

고령 운전자 도심부 비 직각 교차로 운전행태 분석

하태웅* · 홍승준**†

Analysis of Elderly Driving Performance at Urban Skewed Intersection using Driving Simulator

Tae-Woong Ha*, Seung-Jun Hong**†

Key Words: Elderly driving performance(고령자 운전능력), Driving simulator(운전 시뮬레이터), Urban skewed intersection(도심부 비 직각 교차로), Traffic scenario(운전 시나리오)

ABSTRACT

In this study, the driving performances of elderly who's age is over 65 were evaluated. The driving simulation was conducted using a compact driving simulation (CDS) and the simulation scenarios were developed from actual roads by replicating geometry of skewed intersection and traffic control devices located in Jungnang-gu, Seoul, Korea. 27 elderly drivers and 10 non-elderly drivers were recruited and participated on the virtual turning right and going straight driving experiment of CDS. Virtual driving data of driving time, speed, distance, acceleration and deceleration speeds, brake power, and steering wheel rotation angle were recorded and analyzed. Generally, elderly driver took more times to pass through the skewed intersection road and showed lower approaching speed as much as 40% and 25% in case of turning right and going straight scenarios respectively. The speed deviation at skewed intersection road between elderly and non-elderly driver is expected to cause frequent lane changes and overtaking.

1. 서론

경찰청 교통사고 통계에 따르면 2020년 한 해 교통사고 사망자의 연령대는 65세 이상 고령자가 43.6%(1,342명)를 차지해 가장 많았으며 최근 10년간 연평균 고령자 사고 건수 3.2%, 부상자 수는 3.5% 각각 증가하였다.⁽¹⁾ 특히 다양한 교통상황에 따라 순간적인 판단이 요구되는 교차로에서 고령 운전자로 인한 사고 건수는 15,580건, 사망자는 276명, 부상자는 22,586명이 발생하여 국내 교차로에서 고령 운전자의 교통사고 감소 대책 마련이 필요

한 시점이며, 이를 위한 기초적인 연구로써 교차로 진입 시 고령 운전자의 운전특성을 파악하는 것이 필요하다.^(2,3)

교통의학 연구논문에 따르면 사람마다 신체적, 정신적 기능의 차이는 있지만 65세 이상인 사람은 사회적 기능을 점진적으로 상실하는 시기로 시각적 기능에서 식별 능력 저하로 대비가 큰 물체 식별 능력 저하, 망막에 도달하는 빛의 양 감소, 정적 식별 능력 감소, 주의력 범위의 감소, 눈부심에 대한 민감도 증가, 암순응 시간의 증가 등의 경향을 보이며 청각 능력도 통상 65세~74세 고령자의 24%, 75세 이상 고령자의 39%가 청각장애에 해당하며 50대부터 고음 영역의 청각 능력이 급격히 감퇴하며 고령화가 될수록 저음 영역까지 감퇴하게 된다고 보고하고 있다.⁽⁴⁻⁶⁾

고령 운전자의 운전행태를 분석하기 위해서 차량 운전 시뮬레이터를 활용한 다양한 국내의 논문들이 발표 되었다.⁽⁷⁻¹¹⁾ 그러나 고령 운전자의 운전 시 사고 발생 빈도가 가

* 가천대학교 기계·스마트·산업공학부 기계공학전공, 교수

** 창원문성대학교 미래자동차과, 조교수

†교신저자, E-mail: sjhong1970@naver.com

장 높은 것으로 인지된 국내 도심부 비 직각 교차로에서의 고령자 운전 특성 분석에 대한 연구결과는 발표된 바가 없다.

본 논문에서는 서울 시내의 교차로 중 고령 운전자의 운전 시 장애 요인으로 인한 교통사고 유발 위험성이 크다고 판단되는 서울특별시 중랑구에 위치한 비 직각 교차로인 중랑교 사거리를 모델로 하여 최대한 현실감에 가깝게 가상현실 운전 시뮬레이터를 구축하였다. 또한 교차로 주변 교통 환경과 운전 시나리오를 만들어 65세 이상 고령자 운전자와 일반 운전자를 대상으로 모의주행 실험을 실시하고 운전행태 데이터를 분석하여 고령 운전자의 운전 특성을 파악하고자 하였다.

2. 비 직각 교차로 시뮬레이터 구축

2.1. 차량 운전 시뮬레이터

차량 운전 시뮬레이터로는 국내 다양한 형태의 장비 중 밀폐된 대형 시뮬레이터 환경에서 실험 시 고령 운전자의 구토 또는 멀미 증세 유발을 최소화할 수 있는 장비인 서울 시립대학교 용산실험실의 간이 운전 시뮬레이터(Compact Driving Simulator)를 선정하였다. CDS는 실제 차량의 운전대, 브레이크, 가속 페달, 자동 변속기, 운전 좌석, 차량 계기판 등으로 구성되며, 3D 가상현실 지도(VR data) 디스플레이는 반 돔 형태의 스크린에 빔 프로젝터 3대가 각각 표출한다. 빔 프로젝터마다 컴퓨터를 연동해 멀티 디스플레이에 따른 프레임 저하를 최소화하였다. 또한 CDS에 차체 형태의 프레임을 제작해 차량 내에서 운전하는 것처럼 느끼게 하였고, 디스플레이 패널을 통해 좌우 사이드미러, 룸미러 화면을 표현하였다. Fig. 1은 본 연구에서 사용한 차량 운전 시뮬레이터(CDS)를 보여주고 있다.

가상주행 실험 데이터 기록은 가상현실 소프트웨어인 UC-win/Road를 사용하여 주행속도, 주행시간, 가속속도, 주행거리, 브레이크 파워, 핸들회전각도, RPM, 차로편

측위치 등을 0.01초 단위로 DS Log data를 사용하여 실시간 저장하였다. 운전자의 운전 모습은 실험 중 카메라에 영상으로 저장되어 동영상 분석에 활용된다.

2.2. 비 직각 교차로 구현

가상현실 지도를 제작하기 위해 국토지리정보원에서 제공하는 중랑교 사거리 교차로 지형을 1 : 5,000 수치지형도로 받아 적용하였다. 구현 순서는 지형 및 위성지도를 입력한 후 평면 및 종단선형을 구현한 다음 단면과 도로시설물을 작성하여 최종적으로 교차로를 구현하였다. 이때, 본 실험 대상 지역은 평지로 중랑교 사거리 비 직각 교차로는 종단경사 2% 이내의 평지로 설정하여 구현하였다. 현장 조사 사진을 통해 도로시설물 및 건물을 최대한 현실에 가깝게 배치하였으며 도로표지판, 신호기, 표지 봉, 중앙버스정류장 등을 나타내었다. 차로 수와 주행차로 및 교차로 형태가 실제와 같게 구현되었다. Fig. 2는 본 연구에서 구축한 중랑교 비 직각 사거리의 가상현실 지도 구축



Fig. 2 Virtual reality map



Fig. 1 Compact Driving Simulator (CDS)



Fig. 3 Skewed intersection (Top View)

과정을 보여주고 있으며, Fig. 3은 완성된 중량교 비 직각 사거리의 평면도를 보여주고 있다.

3. 실험참가자 및 시나리오 구성

3.1. 실험참가자 구성

실험참가자 구성을 위해 경기도 안양시 소재 노인복지관 방문객 중 고령 운전자(65세 이상)를 모집하고, 서울 용산전자상가 근로자 중 비 고령자(65세 미만)를 모집하였다. 실험참가자는 운전 면허증을 소지한 사람으로, 현재 운전 중이며 상담을 통해 지난 1년 동안 운전을 하지 않았거나 운전이 심각한 영향을 줄 수 있는 병력(발작 등)이 있는 경우는 제외하였다. Fig. 4는 고령 참가자의 면담 모습이다.



Fig. 4 Interview with elderly experiment participants

실험 및 실험참가자에 대하여 충북대학교 병원에서 연구윤리심의위원회 심의를 진행하고, 2019년 11월 12일부터 11월 20일까지 경기도 안양시 소재 노인복지관을 통해 모집된 65세 이상 고령자 30명, 비 고령자 10명이 실험에 참여하였다. 고령 실험참가자 중 70대는 18명, 60대(만 65세 이상)는 12명이며, 비 고령 실험참가자 중 20대는 4명, 40대는 6명이었다. 고령 실험참가자 중 남자는 27명(90%), 여자는 3명(10%)으로 남성의 피검자 비율이 높으며, 비 고령자 중 남자는 3명(30%), 여자는 7명(70%)으로 여성의 비율이 높았다.

모집된 실험참가자들에게는 장비의 특성상 일부 어지럼증을 호소하는 경우가 있으니 실험 진행 중 어지럼증 발생 즉시 실험 진행자에게 알리도록 실험 안내문을 제공하고, 개인정보 제공 및 활용 동의서를 받았다.

모든 실험참가자의 시뮬레이터 적응을 위해 본 실험 전에 테스트 주행 실험을 약 5분간 시나리오와는 다른 지도(맵)를 사용하여 실시하였으며 시야각 및 시력 검사를 하였다.

고령 실험참가자 중 4명은 실험 중 익숙하지 않은 가상 주행환경으로 어지러움, 멀미 등을 호소하여 일부 또는

전체 시나리오 참여를 중도 포기하였다. 실험 종료 후에 실험참가자들에게 소정의 교통비와 참가 수당을 지급하였다.

3.2. 시나리오 구성 및 분석항목

주간 시간대 중량교 사거리 통과 교통량을 관찰 후 가상현실 지도에 시뮬레이터 차량 데이터를 적용하여 Fig. 5와 같이 교통량을 구성하였다.



Fig. 5 Traffic design (Skewed intersection)

첫 번째 시나리오는 Fig. 6에 나타난 것처럼 비 직각 교차로에 접근하여 우회전하는 과정에서 진입하려는 도로에서 직진하는 차량에 대한 거리와 속도를 인지하고 진입하는 시점에 대한 것으로 주행속도, 직진차량 인지반응, 운전자 시선, 브레이크 횟수, 조향력 상실여부, 보도 턱 충돌 및 사고 발생 여부를 분석한다.

주행화면	분석항목
	<ul style="list-style-type: none"> · 주행속도 · 직진차량 인지반응 · 운전자 시선 · 브레이크 횟수 · 조향력(Yaw Rate) · 보도턱 등 충돌 여부 · 사고 발생 여부

Fig. 6 Turning right driving scenario(Skewed intersection)

두 번째 시나리오는 Fig. 7에 나타난 것처럼 교차로 형상이 정형적이지 않은 불균형 비 직각 직진하여 횡단 후 맞는 차로로 진입하는 과정에서의 주행행태를 분석하는 것이다.


주행화면	분석항목
	<ul style="list-style-type: none"> · 주행속도 · 차로편측 · 브레이크 횡수 · 조향력 상실 여부 (Yaw Rate) · 횡단 후 진입 차로

Fig. 7 Going straight driving scenario (Skewed intersection)

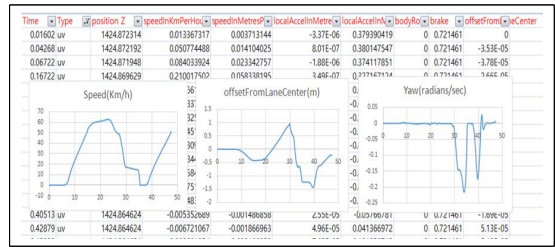


Fig. 9 Data log data analysis

4. 실험 결과 및 분석

4.1. 비 직각 교차로 우회전 실험 결과

Fig. 8에 나타낸 것처럼 비 직각 교차로(예각, 둔각 교차로)에서 우회전 합류 시나리오는 교차로로 접근 시 교차 되는 도로에서 직진하는 차량이 지속적으로 존재하여 우회전 후 직진 차량과 합류해야하는 상황으로 교차로 진입 전 많은 운전자의 순간 판단과 운전 반응을 알아볼 수 있는 시나리오이다.

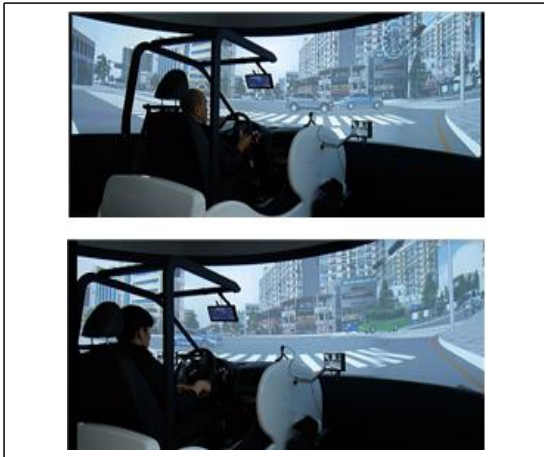


Fig. 8 Turning right (Elderly vs. Non-elderly)

모든 실험참가자의 주행속도, 차로편측, 선회 시 Yaw Rate, XYZ 방향 가속도, 브레이크 시점, 가속시점 등 운전 행태 분석을 위한 Data를 추출하여 피검자별 분석을 Fig. 9와 같이 실시하였다.

고령 실험참가자의 교차로 진입 전 직선로에서 최고속도 평균이 44.8km/h로 비 고령 실험참가자의 61.4km/h 보다 낮았으며 교차로 진입 직전 속도도 고령 실험참가자는 평균 11km/h로 비 고령 실험참가자의 18.3km/h 보다

낮았다.

교차로 통과시간(Approach→Turn→Recovery)이 20 초 이상 걸린 실험참가자의 비율이 고령자는 40%, 비 고령자는 20%이었으며, 10초 이내 통과자는 반대로 고령자 20%, 비 고령자 40%로 나타나 고령자가 상대적으로 교차로 통과에 딜레마 시간을 더 많이 소모하는 것으로 분석 되었다.

한편 비 직각 교차로에서 선회 시 보도 턱과의 충돌율은 고령 실험참가자와 비 고령 실험참가자 각각 44.0%와 40.0%로 유사하게 나타났으며 교차로 선회 시 조향 안정성 우수비율은 고령자 44%, 비 고령자 80%로 약 2배 가까이 낮은 것으로 나타났다.

특히, 교차로 진입 후 본선 합류 전 직진하는 차량과의 거리와 속도를 인지하기 위해 고개를 돌려 확인하는 비율이 비 고령 실험참가자는 전원 확인하는 행태를 보였으나 고령 실험참가자는 72.0%만의 확인하는 행태를 보였다.

Table 1 Experimental results (Turning right)

구분	고령자(25명)	비 고령자(10명)
최고속도	44.8km/h	61.4km/h
교차로 진입속도	11.0km/h	18.3km/h
교차로 통과시간	10초 이하	20.0%
	20초 이상	40.0%
조향 안정성 우수비율	44.0%	80.0%
보도 턱 충돌비율	44.0%	40.0%
방향지시등 점등율	64.0%	50.0%
교차로 앞 정차율	80.0%	60.0%
직진차량 고개 돌려 확인율	72.0%	100.0%

차량 시뮬레이터 운전적응 실패 및 두통을 호소한 고령자를 제외한 고령 실험참가자 25명과 비 고령 실험참가자 10명에 대한 비 직각 교차로에서 우회전 시 운전 특성 실험 결과는 Table 1에 정리하여 나타내었다.

4.2. 교차로 직진 실험결과

녹색 직진신호에서 불균형 비 직각 교차로를 횡단하는 시나리오(Fig. 10)에서 교차로 진입속도는 고령 실험참가자가 평균 28.8km/h로 비 고령 실험참가자의 45.2km/h 보다 크게 낮았다. 교차로 진입 전 직선로에서의 최고속도 평균값도 고령 실험참가자는 46.9km/h로 비 고령 실험참가자의 62.2km/h 보다 상대적으로 낮은 속도로 운행하였다.

일부 고령 실험참가자 4번, 9번, 16번에서 교차로 진입 전 또는 교차로 횡단 과정에서 속도를 과도하게 낮추거나 정차함으로써 녹색신호를 보고 그대로 직진하여 교차로를 빨리 횡단하려는 타 차량과 충돌사고 위험이 있는 것으로 동영상 분석을 통해 확인하였다. 또한 고령 실험참가자 중 4번, 12번, 20번, 21번은 불균형 교차로에서 선회각 부적응으로 조향에 실패하여 충돌사고의 위험이 존재하는 것으로 역시 동영상 분석을 통해 확인하였다.

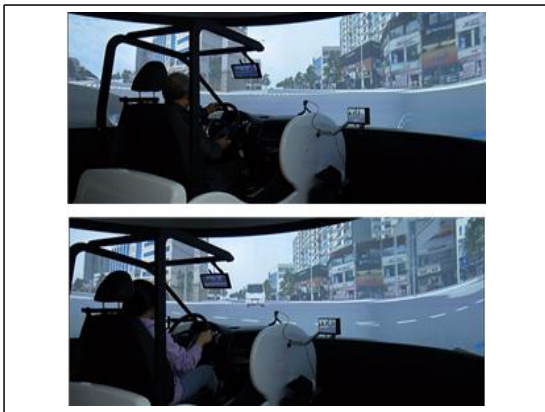


Fig. 10 Going straight (Elderly vs. Non-elderly)

일부 비 고령 실험참가자(3번)의 경우에서도 교차로 횡단 후 본선 진입 과정에서 조향력을 상실해 중앙선을 넘거나 본선 진입이 불안한 행태를 보였다. 비 직각 교차로에서 직진 시 운전 특성 실험 결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Experimental results (Going straight)

구분	고령자(27명)	비고령자(10명)
최고속도	46.9km/h	62.2km/h
교차로 진입속도	28.8km/h	45.2km/h

4.3. 실험결과 분석

비 직각 교차로 우회전 실험결과 고령 운전자는 비 고령 운전자 대비 교차로 진입직전 속도가 7.3km/h 더 낮아 방어운전 하려는 경향을 보여 운전 자신감 측면에서 비 고령 운전자 대비 낮았다. 또한 고령 운전자의 경우 교차로 통과시간이 10초 이하로 걸린 비율이 2배 낮고 20초 이상 걸린 비율은 2배 높아 교차로 딜레마 존에서 우회전 운전 조작을 판단하고 행동하는 시간이 상대적으로 길었다.

교차로 우회전 시 사이드 미러로 확인 할 수 없는 좌측에서 접근하는 직진 차량을 고개 돌려 확인하는 비율은 모든 비 고령 운전자의 경우 100% 확인 하였으나 고령 운전자의 28%가 고개 돌려 확인하지 않고 우회전하여 다중 판단력과 주의를 필요로 하는 교차로에서 사고를 야기할 수 있는 가능성이 높았다.

우회전 중 보도 턱 충돌 비율을 고령자와 비 고령자간 별다른 차이는 없었으며 우회전 직전 교차로 앞 정차율은 고령 운전자가 20%p 높아 방어 운전하려는 경향을 보였다.

교차로 직진 시나리오에서는 고령 운전자의 교차로 내에서 최고속도가 비 고령 운전자 대비 15.3km/h 더 낮았고, 교차로 진입속도도 16.4km/h 낮아 비 고령 운전자 실험 참가자들과 교차로에서의 속도 차이로 인해 고령 운전자를 추월하기 위한 비 고령 운전자들의 잦은 차선 변경 및 추월을 유발 할 가능성을 높일 것으로 분석되었다.

5. 결 론

본 연구는 다양한 운전 판단이 요구되어 사고 발생 가능성이 높은 비 직각 교차로에서 65세 이상 고령 운전자의 운전 특성을 파악하기 위하여 차량 시뮬레이터를 활용하여 실험하였다. 그 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 비 직각 교차로 우회전 시나리오에서 고령 운전자는 비 고령자 대비 방어운전을 위해 속도를 낮추려는 경향을 보이며 특히 교차로 진입 속도의 경우 비 고령 운전자는 18.3km/h, 고령 운전자는 11km/h로 고령 운전자의 진입 속도가 약 40% 낮았다.
- 2) 비 직각 우회전 시 교차로 진입 후 본선에 진입할 때까지 통과시간이 20초 이상 걸린 경우가 비 고령 운전자는 20%, 고령 운전자는 40%로 고령 운전자

- 의 교차로 통과시간이 길었다.
- 3) 비 직각 우회전 시 고령 운전자의 안정적인 조향 능력이 상대적으로 낮았으며 주요 원인은 직진 차량에 대한 고개 돌려 확인하는 비율이 비 고령 운전자는 100%인 반면 고령 운전자는 72%로 상대적으로 낮았다.
 - 4) 비 직각 교차로에서 직진 주행 시 교차로 진입 속도는 비 고령 운전자 62.2km/h, 고령 운전자 46.9km/h로 고령자의 교차로 진입 속도가 약 25% 상대적으로 낮았다.
 - 5) 비 직각 교차로에서 고령 운전자와 비 고령 운전자의 운행 속도편차는 빈번한 차선변경 및 추월 등을 야기할 수 있어 사고 유발의 잠재적 원인이 된다. 따라서 본 연구 결과인 고령 운전자의 운전행태 특성을 바탕으로 비 직각 교차로의 도로 설계개선 및 안전 운전 유도를 위한 교통 대책과 교차로 운행 교통안전 교육이 필요하다.
 - 6) 향후 비 직각 교차로와 직각 교차로에서의 고령 운전자 운전 특성 비교를 통해 비직각 교차로가 고령 운전자 운전특성에 미치는 영향 분석 연구가 필요하다.

임상시험윤리위원회(IRB)

본 연구는 충북대학교병원 기관심의위원회에서 심의 및 승인을 하였으며(No. CBNUH 2019-10-024-001) 연구 참여 전 사전 동의를 받았다.

후 기

본 연구는 한국교통안전공단의(No. KOTSA-2019-05)의 연구비 지원에 의한 결과로써, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 경찰청, 2022, “2021년판 교통사고 통계분석,” 경찰청.
- (2) 송윤아, 2019, “고령 교통사고 환자 증가 현황과 시사점, KIRI 리포트,” 보험연구원.

- (3) 이정택, 2017, “고령운전자가 유발한 교통사고의 특징,” KIRI 리포트, 보험연구원.
- (4) Langford J, Bohensky M, Koppel S and Newstead S., 2008, “Do older drivers pose a risk to other road users?,” *Traffic Inj Prev*, 2008;9:181~9.
- (5) American Geriatrics Society, 2019, “Clinician’s guide to assessing and counseling older drivers,” 4th ed. New York, NY: American Geriatrics Society.
- (6) McGwin G Jr, Sims RV, Pulley L and Roseman JM., “Relations among chronic medical conditions, medications, and automobile crashes in the elderly: a population-based case-control study,” *Am J Epidemiol* 2000;152:424~31.
- (7) ORIT SHECHTMAN, SHERRILENE CLASSEN, and BURTON STEPHENS, 2007, “The Impact of Intersection Design on Simulated Driving Performance of Young and Senior Adults,” *Traffic Injury Prevention*.
- (8) Shechtman O, Classen S, Stephens B, Davis E, Bendixen R, Belchior P, Sandhu M, McCarthy D, and Mann W., 2006, “The Impact of Intersection Design on Simulated Driving Performance of Young and Senior Adults: Preliminary Results. *Topics in Geriatric Rehabilitation*,” Vol. 22, No. 1, pp. 27~35.
- (9) Bedard MB, Parkkari M, Weaver B, Riendeau J, and Dahlquist M., 2010, “Assessment of driving performance using a simulator protocol: validity and reproducibility,” *Am J Occup Ther* 2010;64:336~40.
- (10) Shechtman O, Classen S, Stephens B, Bendixen R, Belchior P and Sandhu M., “The impact of intersection design on simulated driving performance of young and senior adults,” *Traffic Inj Prev* 2007;8:78~86.
- (11) Hoskins AH and El-Gindy M., 2006, “Technical report: Literature survey on driving simulator validation studies,” *Int J Heavy Vehicle Systems*, 2006;13:241~52.