

■ 論 文 ■

고속도로 분류부 설계기법 개선 연구

A Study on Improvement of Design Method for Freeway Diverging Areas

박 재 범

(한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원)

이 승 준

(한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원)

강 정 규

(한국도로공사 도로교통기술원 연구위원)

김 일 환

(한국도로공사 조사팀 부장)

목 차

- I. 서론
- II. 관련 기준 고찰
- III. 분류부 현황 조사 및 분석
- IV. 분류부 사고 예측모형 개발

- V. 분류부 설계기법 개선안 도출
- VI. 결론
- 참고문헌

Key Words : 분류부 설계기준, 감속차로, 완화곡선, 감속행태, 음이항회귀모형
 diverging area design criteria, deceleration lane, transition curve, deceleration behavior, negative binomial regression model

요 약

고속도로 분류부는 고속에서 저속으로의 급격한 감속, 양호한 기하구조에서 취약한 기하구조로의 급격한 선형변화가 발생하는 구간으로, 고속도로 구성요소 중 사고위험이 매우 높은 구간에 해당된다. 따라서 분류부 설계시는 안전하고 원활한 교통흐름이 이루어지도록 세심한 주의를 기울여야 함은 물론 이의 달성을 위한 설계기준이 수립되어야 한다. 이에 따라 현 도로설계기준에서는 차로변경을 위한 변이구간, 감속을 위한 감속구간 그리고 무한 곡선반경에서 유한곡선반경으로의 원활한 차량주행체적 변경을 위한 완화곡선 등 이를 위한 설계기준을 제시하고 있으나, 실제 그 적용에 있어서는 설계기준상의 각 구간별 구성에 대한 정의가 명확하지 않아 분류부의 각 구성요소가 중첩되어 설계되고 있다. 이러한 설계기준상의 문제로 인한 각 구성요소간 혼재는 현 설계기준에서 의도하고 있는 분류부에서의 역할을 충분히 발휘하지 못하게 하는 결과를 초래하고 있으며, 일관된 선형을 기대하는 운전자에게 혼동을 야기시키는 등 많은 고속도로 분류부 현장에서 안전상 문제점으로 작용하고 있다.

따라서 본 연구에서는 고속도로 분류부에서의 실측 현장조사 데이터를 바탕으로 분류부 차량주행태 특성 분석 및 사고예측모형의 개발을 통해 다양한 교통조건 및 기하구조 조건을 고려한 분류부 설계기준 개선안을 제시하였다.

Freeway diverging areas are very vulnerable to traffic accidents due to abrupt vehicle speed changes and geometric changes. Therefore, in designing diverging areas, much attention should be paid to safety. The present design criteria about freeway diverging areas regulate transition sections for lane changes, deceleration lanes, transition curves for direction changes, and other similar items. However, the design criteria were often violated in implementation because of ambiguities in the criteria.

This study aims at clarifying and improving the present design criteria for freeway diverging areas. For this, field survey data and traffic accident data for diverging areas were analyzed.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

고속도로 분류부는 차량들의 감속, 연결로 교통류의 진출 및 이로 인한 본선 교통류의 차로변경 등이 빈번히 일어나고 사고발생률이 높은 구간으로 설계시 안전하고 원활한 교통흐름이 이루어지도록 세심한 주의를 기울여야 한다. 그러나 현재 준용하고 있는 설계기준은 분류부에서 발생하는 교통특성 및 안전측면의 고려사항을 충분히 반영하지 못하고 있으며, 이로 인해 많은 고속도로 분류부 현장에서 안전상의 문제가 야기되고 있다.

본 연구에서는 고속도로 분류부에서의 현장조사 실측 데이터를 바탕으로 사고예측모형을 개발하고 운전자 주행특성을 고려한 분류부 설계기법 개선안을 제시하고자 한다.

2. 문제제기 및 연구방향 설정

고속도로 분류부는 변이구간, 감속구간, 완화(곡선) 구간, 원곡선구간의 4개 세부 구간으로 구분할 수 있다. 현 설계기준은 이들 각 세부 구간들이 각각의 목적에 적합한 기능을 수행할 수 있도록 길이 기준이 규정되어 있는 바, 분류부의 설계시에는 이러한 세부 구간들이 통합되어 안전한 차량분류를 유도할 수 있어야 한다. 현재 분류부와 관련된 설계기준은 『도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙』에서 제시하고 있으며 여기에는 분류부 세부 구성요소에 대한 각 설계기준 값들이 제시되고 있다.

그러나 이러한 설계기준 값을 제시하고 있는데 반하여 세부 구성요소의 설치와 관련된 설계기법은 명확히 제시하지 않아 일부 구성요소 간 중첩 설계가 이루어지고 있다. 즉, 실제 설계현장에서는 분류부의 각 구성요소별 역할을 명확히 이해하지 못함에 따라 구성요소간 중첩(예를 들어, 감속구간과 완화(곡선)구간의 중첩)설계가 되고 있으며, 설계시 구성요소간 연계에 대한 기준이 없어 설계자에 따라 중첩설계의 양태 또한 매우 다양하게 나타나고 있어 당초 의도한 기능이 충분히 발휘되지 못하고 있는 실정이다. 또한, 국내에서 사용하고 있는 대부분의 설계기준은 외국의 조사 자료에 근거한 기준으로서 실제 국내 차량의 주행행태를 만족시키는데 대한 검토 역시 필요한 상태이다.

구체적으로 기존 설계방법의 문제점을 크게 세 가지로 요약하면 첫째, 분류부 각 세부 구간의 설치목적 위배이다. 분류부는 변이구간, 감속구간, 완화(곡선)구간, 원곡선구간으로 나누어져, 각 구간의 설치 목적이 존재한다. 그러나 현재의 분류부 설계방식에 있어서는 이러한 각각의 설치목적이 지켜지지 않고 감속구간과 완화곡선구간이 서로 중첩되어 사용되고 있다. 비록 현재 설치 또는 설계되는 분류부가 감속차로 길이 기준 및 완화곡선 길이 기준을 각각 충족시키고는 있으나, 대부분의 분류부에서 완화(곡선)구간이 감속차로에 포함되어 있는 실정인바 비록 설계기준상에는 문제가 없다 하더라도 완화구간의 경우, 노즈부 이후 원곡선까지 이르는 차량주행체적 변경을 위한 구간의 길이는 부족한 실정이며, 감속구간의 경우 역시 감속과 주행체적 변경의 두 가지 작업을 동시에 수행해야 하는 곤란한 점이 있다.

둘째, 현 설계기준에는 감속차로 및 완화곡선의 길이 기준은 제시되어 있으나, 완화곡선의 시작위치와 관련하여서는 별다른 기준 없이 설계자의 재량에 맡기고 있어 설계의 일관성이 저하되고 지점에 따라서는 사고 위험을 증가시키는 원인으로 작용하기도 한다. 즉, 설계자의 능력과 경험의 차이에 따라(예를 들어, 초급기술자와 특급기술자의 차이) 분류부 연결로의 선형이 상이하고, 이는 고속도로 분류부 전체의 선형이 일관되지 못한 문제점을 일으켜 연결로에서의 불안정한 운전을 야기하고 사고 위험을 증가시키는 원인으로 작용하고 있다. 다시 말하면, 설계자의 설계능력에 따라 양호한 설계와 불량한 설계가 이루어지고 있으며, 고속도로 전체에 대하여 이러한 양호한 설계와 불량한 설계가 혼재되어 일관되지 못한 연결로 선형설계의 결과가 나타나고 있다고 할 수 있다.

셋째, 운전자의 주행행태 및 안전을 고려한 설계기준 미흡이다. 고속도로 교통사고 통계(한국도로공사, 2006)에 의하면 2005년 한해동안 발생한 교통사고를 위치별로 구분하였을 때 램프부에서 발생한 교통사고가 총 245건으로 전체의 8.5%를 차지하고 있으며 본선 77.1%(2221건)를 이어 두 번째로 높은 수치로 나타났다. 그러나 이는 단순 사고건수에 대한 비교결과이며 이를 단위 연장 대비로 구분하였을 경우 사고율은 고속도로 전체 구성요소중 가장 높은 것으로 추정된다. 이와 같이 사고위험성이 매우 높은 구간인 램프부에 대한 안전성 강화방안이 필요하며 분류부의 경우는 각각의 세부 구성요소가 제 기능을 충분히 수행하게 함과 동시에 추가적으로 안전을 강화한 설계가 되도록 하여야 한다. 즉,

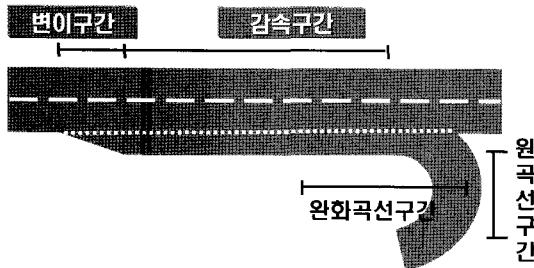
감속구간 내에서 충분한 감속이 이루어지도록 유도하고 과속으로 노즈부를 통과한 차량들에게는 안전이 강화된 기하구조를 제공하는 방안이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 고속도로 분류부의 현황조사를 통해 구축된 62개 분류부의 기하구조 자료와 동 지점에서 발생한 4년간의 사고자료(총 88건) 및 실측 현장조사 데이터를 바탕으로 분류부 각 세부 구성요소의 기능을 유지하고 교통안전을 강화한 분류부 설계기법 개선안을 제시하고자 한다.

II. 관련 기준 고찰

1. 국내기준 고찰

『도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙』에 규정된 유출연결로에 대한 세부 구성요소는 1) 변이구간, 2) 감속구간, 3) 완화(곡선)구간, 4) 원곡선구간으로 구분된다.



〈그림 1〉 유출연결로의 구성

1) 변이구간

변이구간길이의 계산법에는 ①자동차가 한 차로를 변경하는데 필요한 시간(3~4초)으로 계산하는 방법, ②S형 주행의 궤적을 배향곡선으로 계산하는 방법이 있다.

2) 감속구간

감속구간의 길이는 ①자동차가 감속구간에 진입할 때의 도달 속도, ②자동차가 감속구간을 주행 완료했을 때의 속도, ③감속의 방법 또는 감속도의 세 가지 요소를 기준으로 하여 정해진다.

감속구간 길이의 산정은 미국 AASHTO의 기준을 따르며, 승용차를 대상으로 다음과 같은 가설을 전제로 한다.

- 유출 차량은 감속구간의 선단을 평균 주행속도(도

달속도)로 통과한다.

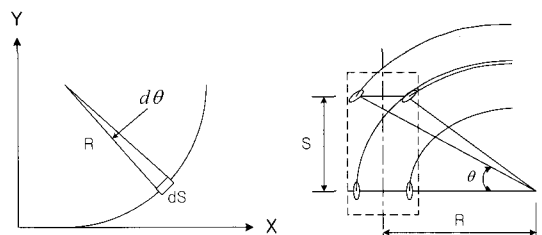
- 그 후 운전자에게 불쾌감을 주지 않을 정도로 브레이크를 이용하여 감속하며, 감속차로 끝에서 연결로의 평균 주행속도에 이른다.

3) 완화(곡선)구간

자동차가 평면선형의 직선부에서 곡선부로, 곡선부에서 직선부로, 또는 곡선부에서 다른 곡선부로 원활히 주행하도록 하기 위해서 주행궤적의 변화에 따라 운전자가 쉽게 적응할 수 있도록 변이구간을 설치하여야 한다. 일반적으로 자동차의 완화주행궤적과 가장 비슷한 클로소이드 곡선(Clothoid Spiral)을 사용하는데 『도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침』에 제시된 클로소이드 일반식의 유도과정을 살펴보면 다음과 같다. <그림 2>에서 자동차의 회전각속도는 식(1)로 나타낼 수 있다.

$$w = \frac{d\theta}{dt} = \frac{d\theta}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = \frac{v}{R} \tag{1}$$

- 여기서, w : 자동차의 회전각속도
- v : 자동차의 주행속도(m/sec)
- R : 주행궤적상의 임의의 점에서의 평면곡선반경
- θ : 회전각



〈그림 2〉 자동차의 완화주행

자동차의 주행속도 v 를 정속으로 가정하면 회전각 w' 는 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$w' = \frac{d}{dt} \left(\frac{d\theta}{dt} \right) = \frac{v}{s} \sec^2 \theta \frac{d\theta}{dt} \tag{2}$$

단, $R = \frac{s}{\tan \theta}$ (〈그림 2〉 참조)

직선부에서 평면곡선부로 또는 평면곡선부에서 직선 부로 주행하는 회전각 가속도 w' 가 일정하게 될 때 운전 자가 안전하고 쾌적하게 주행할 수 있으며, 그 때의 궤적 을 구해보면 다음과 같다.

$$\frac{v}{s} \sec^2 \theta \cdot \frac{d\theta}{dt} = k$$

이를 풀면, $\tan \theta = \frac{k \cdot s}{v} \cdot t + c$

$t=0$ 일 때, $\tan \theta = 0$ 이므로 $c=0$

따라서, $R = \frac{v}{k \cdot t}$

완화곡선의 길이를 L 이라 하면,

$$t = \frac{L}{v} \text{ 이므로 } R = \frac{v^2}{k \cdot L}$$

그러므로

$$R \cdot L = \frac{v^2}{k} = A^2 \quad (A^2 = \frac{v^2}{k} = \text{일정}) \quad (3)$$

식(3)은 클로소이드(Clothoid)의 일반식이다.

자동차의 구조상 θ 는 $0 \sim 30^\circ$ 이므로 $\sec^2 \theta$ 는 거의 일정한 값이 되며, 따서 $\frac{d\theta}{dt}$ 도 거의 일정하며 θ 가 핸들 회 전각과 비례한다고 생각하면 이 주행은 회전속도가 거의 일정한 주행이라 생각할 수 있다.

4) 원곡선구간

차량이 평면곡선을 주행할 때는 원심력이 발생하는데, 이 로 인해 평면곡선을 주행하는 차량은 곡선 바깥쪽으로 밀려 나는 힘을 받게 된다. 원심력에 대항하기 위해 도로 설계에서 는 노면마찰계수, 편경사, 곡선반경의 세 요소를 고려한다.

이상의 분류부 각 구성요소별 기능을 운전자의 수행 작업과 연계하여 간단히 정리하면 <표 1>과 같다.

<표 1> 분류부 구성요소별 운전자 수행 작업

구 분	브레이크 조작	핸들 조작	비고
변이구간	×	○	차로변경
직선구간	○	×	감속
완화곡선	×	○	정속, 원심가속도 변화율을 일정하게 유지
원곡선구간	×	×	정속

2. 국·내외 설계기준 비교

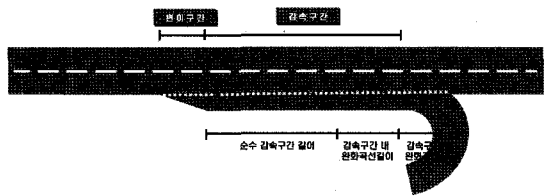
국·내외 감속차로 설계기준을 비교해 보면, <표 2>와 같이 감속차로와 완화곡선 설치연장 및 계산방식이 나라별로 기본개념 상의 차이점이 있는 것을 파악할 수 있다. 이중, 감속차로의 길이는 속도와 감속도에 따라 달라지는데 감속도는 일반적으로 일정하므로 속도가 감속 차로 길이 산정에 가장 중요한 요소이다. 감속차로 길이 산정시 적용되는 속도는 설계속도가 아닌 본선 및 연결 로의 평균 주행속도로서, 우리나라의 경우 외국 고속도로의 실측자료를 인용하여 사용하고 있다.

이와 관련하여 현재 적용하고 있는 외국 자료가 우리나라 운전자의 특성 및 도로 여건에 부합하는지 여부를 파악할 필요가 있으며, 이를 바탕으로 감속차로 설치연 장과 설치방법에 대한 기준 제시가 필요하다.

III. 분류부 현황조사 및 분석

1. 기하구조 현황조사 및 분석

본 연구에서는 앞서 언급한 바와 같이 총 62개 고속 도로 IC(분류부)에 대한 기하구조 현황조사(<그림 3> 참조)와 더불어 기하구조와 사고와의 관계 분석을 위해 동 IC에서 발생한 최근 4년간의 사고조사를 병행하였다.



<그림 3> 감속차로 구성요소 구분

1) 감속구간 길이

감속구간 길이 현황을 정리하면, 연결로 감속구간 길 이의 평균은 약 223m로 그 범위는 최소 100m에서 최 대 900m까지 분포되어 있는 것으로 나타났으며, 연결 로 형태별로는 직결형 또는 S형 연결로의 경우 평균 233m 및 최소 100m로 조사되었고, 루프형 연결로의 경우 평균 216m 및 최소 120m로 조사되었으며 대부분 의 분류부가 설계기준을 만족하고 있는 것으로 나타났

다. 반면, 전체 감속구간의 길이 중 완화곡선 길이를 제외한 순수 감속구간 길이의 경우, 직결 또는 S형 연결로는 16개소가 그리고 루프형 연결로는 8개소가 감속에 필요한 길이를 확보하지 못한 것으로 나타났다.

2) 완화곡선 길이

조사지점에 대한 완화곡선 길이의 평균은 약 64m로 그 범위는 최소 0m에서 최대 250m까지 분포하는 것으로 나타났으며, 연결로 형태별로는 직결 또는 S형 연결로의 경우 평균 62m, 최대 250m로 조사되었고 루프형 연결로의 경우는 평균 60m, 최대 110m인 것으로 조사되었다. 이를 <그림 3>에 제시된 바와 같이 좀 더 세분하여 살펴보면 감속구간에 포함된 완화곡선 길이의 경우, 평균 38.6m, 최대 120m인 것으로 나타났으며 연결로 형태별로는 직결형 또는 S형 연결로가 평균 40m, 최대 120m인 것으로 조사되었고 루프형 연결로의 경우는 평균 31m, 최대 110m인 것으로 조사되었다. 이를 각 연결로 형태별 완화곡선 길이의 평균값과 비교해 보면 직

결형 또는 S형 연결로의 경우 완화곡선 길이의 64.5%, 그리고 루프형 연결로의 경우 51.7%가 감속구간에 포함되어 있는 것으로 나타났다.

노즈 후 완화곡선 길이의 경우는 평균 25.5m, 최대 200m인 것으로 나타났으며 연결로 형태별로는 직결형 또는 S형 연결로는 평균 22m, 최대 200m인 것으로 조사되었고 루프형 연결로의 경우는 평균 30m, 최대 60m인 것으로 조사되었다. 이를 설계기준상에서 제시된 최소 완화곡선 길이와 비교하여 보면 직결형 또는 S형 연결로의 경우 설계기준인 30m에 미달하는 개소 수가 29개소, 루프형 연결로의 경우는 설계기준인 25m에 미달하는 개소 수가 9개소에 달하는 것으로 나타났다.

3) 완화곡선 시작 위치

현재 완화곡선 시점과 관련하여서는 특별한 설계기준이 존재하지 않고 설계자 및 지역여건에 따라 그 시작 위치가 결정되고 있는 것으로 조사되었다.

본 연구에서는 완화곡선의 시작위치를 확인하기 위해

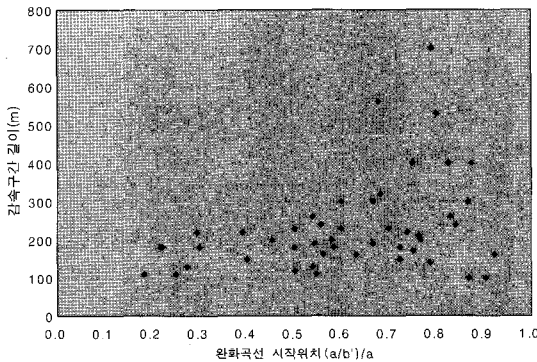
<표 2> 국·내외 분류부 설계기준 특성

구 간	우리나라 : 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙(2001)	미국 : AASHTO (2001)	일본 : 도로구조령 (2004)	독일 : RAS (1976)
감속차로 및 변이구간 길이 산정방법	•본선과 램프의 설계속도별로 구분하여 산정	•본선과 램프의 설계속도별로 구분하여 산정 •감속차로 변이구간 길이 : 75m로 일정	•본선과 램프의 설계속도별로 구분하여 산정하나 변이구간을 감속차로에 포함	•본선과 램프의 차로수에 따라 산정(본선과 램프의 설계속도별 차등없음)
감속차로	시점	변이구간 시점 <램프 곡선반경 300m인 지점 ※노즈 아님>	변이구간 시점 <노즈>	변이구간 시점 <차선도색 분기점 ※노즈 아님>
	종점	노즈 <변이구간 종점>	램프 곡선반경 300m인 지점 ※노즈 아님 <변이구간 종점>	노즈 선단 <변이구간 종점>
감속차로가 2차로인 경우	변이구간을 제외한 길이의 1.2배 이상 <변이구간을 제외한 길이의 1.2~1.5배 이상>	(직접식) : 변이구간(90m)+감속구간(450m)+1차로 감속차로 <차선도색 분기점에서 최소 750m> (평행식) : 변이구간(90m)+감속구간(450m)+변이구간(90m)+1차로 감속차로 <차선도색 분기점에서 최소 750m>	외측 차로의 변이구간을 제외한 길이의 1.2~1.5배 적용	-
변이구간 길이	본선 설계속도별로 차등을 두어 산정	75m로 일정	감속차로 연장에 포함	본선출구 및 램프 유형에 따라 산정
완화곡선 최소 길이 계산	$L = \frac{V}{3.6} \times t$ (t=2초)	$L = \frac{\alpha V^3}{RC}$ $\alpha : 0.0214$ $C = 1.2 : (m/s^3)$	$L = \frac{V}{3.6} \times t$ (t=3초) $L = \frac{\alpha V^3}{RC}$	R=40-60m인 루프의 경우 A=R
브레이크 이용시 감속도 값	1.96%(0.20g)	1.96%(0.20g)	2.4%(0.25g)	-

감속구간 중 완화곡선을 제외한 길이가 차지하고 있는 비율인 $(a-b')/a$ (〈그림 3〉 참조)를 이용하였으며 현황 데이터 중 완화곡선이 존재하지 않는 지점을 제외한 총 53개소의 기하구조 자료를 사용하였다. $(a-b')/a$ 값은 현 설계기준상에서 정의하고 있는 감속구간 길이 대비 순수 감속구간 길이로서 이 값이 클수록 완화곡선의 시작위치가 감속구간의 후반부에서 시작한다는 것을 의미하며 감속구간에 포함된 완화곡선 부분이 없을 경우 이 값은 1로 표현된다.

완화곡선 시작위치의 평균값은 0.62로 나타나 대부분의 완화곡선이 감속구간 중반부에서 시작되는 것으로 조사되었으며, 중위수를 기준으로 95%가 0.62~0.72 사이에 분포하는 것으로 조사되었다. 또 평균값이 0.62임을 감안할 때 순수하게 감속을 위한 구간으로 사용되는 길이는 대략 감속구간 길이의 62%인 것으로 나타났다.

또한 〈그림 4〉에서 보는 바와 같이 완화곡선 시작위치의 분포가 일관성 없이 넓게 퍼져있는 것으로 나타나 완화곡선 시작위치에 대한 일관성 확보가 필요한 것으로 판단된다.



〈그림 4〉 완화곡선 시작 위치 분포

〈표 3〉 분류부 세부 구성요소별 현황

구분	연결로 형태	평균 값	최대 값	최소 값	표준편차	비고
감속구간 길이(m)	루프	216	400	120	7.60	설계기준(100km/h): 145m, N=21
	직결, S	233	900	100	157.78	설계기준(100km/h): 135m, N=41
완화곡선 길이(m)	루프	60	110	0	27.22	설계기준(40km/h): 25m, N=21
	직결, S	62	250	0	51.33	설계기준(50km/h): 30m, N=41
감속구간내 완화곡선 길이 (m)	루프	31	110	0	228.19	
	직결, S	40	120	0	31.86	
순수 감속구간 길이 (m)	루프	185	370	80	79.29	145m 미달 개소: 8개소
	직결, S	192	900	25	157.22	135m 미달 개소: 16개소
감속차로 후 완화곡선 길이 (m)	루프	30	60	0	17.92	25m 미달 개소: 9개소
	직결, S	22	200	0	41.49	30m 미달 개소: 29개소
완화곡선 시작위치 $\frac{a-b'}{a}$	루프	0.68	0.92	0.40	0.14	
	직결, S	0.59	0.87	0.18	0.21	

2. 사고현황 및 분석

기하구조 분석 대상 IC에 대한 4년(2001년~2004년)간의 사고현황을 살펴보면, 총 사고건수는 88건으로 사고가 가장 많이 발생한 지점은 서해안고속도로의 루프형 연결로인 서평택 IC 서울방향이 연평균 3건으로 가장 높게 나타났다. 연결로 형태별로는 루프형 연결로 분류부에서 4년간 35건이 발생하여 지점당 평균 1.67건이 발생하였으며, 직결형 또는 S형 연결로 분류부에서는 평균 1.27건이 발생한 것으로 분석되었다. 사고 유형별로는 과속으로 인한 사고가 총 39건으로 전체의 44.3%를 차지하였으며 핸들 과대조작으로 인한 사고가 15.9%인 14건이 분류부 구간에서 발생한 것으로 나타났다. 이러한 사고원인 분포 및 연결로 형태별 평균사고발생 건수를 감안해 볼 때 고속도로 분류부에서의 교통사고는 도로기하구조와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단되며 이에 대한 개선이 필요하다고 말할 수 있다.

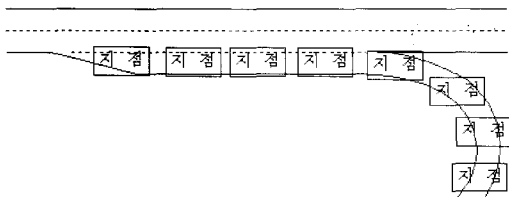
한편, 도로기하구조와 사고와의 관계를 분석하기 위해 앞의 고속도로 분류부 기하구조 현황 자료와 사고현황 자료(4년간 발생한 지점별 사고건수, 백만-차량-km 당 발생한 사고율)를 취합하여 정리하였다.

3. 차량 주행행태 조사

고속도로 분류부에서의 차량주행행태 및 세부 구성요소별 교통특성을 파악하기 위해 현장조사를 실시하였다. 현장조사의 주요 목적을 구체적으로 기술하면 감속구간 길이, 완화곡선의 길이 및 완화곡선의 시작위치가 차량 주행행태에 미치는 영향 파악 및 감속구간에서의 속도변화 조사 그리고 현 설계기준에서 사용하고 있는 외국의

조사자료를 기초로 한 감속구간 진입부, 연결로 노즈부에서의 평균주행속도와 국내의 평균주행속도와의 비교 및 적용 적합성 판단에 있다. 또한 실제 분류부에서의 교통특성과 국내 설계기준과의 부합여부를 조사하여 안전성이 향상된 분류부 설계기준 개선안을 제시하고자 하는 목적도 내포하고 있다.

6개 IC를 대표할 수 있는 조사지점으로 선정된 4개 IC에 대해 속도 및 차량주행태를 조사하였으며 조사



〈그림 5〉 조사 개념도

〈표 4〉 조사 지점 및 시간대별 표본수

IC명	설계속도 (km/h)		조사시간	데이터 수(대)		
	본선	연결로		연결로	본선	
					1차로	2차로
오창	120	50	10:00:03 ~ 17:43:54	654	165	138
둔내	100	40	10:30:10 ~ 16:51:12	208	165	153
원주	100	40	10:02:49 ~ 16:52:57	443	162	132
충주	120	40	10:31:42 ~ 16:24:13	223	160	131

지점의 차로별 표본수는 〈표 4〉와 같다. 각 IC에 대해 분류부 지점별 및 진입 본선 차로에 대한 속도분석을 실시하였으며 그 중 둔내 IC 대한 분석 결과는 〈표 5〉에 제시된 바와 같다. 분석 대상지점은 감속구간 시점부, 차선도색 노즈부, 완화곡선 시점부, 노즈부, 완화곡선 종점부를 필수 분석지점으로 하고 일정 간격으로 추가 지점을 선정하였으며 속도분석은 최고속도, 85%속도, 평균속도, 최저속도 각각에 대해 실시하였다.

〈표 5〉에서 볼 수 있듯이 감속구간 시점부의 속도는 본선 설계속도 100km/h인 둔내IC의 경우 평균 84.3km/h, 85% 속도 86km/h로 조사되었고, 표에는 제시되지 않았지만 본선 설계속도 120km/h인 오창IC의 경우는 평균 84.5km/h, 85% 속도 98km/h로 조사되었다. 노즈부의 경우는 둔내IC가 평균속도 43.8km/h, 85% 속도 54km/h로 나타났다. 조사된 감속구간 시점부 및 노즈부에서의 평균속도를 현 설계기준에서 감속차로 길이 계산 시 사용하고 있는 감속차로 시점부 도달속도 및 연결로 평균주행속도 값과 비교해 보면, 둔내IC의 경우 감속구간 시점부 평균속도는 현 설계기준에서 사용하고 있는 85km/h와 유사한 값을 나타내었으나 종점부인 노즈부

〈표 6〉 둔내IC 각 구간별 감속도 비교

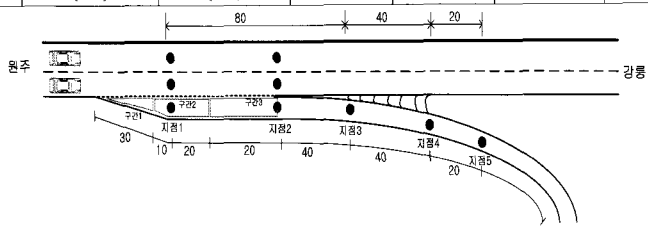
구간	감속도(m/s ²)	비고
지점1~지점2	1.32	설계기준 1.96m/s ²
지점2~지점3	0.67	
지점3~지점4	3.02	
지점4~지점5	1.65	

〈표 5〉 고속도로 분류부 지점별 속도비교

구 분		속도(km/h)					비고			
		노즈 전 (m)			노즈 (m)	노즈 후 (m)	감속구간 길이(m)	완화곡선 길이(m)	감속구간 내 완화곡선 길이(m)	감속차로 후 완화곡선 길이(m)
		120	80	40						
분류부	평균	84.3 (86)	75.8 (81)	71.1 (81)	43.8 (54)	32.5 (39)	120	60	40	20
	최대	130 (74)	93 (46)	86 (41)	65 (24)	45 (21)				
본선	1차로	평균	113.6 (130)	117.2 (130)						
		최대	130 (86)	130 (93)						
	2차로	평균	102.4 (130)	108.3 (130)						
		최대	130 (74)	144 (72)						

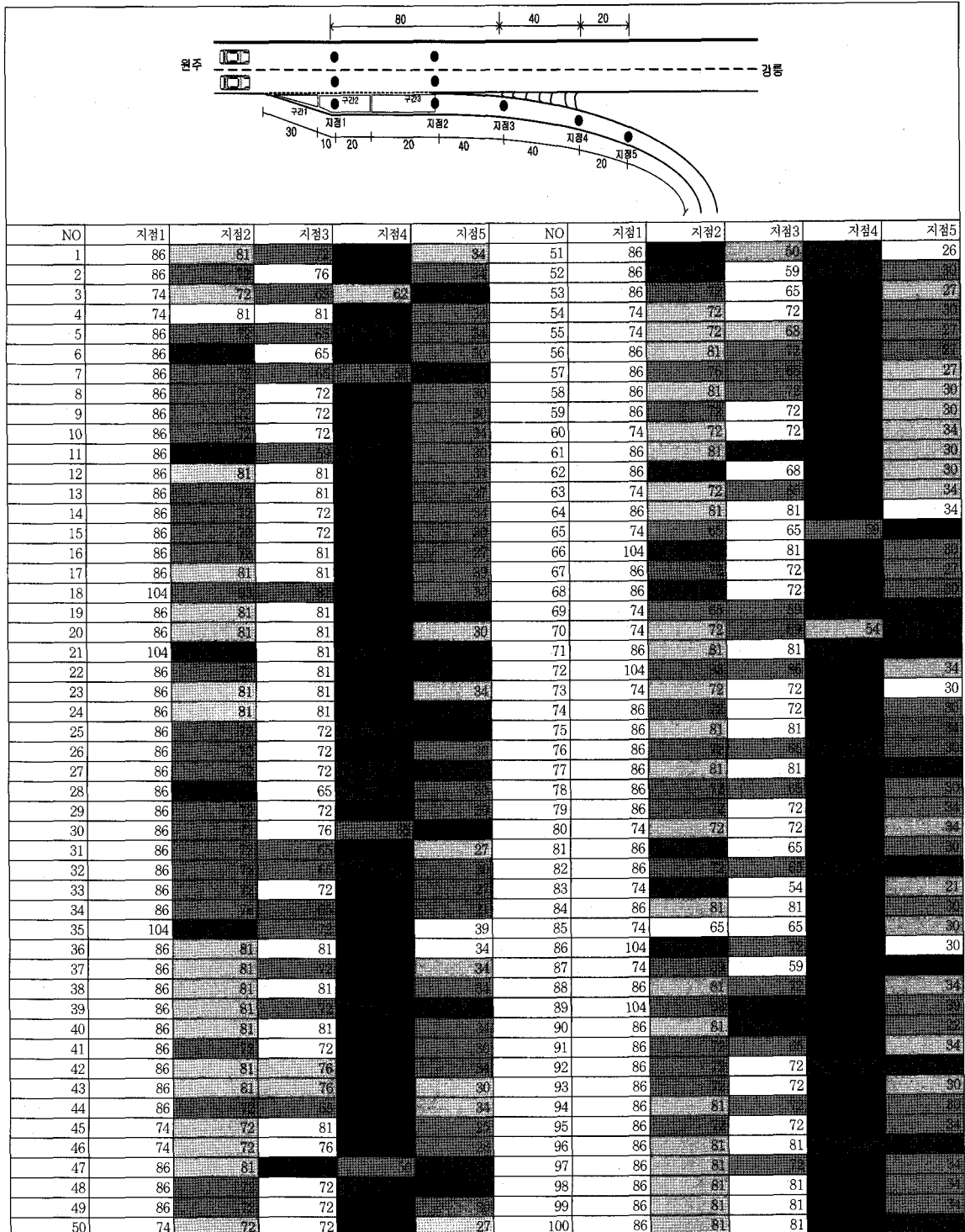
주 : () 85%속도, [] 최저속도, 선 종점

■ : 감속구간 시점, ■ : 차선도색 노즈, ■ : 노즈, ■ : 완화곡선 종점

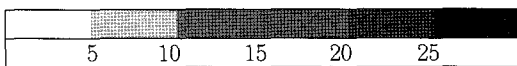


〈표 7〉 둔내IC 지점별 속도분포(루프)

(단위 : km/h)



주) 전 지점과의 속도차 범위



〈표 8〉 거리별 감속차로 진입비율

IC명	감속차로 길이(m)	전체 감속차로 길이의 60% 이전		감속차로 길이 대비 변이구간 시점에서의 실제 위치(%)
		진입비율 (%)	거리 (m)	
오창	170	99.8	100	58.8
둔내	120	100	60	50.0
원주	180	100	100	55.6
충주	160	95	95	59.4

속도는 현 설계기준의 35km/h와 8.8km/h의 차이를 나타내었다.

이상의 결과에서 감속구간 시점부에서의 평균속도는 현 설계기준에서 사용하고 있는 값과 비슷하거나 작은 반면 종점부인 노즈부에서의 평균속도는 현 설계기준에서 사용하고 있는 값보다 모두 큰 것을 확인할 수 있었다. 또한 각 구간별 감속도를 비교하여 보았는데 〈표 6〉에 제시된 바와 같이 지점 3~지점 4구간에서 3.02m/s²의 높은 감속율을 보였으며 그 외 구간에서는 현 설계기준보다 낮은 감속율을 보이는 것을 확인하였다.

이는 실제 고속도로 분류부를 주행하는 차량들의 행태를 짐작할 수 있게 하는 결과로서, 현 설계기준에서 감속거리로 제공하고 있는 감속구간에 대해 차량들의 이용도가 전구간에 걸쳐 고르게 분포하지 않고 일정구간에 집중되는 등, 전반적인 감속구간 이용 효율이 충분치 못하다는 사실을 나타낸다.

〈표 7〉은 평균속도 차이를 조사데이터 중 일부 자료를 사용하여 도식한 표로서, 루프형 연결로인 둔내IC 강릉방향 분류부를 감속구간 시점부부터 완화곡선 종점부까지의 180m 구간에 대해 주행차량들을 지점별로 추적 조사한 결과이다. 〈표 7〉에서 음영으로 된 부분은 전(前) 지점의 속도와 비교해 속도가 저하되었을 경우에 표시한 것으로서 음영이 짙어질수록 속도 차가 크다는 것을 의미한다. 〈표 7〉에서 알 수 있듯이 전(前) 지점과의 속도차가 가장 심한 지점은 지점 4로서 거의 대부분의 차량이 차선도색 노즈부를 통과하여 노즈부에 이르기까지 급격하게 속도가 감소한다는 것을 의미하며, 두 번째로 속도차가 심한 곳은 지점 5로서 지점 3과 지점 4 사이에서 급격한 감속을 하였음에도 불구하고 노즈부 진입속도가 연결로 설계속도보다 높은 대부분의 차량들이 완곡선에 도착하기 이전에 2차적으로 감속하는 현상으로 볼 수 있다. 이러한 감속 행태는 〈표 6〉에서 제시된 구간별 감속도의 결과와 동일한 결과로서 이러한 차량들의 감속 행태는 다른 루프형 연결로에서도 유사하게 나

타났다. 결론적으로 조사 대상 모든 IC에서 차선도색 노즈부에서 급격한 속도의 감속이 이루어지는 현상을 확인할 수 있었으며 이는 본선을 주행하다 감속구간으로 진입한 차량들이 차선도색 노즈부에 이르러서야 본선과 분리된 연결로 구간임을 인식하기 때문인 것으로 추정된다. 이상의 조사 결과에서 알 수 있듯이 고속도로 분류부 속도를 제어하기 위해서는 차선도색을 통한 고속도로 본선과의 단절감 제시가 필요하며 이는 고속도로 분류부에서의 안전성을 향상시킬 수 있는 주요한 방안중의 하나로 판단된다.

속도조사와 더불어 유출 차량들의 감속차로 진입행태 조사도 병행하여 수행하였다. 둔내IC와 원주IC의 경우 전체 가속차로 길이의 60% 이내 지점에서 모든 차량들의 진입이 완료된 것으로 조사되었으며, 변이구간 시점부터 60m 이내에서 진입한 차량 비율이 전체의 90%를 초과하였고 오창IC 및 충주IC의 경우도 60% 이내 지점에서 각각 99.8% 및 95%의 차량이 진입하는 것으로 나타났다. 이를 변이구간 시점이 아닌 감속구간 시점에서의 거리로 표현하면 모든 IC에서 감속구간이 시작되고 30m 이내 거리에서 대부분의 차량이 진입하는 것으로 조사되었으며 이러한 진입비율은 전체 감속차로의 연장과는 무관한 것으로 나타났다.

IV. 분류부 사고 예측 모형 개발

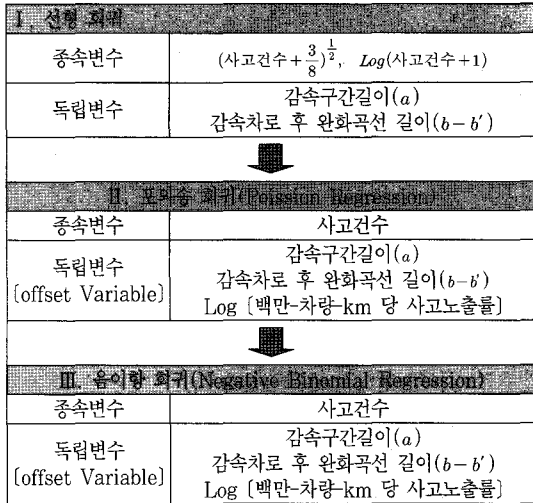
고속도로 분류부 기하구조와 사고와의 관계를 파악하기 위해 62개 분류부 기하구조 자료와 동 지점에서 발생된 4년간의 사고자료(총 88건)를 사용하여 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석은 선형회귀, 포와송회귀 및 음이항회귀분석을 실시하였다. 사고분석과 관련된 절차 및 변수선정은 〈그림 6〉에 제시된 바와 같다.

사고분석은 분류부 설계에 사용되는 설계요소와 사고의 관계를 검토하여 분류부 안전성 강화 및 설계기준 보완을 목적으로 한다. 분류부와 관련된 세부 설계요소로는 감속구간 길이, 완화곡선 길이, 완화곡선 시작 위치 등이 있다. 이중 감속구간 길이와 완화곡선 길이는 설계시 결정되어지며 관련 기준이 존재하나 완화곡선 시작 위치와 관련해서는 현재 기준이 없고 설계자에 따라 달라진다. 이러한 이유로 본 연구에서는 완화곡선의 적정 시작 위치를 결정하기 위한 분석을 수행하였는데, 감속차로 후 완화곡선길이(b-b')와 완화곡선 시작 위치가 서로 반비례

관계에 있으므로 「감속구간길이(a)」와 「감속차로 후 완
화곡선 길이(b-b')」를 독립변수로 채택하여 완화곡선 시

작위치와 사고와의 관계 규명을 시도하였다. 또한, 해당
지점의 교통량 수준을 반영하기 위해 Log(백만-차량
-km 당 사고 노출률)을 offset Variable로 선정하여 동
일한 분석을 실시하였다.

한편, 선형회귀에서 2개의 종속변수를 변환하여 분석
한 이유는 사고건수가 그 자체로는 정규분포를 이루지
않기 때문에 이를 변환시킴으로써 정규분포에 근사화하
기 위함이며, 포와송회귀분석과 음이항회귀분석을 같이



〈그림 6〉 사고분석 절차 및 변수선정

〈표 9〉 각 Case 별 모형식

구분	회귀식	비고
고속도로 분류부 전체 (62개소)	$E(\text{사고건수}) = \exp(-0.2113 + 0.0030 \text{ 감속구간길이} - 0.0107 \text{ 감속차로 후 완화곡선 길이})$	①
	$E(\text{사고건수}) = \text{EXPO4} \exp(-6.4385 - 0.0207 \text{ 감속차로 후 완화곡선 길이})$	②
*EXPO4 = (4년)(AADT)(365)(분류부 길이)(10-6)		

〈표 10〉 각 Case별 통계량

①	Criteria For Assessing Goodness Of Fit						
	Criterion	DF	Value	Value/DF			
	Deviance	59	60.8730	1.0317			
	Scaled Deviance	59	60.8730	1.0317			
	Pearson Chi-Square	59	71.1662	1.2062			
	Scaled Pearson X2	59	71.1662	1.2062			
	Log Likelihood		-31.2347				
	Analysis Of Parameter Estimates						
	Parameter	DF	Estimate	Standard Error	Wald 95% Confidence Limits	Chi-Square	Pr > ChiSq
	Intercept	1	-0.2113	0.3427	-0.8830 0.4604	0.38	0.5375
a	1	0.0030	0.0012	0.0007 0.0053	6.36	0.0117	
_b_b_	1	-0.0107	0.0060	-0.0225 0.0011	3.17	0.0749	
Dispersion	1	0.9135	0.3366	0.2538 1.5733			
②	Criteria For Assessing Goodness Of Fit						
	Criterion	DF	Value	Value/DF			
	Deviance	60	67.5909	1.1265			
	Scaled Deviance	60	67.5909	1.1265			
	Pearson Chi-Square	60	125.7308	2.0955			
	Scaled Pearson X2	60	125.7308	2.0955			
	Log Likelihood		-37.3813				
	Analysis Of Parameter Estimates						
	Parameter	DF	Estimate	Standard Error	Wald 95% Confidence Limits	Chi-Square	Pr > ChiSq
	Intercept	1	-6.4385	0.2677	-6.9632 -5.9138	578.47	<.0001
_b_b_	1	-0.0207	0.0077	-0.0357 -0.0056	7.20	0.0073	
Dispersion	1	1.1206	0.4116	0.3139 1.9273			

실시한 이유는 포와송회귀모형의 경우 평균과 분산이 같다는 기본 전제가 있는데 반해 음이항회귀모형은 이러한 제약을 받지 않기 때문이다.

유의수준 $\alpha=0.1$ 에서 사고를 분석한 결과 음이항회귀(Negative Binomial Regression)를 이용한 분석결과가 가장 우수한 것으로 나타났으며 그 결과는 <표 9> 및 <표 10>과 같다.

<표 9> 및 <표 10>의 ①에서 보듯이 「감속구간 길이」는 사고와 양의 관계가 존재하는 것으로 나타났고 「감속차로 후 완화곡선 길이」는 음의 관계가 존재하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 선형회귀 및 포와송회귀에서도 동일하게 나타났다.

이러한 분석 결과를 통해 볼 때 고속도로 분류부에서 감속구간 길이를 필요 이상으로 증가시키는 것은 사고를 증대시킬 소지가 있으며, 사고를 감소시키기 위해서는 「감속차로 후 완화곡선 길이」를 증가시키는 방안이 오히려 더 바람직할 것이다. 설계시 감속구간 길이와 완화곡선 길이가 설계기준에 의해 결정되는 것을 감안할 때 「감속차로 후 완화곡선 길이」를 증가시키기 위해서는 완화곡선 시작위치를 노즈부 쪽으로 최대한 접근시키는 방안이 교통안전상 바람직하다. 이와 더불어 동 구간내에서의 사고 감소를 위해 완화곡선길이 증대 방안도 효과적일 것으로 판단된다.

V. 분류부 설계기법 개선안 도출

이상의 분류부 설치 및 설계 현황조사, 사고분석, 차량주행행태 조사결과를 종합하여 도출된 분류부 설계기법 개선안을 요약하면 다음과 같다.

1. 분류부 세부 구성요소별 설치목적에 부합된 설계 원칙 정립

분류부 세부 구성요소들이 본래의 설계목적을 이룰 수 있도록 하여 감속구간에서는 감속이, 완화(곡선)구간에서는 직선부로부터 곡선부로의 등속도 차량주행궤적 변경이, 원곡선구간에서는 등속도의 곡선주행이 이루어지도록 설계하여야 한다.

2. 노즈 후 완화곡선 최소길이 규정

완화곡선길이 기준과 관련하여 현 설계기준에서 제시

하고 있는 완화곡선 및 완화구간 최소길이 기준을 고속도로 분류부에 적용함에 있어서는 “노즈 후 완화곡선 최소길이”로 정의하여 일정거리 이상을 확보해 주는 것이 필요하다.

3. 완화곡선 시작위치 규정

현 설계기준에는 감속차로 및 완화곡선 길이 기준은 제시되어 있으나, 완화곡선의 시작위치와 관련해서는 별다른 기준이 없어 설계자의 재량에 의해 각기 다른 설계가 이루어져 설계자별 설계수준의 차이가 크게 발생함은 물론 설계의 일관성 저하 및 사고 위험의 증가 원인으로 작용한다. 따라서 완화곡선의 시작위치와 관련된 범위 기준을 정해 설계의 일관성을 도모할 필요가 있다.

고속도로 분류부에 대한 현장 조사결과, 분류부에서의 차량의 감속은 차선도색 노즈 이후에 급격히 발생하기 시작하며, 감속도가 가장 큰 구간은 차선도색 노즈 시점에서 노즈부 사이에 위치한 것으로 나타났다. 이러한 경향은 연결로 형태가 루프형, 직결형, S형에 관계없이 유사하였으며 조사된 모든 IC에서 비슷한 속도 분포결과를 나타냈다. 또한, 사고분석결과 감속차로 후 완화곡선길이 길수록 사고가 감소되는 경향을 나타냈다. 완화곡선길이 등속도를 가정하여 선정됨을 감안할 때 완화곡선 시작위치는 급격한 감속이 완료된 이후가 바람직하다. 따라서 완화곡선의 시작위치를 현재 설계방식과 비교해 노즈부쪽으로 후퇴시켜 설치할 경우, 사고분석 결과에서 살펴본 바와 같이 감속차로 후 완화곡선 길이를 증가시키는 결과를 얻게 되어 교통안전상에도 유리할 것으로 판단된다. 현 고속도로 노즈부 차선도색 기준(“차선도색 시행기준, 한국도로공사”)에서 차선도색 노즈부 시점의 위치가 전체 감속차로 길이의 2/3 지점임을 감안할 때 완화곡선의 시작위치는 그 이후가 되어야 타당할 것이다.

따라서 본 연구에서는 차선도색 노즈부를 1/2 통과한 지점 즉, 전체 감속차로길이의 5/6 지점과 노즈 사이의 구간을 완화곡선의 시작위치로 결정하는 것이 적절할 것으로 판단한다.

4. 운전자의 주행행태 및 안전을 고려한 설계기준 보완

고속도로 분류부 차량주행행태 조사 및 분류부 사고분

석 결과, 위의 설계원칙과 더불어 운전자가 보다 안전하게 분류부를 주행할 수 있도록 설계기준을 보완해 줄 필요성이 도출되었다. 즉, 감속구간 내에서 충분한 감속이 이루어지도록 유도하고 과속으로 노즈부를 통과한 차량들에게는 안전이 강화된 기하구조를 제공하는 방안이 필요하다. 감속차로 내 감속구간의 효율성을 높이기 위해서는 차량들의 속도를 감속구간 내에서 관리하는 방안이 필요하다. 분류부 조사결과에 의하면 모든 IC에서 차선도색 노즈부에서 노즈부 구간사이에서 차량들의 급격한 감속이 이루어지는 것으로 나타났다. 이는 이 지점에 이르러서야 운전자들이 비로소 고속도로 본선과 분리된 연결로 구간으로 인식하기 시작하기 때문인 것으로 추정되며 따라서, 감속구간의 효율을 높이기 위한 방법으로 차선도색 노즈부의 시점을 보다 전방으로 배치하는 것이 필요하다. 현장조사 결과에 의하면 차량들의 감속차로 진입은 전체 감속차로 길이의 60% 이내 구간에서 거의 모든 진입을 완료하는 것으로 나타났으므로, 차선도색 기준 시점을 전체 감속차로 길이의 60% 지점으로 정하는 방안을 제안한다.

또한, 안전율을 감안한 설계기준 보완과 관련하여서는 사고분석 결과 감속차로 후 완화곡선의 길이가 사고와 음의 관계가 있는 것으로 나타났고 속도조사 결과에서도 이 구간에서 2차적인 감속이 발생하는 것으로 나타났기 때문에 이를 고려하여 감속차로 후 완화곡선 길이를 증가시키는 방안이 필요하다. 이를 위해서는 현재 '도로의 구조 및 시설기준에 관한 규칙'에서 제시하고 있는 한들조작에 곤란을 느끼지 않는 주행시간 2초에 실제 차량들의 주행행태를 반영하여 감속을 위한 1초를 추가로 부여하는 방안을 제안한다. 이를 "1. 분류부 세부 구성요소별 설치목적에 부합된 설계원칙 정립"에서 제시한 개선안과 연계시켜 제시하면 감속차로 후 완화곡선 길이의 최소값은 <표 11>에 제시된 바와 같다.

<표 11> 완화곡선 길이의 최소값

설계속도 (km/h)	완화곡선 최소길이 (m)	비고(현 국내기준)
60	70	35m
50	50	30m
40	35	25m

주 : 1. 일본의 경우 완화곡선 최소길이 계산시 3초를 적용하고 있음
 2. 본 연구에서는 감속차로에 포함되지 않는 '감속차로 후 완화곡선길이' 산정에 3초를 적용함

VI. 결론

본 연구에서는 기존 고속도로의 안전을 고려한 분류

부 설계기준 개선을 위하여 62개 분류부 지점에 대한 현황조사 및 사고분석, 그리고 둔내 IC의 3개 지점에 대한 차량주행행태 조사 분석을 수행하여 분류부 설계기준의 문제점 도출 및 감속차로 차량주행행태 특성을 파악하였다. 분류부 설계기준 개선안을 제시함에 있어서는 현장조사 및 분석, 현행 설계기준의 미비점 파악, 사고예측모형의 개발 등을 통해 다양한 교통조건 및 기하구조 조건을 고려한 개선안을 다음과 같이 제시하였다.

첫째, 현재의 설계기준에서 제시하고 있는 완화곡선 및 완화구간 최소길이 기준을 고속도로 분류부에 적용함에 있어서는 "노즈 후 완화곡선 최소길이"로 정의하여 일정거리 이상을 확보해 줄 필요가 있다.

둘째, 현 고속도로 노즈부 차선도색 기준에서 차선도색 노즈부 시점의 위치가 전체 감속차로 길이의 2/3 지점임을 감안할 때 완화곡선의 시작위치는 그 이후가 되어야 타당하다. 본 연구에서는 차선도색 노즈부를 1/2 통과한 지점 즉, 전체 감속차로길이의 5/6 지점과 노즈 사이를 완화곡선의 시작위치로 제안한다.

셋째, 감속차로 내 감속구간의 효율성을 높이기 위해서는 차량들의 속도를 감속구간 내에서 관리하는 방안이 필요하다. 따라서 미처 감속차로로 진입하지 못한 차량들에 대한 안전율을 감안하여 차선도색 노즈부 시점을 전체 감속차로의 60%에 해당하는 지점부터 시작하는 안을 제안한다. 또한, 안전율을 감안한 설계기준 보완과 관련하여서는 사고분석 결과 감속차로 후 완화곡선의 길이가 사고와 음의 관계가 있는 것으로 나타났고 속도조사 결과에서도 이 구간에서 2차적인 감속이 발생하는 것으로 나타났기 때문에 이를 고려하여 감속차로 후 완화곡선 길이를 증가시키는 방안을 제시한다. 이를 위해 감속차로 후 완화곡선 길이의 최소값은 이 차량이 3초 동안 주행하는 거리로 연장시키는 안을 제안한다.

참고문헌

1. 도로구조령의 해설과 운용(2004), 사단법인 일본 도로협회.
2. 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙, 해설 및 지침(2000), 건설교통부.
3. 도로설계요령(2001), 한국도로공사.
4. 박재범·김일환·이승준·강정규(2005), 고속도로 분류부 선형설계 실태조사 및 개선방안, 2005년도 대한토목학회 정기학술대회.

5. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets(2001), American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.

6. Ruediger Lamm · Basil Psarianos · Theodor Mailaender(1999), Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook, McGraw-Hill.

- ♣ 주 작 성 자 : 박재범
- ♣ 교 신 저 자 : 이승준
- ♣ 논문투고일 : 2006. 7. 20
- ♣ 논문심사일 : 2006. 9. 7 (1차)
2006. 11. 23 (2차)
- ♣ 심사판정일 : 2006. 11. 23
- ♣ 반론접수기한 : 2007. 6. 30

