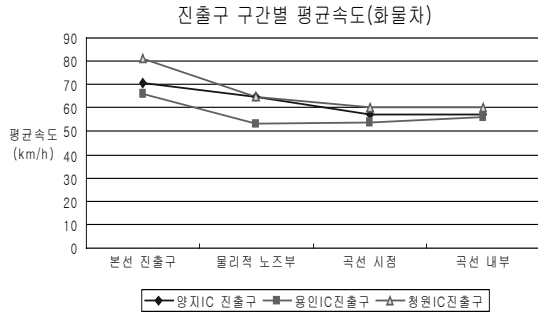
(3) 분석방법

4군데로 지정된 조사지점으로부터 개별차량 주행속도 프로파일을 작성 후 이를 누적시킨 분포에서 분석에 필요한 값을 추출하였다. 구축된 프로파일을 통하여 각 IC 진출입별 가·감속도 분포도와 주행속도 분포도를 작성하였고 이를 통해 고속도로 IC 진출입구의 속도 행태를 분석하였다.

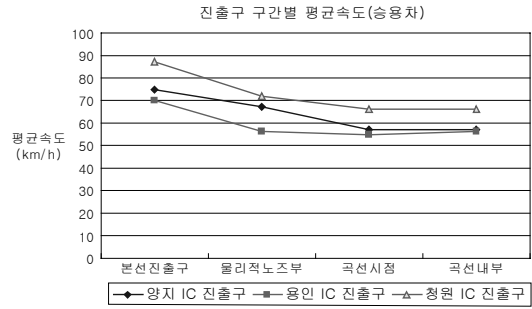
〈표 5〉 속도조사지점 구간 선정

구간 선정	진출구	진입구
1구간	본선감속차로~노즈부	곡선 시점~곡선 내부
2구간	노즈부~곡선 시점	곡선 내부~노즈부
3구간	곡선 시점~곡선 내부	노즈부~본선 진입구

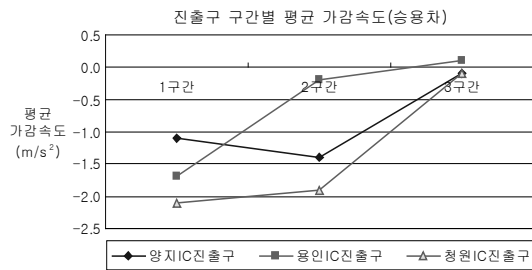
작성된 통계자료를 통하여 분석된 각 IC별 속도행태는 다음과 같다.



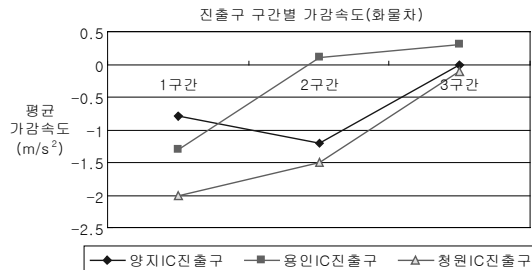
<그림 6>



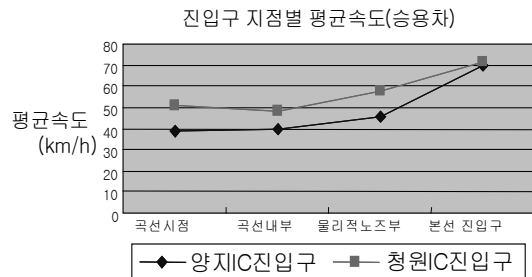
<그림 7>



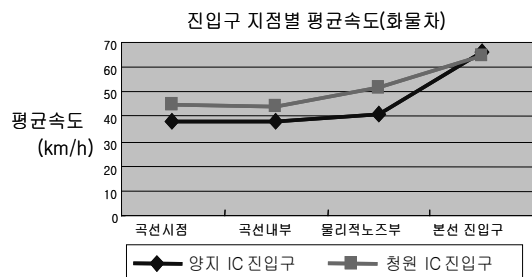
<그림 8>



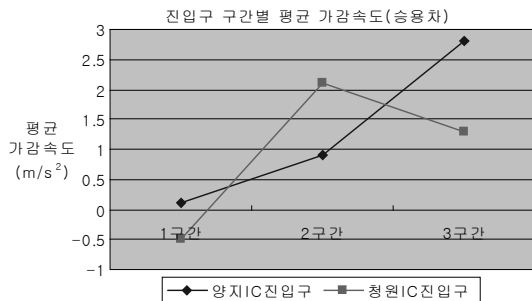
<그림 9>



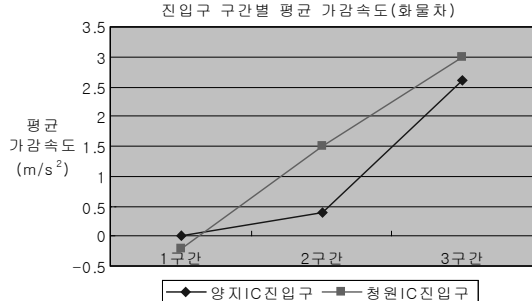
<그림 10>



<그림 11>



<그림 12>



<그림 13>

(4) 차량 주행속도 특성 분석

조사된 고속도로 IC 진출구의 경우 <그림 6, 7>에서 도 볼 수 있듯이 대부분의 차량들이 연결로로 진출하기 위해 감속을 하여 연결로의 곡선부를 주행하는 것을 알 수 있다. <그림 8, 9>에서 보여진 IC별 차량 평균 가감속도에서는 양지 IC와 청원 IC의 경우 1구간(본선 감속 차로~노즈부)과 2구간(노즈부~곡선시점)에서는 일정한 감속을 보이며, 3구간(곡선시점~곡선 내부)에서는 도로선형 조건에 따라 운전자에 적절한 주행속도를 선택하여 차량의 감속이 거의 없는 것으로 분석되었다.

용인 IC의 경우 양지 IC와 청원 IC와는 달리 2구간(노즈부~곡선시점)에서 3구간(곡선시점곡선내부)에서 가감속의 범위가 좁아지며 가속하는 것으로 나타났고, 이는 연결로의 곡선부가 단일곡선으로 형성되어 운전자가 더 이상 속도를 조절할 필요성이 적기 때문이라 분석된다.

진입구 차량평균 주행속도의 경우는 <그림 10, 11>에서 나타나듯이 전반적으로 연결로 곡선 내부에서 감속 후 서서히 속도가 증가되어 가속차로 부분에서 본선으로 진입하기 위해 급격하게 속도가 증가함을 할 수 있다. <그림 12, 13>에서 청원 IC의 경우 양지 IC와는 달리 승용차의 구간별 가감속도가 2구간(곡선시점~노즈부)에서 3구간(노즈부~본선진입구)으로 주행 시 감소하는 경향을 보이는데 이는 양지 IC에 비해 많은 화물교통량과 경사구간으로 인해 본선의 주행속도가 낮은 관계로 3구간에서 최대한 가속하는데 제약을 받게 되는 것으로 분석된다.

2) 고속도로 IC 제한속도 적정성 검토

분석되어진 고속도로 진출입구의 차량주행속도 자료를 이용하여 각 지점별 주행속도를 누적분포도로 표현하였으며, 85백분위 속도와 최빈 10km/h 속도, 제한속도 위반율 분석 등을 통해 제한속도 설정 값에 대한 적정성을 검토하고자 한다.

<표 6>에서 제시된 검토항목으로 각 IC 진출구의 제한속도를 검토한 결과는 다음과 같다.

조사된 데이터에 따르면 대부분의 차량의 주행속도가 현행 제한속도를 초과하고 있으며 청원 IC의 경우 제한속도 8km/h 초과차량이 100%에 이르는 것으로 나타났다. 제한속도 설정에 중요한 기준이 되는 85백분위 속도 또한 고속도로 IC 진출구에서 차량의 감속이 가장 빈

<표 6> 제한속도 적정성 검토항목

특징 검토 항목	검토 기준
85 백분위 속도	각 등급의 퍼센트를 낮은 속도에서 높은 속도로 점차적으로 누적한 퍼센트와 속도의 관계를 속도누적곡선을 이용하여 85백분위에 해당하는 속도를 산출
최빈 10km/h 속도	10km/h의 속도범위 안에서 빈도수가 가장 많은 속도범위 산출
75 백분위 속도	실제 현장조사를 통하여 도로환경과의 상관관계를 분석하여 75백분위 속도가 제한속도로 적정하다고 판단함
제한 속도 8km/h 초과 차량	제한속도를 8km/h 이상 초과하는 차량이 전체의 15%를 넘을 경우 제한속도의 조정이 필요함
표준 편차	교통사고는 속도의 편차와 큰 상관관계를 가지므로, 교통사고 감소를 위해서는 속도의 편차를 최소화할 수 있는 제한속도 선정이 필요함
실제 속도	최고제한속도는 실제속도보다 5~10 km./h 정도 낮게 설정하는 것이 교통안전 측면에서 유리함

<표 7> 양지 IC 진출구(승용차)

검토항목	구분		
	노즈부	곡선시점	곡선 내부
제한속도(km/h)	50	50	50
85백분위속도(km/h)	+24.7	+13	+13
최빈 10km/h속도	+22	+14	+14
75백분위속도(km/h)	+12	+11	+11
제한속도 8km/h 초과차량율(%)	97.1	60.0	65.7

<표 8> 용인 IC 진출구(승용차)

검토항목	구분		
	노즈부	곡선시점	곡선 내부
제한속도(km/h)	50	50	50
85백분위속도(km/h)	+11.1	+12.1	+12
최빈 10km/h속도	+10	+13	+12
75백분위속도(km/h)	+10.8	+10	+10
제한속도 8km/h 초과차량율(%)	46.3	77.8	85.2

<표 9> 청원 IC 진출구(승용차)

검토항목	구분		
	노즈부	곡선시점	곡선 내부
제한속도(km/h)	40	40	40
85백분위속도(km/h)	+22	+16	+13
최빈 10km/h속도	+30	+32	+34
75백분위속도(km/h)	+37	+32	+31.8
제한속도 8km/h 초과차량율(%)	100	98.1	98.1

변하게 이루어지는 노즈부 지점에서 현행 제한속도와 비교하여 그 초과분이 가장 큰 것으로 나타나 현행 제한속도의 조정이 필요한 것으로 판단된다.

3) 제한속도 표지판 위치의 적정성 검토

(1) 제한속도 표지판 설치위치

고속도로 진입구에서는 본선의 설계속도 및 주행속도에 근접한 속도를 낼 수 있는 가속차로의 적정길이 확보가 더욱 중요한 의미를 가지기 때문에 진입구 보다는 진출구에 초점을 맞추었다.

표지판의 설치 위치는 다음 식과 같이 표지판을 인지한 후 감속하는데 필요한 거리에 표지판을 판독하는데 필요한 거리를 감한 거리이다.

- 설치 위치 = 표지판 인지 후 감속하는데 필요한 거리(L) - 판독거리(l)

표지판을 인지한 후 감속하는데 필요한 거리()은 다음 식에 의해서 운전자의 반응시간과 차량의 주행속도, 감속도를 고려하여 산출한다.

$$L = \frac{V_a}{3.6} \times t + \frac{V_a^2 - V_s^2}{2 \times 3.6^2 \times a} \quad (2)$$

여기서,

- L : 표지판 인지 후 가속차로 시작점까지 거리(m)
- t : 반응시간(s)
- V_a : 초기속도(km/h)
- V_s : 나중속도(km/h)
- a : 감속도(m/s²)

표지판을 판독하는데 필요한 거리(l)는 다음 식과 같이 표지판의 글자 크기를 고려하여 산출된다.⁹⁾

$$l = 4.76161 + 3.04176h \quad (3)$$

여기서,

- l : 판독거리(m)
- h : 표지판의 글자 높이(cm)

(2) 제한속도 표지판 위치의 적정성 검토방안

제한속도표지판 위치의 적정성은 위에서 산출된 표지판의 설치 위치와 현재 운영 중인 제한속도표지판의 위치를 비교하여 판단한다.

〈표 10〉 적정성 검토를 위한 설정값

항목	설정값
운전자의 반응시간(sec)	2.5
초기속도(km/h)	본선 진출구에서의 85백분위 속도
나중속도(km/h)	연결로 제한 속도
감속도(m/s ²)	1.96
글자 높이(cm)	22

위와 같은 방법으로 각 IC 진출구별 제한속도 표지판의 적정성을 검토한 결과는 다음과 같다.

〈표 11〉 각 IC별 제한속도 표지판 적정성 검토 결과

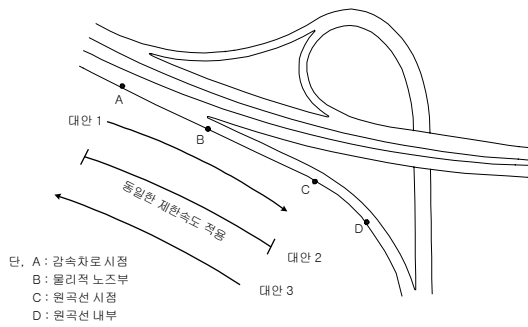
조사지점	구분	진출구(현행)	산출값
양지 IC	제한속도	50km/h	-
	표지판 위치	곡선시점 전방 110m	곡선시점 전방 63m
용인 IC	제한속도	50km/h	-
	표지판 위치	노즈부 전방 40m	노즈부 전방 34m
청원 IC	제한속도	40km/h	-
	표지판 위치	노즈부 전방 100m	노즈부 전방 141m

검토 결과 조사지점은 양지, 청원 IC의 제한속도 표지판 설치위치는 조정할 필요성이 있다고 판단된다.

4. 진출구 제한속도 설정방안

본 연구에서는 고속도로 진출입구의 속도관리 중 진입구에 대해서는 속도관리의 측면이 아닌 차량의 수확간격을 통해 적정 가속차로의 길이를 확보하는 것이 중요하므로 진출구에 초점을 맞추어 본선에서부터 진출구 곡선 내부까지의 단계적 제한속도 설정에 관한 방안을 모색하여 다음과 같은 대안을 제시하였다.

9) 건설교통부 표지판 관련 규정집, 교통안전실무편람(2000)



〈그림 14〉 대안설정 개념도

- 대안 1 : 본선에서 진입하는 차량의 85백분위를 기준으로 가감속도를 이용하여 단계적으로 제한속도 설정
- 대안 2 : 원곡선 시점의 제한속도를 진출구 램프 구간 전체에 적용
- 대안 3 : 원곡선 시점을 기준으로 차량의 감속도를 고려하여 감속차로까지의 단계별 제한속도 설정

1) 대안 1

(1) 단계적 제한속도 설정

진출구 전방 본선 구간의 조정된 제한속도에 1구간에서 측정된 개별차량의 감속도를 적용함으로써 B지점 도달속도(v_{85})를 산출하도록 하며, 이렇게 산출된 도달속도(v_{85})에서 안전성을 높이기 위해 10km/h를 뺀 1구간의 제한속도를 추정한다. 이 때 추정된 제한속도 값은 10km/h 단위의 값을 적용함으로써 운전자에게 인지하

〈표 12〉 대안 1의 단계적 제한속도 설정

구간	양지IC			용인IC			청원IC		
	제한속도 (km/h)	곡선 반경 (m)	도달 속도 (a)	제한속도 (km/h)	곡선 반경 (m)	도달 속도 (b)	제한속도 (km/h)	곡선 반경 (m)	도달 속도 (c)
1구간	90	600	88	90	500	86	100	800	95
2구간	80	210	78	80	200	79	90	230	88
3구간	70	210	69	70	200	68	80	230	79
3구간 이후	60	-	-	60	-	-	70	-	-

주) 1구간(본선 진출구~물리적 노즈부)의 제한속도는 주행회망속도 90km/h로 가정-양지, 용인 IC
 1구간:본선 진출구~물리적 노즈부,
 2구간:물리적 노즈부~곡선시점,
 3구간:곡선시점~곡선내부

기 쉬운 속도를 제공하도록 한다.

B지점의 도달속도(v_{85})를 산출하고 2구간의 제한속도 추정을 통해 동일한 방법으로 C지점의 도달속도(v_{85})와 3구간의 제한속도를 산출해 낸다.

여기서는 평균주행속도를 사용하지 않고 v_{85} 속도를 사용하였는데, 이는 설계속도를 설정하는 방법과 동일하게 평균주행속도 보다 속도가 도로의 특성을 반영하기 때문이다.

대안 1을 적용하여 각 IC별로 부여된 단계적 제한속도는 다음과 같다.

(2) 단계적 제한속도 표지판 설치

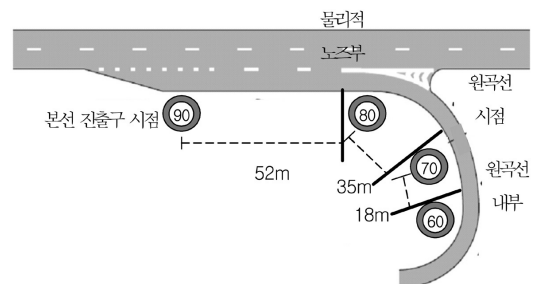
본선 구간의 제한속도 표지판의 위치는 앞서 제한속도 표지판 적정성 검토에 사용되었던 식을 활용하여 산출하였다. 여기서 v_a 는 고속도로 진출구 전방 본선 구간의 변경된 제한속도 90km/h를 적용하였으며, 진출속도인 70km/h를 적용하였다. 또한 감속도는 차량의 평균 감속도인 $0.75m/s^2$ 를 사용하였다.

연결로 구간의 단계적 제한속도 표지판 위치 산출을 위해 초기속도(v_s)와 나중속도(v_a)는 변화하는 제한속도를 적용하였으며, 감속도는 조사된 차량의 평균감속도인 0.75를 사용하였다.

산출된 단계적 제한속도의 표지판 위치는 다음과 같다.

〈표 13〉 제한속도 표지판 설치방안

초기속도 (km/h)	나중속도 (km/h)	감속도 (m/s^2)	주행거리 (m)	판독거리 (m)	설치위치 (m)
80	70	0.75	132	80	52
70	60	0.75	115	80	35
60	50	0.75	98	80	18



〈그림 15〉 단계적 제한속도 표지판 설치의 예

그러나 대안 1의 경우 본선진출구의 제한속도를 주행회망속도 90km/h로 가정했기 때문에 실제 적용에는 무리가 있다고 판단된다.

2) 대안 2

(1) 제한속도 설정

대안 2와 대안 3은 설계속도를 기준으로 제한속도를 적용하는 방안이다. 진출구 램프에서 설계속도가 가장 적은 임계 값(critical value)을 가지는 곳은 곡선반경이 가장 작은 원곡선 구간이다. 이에 대안 2와 대안 3은 원곡선 반경이 가장 적은 원곡선 구간의 시점을 기준으로 제한속도를 설정하고 이를 램프 전체에 적용할지 또는 단계별로 제한속도를 적용하는 지에 대해 설명하였다.

본 연구에서는 조사 지점의 설계속도를 추정하기 위하여, 고속도로 IC 진출구 램프구간 중 가장 적은 설계속도로 설계된 구간인 원곡선을 기준으로 정하였으며 원곡선의 곡선반경은 도면을 통하여 산출하였다.

〈표 14〉 각 IC별 원곡선 곡선반경에 따른 설계속도

IC명	지점	곡선반경(m)	추정설계속도(km/h)
양지IC	진출구	210	72
용인IC	진출구	200	70
청원IC	진출구	230	74

양지IC, 용인IC, 청원IC의 설계속도는 각각 72km/h, 70km/h, 74km/h로 나타났으나, 실제 도로의 설계 속도는 70km/h로 설계된 것으로 가정하였다.

이에 각 램프의 원곡선 시점의 설계속도는 70km/h로 산정하였고, 제한속도는 램프구간에는 60km/h를 제안하였다.

(2) 통계적 검증(T-검정)

대안 2는 램프를 하나의 동일체(완화곡선-원곡선)로 간주하고, 감속차로를 통과하여 물리적 노즈부로 진입한 차량에 동일한 제한속도를 적용하는 방법으로 접근하였다.

본 연구에서는 수집된 각 IC에서의 조사지점 중 감속차로 시점을 제외한 물리적 노즈부-원곡선 시점과 원곡선 시점-원곡선 내부, 두 집단이 동일한 분산을 가진다는 가정 아래 수집된 속도자료를 이용하여 속도특성을 't-검정: 등분산 가정 두 집단' 분석을 수행하였으며, 가설은 다음과 같이 설정하였다.

- H_0 : 분석하는 두 집단은 동일
- H_1 : 분석하는 두 집단은 서로 상이

(3) 통계 분석(t-검정) 결과

유의수준은 95%($\alpha=0.05$)로 설정하였고 t-검정을 수행한 결과는 다음과 같다.

양지, 용인 청원 IC의 원곡선 시점~원곡선 내부의 t-검정 결과 모두 신뢰수준 95%($\alpha=0.05$)보다 큰 P값이 도출되었다. 이는 통계적으로 볼 때 귀무가설인 H_0 를 기각하지 못하여 원곡선 시점과 내부를 동일집단으로 볼 수 있음을 의미한다. 즉, 램프 내부에서 원곡선 시점과 원곡선 내부는 동일한 주행속도 패턴을 나타내는 것으로 나타나 원곡선 시점과 원곡선 내부에는 동일한 제한속도를 적용할 수 있는 근거를 마련하였다.

물리적 노즈부~원곡선 시점의 t-검정 결과 양지, 청원 IC는 신뢰수준 95%($\alpha=0.05$)보다 적은 P값이 도출되었다. 이는 통계적으로 볼 때 귀무가설인 H_0 를 기각하여 물리적 노즈부와 원곡선 시점이 서로 상이한 집단으

〈표 15〉 양지 IC 진출구 t-검정 통계값

구 분	승용차				화물차			
	노즈부	원곡선 시점	원곡선 시점	원곡선 내부	노즈부	원곡선 시점	노즈부	원곡선 시점
평균(km/h)	67	57	57	57	65	57	57	57
분산	45	33	33	36	54	41	41	40
관측수(대)	70				59			
가설 평균차	0				0			
자유도	138				116			
P(T<=t) 양측 검정	1.27E-15		0.69		2.41E-9		0.94	

〈표 16〉 용인 IC 진출구 t-검정 통계값

구 분	승용차				화물차			
	노즈부	원곡선 시점	원곡선 시점	원곡선 내부	노즈부	원곡선 시점	노즈부	원곡선 시점
평균(km/h)	56	55	55	56	53	54	54	55
분산	52	46	46	37	34	37	37	45
관측수(대)	54				50			
가설 평균차	0				0			
자유도	106				98			
P(T<=t) 양측 검정	0.48		0.41		0.61		0.20	

〈표 17〉 용인 IC 진출구 t-검정 통계값

구 분	승용차				화물차			
	노즈부	원곡선 시점	원곡선 시점	원곡선 내부	노즈부	원곡선 시점	노즈부	원곡선 시점
평균 (km/h)	72	66	66	66	65	60	60	60
분산	102	84	84	95	79	72	72	77
관측수 (대)	54				69			
가설 평균차	0				0			
자유도	106				136			
P (T<t) 양측 검정	0.003		0.41		0.001		0.64	

〈표 18〉 통계검증 결과

구분	승용차				화물차			
	노즈부	원곡선 시점	원곡선 시점	원곡선 내부	노즈부	원곡선 시점	노즈부	원곡선 시점
양지IC	●		○		●		○	
용인IC	○		○		○		○	
청원IC	●		○		●		○	

주) ○= 서로 동일한 집단, ●= 서로 상이한 집단

로 볼 수 있음을 의미한다.

그러나 용인 IC의 물리적 노즈부~원곡선 시점의 t-검정 결과는 신뢰수준 95%($\alpha=0.05$)보다 큰 P값이 도출되어 양지나 청원 IC의 경우와 달리 물리적 노즈부와 원곡선 시점이 동일한 집단으로 볼 수 있다.

용인 IC의 경우 램프로 진입하는 85백분위 진입속도가 다른 IC에 비해 작은 것으로 나타났다. 이는 용인 IC의 경우 교통량이 많아 진입 시 교통량의 영향 및 기하구조 요소 등으로 다른 IC보다 진입속도가 낮은 것으로 판단되었다. 그러나 특정지점의 제한속도 설정이 아닌 일 반환된 제한속도 설정방안이 본 연구의 목적이므로 용인 IC도 대안 3에 적용하였다.

3) 대안 3

(1) 진출구 램프의 감속도 적용

대안 3에서는 속도 특성이 다른 물리적 노즈부 시점과 원곡선 시점까지 단계별 제한속도 및 표지판 위치를 설정하기 위하여 곡선 반경을 통해 설정된 원곡선 시점의 제한속도와 진출구 램프의 차량 감속도를 이용하는 방법으로 접근하였다.

제한속도 표지판을 설치하게 될 경우 본선의 운전자들이 혼동을 방지하기 위해, 물리적 노즈부를 통과한 후 설치하기 위하여, 1, 2, 3의 3개 구간 중 2구간 즉, 물리적 노즈부와 원곡선 시점구간의 감속도만을 고려하였다.

〈표 19〉 각 IC의 물리적 노즈부와 원곡선 사이의 감속도

IC명	위치	2구간의 평균 감속도 (m/sec ²)	램프의 85백분위 진입속도 (km/h)
양지IC	승용차	-1.4	82.7
	화물차	-1.2	74.7
용인IC	승용차	-0.2	75
	화물차	0.1	71
청원IC	승용차	-1.9	97
	화물차	-1.5	89

용인 IC를 제외한 양지와 청원 IC의 평균 감속도는 승용차의 경우 약 -1.6m/sec², 화물차의 경우 약 -1.3m/sec²로 나타났다. 이에 대안 3에서는 감속도를 화물차를 기준으로 할 때 곡선 2구간의 감속도를 -1.3m/sec²로 적용하여 원곡선 시점에서 제한속도를 설정한 후 진출구 물리적 노즈부까지의 구간장에 따라 감속도 -1.3m/sec²를 적용했을 때, 물리적 노즈부~원곡선 시점 구간에 적용될 단계적 제한속도 값을 다음 표와 같이 구하였다.

〈표 20〉 물리적 노즈부 제한속도

원곡선~물리적 노즈부(m)	적용 감속도 (m/sec ²)	원곡선 시점부의 제한속도			
		40km/h	50km/h	60km/h	70km/h
10	-1.3	44	53	63	72
20	-1.3	48	56	65	75
30	-1.3	51	59	68	77
40	-1.3	54	62	70	79
50	-1.3	57	65	73	81
60	-1.3	60	67	75	83
70	-1.3	63	70	77	85
80	-1.3	66	72	80	87
90	-1.3	68	74	81	89
100	-1.3	70	77	83	91

〈표 21〉을 이용하여 고속도로 IC 진출구의 단계적 제한속도 설정은 다음과 같은 방법을 제안하였다.

- 단계적 제한속도의 설정구간은 대안 2에서 검증된 통계적 분석(T-검정)결과에 따라 현장조사에서 설

정된 양지, 청원 IC의 2구간(물리적 노즈부~원곡선 시점)에 적용함

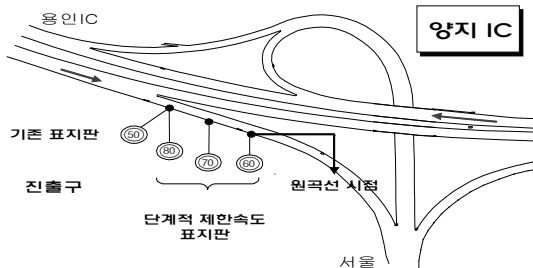
- 진출구 원곡선 시점의 곡선반경에 따라 설정된 설계속도에서 0~10km/h를 감한 속도를 원곡선 시점의 제한속도로 설정
- 설정된 원곡선 시점의 제한속도와 2구간(물리적 노즈부~원곡선 시점)의 평균 감속도(화물차 기준)를 이용하여 10km/h 씩 증가된 속도를 <표 20>에서 추출하여 단계적 제한속도로 설정하고 이러한 방식으로 물리적 노즈부까지 적용함
- 제한속도 표지판 설치위치는 위의 단계에서 설정된 제한속도 변화 지점에 설치함

<표 21> 단계적 제한속도 설정 및 표지판 설치위치

구분	양지IC		용인 IC		청원IC	
	제한 속도 (km/h)	표지판 설치위치	제한 속도 (km/h)	표지판 설치위치	제한 속도 (km/h)	표지판 설치위치
원곡선 내부 이후	60	-	60	-	60	-
원곡선 시점	60	원곡선 시점	60	원곡선 시점	60	원곡선 시점
원곡선~물리적 노즈부	70	원곡선→40m지점	70	원곡선→40m 지점	70	원곡선→40m지점
	80	원곡선→80m지점				
물리적 노즈부	80	-	80	-	70	-
감속차로	90	-	90	-	100	-

(2) 단계적 제한속도 표지판 설치

물리적 노즈부의 표지판 설치기준은 현재 명확한 기준이 제시되어 있지 않다. 다만 문자를 인식하기 위한 운전자의 시야범위가 3°~10°의 범위임을 고려할 때 물리적 노즈부의 곡률 범위가 본선과 15° 이상의 지점에서부터 제한속도 표지판 설치를 제안하였다.



<그림 16> 단계적 제한속도 표지판 설치 예

III. 결론

교통사고의 대부분이 차량 사이에 속도편차가 원인이라는 점을 감안할 때 제한속도는 차량의 주행특성을 고려하여 설정되어야 한다. 이러한 차원에서 제한속도의 상향 조정 혹은 하향 조정에 의미를 두기보다는 각 도로의 특성에 맞는 속도분포를 충분히 고려해야 한다. 차량의 속도분포를 가장 잘 설명하는 85백분위 속도에 대한 조사 및 추정을 통해 속도차를 줄일 수 있는 방안을 모색해야 한다.

따라서 본 연구에서는 제한속도 설정 방법론을 제시하여 운영 중인 도로에 대한 제한속도의 조정을 통해 교통사고 위험성을 줄이고 도로의 안정성을 높이는 제한속도를 설정하도록 하였다. 또한 제한속도 표지판을 설치하는 위치에 대한 연구를 통해 적절한 표지판 설치 위치를 찾고자 하였다. 특히 감속차로로 진출 전 본선 구간에 안전속도(Advisory Speed) 개념의 제한속도 표지판 적용 방안을 제시하였다.

하지만, 이러한 제한속도의 방법론 및 제한속도 표지판 설치 기준 연구에는 한계성이 있으며 단계적 제한속도 대안 설정에 적용되었던 고속도로 IC 진출구의 설계 속도, 85백분위 속도, 감속도 또한 제한적인 데이터를 토대로 산출해 낸 값이므로 좀 더 많은 현장조사와 향후 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 건설기술연구원, 『도로 선형 및 노면 안전성 분석 모형 개발』, 2004.
2. 건설기술연구원, 『도로 곡선부의 안전성 향상을 위한 평면선형 설계지침 연구』, 1998.
3. 교통안전공단 교통과학연구원, 『합리적인 속도관리 방향』, 교통기술자료 통권 13호, 2004.
4. 도로교통안전관리공단, 『교통사고 조사 매뉴얼-공학편 1단계』, 2001.
5. 도로교통안전관리공단, 『도로종류별 속도관리방안 연구』, 2004.
6. 대한토목학회, 『속도에 따른 평면곡선부 설치 방안』, 논문집. 2000.
7. 김용석, 『고속도로 차종별 규제속도 타당성 연구』, 한양대학교 환경과학대학원 석사학위 논문, 1996.

8. 임삼진, 『합리적인 최고속도 제한방법』, 한양대, 2005.
9. Charles A. Lave. Speeding, Coordination, and the 55mph Limit. The American Economic Review, 1985.
10. Jack Stuster & Zail Coffman, Synthesis of Safely Research Related to Speed and Speed Management, FHWA-RD-98-154, July 1998.
11. Lamm. R, and E. M. Choueiri, Rural Roads Speed Inconsistencies Design Methods, 1977.

✉ 주 작 성 자 : 임근호
✉ 교 신 저 자 : 최현석
✉ 논문투고일 : 2006. 10. 28
✉ 논문심사일 : 2006. 11. 29 (1차)
 2007. 7. 4 (2차)
 2007. 7. 17 (3차)
✉ 심사판정일 : 2007. 7. 17
✉ 반론접수기한 : 2007. 12. 31