

## 주행속도 개념 적용의 필요성 연구

### A Study on Necessity of Applying Concept of Operating Speed



손원표



이용재



송민태



박경석

### 서론

전 세계적으로 지구온난화로 인한 기후변화와 생태계 파괴는 더 이상 묵과할 수 없는 중대한 사안이 되었으며 이로 인해 범 지구적 차원의 기후변화협약이 체결되고 세계 각국은 온실가스 배출을 저감하기 위한 가시적인 노력을 경주하고 있다.

특히 탄소배출의 주요 원인으로 교통부문이 부각되면서 도로는 자연환경을 훼손하고 자동차는 탄소발생을 증대시키는 요인으로 인식되고 있다.

차량의 주행속도는 탄소배출과 직접적인 연관이 있으나 현재 도로설계는 설계속도 위주의 설계기준이 적용되어 설계속도가 높은 경우 요구되는 기하구조 기준의 일률적인 적용으로 인해 주변 자연환경을 훼손하게 되며, 실제 차량 주행속도가 설계속도 이상으로 차이를 보이는 경우가 발생하고 있다.

주행안전성 측면에서 차량의 주행속도에 대한

연구는 발표사례가 많지만 실제 도로선형 설계단계에서 활용되는 경우가 미흡하며 주행속도에 따른 탄소배출에 대한 연구도 아직은 초기단계에 있다.

본 연구의 목적은 도로설계기준에서 사용되는 속도에 대하여 알아보고 도로선형 결정단계에서 주행속도 개념이 적용된 국외사례 조사 및 검토를 통해 주행속도 개념 적용의 필요성을 확인하고 나아가 주행안전 및 탄소배출에 영향을 주는 주행속도의 설계적용성을 제시하는데 있다.

### 본론

#### 1. 속도의 종류와 정의

도로계획에서부터 운행에 이르기까지 주로 사용되는 속도에는 설계속도, 주행속도, 제한속도가 있다. 도로설계에서 설계속도는 선형요소를 결정하는

손원표 : 동부엔지니어링(주) 기술연구소, wpshon@dbeng.co.kr, Phone: 02-2122-6786, Fax: 02-2122-6960

이용재 : 중앙대학교 사회기반시스템공학부, yjlee@cau.ac.kr, Phone: 02-820-5882, Fax: 02-825-9446

송민태 : 동부엔지니어링(주) 기술연구소, diazsong@dbeng.co.kr, Phone: 02-2122-6746, Fax: 02-2122-6960

박경석 : 동부엔지니어링(주) 기술연구소, kspark@dbeng.co.kr, Phone: 02-2122-6784, Fax: 02-2122-6960

중요한 요소이다. 설계속도는 설계구간 내에서 주행하는 승용차가 도로조건, 기상조건 등이 양호한 상태에서 안전하게 달릴 수 있는 최고속도로 정의된다. 설계속도의 개념은 1930년대에 Barnet (1936)에 의해 도입되었으며, '상대적으로 속도가 높은 운전자 그룹에 의해 받아들여질 수 있는 균일한 최대속도'로 정의되었다.

도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설(2013)에 의하면 '설계속도란 차량의 주행에 영향을 미치는 도로의 물리적 형상을 상호 관련시키기 위해 선택된 속도로 도로 설계요소의 기능이 충분히 발휘될 수 있는 조건에서 운전자가 도로의 어느 구간에서 쾌적성을 잃지 않고 유지할 수 있는 적정속도를 말함'으로 명시되어 있다.

도로의 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, 하천 또는 경관보호구역 등에 접근하는 경우에는 선형의 개량이 전체 구간의 안전 확보 측면에서는 부적합하다(Krammes, 1996).

주행속도는 현장에서 관찰되는 운전자의 주행속도를 말하는 것으로 특히  $V_{85}$ 는 도로 기하구조와 관련한 주행속도를 통계적으로 기술하는 대표적인 값으로 사용되고 있다.  $V_{85}$ 는 '85%의 운전자가 이 속도 이하로 운행하는 속도'를 의미하며, 지점속도를 측정하고 이를 이용하여 85백분위수를 산출한다. 일반적으로 주행속도는 자유 교통류 상태에서 주행하는 자동차의 속도를 조사하고 이를 토대로 산출하게 된다. 자유 교통류에서 조사된 속도는 운전자가 다른 자동차에 의해 속도를 영향 받지 않는 조건에서 관찰되는 소위 희망속도를 의미한다.

$V_{85}$ 는 주어진 도로 구간에서 보다 균일한 속도가 유지되도록 하는 것을 목표로 하고 있다. 균일

한 속도 분포의 이점은 자동차들이 가능한 균등한 속도로 주행함에 따라 교통사고율이 낮아지는데 있으며 평면 곡선부에서 운전자의 주행속도 예측은 자동차의 역학적 안전을 보증하는 측면에서 중요하다.

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 제한속도를 너무 높게 설정하면 안전 측면에서 바람직하지 못하고, 너무 낮게 설정하면 속도의 분산이 커져 안전 측면에서 바람직하지 못하므로, 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 교통국은 '제한속도는 85백분위 주행속도( $V_{85}$ )에 기반을 두어 설정되어야 함'으로 명시하고 있다. 비록 도로 구간이 도로주변 개발상태, 도로 및 길어깨 포장상태, 보행자 및 자전거 교통 특성에 따라 변화되지만 제한속도는  $V_{85}$ 에 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 경우에는 교통사고 다발지점으로 이러한 구간에는 약 10km/h 낮은 속도가 추천되며, 비록  $V_{85}$ 가 높게 나타나더라도 국가적으로 규정한 최대속도 제한은 이 보다 높은 속도 제한의 사용을 금하고 있다(Krammes, 1996). 제한속도가  $V_{85}$ 보다 낮은 경우에 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. 문헌 고찰

### 1) 국내 연구

김용석 외(2005)는 도로 설계속도, 주행속도, 제한속도가 보완적 관계를 가지고 있음에도 불구하고, 이들 세 가지 속도의 상호 작용에 대한 검토가 미흡하다는 문제 제기를 통해 지방부 왕복 4차로 구간에서 주행속도 자료 측정을 측정 비교하여 세 가지 속도의 상관성을 조사하였다. 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.

최인구(2006)는 국내에서는 설계속도를 선정하는 방법에 대해 구체적인 가이드라인이 없고 외국의 경우  $V_{85}$  예측치 또는 제한속도에 일정 여유를 더해 설계속도로 적용하는 사례가 많음에 착안하여 주행속도를 실측한 결과 제한속도를 초과하는 사례가 빈번하여 안전상의 여유가 필요함을 주장하였다. 또한, 장기적으로  $V_{85}$ 를 고려한 제한속도 상향조정에 대비할 필요가 있어  $V_{85}$  예측치를 이용한 설계로의 전환이 필요함을 제시하였다.

아울러, 설계속도를 설계착수 이전에 미리 결정하기보다는 100-120km/h 등 범위로 제시하고 설계착수 후 합리적인 설계속도를 결정하도록 제도를 보완할 필요가 있음을 제안하였다.

### 2) 국외사례

각 국가별로 설계속도를 산정하는 방법에는 차이가 있으며 설계속도 개념이 아닌 주행속도 개념의 설계가 이루어지는 국가도 있다. 표 1은 국가별 설계속도 결정방법을 나타낸 것이다.

국내에서도 주행속도는 설계의 표준을 결정하기 위해 자유교통류 상에서의 85백분위 속도의 개념으로 사용하는 것으로서 보통 설계속도보다 높기 때문에 주행속도는 설계속도 대신 편경사와 정지시거를 결정하는데 적용하고 있다.

표 1. 국가별 설계속도 결정방법

구분	설계속도의 적용
ALBERTA (CANADA)	• 제한속도보다 10km/h 이상 높은 값 적용이 바람직 • 지방부 고속도로 130km/h 적용
AUSTRIA	• Design Speed는 선형결정에 적용 • Project Speed는 편경사, 시거 등의 결정에 적용(고속도로의 경우 140km/h 적용)
AUSTRALIA	• 선형설계→ $V_{85}$ 예측→일관성체크(반복)
GERMANY	• 편경사, 시거 등의 결정에 $V_{85}$ 적용 • $V_{85}$ 와 설계속도의 차이 제한(일관성)
GREECE	• 편경사, 시거 등의 결정에는 $V_{85}$ 를 적용
PORTUGAL	• 예측되는 $V_{85}$ 를 설계요소 결정에 적용
SWEDEN	• 설계요소의 최소값은 $V_{85}$ 에 의해 결정
UK	• 설계속도와 Operating speed가 일치하도록 설계요소 선택 반복

자료 : 최인구(2006), "Operating Speed를 고려한 설계속도 적용방안"

독일에서의 설계속도( $V_e$ )는 도로의 예상 교통량 기능을 근거로 결정되며 최소곡선반경, 최대 종단경사, 최소 블록 및 오목곡선반경 등을 결정하는데 사용된다. 주행속도( $V_{85}$ )는 실제 주행행태를 나타내고 노면습윤 차로에서 자유롭게 주행하는 승용차의 85백분위 속도에 해당하며 곡선에서의 횡단경사, 역횡단경사에서의 최소곡선반경, 정지시거, 추월시거 등을 결정하는데 사용된다.

독일에서 실제 운행특성을 설계에 반영하기 위해 다음과 같이  $V_{85}$ 를 이용하고 있다.

- $V_{85} = V_e + 10\text{km/h}$  ( $V_e \geq 100\text{km/h}$ )
- $V_{85} = V_e + 20\text{km/h}$  ( $V_e < 100\text{km/h}$ )

또한, 그림 1의 독일의 도로계획단계를 보면 설계속도와 주행속도가 어느 단계에서 어떻게 사용되는지 알 수 있다. 설계속도와 주행속도는 서로 고려되는 관계로 되어 있어야 하며 노선특성과 운전자의 주행거동을 고려하여서 평가해야 한다고 명시되어 있다. 실제 주행속도는 가능한 한 균일하여야 하며 인접 구간의 조사된 주행속도가 10km/h 이상 차이가 있으면 두 구간의 속도가 서로 적합한지 또는 추가 조정 구간을 통하여 속도가 점진적으로 변할 수 있는지를 검사할 수 있다.

호주의 경우에는 그림 2처럼 운전자가 보기에 합리적일 수 있게 속도환경 개념을 도입하고 있다. 속도환경에 따라 곡선부의 85백분위 속도를 예측

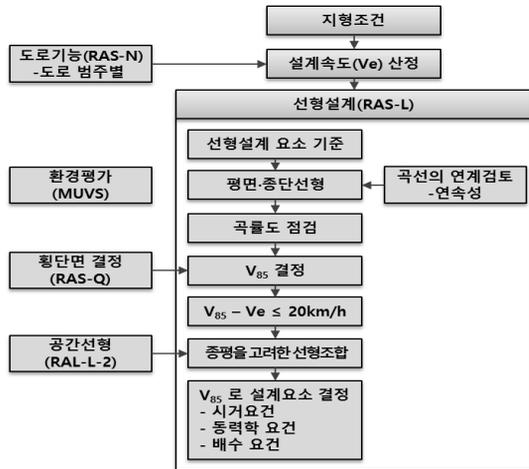


그림 1. 독일의 도로계획단계(RAS-L)

출처 : 독일 도로교통 연구협회, "RAS(RA Strassen, 도로시설 규정)"

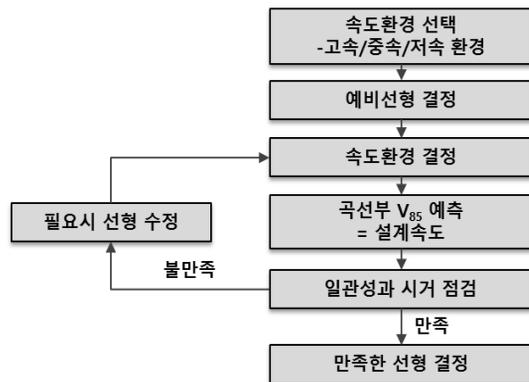


그림 2. 호주의 도로선형 결정과정

출처 : Austroads(2010), "Guide to Road Design: Part 3: Geometric Design"

하고 예측된 속도에 의해 일관성과 시거 조건 등을 점검하여 최종선형을 결정하고 있다.

주행속도를 결정하는 과정에서 주행속도 모델을 반영하고 있는데 여기에는 운전자, 도로, 차량 세 가지 기본요소를 고려하고 있다. 특히, 주행속도 모델은 호주의 도로에서 운전자의 행동 관찰에 기초하며 구간 주행속도, 직선구간에서의 가속, 곡선 구간에서의 감속을 세 가지 핵심 구성요소로 제시하고 있다.

호주에서 적용하고 있는 지방부 도로설계의 기본절차를 보면 주행속도가 어떻게 사용되는지 알 수 있다.

먼저 적정 최소곡선반경, 도로체계, 지형을 고

표 2. 승용차/화물차 속도관계

구분	속도(km/h)							
승용차	40	50	60	70	80	90	100	110
화물차	34	43	52	60	70	80	90	100

출처 : Austroads(2010), "Guide to Road Design: Part 3: Geometric Design"

려하여 일반적인 방법으로 평면선형과 종단선형을 계획한다. 그 다음 주행속도 모델을 이용하여 양 방향에 대한 주행속도를 계산한다. 계산값이 표기된 그래프를 통하여 주행속도의 적정성을 판단하고 부적합한 경우에 선형계획을 수정한다.

또한, 도로선형 계획시 기본 설계기준자동차는 승용차이지만 화물차에 대해서도 안전하게 설계되었는지 확인해야 한다. 승용차와 마찬가지로 화물차의 속도 역시 가능한 모든 곳에서 측정하며 속도 측정이 힘든 곳에서는 화물차의 주행속도 모델이 존재하지 않기 때문에 승용차의 주행속도 모델을 수정하여 사용한다. 단, 고속주행이 가능한 지방부 도로와 고속도로에서 화물차의 속도는 승용차 주행속도와 같다고 가정한다.

### 3) 시사점

국외에 대한 사례조사 결과 호주, 프랑스, 독일, 영국, 스위스는 AASHTO보다 주행속도에 대해 보다 체계적이고 명백한 고려를 하고 있으며, 상세한 부분은 다소 차이가 있지만 선형설계를 위해 주행속도를 통한 Feedback 절차를 갖고 있다.

거의 모든 국가에서 최소곡선반경 결정을 위해 설계속도를 적용하고 있으나 설계속도 초과시 편경사와 시거결정에는  $V_{85}$ 를 적용하고 있다.

국내에서도 설계일관성 및 주행안전성 관점에서 주행속도의 범위에 대한 연구결과가 다수 발표되었으며 최근에는 차량 주행속도에 따른 탄소배출량 산정에 관한 연구도 활발히 진행 중이지만 설계기준에 반영되기에는 한계가 있는 실정이다.

### 3. 호주의 주행속도 적용사례

호주는 주행속도를 설계에 적극적으로 반영하고 있는 대표적인 국가로 설계속도 개념이 아닌 주행

속도 개념을 적용하여 설계를 수행하고 도로를 운영하고 있다.

### 1) 주행속도의 적용

앞에서 언급한 것처럼 호주는 선형 결정단계에서 다음의 과정을 거치게 된다.

- 선정된 설계속도에 의해 선형계획
- 계획된 선형에 따른  $V_{85}$  추정
- 연속되는 곡선간의  $V_{85}$ 의 차이를 체크하고 이 값이 일정수준 이하가 되도록 선형조정

실제 호주에서 주행속도가 어떻게 적용되고 운영되는지 확인하기 위해 주요 고속도로(M31, M80, M1, A1 등) 및 경관도로를 주행한 결과 전·후 구간 평면 및 종단선형 조건을 고려한 주행속도를 반영하여 운영하고 있으며 특히 상·하행선 주행속



그림 3. 선형조건에 따른 주행속도 상하행 차등 적용(100km/h→80km/h)



그림 4. 구간조건에 따른 주행속도 상하행 차등 적용(50km/h→40km/h)



그림 5. 주행속도 80km/h, 60km/h 적용구간(A1, 호주)

도를 차별화하여 운영하고 있는 구간도 있다.

멜버른 → 베인스테일 → 이든 → 나우라 → 시드니 간 A1(Princes Highway)는 주로 왕복2차로 도로로서 구간에 따라 지형조건, 선형조건, 도로조건 등을 고려하여 40~100km/h로 차등적으로 주행속도를 적용하고 주기적으로 추월차로를 설치하여 운영하고 있으며, 선형 및 지형 특성에 따라 주행속도를 상하행에 차등적으로 운영하고 있다.

또한, 평면 및 종단선형의 자연스러운 조합을 통하여 주행성과 쾌적성을 유지하여 전방의 시인성과 주행안전성을 확보하고 있으며, 긴 오르막 또는 내리막 종단선형이 적용된 구간은 전후구간에 일정한 종단경사 변화구간을 삽입하여 안전성과 주행성을 향상시키고 있는 특성을 보이고 있다.

### 2) 주행속도 적용을 통한 지형변화 최소화

호주의 경우에도 먼저 적정 최소곡선반경, 도로체계, 지형을 고려하여 일반적인 방법으로 평면선형과 종단선형을 계획한다. 그 다음으로 반복적인 주행속도 체크를 통해 선형계획을 수정하고 최종적인 선형을 결정하게 된다.

호주 남부 해안선을 따라 건설된 대표적 해안경관도로인 그레이트 오션 로드(Great Ocean Road)는 지형적 특징을 보존하기 위해서 주행속도를 구간별로 적절하게 변화하여 운영하고 있다.

도로계획단계에서 기본적으로 산정된 주행속도는 그림 6처럼 표지판을 통해 그 도로의 주행속도를 운전자에게 알려주게 되는데 국내에서처럼 같은



그림 6. 주행속도 70km/h 안내표지판(Great Ocean Road, 호주)



그림 8. 지형 변화를 최소화한 선형계획(Great Ocean Road, 호주)



그림 7. 선형변화에 따라 제공되는 속도 안내표지판(Great Ocean Road, 호주)

노선의 속도가 일정한 것이 아니라 구간별로 주행속도가 계속 변화되고 있는 것을 확인할 수 있다.

특히 지형적인 여건상 선형계획에 제한이 있을 경우에는 그림 7처럼 또 다른 속도 안내 표지판을 통해 운전자에게 정보를 제공하고 있다.

또한, 그림 8에서 볼 수 있듯이 지형에 따라 다양한 선형의 변화를 보이고 있는데 이는 지형적 특성에 맞게 도로를 설계하고 실제 주행속도를 고려하여 구간별 속도안내판을 설치한 것이라 추측된다.

이처럼, 지형적 특성에 맞게 도로를 건설하고, 구간별 적정 주행속도를 산정하여 운영함으로써 운전자의 자연스러운 주행성과 안전성을 확보하고 있으며 지형적 특성을 고려한 선형계획은 지형변화 최소화 등 환경보전 차원에서도 바람직한 것이라 할 수 있다.

#### 4. 국내 현황 및 문제점

##### 1) 국내 주행속도 조사결과

차량의 주행속도와 연관이 있는 요소로 운전자, 도로, 차량 세 가지를 고려할 수 있는데 특히 호주의 주행속도 모델은 도로 상의 운전자의 행동 관찰에 기초하며 구간 주행속도, 직선구간에서의 가속, 곡선구간에서의 감속을 세 가지 핵심 구성요소로 제시하고 있다.

본 연구에서는 기하구조에 따라 차량의 주행속도가 어떻게 변화되는지 알아보기 위해 다음과 같이 지방부 국도 3개 노선에 대해 승용차, 화물차의 주행속도를 조사하였다.

속도조사는 속도 측정장치를 사용하였으며 도로 선형 외 운전자 주행행태에 영향을 미치는 요소(과속단속카메라, 평면교차, 터널, 주변상가 등)가 최소인 구간을 선정하였다.

3개 구간에 대한 주행속도 조사결과 화물차의 경우 속도편차가 많이 발생하였으며 최저속도가 60km/h 이하인 경우도 발생하였다. 특히 곡선구간과 직선구간의 차이, 곡선반경에 따른 속도편차가 있는 것

표 3. 현장조사 대상지

번호	구간	노선번호	설계속도(km/h)	연장(km)
1	내덕-북일	36	80	13.43
2	신평-우성	32	80	11.7
3	성환-입장	34	80	8.3



라 판단된다.

또한, 주행속도 개념의 설계방식이 적극적으로 도입될 경우 우리나라 지형적 특성에 적합한 도로 설계가 가능해질 뿐만 아니라 환경과 조화되는 설계로 탄소배출량 저감과 자연환경의 보전에도 큰 역할을 기대할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- 국도교통부 (2013), 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설.
- 김용석, 조원범 (2005), 도로 설계속도, 주행속도, 제한속도의 관계 분석 연구, 대한교통학회지, 23(7), 대한교통학회, 35-42.
- 독일 도로교통 연구협회, RAS(RA Strassen, 도로시설 규정)
- 동부엔지니어링 (2014), 탄소저감형 그린네트워크 도로설계기술 개발 호주출장보고서.
- 손원표, 강전용, 송민태, 박경석 (2014), 탄소저감을 위한 그린네트워크 도로설계기법의 개발 및 적용방안 마련 연구, 한국도로학회 학술대회 발표논문 초록집.
- 최인구 (2006), Operating Speed를 고려한 설계속도 적용방안.
- 최재성, 이종학, 정상민, 조원범, 김상엽 (2013), 설계일관성을 반영한 감가속도 프로파일 개발, 한국도로학회지, 15(6), 한국도로학회.
- AASHTO (2011), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.
- Austrroads (2010), Guide to Road Design : Part 3: Geometric Design.