

■ 論 文 ■

# 도로 설계속도, 주행속도, 제한속도의 관계 분석 연구

A Study on the Relationship Between Road Design, Operating and Posted Speeds

**김 용 석**

(한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원)

**조 원 범**

(한국건설기술연구원 도로연구부 연구원)

## 목 차

- I. 서론
  - 1. 연구 목적
  - 2. 연구 범위
  - 3. 연구 방법
- II. 기존 연구 고찰
  - 1. 설계속도, 주행속도, 제한속도의 정의
  - 2. 설계속도, 주행속도, 제한속도의 관계
- III. 현장 조사 및 자료 분석
  - 1. 지점 선정
  - 2. 속도 조사
  - 3. 자료 분석
  - 4. 주행속도 예측모형 개발
- IV. 결론 및 향후 연구  
참고문헌

Key Words : 설계속도, 주행속도, 제한속도, 주행속도 예측모형

## 요 약

도로 설계속도, 주행속도, 제한속도가 보완적 관계를 가지고 있음에도 불구하고, 이들 세 가지 속도의 상호 작용에 대한 검토가 미흡하였다. 이런 맥락에서 본 연구는 세 가지 속도의 상관성 조사를 위해 지방부의 왕복 4차로 도로 구간에서 주행속도 자료를 측정하였다. 95백분위 주행속도를 도로설계기준과 지점별 기하구조 요소로부터 결정되는 곡선부의 추정 설계속도와 상호 비교한 결과, 지점별 추정 설계속도가 110km/h 이하인 조건에서는 주행속도가 추정 설계속도 보다 높게 나타났고, 추정 설계속도가 130km/h 이상의 조건에서는 반대의 현상이 나타났다. 제한속도와 주행속도를 비교한 결과, 제한속도 80km/h 지점에서는 직선부의 85백분위 주행속도가 95~110km/h 사이로 나타났고, 제한속도 90km/h 지점에서는 105~120km/h 사이로 나타났다. 다중 회귀 분석을 이용하여 접근 직선부와 곡선부 중간 지점에서 평균, 85백분위, 95백분위 주행속도를 예측하기 위한 모형 식 개발을 시도하였다. 분석 결과, 제한속도가 증가할수록 곡선부의 평균 주행속도, 85백분위 주행속도가 증가하는 것으로, 직선부에서는 제한속도가 증가하고 접근 직선의 연장이 길어질수록 평균, 85백분위, 95백분위 주행속도가 증가하는 것으로 나타났다.

Few studies have been carried out to find out the interaction of design speeds, operating speeds, and posted speeds though they have a complementary relationships. As an attempt to find the relationships, this study measured the speeds of the free flowing vehicles at four lane rural highways. In comparison of 95th percentile speeds and inferred design speeds determined from the road design manual with the geometric features of each sites, operating speeds were constantly higher than the inferred design speeds at the sites where the inferred design speed is under 110km/h, and the reverse situation was observed at the sites where the inferred design speed is over 130km/h. In the comparison of operating speeds and posted speeds, the range of the 85th percentile speeds at the sites where posted speeds is 80km/h was distributed from 95km/h to 110km/h, and the range was distributed from the 105km/h to the 120km/h at the sites where posted speeds is 90km/h. Multiple regression analysis was used to develop prediction equations for mean, 85th, and 95th percentile speeds at approach and curve midpoint locations. At the midpoint, only posted speeds influenced the mean, 85th. At the approach locations, the mean, 85th, 95th percentile speeds were influenced by posted speeds and length of the approach tangent.

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 필요성

도로 설계는 운전자의 기대와 일치되는 방향으로 수행되는 것이 바람직하다. 도로 설계 일관성 측면에서, 운전자 주행속도는 도로 구간별로 크게 변화되지 않고 일정 범위 내에서 운영되는 것이 도로 안전 측면에서 바람직하다. 운전자의 주행속도에 영향을 미치는 여러 요소 가운데 설계속도는 도로 기하구조적인 측면을 대표하는 요소이며, 제한속도는 제도적인 측면(법정 최고속도)을 대표하는 속도이다. 현 도로 설계기준은 설계속도가 제한속도, 주행속도와 보완적 관계를 가짐에도 불구하고 이를 기준 설정에 반영하지 못하는 한계를 가지고 있다. 따라서 도로 설계의 안전을 검토하기 위해서는 이들 세 가지 속도의 상호관계를 명확하게 규정하는 것이 우선적으로 필요하다.

이런 관점에서 본 연구는 도로현장에서 조사된 주행속도 자료를 통해, 설계속도, 주행속도, 제한속도의 관계를 살펴보고, 도로설계의 안전성 관점에서 이들 세 가지 속도의 관계를 정량적으로 파악할 수 있는 모형 식 개발을 시도하였다.

### 2. 연구 범위

본 연구는 도로 현장에서 운전자의 주행속도를 조사하고 이를 토대로 설계속도, 주행속도, 제한속도의 상호관계를 분석하였다.

조사 범위는 지방부 왕복 4차로 도로를 대상으로 수행하였으며, 제한속도는 80km/h 구간과 90km/h 구간으로 구분하여 시행하였다.

### 3. 연구 방법

도로 현장에서 운전자 주행속도와 도로 기하구조 조건을 조사하고 설계속도, 주행속도, 제한속도의 상호관계를 분석하였다. 세 가지 속도의 상관성을 모형화하기 위해 직선부와 평면곡선부에서 조사된 주행속도 자료에 기초하여 주행속도를 예측하는 식을 개발하였다.

## II. 기존 연구 고찰

### 1. 설계속도, 주행속도, 제한속도의 정의

도로 설계에서 설계속도는 선형 요소를 결정하는 중

요한 요소이다. 설계속도는 설계구간 내에서 주행하는 승용차가 도로 조건, 기후 등이 양호한 상태에서 안전하게 달릴 수 있는 최고 속도로 정의된다. 설계속도의 개념은 1930년대에 Barnett(1936)에 의해 도입되었으며, '상대적으로 속도가 높은 운전자 그룹에 의해 받아들여질 수 있는 균일한 최대 속도'로 정의되었다.

도로 설계속도는 대다수 운전자의 희망과 운전 행태에 적합한 값으로, 지역의 여건을 감안하여 결정되어야 한다. 몇몇 운전자의 주행속도는 상당히 높은 값을 나타내므로, 설계속도가 모든 운전자의 희망속도를 포용하는 것은 현실적으로 불가능하다. 또한 도로 설계자는 보다 높은 설계속도를 제공하기 위해 지방부 도로에서 짧은 곡선반경의 곡선부 선형을 개량할 수 있으나 이 구간이 산지부, 강변, 또는 기타 경관 보호구역 등에 접근하는 경우에는 선형의 개량이 전체 구간의 안전 확보 측면에서는 부적합하다(Krammes, 1996).

일반적으로 도로 설계과정에서 식(1)의 점 방정식을 이용하여 설계속도, 평면곡선반경, 편경사의 범위를 정의하고 있으며, 국내 도로 설계기준은 왕복 4차로 평지부 도로에서 최대 편경사 8%와 설계속도에 따른 미끄럼마찰계수를 제시하고 있다.

$$e + f = \frac{V^2}{127 \times R} \quad (1)$$

여기서,  $e$ : 편경사(%)

$f$ : 미끄럼마찰계수

$R$ : 평면곡선반경(m)

$V$ : 설계속도(km/h)

주행속도는 현장에서 관찰되는 운전자의 주행속도를 언급하는 것으로, 특히 V85는 도로 기하구조와 관련한 주행속도를 통계적으로 기술하는 대표적인 값으로 사용되고 있다. V85는 85%의 운전자가 이 속도 이하로 운행하는 속도를 의미하며, 지점 속도를 측정하고 이를 이용하여 85백분위수를 산출한다. 일반적으로 주행속도는 자유 교통류 상태에서 주행하는 자동차(일반적으로 100대에서 125대 사이)의 속도를 조사하고 이를 토대로 산출하게 된다. 자유 교통류에서 조사된 속도는 운전자가 다른 자동차에 의해 속도를 영향 받지 않는 조건에서 관찰되는 소위 희망속도를 의미한다.

V85는 주어진 도로 구간에서 보다 균일한 속도가 유지도록 하는 것을 목표로 하고 있다. 균일한 속도 분

포의 이점은 자동차들이 가능한 균등한 속도로 주행함에 따라 교통사고율이 낮아지는데 있다.

평면 곡선부에서 운전자의 주행속도 예측은 자동차의 역학적 안전을 보증하는 측면에서 중요하다. 기존 문헌(Schurr, 2001)을 보면, 최소 곡선반경(식(1) 참조)으로부터 추정된 속도는 이상적으로 95백분위 주행속도(V95)와 일치되어야 함을 제시하고 있다.

제한속도는 도로 구간에서 주행 가능한 최대 속도 규제를 의미한다. 국내에는 제한속도의 설정에 대한 구체적인 기준이 없어 보통 설계속도보다 10~20km/h 정도 낮게 설정하고 있다. 외국의 경우는 제한속도가 너무 높게 설정하면 안전 측면에서 바람직하지 못하고, 너무 낮게 설정하면 운전자들에게 신뢰를 얻지 못하며 속도의 분산이 커져 안전 측면에서 바람직하지 못함을 이유로, 주행속도를 조사하고 이의 85백분위 값을 근거로 제한속도를 설정하는 것을 제안하고 있다. 이렇게 함으로써 주행속도, 설계속도, 제한속도의 크기가 가능한 균일하게 운영될 수 있도록 하는 것이다. 미국 텍사스 교통성은 "제한속도는 85백분위 주행속도(V85)에 기반하여 설정되어야 함"으로 명시하고 있다. 비록 도로 구간이 도로 주변 개발 상태, 도로 및 길어깨 포장 상태, 보행자 및 자전거 교통 특성에 따라 변화되지만 제한속도는 V85에 근거하여 산정되는 것이 가장 바람직함을 제시하고 있다(Krammes, 1996). 제한속도의 선정은 대다수의 운전자들이 도로 기하구조, 주변 환경, 기상 조건, 교통 특성 등에 기초하여 적절한 속도를 결정할 수 있는 능력이 있음을 전제로 하고 있으며, 합리적이고 안전한 측면의 속도로 운영함을 전제하고 있다. 제한속도 선정의 예외적인 경우로는, 교통사고 다발지점으로 이러한 구간에는 7mph(약 10km/h) 낮은 속도가 추천되며, 비록 V85가 높게 나타나더라도 국가적으로 규정한 최대 속도 제한은 이 보다 높은 속도 제한의 사용을 금하고 있다(Krammes, 1996). 제한속도가 V85보다 낮은 경우가 있어, 대다수 운전자들의 범규 위반이 발생할 소지가 있으며, 이를 단속하는 측면에서도 부담이 발생하게 된다. 또한 운전자들로부터 제한속도에 대한 불신감이 조성되는 등 부작용도 발생될 수 있다(Krammes, 1996).

## 2. 설계속도, 주행속도, 제한속도의 관계

이론적으로 설계속도, 주행속도, 제한속도는 유사한 값을 가져야 한다. 즉, 설계속도는 대다수 운전자의 회

망속도를 포용할 수 있는 수준으로 정해져야 한다. 따라서 도로가 건설되고 공용되는 경우, 도로 설계자는 설계속도와 주행속도가 유사할 것으로 기대한다. 또한 제한속도는 85백분위 주행속도(V85)에 기반하여 결정됨으로, 동일한 맥락에서 제한속도와 설계속도는 유사한 값을 가질 것으로 기대한다(Krammes, 1996).

즉, 설계속도 기반의 도로 설계는 Gutierrez(1997) 등이 제시한 아래의 전제들이 기본적으로 충족됨을 가정하고 있다.

- ① 설계속도는 운전자가 도로환경을 토대로 예상하는 속도(즉, 운전자가 특정 도로설계구간에서 주행하고자 하는 희망속도)와 일치되어야 한다. 이러한 전제는 설계속도가 운전자가 기대하는 속도를 충분히 반영하는 경우에 한해서는 매우 바람직한 결과를 보장하지만, 설계속도가 운전자가 기대하는 속도보다 너무 낮게 설정되면 두 속도의 차이에 의해 안전상의 문제점을 야기한다.
- ② 설계속도는 전체 도로구간을 대상으로 선택되어지며 도로설계구간 내 개별 평면곡선의 설계속도는 전체 도로구간의 설계속도보다 크거나 같아야 한다.
- ③ 설계속도는 해당 도로를 주행하는 자동차의 누적 분포 관점에서 높은 백분위 값을 가져야 한다.

설계속도가 운전자의 주행속도보다 낮거나, 도로 구간별로 운전자의 주행속도가 크게 변화되는 경우, 설계속도 기반의 도로 설계는 수정될 필요가 있다.

기존 연구들은 주행속도와 설계속도의 불일치를 제시하고 있다. 예로, McLean(1981)은 호주의 120개 평면곡선에서 V85를 조사하고 설계속도가 90km/h 이하인 도로에서는 V85가 설계속도보다 높게 나타남을 결론으로 제시했다. 이 결과는 설계속도가 90km/h 이하인 구간에서 설계속도 기반 도로설계의 기본적 전제가 유지되기 어렵다는 것을 의미한다. 부가적으로, McLean(1981)은 설계속도가 100km/h를 초과하는 구간에서는 V85가 설계속도보다 일반적으로 낮음을 제시하였으며, 이 경우 Barnett(1936)이 제시한 설계속도를 적용할 수 있다고 언급하였다.

McLean(1981)의 연구결과에 상응하여, 호주는 설계속도가 낮은 도로 구간(100km/h 이하)의 평면선형 설계 절차에서 V85가 반영될 수 있도록 개정하여 이러

한 도로구간에서는 V85를 설계속도 대신 사용하도록 규정하였다.

이상의 현실 상황을 감안할 때, 전통적인 설계속도 기반의 도로 설계에 있어 두 가지 의문 점이 발생한다. 첫째, 과연 설계속도보다 높은 V85가 안전한 것인가와 둘째, V85에 기반한 제한속도의 설정(제한속도가 설계속도 보다 높은 경우)이 안전한 것인가에 대한 의문이다.

Krammes(1996) 등은 이상의 두 가지 의문에 대해, 설계속도(특히 곡선부 설계 요소)는 쾌적함에 기초한 것으로, 최악의 조건에 근접한 상황을 가정하였다. 따라서 설계 내에 내재적인 안전 여유(safety margin)가 존재하며, 비록 V85가 설계속도보다 높은 경우에도 안전 여유가 이를 상쇄할 수 있음을 제시하였다. 또한 현 도로 설계기준은 기준 작성 당시인 1940년대 자동차를 모델로 하고, 습윤 조건에서 완전하게 채동이 걸린 타이어 특성에 기초한 것으로 현 자동차 성능에 비추어 볼 때 상당한 안전 여유가 내재되어 있음을 제시하였다. 또한 도로 설계 기준은 가능하면 최소 기준 보다 다소 여유로운 설계 값의 사용을 권장하고 있어, 설계속도는 도로 구간 내에 몇몇 열악한 지점에 적용이 국한되며, 이는 설계속도를 과소 추정한 측면이 있다는 것이다. 설계속도나 제한속도가 모든 범주의 기상 조건(빙판, 눈, 폭우, 안개 등)을 포용하고 있지 않기 때문에, 운전자는 기상 조건에 따라 자신의 속도를 조정하게 된다. 또한 도로 설계 요소와 관련된 위험은 익숙하지 못한 운전자에게는 보이지 않거나 뚜렷하게 구별되지 않으므로(예를 들어, 블록 종단곡선 다음에 오는 급 평면곡선이나 교차로), 경고 표지가 일반적으로 설치되고 있음을 제시하였다.

Fitzpatrick 등(2003)은 설계과정에서 선정된 설계속도를 V85 예측모형을 통해 보정하는 방법(피드백)을 제안하였으며, 그 절차는 다음과 같다.

- 선택된 설계속도에 기초하여 선형 설계
- 선형 설계에 따라 V85 추정
- V85들 사이의 차이를 확인
- 허용 가능한 수준으로 차이를 줄이기 위해 선형 설계 조정

Fitzpatrick 등(2003)은 미국의 NCHRP 15-18 프로젝트의 연구 결과를 인용하여, 주행속도와 제한속도 사이에 강한 상관관계가 나타났음을 제시하였다.

Schurr 등(2001)은 도로 기하구조 요소와 제한속

〈표 1〉 주행속도 예측모형

| 구분  | 주행속도 예측모형  |
|-----|--|
| 곡선부 | $V_{mean} = 67.4 - 0.1126\Delta + 0.02243CL + 0.276V_p(2)$ |
|     | $V85 = 103.3 - 0.1253\Delta + 0.0238CL + 1.039G_1(3)$      |
|     | $V95 = 113.9 - 0.122\Delta + 0.0178CL + 0.00184T_{ADT}(4)$ |
| 직선부 | $V_{mean} = 51.7 + 0.508V_p(5)$                            |
|     | $V85 = 70.2 + 0.434V_p - 0.001307T_{ADT}(6)$               |
|     | $V95 = 84.4 + 0.352V_p - 0.001399T_{ADT}(7)$               |

여기서,  $V_{mean}$  : 평균속도(km/h)  
 $V85$  : 85백분위 주행속도(km/h)  
 $V95$  : 95백분위 주행속도(km/h)  
 $V_p$  : 제한속도(km/h)  
 $\Delta$  : 교각(°)  
 $CL$  : 평면곡선길이(m)  
 $G_1$  : 직선부 종단경사(%)  
 $T_{ADT}$  : 일평균 교통량(대/일)

도를 독립변수로, 주행속도를 종속변수로 하는 회귀모형을 〈표 1〉과 같이 제시하였다. 표에 제시된 바와 같이, 곡선부는 교각, 곡선길이, 제한속도, 경사, 교통량이, 직선부에서는 제한속도와 교통량이 유의한 독립변수로 나타났다.

본 연구에서는 이상에서 검토한 기존 연구들을 통해, 설계속도 기반의 도로 설계의 한계점을 언급하였고, 이를 보완하기 위해서는 주행속도 추정을 통한 보정 작업(피드백 절차)이 필요함을 제시하였다. 또한 주행속도 추정을 위해서는 도로 기하구조 요소뿐만 아니라 제한속도가 중요한 영향을 미치는 요인임을 알 수 있었다.

### III. 현장 조사 및 자료 분석

#### 1. 지점 선정

현장 조사는 왕복 4차로 도로에서 제한속도( $V_p$ )가 80km/h 구간과 90km/h 두 구간으로 구분하여 수행하였다. 특히  $V_p$ 는 차이가 있으나 도로 및 교통 조건이 유사한 지점을 선정함으로써  $V_p$ 에 따른 주행속도 변화 특성이 보다 구별될 수 있도록 하였다.

지점 선정은 주행속도에 영향을 줄 수 있는 외부 요인을 최대한 배제하는데 초점을 두고 수행하였다. 예를 들어, 포장 노면의 특성 등은 상당히 양호한 조건에서만 시행하였다. 기타 아래 선정 원칙에 최대한 부합되는 도로 지점을 선정하였다.

- 교차로의 영향이 없는 곳
- 과속단속시스템의 영향이 없는 곳

〈표 2〉 제한속도별 지점선정 조건

| 구분         | 제한속도(Vp, km/h) |           |
|------------|----------------|-----------|
|            | 80             | 90        |
| 지역 구분      | 지방부            |           |
| R(m)       | 300~1,500      | 400~2,000 |
| CL(m)      | 105~987        | 271~686   |
| e(%)       | 1.7~7.0        | 1.5~6.5   |
| LW(m)      | 3.5~3.8        | 3.5       |
| SW(m)      | 1.0~2.5        | 1.6~2.0   |
| G(%)       | -6.0~4.8       | -4.0~4.0  |
| TL(m)      | 96~1,268       | 100~1,251 |
| Δ(°)       | 10~61          | 8~59      |
| Vd(km/h)   | 81~163         | 92~178    |
| 조사지점 수(개소) | 27             | 14        |

여기서, R : 평면곡선반경(m)  
 CL : 평면곡선길이(m)  
 e : 편경사(%)  
 LW : 차로 폭(m)  
 SW : 길어깨 폭(m)  
 G : 종단경사(%)  
 TL : 평면곡선부 전방 직선길이(m)  
 Δ : 교각(°)  
 Vd : 설계속도(km/h)

- 도로 주변 영향이 최소화된 곳
- 도로에 인접하여 또는 진행방향으로 운전자의 주행에 비정상적인 상황 유발을 일으킬 수 있는 교량, 학교, 공장이 없는 곳

최종 선정된 지점의 곡선반경 범위는 Vp 80km/h 조건에서는 300m~1,500m이고 Vp 90km/h 조건에서는 400m~2,000m에 분포되어 있다. Vp별 지점선정 조건은 〈표 2〉와 같다.

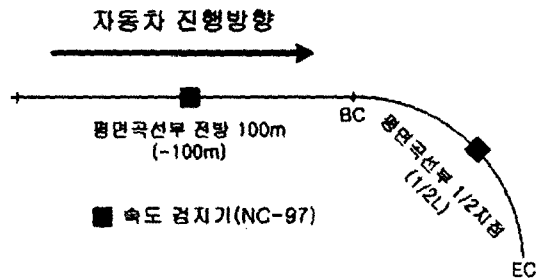
## 2. 속도 조사

속도자료 수집은 미국 nu-metrics사의 NC-97을 이용하였다. 검지기는 가로 16cm, 세로 14cm, 높이 2cm 정도로 운전자에게 쉽게 식별되지 않을 정도의 크기이다. 검지원리는 자기장(magnetic field) 위로 통과하는 차량의 영향을 검지하고, 검지기 내의 마이크로컴퓨터가 이를 토대로 지점속도(spot speed)를 예측하게 된다. 검지기로부터 수집되는 자료는 차량속도, 검지시간, 차두시간, 차량길이이다. 이들 자료는 검지기에 저장되고 조사시간이 끝난 후에 RS232 포트를 통해 개인용 컴퓨터로 옮겨진다.

자동차간의 간섭이 주행속도에 미치는 영향을 최소화

할 수 있는 비 침투 시간대를 시간적 범위로 하였다. 평면곡선부 전방 100m(이하 -100m)와 평면곡선부 1/2지점(이하 1/2L)에 속도검지기를 설치하여 주행속도를 조사하였다.

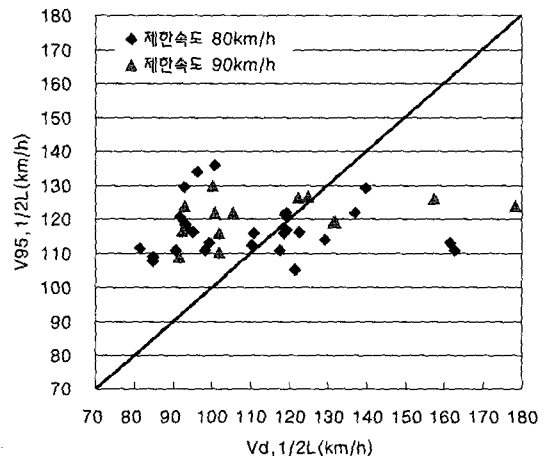
조사장비를 통해 조사된 자료 중 추종이 일어날 수 있는 차두시간이 6초 이하인 경우는 다른 차량의 영향을 받았다고 가정하고 자료에서 제외하였으며, 차종은 승용차로 국한하여 분석을 수행하였다.



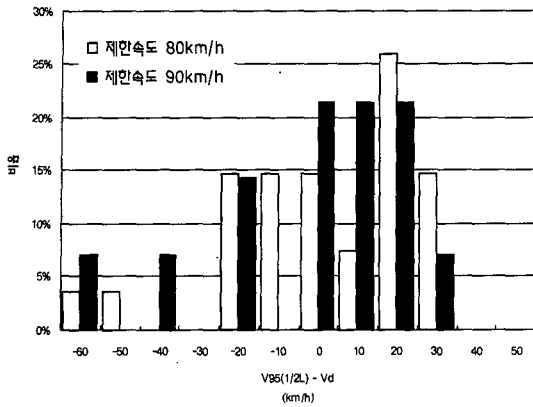
〈그림 1〉 속도검지기 설치 위치

## 3. 자료 분석

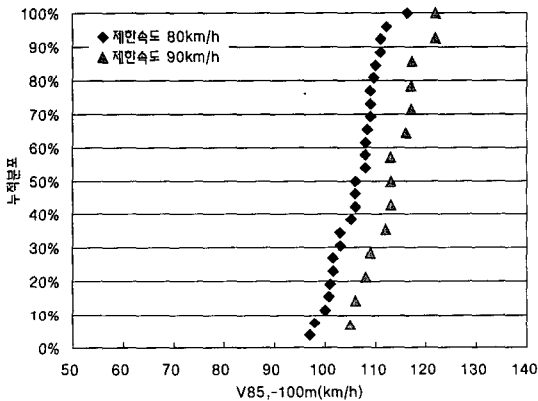
현장 조사된 속도 자료를 이용하여 본 연구에서 관심 대상인 설계속도(도로 설계기준)와 주행속도, 제한속도와 주행속도의 관계를 검토하였다. 〈그림 2〉는 평면곡선부에서 제한속도(Vp)별로 95백분위 속도(V95)와 추정 설계속도(Vd, 식(1) 이용)의 관계를 나타낸 것이고, 〈그림 3〉은 평면곡선부에서 제한속도(Vp)별로 95백분



〈그림 2〉 제한속도별 V95와 Vd의 관계(평면곡선부)



(그림 3) 제한속도별 V95와 Vd차이 분포(평면곡선부)



(그림 4) 제한속도별 V85 누적분포(직선부)

위 주행속도(V95)와 설계속도(Vd)의 차이에 관한 dots 분포를 나타낸 것이다. 여기서 추정 설계속도는 지점에서 조사된 편경사, 평면 곡선반경을 식(1)에 대입하여 산정한 지점의 설계속도(미끄럼마찰계수는 설계기준에 제시된 설계속도별 최대 미끄럼마찰계수를 가정)로서, 본 논문에서는 이하 설계속도(Vd)로 정의하였다.

분석결과, Vp가 80km/h인 구간의 경우, 전체 27개소 중 17개소(63%)에서 V95가 Vd보다 더 큰 것으로 나타났으며, Vp가 90km/h인 구간의 경우 전체 14개소 중 10개소(71%)에서 V95가 Vd보다 더 큰 것으로 나타났다(〈그림 2〉 참조).

Vp가 80km/h인 경우 V95가 Vd보다 20km/h 이상 초과하는 비율이 40.7%(전체 27개소 중 11개소), Vp가 90km/h인 경우 V95가 Vd보다 20km/h 이상 초과하는 비율이 28.6%(전체 14개소 중 4개소)로 나타났다(〈그림 3〉 참조).

(그림 4)는 직선부에서의 Vp별 V85 누적 분포를

나타낸 것이다. Vp가 90km/h인 구간이 Vp가 80km/h인 구간의 V85보다 약 10km/h 정도 높은 것으로 분석되었다.

#### 4. 주행속도 예측모형 개발

설계속도, 주행속도, 제한속도의 관계를 검토하기 위한 모형 개발을 시도하였다.

본 연구에서 주행속도를 예측하기 위해 고려된 변수는 〈표 3〉과 같다.

회귀모형의 독립변수는 주행속도와 상관관계가 높고 유의성이 있는 설계요소를 우선적으로 고려하여 선택되었고, 이 중 제거기준(F=0.01)에 의해 탈락된 독립변수들을 하나씩 제거하는 방법으로 1차 회귀모형을 개발하였다. 최적 회귀모형은 1차 회귀모형을 기준으로 독립변수의 부호, 독립변수간 상관관계, 모형 및 독립변수의 유의성(F 검정과 t 검정), 오차항간 독립성(Durbin-Watson 등), 다중공선성(공차한계, VIF, 상태지수 등), 이상치(표준화 잔차) 등을 검토하여 결정되었다. 회귀식의 설명력을 나타내는 결정계수의 경우, 독립변수 개수의 증가로 인해 결정계수가 커지는 영향을 최소화하기 위해 수정된 결정계수(adj R<sup>2</sup>)를 적용하였다. 주행속도는 평균속도(Vmean), 85백분위 속도(V85), 95백분위 속도(V95)로 나누어 수행하였다.

(표 3) 독립변수

| 평면곡선부            |                        |
|------------------|------------------------|
| • 1/R            | : 곡률(m <sup>-1</sup> ) |
| • CL             | : 평면곡선길이(m)            |
| • e              | : 평면곡선부 편경사(%)         |
| • LW             | : 면곡선부 차로 폭(m)         |
| • SW             | : 평면곡선부 길어깨 폭(m)       |
| • Δ              | : 교각(°)                |
| • G <sub>l</sub> | : 평면곡선부 종단경사(%)        |
| 직선부              |                        |
| • G <sub>0</sub> | : 직선부 종단경사(%)          |
| • TL             | : 평면곡선부 전방 직선길이(m)     |
| 기타               |                        |
| • V <sub>p</sub> | : 제한속도(km/h)           |

##### 1) 곡선부 주행속도 예측모형

평균속도(Vmean)와 85백분위 주행속도(V85) 예

측모형은 제한속도( $V_p$ )만이 유의한 독립변수로 나타났고, 95백분위 주행속도( $V_{95}$ )의 경우 유의한 모형이 개발되지 못하였다.

〈표 4〉 곡선부 주행속도 예측모형

| 주행속도 예측모형                                     |     |
|---|-----|
| $V_{mean} = 46.885 + 0.535 V_p (R^2 = 0.242)$ | (8) |
| $V_{85} = 54.286 + 0.621 V_p (R^2 = 0.255)$   | (9) |

여기서,  $V_{mean}$  : 평균속도(km/h)  
 $V_{85}$  : 85백분위 주행속도(km/h)  
 $V_{95}$  : 95백분위 주행속도(km/h)  
 $V_p$  : 제한속도(km/h)

2) 직선부 주행속도 예측모형

직선부 주행속도를 예측하기 위한 독립변수로 제한속도( $V_p$ ), 직선부 길이(TL), 직선부 중단경사( $G_0$ ) 등이 고려되었으며, 최종 모형은 〈표 5〉와 같다. 모든 주행속도 예측모형에서 제한속도( $V_p$ )와 직선길이(TL)가 유의한 독립변수인 것으로 분석되었다.

〈표 5〉 직선부 주행속도 예측모형

| 주행속도 예측모형  |      |
|--|------|
| $V_{mean} = 29.2 + 0.748 V_p + 0.006 TL (R^2 = 0.497)$ | (10) |
| $V_{85} = 40.34 + 0.780 V_p + 0.006 TL (R^2 = 0.450)$  | (11) |
| $V_{95} = 50.03 + 0.774 V_p + 0.008 TL (R^2 = 0.328)$  | (12) |

여기서,  $V_{mean}$  : 평균속도(km/h)  
 $V_{85}$  : 85백분위 주행속도(km/h)  
 $V_{95}$  : 95백분위 주행속도(km/h)  
 $V_p$  : 제한속도(km/h)  
 TL : 평면곡선부 전방 직선길이(m)

IV. 결론 및 향후 연구

본 연구는 지방부 왕복 4차로 도로에서 조사된 주행속도를 통해 설계속도, 주행속도, 제한속도 관계를 분석하는데 초점을 두고 수행되었다.

왕복 4차로 도로 구간에서 조사 자료를 통해 볼 때, 설계속도(도로 설계기준에 의한 값) 약 110km/h 이하의 조건에서는 주행속도가 설계속도를 상회하는 결과를, 설계속도 약 130km/h 이상의 조건에서는 주행속도가 설계속도 보다 낮게 나타나는 결과를 가져왔다. 특히, 제한속도 80km/h 구간에서 95백분위 주행속도가 설계속도를 20km/h 이상 초과하는 비율(전체 구간 중 초과 구간의 비율)이 40.7%로 높게 나타났다.

제한속도 80km/h 지점들에서는 85백분위 주행속도 범주가 95~110km/h 사이로 나타났고, 제한속도 90km/h 지점들에서는 주행속도 범주가 105~120km/h로 나타났다. 현장 조사 지점을 선정할 때, 일반국도이며 가능한 유사한 도로 교통조건을 갖는 구간을 선택하여 조사를 시행한 점을 감안할 때, 제한속도가 주행속도에 미치는 간접적인 영향을 확인할 수 있었다.

설계속도, 주행속도, 제한속도의 상관관계 분석을 위한 모형개발이 시도되었다. 주행속도를 종속변수로, 도로 기하구조, 제한속도를 독립변수로 하는 모형이 개발되었다. 이 모형은 도로 설계단계에서 가정된 설계속도를 보완하기 위한 도구로 활용될 수 있다.

모형은 곡선부와 직선부로 구분하여 개발되었다. 곡선부 주행속도 모형은 도로 기하구조 특성이 지배적일 것이라는 모형 개발 초기 단계의 가정을 확인하지 못하였다. 오히려 제한속도만이 유의한 변수로 나타났다. 직선부에서는 제한속도와 직선 연장이 유의한 모형으로 개발되었다. 모형의 설명력 측면에서는 직선부 주행속도 예측모형이 높게 나타나는 결과를 가져왔다. 곡선부 주행속도 예측모형에서 도로 기하구조 요소들이 유의한 수준으로 나타나지 못한 원인으로, 조사지점의 평면 곡선반경이 대부분 400m를 초과하기 때문에 곡선부 기하구조가 곡선부 주행속도 예측에 미치는 영향이 적은 것으로 판단된다.

개발된 모형에 기초한 본 연구의 검토결과를 정리하면 다음과 같다.

- 곡선부 주행속도 예측모형
  - 제한속도가 증가하면 평균 주행속도, 85백분위 주행속도가 증가함
- 직선부 주행속도 예측모형
  - 제한속도가 증가하면 평균속도, 85백분위 속도, 95백분위 속도가 증가함
  - 직선 연장이 길어지면 평균속도, 85백분위 속도, 95백분위 속도가 증가함

본 연구의 한계로는 첫째, 지점 자료수의 제약으로 인해 모형 검증이 이루어지지 못한 점과 둘째 개발된 모형의 설명력이 다소 낮게 나타나 이를 실무에서 활용하기 위해서는 모형에 추가적으로 검토 가능한 독립변수를 도출하고 모형의 검증 및 활용도를 높이기 위한 추가 현장조사 연구가 필요하다.

## 참고문헌

1. 건설교통부(2000), 도로의구조·시설기준에관한규칙 해설 및 지침.
2. Barnett, J.(1936)., "Safe Friction Factors and Superelevation Design," Proc., Sixteen Annual Meeting, Washington, D.C. Novemver 18-20, 1936. HRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.69~80.
3. Gutierrez, N.I.(1997), "A Model for Estimating Operating Speeds on Combined Horizontal and Vertical Alignments on Rural Two-Lane Highways," Ph D Thesis, Texas A&M University.
4. Karen S. Schurr., Patrick T. McCoy., Geza Pesti., Ryan Huff.(2001), "Relationship Between Design, Operating and Posted Speeds on Horizontal Curves on Rural Two-Lane Highways in Nebraska."
5. K. Fitzpatrick., P. Carlson., M. Brewer., M. Wooldridge.(2003), "Design Speed, Operating Speed, and Posted Speed Limit Practices," Transportation Research Board, Washington, D. C.
6. McLean, J.(1981), "Driver Speed Behaviour and Rural Road Alignment Design," Traffic Engineering & Control, Vol. 22, Printerhall Limited, London, England.
7. R. A. Krammes., K. Fitzpatrick., J. D. Blaschke. and D. B. Fambro.(1996), "Speed : Understanding Design, Operating, and Posted Speed," Texas Transportation Inst., College Station.

✉ 주 작성자 : 김용석

✉ 논문투고일 : 2005. 10. 29

논문심사일 : 2005. 11. 30 (1차)

심사판정일 : 2005. 11. 30

✉ 반론접수기한 : 2006. 4. 30