

# 시뮬레이션을 이용한 교차로 신호위반 사고 해석

한창평

상지대학교 스마트자동차공학과

## Analysis of Intersection Signal Violation Accident Using Simulation

Chang-Pyoung Han

Department of Smart Automobile Engineering, Sangji University

**요약** 교통 신호 위반 사고는 운전자의 주장이 서로 상반되면 원인 규명이 어렵다. 본 연구에서는 사례를 중심으로 교통 사고 분석을 위해 사용하는 차량 충돌 해석 시뮬레이션 프로그램인 PC-CRASH을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였고, 이를 통하여 교차로에서 신호 위반 차량을 규명하는 과정을 제시하였다. 첫째, 신호 위반의 원인 규명이 분명하지 않은 운전자나 목격자의 진술을 배제한다. 둘째, 사고 차량의 최종 자세, 최종위치, 파손 부위, 조향 여부, 제동 여부, 노면 흔적을 수집하고, 정지선으로부터 충돌지점까지 조사한다. 셋째, 사고 차량의 충돌 상황과 최종 정지 자세에 부합될 때까지 시뮬레이션 자료를 수정 입력한다. 넷째, 시뮬레이션 결과가 충돌 상황과 부합되면 운전자의 진술과 부합되는지 교차 검증하여 사실 규명을 입증한다. 본 연구의 시뮬레이션의 결과는 교차로 내 좌회전 신호에 렉서스는 약 55 km/h로 진입하였고 소나타는 교차로의 차량 직진 신호를 보고 72km/h로 교차로에 진입하여 렉서스와 충돌하였다. 그러므로 소나타의 신호위반으로 규명되고 소나타 운전자, 목격자, 경찰의 주장은 모순이다.

**Abstract** Determining the cause of a traffic signal violation is difficult if the drivers' claims are contradictory. In this study, the process of identifying signal violations using a simulation was presented based on cases. First, statements from the driver or witness whose cause of the signal violation is unclear were excluded. Second, the final position, final location, damaged area, steering status, braking status, and road surface traces of the vehicle were collected. The impact point was investigated from the stop line. Third, simulation data were modified and entered until the collision situation of the accident vehicle and the final stop position were met. Fourth, if the simulation results were consistent with the crash situation, the facts were verified by cross-validation to conform to the driver's statement. The results of the simulation showed that the Lexus entered the left turn signal in the intersection at approximately 55 km/h. In comparison, the Sonata driver saw the vehicle straight ahead at the intersection, entered the 72 km/h intersection, and collided with the Lexus. Therefore, the Sonata was identified as a signal violation, and the claims of the Sonata driver, witnesses, and police were contradictory.

**Keywords** : Collision, Simulation, Impact Velocity, Trajectory, Maximum Speed Limit, Accident Investigators, Vehicle Engineering

---

\*Corresponding Author : Chang-Pyoung Han(Sangji Univ.)

email: hancp@daum.net

Received October 27, 2020

Accepted January 8, 2021

Revised January 6, 2021

Published January 31, 2021

## 1. 서론

교통사고가 발생하면 견인차나 구급차가 경찰보다 사고 현장에 먼저 도착하는 경우가 많다. 견인차 운전자는 사고 장소의 교통체증 등에 따라 사고차량의 최종위치 등을 촬영하고 스프레이로 노면에 표시하고 도로 우측 노면 등으로 이동시킨다. 사고 운전자는 지구대에서 사고 상황에 대한 진술서를 자필로 작성하고 지구대는 제반서류를 작성하여 관할 경찰서에 이첩한다. 신호위반 사고는 교통사고처리특례법에 해당하고 처벌 대상이다. 경찰서에서는 현장조사를 실시하고 운전자의 진술조서를 작성하고 여러 종합적인 자료를 토대로 조사자가 신호위반에 대한 결론을 내리고 검찰에 사건기록을 송치한다. 경찰조사 단계에서 목격자, 블랙박스 영상물 등이 존재하면 신호를 위반한 차량을 지정할 수 있지만, 운전자가 사망하거나 목격자가 없는 경우에는 위반 차량 지정이 어려워 거짓말탐지기를 사용하기도 한다. 사고조사 경험이 축적된 조사관의 분석이 필요하고, 조사관은 기본적으로 교통사고전문화교육, 교통사고조사과정, 교통사고재현과정을 이수하고 교통안전시설물, 교통신호체계를 이해하여야 한다. 사고 차량의 충돌 전 진행 방향, 최종 정지 위치 및 자세를 분석하기 위해서는 과학적인 해석기법이 필요한데 목격자 및 운전자의 진술에 의존할 수 밖에 없는 경우에 처하게 된다. 허위 목격자를 구분하여야 하고 운전자의 진술이 허위인지 여부를 판단하여야 하는데 쉽지 않은 것이 사실이다. 신호위반 사고는 교통신호에 따라 차량이 출발한 것인지, 사전예측출발인지, 신호를 무시한 사고인지를 객관적으로 분석하기 위해서 본 연구에서는 사고 차량의 진행 속도, 충돌지점, 조향 각도 등을 토대로 시뮬레이션을 이용한 규명 과정을 제시하였다.

PC-CRASH는 교통사고 분야에서 사고 재구성에 사용하는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램이다. Newton 역학을 기반으로 충돌 전 속도 및 충돌 자세 등과 같은 다양한 변수들을 고려하여 차량의 충돌 후 거동을 모사할 수 있고 사고에 대한 해석 및 3차원 사고 재구성을 할 수 있다[1~7].

## 2. 본론

### 2.1 발생 개요

Fig. 1에서 보인 바와 같이 판교 IC 사거리에서 위치한 소나타가 서울 방면에서 수지 방면으로 직진 운행하였고, 렉서스가 수지 방면에서 판교 IC 진입로 방면으로 좌회

전 운행 중, 소나타가 렉서스의 우측 휨다 부위를 충격한 사고이다.

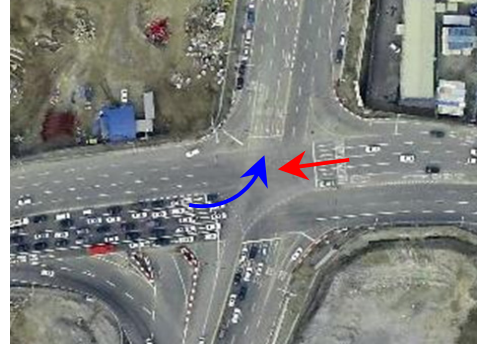


Fig. 1. Direction of progress of both vehicles before impact (Blue arrow Lexus, Red arrow Sonata)

교통사고보고실황조사서에는 렉서스가 황색 신호에 교차로에 진입하여 녹색 신호에 진행하는 소나타를 충돌한 사고라고 기재되어 있지만, 렉서스 운전자 및 소나타의 운전자 주장이 서로 일치하지 않는다.

렉서스 운전자는 판교 IC의 편도 5차선 중 3차선에서 진행 신호를 받고 좌회전을 하던 중, 좌측에 있던 은색 차량이 좌회전을 하지 않고 직진을 하여 먼저 보내고 교차로에 진입하였고, 좌회전 신호를 다시 확인하고 진행하던 중 시흥동 방향에서 낙생고 방향으로 진행하는 소나타가 튀어나와 렉서스의 우측 뒤 문짝을 충돌하였다고 진술했다. 또한, 좌회전 시 소나타를 확인하지 못하고 교차로를 거의 빠져나갈 무렵 소나타가 렉서스를 향해 오는 것을 확인하였고, 소나타를 확인하고 가속페달을 밟아 교차로를 빠져나가야 할지 아니면 브레이크를 밟아 속도를 줄여야 할지 갈등하다가 왼쪽으로 방향을 살짝 꺾었지만 충돌이 발생했다고 진술했다. 사고당시 소나타는 빠른 속도이었고 피할 수 없는 것은 충돌상황이 순간적이었기 때문이다.

소나타 운전자는 직좌 신호를 받고 20~30 km/h 속도로 약 10 m 정도 직진하던 중 렉서스가 갑자기 나타나 피할 겨를도 없이 사고가 발생하였고, 렉서스를 확인하지 못하였고, 사고 당시 렉서스 말고 좌회전하는 차량은 없었다고 진술했다.

충돌 전 진행 위치에 대하여 소나타 운전자는 편도 5차선 중 4차로에 위치하고 횡단보도를 침범하지 않은 위치에 있었고, 렉서스 운전자는 편도 5차선 중 3차로에 위치하고 좌회전 신호를 받고 좌회전하였다.

소나타 운전자는 확실한 직좌 신호이므로 교통에 장애가 될 만한 요인이 없었지만 맨 앞쪽에 있어서 교통상황을 확인하지 못했고, 렉서스 운전자는 교통에 장애가 될 만한 요인은 없었고, 확실히 진행신호이었고, 낙생고에서 판교IC방향으로 진행하는 방향만 허가하고 나머지 세 방향의 차선들은 모두 정체가 되었다.

충돌 직전 상대 차량 인지 여부에 대해 소나타 운전자는 렉서스를 사고 전에는 확인하지 못해서 브레이크를 밟을 시간도 없었고 충돌할 때 확인하였고, 렉서스 운전자는 교차로를 통과할 때 쭈 우측에서 다가오는 소나타를 확인했고, 지나가야하나 멈춰야 하나 갈등하다 피해야려고 핸들을 좌측으로 꺾는 도중에 충돌하였다.

충돌속도 및 지점 등에 대하여 소나타 운전자는 약 20~30 km/h이고, 진행 차량은 없었고 충돌지점은 정지선으로부터 약 10m 전방이었고, 렉서스 운전자는 소나타의 속도는 빠른 속도이었고, 다른 차량들이 정차해 있었다고 진술했다.

목격자 A의 진술조서에는 5차선의 우회전 차로 맨 앞쪽에 소나타와 같은 방향의 3차선 맨 앞에 정차하고 있던 중에 목격하였다. 사고 당시 신호등은 확인하지 못하고, "꽁" 소리가 난 직후에 신호등을 확인하였고, 녹색 신호로 바뀌어 진행하였다. 소나타가 출발 시 신호를 확인하지 못했고 조금 급하게 출발한 것 같았고, 렉서스가 좌회전할 때 주변 차량은 없었다고 진술했다.

목격자 B의 진술조서에는 목격자는 5차선의 우회전 차로 맨 앞쪽에 소나타의 진행 방향과 같은 3차선의 맨 앞에서 정차 중 목격하였고, 소나타 운전자는 편도 5차선 중 4차로에 위치하였고, 횡단보도를 침범하지 않은 상태에서 수지 방향에서 판교 IC방향으로 3대 차량이 적색 신호로 바뀌었는데 꼬리를 물고 교차로에 빠져나갔고, 그 뒤를 렉서스가 빠져나가는데 신호는 소나타의 진행신호였다고 진술했다. 소나타는 택시 옆 3차로 맨 앞쪽에 나란히 위치해 있었고 렉서스의 존재는 모르고 신호대기 중인 소나타가 녹색 신호로 바뀌자 출발하였고, 렉서스는 적색 신호에 교차로에 진입하였고 속도는 약 50~60 km/h이다. 소나타는 출발 직후에 빠른 속도는 아니고 직진하던 소나타의 전면으로 좌회전을 하던 렉서스의 조수석 뒤 도어가 손상되었다.

경찰 자료에서 사고 장소는 신호에 따라 주행도로가 가변적으로 변하는 곳이다. Table 1의 사고 장소 신호 주기표는 사고 당시와 일치하지 않고, 현재는 금토방 방향에서 낙생고 방향으로 진행하는 좌회전 신호도 없어서 사고 당시 신호에 대하여 알 수 없다.

Table 1. Signal Cycle Table

Geumto-dong Pangyo IC ↔ Bundang Naksaenggo		1 sign	2 sign	3 sign	4 sign	5 sign	
		←	←	↶	↕	↑	
		→	↓	↷	↕	↘	
	Time	Cycle	Each Sign(sec)				
1	00:00~	160	42	25	33	12	48
2	06:00~	200	57	25	57	18	43
3	07:40~	200	59	27	56	18	40
4	09:30~	200	51	27	56	18	48
5	16:30~	200	51	27	48	18	56



Fig. 2. Final stationary position and damaged area of Lexus



(a)



(b)

Fig. 3. Damage of Sonata  
(a) Left frontal damage (b) Right side damage

Fig. 2에서 보는 바와 같이 렉서스는 우측 앞 도어 끝 단 하단 부위에 긁힌 흔적이, 우측 뒤 문짝 하단 부위가 각각 함몰되었다. 뒤 범퍼 우측면에 긁힌 흔적이 발생하고 조수석 측면 에어백이 터져 있다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 소나타는 좌측 전조등이 후드 안쪽으로 밀리고 우측 웬다 패널 및 후드 우측 선단이 꺾여 있으며 앞 범퍼 좌, 우측 모서리 부위가 손상되었다.

소나타의 앞 범퍼 우측 부위로 렉서스의 우측 문짝 부위를 충돌하고 소나타의 앞 범퍼 좌측 부위로 렉서스의 뒤 범퍼 우측 부위를 충돌하였다. 충돌 직후 렉서스 후미는 시계방향으로 회전하였다. 충돌 직전, 직후에 렉서스 및 소나타가 발생시킨 타이어 흔적은 없으며 최종위치한 소나타 전방에 렉서스가 10시 방향을 향해 최종 정지하였다.

소나타 운전자 진술을 토대로 소나타가 정지선에서 정차한 다음 충돌지점까지 10m 진행했을 때 충돌속도는 다음 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$V_e^2 - V_i^2 = 2ad \quad (1)$$

식 (1)에서  $V_e$ 는 충돌속도,  $V_i$ 는 초기 속도이다. 정지 상태에서 출발하였으므로 초기 속도는 0이다. 발전 가속도  $a = 0.19G$  ( $G=9.81m/s^2$ )이고,  $d$ 는 진행 거리이다. 그러므로 소나타 충돌속도는 약 21.9km/h이고, 정지선에서 충돌지점까지 약 10m 진행할 때 소요 시간은 다음 식으로 구하면

$$t = \frac{V_e - V_i}{a} \quad (2)$$

약 3.27초이다. 경찰 측정 결과를 적용하면 소나타 진행 거리 약 25m에 대하여 소나타 속도는 약 34.7 km/h 이고, 소요된 시간은 약 5.18초이다. 각각의 시간에 Table 3의 차두시간 평균치 2.38초를 적용하면 10m를 진행했을 때 소요 시간은 약 5.65초이고, 25m를 진행했을 때 소요 시간은 약 7.56초이다.

### 3. 시뮬레이션

사고 당시 경찰 자료에 양 차량의 최종위치를 표시하고 실측한 내용이 없어 양 차량 운전자 및 목격자가 진술하는 충돌 위치 및 최종 정지 위치를 설정하였다. 양 차량의 파손 부위에 따른 충돌 자세를 설정하였고 속도, 차량 제원, 충돌각, 제동 여부, 조향 여부, 노면 마찰 계수 등의 자료를 약 950회 수정 입력하여 양 차량이 충돌 후

최종위치 및 최종 자세로 이동하여 부합될 때까지 반복 작업을 수행하였다.

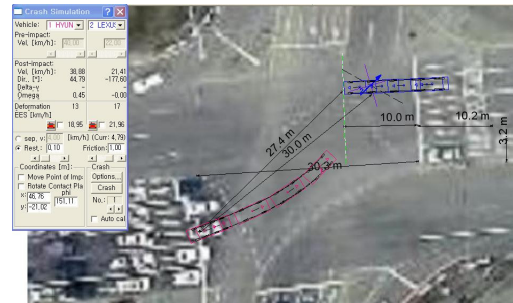


Fig. 4. Sonatas and Lexus don't have collisions

Fig. 4에서 소나타 22km/h, 렉서스 40km/h로 동시에 정지선을 통과할 때 렉서스가 충돌지점에 도달하기 전에 소나타는 이미 충돌지점에 도달하므로 충돌상황은 발생하지 않는다.



Fig. 5. Sonatas and Lexus don't have collisions

Fig. 5에서 보는 바와 같이 소나타가 22km/h, 렉서스는 60km/h로 정지선을 동시에 통과할 때 소나타가 충돌지점을 먼저 지나치므로 양 차량의 충돌상황은 발생하지 않는다.

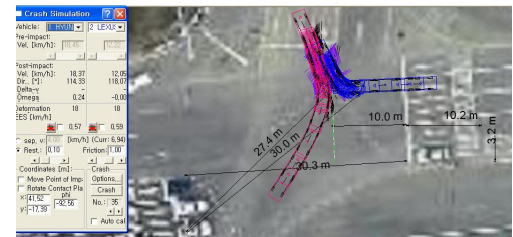


Fig. 6. Sonatas and Lexus have collisions, but they do not match the final stop

Fig. 6에서 이미 진입한 렉서스의 속도가 30km/h이고, 직진하는 소나타의 속도가 22km/h일 때 충돌은 발생하나 양 차량의 최종위치와 부합하지 않는다.



Fig. 7. Sonatas and Lexus have collisions, but they do not match the final stop

Fig. 7에서 교차로에 이미 진입한 속도 40km/h인 렉서스의 우측면을 속도 22km/h로 직진하는 소나타가 충돌할 때, 소나타는 시계방향으로 틀어져 최종 정지하는 반면, 렉서스의 후미도 시계방향으로 틀어져 밀려나므로 최종위치와 부합하지 않는다.



Fig. 8. After the collision between Sonata and Lexus, the final stop position and the final position are matched

Fig. 8에서 교차로에 이미 진입한 속도 55km/h인 렉서스와 속도 72 km/h인 소나타가 충돌할 때 파손부위 및 최종위치가 부합한다. Fig. 8의 수행자료는 Table 2 ~ Table 8과 같다.

Table 2 ~ Table 8의 자료로 수행한 Fig. 8에서 보는 바와 같이 렉서스는 좌회전 신호에 교차로를 진입하여 통과하던 중이고, 소나타는 교차로 내에 통과하지 않은 차량을 인지하고 교차로에 진입하여야 하는데 자기 진행신호만 보고 교차로에 진입하여 미처 교차로를 통과하지 못한 렉서스를 인지할 수 있음에도 사전예측 출발로 렉서스의 좌측면을 충돌하였다.

Table 2. Start Values

Vehicle	Sonata	Lexus
Velocity magnitude (v) [km/h]	72.01	55.05
Heading angle [deg]	-137.5	0.4
Velocity direction (β) [deg]	27.19	-177.46
Yaw velocity [rad/s]	0.0	0.0
Center of gravity x [m]	22.833	68.103
Center of gravity y [m]	-37.365	-13.599

Table 3. End Values

Vehicle	Sonata	Lexus
Velocity magnitude (v) [km/h]	0.6	0.3
Heading angle [deg]	132.29	-2.19
Velocity direction (β) [deg]	113.9	-146.4
Center of gravity x [m]	22.833	68.103
Center of gravity y [m]	-37.365	-13.599

Table 4. Collision

Vehicle	Sonata	Lexus
Pre Impact vel. [km/h]	47.70	45.50
Velocity change (ΔV) [km/h]	33.28	28.2
Deformation depth [m]	0.15	0.17
EES [km/h]	34.28	31.12
Stiffness [kN/m]	5778.6	5310.7
Coefficient of restitution (e)	0.10	
Separation speed [km/h]	13.3	
Friction coefficient (μ)	0.60	
Point of Impact x [m]	48.57	
Point of Impact y [m]	-13.74	
Angle of contact plane (φ) [deg]	62.30	
Total Deformation Energy [J]	139135.36	
Impulse [Ns]	13589.58	
Direction of impulse [deg]	-176.74	
Moment arm about C.G. [m]	0.27	0.75
PDOF (SAE) [deg]	121.83	-179.27
dV/EES	0.89	0.89

Table 5. Values Before Collision

Vehicle	Sonata	Lexus
Velocity magnitude (v) [km/h]	47.70	45.50
Heading angle [deg]	61.43	-177.46
Velocity direction (β) [deg]	163.4	-14.7
Yaw velocity [rad/s]	61.43	-177.46
Center of gravity x [m]	47.798	50.938
Center of gravity y [m]	-13.510	-14.360

Table 6. Values After Collision

Vehicle	Sonata	Lexus
Velocity magnitude (v) [km/h]	41.33	20.29
Heading angle [deg]	104.60	-178.37
Velocity direction (β) [deg]	109.9	-134.1
Yaw velocity [rad/s]	-42.70	105.02
Center of gravity x [m]	47.172	47.850
Center of gravity y [m]	-4.356	-14.484

Table 7. Sonata Start Values

Vehicle		Sonata	
Velocity [km/h]		72.01	
Friction coefficient		0.8	
Reaction time [sec]		0.2	
BRAKE LAG Threshold time [sec]		0.2	
BRAKE maximum stopping distance [m]		30.7	
BRAKE LAG Threshold time [sec]		0.2	
Brake force [%]	Axle 1, left	42.47	
	Axle 1, right	42.47	
	Axle 2, left	27.15	
	Axle 2, right	27.15	
mean brake acceleration [m/s <sup>2</sup> ]		3.42	
STEERING Steering time [s]		0	
New steering angle [deg]	Axle 1	3.3	3.2
	Axle 2	0	0
Turning circle [m]		100.14	

Table 8. Lexus Start Values

Vehicle		Lexus	
Velocity [km/h]		55.05	
Friction coefficient		0.8	
Reaction time [sec]		0.2	
BRAKE LAG Threshold time [sec]		0.2	
BRAKE maximum stopping distance [m]		14.0	
BRAKE LAG Threshold time [sec]		0.2	
Brake force [%]	Axle 1, left	29.11	
	Axle 1, right	29.11	
	Axle 2, left	19.01	
	Axle 2, right	19.01	
mean brake acceleration [m/s <sup>2</sup> ]		2.36	
STEERING Steering time [s]		0	
New steering angle [deg]	Axle 1	0	
	Axle 2	0	
Turning circle [m]		0	

#### 4. 결론

본 연구에서는 교통사고 재현 시뮬레이션 프로그램인 PC-CRASH를 이용하여 교차로 신호위반 충돌사고를 분

석하였다. 시뮬레이션 결과 렉서스가 좌회전 신호에 55km/h 속도로 교차로에 진입하여 교차로를 빠져나가는 과정이고, 자기 차량 진행 신호만 보고 72km/h로 교차로에 진입하는 소나타의 신호위반 책임이 있음을 확인하였다.

본 연구의 시뮬레이션 결과 소나타가 맨 앞에 정차하면서 교차로 내 전방에 아무것도 보지 못하였다는 소나타 운전자의 진술은 모순이라는 사실을 확인할 수 있었다. 또한, 렉서스 앞에 3대 차량이 차간거리를 두지 않고 신호를 위반하고 있었다면 렉서스가 황색신호에 교차로에 진입했을 때 렉서스 앞에 3대 차량의 차간거리 등을 감안하면 목격자 B의 진술과 반대로 좌회전 신호에 교차로에 진입한 것이고, 소나타의 진행방향 맨 앞 다른 차량들이 렉서스를 발견할 수 밖에 없는데 맨 앞의 소나타 운전자가 발견하지 못했다는 진술은 모순이다.

본 연구 사례와 마찬가지로 신호위반 사고는 시뮬레이션을 통한 충돌 속도, 충돌 자세, 조향각, 제동 여부 등을 분석한 다음 운전자나 목격자의 진술의 신뢰성 여부를 교차 검증할 필요가 있다.

#### References

- [1] Sanghyeon Lim, Wontaek Oh., Jihun Choi and Jongchan Park, "Estimation Collision Speed of Vehicle by Using PC-CRASH Collision Optimizer", Transactions of KSAE, Vol. 27, No. 12, pp. 911-917, 2019.
- [2] Sanghyeon Lim, Wontaek Oh., Jihun Choi and Jongchan Park, "Estimation Collision Speed of Vehicle by Using PC-CRASH Collision Optimizer", Transactions of KSAE, Vol. 27, No. 12, pp. 911-917, 2019.
- [3] Wang-su Ha and Seok-young Han, "Establishment of Important Impact Parameters of Traffic Accident Reconstruction Program 'PC-CRASH'", Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 21, No. 2, pp. 155-164, 2003. 04.
- [4] Jong-Duck Kim, Jun-Kyu Yoon, "Reliable Study on the Collision Analysis of Traffic Accidents Using PC-Crash Program", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), Vol. 12, No. 5, pp. 115-122, 2012. 5.
- [5] Yong-Soon Choi, Se-Ryong Baek, Jong-Kil Jung, Jeong-Kwon Cho, Jun-Kyu Yoon, "A Study on the Rollover Behavior of SUV and Collision Velocity Prediction using PC-Crash Program", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), Vol. 18, No. 2, pp. 227-235, 2018.
- [6] Jihun Choi, Jonhcheol Bag, Woosik Park, Myungchul

Park, Seungchul Bae, "Study on the collision analysis by genetic algorithm in PC-CRASH", Korean Journal Science, Vol. 10, No. 1, pp. 39-44, 2009.

- [7] Chang-Pyoung Han and Hong-Ju Choi, "A study on the estimation of impact velocity of crashed vehicles in tunnel using computer simulation(PC-CRASH)", J. Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol.14 No.4, 2020.

---

한 창 평(Chang-Pyoung Han)

[정회원]



- 1994년 2월 : 한양대학교 교통공학  
학과 (공학석사)
- 2007년 8월 : 경희대학교 기계공  
학과 (공학박사)
- 2012년 3월 ~ 2019년 2월 : 상지  
영서대학교 자동차과 교수
- 2020년 3월 ~ 현재 : 상지대학교  
스마트자동차공학과 교수

〈관심분야〉

교통사고 분석 및 재현, 자동차 설계 및 안전