

# 운전자 인지반응시간의 시대적 진화 연구

The Chronological Evolution of Driver's Perception Reaction Time



장명순



이성관



김진수



홍성민



이강진

## 1. 연구의 배경 및 목적

인지반응시간(PRT: perception reaction time)이란 “운전자가 바라보는 시각에 비춰진 어떤 사물 또는 상황과 운전자가 반응을 최초로 나타내는 시간 간격”이라 Olson(1996)이 정의하였으며, 지각 (perception), 식별(identification), 행동 판단 (emotion), 반응 (volition) 4단계 과정으로 구분하였다. 현재 국내에서는 일반적으로 도로설계 시 American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)에서 정한 인지반응 시간인 2.5초를 설계기준으로 사용하고 있다. 반면에 신호교차로에서는 운전자의 식별 및 행동 판단 시간이 단축되므로 설계기준 인지반응시간을 1.0초, 비신호 교차로에서는 2.0초로 제시하였다. 이 기준은 약 60년 전인 1950년대 실시한 실험의 95 percentile

값이다.

도로설계에서 사용되는 인지반응시간 2.5초는 신호 교차로의 기준과 큰 차이가 있고, 과학기술이 발전된 현재까지 약 60년간 2.5초로 고정하여 사용하는 것은 비용-효율 측면에서 재고의 여지가 있다.

국민들의 시간가치가 상승함에 따라 차량의 평균속도는 높아지는 실정이며, 정부에서는 이를 적극 반영하여 원활한 소통을 위해 편도 2차로 이상의 고속도로 제한속도를 상향 조정하는 정책을 시행하고 있다. 제한속도가 상향됨에 따라 정지시거가 길어져 기존 설계된 도로 기하구조를 재검비하는 경제성문제도 대두되고 있다. 본 연구에서는 현실적인 상황을 반영해 설계속도별 인지반응시간을 재검토해 봄으로써, 도로설계시 안전성을 유지하면서도 경제성을 높일 수 있는 대안을 찾는 시발점을 제시해 보고자 한다.

장명순 : 한양대학교 교통공학과 교수, hytran@hitel.net, 직장전화:031-406-3540, 직장팩스:031-436-8147  
이성관 : 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원, smlee4@gmail.com, 직장전화: 031-371-3306, 직장팩스:031-371-3319  
김진수 : 한양대학교 교통공학과 석사과정, 84wlstn@gmail.com, 직장전화:031-406-5824, 직장팩스:031-436-8147  
홍성민 : 한양대학교 교통공학과 석사과정, hsm507@hanyang.ac.kr, 직장전화:031-400-4503, 직장팩스:031-436-8147  
이강진 : 한양대학교 교통공학과 석사과정, leekj84@gmail.com, 직장전화:031-419-0552, 직장팩스:031-436-8147

## II. 운전자 반응시간의 감소 추세

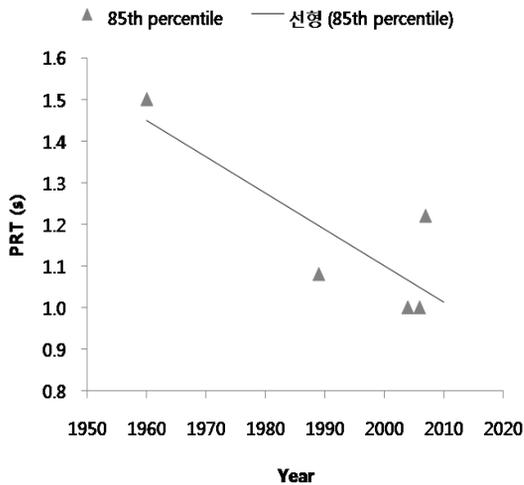
운전자 인지반응시간은 과거부터 현대까지 많은 실험과 연구가 이루어졌다. 선행된 대부분의 연구는 사전에 알린 조건(alerted)과 알리지 않은 조건(unalerted)으로 분류하여 실험하였고, 분석방법은 주로 평균, 중앙값, 85 percentile을 이용하여 실험을 통하여 결과를 도출하였다. 인지반응시간은 위험을 인지하고 발이 가속페달에서 떨어질 때까지의 시간(t1), 발이 가속페달에서 브레이크 페달로 이동하는데 소요되는 시간(t2) 및 브레이크페달을 밟기 시작하여 실제 제동력이 발휘되기까지의 시간(t3)으로 구성된다. 이를 분류하고 시대의 흐름에 따라 인지반응시간이 어떤 추세를 보이는지 확인하였다.

1960년대부터 현대까지 연구된 인지반응시간을 <표 1>에 나타내었고, <표 1>의 내용을 시대의 흐름에 따른 85percentile의 인지반응시간 분포를 추세선으로 <그림 1>에 나타내었다.

<표 1>과 <그림 1>을 바탕으로 인지반응시간은 1960년에 약 1.5초에서 2006년 1.0초로 점차 감소하고 있는 추세를 보이고 있다. 이는 게임 및 인터넷, 휴대전화 SMS의 사용으로 현대인들의 단축된 반응시간이 반영되었다고 판단된다. 또한, 과거 대부분의 차량들은 수동 변속기로 조작하여야 할 페달이 가속페달, 크러치 및 브레이크 3가지로 이루어져 있었다. 반면 최근의 차량들은 대부분 자동변속기를 장착하여 가속페달과 브레이크 2가지로 구성되어 운전자의 제동동작을 간소화 시켜 인지반응시간이 감소하는데 영향을 주었다고 판단된다.

<표 1> 시대에 따른 인지반응시간 기존 연구

년도	연구자	인지반응시간 (sec)			
		평균	중앙값	85th percentile	
1960	Gazis D, R. Herman A. Maradudin (7)	1.14	1.1	1.5	
1971	G. Johansson, K. Rummer (8)	1	-	-	
1982	Sivak M, P.L. Olson, K. M. Farmer (9)	1.21	-	-	
1983	Wortman, R. H., J. S. Mathias (10)	1.3	-	-	
1985	M. Chang, C, J. Messer, A. Santiago (11)	40mph이하	1.3	1.1	-
		40mph이상	0.9	0.9	-
1986	Olson, P. L. M.Sivak (12)	Young	1.1	-	-
		Old	1.06	-	-
1989	Taaka (13)	0.86	0.84	1.08	
1995	Lerner et al. (14)	1.5	-	-	
1995	Knoblauch et al. (15)	Young	0.59	0.74	-
		Old	0.78	1.26	-
1996	Mussa et al. (16)	1.16	-	-	
1998	Fambro et al. (17)	0.7	-	-	
1998	Daniel B et al. (18)	1.1	-	-	
2003	Ranjitkar et al. (19)	1.34	-	-	
2004	P. K. Goh · Y. D. Wong (20)	-	0.8	1.0	
2005	Magister et al. (21)	실측	1.1	-	-
		Simulator	0.9	-	-
2006	José Reynaldo Setti, Hesham Rakha, Ihab El-Shawarby (22)	-	-	1.0	
2007	Xiao Zhang, Ghulam, H.Bham (23)	0.86	-	-	
2007	Caird et al. (24)	0.96	0.92	1.22	
2010	Xu Zhi et al. (25)	1.19	-	-	



〈그림 1〉 시대에 따른 인지반응시간 감소추이

다. 그리고 현대의 차량의 제동장치의 발달로 브레이크 페달을 밟은 후, 실제 제동이 시작되기까지의 시간도 감소한다. 이는 인지반응시간이 단축되는 원인으로 판단된다.

### III. 정지시거와 인지반응시간

정지시거란 물체를 본 순간부터 브레이크를 밟아 브레이크가 작동하기까지 달린 거리 (공주거리)와 브레이크가 작동되고부터 정지할 때까지의 미끄러진 거리(제동거리)로 크게 두 가지 요소로 구성되어 있으며 식(1)과 같다. 인지반응시간동안 움직인 거리를 공주거리라 하며 통상 AASHTO 기준인 1.5초는 반사시간으로서 지각, 식별, 행동 판단 시간이며, 1.0초는 근육반응 및 브레이크 반응시간이다.

$$\text{정지시거}(d_s) = \text{공주거리}(d_1) + \text{제동거리}(d_2)$$

$$= \frac{v}{3.6} t_r + \frac{v^2}{2g(f+s)} \quad (1)$$

v : 주행속도(km/h)

t<sub>r</sub> : 인지반응시간(sec)

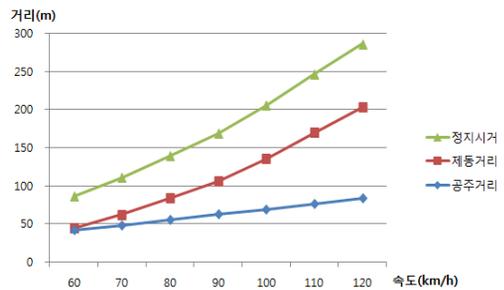
g : 중력가속도(9.8m/sec<sup>2</sup>)

f : 타이어-노면의 마찰계수

s : 경사(오르막 +, 내리막 -)

식(1)과 같이 정지시거는 속도와 인지반응시간에 민감하게 변화 한다. 설계속도의 증가에 따른 정지시거의 증가 추이를 〈표 2〉와 〈그림 2〉에 제시하였다.

이처럼 인지반응 시간을 2.5초로 고정하였을 때 주행속도가 증가함에 따라 공주거리 구성비(정지 거리에 차지하는 비율)는 60kph일 때 48.5%에서 120kph일 때 29.2%로 감소(8.9%)하지만, 공주거리는 41.7m에서 83.3m로 증가(10.9%증가)하는 것을 알 수 있다. 분석결과, 설계속도가



〈그림 2〉 설계속도별 정지시거

〈표 2〉 설계속도에 따른 정지시거

설계속도 (kph)	PRT (s)	공주거리		마찰계수 (f)	제동거리		정지시거 (m)
		(m)	구성비(%)		(m)	구성비(%)	
60	2.5	41.7	49	0.32	44.3	51	86.0
70	2.5	48.6	44	0.31	62.2	56	110.8
80	2.5	55.6	40	0.30	84.0	60	139.5
90	2.5	62.5	37	0.30	106.3	63	168.8
100	2.5	69.4	34	0.29	135.8	66	205.2
110	2.5	76.4	31	0.28	170.1	69	246.5
120	2.5	83.3	29	0.28	202.5	71	285.8

증가함에 따라 정지시거의 길이가 길어지는 것으로 나타났다. 그러므로 제한속도를 상향할 경우, 유출입구간의 가감속차로 길이와 같은 정지시거 관련 설계요소들은 기존의 설계수준보다 높은 수준의 설계수준을 요구하게 된다. 때문에 상향된 제한속도의 설계수준을 만족시키기 위해서는 도로 선형의 재조정과 같이 막대한 공사비용이 예상되며 작업구간의 증가로 차량의 지·정체를 유발하여 교통운영을 효율적으로 운영하기 힘들다.

#### IV. 인지반응시간에 따른 도로기하구조 설계

일반도로의 정지시거는 운전자가 주행 차로 상에 있는 장애물 또는 위험 요소를 알아차리고 제동 후 안전하게 정지하는데 필요한 길이이다. 이때 차량 운전자의 눈높이는 도로표면으로부터 1m, 장애물 높이는 15cm를 볼 수 있는 거리로 측정한다. 다음은 인지반응시간이 도로기하구조 설계에 영향을 미치는 요소이다.

- 블록종단곡선 변화비율 (m/%)
- 오목종단곡선 변화비율 (m/%)
- 평면선형의 최소곡선반경 (m)
- 평면선형의 종거 (m)

일반적으로 종단곡선은 그 형태에 따라 볼록형과 오목형으로 구분한다. 볼록형의 경우는 정지시

거를 적절한 종단곡선변화비율의 유지를 통하여 확보하여야 하며, 오목형의 경우는 주간에는 문제가 없으나 야간 주행 시 전조등이 비추는 각도를 고려하여 정지시거의 확보가 가능하도록 종단곡선 변화비율로 설계하여야한다.

평면선형 도로설계 시 건설 시에는 시거가 충분히 확보되어 있다고 해도 장래도로 주변의 개발 등에 따라 시거가 확보되지 못할 우려가 있는 경우에는 곡선반경을 크게 취하거나 도로에서 장애물까지의 거리인 종거의 길이를 정지시거를 고려하여 추가적 도로부지 확보가 필요하다. 설계속도의 변화에 따라 인지반응시간이 변할 때 영향을 받는 기하구조 요소의 민감도를 <표 3>에 제시하였다. 기존 인지반응시간 2.5초를 사용할 경우 설계속도가 10kph 증가할 때 마다 정지시거는 평균 18.1%블록, 오목종단곡선변화 비율은 각각 평균 32.8%, 21.0% 씩, 평면선형의 곡선반경은 평균 23.0%, 종거는 12.8%씩 증가하는 추세를 보인다. 검토결과와 같이 제한속도를 상향하였을 경우, 인지반응시간과 관련된 설계요소인 평면곡선반경 및 종단곡선변화비율이 증가하게 된다. 즉, 기존도로를 상향된 제한속도에 맞는 설계수준을 유지하기 위해서는 막대한 도로보수비용이 요구되어 경제적이지만 못한 결과를 초래하게 된다.

#### V. 속도변화에 따른 인지반응시간

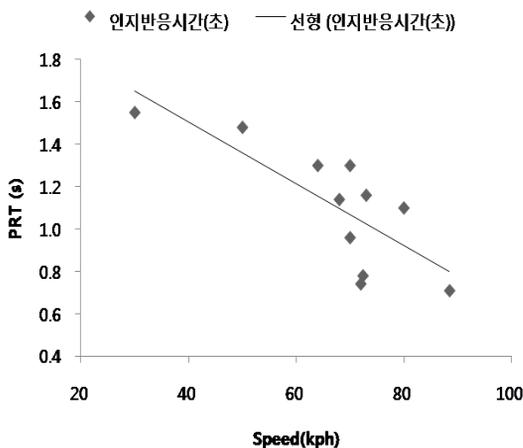
인적요인이 도로설계에 미치는 영향(2001)에

<표 3> 설계속도에 따른 도로기하구조 구성요소 증감률

설계 속도 (kph)	직선		종단곡선 변화비율 (m/%)				평면선형			
	정지시거 (m)	증감률 (%)	블록	증감률 (%)	오목	증감률 (%)	최소곡선 반경(m)	증감률 (%)	중앙종거 (m)	증감률 (%)
60	86.0	-	19.2	-	17.6	-	130	-	7	-
70	110.8	22.4	31.9	39.9	24.2	27.4	180	27.8	9	16.7
80	139.5	20.6	50.6	36.9	32.0	24.4	250	28.0	10	12.4
90	168.8	17.3	74.0	31.7	40.1	20.2	340	26.5	10	7.1
100	205.2	17.7	109.4	32.3	50.2	20.2	420	19.0	13	16.4
110	246.5	16.8	157.9	30.7	61.8	18.8	530	20.8	14	12.6
120	285.8	13.7	212.2	25.6	72.9	15.2	630	15.9	16	11.6

〈표 4〉 주행속도별 평균 인지반응시간 감소 패턴

연구자	주행속도 (kph)	인지반응 시간(초)
Wortman, R. H, J. S. Mathias (10)	64.0	1.3
Gazis, D, R. Herman, A. Maradudin (7)	68.0	1.1
Caird et al. (24)	70.0	1.0
Mussa et al.(16)	73.0	1.2
El-Shawarby et al (26)	72.4	0.8
	88.5	0.7
José Reynaldo Setti, Hesham Rakha, Ihab El-Shawarby (22)	72.0	0.7
이수범 (2)	30.0	1.6
	50.0	1.5
	70.0	1.3
	80.0	1.1



〈그림 3〉 주행속도 별 평균 인지반응시간

따르면 운전자가 전방의 물체를 인지하고 반응하는 시간인 운전자의 인지반응시간은 주행속도와 상당히 밀접한 관련이 있고, 기존 연구에 따르면, 차량의 주행 속도가 증가 할 수록 운전자의 반응시간은 짧아지는 것으로 나타났다.<sup>[2]</sup> 이 연구 외에도 기존연구들에서 인지반응시간을 도출하기위한 실험에서 사용된 주행속도를 종합하여 〈표 4〉와 같이 요약하였다. 기존 연구의 실험 대상 속도가 범위로 주어진 경우, 범위의 중앙값을 사용하였으며 인지반응시간은 평균 인지반응 시간을 제시하였다.

〈표 4〉의 내용을 그래프로 나타낼 경우 〈그림 3〉과 같은 모습을 보이게 되며, 추세선의 기울기 (-0.0146)를 통하여 주행속도가 10kph 증가하면 인지반응시간은 약 0.1초 감소하는 것으로 나타났다. 인지반응시간 감소의 주된 이유는 위험상황을 피할 수 있는 여유시간이 속도가 낮을 때보다 속도가 증가할수록 적어지기 때문에 운전자들이 상대적으로 보다 많은 경각심을 갖고 주의를 기울이며 운전을 하기 때문인 것으로 판단된다.

## Ⅵ. 설계속도별 인지반응시간

기존 국내외문헌에 의한 연구를 통해 기존 인지반응시간이 현대에 맞지 않는 높은 수치로 적용되고 있다고 판단되었다. 또한, 기존 문헌들의 실험에서 나타난 속도와 인지반응시간의 관계를 이용하여 설계속도에 따른 인지반응시간을 제시하였다. 과거 수행된 실험결과들의 추세를 바탕으로 적정 인지반응시간을 설계속도 60kph 이하 일 때 2.5초에서 약 0.5초 감소된 2.0초가 적절할 것으로 판단된다.

실험결과에 따르면 주행속도가 약 10kph 증가할 경우, 0.1초씩 감소하는 것으로 나타나 이를 적용하여 〈표 5〉와 같은 설계속도 별 인지반응시간을 제안하였다.

즉, 설계속도 별 인지반응시간을 60kph이하 일 때 2.0초, 80kph시 1.8초, 100kph시 1.6초 그리고 120kph 이상일 경우 1.4초가 타당한 것으로 판단된다. 또한 모든 설계속도에 대하여 하나의

〈표 5〉 설계속도별 인지반응시간 제안값

설계속도 (kph)	인지반응시간 (초)		
	연속류	단속류	
		신호	비신호
60 이하	2.0	1.0	2.0
70	1.9		
80	1.8		
90	1.7	-	
100	1.6		
110 이상	1.5		

인지반응시간을 규정할 경우에는 인지반응시간을 2.0초가 적절한 것으로 판단된다. 본 연구에서 제한한 인지반응시간을 적용하여 도로를 설계할 경우 안전성을 확보하면서 제한속도 상향구간의 공사비 절감뿐만 아니라 신설 도로의 공사비를 크게 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

## Ⅶ. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 기존에 사용되는 인지반응시간을 시대적 변화에 맞도록 감소시켜 운전자에게 안전한 도로를 제공하면서 경제성을 도모하기 위한 인지반응시간을 제시하였다.

첫째, 1960년 ~ 2010년 50년간의 인지반응시간의 변화를 문헌조사를 통하여 분석하였다.

둘째, 속도 별 인지반응시간의 길이가 다르다는 것을 문헌조사를 통하여 알아내었으며, 속도와 무관하게 하나의 값으로 적용되어온 인지반응시간을 설계속도 별로 적용의 필요성을 도출하였다.

셋째, 설계속도별 인지반응시간을 85percentile 기준으로 현행 2.5초를 60kph이하에서 2.0초, 80kph에서 1.8초, 100kph에서 1.6초, 110kph 이상에서 1.5초가 타당할 것으로 분석되었다.

향후연구로는 본 연구에서 제시한 인지반응시간은 국외사례를 중심으로 연구된 내용으로, 우리나라의 고령인구를 고려한 운전자들을 대상으로 설계속도별 적정 인지반응시간에 대한 실험을 통하여 입증할 필요가 있다.

## 참고문헌

1. 이수범 · 장명순 · 도철웅 · 김원철(2001), “인적요인이 도로설계에 미치는 영향”, 연구총서 2001-1, 교통개발연구원.
2. 이수범(2002), “차량주행속도에 따른 운전자 인지반응시간 연구”, 대한토목학회논문집, 제 22집, 대한토목학회.
3. 이원영 · 성낙문 · 박길수(2002), “제한속도 규제와 그 영향에 대한 분석”, 한국안전교육학회지, 제5권 제2호, 한국안전교육학회, pp.5~16.
4. 건설교통부(2000), “도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침”.
5. 도로정책연구센터(2009), “도로정책BRIEF”, 제 23호, pp.6~7.
6. 이종학(2006), “인간공학을 고려한 도로설계요소 정립방안” 한국도로학회.
7. Gazis, D · R. Herman · A. Maradudin (1960), “The problem of the amber signal in traffic flow”, Operations Research, Vol.8.
8. G. Johansson · K. Rumber(1971), “Drivers’ brake reaction time”, Human Factors, Vol.13, No.1.
9. Sivak, M · P.L. Olson · K. M. Farmer (1982), “Radar measured reaction times of unalerted drivers to brake signals”, Perceptual and Motor Skills, Vol.55.
10. Wortman, R. H. · J. S. Mathias (1983), “Evaluation of Driver Behavior at signalized intersections”, In Transportation Research Record 904, TRB, National Research Council, Washington, D. C.
11. M. Chang · C. J. Messer · A. Santiago (1985), “Timing traffic signal change intervals based on driver behavior,” in Transportation Research Record 1027.
12. Olson, P. L. M.Sivak(1987), “Perception - Reaction Time to Unexpected Roadway Hazards”, Human Factors, Vol.28, No.1
13. Taoka, G(1989), “Brake Reaction Times of Unalerted Drivers”, ITE Journal, Vol.3.
14. Lerner, N · R. Huey · H. McGee · A.

- Sullivan(1995), "Older Driver Perception - Reaction Time for Intersection Sight Distance and Object Detection", Report FHWA A-RD-93-168, FHWA, U. S. Department of Transportation.
15. Knoblauch, R. · Nitzbug, M. · Reinfurt, D. · Council, F. · Zegeer, C. · Popkin, C.(1995), "Traffic operations control for older drivers", (Rep. No. FHWA-RD-94-119).Washington, DC: Federal Highway Administration.
  16. Mussa, R. N. · Newton, C. J. · Matthias, J. S. · Sadella, E. K. · Burns, E. K. (1996), "Simulator evaluation of green and flashing yellow signal phasing", Transportation Research Record, 1550.
  17. D. B. Fambro · R.J. Koppa · D. L. Picha · K. Fitzpatrick(1998), "Driver perception- brake response in stopping sight distance situations", Transportation Research Record. Vol.1628.
  18. Daniel B · Rodger J · Dale L · Kay F (1998), "Driver Perception-brake response in stopping sight distance situations", Transportation research record 1628.
  19. P. Ranjitkar · T. Nakatsuji · Y. Azuta · G. S. Gurusinghe(2003), "Stability analysis based on instantaneous driving behavior using car-following data", Transportation Research Record, Vol.1852.
  20. P. K. Goh · Y. D. Wong(2004), "Driver perception response time during the signal change interval", Applied Health Economics and Health Policy, vol. 3.
  21. T. Magister · R. Krulec · M. Batista · L. Bogdanović(2005), "The driver reaction time measurement experiences", In Proceedings of Innovative Automotive Technology (IAT'05) conference, Bled.
  22. José Reynaldo Setti · Hesham Rakha · Ihab El-Shawarby(2006), "Analysis of Brake Perception-Reaction Times on High-Speed Signalized Intersection Approaches", 2006 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference.
  23. Xiao Zhang · Ghulam · H.Bham(2007), "Estimation of Driver Reaction Time from Detailed Vehicle Trajectory Data", Proceedings of the 18th IASTED International Conference Modeling and Simulation.
  24. J. K. Caird · S. L. Chisholm · C. J. Edwards · J. I. Creaser(2005), "The effect of amber light onset time on older and younger drivers' perception response time (PRT) and intersection behavior", Transportation Research Board, 84th Annual Meeting.
  25. Zhi, Xu · Guan, Hongzhi · Yang, Xiaokuan · Zhao, Xiaohua · Lingjie, Li(2010), "An Exploration of Driver Perception Reaction Times under Emergency Evacuation Situations", TRB 2010 Annual Meeting CD-ROM.
  26. El-Shawarby · Rakha · Amer · McGhee (2010), "Characterization of Driver Perception Reaction Time at the Onset of a Yellow Indication", TRB 2010 Annual Meeting CD-ROM.