

인간공학을 고려한 도로설계 요소 정립방안

Establishment of Human Factor for Road Design

이종학* · 노관섭*** · 김종민***

Lee, Jong Hak · Noh, Kwan Sub · Kim, Jong Min

1. 서론

우리나라의 도로건설 및 투자정책은 1960년대 경부고속도로 건설을 시작으로 과거 수 십년간 도로의 연장 및 용량 증대라는 양적인 성과를 이루어 냈다. 하지만 이러한 양적인 건설은 국가의 가장 큰 목표가 경제의 고속성장이었다고 도로건설 분야의 초점도 이에 필요한 기반시설물을 단기간에 건설하는 것에만 맞추어져 왔기 때문에 우리나라의 도로설계 기준은 단순히 자동차의 주행역학적인 안전을 고려한 차량위주로 정의되어 있다.

앞으로 세계 흐름은 인간중심의 기술화가 중요한 문제로 대두됨에 따라 이용자 중심에 대한 도로연구가 더욱 가속화 될 전망이다. 특히, 자동차 선진국에서는 오래 전부터 도로이용자를 고려한 인간공학(Human Factor, Ergonomics)을 연구하여 운전능력(Driver Performance)과 운전자 실수(Driver Error)에 대한 기준을 제시하고 이를 설계에 반영하도록 하고 있다.

현재 우리나라의 경우는 과거 건설 위주의 도로정책을 유지해온 결과 이용자가 도로 기하구조 및 도로안전 시설 요소에 대한 정립 연구는 미흡한 상태이며, 도로이용자의 안전하고 쾌적한 운행이 보장되도록 도로 시설에 대한 인간공학적 연구가 필요한 실정이다. 이를 위해서는 도로의 기하구조 및 도로안전시설이 도로이용자에게 도로설계요소의 기능이 충분히 발휘될 수 있는 조건을 제시해 주어야 한다.

그러기 위해서는 운전자와 도로 간의 상호 정보전달에 있어서 상관성을 갖는 이용자 중심의 도로설계요소 및 도로안전시설 요소 정립이 필요하다. 예를 들면, 운전자가 도로 기하구조 및 도로안전시설과 관련한 정확한 정보를 인지하고 판단하는 요소 추출이 중요하다.

이러한 측면에서, 본 연구에서는 도로교통 환경과 인간공학적 관계를 검토해보고 도로설계 요소 특성을 살펴보고자 한다.

2. 인간공학의 개념

인간공학은 일과 일상생활에서 사용하는 제품, 장치, 설비, 수순, 환경 등과 인간의 상호작용에 초점을 두고 있다. 인간공학은 인간과 사물의 설계가 인간에게 미치는 영향에 중점을 둔다. 따라서 인간공학은 사람들이 사용하는 사물과 그 사용 환경을 변경하여 사람의 능력, 한계, 요구에 한층 부합시키도록 한다. 즉, 인간공학이란 “인간의 행동, 능력, 한계, 특성 등에 관한 정보를 발견하고 이를 도구, 기계, 시스템, 과업, 직무, 환경의 설계에 응용함으로써, 인간이 생산적이고 안전하며 쾌적하고 효과적으로 이용할 수 있도록 하는 것”으로 정의 할 수 있다(Sanders & McComick, 1993).

3. 국내외 문헌 검토

본 장에서는 도로교통 환경과 관련한 인간공학 요소를 살펴보고 관련 문헌 검토를 통한 도로설계 요소에 대한 특성을 검토하였다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 · 연구원 · 공학석사(E-mail: jonghak@kict.re.kr)
** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 · 수석연구원 · 공학박사(E-mail: ksno@kict.re.kr)
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 · 선임연구원 · 공학박사(E-mail: kimbellsky@kict.re.kr)

3.1 교통환경의 인간공학 요소

교통환경의 인간공학 요소 특성은 운전자 특성, 보행자 특성, 자전거 이용자, 탑승자에 대한 요소를 검토하였다. 그중 운전자와 보행자 특성을 요약하면 다음과 같다.

3.1.1 운전자 특성

인간은 주변 환경을 이용하며, 동시에 주변 환경으로부터 영향을 받기도 한다. 교통환경에서의 인간공학은 교통참가자(운전자, 보행자 및 자전거 이용자 등)가 다른 교통참가자들이나 자동차, 교통관련시설 등과 이루는 시스템의 문제를 다루고 있으며, 이 시스템의 구성요소들 역시 상호간 영향을 주고받는 관계에 있다.

그림 1에서 운전행동 결정에 영향을 미치는 운전자 요소들을 감각능력(시각, 청각 등), 지각 및 판단능력, 운동능력, 운전자 개인특성(성격 및 태도, 장애 등)으로 압축할 수 있다. 이 요소들은 모두 운전행동결정에 필요한 정보의 획득과 처리 및 의사결정에 직접적으로 관여한다.

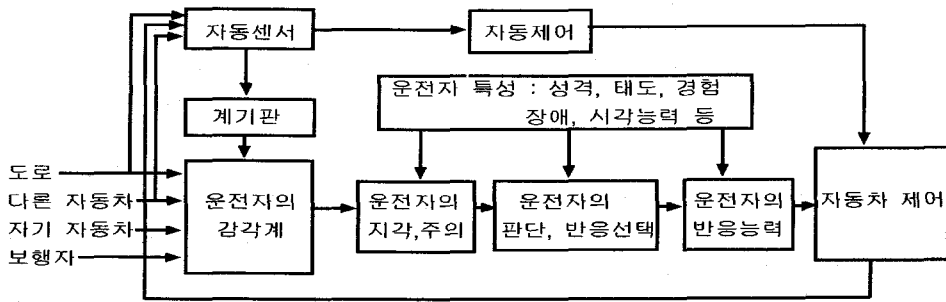


그림 1. 운전자-자동차-도로 시스템에 있어서의 운전자 기능

3.1.2 보행자 특성

보행자 시설의 안전성을 향상시키고 효율성을 높일 수 있도록 계획하고 설계하기 위해서는 설계기준이 되는 보행자의 조건 및 특성을 명확히 파악하여 이를 도로설계에 적용해야 한다. 보행자의 일반적인 특성은 보행속도, 보행거리, 신체면적, 신체면적으로 구성될 수 있다.

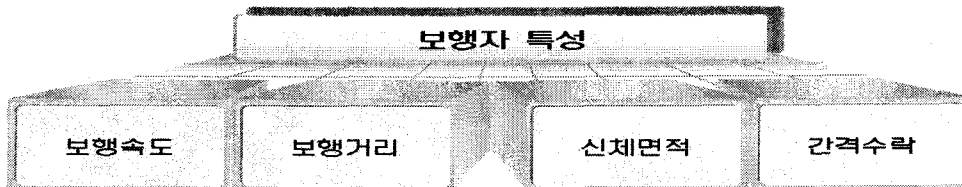


그림 2. 보행자 특성 개념도

3.2 도로설계 요소별 이용자 특성

도로설계 요소별 이용자 특성은 속도와 시거, 평면선형, 종단선형, 횡단요소, 비신호교차로, 회전교차로, 신호교차로, 입체교차로, 철도건널목, 공사구간, 도로안전시설에 대한 요소를 검토하였다. 그중 주요 항목에 대한 내용을 요약하면 다음과 같다.

3.2.1 속도와 시거

국내 관련 기준(도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 건설교통부, 2000)에서 정지시거를 산



정하기 위하여 운전자의 반응시간을 2.5초로 적용하고 있다. 이 계산법은 운전자의 반응시간 범위는 일정하지는 않지만 보통 0.4~0.7초 정도이나, 혼잡한 도로상황 및 예기치 못한 상황 등을 고려하여 2.5초를 반응시간으로 잡을 경우 90%이상의 운전자가 위기에 대응할 수 있는 적당한 시간으로 판단하고 있는 경우이다.

국의 연구(NCHRP, Comprehensive Human Factors Guideline for Road System, 2005)에서는 정지시거의 반응시간(PRT ; Perception-Reaction Time)에 따른 인적요인 연구결과는 다음과 같다. 일반적 반응시간 일반운전자는 1.3초였으며, 고령운전자는 이와 유사한 1.4초였다. 위험 요소를 고려한 반응시간에서는 도로변에 주차된 트럭에서 굴러 떨어진 통이 나타날 때의 95백분위 반응시간은 2.0초이며, 연령에 의한 차이는 없었다. 또한, 보행자에 대한 반응시간을 실험하였는데 눈부심이 없는 경우에는 평균 반응시간이 2.8초며 정상분포를 가정하면, 85백분위 지각반응시간은 3.9초였다. 다가오는 자동차에 의한 눈부심 수준이 있을 때, 평균 지각반응시간은 3.5초, 85백분위 지각반응시간은 4.9 초까지 증가되었다.

3.2.2 평면선형

국내 관련 기준(도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 건설교통부, 2000)에서는 평면선형설계의 일반적 기준은 선형은 연속적인 것이어야 한다고 방침을 내리고 있는데, 이는 두 원곡선을 같은 방향으로 복합시킬 경우에는 큰 원의 반경이 작은 원의 반경의 1.5배 이하가 되도록 하는 기준을 세우고 있다. 또한 완화구간 설계 시 운전자의 시선에 따른 쾌적성을 고려여 주행시간을 2초로 규정하고 있다.

국의 연구에서 R. Lamm(1987)은 선형의 연속성에 영향을 미치는 요인으로 곡률변화율(Curvature change rate ; CCR), 곡도(Degree of curve ; DC), 85백분위속도 등을 선정하였으며, 이를 기반으로 도로의 기하구조 설계에서 선형의 연속성을 증진시키는 방법과 절차를 개발하였다.

R. Lamm(1996)은 사고에 영향을 미치는 원인을 곡률의 변화(Degree of curvature)로 가정하고 곡률의 변화에 따른 사고율을 분석하였다. 분석방법은 폭 3.6m의 도로에서 DC, AADT를 변수로 사고율모형을 추정하였다. 그 결과 DC값이 증가할수록 사고율도 함께 증가한다는 결과를 얻었다.

3.2.3 종단선형

국내 관련 기준(도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 건설교통부, 2000)에서 볼록형 종단곡선(S<L)은 최소정지시거만큼 떨어진 지점에서 운전자는 15cm 높이의 장애물 존재에 대해 인지해야 한다. 우리나라의 단곡선에서 시거의 도로설계 기준은 미국의 AASHTO에서 제시하는 모형을 바탕으로 하고 있다.

Urbanik(1989)에 따르면 운전자의 기대는 역시 유효시거와 관계가 있다. 특히, 오목곡선에서 시거가 제한될 때 사고율과의 관계를 정량화시키기에는 무리가 있지만 시거와 사고율간의 관계는 밀접한 관계가 있으며 시거가 사고율을 증가시키는 요인이라고 제시하였다.

Hassan 등(1997)은 오목곡선 후의 급한 평면곡선은 운전자의 기대심리를 반영하지 않기 때문에 사고 위험성이 있다고 언급하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 3차원 시거분석을 사용한 “레드 존”이라 불리는 개념을 개발하였다. “레드 존”은 종단곡선의 관계에서 시작되지 않은 평면곡선의 도로상의 위치들로 정의된다.

3.2.4 횡단요소

국내 관련 기준(도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 건설교통부, 2000)에서 도로의 횡단구성은 크게 차도, 중앙분리대, 길어깨 주정차대, 자전거 도로 그리고 보도로 구성되어 있다.

C. V. Zegeer등(1991)은 횡단요소의 사고예측모형을 토대로 사고감소인자(곡선구간의 편평화(flattening), 곡선구간의 확장(widening), 완화구간의 추가, 편경사의 개선)가 사고에 미치는 영향을 수치화하였다. 분석결과 완화구간의 추가에 의해서는 사고율이 단지 5% 정도밖에 감소하지 않았지만, 편경사의 개선, 곡선구간의 편평화(flattening), 곡선구간의 확장(widening)에 의해서는 사고율을 각각 60%, 30%, 10% 가량 떨어뜨렸다. zzs

3.2.5 비신호교차로

국내 관련 기준(평면교차로 설계 지침, 건설교통부, 2004)에서 비신호교차로의 선형을 구성하는 요소와 이



의 설계 및 운영에 관련되는 요소는 인적 요소, 교통류 요소, 물리적 요소, 경제적 요소, 환경적 요소, 세부시 설로 구분되고 있다.

영국의 R. M. Kimber(1988)는 사고빈도가 통과교통량과 회전방향에 영향을 받는다는 것을 증명하였다. 또한 비신호교차로의 주도로에 교통섬을 설치함으로써 교차로 교통사고의 35%를 감소시킬 수 있었고, 주도로 추돌사고, 정면충돌사고, 우회전 사고의 70%를 감소시켰다고 밝혔다.

3.2.6 회전교차로

국내 관련 기준(평면교차로 설계 지침, 건설교통부, 2004)에서 지방부와 도시부 도로는 주행속도에 있어 20~30km 가량 차이가 있으며, 이에 따라 회전교차로 설계시 접근로 설계속도, 내접원 직경, 분리교통섬 기하구조 처리 방식 등이 달라져 결과적으로 전체적인 교차로 규모와 구조가 달라진다.

표 1은²⁾ 미국식 로터리 및 현대식 회전교차로의 차이를 비교한 것이다.

표 1. 미국식 로터리와 현대식 회전교차로의 비교

구분	로터리(Rotary)	회전교차로(Roundabout)
진입방식	- 끼어들기	- 양보 (회전차량이 진입차량에 대해 통행우 선권을 가짐)
회전부 통행방식	- 큰 Traffic Circle에서는 회전부에서 주이 동류의 직진통행이 가능함	- 회전부에서 저속운행토록 회전반경을 제한함
진입속도	- 반경에 의해 좌우 - 진입속도를 높이기 위해 되도록 큰 반경 적용	- 보통 30~40 km/시 정도로 제한 - 진입속도를 제한하기 위해 진입각(entry angle)을 조절
중앙교통섬 반경	- 제한이 없으며 되도록 크게 함 - 반경이 큰 경우 Traffic Circle 이라 부름	- 대개 25m 이내 - 최소 2m 인 초소형 회전교차로도 있음

3.2.7 신호교차로

국내 관련 기준(건설교통부, 평면교차로 설계 지침, 2004)신호를 보고 브레이크를 밟을 때까지의 시간에는 브레이크를 밟을 것인지의 여부를 판단하는 시간과, 브레이크를 밟아야 한다고 판단하고 나서부터 반응하기 까지의 시간이 포함되어 있다. 경제적 측면을 고려하여 지방지역에서는 10초를 기준으로 하고, 도시지역에서는 교차로가 많고 신호의 존재를 어느 정도 인식하고 있으므로 반응시간이 지방지역보다 짧으므로 6초이다.

이승환(2003)등은 딜레마구간 제거를 위한 기초연구로서, 황색신호 등화 시 신호교차로에 접근하는 차량들의 운전자 행태를 분석하였다. 특히, 도시부와 지방부의 신호교차로를 대상으로 차량들의 정지 감속률과 운전자 인지반응시간, 그리고 딜레마 구간과 정지율과의 관계를 통해서 신호교차로의 정지감속율과 이에 따른 딜레마구간의 범위는 다음과 같다.

- 우리나라 운전자들의 정지감속율과 운전자 인지반응시간(PRT ; Perception-Reaction Time)은 각각 1.61m/s²과 1.27초를 나타냈다.
- 이 값들은 그동안 우리나라에서 사용되어왔던 ITE 기준보다 큰 값들로서 향후 신호교차로에서의 안전을 고려한 설계 시 매우 중요하게 다루어야 한다.

Chang 등(1985)은 신호교차로에서 상당한 관측을 통해 신호 변경(제동등이 켜지는 시간)에 대한 운전자 반응 지연이 평균 1.3초 85% 추정치 1.9초, 95% 추정치 2.5초라는 사실을 밝혀냈다. 신호 변경에 대한 PRT는 다소 비탄력적인 값이다. 64kph에서 평균 PRT는 15m 거리 내에서 0.20초, 46m 거리 내에서 0.40초임을 제시하였다.

Wortman 과 Matthias(1983)도 이와 비슷한 결과를 제시하였는데, 평균 PRT는 1.30초, 85% 추정치 1.5초를 제시하였다. 표본 크기를 고려하여 95% 신뢰수준 추정치는 95% 추정치 2.34초, 99% 추정치 2.77초로 각

2) 한국건설기술연구원, 평면교차로 설계 지침 연구 보고서, 2004.



각 제시하였다. 위의 연구결과에서는 교차로에 이르는 거리와 각 PRT 또는 접근 속도간의 상관관계 ($R^2=0.08$)는 거의 없는 것으로 나타났다.

3.2.8 입체교차로

국내 관련 기준(입체교차로 설계 지침, 건설교통부, 2005)에서 입체교차로 설치 기준은 크게 본선과의 관계, 연결로 기하구조, 연결로 접속부 설계, 변속차로 설계 등으로 구분한다. 이들 구간의 교차로 설계 원리와 기법은 주로 인간공학적 요소의 반영에 따른 것으로써 국내 도로 및 교통 여건에 대한 검증이 이루어져야 하는 부분이다.

McCartt, Northrup & Retting(2004)는 북부 버지니아의 인터체인지 관련 사고의 특징을 분석하였다. 내용을 살펴보면, 인터체인지와 관련한 전체사고 가운데 48%는 고속도로 진출부에서 발생하고, 36%가 진입부에서, 그리고 나머지 16%가 연결로(ramp)구간에서 발생하는 것으로 나타났다. 진출부에서의 사고유형은 주로 도로이탈이었으며, 진입부에서의 사고는 추돌사고와 측면충돌사고가 많았다. 연결로구간에서의 사고는 주로 도로이탈 사고였으며 이 경우는 주로 야간이나, 기후가 불순한 경우에 곡선구간에서 많이 발생한 것으로 나타났다.

4. 결론 및 향후 연구과제

도로설계기법 관련한 인간공학적 요소의 정립과 기본연구 수행에서는 도로이용자에 대한 인간공학적 고려 요소 정립, 도로설계 요소별 이용자 특성에 대해서 기초 연구를 수행하였다. 각 항목별 연구 주요 내용 및 향후 연구과제는 다음과 같다.

- 도로이용자에 대한 인간공학적 고려 요소 정립
 - 운전자 : 운전결정에 영향을 미치는 운전자 요소들을 감각능력(시각, 청각 등), 지각 및 판단능력, 운동능력, 운전자 개인특성(성격 및 태도, 장애 등)으로 요소들은 모두 운전행동 결정에 필요한 정보의 획득과 처리 및 의사결정에 직접적으로 영향을 끼치는 것으로 나타났다.
 - 보행자 : 보행자 시설의 안전성을 향상시키기 위해서는 보행자의 조건 및 특성을 명확히 파악하여 이를 도로설계에 적용해야 한다. 향후 연구로는 보행자 사고를 예방하기 위해서는 보행자 특성(연령 및 장애여부 등)에 따른 보행행동 연구 및 지역적 특성(주거지역, 학교구역, 상업지구 등)을 고려한 교통정온화 기법 등과 같은 기법이 필요하다.
- 도로설계 요소별 이용자 특성
 - 속도와 시거 : 속도와 관계되는 요인 중 정지시거를 알아보았으며, 정지시거와 관련해서 인적요인은 운전자의 반응시간(2.5초)이 있을 수 있는데 혼잡한 도로상황 및 예기치 못한 상황 등을 고려하여 2.5초를 반응시간으로 잡을 경우 90%이상의 운전자가 위기에 대응할 수 있는 적당한 시간으로 판단하는 경우이다.
 - 평면선형 : 선형의 연속성에 대한 인적 요소가 중요한데, 선형의 일관성을 고려하여 운전자에게 기대 심리를 제공하여 쾌적성을 고려하는 것이 중요하다.
 - 종단선형 : 종단곡선부에서 유효시거는 운전자 안전에 중요한 요소이며, 시거가 제한될 때 시거와 사고율간의 관계는 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다.
 - 횡단요소 : 안전측면에서 횡단요소 연구 결과에 따르면 중앙분리대, 차로폭, 길어깨폭, 차로수 등 횡단면 관련요소는 교통사고와 상관도가 있으며, 이들 차로폭, 길어깨 등의 확장은 도로의 안전성을 높이는 것으로 나타났다.
 - 비신호교차로 : 교차로 안전시설에 있어서 운전자의 판단 및 반응시간 등이 중요 사항인 것으로 나타났다.
 - 회전교차로 : 회전교차로를 효율적으로 운영하기 위해, 운전자는 안전한 방법으로 회전교차로에 진입하는 안전성 검증이 이루어져야 하며, 이것을 달성하기 위해 우리나라 운전자의 행태를 고려하여 회전교차로를 설계, 운영하는 것이 중요하다.
 - 신호교차로 : 운전자 측면에서는 운전자의 판단 및 반응시간 등의 요소 연구를 통해서 신호교차로의



운영행태 및 안전시설 설치 및 개선 방안이 이루어져야하며, 향후 연구에서는 보행자의 안전하고 신속한 횡단을 고려한 상세 연구가 필요하다.

- 입체교차로 : 안전을 위해서 인적요인을 바탕으로 시설물의 개선 방안이 필요하다. 운전자 행동 특성에 관한 연구로는 입체교차로 지점에서 진출부에서 안전성에 대한 검증이 이루어져야 하는 것으로 나타났다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 건설교통부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 2000
2. 건설교통부, 평면교차로 설계 지침, 2004
3. 건설교통부, 입체교차로 설계 지침, 2005
4. 이순철 (2000). 교통심리학. 서울: 학지사.
5. 이순철 (1993). 안전운전과 교통심리. 서울: 한국가이던스
6. 이승환, 이성호, 박주남, “신호교차로 황색현시에서의 운전자 형태 및 딜레마 구간 연구방안”, 대한교통학회지 제21권 제4호 pp.7~16, 2003
7. Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1995). 인간공학 [Human Factors in Engineering and Design]. (조영일 역). 서울: 대영사 (원전은 1993에 출판).
8. Curnow, W. J. (2005). The Cochrane Collaboration and Bicycle Helmets. Accident Analysis and Prevention, 37, 569-573.
9. Lamm, R., and E. M. Chouiri, “Rural Roads Speed Inconsistencies Design Methods”, Research Report for the State University of New York, Research Foundation, Parts 1, Albany, N.Y., U.S.A, 1987.
10. Urbanik, T,II, Hinshaw, W, Fambro, DB, “Safety Effect of Limited Sight Distance on Crest Vertical Curves”, Transportation Research Record 1280, 1989.
11. Hassan, Y., Easa, S.M., Abd El Halim, A.O., “Modeling Headlight Distance on 3-D Highway Alignment”, Transportation Research Record 1579, TRB, 1997.
12. William C. Taylor, Inkyu Lim, and Dale R. Lighthizer, “Effect on Crashes After Construction of Directional Median Cross-overs” TRR 1758, pp.30~35, 2001.