도로 이용자 중심의 선형 설계 기준에 관한 고찰

김용석 조원범

Ⅰ. 서론

본고는 도로 이용자 중심의 선형 설계를 "도로 설계자의 의도가 도로 이용자에게 분명하게 전달됨으로써, 도로 이용자의 반응 행태에 대해 신뢰성 있는 예측이 가능하고 이러한 행태에 최대한 부합되는 도로 선형 설계를 수행하는 것"으로 정의코자 한다.

그동안 국내·외 연구진들이 도로 선형과 운전자의 반응 행태를 관측하고 상호간의 관계식을 정립하는 노력을 해왔다. 이들 연구는 도로 선형과 관련한 도로 이용자의 반응 행태에 대해 많은 시사점을 제시하였다.

본고는 기존 문헌 고찰 과정에서 국가별로 연구의 성과를 활용하는 방향에 차이가 있음을 인지하였다. 이런 맥락에서, 각국별 연구 성과 활용 동향을 조사하여 도로 이용자 중심의 선형 설계에 대한 기준화 방안을 제안코자 한다.

본고는 그동안의 연구 성과에 대한 기술적 논의에 초점을 두기 보다는, 연구 결과들을 종합하여 도로 이용자 중심의 선형 설계를 기준화하는 방안

김용석 : 한국건설기술연구원도로연구부, safeys@kict.re.kr, 직장전화:031-9100-178, 직장팩스:031-9100-161
조원범 : 한국건설기술연구원도로연구부, worber@kict.re.kr, 직장전화:031-9100-182, 직장팩스:031-9100-161

이 연구는 친환경·지능형 도로설계 기술개발 연구단을 통하여 지원된 건설교통부 건설핵심기술연구사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사 드립니다.

에 대한 정책적 제안에 중심을 두고 작성하였다. 따라서 이 분야에 대한 논의를 구체화할 수 있는 방안에 대한 토의의 수단으로 활용하고자 한다.

Ⅱ. 도로 이용자 중심의 선형 설계

1. 전제 조건

"도로 이용자를 고려한 선형 설계"를 위한 전제 조건은 도로 이용자의 반응 행태에 대한 신뢰성 있는 예측이다. 도로 이용자가 도로 설계자의 의도와 다른 행동 특성을 보이는 경우 교통사고와 같은 예상치 못한 결과를 가져올 개연성이 높게 된다.

도로 설계자의 의도는 도로설계기준에 제시된 설계 원칙과 기준으로 표출된다. 도로 선형 설계는 설계속도와 설계구간이 중심된 설계 기준이며, 이를 기준으로 도로 선형 설계의 핵심 요소들인 평면곡선, 시거, 종단경사의 한계값을 결정한다.

설계속도는 Barnett(1936)에 의해 제시된 개념으로, "평균적인 운전기술을 가진 운전자가 안전하고 쾌적성을 잃지 않고 주행할 수 있는 최고속도"로 정의된다(건설교통부, 2000). 설계속도는 도로의 지형, 기능, 교통량, 주변 토지이용 등에 따라 결정되는 값이다. 설계속도는 대부분의 국가에서 활용되고 있으며 앞으로도 도로설계의 중심된 기준으로 활용될 것으로 본다.

도로 설계속도 기반의 도로 선형설계가 도로 이용자 중심의 설계가 되기 위한 전제조건은 첫째, 설계속도가 운전자의 주행속도를 반영할 것과 둘째, 직선과 곡선이 연결되는 선형 구간 내에서도 속도 변화가 일정해야 한다는 것이다.

설계 당시에 정의한 설계속도가 실제 도로 공용 후에 유지되는지에 대한 검증은 기후가 양호하고 교통밀도가 낮으며 차량의 주행조건이 도로의 구조적인 조건만으로 지배되고 있는 도로 현장에서 운전자들의 주행속도를 측정하여 평가하는 것이다. 관측된 속도들의 85백분위 값은 도로 기하구조 특징과 관련한 주행속도를 표현하는데 가장 빈번하게 사용되고 있는 값이다.

2. 경험적 검토

설계속도와 주행속도 관계에 대해 국내·외 연구진들로부터 빈번하게 인용되는 연구로, McLean(1981)은 설계속도 100km/h를 전·후해서 주행속도와 설계속도에 차이가 발생하는데 100km/h 미만에서는 주행속도가 높고 100km/h 이상에서는 주행속도가 낮게 나타남을 제시하고 있다.

김용석, 조원범, 노관섭(2003)은 왕복 2차로 도로에서의 주행속도를 관찰하였다. 이 연구는 유사한 곡선부 기하구조 조건하에서 운전자의 주행속도 변화를 분석하기 위한 의도를 가지고, 동일한 평면곡선반경을 가진 구간들만을 대상으로 분석하였다(〈표 1〉 참조).

〈표 1〉 조사 구간 도로 기하구조 조건

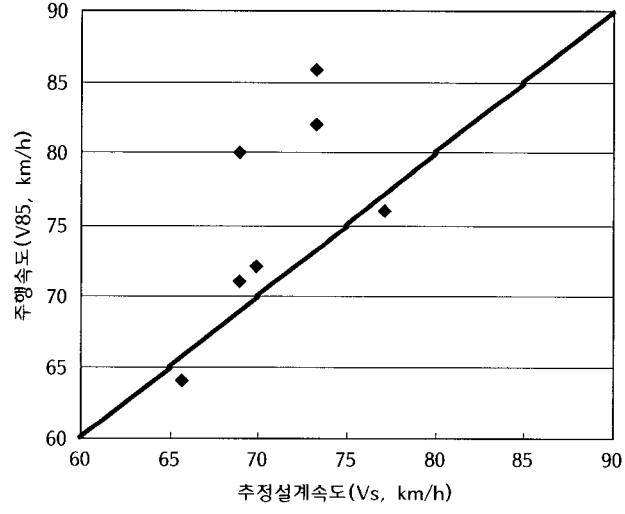
지점번호	곡선반경 (m)	곡선장 (m)	종단경사 (%)	편경사 (%)	차로폭 (m)	길어깨폭 (m)
1	200	20	0.0	3	3.60	0.6
2	〃	90	0.0	3	3.25	2.0
3	〃	140	0.3	5	3.25	1.7
4	〃	80	0.3	5	3.40	0.7
5	〃	60	-1.2	6	3.20	1.7
6	〃	140	0.3	5	3.25	1.7
7	〃	80	0.3	5	3.40	0.7
8	〃	60	-1.2	7	3.20	0.7

〈그림 1〉은 곡선부 지점의 추정 설계속도와 주행속도를 비교한 것이다. 추정 설계속도는 식(1)에 제시된 바와 같이 도면상의 평면 곡선반경, 현장에서 조사된 편경사, 도로설계기준에 명시된 최대 횡방향 미끄럼마찰계수를 적용하여 유추한 값이다. 본고는 현 기준(건설교통부, 2000)에 제시된 최대 횡방향 미끄럼마찰계수 f=0.14(설계속도 60km/h)를 적용하였다.

〈그림 1〉은 설계속도가 상대적으로 낮은 국내 지방부 왕복 2차로 도로에서 운전자의 곡선부 주행속도가 추정 설계속도를 상회하는 결과를 나타낸 것으로 보여준다. 이는 도로 설계자의 의도된 설계속도와 실제 운전자가 선택하는 속도의 괴리를 보여주는 것이다.

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

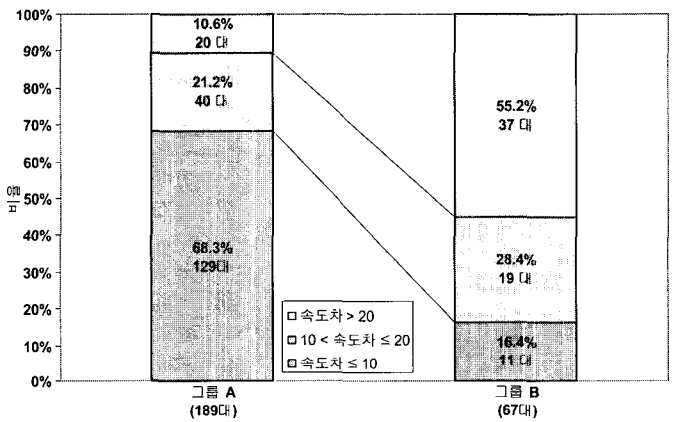
여기서, V_S : 추정 설계속도(Km/h)
e : 편경사(%)
f : 횡방향 미끄럼마찰계수
R : 평면곡선반경(m)



〈그림 1〉 추정설계속도와 주행속도의 차이

〈그림 2〉는 〈표 1〉에 제시된 분석 지점들의 직선부 주행속도를 기준으로 운전자 그룹을 양분하고 직선부와 곡선부의 속도 차이를 비교한 것이다. 그룹 A는 직선부 주행속도가 70km/h 이하인 그룹이고 그룹 B는 80km/h를 초과하는 그룹이다. 〈그림 2〉에 제시된 바와 같이 개별 운전자가 직선부와 곡선부에서 각각 선택하는 주행속도에 큰 차이가 발생되며, 이는 설계구간 내에 설계속도가 일정하게 유지될 것이라는 현 도로설계기준의 설계 원칙에 대한 추가적인 검토가 필요함을 보여주는 것이다. 부연하면 설계속도는 곡선부에 적용이 가능하며 직선부에는 동일한 관점으로 적용되지 못한

다. 따라서 긴 직선과 곡선이 연결되는 선형 조건에서 운전자의 직선부 주행속도는 곡선부의 주행속도와 큰 차이를 나타내게 된다. 〈그림 2〉에 보인 바와 같이, 직선부에서 과속한 운전자 그룹(제한속도 60km/h를 초과한 그룹)의 약 60%가 곡선부에서 20km/h 이상 감속한 것으로 나타났다.



〈그림 2〉 도로이용자 그룹별 직선부-곡선부 주행속도 차이

3. 검토 결과

설계속도 기반의 도로 설계 기준이 도로 이용자 중심의 선형 설계를 도출하기 위한 두 가지 전제조건을 제시했고, 경험적 연구 결과를 통해 검토해 보았다. 검토 결과, 곡선부의 추정 설계속도와 운전자의 주행속도에 차이가 있었으며 특히 동일한 평면 곡선반경을 가진 곡선부를 대상으로 분석한 결과임에도 불구하고 지점별로 주행속도의 변화가 크게 나타났다. 직선부와 곡선부에서 운전자의 주행속도를 관찰한 결과 연속 선형간에 큰 속도 차이가 발생함을 알 수 있었다.

현 도로 설계 기준은 도로 이용자 중심의 선형 설계를 위해 추가적인 보완이 필요하다고 본다. 이런 맥락에서 본고는 도로 이용자 중심의 선형 설계 개념이 반영된 외국의 기준을 살펴보고 국내 기준의 개선 방향을 제시코자 한다.

Ⅲ. 도로 설계 기준 반영을 위한 제언

1. 외국 기준 검토

국내·외 연구진들이 도로 선형과 운전자의 반응 행태를 관측하고 상호간의 관계식을 정립하는 연구를 수행한 점은 동일하지만, 연구의 성과를 활용하는 측면에서는 차이가 있다.

호주는 2003년 지방부 도로설계기준(Austroads, 2003)을 통해, 도로 이용자 중심의 선형 설계를 위한 구체적인 기준을 마련하였다. 이 기준의 특징은 직선부와 곡선부의 연결 선형에 관한 구체적인 평가 기준의 제시에 있다. 부연하면, 직선부의 길이에 따른 운전자의 희망속도와 곡선부에서의 주행속도 예측식을 통해 설계 대안에 대한 주행속도 변화를 파악할 수 있으며, 해당 설계를 양호(desirable), 양호하지 않음(undesirable), 채택할 수 없음(unacceptable)으로 구분하여 평가할 수 있다. 호주 기준은 운전자의 주행 행태에 대한 논리적인 가정과 현장에서 관측된 경험적 자료를 연계한 것을 특징으로 볼 수 있다.

캐나다는 1999년에 도로설계기준(TAC, 1999)를 개정하면서 "설계 일관성(Design Consistency)"을 별도의 장으로 제시하고, 횡단선형 일관성, 주행속도 일관성, 작업부하로 나누어 제시하고 있다. 횡단선형 일관성과 작업부하는 여전히 정성정인 수준에서 언급하고 있으나 주행속도 일관성은 곡선부에서의 주행속도 예측식을 식(2)와 같이 제시함으로써 보다 정량적으로 평가할 수 있도록 하고 있다.

$$V_{85} = 102.45 + 0.0037L - (8995 + 5.73L)/R \qquad (2)$$

여기서, V_{85} : 85th 백분위 주행속도(Km/h)
L : 곡선장(m)
R : 평면곡선반경(m)

주행속도 일관성 평가는 속도 프로파일 모형을 이용하여 평가토록 하고

있다. 속도 프로파일 모형은 연속되는 선형구간에서 주행속도의 변화를 나타낸 것이다. 주행속도 변화가 20km/h를 초과하는 경우에는 속도 일관성이 없는 것으로 간주하여 재설계를 검토할 수 있다.

미국은 IHSDM 개발을 시작으로 도로 이용자 중심의 선형 설계에 많은 연구를 수행하였으나 이를 기준까지 발전시키지는 못하였다. FHWA(Federal Highway Administration)는 IHSDM의 지속적인 유지관리를 시행하고 있으나 주(state)별로 활용 측면에선 많은 차이를 가지고 있다.

2. 제언

본고는 도로 이용자 중심의 선형 설계에 대한 정의, 필요성을 검토해 보았다. 그동안 국내외에서 도로 기하구조와 운전자의 반응 행태에 대한 연구 성과들이 많이 이루어졌다. 그러나 연구 성과들을 활용하는 관점에서는 큰 진척을 이루지 못하였다. 반면 호주 및 캐나다 등은 유사 연구의 결과들을 최대한 도로설계기준의 테두리 안으로 흡수하였으며, 도로 이용자 중심의 선형 설계를 위한 기준 측면의 근거를 마련한 것으로 평가된다.

미국은 IHSDM을 이용하여 전산 설계된 도면의 설계 일관성을 평가하는 방안을 제시하고 있으며 도로관리자 및 설계업체 등을 대상으로 지속적인 교육을 시행하고는 있으나, 충분하게 활용되지는 못하고 있다.

이러한 맥락에서, 본고는 도로 이용자를 위한 선형 설계가 단순히 참고적인 수준에서 검토되기 보다는 호주 및 캐나다의 사례와 같이 도로설계기준에 포함되어 보다 구체적인 형태로 검토될 필요가 있음을 제안코자 한다.

도로 이용자 중심의 선형 설계의 기준화에 대한 초안 수준의 제언으로, 도로 설계속도는 여전히 중요한 요소로서 현 기준에 제시된 바에 따라 개별 설계요소의 최소 기준을 결정하는데 활용하는 것이 바람직 할 것으로 본다. 단, 설계속도를 이용하여 직선부를 포함한 연속 선형의 안전성을 평가하는 것은 한계가 있으므로, 주행속도 프로파일 모형을 활용한 평가 방안을 설계기준에 포함할 것을 제안한다. 세부적인 기술 기준의 형식이나 내용에 대해서는 추가적인 조사 및 관계 전문가의 토의 등을 거쳐 수행되는 것이 바람직할 것으로 본다.

Ⅳ. 결론

그동한 도로 이용자 중심의 선형 설계에 대한 필요성에 대해서는 논의가 많았으나 이를 구체화하는 노력은 다소 미진하였다. 국내에서도 도로 기하구조와 운전자의 주행 행태 간의 상관성을 분석하는 연구들이 수행되었으나 이를 도로 설계 실무에서 활용하는 수준으로 발전시키지는 못하였다.

반면 호주와 캐나다는 도로 이용자의 기대에 부합되는 도로 선형 설계 방안에 대한 구체적인 기준을 제시하고 있음을 알 수 있었다. 국내에서도 설계 임관성 평가를 위한 단위 프로그램 등에 대한 관심이 높지만, 도로 설계 실무에서 활용되기 위해서는 도로설계기준에 명시적으로 언급되는 것이 필요할 것으로 본다.

이런 맥락에서 본고는 도로 이용자 중심의 선형 설계의 필요성에 대해 검토하고, 호주와 캐나다 사례를 중심으로 도로설계기준 반영을 위한 접근 방법에 대해 검토해 보았다. 최종적으로 도로 이용자 중심의 선형 설계 기준 작성방향에 대해 제시하였다.

참고문헌

1. Barnett, J., Safe Side Friction Factors and Superelevation Design, Highway Research Board, Vol. 16, Washington, D.C., 1936.1.
2. McLean. J. R., "Driver Speed Behaviour and Rural Road Alignment Design", Traffic Engineering & Control, Vol. 22, 1981.
3. 김용석, 조원범, 노관섭, 지방부 2차로 도로의 선형 안전성 평가방안, 2003년도 대한토목학회 정기학술대회 논문집, 2003.
4. 건설교통부, 도로의구조시설기준에관한규칙 해설 및 지침, 2000.
5. Austroads, Rural Road Design, 2003.
6. TAC, Geometric Design Guide for Canadian Roads, 1999.